

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 792**

21 Número de solicitud: 201030789

51 Int. Cl.:

G01N 21/21

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

25.05.2010

43 Fecha de publicación de la solicitud:

22.12.2011

Fecha de la concesión:

30.11.2012

45 Fecha de publicación del folleto de la patente:

13.12.2012

73 Titular/es:

**UNIVERSITAT DE BARCELONA
CENTRE DE PATENTS DE LA UB
08028 BARCELONA, (Barcelona), ES**

72 Inventor/es:

**ARTEAGA BARRIEL, Oriol;
CANILLAS BIOSCA, Adolfo y
RIBO TRUJILLO, Josep Maria**

74 Agente/Representante:

SEGURA CAMARA, Pascual

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA PARA DETERMINAR UNA PLURALIDAD DE ELEMENTOS DE UNA MATRIZ DE MUELLER.**

57 Resumen:

Método y sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller.

La presente invención se refiere al uso de un elemento con poder óptico rotatorio para cambiar el ángulo de acimut del estado de polarización en un método o sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller.

ES 2 370 792 B1

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller.

5 La presente invención hace referencia a un método y a un sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller. La presente invención hace referencia adicionalmente a la utilización de elementos con poder óptico rotatorio en dichos sistemas o métodos.

Estado de la técnica

10 La polarimetría es la medida e interpretación de la polarización de ondas transversales, sobretudo de las ondas electromagnéticas, como ondas de radio o de luz. Típicamente, polarimetría se aplica a las ondas electromagnéticas que han viajado a través de o han sido reflejadas, transmitidas o dispersadas por una muestra con el fin de caracterizar dicha muestra. La polarimetría de reflexión de películas delgadas y superficies se conoce comúnmente como elipsometría.

15 Los polarímetros, elipsómetros y dispositivos similares por lo general comprenden una fuente de luz y un generador de estados de polarización (PSG), que polariza esta luz. La luz polarizada se dirige posteriormente a una muestra para ser investigada. La luz que es reflejada (o transmitida o dispersada) por la muestra generalmente pasa a través de un analizador de estado de polarización (PSA) y, a continuación, se recoge p. ej. por un tubo fotomultiplicador. El PSG y el PSA (cuando está presente) típicamente comprenden polarizadores lineales y también pueden incluir moduladores que pueden cambiar el estado de polarización, p. ej. láminas cuarto de onda, moduladores fotoelásticos o moduladores de cristal líquido. Determinando la intensidad (o la variación temporal de la intensidad para sistemas modulados) de la luz recogida, se pueden detectar los cambios en el estado de polarización en la interacción con la muestra. Dicha influencia puede expresarse mediante los dieciséis elementos de una "matriz de Mueller" 4×4 .

25 Los polarímetros más conocidos no miden todos los dieciséis elementos de una matriz de Mueller. Por ejemplo, los dicrógrafos (polarímetros dedicados a la medición de dicroísmo) miden sólo un elemento de la matriz, y la mayoría de los elipsómetros miden de uno a tres elementos.

30 La patente US 6.753.961 describe un elipsómetro espectroscópico que comprende una fuente de luz policromática, un espectrómetro, un polarizador y un polarizador analizador, y uno o más objetivos en los trayectos de iluminación y recogida de luz. El elipsómetro comprende además un modulador de polarización estacionario que modula la polarización de la luz respecto a la longitud de onda. El modulador puede ser un cristal ópticamente activo que gira el plano de polarización un ángulo diferente para cada longitud de onda o un retardador de lámina no acromático que varía periódicamente el retraso de la fase relativa de los componentes de polarización respecto a la longitud de onda. Este elipsómetro espectroscópico puede medir sólo dos parámetros relacionados con dos elementos de la matriz de Mueller.

35 Sin embargo, también es conocido el uso rotadores mecánicos para girar mecánicamente los elementos ópticos, dando lugar al PSG o al PSA, que permite la determinación de más elementos de la matriz de Mueller.

40 La patente US 5.956.147 describe un elipsómetro generalizado con dos moduladores que comprende dos pares polarizador-modulador fotoelástico (PEM), una fuente de luz óptica, un sistema de detección óptica, y la electrónica de procesamiento de datos y de control asociada, donde los PEMs vibran libremente. La luz incidente pasa a través del primer par polarizador-PEM, se refleja en la superficie de la muestra o pasa a través de la muestra, pasa por el segundo par PEM-polarizador y se detecta. Esta configuración permite la determinación simultánea de ocho elementos de la matriz de Mueller. Para determinar más elementos de la matriz de Mueller (hasta 16), se pueden cambiar los ángulos acimutales de los pares PEM-polarizador con respecto al plano de la incidencia utilizando un mecanismo de rotación mecánico.

50 Una desventaja inherente al uso de rotadores mecánicos es que deben usarse dispositivos muy precisos (y por lo tanto caros) para obtener una buena precisión en la rotación del acimut del generador de estados de polarización (PSG) y/o del analizador de estados de polarización (PSA). La rotación del PSG y/o PSA puede modificar la dirección de propagación del haz luminoso. Esto es debido principalmente a la alineación imperfecta de los componentes ópticos que forman el PSG y el PSA y debido a que el haz de luz que no incide totalmente perpendicular en sus superficies. Existirá un ángulo de incidencia pequeño, pero generalmente no insignificante, para luz dirigida hacia estos elementos ópticos (p. ej. los polarizadores y los PEMs). Si se considera, como una estimación aproximada, que el PSG es un único elemento óptico de SiO_2 (cuarzo) con un espesor de 50 mm (el espesor de la barra óptica del PEM junto con la del polarizador es generalmente más alto), para una desalineación de 1° , la ley de Snell indica que el haz a la salida del PSG estará desplazado lateralmente alrededor de 0.6 mm respecto del haz de entrada.

60 Si se considera la rotación acimutal de todo el PSG se podría también tener en cuenta que el eje de rotación podría no estar perfectamente alineado con el haz de luz ni con la normal a la superficie. Todo esto lleva a desviaciones del haz de luz que varían según la posición acimutal del PSG. Estas desviaciones dan lugar a pequeñas, pero notables, diferencias en el área iluminada de la muestra en función de la posición angular del PSG y/o del PSA que puede llevar a errores importantes en la medición de la matriz de Mueller, si las muestras investigadas no son homogéneas en el plano. Por lo tanto, la rotación mecánica de un PSG y/o PSA (en particular, para PSG o PSA gruesos) no puede ser compatible con muestras que requieren la medida de la matriz completa de Mueller con elevada resolución lateral.

Existe por lo tanto la necesidad de un método y sistema para la determinación parcial o total de una matriz de Mueller con mejor resolución lateral. También existe la necesidad de un método y sistema para la determinación parcial o total de una matriz de Mueller, que puede ser utilizada para muestras altamente inhomogéneas. Existe también la necesidad de un método y un sistema de determinar una matriz completa de Mueller sin necesidad de utilizar elementos de rotación mecánicos.

Es objeto de la presente invención satisfacer al menos parcialmente estas necesidades.

Explicación de la invención

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para la determinación de una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller indicativa de uno o más parámetros ópticos de una muestra a analizar, donde el método comprende generar radiación electromagnética, polarizar la radiación, dirigir la radiación hacia la muestra a analizar y permitir que la radiación interaccione con la muestra, recoger al menos una porción de la radiación reflejada transmitida o dispersada por la muestra, analizar el estado de polarización de la radiación recogida y determinar una pluralidad de elementos de la matriz de Mueller, donde la radiación electromagnética recogida es substancialmente monocromática, y donde el ángulo acimutal del estado de polarización de la radiación se modifica antes y/o después de la interacción de la radiación con la muestra haciendo pasar la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio.

En este aspecto de la invención, en lugar de un sistema de rotación mecánico utilizado generalmente en el estado de la técnica, se utiliza un elemento con poder óptico rotatorio para cambiar el ángulo de acimut del estado de polarización en una cantidad determinada. El ángulo de acimut (también conocido como el “ángulo de inclinación”) de un estado de polarización es el ángulo entre el semieje principal y el eje x de una elipse de polarización. El uso de dicho elemento con poder óptico rotatorio en lugar de la rotación mecánica permite mejorar la resolución espacial de las medidas. También puede reducir el tamaño y el precio de los instrumentos utilizados en la determinación parcial o determinación completa de una matriz de Mueller.

En el contexto de la presente invención, se entiende como un elemento con poder óptico rotatorio cualquier elemento capaz de girar apreciablemente el plano de polarización de la radiación electromagnética respecto a la dirección del movimiento a medida que la radiación viaja a través de él.

Opcionalmente, el elemento con poder óptico rotatorio es una lámina de un cristal ópticamente activo. A pesar de que se podrían utilizar varios tipos diferentes de cristales ópticamente activos, en las realizaciones preferidas, la lámina puede ser una lámina de cuarzo cortada de manera que su eje óptico es perpendicular a las caras ópticas de la lámina. El cuarzo es relativamente barato y las láminas de cuarzo pueden ser fabricadas con relativa facilidad. En realizaciones de la invención, la lámina de cuarzo puede tener un espesor sustancialmente entre 0.1 mm y 2 mm. En algunas realizaciones, la lámina de cuarzo puede tener un espesor sustancialmente entre 0.25 mm y 1 mm. El espesor de la lámina podrá determinarse de acuerdo con la longitud de onda de la radiación que se utiliza en las medidas. La medida en que un estado de polarización es girado por el cuarzo depende de la longitud de onda. Por ejemplo, para la radiación de longitud de onda de 589.4 nm, el poder rotatorio óptico del cuarzo es 21.7°/mm. Dependiendo de la longitud de onda, el espesor del cuarzo puede por tanto variar para conseguir una cierta rotación. En general, cuanto más delgada sea la lámina de cuarzo (o de otro cristal), mejor será la resolución espacial que se puede conseguir. Las láminas de cuarzo muy delgadas son normalmente adecuadas para las medidas en el rango ultravioleta, ya que el cuarzo tiene un gran poder rotatorio en este rango de longitudes de onda. El sistema puede calibrarse para la cantidad de rotación inducida por el elemento con poder rotatorio.

En algunas realizaciones, la medida parcial o completa de una matriz de Mueller puede realizarse para una variedad de longitudes de onda (“espectroscópicamente”). En estas realizaciones, la calibración de la rotación proporcionada por una lámina cristalina (o de otro elemento con poder rotatorio óptico) debe realizarse también espectroscópicamente. Y en el caso de un rango espectroscópico amplio puede ser necesario o ventajoso utilizar una pluralidad de láminas de cuarzo de espesor diferente para longitudes de onda de diferentes regiones. Rotaciones ópticas entre $\pm 15^\circ$ y $\pm 75^\circ$ son generalmente deseables (siendo $\pm 45^\circ$ el valor óptimo) para la determinación de la matriz de Mueller. Dentro del ámbito de la presente invención, la longitud de onda, el tipo de cristal y el espesor de un cristal pueden variar libremente según las circunstancias.

En otras realizaciones, el elemento con poder óptico rotatorio está hecho de un metamaterial. Los metamateriales son materiales artificiales que pueden ser diseñados para proporcionar ciertas propiedades deseadas.

Metamateriales con un deseado poder óptico rotatorio pueden utilizarse ventajosamente en realizaciones de la invención. En realizaciones adicionales el elemento con poder óptico rotatorio es una célula de cristal líquido.

Opcionalmente, polarizar la radiación comprende sustancialmente variar continuamente el estado de polarización de la radiación polarizada. La modulación de la polarización con respecto del tiempo permite determinar más elementos de la matriz de Mueller. La intensidad de la luz que es recogida después de la reflexión/transmisión/refracción en la muestra variará de acuerdo con la variación de la polarización. El análisis de esta variación temporal, puede proporcionar más elementos de la matriz de Mueller que en los sistemas sin modulación.

Opcionalmente, el método comprende adicionalmente polarizar una parte de la radiación reflejada, transmitida o dispersada por la muestra. Preferiblemente, polarizar una parte de la radiación reflejada, transmitida o dispersada por la muestra comprende variar continuamente el estado de polarización de la radiación polarizada. Mediante el uso de dos sistemas de polarización modulada con frecuencias de modulación temporal diferentes, se podrán determinar más elementos de la matriz de Mueller con las medidas. En estas realizaciones, se cambia el estado de polarización de la radiación al menos una vez más (por medios adecuados como un modulador o un segundo polarizador con o sin modulador) antes y/o después de la interacción de la radiación con la muestra.

Opcionalmente, la radiación electromagnética generada es monocromática. Dicha radiación monocromática se puede generar utilizando p. ej. un láser. Alternativamente, la radiación electromagnética generada no es monocromática, y en su lugar se utiliza un monocromador para seleccionar una banda estrecha de longitudes de onda de la radiación emitida por la fuente, reflejada, transmitida o dispersada por la muestra o recogida por el detector.

En algunas realizaciones, un método para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller puede comprender sustancialmente realizar el método descrito anteriormente, donde el estado de polarización sólo se gira antes de la interacción de la radiación con la muestra dirigiendo la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio, y repetir el método, donde ahora el estado de polarización sólo se gira después de la interacción de la radiación con la muestra dirigiendo la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio, repitiendo otra vez el método, donde ahora el estado de polarización se gira antes y después de la interacción de la radiación con la muestra dirigiendo la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio, y finalmente repitiendo el método, en el que ahora no se rota el estado de polarización ni antes ni después de la interacción de la radiación con la muestra. En estas realizaciones, se podrán determinar todos los elementos de la matriz de Mueller (dependiendo de si están presentes uno o dos sistemas polarizadores y dependiendo de si presentan una dependencia temporal o no).

En algunas realizaciones, puede repetirse para diferentes longitudes de onda sustancialmente un método como el descrito anteriormente. También, puede repetirse para diferentes partes de la muestra sustancialmente un método como el descrito anteriormente. Esto puede ser especialmente útil para las muestras no homogéneas.

En otro aspecto, la invención proporciona un sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller indicativa de uno o más parámetros ópticos de una muestra a analizar, que comprende una fuente para generar radiación electromagnética, un primer sistema polarizador para polarizar la radiación y un detector para recoger al menos una parte de la radiación reflejada, transmitida o dispersada por la muestra y para detectar la intensidad de la radiación recogida, y que además comprende un primer elemento con poder óptico rotatorio para girar el estado de polarización y unos primeros medios para posicionar de forma selectiva y quitar dicho primer elemento con poder óptico rotatorio en un trayecto recorrido por la radiación electromagnética entre el primer sistema de polarización y el detector.

En este aspecto, se proporciona un sistema que permite múltiples medidas en el que el estado de polarización puede o no puede ser rotado, similar a los sistemas existentes que utilizan rotadores mecánicos para girar los sistemas polarizadores. Sin embargo, los elementos de poder óptico rotatorio permiten una resolución más alta en las medidas y pueden hacer que un sistema de este tipo sea más barato que un sistema equivalente que utilice la rotación mecánica.

Opcionalmente, el sistema puede comprender adicionalmente un segundo elemento con poder óptico rotatorio y unos segundos medios para posicionar de forma selectiva y quitar el segundo elemento con poder óptico rotatorio en un trayecto recorrido por la radiación electromagnética entre el polarizador y el detector. En una realización preferida, el primer elemento con poder óptico rotatorio se puede posicionar selectivamente y quitar en un trayecto de iluminación que se extiende entre el sistema polarizador y la muestra a analizar, y el segundo elemento con poder óptico rotatorio se puede posicionar y quitar en el trayecto de recogida entre la muestra a analizar y el detector. En estas realizaciones, el sistema permite realizar medidas donde se gira el estado de polarización con un elemento con poder óptico rotatorio antes de la interacción con la muestra, o después de la interacción con la muestra, o en ambos casos. También permite una medida donde el estado de polarización no se gira con los elementos de poder óptico rotatorio. Estas medidas pueden combinarse para determinar más o incluso todos los elementos de la matriz de Mueller.

En algunas realizaciones, el sistema puede incluir un segundo sistema de polarización para polarizar al menos una parte de la radiación que es reflejada, y/o transmitida y/o dispersada por la muestra a analizar. Opcionalmente, el primer sistema polarizador comprende un primer polarizador lineal y un primer modulador. Opcionalmente, el segundo sistema polarizador comprende también un segundo polarizador lineal y un segundo modulador. El primer y/o el segundo modulador pueden ser moduladores fotoelásticos. Alternativamente, se pueden utilizar compensadores rotatorios o cristales líquidos con retardación variable. Los moduladores fotoelásticos presentan generalmente la ventaja de una frecuencia de funcionamiento muy constante y una alta calidad óptica.

En algunas realizaciones, el detector comprende un tubo fotomultiplicador. En otras realizaciones, el detector puede comprender un fotodiodo. En otras realizaciones adicionales, el detector puede comprender un sensor CCD. La elección entre estos diferentes tipos de detectores puede depender, p. ej., de la sensibilidad necesaria, velocidad de modulación, circuitos de control que se utilizan y coste.

En algunas realizaciones, los primeros medios para posicionar de forma selectiva y quitar el primer elemento con poder óptico rotatorio y/o los segundos medios para posicionar de forma selectiva y quitar el segundo elemento con poder óptico rotatorio comprenden una rueda de filtros. Las ruedas de filtros generalmente comprenden un disco con una pluralidad de aberturas que pueden contener (en el caso de la presente invención) elementos de poder óptico rotatorio, como p. ej., una lámina de un cristal ópticamente activo. Las ruedas de filtros pueden utilizarse ventajosamente en la presente invención ya que por simple rotación de la rueda, el elemento de poder óptico rotatorio se puede colocar en la trayectoria recorrida por la luz y mediante una rotación adicional de la rueda, el mismo elemento se puede quitar del trayecto recorrido por la luz (la apertura de la rueda de filtros que está en este caso en el trayecto recorrido por la luz puede estar vacía). Las ruedas de filtros tienen la ventaja adicional de que en la misma rueda se pueden colocar diferentes elementos con poder óptico rotatorio. Así, el sistema puede adaptarse a la operación en, p. ej., diferentes longitudes de onda. Las ruedas de filtros pueden acoplarse fácilmente a un motor dotado de un circuito de control. Sin embargo, también puede utilizarse cualquier otro medio para posicionar de forma selectiva un elemento con poder óptico rotatorio, como p. ej., los sistemas basados en la translación en lugar de la rotación.

En algunas realizaciones, el sistema puede incluir además un soporte móvil para apoyar la muestra a analizar. En este aspecto de la invención, la porción de la muestra que se analiza se puede variar fácilmente. Por lo tanto, estos sistemas pueden ser especialmente útiles para muestras heterogéneas.

En algunas realizaciones, el sistema puede además constar de una lente y/o un espejo para enfocar la radiación electromagnética en la muestra y volver a colimar posiblemente la radiación reflejada, transmitida o dispersada después de la muestra.

En todavía otro aspecto, la invención proporciona el uso de un elemento con poder óptico rotatorio para cambiar el ángulo de acimut del estado de polarización en un método o sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller. En algunas realizaciones, el elemento con poder óptico rotatorio se puede utilizar en un polarímetro o elipsómetro, pero también en un microscopio o p. ej., un polarímetro confocal.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones particulares de la presente invención, sólo a modo de ejemplos no restrictivos, con referencia a los dibujos anexados, en los que:

Las fig. 1a - 1c ilustran una pluralidad de realizaciones de sistemas para determinar uno o más elementos de una matriz de Mueller, de acuerdo con la presente invención;

La fig. 2a ilustra esquemáticamente otra realización de un sistema para determinar uno o más elementos de una matriz de Mueller, de acuerdo con la presente invención; y

La fig. 2b ilustra los circuitos de control que pueden ser utilizados en la realización de la fig. 2a.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

La fig. 1a ilustra una primera realización de un sistema para determinar uno o más elementos de una matriz de Mueller, de acuerdo con la presente invención. Esta realización comprende un láser 10 que emite radiación electromagnética monocromática. Un polarizador 20 se utiliza para polarizar la radiación electromagnética. El polarizador 20 puede estar formado p. ej., por una lámina cuarto de onda, un polarizador en lámina delgada, cristales ópticamente activos o cualquier otro polarizador. Un polarizador 20 está acoplado con un modulador de 25. Una opción es que el polarizador 20 polarice linealmente la radiación y el modulador 25 sustancialmente varíe continuamente el estado de polarización en el tiempo, desde un estado de polarización lineal a un estado circular y todos los estados de polarización entre ellos. El modulador puede estar formado p. ej. por un modulador fotoelástico (PEM).

El elemento 30 con poder óptico rotatorio puede colocarse selectivamente en una trayectoria recorrida por la radiación para girar de forma selectiva el estado de polarización. Así, el ángulo de acimut del estado de polarización se cambia en una cantidad predeterminada. La radiación electromagnética polarizada se dirige sobre la muestra 40. La radiación reflejada es recogida por un detector 50 que puede ser p. ej. un tubo fotomultiplicador (PMT).

La intensidad de la luz detectada por el detector 50 variará con el tiempo debido a que el estado de polarización de la radiación electromagnética varía con el tiempo bajo la influencia del modulador. Analizando el cambio de la intensidad con el tiempo, puede determinarse una pluralidad de elementos de la matriz de Mueller relativos a un área específica de la muestra. Además, en esta realización, el elemento 30 con poder óptico rotatorio puede colocarse selectivamente en una trayectoria recorrida por la radiación. De esta forma, se pueden hacer medidas con o sin el elemento 30 en dicho trayecto. Esto aumenta el número de elementos de la matriz de Mueller que pueden ser determinados.

La fig. 1b muestra una realización más de la presente invención. Se han usado los mismos signos de referencia para denotar los mismos componentes. Una diferencia con respecto a la realización de la fig. 1a es que la radiación recogida por el detector 50 no se refleja en la muestra, sino que más bien se transmite a través de la muestra. Una

diferencia más con respecto a la realización anterior es que se utiliza un segundo polarizador 60 con modulador 65 y el elemento 35 con poder óptico rotatorio se coloca detrás de la muestra. En esta realización, el polarizador 20 no tiene un modulador. El elemento 35 puede colocarse de forma selectiva en o fuera del trayecto recorrido por la radiación.

Utilizando el elemento 35 y un segundo polarizador 60, podrá determinarse la influencia de la muestra 40 en una gran variedad de estados de polarización.

La fig. 1c ilustra todavía una realización adicional de la presente invención. El signo de referencia 10 se utiliza otra vez para indicar un láser emisor de radiación electromagnética. Un primer polarizador 20 está acoplado a un modulador 25, formando un primer generador de estados de polarización (PSG). También se proporciona un segundo polarizador 60 colocado "más abajo" de la muestra. Un primer elemento 30 y un segundo elemento 35 con poder óptico rotatorio se utilizan para girar de forma selectiva el estado de polarización antes y/o después de la interacción de la radiación con la muestra.

En el ámbito de la presente invención, son posibles muchas variaciones de las realizaciones de las figs. 1a - 1c, por ejemplo: en lugar de una fuente monocromática, como un láser, puede utilizarse cualquier otra fuente de luz en combinación con un monocromador. En lugar de un PMT, podrán utilizarse otros detectores como un fotodiodo o un sensor CCD. Además, queda claro que de conformidad con las circunstancias, podrá utilizarse cualquier medio adecuado para dirigir la luz hacia una muestra, como p. ej., fibras ópticas, lentes, máscaras de agujero de alfiler ("pinholes") etc. Por lo tanto, no es necesario en absoluto que la fuente de luz esté dirigida hacia la muestra.

Aunque en la figs. 1a - 1c, la radiación electromagnética (luz) ha sido representada como un solo rayo (usando una sola línea recta), debe tenerse en cuenta que en realidad la radiación puede formar un haz de luz.

La fig. 2a ilustra esquemáticamente un montaje experimental de una realización de la presente invención. Una fuente 11 emite luz no monocromática. En un montaje experimental, se utilizó una lámpara de arco de xenón de 75 vatios. La luz emitida es dirigida hacia una fibra óptica 13. El otro extremo de la fibra óptica 13 está conectado a la entrada de un módulo de óptica de enfoque 15 que focaliza la luz en un punto a cierta distancia del módulo 15. La muestra 40 se coloca en este punto. En un experimento, esta distancia se fijó en 50 cm.

El diámetro del haz (diámetro del haz de luz que incide en la muestra 40) puede ser afinado cambiando el diámetro de una máscara de agujero de alfiler (pinhole) 14 al final de la fibra 13.

La luz emergente del módulo de enfoque 15 pasa a través del generador de estados de polarización (PSG) 21, que podrá incluir una pareja polarizador-modulador fotoelástico (PEM). El polarizador 22 puede acoplarse al PEM 24 mediante un rotador manual de precisión y puede estar orientado a $\pm 45^\circ$ con respecto al eje de modulación del PEM 24. El PEM 24 pueden tener una frecuencia resonante de aproximadamente 50 kHz.

La muestra 40 está situada en el punto de focalización entre el PSG y el analizador de estados de polarización (PSA) 26. El PSA 26 comprende un segundo PEM 27 y un segundo polarizador 28. La frecuencia nominal de operación del PEM 27 puede ser escogida con un valor diferente del de la frecuencia de operación del PEM 24 y puede ser p. ej. 60 kHz. Como en el caso del PSG 21, el polarizador 28 puede también estar montado utilizando un rotador manual de precisión y puede estar orientado a $\pm 45^\circ$ con respecto al eje de modulación del PEM 27.

En esta realización, un primer elemento con poder óptico rotatorio 30 puede ser selectivamente colocado en el trayecto entre el PSG 21 y la muestra 40. Un segundo elemento con poder óptico rotatorio 35 puede ser selectivamente colocado en el trayecto entre la muestra 40 y el PSA 26. Los elementos 30 y 35 podrían p. ej. estar montados en ruedas de filtros que comprendan uno o más elementos con poder óptico rotatorio. La rotación de la rueda de filtros puede colocar o quitar los elementos del trayecto recorrido por la luz.

Al final del PSA 26, una lente 71 focaliza la luz en el núcleo de una fibra óptica 56. La luz proveniente de la fibra óptica puede pasar a través de un filtro óptico (para eliminar efectos de segundo orden) antes de entrar en el accesorio de acoplamiento 53 del monocromador 52. En esta realización, este accesorio de acoplamiento utiliza un par de espejos para situar la imagen de luz proveniente de la fibra en una rendija de entrada del monocromador. La intensidad de luz puede ser detectada en la rendija de salida mediante un tubo fotomultiplicador (PMT) 54.

La fig. 2b ilustra esquemáticamente la circuitería electrónica de control y detección que puede ser utilizada en combinación con la realización de la fig. 2a. El sistema de control comprende una unidad de control 110 para controlar las ruedas de filtros en las cuales están montados el primer y el segundo elemento con poder óptico rotatorio (30 y 35).

La circuitería de control puede comprender adicionalmente un módulo de posicionamiento 120 que controlaría un soporte móvil 42 sobre el cual estaría situada la muestra 40. Preferentemente, la posición de la muestra puede estar controlada en las direcciones vertical y horizontal. De esta manera, se puede determinar una área precisa de la muestra a investigar. El módulo de posicionamiento 120 podría p. ej. controlar dos motores paso a paso conectados al soporte móvil 42.

La señal del PMT 54 es en forma de fotocorriente, que en primer lugar puede convertirse en tensión mediante un preamplificador conversor de corriente a voltaje 57. La señal proveniente del preamplificador 57 puede ser introducida en un circuito de control realimentado 59 para el PMT 54. Este circuito de realimentación 59 sirve para regular dinámicamente la alta tensión proporcionada a la cadena de díodos del PMT 54. El circuito puede estar diseñado de manera que la parte DC de la señal proveniente del preamplificador 57 se mantenga en un valor constante, que puede escogerse por el usuario (p. ej. a 0.5 V). Esta alta tensión proporcionada por el circuito de realimentación del PMT cambiará automáticamente aumentando (o disminuyendo) dependiendo de si el número de fotones que llegan al PMT 54 disminuye (o aumenta).

El voltaje aplicado al PMT 54 puede visualizarse p.ej. mediante un monitor LCD (no mostrado en la figura) instalado en la misma carta del circuito. Esta función puede ser útil para un usuario durante la alineación (usualmente la mejor alineación se logra cuando este valor es minimizado) o con el fin de reconocer situaciones cuando la luz no llega al detector.

La forma de onda de voltaje del preamplificador es digitalizado por un digitalizador 140 instalado como una carta suplementaria en el ordenador de control. Varios de los parámetros de la digitalización pueden ser controlados, entre los cuales el tiempo de adquisición, que generalmente se mantiene en $0.5 \mu s$ (corresponde a una velocidad de muestreo de 2000000 muestras por segundo) y la longitud de la forma de onda capturada que se mantiene en 16384 puntos. La captura de la forma de onda se inicializa mediante un pulso de disparo que proviene de un circuito disparador 135 que genera un evento de disparo cada vez que las salidas de referencia monitorizadas de los PEMs están en fase. Un segundo canal del digitalizador 140 se utiliza para medir la tensión aplicada al PMT 54. Esta medida puede ser útil para distinguir las áreas de la muestra con diferente transmitancia.

Cada PEM puede ser un dispositivo resonante, en el que sólo la amplitud de la modulación puede ser controlada electrónicamente. El control del PEM 23 puede controlar la amplitud de la modulación del PSG 21. El control del PEM 29 puede controlar la amplitud de la modulación del PSA 26. La frecuencia y fase son características propias del PEM y no se pueden ajustar externamente. Mediante un convertidor A/D 130, se pueden obtener las señales de control para el control del PEM 29 y el control del PEM 23.

El circuito de coincidencia 135 permite tratar este problema buscando las coincidencias de fase entre las señales de referencia procedentes de los PEMs. Como el período de los dos moduladores son $20 \mu s$ y $16.67 \mu s$ respectivamente, después de cinco ciclos completos del PEM 22 y después de seis ciclos completos del PEM 27, las fases de los dos moduladores son muy similares.

El circuito de coincidencia 135 puede tener un tiempo de puerta ajustable, que determina la precisión de la coincidencia de fase: cuanto menor sea el tiempo de la puerta, menor será el número de eventos de disparo, pero más precisa será la fase. Para las mediciones estándar, el momento de la puerta de nuestro circuito de coincidencia se ajusta para que las salidas de referencia monitorizadas estén entre $0^\circ \pm 0.5^\circ$.

El instrumento completo puede ser controlado a través de un ordenador personal, que interactúa con cada uno de los componentes de hardware de electrónica a través de un bus de ordenador 150. Un osciloscopio de 4 canales externo 145 puede utilizarse para permitir que un usuario visualice la forma de onda del voltaje y las señales de referencia que provienen de los PEMs 22 y 27. Sin embargo dicho osciloscopio no tiene ninguna contribución más en la medida.

Determinación de los elementos de la matriz de Mueller

A continuación, seguirá una descripción explicativa de las ecuaciones matemáticas que intervienen en los métodos y sistemas en que se basa la presente invención. Se pondrá de manifiesto que las ecuaciones exactas para solucionar la determinación de una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller dependerá de los componentes específicos del sistema (p. ej., lámina de cuarzo u otro elemento con poder óptico rotatorio, uno o más polarizadores con o sin modulador etc).

El estado de polarización de cualquier haz luminoso puede ser descrito mediante el vector de Stokes.

La matriz de Mueller de un rotador óptico ideal de ángulo θ puede ser descrita por:

$$M_{\theta} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\theta & \sin 2\theta & 0 \\ 0 & -\sin 2\theta & \cos 2\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Eq. (1)}$$

Dicho elemento transforma cualquier vector de Stokes S incidente en un vector emergente de Stokes rotado S_θ según:

$$S_\theta = M_\theta S \quad \text{Eq. (2)}$$

Si se asume que el rotador óptico es una lámina de cristal alfa-cuarzo con poder óptico rotatorio ρ que está cortado de manera que el eje óptico es paralelo a la dirección de propagación de la luz, la matriz de Mueller de dicha lámina puede ser descrita por:

$$M_Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 2\rho & \sin 2\rho & \alpha \\ 0 & -\sin 2\rho & \cos 2\rho & \beta \\ 0 & \gamma & \delta & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Eq. (3),}$$

donde α , β , γ , y δ son debidos a la pequeña birrefringencia lineal que las láminas de cristal de cuarzo pueden presentar debido a un corte imperfecto o a un posible desalineamiento del eje óptico respecto del haz de luz. Para elementos de cuarzo de alta calidad y bien alineados α , β , γ , y δ pueden generalmente estar muy cercanos a cero.

La rotación óptica ρ puede expresarse como [Arteaga *et al*, 2009]:

$$\rho = \frac{\pi}{\lambda} (n_- - n_+) d \quad \text{Eq. (4),}$$

donde λ es la longitud de onda, d es el espesor del elemento de cuarzo y n_- y n_+ son, respectivamente, los índices de refracción para la luz polarizada levógira y dextrógira.

Si dos láminas de cuarzo con matrices de Mueller M_{Q0} y M_{Q1} pueden ser situadas selectivamente y quitadas en un polarímetro, estando M_{Q0} situada entre el PSG y la muestra y M_{Q1} entre la muestra y el PSA, la intensidad de luz que se registra en el detector de luz viene dada por una de estas cuatro posibles configuraciones.

$$\text{Ambos elementos de cuarzo:} \quad I = S_{PSA}^T M_{Q1} M M_{Q0} S_{PSG} \quad \text{Eq. (5a)}$$

$$\text{Solo el primer elemento de cuarzo:} \quad I = S_{PSA}^T M M_{Q0} S_{PSG} \quad \text{Eq. (5b)}$$

$$\text{Solo el segundo elemento de cuarzo:} \quad I = S_{PSA}^T M_{Q1} M S_{PSG}, \quad \text{Eq. (5c)}$$

$$\text{Sin elementos de cuarzo:} \quad I = S_{PSA}^T M S_{PSG}, \quad \text{Eq. (5d),}$$

donde S_{PSG} es el vector de Stokes que representa la luz incidente después de pasar por el PSG, S_{PSA}^T es la traspuesta del vector de Stokes asociado al PSA, y M es la matriz de Mueller de la muestra a estudiar.

En cuanto las matrices M_{Q0} y M_{Q1} sean conocidas (mediante una calibración apropiada del elemento con poder óptico rotatorio), la combinación de las medidas de intensidad tomadas en dos o más de las cuatro posibles configuraciones descritas por las Ec. (5) proporcionarán claramente más información sobre la matriz de Mueller de la muestra que una única medida en la configuración estándar sin rotación óptica representada por la Ec. (5d).

El conjunto de ecuaciones que deben solucionarse para encontrar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller para una muestra investigada variará dependiendo de si sólo se utiliza un PSG, o si se utilizan los dos PSG y PSA, y de si el PSG y PSA están modulados o no, y de la manera en que uno o más elementos con poder óptico rotatorio sean usados. También la cantidad de elementos de una matriz de Mueller que puedan determinarse puede depender de los mismos factores. Con la configuración mostrada en la fig. 2a, pueden determinarse todos los dieciséis elementos de la matriz de Mueller.

El procedimiento matemático para incluir el efecto de las láminas de cuarzo en la medida puede ser análogo al procedimiento utilizado para las ventanas en las medidas de elipsometría, como se muestra en [Jellison, 1999], pero considerando que la matriz de Mueller del elemento de cuarzo que actúa como ventana viene dada por la Ec. (3) mencionada anteriormente.

Para conocer el efecto que pueda tener una lámina de cuarzo (u otros elementos con poder óptico rotatorio) en una medida polarimétrica, deberá realizarse una calibración. La calibración deberá repetirse de manera adecuada para un segundo elemento de cuarzo (si este está presente en el instrumento).

El propósito de la calibración es determinar la matriz de Mueller de la lámina de cuarzo (u otro elemento con poder óptico rotatorio). Más en particular, la calibración pretende determinar los parámetros presentes en la Ec. (3): ρ , α , β , γ , y δ antes de realizar cualquier medida elipsométrica o polarimétrica. Todos estos parámetros podrán variar con la longitud de onda, por lo tanto será necesario realizar una calibración espectroscópica en el caso de instrumentos espectroscópicos.

Sin embargo, el parámetro más importante que debe determinarse es p , ya que define la rotación óptica introducida por un elemento rotador de cuarzo dado para una longitud de onda dada. La determinación de los otros cuatro parámetros (α , β , γ , y δ) puede no ser siempre necesaria, y en algunas ocasiones puede ser suficiente determinar uno o dos de ellos. Esto puede depender de las características del PSG y PSA utilizados por el instrumento y de los elementos de la matriz de Mueller de la muestra que han de ser medidos. También, en algunos casos, la suposición inicial que α , β , γ , y δ son cero puede ser aceptable.

ρ puede ser determinado tomando los valores publicados [Arteaga *et al*, 2009] del poder óptico rotatorio del cuarzo y ajustarlos para el espesor d de los elementos de cuarzo utilizados según la Ec. (4). Sin embargo, para medidas más precisas, es generalmente preferible determinar ρ utilizando el elemento rotador de cuarzo con matriz de Mueller M_{Qi} como muestra en transmisión en el mismo instrumento en que el elemento de cuarzo será utilizado como rotador de polarización. En la configuración de calibración de transmisión directa la intensidad detectada corresponderá a

$$I = S_{PSA}^T M_{Qi} S_{PSG} \quad \text{Eq. (6),}$$

donde M_{Qi} es considerada durante la calibración como muestra en estudio. Según la Ec. (3) la determinación de cualquiera de los elementos M_{11} , M_{12} , M_{21} o M_{22} de M_{Qi} es suficiente para obtener ρ . La determinación de α , β , γ , y δ , si es necesaria, puede realizarse respectivamente mediante los elementos M_{13} , M_{23} , M_{31} y M_{32} de M_{Qi} .

Aunque esta invención ha sido descrita en el contexto de algunas realizaciones y ejemplos preferidos, debe entenderse por aquellos expertos en la materia que la presente invención se extiende más allá de las realizaciones específicas descritas hacia otras realizaciones alternativas y/o utilidades de la invención y modificaciones obvias y equivalentes a lo mismo. Así, se pretende que el alcance de la presente invención aquí descrita no deberá verse limitada por las realizaciones preferidas descritas anteriormente, sino que estará determinada únicamente por una adecuada lectura de las reivindicaciones que siguen.

Referencias bibliográficas

[1] O. Arteaga, A. Canillas, and G. E. Jellison, Jr., "Determination of the components of the gyration tensor of quartz by oblique incidence transmission two-modulator generalized ellipsometry", *Appl. Opt.* 48, 5307-5317 (2009).

[2] G. E. Jellison Jr, "Windows in Ellipsometry Measurements", *Appl. Opt.* 38, 4784-4789 (1999).

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller indicativa de uno o más parámetros ópticos de una muestra a analizar, que comprende
 - generar radiación electromagnética,
 - polarizar la radiación,
 - dirigir la radiación polarizada hacia la muestra a analizar y permitir que la radiación interaccione con la muestra,
 - recoger al menos una porción de la radiación reflejada y/o transmitida y/o dispersada por la muestra,
 - detectar la intensidad de la radiación recogida, y
 - determinar una pluralidad de elementos de la matriz de Mueller, donde
 - la radiación electromagnética recogida es substancialmente monocromática, y donde
 - el ángulo acimutal del estado de polarización de la radiación se modifica antes y/o después de la interacción de la radiación con la muestra haciendo pasar la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio.
2. Método según la reivindicación 1, donde el elemento con poder óptico rotatorio es una lámina de un cristal ópticamente activo.
3. Método según la reivindicación 2, donde la lámina está fabricada con cuarzo y tiene su eje óptico perpendicular a las caras de la lámina.
4. Método según la reivindicación 3, donde la lámina de cuarzo tiene un espesor substancialmente entre 0.1 mm y 2 mm.
5. Método según la reivindicación 1, donde el elemento con poder óptico rotatorio está fabricado con un metamaterial.
6. Método según la reivindicación 1, donde el elemento con poder óptico rotatorio es una célula de cristal líquido.
7. Método según cualquier reivindicación anterior, donde polarizar la radiación comprende substancialmente variar continuamente el estado de polarización de la radiación polarizada.
8. Método según cualquier reivindicación anterior, que además comprende polarizar una porción de la radiación reflejada y/o transmitida y/o dispersada por la muestra.
9. Método según la reivindicación 8, donde polarizar la porción de la radiación reflejada y/o transmitida y/o dispersada por la muestra comprende variar continuamente el estado de polarización de la radiación polarizada.
10. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, donde la radiación electromagnética es monocromática.
11. Método para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller indicativa de parámetros ópticos de una muestra a analizar que comprende
 - llevar a cabo un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, donde el estado de polarización es rotado antes de interaccionar la radiación con la muestra haciendo pasar la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio, y
 - llevar a cabo un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, donde el estado de polarización es rotado después de interaccionar la radiación con la muestra haciendo pasar la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio, y
 - llevar a cabo un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, donde el estado de polarización es rotado antes y después de interaccionar la radiación con la muestra haciendo pasar la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio, y
 - llevar a cabo un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, donde sin embargo, el estado de polarización no es rotado por un elemento con poder óptico rotatorio ni antes ni después de interaccionar la radiación con la muestra.
12. Método para determinar una pluralidad de parámetros ópticos de una muestra a analizar que comprende la repetición de un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-11 para diferentes longitudes de onda.

13. Método para determinar una pluralidad de parámetros ópticos de una muestra a analizar que comprende la repetición de un método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 11 en diferentes partes de la muestra.

14. Sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller indicativa de uno o más parámetros ópticos de una muestra a analizar, que comprende

una fuente para generar radiación electromagnética, un primer sistema polarizador para polarizar la radiación y un detector para recoger al menos una porción de la radiación reflejada y/o transmitida y/o dispersada por la muestra y para detectar la intensidad de la radiación recogida, que además comprende

un primer elemento con poder óptico rotatorio para rotar el estado de polarización y primeros medios para posicionar selectivamente o quitar el citado elemento con poder óptico rotatorio en un trayecto recorrido por la radiación electromagnética entre el sistema polarizador y el detector.

15. Sistema según la reivindicación 14, donde la fuente está adaptada para generar substancialmente radiación monocromática.

16. Sistema según la reivindicación 14, que además comprende un monocromador para seleccionar una banda estrecha de longitudes de onda de la radiación.

17. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-16, que además comprende un segundo sistema polarizador para polarizar al menos una porción de la radiación que es reflejada y/o transmitida y/o dispersada por la muestra a analizar.

18. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-17, que además comprende un segundo elemento con poder óptico rotatorio y segundos medios para posicionar selectivamente y quitar el segundo elemento con poder óptico rotatorio en un trayecto recorrido por la radiación electromagnética entre el primer sistema polarizador y el detector.

19. Sistema según la reivindicación 18, donde el primer elemento con poder óptico rotatorio puede ser posicionado selectivamente y quitado en un trayecto de iluminación que se extiende entre el primer sistema polarizador y la muestra a analizar, y donde

el segundo elemento con poder óptico rotatorio puede ser posicionado selectivamente y quitado en el trayecto de recogida entre la muestra a analizar y el detector.

20. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-19, donde el primer sistema polarizador comprende un primer polarizador lineal y un primer modulador.

21. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 17-20, donde el segundo sistema polarizador comprende un segundo polarizador lineal y un segundo modulador.

22. Sistema según las reivindicaciones 20 o 21, donde el primer y/o segundo modulador es un modulador fotoelástico.

23. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-22, donde el primer elemento y/o el segundo elemento con poder óptico es una lámina de un cristal ópticamente activo, teniendo la lámina su eje óptico perpendicular a las caras de la lámina.

24. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-23, donde el detector comprende un tubo fotomultiplicador.

25. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-23, donde el detector comprende un fotodiodo.

26. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-23, donde el detector comprende un sensor CCD.

27. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-26, donde los primeros medios para posicionar selectivamente y quitar el primer elemento con poder óptico rotatorio y/o los segundos medios para posicionar selectivamente y quitar el segundo elemento con poder rotatorio comprende una rueda de filtros.

28. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-27, que además comprende un soporte móvil para posicionar la muestra a analizar.

29. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-28, donde el monocromador está dispuesto con la fuente para generar radiación electromagnética.

30. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-29, que además comprende una lente y/o un espejo para focalizar la radiación electromagnética en la muestra y opcionalmente volver a colimar la radiación reflejada y/o transmitida y/o dispersada después de la muestra.

31. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 14-30, que además comprende medios para dirigir la radiación hacia la muestra.

32. Uso de un elemento con poder óptico rotatorio para cambiar el ángulo de acimut del estado de polarización en un método o sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller.

33. Uso según la reivindicación 32, donde el método o sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller está basado substancialmente en radiación monocromática.

34. Uso según la reivindicación 32 o 33, donde el elemento con poder óptico rotatorio es una lámina de un cristal ópticamente activo.

35. Uso según la reivindicación 34, donde el cristal ópticamente activo es cuarzo y tiene su eje óptico perpendicular a las caras de la lámina.

36. Uso según la reivindicación 35, donde la lámina tiene un espesor substancialmente entre 0.1 mm y 2 mm.

37. Uso según la reivindicación 32 o 33, donde el elemento con poder óptico rotatorio está fabricado con un metamaterial.

38. Uso según la reivindicación 32 o 33, donde el elemento con poder óptico rotatorio es una célula de cristal líquido.

39. Uso según cualquiera de las reivindicaciones 32 - 38 en un polarímetro o elipsómetro.

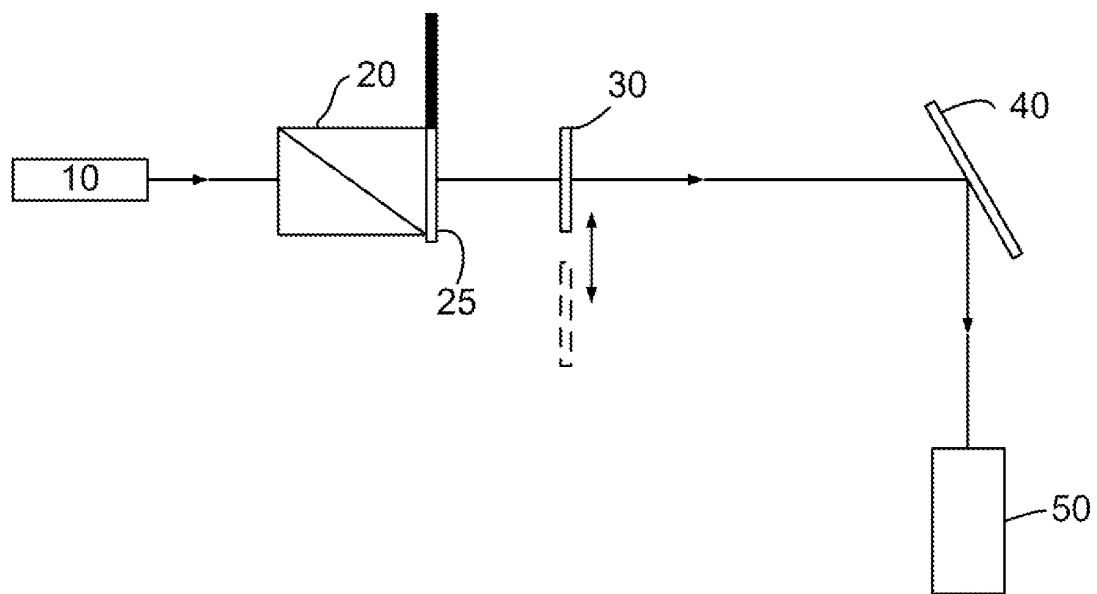


Fig. 1a

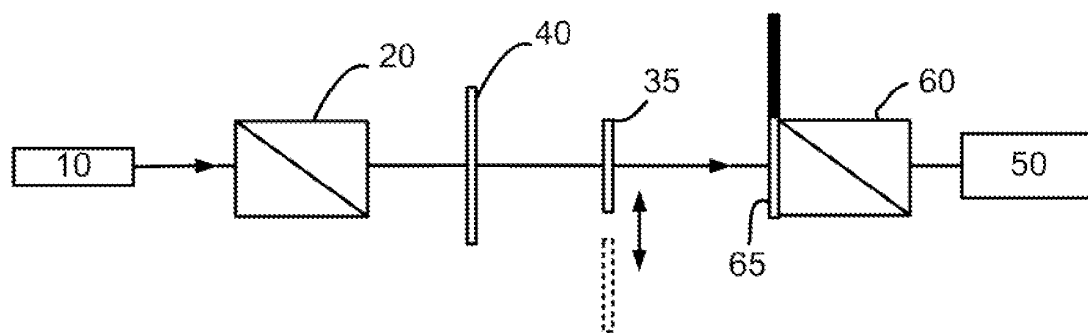


Fig. 1b

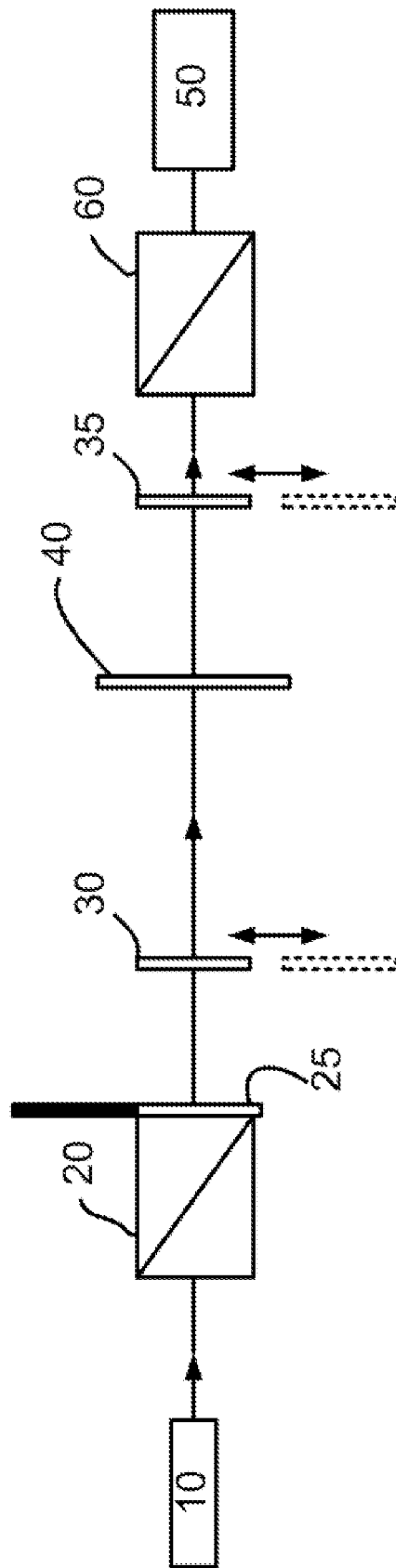


Fig. 1c

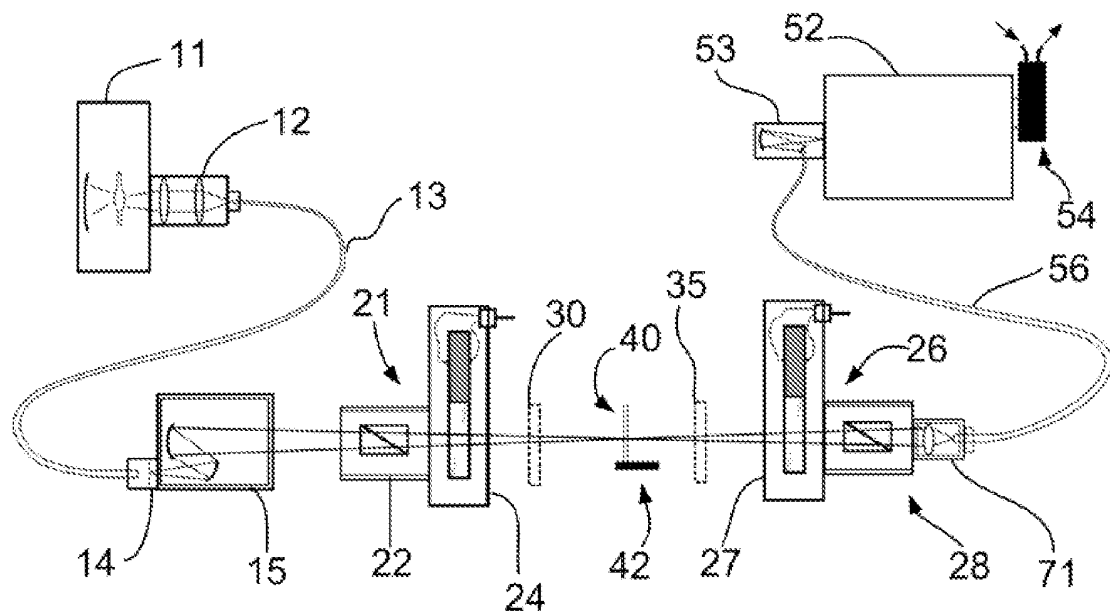


Fig. 2a

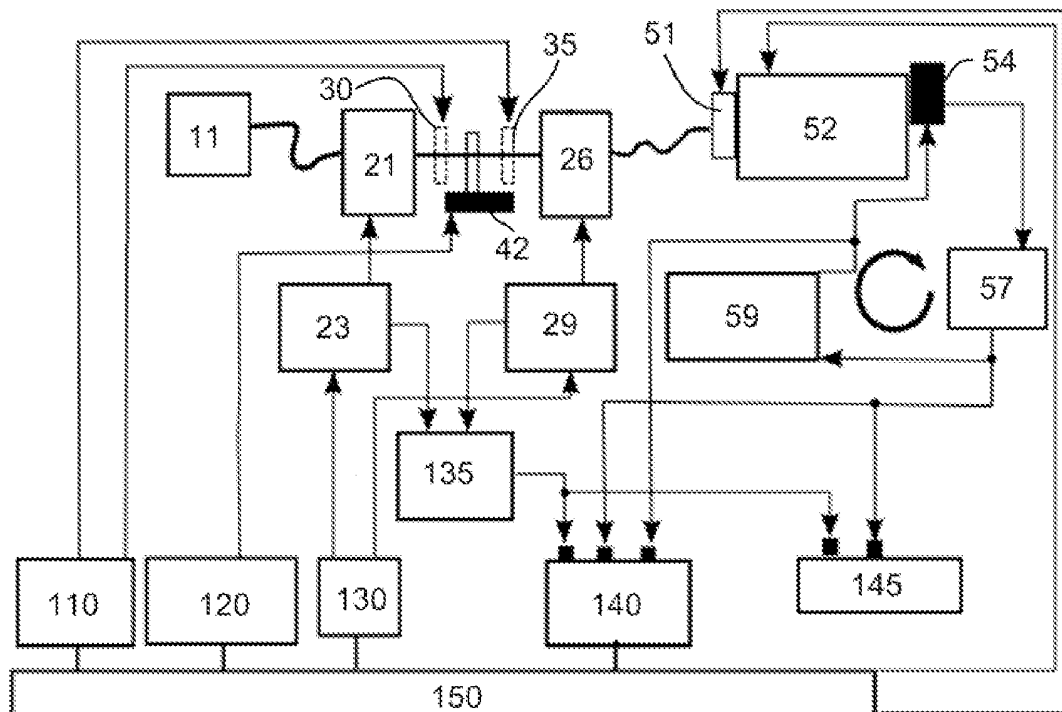


Fig. 2b



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201030789

②② Fecha de presentación de la solicitud: 25.05.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01N21/21** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 6753961 B1 (NORTON, A. et al.) 22.06.2004, resumen; columna 2, líneas 23-62; columna 3, líneas 11-16; columna 3, línea 49 – columna 5, línea 42; columna 6, línea 52 – columna 7, línea 17; figura 1.	1-3,7-10,12,13, 32-35,39
A		11,14-18,20-26, 28-31
A	WO 2010049652 A1 (HORIBA JOBIN YVON SAS et al.) 06.05.2010, todo el documento.	1,6-17,20-22, 24-26,28-32,38,39
A	WO 2007071480 A1 (ECOLE POLYTECHNIQUE) 28.06.2007, resumen; página 1, línea 2 – página 2, línea 4; página 2, línea 28 – página 3, línea 20; página 3, línea 32 – página 7, línea 5; página 8, línea 11 – página 12, línea 22; figura 1.	1,7-17,20-22, 24-26,28-31
A	US 5956147 A (JELLISON, JR. et al.) 21.09.1999, todo el documento.	1,7-17,20-22, 24-26,28-31
A	US 5706212 A (THOMPSON, D. et al.) 06.01.1998, todo el documento.	1,7-17,20-22, 24-26,28-31
A	US 20090051916 A1 (OTANI, Y. et al.) 26.02.2009	

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
30.09.2011

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

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

G01N, G01J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 30.09.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)

Reivindicaciones 4-6,11, 14-31, 36-38

SI

Reivindicaciones 1-3, 7-10, 12, 13, 32-35, 39

NO**Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)**

Reivindicaciones 4-6, 11, 14-31, 36-38

SI

Reivindicaciones 1-3, 7-10, 12, 13, 32-35, 39

NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

Consideraciones:

La presente Solicitud desarrolla, respectivamente en sus reivindicaciones independientes 1 y 14 y las restantes que dependen de estas, un método y un sistema para determinar una pluralidad de elementos de una matriz de Mueller indicativa de parámetros ópticos de una muestra que se ha de analizar, en los que se utiliza radiación electromagnética polarizada que se dirige a una muestra para que interaccione con ella, y la radiación producto de esta interacción (reflejada, transmitida o dispersada) se recoge para detectar su intensidad y determinar así dicha pluralidad de elementos de la matriz de Mueller, de tal manera que dicha radiación recogida es sustancialmente monocromática y se utilizan, además, uno o dos (o ninguno) elementos con poder óptico rotatorio para modificar el ángulo acimutal del estado de polarización de la radiación, antes y/o después de su interacción con la muestra, para obtener, respectivamente para todos los casos posibles de presencia y ausencia de tales elementos ópticos, un correspondiente sistema de ecuaciones matriciales suficiente para deducir, a partir de él, dicha pluralidad de elementos matriciales.

Este método y sistema se van definiendo y concretando, como se ha dicho, a lo largo de las restantes reivindicaciones, que especifican y detallan, respectivamente en sus aspectos de método y de dispositivo, diversas disposiciones estructurales y elementos del sistema de medición, tanto en sus características físicas como en su funcionamiento.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 6753961 B1 (NORTON, A. et al.)	22.06.2004

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-3, 7-10, 12, 13, 32-35 y 39 de esta Solicitud carece de novedad por estar comprendida idénticamente en el estado de la técnica. En efecto, el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría X para dichas reivindicaciones y considerado el estado de la técnica más próximo al objeto en ellas definido, divulga un elipsómetro espectroscópico aplicable (como todo elipsómetro en general) para la medición de elementos de la matriz de Mueller de la muestra que se analiza, cuyo funcionamiento (asimilable a un método) es similar al definido en la primera reivindicación hasta el punto de que puede describirse en los mismos términos que esta. Así, el dispositivo genera radiación electromagnética (preferiblemente, con una lámpara de xenón -columna 3, línea 54), polariza la radiación (polarizador 3 -columna 3, línea 60), dirige la radiación polarizada hacia la muestra a analizar (muestra 6 -Figura 1) y permite que la radiación interaccione con la muestra, recoge al menos una porción de la radiación reflejada y/o transmitida y/o dispersada (al menos las dos primeras opciones se recogen en las realizaciones ilustradas en las figuras de D01), detecta la intensidad de la radiación recogida (detector o espectrómetro 14, que mide intensidades), y determina una pluralidad de elementos de la matriz de Mueller (expresados de forma más general como "características o parámetros seleccionados de una muestra" -resumen), donde la radiación electromagnética recogida es sustancialmente monocromática (se utiliza un monocromador incluido en la fuente luminosa 12 -columna 3, línea 11), y donde el ángulo acimutal del estado de polarización de la radiación (el polarizador 3 es lineal y deja pasar únicamente luz linealmente polarizada con un cierto ángulo) se modifica antes y/o después de la interacción de la radiación con la muestra haciendo pasar la radiación a través de un elemento con poder óptico rotatorio (en una realización, una pieza de cristal de cuarzo con un eje óptico paralelo al camino óptico y, por tanto, perpendicular a las caras del cristal, que rota el plano de la luz linealmente polarizada un cierto ángulo, dependiente de la longitud de onda, y que también puede situarse en el camino de recogida, antes del analizador -último párrafo de la columna 3). Puede concluirse, por tanto, que esta primera reivindicación está idénticamente anticipada en D01 y, por tanto, carece de novedad de acuerdo con el Artículo 6 de la LP.

Puede hacerse un análisis similar respecto a las restantes reivindicaciones de método afectadas en su novedad, dependientes de la primera, cuyas características técnicas también están expresamente recogidas en D01, y con respecto a las reivindicaciones de uso 32-35 y 39, igualmente anticipadas en D01 y que carecen también, por tanto, de novedad según el mencionado Art. 6 LP.

En realidad, el método y dispositivo constitutivos de la verdadera invención contenida en la presente Solicitud son diferentes de los de D01. Sin embargo, la primera reivindicación no recoge todas las características esenciales de esta sino solo algunas, expresando así un método elemental cuyo ámbito, muy generalista, entra fácilmente en conflicto con el estado de la técnica. En concreto, las etapas de introducir y retirar secuencialmente los elementos ópticos rotatorios del estado de polarización para generar ecuaciones matriciales en cantidad suficiente para resolver las incógnitas de la matriz de Mueller, sin necesidad de disposiciones rotativas con las desventajas que estas conllevan, confieren a la invención un carácter inventivo que supera al de la reivindicación 1, donde estas etapas no están presentes (tan solo se alude a la posible presencia de algún elemento óptico con poder rotatorio en alguna posición) y únicamente se expresa un método muy general, superado por la invención. La falta de novedad encontrada puede obviarse, por tanto, añadiendo al método de la reivindicación 1 estas características consideradas esenciales y que, sin embargo, no están recogidas en ella. Se obtendría así un método más concreto y específico, con un ámbito inventivo reducido de tal modo que no entraría ya en conflicto con el estado de la técnica.