

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 684 474**

51 Int. Cl.:

G02B 6/02 (2006.01)

G02B 6/036 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.01.2011 E 11151789 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.08.2018 EP 2352046**

54 Título: **Fibra óptica con dispersión desplazada no nula que tiene una longitud de onda pequeña**

30 Prioridad:

01.02.2010 FR 1050698

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

03.10.2018

73 Titular/es:

**DRAKA COMTEQ B.V. (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 2 684 474 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 con dispersión desplazada no nula que tiene una longitud de onda pequeña

5 CAMPO DE LA INVENCION

[0001] La presente invención se refiere al ámbito de transmisiones por fibra óptica y, más particularmente, a una fibra con dispersión desplazada no nula que presenta pérdidas por curvatura bajas y una longitud de onda de corte pequeña.

10

ANTECEDENTES

[0002] Una fibra óptica (es decir, una fibra de vidrio típicamente rodeada por una o más capas de revestimiento) incluye convencionalmente un núcleo de fibra óptica, que transmite y/o amplifica una señal óptica, y un revestimiento óptico, que confina la señal óptica dentro del núcleo. De acuerdo con ello, el índice de refracción del núcleo n_c es típicamente mayor que el índice de refracción del revestimiento óptico n_g (es decir, $n_c > n_g$).

15

[0003] Para las fibras ópticas, el perfil de índice de refracción se clasifica generalmente de acuerdo con el aspecto gráfico de la función que asocia el índice de refracción con el radio de la fibra óptica. Convencionalmente, la distancia r al centro de la fibra óptica se muestra en el eje x y la diferencia entre el índice de refracción (en el radio r) y el índice de refracción del revestimiento exterior de la fibra óptica (por ejemplo, un revestimiento óptico externo) se muestra en el eje y . El perfil de índice de refracción se denomina perfil en "escalón", perfil "trapezoidal", perfil en "alfa" o perfil "triangular" para gráficos que tienen las formas respectivas de un escalón, un trapecio, una alfa o un triángulo. Estas curvas son generalmente representativas del perfil teórico o de conjunto de la fibra óptica. Las limitaciones en la fabricación de la fibra óptica, sin embargo, pueden dar como resultado un perfil real ligeramente diferente.

20

25

[0004] En términos generales, existen dos categorías principales de fibras ópticas: fibras de múltiples modos y fibras de modo único. En una fibra óptica de múltiples modos, para una longitud de onda dada, varios modos ópticos se propagan simultáneamente a lo largo de la fibra óptica. En una fibra óptica de modo único, la señal se propaga en un modo LP01 fundamental que se guía en el núcleo de la fibra, mientras que los modos de orden superior (por ejemplo, el modo LP11) se atenúan fuertemente.

30

[0005] Convencionalmente, las llamadas fibras de modo único "estándar" (SSMF) se usan para sistemas de transmisión terrestres. Para facilitar la compatibilidad entre sistemas ópticos de diferentes fabricantes, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) definió una referencia estándar ITU-T G.652 con la cual una fibra de transmisión óptica estándar (es decir, una fibra de modo único estándar o SSMF) debería cumplir. Las recomendaciones UIT-T G.652 incluyen varios atributos (es decir, A, B, C y D).

35

[0006] Típicamente, una SSMF cumple con estándares de telecomunicaciones específicos, tales como las recomendaciones ITU-T G.652. Convencionalmente, una SSMF presenta las siguientes propiedades: (i) a una longitud de onda de 1550 nanómetros (nm), atenuación de aproximadamente 0,190 decibelios por kilómetro (dB/km); (ii) a una longitud de onda de 1550 nanómetros, un área efectiva de aproximadamente 80 micrómetros cuadrados (μm^2); (iii) una longitud de onda de corte de cable de 22 metros menor de 1260 nanómetros; (iv) una dispersión cromática positiva de aproximadamente 17 picosegundos nanómetro segundo ($\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$); y (v) a una longitud de onda de 1550 nanómetros, una pendiente de dispersión positiva de 0,058 picosegundos por nanómetro cuadrado kilómetro ($\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$)

40

[0007] Para las aplicaciones de multiplexado por división de longitud de onda (WDM), también se usan fibras con dispersión desplazada no nula de modo único (NZDSF). Una NZDSF exhibe una dispersión cromática a una longitud de onda de 1550 nanómetros que es menor que la dispersión cromática de una SSMF. Una fibra con dispersión desplazada que presenta una dispersión cromática no nula que es positiva para la longitud de onda a la que se usa (por ejemplo, aproximadamente 1550 nanómetros) se denomina comúnmente NZDSF+. En una longitud de onda de 1550 nanómetros, Una NZDSF+ presenta típicamente una dispersión cromática de entre 3 $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ y 14 $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ y una pendiente de dispersión cromática menor de 0.1 $\text{ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ Una NZDSF+ normalmente cumple con las normas de telecomunicaciones específicas, como las recomendaciones UIT-T G.655 y UIT-T G.656.

45

50

[0008] Convencionalmente, una NZDSF tiene una estructura de triple revestimiento (es decir, una NZDSF de triple capa). Un ejemplo de una NZDSF incluye: (i) un núcleo central que tiene una diferencia de índice de refracción con respecto a un revestimiento exterior (por ejemplo, y revestimiento exterior óptico); (ii) un primer revestimiento interno (por ejemplo, un revestimiento intermedio) que tiene una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior; y (iii) un segundo revestimiento interior (por ejemplo, un anillo) que tiene una diferencia de índice de refracción positiva con respecto al revestimiento exterior. Los índices de refracción en el núcleo central, el revestimiento intermedio y el anillo son sustancialmente constantes en toda su anchura. Las NZDSF convencionales están disponibles comercialmente, como fibra eLEAF®, fibra TrueWaveRS® o fibra TeraLight® de Draka Communications.

55

60

[0009] Una NZDSF puede tener un perfil de índice de refracción coaxial (es decir, una NZDSF coaxial). El núcleo central de una NZDSF que tiene un perfil de índice de refracción coaxial incluye dos zonas. La primera zona está ubicada en el centro del núcleo central y tiene una diferencia de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior que es menor que la de la segunda zona. La segunda zona tiene una diferencia de índice de refracción

65

positiva con respecto al revestimiento exterior. La diferencia de índice de refracción de la primera zona con respecto al revestimiento exterior puede ser positiva, negativa o incluso cero.

[0010] Una NZDSF también puede incluir: un núcleo central; un revestimiento interior; y una zanja enterrada (es decir, una capa de revestimiento que tiene una diferencia negativa de índice de refracción con respecto al revestimiento exterior). Por lo general, este tipo de perfil es más fácil de fabricar. Además, para características ópticas aproximadamente idénticas, este tipo de núcleo central de NZDSF tiene una diferencia de índice de refracción que es menor que la diferencia de índice de refracción del núcleo central de NZDSF de triple capa. En consecuencia, se requiere menos dopado del núcleo central para lograr este tipo de NZDSF, que a su vez reduce la atenuación de la señal, particularmente las pérdidas por atenuación causadas por difusión de Rayleigh.

[0011] En uso, las fibras ópticas pueden someterse a curvaturas que atenúan las señales transportadas por la fibra óptica. Minimizar las pérdidas por curvatura de una fibra óptica generalmente mejora la calidad de la señal transmitida.

[0012] Las fibras ópticas pueden diseñarse para asegurar que los modos de orden superior de la señal transmitida se atenúen suficientemente (es decir, con respecto al modo fundamental) para obtener una transmisión de modo único. La capacidad de una fibra óptica para atenuar los modos de orden superior varía según la longitud de onda de la señal transmitida. La llamada "longitud de onda de corte" es la longitud de onda a partir de la cual los modos de orden superior se atenúan lo suficiente para garantizar que la transmisión sea de modo único. La longitud de onda de corte caracteriza la transmisión de modo único de una señal en función de su longitud de onda.

[0013] En términos generales, la mejora de ciertas características ópticas puede tener un efecto perjudicial sobre otras características ópticas, que pueden reducir la compatibilidad de una fibra óptica con otras fibras ópticas. Por lo tanto, generalmente es deseable mejorar ciertas características ópticas mientras se mantiene una compatibilidad adecuada entre las fibras ópticas.

[0014] El artículo "Nueva fibra de dispersión media con gran área efectiva y baja pendiente de dispersión" por S. Matsuo, et al., publicado en Optical Fiber Communication Conference and Exhibit 2002, OFC 2002, Vol., edición, 17-22 de marzo de 2002, páginas 329-330, describe una NZDSF coaxial. La longitud de onda de corte de la fibra óptica divulgada no es adecuada para todas las aplicaciones comerciales. Además, el núcleo central de la fibra óptica incluye una zona que tiene una diferencia de índice de refracción mayor que 13×10^{-3} . Dicha diferencia de índice de refracción alta puede dar lugar a una fuerte atenuación a una longitud de onda de 1550 nanómetros, tal como una atenuación mayor de 0,21 dB/km (por ejemplo, 0,22 dB/km o mayor).

[0015] La patente europea n° 0992817 y su homóloga la patente de Estados Unidos n° 6.459.839 describen una NZDSF de triple capa que posee bajas pérdidas por curvatura. Sin embargo, la longitud de onda de corte de la fibra óptica divulgada no es adecuada para todas las aplicaciones comerciales. Además, para características ópticas comparables, el núcleo central de la fibra óptica tiene una diferencia de índice de refracción de aproximadamente $13,7 \times 10^{-3}$, que es mayor que en una fibra óptica que incluye una zanja enterrada. A una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica divulgada, por lo tanto, exhibe una atenuación que es mayor de 0,20 dB/km, o incluso mayor de 0,21 dB/km. Estos valores de atenuación son mayores que en una fibra óptica que incluye una zanja enterrada. Además, la NZDSF de triple revestimiento descrita es más difícil de fabricar que una fibra óptica que incluye una zanja enterrada, porque los parámetros del anillo de NZDSF de triple capa son más sensibles y requieren tolerancias de fabricación que son menores que las de una zanja enterrada efectiva.

[0016] La patente europea n° 1.477.831 y su homóloga la patente de Estados Unidos n° 6.904.218 describen el uso de una zanja enterrada para mejorar las características ópticas de una SSMF. De forma similar, la patente europea n° 1978383 y la publicación de patente de Estados Unidos n° 2005/0244120 describen la utilización de una zanja enterrada para mejorar las características ópticas de una SSMF. Sin embargo, estos documentos no revelan una NZDSF con pérdidas por curvatura mejoradas y una longitud de onda de corte adecuada. La patente de los Estados Unidos n° 4.852.968 describe la utilización de una zanja enterrada situada cerca del núcleo central para disminuir los valores de la dispersión cromática y la pendiente de la dispersión cromática. No obstante, la fibra óptica divulgada tiene una relación entre el radio interior de la zanja y el radio del núcleo central que está comprendida entre aproximadamente 1,5 y 3,5, lo que puede dar lugar a (i) grandes valores de pérdidas por curvatura para radios de 30 milímetros (mm) y (ii) a una longitud de onda de 1550 nm, un área efectiva menor de $55 \mu\text{m}^2$.

[0017] La publicación de solicitud de patente internacional n° WO2008/106033 y su homóloga la patente de Estados Unidos n° 7.603.015 presentan NZDSFs que incluyen una zanja enterrada. Sin embargo, el núcleo central tiene una diferencia de índice de refracción demasiado pequeña y un radio demasiado grande. Las características del núcleo central dan lugar a pérdidas por curvatura excesivas para grandes radios de curvatura (por ejemplo, mayores de 25 milímetros). Las NZDSF reveladas poseen una pendiente de dispersión cromática que es mayor de $0,060 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ a una longitud de onda de 1625 nanómetros y un radio de curvatura de 30 milímetros, la NZDSF presenta pérdidas por curvatura superiores a 10 decibelios por cada 100 vueltas (dB/100 vueltas).

[0018] La publicación de solicitud de patente de Estados Unidos US 2006/0039665 describe en la tabla 1, ejemplo 8, una fibra óptica con un núcleo que tiene una diferencia de índice de refracción relativa máxima de 0,60 y un radio de 3,12 micrómetros; una primera capa de revestimiento; y una segunda capa de revestimiento que tiene un índice de refracción relativo de -0,40%.

[0019] La patente de Estados Unidos US 6.694.079 describe en la tabla 7, segunda fila, una fibra óptica con una porción de núcleo central que tiene una diferencia de índice de refracción relativa máxima de 0,6; una porción de núcleo en escalón; un primer revestimiento que tiene un índice Δ_3 de -0,05%; y una relación r_2/r_1 entre dicho radio externo r_2 de dicha porción de núcleo en escalón y dicha porción de núcleo central de radio exterior r_1 de 5.

[0020] Por lo tanto, existe la necesidad de una NZDSF que muestre bajas pérdidas por curvatura para grandes radios de curvatura y una transmisión de modo único mejorada, mientras se mantiene una compatibilidad adecuada con otras fibras ópticas.

5 SUMARIO

[0021] De acuerdo con ello, en un aspecto, la invención abarca una fibra óptica con dispersión desplazada no nula (NZDSF) que incluye un núcleo central, un revestimiento interior y un revestimiento exterior (por ejemplo, un revestimiento óptico externo). El núcleo central tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto al revestimiento exterior.

[0022] En una realización, la invención se refiere a una fibra óptica con dispersión desplazada no nula, que comprende:

un núcleo central que tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto a un revestimiento exterior;

un primer revestimiento intermedio colocado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho primer revestimiento intermedio un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto a dicho revestimiento exterior; y

una zanja enterrada situada entre dicho primer revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción Dn_3 negativa con respecto a dicho revestimiento exterior;

en la que, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura menores de 0,5 dB/100 vueltas;

donde la longitud de onda de corte del cable de 22 metros de la fibra óptica (22m- λ_{cc}) es de aproximadamente 1150 nanómetros o menos; y

en el que la longitud de onda efectiva de corte de fibra de dos metros de la fibra óptica (2m- λ_{ceff}) es aproximadamente 1150 nanómetros o menor.

[0023] En una realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un revestimiento intermedio y una zanja enterrada. Típicamente, el revestimiento intermedio se sitúa entre el núcleo central y la zanja enterrada (por ejemplo, que rodea inmediatamente el núcleo central). En algunas realizaciones, la zanja enterrada rodea inmediatamente el revestimiento intermedio. El revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior. La zanja enterrada tiene un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción Dn_3 negativa con respecto al revestimiento exterior.

[0024] En otra realización, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica presenta pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas.

[0025] En otra realización más, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,1 dB/100 vueltas (por ejemplo, menores de 0,05 dB/100 vueltas).

[0026] En otra realización más, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,01 dB/100 vueltas (por ejemplo, menores de 0,005 dB/100 vueltas).

[0027] En otra realización más, para un radio de curvatura de 25 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica presenta pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas.

[0028] En aún otra realización, la fibra óptica posee una longitud de onda de corte de cable de 22 metros (22 m- λ_{cc}) menor de 1150 nanómetros.

[0029] En aún otra realización, la fibra óptica posee una longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros (2 m- λ_{ceff}) de menos de 1150 nanómetros.

[0030] En otra realización más, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica posee una pendiente de dispersión cromática de aproximadamente 0,060 ps/(nm² • km) o menor.

[0031] En aún otra realización, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, el área efectiva de la fibra óptica es al menos aproximadamente 55 μm^2 .

[0032] En aún otra realización, el núcleo central tiene un perfil de índice de refracción en escalón.

[0033] En otra realización más, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica exhibe una dispersión cromática de entre aproximadamente 3 ps/(nm • km) y 14 ps/(nm • km) (por ejemplo, entre aproximadamente 4 ps/(nm • km) y 12 ps/(nm • km)).

[0034] En aún otra realización, el radio exterior r_1 del núcleo central se encuentra comprendido entre aproximadamente 2,5 micrómetros y 3,5 micrómetros.

[0035] En otra realización más, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un revestimiento intermedio que tiene un radio exterior r_2 , y la relación del radio exterior del revestimiento intermedio r_2 respecto del radio exterior del núcleo central r_1 (es decir, la relación $r_2:r_1$) es de entre aproximadamente 4,5 y 7,5 (por ejemplo, entre aproximadamente 5,5 y 6,5).

[0036] En aún otra realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye una zanja enterrada que tiene una anchura w_3 de entre aproximadamente 0,5 micrómetros y 3 micrómetros.

[0037] En aún otra realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye una zanja enterrada que tiene un radio exterior r_3 de aproximadamente 19 micrómetros o menor.

[0038] En aún otra realización, la diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 del núcleo central está comprendida entre aproximadamente 6×10^{-3} y 9×10^{-3} .

[0039] En aún otra realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior de entre aproximadamente -1×10^{-3} y 1×10^{-3} .

[0040] En aún otra realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye una zanja enterrada que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_3 con respecto al revestimiento exterior de entre -13×10^{-3} y -3×10^{-3} .

[0041] En aún otra realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un primer revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un segundo revestimiento intermedio. Típicamente, el primer revestimiento intermedio se coloca entre el núcleo central y la zanja enterrada (por ejemplo, rodeando inmediatamente el núcleo central). La zanja enterrada se coloca típicamente entre el primer revestimiento intermedio y el segundo revestimiento intermedio (por ejemplo, rodeando inmediatamente el primer revestimiento intermedio). En algunas realizaciones, el segundo revestimiento intermedio rodea inmediatamente la zanja enterrada. El primer revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior. La zanja enterrada tiene un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción Dn_3 negativa con respecto al revestimiento exterior. El segundo revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_4 y una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior.

[0042] En otras palabras, en una realización, la invención se refiere a una fibra óptica con dispersión desplazada no nula, que comprende:

un núcleo central que tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 respecto de un revestimiento exterior;

un primer revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho primer revestimiento intermedio un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto a dicho revestimiento exterior;

una zanja enterrada situada entre dicho primer revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Dn_3 con respecto a dicho revestimiento exterior; y

un segundo revestimiento intermedio posicionado entre dicha zanja enterrada y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho segundo revestimiento intermedio un radio exterior r_4 y una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto a dicho revestimiento exterior;

en la que, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura menores de 0,5 dB/100 vueltas;

donde la longitud de onda de corte de cable de 22 metros de la fibra óptica ($22m\text{-}\lambda_{cc}$) es de aproximadamente 1150 nanómetros o menor; y

en la que la longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros de la fibra óptica ($2m\text{-}\lambda_{ceff}$) es de aproximadamente 1150 nanómetros o menor.

[0043] En otra realización más, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un segundo revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior de entre aproximadamente -9×10^{-3} y -6×10^{-3} .

[0044] En esta realización, el núcleo central puede consistir esencialmente en sílice pura.

[0045] En otra realización más, el revestimiento interior de fibra óptica incluye un segundo revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior y la diferencia entre la diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 del núcleo central y la diferencia de índice de refracción del segundo revestimiento intermedio Dn_4 (es decir, $Dn_1 - Dn_4$) está comprendida entre aproximadamente 6×10^{-3} y 9×10^{-3} .

[0046] En otra realización más, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye (i) un primer revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior, y (ii) un segundo revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior. La diferencia entre la diferencia Dn_2 del índice de refracción del primer revestimiento intermedio y la diferencia Dn_4 del índice de refracción del segundo revestimiento intermedio (es decir, $Dn_2 - Dn_4$) está típicamente comprendida entre aproximadamente -1×10^{-3} y 1×10^{-3} .

[0047] En otra realización más, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye (i) una zanja enterrada que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_3 con respecto al revestimiento exterior y (ii) un segundo revestimiento intermedio que tiene una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior. La diferencia entre la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada y la diferencia Dn_4 del índice de refracción del segundo revestimiento intermedio (es decir, $Dn_3 - Dn_4$) es típicamente de entre aproximadamente -13×10^{-3} y -3×10^{-3} .

[0048] En aún otra realización, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un segundo revestimiento intermedio que tiene un radio exterior r_4 de aproximadamente 41 micrómetros o menor (por ejemplo, menor de 37 micrómetros).

[0049] En otra realización más, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica exhibe atenuación menor de aproximadamente 0,190 dB/km (por ejemplo, 0,180 dB/km o menor).

[0050] En otra realización, la invención se refiere a una fibra óptica con dispersión desplazada no nula que comprende:

un núcleo central que tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto a un revestimiento exterior de entre aproximadamente 6×10^{-3} y 9×10^{-3} ;

un primer revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho primer revestimiento intermedio un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto a dicho revestimiento exterior; y

una zanja enterrada situada entre dicho primer revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Dn_3 con respecto a dicho revestimiento exterior;

en la que, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura de menos de 0,5 dB/100 vueltas;

donde la longitud de onda de corte de cable de 22 metros de fibra óptica (22m- λ_{cc}) es aproximadamente 1150 nanómetros o menor; y en la que la longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros de la fibra óptica (2m- λ_{ceff}) es de aproximadamente 1150 nanómetros o menor.

[0051] El resumen ilustrativo anterior, así como otros objetivos y/o ventajas de la invención, y la manera en que se logran los mismos, se explican adicionalmente en la siguiente descripción detallada y sus dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

[0052]

La figura 1 representa esquemáticamente el perfil establecido de un ejemplo de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención.

La figura 2 representa esquemáticamente el perfil establecido de otro ejemplo de una fibra óptica que no es conforme con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

[0053] En un aspecto, la invención abarca una fibra con dispersión desplazada no nula (NZDSF) que exhibe bajas pérdidas por curvatura para grandes radios de curvatura y transmisión de modo único mejorada, mientras mantiene una compatibilidad adecuada con otras fibras ópticas. Con este fin, las NZDSF de acuerdo con la presente invención muestran típicamente bajas pérdidas por curvatura para radios de curvatura grandes y longitudes de onda de corte pequeñas mientras que conservan otras características ópticas (por ejemplo, valores de dispersión, áreas efectivas y atenuación).

[0054] Ejemplos de fibras ópticas de acuerdo con la presente invención son NZDSF que poseen una dispersión cromática que es menor que la dispersión cromática de una fibra de modo único estándar de índice en escalón (SSMF). A una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas de la invención pueden tener una dispersión cromática menor de aproximadamente 14 ps/(nm · km) (por ejemplo, de entre aproximadamente 3 ps/(nm · km) y 14 ps/(nm · km) Típicamente, las fibras ópticas de la invención poseen una dispersión cromática positiva.

[0055] La fibra óptica incluye un núcleo central, un revestimiento interior y un revestimiento exterior (por ejemplo, un revestimiento óptico externo). El revestimiento interno está típicamente situado entre el núcleo central y el revestimiento exterior.

[0056] Las figuras 1 y 2 representan esquemáticamente los perfiles establecidos de dos formas de realización de una fibra óptica de acuerdo con la presente invención. Como se discutió previamente, las fibras ópticas fabricadas típicamente poseen perfiles de índice de refracción que se apartan ligeramente de sus perfiles establecidos (es decir, los perfiles de índice de refracción teóricos).

[0057] Tanto la figura 1 como la figura 2 representan un núcleo central que tiene un perfil de índice de refracción en escalón. Por lo tanto, la diferencia del índice de refracción del núcleo central es constante e igual a la diferencia de índice de refracción máxima del núcleo central Dn_1 . Sin embargo, el núcleo central también puede tener un perfil trapezoidal, triangular o en alfa (es decir, un perfil de índice de refracción que varía en función de la posición radial).

[0058] Además, tanto la figura 1 como la figura 2 representan capas de revestimiento interior, cada una de las cuales tiene una diferencia de índice de refracción constante con respecto al revestimiento exterior. Las fibras ópticas de acuerdo con la invención, sin embargo, pueden tener una o más diferencias de índice de refracción que varían en función de la posición radial (por ejemplo, un perfil trapezoidal, triangular o en alfa). Para las capas interiores de revestimiento que tienen índices de refracción no constantes, las respectivas diferencias de índice de refracción (por ejemplo, la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada) se refieren a la mayor diferencia de índice de refracción entre una capa de revestimiento interior y la capa de revestimiento exterior en términos de valor absoluto.

[0059] En términos generales, una diferencia de índice de refracción también puede expresarse como un porcentaje usando la siguiente ecuación:

$$\Delta\%(r) = \frac{100 \times (n(r)^2 - n_{cladding}^2)}{2n(r)^2}$$

donde $n(r)$ es el valor del índice de refracción comparativo en función de la posición radial, y $n_{cladding}$ es el valor del índice de refracción del revestimiento exterior. Los expertos en la técnica reconocerán que esta ecuación puede usarse si el índice de refracción varía en una sección determinada de la fibra óptica (es decir, el valor del índice de refracción varía en función de la posición radial) o si el índice de refracción es constante sobre una sección dada.

[0060] Los expertos en la materia reconocerán que el revestimiento exterior tiene típicamente un índice de refracción constante. Sin embargo, si el revestimiento externo tiene un índice de refracción no constante, las

diferencias del índice de refracción se suelen medir con respecto a la parte más interna del revestimiento externo (es decir, la parte del revestimiento exterior que está más próxima al núcleo central y que puede afectar la propagación de señales ópticas dentro de la fibra óptica).

[0061] Una diferencia de índice de refracción constante con respecto a un revestimiento exterior también se puede expresar como un porcentaje usando la siguiente ecuación:

$$\Delta\% = \frac{100 \times (n^2 - n_{cladding}^2)}{2n^2}$$

donde n es el valor del índice de refracción comparativo (por ejemplo, el índice de refracción n_3 de la zanja enterrada), y $n_{cladding}$ es el valor del índice de refracción del revestimiento exterior.

[0062] Como se representa en la figura 1, un ejemplo de una fibra óptica incluye un núcleo central que tiene un radio externo r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto al revestimiento exterior. El revestimiento interior de la fibra óptica incluye un revestimiento intermedio que tiene un radio externo r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior. Como se muestra, el revestimiento intermedio rodea inmediatamente el núcleo central. El revestimiento interior de la fibra óptica también incluye una zanja enterrada que tiene un radio externo r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Dn_3 con respecto al revestimiento exterior.

[0063] Para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, las fibras ópticas de acuerdo con la invención exhiben pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas. Más típicamente, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, las fibras ópticas de acuerdo con la invención exhiben pérdidas por curvatura de alrededor de 0,1 dB/100 vueltas o menores (por ejemplo, alrededor de 0,05 dB/100 vueltas o menores).

[0064] Una fibra óptica de la invención tiene (i) una longitud de onda de corte de cable de 22 metros ($22\text{ m-}\lambda_{\text{cc}}$) menor de 1150 nanómetros y (ii) una longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros ($2\text{ m-}\lambda_{\text{ceff}}$) menor de 1150 nanómetros. La longitud de onda de corte de cable de 22 metros ($22\text{ m-}\lambda_{\text{cc}}$) y la longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros ($2\text{ m-}\lambda_{\text{ceff}}$) se explicarán con más detalle en este documento.

[0065] El radio r_1 externo del núcleo central está comprendido típicamente entre aproximadamente 2,5 micrómetros y 3,5 micrómetros. El perfil del núcleo central facilita la reducción de la dispersión cromática. La cantidad limitada de dopante en el núcleo central también facilita el control sobre las pérdidas por atenuación de difusión de Rayleigh.

[0066] En algunas realizaciones, la relación entre el radio exterior del revestimiento intermedio r_2 y el radio externo del núcleo central r_1 (es decir, la relación $r_2:r_1$) está comprendida entre 4,5 y 7,5 (por ejemplo, entre 5,0 y 7,0). Sin estar ligados a ninguna teoría particular, los presentes inventores han descubierto que al aumentar la relación $r_2:r_1$, la zanja enterrada se aleja del núcleo central, evitando así que la zanja enterrada perturbe la propagación del modo fundamental. El ajuste de la relación $r_2:r_1$ también facilita el control sobre el área efectiva de la fibra óptica y la dispersión cromática.

[0067] La zanja enterrada puede estar directamente adyacente al revestimiento intermedio (es decir, la zanja enterrada puede rodear inmediatamente el revestimiento intermedio). Típicamente, la anchura de la zanja enterrada w_3 está comprendida entre aproximadamente 0,5 micrómetros y 6 micrómetros. El radio externo de la zanja enterrada r_3 es típicamente inferior a aproximadamente 19 micrómetros. Las características de la zanja enterrada pueden facilitar el logro de pérdidas por curvatura reducidas. Las características de la zanja enterrada también facilitan el control sobre la longitud de onda de corte de la fibra óptica al controlar las pérdidas de modos que tienen un orden directamente mayor que el modo fundamental (por ejemplo, los modos LP11 y LP02).

[0068] El revestimiento exterior es típicamente un revestimiento óptico. El revestimiento exterior tiene un radio externo r_5 . Las fibras ópticas de la invención pueden incluir un revestimiento exterior con un radio externo r_5 de aproximadamente 50 micrómetros, y la fibra de vidrio en sí misma tiene un diámetro exterior de 100 micrómetros. En otras realizaciones, el revestimiento externo tiene un radio externo r_5 de 62,5 micrómetros, y la fibra de vidrio tiene un diámetro externo de 125 micrómetros.

[0069] El núcleo central y el revestimiento interno (por ejemplo, el revestimiento intermedio y la zanja enterrada) pueden fabricarse usando un método de deposición química en fase de vapor (CVD) realizado en la superficie interior de un tubo de sílice. A este respecto, el revestimiento exterior puede estar constituido por el tubo de sílice y la acumulación de vidrio en el tubo de sílice (por ejemplo, a través de un método de revestimiento o sobre revestimiento). El tubo de sílice y cualquier acumulación es típicamente de sílice dopada o natural. El revestimiento exterior también se puede obtener mediante cualquier otra técnica de deposición, tal como la deposición axial en fase de vapor (VAD) o la deposición en fase de vapor exterior (OVD).

[0070] De acuerdo con la figura 1, un ejemplo de una fibra óptica incluye un núcleo central que tiene una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto al revestimiento exterior de entre aproximadamente 6×10^{-3} y 9×10^{-3} . El revestimiento intermedio tiene una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior de entre aproximadamente -1×10^{-3} y 1×10^{-3} . El revestimiento intermedio puede tener, por ejemplo, una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior que es sustancialmente igual a cero (es decir, el índice de refracción del índice intermedio es aproximadamente igual al índice de refracción del revestimiento exterior). La zanja enterrada tiene una diferencia de índice de refracción Dn_3 con respecto al revestimiento exterior de entre -13×10^{-3} y -3×10^{-3} . El núcleo central puede estar dopado para elevar su índice de

refracción por encima del índice de refracción del revestimiento exterior. Por ejemplo, el núcleo central puede estar dopado con germanio y/o cualesquiera otro(s) dopante(s) adecuado(s). En algunas realizaciones, el revestimiento exterior puede estar dopado con flúor y/o cualquier otro dopante o dopantes adecuados. De manera similar, la diferencia Dn_2 del índice de refracción del revestimiento intermedio y la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada pueden obtenerse usando dopantes adecuados.

[0071] De acuerdo con la figura 1, otro ejemplo de una fibra óptica incluye un núcleo central, un revestimiento interno y un revestimiento exterior que sirve de revestimiento óptico. El núcleo central tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima positiva Dn_1 con respecto al revestimiento exterior. El revestimiento interior incluye un revestimiento intermedio y una zanja enterrada. El revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción alrededor de Dn_2 con respecto al revestimiento exterior. La zanja enterrada tiene un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Dn_3 con respecto al revestimiento exterior. En esta realización, la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada es menor que la diferencia del índice de refracción del revestimiento intermedio (es decir, $Dn_3 < Dn_2$). En otras palabras, la zanja enterrada tiene un índice de refracción que es menor que el índice de refracción del revestimiento intermedio.

[0072] Como se observa y de acuerdo con la figura 1, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica presenta pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas. Más típicamente, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica presenta pérdidas por curvatura de aproximadamente 0,1 dB/100 vueltas o menores (por ejemplo, aproximadamente 0,05 dB/100 vueltas o menores). La fibra óptica tiene (i) una longitud de onda de corte de cable de 22 metros (22 m- λ_{cutoff}) menor de 1150 nanómetros, y (ii) una longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros (2m- λ_{cutoff}) menor de 1150 nanómetros.

[0073] En realizaciones, el revestimiento interior de la fibra óptica puede incluir solo un revestimiento intermedio y una zanja enterrada. A este respecto, el revestimiento intermedio rodea inmediatamente el núcleo central, la zanja enterrada rodea inmediatamente el revestimiento intermedio, y el revestimiento óptico rodea inmediatamente la zanja enterrada.

[0074] Como se representa en la figura 2, el revestimiento interior de la fibra óptica incluye un primer revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un segundo revestimiento intermedio. El segundo revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_4 y una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior.

[0075] De acuerdo con la figura 2, un ejemplo del núcleo central de una fibra óptica tiene una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto al revestimiento exterior que es sustancialmente igual a cero (es decir, el índice de refracción del núcleo central es aproximadamente igual al externo índice de refracción del revestimiento). A este respecto, el núcleo central puede ser dopado con flúor, germanio y/o cualesquiera otro(s) dopante(s) adecuado(s) para obtener una diferencia de índice de refracción que sea sustancialmente igual a cero. Por ejemplo, el núcleo central y el revestimiento externo pueden estar hechos de sílice pura. Una fibra óptica con un núcleo central hecho de sílice pura se conoce comúnmente como fibra de núcleo de sílice pura (PSCF). Los núcleos de bajo contenido de dopado y de sílice puro pueden facilitar el logro de valores de atenuación de fibra óptica menores de 0,190 dB/km (por ejemplo, menores de 0,180 dB/km) a una longitud de onda de 1550 nanómetros. La baja atenuación es particularmente ventajosa en aplicaciones de transmisión a larga distancia.

[0076] En algunas realizaciones, la diferencia entre la diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 del núcleo central y la diferencia de índice de refracción Dn_4 del segundo revestimiento intermedio (es decir, $Dn_1 - Dn_4$) está comprendida entre aproximadamente 6×10^{-3} y 9×10^{-3} . Esta diferencia $Dn_1 - Dn_4$ se puede alcanzar reduciendo el índice de refracción del segundo revestimiento intermedio usando un dopante adecuado.

[0077] Como se representa en la figura 2, el revestimiento interior está enterrado, es decir, el índice de refracción del revestimiento interior es menor que el índice de refracción del revestimiento exterior. A este respecto, el primer revestimiento intermedio, la zanja enterrada y el segundo revestimiento intermedio tienen un respectivo índice de refracción menor que el índice de refracción del revestimiento exterior. El índice de refracción del revestimiento interior puede reducirse hasta menos del índice de refracción del revestimiento exterior mediante el dopado con flúor, germanio y/o cualquier otro dopante adecuado.

[0078] En algunas realizaciones, la diferencia entre el índice de refracción Dn_2 del primer revestimiento intermedio y el índice de refracción Dn_4 del segundo revestimiento intermedio (es decir, $Dn_2 - Dn_4$) está comprendida entre aproximadamente -1×10^{-3} y 1×10^{-3} . La diferencia entre la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada y la diferencia Dn_4 del índice de refracción del segundo revestimiento intermedio (es decir, $Dn_3 - Dn_4$) está comprendida entre aproximadamente -13×10^{-3} y -3×10^{-3} . Estas diferencias $Dn_2 - Dn_4$ y $Dn_3 - Dn_4$ pueden alcanzarse reduciendo o aumentando los índices de refracción respectivamente del primer revestimiento intermedio y de la zanja enterrada mediante dopado adecuado. Adicionalmente, las diferencias $Dn_2 - Dn_4$ y $Dn_3 - Dn_4$ pueden alcanzarse reduciendo o aumentando el índice de refracción del segundo revestimiento intermedio mediante un dopado adecuado.

[0079] El segundo revestimiento intermedio típicamente tiene una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior de entre -9×10^{-3} y -6×10^{-3} .

[0080] El segundo revestimiento intermedio puede tener un radio externo r_4 menor de aproximadamente 41 micrómetros (por ejemplo, menos de 37 micrómetros). La reducción del radio exterior del segundo revestimiento intermedio generalmente ayuda a reducir los costes de fabricación asociados con el dopado del revestimiento interno de la fibra óptica.

[0081] Sin permanecer ligados a ninguna teoría particular, los presentes inventores han descubierto que, cuando el índice de refracción del revestimiento exterior es aproximadamente el mismo que el índice de refracción del

núcleo central, acercando el revestimiento exterior al núcleo central (es decir, reduciendo la diferencia entre el radio exterior del núcleo central r_1 y el radio interno del revestimiento exterior) aumenta las pérdidas por fugas del modo de propagación fundamental LP01. Sin embargo, en algunas fibras ópticas, es posible acercar el revestimiento exterior al núcleo central y reducir el radio externo de la zanja enterrada r_3 , mientras se mantiene pérdidas por fugas del modo fundamental menores de aproximadamente 0,030 dB/km (por ejemplo, 0,020 dB/km o menores) a una longitud de onda de 1550 nanómetros. De hecho, las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención poseen pérdidas por fugas del modo fundamental menores de aproximadamente 0,010 dB/km (por ejemplo, menores de 0,005dB/km) a una longitud de onda de 1550 nanómetros.

[0082] De acuerdo con la figura 2, otra fibra óptica incluye un núcleo central, un revestimiento interior y un revestimiento exterior que funciona como un revestimiento óptico. El revestimiento interno se coloca típicamente entre el núcleo central y el revestimiento exterior. El núcleo central tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 con respecto al revestimiento exterior.

[0083] El revestimiento interior incluye un primer revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un segundo revestimiento intermedio. Típicamente, la zanja enterrada del revestimiento interior se coloca entre el primer revestimiento intermedio y el segundo revestimiento intermedio. El primer revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción Dn_2 con respecto al revestimiento exterior. La zanja enterrada tiene un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción negativa Dn_3 con respecto al revestimiento exterior. En esta realización, la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada es menor que la diferencia Dn_2 del índice de refracción del revestimiento intermedio (es decir, $Dn_3 < Dn_2$). En otras palabras, la zanja enterrada tiene un índice de refracción que es menor que el índice de refracción del revestimiento intermedio.

[0084] El segundo revestimiento intermedio tiene un radio exterior r_4 y una diferencia de índice de refracción Dn_4 con respecto al revestimiento exterior que es menor que la diferencia de índice de refracción máxima Dn_1 del núcleo central. En esta realización, la diferencia Dn_3 del índice de refracción de la zanja enterrada es menor que la diferencia Dn_4 del índice de refracción del segundo revestimiento intermedio (es decir, $Dn_3 < Dn_4$). En otras palabras, la zanja enterrada tiene un índice de refracción que es menor que el índice de refracción del segundo revestimiento intermedio.

[0085] Como se observa y de acuerdo con la figura 2, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas. Más típicamente, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica presenta pérdidas por curvatura de aproximadamente 0,1 dB/100 vueltas o menos (por ejemplo, aproximadamente 0,05 dB/100 vueltas o menos). La fibra óptica tiene (i) una longitud de onda de corte de cable de 22 metros (22 m- λ_{cc}) menor de 1150 nanómetros y (ii) una longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros (2m- λ_{ceff}) menor de 1150 nanómetros.

[0086] En realizaciones, el revestimiento interior de la fibra óptica puede incluir solo un primer revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un segundo revestimiento intermedio. A este respecto, el primer revestimiento intermedio rodea inmediatamente el núcleo central, la zanja enterrada rodea inmediatamente el primer revestimiento intermedio, el segundo revestimiento intermedio rodea inmediatamente la zanja enterrada, y el revestimiento exterior rodea inmediatamente el segundo revestimiento intermedio.

[0087] Las fibras ópticas de la presente invención presentan bajas pérdidas por curvatura y poseen longitudes de onda de corte pequeñas. A este respecto, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, las fibras ópticas presentan pérdidas por curvatura de menos de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas. Más típicamente, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, las fibras ópticas pueden presentar pérdidas por curvatura de aproximadamente 0,1 dB/100 vueltas o menores (por ejemplo, aproximadamente 0,05 dB / 100 vueltas o menos). Para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas pueden exhibir pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,01 dB/100 vueltas (por ejemplo, 0,005 dB/100 vueltas o menos). Para un radio de curvatura de 25 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas pueden exhibir pérdidas por curvatura menores de aproximadamente 0,5 dB/100 vueltas.

[0088] Las mediciones de longitud de onda de corte han sido objeto de estandarización. La longitud de onda de corte de una fibra óptica puede variar dependiendo de la ubicación a lo largo de la fibra óptica donde se mide la longitud de onda de corte. La longitud de onda de corte de cable de 22 metros (22m- λ_{cc}) se mide convencionalmente como la longitud de onda en la cual la señal óptica es de modo único después de propagarse a lo largo de 22 metros de fibra, según lo definido por el subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793 -1-44. La longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros (2m- λ_{ceff}) se mide convencionalmente como la longitud de onda en la cual la señal óptica es de modo único después de propagarse a lo largo de dos metros de fibra, según lo definido por el subcomité 86A de la Comisión Electrotécnica Internacional en la norma IEC 60793 -1-44. La fibra óptica típicamente tiene (i) una longitud de onda de corte de cable de 22 metros (22m- λ_{cc}) menor de 1150 nanómetros, y (ii) una longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros (2m- λ_{ceff}) menor de 1150 nanómetros. Por lo tanto, las NZDSF de acuerdo con la presente invención típicamente admiten grandes radios de curvatura y exhiben una transmisión de modo único mejorada.

[0089] Además, las fibras ópticas de la presente invención poseen típicamente valores aceptables para todos los parámetros ópticos que permiten una buena compatibilidad con otras fibras ópticas. En particular, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas pueden presentar una dispersión cromática de entre aproximadamente 3 ps/(nm • km) y 14 ps/(nm • km) (por ejemplo, de entre 4 ps/ (nm • km) y 12 ps/(nm • km)) y una pendiente de dispersión cromática de aproximadamente 0,060 ps/ (nm² • km) o menor. En algunas realizaciones, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas pueden presentar una pendiente de dispersión

cromática de aproximadamente $0,045 \text{ ps}/(\text{nm}^2 \cdot \text{km})$ o mayor. A una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas pueden tener un área efectiva de aproximadamente $55 \mu\text{m}^2$ o más. Más típicamente, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas pueden tener un área efectiva de aproximadamente $58 \mu\text{m}^2$ o más. Normalmente, el área efectiva de la fibra óptica es inferior a $70 \mu\text{m}^2$ a una longitud de onda de 1550 nanómetros.

5 **[0090]** Las siguientes tablas (a continuación) ilustran aspectos de la presente invención proporcionando ejemplos comparativos e inventivos de fibra óptica (por ejemplo, ejemplos de predicción). Para facilitar la siguiente discusión, para ejemplos comparativos e inventivos de fibra óptica que tienen un perfil de índice de refracción similar a la figura 1, el revestimiento intermedio se denomina primer revestimiento intermedio.

10 **[0091]** La tabla 1 (a continuación) caracteriza los perfiles de índice de 11 ejemplos de fibra óptica. La primera columna de la tabla 1 proporciona una referencia para cada perfil. Las tres columnas siguientes proporcionan el radio exterior r_1 del núcleo central, el radio exterior r_2 del primer revestimiento intermedio y la relación $r_1:r_2$ del radio exterior del núcleo central con respecto al radio exterior del revestimiento intermedio. Las siguientes dos columnas proporcionan el radio exterior de la zanja enterrada r_3 y la anchura w_3 . La siguiente columna proporciona el radio externo del segundo revestimiento intermedio r_4 donde corresponda, y la columna siguiente proporciona el radio exterior del revestimiento exterior.

15 **[0092]** A continuación, la tabla 1 proporciona, para una longitud de onda de 633 nanómetros y con respecto al revestimiento exterior, las diferencias del índice de refracción para: el núcleo central Dn_1 ; el primer revestimiento intermedio Dn_2 ; la zanja enterrada Dn_3 ; y el segundo revestimiento intermedio Dn_4 donde corresponda. Para completar y para ilustrar adicionalmente el significado de una diferencia de índice de refracción como se usa en la presente memoria, la última columna proporciona la diferencia de índice de refracción del revestimiento exterior Dn_5 con respecto a sí misma es igual a cero.

20 **[0093]** Los valores en la tabla 1 corresponden a los perfiles establecidos de los ejemplos de fibra óptica. Como se discutió previamente, las fibras ópticas fabricadas típicamente poseen perfiles de índice de refracción que se apartan ligeramente de sus perfiles establecidos (es decir, los perfiles de índice de refracción teóricos).

TABLA 1

Ej	r ₁ (μm)	r ₂ (μm)	r ₂ /r ₁ (μm)	r ₃ (μm)	W ₃ (μm)	r ₄ (μm)	r ₅ (μm)	Dn ₁ @633 (x10 ⁻³)	Dn ₂ @633 (x10 ⁻³)	Dn ₃ @633 (x10 ⁻³)	Dn ₄ @633 (x10 ⁻³)	Dn ₅ @633 (x10 ⁻³)
1-estandar	2,89	14,40	5,0	17,00	2,60		62,5	5,9	-0,2	-6,8	0,0	0,0
1b-estandar	2,89	9,40	3,3	12,00	2,60		62,5	6,9	-0,2	-6,8	0,0	0,0
1c-estandar	2,68	9,40	3,5	12,00	2,60		62,5	8,0	-0,2	-6,8	0,0	0,0
1d-estandar	2,89	14,40	5,0	17,00	2,60		62,5	5,5	-0,2	-6,8	0,0	0,0
1-PSC	2,89	14,40	5,0	17,00	2,60	36,0	62,5	0,0	-7,1	-13,7	-6,9	0,0
2-estandar	2,83	14,25	5,0	15,00	0,75		62,5	7,1	0,1	-5,9	0,0	0,0
2-PSC	2,83	14,25	5,0	15,00	0,75	40,0	62,5	0,0	-7,0	-13,0	-7,1	0,0
3-estandar	2,86	16,15	5,6	17,00	0,85		62,5	7,0	0,1	-5,6	0,0	0,0
3-PSC	2,86	16,15	5,6	17,00	0,85	40,0	62,5	0,0	-6,9	-12,6	-7,0	0,0
4-estandar	2,64	16,20	6,1	18,00	1,80		62,5	7,5	0,0	-6,5	0,0	0,0
5-estandar	3,12	14,89	4,7	16,32	1,63		62,5	6,3	0,0	-6,9	0,0	0,0

- 5 **[0094]** Los ejemplos de fibra óptica 1-estandar, 2-estandar, 3-estandar, 4-estandar y 5-estandar son fibras ópticas de acuerdo con la invención que tienen un revestimiento interno que incluye un primer revestimiento intermedio y la zanja enterrada (por ejemplo, similar a la figura 1). En estos ejemplos, el radio externo del segundo revestimiento intermedio r₄ y la diferencia Dn₄ del índice de refracción del segundo revestimiento intermedio no se proporcionan porque el revestimiento interior de la fibra óptica no incluye un segundo revestimiento intermedio.
- 10 **[0095]** Los ejemplos 1-PSC, 2-PSC y 3-PSC de fibra óptica son fibras ópticas de acuerdo con la invención que tienen un revestimiento interior que incluye un primer revestimiento intermedio, una zanja enterrada y un segundo revestimiento intermedio (por ejemplo, similar a la figura 2). En estos ejemplos, la diferencia de índice de refracción máxima del núcleo central Dn₁ es cero. Además, la diferencia Dn₄ del índice de refracción del segundo revestimiento intermedio está comprendida entre aproximadamente -9x10⁻³ y -6x10⁻³, y el radio exterior del segundo revestimiento intermedio r₄ es menor de 41 micrómetros, o incluso menor de 37 micrómetros (por ejemplo, para 1-PSC)
- 15 **[0096]** Los ejemplos 1b-estandar, 1c-estandar y 1d-estandar de fibra óptica son fibras ópticas comparativas que se presentan para comparación con fibra óptica 1-estandar.
- [0097]** La tabla 2 proporciona las propiedades ópticas de las fibras según la invención y las fibras ópticas comparativas de la tabla 1.
- 20 **[0098]** En la tabla 2, la primera columna repite las referencias de la tabla 1. Las siguientes tres columnas proporcionan, para cada perfil de fibra a una longitud de onda de 1550 nanómetros, los valores de: dispersión cromática (D); la pendiente de dispersión cromática; el área efectiva A_{eff}; y las pérdidas por fugas de modo fundamental P_{leak}. Las dos columnas siguientes proporcionan pérdidas por curvatura P_{10mm} y P_{30mm} para los respectivos radios de curvatura de 10 milímetros y 30 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros. La siguiente columna proporciona pérdidas de curvatura P_{30mm} medida a una longitud de onda de 1625 nanómetros para un radio de curvatura de 30 milímetros. La última columna proporciona la longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros (2m-λ_{ceff}) y la longitud de onda de corte de cable de 22 metros (22m-λ_{cc}).
- 25

TABLA 2

Ej	D@1550nm (ps/nm.km)	Pendiente@1550nm (ps/(nm ² .km))	A _{eff} @1550nm (μm ²)	P _{leak} @1150nm (dB/km)	P _{30mm} @1550nm (dB/vuelta)	P _{30mm} @1550nm (dB/100 vueltas)	P _{30mm} @1625nm (dB/100 vueltas)	2m-λ _{ceff} (nm)	22m-λ _{acc} (nm)
1-estandar	8,0	0,057	57		<0,5	<0,005	<0,05	<1150	<1150
1b-estandar	10,8	0,064	54		<1	<0,01	<0,1	<1150	<1150
1c-estandar	8,0	0,062	48		<1	<0,01	<0,1	<1150	<1150
1d-estandar	8,7	0,066	73		<3	>1	>10	<1150	<1150
1-PSC	7,0	0,052	57	<0,03	<0,5	<0,01	<0,1	<1150	<1150
2-estandar	7,2	0,057	58		<2	<0,005	<0,05	<1150	<1150
2-PSC	6,2	0,052	58	<0,02	<2	<0,01	<0,1	<1150	<1150
3-estandar	7,2	0,056	60		<2	<0,005	<0,05	<1150	<1150
3-PSC	6,2	0,051	60	<0,005	<2	<0,01	<0,1	<1150	<1150
4-estandar	5,0	0,057	55		<1	<0,005	<0,05	<1150	<1150
5-estandar	10,00	0,058	63		<1	<0,005	<0,05	<1150	<1150

- 5 **[0099]** Para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, las fibras ópticas de la invención exhiben pérdidas por curvatura P_{30mm} que son menores a 0,5 dB/100 vueltas e incluso menores a 0,1 dB/100 vueltas. De hecho, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, las fibras ópticas 1-estandar, 2-estandar, 3-estandar, 4-estandar, 5-estandar y 6-estandar exhiben pérdidas de curvatura P_{30mm} que son menores de 0,05 dB/100 vueltas.
- 10 **[0100]** Para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas de la invención muestran pérdidas por curvatura P_{30 mm} que son menores de 0,01 dB/100 vueltas. De hecho, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas 1-estandar, 2-estandar, 3-estandar, 4-estandar, 5-estandar y 6-estandar exhiben pérdidas de curvatura P_{30mm} que son menores de 0,005 dB/100 vueltas.
- 15 **[0101]** Las fibras ópticas de la invención poseen longitud de onda de corte de fibra efectiva de dos metros (2 m-λ_{ceff}) y longitud de onda de corte de cable de 22 m (22 m-λ_{acc}) que son menores de 1150 nanómetros.
- [0102]** Además, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas de la invención tienen áreas efectivas A_{eff} que son mayores que o iguales a 55 μm². A una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas de la invención también exhiben (i) valores de dispersión cromática D de entre 3 ps/(nm · km) y 14 ps/(nm · km), y (ii) valores de pendiente de dispersión cromática de 0,060 ps/(nm² · km) o menores.
- 20 **[0103]** A una longitud de onda de 1550 nanómetros, las fibras ópticas 1-PSC, 2-PSC y 3-PSC exhiben pérdidas de fugas del modo fundamental P_{leak} que son menores de 0,03 dB/km, mientras que utilicen un segundo revestimiento intermedio con un radio exterior de solo 40 micrones o menor (consultar la tabla 1). De hecho, la fibra óptica 3-PSC presenta pérdidas por fuga del modo fundamental P_{leak} que son inferiores a 0,01 dB/km.
- 25 **[0104]** Las fibras ópticas comparativas 1b-estandar, 1c-estandar y 1d-estandar son similares a las fibras ópticas 1-estandar pero se modifican ciertas características del perfil de índice de refracción. Los ejemplos comparativos de fibra óptica se describen en comparación con la fibra óptica 1-estandar para ilustrar adicionalmente las ventajas de las fibras ópticas de la invención.
- [0105]** La fibra óptica comparativa 1b-estandar difiere de la fibra óptica 1-estandar en que la zanja enterrada está más cerca del núcleo central. La relación de fibra óptica comparativa 1b-estandar r₂:r₁ es 3,3, mientras que la relación de fibra óptica 1-estandar r₂:r₁ es 5. En consecuencia, el área efectiva de la fibra óptica comparativa 1b-estandar se reduce a menos de 55 μm² y, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la pendiente de dispersión cromática aumenta a más de 0,06 ps/(nm² · km). La dispersión cromática D de la fibra óptica comparativa 1b-estandar es también más alta que la dispersión cromática D de la fibra óptica 1-estandar.
- 35 **[0106]** La fibra óptica comparativa 1c-estandar es similar a la fibra óptica comparativa 1b-estandar, pero las características del núcleo central de la fibra óptica comparativa 1c-estandar se han ajustado para obtener la misma dispersión cromática D que en la fibra óptica 1-estandar. La influencia de la zanja enterrada de la fibra óptica comparativa 1c-estandar, por lo tanto, es mayor que la influencia de la zanja enterrada de la fibra óptica comparativa 1b-estandar. A una longitud de onda de 1550 nanómetros, el área efectiva de la fibra óptica comparativa 1c-estandar es inferior a 50 μm².
- 40 **[0107]** La fibra óptica comparada 1d-estandar difiere de la fibra óptica 1-estandar en que la diferencia de índice de refracción máxima Δn₁ del núcleo central se ha reducido a 5,5x10⁻³. A una longitud de onda de 1550 nanómetros, el área efectiva de la fibra óptica comparativa 1d-estandar aumenta a más de 70 μm². Sin embargo, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la pendiente de dispersión cromática de la fibra óptica comparativa 1d-estandar aumenta a más de 0,060 ps/(nm² · km). Además, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica comparativa las pérdidas por curvatura de 1d-estandar aumentan a más de 10 dB/100 vueltas.
- 45 **[0108]** La fibra óptica según la invención cumple típicamente con las recomendaciones de las normas ITU-T G.655 y G.656 para las NZDSF. En particular, las normas UIT-T G.655 y G.656 para NZDSF recomiendan (i) una longitud de onda de corte del cable de 22 metros (22 m-λ_{acc}) de menos de 1450 nanómetros, y (ii) a una longitud de onda de 1550 nanómetros, un diámetro de campo de modo de entre aproximadamente 7 micrómetros y 11 micrómetros, o entre aproximadamente 8 micrómetros y 11 micrómetros. En consecuencia, las fibras ópticas de acuerdo con la presente invención se pueden instalar en numerosos sistemas de transmisión y presentan buena compatibilidad con las otras fibras del sistema.
- 55 **[0109]** Las fibras ópticas de la invención son muy adecuadas para sistemas de transmisión a larga distancia que funcionan en la banda C, y particularmente en aplicaciones múltiplex de división de longitud de onda. La pendiente

de dispersión cromática reducida de la fibra óptica permite mantener una dispersión cromática equivalente a lo largo de toda la línea de transmisión, lo que minimiza las diferencias de comportamiento entre los canales de transmisión del múltiplex. La longitud de onda de corte de cable reducida de la fibra óptica y la longitud de onda de corte de fibra efectiva permiten asegurar la transmisión de modo único. La reducción de las pérdidas por curvatura, en particular para grandes radios de curvatura, también contribuye a una mejor calidad de la señal.

5 **[0110]** En la memoria descriptiva y/o figuras, se han descrito realizaciones típicas de la invención. La presente invención no está limitada a tales formas de realización. Las figuras son representaciones esquemáticas y, por lo tanto, no están necesariamente dibujadas a escala. A menos que se indique lo contrario, los términos específicos se han usado en un sentido genérico y descriptivo y no con fines de limitación.

10

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una fibra óptica con dispersión desplazada no nula, que comprende: un núcleo central que tiene un radio exterior r_1 y una diferencia de índice de refracción máxima D_{n1} de 6×10^{-3} a 9×10^{-3} , inclusive, con respecto a un revestimiento exterior;
- un primer revestimiento intermedio situado entre dicho núcleo central y dicho revestimiento exterior, teniendo dicho primer revestimiento intermedio un radio exterior r_2 y una diferencia de índice de refracción D_{n2} con respecto a dicho revestimiento exterior; y
- 10 una zanja enterrada situada entre dicho primer revestimiento intermedio y dicho revestimiento exterior, teniendo dicha zanja enterrada un radio exterior r_3 , una anchura w_3 y una diferencia de índice de refracción negativa D_{n3} con respecto a dicho revestimiento exterior; en la que, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1625 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura menores de 0,5 dB/100 vueltas;
- 15 donde la longitud de onda de corte de cable de 22 metros de la fibra óptica ($22m-\lambda_{cc}$) es 1150 nanómetros o menor; en la que la longitud de onda de corte efectiva de fibra de dos metros de la fibra óptica ($2m-\lambda_{ceff}$) es 1150 nanómetros o menor; y en la que dicho radio exterior r_1 del núcleo central es de 2,5 micrómetros a 3,5 micrómetros inclusive, y caracterizada porque la relación $r_2:r_1$ de dicho primer radio externo de revestimiento intermedio r_2 respecto de dicho radio externo r_1 del núcleo central es de 4,5 a 7,5 inclusive.
- 20 2. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, para un radio de curvatura de 30 milímetros a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica exhibe pérdidas por curvatura menores de 0,01 dB/100 vueltas, preferiblemente menores de 0,005 dB/100 vueltas.
- 25 3. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, el área efectiva de la fibra óptica es $55 \mu\text{m}^2$ o mayor.
- 30 4. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica exhibe una dispersión cromática de 3 ps/(nm • km) a 14 ps/(nm.km) inclusive, preferiblemente de 4 ps/(nm • km) a 12 ps/(nm.km) inclusive.
- 35 5. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que, a una longitud de onda de 1550 nanómetros, la fibra óptica exhibe una pendiente de dispersión cromática de 0,060 ps/ (nm² • km) o menor.
6. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha anchura de zanja enterrada w_3 es de 0,5 micrómetros a 3 micrómetros inclusive y/o en donde dicho radio exterior de zanja enterrada r_3 es menor que 19 micrómetros.
7. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicha primera diferencia de índice de refracción del revestimiento intermedio D_{n2} es de -1×10^{-3} a 1×10^{-3} inclusive.
- 40 8. Fibra óptica de acuerdo con una cualquiera de las *reivindicaciones* precedentes, en la que dicha diferencia de índice de refracción D_{n3} de zanja enterrada es de -13×10^{-3} a -3×10^{-3} inclusive.

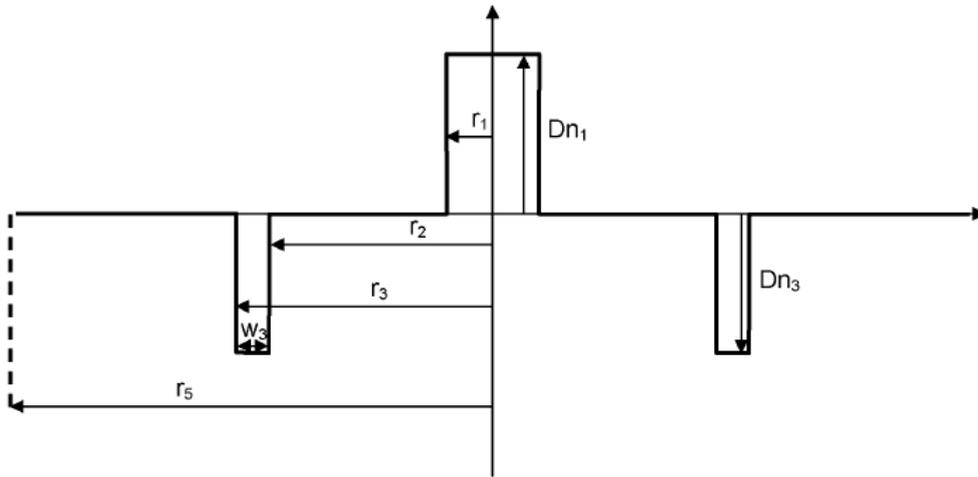


Figura 1

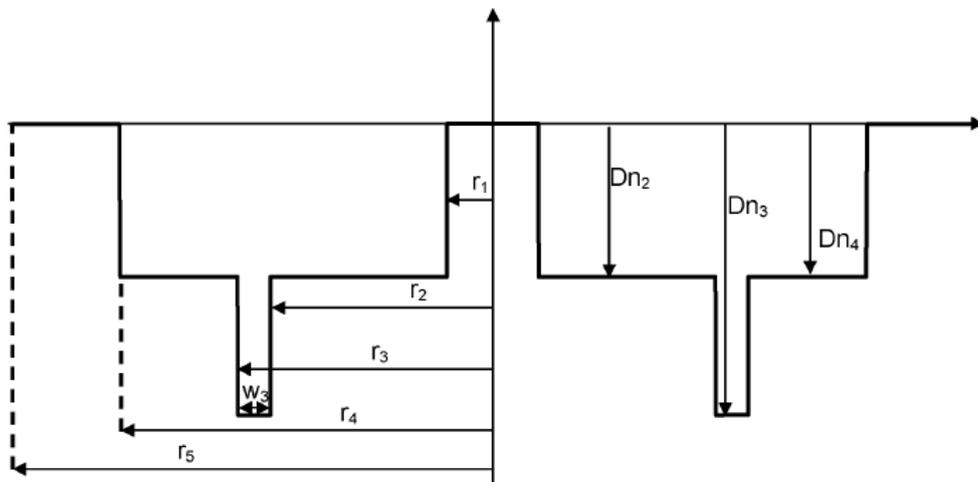


Figura 2

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 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.

Documentos de patente citado en la descripción

- EP 0992817 A [0015]
- US 6459839 B [0015]
- EP 1477831 A [0016]
- US 6904218 B [0016]
- EP 1978383 A [0016]
- US 20050244120 A [0016]
- US 4852968 A [0016]
- WO 2008106033 A [0017]
- US 7603015 B [0017]
- US 20060039665 A [0018]
- US 6694079 B [0019]

10 **Bibliografía no de patentes citada en la descripción**

- **S. MATSUO et al.** New Medium-Dispersion Fiber with Large Effective Area and Low Dispersion Slope. *Optical Fiber Communication Conference and Exhibit 2002, OFC 2002*, March 2002, 329-330 [0014]