



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

(11) PI 0301700-1 B1

(22) Data do Depósito: 06/06/2003

(45) Data de Concessão: 13/09/2016



* B R F I 0 3 0 1 7 0 0 B 1 *

(54) Título: FIBRA ÓPTICA UNIMODO E SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA

(51) Int.Cl.: G02B 6/02; G02B 6/036

(30) Prioridade Unionista: 06/06/2002 NL 1020780

(73) Titular(es): DRAKA FIBRE TECHNOLOGY B.V.

(72) Inventor(es): MARK PETER MARIE JETTEN, PIETER MATTHIJSSE

"FIBRA ÓPTICA UNIMODO E SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA"

[001] A presente invenção refere-se a uma fibra óptica unimodo que compreende uma primeira região central dotada de um raio r_1 , um valor de índice de refração máximo n_1 e pelo menos um segundo anel circundando a primeira região central, cujo segundo anel tem um raio r_2 e um valor de índice de refração mínimo n_2 , em que $n_2 < n_1$.

[002] Uma fibra óptica unimodo deste tipo é conhecida em si própria da patente US 5.905.838, onde particularmente a figura 4 mostra de modo esquemático a diferença de índice de refração normalizada em função da posição radial para a fibra de quatro regiões. Assim o âmago de sílica dopado com germânio é circundado por uma região anular de índice rebaixado, neste caso, composta de sílica dopada com flúor. Circundando a região existe um anel de germânio-sílica, por sua vez dentro de uma região de revestimento externa de, por exemplo, sílica não dopada. A região do âmago apresenta uma característica **dip** de índice rebaixado de fibra MCD-produzida. Uma fibra deste tipo é também definida como uma denominada "fibra WDM (multiplexada por divisão de comprimento de onda) de janela dupla", cuja fibra é usada nas denominadas redes de metrô ou redes de longa distância. As redes em causa são caracterizadas por distâncias de transmissão de comprimento médio de até algumas centenas de quilômetros e um grande número de nodos, onde ramais e/ou conexões com outras (partes de) redes estão presentes. As fibras ópticas através das quais a transmissão de sinais se processa nas redes deste tipo são de preferência apropriadas para altas velocidades de transmissão em um

grande número de diferentes comprimentos de onda.

[003] O artigo "*Maximum effective area for non-zero dispersion-shifted fibre** (P. Nouchi, *OFC'98 Technical Digest vol.2, pp.303-304 (1998)*) revela perfis de índice de refração em que uma fibra deste tipo tem um declive de dispersão de 0,08 ps / nm².km a 1550 nm. A área efetiva a 1550 nm está na faixa de 45-110 μm^2 . Maiores detalhes com relação ao declive para obter um satisfatório equilíbrio de características,, particularmente no tocante ao declive de dispersão, macro flexão e área efetiva não são conhecidos do mesmo.

[004] A patente US nº 6.396.987 refere-se a uma fibra óptica para emprego em sistemas de transmissão multiplexados por divisão de comprimento de onda (WDM), onde a área efetiva é maior que ou igual a 60 μm^2 e o valor de dispersão varia de 6 a 10 ps/(nm.km.).

[005] O pedido de patente EPA nº 0.249.230 refere-se a um processo para fabricar uma preforma. Uma vez que o dito documento somente refere-se a preformas, não são fornecidos quaisquer detalhes específicos com relação à fibra óptica trefilada a partir de uma preforma deste tipo, tal como o valor do declive de dispersão, o valor da dispersão ou a área efetiva.

[006] O pedido de patente EPA nº 0.775.924 refere-se a uma fibra óptica unimodo dotada de um perfil de índice em três segmentos. Ainda que o comprimento de onda de dispersão zero esteja na faixa de 1520-1600 nm, o declive de dispersão total pode ser de $\leq 0,095$ os/ μm^2 .km. Não são fornecidos quaisquer detalhes com relação ao declive exigido para obter um equilíbrio de características satisfatório no

tocante ao declive de dispersão, macro flexão e área efetiva.

[007] No caso de distâncias muito longas (distâncias de 1000 km e maiores) fibras ópticas para altas velocidades de transmissão são otimizadas para uso na faixa de comprimento de onda em torno de 1550 nm, em cuja faixa de comprimento de onda a atenuação óptica pode ser considerada baixa (cerca de 0,2 dB/km). As fibras NZDF ("fibras de dispersão não-zero") também têm dispersão deslocada, como um resultado da qual a dispersão a um comprimento de onda de 1550 nm é inferior àquela de uma fibra unimodo standard. O valor de dispersão desvia-se suficientemente de zero, todavia, para minimizar o efeito de características não-lineares que pode ter um efeito seriamente adverso sobre a máxima capacidade de transmissão admissível.

[008] Devido às distâncias relativamente curtas nas redes supracitadas, requisitos menos rigorosos são exigidos da atenuação óptica, como um resultado dos quais também a faixa de comprimento de onda em torno de 1300 nm, que tem uma atenuação característica de cerca de 0,3 dB/km, é em princípio adequada para tais aplicações. Como um resultado da sua otimização na faixa de comprimento de onda de 1550 nm, as fibras usadas para transmissão a longa distância são menos adequadas para uso na faixa de comprimento de onda em torno de 1300 nm todavia.

[009] Constitui um dos objetivos da presente invenção apresentar uma fibra óptica unimodo própria para transmissão multicanal na faixa de comprimento de onda em torno de 1550 nm, isto é, 1440 nm - 1625 nm, e na faixa de comprimento de onda em torno de 1300 nm, isto é, 1250 nm - 1360 nm, usando altas velocidades de transmissão.

[010] Outro objetivo da presente invenção é proporcionar uma fibra óptica unimodo na qual o perfil da fibra óptica é configurado para prevenir variações de tensão que podem resultar em características indesejáveis da fibra óptica.

[011] A fibra óptica unimodo conforme mencionado na introdução é de acordo com a presente invenção caracterizada pelo fato do valor do índice de refração n_1 ser substancialmente constante na primeira região central tendo raio r_1 , e no segundo anel tendo raio r_2 , o valor do índice de refração decresce na direção radial de n_1 para n_2 através de uma distância $r_1 - r_2$, com o decréscimo, que é substancialmente linear, se verificando de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Declive} = (D_1 - D_2) / (r_2 - r_1), \text{ onde} \\ 0,11 < \text{declive} < 0,22, \text{ e}$$

$$D_i = \frac{n_i^2 - n_{cl}^2}{2 \cdot n_i^2} \cdot 100\% \text{ e } n_i > n_{cl}$$

e

D_i = contraste de índice de refração para posição i .

n_i = índice de refração de posição i

n_{cl} = índice de refração do revestimento de fibra externo.

[012] Em uma concretização especial a região central, que tem um índice de refração substancialmente constante, de preferência tem um raio r_1 tendo um valor máximo de 0,25 μm . Se o raio r_1 é maior que o valor supra, não é possível obter uma fibra dotada de uma área efetiva

suficientemente grande e um declive de dispersão suficientemente baixo.

[013] A presente invenção outrossim refere-se a uma fibra óptica unimodo que compreende uma primeira região central dotada de um raio r_1 e de um valor de índice de refração máximo n_1 e pelo menos um segundo anel circundando a primeira região central, cujo segundo anel tem um raio r_2 e um valor de índice de refração máximo n_2 , onde $n_2 < n_1$, cuja fibra é caracterizada pelo fato do valor do índice de refração ser substancialmente constante e decrescer na direção radial através de uma distância r_1 de n_1 para n_2 a partir do eixo geométrico central de simetria na primeira região central, com o decréscimo, que é substancialmente linear, se processando de acordo com a seguinte equação:

$$\text{declive} = (D_1 - D_2) / (r_1), \text{ onde}$$

$$0,11 < \text{declive} < 0,22, \text{ e}$$

$$D_i = \frac{n_i^2 - n_{c1}^2}{2 \cdot n_i^2} \cdot 100\% \text{ e } n_i > n_{c1}$$

na qual o significado de D_i , n_i e n_{c1} é conforme indicado acima.

[014] A presente invenção outrossim refere-se a uma fibra óptica unimodo compreendendo uma primeira região central tendo um raio r_1 e um valor de índice de refração máximo n_1 e pelo menos um segundo anel circundando a primeira região central, cujo segundo anel tem um raio r_2 , e um valor de índice de refração mínimo n_2 , onde $n_2 < n_1$, cuja fibra unimodo é caracterizada pelo fato do valor de índice de refração ser substancialmente constante no segundo anel e decresce na direção radial através de uma distância r_1 para

n_1'' do eixo geométrico central de simetria, com o decréscimo que é substancialmente linear, se processando de acordo com a equação:

$$\text{Declive} = (D_1 - D_1'') / (r_1), \text{ onde} \\ 0,11 < \text{declive} < 0,22, \text{ e}$$

$$D_i = \frac{n_i^2 - n_{cl}^2}{2 \cdot n_i^2} \cdot 100\% \text{ e } n_i > n_{cl}$$

e

$$n_1 > n_1'' > n_2.$$

na qual o significado de D_i , n_i e n_{cl} é conforme indicado acima.

[015] A requerente realizou a sua invenção baseada nesta descoberta, com o perfil da fibra óptica sendo de tal modo configurado a prevenir variações em tensão indesejáveis. Características indesejáveis, tal como um PDM aumentado (ou sensibilidade às perdas de atenuação induzidas por hidrogênio) são assim reduzidas a um mínimo

[016] Em concretizações específicas, o segundo anel tendo o raio r_2 de preferência é circundado por um terceiro anel tendo um raio r_3 e um valor de índice de refração de n_3 , no qual $n_3 < 2$ e $r_3 > r_2$. Além disso, o terceiro anel tendo um raio r_4 e um valor de índice de refração n_4 , no qual $n_4 < n_3$ e $r_4 > r_3$.

[017] De preferência, o valor de dispersão da presente fibra óptica é de 8 ps/nm.km ou mais alto a 1550 nm, ao passo que o valor de dispersão a 1300 nm tem de ser de -8 ps/nm.km ou mais baixo. Quando os ditos valores de dispersão são usados, é possível utilizar vários canais, a saber sinais tendo diferentes comprimentos de onda, simultaneamente nas

duas faixas de comprimento de onda supra citadas à altas de velocidades de transmissão de 10 Gbit/s ou maiores, sem as características não lineares terem um efeito limitativo sob este aspecto.

[018] Verificou-se agora além disso que o declive no perfil do índice de refração constitui um importante parâmetro de construção para alcançar a correta combinação de características da fibra óptica final. Conseqüentemente, o declive de preferência varia de 0,11 a 0,22, particularmente de 0,13 a 0,19. Se é usado um declive dotado de um valor mais alto que aquele da faixa de valores acima, as perdas por macro flexão e o declive de dispersão será demasiadamente grande, o que é indesejável na prática. Por outro lado, se é usado um declive dotado de um valor inferior aquele da faixa de valores acima, a área efetiva será demasiadamente pequena, o que é também indesejável na prática.

[019] Para habilitar a simultânea transmissão de um grande número de sinais em diferentes comprimentos de onda sem limitar significativamente a densidade de potência, a presente fibra óptica de preferência tem uma área efetiva de $60 \mu\text{m}^2$ ou maior a um comprimento de onda na faixa de 1550 nm.

[020] Outrossim, de preferência o declive de dispersão para a presente fibra óptica varia de 0,07 a 0,095 ps/nm.km^2 a 1550 nm

[021] Para assegurar que a presente fibra óptica possa ser considerada uma fibra óptica unimodo através de uma máxima faixa de comprimento de onda, o comprimento de onda de corte de preferência é inferior a 1200 nm, medido

para uma fibra óptica dotada de um comprimento de 2 m.

[022] Além de ter os aspectos característicos das concretizações preferenciais supracitadas, a fibra óptica deve exibir baixas perdas causadas por flexão da fibra óptica. O fato é que muitas conexões são estabelecidas nas supra ditas redes consistindo de fibras ópticas, para cujas conexões laços são usualmente assentados na fibra nas posições das ditas conexões. Assim, há conveniência em limitar as perdas por atenuação causadas pelos ditos laços tanto quanto possível, o que de preferência implica que as perdas por macro flexão, medidas a um comprimento de onda de 1625 nm e 100 enrolamentos tendo um diâmetro de flexão de 60 nm, são de preferência inferiores a 0,05 dB.

[023] A presente invenção além disso refere-se a um sistema de comunicação óptico para transmissão de sinais multicanal, cujo sistema é caracterizado pelo fato da presente fibra ser usada como um meio de transmissão para vários canais na faixa de comprimento de onda quer de 1550 nm quer de 1300 nm.

[024] A presente invenção será explanada em maior detalhe a seguir por intermédio de concretizações, com relação às quais deve ser todavia observado, que a presente invenção não está de maneira alguma limitada às ditas concretizações. Nas figuras 1 a 3 apenas, os perfis de índice de refração de um número de fibras ópticas de acordo com uma concretização especial da invenção são esquematicamente mostrados p.ex. em função do raio.

[025] A figura 1 mostra um possível perfil de índice de refração de uma fibra de acordo com a presente invenção. A posição indicada pelo numeral de referência 1

sobre o dito perfil é um índice de refração máximo substancialmente no eixo geométrico de simetria, cuja posição tem um valor de índice de refração n_1 e uma diferença de índice de refração D_1 . A posição indicada pelo numeral de referência 2 é espaçada do eixo geométrico de simetria por uma distância r_1 e tem um valor de índice de refração distintamente mais baixo n_2 e diferença de índice de refração D_2 do que a posição indicada pelo numeral de referência 1. O valor do índice de refração decresce de maneira monótona praticamente linear da posição 1 para a posição 2, com o declive h sendo de acordo com a seguinte equação: $h = (D_1 - D_2)/(r_1)$. A posição indicada em 3 é espaçada do eixo geométrico de simetria por uma distância r_2 . Finalmente, o numeral 4 indica uma posição que é espaçada do eixo geométrico de simetria por substancialmente a mesma distância que a posição 3, cuja posição 4 mostra o valor de índice de refração do revestimento, cujo revestimento se estende do eixo geométrico de simetria a partir de uma distância r_2 e um valor de índice de refração inferior aquele da posição 3.

[026] A figura 2 mostra um perfil de índice de refração de uma fibra de acordo com a presente invenção. Um perfil circularmente simétrico tendo uma distância r_1 é construído em torno de um eixo geométrico central de simetria, no qual a posição indicada pelo numeral de referência 1 do dito perfil requer um índice de refração dotado de um valor de índice de refração constante n_1 . A posição indicada pelo numeral de referência 2 é espaçada do eixo geométrico de simetria por uma distância r_2 e tem um valor de índice de refração n_2 e diferença de índice de refração D_2 distintamente mais baixos do que a posição

indicada pelo numeral de referencia 1. O valor do índice de refração decresce de maneira monótona, praticamente linear da posição 1 para a posição 2, onde o declive $h = (D1-D2)/(r1)$. A posição indicada pelo numeral de referência 4 indica o valor de índice de refração do revestimento, cujo revestimento se estende do eixo geométrico de simetria a partir de uma distância $r2$. Na figura 2, $n1 > n2 > n_{c1}$.

[027] A figura 3 mostra um perfil de índice de refração de uma fibra de acordo com a presente invenção. A posição indicada em 1 sobre o dito perfil é um índice de refração máxima substancialmente no eixo geométrico de simetria, cuja posição tem um valor de índice de refração $n1$ e uma diferença de índice de refração $D1$. A posição indicada em 1" é espaçada do eixo geométrico de simetria por uma distância $r1$ tem um valor de índice de refração distintamente mais baixo $n1''$ que a posição indicada em 1. O valor de índice de refração decresce de maneira monótona, praticamente linear, da posição 1 já para a posição 1". A posição indicada em 2 é também espaçada do eixo geométrico de simetria por uma distância $r2$ e tem um valor de índice de refração $n2$ e uma diferença de índice de refração $D2$. Finalmente, o numeral de referência 4 indica uma posição que é espaçada do eixo geométrico de simetria por substancialmente a mesma distância que a posição 3, de cuja posição 4 o revestimento se inicia, cujo revestimento tem um valor de índice de refração inferior aquele da posição 3.

[028] Conforme já explanado antes, o declive h é um parâmetro de construção importante para obter a correta combinação de características da fibra óptica. O dito declive h pode ser influenciado, por exemplo, adaptando a diferença

de índice de refração da posição 2. O declive pode ser aumentado causando o valor de índice da posição 2, particularmente nas figuras 1 e 2, a decrescer. Além disso, a adaptação do declive também pode se processar alterando a posição radial da posição 1" (ver a figura 3) e da posição 2 (ver as figuras 1 e 2). Conforme já mencionado acima, verificou-se agora que o declive de preferência varia de 0,11 a 0,22, mais especificamente, de 0,13 para 0,19. No caso de um declive dotado de um valor mais alto que a gama de valores supra mencionada, as perdas por macroflexão aumentarão indesejavelmente, ao passo que o resultado de um declive dotado de um valor inferior aquele da supra citada gama de valores resulta na área efetiva desejada ser demasiadamente pequena.

[029] A influência do declive no perfil de índice de refração dos perfis aqui apresentados sobre um número de parâmetros, isto é, o declive de dispersão, que é de preferência inferior a 0,095 ps/nm.km², as perdas por macroflexão, que são de preferência inferiores a 0,05 dB (medida a um comprimento de onda de 1625 nm, enrolamentos tendo um diâmetro de flexão de 60 mm) e uma área efetiva, que de preferência é maior que 60 μm^2 , foi investigada para fibras ópticas que satisfazem o requisito de dispersão de ≤ 8 ps/nm.km a 1550 nm e ≤ 8 ps/nm.km a 1330 nm e o requisito de comprimento de onda de corte de < 1200 nm, medido sobre uma fibra óptica tendo um comprimento de 2 m. Os resultados são apresentados na tabela abaixo.

Declive	Declive de Dispersão	Macro flexão	Área Efetiva
0,10	++	++	-

0,12	+	++	+/-
0,14	+	+	+
0,16	+	+	+
0,18	+	+	+
0,20	+/-	+	+
0,22	+/-	+/-	++
0,24	+/-	--	++

[030] A tabela acima mostra claramente que um equilíbrio satisfatório de características é obtido com o declive na faixa de $0,11 < \text{declive} < 0,22$.

REIVINDICAÇÕES

1. FIBRA ÓPTICA UNIMODO, que compreende uma primeira região central dotada de um raio r_1 , um valor de índice de refração máximo n_1 e pelo menos um segundo anel circundando a primeira região central, cujo segundo anel tem um raio r_2 e um valor de índice de refração mínimo n_2 , em que $n_2 < n_1$, caracterizada pelo valor de índice de refração n_1 ser constante na primeira região central tendo o raio r_1 , e no segundo anel tendo raio r_2 o valor de índice de refração decrescer na direção radial de n_1 para n_2 através de uma distância $r_1 - r_2$, com o decréscimo, que é linear, ocorrendo de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Declive} = (D_1 - D_2) / (r_2 - r_1), \text{ onde}$$

$$0,11 < \text{declive} < 0,22, \text{ e}$$

$$D_i = \frac{n_i^2 - n_{cl}^2}{2 \cdot n_i^2} \cdot 100\% \text{ e } n_i > n_{cl}$$

e

D_i = contraste de índice de refração para posição i ;

n_i = índice de refração da posição i ;

n_{cl} = índice de refração do revestimento de fibra externo, e

a fibra óptica compreendendo ainda,

um valor de dispersão de 8 ps/km ou mais alto à 1550 nm, e

um valor de dispersão de -8 ps/km ou mais baixo à 1300 nm.

2. FIBRA ÓPTICA, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo seguinte obter: $r_1 < 0,25 \mu\text{m}$.

3. FIBRA ÓPTICA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2, caracterizada pelo segundo anel dotado do raio r_2 ser circundado por um terceiro anel dotado de um raio r_3 e de um valor de índice de refração n_3 , onde $n_3 < n_2$ e $r_3 > r_2$.

4. FIBRA ÓPTICA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo terceiro anel dotado do raio r_3 ser circundado por um quarto anel dotado de um valor de índice de refração n_4 , onde $n_4 < n_3$ e $r_4 > r_3$.

5. FIBRA ÓPTICA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo seguinte obter: $0,13 < \text{declive} < 0,19$.

6. FIBRA ÓPTICA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizada pelo declive de dispersão variar de 0,07 a 0,095 ps/km² a 1550 nm.

7. FIBRA ÓPTICA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pela área efetiva ser de 60 μm^2 ou maior a 1550 nm.

8. FIBRA ÓPTICA, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizada pelo comprimento de onda de corte ser inferior a 1200 nm, medido para uma fibra dotada de um comprimento de 2 m.

9. SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA, caracterizado por compreender a dita fibra óptica, conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 8, usada para transmissão de sinal multicanal na faixa de comprimento de onda de quer 1550 nm quer 1300 nm.

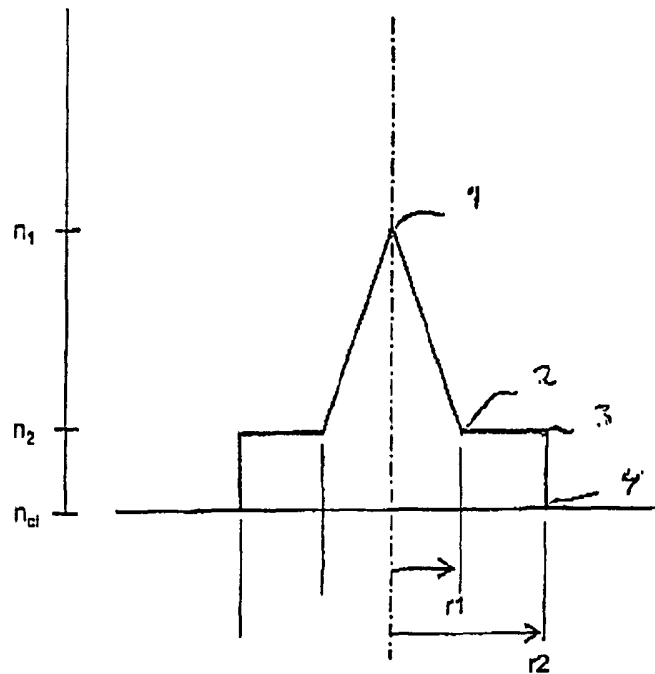
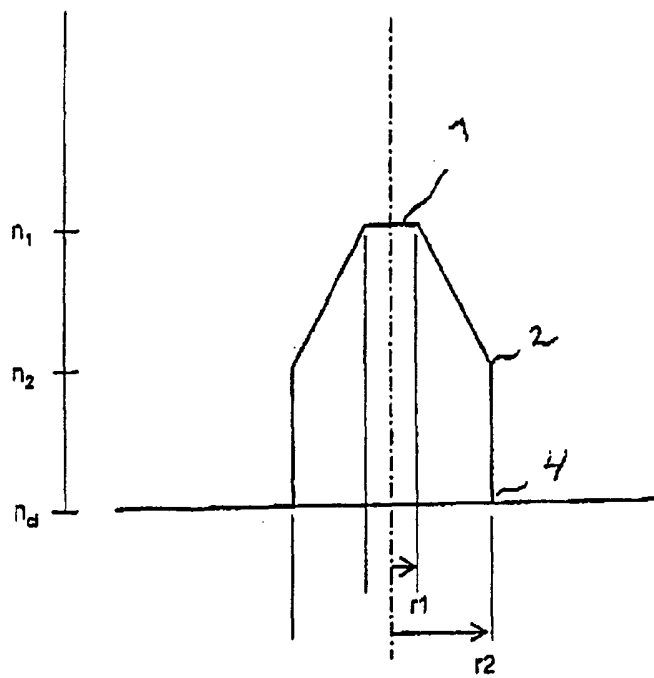
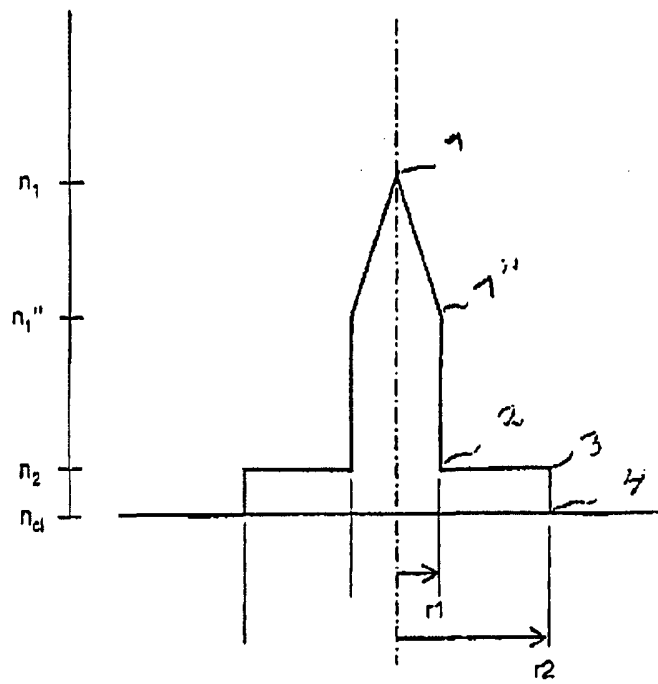
FIG.1**FIG.2**

FIG.3



RESUMO

"FIBRA ÓPTICA UNIMODO E SISTEMA DE COMUNICAÇÃO ÓPTICA"

A presente invenção refere-se a uma fibra óptica unimodo que compreende uma primeira região central dotada de um raio r_1 , de um máximo valor de índice de refração n_1 e pelo menos um segundo anel circundando a primeira região central, cujo segundo anel tem um raio r_2 e um valor de índice de refração mínimo n_2 , onde $n_2 < n_1$. A presente invenção outrossim refere-se a um sistema de comunicação óptica para transmissão de sinal multicanal.