



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

(11) PI 0705636-2 B1

(22) Data do Depósito: 29/10/2007

(45) Data de Concessão: 17/07/2018



(54) Título: FIBRA ÓPTICA COM CASCA E NÚCLEO LÍQUIDOS, MÉTODO PARA PREENCHIMENTO SIMULTÂNEO E MÉTODO DE REDUÇÃO DO NÚMERO DE MODOS GUIADOS

(51) Int.Cl.: G02B 6/032

(73) Titular(es): INSTITUTO PRESBITERIANO MACKENZIE. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

(72) Inventor(es): CRISTIANO MONTEIRO DE BARROS CORDEIRO; CHRISTIANO JOSÉ SANTIAGO DE MATOS; ELIANE MOURA DOS SANTOS; DANIEL DOS SANTOS FERREIRA; CARLOS HENRIQUE DE BRITO CRUZ

Relatório Descritivo da Patente de Invenção
para **“FIBRA ÓPTICA COM CASCA E NÚCLEO
LÍQUIDOS, MÉTODO PARA PREENCHIMENTO
SIMULTÂNEO E MÉTODO DE REDUÇÃO DO NÚMERO
5 DE MODOS GUIADOS”**.

CAMPO TÉCNICO

A presente invenção refere-se a um guia de
onda, ou fibra óptica, formado a partir de uma fibra micro-
estruturada com um núcleo oco e uma casca de alta porcentagem
10 de ar. A presente invenção também refere-se a um método para
preenchimento simultâneo dos orifícios da casca e do núcleo com
materiais previamente selecionados. Adicionalmente, a presente
invenção refere-se a um método de redução do número de modos
guiados em qualquer fibra óptica de núcleo líquido baseada em
15 uma fibra óptica micro-estruturada.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A transmissão da luz por meio da fibra óptica
ocorre a partir da incidência de um feixe de luz em uma das suas
extremidades o qual, devido as características ópticas da fibra,
20 percorre o interior da mesma através de consecutivas reflexões.

A fibra óptica possui no mínimo duas camadas,
o núcleo e a casca. No núcleo da fibra ocorre a transmissão da luz
devido à diferença do índice de refração entre o núcleo e a casca.

O núcleo possui sempre um índice de refração
25 mais elevado do que a casca. Este fato, aliado ao ângulo de
incidência do feixe de luz possibilita que ocorra o fenômeno da
reflexão interna total.

Com relação ao número de modos propagados, as fibras ópticas podem ser basicamente de dois tipos: monomodo, que propagam apenas um modo; ou multimodo, que propagam mais de um modo.

5 Ao longo dos anos, aprimoramentos nas fibras ópticas foram sendo realizados e novas fibras providas de características especiais passaram a existir, dentre as quais têm-se as fibras ópticas micro-estruturadas.

10 Estas fibras, também conhecidas como fibras de cristal fotônico ou PCF (Photonic Crystal Fibre), são providas nas seções transversais de sua casca de um conjunto de orifícios, que correm paralelamente e ao longo do eixo da fibra.

15 O núcleo, que está localizado no centro da fibra, pode ser sólido ou oco. O diâmetro dos orifícios da casca, assim como a distância média entre ditos orifícios, é da mesma ordem do comprimento de onda da luz propagada e, por este motivo, a micro-estrutura pode ter forte influência nas características ópticas da fibra.

20 Os novos graus de liberdade relacionados à micro-estrutura permitem uma vasta gama de possibilidades de controle das características ópticas da fibra, tais como a dispersão cromática e a área modal, permitindo a realização de estudos fundamentais e aplicações não acessíveis com fibras ópticas tradicionais.

25 Uma das novas aplicações da fibra óptica micro-estruturada refere-se à utilização dos orifícios da casca e/ou do núcleo para inserção de líquidos ou gases no interior da fibra para

a realização de experimentos de sensoriamento, espectroscopia, óptica não-linear, etc. Devido ao longo comprimento de interação, ao confinamento transversal da luz, e à possibilidade de se induzir uma grande superposição entre a luz e o líquido ou gás inseridos nos orifícios da casca, as medidas podem apresentar alta sensibilidade.

Em particular, fibras ópticas micro-estruturadas de núcleo oco podem ser utilizadas para se obter um guia de onda no qual um líquido é inserido somente no núcleo promovendo, assim, uma interação praticamente total entre a luz guiada e o meio líquido de interesse. O baixo índice de refração da casca, obtido devido à alta fração de ar na micro-estrutura, garante a obtenção de reflexão interna total da luz se propagando pelo núcleo líquido.

O guiamento por reflexão interna total exige um índice de casca inferior ao do líquido a ser utilizado. Antes do advento da fibra óptica micro-estruturada, apenas líquidos com alto índice de refração ($> \sim 1,45$) satisfaziam este requerimento quando colocados no interior de capilares de vidro. Contudo, materiais não usuais e de difícil integração com a tecnologia de fibras tradicionais de sílica permitiam o uso de líquidos com índices de refração menores. Como exemplo desse tipo de material, tem-se o Teflon.

Alternativamente, era possível se estudar e/ou sensoriar líquidos colocados nas proximidades do núcleo de um guia de onda. Neste caso, a interação entre a luz e o meio líquido de interesse não é total, já que apenas ocorre através do campo

evanescente. Nestas condições, a interação fluido-radiação é bastante reduzida, raramente sendo maior do que 1%. Além disso, efeitos de interface podem prejudicar diversas aplicações.

5 Para se poder utilizar fibras ópticas micro-
estruturadas de núcleo oco para sensoriamento de líquidos,
conforme descrito acima, deve-se preencher seletivamente apenas
o núcleo da fibra, mantendo os orifícios da casca preenchidos
somente com ar.

10 Neste intuito, duas técnicas foram
desenvolvidas. Ambas as técnicas são baseadas em processos para
bloquear os orifícios da casca enquanto apenas o núcleo é
preenchido pelo líquido.

15 Uma das ditas técnicas baseia-se em um
processo que compreende diversas etapas, dentre as quais, inclui-
se: a injeção de um polímero especial na fibra, a cura (secagem)
do dito polímero por meio da iluminação com radiação
ultravioleta, e o subsequente corte da fibra. Este processo é
repetido sucessivas vezes. O princípio desenvolvido no dito
processo consiste na pressurização do polímero para o interior da
20 fibra, de modo que dito polímero preencha um maior
comprimento dos orifícios de maior diâmetro em comparação
com os orifícios de menor diâmetro [Y. Huang, Y. Xu, and A.
Yariv, "Fabrication of functional microstructured optical fibers
through a selective-filling technique," Appl. Phys. Lett. 85, 5182-
25 5184 (2004)].

Uma outra técnica utiliza uma máquina de
emendas de fibras ópticas para fechar os orifícios da casca. O

princípio dessa técnica consiste no fato de dita máquina emitir um arco voltaico de baixa intensidade/duração, o qual é aplicado em uma das extremidades da fibra óptica, fazendo com que os orifícios da casca sejam fechados enquanto se mantém o orifício central, o núcleo, aberto [K. Nielsen, D. Noordegraaf, T. Sørensen, A. Bjarklev, and T. P. Hansen, "Selective filling of photonic crystal fibres," J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 7, L13-L20 (2005)].

O preenchimento seletivo do núcleo por meio das técnicas explicitadas acima, e o uso de uma fibra óptica micro-estruturada de núcleo oco com alta fração de ar na casca, disponíveis comercialmente, permite que se obtenha uma radiação guiada por meio da reflexão interna total em praticamente qualquer líquido existente.

A reflexão interna total ocorre devido ao fato de tais fibras possuírem mais de 90% da área da casca micro-estruturada preenchida por ar, o que faz com que o índice de refração efetivo na casca possa ser inferior a 1,2.

Entretanto, em geral este índice efetivo é excessivamente baixo, de modo que fibras micro-estruturadas com núcleo líquido possuem grande contraste de índice núcleo-casca e, portanto, permitem a propagação de dezenas ou centenas de modos.

O número de modos ópticos guiados em uma fibra óptica pode ser calculado pelo "parâmetro V" da dita fibra, a saber:

$$V = \frac{2\pi r}{\lambda} \sqrt{n_{\text{núcleo}}^2 - n_{\text{casca}}^2} \quad (1)$$

onde: λ é o comprimento de onda;

r é o raio do núcleo da fibra óptica;

$n_{\text{núcleo}}$ é o índice de refração do núcleo da fibra óptica; e

n_{casca} é o índice de refração da casca da fibra óptica.

5 Quando o parâmetro V da fibra óptica for inferior a 2,405, apenas um modo pode ser guiado. De maneira aproximada, o número de modos guiados (N) pode ser estimado pela equação $N \sim V^2/2$, sendo esta fórmula tanto mais precisa quando maior o valor de V .

10 Um exemplo simples pode revelar o número de modos aproximado de uma fibra óptica micro-estruturada de núcleo oco comercialmente disponível, a saber:

Uma fibra micro-estruturada típica pode possuir $n_{\text{casca}} \sim 1,2$ e raio do núcleo de 5 microns. Se o núcleo for
15 preenchido com água (índice de refração de $\sim 1,3$) tem-se que para um comprimento de onda $\lambda = 633\text{nm}$, $V \sim 25$ e portanto o $N \sim 300$.

Em uma fibra óptica multimodo cada modo
adquire, ao atravessar a extensão da fibra, uma fase diferente, o
20 que dificulta, ou impossibilita, a realização de medidas que se baseiem ou dependam da fase da onda. Entre tais medidas podem-se citar as baseadas em interferometria e em efeitos não-

lineares do tipo Kerr. Dentre os efeitos não-lineares do tipo Kerr tem-se: os efeitos solitônicos, a auto-modulação de fase e a modulação de fase cruzada.

A determinação da fase da luz, ou de sua
 5 variação, com algum parâmetro físico ou químico é simplificada se apenas um modo se propagar pelo interior do núcleo da fibra óptica, ou pelo guia de onda. Dessa forma, métodos para se reduzir o número de modos guiados em fibras ópticas nas quais um líquido preenche o núcleo, têm sido motivo de
 10 desenvolvimentos pelos técnicos com habilidade na arte.

A literatura especializada descreve uma alternativa para se reduzir o número de modos guiados em fibras ópticas micro-estruturadas nas quais um líquido preenche o núcleo. Dita alternativa consiste em uma fibra com casca provida
 15 de uma determinada porcentagem de ar, de modo que seu índice de refração efetivo tenha um valor específico permitindo que o parâmetro V seja inferior a 2.405 [J. M. Fini, "Microstructure fibres for optical sensing in gases and liquids," Meas. Sci. Technol. 15, 1120-1128 (2004)].

20 Entretanto, a possibilidade proposta na literatura requer o uso de fibras ópticas providas de uma geometria específica para cada tipo de aplicação, para cada comprimento de onda a ser utilizado e para cada índice de refração do líquido que for ser utilizado para preencher o interior do núcleo.

25 O uso de uma geometria específica limita o uso da fibra óptica provida de núcleo oco e disponível comercialmente, uma vez que ditas fibras apresentam uma

elevada porcentagem de ar na micro-estrutura da casca, o que se faz necessário para que ditas fibras guiem por efeito de “bandgap” fotônico.

Ainda compondo a literatura, fibras ópticas para
5 transmissão de um feixe de radiação encontram-se descritas em documentos de patentes, tais como o documento US2005111804. Referido documento US2005111804 propõe o preenchimento total ou parcial de todos ou alguns orifícios de uma fibra micro-
10 estruturada de modo a promover a alteração do índice de refração na seção reta da fibra. Adicionalmente, o documento US2005111804, descreve um projeto de sensores ópticos com operação monomodo e multimodo. A técnica a ser utilizada para preenchimento seletivo dos referidos orifícios descrito no dito documento faz uso de máscaras localizadas nas extremidades da
15 fibra óptica e a utilização de polímeros curáveis com radiação ultra-violeta. Entretanto, não é mencionado no documento US2005111804, o preenchimento simultâneo do núcleo e da casca com dois líquidos diferentes. Outro fator não mencionado ao longo do referido documento refere-se à utilização das diferentes
20 extremidades da fibra para inserção de líquidos com índices de refração distintos.

A literatura patentária é repleta de métodos para inserção de líquidos em fibras micro-estruturadas, dentre tais métodos, encontra-se descrito no documento WO2004090510 a
25 inserção de líquidos nas fibras micro-estruturadas, principalmente através de capilaridade.

O documento WO2004001465 descreve a inserção de um líquido, o qual pode ser à base de água, petroquímico ou ainda, um gás liquefeito, no núcleo de uma fibra microestruturada para que a radiação se propague através do núcleo por meio da reflexão interna total. Os orifícios da casca são preferencialmente preenchidos com ar, porém, outros materiais tais como gás, ou vácuo também podem ser utilizados. O preenchimento dos orifícios permite propagação monomodo devido à flexibilidade da escolha do diâmetro do núcleo e o design da fibra antes de sua fabricação. O referido documento WO2004001465 não menciona em sua concretização preferida, o preenchimento dos orifícios da casca com outro líquido para este fim.

Encontra-se descrito no documento US2002122644, uma fibra microestruturada com operação monomodo. Referida operação é obtida por meio de uma matriz de orifícios em torno do núcleo, a qual é preenchida por um material com índice de refração menor do que o índice de refração do núcleo. No referido documento, não há menção de um núcleo líquido, além de não ser mencionada a técnica a ser utilizada para inserção dos líquidos nos respectivos orifícios.

As técnicas demonstradas até o momento na literatura requerem fibras micro-estruturadas específicas para que operem monomodo. Tais condições variam com comprimento de onda e índice de refração do líquido a ser usado no núcleo. Isto significa que para cada configuração é necessária a fabricação de uma fibra com características específicas.

Dessa forma, ainda não se encontra descrito na literatura, um método que permita utilizar praticamente qualquer fibra micro-estruturada de núcleo oco e grande fração de ar na casca como plataforma, de forma a tornar possível a utilização de
5 fibras micro-estruturada de núcleo oco comercialmente disponíveis. Como aqui descrito, isto é possível através do preenchimento dos orifícios da casca e do núcleo com líquidos de diferentes índices de refração, para permitir uma redução do número de modos guiados no núcleo, para tornar possível a
10 aplicação de uma fibra de núcleo líquido em todas as aplicações que requerem o uso de uma fibra monomodo.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se à produção de um guia de onda, ou simplesmente denominado como fibra óptica,
15 formado a partir de uma fibra óptica micro-estruturada provida de um núcleo oco e uma casca de alta porcentagem de ar, utilizada como plataforma para a produção de fibras de núcleo e casca líquidos utilizando, como plataforma, fibras micro-estruturada de núcleo oco comercialmente disponíveis. Uma característica
20 particular do guia de onda da presente invenção consiste no fato de ser possível inserir um líquido com um determinado índice de refração no núcleo da fibra e um outro líquido, ou outro tipo de material, provido de um diferente índice de refração, nos orifícios da casca. Um segundo objetivo da presente invenção refere-se a
25 um método para preenchimento simultâneo dos orifícios da casca e do núcleo do referido guia de onda ora obtido com materiais previamente selecionados, onde o referido método pode ser

aplicado a qualquer fibra micro-estruturada de núcleo oco provida de um diâmetro de núcleo maior que o diâmetro dos orifícios da casca. Adicionalmente, um terceiro objetivo da presente invenção refere-se a um método de redução do número de modos guiados em qualquer fibra de núcleo líquido baseada em uma fibra óptica micro-estruturada incluindo as fibras de núcleo oco já comercialmente disponíveis.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 mostra uma imagem de microscópio eletrônico da seção reta de uma fibra micro-estruturada de núcleo oco.

A Figura 2A mostra um desenho esquemático da primeira extremidade da fibra, na qual os orifícios da casca estão devidamente bloqueados.

A Figura 2B mostra um desenho esquemático da segunda extremidade da fibra, na qual a entrada do núcleo está devidamente bloqueada.

A Figura 3 mostra um desenho esquemático do processo de inserção simultânea dos dois líquidos de índices de refração diferentes: um primeiro líquido no interior do núcleo e um segundo líquido no interior dos orifícios da casca.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a um guia de onda, ou fibra óptica, de casca e núcleo líquidos, formado a partir de uma fibra óptica micro-estruturada de núcleo oco. Dito guia de onda é provido de um núcleo oco e de uma casca com alta

porcentagem de ar e é devidamente envolta por uma casca adicional de sílica, ou de qualquer outro material vítreo ou polimérico, a qual forneça uma rigidez mecânica a toda estrutura.

Uma característica particular do guia de onda da presente invenção consiste no fato de um primeiro líquido com um determinado índice de refração ocupar o seu núcleo e um segundo líquido, provido de um diferente índice de refração, ocupar os orifícios da casca. Entretanto, a presente invenção não se limita ao uso de um segundo líquido para ocupar os orifícios da casca, podendo assim, referidos orifícios serem ocupados por qualquer outro tipo de material, tal como sol-gel ou ainda um polímero.

No intuito de facilitar o entendimento, chamaremos o guia de onda da presente invenção de fibra óptica ao longo desse relatório.

Uma fibra óptica provida de um núcleo no qual seu interior está ocupado por um líquido permite a realização de experimentos de sensoriamento, espectroscopia e óptica não-linear em líquidos com todas as vantagens inerentes a fibras ópticas, tais como: longo comprimento de interação, possibilidade de medidas remotas, baixo peso e custo etc, assim como o fato de se utilizar apenas um pequeno volume de líquido, em geral da ordem de nano-litros. Como exemplo desse fato, tem-se que uma fibra óptica com um metro de comprimento e um orifício de 5 microns de raio requer apenas 78 nano-litros para ser preenchida.

Na fibra óptica da presente invenção, a luz é guiada através do núcleo líquido de modo a permitir uma total superposição/interação líquido-radiação.

De maneira a facilitar a compreensão da presente invenção e de todas as suas características técnicas, a mesma será ora descrita como uma modalidade preferida, a qual consiste em uma fibra óptica com núcleo e orifícios da casca providos de líquidos de diferentes índices de refração, não se tornando limitativa a esta concretização.

10 A fibra óptica ora desenvolvida, com núcleo e orifícios da casca providos de líquidos de diferentes índices de refração permite o controle da diferença de índice de refração entre núcleo e casca e, por conseqüência, permitindo com isto que a abertura numérica da fibra e o número de modos guiados sejam
15 controlados, incluindo a redução do número de modos.

A fibra óptica ora desenvolvida possui os orifícios da casca de uma primeira extremidade bloqueados, de modo que os orifícios da casca não sejam preenchidos pelo líquido que deverá preencher o núcleo e que deverá estar
20 livremente desobstruído.

Na segunda extremidade da fibra óptica, o orifício central, o núcleo, deverá ser bloqueado, de modo a não ser preenchido pelo líquido que deverá preencher os orifícios da casca, os quais deverão estar desobstruídos para livre
25 preenchimento.

O bloqueio das extremidades da fibra óptica é realizado preferencialmente por meio de uma máquina de

emendas de fibras ópticas e por meio de um polímero a ser solidificado por meio da radiação no ultra-violeta.

Entretanto, a presente concretização não se limita a essas duas técnicas para bloqueio das extremidades da
5 fibra óptica, podendo ainda ser aplicado à referida fibra, outras técnicas para bloqueio da primeira extremidade, assim como, alternativamente utilizado o aumento de temperatura local para solidificação do polímero.

Um segundo objetivo da presente concretização,
10 consiste em um método para a inserção simultânea de um líquido no interior do núcleo e inserção de um outro líquido nos orifícios da casca da fibra micro-estruturada utilizada como plataforma. O material que irá preencher o núcleo e os orifícios da casca, ora preferencialmente líquido, deve ser previamente selecionado.

15 O referido método pode ser aplicado a qualquer fibra micro-estruturada de núcleo oco provida de um diâmetro de núcleo maior que o diâmetro dos orifícios da casca.

A metodologia utilizada no referido método ora
20 objeto da presente concretização, permite realizar o controle da diferença de índice de refração entre o líquido que preenche o núcleo e o líquido que preenche os orifícios da casca e, por conseqüência, o controle do parâmetro V da fibra óptica.

Adicionalmente, um terceiro objetivo da
25 presente invenção se refere a um método de redução do número de modos guiados em qualquer fibra provida de núcleo líquido baseada em uma fibra óptica micro-estruturada, ou melhor

denominada como fibras de cristal fotônico, incluindo as fibras de núcleo oco já comercialmente disponíveis.

A redução do número de modos permite a obtenção de uma fibra monomodo sem a necessidade de produção de uma fibra desenhada e manufaturada especificamente para cada diferente aplicação.

Dito método se baseia no controle do índice de refração da casca da fibra, de modo a permitir uma redução do parâmetro V da fibra.

O controle do índice de refração é realizado por meio da inserção de um líquido nos orifícios da casca da fibra cujo seu índice de refração pode ser selecionado de acordo com a aplicação específica.

Valores específicos para o índice de refração, compreendendo uma faixa adequada, são facilmente obtidos por meio da mistura de líquidos com diferentes índices de refração.

A redução da diferença de índice permite que a luz se propague em apenas um modo pelo interior do núcleo da fibra óptica, permitindo o uso da dita fibra em situações onde a informação a ser medida ou caracterizada esteja codificada na fase da luz guiada.

Conforme se pode depreender a partir das Figuras de 1 a 3, onde referências iguais identificam partes correspondentes do objeto ora a ser reivindicado, assim como as referidas metodologias que compreendem a presente invenção, como a seguir:

A obtenção da fibra óptica (FO) da presente invenção consiste no bloqueio das extremidades da referida fibra, de modo que o líquido selecionado para preenchimento do núcleo (C) não preencha ocasionalmente os orifícios da casca (O), assim
5 como, o líquido selecionado para preencher os orifícios da casca (O) não preencha ocasionalmente o núcleo (C) da fibra óptica (FO).

Desse modo, uma primeira extremidade (A) da fibra óptica (FO) foi submetida a uma máquina de emendas de
10 fibras ópticas para bloqueio dos orifícios da casca (O) na referida extremidade (A). Um arco voltaico aplicado sobre a referida extremidade (A) da fibra óptica (FO) bloqueou os orifícios da casca (O), de modo que ditos orifícios da casca (O) da fibra não fossem preenchidos pelo líquido que deverá ser aplicado à fibra
15 para preenchimento do núcleo (C) pela extremidade (A).

Em seguida, uma segunda extremidade (B) da fibra óptica (FO) é inserida em um recipiente, o qual contém um polímero especial na forma líquida. O polímero selecionado para ser utilizado na presente concretização deve ser provido de baixa
20 viscosidade e tornar-se sólido por meio de cura por luz ultra-violeta ou por meio do aumento local da temperatura. Preferencialmente, dito polímero deve apresentar boa aderência ao vidro. Para a presente concretização foi preferencialmente utilizado como material polimérico, o adesivo óptico NOA73.

25 Dito polímero é introduzido no centro da fibra óptica (FO), ou seja, no núcleo (C), por meio da técnica de

sucção, a qual é aplicada na primeira extremidade (A), de modo a promover o bloqueio do núcleo (C) na extremidade (B).

O bloqueio do núcleo (C) na extremidade (B) ocorre devido ao efeito da sucção que irá agir somente sobre o orifício central, o núcleo (C), posicionado na segunda extremidade (B), uma vez que os orifícios da casca (O) da primeira extremidade (A) estão devidamente bloqueados pelo arco voltaico aplicado pela máquina de emendas. A sucção é aplicada na extremidade (A) até que ocorra o preenchimento de uma pequena região do núcleo (C), após o que é interrompida. A região a ser preenchida do núcleo (C) pelo polímero solidificado por meio da sucção é de cerca de 5-10mm.

A segunda extremidade (B) da fibra óptica (FO) que foi imersa no polímero na fase líquida para bloquear o orifício central, de acesso ao núcleo (C), é submetida a iluminação com radiação na faixa do ultra-violeta de modo a promover a solidificação do polímero e conseqüentemente a obstrução do núcleo (C) na extremidade (B).

Por meio da Figura 1, é possível observar os orifícios da casca (O) e o orifício central de entrada do núcleo (C), pois referida Figura é uma fotografia de microscopia eletrônica de uma das extremidades de uma fibra óptica (FO), a qual foi utilizada para melhor ilustrar a matéria técnica da presente invenção.

Em seqüência às etapas anteriormente descritas, obtêm-se uma fibra óptica (FO) pronta para ser preenchida pelos líquidos de diferentes índices de refração, de modo que cada um

dos líquidos seja introduzido por meio de cada uma das extremidades (A e B), simultaneamente.

O preenchimento do núcleo (C) e dos orifícios da casca (O) da fibra óptica (FO) ocorre por meio do método de
5 preenchimento simultâneo ora objeto da presente concretização. O referido método compreende as etapas:

- pressurização de um primeiro líquido para o interior do núcleo (C) da fibra óptica (FO); e
- pressurização de um segundo líquido para o
10 interior dos orifícios da casca (O) da fibra óptica (FO)

Um primeiro líquido de maior índice de refração (L1) é pressurizado para o interior da fibra óptica (FO) por meio da primeira extremidade (A) de forma que o referido líquido de maior índice de refração (L1) irá ocupar somente o orifício central
15 da dita fibra, ou seja, o núcleo (C), conforme mostra a Figura 2a.

Simultaneamente, um segundo líquido de menor índice de refração (L2) é pressurizado para o interior dos orifícios da casca (O) da fibra óptica (FO) por meio da segunda extremidade (B). Dessa forma, somente os orifícios da casca (O)
20 serão preenchidos pelo líquido de menor índice de refração (L2), conforme mostra a Figura 2b.

Devido à pressão positiva aplicada externamente nas duas extremidades (A e B) da fibra os dois líquidos irão se deslocar no interior dos orifícios da casca (O) e no
25 interior do núcleo (C) da fibra óptica (FO). Considerando uma situação ideal, sem a ocorrência de nenhum imprevisto acidental,

o deslocamento dos líquidos irá ocorrer até que a pressão interna da fibra óptica (FO) se iguale à pressão externa.

A pressão interna da fibra óptica (FO) é resultante do ar que está aprisionado no interior da fibra óptica (FO), conforme mostra a Figura 3.

Um valor típico de pressão aplicada do lado externo da fibra óptica (FO) é da ordem de 5atm. Entretanto, o valor de pressão não está limitado a 5atm e valores maiores de pressão podem ser aplicados.

Por meio da Figura 3, pode-se visualizar a região (x) não preenchida pelo líquido de maior índice de refração (L1) no orifício central, o núcleo, e a região (x') não preenchida pelo líquido de menor índice de refração (L2) da casca da fibra óptica (FO).

O método de redução de modos baseado no controle do índice de refração por meio do preenchimento dos orifícios da casca (O), assim como o preenchimento do núcleo (C) da fibra óptica (FO) ora obtida pelos seus respectivos líquidos é realizado, conforme a seguir:

Após o preenchimento dos orifícios da casca (O) e do núcleo (C) da fibra óptica (FO) são realizados cortes transversais (T) à fibra óptica (FO) de forma a se remover as extensões de fibra não preenchidas na região (x) do núcleo e na região (x') dos orifícios da casca, conforme mostra a Figura 3.

O comprimento das regiões não preenchidas, ou ainda, o deslocamento dos líquidos, pode ser estimado a partir da equação:

$$x=x'=L/P$$

onde: L é o valor do comprimento da fibra óptica (FO); e

P é o valor da pressão externa, em atmosferas (atm), aplicada às duas extremidades (A e B) da fibra óptica (FO).

Dessa forma, para uma fibra óptica (FO) com
5 comprimento de cerca de 30cm e submetida a uma pressão externa de cerca de 5atm em cada uma das suas extremidades, têm-se que os deslocamentos do líquido de maior índice de refração (L1) no núcleo e do líquido de menor índice de refração (L2) são de aproximadamente 24cm; as porções do núcleo e da
10 casca que não serão preenchidas por seus respectivos líquidos serão de aproximadamente 6cm. A porção central da fibra óptica (FO), cerca de 18cm (=30cm-6cm-6cm), estará completamente preenchida, incluindo os orifícios da casca e do núcleo.

Assim sendo, as modalidades acima descritas
15 têm por finalidade melhor explicar os modos conhecidos para a prática da invenção e para permitir que os técnicos na área utilizem a invenção em tais, ou outras modalidades, e com várias modificações necessárias pelas aplicações específicas ou usos da presente invenção. É a intenção que a presente invenção inclua
20 todas as modificações e variações da mesma, dentro do escopo descrito no relatório e nas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Fibra óptica com núcleo e casca líquidos usando, como plataforma, uma fibra micro-estruturada provida de um núcleo oco e de uma casca com alta porcentagem de ar
5 devidamente envolta por uma casca adicional de sílica, ou outro material vítreo ou polimérico, para fornecer uma rigidez mecânica a toda estrutura caracterizada por um primeiro líquido com um determinado índice de refração ocupar o núcleo (C) e um segundo líquido provido de um diferente índice de refração ocupar os
10 orifícios da casca (O).

2. Fibra óptica micro-estruturada de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por os orifícios da casca (O) serem alternativamente preenchidos por qualquer outro tipo de material, selecionado dentre sol-gel e um polímero.

15 3. Fibra óptica micro-estruturada de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por a luz ser guiada através do núcleo (C) preenchido em seu interior com um líquido de determinado índice de refração para permitir uma total superposição/interação líquido-radiação.

20 4. Fibra óptica micro-estruturada de acordo com a reivindicação 1, caracterizada por inicialmente os orifícios da casca (O) de uma primeira extremidade (A) da fibra serem bloqueados por meio de um arco voltaico gerado pela máquina de emendas de fibras e o orifício central da segunda extremidade (B)
25 da fibra ser bloqueado por meio de um polímero introduzido no núcleo (C) por meio de sucção aplicada na primeira extremidade (A) e ser solidificado por meio da radiação ultra-violeta.

5. Fibra óptica micro-estruturada de acordo com a reivindicação 4, caracterizada por o polímero selecionado ser alternativamente solidificado por meio do aumento local da temperatura.

5 6. Fibra óptica micro-estruturada de acordo com a reivindicação 4, caracterizada por outros processos para bloqueio dos orifícios da casca (O) poderem ser utilizados.

7. Fibra óptica micro-estruturada de acordo com as reivindicações 1 e 4, caracterizada por estar pronta para ser
10 preenchida pelos líquidos de diferentes índices de refração.

8. Método para preenchimento simultâneo do núcleo e dos orifícios da casca da fibra óptica conforme reivindicada de 1 a 7, caracterizado por compreender as etapas:

- pressurização de um primeiro líquido de maior
15 índice de refração (L1) para preencher o núcleo (C) oco; e

- pressurização de um segundo líquido de menor índice de refração (L2) para preencher os orifícios da casca (O).

9. Método para preenchimento de acordo com a reivindicação 8, caracterizado por o deslocamento dos líquidos
20 ocorrer até que a pressão interna da fibra óptica (FO) se iguale à pressão externa.

10. Método para preenchimento de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por um valor de pressão típico aplicado do lado externo da fibra óptica (FO) ser
25 preferencialmente da ordem de 5atm.

11. Método de redução do número de modos guiados em qualquer fibra óptica provida de um núcleo líquido

baseada em uma fibra óptica micro-estruturada caracterizado por se basear no controle do índice de refração da casca da fibra para permitir uma redução do parâmetro V da fibra.

12. Método de redução do número de modos
5 guiados de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por o controle do índice de refração ser realizado por meio da inserção de um líquido nos orifícios da casca (O) da fibra cujo índice de refração pode ser selecionado de acordo com a aplicação específica.

10 13. Método de redução do número de modos guiados de acordo com a reivindicação 11, caracterizado por a redução do número de modos permitir que a luz se propague em apenas um modo pelo interior do núcleo (C) do guia de onda.

14. Método de redução de acordo com a
15 reivindicação 11, caracterizado por após o preenchimento dos orifícios da casca (O) e do núcleo (C) da fibra óptica (FO) serem realizados cortes transversais (T) à fibra óptica (FO) para remover as extensões de fibra não preenchidas na região (x) do núcleo e na região (x') dos orifícios da casca e o deslocamento do líquido ser
20 estimado a partir da equação $x=x'=L/P$.

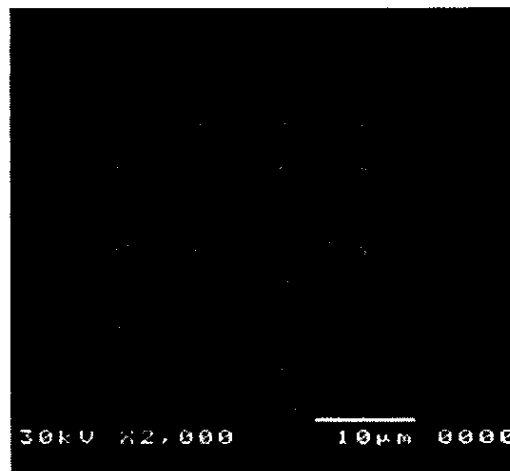


FIGURA 1

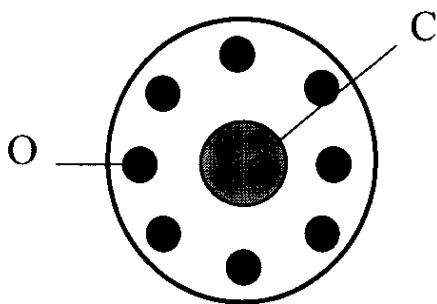


FIGURA 2A

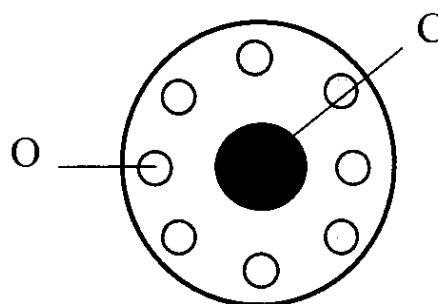


FIGURA 2B

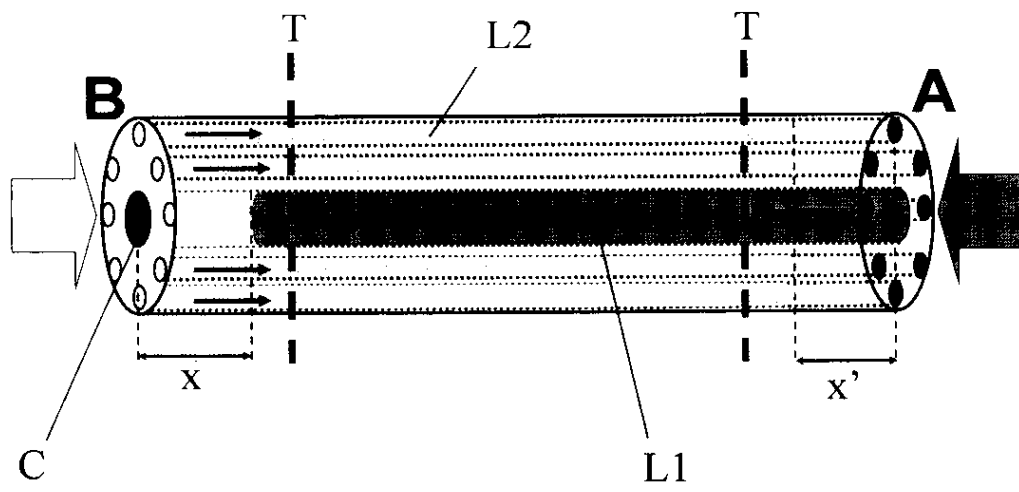


FIGURA 3