



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

(21) **PI 1002451-4 A2**



(22) Data de Depósito: 29/07/2010
(43) Data da Publicação: 15/05/2012
(RPI 2158)

(51) *Int.Cl.:*
C03B 37/018

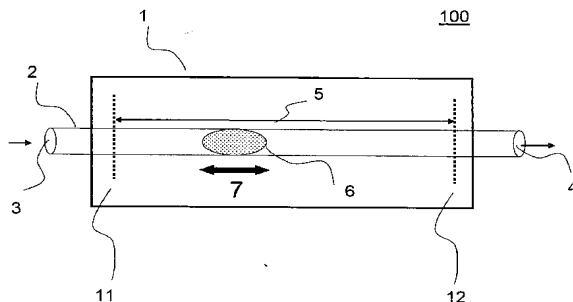
(54) **Título:** MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS

(30) **Prioridade Unionista:** 30/07/2009 NL 1037164

(73) **Titular(es):** Draka Comteq B.v.

(72) **Inventor(es):** Eric Aloysius Kuijpers, Igor Milicevic, Johannes Antoon Hartsuiker, Mattheus Jacobus Nicolaas Van Stralen

(57) **Resumo:** MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS. A presente invenção refere-se a um método para a fabricação de uma pré-forma primária para fibras ópticas usando um processo de deposição a vapor interno, compreendendo as etapas de: i) proporcionar um tubo de substrato de vidro oco tendo um lado de fornecimento e um lado de descarga, ii) circundar ao menos parte do tubo de substrato de vidro oco por um forno a uma temperatura T₀, iii) fornecer gases de formação de vidro, dopados ou não dopados, ao interior do tubo de substrato de vidro oco, via seu lado de fornecimento iv) criar uma zona de reação com condições tais que a deposição de vidro sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco acontecerá, e v) mover a zona de reação para frente e para trás ao longo do comprimento do tubo de substrato de vidro oco entre um ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do tubo de substrato oco de modo a formar ao menos uma camada de pré-forma na superfície interna do tubo de substrato de vidro oco, camada de pré-forma esta que compreende diversas camadas de vidro.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS**".

5 A presente invenção refere-se a um método para a fabricação de uma pré-forma primária para fibras ópticas utilizando um processo de deposição de vapor interno compreendendo as etapas de:

i) proporcionar um tubo de substrato de vidro oco tendo um lado de fornecimento e um lado de descarga,

10 ii) circundar ao menos parte do tubo de substrato de vidro oco por um forno a uma temperatura T_0 ,

iii) fornecer gases de formação de vidro, dopados ou não dopados, ao interior do tubo de substrato de vidro oco, via seu lado de fornecimento

15 iv) criar uma zona de reação com condições tais que a deposição de vidro sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco acontecerá, e

v) mover a zona de reação para frente e para trás ao longo do comprimento do tubo de substrato de vidro oco entre um ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e um ponto de reversão localizado
20 perto do lado de descarga do tubo de substrato oco de modo a formar ao menos uma camada de pré-forma na superfície interna do tubo de substrato de vidro oco, camada de pré-forma esta que compreende diversas camadas de vidro.

Um método, conforme descrito na introdução, é conhecido por si
25 da patente U.S. Nº 4.741.747. Mais particularmente, a patente mencionada descreve um método de fabricação de pré-formas ópticas de acordo com o método PCVD, em que camadas de vidro são depositadas movendo-se um plasma para trás e para a frente entre dois pontos de reversão interna de um tubo de vidro enquanto se adiciona uma mistura de gás reativo ao tubo a
30 uma temperatura entre 1100°C e 1300°C e uma pressão entre 1 e 30 hPa. As regiões de geometria de deposição não constante nas extremidades da pré-forma óptica são reduzidas movendo-se o plasma de maneira não linear

no tempo na área de pelo menos um ponto de reversão.

A U.S. 4.608.070 refere-se a um método e a um dispositivo para a fabricação de pré-formas ópticas em que um forno é colocado sobre um tubo de substrato rotativo, em que a definição da temperatura do forno é uma função de r , a distancia radial, e de x , uma posição longitudinal ao longo do comprimento do tubo de substrato. A função temperatura mencionada na dita patente norte-americana só se aplica a distâncias radiais e longitudinais e é definida a um valor constante durante todo o processo de deposição.

A patente U.S. Nº 4.659.353 refere-se a um método para a fabricação de fibras ópticas, em que camadas de sílica tendo uma espessura constante, mas com porcentagens variadas de dopantes, são depositadas no interior de um tubo de substrato, usando tecnologia MCVD, em que se faz uso de uma fonte de calor tendo um perfil de temperatura circular assimétrico.

O pedido de patente U.S. Nº 2004/0173584 refere-se a um método para a fabricação de uma pré-forma óptica, usando tecnologia MCVD, em que a dimensão de uma chama de plasma é controlada como uma função da dimensão da pré-forma.

O pedido japonês JP 2004-036910 refere-se a um queimador de quartzo adaptado para efetuar uma zona de alta temperatura larga e uniforme em uma posição focal da chama por meio da mistura de gás oxihidrogênio.

O pedido de patente U.S. Nº 2005/0144983 refere-se a um método para a fabricação de uma pré-forma usando tecnologia CVD, em que a temperatura de pelo menos um dos elementos de aquecimento do forno e do tubo de substrato de vidro, é medida, após o que a quantidade de geração de calor do elemento de aquecimento é ajustada com base na temperatura medida.

A patente U.S. Nº 4.740.225 refere-se a um método para a fabricação de pré-formas ópticas em que um perfil de temperatura especial é definido de tal modo que as camadas do núcleo são aplicadas ao interior do tubo de substrato em uma espessura desejada.

Uma fibra óptica consiste de um núcleo e de uma camada externa que circunda o dito núcleo, também referida como revestimento. Usualmente, o núcleo tem um índice de refração mais alto, tal que a luz pode ser transportada através da fibra óptica. O núcleo de uma fibra óptica pode consistir de uma ou mais camadas concêntricas, cada uma tendo uma espessura específica e um índice de refração específico, ou um gradiente de índice de refração específico na direção radial.

Uma fibra óptica tendo um núcleo que consiste de uma ou mais camadas concêntricas tendo um índice de refração constante na direção radial também é referida como uma fibra óptica com índice escalonado. A diferença entre o índice refrativo de uma camada concêntrica e o índice refrativo do revestimento pode ser expressa em um, assim chamado, valor delta, indicado $\Delta_i\%$, e pode ser calculado de acordo com a fórmula abaixo:

$$\Delta_i\% = \frac{n_i^2 - n_d^2}{2n_i^2}$$

em que:

- 15 n_i = valor do índice refrativo da camada i
 n_d = valor do índice refrativo do revestimento

Uma fibra óptica também pode ser fabricada de tal maneira que um núcleo, tendo um, assim chamado, gradiente de perfil de índice refrativo é obtido. Tal perfil de índice refrativo é definido tanto com um valor delta $\Delta\%$ quanto com um, assim chamado, valor α . Para determinar o valor $\Delta\%$, usa-se o índice refrativo máximo no núcleo. O valor alfa pode ser determinado por meio da fórmula abaixo:

$$n(r) = n_1 \left(1 - 2\Delta\% \left(\frac{r}{a} \right)^\alpha \right)^{\frac{1}{2}}$$

em que:

- n_1 = valor do índice refrativo no centro da fibra
 25 a = raio do núcleo do índice de gradiente [μm]
 α = valor alfa
 r = posição radial na fibra [μm]

Uma representação do índice refrativo como uma função da po-

sição radial em uma fibra óptica é referida como um perfil de índice refrativo radial. Do mesmo modo, é possível representar graficamente a diferença de índice refrativo com o revestimento como uma função da posição radial na fibra óptica, o que também pode ser considerado como um perfil de índice refrativo radial.

A forma do perfil de índice refrativo radial e, em particular, das espessuras das camadas concêntricas e do índice refrativo ou do gradiente do índice refrativo na direção radial do núcleo, determina as propriedades ópticas da fibra óptica.

Uma pré-forma primária compreende uma ou mais camadas de pré-forma que formam a base para a uma ou mais camadas concêntricas do núcleo e/ou parte do revestimento da fibra óptica que pode ser obtida a partir de uma pré-forma final. Uma camada de pré-forma é constituída de uma série de camadas de vidro.

Uma pré-forma final, conforme referida aqui, é uma pré-forma a partir da qual é feita uma fibra óptica por meio do uso de um processo de estiramento de fibra.

Para obter uma pré-forma final, uma pré-forma primária é dotada externamente de uma camada adicional de vidro, camada adicional esta que compreende o revestimento ou parte do revestimento. A dita camada de vidro adicional pode ser aplicada diretamente à pré-forma primária. Também é possível colocar a pré-forma primária em um tubo de vidro já formado, também referido como "jaqueta". A dita jaqueta pode ser contraída até a pré-forma primária. Finalmente, uma pré-forma primária pode compreender tanto o núcleo quanto o revestimento de uma fibra óptica, tal que não existe necessidade de aplicar uma camada adicional de vidro. Uma pré-forma primária é, neste caso, idêntica a uma pré-forma final. Um perfil de índice refrativo radial pode ser medido sobre uma pré-forma primária e/ou uma pré-forma final, com o perfil de índice refrativo radial correspondendo ao perfil de índice refrativo radial da fibra óptica.

O comprimento e o diâmetro da pré-forma final determinam o comprimento máximo de fibra óptica que pode ser obtido a partir da pré-

forma final.

Para diminuir os custos de produção de fibras ópticas e/ou aumentar a produção por pré-forma primária, o objetivo é produzir, com base em uma pré-forma final, um comprimento máximo de fibra óptica que atenda aos padrões de qualidade exigidos.

Sendo assim, existe um desejo em aumentar a quantidade de vidro adicional que é aplicada a uma pré-forma primária.

O diâmetro de uma pré-forma final pode ser aumentado por meio da aplicação de uma camada mais espessa de vidro adicional a uma pré-forma primária. Por causa das propriedades ópticas de uma fibra óptica serem determinadas pelo perfil de índice refrativo radial, a espessura da camada de vidro adicional tem que estar, em todos os momentos, na proporção correta à espessura da camada das camadas de pré-forma da pré-forma primária que formarão o núcleo, mais particularmente, a uma ou mais camadas concêntricas do núcleo na fibra óptica. Consequentemente, a espessura da camada da camada de vidro aplicada adicionalmente à pré-forma primária é limitada pela espessura das camadas de pré-forma que são formadas por meio do processo de deposição de vapor interno.

Em outras palavras, os seguintes critérios têm que ser atendidos:

$$\frac{CSA_{CL,vesl}}{CSA_{i,vesl}} = \frac{CSA_{CL,vv}}{CSA_{i,vv}}$$

onde:

$CSA_{CL,fibra}$ = área da seção transversal do revestimento na fibra

$CSA_{CL,vv}$ = área da seção transversal do revestimento na pré-forma final

$CSA_{i,fibra}$ = área da seção transversal da camada concêntrica i na fibra

$CSA_{i,vv}$ = área da seção transversal da camada de pré-forma i na pré-forma final

Um aumento do diâmetro da pré-forma final leva a um aumento da área da seção transversal do revestimento. A partir dos critérios acima, segue-se que a área da seção transversal da camada ou camadas de pré-forma ($CSA_{i,vv}$) também tem que ser aumentada. A área da seção transver-

sal da dita uma ou mais camada de pré-forma têm que ser aumentadas durante o processo de deposição de vapor interno. Isso significa que, dado um diâmetro não alterado do tubo de substrato de vidro oco, a espessura das camadas de pré-forma que estão sendo depositadas sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco, tem que ser aumentada.

Os presentes inventores descobriram, surpreendentemente, que quando camadas de pré-forma relativamente espessas para as fibras ópticas do tipo índice-escalonado, são depositadas, o índice refrativo de uma camada de pré-forma dopada não é constante o suficiente na direção radial. Um índice refrativo radial insuficientemente constante afeta adversamente as propriedades ópticas da fibra óptica. Em particular, fatores como dispersão, corte de comprimento de onda, perdas de curvatura e atenuação podem ser afetados.

Os presentes inventores também descobriram que quando camadas de pré-forma relativamente espessas para fibras ópticas do tipo gradiente de índice, são depositadas, o valor alfa é diferente do valor alfa que está sendo almejado. Um desvio no valor alfa afeta adversamente as propriedades, em particular, a largura de banda, da fibra óptica com gradiente de índice.

É um objetivo da presente invenção proporcionar um método para fabricar uma pré-forma primária para fibras ópticas do tipo com índice escalonado em que o índice refrativo de uma camada de pré-forma dopada é substancialmente constante na direção radial.

Um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um método para a fabricação de uma pré-forma primária para fibras ópticas com gradiente de índice em que o valor alfa obtido seja substancialmente igual ao valor alfa pretendido ou esperado.

Ainda um outro objetivo da presente invenção é proporcionar um método para a fabricação de fibras ópticas do tipo índice escalonado em que o índice refrativo da camada de pré-forma dopada ou das camadas de pré-forma, seja substancialmente constante tanto na direção radial quanto na direção longitudinal.

A presente invenção, conforme descrita na introdução, é caracterizada pelo fato de que a temperatura do forno é variada com relação a T0 durante pelo menos parte da etapa v.

5 Usando o aspecto acima, o gradiente de temperatura radial através do tubo de substrato é, de acordo com a invenção, influenciado de tal maneira que um perfil de índice refrativo, de acordo com o valor de índice refrativo pretendido, é obtido para qualquer camada de pré-forma desejada, camada de pré-forma essa que pode compreender diversas camadas de vidro. Em particular no caso de uma pré-forma do tipo índice escalonado, o
10 presente método resultará em um valor de índice refrativo de uma camada de pré-forma dopada ou não dopada que é substancialmente constante na direção radial.

Os presentes inventores descobriram que a temperatura do tubo de substrato de vidro oco aumenta durante o processo de deposição de vapor interno a despeito de uma definição de temperatura de forno constante.
15 O termo "T0" refere-se à definição de temperatura do forno antes da deposição realmente começar. Em geral, a temperatura do forno T0 é definida a um valor entre 900°C e 1400°C, de preferência, entre 1100°C e 1300°C. A variação da temperatura do forno é tal que a temperatura não aumentará
20 acima de 1400°C ou cairá abaixo de 900°C.

Sem desejar ficar limitado por esta teoria, os presentes inventores assumem que este aumento na temperatura pode ser atribuído ao aumento da massa de vidro sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco.

25 Os presentes inventores assumem, assim, que o aumento da massa de vidro é acompanhado por um aumento da capacidade térmica do substrato de vidro oco. O resultado disso é que a temperatura relativamente alta da zona de reação faz com que o tubo de substrato de vidro oco aqueça durante o processo de deposição de vapor interno.

30 A temperatura do tubo de substrato de vidro oco é entendida como sendo a temperatura do tubo de substrato de vidro oco, incluindo as camadas de vidro e/ou camadas de pré-forma já depositadas.

Os presentes inventores descobriram, de modo surpreendente, que a temperatura do tubo de substrato de vidro oco durante o processo de deposição é importante no que refere-se à eficiência com a qual os dopantes são incorporados no vidro depositado.

5 Mais particularmente, os presentes inventores descobriram que o resultado deste aumento de temperatura para pré-formas primárias para fibras ópticas do tipo índice escalonado, dopadas com germânio, é que o índice refrativo em uma camada de pré-forma exibe uma diminuição na direção radial, isto é, na direção do centro da pré-forma primária.

10 Os presentes inventores observaram um efeito similar na fabricação de pré-formas primárias para fibras ópticas do tipo gradiente de índice.

Mais particularmente, a diminuição do índice refrativo na direção radial resulta em um valor delta menor ($\Delta\%$) e também em um valor alfa mais alto do que os valores delta e alfa que são almejados.

15 A diminuição do índice refrativo ou do valor alfa mais alto estabelecido é observada, em particular, quando uma camada de pré-forma é dopada com germânio, que está presente, principalmente, como óxido de germânio no vidro depositado.

20 Sem desejar ficar limitado por esta teoria, os presentes inventores assumem que uma temperatura mais alta do tubo de substrato de vidro oco durante o processo de deposição a vapor interno faz com que o óxido de germânio evapore ou que a eficiência com a qual o germânio, na forma de óxido de germânio, é incorporado no vidro, diminua, como resultado da temperatura relativamente alta.

25 Em adição a isso, um aumento na temperatura do tubo de substrato de vidro oco durante o processo de deposição para pré-formas primárias para fibras ópticas do tipo índice escalonado dopados com flúor, pode resultar em um aumento do índice refrativo em uma camada de pré-forma na direção radial, isto é, na direção do centro da pré-forma primária. Sendo assim, o presente método assegura, em particular, que uma compensação, ou uma correção ou ajuste, aconteça para o aumento indesejável de temperatu-

ra do tubo de substrato de vidro oco durante o processo de deposição em que a temperatura do forno é variada com relação a T0 durante pelo menos parte da etapa v.

5 Na modalidade em que uma camada de pré-forma de uma pré-forma primária é dopada com germânio, assim como com flúor, pode ocorrer um aumento, assim como uma diminuição, no índice refrativo, dependendo das concentrações dos dois dopantes.

10 Nota-se que uma diminuição do índice refrativo em uma camada de pré-forma na direção do centro da pré-forma primária pode ser igualada com uma diminuição do índice refrativo em uma camada de pré-forma no curso de tempo durante o processo de deposição.

Os presentes inventores descobriram que é possível influenciar o gradiente do índice refrativo de uma camada de pré-forma em uma direção radial por meio da variação da temperatura do forno que circunda o tubo de substrato de vidro oco com relação a T0 durante o processo de deposição. Eles também descobriram que é possível, desta maneira, influenciar o valor alfa na fabricação de pré-formas primárias para fibras ópticas do tipo gradiente de índice. Em uma modalidade especial, a temperatura do forno T0 é definida, de preferência, em um valor entre 900°C e 1400°C.

20 Assim, um ou mais dos objetivos acima são conseguidos por meio da realização da invenção.

Em uma modalidade preferida, o valor absoluto da variação da temperatura média está entre 50 e 2000°C/cm, de preferência, entre 150 e 1000°C. A variação de temperatura acima é definida como a variação na temperatura em °C por centímetro na direção radial na camada de pré-forma depositada.

A altura da variação de temperatura depende, entre outras coisas, da concentração e do tipo de dopante(s). Se a variação de temperatura for selecionada para ser menor do que +50°C/cm (ou mais do que -50°C/cm), o efeito sobre o gradiente de índice refrativo será pequeno, enquanto que o excedente de um limite superior, em particular no caso de camadas de pré-forma relativamente espessas, pode resultar em uma tempe-

ratura de forno que acarrete outros problemas no processo. Assim, uma variação de temperatura de mais de $2000^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ pode levar a uma temperatura do tubo de substrato de vidro oco na qual a viscosidade seja tão baixa que resulte na deformação do tubo de substrato de vidro oco, por exemplo, "sagging" (enfraquecimento). Por outro lado, uma variação de temperatura de menos de $-2000^{\circ}\text{C}/\text{cm}$, pode resultar em um acúmulo de tensões na direção radial do vidro que pode levar à fratura do tubo.

Em outra modalidade, a variação de temperatura média dT/dt em uma camada de pré-forma é diferente da variação de temperatura média dT/dt em outra camada de pré-forma adjacente à dita camada de pré-forma. Consequentemente, um perfil de temperatura específico pode ser definido para cada camada de pré-forma, em que a conexão também é possível em uma modalidade especial para manter uma temperatura de forno constante para camadas de pré-forma específicas, temperatura constante esta que pode ser igual a ou diferente de T_0 . Assim, a temperatura do forno pode ser variada de tal maneira durante a etapa v que dT/dt está sujeito à variação no tempo, enquanto dT/dt também pode remontar a zero em uma situação especial. Em particular, pode ser desejável que dT/dt seja constante durante a deposição de uma camada de pré-forma que consista de diversas camadas de vidro.

De preferência, a temperatura do forno é variada continuamente durante o processo de deposição. Desta maneira, também o perfil de índice refrativo é continuamente influenciado e, consequentemente, a ocorrência de mudanças escalonadas no índice refrativo é minimizada. Em outras palavras, o termo "variação contínua" é entendido como significando uma variação gradual, sem qualquer forte aumento ou diminuição abrupta.

Em outra modalidade preferida, a temperatura é variada linearmente como uma função da espessura da camada de pré-forma na direção radial. Nota-se que uma variação linear da temperatura pode ser igualada com uma variação linear da temperatura como uma função do tempo.

Ainda em outra modalidade preferida, a zona de reação é um plasma que se move, de preferência, para trás e para frente ao longo do

comprimento, em particular, o comprimento de deposição, do tubo de substrato de vidro oco, a uma velocidade que varia entre 10 e 40 m/min, de preferência, entre 15 e 25 m/min. O comprimento de deposição deve ser considerado como parte do comprimento do tubo de substrato de vidro oco onde as
5 camadas de vidro são depositadas. Em outras palavras, o comprimento de deposição é a distância entre um ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do tubo de substrato oco, entre os quais a zona de reação se move para trás e para frente durante o processo de deposição. Os dois pontos de re-
10 versão são circundados pelo forno.

O índice refrativo do vidro depositado pode ser influenciado usando-se dopantes. Exemplos de dopantes que aumentam o índice refrativo são germânio, fósforo, titânio e alumínio, ou seus óxidos. Exemplos de dopantes que diminuem o índice refrativo são boro, ou seu óxido, e flúor. De
15 preferência, é usado germânio como um dopante de aumento de índice refrativo e é usado flúor como um dopante de diminuição de índice refrativo, com o germânio sendo incorporado usualmente no vidro como óxido de germânio. Em uma modalidade especial, uma combinação de germânio e de flúor é usada como um dopante.

20 Em uma modalidade especial, a temperatura do forno é diminuída com relação a T0.

Em outra modalidade especial do método, de acordo com a presente invenção, o forno compreende ao menos duas zonas de temperatura ajustável, vistas na direção longitudinal do tubo de substrato de vidro oco, sendo que em pelo menos uma das zonas de temperatura, a temperatura ou
25 um gradiente de temperatura é variado com relação a T0 durante pelo menos parte da etapa v. O) termo "zona de temperatura" deve ser entendido como significando uma zona na direção longitudinal do tubo de substrato de vidro oco, zona em que a temperatura do forno pode ser considerada como
30 sendo substancialmente uniforme, ou em que um gradiente de temperatura específico na direção longitudinal é criado. Assim, tais zonas de temperatura são dispostas de tal maneira com relação uma a outra que, na modalidade

que compreende duas zonas de temperatura, uma zona está localizada sobre o lado de fornecimento e a outra zona está localizada sobre o lado de descarga, duas zonas essas que farão contato, de preferência, uma com a outra em uma posição específica.

- 5 A temperatura ou o gradiente de temperatura em uma zona pode ser variado, de preferência, independentemente da temperatura ou do gradiente de temperatura na(s) outra(s) zona(s).

 Usando um forno que compreenda ao menos duas zonas de temperatura independentemente ajustáveis, é possível influenciar não apenas o perfil de índice refrativo na direção radial (perfil de índice refrativo radial) como também o índice refrativo na direção longitudinal (perfil de índice refrativo longitudinal). Assim, o termo "perfil de índice refrativo longitudinal" pode ser considerado como uma representação gráfica do índice refrativo de uma camada de pré-forma, como uma função da posição longitudinal na pré-forma primária.

10

15

Tal modalidade é adequada, em particular, para a fabricação de pré-formas primárias para fibras ópticas do tipo gradiente de índice, porque é possível, neste caso, reduzir qualquer desvio do valor alfa a partir de um valor desejado ao longo do comprimento da pré-forma primária.

- 20 Em uma modalidade, a temperatura do forno ou a temperatura ou o gradiente de temperatura em pelo menos uma zona de temperatura é variado com relação a T_0 em pelo menos uma zona de temperatura durante a formação de pelo menos uma camada de pré-forma.

 Em uma modalidade especial, a temperatura do forno, ou a temperatura ou o gradiente de temperatura, em pelo menos uma de suas zonas de temperatura, é variado com relação a T_0 durante a formação de uma camada de pré-forma tendo uma espessura de pelo menos 0,5 mm, de preferência, pelo menos 1 mm, visto na direção radial. Em um processo PCVD, tais espessuras correspondem à deposição de cerca de 500 e 1000 camadas, respectivamente. Deve-se notar que um número diferente de camadas pode ser depositado, já que a espessura da camada depende, em particular, da velocidade com a qual a zona de reação é movida ao longo do compri-

25

30

mento de deposição. Assim, uma velocidade mais alta da zona de reação levará a uma espessura menor da camada de vidro, o que significa que são necessárias mais camadas de vidro para cada camada de pré-forma de modo a realizar uma espessura específica da camada de pré-forma.

5 A presente invenção será explicada agora com mais detalhes por meio de um exemplo com referência a uma série de figuras, em que deve se notar que a presente invenção não está limitada às mesmas.

A figura 1 é uma vista esquemática de um dispositivo para realizar um processo de deposição interno.

10 A figura 2 é uma vista em perspectiva esquemática de um dispositivo para realizar um processo de deposição interno, de acordo com uma modalidade preferida da presente invenção.

A figura 3 é uma vista esquemática de um perfil de índice refrativo radial do tipo índice escalonado, que pode ser realizada por meio de um método de acordo com a técnica anterior.

15 A figura 4 é uma vista de dois perfis de índice refrativo radial do tipo gradiente de índice.

Na figura 1, um dispositivo 100 para realizar um processo de deposição a vapor interno para a fabricação de uma pré-forma primária para fibras ópticas, é mostrado de maneira esquemática. O dispositivo 100 compreende um forno 1, que circunda ao menos o comprimento de deposição 5 do tubo de substrato de vidro oco 2.

20 O comprimento de deposição 5 corresponde à parte do comprimento do tubo de substrato de vidro oco 2 onde as camadas de vidro são depositadas. Em outras palavras, o comprimento de deposição 5 corresponde à distância entre o ponto de reversão 11, localizado perto do lado de fornecimento, e o ponto de reversão 12, localizado perto do lado de descarga do tubo de substrato de vidro oco. O comprimento de deposição 5 é circundado pelo forno 1. O termo "ponto de reversão" deve ser entendido como
25 uma posição na direção longitudinal do tubo de substrato de vidro oco 2 onde a direção de movimento da zona de reação 6 é invertida na direção oposta. Os dois pontos de reversão 11, 12 são envolvidos pelo forno 1.
30

O tubo de substrato de vidro oco 2 tem um lado de fornecimento 3 e um lado de descarga 4. O lado de fornecimento 3 e o lado de descarga 4 podem ser posicionados entre uma entrada de gás e uma saída de gás, respectivamente (não mostradas). O lado de fornecimento 3 e o lado de descarga 4 podem ser fixados via uma passagem cilíndrica dotada de uma vedação do tipo anel em O, tal que o volume interno do tubo de substrato de vidro oco 2 fique isolado da atmosfera externa. Tal construção torna possível realizar o processo de deposição a uma pressão reduzida quando uma bomba (não mostrada) é conectada à saída de gás.

A passagem cilíndrica mencionada anteriormente pode ser usada também em uma modalidade rotativa, tal que o tubo de substrato possa ser girado continuamente ou em etapas durante o processo de deposição.

Durante o processo de deposição a vapor, uma zona de reação 6 se move para trás e para frente ao longo do comprimento do tubo de substrato de vidro oco 2 entre o ponto de reversão 11, perto do lado de fornecimento 3, e o ponto de reversão 12, perto do lado de descarga 4, comprimento este que também é referido como o comprimento de deposição 5, dentro do tubo de substrato de vidro oco 2, de modo a formar camadas de vidro. A largura 7 da zona de reação 6 é menor do que o comprimento de deposição 5. A presente invenção é adequada, em particular, para uso em um processo de deposição do tipo PCVD, em que a zona de reação é um plasma a baixa pressão. O termo "baixa pressão" é entendido como significando que o plasma é criado a uma pressão de cerca de 0,0001 a 0,002 megapascal (1 a 20 mbar) no tubo de substrato.

Enquanto os gases de formação de vidro, que podem ou não ser dopados, estão sendo fornecidos ao lado de fornecimento 3 do tubo de substrato de vidro oco 2, as camadas de vidro (não mostradas) são depositadas ao longo do comprimento de deposição 5 sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco 2.

Uma série de camadas de vidro depositadas, usando uma composição mais ou menos constante dos gases de formação de vidro que são fornecidos no lado de fornecimento 3, formam assim uma camada de pré-

forma.

Também é possível formar uma camada de pré-forma usando uma variação predeterminada na composição dos gases de formação de vidro. Tal camada de pré-forma é usada, por exemplo, para a fabricação de
5 uma pré-forma primária para fibras ópticas do tipo gradiente de índice.

Após o término do processo de deposição, o tubo de substrato 2 com a(s) camada/camadas de pré-forma depositada(s) ali, pode ser consolidado em um haste solida por meio de um processo de contração também referido como um processo de colapso.

10 Os meios para criar uma zona de reação no interior do tubo de substrato de vidro 2 compreendem, de preferência, um ressonador, conforme é conhecido dos pedidos de patente U.S. publicados sob N^{os} 2007/0289532, 2003/159781 e 2005/0172902, patentes U.S. N^{os} 4.844.007, 4.714.589, 4.877.938. Tais ressonadores encerram o tubo de substrato 2 e
15 são movidos para trás e para frente ao longo do comprimento de deposição durante o processo de deposição.

A figura 2 é uma vista em perspectiva de uma modalidade especial do dispositivo 100, e que três zonas de temperatura 8, 9, e 10 são mostradas de maneira esquemática. As zonas de temperatura 8, 9 e 10 podem
20 ser criadas, por exemplo, dispondo-se individualmente elementos de aquecimento controláveis (não mostrados) no forno 1 em diversas posições na direção longitudinal do tubo de substrato. Elementos de carbono, por exemplo, são elementos de aquecimento adequados. Entretanto, a presente invenção não está limitada a elementos de carbono. A princípio, são adequa-
25 dos elementos de aquecimento capazes de atingir uma temperatura máxima de cerca de 1400°C. A largura das zonas de temperatura pode ser definida conforme necessário, e não é necessariamente a mesma para cada zona de temperatura. Para atingir uma definição precisa da temperatura do tubo de substrato na direção longitudinal, pode ser vantajoso realizar zonas de tem-
30 peratura tendo comprimentos mutuamente diferentes.

As zonas de temperatura 8, 9, 10 podem ser separadas entre si por um ou mais elementos de separação (não mostrados) feitos de um mate-

rial isolante, por exemplo, óxido de alumínio. O uso de elementos de separação isolantes torna possível manter uma temperatura constante do tubo de substrato 2 em uma zona de temperatura. A ausência de elementos de separação isolantes levará, possivelmente, a variações na temperatura do tubo de substrato 2, em particular perto da(s) transição(ões) entre a(s) zona(s) de temperatura adjacente(s). Embora a figura 2 mostre um forno 1 compreendendo três zonas de temperatura 8, 9, e 10, a presente invenção não está limitada, de maneira alguma, a tal modalidade.

A variação da temperatura do forno 1, ou de uma zona de temperatura 8, 9, 10, pode ser efetuada, por exemplo, controlando-se a temperatura do forno ou a temperatura das zonas de temperatura 8, 9, 10, respectivamente, usando um sistema de controle adequado baseado em uma unidade de cálculo, como um computador ou um PLC (Controlador Lógico Programável - Programmable Logic Controller).

Um exemplo de um perfil de índice refrativo radial de uma pré-forma primária para uma fibra óptica de índice escalonado é mostrado na figura 3 (não está em escala). O raio é mostrado sobre o eixo horizontal e o índice refrativo (ou valor delta) é mostrado sobre o eixo vertical, com o centro da pré-forma primária sendo indicado por $r = 0$ na figura 3. A partir do centro da pré-forma primária, o núcleo é formado por duas camadas de pré-forma 13 e 14. A camada de pré-forma 13 tem um raio r_1 e uma diferença de índice refrativo com o revestimento de $\Delta_1\%$. A camada de pré-forma 14 tem um raio r_2 e uma diferença de índice refrativo com o revestimento de $\Delta_2\%$. As duas camadas de pré-forma 13 e 14 podem ser formadas, por exemplo, na base de vidro de sílica dopado com germânio, presente no vidro como óxido de germânio, e fluor. O revestimento circunda o núcleo.

As linhas cheias que descem na direção do centro da pré-forma primária (não de acordo com a invenção) nas camadas de pré-forma 13 e 14, correspondem a um gradiente do índice refrativo que pode ser obtido usando-se um método de acordo com a técnica anterior, enquanto as linhas quebradas mostram o índice refrativo desejado. Assim, o índice refrativo obtido desvia do valor desejado na direção do centro da pré-forma primária.

A figura 4 mostra, de maneira esquemática, dois perfis de índice refrativo radial de uma pré-forma primária para fibras ópticas do tipo gradiente de índice. O raio é mostrado sobre o eixo horizontal e o índice refrativo (ou o valor delta) é mostrado sobre o eixo vertical, com o centro da fibra óptica sendo indicado por $r = 0$ nesta figura. Se um método, de acordo com a técnica anterior, for usado, com um valor $\alpha = 2$ e um valor delta especificado $\Delta_i\%$ sendo desejado, uma pré-forma primária tendo um perfil de índice refrativo radial com um valor $\alpha > 2$ e um valor delta inferior $\Delta_{ii}\%$ será obtido (exagerado na figura).

10 Exemplo

São fabricadas duas pré-formas primárias PV1 e PV2 para as fibras ópticas do tipo índice escalonado, tendo um perfil de índice refrativo radial desejado para as camadas de pré-forma 13 e 14, de acordo com as linhas quebradas na figura 3, usando um processo PCVD. Para esta finalidade, é proporcionado um tubo de substrato de vidro oco entre um lado de fornecimento e um lado de descarga de um dispositivo PCVD, onde o tubo de substrato de vidro oco mencionado anteriormente é circundado por um forno a uma temperatura $T_0 = 1040^\circ\text{C}$. O forno usado neste exemplo tem apenas uma zona de temperatura. No entanto, também é possível usar um forno em que o forno compreenda ao menos duas zonas de temperatura ajustáveis, em que a temperatura ou um gradiente de temperatura é variado com relação a T_0 em pelo menos uma das zonas de temperatura durante pelo menos parte da etapa v, em que o termo "zona de temperatura" deve ser entendido como significando uma zona na direção longitudinal do tubo de substrato de vidro oco. Subsequentemente, o processo de deposição a vapor de plasma químico é realizado enquanto são fornecidos gases de formação de vidro dopados e não dopados.

Para formar uma primeira camada de pré-forma, um gás de formação de vidro não dopado, por exemplo, uma mistura de SiCl_4 e O_2 , é fornecida ao interior do tubo de substrato de vidro oco.

Para formar as segunda e terceira camadas de pré-forma, indicadas em 14 e 13, respectivamente, na figura 3, germânio, na forma de te-

tracloreto de germânio (GeCl_4) e flúor, na forma de hexafluoroetano (C_2F_6) são usados como dopantes em adição a SiCl_4 e O_2 . Usando-se quantidades mutuamente diferentes dos ditos dopantes, é possível obter dois valores mutuamente diferentes para o índice refrativo, expresso na diferença de índice refrativo $\Delta_2\%$ e $\Delta_1\%$, respectivamente.

A temperatura do forno é variada co relação a T_0 durante a deposição das camadas de pré-forma, a presente etapa v, conforme mostrado na tabela abaixo.

A primeira camada de pré-forma consiste de 600 camadas de vidro e tem uma espessura, na direção radial, de cerca de 0,49 mm, após o término do processo de deposição a vapor.

A temperatura do forno é mantida em T_0 para ambas as pré-formas primárias Pv1 e PV2 durante a deposição da primeira camada de pré-forma.

A segunda camada de pré-forma consiste em 4870 camadas de vidro para ambas as pré-formas primárias PV1 e PV2 e tem uma espessura na direção radial de cerca de 4,4 mm após o término do processo de deposição a vapor.

A temperatura do forno é mantida a um valor constante T_0 durante a deposição da segunda camada de pré-forma para PV1.

A temperatura do forno é diminuída linearmente no tempo desde 1040°C ate 980°C , durante a deposição da segunda camada de pré-forma para PV2. O valor médio da variação de temperatura remonta, deste modo, a cerca de $-136^\circ\text{C}/\text{cm}$.

A terceira camada de pré-forma, que é adjacente à segunda camada de pré-forma, consiste de 920 camadas de vidro para ambas as pré-formas primárias PV1 e PV2 e tem uma espessura na direção radial de cerca de 0,75 mm após o término do processo de deposição a vapor.

A temperatura do forno é mantida em um valor constante T_0 durante a deposição da terceira camada de pré-forma para PV1. A temperatura do forno é diminuída linearmente no tempo desde 980°C até 950°C durante a deposição da terceira camada de pré-forma para PV2. O valor médio da

variação de temperatura remonta, deste modo, a cerca de $-400^{\circ}\text{C}/\text{cm}$.

Tabela

	1ª camada de pré-forma		2ª camada de pré-forma		3ª camada de pré-forma	
	T (início) [°C]	T (final) [°C]	T (início) [°C]	T (final) [°C]	T (início) [°C]	T (final) [°C]
PV1	1040	1040	1040	1040	1040	1040
PV2	1040	1040	1040	980	980	950

Os tubos de substrato de vidro oco, conforme obtidos após o término dos diversos processos de deposição a vapor internos para PV1 e PV2, são ambos consolidados em duas pré-formas primárias (sólidas) por meio de um processo de colapso. Subsequentemente, um perfil de índice refrativo radial de cada uma das duas pré-formas primárias PV1 e PV2, é medido, usando um analisador de pré-forma, por exemplo, um "2600 Pre-form Analyser", que encontra-se disponível comercialmente em Photon Kinetics.

O índice refrativo da primeira camada de pré-forma (não dopada) é constante na direção radial, tanto em PV1 quanto em PV2, que pode ser levado em conta pela ausência de dopantes.

O índice refrativo da segunda e da terceira camada de pré-forma de PV1 não é constante na direção radial, porém, exibe uma diminuição na direção do centro radial da pré-forma primária, conforme indicado pelas linhas cheias na representação esquemática da figura 3.

O índice refrativo das camadas de pré-forma de PV2 é substancialmente constante na direção radial para as duas camadas de pré-forma, conforme indicado pelas linhas quebradas na representação esquemática da figura 3.

Embora a presente invenção tenha sido explicada para uma pré-forma primária para fibras ópticas compreendendo três camadas de pré-forma, a saber, uma primeira camada de pré-forma não dopada e duas camadas de pré-forma dopadas, cada uma tendo uma espessura específica na direção radial e/ou contendo quantidades específicas de dopantes, a presente invenção não está limitada, de maneira alguma, a tal modalidade especial.

A presente invenção se aplica a pré-formas primárias tanto para fibras ópticas do tipo índice escalonado quanto para fibras ópticas do tipo gradiente de índice compreendendo pelo menos uma camada de pré-forma dopada.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a fabricação de uma pré-forma primária para fibras ópticas usando um processo de deposição a vapor interno, compreendendo as etapas de:

5 i) proporcionar um tubo de substrato de vidro oco tendo um lado de fornecimento e um lado de descarga,

ii) circundar ao menos parte do tubo de substrato de vidro oco por um forno a uma temperatura T_0 ,

10 iii) fornecer gases de formação de vidro, dopados ou não dopados, ao interior do tubo de substrato de vidro oco, via seu lado de fornecimento

iv) criar uma zona de reação com condições tais que a deposição de vidro sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco acontecerá, e

15 v) mover a zona de reação para frente e para trás ao longo do comprimento do tubo de substrato de vidro oco entre um ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do tubo de substrato oco de modo a formar ao menos uma camada de pré-forma na superfície interna do tubo de substrato
20 de vidro oco, camada de pré-forma esta que compreende diversas camadas de vidro,

caracterizado pelo fato de que a temperatura do forno é variada com relação a T_0 durante pelo menos parte da etapa v.

25 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o valor absoluto da variação de temperatura média varia entre 50 e 2000°C/cm, de preferência, entre 150 e 1000°C, durante pelo menos parte da etapa v, variação de temperatura esta que é definida como a variação na temperatura em °C por centímetro de camada de pré-forma depositada na direção radial.

30 3. Método, de acordo com uma ou com ambas as reivindicações 1 a 2, caracterizado pelo fato de que a variação de temperatura média em uma camada de pré-forma é diferente da variação de temperatura média em

outra camada de pré-forma adjacente à dita camada de pré-forma durante pelo menos parte da etapa v

4. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a temperatura é variada linearmente como uma função da espessura da camada de pré-forma na direção radial durante pelo menos parte da etapa v.

5. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a zona de reação na etapa v é um plasma.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que, na etapa v, a zona de reação se move para trás e para frente a uma velocidade que varia entre 10 e 40 m/min, de preferência, entre 15 e 25 m/min, ao longo do comprimento de deposição do tubo de substrato de vidro oco, comprimento de deposição este que deve ser considerado como a distância entre o ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e o ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do tubo de substrato oco.

7. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que um dopante redutor de índice refrativo, de preferência flúor, é usado na etapa iii.

8. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que um dopante de aumento de índice refrativo, de preferência germânio, é usado na etapa iii.

9. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo fato de que a temperatura do forno é diminuída com relação a T0 durante pelo menos parte da etapa v.

10. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 9, caracterizado pelo fato de que o forno compreende ao menos duas zonas de temperaturas ajustáveis, em que em pelo menos uma das quais a temperatura ou um gradiente de temperatura é variado com relação a T0 durante pelo menos parte da etapa v, em que o termo "zona de temperatura" deve ser entendido como uma zona na direção longitudinal do tubo de substrato de vidro oco.

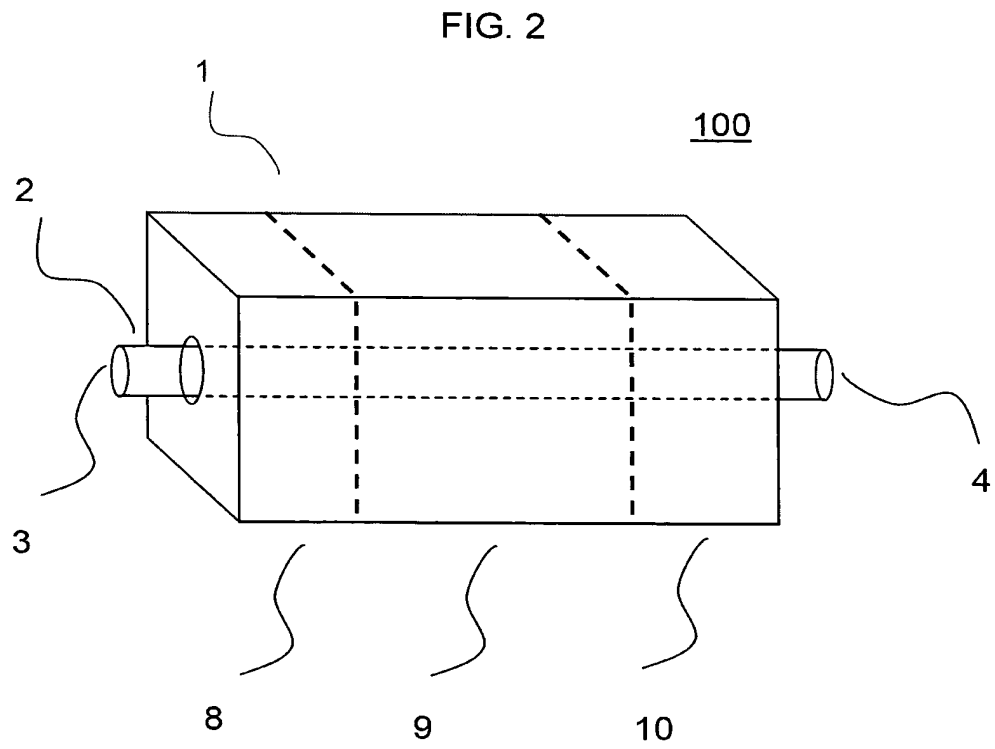
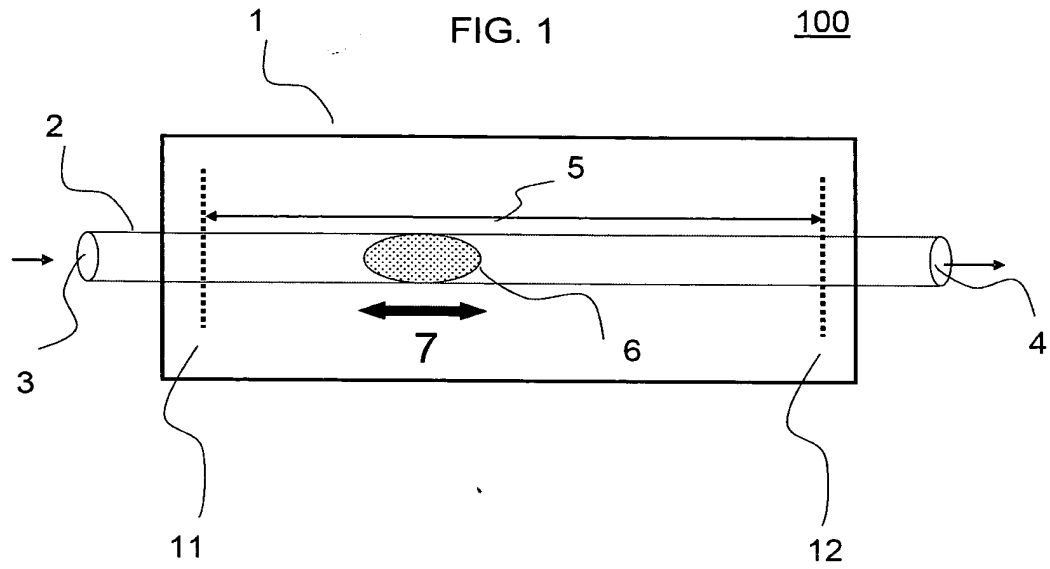
11. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que a temperatura ou o gradiente de temperatura em uma zona pode ser variado independentemente de uma temperatura ou gradiente de temperatura na outra zona.

5 12. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelo fato de que a temperatura do forno, ou a temperatura ou o gradiente de temperatura em pelo menos uma zona de temperatura, é variada com relação a T0 em pelo menos uma zona de temperatura durante a formação de pelo menos uma camada de pré-forma na etapa v.

10 13. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 12, caracterizado pelo fato de que a temperatura do forno na etapa v é variada com relação a T0 durante a formação de uma camada de pré-forma tendo uma espessura de pelo menos 0,5 m, de preferência, pelo menos 1 mm, visto na direção radial.

15 14. Método, de acordo com uma ou mais das reivindicações 1 a 13, caracterizado pelo fato de que o forno circunda pelo menos o comprimento de deposição do tubo de substrato de vidro oco, comprimento de deposição este que corresponde à distância entre um ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e um ponto de reversão localizado perto
20 do lado de descarga do tubo de substrato oco.

15 15. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelo fato de que a temperatura do forno T0 é definida em um valor entre 900°C e 1400°C, em que a variação da temperatura do forno é tal que a temperatura não aumentará acima de 1400°C ou cairá abaixo de
25 900°C na etapa v.



2/2

FIG. 3

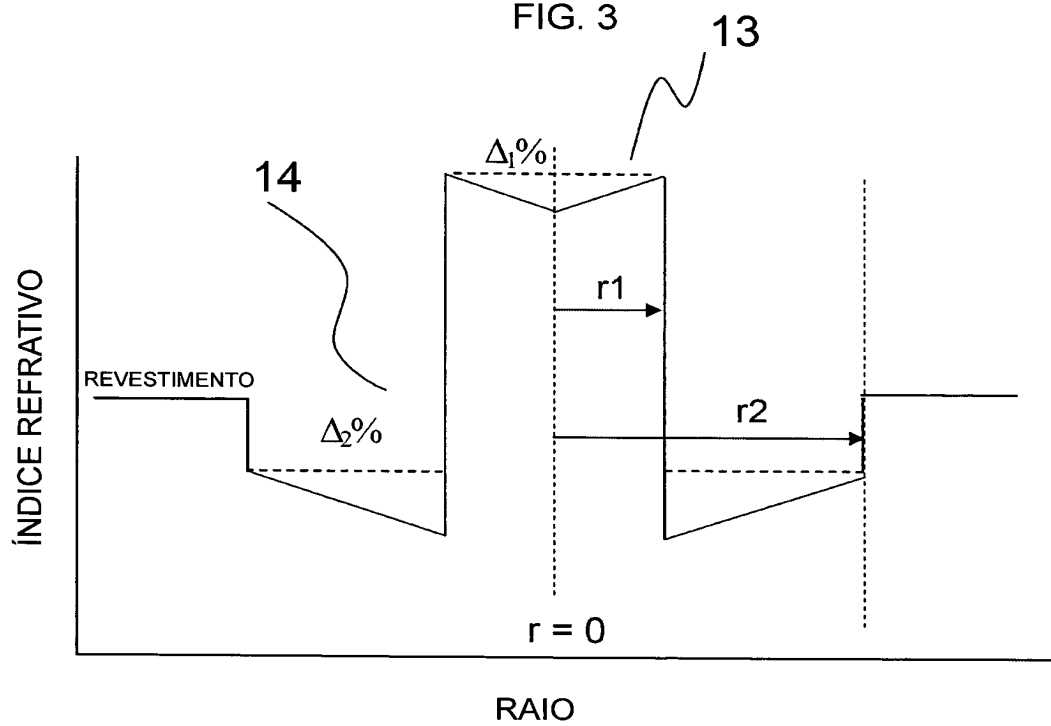
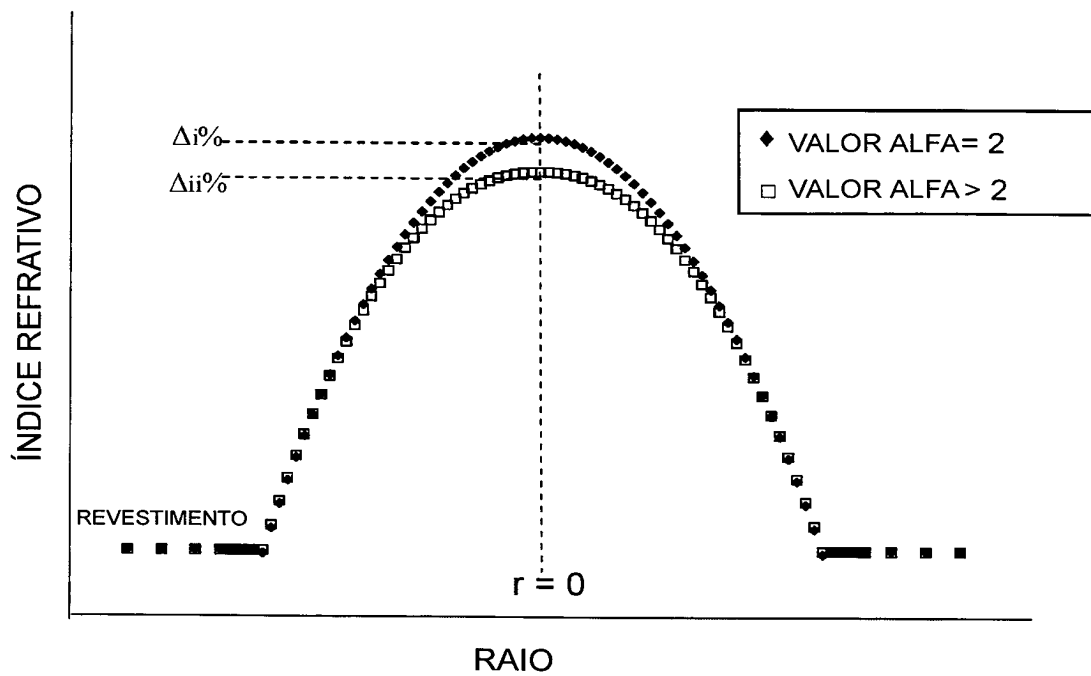


FIG. 4



RESUMO

Patente de Invenção: **"MÉTODO PARA A FABRICAÇÃO DE UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS"**.

5 A presente invenção refere-se a um método para a fabricação de uma pré-forma primária para fibras ópticas usando um processo de deposição a vapor interno, compreendendo as etapas de:

i) proporcionar um tubo de substrato de vidro oco tendo um lado de fornecimento e um lado de descarga,

10 ii) circundar ao menos parte do tubo de substrato de vidro oco por um forno a uma temperatura T_0 ,

iii) fornecer gases de formação de vidro, dopados ou não dopados, ao interior do tubo de substrato de vidro oco, via seu lado de fornecimento

15 iv) criar uma zona de reação com condições tais que a deposição de vidro sobre a superfície interna do tubo de substrato de vidro oco acontecerá, e

20 v) mover a zona de reação para frente e para trás ao longo do comprimento do tubo de substrato de vidro oco entre um ponto de reversão localizado perto do lado de fornecimento e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do tubo de substrato oco de modo a formar ao menos uma camada de pré-forma na superfície interna do tubo de substrato de vidro oco, camada de pré-forma esta que compreende diversas camadas de vidro.