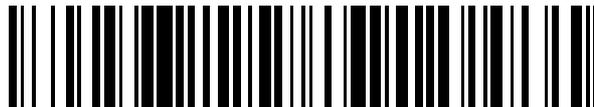


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 331**

51 Int. Cl.:

**G02B 6/036** (2006.01)

**C03B 37/012** (2006.01)

**C03B 37/014** (2006.01)

**C03B 37/018** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.12.2010 PCT/EP2010/070650**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.06.2012 WO12084050**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2010 E 10803373 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 2656127**

54 Título: **Fibra óptica monomodo de baja pérdida de macrocurvatura**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.10.2019**

73 Titular/es:  
**PRYSMIAN S.P.A. (100.0%)**  
**Via Chiese, 6**  
**20126 Milano, IT**

72 Inventor/es:  
**TERRUZZI, LIDIA;**  
**FRIGERIO, SILVIO y**  
**ANTUNES DE CAMARGO, RICARDO**

74 Agente/Representante:  
**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 727 331 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 monomodo de baja pérdida de macrocurvatura

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a una fibra óptica monomodo para la telecomunicación, en particular, a una fibra óptica monomodo de baja pérdida de macrocurvatura.

**Antecedentes de la invención**

10 El uso de fibras ópticas monomodo en aplicaciones de fibra óptica hasta las instalaciones (FTTP), que incluye aplicaciones de fibra hasta el hogar (FTTH) y fibra óptica hasta el edificio (FTTB), requiere en general baja pérdida de curvatura de las señales ópticas transmitidas a través de las fibras, también bajo restricciones estrictas de instalación que pueden imponer radios de curvatura ajustados, por ejemplo, debido a las curvas pronunciadas en los edificios o la compresión de las fibras ópticas. En particular, las aplicaciones de cableado y hardware destinadas a miniaturizar el equipo de campo pasivo, por ejemplo, armarios de convergencia local o cajas de almacenamiento, y el desarrollo de unidades multivivienda (MDU) requieren diseños de fibra con capacidades de curvatura superiores. Además, los sistemas de multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM) y los sistemas de red de óptica pasiva (PON) también pueden necesitar el empleo de fibras ópticas resistentes a la curvatura.

15 Con el fin de estandarizar el rendimiento de curvatura de las fibras ópticas específicamente adecuadas para aplicaciones de FTTP, la ITU-T (Unión internacional de telecomunicaciones, sector de telecomunicaciones ITU) ha desarrollado las recomendaciones G.657 que definen las fibras monomodo con un rendimiento de curvatura mejorado.

20 Para cumplir con las normas internacionales, además de las capacidades de curvatura, el rendimiento de la fibra se evalúa también en otros parámetros ópticos relevantes, tales como la longitud de onda de corte de cable y el diámetro del campo modal (MFD). Los valores recomendados para el MFD y para la longitud de onda de corte de cable se encuentran en la norma ITU-T G.652. Un parámetro que puede ser útil para encontrar un compromiso entre el MFD, la longitud de onda de corte y las pérdidas por curvatura es el denominado número MAC, que es la relación del MFD y la longitud de onda de corte.

25 Las fibras ópticas que tienen una región de revestimiento interior con un índice de refracción deprimido se han adaptado para proporcionar una transmisión monomodo y resistencia robusta a la curvatura. La depresión de índice de la región de revestimiento interior se logra, por ejemplo, dopando con flúor una región que rodea la región de núcleo de la preforma para la producción de la fibra óptica.

30 El documento EP 1785754 desvela una fibra de transmisión óptica que cumple la norma G.652 para aplicaciones en FTTH o FTTC (fibra hasta la acera). La fibra descrita comprende un núcleo central que tiene una diferencia  $\Delta n_1$  de índice con un revestimiento óptico exterior; un primer revestimiento interior con una diferencia  $\Delta n_2$  de índice con el revestimiento exterior; un segundo revestimiento interior enterrado que tiene una diferencia  $\Delta n_3$  de índice con el revestimiento exterior de menos de  $-3 \cdot 10^{-3}$  y que contiene germanio en una concentración en peso de entre el 0,5 % y el 7 %. La preforma de la fibra se produce por PCVD (deposición de vapores químicos por plasma), que se dice que permite un alto número de iones de flúor altamente reactivos y, por lo tanto, agrega germanio a la reacción y, sin embargo, se obtiene un revestimiento interior enterrado.

35 El documento EP 1845399 se refiere a una fibra de transmisión óptica que tiene un perfil de índice de refracción con una primera sección altamente deprimida y una segunda sección débilmente deprimida. El documento indica que con una estructura de este tipo es posible reducir efectivamente las pérdidas por curvatura a un MAC constante, al mismo tiempo que se minimizan fuertemente los modos de fuga de un orden superior.

40 En el documento US 7.164.835, se describe una fibra óptica que muestra una pérdida baja debido a la curvatura y a una buena conectividad con una fibra óptica de transmisión común. La fibra óptica comprende un núcleo proporcionado en un centro; una primera capa de revestimiento proporcionada en la periferia del núcleo; una segunda capa de revestimiento proporcionada en la periferia de la primera capa de revestimiento; y una tercera capa de revestimiento proporcionada en la periferia de la segunda capa de revestimiento, en la que un índice de refracción máximo del núcleo es mayor que cualquiera de los índices de refracción máximos de la primera capa de revestimiento, la segunda capa de revestimiento y la tercera capa de revestimiento, y el índice de refracción máximo de la segunda capa de revestimiento es más pequeño que cualquiera de los índices de refracción máximos de la primera capa de revestimiento y la tercera capa de revestimiento, un valor de  $a_2/a_1$  no es menor que 2,5 y no mayor que 4,5 cuando un radio del núcleo es  $a_1$  y el radio de la periferia exterior de la primera capa de revestimiento es  $a_2$ , y la diferencia de índice de refracción relativa del núcleo con respecto al índice de refracción de la tercera capa de revestimiento no es menor que 0,20 y no mayor que 0,70 %.

45 El documento EP 1788411 describe una fibra óptica monomodo con una muy pequeña pérdida de curvatura a la vez que cumple con las características definidas en la norma ITU-T G. 652, tales como la dispersión cromática, la pendiente de dispersión cero y la longitud de onda de corte. La fibra incluye: un núcleo central que tiene un radio  $r_1$  y

un índice  $n_1$  de refracción; un revestimiento interior que se proporciona alrededor de la circunferencia exterior del núcleo central y tiene un radio  $r_2$  y un índice  $n_2$  de refracción; una parte de zanja que se proporciona alrededor de la circunferencia exterior del revestimiento interior y tiene un radio  $r_3$  y un índice  $n_3$  de refracción; y un revestimiento exterior que se proporciona alrededor de la circunferencia exterior de la parte de zanja y tiene un radio  $r_4$  y un índice  $n_4$  de refracción, con un perfil de índice de refracción en el que los índices de refracción de las partes individuales satisfacen  $n_1 > n_4 \geq n_2 \geq n_3$ . Haciendo referencia al índice  $n_4$  de refracción del revestimiento exterior, una diferencia  $\Delta_1$  de índice de refracción relativa del núcleo central, una diferencia  $\Delta_2$  de índice de refracción relativa del revestimiento interior, y una diferencia  $\Delta_3$  de índice de refracción relativa de la parte de zanja satisfacen las siguientes relaciones:  $0,40 \% \leq \Delta_1 \leq 0,85 \%$ ,  $-0,20 \% \leq \Delta_2 \leq 0,00$  y  $-1,0 \% < \Delta_3 < \Delta_2$ . Los documentos EP 2 211 211 y US2002044755 describen unas fibras ópticas monomodo con una región de núcleo central que tiene un índice de refracción relativo positivo, una primera región de revestimiento interior que tiene un índice de refracción relativo negativo, una segunda región de revestimiento interior que tiene un índice de refracción relativo positivo; una región de revestimiento intermedia que tiene un índice de refracción relativo negativo y una región de revestimiento exterior que tiene un índice de refracción relativo de cero. El documento EP 2 211 211 describe además que el índice de refracción relativo del revestimiento intermedio es mayor en valor absoluto que el índice de refracción relativo de la primera región de revestimiento interior, a saber, entre  $-0,7 \cdot 10^{-3}$  y  $-7 \cdot 10^{-3}$ . El documento US2002044755 describe además un revestimiento intermedio que tiene un espesor de aproximadamente 15 micrómetros.

### **Sumario de la invención**

A menudo, se necesitan concentraciones relativamente altas de flúor con el fin de producir una región de índice de refracción deprimida con un índice de refracción relativo suficientemente negativo, por ejemplo, de menos de  $-2 \cdot 10^{-3}$ , para proporcionar una fibra óptica de curvatura resistente. En términos más generales, cuanto más profunda sea la depresión del revestimiento interior en el perfil de índice de refracción, mejor será el confinamiento del modo de potencia óptica.

El solicitante ha observado que si, por un lado, la región dopada con flúor debería estar localizada de manera preferente relativamente cerca de la región de núcleo con el fin de producir un confinamiento de modo de potencia óptica efectivo, por otra parte, la incorporación de flúor usando las técnicas de deposición de hollín seguidas por la consolidación pueden producir la migración de iones de flúor principalmente a la región de sobrerrecubrimiento, provocando de este modo una disminución o al menos una falta de uniformidad en la concentración de flúor en la región a deprimir.

El solicitante ha reconocido que una fibra óptica con una mejor resistencia a la curvatura, tal como para cumplir con, por ejemplo, la norma G.657, puede fabricarse proporcionando un perfil de índice de refracción en el que la región de revestimiento interior que rodea la región de núcleo comprenda una primera región de revestimiento interior y una segunda región de revestimiento interior. La primera región de revestimiento interior bordea la región de núcleo y está débilmente dopada con flúor. La segunda región de revestimiento interior tiene un índice de refracción no negativo y separa la primera región de revestimiento interior de una región de revestimiento intermedia localizada radialmente hacia fuera de la región de revestimiento interior. La región de revestimiento intermedia está más fuertemente dopada con flúor que la primera región de revestimiento interior.

Sin desear estar ligado por ninguna teoría, el solicitante cree que puede lograrse la presencia de una depresión superficial en una región de índice de refracción rodeando directamente la región de núcleo de guía de luz lo que mejora el confinamiento de luz de los modos de propagación en una fibra óptica que tiene una región de índice deprimida relativamente profunda y bajas pérdidas de macrocurvaturas.

La presente invención proporciona una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1.

Preferentemente, la primera región de revestimiento interior tiene una anchura radial definida como la diferencia ( $r_2 - r_1$ ), de 2  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ .

Preferentemente, la región de núcleo tiene un índice  $\Delta_1$  de refracción relativo de  $4,5 \cdot 10^{-3}$  a  $6,0 \cdot 10^{-3}$ .

Ventajosamente, el índice  $\Delta_5$  de refracción relativo de la región de sobrerrecubrimiento es en promedio cero.

En una realización preferida, el radio  $r_1$  es de 5,0 a 7,0  $\mu\text{m}$ , el radio  $r_2$  es de 7,0 a 11,0  $\mu\text{m}$ , el radio  $r_3$  es de 11,0 a 17,0  $\mu\text{m}$  y el radio  $r_4$  es de 19,0 a 39,0  $\mu\text{m}$ .

Preferentemente, la fibra óptica de la invención es una fibra óptica a base de sílice y los índices  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$ ,  $\Delta_4$  y  $\Delta_5$  de refracción relativos están en relación con el sílice sin dopar.

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

La presente invención se describirá a continuación en lo sucesivo en el presente documento más completamente haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas, pero no todas, las realizaciones de la invención.

Para los fines de la presente descripción y de las reivindicaciones adjuntas, salvo que se indique lo contrario, todos los números que expresan equivalencias, cantidades, porcentajes, etc., deben entenderse como modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Además, todos los intervalos incluyen los puntos máximo y mínimo desvelados e incluyen cualquier intervalo intermedio, que puede o no estar específicamente enumerado en el presente documento.

La figura 1 es un diagrama que ilustra el perfil de índice de refracción relativo de una sección transversal de una fibra óptica de acuerdo con una realización de la presente invención.

La figura 2a y la figura 2b muestran, respectivamente, el perfil de índice de refracción relativo de una fibra óptica de acuerdo con una realización de la presente invención y de una fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice de refracción pero con la ausencia de una depresión de índice superficial en la primera región de revestimiento interior.

La figura 3 es una gráfica que muestra la pérdida de macrocurvaturas a 1550 nm obtenida mediante simulaciones computacionales como una función del radio de curvatura durante 1 vuelta alrededor de un mandril de una fibra óptica con el índice de refracción de la figura 2a (línea continua) y de una fibra óptica con el índice de refracción de la figura 2b (línea discontinua).

La figura 4 muestra un perfil de índice de refracción a modo de ejemplo de una fibra óptica monomodo de acuerdo con la invención.

La figura 5 es una gráfica que muestra las mediciones de la pérdida de macrocurvatura (dB) como una función del radio de curvatura para 1 vuelta de la fibra alrededor de un mandril para la fibra óptica de la figura 4.

### Descripción detallada

La figura 1 es un diagrama que ilustra el perfil de índice de refracción relativo de una sección transversal de una fibra óptica monomodo de acuerdo con una realización de la presente invención, tal como una función de la distancia  $r$  radial desde la línea central de la fibra ( $r = 0$ ). La fibra óptica comprende una región 1 de núcleo central, un revestimiento interior que rodea la región de núcleo y está formado por un primer revestimiento 2 interior que rodea la región 1 de núcleo y un segundo revestimiento 3 interior que rodea el primer revestimiento 2 interior. Una región 4 de revestimiento intermedia rodea la segunda región 3 de revestimiento interior y una región 5 de revestimiento se extiende radialmente desde el revestimiento intermedio hasta el diámetro exterior de la fibra. La fibra óptica puede tener un diámetro exterior típico de aproximadamente 125  $\mu\text{m}$ .

La región 1 de núcleo central se extiende radialmente hacia fuera desde una línea central 6 hasta un radio  $r_1$ . La región de núcleo central tiene un índice  $\Delta_1$  de refracción relativo positivo y se fabrica preferentemente de sílice dopado con un elemento dopante que aumenta el índice de refracción, tal como el germanio.

El perfil de índice relativo toma como referencia el índice de refracción promedio de la región 5 de sobrerrecubrimiento. En las realizaciones preferidas, la región 5 de sobrerrecubrimiento se fabrica de sílice sustancialmente puro (no dopado). En los casos donde el índice de refracción de una región es más bajo que el índice de refracción promedio de la región 5 de sobrerrecubrimiento, el porcentaje de índice relativo es negativo y se denomina como que tiene un índice deprimido o una depresión de índice. El índice deprimido o la depresión de índice se calcula en el punto en el que el índice relativo es más negativo, a menos que se especifique lo contrario. En los casos donde el índice de refracción de una región es mayor que el índice de refracción promedio de la región 5 de sobrerrecubrimiento, el porcentaje de índice relativo es positivo y se calcula en el punto en el que el índice relativo es máximo, a menos que se especifique lo contrario.

El índice de refracción relativo  $\Delta_i$  de una región  $i$  del perfil de índice de refracción está dado por

$$\Delta_i = n_i - n_0 \quad (1)$$

donde  $n_i$  es el índice de refracción de la región  $i$  y  $n_0$  es el índice de refracción promedio de la región de sobrerrecubrimiento, es decir, el índice de refracción de la sílice puro en las realizaciones preferidas.

La primera región 2 de revestimiento interior se extiende radialmente hacia fuera desde la región de núcleo central hasta un radio  $r_2$  y tiene una anchura  $(r_2 - r_1)$  radial. La segunda región 3 de revestimiento interior se extiende radialmente hacia fuera desde la primera región 2 de revestimiento interior hasta un radio  $r_3$  y tiene una anchura  $(r_3 - r_2)$  radial. En las realizaciones preferidas, la anchura  $(r_3 - r_1)$  radial define la distancia radial de la región de revestimiento intermedia de la región 1 de núcleo. En esas realizaciones, la primera región 2 de revestimiento interior es directamente adyacente a la región 1 de núcleo y la segunda región 3 de revestimiento interior es directamente adyacente a la primera región 2 de revestimiento interior.

La primera región 2 de revestimiento interior tiene un índice  $\Delta_2$  de refracción relativo negativo y la segunda región 3 de revestimiento interior tiene un índice  $\Delta_3$  de refracción relativo no negativo.

El índice  $\Delta_3$  de refracción relativo no negativo de la segunda región 3 de revestimiento interior es de 0 a  $0,5 \cdot 10^{-3}$ , preferentemente es en promedio de cero debido a que la segunda región 3 de revestimiento interior se fabrica de sílice puro.

5 La región 4 de revestimiento intermedio se extiende radialmente hacia fuera desde la segunda región 3 de revestimiento interior hasta un radio  $r_4$  de una anchura de  $(r_4-r_3)$ . La región 4 de revestimiento intermedia tiene un índice  $\Delta_4$  de refracción relativo negativo mayor en valor absoluto que el índice  $\Delta_2$  de refracción relativo de la primera región 2 de revestimiento interior. Preferentemente, la primera región 2 de revestimiento interior está dopada con flúor para producir una región de índice deprimido superficial. La región 4 de revestimiento intermedia es preferentemente sílice dopada con flúor para disminuir el índice de refracción y crear una región de índice deprimido relativamente profunda. Preferentemente, el índice  $\Delta_4$  de refracción relativo de la región 4 de revestimiento intermedia es de  $-3,0 \cdot 10^{-3}$  a  $-5,0 \cdot 10^{-3}$ . Preferentemente, el índice  $\Delta_2$  de refracción relativo de la primera región de revestimiento interior es de  $-0,1 \cdot 10^{-3}$  a  $-1,0 \cdot 10^{-3}$ .

10 La región 5 de sobrerrecubrimiento se extiende radialmente hacia fuera desde la región 4 de revestimiento intermedio y tiene un índice  $\Delta_5$  de refracción relativo no negativo. Preferentemente, el índice  $\Delta_5$  de refracción relativo es cero de promedio, y la región 5 de sobrerrecubrimiento se fabrica de sílice puro.

En las realizaciones preferidas, el índice  $\Delta_1$  de refracción relativo de la región 1 de núcleo es de  $4,0 \cdot 10^{-3}$  a  $5,5 \cdot 10^{-3}$  y el radio  $r_1$  es de 3,0 a 7,0  $\mu\text{m}$ .

15 Preferentemente, la primera región de revestimiento interior tiene un radio  $r_2$  de 5,0 a 11,0  $\mu\text{m}$  y una anchura  $(r_2-r_1)$  radial de 2  $\mu\text{m}$  hasta 4  $\mu\text{m}$ . Preferentemente, el radio  $r_4$  de la región 4 de revestimiento intermedia es de 12,0 a 25,0  $\mu\text{m}$  y su anchura  $(r_4-r_3)$  radial es de 8  $\mu\text{m}$  a 22  $\mu\text{m}$ . Preferentemente, la distancia radial de la región de revestimiento intermedia de la región de núcleo,  $(r_3-r_1)$ , es de 6 a 10  $\mu\text{m}$ .

20 Las figuras 2a y 2b son gráficas que muestran el perfil de índice de refracción relativo de, respectivamente, una primera fibra óptica de acuerdo con una realización de la presente invención y de una segunda fibra óptica que tiene el mismo perfil de índice de refracción de la primera fibra, pero con la ausencia de la depresión de índice superficial en la primera región de revestimiento interior. La mitad de la sección transversal de los perfiles se representa en las figuras y la distancia radial se muestra en  $10^{-5}$  m. La primera región de revestimiento interior de las fibras primera y segunda se indica en las figuras con una flecha. En los perfiles ilustrados:  $\Delta_1 = 5,2 \cdot 10^{-3}$ ,  $r_1 = 6 \mu\text{m}$ ;  $r_2 = 9 \mu\text{m}$ ;  $\Delta_3 = 0,2 \cdot 10^{-3}$ ,  $r_3 = 13 \mu\text{m}$ ;  $\Delta_4 = -4,1 \cdot 10^{-3}$ ,  $r_4 = 23 \mu\text{m}$ , y  $\Delta_5 = 0$ . En el perfil de la figura 2a,  $\Delta_2 = -0,5 \cdot 10^{-3}$ , mientras que en el perfil de la figura 2b,  $\Delta_2 = 0,2 \cdot 10^{-3}$ .

25 La figura 3 es una gráfica que muestra los resultados obtenidos usando simulaciones computacionales de la pérdida de macrocurvatura a 1550 nm (dB) de una fibra óptica que tiene el perfil de índice de refracción de la figura 2a (línea continua) y de una fibra óptica con el perfil de índice de refracción de la figura 2b (línea discontinua). En las abscisas, el radio de curvatura  $\rho$  (mm) y en las ordenadas la pérdida de macrocurvatura (dB). La pérdida óptica se ha calculado para 1 vuelta alrededor de un mandril de radio de curvatura que varía de 7,5 a 15  $\mu\text{m}$ . Los resultados en la figura 3 muestran que la pérdida de macrocurvatura es significativamente menor en el caso de la presencia de una depresión de índice de refracción superficial en el primer revestimiento interior (línea continua). Para un radio de curvatura de 7,5  $\mu\text{m}$ , la pérdida de macrocurvatura de la fibra con el perfil de la figura 2a es de 0,1 dB, mientras que en el perfil de la figura 2b es de 0,20 dB.

30 Cuando se calcula en 1625 nm con el mismo radio de curvatura, la pérdida de macrocurvatura de la fibra con el perfil de la figura 2a es de 0,29 dB, mientras que la pérdida de macrocurvatura de la fibra con el perfil de la figura 2b es de 0,49 dB.

40 La Tabla 1 resume las propiedades ópticas calculadas mediante simulaciones computacionales de las fibras ópticas con el perfil de índice de refracción informado, respectivamente, en las figuras 2a y 2b.

Tabla 1

Parámetro óptico	Perfil figura 2a	Perfil figura 2b
MFD a 1310 nm	9,2 $\mu\text{m}$	9,5 $\mu\text{m}$
MFD a 1550 nm	10,3 $\mu\text{m}$	10,7 $\mu\text{m}$
Longitud de onda de dispersión cero	1309 nm	1316 nm
Pendiente en longitud de onda de dispersión cero	0,0885 ps/nm <sup>2</sup> ·km	0,0878 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coefficiente de dispersión cromática a 1550 nm	17,3 ps/nm·km	17,0 ps/nm·km
Coefficiente de dispersión cromática a 1625 nm	21,6 ps/nm·km	21,4 ps/nm·km

45 La región de núcleo y la región de revestimiento interior se fabrican preferentemente mediante una técnica de deposición de vapor químico, por ejemplo por modificación de deposición química de vapor (MCVD), con el fin de formar una varilla de vidrio interior. Como alternativa, pueden contemplarse técnicas de deposición de hollín como la deposición de vapor exterior (OVD) o también la deposición axial de vapor (VAD).

En una realización preferida, se inserta a continuación, la preforma interior de vidrio en un tubo de vidrio de revestimiento intermedio dopado con flúor para formar un conjunto de varilla en tubo. El conjunto de varilla en tubo se calienta en un horno o por medio de un quemador a la temperatura de ablandamiento de vidrio para colapsar el tubo de vidrio de revestimiento intermedio sobre la varilla de vidrio interior para producir una preforma de vidrio interior.

Un sobrerrecubrimiento puede formarse alrededor de la preforma de vidrio interior mediante una técnica de deposición de hollín, tal como la deposición axial de vapor (VAD) o la deposición de vapor exterior (OVD). En otras realizaciones, la preforma de vidrio interior puede insertarse en un tubo de vidrio de sílice exterior que a continuación se ablanda para colapsar alrededor de la preforma de vidrio interior (técnica de envoltura).

#### 10 Ejemplo:

Un tubo de soporte cilíndrico hueco fabricado de sílice puro y que tiene un espesor radial de 3 mm se montó en un torno horizontal de MCVD. Una mezcla gaseosa que contiene reactivos químicos formadores de hollín se llevó a la cavidad cilíndrica del tubo de sustrato. Al mismo tiempo que la inyección de la mezcla gaseosa en el tubo de sustrato, el tubo del sustrato se hizo rotar continuamente y su superficie exterior se calentó atravesando una llama a lo largo de la superficie exterior en una pluralidad de pasos a lo largo de direcciones axiales opuestas a una temperatura de aproximadamente 1950 °C. En primer lugar, se produjo un primer revestimiento interior haciendo fluir una mezcla gaseosa que comprendía  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_2$ , He y  $\text{SF}_6$  y, posteriormente, el núcleo se produjo haciendo fluir una mezcla gaseosa que comprendía  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{GeCl}_4$ , He y  $\text{O}_2$ .

La varilla de núcleo resultante comprende una región de núcleo dopado con germanio y una región de revestimiento interior que rodea la región de núcleo y que comprende una primera región de revestimiento interior con dopaje superficial de flúor y una segunda región de revestimiento interior de sílice sin dopar ( $\text{SiO}_2$ ). La segunda región de revestimiento interior corresponde al tubo de sustrato cilíndrico usado para el proceso de MCVD.

La varilla de núcleo sólido de sílice dopado con germanio se retiró del torno de MCVD para insertarse en un tubo de vidrio de revestimiento intermedio fabricado de sílice dopado con flúor a una concentración aproximadamente constante que proporciona un índice de refracción relativo para el sílice puro de  $-3.4 \cdot 10^{-3}$  equivalente a una concentración de flúor del 7 %. La longitud del tubo era de 1000 mm. El diámetro interior del tubo era de 20 mm y el diámetro exterior de 29 mm y, por lo tanto, el tubo tenía un espesor radial de 4,5 mm.

El colapso del tubo de revestimiento intermedio sobre la varilla se realizó montando el conjunto de núcleo en un aparato de envoltura con un extremo superior del conjunto de núcleo conectado a una bomba de vacío. Se colocó un quemador de oxígeno/hidrógeno anular en una sección de longitud inferior del tubo de revestimiento intermedio cerca del extremo inferior del conjunto de núcleo. El quemador se encendió para generar una llama anular de caudal de oxígeno de 25 slpm y de caudal de hidrógeno de 60 slpm. Al comienzo del proceso, la llama atravesó la sección de longitud inferior del tubo de revestimiento intermedio con el fin de sellar el tubo en la varilla de núcleo en correspondencia con esta sección de longitud. Una vez que el extremo inferior del tubo se cerró sobre la varilla de núcleo, la bomba de vacío creó una presión negativa a través del espacio anular del conjunto de aproximadamente 0,6 bar. A continuación, el quemador se desplazó hacia arriba a lo largo del tubo de vidrio a una velocidad de 35 mm/minuto para ablandar y colapsar el tubo alrededor de la varilla. Después de una sola pasada del quemador, el tubo de revestimiento intermedio se colapsó térmicamente sobre la varilla para crear una preforma de núcleo de aproximadamente 27 mm de diámetro. Durante el funcionamiento del quemador, se hizo rotar el conjunto de núcleo a 5 rpm.

A continuación, se montó la preforma de núcleo sobre un torno de OVD y el hollín de sílice se depositó en los mandriles rotados mediante un proceso de OVD convencional. La deposición de hollín continuó hasta que se obtuvo el peso buscado para la formación de una región de sobrerrecubrimiento. A continuación, se sinterizó la preforma porosa de hollín en un horno mantenido a 1550 °C mientras se introducía gas de He y gas de  $\text{Cl}_2$  en una relación de 95:5. La preforma de fibra óptica consolidada tenía un diámetro exterior de 80 mm.

La preforma se movió a una torre de estiramiento y se estiró a una temperatura de 2000-2100 °C para fabricar una fibra óptica monomodo de diámetro exterior de aproximadamente 125  $\mu\text{m}$ .

La figura 4 muestra el perfil de índice de refracción relativo medido de la fibra óptica fabricada de acuerdo con el procedimiento del ejemplo. La fibra óptica comprende una región de núcleo central dopada con germanio con un índice de refracción relativo  $\Delta_1 = 5,5 \cdot 10^{-3}$  con respecto a la región de sobrerrecubrimiento que se fabrica de sílice sin dopar ( $\Delta_5 = 0$ ) y  $r_1 = 5,75 \mu\text{m}$ . Una primera región de revestimiento interior ligeramente dopada con flúor tiene un índice de refracción relativo de aproximadamente  $\Delta_2 = -0,5 \cdot 10^{-3}$  y  $r_2 = 9 \mu\text{m}$ . Una segunda región de revestimiento interior tiene un índice de refracción relativo  $\Delta_3 = 0,35 \cdot 10^{-3}$  y  $r_3 = 14 \mu\text{m}$ . Una región de revestimiento intermedia dopada con flúor de anchura  $9,7 \mu\text{m}$  y un índice de refracción relativo negativo de aproximadamente  $-4,1 \cdot 10^{-3}$  rodea la segunda región de revestimiento interior.

La fibra óptica del presente ejemplo tenía las siguientes propiedades ópticas:

Longitud de onda de dispersión cero de 1306,5 nm

## ES 2 727 331 T3

Coeficiente de dispersión cromática a 1550 nm de 17,004 ps/nm · km y  
Coeficiente de dispersión cromática a 1625 nm de 21,227 ps/nm · km.  
Pendiente en longitud de onda de dispersión cero de 0,0854 ps/nm<sup>2</sup> · km  
Atenuación óptica a los 1380 nm de 0,9 dB/km.  
5 Diámetro del campo de modo (MFD) a 1310 nm de 9,2 μm  
Diámetro del campo de modo (MFD) a 1550 nm de 10,3 μm

10 La figura 5 es una gráfica que muestra las mediciones de la pérdida de macrocurvatura (dB) en una función del radio de curvatura, ρ (mm), para 1 vuelta de la fibra del presente ejemplo alrededor de un mandril para la transmisión de la luz a 1550 nm (línea continua) y a 1625 nm (línea de puntos) para la fibra óptica de la figura 4. Los resultados experimentales muestran que la pérdida de macrocurvatura a 1550 nm para 1 vuelta de un radio de curvatura de 7,5 μm es de 0,1 dB y a 1625 nm, siempre para un radio de curvatura de 7,5 μm, es de 0,1 dB.

Los parámetros ópticos de la fibra óptica cumplen las especificaciones de las normas G.657.

**REIVINDICACIONES**

1. Una fibra óptica de transmisión monomodo que comprende:

- una región de núcleo central que se extiende radialmente hacia el exterior desde una línea central hasta un radio  $r_1$  y que tiene un índice  $\Delta_1$  de refracción relativo positivo;
- una primera región de revestimiento interior que se extiende radialmente hacia el exterior desde el núcleo central hasta un radio  $r_2$  y que tiene un índice  $\Delta_2$  de refracción relativo negativo;
- una segunda región de revestimiento interior que se extiende radialmente hacia el exterior desde la primera región de revestimiento interior hasta un radio  $r_3$  y que tiene un índice  $\Delta_3$  de refracción relativo no negativo;
- una región de revestimiento intermedia que se extiende radialmente hacia el exterior desde la segunda región de revestimiento interior hasta un radio  $r_4$  que tiene un índice  $\Delta_4$  de refracción relativo negativo mayor en valor absoluto que el índice  $\Delta_2$  de refracción relativo, y
- una región de revestimiento exterior que se extiende radialmente hacia el exterior desde la región de revestimiento intermedia y que tiene un índice  $\Delta_5$  de refracción relativo no negativo,

en la que el índice  $\Delta_2$  de refracción relativo de la primera región de revestimiento interior es de  $-0,1 \cdot 10^{-3}$  a  $-1,0 \cdot 10^{-3}$ , el índice  $\Delta_3$  de refracción relativo de la segunda región de revestimiento interior es de 0 a  $0,5 \cdot 10^{-3}$ , y el índice  $\Delta_4$  de refracción relativo del revestimiento intermedio es de  $-3,0 \cdot 10^{-3}$  a  $-5,0 \cdot 10^{-3}$ , y en la que la anchura radial de la región de revestimiento intermedia, definida como la diferencia ( $r_4 - r_3$ ), es de 8  $\mu\text{m}$  a 22  $\mu\text{m}$ .

2. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la primera región de revestimiento interior tiene una anchura radial, definida como la diferencia ( $r_2 - r_1$ ), de 2  $\mu\text{m}$  a 4  $\mu\text{m}$ .

3. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la región de núcleo tiene un índice  $\Delta_1$  de refracción relativo de  $4,5 \cdot 10^{-3}$  a  $6,0 \cdot 10^{-3}$ .

4. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el índice  $\Delta_5$  de refracción relativo de la región de sobrerrecubrimiento es en promedio cero.

5. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el radio  $r_1$  es de 5,0 a 7,0  $\mu\text{m}$ .

6. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el radio  $r_2$  es de 7,0 a 11,0  $\mu\text{m}$ .

7. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el radio  $r_3$  es de 11,0 a 17,0  $\mu\text{m}$ .

8. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el radio  $r_4$  es de 19,0 a 39,0  $\mu\text{m}$ .

9. Una fibra óptica de transmisión monomodo de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el índice  $\Delta_3$  de refracción relativo de la segunda región de revestimiento interior es en promedio cero, correspondiente al del sílice sin dopar.

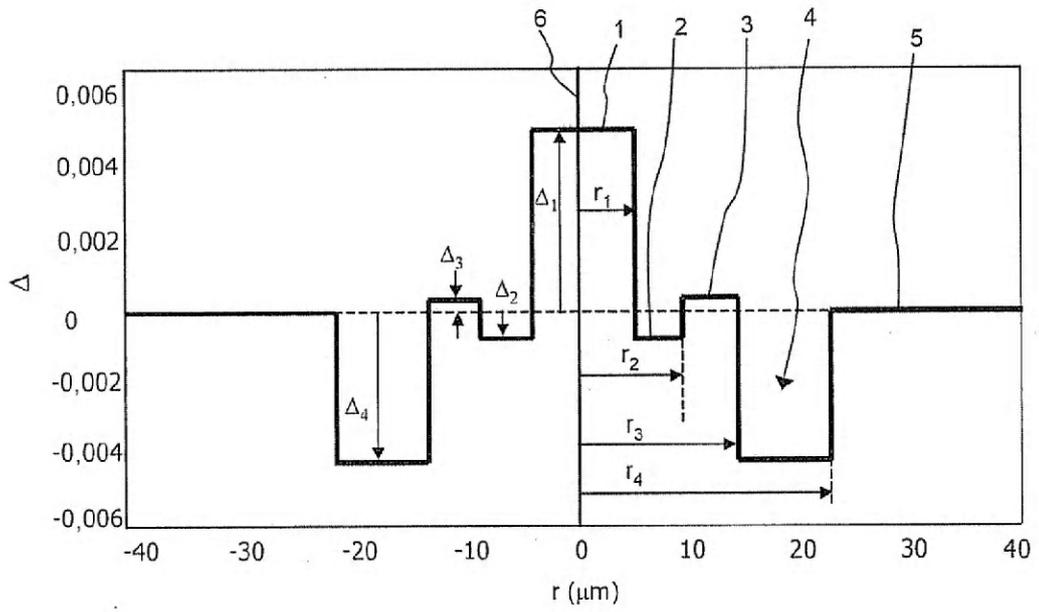


FIG. 1

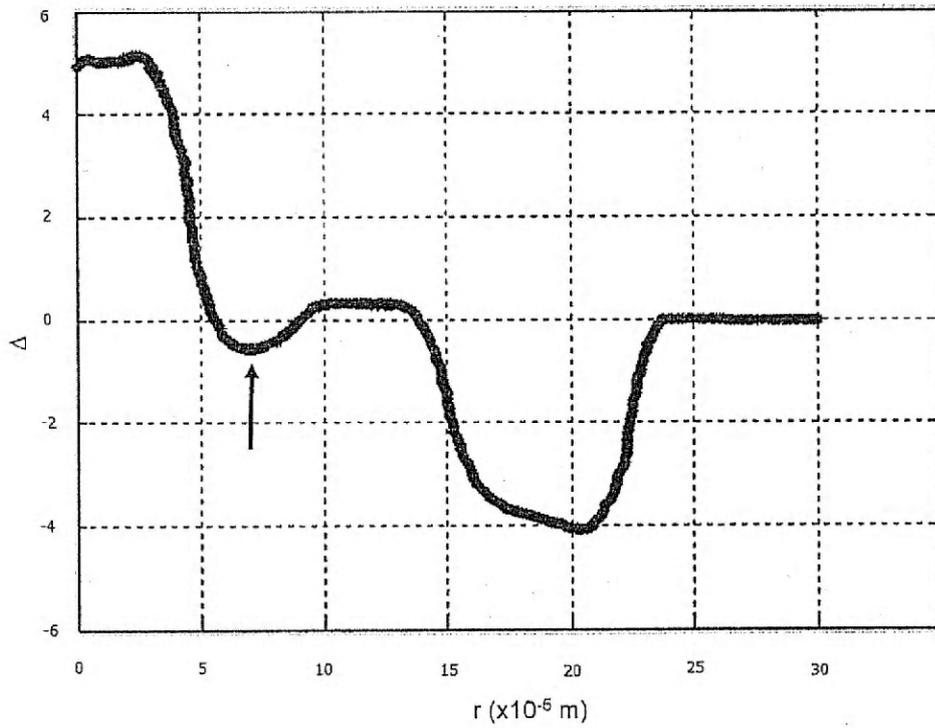


FIG. 2a

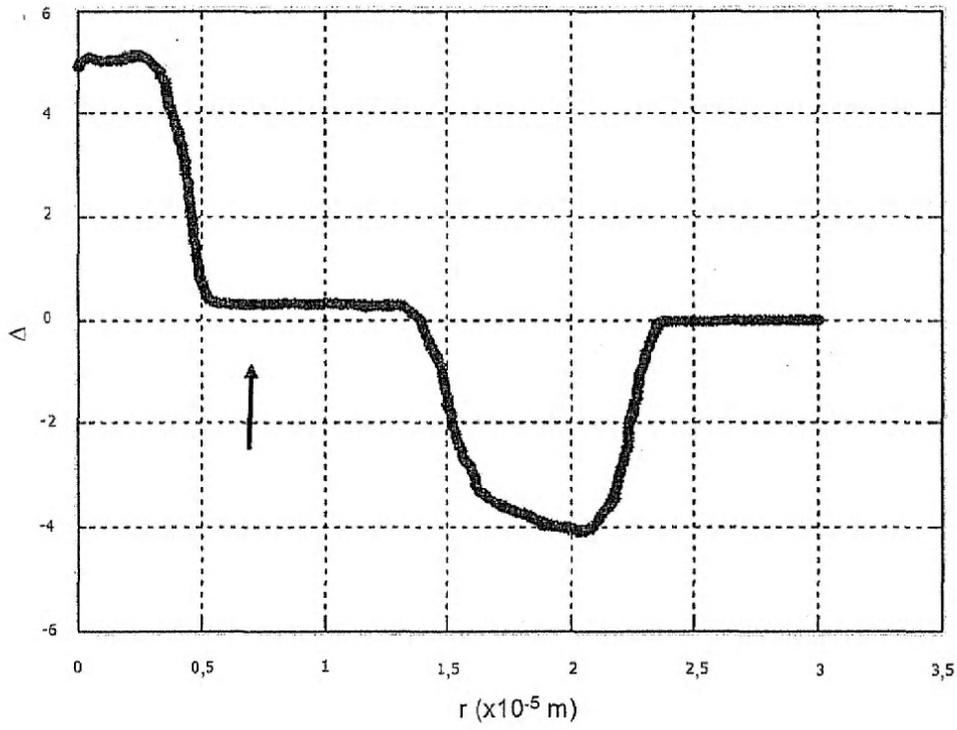


FIG. 2b

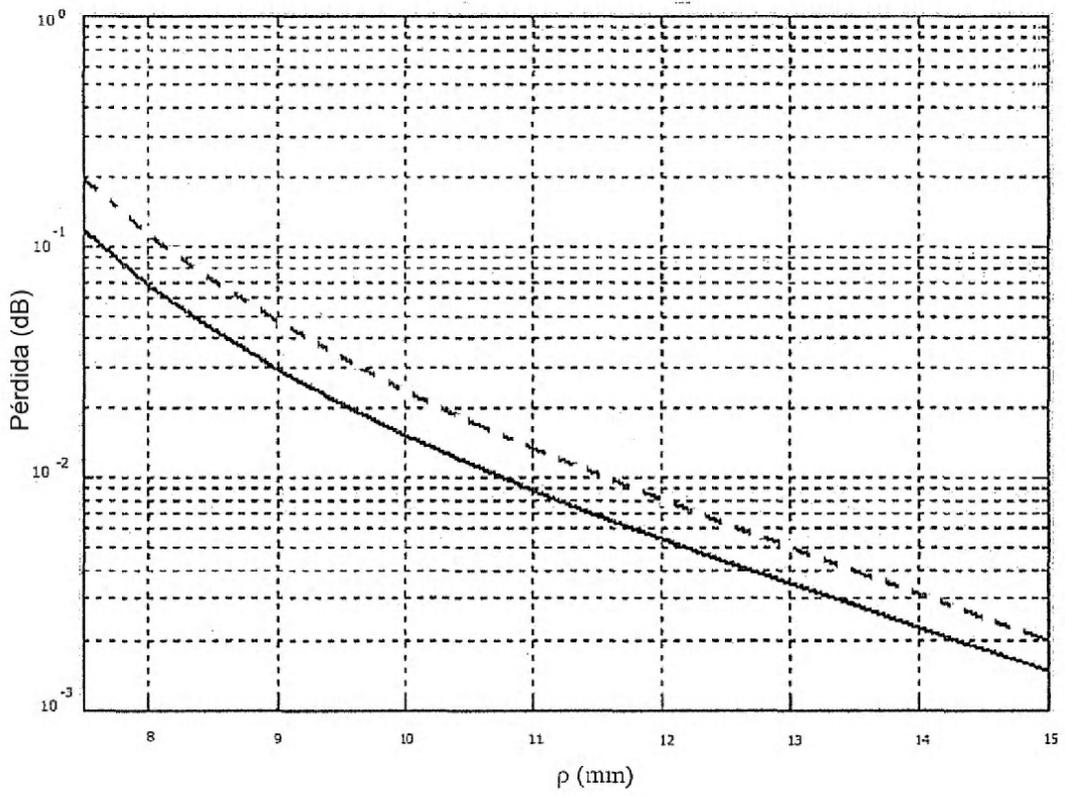


FIG. 3

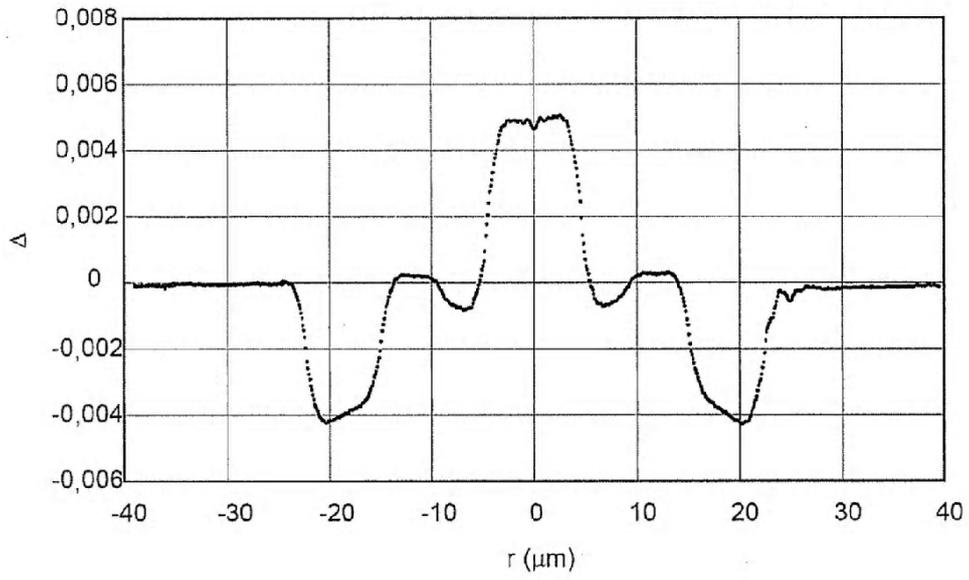


FIG. 4

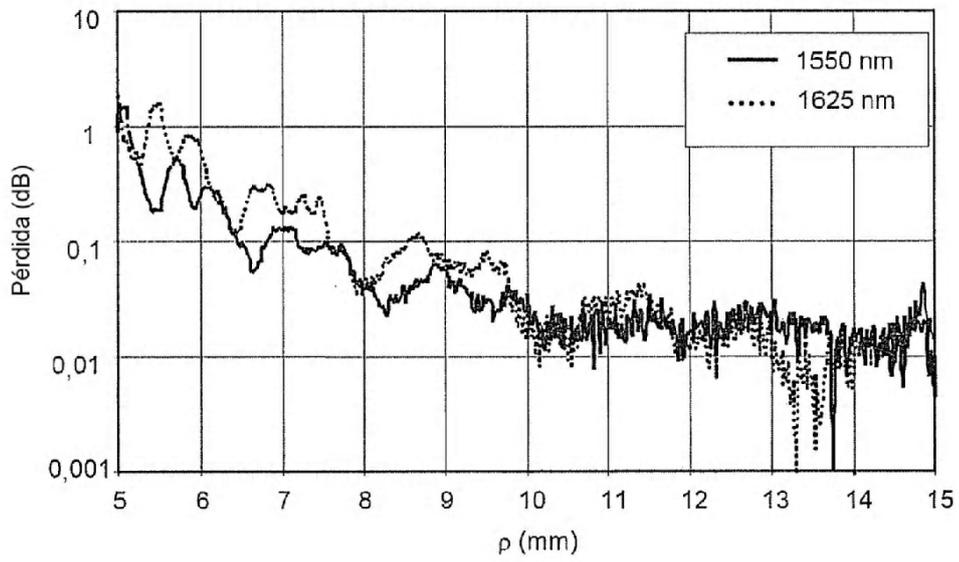


FIG. 5