

(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
23 de agosto de 2018 (23.08.2018)

WIPO | PCT

(10) Número de publicación internacional
WO 2018/150071 A1

(51) Clasificación internacional de patentes:
G01J 11/00 (2006.01)

Campo Alegre, nº 1021, Edificio FC6, 41-69-007 Porto (PT).

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2018/070116

(72) Inventores: SOLA LARRAÑAGA, Iñigo; UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, Patio de Escuelas, 1, 37008 Salamanca (ES). ALONSO FERNÁNDEZ, Benjamín; UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, Patio de Escuelas, 1, 37008 Salamanca (ES). ROMERO MUÑIZ, Rosa María; SPHERE ULTRAFASST PHOTONICS, Rua do Campo Alegre, nº 1021, Edificio FC6, 41-69-007 Porto (PT).

(22) Fecha de presentación internacional:
20 de febrero de 2018 (20.02.2018)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P 201730215 20 de febrero de 2017 (20.02.2017) ES

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

(71) Solicitantes: UNIVERSIDAD DE SALAMANCA [ES/ES]; Patio de Escuelas, 1, 37008 Salamanca (ES). SPHERE ULTRAFASST PHOTONICS [PT/PT]; Rua do

(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, CZ, DE, DJ, DK,

(54) Title: APPARATUS AND METHOD FOR THE ONLINE MEASUREMENT OF LASER PULSES WITH TIME-DEPENDENT POLARISATION

(54) Título: APARATO Y MÉTODO DE MEDICIÓN EN LÍNEA DE PULSOS LÁSER CON POLARIZACIÓN DEPENDIENTE DEL TIEMPO

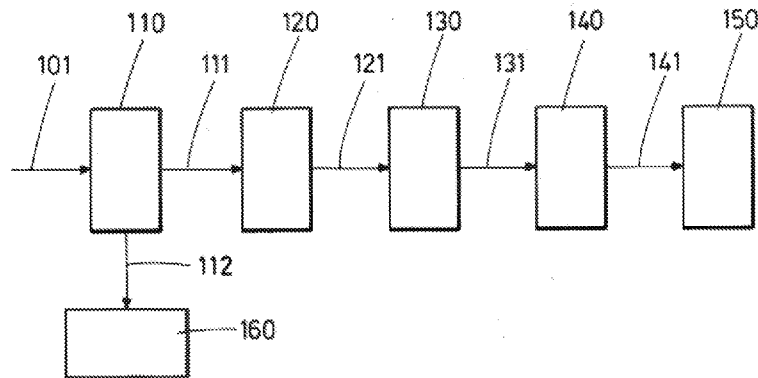


FIG.1

(57) Abstract: An apparatus and method are described for the online measurement of laser pulses with time-dependent polarisation, which apparatus and method allow laser pulses with time-dependent polarisation to be measured online. For that purpose, one or more polarisation projections are selected: the spectrometer detects the projection of a birefringent system along an extraordinary propagation axis in order to measure the spectrum in this component, the projection along the ordinary propagation axis in order to measure the spectrum in this component, and finally a projection in an intermediate direction that makes it possible to measure the interference spectrum between these two components. The method makes it possible to extract the evolution in time of the pulse and its state of polarisation as a function of time, the amplitudes and spectral phases of the various beam polarisation projections.

(57) Resumen: Se describen un aparato y un método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo que permiten llevar a cabo una medida en línea de pulsos láser cuya polarización depende del tiempo. Para ello se selecciona una o varias proyecciones de polarización: que el espectrómetro detecte la proyección en el eje de propagación extraordinaria de un sistema birrefringente para medir el espectro en dicha componente, la proyección en el eje de propagación ordinaria, para medir el espectro en dicha componente y finalmente una proyección en una dirección intermedia que permite medir el espectro interferencial entre las dos componentes. El método permite extraer la evolución temporal del pulso y su estado de polarización en función del tiempo, las amplitudes y fases espectrales de las diversas proyecciones de polarización del haz.



WO 2018/150071 A1

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))*
- *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

**APARATO Y MÉTODO DE MEDICIÓN EN LÍNEA DE PULSOS LÁSER CON
POLARIZACIÓN DEPENDIENTE DEL TIEMPO**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la invención se enmarca en el campo de la Física.

Más concretamente, este documento va dirigido a la medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo y un método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo que permiten llevar a cabo una medida en línea de pulsos láser cuya polarización depende del tiempo, es decir, ésta es variable en el transcurso del tiempo a lo largo de la duración de dicho pulso.

15 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

En las últimas décadas se ha logrado generar pulsos de luz láser de duración extremadamente breve (sobre el rango del femtosegundo, 10^{-15} s). Ello ha llevado aparejado el desarrollo de nuevas técnicas de medida de dichos pulsos (autocorrelación, SPIDER, FROG o d-scan, entre otras). Dichas técnicas tienen en común que asumen que la luz está polarizada linealmente y que dicho estado de polarización no cambia a lo largo del pulso. Si bien esto es lo habitual en dichas fuentes de luz, existen situaciones, en número e interés creciente, en las que la luz presenta una cierta polarización cambiante en el tiempo.

25

La primera técnica de caracterización de polarización variable en el tiempo en rango ultrarrápido (femtosegundo), conocida como "POLLIWOG", aparece en 1997 en *W. J. Walecki, D. N. Fittinghoff, A. L. Smirl, and R. Trebino, "Characterization of the polarization state of weak ultrashort coherent signals by dual-channel spectral interferometry," Optics Letters 22, 81-83 (1997)*. En dicho trabajo, se hace uso de interferometría espectral para obtener la diferencia de fase entre componentes de polarización vertical y horizontal del pulso en estudio refiriéndolas a un pulso auxiliar de referencia (tanto en fase espectral como en polarización). Dicha diferencia de fase entre componentes, junto con las amplitudes espectrales (medidas con un espectrómetro, por ejemplo), permiten la reconstrucción de la polarización en función del tiempo. La técnica se basa en una

35

configuración de doble canal, midiendo en un mismo tiro en cada uno de dichos canales la diferencia de fase de cada componente de polarización del pulso en estudio con las correspondientes componentes del pulso auxiliar de referencia.

5 Posteriormente se presentó otra aproximación al problema empleando reconstrucción tomográfica en *P. Schlup, O. Masihzadeh, L. Xu, R. Trebino, and R. A. Bartels, "Tomographic retrieval of the polarization state of an ultrafast laser pulse," Optics Letters 33, 267-269 (2008)*. Se basa en medir la reconstrucción temporal de los pulsos en diversas proyecciones de polarización lineal mediante alguna de las técnicas de
10 reconstrucción estándar aptas sólo para dicha polarización, es decir, que no son capaces de ver la evolución de la polarización. Por ejemplo, se miden dos proyecciones perpendiculares y una a 45° respecto a estas. Conociendo las perpendiculares, se ajusta la fase entre dichas componentes para obtener el resultado de la proyección intermedia a 45°. En este proceso de ajuste se determina la fase que, con los datos anteriores,
15 permite reconstruir la evolución temporal de la polarización.

Otras técnicas ópticas propuestas en la bibliografía se basan en efecto Talbot como la técnica detallada en *C. C. Chen, and S. D. Yang, "All-optical self-referencing measurement of vectorial optical arbitrary waveform," Optics Express 22, 28838-28844*
20 *(2014)*, en polarimetría basada en modulación no lineal de la fase como la detallada en *E. Lopez-Lago, and R. de la Fuente, "Measurement of the polarization dynamics of ultrashort pulses by using nonlinear phase modulation and channelled spectroscopic polarimetry," Journal of Optics A-Pure and Applied Optics 7, 400-403 (2005)*, o en interferometría espacial-temporal multiplexada en ángulo como la técnica detallada en *A.*
25 *Rakhman, M. W. Lin, and I. Jovanovic, "Angle-multiplexed spatial-spectral interferometry for simultaneous measurement of spectral phase and polarization state," Optics Express 21, 26896-26907 (2013)*. Recientemente se ha propuesto una técnica basada en experimentos de *attosecond streaking* usando un microscopio de reacción. Esta técnica detallada en *R. Boge, S. Heuser, M. Sabbar, M. Lucchini, L. Gallmann, C. Cirelli, and U.*
30 *Keller, "Revealing the time-dependent polarization of ultrashort pulses with sub-cycle resolution," Optics Express 22, 26967-26975 (2014)*, además de ser muy compleja y cara, se encuentra muy alejada del concepto de la que se presenta.

35 La técnica y el aparato de la presente invención se basan en una configuración en línea,

en contraste con la configuración dual descrita anteriormente de *W. J. Walecki, D. N. Fittinghoff, A. L. Smirl, and R. Trebino, "Characterization of the polarization state of weak ultrashort coherent signals by dual-channel spectral interferometry," Optics Letters 22, 81-83 (1997)*. En la presente invención, se prescinde de un segundo haz auxiliar de referencia, al tiempo que una de las componentes de polarización del pulso en estudio desempeña el papel de dicha referencia. Esto permite una configuración en línea del aparato, robusta y sencilla, evitando ruidos e inestabilidades (vibraciones, corrientes de aire, etc.) asociados a interferómetros clásicos.

10 DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Se describe en este documento un aparato que permite caracterizar luz con polarización dependiente del tiempo que supera los inconvenientes y desventajas de lo anteriormente citado a la par que aporta no sólo una mayor estabilidad frente a vibraciones, sino que además resulta más sencillo de alinear que los dispositivos conocidos hasta el momento.

De esta manera se tiene un primer aspecto de la invención correspondiente a un aparato para la medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo que permite llevar a cabo, entre otros:

- 20 • Estudios de dicroísmo, quiralidad y actividad óptica de especies.
- Estudios de fenómenos no lineales de polarización.
- Aplicación de espectroscopia óptica en nanoescala.
- Estudios de sistemas moleculares a través de pulsos modulados en polarización.
- Estudios de pozos cuánticos.
- 25 • Caracterización de trenes de pulsos en telecomunicaciones.
- Análisis de efectos no lineales sobre luz con polarización dependiente del tiempo.

Asimismo, se tiene un segundo aspecto de la invención correspondiente a un método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo. Este método de medida se efectúa en primer lugar con un haz de polarización conocida, a fin de calibrar las fases espectrales introducidas por el sistema de medición. A continuación, se reproduce el procedimiento para medir el haz a analizar. Mediante un sistema auxiliar de reconstrucción de pulsos no vectoriales (esto es, presentando sólo una componente de polarización lineal), se determina la fase espectral de una de las dos componentes del haz (ordinaria o extraordinaria), que actuará como referencia.

Gracias al retardo entre componentes ordinaria y extraordinarias introducido por un elemento birrefringente y mediante un procedimiento de reconstrucción de interferometría espectral empleando los datos medidos con anterioridad, se extraen las amplitudes y fases espectrales de las dos componentes de polarización, ordinaria y extraordinaria, del haz a analizar. Posteriormente, mediante la aplicación de transformación de Fourier a dichas amplitudes y fases espectrales, se reconstruye temporalmente la evolución de las componentes ordinaria y extraordinaria del haz a analizar, con lo que se obtiene el estado de polarización de los pulsos de luz dependiente del tiempo.

10

Para llevar a cabo el método del segundo aspecto de la invención se tiene que realizar un proceso de medida que se puede poner en funcionamiento de la siguiente forma:

15

1. Se realiza una medida del espectro del pulso con el polarizador lineal colocado de forma que permita pasar sólo la componente ordinaria de polarización del sistema birrefringente (120). De esta forma se conoce el espectro de dicha componente.

20

2. Se efectúa una medida del espectro del pulso con el polarizador lineal colocado de forma que permita pasar sólo la componente extraordinaria de polarización del sistema birrefringente. De esta forma se conoce el espectro de dicha componente.

25

3. Se efectúa una medida del espectro del pulso con el polarizador lineal colocado formando un ángulo entre las direcciones de vibración de las componentes ordinaria y extraordinaria de polarización del sistema birrefringente (por ejemplo, 45°). Las interferencias espectrales en dicho espectro contienen información de la diferencia de fase entre ambas componentes.

30

4. Se selecciona una de las dos componentes de polarización del pulso y se caracteriza su fase espectral midiéndola con una técnica estándar para reconstrucción de pulsos con polarización lineal constante (p.ej. FROG, SPIDER, d-scan). De esta forma se obtiene la reconstrucción del pulso de referencia. Esta selección se puede hacer de varias formas, por ejemplo, se puede usar un polarizador lineal, que deje pasar sólo la componente a medir. Otro ejemplo sería medirla con el polarizador del montaje seleccionando la componente de referencia y de la medida sustrayendo la dispersión que pueda aportar el elemento birrefringente o también se puede tener una superficie en ángulo de Brewster, con lo que la luz reflejada estará polarizada en dirección

35

perpendicular al plano de incidencia.

5. Con los datos adquiridos anteriormente, se emplean algoritmos de reconstrucción de interferometría espectral como, por ejemplo, los descritos en *L. Lepetit, G. Cheriaux, and M. Joffre, "Linear techniques of phase measurement by femtosecond spectral interferometry for applications in spectroscopy," Journal of the Optical Society of America B-Optical Physics 12, 2467-2474 (1995)*. En dicha reconstrucción el pulso de referencia será la componente de polarización previamente reconstruida. De esta forma, se obtendrá la fase espectral de la segunda componente sin ambigüedad con respecto a la primera. Esto permite conocer, mediante transformación de Fourier, el estado de polarización del pulso en función del tiempo.

Previamente a una medida se puede llevar a cabo un calibrado el aparato. Para ello se efectuará la medida de un pulso con polarización conocida (por ejemplo, un pulso con polarización lineal a 45° entre las direcciones ordinarias y extraordinarias del sistema birrefringente). Tras efectuar el proceso de medida, la fase relativa extraída entre ambas componentes será la calibración del aparato, que se deberá sustraer de las medidas que se efectúen. Esta calibración será válida mientras las medidas se efectúen con el haz alineado en el aparato de la misma forma y siempre que el pulso a medir no tenga nuevas componentes espectrales respecto al pulso usado en la calibración.

Tal y como se ha indicado anteriormente para llevar a cabo una medida de un pulso problema se alinea el haz, garantizando que sea el mismo alineamiento que el de calibración. Posteriormente, y de manera similar a lo anteriormente descrito, se procede a realizar una medida con el polarizador paralelo a la dirección de la componente ordinaria del elemento birrefringente, una medida con el polarizador paralelo a la dirección de la componente extraordinaria del elemento birrefringente y una medida con el polarizador en dirección intermedia (típicamente 45° , pero podría ser otra).

Cabe destacar asimismo que al efectuar el montaje del aparato se puede hacer necesario calibrar preferentemente la respuesta del espectrómetro (o monocromador, analizador de espectro ópticos, sistema de caracterización espectral, etc.) con la polarización. Para ello, se puede emplear un haz linealmente polarizado, al que se rota

la polarización (por ejemplo, mediante una lámina de retardo de media onda) y se registra la señal medida por el espectrómetro para las diversas orientaciones. Este calibrado puede efectuarse sólo una vez, sería válido posteriormente, siempre que el pulso a medir no tenga nuevas componentes espectrales respecto al pulso usado en la calibración.

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, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- En la figura 1 se aprecia un diagrama de flujo del método del segundo aspecto de la invención a la vez que se aprecian los distintos componentes a utilizar del aparato del primer aspecto de la invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

En una realización preferente de un primer aspecto de la invención se tiene un aparato para medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo, aparato que comprende una o más, preferentemente una, láminas de material birrefringente que definen un sistema birrefringente (120), preferentemente con el eje óptico perpendicular a la dirección de propagación del haz, un polarizador lineal (130) y un espectrómetro (140) en el rango del espectro del haz a medir actuando como sistema de caracterización espectral; de tal manera que al hacer pasar luz a través de la lámina sus componentes de polarización extraordinaria y ordinaria presentan un retraso entre ellas.

De esta manera se tiene el aparato objeto del primer aspecto de la invención, el cual comprende una lámina de material birrefringente, con el eje óptico perpendicular a la dirección de propagación de un haz a medir, medios de caracterización espectral de la luz, como puede ser un espectrómetro, en el rango del haz a medir, y un polarizador lineal adaptado para seleccionar varias proyecciones de polarización. El

funcionamiento o implementación de dicho aparato se puede observar en la figura 1 donde se tiene un haz (101) incidente a analizar, el cual pasa a través de una unidad de selección (110) para seleccionar una componente de polarización, que es una componente de referencia (112) y conducirla a una unidad de medida temporal (160) de pulsos polarizados linealmente; a modo de ejemplo, pero no limitativo, la unidad de selección (110) puede ser una superficie que pueda introducirse en el camino óptico sobre la que el haz (101) incida en ángulo de Brewster, un espejo que refleje el haz (101) y lo haga pasar por un polarizador no lineal con dispersión calibrada, etc.

Esta selección se efectuará sólo cuando se quiere medir la componente de referencia (112). Cuando no se efectúa esta selección y sí una medida en polarización, un haz a analizar saliente (111) llega a un sistema birrefringente (120) que descompone en dos componentes de polarización, ordinaria y extraordinaria, viajando a diferente velocidad por el sistema birrefringente (120). Un haz resultante (121) del paso por el sistema birrefringente (120) atraviesa un polarizador lineal (130) el cual se orientará para seleccionar una o varias proyecciones de polarización. La luz resultante (131), la cual se encuentra linealmente polarizada respecto a ciertas direcciones de interés, será acoplada a una unidad de análisis espectral (140), como puede ser un espectrómetro (140), para llevar a cabo un análisis espectral en el rango del espectro del haz (101) incidente a analizar. Los datos resultantes (141) serán analizados en un módulo de procesado (150).

Dicho funcionamiento hace uso del citado polarizador lineal (130) mediante el cual se puede seleccionar una o varias proyecciones de polarización que el espectrómetro (140) detectará:

- Proyección en dirección de onda extraordinaria: permite medir el espectro en dicha componente.
- Proyección en dirección de onda ordinaria: permite medir el espectro en dicha componente.
- Proyección en una dirección intermedia (típicamente 45°): permite medir el espectro presentando interferencias entre las dos componentes retardadas que, a través de un proceso de filtrado de Fourier, proporciona la diferencia de fase entre ellas, fundamental para la determinación de la fase espectral de cada una de las componentes, ordinaria y extraordinaria.

En una realización preferente de un segundo aspecto de la invención correspondiente

a un método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo que hace uso del aparato del primer aspecto de la invención se tiene que hacer pasar el haz (101) incidente a analizar a través del sistema birrefringente (120), para posteriormente seleccionar la proyección de polarización en la dirección ordinaria del medio birrefringente mediante rotación del polarizador lineal (130).

A continuación, se procede a detectar y medir mediante el espectrómetro (140) dicha proyección de polarización en la dirección ordinaria del medio birrefringente, para posteriormente seleccionar la proyección de polarización en la dirección extraordinaria del medio birrefringente o sistema birrefringente (120) mediante rotación del polarizador lineal (130). Hecho esto, se puede proceder a detectar y medir dicha proyección de polarización mediante el espectrómetro (140)

Una vez se ha seleccionado la proyección de polarización en una dirección con componentes ordinarias y extraordinarias (por ejemplo, formando un ángulo de 45° con respecto a las mismas) del medio birrefringente mediante rotación del polarizador lineal (130), se procede a detectar y medir mediante el espectrómetro la proyección de polarización con la estructura de interferencias entre las dos componentes para poder extraer, mediante un algoritmo de reconstrucción de interferometría espectral, empleando asimismo los espectros de las proyecciones de las componentes ordinarias y extraordinarias medidas en los pasos previos, la amplitud de las componentes ordinaria y extraordinaria del haz a analizar y la diferencia entre sus fases espectrales después de haber pasado por el sistema birrefringente.

Adicionalmente se puede efectuar un calibrado del aparato con un haz polarizado de forma conocida, por ejemplo, linealmente con proyecciones en las componentes ordinaria y extraordinaria de propagación en el medio birrefringente, para determinar los desfases de las dos componentes, ordinaria y extraordinaria, en dicho material birrefringente.

De manera adicional el método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo de la invención puede comprender eliminar la contribución debida al sistema birrefringente a la diferencia de fases espectrales entre las componentes ordinaria y extraordinaria tras el material birrefringente, obtenida tal y como se detallado anteriormente, extrayendo de esta manera la diferencia de fases

espectrales entre las componentes ordinaria y extraordinaria de polarización antes de pasar por el material birrefringente.

A continuación, se selecciona preferentemente, a modo de ejemplo, pero no limitativo, previamente al sistema birrefringente (120) una de las componentes de polarización, siendo éstas una componente ordinaria y una componente extraordinaria con respecto al sistema birrefringente, para posteriormente medir la fase espectral de la componente de referencia seleccionada anteriormente. La medición de la fase espectral de la componente de referencia del paso se puede llevar a cabo mediante una técnica de reconstrucción de pulsos con polarización constante, como por ejemplo FROG, SPIDER y d-scan

Adicionalmente se añade a la fase espectral de la componente de referencia anteriormente la citada la diferencia de fases espectrales entre las componentes ordinaria y extraordinaria antes de pasar por el material birrefringente, obtenida según se ha indicado previamente, calculando de esta forma la fase espectral de la otra componente de polarización. A partir de dichas fases espectrales y de los espectros de las proyecciones de las componentes de polarización ordinaria y extraordinaria del haz (101) medidos como se ha detallado previamente, se calculan las amplitudes espectrales complejas de las proyecciones de las componentes de polarización ordinaria y extraordinaria del haz (101). Hecho esto, se puede proceder a reconstruir temporalmente la evolución de las componentes ordinaria y extraordinaria del haz a analizar (101) con la transformación de Fourier de dichas amplitudes espectrales complejas, obteniendo el estado de polarización para cada instante del pulso.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo, aparato caracterizado porque comprende:
 - 5 - una unidad de selección (101) destinada a seleccionar una componente de polarización que es una componente de referencia (112) y conducirla a una unidad estándar de caracterización (160) de pulsos polarizados linealmente para su caracterización temporal,
 - 10 - un sistema birrefringente (120) que a su vez puede comprender al menos una lámina de material birrefringente, con el eje óptico preferentemente perpendicular a la dirección de propagación de un haz a analizar incidente (111), de manera que éste se descomponga en dos componentes de polarización, ordinaria y extraordinaria, viajando a diferente velocidad por el sistema birrefringente (120),
 - 15 - un polarizador lineal (130) adaptado para seleccionar varias proyecciones de polarización,
 - una unidad de análisis espectral (140) en el rango del espectro del haz a medir, y
 - 20 - un módulo de procesado (150) de datos resultantes (141) de la unidad de análisis espectral (140).

2. Método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo que hace uso del aparato descrito en la reivindicación 1, estando el método caracterizado porque comprende:
 - 25 i. hacer pasar haz (101) incidente a analizar a través del sistema birrefringente (120),
 - ii. seleccionar la proyección de polarización en la dirección ordinaria del medio birrefringente mediante rotación del polarizador lineal (130),
 - iii. detectar y medir mediante la unidad de análisis espectral (140) la
30 proyección de polarización,
 - iv. seleccionar la proyección de polarización en la dirección extraordinaria del sistema birrefringente (120) mediante rotación del polarizador lineal (130),
 - v. detectar y medir mediante la unidad de análisis espectral (140) la proyección de polarización,
 - 35 vi. seleccionar la proyección de polarización en una dirección con

- componentes ordinarias y extraordinarias del sistema birrefringente (120) mediante rotación del polarizador lineal (130),
- vii. detectar y medir mediante el espectrómetro la proyección de polarización con la estructura de interferencias espectrales entre las dos componentes,
- 5 viii. seleccionar preferentemente, previamente al sistema birrefringente (120), una de las componentes de polarización, siendo éstas una componente ordinaria y una componente extraordinaria definidas con respecto al sistema birrefringente,
- ix. medir la fase espectral de la componente de referencia seleccionada del paso anterior, y
- 10 x. extraer, mediante un algoritmo de reconstrucción de interferometría espectral, empleando los datos obtenidos en los pasos previos, la amplitud de las componentes ordinaria y extraordinaria del haz (121) y la diferencia entre sus fases espectrales después de haber pasado por el sistema birrefringente (120).
- 15
3. Método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo, según reivindicación 2, donde la medición de la componente de referencia del paso ix se lleva a cabo mediante una técnica de reconstrucción de pulsos con polarización lineal constante, como por ejemplo FROG, SPIDER y d-scan.
- 20
4. Método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo, según reivindicación 2, estando el método caracterizado porque adicionalmente comprende efectuar un calibrado del aparato descrito en la reivindicación 1 con un haz polarizado de forma conocida, por ejemplo linealmente con proyecciones en las componentes ordinarias y extraordinaria de propagación en el medio birrefringente, para determinar los desfases de las dos componentes, ordinaria y extraordinaria, introducidos por el material birrefringente del sistema birrefringente (120).
- 25
- 30
5. Método de medición en línea de pulsos láser con polarización dependiente del tiempo, según reivindicación 2, estando el método caracterizado porque adicionalmente comprende los siguientes pasos:
- i. sustraer a la diferencia de fases espectrales entre componentes ordinaria
- 35 y extraordinaria del haz (121) tras el sistema birrefringente (120), obtenida

- 5 mediante un algoritmo de reconstrucción de interferometría espectral según el paso x, la contribución a la fase espectral correspondiente a un retraso entre las componentes y su dispersión debida al sistema birrefringente (120), obtenida mediante calibración, aislando de esta forma la diferencia de fases entre componentes ordinaria y extraordinaria del haz (101) antes del sistema birrefringente (120),
- 10 ii. añadir a la diferencia de fases espectrales entre componentes ordinaria y extraordinaria obtenida en el paso anterior, la fase espectral de la componente de referencia, con lo que se calcula la fase espectral de la componente ordinaria y/o componente extraordinaria,
- 15 iii. calcular las amplitudes y fases espectrales de las dos componentes de polarización, ordinaria y extraordinaria, del haz a analizar (101) a partir de los datos obtenidos en el paso anterior y de las medidas de las intensidades espectrales de cada componente del haz (101),
- 20 iv. reconstruir temporalmente la evolución de las componentes ordinaria y extraordinaria el haz a analizar (101) a partir de los resultados del paso anterior y su transformada de Fourier y,
- v. obtener, a partir de los datos obtenidos en el paso anterior, la evolución temporal del pulso incidente (101) y de su estado de polarización mediante la suma vectorial de la evolución de las componentes ordinaria y extraordinaria obtenidas para el haz a analizar (101).

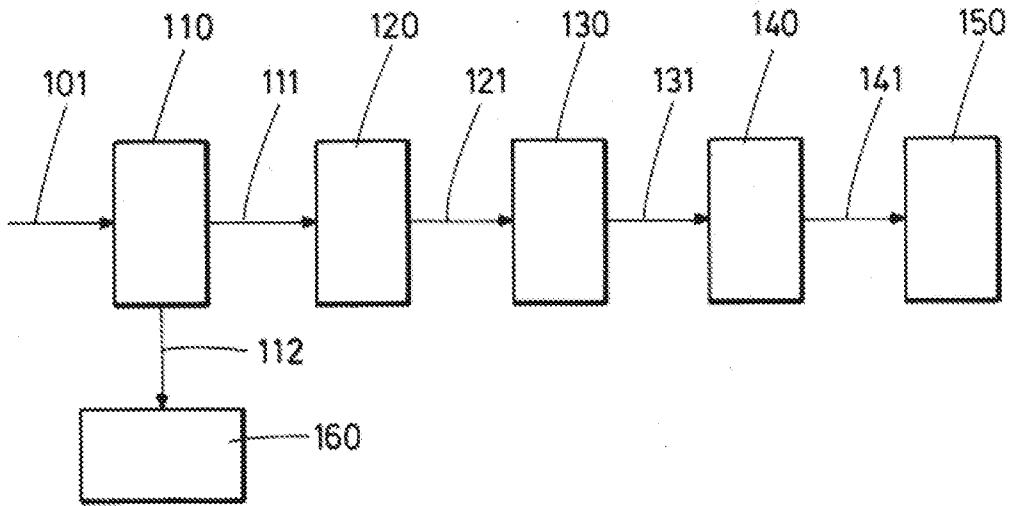


FIG.1

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ES2018/070116

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

INV. G01J11/00
ADD.

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)

G01J

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) EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X	WO 03/010487 A1 (UNIV ROCHESTER [US]) 6 de febrero de 2003 (06.02.2003) figuras 7, 8, 11	1
X	----- JUAN JOSÉ FERREIRO ET AL: "Characterization of arbitrarily polarized ultrashort laser pulses by cross-phase modulation", OPTICS LETTERS, vol. 26, no. 13, 01 de julio de 2001 (01.07.2001), página 1025, XP055490949, US ISSN: 0146-9592, DOI: 10.1364/OL.26.001025	1,2
Y	figura 2 página 1026, columna 2, línea 35 - línea 38 página 1027, columna 1, líneas 2-5 ----- -/--	2-5

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. 11 de julio de 2018 (11.07.2018)	Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional 25 de julio de 2018 (25.07.2018)
--	--

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Funcionario autorizado Parise, Berengere
N° de fax	N° de teléfono

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°

PCT/ES2018/070116

C (continuación). DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES		
Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
Y	<p>BENJAMÍN ALONSO ET AL: "Spatiotemporal amplitude-and-phase reconstruction by Fourier-transform of interference spectra of high-complex-beams", JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA - B., vol. 27, no. 5, 1 de mayo de 2010 (01.05.2010), página 933, XP055491969, US ISSN: 0740-3224, DOI: 10.1364/JOSAB.27.000933 figura 2 página 934, columna 2</p>	2-5
A	<p>----- IAN A. WALMSLEY ET AL: "Characterization of ultrashort electromagnetic pulses", ADVANCES IN OPTICS AND PHOTONICS, vol. 1, no. 2, 15 de abril de 2009 (15.04.2009) página 308, XP055484183, DOI: 10.1364/AOP.1.000308 todo el documento -----</p>	1-5

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES2018/070116

WO 03010487	A1	06-02-2003	EP	1417449 A1	12-05-2004
			US	2003025911 A1	06-02-2003
			WO	03010487 A1	06-02-2003

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/ES2018/070116

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01J11/00
ADD.
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)
G01J

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)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 03/010487 A1 (UNIV ROCHESTER [US]) 6 February 2003 (2003-02-06) figures 7,8,11	1
X	JUAN JOSÉ FERREIRO ET AL: "Characterization of arbitrarily polarized ultrashort laser pulses by cross-phase modulation", OPTICS LETTERS, vol. 26, no. 13, 1 July 2001 (2001-07-01), page 1025, XP055490949, US ISSN: 0146-9592, DOI: 10.1364/OL.26.001025	1,2
Y	figure 2 page 1026, column 2, line 35 - line 38 page 1027, column 1, lines 2-5 ----- -/--	2-5

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 application or patent 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 such 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 11 July 2018	Date of mailing of the international search report 25/07/2018
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Parise, Berengere
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/ES2018/070116

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	<p>BENJAMÍN ALONSO ET AL: "Spatiotemporal amplitude-and-phase reconstruction by Fourier-transform of interference spectra of high-complex-beams", JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA - B., vol. 27, no. 5, 1 May 2010 (2010-05-01), page 933, XP055491969, US ISSN: 0740-3224, DOI: 10.1364/JOSAB.27.000933 figure 2 page 934, column 2</p>	2-5
A	<p>IAN A. WALMSLEY ET AL: "Characterization of ultrashort electromagnetic pulses", ADVANCES IN OPTICS AND PHOTONICS, vol. 1, no. 2, 15 April 2009 (2009-04-15), page 308, XP055484183, DOI: 10.1364/AOP.1.000308 the whole document</p>	1-5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/ES2018/070116

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 03010487	A1	06-02-2003	
		EP 1417449 A1	12-05-2004
		US 2003025911 A1	06-02-2003
		WO 03010487 A1	06-02-2003
