



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

(11) PI 0510264-2 B1



(22) Data do Depósito: 22/02/2005

(45) Data de Concessão: 20/08/2019

(54) Título: MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE UMA PREFORMA DE FIBRA FOTÔNICA DE CRISTAL, PREFORMA DE FIBRA FOTÔNICA DE CRISTAL E FIBRA ÓTICA

(51) Int.Cl.: C03B 37/012; C03B 37/027.

(30) Prioridade Unionista: 27/04/2004 CH PCT/CH2004/000261.

(73) Titular(es): SILITEC FIBERS SA.

(72) Inventor(es): CARLOS PEDRIDO.

(86) Pedido PCT: PCT CH2005000106 de 22/02/2005

(87) Publicação PCT: WO 2005/102947 de 03/11/2005

(85) Data do Início da Fase Nacional: 25/10/2006

(57) Resumo: FIBRA ÓTICA E SUA PREFORMA ALÉM DE MÉTODO E APARELHO PARA A FABRICAÇÃO DAS MESMAS. A presente invenção refere-se a um método de fabricação de uma fibra ótica que compreende as etapas de inserção de uma preforma de fibra ótica primária (11) possuindo um primeiro eixo geométrico primário (x1) e uma superfície externa (111) em um tubo de revestimento superior (12) possuindo um segundo eixo geométrico primário (x2) e uma superfície interna (120), de forma que a dita superfície externa e a superfície interna definam um espaço interno (15); retendo a preforma primária (11) em uma posição inserida de forma centralizada dentro do tubo de revestimento superior (12) com os ditos primeiro e segundo eixos geométricos primários (x1, x2) em alinhamento substancial um com o outro; suprimindo o grão de revestimento superior (13) para dentro do espaço interno (15) que é limitado na extremidade inferior do tubo de revestimento superior (12) por meio de um encerramento (125); gerando uma condição de pressão reduzida dentro do espaço interno (15) que é limitado na extremidade superior do tubo de revestimento superior (12) por meio de uma união (3), que retém a preforma de fibra ótica primária (11) e o tubo de revestimento superior (12) na posição; e aquecendo a preforma secundária não processada (1), que consiste na preforma (...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO DE FABRICAÇÃO DE UMA PREFORMA DE FIBRA FOTÔNICA DE CRISTAL, PREFORMA DE FIBRA FOTÔNICA DE CRISTAL E FIBRA ÓTICA**".

[001] A presente invenção refere-se a um método e um aparelho para a fabricação de uma fibra ótica tal como a Fibra de Cristal Fotônico, e a uma preforma utilizada para a fabricação de uma fibra ótica além da fibra ótica fabricada de acordo com o dito método.

[002] A fabricação de fibras óticas, tais como as fibras atualmente utilizadas em redes de comunicação de dados de velocidade ultra-alta, é descrita em [1], Mool C. Gupta, Handbook of PHOTONICS, CRC Press, 1997 Boca Raton, capítulo 10.7, páginas 445-449. As etapas principais do processo de fabricação de fibra ótica são a fabricação de um molde de vidro (chamado de preforma abaixo), a formação da fibra a partir da preforma e revestimento da fibra com um material que protege a fibra durante o manuseio e contra influências ambientais.

[003] De acordo com [1], existem basicamente três métodos para se formar a preforma. O processo de deposição de vapor químico modificado (MCVD), o processo de deposição de vapor externo (OVD) e o processo de deposição axial de vapor (VAD).

[004] No processo de formação, a preforma é alimentada a partir de cima para dentro da parte de formação do forno enquanto está sendo formada a partir de baixo utilizando-se tratores. A fibra é então enrolada em um tambor enquanto está sendo monitorada por resistência à tensão. A temperatura durante a formação é na faixa de 2000°C. Depois de sair do forno a fibra é revestida com um revestimento curável por UV antes do enrolamento no tambor.

[005] Como descrito em [2], U.S. 6.519.974 B1, o método MCVD apresenta determinadas vantagens sobre os outros métodos. No processo MCVD, uma camada sucessiva de SiO₂ e revestimentos, que

incluem germânio, fósforo e fluoreto, são depositados no interior de um tubo de sílica fundida pela mistura de vapores de cloreto e oxigênio a uma temperatura da ordem de 1800°C. No processo de deposição de camada as camadas de recobrimento são colocadas primeiro, e então as camadas que formarão o núcleo são depositadas. Depois da deposição das camadas, o tubo de quartzo internamente colocado é aquecido na presença de Cl_2 e He de modo a formar uma haste de quartzo compacta.

[006] Como adicionalmente mencionado em [2], o método MCVD, utilizado por si só, apresenta a limitação inerente que não é adequada para criar preformas de mais de 25 mm de diâmetros. A fim de superar essa limitação, MCVD é frequentemente praticado com um chamado método de recobrimento, que permite a fabricação de preformas relativamente grandes e dessa forma aperfeiçoa a produtividade para o processo de fabricação de fibra. O recobrimento convencional envolve, em termos gerais, a colocação de uma preforma de haste dentro de um tubo feito de um material de recobrimento adequado, a fusão da haste e do tubo juntos para formar uma preforma secundária, e a formação a partir da preforma secundária de uma fibra ótica compreendendo um núcleo encerrado dentro de uma camada de recobrimento. Dessa forma, uma concretização de alta produtividade do método MCVD exige três etapas essenciais: preparação de uma preforma de fibra ótica primária pela deposição interna, recobrimento da preforma de fibra ótica primária para obter uma preforma de fibra ótica secundária, e finalmente a formação de uma fibra ótica a partir da preforma de fibra ótica secundária.

[007] Em [2], descobriu-se que a realização dessas três etapas separadamente exige:

[008] quantidades substanciais de tempo e conseqüentemente tem um efeito negativo na produtividade;

[0009] uma grande quantidade de oxigênio ou hidrogênio para a etapa de recobrimento da preforma de fibra ótica primária; e

[0010] aplicação de uma quantidade relativamente grande de calor para a etapa de recobrimento, se a preforma de fibra ótica primária for relativamente grande.

[0011] Para se superar essas desvantagens uma combinação das etapas de recobrimento e formação foi proposta, por exemplo, em [3], patente U.S. Nº 2.980.957. O método descrito em [3] compreende as etapas de criação, entre uma haste de núcleo e um tubo de recobrimento disposto de forma concêntrica com relação à mesma, de um alto vácuo antes do estágio de formação e adicionalmente um vácuo baixo controlado a fim de se reagir de forma controlada às forças de formação e para fazer com que o elemento tubular desmonte progressivamente para dentro do espaço entre a haste de núcleo e o tubo de recobrimento. Um problema na combinação dos estágios de fusão e formação tem sido o controle da aplicação de vácuo com precisão suficiente de forma que a fibra ótica acabada tenha resistente e qualidade ótica suficientes para as aplicações em comunicações modernas.

[0012] Outro aspecto endereçado em [2] é o alinhamento adequado da haste de núcleo e do tubo de recobrimento. Um método foi descrito em [4], patente U.S. Nº 4.820.322, que permite a fabricação de uma fibra forte com núcleo concêntrico e revestimento, que utiliza um vácuo para promover o desmonte do tubo de recobrimento, e que pode ser praticado em uma fase de fabricação separada ou em um processo contínuo combinado com a formação da fibra. Como mencionado em [2], a abordagem descrita em [4] tem um limite no espaço entre a haste e o tubo de recobrimento; o diâmetro interno do tubo não pode exceder o diâmetro da haste em mais de uma quantidade determinada. Adicionalmente, a modalidade que combina o desmonte do tubo e a formação da fibra não utiliza um meio afirmativo para centralizar a

haste no tubo, se baseando, ao invés disso, na concentricidade de forças de centralização automática inerentes apesar de não estarem presentes enquanto a fibra é formada a partir da ponta da preforma de haste e tubo.

[0013] Para aperfeiçoar as técnicas descritas acima um método foi proposto em [2] que permite a formação de uma fibra ótica a partir de uma preforma de haste e tubo enquanto funde simultaneamente a haste e o tubo de recobrimento. Essa abordagem de haste e tubo emprega uma fonte de vácuo de baixa intensidade que permite o ajuste fino da pressão diferencial. Também fornece o alinhamento controlado da haste de núcleo e do tubo de recobrimento para garantir que a uniformidade circunferencial desejada da camada de recobrimento na fibra formada seja alcançada. O vácuo de baixa intensidade é alcançado pela introdução de um fluxo de gás dentro de uma união que mantém uma preforma de fibra ótica primária possuindo um primeiro eixo geométrico primário e uma superfície externa e um tubo de recobrimento possuindo um segundo eixo geométrico primário e uma superfície interna definindo um espaço interno, alinhados de forma coaxial juntos como um conjunto de preforma secundário. O fluxo de gás através de um canal na união gera uma condição de pressão reduzida de acordo com o teorema de Bernoulli, e, portanto, evacua parcialmente o espaço entre o tubo de recobrimento e a preforma de fibra ótica primária. A taxa de fluxo através do canal determinará a extensão à qual a pressão do gás é reduzida no espaço.

[0014] De acordo com [2], a maior preocupação com a realização dos processos de haste e tubo é focalizada nos procedimentos de alinhamento e na aplicação de um vácuo precisamente controlado. No entanto, além dessas preocupações principais conhecidas, os custos de produção de uma fibra ótica de alta qualidade a partir de uma preforma de haste e tubo é uma preocupação contínua.

[0015] Seria, portanto, desejável se fornecer um método e aparelho aperfeiçoados que permitam a fabricação de uma fibra ótica de alta qualidade a partir de uma preforma de haste e tubo.

[0016] Seria desejável em particular se fornecer um método que permita a fabricação de fibra ótica de alta qualidade a partir de uma preforma de haste e tubo com um custo significativamente reduzido.

[0017] Adicionalmente ainda seria desejável se fornecer um método que permita uma redução da exigência de precisão no alinhamento da haste e do tubo da preforma de haste e tubo além de uma redução da exigência de precisão para o controle do vácuo para a fusão sequencial ou simultânea da preforma e formação da fibra.

[0018] Seria adicionalmente desejável se criar uma preforma de haste e tubo, que possa ser utilizada com o método inventivo, além de uma fibra de alta qualidade ótica formada a partir da dita preforma de haste e tubo.

[0019] Seria adicionalmente desejável se criar uma preforma de haste e tubo que permita a modificação das propriedades da fibra ótica formada a partir da dita preforma de haste e tubo com esforço reduzido.

[0020] No entanto, além das fibras tradicionais que são derivadas de preformas de "haste única e tubo único", as chamadas Fibras de Cristal Fotônico (PCF) que emergiram recentemente e que se baseiam em um novo mecanismo para guiar a luz.

[0021] Como descrito em [8], a patente U.S. Nº 6.845.204, os guias de onda tradicionais operam guiando o campo eletromagnético (a luz ou fótons) através de um efeito físico, que é conhecido como reflexo interno. Pela utilização desse efeito fundamental, a propagação (ou perda) de energia ótica nas direções perpendiculares ao eixo geométrico de guia de onda é reduzida. A fim de se obter o reflexo interno total nesses guias de onda, que são frequentemente fabricados a

partir de materiais dielétricos (em fibras óticas) ou semicondutores (em ótica integrada), é necessário se utilizar um índice de refração mais alto do núcleo em comparação com o índice de refração do revestimento circundante.

[0022] Durante os últimos dez anos, no entanto, o desenvolvimento dentro da área de novos materiais abriu possibilidades de localização de luz ou controle de campos eletromagnéticos em cavidades ou guias de onda pela aplicação do chamado efeito de espaço de faixa fotônica (PBG). O efeito PBG pode ser introduzido pelo fornecimento de uma estrutura de treliça espacialmente periódica, na qual as dimensões da treliça e os materiais aplicados são escolhidos de forma que a propagação do campo eletromagnético seja inibida dentro do espaço em determinados intervalos de frequência e em determinadas direções.

[0023] Pela quebra local da periodicidade de um cristal fotônico, uma região espacial com propriedades óticas diferentes do cristal fotônico de volume circundante pode ser criada. Se tal região de defeito suportar os modos com frequências se encontrando dentro do espaço proibido do cristal periódico total circundante, esses modos serão fortemente confinados ao defeito. Esse é o princípio no qual a operação das fibras de guia PBG se baseia, isso é, um espaço de faixa 2D completamente fora do plano exibido pelo revestimento de cristal fotônico, e um defeito projetado corretamente, formando uma região espacial à qual o confinamento transversal muito forte pode ser alcançado. Para essa região de defeito exibir propriedades óticas diferentes da estrutura periódica circundante (isso é, ser capaz de suportar um modo localizado) é importante se notar que não é uma exigência que a região com defeito, normalmente o núcleo da Fibra de Cristal Fotônico, tenha um índice mais alto do que suas cercanias. Dessa forma, as Fibras de Cristal Fotônico podem compreender um núcleo oco ou um núcleo só-

lido.

[0024] Em comparação com as fibras tradicionais, as Fibras de Cristal Fotônico compreendem uma estrutura complexa. As Fibras de Cristal Fotônico possuem tipicamente uma região de núcleo que se estende ao longo da direção longitudinal, uma região de recobrimento que se estende ao longo da direção longitudinal, a dita região de recobrimento compreendendo pelo menos uma estrutura periódica substancialmente bidimensional compreendendo elementos primários alongados, cada um possuindo um eixo geométrico central que se estende na direção longitudinal do guia de onda. Os elementos primários possuindo um índice de refração inferior a um índice de refração de qualquer material adjacente aos elementos alongados.

[0025] Dessa forma, o revestimento forma uma região de confinamento dielétrica que cerca o núcleo em torno do eixo guia de onda. Com base no efeito de espaço de faixa, a região de confinamento guia a radiação eletromagnética em pelo menos uma primeira faixa de frequências ao longo do eixo geométrico de guia de onda. Dessa forma, a luz é aprisionada no núcleo, não pelo reflexo total, mas pelo efeito de espaço de faixa exibido pelo revestimento que age como um isolante para a luz.

[0026] A estrutura periódica, que contém pelo menos um tipo de elementos estruturais alongados, pode ser definida em várias formas a fim de obter um espaço de faixa desejado ou uma pluralidade de espaços de faixa com uma dimensão desejada.

[0027] Formas e tamanhos geométricos além de índices de refração dos elementos alongados primário, secundário e outros diferem tipicamente um do outro.

[0028] Adicionalmente, de acordo com [9], patente U.S. 6.625.364, foi reconhecido que o desenho de uma fibra de cristal fotônico com um grande raio de núcleo (por exemplo, maior que cerca do dobro do

comprimento de onda da radiação guiada) leva a muitas propriedades desejáveis. Por exemplo, a fração de energia fora do núcleo para um modo guiado em uma fibra de cristal fotônico tem escala invertida com relação ao cubo do raio de núcleo. De acordo, as perdas de radiação e dissipação associadas com as camadas de confinamento dielétrico podem ser reduzidas em muito pelo aumento do radio do núcleo. Ademais, visto que o mecanismo de confinamento não é baseado no reflexo interno total (TIR), o material do núcleo não está limitado a um material possuindo um índice relativamente alto. Dessa forma, o material de núcleo pode ser selecionado para minimizar as perdas e não linearidades. Por exemplo, a fibra pode ter um núcleo oco. Adicionalmente, o confinamento no núcleo é adicionalmente aperfeiçoado pela seleção de materiais para as camadas (ou regiões) fora do núcleo para terem um grande contraste em índice de refração. Tais contrastes são possíveis devido ao fato de o raio de núcleo maior tornar a dissipação pelas camadas externas (ou regiões) um problema menor e dessa forma os materiais constituintes das camadas externas (ou regiões) podem ser selecionados mais com base no fornecimento do contraste de índice desejado, do que em perdas de absorção.

[0029] Como consequência disso, para um fabricante, é importante que as preformas com estruturas complexas possam ser configuradas e produzidas com um mínimo de esforço e custo; tendo em mente que uma estrutura otimizada adicional ou mesmo uma estrutura de múltiplos núcleos pode ser proposta no dia seguinte.

[0030] Adicionalmente ainda, particularmente para estruturas complexas é importante que os espaços vazios indesejados sejam evitados (ver [10], patente U.S. 6.698.249) enquanto os espaços vazios alongados desejados são precisamente realizados, a fim de se evitar gradientes de espaço de faixa.

[0031] Hoje, algumas preformas são feitas pelo empilhamento de

centenas de tubos e hastes capilares manualmente em uma estrutura com padrão de furos adequado. Um núcleo oco é feito pela substituição de um ou mais dos tubos capilares por um tubo oco com um diâmetro significativamente maior. Essa preforma é então introduzida no forno de uma torre de formação de fibra onde é fundida e formada em um tamanho de 1 a 10 mm. Então, um tubo tipo manga é adicionado antes de ser formado em suas dimensões finais. Com esse métodos, que é aplicado pela Crystal Fibre A/S, a produção de preformas maiores envolve esforços consideráveis.

[0032] Visto que o efeito PBG, que é o elemento fundamental da propriedade de orientação de índice baixo, é obtido pela periodicidade da estrutura de recobrimento, apenas um número muito limitado de períodos é necessário a fim de se confinar o campo eletromagnético, e será, de acordo com [8], possível se utilizar o recobrimento convencional de parte da preforma que contém a periodicidade. Dessa forma, as técnicas de recobrimento conhecidas, por exemplo, a dita formação de manga, podem ser aplicadas.

[0033] Como uma alternativa à abordagem de recobrimento convencional, em [8] outra abordagem é sugerida, na qual a área de núcleo que cerca a fibra é construída por enfeixamento dos tubos capilares em uma disposição de pacote fechado de acordo com o desenho preferido da região de recobrimento periódico. Fora dessa região periódica com os tubos capilares, que precisam ser fixados em posição, a estrutura de fibra externa (correspondente a uma região de recobrimento externo) pode ser formada pelo empacotamento de hastes de vidro mais finas, que poderiam ser mecanicamente balançadas para entrarem no lugar. Quando a preforma é posteriormente transformada em uma fibra, a estrutura de recobrimento externa é fundida para formar um revestimento externo (quase) sólido. A exigência pela colocação externa das hastes de vidro finas é que a tensão de superfície de-

corrente de uma distribuição desigual fora da parte periódica da fibra, não resulte em uma deformação significativa da periodicidade. No entanto, em vista das estruturas complexas o balanço mecânico dos tubos capilares finos envolve riscos de rachaduras dos tubos, deixando espaços abertos ou perturbando a estrutura periódica.

[0034] Visto que as Fibras de Cristal Fotônico com novas funcionalidades podem ser fabricadas pela introdução de regiões dentro das fibras com materiais de revestimento especiais, ou mesmo materiais que desviam significativamente do material base da fibra (por exemplo, vidro, ou polímeros); o processo de fabricação pode compreender a introdução de hastes finas de material revestido (ou diferente) em locais bem definidos em uma estrutura de material de base periódica bem empacotado. Alternativamente, alguns dos tubos capilares podem ser feitos a partir de um material de revestimento, ou a preforma (ou partes da mesma) pode ser colocada em soluções de materiais que podem difundir ou aglutinar às hastes e tubos de material base. Visto que partes específicas da preforma podem ser tratadas individualmente antes de serem adicionalmente empilhadas ou de o processamento alternativo ter continuidade, essa abordagem permite um grau muito alto de flexibilidade.

[0035] Seria, portanto, adicionalmente desejável se fornecer um método aperfeiçoado e um aparelho que permitam a fabricação de Fibras de Cristal Fotônico de alta qualidade a partir de uma preforma correspondente.

[0036] Adicionalmente, seria desejável se fornecer um método que facilite a produção de preformas para Fibras de Cristal Fotônico e que permita a produção de preformas maiores.

[0037] Seria desejável em particular se fornecer um método que permita a realização de estruturas complexas com precisão com tubos e hastes que podem ser selecionados para obterem um desempenho

ideal das Fibras de Cristal Fotônico produzidas, enquanto se negligencia as dimensões geométricas que foram essenciais para os métodos conhecidos para obtenção das estruturas periódicas desejadas.

[0038] Ainda adicionalmente seria desejável se fornecer um método que permita a seleção e a colocação independentes dos elementos estruturais.

[0039] Seria adicionalmente desejável se criar preformas, que possam ser utilizadas com o método inventivo a fim de criar Fibras de Cristal Fotônico de alta qualidade.

Sumário da Invenção

[0040] O método de fabricação de uma fibra ótica compreende as etapas de:

[0041] inserção de uma preforma de fibra ótica primária possuindo um primeiro eixo geométrico primário e uma superfície externa dentro de um tubo de recobrimento possuindo um segundo eixo geométrico primário e uma superfície interna, de forma que a dita superfície externa e a dita superfície interna definam um espaço interior;

[0042] manutenção da preforma primária em uma posição inserida de forma centralizada dentro do tubo de recobrimento com os ditos primeiro e segundo eixos primários em alinhamento substancial um com o outro;

[0043] suprimento do grão de recobrimento no espaço interior que é limitado na extremidade inferior do tubo de recobrimento por meio de um fechamento;

[0044] geração de uma condição de pressão reduzida dentro do espaço interior que é limitado na extremidade superior do tubo de recobrimento por meio de uma união, que mantém a preforma de fibra ótica primária e o tubo de recobrimento em posição; e

[0045] aquecimento, por meio de um forno preferivelmente na faixa de 2100°C a 2250°C, da preforma secundária não processada, que

consiste na preforma primária, do tubo de recobrimento e do grão de recobrimento, em sua extremidade inferior até um estado amolecido e formação simultânea de uma fibra ótica a partir daí ou

[0046] aquecimento, por meio de um forno, da preforma secundária não processada, que consiste na preforma primária, do tubo de recobrimento e do grão de recobrimento, substancialmente sobre todo o seu comprimento a fim de obter uma preforma secundária processada, a partir da qual uma fibra ótica é formada em um estágio de processo subsequente.

[0047] O método de fabricação de uma Fibra de Cristal Fotônico de acordo com a invenção compreende as etapas de:

[0048] inserção de elementos estruturais alongados, possuindo primeiro eixo geométrico primário e superfícies externas e sendo dispostos em uma estrutura periódica pelo menos substancialmente bidimensional, em um tubo de recobrimento possuindo um segundo eixo primário e uma superfície interna, a dita superfície externa e a dita superfície interna definindo um espaço interno;

[0049] manutenção dos elementos estruturais com o primeiro eixo geométrico primário em paralelo com o segundo eixo geométrico primário do tubo de recobrimento;

[0050] suprimimento do grão de recobrimento no espaço interno que é limitado na extremidade inferior do tubo de recobrimento por meio de um fechamento;

[0051] geração de uma condição de pressão reduzida dentro do espaço interno que é limitado na extremidade superior do tubo de recobrimento preferivelmente por meio de uma união; e

[0052] aquecimento, por um forno, da preforma produzida com os elementos estruturais alongados, o tubo de recobrimento e o grão de recobrimento, em sua extremidade inferior até um estado amolecido e formação simultânea de uma fibra ótica a partir da mesma; ou

[0053] aquecimento, por um forno, da preforma produzida com os elementos estruturais alongados, o tubo de recobrimento e o grão de recobrimento, sobre todo o seu comprimento a fim de obter uma preforma processada, a partir da qual uma fibra ótica é formada em um estágio de processo subsequente.

[0054] Devido à energia térmica fornecida pelo forno e devido à diferença de pressões estabelecidas que estão presentes dentro e fora da preforma, o tubo de recobrimento desmontará e pressionará o grão de recobrimento fundido na preforma primária ou nos elementos estruturais.

[0055] O material de recobrimento do tubo de recobrimento e do grão de recobrimento formará uma camada praticamente homogênea que une a preforma primária da mesma forma que o tubo de recobrimento espesso, quando desmonta, em aplicações de haste e tubo convencionais, como descrito por exemplo em [2].

[0056] A fusão da preforma secundária e a formação da fibra podem ser realizadas simultaneamente como com o método descrito em [2]. No entanto, a preforma secundária não processada também pode ser processada em um estágio de processo preliminar a fim de obter uma preforma secundária processada a partir da qual uma fibra ótica pode ser formada em um estágio de processo subsequente no local atual ou em outro local de processo.

[0057] A presente invenção, no entanto, resulta e várias vantagens sobre a técnica anterior mencionada acima:

[0058] O método conhecido de produção de uma preforma secundária por formação de manga em um tubo de recobrimento com paredes espessas sobre uma preforma primária é abandonado. Ao invés disso, um tubo de recobrimento com paredes finas é utilizado e o espaço interno entre a preforma primária e a superfície interna do tubo de recobrimento é preenchido com grãos de sílica. Consequentemen-

te, o esforço e os custos para a produção de uma preforma de recobrimento com paredes espessas são evitados. Ao invés de um tubo de sílica oneroso com paredes espessas, os grãos de sílica podem ser utilizados.

[0059] Devido à mobilidade do grão de recobrimento, o espaço interno ou espaço entre a superfície externa da preforma primária e a superfície interna do tubo de recobrimento é preenchido de forma homogênea com grãos de sílica, de forma que a falta de alinhamento entre a preforma primária e o tubo de recobrimento. Além disso, com a eliminação dos problemas de alinhamento o controle da redução de pressão é menos crítico, visto que o tubo de recobrimento não desmonta de forma descontrolada para dentro de um espaço livre, mas é pressionado de forma estável para dentro do grão de suporte.

[0060] O diâmetro interno do tubo de recobrimento de parede fina é preferivelmente selecionado de forma a ser pelo menos 1,5 vezes maior do que o diâmetro externo do preforma primária e mais de 10 vezes maior que seu diâmetro de parede. No entanto, na prática quaisquer dimensões podem ser realizadas, sendo suportadas pela resistência mecânica dos elementos relacionados.

[0061] Adicionalmente o tubo de recobrimento é preferivelmente suprido com um fechamento de formato cônico em sua extremidade inferior, de forma que as paredes do tubo de recobrimento e a preforma primária se encontrem em sua extremidade inferior e o grão de sílica possa ser colocado no espaço interno. Visto que a preforma primária em uma modalidade preferida também compreende uma forma cônica em sua extremidade inferior, os procedimentos de alinhamento são significativamente facilitados.

[0062] O grão de recobrimento, que consiste em partículas com um diâmetro pequeno, por exemplo, um pó, é inserido no espaço interno antes da união ser montada ou depois que a união é montada,

através de um canal fornecido.

[0063] O grão de recobrimento pode ser um pó de sílica pura ou sintética revestida que pode ser selecionada de acordo com as propriedades desejadas da fibra fabricada. Um método de fabricação de um pó de sílica utilizando uma técnica de sol-gel é descrito em [6], patente U.S. 6.047.568. Adicionalmente as técnicas de sol-gel, para se alcançar maiores forças de formação e redução de riscos de quebra durante o processo de formação são descritas em [7], patente U.S. 6.334.338. Dessa forma, o método inventivo também fornece uma alta flexibilidade que permite se corresponder às demandas do cliente dentro de um curto período de tempo.

[0064] Em vista também da produção de Fibras de Cristal Fotônico a presente invenção resulta em aperfeiçoamentos significativos sobre a técnica anterior.

[0065] Visto que os eixos geométricos dos elementos estruturais alongados, cujas extremidades formam a estrutura periódica bidimensional, podem se desmontar relativamente, grandes espaços podem ser preenchidos de forma econômica com grão, evitando, assim, elementos estruturais tubulares de paredes espessas.

[0066] Adicionalmente, para todas as estruturas periódicas bidimensionais que se referem a um espaço de faixa desejado, elementos estruturais idênticos podem ser aplicados.

[0067] O alinhamento e a retenção de elementos estruturais alongados ou uma preforma primária pode ser facilmente alcançado pela utilização de uma matriz com aberturas correspondentes à estrutura periódica bidimensional. Os elementos estruturais alongados ou a preforma primária são inseridos, por exemplo, em duas matrizes que fixam os elementos estruturais alongados ou a preforma primária em ambas as extremidades. Dessa forma, a estrutura completa pode ser facilmente montada e inserida em um tubo de recobrimento.

[0068] Cada matriz é preferivelmente montada como um disco que pode ser mantido em posições definidas dentro do tubo de recobrimento, por exemplo, por meio de flanges internos.

[0069] Adicionalmente, cada matriz compreende preferivelmente aberturas que permitem a transferência do grão.

[0070] A matriz é preferivelmente feita de material que corresponde ao grão de forma que se fundirá juntamente com o material de recobrimento.

[0071] A fim de se fechar os espaços e os furos e para se obter uma maior densidade de material uma vibração, preferivelmente uma vibração de alta frequência pode ser aplicada.

[0072] Elementos estruturais podem ser tubos e hastes ou combinações de tubo e haste. Os tubos podem ser utilizados se um espaço vazio for criado correspondendo ao espaço interno do tubo. Hastes sólidas podem ser utilizadas com um índice de refração selecionado a fim de criar linhas sólidas correspondentes nas fibras. No entanto, as hastes também podem ser removidas durante ou depois do processo de aquecimento de forma escalonada ou completamente depois do grão ser fundido a fim de criar um espaço vazio alongado, que também é um elemento estrutural na preforma e fibra. A utilização de hastes removíveis, que são removidas, impede que os elementos estruturais desmontem durante o processo de aquecimento.

[0073] A fim de se evitar o desmonte um material de resfriamento também pode ser transferido através dos elementos estruturais tubulares durante o processo de fusão do grão. A prevenção do desmonte também pode ser alcançada pela exposição do interior dos elementos estruturais tubulares a uma pressão durante o processo de fusão do grão.

Breve Descrição dos Desenhos

[0074] Alguns dos objetivos e vantagens da presente invenção fo-

ram mencionados, outros aparecerão quando a descrição a seguir for considerada em conjunto com os desenhos em anexo, nos quais:

[0075] A figura 1 ilustra uma preforma primária 11 possuindo um primeiro eixo geométrico primário x1;

[0076] A figura 2 ilustra um tubo de sílica de parede fina, possuindo um primeiro eixo geométrico primário x2, com um fechamento cônico 125 em sua extremidade inferior que, de acordo com o método inventivo, é utilizado como o tubo de recobrimento 12;

[0077] A figura 3 ilustra a preforma primária 11 mantida em uma posição inserida de forma central dentro do tubo de recobrimento 12 com os ditos primeiro e segundo eixos geométricos primários x1, x2 em alinhamento substancial um com o outro;

[0078] A figura 4 ilustra uma preforma secundária não processada 1 com a preforma primária 11 e o tubo de recobrimento 12 da figura 3 com um espaço interno 15, que é definido pela superfície externa da preforma primária 11 e superfície interna do tubo de recobrimento 12, preenchido com o grão de recobrimento 13;

[0079] A figura 5 ilustra a preforma secundária 1 da figura 4 com uma união 3 parcialmente inserida no tubo de recobrimento 12, mantendo a preforma primária 11 na posição centralizada e fechando e vedando o espaço interno 15 em seu lado superior;

[0080] A figura 6 ilustra uma preforma secundária 1 com uma união 3 que permite a inserção do grão de recobrimento 13 através de um canal 38;

[0081] A figura 7 ilustra a extremidade superior da preforma secundária 1 da figura 5 em detalhes;

[0082] A figura 8 ilustra a união 3 utilizada para a preforma secundária 1 da figura 4;

[0083] A figura 9 ilustra uma vista em corte da união 3 da figura 6, com o canal 38 fornecido para inserção do grão de recobrimento 13;

[0084] A figura 10 ilustra um aparelho utilizado para formar uma fibra ótica a partir da preforma secundária 1 da figura 5;

[0085] A figura 11 ilustra elementos estruturais alongados tubulares e sólidos 1201, 1201' sendo dispostos em uma estrutura periódica bidimensional dentro de um tubo de recobrimento 12 que é preenchido com grão de recobrimento 13 a fim de criar uma preforma 1 projetada para formar fibras de cristal fotônico;

[0086] A figura 12 ilustra uma preforma processada por calor 1 da figura 11 inserida em um tubo de recobrimento adicional 12' que é preenchido com grão de recobrimento 13 a fim de criar uma preforma maior 1';

[0087] A figura 13 ilustra a disposição da figura 12 a partir de cima;

[0088] A figura 14 ilustra uma matriz de vidro 200 projetada para receber e reter os elementos estruturais 1201, 1201' em uma estrutura periódica bidimensional;

[0089] A figura 15 ilustra uma vista em corte de uma preforma 1 com duas matrizes inseridas 200 que retêm os elementos estruturas alongados tubulares e sólidos 1201, 1201' e uma haste removível centralizada 1205 disposta em uma estrutura periódica bidimensional dentro do tubo de recobrimento 12, antes do processamento por calor;

[0090] A figura 16 ilustra a preforma 1 da figura 15 depois do processamento por calor e a remoção da haste removível 1205 que ocupa o núcleo 11' da preforma; e

[0091] A figura 17 ilustra um aparelho utilizado para a formação de uma fibra de cristal fotônico a partir da preforma 1 da figura 16.

Descrição Detalhada das Modalidades Preferidas

[0092] A figura 1 ilustra uma preforma primária 11 possuindo um primeiro eixo geométrico primário x1, um diâmetro externo d1 e uma superfície externa 110. A fabricação de tal preforma foi descrita acima.

[0093] A figura 2 ilustra um tubo de sílica de parede fina, possuindo

do um primeiro eixo geométrico primário x_2 , um diâmetro interno d_2 , um diâmetro externo d_{20} e uma superfície interna 120. O tubo de sílica de parede fina 12, que compreende um fechamento cônico 125 em sua extremidade inferior, é utilizado de acordo com o método inventivo como o tubo de recobrimento 12. Os tubos de sílica desse tipo estão disponíveis a partir de vários fabricantes.

[0094] A figura 3 ilustra a preforma primária 11 mantida em uma posição inserida de forma centralizada dentro do tubo de recobrimento 12 com os ditos primeiro e segundo eixos geométricos primários x_1 , x_2 em alinhamento substancial um com o outro.

[0095] O diâmetro d_{20} da parede circular do tubo de recobrimento 12 é, por exemplo, dez vezes menor do que seu diâmetro interno d_2 . No entanto, a razão dos ditos diâmetros d_2/d_{20} pode ser de até 50 ou mais. A razão d_2/d_1 do diâmetro interno d_2 do tubo de recobrimento 12 e o diâmetro externo d_1 da preforma primária 11 é, por exemplo, na faixa de 1,5 a 5 e mais.

[0096] Dessa forma, o volume do espaço interno 15, que é definido pela superfície externa 110 da preforma primária 11 e a superfície interna 120 do tubo de recobrimento 12 é relativamente grande, isso é, várias vezes maior do que o volume da preforma primária 11.

[0097] A figura 4 ilustra uma preforma secundária não processada 1 com a preforma primária 11 e o tubo de recobrimento 12 da figura 3 com o espaço interno 15 preenchido com o grão de recobrimento 13, um grão ou pó de sílica pura ou sintética revestida, que é selecionada de acordo com as propriedades desejadas da fibra durante o processo de formação ou em vista de seu último desempenho.

[0098] As figuras 1a, 2a, 3a e 4a ilustram seções transversais da preforma primária 11, do tubo de recobrimento 12 e do grão de recobrimento 13 ao longo da linha s nas figuras de 1 a 4.

[0099] A figura 5 ilustra a preforma secundária 1 da figura 4 com

uma união 3 inserida no tubo de recobrimento 12, mantendo a preforma primária 11 em uma posição centralizada e encerrando e vedando o espaço interno 15 no lado superior. Nessa modalidade da invenção, o grão de recobrimento 13 foi inserido no espaço interno 15 antes da união 3 ter sido montada.

[00100] A figura 6 ilustra a preforma primária 11 e o tubo de recobrimento 12 alinhados e cobertos por meio de uma união 3, que compreende um canal 38, através do qual o grão de recobrimento 13 pode ser inserido.

[00101] As uniões 3 ilustradas nas figuras 5 e 6, que possuem um primeiro eixo geométrico primário x3, compreendem adicionalmente canais de evacuação 33 através dos quais, por meio de uma bomba de vácuo 22, a preforma secundária 1, que é preenchida com grão de recobrimento 13, pode ser evacuada.

[00102] As figuras 5 e 6 ilustram adicionalmente um suprimento de calor ou forno 23, que permite o aquecimento da preforma secundária 1 em sua extremidade inferior, por exemplo, a temperaturas na faixa de 2100°C a 2350°C. Devido à energia térmica fornecida pelo forno 23 e devido à diferença estabelecida de pressões que estão presentes dentro e fora da preforma secundária 1, o tubo de recobrimento 12 colapsará e pressionará o grão de recobrimento 13 fundido sobre a preforma primária 11. Dessa forma, o material de recobrimento do tubo de recobrimento 12 e o grão de recobrimento 13 formarão uma camada praticamente homogênea que une a preforma primária 11.

[00103] As figuras 5a e 6a ilustram de forma simbólica uma seção transversal da preforma secundária 1 depois da realização do processo de fusão.

[00104] A fusão da preforma secundária 1 e a formação de fibra podem ser realizadas simultaneamente. No entanto, é possível também se processar a preforma secundária 1 completamente antes da

fibra ser formada.

[00105] A figura 7 ilustra em uma vista em corte da extremidade superior da preforma secundária 1 da figura 5 em detalhes. A união 3, que é inserida no tubo de recobrimento 12, compreende dois sulcos circulares periféricos com elementos de vedação, por exemplo, anéis em O, que unem de forma justa e vedam a superfície interna 120 do tubo de recobrimento 12 de forma que o espaço interno 15 que é limitado pela união 3, a superfície externa 110 da preforma primária 11 e a superfície interna 120 do tubo de recobrimento 12 e seu fechamento 125 na extremidade inferior possam ser evacuados. A evacuação pode ser realizada através dos canais de evacuação 32 e 33 fornecidos na união 3 e através de um tubo 220 que conecta a união 3 com a bomba de vácuo 22. O tubo 220 é conectado à união 3 por meio de uma válvula 221 que pode ser fechada depois que o processo de evacuação foi realizado. Ao invés disso, para a geração de uma condição de pressão reduzida, um gás pode ser suprido para um canal correspondente na união 3, como descrito em [2].

[00106] A união 3 ilustrada nas figuras de 7 a 9 compreende adicionalmente, alinhada de forma coaxial com o primeiro eixo geométrico primário x3, uma abertura cilíndrica 31 com um diâmetro d3 que corresponde ao diâmetro externo d1 da preforma primária 11 e, alinhados de forma coaxial com o primeiro eixo geométrico primário x3, dois segmentos cilíndricos 35 com um diâmetro d4 que corresponde ao diâmetro interno d2 do tubo de recobrimento 12. A união 3 pode, portanto, ser inserida no tubo de recobrimento 12 de forma que os segmentos cilíndricos 35 unam a superfície interna 120 do tubo de recobrimento 12 e a preforma primária 11 seja inserida dentro da abertura cilíndrica 31 que leva a uma peça de extremidade 36 que é fechada ou pode ser fechada por meio de uma tampa de vedação 39.

[00107] Para vedar a união 3 na direção da superfície interna 120

do tubo de recobrimento 12, dois sulcos, unindo os segmentos cilíndricos 35, são fornecidos, nos quais os elementos de vedação 91 são inseridos.

[00108] A figura 8 ilustra a união 3 utilizada para a preforma secundária 1 da figura 4 e a figura 9 ilustra uma vista em corte da união 3 da figura 7, com o canal 38 fornecido para inserção do grão de recobrimento 13. Na figura 9 é ilustrado adicionalmente que o primeiro canal de evacuação 32 é disposto de forma concêntrica ao eixo geométrico primário x3 da união 3 com um diâmetro d5 que é significativamente maior do que o diâmetro d3 da abertura cilíndrica adjacente 31.

[00109] A figura 10 ilustra um aparelho utilizado para a formação de uma fibra 5 a partir da preforma secundária 1 da figura 5. Uma vez que a preforma secundária 1 é aquecida para seu ponto de fusão e uma fibra 5 foi puxada, uma área angular chamada de estreitamento é formada. Uma única fibra ótica 5 emerge da preforma em um estado semifundido e passa através de um monitor de diâmetro 24. A fibra ótica 5 continua a ser puxada para baixo e passa através de um aplicador de recobrimento 25 que aplica um revestimento para proteger a fibra ótica 5. A fibra ótica 5 também passa através de outras unidades 26, 27 que curam o revestimento ótico e monitoram o diâmetro geral depois do revestimento ter sido aplicado. A fibra ótica 5 então encontra um aparelho de rotação 28 que pode compreender um cilindro que imprime uma rotação à fibra ótica. A fibra ótica 5 então encontra eventualmente uma série de cilindros (não ilustrados) puxando a fibra antes de a fibra ótica 5 ser então enrolada em torno de um tambor ou carretel 29. A preforma secundária 1 é montada em um dispositivo de retenção 21, que permite o movimento vertical controlado ao longo de e preferivelmente a rotação em torno de seu eixo geométrico x123. Adicionalmente, o dispositivo de retenção 21 pode ser projetado para aplicar uma vibração na preforma secundária 1 a fim de condensar o

grão de recobrimento 13 fornecido no espaço interno 15.

[00110] A figura 11 ilustra elementos estruturais alongados tubulares e sólidos 1201, 1201' sendo dispostos em uma estrutura periódica bidimensional dentro de um tubo de recobrimento 12 que é preenchido com grão de recobrimento 13 a fim de criar uma preforma 1 projetada para formar fibras de cristal fotônico. A estrutura periódica bidimensional é selecionada para aplicar o efeito de espaço de faixa fotônica (PBG) na fibra de cristal fotônico formada a partir da preforma 1. A definição da estrutura periódica bidimensional não é assunto do presente pedido. As publicações descrevendo essas estruturas foram citadas acima. No entanto, com a presente invenção, as preformas com todos os tipos de estruturas podem ser realizadas facilmente e com baixo custo, visto que o espaço interno entre os elementos estruturais alongados 1201, 1201' e o tubo de recobrimento 12 é preenchido com um meio flexível, isso é, grão 13.

[00111] Consequentemente, tubos de paredes relativamente finas, preferivelmente de um tamanho padrão, podem ser selecionados como elementos estruturais alongados 1201, que não serão deformados nem desmontarão durante o processo de aquecimento. No entanto, como ilustrado na figura 11, as hastes removíveis 1205', que são removidas depois do processo de aquecimento, podem ser utilizadas para manter o interior dos elementos estruturais alongados tubulares 1201 em formato correto. Adicionalmente, uma haste removível 1205 pode ser utilizada sem um elemento estrutural alongado tubular para manter um espaço vazio alongado, isso é, livre de material de recobrimento 13. Depois que a preforma 1 é processada a haste removível 1205 é removida. Na figura 11 uma haste removível 1205 é utilizada como um retentor de espaço para o núcleo vazio ou preenchido com gás no qual a luz será guiada.

[00112] A estrutura periódica bidimensional aplicada na preforma 1

da figura 11 compreende seis células sobrepostas, cada uma compreendendo seis elementos periféricos e um elemento estrutural alongado central 1201. Os elementos periféricos 1201 são tubulares destinados a criação de espaços vazios alongados e os elementos centrais 1201' são cilindros sólidos ou de corpo cheio de um material com um índice de refração que difere do índice de refração do material de recobrimento.

[00113] A figura 12 ilustra a preforma 1 processada por calor da figura 11 inserida em um tubo de recobrimento adicional 12' que é preenchido com grão de recobrimento 13 a fim de criar uma preforma maior 1'. Com esse método não apenas as preformas PCF primárias, mas as preformas secundárias e terciárias, etc., podem ser produzidas com facilidade. Isso é baseado no fato de que a estrutura periódica bidimensional não precisa se estender sobre toda a seção transversal da preforma ou da fibra de cristal fotônico respectivamente. A preforma 1 representa uma preforma primária e é processada como descrito acima (ver figuras de 1 a 4).

[00114] A figura 13 ilustra a disposição da figura 12 a partir de cima com elementos tubulares fundidos sólidos e de forma periférica 1201, 1201'. A haste removível 1205 na região de núcleo e as hastes removíveis 1205' nos elementos tubulares 1201 foram removidas deixando um núcleo oco e espaços vazios laterais alongados. Visto que a invenção pode ser aplicada com qualquer estrutura periódica bidimensional elementos estruturais secundários adicionais 1202 foram adicionados à preforma 1 como um exemplo.

[00115] A figura 14 ilustra uma matriz de vidro 200 que foi projetada para receber e reter os elementos estruturais 1201, 1201', 1202, 1205, 1205' em uma estrutura periódica bidimensional. A matriz de vidro 200 que possui a forma de um disco ou wafer, compreende aberturas 201' através das quais os elementos estruturais 1201, 1201' podem ser in-

seridos. Aberturas adicionais 203 são fornecidas através das quais o grão 13 pode ser passado. Com essas matrizes 200 as preformas podem ser facilmente montadas. Se as matrizes 200 consistirem em material de recobrimento, então as matrizes 200 serão transformadas durante o processamento com calor em uma seção da camada de recobrimento da mesma forma que o grão 13.

[00116] A produção de matrizes 200, no entanto, pode ser realizada com um mínimo de esforço.

[00117] A figura 15 ilustra uma vista em corte de uma preforma 1 com duas matrizes inseridas 200 que retêm os elementos estruturais alongados tubulares e sólidos 1201, 1201' e uma haste removível centralizada 1205 disposta em uma estrutura periódica bidimensional dentro do tubo de recobrimento 12, antes do processamento com calor.

[00118] A figura 16 ilustra a preforma 1 da figura 15 depois do processamento com calor e da remoção da haste removível 1205 que ocupava o núcleo oco 11' da preforma 1. Ao invés de um núcleo vazio 11', uma haste sólida 1201' pode ser fornecida representando um núcleo sólido 11. Como uma comparação, um elemento estrutural tubular 1201 preferivelmente preenchido com uma haste removível 1205', uma haste sólida centralizada 1201', ou uma haste removível centralizada 1205 serve como uma substituição para a preforma primária 11 ilustrada na figura 1.

[00119] A figura 17 ilustra um aparelho utilizado para formar uma fibra de cristal fotônica 5 a partir da preforma 1 da figura 16.

[00120] As dimensões da preforma primária 11 e do tubo de recobrimento 12 ou dos elementos estruturais alongados 1201, 1201', 1202, 1205, 1205' podem ser selecionadas em uma ampla faixa além da granularidade do grão de recobrimento ou pó 13 e os índices de refração e revestimentos dos materiais utilizados. O diâmetro do elemento de núcleo preenchido ou vazio 11, 11' é tipicamente um múltiplo

do diâmetro dos elementos estruturais restantes 1201, 1201', 1202. As hastes removíveis 1205, 1205' são selecionadas com uma expansão térmica adequada de forma que possam ser facilmente removidas, quando a preforma é resfriada. As hastes removíveis 1205, 1205' podem, por exemplo, consistir em grafite. Dessa forma, a remoção das hastes da sílica vitrificada pode ser realizada facilmente se um material com um coeficiente de expansão térmica for utilizado, que é superior ao coeficiente de expansão térmica do vidro. Durante um processo de resfriamento, por exemplo, uma haste de grafite retrairá ou encolherá de forma mais forte do que o vidro de modo que não restará aderência ao vidro. Dessa forma, com hastes removíveis, as preformas com estruturas complexas compreendendo inúmeros elementos vazios alongados podem ser criadas com facilidade.

[00121] É importante se notar que as dimensões das formas de todos os elementos estruturais não estão limitadas aos exemplos definidos acima, mas podem ser estendidas a todas as formas descritas no estado da técnica. Adicionalmente, como ilustrado na figura 11, os elementos estruturais 1210 podem ser utilizados e são cobertos ou vedados, impedindo, assim, que o grão de recobrimento 13 entre. Os elementos estruturais 1210 podem ser cobertos por um espaço ou vedados por meio de uma camada de vidro, que, por exemplo, pode ser fundida, depois que o grão de recobrimento 13 foi adicionado. Materiais são selecionados de acordo com os parâmetros de fabricação e propriedades desejadas para a fibra ótica fabricada. Os canais e aberturas 31, 32, 33, 38 e os meios de vedação 34, 39, 91 para a união 3 podem ser projetados de várias formas. O fechamento 125 na extremidade inferior do tubo de recobrimento 12 pode ter formas que diferem significativamente de uma forma cônica. No entanto, o fechamento 125 e a extremidade inferior da preforma primária são preferivelmente combinados a fim de facilitar o alinhamento. As condições para

a formação de uma fibra podem ser aplicadas e otimizadas de forma conhecida (ver, por exemplo, [5], EP 1 384 700 A1), de forma que os parâmetros operacionais ideais, tais como temperatura de forno e velocidade de formação, possam ser encontrados. Dessa forma, tais parâmetros de operação não estão limitados por valores mencionados acima.

Listagem de Referências

- [1] Mool C. Gupta, Handbook of PHOTONICS, CRC Press, 1997, Boca Raton, capítulo 10.7, páginas 445-449.
- [2] U.S. 6.519.974 B1
- [3] patente U.S. Nº 2.980.957
- [4] patente U.S. Nº 4.820.322
- [5] EP 1 384 700 A1
- [6] patente U.S. 6.047.568
- [7] patente U.S. 6.334.338
- [8] patente U.S. 6.845.204
- [9] patente U.S. 6.625.364.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de fabricação de uma preforma secundária de fibra fotônica de cristal (1), caracterizado por compreender as etapas de:

inserção de pelo menos uma matriz (200) de suporte em um tubo de recobrimento (12), a matriz (200) de suporte apresentando uma estrutura sólida e compreendendo uma pluralidade de aberturas (201', 202) espaçadas uma das outras,

inserção de elementos estruturais alongados (1201, 1201', 1202, 1205) tais como filamentos e/ou tubos, possuindo primeiros eixos geométricos primários (x1, x20) e superfícies externas (110) e estando dispostos em uma estrutura bidimensional periódica, dentro das aberturas (201', 202) da matriz (200) de suporte;

o tubo de recobrimento (12) possuindo um segundo eixo geométrico primário (x2) e uma superfície interna (120), ditas superfícies externas (110) e a superfície interna (120) definindo um espaço interior (15);

sustentação dos elementos estruturais com os primeiros eixos geométricos primários (x1, x20) em paralelo com o segundo eixo geométrico primário (x2) do tubo de recobrimento (12), com utilização da matriz (200) de suporte;

suprimento de grão de recobrimento (13) para dentro do espaço interno (15), que é limitado na extremidade inferior do tubo de recobrimento (12) por meio de um fechamento (125);

a matriz (200) de suporte sendo feita do mesmo material do grão de recobrimento (13);

geração de uma condição de pressão reduzida dentro do espaço interior (15), que é limitado na extremidade superior do tubo de recobrimento (12) por meio de uma união (3); e

aquecimento, por meio de um forno (23), da preforma (1),

com os elementos estruturais, do tubo de recobrimento (12) e do grão de recobrimento (13), em sua extremidade inferior até um estado amolecido e extração simultânea de uma fibra ótica (5) a partir daí, ou

aquecimento, por meio de um forno (23), da preforma (1), com os elementos estruturais, do tubo de recobrimento (12) e do grão de recobrimento (13), ao longo de todo o seu comprimento para obter uma preforma processada (1) e extrair uma fibra ótica (5) um etapa do processo subsequente.

2. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o tubo de recobrimento (12) compreender um fechamento (125) formado de maneira cônica e/ou onde o grão de recobrimento (13), que consiste em partículas com um diâmetro pequeno, ser inserido antes da união (3) ser montada ou depois da união (3) ser montada, através de um canal (38) provido na mesma.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o grão de recobrimento (13) ser um grão de sílica pura ou sílica sintética dopada que é selecionado de acordo com as propriedades desejadas da fibra fabricada (5).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por a temperatura no forno (23) ser selecionada na faixa de 2100°C a 2350°C.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por a matriz (200) ser formada como um disco que é mantido dentro do tubo de recobrimento (12) por meio de flanges internos.

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por uma primeira matriz (200) ser provida em uma extremidade superior e uma segunda matriz (200) ser provida em uma extremidade inferior da preforma (1) ou os elementos estruturais alongados.

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por o grão (13) ser vibrado em uma faixa de frequência adequada a fim de obter uma maior densidade de material.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por os filamentos removíveis (1205) consistirem de grafite.

9. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações precedentes, caracterizado por, a fim de impedir o colapso dos elementos estruturais tubulares, um meio de resfriamento ser transferido através dos elementos estruturais tubulares durante o processo de fusão do grão (13) e/ou o interior dos elementos estruturais tubulares ser exposto a uma pressão durante o processo de fusão do grão (13).

10. Preforma secundária de fibra fotônica de cristal (1), produzida pelo método como definido na reivindicação 1, caracterizada por compreender elementos estruturais alongados (1201, 1201', 1202, 1205) que são fixos por meios de uma matriz (200) que é feita de material que corresponde ao grão (13) e que são envolvidos por material de recobrimento (130) que consiste em grão fundido e não fundido (13).

11. Preforma, de acordo com a reivindicação 10, caracterizada por pelo menos a extremidade superior do tubo de recobrimento (12) ser mantida e vedada por uma união (3) compreendendo, um canal de evacuação (33) que é conectado a uma bomba de vácuo ou a um suprimento de gás (22) e/ou onde a união (3) compreende pelo menos um canal (38) projetado para inserção do grão de recobrimento (13) dentro do espaço interior (15).

12. Fibra ótica (5), caracterizada por ser extraída de uma preforma (1), como definida na reivindicação 10 ou 11.

Fig. 1

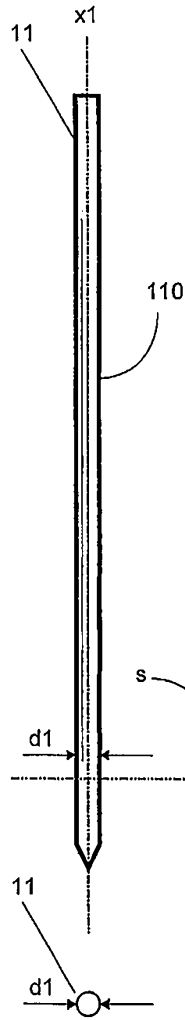


Fig. 1a

Fig. 2

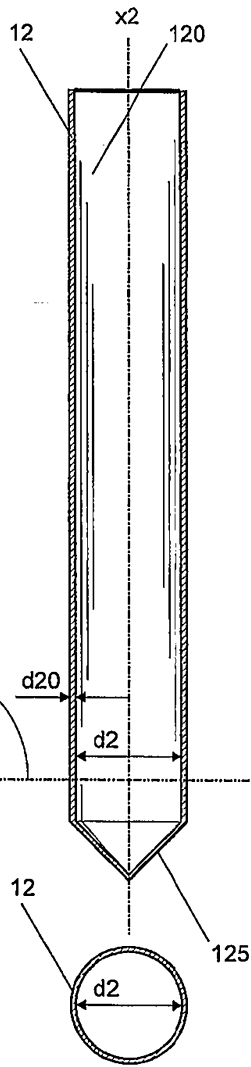


Fig. 2a

Fig. 3

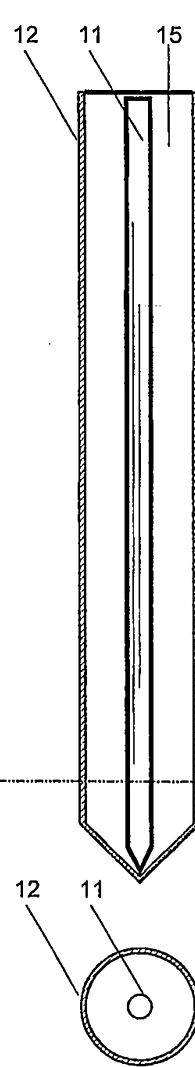


Fig. 3a

Fig. 4

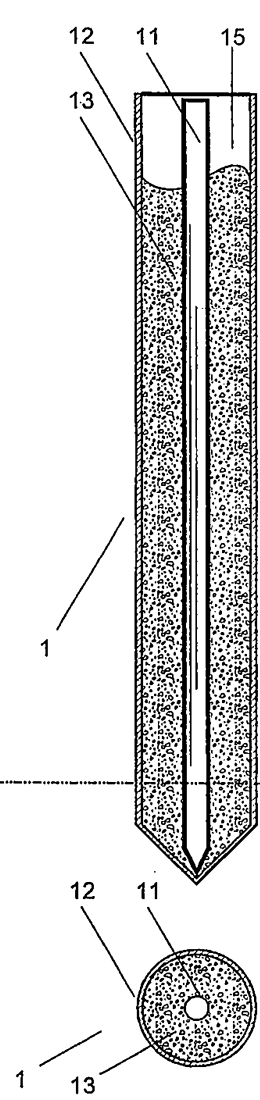


Fig. 4a

Fig. 5

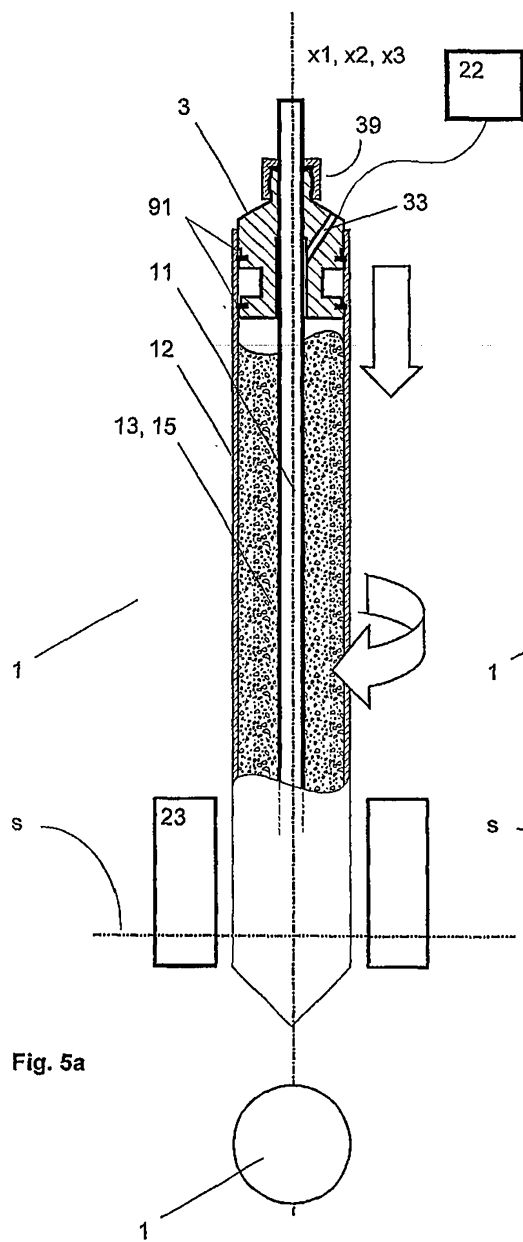


Fig. 6

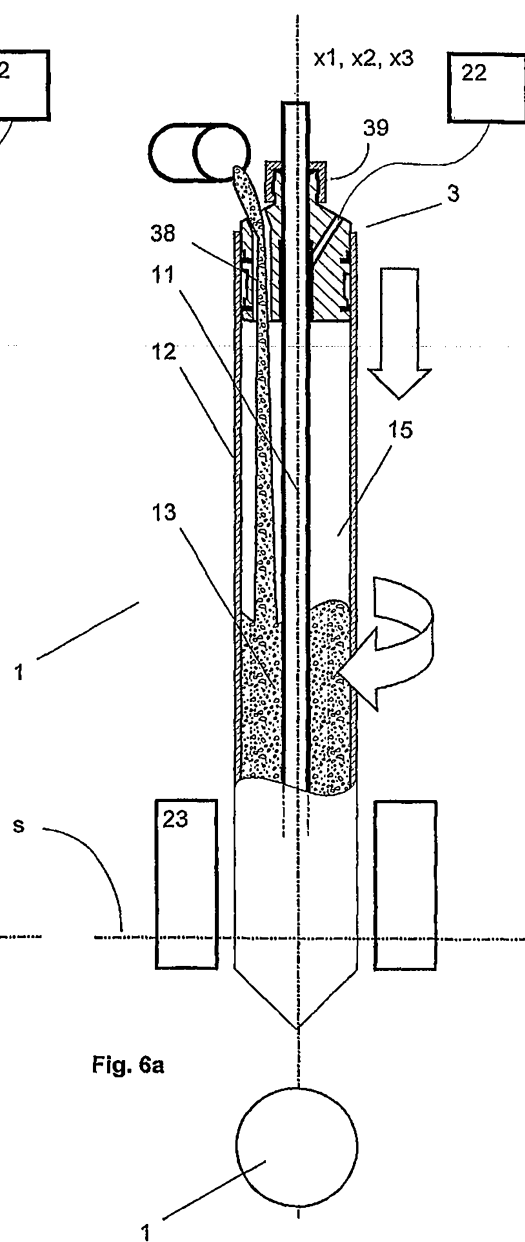
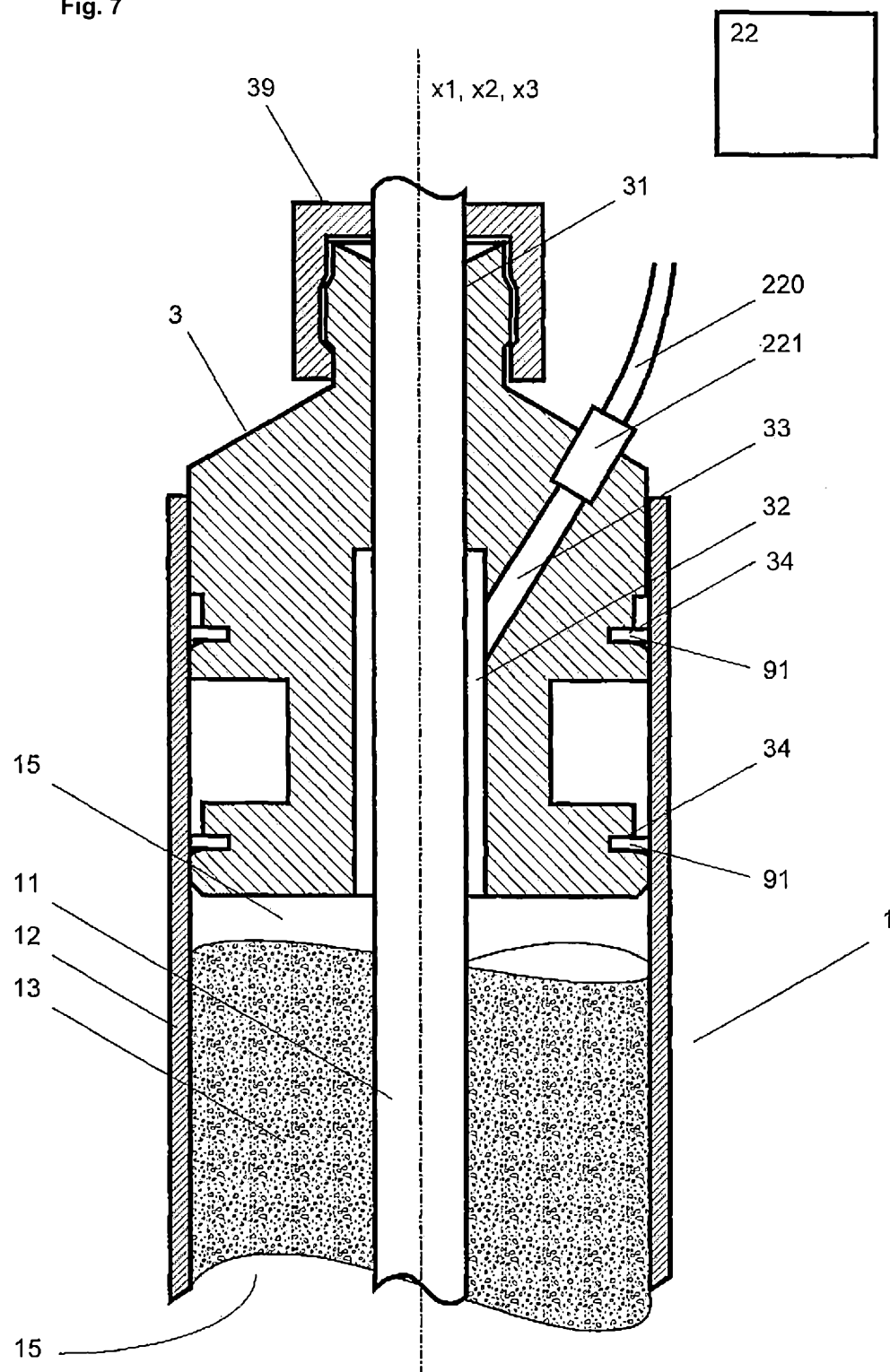


Fig. 5a

Fig. 6a

Fig. 7



4/10

Fig. 8

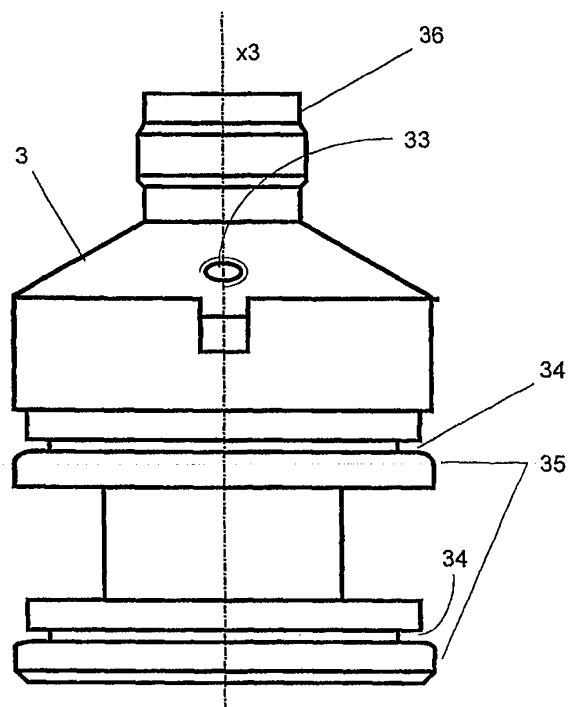
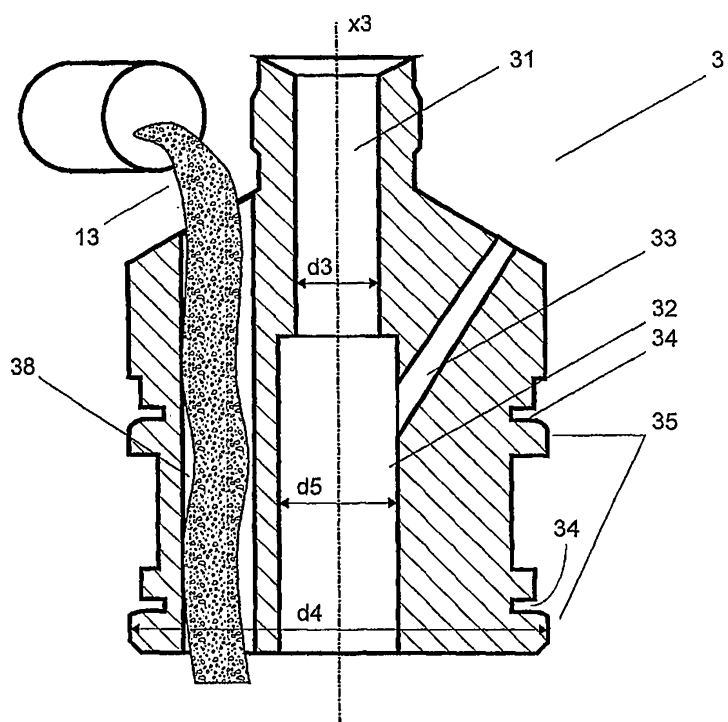
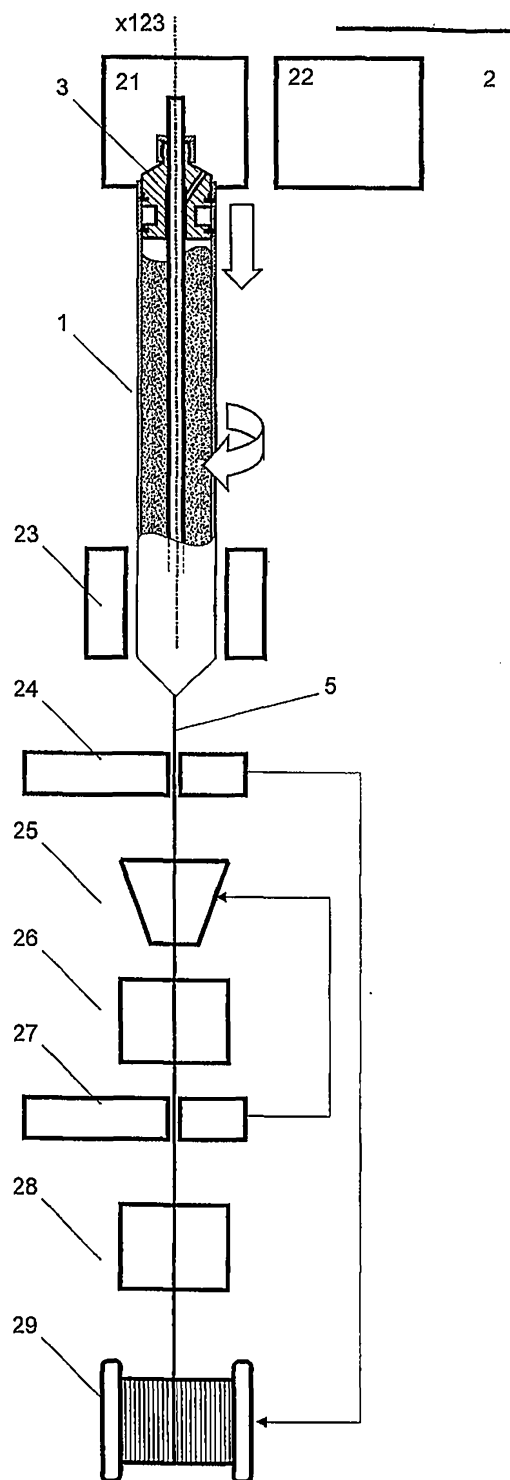


Fig. 9



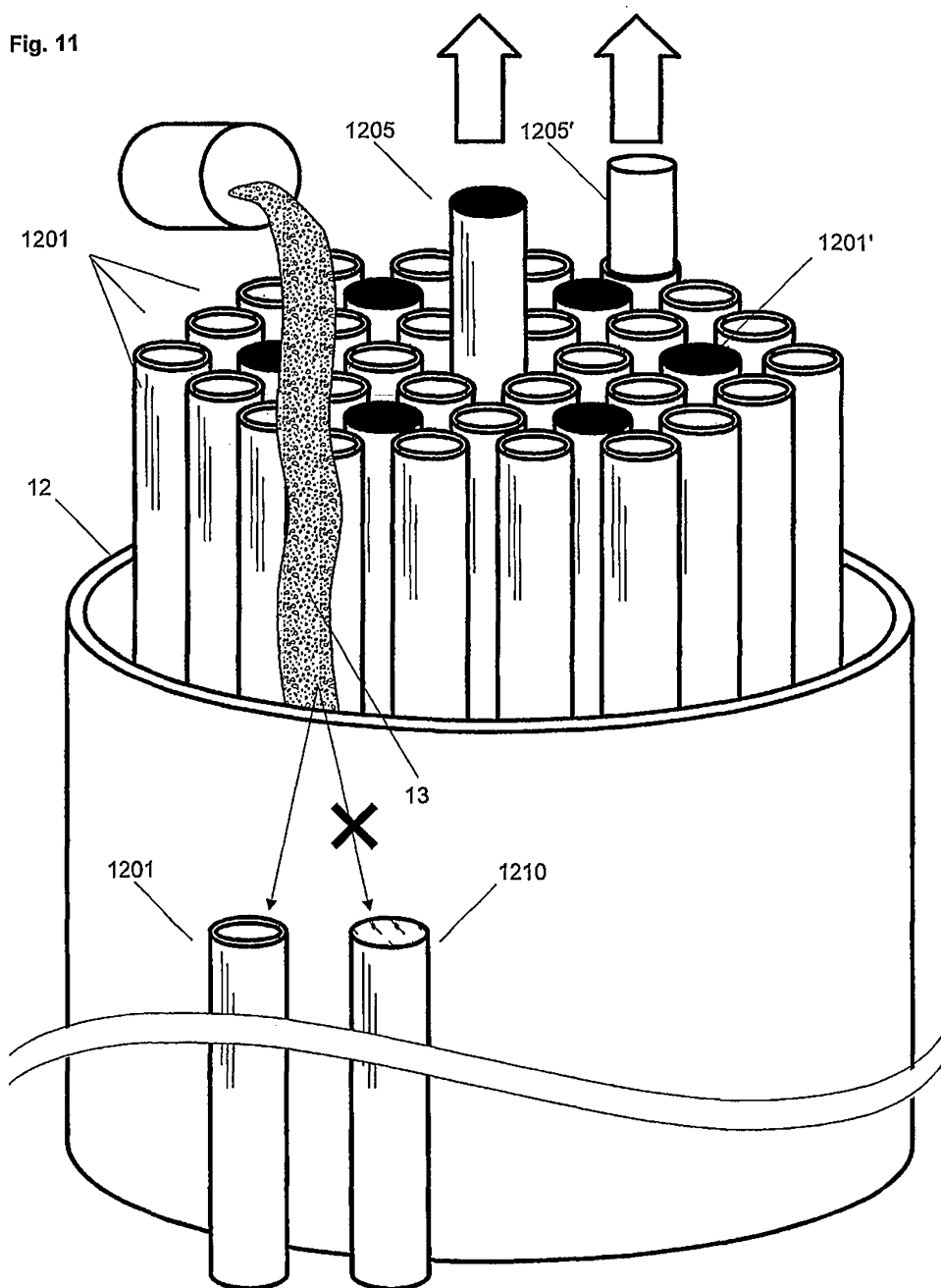
5/10

Fig. 10



6/10

Fig. 11



7/10

Fig. 12

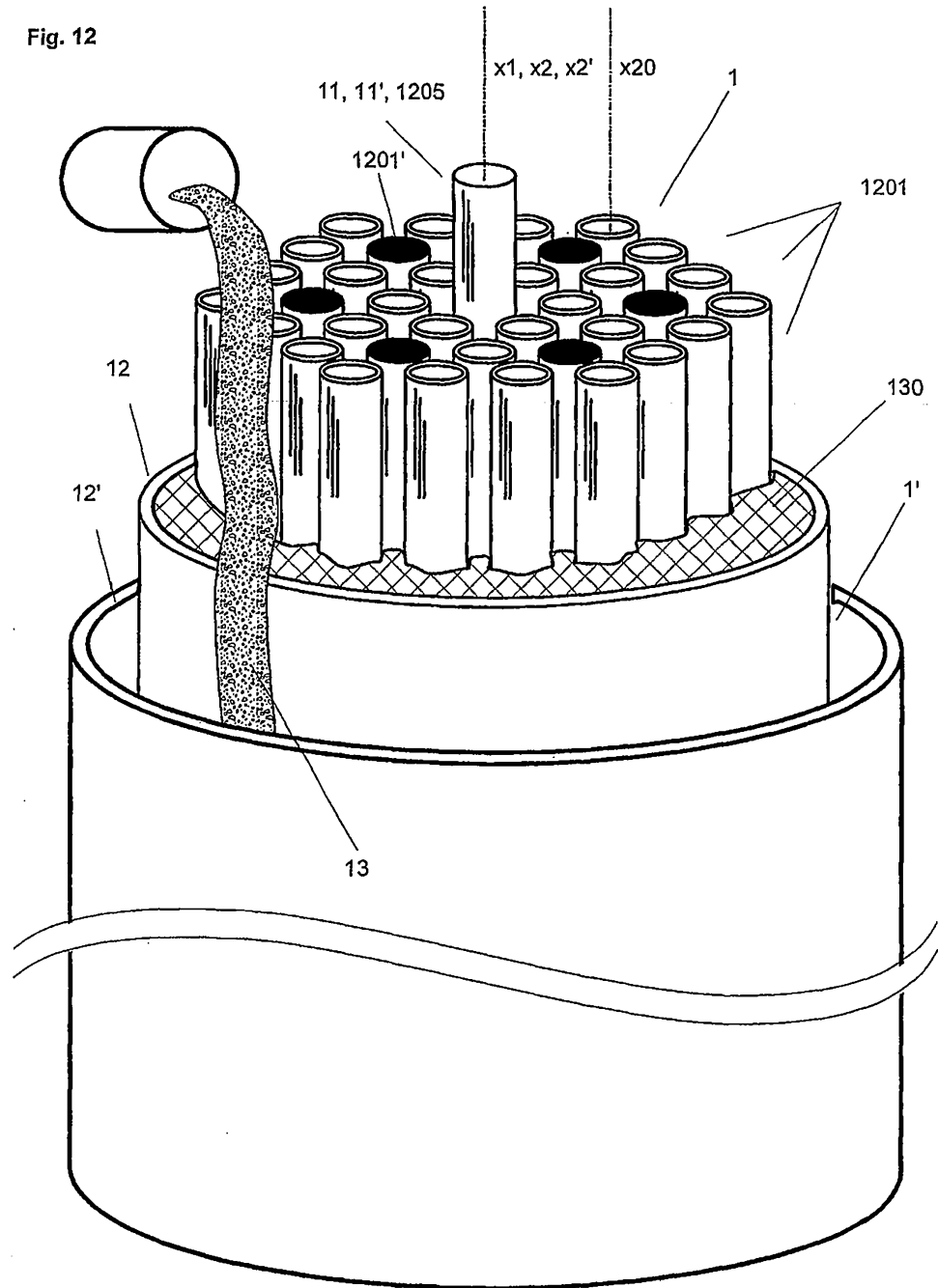


Fig. 13

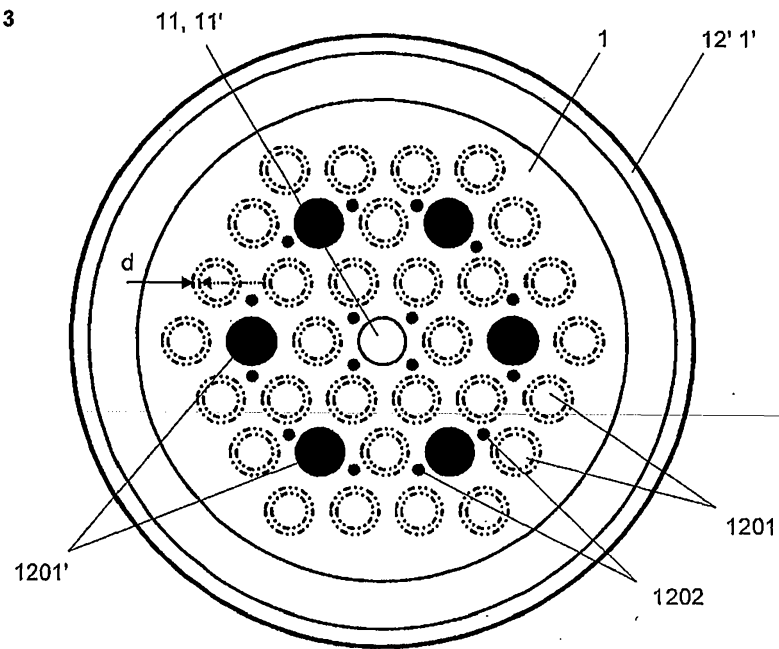
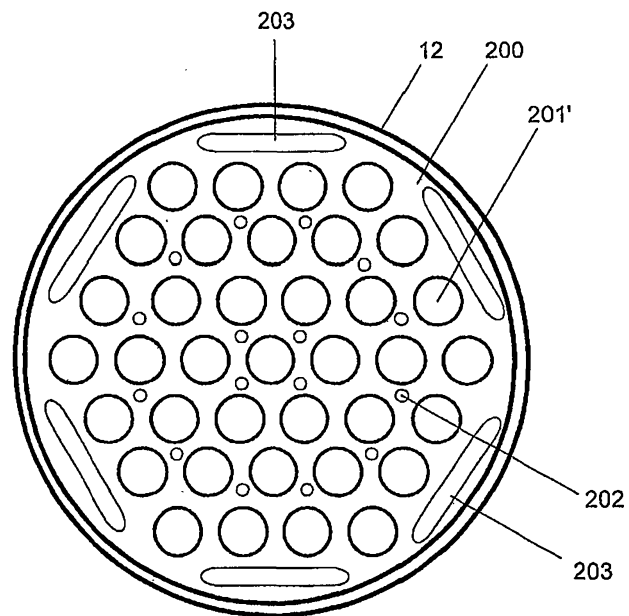


Fig. 14



9/10

Fig. 15

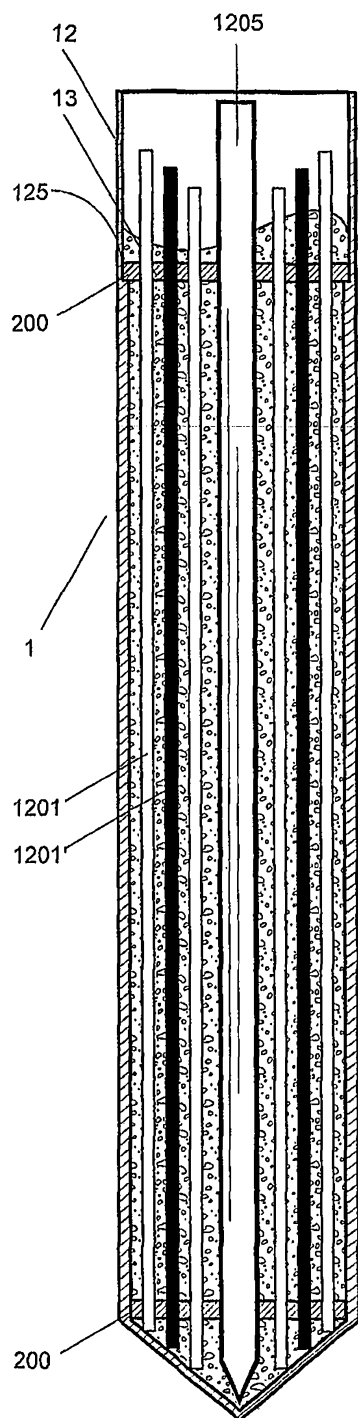
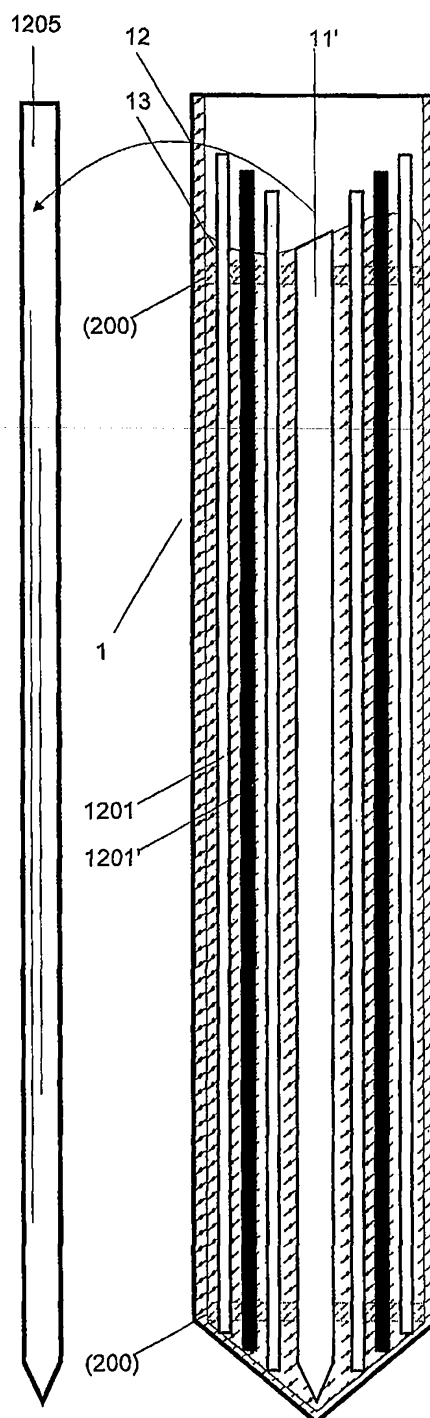


Fig. 16



10/10

Fig. 17

