

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

(11) **PI 0318672-5 B1**

(22) Data de Depósito: 24/12/2003
(45) Data da Concessão: 24/01/2012
(RPI 2142)



(51) *Int.Cl.:*
C03B 37/014

(54) Título: **PROCESSO PARA PRODUZIR UMA PRÉ-FORMA DE NÚCLEO DE VIDRO PARA UMA FIBRA ÓPTICA DE BAIXA ATENUAÇÃO.**

(73) Titular(es): Prysmian Cavi e Sistemi Energia S.r.l.

(72) Inventor(es): Antonio Adigrat, Franco Cocchini, Giuseppe Ferri, Stefano Grieco, Valeria Caronna

“PROCESSO PARA PRODUZIR UMA PRÉ-FORMA DE NÚCLEO DE VIDRO PARA UMA FIBRA ÓPTICA DE BAIXA ATENUAÇÃO”

A presente invenção é relativa a um processo para produzir uma fibra óptica de baixa atenuação, particularmente para produzir uma pré-
5 forma de núcleo de vidro para uma fibra óptica de baixa atenuação.

Uma das características mais importantes de uma fibra óptica de telecomunicação é a atenuação de sinal, em particular em regiões de comprimento de onda particulares, correntemente utilizadas para transmissão de longa distância. De fato, quanto mais baixa é a atenuação de sinal mais
10 longa a distância que o sinal pode viajar antes de ser amplificado.

É bem conhecido que a atenuação de fibra óptica é afetada de maneira negativa pela presença de impurezas, as quais podem ser incorporadas dentro da fibra durante o processo de sua fabricação. Particularmente perturbadora é a atenuação provocada pela contaminação por
15 radicais hidroxila (OH) ou água. O aumento de atenuação devido à presença de OH ou água no vidro pode ser tão elevado quanto cerca de 0,5 até 1,0 dB/km quilômetro com um pico na faixa de comprimento de onda desde 1330 nm até 1470 nm (comumente identificada como “a janela de 1380 nm”), tornando esta faixa inadequada para transmissão de longa distância. A faixa
20 de comprimento de onda, a mais adequada para transmissão de longa distância é ainda aquela ao redor de 1550 nm que garante perdas muito pequenas.

O advento da tecnologia de multiplexação em divisão de comprimento de onda (WDM) que possibilita a sistemas de telecomunicação
25 operarem sobre faixas amplas de comprimento de onda, torna provável explorar a janela de 1380 nm. Remover, ou no mínimo reduzir, o pico de água de fibras ópticas é muito importante para obter sistemas óticos de telecomunicação de baixa perda que operam em uma faixa de comprimento de onda larga (tal como desde cerca de 1300 nm até cerca de 1700 nm).

A WO 00/64.825, na tentativa de solucionar o problema acima, propõe um método de fabricar um corpo de vidro cilíndrico para utilização na fabricação de fibra guia de onda óptica na qual a incorporação de água é no mínimo reduzida.

5 A WO 00/64.825 descreve o processo a seguir para produzir uma fibra óptica. Um corpo poroso é feito depositando produtos de reação sobre um substrato cilíndrico em um processo convencional de deposição de vapor exterior (OVD). Um furo na linha de centro (ou “furo central”) que se
10 estende axialmente através do corpo poroso é formado removendo o substrato. O corpo poroso assim obtido é consolidado em uma atmosfera que contém cloro para secar de maneira química ou molde, formando assim uma pré-forma de vidro consolidada, que tem um furo na linha de centro que se
15 estende axialmente através de toda ela. A pré-forma de núcleo de vidro é então tipicamente posicionada dentro de uma fornalha de reestiramento e aquecida até uma temperatura suficiente para facilitar o reestiramento ou
20 esticamento da pré-forma de núcleo para um corpo de vidro cilíndrico de diâmetro menor ou bastão núcleo. Durante a operação de reestiramento, o furo da linha de centro do molde de núcleo é fechado por meio de, por exemplo, aplicar vácuo ao longo do furo da linha de centro. A redução em
25 pressão dentro do furo da linha de centro assegura fechamento completo do furo da linha de centro, de tal modo que o bastão núcleo tem uma região de linha de centro sólida que se estende axialmente através de todo ele. Depois da etapa de reestiramento o bastão núcleo resultante é tipicamente sobre-revestido com uma camada de fuligem de revestimento, por exemplo
30 depositado por meio de um processo OVD. O bastão núcleo sobre-revestido de fuligem resultante é secado quimicamente e consolidado para formar uma pré-forma de fibra óptica que pode, daí em diante, ser estirada para uma fibra guia de onda óptica.

A despeito das etapas de secagem química e consolidação, tais

5 fibras ópticas foram descobertas apresentar um nível relativamente elevado de atenuação medido a aproximadamente 1380 nm. O pico de água é amplamente um resultado de água ser aprisionada no vidro durante o processo de fabricação da fibra, uma grande porção desta água sendo aprisionada dentro da região da linha de centro do bastão núcleo antes ou durante o fechamento do furo de linha de centro. De fato, embora os moldes sejam secados quimicamente e sinterizados durante a consolidação, foi descoberto que a região de vidro que circunda e define o furo de linha de centro está sendo molhado novamente depois de secagem, principalmente devido à
10 exposição à atmosfera ambiente a qual, inevitavelmente, contém água. O novo molhamento pode ocorrer, por exemplo, quando a pré-forma é removida da fornalha de consolidação e movida para a fornalha de reestiramento para outras etapas de processamento. Além disto, quanto maior o tempo de exposição, maior a quantidade de água absorvida pelo vidro.

5 Para reduzir a quantidade de água aprisionada dentro da região de linha de centro do bastão núcleo, a WO 00/64825 propõe ou impedir exposição à água do furo de linha de centro da pré-forma seca e consolidada fechando o furo de linha de centro durante a consolidação, ou remover quimicamente a água depois que novo molhamento tenha ocorrido,
-20 preferivelmente no reestiramento, tratando o furo de linha de centro com um agente de secagem química, um agente de gravação química, ou deutério.

Para impedir novo molhamento do vidro que limita o furo de linha de centro, é proposto ou fechar o furo de linha de centro, ou vedar o furo de linha de centro durante a consolidação.

25 No que se refere à solução de fechar o furo de linha de centro, o seguinte método é descrito. Antes da consolidação da pré-forma de fuligem um tampão de vidro é ajustado à extremidade do furo de linha de centro oposto à extremidade da pré-forma de fuligem dotado de um cabo. Em seguida à secagem com cloro o corpo poroso (mantido verticalmente por meio

do cabo) é acionado para baixo para o interior da zona quente da fornalha de consolidação, preferivelmente em uma atmosfera de gás inerte tal como hélio. A temperatura elevada gerada na zona quente, preferivelmente cerca de 1500°C, sinteriza o corpo poroso quando ele penetra na zona quente. As
5 forças de sinterização orientadas para dentro reduzem o diâmetro do corpo poroso, fechando com isto o corpo poroso sobre o tampão, para vedar de maneira efetiva uma extremidade do furo de linha de centro. O corpo poroso é ainda acionado para baixo para sinterizar o restante do corpo poroso, formando com isto uma pré-forma de vidro sinterizada que tem um furo de
10 linha de centro vedado em suas extremidades tamponadas.

Em seguida à etapa de consolidação, a pré-forma de vidro sinterizada é preferivelmente retirada da zona quente e o furo de linha de centro é exposto a um vácuo de no mínimo 10 Torr (1,33 kPa), mais preferivelmente 100 mTorr (0,013 kPa), através de um cabo interno que se
15 comunica com um furo de linha de centro através do cabo. A pré-forma de vidro sinterizada é novamente acionada para baixo para o interior da zona quente da fornalha de consolidação enquanto o furo de linha de centro está sob vácuo. Quando a pré-forma de vidro sinterizada penetra na zona quente, ela amolece de maneira suficiente, de modo que a força de vácuo que atua
20 sobre o vidro que limita o furo de linha de centro trás o vidro para dentro, fechando com isto o furo de linha de centro enquanto a pré-forma de vidro sinterizado continua a se mover através da zona quente.

A pré-forma de vidro sinterizada sólida resultante pode então ser removida da fornalha de consolidação e armazenada para processamento
25 adicional mais tarde, ou movida para uma fornalha de reestiramento onde ela pode ser estirada para um bastão de diâmetro reduzido. Em qualquer caso, uma vez que o furo de linha de centro está fechado, isto é, a pré-forma de vidro sinterizada tem uma região de linha de centro sólida, a região de linha de centro não será exposta à atmosfera ambiente, e assim não será novamente

molhada quando da remoção da fornalha de consolidação.

O Requerente observou que as condições de processo requeridas para produzir o fechamento completo do furo central ao final do processo de consolidação são tais, que a geração de defeitos internos na pré-
5 forma como bolhas ou vazios é muito provável.

O Requerente descobriu então, que provocando somente um fechamento parcial do furo central na fornalha de consolidação e então completando o fechamento do furo central na etapa subsequente de esticar, o problema de molhar novamente o furo central depois da consolidação é
10 amplamente reduzido, e a formação de bolhas e vazios é muito improvável. O fechamento parcial do furo central é conseguido submetendo a pré-forma de núcleo a um outro tratamento térmico depois das etapas de secagem e consolidação na fornalha, sem extração da pré-forma da fornalha entre o tratamento de consolidação e o tratamento térmico adicional.

De fato, o colapso do furo central durante o esticamento, que
15 é com a ajuda das tensões para dentro devido à contração do diâmetro global, é muito mais efetivo para evitar a formação de bolhas ou vazios na fibra. Ao mesmo tempo, mesmo sem o fechamento completo ou vedação do furo central antes da extração da pré-forma da fornalha de consolidação, a redução
20 do diâmetro do furo torna a contaminação de OH depois da extração da fornalha muito baixa, e fibras com a atenuação de pico final abaixo de 0,35 dB/km podem ser obtidas assim.

Mesmo com relação ao processo convencional, no qual o fechamento do furo central é feito completamente durante esticamento, o
25 Requerente observou que existe uma redução sensível dos defeitos internos. Presumivelmente isto é devido ao fato que no processo da presente invenção o esticamento é realizado em uma pré-forma que tem um furo central de diâmetro reduzido, e a tensão sofrida pelo corpo de vidro é portanto menor.

Deve ser observado que reduzir a ocorrência de defeitos

internos nas fibras ópticas é um item relevante para a produção industrial, uma vez que permite reduzir desperdícios ou operações e obter comprimentos maiores de fibra óptica.

De acordo com a presente invenção, quando da consolidação da pré-forma de núcleo na zona quente de uma fornalha, a pré-forma é extraída da zona quente porém não da fornalha, para evitar exposição à atmosfera que contém água. O furo central é então exposto a um vácuo através do cabo no topo da pré-forma consolidada. Depois de levantar a temperatura da zona quente até uma temperatura de fusão de vidro, a pré-forma de vidro é novamente conduzida para baixo para o interior da zona quente a uma velocidade predeterminada. Em tais condições, o vidro amolece o suficiente para obter uma redução significativa do raio interno do furo central sem seu fechamento e sem qualquer esticamento significativo de toda a pré-forma devido à gravidade e graças à pressão para dentro e a tensão superficial do vidro.

O Requerente verificou que fibras ópticas com atenuação a 1383 nm mais baixas do que 0,35 dB/km podem ser obtidas atualmente com o método divulgado. Além disto, uma redução significativa de defeitos internos no núcleo da fibra final (por exemplo, bolhas, vazios) é obtida.

A presente invenção é assim relativa a um processo para produzir uma fibra óptica de baixa perda ou baixa atenuação, que compreende:

- produzir uma pré-forma de núcleo de fuligem por meio de deposição química sobre um substrato;

- remover o substrato da pré-forma de núcleo de fuligem, formando com isto um furo central ao longo da pré-forma de fuligem;

- secar e consolidar a pré-forma de núcleo de fuligem para formar uma pré-forma de núcleo de vidro; e

- esticar a pré-forma de núcleo de vidro;

no qual a etapa de secar e consolidar compreende reduzir o diâmetro do furo central e a etapa de esticar compreende fechar o furo central.

Preferivelmente, a etapa de reduzir o diâmetro do furo central compreende reduzir a pressão dentro do furo central e submeter a pré-forma de núcleo de vidro a uma temperatura suficiente para amolecer vidro.

O diâmetro final do furo central da etapa de secagem e consolidação está preferivelmente entre cerca de 0,05 mm e 0,4 mm, mais preferivelmente entre cerca de 0,05 mm e 0,2 mm. Vantajosamente, o diâmetro final do furo central da etapa de secagem e consolidação é no máximo 1:10 de um diâmetro inicial do furo central.

A etapa de secagem e consolidação é preferivelmente realizada em uma fornalha e vantajosamente inclui secar a pré-forma de núcleo de fuligem em uma primeira temperatura, consolidar a pré-forma de núcleo de fuligem desidratada em uma segunda temperatura mais elevada do que a primeira temperatura, e submeter a pré-forma de núcleo consolidada a uma terceira temperatura mais elevada do que a segunda temperatura, para reduzir dito diâmetro.

Em maior detalhe, a etapa de secagem e consolidação é preferivelmente realizada em uma fornalha que inclui uma primeira zona e uma segunda zona, e compreende em seqüência as seguintes etapas:

- secar a pré-forma de núcleo de fuligem na primeira zona,
- mover a pré-forma de núcleo de fuligem seca da primeira zona para a segunda zona,
- consolidar a pré-forma de núcleo de fuligem na segunda zona,
- mover a pré-forma de núcleo consolidada da segunda zona para a primeira zona,
- reduzir a pressão no furo central;
- aumentar a temperatura na segunda zona até uma temperatura

suficiente para amolecer vidro,

- mover a pré-forma de núcleo consolidada da primeira zona para a segunda zona,

- manter a pré-forma de núcleo consolidada na segunda zona até que o diâmetro do furo central tenha reduzido para um valor desejado, e

- remover a pré-forma de núcleo consolidada a partir da fornalha.

A pressão no furo central é preferivelmente reduzida até um máximo de 200 mbar (20 kPa), mais preferivelmente até no máximo 100 mbar (10 kPa).

Para reduzir a pressão no furo central, um elemento de baixa temperatura de fusão é ajustado na extremidade inferior do vidro do furo central antes da etapa de secar, e então uma bomba de vácuo extrai gás do furo central a partir de uma sua extremidade superior depois que a pré-forma de núcleo consolidada tenha sido movida da segunda zona para a primeira zona.

Reduzir o diâmetro do furo central compreende, vantajosamente, submeter a pré-forma de núcleo de vidro a uma temperatura entre cerca de 1.495°C e 1.540°C. Este tratamento térmico é realizado por um tempo predeterminado. Em particular, reduzir o diâmetro do furo central preferivelmente compreende submeter a pré-forma de núcleo de vidro a uma temperatura suficiente para amolecer vidro por um tempo compreendido entre 1 hora e 3 horas.

A pré-forma de núcleo de fuligem tem um raio de núcleo e um raio externo, a relação entre o raio de núcleo e o raio externo sendo preferivelmente menor do que cerca de 0,4.

A invenção é descrita em detalhe abaixo com referência às Figuras anexas, nas quais um exemplo não restritivo de aplicação está mostrado. Em particular,

A Figura 1 mostra o perfil de índice de refração (RIP) de uma

pré-forma de núcleo obtida em um estágio intermediário do processo da presente invenção;

A Figura 2 mostra, fora de escala, uma fornalha para a consolidação de uma pré-forma de fuligem;

5 A Figura 3 representa a temperatura dentro da fornalha, a posição da pré-forma e o tempo de passeio da pré-forma durante o processo de secagem e consolidação da pré-forma de núcleo de fuligem;

A Figura 4 mostram uma série de curvas que simulam o comportamento da pré-forma consolidada durante um tratamento térmico no qual o diâmetro do furo central é reduzido;

10 A Figura 5 representa, de maneira esquemática, um dispositivo para esticar a pré-forma de núcleo consolidada; e

A Figura 6 mostra a distribuição cumulativa indicada como frequência no eixo vertical da atenuação de 1383 nm para quatro fibras obtidas por meio de quatro processos diferentes.

Um processo para produzir uma fibra óptica de vidro de acordo com a presente invenção inclui as etapas a seguir.

- 20 Em um primeiro estágio, uma pluralidade de substâncias químicas, tipicamente compreendendo óxidos de silício e germânio, são depositadas em um mandril cilíndrico (tipicamente de alumínio), por meio de deposição de vapor externo (OVD) utilizando um aparelho OVD de um tipo conhecido (não mostrado). As substâncias assim depositadas irão formar o núcleo e uma porção de revestimento interno da fibra óptica final. Durante a deposição de fuligem o escoamento dos reagentes pode ser variado de modo a
25 obter um perfil de índice de refração predeterminado (RIP).

Em particular, controlando o escoamento de reagentes é possível obter uma relação desejada entre o raio do núcleo e o raio externo da pré-forma de núcleo, e uma densidade média desejada da fuligem ao final do estágio de deposição.

A relação entre o raio do núcleo e o raio externo pode ser derivada do perfil de índice de refração RIP da pré-forma de núcleo o que, por sua vez, pode ser medido nos bastões núcleo (resultantes do quarto estágio do processo descrito abaixo), por meio de um analisador de perfil de pré-forma
5 apropriado. A Figura 1 mostra o RIP de um bastão núcleo realizado pelo processo OVD acima medido por um analisador de pré-forma YORK P106 (a zona em cinza não pode ser detectada pelo instrumento). O RIP indicou no eixo horizontal o raio do núcleo (CR) e o raio externo (ER).

O Requerente verificou que a relação entre o raio do núcleo e
10 o raio externo deveria ser preferivelmente mais baixa do que 0,4, mais preferivelmente mais baixa do que 0,38, ainda mais preferivelmente mais baixa do que 0,33, de modo a impedir contaminação do núcleo e da região de revestimento interno devido à difusão de OH a partir da região de sobre-revestimento.

15 Em um segundo estágio o mandril é extraído da pré-forma de núcleo, deixando um furo central ao longo do eixo longitudinal da pré-forma de núcleo. Em um terceiro estágio descrito aqui abaixo com referência à Figura 2, a pré-forma de núcleo 23 é submetida a um processo de secagem e consolidação por meio de um aparelho 10. O aparelho 10 de secagem e
20 consolidação compreende uma fornalha 20 e um dispositivo de translação de pré-forma 15.

A fornalha 20 compreende uma parede lateral 29 preferivelmente cilíndrica, uma base 30 e um sistema de aquecimento (não mostrado). A parede lateral 29 delimita internamente uma região para
25 tratamento térmico da pré-forma, incluindo uma zona superior 21 e uma zona inferior 22. Em utilização, a fornalha 20 é aquecida de tal maneira a apresentar um perfil de temperatura longitudinal não uniforme. Em particular, a temperatura na zona inferior 22 é mais elevada do que na zona superior 21, e a zona inferior 21 é portanto chamada também “zona quente”.

Vantajosamente, a zona superior 21 e a zona inferior 22 são utilizadas para desidratação e consolidação da pré-forma 23, respectivamente.

A base 30 da fornalha 20 pode ser conectada a um sistema de distribuição de gás (não mostrado) através de um ou mais dutos 28.

5 A pré-forma de núcleo 23 é dotada em uma extremidade com um cabo 25 e o dispositivo de translação da pré-forma 15 compreende um braço 24 para apanhar o cabo 25 e sustentar a pré-forma 23 verticalmente. O dispositivo de translação de pré-forma 15 é adequado para mover a pré-forma verticalmente entre uma posição superior do lado de fora da fornalha 20 e
10 uma posição inferior dentro da zona quente 22 da fornalha 20. Uma passagem de escoamento de gás é fornecida através do braço 24 e cabo 25 para permitir que um gás de secagem escoe a partir de um dispositivo de distribuição de gás (não mostrado) para o furo central 26 da pré-forma 23.

O processo de consolidação e secagem será descrito aqui
15 abaixo com referência à Figura 3, que mostra um perfil de temperatura típico 31 dentro da fornalha 20, representado como temperatura (eixo vertical esquerdo) contra a posição axial ao longo da fornalha (eixo horizontal) medida a partir de seu topo. Pode ser observado que a temperatura na zona superior 21 é quase constante, isto é, a zona 21 é uma zona quase isotérmica,
20 e sobe bastante rapidamente através de uma zona de transição 19 até alcançar seu valor mais elevado na zona quente 22.

A Figura 3 ainda mostra a posição da pré-forma 23 (representada por um segmento negro de comprimento proporcional àquele da pré-forma) contra tempo (eixo vertical direito) durante o processo de
25 desidratação-consolidação.

O processo começa acoplando o braço 24 ao cabo 25 e colocando a pré-forma 23 na posição superior fora da fornalha 20. Um tubo cilíndrico 27, feito de vidro de baixa temperatura de fusão, é então ajustado ao furo central 28 no fundo da pré-forma 23.

A pré-forma 23 é então movida para baixo para a zona superior 21 da fornalha 20. Um ou mais gases de secagem, que incluem tipicamente Cl_2 são alimentados para o interior do furo central 26 através do braço 24 e cabo 25 para eliminar os íons hidróxido e as moléculas de água na pré-forma (processo de secagem). Por exemplo, 0,15 l/min de Cl_2 podem ser alimentados juntamente com 1,5 l/min de He. Além disto, um gás inerte, preferivelmente hélio, é alimentado através de dutos 28 para o interior da fornalha 20. Por exemplo, 80 l/min de hélio são alimentados para o interior da fornalha 20 neste estágio.

No diagrama da Figura 3 o número 32 indica a posição da pré-forma 23 dentro da fornalha 20 no início do processo de desidratação, no qual a pré-forma 23 é posicionada na zona superior 21 (no exemplo aqui considerado a extremidade superior da pré-forma está cerca de 2.700 mm do topo da fornalha 20 e a sua extremidade inferior a cerca de 3.200 mm do topo da fornalha 20). A temperatura da pré-forma cresce em um tempo relativamente curto até a temperatura da curva 31 que corresponde àquela posição, que é de cerca de 1.000 °C, mais precisamente desde cerca de 950 °C, até cerca de 1050 °C no exemplo ilustrado.

A pré-forma 23 é mantida nesta posição por um tempo predeterminado tal como, por exemplo, 1 hora, para permitir sua desidratação completa. O número 33 indica a pré-forma 23 ao final do processo de desidratação (mesma posição, porém com deslocamento de tempo de 60 minutos em relação ao segmento 32).

A pré-forma 23 é então movida para baixo no sentido da zona quente 22 para o processo de consolidação, preferivelmente a uma velocidade constante, por exemplo 5 mm/min. O número 34 indica uma posição intermediária da pré-forma 23 durante o abaixamento, 160 minutos a partir do início do processo no exemplo ilustrado. Nesta posição intermediária, as extremidades da pré-forma 23 são submetidas a temperaturas muito

diferentes, uma vez que a temperatura da fornalha 20 varia abruptamente naquela zona (no exemplo ilustrado as temperaturas nas extremidade superior e inferior da pré-forma 23 são cerca de 1030 °C e 1300 °C, respectivamente).

Quando a extremidade inferior da pré-forma 23 penetra na
5 zona quente 22 a pré-forma 23 começa a consolidar, isto é, o núcleo de fuligem da pré-forma de núcleo de fuligem se transforma em uma pré-forma de núcleo vitrificada. Enquanto isto, o tubo de vidro 27 derrete e veda a extremidade inferior do furo central 26. Na Figura 2 a pré-forma 23 está representada por uma linha tracejada ao penetrar na zona quente 22. Neste
10 estágio, a fornalha 20 ainda é alimentada com um gás inerte tal como hélio, preferivelmente na mesma vazão que no estágio de secagem. Neste estágio a temperatura na zona quente 22 pode ser, por exemplo, cerca de 1.420 ° C.

A pré-forma 23 é movida para baixo até que ela tenha cruzado quase que completamente a zona quente 22, mais precisamente até que a sua
15 extremidade inferior tenha saído da zona quente para baixo, e a extremidade superior tenha penetrado na zona quente. No diagrama da Figura 3 o número 35 indica a posição da pré-forma 23 na completção deste processo de consolidação, depois de um tempo de passeio predeterminado na zona 22. A pré-forma de núcleo vitrificada 23 é então movida de volta para a zona quente
20 22.

Em um processo convencional a pré-forma 23 seria completamente removida da fornalha 20 e o processo de secagem e consolidação da pré-forma de núcleo deveria ser concluído. Uma pré-forma típica deveria ter ao final de um processo convencional de secagem e
25 consolidação um diâmetro do furo central entre 3 mm e 4 mm.

De acordo com a presente invenção, a pré-forma 23 não é extraída do forno depois de secagem e consolidação, e é submetida a um outro tratamento térmico na fornalha 20 para fechamento parcial do furo central 26, isto é, para reduzir o diâmetro do furo central 26 sem um fechamento

completo dele.

Em maior detalhe, ao invés de ser extraída da fornalha 20, a pré-forma 23 é levantada da zona quente 21 no sentido da zona superior 21 tal como até a posição intermediária 34 na Figura 3, um vácuo é então criado dentro do furo central 26 através do braço 24 e do cabo 26 por meio de uma bomba de vácuo que extrai o gás do furo central, de modo a reduzir a pressão no furo 26 até um valor preferivelmente mais baixo do que 200 mbar (20 kPa), mais preferivelmente mais baixo do que 100 mbar (10 kPa). Ao mesmo tempo a temperatura na zona quente 22 é elevada até um valor preferivelmente entre 1495°C e 1540°C, mais preferivelmente entre 1510°C e 1530°C, por exemplo 1520°C. Depois da estabilização da temperatura na zona quente 22, isto é, depois de cerca de 10 minutos, a pré-forma 23 é acionada para baixo novamente para a zona quente 22, por exemplo, novamente para baixo até a posição 35 na Figura 3 a uma velocidade preferivelmente compreendida entre 3 mm/min e 4 mm/min, por exemplo 3,4 mm/min. Neste estágio a fornalha 20 está ainda alimentada com um gás inerte, preferivelmente hélio. A vazão deste gás inerte através de dutos 28 é preferivelmente mais baixa do que nos estágios de secagem e consolidação. Uma vazão adequada é, por exemplo, 20 l/min.

Na zona quente 22 o vidro amolece, o furo central 26 sofre uma redução de diâmetro devido à pressão para dentro e à tensão superficial do vidro, sem qualquer esticamento significativo da pré-forma devido à gravidade. Devido ao movimento para baixo, a redução de diâmetro ocorre a partir da extremidade inferior até a extremidade superior da pré-forma. O tempo de passeio da pré-forma 23 através da zona quente 22, isto é, o tempo requerido para um ponto na pré-forma cruzar completamente a zona quente é predeterminado, de modo a obter a redução de diâmetro de furo desejada. Depois de alcançar a posição 35 a pré-forma 23 pode ser mantida constante por um tempo predeterminado, por exemplo por 15 minutos, para compensar o diâmetro de furo inicial, tipicamente maior no topo da pré-forma. Então, a

pré-forma 23 é levantada e finalmente removida da fornalha 20.

O diâmetro do furo central 26 ao final deste outro tratamento térmico é preferivelmente menor do que 0,4 mm e maior do que cerca de 0,05 mm, mais preferivelmente menor do que cerca de 0,2 mm e maior do que cerca de 0,05 mm. Considerando um diâmetro inicial típico de cerca de 4 mm, o diâmetro final está preferivelmente entre cerca de 1:10 e cerca de 1:80 do diâmetro inicial, mais preferivelmente entre cerca de 1:20 e cerca de 1: 80 do diâmetro inicial. Um diâmetro maior do que 0,4 mm poderia resultar em uma contaminação de OH não desprezível depois da extração da pré-forma 23 da fornalha 20, enquanto um diâmetro menor do que 0,05 mm poderia induzir fechamento prematuro do furo 26.

O diâmetro do furo final alcançado ao final do outro tratamento térmico depende de diferentes parâmetros que incluem o diâmetro inicial do furo, a temperatura na zona quente 22, a pressão dentro do furo central 26 e no exterior da pré-forma 23 e o tempo de passeio da pré-forma 23 na zona quente 22.

É possível simular a modificação geométrica da pré-forma 23 na fornalha 20 considerando um cilindro oco de comprimento infinito que tem um raio interno R_1 , um raio externo $R_2 \gg R_1$, uma pressão interna P_1 e uma pressão externa P_2 feita com um material que tem viscosidade μ e tensão superficial σ . Também pode ser mostrado que o raio interno R_1 varia no tempo como a seguir:

$$R_1(t) = \left(R_1(t=0) + \frac{\sigma}{P_2 - P_1} \right) \exp\left(-\frac{(P_2 - P_1)t}{\mu} \right) - \frac{\sigma}{P_2 - P_1}$$

Um valor de trabalho de tensão superficial σ para vidro é 0,3 N/m. A diferença $P_2 - P_1$ é aproximadamente 1 bar. Dados de viscosidade para vidro de sílica estão disponíveis na literatura. A 1500 °C a viscosidade é cerca de $1,4 \times 10^8$ kg/(m.s).

A Figura 4 mostra diferentes curvas associadas com a

evolução do raio interno R_1 contra temperatura T na zona quente 22 em diversos tempos de passeio da pré-forma 23 dentro da zona quente 22:

Curva 41: 10 minutos

Curva 42: 1 hora

5 Curva 43: 2 horas

Curva 44: 3 horas

Um conjunto de curvas como aquelas relatadas na Figura 4 pode ser facilmente obtido de maneira empírica para qualquer fornalha específica por uma pessoa versado na técnica.

0 Tendo selecionado uma faixa desejada de valores para o diâmetro final e uma faixa adequada para a temperatura T da zona quente 22, a Figura 4 permite identificar uma curva adequada. Por exemplo, escolhendo um diâmetro final de furo entre 0,05 mm e 0,2 mm e uma temperatura da zona quente entre 1495 °C e 1525 °C, uma caixa retangular 49 pode ser desenhada
15 no diagrama e todas as curvas que interceptam esta caixa identificam tempos de passeio adequados. No caso presente, interseções da caixa 49 com curvas 42 e 44 mostram que um tempo de passeio adequado está entre 1 hora e 3 horas.

Os parâmetros de processo devem ser ajustados de modo a
20 conseguir a redução de diâmetro desejada sem o fechamento completo do foro central 26, para impedir a formação de vazios, bolhas ou defeito similares. A zona da caixa 49 também é caracterizada por uma inclinação reduzida das curvas, o que significa uma sensibilidade reduzida às condições de processo (tempo e temperatura).

25 Como qualquer pessoa versado na técnica pode imaginar, faixas diferentes de T poderiam ser apropriadas com uma mudança adequada de tempo de passeio na zona quente 22.

Em um quarto estágio, a pré-forma de núcleo consolidada 23 é submetida a um processo de esticamento por meio de um aparelho para

esticamento mostrado de maneira esquemática na Figura 5 e indicado aí com 50.

O aparelho para esticamento 50 inclui uma fornalha vertical 51, um dispositivo de alimentação de pré-forma (não mostrado) para alimentar a
5 pré-forma 23 para a fornalha 51, e um dispositivo de tração 53 para tracionar o material resfriado.

O processo de esticamento inclui criar vácuo dentro do furo central de diâmetro reduzido através do cabo da pré-forma 23, como descrito, por exemplo, na US 4.810.276, e abaixar a pré-forma 23 na fornalha vertical 51
0 para derreter uma sua extremidade inferior.

Condições possíveis de processo são a seguintes:

Vácuo: 1 mbar (0,1 kPa);

Temperatura da fornalha 51: 1920 a 1980°C;

Velocidade do tracionador: 25 cm/min

5 A fusão da extremidade inferior da pré-forma 23 e o vácuo dentro do furo central 26 fazem com que as paredes do furo central 26 se dobrem até um fechamento completo. O material vidro derretido que deixa a fornalha esfria formando um elemento de vidro alongado cilíndrico 54 de diâmetro predeterminado que é esticado para baixo por meio do dispositivo de
10 tração 53. O dispositivo de tração pode ser do tipo descrito na WO 01/49.616 que é adequado para imprimir uma torção ao elemento vidro alongado 54 durante esticamento, produzindo assim um elemento como haste com um alto grau de retidão.

Depois de resfriar, o elemento vidro alongado 54 é cortado em
25 uma pluralidade de hastes chamadas “hastes núcleo” ou “bastões núcleo”.

Em um quinto estágio, cada haste núcleo é utilizada como um substrato para um outro processo de deposição química OVD de um tipo conhecido, chamado aqui abaixo “processo de sobre-revestimento. O processo de sobre-revestimento compreende depositar SiO_2 na haste núcleo, para

formar uma porção externa da pré-forma que irá definir uma porção exterior do revestimento da fibra final. Este outro processo de deposição pode ser realizado como descrito na WO 03/045.861. O resultado deste estágio é uma pré-forma final que tem a superfície exterior do revestimento coaxial ao núcleo.

Em um sexto estágio, aqui abaixo identificado como “processo de desidratação-consolidação de sobre-revestimento” ou “processo de consolidação da pré-forma final”, a pré-forma final é secada e consolidada por um procedimento similar àquele do terceiro estágio, obtendo assim uma pré-forma final vitrificada. O mesmo aparelho utilizado para o terceiro estágio (aparelho 10) pode ser utilizado também para este estágio.

No processo de consolidação de pré-forma final Cl_2 é alimentado juntamente com He para o interior da fornalha através de tubulação inferior 28, enquanto a pré-forma 23 é movida para baixo a uma velocidade determinada. Valores preferenciais para parâmetros de processo são como a seguir:

- vazão de Cl_2 : entre 0,85 l/min e 1,7 l/min;
- vazão de He: entre 20 l/min e 30 l/min;
- velocidade da pré-forma durante abaixamento: entre 5 mm/min e 7 mm/min;
- temperatura da zona isotérmica 21: entre 1000 °C e 1100 ° C;
- temperatura da zona quente 22: entre 1480 °C e 1.530 ° C.

Em um sétimo e último estágio a pré-forma final é estirada em torres de estiramento apropriadas, de um tipo conhecido, nas quais a pré-forma final é fornecida ao longo de uma direção vertical até uma fornalha, de modo a obter fusão de uma sua porção inferior. O material derretido é então estirado e resfriado de modo a obter uma fibra óptica com as características desejadas.

Exemplo

O Requerente comparou a atenuação para quatro fibras diferentes F_1 , F_2 , F_3 e F_4 , diferindo pelas características da pré-forma de núcleo, pelas condições no processo de consolidação de pré-forma de núcleo, pelas condições no processo de consolidação de pré-forma final.

5 A característica da pré-forma de núcleo que foi variada (variando o escoamento dos reagentes no processo da deposição) é a relação entre o raio do núcleo e o raio externo.

 Como mencionado anteriormente, a relação entre o raio do núcleo e o raio externo pode ser derivada do perfil de índice de refração (RIP)
10 da pré-forma de núcleo que pode ser medida no bastão núcleo por meio de um analisador de perfil de pré-forma apropriado.

 Uma primeira pré-forma de núcleo, que será referida como “pré-forma de núcleo E” foi produzida com uma relação entre raio de núcleo e raio externo de 0,38. Uma segunda pré-forma de núcleo que será referida
15 como “pré-forma de núcleo F” foi produzida com uma relação entre o raio de núcleo e raio externo de 0,44.

 A pré-forma de núcleo F é considerada ser mais submetida à contaminação de OH a partir do sobre-revestimento do que a pré-forma de núcleo E, uma vez que é mais fácil para os íons OH coletados na região de
20 sobre-revestimento e ainda presentes depois de secagem e consolidação alcançarem a região núcleo durante o processo de estiramento em alta temperatura.

 O processo de consolidação de pré-forma de núcleo foi primeiro realizado em uma maneira convencional, isto é, sem redução de
25 diâmetro de furo e de acordo com a presente invenção, isto é, com redução de diâmetro de furo. O processo convencional será referido como “consolidação de pré-forma de núcleo A” e o processo de acordo com a presente invenção como “consolidação de pré-forma de núcleo B”.

 O processo de consolidação de pré-forma final foi realizado

em duas condições diferentes, as quais serão referidas como “consolidação de pré-forma final C” e “consolidação de pré-forma final D”. Na consolidação de pré-forma final C, 0,85 l/min Cl_2 em 25 l/min de He foram alimentados a partir da tubulação inferior 28, a pré-forma 23 foi movida para baixo a uma velocidade de 7 mm/min e a zona isotérmica 21 e a zona quente 22 estavam a 1000 °C e 1500 °C, respectivamente. Na consolidação de pré-forma final D 1,7 l/min de Cl_2 em 25 l/min de He foram alimentados a partir da tubulação inferior 28, a pré-forma 23 foi movida para baixo a uma velocidade de 5 mm/min e a zona isotérmica 21 e a zona quente 22 estavam a 1100 °C e 1500 °C, respectivamente.

As fibras F_1 , F_2 , F_3 e F_4 foram feitas como relatado na Tabela 1

Tabela 1

	Pré-forma de núcleo	Consolidação de pré-forma de núcleo	Consolidação de pré-forma final
F_1	F	A	C
F_2	F	B	C
F_3	E	B	C
F_4	E	B	D

A Figura 6 mostra a distribuição cumulativa da atenuação de pico a 1383 nm para fibras F_1 , F_2 , F_3 e F_4 . Os resultados estão resumidos em termos de valores médios na Tabela 2 juntamente com as médias a 1310 nm.

Tabela 2

	Atenuação a 1383 nm	atenuação a 1310 nm
F + A + C	0,59	0,336
F + B + C	0,49	0,332
E + B + C	0,38	0,327
E + B + D	0,32	0,326

Pode ser apreciado que a redução do furo central no processo de consolidação de pré-forma de núcleo (B) permite reduzir sensivelmente a atenuação de sinal a 1310 nm e 1383 nm, enquanto outros melhoramentos são conseguidos escolhendo de maneira apropriada as características da pré-forma de núcleo (E melhor do que F) e as condições no processo de consolidação de

pré-forma final (D melhor do que C).

- 5 Com relação aos defeitos internos da fibra como detectados no processo de estiramento, uma diferença significativa pode ser observada entre pré-formas obtidas a partir dos processos A e B a despeito da RIP da pré-forma e do processo de consolidação de pré-forma final. Em particular, o número de defeitos detectados nas pré-formas dos processos B é menor do que metade daqueles encontrados nas pré-formas de processo A.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produzir uma pré-forma de núcleo de vidro para uma fibra óptica de baixa atenuação, compreendendo as etapas de:

5 produzir uma pré-forma de núcleo de fuligem por meio de deposição química sobre um substrato;

remover o substrato da pré-forma de núcleo de fuligem formando com isto um furo central ao longo da pré-forma de fuligem;

10 secar e consolidar a pré-forma de núcleo de fuligem em uma fornalha para formar a pré-forma de núcleo de vidro, cuja etapa de secar e consolidar compreende a redução do diâmetro do furo central; e,

esticar a pré-forma de núcleo de vidro cuja etapa de esticar compreende o fechamento do furo central,

15 caracterizado pelo fato de que a redução do diâmetro do furo central na etapa de secar e consolidar é realizada sem a extração da pré-forma de núcleo de vidro da fornalha, ficando o diâmetro do furo central no final da etapa de secar e consolidar na faixa de 0,05 mm a 0,4 mm.

20 2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a redução do diâmetro do furo central é realizada reduzindo-se a pressão dentro do furo central e submetendo-se a pré-forma de núcleo de vidro a uma temperatura suficiente para amolecer o vidro.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o diâmetro do furo central ao final da etapa de secar e consolidar fica na faixa de 0,05 mm a 0,2 mm.

25 4. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o diâmetro do furo central ao final da etapa de secar e consolidar é de no máximo 1:10 de um diâmetro inicial do furo central.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a etapa de secar e consolidar inclui a secagem da pré-forma de núcleo de fuligem a uma primeira temperatura, a

consolidação da pré-forma de núcleo de fuligem desidratada em uma segunda temperatura mais elevada do que a primeira temperatura, e a submissão da pré-forma de núcleo consolidada a uma terceira temperatura mais elevada do que a segunda temperatura para reduzir o diâmetro.

5 6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a etapa de secar e consolidar compreende as seguintes sequência de etapas:

 secar a pré-forma de núcleo de fuligem em uma primeira zona da fornalha;

,10 mover a pré-forma de núcleo de fuligem seca da primeira zona para uma segunda zona da fornalha;

 consolidar a pré-forma de núcleo de fuligem na segunda zona;

 mover a pré-forma de núcleo consolidada da segunda zona para a primeira zona;

15 reduzir a pressão no furo central;

 aumentar a temperatura na segunda zona até uma temperatura suficiente para amolecer o vidro;

 mover a pré-forma de núcleo consolidada da primeira zona para a segunda zona;

20 manter a pré-forma de núcleo consolidada na segunda zona até que o diâmetro do furo central tenha reduzido para um valor desejado; e,

 remover a pré-forma de núcleo consolidada da fornalha.

25 7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 2 ou 6, caracterizado pelo fato de que a pressão é reduzida até no máximo a 200 mbar (20 kPa).

 8. Processo de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de dita pressão ser reduzida até no máximo a 100 mbar (10 kPa).

 9. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a redução do diâmetro do furo central compreende submeter a

pré-forma de núcleo de vidro a uma temperatura na faixa de 1495°C a 1540°C.

- 5 10. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a redução do diâmetro do furo central compreende submeter a pré-forma de núcleo de vidro a uma temperatura suficiente para amolecer o vidro por um período de tempo na faixa de 1 hora a 3 horas.

11. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pré-forma de núcleo de fuligem tem um raio de núcleo e um raio externo, sendo a relação entre o raio de núcleo e o raio externo inferior a 0,4.

- 10 12. Processo de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de compreender ainda ajustar um elemento de baixa temperatura de fusão a uma extremidade inferior do vidro do furo central antes da etapa de secar e a redução da pressão no furo central compreende a extração de gás do furo central a partir de uma sua extremidade superior.

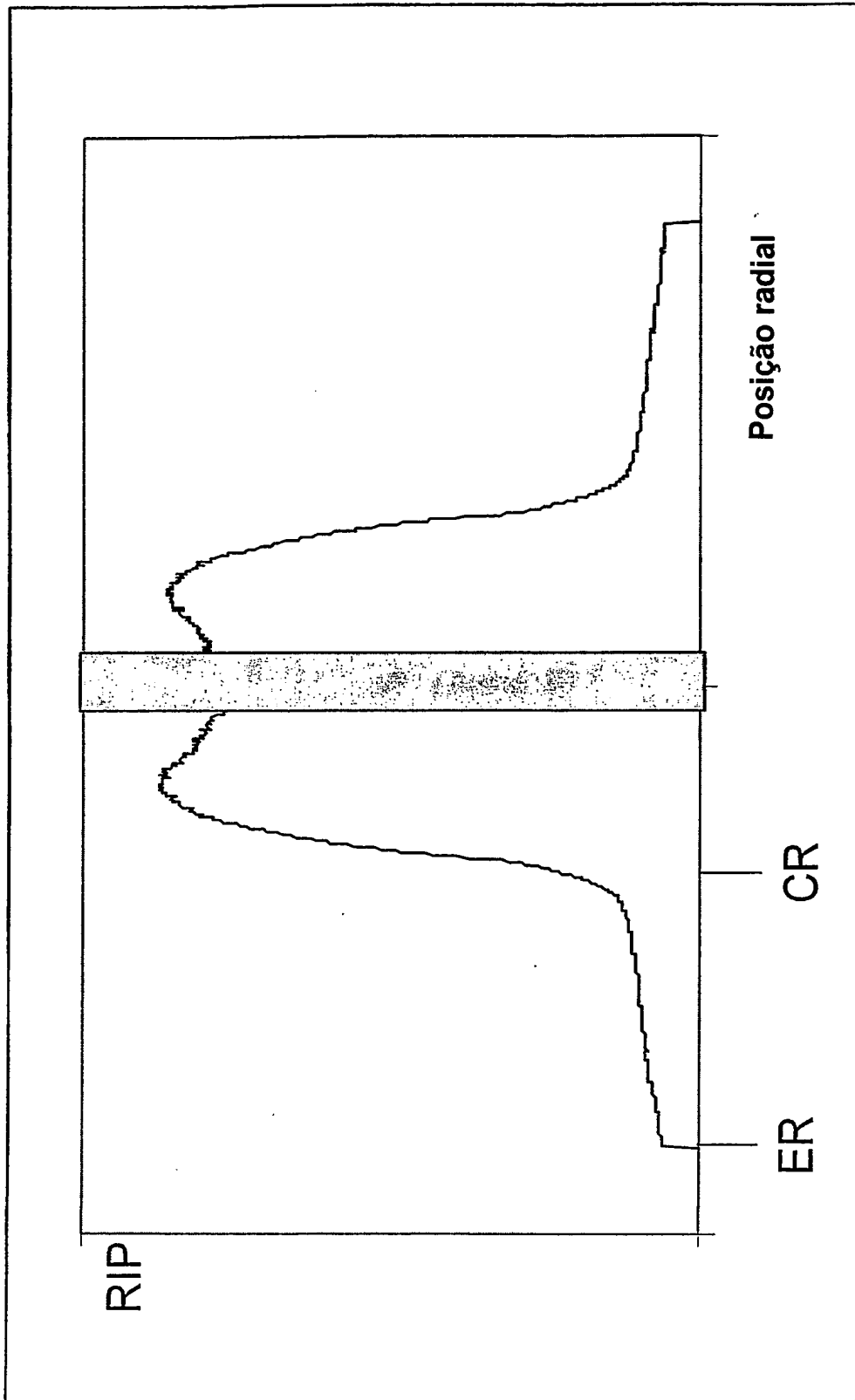


Fig. 1

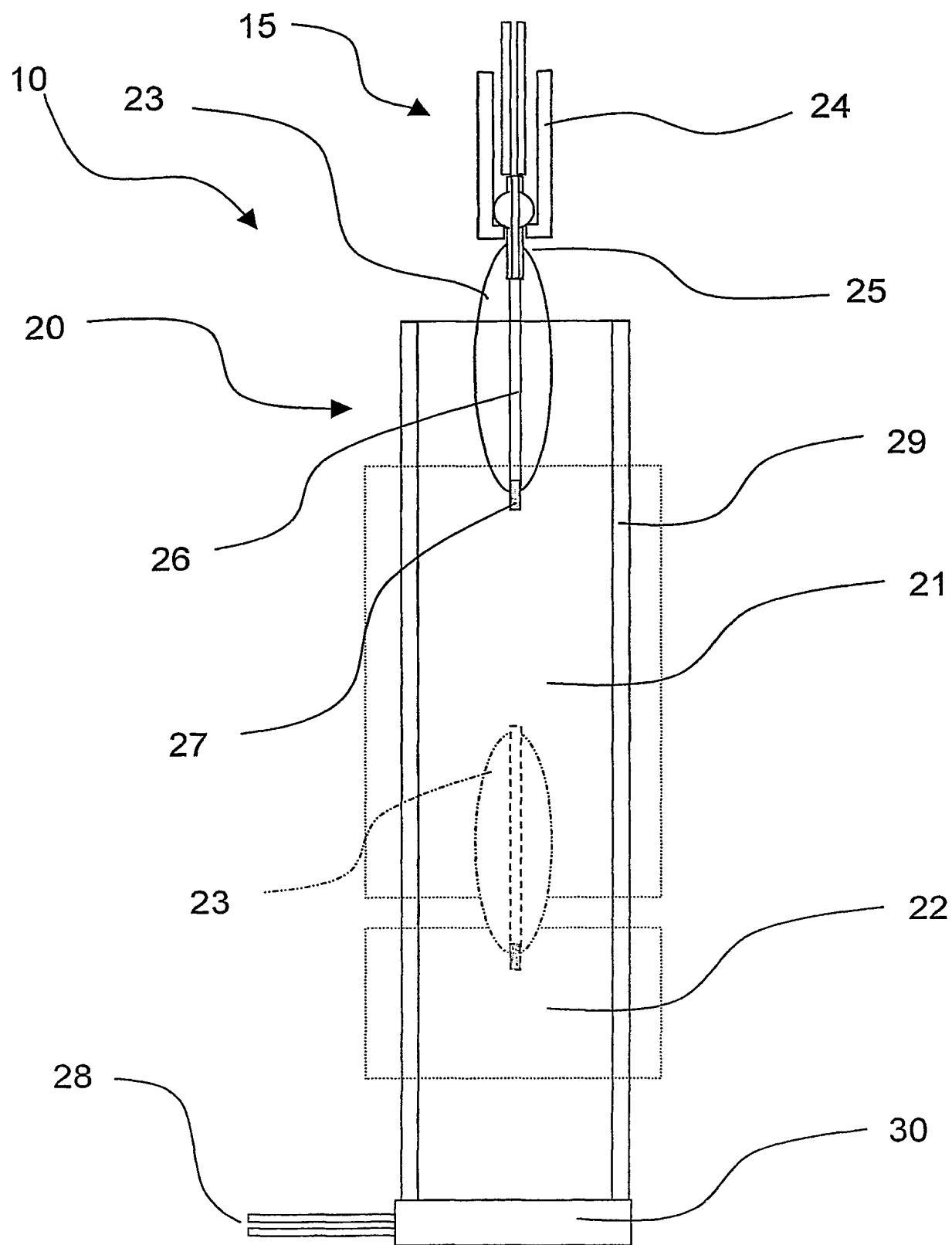


Fig. 2

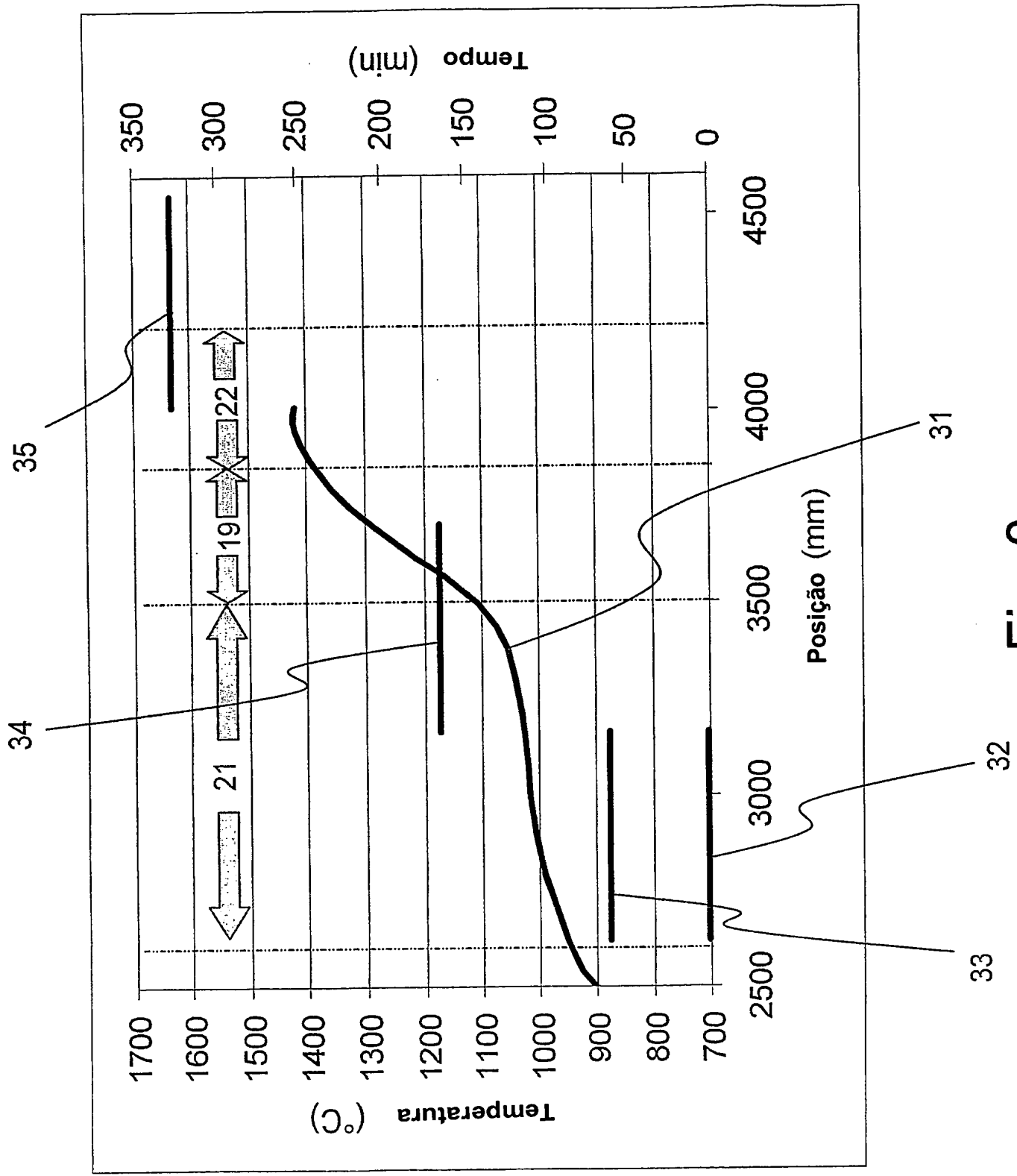


Fig. 3

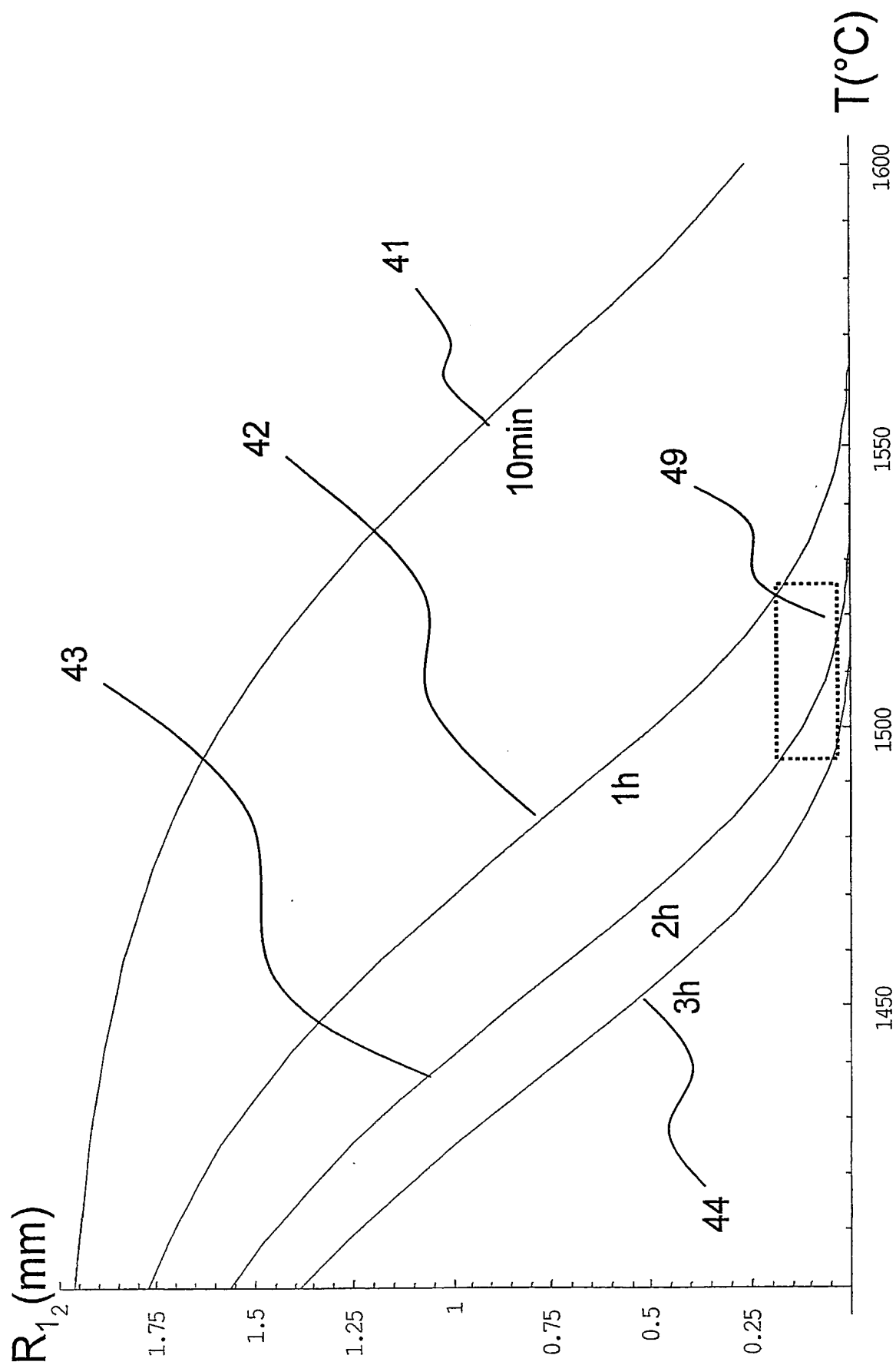


Fig. 4

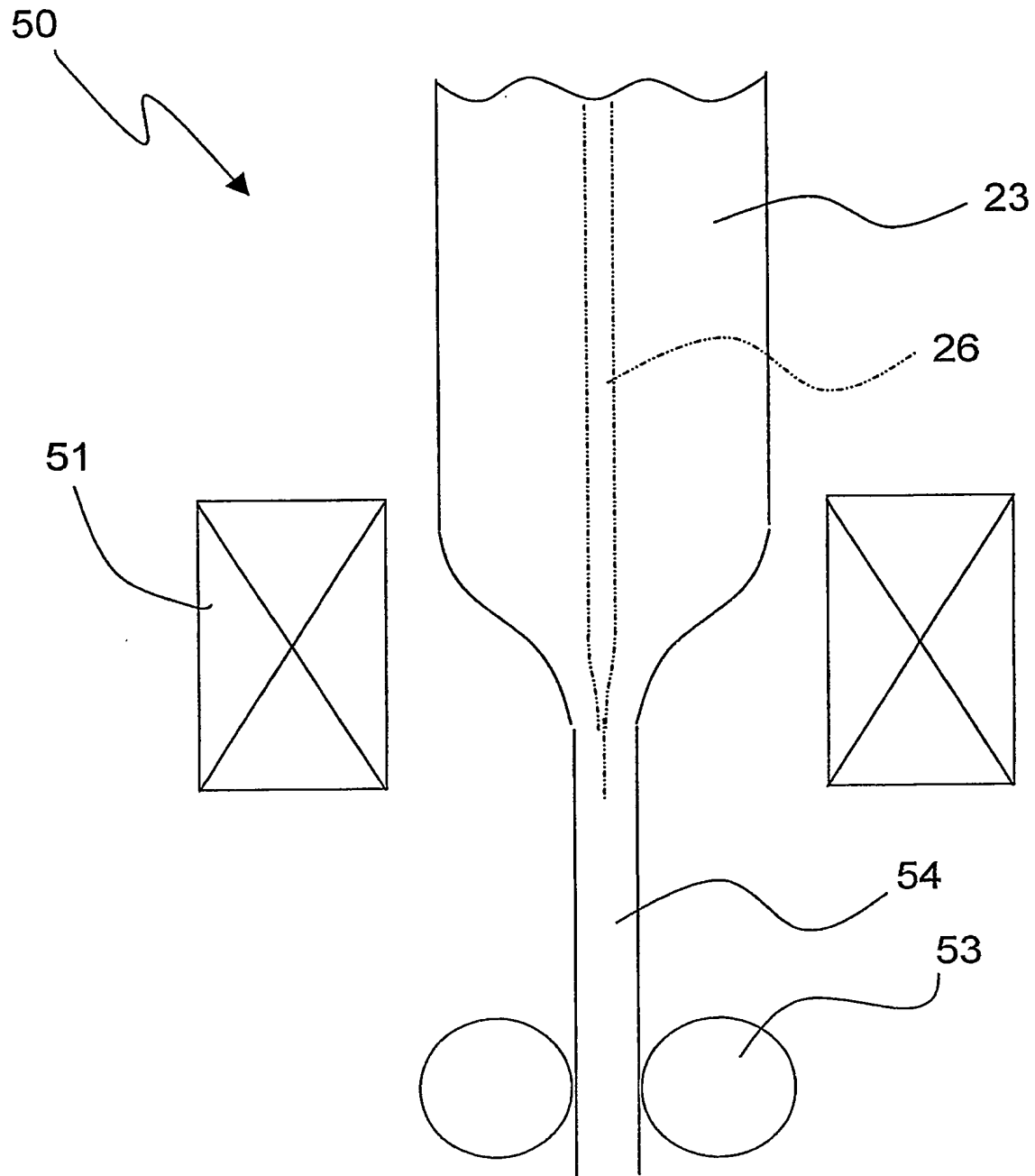


Fig. 5

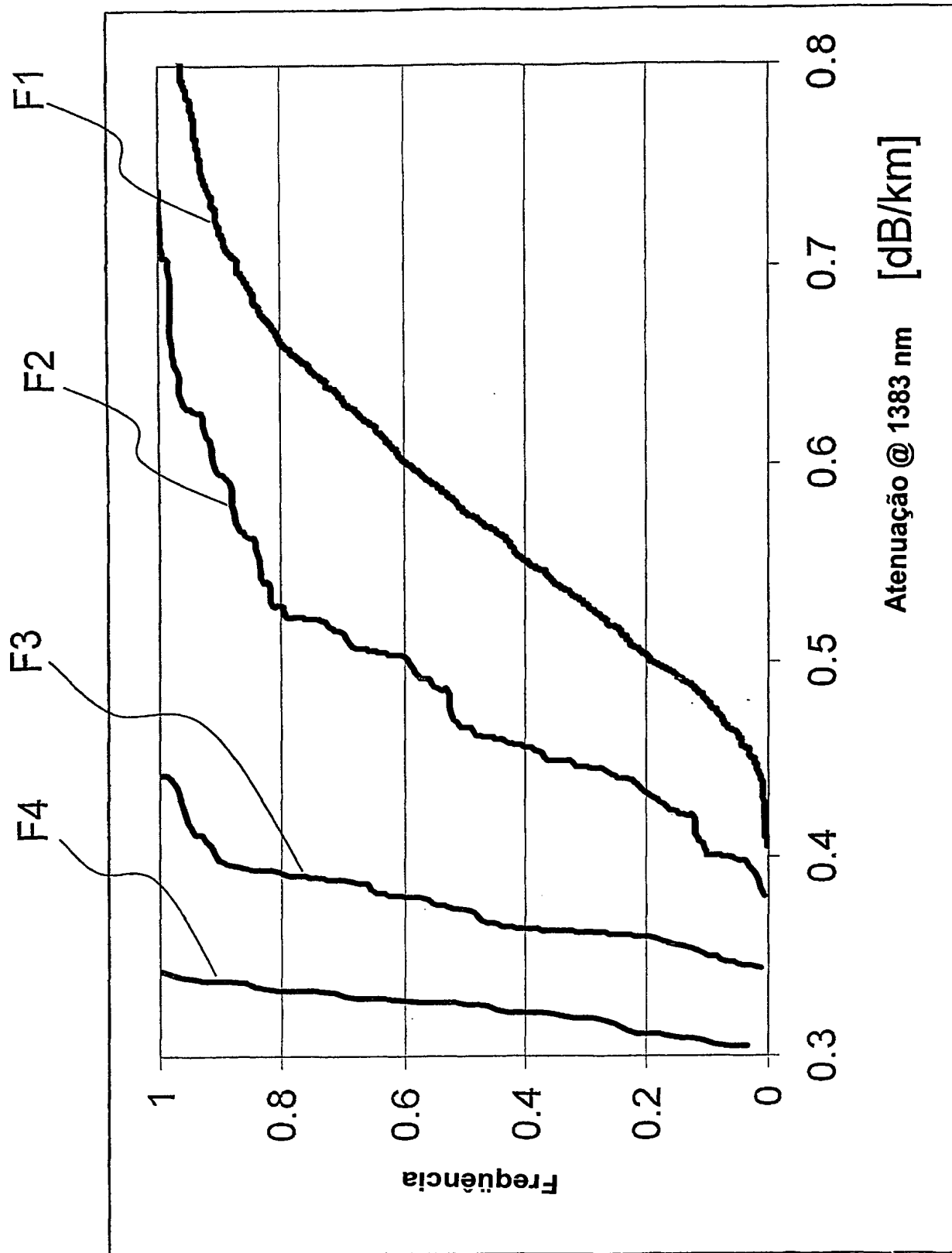


Fig. 6

RESUMO

“PROCESSO PARA PRODUZIR UMA PRÉ-FORMA DE NÚCLEO DE VIDRO PARA UMA FIBRA ÓPTICA DE BAIXA ATENUAÇÃO”

5 É descrito um processo para produzir uma pré-forma de núcleo de vidro para uma fibra óptica de baixa atenuação, compreendendo: produzir uma pré-forma de núcleo de fuligem (23) por meio de deposição química sobre um substrato; remover o substrato da pré-forma de núcleo de fuligem (23) formando com isto um furo central (25) ao longo da pré-forma de fuligem (23); secar e consolidar a pré-forma de núcleo de fuligem (23) em
10 uma fornalha de consolidação (20) numa pré-forma de núcleo de vidro (23); aquecer a pré-forma de vidro (23) na fornalha de consolidação (20) a uma temperatura acima de uma temperatura de fusão de vidro, para produzir uma redução do diâmetro do furo central (26); e, esticar a pré-forma de núcleo de vidro (23) para fechar completamente o furo central.