





XII Reunión Nacional de Óptica *–LIBRO DE RESÚMENES–*

50 Aniversario SEDOPTICA

Castellón, del 3 al 6 de Julio 2018

XII Reunión Nacional de Óptica

© de los autores

Julio 2018

ISBN (ed. digital): 978-84-09-03559-5

Índice general

Bienvenida	4
Comités	5
Programa	8
Conferencias Plenarias	
Simposios	
1 - Ciencias de la Imagen	
2 - Ciencias de la Visión	
3 - Color	
4 - Óptica Cuántica y Óptica no Lineal	
5 - Nanofotónica	
6 - <i>Misceláneo</i>	
Índice autores	

Iconografía



MISC: Simposio Misceláneo

Bienvenida

Estimados colegas,

Nos complace daros la bienvenida al sitio web de la XII Reunión Nacional de Óptica, RNO2018. En esta ocasión tenemos el placer de comunicaros que el congreso se celebra en la Universitat Jaume I de Castellón del 3 al 6 de Julio de 2018.

Tras el positivo resultado de la RNO15 en Salamanca, confiamos que esta nueva edición sea también un éxito gracias a la colaboración y participación de toda la comunidad española interesada en las tecnologías de la luz. La RNO2018 se configura como punto de encuentro de todo el colectivo español en Óptica y Fotónica, con especial énfasis en las investigadoras y en los jóvenes. Para ello, el comité organizador está trabajando para confeccionar un programa que sirva de marco para el intercambio de ideas y el desarrollo de oportunidades de colaboración y que al mismo tiempo permita atraer como ponentes a cualificados investigadores de ámbito internacional. El programa científico se complementará con una serie de actividades lúdicas y socioculturales que nos permitan establecer o estrechar vínculos con nuestros compañeros.

Por otra parte, la fundación de la Sociedad Española de Óptica, SEDOPTICA, se remonta a 1968. Así pues, esta edición de 2018 coincide con el 50 aniversario de SEDOPTICA. Queremos, pues, en combinación con el desarrollo de la RNO2018 celebrar de forma muy especial esta efeméride dedicándole media jornada, al igual que lo acontecido en Salamanca con el Día de la Luz. En esta ocasión pretendemos reunir a conferenciantes especializados de carácter excepcional junto a varios dignatarios de otras sociedades científicas afines de nuestro entorno. ¡El cincuentenario de SEDOPTICA se lo merece! Aprovechamos esta oportunidad para invitaros a que todos juntos participemos en ambos eventos en Castellón durante la primera semana de julio 2018.

En Castellón se encuentra la perfecta unión entre mar y montaña. Sus más de 120 kilómetros de costa dan cobijo a algunas de las playas más fascinantes de la Comunidad Valenciana. Durante los primeros días de julio, la temporada de verano todavía no está en su apogeo pero un clima suave y playas de aguas cristalinas ya nos esperan en este litoral. Además, existen parajes y rutas de indescriptible belleza que invitan a la aventura y el sosiego, así como una atractiva oferta de turismo rural para descubrir pueblos pintorescos y joyas medievales como Peñíscola o Morella.

El plazo para enviar las comunicaciones orales o en forma de póster permanecerá abierto hasta el 2 de abril de 2018. Os esperamos, pues, en Castellón para compartir juntos experiencias, identificar los retos de futuro en nuestro campo y establecer nuevas colaboraciones.

> **Jesús Lancis** Comité Organizador *Universitat Jaume I (UJI)*

Ignacio Moreno Presidente SEDOPTICA *Universidad Miguel Hernández de Elche*

Comités

Comité Organizador

Presidente Jesús Lancis *(Universitat Jaume I)*

Vocales

Enrique Tajahuerce *(Universitat Jaume I)* Gladys Mínguez-Vega *(Universitat Jaume I)* Mercedes Fernández-Alonso *(Universitat Jaume I)* Rocío Borrego-Varillas *(Politecnico di Milano, Italia)* Laura Remón *(Universidad de Zaragoza)* Lluis Martínez-León *(Universitat Jaume I)* Omel Mendoza-Yero *(Universitat Jaume I)* Fernando Soldevila *(Universitat Jaume I)* Eva Balaguer *(Universitat Jaume I)*

Comité Científico

Presidente Vicent Climent *(Universitat Jaume I)*

Vocales

Ignacio Cirac (Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Alemania) Ignacio Moreno (Universidad Miguel Hernández de Elche) Pedro Andrés (Universidad de Valencia) Susana Marcos (Instituto de Óptica, CSIC) María Teresa Flores (Universidad Santiago de Compostela) Bahram Javidi (University of Connecticut, USA) Jürgen Jahns (FernUniversität in Hagen, Alemania) María Josefa Yzuel (Universidad Autónoma de Barcelona) Amalia Martínez (Centro de Investigaciones en Óptica, México) Silvia Ledesma (Universidad de Buenos Aires, Argentina) Pilar Beatriz García-Allende (Siemens Healthineers Erlangen desde 08/2015, Alemania)

Comités

Simposio Ciencias de la Imagen. Comité Científico

Presidente

Andrés Márquez Ruiz (Universidad de Alicante)

Vocales

Pascuala García Martínez (Universidad de Valencia) Inmaculada Pascual Villalobos (Universidad de Alicante) María S. Millán García-Varela (Universidad Politécnica de Cataluña)

Simposio Ciencias de la Visión. Comité Científico.

Presidente

José Juan Castro Torres (Universidad de Granada)

Vocales

Ana Isabel Sánchez Cano (Universidad de Zaragoza) Laura Remón Martín (Universidad de Zaragoza) Justo Arines Piferrer (Universidad Santiago de Compostela)

Simposio sobre Óptica Cuántica y Óptica no Lineal. Comité Científico.

Presidente Germán J. de Valcárcel y Gonzalvo (Universidad de Valencia)

Vocales

Verònica Ahufinger Breto (Universidad Autónoma de Barcelona) Ramón Corbalán Yuste (Universidad Autónoma de Barcelona) Humberto Michinel Álvarez (Universidad de Vigo) Eugenio Roldán Serrano (Universidad de Valencia) Ramon Vilaseca Alavedra (Universidad Politécnica de Cataluña) Roberta Zambrini (Instituto de Física Interdisciplinar y Sistemas Complejos, CSIC)

Simposio Color. Comité Científico

Presidente Juan Luis Nieves Gómez (Universidad de Granada)

Vocales

Meritxell Vilaseca Ricart (Universidad Politécnica de Cataluña) Joaquín Campos Acosta (CSIC, Madrid) Julio A. Lillo Jover (Universidad Complutense de Madrid) Enrique Hita Villaverde (Universidad de Granada)

Simposio Nanofotónica. Comité Científico.

Co-Presidentes

Pablo Aitor Postigo Resa (Instituto de Micro y Nanotecnología, CSIC) Lluis F. Marsal Garví (Universidad Rovira i Virgili)

Vocales

María Ujué González Sagardoy (Instituto de Micro y Nanotecnología, CSIC) Rosalía Serna Galán (Instituto de Óptica, CSIC) Rosa Weigand Talavera (Universidad Complutense de Madrid) José Antonio Sánchez Gil (Instituto de Estructura de la Materia, CSIC) Iván Mora Seró (Universitat Jaume I) Agustín Mihi Cervelló (Instituto de Ciencia de Materiales, CSIC) Elisabet Xifré Pérez (Universidad Rovira i Virgili)

Simposio Misceláneo. Comité Científico.

Vocales

Fernando Moreno García (Universidad de Cantabria) Carmen Vázquez García (Universidad Carlos III de Madrid) Mª Rosa López Ramírez (Universidad de Málaga)

Programa

Martes 3 Julio



	PARANINFO DE LA UNIVERSITAT JAUME I			
09:00-09:30	SESION INAUGURAL			
09:30-10:15	PLENARIA PROF. ANDREW WEINER Moderado por: Jesús Lancis. PHOTONIC SIGNAL PROCESSING: ULTRAFAST, BROADBAND, AND QUANTUM			
10:15-11:00	PLENARIA PROF. SUSANA MARCOS Optical technologies to improve vision diagnostics an	D CORRECTION	Moderado por: Vicent Climent.	
11:10-11:40	PAUSA - CAFÉ (HALL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICA	S) OSSA The Optical Society		
SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC) Moderador: Andrés Márquez Ruiz.	VIS (JB1003AA) Moderador: José Juan Castro Torres.	MISC (JB1006AA) Moderadora: Mª Rosa López Ramírez.	
11:40-11:55	INVITADA Alba Paniagua-Diaz INTENSITY CORRELATIONS BETWEEN TRANSMITTED AND REFLECTED SPECKLE PATTERNS AND ITS APPLICATIONS	INVITADA Enrique J. Fernández ADAPTIVE OPTICS FOR VISUAL SIMULATION: RESULTS AND ELITIDE CHALLENCES	113 CARACTERIZACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE UNA FIBRA, EN TORNO AL PUNTO DE INFLEXIÓN DE LA CONDICIÓN DE AJUSTE DE FASES DE LA INTERACCIÓN ACUSTO ÓPTICA <u>Saúl Rosales-Mendoza</u> , Martina Delgado-Pinar, Antonio Díez, Miguel V. Andrés	
11:55-12:10	TO IMAGING	FUTURE UNALLENGES	110 MULTI-HETERODYNE SPECTROSCOPY USING ACOUSTO-OPTIC FREQUENCY COMBS <u>V. Duran</u> , C. Schnébelin, H. Guillet de Chatellus	
12:10-12:25	177 VISION THROUGH TURBID MEDIA BY FOU- RIER FILTERING WITH A SINGLE-PIXEL CAMERA <u>Y. Jauregui-Sánchez</u> , Armin J. M. Lenz, P. Clemente, J. Lancis and E. Tajahuerce	156 DESIGN OF A SYSTEM FOR ANTERIOR AND POSTERIOR SEGMENT IMAGING BASED ON SWEPT- SOURCE OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY INTEGRATED INTO AN INSTRUMENT FOR AUTONOMOUS EVALUATION OF THE VISUAL FUNCTION <u>A. Rodríguez-Aramendía</u> , F. Díaz-Doutón, J. Pujol, J.L. Güell, I. Grulkowski	100 FAST I-OFDR INTERROGATION OF EQUALLY-SPACED ARRAYS OF REFLECTORS Juan Clement, Javier Madrigal, Javier Hervás and <u>Carlos R. Fernández-Pousa</u>	
12:25-12:40	118 DEPTH ESTIMATION IN INTEGRAL IMAGING. SOME NEW APPROACHES José M. Sotoca, Pedro Latorre Carmona, Filiberto Pla, Bahram Javidi	158 PHORIA MEASUREMENT WITH AN AUTOMATED AND OBJECTIVE COVER TEST <u>Clara Mestre</u> , Carles Otero, Fernando Díaz-Doutón, Josselin Gautier, Jaume Pujol	161 LASER-MEDIATED SYNTHESIS OF CU BY PHOTOCHEMICAL REDUCTION OF METAL SALTS IN A CONTINUOUS FLOW JET <u>Rafael Torres-Mendieta</u> , Michal Urbánek, Martin Cvek, Ondřej Havelka, Stanisław Wacławek,a Vinod Vellora Thekkae Padil, Darina Jašíková, Michal Koteka and Miroslav Černíka	
12:40-12:55	199 CÁMARAS LIDAR PARA IMAGEN 3D DE ALTA RESOLUCIÓN A TIEMPO REAL J.Riu, N.Rodrigo, F.Sanabria, S.Peña, M.Ballesta, <u>S.Royo</u>	97 DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA NUEVA LENTE ACOMODATIVA DEFORMABLE Andres de la Hoz, Eduardo Martinez-Enriquez, Carlos Dorronsoro, Nandor Bekesi, Nicolas Alejandre, James Germann, Daniel Pascual, Susana Marcos	89 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LA TRANSMISIÓN ÓPTICA DE UN FERROFLUIDO Ángel Sanz Felipe, Juan Carlos Martín Alonso	
12:55-13:10	142 A TWO CCDS BASED DISPLACEMENT-FREE DEFLECTOMETRY METHOD FOR REFLECTIVE SURFACE MEASUREMENT <u>Haolin Zhang</u> , Pablo Pedreira, Igors Šics, Josep Nicolas, Juan Campos	105 CUSTOMISED OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY SYSTEM FOR CORNEAL DEFORMATION IMAGING ON MULTIPLE MERIDIANS <u>Andrea Curatolo</u> , Judith Birkenfeld, James A. Germann, Alberto De Castro, Geethika Muralidharan, Miriam Velasco, Eduardo Martínez, Susana Marcos	131 MÉTODOS DE COLIMACIÓN BASADOS EN EL FENÓMENO DE AUTOIMÁGENES <u>Francisco José Torcal-Milla</u> , Luis Miguel Sanchez-Brea	
13:10-13:25	152 PHASE IMAGING USING A DIGITAL MICROMIRROR DEVICE F. Soldevila, V. Durán, P. Clemente, E. Salvador-Balaguer, J. Lancis and E. Tajahuerce	112 SIMULATION AND CORRECTION OF CATARACT EFFECTS USING WAVEFRONT SHAPING Augusto Arias, Enrique Fernández and Pablo Artal	188 GENERATION OF ARBITRARY MULTIFOCAL IRRADIANCE PATTERNS BY USING COMPLEX FRESNEL HOLOGRAMS <u>Miguel Carbonell-Leal</u> , Gladys Mínguez-Vega, Jesús Lancis y Omel Mendoza-Yero	
13:25-13:40	147 DIGITAL WATERMARKING OF LIGHTFIELD DATA IN TRANSFORM DOMAIN Amir Ansari, Seokmin Hong, Genaro Saavedra, Bahram Javidi and Manuel Martinez-Corral	145 VISION IN THE INFRARED BY ABSORPTION OF 2 PHOTONS <u>Silvestre Manzanera,</u> Katarzyna Komar, Adrián Gambín- Regadera, Daniel Sola, Maciej Wojtkowski, Pablo Artal	200 MICROSCOPÍA INTERFEROMÉTRICA CONFOCAL Realimentada C. Yáñez, S. Royo	
13:40-13:55	192 APLICACIÓN DE FOTOGRAMETRÍA SFM Y TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN CON HERRAMIENTAS SIG EN PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO DE PEQUEÑA ESCALA <u>David Torregrosa-Fuentes</u> , Yolanda Spairani Berrio, José Antonio Huesca Tortosa			
14:00-15:30	COMIDA (HALL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS)			
15:30-16:15	PLENARIA PROF. BAHRAM JAVIDI: PROGRESS IN MULTI-DIMEN FROM MACRO TO MICRO SCALES (SALÓN DE ACTOS JAASO4CC	SIONAL OPTICAL SENSING AND IMAGING SYSTEMS (MOSIS):	Moderado por: Enrique Tajahuerce.	
16:15-17:15	EXHIBICIÓN DE EMPRESAS COLABORADORAS (SALÓN DE ACTO	DS JAAS04CC)	Moderado por: Vicent Climent.	
17:15-18:30	SESIÓN DE PANELES I: SIMPOSIOS IMAG Y VIS (HALL DE LA FA	ACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS)		
20:00	RECEPCIÓN DE BIENVENIDA (HOTEL LUZ)			

Martes 3 Julio



SESIÓN DE PANELES I (17:15 - 18:30)

	IMAG	VIS
PÓSTER	3 COMPARATIVA ENTRE UN MODELO SIMPLIFICADO PARA PANTALLAS PA-LCOS Y Evaluación Rigurosa aplicando SF-FDTD	5 INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL SOBRE EL MECANISMO DE GANANCIA AL Contraste mesópica en visión extrafoveal
PÓSTER	8 CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO ANAMÓRFICO EN UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO HOLOGRÁFICO DE INFORMACIÓN	9 USO DE TECNOLOGÍA PLENÓPTICA PARA COMPENSACIÓN DE ABERRACIONES: ESTUDIOS PRELIMINARES Y APLICACIÓN A IMAGEN DE RETINA.
PÓSTER	20 ÓPTICA FREEFORM APLICADA AL DISEÑO DE INSTRUMENTACIÓN ESPACIAL PARA Observación de la tierra	17 CSF-UPC TEST: UNA NUEVA PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA SENSIBILIDAD VISUAL AL CONTRASTE EN FUNCIÓN DEL ILUMINANTE UTILIZADO
PÓSTER	23 DEPTH RESOLUTION ENHANCEMENT OF COMPUTATIONAL RECONSTRUCTION OF INTEGRAL IMAGING	19 COMPARACIÓN ENTRE AUTOREFRACCIÓN Y REFRACCIÓN SUBJETIVA CON 3 MODELOS DE GAFAS CON LENTES DE ÁLVAREZ
PÓSTER	33 MEDIDA DE DEFORMACIONES EN PIEZAS DE HORMIGÓN EN CICLOS DE CARGA- DESCARGA MEDIANTE SEGUIMIENTO LOCALIZADO DE LA TEXTURA SUPERFICIAL	24 LENTE DIFRACTIVA "STAR-LENS" CON PROFUNDIDAD DE FOCO EXTENDIDA
PÓSTER	34 LIMITACIONES REALISTAS PARA LA DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS SUBPÍXEL	25 ANÁLISIS DIFRACTIVO DEL MODELO DE OJO
PÓSTER	35 ANÁLISIS DE LA MECÁNICA DEL PARPADEO MEDIANTE PROCESADO DE VÍDEO. Aplicación a la identificación biométrica	28 REFRACCIÓN SUBJETIVA BINOCULAR: COMPARACIÓN CON REFRACCIÓN SUBJETIVA MONOCULAR Y EQUILIBRIO BIOCULAR
PÓSTER	40 MULTIPLEXADO DE VÓRTICES CON LENTES IMPRESAS PARA EL RANGO DE LOS THZ.	29 EFECTO DE LOS FILTROS BANGERTER EN LA CALIDAD ÓPTICA OCULAR Y LA FUNCIÓN VISUAL
PÓSTER	42 PARTIALLY-COHERENT SPIRALLY-POLARIZED IMAGING	36 INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN INADECUADA EN LAS ESCUELAS DE LOS CAMPAMENTOS DE REFUGIADOS SAHARAUIS EN LA SALUD VISUAL DE LOS ALUMNOS
PÓSTER	43 CALIBRACIÓN DE UN MODULADOR LCOS PARA REPRESENTAR DOES CON DISTINTO Rango de fase	39 EVALUACIÓN DE UN NUEVO DISEÑO DE LENTE INTRAOCULAR DIFRACTIVA MEDIANTE UN Simulador visual de óptica adaptativa
PÓSTER	47 STITCHING INTERFEROMETRIC SYSTEM FOR HIGH-ACCURACY RECONSTRUCTION OF X-RAY OPTICAL SURFACES	45 APLICACIÓN DE MÉTRICAS DE CALIDAD DE IMAGEN A LA DETERMINACIÓN OBJETIVA DE LA AGUDEZA VISUAL
PÓSTER	49 MULTIFUNCTIONAL MONOMER BASED MATERIALS FOR COMPLEX LOW SPATIAL FREQUENCY DIFFRACTIVE OPTICAL ELEMENTS RECORDING	46 CAMBIOS ABERROMÉTRICOS Y REFRACTIVOS TRAS INSERCIÓN DE SEGMENTOS INTRAESTROMALES: DEPENDENCIA CON EL TAMAÑO PUPILAR
PÓSTER	50 SISTEMA DESFASADOR CON DESFASE ACROMÁTICO VARIABLE	58 ALTERACIONES CROMÁTICAS PRODUCIDAS POR LAS LENTES INTRAOCULARES MULTIFOCALES DIFRACTIVAS
PÓSTER	55 LENTES DE BILLET VECTORIALES PARA LA GENERACIÓN DE HACES DE LUZ ESTRUCTURADOS EN INTENSIDAD Y ESTADO DE POLARIZACIÓN	67 INFLUENCIA DE LA CARA POSTERIOR DE LA CÓRNEA EN EL CÁLCULO DE LENTES INTRAOCULARES TÓRICAS
PÓSTER	57 SEGMENTACIÓN DEL DISCO ÓPTICO EN IMÁGENES DEL FONDO DE OJO MEDIANTE MORFOLOGÍA MATEMÁTICA EN COLOR Y CONTORNOS ACTIVOS	71 INVESTIGACIÓN EN DISEÑO DE CÁMARAS DE FONDO DE OJO
PÓSTER	59 CARACTERIZACIÓN DEL CONTRASTE EN MICRODISPLAYS OLED	72 CARACTERIZACIÓN DE LENTES REFRACTIVAS MULTIFOCALES CON EL INTERFERÓMETRO DE DIFRACCIÓN POR ORIFICIO
PÓSTER	81 ESTUDIO MEDIANTE TRATAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES DEL MIGRADO DE RELLENO O Cobertura en productos de Bollería Industrial	78 INFLUENCIA DEL DESENFOQUE ESFÉRICO MONOCULAR EN LA ESTEREOPSIS
PÓSTER	82 MODELO NUMÉRICO PARA LA FORMACIÓN DE IMÁGENES A TRAVÉS DE MEDIOS TURBIOS Con luz estructurada	79 ESTUDIO COMPARATIVO DE LA AGUDEZA VISUAL PARA CONDICIÓN MONOCULAR, BIOCULAR Y BINOCULAR
PÓSTER	91 GENERACIÓN DE MICROIMÁGENES PARA DISPLAY 3D	90 EFECTOS EN LA VISIÓN DEL CONSUMO DE CANNABIS. ESTUDIO PRELIMINAR EN UN GRUPO DE JÓVENES FUMADORES.
PÓSTER	96 REGISTRO EN IMÁGENES MULTIMODALES DE ESCENAS URBANAS	102 MORFOLOGÍA DEL CRISTALINO PRÉSBITA IN VIVO MEDIANTE IMAGEN 3D DE OCT CUANTITATIVA
PÓSTER	103 OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY AND SEM ANALYSIS OF MITRAL VALVE CORDS	114 IN VIVO CHROMATIC ABERRATION IN PHAKIC AND PSEUDOPHAKIC EYES IMPLANTED WITH DIFFERENT MATERIALS AND DESIGNS IOLS
PÓSTER	104 IN-DEPTH ANALYSIS OF MELANOMA WITH OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY	140 PREDICTING THE WAVELENGTH AT FOCUS ON THE RETINA FOR POLYCHROMATIC STIMULI
PÓSTER	109 DISEÑO ÓPTICO DEL ESPECTRÓMETRO UVAS	
PÓSTER	155 SINGLE-PIXEL COMPLEX-VALUED IMAGING AT HIGH SAMPLING RATES	
PÓSTER	169 DISEÑO OPTIMO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN ESTRUCTURADA INCOHERENTE CON FRECUENCIA VARIABLE	

Miércoles 4 Julio

Crales

Ŀ	PARANINFO DE LA UNIVERSITAT JAUME I				
09:00-09:10	ACTO INAUGURAL DE LA SESIÓN PRE	MIOS REY JAIME I			
9:10-09:50	PLENARIA PROF. PABLO ARTAL Optics and photonics for a bett	er vision 🛤			Moderado por: Pedro Andrés.
09:50-10:30	PLENARIA PROF. FERNANDO MARTÍN Moderado por: Vicente Moliner. Attochemistry: Imaging and controlling electron dynamics in molecules with attosecond light pulses				
10:30-11:10	PLENARIA PROF. LUIS LIZ-MARZAN Interaction of light with gold N	ANOPARTICLES 🛤			Moderado por: Lluis Marsal.
11:10-11:40	PAUSA - CAFÉ (HALL DE LA FACULTA	D DE CIENCIAS JURÍDICAS)			
SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC) Moderadora: Mª Teresa Flores Arias.	VIS (JB1003AA) Moderador: Justo Arines Piferrer.	OCyONL (JB1004AA) Moderador: Humberto Michinel Álvarez.	NANO (JB1204AA) Moderador: Josep Ferré-Borrull.	MISC (JB1006AA) Moderador: José Mª Saiz Vega.
11:40-11:55	★ INVITADA Stephanie Supp Coaxial superposition of Bessel beams by structured	183 COMPARACIÓN DE SIMULADORES VISUALES MULTIFOCALES ANTES Y DESPUÉS DEL IMPLANTE DE LENTES TRIFOCALES DIFRACTIVAS EN PACIENTES REALESY Romero, Mercedes; Vinas, Maria; Aissati, Sara; Mendez-Gonzalez, Juan Luis; Benedi, Clara; Gambra, Enrique; Akondi, Vyas; Garzon, Nuria; Poyales, Francisco; Dorronsoro, Carlos; Marcos, Susana	31 ANALYSIS OF POLARIZATION MODULATION INSTABILITY IN ALL- NORMAL DISPERSION PHOTONIC CRYSTAL A. Loredo-Trejo, Y. Lopez- Dieguez, A. Díez y M. V. Andrés	ON I ALL- DNIC drés Francisco Meseguer PHOTONIC NANOSTRUCTURES AND	★ INVITADA Ricardo Vergaz ELECTROOPTIC ASSISTIVE DEVICES FOR VISION IMPAIRMENT
SPIRAL AXICONS	195 DISCRIMINACIÓN DEL EMBORRONAMIENTO EN UN SISTEMA DE ÓPTICA ADAPTATIVA <u>Clara Benedi-Garcia</u> , Maria Vinas, Carlos Dorronsoro, Mike Webster, Susana Marcos	108 EXPERIMENTAL OBSERVATION OF POLARIZATION MODULATION INSTABILITY IN AN ALL-NORMAL DISPERSION PHOTONIC CRYSTAL FIBER <u>Y. Lopez-Dieguez,</u> L. Velázquez-Ibarra, A. Loredo-Trejo, A. Díez, M. V. Andrés	METAMATERIALS		
12:10-12:25	125 MICROSCOPÍA INTEGRAL DE CAMPO LEJANO <u>G. Scrofani</u> , J. Sola-Pikabea, G. Saavedra, A. Llavador, E. Sanchez- Ortiga, J.C. Barreiro, J. Garcia- Sucerquia y M. Martínez-Corral	170 SCATTERING PRODUCIDO POR LAS VESÍCULAS DEL CRISTALINO Y SU EFECTO EN LAS CATARATAS <u>Alexander Cuadrado</u> , Mahmoud. H. Elshorgaby, Francisco José Torcal- Milla, Luis Miguel Sánchez Brea, José Antonio Gomez-Pedrero		202 SOLUTION-PROCESSED POLYMER WAVEGUIDE LASERS FOR SENSING APPLICATIONS <u>María A. Díaz-García</u> , Marta Morales- Vidal, José M. Villalvilla, Eva M. Calzado, Pedro G. Boj, José A. Quintana	121 INFLUENCIA DEL SPUTTERING EN EL COMPORTAMIENTO DE UNA GLOW-DISCHARGE EN HIDRÓGENO <u>V. Gonzalez-Fernandez</u> , K. Grützmacher, C. Pérez, M. I. de la Rosa
12:25-12:40	128 MULTIFOCAL CONFOCAL MICROSCOPY USING AODS <u>R. Bola</u> , D. Treptow, A. Marzoa, E. Martín-Badosa and M. Montes- Usategui	173 RETINAL IMAGING WITH A SINGLE PIXEL CAMERA <u>Rahul Dutta</u> , Benjamin Lochocki, Adrián Gambín-Regadera, Silvestre Manzanera, Esther Irles, Fernando Soldevila, Enrique Tajahuerce, Jesús Lancis and Pablo Artal	OF EXTREME ULTRAVIOLET ATTOSECOND PULSES THROUGH SPIN-ORBITAL ANGULAR MOMENTUM COUPLING	160 ENGINEERED PHOTONIC ARCHITECTURES FABRICATED BY SOFT NANOIMPRINTING LITHOGRAPHY Juan Luis <u>Garcia-Pomar</u> , Pau Molet, Cristiano Matricardi and Agustín Mihi	127 SUNBOX: IRRADIADOR SOLAR Sintonizable y de bajo coste Para la caracterización de Dispositivos fotónicos <u>E. López-Fraguas</u> , A. Muñoz, R. Vergaz
12:40-12:55	13 MICROSCOPÍA POR ILUMINACIÓN ESTRUCTURADA CON DETERMINACIÓN ITERATIVA DESPLAZAMIENTO DE FASE J. Sola-Pikabea, A. Garcia-Rius, E. Sanchez-Ortiga, J. Garcia- Sucerquia, M. Martínez-Corral y G. Saavedra	148 MEDIDA DE LA ESTABILIDAD DE LA PELÍCULA LAGRIMAL BASADA EN LA DEGRADACIÓN DE LA IMAGEN DEL REFLEJO CORNEAL <u>Mikel Aldaba</u> , Alejandro Mira-Agudelo, John Fredy Barrera Ramírez, Carlos Enrique García-Guerra y Jaume Pujol Ramos	149 LIGHT WITH AN INTRINSIC TORQUE: BEAMS WITH TIME- DEPENDENT ORBITAL ANGULAR MOMENTUM Laura Rego, Kevin M. Dorney, Julio San Román, Margaret Murnane, Henry Kapteyn, Luis Plaja and Carlos Hernández-García	95 INTEGRATED TESTING ENGINE TOWARDS A COMPLETE CHARACTERIZATION OF COMPLEX PHOTONIC INTEGRATED DEVICES Luis A. Bru, Daniel Pastor and Pascual Muñoz	138 RECOMBINACIÓN SUPERFICIAL PARA UN MODELO ANALÍTICO DE FOTOCORRIENTE <u>E. Borreguero</u> , A. Ferrero, J. Campos, A. Pons, M. L. Hernanz, J. L. Velázquez y B. Bernad
12:55-13:10	C 153 OPTICAL TRAPPING AND LIGHT-MOMENTUM FORCE DETECTION IN EMBRYONIC TISSUE <u>Frederic Català</u> , Mario Montes- Usategui, Timo Betz, Arnau Farré	150 LA FUNCIÓN VISUAL BINOCULAR BAJO DIFERENTES NIVELES DE ANISOCORIA INDUCIDA Y MONOVISIÓN José Juan Castro Torres, Carolina Ortiz Herrera, Miriam Casares López, Sonia Ortiz-Peregrina, Enrique Hita Villaverde	115 EXPERIMENTOS SOBRE Tetraestabilidad de fase Mediante Rocking Espacial <u>F. Silva</u> , E. Roldán, G. J. de Valcárcel	123 SPATIOTEMPORAL STUDY OF PULSE PROPAGATION AND POLARIZATION DEPENDENCE ANALYSIS IN CHANNELED CRYSTAL WAVEGUIDES <u>Marta Morales-Vidal</u> , Benjamín Alonso, Alejandro de la Calle, Gabriel R. Castillo, Íñigo J. Sola and Javier R. Vázquez de Aldana	186 OPTICAL COEFFICIENTS OF MONOCOTYLEDONOUS PLANT LEAVES VIA KUBELKA-MUNK MODELING OF DIFFUSE REFLECTANCE MEASUREMENTS" <u>A. Reyes Trujillo</u> , J. Rodríguez, C. A. Galíndez Jamioy, E. Solarte Rodríguez

Miércoles 4 Julio



SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC)	VIS (JB1003AA)	OCyONL (JB1004AA)	NANO (JB1204AA)	MISC (JB1006AA)
13:10-13:25	181 HOLOGRAPHIC OPTICAL TWEEZERS WITH ACOUSTO-OPTIC DEVICES Raúl Bola Sampol, <u>Antonio Marzoa</u> <u>Domínguez</u> , Dorian Treptow, Estela Martín-Badosa and Mario Montes- Usategui	164 DESCONFÍA DE LA VSOTF: Buscando un criterio mejor Justo Arines, Eva Acosta	126 ANALYSIS OF DISORDERED Nonlinear domain statistics VIA Second Harmonic Diffraction <u>R. Vilaseca</u> , C. Cojocaru, W. Krolikowski, J. Trull	135 MAGNETIC LIGHT IN HRI METAFILMS THROUGH AN ELECTRIC AND MAGNETIC DIPOLE FORMULATION D. R. Abujetas, J. J. Sáenz, and J. A. Sánchez-Gil	84 CÓMO TRAZAR POCOS RAYOS PARA CARACTERIZAR DE MANERA EFICIENTE SISTEMAS ÓPTICOS CON SIMETRÍA DE REVOLUCIÓN <u>Sergio Barbero</u> , Javier Portilla
13:25-13:40	201 POLARIMETRÍA DE IMAGEN EN PINZAS ÓPTICAS <u>Asticio Vargas,</u> F. A. Torres-Ruiz			204 ANOMALOUS REFLECTORS BASED ON DIFFRACTION GRATING ENGINEERING <u>Daniel Torrent</u>	122 STEREOPTICS: UNA AVENTURA INTERACTIVA EN 3D <u>V. Gonzalez-Fernandez</u> , F. Hevia, L. Sanchez-Tejerina, J. Carbajo, E. Vasallo, M. Vara, V. Villa, D. Mateos
13:40-13:55	130 IN VIVO TWO-PHOTON MICROSCOPY OF THE HUMAN CORNEA <u>Francisco J. Ávila</u> , Juan M. Bueno and Pablo Artal				143 APLICACIONES EN DOCENCIA Y EN INVESTIGACIÓN DEL PATRIMONIO DE INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS DE LA FACULTAD DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE BARCELONA. ESTUDIO DE UN OBJETIVO DE UN MICROSCOPIO ANTIGUO <u>Santiago Valimitiana, Antonio Marzoa</u> y Salvador Bosch
14:00-15:30	COMIDA (HALL DE LA FACULTAD DE (CIENCIAS JURÍDICAS)		<u>I</u>	I
SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC) Moderadora: Inmaculada Pascual Villalobos.		OCyONL (JB1004AA) Moderador: Ramón Vilaseca Alavedra.	NANO (JB1204AA) Moderador: José A. Sánchez-Gil.	
15:30-15:45	163 MÉTRICAS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LA DESPOLARIZACIÓN EN MUESTRAS: APLICACIÓN A LA MEJORA DE IMÁGENES BIOLÓGICAS Angel Lizana, Albert Van Eeckhout, Enric Garcia-Caurel, José J. Gil, Juan Carlos Escalera, Irene Estévez, Carla Rodríguez, Kamil Adamczyk, Adrià Sansa, Emilio González, Razvigor Ossikovski, Ignacio Moreno, Juan Campos		117 EFFECTS OF HIGH-POWER PULSE PROPAGATION THROUGH Long-period Fiber Gratings <u>E. Rivera-Pérez</u> , A. Díez, J. L. Cruz, M. V. Andrés	190 UN RESUMEN DE LA APORTACIÓN AL CAMPO DE LA NANOFOTÓNICA DEL GRUPO DE ÓPTICA DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA <u>Dolores Ortiz</u> , José Mª Saiz, Ángela I. Barreda, Yael Gutiérrez, Andrea Fernández, Rodrigo Alcaraz de la Osa, Francisco González y Fernando Moreno	
15:45-16:00	165 USO DE LOS IPPS PARA LA MEJORA DE IMAGEN EN TEJIDOS BIOLÓGICOS <u>Albert Van Eeckhout</u> , Angel Lizana, Enric Garcia-Caurel, José J. Gil, Irene Estévez, Carla Rodríguez, Adrià Sansa, Emilio González, Juan Carlos Escalera, Ignacio Moreno, Juan Campos		C 129 COLLAPSE BELOW THE CRITICAL POWER IN HOLLOW- CORE FIBERS <u>Aurora Crego</u> , Julio San Roman and Enrique Conejero Jarque	182 ACOUSTO-OPTIC DEFLECTORS AS SUPER-FAST SPATIAL LIGHT MODULATORS <u>D. Treptow</u> , R. Bola, E. Martín-Badosa and M. Montes-Usategui	
16:00-16:15	120 SECURITY AUTHENTICATION OF OPTICAL CODES USING POLARIZED LIGHT <u>Artur Carnicer</u> and Bahram Javidi		193 PROPAGATION OF TIME- DIFFRACTING BEAMS IN SELF- FOCUSING KERR MEDIA: A NOVEL CLASS OF SPATIOTEMPORAL SOLITON <u>Miguel A. Porras</u>	166 INTENSE, ULTRAFAST, MAGNETIC NANOPROBES DRIVEN BY AZIMUTHALLY POLARIZED LASER BEAMS Manuel Blanco, Ferran Cambronero, Enrique Conejero Jarque, María Teresa Flores-Arias, Luis Plaja and Carlos Hernández-García	

Miércoles 4 Julio

SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC)	OCyONL (JB1004AA)	NANO (JB1204AA)	
16:15-16:30	119 DESIGN OF POLARIZED OPTICAL NEEDLES WITH TUNABLE LENGTH AND SUBWAVELENGTH WIDTH Rosario Martínez-Herrero, David Maluenda, Ignasi Juvells and <u>Artur</u> <u>Carnicer</u>	154 PULSOS DE UN SOLO CICLO POR AUTO-COMPRESIÓN SOLITÓNICA USANDO LOS MODOS TRANSVERSALES ALTOS DE UNA FIBRA HUECA Boris A. López-Zubieta, Enrique Conejero Jarque, Íñigo J. Sola, and Julio San Roman	196 LÁSERES ORGÁNICOS DE PELÍCULA DELGADA CON RESONADORES DIFRACTIVOS POLIMÉRICOS <u>Víctor Bonal</u> , José A. Quintana, José M. Villalvilla, Pedro G. Boj, María A. Díaz-García	
16:30-16:45	151 RESERVOIR-BASED KERNEL DENSITY ESTIMATION OF MULTISPECTRAL SKIN LESION IMAGES FOR RELIABLE REAL-TIME MELANOMA DETECTION <u>A. Pardo</u> , J. A. Gutiérrez-Gutiérrez, I. Lihačova, José M. López-Higuera, and Olga M. Conde	101 MODELADO ESPACIOTEMPORAL DE PULSOS LÁSER ULTRACORTOS POR MEDIO DE FOCALIZACIÓN DIFRACTIVA Y CONTROL DE FASE <u>B. Alonso</u> , J. Pérez-Vizcaíno, G. Mínguez-Vega , e Í . J. Sola		
16:45-17:00	133 ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL CARCINOMA DE TIROIDES CON MICROSCOPÍA DE SEGUNDO ARMÓNICO Y LA TRANSFORMADA DE HOUGH <u>Dolores Párraga</u> , Francisco J. Ávila, Radu Hristu, George Stanciu y Juan M. Bueno			
17:30	VISITA CULTURAL PEÑÍSCOLA			

Jueves 5 Julio

Orales

9:00-9:45	PLENARIA PROF. HELDER CRESPO (SALÓN DE ACTOS JAASO4CC) 🕿 Moderado por: Luis Plaja.				
SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC) Moderadora: María S. Millán García-Varela.	OCyONL (JB1004AA) Moderador: Eugenio Roldán Serrano.	COLOR (JB1204AA) Moderador: Luis Jiménez del Barco.	JB1003AA	
09:50-10:05	124 DISEÑO ÓPTICO DEL INSTRUMENTO SAFARI PARA EL TELESCOPIO ESPACIAL SPICA Luis Miguel González, David Arrazola, Marianela Fernández, Tomás Belenguer Dávila	★	83 INFLUENCIA DEL SCATTERING EN EL COLOR. UN ENFOQUE BASADO EN LA TEORÍA DE KUBELBA-MUNK <u>Rodrigo Alcaraz de la Osa</u> , Dolores Ortiz, Jose Mª Saiz, Fernando Moreno y Francisco González		
10:05-10:20	157 EL INSTRUMENTO RAMAN DE LA MISIÓN EXOMARS DE LA ESA: DISEÑO ÓPTICO Y CARACTERIZACIÓN <u>Tomás Belenguer Dávila,</u> Andoni Moral Inza, Marianela Fernández Rodríguez, Gonzalo Ramos Zapata, Miguel Sanz Palomino, Maria Colombo Bueno, David Escribano Lahera, Juan Cabrero Gómez	ATOMIC FREQUENCY COMB QUANTUM MEMORY VIA PIECEWISE ADIABATIC PASSAGE	C 111 MULTI-PRIMARY QD DISPLAY MODEL FOR DIGITAL REPRODUCTION OF GONIO-CHROMATIC COLORS Khalii Huraibat, Esther Perales, Francisco Miguel Martínez-Verdú, Bárbara Micó and Valentín Viqueira	CAFÉ CIENTÍFICO Pablo Artal Chris Dainty	WORKSHOP PHOTONICS 4 CERAMICS Organizado por Fotónica21 JB1002AA (9:00-13:30)
10:20-10:35	167 DISEÑO ÓPTICO DE UN ESPECTRÓMETRO DE ALTAS PRESTACIONES PARA LA EXPLORACIÓN PLANETARIA <u>Marianela Fernández</u> , Tomás Belenguer Dávila, María Colombo, Juan Cabrero	136 UNDERLYING MECHANISM FOR HIGH HARMONIC GENERATION IN GRAPHENE <u>Óscar Zurrón,</u> Antonio Picón, Carlos Hernández-García and Luis Plaja	137 NUEVOS CONOCIMIENTOS PARA COMBATIR EL DESARROLLO DE BIOFILMSFOTOTRÓFICOS EN EDIFICIOS Y MONUMENTOS HISTÓ- RICOS CON TRATAMIENTOS DE LUZ MONOCROMÁTICA Y ULTRAVIOLETA J. Arines, J. Cancelo-González, R. Carballeira, P. Sanmartín		
10:35-10:50	174 POLARIMETRÍA EN MISIONES ESPACIALES <u>Alberto Alvarez-Herrero,</u> Tomás Belenguer, Lola Sabau	98 HIGH-ORDER HARMONIC SPECTROSCOPY OF ELECTRON LOCALIZATION IN MOLECULES Laura Rego, Carlos Hernández-García, Antonio Picón and Luis Plaja	139 RETINÓGRAFO HIPERESPECTRAL BASADO EN LEDS PARA LA OBTENCIÓN DE IMÁGENES DE FONDO DE OJO EN EL VISIBLE E INFRARROJO T. Alterini, F. Díaz-Doutón, M. Vilaseca		

Orales

Jueves 5 Julio

Crales

SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC)	OCyONL (JB1004AA)	COLOR (JB1204AA)	JB1003AA	
10:50-11:05	171 ANALIZADOR DE HACES Vectoriales mediante una Red de difracción con Codificación de láminas-Q <u>M. M. Sánchez-López</u> , I. Moreno, J. A. Davis, K. Badham, D. M. Cottrell	175 GENETIC ALGORITHM FOR THE FLUX OPTIMIZATION OF COHERENT EXTREME-ULTRA- VIOLET RADIATION THROUGH HARMONIC PHASE-MATCH- ING AND PULSE SHAPING Roberto Boyero-García , Luis Plaja, Henry C. Kapteyn, Margaret M. Murnane, Carlos Hernández-García	A 141 SISTEMA MULTISPECTRAL VISIBLE E INFRARROJO PARA LA DETECCIÓN DE MELANOMAS Laura Rey-Barroso, Francisco J. Burgos-Fernández, Xana Delpueyo, Miguel Ares, Santiago Royo, Josep Malvehy, Susana Puig and Meritxell Vilaseca	CAFÉ CIENTÍFICO Pablo Artal Chris Dainty	
11:10-11:40	PAUSA - CAFÉ (HALL DE LA FACULTA	D DE CIENCIAS JURÍDICAS)	IE.		
SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC) Moderadora: Pascuala García Martínez.	OCyONL (JB1004AA) Moderador: Carlos Hernández García.	NANO (JB1204AA) Moderador: Juan L. García-Pomar.	MISC (JB1006AA) Moderador: Ricardo Vergaz Benito.	WORKSHOP PHOTONICS
11:40-11:55	144 ELEMENTOS ÓPTICOS HOLOGRÁFICOS EN RÉGIMEN DE TRANSICIÓN PARA CONCEN- TRACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA Julia Marín Sáez, Jesús Atencia, Daniel Chemisana, M. Victoria Collados	172 ELECTRON CONTROL BY USING ATTOSECOND X-RAY PULSES <u>A. Picón</u> , C. Bostedt, C. Hernández-García, and L. Plaja	INVITADA Juan Martínez-Pastor METAL-HALIDE PEROWSKITES EOR INTEGRATED WEARABLE	INVITADA Pascual Muñoz PHOTONIC INTEGRATION: THE GENERIC TECHNOLOGIES	4 CERAMICS Organizado por FOTÓNICA21 JB1002AA (9:00-13:30)
11:55-12:10	162 SIMULADOR EN BANCO ÓPTICO DE ELEMENTOS HÍBRIDOS DIFRACTIVOS-REFRACTIVOS <u>Elisabet Pérez-Cabré,</u> María Sagrario Millán	184 SUPERSYMMETRY APPLIED TO INTEGRATED OPTICAL DEVICES G. Queraltó, J. Mompart, <u>V. Ahufinger</u>	PHOTONICS	ECOSYSTEM	
12:10-12:25	168 CARACTERIZACIÓN DE LENTES HOLOGRÁFICAS REGISTRADAS EN UN FOTOPOLÍMERO COMPATIBLE MEDIOAMBIENTALMENTE T. Lloret, V. Navarro-Fuster, M. G. Ramírez 1, C. Neipp, M. Ortuño, A. Beléndez and I. Pascual	189 ULTRACOLD ATOMS CARRYING ORBITAL ANGULAR MOMENTUM IN A DIAMOND-CHAIN G. Pelegrí, A. M. Marques, R. G. Dias, J. Mompart, V. Ahufinger, A. J. Daley	178 NANOPOROUS ANODIC ALUMINA RUGATE FILTERS FOR OPTICAL BIOSENSING Laura Karen Acosta-Capilla, Francesc Bertó-Roselló, Elisabet Xifré-Pérez, Josep Ferré-Borrull and Lluis F. Marsal	180 MEDIDA DE LAS PÉRDIDAS INDUCIDAS POR RADIACIÓN UV EN FIBRAS FOTOSENSIBLES X. Roselló-Mechó, M. Delgado-Pinar, A. Díez, J. L. Cruz, M. V. Andrés	
SIMPOSIO	IMAG (JAASO4CC)	OCyONL (JB1004AA)	NANO (JB1204AA)	MISC (JB1006AA)	
12:25-12:40	134 MEDIDA DE LA TEXTURA VISUAL DE RECUBRIMIENTOS DE EFECTO <u>Alejandro Ferrero,</u> Esther Perales, José Luis Velázquez, Berta Bernad, Joaquín Campos, Francisco Miguel Martínez-Verdú	176 SISTEMA DE CONVERSIÓN NO LINEAL DE IMÁGENES AUTOILUMI- NADAS EN EL IR MEDIANTE DOBLA- DO DE FRECUENCIA INTRACAVIDAD <u>Adrián J. Torregrosa</u> , Haroldo Maestre, M ^a Luisa Rico, Juan Capmany	179 REAL-TIME SELECTIVE DETECTION OF PROTEIN ATTACH- MENT ON NANOPOROUS ANODIC ALUMINA BY MEANS OF SPECTRO- SCOPIC INTERFEROMETRY Laura Pol, Pilar Formentín, Elisabet Xifré-Pérez, Josep Ferré-Borrull and Lluis F. Marsal	132 FABRICATION OF MICROCHANNELS OVER SO- DA-LIME GLASS BY LASER DIRECT WRITING IN THE IR SPECTRAL RANGE: COMPARISON AMONG NANO, PICO AND FEMTOSECOND TEMPORAL REGIMES M. Aymerich, D. Canteli, J. R. Vázquez de Aldana, C. Molpeceres and M. T. Flores-Arias	WORKSHOP PHOTONICS 4 CERAMICS
12:40-12:55	197 ANALYSIS OF COMPRESSIVE SENSING ALGORITHMS FOR A SINGLE-PIXEL CAMERA Susana L. Burnes-Rudecino, Humberto González, Carlos Olvera-Olvera, Lluis Martínez-León, Enrique Tajahuerce, Ma. Araiza-Esquivel		187 FLUORESCENT CARBON QUANTUM DOTS GENERATION BY FLOW JET LASER FRAGMENTATION C. Doñate-Buendía, R. Torres-Mendieta, A. Pyatenko, M. Soriano-Amat, E. Falomir, M. Fernández-Alonso and G. Mínguez-Vega	Q 93 FABRICACIÓN DE UN ELECTROESTIMULADOR CELULAR PARA APLICACIONES EN INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA Ángel L. Aragón, Carmen Bao, Elíseo Pérez, Antonio Pazos, Daniel Nieto	Urganizado por FUTUNICA2T JB1002AA (9:00-13:30)
12:55-14:00	SESIÓN DE PANELES II: SIMPOSIOS (HALL DE LA FACULTAD DE CIENCIAS	OCYONL, NANO, COLOR Y MISC Jurídicas)			
14:00-15:30	COMIDA (HALL DE LA FACULTAD DE C	CIENCIAS JURÍDICAS)			
15:30-16:15	PLENARIA PROF. MACIEJ LEWENSTEI Quantum simulators: where do v	n Ne stand? (Salón de actos jaaso4(CC) 🛤		Moderado por: Ramon Vilaseca.
16:15-17:00	PLENARIA PROF. MARYELLEN L. GIGI Machine Learning in Breast Cano	E R CER DIAGNOSIS AND MANAGEMENT (S/	ALÓN DE ACTOS JAASO4CC) 🗭		Moderado por: Ignacio Moreno.
17:10-18:00	REUNIÓN COMITÉS DE SEDÓPTICA (I	MAG, VIS, COL, OCyONL y NANO)			
18:00-19:00	ASAMBLEA SEDÓPTICA (SALÓN DE ACTOS JAAS04CC)				

Jueves 5 Julio



SESIÓN DE PANELES II (12:55 - 14:00)COLOR OCyONL NANO MISC 14 EFECTO DE LA COMBINACIÓN DE LED 4 TRIPLE-WAVELENGTH ERBIUM-DOPED 10 EFECTO SOBRE LA POLARIZACIÓN EN 2 BASIS FOR PARAXIAL SURFACE PLASMON FIBER LASER BASED ON A FILTER FORMED CAMPO LEJANO DEL HAZ DIFRACTADO POR ROJO Y UV-ASOBRE EL DESARROLLO Y PÓSTER POLARITON PACKETS: APPLICATION TO FLAT LA DIVERSIDADDE LOS BIOFILMSFOTOAU-BY ATTENUATION CORE MODE FIBER AND REDES DE DIFRACCIÓN SOBRE SUSTRATO TOP BEAMS TÓTROFOSDEL PATRIMONIO CONSTRUIDO LONG PERIOD GRATINGS DF ACFRO 44 DISEÑO DE UNA APLICACIÓN PARA EVALUAR EL EFECTO BEZOLD EN FUNCIÓN 6 AZIMUTHONS INDUCED BY VORTEX 26 POLARIZACIÓN CON NANO-11 SURVIVAL OF GLYCINE ON ICES ON THE PÓSTER DEL COLOR Y EL ÁNGULO DE OBSERVACIÓN BESSEL BEAMS IN A KERR MEDIUM WITH ESTRUCTURAS DE ACERO SURFACE OF MARS DE UN PATRÓN DE FRANJAS CON DISTINTAS MULTIPHOTON ABSORPTION ORIENTACIONES 21 HIGH EFFICIENT SETUP FOR FILTERING 37 NANOCONDENSADOR INDUCIDO POR 12 MORTERO TERMOCRÓMICO PARA REVES-75 DIDACTIC SIMULATIONS OF METAMERIC PÓSTER THE SINGLE-PHOTON SPECTRAL EMISSION LÁSER PARA LA MEJORA LOCAL DEL CAMPO TIMIENTO DE FACHADAS: VARIACIÓN DE SU COLOUR PAIRS USING POV-RAY OF INGAAS QUANTUM DOTS **ELÉCTRICO** RESPUESTA ÓPTICA CON LA TEMPERATURA 48 MEDIDA TEMPORAL DE PULSOS LÁSER 15 EL USO DEL CÓMIC EN LA DOCENCIA 80 ANÁLISIS COLORIMÉTRICO DEL DAÑO 52 TUNABLE SLOW AND FAST-LIGHT IN DE LA OPTOMETRÍA Y CONCIENCIACIÓN ULTRACORTOS EN EL BLANCO MEDIANTE PRODUCIDO POR CAÍDA EN MANZANA PÓSTER BARRIDO DE DISPERSIÓN AUTO-CALIBRADO J-AGGREGATES NANOFILMS SOCIAL FRENTE A ERRORES REFRACTIVOS **GOLDEN** CON UN COMPRESOR ARBITRARIO Y SALUD VISUAL 16 CONSTRUCCIÓN DE UN OJO ARTIFICIAL 107 DISEÑO Y VALIDACIÓN DE **60 ACTIVE CONTROL OF HIGH** CON CAPACIDAD REFRACTIVA ESFÉRICA Y COLORES MEZCLA EN PLASTILINA PARA 56 ACOPLADORES PLASMÓNICOS NO HARMONIC GENERATION IN A HYBRID PÓSTER TÓRICA VARIARI E PARA COMPRENSIÓN DE **OBSERVADORES DALTÓNICOS PARA CREAR** LINEALES CON SIMETRÍA PT SU INFLUENCIA EN LA VISUALIZACIÓN DE **GRAPHENE-QUANTUM DOT NANOSYSTEM** SOLUCIONES DE DISEÑO TESTS OPTOMÉTRICOS 63 BROADBAND EMISSION AND TUNABILITY 61 UPCONVERSION NANOPARTICLE-BASED 18 SISTEMA ÓPTICO DE DETECCIÓN DE LA OF THE SECOND-HARMONIC SIGNAL PÓSTER FRET SYSTEM WITH GOLD NANOPARTICLES GENERATED IN CLUSTERS OF DIELECTRIC TENSIÓN EMOCIONAL FOR OLIGONUCLEOTIDE DETECTION NANOPARTICLES 69 LOW-COST, LARGE-SIZE NANO-73 LONG-LIVED VORTEX SOLITON ARRAYS 22 RUGOMETRIC EVALUATION OF PHOTO-PLASMONIC SENSOR BASED ON FANO NESTED IN FLAT-TOP NONLINEAR BESSEL CATALYTIC ASPHALT PAVEMENTS. FILTERING PÓSTER RESONANCES WITH FAST RESPONSE AND BEAMS AND SEPARATION OF ROUGHNESS REGIMES HIGH SENSITIVITY 76 LÁSER MODE-LOCKED SINTONIZABLE 99 SURFACE PLASMON WAVE AT DIELECTRIC 27 ACTIVIDADES REALIZADAS POR EL GRUPO PÓSTER POR TEMPERATURA PARA APLICACIÓN CARS DIELECTRIC INTERFACE GUIDED BY 1D USC-OSA USC-EPS PARA ACERCAR LA ÓPTICA Y EN BANDA C-H LA FOTÓNICA A NUESTRA SOCIEDAD **GRATING ARRAY** 159 PROPIEDADES ÓPTICAS Y LÁSER DE 92 POLARIZATION CONTROL OF ISOLATED 30 MONOCROMADOR BASADO EN UNA RED PÓSTER GUÍAS DE ONDA DE POLÍMEROS TERMO-ATTOSECOND PULSES DE DIFRACCIÓN DE PERIODO VARIABLE PLÁSTICOS DOPADOS CON PERILENODIIMIDAS 94 INTENSE PULSE POST-COMPRESSION 32 LAS IMPRESORAS 3D EN LA PRÁCTICA PÓSTER DOWN TO THE SINGLE-CYCLE REGIME DOCENTE DE LOS LABORATORIOS DE FÍSICA 38 PROPAGACIÓN DE LOS PARÁMETROS 116 MODELIZACIÓN DE OSCILADORES PÓSTER RADIALES DE STOKES GENERALIZADOS FOTORREFRACTIVOS PARA HA-CES CON CARGA ESPIRAL 41 DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UN 146 NAMBU-GOLDSTONE BOSONS IN PÓSTER RADIANCÍMETRO TIPO LYOT PARA LA NONLINEAR OPTICAL PROPAGATION MEDIDA DE BRDF 198 GENERACIÓN DE PEINES DE FRECUENCIA 51 ELECTROMAGNETIC PSEUDO-SCHELL PÓSTER CON FLUCTUACIONES CUÁNTICAS REDUCIDAS MODEL BEAMS EN CAVIDADES OPTOMECÁNICAS **53 GENERACIÓN DE DISTRIBUCIONES** PÓSTER DE POLARIZACIÓN PERIÓDICAS POR INTERFERENCIAS CON LUZ POLARIZADA 54 INTERFEROMETRÍA DE LUZ BLANCA **RESUELTA ESPECTRALMENTE: UNA TÉCNICA** PÓSTER PARA LA OBTENCIÓN DE LA DISPERSIÓN CROMÁTICA EN UN AMPLIO ESPECTRO 62 RED INTERUNIVERSITARIA DE PÓSTER INNOVACIÓN DOCENTE EN LA ENSEÑANZA DE LA ÓPTICA Y LA FOTÓNICA 64 CANCEROUS AND HEALTHY CELL O, PÓSTER FUUORESCENCE IMAGING WITH LASER **GENERATED CARBON QUANTUM DOTS**

Jueves 5 Julio



	COLOR	OCyONL	NANO	MISC
PÓSTER				65 DETECTION OF DIFFERENT SPECIES OF P-AMINOTHIOPHENOL ON SILVER NANOPARTICLES BY SURFACE-ENHANCED RAMAN SPECTROSCOPY (SERS)
PÓSTER				66 RED DE DIFRACCIÓN INSCRITA A LA Salida de fibra óptica por láser de Femtosegundo
PÓSTER				68 ESTUDIO DE LA BIRREFRINGENCIA Del Cristal líquido iónico 1-etil-3-metil-imidazolio decilsulfato
PÓSTER				70 REDUCCIÓN DE RUIDO EN SISTEMAS RDTS MEDIANTE EMD Y WAVELETS
PÓSTER				74 CARACTERIZACIÓN DE GUÍAS DE ONDA MULTINÚCLEO EN MEDIOS ACTIVOS
PÓSTER				77 MEDIDAS DE ALTA TEMPERATURA Mediante el sistema RDTS y fibra Recubierta con carbono y poliimida
PÓSTER				86 CLADDING REFRACTIVE INDEX PERTURBA- TION IN SINGLE MODE FIBERS: MATCHING THE Experimental dispersion curves
PÓSTER				87 ARCOS DE BRAGG PARA LA Modificación del diagrama de Radiación
PÓSTER				106 GENERACIÓN DE HACES VECTORIALES Policromáticos con una lámina-q Sintonizable
PÓSTER				185 VEGETATION INDEXES DEFINITION BY DIFFUSE REFLECTANCE SPECTRA ANALYSIS ON TABASCO PEPPER (CAPSICUM FRUTESCENS) CROPS

Viernes 6 Julio

G	PARANINFO DE LA UNIVERSITAT JAUME I
09:00-11:10	CINCUENTENARIO SEDOPTICA I
11:10-11:40	PAUSA - CAFÉ (PARANINFO)
11:40-13:30	CINCUENTENARIO SEDOPTICA II
13:30-14:10	ENTREGA DE PREMIOS Y CLAUSURA
	CÓCTEL DE DESPEDIDA



Conferencias Plenarias

http://rno2018.uji.es



Photonic Signal Processing: Ultrafast, Broadband, and Quantum

Prof. Andrew M. Weiner

Purdue University, West Lafayette, USA

Resumé: After a quick review of the concepts of pulse shaping from earlier stages, then I will touch on recent research areas where analogous ideas come in, including photonic RF arbitrary waveform generation, Kerr comb generation from microresonators, and time-frequency entangled photons.



Optical Technologies to Improve Vision Diagnostics and Correction

Prof. Susana Marcos

Instituto de Óptica, CSIC, Madrid

Resumé: The eye is an amazing optical system, yet a deeper understanding of the optical properties of the eye and their impact on vision will be help to see better. Novel optical technologies allow us characterizing retinal image quality, the optical, structural and biomechanical properties of the optical components of the eye (cornea and lens) and the relationship between optics and vision. On the other hand, inspiration on the natural mechanisms in the eye allows the conception and design of new correction strategies for widespread ocular conditions such as presbyopia, myopia or corneal pathology. Many of these diagnostic tools and corrections have already made their way to the clinic.



Progress in Multi-Dimensional Optical Sensing and Imaging Systems (MOSIS): From Macro to Micro Scales

Prof. Bahram Javidi

University of Connecticut, Storrs, USA

Resumé: We present an overview of our research activities in Multi-dimensional Optical Sensing and Imaging Systems [MOSIS] from macro to micro scales. Various applications in multi-dimensional sensing, 3D imaging, visualization and displays, augmented reality viewing devices, dynamic integral imaging, flexible 3D sensing and imaging, 3D object recognition in extremely low light levels with very few photons, and polarimetric imaging will be presented. The Plenary will address the challenges and potential of these systems for high performance imaging. Technologies to be presented are intended to provide a substantial benefit for consumer electronics, entertainment, mobile communications, healthcare, defense, information security and authentication, manufacturing, and education.

Optics and Photonics for a Better Vision

Prof. Pablo Artal

Universidad de Murcia

Resumé: The human eye is a simple optical system, but very well adapted to the special requirements of our visual system. A better understanding of the optical physics properties of the eye allowed to develop new technologies to improve vision in many people. In this talk, I will revise the main optical properties of the eye and different experiments we developed during the last decades in my laboratory. In particular, those based in the use of adaptive optics to manipulate light wavefronts, I will also present several recent results ranging from the nature of the lens movements, the development of new types of intraocular lenses to new opto-electronic instruments for the correction of cataracts and presbyopia.

Attochemistry: Imaging and Controlling Electron Dynamics in Molecules with Attosecond Light Pulses

Prof. Fernando Martín

IMDEA Nanociencia, Universidad Autónoma de Madrid

Resumé: Attosecond light pulses allow one to probe electronic motion in atoms, molecules and surfaces in its natural time scale. In this talk I will present the results of attosecond pump-probe experiments and theoretical simulations in which the evolution of the electronic density can be inferred by varying the delay between the pump and probe pulses with attosecond time resolution. The results of these investigations point to a new way of doing chemistry: attochemistry.



Interactions of Light with Gold Nanoparticles

Prof. Luis Liz-Marzán

Centro Investigación Cooperativa en Biomateriales, San Sebastián

Resumé: Gold nanoparticles display interactions with visible and near-IR light through so-called localized Surface plasmo resonances. The frequency of such resonances can be tuned through the size and morphology of the nanoparticles. Colloidal synthesis provides a high degree of control over size and shape, which in turn has allowed us to study various effects of light on such nanoparticles, which are highly relevant in numerous practical applications.

Controlling light to the extreme: from single-cycle pulses to ultra-broadband nonlinear microscopy

Prof. Helder Crespo

University of Porto, Portugal

Resumé: The dispersion-scan (d-scan) technique presents a new paradigm in ultrafast measurement and control, enabling the generation and routine use of light pulses down to true single-cycle durations (2.2 femtoseconds). In this talk we will review the key aspects of d-scan and present recent d-scan-enabled applications and results, from ultrafast spectroscopy of magnetic dynamics with unprecedented temporal resolution to attosecond MeV electron acceleration at kHz repetition rates and improved biomedical imaging using ultra-broadband few-cycle laser pulses.

Quantum Simulators: Where Do We Stand?

Prof. Maciej Lewenstein

Instituto de Ciencias Fotónicas, Castelldefels, Barcelona

Resumé: In my lecture I will discuss the present status of one of the pillars of the Quantum Technologies Flagship: Quantum Simulations. I will comment on various platforms and approaches, focusing, however, on ultra-cold atoms, molecules and ions. I will present the recent progress in the most challenging quantum simulations and speculate about the future directions, such as merging of quantum simulations and machine learning, or novel methods of quantum many body verification and certification.



Machine Learning in Breast Cancer Diagnosis and Management

Prof. Maryellen L. Giger

University of Chicago, USA

Resumé: Quantitative radiomic analyses and machine learning are yielding novel image-based tumor characteristics, i.e., signatures that may ultimately contribute to the design of patient-specific breast cancer diagnostics and treatments. The role of quantitative radiomics continues to grow beyond computer-aided detection, with methods being developed to (a) quantitatively characterize the radiomic features of a suspicious region or tumor, (b) merge the relevant features into diagnostic, prognostic, or predictive image-based signatures, (c) estimate the probability of a particular disease state, and (d) explore imaging genomics association studies between the image-based features/signatures and histological/genomic data. Advances in machine learning are allowing for these computer-extracted features (phenotypes) to characterize a patient's tumor via "virtual digital biopsies".

A Sneak Peak with Light into Opaque Materials

Prof. Sylvain Gigan

Sorbonne University, Kastler-Brossel Laboratory, Paris, France

Resumé: Complex heterogeneous materials present a huge challenge for imaging (think of seeing inside or through milk or biological tissues) and a very interesting playground to study fundamental issues of wave physics. I will discuss how shaping the wavefront of a laser opens the possibility of imaging in a complex medium, and exhibit a fundamental invariance property of light, namely that the mean path length light travels inside a complex medium is independent from the disorder.



Un Clásico de la Física: Maxwell y su Experiencia Vital

Prof. Augusto Beléndez

Universidad de Alicante

Resumé: James Clerk Maxwell (1831-1879) es uno de los científicos más importantes de la historia de la ciencia y, sin embargo, es bastante desconocido para el gran público. Tomando como hilo conductor su artículo "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field" publicado en 1865, se hace un recorrido a través de la vida y la ciencia de Maxwell, y se concluye con la "síntesis maxwelliana" que no sólo permitió unificar luz, electricidad y magnetismo, sino desarrollar la teoría de las ondas electromagnéticas, incluida la luz.



IMAG Simposio Ciencias de la Imagen

http://rno2018.uji.es

Intensity correlations between transmitted and reflected speckle patterns and its applications to imaging

A. M. Paniagua-Diaz¹, I. Starshynov¹, N. Fayard²,

A. Goetschy², R. Pierrat², R. Carminati² and J. Bertolotti¹

¹University of Exeter, Stocker Road, Exeter EX4 4QL, United Kingdom ²ESPCI Paris, PSL Research University, CNRS, Institut Langevin, 1 rue Jussieu, F-75005, Paris, France

Abstract: When light impinges onto a multiple scattering material, light gets scrambled leading to seemingly random interference patterns, known as speckle patterns. Here we present the first experimental observation of the intensity correlations between the transmitted and reflected speckle patterns, unravelling the features of this correlation in the different scattering regimes. We demonstrate the possibility to exploit these correlations for imaging through opaque media, proposing a new imaging approach: Blind Ghost Imaging.

In multiply scattering materials coherent light is mostly elastically scattered, leading to interference patterns with large intensity fluctuations, resulting in seemingly random speckle patterns. However speckle patterns are not as random as they appear at first sight. The interference between the possible scattering paths in the medium is known to produce spatial correlations between the intensity measured at different positions within the same pattern [1]. Recently it was demonstrated that these correlations can be used for imaging through turbid media, although it has been mostly limited to the optical memory effect [2].

In principle, as the transmitted and reflected waves are expected to follow very different scattering processes, naively one might think no correlation should survive between these two speckle patterns. However a recent theoretical paper suggested the existence of non-zero intensity correlations between reflected and transmitted speckle patterns, even for optically thick scattering media [3].

In this work we experimentally verify the existence of intensity correlations between the reflected and transmitted speckle patterns, and characterize it for the different scattering regimes, from the quasi ballistic to the diffusive regime. In addition to this, we go a step forward and exploit these correlations for imaging through scattering media, by developing a new imaging approach that we name Blind Ghost Imaging (BGI). Using this approach it is possible to image non-invasively through opaque scattering layers with Optical Densities (OD)>2, where the pattern illuminating the object (transmitted speckle) is very different from the one the camera has access to (reflected speckle).

In Fig.1a) we show the schematic of the experimental setup used for Blind Ghost Imaging, where the object is placed between the scattering medium and a fluorescent layer (Cerium-doped YAG). A CCD records the reflected speckle pattern and a bucket detector collects the fluorescent light with information about the object (Fig.1b left). By weighting the reflected pattern with the intensity of the detector we retrieve the image of the object (Fig.1b right), equivalent to the convolution of the object and the correlation function between the reflected and transmitted speckle patterns (Fig.1c).



Figure 1. a) Schematic of the experimental setup used for Blind Ghost Imaging. b) Object imaged (left) and retrieved image with Blind Ghost Imaging approach (right). c) R-T Correlation of the sample used for the image in b), with OD~2.5.

- [1] Akkermans, E. and Montambaux, G. Mesoscopic physics of electrons and photons. Cambridge University Press,(2007).
- [2] Bertolotti, J., vanPutten, E.G., Blum, C., Lagendijk, A., Vos, W.L., & Mosk, A.P. "Non-invasive imaging through opaque scattering layers". *Nature*, **491**(7423), 232, (2012).
- [3] Fayard, N., Cazé, A., Pierrat, R., & Carminati, R. "Intensity correlations between reflected and transmitted speckle patterns". *Phys. Rev. A*, 92(3), 033827,(2015).

Coaxial superposition Bessel beams with orbital angular momentum

S. Supp, J. Jahns

University of Hagen, Chair of Micro- and Nanophotonics, FernUniversität in Hagen, Universitätsstr. 27, 58097 Hagen

Abstract: Bessel beams represent a special solution of the wave equation. They are of interest for being "non-diffracting" and for the possibility of carrying an "orbital angular momentum" (OAM) [1,2]. A Bessel beam can be implemented, for example, by a diffractive element with the form of a simple spiral. We consider the coaxial superposition of Bessel beams with OAM generated by breaking up the symetrie of the simple spiral and discretization in radial and azimuthal direction.

Bessel beams with OAM, also called "optical vortices" (OV) are usually generated experimentally by socalled spiral phase plates or diffractive elements consisting of a simple spiral [3]. A simple vortex beam is expressed mathematically using cylindrical coordinates by

$$u(r,\theta,z) \propto J_l(k_r r) e^{i(k_r r + l\theta + k_z z)}$$
 with $k_r = \left(\frac{2\pi}{r_p}\right), \ l \in \mathbb{Z}$. (1)

By discretization of the spiral structure in radial and azimuthal coordinates, as suggested in [4], a complex wave field with higher harmonics is generated, which can generally be described by

$$u(r,\theta,z) \propto \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} J_l(k_{r,m}r) e^{i(k_{r,m}r+l\theta+k_{z,m}z)} \quad \text{with } k_r = \left(\frac{2\pi}{r_p}\right), \ l \in \mathbb{Z} \ . \tag{2}$$

This higher harmonics result in additional vortices in the field distribution. We have investigated several structures and the attended fields as, for example, the one in Fig. 1a.

Calculations based on the scalar diffraction theory and experiments (including measurement of the phase structure using a Shack-Hartmann sensor) are in good agreement.



Figure 1.- (a) Discretized spiral axicon in Cartesian coordinates with N=6 blades; (c) calculated near-field intensity distribution for a particular discretized spiral axicon with six blades and radial period of $r_p=32\mu$ m at the distance z=12mm and (c) corresponding calculated transversal phase profile – optical vortices are indicated by black circles.

- [1] J. Durnin, "Exact solutions for nondiffracting beams. I. The scalar theory", J. Opt. Soc. 4, 651 (1986)
- [2] L. Allen et al., "Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes", Phys. Rev. A 45, 8185 (1992)
- [3] J. Dyson, "Circular and spiral diffraction gratings", Proc. Royal Soc. A 248, 93 (1958)
- [4] J. Jahns, , "Continuous and discrete diffractive elements with polar symmetries", Appl. Opt. 56, A1 (2017)

Depth estimation in Integral Imaging. Some New approaches.

José M. Sotoca¹, Pedro Latorre Carmona¹, Filiberto Pla¹, Bahram Javidi^{2,*}

¹ Institute of New Imaging Technologies (iNIT), Universitat Jaume I, Castellón de la Plana (Spain). ² Department of Electrical and Computer Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT, USA. * Corresponding autor: bahram.javidi@uconn.edu

Resumen: This paper will present some recent results obtained in depth estimation for Integral Imaging, using contextual information coming from the spatial neighbourhood of pixels, or from the content different cameras in the array may have. We will show some results regarding two techniques: (a) a strategy using a soft-voting technique that meaures the level of agreement among the different camera views for each pixel; (b) a method that combines a defocus and a correspondence measure.

Synthetic Aperture Integral Imaging (SAII) is an autostereoscopic 3D technique that acquires information about a scene from different positions (perspectives) using an array of cameras (or a camera moving to different positions). This scene acquisition allows 3D reconstruction using a computer synthesized virtual pinhole array. Depth estimation is usually based on the fact that 3D reconstruction in our case shows only a part of the objects in focus, i. e., those whose distance corresponds to the reconstruction distance. The rationale behind a voting approach lies in the fact that when an object is in focus at a distance, this implies that the pixel information among different viewing cameras for that object is very similar, or photoconsistent. That is the reason why criteria based on the minimisation of the variance among cameras were the first to be used for depth estimation. Let us consider a pixel and a window surrounding it:, with, the size of the window. The voting scheme is based on the following equation: , where where represents the reference camera, and , each one of the cameras in the camera array. After assessing depth is obtained as follows: [1]. The second approach presented here is based on the combination of a defocus and a correspondence measure. The correspondence measure is defined as the square root of the variance for a pixel, . The defocus term is based on the reconstructed image at each depth, on the one hand, and the image acquired by the central camera in the array, on the other hand. In particular, the following cost functional is defined: . represents a gaussian function and . Depth is obtained by: [2]. Figure 1 shows a synthetic 3D scene created using 3DStudio Max, the groundtruth depth information, and the depth obtained by the minimum voting and the defocus and correspondence term strategy.



Figure 1.- (a) Synthetic scene; (b) Groundtruth depth map; (c) mínimum voting strategy estimation; (d) defocus and correspondence depth map estimation approach.

References

 A. Martínez-Usó, P. Latorre-Carmona, J. M. Sotoca, F. Pla, B. Javidi, "Depth Estimation in Integral Imaging Based On a Maximum Voting Strategy", IEEE Journal of Display Technology, 12, 1715 (2016).

[2] H. Espinos-Morato, P. Latorre-Carmona, J. Martinez-Sotoca, F. Pla, B. Javidi, Combining Defocus and Photoconsistency For Depth Map Estimation in 3D Integral Imaging, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 10255, 114-121 (2017).

Design of polarized optical needles with tunable length and subwavelength width

Rosario Martínez-Herrero⁽¹⁾, David Maluenda⁽¹⁾, Ignasi Juvells⁽²⁾, and Artur Carnicer⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Óptica, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid
⁽²⁾ Universitat de Barcelona, Facultat de Física, Departament de Física Aplicada,

Martí i Franquès 1, 08028 Barcelona

Abstract: In this communication, we review our recently published method for designing and producing holographic optical needles with tunable length [1]. We introduce a modulation function with a large derivative and a zero value jump at the entrance pupil of the focusing system. This distribution fulfills certain mathematical constrains that entitle us to produce long light distributions with almost constant irradiance. Using this method, we experimentally produced a 53 λ -long, 0.8 λ -wide optical needle.

In this communication we analyze several design consideration related with the production of polarized optical needles using holographic equipment and a high numerical aperture microscope lens. We developed a holographic optical setup [2, 3] based on a Mach-Zehnder architecture able to shape the complex amplitude, polarization and topological charge of an input beam. The modulation function h required for producing the desired field is calculated and encoded using a cell-based computer generated holograms algorithm [4] and subsequently displayed on two liquid crystal devices.

According to theoretical considerations we developed a mathematical framework for describing the properties modulation function h has to fulfil. We analytically demonstrated that in order to achieve a long light needle with subwavelength width, a continuous function h has to present a large derivative and a zero value jump at the entrance pupil of the microscope lens. Among different possible modulation distributions we proposed the following one:

$$h(\theta) = N \operatorname{sinc}\left(2\pi N \frac{\cos\theta - \alpha}{1 - \cos\theta_0}\right) \sin\theta \quad \text{with} \quad \alpha = \frac{1}{2} \left(1 + \cos\theta_0\right) \tag{1}$$

where θ_0 is related with the numerical aperture of the focusing system NA = $\sin \theta_0$ and θ is the meridian angle. *N* is the tuning parameter: i.e. larger *N* values produce longer needles.

Using modulation function $h(\theta)$ with N=8, and a NA=0.65 objective lens, we produced a 53 λ -long, 0.8 λ -wide linearly polarized needle. A second experiment using radially polarized light was also conducted. Interestingly, in this case the longitudinal component of the electric field is filtered when imaged with a low numerical aperture system. A full description of the derivation of the modulation function and the experiments can be found in reference [1].

- Rosario Martínez-Herrero, David Maluenda, Ignasi Juvells, and Artur Carnicer. "Synthesis of light needles with tunable length and nearly constant irradiance." Sci. Rep. 8, 2657 (2018).
- [2] David Maluenda, Ignasi Juvells, Rosario Martínez-Herrero, and Artur Carnicer, "Reconfigurable beams with arbitrary polarization and shape distributions at a given plane," Opt. Express 21, 5432 (2013)
- [3] David Maluenda, Rosario Martínez-Herrero, Ignasi Juvells, and Artur Carnicer, "Synthesis of highly focused fields with circular polarization at any transverse plane," Opt. Express 22, 6859 (2014)
- [4] Victor Arrizón, Luis A. González, Rodrigo Ponce, and Alfonso Serrano-Heredia, Computer-generated holograms with optimum bandwidths obtained with twisted-nematic liquid-crystal displays. Appl. Opt. 44, 1625 (2005)

Security authentication of optical codes using polarized light

Artur Carnicer and Bahram Javidi

 ⁽¹⁾ Universitat de Barcelona, Departament de Física Aplicada, Martí i Franquès 1, 08028 Barcelona
 ⁽²⁾ University of Connecticut, Electrical & Computer Engineering Dept., 371 Fairfield Way, Storrs, Connecticut 06269, USA

Abstract: In this communication we overview our recent developments on authentication of optical codes by means of the combined use of polarized light and machine learning algorithms. We study a variety of cases of samples produced with metallic nanoparticles, thin-films and 3D diffusers. These samples are illuminated by means of polarized light and analyzed using Stokes and Mueller microscopy. We also discuss how these techniques can be used to distinguish among true and counterfeit pharmaceutical products.

Recently, the development of optical methods for authentication of optical codes attracted great interest. It is expected that each of these codes is unique and almost impossible to clone. In order to achieve this target, several nanotechnology fabrication methods in combination with conventional holography have been proposed. Among the different available techniques for producing such devices we selected those that tag the sample in a way that can be analyzed using polarized light. Metallic nanoparticles or a combination of dielectric and metallic materials using thin-film technology may be used in the fabrication process because they provide distinctive polarimetric signatures that can be used for validation. Moreover, the use of diffusers enables us to encode the information in such a way that cannot be accessed easily. Interestingly, diffusers generate random patterns (speckle) that makes difficult to access to the message but not the characterization of the code as valid or counterfeit [1].

When illuminated with polarized light, these devices produce signals that can be analyzed means of statistical techniques or using machine learning algorithms. This makes possible an automatic classification of the samples. Since the recorded signals are random polarized beams, the use of experimental ellipsometric techniques is very appropriate. In this communication we discuss how to analyze the information generated by the different optical codes we produced [2-4].

Moreover, we focus in a real-life scenario: pharmaceutical tablets were tagged with gold nanoparticles (AuNP). We experimentally demonstrated that by using ellipsometric techniques, it is possible to distinguish among tagged and not tagged tablets [5].

- [1] Artur Carnicer and Bahram Javidi, "Optical security and authentication using nanoscale and thin-film structures," Adv. Opt. Photon. 9, 218 (2017)
- [2] Artur Carnicer, Amir Hassanfiroozi, Pedro Latorre-Carmona, Yi-Pai Huang, and B. Javidi, "Security authentication using phase-encoded nanoparticle structures and polarized light," Opt. Lett. **40**, 135 (2015).
- [3] Artur Carnicer, Oriol Arteaga, Esther Pascual, Adolf Canillas, Santiago Vallmitjana, Bahram Javidi, and Enric Bertran, "Optical security verification by synthesizing thin films with unique polarimetric signatures," Opt. Lett. 40, 5399 (2015).
- [4] Adam Markman, Artur Carnicer, and Bahram Javidi, "Security authentication with a three-dimensional optical phase code using random forest classifier," J. Opt. Soc. Am. A 33, 1160 (2016).
- [5] Artur Carnicer, Oriol Arteaga, Josep M. Suñé, and Bahram Javidi, "Authentication of gold nanoparticle encoded pharmaceutical tablets using polarimetric signatures," Opt. Lett. 41, 4507 (2016).

Diseño óptico del instrumento SAFARI para el telescopio espacial SPICA

Luis Miguel González, David Arrazola¹, Marianela Fernández, Tomás Belenguer Dávila

Área de Óptica Espacial Institituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Torrejón de Ardoz – MADRID (1) ISDEFE as external consultant for INTA

Resumen: Se presenta el diseño óptico del instrumento SAFARI, un espectrómetro de infrarrojo lejano para el futuro telescopio espacial de infrarrojo SPICA, misión de ESA/JAXA dedicada al estudio del origen y evolución de estrellas y galaxias distantes. El instrumento operará entre 34 y 240 micras ofreciendo una alta sensibilidad y resolución espectral media y alta gracias a la incorporación de un interferómetro de transformada de Fourier en su verisón Martin-Puplett.

SAFARI es el instrumento principal de SPICA, el futuro observatorio espacial de ESA y JAXA de infrarrojo lejano dedicado a la exploración del espacio profundo y estudio de la formación y evolución de estrellas y galaxias. Misión de tipo medio que ha presentado en 2017 propuesta a la llamada M5 de la ESA. Es un complejo espectrométro de infrarrojo[1] basado en red de difracción que incorpora un modo de alta resolución espectral basado en un espectrómetro de transformada de Fourier, concretamente en una versión del mismo denominada Martin-Puplett. Incorpora múltiples funcionalidades: observación en alta y baja resolución espectral, alta sensibilidad, modo de imagen y calibración en vuelo. El satélite se enfriará a 8K con el instrumento operando a 4K y los detectores superconductores a miliKelvin.

INTA lidera el diseño óptico del instrumento, enteramente catóptrico, formado por más de 45 espejos, la mayor parte con potencia óptica, cubriendo un rango espectral entre las 34 y 240 micras, y tomando como entrada el foco principal del telescopio del satélite. El instrumento óptico se compone de tres módulos, el primero incluye un relé tipo Offner que recibe la imagen del telescopio y la acondiciona para su posterior separación en bandas, también incluye un espejo giratorio para realizar un pequeño barrido de imagen en el cielo y acceso a una esfera integradora que proporciona la fuente de calibración del instrumento. El segundo separa la imagen para trabajar en modo de alta o baja resolución espectral, divide la luz en cuatro bandas espectrales e incorpora el interferómetro de transformada de Fourier[2] en el modo de alta resolución. La separación espectral y de polarización que requiere el interferómetyro se logra mediante la incorporación de "wire grids". El tercer módulo incluye las cuatro reders de difracción, una para cada banda separada, con su óptica de colimación y focalización sobre el detector.

Se presentará el diseño actual del instrumento, en fase preliminar, junto a los requerimientos principales y la calidad óptica obtenida. También se mostrarán las singularidades de un diseño óptico trabajando en este rango de longitudes de onda y en unas condiciones de temperatura tan excepcionales que está requiriendo desarrollar una campaña de caracterización de materiales en paralelo para verificar la idoneidad en la selección de materiales.

- [1] "SAFARI optical system architecture and design concept" Proc. SPIE 9904, Space Telescopes and Instrumentation 2016: Optical, Infrared, and Millimeter Wave, 99043U (July 29, 2016)
- [2] "SPICA-SAFARI Conceptual Optical Design" 24th International Symposium on Space Terahertz Technology, Groningen, 8-10 April 2013

Microscopía integral de campo lejano

<u>G. Scrofani</u>, J. Sola-Pikabea, G. Saavedra, A. Llavador, E. Sanchez-Ortiga, J.C. Barreiro, J. Garcia-Sucerquia* y M. Martínez-Corral

Departamento de Óptica, Universidad de Valencia, 46100 Burjassot * Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin, Facultad de Física, A.A. 3840 Medellín 050034, Colombia

Resumen: Tomando como base el concepto de Fotografía Integral propuesto por Lippmann a principios del siglo XX, en esta comunicación se presenta una nueva técnica de microscopía integral que permite mejorar sustancialmente los resultados precedentes tanto en resolución lateral como en profundidad de campo.

En 1908 Gabriel Lippmann propuso una técnica revolucionaria, a la que denominó Fotografía Integral [1], que permite registrar simultáneamente un conjunto de perspectivas, o imágenes elementales, de escenas 3D. La idea original de Lippmann era utilizar situar estas imágenes elementales, tras el correspondiente positivado, detrás de una matriz de microlentes. Las microlentes integran la luz procedente de las imágenes elementales produciendo un efecto de proyección 3D.

Tras el paso de casi un siglo, y debido a los avances en la tecnología de microlentes, sensores y display, así como en el progreso de las herramientas para el procesado de imágenes, la técnica de imagen integral vuelve a suscitar el interés de investigadores y tecnólogos. Prueba de ello es la existencia en la actualidad de hasta dos cámaras comerciales basadas en el concepto de fotografía integral [2,3].

El concepto de fotografía integral se puede aplicar al campo de la microscopia óptica, ya que ofrece la posibilidad de obtener toda una serie de vistas de muestras microscópicas gruesas. Hasta el momento se han propuesto dos técnicas para implementar la microscopia integral. La primera, a la que se ha denominado microscopía integral 1.0, se basa en la inserción de una matriz de microlentes en el plano imagen de un microscopio convencional [4]. Esta técnica, produce una gran cantidad de perspectivas, pero a cambio su resolución lateral es muy pobre, lo que constituye un grave problema en microscopía. La segunda, a la que se ha denominado microscopía integral 2.0, se basa en desplazar las microlentes fuera del plano imagen, de forma que proporcionan imágenes múltiples de la imagen intermedia proporcionada por el microscopio huésped [5]. Esta técnica produce mejores resultados en resolución, pero a cambio de perder capacidad de producir perspectivas múltiples. Otro problema es el viñeteado, que hace que se pierdan muchos píxeles útiles.

En esta comunicación de presenta una nueva configuración, a la que denominamos microscopía integral de campo lejano [6], en la que las microlentes se sitúan en el plano del diafragma de apertura del objetivo de microscopio. En la presentación se demuestra que esta nueva arquitectura permite capturar directamente las imágenes en perspectiva sin necesidad de computación adicional. Pero su principal ventaja es que estas imágenes presentan una mejora sustancial tanto en resolución lateral como el profundidad de campo.

Referencias

[1] G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief", J. Phys. 7, 821-825 (1908).

- [2] https://www.lytro.com.
- [3] https://raytrix.de
- [4] M. Levoy, R. Ng, A. Adams, M. Footer, and M. Horowitz, "Light field microscopy," ACM Trans. Graph. 25, 924-934 (2006).
- [5] K. Kwon, M. Erdenebat, Y. Lim, K. Joo, M. Park, H. Park, J. Jeong, H. Kim, and N. Kim, "Enhancement of the depth-of-field of integral imaging microscope by using switchable bifocal liquid-crystalline polymer micro lens array," Opt. Express 25, 30503-30512 (2017).
- [6] G. Scrofani, J. Sola-Pikabea, A. Llavador, E. Sanchez-Ortiga, J. C. Barreiro, G. Saavedra, J. Garcia-Sucerquia, and M. Martínez-Corral, "FIMic: design for ultimate 3D-integral microscopy of in-vivo biological samples," Biomed. Opt. Express 9, 335-346 (2018)

Multifocal confocal microscopy using AODs

R. Bola*a, D. Treptow, A. Marzoa, E. Martín-Badosa and M. Montes-Usategui

^aOptical Trapping Lab – Grup de Biofotònica (BiOpt), Departament de Física Aplicada, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028 – Barcelona, Spain *raul.bola@ub.edu

Summary: We present a novel implementation of structured illumination microscopy using acousto-optic deflectors (AODs) that allows three-dimensional and high-resolution imaging of living biological samples at high speed. By combining the generation of different multi-spot excitation patterns, with the implementation of a digital pinhole and a post processing step, we can improve the sectioning capability, the lateral resolution and specially the acquisition rate. All these benefits make this technique suitable for fast imaging in thick biological samples.

When dealing with laser-scanning microscopy techniques, there is always a huge compromise between speed, resolution and field of view, arising from the fact that scanning is done by steering the excitation laser with a moving component such as galvanometric mirrors. On the other hand, high-resolution imaging of thick samples always need a physical pinhole to reject the out of focus light, making this procedure incompatible with any kind of structured illumination.

The microscopy system presented in this work tries to overcome the previously mentioned problems by implementing AODs into the optical setup and a post processing step, which includes a digital pinhole. By synthesizing and sending complex radio-frequency signals to the AODs, we generate arbitrary excitation patterns in the same way as using a spatial light modulator (SLM). This kind of holography using AODs allows us to generate different multi-spot excitation patterns and change or move them at high rates (~100 kHz). The use of multi-spot patterns for excitation reduces drastically the number of steps needed to cover the whole field of view and thereby the acquisition rate is significantly increased [1,2].

In our microscope, the whole sample is scanned with a multi-spot array, generated and shifted at high speed thanks to the AODs. After each excitation pattern, an image of the emission pattern is recorded with a CCD or CMOS sensor, allowing the implementation of a digital pinhole and a pixel reassignment algorithm around each excitation foci, improving the lateral resolution by [1,3]. Finally, the complete image is obtained by summing all the processed individual images and a final deconvolution is performed in order to reach a two-fold improvement in lateral resolution.



Figure 1.- Fluorescence images of the actin network in a chicken embryo immunolabeled with phalloidin+TRITC. a) epifluorescence image, b) single emission image upon multi-point excitation pattern (inset), c) final reconstructed confocal image. The images were obtained using a 40x, 0.75 NA NIKON objective.

- A. G. York, S. H Parekh, D. D. Nogare, R. S Fischer, K. Temprine, M. Mione, A. B Chitnis, C. A Combs, H. Shroff, "Resolution doubling in live, multicellular organisms via multifocal structured illumination microscopy", *Nat. Methods*, 9, 749 (2012).
 A. G. York, P. Chandris, D. D. Nogare, J. Head, P. Wawrzusin, R. S. Fischer, A. Chitnis, H. Shroff, "Instant super-resolution"
- imaging in live cells and embryos via analog image processing", Nat. Methods, 10, 1122 (2013).
- [3] Müller, C.B. & Enderlein, J. Image scanning microscopy. Phys. Rev. Lett. 104, 198101 (2010).
In Vivo Two-Photon Microscopy of the Human Cornea

Francisco J. Ávila, Juan M. Bueno and Pablo Artal

Laboratorio de Óptica, Centro de Investigación en Óptica y Nanofísica, Universidad de Murcia, Spain. franciscojavier.avila@um.es

Abstract: Second Harmonic microscopy (SHG) has been established as the unique non-invasive imaging technique to analyze the corneal microstructure at submicron resolution. This work presents the first prototype of a SHG microscope for imaging the living human cornea within safe limits. The image quality was high enough to distinguish collagen fibers and its interwoven arrangement. The incorporation of this technique into clinical environments may constitute a powerful tool to detect corneal diseases and exploring biomechanics.

Second Harmonic Generation (SHG) microscopy is a non-linear imaging technique providing 3D high-resolution visualization of collagen-based biological tissues, in particular the cornea stroma [1] that makes the 90% of the total corneal thickness. Due to transparency of this stroma, commercially available confocal microscopes can only visualize the cellular matrix [2] but not the collagen fibers. Unlike those clinical instruments, SHG microscopy has been successfully employed to characterize the corneal morphology and to detect microstructural changes in corneal pathologies [3]. However to our best knowledge, SHG corneal microscopy has only been used with ex-vivo samples.

In this work, we present a compact research SHG microscope prototype to image the corneal microstructure of living human volunteers. The system uses a Ti:sapphire femtosecond laser (λ =800 nm; 76 MHz repetition rate) as illumination source. A non-resonant scan unit, a stepper motor and a long-working distance objective allow non-contact 3D imaging. The back-scattered SHG signal is isolated by a band-pass filter before reaching the photodetector. Two control cameras and a clinical chinrest facilitate the subject alignment during imaging sessions. The calibration process ensured that the exposure time for SHG recording was below the safety limits according to the ICNRP [4] and ANSI Z136.1-2000 [5] standards. This was crucial to avoid damages in the cornea, the crystalline lens and the retina. The performance of the instrument was tested and successfully SHG images of the living cornea were acquired within the established safety limit for ocular laser exposure.

Fig. 1 shows an example of SHG images of the stroma of two healthy volunteers acquired at the central cornea (apex). The image resolution is high enough to make evident the interwoven arrangement of the collagen fibers, what is in agreement with previous ex-vivo studies. The potential of the technique herein reported could be applied to corneal pathologies detection.



Fig. 1. SHG images from the cornea of two subjects. Scale bar: 100 µm.

- R.M. Williams, W.R. Zipfel and W.W. Webb, "Interpreting second-harmonic generation images of collagen I fibrils," *Biophys. J.* 88 (2), 1377-1386 (2005).
- [2] I. Jalbert, F. Stapleton, E. Papas, D. F. Sweeney, and M. Coroneo, "In Vivo Confocal Microscopy of the Living Human Cornea," Br. J. Ophthalmol. 87, 225-236 (2003).
- [3] R. Mercatelli, *et al.* "Three-dimensional mapping of the orientation of collagen corneal lamealle in healthy and keratoconic human corneas using SHG microscopy," *J. Biophotonics*, **10**(1), 75-83 (2017).
- [4] D. Sliney, et al. "Adjustment of guidelines for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement from a task group of the International Comission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)," Appl. Opt. 44(11), 2162-2176 (2005).
- [5] F.C. Delori, R.H. Webb and D.H. Sliney, "Maximum permissible exposures for ocular safety (ANSI 2000), with emphasis on ophthalmic devices," J. Opt. Soc. Am. A. 24(5), 1250-65 (2007).

Análisis Cuantitativo del Carcinoma de Tiroides con Microscopía de Segundo Armónico y la Transformada de Hough

Dolores Párraga, Francisco J. Ávila, Radu Hristu,* George Stanciu* y Juan M. Bueno

Laboratorio de Óptica, Centro de Investigación en Óptica y Nanofísica, Universidad de Murcia, Spain *Center for Microscopy, University 'Politehnica' of Bucharest, Romania

bueno@um.es

Resumen: La microscopía de Segundo Armónico (SHG, del ingles *Second Harmonic Generation*) es una de las técnicas actuales más innovadoras que permite el análisis de tejidos biológicos sin necesidad de fijado ni tinción. En este trabajo se ha combinado esta técnica con la herramienta matemática denominada Transformada de Hough para el estudio cuantitativo y objetivo de los cambios en la distribución de colágeno capsular en el cáncer de tiroides.

El carcinoma papilar es el tipo más frecuente de cáncer de tiroides [1]. Existen diferentes técnicas de imagen para detectar y caracterizar el tumor de tiroides en muestras histológicas [2], en particular se ha usado la microscopía de polarización SHG para extraer información sobre la ultra-estructura (estructura a escala molecular) de la cápsula de colágeno que rodea la glándula tiroidea y los nódulos malignos [3]. A pesar de que el grosor de la cápsula puede determinar malignidad, ni la distribución del colágeno dentro de la capsula ni el grosor de la misma se han considerado herramientas de diagnóstico en el cáncer a partir de imágenes microscópicas son escasos. Los algoritmos existentes informan sobre un "orden promedio" de la morfología del colágeno y a menudo requieren regiones de interés bien definidas para un análisis correcto y útil. En este trabajo proponemos un método basado en la transformada de Hough (TH) [4] para detectar cambios estructurales en la cápsula de colágeno que rodea los tumores tiroideos malignos. La TH se define como un algoritmo matemático que usa un acumulador cuyas dimensiones corresponden a las coordenadas polares de una recta. Los máximos locales en el acumulador determinan las orientaciones preferenciales detectadas en el espacio imagen.

El sistema experimental combina un láser pulsado de Titanio-Zafiro (Tsunami, Spectra Physics) con un microscopio confocal (Leica TCS SP) [5] para obtener imágenes SHG de dos tipos de secciones histológicas de muestras de glándula tiroidea: control (cápsula tiroidea) y tumoral (carcinoma papilar). Las imágenes SHG de muestras control revelan una distribución de colágeno ondulado con orientaciones localmente variables (Fig. 1a) como muestra el mapa de la TH (Fig. 1b). Por el contrario, como consecuencia de la remodelación producida por la presencia tumoral, estas dispersiones locales desaparecen convirtiéndose en un patrón alineado con una orientación preferencial global (Fig.1c). Esta reorganización del colágeno también se observa en la matriz TH como una ausencia de orientaciones locales (Fig. 1d). El método propuesto permite detectar automáticamente cambios locales en una imagen "global" y por tanto los efectos de remodelación en el carcinoma de tiroides. La técnica podría tener un futuro impacto y aplicación clínica en oncología.



Fig. 1. Imágenes SHG de secciones histológicas (a, c) y mapas de TH de tiroides normal y tumoral (b, d).

- Hundahl, S.A., Fleming, I.D., Fremgen, H.R., et al., "A national cancer data base report on 53.856 cases of thyroid carcinoma treated in the U.S., 1985-1995," *Cancer* 83(12), 2638-2648 (1998).
- [2] Greco, A., Auletta, L., Orlandella, F.M., et al., "Preclinical imaging for the study of mouse models of thyroid cancer," *Int. J. Mol. Sci.* **18**(2), E2731 (2017).
- [3] Tokarz, D., Cisek, R., Golaraei, A., et al., "Ultrastructural features of collagen thyroid carcinoma tissue observed by polarization second harmonic generation microscopy," *Biom. Opt. Exp.* 6(9), 3475-3481 (2015).
- [4] Illingworth, J. and Kittler, J. "A survey of the Hough transform," Comp. Vis. Graph. Image Proc. 44(1), 87-116 (1998).
- [5] Hristu, R., Stanciu, S.G., Tranca, D.E., and Stanciu, G.A., "Improved quantification of collagen anisotropy with polarization-resolved second harmonic generation microscopy" J. Biophotonics 10(9), 1171-1179 (2017).

Medida de la textura visual de recubrimientos de efecto

<u>Alejandro Ferrero</u>^{1,*}, Esther Perales², José Luis Velázquez¹, Berta Bernad¹, Joaquín Campos¹, Francisco Miguel Martínez-Verdú²

¹Instituto de Óptica "Daza de Valdés" (IO, CSIC), CSIC, c/ Serrano 121, 28006 Madrid, Spain ²Color & Vision Group, Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 Alicante, Spain

*alejandro.ferrero@csic.es

Resumen: *Sparkle* y *graininess* son los dos tipos de texturas visuales observadas en los recubrimientos de efecto. A partir de la correlación encontrada entre los datos espectrofotométricos (principlamente de captura de imagen) y visuales se han de proponer escalas de medida y fórmulas de diferencia de textura visual. Se presentan los últimos resultados obtenidos durante un trabajo coordinado dirigido a establecer recomendaciones de medida de *sparkle* y *graininess* en el marco de recomendaciones de la CIE.

La utilización de pigmentos de efecto permite añadir efectos visuales muy atractivos a una gran gama de productos, y es por esta razón muy popular en automoción, cosmética o decoración, entre otras industrias. La impresión visual que generan es extremadamente dependiente de las direcciones tanto de iluminación como de observación. La apariencia de las superficies sobre las que se aplican estos pigmentos se debe caracterizar de algún modo mediante métodos espectrofotométricos (principalmente de captura de imagen), de procesado de imagen y psicofísicos, y asimismo se deben definir y producir patrones para dar trazabilidad a la industria, puesto que esta apariencia es de suma importancia en la valoración de la calidad de algunos productos.

Los pigmentos de efecto se incrustan en un material o aglutinante para componer lo que se conoce como recubrimiento de efecto (*effect coating*). El efecto o apariencia que provocan viene determinado no solo por las propiedades ópticas tanto del pigmento de efecto, de los pigmentos de absorción y del aglutinante, sino también por la orientación de los pigmentos de efecto en el material. No solo se trata un efecto de cambio de color con las condiciones de iluminación y observación (iridiscencia), sino también de textura visual en muchos casos, al que se suele referir como *sparkle* cuando hay iluminación direccional. Este tipo de textura se podría describir como puntos de luz luminosos distribuidos estocásticamente sobre un fondo oscuro. Los pigmentos de efecto reflejan la luz como espejos microscópicos que no están perfectamente alineados hacia la misma dirección, y esta disposición irregular es fundamental para que se pueda apreciar *sparkle*. También debido a esta configuración, el *sparkle* va desapareciendo cuando el ángulo sólido de iluminación se va haciendo mayor y ésta pasa de ser direccional a ser difusa. Entonces aparece otro tipo de textura, de aspecto granular, que se conoce como *graininess*.

El desarrollo tecnológico actual permite cuantificar estas dos texturas visuales, pero hasta la fecha solo existen dos instrumentos comerciales para hacerlo, el BYK-mac-i de BYK-Gardner (captura imagen b/n), y los MA-T6 y MA-T12 de X-Rite (captura RGB). Estos instrumentos proporcionan índices para cuantificar el *sparkle* y el *graininess*, que estarían correlacionados con la experiencia visual, del mismo modo que lo están por ejemplo las coordenadas CIELAB con el color. Sin embargo, a diferencia del caso del color, estos índices no están públicamente definidos, y no se sabe si están o no relacionados con cantidades espectrofotométricas, por lo que los institutos nacionales de metrología no pueden darles trazabilidad.

Se debe llegar a un consenso sobre la definición de observadores patrones de *sparkle* y *graininess*. Para ello es necesario acordar los conceptos fundamentales, determinar los procedimientos espectrofotométricos de medida y la metodología para la evaluación visual, y la realización de los experimentos sobre muestras adecuadas para el estudio. A partir de la correlación encontrada entre los datos espectrofotométricos y visuales se han de proponer escalas de medida y fórmulas de diferencia de textura tanto para *sparkle* como para *graininess*. En esta contribución se presentan los últimos resultados obtenidos por nuestros centros, durante un trabajo coordinado dirigido a establecer recomendaciones de medida de *sparkle* y *graininess* en el marco de normalización de la CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*).

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto EMPIR 16NRM08 "Bidirectional reflectance definitions" (BiRD). El programa EMPIR está subvencionado por los países participantes dentro de EURAMET y la Unión Europea. Parte de los autores (Instituto de Óptica "Daza de Valdés" (IO, CSIC), Agencia Estatal CSIC) agradecen igualmente a la Comunidad de Madrid por subvencionar el proyecto SINFOTON-CM: S2013/MIT-2790. Y los autores de la Universidad de Alicante también agradecen al Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) por la subvención del proyecto DPI2015-65814-R.

A two CCDs based displacement-free deflectometry method for reflective surface measurement

Haolin Zhang¹, Pablo Pedreira², Igors Šics², Josep Nicolas², Juan Campos¹

¹Departamento de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 08193, Spain ² Sincrotrón ALBA, Carrer de la Llum,2-26, 08290 Cerdanyola del Vallès, Spain

Abstract: In this paper, we present a two CCDs based deflectometry method for the measurement of reflective surfaces. The normal to the surface at each point is precisely determined without any physical displacement within the experimental setup by introducing the phase difference principle, The surface profile, deduced from the derivatives of the surface obtained from the normals, is finally realized by performing an integration method.

In this paper, we are implementing a robust deflectometry system which consists of an LCD panel and two cameras. Specifically, the introduced LCD is capable to generate sinusoidal patterns, and the cameras deployed are used to capture their image (phase value distribution) as reflected by the investigated surfaces. The fringe deformation of these patterns captured by the cameras reveals the surface profile to be measured. More importantly, by using two cameras, we can perform a static robust measurement without having to move any components of the setup, what allows avoiding the well-known ambiguity issue of the deflectometry technique. The LCD used in this system is a commercial liquid crystal panel with the spatial location determined. The cameras presented are in fact regarded as pinhole cameras with the pinhole position as well as the CCD panel location well calibrated. For any point A on CCD1, there is a corresponding object point on the LCD panel reflected by the measured surface that shares the same phase value. However, an ambiguity arises because the real reflective point cannot be completely determined, as it is indistinguishable from all the points of an infinite line (red solid line in Fig. 1). Therefore, we use a second camera to solve this uncertainty. With the addition of the second CCD, we proposed an algorithm based in phase differences. We show how to find the minimum phase value, acquired by subtracting the phase value on the LCD and the second CCD. The point provides the minimum phase difference, located on the ambiguity line, is the final point revealing the real surface profile. Once the normal and the position of the inspected point is determined, an integration method based on the derivatives of the whole surface is implemented to determine the final surface profile.



Figure 1. Scheme of the algorithm used to determine the coordinate and the normal of the real point on the surface.

Acknowledgements. This work is partially funded by MINECO (FIS2015-66328-C3-1-R, FIS2015-66328-C3-2-R and ERDF funds

M. C. Knauer, J. Kaminski, and G. Hausler, "Phase measuring deflectometry: a new approach to measure specular free-form surfaces," in Proc. SPIE 5457, pp. 366–376 (2004) [doi:10.1117/12.545704].

Elementos Ópticos Holográficos en régimen de transición para concentración solar fotovoltaica

Julia Marín Sáez,1 Jesús Atencia,2 Daniel Chemisana,1 M. Victoria Collados2

¹Sección de Física Aplicada, Departamento de Medio Ambiente, Escuela Politécnica, Universitat de Lleida, Jaume II 69, 25001 Lleida

²Departamento de Física Aplicada, Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza

Resumen: Se estudian teórica y experimentalmente lentes cilíndricas holográficas para concentración solar registradas en fotopolímero Bayfol[®] HX y que operan en régimen de transición. De esta manera se consigue un espectro más ancho concentrado en la superficie de la célula fotovoltaica que con hologramas de volumen.

La selectividad cromática de los Elementos Ópticos Holográficos (HOEs) permite seleccionar el rango espectral que difractan eficientemente al reconstruir con un espectro ancho. En aplicaciones de concentración fotovoltaica supone una gran ventaja respecto a elementos ópticos refractivos, ya que así se hace incidir sobre la célula el rango espectral para el cual ésta es más eficiente y se evita la concentración de longitudes de onda que causarían sobrecalentamiento. Normalmente se emplean hologramas de volumen, ya que con un diseño adecuado proporcionan eficiencias del 100% para una longitud de onda determinada. Sin embargo, su selectividad cromática también es muy alta, con lo que solamente parte del rango espectral idóneo para la célula de la radiación solar se concentra sobre ella. Una solución novedosa recientemente propuesta [1] es la utilización de HOEs que operen en el régimen de transición entre el régimen de volumen y el delgado. De esta manera se consiguen eficiencias del orden +1 de difracción relativamente altas, y una menor selectividad y dispersión cromática, que conlleva un espectro más ancho recogido por la célula fotovoltaica. Para describir su comportamiento se ha programado un algoritmo en Matlab basado en el trazado de rayos y la Teoría de Ondas Acopladas. Estos HOEs se registran en el fotopolímero Bayfol® HX, desarrollado por Covestro Deutschland AG [2], y se tiene en cuenta la modulación de índice que es capaz de alcanzar con cada frecuencia espacial y exposición de registro. En la figura 1 se muestra la irradiancia espectral recibida por la célula debida a los distintos órdenes de difracción provenientes de una lente cilíndrica holográfica operando en régimen de volumen para 800 nm (izquierda) y parcialmente en régimen de transición para 800 nm (derecha). Para poder comparar se ha incluido en las gráficas el espectro solar incidente sobre los HOEs y la respuesta espectral de una célula mono-cristalina de Silicio.



Figura 1.- Comparación entre la irradiancia espectral (eje *y* izquierdo) recibida por la célula fotovoltaica correspondiente a los órdenes de difracción +1 (línea continua azul), +2 (línea continua magenta) y +3 (línea continua cyan) de una lente cilíndrica holográfica de volumen (izquierda) y de transición (derecha) para 800 nm, el espectro solar incidente (línea continua negra) y la respuesta espectral de una célula mono-cristalina de Si (línea discontinua roja, eje *y* derecho).

- [1] J. Marín-Sáez, J. Atencia, D. Chemisana, M.V. Collados, "Full modeling and experimental validation of cylindrical holographic lenses recorded in Bayfol® HX photopolymer and partly operating in the transition regime for solar concentration" Opt. Express (en process de publicación, aceptado 2018)
- [2] F.-K. Bruder, T. Fäcke, and T. Rölle, "The Chemistry and Physics of Bayfol® HX Film Holographic Photopolymer," Polymers 9, 472 (2017).

Digital watermarking of lightfield data in transform domain

Amir Ansari, Seokmin Hong, Genaro Saavedra, Bahram Javidi*, and Manuel Martinez-Corral

Department of Optics, University of Valencia, E-46100, Burjassot

*Department of Electrical and Computer Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT 06269 USA

Abstract: In this contribution we propose a new method for watermarking of the lightfield produced by incoherent 3D scenes. The proposed method fully considers the angular correlation of the lightfield while the performance of the proposed method is assessed by experimental simulations.

The common 2D cameras integrate of all the rays passing through the same point of the object plane and cause a significant lose of angular information. Conversely, lightfield cameras incorporate a microlens array at the image plane so that the sensor captures a sampled version of the plenoptic function, which can be parameterized by six variables [1], . In such function and (represent the coordinates of the point where the ray passed through the plane. Additionally, represents the time coordinate and the wavelength. For more convenience, it is often assumed that remain the same during the capturing process (see Fig. 1).

The digital watermarking can substantially contribute to combatting the illegal tampering and duplication of the digital content. Unlike the common 2D cameras, the plenoptic cameras capture each individual ray separately recording much more angular information. In this way, the 3D scene can be reconstructed much more efficiently. Even if any of the numerous common 2D methods is applicable to the lightfield, it will be extremely inefficient and suboptimal as the angular correlation is not addressed.

In this paper, we propose a new method for watermarking light field data. Firstly, a block is extracted from selected microimages. The selection of different microimages is for the sake of robustness and transparency. Afterward, Discrete Cosine Transform (DCT) is applied into the extracted block and the obtained coefficients are used to embed the watermark. The watermarking method employs Singular Value Decomposition (SVD) to extract a robust feature from the DCT coefficients. Afterward, a reverse transform is applied to get the pixels back in the spatial domain. The performance of the proposed method is verified by simulations and also experimentally.



Fig 1.- Parameterization of the plenoptic function

References

 E. H. Adelson and J. R. Bergen, "The plenoptic function and the elements of early vision," in Computational Models of Visual Processing, ed: Cambridge, MA: MIT Press, 1991, pp. 3-20.

Reservoir-based kernel density estimation of multispectral skin lesion images for reliable real-time melanoma detection

A. Pardo¹, J. A. Gutiérrez-Gutiérrez¹, I. Ļihačova², José M. López-Higuera^{1,3,4}, and Olga M. Conde^{1,3,4}

¹Grupo de Ingeniería Fotónica, TEISA, Universidad de Cantabria, Cantabria, Spain;

²Bio-optics and Fiber Optics Laboratory, Institute of Atomic Physics and Spectroscopy, Riga, Latvia

³CIBER-BBN, Cantabria, Spain; ⁴Instituto de Investigación Sanitaria Valdecilla (IDIVAL), Cantabria, Spain

Abstract: We propose the use of reservoir-based kernel density estimation and the R-SVD with commercial multispectral imaging systems for the detection of melanoma, which allows for false negative minimization of specific spectral signatures.

In secondary prevention of melanoma, the development of reliable, real-time systems capable of diagnosing a large number of lesions within a clinical setting is an objective of paramount importance. We propose a modified version of reservoir-based Kernel Density Estimation (KDE) that attempts to tackle interpatient variability by randomly sampling a large dataset of skin lesion multispectral images and inferring the spectral probability density function of nevi, melanomas, and healthy skin. During random sampling, each sample under analysis was used to find an orthonormal vector basis using the R-SVD algorithm [1]. Estimation was performed afterwards by three KDE estimators after dimensionality reduction [2]. Classification is performed by Maximum Likelihood (ML) classification on samples not used for sampling/training (in a leave-one-out approach).

This method was tested with a dataset of 124 multispectral images of melanocytic lesions (59 flat nevi, 31 melanomas, 35 raised nevi) obtained at three Riga medical clinics [3]. With standard ML classification, out of the 124 samples, 3 were false positives for melanoma, and 4 were false negatives – a result that was modified to minimize false negatives to zero by weighing likelihoods at the expense of higher false positives (12 nevi).



Figure 1. First row. Average absorption maps of a nevus (Sample 51, A) and a melanoma (Sample 67, C), with hand-picked regions of interest. (B) and (D) are the diagnostic classification results of reservoir-KDE. **Second and third rows.** Class probability maps generated by KDE for the aforementioned nevus (E-G) and melanoma (H-J).

- A. Levy, M. Lindenbaum, "Sequential Karhunen-Loeve Basis Extraction and its Application to Images", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 8, August 2000.
- [2] A. Pardo, E. Real, V. Krishnaswamy, J. M. López-Higuera, and O. M. Conde, "Directional Kernel Density Estimation for Classification of Breast Tissue Spectra", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 36, no. 1, January 2017.
- [3] I. Diebele, I. Kuzmina, A.Lihachev, J. Kapostinsh, A. Derjabo, L. Valeine, and J. Spigulis, "Clinical evaluation of melanomas and common nevi by spectral imaging", *Biomedical Optics Express*, vol. 3, no. 3, March 2012.

Phase imaging using a digital micromirror device

F. Soldevila,¹ V. Durán,¹ P. Clemente,^{1,2} E. Salvador-Balaguer,¹ J. Lancis,¹ and E. Tajahuerce¹

¹GROC·UJI, Institute of New Imaging Technologies (INIT), Universitat Jaume I, E12071 Castelló, Spain. ²Servei Central d'Instrumentació Científica (SCIC), Universitat Jaume I, E12071 Castelló, Spain.

Abstract: Phase-imaging techniques extract the optical path length information of a scene, whereas wavefront sensors provide the shape of an optical wavefront. Since these two applications have different technical requirements, they have developed their own specific technologies. Here we show how to perform phase imaging combining wavefront sampling using a reconfigurable spatial light modulator with a beam position detector. The result is a time-multiplexed detection scheme, capable of being shortened considerably by compressive sensing.

In this contribution, we perform quantitative phase imaging by measuring the complex amplitude distribution of a wavefront with a non-interferometric approach. We sample the wavefront with a set of microstructured masks codified in a high-speed spatial light modulator. A single lens forms a time-dependent light distribution on its focal plane, where a position sensitive detector is placed. By studying the total irradiance and the centroid coordinates of the light distribution generated by the detector, both the amplitude and phase of the scene can be recovered [1]. Our approach is lenslet-free. Therefore, we overcome the limitations in spatial resolution, optical efficiency, and dynamic range that are found in Shack-Hartmann wavefront sensing. Besides, our technique does not rely on any kind of iterative or unwrap algorithm. To validate the technique experimentally, we perform both aberration sensing and phase imaging of transparent samples. The corresponding results are compared with both Shack-Hartmann wavefront sensing and phase-shifting interferometry.



Figure 1.- Experimental setup. (a) Scheme of the system. Captions: LS, laser source, L_1 , L_2 , and L_3 , lenses, OBJ, object, CL, condensing lens, PD, lateral position detector. (b) Detector used in our experiments. It includes four electrodes connected to a metallic surface, whose voltage measurements provide both the irradiance of the light beam and the position of its centroid. (c) Experimental results for a plate simulating a coma aberration. As the sample is transparent, the amplitude image provides no information about the object. In the phase image, the object information is clearly recovered. (d) 3D view of the obtained phase.

References

 F. Soldevila, V. Durán, P. Clemente, J. Lancis, and E. Tajahuerce, "Phase imaging by spatial wavefront sampling," Optica 5, 164 (2018).

Optical trapping and light-momentum force detection in embryonic tissue

Frederic Català^{1,2}, Mario Montes-Usategui^{1,2}, Timo Betz³, Arnau Farré^{2,4}

¹Optical Trapping Lab – Grup de Biofotònica, Departament de Física Aplicada, Universitat de Barcelona ²Institut de Nanociència i Nanotecnologia (IN2UB), Barcelona ³Institute of Cell Biology, ZMBE, University of Münster, Münster, Germany ⁴Impetux Optics S.L., Trias i Giró 15 1-5, 08034 Barcelona

Abstract: Among the wide range of applications in biology, optical tweezers can be used for non-invasive quantitative studies on the biomechanics of developing embryos. Accurate optical force measurements shed light on multiple processes, including cell and tissue shaping, cell migration and morphogenesis. In this talk, we will review the main technical aspects to consider in experiments with 4-8 hours-post-fertilization zebrafish embryos, which are necessary for precise optical trapping force detection.

In optical tweezers, force measurement based on light momentum detection has been proven a robust scheme in a number of experimental situations, including *in vitro*^{1,2} and *in vivo*³. This method requires the trapping beam interacting with the object to be entirely captured and conveyed appropriately to a position-sensing detector (PSD), which is not ensured *a priori* for thick and scattering samples, such as living embryos.



Fig. 1. BFP images showing light loss and Abbe's sine condition for the collecting lens at incorrect (a) and proper (b) working planes. (c) BFP image showing scattering affecting the trapping beam. (d) $G(\theta)$ for the situations in (a,b). (e,top) Light momentum variation along the embryo. (e,bottom) Force profiles for 1-µm beads embedded in the embryo (red) and suspended in water (black).

In this situation, we have first analyzed the tolerance of the high-NA collecting lens and found that Abbe's sine condition is still valid up to 500 μ m thick cambers, providing that the lens working plane is suitably reallocated, in order for its back focal plane (BFP) to contain the light momentum structure of the trapping beam. Second, we have studied the effect of light scattering through the embryo on the trapping force profiles of embedded polystyrene microbeads, and checked the validity of the light-momentum calibration within 20-30% reproducibility.

- A. Farré, F. Marsà and M. Montes-Usategui. Optimized back-focal-plane interferometry directly measures forces of optically trapped particles. *Opt. Express* 20, 12270 (2012).
- [2] F. Català, F. Marsà, M. Montes-Usategui, A. Farré & E. Martín-Badosa. Extending calibration-free force measurements to optically-trapped rod-shaped samples. Sci. Rep. 7, 42960 (2007).
- [3] Y. Jun, S. K. Tripathy, B. R. J. Narayanareddy, M. K. Mattson-Hoss and S. P. Gross. Calibration of optical tweezers for in vivo force measurements: how do different approaches compare? *Biophys. J.* 107, 1474 (2014).

El Instrumento RAMAN de la misión Exomars de la ESA: diseño óptico y caracterización.

Tomás Belenguer Dávila¹, Andoni Moral Inza¹, Marianela Fernandez Rodriguez¹, Gonzalo Ramos Zapata¹,

Miguel Sanz Palomino¹, Maria Colombo Bueno¹, David Escribano Lahera¹, Juan Cabrero Gómez²

¹Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)- 28850 Torrejón de Ardoz – MADRID ²ISDEFE as external consultant for INTA- Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España-28040 - MADRID Área de Óptica Espacial

Institituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) - Torrejón de Ardoz - MADRID

Resumen: La misión Exomars cuya fecha de lanzamiento está prevista para el año 2020, tiene como objetivo fundamental la detección de posibles evidencias de vida presente o pasada en Marte mediante el análisis de muestras recogidas por un vehículo móvil tanto superficiales como del subsuelo, hasta una profundidad de 2 metros. Dentro del conjunto de instrumentos que realizarán estos análisis, el espectrómetro Raman deberá obtener información sobre la mineralogía, la composición química elemental y la existencia de posibles compuestos orgánicos en dichas muestras.

El instrumento RLS (Raman Laser Spectrometer) será el *primer espectrómetro de tecnología Raman* fuera de la Tierra. La espectroscopía Raman es una potente técnica no destructiva de caracterización mineralógica, que tiene entre sus principales objetivos la identificación de compuestos orgánicos, productos minerales e indicadores de actividad biológica o de actividad producida por agua. Esta técnica ha demostrado ser una de las más potentes y versátiles para la exploración planetaria.

España, através del INTA, lidera el instrumento RLS completo, en el que contribuyen tecnológicamente UK, Francia y Alemania y científicamente, además de estos países, USA y Holanda

Este sofisticado instrumento se compone de tres unidades principales, un espectrómetro (SPU): responsabilidad del INTA, con detector aportado por UK, un cabezal óptico (iOH): responsabilidad del INTA que incluye un complejo mecanismo de autoenfoque, un laser de excitación de 532 nm basado en un sofisticado conjunto de microoptica y una unidad de control y excitación (ICEU), responsabilidad francesa con contribución de UK y España (INTA).

En la ponencia se presentarán los mayores retos superados para conseguir que este instrumento pueda ser utilizado como espectrómetro Raman de aplicación espacial, tanto en las fases de diseño como en la integración y pruebas. Se mostrará el enorme impacto que ha tenido la compatibilidad con los requistos de Protección Planetria que impone este tipo de misones.



Figura 1: Conjunto iOH, SPu e ICEU del instrumento RLS

- [1] Rull, F., Maurece, S., Hutchinson, I., Moral, A., Pérez, C., Diaz, C., Colombo, M., Belenguer, T., Lopez-Reyes, G., Sansano, A., Forni, O., Parot Y., Striebig, N., Woodward, S., Howe, C., Tarcea, N., Rodríguez, P., Seoane, L., Santiago, A., Rodriguez-Prieto, J.A., Medina, J., Gallego, P., Canchal, R., Santamaría, P., Ramos, G., Vago, J.L., "The Raman Laser Spectrometer for the ExoMars Rover Mission to Mars", Astrobiology 17, 627-654 (2017).
- [2] Cabrero, J. F., Fernández, M., Colombo, M., Gallego, P., Canchal, R., Belenguer, T., Encinas, J. M., Escribano, D., Bastide, L., Hutchinson, I., Ingley, R., Rodríguez, P., García-Martínez, J., Bascuñan, A., Moral, A., Ramos, G., Pérez, C., Berrocal, A., Rodríguez-Prieto, J. A., Santamaría, P., Gordillo, C., Santiago, A., Rull., F., "Development of a very demanding spectrometer for Exomars mission", IAC-17,A3,3B,6,x41627.

Simulador en banco óptico de elementos híbridos difractivos-refractivos

Elisabet Pérez-Cabré, María Sagrario Millán

Departament d'Òptica i Optometria, Universitat Politècnica de Catalunya, Violinista Vellsolà 37, 08222 Terrassa (Barcelona)

Resumen: Presentamos un simulador en banco óptico para reproducir y examinar experimentalmente las propiedades ópticas de componentes híbridos difractivos-refractivos sin necesidad de grabar el perfil difractivo sobre una superficie refractiva. El sistema permite analizar, separadamente o en combinación con el elemento refractivo, las características del perfil difractivo, para agilizar el diseño de nuevos componentes sin necesidad de fabricarlos. El dispositivo también puede comparar las propiedades de un componente híbrido ya fabricado con las de su diseño original.

Para el diseño de nuevos elementos ópticos híbridos difractivos-refractivos se utilizan habitualmente simuladores numéricos que permiten la evaluación teórica de sus propiedades. Este suele ser el paso previo a la fabricación de uno de estos nuevos elementos que será evaluado experimentalmente en banco óptico. La fabricación de estos elementos híbridos requiere procedimientos sofisticados para obtener los elementos diseñados con suficiente calidad. El proceso de fabricación y sus costes pueden ser un inconveniente al evaluar diseños novedosos. Por este motivo, proponemos un paso intermedio mediante este simulador en banco óptico [1]. Con él se consigue ir un paso más allá de la simulación numérica, pero sin llegar a la fabricación del elemento híbrido.

El sistema óptico (Fig. 1) consiste en cuatro brazos perpendiculares a las caras de un cubo separador. Un primero, el A1, corresponde al sistema de iluminación del plano objeto. Los brazos A2 y A3 simétricos, permiten la iluminación, respectivamente, de un espejo y de una pantalla LCoS trabajando por reflexión y en régimen de modulación de fase. Ambos elementos reflejaran el haz de luz, de manera que la luz reflejada se combinará de nuevo en el brazo A4, donde se sitúa un elemento a analizar, para registrar la luz transmitida a través de éste con un sistema de captación formado por un objetivo de microscopio y una cámara CCD.

Con esta distribución de los elementos, es posible analizar, un elemento difractivo representado en la pantalla LCoS, separadamente o en combinación con un elemento refractivo situado en 7 (Fig. 1b). Diversas consideraciones en relación a distancias y tamaños, deben realizarse para ajustar correctamente el elemento difractivo al elemento refractivo. El sistema propuesto también es útil en la evaluación experimental de la calidad óptica de elementos híbridos ya fabricados.





El simulador en banco óptico propuesto se ha utilizado en el análisis de una lente intraocular bifocal híbrida difractiva-refractiva, comparando su comportamiento con la de una lente monofocal refractiva a la que se ha añadido el perfil difractivo mediante la pantalla LCoS.

Millán, M.S., Vega, F., Pérez-Cabré, E., "System and method for characterizing, designing and/or modifying optical properties of a lens," Patente UE PCT, PCT/IB2017/000044 (2017).

Métricas para la cuantificación de la despolarización en muestras: Aplicación a la mejora de imágenes biológicas

<u>Angel Lizana</u>¹, Albert Van Eeckhout¹, Enric Garcia-Caurel², José J. Gil³, Juan Carlos Escalera¹, Irene Estévez¹, Carla Rodríguez¹, Kamil Adamczyk¹, Adrià Sansa¹, Emilio González^{4,5}, Razvigor Ossikovski², Ignacio Moreno⁶, Juan Campos¹

¹Universitat Autònoma de Barcelona, Grup d'Òptica, Physics Department, 08193, Bellaterra, Spain ²LPICM, CNRS, École Polytechnique, Université Paris-Saclay, 91128, Palaiseau, France ³Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, Spain

⁴Dpto. de Anatomía, Histología y Neurociencia, Universidad Autónoma de Madrid, 28029, Madrid, Spain ⁵Servicio de Anatomía Patológica, Hospital Universitario de Canarias, 38320, Santa Cruz de Tenerife, Spain ⁶Dpto. de Cienc. de Mat., Ópt. y Tecnol. Electr., Universidad Miguel Hernández de Elche, 03202, Elche, Spain

Resumen: Presentamos una revisión de las últimas investigaciones desarrolladas en el Grupo de Óptica de la Universitat Autònoma de Barcelona, en colaboración con varias universidades, para la mejora de imagen en aplicaciones biológicas mediante métodos polarimétricos. Se analiza la idoneidad de varios métodos estándar en aplicaciones biológicas y se aplica por primera vez en dicho campo, los Índices de Pureza Polarimétrica, unos criterios matemáticos de gran potencial en aplicaciones biomédicas.

Entre los métodos polarimétricos más utilizados para la mejora de imagen en muestras biológicas destacan las "puertas de polarización" (del inglés, Polarization Gating (PG)) y aquellos basados en figuras de mérito función de los coeficientes de la matriz de Mueller (MM) de la muestra. Los PG tratan de optimizar la polarización de la luz iluminado la muestra, así como la del sistema analizador, de forma que ciertas estructuras en la muestra sean realzadas. Por su lado, la MM codifica completamente el contendido polarimétrico de la muestra, que po-demos sintetizar mediante combinaciones de sus coeficientes. Hemos estudiado la idoneidad de utilizar uno u otro método (PG o basados en la MM) en imagen de tejidos biológicos, y hemos demostrado como los PG se pueden entender como casos particulares de una función general basada en coeficientes de la matriz de Mueller [1]. Finalmente, hemos estudiado por primera vez el potencial de las IPPs en aplicaciones biológicas. Primero, se ha realizado una descripción física de las IPPs a partir de una serie de experimentos básicos [2], demostrando experimentalmente que éstas permiten sintetizar las características despolarizantes intrínsecas de la muestra. Posteriormente, mediante el estudio de varios tejidos en muestras *ex-vivo* basándonos en las IPPs, se ha observado la significante mejora en el contraste de imagen que estás proporcionan [3].



Figura 1.- Polarimetría_de imagen para la caracterización de muestras biológicas basadas en las IPPs.

Referencias

- A. Lizana, A. Van Eeckhout, K. Adamczyk, C. Rodríguez, J.C. Escalera, E. Garcia-Caurel, I. Moreno, and J. Campos, "Polarization gating based on Mueller matrices", J. Biomed. Opt. 22(5), 056004 (2017).
- [2] A. Van Eeckhout, A. Lizana, E. Garcia-Caurel, J.J. Gil, R. Ossikovski and J. Campos, Characterization of depolarizing samples based on the indices of polarimetric purity, Opt. Lett. 42(20), 4155 (2017).
- [3] A. Van Eeckhout, A. Lizana, E. Garcia-Caurel, J.J. Gil, A. Sansa, C. Rodríguez, I. Estévez, E. González, J.C. Escalera, I. Moreno, and J Campos, "Polarimetric imaging of biological tissues based on the indices of polarimetric purity", J. Biophotonics (2017). 10.1002/jbio.201700189

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINECO) de España (FIS2015-66328-C3-1-R, FIS2015-66328-C3-3-R and fondos FEDER).

Uso de los IPPs para la mejora de imagen en tejidos biológicos

<u>Albert Van Eeckhout</u>¹, Angel Lizana¹, Enric Garcia-Caurel², José J. Gil³, Irene Estévez¹, Carla Rodríguez¹, Adrià Sansa¹, Emilio González^{4,5}, Juan Carlos Escalera¹, Ignacio Moreno⁶, Juan Campos¹

¹Universitat Autònoma de Barcelona, Grup d'Òptica, Physics Department, 08193, Bellaterra, Spain ²LPICM, CNRS, École Polytechnique, Université Paris-Saclay, 91128, Palaiseau, France ³Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, Spain

⁴Dpto. de Anatomía, Histología y Neurociencia, Universidad Autónoma de Madrid, 28029, Madrid, Spain ⁵Servicio de Anatomía Patológica, Hospital Universitario de Canarias, 38320, Santa Cruz de Tenerife, Spain ⁶Dpto. de Cienc. de Mat., Ópt. y Tecnol. Electr., Universidad Miguel Hernández de Elche, 03202, Elche, Spain

Resumen: Se estudia el potencial de los Índices de Pureza Polarimétrica (IPPs) como criterios para aumentar el contraste de imagen en tejidos biológicos. Los IPPs son 3 criterios matemáticos que permiten sintetizar la información polarimétrica de muestras despolarizantes, y están íntimamente relacionados con sus mecanismos intrínsecos despolarizantes. Utilizando estos tres criterios, o combinaciones de ellos, se demuestra experimentalmente su idoneidad para la mejora de contraste de imagen en ciertos tejidos biológicos medidos en muestras *ex-vivo*.

En la última década, varios trabajos han mostrado en interés de utilizar imágenes polarimétricas en la caracterización y visualización de estructuras en tejidos biológicos, lo que encuentra aplicación, por ejemplo, en la detección de varios tipos de cánceres. Varios estudios revelan que cuando se trata con tejidos biológicos, los canales de polarización más sensible al contraste de imagen son el retardo y la despolarización. En este último caso, el canal más utilizado es el llamado índice de despolarización, P_{Δ} , que da una medida global de la despolarización introducida por una muestra (i.e., como de lejos está de un despolarizador ideal). Otros indicadores de gran interés, son los llamados Índices de Pureza Polarimétrica (IPPs, del inglés Indeces of Polarimetric Purity), propuestos por J.J. Gil. et al. [1, 2], siendo tres indicadores matemáticos que permiten una sintetización mayor del contenido polarimétrico asociado a una muestra. Los IPPs son 3 criterios matemáticos de fácil implementación que se pueden calcular a partir de la matriz de Mueller de la muestra, siendo ésta la matriz de transferencia polarimétrica que relaciona las polarizaciones entrando y saliendo de la muestra. En este contexto, utilizamos por primera vez los IPPs, y varias combinaciones de ellos, para la mejora de imagen de diferentes muestras biológicas [3]. Los resultados obtenidos experimentalmente en varios tejidos *ex-vivos* demuestran el potencial de estos indicadores para su utilización en aplicaciones biomédicas.



Figura 1.- Mejora de imagen proporcionada por los IPP: (a) imagen de intensidad de una sección de un corazón de cordero; (b) imagen polarimétrica obtenida a partir del índice de despolarización P_{Δ} ; y (c) imagen pseudo-coloreada obtenida a partir de una combinación de las imágenes polarimétricas basadas en los IPPs.

Referencias

- J. J. Gil, J. M. Correas, P. A. Melero and C. Ferreira, "Generalized polarization algebra", Monog. Sem. Mat. G. Galdeano 31, p. 161–167 (2004).
- [2] I. San Jose and J.J. Gil, "Invariant indices of polarimetric purity: Generalized indices of purity for n × n covariance matrices", Opt. Commun. 284, p. 38-47 (2011).
- [3] A. Van Eeckhout, A. Lizana, E. Garcia-Caurel, J.J. Gil, A. Sansa, C. Rodríguez, I. Estévez, E. González, J.C. Escalera, I. Moreno, and J Campos, "Polarimetric imaging of biological tissues based on the indices of polarimetric purity", J. Biophotonics (2017). 10.1002/jbio.201700189

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (MINECO) de España (FIS2015-66328-C3-1-R, FIS2015-66328-C3-3-R and fondos FEDER.

Diseño óptico de un espectrómetro de altas prestaciones para la exploración planetaria

Marianela Fernández¹, Tomás Belenguer Dávila¹, María Colombo¹, Juan Cabrero²

¹Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)- 28850 Torrejón de Ardoz – MADRID ²ISDEFE as external consultant for INTA- Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España-28040 - MADRID

Resumen: Se presenta el diseño óptico de un espectrómetro de visible compacto dedicado al análisis de la composición elemental y geoquímica del terreno de Marte. Trabaja en el rango espectral de 533nm a 676nm con una resolución espectral media de 0.14nm/px. El reto de este diseño reside en asegurar las prestaciones del instrumento en las exigentes condiciones ambientales de operación (temperatura operativa de -40°C a +6°C y alta radiación espacial) y con condiciones muy restrictivas de masa y volumen.

El diseño óptico del espectrómetro está basado en una red holográfica de transmisión que actúa como elemento dispersor, siendo la primera vez que se emplea este elemento en una aplicación espacial de exploración planetaria. La configuración óptica consiste en un subsistema colimador, un subsistema colector y la red de difracción. El sistema óptico es refractivo y ha sido diseñado para cubrir el rango espectral de 533nm a 676nm, la imagen final sobre una línea del detector ocupa alrededor de 1100pixeles, equivalente a 17mm.

El subsistema collimador es el encargado de recoger la energía a través de una fibra óptica y colimar la luz que alcanza la red de difracción. Debe asegurar el elevado grado de colimación que se requiere para mantener el comportamiento acromático en todo el rango espetral de trabajo del espectrómetro. La apertura numérica de la fibra se ha adpatado al número F del colimador con el fin de evitar pérdidas de energía del instrumento. La red de difracción holográfica de volumen está grabada sobre gelatina dicromatada y cuenta con una eficiencia superior al 75% en todo el rango espectral. El subsistema colector se encarga de colectar la energía dispersada por la red y focalizarla en el elemento detector.

La selección de materiales del diseño óptico se ha realizado teniendo en cuenta criterios de acromatización y atermalización. Además, todos los elementos ópticos del instrumento, lentes y red de difracción, han sido previamente caracterizados permitiéndonos conocer su comportamiento óptico en condiciones de ambiente espacial tales como radiación, temperatura y presión. El espectrómetro, una vez integrado y caracterizado cumple ampliamente con las prestaciones esperadas.

Siguiendo la filosofía de modelos que se emplea en aplicaciones espaciales se han fabricado, integrado y caracterizado tres modelos fundamentales para demostrar las prestaciones del espectrómetro: un modelo prototipo (*Bread Board*) para demostrar la funcionalidad del instrumento y mejorar el nivel tecnológico, un modelo de calificación (*Engineering Qualification Model*) y el modelo de vuelo (Flight Model), cuya integración se está finalizando en la actualidad y que será entregado a la Agencia Espacial Europea (ESA) para su próximo lanzamiento. Los resultados obtenidos confirman las altas prestaciones del instrumento diseñado.

Caracterización de lentes holográficas registradas en un fotopolímero compatible medioambientalmente

T. Lloret¹, V. Navarro-Fuster¹, M. G. Ramírez¹, C. Neipp², M. Ortuño², A. Beléndez² and I. Pascual¹

¹Dept. Óptica, Farmacología y Anatomía, Universidad de Alicante, Apartado de correos 99, Alicante E-03080, Spain

²Dept. de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Universidad de Alicante, Apartado de correos 99, Alicante E-03080, Spain

Resumen: En este trabajo evaluamos la calidad de lentes holográficas de volumen almacenadas en un fotopolímero respetuoso con el medio ambiente llamado Biophotopol. Las lentes holográficas (HL) se han obtenido en configuraciones experimentales simétricas y asimétricas con distancia focal negativa. La calidad de estas lentes se ha evaluado calculando la función de transferencia de modulación (MTF) para dos longitudes de onda (473 y 633 nm). Las HL que han demostrado una mejor calidad de imagen son las registradas asimétricamente y evaluadas a 473 nm.

Los materiales holográficos que tradicionalmente se han usado en holografía para la fabricación de elementos ópticos son la emulsión de haluro de plata, gelatina dicromatada, fotorresina, fotorrefractivo o fotopolímero. En los últimos años el rango de materiales fotopoliméricos utilizados en aplicaciones ópticas ha crecido enormemente [1]. Esto se debe principalmente a su versatilidad en términos de composición y diseño, junto con otras propiedades interesantes tales como capacidades de autoprocesado, bajo coste, buena estabilidad, espesor variable, alta sensibilidad energética, alto rango dinámico, selectividad angular, y flexibilidad [2].

En este sentido nuestro grupo de investigación ha desarrollado un fotopolímero medioambientalmente compatible denominado Biophotopol [3]. Se han registrado HL por trasmisión en películas de 200 µm a una longitud de onda de 488 nm. Las MTF obtenidas de las PSF capturadas (Figura 1) a partir del punto imagen muestran que las HL asimétricas tienen una frecuencia espacial más alta (símbolos llenos) que sus respectivas HL simétricas (símbolos vacíos). Por otro lado, la evaluación de la frecuencia espacial en función de la longitud muestra que las frecuencias obtenidas son parecidas para las asimétricas y diferentes para las simétricas.



Figure 1.- MTF experimentales frente a la frecuencia (v) para HL negativas registradas asimétricamente (símbolos llenos) y simétricamente (símbolos vacíos). La imagen insertada muestra la PSF de la HL asimétrica evaluada a 473 nm.

Agradecimientos

FIS2015-66570-P (Mineco/FEDER) y FIS2017-82919-R (Mineco/FEDER), Spain; PROMETEO II/2015/015 (Generalitat Valenciana, Spain).

- Malallah, R.; Li, H.; Kelly, D.P.; Healy, J.J.; Sheridan, J.T. "A review of hologram storage and self-written waveguides formation in photopolymer media" Polymers, 9, 337 (2017).
- [2] Guo, J.; Gleeson, M.R.; Sheridan, J.T. "A review of the optimisation of photopolymer materials for holographic data storage" Phys. Res. Int., 2012, 803439 (2012).
- [3] Navarro-Fuster, V.; Ortuño, M.; Gallego, S.; Márquez, A.; Beléndez, A.; Pascual, I. "Biophotopol's energetic sensitivity improved in 300 μm layers by tuning the recording wavelength" Opt. Mater., 52, 111–115 (2016).

Microscopía por iluminación estructurada con determinación iterativa desplazamiento de fase

J. Sola-Pikabea, A. Garcia-Rius, E. Sanchez-Ortiga, J. Garcia-Sucerquia* M. Martínez-Corral y G. Saavedra

Departamento de Óptica, Universidad de Valencia, 46100 Burjassot

* Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellin, Facultad de Física, A.A. 3840 Medellín 050034, Colombia

Resumen: En microscopía por iluminación estructurada es necesario determinar con alta precisión el desplazamiento de fase del patrón estructurado con el fin de poder obtener la mejor estimación de la imagen. En esta comunicación presentamos un novedoso método iterativo que permite la determinación del desplazamiento de fase con alta precisión y menor tiempo de cómputo que métodos equivalentes. Asimismo, se demuestra la robustez del método con patrones de bajo contraste y con niveles elevados de ruido.

La microscopía por iluminación estructurada (SIM, del acrónimo anglosajón structured illumination micros*copy*), permite aumentar el poder resolutivo más allá del límite dictado por la difracción [1-3]. Para ello, la muestra debe iluminarse con un patrón periódico, típicamente cosenoidal, que introduce componentes espectrales de alta resolución dentro del soporte de la función de transferencia óptica del sistema. Sin embargo, dichas componentes se encuentran entrelazadas junto con las frecuencias espaciales presentes en un microscopio convencional. Para poder separar cada una de las componentes frecuenciales, es necesario capturar al menos tres imágenes con desplazamientos de fase del patrón estructurado. Mediante una combinación lineal adecuada de dichas imágenes, es posible aislar cada una de las componentes resultantes de la iluminación estructurada con el fin de componer un nuevo espectro con una función de transferencia óptica extendida. Dicho espectro puede entenderse como una estimación del espectro extendido del objeto cuya bondad depende de la precisión en la determinación del desplazamiento de fase [4]. En esta comunicación presentamos un método iterativo novedoso para la estimación del desplazamiento de fase incluso en el caso en que no se tiene una estimación experimental del valor del mismo. Esto permite obtener una alta precisión en la determinación del desplazamiento de fase con tiempos de computo tres veces menores a los métodos usados de forma estándar, mostrando a su vez una gran tolerancia tanto al ruido como a la frecuencia y el contraste del patrón estructurado. La validez del método se muestra tanto con datos simulados como experimentales.



Fig. 1. Ejemplo de la separación de las distintas componentes en iluminación estructurada empleando nuestro método de estimación del desplazamiento de fase. Como puede observarse, a medida que el número de iteraciones aumenta se produce una mejora en la separación de las componentes del espectro ya que la precisión en la determinación de la fase aumenta.

- 1. R. Heintzmann, and C. Cremer, "Laterally modulated excitation microscopy: improvement of resolution by using a diffraction grating," Proc. SPIE 3568 (1999).
- 2. M. G. L. Gustafsson, "Extended resolution fluorescence microscopy," Curr. Opin. Struct. Biol. 9, (1999).
- M. G. L. Gustafsson, "Surpassing the lateral resolution by a factor of two using structured illumination microscopy," J. Microsc. 198, (2000).
- K. Wicker, O. Mandula, G. Best, R. Fiolka, and R. Heintzmann, "Phase optimisation for structured illumination microscopy," Opt. Express 21, 2032-2049 (2013).

Analizador de haces vectoriales mediante una red de difracción con codificación de láminas-q

M. M. Sánchez-López¹, I. Moreno², J. A. Davis³, K. Badham³, D. M. Cottrell³

¹Instituto Bioingeniería, Dept. Física y Arquit. Computadores, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ²Dept. Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnol. Electrónica, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ³Departament of Physics, San Diego State University, California, 92182-1233, EEUU.

Resumen: Se presenta el diseño y realización de redes de difracción generadoras de haces vectoriales. Se basan en el diseño de dos redes de fase que actúan respectivamente en estados de polarización ortogonales. Además, los diseños incorporan la codificación de diferentes láminas-q en distintos órdenes de difracción, que se emplean para generar múltiples haces vectoriales, o bien para analizar el orden y estado de polarización de un haz vectorial incidente.

Los haces cilíndricamente polarizados (o haces vectoriales) han recibido un notable interés en los últimos años por sus múltiples aplicaciones en ámbitos tan diferentes como las comunicaciones ópticas, las trampas ópticas o las técnicas de microfabricación láser. Existen diversas técnicas para la generación de estos haces vectoriales, siendo una de las más extendidas el uso de las denominadas láminas-q (q-plates), desfasadores de media onda con una distribución azimutal de su eje óptico [1]. El tipo de haz vectorial generado depende del estado de polarización incidente y del número q de la lámina (numero de rotaciones del eje óptico en el plano).

Otros métodos para generar haces vectoriales emplean moduladores espaciales de luz (SLM), en diversos de montajes, todos ellos con la característica de codificar dos funciones de fase en dos componentes ortogonales de polarización. Recientemente hemos demostrado, usando un montaje de este tipo, dos avances significativos en el campo: 1) la equivalencia de los sistemas que emplean SLM con las láminas-q, de modo que podemos codificar-las de forma arbitraria sin las restricciones de su fabricación física [2,3], y 2) el diseño de redes de difracción que generan órdenes con estados de polarización arbitrarios [3]. Al emplear el mismo montaje óptico, es posible combinar todos estos avances para crear una red de difracción generadora de múltiples haces vectoriales, que puede actuar también como analizador de estos haces. La figura muestra una red que genera seis órdenes de difracción con diferentes haces vectoriales. Las Fig. 1(a) y 1(b) corresponden a la red iluminada con un haz uniformemente polarizado, y muestran como se generan diferentes haces cilíndricamente polarizados de orden superior. En las figuras 1(c) y 1(d) se ilumina la red con un haz ya cilíndricamente polarizado, y se observa que la localización del punto brillante permite determinar el orden (carga topológica) del haz incidente.



Figura 1.- Ordenes de difracción generados por una red de difracción generadora de haces vectoriales. (a) Iluminación con polarización uniforme y detección sin analizador; (b) Ídem pero con una analizador lineal; (c) Iluminación con un haz radialmente polarizado de orden 2; (d) Iluminación con un haz radialmente polarizado de orden 1.

Agradecimientos: Proyectos FIS2015-66328-C3-3-R y PROMETEO/2017/154.

- [1] M. M. Sánchez-López, J. A. Davis, N. Hashimoto, I. Moreno, E. Hurtado, K. Badham, A. Tanabe, S. W. Delaney, "Performance of a q-plate tunable retarder in reflection for the switchable generation of both first- and second-order vector beams," Opt. Lett. 41 (1), 13-15 (2016).
- [2] I. Moreno, M. M. Sánchez-López, K. Badham, J. A. Davis, D. M. Cottrell, "Generation of integer and fractional vector beams with q-plates encoded onto a spatial light modulator," Opt. Lett. 41 (6), 1305-1308 (2016).
- [3] J. E. Holland, I. Moreno, J. A. Davis, M. M. Sánchez-López, D. M. Cottrell, "Q-plates with a nonlinear azimuthal distribution of the principal axis: application to encoding binary data," Applied Optics 57 (5), 1005-1010 (2018).
- [4] J. A. Davis, I. Moreno, M. M. Sánchez-López, K. Badham, J. Albero, D. M. Cottrell, "Diffraction gratings generating orders with selective states of polarization," Opt. Express 24 (2), 907-917 (2016).
- [5] I. Moreno, J. A. Davis, K. Badham, M. M. Sánchez-López, J. E. Holland, D. M. Cottrell, "Vector beam polarization state spectrum analyzer," Scientific Reports 7, 2216 (2017).

Polarimetría en misiones espaciales

Alberto Alvarez-Herrero, Tomás Belenguer, Lola Sabau

en representación del equipo INTA Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), Área de Óptica Espacial, Carretera de Ajalvir km4, Torrejón de Ardoz, 28850 Madrid, España.

Resumen: En esta comunicación se presenta una retrospectiva de las principales contribuciones que el Área de Óptica Espacial del INTA realiza desde hace más de 15 años en el desarrollo de espectro-polarímetros formadores de imagen para misiones aeroespaciales, así como los actuales proyectos y futuras perspectivas. Durante este tiempo se han realizado desarrollos pioneros como el uso de dispositivos de cristales líquidos como moduladores de polarización en instrumentación óptica a bordo de plataformas espaciales.

Desde su creación en 1994, el Laboratorio de Instrumentación Espacial (LINES) del INTA, actualmente denominado Área de Óptica Espacial, ha incluido en sus actividades de investigación y desarrollo la utilización y desarrollo de técnicas polarimétricas y elipsométricas. Originalmente se utilizaron como métodos de inspección y caracterización de materiales nanoestructurados, capas delgadas y efectos del ambiente espacial en las propiedades ópticas de los materiales. Sin embargo fue a partir de 2002, con su involucración en la misión SUNRISE, un telescopio solar de 1 metro de apertura a bordo de un globo estratosférico, cuando comenzaron los primeros desarrollos de polarímetros de imagen para ser embarcados en una plataforma aeroespacial. Cabe destacar que este instrumento fue pionero a nivel europeo, ya que hasta ese momento solo habían sido desarrollados en EEUU. El proyecto SUNRISE, y concretamente el instrumento IMaX (Imaging Magnetrograph eXperiment) se concibió desde sus inicios, paralelamente al objetivo científico de la misión del estudio de la dinámica solar, como un precursor tecnológico que permitiera al consorcio internacional liderado por MPS (Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Alemania) y al grupo nacional español en particular, posicionarse competitivamente para ser seleccionados como responsables de uno de los instrumentos más complejos de la misión Solar Orbiter de la European Space Agency (ESA): Polarimetric and Helioseismic Imager for Solar Orbiter (SO/PHI).

Tras más de una década de trabajo, en abril de 2017 se entregó exitosamente el instrumento de vuelo a la ESA, en las que las contribuciones del INTA han sido numerosas y de importancia crucial: el Full Disk Telescope (FDT), incluyendo su mecanismo de reenfoque y la Heat Rejection Entrance Window (HREW). Especialmente destacable son los innovadores moduladores de polarización basados en Liquid Crystal Variable Retarders, para el FDT y el HRT (High Resolution Telescope), y que actualmente es el primer dispositivo de este tipo calificado para su uso en misiones espaciales. También han sido importantes las contribuciones en la calificación espacial del filtro espectral sintonizable compuesto por un etalón de niobato de litio de alta fineza, y el análisis de la tolerancia a la radiación espacial del instrumento.

Adicionalmente al reto que supone el diseño, fabricación y pruebas de un instrumento con las exigentes prestaciones de SO/PHI (un polarímetro de alta sensibilidad, espectrómetro de alta resolución y formador de imagen limitado por difracción), la instrumentación óptica espacial es un gran desafío debido a los condicionantes específicos de estas misiones: una estricta limitación de recursos (masa, potencia y volumen) y unas condiciones ambientales hostiles con grandes variaciones térmicas, radiación ionizante y no-ionizante y elevadas cargas mecánicas debido al lanzamiento.

Con respecto a problemáticas específicas de este instrumento se han resuelto cuestiones como evitar la birrefrigencia inducida por estrés mecánico y térmico de los diferentes elementos ópticos, y especialmente la ventana de entrada, que enmascararía las medidas de polarización. Asimismo la compensación del efecto lente debido a los gradientes térmicos que se prevén en la apertura útil de la ventana entrada se realizará mediante el mecanismo de enfoque. La exhaustiva campaña de verificación y calibración, incluyendo pruebas en termo-vacío, ha demostrado las excelentes prestaciones conseguidas, incluyendo eficiencias de modulación de la polarización cercanas a las máximas teóricamente posibles.

Por otro lado, estos desarrollos se han reutilizado para también contribuir con los moduladores de polarización a otro de los instrumentos polarimétricos de Solar Orbiter; el coronógrafo solar METIS.

En la actualidad se trabaja en la verificación de los instrumentos de repuesto exigidos por la ESA, idénticos a los que están integrándose y alineándose ópticamente en la sonda. Simultáneamente ya ha comenzado el trabajo para un nuevo vuelo de SUNRISE en 2021, con nuevos instrumentos mejorados y con mayores prestaciones, que incluye al ahora denominado IMaX+. Además se están explorando otras misiones espaciales, adicionalmente a las astronómicas, donde los polarímetros son instrumentos fundamentales y en las que es posible contribuir con la experiencia obtenida, como lo son las misiones de observación de la Tierra y de comunicaciones ópticas cuánticas.

Vision through turbid media by Fourier filtering with a single-pixel camera

Y. Jauregui-Sánchez,¹ Armin J. M. Lenz,¹ P. Clemente,^{1,2} J. Lancis¹ and E. Tajahuerce¹

¹GROC·UJI, Institute of New Imaging Technologies (INIT), Universitat Jaume I, 12071, Castellon, Spain ²Servei Central d'Instrumentació Científica (SCIC), Universitat Jaume I, 12071, Castellon, Spain

Abstract: We present a novel approach for imaging through turbid media that combines the principles of Fourier spatial filtering with single-pixel imaging. We compare the performance of our single-pixel optical setup with that of a conventional system and we conclude that single-pixel imaging fits better than conventional imaging in vision through turbid media by Fourier filtering.

In the last decades, imaging through turbid media has been a longstanding issue in many scientific fields, for instance in astronomical and biomedical imaging [1]. Imaging through scattering media is also a relevant technique in security and surveillance applications, for example to see through smoke, fog, and turbid water. However, it is still a big challenge for conventional optical imaging systems. Accordingly, several optical techniques have emerged to retrieve the information of objects hidden in highly scattering media, such as, ultrafast time-gating, polarization filtering, adaptive wavefront control, and Fourier spatial filtering. This last approach has recently shown promising results in imaging through scattering media in combination with structured illumination [2]. On the other hand, single-pixel imaging techniques, have also proved to be a potential method for imaging through scattering media [3,4]. In this work, we present an imaging system working by transmission that combines the principles of Fourier spatial filtering and single-pixel imaging in order to recover images of an object hidden behind a turbid layer. The turbid medium is made using Ti₂O rutile powder as scattering component in a substrate of epoxy resin. We compare the performance of our optical setup with a conventional imaging system based on a CMOS camera (see Figure 1). Our results show that Fourier spatial filtering improves the image contrast in both cases. However the resolution of the conventional imaging system decreases with the spatial frequency gating while in the single-pixel approach the resolution loss is negligible. We conclude that single-pixel imaging fits better than conventional imaging in vision through turbid media by Fourier filtering.



Figure 1.- Experimental images of an object (Thorlabs Sector Star Target R1L1S2P) hidden behind a turbid layer (epoxy resin with Ti₂O rutile powder) of 3.7 mm of thickness. We show images obtained by our single-pixel imaging system and by a conventional camera, without and with spatial frequency gating at the Fourier plane.

- [1] V. Ntziachristos, "Going deeper than microscopy: the optical imaging frontier in biology," *Nat. Meth.* 7, 603–614 (2010).
 [2] E. Berrocal, S.G. Pettersson, and E. Kristensson, "High-contrast imaging through scattering media using structured illumination and Fourier filtering," *Opt. Lett.* 41, 5612-5615 (2016).
- [3] E. Tajahuerce, V. Durán, P. Clemente, E. Irles, F. Soldevila, P. Andrés, and J. Lancis, "Image transmission through dynamic scattering media by single-pixel photodetection," Opt. Express 22, 16945-16955 (2014).
- [4] V. Durán, F. Soldevila, E. Irles, P. Clemente, E. Tajahuerce, P. Andrés, and J. Lancis, "Compressive imaging in scattering media," Opt. Express 23, 14424-14433 (2015).

Holographic Optical Tweezers with Acousto-Optic Devices

Raúl Bola Sampol, <u>Antonio Marzoa Domínguez</u>, Dorian Treptow, Estela Martín-Badosa and Mario Montes-Usategui

Optical Trapping Lab – Grup de Biofotònica (BiOpt), Departament de Física Aplicada, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028 – Barcelona, Spain

Resumen: We present a novel approach of optical micromanipulation with classical Acousto-Optics devices by introducing holographic algorithms. This procedure makes suitable force measurement by combining both advantages of multiple trapping and generation of time-stable optical traps.

Holography has been a widespread technique for optical micromanipulation during the last past decades. Typically, a commercial inverted microscope is modified in such a way that it incorporates a Spatial Light Modulator (SLM) for the implementation of Holographic Optical Tweezers (HOT), which permits wavefront engineering allowing dynamic manipulation of multiple micron-sized objects with traps static over time. Additionally, when combining HOTs with force and position detection systems, such as back – focal – plane interferometry (BFPI) [1], since the forward scattered light of all trapped objects is collected (i.e., the force measurement is the superposition of all the forces acting on each individual target), single object information cannot be addressed with this method.

On the other hand, the use of Acousto-Optic Devices (AOD) for the generation of Time-Sharing Optical Traps (TSOT) (i.e., switching the laser between different trap position at high rates) [2] permits the generation of multiple traps and the measurement of single object information when synchronized with BFPI systems. This technique also has become a standard in the field of optical micromanipulation. The main drawback of this technique is that the traps are not static over time.

In this work, we present a study of the dynamic of stable and time-shared optical traps by combining holography with a TSOT system, taking advantage of both approaches (HOT and TSOT). Results allow the manipulation of multiple objects and the measurement of optical forces of single particles.



Figure 1.- An example of TSOT: array of 25x25 time-shared optical traps (a) and an image captured with a digital camera with 1 ms exposition (b). Image c) illustrates four static time-shared optical traps, and the corresponding pattern in the back – focal – plane of the microscope. Dark fringes proof that the traps are static.

- A. Farré and M. Montes-Usategui, "A force detection technique for single-beam optical traps based on direct measurement of light momentum changes", Optics Express, 18, 1195 (2010).
- [2] M. Capitanio, R. Cicchi, F. Saverio-Pavone, "Continuous and time-shared multiple optical tweezers for the study of single motor proteins", Optlaseng, 45, 450 (2007).

Aplicación de fotogrametría SfM y técnicas de iluminación con herramientas SIG en patrimonio arquitectónico de pequeña escala

David Torregrosa-Fuentes¹, Yolanda Spairani Berrio¹, José Antonio Huesca Tortosa¹

^{1.} Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente s/n, 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante).

Resumen: Se presenta una aproximación metodológica para el estudio y análisis superficial de relieves, marcas y alteraciones en el patrimonio arquitectónico con el uso de fotogrametría basada en técnicas *"Structure from Motion"* (SfM), generación de un DEM *(Digital Elevation Model)* y la aplicación de herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) a través de técnicas de iluminación y visualización y obtención de imágenes de las superficies tratadas como microtopografías.



Figura 1.- Secuencia de visualizaciones de sillares de una fachada generadas con herramientas SIG. (a) Analytical hillshading, (b) Sky view factor, (c) Positive openess, (d) Negative openess.

En este trabajo se aplican técnicas GIS de iluminación sobre modelos 3D a elementos de pequeña escala orientado al estudio de fachadas de sillares. Estas técnicas proporcionan información para analizar la erosión o pérdida de material, la formación de costras o depósitos así como técnicas de labrado o estudios gliptográficos. Con las herramientas de visualización que nos permiten programas SIG, generamos distintos tipos de iluminación sobre el DEM generando imágenes que nos permiten estudiar y analizar la microtopografía superficial [1-2]. La aproximación metododólogica propuesta en este trabajo parte de la adquisición de imágenes con una cámara réflex Canon EOS 600D, con objetivo Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II, con una apertura de diafrágma f/4, un tiempo de exposición de 1/400 s, una sensibilidad ISO 100 y una distancia focal de 28 mm. La aplicación del software SfM al conjunto de fotografías proporciona una nube de puntos en 3 dimensiones a partir de la cual generamos un modelo de terreno DEM (Digital Elevation Model). En la Fig. 1, la imagen (a) corresponde a una visualización mediante Analytical hillshading obtenida por la proyección de una iluminación direccional tipo radiación solar que resalta la profundidad del modelo. La imagen (b) corresponde a una visualización tipo Sky view factor, generada a partir de una iluminación tipo cielo abierto, con luz difusa por radiación hemisférica basado en la proporción de luz que recibe una superficie plana. Las visualizaciones (c) y (d) a través de un mapeado de color, resalta las superficies positivas y negativas para su interpretación. En la Reunión se proporcionarán más detalles de los análisis que se derivan de las visualizaciones obtenidas.

- [1] A. Mayoral, J. Toumazet, F. Simon, F. Vautier, J. Peiry, "The Highest Gradient Model: A New Method for Analytical Assessment of the Efficiency of LiDAR-Derived Visualization Techniques for Landform Detection and Mapping", *Remote Sensing*, 9(12), 120. (2017).
- [2] H. Moyes, S. Montgomery, "Mapping Ritual Landscapes Using Lidar", Advances In Archaeological Practice, 4(03), 249-267. (2016).

Analysis of compressive sensing algorithms for a single-pixel camera

Susana L. Burnes-Rudecino¹, Humberto González¹, Carlos Olvera-Olvera¹, Lluis Martínez-León², Enrique Tajahuerce², Ma. Araiza-Esquivel¹

¹DOCII-UAIE Universidad Autónoma de Zacatecas, Francisco García Salinas,98000 Zacatecas, México ² GROC-UJI, Institut of New Imaging Technologies, Universitat Jaume I, 12070 Castello, Spain

Abstract: This paper compares the operation of two of the most frequently used reconstruction algorithms in an experimental single-pixel camera (SPC) to choose the algorithm which is better suited to the selected application. The quality of the recovered images is measured with the signal-to-noise ratio (SNR), and the reconstruction algorithms are validated with the processing time and the number of iterations carried out in each one.

The SPC is an imaging device that uses sensors without spatial resolution [1]. It can be an alternative to conventional imaging devices in certain applications such as imaging in exotic spectral regions, 3D imaging or imaging through a scattering media. The SPC works by projecting a sequence of microstructured light patterns onto the object. The image is obtained from the temporal intensity signal recorded by the photosensor. Therefore, it is convenient to reduce the recording time by using compressive sensing techniques.

The idea is to represent the object into a new basis where it has a sparse representation. This is done with the transformation $x = \Psi s$, where x is the object in the original space (a vector with size N), s is the object in the new base (with just k entries with nonzero values, with k << N), and Ψ is the transformation matrix. The measurements are performed with the projections $y = \Theta s$, where Θ is defined as $\Theta = \Phi \Psi$, and the matrices Θ and Φ have dimensions $M \cdot N$, where M < N. To solve the system, it is reformulated as an optimization problem $min \|\tilde{x}\|_1$, such as $\|\Phi \tilde{x} - y\|_2 < e$, where \tilde{x} is the reconstructed object and e is the error [1]. In this experiment, the algorithms Basic Pursuit (BP) [2] and Total Variation (TV) [3] are used for being the most applied in SPC.

The optical system is shown in Fig 1(a). The light source is a He-Ne laser emitting at 633nm. The spatial light modulator is a digital micromirror device (DMD) with XGA resolution with a pixel pitch of 13.5mm. Hadamard patterns H_N and the letters of our university are programmed on the DMD as a dot product. The projection intensities are captured by an amplified photodiode after a 4f optical system. One of the reconstructed images is shown in Fig 1(b). The quality of the images obtained with different compression ratios has been analyzed with SNR, see the plot in Fig. 1(c). The processing time and number of iterations of both algorithms is summarized in the table (d).



Figure 1.- a) Experimental setup of SPC, b) Recovered image, c) SNR of images with different ratio compression using the BP and TV methods, d) Number of iterations and processing time of the algorithms in each experiment.

The TV algorithm has a higher SNR than the BP when the measurements are few, with M < 3500. If the compression is 50%, the SNR are 24dB and 4.25dB for the TV and BP algorithms, respectively. Meanwhile, the processing time is 1.29s in the TV algorithm and 9s in the BP algorithm. In conclusion, the TV method gets a better SNR and it is faster than BP method for compressed images using SPC.

- M. Duarte, M. Davenport, D. Takhar, J. Laska, T. Sun, K. Kelly, R. Baraniuk, "Single-pixel imaging via compressive sampling", *IEEE Signal Process. Mag.*, 25, (83,2008).
- [2] S. Chen, D. Donoho, "Basis pursuit Signals, Systems and Computers", XXVIII Asilomar Conference On,1, (41,1994).
- [3] Li, C. An efficient algorithm for total variation regularization with applications to the single pixel camera and compressive sensing, Master thesis, Rice University, (2009).

Cámaras lidar para imagen 3D de alta resolución a tiempo real

J. Riu², N. Rodrigo¹, F. Sanabria¹, S. Peña¹, M. Ballesta¹, <u>S. Royo^{1,2}</u>

¹Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes(CD6), Universitat Politècnica de Catalunya, Rambla Sant Nebridi 10 E08222 Terrassa ²Beamagine SL, C/Bellesguard 16 E08755 Castellbisbal

Resumen: La imagen lidar permite la generación de nubes de puntos tridimensionales a partir del contaje del tiempo que pasa entre la emisión y la recepción de un pulso. En el CD6 se ha desarrollado una tecnología que permite generar de nubes de puntos con información tridimensional de la escena en formato de vídeo a tiempo real. La solución propuesta permite alcanzar rangos de centenares de metros con elevada resolución espacial.

La imagen lidar, originalmente dedicada al análisis de la atmósfera en función de los retornos de obstáculos sólidos o translúcidos al paso de un pulso de luz láser [1], persigue la obtención de nubes de puntos tridimensionales que describen una escena. Si bien el principio es fácil de describir, ya que se trata de contar el tiempo que transcurre entre la emisión de luz desde la fuente hasta su recepción en algún tipo de elemento fotodetector, las prestaciones del sistema son muy dependientes del principio de iluminación (pulsada o modulada) utilizada, y del tipo de detector en la unidad. Existen, además, abundantes compromisos entre las prestaciones del sistema, que además utilizan componentes prácticamente salidos del estado del arte. Adicionalmente, la imagen lidar s eperfila como uno de los tres sensores complementarios para el desarrollo de vehículos autónomos. Se trata, pues, de una tecnología con alto valor añadido, interés del mercado, y en la que el conocimiento de los componentes disponibles y las limitaciones que imponen en el sistema es muy importante y requiere de un conocimiento profundo de imagen óptica, optomecánica, electrónica, e informática.

Desde 2010 en el CD6 se ha desarrollado un sistema original [2], actualmente protegido por seis patentes internacionales, que permite obtener vídeo a tiempo real de imágenes lidar. De entre las diferentes configuraciones disponibles, se ha seleccionado la utilización de láseres pulsados combinados con fotodetectores de alta resolución. Se han desarrollado diferentes prototipos de cámaras hasta encontrar una configuración óptima que permite realizar imágenes de alta resolución espacial (resolución angular de 0.1°) a tiempo real y a plena luz del día. El principio seleccionado permite además alcanzar distancias de varios centenares de metros con un montaje especialmente compacto y sin elementos móviles.



Figura 1.- Imagen de la cámara lidar codificada en profundidad

- Jordi Riu, Michaël Sicard, Santiago Royo, and Adolfo Comerón, "Silicon photomultiplier detector for atmospheric lidar applications," Opt. Lett. 37, 1229-1231 (2012)
- [2] J.Riu, S.Royo "Lidar imaging with on-the-fly adaptable spatial resolution", Proc. SPIE 8897, Electro-Optical Remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications VII; and Military Applications in Hyperspectral Imaging and High Spatial Resolution Sensing, 88970N (15 October 2013); doi: 10.1117/12.2033931; <u>https://doi.org/10.1117/12.2033931</u>

Polarimetría de imagen en Pinzas Ópticas

Asticio Vargas¹, F. A. Torres-Ruiz¹

¹Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile

Resumen: En este trabajo se presentan resultados preliminares de un sistema óptico para realizar polarimetría de imagen de objetos atrapados mediante una pinza óptica. Esta unidad de polarimetría se integra al sistema de atrapamiento óptico, y utiliza un sistema de doble canal disminuyendo los tiempos de medición. Se realiza una calibración tomando en cuenta el canal donde está la partícula atrapada, de modo de obtener una matriz de Mueller de la muestra atrapada, pixel a pixel.

Los sistemas de atrapamiento óptico están orientados a analizar la interacción entre partículas a nivel microscópico o a analizar cómo responden éstas ante influencias externas tales como haces polarizados. En este trabajo se integran polarimetría, microscopía y formación de imagen en un sistema de atrapamiento. Polarimetría es una técnica que permite conocer características de un objeto cuando interaccionan con luz polarizada mediante un sistema óptico llamado polarímetro [1] donde se realizan medidas de forma secuencial. En un artículo publicado recientemente, utilizamos un diseño compuesto de dos redes de difracción y dos moduladores LCoS que permiten realizar una polarimetría snapshot [2]. No obstante al integrar nuevos elementos ópticos al sistema de atrapamiento, es necesario tener en cuenta las modificaciones a las distancias de los lentes para formación de imagen, entre otros. En nuestro caso se utilizó como fuente de iluminación un LED de alta intensidad, adecuado a los requerimientos de longitud de onda y también a las pérdidas por absorción por los múltiples elementos polarizantes. Se prepara un generador de estados (PSG) que ilumina la muestra en la zona de atrapamiento, la señal de salida de la muestra es separada mediante un divisor de haces, seleccionando posteriormente dos estados ortogonales entre cada salida del divisor. Cada una de estas ramas incluye elementos polarizantes para dos detectores PSD y dos cámaras CMOS obteniendo de esta forma dos canales ortogonales de detección independientes posibilitando así polarimetría completa. Esta implementación permite resolver parcialmente un problema de Movimiento Browniano observado en la partícula atrapada. Se caracteriza el sistema de atrapamiento considerando primeramente el sistema sin muestra, luego con el canal portamuestra. Esto es para determinar las características iniciales del sistema. Una de las dificultades en la implementación del sistema tiene que ver con que las dos cámaras utilizadas para registrar la información no poseen las mismas características en resolución ni en tamaño del sensor, por lo que esto supone un problema a resolver.



Figura 1.- Fotografía de sistema óptico de polarimetría de imagen (sector derecho) integrado al sistema óptico atrapamiento (sector izquierdo). Iluminación polarizada (flecha blanca) en el sector izquierdo, sobre la muestra atrapada. Iluminación de atrapamiento flechas de color rojo.

Agradecimientos: Proyecto CONICYT/FONDECYT 1151290.

- Asticio Vargas, Fabián A. Torres-Ruiz, Juan Campos, Ramiro Donoso, José Luis Martínez, and Ignacio Moreno. Flexible polarimeter architecture based on a birefringent grating. APPLIED OPTICS 53: 5585 (2014).
- [2] Aarón Cofré; Asticio Vargas; Fabián A. Torres-Ruiz; Juan Campos; Angel Lizana; María del Mar Sánchez-López; Ignacio Moreno. Quantitative performance of a polarization diffraction grating polarimeter encoded onto two liquid-crystal-on-silicon displays. Optics and Laser Technology 96: 219 (2017).

Comparativa entre un modelo simplificado para pantallas PA-LCoS y evaluación rigurosa aplicando SF-FDTD

Andrés Márquez,^{1,2,*} Jorge Francés,^{1,2} Francisco J. Martínez-Guardiola,^{1,2} Sergi Gallego,^{1,2}

Mariela L. Alvarez,^{1,2} Eva M. Calzado,^{1,2} Inmaculada Pascual,^{2,3} Augusto Beléndez,^{1,2}

¹Dept. de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Univ. de Alicante, 03080 Alicante, España ²I.U. Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías, Univ. de Alicante, 03080 Alicante, España ³Dept. de Óptica, Farmacología y Anatomía, Univ. de Alicante, 03080 Alicante, Spain

andres.marquez@ua.es

Resumen: Recientemente propusimos un modelo simplificado que permite predecir con una incertidumbre inferior al 5% el retardo que producen las pantallas de cristal líquido sobre silicio (PA-LCoS) a lo largo del espectro visible y para cualquier ángulo de incidencia entre 0° y 45°. Aquí mostramos que el modelo también nos permite calcular propiedades fundamentales de la capa de cristal líquido, tales como el ángulo de inclinación en función del voltaje aplicado y la birrefringencia.

En gran parte de las aplicaciones de modulación espacial de haces de luz se ha ido imponiendo el uso de las pantallas de cristal líquido sobre silicio de alineación paralela (PA-LCoS). Ofrecen modulación pura de fase, un elevado número de píxeles superior a 2 megapíxeles, y con tamaño de píxel inferior a las 10 micras con lo que resultan muy compactas y permiten alcanzar elevadas resoluciones espaciales.

Recientemente propusimos un modelo simplicado [1] que permite predecir con una incertidumbre inferior al 5% el retardo que producen las pantallas PA-LCoS. El método precisa del ajuste de los tres parámetros de los que consta el modelo. Para ello se aplica un procedimiento de ingeniería inversa en el cual inicialmente se toman medidas del retardo que ofrece el dispositivo para un número limitado de longitudes de onda (usamos tres) y de ángulos de incidencia (consideramos iluminación cuasi-perpendicular y a 25°). Hecho este ajuste el modelo permite calcular el retardo para cualquier longitud de onda a lo largo del espectro visible y para cualquier ángulo de incidencia entre 0° y 45°. Dos de los tres parámetros no dependen del voltaje: se trata de los denominados optical path length (*OPL*) y optical path difference (OPD) definidos como $OPL = dn_o$ y $OPD = d\Delta n$ donde d es el grosor de la capa de cristal líquido, n_o es el índice ordinario y Δn es la birrefringencia. El tercer parámetro sí depende del voltaje $\alpha(V)$ y corresponde al ángulo de inclinación (ángulo de tilt) de las moléculas de cristal líquido.

Nos propusimos verificar si los valores ajustados de los parámetros del modelo se correspondían con los valores reales, es decir si tenían un sentido físico, o simplemente servían como parámetros de ajuste. Dado que los fabricantes de dispositivos PA-LCoS no dan detalles de los parámetros del cristal líquido, ni tampoco de cuestiones estructurales tales como el grosor de la capa, lo que hemos hecho es utilizar valores existentes en la literatura y simular el retardo de nuestro PA-LCoS virtual mediante métodos numéricos electromagnéticos rigurosos [2]. Concretamente hemos implementado el método *split-field field finite difference time domain* (SF-FDTD), lo cual de por sí ya es novedoso ya que se trata de la primera vez que este método se aplica en dispositivos PA-LCoS en incidencia oblicua y para cálculos de fase, que requieren un grado de precisión adicional en comparación con la aplicación más habitual a cálculos de transmisión en intensidad. Como material hemos considerado el cristal líquido E7 y para un grosor de celda de 2 µm. Hemos considerado inicialmente un perfil de tilt senoidal con el grosor de la celda y dependiente del voltaje [2].

Del ajuste con el modelo hemos encontrado que los parámetros *OPD* y $\alpha(V)$ tienen sentido físico. Ello nos permite afirmar que nuestro modelo no es sólo útil de cara a predecir el comportamiento del retardo de las pantallas PA-LCoS sino que también permite obtener valores internos de la capa de cristal líquido ligados a propiedades tan relevantes como la birrefringencia y el ángulo de tilt en función del voltaje.

Referencias

- F. J. Martínez, A. Márquez, S. Gallego, J. Francés, I. Pascual, and A. Beléndez, "Effective angular and wavelength modelling of parallel aligned liquid crystal devices," Opt. Lasers Eng. 74, 114-121 (2015).
- [2] A. Márquez, J. Francés, F. J. Martínez-Guardiola, S. Gallego, M. L. Álvarez, E. M. Calzado, I. Pascual, A. Beléndez, "Computational SF-FDTD evaluation of simplified tilt-angle models for parallel aligned liquid crystal devices", Opt. Eng. 57, 037110 (2018).

Financiado por Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Spain) (FIS2017-82919-R (MINECO/AEI/FEDER, UE) and FIS2015-66570-P (MINECO/FEDER)); y por Generalitat Valenciana (Spain) (PROMETEO II/2015/015).

Caracterización del efecto Anamórfico en un Sistema de Almacenamiento Holográfico de información

F. J. Martínez-Guardiola^{1,2}, A. Márquez^{1,2}, E. Calzado^{1,2}, S. Bleda^{1,2}, J. Francés^{1,2}, I. Pascual^{2,3}, S. Gallego^{1,2}

¹Dept. de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal, Univ. de Alicante, 03080 Alicante, España ²I.U. Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías, Univ. de Alicante, 03080 Alicante, España ³Dept. de Óptica, Farmacología y Anatomía, Univ. de Alicante, 03080 Alicante, España

fj.martinez@ua.es

Resumen: Presentamos un método de caracterización de un sistema óptico de almacenamiento holográfico. Este sistema utiliza un LCoS de alineación paralela como modulador. Dado que estos PA-LCoS presentan efectos anamórficos queremos medir hasta qué punto estos efectos afectan en el almacenamiento de información. Para esto se estudiará la contribución de los distintos efectos de degradación en el Bit Error Rate obtenido.

En este trabajo presentamos un método para caracterizar ópticamente un Sistema de Almacenamiento Holográfico de Información (HDSS-Holographic Data Storage System). En el HDSS desarrollado por nuestro grupo se utiliza como modulador espacial de luz (SLM-Spatial Light Modulator) una dispositivo de cristal líquido sobre silicio de alineación paralela (PA-LCoS Parallel Aligned Liquid Crystal on Silicon). Dado que este tipo de pantallas tiene un efecto anamórfico apreciable [1, 2]. Se pretende observar cómo puede afectar este efecto a la densidad de datos que se puede almacenar en cada caso. Para ello, hemos diseñado unos patrones que nos ayudarán a detectar esta posible variación del rendimiento dependiendo de la orientación de los datos en pantalla.



Figura 1.- Patrones utilizados. Franjas horizontales y verticales dispuestas aleatoriamente.

En la Figura 1 vemos un ejemplo de los patrones usados en el método de caracterización. En este caso la franja más estrecha corresponde a 8 pixeles de ancho en el PA-LCoS. El método reducirá el ancho de estas franjas, aumentando de esta forma la densidad de información y estudiará cómo evoluciona el Bit Error Rate (BER) en cada caso, realizando un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

Además de caracterizar el sistema óptico antes de introducir el material, se ha realizado la prueba completa del sistema introduciendo material fotopolímero y realizando la reconstrucción de la información almacenada [3]. De esta forma podemos comparar cómo afecta esta introducción del material y de la fase de reconstrucción en el aumento del BER, y podemos distinguir la introducción de estos errores del BER obtenido por el sistema proveniente de la aberración de las lentes, desenfoques, y aperturas que nos puedan estar influyendo.

Sistematizar este tipo de pruebas nos ayudará a reconocer dónde hay que realizar un esfuerzo a la hora de reducir la relación señal ruido de nuestro sistema de almacenamiento.

Referencias

- [1] A. Márquez, C. Iemmi, I. Moreno, J. Campos and M. J. Yzuel, "Anamorphic and spatial frequency dependent phase modulation on liquid crystal displays. Optimization of the modulation diffraction efficiency" Opt Express **13**(6), 2111–2120 (2005).
- [2] F. J. Martínez, A. Márquez, S. Gallego, M. Ortuño, J. Francés, I. Pascual and A. Beléndez, "Predictive capability of average Stokes polarimetry for simulation of phase multilevel elements onto LCoS devices" App. Optics, 54(6), 1379-2386 (2015).
- [3] F. J. Martínez, R. Fernández, A. Márquez, S. Gallego, M. L. Álvarez, I. Pascual, A. Beléndez, "Exploring binary and ternary modulations on a PA-LCoS device for holographic data storage in a PVA/AA photopolymer" Opt. Express 23(16), 20459-20479 (2015).

Financiado por Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (Spain) con FIS2017-82919-R y FIS2015-66570-P (MINECO/FEDER); Generalitat Valenciana (Spain) (PROMETEO II/2015/015).

Diseño óptimo de un sistema de iluminación estructurada incoherente con frecuencia variable

J. Sola-Pikabea¹, A. Doblas², G. Saavedra¹, M. Martinez-Corral¹, C. Preza²

¹Lab. de Imagen y Display 3D, Departamento de Óptica/Optometría & CC. de la Visión, Universitat de València, E46100 Burjassot ²Computational Imaging Research Lab., Department of Electrical and Computer Engineering, The University of Memphis, Memphis, TN 38152 (EE.UU.)

Resumen: En esta contribución, analizamos teóricamente y experimentalmente el compromiso que existe entre la visibilidad y la extensión del campo de franjas en un sistema de microscopia por iluminación estructurada con biprisma de Fresnel. Además, proponemos el diseño óptimo de este sistema mediante la elección adecuada de las distancias entre los elementos del sistema óptico.

La microscopia por iluminación estructurada [1] mejora la resolución y la capacidad de seccionado óptico en comparación con las técnicas convencionales de microscopía para campo claro, donde la resolución está limitada por la apertura numérica del objetivo del microscopio y por la longitud de onda del láser de iluminación, y donde el seccionado óptico es inexistente. La idea principal de esta técnica es la irradiación de la muestra, a diferencia del caso convencional, no con una iluminación uniforme sino mediante un patrón transversal periódico unidimensional. Tras una captura secuencial de imágenes y un procesado digital adecuado, es posible obtener reconstrucciones tridimensionales que presentan superresolución y seccionado óptico.



Existen diversas técnicas para producir este tipo de patrón de iluminación. En este trabajo se analiza un biprisma de Fresnel, que es capaz de producir dos imágenes coherentes entre sí a partir de una única fuente puntual monocromática

Figura 1.- Esquema del microscopio por iluminación estructurada con biprisma de Fresnel.

entre sí a partir de una única fuente puntual monocromática, como se puede ver en la Fig. 1. A partir de estas dos fuentes virtuales es trivial generar dos ondas planas que interfieran produciendo un patrón cosenoidal cuya frecuencia puede modificarse cambiando la distancia entre la fuente puntual y el biprisma [2].

Uno de los problemas de trabajar con este tipo de iluminación es el ruido coherente generado sobre la muestra. Para solucionar este problema, que reduce drásticamente la relación señal-ruido de las imágenes reconstruidas, se sustituye la fuente puntual por una rendija iluminada de modo espacialmente incoherente. Los puntos de esta rendija generan una serie de patrones cosenoidales incoherentes entre sí cuyo solapamiento promediará este ruido coherente [3]. Este tipo de sistema de iluminación estructurada, sin embargo, introduce en la práctica una cierta modulación axial de la visibilidad del patrón de iluminación debida al ancho finito de la rendija. Si se pretende optimizar el diseño del sistema mediante la selección de las distancias entre los elementos ópticos del mismo, es necesario establecer un compromiso entre la visibilidad y la extensión del campo de franjas interferenciales, ya que ambas funciones varían de modo contrapuesto, es decir, a medida que la visibilidad de las franjas aumenta nos encontramos con una disminución en la extensión del campo de franjas y viceversa.

En esta contribución, analizamos teóricamente este compromiso entre la visibilidad y el campo de las franjas, y proponemos el diseño óptimo para un sistema de microscopia por iluminación estructurada con biprisma de Fresnel en el que obtengamos un campo de franjas suficientemente extenso para que sea iluminada toda la muestra con la mayor visibilidad posible. Presentamos, asimismo, una validación experimental de este resultado teórico.

Referencias

 M.G.L. Gustafsson *et al.*, "Three-dimensional resolution doubling in wide-field fluorescence microscopy by structured illumination.," Biophys. J. 94, 4957–4970 (2008).

[2] E. Sánchez-Ortiga et al.,"Novel proposals in widefield 3D microscopy," Proc. SPIE 7690, 769005-7 (2010).

[3] A. Doblas et al., "Axial resonance of periodic patterns by using a Fresnel biprism," J. Opt. Soc. Am. A 30, 140-148 (2013).

Óptica freeform aplicada al diseño de instrumentación espacial para observación de la Tierra

Andrea García Moreno, Luis Miguel González Fernandez, Tomás Belenguer Dávila

Área de Óptica Espacial Institituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) Torrejón de Ardoz - MADRID

Resumen: Se presenta el diseño de un telescopio Cassegrain mediante el empleo de superficies freeform con el fin de lograr calidad de imagen óptima en diferentes puntos del plano imagen que no coinciden con el eje óptico y explorar así configuraciones del plano focal que permitan colocar diferentes elementos de detección alejados del eje óptico minimizando en todos ellos las aberraciones totales frente al valor de estas en el eje.

La óptica freeform consiste en el empleo de superficies que rompen la simetría rotacional del sistema para alcanzar altas calidades ópticas. En sistemas ópticos en los que se obtiene una baja calidad como pueden ser sistemas descentrados para evitar una obscuración, sistemas con fuertes restricciones de tamaño o sistemas que recogen campos angulares grandes, la posibilidad de diseñar y fabricar superficies freeform proporciona una herramienta para recuperar la buena calidad [1].

Se ha realizado el diseño óptico de un telescopio Cassegrain compuesto por un espejo primario cóncavo y un espejo secundario convexo, ambos situados en eje, que genera una obscuración central en el primario. En el plano imagen de dicho telescopio, y en distintas posiciones del mismo, se pretende colocar hasta un máximo de 4 microespectrómetros, pequeños dispositivos que integran en un mismo componente la rendija de entrada, una red cóncva de difracción y el sensor CCD. Por diseño, estos componentes ocuparán posiciones alejadas del eje óptico y presentarán aberraciones de campo, coma y astigmatismo fundamentalmente, de valor apreciable. Fuera del eje, un telecopio Cassegrain presenta un fuerte descenso de su calidad óptica, por lo que recurriremos a la óptica freeform para optimizar el diseño para estos campos alejados del eje. De este modo, en función de las aberraiones que presente el diseño inicial, se van a introducir unas deformaciones concretas en los espejos en forma de polinomios de Zernike, rompiendo así la simetría rotacional. Por la teoría nodal de aberraciones de sabe que esto no genera la aparición de nuevas aberraciones pero sí cambia la dependencia de estas aberraciones con el campo en el plano imagen, siempre y cuando las superficies freeform se encuentren desplazadas respecto al stop en la dirección del eje óptico [2]. En concreto, se produce la aparición de uno o más nodos de aberraciones que están desplazados del eje. Por lo tanto, en el proceso de diseño y optimización, se minimizan las aberraciones de astigmatismo, coma, esférica, trefoil, esférica oblicua o astigmatismo secundario y coma secundario en los puntos de campo específicos del plano imagen en los que se dispondrán los microespectrómetros.

- Wang, J., Guo, B., Sun, Q., & Lu, Z. "Third-order aberration fields of pupil decentered optical systems". Optics express, 20(11), 11652-11658 (2012).
- [2] Fuerschbach, K., Rolland, J. P., & Thompson, K. P. "Theory of aberration fields for general optical systems with freeform surfaces". Optics express, 22(22), 26585-26606 (2014).

Depth resolution enhancement of computational reconstruction of integral imaging

Przemysław Kopycki, Byungwoo Cho*, Myungjin Cho*, and Manuel Martinez-Corral,

Departamento de Óptica, Universidad de Valencia, 46100 Burjassot

*Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Hankyong National University, South Korea

Summary: Conventional computational volumetric reconstruction method have high reconstruction error and low depth resolution. Proposed technique of integral imaging by using non-uniformly distributed and integer shifting pixels allows to improve depth resolution and choose reconstruction plane. Experimental results show the improvment of depth resolution and visual quality of the reconstructed images.

In conventional computational volumetric reconstruction method the reconstruction plane, z_d , is always given and depends on number of shifting pixels. It provides the possibility of reconstructing images only in those arbitrary planes. The consecuences of that is low depth resolution. Furhemore, conventional technique has insufficient visual quality when elemental images with low resolution are used [1-3].

Method of computational reconstruction of integral imaging with continously non-uniform shifting pixels is proposed. The new metod is based on aproximation of the reconstruction image in the choosen plane (not in arbitrary as in the previous technique). Each image is reconstructed in the calculated plane (for each image plane could be different) which means that there could be different number of shifting pixels for each image. Then the aproximation in the choosen plane is made.

Experimental results show improvoment of depth resolution. We can see comparison of two methods on Figure 1. Results for conventional method are indicated by red dashed line, results for proposed method - blue line. The chart shows that for conventional method we can achieve sharp image only in arbitrary plane, for proposed method sharp images are obtain for any plane.



Figure 1. Comparison of the depth between (a) conventional reconstruction and (b) proposed method.

- [1] Stern, A., and Javidi, B., "Three-dimensional image sensing, visualization, and processing using integral imaging," Proc. IEEE. 94, 591-607 (2006).
- [2] Okano, F., Arai, J., Mitani, K., and Okui, M., "Real-time integral imaging based on extremely high resolution video system," Proc. IEEE. 94, 490-501 (2006).
- [3] Cho, M., Daneshpanah, M., Moon, I., and Javidi, B., "Three-dimensional optical sensing and visualization using integral imaging," Proc. IEEE. 99, 556-575 (2011).

Medida de deformaciones en piezas de hormigón en ciclos de carga-descarga mediante seguimiento localizado de la textura superficial

Belén Ferrer¹, Julián Espinosa², David Mas²

¹ Dep. Ingeniería Civil Universidad de Alicante ² I.U. Física Aplicada a las Ciencias y Tecnologías Universidad de Alicante ctra San Vicente s.n. 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante)

Resumen: El desplazamiento de cada punto de una probeta de hormigón en ciclos de carga-descarga se ha determinado mediante cross-correlación aplicada localmente y tomando como referencia la textura de la superficie original. El pico de correlación obtenido para cada región se ha refinado mediante un interpolado bicuadrático con el fin de mejorar la precisión, obteniéndose un error de 0.06 px (3.4 µm)

La compresión a la que está sometida una pieza de hormigón puede determinarse partir de la deformación de la pieza. Una compresión puede descomponerse en desplazamientos de diferente magnitud de las diferentes partes que componen un sólido, de manera que estas partes se acercan entre sí. Suponiendo que el sólido es homogéneo, este comportamiento se verá reflejado en su superficie, por lo que el seguimiento local de las manchas características de la superficie del hormigón proporcionará información del estado de compresión de la pieza bajo estudio.

En este trabajo se ha tomado una secuencia de una pieza cúbica de hormigón sometida a ciclos de compresión y descompresión mediante escalones de 5kN/s hasta un máximo de 400 kN. Mediante una cámara digital se ha capturado la cara lateral del espécimen durante varios ciclos. La secuencia, con un tamaño de 4600x3288 px se ha capturado con una resolución de 17.6 px/mm y 1 Hz a una distancia de seguridad de 5 m. La imagen de la probeta se ha dividido en una rejilla de 20x20 regiones, siendo cada región de 120x120 px o, equivalentemente 6.8x6.8 mm.

Tomado el primer fotograma como referencia se ha obtenido la correlación normalizada de cada región de esta imagen con su correspondiente región en cada fotograma. La función de correlación obtenida ha sido interpolada localmente mediante una función cuadrática lo que proporciona precisión subpíxel. El error de la medida se ha obtenido mediante el análisis de una secuencia estática con la pieza no sometida a ninguna fuerza, proporcionando una precisión de 0.06 px.

Seguidamente se aplican los ciclos de carga y descarga, obteniéndose los resultados de desplazamientos relativos que se muestran en la Figura 1



Figura 1.- Promedio del desplazamiento para la zona central del hormigón para cada una de las 20 filas.

La propuesta demuestra que es posible medir la compresión de una pieza de hormigón de modo no invasivo, sin necesidad de introducir dianas o patrones de speckle artificial adheridos, lo que permitiría la medida directa de desplazamiento y compresiones en zonas de estructuras inaccesibles [1].

Referencias

 Ferrer, B. Mas, D. "Parametric evaluation of errors using isolated dots for movement measurement by image cross-correlation" Sensors, 18, art. nr. 525 (2018).

Limitaciones realistas para la detección de movimientos subpíxel

David Mas¹, Jorge Pérez¹, Belén Ferrer², Julián Espinosa¹

¹I.U. Física Aplicada a las Ciencias y Tecnologías Universidad de Alicante ² Dep. Ingeniería Civil Universidad de Alicante ctra San Vicente s.n. 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante)

Resumen: Existen propuestas teóricas que muestran que la máxima resolución subpíxel teórica en el seguimiento de objetos es infinita, siempre que el objeto cumpla ciertas condiciones. En este trabajo mostramos que, independientemente del objeto, el rango dinámico del sensor es el que efectivamente limita esta resolución, siendo este límite aproximadamente igual a la inversa de niveles de gris disponibles en una imagen.

Aunque en la bibliografía existen múltiples propuestas de objetos eficientes para facilitar la detección subpíxel de modo eficiente, raramente se consiguen medidas directas (sin interpolación de trayectorias) con resoluciones mayores que 0.01 px. El ruido y las inestabilidades mecánicas de los sensores y soportes pueden degradar la señal limitando su precisión, pero aun así la distancia entre las predicciones y la realidad parece muy elevada.

La condición indispensable para que se produzca la detección de un movimiento en una imagen, es que se produzca un cambio en la matriz detectora. La señal normalizada obtenida de la cámara es una señal discreta, entre 0 y 1, repartida linealmente en escalones discretos de altura 1/L siendo L el número de niveles de energía permitidos por el rango dinámico de la cámara [1]. Para una imagen de B bits, $L=2^{B}$.

La imagen de un punto limitado por difracción es una función de Airy, que puede aproximarse por una función gaussiana de la forma:

$$I(\rho) \approx I_0 \exp\left(\frac{-\rho^2}{2\sigma^2}\right)$$

Siendo σ el valor que proporciona la mejor aproximación a un patrón de Airy para un sistema de apertura numérica NA

$$\sigma \approx 0.21 \frac{\lambda}{NA}$$

Consideramos que la energía del disco de Airy se encuentra concentrada en un único píxel, de manera que la respuesta sea máxima. Un desplazamiento de una fracción de pixel δx transferirá parte de la energía al píxel adyacente, de modo que:

$$\int_{-\frac{p}{2}+\delta x}^{\frac{p}{2}} I_0 \exp\left(-\frac{NA^2}{0.0882\lambda^2}x^2\right) dx + \int_{\frac{p}{2}}^{\frac{p}{2}+\delta x} I_0 \exp\left(-\frac{NA^2}{0.0882\lambda^2}x^2\right) dx = 1$$

Para que este desplazamiento sea detectable, la mínima energía traspasada al píxel nuevo debe ser mayor que el tamaño de un escalón de energía:

$$E_{th} = \int_{\frac{p}{2}}^{\frac{p}{2} + \delta x} I_0 \exp\left(-\frac{NA^2}{0.0882\lambda^2} x^2\right) dx \ge \frac{1}{2^B}$$

Por otra parte, el criterio de Rayleigh establece la distancia mínima entre dos discos de Airy para que éstos sean distinguibles. En un diseño optimizado, este criterio debe coincidir con el límite de resolución del sensor discreto, que está determinado por el límite de Nyquist. De acuerdo a esto, podemos afirmar que la distancia mínima entre dos puntos debe ser de al menos dos píxeles:

$$\frac{0.61 \times \lambda}{NA} = 2 \times p$$

Con lo que, el umbral de energía necesario para la detección es:

$$E_{th} \cong 0.9394 \text{ erf}(0.5135 + 1.027\delta p) - 0.5$$

Lo que proporciona un desplazamiento mínimo detectable de:

$$\delta p \cong \frac{1}{2^{B+1}}$$

Referencias

[1] Mas, D.; Pérez, J.; Ferrer, B.; Espinosa J. "Realistic limits for subpixel movement detection" Appl. Opt., 55, pp. 4974 (2016).

Análisis de la mecánica del parpadeo mediante procesado de vídeo. Aplicación a la identificación biométrica

Julián Espinosa Tomás, Begoña Domenech Amigot, Carmen Vázquez Ferri, Jorge Pérez Rodríguez, David Mas Candela

> Depto. Óptica, Farmacología y Anatomía. || IUFACyT Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig Alicante (Spain)

Resumen: Se presenta una técnica basada en el registro de video a alta velocidad de la luz reflejada durante el parpadeo y su posterior procesado que permite determinar objetivamente su inicio y final, además de diferentes magnitudes físicas: posición, velocidad, aceleración del párpado, y potencia, trabajo e impulso mecánico desarrollado por los músculos implicados. Los parámetros derivados de estas magnitudes proporcionan un conjunto único de características que pueden utilizarse para la autenticación biométrica.

En las últimas cuatro décadas, ha habido una gran cantidad de estudios longitudinales que involucran el parpadeo. A pesar de la extensa literatura, no se ha encontrado ningún método objetivo para analizar su comportamiento cinemático y dinámico.

Tradicionalmente, el parpadeo se evalúa mediante procedimientos que requieren la aplicación de electrodos para obtener el electro-oculograma o técnicas de búsqueda basadas en la aplicación directa de una bobina magnética. No obstante, también se utilizan procedimientos de grabación sin contacto como vídeo, que permiten una evaluación cuantitativa precisa del parpadeo sin interferir con el sujeto, aunque implica que dicha grabación se haga a alta velocidad. En un trabajo anterior [1], se presentó una técnica no invasiva dirigida a medir a alta velocidad algunas de las características dinámicas del parpadeo también con resolución temporal de 2 ms, basada en que la intensidad de la luz difundida por el párpado varía dependiendo de su posición, siendo máxima cuando el párpado está cerrado y mínima cuando está abierto. Así, en un vídeo grabado de un sujeto que parpadea, esta variación aparecerá reflejada como cambios en la intensidad de la luz registrada. En cada fotograma de la secuencia de parpadeo se puede estimar la intensidad de la luz difundida por el párpado sumando los niveles de gris de los píxeles del área de interés en torno a cada ojo. Los parpadeos aparecerán como picos en el perfil de intensidades. Aquí, se ha perfeccionado la técnica de forma que, a partir de la variación de la posición del párpado en el tiempo, sus primera y segunda derivadas, y su producto, se han obtenido un conjunto de características que lo describen [2] (Figura 1).



Figura 1.- Esquema del montaje y gráfica de la potencia normalizada obtenida para un parpadeo a partir de la que se extraen alguno de los parámetros que describen su mecánica.

El método se puede aplicar para profundizar en la investigación del proceso del parpadeo y su relación con la fatiga, somnolencia, diagnóstico neurológico, etc. Hemos utilizado las características del parpadeo para la identificación biométrica alcanzando una tasa de identificación correcta de hasta el 99,7%.

Referencias

 Mas, D., Domenech, B., Espinosa, J., Pérez, J., Hernández, C., Illueca, C., "Noninvasive measurement of eye retraction during blinking," Opt. Lett. 35, 1884 (2010).

[2] Espinosa, J., Domenech, B., Vázquez, C., Pérez, J., Mas, D., "Blinking characterization from high speed video records. Application to biometric authentication," Plos One (Aceptado).

Multiplexado de vórtices con lentes impresas para el rango de los THz

Federico Machado¹, Vicente Ferrando¹, Przemysław Zagrajek², Walter D. Furlan³ y Juan A. Monsoriu¹

¹ Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València, Valencia 46022, España.
 ² Institute of Optoelectronics, Military University of Technology, Warsaw, Poland.
 ³ Departamento de Óptica, Universitat de València, Burjassot 46100, España.

Resumen: En este trabajo presentamos un nuevo método para generar multiplexación de vórtices ópticos en el rango de los Terahercios. Para ellos se han combinado máscaras de fase azimutal de diferentes cargas topológicas con Placas Zonales Binarias de Fresnel en fase. Estas lentes han sido construidas mediante técnicas de impresión 3D y se han caracterizado numérica y experimentalmente.



Figura 1.- a) Diseño de las lentes-vórtice multiplexoras. b) Modelo 3D de la lente construida. c) Esquema del sistema experimental utilizado para la caracterización de la lente. d) Irradiancias experimental (izquierda) y numérica (derecha) comparadas para la lente construida en su plano focal.

Las peculiares propiedades de la radiación de Terahercios (THz), como la alta penetración y baja dispersión a través de los materiales dieléctricos, han motivado el crecimiento de la fotónica de THz. Este campo de investigación se ha visto impulsado con el desarrollo de emisores, detectores y componentes ópticos más eficientes [1]. Recientemente se han utilizado técnicas de bajo coste como la impresión 3D para la construcción de lentes de THz no convencionales [2]. Aprovechando este escenario y teniendo en cuenta que las múltiples aplicaciones que encuentran los vórtices ópticos en el rango visible (microscopia, pinzas ópticas, tecnologías de comunicación, ... [3, 4]) presentamos las lentes-vórtice para generar multiplexación de vórtices en el rango de los THz.

Para diseñar estas lentes-vórtice partimos de una Placa Zonal Binaria de fase a la que añadimos una combinación de máscaras de fase azimutales tal como se muestra en la Fig. 1.a). En este trabajo se muestran los resultados utilizando una Placa Zonal de focal 112 mm para una frecuencia de 625 GHz y una máscara de fase azimutal de dos zonas con 1 y 7 saltos de fase respectivamente.

Esta lente ha sido modelizada (Fig. 1.b) y construida en Poliamida PA6 con una impresora 3D. Posteriormente se ha caracterizado experimentalmente mediante el dispositivo mostrado en la Fig. 1.c). La distribución de irradiancia proporcionada por la lente de la Fig. 1.b en su plano focal y la irradiancia numérica calculada se comparan en la Fig. 1.d), mostrando los resultados una buena concordancia.

Referencias

- [1] M. Tonouchi, "Cutting-edge terahertz technology", Nat. Photonics 1, 97-105 (2007).
- [2] W.D. Furlan, V. Ferrando, J.A. Monsoriu, P. Zagrajek, E. Czerwińska y M. Szustakowski, "3D printed diffractive terahertz lenses", Opt. Lett. 41, 1748-51 (2016).
- [3] J. Wang, "Advances in communications using optical vortices", Photon. Res. 4, B14-B28 (2016).

[4] W.D. Furlan, F. Giménez, A. Calatayud y J.A. Monsoriu, "Devil's vortex-lenses," Opt. Express 17, 21891-21896 (2009).

Partially-coherent spirally-polarized imaging

<u>Marcos Pérez Aviñoa</u>¹, Rosario Martínez Herrero², Santiago Vallmitjana¹, Pedro Latorre Carmona³, Ignasi Juvells¹, Artur Carnicer¹.

 Universitat de Barcelona (UB), Facultat de Física, Departament de Física Aplicada, Martí i Franquès 1, 08028 Barcelona, España
 Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Óptica, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, España
 Universitat Jaume I, Institute of New Imaging Technologies, Campus Riu Sec, 12071, Castelló de la Plana, España

Abstract: In this work we study the image formation process using a vortex half-wave polarizer to produce an edge-enhancement effect. The optical system is modeled using paraxial propagation with a Gauss-Schell source as the illuminating light. Edge-enhancement is tuned by the degree of coherence of the light. Using the Shannon entropy we show that an optimal amount of information can be achieved in a certain partially coherent state.

In recent literature, spiral phase plates and vortex half-wave retarders have been used in imaging optics to produce an edge enhancement effect on the objects [1]. Moreover, the vortex half-wave retarders polarize the edges in a certain direction depending on the illumination. With the help of an analyzer, the discrimination of the direction edge can be achieved. In the present work, we study the effects of partially coherent light on the system using paraxial propagation [2, 3]. Edge enhancement is obtained by modulating the coherence length of the illuminating light. The recorded images are analyzed using the Shannon entropy [4] and compared with their respective ones without the polarizer. As a result, a maximum of entropy is found for a certain partially coherent state.

- B. B. Ram, P. Senthilkumaran, A. Sharma, "Polarization-based spatial filtering for edge enhancement", Appl. Ot. 56 (11) (2017).
- [2] L. Mandel, E. Wolf, "Optical coherence and quantum optics", Cambridge University Press (1995).
- [3] T. D. Visser, G. P. Agrawal, and P. W. Milonni, "Fourier processing with partially coherent fields," Opt. Lett. 42, 4600–4602 (2017)
- [4] C. Shannon, "A mathematical theory of communication", Bell Syst. Tech. J, (27) (1948).

Calibración de un modulador LCoS para representar DOEs con distinto rango de fase

Elisabet Pérez-Cabré¹, José Valverde², María Sagrario Millán¹

¹Dept. d'Òptica i Optometria, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa (Barcelona) ²Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra (Barcelona)

Resumen: Se han obtenido las curvas de calibración optimizadas para un modulador LCoS trabajando en régimen de solo fase, para diferentes rangos de modulación (π , 2π , 3π , 6π) para $\lambda_{\rm G}$ =530nm, obteniendo las configuraciones de trabajo más favorables para aprovechar el máximo rango de niveles de gris disponibles. Para estas configuraciones se ha determinado también la modulación de fase para $\lambda_{\rm R}$ =647nm y $\lambda_{\rm B}$ =476nm. Estas curvas se han empleado en la representación de lentes de Fresnel con distintas características.

Algunas pantallas de cristal líquido LCoS modernas que trabajan por reflexión, permiten una modulación de fase que supera ampliamente el rango de 2π en el espectro visible requerido para la representación de elementos ópticos difractivos (DOEs). Estos dispositivos permiten estudiar en banco óptico DOEs multiorden, como las lentes de Fresnel armónicas, y al mismo tiempo, se pueden comparar las características de estos elementos para el caso en que el rango máximo de variación de fase se limite a un determinado múltiplo entero - de π .

Para optimizar la representación de los DOEs en la pantalla LCoS es recomendable determinar las curvas de calibración o LUTs que permitan asignar a los niveles de gris disponibles de la pantalla, la máxima variación de fase con la que se quiera trabajar. En nuestro caso utilizamos un modulador Holoeye PLUTO BB-HR que permite una variación superior a 6π para una longitud de onda $\lambda_{\rm G}$ =530nm. Mediante un interferómetro Michelson, captamos el interferograma obtenido cuando se envía al modulador una imagen dividida en dos sectores: uno, con un nivel de gris constante de referencia, y otro, variable [1]. El desplazamiento de las franjas respecto al sector de referencia, permite calcular la variación de fase equivalente a cada valor de gris (Fig. 1a). La selección del rango de fase apropiado y la obtención de una respuesta lineal del modulador, permiten establecer una nueva LUT para cada configuración seleccionada (Fig. 1b). En nuestro caso, hemos obtenido las LUTs correspondientes a una variación de fase obtenida para dos longitudes de onda extremas en el espectro visible, en el rojo ($\lambda_{\rm R}$ =647nm) y en el azul ($\lambda_{\rm R}$ =476nm) (Fig. 1c).



Figura 1.- (a) Franjas utilizadas para el cálculo de la modulación de fase; (b) LUT enviada al modulador para conseguir una modulación lineal de 6π para λ_{c} =530nm; (c) Modulación de fase para las tres longitudes de onda utilizadas.

La caracterización del LCoS optimizada para distintas modulaciones de fase, nos permite evaluar y comparar el funcionamiento de una lente de Fresnel [2] representada con diferentes rangos de fase. Se presentarán resultados experimentales para estimar las ventajas de la calibración específica para cada situación.

- [1] Otón, J., Ambs, P., Millán, M. S. and Pérez-Cabré, E. "Multipoint phase calibration for improved compensation of inherent wavefront distortion in parallel aligned liquid crystal on silicon displays," Appl. Opt., 46, 5667 (2007).
- [2] 1. Otón, J., Millán, M. S. and Pérez-Cabré, E. "Diseño de lentes programables en una pantalla pixelada de cristal líquido nemático," Óptica Pura y Apl. 38, 47 (2005).

Stitching interferometric system for high-accuracy reconstruction of x-ray optical surfaces

Pablo Pedreira, Igors Šics, Alejandro Crisol, Josep Nicolas

Sincrotrón ALBA, Carrer de la Llum, 2-26, 08290 Cerdanyola del Vallès, Spain

Abstract: Stitching interferometry allows reconstructing 3D large-size optical surfaces from sub-aperture measurements. Nevertheless, the accuracy of the measurements is limited both by the reference surfaces and by motion errors of the displacement system, required to obtain the sub-aperture measurements. In this work we present the stitching system developed at ALBA, and will provide experimental results showing sub-nanometer accuracy measurements for 500 mm long optical surfaces.

Stitching interferometric techniques have become popular within the x-ray optics metrology community in the last few years [1-4]. Stitching has opened the opportunity of using Fizeau interferometers to efficiently obtain the 3D map of large-size optical surfaces, with high accuracy and high spatial resolution, for a wide range of radii of curvature. Nevertheless, since stitching involves a relative displacement between the interferometer and the sample surface, it is always affected by mechanical errors, which add to typical interferometer errors, like the reference surface or retrace errors.

We present here the stitching system of our Metrology Laboratory. It consists of a 100 mm aperture Fizeau interferometer, and a motion system including a linear stage that displaces the mirror in order to obtain the different sub-aperture measurements. The linear stage is mounted on top of a two-axis goniometer. For every position of the linear stage, we do an initial assessment of the pitch and roll misalignments of the mirror, with respect to the interferometer, and compensate it using the goniometer, just before taking the actual measurement to be stitched. This allows minimizing the retrace error, which is already very small for a Fizeau interferometer, and extends the range of usability of the metrology system to radii of curvature as low as 50 m.

The different sub-aperture measurements are combined onto a single reconstructed surface using an algorithm developed by us. It allows taking stitching images with irregular displacements, and may overlap on the same region. This allows averaging out very efficiently high spatial frequency errors and any other periodic error. Curvature error is minimized by including this information about the rotation between the different measurements in the stitching program. The impact of measurement noise and motion errors on the reconstruction accuracy is studied by means of Montecarlo simulations. They show that sub-nanometer accuracy can be reached for moderate quality mechanical systems, and using affordable $\lambda/20$ reference surfaces.

Experimental results show excellent agreement between measurements taken by our stitching system, and measurements obtained our reference instrument, the ALBA-NOM [6]. However, stitching provides much higher spatial resolution, and provides the 2D information in a much faster measurement.

Acknowledgements.

This work is partially funded by MINECO and ERDF through contract FIS2015-66328-C3-2-R.

- [1] L. Assoufid, J. Qian, C. M. Kewish, C. Liu, R. Conley, A. T, Macrander, D. Lindley, C. Saxer. "A microstitching interferometer for evaluating the surface profile of precisely figured x-ray K-B mirrors". Proc. of SPIE 6704, 670406 (2007).
- [2] M. Vannoni, I. Freijo Martinez. "Absolute interferometric characterization an x-ray mirror surface profile". Metrologia 53, 1-6 (2016).
- [3] A. Vivo, B. Lantelme, R. Baker, R. Barret. "Stitching methods at European Synchrotron Radiation Facility". Review of Scientific Instruments 87, 051908 (2016).
- [4] H. Yumoto, T. Koyama, S. Matsuyama, K. Yamauchi, H. Ohashi. "Stitching interferometry for ellipsoidal x-ray mirrors". Review of Scientific Instruments 87, 051905 (2016).
- [5] F. Polack, M. Thomasset. "Determination and compensation of the "reference surface" from redundant sets of surface measurements". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 710, 65-41 (2013).
- [6] J. Nicolas, J.C. Martínez "Characterization of the error budget of Alba-NOM, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 710, 24-30 (2013).
Multifunctional monomer based materials for complex low spatial frequency diffractive optical elements recording

Roberto Fernández¹, Sergi Gallego¹, Yasuo Tomita², Inmaculada Pascual¹, Augusto Beléndez¹

¹Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y las Tecnologías, Universidad de Alicante. Apartado 99, 03080 Alicante, Spain

²Department of Engineering Science, University of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan

Resumen: We study the behaviour and compare two nanostructurated materials based on multifunctional monomers: a nanoparticle-thiol-ene-polymer composite (NPC) and a holographic polymer dispersed liquid crystals (HPDLC) with dipentaerythritol penta/hexa-acrylate (DPHPA) as main monomer. We evaluate their suitability to record complex large grating spacing diffractive optical elements (DOEs), such as blazed gratings. Thus, we can explode their multifunctional capabilities to develop electrically tunable DOEs, thanks to the addition of LC molecules.

In this work, we analyze the behavior of two families of nanostructurated materials based on multifunctional monomers materials: NPC [1] and DPHPA based HPDLC [2] to work with high grating spacing (low spatial frequency) DOEs which presents sharp profiles, such as blazed gratings. First, we have measured the "apparent" monomer diffusion. The diffusivity values measures were $(3\pm1)\cdot10^{-9}$ cm²/s for NPC material and $(3\pm1)\cdot10^{-8}$ cm²/s for HPDLC material.



Figure 1.- Fitting to obtain diffusivity values for NPC material (a) and HPDLC material (b). The exposure times are 450s and 30s respectively.

Then, using zero spatial frequency analysis, we have measured the maximum phase depth reachable by each material, as it is desirable to reach a 2π phase depth for complex DOEs recording. We followed the procedure of [3] to calculate the polymerization rate (F_R) as a function of the experimental values of phase shift. The values of F_R obtained were $2.9 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ for NPC and $3.7 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ for HPDLC. The polymerization rate of NPC material is significantly slower, probably due to the lower absorbance at recording wavelength of NPC material. The phase shift of 2π reached by both material makes them capable of store complex DOEs, but it is mandatory to reduce the diffusion and possible shrinkage effects, especially in HPDLC material to achieve larger DEs.

The characterization is finished with the study of the maximum diffraction efficiency (DE) reached by each material and the influence of the grating period in this value. For NPC, the maximum value of DE was obtained for a 720 μ m blazed grating, which reaches near the 65 % of DE after 500 s of exposure time. In the case of HP-DLC, the value for 720 μ m grating spacing is around 20%. The maximum value for this material, near 40% was obtained for an 80 μ m grating due to an influence of diffusion processes for these smaller periods.

- [1] Y. Tomita, E. Hata, K. Momose, S. Takayama, X. Liu, K. Chikama, J. Klepp, C. Pruner, and M. Fally, "Photopolymerizable nanocomposite photonic materials and their holographic applications in light and neutron optics," J. Mod. Opt. 63, S1-S31 (2016).
- [2] R. Fernández, S. Gallego, A. Márquez, J. Francés, F.J. Martínez, I. Pascual and A. Beléndez, "Analysis of holographic polymer-dispersed liquid crystals (HPDLCs) for tunable low frequency diffractive optical elements recording," Optical Materials 76, 295-301 (2018).
- [3] S. Gallego, A. Márquez, F. J. Martínez, M. Riquelme, R. Fernández, I. Pascual and A. Beléndez, "Linearity in the response of photopolymers as optical recording media," Opt. Express, 21(9), 10995-11008 (2013).

Sistema desfasador con desfase acromático variable

A. Messaadi¹, P. García-Martínez², A. Vargas³, M. M. Sánchez-López⁴, e I. Moreno¹

¹Dept. Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnol. Electrónica, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ²Departament d'Òptica, Universitat de València, 46100 Burjassot, España.

³Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

⁴Instituto de Bioingeniería, Dept. Física y Arquit. Comput., Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España.

Resumen: Presentamos un sistema óptico sencillo para construir un desfasador lineal de desfase acromático variable. Combinamos cuatro desfasadores, dos de media onda y dos de cuarto de onda. Si se emplean desfasadores acromáticos, el desfasador equivalente variable será acromático, pero la rotación relativa de los desfasadores de media onda permite variar el desfase. Mediante el uso de rombos de Fresnel, abarcamos un rango espectral amplio desde el visible hasta el infrarrojo cercano [450 - 1650 *nm*].

Los desfasadores ópticos son fundamentales en aplicaciones que requieran un control preciso del estado de polarización [1]. Las láminas desfasadoras simples de material anisótropo presentan una dispersión cromática importante del desfase [2]. Los desfasadores sintonizables, como los moduladores de cristal líquido, son desfasadores de bajo orden, presentando por tanto también una importante dispersión cromática. Esta dependencia espectral es un hándicap en sistemas iluminados con fuentes de ancho rango espectral. Por eso existen desfasadores acromáticos, típicamente realizados mediante la combinación de dos o más láminas desfasadoras. Sin embargo, éstos tienen un desfase fijo, normalmente de media onda o de cuarto de onda.

En este trabajo proponemos un sistema óptico sencillo (Fig. 1, izquierda), compuesto por dos desfasadores de media onda orientados en ángulos α_1 y α_2 , insertados entre dos desfasadores de cuarto de onda orientados verticalmente. El sistema se comporta como un desfasador lineal equivalente cuyos ejes neutros están fijos en ±45°, y cuyo desfase viene dado por $\phi=4(\alpha_1-\alpha_2)$. Así, el desfase puede variarse de forma continua mediante la rotación relativa entre los desfasadores de media onda. Y, si los desfasadores son acromáticos, el sistema desfasador equivalente mantiene el mismo grado de acromaticidad.

Hemos demostrado este sistema utilizando rombos de Fresnel (FR), desfasadores basados en reflexión total interna, que producen un desfase casi uniforme frente a la longitud de onda. El sistema emplea dos rombos de media onda (FR-HWR) y dos de cuarto de onda (FR-QWR), lo que permite demostrar el sistema en un rango espectral amplio, desde 450 hasta más de 1650 nm. En la Fig. 1 (derecha) se muestra un ejemplo cuando se genera luz circularmente polarizada en todo el rango espectral empleado. Para ello se coloca un polarizador de entrada vertical (a 45° del eje del desfasador equivalente) y se ajustan las orientaciones de los FR-HWR para producir un desfase de cuarto de onda ($\phi=\pi/2$). Para comprobar la efectividad del sistema se gira el analizador de salida varios ángulos dando como resultado una transmisión cuyo espectro es idéntico para cualquier rotación de analizador. Este hecho demuestra la generación de luz circularmente polarizada en todo el rango, con una despreciable dispersión cromática del desfase. En estos resultados hemos usado un láser de supercontínuo (FYLA SC500) que emite desde 450 a 2400 nm y un espectrómetro Stellar-Net (modelo STN-BLK-C-SR).



Figura 1.- Izq: Esquema del sistema óptico propuesto. Der: Transmisión espectral cuando el sistema se ajusta para generar un desfasador de cuarto de onda. Los polarizadores de entrada y salida se orientan a $\theta_1=0^\circ$ y $\theta_2=0^\circ$, 45° y 90° respectivamente.

Agradecemos la financiación de los proyectos FIS2015-66328-C3-3-R y PROMETEU/2017/154.

Referencias

[1] J. C. Del Toro Iniesta, Introduction to Spectro-Polarimetry, Cambridge University Press (2007).

[2] A. Messadi, M. M. Sánchez-López, P. García-Martínez, A. Vargas, I. Moreno "Optical system for measuring the spectral retardance function in an extended range," J Eur Opt Soc Rapid Publ, 12:21 (2016).

Lentes de Billet vectoriales para la generación de haces de luz estructurados en intensidad y estado de polarización

A. Cofré¹, A. Vargas², F. A. Torres-Ruiz², A. Lizana³, J. Campos³, M. M. Sánchez-López⁴, I. Moreno¹

¹Dept. Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnol. Electrónica, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ²Departamento de Ciencias Físicas, Universidad de La Frontera, Temuco, Chile.

³Departamento de Física, Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España.

⁴Instituto Bioingeniería, Dept. Física y Arquit. Computadores, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España.

Resumen: Se presenta la realización de lentes de Billet vectoriales basadas en un diseño dual para dos estados de polarización. Como resultado se obtienen focalizaciones con estructuración espacial de la intensidad, y también del estado de polarización. Las lentes se implementan en un sistema que emplea dos dispositivos LCoS, cada uno para codificar dos funciones de fase independientes en dos estados de polarización ortogonales.

Recientemente se ha puesto de manifiesto la utilidad de las llamadas lentes de Billet y su generalización, las lentes de tipo "split", para la generación de patrones de focalización estructurados [1], de gran interés en sistemas de microscopía de alta resolución o sistemas de trampas ópticas. Sin embargo, los sistemas previos únicamente controlan la distribución de la intensidad de la luz, dado que usan un tratamiento escalar. Para poder generalizar estos diseños a lentes vectoriales, hemos adaptado un montaje óptico previamente desarrollado para la realización de un polarímetro [2]. Éste emplea una arquitectura Z, con dos moduladores espaciales de luz de tipo LCoS (Liquid Crystal on Silicon), donde cada uno de ellos codifica una función de fase en un estado de polarización diferente. De esta forma es posible generar dos lentes "split" en componentes de polarización diferentes y obtener una estructuración vectorial. A modo de ejemplo, la figura muestra el caso de dos lentes "split" vectoriales, que generan una focalización en forma de un estrecho anillo de luz, donde el estado de polarización es lineal, pero la orientación del campo eléctrico gira progresivamente a lo largo del anillo. Este efecto se obtiene mediante combinación de dos lentes "split" regulares con fases espirales de diferente carga topológica (), que actúan sobre los estados de polarización circulares levógiro y dextrógiro respectivamente.



Figura 1.- Ejemplo de lentes "split" vectoriales. Las dos columnas de la izquierda muestran las lentes que se implementan en cada uno de los moduladores LCoS. La columna central muestra el patrón de polarización esperado. Las dos columnas de la derecha muestra la intensidad de la captura experimental cuando se usa un analizador orientado a ±45°.

Agradecimientos: Proyectos FIS2015-66328-C3-3-R y PROMETEO/2017/154.

Referencias

- A. Lizana, A. Vargas, A. Turpin, C. Ramirez, I. Estevez, and J. Campos, "Shaping light with split lens configurations," J. Opt. 18(10), 105605 (2016).
- [2] A. Cofré, A. Vargas, F. A. Torres-Ruiz, J. Campos, A. Lizana, M. M. Sánchez-López, I. Moreno, "Quantitative performance of a polarization diffraction grating polarimeter encoded onto two liquid-crystal-on-silicon displays," Optics and Laser Technology 96, 219–226 (2017).

[3] A. Cofré, A. Vargas, F. A. Torres-Ruiz, J. Campos, A. Lizana, M. M. Sánchez-López, I. Moreno, "Dual polarization split lenses," Optics Express 25 (20), 23773-23783 (2017).

Segmentación del disco óptico en imágenes del fondo de ojo mediante morfología matemática en color y contornos activos

Enrique Sierra¹, Laura Clavé², Andrés G. Marrugo¹, María S. Millán³

 ¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena (Colombia)
 ² Consorci Sanitari del Maresme, Hospital de Mataró, Barcelona (España)
 ³ Grupo de Óptica Aplicada y Procesado de Imagen, Departamento de Óptica y Optometría, Universitat Politécnica de Catalunva-BARCELONA**TECH** (España)

Resumen: Se presenta un método de segmentación del disco óptico en retinografía mediante un preprocesado de la imagen basado en morfología en color y contornos activos. Se analizan los parámetros que intervienen y se presentan resultados sobre casos clínicos reales.

La retinografía en color es una imagen fotográfica del fondo de ojo que, junto con otras técnicas de diagnóstico por imagen, se utiliza ampliamente en la clínica oftalmológica. El análisis digital de imagen ofrece herramientas para el realce de imagen, la segmentación de componentes estructurales y la obtención de información relevante para la estimación del riesgo patológico, la detección de lesiones y el seguimiento de la evolución del paciente en una amplia variedad de enfermedades oculares como la retinopatía diabética, el glaucoma y la degeneración macular, entre otras. Una operación común consiste en la segmentación del disco óptico, operación que a menudo entraña dificultad por presentar bordes muy suaves y por la presencia de vasos sanguíneos fuertemente contrastados (Fig.1a). Algunos equipos clínicos de imagen multimodal que realizan OCT (Optical Coherence Tomography) y retinografía disponen de aplicaciones informáticas que, a partir del corte en sección de la base del nervio óptico, permiten marcar el contorno del disco sobre la retinografía. Esta operación se realiza en ocasiones con errores de localización destacables (Fig.1b, arriba) debido a la ausencia de bordes bien definidos en la tomografía (Fig.1b, abajo). Sin embargo, el disco óptico tiene características de color diferentes a la región retiniana circundante y a los vasos sanguíneos, lo cual hace posible una segmentación a partir de la retinografía [1,2]. Aprovechando esta propiedad, en este trabajo presentamos una estrategia de segmentación del disco óptico que se basa en utilizar morfología matemática en color en la etapa de preprocesado de la imagen para, a continuación, aplicar una herramienta de contornos activos que determine el disco óptico [3]. La transformación del espacio de color, la elección del elemento estructurante en la operación de *closing*, así como otros parámetros que se utilizan en la aplicación de la morfología matemática en color, son decisivos para una adecuada remoción de los vasos que facilite la delimitación del disco mediante contornos activos. En el ejemplo de la Figura 1 se presenta la segmentación realizada por el algoritmo propuesto (Fig. 1c). Hemos estudiado un conjunto variado de imágenes procedentes de casos reales del ámbito clínico oftalmológico. Adicionalmente, se ha analizado la influencia de utilizar imágenes en formatos de compresión con pérdidas, de uso ordinario en las bases de datos de los servicios sanitarios.



Figura 1. (a) Original, (b) Segmentación errónea del disco óptico (línea azul) realizada por la aplicación informática del dispositivo OCT con el que se adquirió la retinografía (c) Segmentación realizada por el algoritmo propuesto.

Referencias

 A. Osareh, M. Mirmehdi, B. Thomas, R. Markham. "Comparison of colour spaces for optic disc localisation in retinal images". *16th Int. Conf. on Pattern Recognition*, volume 1, (2002) pp. 743-746.

[2] A. G. Marrugo, M. S. Millán, "Optic disc segmentation in retinal images," Opt. Pura Apl. 43 (2), 79-86 (2010).

[3] T.F. Chan, L.A. Vese. "Active contours without edges". IEEE Trans. on Image Processing, 10, 266 (2001).

Caracterización del contraste en microdisplays OLED

Juan Antonio Azor, María S. Millán

Grupo de Óptica Aplicada y Procesado de Imagen, Departamento de Óptica y Optometría, Universitat Politécnica de Catalunya-BARCELONA**TECH** (España)

Resumen: Se caracteriza la escala de contraste de dos microdisplays OLED (monocromo verde y color) para su utilización en procesadores de información óptica. Se ha determinado la corrección gamma que mejor ajusta la respuesta de cada dispositivo a una respuesta lineal mediante el programa de control y se ha evaluado la influencia del tiempo de encendido. Se propone una corrección más fina para reducir la nolinealidad residual y se analizan varias configuraciones y canales (R,G,B).

El diseño de las pantallas de presentación de imagen tiene en cuenta tanto los atributos perceptuales (por ejemplo: claridad, contraste y nitidez) como físicos (por ejemplo: luminancia, resolución, uniformidad, Gamma, frecuencia de refresco y función de transferencia de modulación). Aunque unos y otros están relacionados, la caracterización cuantitativa de las propiedades físicas permite un uso preciso de estos dispositivos en aplicaciones científicas. En los sistemas que procesan la información óptica es frecuente utilizar dispositivos optoelectrónicos de reducido tamaño y controlables por ordenador para presentar imágenes (microdisplays) y para captarlas (sensores). Una transformación común en la puesta a punto de displays es la llamada corrección de gamma, que se aplica como un preprocesado sobre la imagen inicial para compensar la no linealidad de la respuesta en intensidad de la pantalla, de manera que la luminancia (claridad) resultante sea lineal con los niveles de gris [1]. Algunos displays basados en una pantalla AMOLED (del inglés, *Active-Matrix Organic Light-Emitting Diode*) disponen de un circuito interno que permite aplicar la corrección de gamma mediante el programa de control por ordenador. Asimismo, es posible actualizarla para compensar las variaciones del emisor de luz en función del incremento de temperatura debido al tiempo de encendido.

En este trabajo se presenta la caracterización del contraste de dos microdisplays de pantalla AMOLED, de la marca eMagin y resolución SXGA (1280 X 1024 pixels) –uno monocromo verde (EMA-100504) y otro color (EMA-100502)-. Se ha medido la luminancia para una entrada consistente en una escala de niveles de gris. Se han estudiado los parámetros del programa de control del dispositivo que permiten ajustar la respuesta más lineal en los canales R,G,B, por separado y globalmente, y se ha evaluado la variación con el tiempo (tras 2 horas de encendido). La Figura 1 muestra resultados del display eMagin EMA-100502 (color) cuando presenta una escala de 256 niveles de gris. Se ha mejorado la linealidad de la respuesta aplicando una corrección de gamma manual sobre la que realiza el propio dispositivo (a) y se ha probado su estabilidad con el tiempo de encendido (b).



Figura 1.- (a) Medida y ajuste de la respuesta del display; (b) Error en la corrección gamma automática y manual. Valores de RMSE: 7.1 (auto), 6.3 (auto+2h), 8.4(auto+2h update); 2.5 (manual), 2.5 (manual+2h), 3.1 (manual+2h update).

La caracterización de los dispositivos considerados ha permitido optimizar su utilización y reducir la incertidumbre en la reproducción de los niveles de gris de la escala de entrada. Esto constituye una información imprescindible para el uso de tales microdisplays en el plano de entrada de otros procesadores de imagen, incluidos sistemas de óptica visual, cuya respuesta se pretenda interpretar y evaluar cuantitativamente.

Referencias

[1] Fiete, Robert D., Modeling the image chain of digital cameras, SPIE (2010), caps. 9,10.

Estudio mediante tratamiento digital de imágenes del migrado de relleno o cobertura en productos de bollería industrial

C. Serrano Mira, F. Blesa¹, F. J. Torcal-Milla¹, S. Lorente Bailo², A. M. Ferrer-Mairal³

fjtorcal@unizar.es ¹Departamento de Física Aplicada, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C/ Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza (España) ² Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C/ Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza (España) ³Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C/ Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza (España)

Resumen: La buena presencia de un producto alimenticio es de vital importancia a la hora de comercializarse. Por ello, hay que tener en consideración no sólo la presentación de un producto sino también su evolución temporal una vez que ha salido al mercado. En este trabajo se usan herramientas de tratamiento digital de imagen para el estudio de la migración temporal de relleno en productos de bollería.

La buena presencia de un producto que va a comercializarse es de vital importancia para la industria. Más aun cuando se trata de un producto alimenticio. La imagen, textura o distribución, si se trata de un envase, van a hacer que el producto sea más atractivo para el consumidor. Por ello, hay que tener en consideración no sólo la presentación de un producto sino también su evolución temporal una vez que ha salido al mercado. La tecnología ha avanzado a pasos agigantados en los últimos años y nos brinda herramientas que pueden ser aplicadas al campo de la industria agro-alimentaria como es el caso de la visión por computador y el tratamiento digital de imágenes. En este trabajo se presenta la utilización de este tipo de técnicas en el estudio de la migración temporal del relleno en artículos de bollería industrial, [1-3]. Para ello se ha tomado una muestra de 25 magdalenas y se han cortado por la mitad y escaneado mediante un escáner calibrado. Se han tomado muestras de 5 magdalenas con 7 días de diferencia entre dos medidas consecutivas. A continuación, mediante un software diseñado *ad hoc* se han analizado las imágenes para discernir qué área de la magdalena corresponde a bizcocho, que área corresponde al relleno difundido o migrado. Para ello se han convertido las imágenes a escala de gris y se ha estimado empíricamente a que intervalos de niveles de gris corresponde cada una de las fases del producto, Figura 1. Los resultados obtenidos todavía son preliminares pero podemos prever que el área de difusión del relleno aumenta con el tiempo de envasado de una forma gradual.



Figura 1.- a) Imagen escaneada de una magdalena con relleno de mermelada de fresa, b) misma imagen en escala de grises,
c) imagen entre 5 y 70 niveles de gris (relleno), d) imagen entre 71 y 124 niveles de gris (migrado),
e) imagen entre 125 y 256 niveles de gris (bizcocho).

Referencias

[1] O.D. Baik, M. Marcotte, "Modeling the moisture diffusivity in a baking cake", J. Food Eng., 56, 27 (2002).

[2] V. Guillard, B. Broyart, C. Bonazzi, S. Guilbert, N. Gontard, "Evolution of Moisture Distribution During Storage in a Composite Food Modelling and Simulation", Food Eng. And Phisical Properties, 68, 958 (2003).

[3] E. Roca, V. Guillard, B. Broyart, S. Guilbert, N. Gontard, "Effective moisture diffusivity modelling versus food structure and hygroscopicity," Food Chemistry, **106**, 1428 (2008).

Modelo numérico para la formación de imágenes a través de medios turbios con luz estructurada

<u>Armin J.M. Lenz</u>,¹ Pere Clemente,^{1,2} Yessenia Jauregui-Sánchez,¹ Enrique Tajahuerce,¹ Pedro Andrés³ y Jesús Lancis¹

¹GROC·UJI, Instituto de Nuevas Tecnologías de la Imagen (INIT), Universitat Jaume I, 12071 Castellón ²Servei Central d'Instrumentació Científica (SCIC), Universitat Jaume I, 12071 Castellón ³Departamento de Óptica, Universidad de Valencia, 46100 Burjassot

Resumen: Hemos analizado la capacidad de formación de imágenes a través de medios turbios de una cámara de un solo píxel. Para ello, hemos estudiado la propagación de la luz en el medio mediante una simulación basada en métodos Monte Carlo. Se ha llegado a la conclusión de que las prestaciones de la cámara se deben predominantemente a la exclusión de los fotones difusos.

Las técnicas de formación de imágenes que utilizan luz visible, o cercana al visible, son herramientas clave en numerosas aplicaciones en entornos científicos, industriales y médicos. Sin embargo, aún tienen graves limitaciones en lo que respecta al poder de penetración de la radiación luminosa en medios turbios [1]. Recientemente se ha demostrado la capacidad de las cámaras de un solo píxel para recuperar imágenes a través de medios turbios [2]. La clave es la proyección secuencial de patrones microestructurados sobre la escena y la medida de las variaciones de intensidad luminosa producidas por el objeto empleando detectores sin resolución espacial. La cámara tiene una gran tolerancia a la presencia del medio turbio cuando éste se haya detrás del objeto [2]. No obstante, no se ha analizado en profundidad el comportamiento de este tipo de sistemas de imagen cuando el medio turbio se localiza delante del objeto, tal como se muestra en el esquema del sistema óptico en la Fig. 1.

En este trabajo se estudia la propagación de la luz a través de medios turbios con una simulación basada en métodos de Monte Carlo (MC) y técnicas de convolución [3,4]. El estudio se emplea para analizar numéricamente el comportamiento de una cámara de un solo píxel en presencia del medio difusor. El trabajo implica, además, la fabricación de un medio turbio, la caracterización experimental de las propiedades de absorción y difusión del mismo y el montaje de un sistema de formación de imágenes de un solo píxel. El estudio permite concluir que en las prestaciones de la cámara de un solo píxel predomina el efecto de exclusión de los fotones difusos debido al tamaño reducido del sensor frente a otros efectos tales como la alta correlación de la señal balística con los patrones microestructurados o la capacidad del sistema para integrar la luz transmitida en un solo sensor.



Figura 1.- Esquema del montaje experimental de la cámara de un solo píxel. El modulador espacial de luz (SLM) es un dispositivo de microespejos digital (DMD). Un sistema óptico (lentes L2 y L3) proyecta la luz modulada por el SLM sobre el objeto. Un simple fotodiodo (PD) recoge las variaciones de intensidad que permiten reconstruir la imagen.

Referencias

- [1] V. Tuchin. *Tissue Optics: Light Scattering Methods and Instruments for Medical Diagnosis*. SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 2 edition (2000).
- [2] E. Tajahuerce, V. Durán, P. Clemente, E. Irles, F. Soldevila, P. Andrés, and J. Lancis. "Image transmission through dynamic scattering media by single-pixel photodetection". Optics Express, 22(14):16945–16955 (2014).
- [3] L.V. Wang and H.I. Wu. Biomedical Optics. Principles and Imaging. Wiley-Interscience. Hoboken, New Jersey (2007).

[4] I. Lux and L. Koblinger. *Monte Carlo Particle Transport Methods: Neutron and Photon Calculations*. CRC Press, Boca Raton (1991).

Generación de microimágenes para display 3D

N. Incardona, S. Hong, I. Kotaro*, M. Cho*, G. Saavedra y M. Martínez-Corral.

Departamento de Óptica, Universidad de Valencia, 46100 Burjassot *Department of Electrical, Electronic, and Control Engineering, Hankyong National University, South Korea

Resumen: A partir del concepto de Fotografía Integral de Lippmann, se presenta una nueva técnica de generación de microimágenes proyectables en monitores integrales. La ventaja de esta técnica radica en su flexibilidad ya que puede aplicarse a cualquier tipo de captura y monitor, y sobre todo a cualquier posición relativa de la escena proyectada.

Una fotografía es una representación 2D de una escena 3D, ya que cada pixel integra todos los rayos que proceden de un punto, perdiéndose la información angular. Gabriel Lippmann en 1908 propuso una técnica para registrar la información espacio-angular de las escena 3D [1]. Su idea consistía en poner una matriz de microlentes enfrente de la película fotográfica de forma que en la película quedase registrada una serie de imágenes elementales, o perspectivas, de la escena 3D. Tras la captura, la película fotográfica revelada y positivada se sitúa tras una matriz de microlentes igual a la usada para la captura. Las microlentes integran la luz emitida por las imágenes elementales, produciendo una reconstrucción tridimensional de la escena.

Hoy en día ya existen varias cámaras comerciales que se basan en esta idea, a las que se suele referirse como cámaras plenópticas [2, 3]. Éstas permiten, entre otras cosas, reenfocar a posteriori la imagen a distintas distancias después de haber capturado ya la escena, o incluso sacar un mapa de profundidades de la misma.

Ya que el objetivo final de esta tecnología es proyectar imágenes 3D, también hay un constante avance en técnicas para generación de imágenes para monitores integrales. Hay que recordar que las imágenes elementales no se pueden proyectar directamente, por esto existen varias técnicas de conversión de la imagen integral. Entre éstas, SPOC [4] realiza la conversión recortando zonas desplazadas de cada imagen elemental y reordenando de manera adecuada los píxeles. Su problema principal es que las perspectivas de una imagen capturada con una cámara comercial tienen muy poco paralaje, por tanto la imagen 3D reconstruida por el monitor tendrá el mismo defecto. Además, para poder aplicarla se necesitan todas las imágenes elementales, que corresponden a una gran cantidad de datos. Otra técnica [5] consiste en generar directamente las microimágenes proyectando una nube de puntos 3D a través en una matriz virtual de *pinholes*. Los píxeles se mapean como en [6] para obtener imágenes integrales ortoscópicas. Con esta técnica el resultado final es mejor a nivel de paralaje y sensación de profundidad al ponerse la matriz de *pinholes* muy cerca, o directamente en el interior de la escena. Sin embargo, esto hace que, al tener la nube de puntos un número finito de *voxels*, los que están muy cerca de la matriz de *pinholes* no se mapean, creando así zonas de píxeles negros en la imagen final.

Lo que se presenta en esta contribución es una nueva técnica para la generación de microimágenes que une las ventajas de las dos técnicas citadas. A partir de la nube de puntos se realiza la captura sintética de las imágenes elementales virtualmente, y luego éstas se convierten a microimágenes. Como se mostrará, ahora, al estar las cámaras virtuales lejos de la escena, no se crean zonas de píxeles negros. Además, siendo la captura de las imágenes elementales una captura virtual, se pueden ajustar los parámetros con mucha más flexibilidad, eligiendo el plano de referencia con precisión y variando también la cantidad de paralaje.

- [1] G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief", J. Phys. 7, 821-825 (1908).
- [2] https://www.lytro.com.
- [3] https://raytrix.de.
- [4] M. Martínez-Corral, A. Dorado, H. Navarro, G. Saavedra and B. Javidi, "Three-dimensional display by Smart Pseudoscopic-to-Orthoscopic conversion with tunable focus", Appl. Opt. 53, E19-E26 (2014).
- [5] S. Hong, D. Shin, B. Lee, A. Dorado, G. Saavedra and M. Martínez-Corral, "Towards 3D television through fusion of kinect and integral-imaging concepts", J. Display Technol. 11, 894–899 (2015.
- [6] M. Martínez-Corral, B. Javidi, R. Martínez-Cuenca and G. Saavedra, "Formation of real, orthoscopic integral images by smart pixel mapping", Optics Express 13, 9175-9180 (2005).

Registro en imágenes multimodales de escenas urbanas

Fernández R.; Valero, E.M; Nieves J. L; Martínez M. A; Romero J

Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071-Granada.

INTRODUCCIÓN

En imágenes multimodales, el registro es más complejo por la diferencia de ángulo de visión e intensidad existente en cada uno de los píxeles de las imágenes.

En este trabajo se estudia el registro de imágenes multimodales, obtenidas por un sistema con diferentes dispositivos multiespectrales e hiperespectrales, para el reconocimiento de objetos en escenas urbanas.

MATERIAL Y MÉTODO

Las cámaras empleadas son: PIKA L (Resonon Inc, USA), que obtiene hasta 150 longitudes de onda en el rango 383nm – 1016nm; y Spectrocam VIS (Pixelteq, USA) con una rueda de 8 filtros motorizada con longitudes de onda que cubren el rango visible del espectro y parte del infrarrojo cercano (NIR) hasta 1000 nm.

Inicialmente se ha realizado una captura con ambos dispositivos de una escena urbana posicionándolas en paralelo distanciadas 30cm. Para una mayor similitud en la distribución de la intensidad, se escoge la banda de 615nm para la Pixelteq (imagen referencia), y la banda 481 nm para el dispositivo PIKA L (imagen test). Para evitar discontinuidades en la imagen registrada, se dividirá cada imagen en 2 planos de igual área en píxeles (Figura 1 izquierda) para la imagen de referencia y test.

MATLAB es el software empleado para el procesado de imágenes. La extracción de CPs se hace mediante SURF, previa a la correspondencia de pares de CPs entre ambas imágenes. La transformación global estimada (de tipo afin) se aplica a la imagen test. Una segunda extracción mediante el algoritmo MinEigen es llevada a cabo para la evaluación del registro y con la elección de 20 puntos de control con la menor distancia euclídea entre sí se excluyen puntos inde-seados del proceso de igualación.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La Figura 1 (parte derecha) muestra la superposición de imágenes en falso color de cada una de las regiones (imagen referencia en rojo, imagen test en cian y zonas coincidentes en gris) con aquellos puntos correspondientes utilizados en la evaluación en verde (para la imagen test) y en rojo (referencia).



Figura 1.- Dos regiones: Imágenes referencia y test de ventana y edificio (izquierda); Registros de ambos (derecha).

Los resultados demuestran que aun siendo dispositivos diferentes es posible obtener un registro robusto. La precisión de la técnica empleada se ha calculado en una tabla con el error de localización como el promedio de la distancia euclídea de cada par de puntos unidos, y el error residual (promedio del valor absoluto de la diferencia de coordenadas entre ambos puntos, horizontal o vertical). Dado que en la mayoría de casos los errores están por debajo de 1 píxel, se confirma la validez del resultado obtenido de forma cuantitativa y no solo visualmente. Un apropiado registro es clave para tareas de procesado posterior, como la fusión o el uso de la información proveniente de ambos dispositivos para el reconocimiento de objetos, dados en futuros estudios.

	Error Residual Eje X	Error Residual Eje Y	Error de Localización	
Región 1	0.3663	0.3447	0.5600	
Región 2	0.9472	0.9374	1.4478	

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (proyecto DPI2015-64571-R).

Referencias

[1] A. Goshtasby. Advances in Computer Vision and Pattern RecognitionImage Registration, 2012. Principles, Tools and Methods. Springer.

Optical Coherence Tomography and SEM analysis of mitral valve cords

Eusebio Real^{1,3}, José. M. Icardo⁴, Gaspar Férnandez-Barreras³, José M. Revuelta⁵, José M. López-Higuera^{1,2,3}, Olga M. Conde^{1,2,3}

¹Grupo de Ingeniería Fotónica, Universidad de Cantabria, Santander, Spain ²CIBER-BBN, Cantabria, Spain ³Instituto de Investigación Sanitaria Valdecilla (IDIVAL), Cantabria, Spain ⁴Departamento de Anatomía y Biología Celular, Universidad de Cantabria, Santander ⁵LADICIM, Universidad de Cantabria, Santander, Spain

Summary: Surgical repair of mitral valve and mitral tendinous cords are based on surgeon's experience. The integrity and real health condition of tendinous cords cannot be visually determined as it relies on the cord core structure and organization. We propose Polarization Sensitive Optical Coherence Tomography (PS-OCT) to assess the structural integrity of the cord core through the quantification of the inner collagen birefringence. SEM images are taken on the same cords to validate the PS-OCT assessment.

Malfunction of tendinous cords by elongation, thickening or rupture are one of the causes of irregular valvular outcome. Diagnosis of cords health during mitral valve repair interventions is essential to prevent further pathology recurrence and to improve future prognosis. Pathologies of the mitral cords affect the structure and density of their dense collagen core [1]. Rheumatic disease produces thickening and compression of collagen bundles, loosing flexibility. Degenerative disease produces disorder of the collagen fibers. OCT allows non-invasive and *in-vivo* visualization during open interventions. In addition, there is evidence that birefringence parameter measured with OCT is altered when collagen bundles are disordered [2]. Intensity OCT measurements (Fig. 1a arrows) have been taken on a rheumatic cord, showing intensity inhomogeneities that highlight morphological alterations. PS-OCT is used to capture periodical pattern (Fig. 1b arrow 1) produced by birefringence of collagen ordered bundles [3]. This feature decreases (Fig. 1b arrow 2) or disappears (Fig. 1b arrow 3) when the collagen is compact or disordered. SEM images of the same cord are used as gold standard, showing different degradation along the cord (Fig. 1 c, d, e).



Figure 1.- Comparison of SEM, intensity OCT and PS-OCT images of the same rheumatic cord. Intensity OCT (a) shows morphological alterations and PS-OCT (b) shows differences in birefringence pattern along the cord. SEM images show different degradation levels: (c) shows mild collagen aggregation, (d) shows disordered fibers and (e) shows strong aggregation.

Acknowledgements

This work was funded with projects DA2TOI (FIS2010-19860), INTRACARDIO (DTS17-00055), DiCuTen (INN-VAL 16/02), SENSA (TEC2016-76021-C2-2-R) and co-funded with FEDER funds.

- J.M. Icardo, E. Colvee. and J.M. Revuelta,"Structural analysis of chordae tendineae in degenerative disease of the mitral valve," Int. J. Cardiol., 167(4), 1603 (2012).
- [2] E. Real, J.M. Revuelta, A. Pontón, M. Calvo-Díez, J. M. López-Higuera and O. M. Conde, "OCT inspection of degenerative and rheumatic tendinous cords", Proc. SPIE 10411, 104110W (2017).
- [3] P. Whittaker, D.R. Boughner, D.G. Perkins and P.B. Canham, "Quantitative structural analysis of collagen in chordae tendineae and its relation to floppy mitral valves and proteoglycan infiltration" Heart, **57**(3), 264 (1987).

In-depth analysis of melanoma with Optical Coherence Tomography

Eusebio Real^{1,3}, Gaspar Férnandez-Barreras³, José M. López-Higuera^{1,2,3}, Olga M. Conde^{1,2,3}

¹Photonics Engineering Group, University of Cantabria, Santander, Spain ²CIBER-BBN, Cantabria, Spain ³Instituto de Investigación Sanitaria Valdecilla (IDIVAL), Cantabria, Spain

Summary: Melanoma is one of the most aggressive types of skin cancer, being early diagnosis of this tumor essential for the prognosis and survival of patients. Optical Coherence Tomography (OCT) allows in depth visualization of tissue, providing relevant information of progression and tumor extension *in-vivo* and being noninvasive.

Melanoma accounts for around 1% of occurrence of different types of skin cancer, being the most common basal cell carcinoma and squamous cell carcinoma. However, melanoma is the most aggressive skin tumor, presenting fast growth rates causing metastasis if the lesion reaches blood vessels under the dermis. Early diagnosis of this type of pathology is essential to apply surgical interventions aimed to excise the tumor completely. Melanomas are on many occasions misclassified as melanocytic nevus in early stages and, on the contrary, a number of suspicious benign lesions are unnecessarily biopsied due to diagnosis uncertainty and subjectivity [1]. OCT, jointly with common clinical dermoscopy, can provide in-depth information under the lesion. Breslow's depth is a marker consisting on the measurement of tumor penetration, being strongly relevant for the classification of tumors in different stages, entailing different treatments and prognosis [2].

OCT provides morphological information within tissue. The OCT system used works at 1325nm, providing up to 3mm penetration with a resolution of 15 μ m in depth and 25 μ m lateral in air. Penetration is corrected by the refractive index of dermis and epidermis, considered in this case n=1.4 [3]. Volumetric measurements allow visualization of different lesion anomalies in the surrounding context, precisely accounting for depth and lateral dimensions (Fig. 1d). Analysis of volume layers shows specific alterations of the lesion at different depths (Fig. 1b). Also, volumetric information can be aggregated in an averaged en-face image that comprises not only the information of the present layer, but also information of tissue underneath (Fig. 1c).



Figure 1.- Polarized light dermoscopy of a melanoma lesion (a) compared with OCT false color representations: en-face image at a constant depth (b), average of en-face images at deep tissue (c) and 3D reconstruction of the lesion (d). Note depth dimension is represented in microns and lateral dimensions in millimeters.

The visualization of anomalies in tissue reflectivity at different depths is indicative of tissue alterations that are indicative of malignant tissue remodeling. The average of a number of layers provides information not only of a single layer, but of a whole volume of tissue, being more predictive of the extension of deeper alterations. OCT allows visualization up to a maximum penetration of 2.1 mm, what can help stablishing Breslow's depth in early stage lesions without the need of a biopsy.

Acknowledgements

This work was funded with projects DA2TOI (FIS2010-19860), FUSIODERM (DTS15/00238), SENSA (TEC2016-76021-C2-2-R) and co-funded with FEDER funds.

- [1] C. Carrera, M.A. Marchetti, S.W. Dusza, G. Argenziano, R.P. Braun, A.C. Halpern, N. Jaimes, H.J. Kittler, J. Malvehy, S.W. Menzies, G. Pellac ani, S. Puig, H. S. Rabinovitz, A. Scope, H.P. Soyer, W. Stolz, R. Hofmann-Wellenhof, I. Zalaudek and A.A. Marghoob, "Validity and Reliability of Dermoscopic Criteria Used to Differentiate Nevi From Melanoma", JAMA Dermatology, 10022(7), 798 (2016).
- [2] "American Cancer Society" [on line]. Available at: https://www.cancer.org.
- [3] H. Ding, J.Q. Lu, W.A. Wooden, P.J. Kragel and X.H. Hu, "Refractive indices of human skin tissues at eight wavelengths and estimated dispersion relations between 300 and 1600 nm,", Phys Med Biol., **51**(6),1479 (2006).

Diseño óptico del espectrómetro UVAS

David Arrazola⁽²⁾, Marianela Fernández⁽¹⁾, Luis Miguel González⁽¹⁾, Tomás Belenguer Dávila⁽¹⁾

 ⁽¹⁾Área de Óptica Espacial. Institituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA). Torrejón de Ardoz, 28850 - MADRID
 ⁽²⁾Asistencia técnica externa de ISDEFE. C/ Beatriz de Bobadilla, 3, 28040 – MADRID

Resumen: UVAS (*Ultraviolet and Visible Atmospheric Sounder*) es un instrumento que pretende estudiar los procesos que vinculan la composición atmosférica, las fuentes y el clima e irá embarcado en el satélite SEOSAT. Estos procesos son importantes para comprender mejor los componentes clave del sistema de atmósfera terrestre acoplada, con el fin de minimizar la incertidumbre en la predicción de los escenarios climáticos futuros. Además, se pretende monitorizar las emisiones antropogénicas a la atmósfera de determinados gases.

UVAS es un espectrómetro tipo whiskbroom con módulos ópticos separados para cada rango espectral: 290-390nm y 390-490nm (UV y UV/Vis). Estos módulos son espectrómetros con CCD operados como sensores de arrays lineales que pueden ser alimentados por el módulo de calibración o el módulo de apuntamiento nadir.

UVAS realizará observaciones de nadir dentro de una franja (*Field of Regard*) de aproximadamente 1000km. El instrumento admitirá tres modos de calibración diferentes: Calibración solar, cuando el satélite esté apuntando al sol; Calibración vía LEDs, con fuentes internas de calibración; y Calibración de corriente oscura. Estos dos últimos se realizarán durante la fase de eclipse.

El diseño óptico del instrumento se compone de 5 módulos principales (espejo de escanéo, telescopio afocal catóptrico (CAT), espectrómetro VIS, espectrómetro UV y módulo de calibración) y una serie de elementos ópticos adicionales (filtro, depolarizador, dicroico).

El espejo de escanéo, situado a la entrada del puerto de Nadir, se compone de un mecanismo de rotación que tiene un espejo situado sobre su eje de rotación. Se encarga de redirigir el haz proveniente de la escena hacia la entrada del CAT. Por su parte, el CAT, es un conjunto de dos espejos asféricos y fuera de eje, recibe el haz colimado del espejo de escanéo. El primer espejo enfoca la imagen en una rendija de 50 x 250 micras, mientras que el segundo espejo colima el haz para obtener un haz de menor diámetro que se dirige al dicroico responsable de la separación espectral en las dos bandas, UV (290-390nm) y VIS (390-490nm). La finalidad de este subsistema es la de focalizar el haz proveniente de la escena en una rendija y proyectar la imagen de dicha rendija en el plano focal del espectrómetro.

La luz dividida por el dicroico entra en los espectrómetros. En ambos, el primer elemento es la red de difracción (2400l/mm). Es un elemento reflectante con un ángulo de incidencia de 56.8°. A continuación, un conjunto de lentes colecta la luz difractada por la red en un CCD con un tamaño de píxel de 13.5 micras. Una máscara rectangular situada delante del área sensible del detector se encarga de limitar el área activa del CCD a 1470x50 píxeles.

Single-pixel complex-valued imaging at high sampling rates

Humberto González,^{1,2} <u>Lluís Martínez-León</u>,¹ Pere Clemente,³ Fernando Soldevila,¹ Ma. Araiza-Esquivel,² Jesús Lancis,¹ and Enrique Tajahuerce¹

¹ GROC·UJI, Institute of New Imaging Technologies (INIT), Universitat Jaume I, Castelló de la Plana, Spain.
 ² Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.
 ³ Servei Central d'Instrumentació Científica (SCIC), Universitat Jaume I, Castelló de la Plana, Spain

Resumen: We present different approaches for imaging complex-valued objects in which digital holography has been combined with structured illumination and single-pixel techniques. When digital micro-mirror devices (DMDs) are used for displaying phase-encoded sampling patterns at very high rates, the phase and amplitude image of an object can be recorded at high speed with a single-pixel sensor and reconstructed in just a few seconds, even if the output light beam passes through a scattering medium.

Phase imaging provides very relevant information when studying complex-valued objects, as biological specimens and other transparent samples. Phase-shifting digital holography is a flexible, efficient and well stablished approach for retrieving their phase and amplitude images.

Single-pixel imaging techniques record images by using a simple photodetector, instead of a conventional camera, by sampling the object with a sequence of microstructured light patterns. This approach can be convenient for cases with low light intensity or with exotic spectral bands.

In recent years, our group has reported complex-valued imaging methods considering coherent illumination and single-pixel detection based on digital holography. Initially, amplitude Hadamard patterns have been used as sampling functions in a Mach Zehnder interferometer setup including a phase shifter in the reference arm [1]. A bucket detector sequentially records the irradiance fluctuations corresponding to the interference between object and reference beams. Subsequently, complex-encoded structured illumination has been reported in phase-shifting single-pixel digital holography. The object was sampled with a set of micro-structured phase patterns, which were implemented onto a liquid-crystal spatial light modulator integrated in a Michelson interfometer [2]. Now, a new phase-encoded illumination single-pixel digital holography system, with a DMD acting as the modulator for projecting the sampling patterns onto the object, is proposed. These patterns are phase-encoded Hadamard patterns generated through a Lee hologram approach in a Mach-Zehnder configuration [3]. The modulator is also used for phase-shifting and for correcting the system-induced aberrations. Phase objects, as well as amplitude samples, can be imaged with this method, as shown in Fig. 1.



Figure 1.- Images of amplitude and phase objects reconstructed with single-pixel digital holography using a DMD.

In conclusion, the complex amplitude distribution of an object can be recorded at high speed and reconstructed in just a few seconds because of the high frame rate of the DMD, with the advantages of single-pixel imaging approaches, such as the possibility of imaging even if a scattering medium is placed in front of the detector.

- P. Clemente, V. Durán, E. Tajahuerce, P. Andrés, V. Climent, and J. Lancis, "Compressive holography with a single-pixel detector," Opt. Lett. 38, 2524 (2013).
- [2] Ll. Martinez-León, P. Clemente, Y. Mori, V. Climent, J. Lancis, and E. Tajahuercce, "Single-pixel digital holography with phase-encoded illumination," Opt. Express 25, 4975 (2017).
- [3] W.-H. Lee, "Binary synthetic holograms," Appl. Opt. 13, 1677 (1974).



http://rno2018.uji.es

Adaptive Optics for Visual Simulation: Results and Future Challenges

Enrique-Josua Fernández

enriquej@um.es

Laboratorio de Óptica, Instituto Universitario de Investigación en Óptica y Nanofísica, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo (Ed. 34), 30100 Murcia, Spain

Abstract: Adaptive optics (AO) allows the dynamic measurement and control of optical aberrations. The technique has found a natural field of application in the eye. From retinal imaging to vision, AO is providing unprecedent results on many research topics. In this work I will focus on a certain application of AO: the visual simulation. In this modality, vision is tested under manipulated optical conditions, with applications in both basic science and applied research. Historical development, current state-of-the-art, and future challenges of AO for visual simulation will be shown.

Adaptive optics (AO) in Visual Science [1] can be used twofold: to better image the retina from outside to inside the eye, or to study vision from the opposite direction with the observer's retina acting as the detector. The latter is commonly referred as Visual Simulation. In this modality AO permits for instance the complete correction of the ocular aberration to attain near perfect vision, only limited by diffraction effects and physiological sampling. An interesting alternative is to manipulate aberrations rather than merely correct them. Thus, the impact on vision produced by an aberration, or combination of aberrations, can be studied. This offers new insights into classical problems as how we see and the true impact of optical quality on the perceived vision. An additional application is the testing of new ophthalmic designs. Knowing the phase of a given optical element, the AO system can generate it to permit the subject visual evaluation.



Figura 1.- Binocular AO visual simulator. The system allows the simultaneous measurement and control of ocular aberrations from the two eyes, still using a single wavefront sensor and a phase modulator.

The process of creating new ophthalmic corrections speeds, for the production of prototypes to test vision on real subjects is no longer required. A major advance in the field has been the introduction of binocular simulators [2], where more realistic viewing conditions, including stereoscopic vision, can be tested. The figure 1 shows schematically a binocular visual simulator with its main components and distribution of conjugated planes.

Some drawbacks of the visual simulators are possibly the inherent complexity of the optical systems and their cost, so far slowing their massive use in the clinics. Although the AO is now a mature technique, I am convinced the most interesting applications in vision are still to come.

Referencias

 E. J. Fernández, Handbook of Visual Optics, Volume Two: Instrumentation and Vision Correction, Editor P. Artal, CRC Press (2017), Chapter: "Adaptive Optics for Visual Testing", p. 129.

[2] E. J. Fernández, P. M. Prieto, and P. Artal, "Binocular adaptive optics visual simulator," Opt. Lett. 34, 2628 (2009).

Diseño y Evaluación de una nueva Lente Acomodativa Deformable

Andres de la Hoz, Eduardo Martinez-Enriquez, Carlos Dorronsoro, Nandor Bekesi, Nicolas Alejandre, James Germann, Daniel Pascual, Susana Marcos

> Grupo de Optica Visual y Biofotónica, Instituto de Óptica "Daza de Valdés," Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Resumen: Se presenta un diseño de lente acomodativa que funciona mediante la deformación de sus superficies como respuesta a fuerza del musculo ciliar. Su viabilidad es evaluada utilizando simulaciones ópticas y mecánicas, y mediante evaluación experimental de un prototipo fabricado.

En este trabajo proponemos una lente acomodativa que funciona mediante el cambio de sus superficies [1] como respuesta a una carga mecánica del musculo ciliar, lo cual permite un cambio de la potencia de la lente. Esta fuerza es transmitida a través de hápticos enlazados foto-químicamente al interior de la capsula, mediante un proceso llamado 'photobonding', que consiste en utilizar un foto-iniciador (rosa de bengala) y una fuente de luz verde para generar un enlace entre un polímero y un tejido [2].

El diseño y concepto de la lente es evaluado mediante simulaciones mecánicas y ópticas. Mediante un modelo de elementos finitos (FEM) de la lente, se evalúa la deformación de las superficies frente a cargas equivalentes a las producidas por el músculo ciliar en el proceso de acomodación (0.08-0.1 N). La deformación de las superficies es obtenida de los resultados de la simulación. Estas deformaciones son utilizadas en modelos ópticos desarrollados en ZEMAX para evaluar el cambio de la potencia de la lente.

Hemos evaluado un prototipo del componente deformable de la lente acomodativa (de material HEMA+n-vinilo-pirrolidona, se evaluó experimentalmente, y los parámetros de deformación y potencia se compararon con la simulación FEM. La lente se monta en un dispositivo de extensión biaxial expresamente desarrollado para deformar la lente y medir las fuerzas requeridas para el proceso. La longitud focal de la lente en diferentes estados de deformación es medida en un sistema de trazado de rayos. Los cambios en la forma de las superficies se miden en 3D mediante un sistema de tomografía de coherencia óptica de dominio espectral (SDOCT) de desarrollo propio (operando a 50000 A-scans/s con una resolución de 5.2 µm).

Las simulaciones muestran que el rango de propiedades mecánicas y ópticas apropiadas para este tipo de lente serían 0.15-0.25 MPa de módulo de Young y 1.44-1.46 de índice de refracción. La evaluación del prototipo en el sistema de trazado de rayos muestra una buena correspondencia entre los resultados experimentales y de simulación. Los resultados del análisis con OCT confirman estas tendencias, aunque con alguna variación en los radios de la superficie anterior. Los resultados muestran que una lente acomodativa con superficies deformables puede resultar en suficientes cambios de potencia óptica dadas las propiedades mecánicas y ópticas adecuadas.



Figura 1. A) cambio de foco debido a aplicación de fuerza. B) OCT B-scan de prototipo de lente. C) Superficies de prototipo de lente reconstruidas a partir de las imágenes del OCT.

- [1] S. Marcos, C. Dorronsoro, N. Alejandre, N. Bekesi, "Intraocular lens with accommodation capacity." EP2851038, 2013.
- [2] S. Marcos, N. Alejandre, J. Lamela, C. Dorronsoro, I.E. Kochevar, "Toward New Engagement Paradigms For Intraocular Lenses: Light-Initiated Bonding of Capsular Bag to Lens Materials." IOVS; 56(8): 4249 (2015).

Customised optical coherence tomography system for corneal deformation imaging on multiple meridians

<u>Andrea Curatolo¹</u>, Judith Birkenfeld¹, James A. Germann¹, Alberto De Castro¹, Geethika Muralidharan¹, Miriam Velasco¹, Eduardo Martínez¹, Susana Marcos¹

¹Instituto de Optica "Daza de Valdés", Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO, CSIC), Madrid, Spain

Abstract: Corneal biomechanics plays a fundamental role in the genesis and progression of corneal pathologies, such as keratoconus; in corneal remodelling after ocular surgery; and in reducing the measurement accuracy of glaucoma biomarkers, such as the intraocular pressure. Corneal deformation imaging is fundamental for capturing information necessary to retrieve corneal biomechanics. We present a novel customised swept-source optical coherence tomography system coupled with a quasi-collinear air-puff excitation, capable of acquiring dynamic corneal deformation on multiple meridians.

To date, most information on corneal mechanical properties comes from *ex vivo* essays. Corneal deformation imaging holds promise to retrieve the inherent corneal biomechanical properties in vivo [1]. Scheimpflug imaging systems, like the Corvis (Oculus, Germany), can dynamically image corneal cross-sections during the air puff-induced corneal deformation event. One drawback of such system is the inability to capture information on multiple meridians during an air-puff event. This limits the accuracy of retrieved corneal biomechanical parameters and intraocular pressure [2], especially for keratoconus patients.

Swept source optical coherence tomography [3] allows for rapid acquisition of corneal tomography images. Here, we present a novel customised swept-source optical coherence tomography system coupled with a quasi-collinear air-puff excitation [4], capable of acquiring dynamic corneal deformation on multiple meridians. The flexibility of programmable optical beam scan patterns permits to select the appropriate compromise between temporal and spatial sampling of the corneal deformation profiles. The air-puff can also be customized for different puff pressures, puff durations, and applanation diameters.



Figure 1.- OCT imaging on multiple meridians. Cross-sectional view of a model eye on the horizontal meridian (left) and on two orthogonal meridians, displayed with respect to the iris (right).

Our system has a central wavelength of 1310 nm and provides an axial and transverse resolution of 15 and 119 μ m, respectively. Its field of view is 10 x 10 x 19.3 mm, and its line rate is 100 kHz, which permits sampling of 160 corneal points on two orthogonal meridians at 9 time points over the course of a 30 ms deformation event. Such a system provides an invaluable aid in capturing the necessary information to retrieve corneal biomechanics and therefore to guide surgical treatments, improve the accuracy of the retried intraocular pressure (glaucoma biomarker), and discover early biomarkers for keratoconus.

- S. Kling, and S. Marcos, "Contributing Factors to Corneal Deformation in Air Puff MeasurementsCorneal Deformation in Air Puff Measurements," IOVS 54, 5078 (2013).
- [2] N. Bekesi, C. Dorronsoro, A. de la Hoz, S. Marcos et al. "Material Properties from Air Puff Corneal Deformation by Numerical Simulations on Model Corneas." PLOS ONE 11, e0165669 (2016).
- [3] I. Grulkowski, et al., "High-precision, high-accuracy ultralong-range swept-source optical coherence tomography using vertical cavity surface emitting laser light source," Opt Lett 38, 673 (2013).
- [4] C. Dorronsoro, D. Pascual, P. Pérez-Merino, S. Kling, and S. Marcos, "Dynamic OCT measurement of corneal deformation by an air puff in normal and cross-linked corneas," Biomed Opt Exp 3, 473 (2012).

Simulation and correction of cataract effects using wavefront shaping

Augusto Arias, Enrique Fernández and Pablo Artal

Laboratorio de Óptica, Universidad de Murcia, Spain

Abstract: Cataract is characterized by the increment of the intraocular scattering, that simultaneously blurs and reduces the contrast of the retinal images. In this work, we propose an instrument for the realistic reproduction of the cataract effects and their minimization using wavefront shaping.

Intraocular scattering is originated in the interaction of the light with the micro-structures that compose the eye. Their exaggerated increment leads to the cataract formation mainly due to physical and chemical degradations of the proteins that composed the lens [1]. The cataract involves the increment of both the amount of intraocular scattering and aberrations, blurring and reducing the contrast of the retinal images. In addition, it severely limits the performance of conventional wavefront sensors, such as Hartmann-Shack [2], making the adaptive optics unworkable as a non-invasive solution.

A first step to test novel optical approaches for the cataract treatment is the development of a statistical model of the wavefront that reproduces the point spread function (PSF), i.e. the angular distribution of the light at the retina, of the human eyes with several amounts of scattered light [3]. Basically, this model simplifies the optics of the cataractous eye to a diffuser surface with zero-thickness. The model was validated with visual measurements.

On the other hand, some advances have been reported in the last decades for imaging retrieval through opaque samples in microscopy. One of those techniques is wavefront-shaping (WS) [4]. Its implementation allows to transform the PSF affected by the multiple light scattering, from a speckle pattern to a peak over a background of intensity, manipulating properly the phase map. Thus, in this work, WS was applied to improve the quality of imaging through the calculated cataractous phase maps.

An instrument was designed for the simultaneous generation and correction of the cataract effects using a double pass through a single liquid crystal device as a spatial phase modulator. The modulator's area was divided in halves to display the cataractous phase map in one half and the testing or correcting wavefronts in the another one. In this way, the experimental performance of the WS technique was evaluated for three cataract grades with corresponding logarithmic amounts of scattered light ranged from 1.75 to 2.25. The results are analyzed in terms of the enhancement of: i) the PSF; ii) the MTF; iii) the correlation calculated on simple stimulus -some examples are shown in Figure-; and iv) the visual acuity. In addition, the limits of a visual adaptive corrector based on the WS technique are studied to minimize the effects of the uncorrected scattering.



Figure. Experimental improvement of an optotype saw through the simulated cataractous eyes.

- Michael R. and Bron A. J., "The ageing lens and cataract: a model of normal and pathological ageing", Phil. Trans. R. Soc. B 366, 1278 (2011).
- [2] Mihashi T., Hirohara Y., Bessho K., Maeda N., Oshika T. and Fujikado T., "Intensity analysis of Hartmann-Shack images in cataractous, keratoconic, and normal eyes to investigate light scattering", Jpn. J. Ophthalmol. 50, 323 (2006).
- [3] Arias A., Ginis H. and Artal P., "Physical model of intraocular scattering using a spatial light modulator", Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 56, 1066 (2015).
- [4] Vellekoop I.M. and Mosk A.P., "Phase control algorithms for focusing light through turbid media", Opt. Commun. 281, 3071 (2008).

Vision in the infrared by absorption of 2 photons

<u>Silvestre Manzanera¹</u>, Katarzyna Komar², Adrián Gambín-Regadera¹, Daniel Sola¹, Maciej Wojtkowski³, Pablo Artal¹

¹Laboratorio de Óptica. Instituto de Investigación en Óptica y Nanofísica. Campus de Espinardo. Universidad de Murcia. 30100 Murcia

²Institute of Physics, Faculty of Physics, Astronomy and Informatics, Nicolaus Copernicus University, Grudziadzka 5, 87-100 Torun, Poland

³Institute of Physical Chemistry, Polish Academy of Sciences, Warsaw, Poland

Abstract: Infrared pulsed light is perceived as visible with a color corresponding to half the wavelength of the excitation radiation. The explanation to this phenomenon is a 2-photon absorption process. We will describe our experiments on this topic: We measured visual acuity in the infrared and compared with that in the visible. In addition we excited S and M cones in the retina by 1 and 2-photon processes, producing a variety of color sensations.

From the middle of the last century some authors reported [1,2] an unexpected phenomenon perceived by observers whose retinas were illuminated with IR pulsed light. With pulse durations always below the microsecond these observers perceived the IR as visible light with a color corresponding to half the wavelength of the excitation radiation. Some hypotheses were proposed based on nonlinear optics such as second harmonic generation or 2-photon (2P) absorption. In 2014, Palczewska et al [3] shown that the later was the most plausible explanation for this phenomenon.

In our laboratory we have carried out a number of experiments using this new modality of vision in the IR. We developed an instrument based on a set of scanning mirrors to deliver visual stimuli to the retina using IR pulsed light.

Utilizing a femtosecond laser (435-fs pulse width) emitting at 1043 nm we measured the visual acuity in the IR and compared with that in the visible at 543 nm using a continuous wave He-Ne laser. After testing 6 subjects, although with some inter-subject variability, the average visual acuity was similar in the visible and the IR, around 1.0 (decimal notation). In addition, through focus double-pass images of a point-like source were recorded for both, the visible and the IR. This sequence of images, as expected, confirmed the existence of longitudinal chromatic aberration with a magnitude of 1.5 D. They also shown that the maximum visual acuity takes place at the focus positions where the light is better focused on the retina, supporting the hypothesis of a retinal origin of this phenomenon [4].

On the other hand, we tested the sensitivity to the IR by 2P absorption of the different types of photoreceptor cells responsible for the color vision (cones). In particular we tested the S-cones and the M-cones sensitive to the shorter and middle wavelengths of the visible spectrum respectively. To make this possible we made use of a super-continuum laser (1-ns pulse width) and a set of bandpass filters to select IR light in the range from 850 to 1050 nm. Participants reported reddish color vision turning to purple, then blue and finally green as increasingly longer wavelengths were tested. This is an indication that in the shorter wavelengths vision was dominated by 1-photon absorption in the L-cones (responsible for the sensation of red color). As the wavelength was increased 2P absorption in the S-cones and 1-photon vision in the L-cones combined to produce purple. Increasingly longer wavelengths were able to excite the S-cones only (perception of blue) and finally only the M-cones were triggered (perception of green), at wavelengths around 1000 nm.

- D. H. Sliney, R. T. Wangemann, J. K. Franks, and M. L. Wolbarsht, "Visual sensitivity of the eye to infrared laser radiation.," J. Opt. Soc. Am. 66, 339–341 (1976).
- [2] L. S. Vasilenko, V. P. Chebotaev, and Y. V. Troitskii, "Visual observation of infrared laser emission," Sov. Phys. JETP 21, 513–514 (1965).
- [3] G. Palczewska, F. Vinberg, P. Stremplewski, M. P. Bircher, D. Salom, K. Komar, Z. Jianye, M. Cascella, M. Wojtkowski, V. Kefalov, and K. Palczewski, "Human infrared vision is triggered by two-photon chromophore isomerization," PNAS 111, 5445–5454 (2014).
- [4] P. Artal, S. Manzanera, K. Komar, A. Gambin-Regadera, and M. Wojtkowski, "Visual acuity in two-photon infrared vision," Optica 4, (2017).

Medida de la estabilidad de la película lagrimal basada en la degradación de la imagen del reflejo corneal

Mikel Aldaba¹, Alejandro Mira-Agudelo², John Fredy Barrera Ramírez², Carlos Enrique García-Guerra¹ y Jaume Pujol Ramo¹

¹Centre for Sensors, Instruments, and Systems Development (CD6), Universitat Politecnica de Catalunya (UPC), Terrassa ²Grupo de Óptica y Fotónica, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia (UdeA), Medellín, Colombia

Resumen: Se presenta un nuevo método para la medida de la estabilidad de la película lagrimal basado en la degradación de la imagen del reflejo corneal. Objetivo, no invasivo, de bajo coste y fácil de usar, los resultados obtenidos muestran la potencialidad para su uso en la pràctica clínica.

La medida de la estabilidad lagrimal es una de las principales pruebas de diagnóstico en la enfermedad de ojo seco. A pesar de su importancia, ningún método se ha adoptado como referente o *gold standard* para su medida [1]. Esto es debido a que los distintos métodos existentes presentan diferentes limitaciones como son: subjetividad de la prueba, ser invasivas o no ser viables para la práctica clínica diaria [1]. En este trabajo se presenta un método para la medida de la estabilidad lagrimal que supera las limitaciones previamente descritas. El método se basa en la medida del tiempo de ruptura lagrimal, para lo cual hace el análisis de la degradación de la imagen del reflejo corneal debida a la ruptura de la película lagrimal.

Se ha desarrollado un sistema experimental, figura 1a, para el registro de las imágenes del reflejo corneal o primera imagen de Purkinje, así como un método para determinar la estabilidad de la película lagrimal mediante el tiempo de ruptura lagrimal basado en la degradación de la imagen del reflejo corneal, figura 1b.



Figura 1.- a) Esquema del sistema experimental usado. b) imágenes registradas para pacientes sin y con ruptura lagrimal.

Se han realizado medidas de ruptura lagrimal en 9 pacientes usando el método desarrollado. Los resultados muestran una degradación de la imagen del reflejo corneal que puede ser usada para determinar la estabilidad de la película lagrimal. Asimismo, se han realizado simulaciones ópticas replicando las condiciones experimentales. Las imágenes de las simulaciones muestran una degradación de la imagen del reflejo corneal comparable a la obtenida en medidas experimentales.

En conclusión, la imagen del reflejo corneal se degrada con la ruptura lagrimal. El análisis de esta degradación puede usarse para evaluar la estabilidad de la película lagrimal de una manera objetiva, no invasiva, económica y fácil de usar, y que podría ser implementado en la práctica clínica.

Referencias

 "Methodologies to diagnose and monitor dry eye disease: Report of the diagnostic methodology subcommittee of the international dry eye workshop (2007)," Ocul. Surf. 5, 108 (2007).

La función visual binocular bajo diferentes niveles de anisocoria inducida y monovisión

José Juan Castro Torres, Carolina Ortiz Herrera, Miriam Casares López, Sonia Ortiz-Peregrina, Enrique Hita Villaverde

Laboratorio de Ciencias de la Visión y Aplicaciones. Departamento de Óptica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avenida de Fuentenueva, s/n. 18071 Granada

Resumen: En este trabajo se indujeron diferentes niveles de anisocoria en observadores normales mediante el uso de pupilas artificiales o portando en el ojo no dominante una lente de contacto tintada con una pequeña apertura central. Tras estudiar la función visual binocular en condiciones de anisocoria, combinada o no con monovisión, se compararon los resultados con las condiciones naturales de cada observador resultando un deterioro de la función visual y de la sumación binocular.

Introducción y objetivo: Una de las técnicas actuales para corregir la presbicia con cirugía refractiva es el uso de implantes intracorneales con una pequeña apertura de 1,6mm en el centro (small-aperture corneal inlays), normalmente en el ojo no dominante y con posibilidad de combinarse con monovisión (adición en ese ojo), manteniendo condiciones naturales en el ojo dominante [1]. Esta técnica produce una anisocoria que puede deteriorar el rendimiento visual binocular, por lo que resulta necesario evaluar la función visual binocular bajo condiciones de anisocoria, combinada o no con monovisión, para conocer posibles efectos en la visión binocular y sobre funciones visuales menos estudiadas, como la sumación binocular o la capacidad de discriminación visual.

Metodología: Se indujeron diferentes niveles de anisocoria en diversos observadores mediante dos métodos. En el primer método se usaron pupilas artificiales de diámetros 3 y 4mm en el ojo dominante (DE), combinándolas con pupilas de 3 y 2mm en el ojo no dominante (NDE), estando siempre la pupila de menor tamaño en este ojo. Se generaron, por tanto, tres condiciones de anisocoria DE/NDE: 4mm/3mm, 4mm/2mm y 3mm/2mm, resultando anisocorias de 1 y 2mm [2]. En el segundo método se indujo una anisocoria mediante el uso de una lente de contacto tintada con una pequeña apertura central de 1,6mm, simulando un "corneal inlay" (lente de contacto en el NDE y condiciones naturales en el DE).

En todos los casos se evaluó el rendimiento visual binocular a partir de diferentes funciones visuales binoculares (sensibilidad al contraste y capacidad de discriminación visual en condiciones de baja iluminación; con la lente de contacto además se evaluó estereopsis y agudeza visual), y de la sumación binocular (visión monocular vs. visión binocular). Las pruebas se realizaron en condiciones naturales (sin anisocoria) y con anisocoria inducida, esta última combinada o no con monovisión (adición en el NDE de +0,75 y +1,25D).

Resultados:

Al inducir la anisocoria usando las pupilas artificiales se obtuvo un deterioro de la visión binocular, obteniendo una sumación binocular menos efectiva, una sensibilidad al contraste más baja y una peor capacidad de discriminación visual en condiciones de baja iluminación. Este deterioro fue más pronunciado para la mayor anisocoria (2mm) y para la mayor adición (+1,25D). En el caso de la anisocoria inducida con la lente de contacto con la pequeña apertura central, se encontró un deterioro de la estereoagudeza, aunque la agudeza visual se mantuvo comparable a las condiciones naturales. Respecto a la sumación binocular para las funciones visuales estudiadas, se obtuvo un deterioro, tanto mayor cuanto mayor fue el grado de anisocoria y la potencia de la adición.

Conclusiones:

Los niveles de anisocoria generados con ambos métodos y combinados o no con monovisión, muestran un deterioro general en la función visual binocular, incluyendo funciones visuales importantes tras cirugía ocular, como la capacidad de discriminación visual o la sensibilidad al contraste. Este deterioro resulta comparable con el obtenido con otras técnicas quirúrgicas de emetropización, por lo que podría ser clínicamente aceptable.

Referencias

 R. L. Lindstrom, S. M. Macrae, J. S. Pepose, P. C. Hoopes. "Corneal inlays for presbyopia correction". Current Opinion in Ophthalmology 24(4), 281–287 (2013).

[2] J. J. Castro, M. Soler, C. Ortiz, J. R. Jiménez, R. G. Anera. "Binocular summation and visual function with induced anisocoria and monovision". Biomedical Optics Express 7(19): 4250-4262 (2016).

Design of a system for anterior and posterior segment imaging based on swept-source optical coherence tomography integrated into an instrument for autonomous evaluation of the visual function

A. Rodríguez-Aramendía^{1,2}, F. Díaz-Doutón², J. Pujol^{2,3}, J.L. Güell¹, I. Grulkowski⁴

 Instituto de Microcirugía Ocular (IMO). Barcelona
 Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universitat Politècnica de Catalunya. Terrassa, Barcelona.
 Davalor Research Center (dRC), Universitat Politècnica de Catalunya. Terrassa, Barcelona.
 Nicolaus Copernicus University. Torun, Poland.

Abstract: In this work we present the design of a swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) system optimized for both anterior and posterior segment imaging and such that can be integrated into an instrument for autonomous evaluation of the visual function, developed by our group in previous works. We envision the combined system to provide a complete examination of the patient's visual system, joining both functional and morphological information.

Optical coherence tomography technique has proved to be a powerful tool in ophthalmology, providing very detailed visualization of the ocular morphology with high axial resolution and penetration depth. In this work we present the design of a SS-OCT system that can be used for both anterior segment and retinal imaging. Additionally the design of the system is able to be integrated with an instrument previously developed by our group that performs an objective, automatized, comprehensive assessment of the visual function of a patient while he/she is interacting with a 3D virtual reality environment.



Figure 1- Scheme of the design of the SS-OCT for both anterior segment and retinal imaging integrated into the instrument that performs the autonomous evaluation of the visual function.

The designed optical module features a multichannel configuration: the compact SS-OCT system (working at 1050 nm), an eye-tracker system (working at 900 nm) and a vision channel (working in the visible range), thanks to which the patient can visualize the abovementioned 3D scenes while his/her eye movements are monitored. The SS-OCT utilizes a short cavity swept laser with a 100 nm wide spectrum centered at 1050 nm, a 50 kHz sweep rate and a 16 mm coherence length. The all-in-fiber interferometer permits the formation of the spectral interferogram between both sample and reference arm, which is further digitized at a rate of 1 GS/s. These arms have been developed using a dual-path dual-focus configuration [1] [2] such that it is possible to switch fast and reliably from anterior to posterior segment imaging. In the anterior segment modality, the design looks towards a longer depth of focus, so that an axial image depth range of 15 mm is achieved and an area of 13 mm x 13 mm can be scanned with a lateral resolution of 43 μ m. In the retinal imaging modality the lateral resolution is 10 μ m within a scan area of 6 mm x 6 mm. The axial resolution of the system is about 8 μ m. The high speed performance of the system allows for investigation of dynamic ocular processes, making it a very complete tool that, once implemented, will be tested on healthy and pathological eyes.

- [1] Nankivil, D., Waterman, G., LaRocca, F., Keller, B., Kuo, A., Izatt, J. A. "Handheld, rapidly switchable, anterior/posterior segment swept source optical coherence tomography probe", *Biomed. Opt. Express* 6(11) 4516 (2015).
- [2] Grulkowski, I., Manzanera, S., Cwiklinski, L., Sobczuk, F., Karnowski, K., & Artal, P. "Swept source optical coherence tomography and tunable lens technology for comprehensive imaging and biometry of the whole eye", *Optica* 5 52 (2018).

Phoria measurement with an automated and objective cover test

Clara Mestre¹, Carles Otero¹, Fernando Díaz-Doutón^{1,2}, Josselin Gautier³, Jaume Pujol¹

¹ Davalor Research Center (dRC). Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, Spain. ² Center for Sensors, Instruments and Systems Development (CD6). Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, Spain. ³ Inria, Sophia Antipolis, France

Abstract: In this study, the repeatability of an automated and objective method to measure phoria and its agreement with the prism cover test and the modified Thorington test are analyzed. The highly repeatable results obtained together with an agreement level between tests comparable to the one shown by other clinical tests represent additional advantages of using eye-trackers to measure phoria accurately and objectively.

The main purpose of this study was to compare an automated and objective method to measure near phoria using an eye-tracker with the prism cover test (CT) and the modified Thorington test (TH) [1]. The asymmetry of phoria between eyes and the effect of ocular dominance on the magnitude of phoria was also analyzed.

Thirty non-presbyopic adults with a mean age \pm standard deviation (SD) of 27.9 \pm 4.6 years and phoria ranging from 14 prism diopters (PD) esophoria to 14 PD exophoria participated in the study. Horizontal phoria at near vision (40 cm) was measured with the CT, the TH and an automated and objective cover test using the eye-tracker Eyelink 1000 Plus (SR-Research) (ET). In the latter method, two pairs of crossed polarizers driven by stepper motors were used to cover the right and left eye alternately while participants were asked to fixate a 20/50 Snellen E letter placed at 40 cm. The cover test sequence consisted of three repetitions of binocular fixation, left eye occlusion, binocular fixation and right eye occlusion. Phoria was computed at each occlusion as the deviation of the occluded and fixating eyes from their positions in the previous binocular period. The ET measurement was repeated after a rest of 40 minutes. Ocular dominance was assessed with the Hole-in-the-Card test.

An example of ocular traces during the ET measurement is shown in Figure 1.



Figure 1.- Horizontal right (blue) and left (orange) eye positions. Periods of left eye occlusion are shaded in orange and periods of right eye occlusion are shaded in blue. The non-shaded areas correspond to binocular fixation periods.

The mean difference of the magnitude of phoria between sessions \pm SD was 0.15 \pm 0.79 PD (p=0.32). Concerning the agreement between methods, repeated measures ANOVA showed no significant differences between the measured magnitude of phoria (p=0.71). The 95% limits of agreement of the ET method were \pm 7.47 PD and \pm 5.23 PD compared with the CT and the TH, respectively. There was no significant effect of ocular dominance on the differences of the magnitude of phoria between eyes (p=0.20).

The proposed automated and objective cover test showed considerably better intersession repeatability than the reported for the conventional clinical methods [2]. Moreover, the use of eye-trackers to measure phoria offers other advantages such as the possibility to record the movements of the occluded eye and to have an objective measurement with better resolution and accuracy. The ET method cannot be used interchangeably with the CT nor the TH, as well as the conventional methods do not agree [2-3]. However, as eye-trackers become common tools in clinical settings, their use should be the new gold standard for the measurement of phoria.

- Scheiman M, Wick B. Clinical management of Binocular Vision. Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders. Lippincott Williams & Wilkins (2014).
- [2] Antona B, Gonzalez E, Barrio A, Barra F, Sanchez I, Cebrian JL. "Strabometry precision: intra-examiner repeatability and agreement in measuring the magnitude of the angle of latent binocular ocular deviations (heterophorias or latent strabismus)". Binocul Vis Strabol Q Simms Rom. 26 91 (2011).
- [3] Sanker N, Prabhu A, Ray A. "A comparison of near-dissociated heterophoria tests in free space". Clin Exp Optom. 95 638 (2012).

Desconfía de la VSOTF: buscando un criterio mejor

Justo Arines, Eva Acosta

¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España

Resumen: La Razón de Strehl Visual (VSOTF) es una métrica ampliamente usada, y aceptada como standard para la predicción de la calidad visual a partir de medidas del frente de onda. En el presente trabajo mostraremos las limitaciones de este criterio al evaluar elementos sin simetría de revolución y propondremos una alternativa más eficaz que da más peso a la función de transferencia de fase.

El desarrollo de elementos correctores de errores refractivos y presbicia es un campo muy activo actualmente. Así como para la corrección de miopía, hipermetropía y astigmatismo la búsqueda de nuevas soluciones es marginal, en el caso de la presbicia el bullicio es relevante. Un gran número de diseños de formas sencillas, basadas en aberración esférica, diseños multizona concéntricos, o diseños sectoriales han sido propuestos por un gran número de grupos de investigación.

En este tipo de trabajos en los que hay que comparar diferentes diseños para escoger unos pocos que serán posteriormente fabricados y evaluados subjetivamente, se emplean criterios objetivos que permiten predecir la calidad visual que van a proporcionar dichos diseños. Es por ello que el criterio que se escoja es fundamental en la evolución del desarrollo del elemento corrector. Un mal criterio, o un criterio que solo sea válido para un determinado tipo de diseños, proporcionará una categorización errónea de los diseños propuestos y el descarte de soluciones que frente a otro criterio serían las elegidas.

En la actualidad el criterio objetivo de predicción de la calidad visual más extendido es la VSOTF [1]. Es un criterio que se basa en la integral de la función de transferencia óptica ponderada por la función de transferencia neural. Cuanto mayor sea la VSOTF mejor calidad visual se espera que proporcione el elemento óptico. Sin embargo en el curso de nuestras investigaciones (tanto experimentales como numéricas) nos encontramos con que este criterio no refleja la realidad cuando se trabaja con soluciones que no presentan simetría de revolución [2,3].

En este trabajo presentaremos esta limitación del criterio VSOTF, motivándola con resultados experimentales en laboratorio y resultados numéricos. Así mismo propondremos un criterio nuevo para la predicción de la calidad visual a partir de medidas aberrométricas, que da mayor peso a la función de transferencia de fase que el criterio VSOTF, mejorando la predicción del comportamiento de los elementos ópticos diseñados sin simetría de revolución.

Agradecimientos: Agradecemos la financiación proporcionada por el MINECO a través del proyecto de investigación con referencia FIS2016-77319-C2-1-R

- Thibos LN, Hong X, Bradley A & Applegate RA. Accuracy and precision of objective refraction from wavefront aberrations. J Vis 4, 329–351 (2004).
- [2] Young LK, Love GD & Smithson HE. Accounting for the phase, spatial frequency and orientation demands of the task improves metrics based on the visual Strehl ratio. Vision Res **90**, 57–67 (2013)
- [3] J Arines, C Almaguer, E Acosta, "Potential use of cubic phase masks for extending the range of clear vision in presbyopes: initial calculation and simulation studies" Ophthalmic and Physiological Optics 37 (2), 141-150 (2017).

Scattering producido por las vesículas del cristalino y su efecto en las cataratas

Alexander Cuadrado¹, Mahmoud. H . Elshorbagy¹, Francisco José Torcal-Milla², Luis Miguel Sánchez Brea³, José Antonio Gomez-Pedrero¹

¹Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España) ²Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza (España)

³*Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid, Calle Arcos de Jalón 118, 28037, Madrid (España)*

Resumen: En este trabajo se presentan los efectos de scattering que pueden aparecer en el cristalino humano. En concreto se analizan, mediante simulaciones de elementos finitos, el scattering dado por las vesículas que aparecen en las paredes de las celdas fibrosas y la relación de estos con los problemas de catarata.

El cristalino es una estructura estratificada formada por celdas de fibras que contienen un medio intracelular, que se puede considerar como una solución de proteínas de la familia α - β - γ Crystalline en agua [1]. El cristalino comienza a generarse en la etapa fetal humana, generando el núcleo de la lente y crecerá a lo largo de los años, hasta alcanzar un grosor de 3 mm [2]. Las celdas a modo de compartimentos estancos contendrán la solución intracelular, la cual presentará una concentración proteínica diferente a lo largo y ancho de la lente. De hecho, esta concentración variará el índice de refracción de forma local, descrita mediante modelos como el propuesto por Goncharov [3]

Las celdas fibrosas muestran un aspecto ordenado cerca del núcleo que desaparece paulatinamente al acercarse a la superficie del cristalino. Este crecimiento desordenado, unido a ciertos factores externos puede causar daños en las paredes de las celdas. Al repararse estos daños pueden causar una serie de alteraciones en las forma de las pareces, generándose ciertos tipos de vesículas [4, 5]. Estas partículas, atendiendo a su tamaño, el grosor de su capa proteínica, y las características del medio que las rodea, presentarán un gran scattering. Es por ello, que al aumentar su número el medio cristalino, se tornará opaco generando un problema de catarata [6]. En este trabajo estudiamos el scattering de las vesículas, que típicamente aparecen en el cristalino, mediante el software de simulaciones de elementos finitos.

Referencias

- [1] P. J. Donaldson, A. C. Grey, B. M. Heilman, and J. C. Lim, "The physiological optics of the lens", Prog. Ret. and Eye Res., 56, e1-e24 (2017).
- [2] Handbook of visual optics volume 1, Pablo Artal, CRC Press, 2017
- [3] A. V. Goncharov and C. Dainty, "Wide-field schematic eye models with gradient-index lens," J. Opt. Soc. Am. A, 24(8) 2157 (2007).
- [4] F.A. Bettelheim, S. Ali "Light scattering of normal human lens III. Relationship between forward and back scatter of whole excised lenses." Experimental Eye Research 41(1), 1-9, 1985

[5] E. L. Siew, D. Opalecky, F.A. Bettelheim, "Light scattering of normal human lens. II. Age dependence of the light scattering parameters" Experimental eye research 33(6), 603-614, 1981.

[6] M. J. Costello, S. Johnsen, K. O. Gilliland, C. D. Freel and W. C Fowler "Predicted light scattering from particles observed in human age-related nuclear cataracts using Mie scattering theory" Invest Ophthalmol Vis Sci 48, 303-312, 2007

Agradecimientos

Proyecto "Tecnologías fotónicas aplicadas para la compensación y diagnóstico ocular", DPI2016-75272-R, del Ministerio de Economía y Competitividad.

Retinal imaging with a single pixel camera

<u>Rahul Dutta</u>¹, Benjamin Lochocki¹, Adrián Gambín-Regadera¹, Silvestre Manzanera¹, Esther Irles², Fernando Soldevila², Enrique Tajahuerce², Jesús Lancis² and Pablo Artal¹

¹Laboratorio de Óptica, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo (Edificio 34), Murcia 30100, Spain. ²Institut of New Imaging Technologies, GROC, Universitat Jaume I, Castellon 12071, Spain.

Abstract: We present a novel approach for imaging the retina in real time using a single pixel detector combined with spatially structured illumination. This system may have application in cases where ocular media present significant opacities. Examples of retinal images in both artificial and real human eyes are presented.

There are various successful implementations of ophthalmoscopes to examine the retina. New robust retinal imaging systems able to operate under different eye's conditions may have a practical importance. Here, we introduce another imaging modality, the single pixel camera technique, to the field of ophthalmic imaging [1].

The technique consists on codifying a sequence of microstructured light patterns onto a programmable spatial light modulator (a digital micromirror device, DMD), which are projected onto the object (the retina in this case). Light intensity of each projection is measured with a single-pixel detector (a photomultiplier tube, PMT). Fig. 1 shows the experimental setup where a diaphragm is conjugated on the pupil plane and defines the eyes' entry point minimizing the impact of scatter and aberrations. The developed software is capable to reconstruct images and video sequences in real-time. The final video rate is mainly limited by the speed of the DMD and partly by the data processing and computation time depending on the desired resolution.

We obtained fundus images of the human living eyes in several normal subjects. As an example, the image shown in fig. 1 is obtained by illuminating the optical nerve head of the left eye of one subject.



Figura 1.- Schematics of the single-pixel ophthalmoscope. The image shows the obtained result for a human eye retina.

The use of a single-pixel sensor makes it possible the detection of other physical parameters allowing multidimensional imaging. Recently, it has been shown that single-pixel imaging systems can overcome the fundamental limitation imposed by scattering even in the dynamic case [2] and in biological tissue [3]. In contrast with other schemes this approach does not require any calibration process. These ideas, together with an experimental setup based on an ophthalmoscopic architecture, will allow us to tackle the problem of imaging objects behind a scattering medium in a reflection configuration.

- [1] Benjamin Lochocki, Adrian Gambín, Silvestre Manzanera, Esther Irles, Enrique Tajahuerce, Jesus Lancis, and Pablo Artal, "Single pixel camera ophthalmoscope," Optica **3**, 1056 (2016).
- [2] E. Tajahuerce, V. Durán, P. Clemente, E. Irles, F. Soldevila, P. Andrés, and J. Lancis, Optics Express 22, 16945 (2014).
- [3] V. Durán, F. Soldevila, E. Irles, P. Clemente, E. Tajahuerce, P. Andrés, and J. Lancis, Optics Express 23, 14424, (2015).

Comparación de simuladores visuales multifocales antes y después del implante de lentes trifocales difractivas en pacientes reales

<u>Romero, Mercedes¹</u>; Vinas, Maria¹; Aissati, Sara¹; Mendez-Gonzalez, Juan Luis²; Benedi, Clara¹; Gambra, Enrique²; Akondi, Vyas¹; Garzon, Nuria³; Poyales, Francisco³; Dorronsoro, Carlos¹; Marcos, Susana¹

> ¹ Visual optics & Biophotonics Lab, Instituto de Optica, CSIC, Madrid, España ² 2Eyes Vision, Madrid, España ³ IOA Madrid Innova Ocular, Madrid, España

Resumen: Las lentes intraoculares multifocales introducen una nueva experiencia visual difícil de explicar a los pacientes, pero que es posible experimentar con simuladores visuales. En este estudio comparamos la función visual a través del foco de lentes multifocales simuladas mediante dos plataformas: (1) sistema de Óptica Adaptativa policromático de desarrollo propio; (2) prototipo de simulador visual binocular y portátil. Encontramos curvas "through-focus" similares preoperatoriamente con corrección monofocal y multifocal, y postoperatoriamente (multifocal) con ambas plataformas.

Objetivo: Evaluar la simulación visual de lentes intraoculares multifocales (M-IOLs) comerciales, utilizando diferentes simuladores en pacientes reales, antes y después de su implantación.

Métodos: En el estudio participaron 4 pacientes (53-74 años) sometidos a una cirugía de cristalino transparente, a los que se implantó una lente M-IOL trifocal difractiva (POD F, FineVision, PhysIOL). Se realizaron medidas con los simuladores visuales antes y después de la cirugía. Se utilizaron dos plataformas de simulación: (1) un sistema de AO policromático de desarrollo propio, con 2 simuladores visuales[1]: un modulador de luz espacial (SLM_AO), que mapeó espacialmente el perfil de potencias de la lente, y una lente optoajustable funcionando bajo el principio de multiplexación temporal (SimVis_AO)[2,3]; (2) un prototipo de simulador visual binocular, "see-through", "wearable", de campo visual amplio (SimVis_Gekko)[4]. Se midió la agudeza visual decimal a través de foco (TFVA) de dos formas: (1) monocularmente, utilizando un test de 4 elecciones forzadas con una E de Snellen proyectada en un dispositivo digital de microespejos con luz monocromática, mientras se modificaba el desenfoque con un sistema de Badal; y (2) binocularmente, utilizando un optotipo clínico y el SimVis_Gekko, modificando el desenfoque con lentes de prueba. Se evaluaron las diferencias de las curvas TFVA entre métodos, y entre medidas pre y post cirugía, en términos de "Root Mean Square" (RMS).

Resultados: Se obtuvieron VA similares pre [monofocal 1.10±0.09; multifocal 0.90±0.08],y postoperatoriamente [multifocal 0.98±0.06] con ambas plataformas de simulación. Aunque se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las simulaciones multifocales preoperatorias [SimVis_AO-SLM_AO, p=0.025; SimVis_AO-SimVis_ Gekko, p=0.011], no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los datos obtenidos pre-operatoriamente (mediante simulación) y postoperatoriamente (con la propia lente): [SimVis_AO, p=0.926; SLM_AO, p=0.925; Sim-Vis_Gekko, p=0.287. Además el promedio de las diferencias RMS de las curvas TFVA preoperatoria con la simulación y postoperatoriamente con la IOL implantada fue de 0.08 (SLM_AO), 0.09 (SimVis_AO) y 0.08 (SimVis_Gekko), <0.1 en términos de VA decimal, y similares entre simuladores con distintos principios.

Conclusiones: Los simuladores visuales son herramientas programables, útiles para predecir el rendimiento visual con M-IOL, tanto en un entorno de AO como en el prototipo clínico SimVis de campo visual amplio. Los datos de las simulaciones visuales preoperatorios se encuentran en buen acuerdo con los obtenidos postoperatoriamente. Al menos para estímulos con luz monocromática, los simuladores basados en SimVis o en SLM simulan la visión post-operatoria con un alto nivel de precisión.

Referencias:

- Vinas, M., Dorronsoro, C., Radhakrishnan, A, Benedi-Garcia, C., LaVilla, E.A, Schwiegerling, J., & Marcos, S. "Comparison of vision through surface modulated and spatial light modulated multifocal optics", Biomedical Optics Express, 8(4): p.2055-2068,(2017).
- [2] Dorronsoro, C. et al. "Portable simultaneous vision device to simulate multifocal corrections. Optica", 3(8), 918-924, (2016).

[3] Akondi, V., et al., "Temporal multiplexing to simulate multifocal intraocular lenses: theoretical considerations". Biomedical Optics Express, 8(7): p. 3410-3425 (2017).

[4] Dorronsoro C., J.R.A., and S. Marcos, Miniature simultaneous vision simulator instrument, (2015).

Discriminación del emborronamiento en un sistema de Óptica Adaptativa

Clara Benedi-Garcia [1], Maria Vinas [1], Carlos Dorronsoro [1], Mike Webster [2], Susana Marcos [1]

[1]Instituto de Óptica IO-CSIC, Madrid [2]University of Nevada, Reno

Resumen: El umbral de discriminación del emborronamiento depende del emborronamiento de la imagen de referencia. Generalmente se estudia la sensibilidad al emborronamiento artificial, y además las imágenes retinianas están afectadas por la óptica ocular. En este trabajo se evaluó el umbral de discriminación del emborronamiento previa corrección de las aberraciones oculares, para imágenes emborronadas con versiones escaladas de las aberraciones del sujeto, y con desenfoque puro, para distintos pedestales y condiciones de adaptación.

Objetivos: En estudios anteriores se ha estudiado el umbral de sensibilidad a la discriminación al emborronamiento [1]. En el presente trabajo se pretende incorporar el control de las aberraciones para conocer cuál es su influencia en la discriminación del emborronamiento. Esto nos permitiría saber si el umbral de discriminación está determinado por el grado de borrosidad de la imagen retiniana física o por el grado de borrosidad subjetiva de la imagen.

Métodos: Las medidas se realizaron en sistema de Óptica Adaptativa (AO) [2] desarrollado en proyectos anteriores que cuenta con un sensor de frente de onda Hartmann-Shack (32x32 microlentes) que trabaja en bucle cerrado con un espejo deformable electromagnético (52 actuadores; MIRAO, Imagine Eyes, Frace) con luz IR (SLD, 827 nm). El estímulo, una imagen ajedrezada, se presentó en un monitor CRT (Mitsubishi Diamond Pro 2070, Japan, con 1.98° de tamaño angular). El test consistió en la comparación de una imagen de referencia (pedestal) con diferentes niveles de emborronamiento y la detección del umbral de discriminación del emborronamiento utilizando un procedimiento de elección forzada entre dos alternativas. Se realizaron tres experimentos con distintos métodos de emborronamiento: (1) Imágenes pedestal y test degradadas con distintas versiones escaladas de la PSF del sujeto (x0 -sin aberraciones- hasta x2, en pasos de x0.25); (2) Mismo experimento (1) tras adaptación a cada pedestal; (3) desenfoque inducido con un sistema de Badal con (3A) las aberraciones corregidas con AO y (3B) las aberraciones sin corregir (NoAO), para desenfoques entre 0 D (mejor calidad óptica en cada condición) y +1 D, en pasos de 0.25-0.5 D. Las medidas se realizaron en 3 sujetos (44 \pm 4.36 años), con pupilas de 5 mm y acomodación paralizada. Se analizó el umbral de emborronamiento (arcmin) en función del emborronamiento del pedestal (arcmin).

Resultados y conclusiones: La inducción de emborronamiento mediante desenfoque puro (Exp 3) resulta en un incremento del umbral de discriminación al emborronamiento (pendiente promedio 0.0927 log arcmin/log arcmin), similar a resultados previos en la literatura con emborronamiento gaussiano. El pedestal que produce el mínimo umbral de discriminación corresponde a 0-0.25 D (0.46-3.02 arcmin). En un sujeto la corrección de aberraciones disminuyó el umbral por un factor 0.23. La inducción de emborronamiento mediante el escalado de las aberraciones oculares (PSFs) revela un incremento del umbral para pedestales más emborronados. El mínimo umbral se obtiene en un para emborronamientos próximos al producido por las aberraciones naturales del sujeto (x0.75-x1 PSF). La adaptación al pedestal tiende a disminuir el umbral de discriminación del emborronamiento para la mayor parte de los pedestales, y a desplazar el mínimo de las curvas. Estos resultados sugieren que el emborronamiento producido por las aberraciones oculares oculares y la adaptación a las mismas juega un papel en la sensibilidad al emborronamiento.

Referencias

[2] Marcos, S., Sawides, L., Gambra, E., & Dorronsoro, C. "Influence of adaptive-optics ocular aberration correction on visual acuity at different luminances and contrast polarities". JOV, 8(13):1, 1–12(200

^[1] Watson, A. B., & Ahumada, A. J. "Blur clarified: A review and synthesis of blur discrimination" JOV 11(5):10 1–23, (2011)

Influencia de la distribución espectral sobre el mecanismo de ganancia al contraste mesópica en visión extrafoveal

Matesanz Beatriz. M.; Arranz Isabel; Vicente Eduardo.G.; Rodriguez Miguel; Pablo A.Barrionuevo; Mar Santiago; Aparicio Juan A.

Departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica, Universidad de Valladolid, 47011 Valladolid, Spain

Resumen: Este trabajo estudia la influencia de la distribución espectral con sistemas de fotometría fotópica y mesópica (MES2) sobre el mecanismo de ganancia de contraste bajo condiciones de luminancia mesópica y visión extrafoveal. Los primeros resultados, en sujetos jóvenes, apuntan a que la composición espectral influye en la ganancia al contraste. Esto se atribuye a una mayor actividad de los bastones en dichas condiciones de medida y a la eficiencia visual ante distribuciones espectrales bien diferenciadas.

La ganancia al contraste (G_{c}) es un mecanismo retiniano de adaptación al contraste que permite maximizar la respuesta del sistema visual pese a las variaciones en el nivel de iluminación. Es bien conocido que este mecanismo varía con la luminancia del fondo y con la excentricidad [1], sin embargo ningún trabajo ha analizado la influencia del poder de distribución espectral (SPD) sobre dicho mecanismo. Algunos autores han encontrado influencia de la distribución espectral sobre la función visual en bajas luminancias y retina excéntrica, lo que nos lleva a estudiar el mecanismo de ganancia al contraste bajo estas mismas condiciones [2].

Se ha utilizado un sistema de doble visión maxwelliana para medir el tiempo de reacción visual (TR) en luminancias de 0.01 cd/m², para 5 contrastes de Weber diferentes (C) y en 10° de retina temporal. El valor de la Gc, se obtiene como la inversa de la pendiente obtenida al representar el TR en función de 1/C [1]. Trece sujetos jóvenes con buena salud ocular han participado en el estudio. Estas medidas se han realizado con dos iluminantes, comunes en las vías urbanas, que tienen distinta distribución espectral, sodio de alta presión (HPS) y halogenuros metálicos (HM). El valor de la G_c ha sido calculado para dos sistemas fotométricos: fotometría fotópica y fotometría MES2, recomendada por la CIE para el rango de luminancias mesópicas.

Los primeros resultados (Figura 1) muestran que la G_c mejora para la lámpara HM en el caso de usar fotometría fotópica. Sin embargo esta diferencia entre lámparas no se aprecia cuando usamos la fotometría MES2. Esto puede ser debido a que, en el sistema fotométrico MES2, ya se ha considerado la distribución espectral de dicha lámpara. Por tanto, la distribución espectral sí influye en la G_c , al menos en 10° de retina temporal. Esto puede ser atribuido a la alta contribución de los bastones en estas condiciones de medida, haciendo que la G_c mejore en el caso del iluminante con mayor componente en bajas longitudes de onda (HM).



Figura 1.- Ganancia al contraste para dos iluminantes, HM y HPS, y para dos sistemas fotométricos, fotópico y MES2. La barra de error corresponde a la desviación standard.

Agradecimientos: Los autores desean expresar su agradecimiento a recientemente fallecido Dr. J.A. Aparicio por su importante colaboración en el desarrollo de este trabajo financiado por el Ministerio de Interior (SIP-IP20141271).

- Murray, I. J., & Plainis, S. "Contrast coding and magno/parvo segregation revealed in reaction time studies". Vision Research, 43(25), 2707–2719. (2003)
- [2] Uttley, J., Fotios, S., & Cheal, C. "Effect of illuminance and spectrum on peripheral obstacle detection by pedestrians". Lighting Research & Technology, 49(2), 211-227. (2017)

Uso de tecnología plenóptica para compensación de aberraciones: estudios preliminares y aplicación a imagen de retina

A. Marzoa, S. Vallmitjana y S. Bosch.

Grup d'Òptica i Fotònica, Departament de Física Aplicada, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028, Barcelona

Resumen: Presentamos estudios preliminares sobre el uso de tecnología plenóptica comercial (cámaras Lytro F01® e Illum®) para la compensación de aberraciones en sistemas ópticos, utilizando los procesados de filtraje plenóptico convencionales. El objetivo final es la aplicación de dicha tecnología para la compensación de aberraciones en imagen de retina.

Las **cámaras con tecnología plenóptica** incorporan una matriz de microlentes delante del sensor, lo cual permite capturar simultáneamente una instantánea desde diferentes perspectivas, pero con pérdida de resolución respecto a una cámara convencional, que proporciona imágenes en 2D. En imagen plenóptica es indispensable la manipulación de los valores de intensidad de los pixeles mediante algoritmos de reconstrucción de imagen [1].

El uso de cámaras **disponibles comercialmente** es mucho más simple que adaptar una matriz de microlentes a un sensor CCD o CMOS. El inconveniente está en que las cámaras comerciales están diseñadas para objetos macroscópicos y no para aplicaciones especiales, como el caso de imagen de fondo de retina.

Nuestro objetivo es usar plenóptica para imagen retineana. Para ello hemos empezado a procesar imágenes de ojo artificial con aberraciones añadidas, captadas con la cámara Lytro F01 (de 3280^2 píxeles de $1.4x1.4 \mu m y$ microlentes de 14 μ diámetro) forzando su operación en condiciones no convencionales para poder conseguir: i) adaptar la apertura numérica de la captación con la de las microlentes, ii) obtener una mayor cobertura del sensor. Hemos seguido de cerca el procedimiento introducido en la Ref. [2], ya que se adapta mucho a nuestras necesidades. En esencia, el método consiste en introducir un sistema óptico auxiliar intermedio que forme la imagen de retina detrás de la cámara plenóptica, forzando a que ésta trabaje con objeto virtual, en un *régimen inverso* [2]. Para el procesado de las imágenes de la cámara, hemos adaptado el software abierto disponible (en lenguaje MATLAB) y descrito en la Ref. [3], fácilmente modificable a nuestras necesidades.

Imágenes de ojo artificial, con inclusión en su pupila de una lámina de fase con las aberraciones oculares de una persona real, se muestran en la Fig. 1. La a) está obtenida con cámara convencional y es de tamaño 2.7x2.7 mm. Las b), c) y d) se obtienen con 3 procesados plenópticos usuales aplicados a la misma captación realizada con la Lytro F01 en régimen inverso. En este caso el tamaño es de 4.6 x 4.6 mm aprox.



Figura 1.- Imágenes obtenidas con cámara convencional (a) y con cámara Lytro F01 trabajando en régimen inverso. Las imágenes de plenóptica son resultado de distintos filtros: lineal en frecuencia (b), planar en frecuencia (c) y hyperfan (d) [3].

Se aprecia cómo las imágenes procesadas con métodos plenópticos son comparables a la imagen convencional, para este nivel de aberración en pupila. En estas condiciones, se muestra que esta tecnología puede compensar los efectos de las aberraciones geométricas, a pesar de la pérdida de resolución implícita en la captación. Esperamos mejores resultados con la cámara Lytro Illum con la que estamos empezando a trabajar, al ser plenóptica de última generación con muchas más microlentes y píxeles.

Agradecimientos: Este trabajo está financiado por el proyecto FIS2016-77319-C2-2-R.

Referencias

[1] Ng R., Digital Light Field Photography (PhD thesis), Standford University (2006).

- [2] Mignard-Debise L., Ihrke I., "Light-Field Microscopy with a ConsumerLight-Field Camera", arXiv:1508.03590 v2 [cs.GR] (2015)
- [3] Dansereau D. G., Pizarro O., Williams S. B., "Decoding, calibration and rectification for lenselet-based plenoptic cameras", CVPR (2013).

CSF-UPC test: una nueva propuesta para la determinación de la sensibilidad visual al contraste en función del iluminante utilizado

Montserrat Tàpias¹, Jaume Escofet¹ y Miquel Ralló²

¹Departament d'Òptica i Optometria. ²Departament de Matemàtiques Universitat Politècnica de Catalunya. Violinista Vellsolà, 37. 08222 Terrassa (Barcelona)

Resumen: Los test comerciales impresos para la medición de la sensibilidad visual al contraste que consisten en estímulos sinusoidales de diferentes frecuencias, presentan un grado de discretización demasiado bajo entre sus niveles de contraste máximo y mínimo. Ello es un hándicap para cuando se pretenden detectar ligeras variaciones de la función de sensibilidad al contraste como, por ejemplo, en el estudio de la influencia del espectro del iluminante utilizado en la lectura de textos impresos.

Se propone la elaboración de un nuevo test (CSF-UPC) para la determinación de la función de sensibilidad al contraste en visión cercana que posibilite la detección de variaciones más pequeñas de modulación de lo que permiten los test de elección forzada comercializados actualmente [1]. El test de visión cercana VCTS-6000 de Vistech Consultants [2] es un referente muy utilizado en la práctica clínica y ha sido tomado como referencia en este trabajo. A diferencia del VCTS-6000 test, el CSF-UPC test ha sido generado por ordenador y posteriormente impreso en alta resolución en un papel altamente difusor. Los valores de frecuencia espacial coinciden con los del VCTS-6000 test (1.5, 3, 6, 12 y 18 c/g), los estímulos presentan las inclinaciones 0º y ±15º y el incremento de modulación en unidades logarítmicas es igual a 0.08, lo que implica un número de 21 estímulos por cada frecuencia espacial. Este elevado número de estímulos imposibilita la presentación simultánea de todos ellos a la vez, por lo que el aspecto del test es en forma de carpeta de anillas con cinco láminas en total (una para cada frecuencia). Se han elaborado distintas versiones del test para evitar la memorización de las orientaciones. La figura 1(a) muestra el aspecto del test para la frecuencia de 1,5 c/g y la figura 1(b) los resultados preliminares de sensibilidad al contraste medidos con el CSF-UPC test (en trazo discontinuo) y medidos con el VCTS-6000 test (trazo continuo) en condiciones de visión binocular. A la vista de estos resultados se concluye que el CSF-UPC test, debido a su elevado grado de discretización y a su distinto proceso de manufacturación, permite determinar con mayor exactitud la función de sensibilidad al contraste que el referente utilizado. La posterior validación del CSF-UPC test, mediante comparación con el VCTS-6000 test, deberá permitir analizar el grado de equivalencia existente entre ambos.



Figura 1.- (a) Aspecto del test para f = 1,5 ciclos/g. (b) Gráfica comparativa de los resultados preliminares con el test CSF-UPC (trazo discontinuo) y VCTS-6000 de Vistech Consultants (trazo continuo) de dos pacientes (autores). Los puntos grises son los estímulos que presenta el test VCTS-6000, a modo de referencia.

Referencias

 Richman J., Spaeth G. L., Wirostko B. "Contrast sensitivity basics and a critique of currently available tests", J Cataract Refract Surg, 39, 1100 (2013).

[2] Ginsburg A. P., "A new contrast sensitivity vision test chart", Am J Optom Phys Opt, 61(6), 403 (1984).

Ciencias de la Visión

Comparación entre autorefracción y refracción subjetiva con 3 modelos de gafas con lentes de Álvarez

Alba Ortega, María Victoria Collados y Juan Antonio Vallés

Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, C/P. Cerbuna 12, 50009- Zaragoza

Resumen: Se presenta la caracterización de 3 modelos de gafas autoajustables con lentes de Álvarez, propuestas como una de las soluciones a los errores refractivos no corregidos en países en vías de desarrollo. Una comparación entre los resultados obtenidos por autorefracción y mediante refracción subjetiva (estudio inexistente en la literatura) indica que aunque se alcanza una AV satisfactoria, la falta de control sobre la acomodación induce hipocorrección en hipermétropes e hipercorrección en miopes.

Los errores refractivos sin corregir siguen siendo la principal causa de discapacidad visual a nivel mundial. A pesar de ser una causa evitable, su eliminación sigue siendo un desafío para los países económicamente desfavorecidos debido a la falta de profesionales especializados, de medios necesarios para el diagnóstico y tratamiento de los problemas visuales, de las dificultades de acceso a zonas rurales o del coste de las gafas. Como consecuencia de todo esto, más de 153 millones de personas ven seriamente afectadas sus posibilidades de aprendizaje o de desarrollar una actividad laboral normal [1].

Entre las soluciones propuestas y a pesar de los inconvenientes que presentan (son aplicables únicamente a ametropías esféricas, limitado rango de corrección, coste, aspecto estético) las gafas con potencia autoajustable constituyen una prometedora opción. Por un lado, las de lentes rellenables con un fluido transparente y, por otro, las de las llamadas "lentes de Álvarez", que consisten en un sistema de dos lentes que se desplazan horizontalmente en direcciones opuestas.

La posibilidad de realizar una auto-refracción con las gafas autoajustables permite paliar la escasez de profesionales de salud visual, pero la eficacia de esta auto-refracción debe ser validada mediante la comparación con los resultados que ofrecería una refracción subjetiva. Mientras que en las gafas con lentes rellenables esta comparación se ha llevado a cabo mediante diversos estudios, tanto en adultos [3] como en niños [4,5] no se encuentra en la literatura estudios equivalentes en gafas con lentes de Álvarez.

En este estudio, además de una caracterización de tres tipos de gafas con lentes de Álvarez (Focusspec+, Focusspec- y Eyejusters), presentamos una evaluación de la calidad visual que permiten alcanzar y un estudio en el que se compara la refracción obtenida por autorefracción y mediante refracción subjetiva en un total de 24 sujetos. Aunque la agudeza visual alcanzada es satisfactoria, el error refractivo inducido por la falta de control sobre la acomodación (hipocorrección en los sujetos hipermétropes e hipercorrección en los miopes) podría derivar en ciertas molestias como cefaleas, mareos, etc.

- [1] S. Resnikoff, D. Pascolini, S.P. Mariotti and G.P. Pokharel, "Global magnitude of visual impairment caused by uncorrected refractive errors in 2004", *Bulletin of the World Health Organization*, **86**(1), 63-70 (2008)
- [2] V. S. M. Gudlavalleti, K. P. Allagh and A. S. Gudlavalleti, "Self-adjustable glasses in the developing world", *Clinical ophthal-mology*, 8, 405 (2014).
- [3] M. Zhang, R. Zhang, M. He et al., "Self correction of refractive error among young people in rural China: results of cross sectional investigation" BMJ, 343, d4767 (2011)
- [4] M. He, N. Congdon, G. MacKenzie et al., "The child self-refraction study: results from urban Chinese children in Guangzhou", *Ophthalmology*, **118**(6), 1162-1169 (2011).
- [5] B. Moore, C. Johnson, S. Lyons et al., "The Boston Child Self-Refraction Study" Poster presented at American Academy of Optometry 2011 conference, Boston (2011).

Lente difractiva "star-lens" con profundidad de foco extendida

Francisco José Torcal-Milla¹, Luis Miguel Sanchez-Brea², Jose Antonio Gomez-Pedrero³, Alexander Cuadrado³

fjtorcal@unizar.es

¹Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza (España) ²Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España) ³Departamento de Óptica, Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid,

Calle Arcos de Jalón 118, 28037, Madrid (España)

Resumen: En este trabajo se presenta un modelo de lente difractiva binaria que produce un foco de longitud extendida. Consiste en una variación angular periódica de los radios de las diferentes zonas de Fresnel. De este modo cada posición angular focaliza la luz a diferente distancia haciendo que la profundidad de foco sea mayor.

Las lentes con longitud de foco extendida o longitud de campo extendida, [1,2], han surgido en los últimos años como una alternativa a las lentes multifocales, [3,4]. Como aplicación fundamental encontramos su utilización como lente de contacto en casos de presbicia, [5]. En este trabajo presentamos un elemento óptico difractivo cuya focal es variable con el ángulo de la forma $f(x)=f_m+\delta f/2 \cdot sin(\theta \cdot l)$ donde f_m es la focal media, δf es la variación de focal y l es el número de puntas de la *star lens*.

Un ejemplo de la *star-lens* se muestra en la Figura 1b y 1e, para el caso continuo y binario, donde se observa la variación sinusoidal de los radios correspondientes a las diferentes zonas de Fresnel. La anchura del haz a lo largo del eje óptico para estas dos lentes se muestra en la Figura 1c y 1f (línea sólida) y se compara con la de una lente convencional (línea discontinua), Figura 1a (lente estándar) y 1d (lente de Fresnel binaria).



Figura 1.- a) lente convencional continua, b) lente *star-lens* continua, c) anchura del haz frente a z para las lentes a) y b), d) lente de Fresnel binaria, e) lente *star-lens* binaria, f) anchura del haz frente a z para las lentes d) y e). La focal media de diseño es f = 25 mm, con un ensanchamiento de 10 mm. La longitud de onda es 550 nm.

Referencias

- [1] J. Ares García, S. Bara, M. Gomez García, Z. Jaroszewicz, A. Kolodziejczyk, K. Petelczyc, "Imaging with extended focal depth by means of the refractive light sword optical element," *Opt. Express.*, 16(22), 18371 (2008).
- [2] H. Lua, Z. Lu, Q. Sun, H. Zhang, "Design of multiplexed phase diffractive optical elements for focal depth extension," Opt. Express., 18(12), 12798 (2010).
- [3] L. L. Doskolovich, E. A. Bezus, A. A. Morozov, V. Osipov, J. S. Wolffsohn, B. Chichkov, "Multifocal diffractive lens generating several fixed foci at different design wavelengths," *Opt. Express.*, 26(4), 12798 (2018).
- [4] L. T. Vu, C. C. Chen, P. J. T. Shum, "Analysis on multifocal contact lens design based on optical power distribution with NURBS", App. Opt., 56(28), 7990 (2017).
- [5] K. Petelczyć, S. Bara. A. Ciro Lopez, Z. Jaroszevicz, K. Kakarenko, A. Kolodziejczyk, M. Sypek, "Imaging properties of the light sword optical element used as a contact lens in a presbyopic eye model", *Opt. Express*, 19(25), 25602 (2011). Agradecimientos

Proyecto "Tecnologías fotónicas aplicadas para la compensación y diagnóstico ocular", DPI2016-75272-R, financiado por la Agencia Española de Investigación y la Unión Europea – Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Ciencias de la Visión

Análisis difractivo de modelos de ojo

Luis Miguel Sanchez-Brea¹, Jose Antonio Gomez-Pedrero², Francisco José Torcal-Milla³, Alexander Cuadrado²

optbrea@ucm.es

¹Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España)

²Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid, Calle Arcos de Jalón 118, 28037, Madrid (España)

³Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza (España)

Resumen: En este trabajo se analiza el comportamiento de formación de imagen del ojo mediante modelos difractivos, en particular una combinación de las técnicas Beam Propagation Model y Rayleigh-Sommerfeld. Se comparan los resultados con el caso geométrico para los modelos de Goncharov y Navarro, y se determinan las circunstancias donde este modelo difractivo puede tener ventajas.

Debido al tamaño y las características del ojo, los estudios del proceso de formación de imagen se centran mayoritariamente en un análisis geométrico. Sin embargo, pueden existir situaciones donde un modelo difractivo, más preciso, puede ser necesario, como por ejemplo cuando el diámetro del iris es menor a 4 mm [1]. En nuestro caso hemos desarrollado un modelo completamente difractivo, para la propagación de luz a través del ojo para los modelos de Goncharov [2] y Navarro [3]. Debido a su gran tamaño, en comparación con la longitud de onda, la simulación difractiva completa del ojo es bastante costosa en tiempo de computación. Es por ello que el software implementado combina dos técnicas: el método de Rayleigh-Sommerfeld [3] para aquellas zonas con índice de refracción constante, debido a que la técnica se puede paralelizar en ordenadores multinúcleo, y Beam-propagation method (BPM) [4] para zonas con variaciones del índice de refracción. Como ejemplo, en la Figura 1 se muestra la propagación completa de todo el ojo para el modelo de Goncharov, donde el cristalino se define como un medio GRIN [2]. Se puede observar que, de esta forma, se observa de forma clara los anillos de Airy que limitan la capacidad resolutiva del ojo. Para este caso, el diámetro del iris es de 1.5 mm, donde se asume que los fenómenos difractivos son más importantes que las posibles aberraciones geométricas.



Figura 1.- a) Propagación completa difractiva y foco ampliado. Se ha utilizado el modelo de Goncharov de ojo. b) Distribución de intensidad en el foco. Diámetro del iris: 1.5 mm, longitud de onda: 600 nm.

Referencias

- [1] H. Gross, F. Blechinger, B. Achtner, H. Gross, Survey of optical instruments, cap 36, Wiley (2008).
- [2] A. V. Goncharov and C. Dainty, "Wide-field schematic eye models with gradient-index lens," J. Opt. Soc. Am. A, 24(8) 2157 (2007).
- [3] R. Navarro "Adaptive model of the aging emmetropic eye and its changes with accommodation" J. Vision 14(13):21 1-17 (2014)
- [4] F. Shen, A. Wang, "Fast-Fourier-transform based numerical integration method for the Rayleigh-Sommerfeld diffraction formula," Appl. Opt., 45(6), 1102 (2006).
- [5] J. V. Roey, J. van der Donk, P. E. Lagasse, "Beam-propagation method: analysis and assessment," J. Opt. Soc. Am., 71 (7), 803 (1981).

Agradecimientos

Proyecto "Tecnologías fotónicas aplicadas para la compensación y diagnóstico ocular", DPI2016-75272-R, financiado por la Agencia Española de Investigación y la Unión Europea – Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Refracción subjetiva binocular: comparación con refracción subjetiva monocular y equilibrio biocular

Jorge Ares1, Sara Perchés2, Laura Remón1, Sara Angulo1 y Fernando Palos2

¹Facultad de Ciencias. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza. ²SMT4V Researching, Ltd., Zaragoza.

Resumen: Se ha realizado un estudio comparativo entre la refracción subjetiva binocular (RFB), la refracción subjetiva monocular (RFM) y la refracción subjetiva terminada con equilibrio biocular y binocular (RFBB). El estudio se realizó sobre 19 sujetos de edades comprendidas entre 19 y 40 años. Ocho pacientes (42%) prefirieron el resultado de la refracción subjetiva binocular, 1 paciente (5%) la RFBB. El resto de los sujetos otorgaron la misma calificación a las tres técnicas ensayadas.

La determinación de la refracción ocular es la prueba fundamental sobre la que comienza todo examen ocular [1]. De su correcta determinación depende en parte la fiabilidad de resto del examen así como también la calidad visual que dispondrán los sujetos que la porten. La técnica que determina la refracción ocular de un paciente a través de la respuestas del paciente se le denomina refracción subjetiva, típicamente esta técnica se realiza de manera monocular (RFM) mientras se ocluye el ojo no examinado. Es bien conocido que la oclusión puede alterar el estado acomodativo, la fijación, la posición rotacional del globo ocular afectando así a la exactitud de los resultados de la refracción subjetiva [2]. Para paliarlo, en la actualidad se suele disponer de un último paso para la refracción que consiste en el equilibrio biocular y binocular (RFBB). En este trabajo se propone un nuevo procedimiento de refracción subjetiva binocular (RFB). Así mismo, se ha realizado un estudio para estimar las diferencias en la aplicación de esta técnica frente a las otras técnicas subjetivas practicadas en la actualidad.

Para la realización de este estudio se reclutaron a 19 sujetos con edades comprendidas entre los 19 y 40 años de edad sin patología ocular o cirugía previa, y AV monocular >0.8 en ambos ojos. A todos los sujetos se les realizó RFM, RFBB y RFB con un foróptero semi-automático Topcon® CV 1Dial Controller Kb-50 y OptoTab® Office Polar (SmarThings4Vision). Todas las refracciones fueron realizadas por un mismo examinador. Para efectos de la comparación entre las tres diferentes técnicas se calcularon las componentes de los vectores de potencia [3] así como la diferencia entre los módulos de dichos vectores. Finalmente, se realizó una encuesta en la que los sujetos debían de calificar la calidad visual con cada una de las tres refracciones halladas. Para este fin, las refracciones de la correspondencia entre dichas gafas y las técnicas empleadas. Tras realizar todos los ensayos que el paciente consideraba necesarios, una calificación del 0 al 5 (0 mala calidad visual, 5 buena calidad visual) era otorgada por el paciente para cada una de las compensaciones ensayadas.

La RFBB fue la refracción que obtuvo los valores de M más positivos, seguido por la RFB quedando en último lugar la RFM. Respecto a la calidad visual todos las compensaciones ensayadas la mejor calificación promedio fue para la RFB 4.89±0.28 frente a la RFBB que obtuvo 4.44±0.96. Dicha calificación significó también que la compensación esferocilíndrica hallada mediante RFB fuera elegida como la de mayor confort visual para una 42% de los casos, por otra parte existió un caso (5%) en el que la RFBB fue la compensación elegida. El 53% de sujetos no fue capaz de encontrar diferencias significativas entre los resultados de las tres diferentes técnicas.

^[1] Benjamin W, Borish I. 1998. Borish's clinical refraction (1st ed.). Philadelphia: W.B. Saunders (1998).

^[2] JAmos JF. 1990. Binocular refraction: When is it clinically advantageous? Clin Eye Vis Care 2:79-81 (1990).

^[3] Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. Optom Vis Sci;74:367–75 (1997).

Efecto de los filtros Bangerter en la calidad óptica ocular y la función visual

José Juan Castro Torres, Francesco Martino, Miriam Casares López, Margarita Soler

Laboratorio de Ciencias de la Visión y Aplicaciones. Departamento de Óptica.

Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Avenida de Fuentenueva, s/n. 18071 Granada

Resumen: Se ha evaluado el efecto de los filtros Bangerter usados para el tratamiento de la ambliopía. Se encontró que deterioran de forma significativa la calidad óptica ocular y la función visual del ojo dominante, aumentando con especial intensidad la percepción de halos y la sensación de velo luminoso debido, principalmente, al scattering que introducen.

Introducción y objetivo: La alteración de la visión binocular en niños puede derivar en ambliopía, un desorden no patológico de la visión que afecta a la agudeza visual. Una de los métodos de terapia visual para tratar este problema consiste en la oclusión parcial del ojo no ambliope con filtros Bangerter con el objetivo de estimular al ojo ambliope. Estos filtros tratan de reducir la agudeza visual en el ojo dominante pero debido a su estructura además inducen un deterioro en la calidad óptica ocular [1]. El objetivo del presente trabajo es evaluar cómo influyen distintos filtros Bangerter en la calidad óptica ocular y la función visual monocular.

Metodología: Se usaron 4 filtros Bangerter (de menor a mayor reducción en la agudeza visual: 0,8; 0,6; 0,4; y 0,2). La calidad óptica se evaluó en un ojo artificial de calibración (+3,74D) mediante un dispositivo de doble paso (OQAS II). La métrica usada fue el índice de scattering objetivo (OSI), la razón de Strehl y el corte de la MTF. Las medidas se realizaron sin filtro y con cada uno de los filtros Bangerter sobre el ojo artificial. Se reprodujeron las mismas medidas en el ojo dominante de 6 observadores y se les evaluó además la función visual monocular a través de la agudeza visual (AV), la sensibilidad al contraste, la distorsión luminosa debida al scattering (straylight) y la capacidad de discriminación visual (percepción de halos) en condiciones de baja iluminación [2].

Resultados: La calidad óptica ocular se vio deteriorada de forma significativa con todos los filtros Bangerter sobre el ojo artificial, no habiendo diferencias comparando entre sí los filtros 0,8 y 0,6, aunque sí comparándolos con los filtros 0,4 y 0,2. La mayor diferencia entre filtros se produjo para el filtro 0,2, con el que se obtuvo para el ojo artificial valores de OSI correspondientes a los de una catarata severa [3]. Valores similares se obtuvieron para el filtro 0,4 en el ojo dominante de los observadores (con el filtro 0,2 no se pudo medir), aunque no hubo diferencias significativas en cuanto a Razón de Strehl o corte de la MTF comparando entre sí los filtros. Sí hubo diferencias entre los filtros 0,8 y 0,4 para el OSI. Respecto a la función visual, la AV se correspondió, en promedio, con la indicación del fabricante para cada filtro, aunque sin diferencias entre los filtros 0,6 y 0,8 ni entre los filtros 0,6 y 0,4. El straylight fue significativamente mayor con cualquier filtro con respecto a la condición natural, al igual que el umbral de contraste para frecuencias espaciales medias altas, produciendo un mayor deterioro con deslumbramiento. Además hubo una mayor percepción de halos con los diferentes filtros, habiendo un deterioro significativo entre todos ellos.

		Sin filtro	Bangerter 0,8	Bangerter 0,6	Bangerter 0,4	Bangerter 0,2
Ojo artificial	OSI	0	1,1 ± 0,3	1,6 ± 0,3	2,7±0,2	$8,4 \pm 0,8$
	Corte MTF (cpg)	56,1±0,9	10,8±1,2	$9,9 \pm 0,4$	7,5±0,6	4,4±0,2
	Razón de Strehl	$0,325 \pm 0,033$	$0,080 \pm 0,005$	$0,082 \pm 0,003$	$0,067 \pm 0,003$	0,051±0,001
Ojo dominante (promedio 6 observadores)	OSI	0,5 ± 0,3	3,8 ± 0,4	5,0 ± 0,9	$6,7 \pm 1,9$	-
	Corte MTF (cpg)	34,2±9,2	$9,1 \pm 1,4$	$10,5 \pm 0,9$	$6,4 \pm 2,6$	-
	Razón de Strehl	$0,202 \pm 0,047$	$0,076 \pm 0,007$	$0,083 \pm 0,004$	$0,063 \pm 0,012$	-

Tabla 1. Valores promedio del OSI, corte de la MTF (cpg) y la razón de Strehl para los diferentes filtros Bangerter usados tanto en ojo artificial como en el ojo dominante de 6 observadores.

Conclusiones: Los filtros Bangerter reducen la agudeza visual y deterioran la calidad óptica ocular, resultando en una peor función visual debido, principalmente, al scattering que producen. El efecto más significativo que introdujeron estos filtros fue una mayor percepción de halos y un mayor straylight (sensación de velo luminoso sobre la imagen retiniana), afectando especialmente en condiciones de baja iluminación.

- G.M. Pérez, S. M. Archer, P. Artal. "Optical characterization of Bangerter foils". Investigative Ophthalmology & Visual Science 51(1): 609-613 (2010).
- [2] J. J. Castro, J. R. Jiménez, C. Ortiz, A. Alarcón, R. G. Anera. "New testing software for quantifying discrimination capacity in subjects with ocular pathologies. Journal of Biomedical Optics 16(1): 015001 (2011).
- [3] P. Artal, A. Benito, G. M. Pérez, E. Alcón, A. De Casas, J. Pujol, J. M. Marín. "An objective scatter index based on double-pass retinal images of a point source to classify cataracts. Plos One 6(2): e16823 (2011).
Influencia de la iluminación inadecuada en las escuelas de los campamentos de refugiados saharauis en la salud visual de los alumnos

M. Josune Fernández, Sara Perchés, Laura Remón, M. Concepción Marcellán, M. Victoria Collados,

Juan A. Vallés

Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza (España)

Resumen: Se pretende estudiar la influencia de las condiciones de iluminación en las escuelas saharauis sobre la salud visual de los alumnos. En el distrito de Bojador, en los campamentos de refugiados saharauis de Tinduf (Argelia), se realizó un estudio lumínico y optométrico en las tres escuelas de primaria, encontrando condiciones lumínicas inapropiadas y un alto porcentaje de alumnos con alguna disfunción visual.

En este estudio se realizan medidas de iluminancia en los pupitres y pizarras de los tres colegios de primaria del distrito de Bojador, con el propósito de comparar estos valores con la Norma Europea EN 12464-1 y estudiar la distribución de la luz dentro de las aulas. Simultáneamente se realiza un screening optométrico en 86 alumnos para detectar anomalías de la visión binocular no estrábica: anomalías acomodativas, binoculares y oculomotoras, así como su estado refractivo.

En cuanto a los resultados lumínicos ningún colegio evaluado cumple la norma europea y los alumnos saharauis se encuentran bajo condiciones lumínicas inapropiadas, siendo común encontrar en las aulas falta de uniformidad lumínica, así como contrastes lumínicos altos y frecuentes deslumbramientos. En la Tabla 1 se muestran las medidas de iluminancia media, mínima y uniformidad obtenidas en uno de los colegios (Mahfud Alí-Beiba)

	Em	Emin	U
Aula 1	68.99 lux	33.43 lux	0.48
Aula 2	443.77 lux	91.20 lux	0.21
Aula 3	190.54 lux	39.93 lux	0.21
Aula 4	16.66 lux	2.19 lux	0.13

Tabla 1.- Medidas de iluminancia media, mínima y uniformidad en cuatro aulas del colegio Mahfud Alí-Beiba

Por otro lado los resultados optométricos obtenidos se resumen en la figura 1. Existe una mayor incidencia de anomalías acomodativas, siendo el exceso acomodativo el más frecuente. Las anomalías oculomotoras también están presentes en un gran número de casos encontrándose alterados tanto los movimientos sacádicos como los seguimientos. Por último, las disfunciones de visón binocular son las menos frecuentes entre los alumnos y dentro de estas la insuficiencia de convergencia tiene una mayor prevalencia.





Comparando los resultados del screening con otros screenings disponibles en alumnos de primaria con buenas condiciones de iluminación [2] se ven diferencias en los porcentajes de anomalías detectadas. Aunque puede haber otros factores que pueden influir en la aparición de estas disfunciones, las condiciones de iluminación inapropiadas podría ser uno de ellos, una vez vistos los resultados del estudio lumínico.

^[1] UNE-EN 12464-1. Iluminación. Iluminación de los lugares del trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.

^[2] Lázaro, M. del Mar; García, J. A.; y. Perales, F. J. Anomalías de la visón y rendimiento escolar en la Educación Primaria. Un estudio piloto en la población granadina. Revista interuniversitaria de formación del profesorado 27. 101-119 (2013).

Evaluación de un nuevo diseño de lente intraocular difractiva mediante un simulador visual de óptica adaptativa

Diego Montagud-Martínez¹, Vicente Ferrando¹, Juan A. Monsoriu¹, Walter D. Furlan²

¹ Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València, 46022 Valencia, Spain ² Departamento de Óptica, Universitat de València, 46100 Burjassot, Spain

Resumen: Se propone la evaluación de un modelo experimental de lente intraocular difractiva (DCI). Dicha evaluación se hace mediante el uso de una nueva métrica obtenida a partir de la normalización de las curvas de desenfoque realizadas con un simulador visual (VS) de óptica adaptativa. Las medidas se comparan con las obtenidas para una lente intraocular trifocal (LIT) simulada en el mismo instrumento.

La DCI es una variación de un nuevo diseño de implante intracorneal que en este caso es un elemento de fase binario [1]. El perfil binario de la lente se muestra en la Figura 1A. Esta distribución de fase otorga propiedades difractivas a la lente apodizando los órdenes difractivos superiores.



Figura 1.- Perfil de fase en micras de: DCI (A) y LIT (B)

En el presente estudio se compara este diseño con el de una LIT del VS de adición 3 D (véase Figura 1B). Ambas lentes se simulan en un VS utilizando la óptica adaptativa. Se evaluaron 25 pacientes con una edad promedio de 54 ± 7 años. Se midieron las curvas de desenfoque para desenfoques de 0 a 3 D en pasos de 0.5 D y se calculó la AV en escala logMAR [2]. Se normalizaron las curvas de desenfoque dividiendo el valor de la AV en escala decimal frente al valor de AV máximo obtenido por el paciente en el infinito. Se obtuvieron diferencias significativas en la AV en las vergencias 1 D (LIT: 0.13, DCI: 0.07, p:0.006), 1.5 D (LIT: 0.11, DCI: 0.05, p:0.004), 2 D (LIT: 0.10, DCI: 0.07, p:0.037) y 3 D (LIT: 0.14, DCI: 0.20, p:0.030),



Figura 2.- Curva de desenfoque normalizada para DCI (rojo) y LIT (azul)

La DCI mostró mejores resultados en distancias intermedias que la LIT, manteniendo la AV en el infinito.

Referencias

 Furlan WD, García-Delpech S, Udaondo P, Remón L, Ferrando V, Monsoriu JA. "Diffractive corneal inlay for presbyopia". J Biophotonics.;10(9) 1110 (2017).

[2] Holladay JT. Proper method for calculating average visual acuity. J Refract Surg. 13(4) 388. (1997)

Aplicación de métricas de calidad de imagen a la determinación objetiva de la agudeza visual

Jorge Pérez, Julián Espinosa, David Mas, Consuelo Hernández, Carmen Vázquez

Depto. Óptica, Farmacología y Anatomía. || IUFACyT Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig Alicante (Spain)

Resumen: Bajo la hipótesis de que el sistema visual humano, SVH, se encuentra altamente adaptado para extraer información estructural de una escena, hemos comparado métricas de calidad visual como la Structural Similarity Index, SSIM o Gradient Magnitude Similarity Deviation, GMSD con las métricas más habituales. Los resultados obtenidos apoyan esta hipótesis, ya que se ha encontrado, usando una función de tipo logístico, una alta correlación entre dichas métricas y la agudeza visual.

La parte óptica del *SVH* distorsiona las imágenes naturales por lo que podemos suponer que la *AV* de un sujeto se puede estudiar de forma objetiva utilizando indicadores que tengan en cuenta la estructura de la imagen natural y evalúen todas las distorsiones que causa la parte óptica de su sistema visual. En lo que conocemos no existen prácticamente trabajos en los que las métricas usadas para la caracterización de la calidad de imágenes estáticas o de vídeo se hayan utilizado en el estudio de la calidad de visión humana. En este trabajo, usando un Hartmann-Shack, se determina el frente de ondas ocular, W(x, y) como un desarrollo en polinomios de Zernike calculando posteriormente la función de dispersión de punto, *PSF*, para el ojo estudiado. Si el sujeto es hipermétrope, se retoca el término de desenfoque teniendo presente su capacidad de acomodación. Tomando como objetos un conjunto de 49 imágenes naturales $O_i(x, y)$, empleadas habitualmente en el análisis de imágenes de vídeo, se obtienen por convolución (*) las 49 imágenes retinianas simuladas, $I_i(x, y)$,

$$I(x, y) = O(x, y) * \left| FT(e^{-0.116 R_p^2 (x^2 + y^2)} e^{-ikW(x, y)}) \right|^2$$

siendo R_p el radio pupilar y donde en la función pupila generalizada se ha incorporado el efecto Stiles-Crawford. Debido a que el sistema óptico de un ojo no es perfecto, dichas imágenes simuladas y deformadas por el ojo se comparan con las originales usando para ello diferentes métricas. Posteriormente se han correlacionado los valores obtenidos, para 44 ojos, con las agudezas visuales monoculares de los sujetos estudiados en condiciones fotópicas. Los resultados preliminares (Figura 1) muestran una buena correlación entre dichas variables.



Figura 1.- Correlación MSE-AV subjetiva usando una función logística. Correlación lineal entre agudezas visuales subjetivas y simuladas.

El método permitiría asignar una agudeza visual (o calidad de visión) a un sujeto sin tener que realizar la medida subjetiva. Si el valor proporcionado por el estudio objetivo fuese muy diferente al brindado por una medición subjetiva podría indicarnos alguna deficiencia en la visión del sujeto no imputable a la parte óptica. Sería incluso deseable llegar a cambiar esta variable subjetiva, tan usada en óptica fisiológica, por otro valor que sin intervención directa del sujeto nos permitiese conocer el estado óptico de su ojo.

Referencias

 Pérez, J., Espinosa, J., Mas, D., Vázquez, C., "Retinal image quality assessment through a visual similarity index" J. Mod. Opt. 60, 544-550 (2013).

Cambios aberrométricos y refractivos tras inserción de segmentos intraestromales: dependencia con el tamaño pupilar

Justo Arines¹, M^a Teresa Rodríguez,² Javier González¹

¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España ²SOYLC, Departamento de Física Aplicada, Facultad de Óptica y Optometría, Universidad de Santiago de Compostela ³Departamento de Cirugía, Facultad de Medicina, Universidad de Santiago de Compostela

Resumen: En este trabajo compararemos datos aberrométricos pre y post quirúrgicos y de agudeza visual (AV) obtenidos de un conjunto de 10 pacientes con queratocono avanzado sometidos a implante de segmentos intracorneales ICRS mediante técnica manual. Los resultados muestran que la eficacia de este tratamiento es difícilmente predecible, comprobándose la mejora por término medio de entre 1 y 2 líneas de AV. Por otro lado, algunos sujetos no mejoran su rendimiento visual o incluso empeoran ligeramente.

Esta técnica suele emplearse en sujetos que presentan queratocono, una patología corneal que afecta a la rigidez corneal y que suele presentar una topografía irregular causada por la protrusión paracentral inferior, que ocasiona una calidad visual reducida. El objeto de esta técnica es moldear la topografía corneal con el fin de reducir las aberraciones, mejorar la calidad visual de los pacientes y contribuir a ralentizar la progresión de la enfermedad. Por otro lado, supone un cierto incremento del espesor paracentral. Numerosos estudios analizan sus resultados visuales, encontrándose gran disparidad en relación a la mejora de la AV y aberraciones corneales. La novedad del trabajo que presentamos se encuentra en el análisis aberrométrico realizado en función del tamaño pupilar (3, 6 y 8 mm), y la simulación numérica desarrollada que nos permite estimar la AV esperada para cada tamaño pupilar, así como comprender las limitaciones visuales de los pacientes. En la figura 1 mostramos un ejemplo de los resultados obtenidos con la cirugía.



Figura 1.- Respuesta de impulso del sistema e imagen retiniana simuladas a partir de datos aberrométricos para una pupila de 6mm antes y después de la inserción de anillos intraestromales.

Los resultados obtenidos, muestran que el implante de ICRS con la finalidad de mejorar la calidad visual del paciente, debe plantearse con precaución, siendo necesaria la optimización del nomograma personalizado con el objeto de conseguir una mayor predictibilidad de los resultados y eficacia del tratamiento.

- Carballo J, Puell MC, Cuiña R, Vázquez JM, Benitez-del-Castillo JM. Changes in visual function under mesopic and photopic conditions after intrastromal corneal ring segment implantation for different stages of keratoconus. J Cataract Refract Surg. 39:393 (2013)
- Tu KL, Sebastian RT, Owen M, Batterbury M, Kaye SB. Quantification of the surgically induced refractive effect of intrastromal corneal ring segments in keratoconus with standardized incision site and segment size. J Cataract Refract Surg, ;37,1865-70 (2011)
- Piñero DP, Alio JL, Kady BE, Coskunseven E, Morbelli H, Uceda-Montanes A, et al. Refractive and Aberrometric Outcomes of Intracorneal Ring Segments for Keratoconus: Mechanical versus Femtosecond-assisted Procedures. Ophthalmology, 116,1675-87 (2009)

Alteraciones cromáticas producidas por las lentes intraoculares multifocales difractivas

A. Torrents¹, M. Roca², N. Garzón³, C. Martín⁴, M. A. Gil⁵, M. S. Millán¹

1 Grupo de investigación GOAPI, Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa (Barcelona). 2 ILO Oftalmologia, Lleida. 3 IOA Madrid Innova Ocular, Madrid.

4 Instituto Oftalmológico Integral, Barcelona. 5 Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona.

Resumen: Este trabajo se propone comprobar las posibles alteraciones producidas en la función de sensibilidad al contraste (CSF), en visión de cerca y de lejos, de un grupo de pacientes implantados con lentes intraoculares multifocales difractivas (DMIOLs) bajo distintos tipos de iluminación (blanca, roja, verde y azul). Los resultados preliminares permiten detectar alteraciones cerca-lejos en función de la longitud de onda, que pueden deberse al diseño difractivo del implante multifocal.

Introducción

Una DMIOL se basa en el principio de visión simultánea, según el cual la imagen enfocada de un objeto se superpone a otra imagen desenfocada (una o varias) en el plano de la retina, recayendo en el proceso neurocerebral la tarea de seleccionar la imagen de interés. La conocida dependencia del comportamiento de los componentes difractivos de las DMIOLs con la longitud de onda ha inspirado diversos estudios recientemente [1,2]. En este trabajo se mide la CSF en un grupo de pacientes implantados con DMIOLs para comprobar si aparecen diferencias entre visión de cerca y de lejos en función de la longitud de onda.

Material y método

El test utilizado ha sido el Vision Contrast Test System VCTS 6000 (Vistech Consultants, Inc., USA) para la evaluación de la CSF. Se ha observado bajo iluminación blanca y de color mediante LEDs rojo, verde y azul (Thorlabs, Inc., USA). Las pruebas se han realizado en el ojo de mejor agudeza visual con la mejor corrección posible. El test ha sido observado en visión de cerca utilizando de forma natural el foco de cerca de la DMIOL (en función de la adición de cada lente) mientras que, para las medidas en visión de lejos, se ha mantenido el test a la misma distancia de cerca y se ha miopizado con gafa de prueba la adición correspondiente al implante.

Se han incluido dos grupos de control: personas jóvenes y pacientes implantados con lentes monoculares. Se han obtenido resultados preliminares para tres grupos de pacientes implantados con IOLs bifocales y dos grupos de pacientes implantados con IOLs trifocales.

Resultados

Los resultados preliminares permiten detectar alteraciones de la CSF cerca-lejos en función de la longitud de onda iluminante, así como del tipo de DMIOL implantada. Además, se observa una disminución de la CSF de los pacientes implantados con lente intraocular monofocal y DMIOL en comparación con los individuos jóvenes en prácticamente todos los casos. Como ejemplo, la figura 1 muestra los valores medios de las diferencias en la CSF lejos-cerca medidos con iluminación roja y azul en pacientes implantados con una DMIOL trifocal (FineVision GFree; PhysIOL, Inc., Bélgica).



Figura 1: Diferencias en la CSF lejos-cerca en pacientes con DMIOL trifocal bajo luz roja y azul

Referencias

 M.S. Millán, F. Vega, I. Ríos-López, "Polychromatic Image Performance of Diffractive Bifocal Intraocular Lenses: Longitudinal Chromatic Aberration and Energy Efficiency". Invest Ophthalmol Vis Sci 57, 2021 (2016).

[2] C. Varón, M.A. Gil, F. Alba-Bueno, G. Cardona, F. Vega, M.S. Millán, J.A. Buil, "Stereo-Acuity in patients implanted with multifocal intraocular lenses: Is the choice of stereotest relevant?". Curr. Eye Res. 39, 711-719 (2014).

Influencia de la cara posterior de la córnea en el cálculo de lentes intraoculares tóricas

Manuel Roldán, Laura Remón y Juan A. Vallés

Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza (España)

Resumen: El objetivo principal de este trabajo fue estudiar la influencia de la cara posterior de la córnea en el cálculo de la potencia y el eje de lentes intraoculares tóricas (LIOs-T). Los resultados obtenidos demuestran que no considerar el astigmatismo de la cara posterior de la córnea induce un astigmatismo residual postoperatorio, que depende del grado de astigmatismo y orientación de la misma.

Recientemente, se han desarrollado las LIOs tóricas (LIOs-T), que permiten corregir el astigmatismo corneal preoperatorio durante la cirugía de cataratas y han demostrado ser un método eficaz, predecible y seguro frente a otras soluciones que actúan a nivel corneal tales como incisiones corneales y queratectomía con láser excimer [1,2]. Sin embargo, el éxito de una LIO-T para lograr la corrección astigmática deseada depende de algunos factores tales como: 1) el astigmatismo inducido quirúrgicamente (SIA), 2) la posición efectiva de la LIO-T dentro del ojo, 3) la estabilidad rotacional postoperatoria y 4) el astigmatismo de la cara posterior de la córnea.

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar de manera teórica la influencia del astigmatismo de la cara posterior de la córnea en el cálculo de la potencia y eje de una LIO-T. Para ello, se ha empleado óptica matricial [3] utilizando el programa de cálculo Matlab. Se han modelado diferentes ojos pseudofáquicos con distintos valores de astigmatismo en la cara anterior [-2.25D hasta -5.25D en pasos de 0.75D] y dos orientaciones distintas: 180° y 135°. El astigmatismo de la cara posterior considerado fue de -0.25D a -0.45D con una orientación de 180°, siguiendo los resultados obtenidos por Koch [4]. A partir del formulismo desarrollado, en primer lugar, se ha realizado el cálculo de la potencia y eje de la LIO-T teniendo en cuenta sólo el astigmatismo de la cara anterior de la córnea y posteriormente considerado nulo para valorar sólo la influencia de la cara posterior en el cálculo de la potencia y eje de una LIO-T. En la Tabla 1 se muestra la potencia considerando el astigmatismo total de la córnea (anterior y posterior) para diferentes condiciones.

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que no considerar el astigmatismo de la cara posterior de la córnea en el cálculo de la LIO-T induce errores significativos que pueden producir un error refractivo postoperatorio, mayor error a mayor potencia del astigmatismo de la cara posterior y mayor error a menor astigmatismo de la cara anterior para un mismo valor del astigmatismo de la cara posterior.

Astigmatismo cara anterior	LIO-T		
	Sólo con cara anterior	Cara anterior+ Posterior	Cambio: Potencia/Eje
+45.00 D/ -2.25D*180°	3.23D*90°	2.65D*90°	0.58D/0°
+45.00 D/ -3.00D*180°	4.34D*90°	3.90D*90°	0.44D/0°
+45.00 D/-3.75D*180°	5.47D*90°	5.20D*90°	0.27D/0°
+45.00 D/-4.50D*180°	6.63D*90°	6.51D*90°	0.12D/0°
+45.00 D/-5.25D*180°	7.80D*90°	7.86D*90°	0.06D/0°

 Tabla 1. Cálculo de la LIO-T para diferentes valores de astigmatismo de la cara anterior y un astigmatismo de la cara posterior de -0.45*180°. En la última columna se muestra el cambio de potencia y eje de la LIO-T.

- P.C. Hoffmann, S. Auel, W.W. Hütz, "Results of higher power toric intraocular lens implantation" J Refract Surg, 37, 1411 (2011).
- [2] N. Hirnschall, A. Crnej, J. Koshy, V. Maurino, O. Findl, "Correction of moderate corneal astigmatism during cataract surgery: toric intraocular lens versus peripheral corneal relaxing incisions" J Cataract Refract Surg, 40, 354 (2014).
- [3] A. Langenbucher, S. Reese, T. Sauer, B. Seitz, "Matrix-based calculation scheme for toric intraocular lenses" Ophthalmic Physiol Opt, 24, 511 (2004)
- [4] D. D. Koch, S.F. Ali, M.P. Weikert, M. Shirayama, R. Jenkins, L. Wang, "Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism" J Cataract Refract Surg, 38, 2080 (2012).

Investigación en diseño de cámaras de fondo de ojo

E. Acosta¹, A. Alonso¹, <u>J. Arines</u>¹, S. Bosch¹, J. Gutierrez¹, Ala Hssain¹, T. Marzoa², S. Ríos³ y S. Vallmitjana²

¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España ²Departamento de Física Aplicada, Facultad de Física, Universitat de Barcelona, Barcelona ³Departamento de Física Básica, Facultad de Física, Universidad de La Laguna, Tenerife, España

Resumen: En este trabajo presentamos la investigación conjunta que estamos realizando las Universidades de Santiago de Compostela, Universitat de Barcelona, y Universidad de La Laguna en el diseño e implementación de cámaras de fondo de ojo de alta resolución, robustas y de bajo coste.

Este trabajo resume la investigación de los grupos de investigación que constituyen el proyecto coordinado que se indica en la sección de agradecimientos. Tiene como objetivo principal el diseño de aparatos de bajo coste, robustos y portátiles (en este orden de prioridad) para la exploración de la retina a distintos niveles de detalle. También se incluye dentro de este objetivo la mejora de imágenes de fondo de ojo afectadas por cataratas u otro tipo de opacidades en cualquiera de las superficies oculares. Para ello se están desarrollando dos líneas de acción, ambas basadas en procesos híbridos en los que la óptica y el procesado de imágenes converge:

1.- El desarrollo de técnicas de ingeniería de la PSF del sistema. Estamos diseñando elementos ópticos de codificado de frentes de onda, en concreto láminas de fase con forma de trébol [1], tales que una vez situados en la lente principal o en la pupila del sistema óptico nos permiten manipular la respuesta de impulso del sistema de tal forma que ésta sea invariante a efectos de desenfoque, astigmatismos y aberraciones de alto orden. Esta técnica necesita un postprocesado de las imágenes vía deconvolución [2]

2.- La utilización de cámaras con tecnología plenóptica que utilizan una matriz de microlentes delante del sensor de imagen. La manipulación de la lectura de cada pixel del sensor proporciona información no sólo de la posición de los rayos que emergen del objeto (2D) sino también de su dirección (4D), y a partir de esta información se propone reconstruir la imagen corregida de aberraciones o en presencia de opacidades en las superficies oculares.

Cualquiera de las técnicas pueden aplicarse no sólo a la obtención de imágenes nítidas cuando las aberraciones oculares afectan significativamente al detalle de la imagen que se desea observar sino también a la obtención de imágenes de calidad cuando es el propio sistema óptico el que introduce las aberraciones. De esta forma proponemos abaratar los sistemas, utilizando lentes de poca calidad o sistemas ópticos no optimizados, lo que a su vez nos podría permitir diseñar sistemas de pequeñas dimensiones que sean por tanto portátiles o incluso acoplables a teléfonos móviles dotados de una aplicación que realice el procesado de imagen (a tiempo real o a posteriori).

También estamos diseñando, fabricando y caracterizando prototipos para lentes oftálmicas (de contacto e intraoculares) para la corrección de presbicia basadas en diseños asimétricos [3-4], así como correctores de astigmatismo adaptables a oculares de distintos instrumentos de visión directa o registro de imágenes.

Agradecimientos

Este trabajo está subvencionado por el Ministerio de Industria, Economía y Competitividad "Diseño e implementación de técnicas hibridas para captura de imágenes de retina en alta resolución" FIS2016-77319 y FEDER

- J.M. Olvera-Angeles, A. Padilla-Vivanco, J. Sasian, J. <u>Schwiegerling</u> J. Arines and E. Acosta "Optimizing the design of trefoil phase plates for wavefront coding" MOC 17, the 22nd Microoptics conference, (2017)
- [2] E. Acosta, C. Almaguer, J. Arines, S. Bosch and S. Valtmijana, Is wavefront coding an alternative to adaptive optics for retinal imaging? 15th Workshop on Information Optics (WIO), 11-15 July 2016
- [3] J. Arines, C. Almaguer and E. Acosta, "Potential use of cubic phase masks for extending the range of clear vision in presbyopes: initial calculation and simulation studies" Opthalmic and Physiological Optics, 37(2) (2017)
- [4] E. Acosta, J.M. Olvera-Angeles, JA. Arines, A. Padilla-Vivanco, J. Sasian, J. <u>Schwiegerling</u>. "Extending depth of focus of ophthalmic elements with trefoil aberration" ARVO 2018

Caracterización de lentes refractivas multifocales con el interferómetro de difracción por orificio

Jorge Gutierrez, Justo Arines, Eva Acosta

¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España

Resumen: La caracterización óptica y aberrométrica de lentes multifocales representa actualmente un reto a resolver. En este trabajo proponemos el uso del interferómetro de difracción por orificio como alternativa eficaz al sensor más comúnmente empleado, el sensor Hartmann-Shack.

Muchos de los diseños comerciales disponibles actualmente para compensar la presbicia, emplean soluciones multizona, donde cada una de ellas presenta un poder refractivo distinto, con la intención de proporcionar una imagen nítida a una distancia objeto determinada. Cuando este tipo de elementos es medido con sensores de frente de onda tipo Hartmann-Shack [1] se suele producir la aparición de spots focales dobles en aquellas microlentes que recogen la zona de transición entre bandas, dificultando sensiblemente el procesado de la imagen aberrométrica y en consecuencia la estimación del frente de ondas.

En este trabajo proponemos como alternativa capaz de superar la limitación expuesta anteriormente, el uso del interferómetro de difracción por orificio (PDI) [2], el cual nos va a permitir tanto la detección de las distintas zonas refractivas, como la caracterización de sus aberraciones y poder refractivo.

Con el fin de demostrar la propuesta se procedió a la construcción de un sistema para la medida de lentes de contacto multifocales que empleará un PDI. Posteriormente se midieron diversas lentes multifocales, entre ellas la Mysight de CooperVision cuyo interferograma mostramos en la figura 1.



Figura 1.- Interferograma de la lente Mysight de CooperVision obtenido con el PDI construido en el laboratorio

Como se puede observar en la figura 1 las zonas refractivas se observan gracias a las formas de las franjas de interferencia, observándose el límite de la banda en aquellos puntos donde las franjas de interferencia no son derivables. Los resultados que presentaremos muestran la potencialidad de los sistemas de medida basados en el PDI para caracterizar lentes de contacto refractivas multifocales.

Referencias

[1] Genrui Cao, Xin Yu, "Accuracy analysis of a Hartmann-Shack wavefront sensor operated with a faint object," Opt. Eng. 33(7) (1994)

[2 Eva Acosta, Sara Chamadoira, and Ralf Blendowske, "Modified point diffraction interferometer for inspection and evaluation of ophthalmic components," J. Opt. Soc. Am. A 23, 632-637 (2006)

Influencia del desenfoque esférico monocular en la estereopsis.

Jorge Ares¹, Sara Perchés², Laura Remón¹ y Paula Gurrea¹

¹Facultad de Ciencias. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza. ²SMT4V Researching, Ltd., Zaragoza.

Resumen: El objetivo principal fue estudiar el efecto del desenfoque esférico (+0.75 D, +1.50 D y +2.00 D) de forma monocular (monovisión) en la estereopsis para un total de 30 sujetos jóvenes universitarios [edades comprendidas entre 19 y 27 años]. Los resultados obtenidos muestran que a medida que aumenta el desenfoque monocular inducido, mayor es la pérdida de agudeza visual estereoscópica (AVE). Sólo dos sujetos mantenían la visión binocular con una anisometropía de +2.25D.

La estereoagudeza o agudeza visual estereoscópica (AVE) se define como la mínima diferencia de distancias en que dos objetos son percibidos en posiciones diferentes, expresado en unidades angulares. Es decir, la mínima disparidad binocular que somos capaces de percibir [1]. Actualmente, la estereopsis, el estadio más avanzado de la visión binocular, se ve comprometida por técnicas de compensación que la ponen en riesgo. Estas técnicas son, por ejemplo, la monovisión. El objetivo de este estudio fue analizar el efecto del desenfoque esférico monocular inducido en sujetos jóvenes en la AVE.

Se reclutaron a 30 sujetos con edades comprendidas entre los 19 y 27 años de edad sin patología ocular o cirugía previa. A todos los sujetos se les realizó el test de disparidad de fijación, la medida de la Agudeza Visual Estereoscópica (AVE) con OptoTab® Office Polar (SmarThings4Vision) y la prueba para determinar el ojo dominante. Se generaron desenfoques esféricos de manera monocular usando lentes de +0.75 D, +1.50 D y +2.25 D en el ojo no dominante para producir monovisión. La AV estereoscópica fue medida después de 2 minutos de adaptación al desenfoque. Entre las diferentes condiciones se dejó un intervalo de 2 minutos para evitar el cansancio y la fatiga. Las medidas de AVE fueron realizadas bajos las mismas condiciones de iluminación, por el mismo examinador y a una distancia de 5 metros. Se analizaron los datos promedio de los sujetos.

En la Figura 1 se muestran los valores promedio de AVE sin ningún desenfoque (baseline, 27.09" \pm 21.17") y con cada desenfoque esférico inducido monocularmente. Se observa que el valor de AVE aumenta a medida que aumenta el valor de desenfoque esférico inducido. Con desenfoques mayores de +0,75D, el valor de AVE aumentaba de forma muy significativa [de 374.49" \pm 509.54" hasta 1158.63 \pm 459.11]. Además, se encontró que sólo dos sujetos de los 30 analizados mantenían la visión binocular con una anisometropía de +2.25D (valor promedio 1349.42 \pm 227.30). Estos resultados se corresponden con estudios que afirman que la monovisión afecta significativamente a la visión binocular [2,3] llegando a perderla para valores mayores de 2,50D.



Figura 1.- Medida de AVE después de inducir monocularmente desenfoque esférico.

Referencias

[1] J.J. Saladin JJ. "Stereopsis from a performan". Optometry and Vision Science, **82**(3):186-2015. (2005)

- [2] S. Dadeya, Kamlesh, F. Shibal et al. "The effect of anisometropía on binocular visual function". Indian J Ophthalmol, **49**:261 (2001)
- [3] D. Singh, S. Aggarwal, M. Sachdeva, R. Saxena. "Effect of induced monocular blur on monocular and binocular visual functions" Indian Journal of Clinical and Experimental Ophthalmology,1(4):197-201. (2015)

Efectos en la visión del consumo de cannabis. Estudio preliminar en un grupo de jóvenes fumadores

Ortiz-Peregrina S, Ortiz C, Jiménez del Barco L, Anera RG

Departamento de Óptica. Universidad de Granada. Edificio Mecenas, Campus de Fuentenueva sn, 18071. Granada (España)

Resumen: El cannabis es la droga ilegal más consumida, y a pesar de ello existen pocas investigaciones que evalúen los efectos visuales asociados a su consumo. En este estudio se analizaron los efectos que produce fumar cannabis en la función visual de un grupo de jóvenes fumadores ocasionales. Los resultados mostraron que existe un deterioro en la visión tras el consumo, con una mayor influencia de halos y deslumbramiento así como peor calidad de visión cercana.

Introducción. El cannabis es la droga ilegal más consumida, especialmente entre la población joven. Según el Informe Europeo sobre Drogas de 2017, el 13,9% de los adultos jóvenes (15-34 años) ha consumido cannabis en el último año. Aunque es conocido que su consumo provoca alteraciones cognitivas y motoras, existen muy pocos estudios disponibles que analicen el efecto del cannabis en la función visual. El objetivo de este trabajo fue estudiar cómo afecta el consumo de cannabis a la visión y su influencia en ciertas actividades de la vida cotidiana.

Método. Un total de 15 fumadores ocasionales de cannabis $(22,60 \pm 3,11 \text{ años})$ participaron voluntariamente en el estudio. Todos completaron dos sesiones experimentales (una sesión sin consumo y otra sesión transcurridos 20 minutos tras el consumo de cannabis). En ambas sesiones se evaluó la función visual con la medida de la capacidad de discriminación visual, la función de sensibilidad al contraste (CSF), estereoagudeza y la respuesta acomodativa (RA). Además, todos los sujetos respondieron a un cuestionario sobre hábitos de consumo. El consumo de cannabis se comprobó con un test de saliva (Drüger Test). El estudio fue realizado con la aprobación del Comité de Ética en Investigación Humana de la Universidad de Granada.

Resultados. El consumo de cannabis afectó significativamente a la capacidad de discriminación, encontrándose un mayor índice de alteración visual (Visual Disturbance Index,VDI), y por tanto, mayor influencia de halos y deslumbramiento $(0,14 \pm 0,05 \text{ vs. } 0,21 \pm 0,13; \text{ p}=0,020)$ (Fig. 1). También se encontró un efecto negativo en la CSF, aunque no fue significativo (p=0,239). Por otro lado, la visión de cerca se vio notablemente afectada, con una disminución significativa de la estereoagudeza ($6,33 \pm 3,99$ seg arc vs. $12,67 \pm 8,84$ seg arc; p=0,004) y una peor RA. Así, los resultados reflejaron un aumento en el lag acomodativo, siendo éste mayor cuanto menor era la distancia de trabajo del test. Los cuestionarios indicaron que aproximadamente el 65% de los participantes consideraba que fumar cannabis afecta negativamente a su visión. Como consecuencia, el 71,4% cree que tras consumir cannabis realizaría con mayor dificultad actividades como conducir.

Conclusiones. Los resultados obtenidos indican que el consumo de cannabis afecta negativamente a la función visual. Los participantes mostraron peor rendimiento visual en condiciones de baja iluminación y dificultades en visión cercana. Además, tras el consumo los participantes consideran tener mayor dificultad en la realización de tareas como conducir, lo que podría suponer un riesgo para la seguridad en situaciones como la conducción nocturna.



Figura 1.- Test de discriminación visual (condición binocular) de uno de los participantes. En verde, los estímulos detectados por el participante y en rojo los no detectados. Se muestra el índice de alteración visual (VDI) y el diámetro pupilar (d).

- [1]Akano, O.F. "Marijuana Use and Self-reported Quality of Eyesight", Optom Vis Sci, 94, 630 (2017).
- [2] Castro, J.J., Jiménez, J.R., Ortiz, C; Alarcón, A., Anera, R.G. "New testing software for quantifying discrimination capacity in subjects with ocular pathologies", J Biomed Opt 16, 015001 (2011).
- [3] Observatorio Europeo de las Drogas y las Toxicomanías (2017), Informe Europeo sobre Drogas 2017: Tendencias y novedades, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo.

Estudio comparativo de la agudeza visual para condición monocular, biocular y binocular

Jorge Ares¹, Sara Perchés², Eduardo Larrodé¹ y Laura Remón¹

¹Facultad de Ciencias. Departamento de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza. ²SMT4V Researching, Ltd., Zaragoza.

Resumen: El objetivo principal fue comparar las agudezas visuales (AV) máximas que se pueden alcanzar para condición monocular, biocular en campo binocular y binocular, para una cohorte de 83 sujetos jóvenes universitarios [edades comprendidas entre 18 y 25 años]. Los resultados obtenidos muestran que el 60% presentan mejor AV binocular frente a la monocular, el 41% presentan una AV binocular mejor que la biocular y el 33% presentan una AV biocular que la monocular.

La agudeza visual (AV) es el primer parámetro subjetivo con el que se mide la calidad óptica de un determinado ojo. La medida de la AV depende de muchos factores [1,2] que deben tenerse en cuenta a la hora de comparar estudios científicos o hacer un seguimiento de un determinado individuo con el paso del tiempo. El objetivo de este estudio fue comparar la medida de la AV que se puede alcanzar para condición monocular, biocular en campo binocular y binocular en sujetos jóvenes y bajos las mismas condiciones de medida.

Se reclutaron a 83 sujetos (21 hombres y 62 mujeres) con edades comprendidas entre los 18 y 25 años de edad [edad media $20,56 \pm 1,83$ años] sin patología ocular o cirugía previa. A todos los sujetos se les realizó aberrometría ocular (i-Trace, Tracey Technologies), medida de la Agudeza Visual Estereoscópica (AVE) y la medida de la AV en condición monocular, biocular en campo biocular y binocular. Las medida de la AV fueron realizadas bajos las mismas condiciones de iluminación, por el mismo examinador y a una distancia de 5 metros La medida de la AV se realizó con gafa con polarización circular puesta mediante OptoTab Office Polar, Smarthings4Vision. Para el análisis de los resultados los valores de AV fueron convertidos a unidades LogMar y para el análisis comparativo entre las agudezas visuales obtenidas en diferentes condiciones se realizaron test de contraste paramétricos.

En la Figura 1 se muestran las diferencias entre la AV medida de manera monocular, biocular y binocular. Se observa que la AV medida binocularmente es mayor que la obtenida biocularmente, siendo ésta última mayor que la obtenida monocularmente El valor medio de la AV monocular (LogMar) fue de $0,0039 \pm 0,0848$ (AV decimal: 0,99) para la AV biocular el valor medio fue de $-0,0095\pm0,0887$ (AV decimal: 1,02) y binocularmente la AV fue de $-0,037 \pm 0,090$ (AV decimal: 1,09).

Se obtienen diferencias estadísticamente significativas entre la AV binocular y la AV binocular p<0,05. Del mismo modo, se obtienen diferencias estadísticamente significativas entre la AV binocular y la AV monocular p<0,05.



Figura 1.- AV medida de manera monocular, biocular y binocular. Para la AV monocular y biocular se representa el ojo que proporciona una mejor AV.

- L. Remón, J.A. Monsoriu, W.D. Furlan, "Influence of different types of astigmatism on visual acuity" J Optom, 10, 141 (2017).
- [2] G.S. Rubin, B. Muñoz, K. Bandeen-Roche, S.K. West, "Monocular versus binocular visual acuity as measures of visión impairment and predictors of visual disability" Invest Ophthalmol Vis Sci. 41, 3327 (2000).

Morfología del cristalino présbita *in vivo* mediante imagen 3D de OCT cuantitativa

Miriam Velasco-Ocaña, Eduardo Martinez-Enriquez, Susana Marcos

Instituto de Óptica "Daza de Valdés", CSIC, C/ Serrano 121, Madrid, España

Resumen: Cuantificar la morfología del cristalino es importante para la comprensión de los cambios con la edad y personalización de correcciones. Mediante un sistema OCT y algoritmos propios cuantificamos el cristalino présbita (53.50±6.68 años) *in-vivo* en comparación con un grupo joven. Con la edad, observamos un incremento estadísticamente significativo del volumen, espesor y posición del plano ecuatorial, una disminución del radio de las superficies anterior y posterior y del ángulo entre ejes de astigmatismo superficial.

Objetivo: Realizar una reconstrucción completa de cristalinos présbitas *in vivo*, analizando los cambios con la edad.

Métodos: Se obtuvieron imágenes del segmento anterior del ojo mediante un sistema de Tomografía de Coherencia Óptica, y se reconstruyó y cuantificó la forma completa del cristalino mediante algoritmos de corrección, procesado de imagen y cuantificación [1-3]. Se midieron 8 ojos de 8 sujetos présbitas (edades: 53.50 ± 6.68 años; corrección esférica: -1.41±1.6D; cilindro <1.00 D). Las superficies se ajustaron a polinomios de Zernike (orden 6) y se extrapoló la geometría del cristalino más allá del iris. Se cuantificaron los siguientes parámetros del cristalino: radios anterior (RAL) y posterior (RPL), espesor (LT), volumen (VOL), posición del plano ecuatorial (EPP), superficie (LSA) y diámetro en el plano ecuatorial (DIA). Se obtuvo también la diferencia entre las orientaciones del astigmatismo entre cara anterior y posterior del cristalino utilizando los términos de astigmatismo (Z(2,-2) y Z(2,2)) de la topografía de cada una de las superficies para calcular el ángulo. Los resultados se compararon (ANOVA) con los cristalinos de un grupo joven control (acomodación relajada; 28.6±4.4 años; esfera -6 a +0.75D y astigmatismo \leq 1.25D) analizados en un trabajo previo [2].

Resultados: Los resultados obtenidos en présbitas en promedio fueron RAL 9.85 ± 1.17 mm, RPL 5.66 ± 0.35 mm, LT 4.23 ± 0.29 mm, EPP 1.86 ± 0.14 mm, DIA 8.96 ± 0.35 mm, VOL 170 ± 23.56 mm³ y LSA 165 ± 13.63 mm². La Figura 1 muestra la comparación de estos parámetros en los ojos présbitas (verde) con el grupo joven control (naranja). En los sujetos présbitas se observa un incremento estadísticamente significativo del VOL, LT y EPP y una disminución del RAL y RPL (p<0.01). El ángulo entre los ejes de astigmatismo de las superficies anterior y posterior es menor en los cristalinos présbitas (46 ± 21 deg) que en los ojos jóvenes (80 ± 42 deg)[4], confirmando resultados previos obtenidos ex vivo[5].



Figura 1.- Gráfica comparativa de los valores promedio con su desviación estándar de A) VOL(mm³) y LSA(mm²) y B) RAL(mm), RPL(mm), LT(mm), EPP(mm) y DIA(mm) de jóvenes (naranja) y présbitas (verde). * p-value <0.01.

Conclusiones: Medidas de OCT 3D cuantitativo permiten la cuantificación de la geometría completa del cristalino in vivo. El cristalino crece en volumen y espesor con la edad y sus superficies se hacen más curvas, alterándose la relación entre ejes de astigmatismo. Estos resultados contribuyen a la comprensión de los cambios que ocurren en el cristalino con la edad y la mejora y personalización de las soluciones de corrección de la presbicia.

- Ortiz, S., D. Siedlecki, I. Grulkowski, L. Remon, D. Pascual, M. Wojtkowski, and S. Marcos, "Optical distortion correction in optical coherence tomography for quantitative ocular anterior segment by three-dimensional imaging. Opt Express, 2010. 18(3): p. 2782 (2010).
- [2] Martinez-Enriquez, E., P. Perez-Merino, M. Velasco-Ocana, and S. Marcos, "OCT-based full crystalline lens shape change during accommodation in vivo. Biomed Opt Express, 2017. 8(2): p. 918 (2017).
- [3] Martinez-Enriquez, E., M. Sun, M. Velasco-Ocana, J. Birkenfeld, P. Perez-Merino, and S. Marcos, "Optical Coherence Tomography Based Estimates of Crystalline Lens Volume, Equatorial Diameter, and Plane Position. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016. 57(9): p. OCT600 (2016).
- [4] Perez-Merino, P., M. Velasco-Ocana, E. Martinez-Enriquez, and S. Marcos, "OCT-based crystalline lens topography in accommodating eyes. Biomed Opt Express, 2015. 6(12): p. 5039 (2015).
- [5] Sun, M., J. Birkenfeld, A. de Castro, S. Ortiz, and S. Marcos, "OCT 3-D surface topography of isolated human crystalline lenses. Biomed Opt Express, 2014. 5(10): p. 3547 (2014).

In vivo chromatic aberration in phakic and pseudophakic eyes implanted with different materials and designs IOLs

M Vinas¹, C Dorronsoro¹, AM Gonzalez-Ramos¹, D Pascual¹, S Aissati¹, N Garzón², F Poyales², S Marcos¹

¹ Visual Optics & Biophotonics Lab, Instituto de Optica, CSIC (IO-CSIC), Madrid, Spain. ² Innova Ocular IOA Madrid, Madrid, Spain.

Summary: In polychromatic light, retinal image quality is affected both by monochromatic and chromatic aberrations of the ocular optics and their interactions. These interactions are altered when the crystalline lens is replaced by an intraocular lens. We measured *in vivo* LCA in phakic and pseudophakic eyes implanted with hydrophilic and hydrophobic monofocal and multifocal diffractive IOLs.

Objective: In polychromatic light, retinal image quality is affected both by monochromatic and chromatic aberrations of the ocular optics and their interactions. Chromatic aberration in the eye arises from the wavelength dependence of the refractive index of the ocular media (chromatic dispersion) affecting diffraction, scattering, and aberrations [1]. Chromatic dispersion causes short wavelengths to focus in front of long wavelengths, producing a chromatic difference of focus between the shorter and longer wavelengths; this is known as longitudinal chromatic aberration (LCA). The interactions between chromatic and monochromatic aberrations have drawn attention [2], particularly as the magnitude and pattern of either aberration can be altered when the crystalline lens of the eye is replaced by an intraocular lens (IOL), where the LCA depends on the IOL optical design, and the dispersion properties of the IOL material and of the ocular media. We measured *in vivo* LCA in phakic and pseudophakic eyes implanted with hydrophilic and hydrophobic monofocal and diffractive FineVision Trifocal IOLs (PhysIOL, Liege).

Methods: Measurements were performed in a custom-made multichannel polychromatic Adaptive Optics (AO) system, with 8 different channels [3], where a supercontinuum-laser (480-700nm) illuminated a DLP displaying a Maltese-Cross stimulus. For each wavelength (randomly presented), the patient focused the stimulus using a Badal-optometer (3 repetitions/wavelength). LCA was obtained in 27 patients/49 eyes: 5 young phakic patients (28.60 \pm 1.89 yrs); 9 patients (73.92 \pm 4.28 yrs;) implanted with PhysIOL monofocal aspheric IOLs, hydrophilic (Poday) in one eye/hydrophobic (Podeye) in the contralateral eye; 10 patients (66.42 \pm 3.8 yrs) implanted with FineVision Pod F (Trifocal hydrophilic); 4 patients (61.5 \pm 4.90 yrs) implanted with FineVision Pod F GF (Trifocal hydrophobic). Phakic and monofocal IOLs-implanted patients were evaluated for far; Trifocal IOLs for far/intermediate/near. LCA was estimated from 2nd-order polynomial fittings of chromatic-defocus curves.

Results: Psychophysical LCA in the 480-700nm spectral range for phakic subjects was 1.51 D, while with monofocal/Poday was: 1.21 ± 0.08 D; with monofocal/Podeye was: 1.37 ± 0.08 D; with FineVision/Pod F was: 0.82 ± 0.05 D (far), 0.27 ± 0.15 D (intermediate) & 0.15 ± 0.15 D (near) and with FineVision/Pod F GF was: 1.08 ± 0.15 D (far), 0.67 ± 0.3 D (intermediate), & 0.41 ± 0.25 D (near).

Conclusion: LCA in phakic and pseudophakic eyes show similar trends with monofocal IOLs, but lower values for multifocal IOLs. LCA with the hydrophobic material is slightly, but significantly higher than with hydrophilic material both in monofocal and trifocal IOLs for far vision, with values of the same order of magnitude or lower than LCA in the phakic eye. LCA decreases for intermediate and near vision in trifocal IOLs. The diffractive component in multifocal IOLs allows modulating the chromatic aberration of the eye at different distances.

- Thibos LN, Bradley A, Zhang XX., Effect of ocular chromatic aberration on monocular visual performance. OptomVisSci 1991;68:599–607
- [2] McLellan JS, Marcos S, Prieto PM & Burns SA., Imperfect optics may be the eye's defence against chromatic blur. Nature 2002; 417: 174–176
- [3] Vinas M, Dorronsoro C, Cortes D, Pascual D, Marcos S. Comparison of vision through surface modulated and spatial light modulated multifocal optics. Biomedical optics express 2017, 8(4): 2055-2068

Predicting the wavelength at focus on the retina for polychromatic stimuli

Enrique Josua Fernández^{1*}, Alejandro Mira-Agudelo², Pablo Artal¹

¹Laboratorio de Óptica, Universidad de Murcia, Instituto Universitario de Investigación en Óptica y Nanofísica, Campus de Espinardo (Edificio 34), 30100 Murcia, Spain ²Grupo de Óptica y Fotónica, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia UdeA, Calle 70 No. 52-21, Medellín, Colombia *Corresponding author: enriquej@um.es

Abstract: The longitudinal chromatic aberration of the eye spreads out the spectral components of polychromatic images into separated planes. With the help of a Hartmann-Shack wavefront sensor we obtained the wavelength best focused for a white stimulus in 5 subjects. It was investigated whether the focused color matches the maximum of the retinal irradiance or the retinal illuminance function by creating customized eye models for each subject. The illuminance was found to be the best predictor.

The longitudinal chromatic aberration of the eye spreads out the spectral components of polychromatic images into separated planes along the optical axis [1]. Consequently, only a precise wavelength can be considered at perfect focus on the retina. In this work, we studied this preferred wavelength in 5 normal subjects. The longitudinal chromatic defocus shift was first obtained at 450, 550 and 633 nm. Then, the subjects found their best subjective focus under three different polychromatic illuminations from two white light sources of Xenon and Tungsten lamps, and Xenon with a magenta filter. Ocular aberrations were simultaneously measured with an infrared Hartmann-Shack wavefront sensor operating at 1050 nm [2]. The chromatic shift curve of the eye was employed to estimate the focused wavelength for each spectral condition. Using the ocular aberrations measured in the experiment, the absorption of the ocular media, and the spectral intensity of the light sources, we derived different approaches to predict the wavelength focused on the retina. We found that neither the maximum of the retinal irradiance nor that from the spectral intensity of the light source were accurate predictors. Weighting these functions with the photopic luminous efficiency function of the retina provided a good estimator of the wavelength in focus. The illuminance at the retina was found to be the best predictor.



Figure 1.- Experimental set-up. The motorized optometer allowed the subjects to focus the stimulus while ocular aberrations were measured with the Hartmann-Shack wavefront sensor.

Referencias

[1] A. Ivanoff, "Focusing wave-length for white light," J. Opt. Soc. Am. 39(8), 718 (1949)

[2] 16. E. J. Fernández and P. Artal, "Ocular aberrations up to the infrared range: from 632.8 to 1070 nm" Opt. Express," 16, 21199-21208 (2008).



Simposio Color

http://rno2018.uji.es

Influencia del *scattering* en el color. Un enfoque basado en la teoría de Kubelka-Munk

Rodrigo Alcaraz de la Osa, Dolores Ortiz, Jose Mª Saiz, Fernando Moreno y Francisco González

Grupo de Óptica. Dpto Física Aplicada. Universidad de Cantabria Facultad de Ciencias. Avda. Los Castros s/n Santander

Resumen: Presentaremos algunos de los últimos resultados obtenidos por el Grupo de Optica sobre la influencia del *scattering* en las coordenadas de color, basándonos en la teoría de Kubelka-Munk. En particular, veremos el efecto sobre el color de la variación espectral en el coeficiente de *scattering*, así como el efecto sobre el color de variaciones de su magnitud.

La teoría de Kubelka-Munk (K-M) es una de las teorías más importantes sobre el transporte de luz en medios homogéneos e isótropos [1]. Recientemente se ha extendido al caso de un medio sobre un sustrato arbitrario, permitiendo el cálculo de la densidad de energía transversal, la transmisión total del sistema, y la separación de la absorción en el medio y en el sustrato [2]. La medida práctica del color (colorimetría) es un aspecto de gran importancia en muchos tipos de actividades industriales, principalmente en las industrias textil (también cuero), papelera (y maderera) y de las artes gráficas. A la hora de predecir el color obtenido al mezclar distintos colorantes, es de vital importancia conocer con precisión las propiedades de absorción y *scattering* por separado.

En esta contribución utilizaremos la teoría de K-M para estudiar la variación de color al depositar espesores crecientes de distintos colorantes sobre un sustrato dado, haciendo especial énfasis en la influencia del coeficiente de *scattering S* de los colorantes, el cual caracteriza la capacidad que tiene un medio (colorante en este caso) para redirigir un haz de luz en direcciones distintas a la de incidencia.

En la Fig. 1 se muestra la evolución del color¹ al depositar un espesor creciente de cuatro colorantes distintos sobre un sustrato blanco, tanto para el caso de un coeficiente de *scattering S* variable en longitud de onda (líneas gruesas) como *S* constante (líneas delgadas). También se observa que los colores finales para el caso de dispersión constante caen en el círculo de saturación $C^* = 10$ y luminosidad $L^* = 30$.



Figura 1.- Evolución del color (plano a^*b^* y espacio $L^*a^*b^*$) al depositar un espesor creciente de cuatro colorantes distintos sobre un sustrato blanco, tanto para el caso de un coeficiente de *scattering S* variable (líneas gruesas) como *S* constante (líneas delgadas). También se observa que los colores finales para el caso de dispersión constante caen en el círculo de saturación $C^* = 10$ y luminosidad $L^* = 30$.

Como conclusión general, de acuerdo con la teoría de K-M, el scattering S va siempre ligado al espesor del medio X, como el producto SX, de forma que su influencia depende de cuan importante sea el producto SX en comparación con la absorción (KX).

^[1] P. Kubelka, y F. Munk, "An article on optics of paint layers," Z. Tech. Phys. 12, 593-609 (1931).

^[2] R. Alcaraz de la Osa, A. García Alonso, D. Ortiz, F. González, F. Moreno, y J. M. Saiz, "Extension of the Kubelka-Munk theory to an arbitrary substrate: a Monte Carlo approach," *J. Opt. Soc. Am. A.* **33**, 2053-2060 (2016).

¹ Asumiendo el Iluminante Estándar D65 y el Observador Estándar a 2º de 1931 de la CIE.

Multi-Primary QD Display Model for Digital Reproduction of Gonio-Chromatic Colors

Khalil Huraibat, Esther Perales, Francisco Miguel Martínez-Verdú, Bárbara Micó and Valentín Viqueira

Department of Optics, Pharmacology and Anatomy, University of Alicante, Alicante, Spain Khalil.Huraibat@ua.es

Summary: A theoretical multi-primary QD display model is presented. The idea is to improve the ability of the promising new QD technology to guarantee a better digital reproduction of these complex gonio-chromatic colors by expanding its color gamut, as well as increasing its maximum luminance.

Digital simulation and visualization of Goniochromatic colors is nowadays one of the challenges in many sectors of industry [1]. These are colors with new visual effects changing its color appearance regarding to the observation and illumination geometries due to the presence of a special-effect pigments [2,3]. The complexity to characterize its colors and textures rides to a difficulty to correctly simulate and visualize such colors on digital devices like displays; since a wide color gamut displays are needed to cover its colors if a real reproduction is aimed.

The limitations of the currently available displays and its validity for such task were studied and justified on previous works. Recently, we have performed an evaluation of the new QD display technology. A spectral and colorimetric characterization was carried out to evaluate its validity for goniochromatic colors reproduction. The wider color gamut of this technology seems to be promising but still not wide enough to cover the new goniochromatic colors [4]. From that we thought of a way to expand the gamut of these technologies by create a multi-primary model to match our necessity. Our idea is to try new additional primaries together with the tri-RGB channels. A display with five, six or even eight channels to expand the display color gamut. Then, to optimize our model, a study of a wide samples of goniochromatic colors is performed to define the limits of these colors and then try to define: how much primaries are needed to cover all these color limits.

A five primary-model with two additional primaries (Yellow and Cyan) is tested (Figure1.left). An important enlargement of the color gamut is observed (Figure1.right) which guarantees a better representation of goniochromatic colors. Additional tests are in operation to confirm these improvements by doing a comparison in CIELab color space.



Figure 1. left- Spectral profile of the five primaries. right- CIE 1931 chromaticity diagram showing the triangle of the PHILIPS QuadHD display and the hexagon of the multi-primary model.

- [1] A., Ferrero, et al., "Measuring and specifying goniochromatic colors". 23rd ICO conference, Santiago de Compostela 2014.
- [2] G., Pfaff, "Special Effect Pigments, in High Performance Pigments". 2009, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. p. 75-101.
- [3] F.J., Maile, G. Pfaff, and P. Reynders, "Effect pigments—past, present and future". Progress in organic coatings, 2005. 54(3): p. 150-163.
- [4] K., Huraibat, et al., "Spectral and Color Characterization of a Quantum Dots Display for Gonio-Apparent Colors". Color and Imaging Conference, Volume 2017, Number 25, September 2017, pp. 177-181(5).

Nuevos conocimientos para combatir el desarrollo de biofilms fototróficos en edificios y monumentos históricos con iluminación LED y ultravioleta

J. Arines¹, J. Cancelo-González², R. Carballeira³, P. Sanmartín²

 ¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España
 ²Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola. Facultade de Farmacia. Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España
 ³Centro de Investigacións Científicas Avanzadas (CICA), Facultade de Ciencias, Universidade da Coruña, A Coruña, España

Resumen: En este trabajo presentaremos los avances obtenidos en el uso de luz para el control del crecimiento de biofilms fototróficos en edificios y monumentos históricos que permitan una mejor conservación del patrimonio.

El crecimiento de microorganismos fototróficos (algas y cianobacterias) es dependiente de la cantidad (duración e intensidad) y la calidad (color o longitud de onda dominante) de la luz. Por ello, la luminancia de edificios y monumentos afecta a su colonización biológica siendo la luz un factor clave en la regulación del crecimiento y los procesos fisiológicos en los organismos fotosintéticos. Dado que los microorganismos solo usan la energía espectral correspondiente a la absorción máxima de pigmentos y que las lámparas LED tienen un estrecho ancho de banda espectral, estas pueden ser útiles para controlar el crecimiento de fotótrofos.

Actualmente existe una tendencia creciente a iluminar monumentos del patrimonio cultural al aire libre en centros urbanos con lámparas LED. La iluminación proporciona una mayor visibilidad de los edificios y muestra diferentes características. Además, el uso de lámparas LED blancas para iluminar edificios a menudo se reemplaza por el uso de LED de colores (rojo, verde, amarillo, azul, etc.) para crear efectos estéticos o simbólicos diferentes en edificios o monumentos. En el marco de esta realidad se está llevando a cabo desde el año 2016 un proyecto que aborda el desarrollo de estrategias innovadoras y seguras basadas en la iluminación ornamental urbana para controlar el crecimiento microbiano y gestionar la integración cromática de la colonización biológica en edificios patrimoniales [1].

Los resultados obtenidos hasta el momento en laboratorio permiten afirmar que la aplicación de ciertas calidades de luz provoca respuestas fisiológicas específicas en los microorganismos, lo que deriva en un control y un manejo integrado de la colonización biológica, para inhibir o estimular su desarrollo o para modificar su coloración. Dichos avances se implementarán en exterior en una segunda etapa del proyecto, que se iniciará en la primavera de 2018 en el marco de un contrato de investigación con una empresa que realiza proyectos de iluminación, y donde se aplicarán los prototipos de iluminación derivados de la primera parte realizada en el laboratorio en 3 edificios representativos de Santiago de Compostela (Ciudad Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO desde 1985): San Martiño Pinario (monasterio), Pazo de Raxoi (ayuntamiento) y Colexio de San Xerome (colegio universitario). Esto permitirá el desarrollo del primer proyecto piloto para controlar la colonización biológica a través del alumbrado público en España.

Referencias

[1]Proyecto Light4Heritage. Estrategias basadas en la iluminación para el control de la colonización biológica en el patrimonio construido (2016- PG011, Xunta de Galicia). IP: Patricia Sanmartín (Universidade de Santiago de Compostela).

Retinógrafo hiperespectral basado en LEDs para la obtención de imágenes de fondo de ojo en el visible e infrarrojo

T. Alterini, F. Díaz-Doutón, M. Vilaseca

Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6), Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Terrassa, Barcelona, España

Resumen: En este trabajo se presenta un sistema hiperespectral experimental de registro de imagen de fondo de ojo con sensibilidad entre 400 nm y 1300 nm. La ampliación del espectro al rango infrarrojo de este sistema permite observar estructuras retinianas en capas más profundas con respecto a retinógrafos convencionales en color, lo que puede ser relevante para el diagnóstico clínico de ciertas patologías oculares.

Los retinógrafos comerciales convencionales se utilizan en la práctica clínica diaria como método de diagnóstico de una gran variedad de enfermedades de retina, tales como el glaucoma, degeneración macular asociada a la edad, retinopatía diabética, entre otras. Estos instrumentos incluyen una cámara digital tricromática junto con una fuente blanca de amplio espectro para obtener imágenes en color del fondo de ojo. En los últimos años, el uso de sistemas de imagen hiperespectral ha crecido substancialmente dado su enorme potencial, al permitir obtener información espectral y espacial simultáneamente. Así, han sido aplicados para el análisis espectral de tejidos biológicos y, en particular, para mejorar el diagnóstico de patologías oculares [1-2].

En esta línea, en este trabajo se presenta un nuevo sistema hiperespectral basado en LEDs para la obtención de imágenes de fondo del ojo con un rango espectral extendido (de 400 nm a 1300 nm). El sistema de detección consiste en una cámara CMOS (Orca Flash 4.0, Hamamatsu, Japan, 2048x2048 pixels, 16 bits) y una cámara InGaAs (C12741-03, Hamamatsu, Japan, 640x512 pixels, 12 bits) con sensibilidad en los rangos visible (400 nm -1000 nm) e infrarrojo (950 nm-1700 nm), respectivamente. El sistema de iluminación está compuesto por LEDs con las siguientes longitudes de onda: 410 nm, 460 nm, 490 nm, 520 nm, 585 nm, 620 nm, 660 nm, 720 nm, 810 nm, 850 nm, 940 nm, 1050 nm, 1140 nm, y 1300 nm, que permiten obtener una iluminación multiplexada en la retina de manera rápida, robusta y versátil cubriendo completamente el rango espectral de interés. Más allá de 1300 nm la absorción del agua no permite obtener imágenes.

Se ha diseñado un sistema óptico robusto (optimizado con Zemax, Radiant Zemax) adaptado al amplio rango espectral del sistema, que permite obtener un campo de 30° con una resolución de alrededor de 10 mm. Se han comparado diferentes disposiciones de los LEDs para poder escoger la mejor estrategia de iluminación en términos de homogeneidad, eficiencia de colección de luz y eficacia en la supresión de reflexiones parásitas, que pueden comprometer la calidad de la imagen. Se ha evaluado el sistema con ojos artificiales y, posteriormente, con ojos de voluntarios.

Los resultados preliminares obtenidos con el sistema ponen de manifiesto que mientras las longitudes de onda más cortas permiten visualizar en detalle las estructuras retinianas más superficiales, las del infrarrojo, especialmente superiores a 950 nm, permiten obtener información de capas más profundas, como la coroides, lo que puede aportar información adicional relevante para el diagnóstico clínico (Figura 1).



Figura 1.- Imágenes de retina obtenidas a 670 nm (izquierda) y a 1050 nm (derecha). En el panel central se muestran dos zonas de interés ampliadas, destacadas en azul y rojo, donde se pueden visualizar las diferencias en ciertas estructuras.

- M. Kaschke, K. H. Donnerhacke, and M. S. Rill. Optical Devices in Ophthalmology and Optometry: Technology, Design Principles and Clinical Applications, (WILEY- VCH, 2014).
- [2] N. L. Everdell, I. B. Styles, A. Calcagni, J. Gibson, J. Hebden, and E. Claridge, "Multispectral imaging of the ocular fundus using light emitting diode illumination", Rev. Sci. Instrum., 81 (9), 1–9 (2010)

Sistema multispectral visible e infrarrojo para la detección de melanomas

Laura Rey-Barroso¹, Francisco J. Burgos-Fernández¹, Xana Delpueyo¹, Miguel Ares¹, Santiago Royo¹, Josep Malvehy², Susana Puig² and Meritxell Vilaseca¹

¹ Centre for Sensors, Instruments and Systems Development, Terrassa 08222, Spain. ² Dermatology Department of the Hospital Clinic of Barcelona, IDIBAPS; Barcelona 08036, Spain.

Resumen: Con el objetivo de mejorar el diagnóstico del cáncer de piel de forma no invasiva, se diseñaron dos sistemas multiespectrales para su uso clínico. El primero opera entre 414 nm y 995 nm y el segundo opera de 995 nm a 1613 nm, proporcionando información espectral y de textura de las lesiones. Se desarrolló un método de clasificación basado en descriptores estadísticos y análisis de componentes principales para detectar melanomas, el tipo de cáncer más agresivo.

Los sistemas de imagen multiespectral proporcionan información espectral, colorimétrica y espacial de forma precisa y en los últimos años se han empleado para analizar las propiedades de la piel y, especialmente, para detectar lesiones cancerígenas [1]. Con este propósito, en este trabajo se desarrollaron dos sistemas de imagen multiespectral. Uno de ellos es sensible a los rangos visible e infrarrojo cercano y consta de un sensor CCD de 12 bits de profundidad con iluminación multiplexada basada en LEDs con picos de emisión a 414 nm, 447 nm, 477 nm, 524 nm, 671 nm, 735 nm, 890 nm y 995 nm. El otro sistema es sensible en el rango infrarrojo e incorpora un sensor InGaAs para evaluar las capas más profundas de la piel gracias a la mayor penetración de los fotones en estas longitudes de onda; la iluminación multiplexada asociada a este sistema funciona a 995 nm, 1081 nm, 1214 nm, 1340 nm, 1486 nm y 1613 nm. Con dichos sistemas se analizaron 39 lesiones benignas (nevus) y 14 lesiones malignas (melanomas) en el Hospital Clínic de Barcelona. La Figura 1 muestra imágenes espectrales captadas con los sistemas correspondientes a un nevus común y un melanoma.



Figura 1.- Imágenes espectrales de un nevus común (a) y un melanoma (b). En las longitudes más largas se aprecia información de capas más profundas.

A partir de las imágenes multiespectrales de las lesiones analizadas, se calcularon descriptores estadísticos tradicionales tales como la media, máximo, mínimo y desviación estándar de los valores de reflectancia (absorbancia) espectral. Adicionalmente, se calcularon atributos de textura para cada lesión a partir del histograma de la misma a través de estadística de primer orden tales como la energía, entropía y tercer momento central. En total, se obtuvo una cantidad de 392 descriptores estadísticos para cada lesión, de los cuales solo 10 se consideraron útiles como clasificadores. Se realizó un análisis de componentes principales (PC) sobre estos 10 clasificadores y se representaron los resultados en términos de PC para poder separar los dos tipos de lesiones. Entre todas las PC evaluadas, las que produjeron clasificaciones más precisas fueron PC1 vs PC3 (sensibilidad = 85.7% y especificidad = 76.9%) y PC2 vs PC3 (sensibilidad = 78.6% y especificidad = 84.6%). La metodología de clasificación aplicada presenta una sensibilidad similar a otros trabajos anteriores [2,3] pero una especificidad muy superior. El trabajo futuro se centrará en la combinación de esta información con el análisis 3D de las lesiones.

- [1] Guy, G.P.; Ekwueme, D.U. Melanoma Treatment Costs: A systematic review of the literature, 1990–2011. Am. J. Prev. Med. 2012, 43, 537–545, doi:10.1016/j.amepre.2012.07.031.
- [2] Diebele, I.; Kuzmina, I.; Lihachev, A.; Kapsotinsh, J.; Dejarbo, A.; Valiene, L.; Spigulis, J. Clinical evaluation of melanomas and common nevi by spectral imaging. *Biomed. Opt. Express* 2012, *3*, 467–472, doi:10.1364/BOE.3.000467.
- [3] Delpueyo, X.; Vilaseca, M.; Royo, S.; Ares, M.; Rey-Barroso, L.; Sanabria, F.; Puig, S.; Malvehy, J.; Pellacani, J.; Noguero F.; et al. Multispectral imaging system based on light-emitting diodes for the detection of melanomas and basal cell carcinomas: A pilot study. J. Biomed. Opt. 2017, 22, 065006, doi:10.1117/1.JBO.22.6.065006.

Efecto de la combinación de LED rojo y UV-Asobre el desarrollo y la diversidadde los biofilmsfotoautótrofosdel patrimonio construido

E. López¹, J. Arines², R. Carballeira³, J. Cancelo-González¹, P. Sanmartín¹

¹Departamento de Edafoloxía e Química Agrícola. Facultade de Farmacia. Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, Spain ²Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España ³Centro de Investigacións Científicas Avanzadas (CICA), Facultade de Ciencias, Universidade da Coruña, A Coruña, Spain

Resumen: En el presente trabajo se estudió la respuesta de biofilms fotoautótrofos aislados de un edificio histórico de la ciudad de Santiago de Compostela y mantenidos *in vitro* como cultivos multiespecie, sometiéndolos a diferentes iluminantes (LEDs verde y rojo) solos y combinados con irradiaciones ultravioleta (UV-A y UV-B), analizando su distinta formación y desarrollo, así como el cambio provocado por la luz en la diversidad y abundancia de especies.

El biofilm, comunidad compleja de microorganismos embebidos en una matriz de polímeros extracelulares, fija a una superficie y cuya presencia degrada activamente los materiales de construcción, tiene como grupo clave en su desarrollo a los microorganismos fotoautótrofos cuyo metabolismo está condicionado por la luz. En el ámbito de la conservación del patrimonio monumental construido, la iluminación ornamental se puede emplear sinérgicamente para orientar y promover respuestas fisiológicas especificas en los microorganismos colonizadores, con el fin de paliar o minimizar el biodeterioro producido por estos [1, 2]. En el presente trabajo se estudió la respuesta de biofilms fotoautótrofos aislados de un edificio histórico de la ciudad de Santiago de Compostela y mantenidos in vitro como cultivos multiespecie, sometiéndolos a diferentes iluminantes (LEDs verde y rojo) solos y combinados con irradiaciones ultravioleta (UV-A y UV-B), analizando su distinta formación y desarrollo, así como el cambio provocado por la luz en la diversidad y abundancia de especies. Tras treinta días de cultivo se observó un incremento significativo en el crecimiento de los microorganismos al combinar luz LED roja con UV-A, un resultado inesperado al haber mostrado el LED rojo en experimentos previos un efecto biostatico [3]. Este resultado fue corroborado mediante distintas técnicas de cuantificación de biomasa en biofilms subaéreos (SABs) como análisis gravimétrico, cuantificación de la clorofila-a y otros pigmentos relacionados (viz. clorofila-b y carotenoides totales), densidad óptica a 750 nm, fluorescencia clorofilica y cuantificación de la matriz exopolisacárida a través de análisis infrarrojo, centrando el foco en el uso potencial de la luz UV-A como promotor del crecimiento de organismos formando biofilms, algo no conocido hasta el momento. Por su parte el examen de las comunidades de microorganismos fotoautótrofos sometidos a la combinación de estas dos luces resultó en la alteración de las abundancias relativas entre los diferentes taxones y en un comportamiento diferencial entre los principales grupos taxonómicos, promoviendo el crecimiento de las especies de cianobacterias frente a las de clorofíceas.

- [1] Sanmartín, P., Vázquez-Nion, D., Arines, J., Cabo-Domínguez, L., Prieto, B. 2017. Controlling growth and colour of phototrophs by using simple and inexpensive coloured lighting: A preliminary study in the Light4Heritage project towards future strategies for outdoor illumination. International Biodeterioration & Biodegradation 122: 107-115.
- [2] Sanmartín, P., Vázquez-Nion, D., Arines, J., Silva, B., Prieto, B. 2017. Assessing the effect of different coloured lighting in controlling biological colonization. CRC Press/Balkema e-book. Technoheritage.
- [3] Proyecto Light4Heritage. Estrategias basadas en la iluminación para el control de la colonización biológica en el patrimonio construido (2016- PG011, Xunta de Galicia). IP: Patricia Sanmartín (Universidade de Santiago de Compostela).

Diseño de una aplicación para evaluar el efecto Bezold en función del color y el ángulo de observación de un patrón de franjas con distintas orientaciones

Del Valle, Jose Vicente; Tortajada Ignacio; Brusola Fernando

Universitat Politècnica de València, Camino de Vera S/N

Resumen: A finales del siglo XIX Bezold describió un fenómeno descubierto por Chevreul denominado contraste inverso o efecto expansión. Recientemente, Tortajada, Montalvá y Aguilar lo han cuantificado usando para ello redes de Ronchi sobre papel. En este trabajo se presenta una aplicación informática interactiva que permite medir rápida y eficientemente la aportación de un observador que evalúa el efecto en distintos centros de color y ángulo de observación de un patrón de franjas con distintas orientaciones.

El interface de la aplicación está formado por dos cuadros, en el de la izquierda está el patrón de franjas y en el de la derecha está el parche de referencia rodeado completamente de un acromático fijo de coordenadas Lab (50,0,0).

El ángulo de observación varía en función del tamaño de las franjas (desde 1 pixel hasta la pantalla completa), y como colores a evaluar hemos empezado por los cinco centros de color de Robertson.

Cuando al observador se le presentan los dos cuadros de la pantalla para un determinado color (figura 1), tiene que igualar el color en ambos cuadros mediante las teclas UP y DOWN. Al terminar la igualación se le plantean otras pantallas para los distintos centros de color con distintos ángulos de observación y para distintas orientaciones de las franjas.

Cada vez que apretamos la tecla UP/DOWN aumentamos/disminuimos en una unidad el valor de la L, por lo que la aplicación al final recoge las variaciones de L entre el parche de referencia y el patrón de franjas cuando el observador ve ambas partes de la pantalla del mismo color.

Una vez desarrollada la herramienta trabajaremos con ella en los 5 centros de color de Robertson y en trabajos posteriores comunicaremos los resultados obtenidos.



Figura 1.- Captura de pantalla de la aplicación con un ángulo de 0.5729º medidos a 50cm de distancia sobre una pantalla de 1920x1080px (escala del dibujo no real).

- 1. Bezold Wv, Koehler SR, Pickering EC. The theory of color in its relation to art and art-industry. Boston: L. Prang and Co.; 1876. xxxiii, 274 p., 13 leaves of plates p.
- Montañana, I. Tortajada, Colomer, J. Montalvá, Rico, M. Aguilar, "Behavior of a periodic chromatic test with an achromatic Ronchi grating as a background", Color Research and Application, Vol. 37, (p336, 2012)
- 3. A. R. Robertson, "CIE guidelines for coordinated research on color-difference evaluation", Color Research and Application, **Vol. 3**, (p149, 1978)

Didactic simulations of metameric colour pairs using POV-Ray

F. L. Naranjo, G. Martínez, A. L. Pérez, P. J. Pardo y M. I. Suero

Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06006 - Badajoz

Summary: This work presents a series of didactic simulations to improve the teaching of colour at different educational levels. Specifically, the objective of these simulations was to show the student concepts related to metameric colour pairs. The simulations were developed using the software POV-Ray. This program was chosen because of its ability to generate images with a high degree of realism, producing hyper-realistic simulations of the optical phenomena explained.

Metamerism can be defined as a perceived matching of the colours with different nonmatching spectral power distributions. Colours that match this way are called metamers. This effect is evident when comparing at least two colour samples, which is the reason we usually talk about a metameric pair, which can be defined as two colours with different spectral compositions that generate the same colour stimuli under certain conditions [1, 2].

When we try to explain the concept of the metameric pair to students at various educational levels, we find that they have certain difficulties in understanding the phenomenon. Ideally, a quality lighting booth should be used in conjunction with precisely defined metameric colour pairs from standardized sources, such as the Munsell books of colour [3].

However, both the lighting booths and the colour atlases are quite expensive, which means that they are not commonly available in most classrooms, as only a few dedicated laboratories can afford them.

To compensate for this in a certain way, in this work hyper-realistic simulations for the teaching of colour have been carried out. Specifically, we have simulated a lighting booth and various metameric pairs, furthering our previous research in colour and hyper-realistic simulations. [4-7].

Acknowledgements

The authors would like to thank the *Junta de Extremadura* and the European Regional Development Fund for their financial support for this work.

- [1] M. D. Fairchild, Color Appearance Models, Addison Wesley Longman (1998).
- [2] G. Wyszecki, and W. S. Stiles, Color Science Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae (2nd ed.), Wiley-Interscience (2000).
- [3] The Munsell Books of Color, Munsell Color (2012).
- [4] F. L. Naranjo-Correa, G. Martinez-Borreguero, A. L. Pérez-Rodriguez, P. J. Pardo-Fernandez, and M. I. Suero-Lopez, "Teaching rainbows with simulations: revisiting Minnaert's lab experiment," Appl. Opt. 56, G69 (2017).
 [5] G. Martinez, F. L. Naranjo, A. L. Perez, M. I. Suero, and P. J. Pardo, "Comparative study of the effectiveness of three learning
- [5] G. Martinez, F. L. Naranjo, A. L. Perez, M. I. Suero, and P. J. Pardo, "Comparative study of the effectiveness of three learning environments: Hyper-realistic virtual simulations, traditional schematic simulations and traditional laboratory," Phys. Rev. Spec. Top. Ph. 7, 020111 (2011).
- [6] G. Martinez-Borreguero, F. L. Naranjo-Correa, A. L. Pérez-Rodríguez, M. I. Suero-López, and P. J. Pardo-Fernández, "Use of computer generated hyper-realistic images on optics teaching: The case study of an optical system formed by two opposed parabolic mirrors," J. Sci. Educ. 14, 25 (2013).
- [7] G. Martinez-Borreguero, F. L. Naranjo-Correa, A. L. Perez-Rodriguez, and M. I. Suero-Lopez, "Development of hyperrealistic simulations to teach concepts about colors," Color Res. Appl. 41, 330 (2016).

Análisis colorimétrico del daño producido por caída en manzana Golden

Sandra Calle Berges, Francisco José Torcal-Milla, Fernando Blesa, Ángel I. Negueruela

fjtorcal@unizar.es

Departamento de Física Aplicada, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C/ Miguel Servet 177, 50013, Zaragoza (España)

Resumen: El análisis de daño en la recolección, transporte y envasado de fruta fresca es de gran interés para la comunidad científica agroalimentaria. En este trabajo se presenta un estudio colorimétrico del daño producido por caída desde diferentes alturas en manzana de variedad Golden. Se ha observado que las coordenadas RGB promedio se oscurecen en mayor medida con la altura de caída. Los resultados podrían ser de interés para ser implementados en una cadena de empaquetado o selección.

La fruta, dependiendo de su fisionomía y grado de madurez, puede sufrir diferentes tipos de daño que normalmente provocan que no sea apta para el mercado. Entre ellos, podemos nombrar daños por caída o impacto, transporte, presión, etc. El daño producido por caída es uno de los principales defectos físicos que contribuyen a la degradación y pérdida poscosecha de productos hortícolas frescos. Se han realizado numerosos trabajos sobre el estudio de este tipo de daño, [1-3]. En este trabajo se presentan los resultados colorimétricos obtenidos al medir una serie de manzanas antes y después de haberlas dejado caer desde diferentes alturas. La imagen de las manzanas se ha realizado utilizando un escáner calibrado para poder obtener las coordenadas de color $CIE L^*a^*b^*$. El proceso experimental ha consistido en lo siguiente: escanear lateralmente la manzana previamente a producirle el golpe, dejar caer la manzana desde una cierta altura, dejar la manzana durante 24 horas en reposo fuera de la nevera para que el "moratón" aparezca, escanear de nuevo la manzana y procesar ambas imágenes para obtener las coordenadas de color promedio antes y después del golpe. El proceso se ha realizado a temperatura aproximadamente constante e igual a 20 °C, y las alturas desde las cuales se han dejado caer las manzanas fueron 40 cm, 60 cm, 80 cm y 100 cm. Con la intención de minimizar errores, se dejaron caer 10 manzanas desde cada altura y se realizó el promedio. Todas las manzanas utilizadas fueron adquiridas de la misma partida por lo que se supuso que tenían un grado de maduración y dureza similar. En la Figura 1a y 1b se muestran dos imágenes escaneadas de una misma manzana antes y después de ser golpeada. Puede observarse el pardeamiento en la manzana tras ser golpeada. En la Figura 1c se muestra la diferencia entre coordenadas RGB promedio antes y después de golpear las manzanas en función de la altura de la caída. Como puede observarse, las diferencias en las tres coordenadas de color responden aproximadamente a una dependencia lineal. Además, el la Figura 1d se muestra la diferencia de color calculada a partir de las coordenadas $L^*a^*b^*$ como $\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$. También se observa una dependencia lineal con la altura de la caída.



Figura 1.- Imágenes escaneadas de una manzana antes (a) y después (b) de ser golpeada (altura: 100 cm), c) diferencia entre las coordenadas de color RGB promedio antes y después de golpear las manzanas con respecto a la altura de caída, d) diferencia de color promedio antes y después de golpear las manzanas respecto a la altura de caída.

- J. Xing, J. De Baerdemaeker, "Bruise detection on 'Jonagold' apples using hyperspectral imaging", Postharvest Biology and Technology, 37, 152 (2005).
- [2] Z. Stropek, K. Golacki, "The effect of drop height on bruising of selected apple varieties", Postharvest Biology and Technology, 85, 167 (2013).
- [3] Z. Li, C. Thomas, "Quantitative evaluation of mechanical damage to fresh fruit," Trends in Food Science and Technology, 35, 138 (2014).

Diseño y validación de colores mezcla en plastilina para observadores daltónicos para crear soluciones de diseño

E. Perales, O. Garay, K. Huraibat, B. Micó-Vicent, V. Viqueira, F.M. Martínez Verdú

Grupo de Visión y Color. Universidad de Alicante. Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 Alicante.

Resumen: El diseño es una disciplina meramente cromática lo que implica tener un bagaje amplio para poder comunicar adecuadamente con esta percepción cromática. El presente trabajo pretende buscar las bases para generar estrategias de aprendizaje sobre el uso del color para estudiantes de Diseño con deficiencias en la visión del color. Por tanto, el trabajo se centra en la generación de colores físicas aplicando la caracterización y formulación de color con un conjunto de plastilinas.

De manera cotidiana el trabajo de diseño obliga a realizar conversiones de colores "luz" a colores "físicos", por lo que en muchos casos se realizan de forma empírica y experimental. De este modo, la Ciencia y la Tecnología del color puede proporcionar al diseñador herramientas sólidas para su óptima aplicación en productos de diseño. Sin embargo, existen muy pocos estudios sobre la relación entre daltonismo-sociedad, daltonismo-educación, y/o daltonismo-diseño. Por tanto, el presente trabajo pretende buscar las bases para generar estrategias de enseñanza/aprendizaje sobre el uso del color para estudiantes de Diseño con daltonismo, mediante el vínculo con la Ciencia y Tecnología del color para promover una educación y Diseño inclusivos.

Este trabajo consiste en adaptar un modelo teórico y experimental con base en colorimetría para obtener muestras de colores con mezcla sustractiva, localizados en una misma recta de confusión para observadores deuteranopes. Como resultado, se obtendrían muestras de colores perceptualmente iguales o muy parecidos para un observador con daltonismo (deuteranopia) y colores percibidos diferentes para un observador normal que podrían ser útiles para estudiantes de diseño o diseñadores con deficiencias en la percepción del color. Existen diversos estudios sobre la relación entre colores digitales y observadores con alguna alteración o defecto en la visión del color, pero hay muy pocos sobre colores "físicos" debido a que los procesos aumentan y la naturaleza de éstos son particulares.

Para conseguir estas muestras coloreadas se utiliza un sistema colorimétrico compuesto con un conjunto de plastilinas. Las plastilinas fueron elegidas por su versatilidad en cuanto a manipulación, la facilidad de conseguirlas ya que son un producto comercial, y por sus futuras aplicaciones didácticas. En primer lugar, se procede a la caracterización de cada una de las plastilinas (colores primarios) mediante el método Masstone-Tint [1]. Después se realiza la formulación de colores, en particular de 6 colores pertenecientes a dos rectas de confusión de un observador deuteranope. Una vez obtenidas las mezclas, se procedió a su evaluación visual tanto para observadores normales como por un observador con deficiencias en la percepción del color. Los resultados son muy satisfactorios ya que se obtienen mezclas de colores confundibles para un observador deuteranope pero claramente distinguibles para un observador normal.



Figura 1.- Diagrama cromático con las rectas de confusión seleccionadas de un observador deuteranope (izquierda). Muestras obtenidas mediante la formulación de colores utilizando plastilina (derecha).

Referencias

[2] Zhao, Yonghui, Roy S. Berns. "Predicting the spectral refectance factor of translucent paints using Kubelka-Munk turbid media theory: Review and evaluation". Color Research & Application 34 (6): 417 (2009).



OCyONL: Simposio Óptica Cuántica y Óptica no Lineal

http://rno2018.uji.es

Atomic Frequency Comb Quantum Memory via Piecewise Adiabatic Passage

J. L. Rubio, D. Viscor, J. Mompart, V. Ahufinger

⁺Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra, Spain

We propose a novel method to create an atomic frequency comb in a Doppler-broadened hot atomic vapor using the piecewise adiabatic passage technique. We highlight the advantages of using this transfer technique respect to standard methods and discuss its application to photonic quantum memories with high optical depths at telecom wavelengths.

The ability to process flying qubits or strings of flying qubits, and specifically the control of light-matter interphases capable of storing these qubits and retrieve them on demand for subsequent use, i.e., quantum memories (QM) [1], are key elements for quantum communication [2]. Atomic Frequency Combs (AFC) based QMs [3] have experienced an enormous progress in the last years, achieving spin-wave storage for on-demand retrieval, high-fidelity multiplexing, optimized efficiencies, and telecom wavelength operation.

Here, we propose an alternative way to produce an AFC using the piecewise adiabatic passage (PAP) [4] technique. PAP is the piecewise version of the well-known stimulated Raman adiabatic passage (STIRAP) [5] technique transfers the population between the two internal ground states of an atomic Λ system by an accumulative coherent excitation using two trains pulses, see Fig. 1(a). We discuss the implementation of this technique in a Doppler-broadened hot atomic gas in which a velocity comb acting as the atomic grating is generated. We show that an AFC generated via PAP has several advantages: (i) the number of required pulses is drastically reduced compared with standard methods, (ii) the process exhibits robustness with respect to intensity fluctuations, and (iii) the spacing between the AFC peaks depends not only on the temporal spacing of the PAP pulse train, but also on the ratio between the frequencies of single- and two-photon transitions of the Λ system. Thus, the storage time for the QM can be controlled and even increased compared with other AFC-based QMs generated by a train of pulses with the same temporal spacing. We also perform numerical simulations of the storage and retrieval of single photons in the telecom range, see Fig. 1(b).



Figure 1.- (a) Scheme of the A-type atomic system coupled to the pump and dump trains of pulses to create the AFC via PAP. (b) Numerical simulation showing the storage and retrieval of a single photon at the telecom wavelength after interacting with a PAP-based AFC.

- [1] A. I. Lvovsky, B. C. Sanders, and W. Tittel, Nature Photonics 3, 706 (2009).
- [2] N. Gisin and R. Thew, Nature Photonics 1, 165 (2007).
- [3] H. De Riedmatten et al., Nature 456, 773 (2008); P. Farrera et al., Optica 3, 1019 (2016).
- [4] E. Shapiro et al., Phys. Rev. Lett. 99, 033002 (2007).
- [5] K. Bergmann, H. Theuer, and B. Shore, Rev. of Mod. Phys. 70, 1003 (1998).

Helicity with a twist: polarization control of extreme ultraviolet attosecond pulses through spin-orbital angular momentum coupling

K. M. Dorney¹, L. Rego², J. San Román², A. Picón², C.-T. Liao¹, N. J. Brooks¹, J. Ellis¹,
 H. Kapteyn¹, M. Murnane¹, L. Plaja², <u>C. Hernández-García²</u>

¹JILA, Department of Physics, University of Colorado Boulder and NIST, Boulder, Colorado 80309, USA, ²Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain

Abstract: High-order harmonics with controllable spin and orbital angular momentum are generated for the first time, both theoretically and experimentally. The conservation rules for spin-orbit coupling in high harmonic generation allow direct control of the polarization state of extreme-ultraviolet attosecond pulses. Our work opens a new scenario to perform ultrafast studies of magnetic materials and chiral systems through the interaction of extreme-ultraviolet/x-rays with both spin and orbit angular momentum.

The extreme nonlinear frequency upconversion of an intense, infrared, femtosecond laser pulse through high harmonic generation (HHG) is now an established technique capable of providing bright, coherent, attosecond pulses of extreme ultraviolet (EUV) and soft x-ray radiation. HHG conveys a unique opportunity for mapping some of the properties of the driving field into the shorter-wavelength radiation. This has been recently exploited to produce high harmonics –and attosecond pulses– with controllable spin (SAM) [1-3] and orbital (OAM) [4-6] angular momentum. The high degree of circularity achieved in the HHG radiation has been used to study the ultrafast optoelectronic and structural dynamics in a wide variety of chiral condensed matter systems, while the production of OAM harmonic beams has opened the possibility to extend the applications of optical vortices (communications, micromanipulation, microscopy, etc.) down to the nanometric and attosecond scales.

In this work we generate for the first time high-order harmonics –and attosecond pulses– with simultaneous controllable polarization (SAM) and OAM by driving HHG with two-color counter-rotating circularly polarized vortex fields. The spin-orbital angular momentum coupling in the HHG process allows us to harness the polarization state of the emitted attosecond pulses through proper modifications of the OAM of the driving field.



Fig. 1.- Generation of high harmonic vortices with circular polarization: Simulated (a) and experimental (b) HHG spectra of the EUV vortices driven by a bicircular field composed of a 800 nm field $[\omega_1, 0.8 \,\mu\text{m}]$, left circularly polarized (LCP) =-1, $\ell_1 = 1$] and its second harmonic $[\omega_2, 0.4 \,\mu\text{m}]$, right circularly polarized (RCP), =1, $\ell_2 = 1$]. The combination of all high-order harmonics results in a EUV beam (c) where a delayed attosecond pulse train is emitted along the ring profile.

- C. Chen, Z. Tao, C. Hernández-García, et al. "Tomographic reconstruction of circularly polarized high-harmonic fields: 3D attosecond metrology", Sci. Adv. 2, e1501333 (2016).
- [2] K. Dorney, J. Ellis, C. Hernández-García, et al. "Helicity-Selective Enhancement and Polarization Control of Attosecond High Harmonic Waveforms Driven by Bichromatic Circularly Polarized Laser Fields", Phys. Rev. Lett. 119, 063201 (2017).
- [3] P.-C. Huang, C. Hernández-García, J.-T. Huang, P.-Y. Huang, C.-H. Lu, L. Rego, D. Hickstein, J. Ellis, et al. "Polarization Control of Isolated High-Harmonic Pulses", Nature Photonics, in press (2018).
- [4] C. Hernández-García, A. Picón, J. San Román, and L. Plaja, "Attosecond Extreme Ultraviolet Vortices from High-Order Harmonic Generation," Phys. Rev. Lett. 111, 083602 (2013).
- [5] L. Rego, J. San Román, A. Picón, L. Plaja, and C. Hernández-García, "Nonperturbative Twist in the Generation of Extreme-Ultraviolet Vortex Beams," Phys. Rev. Lett. 117, 163202 (2016).
- [6] C. Hernández-García, "A twist in coherent X-rays" Nature Phys. 13, 327 (2017).

Analysis of polarization modulation instability in all-normal dispersion photonic crystal fibers

A. Loredo-Trejo*, Y. Lopez-Dieguez, A. Díez y M. V. Andrés

Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo, Universidad de Valencia, c/Dr. Moliner 50, 46100, Burjassot, Valencia, España. *e-mail: abraham.loredo@uv.es

Abstract: A theoretical study of the polarization modulation instability effect in all-normal dispersion photonic crystal fibers with small birefringence is reported. A vectorial approach is used to describe the nonlinear interaction. Stokes and anti-Stokes parametric wavelengths are predicted as a function of the pump wavelength.

In the last years, all-normal dispersion (ANDi) photonic crystal fibers (PCFs) have arisen great attention for nonlinear applications due to the particular dispersion properties of such fibers. In applications such as supercontinuum generation [1] (SC) or pulse compression [2], the dispersion profile that exhibits these kind of fibers, i.e. a convex profile lying completely in the normal dispersion region, leads to quite different nonlinear response than PCFs with a more conventional dispersion profile with anomalous dispersion regions. Pumping by femtosecond few-nJ pulses near the flattened top of the dispersion curve generates highly coherent, flat-top, octave-spanning SCs, thereby preserving a single pulse in the temporal domain [3] and allowing efficient pulse temporal compression with a simple compressor. The physical mechanism of SC generation in ANDi PCFs differs from the corresponding mechanism in fibers with anomalous dispersion region. In ANDi PCFs that are pumped with short pulses, spectral broadening is generated essentially as a result of self-phase modulation (SPM).

In general, all optical fibers exhibits an intrinsic small birefringence due to the residual stress and/or the non-perfect circular symmetry. ANDi PCFs are not an exception and residual birefringence values in the order of 10⁻⁵ are present in these type of fibers. Although such birefringence is very small, from the theoretical point of view it opens the possibility that an additional nonlinear effect (apart from SPM) known as polarization modulation instability (PMI) can be generated when the fiber is pumped.

PMI leads to the generation of two sidebands around the pump, the polarization of which is orthogonal to the polarization of the pump. We investigate this effect using a vectorial analysis [4] to describe the nonlinear interaction. Some preliminary results are shown in Fig. 1. We want to notice that in these type of fibers, PMI is produced only when the polarization of the pump is oriented to the slow axis (S) and, consequently, the parametric bands are generated in the fast mode (F).



Figure 1. (a) Chromatic dispersion as a function of wavelength for some ANDi PCFs. The structural parameters of the fibers are indicated in the figure. (b) Stokes and anti-Stokes PMI wavelengths as a function of the pump wavelength for the process S-F.

- [1] J. M. Dudley, J. R. Taylor, Supercontinuum generation in optical fibers, (Cambridge University Press), (2010).
- [2] B. Nikolaus and D. Grischkowsky, "12× pulse compression using optical fibers", Appl. Phys. Lett., 42, (1) (1983).
- [3] I. A. Sukhoivanov, S. O. Iakushev, O. V. Shulika, J. A. Andrade-Lucio, A. Díez, and M. Andrés, "Supercontinuum generation at 800 nm in all-normal dispersion photonic crystal fiber," Opt. Express 22, (30234), (2014).
- [4] G. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, (Academic Press), (2013).

High-order harmonic spectroscopy of electron localization in molecules

Laura Rego¹, Carlos Hernández-García¹, Antonio Picón^{1,2} and Luis Plaja¹

¹Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain.

²Departamento de Química, C-9, Universidad Autónoma de Madrid, E-28049 Madrid, Spain.

Abstract: Coherent ultrashort laser pulses are a suitable tool to study the structure of molecular systems and to control their ultrafast dynamics. Among other techniques, high-order harmonic spectroscopy is used to retrieve information about molecular orbitals. We demonstrate that the orbital retrieved from the high-order harmonic spectrum is a deformed version of the original, exhibiting electron localization due to the asymmetric probability of tunnel ionization of the electron located in different ion sites within the molecule.

Thanks to the development of laser technology, nowadays we have a unique light tool capable of accessing the fastest dynamics at the atomic scale. Coherent ultrashort laser pulses enable us to study and control nuclear [1] and electronic dynamics [2] as well as molecular structure with the most precise temporal and spatial resolutions achieved up to now. In addition, these pulses induce the generation of high-order harmonics (HHG) through a high nonlinear process. According to the standard procedure, based in the Strong Field Approximation (SFA), the HHG spectrum informs about the Fourier components of the atomic orbitals. In particular, previous works of HHG in molecules have reported a so-called structural minimum in the high-harmonic spectrum, which reflects a signature of the internuclear distance or alignment of the molecule [3].

In this work we have numerically implemented the SFA in molecules in order to gain insight about the information retrieved from the HHG spectrum. Our results show that the molecular orbital retrieved from the HHG spectrum is significantly weighted by the probability of tunnel ionization from each of the ion sites. In particular, we have developed an extension of the standard molecular SFA to study the molecular hydrogen ion () and we have compared it against the exact solution given by the Time Dependent Schrödinger Equation (TDSE). The HHG spectrum adjusts to the exact solution given by the TDSE only if the probability of tunnel ionization is higher next to the potential barrier where tunnel ionization occurs. This ionization asymmetry along the laser polarization direction distorts the information about the molecular orbital, leading to an apparent electron localization towards the potential barrier prior to tunnel ionization (see inset of Fig. 1). Interestingly, this orbital deformation may explain why the well-known structural minimum is absent for the equilibrium internuclear distance (see Fig. 1), but shows up for smaller distances or non-parallel alignments, where the degree of localization decreases.



Fig. 1.- HHG spectra of the molecule aligned along the polarization direction of the laser field (800 nm, 4 fs) for the equilibrium internuclear distance (1 Å). The modified SFA (green) compares better to the exact TDSE (blue) than the standard SFA (red). The inset at the right shows the molecular orbital from standard SFA (red) and the localized molecular orbital retrieved from the modified SFA (green). The purple line shows the effective molecular potential (Coulombic potential deformed by the external field) and the black dashed line indicates the ionization potential of the molecule.

- [1] S. Baker, J. S. Robinson, C. A. Haworth, H. Teng, R. A. Smith, C. C. Chiril, M. Lein, J. W. G. Tisch, J. P. Marangos, "Probing Proton Dynamics in Molecules on an Attosecond Time Scale", Science 312, 424-427 (2006).
- [2] M. R. Miller, A. Jarón-Becker, and A. Becker, "High-harmonic spectroscopy of laser-driven nonadiabatic electron dynamics in the hydrogen molecular ion", Phys. Rev. A. 93, 013406 (2016).
- [3] M. Lein, N. Hay, R. Velotta, J. P. Marangos, and P. L. Knight, "Interference effects in high-order harmonic generation with molecules", Phys. Rev. A. 66, 023805 (2002).

Modelado espaciotemporal de pulsos láser ultracortos por medio de focalización difractiva y control de fase

B. Alonso¹, J. Pérez-Vizcaíno², G. Mínguez-Vega², e Í. J. Sola¹

¹ Grupo de Aplicaciones del Láser y Fotónica (ALF), University of Salamanca, E37008 Salamanca, Spain ² GROC UJI, Institute of New Imaging Technologies, Universitat Jaume I, 12071 Castellón, Spain

Resumen: Se estudia la focalización de pulsos láser ultracortos de 25 fs mediante un elemento difractivo. Se utiliza control de fase inicial del pulso (dispersión añadida con un modulador acusto-óptico) para modelar distintos patrones espaciotemporales de intensidad. Se analizan dichos patrones y sus simetrías para casos con dispersión inicial de segundo y tercer órdenes, para distintas distancias de propagación alrededor del foco.

Las fuentes láser tienen innumerables aplicaciones, muchas de ellas afectadas por los perfiles temporales y espaciales de intensidad del haz. En particular, es posible optimizar estas aplicaciones utilizando patrones espaciotemporales de intensidad adecuados. En un trabajo previo, Li y colaboradores [1], utilizan la dispersión cromática de una lente refractiva para este propósito.

La fuerte dependencia en la longitud de onda para focalización con elementos difractivos, y su influencia en pulsos ultracortos con anchos de banda considerables, son bien conocidos [2]. En este trabajo, combinamos la focalización con una lente kinoforme junto con el control de la fase inicial de los pulsos, para modelar distintos patrones espaciotemporales de intensidad. En particular, estudiamos cómo varían dichos patrones a lo largo de la propagación alrededor del foco, para distintos valores (negativos, cero y positivos) de la dispersión de 2º (GDD) y 3^{er} órden (TOD). Esta fase es añadida al pulso antes de ser focalizado mediante un modulados acusto-óptico (Dazzler, de Fastlite).

La duración de los pulsos empleados es de 25 fs (FWHM), centrados en la longitud de onda 785 nm (la cual focaliza a una distancia de 108.0 mm). Se mide la amplitud y fase espaciotemporal de los pulsos mediante la técnica STARFISH [3] y se simula la difracción mediante la integración numérica de la integral de Fresnel [1], encontrando un buen acuerdo entre ambos. En la Figura 1, se muestran resultados de simulaciones de intensidad y *chirp* espaciotemporal en función de la GDD para distintas distancias de propagación. Los patrones presentan simetrías al permutar el signo de la GDD junto con la posición antes/después de foco, los cuales se demuestran analítica y numéricamente. De la misma manera, el uso de componentes de TOD inicial permite encontrar distintos patrones, los cuales también presentan unas simetrías características.



Figura 1.- Patrones de intensidad espaciotemporal (izquierda) y correspondiente longitud de onda instantánea (derecha), para distintas distancias de propagación (filas) antes, en y después de foco, y para valores de GDD (columnas) con distinto signo.

En conclusión, la combinación de la focalización difractiva con el control de la fase inicial y la observación en distintos planos produce distintos patrones de intensidad de haces cónicos, con alas, etc., los cuales permiten la optimización de las distintas aplicaciones.

- Y. Li, S. Chemerisov, y B. Shen, "Ultrafast spatiotemporal laser pulse engineering using chromatic dispersion," New J. Phys. 12, 123011 (2010).
- [2] B. Alonso, R. Borrego-Varillas, O. Mendoza-Yero, I. J. Sola, J. San Román, G. Mínguez-Vega, y L. Roso, "Frequency resolved wavefront retrieval and dynamics of diffractive focused ultrashort pulses," J. Opt. Soc. Am. B 29, 1993 (2012).
- [3] B. Alonso, I.J. Sola, O. Varela, J. Hernández-Toro, C. Méndez, J. San Román, A. Zaïr, y L. Roso, "Spatiotemporal amplitude-and-phase reconstruction by Fourier-transform of interference spectra of high-complex-beams," J. Opt. Soc. Am. B 27, 933 (2010).

Experimental observation of polarization modulation instability in an all-normal dispersion photonic crystal fiber

Y. Lopez-Dieguez, L. Velázquez-Ibarra, A. Loredo-Trejo, A. Díez, M. V. Andrés

Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo, Universitat de Valencia, Edificio de investigación c/ Dr. Moliner 50, 46100, Burjassot, Valencia, España.

Abstract: In this work we report the experimental observation of the polarization modulation instability effect in an all-normal dispersion photonic crystal fibers with a small residual birefringence. This effect generates two sidebands with polarization orthogonal to the pump polarization. In the experimental results shown in this paper, Stokes and anti-Stokes bands were generated, with wavelength shift of 40 nm, approximately, when the fiber was pumped at 1064 nm.

Polarization modulation instability (PMI) is a form of modulation instability that can occur in birefringent optical fibers. PMI occurs when an intense pump signal is launched on one axes of the fiber and two waves (Stokes and Anti-Stokes sidebands) that are polarized orthogonally to the pump are generated [1]. Here, we report what we believe it is the first experimental observation of PMI in an all-normal dispersion (ANDi) photonic crystal fiber (PCFs). ANDi fibers exhibit a characteristic chromatic dispersion profile that makes them suitable for the generation of highly coherent supercontinuum that preserves a single pulse in the temporal domain and allows efficient pulse temporal compression [2]. PMI process requires that the fibers exhibit birefringence because such a process relies on a polarization phase-matching mechanism. PCFs in general, and ANDi PCFs in particular, exhibit an intrinsic small residual birefringence due to the residual stress and/or the non-perfect circular symmetry.

The ANDi PCF used in this experiment was fabricated at the Universidad de Valencia following the stack-anddraw technique. The structural parameters of the fiber are $\Lambda = 1 \ \mu m$ and $d = 0.53 \ \mu m$, where Λ and d are the pitch of the air hole diameter of the microstructure, respectively. The chromatic dispersion of the fiber at 1064 nm was -100 ps/nm km, and the residual birefringence was 1.1×10^{-5} . Pump pulses of 600 ps duration an several kW of peak power emitted by a microchip Nd:YAG laser were launched into a short section of the fiber (70 cm in length). The spectrum of the light exiting the fiber was analyzed for different pump powers and polarization orientations of the pump. Figure 1(a) shows an example. Along with the pump centered at 1064 nm, we can observe several nonlinear features. In addition to Stokes and anti-Stokes Raman scattering, two narrow bands at 1026 nm and 1105 nm, respectively are shown. We confirmed that the polarization of these two bands is orthogonal to the pump polarization. The intensity of such bands depends on the polarization orientation of the pump. Figure 1(b) shows the spectrum for two polarizations orientations and constant pump power, where we can see that the PMI band depends strongly on the polarization, while it affects very little the Raman gain.



Figura-1. (a) An example of the output spectrum. (b) Spectrum with pump polarization orientation adjusted to obtain maximum (black) and minimum (red) PMI generation efficiency.

Referencias

[1] G. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, (Academic Press, 2013).

[2] I. A. Sukhoivanov, S. O. Iakushev, O. V. Shulika, J. A. Andrade-Lucio, A. Díez, and M. Andrés, "Supercontinuum generation at 800 nm in all-normal dispersion photonic crystal fiber," Opt. Express 22, (30234), (2014).

Tetraestabilidad a partir de un sistema biestable en fase mediante rocking espacial

F. Silva, E. Roldán, G. J. de Valcárcel

Departament d'Òptica i Optometria i Ciències de la Visió, Universitat de València, Dr. Moliner 50, 4100-Burjassot, Spain

Resumen: Presentamos resultados experimentales que demuestran la eficacia de la técnica de rocking espacial para transmutar un sistema biestable, en fase, en un sistema tetraestable. El dispositivo experimental consiste en un oscilador fotorrefractivo en configuración de mezcla degenerada de cuatro ondas al que se inyecta una señal modulada espacialmente en amplitud.

Considérese una cavidad óptica no lineal, como un láser, un oscilador óptico paramétrico, o un oscilador fotorrefractivo. El rocking [1,2] es una técnica que consiste en inyectar en la cavidad óptica una señal modulada en amplitud, ya sea modulada en el tiempo (rocking temporal [1]) o modulada en el espacio (rocking espacial [2]), capaz de convertir sistemas con invariancia de fase (como el láser, en el que el valor de la fase del campo puede ser cualquiera) en sistemas biestables en fase (esto es, con dos estados posibles que difieren únicamente en la fase, que vale ϕ en un estado y ϕ + π en el otro, como un oscilador fotorrefractivo en configuración de mezcla degenerada de cuatro ondas).

Convertir sistemas con invariancia de fase en sistemas biestables en fase puede conseguirse en muchos sistemas mediante una modulación paramétrica del mismo a frecuencia doble a la propia [3]. Sin embargo, esta técnica no puede aplicarse a la mayoría de los sistemas ópticos porque estos, piénsese en el láser e.g., no responden a la frecuencia doble. El rocking, sin embargo, consiste en la modulación de la amplitud de una señal que es resonante con la propia de la cavidad óptica.

El estudio de las posibilidades del rocking constituye un programa de investigación experimental en nuestro laboratorio, en el que el sistema experimental es un oscilador fotorrefractivo que puede trabajar en configuración de mezcla de dos ondas (TWM, cavidad en anillo y bombeo unidireccional), mezcla de cuatro ondas no degenerada (NDFWM, cavidad lineal y bombeo unidireccional o cavidad en anillo y bombeo bidireccional) y mezcla degenerada de cuatro ondas (DFWM, cavidad lineal y bombeo bidireccional). Todas las configuraciones son sistemas con invariancia de fase, como el láser, excepto la cavidad lineal con bombeo bidireccional que es biestable en fase [4]. Usando las configuraciones TWM y NDFWM hasta ahora hemos demostrado el rocking temporal [5], el rocking espacial en un sistema monomodo [6], y el rocking espacial en un sistema multimodo [7], esto por lo que respecta a la modulación de sistemas originalmente con invariancia de fase.

Esta capacidad del rocking de transmutar sistemas con invariancia de fase en sistemas biestables en fase, se ve ampliada por lo que ocurre cuando el rocking se aplica a sistemas que ya son biestables en fase (como un oscilador óptico paramétrico degenerado): lo que ocurre en este caso es que el sistema originalmente biestable deviene tetraestable en fase (con cuatro estados de igual amplitud y fases que difieren en $\pi/2$).

La comprobación experimental de esta predicción teórica requiere del uso de la configuración DFWM y con ella hemos demostrado la tetraestabilidad de fase con rocking temporal en un experimento reciente [8] y en esta comunicación presentamos evidencia experimental de la tetraestabilidad de fase mediante la aplicación de rocking espacial, lo que completa el programa de investigación en cuanto a demostraciones de principio de la acción del rocking.

Se aportarán pruebas experimentales de la biestabilidad de fase en la cavidad lineal y bombeo bidireccional (DFWM) y de la tetraestabilidad de fase una vez se inyecta la modulación rocking y se darán detalles del tipo de estructuras que ocurre en el sistema tetraestable. El dispositivo experimental es una combinación de los utilizados en los experimentos de [7] y [8] y en [4] se puede encontrar un descripción muy detallada del dispositivo.

- [1] G. J. de Valcárcel, K. Staliunas, Phys. Rev. E 67, 026604 (2003).
- [2] G. J. de Valcárcel, K. Staliunas, Phys. Rev. Lett. 105, 054101 (2010).
- [3] P. Coullet, J. Lega, B. Houchmanzadeh, J. Lajzerowicz, Phys. Rev. Lett. 65, 1352 (1990).
- [4] R. Martínez-Lorente, G.J. de Valcárcel, A. Esteban-Martín, J. García, E. Roldán, F. Silva, Opt. Pur. Apl. 49, 125 (2016).
- [5] A. Esteban-Martín, M. Martínez-Quesada, V.B. Taranenko, E. Roldán, G.J. de Valcárcel, Phys.Rev.Lett. 97, 093903 (2006).
 [6] S. Kolpakov, F. Silva, G. J. de Valcarcel, Eugenio Roldan, K. Staliunas, Phys. Rev. A 85, 025805 (2012).
- [7] R. Martínez-Lorente, A. Esteban-Martín, E. Roldán, K. Staliunas, G.J. de Valcárcel, F. Silva, Phys. Rev. A 92, 053858 (2015).
- [8] R. Martínez-Lorente, K.Staliunas, E.Roldán, F.Silva, G.J.de Valcárcel, Multiphase patterns in a degenerate nonlinear oscillator, Paper EF-P24, EQEC-2017.

Effects of high-power pulse propagation through long-period fiber gratings

E. Rivera-Pérez, A. Díez, J. L. Cruz, M. V. Andrés

Departamento de Física Aplicada y Electromagnetismo-ICMUV, Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Spain

Abstract: In the present communication we study the temporal and spectral effects on the properties of long-period gratings (LPGs) caused by the propagation of an intense light pulse through it. Simulations have been carried out by solving the differential coupled-mode equations in different conditions of pulse duration and pulse peak power. Experimental measurements were performed, and compared with theoretical modelling results. The study carried out considers the possible applications of these effects in all-fiber optical systems.

Recently, a significant advance has been demonstrated in the manufacture of long-period gratings in optical fibers with the experimental demonstration of sub-nanometer bandwidth LPGs [1]. LPGs with such characteristics can find numerous applications in sensors, communications, and optical signal processing among others. Particularly, in applications that involve mid-to-high optical power, it is expected that the characteristics of the LPG will be affected due to the nonlinearity of the fiber, and also because of thermal heating. In this communication, we present our preliminary results, both theoretical and experimental, on the analysis of the effects caused in a LPG produced by the propagation of an intense pulse through the grating.

Experimentally, we investigated these effects using a pump-and-probe technique, where we analyze the transmittance change of a probe laser when a pump pulse propagates through the LPG. Fig. 1 (a) shows the experimental arrangement and the transmission spectrum of the LPG under test. The resonance peak is centered at 1557.6 nm and the -3dB bandwidth is 1.8 nm. Pump pulses were obtained from a microchip Q-switched laser emitting at 1064 nm (0.7 ns, 20 kHz.). The probe laser was a CW emitting in the C-band. The pump and probe signals were combined/separated using a dichroic mirror and a WDM coupler 1064/1550. A fiber polarization controller and a half wave plate were introduced to adjust the polarization state of the beams.



Figure 1.- (a) (Top) Experimental arrangement. (Bottom) Transmission spectrum of the LPG under test. (b) Simulation of the transmittance change when an intense optical pulse is propagated through the LPG. (c) Transmittance of the probe laser as a function of time. Probe laser wavelength: 1556.8 nm (black) and 1558.4 nm (red).

The spectral changes caused by the pump pulse in the LPG were interrogated by tuning the probe laser at different wavelengths matching the LPG's notch. The increase in the refractive index that causes the pump pulse produces the displacement of the notch towards longer wavelengths. Additionally, since the physical extension of the pump pulse in the fiber is comparable to the LPG's length, a chirp effect occurs, leading to the deformation of the notch. Fig. 1(b) shows two examples of the transmittance changes of the probe when a pulse propagates across the LPG. Theoretical simulations are shown in Fig. 1(c).

References

 L. Poveda-Wong, J. L. Cruz, M. Delgado-Pinar, X. Roselló-Mechó, A. Diez, and M. V. Andrés, "Fabrication of long period fiber gratings of subnanometric bandwidth", Opt. Lett. 42, 1265 (2017).

Analysis of disordered nonlinear domain statistics via second harmonic diffraction

R. Vilaseca¹, C. Cojocaru¹, W. Krolikowski^{2,3}, J. Trull¹

¹Universitat Politècnica de Catalunya, Physics Department,, Barcelona, Spain ². Texas A&M University at Qatar, Doha, Qatar ³.Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia

Resumen: We present an indirect non-destructive optical method for domain statistic characterization in disordered nonlinear crystals with a spatially random distribution of ferroelectric domains. This method, based on a combination of numerical simulations and experimental measurements, analyses the wavelength-dependent second harmonic spatial distribution. We apply this technique to the characterization of different random media, with drastically different statistical distributions of ferroelectric domains.

When a beam propagates perpendicular to the optical axis of a nonlinear (NL) crystal with randomly distributed domains with + or - sign of their 2nd-order nonlinearity, the generated second harmonic (SH) signal is spatially distributed in a plane, perpendicular to the optical axis [1]. The SH angular distribution strongly depends on the domain size and spatial distribution. Characterization of SH angular emission pattern brings detailed information about these parameters. Domain statistics of such NL crystals was considered by Le Grand et al. [2,3]. However, their simplified 1D model gives deviations between theoretical fits and experimental results [4]. We develop an advanced 2D model, capable to accurately simulate the SH spatial distribution for different domain configurations. The comparison between experimental results and theoretical predictions of our model shows to be a good solution for domain statistics measurement.

The spatial distribution of the SH generation in a random NL crystal is shown schematically in Fig. 1 (a). The ferroelectric domains distribution in real space leads to a wide spectrum of reciprocal lattice vectors G, which is uniquely linked to the angular distribution of the SH diffraction intensity. When the domain diameters follow a normal distribution with diameter D_{max} having the largest probability, the domain structure gives a wide spectrum of G vectors that form a broad ring with mean value $G_{max} = \pi/D_{max}$. The QPM diagram for the SH diffraction process, as well as the SH intensity spatial distribution, is plotted in Fig. 1 (b).



Figure 1. (a) SHG in a random crystal; (b) 2D QPM geometry of the SH diffraction process and angular emission pattern.

Our method simulates the 2D domain patterns that can accurately reproduce the experimental results. We simulate the SH diffraction and propagation by numerically solving Maxwell's equations, using a split-step fast-Fourier transform based beam propagation algorithm. The simulated SH intensity distribution as a function of the external emission angle can closely describe the experimental results. We have implemented and tested this method in crystals with different types of domain distributions. The analysis of the angular dependence of the SHG on the fundamental beam wavelength informs us about complicated domain structures. This method can be used for real time monitoring of the unknown domain distribution during poling or crystal growing process.

- [2] Y. Le Grand, D. Rouede, C. Odin, et al. "Second-harmonic scattering by domains in RbH2PO4 ferroelectrics", Opt. Commun. 200, 249 (2001).
- [3] V. Roppo, D. Dumay, J. Trull, et al. "Planar second-harmonic generation with noncollinear pumps in disordered media" Opt. Exp. 18, 4012 (2010).
- [4] M. Ayoub, J. Imbrock, C. Denz. "Second harmonic generation in multi-domain χ 2 media: from disorder to order", Opt. Exp. 19, 11340 (2011).

R. Fischer, S.M. Saltiel, D.N. Neshev et al. "Broadband femtosecond frequency doubling in random media", Appl. Phys. Lett. 89, 191105 (2006).

Collapse below the critical power in hollow-core fibers

Aurora Crego, Julio San Roman and Enrique Conejero Jarque

Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain

acrego@usal.es

Abstract: The collapse of a laser beam propagating through a hollow-core fiber has been studied theoretically. We have shown that the beam collapse appears even for peak powers below the critical power when taking into account the temporal dynamics of the pulse. We have also been able to develop a formula to estimate the collapse distance according to the input intensity, duration and waist of the beam.

One of the first nonlinear effects that appears when an ultrashort laser pulse propagates through a gas media is the variation of the refractive index with the intensity of the beam: the optical Kerr effect. This effect induces, among other phenomena, a self-focusing process that has been studied in detail [1]. The studies on the self-focusing process gave us simple formulas to predict the distance at which this collapse would occur [1,2]. Obviously, a complete description of this collapse distance is very important because it might activate higher nonlinear processes that may be undesirable (i.e., ionization of the media or similar effects). This is precisely the situation that occurs when working with a standard post-compression setup based on nonlinear propagation in hollow-core fibers (HCFs). In this case the optimum input pulse is the one which carries the highest energy but does not ionize the gas noticeably [3]. In order to gain insight into the energy scaling of this post-compression process we have to study how and when the self-focusing process appears in a HCF. For this purpose, we have used two different theoretical models based on the nonlinear Schrödinger equation, one in which we only have into account the spatial dynamics (1D model) and another in which we also include the temporal dynamics (self-phase modulation and self-steepening, that we called 2D model). With both models we have verified that the collapse dynamics of the fundamental mode inside the HCF, the mode [4], is appreciably different than in free space due to the spatial confinement, appearing also for pulses with peak powers below the critical power when using the 2D time-dependent model. We have also been able to find a semi-empirical formula that estimates with good accuracy the collapse distance inside a HCF.



Figure 1.- Collapse of mode as a function of the input power and the duration of the pulse. Dots are the collapse distances obtained from the numerical 2D simulations while the lines are obtained from our estimation formula. The solid line corresponds to the collapse distance predicted by the Marburger's formula in free space [1] for comparison.

References

[1] J.H. Marburger, "Self-focusing: Theory", Prog. Quant. Electr., 4, 35, (1975).

- [2] G. Fibich, B. Ilan, "Self- focusing of elliptic beams: an example of the failure of the aberrationless approximation", J. Opt. Soc. Am. B, 17, 1749, (2000).
- [3] E. Conejero Jarque et al. "Universal route to optimal few- to single-cycle pulse generation in hollow-core fiber compressors", Sci. Reports 8:2256 (2018).
- [4] E.A.J. Marcatili, R.A. Schmeltzer, "Hollow Metallic and Dielectric Wave-guides for Long Distance Optical Transmission and Lasers", Bell Labs Technical Journal, 43, 1783 (1964).
Underlying mechanism for High Harmonic Generation in Graphene

Óscar Zurrón¹, Antonio Picón^{1,2}, Carlos Hernández-García¹ and Luis Plaja¹

¹Grupo de Investigación en Aplicaciones del Laser y Fotónica, Departamento de Fisica Aplicada, Universidad de Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain.

²Departamento de Química, C-9, Universidad Autónoma de Madrid, E-28049 Madrid, Spain.

Abstract: We present calculations of the response of graphene to ultrashort intense fields. We use a saddle-point analysis to unveil the main mechanism for the high harmonic emission. As a conclusion, we show that the Dirac cones play a fundamental role in the dynamics and, therefore, that they have unique properties for generating harmonics.

High-order harmonic generation (HHG) results from the interaction of physical systems with intense electromagnetic radiation. Unlike most of the conventional photon up-conversion mechanisms, HHG is not based in the multiphoton excitation of atomic bound-state transitions, but on the dynamics of the unbound electrons. The non-perturbative character of HHG has as a distinguishable signature: the emergence of a *plateau*-like structure in the harmonic intensity spectrum, followed by an abrupt cut-off [1]. High-order harmonics have been observed from a wide variety of targets, including gases, solids, and plasmas. Recently, HHG has also been observed in graphene [2, 3]. In this contribution we present new theoretical results of HHG in single layer graphene (SLG) induced by few-cycle laser pulses at infrared wavelengths [4]. Firstly, we develop a computational method based on the thight-binding description of single layer graphene that overcomes the numerical instabilities associated with the singular dipole transition elements near the Dirac points. We use this method to integrate the time-dependent Schrodinger equation (TDSE) for different driving field wavelengths and intensities, in order to characterize the emergence of the non-perturbative spectral features as shown in Fig.1(a). Finally, we develop a saddle-point approximation model (SPAM) of the emission dipole, that retains the main contributions to HHG and reveals the fundamental mechanism of harmonic emission: excitation near the Dirac points and creation of an electron-hole pair that subsequently emits a high frequency photon upon recombination, when the electron and hole overlap in direct space. The predictions of the SPAM for the scaling of the cut-off frequencies with the intensity are in excellent agreement with the results of the numerical calculations, as shown in Fig. 1(b). Therefore, as a main conclusion, we demonstrate that graphene presents its particular mechanism for HHG, in which the first step is initiated by the non-adiabatic crossing of the valence electron trajectories through the Dirac points. This first step is radically different from the tunneling ionization/excitation process found in atoms, molecules and finite gap materials [5].



Figure 1. (a) HHG spectra from SLG driven by a 3 μm wavelength, 28 fs FWHM pulse at an intensity of 5.1×10¹² W/cm²;
 (b) Cut-off order of the HHG plateau in graphene as a function of the field intensity for 28 fs FWHM pulses at a wavelength of 3 μm. Filled area corresponds to intensities above damage threshold.

- J. L. Krause, K. J. Schafer, K. C. Kulander, "High-Order Harmonic Generation from Atoms and Ions in the High Intensity Regime", Phys. Rev. Lett. 68, 3535 (1992).
- [2] N. Yoshikawa, T. Tamaya, and K. Tanaka, "High-harmonic generation in graphene enhanced by elliptically polarized light excitation" Science 356, 736 (2017).
- [3] M. Taucer et al. "Nonperturbative harmonic generation in graphene from intense mid-infrared pulsed light" Phys. Rev. B. 96, 195420-6 (2017).
- [4] O. Zurrón, A. Picón, and L. Plaja, submitted.
- [5] G. Vampa, C.R. McDonald, G. Orlando, D.D. Klug, P.B. Corkum, and T. Brabec, "Theoretical Analysis of High-Harmonic Generation in Solids," Phys. Rev. Lett. 113, 073901 (2014).

Light with an intrinsic torque: beams with time-dependent orbital angular momentum

Laura Rego¹, Kevin M. Dorney², Julio San Román¹, Margaret Murnane², Henry Kapteyn², Luis Plaja¹ and Carlos Hernández-García¹

¹Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain

²JILA, Department of Physics, University of Colorado Boulder and NIST, Boulder, Colorado 80309, USA

Abstract: Twisted light pulses carrying orbital angular momentum (OAM) have become a powerful tool with applications in fields such as optical communications, microscopy, quantum optics or microparticle rotation. We introduce a new fundamental property of light, the intrinsic torque, that defines the time-dependency of OAM during the light pulse. We demonstrate that laser pulses with an intrinsic torque, exhibiting smooth, discrete OAM variation in the femtosecond timescale, can be obtained through high harmonic generation.

Our ability to harness light properties determines our capability to observe, manipulate and control natural processes at different spatio-temporal scales. Since 1992 [1], it is known that a wavefront rotation imprints a unique property in light beams –the orbital angular momentum (OAM)– which has been proved to be suitable in a wide range of applications, such as optical communications, phase-contrast microscopy, or quantum optics. Interestingly, the motion of atoms is significantly influenced by the OAM of light beams, experiencing a light-induced torque which is proportional to the topological charge (of the beam [2].

In this work, we introduce a new fundamental property of light, the intrinsic torque, which describes laser pulses carrying time-dependent OAM. The intrinsic torque of light, , defines the rate of OAM variation over time, i.e. Recently, OAM has been imprinted in infrared femtosecond (fs) laser pulses [3] or even in extreme-ultraviolet (EUV) pulses through high-order harmonic generation (HHG) [4,5]. Based on these achievements, we propose an experimental scheme of HHG driven by two time-delayed, infrared, fs driving beams with different OAM, resulting in the generation of EUV harmonic pulses with intrinsic torques on the order of fs⁻¹ (see Fig. 1a). The OAM and temporal delay of the drivers allows to accurately control the intrinsic torque of each harmonic pulse. We demonstrate that the intrinsic torque of light imprints an azimuthal frequency shift (see Fig. 1b), opening a scenario where a supercontinuum HHG spectrum can be obtained. We believe that this new light property spans the applications of OAM by introducing the possibility to control the angular acceleration resulting from light-matter interactions, on the femtosecond timescale.



Fig. 1.- (a) OAM time evolution of the 17th harmonic generated by two infrared (800 nm, 10 fs) pulses with OAM of =1 and =2 respectively, delayed by 10 fs. The green dashed line indicates the intrinsic torque associated to this pulse, 0.7 fs⁻¹. (b) HHG azimuthal distribution when driven by two 800 nm, 4 fs pulses with =1 and =2, delayed by 4 fs. The light torque imprints an azimuthal frequency shift, which is different for each harmonic order, as indicated by the pink dashed lines. The right panel shows the HHG yield at π/2 rad. (blue line) and the spatially integrated supercontinuum (red line).

- L. Allen, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuw, J. P. Woerdman, "Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes", Phys. Rev. A, 45, 8185 (1992).
- [2] M. Babiker, W. L. Power, and L. Allen, "Light-induced Torque on Moving Atoms", Phys. Rev. Lett., 73, 1239 (1994).
- [3] J. Atencia, et al. "Holographic optical element to generate achromatic vortices" Opt. Express, 21, 21056 (2013).
- [4] C. Hernández-García, A. Picón, J. San Román, and L. Plaja, "Attosecond Extreme Ultraviolet Vortices from High-Order Harmonic Generation", Phys. Rev. Lett. 111, 083602 (2013).
- [5] L. Rego, J. San Román, A. Picón, L. Plaja, and C. Hernández-García, "Nonperturbative Twist in the Generation of Extreme-Ultraviolet Vortex Beams", Phys. Rev. Lett. 117, 163202 (2016).

Pulsos de un solo ciclo por auto-compresión solitónica usando los modos transversales altos de una fibra hueca

Boris A. López-Zubieta*, Enrique Conejero Jarque, Íñigo J. Sola, and Julio San Roman

Grupo de Investigación en Aplicaciones del Laser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Salamanca, España *Boris.lopez@usal.es

Resumen: Se ha estudiado la auto-compresión de pulsos de luz hasta casi su límite óptico (un ciclo) mediante su propagación no lineal por una fibra hueca llena de un gas (argón, neón o aire), y sin la necesidad de un compresor externo. Hemos encontrado que el modo transversal que optimiza este proceso no es el fundamental sino un modo transversal alto, demostrando así la utilidad que tienen estos modos en los esquemas de post-compresión de pulsos.

Los pulsos ultracortos son herramientas indispensables hoy en día en numerosos ámbitos científicos y tecnológicos. Las técnicas diseñadas para acortar pulsos láser se denominan técnicas de post-compresión. De entre ellas, la más utilizada es la post-compresión por fibra-hueca (*Hollow Core Fiber*, HCF), con la que se han obtenido resultados excepcionales [1]. Normalmente el proceso de post-compresión consta de dos etapas: primero se ensancha el espectro mediante procesos no lineales y después se corrige la fase espectral para obtener el deseado pulso ultracorto. Este segundo paso se realiza actualmente mediante compresores de prismas, redes de difracción y/o espejos con *chirp*.

En este trabajo presentamos un estudio teórico buscando una manera de auto-comprimir un pulso láser, es decir, comprimir el pulso durante el ensanchamiento de su espectro sin necesidad de corregir la fase en una segunda etapa. Para activar este proceso hemos buscado los modos transversales de la fibra que pueden realizar la auto-compresión solitónica, aquellos que sufran dispersión anómala y con una no linealidad moderada. En este trabajo hemos sido capaces de identificar un modo transversal de la fibra que sufre esta auto-compresión solitónica de manera óptima, independientemente del gas que ocupe el interior de la fibra hueca (argón, neón o aire). En todos los casos hemos visto que este modo transversal óptimo es un modo distinto al modo fundamental de la fibra. Como resultado de esta propagación solitónica óptima, los pulsos propagándose en este modo transversal alto se auto-comprimen a duraciones extremadamente cortas (entre 2.6 y 2.8 fs, dependiendo del gas utilizado), espectacularmente cercanas al límite del ciclo óptico, y duplicando su potencia pico a pesar de las pérdidas que presentan estos modos transversales de la fibra hueca, por su mal guiado [2,3].



Figura 1.- Evolución de la duración de un pulso de 800 nm de longitud de onda, propagándose en una fibra hueca de 150 µm de diámetro de diferente longitud dependiendo del gas usado (100 cm para aire, 70 cm para argón y 110 cm para neón). En los tres casos la presión es la atmosférica. En los tres gráficos, el modo fundamental (rojo) no disminuye su duración temporal, mientras los modos más altos, y , sí colapsan temporalmente a diferente longitud de la HCF dependiendo del gas de estudio.

- M. Nisoli, S. De Silvestri, O. Svelto, R. Szipöcs, K. Ferencz, C. Spielmann, S. Sartania, and F. Krausz, "Compression of high-energy laser pulses below 5 fs," Opt. Lett. 22, 522–524 (1997).
- [2] E. A. J. Marcatili, and R. A. Schmeltzer, "Hollow Metallic and Dielectric Waveguides for Long Distance Optical Transmission and Lasers," Bell Syst. Tech. J. 43, 1783 (1964).
- [3] Boris A. López-Zubieta, E. Conejero Jarque, I.J. Sola, and J. San Roman, "Theoretical analysis of single-cycle self-compression of near infrared pulses using high-spatial modes in capillary fibers," Opt. Express 26, 6345-6350 (2018).

Electron control by using attosecond x-ray pulses

<u>A. Picón^{1,2}</u>, C. Bostedt³, C. Hernández-García², and L. Plaja²,

¹Departamento de Química, C-9, Universidad Autónoma de Madrid, E-28049 Madrid, Spain,

²Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada,

University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain

³Chemical Sciences and Engineering Division, Argonne National Laboratory, Argonne, Illinois 60439, USA

Abstract: We demonstrate that ultrashort x-ray pulses, with attosecond pulse duration, produce a coherent superposition of double-hole states in molecular systems. If the states are delocalized in space, the charge migrates across the molecule.

Production of coherent attosecond (as) x-ray pulses is now possible at free-electron lasers (XFELs) [1] and with laser-based x-ray sources [2]. Such short pulses have opened novel perspectives to control the electron dynamics in molecular systems. In this work we show that, despite the localized nature of a core hole, charge migration [3,4] is still possible after photoionization of core orbitals. We demonstrate that the Auger decay promotes the single core vacancy to a double hole at the valence orbitals. This entangled hole pair is shown to migrate from one side of the molecule to the other in subfemtosecond time scales. We also show that the migration dynamics depends on the particular characteristics of the attosecond pulse.

We numerically study the photoionization of the F 1s orbital in fluoroacetylene. C_2HF is a linear molecule with a fluorine atom at one end, two carbon atoms at the middle, and a hydrogen atom at the other end. We solve the time-dependent Schrödinger equation [5] and solve numerically the electron dynamics in the molecule accounting for the core-electron ionization and the following Auger decay, concurrently. The theory allows for calculating the temporal evolution of the charge density corresponding to the formed dication states. In figure 1 we show the charge density at the hydrogen site for two different attosecond pulses centered at 800 eV. We observe an oscillation of few femtoseconds for a pulse with 830 as-FWHM length. However, a fast oscillation is also observed when the pulse length is 160 as-FWHM. Our results show the possibility to control the electron density in the sub-femtosecond time scale by using ultrashort x-ray pulses.



Figure 1.- Generation of charge migration with attosecond x-ray pulses. (a) Physical scheme of the molecule under study. An attosecond x-ray pulse with photon energy around 800 eV ionizes the 1s orbital of fluorine. The excitation is initially then localized at one end of the molecule. Auger processes triggered by the formation of the core-hole decay populate excited states in the dication molecule, forming a superposition of those states. This superposition will migrate the two holes in the valence across the entire molecule, reaching the hydrogen atom. (b) The electron density of the two holes is represented. A slow oscillation is also observed when the pulse is even shorter (160 as, blue line). This shows the possibility to control the electron density in the sub-femtosecond time scale by using ultrashort x-ray pulses.

References

- [1] S. Huang, Y. Ding, Y. Feng, E. Hemsing, Z. Huang, J. Krzywinski, A.A. Lutman, A. Marinelli, T.J. Maxwell, and D. Zhu, "Generating Single-Spike Hard X-Ray Pulses with Nonlinear Bunch Compression in Free-Electron Lasers", Phys. Rev. Lett. 119, 154801 (2017)
- [2] T. Popmintchev, et al. "Bright Coherent Ultrahigh Harmonics in the keV X-ray Regime from Mid-Infrared Femtosecond Lasers," Science 336, 1287 (2012)
- [3] M. Nisoli, P. Decleva, F. Calegari, A. Palacios, and F. Martín, "Attosecond Electron Dynamics in Molecules", Chem. Rev. 117, 10760 (2017)

[4] F. Calegari, et al., "Ultrafast electron dynamics in phenylalanine initiated by attosecond pulses", Science 346, 336 (2014)

[5] A. Picón, "Time-dependent Schrödinger equation for molecular core-hole dynamics", Phys. Rev. A 95, 023401 (2017)

Genetic algorithm for the flux optimization of coherent extreme-ultraviolet radiation through harmonic phase-matching and pulse shaping

<u>Roberto Boyero-García¹</u>, Luis Plaja¹, Henry C. Kapteyn², Margaret M. Murnane², Carlos Hernández-García¹

¹Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, Universidad de Salamanca, Salamanca E37008, Spain. ² JILA and Department of Physics, University of Colorado at Boulder, Boulder, CO 80309, USA.

Abstract: High harmonic generation (HHG) stands as a robust technique to routinely obtain unique coherent extreme-ultraviolet/soft x-ray radiation that is used in nano-imaging. In comparison with other sources (such as free electrons lasers), the HHG flux is considerably weaker. In this work we enhance the flux of the 13 nm harmonic source. We develop a genetic algorithm that combines single-atom and phase-matching in HHG to optimize the harmonic yield by properly shaping the infrared driving pulses.

High harmonic generation (HHG) stands as a unique source of coherent extreme-ultraviolet (EUV)/soft x-ray radiation [1-3]. The use of 13 nm coherent sources is of particular interest for materials science and the imaging of nanofabricated devices. When combined with diffractive imaging techniques, spatial resolution in the nanometer scale can be achieved, and thus wavelength-limited nano-imaging can be performed [4-5]. Though HHG radiation exhibits an excellent coherence –both temporally and spatially–, when compared to other sources as x-ray free electron lasers, its flux is considerably weaker.

In this work we study the optimization of the 13 nm HHG source, based on phase-matching engineering and pulse shaping of the driving field. The coherent build-up of the harmonic signal in extended targets, such as gas-filled waveguides, determines the available harmonic flux. Based on time-dependent phase-matching [6], we perform HHG simulations in different gas-filled waveguides (argon, neon, helium), at different driver wavelengths (from 0.8 μ m to 2.0 μ m), to optimize the phase-matched 13 nm signal. We have developed a genetic algorithm to optimize HHG through modifications of the driver pulse. Our results show that the 13 nm (92 eV) harmonic yield can be increased by several orders of magnitude, paving the way to obtain intense EUV radiation through HHG.



Fig. 1.- a). Simulation results for the HHG efficiency at 13 nm (between 85 eV and 95 eV), using argon, helium and neon-filled waveguides, as a function of pressure, for Gaussian (dots) and trapezoidal (crosses) driving pulse envelopes [see b)]. The driving wavelength for each gas is chosen to reach similar maximum photon energies. The HHG spectra for the best cases for each gas [indicated by green circles in a)] are shown in panel c).

- T. Popmintchev et al. "Bright coherent ultrahigh harmonics in the keV X-ray regime from mid-infrared femtosecond lasers," Science 336, 1287 (2012).
- [2] R. Bartels *et al.*, "Shaped-pulse optimization of coherent emission of high-harmonic soft X-rays," *Nature*, vol. 406, no. 6792, pp. 164-166, 2000.
- [3] R. A. Bartels, M. M. Murnane, H. C. Kapteyn, I. Christov, and H. Rabitz, "Learning from learning algorithms: Application to attosecond dynamics of high-harmonic generation," *Physical Review A*, vol. 70, no. 4, p. 043404, Oct 2004.
- [4] J. Miao, et al. "Beyond crystallography: diffractive imaging using coherent x-ray light sources," Science 348, 530 (2015).
- [5] C. Porter et al. "General-purpose, wide field-of-view reflection imaging with a tabletop 13nm light source", Optica 4,1552 (2017).
- [6] C. Hernández-García et al. "Isolated broadband attosecond pulse generation with near- and mid-infrared driver pulses via time-gated phase matching", Optics Express 25, 11855 (2017).

Sistema de conversión no lineal de imágenes autoiluminadas en el IR mediante doblado de frecuencia intracavidad

Adrián J. Torregrosa¹, Haroldo Maestre¹, M^a Luisa Rico², Juan Capmany¹

 Departamento de Ingeniería de Comunicaciones, Universidad Miguel Hernández, Avda. de la Universidad s/n, 03202 Elche (Alicante).
 Departamento de Tecnología Informática y Computación, Universidad de Alicante, Ctra. San Vicente s/n, 03690 San Vicente del Raspeig (Alicante).

Resumen: Se presenta un sistema de conversión no lineal para trasladar al visible imágenes formadas en el IR mediante doblado de frecuencia intracavidad. El sistema destaca por emplear como fuente de iluminación la propia emisión de un láser de Nd³⁺:YVO₄ a 1342 nm donde tiene lugar la conversión. El acoplo por polarización de las imágenes resultantes en un cristal de KTP posibilita la conversión a 671 nm por ajuste de fase birrefringente de tipo-II.

El sistema propuesto se basa en una cavidad láser lineal doblada en ángulo recto, como se muestra en la Fig. 1. El espejo M1 (HR a 1342 nm y HT a 808 nm en su cara exterior) es plano y está depositado en la cara de entrada del cristal de Nd³⁺: YVO₄ (4x4x5 mm³, concentración de Nd³⁺: 1% at.). El cristal está orientado para que la oscilación láser a 1342 nm se encuentre polarizada linealmente de forma paralela al eje lento del cristal no lineal (pol. *s*) y a la dirección para la cual el *beam splitter* polarizante (M2) actúa en reflexión (pol. S). El espejo de salida M3 es plano-concavo (HR a 1342 nm, radio de curvatura de 3 m) para facilitar la estabilidad y el ajuste del tamaño del modo. M2 presenta una transmitancia del 0.7% (pol. S) que permite al láser actuar como fuente de iluminación, y en combinación con una lámina de cuarto de onda, posibilita el acoplo por polarización (pol. P) al interior de la cavidad de las imágenes que resultan en reflexión. La interacción no lineal entre el haz que porta las imágenes (pol. *f*) y la oscilación láser (pol. *s*) en el cristal de KTP (6x6x8mm³, corte $\theta=60^{\circ}$ y $\varphi=0^{\circ}$) traslada las imágenes a 671 nm (pol. *f*) a través de un proceso intracavidad de generación de segundo armónico de tipo II (*f*+*s*®*f*). El sistema destaca por ser pionero en la conversión de imágenes mediante doblado de frecuencia intracavidad en onda continua usando el mismo láser como convertidor y fuente de iluminación a diferencia de los propuestos hasta la fecha para trasladar imágenes al visible mediante suma de frecuencias [1-2].





Las imágenes (a) y (b) se obtienen a partir del doblado en frecuencia del haz resultante de iluminar a 1342 nm el área que abarca los elementos 2-3 del grupo 2 (5.04 lp/mm) de una tarjeta USAF-1951. La presencia de un punto en el centro de ambas se debe a la generación de segundo armónico producida por componentes s y f procedentes de la despolarización de la oscilación láser por la birrefringencia de los cristales de KTP y Nd³⁺:YVO₄. Su intensidad se minimiza con la orientación del cristal KTP (Fig. (b) y (d)), aunque la introducción de elementos polarizantes intracavidad o de control para estabilizar la polarización de la onda fundamental posibilitaría su total extinción. En la Reunión se proporcionarán más detalles acerca de la resolución y la eficiencia del sistema.

Referencias

[1] J. E. Midwinter, "Parametric infrared image converters", IEEE J. Quantum Electron. 4, 716-720 (1968).

[2] A. J. Torregrosa, H. Maestre, J. Capmany, "Intra-cavity upconversion to 631 nm of images illuminated by an eye-safe ASE source at 1550 nm", Opt. Lett. 40 (22), 5315-5318 (2015).

Supersymmetry applied to integrated optical devices

G. Queraltó, J. Mompart, V. Ahufinger

Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra, Spain

We investigate the application of Supersymmetric and Spatial Adiabatic Passage techniques to systems of coupled optical waveguides, by exploiting the analogies between the Helmholtz equation in the paraxial regime and the time-independent Schrödinger equation, with the aim to design novel optical devices with improved performances with respect to standard ones.

Supersymmetry (SUSY), discovered in the 70's and originally developed to unify the mathematical treatment of bosons and fermions, has recently been extended from non-relativistic Quantum Mechanics to Helmholtz Optics offering new ways to control the modal content in optical waveguides and to design refractive index land-scapes with non-trivial properties [1]. Moreover, Spatial Adiabatic Passage (SAP) techniques have been proposed and experimentally reported as a high-efficient and robust method to transfer a light beam between the outermost waveguides in a system of three identical evanescently-coupled waveguides [2].

We have combined SUSY and SAP techniques to design an efficient and robust device that can be used for multiplexing/demultiplexing spatial modes, to manipulate and study the modal content of an input field distribution or to filter signals and remove non-desired modes [3]. We have demonstrated that the combination of both techniques gives a great improvement in terms of robustness and efficiency obtaining output fidelities F>0.90 for a broad range of geometrical parameter values and light's wavelengths, reaching F=0.99 for optimized values (see Fig. 1).

Moreover, we have recently investigated [4] structures where the transverse index profile is adiabatically modified along the propagation direction such that, at the input and the output ports, one has superpartner index profiles. With such transformation, we have connected the SUSY structures in a continuous way, offering a systematic way to create tapered waveguides and mode filters using a single-waveguide structure or beam splitters and interferometers using a two-waveguides structure.



Figure 1. (a) Schematic representation of one of the proposed devices viewed from above. (b) Refractive index distribution and transverse mode profiles of each waveguide at z_c (c) Numerical simulations using Finite Difference Methods of light intensity propagation. The width of the waveguide cores is $d=4\mu m$, the minimum separation between waveguides is $x_{min}=7\mu m$, the radius of curvature of the external waveguides is r=3.5m, the spatial delay between their centers is $\delta=4mm$ and the total length along z is D=18mm

References

- [1] M. A. Miri et al., Supersymmetric optical structures, Phys. Rev. Lett. 110, 233902 (2013).
- [2] R. Menchon-Enrich et al., Spatial adiabatic passage: a review of recent progress, Rep. Prog. Phys. 79, 074401 (2016).

[3] G. Queraltó et al., Mode-division (de)multiplexing using adiabatic passage and supersymmetric waveguides, Opt. Express 25, 27396 (2017).

[4] G. Queraltó et al., in preparation (2018).

Ultracold Atoms Carrying Orbital Angular Momentum in a Diamond-Chain

G. Pelegrí¹, A. M. Marques², R. G. Dias², J. Mompart¹, V. Ahufinger¹, A. J. Daley³

¹Departament de Física, Universitat Autònoma de Barcelona, E-08193 Bellaterra, Spain ²Department of Physics and I3N, University of Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal ³Department of Physics and SUPA, University of Strathclyde, Glasgow G4 0NG, United Kingdom

We study the physics of ultracold atoms carrying Orbital Angular Momentum in a diamond-chain-shaped optical lattice in the single-particle and in the Mott insulator limits. In the former limit, we find topologically protected edge states. In the latter limit, we propose the system as a quantum simulator of the XYZ model.

In recent years, the possibility of engineering complex couplings in systems of ultracold atoms in optical lattices has pushed forward the field of quantum simulation and topologically protected edge states analogous to those found in the context of quantum Hall physics have been demonstrated both for fermionic [1] and bosonic [2] atoms.

In this work, we consider a diamond-chain whose sites are cylindrically symmetric potentials (see Fig. 1). The lattice is filled with bosons that occupy the states of total Orbital Angular Momentum (OAM) l = 1 centered at each of the sites. Due to the relative angles between the lines uniting sites, complex tunneling amplitudes appear [3]. We study two limits: the single-particle and the Mott insulator at unit filling limits.

In the single-particle limit, we show that the OAM degree of freedom opens a gap in the band structure, resembling the effect of a net flux through the plaquettes [4]. In a finite size system, we identify states that lie inside the energy gap and are localized at the edge of the chain. Through a series of exact mappings to other models, we show that these states are topological.

In the Mott insulator limit at unit filling, the system can be mapped into a spin-1/2 model mediated by second order effective interactions. We show that destructive interference forbids single spin-flip processes, offering an alternative platform to obtain a quantum simulator of the Heisenberg XYZ model with bosons in excited modes [5]. By considering a ladder instead of a diamond chain, it is possible to obtain the same effective model with higher OAM states by tuning the relative angle between the lines connecting the sites.



Figure 1.- Sketch of the diamond chain considered in this work, indicating the unit cell (dashed box), the two OAM l = 1 states that can be occupied on each site, their associated operators and the directions along which the couplings are real (blue lines) or acquire $\pm \pi$ phases (red lines).

- [1] M. Mancini, G. Pagano, G. Cappellini, L. Livi, M. Rider, J. Catani, C. Sias, P. Zoller, M. Inguscio, M. Dalmonte, and L. Falani, Science 349, 1510 (2015).
- [2] B. K. Stuhl, H. I. Lu, L. M. Aycock, D. Genkina, and I. B. Spielman, Science 349, 1514 (2015).
- [3] J. Polo, J. Mompart, and V. Ahufinger, Phys. Rev. A 93, 033613 (2016).
- [4] A. A. Lopes and R. G. Dias, *Phys. Rev. B* 84, 085124 (2011).
- [5] F. Pinheiro, G. M. Bruun, J.-P. Martikainen, and J. Larson, *Phys. Rev. Lett.* 111, 205302 (2013).

Propagation of time-diffracting beams in self-focusing Kerr media: a novel class of spatiotemporal soliton

Miguel A. Porras

¹Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIME, Ríos Rosas 21, 28003 Madrid

Abstract: We report on the nonlinear propagation of the recently introduced "time-diffracting beams", or diffraction-free pulsed beams whose natural diffraction spreading is swapped from the longitudinal propagation direction to time. In self-focusing Kerr media, these beams are numerically and analytically seen to be attracted by "time-self-focusing" or "time-collapsing" (depending on the input power), propagation-invariant, pulsed beams, which constitute a novel type of spatio-temporal wave localization.

Recently, a new class of light beams whose diffraction-free behavior in free space does not rely on beam shaping, as in Airy or Bessel beams, but on spatiotemporal frequency coupling effects, has been theoretically described and experimentally realized [1-4]. They are pulsed beams whose temporal structure is just that of the axial or longitudinal Fresnel diffraction of a monochromatic light beam with the same transversal profile, i. e, diffraction is swapped in them from space to time [2,3].

In this work we study the nonlinear propagation of these time-diffracting beams in self-focusing (cubic) Kerr media. Although stable, two-dimensional localized structures (spatial solitons) are not supported by cubic media [6], time-diffracting beams are numerically seen to be reshaped and attracted by a seemingly robust, three-dimensional localized structure in space and time. With a time-diffracting Gaussian beam [2], and at powers below the critical power for collapse, the spatiotemporal structure of the attracting pulsed beam is that of the *self-focusing in time* of the standard monochromatic Gaussian beam of the same power. At powers above the critical power (and with a suitable mechanism that halts it, e.g., Kerr saturation), the spatiotemporal structure of the attracting pulsed beam.

The well-known, unstable Townes beam [7] is seen to represent the limiting situation of these temporally self-focusing or collapsing spatiotemporal solitons when localization in time is lost, or monochromatic limit. These theoretical findings may open new perspectives in the longstanding problem of the practical realization of truly robust and localized light structures in media with the ubiquitous self-focusing Kerr nonlinearity.

- [1] H. E. Kondakci and A. F. Abouraddy, "Dffraction-free space-time light sheets," Nature Photonics 11, 733 (2017).
- [2] M. A. Porras, "Gaussian beams diffracting in time," Opt. Lett. 42, 4679 (2017).
- [3] M. A. Porras, "Time-diffracting beams: on their nature, diffraction-free propagation as needles of light, and nonlinear generation," arXiv e-prints (2017), arXiv:1802.10475 [physics.optics]
- [4] H. E. Kondakci and A. F. Abouraddy, "Airy wave packets accelerating in space-time," arXiv e-prints (2017), arXiv: 1711.00387v1 [physics.optics].
- [5] L. J. Wong and I. Kaminer, "Abruptly focusing and defocusing needles of light and closed-form electromagnetic wavepackets," ACS Phtonics 4, 1131 (2017).
- [6] Yu. S. Kivshar and D. E. Pelinovsky, "Self-Focusing and Transverse Instabilities of Solitary Waves," Phys. Rep. 331, 117 (2000).
- [7] E. Garmire, R. Y. Chiao, and C. H. Townes, "Dynamics and Characteristics of the Self-Trapping of Intense Light beams", Phys. Rev. Lett. 16, 347 (1966).

Triple-wavelength erbium-doped fiber laser based on a filter formed by **Attenuation Core Mode Fiber and Long Period Gratings**

L. A. Herrera-Piad¹², J. L. Cruz¹, M. V. Andrés¹

¹Departamento de Física Aplicada, ICMUV, Universidad de Valencia, Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Spain. ²Departamento de Electrónica, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km 3.5 + 1.8 km, Salamanca, Gto. 36885, Mexico

Abstract: We report an erbium-doped ring fiber laser based on an all-fiber filter composed of two Long Period Gratings and an optical fiber with high attenuation on fundamental propagation mode. The system offers compactness and allows to obtain three laser lines with minimal power fluctuations and excellent wavelength stability.

Introduction: Erbium-doped fiber lasers (EDFL) have been studied for last 50 years. The use of EDF for pulsed lasers [1] have been newly exposed, in the meantime, continuous wave lasers still operating with novel fiber optic structures to increase the number of laser lines. Some of these structures are fiber gratings [2], special fibers as photonic crystal, twin-core and polarization maintaining fibers. Sometimes the fabrication of this kind of special fibers involves a complex procedure. At that point, we propose a simple system with competitive laser parameters, specifically low power fluctuations and excellent wavelength stability. In this work, an Attenuation Core Mode Fiber (ACMF) is spliced between two LPG to generate a bandpass filter [3], which is a crucial element of our laser.

Experimental Setup and Results: The setup scheme is shown in fig. 1. With the pump laser being operated at maximal current, three laser lines are achieved at 1544.34nm, 1545.16nm and 1550.96nm (figure 2 right). Additionally, acquired spectrums during the step by step fabrication process of our filter are presented in figure 2 (left). It is important to emphasize that the main advantage of our system is the capability to diminish the emission in the well-known erbium spectrum area with the highest gain, to improve this emission in the filter region.



1540 1550 1560 elength (nm) 1540 1550 1560 elength (nm) Figure 2.-ACMF inserted between LPGs (left figure). Laser output spectrum (right figure).

1580

1590

1570

-100 1510

1530

1570

References

insmittance (dB)

.20

-50<mark>11</mark> 1510

- [1] Zhang H, Tang D Y, Zhao L M, Bao Q L, Loh K P, Lin B and Tjin S C "Compact graphene mode-locked wavelength-tunable erbium-doped fiber lasers: from all anomalous dispersion to all normal dispersion" Laser Phys. Lett. 7 591 (2010).
- [2] Liu X, Yang X, Lu F, Ng J, Zhou X and Lu C "Stable and uniform dual-wavelength erbium-doped fiber laser based on fiber Bragg gratings and photonic crystal fiber" Opt. Express 13 142 (2004).
- [3] Abrishamian F and Morishita K "Single-Channel Bandpass Filters Formed by a Metal-Doped Fiber and Long-Period Gratings" IEEE Photon. Technol. Lett. 28 868 (2016).

Azimuthons induced by vortex Bessel beams in a Kerr medium with multiphoton absorption

Carlos Ruiz-Jiménez¹, Miguel A. Porras²

¹Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIAAB, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid ²Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIME, Ríos Rosas 21, 28003 Madrid

Abstract: We show how to create multi-hump, nonlinear beams with rotating, propagation-invariant intensity patterns in a self-focusing Kerr medium with multiphoton absorption. These beams can generate multiple, helicoidal filamentation channels for applications such as laser-powered material processing. The intensity, number of rotating filaments, and their rotation speed can easily be controlled by the vorticity and cone angles of the couple of Bessel beams that induce these rotating beams upon propagation in the nonlinear medium.

It is known for years that the propagation in self-focusing Kerr media of Bessel beams resists the nonlinear absorption due to multiphoton ionization, both for fundamental and high order Bessel beams [1,2] and superpositions of them [3], a property that has recently been used to induce tubular filamentation [4].

In this work we focus in the rotating nonlinear beams with propagation-invariant intensity and dissipation patterns that are spontaneously formed in the medium from a superposition of two Bessel beams with opposite topological charges \pm s generated from axicons with slightly different cone angles. The rotating beam in the nonlinear medium, of 2s-fold circular symmetry, rotates with a speed inversely proportional to the topological charge. Its intensity can also be predicted from the conservation of the inward Hänkel amplitudes discovered in Ref. [5].



As an example, in Fig. 1(a) we show the transversal intensity profiles of an input Bessel beam superposition, and in (b) and (c) the nonlinear beam formed with an invariant but rotating intensity pattern. The simulation parameters corresponding to air at 800 nm, and the initial beam is a superposition of two Bessel beams with topological charges of $s=\pm 1$ and intensities of 20 and 30 TW/cm², generated by axicons with cone angles of 0.25° and 0.26° respectively.

- M. A. Porras, A. Parola, D. Faccio, A. Dubietis, and P. Di Trapani, "Nonlinear Unbalanced Bessel Beams: Stationary Conical Waves Supported by Nonlinear Losses," Phys. Rev. Lett. 93, 153902 (2004)
- [2] M. A. Porras and C. Ruiz-Jiménez, "Nondiffracting and nonattenuating vortex light beams in media with nonlinear absorption of orbital angular momentum," J. Opt. Soc. Am. B **31**, 2657 (2014).
- [3] M. A. Porras, C. Ruiz-Jiménez, and Marcio Carvalho, "Stationary and stable light-beam propagation in Kerr media with nonlinear absorption with controllable dissipation patterns," Phys. Rev. A 95, 043816 (2017).
- [4] C. Xie, V. Jukna, C. Milián, R. Giust, I. Ouadghiri-Idrissi, T. Itina, J. M. Dudley, A. Couairon, and F. Courvoisier, "Tubular filamentation for laser material processing," Scientific Reports 5, 8914 (2015)
- [5] C. Ruiz-Jiménez, Dinámica no lineal de haces de Airy y de Bessel en medios Kerr con absorción no lineal, PhD Thesis, DOI 10.20868/UPM.thesis.43715 (2016)

High efficient setup for filtering the single-photon spectral emission of InGaAs quantum dots

J. L. Velázquez^{1,2*}, H. Hofer¹, H. Georgieva¹, B. Rodiek¹, S. Kück¹, A. Ferrero², A. Pons², J. Campos² and M. López¹

¹Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, D-38116, Braunschweig, Germany ²Instituto de Óptica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO,CSIC), Madrid, Spain *Corresponding author: jl.velazquez@csic.es

Abstract: The purity of single-photon sources often suffers from multiple emission lines in the emission spectrum of quantum dot based semiconductor systems. Spectral filtering, which selects only one emitting center, usually leads to a significant decrease in the transmitted photon flux. We present the optical characterization of a compact and efficient setup for filtering the single-photon emission of an InGaAs quantum dot.

For the characterization and application of a quantum dot based single-photon source, the emission very often needs to be filtered, in order to collect photons from just one emitting centre, see e.g. [1, 2], where the positively charged excitation line of the quantum dot is filtered using a spectroradiometer to obtain the single photon emission. The narrower the spectral filtering of the charged excitation line, the higher the purity of the single photon emission is. The disadvantage of this kind of filtering is the high photon loss in the spectroradiometer. Here, we present a different method, consisting of two optical bandpass filters placed one after the other to filter the single-photon emission of the quantum dot. Through a rotation of the filters, a precise wavelength shift of the transmission window can be obtained, see transmission spectra in Figure 1.a. The convolution of the transmission of two filters allows to reach a spectral filtering with a full width at half maximum (FWHM) of less than 0.1 nm and a transmission of approx. 90 % see Figure 1.b, where a emission spectra of a quantum dot is shown with and without spectral filtering.

These results are promising towards the development of a compact and high efficient single-photon source based on such quantum dots. Such sources can be used, especially, in the quantum radiometry, where a high spectral photon flux rate is required for the efficiency calibration of single-photon detectors.



Figure 1. a) Transmittance of the filters Alluxa 935.0-0.45 OD5 Ultra Narrow Bandpass for a rotation angles θ_1 and θ_2 , b) Comparison between the emitted spectrum of a quantum dot before and after filtering the positively charged excitation line using two ultra-narrow bandpass filters.

References:

 Peter Schnauber et. al., "Bright Single-Photon Sources Based on Anti-Reflection Coated Deterministic Quantum Dot Microlenses", Technologies, 4, 1, (2016).

Available in internet: https://doi.org/10.3390/technologies4010001

[2] M. López, B. Rodiek, H. Hofer, P. Schnauber, A. Thoma, J.-H. Schulze, A. Strittmatter, S. Rodt, T. Heindel, S. Reitzenstein, S. Kück; "Metrological characterization of a single-photon source based on a deterministic quantum dot microlens"; Single Photon Workshop, 109, (2017).

Available in internet: https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/07/28/spwabstractsfinal2.pdf

Acknowledgment:

This work has been supported by EMPIR-14IND05 "MIQC2" (the EMPIR initiative is co-funded by the EUH2020 and the EMPIR Participating States) and the complement project Researcher Mobility Grants (RMG) [Grant Agreement No. 14IND05-RMG1]. The authors also acknowledge the financial support by the Comunidad e Madrid under program SINFOTON-CM (S2013/MIT-2790).

Medida temporal de pulsos láser ultracortos en el blanco mediante barrido de dispersión auto-calibrado con un compresor arbitrario

B. Alonso^{1,2}, Í. J. Sola¹, y H. Crespo^{1,3}

 ¹ Grupo de Aplicaciones del Láser y Fotónica (ALF), University of Salamanca, Salamanca, Spain
 ² Sphere Ultrafast Photonics, S.A., Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto, R. do Campo Alegre 1021, Edifício FC6, 4169-007 Porto, Portugal

³ IFIMUP-IN and Departamento de Física e Astronomia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

Resumen: Se demuestra la técnica de barrido de dispersión auto-calibrado (*self-calibrating dscan*), que consiste en medir con un espectrómetro el segundo armónico generado por un pulso para distintas dispersiones desconocidas introducidas. El algoritmo de reconstrucción obtiene el pulso a medir temporalmente además de la dispersión introducida por el compresor empleado. El carácter auto-calibrado de la técnica permite su aplicación a pulsos con duraciones arbitrarias con compresores sin calibrar.

El desarrollo de nuevas fuentes láser, en particular en el ámbito de los láseres pulsados, precisa que en paralelo se implementen nuevas técnicas de caracterización. Por ello, la medida temporal de esos pulsos es un campo de gran interés. Recientemente se ha desarrollado la técnica *d-scan* (barrido de dispersión) [1] que, en su versión original, consiste en medir el espectro de la señal de segundo armónico (SHG) generado por el pulso al tiempo que se le añade un conjunto de valores de dispersión *conocidos* en torno a la condición de compresión óptima mediante un sistema compresor (lo más habitual suele ser un conjunto de espejos que introducen dispersión negativa y un par de cuñas de material con dispersión positiva, con la capacidad de poder controlar la dispersión total mediante el grado de inserción de dichas cuñas). De esta forma, se genera una traza *d-scan* (espectro de la señal no lineal frente a los valores de dispersión) de la que se puede extraer la fase espectral del pulso en estudio mediante algoritmos de reconstrucción. Así, esta técnica permite la reconstrucción temporal de los pulsos y es especialmente apropiada para pulsos de pocos ciclos o incluso en régimen de ciclo único [2].

En este trabajo se presenta una nueva versión de la técnica, en la que no se precisa conocer los valores de dispersión empleados para generar la traza *d-scan*. El algoritmo de reconstrucción empleado no sólo es capaz de reconstruir el pulso, sino que también puede obtener la dispersión introducida por el compresor durante el barrido [3], de ahí su denominación de auto-calibrado. Como consecuencia, esta cualidad de auto-calibrado permite extrapolar la técnica a cualquier sistema dotado de un compresor arbitrario sin calibrar, con duraciones arbitrarias de los pulsos. De esta forma, para medir los pulsos emitidos por cualquier sistema basado en la tecnología de amplificación de pulsos con *chirp* (láseres CPA u OPCPA), se puede emplear su propio compresor, por lo que el sistema se estaría autodiagnosticando. De este modo, se superan las limitaciones de los sistemas *d-scan* normales, incapaces de caracterizar pulsos relativamente largos (por encima de alguna decena de femtosegundos), ya que con esta nueva propuesta se puede reconstruir pulsos de hasta algunos picosegundos. Además, permite medir los pulsos en el blanco si la detección de SHG se realiza en la localización del experimento.



Figura 1.- Montaje experimental: el compresor de prismas interno del láser CPA hace el barrido de dispersión (izquierda). Trazas de SHG experimental y reconstruida, amplitud y fase espectral, intensidad y fase temporal reconstruidas (derecha).

- M. Miranda, T. Fordell, C. Arnold, F. Silva, B. Alonso, R. Weigand, A. L'Huillier, and H. Crespo, "Characterization of broadband few-cycle laser pulses with the d-scan technique," Opt. Express 20, 18732-18743 (2012).
- [2] F. Silva, B. Alonso, W. Holgado, R. Romero, J. San Román, E. Conejero Jarque, H. Koop, V. Pervak, H. Crespo, and I.J. Sola, "Strategies for achieving intense single-cycle pulses with in-line post-compression setups," Opt. Lett. 43, 337-340 (2018).
- [3] B. Alonso, I.J. Sola, and H. Crespo, "Self-calibrating d-scan: measuring ultrashort laser pulses on-target using an arbitrary pulse compressor," Scientific Reports 8, 3264 (2018).

Acopladores plasmónicos no lineales con simetría PT

José Ramón Salgueiro

Departamento de Física Aplicada, E.E. Aeronáutica e do Espazo, Campus As Lagoas, s/n, 32004 Ourense

Resumen: Se presentan resultados preliminares sobre sistemas plasmónicos con nolinealidad de tipo Kerr y con simetría PT (paridad-tiempo); en particular se calculan y muestran los diferentes modos no lineales y su diagrama de dispersión, como un primer paso para el estudio de las propiedades y aplicaciones de estos dispositivos en nanofotónica.

Los componentes ópticos plasmónicos tienen un gran interés por la posibilidad de confinar el campo electromagnético en distancias mucho más pequeñas que la longitud de onda, propiciando la creación de dispositivos a escala nanométrica y por consiguiente con potenciales aplicaciones en nanofotónica[1]. Su principal desventaja se cierne en las grandes pérdidas a las que están sujetos debido a que los materiales conductores (metales nobles) que forman parte de estos dispositivos no se comportan como conductores perfectos a frecuencias ópticas. Esto requiere de nuevas técnicas que permitan compensar las pérdidas para conseguir elementos suficientemente eficientes. Una de estas técnicas, desarrollada recientemente en el ámbito de la fotónica, consiste en el diseño de dispositivos activos que presenten simetría PT (*parity-time*). Un perfil de índice de refracción con esta simetría (del mismo modo que ocurre en mecánica cuántica) consiste en una función compleja con parte real simétrica y parte imaginaria antisimétrica. Desde un punto de vista práctico un dispositivo típico consiste en un acoplador direccional con dos guías paralelas idénticas pero presentando respectivamente pérdidas y ganancia en igual medida. Este tipo de dispositivos, pese a tener una permitividad compleja, presentan un espectro real en determinados rangos de frecuencias, delimitados por los denominados *puntos excepcionales*, en los que dicha simetría se rompe (el espectro pasa de real a complejo o viceversa).

Dispositivos de este tipo, basados en guías plasmónicas, se han descrito y analizado recientemente, bien obviando las pérdidas en las películas metálicas[2], bien considerándolas e ideando estrategias para minimizar sus efectos[3]. Aquí se pretende dar un paso adelante, introduciendo nolinealidad en los núcleos del acoplador, con vistas a aumentar la funcionalidad del dispositivo. Se presenta aquí el caso más simple, sin tener en cuenta las pérdidas en las cubiertas metálicas.



Figura 1.- Diagrama de potencia para los modos no lineales (izquierda) y ejemplos de los diferentes tipos de modos.

Se ha considerado un campo con polarización TM y se han calculado numéricamente los modos del sistema (véase figura 1). Las coordenadas espaciales están normalizadas a la escala de la longitud de onda (multiplicadas por el número de onda en el vacío). La constante de propagación β se normaliza dividiéndola por y el flujo de potencia viene dado por . El sistema presenta dos tipos de modos complejos (líneas negras), uno con amplitud de campo simétrica y otro antisimétrica, aunque el flujo de potencia es simétrico en ambos casos. A diferencia de lo que ocurre en sistemas que no presentan simetría PT, ambos modos acaban fusionándose para un cierto valor de la constante de propagación. Por otra parte, de estos dos modos bifurcan modos asimétricos (líneas de color) que presentan también flujo de potencia asimétrico y son la clave de las propiedades de conmutación de este tipo de dispositivos.

- [1] S. A. Maier, Plasmonics: fundamentals and applications (Springer 2007).
- [2] H. Alaeian, J. A. Dione, "Non-Hermitian nanophotonic and plasmonic waveguides", Phys. Rev. B 89, 075136 (2014).
- [3] J. R. Salgueiro, Yu. S. Kivshar, "Optimization of biased PT-Symmetric plasmonic directional couplers", IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 22, 4600907 (2016).

Broadband emission and tunability of the second-harmonic signal generated in clusters of dielectric nanoparticles

Rosa Weigand, Eduardo Cabrera-Granado

Departamento de Óptica. Facultad de Ciencias Físicas y Facultad de Óptica y Optometría. Universidad Complutense de Madrid.

Summary: Using macroscopic samples of clustered BaTiO₃ nanoparticles we have demonstrated both the broadband second-harmonic generation using a two-cycle Titanium-Sapphire (Ti:Sa) oscillator, and the tunability of the second-harmonic signal using an Optical Parametric Amplifier (OPA) operating in the infrared. Its possible application to the measurement of ultrashort laser pulses in very different spectral ranges using the same non-linear medium is discussed.

BaTiO₃ isolated single nanoparticles are frequently used to generate second-harmonic (SH), which has to be detected with cooled photomultipliers [1]. However it is possible to obtain more intense signals from clusters of nanoparticles. Samples of BaTiO₃ have been prepared by dropping several 2- μ l drops of a sonicated suspension of 300 nm nanoparticles in ethanol onto a glass microscope slide. In a first experiment, ultrabroad-band pulses from a self-made Ti:Sa oscillator [2] (10 fs, 1 nJ/pulse, 800 nm central wavelength) were focused on the samples and a macroscopic broadband SH signal was obtained, which could be detected with a conventional fiber spectrometer. Figure 1a shows the laser spectrum along the SH signal, whose spectral width is comparable to the signal generated in a 20 μ m type-I BBO crystal, and is capable of supporting transform-limited pulses. The spiky structure of the spectrum has been identified to be due to frontier effects with the glass substrate by using a FDTD (Finite-Difference Time-Domain) algorithm to simulate the pulse propagation through the sample with the commercial software Lumerical. The intensity of the second-harmonic signal, along with the fact of the broadband conversion, suggests that clusters of BaTiO₃ nanoparticles could be employed to measure ultrabroad-band laser pulses, such as those from Ti:Sa oscillators.



Figura 1.- a) Spectra of the Ti:Sa oscillator and generated SH in BaTiO3 and BBO; b) Spectra of the OPA pulses in the infrared and the generated SH signal

In a second experiment, pulses from an OPA operating in the infrared (1200-1500 nm, $\approx 50 \,\mu$ J/pulse) were focused on the samples to obtain a SH signal in the visible, which was continuously tunable over the 300 nm range of the OPA. Figure 1b shows the spectra from the OPA along with the generated SH signal, measured with conventional fiber spectrometers. Again, the intensity and spectral width of the SH signal suggests that clusters of BaTiO₃ nanoparticles could be used to measure ultrashort infrared pulses.

The results show that, unlike usually employed non-linear systems, such as monolithic nonlinear crystals, which are specific for a certain, usually narrow, spectral range, clusters of the dielectric nanoparticles could be used to measure the duration of ultrashort pulses over ranges above 700 nm, using standard techniques such as FROG (Frequency Resolved Optical Gating).

Referencias

 E. Kim, A. Steinbrück, M. T. Buscaglia, V., Th. Pertsch, and R.Grange, "Second-Harmonic Generation of Single BaTiO₃ Nanoparticles down to 22 nm Diameter," ACS Nano 7, 5343 (2013).

[2] R. Weigand, M. Miranda, H. Crespo, "Oscilador laser de titanio:zafiro de 2 ciclos ópticos," Ópt. Pura Apl. 46, 105 (2013).

Long-lived vortex soliton arrays nested in flat-top nonlinear Bessel beams

Miguel A. Porras¹, Francisco Ramos², José L. García-Riquelme³

¹Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIME, Rios Rosas 21, 28003 Madrid ²Nanophotonics Technology Center, Universitat Politécnica de Valencia, Spain

³Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid, ETSIAAB, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid

Abstract: We report on nonlinear Bessel beams (NBBs) in self-defocusing Kerr media as diffraction-free beams whose wide, plateau intensity profiles make them particularly suitable for nesting optical vortex solitons (OVSs). They survive for distances one order of magnitude larger than the same OVS nested in standard Gaussian or super-Gaussian beams. Multi-photon absorption, commonly present in these experiments, does not attenuate NBBs, but stabilize them, prolonging the robust propagation of the NBB-OVS system.

Ideally, OVSs need an infinite plane wave background to exist in a self-defocusing Kerr medium. In practice the OVS are nested in a broad background beam as a Gaussian or super-Gaussian beam [1]. The non-uniformity of the background amplitude and phase onsets a rather complicated dynamics of the OVs, and background diffraction, accelerated by self-defocusing, causes the nested OVSs to decay at short distances, limiting severely the implementation of their promised applications in, for instance, particle trapping, laser material processing, or as vortex-induced waveguides [2].

NBBs are however diffraction-free beams in the self-defocusing medium with the property of having arbitrarily wide and plateau intensity profiles. The nested OVSs behave in the NBB background as in the ideal background for much longer distances, only limited by the weak instability of the NBB [3]. We have also found [4] that dissipation in the form of multi-photon absorption does not attenuate these NBBs; instead dissipation contributes to the NBB stable propagation. This property further prolongs the distance along which the vortex solitons subsist without appreciable decay, and remain therefore useful for their intended applications [2].

As an example, Fig. 1(a, b) show the decay in the self-defocusing medium with weak four-photon absorption of two OVSs nested in a super-Gaussian background beam from (a) the input plane at z=0 to (b) z=20 (in units of the characteristic nonlinear distance of the OVSs), while the two OVSs in Fig. 1(c-e) nested in a NBB subsist spiraling slowly inward up to z=140.



Figure 1. Transversal intensity profiles of two OVSs of topological charges charge +1 nested in (a, b) a super-Gaussian beam, and (c-e) in a NBB of the same with as the super-Gaussian beam, at the indicated propagation distances (units of the nonlinear length).

- G. A. Swartzlander and C. T. Law "Optical vortex solitons observed in Kerr nonlinear media," Phys. Rev. Lett. 69, 2503 (1992).
- [2] Y. S. Kivshar and B. Luther-Davies, "Dark optical solitons: physics and applications," Phys. Rep. 298, 81 (1998).
- [3] M. A. Porras, F. Ramos, "Quasi-ideal dynamics of vortex solitons embedded in flattop nonlinear Bessel beams," Opt. Lett. 42, 3275 (2017).
- [4] M. A. Porras, F. Ramos, José L. García-Riquelme "Long-lived optical vortex solitons in self-defocusing dissipative media," in preparation.

Láser "mode-locked" sintonizable por temperatura para aplicación CARS en banda C-H

Iñaki Aporta Litago¹, Javier Abreu-Afonso³, Pere Pérez-Millán³, M^a Ángeles Quintela Incera²,

José Miguel López-Higuera²

¹ Grupo de Ingeniería Fotónica (Universidad de Cantabria), Santander, España ² Grupo de Ingeniería Fotónica (Universidad de Cantabria), CIBER-bbn e IDIVAL, Santander, España ³ FYLA LASER S.L., Paterna, España

Resumen: Se presenta un láser pulsado "mode-locked" basado en un SESAM, y sintonizable por temperatura mediante una red de Bragg en fibra, para ajustar con precisión la diferencia frecuencial de las señales obtenidas con "four-wave mixing" degenerado (FWMD) en fibra de cristal fotónico (PCF). Esta conversión paramétrica en PCF permite obtener una diferencia frecuencial de las señales CARS (Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy) que coincide exactamente con la resonancia Raman del grupo de enlaces moleculares C-H.



Figura 1.- Montaje experimental del láser pulsado "mode-locked".



Figura 2.- Espectro de emisión del láser en función de la temperatura Figura 3.- Bandas paramétricas generadas con FWMD

En la Fig.1 se muestra la estructura del oscilador de iterbio utilizado en la prueba experimental. Con una señal de bombeo de onda continua de 976 nm y potencia de 22 mW, el láser emite una señal pulsada estable de potencia promedio de 3.13 mW (eficiencia de 14.22%), tasa de repetición de 9.9 MHz, y anchura de pulso a FWHM de 35 ps. La Fig. 2 muestra la variación en longitud de onda del espectro de emisión del láser, sintonizado a través de la red de Bragg (FBG) mediante el control de la temperatura a través de un TEC (Termo-Electric Cooler). La variación en temperatura del FBG permite modificar la longitud de onda del emisión del láser en un rango de ~0.6 nm con una precisión de 10pm/ °C. A través de la selección de la longitud de onda del láser, y previa amplificación del mismo, se realiza la conversión paramétrica en una fibra de cristal fotónico a través de FWMD, lo que genera señales con una diferencia frecuencial variable aplicable en microscopía CARS.

En la Fig.3 se muestra una simulación de las bandas paramétricas Stokes y Anti-Stokes generadas a través del FWMD para la PCF seleccionada. Como se puede observar la sintonizabilidad de la longitud de onda de emisión del láser semilla (oscilador) utilizado en este proceso es clave para la generación de la componente Anti-Stokes, dado que permite hacer coincidir de manera precisa la diferencia frecuencial entre ambas señales (semilla y Anti-Stokes) con la frecuencia de resonancia Raman del grupo C-H equivalente a 2845 y obtener así imágenes por microscopía CARS con la mayor nitidez y contraste posble.

- Baumgartl, Martin, et al. "Alignment and maintenance free all-fiber laser source for CARS microscopy based on frequency conversion by four-wave-mixing." *Frontiers in Ultrafast Optics: Biomedical, Scientific, and Industrial Applications XII*. Vol. 8247. International Society for Optics and Photonics, 2012.
- [2] Zlobina, Ekaterina A. et al. "CW parametric generation in polarization maintaining PCF pumped by Yb-doped fiber laser." *Microstructured and Specialty Optical Fibres*. Vol. 8426. International Society for Optics and Photonics, 2012.

Polarization control of isolated attosecond pulses

Carlos Hernández-García¹, Laura Rego¹, Pei-Chi Huang², Jen-Ting Huang², Po-Yao Huang², Chih-Hsuan Lu², Shang-Da Yang², A. H. Kung², Ming-Chang Chen², Luis Plaja¹

¹Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain.

²Institute of Photonics Technologies, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013, Taiwan

Abstract: We present the first scheme to accurately control the polarization of attosecond pulses by adjusting the polarization of the infrared drivers. Our semiclassical and quantum theories, backed up with experimental results, show the generation of isolated attosecond pulses with controlled ellipticity based on the non-perturbative nature of high harmonic generation.

Up to date, the shortest coherent pulses produced in laboratories have durations ranging from tens to few hundred of attoseconds [1]. They appear as a fortunate consequence of the extreme non-linear dynamics induced by intense infrared (IR) fields in atoms or molecules. During this non-perturbative interaction, the electron is detached by the electromagnetic field from its original bound orbital. Once freed, the field accelerates the electron, so it gains kinetic energy. If the IR is linearly polarized, the oscillating field redirects the electron towards the parent ion where a high frequency photon (XUV or x-rays) is emitted, as a train of attosecond pulses.

Mastering attosecond pulse production requires two main ingredients: developing schemes for the production of isolated attosecond pulses, and controlling their optical properties, among them, polarization. Whereas the generation of single attosecond pulses was demonstrated using few-cycle pulses [2], the control of their polarization results more complicated. Since polarizing plates are inefficient in the XUV/x-ray regimes, the main strategy consists on directly generating attosecond pulses with controlled ellipticity. Recently, two main schemes [3,4] have demonstrated the production of high-order harmonics with circular polarization.

In this contribution we develop a novel technique to produce isolated attosecond pulses with controlled ellipticity [5]. The experimental scheme is based on the confluence of two existing approaches: few cycle IR pulse generation, to obtain an isolated attosecond burst [6], and a non-collinear scheme for the polarization control [4]. Our theoretical simulations indicate that the polarization control of isolated attosecond pulses is based on the non-perturbative nature of HHG. The circularly polarized supercontinuum is produced at a central photon energy of 33 eV with 190 attoseconds transform limit and a predicted linear chirp of 330 attoseconds. By adjusting the ellipticity of the two counter-rotating driving pulses simultaneously (), we control the polarization state of isolated XUV pulses ($\mathcal{F}_{EUV}\mathcal{F}_{XUV}$), without sacrificing conversion efficiency.



Fig. 1-. a) Relation between ε_{EUV} and ε_{EUV} for the experimental, and quantum, and semiclasical calculations. The ellipticity scaling can be approximated as $\varepsilon_{EIIV} \propto \varepsilon_{IR}^{4.\xi} \varepsilon_{EUV}$ (black dash line). In b) we present calculated the time evolution of the *as* pulses obtained using $\varepsilon_{IR} = 1.0 \varepsilon_{EUV}$, for the right-handed (R, blue) and left-handed (L, green).

- T. Gaumnitz, *et al.* "Streaking of 43-attosecond soft-X-ray pulses generated by a passively CEP-stable mid-infrared driver", Opt. Express 25, 27506(2017).
- [2] R. Kienberger, et al. "Atomic transient recorder", Nature 427, 817 (2004).
- [3] K. M. Dorney, *et al.* "Helicity-Selective Enhancement and Polarization Control of Attosecond High Harmonic Waveforms Driven by Bichromatic Circularly Polarized Laser Fields," Phys. Rev. Lett. **119**, 063201 (2017).
- [4] D. Hickstein, et al. "Non-collinear generation of angularly isolated circularly polarized high harmonics", Nat. Photon. 9, 743 (2015).
- [5] P.-C. Huang, C. Hernández-García, J.-T. Huang, P.-Y. Huang, C.-H. Lu, L. Rego, D. Hickstein, J. Ellis, et al. "Polarization Control of Isolated High-Harmonic Pulses", Nature Photonics, in press (2018).
- [6] P.-C. Huang, et al. "EUV continuum from compressed multiple thin plate supercontinuum", Conference on Lasers and Electro-Optics, OSA Technical Digest (online) FTu3N.7. (2016)

Intense pulse post-compression down to the single-cycle regime

<u>Í. J. Sola¹</u>, E. Conejero-Jarque¹, J. San Román¹, B. Alonso^{1,2}, F. Silva^{2,3}, R. Romero^{2,3}, W. Holgado¹, M. A. González-Galicia¹, H. Koop⁴, V. Pervak⁴ and H. Crespo³

 ¹ Grupo de Aplicaciones del Láser y Fotónica (ALF), University of Salamanca, E37008 Salamanca, Spain
 ²Sphere Ultrafast Photonics, S.A., Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade do Porto, R. do Campo Alegre 1021, Edifício FC6, 4169-007 Porto, Portugal
 ³IFIMUP-IN and Departamento de Física e Astronomia, Universidade do Porto, Rua do Campo Alegre 687, 4169-007 Porto, Portugal
 ⁴UltraFast Innovations GmbH, Am Coulombwall 1, 85748 Garching, Germany

Abstract: The ultrafast pulse post-compression process at the few-cycle regime is analysed theoretically and experimentally, observing a universal behaviour in which a nonlinear remnant spectral phase is imprinted in the output pulses. This knowledge allows to develop a novel approach to the in-line compression: by adding pulse shaping to the usual strategies, the remnant spectral phase is minimized, leading to single-cycle (1.04 cycles, 2.2 fs) pulses, the best result so far for an in-line post-compression set-up.

The in-line pulse post-compression in hollow core fibre (HCF) technique plays a core role in the generation of intense few-cycle pulses [1]. Nowadays, the main issue to obtain intense single-cycle pulses arises from the presence of a remnant spectral phase with high order components, demanding further phase compensation.

In order to address this problem, in a first stage we developed a systematic study, both experimentally and theoretically, of the nonlinear propagation process, in order to better understand this phenomenon [2]. A universal behaviour (e.g., for different gas and experimental conditions) has been observed, identifying the optimal pulse compression conditions. In addition, the remnant spectral phase has been explained as a sub-product of the nonlinear process.

Once the complex dynamics within the pulse compression set-up is understood, input pulse shaping is applied, in order to alter the nonlinear process, minimizing the unwanted spectral phase generation [3]. The approach is successful down to the 2.8 fs compression from 25 fs input pulses, without further spectral phase compensation. When combining the input pulse shaping with other strategies (special broadband chirped mirrors and third order phase compensation by material addition), intense single-cycle pulses (1.04 optical cycles, 2.2 fs) are obtained and measured (see Fig. 1), by means of the d-scan technique.



Figure 1.- Experimental reconstruction of 2.2 fs post-compressed pulses (1.04 optical cycles): (left) spectrum –blue line- and spectral phase –red line-, (right) temporal intensity–blue line- and phase –red line-. From Ref. [3]

- M. Nisoli, S. DeSilvestri, O. Svelto, Generation of high energy 10 fs pulses by a new pulse compression technique, Appl. Phys. Lett. 68 (1996) 2793–2795.
- [2] E. Conejero Jarque, J. San Roman, F. Silva, R. Romero, W. Holgado, M.A. Gonzalez-Galicia, B. Alonso, I.J. Sola, H. Crespo, Universal route to optimal few- to single-cycle pulse generation in hollow-core fiber compressors, Sci. Rep. 8 (2018).
- [3] F. Silva, B. Alonso, W. Holgado, R. Romero, J. San Román, E.C. Jarque, H. Koop, V. Pervak, H. Crespo, Í.J. Sola, Strategies for achieving intense single-cycle pulses with in-line post-compression setups, Opt. Lett. 43 (2018) 337.

Nambu-Goldstone bosons in nonlinear optical propagation

Ángel Paredes¹, Miguel Ángel García-March², Humberto Michinel¹, Albert Ferrando³

¹Departamento de Física Aplicada, Escola de Enxeñaría Aeronáutica e do Espazo, Campus de As Lagoas 32004, Ourense. ²ICFO Institut de Ciències Fotòniques, The Barcelona Institute of Science and Technology, 08860 Castelldefels (Barcelona). ³Departament d'Òptica i Optometria i Ciències de la Visió, Interdisciplinary Modeling Group, InterTech,

Universitat de València, Burjassot (València).

Abstract: We present a theoretical study of the spatial dynamics of nonlinear light in periodic square lattices. The phase pattern of the ground state depends on the focusing or defocusing character of the nonlinearity. We combine and compare direct numerical simulation and approximate methods borrowed from condensed matter physics. It is shown that the lowest-lying perturbations can be identified with the Nambu-Goldstone bosons stemming from the spontaneous breaking of a U(1) global symmetry.

The nonlinear propagation of light in periodic lattices has attracted a lot of interest in recent times [1]. The possibility of tuning the linear and nonlinear refractive indices leads to an amazing degree of control of laser beams and gives rise to the possibility of tailoring the optical media for particular purposes. In this communication, we consider nonlinear lattices with square symmetry that can be generated by illuminating a photorefractive material with a standard interference pattern [2]. They are theoretically modelled by a nonlinear Schrödinger equation (NLSE) with periodic linear potential and a Kerr nonlinear term.

The novelty of our work is that we use typical condensed matter methods to gain insight and make general statements on the behavior of the beam. In particular, we build an effective free energy functional by integrating out the details of the lattice structure. From it, we find out the phase structure of the ground state, which is qualitatively different for focusing and defocusing nonlinearities. Since it includes a paradigmatic Mexican hat potential, we argue that it is an example of spontaneous symmetry breaking. The lowest-lying excitations can be approximately regarded as phase fluctuations and we prove that they behave as typical Nambu-Goldstone bosons. We compare these conclusions with direct numerical integrations of the NLSE, finding good agreement.



Figure 1.- Panel (a) represents the propagation invariant intensity distribution of the ground state of monochromatic light in a periodic square lattice. Panel (b) is its phase distribution, which for focusing Kerr term adopts a chess board pattern. Panel (c) is a pictorial representation of the propagation of a phase perturbation (in red) of the ground state beam (in yellow). This excitation is identified with a Nambu-Goldstone boson. Figures are taken for reference [3].

From a general point of view, we would like to emphasize that adapting methods from condensed matter physics can be profitable for understanding light propagation in particular circumstances. A photonic condensed matter formalism provides an exciting theoretical framework to explore analogies between these two disciplines and possibly particle physics. The results presented in this communication are published in reference [3].

- Yaroslav V. Kartashov, Boris A. Malomed, and Lluis Torner, "Solitons in nonlinear lattices", Rev. Mod. Phys. 83, 247 (2011).
 Nikos K. Efremidis, Suzanne Sears, Demetrios N. Christodoulides, Jason W. Fleischer, and Mordechai Segev, "Discrete soli-
- tons in photorefractive optically induced photonic lattices", Phys. Rev. E **66**, 046602 (2002). [3] Miguel-Ángel García-March, Angel Paredes, Mario Zacarés, Humberto Michinel, and Albert Ferrando, "Photonic Nam-
- [3] Miguel-Angel García-March, Angel Paredes, Mario Zacarés, Humberto Michinel, and Albert Ferrando, "Photonic Nambu-Goldstone bosons", Phys. Rev. A 96, 053848 (2017).

Generación de peines de frecuencia con fluctuaciones cuánticas reducidas en cavidades optomecánics

Rafael Garcés, Germán J. de Valcárcel

Departament d'Òptica, Optometria i Ciències de la Visió, Facultat de Física, Universitat de València, Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot (Valencia), Spain.

Resumen: Analizamos teóricamente la generación de pulsos de luz comprimidos, con la misma forma de pulso a los utilizados en la inyección, a través de la interacción del campo con un grado de libertad mecánico en una cavidad optomecánica. El mecanismo de generación subyace en la no linealidad del problema, y en la aparición de bifurcaciones en el sistema.

Consideramos una cavidad optomecánica, dónde la luz interacciona con un grado de libertad de movimiento a través de la presión de radiación [1,2]. Dependiendo del campo de luz que inyectemos en la cavidad el sistema completo presentará dinámicas diferentes. Aquí consideramos la inyección de un peine de frecuencias en dos configuraciones diferentes. En ambos casos consideramos que todas las componentes frecuenciales del peine interaccionan con el mismo modo de vibración mecánico y que la separación en frecuencias entre las distintas componentes es mucho mayor que la frecuencia del oscilador mecánico, de forma que el Hamiltoniano de interacción viene dado por

$$H_{OM} = -\hbar \sum_{k} g_0 a_k^{\dagger} a_k x$$

donde a_k es el operador de aniquilación de la luz intracavidad, x el operador de posición del elemento mecánico y g_0 la constante de acoplamiento.

Bajo la inyección de un peine de frecuencia el sistema presenta la típica biestabilidad óptica, de la misma forma que ocurre en un sistema optomecánico sometido a una inyección monocromática con luz láser [2]. Aquí demostramos que, al igual que en el caso monocromático, se produce una fuerte reducción de las fluctuaciones cuánticas de la luz cuando el sistema se opera cerca de los puntos de retorno del ciclo de histéresis [2]. La reducción de las fluctuaciones tiene lugar para el siguiente supermodo (combinación lineal de componentes de frecuencia)

$$S = \frac{g_0}{\sqrt{I_{inyección}}} \sum_k E_k^* \delta a_k$$

donde E_k^* son las amplitudes de las diferentes componentes de la inyección y δa_k los operadores correspondientes a las fluctuaciones cuánticas de cada componente. Hay que destacar que el supermodo que presenta la reducción de fluctuaciones tiene las mismas componentes que el peine de frecuencias utilizado en la inyección, los otros supermodos se encuentran en el estado vació. En este caso hay un campo medio presente.

Modificando las componentes del peine de frecuencias utilizado en la inyección demostramos que se puede generar compresión del estado vacío para este supermodo. Para ello cada componente del peine de frecuencia se tiene que dividir en dos componentes como se observa en la Fig. 1.



Figura 1.- Componentes de frecuencia del peine de inyección.

Bajo estas condiciones la biestabilidad desaparece, dando lugar a una bifurcación de tipo horca a través del siguiente proceso de mezcla de cuatro ondas $(\omega_k + \Omega) + (\omega_k - \Omega) \rightarrow \omega_k + \omega_k$ [1]. Por debajo del límite dónde se generan las componentes no inyectadas, se produce compresión del ruido para el supermodo vacío con las componentes originales (antes de dividir).

Referencias

 Garcés, R. de Valcárcel, J. G., Strong vacuum squeezing from bichromatically driven Kerrlike cavities: from optomechanics to superconducting circuits, Sci. Rep. 6, 21964 (2016).

[2] Fabre, C. et al. Quantum-noise reduction using a cavity with a movable mirror Phys. Rev. A 49, 1337-1343 (1994).

Modelización de osciladores fotorrefractivos

G. J. de Valcárcel, F. Silva, E. Roldán

Departament d'Òptica i Optometria i Ciències de la Visió, Universitat de València, Dr. Moliner 50, 4100-Burjassot, Spain

Resumen: Presentamos un modelo matemático simplificado para describir la dinámica no lineal de un oscilador fotorrefractivo con bombeo bidireccional, tanto para una cavidad en anillo como para una cavidad lineal. Hasta donde sabemos, tales modelos previos no existen para el caso de mezcla de cuatro ondas.

Aunque la modelización de los osciladores fotorrefractivos (cavidades ópticas no lineales que contienen un medio fotorrefractivo) está establecida desde hace años [1], lo cierto es que estos modelos son en general muy complejos. En el caso más sencillo de mezcla de dos ondas (esto es, un oscilador con cavidad en anillo bombeado unidireccionalmente) es fácil obtener, a partir de la teoría general, un modelo simplificado en el límite de campo uniforme [2,3], pero este no es el caso para el caso más complejo de bombeo bidireccional. En este último caso se produce una mezcla de cuatro ondas (degenerada o no dependiendo de si a cavidad es lineal o en anillo) y hasta donde sabemos, nadie ha deducido un modelo simplificado equivalente al de mezcla de dos ondas. Este es el hueco que nuestro trabajo pretende cubrir.

Cuando el bombeo es bidireccional, el modelo debe incluir ecuaciones de propagación a través del medio fotorrefractivo para los cuatro campos involucrados (los dos campos de bombeo y los dos campos señal), así como una ecuación para la evolución temporal de la red de índice de refracción que se forma en el medio no lineal. Se trata pues de un modelo con cuatro ecuaciones, complejas, para los campos y otra ecuación, compleja también, para la red de índice en el medio fotorrefractivo, ecuaciones que han de completarse con las condiciones de contorno adecuadas. Nuestra aproximación a la simplificación del problema consiste en evaluar la evolución de los campos señal al cabo de un *cavity roundtrip* asumiendo que la ganancia es suficientemente pequeña. De esta forma nos ha sido posible obtener una ecuación simplificada para la amplitud compleja de la red formada en el medio no lineal, que en el caso de la cavidad lineal se escribe como

$$\frac{d}{d\tau}g = -g + \mu \frac{F_1 \cos \theta + F_4^* \sin \theta}{1 + |F_1|^2 + |F_4|^2}$$

siendo F_1 y F_4 las amplitudes complejas normalizadas de variación lenta de los campos señal intracavidad, que vienen dadas por

$$F_{1} = \frac{\left(1 + R_{+}R_{-}e^{i\phi}\right)g\cos\theta - 2R_{-}g^{*}\sin\theta}{\left(-1 + R_{+}R_{-}e^{i\phi}\right)}, \qquad F_{4} = \frac{-\left(1 + R_{+}R_{-}e^{i\phi}\right)g^{*}\sin\theta + 2R_{+}g\cos\theta}{\left(-1 + R_{+}R_{-}e^{i\phi}\right)},$$

En las ecuaciones anteriores $\tau = \Gamma t$ es un tiempo adimensional, con t el tiempo y Γ la constante de decaimiento de la red, ϕ es la desintonía entre la frecuencia del bombeo y la del modo más próximo de la cavidad, R_+ y R_- son las reflectividades de los espejos, tan² $\theta \equiv I_2/I_3$ con I_2 e I_3 las intensidades de los bombeos de los campos 1 y 4 respectivamente (es, por tanto, el parámetro de bombeo) y, finalmente, μ es la constante de acoplamiento no lineal, que es el parámetro de ganancia.

Hasta el momento hemos deducido los modelos y estudiado algunas de sus propiedades, si bien no hemos concluido el estudio sistemático de los mismos. Una de las conclusiones que hemos podido extraer es que para que las anteriores ecuaciones tengan soluciones *phase-locked* (correspondiente a una mezcla degenerada de cuatro ondas) es necesario que las reflectividades de los dos espejos del resonador sean diferentes, conclusión que también puede extraerse del modelo completo original.

En nuestra presentación daremos detalles sobre la estabilidad lineal de las soluciones estacionarias del modelo, así como su rango de validez comparando con las predicciones del modelo completo. Recalquemos que los modelos que desarrollamos son necesarios para conseguir una descripción unificada de la formación de estructuras disipativas en osciladores fotorrefractivos [4].

- [1] P. Yeh, Introduction to photorefractive nonlinear optics. (Wiley-Interscience, 1993).
- [2] K. Staliunas, M.F.H. Tarroja, G. Slekys, C.O. Weiss, L. Dambly, Phys. Rev. A 51, 4140 (1995).
- [3] U. Bortolozzo, P. Villoresi, P. L. Ramazza, Phys. Rev. Lett. 87, 274102 (2001).
- [4] R. Martínez-Lorente, G.J. de Valcárcel, A. Esteban-Martín, J. García, E. Roldán, F. Silva, Opt. Pur. Apl. 49, 125 (2016).



Simposio Nanofotónica

http://rno2018.uji.es

Metal-halide perovskites for integrated wearable photonics

Juan P. Martínez-Pastor¹, Isaac Suárez¹, Iván Mora-Seró²

¹UMDO, Instituto de Ciencia de los Materiales, Universidad de Valencia, P.O. Box 22085, 46071 Valencia, Spain

²Institute of Advanced Materials (INAM), Universitat Jaume I, 12006 Castelló, Spain

Abstract: Metal halide perovskites have emerged as a very high promising materials for optoelectronics and photonics, mostly due to their large absorption coefficient and excellent quantum yield of emission at room temperature. These materials have been successfully integrated in optical waveguides where stimulated emission is observed with very low thresholds both on rigid and flexible substrates [1-3]. Moreover, perovskite-based photodetectors can be also integrated in the same platform paving the road towards wearable integrated photonics [3].



Figura 1.- (a) Integrated optical amplifier and photodetector with CH₃NH₃PbI₃ perovskite semiconductor deposited on a Nanocellulose (NC) substrate; (b) Measured amplified spontaneous emission in the polymer/perovskite waveguide.

- I. Suárez, E. J. Juárez-Pérez, I. Mora-Seró, J. Bisquert and J. P. Martínez-Pastor, "Polymer/perovskite amplifying waveguides for active hybrid silicon photonics", Advanced Materials 27, 6157 (2015).
- [2] T. T. Ngo, I. Suarez, G. Antonicelli, D. Cortizo-Lacalle, J. P. Martinez-Pastor, A. Mateo-Alonso and I. Mora-Sero, "Enhancement of the Performance of Perovskite Solar Cells, LEDs and Light Amplifiers by Anti-Solvent Additive Deposition", Advanced Materials 29, 1604056 (7 pp) (2017).
- [3] I. Suarez, E. Hassanabadi, A. Maulu, N. Carlino, C. A. Maestri, M. Latifi, P. Bettotti, I. Mora-Sero and J. P. Martinez-Pastor, "Integrated Optical Amplifier-Photodetector on a Wearable Nanocellulose Substrate", Advanced Optical Materials, 1800201 (8 pp) (2018).

Photonic Nanostructures and Metamaterials

F. Meseguer

Instituto de Tecnología Química (CSIC–UPV), Universitat Politecnica de Valencia Av. dels Tarongers sn, 46022 Valencia, Spain

Optical properties of bulk matter are based on two principles

- A) Optical transitions are governed by the optical selection rules. As the magnetic component of light is very small, light-matter interaction is dictated by the well-know selection rules of dipolar electric transitions.
- B) The light absorbed is proportional to both, the surface area, and also the absorption coefficient of the sample. This property is of especial interest and it leads to ceiling values for the efficiency in photovoltaic cells [1].

Photonic nanostructures and Metamaterials, can change completely this traditional understanding since,

- 1. The absorption cross section of semiconductor nanostructures are much larger than the projected surface area of the device this allowing solar cell efficiency values above the classical limit [2].
- 2. Photonic nanocavity based solar cells allow enhancing the absorption efficiency up to wavelength values well below the absorption edge of the semiconductor material [3].
- **3**. The magnetic response of metamaterials is as important as the electric response, this allowing completely new optical properties as negative refraction, antireflective coatings etc. [4, 5, 6].

We will report on,

- I) Metamamterials based on silicon nanocavities [6].
- II) Silicon spherical microcavity photodiode with spectral response in the infrared [3].
- **III)** Magnetic light induced optical transitions. Application to the generation of singlet oxygen, a paradigmatic example in Photochemistry and Biomedicine [7,8].

- [1] W. Schockley, and H. J. Queisser, J. Appl. Phys. 32, 510, (1961) [7].
- [2] P. Krogstrup, *et al. Nature Photon.* 7, 306–310, (2013).
- [3] M. Garín, et al., Nature Communications 5, 3440, (2014).
- [4] V.G. Vesalago, Usp. Fiz. Nauk. 92, 517, (1967) (Sov. Phys. Usp. 10, 509, (1968))
- [5] C. M.Soukoulis, and M. Wegener *Nat. Photon.* 5, 523, (2011).
- [6] Shi, L. et al. Nature Comm. 4, 1904, (2013).
- [7] A. Manjavacas, et al. J. Mater. Chem. C 5, 11824-11831, (2017)
- [8] I. Rodriguez et al., in preparation.

Solution-processed polymer waveguide lasers for sensing applications

María A. Díaz-García^{1,2}, Marta Morales-Vidal^{1,2}, José M. Villalvilla^{1,2}, Eva M. Calzado^{2,3}, Pedro G. Boj^{2,4}, José A. Quintana^{2,4}

¹Dpto. Física Aplicada, Universidad de Alicante, Alicante-03080, España ²Instituto Universitario de Materiales de Alicante, Universidad de Alicante, Alicante-03080, España ³Dpto. Física, Ingeniería de sistemas y teoría de la señal, Universidad de Alicante, Alicante 03080, Spain ⁴Dpto. Óptica, Universidad de Alicante, Alicante-03080, España

Abstract: This presentation provides an overview of our recent results towards improving the performance of solution-processed distributed feedback lasers. They include advances on the laser material and the resonator and their application as optical sensors.

In the last years optically-pumped solution processed organic waveguide lasers have received great attention due to their advantages of chemical versatility, wavelength tunability, mechanical flexibility and low cost [1]. Particularly attractive for applications in the fields of optical communications, biosensing and chemical sensing are distributed feedback (DFB) lasers, consisting of nanostructured active organic waveguides. Here we discuss recent results towards improving both, the active laser material [2,3] and the laser resonator [4-6] and their application as optical sensors of various kinds [7-9]. This includes first, results on a novel class of organic compounds, denoted as carbon-bridged oligophenylenevinylenes, COPVs (chemical structures in Figure 1), to be used as active laser material, either dispersed in thermoplastic polymer films, or either prepared as neat films, depending on their oligomeric or polymeric nature; Secondly, progress on the development of different device geometries based on second-order DFB resonators fabricated by holographic lithography or nanoimprint lithography. The capability of these lasers to be used as label-free refractive index sensors, sensors for the specific detection of biomolecules of clinical interest, etc.. will also be discussed.



Figure 1. Chemical structures of organic compounds used to prepare the active laser films: a) a family of carbon-bridged oligo(p-phenylenevinylene)s, COPVn, with n = 1 to 6; b) a COPV1-based polymer, Poly-COPV1.

References

- A. Kuehneand, and M.C. Gather, "Organic lasers: recent developments on materials, device geometries, and fabrication techniques", Chem. Rev. 116, 12823 (2016).
- [2] M. Morales-Vidal, P. G. Boj, J. M. Villalvilla, J. A. Quintana, Q. Yan, Nai-Ti Lin, X. Zhu, N. Ruangsupapichat, J. Casado, H. Tsuji, E. Nakamura, and M. A. Díaz-García, "Carbon-bridged oligo(p-phenylenevinylene)s for photostable and broadly tunable, solution-processable thin film organic lasers", Nat. Commun. 6, 8458 (2015).
- [3] M. Morales-Vidal, J. A. Quintana, J. M. Villalvilla, P. G. Boj, H. Nishioka, H. Tsuji, E. Nakamura, G. L. Whitworth, G. A. Turnbull, I. D. W. Samuel and M. A. Díaz-García, "Carbon-bridged (p-phenylenevinylene) polymer for high-performance solution-processed distributed feedback lasers," Adv. Optical Mater. 1800069 (2018).
- [4] M. G. Ramírez, J. M. Villalvilla, J. A. Quintana, P. G. Boj, and M. A. Díaz-García, "Distributed feedback lasers based on dichromated poly(vinyl alcohol) reusable surface-relief gratings," Opt. Mater. Express 4, 733 (2014).
- [5] E. M. Calzado, A. Retolaza, S. Merino, M. Morales-Vidal, P.G. Boj, J.A. Quintana, J. M. Villalvilla, and M. A. Díaz-García, "Two-dimensional distributed feedback lasers with thermally-nanoimprinted perylenediimide-containing films," Opt. Mater. Express, 7, 1295 (2017)
- [6] J. A. Quintana, J. M. Villalvilla, M. Morales-Vidal, P. G. Boj, X. Zhu, N. Ruangsupapichat, H. Tsuji, E. Nakamura and M. A. Díaz-García, "An Efficient and Color-tunable Solution-processed Organic Thin Film Laser with a Polymeric Top-layer Resonator," Adv. Optical Mater. 1700238 (2017).
- [7] M. Morales-Vidal, P. G. Boj, J. A. Quintana, J. M. Villalvilla, A. Retolaza, S. Merino and M. A. Díaz-García, "Distributed feedback lasers based on perylenediimide dyes for label-free refractive index sensing," Sens. Actuators B 220,1368 (2015).
- [8] A. Retolaza, J. Martínez-Perdiguero, S. Merino, M. Morales-Vidal, P.G. Boj, J.A.Quintana, J.M. Villalvilla and M.A. Díaz-García, "Organic distributed feedback laser for label-free biosensing of ErbB2 protein biomarker," Sens. Actuators B 223, 261 (2016).
- [9] P. G. Boj, M. Morales-Vidal, J. M. Villalvilla, J. A. Quintana, A. Marcilla and M. A. Díaz-García, "Organic Distributed Feedback Laser to monitor Solvent Extraction upon Thermal Annealing in Solution-processed Polymer Films," Sens. Actuators B 232, 605 (2016).

Nanofotónica

Anomalous Reflectors Based on Diffraction Grating Engineering

Daniel Torrent

GROC, UJI, Institut de Noves Tecnologies de la Imatge (INIT), Universitat Jaume I, 12071, Castelló, (Spain)

We present an efficient method for the design of anomalous reflectors for acoustic waves. The approach is based on the fact that the anomalous reflector is actually a diffraction grating in which the amplitude of all the modes is negligible except the one traveling towards the desired direction. Numerical simulations are performed to support the predictions of the analytical expressions, and an excellent agreement is found. Finally, a "carpet cloak" is proposed as a possible application of these devices.

Anomalous reflectors and refractors can be defined as structured flat surfaces in which the relationship between the angles of the incident, reflected and refracted waves does not satisfy Snell's law[1]. Also named "gradient metasurfaces"[2], the efficient design of these devices requires of a continuous variation of the impedance of the unit cell which can be achieved only approximately with a large enough number of discrete resonators, with obvious practical limitations.

Recently, it has been shown that some functionalities of gradient metasurfaces for electromagnetic waves can be achieved by means of properly designed diffraction gratings based on bianostropic particles or bipartite particles. From this perspective, the anomalous reflection or refraction effect consists essentially in cancelling all the diffracted modes except the one traveling towards the desired "anomalous" direction. The cancellation of all the diffracted modes except one results in the mirage that the wave has not been "diffracted" but "anomalously refracted".

In this work we present a simplified and more general picture for the design of acoustic anomalous reflectors. The approach is based on the efficient engineering of the different diffracted modes by a periodically structured acoustic surface. The structure consists in a perforated acoustically rigid surface, and it is found that the number of holes can be set equal to the number of diffracted modes to be canceled, with the interesting result that only one or two holes are required for the most typical applications of anomalous reflectors, while only five are required for one of the most challenging applications. An off-axis anomalous reflector is designed, where the incident and reflected waves lay in different planes, and a carpet cloak based on these structures is deeply analyzed.



Figure 1.- Application of a diffraction grating as a "carpet cloak" for acoustic waves.

Referencias

 M. Born and E. Wolf, Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and di_raction of light (Elsevier, 2013).

[2] N. Yu, P. Genevet, M. A. Kats, F. Aieta, J.-P. Tetienne, F. Capasso, and Z. Gaburro, Science 334, 333 (2011).

Nanofotónica

Integrated testing engine towards a complete characterization of complex photonic integrated devices

Luis A. Bru, Daniel Pastor and Pascual Muñoz

Universitat Politècnica de València, c/ Camino de Vera s/n - 46021 Valencia - Spain

Resumen: In this work we report on our progress on an integrated interferometric testing device proposal to characterize photonic integrated components. Compactness and dispersion-free spatial domain optical response capabilities make the proposed device a promising candidate to a standard full-field testing engine for photonic integrated devices.

Conventionally, methods to characterize photonic integrated devices provide spectral amplitude response of the device under test (DUT). Critical non-negligible design-to-fabrication deviations and increasing complexity in photonic integrated circuits (PICs) demand a more complete optical response of the involved devices to properly characterize the PIC performance (i.e. including optical phase information). Among existing advanced techniques, optical frequency domain reflectometry (OFDR) – a well-known swept-wavelength homodyne interferometric technique comprising two Mach-Zehnder interferometers (MZI), one testing the DUT thus producing the target interferogram, and the triggering one providing suitable linear sampling in frequencies – offers a good balance between setup simplicity and crucial parameters as the spatial resolution [1].

In our work, we explore the using of OFDR-based structures to build a monolithically integrated test engine, where a 4 THz arrayed waveguide grating (AWG) with about 40 µm length incremented 59 waveguides in the array has been chosen as the DUT for our first two proposals. In the first one, we succeed on integrating the interferometric part of the OFDR, where it is confirmed an inherent dispersion de-embedding mechanism due to the employment of the same waveguides for the whole system and the DUT [2]. This characteristic remains in a second version, where an interesting improvement from a practical viewpoint is carried out by condensing the information employing a single 3-way interferometer (Fig. 1(a) top), allowing for single input and output detection, a relevant feature on integrated photonics. An additional processing step is required to recover the standard interferograms. The fabricated device (Fig. 1(a) bottom) has been experimentally validated, enabling the dispersion-free spatial domain response of the AWG, which amplitude is pictured in Fig. 2(b).



Figura 1.- (a) Top: sketch of the 3-way interferometric setup for the 2nd version of the testing device. Bottom: microscopy picture of the fabricated device. (b) Spatial domain response of the AWG.

A novel upgraded design is currently underway to resolve both reflection and transmission response of the DUT. Polarization still remains as the last paradigm to be overcome, where proposed external interferometric setups [3] may shed some light on the direction to follow.

- B. J. Soller, D. K. Gifford, M. S. Wolfe and M. E. Froggatt, "High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies," Opt. Express 13, 666 (2005).
- [2] L. A. Bru, D. Pastor and P. Muñoz, "Integrated optical frequency domain reflectometry device for characterization of complex integrated devices," submitted to Opt. Express (2018).
- [3] D. K. Gifford, B. J. Soller, M. S. Wolfe, and M. E. Froggatt, "Optical vector network analyzer for single scan measurements of loss, group delay, and polarization mode dispersion," Appl. Opt. 44, 7282 (2005).

Spatiotemporal study of pulse propagation and polarization dependence analysis in channeled crystal waveguides

Marta Morales-Vidal, Benjamín Alonso, Alejandro de la Calle, Gabriel R. Castillo, Íñigo J. Sola and Javier R. Vázquez de Aldana

Grupo de Aplicaciones del Láser y Fotónica, Applied Physics Department, University of Salamanca. Pl. La Merced s/n, Salamanca E-37008, Spain.

Abstract: We show, for the first time, an experimental and theoretical study on the propagation (time-domain and spectral-domain) of ultrashort laser pulses through different inscribed waveguides in Yttrium Aluminium Garnet (YAG) crystals. We also include an optical characterization related with the dependence between the modal output profiles and the polarization axis of the laser light focused on waveguide input faces.

Photonics and Nanotechnology are key technologies in the field of Integrated Photonic Devices and (Bio)-sensing. Miniaturized optical systems are very attractive in many different areas: optoelectronics, microfluidics, sensing or spectroscopy. The high power and short temporal scale of ultrashort laser pulses allow to fabricate high quality waveguides in dielectric crystals [1, 2]. In these devices light is confined to the waveguide core with a higher refractive index than its surroundings. The temporal features and spatial quality of ultrashort pulses are essential for the sake of Integrated Photonic Device optimization. However, as far as we know, there is only one work in which the dispersion introduced by inscribed waveguides is characterized [3] and none about dispersion introduced by depressed cladding waveguides, where the core is surrounded by low-index damage tracks.

We have inscribed cladding waveguides by direct femtosecond laser irradiation (795 nm, 1 kHz, 120 fs) in Yttrium Aluminium Garnet (YAG) crystals (Fig. 1). The technique to inscribe the waveguides consists in: 1) the laser beam is focused inside the sample, 2) the sample is moved following the desired geometry, 3) the high peak intensity reached at the focus creates a plasma of free electrons that produces local modifications of the material properties producing a refractive index decrement at the tracks. Ultrashort laser pulses (795 nm, 75 MHz, 120 fs) were coupled into waveguides and their temporal and spectral features were obtained by using optical fiber coupler-assisted spectral interferometry, namely STARFISH [4], (Fig. 1g). To gain further understanding, the output modal profiles and the Group-Delay Dispersion (GDD) introduced by the waveguide have been modeled using an ab-initio finite-differences grid technique. We have also studied the dependence on the modal output profiles with respect to the polarization axis emitted by both near-IR continuous diode laser and ultrashort laser pulses focused on their input faces. In summary, we have performed a complete optical characterization of laser propagation through different inscribed YAG waveguides. It implies a relevant scientific contribution to Integrated Photonic Device field.



Figure 1.- a-c) Waveguide modal output profiles superimposed on the transversal section of the waveguide (CCD image). d-f) Microscope images of femtosecond laser inscribed waveguides. g) Experimental setup for both optical and temporal characterization of the waveguides.

References

- F. Chen, and J. R. Vázquez de Aldana, "Optical waveguides in crystalline dielectric materials produced by femtosecond-laser micromachining", Laser Photonics Rev., 8, 251 (2014).
- [2] Y. Ren, L. Zhang, J. Lv, Y. Zhao, C. Romero, J. R. Vázquez de Aldana, and F. Chen, "Optical-lattice-like waveguide structures in Ti:Sapphire by femtosecond laser inscription for beam splitting", Opt. Mat. Express, 7, 1942 (2017).
- [3] G. Demetriou, J-P. Bérube, R. Vallée, Y. Messaddeq, C. R. Petersen, D. Jain, O. Bang, C. Craig, D. W. Hewak, and A. K. Kar "Refractive index and dispersion control of ultrafast laser inscribed waveguides in gallium lanthanum sulphide for near and mid-infrared applications", Opt. Express 24, 6350 (2016).
- [4] B. Alonso, Í. J. Sola, Ó. Varela, J. Hernández-Toro, C. Méndez, J. San Román, A. Zaïr, and L. Roso, "Spatiotemporal amplitude-and-phase reconstruction by Fourier-transform of interference spectra of high-complex-beams", J. Opt. Soc. Am. B, 27, 933 (2010).

Nanofotónica

Magnetic Light in HRI metafilms through an electric and magnetic dipole formulation

D. R. Abujetas, J. J. Sáenz, and J. A. Sánchez-Gil

11nstituto de Estructura de la Materia (IEM-CSIC), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Serrano 121, 28006 Madrid, Spain 2Donostia International Physics Center (DIPC), Paseo Manuel Lardizabal 4, 20018 Donostia-San Sebastian, Spain

Resumen: Based on high-dielectric metaparticles, we have developed a theoretical framework to describe the electromagnetic properties of metafilms composed by particles that exhibit both electric and magnetic polarizabilities, showing that exotic phenomenologies related to magnetic medium arise.

In general, most materials found in nature exhibit no magnetic permeability and up to our days classical electrodynamics has been developed mainly in terms of the dielectric permittivity, while its dual magnetic counterpart have awakened recently the interest of the scientific community. However, it has shown that high-refractive index (HRI) dielectric particles posses magnetic resonances that confer it a non-negligible magnetic polarizability. Moreover, such HRI particles, if arranged in different configurations, can lead to a medium possessing effective magnetic permeability $\mu \neq 1$ which can be crucial, i.e., in achieving optical negative-index metamaterials [1,2], and even led to magnetic localizad plasmon resonances [3]. In this work, the magnetic response of HRI dielectric particles is included to study the electromagnetic properties of regular lattices made of these particles.

The collective response of a metafilm can be expressed as a sum over all the component field of the lattice that presents slow convergence in real space, which can nonetheless be improved transforming it into the reciprocal space. Solving the equations including the magnetic response, it is shown that the metafilms presents total transmission bands for both polarizations, generalizing the concept of Brewster effect that arises even for s-polarized light. These transmission bands are explained as a destructive interference between the electric and magnetic modes and their condition are established. In addition, in the absence of incident light the solution to confined surfaces waves can be solved, finding the conditions for resonances in the lattice and for bound states: bound states in the continuum (BSCs) above the light line and guide nodes below it.

- R. Paniagua-Domínguez, D.R. Abujetas and J.A. Sáncehz-Gil, "Ultra low-loss, insotropic optical negativeindex metamaterials based on hybrid metal-semiconductor nanowires", *Scientific Reports*, 3, 1507, (2013).
- [2] D.R. Abujetas, R. Paniagua-Domínguez, M. Nieto-Vesperinas and J.A. Sánchez-Gil, "Photonic band structure and effective medium properies of doubly-resonant core-shell metallo-dielectric nanowire arrays: low-loss, isotropic optical negative-index behaviour", *Journal of Optics*, 17, 12, 125104 (2015).
- [3] R. Paniagua-Domínguez, L.S. Froufe-Pérez, J.J. Sáenz and J.A. Sánchez-Gil, "Localized magnetic plasmons in all-dielectric \ mu<0 metasurfaces", *Physic Review B*, 91, 23, 235120 (2015).

Engineered Photonic Architectures Fabricated by Soft Nanoimprinting Lithography

Juan Luis Garcia-Pomar¹, Pau Molet¹, Cristiano Matricardi¹ and Agustín Mihi¹

¹Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC), Campus de la UAB, 08193 Bellaterra, Spain

Abstract: Here we describe the exciting optical properties exhibited by nanostructures fabricated by means of soft lithography. Two examples: (i) metasurfaces based on a nanostructured thin layer of the semiconductor germanium that can greatly boost the amount of light absorbed from the visible to near-infrared wavelengths and (ii) assemblies of gold nanoparticles into large area supercrystals acting as SERS substrates.

Nanoscale fabrication methods with high resolution and yielding large area patterns have been a prominent research area in the recent years due to its crucial role in the implementation of nanosized devices in various applications. Soft nanoimprinting lithography[1] is an easy and scalable fabrication technique that allows seamless integration of photonic nanostructures in many optoelectronic fabrication procedures. Here we demonstrate two photonic architectures exhibiting exciting photonic properties with applications in light harvesting and sensing that have been fabricated using soft nanoimprinting.

The first architecture studied is a, large area assembly of gold nanoparticles acting as SERS (Surface Enhanced Raman Scattering) substrates (Figure 1a). Our supercrystals are specifically tailored to exhibit optical resonances at a desired excitation wavelength. These results open up the way to further exploit supercrystal assemblies for sensing and many other photonic applications.

The second architecture is an ultrathin semiconductor superabsorber from the visible to the near infrared range (Figure 1b). This enhanced optical absorption stems from the strong interplay between Brewster modes, sustained by judiciously nanostructured thin semiconductors on metal films, and photonic crystal modes. We demonstrate broadband near-unity absorption in Ge ultrathin films that extend from the visible to the Ge bandgap in the near infrared and robust against angle of incidence variation [2].



Figure 1. (a) Photograph of a film with the nanoparticles assembly and top view SEM micrographs illustrating the square lattice of gold nanoparticles clusters with different magnifications. (b) Top: SEM Tilted cross-section image of the photonic architecture and the electric field concentration for its maximum absorption peaks. Bottom: total absorption of the nanostructured 70 nm dielectric superabsorber (black) and absorption in the germanium (red) vs the absorption of a flat film of germanium over gold with the same thickness (70 nm) (orange). Inset: cross section scheme of the photonic structure.

References

- Y. Xia, J. A. Rogers, K. E. Paul, G. M. Whitesides, "Unconventional Methods for Fabricating and Patterning Nanostructures". Chem. Rev, 99, 1823 (1999).
- [2] P. Molet, J. L. Garcia-Pomar, C. Matricardi, M. Garriga, M. I. Alonso, A. Mihi, "Ultrathin Semiconductor Superabsorbers from the Visible to the Near-Infrared". Adv. Mater. 30, 1705876 (2018)

Nanofotónica

Intense, ultrafast, magnetic nanoprobes driven by azimuthally polarized laser beams

Manuel Blanco¹, Ferran Cambronero^{1,2}, Enrique Conejero Jarque³, María Teresa Flores-Arias¹, Luis Plaja³ and <u>Carlos Hernández-García³</u>

¹Grupo de investigación Photonics4Life, Área de Óptica, Departamento de Física Aplicada, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain ²Laboratorio de aceleración laser y otras aplicaciones (L2A2), RIAIDT, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spain ³Grupo de Investigación en Aplicaciones del Láser y Fotónica, Departamento de Física Aplicada, University of Salamanca, E-37008, Salamanca, Spain

Abstract: The development of ultrafast lasers has revolutionized our capability to control the nanoworld. We report the possibility to generate, for the first time, an intense, ultrafast magnetic field with an amplitude up to few Tesla, being isolated from the electric field. To do so, we enhance the longitudinal magnetic field carried by an azimuthally polarized infrared femtosecond laser beam, paving the way to laser-tailoring of magnetic nanodomains.

The development of new techniques that allow to accurately control the properties of materials, both spatially and temporally, is one of the most exciting challenges in current nanotechnology, in order to advance to the next generation of electronic devices, magnetic storage, or the use of photovoltaic energy, among others. In this context, the current ultrafast laser sources offer us unique tools in the form of ultrashort pulses, –as short as few femtosecond ($1 \text{ fs}=10^{-15} \text{ s.}$) or even attoseconds (10^{-18} s.) – that can be focused down to the nanometer scale. Recent technological advances have made possible to harness the polarization of these ultrashort laser beams. In particular, ultrashort vector laser beams, exhibiting radial or azimuthal polarization can be nowadays generated [1]. Interestingly enough, azimuthally polarized laser beams induce longitudinal magnetic fields –isolated from the electric field– with enormous potential to control magnetic properties at the nanometer scale [2].

In this work we propose a novel technique to obtain intense, ultrafast magnetic fields driven by fs vector laser beams. We performed theoretical simulations using the OSIRIS particle-in-cell code [3] to compute the induced magnetic field when an ultrafast (800 nm, 4.6 fs, $2x10^{10}$ W/cm²) azimuthal laser beam is apertured by an iris with diameter 1.76 µm. Our simulations show that the longitudinal magnetic field is enhanced by a factor of ~5, thus creating a magnetic nanoprobe of 1.4 T (see Fig. 1). Such magnetic field amplitude is comparable to that of the large bending magnets used in synchrotron facilities. The generation of intense, ultrafast magnetic fields opens a unique opportunity to tailor magnetic nanodomains in the fs timescale with structured laser beams.



Fig. 1.- Generation of intense, ultrafast, magnetic nanoprobes. An azimuthally polarized laser beam of 4.6 fs, maximum peak intensity of 2×10^{10} W/cm², 800 nm in wavelength, and 2.5 µm waist radius, (**a**) apertured by an iris plate with diameter 1.76 µm, induces an intense (1.4 T) ultrafast longitudinal magnetic field, B_x (**b**). The longitudinal (**d**) and transverse [magnetic B_x (**e**) and electric E_{ϕ} (**f**) fields] spatial profiles show that the B_x field is spatially isolated from the E_{ϕ} field.

References:

[1] C. Hernández-García, et al. "Extreme ultraviolet vector beams driven by infrared lasers", Optica 4, 520 (2017).

- [2] C. Guclu, et al. "Photoinduced Magnetic Nanoprobe Excited by an Azimuthally Polarized Vector Beam", ACS Photonics 3, 2049–2058 (2016).
- [3] R. A. Fonseca, et al. "OSIRIS: A Three-Dimensional, Fully Relativistic Particle in Cell Code for Modeling Plasma Based Accelerators" (Springer, 2002), pp. 342–351.

Nanoporous Anodic Alumina Rugate Filters for Optical Biosensing

Laura Karen Acosta-Capilla, Francesc Bertó-Roselló, Elisabet Xifré-Pérez, Josep Ferré-Borrull and Lluis F. Marsal*

Universitat Rovira i Virgili, Nano-electronic and Photonic Systems (NePhoS) Group, Avinguda dels Paisos Catalans 26, 43007 Tarragona. *lluis.marsal@urv.cat.

Abstract: Rugate filters based on nanoporous anodic alumina are nanostructures consisting of arrangements of parallel pores with average diameters and interpore distances about tens of nm in an alumina matrix. They are obtained by electrochemical anodization of aluminium in the appropriate conditions and by means of continuously varying anodization current. In this work we show the design and fabrication of rugate filters using successive sinusoidal components in the anodization and study its capabilities in biosensing.

Nanoporous Anodic Alumina (NAA) is a material with growing interest in nanotechnology and for biological and medical applications [1]. It is obtained by the electrochemical etching of aluminium in acidic electrolytes at the adequate conditions of applied voltage or current, temperature and electrolyte composition. It consists of a network of longitudinal pores self-arranged on an aluminium oxide matrix, and perpendicular to their surface, with diameters and interpore distances that can be tuned between 30 nm and 500 nm. Furthermore, the pore geometry can be varied by different methods to obtain remarkable optical properties such as Distributed Bragg Reflectors [2].

NAA-based rugate filters (RF-NAA) are obtained by applying a sinusoidal anodization current what results in a continuous modulation of the pore diameter along its length. This periodic pore diameter modulation confers the RF-NAA the structure of a one-dimensional photonic crystal [3] with a modulation of the refractive index along the pore axis (figure 1a) and a photonic stop band. Furthermore, if multiple periodic currents are overlapped and applied as anodization current multiple stop bands are obtained on the same porous structure. The fabrication of such overlapped multiple rugate filters poses several drawbacks such as it has only been demonstrated for sulphuric acid electrolytes and that the stop bands are narrow and with low reflectance due to the small index contrast that can be obtained.

In this work we propose an alternative fabrication method for NAA-based periodic structures: the multiple periodic currents are applied sequentially instead of simultaneously. In this case, the different periodic structures are stacked on the same structure. This permits to use a bigger current contrast in the current variations and using electrolytes with different composition. In this work we study the possibility to obtain such stacked structures in oxalic acid electrolyte. We will also evaluate the sensitivity of the structure to changes in refractive index of the medium filling the pores with real-time spectroscopy method (figure 1c).



Figure 1.- a) Cross-section SEM picture of the RF-NAA. Inset: SEM top-view image of the same sample. b) Reflectance spectrum of a RF-NAA obtained with the indicated sinusoidal current periods. c) Real-time registration of the shift of the three reflection bands as the RF-NAA pores are filled with glucose solutions of increasing concentrations.

References

- Ferre-Borrull, J., Pallares, J., Macias, G., Marsal, L.F., "Nanostructural Engineering of Nanoporous Anodic Alumina for Biosensing Applications", Materials, 7, p. 5225 (2014).
- [2] Rahman, M. M., Marsal, L. F., Pallares, J., Ferre-Borrull, J., "Tuning the Photonic Stop Bands of Nanoporous Anodic Alumina-Based Distributed Bragg Reflectors by Pore Widening", ACS Appl. Mater. Interfaces, 5, p. 13375 (2013).
- [3] Macias, G., Ferre-Borrull, J., Pallares, J., Marsal, L. F., "1-D nanoporous anodic alumina rugate filters by means of small current variations for real-time sensing applications", Nanoscale Res. Lett., 9, p. 315 (2014).

Nanofotónica

Real-Time Selective Detection of Protein Attachment on Nanoporous Anodic Alumina by Means of Spectroscopic Interferometry

Laura Pol, Pilar Formentín, Elisabet Xifré-Pérez, Josep Ferré-Borrull and Lluis F. Marsal

Universitat Rovira i Virgili, Nano-electronic and Photonic Systems (NePhoS) Group, Avinguda dels Paisos Catalans 26, 43007 Tarragona. *lluis.marsal@urv.cat.

Abstract: The optical properties of nanoporous anodic alumina enable its application as optical biosensor. A thin film of such porous material permits the build-up of interferences that can be registered by a fibre spectrometer. The nanoporous structure provides a high specific surface so that the attachment of proteins to the inner pore walls results in a detectable change in the thin film optical thickness. We apply this principle to the study of different surface functionalization paths.

Nanoporous Anodic Alumina (NAA) is a material with growing interest in nanotechnology as it consists of an array of regularly ordered straight pores perpendicular to the material surface obtained by the electrochemical anodization of aluminum in the appropriate conditions [1]. Because of its high surface-to-volume ratio, tailorable geometry and chemical stability one of the main applications of NAA is as a biosensing platform [2], for this propose the surface modification of NAA by grafting functional molecules is a key step.

The streptavidin-biotin interaction system is widely used in biosensors. Thanks to the strong affinity and specificity, it is easy to immobilize any biotinylated molecule on a biosensor surface previously functionalized with streptavidin. Optical biosensing with NAA has been demonstrated with the Reflection Interference Spectroscopy (RIfS) method [3] (figure 1a): the attachment of a specific molecule to the inner pore surface (conveniently modified) of a NAA thin film is detected by a change in the reflectance spectrum (figure 1b), quantified as a shift in the film effective optical thickness (EOT, figure 1c). The change in EOT with time as different solutions are flowed through the NAA by means of a flow cell permits to recognize the attachment of the different biomolecules (figure 1d).

In this work we study two pathways to accomplish the attachment of streptavidin to the NAA surface by means of RIfS in real time. The first step is common in both pathways and consists of grafting 3-aminopropyl triethoxysilane (APTES) to the NAA surface, while the difference between the two pathways consists in considering two different cross-linking methods able to attach streptavidin: glutaraldehyde (GTA) or EDC/NHS. Furthermore, the effect of depositing a thin film (10 nm of thickness) of gold on top of the NAA porous structure will be studied.



Figure 1.- a) Schematic drawing of the RIfS system. b) Example of the registered spectrum of NAA before and after flowing streptavidin. c) Fourier transform of the blue spectrum in b) illustrating the estimation of EOT. d) Example of the registered EOT with time as different solutions are flowed thorugh the NAA.

References

- Ferre-Borrull, J., Pallares, J., Macias, G., Marsal, L.F., "Nanostructural Engineering of Nanoporous Anodic Alumina for Biosensing Applications", Materials, 7, p. 5225 (2014).
- [2] Ferre-Borrull, J., Xifre-Perez, E., Pallares, J., Marsal, L. F., "Optical Properties of Nanoporous Anodic Alumina and Derived Applications", in NANOPOROUS ALUMINA: FABRICATION, STRUCTURE, PROPERTIES AND APPLICATIONS, Springer (2015) p. 185.
- [3] Mun, K. S., Alvarez, S. D., Choi, W.Y., Sailor, M. J, "A Stable, Label-free Optical Interferometric Biosensor Based on TiO2 Nanotube Arrays", ACS Nano, 4, p.2070 (2010).

Nanofotónica

Acousto-optic deflectors as super-fast spatial light modulators

D. Treptow*a, R. Bola, E. Martín-Badosa and M. Montes-Usategui

^aOptical Trapping Lab – Grup de Biofotònica (BiOpt), Departament de Física Aplicada, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028 – Barcelona, Spain *dorian.treptow@ub.edu

Summary: We investigated the potential of two crossed acousto-optic deflectors working as a two-dimensional SLM by combining the methods of digital holography with acousto-optic modulation. By encoding digital holograms in the electronic driving signal, we are able to create two-dimensional intensity patterns at a kilohertz rate, what forms the basis for novel applications. First results were obtained in image projection, microscopy and optical trapping.

Spatial light modulators are widely used optoelectronic devices which modulate the phase and amplitude of laser beam wavefronts for a wide field of applications. Several types of SLMs exist, and they are applied according to their properties such as efficiency, speed and cost. Liquid crystal SLMs displaying dynamic phase holograms are the most commonly used because of their flexibility and their high diffraction efficiency. However, their application is limited to video rates because of the slow response time of the liquid crystal cells.

A faster alternative are acousto-optic deflectors, which excel in speed with frame rates of several hundred kilohertz. Their main application is the super-fast deflection and attenuation of laser beams by varying the frequency and the amplitude of a sinusoidal driving signal. With additional phase modulations of the driving signal, a single AOD is capable to perform an arbitrary one-dimensional wavefront modulation [1]. Surprisingly, this capability found only few applications so far, for example to create multispot patterns [2] and in beam-shaping [2,3].

We investigated the potential of super-fast two-dimensional SLMs based on a pair of crossed AODs. By combining the methods of digital holography with acousto-optic modulation we are able to directly encode digital holograms in the driving signal to display acousto-optic holograms on the AODs. And situated in an optical Fourier transform setup, these holograms allow us to generate arbitrary two-dimensional separable intensity patterns.

We obtained first results by applying these separable patterns in the illumination system of a confocal microscope and as holographic optical trap arrays. Arbitrary non-separable patterns, such as images, were projected at several hundred Hertz by time-sharing separable sub-patterns.



Figure 1.- Applications of separable intensity patterns formed by acouto-optic Fourier holograms displayed on a pair of crossed AODs: a.) A microscopic two-dimensional image (200x200 pixels) reconstructed by integrating several sub-patterns with a camera. The reconstruction speed was about 382kHz for the sub-patterns, and about 240Hz for the complete image. b.) Confocal microscope image obtained by holographic multi-focal illumination patterns. Due to the fast response time of the AODs, the multi-focal patterns can be shifted in few microseconds, enabling a fast and flexible image acquisition. c.) Reflection of a holographic optical trap pattern on a cover slip. The AODs can switch in few microseconds between different trap patterns which allows simultaneous trapping of particles and measuring of the optical forces acting on them.

- [1] J.W. Goodmann, Introduction to Fourier Optics, Second edition, McGraw-Hill 1996, p. 208
- [2] J. T, E. Tervonen, and A. T. Friberg, "Acousto
 optic control and modulation of optical coherence by electronically synthesized holographic gratings", Journal of Applied Physics, 67, 49 (1990)
- [3]M. Baum, P. Bechtold, J. Strauss, M. Schmidt, "Towards Dynamic Holographic Laser Beam Shaping.", Journal of Laser Micro/ Nanoengineering, 10, 216 (2015)

Fluorescent Carbon Quantum Dots Generation by Flow Jet Laser Fragmentation

<u>C. Doñate-Buendía</u>¹, R. Torres-Mendieta², A. Pyatenko³, M. Soriano-Amat¹, E. Falomir⁴, M. Fernández-Alonso¹ and G. Mínguez-Vega¹

 I- GROC·UJI, Institute of New Imaging Technologies, Universitat Jaume I, Avda. Sos Baynat, Castellón, Spain
 Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Technical University of Liberec, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Czech Republic

3- Nanomaterials Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba Central 5, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, Japan

4- Department of Inorganic and Organic Chemistry, University Jaume I, Avda. Sos Baynat, Castellón, Spain

Abstract: Carbon quantum dots (CQDs) have proved to be an outstanding material due to their fluorescent response and their application in bioimaging, cancer therapy or sensing. Here we present a novel approach for the synthesis of CQDs by laser irradiation of a carbon glassy/PEG200 liquid jet continuously pumped. Compared to the standard laser irradiation method, the efficiency of the process is 15% higher with an increase of an order of magnitude in the fluorescence quantum yield.

Carbon quantum dots are defined as carbon nanoparticles with a size lower than 10 nm that exhibit a fluorescence response. Due to their fluorescence and biocompatibility they have gained a huge interest for biomedical or optoelectronic applications [1]. The synthesis method is a key factor as high purity CQDs are needed for biomedical applications. In that sense, pulsed laser ablation in liquids (PLAL) has proved to be an excellent synthesis method since the addition of byproducts is not needed in the process. In this contribution the generation of CQDs with a flow jet setup, Fig. 1a), is firstly reported and compared to the standard procedure for CQDs laser synthesis, batch setup. The flow jet setup proves to enhance the efficiency of CQDs generation a 15% compared to the batch method due to the control achieved over the fluence delivered, Fig 1b).



Figure 1. a) Flow jet experimental setup. b) TGA measurements to show the higher amount of CQDs generated with the flow jet method. c) CQDs obtained with the flow jet and batch method. d) Obtained with the flow jet and batch method illuminated with a UV lamp to show their fluorescence.

The fluorescence response is measured obtaining an increase in the quantum yield of almost an order of magnitude, 4.5% in the case of the flow jet and 0.5 for the batch. The difference in the fluorescence response can be clearly seen in Fig 1d) where a UV lamp is illuminating both samples. The results prove the flow jet method as an excellent way of efficiently synthesizing pure and highly fluorescent CQDs [2].

- F. Yuan, S. Li, Z. Fan, X. Meng, L. Fan and S. Yang, "Shining Carbon Dots: Synthesis and Biomedical and Optoelectronic Applications," Nano Today, 11, 565–586, (2016).
- [2] C. Doñate-Buendia, R. Torres-Mendieta, A. Pyatenko, E. Falomir, M. Fernández-Alonso, and G. Mínguez-Vega, "Fabrication by Laser Irradiation in a Continuous Flow Jet of Carbon Quantum Dots for Fluorescence Imaging," ACS Omega, 3, 2735– 2742, (2018).
Un resumen de la aportación al campo de la Nanofotónica del Grupo de Óptica de la Universidad de Cantabria

Dolores Ortiz, Jose M^a Saiz, Ángela I. Barreda, Yael Gutiérrez, Andrea Fernández, Rodrigo Alcaraz de la Osa, Francisco González y Fernando Moreno

Grupo de Óptica. Dpto Fisica Aplicada. Universidad de Cantabria Facultad de Ciencias. Avda. Los Castros s/n Santander

Resumen: Presentaremos un resumen de los principales resultados de investigación en el campo de la Nanofotónica que el Grupo de Óptica de la Universidad de Cantabria ha realizado durante los últimos años. El objetivo es dar una visión de conjunto de nuestro trabajo en el simposio de Nanofotónica, que consideramos puede servir como arranque dentro de la Reunión Nacional de Óptica.

Nuestra incursión en el campo de la Nanofotónica comienza en el año 2006, con el análisis de la respuesta plasmónica de nanopartículas metálicas cuando están situadas sobre substratos (o próximas a ellos) dado que es una situación experimental convencional [1]. Nuestra experiencia previa en la difusión de luz por microestructuras (partículas y/o superficies) sirve como base para abordar el problema de su contaminación por nanoestructuras (intensidad y/o polarización), lo que permite aportar nuevos conocimientos a la solución del *problema inverso*, y obtener información (óptica y/o geométrica) de los difusores en las dos escalas [2-6]. Actualmente, estamos centrados en dos líneas de investigación: el comportamiento electromagnético de nanopartículas dieléctricas de alto índice de refracción (direccionalidad y conmutación óptica) [7-11] y la plasmónica de metales en el rango del ultravioleta para aplicaciones en fotocatálisis y análisis de la materia con técnicas espectroscópicas realzadas por efectos superficiales (técnica SERS o equivalentes) [12-17].

Referencias

- Moreno, F., González, F. & Saiz, J. M. Plasmon spectroscopy of metallic nanoparticles above flat dielectric substrates. Opt. Lett. 31, 1902–4 (2006).
- [2] Albella, P., Moreno, F., Saiz, J. M. & González, F. Backscattering of metallic microstructures with small defects located on flat substrates. Opt. Express 15, (2007).
- [3] Albella, P., Moreno, F., Saiz, J. M. & González, F. Surface inspection by monitoring spectral shifts of localized plasmon resonances. Opt. Express 16, 12872–9 (2008).
- [4] Albella, P., Saiz, J. M., Sanz, J. M., González, F. & Moreno, F. Nanoscopic surface inspection by analyzing the linear polarization degree of the scattered light. Opt. Lett. 34, 1906–8 (2009).
- [5] Albella, P. et al. Shape matters: plasmonic nanoparticle shape enhances interaction with dielectric substrate. Nano Lett. 11, 3531–7 (2011).
- [6] Moreno, F., Albella, P. & Nieto-Vesperinas, M. Analysis of the spectral behavior of localized plasmon resonances in the nearand far-field regimes. Langmuir 29, 6715–21 (2013).
- [7] Geffrin, J. M. et al. Magnetic and electric coherence in forward- and back-scattered electromagnetic waves by a single dielectric subwavelength sphere. Nat. Commun. 3, 1171 (2012).
- [8] Albella, P., Alcaraz de La Osa, R., Moreno, F. & Maier, S. A. Electric and Magnetic Field Enhancement with Ultralow Heat Radiation Dielectric Nanoantennas: Considerations for Surface- Enhanced Spectroscopies. ACS Photonics 1, 524–529 (2014)
- [9]. Tribelsky, M. I., Geffrin, J. M., Litman, A., Eyraud, C. & Moreno, F. Small Dielectric Spheres with High Refractive Index as New Multifunctional Elements for Optical Devices. Sci. Rep. 5, 12288 (2015).
- [10] Barreda, A. I., Gutiérrez, Y., Sanz, J. M., González, F. & Moreno, F. Light guiding and switching using eccentric core-shell geometries. Sci. Rep. 7, 11189 (2017).
- [11] Barreda, A. I. et al. Electromagnetic polarization-controlled perfect switching effect with high-refractive-index dimers and the beam-splitter configuration. Nat. Commun. 8, 1–8 (2017).
- [12] Sanz, J. M. et al. UV Plasmonic Behavior of Various Metal Nanoparticles in the Near- and Far-Field Regimes: Geometry and Substrate Effects. J. Phys. Chem. C 117, 19606–19615 (2013).
- [13] Alcaraz de la Osa, R. et al. Rhodium Tripod Stars for UV Plasmonics. J. Phys. Chem. C 150519105943006 (2015). doi:10.1021/acs.jpcc.5b00983
- [14] Gutiérrez, Y. et al. How an oxide shell affects the ultraviolet plasmonic behavior of Ga, Mg, and Al nanostructures. Opt. Express 24, 20621–20631 (2016).
- [15] Zhang, X. et al. Size-tunable rhodium nanostructures for wavelength-tunable ultraviolet plasmonics. Nanoscale Horiz. 1, 75–80 (2016).
- [16] Gutiérrez, Y. et al. The UV Plasmonic Behavior of Distorted Rhodium Nanocubes. Nanomaterials 7, 425–1, 425–14 (2017).
- [17] Zhang, X. et al. Plasmon-Enhanced Catalysis: Distinguishing Thermal and Non-Thermal Effects. Nano Lett. (2018). doi:10.1021/acs.nanolett.7b04776

Nanofotónica

Láseres orgánicos de película delgada con resonadores difractivos poliméricos

Víctor Bonal^{1, 2}, José A. Quintana^{2, 3}, José M. Villalvilla^{1, 2}, Pedro G. Boj^{2, 3}, María A. Díaz-García^{1, 2}

¹Dpto. Física Aplicada, Universidad de Alicante, Alicante 03080, España

²Instituto Universitario de Materiales de Alicante (IUMA), Universidad de Alicate, Alicante 03080, España ³Dpto. Óptica, Universidad de Alicante, Alicante 03080, España

Resumen: En este trabajo se muestra cómo pueden fabricarse láseres orgánicos con realimentación distribuida (DFB) con baja intensidad umbral utilizando como resonador una capa polimérica encima de la capa activa. Se estudia cómo afecta la capa residual y la profundidad de la modulación del resonador al rendimiento de los láseres DFB.

El láser orgánico con realimentación distribuida (DFB) es uno de los tipos de láseres orgánicos de mayor interés, dado que es relativamente fácil de fabricar, es eficiente, compacto, fácilmente integrable con otros dispositivos, presenta emisión monomodo y además permite sintonizar la longitud de onda de emisión a través del espectro visible. Así, este tipo de dispositivos tiene numerosas aplicaciones en espectroscopía, comunicaciones ópticas y sensores [1]. Generalmente consiste en una capa de un material activo depositado sobre un sustrato corrugado, esto es, con una red de relieve uni- o bidimensional. La realimentación distribuida se obtiene de las reflexiones coherentes que se producen al existir variaciones periódicas del índice efectivo de la guía de ondas o de la ganancia. No obstante, puede tener otros tipos de arquitectura, en función de dónde se sitúe el resonador y en qué tipo de material esté realizado.

En particular, el tipo de arquitectura utilizada en este trabajo consta de una capa polimérica (una foto-resina), que lleva el resonador (red de relieve) impreso mediante litografía holográfica (LH) [2], y que se deposita sobre la capa activa, la cual también es de material orgánico y que se prepara previamente sobre un substrato. Este tipo de arquitectura presenta numerosas ventajas respecto a otras, tales como la facilidad de preparación, dado que tanto la capa activa como el resonador son de materiales orgánicos solubles; la capa activa tiene espesor uniforme, lo cual favorece la propagación de la luz; unas prestaciones láser, en cuanto a umbral y eficiencia láser superiores; además, el hecho de que la fabricación se realice con LH permite fabricar dispositivos de varios centímetros, siendo posible entonces obtener sintonización de la longitud de onda en un único dispositivo, manteniendo el mismo valor de umbral [3]. En este trabajo se realiza un estudio detallado de la influencia de diversos parámetros geométricos del resonador en las características láser de los dispositivos DFB, principalmente en el umbral láser, es decir, la energía de bombeo mínima para que se produzca emisión láser. Concretamente, se analiza la influencia de la capa residual (capa de foto-resina sin red) y de la amplitud de la modulación del resonador (profundidad de la red).



Figura 1.- Arquitectura utilizada para fabricar láseres DFB con el resonador (R) encima de la película activa (PA), que se encuentra sobre el sustrato (Q). El resonador es una red de relieve en 1D con periodo Λ , modulación *d*, espesor de la capa residual *t* y espesor de la capa activa *h* [3].

- [1] A. J. C. Kuehne and M. C. Gather, "Organic Lasers : Recent Developments on Materials, Device Geometries, and Fabrication Techniques" Chem. Rev., vol. 116, pp. 12823–12864 (2016)
- [2] E. M. Calzado, J. M. Villalvilla, P. G. Boj, J. A. Quintana, P. A. Postigo, and M. A. Díaz-García, "Blue surface-emitting distributed feedback lasers based on TPD-doped films," Appl. Opt., vol. 49, no. 3, pp. 463–470 (2010)
- [3] J. A. Quintana et al., "An Efficient and Color-Tunable Solution-Processed Organic Thin-Film Laser with a Polymeric Top-Layer Resonator," Adv. Opt. Mater., vol. 5, no. 19, pp. 1–9 (2017)

Basis for paraxial surface plasmon polariton packets: Application to flat top beams

Lauren Zundel¹, Rosario Martinez-Herrero², and Alejandro Manjavacas¹

Department of Physics and Astronomy, University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico 87131, USA
 Departamento de Óptica, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain

Summary: We present a theoretical framework for the analysis of the evolution of the transversal profiles of surface plasmon polariton beams. Thisframework is applied to the example of beams with uniform intensity profiles.

The collective excitations of conduction electrons coupled to electromagnetic waves, known as surface plasmon polaritons (SPPs), have emerged as powerful tools for guiding and manipulating light below the diffraction limit [1].Here, by introducing a set of Hermite-Gaussian SPP modes, which form a complete basis for the solutions of Maxwell's equations for a metal-dielectric slabin the paraxial approximation [2](see Figure 1(a)), we provide a theoretical framework for the study of arbitrary SPP packets. Then, we exploit this framework to propose and analyze flat top SPP beams[3], characterized by their square profile shape and uniform intensity [4,5]. Figure 1(b) shows the evolution of the transversal profile of a flat top SPP beam for propagation distances of 0, 100, and 200 wavelengths, over which the beams are able to maintain their flat top intensity profile. We complement our analysis of the propagation of flat top SPP beams with a study of the width and kurtosis of the intensity distributions [6-7].The results of this work serve to open new pathways for the application of SPPs by enabling uniform coupling and excitation scenarios not possible with conventional Gaussian beams.



Figure 1.-(a) Schematics of the system under consideration, consisting of a silver slab with dielectric function ɛ in vacuum. (b) Transversal intensity profile for a flat top beam taken at different propagation distances. The black line corresponds t o x=0, while the red and orange lines give the intensity profiles for 100 and 200 wavelengths of propagation, respectively.

References

- [1] R. H. Ritchie, "Plasma Losses by Fast Electrons in Thin Films." Phys. Rev. 106 874 (1957)
- [2] R. Martínez-Herrero and A. Manjavacas, "Basis for paraxial surface-plasmon-polariton packets." *Phys. Rev. A.* 94 063829(2016)
- [3] L. Zundel, R. Martínez-Herrero, and A. Manjavacas, "Flat top surface plasmon polariton beams." Opt. Lett. 42 4143 (2017)
- [4] V. Bagini, R. Borghi, et al. "Propagation of axially symmetric flattened Gaussian beams." J. Opt. Soc. Am. A 13 1385 (1996)
- [5] M. Santarsiero and R. Borghi. "Correspondence between super-Gaussian and flattened Gaussian beams." J. Opt. Soc. Am. A16 188(1999)
- [6] S. Amarande, "Beam propagation factor and the kurtosis parameter of flattened Gaussian beams." *Opt. Commun.*129 311(1996)
- [7] R. Martínez-Herrero, G. Piquero, and P. M. Mejías, "On the propagation of the kurtosis parameter of general beams." Opt. Commun. 115 225 (1995)

Nanofotónica

Polarización con nano-estructuras de acero

Jerónimo Buencuerpo¹, <u>Luis Miguel Sanchez-Brea</u>¹, José Antonio Gomez-Pedrero², Noemí Casquero^{3,4}, Ainhara Rodriguez^{3,4}, Santiago Miguel Olaizola^{3,4}

optbrea@ucm.es

 ¹Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid
 ²Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid, Calle Arcos de Jalón 118, 28037, Madrid
 ³Ceit, Manuel Lardizabal 15, 20018 Donostia / San Sebastián, Guipúzcoa
 ⁴Universidad de Navarra, Tecnun, Manuel Lardizabal 13, 20018 Donostia / San Sebastián, Guipúzcoa

Resumen: Hemos estudiado el uso de nano-estructuras 1D sobre acero inoxidable para diseñar polarizadores, ya que es un material clave en la industria y en la vida cotidiana del que se ha estudiado muy poco sus capacidades plasmónicas. Se ha comprobado que, para ciertos valores de altura y factor de relleno de las nanoestructuras, se pueden crear polarizadores lineales y circulares con alta eficiencia.

Las nanoestructuras metálicas tienen la capacidad de modular de forma compleja la luz reflejada. Hemos estudiado mediante Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA) la capacidad de polarización del acero inoxidable DIN X30cr13 con estructuras nanométricas periódicas inducidas por láser (LIPSS). Dichas LIPSS se han fabricado sobre el acero utilizando pulsos de 150fs de un láser de Ti:Sa (λ =800nm). La estructura desarrollada es una red 1D binaria de 632±20 nm de periodo. Se incide sobre ella con un haz linealmente polarizado a 45 grados respecto a la dirección de la red. Para analizar el cambio del estado de polarización de la luz reflejada hemos determinado el vector de Jones del haz de salida. Dicho haz viene determinado por 4 parámetros S=(I, Q, U, V), donde I² = Q² +U² +V². En la Figura 1 se muestran las las componentes Q (polarización lineal a 0°), U (polarización lineal a 45°), V (polarización circular) para una red de acero inoxidable binaria con distintas alturas y anchuras de las almenas.



Figura 1.- Parámetros Q, U, V del vector de stokes del haz de salida en función de la altura de la almena y el factor de relleno (fill factor) cuando se incide con un haz linealmente polarizado a 45º I=(1,0,1,0). Composición RGB a partir de los parámetros Q, U, V para determinar los parámetros que permiten modificar el estado de polarización (zonas rojas y azules).

En la última gráfica de la Figura 1 se muestra una composición en colores de los 3 estados de polarización. Las zonas verdes significan que la reflexión sobre el acero no produce un cambio en el estado de polarización. Sin embargo, en las zonas rojas y azules se comprueba que la nanoestructura puede actuar como un retardador o como un polarizador absorbente en una dirección. Teóricamente, se ha visto que la birrefringencia de la estructura es capaz de modificar el haz incidente con eficiencias de hasta un 80%. Asimismo, desde el punto de vista experimental, los análisis elipsométricos realizados a las muestras evidencian estos cambios en el estado de polarización de la luz reflejada, con una respuesta dependiente, según se observa en el modelo numérico, de la altura y factor de relleno de la nano-estructura.

Agradecimientos

Proyecto "Desarrollo de un sistema industrial de grabación de redes de difracción/polarización para su aplicación en encóderes con láser de femtosegundo (Ecograb)", RTC-2016-5277-5, financiado por el Ministerio de Economía y Competitivdad y la Unión Europea – Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Nanocondensador inducido por láser para la mejora local del campo eléctrico

M. Blanco y M.T. Flores-Arias

Grupo Photonics4life, Departamento de Física Aplicada, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Vida s/n 15782, Santiago de Compostela, España

Resumen: La interacción de un pulso láser ultracorto e intenso, con una lámina fina con una pequeña apertura en su centro, provoca un aumento del campo láser en el interior de dicha apertura. Esto se debe a la creación de un nanocondensador, generado por la separación de carga en los bordes de la apertura. Las dimensiones de dicha apertura han de ser mucho menores que la longitud de onda del láser empleado.

La generación de oscilaciones plasmónicas en la interacción entre radiación electromagnética y materiales sólidos es un campo de investigación que ha evolucionado mucho en los últimos años, debido al interés que estas generan para diversas aplicaciones [1]. Es conocido que la interacción entre pulsos láser ultracortos y materiales con aperturas nanométricas genera, en el centro de dichas aperturas, una mejora local del campo eléctrico que puede ser incluso de varios órdenes de magnitud en intensidad [2]. Esta mejora puede emplearse, por ejemplo, para el incremento local de la intensidad de armónicos de orden alto emitidos por un gas encapsulado en dicha apertura, temática que ha ganado mucho interés muy recientemente [3].

En esta contribución proponemos una interpretación de la mejora local del campo eléctrico en estas aperturas nanométricas. La separación de carga inducida en los bordes de la apertura crea un condensador de placas plano-paralelas cuya polaridad oscila en fase con el campo láser, contribuyendo a su mejora local en el centro de la nanoestructura, y generando una distribución de intensidad homogénea en el interior de la apertura, tal y como se muestra en la Figura 1. Estas simulaciones se han realizado con el software OSIRIS de PIC.



Figura 1.- Ejemplo de la mejora de un campo láser en la apertura nanométrica entre dos láminas de oro, en este caso un pulso de 5 ciclos, longitud de onda de 800 nm e intensidad 10¹¹W/cm² interacciona con una apertura con una anchura de 20 nm y profundidad de 40 nm. El a) campo láser en el centro de la estructura se mejora en amplitud casi en un factor 3, con una b) distribución espacial homogénea en dicha apertura. La c) densidad de carga acumulada en los bordes confirma que esta mejora en el campo se produce por la generación de un nanocondensador.

Referencias

- [1] J. Zhang, L. Zhang and W. Xu. "Surface plasmon polaritons: physics and applications," J. Phys. D: Appl. Phys., 45(11), 113001 (2012)
- [2] D.K. Gramotnev, A. Pors, M. Willazten and S.I. Bozhevolnyi. "Gap-plasmon nanoantennas and bowtie resonators," Phys. Rev. B, 85, 045434 (2012)
- [3] M. Blanco, C. Hernández-García, A. Chacón, M. Lewenstein, M.T. Flores-Arias and L. Plaja. "Phase matching effects in high harmonic generation at the nanometer scale," 25(13), 14974 (2017)

Nanofotónica

Tunable slow and fast-light in J-aggregates nanofilms

E. Díaz¹, E. Cabrera-Granado² and O. G. Calderón²

¹GISC, Departamento de Física de Materiales, Universidad Complutense, 28040 Madrid, Spain ²Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense, 28037 Madrid, Spain

Resumen: Slow and fast-light performance of molecular aggregates nanofilms is analytically and numerically studied in the GHz and THz bandwidths. It is shown that this nanometric device allows for the existence of slow or fast light in a different bandwidth of pulsed signals. More interestingly tunability between both regimes is proven by a applying a small perturbation of the input signal for a fixed pulse temporal width.

We consider an ultrathin film (with thickness smaller than the wavelength) consistent of a disordered ensemble of linear molecules aggregates where exciton-exciton interaction plays a role. A four-level system describing one- and two-exciton dynamics is used to model these aggregates [1]. Pulses with bandwidth in the GHz-range show a well-de-fined temporal delay due to the coherent population oscillations (CPO) mechanism [2]. However, if the pulse bandwidth is increased upto the THz-range, the nanofilms acts instead as a fast-delay device. In this case, the population is not able to follow these fast frequencies anymore and temporal advancements of the order of 0.2 times the temporal pulse width are achieved. For pulses with bandwidths between these two ranges, a precise variation in the input pulse intensity allows us to interchange between slow and fast-light performance.

Therefore, tunability between slow and fast-light regimes is shown to be reached by changing the input pulse power or its temporal width. The nanometric size and the removal of the external pump dependence to obtain fast light make molecular aggregates nanofilms very promising candidates for integrated all-optical solutions to light velocity control.



Figure 1.Schematic view of the aggregate nanofilm and tunable slow and fast-light performance.



Figure 2. Tunable fractional shift vs the input strong field for a pulse of FWHM=2 ps and different magnitudes of disorder G present in the aggregates nanofilm. Output and input pulses for fields (1) and (2) are shown in the right panel.

Referencias

- H. Glaeske, V. A. Malyshev, and K.-H. Feller, "Effects of higher exciton manifolds and exciton-exciton annihilation on optical bistable response of an ultrathin glassy film comprised of oriented linear frenkel chains," Phys. Rev. A 65, 033821 (2002).
- [2] E. Díaz, G. C. Martínez-Calzada, E. Cabrera-Granado, and O. G. Calderón, "Increasing applicability of slow light in molecular aggregate nanofilms with two-exciton dynamics," Opt. Lett. 41, 2569 (2016).

Nanofotónica

Active Control of High Harmonic Generation in a hybrid graphene-Quantum Dot nanosystem

E. Cabrera-Granado, M. A. Antón, F. Carreño

Facultad de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid, C/ Arcos de Jalón 118, 28037 Madrid, Spain

Resumen: Active control of High Harmonic Generation (HHG) is numerically demonstrated in a graphene-quantum dot nanosystem. First, reduction of the external intensity threshold for HHG is shown thanks to the strong local field enhancement. Moreover, we also show that, in addition to HHG-cutoff control by interparticle distance variation, tunable cutoff can be achieved by applying an external gate voltage.

Active control of HHG is proposed in a plasmonic structure formed by a quantum dot (QD) located in the near field of a graphene nanodisk . In our theoretical model the QD is described as a two-level system and its interaction with the graphene nanodisk is analysed under the quasistatic approximation. This model is confronted to rigourous finite-difference time-domain (FDTD) simulations, showing good qualitative agreement.

Plasmon-assisted HHG by a QD located in the vicinity of a metallic nanostructure has received increasing attention as a way to reduce the typical laser intensities of the order of 10^{14} W/cm² found for HHG [1-2]. However, these nanosystems, although able to lower the threshold intensity for HHG, present some disadvantages such as lack of cutoff tunability and the presence of Ohmic losses . This can be circumvented by using a graphene nanosheet which, in addition to plasmon-exciton coupling-control by the interparticle separation, allows control of this interaction by changing the Fermy energy [3].

The hybrid nanosystem is driven by a THz pulse resonant with the plasmon graphene excitation, providing a strong local field at QD position. This setup dramatically enhances the HHG produced by the QD, reducing by at least one order of magnitude the pump intensity needed compared to other systems. The frequency cutoff can be controlled by optimizing the distance between the QD and the graphene nanodisk. In addition to that, tuning and extension of this cutoff can be accomplished by applying a gate voltage to the graphene flake. This finding can be explained by the frequency dependence of the coupling between the QD and the surface plasmons excited in graphene.



Figure 1. Schematic setup of QD + Graphene nanodisk.







Figure 3. HHG dependence on the external gate voltage.

- S. Kim, J. Jin, Y.-J. Kim, I.-Y. Park, Y. Kim, and S.-W. Kim, "High-harmonic generation by resonant plasmon field enhancement", Nature 453, 757 (2008).
- [2] Z.-W. Huang, A.-X. Chen, Z. Zhang, and W.-X. Yang, "Generation of ultrashort extreme-ultraviolet pulses by enhanced plasmonic near-fields in metallic nanoparticles", EuroPhys. Lett. 111, 24005 (2015).
- [3] L. Ju, B. Geng, J. Horng, C. Girit, M. Martin, Z. Hao, H. A. Bechtel, X. Liang, A. Zettl, Y. R. Shen, and F. Wang, "Graphene plasmonics for tunable terahertz metamaterials" Nat. Nanotech. 6, 630 (2011).

Upconversion nanoparticle-based FRET system with gold nanoparticles for oligonucleotide detection

Sonia Melle¹, Oscar G. Calderón¹, Marco Laurenti², <u>E. Cabrera-Granado¹</u>, Alberto Villas³, Diego Mendez-Gonzalez², Ana Egatz-Gómez⁴, Enrique López-Cabarcos², Elena Díaz³ and Jorge Rubio-Retama²

¹Departamento de Óptica, Facultad de Óptica y Optometría, UCM 28037-Madrid, Spain ²Department of Physical Chemistry II, Faculty of Pharmacy, UCM, 28040 Madrid, Spain ³GISC, Departamento Materiales, UCM, E-28040 Madrid, Spain

⁴Center for Applied Structural Discovery, The Biodesing Institute, ASU, Tempe, AZ 85287-5001, USA

Summary: The development of UCNP-based FRET systems for biosensing requires the optimization of the energy transfer between the donor-acceptor pair. We have optimized the FRET efficiency of UCNPs in the presence of AuNPs. The effect of the AuNP size on the fluorescence quenching shows an optimum particle size for FRET biosensing.

Upconversion nanoparticles (UCNPs) have been proven to be promising candidates for detection of small oligonucleotides used as biomarkers in different diseases [1]. Our aim is to develop a Förster resonance energy transfer (FRET)-based nanosensor for detection of oligonucleotides. We use UCNPs as donors, and gold nanoparticles (AuNPs) as acceptors. We synthesized 18 nm NaYF₄:Yb,Er nanoparticles coated with a 4 nm silica shell and functionalized with amino groups. We also synthesized AuNPs with different diameters from 3 nm to 70 nm functionalized with citrate groups. AuNPs were electrostatically absorbed onto the UCNPs silica shell (see left panel in fig. 1). We employed steady-state and time-resolved fluorescence spectroscopic techniques to analyze the fluorescence quenching of the UCNPs in the presence of AuNPs [2]. We study the effect of the AuNP size and concentration on the upconversion fluorescence quenching. In figure 1 (center panel) we show a non-radiative resonance energy transfer (FRET) efficiency when increasing the concentration of AuNPs. The experimental measurements are supported by numerical analysis based on Finite-Difference-Time-Domain (FDTD) simulations. We find a dependency of the maximum FRET efficiency with the AuNP radius and with bare UCNP quantum efficiency. All these findings allow us to narrow the optimum experimental conditions to maximize the FRET efficiency for biosensing applications.



Figure 1.- (Left) 3 nm AuNPs electrostatically absorbed into the $4nm SiO_2$ shell surface of 18 nm diameter UCNPs. (Center) FRET efficiency of UCNPs with AuNPs when increasing the concentration of AuNPs. (Right) Fret efficiency dependency with the AuNP radius for 3 different values of the bare quantum efficiency.

References

- [1] D. Mendez-Gonzalez, M. Laurenti, A. Latorre, A. Somoza, A. Vazquez, A.I. Negredo, E. Lopez-Cabarcos, O.G. Calderon, S. Melle, J. Rubio-Retama, "Oligonucleotide sensor based on selective capture of upconversion nanoparticles triggered by target-induced DNA interstrand ligand reaction", ACS Appl. Mater. Interfaces. 9, 12272 (2017).
- [2] L. Zhengquan, L. Wang, Z. Wang, X. Liu, Y. Xiong, "Modification of NaYF₄:Yb,Er@SiO₂ Nanoparticles with Gold Nanocrystals for Tunable Green-to-Red Upconversion Emissions", J. Phys. Chem. C 115, 3291 (2011).

Low-cost, large-size nanoplasmonic sensor based on Fano resonances with fast response and high sensitivity

E. Baquedano,¹ M. U. González,¹ R. Paniagua-Domínguez,^{2,3} J. A. Sánchez-Gil,² and P. A. Postigo¹

¹Instituto de Micro y Nanotecnologia, IMN - CNM - CSIC (CEI UAM+CSIC), Isaac Newton, 8, E-28760, Tres Cantos, Madrid, Spain ²Instituto de Estructura de la Materia (IEM-CSIC), Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Serrano 121, 28006 Madrid, Spain ³Present address: Data Storage Institute, Agency for Science, Technology and Research,

117608 Singapore

Resumen: We have developed [1] a low-cost, fast and sensitive plasmonic sensor with a large-size for easy handling. The sensor is formed by a Au nanobelt grating fabricated by soft lithography with a period of 780 nm and a width of 355 nm in an even and uniform area of $\sim 2 \times 2$ cm2. The sensor uses the Fano-shaped third order mode localized plasmon resonance of the Au nanobelts, which appears in the visible part of the transmission spectrum. We have found a detection resolution of $1.56 \times 10-5$ refractive index units with a temporal resolution of 1 s in a sensing area of 0.75×0.75 mm2. The high uniformity and size of the sensor permit the detection using a simple optical system, which provides the device with the potential to be used as an easy to handle, portable and disposable sensor.



Figure 1.- Fabrication process for Au nanosensor, based on soft-lithography, including at the end the AFM image of the obtained Au nanobelt grating over glass. (b) Measured and simulated optical transmission through a 20 nm thick Au nanobelt grating with a period of 750 nm and linewidth of 355 nm fabricated on glass

Referencias

 E. Baquedano, M. U. González, R. Paniagua-Domínguez, J. A. Sánchez-Gil, and P. A. Postigo, "Low-cost and large-size nanoplasmonic sensor based on Fano resonances with fast response and high sensitivity," Opt. Express 25, 15967-15976 (2017).

Nanofotónica

Sensing refractive index changes by guided surface plasmon waves at dielectric – dielectric interface using a 1D grating array

Mahmoud H. Elshorbagy^{1,2}, Alexander Cuadrado¹, Braulio García-Cámara², Ricardo Vergaz², Javier Alda¹

 ¹Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España)
 ²Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas GDAF-UC3M, Universidad Carlos III de Madrid, Av. de la Universidad, 30, 28911 Leganés, Madrid (España)

Abstract: This works proposes a novel design of a high-sensitivity refractive index sensor. This uses a guided surface plasmon wave generated at a dielectric-dielectric interface. We obtain coupling and guiding of a normal incident wave by means of a periodic 1D array grating made of Si_3N_4 . The high aspect ratio of the structure allows the guiding of the generated plasmon along the buffer layers between metal contact and the grating, obtaining a refractive index sensor with 320nm/RIU sensitivity and 60 [RIU]⁻¹ figure of merit.

Surface plasmon waves (SPW) are excited at metal-dielectric interfaces when complying with wave-vector matching conditions. A well-known way to generate SPW uses the Kretschmann configuration, where the incoming light propagating through a dielectric prism interacts with a thin metal film at a given angle. For a Kretschmann configuration, the sensing parameter is the shift of the reflectance dip, in terms of the incident angle (angular interrogation), as the environment refractive index changes by the presence of the analyte.[1] Alternative configurations generate SPW using normal incident light. In this case, the reflectance dip is interrogated spectrally.[2,3]

Buffer layers, like silicon, are used sometimes to avoid direct contact of the metal surface with the analyte or sample, for both technical reasons and to improve biocompatibility.[1] In this contribution, we generate SPW at a dielectric–dielectric interface by coupling and guiding a normal incident wave using 1D periodic array of high aspect ratio grating coupled to a thin metal film. The structure is described in Figure 1. It is composed of, from bottom to top: substrate / metal film Ag (100nm) / dielectric planar buffer layer (various) / high aspect ratio dielectric grating Si₃N₄ with geometry grating base width GW and grating hieght GH. The buffer layers sandwiched between the grating and the metal film both guides the SPW through the grating and separates the metal from the sensed medium. The generated SPW is guided back towards the grating / analyte interface. The sensitivity and figure of merit of the proposed design were calculated to be 320 nm/RIU and 60 [RIU]⁻¹ respectively.



Figure 1.- (a) The proposed structure, (b) Spatial distribution of the normalized magnetic field at resonance, (c) spectral reflectance at two different values of sensed medium refractive index.

Acknowledgements:

We thank AEI/FEDER, UE and MINECO for their support through the Project TEC2016-77242-C3-1-R AEI/ FEDER, UE

- [1] Ouyang, Q., Zeng, S., Jiang, L., Hong, L., Xu, G., Dinh, X. Q., & Yong, K. T. "Sensitivity enhancement of transition metal dichalcogenides/silicon nanostructure-based surface plasmon resonance biosensor" Scient. Rep. 6, 28190 (2016).
- [2] Elshorbagy, M. H., Cuadrado, A., & Alda, J. "Plasmonic Sensor Based on Dielectric Nanoprisms. Nanoscale Res. Lett. 12, 580 (2017).
- [3] Elshorbagy, M. H., Cuadrado, A., & Alda, J. (2017). "High-sensitivity integrated devices based on surface plasmon resonance for sensing applications". *Photon. Res.* 5, 654-661.

Propiedades ópticas y láser de guías de onda de polímeros termoplásticos dopados con perilenodiimidas

<u>Rafael Muñoz-Mármol^{1,2}</u>, Pedro G. Boj^{2,3}, José M. Villalvilla^{1,2}, José A. Quintana^{2,3}, Carmen Vázquez³ y María A. Díaz-García^{1,2}

¹Dpto. Física Aplicada, Universidad de Alicante, Alicante-03080, España ²Instituto Universitario de Materiales de Alicante, Universidad de Alicante, Alicante-03080, España ³Dpto. Óptica, Universidad de Alicante, Alicante-03080, España

Resumen: En este trabajo se comparan las propiedades ópticas y láser de tres derivados de perilenodiimida (PDI) con sustituyentes en las posiciones bahía (b-PDIs), que se caracterizan por poderse dispersar en la matriz polimérica que los alberga a concentraciones mucho mayores que las de otros PDIs, sin que se produzca inhibición de la emisión fotoluminiscente. Se han encontrado diferencias muy significativas en las propiedades dependiendo del tipo de matriz y del b-PDI utilizado.

Los láseres basados en guías de onda de materiales orgánicos son dispositivos que despiertan un gran interés por sus numerosas y variadas aplicaciones [1]. Actualmente se investiga cómo mejorar el material activo, siendo los principales objetivos disminuir la energía umbral láser y aumentar la fotoestabilidad. Algunos derivados de perilenodiimida (PDI), han demostrado un gran éxito en la fabricación de láseres con realimentación distribuida (DFB) cuando son dispersados en polímeros termoplásticos, tales como poliestireno (PS) o polimetilmetacrilato (PMMA) [2]. El uso de polímeros termoplásticos como matriz es muy ventajoso pues son compuestos comerciales baratos y que permiten fabricar guías de ondas de buena calidad mediante técnicas a partir de disolución como el spin-coating. Además, su uso permite la impresión de resonadores DFB mediante técnicas escalables a nivel industrial como la litografía de nanoimpresión.

En este trabajo se estudian nuevos derivados de un tipo específico de PDI sustituido en las posiciones 1, 7 de la bahía (b-PDI) que se puede dispersar en grandes cantidades (más de 40 veces las cantidades típicas utilizadas con otros PDIs) [3]. En primer lugar se analiza si el tipo de sustituyente de las posiciones imida del b-PDI afecta a las propiedades ópticas (absorción, fotoluminiscencia y pérdidas de las guías de onda) y de acción láser (emisión espontanea amplificada) de películas delgadas de b-PDIs dispersos en polímeros termoplásticos. En segundo lugar, se estudia el efecto del tipo de polímero usado como matriz, comparando resultados de películas de PS y PMMA.

Los resultados muestran diferencias significativas entre los dos polímeros, lo que indica que las matrices no son "inertes" o "pasivas" como se les supone. Asimismo, se ha observado que ciertos sustituyentes en las posiciones imida de los b-PDIs dan lugar a mejoras muy importantes de la fotoestabilidad.



Figura 1.- Estructura química de la molécula de perilenodiimida (PDI) con sustituyentes genéricos en las posiciones imida (R) y las posiciones 1 y 7 de la bahía (R').

Referencias

- Grivas, Christos, "Optically Pumped Planar Waveguide Laser: Part II: Gain Media, Laser Systems, and Applications.", Prog. Quantum Electron., 45-46, 3 (2016)
- [2] Ramírez, Manuel G, Marta Morales-Vidal, Víctor Navarro-Fuster, Pedro G Boj, José A Quintana, José M Villalvilla, Aritz Retolaza, Santos Merino, and María A Díaz-García, "Improved Performance of Perylenediimide-Based Lasers.", J. Mater. Chem. C, 1, 1182 (2013).
- [3] Ramírez, Manuel G., Sara Pla, Pedro G. Boj, José M. Villalvilla, José A. Quintana, María A. Díaz-García, Fernando Fernández-Lázaro, and Ángela Sastre-Santos, "1,7-Bay-Substituted Perylenediimide Derivative with Outstanding Laser Performance.", Adv. Opt. Mater., 1, 933 (2013)

Nanofotónica



Electrooptic assistive devices for vision impairment

Ricardo Vergaz Benito

GDAF-UC3M, Dep. Tecnología Electrónica, Universidad Carlos III de Madrid, C/Butarque 15, 28911, Leganés, Madrid. rvergaz@ing.uc3m.es

Abstract: In the last years, GDAF-UC3M Group researches the application of electrooptic devices in assistive systems to improve visual impaired people daily life. This presentation will summarize its joined effort with IOBA (Institute of Applied Ophthalmobiology, University of Valladolid) and other groups, showing its low-cost control electronics applied in the optical devices of electrochromic spectacles and new augmented reality aids.

This invited talk will introduce the research of GDAF-UC3M in assistive devices for low vision. GDAF-UC3M is the Displays and Photonic Applications Group at Technology Department in Universidad Carlos III de Madrid. One of its research lines is the application of electrooptic devices for designing and developing systems to improve the daily life of people with visual impairments [1]. We will focus in two systems: electrochromic spectacles and augmented reality with multiplexed image. I will present a brief description of their design, setup and experimental results.

The motivation for the first one is that many patients with retinal diseases use several pairs of glasses with selective filters in order to get a fast adaptation to changing ambient illuminations. The most popular solution to avoid the problem of carrying a lot of them is the photochromic filter. Three problems: its response times are long, its performance depends on the temperature and it only works if UV radiation impinges on it. We used electrochromic devices as an alternative. They have been used and even marketed as smart windows or as rear-view mirrors in cars. However, its use as optical filters for vision, although tried since the eighties, never reached the market. They are active, meaning that they change by means of a redox reaction when you apply a low DC voltage to them. Our system (developed with Indo, CIDETEC and IOBA) can apply different driving signals and is fully configurable through a user interface. We will show the results of these driving signals in the electrooptical performance [2], as well as the clinical results of using these spectacles [3].

On the other hand, we have designed and developed an augmented reality system applying image multiplexing, tuning Vuzix augmented reality glasses. IOBA has clinically tested this system as well. Ergonomy, hardware acceleration and information of depth are its main features. We will show the performance of the system, the features that the clinical test has forced us to improve, and how we have implemented them for a new clinical test, currently on its way.

These two aids have been developed under the Comunidad de Madrid SINFOTON-CM Research Program (S2013/MIT-2790). GDAF-UC3M is open to new collaborations, and thus this Conference can be a perfect environment to receive new suggestions and to enroll other Groups in these visual impairment applications.





Acknowledgements: These two aids have been developed under the Comunidad de Madrid SINFOTON-CM Research Program (S2013/MIT-2790), and we thank AEI/FEDER, UE and MINECO for their support through the Project TEC2016-77242-C3-1-R.

References

- [1] R. Vergaz, C. Vega-Colado, B. Coco, R. Cuadrado, J.C. Torres-Zafra, J.M. Sánchez Pena, R. Coco, Handbook of Research on ICTs for Healthcare and Social Services: Developments and Applications, IGI Global (2013). "New electro-optic and displays technologies for visual disabled people".
- [2] César Vega-Colado, "Contribución al desarrollo de Nuevas Ayudas electroópticas en. Rehabilitación Visual". Tesis Doctoral. UC3M (2015). https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22632/Tesis_cesar_vega_colado_2015.pdf
- [3] Rosa M. Coco-Martín, Rubén Cuadrado-Asensio, César Vega-Colado, Ricardo Vergaz, José M. Sánchez-Pena, Ana Viñuales, Sergi Peris, Pau Artús, M. Begoña Coco-Martín. "Control of disability glare by means of electrochromic filtering glasses: a pilot study", Journal of Innovative Optical Health Sciences, 1650028-1 (2016)

Photonic integration: the generic technologies ecosystem

Pascual Muñoz

Photonics Research Labs - Universitat Politècnica de València c/ Camino de Vera s/n – 46022 Valencia pascual.munoz@upv.es

Abstract: In this invited contribution, the current state of the art of the photonic integration technologies is reviewed. Technologies originated for tele/datacom applications, are currently finding room in bio-photonics and sensing among many other. The future evolution of these integration technologies will be also presented.

Despite many materials being amenable to producing photonic integrated circuits (PICs), only a few have been employed to mirror the path of the semiconductors electronics industry and evolved into an eco-system of foundries, software suppliers, design houses and fabless companies [1]. The material systems for which generic processes and offering access through multi-project wafer (MPW) runs have been developed are Silicon on Insulator (SOI) [2], Indium Phosphide [3] and Silicon Nitride [4]. Applications are tightly matted to wavelength, which determines the required transparency range for the materials (semiconductors, dielectrics) to be employed. In Figure 1, the optical spectrum is sketched alongside the wavelength ranges for main applications, from shorter to longer wavelengths, biophotonics, tele/datacom, and sensing, from visible, through near to mid-infrared. III-V semiconductors are mainly used in the near infrared (NIR), while SOI has slightly broader wavelength range. On the other hand, silicon nitride on silicon dioxide platforms are of use from visible (VIS) wavelengths to the upper part of the NIR (as SOI). The main limitation for SOI and Si3N4 platforms in the upper part of the spectrum is the strong absorption of SiO2 above approximately 4 µm. Hence, other material combinations such as germanium on silicon platforms have been proposed [5]. In this talk, the current state of the art for these technologies will be reviewed, including access models through generic integration and Multi-Project Wafer (MPW) runs, as depicted schematically in Fig. 1.



Figure 1.- Photonic generic integration technologies available through Multi-Project Wafer (MPW) runs

Referencias

- [1] P. Munoz, "Photonic integration in the palm of your hand: Generic technology and multi-project wafers, technical roadblocks, challenges and evolution,". In Proceedings of OFC, Los Angeles, CA, USA, 19-23 March 2017; pp. 1-3.
- [2] A.E.J. Lim, et. al. "Review of silicon photonics foundry efforts" IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2014, 20, 405-416.
- [3] M. Smit et. al., "An introduction to InP-based generic integration technology," Semiconduct. Sci. Technol. 2014, 29, 083001.
 [4] P. Muñoz et. al. "Silicon Nitride Photonic Integration Platforms for Visible, Near-Infrared and Mid-Infrared Applications,"
- Sensors. 17 (9), 2017.
- [5] A. Malik, et. al. "Germanium-on-silicon mid-infrared waveguides and Mach-Zehnder interferometers,". In Proc. of the IEEE Photonics Conference, Bellevue, WA, USA, 8-12 September 2013; pp. 104-105.

Cómo trazar pocos rayos para caracterizar de manera eficiente sistemas ópticos con simetría de revolución

Sergio Barbero, Javier Portilla

Instituto de Óptica, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IO, CSIC), C/ Serrano 121, 28006, Madrid

Resumen: Las ecuaciones de correspondencia entre puntos del espacio de fase objeto e imagen permiten caracterizar geométricamente los sistemas ópticos. Proponemos un nuevo procedimiento de interpolación de Chebyshev (garantizando convergencia uniforme) de estas ecuaciones en sistemas ópticos con simetría de revolución. Esto permite trazar pocos rayos para caracterizar tales sistemas.

El trazado de rayos es el núcleo esencial de los programas de diseño óptico. En muchas ocasiones, la necesidad de trazar muchos rayos (por ej. fuentes extensas o análisis fuera de eje o en profundidad de foco) puede suponer un coste computacional considerable. Aunque una estrategia natural para evitar trazar demasiados rayos es caracterizar las ecuaciones de correspondencia entre rayos en el espacio imagen y objeto mediante un expansión en serie, esta estrategia introduce errores evitables [1]. Una alternativa a la expansión en serie que no introduce error en los rayos trazados es la interpolación (por ej polinómica [2]).

Proponemos un nuevo procedimiento de interpolación de las ecuaciones de correspondencia entre puntos del espacio de fase objeto e imagen en sistemas ópticos con simetría de revolución. La idea se basa en descomponer las ecuaciones en tres variables en un conjunto de ecuaciones en dos variables correspondientes a diferentes valores de la coordenada radial. Las ecuaciones son las siguientes:

$$x' = g_1^{j}(p_{\rho}, p_{\phi}) \ y' = g_1^{j}(p_{\rho}, p_{\phi}) \ p_{\rho}' = g_1^{j}(p_{\rho}, p_{\phi}) \ j = 1, \dots, n,$$
(1)

donde j es el índice para el conjunto $\rho(j)$ de coordenadas radiales en la pupila de entrada, y p_{ρ} , p_{ϕ} los momentos radiales y angulares respectivamente. p'_{ϕ} se obtiene directamente aplicando el invariante *skew*.

Teniendo en cuenta que la propagación de una familia de rayos homocéntrica es una transformación simpléctica, podemos asegurar que las derivadas parciales de las ecuaciones (1) existen y están acotadas, lo que a su vez garantiza un convergencia uniforme en la interpolación polinómica, siempre que se usen los puntos de interpolación de Chebyshev [3]. Por ello aproximamos las ecuaciones (1) mediante interpolación de Chebyshev de dos variables, trazando rayos en los nodos de Chebyshev. Ilustramos la potencia de nuestro procedimiento estimando los diagramas de impacto de un triplete de Cooke (Figura 1).



incidencia: 0° & 12°.

La coordenada radial se muestreó en 9 localizaciones, y para cada una de ellas se trazaron 289 rayos (17 x 17 direcciones de azimut y elevación. El error cuadrático medio normalizado para la estimación de impacto de rayos fue de 2.8E-5% y 2E-2%, para situación en eje (0°) y campo de visión máximo (12°), respectivamente.

Referencias

[1] G. W. Forbes, "Extension of the convergence of multivariate aberration series," JOSA-A 3, 1376 (1986).

[2] J. Portilla and S. Barbero, "Accuracy of geometric point spread function estimation using the ray-counting method," in *Proc. SPIE* (2012), 855003.

[3] J. C. Mason and D. C. Handscomb, Chebyshev polynomials (Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Fla., 2003).

Evolución temporal de la transmisión óptica de un ferrofluido

Ángel Sanz Felipe, Juan Carlos Martín Alonso

Departamento de Física Aplicada e I3A, Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza

Resumen: Los ferrofluidos son materiales de gran interés para aplicaciones fotónicas. Su enorme complejidad no permite predecir fácilmente sus propiedades ópticas. Proponemos un programa que simula la evolución temporal de las nanopartículas en el fluido a partir de todas las interacciones físicas que las afectan y sus parámetros relevantes. Sobre la distribución simulada se calculará la propagación de una onda electromagnética contrastando la transmisión óptica teórica con la medida experimentalmente.

Los ferrofluidos son suspensiones coloidales de nanopartículas magnéticas en un líquido portador. Algunas de sus propiedades ópticas son sintonizables bajo la aplicación de un campo magnético externo, lo que los hace de gran interés por su aplicación para el desarrollo de sensores ópticos, filtros y dispositivos fotónicos sintonizables, así como diversas aplicaciones biomédicas. Sobre un volumen de ferrofluido, se aplica campo magnético homogéneo en dirección paralela o perpendicular a la de la luz incidente que atraviesa la muestra. Las nanopartículas se orientan según las líneas del campo aplicado, formando cadenas cuyo grosor y longitud aumenta en el tiempo (Fig. 1) hasta alcanzar una saturación. Ello provoca cambios en su transmisión óptica, cuya evolución temporal será resultante de todas las interacciones físicas sufridas por las partículas, lo que depende de manera crucial de los numerosos parámetros del ferrofluido: tamaño y concentración de nanopartículas, viscosidad del fluido portador, magnetización de las partículas, características del surfactante, etc [1].

La existencia de tantos parámetros libres que pueden alterar considerablemente sus propiedades, hace a los ferrofluidos de una complejidad enorme en su análisis, modelización y reproducibilidad. Es por ello que en la Literatura se encuentran numerosos estudios experimentales, modelos teóricos y simulaciones [1,2] capaces de explicar la muestra en particular pero dificilmente generalizables a cualquier otra y por tanto sin capacidad de predicción. Por ello, el objetivo de nuestro trabajo ha sido elaborar un programa que pueda predecir la evolución de las nanopartículas, es decir, su posición y velocidad así como su orientación y momento de giro, a partir de las características conocidas previamente. Para ello, el programa considera las fuerzas dipolo-dipolo entre partículas, las fuerzas de repulsión debidas al surfactante estabilizador, la interacción y giro por el campo magnético externo y el interno debido al resto de dipolos magnéticos, así como la dispersión Browniana traslacional y rotacional. El programa servirá de base como análisis descriptivo de estos materiales tan complejos, pero también para su optimización y elección de cara a aplicaciones fotónicas.

Las simulaciones permiten ver la formación o no de cadenas de partículas en el tiempo (Fig. 1) dependiendo de los valores introducidos para cada parámetro, dando muestra de la complejidad y sensibilidad de estos materiales a cualquier pequeña variación de sus características físicas. El paso oportuno a continuación es llevar este posicionamiento temporal de las partículas que proporciona la simulación a la herramienta BeamPROP del programa RSoft CAD, que calcula la propagación de una onda electromagnética por un medio con obstáculos (en este caso esferas con índice de refracción complejo) y así contrastar la evolución de la transmisión óptica prevista con los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio.



Figura 1.- Evolución temporal (izda. a dcha.) de las nanopartículas en el volumen de simulación al aplicar campo magnético.

Referencias

- S. Brojabasi, T. Muthukumaran, J.N. Laskar and J. Philip, "The effect of suspended Fe₃O₄ nanoparticle size on magneto-optical properties of ferrofluids", Opt. Commun. 336, 278 (2015).
- [2] S.I. Shulyma, B.M. Tanygin, V.F. Kovalenko and M.V. Petrychuk, "Magneto-optical extinction trend inversion in ferrofluids", J. Magn. Mater. 416, 141 (2016).

Fabricación de un electroestimulador celular para aplicaciones en investigación biomédica

Ángel L. Aragón⁽¹⁾, Carmen Bao⁽¹⁾, Eliseo Pérez⁽²⁾, Antonio Pazos⁽²⁾, Daniel Nieto⁽¹⁾

 (1) Departamento de Física aplicada, Facultade de Física e Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Sur s/n, 15782 Santiago de Compostela, España
 (2) Grupo de altas energías, Facultade de Física, Universidade de Santiago de Compostela, Campus Sur s/n, 15782 Santiago de Compostela, España

Resumen: En este trabajo se presenta el proceso de fabricación y caracterización de un biochip para la estimulación de células con aplicaciones en investigación biomédica. En un primer paso depositamos una capa de aluminio de 200 nm de espesor sobre un vidrio sodocálcico mediante deposición por vaporización física. Posteriormente se genera el circuito eléctrico mediante eliminación selectiva del aluminio por ablación láser, dejando un microcircuito que nos permite inducir impulsos eléctricos en cultivos celulares.

En este trabajo proponemos la fabricación de un estimulador eléctrico para el estudio de la estimulación eléctrica de células cardíacas en entornos in vitro [1,2]. El uso de este dispositivo permitirá estudiar la respuesta de estas células a diferentes señales eléctricas que simulen condiciones de estrés o patologías cardíacas.

La fabricación del dispositivo se desarrolla en dos etapas. En una primera etapa, mediante un proceso de vaporización física depositamos una capa de aluminio (200 nm de espesor) sobre un sustrato de vidrio sodocálcico. Posteriormente, mediante ablación láser, se elimina selectivamente parte del aluminio para dejar sobre el vidrio una serie de pistas conductoras que nos permiten inducir estímulos eléctricos. Tras la fabricación del circuito, se coloca un vidrio fino (100 µm de espesor) entre el mismo y un receptáculo para las células (cámara de cultivo) de forma que se evita el contacto directo entre el circuito y el cultivo celular (Fig. 1a). En paralelo a estas etapas de fabricación se llevan a cabo tareas de simulación y caracterización para determinar la geometría más idóneas de las pistas mediante el software COMSOL (Fig. 1b) en función de la intensidad y la forma del campo eléctrico generado en la superficie del vidrio. En una última etapa el dispositivo será validado para la estimulación de células cardíacas.



Figura 1.- a) Diagrama del ensamblaje de todos los componentes del dispositivo. b) Simulación del campo eléctrico inducido por el circuito electroestimulador a través de un vidrio delgado.

Mediante LabVIEW se creó el software de control de la señal eléctrica aplicada a las células a través de una estación generadora de señales de National Instruments. Este software permite aplicar pulsos de diferentes duraciones y frecuencias, simulando distintas condiciones cardíacas.

- [1] Christman KL, Lee RJ. "Biomaterials for the Treatment of Myocardial Infarction". J. Am. Coll. Cardiol, 48, 907 (2006).
- [2]. Nina Tandon, Chistopher Cannizaro, Pen-Hsiu Grace Chao, Robert Maidhof, Anna Marsano, Hoi Ting Heidi Au, Milica Radisic, Gordana Vinjak- Novanovic, "Electrical stimulation systems for cardiac tissue engineering", Nat Protoc, 4, 155 (2009).

Fast I-OFDR Interrogation of Equally-Spaced Arrays of Reflectors

Juan Clement¹, Javier Madrigal², Javier Hervás², and Carlos R. Fernández-Pousa¹

¹Department of Communications Engineering, Universidad Miguel Hernández de Elche ²ITEAM Research Institute, Universitat Politècnica de València

E-mail addresses: jclement@umh.es, jamadmad@iteam.upv.es, jaherpe2@teleco.upv.es, c.pousa@umh.es

Abstract: We present a fast interrogation technique of arrays of *N* equally-spaced fiber Bragg gratings (FBG) based on incoherent optical frequency-domain reflectometry. The equal spacing permits the sensors' reflectivity to be measured unambiguously by use of only *N* frequency points, resulting in interrogation times as low as 10 μ s per FBG, and 10 dB reflectivity decays measured within the range -11.3 dB/-8.0 dB.

Incoherent optical frequency-domain reflectometry (I-OFDR) is a technique for retrieving the location and intensity of reflective events along an optical channel, typically in-fiber sensors, by obtaining the reflectometric temporal response as the inverse discrete Fourier transform (IDFT) of the radio-frequency (RF) transfer function [1]. Some of its advantages are the high stability of the RF interference and the scalable signal-to-noise ratio (SNR), and has been used as a basis for developing other techniques such as spatial-distributed spectrometry [2]. However, higher SNR in RF-domain measurements implies longer measuring times, limiting its range of applications. In this contribution, we report on an I-OFDR technique for decreasing the measuring time, consisting in placing the sensing points in an equally-spaced pattern, so that the number of modulated lightwaves used to form the RF transfer function can be reduced down to the number of reflectors within the array. Related approaches to fast I-OFDR interrogation of equally-spaced arrays of reflectors employ parametric demodulation [3], what may lead to scalability issues. By contrast, as I-OFDR uses IDFT, an increase of the number of sensors does not involve neither large parametric fittings nor possible convergence problems.

Given an array of N reflective events equally-spaced by $\Delta \tau$, we choose a set of modulated lightwaves with frequencies $f_k = k/(N\Delta\tau)$ with k = 0, 1, ..., N - 1, and the resulting N-point transfer function is $H[k] = \sum_{n=0}^{N-1} P_n \exp(-j2\pi kn/N)$, whose IDFT coincides with the array of intensities of the reflective events, P_n . Then, the application of the IDFT algorithm to the N-point transfer function leads to the determination of the reflected powers. The experimental setup, depicted in Figure 1 (left), is a standard I-OFDR scheme based on a Mach-Zehnder modulator, driven by a vector network analyzer (Agilent N5245A). The reflective array consists of 10 WDM, equally-spaced, fiber Bragg gratings (FBG), each of them with a FWHM ~0.2 nm, reflectivity -12 dB, and Bragg wavelengths ranging from 1531 nm to 1568 nm. To simulate individual reflectivity decays, we employ a broadband source (NP Photonics ASE Source) followed by a programmable filter (Finisar WaveShaper 4000S).

Several combinations of FBGs attenuated by 10 dB were measured at an intermediate frequency bandwidth (IFBW) of 1 kHz, with measurements lying in all cases within the range -11.3 dB/-8.0 dB. The readouts of some of the experiments are shown in Figure 1 (right). Additional tests were also performed by attenuating a single FBG and varying the IFBW. Whereas for IFBW = 1 kHz the measuring time was 1 ms per FBG, for IFBW = 100 kHz the time decreased to 10 µs per FBG, although the 10-dB decay was read as -7.6 dB due to the increase in noise level.



Figure 1.- (Left) Experimental setup scheme. BBS: broadband source. PF: programmable filter. MZM: Mach-Zehnder modulator. VNA: vector network analyzer. PD: photodiode. (Right) Normalized reflectivity readouts P_n , attenuating several FBG combinations by 10 dB. Black bars: FBGs # 4, 6. Dark gray bars: # 3, 5, 6, and 7. Light gray bars: # 1, 3, 5, 7, and 9.

References

- [1] D. Derickson, Fiber optic test and measurement, (Prentice-Hall, 1998).
- [2] J. Clement Bellido and C. R. Fernández Pousa, "Spectral analysis using a dispersive microwave photonics link based on a broadband chirped fiber Bragg grating," J. Lightwave Technol., 33, 4207 (2015).
- [3] S. Werzinger, M. Gottinger, S. Gussner, S. Bergdolt, R. Engelbrecht, and B. Schmauss, "Model-based compressed sensing of fiber Bragg grating arrays in the frequency domain," Proc. SPIE 10323, paper 6H (2017).

Multi-heterodyne spectroscopy using acousto-optic frequency combs

V. Duran,^{1,2} C. Schnébelin,¹ H. Guillet de Chatellus¹

¹LIPhy, UGA/CNRS, F-38000 Grenoble, France

²GROC•UJI, Institut of New Imaging Technologies, Universitat Jaume I, 12070 Castelló, Spain

Resumen: We demonstrate that repetitive frequency shifts of a CW laser in an acousto-optic frequency-shifting loop are capable of generating combs with > 1000 mutually coherent lines. We report self-heterodyne interferometry with MHz resolution, and precise dual-comb molecular spectroscopy in the near-infrared region.

Optical frequency combs (OFCs) have produced a deep impact in optical metrology and high-precision spectroscopy. Mode-locked OFCs have been widely used due to their exceptional spectral bandwidth, but they usually require sophisticated locking methods to control the comb parameters [1]. A promising flexible and low-cost alternative is provided by electro-optic OFCs, where multiple mutually coherent sidebands are generated by electro-optic OFCs is typically limited to less than 100. Different techniques have been employed to increase the number of lines, such as the propagation through a nonlinear fiber or the use of phase bit sequences, although at the expense of a higher hardware complexity [3,4].

We propose as a comb source a recirculating frequency-shifting loop (FSL) seeded with a CW laser at 1550 nm. In a very simple implementation, FSL is a fiber loop containing an acousto-optics frequency shifter (AOFS), a fiber amplifier (EDFA) and a tunable bandpass filter (BPF) [5]. In a first experiment, we use a loop with two AOFS that induce frequency shifts with opposite signs, in order to generate a frequency comb with a line spacing of 1 MHz [Fig. 1(a)]. This spectrum can be easily measured by self-heterodyning with the seed laser [4]. The result is a comb with >1500 coherent lines (within 10 dB) [Fig. 1(b)]. In a second experiment, we implement an acousto-optic dual-comb system for molecular spectroscopy applications. A control system including a PID (proportional-integral-derivative) card and a phase-modulator (PM) is placed in one of the loops [Fig. 1(c)], so the two combs are phase-locked, making it possible to increase the acquisition time to >50 ms. We report precise measurement for a HCN gas cell (5.5 cm of length and 25 torr of pressure) with a frequency resolution of 80 MHz [Fig. 1(d)].



Figura 1. (a) Experimental setup used to generate and measure an acousto-optic OFC by self-heterodyne interferometry. (b) RF spectrum of the generated OFC and zoom-in view of its central part. (c) Optical setup to perform dual-comb spectroscopy. RFA: radio frequency (RF) amplifier; LPF: low-pass filter. Lower inset: RF spectrum obtained by directly mixing the output of the two FSLs with and without stabilization (blue and red spectra, respectively). (d) Transmission and phase corresponding to the 11th line of the HCN P-branch. Red lines correspond to the theoretical curves, blue squares to the experimental data and green squares to the residuals.

Referencias

- [1] T. Udem et al., "Optical frequency metrology," Nature 416, 232-237 (2002).
- [2] V. Torres-Company and A. M. Weiner, "Optical frequency comb technology for ultra-broadband radio- frequency photonics," Laser Photonics Rev. 8 (3), 368–393 (2014).
- [3] G. Millot et al., "Frequency-agile dual-comb spectroscopy," Nat. Photonics 10, 27-30 (2016).
- [4] N. B. Hébert et al., "Self-heterodyne interference spectroscopy using a comb generated by pseudo-random modulation," Opt. Express 23(21), 27806-27818 (2015).
- [5] H. Guillet de Chatellus et al., "Optical real-time Fourier transformation with kilohertz resolutions," Optica 3(1), 1-7 (2016).

Caracterización de la sensibilidad de una fibra, en torno al punto de inflexión de la condición de ajuste de fases de la interacción acustoóptica

Saúl Rosales-Mendoza, Martina Delgado-Pinar, Antonio Díez, Miguel V. Andrés

Laboratorio de Fibras Ópticas, Departamento de Física Aplicada – ICMUV, Universitat de València, Dr. Moliner, 50, Burjassot (Valencia) – España. e-mail: martina.delgado@uv.es

Resumen: Presentamos la caracterización de la sensibilidad de la interacción acusto-óptica en la fibra óptica SM2000, en el rango espectral 1.0-1.6 μ m. A partir de la medida de las curvas de sintonización de la resonancia $LP_{01} - LP_{11}$ se determinan los parámetros de la fibra y, en particular, el punto de inflexión de la condición de ajuste de fases (1.276 μ m), en torno al cual se alcanza una sensibilidad de 30 nm/kHz.

La interacción acusto-óptica (IAO) en fibra es una técnica basada en el acoplamiento entre distintos modos guiados por la fibra, inducido por la propagación de una onda acústica de frecuencia *fs* a lo largo de ella. La longitud de onda de resonancia del acomplamiento entre los modos LP_{01} y LP_{11} , λ_R , viene dada por $\lambda_R = (n_{01} - n_{11}) \cdot \Lambda$, donde n_{01} y n_{11} son los índices efectivos de los modos, y Λ la longitud de onda acústica. La resonancia, por tanto, es sintonizable en longitud de onda variando f_S . En este trabajo se estudia experimentalmente la curva de sintonización de la resonancia y cómo aumenta la sensibilidad en torno al punto de inflexión de la condición de ajuste de fases, λ_r . Además, se muestra el comportamiento espectral de las resonancias.

El montaje para realizar los experimentos es el propuesto en [1]. En nuestro caso, la longitud de interacción era de 80 cm, y la fuente de luz era un conjunto de LEDs entre 1.0 y 1.6 µm. Se midió la posición de la longitud de onda de resonancia para el acoplamiento LP_{01} - LP_{11} , a medida que se variaba la frecuencia de resonancia (ver Fig. 1(a), curva roja). Las medidas experimentales (puntos) se ajustaron al modelo teórico (línea discontinua). A partir del ajuste se determinó la longitud de onda de corte de la fibra, λ_c =1.66±0.03 µm; la apertura numérica, NA=0.1196±0.0005; y el radio del núcleo, a=5.12±0.10µm. La derivada de esta curva se corresponde con la sensibilidad de λ_R frente a variaciones de f_s , ver Fig. 1(a), curva azul. La línea continua se corresponde con las medidas experimentales, y la discontinua con el modelo teórico. La sensibilidad se hace máxima en torno al punto de inflexión de la condición de ajuste de fases, localizado en λ_r =1.276µm.



Figura 1.- (a) Curvas de sintonización del acoplamiento $LP_{01} - LP_{11}$ (rojo); sensibilidad en función de λ (azul). (b) Espectros de las resonancias del acoplamiento $LP_{01} - LP_{11}$ en torno λ_r .

La figura 1(b) muestra los espectros de la resonancia LP_{01} - LP_{11} en torno al punto de inflexión. Cada uno de los picos se corresponden con las resonancias del modo LP_{01} a cada uno de los modos que constituyen el triplete LP_{11} , es decir, el TM_{01} , HE_{21} y el TE_{01} . En nuestro experimento, la IAO proporciona anchuras de las resonancias que permiten resolver este triplete de modos, algo que no es asequible con otras técnicas. Como se observa, a medida que se aumenta f_s (de arriba hacia abajo), los modos se acercan hacia λ_r en sentidos opuestos, desapareciendo al alcanzar este punto. Es destacable que, incluso en las cercanías de λ_r , la anchura es lo suficientemente estrecha como para resolver el triplete de modos.

En conclusión, la alta sensibilidad que se alcanza en torno a λ_i puede permitir la medida con gran precisión de parámetros como por ejemplo el radio de la fibra, el índice del medio externo a la fibra, la tensión y aquellos otros de los que dependa la posición espectral de la resonancia.

Referencias

 E. Alcusa-Sáez, A. Díez, M. V. Andrés, "Accurate mode-characterization of two-mode optical fibers by in-fiber acousto-optics", *Opt. Express* 24, p. 4899 (2016).

Influencia del *sputtering* en el comportamiento de una *glow-discharge* en hidrógeno

V. Gonzalez-Fernandez¹, K. Grützmacher¹, C. Pérez¹, M. I. de la Rosa¹

¹Dpto. de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid. Paseo Belén 7, 47011, Valladolid.

Resumen: En este trabajo se analiza la caída del campo eléctrico en una descarga de cátodo hueco *glow-discharge* operada en hidrógeno para dos materiales de cátodo: acero inoxidable y tungsteno, cuya principal diferencia es la tasa de producción de *sputtering*. Las comparaciones se realizan para un amplio intervalo de presión y corriente.

Las descargas denominadas *glow-discharge* son objeto de estudio debido a su versatilidad en multitud de aplicaciones, ya sea en industria o en investigación. Debido a ello, el complejo comportamiento de estas descargas se ha estudiado tanto de manera teórica como experimental. El campo eléctrico presente en la descarga es uno de los parámetros más interesantes, puesto que la dinámica de la descarga está fuertemente condicionada por él. En el Laboratorio de Espectroscopía Láser en Plasmas de la Universidad de Valladolid se realizan medidas de la caída del campo eléctrico en la zona de cátodo de este tipo de descargas, operadas en hidrógeno puro o deuterio. Este trabajo es un estudio de la influencia del material del cátodo empleado, presentando medidas realizadas en dos cátodos de 15 mm de diámetro interior de dos materiales diferentes, ampliamente usados en este tipo de descargas: tungsteno y acero inoxidable. La mayor diferencia entre estos dos materiales es su tasa de generación de *sputtering* (partículas de material del cátodo arrancadas de la superficie del mismo), que en acero inoxidable es 10⁴ veces mayor que en tungsteno.

La determinación del campo eléctrico se realiza mediante una técnica de gran resolución espacial y temporal, basada en el ensanchamiento y desdoblamiento Stark que produce el campo eléctrico en el nivel 2S del hidrógeno y su detección mediante espectroscopia optogalvánica. El valor del campo eléctrico local se calcula mediante la separación en GHz de las componentes $2P^{1/2}$ y $2P^{3/2}$ del espectro. La radiación de 243 nm necesaria para inducir la transición 1S-2S del hidrógeno se obtiene mediante un complejo sistema láser formado por un Nd-YAG pulsado a 10 Hz y con inyección de semilla, que bombea un segundo láser basado en cristales no lineales (sistema OPO-OPA-SFG). Se obtiene radiación de hasta 5 mJ, con un único modo longitudinal (SLM), una duración de 2,5 ns y un ancho de banda de 300 MHz. Esta radiación se divide en dos haces circularmente polarizados en sentidos opuestos, que se hacen solapar en un foco de 100 mm de diámetro en la parte superior de la lámpara de descarga, paralelos a la pared del cátodo. La regla de selección de absorción de dos fotones ($\Delta L=0$) exige que el átomo de hidrógeno absorba un único fotón proveniente de cada haz, excitando el átomo al nivel 2S. Un tercer fotón es absorbido por el átomo, produciendo una ionización que modifica la impedancia del plasma, que se detecta mediante espectroscopía optogalvánica. Puesto que los dos haces viajan en sentidos contrarios, se obtienen medidas libres de efecto Doppler. La calidad del foco se controla a tiempo real mediante una cámara (LaserCam-HR-UV) que proporciona información sobre la energía y su distribución espacial.

La fuente de plasma empleada es una descarga de cátodo hueco con un cátodo emplazado entre dos ánodos que tienen forma cónica. Todas las piezas cuentan con una perforación axial que permite la realización de las medidas a distintas distancias de la superficie del cátodo. La descarga se opera en un amplio intervalo de corrientes y presiones, desde 50 a 300 mA y desde 400 a 900 Pa. La degradación del material del cátodo durante el funcionamiento de la descarga condiciona las características de la zona de cátodo, tal y como puede verse en la figura 1. La presencia del *sputtering* en la descarga generada en acero inoxidable hace que tanto el campo eléctrico máximo como la longitud de la zona de cátodo sean menores que para el cátodo de tungsteno. El *sputtering* afecta también a otras características, como el voltaje de mantenimiento de la descarga. La influencia de estas partículas depende también de la presión y corriente de la descarga. Un estudio completo de la influencia del material se mostrará durante la conferencia.



Figura 1.- Caída del campo eléctrico en función de la distancia a la pared del cátodo, para dos cátodos de acero inoxidable y tungsteno y un diámetro interior de 15 mm.

Stereoptics: una aventura interactiva en 3D

V. Gonzalez-Fernandez^{1,2}, F. Hevia^{1,3}, L. Sanchez-Tejerina^{1,4}, J. Carbajo¹, E. Vasallo¹, M. Vara¹, V. Villa¹, D. Mateos^{1,2}

 ¹ Asociación Physics League, Urb. El Cotanillo, Renedo de Esgueva, CP 47170 Valladolid, España. physicsleague.asoc@gmail.com
 ² Departamento de Física Teórica Atómica y Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid. Paseo Belén 7, CP 47011, Valladolid, España. veronica.gonzalez.fernandez@alumnos.uva.es
 ³ Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid. Paseo Belén 7, CP 47011, Valladolid, España
 ⁴ Departamento de Electricidad y Electrónica, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid. Paseo Belén 7, CP 47011, Valladolid, España

Resumen: *Stereoptics* nace como un taller interactivo dirigido al público general donde se explican diferentes conceptos sobre luz y visión, tales como percepción de la luz, polarización lineal y circular, visión estereoscópica y tecnologías 3D aplicadas al cine. El taller comienza con la explicación de los conceptos principales de forma sencilla y gráfica, para finalizar con la muestra en directo de un dispositivo de grabación y reproducción de fotografía y vídeo 3D.

La asociación Physics League ha desarrollado el taller denominado *Stereoptics*, donde se tratan de explicar de forma amena y sencilla varios aspectos relacionados con la luz y la visión, así como el fundamento de las tecnologías 3D aplicadas al cine. El primer concepto explicado es el de visión estereoscópica, ya que nuestros ojos reciben el mismo estímulo visual con una separación fíja. El cerebro humano es capaz de unir ambas imágenes en una sola, añadiendo el concepto de profundidad. Para comprobar experimentalmente esta idea, se lleva a cabo el experimento del péndulo de Pulfrich, en el que un objeto oscilante en un plano parece moverse con profundidad si se sitúa un filtro neutro sobre uno de nuestros ojos. El siguiente paso es explicar conceptos básicos sobre la polarización de la luz, comenzando por la lineal. En un monitor de ordenador, sin el filtro polarizador, se carga una imagen. Mientras no se sitúe un polarizador lineal delante de la pantalla, ésta aparece en blanco. Una vez recuperada la imagen, si se gira el polarizador la composición de colores cambia. El concepto de extinción total surge de manera natural cuando se posiciona un segundo polarizador lineal cruzado 90° con el primero. Tras ello, se procede a explicar la polarización circular, para lo cual se utilizan gafas 3D de cine. Dos voluntarios se colocan las gafas y, mirándose a los ojos, guiñan alternativamente los ojos; observando cómo uno de los cristales de su compañero se oscurece mientras que se puede ver a través del otro. Con esto se explica qué es una lámina $\lambda/4$ y su efecto cuando se encuentran orientadas en diferentes direcciones.

A continuación, los participantes entran al cine de Physics League, donde ellos mismos protagonizan un corto grabado en 3D. Con ayuda de un soporte con dos cámaras fotográficas separadas una cierta distancia, simulando la separación entre los ojos humanos, se graba a los asistentes. En este cine, dos proyectores separados una distancia fija superponen dos imágenes en una pantalla de plata, que permite mantener la polarización tras la reflexión. Sobre la lente de cada proyector se sitúa una combinación de un polarizador lineal seguido de una lámina $\lambda/4$ para conseguir luz circularmente polarizada. Cada uno de los espectadores, gracias a unas gafas 3D, visualiza el corto previamente grabado con el efecto de profundidad del cine 3D buscado. Se proyectan también una serie de fotografías y cortos vídeos procesados con esta tecnología.

El taller *Stereoptics* se estrenó durante la Noche Europea de los Investigadores de 2016 en el Museo de la Ciencia de Valladolid, con una audiencia de unas 100 personas. Se ha llevado a cabo también en la Semana de la Ciencia 2016 y 2017 en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valladolid, ante más de 500 estudiantes de secundaria.



Figura 1. En la primera imagen se muestra el sistema de grabación y reproducción 3D. Las siguientes son imágenes de las fotos y vídeos 3D proyectados.

SUNBOX: Irradiador Solar Sintonizable y de Bajo Coste para la Caracterización de Dispositivos Fotónicos

E. López-Fraguas, A. Muñoz, R. Vergaz

Grupo de Displays y Aplicaciones Fotónicas (GDAF-UC3M), Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad Carlos III de Madrid, Avda. Universidad, 30, 28911, Leganés, Madrid, España.

Resumen: En este trabajo se presenta brevemente el desarrollo de SUNBOX, un simulador solar de bajo coste para caracterizar dispositivos fotónicos de pequeño tamaño. Tiene la capacidad de simular el espectro AM1.5, además de otros espectros configurables plenamente por el usuario, en una zona de 3x3 cm². Dependiendo del tipo de iluminación requerida, puede trabajar en modo de irradiancia continua o pulsada. Por último, posee una interfaz de usuario intuitiva diseñada con el software LabView.

Un simulador solar es un instrumento de caracterización de dispositivos con una gran utilidad, ya que permite iluminar un área determinada con unas condiciones fijas o configurables por el usuario. Gracias a ello, se puede caracterizar una gran variedad de dispositivos fotónicos, desde fotodiodos hasta células solares. Su gran problema es que exige un desembolso económico grande (alcanzan los 20.000€), además de su gran tamaño. En este proyecto se ha desarrollado un simulador solar novedoso, compacto, de pequeño tamaño y de clase AAA según la normativa IEC60904-9 [1]. Nuestro objetivo es que este proyecto sirva para que pequeños laboratorios puedan tener su simulador solar sin desembolsar una gran cantidad de dinero.

SUNBOX está basado únicamente en tecnología LED y es capaz de emitir en catorce intervalos de longitud de onda diferentes, con control por un Arduino Uno y electrónica propietaria. Gracias a esto, se consigue una coincidencia espectral de clase A con el estándar AM1.5 [2], es decir, su irradiancia coincide en un $\pm 25\%$ con la del AM1.5 en cada intervalo espectral de 100 nm en el visible y de 200 nm entre 900 y 1100 nm (ver Figura 1).



Figura 1.- Espectro emitido por SUNBOX (línea negra gruesa) cuando todas las emisiones de sus LEDs (líneas individuales) se sintonizan para obtener el estándar AM1.5 (línea ámbar).

Cada una de estas emisiones se puede controlar de forma individual, por si se quiere estudiar la respuesta del dispositivo fotónico en un intervalo espectral determinado. Se puede seleccionar el modo de emisión, ya que puede iluminar de forma continua o pulsada, dependiendo del tipo de test que se quiera realizar.

Agradecemos a AEI/FEDER, UE y MINECO su ayuda a través del proyecto TEC2016-77242-C3-1-R AEI/FEDER,UE.

Referencias

[1] IEC 60904-9 Photovoltaic devices – Part 9: Solar simulator performance requirements (2007).

 [2] ASTM G173-03 Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface (2012).

Métodos de colimación basados en el fenómeno de autoimágenes

Francisco José Torcal-Milla¹, Luis Miguel Sanchez-Brea²

fjtorcal@unizar.es

¹Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza (España) ²Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España)

Resumen: El estado de colimación de un haz óptico es un parámetro de gran importancia en numerosas aplicaciones. En este trabajo se presentan varios métodos de colimación de haces ópticos utilizando redes de difracción: mediante la medida del periodo de sus autoimágenes o mediante la generación de una figura de Lissajous. Estos métodos presentan ventajas frente a otros métodos establecidos, ofreciendo a su vez, un alto grado de colimación.

La técnica básica se basa en la interposición de una red de difracción al haz del cual se quiere medir el grado de colimación (Figura 1). Posteriormente se ubica un sistema de detección con el objetivo de determinar las autoimágenes generadas. El método más sencillo consiste únicamente en ubicar un array lineal de fotodetectores, o una cámara CCD o CMOS, en un plano donde se forme una autoimagen. Se compara el periodo de la autoimagen generada con el periodo de la red de difracción, resultando el haz colimado cuando ambos periodos coinciden, [1,2]. La técnica se aprovecha de la gran precisión en el grabado de las redes de difracción, con precisiones del orden de 3 µm/m. No obstante, es necesario un cierto control de la temperatura y un alineamiento preciso de los elementos ópticos implicados. Para evitar estos problemas de tolerancia se pueden ubicar dos sistemas de detección a distancias distintas y comparar el periodo de sendas autoimágenes, sin tener en cuenta el periodo de la red, [2]. Para el caso de un haz proveniente de una fuente más o menos puntual y una única lente colimadora, el haz se focaliza cuando se ubica la fuente sobre el plano focal de dicha lente. Para una lente estándar, como por ejemplo de diámetro D = 17 mm y focal f = 45 mm, se puede obtener una precisión de 1 micra en el posicionamiento de la fuente, lo que nos lleva a un grado de colimación de unos 2 microrradianes. Hemos analizado también la capacidad de utilizar la técnica con haces policromáticos procedentes de fuentes extensas, [3]. Aunque el proceso de formación de autoimágenes queda perjudicado para este caso, podemos ubicar la cámara muy cerca de la red y trabajar en la autoimagen de orden 0. Cuando el proceso de medida necesita ser muy rápido, utilizando únicamente dos foto detectores y dos redes de difracción adicionales, hemos ideado un método para generar una figura de Lissajous y, mediante su observación visual, o la determinación automática de su forma, determinar si el haz está colimado o no, [4-5].



Figura 1.- Esquema básico para colimar y/o determinar el grado de colimación un haz de luz. La luz procede de una fuente, pasa a través de una lente y posteriormente a través de una red de difracción observándose una autoimagen con una cámara.

Referencias

- L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, J.M. Herrera-Fernandez, T. Morlanes, E. Bernabeu, "Self-imaging technique for beam collimation," Opt. Lett., 39, 5764 (2014).
- [2] J.M. Herrera-Fernandez, L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, T. Morlanes, E. Bernabeu, "Dual self-image technique for beam collimation," J. Opt., 18, 075608 (2016).
- [3] F.J. Torcal-Milla, L.M. Sanchez-Brea, "Collimation technique and testing applied to finite size polychromatic sources," App. Opt., 56, 3628 (2017).
- [4] L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, F.J. Salgado-Remacha, T. Morlanes, I. Jimenez-Castillo, E. Bernabeu, "Collimation method using a double grating system," App. Opt., 49, 3363 (2010).
- [5] F.J. Torcal-Milla, L.M. Sanchez-Brea, J.M. Herrera-Fernandez, "Lissajous figure-based single-frame collimation technique," Sensors and Actuators A, 233, 259 (2015).

Agradecimientos: "Seguridad de los vehículos automóviles por un transporte inteligente, eficiente y seguro" programa SEGVAU-TO-TRIES-CM P2013/MIT-2713, Comunidad de Madrid, Dirección General de Universidades e Investigación.

Fabrication of microchannels over soda-lime glass by laser direct writing in the IR spectral range: comparison among nano, pico and femtosecond temporal regimes

M. Aymerich¹, D. Canteli², J. R. Vázquez de Aldana³, C. Molpeceres² and M. T. Flores-Arias^{1,*}

1. Photonics4Life Research Group, Departamento de Física Aplicada,

Facultade de Físicas Universidade de Santiago de Compostela, 15782, Santiago de Compostela, Spain
2. Centro Láser UPM, Universidad Politécnica de Madrid, Crta. de Valencia km 3.7, 28031, Madrid, Spain
3. Aplicaciones del Láser y de la Fotónica Research Group, Departamento de Fisica Aplicada,

Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008, Salamanca, Spain

* maite.flores@usc.es

Resumen: The fabrication of microchannels by laser direct writing with different pulse durations in the IR over soda-lime glass is presented. Similar dimension structures are manufactured with nanosecond, picosecond and femtosecond laser systems. Importance of tin impurities, only present in one side of the soda-lime glass, is studied. It is shown that they play a key role in the ablation process and that they are crucial for obtaining a high quality microchannel.

In this work, we present for the first time, to our knowledge, a comparison among channels fabricated in the three pulse duration regimes, all of them performed over soda-lime glass by direct laser writing in the infrared spectral range. The optimal irradiation parameters and the number of scans are determined in order to obtain channels with an appropriate ratio diameter-depth. These structures are characterised and compared.

The influence of tin impurities present in the commercial soda-lime glass is analysed. Chemical composition of the surfaces of soda-lime glass is different. In one of the sides there is a presence of tin impurities derived from the fabrication process of glass and there is a lack of them. These dopants are key in the microstructuring of the material with laser [1-2]. In Figure 1, comparison of the results when working over the doped and undoped surfaces is shown.



Figure 1.- SEM images of the structures obtained on both surfaces of soda-lime glass when irradiating with the a) nanosecond, b) picosecond and c) femtosecond lasers. In each subpicture, left-side corresponds to the doped surface and right-side to the undoped surface.

As it can be seen in Figure 1, in the nanosecond regime impurities are essential for ablation. In picosecond and femtosecond regimes, ablation happened in both sides due to the different physical mechanisms involved on ablation in those temporal regimes, where no seed electrons are needed to start the process. Nevertheless, there were important differences in the morphological quality of the generated structures. Whereas in the doped side of the glass the channel shows straight and sharp edges, in the undoped one the structure presents several cracks and edge chipping. The formation of such defects in the micromachining of glasses with ultrashort pulses appears frequently and it is related to the low thermal diffusivity of these materials.

- [1] D. Nieto, J. Arines, G.M. O'Connor, M.T. Flores-Arias, Single-pulse laser ablation threshold of borosilicate, fused silica, sapphire, and soda-lime glass for pulse widths of 500 fs, 10 ps, 20 ns, Appl. Opt. 54(29) 8596 (2015).
- [2] D. Nieto, J. Arines, M.T. Flores-Arias, Fluence ablation threshold dependence on tin impurities in commercial soda-lime glass, Appl. Opt. 53(24) 5416 (2014).

Recombinación superficial para un modelo analítico de fotocorriente

E. Borreguero, A. Ferrero, J. Campos, A. Pons, M. L. Hernanz, J. L. Velázquez y B. Bernad

Instituto de Óptica "Daza de Valdés" (IO, CSIC). Serrano 144, ES-28006, Madrid.

Resumen: Se propone cómo calcular las pérdidas superficiales de fotocorriente en fotodiodos de unión auto-inducida. Se han encontrado dos vías para modelarlas: como una tasa de recombinación tipo Shockley-Read-Hall o como una densidad superficial de corriente de recombinación. La diferencia fundamental entre las dos alternativas es el comportamiento espectral y la dependencia de las pérdidas con la velocidad de recombinación superficial, que deberá comprobarse experimentalmente.

Los Predictable Quantum Efficient Detectors, PQEDs [1], son detectores constituidos por fotodiodos de unión auto-inducida [2] cuya eficiencia cuántica interna, IQE (cociente entre el número de portadores de carga que contribuyen a la fotocorriente medida y el de fotones absorbidos en el material), cercana a la unidad, podría ser predicha a partir de parámetros estructurales. Por tanto, serían candidatos a patrón primario de flujo radiante al no necesitar ser comparados con otro radiómetro.

El diseño de los PQEDs hace que las dos causas fundamentales de pérdidas se puedan asociar a los centros de recombinación existentes en el sustrato y la superficie. Habitualmente se emplean programas de simulación de dispositivos semiconductores para estimar las pérdidas y, por tanto, la IQE de los PQEDs [3]. Como alternativa, se puede emplear un modelo analítico de la fotocorriente [4], adaptado al caso, para calcular las pérdidas en el sustrato. Este trabajo se centra en estudiar las pérdidas superficiales e incluirlas en el modelo analítico de fotocorriente de modo que éste pueda predecir los resultados experimentales de IQE.

Se han encontrado dos opciones para modelar las pérdidas superficiales. Una es incluirlas como una tasa de recombinación Shockley-Read-Hall análoga a la de volumen, donde la velocidad de recombinación de superficie (SRV) sustituye al tiempo de vida medio de los portadores de carga en el sustrato, y donde las pérdidas superficiales se calculan aplicando esa tasa a una cierta región del fotodiodo, de espesor *f*, aneja a la interfaz óxido-sustrato. En este caso las pérdidas superficiales dependen ligeramente de la SRV, sin embargo están determinadas por el coeficiente de absorción del silicio y el parámetro *f*. La otra opción es interpretarlas como un efecto local con una densidad superficial de corriente de recombinación, J_{surf} , donde las pérdidas son directamente proporcionales a la SRV. Por tanto, la diferencia fundamental entre las dos vías es la dependencia de las pérdidas superficiales con la SRV y el comportamiento espectral (véase fig. 1). El método más adecuado podrá dilucidarse comparando con medidas espectrales de EQI de fotodiodos de unión auto-inducida que tengan valores diferentes de SRV.



Figura 1.- Representación espectral de las pérdidas superficiales por recombinación de un fotodiodo de unión auto-inducida, modeladas mediante una tasa tipo Shockley-Read-Hall y una densidad superficial de corriente.

Referencias

- [1] M. Sildoja, F. Manoocheri, M. Merimaa, E. Ikonen, I. Müller, L. Werner, J. Gran, T. Kübarsepp, M. Smîd, M.L. Rastello, "Predictable quantum efficient detector: I. Photodiodes and predicted responsivity" Metrologia 50, 385 (2013).
- [2] T. E. Hansen, "Silicon UV-photodiodes using natural inversion layers" Physica Scripta 18, 471 (1978).
- [3] J. Gran, T. Kübarsepp, M. Sildoja, F. Manoocheri, E. Ikonen, I. Müller, "Simulations of a predictable quantum efficient detector with PC1D" Metrologia 49, 130 (2012).
- [4] A. Ferrero, J. Campos, A. Pons, A. Corrons, "New model for the internal quantum efficiency of photodiodes based on photocurrent analysis" Applied Optics 44, 208 (2005).

Aplicaciones en docencia y en investigación del patrimonio de instrumentos científicos de la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona. Estudio de un objetivo de un microscopio antiguo

Santiago Vallmitjana, Antonio Marzoa y Salvador Bosch

Grup d'Òptica i Fotònica, Departament de Física Aplicada, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028 Barcelona

Resumen: La Facultad de Física de la Universidad de Barcelona posee un importante patrimonio de instrumentos científicos. Aparte del interés museístico, destacamos la importancia para la docencia y la investigación. Como ejemplo, se analiza el frente de onda producido por un objetivo de microscopio del siglo XIX, que permite simular su influencia en la imagen. Se comparan los resultados con imágenes reales obtenidas en el microscopio.

1. El patrimonio de instrumentos científicos y su relevancia en la investigación historiográfica y en la docencia.

El patrimonio de instrumentos científicos de la Facultad de Física consta de una importante colección acumulada a lo largo de más de ciento cincuenta años de vida académica y de investigación [1]. Un patrimonio instrumental puede representar una importante herramienta para la docencia y para la investigación. En este sentido, se han realizado algunos estudios como por ejemplo el funcionamiento de una máquina de Atwood y otros trabajos relacionados con instrumentos ópticos tales como linternas mágicas, espectroscopios, polarímetros y telescopios [2]. También se ha abordado un método de medida sin contacto mediante un sensor Shack-Hartmann [3], evitando el tener que manipular o desmontar los instrumentos. En este estudio se ha aplicado dicha técnica a un objetivo de microscopio del siglo XIX.

2. Método empleado para el estudio de un objetivo de microscopio antiguo.

El sujeto de nuestro estudio es uno de los objetivos (con el número 2) de un microscopio Chevalier (referencia de la colección FFUB-0044) datado entre 1880 y 1889. El montaje experimental consta de una fuente de tres diodos LED (RGB), óptica de reducción, objetivo analizado y sensor Shack-Hartmann. Dicho sensor permite la medida directa de los coeficientes de Zernike y la correspondiente reconstrucción del frente de onda. Calculando la propagación de dicho frente de onda [3] se puede obtener la función extendida de punto (PSF por sus siglas en inglés) del instrumento. La convolución de la PSF con una imagen que se toma como referencia o "perfecta" (obtenida con un microscopio moderno de gran calidad) nos reproduce una simulación de la imagen generada por el instrumento. Todo esto se repite secuencialmente para los tres LED correspondientes a las bandas R, G y B. De este modo se obtiene la imagen policromática simulada. Finalmente se compara la imagen simulada con la imagen directa obtenida por el objetivo. Esta metodología nos permite, a la vez, estudiar la calidad óptica del instrumento, así como analizar la evolución de la calidad de imagen en instrumentos ópticos a través del tiempo y formar a estudiantes en las áreas de metrología óptica y procesado de imagen.



Figura 1.- De izquierda a derecha. Esquema del montaje experimental. Microscopio Chevalier (ca 1885). Imagen obtenida a través del objetivo del microscopio. Imagen simulada a partir de los valores obtenidos con el sensor Shack-Hartmann.

Agradecimientos: Este trabajo está financiado por el proyecto FIS2016-77319-C2-2-R.

- [1] S. Vallmitjana, "Instrumentos Científicos: Catálogo de la Facultad de Física de la Universidad de Barcelona", Publicacions de la Universitat de Barcelona (2011).
- [2] S. Vallmitjana, J. Núñez de Murga, "Els dos telescopis refractors més grans de Catalunya", Ausa 25, 69, 753-758,(2012).
- [3] S.Vallmitjana, C. Ferran and S. Bosch "Non-contact technique for testing antique optical instruments based on wavefront sensing", J. Mod. Opt. 1269-127, (2011). <u>http://www.ub.edu/waveng/tiki-view_tracker_item.php?itemId=94</u>

Laser-mediated synthesis of Cu by photochemical reduction of metal salts in a continuous flow jet

<u>Rafael Torres-Mendieta</u>,^a Michal Urbánek,^b Martin Cvek,^b Ondřej Havelka,^a Stanisław Wacławek,^a Vinod Vellora Thekkae Padil,^a Darina Jašíková,^a Michal Kotek^a and Miroslav Černík^a

^a Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Technical University of Liberec, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Czech Republic.

^b Centre of Polymer Systems, University Institute, Tomas Bata University in Zlín, Trida T. Bati 5678, 760

01 Zlín, Czech Republic.

Abstract: In the current communication, the synthesis of Cu nanoparticles with sizes of 20 ± 10 nm is carried out by photochemical reduction of CuCl₂·2H₂O dissolved in ethylene glycol by irradiating with a nanosecond pulsed laser source a continuous flow jet. The presented methodology allows the formation of relatively large quantities of Cu nanoparticles in the presence of organic oils, taking as precursor agent metal salts that are conventionally used in traditional wet synthesis techniques.

Copper (Cu), one of the most abundant and affordable materials on earth, is lately attracting significant attention due to its potential as a possible alternative over rare and expensive noble-metal nanoparticles (NPs) in different fields e. g. as bacteria killing, photo-catalysis, optics, electronics, among others. The popularity of the material has lead to the development of several ways to synthesize Cu-based materials. However, the Cu instability under atmospheric conditions is in most of the cases promoting its oxidation and further degradation of its properties. In this context, a huge effort has been devoted to synthesize Cu NPs that are not subject to an immediate oxidation and the best solution found was the synthesis of core/shell Cu NPs systems. Their conventional fabrication processes however, in most of the cases suffer from the use of hazardous reducing agents or huge investment of resources.

Recently, multi-photon reduction of metal salts by the use of pulsed lasers, have come up as a powerful alternative over traditional methodologies due to its versatility and reproducibility [1]. The technique is based on a multi photon-absorption process experienced by metal salts dissolved in almost any kind of liquid. The extreme energy absorption leads to the dissociation of metal salts without needing any reducing agent and in this way form NPs. When the irradiated material is set in a continuous flow jet, it is possible to control the final size of the nanomaterial by fragmenting the already created NPs, while the velocity of the production rate allows the scalability of the synthesized material to get large quantities [2].

In the current communication, successful synthesis of non-oxidized Cu NPs is demonstrated. The synthesized NPs with sizes of 20 ± 10 nm, were obtained by using a Nd:YAG laser (New Wave Research; 10Hz, 10ns, ~8mJ), focused by a plano-convex lens (f=30mm, focal spot of ~40µm) into a liquid jet composed by 67.5mg of CuCl₂·2H₂O diluted in 15ml of ethylene glycol (EG), as depicted in Figure 1. The liquid jet is promoted by a liquid loop fed by a peristaltic pump working at 80ml/min.



Figure 1.- Laser irradiation of the continuous liquid jet composed by CuCl₂·2H₂O and EG (a). Synthesized Cu NPs (b).

In summary, the presented methodology constitutes a facile, hazardous-free and versatile alternative over traditional chemical synthesis approaches used to fabricate non-oxidized Cu NPs in complex liquids as organic oils. It is believed that this methodology may inspire future developments on NPs fabrication.

The authors acknowledge the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic , Programs (NPU I - LO1504, LO 1201, CZ.1.05/2.1.00/19.0386).

References

- Gawande, Manoj B., et al. "Cu and Cu-based nanoparticles: synthesis and applications in catalysis." Chemical Reviews 116 3722 (2016).
- [2] Wagener, Philipp, and Stephan Barcikowski. "Laser fragmentation of organic microparticles into colloidal nanoparticles in a free liquid jet." Applied Physics A 101 435 (2010).

Medida de las pérdidas inducidas por radiación UV en fibras fotosensibles

X. Roselló-Mechó, M. Delgado-Pinar, A. Díez, J. L. Cruz, M. V. Andrés

Laboratorio de Fibras Ópticas, Departamento de Física Aplicada – ICMUV, Universitat de València, Dr. Moliner, 50, Burjassot (Valencia) – España. e-mail: martina.delgado@uv.es

Resumen: La iluminación de fibras fotosensibles con luz UV es una técnica bien establecida para la fabricación de dispositivos como redes de *Bragg*, ya que esta radiación modifica el índice del núcleo de estas fibras. Como consecuencia, aumenta su coeficiente de absorción. Aquí, presentamos una técnica basada en el uso de *whispering gallery modes* que permite medir el coeficiente de pérdidas por absorción y diferenciarlo del coeficiente de pérdidas por *scattering*.

La técnica para fabricar componentes como redes de Bragg o de periodo largo se basa en la irradiación de fibras fotosensibles con luz UV. Este proceso aumenta el índice del material del núcleo, lo que conlleva un aumento del coeficiente de absorción. Además, la radiación UV introduce deformaciones mecánicas en la fibra que también aumentan las pérdidas por *scattering* de los dispositivos. En este trabajo presentamos la medida del aumento de las pérdidas de absorción usando whispering gallery modes (WGMs). Una sección de fibra previamente irradiada hace el papel de microrresonador, en el cual se excitan los WGMs azimutales con la ayuda de una fibra estrechada auxiliar, tal y como se muestra en el montaje recogido en [1]. La excitación de los WGMs es un fenómeno resonante en longitud de onda, y la posición espectral de la resonancia, λ_R , se desplaza conforme varía la temperatura del resonador (el límite de detección de variaciones de temperatura usando esta técnica es 0.03°C). Al iluminar el microrresonador con luz infrarroja a un nivel de potencia moderado (típicamente, 1W), el calentamiento en las zonas previamente irradiadas es mayor que en las no irradiadas, debido al aumento del coeficiente de absorción, α_{abc} . La técnica permite medir estas variaciones de temperatura con una resolución axial de 0.3mm, por lo que podemos medir el perfil de temperatura de una sección de fibra irradiada punto a punto. La Fig. 1(a) muestra un ejemplo del perfil de temperatura de una fibra Fibercore PS980 (longitud de zona irradiada 5 mm), iluminada con una señal de 1.55µm de 1W. Se observa cómo el calentamiento en la zona irradiada es mayor de 10°C, mientras que la fibra sin irradiar apenas se calienta 1°C. A partir del estudio recogido en [2] para la distribución de calor en fibras ópticas, se llega a la relación $\alpha_{abs}^2/\alpha_{abs}^1 = \Delta T^2/\Delta T^1$, donde el superíndice hace referencia a la zona irradiada y no irradiada, respectivamente. En el caso de esta fibra se determinó $\alpha_{abs}^2/\alpha_{abs}^1 = 36.9 \pm 0.7$ para una energía de irradiación UV de 150J/mm².



Figura 1.- (a) Perfil típico de calentamiento de una fibra PS980 irradiada con UV e iluminada a 1550nm con 1W de potencia. (b) Medida directa de pérdidas durante el proceso de irradiación. Longitud de fibra irradiada: 5cm.

Estas medidas se complementaron con la medida directa del aumento de pérdidas de la fibra a medida que se irradiaba, ver Fig. 1(b) (energía total irradiada en la fibra: 160J/mm²). En este caso, el coeficiente de pérdidas tiene en cuenta la contribución del aumento de la absorción, pero también del aumento de las pérdidas por *scattering* α_{scat} . En este caso, la relación entre los coeficientes de pérdidas es $\alpha^2/\alpha^1 = 52\pm3$, siendo $\alpha = \alpha_{abs} + \alpha_{scat}$. A partir de estos resultados, y del valor medido de las pérdidas para la fibra sin irradiar (120±2dB/km @ 1550nm) puede evaluarse separadamente los valores de ambos coeficientes para el caso de la fibra irradiada: $\alpha^2_{abs} = 3680\pm20$ dB/km y $\alpha^2_{scat} = 2500\pm400$ dB/km.

Referencias

[1] M. Delgado-Pinar, I. L. Villegas, A. Díez, J. L. Cruz, and M. V. Andrés, Opt. Lett. 39, 6277 (2014).

^[2] M. K. Davis, M. J. F. Digonnet, and R. H. Pantell, J. Light. Technol. 16, 1013 (1998)

Optical Coefficients of Monocotyledonous Plant Leaves via Kubelka-Munk Modeling of Diffuse Reflectance Measurements

A. Reyes Trujillo^{1, 2}, J. Rodríguez, ² C. A. Galíndez Jamioy¹, E. Solarte Rodriguez¹

 ¹ Grupo de Óptica Cuántica, Departamento de Física,
 ² Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Abstract: There is a Kubelka-Munk type model to estimate chlorophyll content in leaves of dicotyledonous plants. This model is not useful in monocotyledonous leaves due to its structure. We made a model of the sugar cane leaf and an experimental setup of integrating spheres to measure the UV-VIS-NIR diffuse reflectance and transmittance spectra of these leaves. We present the spectral results, the calculated values of the K-M coefficients and the calculated optical constants.

The theory of Kubelka-Munk (K-M) is a propagation model of diffuse light in a medium with absorption and scattering. This theory allows finding relations between the light absorption (k) and light scattering (s) coefficients, using the data of diffuse reflectance and diffuse and collimate transmittance measurements of the sample. The model, developed to determine the optical properties of paper, has shown to be useful to study several physical systems such as turbid organic media, plants [1, 2] and semiconductors [3]. Corrections have been suggested recently, allowing the application to more complex systems [4]. Yamada and Fujimura [2], proposed a KM-based method to estimate the chlorophyll content in a dicotyledonous leaf, modeling it as a four layers system. With the layers model [5] it is possible to determine the values of k and s coefficients. In the case of sugarcane, a monocotyledonous plant, the leaves have another structure, with different number and arrangement of layers containing compounds that absorb and scatter the light. Due this, the applicability of previous models must be evaluated.

An experimental setup of two integrating spheres (see figure 1) was designed to measure diffuse reflectance and transmittance both collimated and diffuse, in sugarcane leaves. To illuminate the sample, a continuous light source in the UV-VIS-NIR range coupled by optical fiber to the spheres was used, and an optical fiber spectrophotometer was utilized to measure the diffuse transmittance and reflectance spectra. The coefficients k and s were calculated using the spectral data and Kubelka-Munk theory. The results of the spectral measurements and the calculated values of the Kubelka - Munk coefficients and the optical constants calculated in the available range of wavelengths are presented. These results demostrating the possibility to spectrally distiguish between sugarcane varieties.



Figure 1.-Scheme of the measurement arrangement with a system of integrating spheres, from reference [5].

References

- [1] N. Yamada & S. Fujimura. Applied Optics, 30, 3964-3973. (1991)
- [2] L. Fukshansky, N. Fukshansky-Kazarinova, and A. Martinez v. Remisowsky. Applied Optics, 30, 3145-3153 (1991)
- [3] T. Morikawa, R. Asahi, T. Ohwaki, K. Aoki, & Y. Taga. Japanese Journal of Applied Physics, 40, L561. (2001)
- [4] L. Yang & B. Kruse. JOSA A, 21, 1933-1941. (2004)
- [5] C. P. Valdés, MSc. Thesis. Universidad del Valle (2010)

Generation of arbitrary multifocal irradiance patterns by using complex Fresnel holograms

Miguel Carbonell-Leal, Gladys Mínguez-Vega, Jesús Lancis and Omel Mendoza-Yero

GROC UJI, Institute of New Imaging Technologies, Universitat Jaume I, 12071-Castelló, Spain

Abstract: In this contribution, multifocal irradiance patterns with micrometric spatial resolution are generated by using Fresnel holograms formed by the coherent sum of multiple Fresnel lenses. To completely encode the amplitude and phase of the complex field, a phase-only spatial light modulator (SLM) is employed. Full controls over transversal and axial positions of the irradiance foci with a spatial resolution on the order of the pixel size of the SLM are experimentally demonstrated.

A method to generate two- and three-dimensional multifocal irradiance patterns of foci at micrometric scale and arbitrary spatial distributions is presented. These patterns are generated by encoding the amplitude and phase of the corresponding complex field U(x, y) obtained from the coherent sum of Fresnel lens functions in the form $K_n(x, y)e^{i\gamma_n(x,y)}$. In the above expression, $K_n(x, y)$ denotes the amplitudes whereas the phases be defined by $\gamma_n(x, y) \equiv mod\{\pi[(x - \xi_n)^2 + (y - \eta_n)^2]/(\lambda f_n), 2\pi\}$. Here, ξ_n and η_n represent the coordinates of the center of the lenses, f_n the focal lengths while the function mod(p,q) gives the remainder of the division of p by q. In our method, the complex field is expressed as: $U(x, y) = e^{i\theta_1(x,y)} + e^{i\theta_2(x,y)}$ where $\theta_1(x, y)$ and $\theta_2(x, y)$ are new phase terms [1]. In addition, to encode the complex field on a phase-only SLM, we spatially sampling the wave planes with binary checkerboard patterns as: $M_1e^{i\theta_1} + M_2e^{i\theta_2} = e^{i(M_1\theta_1+M_2\theta_2)}$, such that $M_1+M_2=1$. At this step, a spatial filter is placed at the Fourier plane of a 4f imaging system and the complex field U(x, y) is retrieved at the output plane of this imaging system.

To test our proposal, we designed a phase element α able to generate a three-dimensional distribution of irradiance points that resemble the form of the characters U, J and I. Each character is reconstructed on a different axial plane. In Fig. 1, a view of the experimental irradiance distributions is shown. Details of the employed setup can be found in [2].



Fig 1.-Focal points distributed at different axial planes (a-c) due to the diffracted light from a single-phase element (d) encoded onto an SLM.

References

 [1]O. Mendoza-Yero, G. Mínguez-Vega, and J. Lancis, "Encoding complex fields by using a phase-only optical element" Opt. Lett. 39, 1740 (2014).

[2]O. Mendoza-Yero, M.Carbonell-Leal, G.Mínguez-Vega, and J.Lancis, "Generation of multifocal irradiance patterns by using complex Fresnel holograms" Opt.Lett.43, 1167 (2018).

Microscopía interferométrica confocal realimentada

C.Yáñez, S. Royo

Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes(CD6), Universitat Politècnica de Catalunya Rambla Sant Nebridi 10 E08222 Terrassa

Resumen: En esta comunicación se presenta el montaje experimental y resultados obtenidos en un montaje experimental de microscopía confocal combinado con interferometría realimentada. La técnica permite el seccionado vertical de las medidas de flujo en macro y microcanales con un dispositivo experimental simplificado y más compacto que los dispositivos convencionales basados en interferometría Doppler.

La interferometría realimentada (OFI o SMI, de las siglas en inglés) permite la recuperación de señales de desplazamiento, velocidad o flujo con un dispositivo muy económico y compacto, de hecho un sencillo diodo láser. El principio se basa en la detección con el propio fotodiodo de monitoraje del láser de diodo la interferencia que se produce en la cavidad láser al realimentar a su interior parte de la luz que ilumina el objeto bajo estudio. En el CD6 se han desarrollado diferentes adaptaciones de la técnica, esencialmente orientadas a la consecución de nuevas funcionalidades a partir de componentes ópticos, como por ejemplo técnicas adaptativas para el control del nivel de realimentación o el speckle [1] o medidas de muy alta resolución [2].

En los últimos años se ha desarrollado un nuevo concepto de microscopio interferométrico para el seccionado vertical de medidas de flujo, basado en el principio confocal [3], del que la figura 1 muestra el montaje experimental de prueba de concepto desarrollado. El montaje construido permite seleccionar el punto de enfoque de la muestra, para garantizar su correcto posicionamiento, y a través de un montaje confocal permite realizar medidas a diferentes profundidades del fluido, con una resolución que depende del tamaño del *pinhole* utilizado y de la apertura numérica del objetivo considerado. La Figura 2 muestra los resultados de medida de velocidad obtenidos a diferentes profundidades de un microtubo mientras el flujo inyectado era de 0.5ml/s. Puede apreciarse como es posible discriminar las diferencias de velocidad dentro del microtubo debidas a la fricción del fluido con las paredes, en incrementos de profundidad de tan solo 23mm. El sistema tiene aplicaciones en salud, para la caracterización de viscosidad y densidad de fluidos en sistemas de diagnóstico y circuladores extracorpóreos.



Figura 1.- Montaje experimental



Figura 2.- Medidas de flujo en un microtubo seccionadas en incrementos de 23mm, obtenidos con un pinole de .8mm y un objetivo 20X

- U. Zabit, R. Atashkhooei, T. Bosch, S. Royo, F. Bony, and A. D. Rakic, "Adaptive self-mixing vibrometer based on a liquid lens," Opt. Lett. 35, 1278-1280 (2010). doi:10.1364/OL.35.001278
- [2] F. J. Azcona, R. Atashkhooei, S. Royo, J. M. Astudillo and A. Jha, "A Nanometric Displacement Measurement System Using Differential Optical Feedback Interferometry," in *IEEE Photonics Technology Letters*, 25, 2074-2077, (2013). doi: 10.1109/LPT.2013.2281269
- [3] C.Yáñez, S.Royo "Method and device for confocal measurement of displacement, velocity or flow at a point of a sample and uses thereof" Patent EP18382037.2-1022, Priority 24.01.18.

Efecto sobre la polarización en campo lejano del haz difractado por redes de difracción sobre sustrato de acero

Rodolfo Aparicio¹, Francisco José Torcal-Milla², Fernando Perez-Quintian³, Luis Miguel Sanchez-Brea⁴

fjtorcal@unizar.es

 ¹Grupo de Láser, Óptica de materiales y Aplicaciones electromagnéticas, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Paseo Colón 850, Buenos Aires (Argentina)
 ²Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza (España)
 ³Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Comahue e Instituto de Investigación en Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería. IITCI CONICET UNCo, Calle Buenos Aires 1400, Neuquen (Argentina)
 ⁴Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas Universidad, Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España)

Resumen: Las redes de difracción sobre fleje de acero son ampliamente utilizadas en aplicaciones donde la longitud de red necesaria hace imposible la utilización de redes de difracción en otros substratos, como por ejemplo el vidrio. En este trabajo se utiliza la aproximación de Kirchhoff aplicada a la ecuación de Stratton-Chu para analizar el efecto de la rugosidad superficial de la red de acero sobre el estado de polarización de los órdenes difractados en campo lejano.

Típicamente, una red de difracción es un elemento óptico que modula periódicamente una o varias propiedades de la luz que llega a él. Existen diferentes tipos de redes, entre los cuales podemos encontrar aquellas grabadas sobre fleje de acero. En general, este tipo de redes cuenta con ventajas mecánicas pero, por el contrario, con desventajas en cuanto al comportamiento óptico debido a su rugosidad superficial [1, 2]. En este trabajo se presenta un estudio del comportamiento de luz coherente dispersada por dichas redes en campo lejano en términos de polarización. Para ello se utiliza la aproximación de Kirchhoff aplicada a la ecuación de Stratton-Chu, [3], y se incide sobre la red de difracción en configuración de reflexión con un haz con polarizaciones tanto paralela como perpendicular al plano de incidencia. Hay dos contribuciones diferentes al cruce de polarización en ambos casos: una causada por la naturaleza del sustrato (acero en nuestro caso) y otra por la rugosidad superficial presente en la red de difracción. La rugosidad se debe a la topografía propia del sustrato y al proceso de grabación. Ambas rugosidades pueden describirse dando la longitud de correlación, *T*, y desviación estándar en alturas, σ , de la topografía. Un ejemplo de red real puede observarse en la Figura 1a. La Figura 1b muestra una simulación numérica de la intensidad difractada por la red de la Figura 1a en ambas polarizaciones al incidir con polarización perpendicular al plano de incidencia sobre la red y un ángulo de incidencia de 45°. Se observa que el cruce de polarización es más pronunciado en órdenes de difracción mayores.



Figura 1.- a) Imagen de microscopio confocal de una red de difracción sobre fleje de acero de periodo 20 µm. Los parámetros estadísticos de la rugosidad son: zona no grabada ($T_x=12,72 \mu$ m, $T_y=1,34 \mu$ m, $\sigma=0,13 \mu$ m), zona grabada ($T_x=T_y=3,78 \mu$ m, $\sigma=0,23 \mu$ m), b) Intensidad de los órdenes difractados en campo lejano tanto paralela como perpendicular. El índice de refracción relativo para el acero a una longitud de onda de $\lambda=632,8$ nm es de $n_r=2,757+3,792i$.

Referencias

[1] F.J. Torcal-Milla, L.M. Sanchez-Brea, E. Bernabeu, "Talbot effect with rough reflection gratings", App. Opt., 46, 3668 (2007).

- [2] L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, E. Bernabeu, "Far field of gratings with rough strips", J. Opt. Soc. of Am. A., 25, 828 (2008).
- [3] J.A. Ogilvy, *Theory of wave scattering from random rough surfaces*, Adam Hilger, Bristol, 1991.

Survival of glycine on ices on the surface of Mars

Victoria Hoyos, Rodrigo Álvarez, Belén Maté

Instituto de Estructura de la Materia, IEM-CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid, Spain

Abstract: Ices containing the simplest amino acid, glycine, have been energetically processed with high energy electrons to mimic the effect of cosmic rays on the surface of Mars. In-situ infrared spectroscopy was used to monitor the decay rates of the organic species as a function of processing time. The half-life of the organic molecule in the different icy environments occurring in the Martian surface were investigated.

Organic molecules have not been detected in the surface of Mars to date. In despite of this fact understanding the physicochemical processes and fate of organics in the surface of this planet is of great importance to the planetary science and astrobiology communities. Organic matter can be formed in situ [1] or being delivered by meteorites [2], but could be destroyed by the harsh UV and radiation conditions there. It is more likely that organics could survive in the subsurface of the planet where the radiation is attenuated.

In the preset work we have investigated the radiolitic destruction of glycine diluted in CO_2 or H_2O ices. The experiments were performed at 90 K. The ice samples were bombarded with 5 keV electrons to simulate cosmic rays of solar energetic particles, and the kinetic of glycine destruction was followed with infrared spectroscopy. The experiments were performed in a high vacuum chamber that operates at ~10⁻⁷ mbar that is provided with a liquid nitrogen cryostat, a glycine sublimation oven, an electron gun, and it is coupled to a FTIR spectrometer.

The destruction rates obtained for glycine will be compared with previous literature results on pure glycine performed for pure species [3], or similar systems processed with different agents [4-6]. The results will be extrapolated to Martian conditions to determine the half-lives of glycine at different subsurface depths.



Figure 1.- Infrared absorbance spectra of glycine: H_2O (1:10) ice at 90 K. Black trace: before processing. Red trace: After 85 min of processing with a flux of 7.9 x 10¹² cm⁻² s⁻¹ of 5 keV electrons.

References

- [1] Moores, JE & Schuerger, AC 2012, JGRE, 117, E08008
- [2] Hubbard, JS, Hardy, JP, & Horowitz, NH, 1971, PNAS, 68, 574
- [3] Maté, B., Tanarro, I., Escribano, R., Moreno, MA, and Herrero, V, 2015, ApJ 806:151
- [4] Gerakines, PA, Hudson, RL, 2000, Astrobyology 13(7), 647
- [5] Gerakines, PA, Hudson, RL, 2015, Icarus 466.
- [6] Gobi,S, Abplanalp, MJ, Kaiser RI, 2016, ApJ 822:8

Mortero termocrómico para revestimiento de fachadas: variación de su respuesta óptica con la temperatura

G. Pérez¹, <u>A. Pons²</u>, M. Gavira¹, A. Guerrero¹

¹Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc,CSIC) C/. Serrano Galvache N°4, Madrid. 28033 (España) ²Instituto de Óptica "Daza de Valdés" (IO, CSIC). C/. Serrano N°121, Madrid 28006 (España)

Resumen: Se ha caracterizado un mortero termocrómico innovador mediante la medida de su reflectancia y el cálculo de su absortancia solar en función de la temperatura entre 20 °C y 40 °C. Los resultados confirman que el material tiene la respuesta óptica adecuada para ser utilizado como revestimiento de fachadas para la mejora de la eficiencia energética en edificios.

En este trabajo se estudia un mortero de revestimiento innovador con comportamiento termocrómico, diseñado para que presente un valor alto de absortancia solar (α_s) a bajas temperaturas y un valor bajo de dicho parámetro a altas temperaturas. De esta manera, el comportamiento variable del material utilizado como revestimiento en fachadas favorece el calentamiento de las mismas cuando el clima es frío y lo mitiga cuando es cálido, con lo que ayuda a mantener el confort en el interior del edificio con un menor coste energético [1].

Para evaluar el comportamiento termocrómico del mortero se ha caracterizado su respuesta óptica para temperaturas crecientes en el rango desde 20 °C hasta 40 °C en el que se espera que se produzca la variación de su α_s . Se han medido los espectros de reflectancia para distintas temperaturas en el intervalo de longitudes de onda de la radiación solar (250 nm–2450 nm) empleando un espectrofotómetro de doble haz dotado con una esfera integradora de 150 mm de diámetro y considerando las componentes especular y difusa. A partir de los espectros se ha calculado la absortancia solar de acuerdo con la norma UNE-EN 410:2011 [2] como parámetro para definir el comportamiento global del material frente a la radiación solar en cada temperatura.

Los espectros de reflectancia obtenidos son prácticamente constantes en el rango infrarrojo próximo, pero varían con la temperatura en el visible, siendo la reflectancia menor para 20 °C y aumentando progresivamente al hacerlo la temperatura. Este comportamiento es coherente con la variación del aspecto del material mostrado en la Figura 1 (izquierda), desde un color oscuro a baja temperatura a otro significativamente más claro a alta temperatura. Tal y como se recoge en la Figura 1 (derecha) la absortancia solar del mortero termocrómico varía desde un valor de 0,656 a 20 °C hasta un valor de 0.,99 a 40 °C, lo que representa una disminución del 9%. El cambio más pronunciado se produce entre 30 °C (α_s igual a 0,643) y 35 °C (α_s igual a 0,611).

Los resultados confirman que el mortero termocrómico innovador tiene la respuesta óptica adecuada para ser utilizado como revestimiento de fachadas en estrategias de mejora de la eficiencia energética en edificación.



Figura 1.- Variación con la temperatura del aspecto (izquierda) y la absortancia solar (derecha) del mortero termocrómico.

Referencias

 S. Zheng, Y. Xu, Q. Shen, H. Yang, "Preparation of thermochromic coatings and their energy saving analysis", Sol. Energy 112, 263 (2015).

[2] UNE-EN 410:2011. "Vidrio para la edificación. Determinacion de las características luminosas y solares de los acristalamientos".

El uso del Cómic en la docencia de la optometría y concienciación social frente a errores refractivos y salud visual

Ana Ferreiro, Justo Arines

¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España

Resumen: Exploramos el uso del comic para la docencia de la optometría y la concienciación social frente a errores refractivos y salud visual. Para ello se han creado una serie de comics que por una parte se emplearon para el aprendizaje de la resolución de casos clínicos y por otra parte para la concienciación social de alumnos de infantil y sus progenitores.

El uso del comic en la práctica docente está muy extendida sobre todo el mundo anglosajón. Existe un gran número de propuestas basadas en comics para aprender conceptos relacionados con distintas disciplinas tanto de ciencias experimentales como de ciencias sociales. Los usos principales de estos cómicos se relacionan con la resolución de problemas relacionados con la toma de decisiones, de forma que el formato de comic, permite ir construyendo la historia y dar opciones al alumno con el fin de que éste aprenda a orientar su examen clínico. Por otra parte en el caso de la literatura se usan como medio de aprendizaje de un idioma, mucho más ameno que la lectura de un libro. Por otra parte también estamos viviendo un auge del uso del comic como medio de divulgación científica.

En este trabajo se ha aprovechado el recurso visual del comic con dos finalidades. Por una parte como medio ameno para la presentación de casos clínicos que permitan al alumno de Óptica y Optometría aprender a estructurar un examen optométrico y tomar decisiones. Este cómic se creó como consecuencia de un trabajo cooperativo que se pidió a los alumnos de tercero de la facultad de Óptica y Optometría de Santiago de Compostela. Para ello se le proporcionó a cada grupo un caso clínico en inglés extraído de la referencia 2. Su tarea fue transcribir el caso clínico escrito a un formato cómic.

Por otra parte, se diseñaron una serie de comics relacionados con errores refractivos, miopía, hipermetropía, astigmatismo, y ambliopía, con el fin de su posterior presentación a niños de primaria de 7 años con la intención de que por una parte los niños aprendieran sobre los errores refractivos que afectan al ojo, y por otra parte sirvieran para que aquellos niños que vieran reflejados en los protagonistas de los comics su propia experiencia comentaran a los tutores dicha situación y se pudiera de esta forma detectar anomalías visuales que estaban sin detectar.

En la figura 1 mostramos dos viñetas del comic presentado a los niños (a) y del comic de casos clínicos (b)



Figura 1.- Ejemplos de comics: izquierda) concienciación social; derecha) casos clínicos

Con la ayuda de la tutora de los alumnos de infantil se realizó una encuesta a los alumnos con la que valoramos el aprendizaje de los conceptos refractivos presentados y se detectó 2 casos de niños que se vieron reflejados en los protagonistas del comic y que posteriormente fueron llevados a realizar un examen visual. Por otra parte el comic de casos clínicos está siendo utilizado en los seminarios de asignaturas clínicas para el aprendizaje de la estructuración del examen optométrico.

^[1] Ana Ferreiro, "El cómic como recurso didáctico en optometría", Trabajo de Fin de Grado de Óptica y Optometría de la Universidad de Santiago de Compostela (21017).
Construcción de un ojo artificial con capacidad refractiva esférica y tórica variable para comprensión de su influencia en la visualización de tests optométricos

José Luís Miranda , Justo Arines

¹Photonics4Life, Departamento de Física Aplicada, Facultade de Óptica e Optometría, Universidade de Santiago de Compostela, 15782 - Santiago de Compostela, España

Resumen: La comprensión de los protocolos de refracción es importante para un correcto aprendizaje de los mismos. En este trabajo presentamos el desarrollo construcción y uso de un ojo artificial con capacidad refractiva esférica y tórica variable que permite analizar la influencia de estos errores refractivos en la visualización de distintos tests empleados en el proceso de refracción subjetiva.

En el curriculum de los graduados en Óptica y Optometría se incluyen conceptos relacionados con el aprendizaje y comprensión de los procesos y tests de refracción subjetiva, que se llevan a cabo con el fin de conocer la corrección óptica que proporciona una calidad visual satisfactoria para el paciente. Es habitual escuchar a los pacientes afirmar que ciertas letras las confunden con otras, ver doble con un solo ojo o una línea mejor que otras, durante las diferentes etapas del examen refractivo. Muchas veces las explicaciones que los alumnos solicitan no acaban de conseguir una interiorización completa de las mismas. Es por ello que se hace necesario disponer de herramientas docentes que permitan afianzar los conceptos y un aprendizaje significativo de los mismos.

En este trabajo la posibilidad de construir un ojo artificial con capacidad acomodativa, o de cambiar su error refractivo tanto esférico como cilíndrico. Para ello, hemos empleado por una parte unas gafas con lentes de Álvarez, y una lente de focal variable controlable electrónicamente que permiten cambiar el error esférico, o simular la acomodación. Por otra parte el error cilíndrico o astigmatismo lo indujimos empleando un par de lentes de potencia -1esf+2cil que rotándose una respecto a la otra proporciona distintas magnitudes de astigmatismo, y girando el conjunto podemos escoger el eje del mismo [1]. Los métodos de inducción de errores esféricos y cilíndricos fueron calibrados con el fin de garantizar que se introdujera el error refractivo deseado. En la figura 1 mostramos dos imágenes de los dos ojos artificiales implementados con sus correspondientes sistemas de inducción: (a) Lentes de Álvarez; (b) Lente de focal variable controlada eléctricamente. [2]



Figura 1.- Ojos artificiales: a) con Lente de Álvarez; b) con Lente de focal variable

Posteriormente dichos ojos fueron colocados detrás de un foróptero con el fin de observar distintos tests empleados en el proceso de refracción subjetiva (optotipos de letras, tests de la esfera horario, y tests de cilindros cruzados fijos) La imagen proporcionada por el ojo artificial se presentó a los alumnos para que fueran observando como cambiaba la percepción de los diferentes optotipos durante el proceso de refracción.

Los alumnos fueron posteriormente invitados a participar en una encuesta realizada con el fin de valorar la utilidad de la propuesta a la hora de comprender los comentarios que los pacientes realizaron sobre su visión durante la realización de las prácticas. Los resultados obtenidos confirmar la sospecha de que este tipo de propuestas docentes ayuda a comprender las singularidades del proceso de refracción subjetiva y la experiencia visual de los pacientes durante la realización de dichos tests.

Referencias

- J Arines, E Acosta, "Adaptive Astigmatism-Correcting Device for Eyepieces", Optometry and Vision Science 88 (12), 1524-1528 (2011)
- [2] José Luís Miranda, "Creación de recursos didácticos relacionados con la docencia en la visión monocular", Trabajo de Fin de Grado de Óptica y Optometría, Universidad de Santiago de Compostela (2017)

Sistema óptico de detección de la tensión emocional

Gabriel Cano-García, Ana Pilar González-Marcos, Ana María Ugena

ETSI de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Avd. Complutense 30, 28040 Madrid

Resumen: Se presenta un sistema de bajo coste encaminado a la detección de la tensión emocional o estrés en individuos, mediante la elaboración de un pulsioxímetro de dedo y algoritmos de tratamiento de la señal.

Se trata de presentar un sistema completo de detección de tensión emocional, desde el hardware al software. Basándose en las propiedades ópticas de la sangre, concretamente en la absorción diferencial de sus componentes, se puede fabricar un dispositivo capaz de detectar cambios en el volumen sanguíneo debido a la mayor oxigenación de la sangre en la sístole que en la diástole y la variación de volumen experimentada por los vasos sanguíneos. La señal obtenida (denominada PPG, *pulseplethysmography*) puede someterse a un proceso de filtrado y determinar el estado de una serie de parámetros biológicos [1]. El estudio de la señal en diferentes situaciones, conocidas a priori, permite acercarse a un sistema de identificación del nivel de tensión emocional o estrés del individuo [2].

Existen muchos enfoques a la hora de elaborar dicho aparato. En este caso se ha optado por producir un dispositivo portátil de bajo coste, sin que ello merme en demasía la calidad de la señal obtenida, basándonos en un diseño para dispositivos médicos utilizables [3]. Se emplea una tarjeta Arduino UNO para llevar a cabo el proceso de control del sistema, consistente en dos emisores LED de longitudes de onda R e IR respectivamente, y un fotosensor para realizar la adquisición. Esta señal se somete a un proceso de filtrado y amplificación antes de ser adquirida por el microcontrolador. Finalmente, es almacenada y preparada para la segunda parte del proceso. Tras el proceso de adquisición, la señal se somete a un filtrado digital en el entorno Matlab para permitirnos su posterior tratamiento mediante algoritmos más complejos [4], tales como máquinas de soporte vectorial, para finalmente obtener el grado de estrés del individuo.

Las grandes ventajas residen en el bajo coste del sistema, en su portabilidad y, sobre todo, en la nula invasividad que presenta. Nos permite, empleando técnicas ópticas, obtener una señal biológica en casi cualquier parte del cuerpo sin realizar ningún tipo de intervención al individuo, lo cual es una de las claras aspiraciones de la Medicina moderna [5]. Además, una situación que a priori puede resultar un tanto subjetiva como es el estrés, puede quedar cuantificada mediante el empleo de los algoritmos adecuados.

En resumen, se trata de un sistema que demuestra la potencia de las técnicas ópticas en lo relativo a la salud y la monitorización de individuos. Como resultado de este trabajo se tratan de identificar los puntos más críticos para obtener un funcionamiento idóneo del sistema propuesto, tanto desde el punto de vista de la óptica, como de la electrónica y la algorítmica empleada. Como ejemplo de la parte óptica, en un futuro se tratará de aplicar, entre otros, los conocimientos obtenidos del estudio mediante simulación del comportamiento óptico de los diferentes tipos de pieles [6].

Referencias

- M. Elgendi, "On the Analysis of Fingertip Photoplethysmogram Signals," *Current Cardiology Reviews*, vol. 8, pp. 14-25, (2012).
- [2] J. Aguiló, P. Ferrer-Salvans, A. Garcia-Rozo, A. Armario, A. Corbi, F. J. Cambra, R. Bailón, A. P. Gonzalez-Marcos, G. Caja, S. Aguiló, R. Lopez-Anton, A. Arza Valdés and J. M. Garzón Rey, "Project ES3: Attempting to quantify and measure the level of stress," *Revista de neurologia*, vol. 9, no. 61, pp. 405-415, (2015).
- [3] Y. Khan, C. M. Lochner, A. Pierre and A. C. Arias, "System design for organic pulse oximeter," in 6th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI), Gallipoli (Italy), (2015).
- [4] S. Theodoridis and K. Koutroumbas, Pattern Recognition, Academic Press, (2009).
- [5] J. Allen, "Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement," *Physiological Measurement*, vol. 28, p. R1–R39, (2007).
- [6] J. Campoy, R. Alcarria and A. P. González-Marcos, "Study of the optical behavior of skins using Monte Carlo techniques," *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 31, no. 3, 09 (2015).

Rugometric evaluation of photocatalytic asphalt pavements. Filtering and separation of roughness regimes

<u>Manuel F. M. Costa</u>^a, Iran Rocha Segundo^b, Helder Torres^b, Salmon Landi Jr.^a, Joaquim Carneiro^a, Elisabete Freitas^b

^aDepartment of Physics, University of Minho, Braga, Portugal ^bCivil Engineering Department, University of Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal

Abstract: The incorporation of TiO_2 and ZnO nano/microparticles onto asphalt mixtures is being studied to promote multifunctional capabilities due to their photocatalytic capability. The influence of the photocatalytic particles on the physical and mechanical behavior of the asphalt pavement must be evaluated. In this communication we will present the optical rugometric characterization of photocatalytic asphalt pavements discussing the metrological process.

The incorporation of TiO₂ nano/microparticles and ZnO microparticles onto the asphalt mixtures is being studied to achieve multifunctional capabilities [1, 2, 3]. It can be carried out usually by bitumen modification, spraying coating and also volume incorporation. When these materials, in the presence of water and oxygen, are irradiated with ultraviolet light emitted by the sun, redox reactions that degrade organic pollutants and harmful gases occur [1, 2]. The influence of the incorporation of the nano/microparticles on the physical and mechanical performance of the asphalt pavement is being evaluated. It was found that the bitumen modification by TiO₂ nano/ microparticles and ZnO microparticles led to softer bitumen and better results of short-term ageing resistance [3]. By spraying coating, photocatalytic and superhydrophobic capabilities can be provided, guaranteeing benefits in terms of environmental and safety related issues [2]. The adherence of car tires to the asphalt is a critical feature for safety reasons. Changes in the rugometry and texture of the asphalt road' surface must be evaluated. Evaluation on-site is performed but it also should be done in the lab in a more controlled way by inspecting replicas of a range of photocatalytic asphalt pavements. The samples, prepared at the Civil Engineering Department of the University of Minho, were submitted to optical non-contact microtopographical inspection at the Microtopography Laboratory of the Physics Department of the University of Minho, using the MICROTOP.05.MFC active triangulation based optical microtopographer. Because these samples present textures somewhat complex, form removal and proper filtering of the roughness and waviness regimes must be carefully performed. The separation of roughness regimes by applying the standard ISO double Gaussian filtering is used by default. However, single Gaussian filtering, RC filters and Fourier filtering were used. It was concluded that the standard double Gaussian filtering can be applied even though Fourier filtering allows a more efficient identification of most significant relieve structures in the asphalt surface. We also concluded that the total profile and the associated rugometric parameters are also relevant and should be presented together with the micro and macro-roughness characterization parameters.



Figure 1. (from left to right) An asphalt mixture after compaction with acquisition area identification, the image of a silicone replica, and a partial 3D map of the sample over which rugometric characterization is performed.

References

- [1] Carneiro, J. O. O., Azevedo, S., Teixeira, V., Fernandes, F., Freitas, E., Silva, H., & Oliveira, J. (2013). Development of photocatalytic asphalt mixtures by the deposition and volumetric incorporation of TiO₂ nanoparticles. Construction and Building Materials, 38, 594–601. doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.09.005
- [2] Rocha Segundo, I., Ferreira, C., Freitas, E. F., Carneiro, J. O., Fernandes, F., Landi Júnior, S., & Costa, M. F. (2018). Assessment of photocatalytic, superhydrophobic and self-cleaning properties on hot mix asphalts coated with TiO₂ and/or ZnO aqueous solutions. Construction and Building Materials, 166, 36–44. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.01.106.
- [3] Rocha Segundo, I., Dias, E., Fernandes, F., Freitas, E., Costa, M., & Carneiro, J. (2018) Photocatalytic Asphalt Pavement: The Physicochemical and Rheological Impact of TiO, nano/microparticles and ZnO microparticles onto the Bitumen. Road Materials and Pavement Design. doi: 10.1080/14680629.2018.1453371.

Actividades realizadas por el grupo USC-OSA USC-EPS para acercar la Óptica y la Fotónica a nuestra sociedad

María Aymerich, Ferran Cambronero, Ángel L. Aragón, Manuel Blanco, Damián Rodríguez, Adán Amorín, Sandra Williamson, Saúl López, Verónica Mieites, Carmen Bao-Varela, María Teresa Flores-Arias

Facultad de Óptica y Optometría, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Vida s/n, 15782, Santiago de Compostela

Resumen: En esta contribución se presenta el trabajo realizado en estos últimos años por el Student Chapter USC-OSA USC-EPS Young Minds de Santiago de Compostela. El grupo mantiene su compromiso con la divulgación de la Óptica y la Fotónica en la sociedad. De entre las actividades realizadas, destacan los talleres en colegios de educación primaria y secundaria, la organización de charlas o participación en programas para la motivación de la carrera científica entre las mujeres.

El Student Chapter USC-OSA USC-EPS Young Minds Section lleva activo desde que fue fundado en 2013. Está formado por estudiantes de doctorado, máster y grado de Física, así como por profesorado que colabora como asesores del grupo. Sus fuentes de financiación, gracias a las cuales puede llevar a cabo su labor, son The Optical Society (OSA) y la European Physical Society (EPS) [1]. Las actividades realizadas por el grupo se caracterizan por el compromiso que este presenta con la divulgación de la Óptica y la Fotónica en los diferentes sectores de la sociedad. Desde la explicación de ideas básicas a los más pequeños a la ampliación de conceptos enfocados a la comunidad científica, pasando por la motivación a mujeres para participar en ciencia; el chapter busca acercar la Óptica a diferentes grupos. A continuación, se explican algunas de las actividades relacionadas.

Talleres de experimentación para jóvenes: Desde hace años, el grupo viene realizando actividades en colegios de la zona con muy buena respuesta por parte de los alumnos y profesores. Están orientados a jóvenes desde primaria a bachillerato, ajustándolo al nivel de la clase. En estos talleres se explican conceptos básicos de Óptica mediante experimentos sencillos y muy visuales. La sesión se divide en bloques, formando grupos reducidos de alumnos para que la experiencia sea lo más interactiva posible. Algunos de los bloques a tratar son interacción luz materia, polarización, guiado de la luz y el funcionamiento del ojo.

Organización de charlas: Desde el Student Chapter, se organizan charlas de investigadores expertos en su campo orientadas no sólo a los miembros del grupo, si no a toda la comunidad científica interesada. En este último año hemos contado con seminarios impartidos por Xingde Li, profesor del departamento de ingeniería biomédica de la Universidad John Hopkins (Estados Unidos); Olivier Chalus, del departamento láser de Thales Optronique (Francia); Pieter de Beule, del laboratorio de nano óptica aplicada del INL (Portugal) y Raúl Rangel, investigador de física aplicada del CICESE (México).

Una científica e ingeniera en cada cole: En colaboración con el ayuntamiento de Santiago y la Universidad de Santiago de Compostela, se ha puesto en marcha este proyecto que tiene como objetivo mostrar a los más jóvenes la presencia de mujeres en diferentes ámbitos de la ciencia. Para ello, se organizan charlas y talleres en colegios de primaria impartidos por mujeres pertenecientes al chapter. Esta iniciativa ha tenido muy buena recepción y va ya por su tercera edición.

Participación en congresos y networking: Los miembros del grupo participan en congresos y encuentros con otros miembros de agrupaciones similares nacionales e internacionales. En estas reuniones no sólo se dan a conocer las actividades del Student Chapter, sino que también se fomenta el intercambio de ideas entre los participantes, ofreciendo una visión general de las acciones llevadas a cabo por asociaciones de todo el mundo y generando nuevas ideas y propuestas para implementar en nuestro grupo. En estos últimos años se ha participado en dos Young Minds Meetings (Barcelona y Nápoles) y en dos Student Leadership Conference (Rochester y Washington). Además, en el pasado 2017, el Student Chapter colaboró con la organización de la X Reunión Española de Optoelectrónica (OPTOEL17).

Referencias

 A.Gargallo, A.I. Gómez-Varela, H. Gónzalez-Nuñez, T. Delgado, C. Almaguer, F. Cambronero, A. García-Sánchez, D. Pallarés, M. Aymerich, A.L. Aragón, M.T. Flores-Arias, "Spreading Optics in the primary school" J. Phys. Conf. Ser, 605, 012040, (2015).

Monocromador basado en una red de difracción de periodo variable

Luis Miguel Sanchez-Brea¹, Francisco José Torcal-Milla²

optbrea@ucm.es

¹Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias Físicas Universidad Complutense de Madrid, Plaza de las Ciencias S.N., 28040, Madrid (España) ²Departamento de Física Aplicada, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza (España)

Resumen: En este trabajo se presenta un monocromador muy sencillo basado en una red de difracción de periodo variable, *spatially chirped grating*, como elemento fundamental. Tiene la ventaja que no es necesario el uso de lentes ya que la red chirped posee propiedades focalizadoras por sí misma, de modo que el monocromador puede tener un tamaño muy pequeño.

En los últimos años han aparecido estructuras quasi-periódicas que han resultado de interés en diferentes campos de la óptica y aplicaciones. Son de uso común las redes chirped temporales en comunicaciones ópticas. También se han analizado las redes chirped espaciales y se ha verificado que tienen capacidad de focalización de los órdenes en campo cercano, sin necesidad de lentes [1]. La posición a lo largo del eje z y la anchura de cada orden difractado vienen dadas por las siguientes expresiones

$$z_{foco} = \frac{knq_a\omega_0^4}{2(1+n^2q_a^2\omega_0^4)}, \\ \omega_{foco}^2 = \frac{\omega_0^2}{1+n^2q_a^2\omega_0^4},$$

donde $k = 2\pi/\lambda$, λ es la longitud de onda, *n* es el orden difractado, q_a define la variación en la frecuencia espacial de las franjas, $q(x) = q_0 + q_a x$ y ω_0 es la anchura del haz gaussiano incidente.

Las redes de periodo variable se han utilizado en espectrómetros y monocromadores, resultando ventajosas con respecto a otras configuraciones establecidas [2, 3]. En este trabajo analizamos cómo las redes chirped con variación lineal en la frecuencia espacial se pueden utilizar como monocromadores. La ventaja que presentan es que la red chirped es el único elemento necesario para la separación espacial en longitudes de onda, sin necesidad de lentes, espejos u otros elementos ópticos. Como ejemplo, en la Figura 1 se muestra la intensidad propagada a través de la red en campo cercano, dónde pueden verse los diferentes órdenes de difracción separados espacialmente por longitudes de onda. Este efecto se puede utilizar para diseñar un monocromador de tamaño muy pequeño, seleccionando el color mediante un filtro ubicado perpendicular a la red.



Figura 1.- Intensidad propagada en campo cercano al iluminar la red con un haz colimado gaussiano que contiene tres longitudes de onda diferentes $\lambda = 0.7 \mu m$, $0.55 \mu m y 0.4 \mu m$.

Referencias

[1] L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, T. Morlanes, "Near-field diffraction of chirped gratings," Opt. Lett., 41, 4091 (2016).

- [2] M. C. Hettrick, "Divergent groove gratings: wavelength scanning in fixed geometry spectrometers", Opt. Express, 24, 26646 (2016).
- [3] M. C. Hettrick, "In-focus monochromator: theory and experiment of a new grazing incidence mounting", App. Opt., 29, 4531 (1990).

Las impresoras 3D en la práctica docente de los laboratorios de Física

P. Domínguez Romo, C. Ruiz Ruiz, <u>M. Fernández Alonso</u>, G. Mínguez Vega, E. Tajahuerce Romera, E. Mulet Escrig, N. S. Ferriols, O. Mendoza Yero, L. Martínez León, D. Campos Abad, V. Durán Bosch, J. Lancis Sáez

Equipo de Enseñanza y Divulgación de la Física, Dept. de Física, Universitat Jaume I, Castelló de la P., Spain

Resumen: Las impresoras 3D han emergido como una potente herramienta que permite la fabricación de piezas de una forma rápida, sencilla y económica. En esta contribución exploramos esa ventajosa faceta en un entorno docente, dentro del laboratorio de prácticas de asignaturas de Física. La implementación, ágil y versátil, ha permitido el diseño de piezas con características exclusivas, adaptadas específicamente al instrumental disponible. Se muestran algunos ejemplos de las piezas diseñadas y las ventajas e inconvenientes descubiertos.

La renovación de los laboratorios docentes supone una inversión económica y un esfuerzo didáctico importantes. Durante los últimos años la impresión 3D ha surgido como una alternativa de bajo coste que permite la impresión de pequeños elementos que ayudan a que un laboratorio se ponga en funcionamiento de una forma mucho más rápida y fácil que nunca [1,2]. Las piezas en impresión 3D se forman mediante la técnica de fabricación por capas aditiva y existen numerosos programas y modelos de libre distribución en la red. En los laboratorios docentes del Departamento de Física de la Universitat Jaume I hemos implementado esta tecnología en las prácticas de laboratorio de distintas asignaturas. En concreto, y a modo de ejemplo, en esta contribución vamos a mostrar las piezas que se diseñaron para la práctica "Determinación del tamaño de distintos elementos biológicos por difracción", donde se mide el tamaño de un glóbulo rojo y de un cabello, midiendo el patrón de difracción a campo lejano de estos elementos. Esta práctica se realiza tanto en la asignatura de "Fundamentos físicos de las tecnologías médicas actuales" en el Grado de Medicina, como para los estudiantes de secundaria en las jornadas de orientación preuniversitaria, ya que les permite familiarizarse con el uso de los láseres y sus aplicaciones. Los soportes para el láser, el portamuestras y la pantalla con la hoja milimetrada para medir el patrón de difracción, se desarrollaron exprofeso mediante impresión 3D, usando como software para el diseño el programa SolidWorks, como impresora la BQ Witbox, como material de impresión PLA de color azul topacio y el programa Cura para procesar el modelo.

Como inconvenientes detectados en esta técnica de fabricación, hay que destacar que es complejo implementar algunas piezas con precisión y, además, según la calidad, pueden romperse o degradarse fácilmente. Otras piezas presentan un tamaño final diferente al prefijado, lo que obliga a la realización de varias pruebas de impresión. Por contra, pensamos que es una técnica revolucionaria que permitirá popularizar la ciencia, ya que fue posible replicar 10 montajes de la práctica citada (ver figura 1) con un ahorro de al menos el 80% del coste convencional y un período de diseño y producción de tan sólo unas pocas semanas.



Figura 1.- Distintos elementos fabricados con la impresora 3D para la práctica de medida del tamaño de un glóbulo rojo: Detalle soporte láser (izquierda) y Modelos montados en el laboratorio (derecha).

Referencias

- C. Zhang, N.C. Anzalone, R. P. Faria, & J. M. Pearce, "Open-source 3D-printable optics equipment". PloS one 8, e59840 (2013).
- [2] L. J. Salazar-Serrano, J. P. Torres, & A. Valencia "A 3D Printed Toolbox for Opto-Mechanical Components". PloS one, 12, e0169832 (2017).

Propagación de los parámetros radiales de Stokes generalizados para haces con carga espiral

J. Serna, R. Martínez Herrero

Dpto. de Óptica, Facultad CC. Físicas, Universidad Complutense. Pza. de las Ciencias 1, 28040 Madrid

Resumen: En esta comunicación se presentan expresiones analíticas que describen la propagación libre paraxial de los parámetros de Stokes radiales generalizados para haces con carga espiral. Se ilustra esta formulación analizando ejemplos concretos de campos que están parcialmente polarizados en el plano inicial.

El uso de luz con características determinadas de irradiancia, polarización y coherencia (structured light) es un tema que está atrayendo una gran atención en la última década [1]. Con anterioridad, las exigencias se limitaban a obtener características determinadas en un plano particular, sin embargo actualmente se desea obtener campos personalizados en múltiples planos o en todo un rango de propagación.

Tanto los haces polarizados no uniformemente como los parcialmente polarizados son unos buenos candidatos para la obtención de dichos campos personalizados, y el análisis de la evolución de sus propiedades de coherencia y polarización es fundamental para la mayor parte de las aplicaciones [2-7]. En esta comunicación abordamos el estudio de la propagación haciendo uso de los parámetros radiales de Stokes generalizados [8]. A diferencia de los parámetros radiales de Stokes habituales, que dependen de una variable espacial, los generalizados dependen de dos variables espaciales (para un mismo plano perpendicular a la dirección de propagación del haz). En esta comunicación se presentan expresiones analíticas para la evolución en propagación libre de dichos parámetros radiales de Stokes generalizados. A partir de dichas expresiones se pueden determinar los cambios producidos en el grado de polarización (o en el estado de polarización para haces totalmente polarizados no uniformemente), así como la evolución del grado de coherencia del haz en propagación libre. Los resultados teóricos se ilustran mediante el análisis de la propagación de campos paraxiales a partir de sus características en el plano inicial.

Referencias

[1] H. Rubinsztein-Dunlop et al., "Roadmap on structured light", J. Opt. 19, 013001 (2016).

- [2] R. Martínez-Herrero, D. Maluenda, I. Juvells, A. Carnicer, "Synthesis of light needles with tunable length and nearly constant irradiance", Sci. Rep. 8, 2657 (2018).
- [3] F. Qin, K. Huang, J. Wu, J. Jiao, X. Luo, C. Qiu, M. Hong, "Shaping a subwavelength needle with ultra-long focal length by focusing azimuthally polarized light", Sci. Rep. 5, 9977 (2015).
- [4] P. J Keller, A. D Schmidt, A. Santella, K. Khairy, Z. Bao, J. Wittbrodt, E. H K Stelzer, "Fast, high-contrast imaging of animal development with scanned light sheet-based structured-illumination microscopy", Nat. Methods 7, 637 (2010).
- [5] G. Rui, Q. Zhan, "Trapping of resonant metallic nanoparticles with engineered vectorial optical field", Nanophotonics 3, 351 (2014).
- [6] I. Moreno, D.A. Jeffrey, M.M. Sánchez-López, K. Badham, D. M. Cottrell, "Nondiffracting Bessel beams with polarization state that varies with propagation distance", Opt. Lett. 40, 5451 (2015).
- [7] M. Santarsiero, J.C.G. de Sande, G. Piquero, F. Gori, "Coherence-polarization properties of fields radiated from transversely periodic electromagnetic sources", J. of Opt. **15**, 055701 (2013). [8] R. Martínez-Herrero, P.M. Mejías, "Generalized (two-point) stokes-parameters representation in terms of the radial and azi-
- muthal field components", Opt. Laser Technol. 49, 1116 (2011).

Diseño y caracterización de un radiancímetro tipo Lyot para la medida de BRDF

B. Bernad, J. Campos, A. Ferrero, A. Pons, M. L. Hernanz, E. Borreguero y J. L. Velázquez

Instituto de Óptica, Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, Spain

Resumen: Con el objetivo de medir la BRDF en el infrarrojo cercano, se propone el diseño y caracterización de un sistema de detección tipo Lyot. Esta configuración permite minimizar el efecto del tamaño de la fuente y, por tanto, su contribución a la incertidumbre en la medida de la radiancia.

La función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF) expresa el cociente entre la radiancia de un objeto en cada dirección del espacio y la irradiancia que recibe, e indica cómo un objeto distribuye espacialmente la luz. Para su medida, el Instituto de Óptica del CSIC cuenta con un instrumento que permite realizar medidas absolutas de baja incertidumbre en cualquier geometría de irradiación y detección [1] en el intervalo visible del espectro. Con el objetivo de ampliar el intervalo espectral de medición al infrarrojo cercano, se requiere el diseño y la caracterización de un nuevo sistema de detección.

Dado que para poder cubrir todas las direcciones de observación de un plano, el sistema de detección se desplaza sobre un anillo dentado en cuyo centro se coloca la muestra a medir, el tamaño aparente del área irradiada será variable. Esto origina que el campo de visión no esté perfectamente definido, haciendo que la señal sea dependiente del tamaño de la muestra [2]. Se necesita, por tanto, un sistema que minimice la contribución del tamaño de la fuente en la medida de radiancia, haciéndola independiente de estos cambios.

Tras la correspondiente revisión bibliográfica, se propone el diseño de un sistema tipo Lyot. Este sistema consta de una primera lente objetivo, un diafragma de campo, una "Lyot stop", y una lente colimadora, que dirige la radiación hacia el detector. La posición de esta "Lyot Stop" está determinada por las focales de ambas lentes (Fig. 1). Su propósito es doble: por una parte, bloquea el *scatter* interno proveniente de la lente objetivo y, por otra, bloquea la difracción producida por los bordes de la misma [3]. La "Lyot stop" se convierte en la apertura limitante del sistema, y debe ser colocada a la distancia imagen de la lente colimadora, con la distancia desde esta lente a la lente objetivo como distancia objeto:

$$\frac{1}{i(o) + f(c)} + \frac{1}{i(c)} = \frac{1}{f'(c)}$$

donde i(o) es la distancia imagen de la lente objetivo, o la distancia de esta lente al diafragma de campo, f(c) es la distancia focal de la lente colimadora, e i(c) la distancia imagen, o la distancia de la "Lyot Stop" desde la lente colimadora [4]. Su diámetro debe ser menor que la imagen del objetivo.

En esta comunicación se presenta el diseño realizado para el gonio-espectrofotómetro GEFE del IO-CSIC, los componentes utilizados y su caracterización.



Figura 1.- Esquema del sistema de detección.

Referencias

[1] Rabal, A. M., Ferrero, A., Campos, J., Fontecha, J. L., Pons, A., Rubiño, A. M., and Corróns, A., "Automatic gonio-spectrophotometer for the absolute measurement of the spectral BRDF at in-and out-of-plane and retroreflection geometries" Metrologia **49**, 213–223 (2012).

[2] Peter Saunders and Hamish Edgar, "On the characterization and correction of the size-of-source effect in radiation thermometers". Metrologia. **46.** 62. (2008) .

[3]Robert J. Noll, "Reduction of diffraction of use of a Lyot stop," J. Opt. Soc. Am. 63, 1399-1402 (1973).

[4] Howard W Yoon, David W Allen and Robert D Saunders, "Methods to reduce the size of source effect in radiometers". Metrología, **42**, 89-96, 2005.

Electromagnetic pseudo-Schell model beams

<u>G. Piquero¹</u>, R. Martínez-Herrero¹, M. Santarsiero², J.C.G. Sande³, M. Alonzo⁴, F. Gori²

¹Departamento de Óptica, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain. ²Dipartimento di Ingegneria, Università Roma Tre, Via V. Volterra 62, 00146 Rome, Italy.

³ETSIS de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Campus Sur 28031 Madrid, Spain. ⁴Dipartimento SBAI, Università Sapienza, Via A. Scarpa 16, 00161 Roma, Italy

Abstract: Electromagnetic pseudo-Schell sources with coherence characteristics depending on the radial distance difference are proposed and analyzed. It is shown that nonuniformly polarized beams are obtained with states of polarization patterns that evolve in a different way depending on the coherence parameters of the source.

The synthesis of different partially coherent sources that could present some advantages over their coherent counterparts depending on the intended application has been a very active field during last decade [1-8]. In this communication, a class of partially coherent and partially polarized sources is proposed. Their coherence and polarization properties at the source plane and in free space propagation are analyzed.

Here, we analyze electromagnetic sources whose cross spectral density matrix (CSDM) [9] reads

(1)

 $\widehat{G}(\mathbf{r}_1,\mathbf{r}_1,\mathbf{0}) = \tau^*(\mathbf{r}_1)\tau(\mathbf{r}_2)\widehat{G}_0(r_2-r_1),$ where $\tau(\mathbf{r})$ is a complex function of the position \mathbf{r} at the source plane and $\hat{G}_0(r_2 - r_1)$ an appropriately constructed 2x2 matrix to ensure the realizability of the source [10-11]. From the CSDM several characteristics as the irradiance, the electromagnetic degree of coherence and the degree of polarization can be obtained under paraxial approximation at any plane [9].

For illustrative purposes, Fig. 1 shows the degree of polarization across the beam section at several propagation distances and the polarization pattern at a given distance from the source for a particular selection of $\hat{G}_0(r_2 - r_1)$ (a diagonal matrix with two Gaussian terms) being $\tau(\mathbf{r})$ a Gaussian function.



Figura 1.- Degree of polarization P(R,z) profile for several propagation distances (a) and polarization pattern at $z=0.05z_R$ (b).

Referencias

- [1] Martínez-Herrero, R., Maluenda, D., Piquero, G., and de Sande, J. C. G., "Vortex pseudo Schell-model source: A proposal," in [2016 15th Workshop on Information Optics (WIO)], (2016).
- [2] Lajunen, H. and Saastamoinen, T., "Propagation characteristics of partially coherent beams with spatially varying correlations," Opt. Lett. 36, 4104 (2011).
- [3] Z. Mei and O. Korotkova, "Cosine-Gaussian Schell-model sources," Opt. Lett. 38, 2578-2580 (2013).
- [4] M. Santarsiero, G. Piquero, J.C.G. de Sande, and F. Gori, "Difference of cross-spectral densities," Opt. Lett. 39, 1713 (2014).
- [5] Hyde IV, M. W., Bose-Pillai, S., Xiao, X., and Voelz, D. G., "A fast and efficient method for producing partially coherent sources," Journal of Optics 19, 025601 (2017).
- [6] M. Santarsiero, R. Martínez-Herrero, D. Maluenda, J. C. G. de Sande, G. Piquero, and F. Gori, "Partially coherent sources with circular coherence," Opt. Lett. 42, 1512 (2017).
- [7] M. Santarsiero, R. Martínez-Herrero, D. Maluenda, J. C. G. de Sande, G. Piquero, and F. Gori, "Synthesis of circularly coherent sources," Opt. Lett. 42, 4115 (2017).
- [8] Y. Cai, Y. Chen, J. Yu, X. Liu, and L. Liu, "Generation of partially coherent beams," Progress in Opt., 62, 157 (2017).
- [9] Martínez-Herrero, R., Mejías, P. M., and Piquero, G., Characterization of Partially Polarized Light Fields, Springer Series in Optical Science, Springer (2009).
- [10] Gori, F. and Santarsiero, M., "Devising genuine spatial correlation functions," Opt. Lett. 32, 3531(2007).
- [11] R. Martínez-Herrero, P. M. Mejías, and F. Gori, "Genuine cross-spectral densities and pseudo-modal expansions," Opt. Lett. 34, 1399-1401 (2009).

Generación de distribuciones de polarización periódicas por interferencias con luz polarizada

A. Gimeno Gómez, J.C. Barreiro Hervás, G. Saavedra Tortosa, M. Martinez-Corral

Lab. de Imagen y Display 3D, Departamento de Óptica/Optometría & CC. de la Visión, Universitat de València, E46100 Burjassot

Resumen: En este trabajo usamos un montaje, compacto y flexible, de un interferómetro tipo Young basado en el uso de un prisma de Wollaston, para estudiar experimentalmente la interferencia de ondas monocromáticas ortogonalmente polarizadas. El sistema utilizado permite generar cualquier estado de polarización de partida, lo que permite generar un abanico muy amplio de distribuciones de polarización periódicas a lo largo del campo interferencial.

La interferencia de dos ondas coherentes con estados de polarización diferentes genera, además de la posible variación de la irradiancia resultante, una modificación punto a punto de la polarización a lo largo del campo interferencial. En particular, si las dos ondas presentan polarizaciones ortogonales, la interferencia no se manifiesta en la intensidad de la onda resultante sino que se codifica exclusivamente en la variación local de la polarización de dicha onda [1]. Por otro lado, es conocida la capacidad de ciertos elementos ópticos birrefringentes de dividir la radiación incidente sobre ellos en dos haces con polarizaciones ortogonales. Un ejemplo muy conocido

es el prisma de Wollaston, que permite dividir un haz incidente en dos haces de polarizaciones lineales ortogonales y, en particular, es capaz de generar virtualmente dos fuentes puntuales de polarizaciones lineales ortogonales a partir de un único punto luminoso. Si esta fuente puntual emite radiación completamente polarizada, las fuentes virtuales generadas por el prisma de Wollaston son coherentes entre sí. Así pues, este elemento puede usarse para estudiar las interferencias tipo Young entre luces linealmente polarizadas ortogonales y, por tanto, generar distribuciones de polarización periódicas a lo largo del campo interferencial generado por las fuentes virtuales proyectadas por el prisma. Estas variaciones de polarización pueden hacerse visibles directamente usando un analizador lineal, generándose una amplia gama de patrones periódicos de irradiancia de diferente brillo y visibilidad [2].



Figura 1.- Trayectorias de polarización experimentales sobre la esfera de Poincaré, para dos luces circulares con amplitudes diferentes.

En este trabajo presentamos un estudio más directo de las variaciones del estado de polarización obtenidas en el interferómetro con prisma de Wollaston. Así, estudiamos directamente las variaciones locales de polarización en el campo interferencial midiendo la distribución espacial de los parámetros de Stokes [3], cuya representación sobre la esfera de Poincaré permite definir trayectorias periódicas de polarización [4]. Dichas trayectorias vienen determinadas por las polarizaciones de las dos ondas, así como por la relación entre sus amplitudes. Además, para ampliar las posibilidades del dispositivo, añadimos una lámina de cuarto de onda tras el prisma de Wollaston, lo que nos permite obtener la superposición de ondas con polarización ortogonal elíptica. El sistema propuesto es realmente versátil. Así, mediante un polarizador lineal dispuesto antes del prisma de Wollaston podemos manipular de forma sencilla la amplitud relativa de las dos fuentes de interferencia, y girando la orientación del eje rápido de la lámina retardadora se modifica el estado de polarización de las ondas que interfieren (desde polarización lineal, elíptica e incluso circular). Un resultado típico se muestra en la Fig. 1.

De esta manera proponemos un interferómetro de tipo Young que trabaja con fuentes polarizadas y que es compacto, fácil de manipular y de calibrar. Todas estas características lo hacen especialmente interesante como práctica de laboratorio para estudiantes de los grados universitarios de carreras como Física, Optometría o ingenierías, como experimento para profundizar en los conceptos de las interferencia y la polarización.

Referencias

- [1] J.L. Hunt y G. Karl, "Interference with polarized light beams," Am. J. Phys. 38, 1249 (1970).
- [2] P. Andrés et al., "Young's experiment with polarized light: properties and applications," Am. J. Phys. 54, 1085 (1985).
- [3] B. Schaefer et al., "Measuring the Stokes polarization parameters," Am. J. Phys. 75, 163 (2007).

^[4] B.M. Rodríguez-Lara y I. Ricardez-Vargas, "Interference with polarized light beams: Generation of spatially varying polarization," Am. J. Phys. 77, 1135 (2009).

Interferometría de luz blanca resuelta espectralmente (ILBRE?): una técnica para la obtención de la dispersión cromática en un amplio espectro

Yago Arosa, Carlos Damián Rodríguez Fernández, Elena López Lago, and Raúl de La Fuente

Grupo de Nanomateriais, Fotónica e Materia Branda, Departamentos de Física Aplicada e de Física de Partículas, Universidade de Santiago de Compostela, E-15782, Santiago de Compostela, Spain

Resumen: En este trabajo se discute la viabilidad y características de un sistema de interferometría de luz blanca para el análisis de la dispersión cromática. Para ello se utilizan dos interferómetros Michelson iluminados respectivamente con una lámpara de deuterio y otra halógena. El resultado final es el índice de refracción en un casi continuo que cubre el rango UV-VIS-NIR (255-1580 nm).

Los primeros estudios sobre la interferometría de luz blanca resuelta espectralmente para el análisis de la dispersión cromática de materiales son realizados por Calatroni *et al.* [1] a principios de la década de los 90. En ellos, se discute la posibilidad de obtener valores como el índice de grupo a través del patrón de franjas creado por un interferómetro al ser iluminado por una fuente de luz blanca y posteriormente analizado con un espectrómetro. Un ejemplo de este patrón interferómetrico se muestra en la figura 1.



Figura 1.- Ejemplo de un interferograma obtenido para el rango visible.

Basándonos en dichos estudios, a lo largo de los dos últimos años, hemos diseñado y construido un sistema interferómetrico capaz de analizar la dispersión cromática en un amplio rango de longitudes de onda cubriendo desde el UV (255 nm) hasta el infrarrojo cercano (1580 nm). Nuestro sistema está compuesto por dos interferómetros de Michelson iluminados respectivamente por una lámpara halógena y otra de deuterio. La salida de los mismos es analizada por diversos espectrómetros de prisma o de red en función de la zona del espectro, optimizando nuestra resolución espectral en cada una. Además, el sistema cuenta con un control de térmico que permite variar la temperatura de las muestras analizadas entre los 10-50 °C.

Para obtener valores precisos del índice de refracción es necesario un control preciso de diversas magnitudes como el grosor de la muestra, el desplazamiento relativo entre los espejos del interferómetro o la calibración de los espectrómetros. Dichas magnitudes, así como su contribución final a los resultados, han sido estudiadas de forma exhaustiva por nosotros [2].

El dispositivo ha sido puesto a prueba con una gama materiales tanto líquidos como sólidos previamente estudiados [3]. En todos los casos, los valores obtenidos y la bibliografía no discrepan más de $2x10^{-4}$ en el índice de refracción en todo el rango de medida. Lejos de quedarnos en el testeo de la técnica, ya hemos obtenido valores para un conjunto de líquidos iónicos cuyo índice de refracción no había sido previamente caracterizado [3], con resultados muy satisfactorios.

Referencias

- C. Sainz, J. E. Calatroni, and G. Tribillon, "Refractometry of liquid samples with spectrally resolved white light interferometry", Meas. Sci. Technol. 1 (1990) 356–361.
- [2] Y. Arosa, E. López-Lago, R. de la Fuente, "Spectrally resolved white light interferometer for measuring dispersion in the visible and near infrared range", Measurement, 122 (2018) 6–13
- [3] Y Arosa, EL Lago, LM Varela, R de la Fuente," Spectrally resolved white light interferometry to measure material dispersion over a wide spectral band in a single acquisition", Optics express, 24 (2016) 17303-17312
- [3] Y. Arosa, C. D. R. Fernández, E. López Lago, A. Amigo, L. M. Varela, O. Cabeza, and R. de la Fuente, "Refractive index measurement of imidazolium based ionic liquids in the VIS-NIR", Opt. Mat. 73 (2017) 647–657

Red Interuniversitaria de Innovación Docente en la Enseñanza de la Óptica y la Fotónica

<u>P. García-Martínez</u>¹, C. J. Zapata-Rodriguez¹, I. Fernández¹, M. Naserpour¹, I. Moreno²,
M. M. Sánchez-López³, D. Mas⁴, J. Espinosa⁴, J. J. Miret⁴ y C. Ferreira-Gauchía⁵

¹Departament d'Òptica i d'Òptometria i CCVV, Universitat de València, 46100 Burjassot, España ²Dept. Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnol. Electrónica, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ³Instituto de Bioingeniería, Dept. Física y Arquit. Comput., Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ⁴ Dpt. Departament d'Òptica, Farmacologia i Anatomia. Universitat d'Alacant. 03690 Alicante, España ⁵ Dpt. Matemáticas, C. Naturales y C. Sociales aplicados a la Educación. Univ Católica de Valencia, 46001, València, España.

Resumen: Presentamos el trabajo que venimos desarrollando durante los últimos cuatro años de la Red de Innovación Docente Interuniversitaria en la Enseñanza de la Óptica. El proyecto consiste en el desarrollo de herramientas multimedia adaptadas a la enseñanza de la Física: Óptica y en él colaboran profesorado de la U. Miguel Hernández de Elche, U. de Alicante, U. Católica de València y la U. de Valencia.

La Educación Superior española ha sufrido una transformación de los métodos y las estructuras de enseñanza mediante el proceso de Bolonia en los últimos años. La metodología académica se centra en una mayor medida en el aprendizaje autónomo del alumnado más que en el papel de un simple receptor de información. En ese sentido, el alumnado necesita muchas herramientas nuevas y material de enseñanza para lograr dicho proceso de aprendizaje autónomo. La creación de redes docentes entre universidades es una magnifica oportunidad para interconectar profesorado que comparte intereses por la innovación docente en una determinada enseñanza. En ese sentido, el vicerrectorado de Políticas de Formación y Calidad Educativa de la Universitat de València, apostó en la convocatoria del curso 2014-15 incluir en sus proyectos de innovación docente la creación de redes educativas innovadoras inteuniversitarias, con el fin de crear grupos estables y redes de funcionamiento continuo.

Un grupo de profesoras y profesores universitarios involucrados en la enseñanza de la óptica y de la fotónica nos unimos para presentar un proyecto común y desarrollar herramientas didácticas que pudiéramos compartir en nuestras tareas docentes, creando una red interuniversitaria de innovación docente en la enseñanza de la óptica y la fotónica (www.uv.es/ioptica) [1]. Desde hace 4 años hemos estado recibiendo una financiación continuada



Figura 1. Exposición Fotografías realizado en la F. Física (UV) en el curso 2016/17.

SFPIE_GER17-589019).

Referencias

para llevar a cabo distintas actividades docentes, entre ellas destacamos: 1) Realización de materiales teóricoprácticos didácticos y aumento de su accesibilidad a entornos portables, 2) Vídeo-Tutoriales de las prácticas de laboratorio de distintas asignaturas, 3) Experiencias en el aula, en la que el alumnado es el protagonista de la materia al poder realizar sencillas demostraciones experimentales utilizando el kit de docencia Photonics Explorer financiado por la Unión Europea y distribuido en nuestro país por SEDOPTICA, 4) Realización de fotografías por pate del alumnado con contenido científico y que ilustren fenómenos físicos aprendidos en clase, eso hace que el alumnado se implique mucho más en el aprendizaje al trasladar los contenidos teóricos a sus entornos domésticos y cotidianos. Agradecemos al Vicerectorat de Polítiques i Qualitat Educativa de la Universitat de València (UV-

[1] P. García-Martínez, C.J. Zapata-Rodríguez, C. Ferreira, I. Fernández, D. Pastor, M. Nasenpour, I. Moreno, M. M. Sánchez-López, J. Espinosa, D. Mas, and J. J. Miret, in ETOP, *Proc. of SPIE*, **9793**, pp. 97930L-1—97930L-7, (2015).

Cancerous and Healthy Cell Fluorescence Imaging with Laser Generated Carbon Quantum Dots

<u>C. Doñate-Buendía</u>¹, R. Torres-Mendieta², A. Pyatenko³, M. Soriano-Amat¹, E. Falomir⁴, M. Fernández-Alonso¹ and G. Mínguez-Vega¹

 1- GROC·UJI, Institute of New Imaging Technologies, Universitat Jaume I, Avda. Sos Baynat, Castellón, Spain
2- Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Technical University of Liberec, Studentská 1402/2, 461 17 Liberec, Czech Republic

3- Nanomaterials Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba Central 5, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8565, Japan

4- Department of Inorganic and Organic Chemistry, University Jaume I, Avda. Sos Baynat, Castellón, Spain

Abstract: Fluorescent dyes have proved to be excellent tools for bioimaging. However standard dyes suffer from photobleaching and photoblinking reducing their performance. Here we report the use of laser generated carbon quantum dots (CQDs) for two different cancerous and one healthy cell lines imaging. The internalization is proved to be quick, 10 minutes, and direct, only mixing of the CQDs with the sample is needed. Besides, the fluorescence signal keeps constant for at least 2 hours.

The method for internalization of ns laser generated CQDs shown in this contribution is based on direct mixing of the CQDs with the biological samples. Three different cell lines, oral epithelial cells, Fig 1a), colon cancer cells HT29, Fig 1b) and lung cancer cells A549, Fig 1c-d), are used and in all cases a complete internalization is measured in only ten minutes. Moreover, in all cases the cell structure is easily observed with no background signal.



Figure 1. Internalized CQDs fluorescence image of a) oral epithelial cells, b) colon cancer cells HT-29, c) lung cancer cell A-549 and d) far field image of A549 cells. e) A549 irradiated for 5 hours and f) integrated fluorescence signal measured as a function of time.

The fluorescence intensity of an A549 cell is measured for 5 hours and no decay of the signal is observed for at least 2 hours, proving the reduced photobleaching of the CQDs. Their outstanding performance prove ns laser generated CQDs as an excellent fluorescent dye for in vivo and in vitro bioimaging applications [1].

References

[1] C. Doñate-Buendia, R. Torres-Mendieta, A. Pyatenko, E. Falomir, M. Fernández-Alonso, and G. Mínguez-Vega, "Fabrication by Laser Irradiation in a Continuous Flow Jet of Carbon Quantum Dots for Fluorescence Imaging," ACS Omega, 3, 2735– 2742, (2018).

Detection of different species of p-aminothiophenol on silver nanoparticles by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS)

Maria Rosa Lopez-Ramirez, Isabel Lopez-Tocon, Daniel Aranda Ruiz, Francisco Jose Ávila Ferrer, Juan Francisco Arenas, Juan Soto and Juan Carlos Otero

> Department of Physical Chemistry, Faculty of Science University of Málaga, E-29071 Málaga, Spain

Abstract: In the present work we have analyzed the experimental and theoretical SERS spectra of the organic compound p-aminothiophenol (pATP, HS-Ph- NH_2) recorded on silver nanoparticles. DFT calculations have been performed to support the experimental results in order to estimate the adsorption specie and the corresponding Raman bands assignment. It is found a different adsorption behavior of pATP not only by changing the concentration of the adsorbate but also by exciting the sample at different wavelengths.

Depending on the particular molecule-metal system and on the experimental conditions different Surface-enhanced Raman Scattering (SERS) mechanisms can operate simultaneously or separately. Therefore systematic interpretations of SERS spectra can be a challenge, given that complex selection rules are derived from these enhancement mechanisms related to electromagnetic properties of the nanoparticles or resonance Raman effects involving the molecule-metal complex. [1]

In the present work we have focused the discussion on the experimental and theoretical SERS spectra of the organic compound pATP recorded on silver colloids. The huge SERS of pATP on metal substrates is significantly different from its ordinary Raman spectra due to the formation of a new specie namely p,p'-dimercaptoazobenzene (DMAB). The features of the SERS spectra of pATP are strongly dependent on many factors as i.e. the laser power density or the laser wavelength [2] but there are still important aspects to understand as, for example, the effect of the concentration that has already been studied before by our group.[3] In this case we have analyzed the effect of the concentration at different wavelengths on the SERS spectra of pATP on silver nanoparticles.



Figure 1. Theoretical and experimental SERS spectra of 10⁻⁵ M pATP at different wavelengths.

We have found that the Raman signals of the SERS of pATP arise from at least three different molecular species. At any concentration or wavelength we are able to detect SERS bands of pATP bonded to silver nanoparticles through sulfur atom $(Ag_n-S^--Ph-NH_2)$. However we can only observe significant SERS bands from pATP bonded through both sulfur and nitrogen atoms $(Ag_n-S^--Ph-NH_2-Ag_m)$ and the azo derivative in specific conditions.

Referencias:

- R. Panneerselvam, G.K. Liu, Y.H. Wang, J.Y. Liu, S.Y. Ding, J.F. Li, D.Y. Wua, Z.Q. Tian "Surface-enhanced Raman spectroscopy: bottlenecks and future directions" Chem. Commun. 54, 10-25 (2018).
- [2] Y.F. Huang, H.P. Zhu, G.K. Liu, D.Y. Wu, B. Ren, Z.Q. Tian, "When the signal is not from the original molecule to be detected: Chemical transformation of p-Aminothiophenol on Ag during the SERS measurement" J. Am. Chem. Soc. 132, 9244-9246 (2010).
- [3] M.R. Lopez-Ramirez, D. Aranda Ruiz, F.J. Avila Ferrer, J.F. Arenas, J.C. Otero, J. Soto, "Analysis of the Potential Dependent Surface-Enhanced Raman Scattering of p-Aminothiophenol on the Basis of MS-CASPT2 Calculations" J. Phys. Chem. C 120, 19322–19328 (2016).

Red de difracción inscrita a la salida de fibra óptica por láser de femtosegundo

D. Pallarés Aldeiturriaga¹, L. Rodriguez Cobo², <u>I. Laarossi¹</u> y J. M. López-Higuera^{1,2,3}

¹ Grupo de Ingeniería Fotónica, Universidad de Cantabria, 39005, Santander, España ²CIBER-bbn, Instituto de Salud Carlos III, 28029, Madrid, España ³Instituto de Investigación Sanitaria Valdecilla (IDIVAL), Cantabria, España pallaresd@unican.es

Resumen: Se presenta una red de difracción inscrita a la salida de fibra óptica por un láser de femtosegundo empleando la técnica de escritura directa. El patrón inscrito consiste en una red de puntos de celda unitaria hexagonal. Su proyección en régimen de Fraunhofer produce una distribución de ordenes hexagonal con aplicaciones en el sensado en dos dimensiones.

La llegada de los láseres de femtosegundo ha supuesto una ampliación en las fronteras del microprocesado en fibra óptica. Entre sus aplicaciones, la escritura de elementos difractivos es de especial interés por sus capacidades de división de haz y demultiplexado en longitud de onda [1]. En el presente trabajo se introduce una simple estructura difractiva inscrita empleando la técnica de escritura directa [2] como forma sencilla de obtener estructuras difractivas en 2 dimensiones. Para la inscripción se ha realizado el montaje de la Figura 1.a. donde se ha fijado un conector de fibra a una plataforma de resolución nanométrica XYZ de Aerotech y focalizando los pulsos de un Fiber Laser Chirp Pulse Amplifier (FLCPA) y focalizando los pulsos en un objetivo de microscopio NA=0.5. El esquema de la red deseada se muestra en la Figura 1.b, una red de puntos de celda unitaria hexagonal. Este patrón se ha inscrito depositando 20 pulsos con una energía de 0,11µJ y 370fs de duración de pulso a 5µm por debajo de la superficie a una velocidad de escritura de 0.1 mm/s y un periodo de 1.5µm. Un total de 40 líneas con un offset de 0.75µm han sido inscritas. El resultado se refleja en la figura Figura 1.c donde una captura de cámara CCD revela sutilmente el patrón propuesto, dada la baja energía de pulso, la modificación se supone de tipo I[3], con un cambio sutil de índice de refracción.



Figura 1.- Montaje experimental (a). Diagrama del patrón en la fibra óptica. Captura con la cámara CCD del patrón resultante en la fibra. Patrón resultante en campo lejano.

El patrón ha sido caracterizado con una cámara vidicón con óptica de campo lejano, el resultado puede verse en la Figura 1.d. Los órdenes de difracción se han dispuesto hexagonalmente con un ángulo de 27.5(1.0)° para 650nm. Entre las aplicaciones de este tipo de estructuras resalta el sensado de inclinación, desplazamiento y rotación.

Referencias

[1] David. PALLARES-ALDEITURRIAGA, Luis RODRIGUEZ-COBO, Rubén RUIZ-LOMBERA, Antonio QUINTELA y José Miguel LOPEZ-HIGUERA, "Femtosecond Laser inscription of diffractive element in optical fiber end-face" en 10^a Reunión Española de Optoelectrónica, OPTOEL17, (1), pp. 122–125, 2017.

[2] J. Thomas, C. Voigtländer, R. G. Becker, D. Richter, A. Tünnermann, and S. Nolte, "Femtosecond pulse written

- fiber gratings: A new avenue to integrated fiber technology," Laser and Photonics Reviews 6(6), pp. 709-723, 2012.
- [3] Desmarchelier, R., Poumellec, B., Brisset, F., Mazerat, S. and Lancry, M. (2015) In the Heart of Femtosecond Laser Induced Nanogratings: From Porous Nanoplanes to Form Birefringence. World Journal of Nano Science and Engineering, 5, 115-125.

Estudio de la birrefringencia del cristal líquido iónico 1-etil-3-metil-imidazolio decilsulfato

<u>Carlos Damián Rodríguez Fernández</u>^a, Yago Arosa Lobato^a, Elena López Lago^a, Raúl de la Fuente^a, Pedro Verdía^b, Emilia Tojo^b

^aGrupo de Nanomateriais, Fotónica e Materia Branda, Departamento de Física Aplicada, Universidade de Santiago de Compostela (USC), E-15782, Santiago de Compostela ^bDpt. de Química Orgánica, Universidade de Vigo, 36310 Vigo, Spain

Resumen: El 1-etil-3-metilimidazolio decilsulfato [EMIM][DS] es un líquido iónico que al mezclarse con pequeñas cantidades de agua da lugar a un hidrogel birrefringente. En esta contribución se estudia la birrefringencia de este hidrogel y se apunta a la posible estabilización de una fase liotrópica de tipo lamelar L o hexagonal H. La caracterización óptica muestra una birrefringencia acromática en un amplio espectro que cubre desde los 400 hasta los 1580 nanómetros.

Los líquidos iónicos son materiales compuestos por un anión y un catión (orgánico) que presentan prometedoras propiedades físico-químicas: biodegradabilidad, amplios rangos de estabilidad térmica y diseño inteligente de sus propiedades mediante la correcta selección del par catión-anión entre otras. A pesar de estas propiedades, sus posibles aplicaciones en el campo de la fotónica están poco exploradas. Por ejemplo, los líquidos iónicos son materiales susceptibles de ser diseñados con propiedades ópticas específicas, como índices de refracción de valores determinados [1]. Por otro lado, muchos líquidos iónicos se comportan como cristales líquidos [2].

El 1-etil-3-metilimidazol decilsulfato [EMIM][DS] es un líquido iónico transparente que se presenta en estado líquido a temperatura ambiente. Cuando el [EMIM][DS] entra en contacto con la atmósfera o bien cuando se disuelve una pequeña cantidad de agua en él, gelifica formando un hidrogel transparente [3].

El hidrogel formado por el [EMIM][DS] es birrefringente. El líquido deshidratado es isótropo y conforme se hidrata su birrefringencia aumenta. Las texturas más destacables observadas en MOP son aspas (fan-like textures) que recuerdan a las formadas por cristales líquidos liotrópicos de las familias lamelares (L) y hexagonales (H). El hidrogel de [EMIM][DS] puede ser tratado para forzar el alineamiento de las moléculas que lo conforman en dominios de tamaño macroscópico. El proceso de alineamiento consiste en frotar el material entre dos láminas de vidrio al tiempo que se mantiene una temperatura ligeramente superior a su *clearing point* dejando enfriar muy lentamente. El resultado es un material que se comporta como un monocristal uniáxico en extensiones macroscópicas (varios centímetros).

La birrefringencia de este material fue estudiada mediante un polarímetro y mediante un interferómetro de luz branca espectralmente resuelto (ILBER). El polarímetro consiste en dos polarizadores y un espectrómetro. La muestra, una lámina ordenada de 10 μ m de grosor, se coloca entre los polarizadores. Empleando posiciones relativas entre los ejes de los polarizadores y la resolución espectral del interferómetro es posible obtener el valor de la birrefringencia del material. En nuestro caso medimos una birrefringencia acromática entre 400 nm y 650 nm con un valor de 4,10(70)·10⁻³.

En cuanto al ILBER, éste consiste en un interferómetro de tipo Michelson montado en el laboratorio al que se le acoplan tres espectrómetros. La muestra es una lámina alineada de [EMIM][DS] de 1 mm de grosor. La medida realizada a través del ILBER expande los resultados obtenidos con el polarímetro y mejora la precisión mostrando una birrefringencia acromática de valor 3,91(20)·10⁻³ en todo el espectro de medida, que abarca desde los 400 nm a los 1580 nm.

Referencias

 Yago Arosa, Carlos Damian Rodríguez Fernandez, Elena Lopez Lago, Alfredo Amigo, Luis Miguel Varela, Oscar Cabeza, Raúl de la Fuente, "Refractive index measurement of imidazolium based ionic liquids in the Vis-NIR". Opt. Mater. 73 647 (2017).

[2] Karel Goossens, Kathleen Lava, Christopher W. Bielawski, and Koen Binnemans, "Ionic Liquid Crystals: Versatile Materials", Chem. Rev. **116**, 4643 (2016).

[3] Oscar Cabeza, Esther Rilo, Luisa Segade, Montserrat Dominguez-Perez, Sandra Garcia-Garabal, David Ausin, Elena Lopez-Lago, Luis Miguel Varela, Miguel Vilas, Pedro Verdia and Emilia Tojo, "Imidazolium decylsulfate: a very promising selfmade ionic hydrogel", Mater. Chem. Front., 2, 505 (2018).

Reducción de ruido en sistemas RDTS mediante EMD y Wavelets

Ismail Laarossi¹, María Ángeles Quintela Incera^{1,2,3}, D. Pallarés Aldeiturriaga¹, José Miguel López Higuera^{1,2,3}

¹Grupo de Ingeniería Fotónica (UC), ²CIBER-bbn, ³IDIVAL

Resumen: En este trabajo, se propone una nueva técnica para mejorar la relación señal-ruido en las señales retrodispersadas de Raman para la medida distribuida de temperatura en fibra óptica, mediante la aplicación de la descomposición de modo emperico (EMD) y la eliminación de ruido a través de wavelets.

En la actualidad, los sensores distribuidos de temperatura basados en el efecto Raman (RTDS) están teniendo un interés creciente en numerosas industrias y presentan una alternativa prometedora y económica frente a los sensores clásicos de temperatura discretos, debido a las ya conocidas ventajas que ofrecen frente a estos últimos. Un parámetro clave en estos sistemas es la relación señal-ruido (SNR) de las señales retrodispersadas de Raman (Stokes y Anti-Stokes), ya que es el que determina la exactitud con la que se mide la temperatura y es el factor que limita la distancia máxima de detección. Como ya es sabido, las señales retrodispersadas tienen poca potencia (60-70dB por debajo de la potencia de la señal inyectada [1]), por eso, se hace necesario el uso de pulsos de alta potencia, pero sin alcanzar el umbral de la dispersión estimulada [2]. Por lo tanto, para una fibra dada, la potencia inyectada tiene un límite máximo y la única manera de mejorar la SNR, y así aumentar la distancia de detección y mejorar la exactitud, es a través del procesado de las señales. En este trabajo, se ha utilizado una unidad de interrogación basada en el efecto Raman en el dominio del tiempo, con el láser operando en 1064nm y con una potencia media de salida de 17mw. Para medir las variaciones de temperatura, se ha introducido un tramo de 15m de una fibra multimodo estándar de índice gradual (50/125um) dentro de la cámara climática y se ha sometido a una rampa de subida (de temperatura ambiente a 190°C con pasos de 10°C). La figura 1(a) muestra los resultados obtenidos después de realizar medidas de 10s para cada temperatura. Como se puede observar las temperaturas medidas muestran variaciones debido al ruido presente en las señales Stokes y Anti-Stokes utilizados para calcular la temperatura. Para reducir el nivel de ruido, y así mejorar la SNR, se puede o hacer más promediados (lo que conllevará más tiempo en cada medida) o como se ha realizado en este trabajo, emplear técnicas de procesado de imagen. Primero, se descompone cada señal mediante el método de descomposición de modo empírico, obteniendo funciones de modo intrínseco (IMF). Las tres primeras funciones (IMF1-IMF3) contienen componentes de alta frecuencia y de ruido [3]in the real scenario, ECG signals are corrupted with various noises during acquisition and transmission. In this article, an efficient ECG denoising methodology using combined empirical mode decomposition (EMD, por eso, se aplica la técnica de reducción de ruido mediante wavelets a estas 3 funciones y luego se reconstruyen las señales. La figura 1 (b) muestra como han mejorado las medidas después de aplicar este método (la varianza de las medidas se ha reducido a la mitad), empleando las mismas trazas con 10s de tiempo de medida.



Figura 1. Comparación de los resultados sin (a) y con (b) procesado.

Agradecimientos: CICYT español a través de TEC2016-76021-C2-2-R cofinanciado por EU-FEDER FUNDS

Referencias

[1]M. A. Soto et al., "Raman-based distributed temperature sensor with 1 m spatial resolution over 26 km SMF using low-repetition-rate cyclic pulse coding," Opt. Lett., vol. 36, no. 13, p. 2557, 2011.

[2]P. L. Kelley, I. P.Kaminow, and G.G.P.Agrawal, "Nonlinear fiber optics," Nonlinear Sci. Daw. 21st Century, p. 467, 2001.

[3]M. Rakshit and S. Das, "An efficient ECG denoising methodology using empirical mode decomposition and adaptive switching mean filter," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 40, pp. 140–148, 2018.

Caracterización de guías de onda multinúcleo en medios activos

Antonio Días⁽¹⁾, <u>David Benedicto⁽²⁾</u>, Juan C. Martín^(2,3), Juan A. Vallés^(2,3), Javier Solís⁽¹⁾

¹Grupo de Procesado Láser, Instituto de Óptica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), C/ Serrano 121, 28006, Madrid, España. ²Departamento de Física Aplicada, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza, C/ Pedro Cerbuna, 12, 50009, Zaragoza, España. ³Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A), C/ Mariano Esquillor s/n, 50018 Zaragoza, España.

Resumen: En este estudio se recoge la caracterización experimental, pasiva y activa, de guías de onda multinúcleo escritas en fosfatos codopados con erbio e iterbio, con el objetivo de diseñar y optimizar dispositivos fotónicosbasados en este tipo de estructuras.

La irradiación de vidrios de fosfato codopado con $Er^{3+}e Yb^{3+}$ con pulsos láser de femtosegundos permite controlar la geometría y la composición de la región modificada mediante migración iónica y, así, la **inscripción de guías de onda integradas** con contrastes de índice elevados ($\Delta n > 10^{-2}$) y enriquecimiento de iones activos en el núcleo[1]. En este trabajo se presenta la caracterización de **guías multinúcleo**(figura 1a) inscritas en este tipo de vidrios con el objetivo de ajustar las simulaciones y el posterior diseño y optimización de los dispositivos.

Estas guías son interesantes para obtener grandes áreas modales, así como para el multiplexado de señales, bien sea espacial cuando los núcleos se encuentran desacoplados o modal en el caso contrario. Además, las guías en vidrios de fosfato muestran un gran potencial para aplicaciones como convertidores de modo, ecualizadores espectrales de ganancia, sensores e instrumentos en el campo de la astrofotónica.



Figura 1.-(a) Medida experimental de la distribución de intensidad de una guía con tres núcleosde 5μm de diámetro separados 7μm entre sus centros para λ=980nm y (b) ganancia relativa en función del bombeo en una longitud de 1 cm para guías con dos núcleos con distintas separaciones y para una guía individual.

En primer lugar se ha realizado la **caracterización activa y pasiva** de las guías individuales [2]. A continuación, se estudian los parámetros obtenidos para **comparar el comportamiento teórico y experimental** de señales propagándose en guías de onda con varios núcleos acoplados, y en donde las simulaciones teóricas se fundamentan en la resolución de las ecuaciones de la propagación de potencias ópticas acopladas al sistema de ecuaciones diferenciales de la variación de la densidad de población de los iones de las tierras raras en los diferentes estados de energía [3]. Además, el alto contraste de índice permite reducir el crosstalk ente núcleos y para algunas energías de escritura se llegan a alcanzar valores de ganancia relativa de hasta 19 dB/cm con pérdidas menores a 1dB/cm en guías individuales. Medidas activas de la ganancia en función de la separación entre núcleos (figura 1b) y de la excitación, permiten ajustar el modelo con la finalidad de diseñar y optimizar estas estructuras para diversas aplicaciones.

Referencias

- [1] T. ToneyFernandez, P. Haro-González, B. Sotillo, M. Hernandez, D. Jaque, P. Fernandez, C. Domingo, J. Siegel, J. Solis, "Ion migration assisted inscription of high refractive index contrast waveguides by femtosecond laser pulses in phosphate glass.", Opt. Lett., 38(24), 5248(2013).
- [2] J. A. Vallés, A. Ferrer, J. M. Fernández-Navarro, V. Berdejo, A. Ruiz de la Cruz, I. Ortega-Feliu, M. Á. Rebolledo, J. Solís, "Performance of ultrafast laser written active waveguides by rigorous modeling of optical gain measurements.", Opt. Mat. Exp., 1(4), 564 (2011)
- [3] C. Randy Giles, Emmanuel Desurvire. "Modeling erbium-doped fiber amplifers.", JLT, 9(2),271(1991).

Medidas de alta temperatura mediante el sistema RDTS y fibra recubierta con carbono y poliimida

Ismail Laarossi¹, María Ángeles Quintela Incera^{1,2,3}, D. Pallarés Aldeiturriaga¹, José Miguel López Higuera^{1,2,3}

¹Grupo de Ingeniería Fotónica (UC), ²CIBER-bbn, ³IDIVAL

Resumen: En este trabajo, se presenta un sensor distribuido a altas temperaturas basado en el efecto Raman y la reflectometría óptica en el dominio del tiempo (ROTDR). Para llevar a cabo las medidas se ha usado una fibra multimodo con núcleo de sílice puro y recubierta de carbono y poliimida. Se han realizado medidas distribuidas experimentales de temperaturas de hasta 360°C con éxito.

Las aplicaciones de los sensores distribuidos de temperatura (DTS) de fibra óptica basados en el efecto Raman se están expandiendo rápidamente en la industria. Hoy en día, esta tecnología está en un estado maduro para muchas aplicaciones industriales, como la detección de incendios en túneles y edificios y la detección de fugas en pozos petrolíferos [1]. Este incremento de su demanda es debido, principalmente, a las ya conocidas grandes ventajas que ofrece frente a los sensores discretos clásicos, como, por ejemplo, la inmunidad intrínseca a campos electromagnéticos o la detección remota de temperatura a largas distancias en entornos peligrosos, radiactivos o tóxicos. El despliegue de estos sistemas distribuidos en campos reales donde se necesita la medición de altas temperaturas implica la necesidad de considerar fibras con recubrimientos especiales y el cableado externo que las protege, capaces de resistir estos ambientes hostiles. Las fibras ópticas herméticamente recubiertas presentan una buena alternativa ya que además de dar a las fibras la protección necesaria, evitan la fatiga causada por las moléculas de agua en la superficie y los aumentos en las pérdidas ópticas causados por la difusión de las moléculas de hidrógeno al núcleo [2]. Las fibras recubiertas de carbono son las más comúnmente usadas como fibras herméticas, sin embargo, su bajo espesor obliga a usar otros materiales de revestimiento, como, por ejemplo, la poliimida. Normalmente, se usa este material como segundo recubrimiento, ya que cubre un gran rango, permitiendo alcanzar temperaturas de funcionamiento nominales de hasta 300°C. Sin embargo, la efectividad de estos dos revestimientos como barrera al hidrogeno y su resistencia mecánica baja cuando se sobrepasan los 200°C [3]. Por eso en este trabajo, y con el objetivo de aumentar el tiempo de vida útil de la fibra, se propone un nuevo cable de fibra óptica, formado por una fibra recubierta con carbono y poliimida y protegida con dos tubos de acero inoxidable personalizados y bien sellados para aislar la fibra de los riesgos del medio ambiente. La siguiente figura muestra los resultados obtenidos después de someter el cable de fibra diseñado a dos ciclos de temperatura en un horno industrial. Para la realizado de estas medidas se ha utilizado una unidad de interrogación basada en el efecto Raman en el dominio del tiempo con una resolución espacial de 0.5 m y con el láser operando en 1064nm y con una potencia media de 17mw.



Figura 1.- Medidas distribuidas de temperatura (a) canal completo, (b) Zona sometida a variaciones de temperatura Los resultados obtenidos con estas medidas concuerdan con los ciclos de temperatura programados, lo que sugiere que el cable de fibra propuesto, además de dar más resistencia mecánica a la fibra, permite mediciones correctas de la temperatura.

Agradecimientos: CICYT español a través de TEC2016-76021-C2-2-R cofinanciado por EU-FEDER FUNDS

Referencias

- [1] S. Adachi, "Distributed optical fiber sensors and their applications," SICE Annu. Conf. 2008, pp. 329–333, 2008.
- [2] Méndez, A., & Morse, T. F. (Eds.). (2011). Specialty optical fibers handbook. Academic Press.

[3] T. Reinsch and J. Henninges, "Temperature-dependent characterization of optical fibres for distributed temperature sensing in hot geothermal wells," Meas. Sci. Technol., vol. 21, no. 9, 2010.

Cladding refractive index perturbation in single mode fibers: matching the experimental dispersion curves

Aktham Tashtush⁽¹⁾, Enrique Silvestre⁽¹⁾, Antonio Díez⁽²⁾, and Miguel V. Andrés⁽²⁾

 Department of Optics, ICMUV, University of Valencia, Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia, Spain.
Department of Applied Physics and Electromagnetisme, ICMUV, University of Valencia, Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Valencia, Spain.

Abstract: The measurement of the modal index difference between the fundamental mode and the first higher order modes in standard optical fibers, below and above cut-off, is used to adjust the theoretical refractive index profile of the fiber. The main conclusion, in the case of standard SMF-28e fiber, is that a step-index model for the core index profile is correct, but an additional perturbation of the cladding refractive index profile is required.

The applications of few-moded optical fibers in space-division multiplexing, power amplifiers and sensors are increasing significantly in the last years. In addition, a precise knowledge of high order cladding modes in standard single mode fibers is important for a proper understanding of long period gratings design and properties. Using an acousto-optic technique previously developed in our laboratory [1], we carried out a precise and broadband characterization of LP_{1m} modes dispersion curves, relative to the dispersion curve of the fundamental mode LP₀₁, in standard SMF-28e fiber. We assume that the dispersion curves measured in a broad wavelength range should give enough information to work out fine details of the fiber refractive index profile. The dispersion curves of fiber modes -with an arbitrary refractive index profile- were computed using a Fourier based modal technique [2], previously developed in our research group. First, we postulated a simple step-index model defined by a pure silica cladding of 125 µm diameter, a Ge-doped core with a given numerical aperture (NA = 0.120), and core radius a = 4.415 µm. In our calculations, we include the material chromatic dispersion [3]. We concluded that a step-index profile models precisely the dispersion curves bellow cut-off (in our case the curve LP₀₁-LP₁₁ between 1 and 1.4 µm, see Fig. 1 (b)), but the dispersion curves of cladding modes cannot be adjusted correctly. In order to improve our model, we took into account the cladding perturbation reported in [4], which origin is the thermal induced stress during the drawing process. This perturbation can be modeled with a single parameter, $\delta n^2 = 0.65 \cdot 10^{-3}$, as defined in Fig. 1 (a). Using this parameter in combination with a step-index profile for the fiber core, we obtain a good match between theory and experiment, as Fib. 1 (b) depicts.



Figure 1. (a) Relative permittivity profile. (b) Modal index difference between modes LP₀₁ and LP_{1m} of SMF-28e fiber: experimental curves (red dashed line) and theory (solid blue line).

References

- E. Alcusa-Sáez, A. Díez, and M. V. Andrés, "Accurate mode characterization of two-mode optical fibers by in-fiber acousto-optics", Opt. Express 24, 4899 (2016).
- [2] E. Silvestre, T. Pinheiro-Ortega, P. Andrés, J. J. Miret, and A. Ortigosa-Blanch, "Analytical evaluation of chromatic dispersion in photonic crystal fibers", Opt. Lett. 30, 453 (2005).
- [3] J. W. Fleming, "Dispersion in GeO2-SiO2 glasses", Appl. Opt. 23, 4486 (1984).
- [4] G. Violakis, N. Aggarwal, and H. G. Limberger, "Stress changes in H2-loaded SMF optical fibers induced by cw-Ar+ 244 nm irradiation", Opt. Mat. Express 2, 1490 (2012).

Arcos de Bragg para la modificación del diagrama de radiación

Éder Gonçalves, Felipe Beltrán-Mejía, José Antônio Justino Ribeiro

Instituto Nacional de Telecomunicações (INATEL) – Santa Rita do Sapucaí MG, Brasil

Resumen: Un aislador de circuitos impresos basado en la teoría de los espejos de Bragg fue construido usando impresión 3D. Se demostraron las características de aislamiento empleando una antena impresa rectangular. Adicionalmente, conseguimos modificar la radiación de la antena alterando el formato original y obteniendo menores pérdidas por reflexión y mayor directividad.

Conseguimos confinar la radiación de una antena impresa usando componentes fabricado con impresión 3D como una forma de aislamiento electromagnético. Estos componentes son construidos como una secuencia alternada de capas de dos materiales con diferente permitividad [1]. En este caso, usamos capas hechas de un único material dieléctrico rodeadas de aire. El material escogido fue Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), un termoplástico de bajo costo, baja absorción e índice de refracción n_{ABS} =1.673. Además, el ABS posee características mecánicas que hacen de él uno de los materiales más empleados en la impresión 3D [2]. Como muestra la Fig. 1, el aislador construido posee dos espejos de Bragg compuestos por 10 capas en forma de arcos. Así, el ángulo de incidencia de la radiación causada por el circuito impreso es aproximadamente normal a las superficies del aislador. Por otra parte, la separación de los dos espejos es hecha para dar mayor directividad y anular los lóbulos traseros del diagrama de radiación, mejorando la compatibilidad electromagnética del dispositivo.



Figura 1.- Geometría de los arcos con abertura, ilustración y dispositivo final impreso.

Para caracterizar esta estructura, se utilizó una antena impresa rectangular operando en 28 GHz, una frecuencia que ha sido propuesta para el desarrollo de sistemas de comunicaciones móviles de quinta generación (5G). El diagrama de radiación es presentado en la Fig. 2.



Figura 2.- Diagrama de radiación comparando el campo distante para la antena impresa sin y con los arcos de confinamiento. En el recuadro se presenta el comparativo de campo distante.

Referencias

- [1] [1] Yariv, Pochi Yeh. Photonics: Optical Electronics in Modern Communications. (Oxford University Press, 2007).
- [2] Paul I. Deffenbaugh, Raymond C. Rumpf, Kenneth H. Church, "Broadband Microwave Frequency Characterization of 3D Printed Materials", IEEE T Comp Pack Man, Vol. 03, (p. 2147, 2013).

Generación de haces vectoriales policromáticos con una lámina-q sintonizable

D. Marco¹, A. Messaadi¹, P. García-Martínez², I. Moreno¹, M. M. Sánchez-López³

¹Dept. Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnol. Electrónica, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España. ²Departament d'Òptica, Universitat de València, 46100 Burjassot, España.

³Instituto Bioingeniería, Dept. Física y Arquit. Computadores, Univ. Miguel Hernández, 03202 Elche, España.

Resumen: Se presenta un procedimiento para la caracterización espectral de una lámina-q de cristal líquido sintonizable en desfase. Como resultado, el dispositivo puede emplearse en la generación de haces vectoriales en diferentes longitudes de onda, o con varias longitudes de onda simultáneamente, obteniendo haces vectoriales policromáticos.

Recientemente las denominadas láminas-q (*q-plates*) han recibido un notable interés como elementos para transferir momento angular orbital a la luz circularmente polarizada, y para la generación de haces cilíndricamente polarizados (haces vectoriales). Son desfasadores lineales de media onda en los que la orientación del eje óptico gira una fracción q del azimut. Estos elementos pueden codificarse en moduladores espaciales de luz [1], o bien fabricarse mediante meta-materiales o cristales líquidos, en los que el director molecular sigue el patrón azimutal (Fig. izquierda). Éstos últimos tienen además la opción de ser sintonizables mediante la aplicación de un voltaje, lo que permite emplearlos con diferentes longitudes de onda [2].

En este trabajo se presenta la calibración de un dispositivo de este tipo de la marca ARCoptix (*Variable Spiral Plate*). A diferencia de técnicas anteriores [2], aquí se usa una calibración espectral [3], que emplea una fuente de luz con espectro continuo, y se analiza la transmisión del dispositivo entre polarizadores mediante un espectro-radiómetro. Como resultado obtenemos una determinación precisa del desfase en función de la longitud de onda y del voltaje aplicado. Ésta permite encontrar el voltaje requerido para operar el dispositivo de forma óptima para la longitud de onda de trabajo, o incluso analizar su operación con varias longitudes de onda simultáneamente, de modo que los diferentes valores del desfase espectral puedan emplearse para generar diversas modalidades de haces vectoriales [4]. La figura (centro) muestra una fotografía del sistema experimental y a la derecha se muestran tres ejemplos de los colores de birrefringencia que se obtienen en el haz vectorial generado. Se observa claramente la franja oscura central característica de los haces vectoriales de primer orden, pero también cómo el color de las franjas brillantes varía en función del voltaje.



Figura 1.- A la izquierda esquema de la orientación del director del cristal líquido en una lámina-q de q=1/2; en el centro fotografía del sistema experimental; a la derecha tres imágenes del haz radial generado para diferentes voltajes.

Agradecimientos: Proyectos FIS2015-66328-C3-3-R y PROMETEO/2017/154.

Referencias

- [1] I. Moreno, M. M. Sánchez-López, K. Badham, J. A. Davis, D. M. Cottrell, "Generation of integer and fractional vector beams with q-plates encoded onto a spatial light modulator," Opt. Lett. 41 (6), 1305-1308 (2016).
- [2] J. A. Davis, N. Hashimoto, M. Kurihara, E. Hurtado, M. Pierce, M.M. Sánchez-López, K. Badham, I. Moreno, "Analysis of a segmented q-plate tunable retarder for the generation of first-order vector beams," Appl. Opt. 54 (32), 9583-9590 (2015).
- [3] A. Messaadi, M. M. Sánchez-López, P. García-Martínez, A. Vargas, I. Moreno, "Optical system for measuring the spectral retardance function in an extended range," J. Eur. Opt. Soc. – Rapid Pub. 12, 12:21 (2016).
- [4] M. M. Sánchez-López, I. Abella, D. Puerto-García, J. A. Davis, I. Moreno, "Spectral performance of a zero-order liquid-crystal polymer commercial q-plate for the generation of vector beams at different wavelengths," Opt. Laser Technol., en proceso de revisión (2018).

Vegetation Indexes Definition by Diffuse Reflectance Spectra Analysis on Tabasco Pepper (*Capsicum frutescens*) Crops

A. Reyes Trujillo ^{1, 2}, F. Montenegro Hurtado ^{1, 3}, R. Pomeo Moreno ^{1, 2}
C. A. Galíndez Jamioy ¹, <u>E. Solarte Rodriguez¹</u>

¹ Grupo de Óptica Cuántica, Departamento de Física,
² Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos,
³ Grupo de Investigación en Percepción Remota
Universidad del Valle, Cali, Colombia

Abstract: The diffuse reflectance of Tabasco Pepper leaves was measured and the crop coefficients from field measurements were correlated to the optical measured vegetation indexes (NDVI). The strong correlation found, allows crops modeling for different climatic and soil conditions via NDVI and to determine the water requirements of the crop. Chlorophyll fluoremeter measurements were correlated to the spectral features to find other wavelength ranges, besides de (F735/F700) ratio, to characterize the Nitrogen balance in the leaves.

Optical noninvasive methods such as the analysis of spectral properties of plants are becoming important tools for crops diagnosis and monitoring because the specific spectral features and responses are mainly defined by the involvement of the leaves components, i.e. leaf pigments, in plant metabolism and physiology. Stress by Nitrogen deficiency, the water content in the leaves and the presence of pest or disease, induce changes in the overall spectral response or specific absorption bands. Diffuse reflectance spectroscopy in the VIS-NIR range, provides an analytical technique for biophysical and chemical characterization of leaves surface, and allow monitoring the physiological state of a crop in a profitable and non-destructive way.

This study was conducted on Tabasco Pepper (*Capsicum frutescens*) leaves, in two different experimental setups allowing field measurements, under controlled crop irrigation and Nitrogen supply to the plants. Diffuse reflectance spectral response was measured using optical fiber spectrometers and a calibrated spectro radiometer. The crops variables were determinate following standards [1] by environmental parameter measurements, water requirements and crops coefficients were defined using a field lysimeter, and nitrogen absorption was determinate by leaf fluorescence measurements. Analysis of diffuse reflectance spectra allows defining the normal behaviors and to choose the spectral features, wavelengths and spectral ranges useful to define the spectral indexes which offer the best correlation to the crops agronomical and biological variables.



Figure 1.- Relation between Crop Coefficient and Normalized Difference Vegetation Index.

Crop coefficients from field measurements were correlated to the optical measured vegetation indexes. The strong correlation, allows crops modeling for different climatic and soil conditions via NDVI and to determine the water requirements of the crop. Chlorophyll measurements were correlated to the spectral features to find other wavelength ranges, besides de r2 (F735/F700) ratio, to characterize the Nitrogen balance in the leaves.

References

[1] Food and Agriculture Organization; "Evapotranspiration of the Crop" Guide for determination of water requirements. (FAO. Rome. Italy 2006).

Índice de autores

A

Abreu-Afonso, J 161 Abujetas, D. R 174 Acosta-Capilla, L. K 177 Acosta, E 96, 115, 116 Adamczyk, K 48 Ahufinger, V 135, 151, 152 Aissati, S 99, 121 Akondi, V 99 Alcaraz, R 124, 181 Aldaba, M 92 Alda, J 190 Alejandre, N 88 Alonso, A 115 Alonso, B 139, 157, 163, 173 Alonzo, M 225 Alterini, T 127 Alvarez-Herrero, A 54 Alvarez, M. L 61 Álvarez, R 214 Amorín, A 220 Andrés, M. V 137, 140, 142, 154, 200, 209, 236 Andrés, P 79 Anera, R. G 118 Angulo, S 107 Ansari, A 42 Antón, M.A 187 Aparicio, J.A 101 Aparicio, R 213 Aporta, I 161 Aragón, A. L 197, 220 Araiza-Esquivel, Ma 58, 85 Aranda, D 230 Arenas, J. F 230 Ares, J 107, 117, 119 Ares, M 128 Arias, A 90 Arines, J 96, 112, 115, 116, 126, 129, 216, 217 Arosa, Y 227, 232 Arranz, I 101 Arrazola, D 34, 84 Artal, P 20, 37, 90, 91, 98, 122 Atencia, J 41 Ávila, F. J 37, 38, 230 Aymerich, M 205, 220 Azor, J. A 77

В

Badham, K 53 Ballesta, M 59 Bao, C 197, 220 Baquedano, E 189 Barbero, S 195 Barreda, A. I 181 Barreiro, J. C 35, 226 Barrera, J. F 92 Barrionuevo, P.A 101 Bekesi, N 88 Beléndez, A 27, 51, 61, 73 Belenguer, T 34, 46, 50, 54, 64, 84 Beltrán-Mejía, F 237 Benedi, C 99, 100 Benedicto, D 234 Bernad, B 39, 206, 224 Bertolotti, J 29 Bertó-Roselló, F 177 Betz, T 45 Birkenfeld, J 89 Blanco, M 176, 185, 220 Bleda, S 62 Blesa, F 78, 132 Boj, P. G 170, 182, 191 Bola, R 36, 56, 179 Bonal, V 182 Borreguero, E 206, 224 Bosch, S 102, 115, 207 Bostedt, C 148 Boyero-García, R 149 Brooks, N. J 136 Bru, L. A 172 Brusola, F 130 Buencuerpo, J 184 Bueno, J. M 37, 38 Burgos-Fernández, F. J 128 Burnes-Rudecino, S. L 58

С

Cabrera-Granado, E 159, 186, 187, 188 Cabrero, J 46, 50 Calderón, O. G 186, 188 Calle, S 132 Calzado, E 61, 62, 170 Cambronero, F 176, 220 Campos, D 222 Campos, J 39, 40, 48, 49, 75, 156, 206, 224 Cancelo-González, J 126, 129 Cano-García, G 218 Canteli, D 205 Capmany, J 150 Carbajo, J 202 Carballeira, R 126, 129 Carbonell-Leal, M 211 Carminati, R 29 Carneiro, J 219 Carnicer, A 32, 33, 70 Carreño, F 187 Casares, M 93

Casquero, N 184 Castillo, G. R 173 Castro, J. J 93 Català, F 45 Černík, M 208 Chemisana, D 41 Chen, M-C 162 Cho, B 65 Cho, M 65, 80 Clavé, L 76 Clemente, P 44, 55, 79, 85 Clement, J 198 Cofré, A 75 Cojocaru, C 143 Collados, M. V 41, 104, 109 Colombo, M 46, 50 Conde, O. M 43, 82, 83 Conejero, E 144, 147, 163, 176 Costa, M. F. M 219 Cottrell, D. M 53 Crego, A 144 Crespo, H 23, 157, 163 Crisol, A 72 Cruz, J. L 142, 154, 209 Cuadrado, A 97, 105, 106, 190 Curatolo, A 89 Cvek, M 208

D

Daley, A. J 152 Davis, J. A 53 De Castro, A 89 De la Calle, A 173 De la Fuente, R 227, 232 De la Hoz, A 88 De la Rosa, M. I 201 Delgado-Pinar, M 200, 209 Delpueyo, X 128 Del Valle, J. V 130 De Valcárcel, G. J 141, 165, 166 Días, A 234 Dias, R. G 152 Díaz-Doutón, F 94, 95, 127 Díaz, E 186, 188 Díaz-García, M.A 170, 182, 191 Díez, A 137, 140, 142, 200, 209, 236 Doblas, A 63 Domenech, B 68 Domínguez, P 222 Doñate-Buendía, C 180, 229 Dorney, K. M 136, 146 Dorronsoro, C 88, 99, 100, 121 Durán, V 44, 199, 222 Dutta, R 98

E

Egatz-Gómez, A 188 Ellis, J 136 Elshorbagy, M. H 97, 190 Escalera, J. C 48, 49 Escofet, J 103 Escribano, D 46 Espinosa, J 66, 67, 68, 111, 228 Estévez, I 48, 49

F

Falomir, E 180, 229 Farré, A 45 Fayard, N 29 Fernández, A 181 Fernández-Alonso, M 180, 229 Férnandez-Barreras, G 82, 83 Fernández, E-J 87, 90, 122 Fernández, I 228 Fernández, M 34, 46, 50, 84, 222 Fernández, M. J 109 Fernández-Pousa, C. R 198 Fernández, R 73, 81 Ferrando, A 164 Ferrando, V 69, 110 Ferré-Borrull, J 177, 178 Ferreira-Gauchía, C 228 Ferreiro, A 216 Ferrer, B 66, 67 Ferrer-Mairal, A. M 78 Ferrero, A 39, 156, 206, 224 Ferriols, N. S 222 Flores-Arias, M. T 176, 185, 205, 220 Formentín, P 178 Francés, J 61, 62 Freitas, E 219 Furlan, W. D 69, 110

G

Galíndez, C. A 210, 239 Gallego, S 61, 62, 73 Gambín-Regadera, A 91, 98 Gambra, E 99 Garay, O 133 Garcés, R 165 García, A 64 García-Cámara, B 190 Garcia-Caurel, E 48, 49 García-Guerra, C. E 92 García-March, M.A 164 García-Martínez, P 74, 228, 238 Garcia-Pomar, J. L 175 García-Riquelme, J. L 160 Garcia-Rius, A 52 Garcia-Sucerquia, J 35, 52 Garzón, N 99, 113, 121 Gautier, J 95 Gavira, M 215 Georgieva, H 156 Germann, J. A 88, 89 Gigan, S 26

Giger, M. L 25 Gil, J. J 48, 49 Gil, M. A 113 Gimeno, A 226 Goetschy, A 29 Gomez-Pedrero, J. A 97, 105, 106, 184 Gonçalves, E 237 González, E 48, 49 González, F 124, 181 Gonzalez-Fernandez, V 201, 202 González-Galicia, M. A 163 González, H 58, 85 González, J 112 González, L. M 34, 64, 84 González-Marcos, A. P 218 González, M. U 189 Gonzalez-Ramos, A. M 121 Gori, F 225 Grulkowski, I 94 Grützmacher, K 201 Güell, J. L 94 Guerrero, A 215 Guillet de Chatellus, H 199 Gurrea, P 117 Gutiérrez-Gutiérrez, J. A 43 Gutierrez, J 115, 116 Gutiérrez, Y 181

Η

Havelka, O 208 Hernández, C 111 Hernández-García, C 136, 138, 145, 146, 148, 149, 162, 176 Hernanz, M. L 206, 224 Herrera-Piad, L.A 154 Hervás, J 198 Hevia, F 202 Hita, E 93 Hofer, H 156 Holgado, W 163 Hong, S 42, 80 Hoyos, V 214 Hristu, R 38 Hssain, A 115 Huang, J-T 162 Huang, P-C 162 Huang, P-Y 162 Huesca, J. A 57 Huraibat, K 125, 133

I

Icardo, J. M 82 Incardona, N 80 Irles, E 98

J

Jahns, J 30

Jašíková, D 208 Jauregui-Sánchez, Y 55, 79 Javidi, B 19, 31, 33, 42 Jiménez del Barco, L 118 Justino, J. A 237 Juvells, I 32, 70

K

Kapteyn, H 136, 146, 149 Komar, K 91 Koop, H 163 Kopycki, P 65 Kotaro, I 80 Kotek, M 208 Krolikowski, W 143 Kück, S 156 Kung, A. H 162

L

Laarossi, I 231, 233, 235 Lancis, J 44, 55, 79, 85, 98, 211, 222 Landi, S 219 Larrodé, E 119 Latorre, P 31, 70 Laurenti, M 188 Lenz, A 55, 79 Lewenstein, M 24 Liao, C-T 136 Lihačova, I 43 Lizana, A 48, 49, 75 Liz-Marzán, L 22 Llavador, A 35 Lloret, T 51 Lochocki, B 98 López-Cabarcos, E 188 Lopez-Dieguez, Y 137, 140 López, E 129, 227, 232 López-Fraguas, E 203 López-Higuera, J. M 43, 82, 83, 161, 231 López, J. M 233, 235 López, M 156 Lopez-Ramirez, M. R 230 López, S 220 Lopez-Tocon, I 230 López-Zubieta, B. A 147 Loredo-Trejo, A 137, 140 Lorente, S 78 Lu, C-H 162

M

Machado, F 69 Madrigal, J 198 Maestre, H 150 Maluenda, D 32 Malvehy, J 128 Manjavacas, A 183 Manzanera, S 91, 98 Marcellán. M. C 109 Marco, D 238 Marcos, S 18, 88, 89, 99, 100, 120, 121 Marín, J 41 Marques, A. M 152 Márquez, A 61, 62 Marrugo, A. G 76 Marsal, L. F 177, 178 Martín-Badosa, E 36, 56, 179 Martín, C 113 Martínez-Corral, M 35, 42, 52, 63, 65, 80, 226 Martinez-Enriquez, E 88, 89, 120 Martínez, F. M 133 Martínez, G 131 Martínez-Guardiola, F. J 61, 62 Martínez-Herrero, R 32, 183, 225 Martínez, L 222 Martínez-León, L 58, 85 Martínez, M.A 81 Martínez-Pastor, J. P 168 Martínez, R 70, 223 Martínez-Verdú, F. M 39, 125 Martín, F 21 Martín, J. C 196, 234 Marzoa, A 36, 56, 102, 207 Marzoa, T 115 Mas, D 66, 67, 68, 111, 228 Maté, B 214 Mateos, D 202 Matesanz, B. M 101 Matricardi, C 175 Melle, S 188 Mendez-Gonzalez, D 188 Mendez-Gonzalez, J. L 99 Mendoza-Yero, O 211, 222 Meseguer, F 169 Messaadi, A 74, 238 Mestre, C 95 Michinel, H 164 Micó-Vicent, B 125, 133 Mieites, V 220 Mihi.A 175 Millán, M. S 47, 71, 76, 77, 113 Mínguez, G 222 Mínguez-Vega, G 139, 180, 211, 229 Mira-Agudelo, A 92, 122 Miranda, J. L 217 Miret, J. J 228 Molet, P 175 Molpeceres, C 205 Mompart, J 135, 151, 152 Monsoriu, J. A 69, 110 Montagud-Martínez, D 110 Montenegro, F 239 Montes-Usategui, M 36, 45, 56, 179 Moral, A 46 Morales-Vidal, M 170, 173 Mora-Seró, I 168 Moreno, F 124, 181

Moreno, I 48, 49, 53, 74, 75, 228, 238 Mulet, E 222 Muñoz, A 203 Muñoz-Mármol, R 191 Muñoz, P 172, 194 Muralidharan, G 89 Murnane, M. M 136, 146, 149

Ν

Naranjo, F. L 131 Naserpour, M 228 Navarro-Fuster, V 51 Negueruela, A. I 132 Neipp, C 51 Nicolas, J 40, 72 Nieto, D 197 Nieves, J. L 81

0

Olaizola, S. M 184 Olvera-Olvera, C 58 Ortega, A 104 Ortiz, C 93, 118 Ortiz, D 124, 181 Ortiz-Peregrina, S 93, 118 Ortuño, M 51 Ossikovski, R 48 Otero, C 95 Otero, J. C 230

Р

Pallarés, D 231, 233, 235 Palos, F 107 Paniagua-Diaz, A. M 29 Paniagua-Domínguez, R 189 Pardo, A 43 Pardo, P. J 131 Paredes, A 164 Párraga, D 38 Pascual, D 88, 121 Pascual, I 51, 61, 62, 73 Pastor, D 172 Pazos, A 197 Pedreira, P 40, 72 Pelegrí, G 152 Peña, S 59 Perales, E 39, 125, 133 Perchés, S 107, 109, 117, 119 Pérez, A. L 131 Pérez, C 201 Pérez-Cabré, E 47, 71 Pérez, E 197 Pérez, G 215 Pérez, J 67, 68, 111 Pérez, M 70 Pérez-Millán, P 161 Perez-Quintian, F 213

Pérez-Vizcaíno, J 139 Pervak, V 163 Picón, A 136, 138, 145, 148 Pierrat, R 29 Piquero, G 225 Pla, F 31 Plaja, L 136, 138, 145, 146, 148, 149, 162, 176 Pol, L 178 Pomeo, R 239 Pons, A 156, 206, 215, 224 Porras, M. A 153, 155, 160 Portilla, J 195 Postigo, P.A 189 Poyales, F 99, 121 Preza, C 63 Puig, S 128 Pujol, J 92, 94, 95 Pyatenko, A 180, 229

Q

Queraltó, G 151 Quintana, J. A 170, 182, 191 Quintela, M. A 161, 233, 235

R

Ralló, M 103 Ramírez, M. G 51 Ramos, F 160 Ramos, G 46 Real, E 82, 83 Rego, L 136, 138, 146, 162 Remón, L 107, 109, 114, 117, 119 Revuelta, J. M 82 Rey-Barroso, L 128 Reyes, A 210, 239 Rico, M. L 150 Ríos, S 115 Riu, j 59 Rivera-Pérez, E 142 Roca, M 113 Rocha, I 219 Rodiek, B 156 Rodrigo, N 59 Rodriguez, A 184 Rodríguez-Aramendía, A 94 Rodríguez, C 48, 49 Rodríguez, C. D 227, 232 Rodríguez, D 220 Rodríguez, J 210 Rodriguez, L 231 Rodriguez, M 101 Rodríguez, M. T 112 Roldán, E 141, 166 Roldán, M 114 Romero, J 81 Romero, M 99 Romero, R 163 Rosales-Mendoza, S 200

Roselló-Mechó, X 209 Royo, S 59, 128, 212 Rubio, J. L 135 Rubio-Retama, J 188 Ruiz, C 222 Ruiz-Jiménez, C 155

S

Saavedra, G 35, 42, 52, 63, 80, 226 Sabau, L 54 Sáenz, J. J 174 Saiz, J. M 124, 181 Salgueiro, J. R 158 Salvador-Balaguer, E 44 Sanabria, F 59 Sanchez-Brea, L. M 105, 106, 184, 204, 213, 221 Sánchez-Gil, J. A 174, 189 Sánchez, L. M 97 Sánchez-López, M. M 53, 74, 75, 228, 238 Sanchez-Ortiga, E 35, 52 Sanchez-Tejerina, L 202 Sande, J. C. G 225 Sanmartín, P 126, 129 San Román, J 136, 144, 146, 147, 163 Sansa, A 48, 49 Santarsiero, M 225 Santiago, M 101 Sanz, A 196 Sanz, M 46 Schnébelin, C 199 Scrofani, G 35 Serna, J 223 Serrano, C 78 Šics, I 40, 72 Sierra, E 76 Silva, F 141, 163, 166 Silvestre, E 236 Sola, D 91 Sola, I. J 139, 147, 157, 163, 173 Sola-Pikabea, J 35, 52, 63 Solarte, E 210, 239 Soldevila, F 44, 85, 98 Solís, J 234 Soriano-Amat, M 180, 229 Sotoca, J. M 31 Soto, J 230 Spairani, Y 57 Stanciu, G 38 Starshynov, I 29 Suárez, I 168 Suero, M. I 131 Supp, S 30

Т

Tajahuerce, E 44, 55, 58, 79, 85, 98, 222 Tàpias, M 103 Tashtush, A 236 Thekkae Padil, V. V 208 Tojo, E 232 Tomita, Y 73 Torcal-Milla, F. J 78, 97, 105, 106, 132, 204, 213, 221 Torregrosa, A. J 150 Torregrosa-Fuentes, D 57 Torrent, D 171 Torrents, A 113 Torres, H 219 Torres-Mendieta, R 180, 208, 229 Torres-Ruiz, F. A 60, 75 Tortajada, I 130 Treptow, D 36, 56, 179 Trull, J 143

U

Ugena, A. M 218 Urbánek, M 208

V

Valero, E. M 81 Vallés, J. A 104, 109, 114, 234 Vallmitjana, S 70, 102, 115, 207 Valverde, J 71 Van Eeckhout, A 48, 49 Vara, M 202 Vargas, A 60, 74, 75 Vasallo, E 202 Vázquez, C 68, 111, 191 Vázquez de Aldana, J. R 173, 205 Velasco, M 89 Velasco-Ocaña, M 120 Velázquez-Ibarra, L 140 Velázquez, J. L 39, 156, 206, 224 Verdía, P 232 Vergaz, R 190, 193, 203 Vicente, E. G 101 Vilaseca, M 127, 128 Vilaseca, R 143 Villalvilla, J. M 170, 182, 191 Villas, A 188 Villa, V 202 Vinas, M 99, 100, 121 Viqueira, V 125, 133 Viscor, D 135

W

Wacławek, S 208 Webster, M 100 Weigand, R 159 Weiner, A. M 17 Williamson, S 220 Wojtkowski, M 91

Х

Xifré-Pérez, E 177, 178

Y

Yáñez, C 212 Yang, S-D 162

Ζ

Zagrajek, P 69 Zapata-Rodriguez, C. J 228 Zhang, H 40 Zundel, L 183 Zurrón, O 145

Colaboradores y Expositores

Entidades, Sociedades y Fundaciones:



















Sociedades mercantiles:

