

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 173**

51 Int. Cl.:

G02B 6/036 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.05.2011** **E 11305654 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2013** **EP 2527893**

54 Título: **Fibra óptica de modo único**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.01.2014

73 Titular/es:

DRAKA COMTEQ BV (100.0%)
De Boelelaan 7
1083 HJ Amsterdam, NL

72 Inventor/es:

SILLARD, PIERRE y
BIGOT-ASTRUC, MARIANNE

74 Agente/Representante:

ARPE FERNÁNDEZ, Manuel

ES 2 438 173 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 de modo único

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere al campo de las transmisiones por fibra óptica, y más específicamente por fibras ópticas de modo único (SMF). La invención se refiere a una fibra óptica de modo único con atenuación reducida que puede ser fabricada a partir de una preforma con capacidad aumentada.
- 10 **[0002]** En las fibras ópticas, el perfil de índice se clasifica generalmente de acuerdo con el aspecto de la gráfica de la función que relaciona el índice de refracción con el radio de la fibra. En forma estándar, la distancia r al centro de la fibra se representa en el eje x , y en el eje y , la diferencia entre el índice de refracción y el índice de refracción del revestimiento de la fibra. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o establecido de la fibra, pero las limitaciones de fabricación de la fibra pueden resultar en un perfil ligeramente diferente. Una fibra óptica consta convencionalmente de un núcleo óptico, cuya función es transmitir y, posiblemente, amplificar una señal óptica, y de un revestimiento óptico cuya función consiste en confinar la señal óptica en el núcleo. Para este propósito, los índices de refracción del núcleo n_c y del revestimiento exterior n_g son tales que $n_c > n_g$.
- 15 **[0003]** Fibras de índice escalón, también llamadas SMF ("Single Mode Fibres [fibras de modo único]") se utilizan normalmente como fibras de línea para sistemas de transmisión por fibra óptica. Estas fibras tienen una dispersión cromática y una pendiente de dispersión cromática que cumplen las normas específicas de telecomunicaciones, así como la longitud de onda de corte normalizada y valores de área efectivos.
- 20 **[0004]** En respuesta a la necesidad de compatibilidad entre sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha definido un estándar, referencia del ITU-T G.652, con el que debe cumplir una fibra óptica de transmisión estándar, llamada SSMF (Standard Single Mode Fibre [fibra de modo único estándar]).
- 25 **[0005]** Entre otros, la norma G.652 recomienda para una fibra de transmisión la gama de [8,6; 9,5 μm] para el diámetro de campo de modo (MFD) para una longitud de onda de 1310 nm; un máximo de 1260 nm para el valor longitud de onda de corte de cable; el rango de [1300; 1324 nm] para el valor de longitud de onda de dispersión cero, indicada como λ_0 ; un máximo de 0,092 ps/nm²-km para el valor de la pendiente de dispersión cromática. De manera estándar, la longitud de onda de corte de cable se mide como la longitud de onda para la que la señal óptica ya no es de modo único después de la propagación a través de veintidós metros de fibra, según la definición de subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793 -1-44.
- 30 **[0006]** Las fibras con núcleos de sílice pura también son conocidas, y se llaman fibras de núcleo de sílice pura (PSCFs). La ausencia de dopante en el núcleo de un PSCF hace que sea posible limitar las pérdidas ópticas y en particular, la atenuación a una longitud de onda de 1550 nm. Por tanto, una PSCF tiene convencionalmente un revestimiento de sílice dopada con flúor para reducir su índice de refracción y garantizar la función de confinar la señal óptica en el núcleo.
- 35 **[0007]** De manera en sí conocida, una fibra óptica se fabrica mediante la elaboración de una preforma en una torre de estirado de fibra. Una preforma, por ejemplo, comprende una preforma primaria consistente en un tubo de vidrio de muy alta calidad formando una porción de revestimiento y núcleo de la fibra. Esta preforma primaria es entonces sobre revestida o encamisada con el fin de aumentar su diámetro y así preparar una preforma que puede utilizarse en una torre de estirado de fibra. La operación de estirado de fibra a escala consiste en colocar la preforma verticalmente en una torre y estirar una hebra de fibra a partir del extremo de la preforma. Para esto, una temperatura alta es aplicada localmente en un extremo de la preforma hasta ablandar la sílice; la velocidad de estirado de fibra y la temperatura son entonces controladas de forma permanente durante el estirado de la fibra ya que determinan el diámetro de dicha fibra. La geometría de la preforma debe observar perfectamente las relaciones entre los índices de refracción y los diámetros del núcleo y del revestimiento de la fibra, de manera que la fibra estirada tenga el perfil requerido.
- 40 **[0008]** La preforma primaria puede consistir en un tubo de sustrato, generalmente de cuarzo, sobre el que se han depositado una o más capas de sílice dopado y / o sin dopar, para formar el núcleo y un revestimiento interior de la fibra. Las técnicas de deposición dentro de un tubo de sustrato incluyen MCVD (deposición química en fase de vapor modificada), FCVD (horno de deposición química en fase de vapor) o PCVD (deposición química en fase de vapor asistida por plasma). Después de depositar las capas correspondientes en el núcleo y el revestimiento interior, el tubo es cerrado sobre sí mismo durante una operación llamada de colapso. Las técnicas CVD aseguran que el pico OH permanece bajo y limitándose por tanto la atenuación para 1385 nm.
- 45 **[0009]** La preforma primaria puede consistir en una varilla fabricada por técnicas de deposición externa, tales como OVD (deposición en fase de vapor externa) o VAD (deposición en fase de vapor axial). En este caso no se utiliza tubo de sustrato; capas de sílice dopada y / o sin dopar se depositan sobre una varilla de partida mediante direccionamiento de gases precursores y una antorcha.
- 50 **[0010]** La deposición de componentes es comúnmente referida por la expresión "dopado", es decir, se añaden "dopantes" a la sílice con el fin de cambiar su índice de refracción. Así, el germanio (Ge) o el fósforo (P) aumentan el índice de refracción de la sílice, por ello se utilizan a menudo para el dopado del núcleo central de la fibra. Por otra parte, el flúor (F) o el boro (B) disminuyen el índice de refracción de la sílice; el flúor es frecuentemente utilizado para la formación de revestimientos deprimidos.
- 55 **[0011]** Fabricar una preforma primaria con un revestimiento alta y ampliamente deprimido es delicado. De hecho, el flúor, por ejemplo, se incorpora pobremente en sílice calentada más allá de una cierta temperatura, mientras que para la fabricación de vidrio se requiere una alta temperatura. La técnica de PCVD se puede utilizar de manera
- 60
- 65

eficaz para producir un revestimiento deprimido interior de un tubo de deposición. Dicha técnica de fabricación se describe en los documentos US RE 30.635 y US 4.314.833, permitiéndose incorporar flúor de manera significativa en la sílice con el fin de formar revestimientos altamente deprimidos. Un tubo de deposición, hecho de sílice puro o dopado con flúor, se proporciona y se monta en una torre de fabricación de vidrio. El tubo se pone entonces en rotación y una mezcla gaseosa de sílice y dopantes se inyecta dentro del tubo. El tubo atraviesa una cavidad de microondas en la que la mezcla gaseosa se calienta localmente. El calentamiento por microondas genera plasma mediante la ionización de los gases inyectados dentro del tubo y los dopantes ionizados reaccionan altamente con las partículas de sílice, provocando el depósito de capas de sílice dopado en el interior del tubo. La alta reactividad de los dopantes, generada por el calentamiento por microondas, permite una alta concentración de dopantes a incorporar en las capas de sílice.

[0012] La figura 1 ilustra un perfil de índice establecido de una PSCF convencional. El perfil de índice de la figura 1 muestra un núcleo central de radio R_{co} e índice Dn_{co} correspondiente al índice de la sílice, y un revestimiento deprimido interior de radio exterior R_{cl1} e índice Dn_{cl1} . El revestimiento interior se dice que está deprimido, ya que tiene un índice de refracción que es menor que el índice Dn_{out} del revestimiento exterior obtenido por sobre revestimiento o encamisado de la preforma primaria. En una PSCF, este revestimiento exterior es generalmente de vidrio de sílice pura y tiene sustancialmente el mismo índice de refracción que el núcleo central. Típicamente, el revestimiento exterior está hecho de tubo de sustrato utilizado para la fabricación de la preforma primaria y / o del sobre revestido o camisa utilizado para alcanzar el diámetro pedido.

[0013] En la estructura descrita anteriormente, con un revestimiento exterior que tiene sustancialmente el mismo índice de refracción que el núcleo central, el modo fundamental LP01 no es totalmente guiado y muestra las pérdidas adicionales, llamadas fugas. Para minimizar estas pérdidas por fugas, debe reducirse el porcentaje de energía que se propaga por el revestimiento de sílice puro exterior. Por consiguiente, la relación entre el radio exterior del revestimiento interior dopado con flúor y el radio del núcleo (R_{cl1}/R_{co}) debe ser suficientemente alta, es decir, el revestimiento deprimido interior de sílice debe extenderse al menos tan lejos como un radio crítico R_{cl1} cuyo valor depende del radio del núcleo y de la diferencia de índice entre el índice del núcleo Dn_{co} y el índice del revestimiento interior Dn_{cl1} ; para una SMF estándar compatible con la recomendación G.652 se considera que una relación entre el radio del revestimiento deprimido y el radio del núcleo de 8 o mayor ($R_{cl1}/R_{co} > 8$) asegura un buen confinamiento de la señal óptica en el núcleo central y un nivel aceptable de pérdidas por fugas.

[0014] Las técnicas MCVD, FCVD y PCVD resultan satisfactorias para obtener una buena calidad del núcleo y un revestimiento interior alta y ampliamente deprimido, pero son costosas cuando se desean preformas de capacidad amplia. La capacidad de una preforma se define como la cantidad de longitud de la fibra óptica que puede ser estirada a partir de esta preforma. Cuanto mayor sea el diámetro de la preforma, mayor es esta capacidad. Para reducir los costes de fabricación, es deseable proporcionar grandes longitudes de fibra lineal estiradas a partir de una misma preforma. Por tanto, se desea fabricar preformas de gran diámetro, respetando las limitaciones antes mencionadas, respecto de los diámetros del núcleo central y del revestimiento interno deprimido.

[0015] Los documentos US-A-2008/0031582 o US-A-5044724 describen la utilización de un tubo de deposición dopado con flúor para hacer la preforma primaria. Esta solución permite limitar la cantidad de capas dopadas con flúor depositadas en el interior del tubo. El documento WO-A-2010/003856, revela la fabricación de tubos dopados con flúor mediante POD (Deposición externa asistida por plasma) o OVD.

[0016] Cuando se utiliza un tubo de deposición dopado con flúor, el revestimiento deprimido de la preforma primaria se compone del revestimiento depositado interior y del propio tubo. La relación entre el radio del revestimiento deprimido y el radio del núcleo, se puede aumentar de ese modo al tiempo que se limita la cantidad de deposición en el interior del tubo. Sin embargo, esta solución es difícil de dominar para tubos de gran espesor porque las condiciones de deposición cambian cuando se utiliza un tubo dopado con flúor en lugar de un tubo de sílice sin dopar, en última instancia, limitando la reducción de la cantidad depositada en el interior del tubo.

[0017] El documento US-A-2007/0003198 describe un procedimiento híbrido en el que una varilla que constituye la región del núcleo dopada con Ge se realiza por DVA o OVD y una región de revestimiento se deposita dentro de un tubo mediante MCVD. La varilla de núcleo y el tubo de revestimiento por MCVD se ensamblan utilizando una técnica de varilla-en-tubo. Sin embargo, las fibras descritas en este documento no tienen estructuras de perfil de índice con núcleos de sílice pura y revestimientos deprimidos y como resultado de ello no tienen sus problemas inherentes, en particular, lograr atenuaciones bajas tanto a 1383nm como a 1550nm.

[0018] El documento US-A-2003/0063878, describe un procedimiento para la fabricación de preformas gruesas. El núcleo y los revestimientos interiores se depositan por CVD en un tubo de deposición que después es eliminado por completo. El revestimiento exterior es depositado por deposición externa o procedimientos varilla-en-tubo. Este documento tiene por objeto controlar la atenuación a 1550 nm para fibras de dispersión desplazada no nula o fibras de dispersión compensada.

[0019] El núcleo se deposita por MCVD en un tubo de deposición que se elimina después por completo. El tubo sobre revestido dopado puede utilizarse a continuación para extender la región deprimida.

[0020] Sin embargo, ninguno de los documentos anteriores describe una PSCF o fibras de núcleo levemente sobre dopado que tengan pérdidas por fugas controladas y atenuación reducida tanto a 1385 como a 1550 nm.

[0021] La invención tiene como propósito facilitar la fabricación de una preforma de fibra óptica de gran capacidad mientras se mantiene la calidad óptica de la fibra, en particular para PSCF o fibras de núcleo sobre dopado ligeramente con bajas atenuaciones tanto a 1385 como a 1550 nm.

[0022] Este objeto se consigue con una fibra de modo único que comprende desde el centro a la periferia, un núcleo, al menos, unos primer y segundo revestimientos deprimidos, y un revestimiento exterior, en la que:

- el núcleo tiene un radio comprendido entre 3,5 μm y 5,5 μm y una diferencia de índice con el revestimiento exterior comprendido entre 0 y $3 \cdot 10^{-3}$;
- el primer revestimiento deprimido tiene un radio comprendido entre 9 μm y 15 μm y una diferencia de índice con el revestimiento exterior comprendido entre $-5.5 \cdot 10^{-3}$ y $-2.5 \cdot 10^{-3}$;
- 5 - el segundo revestimiento deprimido tiene un radio comprendido entre 38 μm y 42 μm y una diferencia de índice con el primer revestimiento deprimido comprendido entre $-0.5 \cdot 10^{-3}$ y $0.5 \cdot 10^{-3}$; y
- el revestimiento exterior tiene un radio comprendido entre 61,5 μm y 63,5 μm .
- [0023]** De acuerdo con una forma de realización, dicha fibra comprende adicionalmente un tercer revestimiento deprimido situado entre los revestimiento deprimidos primero y segundo, teniendo dicho tercer revestimiento deprimido un radio comprendido entre 15 μm y 25 μm , una diferencia de índice con el primer revestimiento deprimido comprendida entre $-0.5 \cdot 10^{-3}$ y $0.5 \cdot 10^{-3}$ y una diferencia de índice con el segundo revestimiento deprimido comprendido entre $-0.5 \cdot 10^{-3}$ y $0.5 \cdot 10^{-3}$.
- [0024]** De acuerdo con formas de realización, la fibra puede comprender además una o más de las siguientes características:
- 15 - el núcleo está hecho de sílice sin dopar;
- el revestimiento exterior está hecho de sílice sin dopar;
- cada uno de los revestimientos deprimidos está hecho de sílice dopado con flúor;
- la fibra tiene una atenuación para la longitud de onda de 1550 nm menor de 0,18 dB / km;
- la fibra tiene una atenuación para la longitud de onda de 1383 nm menor de 0,35 dB / km, más preferiblemente
- 20 menor de 0,32 dB / km;
- [0025]** La invención también propone procedimientos para la fabricación de una fibra óptica de modo único de acuerdo con la invención.
- [0026]** De acuerdo con una forma de realización, un procedimiento para la fabricación de la fibra de la invención comprende las etapas de:
- 25 - proporcionar un tubo de deposición;
- realizar la deposición de capas en el interior del tubo de deposición para constituir el núcleo y el primer revestimiento deprimido;
- eliminar completamente el tubo de deposición;
- proporcionar el segundo revestimiento deprimido;
- 30 - proporcionar el revestimiento exterior, proporcionando de ese modo una preforma óptica;
- estirar una fibra óptica de modo único a partir de dicha preforma óptica.
- [0027]** El tubo de deposición puede estar hecho de cuarzo sin dopar y puede ser eliminado por ataque químico o pulido a la llama o utilizando una técnica mecánica, tal como amolado o pulido. Una combinación de estas técnicas también puede utilizarse para eliminar el tubo de deposición.
- [0028]** De acuerdo con otra forma de realización, un procedimiento para la fabricación de la fibra de la invención comprende las etapas de:
- 35 - proporcionar un tubo de deposición hecho de sílice dopada con flúor;
- realizar la deposición de capas en el interior del tubo de deposición para constituir el núcleo y el primer revestimiento deprimido;
- 40 - proporcionar el segundo revestimiento deprimido rodeando el tubo de deposición, constituyendo dicho tubo de deposición el tercer revestimiento deprimido;
- proporcionar el revestimiento exterior, para así proporcionar una preforma óptica;
- estirar una fibra óptica de modo único a partir de dicha preforma óptica.
- [0029]** El segundo revestimiento deprimido se puede realizar en una de las siguientes formas: encamisado con un tubo de dopado, sobre revestimiento con sílice dopada, deposición externa con sílice dopada.
- [0030]** De acuerdo con otra forma de realización, un método para la fabricación de la fibra de la invención comprende las etapas de:
- 45 - proporcionar una varilla de núcleo por deposición externa;
- proporcionar, al menos, dos revestimientos deprimidos sucesivos;
- 50 - proporcionar el revestimiento exterior, proporcionando así una preforma óptica;
- estirado de una fibra óptica de modo único a partir de dicha preforma óptica.
- [0031]** Cada uno de los sucesivos revestimientos deprimidos se puede realizar por una de las siguientes formas: encamisado con un tubo de dopado, sobre revestimiento con sílice dopada, deposición externa con sílice dopada.
- [0032]** Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la siguiente descripción de formas de realización de la invención dadas como ejemplos y con referencia a los dibujos adjuntos, que muestran:
- 55 - La figura 1, ya descrita, un perfil de índice establecido de una PSCF de acuerdo con un procedimiento de la técnica anterior;
- La figura 2, un perfil de índice establecido de una fibra de acuerdo a una primera y una tercera formas de realización de la invención;
- 60 - La figura 3, un perfil de índice establecido de una fibra de acuerdo a una primera y una tercera formas de realización de la invención;
- La figura 4, un perfil de índice establecido de una fibra de acuerdo a una segunda y tercera formas de realización de la invención.
- [0033]** La invención se refiere a una fibra de modo único que tiene bajas pérdidas de transmisión y que puede ser fabricada a un coste reducido y sin deterioro de las características de propagación.
- 65

[0034] Para este fin, la invención propone una fibra que tiene un núcleo de fibra de sílice sin dopar - o un núcleo de sílice ligeramente sobre dopada - para limitar la atenuación y en particular la atenuación para 1550 nm, cuando se establece dopado con germanio. Se realizan varios revestimientos deprimidos rodeando el núcleo. Al proporcionar sucesivos revestimientos deprimidos, se hace posible la fabricación de preformas muy gruesas a costos reducidos. La ubicación y dimensiones de los revestimientos deprimidos son cuidadosamente seleccionadas, tal como para minimizar las pérdidas por fugas del modo fundamental LP01, manteniendo las pérdidas por fugas del modo de orden superior LP11 lo suficientemente altas para asegurar una longitud de onda de corte de cable que cumpla con la recomendación G.652.

[0035] En una primera forma de realización, la invención propone realizar el núcleo y un revestimiento deprimido interior por CVD en el interior de un tubo de deposición para limitar la atenuación y en particular la atenuación a 1383 nm debida al pico OH; el tubo de deposición se elimina luego por completo y un revestimiento deprimido externo se realiza con un tubo de encamisado infra-dopado o con técnicas de deposición externa para extender la región deprimida. Tal configuración permite reducir la anchura del revestimiento interno deprimido que se deposita en el interior del tubo de deposición y para situar este tubo de sustrato mucho más cerca del núcleo central, que produce preformas con mucha mayor capacidad y costes de fabricación mucho más bajos.

[0036] En una segunda forma de realización, la invención propone realizar el núcleo y un revestimiento deprimido interior mediante CVD en el interior de un tubo de deposición infra-dopado para limitar la atenuación y en particular la atenuación para 1383 nm debida al pico OH; el revestimiento deprimido se extiende a continuación, con un tubo infra-dopado o con OVD o cualquier otra técnica de deposición externa. En esta realización, el revestimiento deprimido se compone de tres regiones diferentes: una región realizada por CVD en el interior del tubo de deposición infra-dopado, una región constituida por el tubo de deposición infra-dopado y una región constituida por el tubo de encamisado infra-dopado o una técnica de deposición externa. Tal configuración permite reducir la anchura del revestimiento interno deprimido que se deposita en el interior del tubo de deposición infra-dopado y aumentar la capacidad de la preforma final, que produce costes de fabricación más bajos.

[0037] En una tercera realización, la invención propone hacer el núcleo con técnica OVD o VAD para obtener una varilla de núcleo. El primer, segundo y posiblemente tercer revestimientos deprimidos se pueden obtener por tubos dopados encamisados sobre la varilla de núcleo y / o con OVD o cualquier otra técnica de deposición externa. De esta manera, se evitan los problemas inherentes a atenuaciones a 1385 nm, vinculados a la utilización de técnicas VAD o OVD con revestimientos dopados con flúor.

[0038] Las figuras 2 y 3 ilustran perfiles de índice fijados de fibras de acuerdo con las formas de realización primera y tercera de la invención. La fibra de modo único de la invención comprende, desde el centro a la periferia, un núcleo, un primer revestimiento deprimido, un segundo revestimiento deprimido y un revestimiento exterior. El revestimiento exterior tiene un índice $D_{n_{out}}$. El revestimiento exterior puede ser de sílice sin dopar o sílice ligeramente dopada. El núcleo tiene un radio de R_{co} comprendido entre $3,5 \mu\text{m}$ y $5,5 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice con el revestimiento exterior ($D_{n_{co}} - D_{n_{out}}$) comprendida entre 0 y $3 \cdot 10^{-3}$. Más preferiblemente, el núcleo tiene una diferencia de índice con el revestimiento exterior comprendida entre $0,5 \cdot 10^{-3}$ y $2,5 \cdot 10^{-3}$. El ligero dopado - o ausencia de dopado - del núcleo asegura una atenuación limitada a 1550 nm. En la realización de la figura 2, el núcleo tiene sustancialmente el mismo índice que el revestimiento exterior. En este caso, el núcleo y / o revestimiento exterior pueden estar hechos de sílice sin dopar o de sílice ligeramente dopada o sílice co-dopada. En la realización de la figura 3, el núcleo como un índice que es poco mayor que el del revestimiento exterior. En este caso, el núcleo puede estar hecho de sílice ligeramente dopada o de sílice co-dopada y el revestimiento exterior puede estar hecho de sílice sin dopar para reducir al mínimo los costes.

[0039] El primer revestimiento deprimido tiene un radio R_{cl1} comprendido entre $9 \mu\text{m}$ y $15 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice ($D_{n_{cl1}} - D_{n_{out}}$) con el revestimiento exterior comprendida entre $-5,5 \cdot 10^{-3}$ y $-2,5 \cdot 10^{-3}$. El pequeño radio del primer revestimiento deprimido - en comparación con el radio del revestimiento deprimido interior de la técnica anterior de la figura 1 - asegura la deposición limitada por CVD y el control de coste. Si sólo dos revestimientos deprimidos componen la región deprimida (como se ilustra en las figuras 2 y 3), entonces, el segundo revestimiento deprimido tiene un radio R_{cl2} comprendido entre $38 \mu\text{m}$ y $42 \mu\text{m}$ y una diferencia de índice con el revestimiento exterior ($D_{n_{cl2}} - D_{n_{out}}$), de tal manera que la diferencia del índice entre el primer revestimiento deprimido y segundo revestimiento deprimido ($D_{n_{cl2}} - D_{n_{cl1}}$) está comprendida entre $-0,5 \cdot 10^{-3}$ y $0,5 \cdot 10^{-3}$.

[0040] La figura 4 ilustra el perfil de índice establecido de una fibra según una segunda y tercera formas de realización de la invención. De acuerdo con estas formas de realización, se proporciona un tercer revestimiento deprimido situado entre el primer y segundo revestimientos deprimidos. Cuando tres revestimientos deprimidos componen la región deprimida (como se ilustra en la figura 4), entonces el tercer revestimiento deprimido tiene un radio R_{cl3} comprendido entre $15 \mu\text{m}$ y $25 \mu\text{m}$, es decir, se añade el tercer revestimiento deprimido entre el primer revestimiento deprimido que tiene un radio comprendido entre $9 \mu\text{m}$ y $15 \mu\text{m}$ y el segundo revestimiento deprimido que tiene un radio comprendido entre $38 \mu\text{m}$ y $42 \mu\text{m}$. El tercer revestimiento deprimido tiene una diferencia de índice ($D_{n_{cl3}} - D_{n_{out}}$) con el revestimiento exterior, tal que su diferencia de índice con ambos primer y segundo revestimientos deprimidos ($D_{n_{cl3}} - D_{n_{cl1}}$ y $D_{n_{cl3}} - D_{n_{cl2}}$) está comprendida entre $-0,5 \cdot 10^{-3}$ y $5 \cdot 10^{-3}$.

[0041] El tamaño y el índice del segundo - y tercer - revestimiento deprimido se eligen con respecto al radio y el índice del primer - y segundo - revestimiento deprimido para limitar la pérdida de fugas y asegurar la longitud de onda de corte conforme a la recomendación G.652.

[0042] El revestimiento exterior se obtiene por sobre revestimiento con material a base de sílice o por encamisado con tubo de cuarzo o por cualquier técnica de deposición externa. Por ejemplo, APVD (deposición en fase de vapor

por plasma avanzada) se puede utilizar para realizar el revestimiento exterior. La fibra tiene un diámetro exterior normalizado, teniendo el revestimiento exterior un radio de R_{out} de $62,5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.

[0043] De acuerdo con una primera forma de realización, la fibra de la invención con dos regiones de revestimiento deprimido (como se ilustra en las figuras 2 o 3) se puede fabricar de la siguiente manera.

[0044] El núcleo y el primer revestimiento deprimido se obtienen por deposición en el interior de un tubo de deposición y el segundo revestimiento deprimido se obtiene por encamisado con un tubo infra-dopado o mediante utilización de técnicas de deposición externa. La viscosidad y / o valor de índice en el primer revestimiento deprimido pueden por lo tanto ser diferente de la viscosidad y / o valor de índice en el segundo revestimiento deprimido.

[0045] Más específicamente, se proporciona un tubo de deposición y el núcleo y el primer revestimiento deprimido de la fibra son depositados por CVD en el interior de dicho tubo. El tubo es entonces eliminado por completo después de completar la deposición del núcleo y del primer revestimiento deprimido. Por lo tanto, es posible utilizar un tubo de cuarzo sin dopar para llevar a cabo CVD bajo parámetros controlados. Cabe destacar que el núcleo y el primer revestimiento deprimido pueden ser depositados por PCVD o MCVD o FCVD. El tubo se puede eliminar después de completar la deposición por ataque químico y / o pulido mecánico.

[0046] Una vez eliminado el tubo de la deposición, el núcleo y el primer revestimiento deprimido son encamisados con un tubo de dopado, por ejemplo un tubo dopado con flúor. El tubo de dopado con flúor se conoce por ejemplo a partir de WO-A-2010/003856, US-A-2008/0031582 o US-A-5 044 724. Sin embargo, esos documentos enseñan la utilización de esos tubos dopado con flúor para deposición interna.

[0047] El encamisado con un tubo de dopado permite extender la región deprimida de la preforma mediante la constitución de un segundo revestimiento deprimido. Sólo el primer revestimiento deprimido, el más cercano a la base, fue depositado por CVD, el segundo revestimiento deprimido se añade por encamisado. La cantidad de deposición de CVD es limitada y el costo de la preforma se reduce, mientras que se obtiene una gran región deprimida. La preforma es finalmente sobre revestida con material a base de sílice o encamisada con tubo de cuarzo para alcanzar la relación de diámetro pedida. Para control de costes, se preferirá sobre-revestido en caso de grandes preformas.

[0048] De acuerdo con una segunda forma de realización, la fibra de la invención con tres regiones de revestimiento deprimido (como se ilustra en la figura 4) se puede fabricar de la siguiente manera.

[0049] El núcleo y el primer revestimiento deprimido se obtienen por deposición en el interior de un tubo de deposición infra-dopado que constituirá el tercer revestimiento deprimido, y obteniéndose el segundo revestimiento deprimido por encamisado con un tubo infra-dopado o mediante la utilización de técnicas de deposición externa. Al igual que en la segunda realización, el primer revestimiento deprimido, el más cercano a la base, se puede depositar por PCVD o MCVD o FCVD. La cantidad de deposición por CVD es limitada y el costo de la preforma se reduce, mientras que se obtiene una amplia región deprimida.

[0050] El tubo dopado con flúor se conoce, por ejemplo, a partir de WO-A-2010/003856, US-A-2008/0031582 o US-A-5.044.724. Si bien, estos documentos enseñan a utilizar tales tubos dopados con flúor para deposición interna, no existe ninguna indicación para un revestimiento deprimido adicional que rodea el tubo de deposición que permita aumentar significativamente la capacidad de la preforma la final. La preforma es finalmente sobre revestida con el material a base de sílice o encamisada con tubo de cuarzo para alcanzar la relación de diámetro pedida. Para el control de costes, se preferirá sobre-revestimiento en caso de grandes preformas.

[0051] De acuerdo con una tercera realización, la fibra de la invención con dos o tres regiones revestimiento deprimido (como se ilustra en las figuras 2, 3 y 4) puede ser fabricada utilizando técnicas de deposición externa y / o tubos dopados para obtener el primer, segundo y tercer revestimientos deprimidos. La viscosidad y / o valor de índice en cada revestimiento deprimido pueden por lo tanto ser diferente de la viscosidad y / o valor de índice en el otro revestimiento deprimido.

[0052] Más específicamente, una varilla de núcleo puede obtenerse por OVD o VAD; cada revestimiento deprimido puede ser obtenido por cualquier técnica de deposición externa o por encamisado con un tubo dopado; y pudiéndose obtener un revestimiento exterior por sobre-revestimiento con el material a base de sílice (por ejemplo, APVD) o por encamisado con tubo de cuarzo para alcanzar la relación de diámetro pedida.

[0053] La siguiente tabla 1 proporciona ejemplos de perfiles establecidos para las fibras de acuerdo con la invención (ejemplos 1 a 5), perfiles establecidos para fibras fuera del alcance de la invención (Ejemplos 2b y 3b) y un ejemplo comparativo (un perfil establecido como se ilustra en la figura 1).

Tabla I

Perfiles	Rco (μm)	Rcl1 (μm)	Rcl3 (μm)	Rcl2 (μm)	Rout (μm)	$Dn_{co} \cdot 10^{-3}$ @633nm	$Dn_{cl1} \cdot 10^{-3}$ @633 nm	$Dn_{cl3} \cdot 10^{-3}$ @633 nm	$Dn_{cl2} \cdot 10^{-3}$ @633
Comparativo	4,35	41,00	--		62,50	0,0	-5,2	--	--
Ejemplo 1	4,35	15,00	--	41,00	62,50	0,5	-4,7	--	-4,5
Ejemplo 2	4,35	13,80	--	41,00	62,50	2,2	-3,0	--	-3,4
Ejemplo 2b	4,35	13,80	--	41,00	62,50	2,2	-3,0	--	-4,0
Ejemplo 3	4,35	9,50	--	39,00	62,50	2,2	-3,0	--	-3,0

Ejemplo 3b	4,35	9,50	--	39,00	62,50	2,2	-3,0	--	-2,4
Ejemplo 4	4,50	15,00	--	40,00	62,50	1,0	-4,5	--	-4,5
Ejemplo 5	4,35	15,00	22,00	41,00	62,50	0,5	-4,7	-4,6	-4,5

[0054] La siguiente tabla II presenta las características ópticas de las fibras de los siete ejemplos y el ejemplo comparativo descritos anteriormente.

5

Tabla II

Perfiles	λ_{co} (μm)	$2W_{02}@1310$ nm (μm^2)	$2W_{02}@1550$ nm (μm^2)	$D@1550$ nm (ps/nm- km)	$S@1550$ nm (ps/nm ² - km)	ZDW (nm)	$S@ZDW$ (ps/nm ² - km)	Perdidas por fugas @1550nm (dB/km)
Comparativo	1240	9,2	10,3	16,3	0,056	1315	0,086	0,001
Ejemplo 1	<1260	9,1	10,3	16,2	0,055	1306	0,083	0,006
Ejemplo 2	<1260	9,1	10,3	16,4	0,056	1309	0,084	0,001
Ejemplo 2b	>1400	9,1	10,3	16,4	0,057	1309	0,084	0,000
Ejemplo 3	<1260	9,1	10,3	16,3	0,056	1309	0,084	0,009
Ejemplo 3b	<1260	9,1	10,3	15,6	0,053	1312	0,082	>0,1
Ejemplo 4	<1260	9,1	10,2	17,1	0,056	1300	0,086	0,001
Ejemplo 5	<1260	9,1	10,3	16,2	0,055	1306	0,083	0,005

[0055] La tabla III siguiente presenta las pérdidas por flexión y la atenuación de las fibras de los siete ejemplos y el ejemplo comparativo descritos anteriormente.

10

Tabla III

Perfiles	Pérdidas macro curvatura@1550nm $R_c = 10\text{mm}$ (dB/vuelta)	Pérdidas macro- curvatura@1625nm $R_c = 10\text{mm}$ (dB/vuelta)	Pérdidas macro- curvatura@1625nm $R_c = 10\text{mm}$ (dB/vuelta)	Atenuación @ 1550 nm (dB/km)	Atenuación @ 1383 nm (dB/km)
Comparativo	0,2	0,7	<0,05	<0,18	<0,32
Ejemplo 1	0,8	2,6	<0,05	<0,18	<0,32
Ejemplo 2	0,1	0,3	<0,01	<0,18	<0,35
Ejemplo 2b	<0,05	<0,1	<0,01	<0,18	<0,35
Ejemplo 3	0,4	1,1	<0,05	<0,18	<0,35
Ejemplo 3b	>1	>5	>1	>0,19	>0,35
Ejemplo 4	0,09	0,3	<0,01	<0,18	<0,32
Ejemplo 5	0,8	2,6	<0,005	<0,18	<0,32

15

[0056] Los ejemplos 2b y 3b están fuera del alcance de la invención debido a que la diferencia de índice entre los primer y segundo revestimientos deprimidos ($Dn_{cl2}-Dn_{CL1}$) es demasiado alta, es decir, mayor de $60.5 \cdot 10^{-3}$. Esto se desprende de la tabla II en la que el ejemplo 2b tiene una longitud de onda de corte que no se ajusta a la recomendación G.652 y el ejemplo 3b tiene pérdidas por fugas altas, altas pérdidas por flexión y alta atenuación.

20

[0057] A partir de la tabla II, puede observarse que las fibras de la invención son totalmente compatibles con la norma G.652 mencionada anteriormente. También se puede ver a partir de la tabla II que en las fibras de la invención las pérdidas por fugas se encuentran controladas.

25

[0058] En la tabla III puede observarse que en las fibras de la invención las pérdidas por macro-curvatura están controladas. Por consiguiente, la fibra de la invención podría ser utilizada en sistemas de fibra óptica para el usuario. La tabla II también muestra que la atenuación de las fibras de la invención es limitada y en particular la atenuación a 1383 nm. La atenuación a 1550 nm es menor de 0,18 dB/km y la atenuación a 1383 nm es de menor de 0,35 dB / km o incluso menor de 0,32 dB / km. La utilización de un tubo de cuarzo para depositar un núcleo de sílice ligeramente dopada hace que sea posible para reducir el pico OH y la retirada del tubo de deposición no pone en peligro las características ópticas de la fibra.

30

[0059] La fibra de la invención puede ser fabricada a partir de una preforma de gran capacidad. Para un tubo de deposición con un área de sección transversal de $180 \mu\text{m}^2$, fueron obtenidas preformas finales de $83,3 \mu\text{m}$ de diámetro exterior para los ejemplos 1, 4 y 5 produciendo un radio de primer revestimiento deprimido R_{cl1} de 10 micras después del colapso; para el ejemplo 2 se obtuvo una preforma final del $90,6 \mu\text{m}$ de diámetro exterior; y obteniéndose para el ejemplo 3 una preforma final del $131,6 \mu\text{m}$ de diámetro exterior. Con fines de comparación, cuando el tubo de deposición se mantiene como parte del revestimiento exterior (ejemplo comparativo), se obtiene

35

una preforma final del 30,5 μm de diámetro exterior, y cuando el tubo de deposición está infra-dopado y se utiliza sin revestimiento deprimido adicional alguno, produciéndose el final del revestimiento deprimido para un radio de 12,5 μm después del colapso (equivalente a 40 μm de fibra), se obtiene una preforma final de 39 μm de diámetro exterior. Por consiguiente, la fibra de la invención puede ser fabricada a un coste minimizado. De hecho, la anchura del revestimiento deprimido depositado en el interior del tubo de deposición (R_{di}) puede ser mucho menor con el perfil establecido de la fibra de la invención.

5

[0060] Cabe señalar que la presente invención no se limita a las realizaciones descritas como ejemplos. En particular, los perfiles establecidos en las figuras se dan a modo de ejemplos y los procedimientos de fabricación descritos no son limitativos.

10

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Fibra óptica de modo único que desde el centro hacia la periferia comprende, un núcleo, al menos, unos primer y segundo revestimientos deprimidos, y un revestimiento exterior, en la que:
- el núcleo tiene un radio (R_{co}) comprendido entre 3,5 y 5,5 μm y una diferencia de índice con el revestimiento exterior ($Dn_{co} - Dn_{out}$) comprendido entre 0 y $3 \cdot 10^{-3}$;
 - el primer revestimiento deprimido tiene un radio (R_{cl1}) comprendido entre 9 y 15 μm y una diferencia de índice con el revestimiento exterior ($Dn_{cl1} - Dn_{out}$) comprendido entre $-5,5 \cdot 10^{-3}$ y $-2,5 \cdot 10^{-3}$;
 - el segundo revestimiento deprimido tiene un radio (R_{cl2}) comprendido entre 38 y 42 μm y una diferencia de índice con el primer revestimiento deprimido ($Dn_{cl2} - Dn_{cl1}$) comprendido entre $-0,5 \cdot 10^{-3}$ y $0,5 \cdot 10^{-3}$ y;
 - el revestimiento exterior tiene un radio comprendido entre 61,5 y 63,5 μm .
- 10 **2.** Fibra óptica según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente un tercer revestimiento deprimido situado entre los primer y segundo revestimientos deprimidos que tiene un radio (R_{cl3}) comprendido entre 15 y 25 μm , una diferencia de índice con el primer revestimiento deprimido ($Dn_{cl3} - Dn_{cl1}$) comprendido entre $-0,5 \cdot 10^{-3}$ y $0,5 \cdot 10^{-3}$ y una diferencia de índice con el segundo revestimiento deprimido ($Dn_{cl3} - Dn_{cl2}$) comprendido entre $-0,5 \cdot 10^{-3}$ y $0,5 \cdot 10^{-3}$.
- 15 **3.** Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes en la que el núcleo está hecho de sílice sin dopar.
- 20 **4.** Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el revestimiento exterior está hecho sílice sin dopar.
- 25 **5.** Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que cada uno de los revestimientos deprimidos está hecho de sílice dopada con flúor
- 6.** Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que para una longitud de onda de 1550 nm presenta una atenuación menor de 0,18 Db/km.
- 30 **7.** Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que para una longitud de onda de 1383 nm presenta una atenuación menor que 0,35 Db/km.
- 8.** Fibra según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que para una longitud de onda de 1383 nm presenta una atenuación menor que 0,32 Db/km.
- 35 **9.** Procedimiento para la fabricación de una fibra óptica de modo único con las características de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- proporcionar un tubo de deposición;
 - realizar la deposición de capas en el interior del tubo de deposición para constituir el núcleo y el primer revestimiento deprimido;
 - eliminar completamente el tubo de deposición;
 - proporcionar el segundo revestimiento deprimido;
 - proporcionar el revestimiento exterior, para así proporcionar una preforma óptica;
 - estirar una fibra óptica de modo único a partir de dicha preforma óptica.
- 40 **10.** Procedimiento según la reivindicación 9, en el que el tubo de deposición esta hecho de cuarzo sin dopar.
- 11.** Procedimiento según la reivindicación 9 o 10, en la que la eliminación del tubo de deposición se realiza por ataque químico o pulido a la llama o amolado o pulido o una combinación de los mismos.
- 45 **12.** Procedimiento para la fabricación de una fibra óptica de modo único con las características de la reivindicación 2, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- proporcionar un tubo de deposición hecho de sílice dopada con flúor;
 - realizar la deposición de capas en el interior del tubo de deposición para constituir el núcleo y el primer revestimiento deprimido;
 - proporcionar el segundo revestimiento deprimido que rodea el tubo de deposición, constituyendo dicho tubo de deposición el tercer revestimiento deprimido;
 - proporcionar el revestimiento exterior, para así proporcionar una preforma óptica;
 - estirar una fibra óptica de modo único a partir de dicha preforma óptica.
- 50 **13.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 en el que el segundo revestimiento deprimido se realiza mediante una de las siguientes formas: encamisado con un tubo dopado, sobre-revestimiento con sílice dopada, deposición externa con sílice dopada.
- 55
- 60

14. Procedimiento para la fabricación de una fibra óptica de modo único con las características de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

- proporcionar una varilla de núcleo por deposición externa;
- proporcionar, al menos, dos revestimientos deprimidos sucesivos;
- proporcionar el revestimiento exterior, para así proporcionar una preforma óptica;
- estirar una fibra óptica de modo único a partir de dicha preforma óptica.

5

15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que cada uno de los sucesivos revestimientos deprimidos se realiza por una de las siguientes formas: encamisado con un tubo dopado, sobre-revestimiento con sílice dopada, deposición externa con sílice dopada.

10

Figura 1

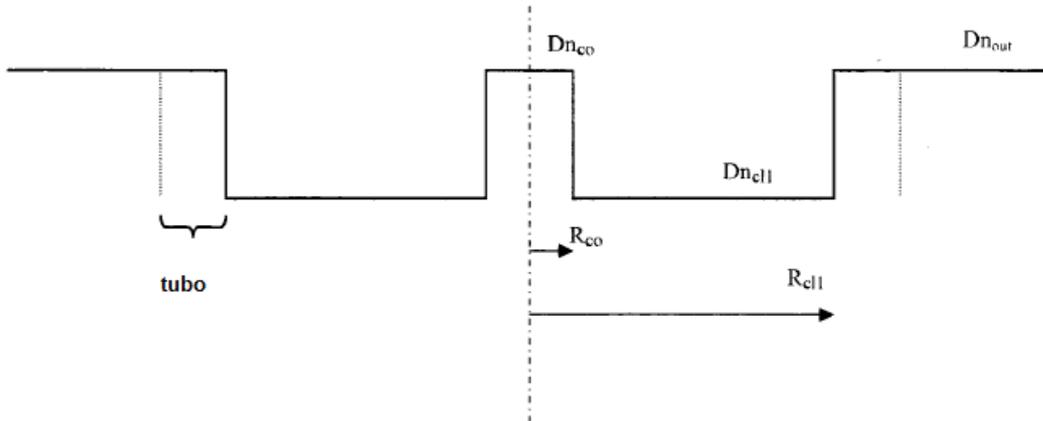


Figura 2

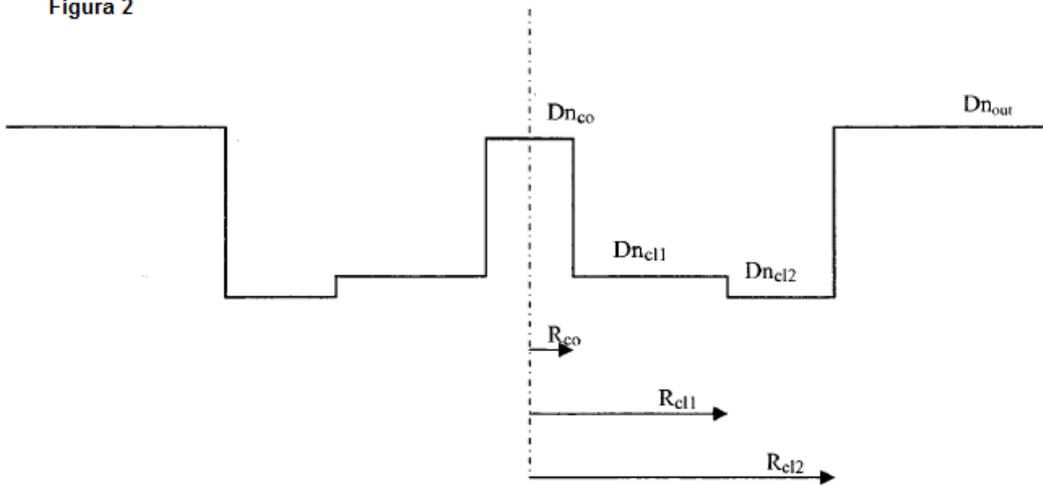


Figura 3

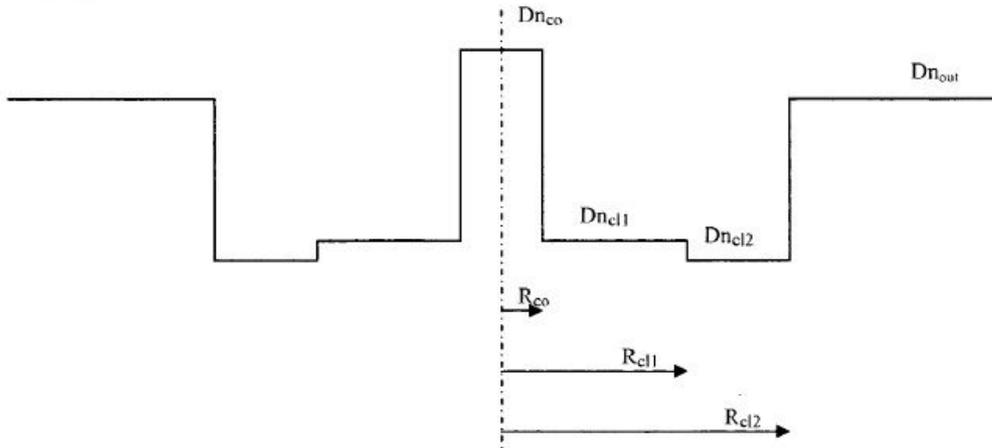
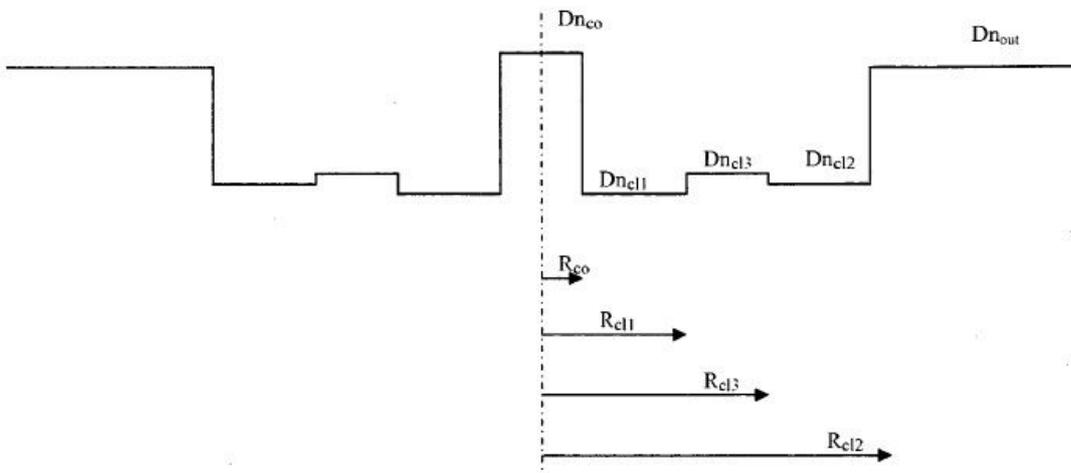


Figura 4



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. A pesar de que gran cuidado se ha tomado en la compilación de las referencias, los errores u omisiones que no pueden ser excluidos y la OEP, se exime de toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- 10
- US RE30635 E [0011]
 - US 4314833 A [0011]
 - US 20080031582 A [0015] [0046] [0050]
 - US 5044724 A [0015] [0046] [0050]
 - WO 2010003856 A [0015] [0046] [0050]
 - US 20070003198 A [0017]
 - US 20030063878 A [0018]
 - US 20040159124 A [0019]
-