

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: <b>2009.02.20</b>	(73) Titular(es): <b>SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.</b> <b>5-33 KITAHAMA 4-CHOME CHUO-KU OSAKA-</b> <b>SHI OSAKA 541-0041</b> JP
(30) Prioridade(s): <b>2008.02.22 JP 2008041821</b>	
(43) Data de publicação do pedido: <b>2010.04.14</b>	(72) Inventor(es): <b>TETSUYA NAKANISHI</b> JP <b>FUMIAKI SATOU</b> JP <b>KATSUYUKI AIHARA</b> JP <b>HIROSHI MIYANO</b> JP <b>TAKASHI SASAKI</b> JP
(45) Data e BPI da concessão: <b>2013.04.03</b> <b>086/2013</b>	(74) Mandatário: <b>MARIA SILVINA VIEIRA PEREIRA FERREIRA</b> <b>RUA CASTILHO, N.º 50, 5º - ANDAR 1269-163 LISBOA</b> PT

(54) Epígrafe: **CABO ÓTICO E CABO DE FIBRA ÓTICA**

(57) Resumo:

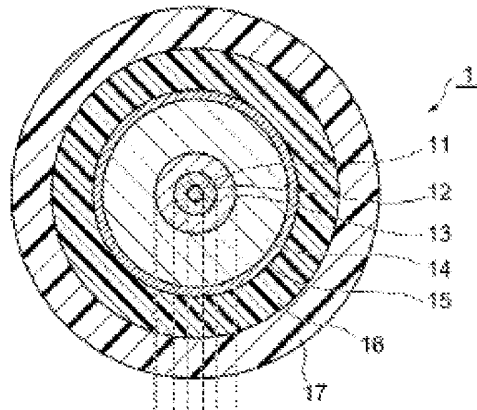
É FORNECIDA UMA FIBRA ÓTICA EM CONFORMIDADE COM A NORMA G.652, EM QUE A PERDA DE FLEXÃO É PEQUENA E A RUTURA DEVIDO A FLEXÃO ACIDENTAL NO MOMENTO DO TRABALHO DE COLOCAÇÃO PODE SER IMPEDIDA. UMA FIBRA ÓTICA (1) COMPREENDE UM NÚCLEO (11), UM PRIMEIRO REVESTIMENTO EXTERIOR (12), UM SEGUNDO REVESTIMENTO EXTERIOR (13) E UM TERCEIRO REVESTIMENTO EXTERIOR (14). A DIFERENÇA DE ÍNDICE RELATIVO  $\Delta n_1$  DO NÚCLEO (11) SITUA-SE ENTRE 0,3% E 0,38%, A DIFERENÇA DE ÍNDICE RELATIVO  $\Delta n_2$  DO PRIMEIRO REVESTIMENTO EXTERIOR (12) É DE 0% OU INFERIOR, E A DIFERENÇA DE ÍNDICE RELATIVO  $\Delta n_3$  DO SEGUNDO REVESTIMENTO EXTERIOR (13) SITUA-SE ENTRE -1,8% E -0,5%. O DIÂMETRO INTERIOR R2 E O DIÂMETRO EXTERIOR R3 DO SEGUNDO REVESTIMENTO EXTERIOR (13) CUMPREM UMA RELAÇÃO  $0,4R2 + 10,5 < R3 < 0,2R2 + 16$ , E O DIÂMETRO INTERIOR R2 DO SEGUNDO REVESTIMENTO EXTERIOR (13) É DE 8  $\mu$ M OU SUPERIOR. A PERDA DE FLEXÃO NUM RAIÓ DE CURVATURA DE 7,5 MM É INFERIOR A 0,1 DB/VOLTA PARA UM COMPRIMENTO DE ONDA DE 1550 NM, E A PERDA DE FLEXÃO NUM RAIÓ DE CURVATURA DE 4 MM É SUPERIOR A 0,1 DB/VOLTA PARA UM COMPRIMENTO DE ONDA DE 1625 NM.

## RESUMO

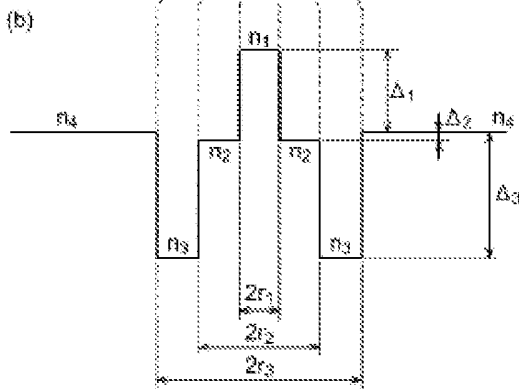
### "CABO ÓTICO E CABO DE FIBRA ÓTICA"

É fornecida uma fibra ótica em conformidade com a norma G.652, em que a perda de flexão é pequena e a rutura devido a flexão accidental no momento do trabalho de colocação pode ser impedida. Uma fibra ótica (1) compreende um núcleo (11), um primeiro revestimento exterior (12), um segundo revestimento exterior (13) e um terceiro revestimento exterior (14). A diferença de índice relativo  $\Delta_1$  do núcleo (11) situa-se entre 0,3% e 0,38%, a diferença de índice relativo  $\Delta_2$  do primeiro revestimento exterior (12) é de 0% ou inferior, e a diferença de índice relativo  $\Delta_3$  do segundo revestimento exterior (13) situa-se entre -1,8% e -0,5%. O diâmetro interior  $r_2$  e o diâmetro exterior  $r_3$  do segundo revestimento exterior (13) cumprem uma relação " $0,4r_2 + 10,5 < r_3 < 0,2r_2 + 16$ ", e o diâmetro interior  $r_2$  do segundo revestimento exterior (13) é de 8  $\mu\text{m}$  ou superior. A perda de flexão num raio de curvatura de 7,5 mm é inferior a 0,1 dB/volta para um comprimento de onda de 1550 nm, e a perda de flexão num raio de curvatura de 4 mm é superior a 0,1 dB/volta para um comprimento de onda de 1625 nm.

(a)



(b)



**DESCRIÇÃO**  
**"CABO ÓTICO E CABO DE FIBRA ÓTICA"**

Campo Técnico

A presente invenção refere-se a uma fibra ótica compatível com a norma G 652, e a um cabo ótico que inclui a fibra ótica.

Antecedentes da Técnica

A norma para fibras óticas monomodo, que são muitíssimo utilizadas para sistemas de transmissão ótica, foi estabelecida pela União Internacional das Telecomunicações (UIT) como a norma G 652. A norma G 652 define condições que têm de ser cumpridas pelas fibras óticas monomodo, incluindo os intervalos respetivos do diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1310 nm, o comprimento de onda de corte do cabo, o comprimento de onda de dispersão zero e a inclinação de dispersão no comprimento de onda de dispersão zero.

Relativamente aos sistemas de transmissão ótica, tal como FTTH (fiber to the home - fibra até casa), em que as fibras óticas são colocadas em habitações individuais, e FTTC (fiber to the curb - fibra até a calçada), em que as fibras óticas são colocadas em calçadas ou postes de eletricidade, os comprimentos em excesso das fibras óticas têm de ser devidamente manuseados. Para manusear devidamente um comprimento em excesso de uma fibra ótica, a porção do comprimento em excesso é enrolada e guardada numa caixa de arrumação. Neste momento, se a fibra ótica tiver uma perda de flexão pequena, a fibra ótica pode ser enrolada com um

diâmetro pequeno, de modo a poder ser utilizada uma caixa de arrumação pequena. Por conseguinte, é desejável que uma fibra ótica tenha uma perda de flexão pequena. A Publicação de Pedido de Patente Japonesa Não Verificada N.º 2007-140510 divulga uma fibra ótica que é compatível com a norma G 652 e capaz de reduzir consideravelmente a perda de flexão. Contudo, a rutura desta fibra ótica não é impedida quando a fibra ótica é dobrada acidentalmente durante a instalação ou outras operações.

O documento EP 1785754 A1 divulga uma fibra ótica que faz parte do âmbito da porção de caracterização prévia da reivindicação 1 abaixo. O documentos EP 0127227 A2 e US 4802733 A são úteis para compreender a contribuição para a técnica da presente invenção.

#### Resumo da Invenção

Um objetivo da presente invenção é fornecer uma fibra ótica que cumpra a norma G 652, tenha uma perda de flexão pequena num comprimento de onda da luz do sinal, e cuja rutura seja impedida quando a fibra ótica é dobrada acidentalmente durante a instalação ou outras operações. Outro objetivo da presente invenção é fornecer um cabo ótico que inclui a fibra ótica.

Para resolver o problema, é fornecida uma fibra ótica de acordo com a Reivindicação 1 abaixo.

O diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1310 nm pode situar-se entre 8,6  $\mu\text{m}$  e 9,2  $\mu\text{m}$ , e o diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1550 nm pode situar-se entre 9,6  $\mu\text{m}$  e 10,5  $\mu\text{m}$ . Além disso, uma camada revestida

com carbono pode ser disposta numa superfície de uma porção de vidro da fibra ótica.

De acordo com formas de realização particulares da presente invenção, são fornecidos um cabo ótico que inclui a fibra ótica de acordo com a presente invenção, um revestimento disposto em torno da fibra ótica, e Kevlar disposto entre a fibra ótica e o revestimento; um cabo ótico que inclui a fibra ótica de acordo com a presente invenção, e um revestimento disposto em torno da fibra ótica, mas que não inclui Kevlar, e com um diâmetro exterior inferior a 3 mm. É preferível que os aumentos de perda destes cabos óticos sejam inferiores a 0,1 dB/km num comprimento de onda de 1550 nm e a uma temperatura de -30 °C.

Além disso, são fornecidos um cabo ótico que inclui a fibra ótica de acordo com a presente invenção, um membro de tensão disposto paralelamente em relação à fibra ótica, e um revestimento que cobre a fibra ótica e o membro de tensão, em que uma ranhura é formada ao longo da fibra ótica numa superfície do revestimento; um cabo ótico que inclui a fibra ótica de acordo com a presente invenção, um revestimento que cobre a fibra ótica, em que o cabo ótico não inclui um membro de tensão, e uma ranhura formada ao longo da fibra ótica numa superfície do revestimento. É fornecido um cabo ótico que inclui uma diversidade das fibras óticas de acordo com a presente invenção, em que as diversas fibras óticas são dispostas paralelamente e cobertas na íntegra com resina, e um aumento de perda durante um acesso de amplitude média (*mid-span*) para uma operação de divisão de fios é inferior a 0,5 dB/km/s num comprimento de onda de 1550 nm. É fornecido um cabo ótico que inclui a fibra ótica ou uma diversidade das fibras

ópticas de acordo com a presente invenção, e um revestimento que cobre a fibra óptica ou as diversas fibras ópticas enroladas em espiral, em que o raio de curvatura da fibra óptica ou de cada uma das diversas fibras ópticas é igual ou inferior a 7,5 mm.

Além disso, são fornecidos um módulo óptico que armazena a fibra óptica de acordo com a presente invenção e um sistema de transmissão óptica que transmite a luz do sinal utilizando o cabo óptico de acordo com a presente invenção.

#### Descrição Breve das Figuras

Para compreender melhor a presente invenção e para mostrar como a mesma pode ser realizada, será agora feita referência, apenas como exemplo, às Figuras em anexo, nas quais é representado o indicado em seguida.

A Figura 1 ilustra uma fibra óptica de acordo com uma forma de realização da presente invenção, em que a secção (a) é uma vista em corte transversal da fibra óptica obtida ao longo de um plano perpendicular ao eixo da fibra, e a secção (b) é um diagrama conceptual que ilustra o perfil de índice de refração da fibra óptica.

A Figura 2 é uma tabela de atributos de fibras ópticas A a D, que são formas de realização da presente invenção, e atributos de fibras ópticas E a J, que são exemplos comparativos.

A Figura 3 é um gráfico que ilustra uma relação entre a diferença de índice de refração relativo de um segundo

revestimento exterior e a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm.

A Figura 4 é um gráfico que ilustra uma região em que a norma G 652 é cumprida e a perda de flexão é inferior a 0,1 dB/volta num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm, relativamente ao raio interior  $r_2$  e ao raio exterior  $r_3$  do segundo revestimento exterior.

A Figura 5 é um gráfico que ilustra uma relação entre a diferença de índice de refração relativo do segundo revestimento exterior e a perda de flexão num comprimento de onda de 1625 nm.

A Figura 6 é um gráfico que ilustra uma relação entre o raio de curvatura e a probabilidade de rutura  $F_s$ .

A Figura 7 é um gráfico que ilustra uma relação entre a razão  $(r_2/r_1)$  e o aumento de perda devido a OH num comprimento de onda de 1380 nm.

A Figura 8 é um histograma da perda de união por fusão quando as fibras óticas A e J são unidas por fusão às SMFs padrão.

A Figura 9 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico de um tipo de cabo solto de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 10 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico de um tipo de revestimento apertado de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 11 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico de um tipo de cabo ótico de derivação de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 12 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico de um tipo de cabo ótico de derivação de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 13 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico de um tipo de fibra de filamentos de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 14 é um diagrama conceptual que ilustra a forma como as fibras do cabo ótico ilustrado na Fig. 13 são divididas.

Na Fig. 15, a secção (a) é um diagrama conceptual de um cabo ótico de acordo com uma forma de realização da presente invenção, o cabo tendo uma estrutura de protecção helicoidal, e a secção (b) é um diagrama conceptual do cabo ótico do qual foi removido um revestimento.

A Figura 16 é uma vista em perspectiva de um cabo ótico (cabo ótico enrolado) de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 17 é uma vista em perspectiva de um cabo ótico (cabo ótico enrolado) de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 18 é um diagrama conceptual de um módulo ótico de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

A Figura 19 é um diagrama conceptual de um sistema de transmissão ótica de acordo com uma forma de realização da presente invenção.

#### Descrição Detalhada

Em seguida, as formas de realização da presente invenção são descritas relativamente às figuras. As figuras, que são fornecidas apenas para fins explicativos, não limitam o âmbito da invenção. Nas figuras, os mesmos números representam as mesmas partes, de modo a evitar uma descrição redundante. Nas figuras, as proporções não são necessariamente desenhadas à escala.

A Figura 1 ilustra uma fibra ótica 1 de acordo com uma forma de realização da presente invenção, em que a secção (a) é uma vista em corte transversal da fibra ótica 1 obtida ao longo de um plano perpendicular ao eixo da fibra, e a secção (b) é um diagrama conceptual que ilustra o perfil de índice de refração da fibra ótica 1. A fibra ótica inclui, como a respetiva porção de vidro, um núcleo 11, um primeiro revestimento exterior 12, um segundo revestimento exterior 13 e um terceiro revestimento exterior 14. Uma camada revestida com carbono 15 é disposta numa superfície da porção de vidro. Uma camada de resina primária 16 e uma camada de resina secundária 17 são dispostas em torno da camada revestida com carbono por esta ordem. A Figura 1 ilustra um perfil de índice de refração com uma estrutura simples, na qual cada secção da fibra ótica 1 tem um índice de refração constante. Contudo, os peritos na técnica podem imaginar facilmente estruturas semelhantes (por exemplo, uma estrutura na qual o índice de

refração em cada secção é inclinado ou tem oscilações devido a um método de fabrico).

O núcleo 11 tem um raio  $r_1$  e um índice de refração  $n_1$ . O primeiro revestimento exterior 12, que circunda o núcleo 11, tem um raio interior  $r_1$ , um raio exterior  $r_2$  e um índice de refração  $n_2$  inferior ao índice de refração  $n_1$ . O segundo revestimento exterior 13, que circunda o primeiro revestimento exterior 12, tem um raio interior  $r_2$ , um raio exterior  $r_3$  e um índice de refração  $n_3$  inferior ao índice de refração  $n_2$ . O terceiro revestimento exterior 14, que circunda o segundo revestimento exterior 13, tem um raio interior  $r_3$  e um índice de refração  $n_4$  superior ao índice de refração  $n_3$ . Relativamente à fibra ótica 1, os valores dos raios  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ , etc. são determinados pelas posições nas quais o índice de refração muda mais. Contudo, para uma forma de realização de uma fibra ótica com um perfil ligeiramente inclinado, os valores dos raios podem ser determinados como os de um perfil tipo degrau óticamente equivalente.

Nesta descrição, a diferença de índice de refração relativo  $\Delta$  de uma porção com um índice de refração  $n$  é expressada em relação ao índice de refração  $n_4$  do terceiro revestimento exterior 14 como

$$\Delta = \frac{n - n_4}{n_4}.$$

Relativamente à fibra ótica 1, a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_1$  do núcleo 11 situa-se entre 0,3% e 0,38%, a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_2$  do

primeiro revestimento exterior 12 situa-se entre  $-0,3\%$  e  $0,2\%$ , e a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  do segundo revestimento exterior 13 situa-se entre  $-1,8\%$  e  $-0,5\%$ .

Relativamente à fibra ótica 1, o raio interior  $r_2$  e o raio exterior  $r_3$  do segundo revestimento exterior 13 cumprem a expressão

$$0,4r_2 + 10,5 < r_3 < 0,2r_2 + 16,$$

em que o raio interior  $r_2$  do segundo revestimento exterior 13 é igual ou superior a  $8 \mu\text{m}$ . Além disso, para a fibra ótica 1, a perda de flexão num comprimento de onda de  $1550 \text{ nm}$  e num raio de curvatura de  $7,5 \text{ mm}$  é inferior a  $0,1 \text{ dB/volta}$ ; e a perda de flexão num comprimento de onda de  $1625 \text{ nm}$ , que é o comprimento de onda da luz de controlo de um sistema de transmissão ótica, e num raio de curvatura de  $4 \text{ mm}$  é superior a  $0,1 \text{ dB/volta}$ .

Existem três métodos de fabrico do segundo revestimento exterior 13, o método incluindo: um primeiro método, em que uma haste de núcleo, incluindo o núcleo e um primeiro revestimento exterior, é colocada através do método de deposição externa de vapor (OVD - outside vapor deposition) e sinterizada numa atmosfera de  $\text{SiF}_4$ ; um segundo método, em que as partículas  $\text{SiO}_2$ , para as quais o flúor foi adulterado, são pulverizadas diretamente numa haste de núcleo através de deposição externa de vapor por plasma; e um terceiro método, em que é efetuado um processo de haste no tubo (*rod-in-tube*) utilizando um tubo de vidro para o qual o flúor foi adulterado com uma concentração predeterminada. Em geral, de acordo com o primeiro método,

o  $\text{SiO}_2$  com flúor adulterado obtido tem uma concentração de OH baixa, mas a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  só é alcançável num intervalo igual ou superior a  $-0,75\%$ . Por outro lado, de acordo com o segundo método, a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  pode ser alcançável num intervalo igual ou superior a  $-2\%$ .

Se a camada revestida com carbono 15 não for disposta numa superfície da porção de vidro, o coeficiente estático de fadiga  $n$  situa-se entre 20 e 25. Ao dispor a camada revestida com carbono 15 numa superfície da porção de vidro, o coeficiente estático de fadiga  $n$  pode ser superior a 30. Deste modo, mesmo quando o raio de curvatura é pequeno, é garantida uma fiabilidade de longo prazo.

A camada de resina primária 16 e a camada de resina secundária 17 são conforme descrito abaixo. É preferível que a camada de resina primária 16 tenha um módulo de Young inferior a  $1,1 \text{ MPa}$  e a camada de resina secundária 17 tenha um módulo de Young superior a  $600 \text{ MPa}$ . Deste modo, é possível obter características de microflexão superiores às das SMFs (Single-Mode Fibers - Fibras Monomodo) padrão, e um aumento de perda, que ocorre temporariamente durante a instalação, pode ser significativamente suprimido.

A Figura 2 é uma tabela de atributos de fibras óticas A a D, que são formas de realização da presente invenção, e atributos de fibras óticas E a J, que são exemplos comparativos. A tabela mostra, da esquerda para a direita, o raio  $r_1$  do núcleo 11, o raio exterior  $r_2$  do primeiro revestimento exterior 12, o raio exterior  $r_3$  do segundo revestimento exterior 13, a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_1$  do núcleo 11, a diferença de índice de refração

relativo  $\Delta_2$  do primeiro revestimento exterior 12, e a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  do segundo revestimento exterior 13. Além disso, a tabela mostra a perda de flexão num comprimento de onda de 1625 nm e num raio de curvatura de 4 mm, a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 5 mm, a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm, a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 10 mm, o diâmetro modal de campo (MFD - mode field diameter) em 1310 nm, o comprimento de onda de corte do cabo  $\lambda_{cc}$ , a inclinação de dispersão no comprimento de onda de dispersão zero e o comprimento de onda de dispersão zero  $\lambda_0$ .

Cada uma das fibras óticas A a D cumpre a norma G 652 e tem uma perda de flexão inferior a 0,1 dB/volta num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm. Cada um das fibras óticas A a D tem uma perda de flexão superior a 0,1 10 dB/volta num comprimento de onda de 1625 nm, que é o comprimento de onda da luz de controlo de um sistema de transmissão ótica, e num raio de curvatura de 4 mm. Conforme descrito abaixo, ao utilizar esta propriedade, é possível impedir que a fibra ótica seja utilizada num intervalo em que a fiabilidade diminui. Por outro lado, as fibras óticas E a J não cumprem a norma G 652, ou têm perdas de flexão superiores a 0,1 dB/volta num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm.

A Figura 3 é um gráfico que ilustra uma relação entre a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  e a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm. No gráfico, o raio de curvatura é de 7,5 mm ou 10 mm. À medida que o

valor absoluto da diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  aumenta, a perda de flexão diminui. Quando o raio de curvatura é de 7,5 mm, se a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  for igual ou inferior a -0,5%, a perda de flexão é inferior a 0,1 dB/volta.

A Figura 4 é um gráfico que ilustra uma região em que a norma G 652 é cumprida e a perda de flexão é inferior a 0,1 dB/volta num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm, relativamente ao raio interior  $r_2$  e ao raio exterior  $r_3$  do segundo revestimento exterior 13. Na Fig. 4, os casos em que as duas condições são cumpridas são ilustrados por pontos sólidos, e os casos em que nenhuma das condições é cumprida são ilustrados por triângulos vazios.

Na Fig. 4, se " $r_3 < 0,2r_2 + 16$ ", o comprimento de onda de corte do cabo  $\lambda_{cc}$  é igual ou inferior a 1260 nm. Se " $r_3 > 0,4r_2 + 10,5$ ", a perda de flexão é inferior a 0,1 dB/volta num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm. Se o raio interior  $r_2$  do segundo revestimento exterior 13 for superior a 8  $\mu\text{m}$ , o comprimento de onda de dispersão zero  $\lambda_0$  é superior a 1300 nm. Uma fibra ótica de acordo com a presente invenção cumpre a expressão

$$0,4r_2 + 10,5 < r_3 < 0,2r_2 + 16,$$

e o raio interior  $r_2$  do segundo revestimento exterior 13 é igual ou superior a 8  $\mu\text{m}$ . Por conseguinte, a fibra ótica cumpre a norma G 652 e tem uma perda de flexão pequena num comprimento de onda da luz do sinal, de modo a que a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm seja igual ou inferior a 0,1 dB/volta.

A Figura 5 é um gráfico que ilustra uma relação entre a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  e a perda de flexão num comprimento de onda de 1625 nm. Neste caso, o raio de curvatura é de 4 mm. Igualmente para o comprimento de onda de 1625 nm, à medida que o valor absoluto da diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  aumenta, a perda de flexão diminui.

A Figura 6 é um gráfico que ilustra uma relação entre o raio de curvatura e a probabilidade de rutura  $F_s$ . A probabilidade de rutura  $F_s$  é definida pela expressão

$$F_s = 1 - \exp \left\{ -N_p L \left( \frac{m}{n-2} \frac{k_s}{\sigma^{np} t_{pe}} \right) \right\}.$$

(Consulte "J. Appl. Phys. 53 (7), 1982".) Aqui, o comprimento utilizado  $L$  é de 0,05 m, o coeficiente estático de fadiga  $n$  é de 23, o valor  $m$  é de 3, a resistência de blindagem  $\sigma^{np}$  (2% de extensão) é de 0,02, o tempo de blindagem  $t_{pe}$  é de 0,6 segundos, e a frequência de rutura  $N_p$  durante a blindagem é de 1/100 000 km. À medida que o raio de curvatura de uma fibra ótica diminui, a probabilidade de rutura  $F_s$  aumenta.

Tal como é possível ver nas Figs. 5 e 6, se a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  de uma fibra ótica for igual ou superior a -1,8% e a fibra ótica for dobrada com um raio de curvatura de 4 mm para o qual a probabilidade de rutura  $F_s$  por dia é tão elevada como  $10^{-5}$  vezes/0,05 m, a perda de flexão torna-se igual ou superior a 0,1 dB/volta num comprimento de onda de 1625 nm. Uma fibra ótica de acordo

com a presente invenção tem uma diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$  igual ou superior a  $-1,8\%$  e uma perda de flexão igual ou superior a  $0,1$  dB/volta num comprimento de onda de  $1625$  nm e num raio de curvatura de  $4$  mm. Por conseguinte, mediante a utilização da luz de controlo de um comprimento de onda de  $1625$  nm, é possível detetar se a fibra ótica é ou não dobrada com um raio de curvatura igual ou inferior a  $4$  mm, no qual não é possível garantir a fiabilidade. Deste modo, é possível impedir a rutura da fibra ótica quando a fibra ótica é dobrada acidentalmente durante a instalação ou outras operações.

A Figura 7 é um gráfico que ilustra uma relação entre a razão  $(r_2/r_1)$  e o aumento de perda devido a OH num comprimento de onda de  $1380$  nm. Quando a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_1$  é de  $0,35\%$  e o raio do núcleo 11 é de  $4,1$   $\mu\text{m}$ , o aumento de perda  $\Delta\alpha$  num comprimento de onda de  $1380$  nm devido a OH (concentração de  $C_{OH}$  ppm) no segundo revestimento exterior 13 é fornecido pela expressão

$$\Delta_{\alpha} = 310 \times C_{OH} \exp\left(-3,3 \times \frac{r_2}{r_1}\right).$$

É necessário que o aumento de perda  $\Delta\alpha$  seja inferior a  $0,1$  dB/km para que a perda num comprimento de onda de  $1380$  nm seja inferior a  $0,38$  dB/km. Ao modificar esta expressão, o intervalo da razão  $(r_2/r_1)$  que cumpre " $\Delta\alpha < 0,1$  dB/km" é fornecido pela expressão

$$\frac{r_2}{r_1} > -\frac{1}{3,3} \times \ln\left(\frac{0,1}{310 \times C_{OH}}\right).$$

Se a concentração de flúor no segundo revestimento exterior 13 aumentar de modo a diminuir a diferença de índice de refração relativo  $\Delta_3$ , a durabilidade do hidrogénio deteriora-se. Em geral, se uma concentração elevada de flúor for adulterada para vidro  $\text{SiO}_2$  através do método CVD por plasma de modo a que  $\Delta < -0,8\%$  seja cumprida, a concentração de OH no vidro aumenta, o que provoca um aumento na perda de transmissão. Contudo, ao definir o intervalo da razão  $(r_2/r_1)$  conforme descrito acima, a perda num comprimento de onda de 1380 nm pode ser inferior a 0,38 dB/km, de modo a que a fibra ótica cumpra de forma segura a norma G 652D (norma G 652 + concentração de OH baixa). É mais preferível que a razão  $(r_2/r_1)$  seja definida para que a expressão

$$\frac{r_2}{r_1} > -\frac{1}{3,3} \times \ln\left(\frac{0,1}{100 \times C_{OH}}\right)$$

seja cumprida.

É preferível que, para o mesmo raio de curvatura, a oscilação do aumento na perda de flexão ao longo do comprimento da fibra ótica 1 seja igual ou inferior a 10%. Neste caso, uma vez que existe uma correspondência entre um raio de flexão e uma perda de flexão da fibra ótica, a flexão acidental de uma porção da fibra ótica pode ser

facilmente detetada através da verificação de um aumento na perda de flexão durante a instalação.

A Figura 8 é um histograma da perda de união por fusão quando as fibras óticas A e J são unidas por fusão às SMFs padrão. O diâmetro modal de campo da fibra ótica A é de 8,9  $\mu\text{m}$ , e o diâmetro modal de campo da fibra ótica J é de 8,3  $\mu\text{m}$ . O diâmetro modal de campo das SMFs padrão é de 9,2  $\mu\text{m}$ . Deste modo, a perda de união por fusão da fibra ótica A que ocorre quando a fibra ótica A é unida por fusão a uma SMF padrão é pequena. Relativamente a uma fibra ótica de acordo com a presente invenção, é preferível que o diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1310 nm se situe entre 8,6  $\mu\text{m}$  e 9,2  $\mu\text{m}$ , e o diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1550 nm se situe entre 9,6  $\mu\text{m}$  e 10,5  $\mu\text{m}$ .

Em seguida, são descritas formas de realização de cabos óticos, em que cada um inclui a fibra ótica de acordo com a presente invenção. A Figura 9 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico 2A de um tipo de cabo solto de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2A inclui a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção, um revestimento 21 disposto em torno da fibra ótica 1, e Kevlar (membro de tensão) 22 disposto entre a fibra ótica 1 e o revestimento 21. O cabo ótico 2A permite que o raio de curvatura seja diminuído enquanto impede a rutura da fibra ótica 1.

A Figura 10 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico 2B de um tipo de revestimento apertado de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2B inclui a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção

e um revestimento 23 que cobre a fibra ótica 1, mas não inclui Kevlar. O diâmetro exterior do cabo ótico é inferior a 3 mm. Ao utilizar a fibra ótica 1, o cabo ótico de revestimento apertado 2B pode ser concebido de forma a ser fino, resistente à flexão, mesmo sem utilizar Kevlar, e excelente em termos de facilidade de arrumação. Além disso, não obstante o tipo de revestimento apertado, o cabo 2B pode fazer com que o aumento de perda seja inferior a 0,1 dB/km a uma temperatura de -30 °C e num comprimento de onda de 1550 nm.

A Figura 11 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico 2C de um tipo de cabo de derivação de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2C inclui a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção, membros de tensão 24 dispostos paralelamente em relação à fibra ótica 1, e um revestimento 25 que cobre a fibra ótica 1 e os membros de tensão 24. Os dois membros de tensão 24 são dispostos com a fibra ótica 1 entre os mesmos. Um revestimento de polietileno é disposto em torno do membro de tensão 24. Além disso, são formadas ranhuras nas superfícies do revestimento 24 em ambos os lados da fibra ótica 1. O revestimento 24 pode ser dividido ao longo das ranhuras para que a fibra ótica 1 possa ser retirada facilmente. O cabo ótico 2C permite que o raio de curvatura seja diminuído enquanto impede a rutura da fibra ótica 1.

A Figura 12 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico 2D de um tipo de cabo de derivação de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2D inclui a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção e um revestimento 25 que cobre a fibra ótica, mas não inclui um membro de tensão. As ranhuras são formadas nas

superfícies do revestimento 25 ao longo da fibra ótica 1. Uma vez que a perda de flexão pode ser reduzida mediante a utilização da fibra ótica 1, é omitido um membro de tensão no cabo ótico 2D. Uma vez que o cabo ótico 2D não inclui um membro de tensão, a área em corte transversal do revestimento 25 pode ser diminuída, pelo que o cabo pode ser arrumado num espaço pequeno.

A Figura 13 é uma vista em corte transversal de um cabo ótico 2F de um tipo de fibra de filamentos de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2F inclui uma diversidade das fibras óticas 1 de acordo com a presente invenção. Cada uma das diversas fibras óticas 1 é coberta com uma camada de tinta colorida 26, disposta paralelamente e coberta com resina 27. Uma vez que o cabo utiliza a fibra ótica 1 de modo a ter uma perda de flexão baixa, quando as fibras com um formato de filamento são divididas e cortadas (Fig. 14), o aumento de perda das fibras óticas (fios elétricos), através das quais a luz do sinal está a ser transmitida, pode ser suprimido. Deste modo, durante uma operação de divisão, o aumento de perda dos fios elétricos num comprimento de onda de 1550 nm pode ser inferior a 0,5 dB/km/s, de modo a ser possível impedir a interrupção instantânea da luz do sinal. Além disso, não é necessário utilizar um aparelho de divisão para reduzir a tensão aplicada na fibra ótica 1 durante a divisão, de modo a que as fibras óticas possam ser divididas manualmente.

Na Fig. 15, a secção (a) é um diagrama conceptual de um cabo ótico 2G de acordo com uma forma de realização da presente invenção com uma estrutura de proteção helicoidal 28, e a secção (b) é um diagrama conceptual do cabo ótico 2G do qual foi removido um revestimento. O cabo ótico 2G

inclui a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção e a estrutura de proteção helicoidal 28, que é feita de uma tira de fibra sintética de poliamida (*nylon*), à volta da fibra ótica 1. Ao fornecer a estrutura helicoidal 28 em torno da fibra ótica 1, a fibra ótica pode ser concebida de forma mais resistente à flexão que excede um determinado grau. Deste modo, é impedida a flexão da fibra ótica por um raio de curvatura inferior à curvatura na qual a fiabilidade diminui.

A Figura 16 é uma vista em perspetiva de um cabo ótico 2H (igualmente referido como cabo ótico enrolado) de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2H inclui a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção, que é enrolada em espiral com um raio de curvatura igual ou inferior a 7,5 mm, e um conector ótico 29 ligado a uma extremidade da fibra ótica 1. Uma vez que é utilizada a fibra ótica 1, embora a fibra ótica 1 seja enrolada em espiral com um raio de curvatura igual ou inferior a 7,5 mm, o aumento de perda é pequeno.

A Figura 17 é uma vista em perspetiva de um cabo ótico 2E (igualmente referido como cabo ótico enrolado) de acordo com uma forma de realização da presente invenção. O cabo ótico 2E inclui uma diversidade das fibras óticas 1 de acordo com a presente invenção, cada uma delas enrolada com um raio de curvatura igual ou inferior a 7,5 mm; um revestimento 30 que cobre as diversas fibras óticas 1; e um membro de tensão 31 no centro das mesmas. O cabo ótico 2E permite que sejam retiradas e utilizadas fibras óticas 1 individuais.

É preferível que, conforme ilustrado na Fig. 18, um módulo ótico 3 seja configurado de modo a que a fibra ótica 1 de acordo com a presente invenção seja enrolada e arrumada numa caixa 41. É preferível que, conforme ilustrado na Fig. 19, um sistema de transmissão ótica 4 seja configurado de modo a que um dos cabos óticos 2A a 2H de acordo com as formas de realização seja utilizado como uma via de transmissão ótica 2, e uma saída de luz do sinal de um transmissor ótico 51 seja transmitida a um recetor ótico 52 através da via de transmissão ótica 2. Com o módulo ou o sistema, a perda de flexão pode ser reduzida num raio de curvatura igual ou inferior a 7,5 mm ao mesmo tempo que a rutura da fibra ótica 1 é facilmente impedida, de modo a que o sistema possa ser concebido de forma a ser pequeno e o espaço de operação para a cablagem possa ser simplificado.

#### Aplicabilidade Industrial

A presente invenção é aplicável a um sistema de transmissão ótica, tal como FTTH e FTTC, de modo a arrumar um cabo ótico com um diâmetro pequeno e impedir a rutura da fibra ótica.

Lisboa, 30 de Abril de 2013

## REIVINDICAÇÕES

1. Uma fibra ótica (1) compreendendo um núcleo (11) com um índice de refração  $n_1$ , um primeiro revestimento exterior (12) à volta do núcleo e com um índice de refração  $n_2$  inferior ao índice de refração  $n_1$ , um segundo revestimento exterior (13) à volta do primeiro revestimento exterior e com um índice de refração  $n_3$  inferior ao índice de refração  $n_2$ , e um terceiro revestimento exterior (14) à volta do segundo revestimento exterior e com um índice de refração  $n_4$  superior ao índice de refração  $n_3$ ,

em que, relativamente ao índice de refração  $n_4$  do terceiro revestimento exterior, a diferença de índice de refração relativo do núcleo situa-se entre 0,3% e 0,38%, a diferença de índice de refração relativo do primeiro revestimento exterior 12 situa-se entre -0,3% e 0,2%, e a diferença de índice de refração relativo do segundo revestimento exterior situa-se entre -1,8% e -0,5%.

em que o raio interior  $r_2$  do segundo revestimento exterior e o raio exterior  $r_3$  do segundo revestimento exterior cumprem a expressão

$$0,4r_2 + 10,5 < r_3 < 0,2r_2 + 16,$$

e o raio interior  $r_2$  do segundo revestimento exterior é igual ou superior a 8  $\mu\text{m}$ ,

caracterizada por:

a perda de flexão num comprimento de onda de 1550 nm e num raio de curvatura de 7,5 mm ser inferior a 0,1 dB/volta, e

a perda de flexão num comprimento de onda de 1625 nm e num raio de curvatura de 4 mm ser superior a 0,1 dB/volta, e

o raio  $r_1$  do núcleo e o raio exterior  $r_2$  do primeiro revestimento exterior cumprirem a expressão

$$\frac{r_2}{r_1} > -\frac{1}{3,3} \times \ln\left(\frac{0,1}{310 \times C_{OH}}\right),$$

em que  $C_{OH}$  representa a concentração de OH no segundo revestimento exterior em ppm,

e a perda de transmissão num comprimento de onda de 1380 nm é inferior a 0,38 dB/km.

**2.** A fibra ótica de acordo com a Reivindicação 1,

caracterizada por o diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1310 nm estar situado entre 8,6  $\mu\text{m}$  e 9,2  $\mu\text{m}$ , e o diâmetro modal de campo num comprimento de onda de 1550 nm estar situado entre 9,6  $\mu\text{m}$  e 10,5  $\mu\text{m}$ .

**3.** A fibra ótica de acordo com a Reivindicação 1,

caracterizada por uma camada revestida com carbono (15) ser disposta numa superfície de uma porção de vidro da fibra ótica.

**4.** Um cabo ótico (2A) caracterizado por compreender:

a fibra ótica de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3;

um revestimento (21) disposto em torno da fibra ótica; e

Kevlar (22) disposto entre a fibra ótica e o revestimento.

**5.** Um cabo ótico (2B) caracterizado por compreender:

a fibra ótica de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3; e

um revestimento (21) cobrindo a fibra ótica,

em que o cabo ótico não inclui Kevlar, e o cabo ótico tem um diâmetro exterior inferior a 3 mm.

**6.** O cabo ótico (2B) de acordo com a Reivindicação 5,

caracterizado por um aumento de perda ser inferior a 0,1 dB/km num comprimento de onda 1550 nm e a uma temperatura de -30 °C.

**7.** Um cabo ótico (2C) caracterizado por compreender:

a fibra ótica de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3;

um membro de tensão (24) disposto paralelamente em relação à fibra ótica; e

um revestimento (25) cobrindo a fibra ótica e o membro de tensão,

em que uma ranhura é formada ao longo da fibra ótica numa superfície do revestimento.

**8.** Um cabo ótico (2D) caracterizado por compreender:

a fibra ótica de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3; e

um revestimento (25) cobrindo a fibra ótica,

em que o cabo ótico não inclui um membro de tensão, e uma ranhura é formada ao longo da fibra ótica numa superfície do revestimento.

**9.** Um cabo ótico (2F) caracterizado por compreender uma diversidade das fibras óticas de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3,

em que as diversas fibras óticas são dispostas paralelamente e cobertas na íntegra com resina (27), e um aumento de perda durante um acesso de amplitude média para a operação de divisão de fios é inferior a 0,5 dB/km/s num comprimento de onda de 1550 nm.

**10.** Um cabo ótico (2G) caracterizado por compreender:

a fibra ótica de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3; e

um revestimento (28) cobrindo a fibra ótica enrolada em espiral,

em que o raio de curvatura da fibra ótica é igual ou inferior a 7,5 mm.

**11.** Um cabo ótico (2H) caracterizado por compreender:

uma diversidade das fibras óticas de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3; e

um revestimento cobrindo as diversas fibras óticas enroladas em espiral,

em que o raio de curvatura de cada uma das diversas fibras óticas é igual ou inferior a 7,5 mm.

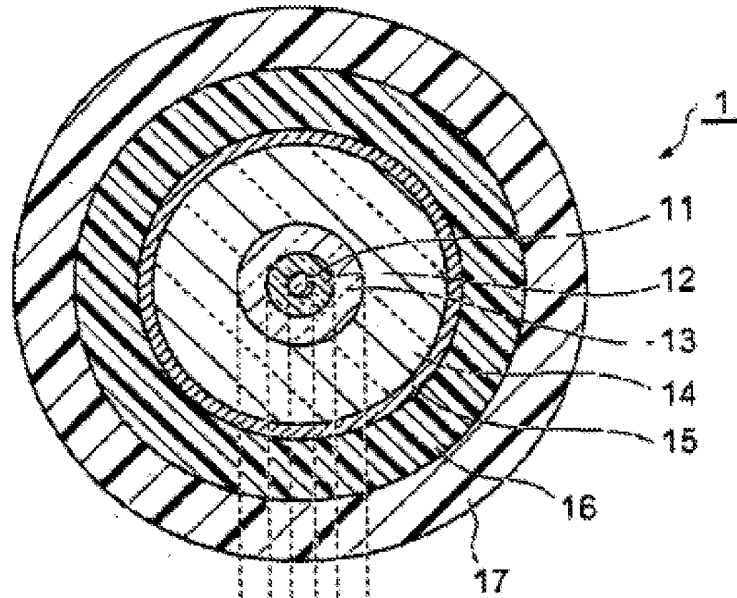
**12.** Um módulo ótico (3) caracterizado por arrumar a fibra ótica de acordo com qualquer uma das Reivindicações 1 a 3.

**13.** Um sistema de transmissão ótica (4) caracterizado por transmitir a luz do sinal utilizando o cabo ótico de acordo com qualquer uma das Reivindicações 4 a 11.

Lisboa, 30 de Abril de 2013

FIG. 1

(a)



(b)

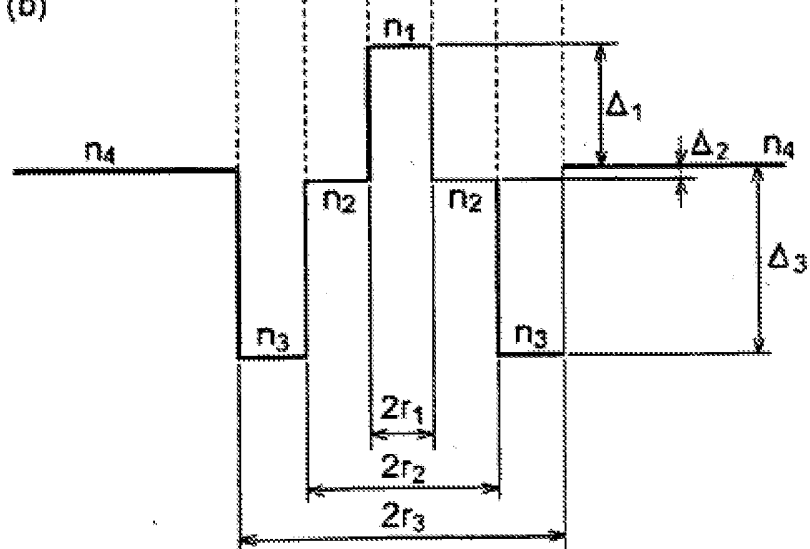


FIG.2

Fibra ótica	r1 [μm]	r2 [μm]	r3 [μm]	Δ1 [%]	Δ2 [%]	Δ3 [%]	Perda de flexão				MFD [μm]	λ <sub>cc</sub> [nm]	Inclinação de dispersão [ps/nm <sup>2</sup> /km]	λ <sub>0</sub> [nm]
							R4@1625nm [dB/100m]	R5@1550nm [dB/100m]	R7.5@1550nm [dB/100m]	R10@1550nm [dB/100m]				
A	3.99	9.98	16.01	0.34	-0.01	-0.73	1.020	0.334	0.056	0.01719	8.9	1160	0.0895	1301
B	4.19	13.78	17.46	0.35	-0.01	-1.02	0.400	0.279	0.082	0.025	8.9	1160	0.0852	1306
C	4.00	15.12	18.75	0.34	-0.02	-1.70	0.214	0.045	0.015	0.013	9	1230	0.0851	1304
D	4.02	9.55	15.02	0.36	-0.04	-0.53	1.450	0.784	0.098	0.048	9	1240	0.0899	1302
E	4.22	13.10	19.00	0.35	-0.02	-0.73	0.200	0.059	0.012	0.01335	8.9	1275	0.0853	1303
F	3.95	13.10	15.75	0.33	-0.02	-0.53	1.681	2.820	0.235	0.1536	8.9	1160	0.8908	1312
G	3.95	8.02	15.11	0.35	-0.03	-1.00	0.105	0.118	0.024	0.0123	8.8	1235	0.0908	1282
H	3.80	6.50	15.10	0.34	-0.08	-0.53	0.320	0.513	0.066	0.035	8.7	1200	0.0915	1272
I	3.67	15.75	24.55	0.36	-0.01	-0.53	0.078	0.037	0.008	0.00245	8.9	1410	0.844	1330
J	3.28	8.21	13.18	0.34	-0.01	-0.73	39.851	32.631	2.175	6.72E-01	8.3	1000	0.0923	1310

FIG 3

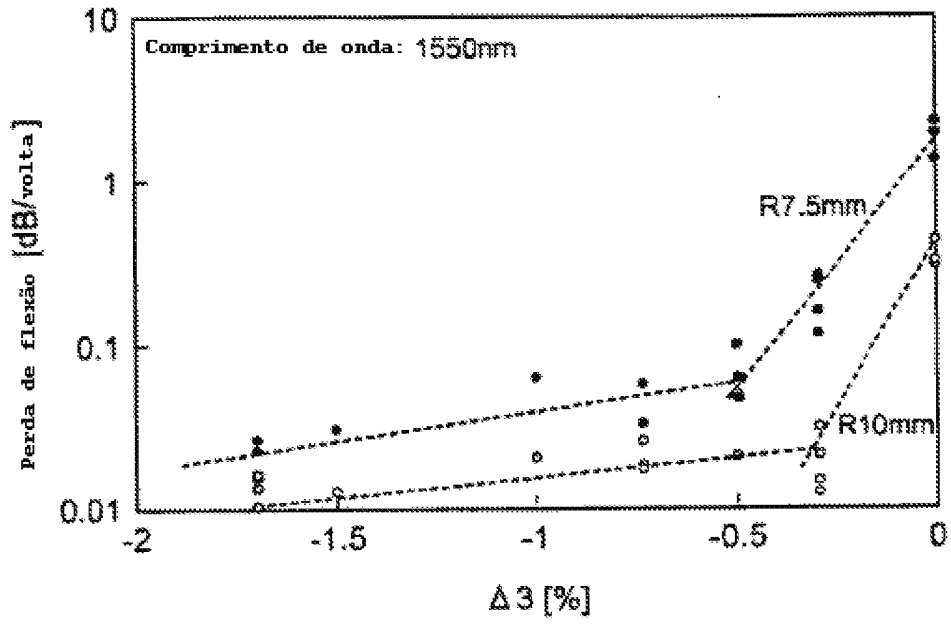


FIG. 4

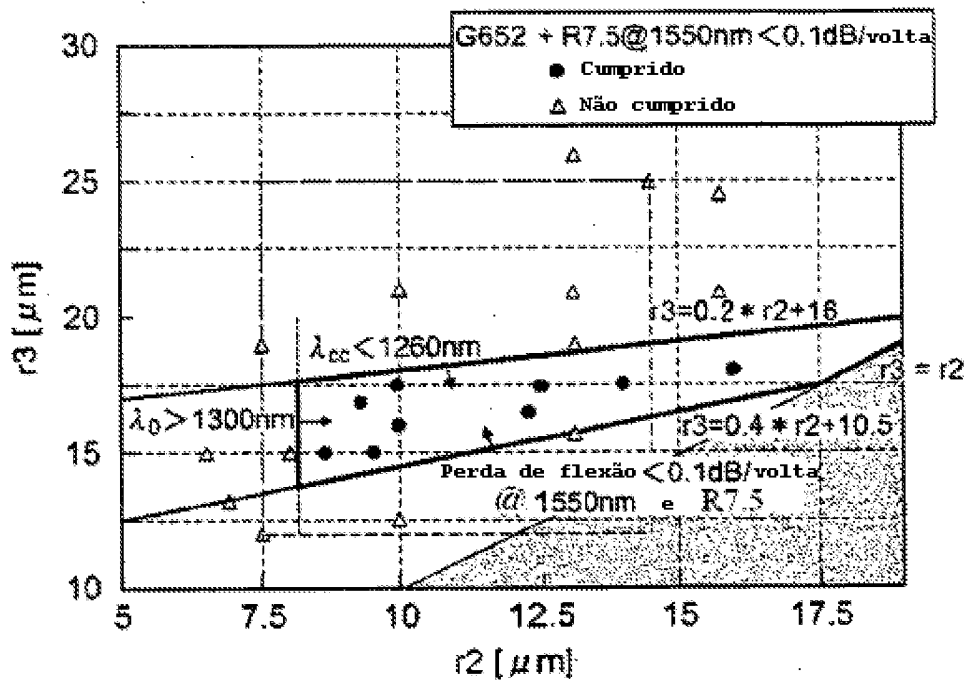


FIG. 5

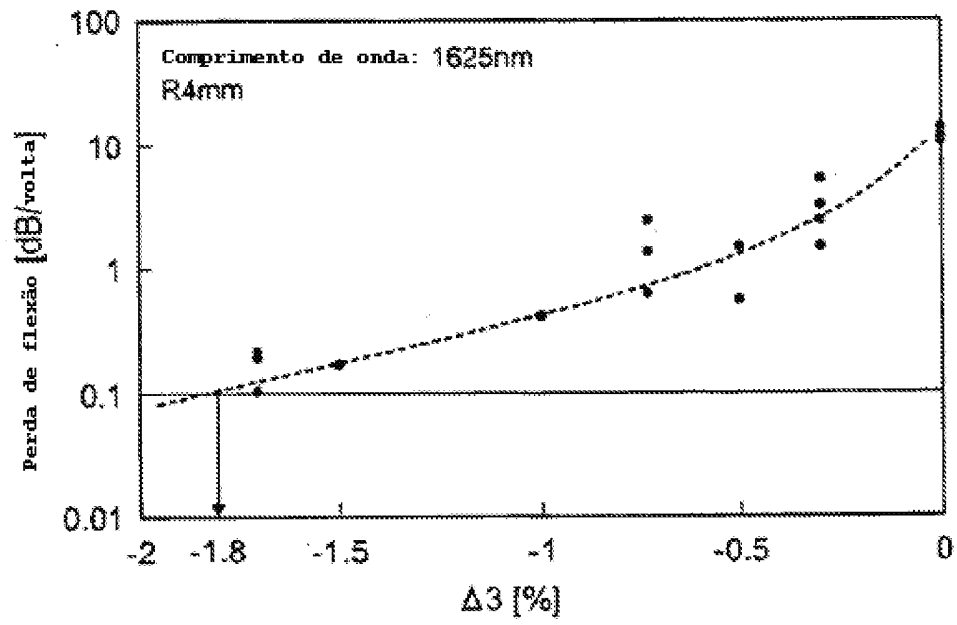


FIG 6

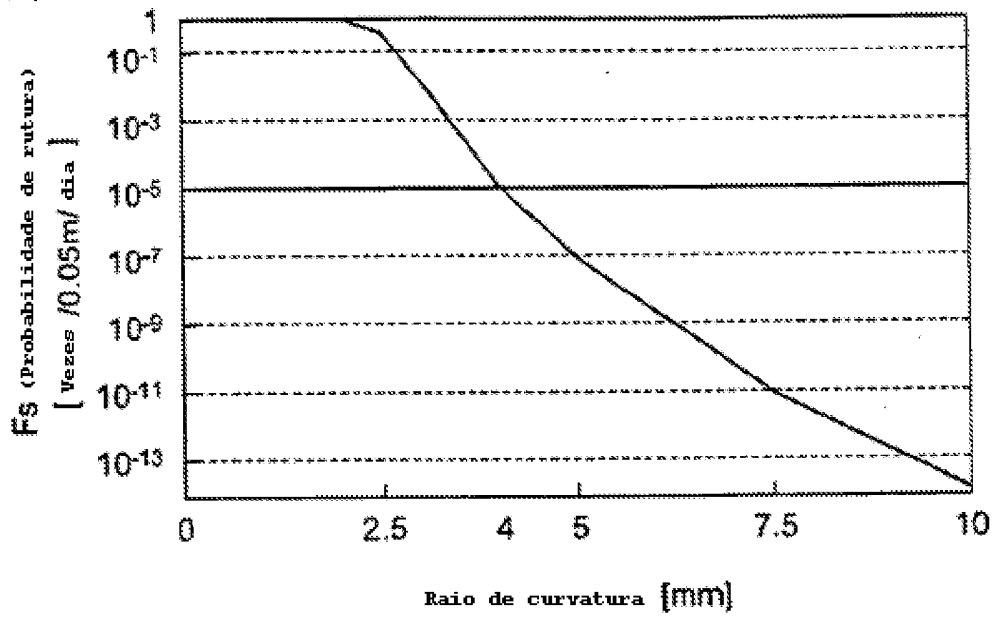


FIG. 7

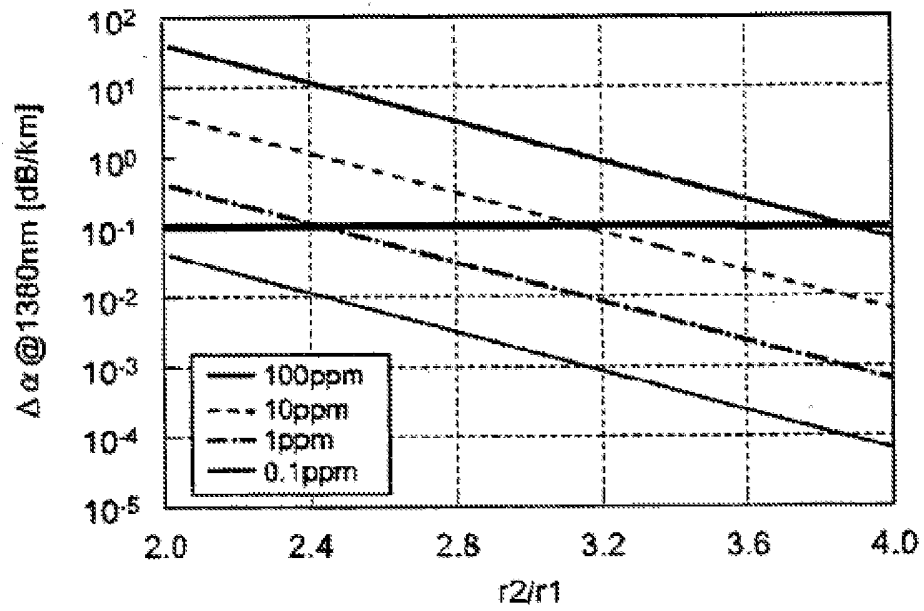


FIG. 8

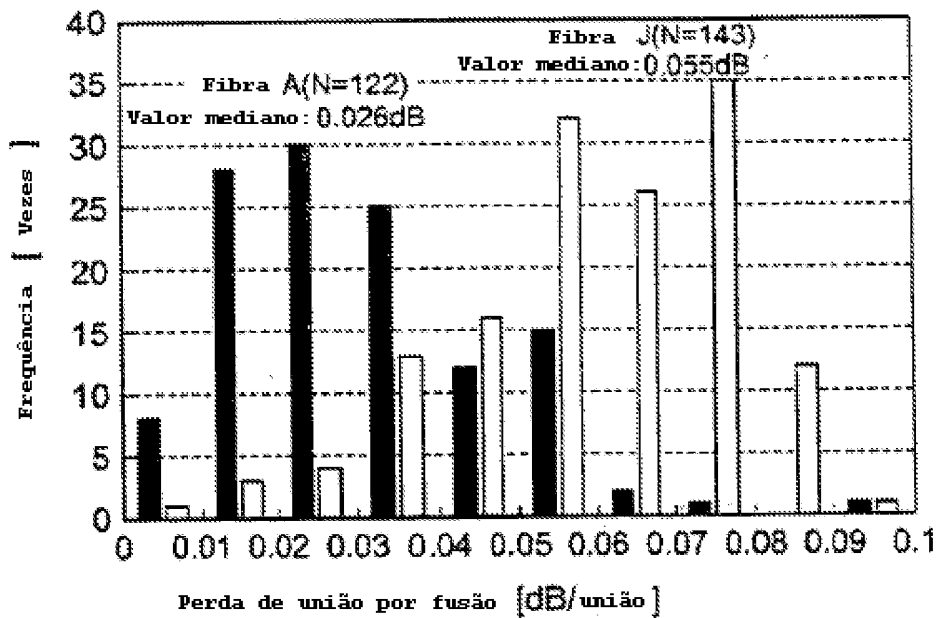


FIG 9

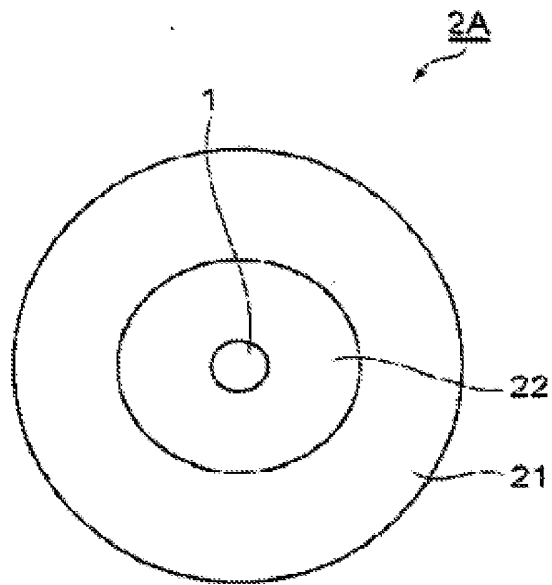


FIG. 10

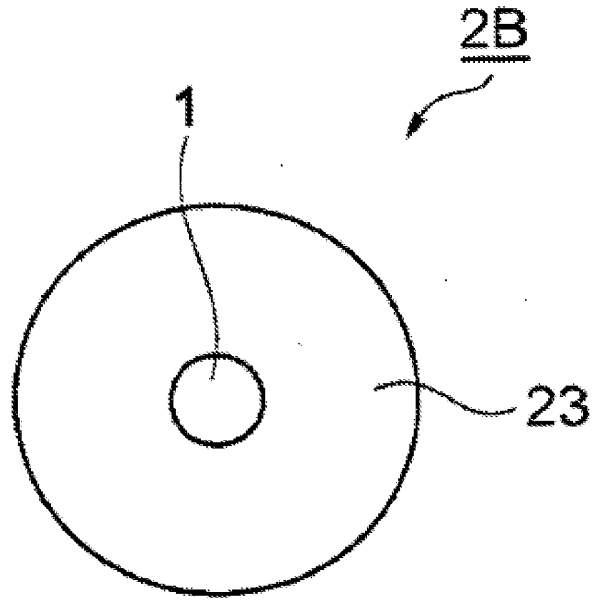


FIG. 11

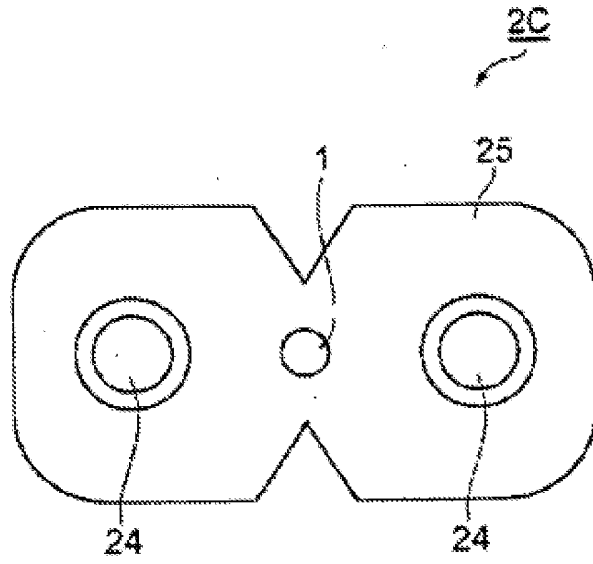


FIG. 12.

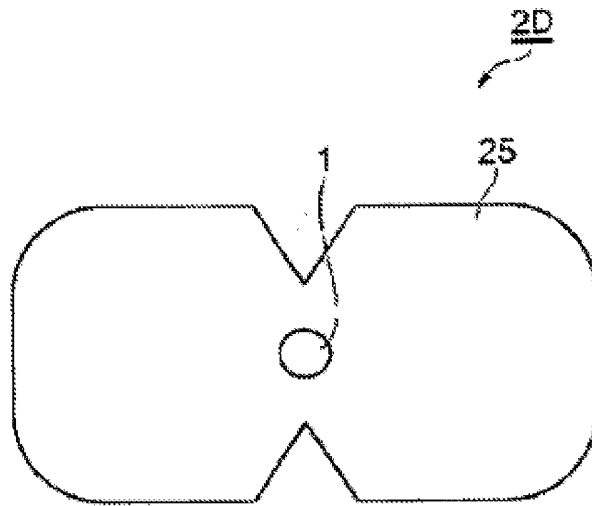


FIG. 13

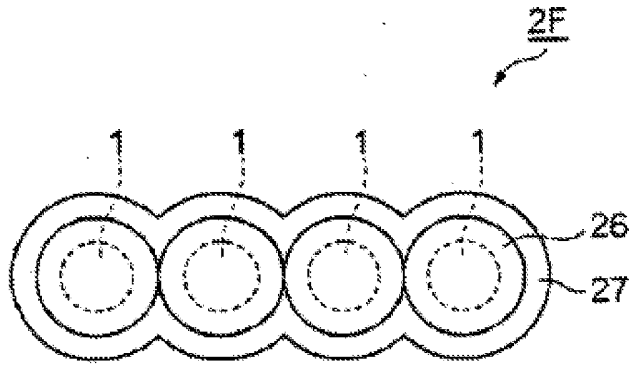


FIG 14

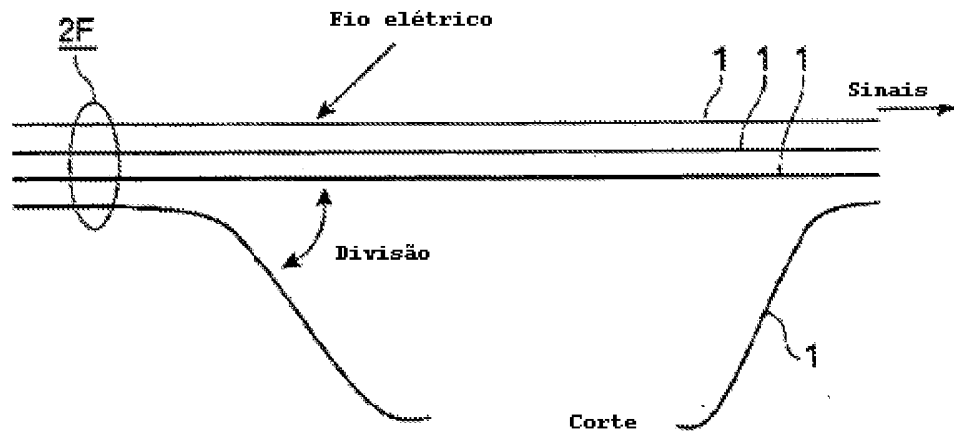


FIG 15

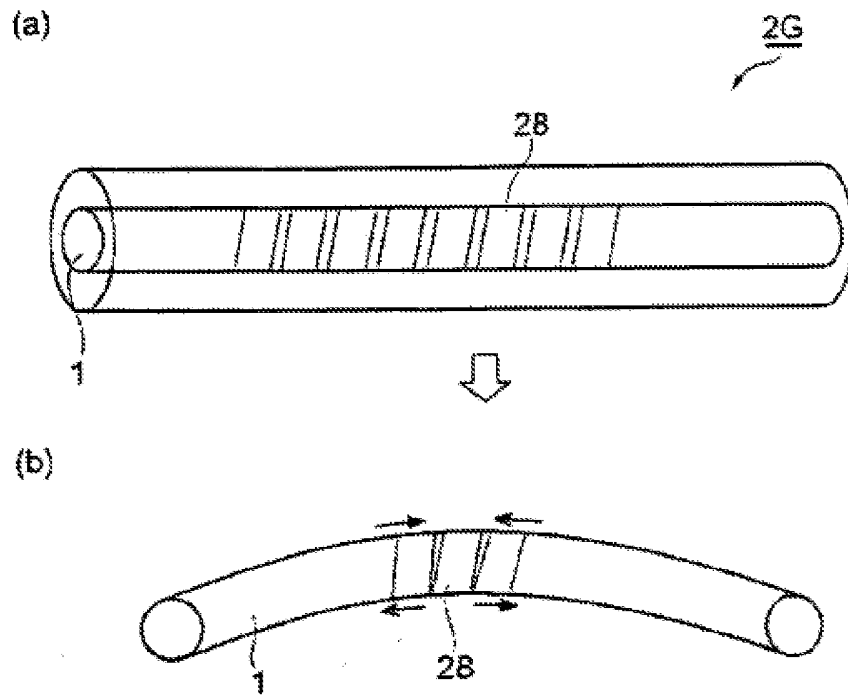


FIG. 16

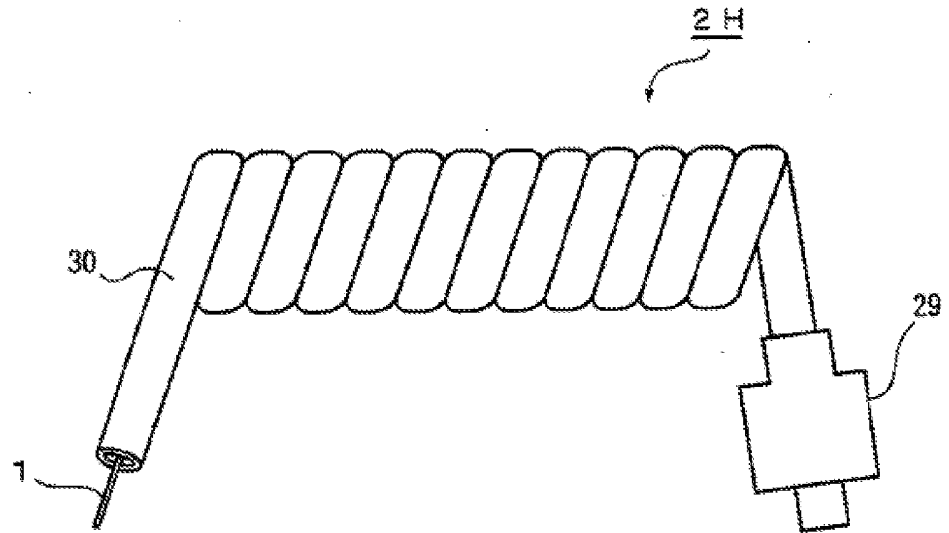


FIG. 17

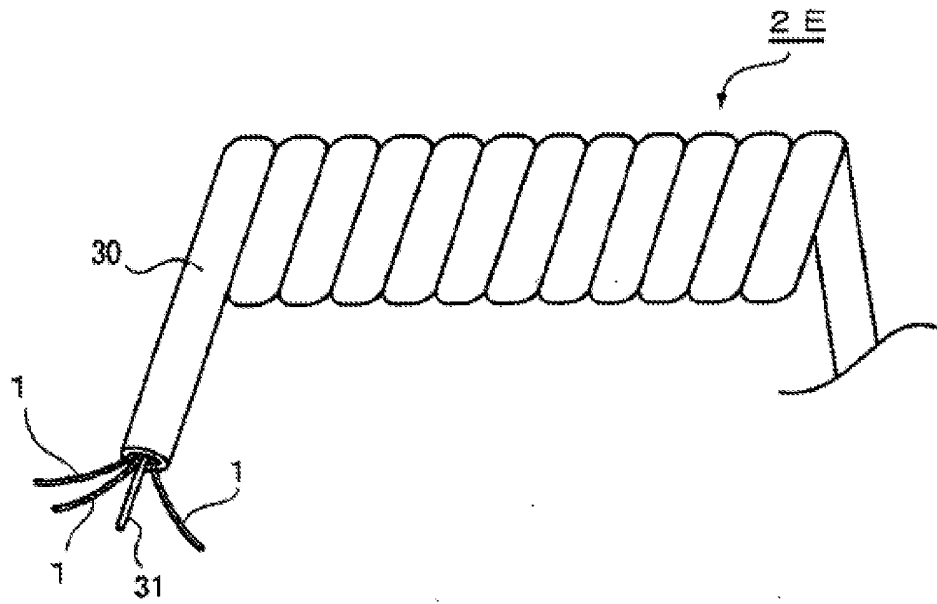


FIG 18

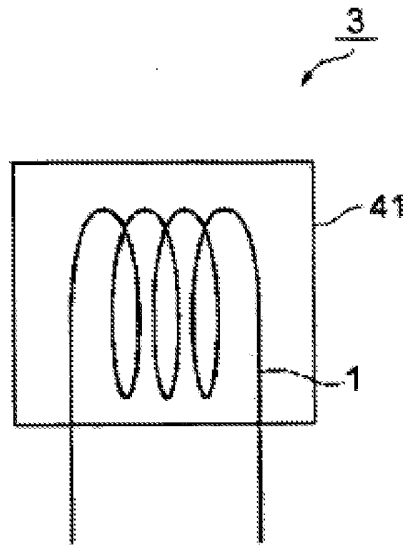


FIG 19

