

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 063**

51 Int. Cl.:

**G01N 21/95** (2006.01)

**G01N 21/55** (2014.01)

**G01N 21/84** (2006.01)

**G01N 21/88** (2006.01)

**G01M 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.11.2018 E 18205770 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3489665**

54 Título: **Sistema de vigilancia de la degradación y del ensuciamiento de un espejo**

30 Prioridad:

**22.11.2017 FR 1761041**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**10.03.2021**

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ENERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ENERGIES ALTERNATIVES (100.0%)  
Bâtiment "Le Ponant D", 25, rue Leblanc  
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**RACCURT, OLIVIER;  
PESCHEUX, ANNE-CLAIRE;  
DELORD, CHRISTINE y  
GIRAUD, PHILÉMON**

74 Agente/Representante:

**SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro**

ES 2 811 063 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).

## DESCRIPCIÓN

Sistema de vigilancia de la degradación y del ensuciamiento de un espejo

### 5 Campo

La presente solicitud se refiere a un sistema de vigilancia de la degradación y del ensuciamiento de un espejo.

### 10 Exposición de la técnica anterior

Se conocen centrales de producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar, previstas para concentrar la energía solar en un elemento de conversión, por ejemplo, un elemento de conversión termoelectrónico o un elemento de conversión fotovoltaico, por medio de espejos.

15 Un espejo de una central de producción de energía eléctrica a partir de la radiación solar comprende convencional una capa reflectante, por ejemplo, metálica, protegida en el lado de su cara frontal (es decir en el lado de su cara de reflexión de la luz) por una capa transparente, por ejemplo, de vidrio. Generalmente, la capa reflectante está además protegida, en su cara posterior, por al menos una capa de protección no necesariamente transparente.

20 El rendimiento de un espejo se caracteriza por su reflectividad solar especular. Con el tiempo, se observa una disminución de la reflectividad solar especular del espejo, que puede conducir a una disminución del rendimiento de la central. La disminución de la reflectividad solar especular de un espejo puede resultar de varios fenómenos entre los cuales:

- 25 - la corrosión de su capa reflectante, que provoca una degradación de sus propiedades reflectantes;
- la abrasión o la erosión de su capa de protección transparente de cara frontal bajo el efecto de elementos exteriores (polvo, arena, etc.) o bajo el efecto de las limpiezas repetidas de los espejos, que provocan una disminución de la transparencia de esta capa; y
- 30 - el ensuciamiento del espejo vinculado al depósito de partículas sobre la cara exterior de su capa de protección transparente de cara frontal, que provoca también en este caso una disminución de la transparencia de esta capa.

Para caracterizar el envejecimiento de los espejos, la reflectividad solar especular se puede medir, por ejemplo, con ayuda de un reflectómetro portátil.

35 Los dispositivos de caracterización conocidos no permiten, sin embargo, distinguir un descenso de reflectividad solar especular vinculado al ensuciamiento del espejo, de un descenso de reflectividad solar especular vinculado a la corrosión de su capa reflectante, o incluso a la abrasión o a la erosión de su capa transparente de protección de cara frontal.

40 Sería deseable poder disponer de un sistema de caracterización que permita distinguir un descenso de reflectividad especular vinculado al ensuciamiento del espejo, de un descenso de reflectividad especular vinculado a la corrosión de su capa reflectante, o a la abrasión o la erosión de su capa de protección de cara frontal.

45 En efecto, a diferencia de la corrosión, de la abrasión y de la erosión, el ensuciamiento del espejo es un defecto reversible, que puede tratarse realizando una limpieza del espejo. Las operaciones de limpieza de los espejos de una central solar son, sin embargo, costosas. Por lo demás, repetidas, pueden conducir a una degradación del espejo, que conlleva una pérdida de rendimiento (disminución de la reflectancia especular solar), por ejemplo, por abrasión de la cara frontal de la capa de protección transparente, es decir a una degradación irreversible del espejo.

50 Disponer de un sistema capaz de proporcionar medidas correlacionadas de descenso de reflectividad solar especular y de tasa de ensuciamiento de un espejo permitiría en concreto optimizar la frecuencia de implementación de las operaciones de limpieza de los espejos.

55 El documento JPH0933446 describe ejemplos de aparatos de inspección de defectos de superficie.

### Resumen

60 WO 2014/023498 A2 divulga un sistema de medida que comprende un sensor de imagen y una óptica de recepción para determinar las características de reflexión de los materiales de espejos solares. De este modo, un modo de realización prevé un sistema de vigilancia de un espejo, que consta de un cabezal de análisis que comprende un cabezal de emisión adaptado para emitir un haz luminoso en dirección del espejo, y un cabezal de recepción adaptado para recibir un haz luminoso proveniente del espejo, en el que el cabezal de recepción comprende un fotodetector, un sensor de imagen, y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente dispuesta para separar el haz recibido por el cabezal de recepción en un primer haz transmitido al sensor de imagen y un segundo haz transmitido al fotodetector, comprendiendo el sistema además un dispositivo de control y de procesamiento conectado al fotodetector y al sensor de imagen del cabezal de recepción, estando el dispositivo de control y de procesamiento

adaptado para medir un valor de reflectividad del espejo a partir de una medida de intensidad luminosa recibida realizada por el fotodetector, y una tasa de ensuciamiento del espejo a partir de una imagen adquirida por el sensor de imagen.

5 Según un modo de realización, el cabezal de emisión está acoplado a una fuente luminosa.

Según un modo de realización, la fuente luminosa es externa al cabezal de análisis, y está conectada al cabezal de emisión por una fibra óptica.

10 Según un modo de realización, la fuente luminosa comprende varias fuentes luminosas elementales montadas sobre un soporte mecánico móvil ajustable para seleccionar la fuente luminosa elemental utilizada para producir el haz emitido por el cabezal de emisión.

15 Según un modo de realización, las fuentes luminosas elementales de la fuente luminosa son diodos emisores de luz.

Según un modo de realización, el cabezal de emisión comprende además un fotodetector y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente dispuesta para separar el haz emitido por la fuente luminosa en un primer haz transmitido en dirección del espejo y un segundo haz transmitido al fotodetector del cabezal de emisión.

20 Según un modo de realización, la dirección de emisión del cabezal de emisión y la dirección de recepción del cabezal de recepción del cabezal de análisis son ajustables.

Según un modo de realización, la dirección de emisión del cabezal de emisión y la dirección de recepción del cabezal de recepción son ajustables independientemente entre sí.

25 Según un modo de realización, el cabezal de análisis comprende un riel de soporte en arco de círculo sobre el que están montados el cabezal de emisión y el cabezal de recepción.

30 Según un modo de realización, el cabezal de emisión está adaptado para emitir un haz luminoso en dirección del centro del arco de círculo, y el cabezal de recepción está adaptado para recibir un haz luminoso proveniente del centro del arco de círculo.

Según un modo de realización, el cabezal de emisión y el cabezal de recepción son móviles en traslación a lo largo del riel de soporte.

35 Según un modo de realización, las posiciones del cabezal de emisión y del cabezal de recepción sobre el riel de soporte son ajustables independientemente entre sí.

#### **Breve descripción de los dibujos**

40 Estas características y ventajas, así como otras, se expondrán en detalle en la descripción siguiente de modos de realización particulares hecha a título no limitativo en relación con las figuras adjuntas de entre las que:

45 la figura 1 es una vista en sección esquemática de un espejo del que se busca vigilar la degradación y el ensuciamiento;

la figura 2 es un esquema simplificado de un ejemplo de un modo de realización de un sistema de vigilancia de la degradación y del ensuciamiento de un espejo; y

las figuras 3, 4, 5 y 6 son diagramas que ilustran la evolución del comportamiento de un espejo bajo el efecto de diversos fenómenos de envejecimiento.

50

#### **Descripción detallada**

Unos mismos elementos se han designado por unas mismas referencias en las diferentes figuras y, por lo demás, las diversas figuras no se han trazado a escala. Por razones de claridad, solo se han representado y se detallan los elementos útiles para la comprensión de los modos de realización descritos. En particular, la realización de los diversos elementos del sistema de vigilancia de la figura 2 no se ha detallado, estando la realización de estos elementos al alcance del experto en la materia basándose en las indicaciones funcionales de la presente descripción. En la descripción que sigue, cuando se hace referencia a calificativos de posición absoluta, tales como los términos "delante", "detrás", "alto", "bajo", "izquierda", "derecha", etc., o relativa, tales como los términos "arriba", "debajo", "superior", "inferior", etc., o a calificativos de orientación, tales como los términos "horizontal", "vertical", etc., se hace referencia a la orientación de las figuras, entendiéndose que, en la práctica, los dispositivos descritos pueden orientarse de manera diferente. Salvo precisión contraria, las expresiones "aproximadamente", "sustancialmente" y "del orden de" significan con un 10 % de aproximación, preferentemente con un 5 % de aproximación.

65 La figura 1 es una vista en sección esquemática de un ejemplo de un espejo 100 del que se busca vigilar la degradación y el ensuciamiento, por ejemplo, un espejo de una central de producción de energía eléctrica a partir de la energía

solar. Cabe destacar que, en la práctica, los espejos a vigilar pueden ser espejos planos o espejos curvos.

5 El espejo 100 de la figura 1 comprende una capa reflectante 101, por ejemplo, metálica, protegida, en la cara frontal (cara superior en la figura 1) por una capa transparente 103, por ejemplo, de vidrio o de un material polímero transparente a la radiación solar. En el ejemplo representado, la capa de protección transparente 103 está dispuesta en contacto con la cara frontal de la capa reflectante 101. La capa reflectante 101 es, por ejemplo, una capa de plata. En este ejemplo, el espejo 100 comprende además una capa de protección de la cara posterior 105 que reviste la cara posterior de la capa reflectante 101. La capa de cara posterior 105 está, por ejemplo, en contacto con la cara posterior de la capa reflectante 101. A título de ejemplo, la capa de protección de la cara posterior 105 comprende al menos una capa de un material polímero.

Más generalmente, los sistemas de vigilancia descritos a continuación se pueden utilizar para vigilar todas o la mayor parte de las estructuras conocidas de espejos, y en particular los espejos realizados en las tres principales tecnologías de espejos conocidos, a saber:

- 15
- los espejos de vidrio, entre los cuales los espejos monolíticos protegidos en la cara posterior por una o varias capas de pintura, los espejos laminados sobre un sustrato de vidrio o de cualquier otro material adaptado, y los espejos compuestos que comprenden un espejo de vidrio pegado o moldeado en un material polímero;
  - 20 - los espejos de aluminio, cuya capa posterior es una hoja de aluminio, por ejemplo, de espesor comprendido entre 1 y 3 mm; y
  - los espejos de polímero, que son películas de polímero metalizadas que pueden pegarse sobre cualquier tipo de soporte.

25 La figura 2 es un esquema simplificado de un ejemplo de un modo de realización de un sistema de vigilancia de la degradación y del ensuciamiento de un espejo 100 del tipo descrito en relación con la figura 1. En la figura 2, las diferentes capas del espejo 100 no se han detallado.

30 El sistema de vigilancia de la figura 2 comprende un cabezal de análisis 200, por ejemplo, un cabezal portátil. El cabezal de análisis 200 comprende un riel de soporte 202 en arco de círculo, es decir que se extiende longitudinalmente según una porción de círculo, por ejemplo, según un semicírculo. El cabezal de análisis 200 comprende, además, montados sobre el riel de soporte 202, un cabezal de emisión 204 adaptado para emitir un haz luminoso en dirección del centro del arco de círculo, y un cabezal de recepción 206 adaptado para recibir un haz luminoso proveniente del centro del arco de círculo. El cabezal de emisión 204 y el cabezal de recepción 206 están montados deslizantes sobre el riel de soporte 202. A título de ejemplo, el cabezal de emisión 204 puede deslizarse a lo largo del riel 202 sobre una primera mitad de la longitud del riel (la mitad izquierda en la orientación de la figura 2), y el cabezal de recepción 206 puede deslizarse a lo largo del riel 202 sobre una segunda mitad de la longitud del riel (la mitad derecha en la orientación de la figura 2). La posición del cabezal de emisión 204 en la primera mitad del riel 202 y la posición del cabezal de recepción 206 en la segunda mitad del riel 202 son ajustables independientemente entre sí. En este ejemplo, sea cual sea la posición del cabezal de emisión 204 en la primera mitad del riel 202, el eje principal de emisión del cabezal de emisión es un eje radial del arco de círculo seguido por el riel de soporte 202, y sea cual sea la posición del cabezal de recepción 206 en la segunda mitad del riel 202, el eje principal de recepción del cabezal de recepción es un eje radial del arco de círculo seguido por el riel 202, es decir que coincide sustancialmente con un radio del arco de círculo.

45 En funcionamiento, el cabezal de análisis está destinado a estar situado frente al espejo 100 a vigilar, en el lado de la cara frontal del espejo (su cara superior en la orientación de la figura 2), de modo que el centro del arco de círculo seguido por el riel de soporte 202 es decir situado sustancialmente en la cara frontal del espejo 100.

50 El sistema de vigilancia de la figura 2 comprende además una fuente luminosa 208 adaptada para producir la luz de haz de análisis emitido por el cabezal de emisión 204. La fuente luminosa 208 puede estar integrada en el cabezal de emisión 204. No obstante, para limitar el volumen del cabezal de análisis y favorecer su portabilidad, la fuente luminosa puede estar separada. Esto corresponde a la configuración ilustrada por la figura 2. En esta configuración, el sistema de vigilancia comprende una fibra óptica 210 que conecta la fuente luminosa 208 al cabezal de emisión 204. El sistema puede constar, además, de un sistema óptico 212 que acopla la salida de la fuente luminosa 208 a la entrada de la fibra óptica 210. El sistema óptico 212 permite, en concreto, en caso necesario, adaptar las dimensiones del haz luminoso producido por la fuente luminosa 208 a las dimensiones de la cara de entrada 210a de la fibra óptica 210. A título de ejemplo, el sistema óptico 212 comprende un par de lentes que permite reducir las dimensiones del haz luminoso producido por la fuente luminosa 208 para ajustarlas a las dimensiones de la cara de entrada de la fibra óptica 210. A título de ejemplo, el sistema óptico 212 permite pasar de un diámetro de haz del orden de 5 mm en la salida de la fuente luminosa 208 a un diámetro de haz del orden de 1 mm en la entrada de la fibra óptica 210.

65 El cabezal de emisión 202 comprende un primer sistema óptico 214, que comprende, por ejemplo, una lente convergente, adaptada para colimar la luz emitida por la cara de salida 210b de la fibra óptica 210, para generar un haz paralelo de eje central radial. El cabezal de emisión 202 puede comprender además un segundo sistema óptico 216, que comprende, por ejemplo, una lente convergente, adaptada a enfocar el haz paralelo de salida del sistema óptico 214 en un punto de la superficie del espejo que coincide sustancialmente con el centro del arco de círculo

seguido por el riel de soporte 202. En este caso, la iluminación del espejo 100 por el cabezal de emisión es una iluminación puntual. A título de variante, el segundo sistema óptico 216 puede omitirse, en cuyo caso la iluminación del espejo 100 por el cabezal de emisión es una iluminación extendida uniforme, estando la zona iluminada centrada en un punto de la superficie del espejo que coincide sustancialmente con el centro del arco de círculo seguido por el riel de soporte 202 y que tiene dimensiones definidas por la pupila de salida del sistema óptico 214. Más generalmente, el diámetro de la zona del espejo 100 iluminada por el cabezal de emisión se puede elegir en función de las necesidades de la aplicación, seleccionando de manera apropiada el juego de lentes utilizado en los sistemas ópticos 214 y 216. A título de ejemplo, el diámetro de la mancha de iluminación del espejo 100 por el cabezal de emisión 204 puede estar comprendido entre 1 y 50 mm, por ejemplo, entre 3 y 25 mm.

En el ejemplo representado, el cabezal de emisión 202 comprende además un fotodetector 218, por ejemplo, un fotodiodo, y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente 220. La lámina 220 está colocada en el trayecto del haz paralelo de salida del sistema óptico 214 (entre el sistema óptico 214 y el sistema óptico 216 en el ejemplo representado), y forma un ángulo oblicuo, por ejemplo, un ángulo de aproximadamente 45 grados, con el eje óptico principal de salida del sistema óptico 214. La lámina 220 es, preferentemente, no selectiva en frecuencia, es decir que su coeficiente de transmisión y su coeficiente de reflexión son sustancialmente independientes de la longitud de onda en toda la gama de longitudes de onda de emisión de la fuente luminosa 208. En funcionamiento, la lámina 220 transmite una parte del haz de salida del sistema óptico 214 en dirección del espejo 100, y refleja otra parte de este haz, por reflexión especular, en una dirección fijada por el ángulo de inclinación de la lámina 220 con respecto al eje óptico de salida del sistema óptico 214. El cabezal de emisión 204 comprende además un sistema óptico 222, que comprende, por ejemplo, una lente convergente, adaptado para enfocar el haz paralelo reflejado por la lámina 220 en el fotodetector 218.

El cabezal de recepción 206 presenta una estructura sustancialmente simétrica a la del cabezal de emisión 204. Más particularmente, comprende en este ejemplo un primer sistema óptico 224, por ejemplo, idéntico o similar al sistema óptico 216, adaptado para colimar la luz proveniente del centro del arco de círculo seguido por el riel 202 en un haz paralelo de eje central radial. El cabezal de recepción 206 comprende además un segundo sistema óptico 226, por ejemplo, idéntico o similar al sistema óptico 214, adaptado para enfocar el haz paralelo de salida del sistema óptico 224 en un sensor de imagen 228, por ejemplo, un sensor matricial que comprende una pluralidad de píxeles controlables individualmente, dispuestos según filas y columnas.

El cabezal de recepción 206 del sistema de la figura 2 comprende además un fotodetector 230, por ejemplo, idéntico o similar al fotodetector 218, y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente 232, por ejemplo, idéntica o similar a la lámina 220. La lámina 232 está colocada en el trayecto del haz paralelo de salida del sistema óptico 224 (entre el sistema óptico 224 y el sistema óptico 226 en el ejemplo representado), y forma un ángulo oblicuo, por ejemplo, un ángulo de aproximadamente 45 grados, con el eje óptico principal de salida del sistema óptico 224. En funcionamiento, la lámina 232 transmite una parte del haz de salida del sistema óptico 224 en dirección del sensor de imagen 228, y refleja otra parte de este haz, por reflexión especular, en una dirección fijada por el ángulo de inclinación de la lámina 232 con respecto al eje óptico de salida del sistema óptico 224. El cabezal de recepción 206 comprende además un sistema óptico 234, que comprende, por ejemplo, una lente convergente, adaptado para enfocar el haz paralelo reflejado por la lámina 232 en el fotodetector 230.

Cabe destacar que, si el cabezal de emisión 204 no comprende el sistema óptico 216 (caso de una iluminación extendida uniforme del espejo por el cabezal de emisión), el sistema óptico 224 del cabezal de recepción 206 también puede omitirse.

La fuente luminosa 208 está adaptada para producir luz a al menos una longitud de onda del espectro solar. Preferentemente, la fuente luminosa 208 está adaptada a producir luz a varias longitudes de onda del espectro solar. A título de ejemplo, la fuente luminosa 208 es ajustable en longitud de onda de emisión. Para esto, la fuente luminosa 208 puede comprender varias fuentes elementales distintas (no detalladas en la figura 2), estando cada fuente elemental adaptada para emitir en una gama de longitud de onda específica distinta de las gamas de longitudes de onda de emisión de las otras fuentes elementales. A título de ejemplo, cada fuente elemental está adaptada para emitir en una gama de longitud de onda específica relativamente estrecha, por ejemplo, una gama de longitud de onda de anchura a media altura inferior a 20 nm. Cada fuente elemental es, por ejemplo, un diodo emisor de luz (LED). A título de ejemplo, la fuente luminosa 208 comprende nueve fuentes elementales, por ejemplo, de tipo LED, que tienen, respectivamente, longitudes de onda centrales de emisión del orden de 365 nm (ultravioleta), 405 nm (violeta), 450 nm (azul), 490 nm (verde), 525 nm (verde), 630 nm (naranja), 660 nm (roja), 760 nm (roja) y 850 nm (infrarroja). A título de ejemplo, las diferentes fuentes luminosas elementales están montadas sobre un soporte mecánico móvil (no detallado en la figura 2), por ejemplo, un soporte circular móvil en rotación, que permite situar la fuente elemental deseada delante de la entrada de la fibra óptica 210, o, en caso necesario, del sistema óptico 212, según la longitud de onda a la que se desea iluminar el espejo. A título de variante, la fuente luminosa 208 es una fuente única adaptada para emitir en una gama de longitudes de onda extendida, por ejemplo, una fuente de luz blanca.

El sistema de la figura 2 comprende además un dispositivo electrónico de control y de procesamiento 236 (PROC), por ejemplo, un ordenador, conectado en concreto a los fotodetectores 218 y 230 y al sensor de imagen 228, y adaptado para analizar las señales de salida de los fotodetectores 218 y 230 y del sensor de imagen 228.

El sistema de vigilancia de espejo de la figura 2 ofrece numerosas posibilidades de análisis.

5 El sistema de la figura 2 permite, en concreto, medir la reflectividad especular del espejo. Para esto, el cabezal de  
emisión está situado en una primera posición del riel de soporte 202, para fijar el ángulo de incidencia del haz de  
análisis sobre el espejo, y el cabezal de recepción está situado en el eje de reflexión especular del haz de análisis por  
el espejo, es decir simétricamente (con respecto a la normal al plano del espejo) con respecto al cabezal de recepción.  
10 El dispositivo de control y de procesamiento 236 está entonces adaptado para medir, por un lado, la intensidad  
luminosa recibida por el fotodetector 218 del cabezal de emisión 204 y, por otro lado, la intensidad luminosa recibida  
por el fotodetector 230 del cabezal de recepción 206, y para establecer la relación de estos dos valores de intensidad  
para determinar la reflectividad especular del espejo a la o a las longitudes de onda de emisión de la fuente luminosa.

15 La medida puede, además, reiterarse para varios ángulos de incidencia distintos del haz de emisión, para determinar  
la reflectividad especular del espejo para diferentes ángulos de incidencia.

Por lo demás, en el caso en que la fuente luminosa 208 es ajustable en longitud de onda, cada medida puede  
efectuarse para varias longitudes de onda distintas para medir la reflectividad especular del espejo para diferentes  
longitudes de onda.

20 El dispositivo de control y de procesamiento 236 está, por ejemplo, adaptado para comparar la reflectividad especular  
medida con una reflectividad especular nominal del espejo, es decir la reflectividad especular que tendría el espejo en  
ausencia de degradación o de ensuciamiento. A título de ejemplo, el o los valores de reflectividad especular nominales  
se almacenan en una memoria del dispositivo de control y de procesamiento 236. Estos valores son, por ejemplo,  
determinados durante una fase de calibración del sistema a partir de un espejo no degradado y no ensuciado.

25 Cabe destacar que, en el lado del cabezal de emisión 204, el fotodetector 218 y la lámina semirreflectante 220 son  
opcionales. En efecto, la reflectividad especular del espejo puede ser determinada por el dispositivo de control y de  
procesamiento 236 únicamente a partir de las medidas proporcionadas por el fotodetector 230 del cabezal de  
recepción 206. No obstante, la previsión del fotodetector 218 y de la lámina semirreflectante 220 en el lado del cabezal  
30 de emisión permiten mejorar la precisión de la medida. En particular, esto permite librarse de eventuales fluctuaciones  
parásitas de intensidad de la fuente luminosa 208 o de eventuales errores de alineación entre la fuente luminosa 208  
y la fibra óptica 210.

35 Por otro lado, el hecho de que las posiciones del cabezal de emisión 204 y del cabezal de recepción 206 sean  
ajustables individualmente permite realizar medidas de reflectividad no especular. Más particularmente, para una  
posición dada del cabezal de emisión 204, es decir para un ángulo de incidencia dado del haz de emisión sobre el  
espejo, se pueden realizar varias medidas de reflectividad para posiciones diferentes del cabezal de recepción 206,  
por ejemplo, para barrer un intervalo angular de medida que se extiende a uno y otro lado del ángulo de reflexión  
40 especular del espejo. Esto permite, en concreto, detectar defectos de tipo erosión o abrasión de la capa de protección  
de cara frontal del espejo, o también ensuciamiento de esta capa de protección, que pueden conducir a agrandar o  
encoger el cono de reflexión del haz emitido por el cabezal de emisión 204, o también a modificar la orientación de la  
dirección principal de reflexión del haz.

45 El sistema de vigilancia de la figura 2 es muy particularmente ventajoso ya que permite, para cada medida de  
reflectividad realizada, obtener no solamente la medida de reflectividad propiamente dicha, deducida de la medida de  
intensidad realizada por el fotodetector 230, sino también una imagen de la porción de superficie del espejo analizada,  
por medio del sensor 228. Para cada medida de reflectividad, la imagen adquirida por el sensor 228 y la medida de  
reflectividad están directamente correlacionadas, ya que se obtienen simultáneamente, para un mismo ángulo de  
50 incidencia de iluminación del espejo, y con un mismo haz de iluminación del espejo.

El dispositivo de control y de procesamiento 236 está configurado para implementar un procedimiento automatizado  
de análisis de las imágenes adquiridas por el sensor 228, en vista de detectar eventuales defectos en la superficie del  
espejo, y en concreto determinar una tasa de ensuciamiento del espejo, por ejemplo, por recuento del número de  
partículas depositadas por unidad de superficie. Cabe destacar, en particular, que métodos de análisis de imágenes  
55 convencionales pueden implementarse fácilmente para diferenciar defectos de tipo rayones o fisuras de la capa de  
protección de cara frontal del espejo, de un ensuciamiento del espejo, o incluso de una corrosión de la capa reflectante  
del espejo. De este modo, si se detectan simultáneamente una pérdida de reflectividad solar especular significativa y  
un ensuciamiento significativo del espejo, se podrá decidir proceder a una limpieza en vista de restaurar al menos  
parcialmente la reflectividad del espejo. Si, por el contrario, se detecta una pérdida de reflectividad solar especular  
60 mientras que la tasa de ensuciamiento del espejo es baja, se podrá deducir de ello que es inútil proceder a una limpieza  
del espejo en la medida en que esta no permitiría mejorar significativamente su reflectividad.

Como complemento de los métodos de análisis mencionados anteriormente, el sistema de vigilancia de la figura 2  
puede utilizarse además para implementar métodos de análisis que permiten, a partir de las únicas medidas de  
reflectividad especular del espejo, distinguir defectos de tipo abrasión o erosión de la capa de protección de cara frontal  
del espejo, de una corrosión de la capa reflectante del espejo. En efecto, se sabe que la pérdida de reflectividad

especular generada por una corrosión de la capa reflectante del espejo es variable en función de la longitud de onda, mientras que la pérdida de reflectividad especular generada por defectos de tipo abrasión o erosión de la capa transparente de protección del espejo es sustancialmente independiente de la longitud de onda. La pérdida de reflectividad especular vinculada al ensuciamiento puede, por su parte, depender de la longitud de onda, en función de la naturaleza de las partículas depositadas y del espectro de absorción de estas partículas.

De este modo, se puede prever efectuar varias medidas de reflectividad especular a longitudes de onda distintas, para determinar si la pérdida de reflectividad especular (con respecto a la reflectividad especular nominal) es constante o no en función de la longitud de onda, para identificar el tipo de defecto que afecta al espejo.

Cabe destacar que además del análisis de las señales de salida de los fotodetectores 218 y 230 y del sensor de imagen 228, el dispositivo de control y de procesamiento 236 puede estar adaptado para controlar la fuente luminosa 208 y/o el desplazamiento de los cabezales de emisión 204 y de recepción 206, para implementar los procedimientos de análisis descritos anteriormente de forma completamente automatizada. Para esto, los cabezales de emisión 204 y de recepción 206 del cabezal de análisis 200 pueden estar motorizados para permitir un control electrónico de sus posiciones respectivas sobre el riel de soporte 202. Por lo demás, en el caso en que la fuente luminosa 208 es ajustable en longitud de onda, esto permite constar de medios de control electrónico de su longitud de onda de emisión. A título de ejemplo, en el caso de una fuente 208 que comprende una pluralidad de fuentes luminosas elementales montadas sobre un soporte mecánico móvil, el soporte mecánico móvil puede estar motorizado para permitir un control electrónico de la posición del soporte delante de la entrada de la fibra óptica 210 o del sistema óptico 212, en función de la longitud de onda a la que se desea iluminar el espejo.

Las figuras 3, 4, 5 y 6 son diagramas que representan, a título de ejemplos ilustrativos, la evolución del comportamiento de un espejo bajo el efecto de diversos fenómenos de envejecimiento.

La figura 3 es un diagrama que ilustra la evolución, en función de la longitud de onda  $\lambda$  (en abscisa, en nm), de la reflectividad especular R del espejo (en ordenada, sin unidad), para un espejo de referencia no degradado (curva 301 en línea continua), y para un espejo cuya capa reflectante está corroída (curva 303 en línea a trazos lineales). La curva 305 en línea a trazos en sierra representa, por su parte, el espectro solar. Como se desprende de la figura 3, la pérdida de reflectividad especular vinculada a la corrosión del espejo es mayor para longitudes de onda bajas, típicamente entre 350 y 850 nm, que, para longitudes de onda elevadas, típicamente entre 850 y 2450 nm.

La figura 4 es un diagrama que ilustra la evolución, en función de la longitud de onda  $\lambda$  (en abscisa, en nm), de la reflectividad especular R del espejo (en ordenada, sin unidad), para un espejo de referencia no degradado (curva 401 en línea continua), y para un espejo cuya capa transparente de protección de cara frontal ha sufrido una abrasión o una erosión (curva 403 en línea a trazos lineales). La curva 405 en línea a trazos en sierra representa, por su parte, el espectro solar. Como se desprende de la figura 4, la pérdida de reflectividad especular vinculada a la erosión o a la abrasión del espejo es sustancialmente constante en toda la extensión del espectro solar.

La figura 5 es un diagrama que ilustra la evolución, en función de la longitud de onda  $\lambda$  (en abscisa, en nm), de la pérdida de reflectividad especular  $\Delta R$  de un espejo con respecto a su reflectividad especular nominal (en ordenada, sin unidad), para un espejo corroído, pero no erosionado ni sometido a abrasión y no ensuciado (curva 501) y para un espejo corroído y ensuciado, pero no erosionado ni sometido a abrasión (curva 503). La curva 505 representa, por su parte, la diferencia entre las curvas 503 y 505, y corresponde a la pérdida de reflectividad especular del espejo vinculada a su solo ensuciamiento.

La figura 6 es un diagrama que ilustra, para cada uno de una pluralidad de ángulos de incidencia del haz emitido por el cabezal de emisión 204 del sistema de análisis, la evolución, en función de la posición angular A del cabezal de recepción 206 del sistema (en abscisa, en grados), de la intensidad I de la señal luminosa reflejada tal como medida por el fotodetector 230 del cabezal de recepción (en ordenada, en valor normalizado sin unidad). Para cada ángulo de incidencia del haz de análisis, es decir para cada posición angular del cabezal de emisión 204, una primera curva es trazada para un espejo de referencia no degradado y no ensuciado, y una segunda curva es trazada para un espejo ensuciado o que presenta una erosión o una abrasión en la cara frontal. Más particularmente, el diagrama de la figura 6 comprende cinco curvas  $C_{45}$ ,  $C_{40}$ ,  $C_{35}$ ,  $C_{30}$  y  $C_{25}$ , que corresponde a las medidas realizadas en el espejo de referencia, respectivamente para ángulos de incidencia del haz de análisis sobre el espejo de 45°, 40°, 35°, 30° y 25°. El diagrama de la figura 6 comprende además cinco curvas  $C_{45}'$ ,  $C_{40}'$ ,  $C_{35}'$ ,  $C_{30}'$  y  $C_{25}'$ , que corresponden a las medidas realizadas en el espejo degradado, respectivamente para ángulos de incidencia del haz de análisis sobre el espejo de 45°, 40°, 35°, 30° y 25°.

Se desprende del diagrama de la figura 6 que sea cual sea el ángulo de incidencia del haz de análisis sobre el espejo, la anchura relativa a media altura del cono de reflexión del haz por el espejo es menor para un espejo limpio y no degradado que para un espejo que presenta defectos de tipo abrasión, erosión o ensuciamiento. Este agrandamiento del cono de reflexión es característico de los defectos de superficie presentes en la cara frontal de la capa transparente de protección del espejo, y su detección permite diferenciar dichos defectos de superficie de una degradación interna de la capa reflectante.

Se han descrito unos modos de realización particulares. Diversas variantes y modificaciones se pondrán de manifiesto para el experto en la materia. En particular, los modos de realización descritos no se limitan a los ejemplos de dimensiones y de materiales mencionados en la presente descripción.

- 5 Por lo demás, los modos de realización descritos no se limitan al ejemplo de realización estructural del cabezal de análisis 200 descrito en relación con la figura 2. Más generalmente, el experto en la materia sabrá prever otras realizaciones estructurales del cabezal de análisis que permiten implementar el funcionamiento descrito anteriormente, es decir que permiten ajustar de forma independiente la dirección de emisión del cabezal de emisión y la dirección de recepción del cabezal de recepción. A título de ejemplo de realización alternativa, el cabezal de emisión puede
- 10 comprender una pluralidad de emisores fijos adaptados para iluminar el espejo según ángulos de incidencia distintos, activables individualmente para seleccionar el ángulo de incidencia deseado durante una fase de análisis. De forma similar, el cabezal de recepción puede comprender una pluralidad de receptores fijos adaptados para recibir haces luminosos que provienen de la superficie del espejo según direcciones distintas, siendo los receptores seleccionables individualmente para analizar los diferentes componentes angulares del haz reflejado. Para realizar dicho cabezal de análisis, se puede prever, por ejemplo, replicar de forma idéntica varias veces el cabezal de emisión 204 y el cabezal de recepción 206 de la figura 2. A título de variante, un funcionamiento similar se puede obtener separando el cabezal de emisión 204 y el cabezal de recepción 206 de la figura 2 realizando los emisores y receptores múltiples por medio de un sistema de fibras ópticas multiplexadas.
- 15

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de vigilancia de un espejo (100), que consta de un cabezal de análisis (200) que comprende un cabezal de emisión (204) adaptado para emitir un haz luminoso en dirección del espejo, y un cabezal de recepción (206) adaptado para recibir un haz luminoso proveniente del espejo, en el que el cabezal de recepción (202) comprende un fotodetector (230), un sensor de imagen (228), y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente (232) dispuesta para separar el haz recibido por el cabezal de recepción en un primer haz transmitido al sensor de imagen (228) y un segundo haz transmitido al fotodetector (230), comprendiendo el sistema además un dispositivo de control y de procesamiento (236) conectado al fotodetector (230) y al sensor de imagen (228) del cabezal de recepción (206), estando el dispositivo de control y de procesamiento (236) adaptado para determinar un valor de reflectividad del espejo a partir de una medida de intensidad luminosa recibida realizada por el fotodetector (230), y una tasa de ensuciamiento del espejo a partir de una imagen adquirida por el sensor de imagen (228).
2. Sistema según la reivindicación 1, en el que la medida de intensidad luminosa utilizada para determinar el valor de reflectividad del espejo y la adquisición de la imagen utilizada para determinar la tasa de ensuciamiento del espejo son simultáneas.
3. Sistema según la reivindicación 1 o 2, en el que el cabezal de emisión (204) está acoplado a una fuente luminosa (208).
4. Sistema según la reivindicación 3, en el que la fuente luminosa (208) es externa al cabezal de análisis (200), y está conectada al cabezal de emisión (204) por una fibra óptica (210).
5. Sistema según la reivindicación 3 o 4, en el que la fuente luminosa (208) es ajustable en longitud de onda de emisión.
6. Sistema según la reivindicación 5, en el que la fuente luminosa (208) comprende varias fuentes luminosas elementales montadas sobre un soporte mecánico móvil ajustable para seleccionar la fuente luminosa elemental utilizada para producir el haz emitido por el cabezal de emisión (204).
7. Sistema según la reivindicación 6, en el que las fuentes luminosas elementales de la fuente luminosa (208) son diodos emisores de luz.
8. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en el que el cabezal de emisión (204) comprende además un fotodetector (218) y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente (220) dispuesta para separar el haz emitido por la fuente luminosa (208) en un primer haz transmitido en dirección del espejo y un segundo haz transmitido al fotodetector (218) del cabezal de emisión.
9. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la dirección de emisión del cabezal de emisión (204) y la dirección de recepción del cabezal de recepción (206) del cabezal de análisis (200) son ajustables.
10. Sistema según la reivindicación 9, en el que la dirección de emisión del cabezal de emisión (204) y la dirección de recepción del cabezal de recepción (206) son ajustables independientemente entre sí.
11. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el cabezal de análisis comprende un riel de soporte (202) en arco de círculo sobre el que están montados el cabezal de emisión (204) y el cabezal de recepción (206).
12. Sistema según la reivindicación 11, en el que el cabezal de emisión (204) está adaptado para emitir un haz luminoso en dirección del centro del arco de círculo, y el cabezal de recepción (206) está adaptado para recibir un haz luminoso proveniente del centro del arco de círculo.
13. Sistema según la reivindicación 11 o 12, en el que el cabezal de emisión (204) y el cabezal de recepción (206) son móviles en traslación a lo largo del riel de soporte (202).
14. Sistema según la reivindicación 13, en el que las posiciones del cabezal de emisión (204) y del cabezal de recepción (206) sobre el riel de soporte (202) son ajustables independientemente entre sí.
15. Utilización, para la vigilancia de un espejo (100), de un sistema que consta de un cabezal de análisis (200) que comprende un cabezal de emisión (204) adaptado para emitir un haz luminoso y un cabezal de recepción (206) adaptado para recibir un haz luminoso, en el que el cabezal de recepción (202) comprende un fotodetector (230), un sensor de imagen (228), y una lámina parcialmente reflectante y parcialmente transparente (232) dispuesta para separar el haz recibido por el cabezal de recepción en un primer haz transmitido al sensor de imagen (228) y un segundo haz transmitido al fotodetector (230), en la que el cabezal de emisión está dispuesto para emitir un haz luminoso en dirección del espejo y el cabezal de

recepción está dispuesto para recibir un haz luminoso proveniente del espejo,  
y en la que el sistema comprende además un dispositivo de control y de procesamiento (236) conectado al fotodetector (230) y al sensor de imagen (228) del cabezal de recepción (206), estando el dispositivo de control y de procesamiento (236) controlado para medir un valor de reflectividad del espejo a partir de una medida de intensidad luminosa recibida  
5 realizada por el fotodetector (230), y una tasa de ensuciamiento del espejo a partir de una imagen adquirida por el sensor de imagen (228).

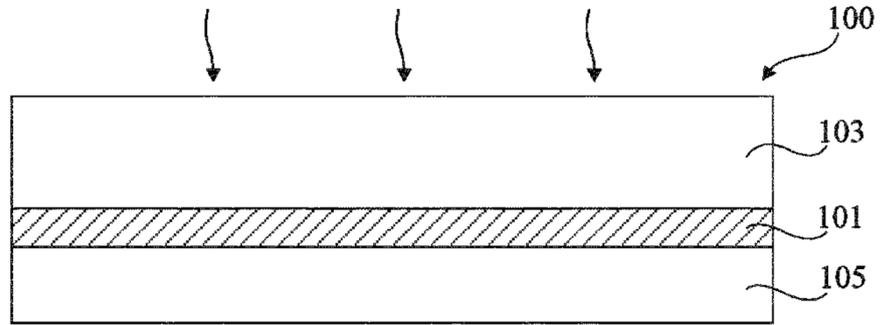


Fig 1

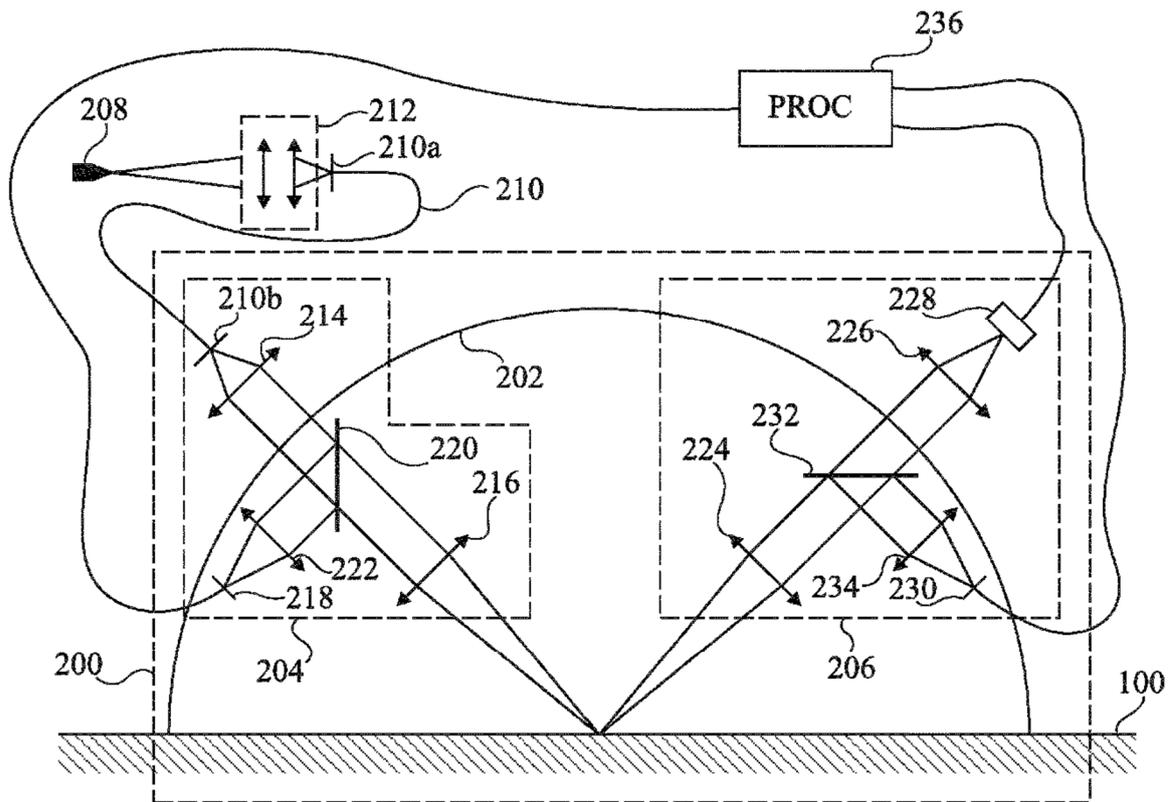
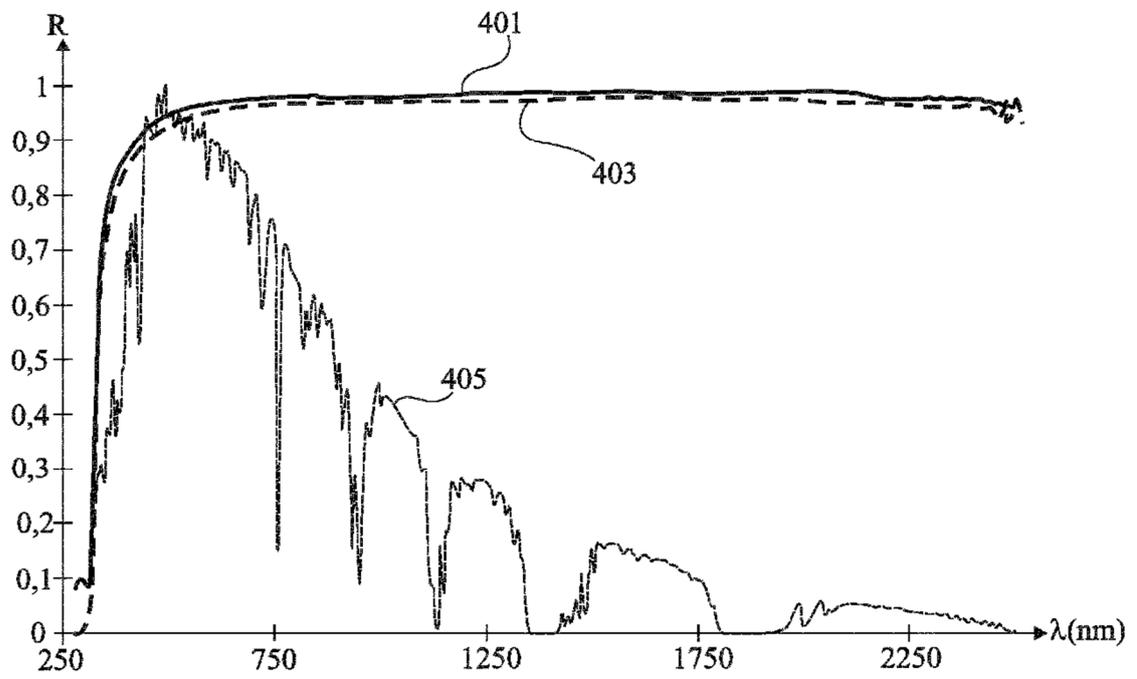
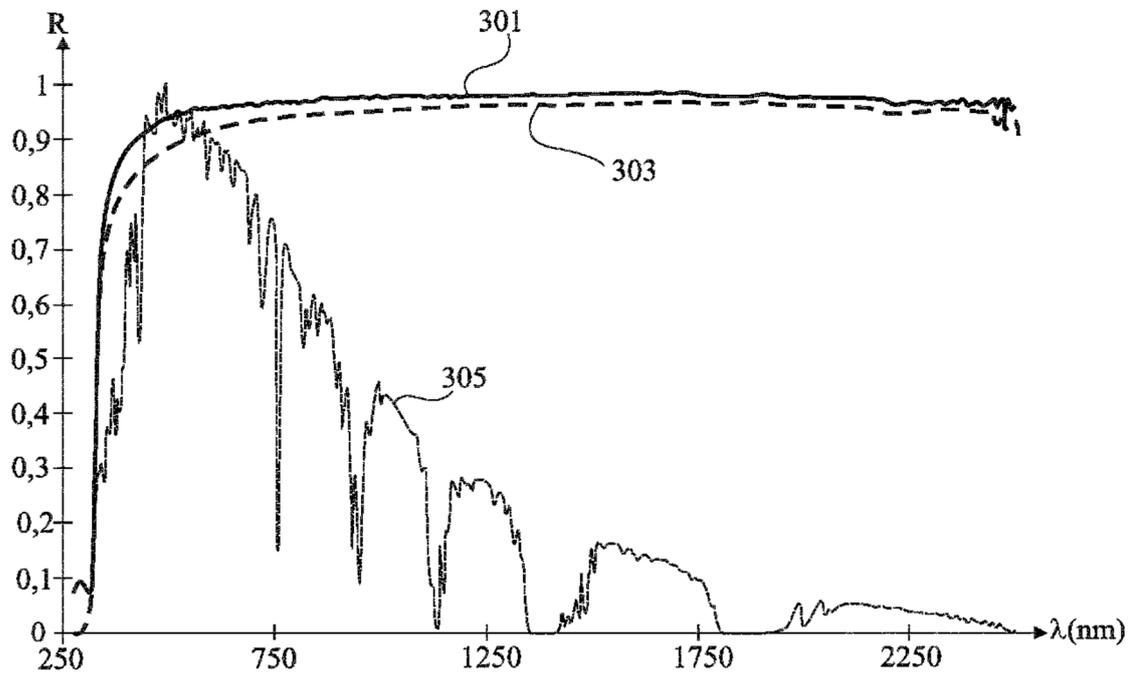


Fig 2



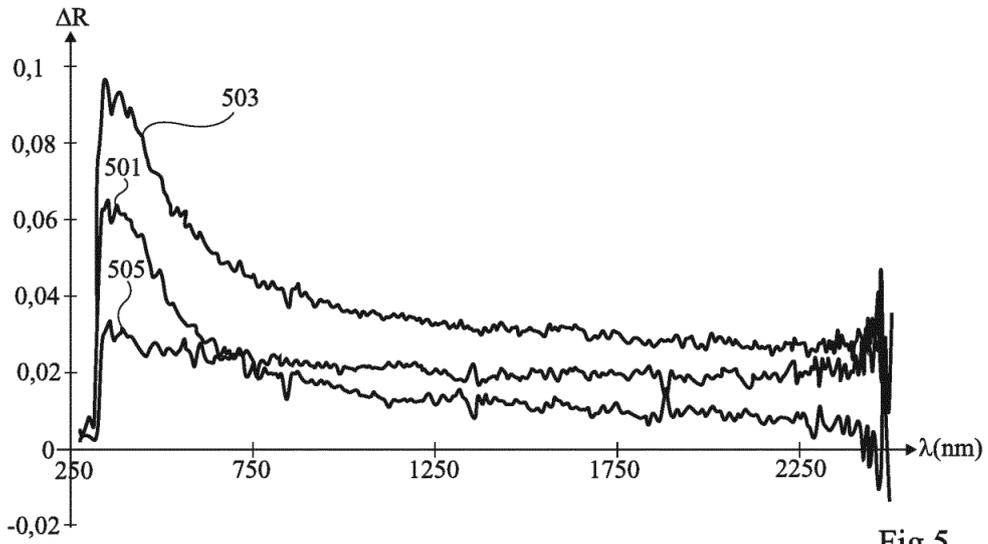


Fig 5

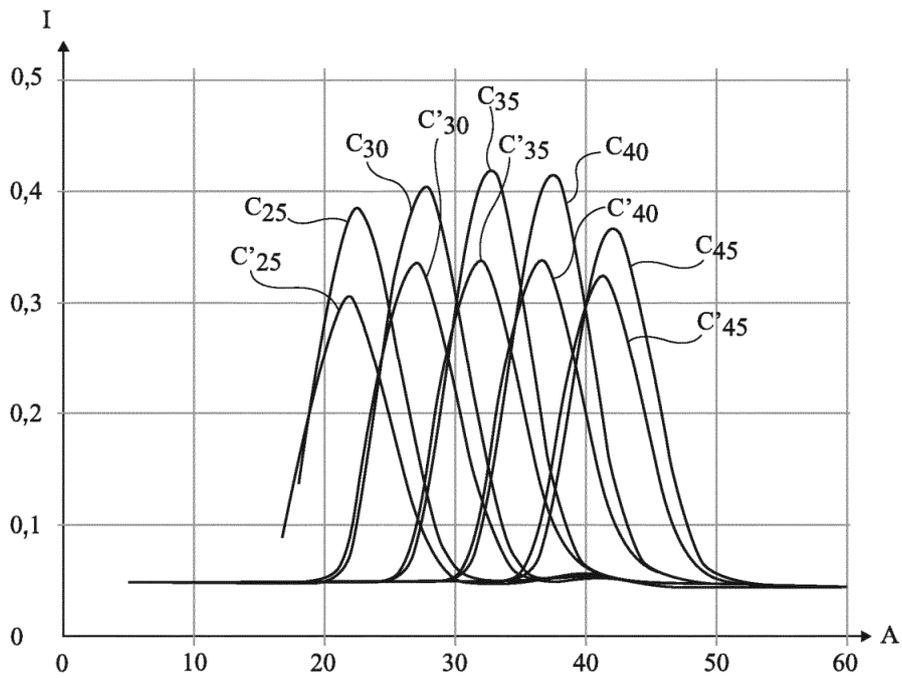


Fig 6