

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

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional
WO 2009/144341 A1

(43) Fecha de publicación internacional
3 de diciembre de 2009 (03.12.2009)

PCT

(51) Clasificación Internacional de Patentes:

G01B 11/16 (2006.01) G01K 11/32 (2006.01)
G01L 1/24 (2006.01) G01D 5/353 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/ES2009/000293

(22) Fecha de presentación internacional:

28 de mayo de 2009 (28.05.2009)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

P200801728 29 de mayo de 2008 (29.05.2008) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US): **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA** [ES/ES]; CTT-Edif. 6G, Camino de Vera, s/n, E-46022 Valencia (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **ADAM MARTÍNEZ, José Miguel** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **BARRERA VILAR, David** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **CALDERÓN GARCÍA, Pedro Antonio** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **CAPMANY FRANCOY, José** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera

s/n, E-46022 Valencia (ES). **GARCÍA OLCINA, Raimundo** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **GASCH MOLINA, María Isabel** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **GÍMENEZ CARBÓ, Ester** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **IVORRA CHORRO, Salvador** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **PAYÁ ZAFORTEZA, Ignacio Javier** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES). **SALES MAICAS, Salvador** [ES/ES]; Universidad Politécnica de Valencia, CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES).

(74) Mandatario: **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**; CTT-Edif. 6G, Camino de Vera s/n, E-46022 Valencia (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: OPTICAL SENSOR FOR STRUCTURAL MONITORING

(54) Título: SENSOR ÓPTICO PARA LA MONITORIZACION DE ESTRUCTURA

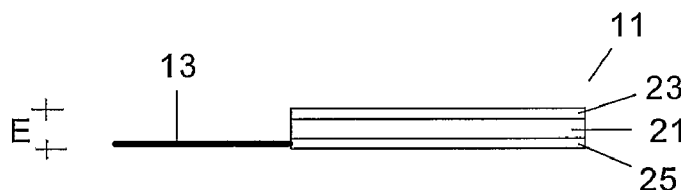


FIG. 1c

(57) Abstract: The invention relates to an optical sensor for monitoring structures, using a Bragg diffraction grating to measure a physical characteristic of a structure, including an element (11) supporting the optical fibre (13) that is used to secure the sensor to the surface of the structural element. According to the invention, the above-mentioned supporting element (11) is a laminate of a thermostable plastic material reinforced with glass fibre and the optical fibre (13) is embedded in the supporting element (11) asymmetrically in relation to the mid-plane thereof so that it remains in a position that is closer to the face to be secured to the surface of the structural element than the opposite face. The invention also relates to a method for producing said optical sensor.

(57) Resumen: Sensor óptico para la monitorización de estructuras basado en una red de difracción de Bragg para la medida de una característica física de las mismas que comprende un elemento portador (11) de la fibra óptica (13) que sirve para fijar el sensor a la superficie de dicho elemento estructural, en el que dicho elemento portador (11) es un laminado de un material plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio y la fibra óptica (13) está embebida en dicho elemento portador (11) en una disposición asimétrica respecto de su plano medio de manera que quede situada en una posición más próxima a la cara destinada a fijarse en la superficie del elemento estructural que a la cara opuesta. La invención también se refiere a un procedimiento para la fabricación de dicho sensor óptico.

WO 2009/144341 A1

**(84) Estados designados** *(a menos que se indique otra cosa,**para toda clase de protección regional admisible):*

ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

- *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*
- *antes de la expiración del plazo para modificar las reivindicaciones y para ser republicada si se reciben modificaciones (Regla 48.2(h))*

SENSOR ÓPTICO PARA LA MONITORIZACION DE ESTRUCTURAS

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención se refiere a un sensor óptico para la medición de deformaciones mecánicas y/o temperaturas en las superficies de elementos estructurales y, más en particular, al elemento portador del sensor que es necesario para fijarlo a dichas superficies.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10 Las redes de difracción de Bragg (en adelante FBG, iniciales de la expresión inglesa "Fiber Bragg Grating") son dispositivos ópticos fabricados en el núcleo de una fibra óptica mediante la exposición de ésta a un patrón de interferencia óptica de luz ultravioleta. Estos dispositivos son sensibles a deformaciones mecánicas y a la temperatura lo que los convierte en dispositivos ideales para la medida de sus magnitudes.

15 Por las propiedades de la fibra óptica, los sensores ópticos resultan especialmente vulnerables a golpes y otros incidentes durante su manipulación y su fijación sobre el elemento cuya deformación y/o temperatura se pretende medir suele presentar problemas de diversa índole. Por ello, resulta conveniente proveer al sensor de elementos portadores que protejan la fibra óptica y faciliten su manipulación y fijación.

20 Son conocidos sensores ópticos con diversos tipos de elementos portadores como, por ejemplo, los descritos en las patentes EP 1 635 034 A1, GB 2 404 018 A y EP 1 816 432 A1.

25 Los sensores conocidos tienen el inconveniente de que ó bien el coeficiente de sensibilidad de la FBG disminuye notablemente al embeberla en el elemento portador, ó bien utilizan elementos portadores costosos y difíciles de fabricar, dos inconvenientes relevantes para los sensores ópticos dirigidos a la monitorización de elementos estructurales.

30

- 2 -

La presente invención está orientada a la solución de esos inconvenientes.

SUMARIO DE LA INVENCION

5

Un objeto de la presente invención es proporcionar un sensor óptico que permita medir de forma sencilla fiable y robusta las deformaciones y/o la temperatura en la superficie de un elemento estructural de hormigón, acero ú otros materiales.

10

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sensor óptico para medir las deformaciones y/o la temperatura en el superficie de un elemento estructural de hormigón ú otros materiales con un alto coeficiente de sensibilidad en relación a dichas magnitudes.

15

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un sensor óptico para medir las deformaciones y/o la temperatura en el superficie de un elemento estructural de hormigón ú otros materiales de bajo coste y fácil fabricación.

20

En un primer aspecto, esos y otros objetos se consiguen con un sensor óptico basado en una red de difracción de Bragg para la medida de una característica física de un elemento estructural que comprende un elemento portador de la fibra óptica que sirve para fijar el sensor a la superficie de dicho elemento estructural, en el que:

- Dicho elemento portador es un laminado de un material plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio;

25

- La fibra óptica está embebida en dicho elemento portador en una disposición asimétrica respecto de su plano medio de manera que quede situada en una posición más próxima a la cara destinada a fijarse en la superficie del elemento estructural que a la cara opuesta.

30

En una realización preferente, dicho laminado comprende una capa de fibra de vidrio dispuesta entre dos capas de material plástico y la fibra óptica queda embebida en una de esas capas. Se consigue con ello un elemento portador de bajo coste y fácil fabricación.

- 3 -

En otra realización preferente, la longitud mínima L de dicho elemento portador es de 2,5 cm, la anchura mínima A es de 5 mm y el espesor mínimo E es de 0,5 mm. Se consigue con ello un elemento portador apropiado para la medición de deformaciones y/o la temperatura de elementos estructurales de hormigón, acero ú otros materiales.

En un segundo aspecto, esos y otros objetos se consiguen con un procedimiento para la fabricación de un sensor óptico basado en una red de difracción de Bragg para la medida de una característica física de un elemento estructural que comprende un elemento portador de la fibra óptica que sirve para fijar el sensor a la superficie de dicho elemento estructural, que comprende los siguientes pasos:

- a) Se recubre con material desmoldeante una superficie lisa donde se han marcado previamente las dimensiones deseadas para el elemento portador.
- b) Se coloca sobre dicha superficie la fibra óptica debidamente alineada y centrada.
- c) Se aplica una capa muy fina de un material plástico.
- d) Se coloca una lámina de fibra de vidrio.
- e) Se aplica otra capa muy fina de un material plástico.
- f) Se separa el sensor de dicha superficie una vez que se haya consolidado el laminado formado en los pasos c), d) y e).

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue de una realización ilustrativa, y en ningún sentido limitativa, de la misma en relación con los dibujos que se acompañan.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Las Figuras 1a y 1b son, respectivamente, vistas esquemáticas en sección transversal y en planta de un sensor óptico según la presente invención y la Figura 1c es una vista ampliada de la zona W de la Figura 1a.

La Figura 2 muestra una serie de datos experimentales sobre la relación entre la deformación en la fibra óptica y la longitud de onda del sensor óptico.

- 4 -

La Figura 3 muestra las diferencias de sensibilidad entre una FBG sin elemento portador y dos sensores ópticos encapsulados a distinta distancia de la estructura que se desea medir. La diferencia estriba en que uno de los sensores encapsulados tiene la FBG embebida en el plano medio del elemento portador mientras el segundo, según la presente invención, tiene una disposición asimétrica respecto al plano medio, estando colocado de esta forma más próximo a la estructura que se desea monitorizar.

La Figura 4 muestra los resultados obtenidos en un ensayo a compresión de una probeta cilíndrica de hormigón por cuatro sensores ópticos según la presente invención y dos galgas extensiométricas.

La Figura 5 muestra una probeta de hormigón con dos sensores según la presente invención y una galga extensiométrica entre ellos.

La Figura 6 muestra un pilar de acero con dos sensores según la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

En la Figura 1 se muestra un sensor óptico para la monitorización de estructuras según una realización de la presente invención que comprende el elemento portador 11 y la fibra óptica 13.

Las dimensiones mínimas del elemento portador 11 son una longitud L de 2,5 cm, una anchura A de 5 mm y un espesor E de 0,5 mm y vienen determinadas, por un lado, por el perfil de las FBGs seleccionado para la monitorización de estructuras que requiere aproximadamente 2 cm de fibra óptica 13 y, por otro lado, por las condicionantes derivados de su manejo y fijación a la estructura. El diámetro de la fibra óptica 13 es de $254\ \mu\text{m} \pm 5\%$.

El elemento portador 11 del sensor óptico representado en las Figuras 5 y 6 tiene una longitud L de 10 cm, una anchura A de 1 cm y un espesor E de 0,5 mm. Esas dimensiones son apropiadas para el caso de sensores destinados a la monitorización de deformaciones en superficies de hormigón ó acero en los que una mayor superficie del elemento portador 11 permite una mejor adhesión del sensor a la superficie y la obtención de unos resultados más fiables.

El sensor se fija a la superficie de la estructura en cuestión mediante una capa de un adhesivo apropiado y, si la superficie es vertical, se dispone de forma temporal, hasta que cura el adhesivo, una cinta adhesiva sobre el elemento portador.

5 Uno de los aspectos más importantes a la hora de diseñar sensores ópticos basados en FBGs es su sensibilidad y a estos efectos nos referiremos a sensores encapsulados o sensores sin encapsular según tengan o no tengan un elemento portador que proporcione protección a la fibra óptica y permita su manipulación y fijación a la superficie de la estructura a monitorizar.

10 Para los sensores sin encapsular, la variación de la longitud de onda reflejada por la FBG debida a las deformaciones viene determinada por la siguiente fórmula:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B \left\{ \left[1 - \left(\frac{n^2}{2} \right) [p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \right] \Delta\varepsilon + \left[\left(\frac{n^2}{2} \right) (p_{11} - 2p_{12}) \alpha + \frac{1}{n} \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right) \right] \Delta T \right\} \quad (1)$$

15 Los términos que acompañan a la variación de la deformación y al incremento de temperatura son aproximadamente constantes para un diseño determinado del sensor, lo que permite simplificar la fórmula anterior a:

$$\Delta\lambda_B = K_\varepsilon \cdot \Delta\varepsilon + K_T \cdot \Delta T \quad (2)$$

donde K_ε y K_T representan la sensibilidad a la deformación y a la temperatura respectivamente y pueden determinarse experimentalmente.

20 La variación de la longitud de onda con la temperatura se puede compensar bien con otro sensor óptico que no esté mecánicamente sujeto a las deformaciones que se quieren medir o bien conociendo la temperatura mediante cualquier otro método.

25 El coeficiente de sensibilidad a la deformación del sensor óptico sin encapsular que estamos considerando, es decir la relación entre la variación de la longitud de onda reflejada por el sensor óptico y la deformación en la fibra óptica, obtenido experimentalmente, es de 1.15 nm/(μm/m) según se deduce de los resultados mostrados en la Figura 2.

30 El principal problema planteado por la necesidad de encapsular el sensor óptico es que la fibra óptica queda sujeta a las propiedades mecánicas y

- 6 -

térmicas del material que la recubre lo que implica, de no hacerlo de una forma adecuada, una reducción de la sensibilidad en deformación y en temperatura.

Según la presente invención, la fibra óptica 13 debe quedar embebida en el elemento portador 11 en una posición más próxima a la cara destinada a fijarse en la superficie del elemento estructural que en la cara opuesta.

En este sentido, se ha comprobado que el coeficiente de sensibilidad del sensor depende de la distancia de la fibra óptica 13 a la superficie donde se pretende medir la deformación.

Según la presente invención el elemento portador 11 es un laminado de un material plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio y la fibra óptica 13 está embebida en él en una posición más próxima a la cara destinada a fijarse en la superficie del elemento estructural que a la cara opuesta.

Ese laminado está formado con una capa de fibra de vidrio 21 dispuesta entre dos capas de material plástico 23, 25.

En una realización preferente se utilizan para la capa de fibra de vidrio 21 láminas del material M501 fabricado por Ahlshom y como material plástico se utiliza una resina de poliéster mezclada con un agente de endurecimiento, tal como la resina CRYSTIC 446PALV fabricada por Scott Bader mezclada con el catalizador de poliéster P-200 comercializado por GLASPOL COMPOSITES, S.L.

Seguidamente y en referencia a la Figura 1 describimos los pasos de un procedimiento apto para la fabricación del sensor óptico objeto de la presente invención:

- Primero: Se marcan sobre una superficie lisa las dimensiones del elemento portador 11 y se cubre dicha superficie con un desmoldeante tal como, por ejemplo, cera.

- Segundo: Se coloca sobre la superficie lisa la fibra óptica 13 procurando mantenerla centrada y alineada. Para asegurar su inmovilidad durante el resto del procedimiento se pueden fijar sus extremos, fuera del elemento portador 11, mediante una cinta adhesiva de manera que se aplique la mínima tensión de tracción necesaria para mantenerla recta.

- 7 -

- Tercero: Se aplica con un pincel una capa 25 muy fina de resina de poliéster mezclada con un catalizador del tamaño del elemento portador 11 marcado.

5 - Cuarto: Se coloca una lámina de fibra de vidrio 21, cortada previamente con el tamaño del elemento portador 11, sobre la fibra óptica 13 y la capa de resina 25.

- Quinto: Se añade otra capa 23 muy fina de resina de poliéster mezclada con un catalizador.

- Sexto: Se deja secar el laminado durante 24 horas.

10 - Séptimo: Se despega el elemento portador 11 de la superficie lisa.

El sensor óptico según la presente invención tiene la misma sensibilidad que una FBG sin encapsular, que a su vez es mayor que la de un sensor óptico con un elemento portador realizado con idénticos materiales pero con la fibra óptica embebida en torno al plano central del elemento portador.

15 En ese sentido, la Figura 3 muestra la sensibilidad 45 original de la FBG como elemento sensor, esta sensibilidad es de $1.15 \text{ nm}/(\mu\text{m}/\text{m})$. Se observa que el sensor sin encapsular no es capaz de medir compresiones, si previamente no se ha pretensado la FBG, y que su rango de medida máximo está en torno a $2000 \mu\text{m}/\text{m}$. En la misma Figura 3 y a modo de comparación se muestra la
20 sensibilidad 43 obtenida al embeber las FBG en el plano medio del sistema portador y la sensibilidad 41 al embeber la FBG de forma asimétrica según la presente invención.

El sensor óptico propuesto, posee la misma sensibilidad que la FBG sin embeber. Además, permite medir compresiones sin necesidad de pretensar la
25 FBG. Por otro lado, al embeber la FBG la fibra óptica adquiere las propiedades de los materiales en los que se embebe, permitiendo un mayor margen elástico y por tanto aumentando el rango de medida de los sensores, como se observa en la Figura 3, debido a la gran elasticidad de los materiales que forman el encapsulado en la presente invención.

30 La Figura 4 valida las conclusiones citadas previamente en un ensayo sobre un elemento de construcción. Las gráficas 51, 53, 55, 57 son las de 4 sensores ópticos según la presente invención y, a efectos comparativos los

- 8 -

resultados 61, 63 obtenidos con 2 galgas extensiométricos, sobre unas probetas cilíndricas de hormigón sometidas a compresión. Se puede observar como en la zona elástica de la probeta de hormigón, aquella donde las deformaciones no son permanentes, los resultados muestran que todos los sensores ópticos
5 tienen la misma sensibilidad (a pesar de ser fabricados manualmente) lo que permite obtener una gran precisión en las medidas de los sensores ópticos. La zona de régimen no elástico, la zona donde las deformaciones son permanentes, el hormigón no se comporta por igual a lo largo de la superficie debido a la aparición de fisuras, es por ello que los distintos sensores muestran
10 unos resultados ligeramente distintos dependiendo de su ubicación sobre la superficie.

Los sensores ópticos según la presente invención son aplicables tanto para la medición de deformaciones del hormigón (como se ilustra en la Figura 5), del acero (como se ilustra en la Figura 6) ó de otros materiales y facilitan por
15 tanto el control en tiempo real de las infraestructuras durante su vida útil con medios no destructivos, lo que implica efectos beneficiosos a todos los agentes involucrados. En ese sentido, los fabricantes de elementos prefabricados y las empresas constructoras podrían monitorizar en tiempo real los diversos elementos estructurales que fabrican y/o construyen con las ventajas que ello
20 conlleva. Por su parte el mantenimiento de las infraestructuras se vería facilitado con su monitorización en tiempo real permitiendo reducir su coste y garantizar su integridad.

Aunque la presente invención se ha descrito enteramente en conexión con realizaciones preferidas, es evidente que se pueden introducir aquellas
25 modificaciones dentro de su alcance, no considerando éste como limitado por las anteriores realizaciones, sino por el contenido de las reivindicaciones siguientes.

REIVINDICACIONES

1.- Sensor óptico basado en una red de difracción de Bragg para la medida de una característica física de un elemento estructural que comprende un elemento portador (11) de la fibra óptica (13) que sirve para fijar el sensor a la superficie de dicho elemento estructural, caracterizado porque:

a) dicho elemento portador (11) es un laminado de un material plástico termoestable reforzado con fibra de vidrio;

b) la fibra óptica (13) está embebida en dicho elemento portador (11) en una disposición asimétrica respecto de su plano medio de manera que quede situada en una posición más próxima a la cara destinada a fijarse en la superficie del elemento estructural que a la cara opuesta.

2.- Sensor óptico según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha característica física es una deformación de dicho elemento estructural debida a un esfuerzo mecánico y/o su temperatura.

3.- Sensor óptico según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, caracterizado porque dicho laminado comprende una capa de fibra de vidrio (21) dispuesta entre dos capas de material plástico (23, 25).

4.- Sensor óptico según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque la fibra óptica está embebida en la capa de material plástico (23) correspondiente a la cara del elemento portador (11) destinada a fijarse en la superficie del elemento estructural.

5.- Sensor óptico según cualquiera de dichas reivindicaciones 1-4 caracterizado porque dicho material plástico es una resina de poliéster mezclada con un catalizador.

30

6.- Sensor óptico según cualquiera de dichas reivindicaciones 1-5 caracterizado porque la longitud mínima L de dicho elemento portador (11) es

- 10 -

de 2,5 cm, la anchura mínima A es de 5 mm y el espesor mínimo E es de 0,5 mm.

5 7.- Procedimiento para la fabricación de un sensor óptico basado en una red de difracción de Bragg para la medida de una característica física de un elemento estructural que comprende un elemento portador (11) de la fibra óptica (13) que sirve para fijar el sensor a la superficie de dicho elemento estructural, caracterizado porque comprende los siguientes pasos:

10 a) Se recubre con material desmoldeante una superficie lisa donde se han marcado previamente las dimensiones deseadas para el elemento portador (11);

b) Se coloca sobre dicha superficie la fibra óptica (13) debidamente alineada y centrada;

c) Se aplica una capa muy fina de un material plástico (25);

15 d) Se coloca una lámina de fibra de vidrio (21);

e) Se aplica otra capa muy fina de un material plástico (23).

f) Se separa el sensor de dicha superficie una vez que se haya consolidado el laminado formado en los pasos c), d) y e).

20 8.- Procedimiento para la fabricación de un sensor óptico según la reivindicación 7, caracterizado porque dicho material plástico es una resina de poliéster mezclada con un agente de endurecimiento.

25 9.- Procedimiento para la fabricación de un sensor óptico según cualquiera de las reivindicaciones 7-8, caracterizado porque la longitud mínima L de dicho elemento portador (11) es de 2,5 cm, la anchura mínima A es de 5 mm y el espesor mínimo E es de 0,5 mm.

- 1/3 -



FIG. 1a

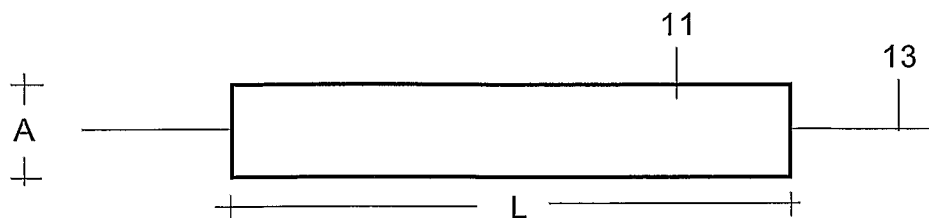


FIG. 1b

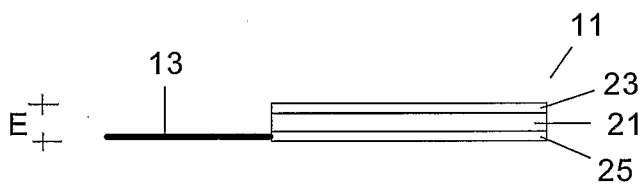


FIG. 1c

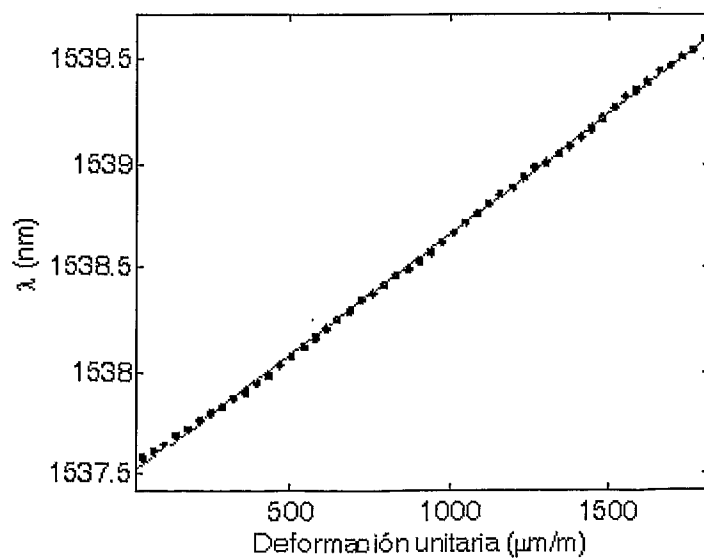


FIG. 2

- 2/3 -

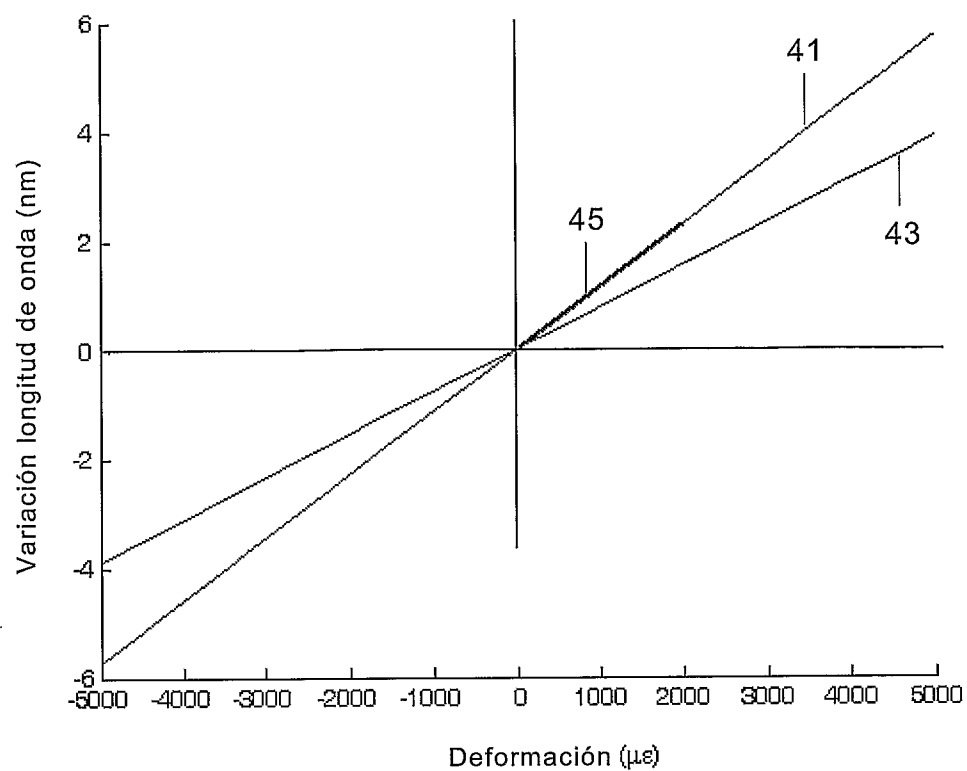


FIG. 3

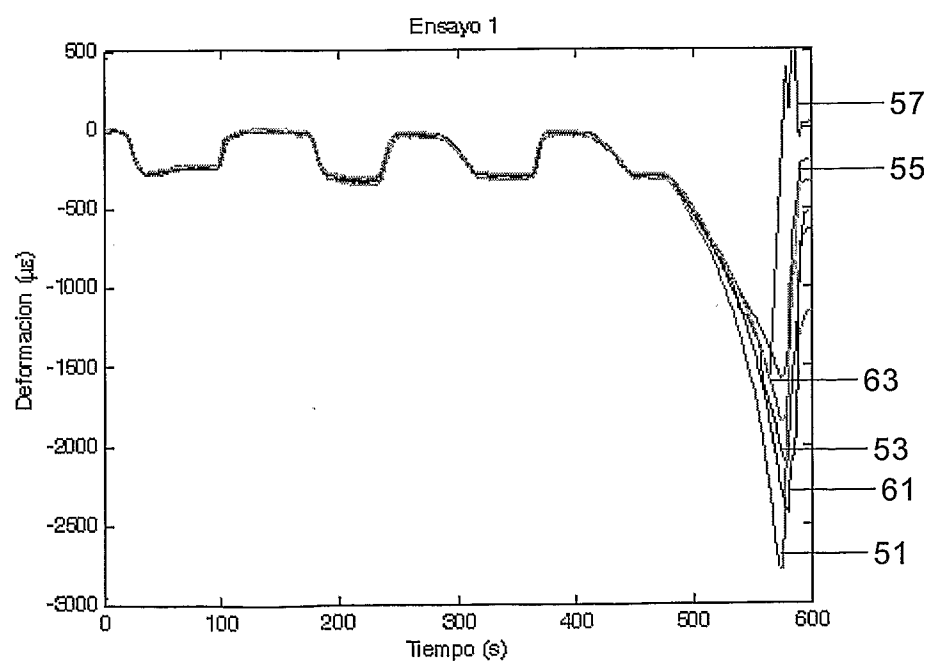


FIG. 4

- 3/3 -



FIG. 5



FIG. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2009/000293

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B+,G01L+,G01K+,G01D+

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

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

INVENES,EPODOC,WPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 0246712 A1 (UNIV NANYANG ; TJIN SWEE CHUAN) 13.06.2002, page 1, line 10 - page 3, line 23; page 5, line 4 - page 12, line 7; figures 3,6A and 6B.	1-2,7-9 3-6
Y A	WO 2004104539 A1 (UNIV NANYANG ; TJIN SWEE CHUAN) 02.12.2004, the whole document.	3-6 1-2,7-9
A	WO 9719325 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 29.05.1997, the whole document.	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

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

Date of the actual completion of the international search

14 October 2009 (14.10.2009)

Date of mailing of the international search report

(23/10/2009)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.

Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

J. Herrando Calvo

Telephone No. +34 91 349 55 78

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2009/000293

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0246712 A	13.06.2002	AU 1864302 A EP 1340061 A EP 20010999793 US 2004074307 A US 7027672 B	18.06.2002 03.09.2003 27.11.2001 22.04.2004 11.04.2006
WO 9719325 A	29.05.1997	US 5770155 A EP 0862729 AB EP 19960940596 CN 1202964 A CN 1090318 C DE 862729 T JP 2000501176 T DK 862729 T DE 69619261 T JP 3943596 B	23.06.1998 09.09.1998 21.11.1996 23.12.1998 04.09.2002 06.05.1999 02.02.2000 13.05.2002 18.07.2002 11.07.2007
WO 2004104539 A	02.12.2004	US 2007280583 A US 7466879 B	06.12.2007 16.12.2008

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2009/000293

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/16 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G01K 11/32 (2006.01)

G01D 5/353 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional N°
PCT/ ES 2009/000293

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

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

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

G01B+,G01L+,G01K+,G01D+

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

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

INVENES,EPODOC,WPI

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones N°
X Y	WO 0246712 A1 (UNIV NANYANG ; TJIN SWEE CHUAN) 13.06.2002, página 1, línea 10 - página 3, línea 23; página 5, línea 4 - página 12, línea 7; figuras 3,6A y 6B.	1-2,7-9 3-6
Y A	WO 2004104539 A1 (UNIV NANYANG ; TJIN SWEE CHUAN) 02.12.2004, todo el documento.	3-6 1-2,7-9
A	WO 9719325 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP) 29.05.1997, todo el documento.	1-9

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

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
14 Octubre 2009 (14.10.2009)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional
23-OCTUBRE-2009 (23/10/2009)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
O.E.P.M.

Funcionario autorizado
J. Herrando Calvo

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.
N° de fax 34 91 3495304

N° de teléfono +34 91 349 55 78

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional N°

PCT/ES 2009/000293

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO 0246712 A	13.06.2002	AU 1864302 A EP 1340061 A EP 20010999793 US 2004074307 A US 7027672 B	18.06.2002 03.09.2003 27.11.2001 22.04.2004 11.04.2006
WO 9719325 A	29.05.1997	US 5770155 A EP 0862729 AB EP 19960940596 CN 1202964 A CN 1090318 C DE 862729 T JP 2000501176 T DK 862729 T DE 69619261 T JP 3943596 B	23.06.1998 09.09.1998 21.11.1996 23.12.1998 04.09.2002 06.05.1999 02.02.2000 13.05.2002 18.07.2002 11.07.2007
WO 2004104539 A	02.12.2004	US 2007280583 A US 7466879 B	06.12.2007 16.12.2008

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

G01B 11/16 (2006.01)

G01L 1/24 (2006.01)

G01K 11/32 (2006.01)

G01D 5/353 (2006.01)