



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 342 906**

51 Int. Cl.:
G01N 21/55 (2006.01)
G01J 3/02 (2006.01)
G02B 7/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07729581 .4**
96 Fecha de presentación : **29.05.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2021771**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.02.2009**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de medición que permite caracterizar superficies por reflectometría.**

30 Prioridad: **30.05.2006 FR 06 51951**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.07.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.07.2010

73 Titular/es:
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
25, rue Leblanc
Immeuble "Le Ponant D"
75015 Paris, FR

72 Inventor/es: **Piombini, Hervé y**
Voarino, Philippe

74 Agente: **Justo Bailey, Mario de**

ES 2 342 906 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 342 906 T3

DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento de medición que permite caracterizar superficies por reflectometría.

5 Campo técnico

La invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento de medición de caracterización por reflectometría.

Estado de la técnica anterior

10 Como se describe en el documento referenciado [1] al final de la descripción, la espectrometría es el estudio de la distribución de amplitud o de potencia (cuadrado de la amplitud) de una magnitud en función de la frecuencia. En óptica, el término “espectrometría” designa más particularmente el conjunto de las técnicas instrumentales de análisis de la densidad espectral de potencia, siendo más bien la espectroscopia la ciencia de los espectros (espectroscopias atómica y molecular).

15 La formidable cantidad de informaciones contenida en un espectro óptico de media o alta resolución, unida a los progresos recientes hechos en la construcción de los espectrómetros y su automatización, hace de la espectrometría óptica una técnica con numerosas aplicaciones, desde los controles de proceso en ingeniería química hasta los análisis biomédicos, pasando por la vigilancia del medio ambiente o el control del funcionamiento de una motor de explosión.

El término de “espectrofotómetro” es un término empleado por los químicos y los vendedores de espectrómetros. Es este término el que se utiliza en lo sucesivo.

25 Actualmente, los espectrofotómetros comerciales son unos aparatos que son utilizados clásicamente en transmisión con una buena precisión pero con una precisión media en reflexión. Para ciertas aplicaciones, en particular para los materiales opacos, es necesario conocer el coeficiente de reflexión con una buena precisión. En este caso preciso, las precisiones obtenidas con tal aparato por el National Physical Laboratory (Reino Unido) en unas muestras de aluminio (certificado de calibración) son de $\pm 0,5\%$ en [340-740 nm] y de $\pm 1,1\%$ en [740-850 nm] en 2σ , siendo σ la desviación tipo de la señal medida.

Existen diferentes maneras de medir el flujo reflejado ya sea especular o difuso (utilización de una esfera de integración), ya sea de manera espectral (caso de los espectrómetros clásicos), ya sea de manera temporal (caso de espectrómetros de transformada de Fourier).

35 En el caso de un flujo reflejado especular, que es el de la invención, la reflexión es generalmente obtenida por una modificación de la trayectoria óptica de la vía de medición por introducir la muestra a medir.

40 En este caso, los soportes de pruebas no tienen la rigidez mecánica necesaria para un buen reposicionamiento, y la superficie del círculo luminoso en la muestra es de algunas decenas de mm^2 , lo que comporta una medición global que puede conllevar una imprecisión de medición si la muestra no es perfectamente plana.

El documento referenciado [2] al final de la descripción describe un espectrofotómetro que ha sido desarrollado para medir la reflectancia o la transmitancia absoluta de elementos o de sistemas ópticos.

45 En este espectrofotómetro, un haz monocromático, generado por una lámpara y un monocromador, es dividido por un separador de haz. El haz transmitido y el haz reflejado son dirigidos hacia un disco rotativo con ranuras que entrecorta los dos haces a dos frecuencias diferentes. El haz de medición, que es el haz transmitido por el separador, y el haz de referencia, que es el haz reflejado por el separador, son reflejados de vuelta por unos espejos. La muestra a probar es colocada en el haz de medición. La parte reflejada del haz de medición devuelta y la parte transmitida del haz referencia devuelta son combinadas de nuevo y dirigidas hacia un detector.

50 Este espectrofotómetro permite unas mediciones próximas al eje óptico y fuera de eje óptico. Pero, cuando realiza mediciones fuera de eje óptico, no controla el enfoque en la muestra. Cuando realiza mediciones en el eje óptico, no controla el enfoque y no mide más que unas muestras con una curvatura muy ligera.

La presente invención tiene por objeto resolver tal problema técnico.

60 El documento referenciado [3] describe un reflectómetro que comprende una fuente que emite un haz luminoso, un detector, unos medios de tratamiento y de control de este haz luminoso de manera a enfocararlo en una superficie reflectante a medir en forma de círculo y a recibir el haz reflejado en este detector, una cámara y unos medios para representar visualmente este círculo en este detector y en esta cámara, estando conectada dicha cámara a unos medios de mando y de adquisición de manera a realizar una puesta a punto automática del círculo en la superficie reflectante a medir.

65 El documento referenciado [4] divulga igualmente un reflectómetro que comprende un sistema de puesta a punto automática del círculo utilizando una fuente luminosa blanca y una cámara y un sistema de autoenfoque del círculo en la superficie reflectante utilizando un láser y un detector del foco.

Exposición de la invención

La invención se refiere a un dispositivo de medición de caracterización por reflectometría que comprende una fuente que emite un haz luminoso, un detector, unos medios de tratamiento y de control de este haz luminoso de manera a enfocarlo en una superficie reflectante a medir en forma de círculo y a recibirlo en este detector, unos medios de mando y de adquisición, una cámara y unos medios para representar visualmente este círculo en este detector y en esta cámara, caracterizado porque esta cámara está conectada a los medios de mando y de adquisición de manera a realizar una puesta a punto automática del círculo en la superficie reflectante a medir y a conjugar automáticamente la superficie reflectante a medir con la superficie del detector.

Ventajosamente, la superficie del círculo es inferior a 5 mm^2 .

El dispositivo de la invención permite controlar automáticamente el enfoque del haz incidente en la superficie a medir y la conjugación entre la superficie de la muestra y la superficie del receptor por un tratamiento de imagen.

La invención permite realizar una medición precisa de un objeto situado en el eje óptico o cerca del mismo, de una muestra que presenta una cierta curvatura.

En un modo de realización ventajoso, las ópticas de enfoque utilizadas en detección son sobredimensionadas con respecto a las ópticas de enfoque atravesadas por el haz incidente.

Tal sobredimensionamiento de las ópticas de enfoque permite medir unas curvaturas más importantes que el espectrofotómetro descrito en el documento referenciado [2], que dispone de ópticas de recepción no sobredimensionadas. La utilización de ópticas sobredimensionadas permite tener una abertura digital más potente y, por consiguiente, una mejor precisión de enfoque con un mejor control de la extensión geométrica.

Ventajosamente, el dispositivo de la invención puede comprender un soporte móvil en el que está dispuesta la muestra. El haz luminoso incidente puede ser emitido por un láser. El haz luminoso incidente puede ser transportado por una fibra óptica. El dispositivo de la invención puede comprender unos cubos separadores realizados a partir de empalmes en Y en fibras ópticas.

En un ejemplo de realización, el dispositivo de la invención comprende:

- una fuente luminosa blanca que tiene una fuerte luminancia direccional,
- un condensador esférico,
- una lente de enfoque acromática,
- un monocromador con una rejilla que puede ser escalonada,
- un disco rotativo,
- un sistema óptico de colimación acromática y un filtro espacial,
- una rueda portafiltros,
- un primer cubo separador,
- una vía de referencia que comprende una óptica de enfoque, un fotodiodo conectado a un procesador de mando y de adquisición,
- una vía de la muestra que comprende una óptica de enfoque,
- un soporte sobre el que está montada la muestra y que es regulable por mediación de una unión que utiliza un protocolo de comunicación a través del procesador,
- un segundo cubo separador,
- una vía de medición que comprende una óptica de enfoque acromática, un detector conectado al procesador,
- una vía de representación visual que comprende una óptica de enfoque acromática, un objetivo de microscopio, una cámara conectada al procesador.

La invención se refiere igualmente a un procedimiento de medición de caracterización por reflectometría en el que se trata y se controla un haz luminoso incidente de manera a enfocarlo en una superficie reflectante a medir en forma de un círculo y a recibirlo en un detector, en el que se representa visualmente este círculo en este detector y en una

ES 2 342 906 T3

cámara, caracterizado porque se adquieren los datos en la salida de esta cámara de manera que se realiza una puesta a punto automática del círculo en la superficie reflectante a medir y se conjuga automáticamente la superficie reflectante a medir con la superficie del detector.

5 Ventajosamente, la superficie de este círculo es inferior a 5 mm^2 .

En un modo de realización ventajoso, se utilizan unas ópticas de enfoque en detección sobredimensionadas con respecto a las ópticas de enfoque atravesadas por el haz incidente.

10 Este procedimiento puede comprender las etapas siguientes:

- poner en marcha los instrumentos,

- elegir los parámetros espectrales,

15

- colocar la muestra,

- recorriendo todas las longitudes de onda λ_i , haciendo variar una variable i entre 0 y N:

20 • colocar un monocromador en la trayectoria del haz incidente con una longitud de onda λ_i tal que $\lambda_i = \lambda_{\min} + ix\Delta\lambda$,

• colocar un filtro adecuado en la trayectoria del haz incidente,

• enfocar el haz en la muestra gracias al tratamiento de imagen,

25

• asegurar la posición de la muestra,

• adquirir las señales para la medición.

30

El dispositivo y el procedimiento de la invención son utilizables en unos campos variados tales como los campos de la metrología, de la colorimetría, del control de sistemas ópticos, de los análisis químicos y físicos, de la codificación óptica, y en otros campos diferentes en los que es necesario un estudio de las magnitudes vinculadas a los espectros luminosos.

35

La invención puede ser así utilizada para:

- el control espectral de sistemas ópticos,

40 - la medición de la heterogeneidad de muestras ya que permite realizar unas mediciones locales de reflexión en la superficie de estas muestras, pudiendo ser estas unas placas, unos espejos planos y no planos para la industria óptica u otras,

- la caracterización de la reflexión de muestras ligeramente curvas,

45

- la medición de la reflexión de superficie en el sitio, con una cabeza óptica ajustable, utilizando un aparato portátil,

- la obtención con una gran precisión de datos colorimétricos de la superficie reflectante,

50

- la medición de piezas con forma,

- una adición del dispositivo de la invención en forma de módulo en unos espectrofotómetros existentes,

55 - la determinación de la difusión (BRDF o *Bidirectional Reflectance Distribution Function*) de un objeto con todas las aplicaciones que están asociadas a este tipo de mediciones (control de polución, de rugosidad).

Breve descripción de los dibujos

60 La figura 1 ilustra el dispositivo de medición de la invención.

La figura 2 ilustra la definición de la extensión geométrica.

La figura 3 ilustra la definición en el espacio objeto y en el espacio imagen de la extensión geométrica.

65

Las figuras 4A y 4B ilustran el papel colector de una óptica de enfoque sobredimensionada.

La figura 5 ilustra las diferentes etapas del procedimiento de la invención.

ES 2 342 906 T3

La figura 6 ilustra un ejemplo de realización del dispositivo de la invención.

Las figuras 7A y 7B ilustran la reflexión en función de la longitud de onda respectivamente de un espejo dieléctrico (figura 7A) y de un filtro de paso alto y de una muestra de oro (figura 7B).

La figura 8A ilustra la reflexión en función de la longitud de onda de un espejo esférico, ilustrado en la figura 8B.

Exposición detallada de modos de realización particulares

A continuación, para simplificar la descripción, se considera la superficie reflectante a medir como la superficie de una muestra constituida por un reflector opaco. Pero esta superficie reflectante a medir puede, por supuesto, ser la superficie de un objeto, por ejemplo la de una carrocería de coche.

El dispositivo de medición de caracterización de la invención, ilustrado en la figura 1, comprende:

- una fuente luminosa blanca intensa 10, que emite un haz luminoso 19,

- una óptica 11 de recogida y de enfoque de este haz luminoso 19,

- un monocromador 12, que es un sistema que comprende un elemento dispersivo de prisma o de rejilla (que puede ser escalonada o no) que dispersa la luz blanca siguiendo la longitud de onda y siguiendo diferentes órdenes en el caso de una rejilla,

- un módulo 13 de modulación del haz luminoso, por ejemplo un disco rotativo opaco que tiene unas aberturas transparentes regulares para transmitir la luz de manera síncrona cuando el disco es animado con un movimiento de rotación de velocidad constante, permitiendo minimizar la fuerza gracias a un heterodinaje,

- un módulo 14 de filtración espacial de este haz luminoso,

- una óptica 15 de colimación de este haz luminoso,

- un módulo 34 de filtración de este haz luminoso,

- una primera óptica separadora 16 que divide el haz luminoso 19 en dos haces 22 y 23 que corresponden respectivamente a una vía de referencia y la vía de la muestra.

El dispositivo de medición de la invención comprende, además:

- en la vía de referencia:

• una óptica 17 de enfoque (por ejemplo una lente), y

• un detector 18, conectado a una unidad 30 de mando y de adquisición, que permite una detección síncrona,

- en la vía de la muestra:

• una óptica 20 de enfoque sobredimensionada,

• un dispositivo portamuestras 21, que comprende un soporte móvil en el que es dispuesta una muestra constituida por un reflector opaco, y que devuelve a la óptica 20 de enfoque un haz reflejado 24,

• una segunda óptica separadora 25 de este haz reflejado 24 en dos haces 31 y 32 que corresponden respectivamente a una vía de medición y a una vía de representación visual,

• en la vía de medición, una óptica 33 de enfoque sobredimensionada y un detector 26, conectado a la unidad 30 de mando y de adquisición, que permite una detección síncrona,

• en la vía de representación visual, una óptica 27 de enfoque sobredimensionada, un objetivo 28 de microscopio y una cámara 29 conectada a la unidad 30 de mando y de adquisición.

En este dispositivo el haz 19 se enfoca en la superficie a medir, que aquí es la superficie de una muestra, en forma de círculo que es representado visualmente en el detector 26 y en la cámara 29, lo que permite realizar una puesta a punto automática de la imagen en dicha muestra a controlar y conjugar la superficie de la muestra y la superficie del detector. Tal característica permite diferenciar ventajosamente la invención del documento referenciado [2], en el que solo se enfoca el flujo incidente.

ES 2 342 906 T3

La superficie de este círculo en la muestra es inferior a 5 mm^2 , por ejemplo de entorno a 1 mm^2 , lo que permite medir piezas con forma. Las ópticas de enfoque de recepción pueden ser sobredimensionadas con respecto a las ópticas de enfoque atravesadas por el haz incidente, lo que permite recuperar al máximo el haz incidente cuando el ángulo de incidencia no es nulo. La utilización de ópticas de enfoque sobredimensionadas permite tener una abertura digital imagen más potente y, por lo tanto, una mejor precisión de enfoque con un mejor control de la extensión geométrica. Estas diferentes características permiten tener una buena precisión de medición de la reflexión especular.

Hay, así, conservación de la extensión geométrica vista por el receptor conjugando la superficie reflectante de la muestra (el objeto) y el receptor (la imagen). La extensión geométrica (d^2G) es definida como que es el producto del área del receptor (dA_r), el coseno del ángulo entre la normal local en el receptor y la dirección de recepción (θ_R), y el ángulo en el sólido bajo el que es vista la fuente ($d\Omega_R$), como se ilustra en la figura 2.

$$\text{Queda así: } d^2G = dA_r \cdot \cos\theta_R \cdot d\Omega_R$$

Como las ópticas de enfoque y de colimación son circulares, existe una simetría de revolución alrededor del eje óptico. La extensión geométrica se expresa entonces, siendo θ_M el semiángulo en el vértice de emisión, por: $G = \pi \cdot A_r \cdot \sin^2\theta_M$. La extensión óptica definida con respecto al cuadrado del índice del medio por la extensión geométrica se expresa, según la figura 3, para los espacios objeto e imagen del sistema óptico y recepción 35, que comprende una pupila 36 de entrada y una pupila 37 de salida.

Para el objeto reflector 38:

$$n^2 \cdot G = (\pi \cdot n \cdot R \cdot \sin\theta_M)^2$$

Para la imagen detector 39:

$$n'^2 \cdot G' = (\pi \cdot n' \cdot R' \cdot \sin\theta'_M)^2$$

Si el sistema es aplanético (objeto pequeño y situado cerca del eje óptico), se respeta la relación de los senos de Abbe para tener la siguiente relación:

$$n \cdot y \cdot \sin\alpha_M = n \cdot R \cdot \sin\theta_M = n' \cdot R' \cdot \sin\theta'_M = n' \cdot y' \cdot \sin\alpha'_M$$

donde n (respectivamente n') es el índice medio objeto (respectivamente imagen), y (respectivamente y') la altura del objeto (respectivamente imagen), α_M es el semiángulo en el vértice bajo el que la muestra reflectora ve la pupila de entrada, α'_M es el semiángulo en el vértice bajo el que el detector ve la pupila de salida, R es el rayo de la pupila 36 de entrada, R' es el rayo de la pupila 37 de salida, θ_M es el semiángulo en el vértice bajo el que la pupila 36 de entrada ve la muestra reflectora 38, θ'_M es el semiángulo en el vértice bajo el que la pupila 37 de salida ve el detector 39.

Así, conservando el campo (y) y la abertura (α_M) en el sistema óptico de recepción, por enfoque, la totalidad del haz reflejado es captado por el detector 39. Este enfoque se realiza, para cada longitud de onda λ_i , automáticamente por mediación de un sistema de retroalimentación por representación visual. La cámara 29 da la imagen del haz en la superficie de la muestra a medir. El enfoque se efectúa gracias al reposicionamiento de la muestra 38 siguiendo el eje óptico, y puede tener, como criterio de parada, la nitidez del círculo. Sin embargo, se pueden considerar otros criterios de parada: por ejemplo, la imagen de una mira o de fallos en la superficie de la muestra.

La elección de las ópticas (materiales, diámetros y focales) permite reducir más o menos los costes y los rendimientos del procedimiento. La fuente 10 debe poseer la luminancia espectral más fuerte posible y emitir en un cono pequeño. El haz luminoso inicial 19 tiene un diámetro netamente inferior a los diámetros de las ópticas de enfoque (lentes) y es enfocado en la muestra para tener un área lo más pequeña posible, por ejemplo 1 mm^2 . Así, el círculo luminoso en la superficie de la muestra es netamente más pequeño que el círculo de un espectrofotómetro clásico. El sobredimensionamiento de las ópticas de enfoque con respecto al tamaño del círculo aumenta el ángulo de aceptación i del haz reflejado, como se ilustra en las figuras 4A y 4B: la figura 4A ilustra la reflexión de un haz 41 en un espejo 42 (muestra reflectora) con una lente 43 de 25 mm de diámetro y con una lente 44 de 50 mm de diámetro, siendo Δ el eje óptico. La figura 4B ilustra la reflexión de ese mismo haz 41 en el mismo espejo 42 con un gran ángulo de incidencia i . La aberración cromática es minimizada eligiendo unas lentes acromáticas. La automatización del soporte de la muestra da también la posibilidad de cartografiar en reflexión la muestra para cuantificar las heterogeneidades.

El procedimiento de la invención, ilustrado en la figura 5, comprende las siguientes etapas:

- poner en marcha los instrumentos: es decir, encender la fuente, los detectores, y los instrumentos de control (E1),
- elegir los parámetros espectrales: margen y resolución espectral (E2),
- colocar la muestra en su soporte (E3),

ES 2 342 906 T3

- recorriendo todas las longitudes de onda λ_i (o λ_i), haciendo variar una variable i entre 0 y entre 0 y N (bucle 45):

- colocar el monocromador 12 a una longitud de onda λ_i tal que $\lambda_i = \lambda_{\min} + ix\Delta\lambda$ (E4),
- colocar el módulo 14 de filtración adecuado por ejemplo colocando el módulo 13 de modulación (E5),
- enfocar el haz 24 en la muestra gracias al tratamiento de imagen (E6),
- asegurar en posición la muestra (E7),
- adquirir las señales para la medición (E8).

Son posibles diferentes variantes de realización:

- El procedimiento de la invención puede aplicarse a unos estudios monoespectrales con una o varias fuentes luminosas tipo láser. Es posible utilizar, por ejemplo, en el ultravioleta un láser excimer, en el visible un láser HeNe, en el infrarrojo cercano un láser de diodo, o cualquier otro láser.

- La fuente luminosa 10 puede ser de fibra o no, blanca o que emite rayos espectrales.

- El dispositivo de la invención puede ser realizado con unas fibras ópticas. Los cubos separadores 16 y 25, por ejemplo, pueden ser realizados a partir de empalmes en Y en fibras ópticas puestas en cadena.

- Las ópticas separadoras pueden ser unos cubos, unas planchas, o cualquier componente que separa la luz en dos partes más o menos iguales. Sin embargo, para tener el máximo de flujo en las vías de medición y de imagen se utilizan ventajosamente unos separadores 50/50.

- Las ópticas de enfoque o una parte de ellas pueden ser reemplazadas por unos espejos adaptados.

- El dispositivo puede ser optimizado utilizando unas platinas de traslación motorizadas suplementarias, por ejemplo para desplazar las ópticas de enfoque de la vía de representación visual, para reducir la influencia de las aberraciones cromáticas residuales.

- El soporte de la muestra puede no ser automatizado para realizar la retroalimentación. La retroalimentación puede hacerse con ayuda de platinas motorizadas que soportan las ópticas de enfoque. Se puede añadir una platina para asegurar la posición del sistema óptico con respecto a la muestra.

- El dispositivo de la invención puede ser integrado en otros espectrofotómetros.

- El criterio del enfoque por retroalimentación de posición puede depender de un tratamiento de imagen cualquiera: algoritmos, mira, fallos de superficie, rayados, picaduras, simetría particular del haz luminoso, mínimo de variación de la imagen en función del ángulo de rotación de la muestra.

- El enfoque puede ser manual y ser efectuado una sola vez al principio de la adquisición, teniendo en cuenta el decalaje ("offset") del sistema óptico debido a las aberraciones cromáticas y geométricas previamente determinadas.

- El dispositivo de la invención se puede extender a mediciones de difusión.

Ejemplo de realización

En un ejemplo de realización ilustrado en la figura 6, el dispositivo de la invención comprende:

- una fuente luminosa blanca (lámpara halógena) 51 que tiene una fuerte luminancia direccional, que es inyectada en una fibra óptica 52 de entorno a 1 mm² de superficie de núcleo y de abertura digital de por ejemplo 0,22,

- un condensador 53, que es una óptica de focal corto con respecto a su diámetro, lo que permite recoger el máximo de luz gracias a un ángulo en el sólido de recepción más importante, esférico, es decir, corregido de la aberración de esfericidad; recogiendo este condensador por lo tanto el máximo de flujo resultante de la fibra óptica 52,

- una lente 54 de enfoque acromática, que acopla la energía en un monocromador 55 de acuerdo con su abertura digital,

- el monocromador 55, que tiene una rejilla escalonada (es decir, construida de manera que dispersa el máximo del flujo óptico (en un solo orden, generalmente el orden 1) en el visible que dispersa la luz, fijando la elección de la rejilla utilizada el margen espectral y la finura),

ES 2 342 906 T3

- un disco rotativo 56, que modula el flujo luminoso con el fin de filtrar la señal gracias a una detección síncrona, siendo optimizada la frecuencia de modulación para minimizar los ruidos ópticos y electrónicos presentes en el local,
- 5 - un sistema óptico de colimación acromática (ópticas de enfoque L1, L2) y un filtro espacial 58, por ejemplo un diafragma, que da la dimensión del círculo luminoso en la muestra,
 - una rueda portafiltros 59, que rechaza el armónico parásito resultante del monocromador 55, siendo esta rueda portafiltros un sistema mecánico que comprende cuatro posiciones, estando dispuesto un filtro espectral en cada una de esas posiciones para rechazar los armónicos parásitos del elemento dispersivo (a saber, en el caso presente, el monocromador), pudiendo esta rueda portafiltros ser utilizada también para introducir unas densidades neutras en la trayectoria del haz luminoso para evitar la saturación de ciertos detectores (utilización de fotomultiplicador) durante una utilización de una fuente intensa,
 - 10
- 15 - un primer cubo separador 60 por ejemplo de 50 mm de lado, que divide el haz luminoso en dos partes; para el haz incidente el cubo 60 separa el haz en la vía 61 de referencia y en la vía 62 de la muestra, para el haz reflejado separa la vía de medición de una vía parásita,
 - la vía 61 de referencia, que comprende una óptica L3 de enfoque, un fotodiodo 64 que permite una detección síncrona, y que está conectada a un procesador 65 de mando y de adquisición,
 - 20
 - la vía 62 de la muestra, que comprende una óptica de enfoque L4 realizada con un condensador esférico (reducción de las aberraciones esféricas) por ejemplo de 50 mm de diámetro,
 - 25
 - la muestra 69, que es un reflector opaco, cuya transmisión es nula, montada en un soporte 70 regulable según dos grados de libertad (en θ y φ) montado este mismo en unas platinas x, y motorizadas por mediación de una unión que utiliza un protocolo de comunicación, por ejemplo de tipo IEEE, a través de un procesador 65,
 - un segundo cubo separador 71 por ejemplo de 50 mm de lado, que divide el haz reflejado en una vía 72 de medición y en una vía 73 de representación visual,
 - 30
 - la vía 72 de medición, que comprende una óptica L5 de enfoque acromática por ejemplo de 50 mm de diámetro, un detector 75, que permite una detección síncrona, conectada al procesador 65,
 - 35
 - la vía 73 de representación visual, que comprende una misma óptica L6 de enfoque acromática por ejemplo de 50 mm de diámetro, un objetivo de microscopio (por ejemplo x10) 77, una cámara 78 conectada al procesador 65.

En este ejemplo de realización, la fuente luminosa blanca a la salida es resuelta espectralmente para obtener una onda casi monocromática a la salida del monocromador. El haz es después filtrado espacialmente por el filtro espacial 58 situado entre las ópticas de enfoque L1 y L2 en el que él mismo se representa visualmente en la superficie del fotodiodo 64 de referencia y de la muestra 69, y después separado espacialmente por medio del primer cubo separador 60 hacia el detector de referencia y hacia la vía de la muestra. La rueda portafiltros 59 permite rechazar los órdenes superiores resultantes del monocromador 55. Después, una parte del flujo reflejado por la muestra se refleja en el primer cubo separador 60 para ser de nuevo separado espacialmente por el segundo cubo separador 71 cuya vía transmitida es enfocada en la superficie del detector 75 de medición y cuya vía reflejada es representada visualmente por la cámara 78 sirviendo para asegurar el enfoque por mediación del portamuestras motorizado.

En la figura 7A, la muestra es un espejo dieléctrico referenciado, que está constituido por un apilamiento de capas de óxido de índice bajo y alto alternadas, que muestra una buena resolución espectral. Este espejo es un espejo doble que presenta unos picos de resonancia perfectamente visibles en la curva. El nivel máximo medido es cercano al 100%, lo que corresponde al valor máximo de la reflexión de este espejo (valor medido en un banco de medición de baja pérdida que evalúa la diferencia de tiempo de vuelo de un impulso de láser de una cavidad que contiene o no el espejo a medir).

En la figura 7B, la muestra es un filtro de paso alto (curva II) o una muestra de oro (curva I).

La figura 8A ilustra la reflexión en función de la longitud de onda de un espejo esférico, ilustrado en la figura 8B, de focal de 160 mm y de diámetro de 25 mm, que presenta un ángulo máximo de inclinación de 4,4°. Esta figura ilustra el coeficiente de reflexión para tal espejo esférico recubierto de una capa de aluminio en tres puntos de medición distintos A, B y C de su superficie. El coeficiente de reflexión es idéntico sea cual sea la longitud de onda. Para estos tres puntos A, B y C, las curvas se superponen. Además, se encuentran los valores clásicos del aluminio obtenido en un sustrato plano (89% hacia 500 nm) y se visualiza el hueco hacia 850 nm. Esta medición valida el dispositivo de la invención que permite medir piezas no planas.

ES 2 342 906 T3

Referencia

[1] Patrick **Bouchareine**, “Spectrométrie Optique”, les techniques de l’ingénieur, *Traité Mesures et Contrôle*, R6310, páginas 1 a 31, 10/1994.

5

[2] D. **Enard** y H. **Visser**, “Universal spectrophotometer for determining the efficiency of optical components and systems”, *Applied Optics*, vol. 21, n° 24, páginas 4459-4464, 1982.

10

[3] US 2003/0071994.

[4] US 5747814.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo de medición de caracterización por reflectometría que comprende una fuente (10) que emite un haz luminoso, un detector (26), unos medios (19) de tratamiento y de control de este haz luminoso de manera a enfocarlo en una superficie reflectante a medir en forma de un círculo y recibirlo en este detector (26), unos medios (30) de mando y de adquisición, una cámara (29) y unos medios para representar visualmente este círculo en este detector (26) y en esta cámara (29), **caracterizado** porque esta cámara está conectada a los medios (30) de mando y de adquisición, de manera a realizar una puesta a punto automática del círculo en la superficie reflectante a medir y conjugar automáticamente la superficie reflectante a medir con la superficie del detector.

10 2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que la superficie de este círculo es inferior a 5 mm².

15 3. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que las ópticas de enfoque utilizadas en detección están sobredimensionadas con respecto a las ópticas de enfoque atravesadas por el haz incidente.

4. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende un soporte móvil en el que está dispuesta la superficie reflectante a medir que es la de una muestra.

20 5. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que la fuente (10) que emite el haz luminoso incidente (19) es un láser.

25 6. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende una fibra óptica para transportar el haz luminoso incidente (19).

7. Dispositivo según la reivindicación 6, que comprende unos cubos separadores realizados a partir de empalmes en Y de fibras ópticas.

30 8. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende:

- una fuente luminosa blanca (51) que tiene una fuerte luminancia direccional (52),

- un condensador esférico (53),

35 - una lente (54) de enfoque acromática,

- un monocromador (55), que tiene una rejilla escalonada o no,

- un disco rotativo (56),

40 - un sistema óptico (L1, L2) de colimación acromática y un filtro espacial (58),

- una rueda portafiltros (59),

45 - un primer cubo separador (60),

- una vía (61) de referencia, que comprende una óptica (L3) de enfoque y un fotodiodo (64) conectado a un procesador (65) de mando y de adquisición,

50 - una vía (62) de muestra, que comprende una óptica (L4) de enfoque,

- un soporte (70) en el que está montada la muestra y que es regulable por mediación de una unión que utiliza un protocolo de comunicación a través del procesador (65),

55 - un segundo cubo separador (71),

- una vía (72) de medición, que comprende una óptica (L5) de enfoque acromática y un detector (75) conectado al procesador (65),

60 - una vía (73) de representación visual, que comprende una óptica (L6) de enfoque acromática, un objetivo (77) de microscopio y una cámara (78) conectada al procesador (65).

9. Procedimiento de medición de caracterización por reflectometría en el que se trata y se controla un haz luminoso incidente de manera a enfocarlo en una superficie reflectante a medir en forma de círculo y recibirlo en un detector, en el que se representa visualmente este círculo en este detector y en una cámara, **caracterizado** porque se adquieren los datos de salida de esta cámara de manera que se realiza una puesta a punto automática del círculo en la superficie reflectante a medir y se conjuga automáticamente la superficie reflectante a medir con la superficie del detector.

ES 2 342 906 T3

10. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la superficie reflectante a medir es la superficie de una muestra.

11. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que la superficie de ese círculo es inferior a 5 mm².

12. Procedimiento según la reivindicación 9, en el que se utilizan unas ópticas de enfoque en detección sobredimensionadas con respecto a las ópticas de enfoque atravesadas por el haz incidente.

13. Procedimiento según la reivindicación 10, que comprende las siguientes etapas:

- poner en marcha los instrumentos (E1),

- elegir los parámetros espectrales (E2),

- colocar la muestra (E3),

- recorriendo todas las longitudes de onda λ_i , haciendo variar una variable i entre 0 y N (bucle 45):

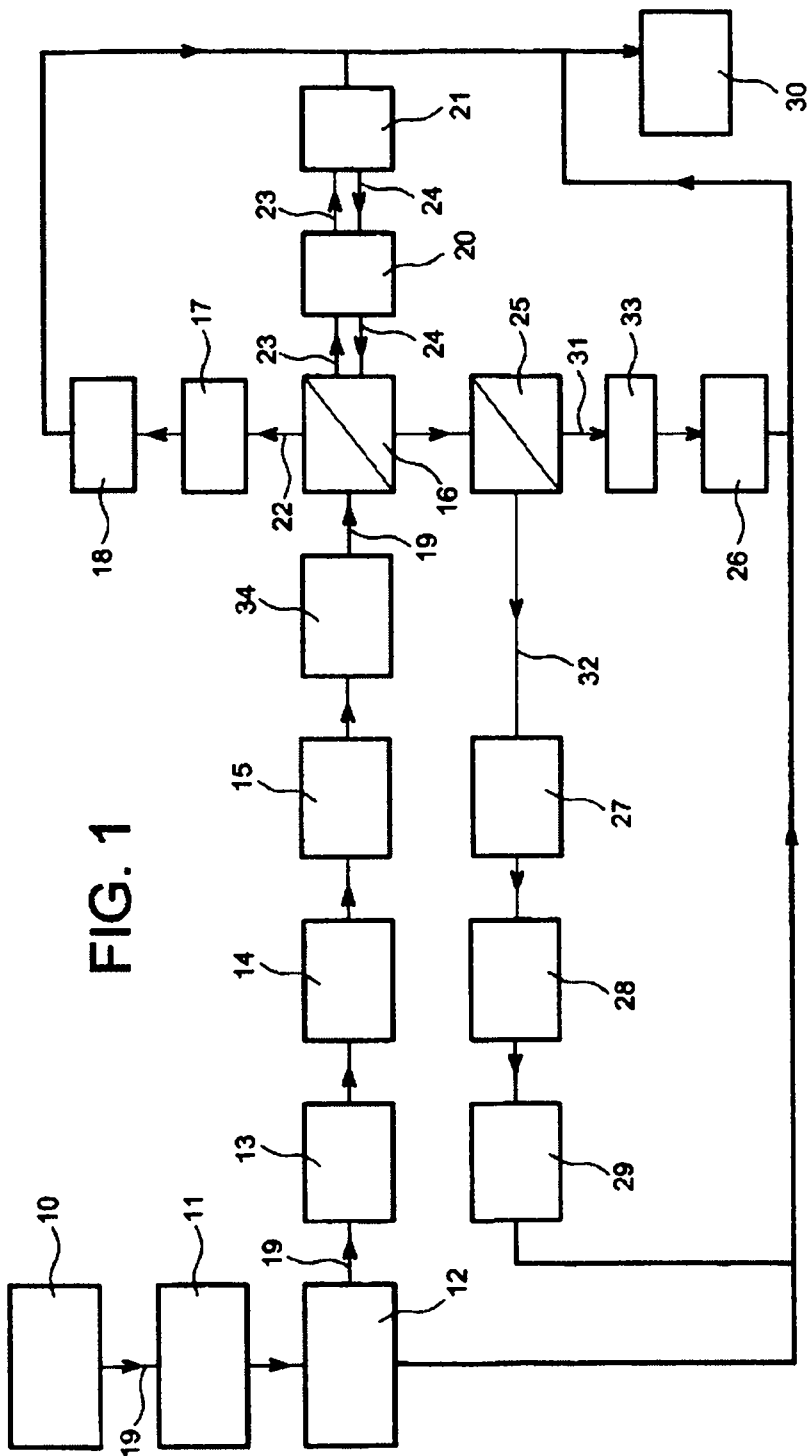
• colocar un monocromador en la trayectoria del haz incidente en una longitud de onda λ_i tal que $\lambda_i = \lambda_{\min} + ix\Delta\lambda$ (E4),

• colocar un filtro adecuado en la trayectoria del haz incidente (E5),

• enfocar este haz incidente en la muestra gracias al tratamiento de imagen (E6),

• asegurar la posición de la muestra (E7),

• adquirir las señales para la medición (E8).



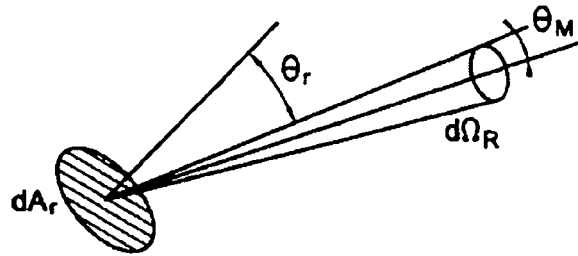


FIG. 2

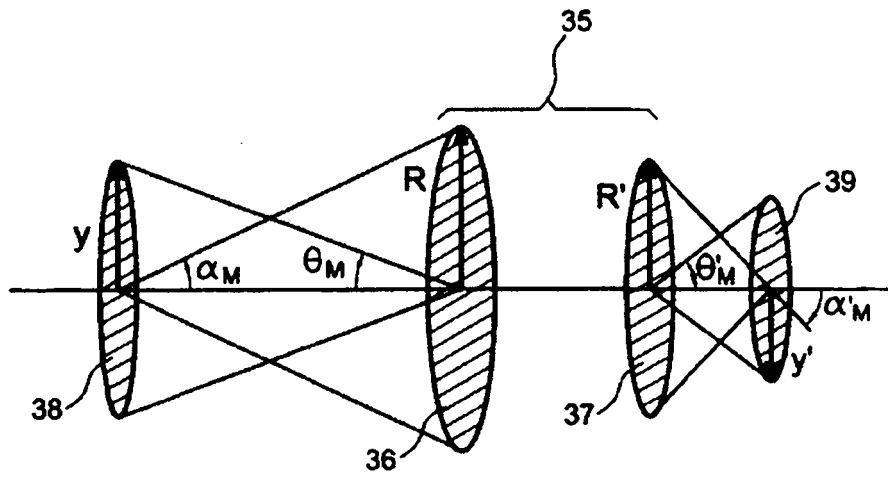


FIG. 3

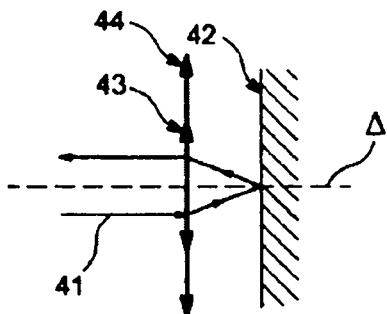


FIG. 4A

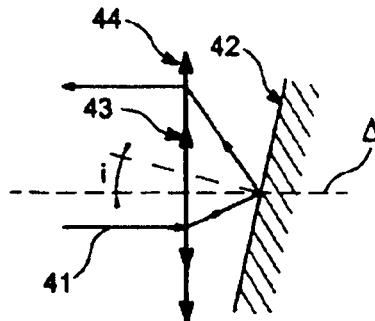


FIG. 4B

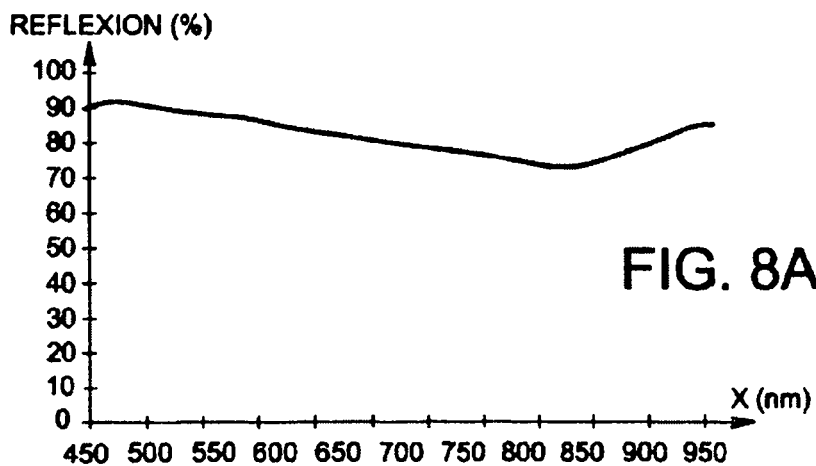


FIG. 8A

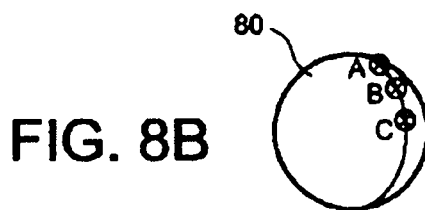


FIG. 8B

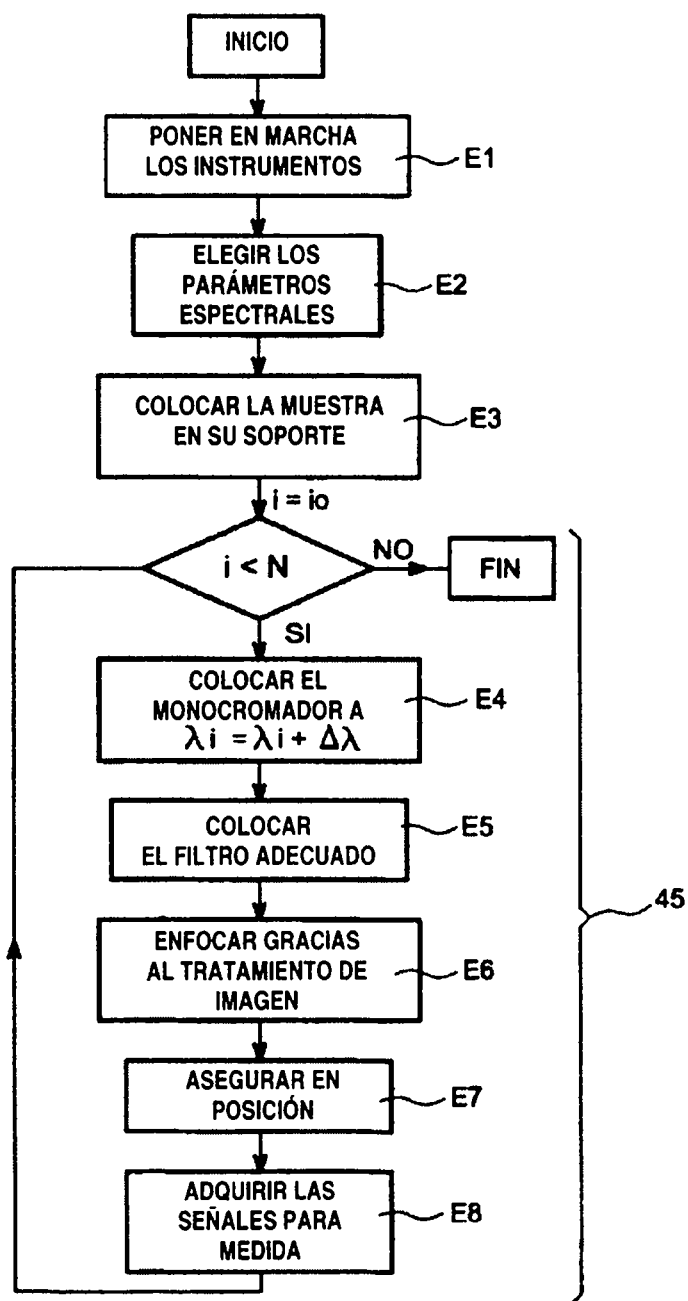


FIG. 5

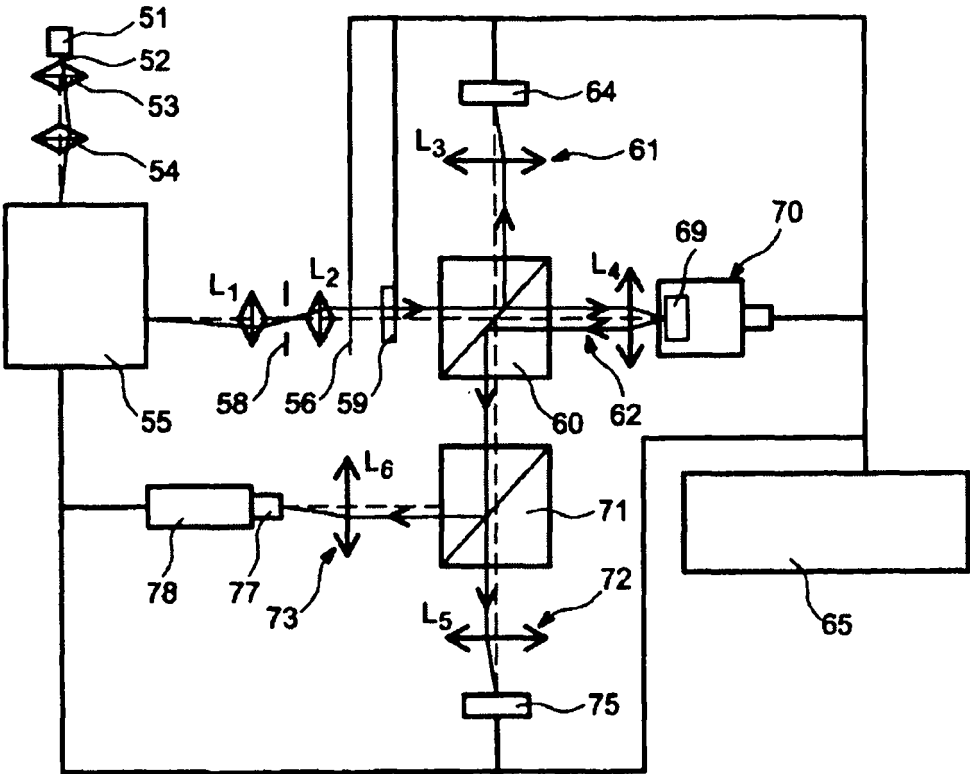


FIG. 6

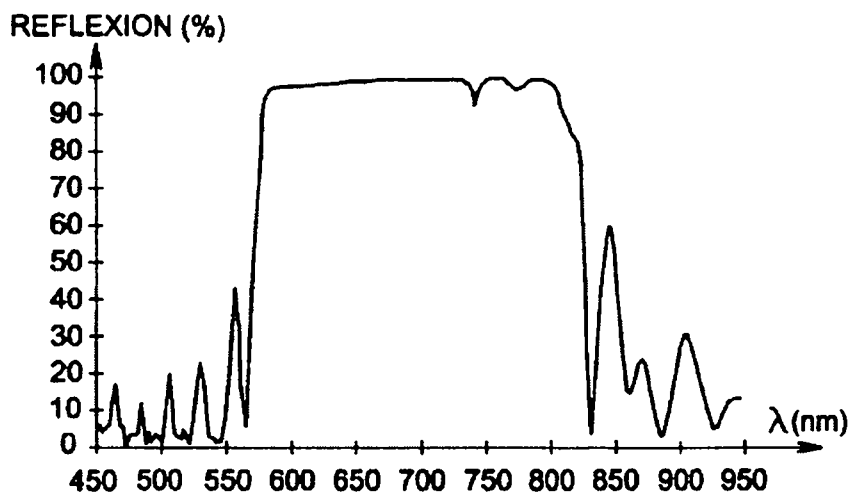


FIG. 7A

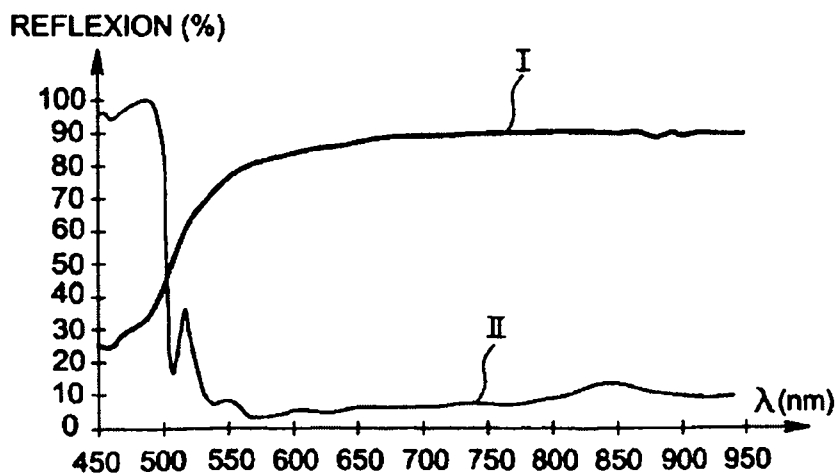


FIG. 7B