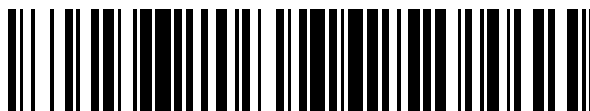


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 904**

51 Int. Cl.:

G02B 6/02 (2006.01)

G02B 6/036 (2006.01)

C03C 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2007** **E 07011759 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016** **EP 1876150**

54 Título: **Fibra óptica dopada con flúor resistente a radiación**

30 Prioridad:

04.07.2006 FR 0606058

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

13.06.2016

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (100.0%)
DE BOELELAAN 7
1083 HJ AMSTERDAM, NL**

72 Inventor/es:

**REGNIER, ELISE;
KUYT, GERARD;
FLAMMER, IVO;
GOOIJER, FRANS y
MATTHIJSSE, PIETER**

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 573 904 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

Fibra óptica dopada con flúor resistente a radiación

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al ámbito de transmisiones por fibra óptica, y más específicamente a una fibra óptica dopada con flúor.
- [0002]** Refiriéndose a fibras ópticas, el perfil de índice de refracción se califica en general en relación con el trazado de un gráfico que muestra la función que asocia el índice de refracción de la fibra con el radio de la fibra. Convencionalmente, la distancia r al centro de la fibra, se representa a lo largo del eje de abscisas, y la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento de la fibra se representa a lo largo del eje de ordenadas. Por tanto, el perfil del índice se describe como "escalón", "trapezoidal" o "triangular" para gráficos que muestran, respectivamente, escalón, trapecio o triángulo. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, la fabricación de la fibra puede dar lugar a un perfil ligeramente diferente.
- 10 **[0003]** Una fibra óptica convencional consiste en un núcleo óptico cuya función es transmitir, y opcionalmente amplificar una señal óptica, y en un revestimiento óptico cuya función consiste en confinar la señal óptica dentro del núcleo. Para este propósito, los índices de refracción del núcleo n_c y del revestimiento n_g , son tales que $n_c > n_g$. Como es bien sabido, la propagación de una señal óptica en una fibra óptica de modo único, se descompone en un modo fundamental guiado en el núcleo, y en modos secundarios guiados a determinada distancia del conjunto núcleo-revestimiento y que se denominan modos de revestimiento.
- 15 **[0004]** La señal transmitida por la fibra, está sometida a pérdidas ópticas que se acumulan en la distancia recorrida. Estas pérdidas de transmisión se aumentan, en particular, cuando la fibra se somete a radiación ionizante, tal como radiación beta, alfa, gamma y rayos X. La fibra puede someterse a dicha radiación cuando se utiliza para un sistema de comunicaciones ópticas en un ambiente con radiación ionizante, por ejemplo, en una planta nuclear, un laboratorio de aceleración de partículas, o en un satélite enviado al espacio. En dicho entorno, la radiación puede llegar a niveles de dosis de 100 Gray o superiores, es decir, 10 000 rad.
- 20 **[0005]** Convencionalmente, las fibras de modo único estándar (SSMF), se utilizan como fibras de línea en sistemas de transmisión por fibra óptica. El índice en escalón generalmente se obtiene mediante dopaje con fósforo o germanio, con los que es posible aumentar el índice de refracción. El índice en escalón también se puede obtener mediante dopado con flúor, con lo que es posible reducir el índice de refracción. Estas fibras ópticas (SSMF) tienen pérdidas de transmisión bajas, generalmente menores de 0,4 dB/km en un amplio intervalo espectral (al menos 1300-1650 nm), pero son sensibles a la radiación ionizante. Una fibra SSMF situada en un ambiente que radia 30 kGray, verá aumentar sus pérdidas de transmisión desde unos escasos 10 hasta 10.000 dB/km para una longitud de onda de 1310 nm, este fuerte aumento depende de las condiciones de radiación (en particular la tasa de dosis). Por tanto, una fibra SSMF convencional no resulta adecuada para utilizarse en un sistema óptico de comunicaciones
- 25 **[0006]** El artículo "Radiation resistance of fluorine doped silica-core fibers", Kazuo Sanada, Naoki Shamoto, Kouichi Inada, Journal of Non-Crystalline Solids 179 (1994), 339-344, se refiere a la dependencia entre la concentración de flúor y la resistencia a radiación, como así como los efectos del tratamiento de hidrógeno a alta temperatura en las fibras de dopadas con flúor antes de irradiación.
- 30 **[0007]** El artículo de Kakuta T. et al.: "Development of in-core monitoring system using radiation resistant optical fibers", NUCLEAR SCIENCE SYMPOSIUM AND MEDICAL IMAGING CONFERENCE, 1994, 1994 IEE CONFERENCE RECORD NORFOLK, VA, USA 30 octubre - 5 noviembre 1994, New York, NY, USA, IEEE, US, vol. 1, 30 de octubre de 1994 (10/30/1994), páginas 371-374, describe que una fibra óptica de tipo de índice en escalón que tiene una relación $\text{SiO}_2\text{-F}$, revestimiento y núcleo del 5,6.% y del 1,6.% en peso de flúor, mostrando
- 35 **[0008]** Algunas fibras conocidas, han sido diseñadas específicamente para su utilización en un ambiente en el que existe radiación ionizante. Por ejemplo, el documento US-A-4.690.504, da a conocer una fibra óptica de modo único sin germanio (Ge) en el núcleo. La ausencia de Ge en el núcleo, hace que sea posible obtener una mejor resistencia a la radiación ionizante. El revestimiento óptico se dopa con un dopante cuyo efecto es reducir el índice de refracción, tal como flúor. Este documento también describe una realización con una fibra cuyo núcleo está ligeramente dopado con flúor para compensar el exceso de oxígeno en el núcleo.
- 40 **[0009]** El documento US-A-5.509.101, da a conocer una fibra óptica, en particular, resistente a radiaciones gamma y rayos X. Esta fibra tiene un núcleo y un revestimiento dopados con flúor. Este documento describe varias formas de realización con diferentes concentraciones de flúor y germanio. Se indica en este documento que las pérdidas de transmisión se reducen cuando la fibra también comprende germanio en el núcleo.
- 45 **[0010]** El documento WO-A-2005/109055, da a conocer una fibra óptica con un núcleo de sílice pura y un revestimiento dopado con flúor. Se indica en este documento que una alta proporción - de entre 9 y 10 - entre el diámetro del revestimiento y el diámetro del núcleo mejora la resistencia de la fibra a radiación ionizante.
- 50 **[0011]** Las fibras de la técnica anterior, muestran cierta resistencia a radiación ionizante, pero sin embargo tienen altas pérdidas bajo radiación fuerte, en particular por encima de 400 Gray. Como se mencionó anteriormente, las fibras de modo único estándar, se utilizan por lo general como fibras de línea en sistemas de transmisión por fibra óptica, que tiene una dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática que cumplen normas específicas de telecomunicaciones. Para las necesidades de compatibilidad entre sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), ha establecido una norma referenciada como UIT-T G.652 que se
- 55
- 60

debe cumplir por una fibra de modo único estándar (SSMF). Esta norma está subdividida en cuatro sub-normas (A, B, C y D) de severidad mayor o menor.

[0012] Por ejemplo, en la norma G.652B para fibras de transmisión, se recomienda, entre otras cosas, un rango de [8,6; 9.5 μm] para el diámetro de campo modal (MFD) a una longitud de onda de 1310 nm; un máximo de 1260 nm para la longitud de onda de corte de cable; una gama [1300; 1324 nm] para la longitud de onda de dispersión nula, indicada como λ_0 ; un máximo de 0,093 ps/nm²·km para el valor de la pendiente de dispersión cromática. La longitud de onda de corte de cable, se mide convencionalmente como la longitud de onda a la que la señal óptica ya no es de modo único después de propagarse a través de más de veintidós metros de fibra, tal como se define por 86A subcomité de la Comisión Electrotécnica Internacional bajo la norma IEC 60793 -1- 44.

[0013] Por tanto, existe necesidad de una fibra de transmisión que muestre una resistencia mejorada a radiación de altas dosis.

[0014] Para este fin, la invención propone una fibra óptica cuyo perfil de índice de refracción está uniformemente deprimido con respecto al perfil de una fibra de modo único estándar. Las características de transmisión de la fibra óptica, por tanto, cumplen sustancialmente la norma G.652B y muestran una resistencia mejorada a radiación de altas dosis (dosis de más de 100 Gray).

[0015] Por consiguiente, la invención se refiere a una fibra de transmisión óptica de modo único que comprende:

- un núcleo deprimido que contiene, al menos el 0,41% en peso de flúor y que tiene una diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_1|$) con la sílice pura mayor de $1.5 \cdot 10^{-3}$; y

- un revestimiento deprimido que contiene, al menos, el 1,2% en peso de flúor y que tiene una diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_2|$) con la sílice pura mayor de $4.5 \cdot 10^{-3}$ y

una diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_2| - |\Delta n_1|$) con el núcleo deprimido mayor de $3 \cdot 10^{-3}$.

[0016] Preferiblemente, la fibra tiene un valor de dispersión de modo de polarización de enlace inferior o igual a 0,20 ps/(km)^{1/2}.

[0017] Ventajosamente, para una longitud de onda de 1310 nm, la fibra muestra una variación de atenuación menor del 100% para radiación que oscila desde 200 hasta 30.000 Gray a una tasa de más de 1 Gray/s.

[0018] Se puede prever que la fibra, tenga un núcleo que no contenga germanio. También se puede hacer previsión para que el núcleo no contenga fósforo.

[0019] Puede estar previsto que la fibra tenga una relación de concentraciones de flúor en el núcleo y en el revestimiento mayor de 3.

[0020] También se puede hacer previsión para que la fibra tenga pérdidas de transmisión menores de 5dB/km a una longitud de onda de 1310 nm, con radiación ionizante. Ventajosamente, las pérdidas por transmisión con radiación ionizante son menores de 0,35 dB/km a 1310 nm.

[0021] Preferiblemente, el contenido en flúor del núcleo deprimido es como máximo el 1,4% en peso. Esto permite el óptimo cumplimiento de las necesidades de una fibra de transmisión que tenga reducidas pérdidas de transmisión en condiciones de alta radiación, sin dejar de ser compatible con la norma G652 B para fibra de modo único.

[0022] Al menos una parte de la fibra de la invención, puede ser diseñada para utilizarse en un sistema de comunicaciones ópticas que se encuentra en un entorno donde exista radiación ionizante.

[0023] Ventajosamente, el sistema óptico comprende también porciones de fibra de modo único estándar (SMF).

[0024] Otras características y ventajas de la invención, se pondrán de manifiesto con la lectura de la siguiente descripción de realizaciones de la invención dada a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, que muestran:

- figura 1: una gráfica del perfil establecido de una fibra de acuerdo con una primera realización de la invención,

- figura 2: un gráfico del perfil establecido de una fibra de acuerdo con una segunda realización de la invención,

- figura 3: un gráfico de las pérdidas por transmisión después radiar las fibras, conforme a una realización de la invención.

[0025] La fibra de la invención es una fibra de transmisión de modo único que tiene un núcleo deprimido y un revestimiento interior deprimido. Por núcleo deprimido, se entiende una porción radial central de la fibra que tiene un índice de refracción que es menor que el índice de un revestimiento exterior (n_g), por lo general consta de sílice pura o de sílice dopada con flúor. El revestimiento deprimido, es una porción radial de la fibra cuyo índice de refracción es menor que el índice del revestimiento exterior y del índice del núcleo. El núcleo deprimido contiene, al menos, el 0,41 % en peso preferiblemente como máximo el 1,4% en peso de flúor y tiene una diferencia de índice de refracción absoluta con la sílice pura mayor de $1.5 \cdot 10^{-3}$ (o el 0,1%). El revestimiento deprimido contiene, al menos, el 1,2 % en peso de flúor y tiene una diferencia de índice de refracción absoluta con la sílice pura mayor de $4.5 \cdot 10^{-3}$ (o el 0,3%). La relación entre las concentraciones de flúor del núcleo y del revestimiento puede ser ventajosamente mayor que 3 para asegurar una diferencia suficiente en el índice entre el núcleo y el revestimiento óptico, el núcleo, posiblemente, no está dopado con germanio o fósforo.

[0026] La figura 1, ilustra un primer ejemplo de un perfil de índice de refracción para una fibra de transmisión de la invención. El perfil ilustrado es un perfil establecido, es decir, representativo de un perfil teórico de la fibra, la fibra realmente obtenida después de estilarla desde una preforma, posiblemente, tiene un perfil ligeramente diferente.

[0027] La fibra de transmisión de la invención comprende un núcleo central deprimido que tiene una diferencia de índice de refracción absoluta $|\Delta n_1|$ con la sílice pura (a veces se utiliza en el exterior de la fibra para actuar como un revestimiento óptico exterior), y un revestimiento deprimido que tiene una diferencia de índice de refracción absoluta $|\Delta n_2|$ con la sílice pura. Los índices de refracción del núcleo deprimido y el revestimiento deprimido son en esencia, longitudinalmente constantes. Esto imparte propiedades longitudinalmente uniformes a la fibra. El núcleo central se representa con un radio a, y el revestimiento deprimido se extiende entre los valores radiales a y b.

[0028] Para definir un perfil de índice de refracción establecido para una fibra óptica, se toma generalmente como referencia el índice de refracción de la sílice pura. Los valores del índice de refracción del núcleo central y revestimiento deprimido, se presentan entonces como diferencias de índice de refracción $\Delta n_{1,2}$. La diferencia de índice de refracción Δn_1 del núcleo central con la sílice, es por tanto la diferencia entre el índice de refracción de la sílice y el índice de refracción del núcleo central ($\Delta n_1 = n_{\text{sílice}} - n_{\text{núcleo}}$). La diferencia de índice de refracción Δn_2 del revestimiento deprimido, es la diferencia entre el índice de refracción de la sílice y el índice de refracción del revestimiento deprimido ($\Delta n_2 = n_{\text{sílice}} - n_{\text{revestimiento deprimido}}$). Generalmente existe un revestimiento exterior consistente en sílice, pero el revestimiento exterior también puede doparse para aumentar o reducir su índice de refracción (n_g), por ejemplo para modificar las características de propagación de señal.

[0029] De acuerdo con la primera realización que se muestra la figura 1, el núcleo de la fibra contiene el 0,81% en peso de flúor, pero no germanio o fósforo; que tiene un radio de 4,35 μm y de una diferencia de índice de refracción absoluta $|\Delta n_1|$ de $3.0 \cdot 10^{-3}$ con el revestimiento exterior de sílice. El revestimiento contiene el 2,16% en peso de flúor y puede no contener germanio o fósforo; que tiene una diferencia de índice de refracción absoluta $|\Delta n_2|$ de $8.0 \cdot 10^{-3}$ con el revestimiento exterior de sílice y un radio b tal que b/a es igual a 8, así la señal óptica permanece bien confinada dentro del núcleo de la fibra. El dopado con flúor, es preferiblemente uniforme en el núcleo y el revestimiento, de manera respectiva. El revestimiento exterior puede ser un tubo enfundado o un sobre-revestimiento de partículas de sílice, o sílice puro o dopado con flúor, depositado utilizando el procedimiento de depósito axial en fase de vapor (VAD).

[0030] La figura 2, ilustra un segundo ejemplo de un perfil de índice para una fibra de transmisión de la invención, en la que el núcleo de la fibra contiene el 0,54% en peso de flúor, pero sin germanio ni fósforo, y conteniendo el revestimiento el 1,9% en peso de flúor. El núcleo tiene un radio de 4,35 μm y una diferencia de índice de refracción absoluta $|\Delta n_1|$ de $2.0 \cdot 10^{-3}$ con la sílice. El revestimiento tiene una diferencia de índice de refracción absoluta $|\Delta n_2|$ de $7.0 \cdot 10^{-3}$ con la sílice. El dopado de flúor es preferiblemente uniforme en el núcleo, y el revestimiento de manera respectiva. De acuerdo con esta segunda forma de realización, la fibra se fabrica a partir de una preforma primaria producida depositando en el interior de un tubo dopado con flúor que tiene sustancialmente el mismo índice que el revestimiento deprimido objetivo. El revestimiento exterior puede entonces ser un tubo enfundado de sílice dopada con flúor o un sobre-revestimiento de partículas de sílice dopadas con flúor. Las técnicas para la fabricación de preformas primarias para fibras de la invención se describen a continuación.

[0031] La diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_2| - |\Delta n_1|$) entre el revestimiento deprimido y el núcleo deprimido es $3 \cdot 10^{-3}$ o mayor. Esto mejora el rendimiento de la fibra de la invención, por ejemplo, en términos de resistencia a curvatura o longitud de onda de corte.

[0032] Con dichos perfiles de fibra, es posible limitar las pérdidas de transmisión de la fibra considerablemente bajo dosis de radiación altas (más de 100 Gray).

[0033] La figura 3, es un gráfico que muestra la evolución de las pérdidas de transmisión inducidas por radiación, en relación a las dosis aplicadas, a cuatro fibras. Una de estas fibras se ajusta a una realización de la invención. Las mediciones se realizaron por el Instituto Fraunhofer (Appelsgarten 2 - 53879 Euskirchen - Alemania) en septiembre de 2005 y marzo de 2006 en nombre del CERN (1211 Ginebra 23 - Suiza).

[0034] La figura 3, muestra las pérdidas de transmisión de cuatro fibras: una fibra que contiene aproximadamente el 1% en peso de germanio en el núcleo (fibra 1), una fibra no conforme a la invención que contiene aproximadamente el 6% en peso de germanio en el núcleo (fibra 2), una fibra de la invención (fibra 3), y una fibra no conforme a la invención con un núcleo de sílice pura (fibra 4). El gráfico muestra las pérdidas de transmisión de cada fibra medidas a una longitud de onda de 1310 nm, bajo radiación de 104 Gray a una tasa de 0,225 Gray/s y una temperatura de 28 °C a través de una longitud de fibra de 100 m, con una potencia de señal óptica de 10 a 40 mW.

[0035] Se puede observar que la fibra de la presente invención (fibra 3), tiene pérdidas de transmisión mucho más bajas que las fibras que contienen germanio en el núcleo (fibras 1 y 2) y que la fibra con un núcleo de sílice pura (fibra 4), en particular después de dosis más alta de 100 Gray.

[0036] Por tanto, la fibra según la invención muestra una buena resistencia a radiación en condiciones de dosis alta (dosis superiores a 100 Gray) para tasas de dosis bajas (típicamente del orden de unos pocos 0.01 Gray/s), pero también para tasas altas (típicamente superiores a unos pocos Gray/s). Por ejemplo, la fibra de la invención tiene un aumento de atenuación menor de 20 dB/km a 1310 nm, con radiación de 10 000 Gray llevada a cabo durante un período de una hora. Además, se muestra una variación de aumento de atenuación menor del 100% para radiación que oscila desde 200 hasta 30 000 Gray a una tasa de más de 1 Gray/s.

[0037] La fibra de la invención cumple todos los criterios de la norma G.652 B. Por lo tanto, se puede utilizar fácilmente en combinación con fibras SSMF en sistemas de comunicaciones ópticas.

[0038] El radio del revestimiento deprimido y del núcleo deprimido, son tales que cumplen con los criterios de la norma G 652 B.

[0039] La fibra de la invención puede ser fabricada, de manera que las pérdidas de transmisión con radiación no ionizante, son menores de 5dB/km, incluso menores de 0,35 dB/km a 1310 nm.

[0040] La fibra de transmisión de la invención, se puede fabricar mediante la elaboración de una preforma que tiene un perfil de índice como el descrito anteriormente.

[0041] De manera conocida, una fibra óptica se produce mediante el estiramiento de una preforma en una torre de estirado. Una preforma comprende, por ejemplo una preforma primaria consistente en un tubo de vidrio de muy alta calidad que forme parte del revestimiento y del núcleo de la fibra. Esta preforma primaria puede entonces ser sobre-revestida o enfundada para aumentar su diámetro y formar una preforma final que se puede utilizar en una torre de estirado. En este contexto, el revestimiento formado en el interior del tubo se llama el revestimiento interior, y el

revestimiento formado en el exterior del tubo se llama el revestimiento exterior. El estirado homotético consiste en colocar la preforma verticalmente en una torre y estirar una hebra de fibra a partir de un extremo de la preforma. Para ello, una temperatura alta es aplicada localmente a un extremo de la preforma hasta ablandar la sílice, la velocidad y temperatura de estiramiento es después controlada de forma permanente durante el estirado de la fibra ya que estas, determinan la estabilidad de las propiedades de la fibra a lo largo de la preforma. En particular, la estabilidad de diámetro, asegurará la estabilidad de las propiedades de propagación (longitud de onda de corte, diámetros modales). La geometría de la preforma debe cumplir plenamente con las relaciones de índices de refracción y diámetros del núcleo y del revestimiento de la fibra, de modo que la fibra estirada tiene el perfil requerido.

[0042] El componente depositado en el tubo se denomina comúnmente "dopado", es decir, "impurezas" se añaden a la sílice para modificar su índice de refracción. Según la invención, se utiliza flúor (F) para formar el núcleo deprimido y revestimiento deprimido de la fibra.

[0043] Una preforma con un revestimiento altamente deprimido es difícil de producir. El flúor no se incorpora bien en la sílice cuando se calienta más allá de una determinada temperatura, mientras que para la fabricación del vidrio es necesaria una alta temperatura. Un compromiso entre una alta temperatura, necesaria para fabricar el vidrio, y una temperatura suficientemente baja para promover la buena incorporación del flúor, no hace posible alcanzar índices que sean mucho más bajos que el índice de la sílice.

[0044] Para fabricar la preforma para la fibra de la invención, se propone utilizar deposición química en fase de vapor asistida por plasma (PCVD), ya que, con esta técnica, es posible lograr reacciones a temperaturas más bajas que con las técnicas convencionales (CVD, VAD, OVD), mediante la ionización de los compuestos reactivos. Dicha técnica de fabricación, se describe en los documentos US RE 30.635 y US 4.314.833; que permite la incorporación sustancial de flúor en la sílice para formar revestimientos con un índice altamente deprimido. La fibra de la presente invención comprende un núcleo, un revestimiento, con índices altamente deprimidos es decir, que tienen una diferencia de índice con el revestimiento exterior de más de $1.5 \cdot 10^{-3}$, y $4.5 \cdot 10^{-3}$, respectivamente.

[0045] Un tubo de sílice pura o dopado con flúor, se proporciona y se monta en un torno de fabricación de vidrio. El tubo se hace girar y una mezcla gaseosa de gases precursores de vidrio dopados o sin dopar, se genera dentro del tubo mediante aplicación de radiación de microondas. Capas de vidrio (dopado) quedan depositadas en el interior del tubo.

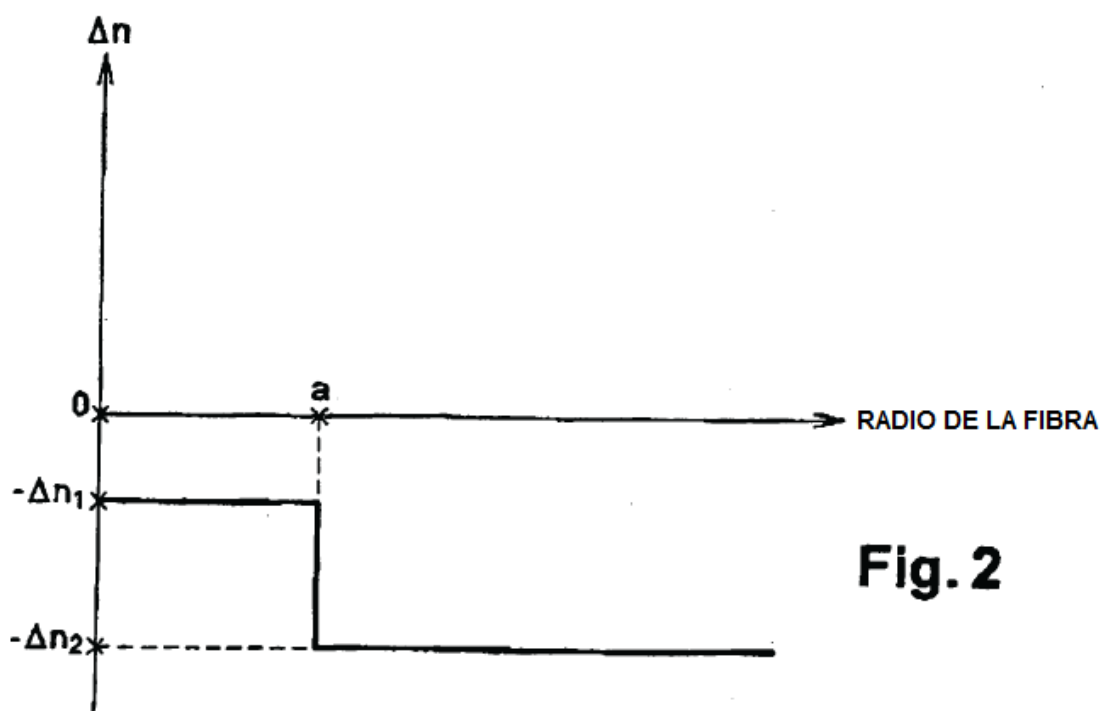
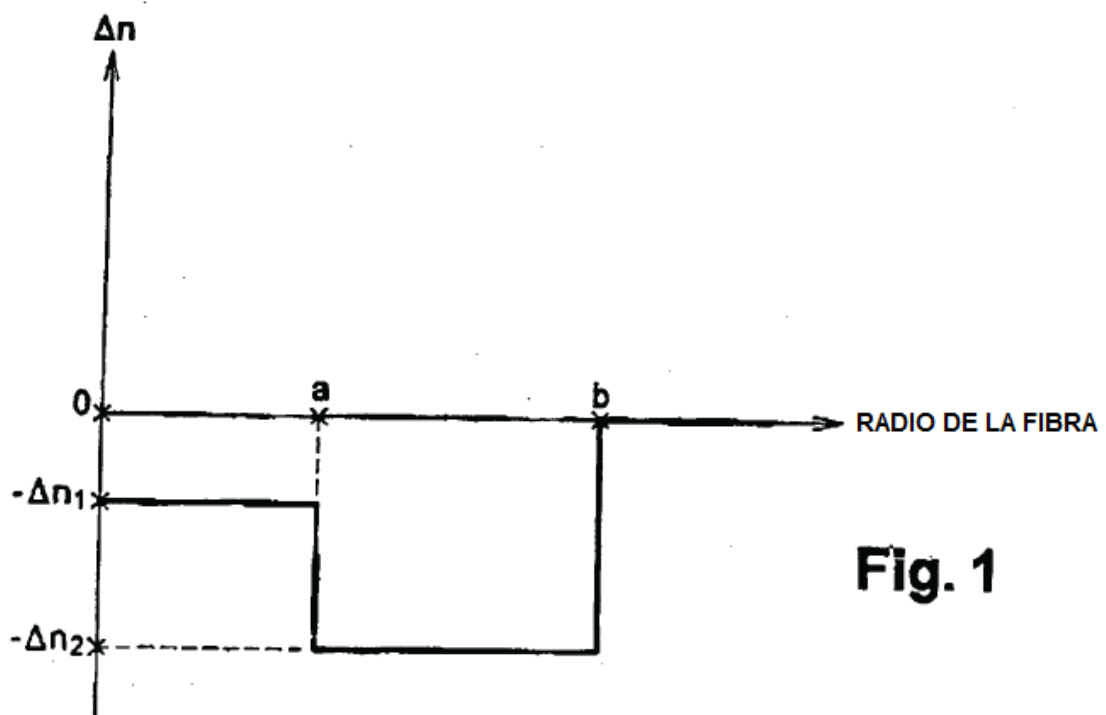
[0046] La fuerte reactividad de los dopantes, generada por el calentamiento por microondas, permite incorporar una alta concentración de dopantes en las capas de sílice. En particular, para flúor, que no se pueden incorporar adecuadamente en la sílice bajo calentamiento de soplete local, La PCVD permite el dopado de una capa de sílice con una elevada concentración de flúor para formar el revestimiento deprimido.

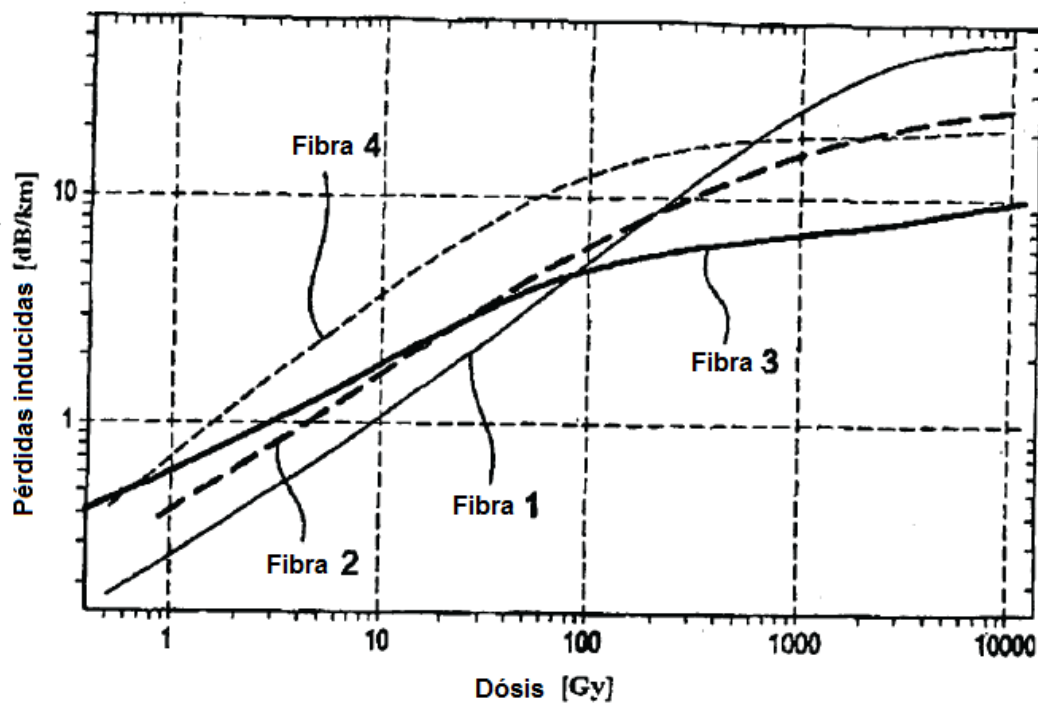
[0047] La fibra de transmisión de la invención, se puede utilizar en un sistema de comunicaciones óptico situado en un entorno expuesto a alta radiación ionizante, por ejemplo, una Intranet en un laboratorio de física de partículas, una planta nuclear o un satélite expuesto a radiación cósmica.

[0048] Evidentemente, la presente invención no se limita a las realizaciones descritas como ejemplos. En particular, un procedimiento de fabricación distinto de la PCVD puede ser considerado.

REIVINDICACIONES

1. Una fibra de transmisión óptica de modo único, que comprende una estructura de núcleo-y-revestimiento, en la que cada una de la porción de núcleo y la porción de revestimiento contiene flúor como dopante, para disminuir el índice de refracción, caracterizada porque:
5 - dicho núcleo deprimido tiene, al menos, el 0,41% en peso de flúor y una diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_1|$) con la sílice pura mayor que $1,5 \cdot 10^{-3}$; y
10 - un revestimiento deprimido que tiene, al menos, el 1,2% en peso de flúor, una diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_2|$) con la sílice pura mayor que $4,5 \cdot 10^{-3}$ y una diferencia de índice de refracción absoluta ($|\Delta n_2| - |\Delta n_1|$) con el núcleo deprimido mayor que $3 \cdot 10^{-3}$, en la que dicho núcleo tiene, al menos, el 1,4% en peso de flúor.
2. La fibra de acuerdo con la reivindicación 1, que presenta en una longitud de onda de 1.310 nm, una variación de la atenuación menor del 100% para la radiación que oscila desde 200 hasta 30 000 Gray a un tasa de más de 1 Gray/s.
15
3. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el núcleo no contiene germanio.
4. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el núcleo no contiene fósforo.
20
5. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la relación de concentración de flúor entre el núcleo y la concentración de flúor en el revestimiento es mayor que 3.
6. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las pérdidas de transmisión son menores de 5 dB/km a 1310 nm, sin tipo alguno de radiación ionizante.
25
7. La fibra de acuerdo con la reivindicación 6, en el que las pérdidas de transmisión son menores de 0,35 dB/km a 1310 nm, sin tipo alguno de radiación ionizante.
8. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el diámetro de campo modal (MFD) a una longitud de onda de 1310 nm, está comprendido entre 8,6 μm y 9,5 μm .
30
9. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la longitud de onda de corte de de cable es como máximo 1.260 nm.
35
10. La fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la dispersión de modo de polarización de enlace es inferior o igual a $0,2 \text{ ps}/(\text{km})^{1/2}$.
11. Una utilización de, al menos, una porción de una fibra de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores en un sistema óptico de comunicación situado en un entorno que presenta las radiaciones ionizantes.
40
12. La utilización de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el sistema óptico comprende, además, porciones de una fibra de modo único estándar (SMF).



**Fig. 3**

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

La lista de referencias citada por el solicitante lo es solamente para utilidad del lector, no formando parte de los documentos de patente europeos. Aún cuando las referencias han sido cuidadosamente recopiladas, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP rechaza toda responsabilidad a este respecto.

5

Documentos de patente citado en la descripción

- US 4690504 A [0008]
- US 5509101 A [0009]
- WO 2005109055 A [0010]
- US RE30635 E [0044]
- US 4314833 A [0044]

10

Bibliografía no de patentes citada en la descripción

- **KAZUO SANADA ; NAOKI SHAMOTO ; KOUICHI INADA.** Radiation resistance of fluorine-doped silica-core fibers. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1994, vol. 179, 339-344 [0006]
- Development of in-core monitoring system using radiation resistant optical fibers. **KAKUTA T. et al.** NUCLEAR SCIENCE SYMPOSIUM AND MEDICAL IMAGING CONFERENCE, 1994, 1994 IEE CONFERENCE RECORD NORFOLK, VA, USA 30 Oct.-5 Nov. 1994. IEEE, 30 October 1994, vol. 1, 371-374 [0007]