

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 930 422**

51 Int. Cl.:

G01K 11/32

(2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.10.2019** **PCT/FR2019/052342**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.04.2020** **WO20074808**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.10.2019** **E 19801949 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2022** **EP 3844466**

54 Título: **Sensor de temperatura de rejilla de Bragg insensible a las deformaciones**

30 Prioridad:

08.10.2018 FR 1859319

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

12.12.2022

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment le Ponant 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**ROUSSEL, NICOLAS;
COTILLARD, ROMAIN y
LAFFONT, GUILLAUME**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 930 422 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

Sensor de temperatura de rejilla de Bragg insensible a las deformaciones

Campo técnico

5 La invención se sitúa en el campo de los sensores de temperatura y, más concretamente, en el campo de los sensores de temperatura de fibra óptica de rejilla de Bragg. La misma se refiere a un sensor de temperatura de este tipo, a un procedimiento de fabricación de este sensor de temperatura, a un sensor de temperatura y de deformación que comprende dicho sensor, así como a un conjunto de medición que comprende este sensor de temperatura.

La invención encuentra en particular un uso en aplicaciones integradas de control de la salud, el sensor de temperatura el cual se puede integrar en la superficie de una estructura a controlar, o incluso dentro de esta estructura.

10 Estado de la técnica anterior

El control integrado de la salud, o "*structural health monitoring*" en inglés, consiste en medir los esfuerzos térmicos y/o mecánicos aplicados a una estructura y en deducir un estado de esta estructura, en particular la presencia de daños. Los sensores de fibra óptica de rejilla de Bragg son especialmente apropiados para realizar estas mediciones. Permiten proporcionar mediciones de temperatura y deformación tanto en régimen estático o cuasiestático como en régimen dinámico. En particular, es posible efectuar mediciones de vibración, mediciones de aceleración o incluso detectar ondas acústicas. Los datos recopilados por tanto se pueden aprovechar para detectar y caracterizar la presencia de un daño en la estructura. Además, un mismo sensor de fibra óptica puede comprender varias rejillas de Bragg que actúan en bandas de longitud de onda diferenciadas y que proporcionan por tanto tantos elementos sensibles para una misma fibra óptica, siendo estos elementos individualmente direccionables por multiplexación espectral. El direccionamiento individual también es posible mediante multiplexación por división de tiempo o mediante multiplexación a la vez espectral y temporal. Por tanto también es posible localizar un daño en la estructura. Una dificultad asociada con los sensores de rejilla de Bragg es que son sensibles a las variaciones en la longitud de sus rejillas de Bragg independientemente del origen térmico o mecánico de estas variaciones de longitud. Por tanto, para una rejilla de Bragg dada, la variación de su longitud, medida por variación de la longitud de onda de Bragg, no permite determinar directamente una variación de temperatura o de deformación de origen puramente mecánico.

En particular, se ha propuesto una solución para desacoplar las mediciones de deformación de origen mecánico de las de origen térmico en M. Song, S.B. Lee, S.S. Choi y B. Lee, "*Simultaneous Measurement of Temperature and Strain Using Two Fiber Bragg Gratings Embedded in a Glass Tube*", Optical Fiber Technology 3, p. 194-196, 1997. El principio se basa en el uso de dos rejillas de Bragg con características supuestamente idénticas en la misma fibra. Una primera rejilla de Bragg se somete simultáneamente a dos sollicitaciones exteriores: temperatura y deformación. Una segunda rejilla de Bragg, situada en el extremo de la fibra óptica, se aísla mecánicamente introduciendo el extremo de la fibra óptica en un tubo capilar. La fibra óptica, al estar fijada solo en un lado, es mecánicamente libre y, por lo tanto, solo será sensible a las variaciones de temperatura. La resolución de un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas permite por tanto determinar cada una de las incógnitas, a saber, la variación de temperatura y la variación de tensión. Un inconveniente de esta solución es que el sensor presenta un volumen mayor que el de la fibra óptica, lo que probablemente complique su integración en una estructura. Otro inconveniente es que la resolución espacial está limitada por la presencia de dos rejillas de Bragg en serie para un solo punto de medición. La solución presenta aun el inconveniente de ser incompatible con la multiplexación, en la medida en que la fibra óptica que contiene la rejilla de Bragg asignada a la medición de la temperatura está cortada en el extremo para ser encerrada en un capilar.

También se ha propuesto medir temperaturas utilizando fibras ópticas que presentan una rejilla de período largo, o "*Long-Period Grating* (LPG)" en inglés. Estas fibras ópticas se describen, por ejemplo, en AM Vengsarkar, PJ Lemaire, JB Judkins, V. Bathia, T. Erdogan y JE Sipe, "*Long-period fiber gratings as band-rejection filters*", Journal of Lightwave technology, p. 58-65, 1996 y en V. Bathia et al AM Vengsarkar, "*Optical fiber long-period grating sensors*", Optics Letters, P. 692-694, 1996. Las mismas presentan propiedades útiles para el desacoplamiento ya que, por un lado, son aproximadamente dos veces menos sensibles a la deformación y cinco veces más sensibles a las variaciones de temperatura que una fibra óptica de rejilla de Bragg convencional. Por tanto, una fibra óptica LPG puede tener una sensibilidad a la deformación de 0.5 pm/ $\mu\epsilon$ (picómetro por $\mu\epsilon$, donde $\mu\epsilon$ designa una variación de la longitud de la fibra óptica, en micrómetros por metro) y de 60 pm/ $^{\circ}\text{C}$ (picómetro por grado Celsius). Las combinaciones de varias fibras ópticas LPG o de una fibra óptica LPG con una fibra óptica de rejilla de Bragg convencional permiten obtener un desacoplamiento de los efectos térmico y mecánico. El documento BH Lee, Y. Chung, WT Han y UC Paek, "*Temperature sensor based on self-interference of a single long-period fiber grating*", IEICE Transactions on Electronics, p. 287-292, 2000 describe un ejemplo de dicha combinación que da como resultado un sensor cuya sensibilidad térmica es de 55 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$ con un error de 0,2 $^{\circ}\text{C}$. Un inconveniente de estos sensores basados en una rejilla de período largo es que el espectro solo se puede aprovechar en la transmisión. Además, el pico del espectro es relativamente amplio, lo que puede plantear problemas de detección. Finalmente, la rejilla de período largo se extiende sobre una longitud de 10 a 50 MM, es decir, una longitud significativamente mayor que la de una rejilla de Bragg. Por lo tanto, la resolución de las mediciones es limitada.

Otra solución, propuesta en G.P. Brady, K. Kalli, D.J. Webb, D.A. Jackson, L. Reekie y J.L. Archambault, "*Simultaneous measurement of strain and temperature using the first and second-order diffraction wavelengths of Bragg gratings*", IEE Proceedings-Optoelectronics, p. 156-161, 199, se basa en la observación de múltiples órdenes de difracción de una sola rejilla de Bragg, asumiendo que las sensibilidades son distintas para cada orden de difracción. Entonces es teóricamente posible obtener un sistema de ecuaciones independientes para una sola rejilla de Bragg. Sin embargo, las incertidumbres de medición de temperatura y de deformación son relativamente significativas, del orden de 0,7°C y 25 µε (micrómetros por metro).

Se ha propuesto además en MG Xu, JL Arcambault, L. Reekie y JP Dakin, "*Discrimination between strain and temperature effects using dual-wavelength fibre grating sensors*", Electronics Letters, p. 1085-1087, 1994 inscribir en el mismo lugar de la fibra óptica dos rejillas de Bragg que presentan longitudes de onda de Bragg distintas. Esta solución permite obtener una buena resolución espacial. Sin embargo, las incertidumbres de medición son significativas, del orden de 5 °C y 10 µε.

Las soluciones antes mencionadas para medir una temperatura y una deformación con la ayuda de un sensor de fibra óptica no son, por lo tanto, del todo satisfactorias. Por lo tanto, un objetivo de la invención es proponer un sensor de fibra óptica que permita medir de manera simple y fiable al menos una temperatura. La invención tiene además como objetivo proporcionar un sensor de fibra óptica cuyos costes de diseño, de fabricación y de mantenimiento sean compatibles con su uso a escala industrial.

Descripción de la invención

Con este fin, la invención se basa en el mecanizado de una fibra óptica que comprende una rejilla de Bragg, el mecanizado que se dispone para aislar la rejilla de Bragg de la propagación de los esfuerzos mecánicos sufridos por la fibra óptica. La rejilla de Bragg solo conserva la sensibilidad a la temperatura.

Más concretamente, la invención tiene por objeto un sensor de temperatura de rejilla de Bragg que comprende una fibra óptica que comprende un núcleo, un revestimiento óptico que rodea el núcleo y una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo y que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección sensible. Según la invención, el núcleo comprende una rotura de núcleo que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección de rotura de núcleo, la sección de rotura de núcleo que se sitúa en las inmediaciones de la sección sensible, y el revestimiento óptico comprende una rotura de revestimiento que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección de rotura del revestimiento, la sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible.

La fibra óptica puede ser una fibra óptica de núcleo sólido, es decir una fibra óptica cuyo núcleo está formado por un material, normalmente sílice. La sílice puede opcionalmente estar dopada para adaptar su índice de refracción y/o sus propiedades ópticas y/o mecánicas.

En el sentido de la invención, se entiende por rotura de núcleo en una sección de rotura de núcleo una ausencia del material que constituye el núcleo en esta sección. La rotura de núcleo genera por tanto un vacío, un hueco o un corte a nivel del núcleo de la fibra óptica, en toda la sección del núcleo y en toda la longitud de la sección de rotura de núcleo. La rotura de núcleo tiene el efecto de impedir la propagación de tensiones mecánicas entre las dos secciones del núcleo separadas por esta rotura de núcleo.

Se entiende por inmediaciones de la sección sensible el espacio situado en las inmediaciones de esta sección. Está delimitada, por ejemplo, por una distancia igual a la longitud de la rejilla de Bragg (longitud normalmente del orden de un milímetro, la anchura espectral de la rejilla de Bragg que es inversamente proporcional a su longitud).

Se entiende por rotura de revestimiento en una sección de rotura de revestimiento una ausencia del material, o posiblemente de los materiales, que constituyen el revestimiento óptico en al menos una parte anular que envuelve el núcleo y se extiende sobre esta sección. La rotura de revestimiento puede extenderse radialmente sobre toda la sección del revestimiento óptico. La rotura de revestimiento genera así un vacío, un hueco o un corte a nivel del revestimiento óptico, sobre toda o parte de la sección del revestimiento óptico y en toda la longitud de la sección de rotura del revestimiento. La rotura de revestimiento tiene por efecto impedir la propagación de tensiones mecánicas entre las dos secciones del revestimiento óptico separadas por esta rotura de revestimiento así como entre la parte del núcleo que comprende la rejilla de Bragg y un revestimiento mecánico que rodea al revestimiento óptico.

La fibra óptica puede comprender una pluralidad de rejillas de Bragg inscritas en el núcleo y cada una de ellas se extiende sobre una sección sensible. Por tanto, el núcleo puede comprender, para cada rejilla de Bragg, una rotura de núcleo que se extiende sobre una sección de rotura de núcleo en las inmediaciones de la sección sensible correspondiente. De manera similar, el revestimiento óptico puede comprender por tanto, para cada rejilla de Bragg, una rotura de revestimiento que se extiende sobre una sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible correspondiente.

La invención del mismo modo tiene por objeto un procedimiento para fabricar un sensor de rejilla de Bragg a partir de una fibra óptica que comprende un núcleo, un revestimiento óptico que rodea el núcleo y una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo y que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección sensible. Según la invención, el procedimiento comprende una etapa de ablación del núcleo sobre una sección de la fibra óptica denominada sección

de rotura de núcleo, la sección de rotura de núcleo que se sitúa en las inmediaciones de la sección sensible. El procedimiento comprende además una etapa de ablación del revestimiento óptico sobre una sección de la fibra óptica denominada sección de rotura de revestimiento, la sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible.

5 La fibra óptica puede comprender una pluralidad de rejillas de Bragg inscritas en el núcleo y cada una de ellas se extiende sobre una sección sensible. La etapa de ablación del núcleo comprende por tanto, para cada rejilla de Bragg, la ablación del núcleo en una sección de rotura de núcleo en las inmediaciones de la sección sensible correspondiente. La etapa de ablación del revestimiento óptico comprende entonces, para cada rejilla de Bragg, una ablación del revestimiento óptico en una sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible correspondiente.

10 La etapa de ablación del núcleo puede incluir la aplicación de un haz láser de femtosegundo enfocado en las inmediaciones del núcleo. Con preferencia, el foco está situado en el núcleo. De manera similar, la etapa de ablación del revestimiento óptico puede comprender una aplicación de un haz láser de femtosegundo enfocado en las inmediaciones del revestimiento óptico. Con preferencia, el foco está ubicado en el revestimiento óptico. Cabe señalar que, durante la etapa de ablación del revestimiento óptico, debe evitarse tocar el núcleo de la fibra óptica y, más particularmente, los patrones de la rejilla de Bragg. En otras palabras, el material solo debe retirarse al nivel del revestimiento óptico. Debido a la forma anular de la rotura de revestimiento la fibra óptica puede girar alrededor de su eje longitudinal en el transcurso de la etapa de ablación del revestimiento óptico.

15 Para evitar una transmisión de tensiones, a través del revestimiento óptico, entre las dos secciones de núcleo separadas por la rotura de núcleo, cada sección de rotura de revestimiento incluye con preferencia, además de una sección sensible, la sección de rotura de núcleo correspondiente. En otras palabras, se practica una retirada de material en el revestimiento óptico a la vez en la sección sensible en la que se inscribe una rejilla de Bragg y en la sección de rotura de núcleo. Por tanto, en la sección de rotura de núcleo, el material se retira sobre toda la sección del núcleo y al menos sobre una parte anular del revestimiento óptico que envuelve el núcleo.

El sensor de temperatura y el procedimiento de fabricación según la invención del mismo modo se pueden caracterizar por las características siguientes.

25 La sección de rotura de núcleo debe presentar la menor longitud posible para minimizar las pérdidas de energía del modo guiado en el núcleo de la fibra óptica. La sección de rotura de núcleo se extiende por ejemplo sobre una longitud inferior o igual a algunos micrómetros, con preferencia inferior o igual a 1 μm (micrómetro). Por tanto, se establece un acoplamiento óptico entre las dos secciones del núcleo separadas por la rotura de núcleo.

30 La fibra óptica puede estar microestructurada. En particular, el revestimiento óptico de la fibra óptica puede estar microestructurado, es decir que el mismo comprende estructuras a escala micrométrica que presentan un índice de refracción diferente al resto del revestimiento óptico. En particular, el revestimiento óptico puede comprender barras de sílice dopadas o no dopadas y/o canales huecos. Estas estructuras pueden, en particular, estar dispuestas de manera periódica en un plano transversal de la fibra óptica.

35 Según una primera forma de realización, la fibra óptica es una fibra óptica de núcleo suspendido. El revestimiento óptico comprende un anillo interno que rodea el núcleo y un anillo externo que rodea el anillo interno, el anillo interno que comprende una pluralidad de canales huecos que se extienden longitudinalmente en la fibra óptica y forman paredes que conectan el núcleo con el anillo externo. Los canales huecos presentan con preferencia dimensiones idénticas, de manera que la fibra óptica conserva la simetría axial. El anillo interno comprende al menos dos canales huecos. En este caso, los canales huecos tienen con preferencia una forma oblonga en un plano transversal de la fibra óptica para formar una pared delgada que atraviesa el núcleo de la fibra óptica. El anillo interno puede comprender más de dos canales huecos, en particular tres o cuatro. Los canales huecos están por tanto ventajosamente distribuidos angularmente de manera homogénea. A modo de ejemplo, para un revestimiento óptico que comprende tres canales huecos, los canales huecos están ventajosamente dispuestos de manera que forman tres paredes separadas entre sí por un ángulo de 120 grados en un plano transversal de la fibra óptica.

45 Según una segunda forma de realización, la fibra óptica es una fibra óptica de cristal fotónico. El revestimiento óptico comprende una pluralidad de canales huecos que se extienden longitudinalmente en la fibra óptica y que están dispuestos de manera periódica en un plano transversal de la fibra óptica. Los canales huecos presentan con preferencia dimensiones idénticas, de manera que la fibra óptica conserva una simetría axial. Pueden ocupar toda la sección del revestimiento óptico o solo una parte. En particular, el revestimiento óptico puede comprender un anillo interno que rodea al núcleo y un anillo externo que rodea al anillo interno. Por tanto, los canales huecos pueden disponerse únicamente en el anillo interno.

50 El sensor de temperatura de la rejilla de Bragg descrito anteriormente está dispuesto para que la rejilla o las rejillas de Bragg no sufran deformaciones de origen mecánico y sólo sean sensibles a las variaciones de temperatura. Sin embargo, es posible no aislar mecánicamente el conjunto de las rejillas de Bragg de la fibra óptica, con el fin de que ciertas rejillas de Bragg sigan siendo sensibles tanto a las deformaciones de origen mecánico como a las deformaciones de origen térmico. Por tanto, la invención tiene además por objeto un sensor de temperatura y de deformación de rejilla de Bragg que comprende un sensor de temperatura como el descrito anteriormente, y en el que la fibra óptica comprende además al menos una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo y que se extiende sobre una

sección de la fibra óptica denominada sección mecánicamente sensible, no teniendo el núcleo rotura de núcleo en las inmediaciones de la sección mecánicamente sensible y estando el revestimiento óptico libre de rotura de revestimiento en las inmediaciones de la sección mecánicamente sensible.

El sensor de temperatura y de deformación de rejilla de Bragg descrito anteriormente comprende una pluralidad de rejillas de Bragg inscritas en el núcleo de la misma fibra óptica, un primer tipo de rejilla de Bragg el cual es sensible tanto a la mecánica de las deformaciones originales como a las deformaciones de origen térmico y un segundo tipo de rejilla de Bragg que es sensible solo a deformaciones de origen térmico. Sin embargo, todas las rejillas de Bragg del primer tipo pueden inscribirse en una primera fibra óptica y todas las rejillas de Bragg del segundo tipo pueden inscribirse en una segunda fibra óptica. Por lo tanto, la invención también tiene por objeto un conjunto de medición que comprende un sensor de temperatura de rejilla de Bragg tal como se ha descrito anteriormente y un sensor de temperatura y de deformación de rejilla de Bragg. El sensor de temperatura y de deformación comprende una segunda fibra óptica que comprende un núcleo, un revestimiento óptico que rodea el núcleo y al menos una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo. En el sensor de temperatura y de deformación, el núcleo está libre de rotura de núcleo en las inmediaciones de la sección en la que se inscribe la rejilla de Bragg, denominada sección mecánicamente sensible, y el revestimiento óptico está libre de rotura de revestimiento en las inmediaciones de la sección mecánicamente sensible. Con preferencia, las fibras ópticas de los dos sensores están asociadas en paralelo de manera que cada sección sensible de la fibra óptica del sensor de temperatura sea contigua a una sección mecánicamente sensible de la segunda fibra óptica del sensor de temperatura y de deformación.

Breve descripción de los dibujos

Otras características, detalles y ventajas de la invención se harán evidentes a partir de la lectura de la siguiente descripción, dada únicamente a modo de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos para los cuales:

- la figura 1 representa un ejemplo de procedimiento de fabricación de un sensor de rejilla de Bragg según la invención a partir de una fibra óptica de núcleo suspendido;

- la figura 2A representa, en una vista en perspectiva con una sección parcial, un ejemplo de fibra óptica de núcleo suspendido que puede utilizarse para realizar un sensor de temperatura según la invención;

- la figura 2B representa, en una vista idéntica a la de la figura 2A, la fibra óptica al final de una etapa de inscripción de una rejilla de Bragg;

- la figura 2C representa, en una vista idéntica a las de las figuras 2A y 2B, la fibra óptica al final de una etapa de ablación del núcleo;

- la figura 2D representa, en una vista idéntica a la de las figuras 2A a 2C, la fibra óptica al final de una etapa de ablación del revestimiento óptico;

- la figura 3 representa, en un gráfico, la sensibilidad a la deformación de un sensor de rejilla de Bragg estándar y la de un ejemplo de sensor de rejilla de Bragg según la invención;

- la figura 4A representa, en una vista en perspectiva con sección parcial, un ejemplo de fibra óptica de cristal fotónico que puede utilizarse para realizar un sensor de temperatura según la invención;

- la figura 4B representa, en una vista idéntica a la de la figura 4A, el sensor de temperatura obtenido por aplicación del procedimiento de fabricación según la invención.

Descripción detallada de modos de realización particulares

La figura 1 representa un ejemplo de procedimiento de fabricación de un sensor de rejilla de Bragg según la invención a partir de una fibra óptica de núcleo suspendido. La figura 2A representa, en una vista en perspectiva con una sección parcial, un ejemplo de fibra 20 óptica de núcleo suspendido a partir de la cual se puede implementar el procedimiento de fabricación 10 y las figuras 2B a 2D ilustran la fibra 20 óptica como resultado de varias etapas de este procedimiento de fabricación. La fibra 20 óptica comprende un núcleo 21, un revestimiento 22 óptico que rodea el núcleo 21 y un revestimiento 23 mecánico que rodea el revestimiento 22 óptico. El núcleo 21 está formado a partir de vidrio de sílice. El mismo se puede dopar para modificar su índice de refracción y/o sus propiedades mecánicas. Presenta una forma cilíndrica de revolución alrededor de un eje longitudinal de la fibra 20 óptica. El revestimiento 22 óptico comprende tres canales 221 huecos, una superficie 222 intermedia y una superficie 223 exterior. La superficie 223 exterior entra en contacto con el revestimiento 23 mecánico. La superficie 222 intermedia es cilíndrica de revolución, centrada sobre el eje longitudinal de la fibra 20 óptica y situada entre el núcleo 21 y la superficie 223 exterior. La misma define para el revestimiento 22 óptico un anillo 224 interno, comprendido entre el núcleo 21 y esta superficie 222 intermedia, y un anillo 225 externo, comprendido entre esta superficie 222 intermedia y la superficie 223 exterior. Cada canal 221 hueco se extiende longitudinalmente en la fibra 20 óptica y se extiende radialmente por todo el anillo 224 interno, es decir entre el núcleo 21 y la superficie 222 intermedia. Cada canal 221 hueco cubre una sección angular aproximadamente igual a 120°, para formar paredes 226 que se extienden radialmente entre el núcleo 21 y la superficie 222 intermedia. El núcleo 21 se encuentra por tanto suspendido del anillo 225 externo del revestimiento 22 óptico a través de las

paredes 226. Las paredes 226 y el anillo 225 externo forman una sola pieza que comprende vidrio de sílice. En general, antes de la aplicación de las etapas del procedimiento de fabricación 10 de un sensor de rejilla de Bragg, la fibra 20 óptica tiene un carácter continuo a lo largo de su eje longitudinal.

El procedimiento de fabricación 10 comprende una primera etapa 11 de inscripción de una o más rejillas 24 de Bragg en el núcleo 21 de la fibra óptica. Cada rejilla 24 de Bragg se extiende a lo largo del eje longitudinal de la fibra 20 óptica sobre una sección denominada sección sensible. La figura 2B representa, en una vista idéntica a la de la figura 2A, la fibra 20 óptica al final de esta etapa 11. La fibra óptica del mismo modo por tanto se denomina sensor 200 de rejilla de Bragg. Cabe señalar que la rejilla 24 de Bragg está representada esquemáticamente por discos que se extienden por toda la sección del núcleo 21. Sin embargo, el sensor de rejilla de Bragg según la invención no se limita a una rejilla de Bragg que presenta patrones en forma de disco, sino que se aplica a cualquier tipo de rejilla de Bragg, en particular a una rejilla de Bragg cuyos patrones están formados por esferas. Por otro lado, la rejilla de Bragg puede comprender cualquier número de patrones.

El procedimiento de fabricación 10 comprende a continuación una segunda etapa 12 de ablación del núcleo 21. La figura 2C representa, en una vista idéntica a la de las figuras 2A y 2B, la fibra 20 óptica al final de esta etapa 12. La ablación del núcleo 21 consiste en retirar el núcleo 21 sobre una sección, denominada sección de rotura de núcleo, situada en las inmediaciones de la sección sensible, es decir, en las inmediaciones de la rejilla 24 de Bragg. La sección de rotura de núcleo se puede unir a la sección sensible. Sin embargo, para evitar dañar el patrón situado en el extremo de la rejilla 24 de Bragg, la sección de rotura de núcleo está ventajosamente desplazada, por ejemplo, una distancia correspondiente a la longitud de onda de la rejilla 24 de Bragg. La parte retirada del núcleo 21 se denomina rotura 25 de núcleo. La sección de rotura de núcleo presenta, por ejemplo, una longitud igual a 1 μm . La longitud debe ser lo suficientemente corta para permitir que una señal de luz útil atraviese la rotura 25 de núcleo.

El procedimiento de fabricación comprende a continuación una tercera etapa 13 de ablación del revestimiento 22 óptico. La figura 2D representa, en una vista idéntica a la de las figuras 2A a 2C, la fibra 20 óptica al final de esta etapa 13. La ablación del revestimiento 22 óptico consiste en retirar las paredes 226 del revestimiento 22 óptico en una sección, denominada sección de rotura de revestimiento, que incluye al menos la sección sensible. En el presente ejemplo de realización, la sección de rotura de revestimiento cubre a la vez la sección sensible y la sección de rotura de núcleo. La parte retirada del revestimiento 22 óptico se denomina rotura 26 de revestimiento.

La ablación del núcleo 21 y del revestimiento 22 óptico se puede realizar por la aplicación de un haz láser de femtosegundo en el infrarrojo cercano o en el ultravioleta. Un haz láser de femtosegundo es un haz láser formado por pulsos cuya duración está entre algunos femtosegundos y algunos cientos de femtosegundos. El haz láser se enfoca en el área a retirar. La potencia del pulso se adapta según la apertura numérica del haz. En el transcurso de las etapas de ablación, la fibra 20 óptica se puede girar y/o trasladar. La rotación facilita la retirada de las paredes 226 alrededor del núcleo 21.

Cabe señalar que las etapas del procedimiento de fabricación 10 se pueden realizar en cualquier orden. En particular, la o las rejillas de Bragg se pueden inscribir después de la ablación del núcleo y del revestimiento óptico. Por otro lado, la ablación del revestimiento óptico puede realizarse antes que la del núcleo.

La figura 3 representa, en un gráfico, la sensibilidad a la deformación de un sensor de rejilla de Bragg estándar y la de un sensor de rejilla de Bragg según la invención. Los dos sensores se producen en una misma fibra óptica de núcleo hueco por inscripción en el núcleo de dos rejillas de Bragg que presentan longitudes de onda de Bragg de 1510 nm y 1550 nm, respectivamente. La rejilla de Bragg a 1550 nm se aísla mecánicamente del resto de la fibra óptica por ablación del núcleo y ablación del revestimiento óptico, de acuerdo con el procedimiento según la invención. La rejilla de Bragg a 1510 nm no está mecánicamente aislada del resto de la fibra óptica. La sensibilidad a la deformación de las dos rejillas de Bragg se determina midiendo un desplazamiento espectral de cada una de las longitudes de onda de Bragg durante una deformación de la fibra óptica por estiramiento a lo largo de su eje longitudinal. El estiramiento aplicado comprende un ciclo de aumentos y disminuciones constantes. En el gráfico, el eje de abscisas indica diferentes puntos de medida, correspondientes a diferentes amplitudes de estiramiento, y el eje de ordenadas indica la deformación de la fibra óptica, en micrómetros por metro, esta deformación que está determinada por cada rejilla de Bragg a partir del desplazamiento de su longitud de onda. Una primera curva 31 representa la deformación de la fibra óptica determinada por la rejilla de Bragg mecánicamente no aislada y una segunda curva 32 representa la deformación de la fibra óptica determinada por la rejilla de Bragg mecánicamente aislada. La primera curva indica una deformación máxima de 2000 $\mu\epsilon$ y la segunda curva indica una deformación máxima de 40 $\mu\epsilon$. Por tanto, el aislamiento mecánico de la rejilla de Bragg permite reducir la sensibilidad a la deformación de esta rejilla de Bragg en un factor de 50.

La figura 4A representa, en una vista en perspectiva con sección parcial, un ejemplo de fibra óptica de cristal fotónico a partir de la cual se puede implementar el procedimiento de fabricación y la figura 4B representa, en una vista idéntica, un ejemplo de sensor de rejilla de Bragg obtenido por aplicación del procedimiento a la fibra óptica de la figura 4A. La fibra 40 óptica comprende un núcleo 41, un revestimiento 42 óptico que rodea el núcleo 41 y un revestimiento 43 mecánico que rodea el revestimiento 42 óptico. El revestimiento 42 óptico comprende un conjunto de canales 421 huecos dispuestos de manera periódica en un plano transversal de la fibra 40 óptica. Los canales 421 huecos presentan una forma de cilindro de revolución y se extienden paralelamente a un eje longitudinal de la fibra 40 óptica.

- El revestimiento 42 óptico puede estar ficticiamente delimitado radialmente por un anillo 424 interno y un anillo 425 externo. Todos los canales 421 huecos están dispuestos en el anillo 424 interno del revestimiento 42 óptico, el anillo 425 externo que está desprovisto de dichas microestructuras. El núcleo 41 se forma ópticamente en el centro de la rejilla de canales 421 huecos. Cabe señalar que la fibra 40 óptica presenta una continuidad de material entre el núcleo 41 y el anillo 424 interno del revestimiento 42 óptico, así como entre el anillo 424 interno y el anillo 425 externo del revestimiento 42 óptico. El núcleo 41 y el revestimiento 42 óptico están formados, por ejemplo, de vidrio de sílice, opcionalmente dopado. Al igual que la fibra 20 óptica representada en la figura 2A, la fibra 40 óptica presenta, antes de la aplicación de las etapas del procedimiento de fabricación según la invención, un carácter continuo a lo largo de su eje longitudinal.
- En la figura 4B se representa la fibra 40 óptica tras la aplicación de las etapas del procedimiento de fabricación según la invención. La misma por tanto se llama del mismo modo sensor 400 de rejilla de Bragg. El sensor 400 de rejilla de Bragg comprende una rejilla 44 de Bragg inscrita en el núcleo 41 y que se extiende sobre una sección sensible, una rotura 45 de núcleo que se extiende sobre una sección de rotura de núcleo que se extiende en las inmediaciones de la sección sensible y una rotura 46 de revestimiento que se extiende sobre una sección de rotura de revestimiento que engloba la sección sensible y la sección de rotura de núcleo. En este ejemplo de realización, el núcleo 41 se presenta en forma de un cilindro de revolución a lo largo de la sección sensible. La sección de rotura de núcleo presenta, por ejemplo, una longitud igual a 1 μm . Cabe destacar que, con el objetivo de facilitar la comprensión de la invención, no se respetan necesariamente las proporciones de los distintos elementos del sensor de rejilla de Bragg. En particular, la longitud de la sección de rotura de núcleo es con preferencia menor que la que se muestra en la figura 4B.
- La presente invención se ha descrito anteriormente con referencia a los sensores de rejilla de Bragg que comprenden una fibra óptica de núcleo suspendido o una fibra óptica de cristal fotónico. Sin embargo, la invención puede aplicarse a cualquier fibra óptica de rejilla de Bragg siempre que sea posible extraer de la fibra óptica el material retirado del núcleo y del revestimiento óptico. Por otro lado, una misma fibra óptica puede comprender tanto una o más primeras rejillas de Bragg aisladas mecánicamente por la presencia de una rotura de núcleo y una rotura de revestimiento en el sentido de la invención, como una o varias segundas rejillas de Bragg no aisladas mecánicamente. Las primeras rejillas de Bragg se utilizan por tanto como elementos sensibles únicamente a la temperatura y las segundas rejillas de Bragg se utilizan como elementos sensibles a la vez a la temperatura y a la deformación. Por lo tanto, el sensor de rejilla de Bragg puede llamarse sensor de temperatura y de deformación de rejilla de Bragg.

REIVINDICACIONES

1. Sensor de temperatura de rejilla de Bragg que comprende una fibra (20, 40) óptica que comprende un núcleo (21, 41), un revestimiento (22, 42) óptico que rodea el núcleo y una rejilla (24, 44) de Bragg inscrita en el núcleo y que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección sensible, el sensor de temperatura que está
5 caracterizado por que el núcleo (21, 41) comprende una rotura (25, 45) de núcleo que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección de rotura de núcleo, la sección de rotura de núcleo que se sitúa en las inmediaciones de la sección sensible, y por que el revestimiento (22, 42) óptico comprende una rotura (26, 46) de revestimiento que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección de rotura de revestimiento, la sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible.
- 10 2. Sensor de temperatura según la reivindicación 1, en el que la fibra (20, 40) óptica comprende una pluralidad de rejillas (24, 44) de Bragg inscritas en el núcleo (21, 41) y cada una que se extiende sobre una sección sensible, el núcleo que comprende, por cada rejilla de Bragg, una rotura (25, 45) de núcleo que se extiende sobre una sección de rotura de núcleo en las inmediaciones de la sección sensible correspondiente, el revestimiento (22, 42) óptico que comprende, para cada rejilla de Bragg, una rotura (26, 46) de revestimiento que se extiende sobre una sección de
15 rotura de revestimiento que incluye la sección sensible correspondiente.
3. Procedimiento de fabricación de un sensor de rejilla de Bragg a partir de una fibra (20, 40) óptica que comprende un núcleo (21, 41), un revestimiento (22, 42) óptico que rodea el núcleo y una rejilla (24, 44) de Bragg inscrita en el núcleo y que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección sensible, el procedimiento que está caracterizado por que comprende una etapa (12) de ablación del núcleo sobre una sección de fibra óptica denominada
20 sección de rotura de núcleo, la sección de rotura de núcleo que se sitúa en las inmediaciones de la sección sensible, y una etapa (13) de ablación del revestimiento de fibra óptica sobre una sección de la fibra óptica denominada sección de rotura de revestimiento, la sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible.
4. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 3, en el que la fibra (20, 40) óptica comprende una pluralidad de rejillas (24, 44) de Bragg inscritas en el núcleo (21, 41) y cada una que se extiende sobre una sección sensible, la
25 etapa (12) de ablación del núcleo que comprende, para cada rejilla de Bragg, una ablación del núcleo sobre una sección de rotura de núcleo en las inmediaciones de la correspondiente sección sensible, la etapa (13) de ablación del revestimiento óptico que comprende, para cada rejilla de Bragg, una ablación del revestimiento óptico sobre una sección de rotura de revestimiento que incluye la sección sensible correspondiente.
5. Procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones 3 y 4, en el que la etapa (12) de ablación del núcleo comprende una aplicación de un haz láser de femtosegundo enfocado en las inmediaciones del núcleo (21, 41), y/o la
30 etapa (13) de ablación del revestimiento óptico comprende una aplicación de un haz de láser de femtosegundo enfocado en las inmediaciones del revestimiento (22, 42) óptico.
6. Sensor de temperatura según una de las reivindicaciones 1 y 2 o procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones 3 a 5, en el que cada sección de rotura de revestimiento incluye, además de una sección sensible, la
35 correspondiente sección de rotura de núcleo.
7. Sensor de temperatura según una de las reivindicaciones 1, 2 y 6 o procedimiento de fabricación según una de las reivindicaciones 3 a 6, en el que la sección de rotura de núcleo se extiende sobre una longitud inferior o igual a 10 micrómetros.
8. Sensor de temperatura según una de las reivindicaciones 1, 2, 6 y 7 o procedimiento de fabricación según una de
40 las reivindicaciones 3 a 7, en el que el revestimiento (22, 42) óptico está microestructurado.
9. Sensor de temperatura o procedimiento de fabricación según la reivindicación 8, en el que la fibra (20) óptica es una fibra óptica de núcleo suspendido, el revestimiento (22) óptico que comprende un anillo (224) interno que rodea el núcleo (21) y un anillo (225) externo que rodea el anillo interno, el anillo (224) interno que comprende una pluralidad de canales (221) huecos que se extienden longitudinalmente en la fibra óptica y forman paredes (226) que conectan
45 el núcleo con el anillo externo.
10. Sensor de temperatura o procedimiento de fabricación según la reivindicación 8, en el que la fibra (40) óptica es una fibra óptica de cristal fotónico, el revestimiento (42) óptico que comprende una pluralidad de canales (421) huecos que se extienden longitudinalmente en la fibra óptica y que están dispuestos de manera periódica en un plano transversal de la fibra óptica.
- 50 11. Sensor de temperatura y de deformación de rejilla de Bragg que comprende un sensor (200, 400) de temperatura según una de las reivindicaciones 1, 2 y 6 a 10, en el que la fibra (20, 40) óptica comprende además, al menos una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo y que se extiende sobre una sección de la fibra óptica denominada sección mecánicamente sensible, el núcleo que está libre de una rotura de núcleo en las inmediaciones de la sección mecánicamente sensible y el revestimiento óptico que está libre de una rotura de revestimiento en las inmediaciones
55 de la sección mecánicamente sensible.

12. Conjunto de medición que comprende un sensor (200, 400) de temperatura de rejilla de Bragg según una de las reivindicaciones 1, 2 y 6 a 10 y un sensor de temperatura y de deformación de rejilla de Bragg, el sensor de temperatura y de deformación que comprende una segunda fibra óptica que comprende un núcleo, un revestimiento óptico que rodea el núcleo y al menos una rejilla de Bragg inscrita en el núcleo.

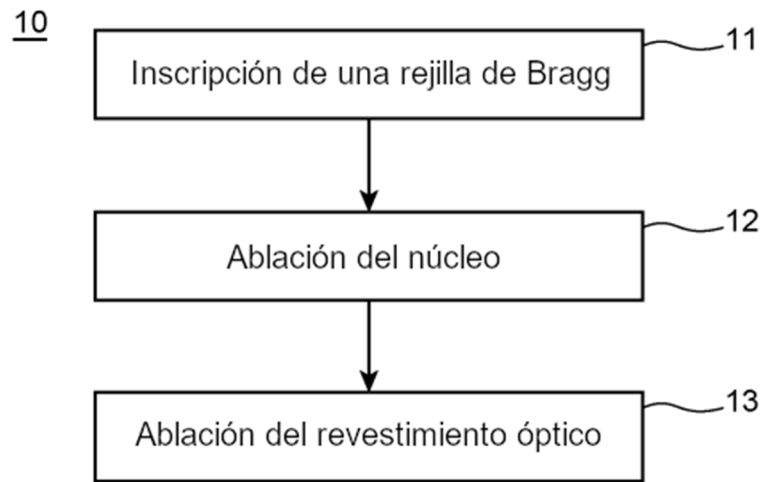


FIG. 1

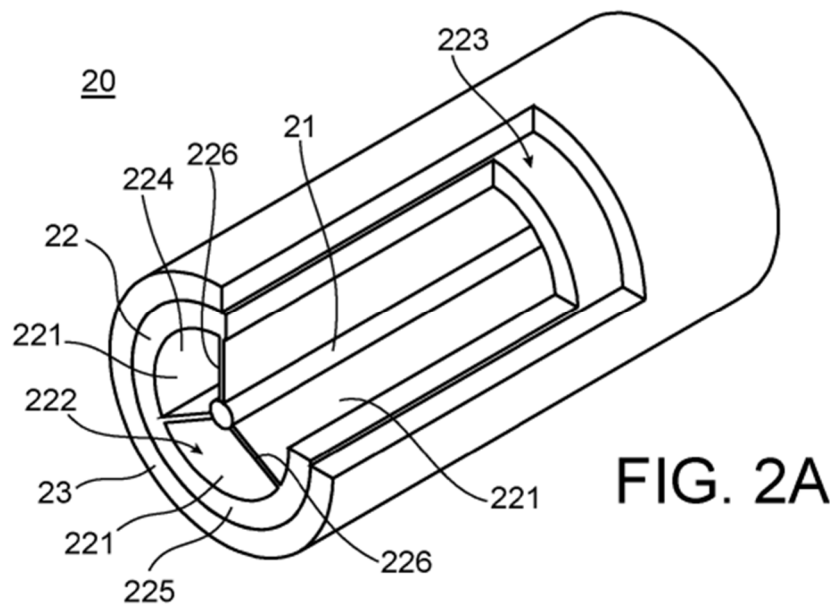


FIG. 2A

