



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0701814-2 B1

(22) Data do Depósito: 10/04/2007

(45) Data de Concessão: 20/03/2018



(54) Título: FIBRA DE TRANSMISSÃO ÓTICA, MÓDULO ÓTICO, CAIXA DE ARMAZENAMENTO, E SISTEMA ÓTICO DE FIBRA ATÉ A CASA OU DE FIBRA ATÉ A CALÇADA

(51) Int.Cl.: G02B 6/028; G02B 6/036

(30) Prioridade Unionista: 10/04/2006 NL 06 03128

(73) Titular(es): DRAKA COMTEQ B.V.

(72) Inventor(es): LOUIS-ANNE DE MONTMORILLON; DENIS MOLIN; EMMANUEL PETITFRERE; YVES LUMINEAU; FRANCISCUS JOHANNES ACHTEN; MARIANNE BIGOT-ASTRUC; PIERRE SILLARD; PASCALE NOUCHI; PIETER MATTHIJSSE; FRANS GOOIJER

FIBRA DE TRANSMISSÃO ÓTICA, MÓDULO ÓTICO, CAIXA DE ARMAZENAMENTO, E SISTEMA ÓTICO DE FIBRA ATÉ A CASA OU DE FIBRA ATÉ A CALÇADA

A presente invenção refere-se ao campo das transmissões através de fibra ótica, e, mais especificamente, a uma fibra de fio tendo reduzidas perdas devido a curvaturas e microcurvaturas.

Nas fibras óticas, o perfil de índice é de modo geral descrito como a aparência do gráfico da função que associa o índice refrativo ao raio da fibra. Em termos convencionais, a distância r até o centro da fibra é representada sobre a abscissa e a diferença entre o índice refrativo e o índice refrativo do revestimento de fibra (casca) é representada sobre a ordenada. O perfil de índice é, portanto, denominado como um "degrau", "trapézio" ou "triângulo" nos gráficos que respectivamente têm a forma de um degrau, de um trapézio ou de um triângulo. Estas curvas são de modo geral representativas do perfil teórico ou definido da fibra; as limitações na fabricação da fibra podendo resultar em um perfil substancialmente diferente.

Uma fibra ótica convencionalmente consiste em um núcleo ótico, que tem a função de transmitir e possivelmente amplificar um sinal ótico, e de um revestimento ótico externo, que tem a função de confinar o sinal ótico no núcleo. Para este fim, os índices refrativos do núcleo n_c e do revestimento ótico externo n_g são tais que $n_c > n_g$. Conforme é bem conhecido, a proporção de um sinal ótico em uma fibra ótica de modo único é partida em um modo guiado fundamental no núcleo e nos modos secundários guiados por uma determinada distância na montagem núcleo - revestimento (casca), chamados modos de revestimento (casca).

Em termos convencionais, as fibras de índice do tipo degrau também chamadas fibras de modo único (SMF) são usadas como uma fibra de fio nos sistemas de transmissão com fibras óticas. Estas fibras exibem uma dispersão cromática e uma inclinação de dispersão cromática que atendem aos padrões específicos das telecomunicações.

Nas exigências de compatibilidade entre os sistemas óticos de diferentes fabricantes, a União Internacional de Telecomunicações, cujo acrônimo é ITU, definiu um padrão com uma especificação referida como ITU-

T G.652, ao qual uma fibra ótica para uma transmissão padrão deve atender, chamada SSMF para uma fibra de modo único padrão.

Esta especificação G.652 recomenda, entre outras coisas, para uma fibra de transmissão, a faixa [8,6; 9,5 μm] para o valor do diâmetro de campo modal (MFD), em um comprimento de onda de 1310 nm; um máximo de 1260 nm para o valor do comprimento de onda de corte de cabo; a faixa de [1300; 1324 nm] para o comprimento de onda de dispersão zero, notada como λ_0 ; um máximo de 0.092 ps/nm²-km para o valor da inclinação de dispersão cromática. O comprimento de onda de corte de cabo é convencionalmente medido como o comprimento de onda no qual o sinal ótico não é mais um modo único após a propagação por vinte de dois metros de fibra, como, por exemplo, definido pelo sub-comitê 86A da Comissão Internacional Eletrotécnica no padrão IEC 60793-1-44.

Ainda para uma dada fibra, um valor chamado MAC é definido como a razão do diâmetro de campo modal da fibra a 1550 nm e o comprimento de onda de corte efetivo λ_{Ceff} é definido. O comprimento de onda de corte de cabo é convencionalmente medido como o comprimento de onda no qual o sinal ótico não é mais um modo único após a propagação por dois metros de fibra, conforme definido pelo sub-comitê 86A da Comissão Internacional Eletrotécnica no padrão IEC 60793-1-44. O valor MAC é um parâmetro para apreciar os desempenhos da fibra, em particular, para encontrar um compromisso entre o diâmetro de campo modal, o comprimento de onda de corte efetivo e as perdas de curvatura.

A figura 1 ilustra os resultados experimentais da requerente e ilustra as perdas de curvatura no comprimento de onda de 1625 nm com um raio de curvatura de 15 mm em uma fibra SSMF de índice tipo degrau versus o valor de MAC no comprimento de onda de 1550 nm. Observa-se que o valor de MAC influencia as perdas de curvatura da fibra e que estas perdas de curvatura podem ser reduzidas ao se reduzir o valor MAC.

Agora, uma redução do valor MAC, ao se reduzir o diâmetro de campo modal e/ou ao se aumentar o comprimento de onda de corte efetivo, pode resultar em uma situação fora do padrão G.652 e tornar a fibra comer-

cialmente incompatível com certos sistemas de transmissão.

Com efeito, o valor do comprimento de onda de corte efetivo λ_{Ceff} não pode ser aumentado além de um valor limite a fim de observar o valor máximo de 1260 nm para a frequência de corte de cabo λ_{CC} . Ainda, o valor
5 do diâmetro de campo modal para um dado comprimento de onda é estritamente imposto a fim de minimizar as perdas de acoplamento entre as fibras.

A redução do critério de valor MAC para limitar as perdas de curvatura deve, portanto, ser combinada com uma limitação do valor do comprimento de onda de corte efetivo λ_{Ceff} a fim de limitar a propagação de
10 modos de ordens maiores na fibra, enquanto mantém um diâmetro de campo modal suficiente para prover um acoplamento sem demasiadas perdas óticas.

Em particular, o atendimento ao padrão G.652 e a redução das perdas de curvatura são um desafio real às aplicações de fibras pretendidas
15 tanto para sistemas óticos de fibra como até individuais, as chamadas fibras até a casa (FTTH) ou para os sistemas óticos até a calçada ou até o edifício - as chamadas fibras até a calçada (FTTC).

Na verdade, um sistema de transmissão através de fibras óticas compreende caixas de armazenamento nas quais comprimentos excessivos
20 de fibra são providos no caso de intervenções futuras; estes comprimentos excessivos são enrolados nas caixas. Tendo em vista a intenção de se miniaturizar estas caixas para aplicações de fibras FTTH ou FTTC, deseja-se que as fibras de modo único neste contexto sejam enroladas ou que sejam de diâmetros cada vez menores (de modo a atingir raios de curvatura pe-
25 quenos tais como de 15 mm). Ainda, dentro do âmbito das aplicações de fibra FTTH ou FTTC, existe o risco de as fibras se submeterem a limitações mais severas de instalação do que em aplicações de distâncias maiores, isto é, a presença de curvaturas accidentais relacionadas ao baixo custo da instalação e ao ambiente. Deve-se fazer uma provisão para a presença de raios
30 de curvatura accidental iguais a 7,5 mm ou ainda de 5 mm. É, portanto, absolutamente necessário, a fim de atender às limitações relacionadas às caixas de armazenamento e às limitações de instalação, que as fibras de modo úni-

co usadas para aplicações de fibra FTTH ou FTTC tenham perdas de curvatura limitadas. No entanto, entenda-se que esta redução nas perdas de curvatura não deve ser obtida em detrimento de uma perda do caráter de modo único do sinal, o que fortemente deterioraria o sinal, ou em detrimento da
5 introdução de significantes perdas óticas de junção.

A Patente U.S. N. 4 852 968 refere-se a uma fibra ótica de modo único tendo um perfil de índice que consiste em uma região de núcleo, uma primeira região de revestimento, uma região de trincheira, e uma segunda região de revestimento e opcionalmente uma segunda região de trincheira.
10 O presente documento se refere à otimização das características de dispersão.

A fim de obter fibras óticas que atendam à exigência de uma redução de perdas de curvatura, três tipos de soluções foram propostos na técnica anterior.

15 Uma primeira solução encontrada na técnica anterior consiste na produção de fibras de índice de degrau convencionais com um diâmetro de campo modal reduzido. As perdas de curvatura são de fato reduzidas ao se diminuir o valor MAC em função da redução do diâmetro de campo modal, e o caráter de modo único é limitado a um comprimento de onda de corte de
20 cabo que permanece menor que 1260 nm. No entanto, estas fibras apresentam significantes perdas de acoplamento e não se adaptam às aplicações de fibra FTTH descritas acima.

A publicação do documento de I. Sakabe et al., "Enhanced Bending Loss Insensitive Fiber and New Cables for CWDM Access Networks",
25 IWCS Procedimento 53°, páginas 112-118 (2004), sugere a redução do diâmetro de campo modal da fibra a fim de reduzir as perdas de curvatura. Esta redução do diâmetro de campo modal, no entanto, fica fora do padrão G.652.

A publicação do documento de T. Yokokawa et al., "Ultra-low
30 Loss and Bend insensitive Pure-silica-core Fiber Complying with G.652 C/D e its Applications to a Loose Tube Cable", IWCS Procedimento 53°, páginas 150-155 (2004), propõe uma fibra de núcleo de sílica pura (PSCF) tendo

perdas de transmissão e curvatura reduzidas, mas com um diâmetro de campo modal reduzido, o que fica fora do padrão G.652.

Uma segunda solução encontrada na técnica anterior consiste na produção de fibras de índice de degrau com uma seção rebaixada; isto é, um núcleo central, um revestimento (casca) intermediário e um revestimento (casca) rebaixado. Com tal estrutura, torna-se possível de fato reduzir as perdas de curvatura com um valor MAC constante para pequenos raios de curvatura, tipicamente 10 mm.

As publicações de S. Matsuo et al., "Low-bending-loss and low-splice-loss single-mode fibers employing a trench index profile", Journal of Lightwave Technology, Volume 23 N. 11, páginas 3494-3499 (2005) and of K. Himero et al., "low-bending-loss single mode fibers for fiber-to-the home", Journal of Lightware Technology, volume 23, , propõem tais estruturas de fibra com seção rebaixada a fim de reduzir as perdas de curvatura.

Agora, as análises conduzidas pela requerente mostraram que se as perdas de curvatura puderem ser substancialmente aperfeiçoadas com um perfil de fibra com seções rebaixadas, tal perfil também provoca um aumento no comprimento de onda de corte efetivo pela ocorrência de modos de vazamento resistentes que principalmente se propagam no revestimento (casca) intermediário e na seção rebaixada.

Esta observação, portanto, requer que as fibras tendo um valor MAC menor que 7,9 a 1550 nm sejam selecionadas a fim de compensar o fato de que o comprimento de onda de corte efetivo é muito maior que o esperado, ao mesmo tempo garantindo perdas de curvatura a 1625 nm menores que 0.1 dB/volta para um enrolamento com um raio de 15 mm; enquanto para uma fibra SSMF, é suficiente selecionar fibras com um valor MAC menor que 8,1 a 1550 nm a fim de garantir perdas menores que 0.1 dB/volta a 1625 nm para um raio de curvatura de 15 mm (a partir dos resultados da figura 1). O rendimento de fabricação para tais fibras de índice de degrau com uma seção rebaixada é portanto reduzido.

Uma terceira solução encontrada na técnica anterior consiste na produção de fibras de índice de degrau auxiliadas com furo.

A publicação de K. Bandou et al., "Development of Premise Optical Wiring Components Using Hole-Assisted Fiber", IWCS Procedimento 53, páginas 119-122 (2004), propõe uma fibra com furos, cuja fibra possui as características óticas de uma fibra SSMF de índice de degrau com reduzidas perdas de curvatura.

Tais fibras de índice de degrau auxiliadas com furos para a redução das perdas de curvatura foram também descritas nas publicações de T. Hasegawa et al., "Bend-insensitive single-mode holey fiber with SMF-compatibility for optical wiring applications", em Proceedings ECOC'03, documento We2.7.3, Rimini, Itália (2003), de D. Nishioka et al., "Development of holey fiber supporting extra-small diameter bending", SEI Technical Review, N. 58, páginas 42-47, (2004); de K. Miyake et al., "Bend resistant photonic crystal fiber compatible with conventional single mode fiber", in Proceedings ECOC'04, documento MO3.3.4, Estocolmo, Suécia, (2004); de Y. Tsuchida et al., "Design and characterization of single-mode holey fibers with low bending losses", Optics Express, Volume 13, N. 12, páginas 4470-4479, (2005), de K. Ohsono et al., "High performance optical fibers for next generation transmission systems", Hitachi Cable Review, N. 22, páginas 1-5, (2003); de K. Nakajima et al., "Hole-assisted fiber design for small bending and splice loss", IEEE Photonics Technology Letters, Volume 15, N. 12, páginas 1737-1739, (2003); de K. Ieda et al., "Transmission characteristics of a hole-assisted fiber cord for flexible optical wiring", Proceedings 54th IWCS, páginas 63-68 (2005); de N. Guan et al., "Hole-assisted single mode fibers for low bending loss", in Proceedings ECOC'04, documento Mo3.3.5., Estocolmo, Suécia (2004), e de K. Himeno et al., "Low-bending-loss single-mode fibers for fiber-to-the-home", Journal of Lightwave Technology, Volume 23, N. 11, páginas 3494-3499, (2005).

O custo de fabricação de tal fibra e os níveis de atenuação presentemente altos ($> 0,25$ dB/km) tornam a mesma difícil de ser utilizada comercialmente nos sistemas de fibra FTTH ou FTTC. Além disso, com estas fibras, é simplesmente impossível se obter as características óticas recomendadas pelo padrão G.652, especialmente em termos de uma dispersão

cromática.

Portanto, há a necessidade de uma fibra de transmissão com a qual seja possível se atender aos critérios do padrão G.652, isto é, que seja comercialmente utilizável nos sistemas de transmissão das fibras do tipo FTTH ou FTTC, e que tenha reduzidas perdas de curvatura e de microcurvatura. Em particular, existe a necessidade por uma fibra que tenha perdas reduzidas para um raio de curvatura de 15 mm e também para um raio de curvatura tão pequeno quanto 7.5 mm. Com efeito, nas aplicações de fibra FTTH, os comprimentos excessivos de fibras são de modo geral enrolados em caixas de armazenamento cada vez miniaturizadas; além disso, a fibra ficará sujeita a significativas tensões de curvatura relacionadas ao ambiente de sua instalação.

Para este fim, a presente invenção propõe uma fibra ótica tendo um perfil de índice de degrau particular, com uma primeira seção altamente rebaixada e uma segunda seção pouco rebaixada.

Com tal estrutura, é possível se reduzir efetivamente as perdas de curvatura a um valor MAC constante, ao mesmo tempo minimizando muito os modos de vazamento de uma ordem maior. Desta maneira, diferente das fibras da técnica anterior que têm uma estrutura de índice de degrau com uma seção rebaixada, a fibra da presente invenção tem um comprimento de onda de corte de cabo que permanece menor que 1260 mm. A fibra da presente invenção, portanto, atende ao padrão G.652.

Mais particularmente, a presente invenção propõe uma fibra de transmissão ótica compreendendo:

- um núcleo central tendo uma diferença de índice Dn_1 com um revestimento ótico externo;
- um primeiro revestimento intermediário interno tendo uma diferença de índice Dn_2 com o revestimento ótico externo;
- um primeiro revestimento interno rebaixado tendo uma diferença de índice Dn_3 com o revestimento ótico externo menor que ou igual a -5.10^{-3} ;
- um segundo revestimento intermediário interno tendo uma dife-

rença de índice Dn_4 com o revestimento ótico externo;

- um segundo revestimento rebaixado tendo uma diferença de índice Dn_5 com o revestimento interno ótico externo o qual é inferior, em valor absoluto, à diferença de índice Dn_3 do primeiro revestimento interno rebaixado com o revestimento ótico externo;

- a fibra ótica tendo um comprimento de onda de 1625 nm, perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,1 dB/10 voltas para um raio de curvatura de 15 mm e perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,5 dB/volta para um raio de curvatura de 7,5 mm.

De acordo com as modalidades, a fibra da presente invenção pode compreender uma ou mais dentre as seguintes características:

- uma diferença de índice entre o segundo revestimento interno rebaixado e o revestimento ótico externo está entre $-0.3 \cdot 10^{-3}$ e $-3 \cdot 10^{-3}$;

- uma diferença de índice entre o núcleo central e o primeiro revestimento intermediário interno está entre $4.5 \cdot 10^{-3}$ e $6.0 \cdot 10^{-3}$;

- o núcleo central tem um raio dentre 3.5 μm e 4.5 μm para uma diferença de índice com o revestimento interno rebaixado e o revestimento ótico externo está entre $-5.0 \cdot 10^{-3}$ e $5.6 \cdot 10^{-3}$;

- o primeiro revestimento intermediário interno tem um raio entre 9 μm e 12 μm ;

- o primeiro revestimento interno rebaixado tem um raio entre 14 μm e 16 μm ;

- o segundo revestimento intermediário interno tendo uma diferença de índice substancialmente zero com o revestimento ótico externo;

- o segundo revestimento intermediário interno tem um raio entre 18 μm e 20 μm ;

- o segundo revestimento interno rebaixado tem um raio entre 25 μm e 40 μm ;

- perdas de curvatura menores que ou iguais a 0.1 dB/100 voltas para um raio de curvatura de 20 mm, no comprimento de onda de 1625 nm;

- perdas de curvatura menores que ou iguais a 1 dB/volta para um raio de curvatura de 5 mm, no comprimento de onda de 1625 nm;

- - perdas de microcurvatura, de acordo com o chamado método do tambor de diâmetro fixo ("touret à diamètre fixe" em francês) menores que ou iguais a 0.8 dB/Km até um comprimento de onda de 1625 nm;

5 - um comprimento de onda de corte de cabo menor que ou igual a 1260 nm;

- um diâmetro de campo modal entre 8,6 μm e 9,5 μm para um comprimento de onda de 1310 nm;

10 - uma razão (de valor MAC) do diâmetro de campo modal da fibra a 1550 nm pelo comprimento de onda de corte efetivo λ_{ceff} menor que 8,2;

- um comprimento de onda de dispersão cromática zero (λ_0 entre 1300 nm e 1324 nm) com uma inclinação de dispersão cromática inferior ou igual a 0.092 ps/nm²/km neste comprimento de onda.

A presente invenção também se refere a um módulo ótico incluindo um alojamento no qual é enrolada pelo menos uma porção de fibra de acordo com a presente invenção; assim como também a uma caixa de armazenamento na qual é enrolada pelo menos uma porção de fibra de acordo com a presente invenção.

20 De acordo com algumas modalidades, a fibra é enrolada com um raio de curvatura menor que 15 mm, e/ou com um raio de curvatura menor que 7.5 mm.

A presente invenção também se refere a um sistema ótico de Fibra até a Casa (FTTH) ou de Fibra até a Calçada (FTTC) compreendendo pelo menos um módulo ótico ou uma caixa de armazenamento de acordo com a presente invenção.

25 Outros aspectos e vantagens da presente invenção tornar-se-ão aparentes após a leitura da descrição que se segue, de modalidades da presente invenção, dadas a guisa de exemplo e com referência aos desenhos em anexo, nos quais:

30 A figura 1, descrita anteriormente, mostra um gráfico ilustrando as perdas de curvatura no comprimento de onda de 1625 nm com um raio de curvatura de 15 mm em uma fibra de índice de degrau padrão versus o

valor MAC no comprimento de onda de 1550 nm;

A figura 2 mostra uma ilustração de gráfico do perfil definido de uma fibra de índice de degrau de acordo com uma modalidade da presente invenção;

5 A figura 3 mostra gráficos ilustrando as perdas de curvatura no comprimento de onda de 1625 nm versus o raio de curvatura para uma fibra SSMF de índice de degrau, para uma outra fibra da técnica anterior e para uma fibra de acordo com a presente invenção.

10 A fibra da presente invenção tem um núcleo central, um primeiro revestimento intermediário interno e um primeiro revestimento interno rebaixado. A fibra tem ainda um segundo revestimento intermediário interno e um segundo revestimento interno rebaixado. Por revestimento interior rebaixado entenda-se que uma porção radial da fibra tem um índice refrativo menor que o índice do revestimento externo. O primeiro revestimento interno rebaixado tem uma forte diferença de índice com o revestimento ótico externo, sendo menor que -5.10^{-3} e que pode atingir -15.10^{-3} . O segundo revestimen-

15 to rebaixado tem uma diferença de índice menor com o revestimento externo do que o primeiro revestimento interno rebaixado, que é de preferência dentre $-0.3.10^{-3}$ e -3.10^{-3} .

20 A figura 2 ilustra um perfil de índice para uma fibra de transmissão de acordo com a presente invenção. O perfil ilustrado é um perfil definido, isto é, um representativo do perfil teórico da fibra, a fibra em questão obtida após o esticamento de fibra de uma pré-forma pode ter um perfil substancialmente diferente.

25 A fibra de transmissão de índice de degrau de acordo com a presente invenção compreende um núcleo central tendo uma diferença de índice Dn_1 , com um revestimento externo, atuando como um revestimento ótico; um primeiro revestimento intermediário interno tendo uma diferença de índice Dn_2 , com o revestimento externo; um primeiro revestimento ótico interno rebaixado tendo uma diferença de índice Dn_3 , com o revestimento ex-

30 terno; um segundo revestimento intermediário interno tendo uma diferença de índice Dn_4 , com o revestimento ótico externo e um segundo revestimento

interno rebaixado tendo uma diferença de índice Dn_5 , com o revestimento externo. A diferença de índice Dn_6 é um valor absoluto inferior à diferença de índice Dn_3 . Os índices refrativos no núcleo central, nos primeiro e segundo revestimentos de aço inoxidável internos rebaixados e no primeiro e segundo revestimentos de aço inoxidável internos intermediários, são substancialmente constantes por toda a sua largura. O perfil definido é uma fibra de índice de degrau. A largura do núcleo é definida pelo seu raio r_1 e a largura dos revestimentos de aço inoxidável é definida pelos seus respectivos raios externos r_2 - r_5 .

A fim de definir um perfil de índice definido para uma fibra ótica, o valor do índice do revestimento externo é de modo geral tomado como uma referência. A figura 2 mostra apenas uma pequena parte do revestimento ótico externo e pretende-se que seja uma ilustração esquemática das diferenças de índice no núcleo. O revestimento ótico externo de um índice substancialmente constante se estica para fora até o lado externo da fibra ótica, ou seja, não há outro revestimento ótico tendo índices refrativos diferentes fora do revestimento ótico externo. Os valores de índice para o núcleo central, para os revestimentos de aço inoxidável internos rebaixados e para os revestimentos de aço inoxidável intermediários são em seguida mostrados como as diferenças de índice $Dn_{1,2,3,4,5}$. De modo geral, o revestimento ótico externo consiste em sílica, mas este revestimento pode ser dopado a fim de aumentar ou reduzir o seu índice refrativo, por exemplo, a fim de mudar as características de propagação do sinal.

A tabela abaixo oferece os valores limites preferidos para os raios e as diferenças de índice que permitem que um perfil de fibra seja obtido de modo que a fibra apresente perdas de curvatura reduzidas, ao mesmo tempo atendendo aos critérios de propagação ótica do padrão G.652 para fibras de transmissão. Os valores da tabela correspondem aos perfis de fibra definidos.

	r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	r_4 (μm)	r_5 (μm)	Dn_1 ($\cdot 10^{-3}$)	$Dn_1 - Dn_2$ ($\cdot 10^{-3}$)	Dn_3 ($\cdot 10^{-3}$)	Dn_5 ($\cdot 10^{-3}$)
min	35	9.0	14.0	18.0	25.0	5.0	4.5	-5	-0.3
Max	4.5	12.0	16.0	20.0	40.0	5.6	6.0	-15	-3

A presença do segundo revestimento interno rebaixado (r_5 , Dn_5) que é menos rebaixado que o primeiro revestimento interno rebaixado provê uma limitação da presença dos modos de vazamento capazes de se propagarem ao longo da fibra e que induzem um aumento no comprimento de onda de corte efetivo. Pela presença do primeiro revestimento intermediário interno (r_2 , Dn_2), torna-se possível se garantir o confinamento apropriado do sinal de único modo no núcleo central no sentido de limitar um diâmetro de campo modal compatível com o padrão G.652. Pela presença do primeiro revestimento interno profundamente rebaixado (r_3 , Dn_3), as perdas de curvatura podem ser ainda mais reduzidas.

A fibra de transmissão de acordo com a presente invenção tendo um perfil de índice como o descrito acima tem reduzidas perdas de curvatura nos comprimentos de onda de uso. Em particular, a fibra de acordo com a presente invenção tem, para um comprimento de onda de 1625 nm, perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,1 dB para um enrolamento de 100 voltas em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 20 mm; perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,1 dB para um enrolamento de 10 voltas em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 15 mm; perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,2 dB para um enrolamento de 1 volta em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 10 mm; perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,5 dB para um enrolamento de 1 volta em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 7,5 mm; perdas de curvatura menores que ou iguais a 1 dB para um enrolamento de 1 volta em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 5 mm. A fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura ainda menores no comprimento de onda de 1550 nm. Em particular, a fibra de acordo com a presente invenção tem, para um comprimento de onda de 1550 nm, perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,02 dB para um enrolamento de 10 voltas em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 15 mm; perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,05 dB para um enrolamento de 1 volta em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 10 mm; perdas de curvatura menores que ou iguais a 0,2 dB para um enrolamento de 1 volta

Atividade 1

PULO NA SEQUENCIA NUMÉRICA

Da página 43 pula para a página 52

Os erros nas numerações, não afetam e ordem da documentação.

em torno de uma bobina com um raio de curvatura de 7,5 mm.

Além disso, a fibra de acordo com a presente invenção tem ainda perdas de microcurvatura reduzidas em comparação a uma fibra SSMF. As perdas de microcurvatura podem ser estimadas com um teste, um assim

5 chamado teste de grade (10 agulhas de 1,5 mm) no comprimento de onda de 1550 nm. Neste teste, é usada uma grade formada com 10 agulhas polidas com um diâmetro de 1,5 mm, espaçadas entre si em 1 cm. A fibra passa através da grade por duas passagens, no sentido ortogonal para o eixo geométrico das agulhas. A fibra e a grade são prensadas entre duas chapas

10 rígidas cobertas com uma camada de cerca de 3 mm de espuma de polietileno de alta densidade. As camadas da montagem (chapas, grades, fibra) são posicionadas horizontalmente e o todo é coberto com um peso de 250 g. Com este teste, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de microcurvatura menores que ou iguais a 0,025 dB a 1550 nm. As perdas de

15 microcurvatura podem ser também estimadas pelo assim chamado método de tambor de diâmetro fixo no comprimento de onda 1625 nm. Este método é descrito na recomendação técnica da Comissão Internacional Eletrotécnica do sub-comitê 86A sob a referência IEC TR-62221. O diâmetro do tambor usado é de 60 cm, o tambor é coberto com um papel de areia extra

20 fino. Com este método, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de microcurvaturas menores que ou igual a 0,8 dB/km a 1625 nm.

Além disso, a fibra da presente invenção atende aos critérios do padrão G.652.

Em particular, a mesma tem um comprimento de onda de corte efetivo λ_{ceff} menor que 1330 nm de modo que o comprimento de onda de corte de cabo λ_{cc} é menor que 1260 nm, de acordo com o padrão G.652. A fibra de acordo com a presente invenção tem ainda um diâmetro MFD para um comprimento de onda de 1310 nm, entre 8,6 μm e 9,5 μm .

A fibra da a presente invenção pode ter ainda uma razão MAC

30 variando até 8,2; o rendimento para a fabricação da fibra de acordo com a presente invenção é, portanto, melhor, uma vez que não existe nenhuma obrigação de selecionar fibras exclusivamente com um valor MAC menor

que 7,9.

O gráfico da figura 3 ilustra as perdas de curvatura a 1625 nm versus o raio de curvatura para uma fibra SMMF, para uma fibra idêntica de acordo com a presente invenção, mas sem a segunda seção rebaixada e para duas fibras de acordo com a presente invenção.

Uma primeira curva (3A) mostra as perdas de curvatura de uma fibra SSMF de índice de degrau. Esta fibra tem um valor MAC de 8,1. Nota-se que para raios de curvatura pequenos menores que 7,5 mm, as perdas de curvatura aumentam consideravelmente e o excesso do valor de 1 DB para um enrolamento de 1 volta. Esta fibra convencional, geralmente usada para transmissões de longa distância, é, portanto, não muito adequada para uma aplicação de fibra FTTH ou FTTC, uma vez que a mesma não precisa ser enrolada em uma caixa de miniatura de um módulo ótico, nem se submeter a possíveis curvaturas acidentais relacionadas à instalação sem indução de fortes perdas óticas.

Uma segunda curva (3B) mostra as perdas de curvatura de uma fibra similar à presente invenção mas sem nenhuma segunda seção rebaixada. Esta fibra tem um valor MAC de 8,2 e atende aos critérios do padrão G.652. Nota-se que para raios de curvatura pequenos, menores que 7,5 mm, as perdas de curvatura são menores que 1 dB/volta. Por outro lado, as perdas de curvatura permanecem relativamente significativas para os raios de curvatura maiores. Sendo assim, a fibra tem perdas de curvatura da ordem de 0,5 dB para um enrolamento de 10 voltas em torno de uma bobina com raio igual a 20 mm e da ordem 04 dB para um enrolamento de 100 voltas em torno de uma bobina com um raio igual a 20 mm. Estes valores de perda de curvatura para os raios de curvatura de 15 mm e de 20 mm não permitem que esta fibra seja usada em caixas de armazenamento com estes raios de enrolamento.

Uma terceira curva (3C) mostra as perdas de curvatura de uma fibra de acordo com a presente invenção. A fibra correspondente a esta curva tem um valor MAC de 8,2 e atende aos critérios do padrão G.652. Nota-se que para raios de curvatura pequenos, menores que 7,5 mm, as perdas

de curvatura são da ordem de 0.4 dB/volta, menores que o valor máximo preferido de 0,5 dB/volta; e para um raio de curvatura de 10 mm, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura da ordem de 0.2 dB/volta, isto é, o valor limitador superior alvo. Ainda, para raios de curvatura maiores, as perdas de curvatura permanecem limitadas; sendo assim, para um raio de curvatura de 15 mm, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura da ordem de 0,04 dB/ 10 voltas, menores que o valor máximo preferido de 0,1 dB/10 voltas; e para um raio de curvatura de 20 mm, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura da ordem 0.03 dB/100 voltas, menores que o valor máximo preferido de 0,1 dB/100 voltas.

Uma quarta curva (3D) mostra as perdas de curvatura de uma outra fibra de acordo com a presente invenção. A fibra correspondente a esta curva tem um valor MAC de 8,1 e atende aos critérios do padrão G.652. Nota-se que para raios de curvatura pequenos, menores que 7,5 mm, as perdas de curvatura são da ordem de 0,1 dB/volta, menores que o valor máximo preferido de 0,5 dB/volta; e para um raio de curvatura de 10 mm, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura da ordem de 0,07 dB/volta, menor que o valor máximo preferido de 0,2 dB/volta. Ainda, para raios de curvatura maiores, as perdas de curvatura permanecem limitadas; sendo assim, para um raio de curvatura de 15 mm, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura da ordem de 0,04 dB/ 10 voltas, menores que o valor máximo preferido de 0.1 dB/10 voltas; e para um raio de curvatura de 20 mm, a fibra de acordo com a presente invenção tem perdas de curvatura da ordem 0.01 dB/100 voltas, menores que o valor máximo preferido de 0.01 dB/100 voltas.

A fibra de transmissão de acordo com a presente invenção pode ser feita pelo arrasto da fibra de uma pré-forma que procura um perfil de índice como descrito acima. De um modo conhecido, por si só uma fibra é produzida esticando-se a pr-eforma numa torre de esticamento de fibra. Uma pré-forma, por exemplo, compreende uma pré-forma que consiste em um tubo de vidro de qualidade muito alta, constituindo uma porção do revesti-

mento (casca) e núcleo da fibra. Esta pré-forma primária é em seguida recarregada ou enluvada a fim de aumentar o seu diâmetro e formar uma pré-forma que possa ser usada em uma torre de arrasto de fibra. A operação de arrasto de fibra escalada consiste na colocação da pré-forma verticalmente em uma torre e do arrasto de um fio de fibra a partir da extremidade da pré-forma. Para isto, é aplicada localmente uma alta temperatura em uma extremidade da pré-forma até que a sílica amoleça, a proporção de arrasto de fibra e a temperatura são então permanentemente monitoradas durante o arrasto da fibra, uma vez que as mesmas determinam o diâmetro da fibra. A geometria da pré-forma deve observar perfeitamente as razões dos índices refrativos e dos diâmetros do revestimento e do núcleo da fibra de modo a fibra esticada tenha o perfil requerido.

A deposição de componente no tubo é geralmente referida pela expressão "dopagem", isto é, "impurezas" são adicionadas à sílica a fim de mudar o seu índice refrativo. Sendo assim, o germânio (Ge) ou o fósforo (P) aumentam o índice refrativo da sílica; os mesmos são freqüentemente usados para a dopagem do núcleo central da fibra. Além disso, o flúor (F) ou o boro (B) diminuem o índice refrativo da sílica, o flúor sendo freqüentemente usado para formar revestimentos (cascas) rebaixados.

A produção de uma pré-forma com um revestimento altamente rebaixado é uma operação delicada. Com efeito, o flúor é fracamente incorporado na sílica aquecida além de uma certa temperatura, enquanto se requer uma alta temperatura para a produção de vidro.

Por meio do compromisso entre uma alta temperatura requerida para a produção de vidro, e uma baixa temperatura que promova a incorporação apropriada de flúor, não é possível se obter índices muito menores que os da sílica.

É preferido que a pré-forma da fibra de acordo com a presente invenção seja feita de acordo com uma técnica de deposição de vapor químico de plasma (PCVD), uma vez que as reações podem ser conduzidas a temperaturas menores que nas técnicas convencionais (CVD, VAD, OVD) por meio da ionização dos compostos de reação. Tal técnica de fabricação é

descrita nos documentos US RE 30 635 e US 4 314 833, e permite que o flúor seja significativamente incorporado na sílica a fim de formar revestimentos de aço inoxidável altamente rebaixados. No entanto, a pré-forma da fibra de acordo com a presente invenção pode também ser feito com técnicas de CVD, VAD, ou OVD.

Um tubo de sílica, pura ou levemente dopada com flúor, é provido e montado em um trinco de vidro. Uma mistura de vidro de precursores de formação de vidro sobre os quais pode ou não ser dopada é injetada no tubo. Um plasma gerado pelas microondas passa ao longo do tubo. No plasma, os precursores de formação de vidro são reagidos no vidro que é depositado sobre a superfície interna do tubo.

A alta reatividade dos dopantes, gerados pelo aquecimento por microondas, permite que uma alta concentração de dopantes seja incorporada nas camadas de sílica. Em particular, no caso do flúor, que é pouco incorporado na sílica com aquecimento local por meio de uma tocha de sopro, com PCVD, uma camada de sílica pode ser dopada com uma alta concentração de flúor a fim de produzir o primeiro revestimento altamente rebaixado (r_3 , Dn_3). O segundo revestimento levemente rebaixado (r_5 , Dn_5) pode também ser obtido por meio de uma deposição do tipo PCVD como o primeiro revestimento interno altamente rebaixado, ou pode ser obtido com o tubo de sílica em questão, levemente dopado com flúor, ou ainda pode ser feito durante a luva ou recarregamento da pré-forma, por exemplo, por meio do uso de um tubo de luva intermediário levemente fluorado ou ao se produzir uma porção de recarregamento com grãos de sílica levemente fluorados.

A fibra de transmissão de acordo com a presente invenção pode ser usada em um módulo de transmissão ou de recebimento em um sistema de fibra FTTH ou FTTC ou em um cabo de transmissão ótica de longa distância e alta proporção, com reduzidas perdas óticas. A fibra da presente invenção é compatível com os sistemas comercializados, uma vez que atende ao padrão G.652. Em particular, os comprimentos em excesso da fibra de acordo com a presente invenção podem ser enrolados em caixas de armazenamento associadas aos módulos óticos de sistemas de fibra FTTH ou

FTTC, a fibra de acordo com a presente invenção podendo ser enrolada com um raio de curvatura menor que 15 mm, ou ainda menor que 7,5 mm sem induzir fortes perdas óticas. A fibra de acordo com a presente invenção é igualmente muito adequada para suportar curvaturas acidentais relacionadas à sua instalação na residência de uma pessoa, com raios de curvatura de uma faixa menor que 5 mm.

Evidentemente, a presente invenção não se limita às modalidades descritas e aos usos descritos a guisa de exemplo. Em particular, a fibra de acordo com a presente invenção pode também ser usada em outras aplicações diferentes das fibras FTTH ou FTTC.

REIVINDICAÇÕES

1. FIBRA DE TRANSMISSÃO ÓTICA, caracterizada por compreender:

- um núcleo central tendo uma diferença de índice Dn_1 com um revestimento ótico externo, em que o núcleo central possui um raio r_1 compreendido entre 3,5 μm e 4,5 μm para uma diferença de índice com o revestimento ótico externo Dn_1 compreendido entre $5,0 \times 10^{-3}$ e $5,6 \times 10^{-3}$;
- um primeiro revestimento intermediário tendo uma diferença de índice Dn_2 com o revestimento ótico externo, em que o primeiro revestimento intermediário tem um raio r_2 compreendido entre 9 μm e 12 μm ;
- um primeiro revestimento rebaixado tendo uma diferença de índice Dn_3 com o revestimento ótico externo que está entre $-5 \cdot 10^{-3}$ e -95×10^{-3} , em que o primeiro revestimento rebaixado tem um raio r_3 , compreendido entre 14 μm e 16 μm ;
- um segundo revestimento intermediário tendo uma diferença de índice Dn_4 com o revestimento ótico externo;
- um segundo revestimento rebaixado tendo uma diferença de índice Dn_5 com o revestimento ótico externo que é inferior, em valor absoluto, à diferença de índice Dn_3 do primeiro revestimento rebaixado com o revestimento ótico externo, e em que a diferença de índice Dn_5 entre o segundo revestimento rebaixado e o revestimento ótico externo está compreendido entre $-0,3 \times 10^{-3}$ e -3×10^{-3} e em que o segundo revestimento rebaixado tem um raio r_5 compreendido entre 25 μm e 40 μm ;
- e
- em que a diferença de índice entre o núcleo central e o primeiro revestimento intermediário ($Dn_1 - Dn_2$) está compreendida entre $4,5 \times 10^{-3}$ e $6,0 \times 10^{-3}$;
- a fibra ótica tendo um comprimento de onda de corte de cabo inferior ou igual a 1260 nm e tendo, a um comprimento de onda de 1625 nm, perdas de curvatura inferiores ou iguais a 0,1 dB/10voltas para um raio de curvatura de 15 mm e perdas de curvatura inferiores ou igual a 0,5 dB/volta para um raio de curvatura de 7,5 mm.

2. FIBRA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo segundo revestimento intermediário ter uma diferença de índice aproximadamente zero Dn_4 com o revestimento ótico externo.

3. FIBRA, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizada pelo

segundo revestimento intermediário ter um raio r_4 compreendido entre 18 μm e 20 μm ,

4. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada por ter um comprimento de onda de 1625 nm, perdas de curvatura inferiores ou iguais a 0.1 dB/100volts para um raio de curvatura de 20 mm.

5. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada por ter um comprimento de onda de 1625 nm, perdas de curvatura inferiores ou iguais a 0.2 dB/Volta para um raio de curvatura de 10 mm.

6. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada por ter um comprimento de onda de 1625 nm, perdas de curvatura inferiores ou iguais a 1 dB/volta para um raio de curvatura de 5 mm.

7. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada por ter um comprimento de onda de até 1625 nm, perdas de microcurvatura de acordo com o método do tambor de diâmetro fixo inferior ou igual a 0,8 db/km.

8. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada por ter um comprimento de onda de 1310 nm, um diâmetro de campo modal (MFD) compreendido entre 8,6 μm e 9,5 μm .

9. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizada por ter uma relação (MAC) do diâmetro de campo modal a 1550 nm pelo comprimento de onda de corte efetivo λ_{eff} inferior a 8,2.

10. FIBRA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9 caracterizada por ter um comprimento de onda de dispersão cromática zero (λ_0) compreendido entre 1300 nm e 1324 nm com uma inclinação de dispersão cromática inferior ou igual a 0,092 ps/nm²/km no dito comprimento de onda.

11. MÓDULO ÓTICO, caracterizado por compreender um alojamento que recebe pelo menos uma porção enrolada da fibra conforme definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 10.

12. CAIXA DE ARMAZENAMENTO, caracterizada por receber pelo menos uma porção enrolada da fibra conforme definida em qualquer uma das reivindicações 1 a 10.

13. MÓDULO ÓTICO OU CAIXA DE ARMAZENAMENTO, conforme

definido na reivindicação 11 ou 12, caracterizado pela fibra ser enrolada com um raio de curvatura inferior a 15 mm.

14. MÓDULO ÓTICO OU CAIXA DE ARMAZENAMENTO, conforme definido na 11 ou 12, caracterizado pela fibra ser enrolada com um raio de curvatura inferior a 7,5 mm.

15. SISTEMA ÓTICO DE FIBRA ATÉ A CASA (FTTH) OU DE FIBRA ATÉ A CALÇADA (FTTC), caracterizado por compreender pelo menos um módulo ótico ou uma caixa de armazenamento conforme definido em qualquer uma das reivindicações 11 a 14.

1/2

FIG 1

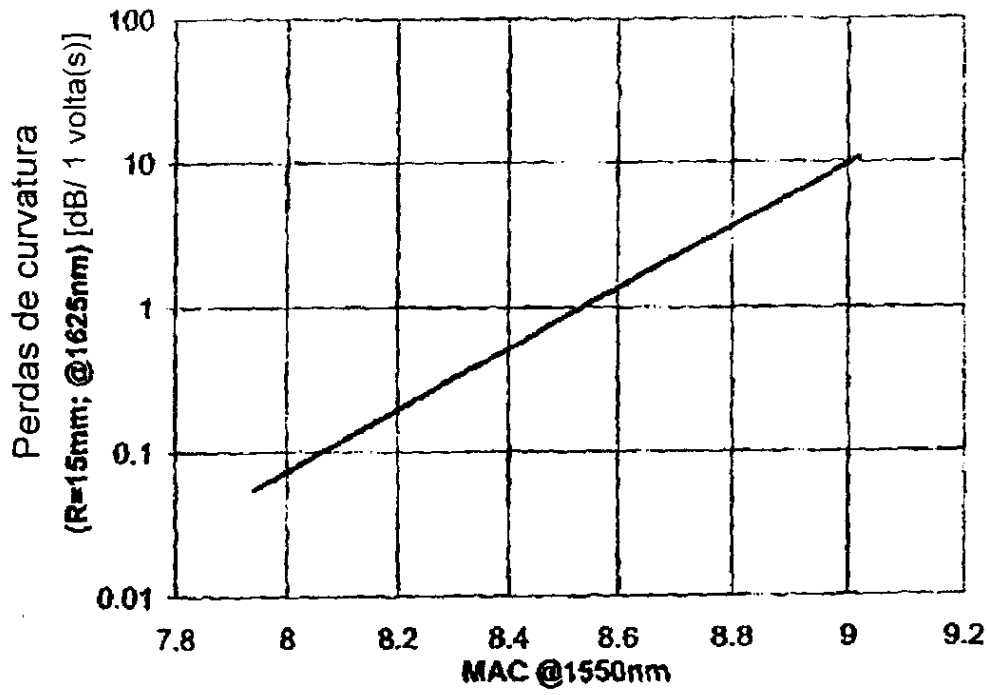
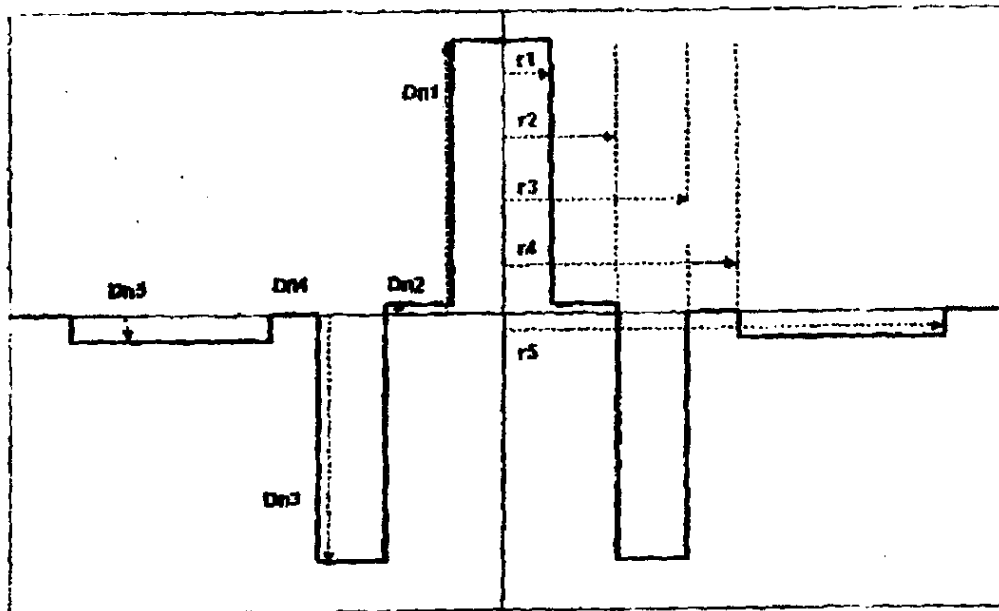


FIG 2



310

FIG 3

