(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional

(43) Fecha de publicación internacional
12 de diciembre de 2024 (12.12.2024) WIPO | PCT

(10) Número de publicación internacional
WO 2024/252036 A1

(51) Clasificación internacional de patentes:
G01B 9/02 (2022.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2023/070617

(22) Fecha de presentación internacional:
19 de octubre de 2023 (19.10.2023)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P202330488 09 de junio de 2023 (09.06.2023) ES

(71) Solicitante: **UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID** [ES/ES]; Avenida de Séneca, 2, 28040 Madrid (ES).

(72) Inventores: **DEL HOYO MUÑOZ, Jesús**; Plaza de las Ciencias, 1, 28040 Madrid (ES). **ANDRÉS PORRAS, Joaquín**; Plaza de las Ciencias, 1, 28040 Madrid (ES). **SORIA GARCÍA, Ángela**; Plaza de las Ciencias, 1, 28040 Madrid (ES). **SÁNCHEZ BREA, Luis Miguel**; Plaza de las Ciencias, 1, 28040 Madrid (ES). **ALDA SERRANO, Javier**; c/ Arcos del Jalón, 118, 28037 Madrid (ES).

(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Angel**; Glorieta Rubén Darío 4, 28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,

(54) Title: OPTOELECTRONIC DEVICE FOR SIMULTANEOUSLY DETERMINING THE ABSOLUTE RETARDANCE AND THE ROTATION ANGLE OF AN OPTICAL RETARDER

(54) Título: DISPOSITIVO OPTOELECTRÓNICO PARA DETERMINAR DE FORMA SIMULTÁNEA LA RETARDANCIA ABSOLUTA Y EL ÁNGULO DE GIRO DE UN RETARDADOR ÓPTICO

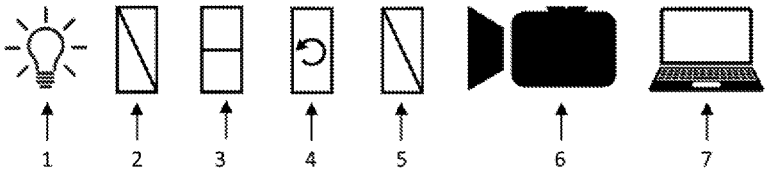

Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to an optoelectronic device for simultaneously determining the absolute retardance and the rotation angle of the fast eigenstate of an optical retarder (4). The device comprises a light source (1), a polarisation control system (2), an interferometer (3) capable of producing two different polarisation states, a system for rotating the optical retarder (4) to be characterised, a second polarisation control system (5), a photodetection system (6) and a data processing system (7). The invention also relates to methods for simultaneously calculating the absolute retardance and the rotation angle of the fast axis of an optical retarder (4) from measurements of the rotation angle of the retarder (4) and measurements from the photodetection system (6).

(57) Resumen: Dispositivo optoelectrónico para determinar la retardancia absoluta y el ángulo de giro de un retardador óptico Se presenta un dispositivo optoelectrónico para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico (4). El dispositivo consta de una fuente de luz (1), un sistema de control de la polarización (2), un interferómetro (3) capaz de producir dos estados de polarización diferentes, un sistema para rotar el retardador óptico (4) que se quiere caracterizar, un segundo sistema de control de la polarización (5), un sistema de fotodetección (6) y un sistema de procesamiento de datos (7). La invención también incluye procedimientos para calcular de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del

WO 2024/252036 A1

[Continúa en la página siguiente]

LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **Estados designados** *(a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible)*: ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

eje rápido de un retardador óptico (4) a partir de las medidas del ángulo de rotación del retardador (4) y del sistema de fotodetección (6).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo optoelectrónico para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro de un retardador óptico

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se encuadra en el sector de Tecnología Óptica y, más concretamente, en el sector de dispositivos optoelectrónicos. Se refiere a un dispositivo interferométrico para medir las características de un retardador óptico.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Dentro de las aplicaciones ópticas, uno de los elementos más utilizados son los retardadores [1]. Estos elementos pueden ser, entre otros: láminas de cristal birrefringente, películas delgadas birrefringentes depositadas sobre vidrio, cristales con birrefringencia inducida por voltaje (células de Pockels), etc. Se caracterizan porque introducen un desfase (retardancia absoluta) entre dos polarizaciones diferentes, que son sus autoestados rápido y lento (estados de polarización que no cambian al atravesar el retardador salvo por la fase adquirida). Estos autoestados son ortogonales entre sí, por lo que solo es necesario caracterizar uno de ellos. Destacan los estados de polarización lineal, en cuyo caso se refiere al retardador como un retardador lineal, y a los autoestados como ejes. También destacan los autoestados de polarización circular, en cuyo caso se refiere al retardador como un retardador circular. El resto de autoestados se denominan elípticos. Entonces, para caracterizar un retardador óptico es necesario determinar su retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido, salvo en el caso del retardador circular ya que, por definición, un estado de polarización circular tiene simetría rotacional.

Existe un método sencillo para caracterizar los parámetros ópticos de un retardador lineal [2], que consiste en colocarlo entre dos polarizadores cruzados o paralelos. Entonces, midiendo la intensidad de la luz que atraviesa el sistema al rotar el retardador, se puede medir la retardancia relativa (retardancia limitada a un valor limitado entre 0 y 180º) y el ángulo de giro de uno de los ejes, pero sin poder

discriminar cuál de ellos. No obstante, esta técnica no es precisa y, frecuentemente, se necesita una medición más fina de la retardancia y el ángulo de giro del eje rápido, no de uno de los ejes sin saber cuál.

Posteriormente, se han desarrollado varios métodos para determinar el ángulo de giro del eje rápido de un retardador lineal [3]. Varios de estos métodos consisten en colocar un retardador conocido entre los polarizadores, antes o después del retardador que se está calibrando. Estos retardadores consisten en una lámina de cuarto de onda lineal previamente calibrada [4], un retardador variable [5] o la reflexión en una lámina metálica [6]. En los dos primeros casos, el retardador auxiliar debe ser calibrado previamente. En el último caso, es necesario medir con muchos ángulos de incidencia diferentes sobre la superficie metálica, lo que complica enormemente el sistema experimental. Por otro lado, también se puede determinar el ángulo de giro del eje rápido de un retardador lineal mediante interferometría policromática [3,7].

También se han desarrollado varios métodos para aumentar la precisión de la medida e, incluso, para medir la retardancia absoluta de retardadores lineales. Una lista detallada de los diferentes métodos se puede encontrar en [8]. Entre los métodos que únicamente miden la retardancia absoluta cabe destacar un método basado en un interferómetro de Sagnac [9]. No obstante, este método necesita conocer previamente el ángulo de giro del eje rápido del retardador, ya que necesita colocarlo en un ángulo fijo determinado. Además, dicho método permite únicamente medir la retardancia relativa pero no la absoluta.

Se conocen dos métodos para medir simultáneamente la retardancia y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador. El primero consiste en utilizar un retardador variable calibrado previamente [4,5] y es válido para caracterizar retardadores lineales. El segundo consiste en realizar una medida polarimétrica completa del retardador [10], una técnica más general que permite caracterizar cualquier tipo de retardador, además de otros dispositivos como polarizadores y despolarizadores. Sin embargo, este método requiere utilizar entre dos y cuatro retardadores previamente caracterizados, y su precisión suele ser baja. Además, en ambos casos se determina únicamente la retardancia relativa, no la absoluta.

La solicitud de patente CN114720095A describe un sistema interferencial para medir la retardancia relativa y el ángulo de giro de un retardador lineal. Éste emplea una fuente de luz que debe ser un láser de modo gaussiano, un modulador espacial de luz de tipo *Liquid Crystal on Silicon* en modulación de fase para transformar el haz láser a un modo Laguerre-Gauss. También emplea un prisma de Dove para invertir espacialmente uno de los haces del interferómetro, un polarizador lineal, un reflector, una cámara CCD y un ordenador. Por último, las franjas captadas por la cámara tienen simetría radial, por lo que es necesario emplear cámaras bidimensionales, no siendo posible emplear cámaras unidimensionales o de un solo fotodetector. El sistema es complejo y el análisis de los datos es complicado debido a la simetría radial del dispositivo. Finalmente, el tipo de modulador espacial de luz empleado está compuesto de pequeños retardadores que hay que caracterizar previamente.

La solicitud de patente US20030179375A1 describe un sistema para caracterizar un retardador lineal mediante un retardador variable caracterizado previamente. Este sistema es complejo y costoso, ya que emplea medios para modular la polarización de la luz, como un modulador fotoelástico (un retardador de retardancia variable), que debe ser caracterizado previamente para funcionar.

La patente US7372567B2 describe un método y un sistema polarimétrico de imagen capaz de medir las propiedades polarimétricas completas de una muestra. Este sistema emplea varios retardadores previamente calibrados, únicamente mide la retardancia relativa y presenta una precisión bastante limitada y una elevada complejidad de medida y alineamiento.

La solicitud de patente US20150100277A1 describe un método y un elipsómetro para medir las propiedades polarimétricas completas de una muestra, de manera similar a la anterior. Este sistema, de nuevo, emplea varios retardadores previamente calibrados, únicamente mide la retardancia relativa, y presenta una elevada complejidad de medida. Además, contempla realizar varias medidas de la misma muestra con diferentes ángulos de giro para aumentar su precisión, aunque esta sigue siendo baja.

Para superar algunas de las deficiencias que presentan los dispositivos del estado de la técnica, presentamos un dispositivo que es capaz de medir simultáneamente la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de cualquier retardador que no sea circular, es decir, la medición mediante este dispositivo no está limitada a retardadores lineales. Este dispositivo tiene la ventaja adicional de poder caracterizar retardadores lineales sin emplear ningún otro retardador que deba haberse caracterizado previamente.

Referencias:

1. J. J. Gil, R. Ossikovski, “Polarized light and the Mueller matrix approach”, CRC Press (2016).

2. S. T. Wu, U. Efron, L. D. Hess, “Birefringence measurements of liquid crystals”, App. Optics,. 23, 21, pp 3911-3915 (1984).

3. N. A. Shah, P. Ghalsasi “Use of interference colours to distinguish between fast and slow axes of a quarter wave plate” Eur. J. Phys. 40 (2019) 065301 (19pp)

4. P. A. Williams, A. H. Rose, C. M. Wang, “Rotating-polarizer polarimeter for accurate retardance measurement”, App. Optics,. 36, 25, pp 6466-6472 (1997).

5. M. H. Chiu, C. D. Chen, D. C. Su, “Method for determining the fast axis and phase retardation of a wave plate”, J. Opt. Soc. Am. A 13, 9, 1924-1929 (1996).

6. P. C. Logofatu, “Rotating-polarizer polarimeter for accurate retardance measurement”, Opt. Eng. 41(12) 3316–3318 (2002).

7. G. Li, J. Li, Y. Li, “Determination of the fast axis with an infrared spectrometer for quartz and mica waveplates”, App. Optics, 29, 13, 1870-1871 (1990).

8. Z. Peng, T. YiDong, L. WeiXin, C. WenXue, “Methods for optical phase retardation measurement: A review”, Sci. China Tech. Sci., 56, 5, 1155-1163 (2013).

9. N. P. Schnoor et al., “Calibration of liquid crystal variable retarders using a common-path interferometer and fit of a closed-form expression for the retardance curve”, App. Optics, 59, 34, 10673-10679 (2020).

10. J. Hoyo, L. M. Sanchez-Brea, J. A. Gomez-Pedrero, “High precision calibration method for a four-axis Mueller matrix polarimeter”, Optic & Laser in Eng., 132, 106112 (2020).

EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN

Dispositivo optoelectrónico para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico.

Un aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo optoelectrónico que permite medir las características de un retardador óptico. En particular, permite medir simultáneamente la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico que no sea circular.

En esta memoria descriptiva, se entiende por "retardador óptico", o "retardador", cualquier elemento óptico fabricado a partir de un material cuyo índice de refracción dependa del estado de polarización de la luz que le atraviesa. Se entiende por "autoestado de polarización" del retardador al estado de polarización de un haz que no es modificado por el retardador al atravesarlo. Se entiende por "autoestado rápido" al autoestado de polarización del retardador que al atravesarlo adquiere más fase, y "autoestado lento" al que adquiere menos fase. Se entiende por "eje" a un autoestado de polarización lineal. Se entiende por "retardancia absoluta" la diferencia de fase experimentada por sus dos autoestados de polarización. Se entiende por "ángulo de giro del autoestado rápido" como el ángulo comprendido entre el sistema de referencia y el autoestado rápido.

Un esquema del dispositivo optoelectrónico que se describe aquí para determinar la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido del retardador comprende: una fuente de luz, un sistema para variar la polarización de la fuente de luz, un interferómetro de doble camino, un sistema para variar la polarización de cada uno de los brazos del interferómetro de manera distinta, un sistema de rotación del retardador, un sistema para variar la polarización de la luz que emerge del retardador, un sistema de fotodetección, y uno o más sistemas de procesamiento de datos.

La fuente de luz es un dispositivo capaz de emitir radiación electromagnética, tal como la procedente de una fuente de haz láser, diodo láser, diodo LED, etc. El haz de luz emitido puede estar colimado o no. Puede ser monocromático o policromático. Dicho haz puede tener cualquier estado de polarización: puro, parcialmente polarizado, e incluso puede ser un haz despolarizado. Sin embargo, un sistema de control de polarización del haz ayuda a mejorar la precisión del dispositivo.

El haz de luz es introducido en un interferómetro de doble camino, por ejemplo, un interferómetro de Michelson, de Mach-Zehnder, biprisma de Fresnel, doble rendija de Young o de Sagnac. Este interferómetro es un dispositivo que divide el haz de luz en dos, transforma la polarización de cada uno de ellos de manera diferente, de modo que tengan dos estados de polarización ortogonales entre sí. Estos estados deben ser lineales a 0º y 90º. Por último, el interferómetro combina de nuevo estos haces sin afectar a su polarización y manteniendo su coherencia espacial y temporal. El interferómetro puede ser capaz de variar la diferencia de caminos ópticos de ambos brazos, por ejemplo, desplazando alguno de sus componentes o introduciendo un retardador variable. Dependiendo del método de recolección de luz, el interferómetro debe conseguir que los haces sean colineales o estén desalineados entre sí.

Los haces de luz combinados atraviesan el retardador óptico y un segundo sistema de control de polarización produce que ambos haces pasen a tener el mismo estado de polarización, de manera que puedan interferir entre sí. Finalmente, ambos haces llegan a un sistema de fotodetección como un fotodetector, una matriz de fotodetectores unidimensional o bidimensional, o una cámara CCD o CMOS. Dependiendo del tipo de fuente de luz e interferómetro empleado, el aparato necesitará un tipo de detector u otro. Cuando el interferómetro genera franjas de interferencia (como por ejemplo el interferómetro de la doble rendija de Young o el interferómetro de Michelson con un espejo desalineado) se debe usar una matriz de fotodetectores, o una cámara, ya que es necesario medir el periodo y el desplazamiento de dichas franjas de interferencia. En el resto de casos, se puede emplear un único fotodetector o un espectrómetro, y se mide la intensidad en un único punto, debiéndose variar en el interferómetro la diferencia de caminos ópticos entre los brazos.

Entonces, se toman diferentes medidas conforme se va rotando el retardador óptico. Dichas medidas llegan a un sistema de procesamiento de datos, tal como un circuito electrónico o un ordenador, que da como resultado de salida la retardancia absoluta y el ángulo del autoestado rápido del retardador óptico.

Un aspecto de la invención, por lo tanto, se refiere a un dispositivo optoelectrónico

para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico que está constituido por:

- una fuente de luz;
- al menos, dos sistemas de control de la polarización, un primer sistema de control de polarización y un segundo sistema de control de polarización;
- un interferómetro de doble camino capaz de controlar la polarización de los haces de cada uno de sus brazos;
- un soporte rotatorio que permite girar el retardador óptico;
- un sistema de fotodetección, donde se produce la interferencia de los dos haces de los brazos del interferómetro;
- un sistema de procesamiento de datos.

La fuente de luz puede estar colimada o no y se selecciona del grupo formado por: láser, diodo láser, LED, lámpara fluorescente y/o lámpara de incandescencia.

Por otro lado, los sistemas de control de la polarización pueden ser de varios tipos y se pueden seleccionar del grupo formado por: polarizadores dicroicos, polarizadores de lámina dicroica, polarizadores de nanopartículas, polarizadores de cubo, polarizadores Brewster, matrices de polarizadores unidimensionales y/o matrices de polarizadores bidimensionales. En el caso del primer sistema de control de la polarización puede estar incorporado en la propia fuente de luz.

El interferómetro de doble camino también puede seleccionarse entre distintas opciones: un interferómetro de Michelson, un interferómetro de Mach-Zehnder, un interferómetro de doble rendija de Young, un interferómetro de biprisma de Fresnel o un interferómetro de Sagnac; y los sistemas de control de la polarización de los dos caminos del interferómetro se pueden seleccionar de entre: polarizadores, combinaciones de polarizadores o matrices de polarizadores.

Además, el soporte rotatorio donde se coloca el retardador que se quiere estudiar puede ser manual o estar motorizado.

En cuanto al sistema de fotodetección, se selecciona del grupo formado por: consiste en un fotodetector, una matriz de fotodetectores unidimensional, una matriz de

fotodetectores bidimensional, un espectrofotómetro, una cámara CCD o una cámara CMOS.

El sistema de procesamiento de datos puede ser una tarjeta de procesamiento de datos con una pantalla, un ordenador o cualquier otra máquina electrónica digital programable capaz de ejecutar comandos para procesar datos de entrada.

La manera de determinar la retardancia absoluta a partir de las medidas del sistema de fotodetección depende del tipo de detección: franjas de interferencia o intensidad. En el primer caso se tiene una variación de la fase con la posición del fotodetector o píxel de la cámara Φ(x). En el segundo caso, al variar la diferencia de camino óptico entre los brazos, se introduce de nuevo una fase que depende de la diferencia de caminos ópticos Φ(δ). En adelante, usaremos Φ para denotar cualquiera de las dos fases.

En cualquiera de los dos casos, el vector de Jones de cada uno de los haces del interferómetro será

$$\vec{E}_1 = \sqrt{I_0}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad \text{(Ec. 1)}$$

y

$$\vec{E}_2 = \sqrt{I_0}e^{i\Phi}\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}. \qquad \text{(Ec. 2)}$$

En el caso de un retardador lineal, su matriz de Jones es

$$R = \begin{pmatrix} \cos^2\theta e^{i\Delta/2} + \sin^2\theta e^{-i\Delta/2} & i\sin 2\theta \sin\Delta/2 \\ i\sin 2\theta \sin\Delta/2 & \cos^2\theta e^{-i\Delta/2} + \sin^2\theta e^{i\Delta/2} \end{pmatrix}, \qquad \text{(Ec. 3)}$$

donde Δ es la retardancia absoluta y Φ el ángulo de giro del eje rápido. La matriz de Jones de un polarizador a 45º es

$$P = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}. \qquad \text{(Ec. 4)}$$

Tras atravesar el retardador y el último polarizador a 45º, el vector de Jones de cada

uno de los haces resulta

$$\vec{E}_1' = PR\vec{E}_1 = \frac{\sqrt{I_0}}{2}\begin{pmatrix} \cos\Delta/2 + i\sin\Delta/2\,(\sin 2\theta - \cos 2\theta) \\ \cos\Delta/2 + i\sin\Delta/2\,(\sin 2\theta - \cos 2\theta) \end{pmatrix} \quad \text{(Ec. 5)}$$

y

$$\vec{E}_2' = PR\vec{E}_2 = \frac{\sqrt{I_0}e^{i\Phi}}{2} = \begin{pmatrix} \cos\Delta/2 + i\sin\Delta/2\,(\sin 2\theta + \cos 2\theta) \\ \cos\Delta/2 + i\sin\Delta/2\,(\sin 2\theta + \cos 2\theta) \end{pmatrix}. \quad \text{(Ec. 6)}$$

Finalmente, la intensidad de la luz medida en el sistema de fotodetección es

$$I = \left\| \vec{E}_1' + \vec{E}_2' \right\|^2 = I_0[1 - \sin\Phi\cos 2\theta\sin\Delta + \cos\Phi(\cos\Delta\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta)]. \quad \text{(Ec. 7)}$$

La distribución de la intensidad en función de Φ es un patrón de franjas sinusoidal del que se puede determinar la posición de los máximos o los mínimos calculando la derivada parcial de la distribución respecto al desfase

$$\frac{\partial I}{\partial\Phi} = I_0[\sin\Phi(\cos\Delta\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta) - \cos\Phi\cos 2\theta\sin\Delta] = 0. \quad \text{(Ec. 8)}$$

El resultado es

$$\Phi_m = -\tan^{-1}\frac{\sin\Delta\cos 2\theta}{\cos\Delta\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta} + \pi N, \quad \text{(Ec. 9)}$$

siendo $\tan^{-1}$ la función arco tangente. Según la Ec. 9, la posición de estos máximos y mínimos depende tanto de la retardancia absoluta como del ángulo de giro del eje rápido. Sin embargo, la distancia entre máximos o mínimos será siempre 2π (ya que la Ec. 9 incluye tanto máximos como mínimos, y estos están intercalados).

Una primera manera de determinar la retardancia absoluta y el eje rápido consiste en medir el desplazamiento de un máximo o mínimo (o del patrón de franjas en su conjunto) conforme se rota el retardador y hacer un ajuste a la Ec. 9. Una segunda manera consiste en calcular los valores extremos de dicho desplazamiento, es decir, entre qué dos valores se mueve un máximo o mínimo). Para ello, hay que calcular

$$\frac{\partial\Phi_m}{\partial\theta} = \frac{2\cos\Delta - 2\cos 4\theta + \cos(\Delta + 4\theta)(1 + \sin\Delta\sin 2\theta) - 6}{\cos^2 2\theta\,(\sin^2\Delta + 2\cos^2\Delta\cos^2 2\theta) + \sin^4 2\theta\,(2 + \cos\Delta)} = 0, \quad \text{(Ec. 10)}$$

cuyo resultado depende de si se trata de un máximo o un mínimo.

	Máximo	Mínimo
$\theta_1 = 0º$	$\Phi_{1+} = -\Delta$	$\Phi_{1-} = \pi - \Delta$
$\theta_2 = 90º$	$\Phi_{2+} = \Delta$	$\Phi_{2-} = \pi + \Delta$

(Tab. 1)

La Tabla 1 muestra cómo, al rotar el retardador, la posición de un máximo o mínimo va a oscilar entre dos valores, y la diferencia entre esos dos valores es el doble de la retardancia absoluta. Además, cuando la posición del máximo o mínimo se encuentra en su valor inferior, se sabe que el ángulo de rotación del eje rápido es igual a 0.

Cuando se mide un retardador que no es lineal (elíptico), el desarrollo es parecido, pero el resultado de la Ec. 9 es mucho más complicado. Sin embargo, las posiciones de los extremos de desplazamiento y los ángulos para los que ocurren (Tab. 1) siguen siendo los mismos, por lo que el método de medir la posición de los mínimos y el ángulo de rotación del retardador en esa posición sigue siendo válido para determinar la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido.

Un segundo aspecto de la invención, por lo tanto, se refiere a un procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico lineal o elíptico, utilizando un dispositivo como los que se describen en esta memoria descriptiva y realizando los siguientes pasos:

a) tomar al menos dos medidas de las franjas de interferencia conforme rota el retardador óptico mediante el soporte rotatorio, o bien el patrón de franjas de interferencia en su conjunto;

b) calcular la posición de, al menos, un máximo o, al menos, un mínimo de las franjas de interferencia en cada una de las medidas;

c) realizar un ajuste de las posiciones a Ec.9.

El tercer aspecto de la invención se refiere a un procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de

un retardador óptico lineal o elíptico, utilizando un dispositivo como cualquiera de los descritos en esta memoria descriptiva, que incluye los siguientes pasos:

a) medir la intensidad el sistema de fotodetección para, al menos, dos diferencias de camino óptico entre los brazos del interferómetro de doble camino y dos ángulos de giro del retardador óptico cuyas características se quieren deerrminar;

b) calcular la posición de, al menos, un máximo o, al menos, un mínimo de las distribuciones de intensidad en función de la diferencia de camino óptico, para cada ángulo de giro del retardador óptico;

c) realizar un ajuste de las posiciones a la ecuación Ec.9.

En ambos procedimientos, el paso c) se puede sustituir por un paso d) que consiste en determinar los ángulos de giro del retardador óptico en los que las posiciones de los máximos y/o mínimos de las distribuciones de intensidad en función de la diferencia de caminos ópticos son máximas o mínimas.

Este dispositivo emplea un interferómetro de doble camino para producir dos haces con estados de polarización ortogonales. Los haces son recombinados antes de atravesar el retardador óptico e incidir sobre un detector de luz. Entonces, girando el retardador óptico y midiendo los cambios producidos con el detector de luz se puede caracterizar ambas propiedades del retardador. Este dispositivo tiene la ventaja adicional de poder caracterizar retardadores ópticos lineales sin emplear ningún otro retardador que deba haberse caracterizado previamente. Por otro lado, es un sistema de bajo coste.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción un juego de figuras en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo que se muestra a continuación.

Se proporciona una lista de los distintos elementos representados en las figuras que forman parte de esta memoria descriptiva:

1 - Fuente de luz

1.1 - Láser de He-Ne colimado.

1.2 - Diodo láser

1.3 - Luz blanca direccional

2 – Primer polarizador o primer sistema de control de polarización

2.1 - Polarizador lineal a 45º

2.2 - Polarizador circular.

3 - Interferómetro de doble camino

3.1 - Cubo divisor de haz 50/50

3.2 - Doble rendija

3.3 - Cubo divisor de haz polarizante

3.4 - Doble prisma o dos prismas, móviles motorizados

4 - Retardador óptico

5 - Segundo polarizador o segundo sistema de control de polarización

5.1 - Segundo polarizador lineal a 45º

5.2 - Matriz de polarizadores de referencia

6 - Sistema de fotodetección

6.1 - Cámara CMOS

6.2 - Matriz de fotodetectores

6.3 - Espectrofotómetro

7 - Sistema de procesamiento de datos

7.1 - Ordenador

7.2 - Tarjeta de procesamiento

8 - Espejo

9 - Espejo desalineado

10 - Soporte rotatorio

11.1 - Polarizador a 90º de un sistema de control de la polarización del interferómetro de doble camino (3)

11.2 - Polarizador a 0º del sistema de control de la polarización del interferómetro de doble camino (3)

12 - Lente

13 - Pantalla táctil

14 - Sistema de recolección de luz

15 - Sistema de marcado

Figura 1. Muestra, de forma esquemática, un ejemplo del dispositivo optoelectrónico para determinar la retardancia y el ángulo de giro del eje rápido de un retardador óptico. Una fuente de luz (1) emite un haz de luz que atraviesa un primer polarizador o sistema de control de polarización (2). El haz atraviesa un interferómetro de doble camino (3) que lo divide en dos, a cada parte del haz le da un estado de polarización de manera que sean ortogonales entre sí, y los vuelve a combinar. Entonces, el haz recombinado atraviesa el retardador óptico (4) a medir, que debe tener capacidad de rotar. A continuación, el haz recombinado atraviesa un segundo polarizador o sistema de control de polarización (5) antes de ser recogido por un sistema de fotodetección (6). Las señales generadas por el sistema de fotodetección son procesadas mediante elementos de procesamiento de datos (7).

Figura 2. Esquema de un dispositivo para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico. La fuente de luz (1) consiste en un láser de He-Ne (1.1) colimado con polarización de salida lineal a 45º. El interferómetro de doble camino que controla la polarización de cada haz (3) consiste en un cubo divisor de haz 50/50 (3.1) insensible a la polarización divide el haz en dos. Uno de los haces de salida atraviesa un primer polarizador a 90º (11.1), se refleja en un espejo (8), y vuelve a atravesar el primer polarizador a 90º (11.1). El otro haz atraviesa un segundo polarizador a 0º (11.2), se refleja en un espejo desalineado (9), de forma que se obtenga una distribución de intensidad interferencial en la ubicación de la cámara CMOS (6.1), y vuelve a atravesar el segundo polarizador a 0º (11.2). Ambos haces atraviesan el retardador que se está midiendo (4), que se encuentra colocado sobre un soporte rotatorio (10) motorizado para medir su posición angular. Finalmente, ambos haces atraviesan un tercer polarizador a 45º (5.1), e inciden sobre una cámara CMOS (6.1). Los datos de la cámara son procesados por un ordenador (7.1), que a su vez controla el soporte rotatorio (10) motorizado.

Figura 3. Esquema de un dispositivo para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico. La fuente de luz (1) consiste en un diodo láser (1.2) colimado con una lente (12). El haz de luz del diodo atraviesa un primer polarizador (2.1) a 45º y una doble rendija (3.2). La luz que emerge por cada una de las rendijas atraviesa un polarizador diferente, un segundo polarizador (11.1) a 90º y otro un tercer polarizador (11.2) a 0º. La luz que emerge de los

polarizadores (11.1 y 11.2) atraviesa el retardador óptico (4) que se desea caracterizar, que se encuentra montado sobre un soporte rotatorio (10) manual. Se emplea una segunda lente (12) para observar las franjas de interferencia en campo lejano. Se coloca una matriz de fotodetectores (6.2) unidimensional orientada de tal manera que las franjas de interferencia coinciden con su dirección. La señal de la matriz de fotodetectores unidimensional es recibida por una tarjeta de procesamiento (7.2). Esta tarjeta está conectada a una pantalla táctil (13) para controlar la medida. Dispone, además, de un sistema de marcado (15), concretamente, mediante tinta.

Figura 4. Muestra cómo se mueven las franjas de interferencia al rotar un retardador lineal de 90º de retardancia (lámina de cuarto de onda) con un ángulo de giro del eje rápido inicial de 67.5º al montarlo sobre el soporte rotatorio. Las líneas punteadas muestran las posiciones entre las que se mueve el primer máximo de interferencia. Una flecha identifica el ángulo de rotación donde el primer máximo de interferencia se encuentra más a la izquierda, que coincide con el ángulo de giro del eje rápido de 0º.

Figura 5. Esquema de un dispositivo para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico. La fuente de luz (1) consiste en una fuente de luz blanca direccional (1.3) pero no necesariamente colimada, que atraviesa un primer polarizador (2.1) a 45º. Después, la luz incide sobre un cubo divisor de haz polarizante (3.3), de manera que la luz polarizada a 0º se refleja y la luz polarizada a 90º se transmite. Se introduce un sistema para variar el camino óptico de uno de los brazos compuesto por dos prismas móviles motorizados (3.4), colocado de tal manera que al aplicarle un voltaje se altere el camino óptico del brazo en que se encuentra. Ambos haces de luz se reflejan en sendos espejos (8) para volver a recombinarse con un cubo divisor de haz 50/50 (3.1) insensible a la polarización. Los haces recombinados atraviesan el retardador óptico (4) que se va a medir, que se habrá colocado en un soporte rotatorio (10) motorizado, y un segundo polarizador (5.1) a 45º. Un sistema de recolección de luz (14), como una lente y una fibra óptica, recogen los dos haces de luz y los llevan a un espectrofotómetro (6.3) controlado por un ordenador (7.1), que también controla el soporte rotatorio (10) motorizado y la diferencia de camino óptico introducida por los dos prismas móviles motorizados (3.4).

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

Una vez definida la geometría del dispositivo, el procedimiento de medida y el análisis de los datos, a continuación, se presentan ejemplos de dispositivos para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del eje rápido de un retardador óptico, que no pretenden ser limitativos de su alcance.

En el primer ejemplo, se muestra un dispositivo optoelectrónico basado en un láser colimado, un interferómetro de Michelson, una plataforma rotatoria motorizada y una cámara CMOS para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido con gran precisión. En el Ejemplo 2, se muestra un dispositivo optoelectrónico que emplea un diodo láser colimado, un interferómetro de Young, un soporte rotatorio manual para el retardador óptico y una matriz de fotodetectores unidimensional para fabricar un dispositivo muy compacto y potencialmente barato. Finalmente, en el Ejemplo 3 se muestra un sistema compuesto por una fuente de luz blanca, un interferómetro de Mach-Zehnder, un variador de camino óptico motorizado, un soporte rotatorio motorizado para el retardador óptico y un espectrofotómetro para medir la retardancia y el ángulo de giro del autoestado rápido para varias longitudes de onda simultáneamente.

En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado de los dispositivos que se describen a continuación y en ella se representan: una fuente de luz (1), un primer polarizador o primer sistema de control de polarización (2), un interferómetro de doble camino (3), el retardador óptico (4) que se está midiendo o que se desea caracterizar, un segundo polarizador o segundo sistema de control de polarización (5), un sistema de fotodetección (6) y un sistema de procesamiento de datos (7).

Ejemplo 1. Dispositivo optoelectrónico que incluye un láser colimado, un interferómetro de Michelson, un soporte rotatorio motorizado para el retardador óptico que se está midiendo, y una cámara CMOS.

Se fabricó un dispositivo para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico. El dispositivo está esquematizado en la

Figura 2. La fuente de luz (1) consiste en un láser de He-Ne (1.1) colimado con polarización de salida lineal a 45º. El interferómetro de doble camino (3) es un interferómetro de Michelson, y cuenta con un sistema de control de la polarización que incluye dos polarizadores. Consiste en un cubo divisor de haz 50/50 (3.1) insensible a la polarización divide el haz en dos. Uno de los haces de salida atraviesa un primer polarizador a 90º (11.1), un polarizador dicroico en este ejemplo, se refleja en un espejo (8), y vuelve a atravesar el primer polarizador a 90º (11.1). El otro haz atraviesa un segundo polarizador a 0º (11.2), un polarizador de lámina dicroica en este ejemplo, se refleja en un espejo desalineado (9), en este ejemplo 1º, de forma que se introduce una fase de acuerdo a la Ec. 2 y se obtenga una distribución de intensidad periódica en la ubicación de la cámara CMOS (6.1), y vuelve a atravesar el segundo polarizador a 0º (11.2). En esta configuración, el camino óptico de ambos brazos es el mismo salvo por una pequeña inclinación de uno de los espejos (9) para producir franjas de interferencia. Todos estos elementos se encuentran pegados entre sí, por lo que la diferencia de caminos ópticos no cambia, y se consigue un dispositivo muy compacto y que no es preciso alinear más que durante su fabricación.

Ambos haces atraviesan el retardador que se está midiendo (4), que se encuentra colocado sobre un soporte rotatorio (10) motorizado para medir su posición angular. Finalmente, ambos haces atraviesan un tercer polarizador a 45º (5.1), un polarizador de nanopartículas en este ejemplo, e inciden sobre una cámara CMOS (6.1). Los datos de la cámara son procesados por un ordenador (7.1), que a su vez controla el soporte rotatorio (10) motorizado.

Este dispositivo es muy compacto. El dispositivo está diseñado para utilizarlo de manera que aparezcan franjas de interferencia en la cámara. El ordenador (7.1) controla tanto el motor del soporte rotatorio (10) motorizado, permitiendo que el retardador rote cuando es necesario, como la cámara CMOS (6.1). El ordenador (7.1) toma cada fotograma y lo integra en la dirección de las franjas de interferencia para obtener una señal precisa. Después, mediante el ordenador (7.1) se emplea el método del ajuste a la Ec. 9 si el retardador óptico (4) a medir es lineal (el método más preciso), o el método de medir los extremos de desplazamiento de las franjas si el retardador (4) no es lineal de acuerdo a la Tabla 1 y la Figura 4.

Ejemplo 2. Dispositivo optoelectrónico que incluye un diodo láser colimado, un interferómetro de Young, un soporte rotatorio manual para el retardador, y una matriz de fotodetectores unidimensional.

Se fabricó un dispositivo para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico. Tiene la ventaja respecto al ejemplo 1 de que es mucho más compacto. El dispositivo está esquematizado en la Figura 3. La fuente de luz (1) consiste en un diodo láser (1.2) colimado con una lente (12). El haz de luz del diodo atraviesa un primer polarizador (2.1) a 45º y una doble rendija (3.2). La luz que emerge por cada una de las rendijas atraviesa un polarizador diferente del sistema de control de la polarización del interferómetro de doble camino (3): un polarizador (11.1) a 90º y otro polarizador (11.2) a 0º. El diodo láser (1.2), la lente (12) colimadora, los tres polarizadores (2.1, 11.1 y 11.2) y la doble rendija (3.2) se encuentran pegados para generar un dispositivo muy compacto y que no requiere alineamiento una vez montado.

La luz que emerge de los polarizadores (11.1 y 11.2), del sistema de control de la polarización del interferómetro de doble camino (3), atraviesa el retardador óptico (4) que se desea caracterizar, que se encuentra montado sobre un soporte rotatorio (10) manual. Se emplea una segunda lente (12) para observar las franjas de interferencia en campo lejano. Se coloca una matriz de fotodetectores (6.2) unidimensional orientada de tal manera que las franjas de interferencia coinciden con su dirección. La señal de la matriz de fotodetectores unidimensional es recibida por una tarjeta de procesamiento (7.2). Esta tarjeta está conectada a una pantalla táctil (13) para controlar la medida.

Para iniciar la medida con este dispositivo, se rota manualmente el retardador óptico (4) colocado sobre el soporte rotatorio (10). La tarjeta de procesamiento (7.2) analiza los datos enviados por la matriz de fotodetectores (6.2) unidimensional para buscar los ángulos de giro en que las franjas se encuentran más desplazadas en una dirección u otra de la matriz de fotodetectores unidimensional. Una vez ha identificado ambas posiciones, ofrece el resultado de la medida de la retardancia absoluta en la pantalla (13) de acuerdo al resultado mostrado en la Tabla 1. Además, el usuario debe seguir girando el retardador óptico (4). Cuando la tarjeta de procesamiento (7.2)

identifica la posición en que el ángulo del autoestado rápido es 0º, envía una señal a un sistema de marcado (15) que graba una marca permanente en el retardador (4), en este ejemplo, una marca de tinta. La Figura 4 muestra una simulación de cómo se desplazan las franjas al rotar una lámina de cuarto de onda (retardador lineal de retardancia 90º) con un ángulo de giro del eje rápido inicial de 67.5º. También se identifica el ángulo de rotación del retardador (4) donde el ángulo de giro del eje rápido es de 0º y cómo se mide la retardancia a partir de las posiciones de máximo desplazamiento en ambas direcciones.

Ejemplo 3. Dispositivo optoelectrónico que incluye una fuente de luz blanca, un interferómetro de Mach-Zehnder con un variador de camino óptico y un espectrómetro.

Se fabricó un dispositivo para medir la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico. El dispositivo está esquematizado en la Figura 5. La fuente de luz (1) consiste en una fuente de luz blanca direccional (1.3) pero no necesariamente colimada, que atraviesa un primer polarizador (2.1) a 45º. Después, la luz incide sobre un cubo divisor de haz polarizante (3.3), de manera que la luz polarizada a 0º se refleja y la luz polarizada a 90º se transmite. Se introduce un sistema para variar el camino óptico de uno de los brazos compuesto por dos prismas móviles motorizados (3.4), colocado de tal manera que al aplicarle un voltaje se altere el camino óptico del brazo en que se encuentra. Ambos haces de luz se reflejan en sendos espejos (8) para volver a recombinarse con un cubo divisor de haz 50/50 (3.1) insensible a la polarización. Los haces recombinados atraviesan el retardador óptico (4) que se va a medir, que se habrá colocado en un soporte rotatorio (10) motorizado, y un segundo polarizador (5.1) a 45º. Un sistema de recolección de luz (14), como una lente y una fibra óptica, recogen los dos haces de luz y los llevan a un espectrofotómetro (6.3) controlado por un ordenador (7.1), que también controla el soporte rotatorio (10) motorizado y la diferencia de camino óptico introducida por los dos prismas móviles motorizados-(3.4).

Para medir, el soporte rotatorio (10) motorizado se pone a girar a una velocidad constante, en este ejemplo a 10 revoluciones por minuto. El ordenador (7.1) recibe simultáneamente el espectro de la luz medido por el espectrofotómetro (6.3) y la

posición de giro del soporte rotatorio (10) motorizado. Cuando ha medido el espectro para una serie de ángulos de giro entre 0 y 180º, en este ejemplo 0º, 1º, 2º,..., 179º, 180º, varía el camino óptico de uno de los brazos del interferómetro de doble camino (3) moviendo el sistema del doble prisma móvil motorizado (3.4), procediendo a medir de nuevo los espectros para los mismos ángulos de giro.

Una vez que se ha completado todo este proceso para una serie de diferencias de camino óptico entre 0 y 360º, en este ejemplo 0º, 5º, 10º,..., 355º, 360º, el ordenador (7.1) analiza los datos y puede ofrecer la medida de la retardancia absoluta y del ángulo de giro del autoestado rápido del retardador óptico (4) para todo el espectro de luz cubierto por la fuente de luz (1) y el espectrofotómetro (6.3). Para ello, se emplea el método del ajuste a la Ec. 9 si el retardador óptico (4) a medir es lineal (el método más preciso), o el método de medir los extremos de desplazamiento de las franjas de interferencia si el retardador (4) no es lineal de acuerdo a la Tabla 1 y la Figura 4.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo optoelectrónico para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico (4) que consiste en:

- una fuente de luz (1);
- al menos, dos sistemas de control de la polarización, un primer sistema de control de polarización (2) y un segundo sistema de control de polarización (5);
- un interferómetro de doble camino (3) capaz de controlar la polarización de los haces de cada uno de sus brazos;
- un soporte rotatorio (10) que permite girar el retardador óptico (4);
- un sistema de fotodetección (6), donde se produce la interferencia de los dos haces de los brazos del interferómetro (3);
- un sistema de procesamiento de datos (7).

2. Dispositivo según la reivindicación 1 en el que la fuente de luz está o no colimada y se selecciona del grupo formado por: láser, diodo láser, LED, lámpara fluorescente y/o lámpara de incandescencia.

3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los sistemas de control de la polarización se seleccionan del grupo formado por: polarizadores dicroicos, polarizadores de lámina dicroica, polarizadores de nanopartículas, polarizadores de cubo, polarizadores Brewster, matrices de polarizadores unidimensionales y/o matrices de polarizadores bidimensionales.

4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el primer sistema de control de la polarización (2) está incorporado en la fuente de luz (1).

5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el interferómetro de doble camino (3) se selecciona del grupo formado por: un interferómetro de Michelson, un interferómetro de Mach-Zehnder, un interferómetro de doble rendija de Young, un interferómetro de biprisma de Fresnel o un interferómetro de Sagnac.

6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los sistemas de control de la polarización de los dos caminos del interferómetro (3) se seleccionan del grupo formado por polarizadores, combinaciones de polarizadores o matrices de polarizadores.

7. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el soporte rotatorio (10) está motorizado.

8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el sistema de fotodetección (6) se selecciona del grupo formado por: un fotodetector, una matriz de fotodetectores unidimensional, una matriz de fotodetectores bidimensional, un espectrofotómetro, una cámara CCD o una cámara CMOS.

9. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el sistema de procesamiento de datos (7) se selecciona entre una tarjeta de procesamiento de datos con una pantalla, un ordenador o cualquier otra máquina electrónica digital programable capaz de ejecutar comandos para procesar datos de entrada.

10. Procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico lineal o elíptico, utilizando el dispositivo definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que incluye:

a) tomar al menos dos medidas de las franjas de interferencia conforme rota el retardador óptico (4) mediante el soporte rotatorio (10);

b) calcular la posición de, al menos, un máximo o, al menos, un mínimo de las franjas de interferencia en cada una de las medidas;

c) realizar un ajuste de las posiciones a la ecuación:

$$\Phi_m = -\tan^{-1}\frac{\sin\Delta\cos 2\theta}{\cos\Delta\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta} + \pi N$$

11. Procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico según la reivindicación 10 en el que, en el paso a), se toma la medida del patrón de franjas de interferencia

en su conjunto.

12. Procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico según las reivindicaciones 10-11 en el que el paso c) se sustituye por: d) determinar los ángulos de giro del retardador óptico (4) en los que las posiciones de los máximos y/o mínimos de las distribuciones de intensidad en función de la diferencia de caminos ópticos son máximas o mínimas.

13. Procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico lineal o elíptico, utilizando el dispositivo definido en cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que incluye:

a) medir la intensidad el sistema de fotodetección (6) para, al menos, dos diferencias de camino óptico entre los brazos del interferómetro de doble camino (3) y dos ángulos de giro del retardador óptico (4);

b) calcular la posición de, al menos, un máximo o, al menos, un mínimo de las distribuciones de intensidad en función de la diferencia de camino óptico, para cada ángulo de giro del retardador óptico (4);

c) realizar un ajuste de las posiciones a la ecuación:

$$\Phi_m = -\tan^{-1}\frac{\sin\Delta\cos 2\theta}{\cos\Delta\cos^2 2\theta + \sin^2 2\theta} + \pi N$$

14. Procedimiento para determinar de forma simultánea la retardancia absoluta y el ángulo de giro del autoestado rápido de un retardador óptico según la reivindicación 13 en el que el paso c) se sustituye por: d) determinar los ángulos de giro del retardador óptico (4) en los que las posiciones de los máximos y/o mínimos de las distribuciones de intensidad en función de la diferencia de caminos ópticos son máximas o mínimas.

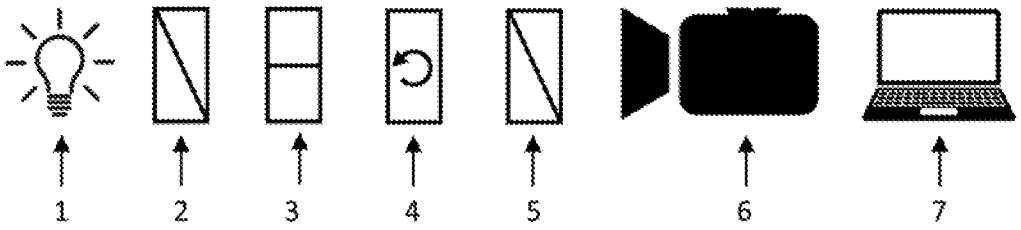

Fig. 1

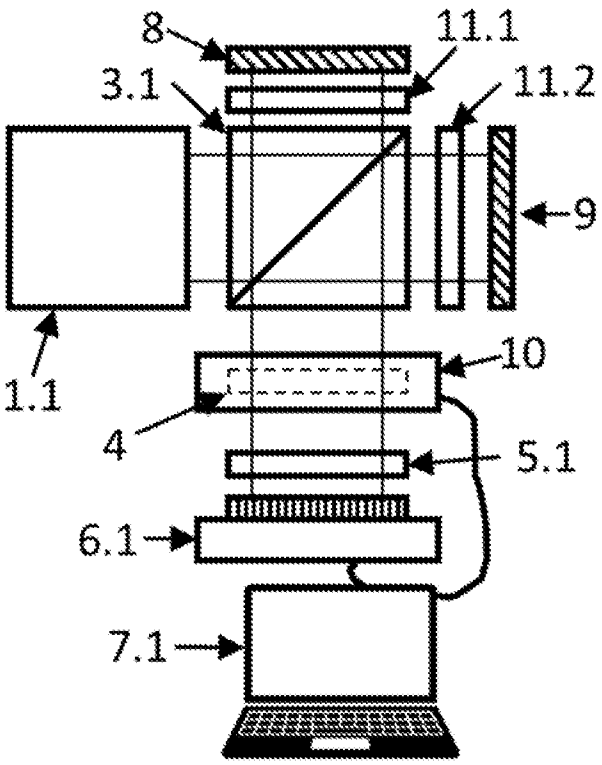

Fig. 2

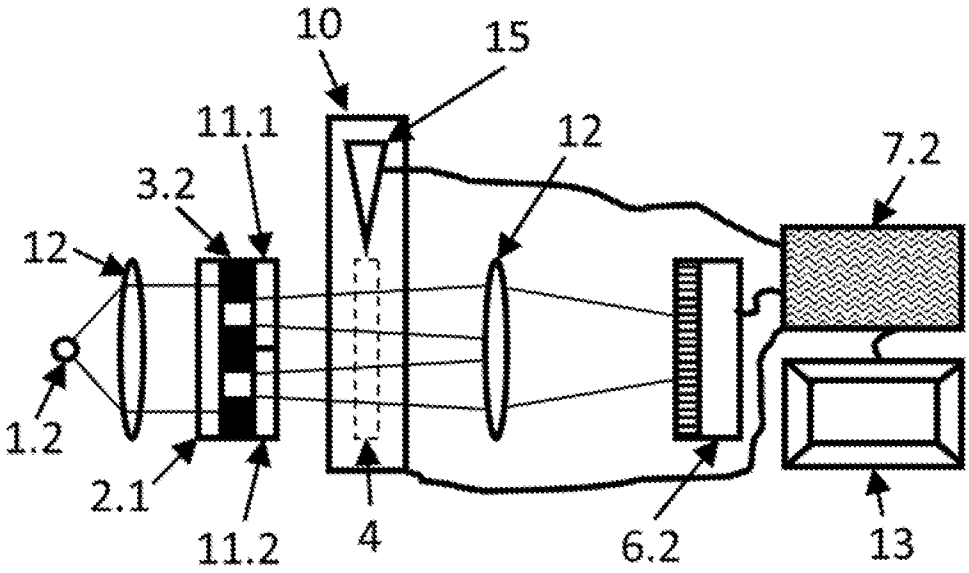
10
15
11.1
12
7.2
3.2
12
1.2
2.1
11.2
4
6.2
13

Fig. 3

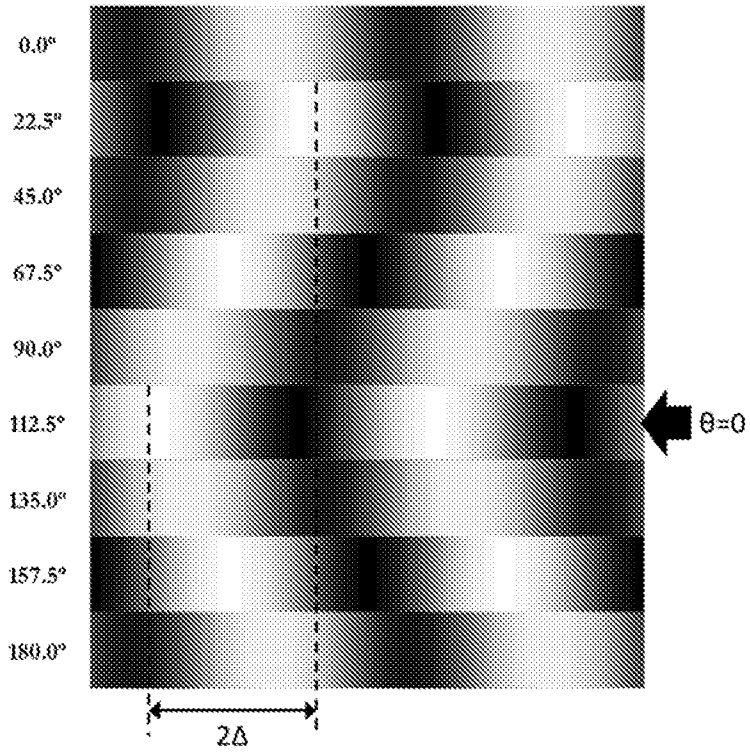
0.0°
22.5°
45.0°
67.5°
90.0°
112.5°
135.0°
157.5°
180.0°
θ=0
2Δ

Fig. 4

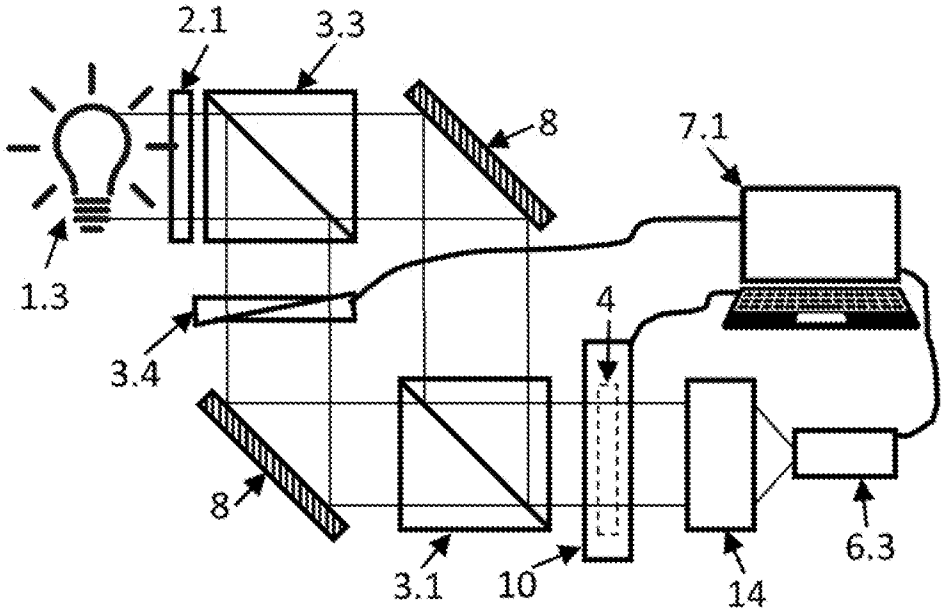

Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2023/070617

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B9/02 (2022.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, INTERNET, NPL

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008151155 A2 (UNIV. TEXAS ET AL.) 11/12/2008, Figs. 1-2, 5; Paragraphs [0004, 0007, 0014-0017, 0041, 0053-0054, 0060, 0070-0071, 0073-0074, 0140, 0143, 0147]	1-14
A	LU, SHENG-HUA et al. "Coaxial equal-path interferometer for polarization-sensitive optical coherence tomography". Fig. 1; Sections 2.1, 3.1, 3.2	1-14
A	WANG, BAOLIANG et al. "Accuracy assessment of a linear birefringence measurement system using a Soleil-Babinet compensator". Review Of Scientific Instruments, 20011101 American Institute Of Physics, 2 Huntington Quadrangle, Melville, Ny 11747., 01/11/2001, Vol. 72, Nº 11, pages 4066 - 4070 [on line] [retrieved on 24/08/2023]. ISSN 0034-6748, <DOI: 10.1063/1.1412261>	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents , such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01/03/2024	**(04/03/2024)**
Name and mailing address of the ISA/ OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) Facsimile No.: 91 349 53 04	Authorized officer J. Frías López Telephone No. 913495455

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ES2023/070617

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO2008151155 A2	11.12.2008	US2017045349 A1	16.02.2017
		US2014098373 A1	10.04.2014
		US9423237 B2	23.08.2016
		US2012136259 A1	31.05.2012
		US8570527 B2	29.10.2013
		US2008291463 A1	27.11.2008
		US8125648 B2	28.02.2012

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2023/070617

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD
G01B9/02 (2022.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
G01B

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)
EPODOC, INVENES, WPI, INTERNET, NPL

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	WO 2008151155 A2 (UNIV. TEXAS ET AL.) 11/12/2008, Figs. 1-2, 5; Párrafos [0004, 0007, 0014-0017, 0041, 0053-0054, 0060, 0070-0071, 0073-0074, 0140, 0143, 0147]	1-14
A	LU, SHENG-HUA et al. "Coaxial equal-path interferometer for polarization-sensitive optical coherence tomography". Fig. 1; Apartados 2.1, 3.1, 3.2	1-14
A	WANG, BAOLIANG et al. "Accuracy assessment of a linear birefringence measurement system using a Soleil-Babinet compensator". Review Of Scientific Instruments, 20011101 American Institute Of Physics, 2 Huntington Quadrangle, Melville, Ny 11747., 01/11/2001, Vol. 72, Nº 11, páginas 4066 - 4070 [en línea] [recuperado el 24/08/2023]. ISSN 0034-6748, <DOI: 10.1063/1.1412261>	1-14

☐ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
01/03/2024	**4 de marzo de 2024 (04/03/2024)**
Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España) Nº de fax: 91 349 53 04	Funcionario autorizado J. Frías López Nº de teléfono 913495455

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2023/070617

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO2008151155 A2	11.12.2008	US2017045349 A1	16.02.2017
		US2014098373 A1	10.04.2014
		US9423237 B2	23.08.2016
		US2012136259 A1	31.05.2012
		US8570527 B2	29.10.2013
		US2008291463 A1	27.11.2008
		US8125648 B2	28.02.2012