



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112015032407-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 05/06/2014**

**(45) Data de Concessão: 25/01/2022**

---

**(54) Título:** MÉTODO PARA FABRICAR UM PRECURSOR PARA UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS POR MEIO DE UM PROCESSO INTERNO DE DEPOSIÇÃO DE PLASMA

**(51) Int.Cl.:** C03B 37/08.

**(30) Prioridade Unionista:** 01/07/2013 NL 2011075.

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

**(72) Inventor(es):** IGOR MILICEVIC; JOHANNES ANTOON HARTSUIKER; MATTHEUS JACOBUS NICOLAAS VAN STRALEN; GERTJAN KRABSHUIS.

**(86) Pedido PCT:** PCT NL2014050357 de 05/06/2014

**(87) Publicação PCT:** WO 2015/002530 de 08/01/2015

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 23/12/2015

**(57) Resumo:** MÉTODO PARA FABRICAR UM PRECURSOR PARA UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS POR MEIO DE UM PROCESSO INTERNO DE DEPOSIÇÃO DE PLASMA. A presente invenção refere-se a um método de remoção de um tubo do substrato da camada depositada dentro do dito tubo do substrato. Em outras palavras, a presente invenção refere-se a um método para fabricar um precursor para uma pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma, método que compreende as etapas de fornecimento de um tubo de substrato oco; criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e subsequentemente, criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa anterior; e remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas e das (...).

MÉTODO PARA FABRICAR UM PRECURSOR PARA UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS POR MEIO DE UM PROCESSO INTERNO DE DEPOSIÇÃO DE PLASMA

RELATÓRIO DESCRITIVO

[001] A presente invenção refere-se a um método para fabricar um precursor para uma pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma, tal como um processo interno de deposição de vapor químico de plasma (PCVD). A presente invenção, além disso, refere-se a um método para fabricar uma pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma.

[002] A presente invenção refere-se ao campo de fibras ópticas. Mais especificamente, ela refere-se ao campo de fabricação de fibras ópticas através de deposição de vapor químico. Há diversos tipos de deposição de vapor químico (CVD) conhecidos, tais como deposição de vapor exterior (OVD), deposição axial de vapor (VAD), deposição de vapor químico modificado (MDVD) e deposição de vapor químico aumentado no plasma (PECVD ou PCVD). A deposição de vapor químico aumentado no plasma (PECVD ou PCVD) é um processo utilizado para depositar películas finas de um estado gasoso (vapor) para um estado sólido em um substrato. As reações químicas estão envolvidas no processo, as quais ocorrem após a criação de um plasma dos gases reagentes.

[003] Geralmente, no campo de fibras ópticas, múltiplas películas finas de vidro são depositadas na superfície interna de um tubo do substrato. O tubo do substrato é oco para permitir deposição interna. O tubo do substrato pode ser de vidro, preferencialmente vidro de

quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Os gases de formação de vidro (ou seja, gases reativos que compreendem gases para a formação de vidro e opcionalmente precursores para dopantes) são introduzidos no interior do tubo do substrato a partir de uma extremidade (chamada "lado da oferta" do tubo do substrato). As camadas de vidro dopadas ou não dopadas (dependendo do uso dos gases reativos com ou sem um ou mais precursores para dopantes, respectivamente) são depositadas na superfície interior do tubo do substrato. Os gases restantes são descarregados ou removidos da outra extremidade do tubo do substrato; isso é chamado de "lado da descarga" do tubo do substrato. A remoção é opcionalmente realizada através de uma bomba a vácuo. A bomba a vácuo tem o efeito de gerar uma pressão reduzida no interior do tubo do substrato, pressão reduzida que geralmente compreende um valor de pressão variando entre 5 e 50 mbar.

[004] Geralmente, o plasma é induzido pelo uso de radiação eletromagnética, por exemplo, micro-ondas. Geralmente, a radiação eletromagnética de um gerador é direcionada para um aplicador através de um guia de ondas, aplicador que envolve o tubo do substrato. O aplicador acopla a energia eletromagnética em um plasma que é gerado dentro do tubo do substrato. O aplicador é movido reciprocamente na direção longitudinal do tubo do substrato. Desse modo, o plasma formado, também chamado de "zona de reação do plasma", também é movido reciprocamente. Como um resultado desse movimento, uma fina camada de sílica vitrificada é depositada no interior do tubo do substrato com cada golpe ou passagem.

[005] O aplicador e o tubo do substrato são geralmente envolvidos por um forno, de modo a manter o tubo

do substrato em uma temperatura entre 900 °C e 1300 °C durante o processo de deposição do plasma.

[006] Desse modo, o aplicador é movido na translação sobre o comprimento do tubo do substrato dentro dos limites de um forno que envolve o tubo do substrato e o aplicador em movimento alternativo dentro do forno. Com esse movimento translacional do aplicador, o plasma também se move na mesma direção. Conforme o aplicador alcança a parede interna do forno perto de uma extremidade do tubo do substrato, o movimento do aplicador é revertido, assim, ele se move para a outra extremidade do tubo do substrato em direção à outra parede interna do forno. O aplicador e, desse modo, o plasma se desloca em um movimento para frente e para trás ao longo do comprimento do tubo do substrato. Cada movimento para frente e para trás é chamado "passagem" ou "golpe". Com cada passagem, uma fina camada de material de sílica vitrificada é depositada do lado de dentro do tubo do substrato.

[007] Esse plasma causa a reação dos gases de formação de vidro (por exemplo,  $O_2$ ,  $SiCl_4$  e, por exemplo, um precursor para um dopante, tal como  $GeCl_4$  ou outros gases) que são fornecidos para dentro do tubo do substrato. A reação dos gases de formação de vidro permite a reação de Si (Silício), O (Oxigênio) e, por exemplo, o dopante Ge (Germânio) para, desse modo, efetuar a deposição direta de, por exemplo,  $SiO_x$  dopado com Ge na superfície interna do tubo do substrato.

[008] Normalmente, um plasma é gerado apenas em uma parte do tubo do substrato, ou seja, a parte que é envolvida pelo aplicador. As dimensões do aplicador são

menores que as dimensões do forno e do tubo do substrato. Apenas na posição do plasma, os gases reativos são convertidos em vidro sólido e depositados na superfície interna do tubo do substrato. Uma vez que a zona de reação do plasma se move ao longo do comprimento do tubo do substrato, o vidro é depositado mais ou menos uniformemente ao longo do comprimento do tubo do substrato.

[009] Quando o número de passagens aumenta, a espessura cumulativa dessas películas finas, isto é, do material depositado, aumenta; conduzindo, desse modo, a uma diminuição no diâmetro interno restante do tubo do substrato. Em outras palavras, o espaço oco dentro do tubo do substrato continua ficando menor com cada passagem.

[010] Após as camadas de sílica vitrificadas terem sido depositadas no interior do tubo do substrato, o tubo do substrato é subsequentemente contraído pelo aquecimento em uma haste sólida ("em colapso"). A haste sólida restante é chamada uma pré-forma primária. Em uma realização especial, a haste sólida ou pré-forma primária pode, além disso, ser externamente provida com uma quantidade adicional de vidro, por exemplo, através de um processo externo de deposição de vapor ou revestimento de vidro direto (chamado "revestimento") ou pelo uso de um ou mais tubos de vidro pré-formado (chamados "acabamento"), obtendo, desse modo, uma pré-forma compósita chamada de pré-forma final. A partir da pré-forma final assim produzida, uma extremidade da qual é aquecida, as fibras ópticas são obtidas pela ilustração em uma torre de desenho. O perfil de índice refrativo da pré-forma consolidada (final) corresponde ao

perfil de índice refrativo da fibra óptica retirada de tal pré-forma.

[011] Uma maneira de fabricar uma pré-forma óptica através de um processo PCVD é conhecida a partir da Patente Norte-Americana nº 4.314.833. De acordo com o processo que é conhecido a partir daquele documento, uma ou mais camadas de vidro dopadas ou não dopadas são depositadas no interior de um tubo do substrato, usando um plasma de baixa pressão no tubo do substrato.

[012] De acordo com o Pedido de Patente Internacional WO 99/35304, micro-ondas de um gerador de micro-ondas são direcionadas para um aplicador através de um guia de ondas, aplicador que envolve um tubo do substrato. O aplicador acopla a energia de alta frequência no plasma.

[013] O tubo do substrato é incorporado na fibra óptica produzida. As camadas de vidro depositadas no interior do tubo do substrato oco, o próprio tubo do substrato oco e as camadas de vidro depositadas no exterior do tubo do substrato oco ou pré-forma primária são todos incorporados na pré-forma final resultante e estão, após ilustração, presentes na fibra óptica produzida.

[014] Exemplos de documentos da técnica anterior que revelam o processo de revestimento são os seguintes. Em cada um desses documentos, o tubo do substrato será incorporado na pré-forma final.

[015] O documento EP 0 554 845 provê um método de revestimento em que a deposição do vidro no interior de um tubo do substrato oco é prevenida.

[016] O documento US 6.988.380 revela um método PCVD para revestimento, em que a deposição de vidro no interior do tubo do substrato oco é prevenida.

[017] Uma desvantagem da incorporação do tubo do substrato na fibra óptica produzida é que tubos do substrato de alta qualidade são exigidos, os quais também têm uma tolerância à alta temperatura e uma boa adesão ao material de vidro depositado. Por esta razão, na técnica anterior, é frequentemente utilizado um tubo do substrato de vidro de quartzo.

[018] Entretanto, foi observado pelos presentes inventores que a pureza dos ditos tubos de quartzo comercialmente disponíveis nem sempre é suficiente. Além disso, as propriedades geométricas gerais desses tubos nem sempre são satisfatórias.

[019] Outra desvantagem da incorporação do tubo do substrato na fibra óptica produzida é a limitação nos perfis de índice refrativo das fibras ópticas que são produzidas. Se, por exemplo, uma fibra óptica é desejada com uma vala deprimida (isto é, um índice refrativo negativo com respeito à sílica) diretamente envolvida por uma bainha óptica externa deprimida, isso levaria à exigência de um tubo do substrato com uma diferença no índice refrativo negativo com respeito à sílica. Isso pode, por exemplo, ser obtido pelo uso de um tubo do substrato de sílica dopada com flúor. Entretanto, esses tubos são difíceis de produzir e muito caros. Além disso, eles são mais macios do que os tubos do substrato de sílica não dopada, de modo que eles são mais difíceis de usar em processos de deposição e mais propensos à ruptura e deformação durante o processo.

[020] Se, por outro lado, um perfil de fibra óptica com uma bainha óptica externa com um perfil de índice refrativo positivo com respeito à sílica é desejado, um tubo do substrato de sílica não dopada (por exemplo, dopado com Germânio) é exigido. Tal tubo é difícil de produzir, muito caro e, além disso, quase impossível para procedimento pelas técnicas padrão nesse momento.

[021] Portanto, há uma necessidade para uma solução alternativa do problema acima.

[022] É um objetivo da presente invenção prover um método para fabricar uma pré-forma para fibras ópticas que permite mais flexibilidade no índice refrativo da pré-forma final.

[023] É outro objetivo da presente invenção prover um processo que elimine o uso de tubos do substrato de alta qualidade.

[024] É outro objetivo da presente invenção prover um processo que permite o uso de tubos do substrato não de quartzo.

[025] Um ou mais desses objetivos são alcançados pela presente invenção.

#### SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[026] A presente invenção refere-se, em um primeiro aspecto, a um método para fabricar um precursor de pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma. Durante esse processo, o tubo do substrato é removido das camadas depositadas no seu interior.

[027] Esse processo, de acordo com um primeiro aspecto da presente invenção, compreende as etapas de:

i) fornecimento de um tubo de substrato oco;

ii) criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e subsequentemente;

iii) criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii);

iv) remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas depositadas na etapa iii) e das camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii) para obter um tubo depositado.

[028] O dito tubo depositado é um precursor para uma pré-forma primária. O dito tubo depositado está em efeito nas camadas do material depositado dentro do dito tubo do substrato, mas sem o tubo do substrato. A dita pré-forma primária pode ser obtida pelo colapso do dito tubo depositado seja diretamente ou após uma etapa de provisão externa de vidro extra. Consulte também o terceiro aspecto abaixo.

[029] Em outro aspecto, o precursor para uma pré-forma primária obtida (ou seja, o tubo depositado) é utilizado como um tubo do substrato em um processo de deposição subsequente. Em outras palavras, de acordo com essa realização, a presente invenção refere-se a um novo processo de produção de um tubo do substrato. Desse modo, nesse

aspecto, o precursor para a pré-forma primária é um tubo do substrato.

[030] Nesse aspecto, a presente invenção refere-se a um método para fabricar um tubo do substrato para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma, método que compreende as etapas de: i) fornecimento de um tubo de substrato oco; ii) criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e; subsequentemente iii) criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii); e iv) remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas depositadas na etapa iii) e das camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii) para obter um tubo do substrato.

[031] Em um segundo aspecto, a presente invenção refere-se a um método para remover um tubo do substrato das camadas de sílica vitrificadas depositadas em sua superfície interna através de um processo interno de deposição de plasma. O processo desse segundo aspecto compreende as etapas i) a iv) acima.

[032] Em um terceiro aspecto, a presente invenção refere-se a um método para fabricar uma pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma, método que compreende as etapas de:

i) fornecimento de um tubo de substrato oco;

ii) criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e subsequentemente

iii) criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii),

iv) remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas depositadas na etapa iii) e das camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii) para obter um tubo depositado.

v) submissão do tubo depositado obtido na etapa iv) para um tratamento em colapso de modo a formar uma pré-forma primária.

[033] A seguir, as diferentes realizações da presente invenção são reveladas.

[034] Essas realizações são, salvo indicação em contrário, aplicáveis em todos os aspectos da presente invenção.

[035] Em uma realização, o tubo do substrato oco tem um lado de oferta e um lado de descarga.

[036] Em outra realização, um fluxo de gás é fornecido no interior do dito tubo de substrato oco durante a etapa ii) de deposição de camadas de sílica não vitrificadas.

[037] Em outra realização, um fluxo de gás é fornecido no interior do dito tubo de substrato oco durante a etapa iii) de deposição das camadas de sílica vitrificadas.

[038] Em outra realização, um fluxo de gás é fornecido no interior do dito tubo de substrato oco antes da etapa ii) de deposição das camadas de sílica não vitrificadas.

[039] Em outra realização, um fluxo de gás é fornecido no interior do dito tubo de substrato oco após a etapa iii) de deposição das camadas de sílica vitrificadas.

[040] Em outra realização, o fluxo de gás é fornecido no interior do dito tubo de substrato oco através do lado de oferta do mesmo.

[041] Em outra realização, o fluxo de gás fornecido durante a etapa ii) compreende pelo menos um gás de formação de vidro.

[042] Em outra realização, o fluxo de gás fornecido durante a etapa iii) compreende pelo menos um gás de formação de vidro. Durante essa etapa iii), é possível que a composição do fluxo de gás mude com cada passagem. Isso é revelado em mais detalhes abaixo.

[043] Em outra realização, o fluxo de gás fornecido antes da etapa ii) compreende oxigênio a fim de criar condições adequadas para a criação de um plasma.

[044] Em outra realização, o fluxo de gás fornecido após a etapa iii) compreende oxigênio. Esse fluxo de gás fornecido após a etapa iii) é utilizado para liberar o tubo depositado obtido de quaisquer gases residuais e indesejados, por exemplo, contendo cloro.

[045] Em outra realização, a dita primeira zona de reação é movida para frente e para trás ao longo do eixo longitudinal do dito tubo do substrato oco entre um ponto de reversão localizado perto do lado de oferta e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do dito tubo do substrato oco. De acordo com essa realização, após a etapa ii), um tubo do substrato com camadas de sílica não vitrificadas depositadas na superfície interna é obtido.

[046] Em outra realização, a dita segunda zona de reação é movida para frente e para trás ao longo do eixo longitudinal do dito tubo do substrato oco entre um ponto de reversão localizado perto do lado de oferta e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do dito tubo do substrato oco. De acordo com essa realização, após a etapa iii), um tubo do substrato com camadas de sílica não vitrificadas depositadas em sua superfície interna na etapa ii) e camadas de sílica vitrificadas depositadas nas camadas não vitrificadas na etapa iii) em sua superfície interna é obtido.

[047] Em outra realização, o método de acordo com a presente invenção compreende uma etapa adicional v) realizada após a etapa iv). Essa etapa v) é submetida ao tubo depositado obtido na etapa iv) para um tratamento em colapso, de modo a formar uma pré-forma primária.

[048] Em outra realização, o método de acordo com a presente invenção compreende uma etapa adicional vi). Essa etapa pode ser realizada após qualquer etapa iv), isto é, no tubo depositado ou após a etapa v), isto é, na pré-forma primária. Essa etapa vi) refere-se ao fornecimento

externo do dito tubo depositado ou dita pré-forma primária com uma quantidade adicional de vidro.

[049] Em outra realização, a ordem das etapas a seguir é seguida:

i) fornecimento de um tubo de substrato oco;

ii) criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e subsequentemente;

iii) criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii);

iv) remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas depositadas na etapa iii) e das camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii) para obter um tubo depositado;

v) submissão do tubo depositado obtido na etapa iv) para um tratamento em colapso, de modo a formar uma pré-forma primária;

vi) fornecimento externo da dita pré-forma primária obtida na etapa v) com uma quantidade adicional de vidro para obter uma pré-forma final.

[050] Em outra realização, quando a etapa vi) foi realizada no tubo depositado obtido na etapa iv), a etapa

v) pode ser realizada após a etapa vi). Por isso, nessa realização, a ordem das etapas a seguir é como segue:

i) fornecimento de um tubo de substrato oco;

ii) criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e subsequentemente;

iii) criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii);

iv) remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas depositadas na etapa iii) e das camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa ii) para obter um tubo depositado;

vi) fornecimento externo do dito tubo depositado obtido na etapa iv) com uma quantidade adicional de vidro;

v) submissão do tubo depositado externamente fornecido com o vidro obtido na etapa vi) para um tratamento em colapso, de modo a formar uma pré-forma primária ou final.

[051] Em outra realização, durante a etapa iv), o tubo do substrato é removido mecanicamente. Desse modo, nessa realização, o tubo do substrato é mecanicamente removido.

[052] Em outra realização, as primeiras condições de reação compreendem uma pressão maior que 30

milibar, preferencialmente maior que 40 milibar, mais preferencialmente maior que 50 milibar, ainda mais preferencialmente maior que 60 milibar.

[053] Em outra realização, as primeiras condições de reação compreendem uma pressão menor que 1000 milibar, preferencialmente menor que 800 milibar, mais preferencialmente menor que 600 milibar, ainda mais preferencialmente menor que 400 milibar, ou ainda menor que 200 milibar.

[054] Em outra realização, as segundas condições de reação compreendem uma pressão entre 1 e 25 milibar, preferencialmente entre 5 e 20 milibar, mais preferencialmente entre 10 e 15 milibar.

[055] Em outra realização, o tubo do substrato fornecido na etapa i), é utilizado um tubo do substrato não de quartzo, preferencialmente um tubo do substrato de alumina.

[056] Em outra realização, na etapa ii) entre 1 e 500 camadas de sílica não vitrificadas são depositadas. Dependendo do tipo de remoção mecânica utilizada, há diferentes faixas preferidas para o número de camadas de sílica não vitrificadas. Isso é explicado em mais detalhes abaixo.

[057] Em outra realização, as camadas de sílica não vitrificadas, cada uma, independentemente, têm uma espessura entre 1 e 5 micrômetros, preferencialmente entre 2 e 3 micrômetros.

[058] Em outra realização, as camadas de sílica não vitrificadas, cada uma, têm aproximadamente a mesma

espessura (ou seja, cada camada tem a mesma espessura com uma margem de  $\pm 5\%$  entre as camadas separadas).

[059] Em outra realização, as camadas de sílica não vitrificadas, cada uma, têm aproximadamente o mesmo volume (ou seja, cada camada tem o mesmo volume com uma margem de  $\pm 5\%$  entre as camadas separadas). Quando o espaço interno do tubo do substrato diminui com o aumento do número de camadas depositadas, a espessura das camadas pode aumentar quando o volume continua o mesmo (diâmetro reduzido leva a uma superfície interna reduzida).

[060] Em outra realização, as camadas de sílica não vitrificadas que são depositadas no total têm uma espessura entre 1 e 1000 micrômetros. Dependendo do tipo de remoção mecânica utilizada, há diferentes faixas preferidas para o número de camadas de sílica não vitrificadas. Isso é explicado em mais detalhes abaixo. Nessa realização, a espessura é a espessura de todas as camadas não vitrificadas juntas.

[061] Em outro aspecto, a presente invenção refere-se a um método em que o precursor para uma pré-forma primária é utilizado como tubo do substrato para a fabricação de uma pré-forma primária através de um processo interno de deposição de plasma. Esse processo de deposição do plasma preferencialmente compreende as etapas de:

a) fornecimento do dito precursor para uma pré-forma primária; e

b) criação de uma zona de reação de plasma com condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas na superfície interna do

dito precursor para uma pré-forma primária provida na etapa a).

[062] Em uma realização, as radiações eletromagnéticas utilizadas são micro-ondas.

[063] A presente invenção será discutida em mais detalhes abaixo.

DEFINIÇÕES CONFORME UTILIZADAS NA PRESENTE  
DESCRIÇÃO

[064] As definições a seguir são utilizadas na presente descrição e reivindicações para definir o assunto indicado. Outros termos não citados abaixo estão destinados a ter o significado geralmente aceito no campo.

[065] "Tubo do substrato oco", conforme utilizado na presente descrição, significa: um tubo, preferencialmente alongado, com uma cavidade dentro. Geralmente, o interior do dito tubo é provido (ou revestido) com uma pluralidade de camadas de vidro durante a fabricação de uma pré-forma.

[066] "Precursor para uma pré-forma primária", conforme utilizado na presente descrição, significa: um produto intermediário que levará a uma pré-forma primária após uma ou mais etapas adicionais do processo.

[067] "Pré-forma primária", conforme utilizado na presente descrição, significa: uma haste sólida (pré-forma sólida) que exige ser externamente provida com vidro extra antes de se tornar uma pré-forma final.

[068] "Pré-forma final", conforme utilizado na presente descrição, significa: uma haste sólida (pré-forma compósita sólida) que pode ser diretamente utilizada para o projeto das fibras ópticas desta.

[069] "Tubo depositado", conforme utilizado na presente descrição, significa: um tubo oco que é constituído de camadas de sílica vitrificadas depositadas dentro de um tubo do substrato que foi removido. Em outras palavras, o tubo do substrato não está mais presente nesse tubo depositado.

[070] "Cavidade", conforme utilizado na presente descrição, significa: o espaço envolvido pela parede do tubo do substrato.

[071] "Lado de oferta do gás" ou "lado de oferta", conforme utilizado na presente descrição, significa: um lado do tubo do substrato, sendo uma extremidade aberta do tubo do substrato que é utilizada como entrada para os gases. O lado de oferta é o lado oposto para o lado de descarga.

[072] "Lado de descarga do gás" ou "lado de descarga", conforme utilizado na presente descrição, significa: um lado do tubo do substrato, sendo uma extremidade aberta do tubo do substrato que é utilizada como saída para os gases. O lado de descarga é o lado oposto ao lado de oferta.

[073] "Superfície interna", conforme utilizado na presente descrição, significa: a superfície interna ou superfície interior do tubo do substrato oco.

[074] "Vidro" ou "material de vidro", conforme utilizado na presente descrição, significa: material de óxido cristalino ou vítreo (transparente) - por exemplo, sílica ( $\text{SiO}_2$ ) ou mesmo quartzo - depositado através de um processo de deposição de vapor.

[075] "Sílica", conforme utilizado na presente descrição, significa: qualquer substância na forma de  $\text{SiO}_x$ , se estequiométrica ou não, e se cristalina ou amorfa ou não.

[076] "Alumina", conforme utilizado na presente descrição, significa: qualquer substância na forma de  $\text{Al}_y\text{O}_x$ , em que Al é alumínio e O é oxigênio, se estequiométrica ou não, e se cristalina ou amorfa ou não.

[077] "Gases de formação de vidro", conforme utilizado na presente descrição, significa: gases reativos utilizados durante o processo de deposição para formar camadas de vidro. Esses gases de formação de vidro podem compreender um precursor para um dopante (por exemplo,  $\text{O}_2$  e  $\text{SiCl}_4$  e opcionalmente outros).

[078] "Precursor para um dopante", conforme utilizado na presente descrição, significa: um composto ou composição que, quando introduzido no vidro, se torna um dopante com um efeito do índice refrativo do vidro. Os precursores para dopantes podem, por exemplo, ser gases que reagem com um ou mais compostos nos gases de formação de vidro para formar camadas de vidro dopadas quando vitrificadas. Durante a deposição do vidro, o precursor para um dopante é introduzido nas camadas de vidro.

[079] "Dopante", conforme utilizado na presente descrição, significa: um composto ou composição que está presente no vidro da fibra óptica e que tem um efeito no índice refrativo do dito vidro. Isso pode, por exemplo, ser um dopante para baixo, ou seja, um dopante que diminui o índice refrativo, tal como Flúor ou Boro (por exemplo, introduzido como um precursor na forma de  $\text{F}_2$ ,  $\text{C}_2\text{F}_8$ ,  $\text{SF}_6$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$  ou  $\text{BCl}_3$ ). Isso pode, por exemplo, ser um dopante para cima, ou

seja, um dopante que aumenta o índice refrativo, tal como Germânio (por exemplo, introduzido como um precursor na forma de  $\text{GeCl}_2$  (dicloreto de germânio) ou  $\text{GeCl}_4$  (tetracloroeto de germânio)). Os dopantes podem estar presentes no vidro seja nos interstícios do vidro (por exemplo, no caso de F) ou eles podem estar presentes como um óxido (por exemplo, no caso de Germânio, Alumínio, Fósforo ou Boro).

[080] "Sílica não vitrificada" é o mesmo que "fuligem" conforme utilizado na presente descrição e significa: sílica incompletamente vitrificada (= não ou parcialmente vitrificada). Pode ser tanto dopada ou não dopada.

[081] "Sílica vitrificada" é o mesmo que "vidro" conforme utilizado na presente descrição e significa: uma substância transparente produzida pela vitrificação completa de sílica. Pode ser tanto dopada ou não dopada.

[082] "Deposição de fuligem", conforme utilizado na presente descrição, significa: a deposição de sílica não vitrificada nas paredes internas do tubo do substrato. A deposição de fuligem é visível para o olho como um material particulado fino opaco.

[083] "Zona de reação", conforme utilizado na presente descrição, significa: a zona ou localização axial onde ocorre a reação de formação de vidro ou deposição. Essa zona é formada por um plasma e preferencialmente se move reciprocamente ao longo do comprimento longitudinal do tubo do substrato.

[084] "Condições de reação", conforme utilizado na presente invenção, significa: um conjunto de condições, tais como temperatura, pressão, radiação eletromagnética que

são utilizadas para efetuar a deposição das camadas de sílica (vitrificada ou não vitrificada).

[085] "Plasma", conforme utilizado na presente descrição, significa: um gás ionizado que consiste em íons positivos e elétrons livres nas proporções resultando em mais ou menos nenhuma carga elétrica total em temperaturas muito altas. O plasma é induzido pela radiação eletromagnética, preferencialmente por micro-ondas.

[086] "Ponto de reversão", conforme utilizado na presente descrição, significa: o ponto axial ou posição no tubo do substrato no qual o movimento do aplicador alterna. Em outras palavras, mudanças de trás para frente e de frente para trás. É o ponto de mudança do aplicador. O ponto axial é medido no meio (longitudinal) do aplicador.

[087] "Perto do ponto de reversão", conforme utilizado na presente descrição, significa: uma posição axial no tubo do substrato que é perto, em distância, do ponto de reversão, ou é a mesma posição como o ponto de reversão.

[088] "No ponto de reversão", conforme utilizado na presente descrição, significa: uma posição axial no tubo do substrato que é a mesma posição como o ponto de reversão.

[089] "Movido para frente e para trás", conforme utilizado na presente descrição, significa: um movimento alternativo ou mover para frente e para trás em uma linha reta.

[090] "Fase", conforme utilizado na presente descrição, significa: uma parte do processo de deposição no qual as camadas de vidro com um valor específico de índice refrativo são depositadas. O valor específico pode ser

constante ou exibir um gradiente. Por exemplo, para uma fibra de índice de etapa simples, a deposição do núcleo e a deposição do revestimento são, cada uma, consideradas uma fase separada.

[091] "Golpe" ou "passagem", conforme utilizado na presente descrição, significa: cada movimento para frente e para trás do aplicador ao longo do comprimento do tubo do substrato.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[092] A presente invenção refere-se, em um primeiro aspecto, a um método para fabricar um precursor para uma pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma. Durante esse processo, o tubo do substrato é removido. Em um segundo aspecto, a presente invenção refere-se a um método para remover um tubo do substrato das camadas de vidro depositadas em sua superfície interna através de um processo interno de deposição de plasma. Em um terceiro aspecto, a presente invenção refere-se a um método para fabricar uma pré-forma primária para fibras ópticas através de um processo interno de deposição de plasma.

[093] A solução que os presentes inventores descobriram para os problemas citados acima para a técnica anterior é a remoção do tubo do substrato, permitindo o uso de um tubo do substrato não de quartzo. Essa solução ocasiona a remoção do tubo do substrato após a deposição da camada de sílica dentro do dito tubo do substrato. Essa remoção é facilitada pela presença de uma camada de fuligem (vidro não vitrificado) entre a superfície interna do dito tubo do substrato e as camadas de vidro depositadas. Essa fuligem de

sílica tem uma determinada aderência (embora limitada) às camadas de vidro a serem depositadas e tem uma determinada aderência (embora limitada) ao tubo do substrato, que pode, por exemplo, ser de alumina. Desse modo, ela age como uma barreira entre duas partes vitrificadas, primeiramente o substrato, que é preferencialmente um vidro ou tubo do substrato à base de sílica, e, por outro lado, as camadas de vidro que são depositadas. Essa camada de barreira agirá como uma camada antiaderente ou camada de tampão que permite a separação das duas camadas de sílica vitrificadas em qualquer lado. Em princípio, pode ser visto como uma camada de tampão entre dois tubos, no exterior do tubo do substrato e no interior do tubo depositado.

[094] A aderência da camada de fuligem (camada de sílica não vitrificada) ao tubo do substrato deve, por um lado, ser suficiente para permitir que uma camada seja formada (preferencialmente, uma camada contínua, e/ou preferencialmente, uma camada com cobertura substancialmente constante da superfície interna do tubo do substrato, e/ou preferencialmente, uma camada com uma espessura constante substancial sobre o comprimento do tubo do substrato). A aderência da camada de fuligem ao tubo do substrato deve, por outro lado, não ser tão alta para permitir a separação do tubo do substrato da camada de fuligem.

[095] A aderência da camada de fuligem às camadas de vidro a serem depositadas deve, por um lado, ser suficiente para permitir que as camadas de vidro sejam formadas. A aderência da camada de fuligem às camadas de vidro a serem depositadas deve, por outro lado, não ser tão

alta para permitir a separação das camadas de vidro da camada de fuligem.

[096] É possível para a presente invenção que as camadas de sílica não vitrificadas sejam removidas pelo uso de um líquido, por exemplo, água ou outra solução aquosa. O particulado frágil da sílica não vitrificada é quebrado, de modo que um material tipo poeira, fino disperso no líquido é obtido, o qual pode ser removido pela remoção do líquido.

[097] O tubo do substrato utilizado de acordo com a presente invenção é preferencialmente um tubo do substrato não de quartzo. É possível utilizar um tubo do substrato de quartzo, por exemplo, de pureza inferior. O tubo do substrato deve ser capaz de resistir a altas temperaturas que são utilizadas no processo de deposição. Além disso, o tubo do substrato deve ser transparente para radiação eletromagnética para permitir que um plasma seja formado dentro do dito tubo do substrato. A dimensão interna e externa do tubo do substrato utilizado na presente invenção pode ser selecionada de acordo com as exigências do equipamento do processo e a quantidade e tipo de fibra óptica a ser formada. Pode ser exigido que os tubos do substrato sejam submetidos a um processo pré-tratado, a fim de torná-los adequados para uso no equipamento de deposição de plasma que é utilizado na presente invenção.

[098] O presente método compreende as etapas a seguir, as quais não são todas essenciais em todas as realizações. É possível que algumas dessas etapas sejam realizadas em uma ordem diferente.

[099] A primeira etapa está provendo um tubo de vidro oco. O dito tubo do substrato oco pode

preferencialmente ter um lado de oferta e um lado de descarga. Esse tubo do substrato oco é utilizado para a deposição interna de camadas na superfície interna deste. Uma linha de gás (ou opcionalmente uma linha de gás principal e pelo menos uma linha de gás secundária) está anexada ao dito lado de oferta e preferencialmente uma bomba a vácuo é anexada ao dito lado de descarga.

[0100] Em outra etapa, um gás de fluxo é fornecido no interior do dito tubo do substrato oco. Esse fluxo de gás é preferencialmente introduzido através do lado de oferta do dito tubo do substrato. O dito fluxo de gás compreende pelo menos um gás de formação de vidro. Por exemplo, oxigênio e tetracloreto de silício. Opcionalmente, o dito fluxo de gás também compreende, durante pelo menos uma parte do processo de deposição, pelo menos um precursor para um dopante, tal como germânio (por exemplo, na forma de tetra ou dicloreto de germânio) e/ou flúor (por exemplo, na forma de  $C_2F_6$ ). Primeiramente, apenas oxigênio é introduzido, depois opcionalmente um gás de corrosão, mesmo depois os gases de formação de vidro.

[0101] Em uma etapa a seguir, uma zona de reação de plasma é criada no interior do dito tubo de substrato oco. A zona de reação de plasma não atravessa o comprimento total do tubo do substrato, mas apenas uma parte envolvida pelo aplicador. Em outras palavras, a zona de reação de plasma é criada em uma parte do interior do tubo do substrato oco. O plasma é criado através de radiação eletromagnética. Essa zona de reação de plasma provê as condições que são adequadas para efetuar a deposição de camadas de vidro vitrificadas ou camadas de vidro não vitrificadas - dependendo das condições

- na superfície interna do dito tubo de substrato oco ao permitir a reação dos gases de formação de vidro e, opcionalmente, um ou mais precursores para dopantes. Em outras palavras, a zona de reação de plasma é o espaço tridimensional que é tomado pelo plasma dentro do tubo do substrato.

[0102] A zona de reação é preferencialmente alternada entre dois pontos de reversão, cada qual é localizado em ou perto das extremidades do tubo do substrato. Há um ponto de reversão perto do lado de oferta e há um ponto de reversão perto do lado de descarga. O aplicador de radiação eletromagnética está presente de forma coaxial sobre o tubo do substrato. O plasma formado se move para frente e para trás ao longo do eixo longitudinal do dito tubo do substrato oco junto do aplicador. O movimento alterna entre um ponto de reversão localizado perto do lado de oferta e um ponto de reversão localizado perto do lado de descarga do dito tubo do substrato oco. Essa alternância ocorre várias vezes (chamadas passagens ou golpes) e durante cada passagem ou golpe, uma fina camada de vidro vitrificado ou não vitrificado é depositada. No caso do processo de deposição ser realizado em várias fases, cada fase compreende uma pluralidade de golpes, por exemplo, entre 1000 e 10.000, tais como 2000 a 4000 golpes.

[0103] Durante a etapa ii) do presente método inventivo, uma primeira zona de reação de plasma é provida para a deposição de vidro não vitrificado. As primeiras condições de reação são aplicadas. Essas primeiras condições de reação são eficazes para a produção de camadas de sílica não vitrificadas, em outras palavras, essas condições são

escolhidas para prevenir a deposição de sílica vitrificada. Um fluxo de gás de gases de formação de vidro está presente durante essa etapa. Em uma realização, uma alta pressão (por exemplo, > 50 mbar) é utilizada para prevenir a vitrificação. Isso é uma consequência do fato de que a pressão determina a quantidade de formação de sílica na fase de gás. Quando a pressão no tubo do substrato é baixa o suficiente, apenas uma pequena quantidade de fuligem ( $\text{SiO}_2$  ou  $\text{GeO}_2$ ) será formada na fase de gás e a maioria do gás de formação de vidro reagirá como sílica vitrificada no diâmetro interno do tubo do substrato. Se a pressão for maior que 50 mbar, haverá uma quantidade significativa de criação de fuligem através do agrupamento das partículas de sílica na fase de gás antes da deposição no diâmetro interno do tubo do substrato. A fuligem aderirá ao tubo do substrato e alguém será capaz de removê-la depois. Se alguém conduz o processo de deposição do plasma em um regime de pressão mais alto (>30 mbar ou mesmo >60 mbar), alguém descobre que a deposição está consistindo em uma grande parte de material de fuligem.

[0104] Deve ser observado que, preferencialmente, a sílica não vitrificada é fornecida em uma grande parte da superfície interna do tubo do substrato, tal como entre o ponto de reversão perto do lado de oferta e o ponto de reversão perto do lado de descarga. Preferencialmente, a área da superfície interna que deve ser coberta pelas camadas de sílica vitrificadas também é coberta anteriormente pelas camadas de sílica não vitrificadas. Isso facilitará a remoção posterior do tubo do substrato sem danificar as camadas de sílica vitrificadas, ou seja, as camadas depositadas.

[0105] Durante a etapa iii) do presente método inventivo, uma segunda zona de reação de plasma é provida para a deposição de sílica vitrificada. Desse modo, essa etapa ocasiona a criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco com camadas de vidro não vitrificadas depositadas em sua superfície interna através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas em uma etapa anterior. As segundas condições de reação, conforme utilizadas durante essa etapa para obter uma zona de reação de plasma adequada para a deposição de vidro, são conhecidas no campo.

[0106] No final dessa etapa de deposição do processo da presente invenção, um tubo do substrato com o número desejado de camadas de sílica vitrificadas depositadas em sua superfície interna é obtido. Naquele momento, o processo de deposição é interrompido. Desse modo, a radiação eletromagnética é interrompida, bem como o fluxo de gás que compreende os gases de formação de vidro.

[0107] Em uma etapa a seguir da presente invenção, o tubo do substrato é removido. Isso renderá um chamado tubo depositado ou as camadas de sílica vitrificadas que foram depositadas.

[0108] Em uma etapa opcional da presente invenção, o tubo depositado é submetido a um tratamento em colapso, de modo a formar uma haste sólida. Entretanto, pode ser previsto que o tubo depositado finalizado é transportado para outra instalação onde essa etapa de colapso é realizada. Durante essa etapa de colapso, o tubo oco é aquecido pelo uso

de fonte de calor externa, tal como um forno ou queimadores a uma temperatura entre 1800 e 2200 graus C. Em vários golpes ou passagens de colapso, o tubo oco é aquecido e colapsa em si para formar uma haste sólida.

[0109] Em uma etapa opcional da presente invenção, o tubo depositado ou pré-forma primária obtida pode, além disso, ser externamente provido com uma quantidade adicional de vidro, por exemplo, através de um processo externo de deposição de vapor ou processo direto de deposição de vidro (chamado "revestimento") ou pelo uso de um ou mais tubos de vidro pré-formados que são providos sobre a superfície externa da pré-forma primária obtida, de acordo com o método da presente invenção. Esse processo é chamado "acabamento". Quando uma haste sólida é utilizada como o ponto de partida, uma pré-forma compósita chamada de pré-forma final é obtida. No método de acordo com a presente invenção, essa etapa de prover externamente vidro extra pode ser realizada pelo uso de vidro dopado. Em uma realização preferida, o processo de revestimento utiliza sílica natural ou sintética. Pode ser sílica dopada ou não dopada. Em uma realização, sílica dopada com Flúor é utilizada no processo de revestimento, por exemplo, para obter uma fibra óptica com um revestimento óptico externo oculto.

[0110] A partir da pré-forma final assim produzida, uma extremidade da qual é aquecida, as fibras ópticas são obtidas pelo projeto em uma torre de desenho. O perfil do índice refrativo da pré-forma consolidada (em colapso) corresponde ao perfil do índice refrativo da fibra óptica projetada de tal pré-forma.

[0111] A remoção do tubo do substrato é preferencialmente remoção mecânica. A remoção mecânica pode ser realizada à mão ou em uma máquina.

[0112] Há várias maneiras nas quais o tubo do substrato pode ser removido. Em um primeiro aspecto, o tubo do substrato permanecerá intacto após a remoção. Em um segundo aspecto, o tubo do substrato não permanecerá intacto após a remoção.

[0113] Por exemplo, perto de ambas as extremidades longitudinais do tubo do substrato, um corte circular (radial) é feito, preferencialmente através da espessura do tubo do substrato, opcionalmente se estendendo para a camada de fuligem. Após esse corte radial, o tubo do substrato está, em princípio, presente de forma coaxial em uma maneira não conectada (frouxa) em volta das camadas de vidro depositadas. A camada de fuligem é frágil e ao girar ou deslizar do tubo do substrato frouxo, essa camada de fuligem pode ser quebrada ou despedaçada para prover movimento entre o tubo do substrato e as camadas de vidro. Entretanto, deve ser observado que esse movimento é muito limitado por natureza, uma vez que o espaçamento entre o tubo do substrato e a camada de vidro é preenchido com a camada de fuligem (quebrada ou despedaçada).

[0114] De acordo com o primeiro aspecto, uma realização é como segue. Primeiramente, os cortes radiais são feitos perto de ambas as extremidades longitudinais, conforme discutido acima. A seguir, uma (ou ambas) extremidade do tubo do substrato é removida (por exemplo, ao fazer um corte radial mais profundo que atravessa o tubo do substrato completo e tubo depositado), de modo que o tubo do substrato

pode ser deslizado da camada de vidro depositada para dentro dele. Isso permite que o tubo do substrato seja reutilizado por outro processo de deposição. É preferido que, de acordo com essa realização, a espessura total das camadas não vitrificadas (camadas de fuligem) esteja entre 200 e 1000 micrômetros. É preferido que o número de camadas não vitrificadas esteja entre 100 e 500. Isso permite distância suficiente entre os dois tubos coaxiais (ou seja, o tubo do substrato externo e o tubo depositado interno) para a remoção ser efetuada.

[0115] É possível para a presente invenção que as camadas de sílica não vitrificadas sejam removidas pelo uso de um líquido, por exemplo, água ou outra solução aquosa. Quando tal líquido é introduzido no espaço entre os dois tubos coaxiais e os tubos são movidos com relação entre si, o particulado frágil de sílica não vitrificada é quebrado, de modo que um material tipo poeira, fino disperso no líquido é obtido, o qual pode ser removido pela remoção do líquido. Após remoção do líquido e do particulado, um espaço vazio é obtido entre os dois tubos coaxiais, facilitando a remoção do tubo do substrato externo.

[0116] Para o segundo aspecto, em que o tubo do substrato não permaneceu intacto, várias realizações não limitantes são providas abaixo.

[0117] Em outra realização, o tubo do substrato pode ser submetido a um ou mais cortes longitudinais (preferencialmente dois opostos) (por exemplo, por uma lâmina de serra operada por máquina). Esses cortes longitudinais (ou corte) estão preferencialmente em todo o comprimento do tubo do substrato. Esses cortes (ou corte) preferencialmente se

referem à espessura do tubo do substrato, opcionalmente se estendendo na camada de fuligem. Após esses cortes (ou corte) serem feitos, duas metades (ou mais partes) do tubo do substrato podem ser removidas. Isso não permite a reutilização do tubo do substrato.

[0118] Em outra realização, o tubo do substrato pode ser submetido a um martelo e formão operado à mão para formar uma fenda (ou mais fendas). Essas fendas podem progredir em uma direção longitudinal. Isso quebrará o tubo do substrato que é removido em uma pluralidade de partes. Isso não permite a reutilização do tubo do substrato.

[0119] Em outra realização, o tubo do substrato é provido com ranhuras mais longitudinais ou helicais feitas com uma faca de diamante de vidreiros, seguido pela quebra do tubo do substrato. Isso poderia ser feito tanto na máquina ou operado à mão. Isso não permite a reutilização do tubo do substrato.

[0120] Para essas realizações do segundo aspecto, não é necessário ter uma determinada espessura da sílica não vitrificada para permitir espaçamento suficiente entre os dois tubos. A fim de reduzir o tempo e custo de fabricação, nesse caso, uma espessura total das camadas não vitrificadas está preferencialmente entre 1 e 100 micrômetros, mais preferencialmente no máximo 40 micrômetros, ainda mais preferencialmente no máximo 20 micrômetros. O número de camadas de sílica não vitrificadas está preferencialmente entre 1 e 50, mais preferencialmente no máximo 20, ainda mais preferencialmente no máximo 10.

[0121] Em um aspecto adicional para essas realizações do segundo aspecto, as extremidades do tubo do

substrato (extremidades de solda) podem ser mantidas no lugar. Isso permite fácil transferência do tubo depositado (após a remoção do tubo do substrato) para uma próxima etapa no processo, por exemplo, um aparelho de colapso ou um aparelho de deposição de plasma. Nesse caso, a etapa de corte radial perto de ambas as extremidades longitudinais pode ser realizada como uma primeira etapa na remoção do tubo do substrato.

[0122] Em outro aspecto, a presente invenção refere-se a um método em que o precursor para uma pré-forma primária é utilizado como tubo do substrato para a fabricação de uma pré-forma primária através de um processo interno de deposição de plasma. Esse processo de deposição do plasma preferencialmente compreende as etapas de:

a) fornecimento do dito precursor para uma pré-forma primária; e

b) criação de uma zona de reação de plasma com condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas na superfície interna do dito precursor para uma pré-forma primária provida na etapa a).

[0123] O precursor para uma pré-forma primária utilizada na etapa a) é o precursor conforme obtido em um primeiro aspecto da presente invenção.

[0124] Deve ser observado que a zona de reação de plasma e condições de reação da etapa b) são similares ou as mesmas como a segunda zona de reação de plasma e segundas condições de reação descritas acima. É possível que após a etapa b) uma etapa de colapso seja realizada conforme

descrito acima para outros aspectos. Todas as realizações e informações divulgadas acima com relação ao processo de deposição do plasma também são aplicáveis para essa realização.

[0125] A presente invenção não exige mudanças significativas para a configuração instrumental ou aparelho que já estão em uso. Portanto, a solução para o problema apresentado na presente invenção é fácil e econômico para implementar.

[0126] A presente invenção será agora explicada com base em um exemplo, em cujo contexto deve ser observado, entretanto, que a presente invenção não é, de jeito nenhum, limitada a esse exemplo.

#### EXEMPLO

[0127] Um tubo de sílica de baixa qualidade provido em ambas as extremidades com uma haste de vidro soldada ("punho") é colocado em um torno de PCVD envolvido por um forno. O forno é trazido a uma temperatura de 1100 °C enquanto o oxigênio flui através do tubo do substrato em uma pressão de 15 milibar. A velocidade do ressoador é de 20 metros por minuto. Um plasma é induzido e a pressão é aumentada para 60 milibar. Aproximadamente 20 camadas de sílica não dopada não vitrificadas são depositadas em um período de 2 minutos. A pressão é subsequentemente diminuída para aproximadamente 14 milibar e aproximadamente 160 camadas de sílica vitrificada são depositadas em aproximadamente 12 minutos.

[0128] Quando o processo completo é finalizado, o tubo é tirado do torno de PCVD para resfriar em ar envolvente (não é aplicado resfriamento forçado). Quando o

tubo está em temperatura ambiente (23 °C), um corte de serra é feito perto do gás do lado de oferta (em 50 milímetros a partir da extremidade do tubo) e perto do lado de descarga (em 100 milímetros a partir da extremidade do tubo). Então, o tubo do substrato é removido do tubo depositado pelo uso de um formão e um martelo. As duas extremidades soldadas permanecem em posição. O tubo depositado é provido em um aparelho de colapso e colapsado para prover uma haste de núcleo sólido.

[0129] Portanto, um ou mais objetivos da presente invenção, mencionados acima, foram alcançados. Mais realizações da presente invenção são citadas nas reivindicações anexas.

### REIVINDICAÇÕES

1. MÉTODO PARA FABRICAR UM PRECURSOR PARA UMA PRÉ-FORMA PRIMÁRIA PARA FIBRAS ÓPTICAS POR MEIO DE UM PROCESSO INTERNO DE DEPOSIÇÃO DE PLASMA, caracterizado por compreender as etapas de:

(i) fornecimento de um tubo de substrato oco;

(ii) criação de uma primeira zona de reação de plasma com as primeiras condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica não vitrificadas na superfície interna do dito tubo de substrato oco, e subseqüentemente;

(iii) criação de uma segunda zona de reação de plasma com as segundas condições de reação no interior do dito tubo de substrato oco através de radiação eletromagnética para efetuar a deposição de camadas de sílica vitrificadas nas camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa (ii);

(iv) remoção do tubo de substrato oco das camadas de sílica vitrificadas depositadas na etapa (iii) e das camadas de sílica não vitrificadas depositadas na etapa (ii) para obter um tubo depositado.

2. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender uma etapa adicional v) realizada após a etapa (iv), a etapa (v) sendo: submeter o tubo depositado obtido na etapa iv) a um tratamento em colapso, de modo a formar uma pré-forma primária.

3. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender uma etapa adicional (vi) realizada após a etapa (iv) sendo: prover externamente o dito

tubo depositado da etapa (iv) com uma quantidade adicional de vidro.

4. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado por compreender uma etapa adicional (vi) realizada após a etapa (v) sendo: prover externamente a dita pré-forma primária da etapa (v) com uma quantidade adicional de vidro.

5. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado por, durante a etapa (iv), pelo tubo de substrato ser removido mecanicamente.

6. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, em que as primeiras condições de reação são caracterizadas por compreender uma pressão maior que 30 milibar.

7. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, em que as primeiras condições de reação são caracterizadas por compreender uma pressão menor que 1000 milibar.

8. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, em que as segundas condições de reação são caracterizadas por compreender uma pressão entre 1 e 25 milibar.

9. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8, caracterizado pelo tubo de substrato provido na etapa (i) ser utilizado como um tubo de substrato não de quartzo.

10. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, caracterizado por, na etapa (ii) serem depositadas entre 1 e 500 camadas de sílica não vitrificadas.

11. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 10, caracterizado pelas camadas de sílica não vitrificadas, cada uma independentemente, terem uma espessura entre 1 e 5 micrômetros.

12. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 11, caracterizado pelas camadas de sílica não vitrificadas, que são depositadas no total, terem uma espessura entre 1 e 1000 micrômetros.

13. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 3 a 12, caracterizado pelo precursor para uma pré-forma primária ser um tubo de substrato.

14. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 3 a 12, caracterizado pelo precursor para uma pré-forma primária ser utilizado como tubo de substrato para a fabricação de uma pré-forma primária através de um processo interno de deposição de plasma.

15. MÉTODO, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 14, caracterizado pelas radiações eletromagnéticas utilizadas serem micro-ondas.

16. MÉTODO, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por como tubo de substrato oco, fornecido na etapa i), ser usado um tubo de alumina.