



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

(11) PI 0812103-6 B1



(22) Data do Depósito: 15/05/2008

(45) Data de Concessão: 25/06/2019

(54) Título: FIBRA ÓPTICA/REDE RESISTENTE A HIDROGÊNIO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA/REDE RESISTENTE A HIDROGÊNIO

(51) Int.Cl.: G02B 6/02; C03C 13/04.

(30) Prioridade Unionista: 25/05/2007 US 11/807,151.

(73) Titular(es): BAKER HUGHES INCORPORATED.

(72) Inventor(es): DANIEL S. HOMA; BROOKS CHILDERS.

(86) Pedido PCT: PCT US2008063738 de 15/05/2008

(87) Publicação PCT: WO 2008/147712 de 04/12/2008

(85) Data do Início da Fase Nacional: 25/11/2009

(57) Resumo: FIBRA ÓPTICA/REDE RESISTENTE A HIDROGÊNIO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA/REDE RESISTENTE A HIDROGÊNIO A presente invenção refere-se a uma fibra óptica resistente a hidrogênio particularmente bem adequada para aplicações em perfuração que compreende um núcleo de sílica pura relativamente espesso e uma camada de revestimento de índice rebaixado. Interposta entre a camada de revestimento de índice rebaixado e o núcleo está uma interface dopada com germânio relativamente fina. Ao manter uma relação apropriada entre o diâmetro do núcleo de sílica pura e a espessura da interface dopada com germânio, a maioria (preferivelmente mais do que 65%) do sinal de propagação pode ser confinado dentro do núcleo de sílica pura e então, ser protegido de problemas de atenuação induzidos por hidrogênio associados à presença de germânio (como é comum em aplicações de fibra em perfuração). A fibra resistente a hidrogênio da presente invenção pode ser formada para incluir uma ou mais redes Bragg dentro da interface dopada com germânio, úteis para aplicações de leitura.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "FIBRA ÓPTICA/REDE RESISTENTE A HIDROGÊNIO E MÉTODO PARA FABRICAÇÃO DE FIBRA ÓPTICA/REDE RESISTENTE A HIDROGÊNIO".

Campo da Técnica

[001] A presente invenção refere-se a uma fibra óptica resistente a hidrogênio incluindo uma interface de núcleo/revestimento dopada com germânio que provê uma matriz de vidro de sílica relativamente estável na presença de hidrogênio.

Antecedentes da Invenção

[002] Uma das aplicações de nicho para fibras ópticas é um sensor para aplicações "em perfuração", tal como monitoramento de poço geotermal, poço de petróleo ou similares. Medições em perfuração permitem que o operador monitore fluxo de fluido de fase múltipla, bem como pressão e temperatura. Medições em perfuração de pressão, temperatura e fluxo de fluido desempenham um papel importante no gerenciamento de vários tipos de reservatórios em subsuperfície.

[003] Historicamente, os sistemas de monitoramento têm sido configurados para prover uma linha elétrica que permite que os instrumentos de medição, ou sensores, enviem medições para a superfície. Recentemente, sensores de fibra óptica foram desenvolvidos, os quais comunicam leituras do poço para equipamento de processamento de sinal óptico localizado na superfície. Os sensores de fibra óptica podem estar variavelmente localizados dentro do poço. Por exemplo, sensores ópticos podem estar posicionados sobre a superfície externa de uma bomba elétrica submersível e usados para monitorar a performance da bomba. Sensores de fibra óptica podem também ser dispostos ao longo da tubulação dentro do poço. Em qualquer caso, o cabo de fibra óptica é levado da superfície para o aparelho sensor na perfuração. O cabo de fibra óptica transmite sinais ópticos para um proces-

sador de sinal óptico na superfície que é então usado para determinar informação ambiental (tal como temperatura e/ou pressão) associada ao poço.

[004] Com relação a poços geotérmicos, um sensor de fibra óptica pode ser usado para obter um perfil de temperatura ao longo da profundidade do poço. É bem-conhecido na técnica que um perfil de temperatura vertical de um poço geotérmico inteiro pode ser obtido essencialmente instantaneamente usando uma única fibra óptica. Na medida em que a intensidade de vários componentes de frequência de luz retrodissipada dentro da fibra óptica depende da temperatura do meio no ponto onde a luz retrodissipada é gerada, detecção e análise apropriadas de todo o espectro de radiação retrodissipada renderá o perfil de temperatura desejado.

[005] No entanto, testes de campo de sensores de temperatura distribuídos de fibra óptica demonstraram que fibras ópticas convencionais são insuficientemente fortes para este tipo de aplicação. Em estudos de poço "quente", anomalias associadas às mudanças nas características de transmissão óptica das fibras ópticas estudadas começam a aparecer dentro das primeiras vinte e quatro horas do período de teste. Na medida em que é desejado empregar esses sensores de fibra óptica por longos períodos de tempo, este tipo de mudança é inaceitável.

[006] Pelo menos uma porção das anomalias foi associada à formação de íons de OH (e outras porções relacionadas a hidrogênio) na matriz de vidro de silicato das fibras ópticas. Os íons de OH não existem na fibra óptica antes de sua exposição ao ambiente de "perfuração". O mecanismo de degradação provável é que hidrogênio no ambiente de "perfuração" quente difunda para a fibra, e dentro da fibra o hidrogênio reaja com o oxigênio do vidro de silicato para formar íons de OH.

[007] Os constituintes do vidro foram verificados como tendo uma influência forte sobre a taxa na qual íons de OH são formados em um ambiente de perfuração típico. As fibras ópticas têm tipicamente um vidro núcleo com um valor de índice de refração que é maior do que o valor de índice de refração de um vidro de revestimento circundante, de modo a manter confinamento de sinal óptico de propagação dentro da área de núcleo. Uma fibra óptica pode ter o que é referido como estrutura de "índice em etapa", onde há essencialmente uma interface abrupta entre os vidros de núcleo e revestimento, ou, alternativamente, uma estrutura de "índice graduado", onde há uma mudança gradual no índice refrativo em uma direção radial a partir do centro do núcleo. É comum, em qualquer caso, introduzir germânio na área de núcleo para aumentar o índice refrativo. Foi constatado, no entanto, que a presença de germânio promove a formação de íons de OH no ambiente de perfuração.

[008] Então, permanece uma necessidade na técnica de um sensor de fibra óptica eficaz para aplicações em perfuração que permaneça dentro de um ambiente rico em hidrogênio, mesmo em temperaturas elevadas.

Sumário da Invenção

[009] A necessidade que persiste na técnica é tratada pela presente invenção, que refere-se a uma fibra óptica resistente a hidrogênio incluindo interface de núcleo/revestimento dopada com germânio que provê uma matriz de vidro de sílica relativamente estável na presença de hidrogênio.

[0010] De acordo com a presente invenção, a porção central da estrutura do núcleo é sílica pura, "livre de germânio". Deste modo, há pouca ou nenhuma oportunidade de íons de OH serem criados. A região de interface de núcleo/revestimento dopada com germânio é formada para compreender apenas uma pequena fração do diâmetro de nú-

cleo e, então, interage com apenas uma porcentagem relativamente pequena do modo de sinal fundamental através do núcleo (por exemplo, menos do que 90% do modo fundamental). Esta interação limitada é suficiente para minimizar significativamente os efeitos prejudiciais de atenuação induzida por hidrogênio. Qualquer hidrogênio que esteja presente vai reagir com o germânio presente na interface de núcleo/revestimento e então permanece separado da região interna de sílica pura do núcleo. Uma camada de revestimento dopada com flúor é formada para circundar a interface de núcleo/revestimento dopada com germânio.

[0011] Em uma modalidade preferida da presente invenção, a fibra resistente a hidrogênio compreende um núcleo de sílica relativamente espesso, com várias camadas separadas de vidro dopado com germânio formadas para circundar o núcleo de sílica pura. Na medida em que o núcleo é relativamente espesso, apenas uma pequena porção de dopante de germânio vai migrar para a região de núcleo.

[0012] Em um método preferido de fabricação da fibra resistente a hidrogênio da presente invenção, uma técnica MCVD é usada, começando com a deposição da camada de revestimento rebaixada dopada com flúor, seguido pela deposição de várias camadas dopadas com germânio, com uma camada de núcleo de sílica pura depositada em seguida. O tubo de pré-forma então sofre colapso para formar a região de núcleo sólida, com a interface de núcleo/revestimento dopada com germânio circundante e a camada de revestimento rebaixada dopada com flúor circundando a interface.

[0013] Em uma modalidade adicional da presente invenção, uma rede de Bragg pode ser escrita na fibra enquanto ela está sendo trefilada, onde a rede será formada na região de interface (requerendo a presença de germânio para formar a estrutura de rede). Há muitas aplicações de sensor em perfuração que utilizam as propriedades de

reflexão de uma rede de Bragg para medir a temperatura e/ou a pressão ao longo da profundidade do poço.

[0014] Outros e adicionais modalidades e aspectos da presente invenção se tornarão aparentes durante o curso da discussão que segue e através de referência aos desenhos acompanhantes.

Breve Descrição dos Desenhos

[0015] Com referência agora aos desenhos.

[0016] A figura 1 é uma vista lateral em corte de uma fibra óptica resistente a hidrogênio formada de acordo com a presente invenção;

[0017] A figura 2 é um gráfico do perfil de índice de refração para a fibra resistente a hidrogênio da figura 1;

[0018] A figura 3 contém um gráfico comparando a atenuação induzida por hidrogênio para a fibra da presente invenção a várias composições de fibra da técnica anterior;

[0019] A figura 4 é um fluxograma de um processo exemplar para formação da fibra resistente a hidrogênio da presente invenção;

[0020] A figura 5 é um fluxograma de um processo alternativo para a formação da fibra resistente a hidrogênio da presente invenção;

[0021] A figura 6 é uma vista em seção transversal isométrica da fibra resistente a hidrogênio da presente invenção formada para incluir pelo menos uma rede de Bragg ao longo da interface dopada com germânio da mesma;

[0022] A figura 7 ilustra uma disposição de torre de trefilação exemplar para formação de uma fibra óptica a partir de uma pré-forma, a ilustração incluindo uma fonte de radiação UV usada para formar uma rede de Bragg conforme a fibra está sendo trefilada;

[0023] A figura 8 é um gráfico da atenuação induzida por hidrogênio associada a uma estrutura de rede de Bragg de fibra formada de acordo com a presente invenção;

[0024] A figura 9 contém dois gráficos de resultado de retrodisper-

são, onde a figura 9(a) é um gráfico de uma pluralidade de redes formadas ao longo de um comprimento de fibra resistente a hidrogênio da presente invenção e a figura 9(b) é um gráfico da resposta de frequência para uma rede exemplar; e

[0025] A figura 10 é um gráfico ilustrando as mudanças em atenuação induzida por hidrogênio como uma função de tempo para a fibra da presente invenção, ilustração da saturação da perda em um valor de aproximadamente 15 dB/km.

Descrição Detalhada

[0026] A figura 1 contém uma vista em seção transversal de uma fibra óptica resistente a hidrogênio exemplar 10 para aplicações de sensor em perfuração formada de acordo com a presente invenção. Conforme mostrado na figura 1, a fibra 10 compreende um núcleo de sílica pura 12, uma região de interface de núcleo/revestimento dopada com germânio circundante 14, uma camada de revestimento rebaixada dopada com flúor 16 e uma camada de revestimento externa 18. De acordo com a presente invenção, a região de interface dopada com germânio 14 é relativamente fina, com o núcleo de sílica 12 compreendendo a maioria da área de núcleo (preferivelmente, mais de 65% do núcleo compreendem sílica pura). Então, a maioria do sinal óptico estará propagando dentro da região de núcleo de sílica pura e não será afetado por quaisquer perdas associadas a hidrogênio dentro da região de interface dopada com Ge 14, onde apenas uma porção "final" da energia óptica vai residir. A região de interface 14 pode ser também dopada com, por exemplo, um de Sb, Hf, Ta, P, Al, S, Bi, Pb, In, Ga e La.

[0027] O dopante de flúor na camada de revestimento 16 é usado para diminuir o valor do índice de refração da fibra 10 com relação ao valor do índice de refração do núcleo 12. O valor do índice de refração da camada de revestimento externa 18 é maior do que aquele da ca-

mada de revestimento rebaixada 16. A figura 2 contém um gráfico do índice de refração de fibra resistente a hidrogênio 10, medido na direção para fora em uma direção radial a partir do centro C do núcleo 12. A diferença no índice de refração entre o núcleo de sílica 12/região de interface dopada com Ge 14 e camada de revestimento rebaixada dopada com F 16 é designada " Δ " na figura 2.

[0028] A figura 3 contém um gráfico de atenuação induzida por hidrogênio, comparando os valores de atenuação da fibra da invenção 10 com duas fibras da técnica anterior diferentes, uma fibra de sensor de perfuração convencional incluindo uma rede de Bragg (designada como "sensor" na legenda do gráfico) e uma fibra de modo único de sílica pura "livre de defeito". Por várias razões que não estão relacionadas à sensibilidade a hidrogênio, a fibra de modo único de núcleo de sílica pura "livre de defeito" não é adequada para aplicações de sensor em perfuração. Conforme mostrado, a atenuação atingida com a fibra da invenção 10 é significativamente aperfeiçoada sobre aquela associada às fibras de sensor de rede de Bragg convencionais, se aproximando do valor ótimo associado à fibra de modo único de núcleo de sílica pura "livre de defeito". Na verdade, a atenuação associada com a fibra da invenção 10 mantém um valor bem abaixo de 2 dB/km na maioria dos comprimentos de onda associados com sensor (por exemplo, 1300-1600 nm). Na medida em que a interface dopada com germânio compreende apenas uma quantidade mínima da área de núcleo (não mais do que 35% e preferivelmente ainda menos), a maioria do sinal óptico vai propagar sem ser afetado dentro da região de núcleo de sílica pura.

[0029] As fibras ópticas, incluindo a fibra resistente a hidrogênio 10 da presente invenção, são geralmente feitas através de processos químicos. Um processo particularmente útil é conhecido na técnica como deposição por vapor químico modificada (MCVD), e a figura 14

contém um fluxograma de um conjunto exemplar de etapas de processo MCVD que pode ser usado para formar a fibra resistente a hidrogênio 10 da presente invenção. Com referência à figura 4, o processo começa na etapa 100 com SiO_2 dopado com flúor sendo depositado dentro de um tubo de vidro (onde o tubo de vidro vai eventualmente formar a camada de revestimento externa 18 da fibra 10). Em um processo MCVD particular, uma pluralidade de gases separados é fluida através do tubo de vidro de modo a formar camadas múltiplas de vidro dopado com flúor. A fim de formar uma camada de revestimento relativamente espessa rebaixada (vide figuras 1 e 2), um grande número de camadas é formado. Em uma modalidade exemplar, trinta a sessenta camadas dopadas com F podem ser depositadas sobre a parede interna de um tubo de vidro (outros membros adequados de camadas sendo possíveis, como uma função das dimensões do tubo de deposição, geometria de fibra desejada e similares). A Tabela 1 inclui os gases particulares e as taxas de fluxo associadas à formação da camada de revestimento rebaixada dopada com F 16.

Gás	Taxa de Fluxo (ml/min)
SiCl_4	1000
SiF_4	1000
O_2	1000
He	400

Tabela I

[0030] O processo MCVD exemplar então continua na etapa 110 através da deposição das camadas dopadas com germânio formando a região de interface dopada com Ge 14 sobre a superfície exposta do material dopado com F depositado dentro do tubo. A fim de manter esta região relativamente fina, apenas algumas camadas são depositadas, onde as três camadas foram verificadas ser adequadas para a maioria das aplicações. A Tabela II inclui os gases particulares e as

taxas de fluxo associadas à formação da região de interface dopada com Ge 14.

Gás	Taxa de Fluxo (ml/min)
SiCl ₄	45
GeCl ₄	90
O ₂	45
He	250

Tabela II

[0031] Seguindo a deposição da região de interface dopada com Ge, a área de núcleo da fibra da invenção 10 é formada através de deposição de uma camada única de sílica (mostrada como etapa 120 na figura 4). De acordo com a presente invenção, a camada de núcleo de sílica pura é depositada para compreender uma espessura significativamente maior do que as camadas dopadas com Ge (conforme mostrado na figura 1 em particular). A Tabela III inclui os gases particulares e taxas de fluxos associadas à formação do núcleo de sílica pura 12.

Gás	Taxa de Fluxo (ml/min)
SiCl ₄	260
O ₂	450
He	250

Tabela III

[0032] A etapa final na formação de uma fibra óptica "pré-formada" usando um processo MCVD, mostrado como etapa 130 na figura 4, é colapsar o tubo (usando processo de aquecimento, por exemplo) para formar uma pré-forma de núcleo sólida a partir da qual uma fibra óptica pode então ser trefilada de maneira convencional.

[0033] Acredita-se que o germânio dentro da região de interface 14 difunda para dentro em direção ao centro da região de núcleo 12, e

também para fora na direção da região de revestimento dopada com flúor 16. É ainda pretendido que uma porção do flúor difunda para a região de interface 14, reduzindo seu índice de refração para um valor próximo àquele de sílica pura. Como resultado, a região de interface 14 não pode ser distinguida da região de núcleo de sílica pura 12 em termos de seu valor de índice de refração.

[0034] A figura 5 contém um fluxograma de um processo MCVD alternativo que pode ser usado para formar a fibra 10 da presente invenção. Neste, as etapas iniciais 100 e 110 permanecem iguais, com a deposição de material de núcleo de sílica pura na etapa 120 substituída por um processo de três etapas incluindo: (1) deposição da camada de fuligem de sílica (etapa 122), (2) tratamento da fuligem em uma solução gasosa de SiCl_2 com oxigênio mínimo ou nenhum (etapa 124) e (3) sinterização da fuligem saturada para formar material de sílica puro (etapa 126). A etapa final no processo é a mesma que aquela mostrada no fluxograma da figura 14, para colapsar o tubo produzido por MCVD em uma pré-forma de núcleo sólida (etapa 130).

[0035] Embora até este ponto o relatório descritivo da patente de invenção tenha se concentrado na composição e no processo de fabricação de fibra resistente a hidrogênio relativamente estável, uma rede de Bragg de fibra pode ser também formada dentro da mesma estrutura, onde a rede é "escrita" na região de interface dopada com Ge 14. As redes de Bragg de fibra são de interesse particular em aplicações em perfuração como um sensor distribuído. Sensores de rede de Bragg de fibra óptica têm sido usados para medir as tensões longitudinal e transversal, bem como tensão longitudinal e temperatura. Em particular, mudanças em temperatura ambiente vão resultar em mudança do comprimento de onda de reflexão da estrutura de rede de uma maneira conhecida. Deste modo, ao monitorar o comprimento de onda refletido, a temperatura na perfuração pode ser medida. Mudan-

ças em pressão induzem uma modificação/mudança diferente do comprimento de onda central de uma rede de Bragg e é outra medida de perfuração útil.

[0036] A figura 6 contém uma vista isométrica de corte de fibra resistente a hidrogênio 10 da presente invenção incluindo uma estrutura de rede de Bragg 20 formada dentro da região de interface dopada com Ge 14. Como é bem-conhecido na técnica, uma estrutura de Bragg pode ser formada ao longo de um comprimento determinado de uma seção de fibra óptica usando uma exposição à UV controlada que funciona para alterar o índice de refração da fibra de uma maneira periódica. Neste caso, a estrutura de rede de Bragg 20 é formada para compreender um período de rede designado " Λ ". Deve ser compreendido que redes de Bragg múltiplas de periodicidades diferentes podem ser escritas na mesma fibra (ou fisicamente se sobrepondo ou sequencialmente formadas ao longo da fibra) para realizar várias medições diferentes.

[0037] É uma vantagem da estrutura da fibra da invenção que a rede de Bragg seja formada na região de interface dopada com Ge 14 relativamente fina, onde uma energia suficiente de sinal de propagação óptico está presente para realizar a função de monitoramento sem interromper a propagação da maioria do sinal óptico ao longo do núcleo 12.

[0038] Em um processo exemplar, as estruturas de rede de Bragg 20 podem ser formadas dentro da região de interface dopada com Ge 14 uma vez que a óptica está sendo trefilada a partir da pré-forma de núcleo sólida. A figura 7 ilustra, em vista simplificada, uma torre de trefilação exemplar 50, onde uma pré-forma de núcleo sólida 52 é primeiro passada por um forno de alta temperatura 54 para "fundir" a pré-forma e permitir que a fibra de vidro seja trefilada. A fibra trefilada então segue um curso para baixo para um cabrestante 56 e o carretel de

reenrolar 58, onde a tensão/puxamento associado com o cabrestante 56 e o carretel de reenrolar 58 (bem como sua velocidade) controla o processo de trefilação. De acordo com a presente invenção, uma fonte de UV 60 é disposta em uma posição predeterminada ao longo do curso para baixo da fibra de trefilação para permitir que o padrão de trefilação desejado seja "escrito" na região de interface dopada com Ge 14 conforme a fibra passa pela fonte 60. Vantajosamente, a radiação UV vai passar sem impedimento através do revestimento rebaixado dopado com F 16, permitindo que a rede se forme apenas na região dopada com Ge 14.

[0039] A figura 8 contém um gráfico da atenuação associada com uma estrutura de rede de Bragg de fibra formada de acordo com a presente invenção e envelhecida em um ambiente de hidrogênio a 200°C durante um período de noventa dias. As medições estão associadas com duas redes de Bragg diferentes. Conforme mostrado, os valores são menos do que 10 dB/km na faixa de 1500-1600 nm. A fibra experimental compreende 1000 redes de 5 mm de comprimento, com um espaçamento de um metro entre as redes. A figura 9 ilustra gráficos de resultado de um reflectômetro de retrodispersão óptica, mostrando em gráfico (a) uma pluralidade de redes formadas ao longo do comprimento de cerca de três metros. O gráfico (b) mostra, em particular, a resposta de frequência associada com uma rede exemplar formada na fibra óptica resistente a hidrogênio formada de acordo com a presente invenção. A figura 10 ilustra um gráfico das mudanças de resistência a hidrogênio como uma função de tempo para uma rede de fibra de Bragg da invenção formada de acordo com a presente invenção. Conforme acima mencionado, aplicações em perfuração requerem que as características da fibra permaneçam estáveis durante um longo período de tempo, onde perdas induzidas por hidrogênio foram vistas aumentar em uma fibra convencional em um período de um

pouco mais de vinte e quatro horas. Com referência à figura 10, as perdas induzidas por hidrogênio na faixa de comprimento de onda de 1500-1600 nm são postas em gráfico para uma temperatura ambiente de 200°C durante um período de cinquenta e cinco dias. Pode ser visto que perdas realmente aumentam inicialmente (durante um período de quarenta dias), mas então saturam para um valor de aproximadamente 15 dB/km e permanecem constantes em seguida.

[0040] Luz retrodissipada de Rayleigh pode ser também usada para medir tensão e temperatura através do monitoramento do espectro da luz retrodissipada da rede de Bragg. Isto pode ser feito com um sistema de reflectometria de domínio de frequência óptica (OFDR). Embora o sistema OFDR seja muito sensível e possa monitorar sinais muito fracos, o uso de fibra resistente a hidrogênio para medições de retrodispersão de Rayleigh vai melhorar os níveis de sinal ao prover levemente mais dispersão e perdas menores em temperatura e com ingresso de hidrogênio. A fibra resistente a hidrogênio da presente invenção é também vantajosa para monitoramento da luz retrodispersa de Raman e Brillouin para sistemas de temperatura e tensão distribuídos com base em OTDR em ambientes com alta temperatura e ricos em hidrogênio.

[0041] Embora a invenção tenha sido descrita por meio de modalidades exemplares, deve ser compreendido que muitas mudanças e substituições podem ser feitas por aqueles versados na técnica sem se afastar do espírito e escopo da invenção que são definidos apenas pelas reivindicações apensas.

REIVINDICAÇÕES

1. Fibra óptica resistente a hidrogênio, **caracterizado pelo fato de que** compreende:

um núcleo de sílica pura exibindo um índice de refração conhecido e um diâmetro;

uma camada de revestimento de índice rebaixado disposta para circundar o núcleo de sílica pura, a camada de revestimento de índice rebaixado incluindo um dopante de diminuição de índice de refração para diminuir o índice de refração da fibra em relação ao índice de refração conhecido do núcleo ; e

uma região de interface dopada com germânio disposta entre o núcleo de sílica pura e a camada de revestimento de índice rebaixado para formar uma área de núcleo em combinação com o núcleo de sílica pura,

em que a espessura da região de interface dopada com germânio é menos do que o diâmetro do núcleo de sílica pura, com mais de 65% da área de núcleo compreendendo sílica pura, de modo que a maioria da força do sinal óptico de propagação permanece no núcleo de sílica pura e não é afetado pela intrusão de hidrogênio na região de interface dopada com germânio.

2. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a fibra compreende ainda uma camada de revestimento externa circundando a camada de revestimento de índice rebaixado.

3. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a camada de revestimento de índice rebaixado é substancialmente mais espessa do que a região de interface dopada com germânio.

4. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a camada de revesti-

mento de índice rebaixado compreende um vidro de sílica dopado com flúor.

5. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a camada de revestimento de índice rebaixado compreende um vidro de sílica dopado com boro.

6. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a interface dopada com germânio compreende ainda um elemento selecionado do grupo consistindo em: Sb, Hf, Ta, P, Al, S, Bi, Pb, In, Ga e La.

7. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a fibra óptica inclui pelo menos uma rede de Bragg formada ao longo de um comprimento predeterminado da fibra dentro da região de interface dopada com germânio.

8. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** a pelo menos uma rede de Bragg compreende uma pluralidade de redes de Bragg, cada rede tendo características diferentes.

9. Fibra óptica resistente a hidrogênio de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado pelo fato de que** a pelo menos uma rede de Bragg é configurada para monitorar reflexos de dispersão de Rayleigh ao longo do comprimento da fibra óptica.

10. Método de fabricação de uma fibra óptica resistente a hidrogênio usando deposição de vapor químico modificado, o método **caracterizado pelo fato de que** compreende as etapas de:

- a) provisão de um tubo pré-formado de vidro de uma espessura predeterminada e tendo uma abertura radical predeterminada;
- b) deposição de uma pluralidade de camadas de revesti-

mento ao longo da superfície interna do tubo pré-formado de vidro, a composição de gases usada na deposição inclui um material de diminuição de índice;

- c) deposição de relativamente poucas camadas de sílica dopada com germânio sobre as camadas de revestimento com índice diminuído;
- d) deposição de uma camada única de sílica pura sobre a sílica dopada com germânio; e
- e) colapso do tubo para formar um núcleo compreendendo uma pré-forma de núcleo sólida circundada por uma região de interface dopada com germânio, o núcleo sólido compreendendo a sílica pura depositada na etapa d).

em que as etapas c) e d) são controladas de modo que a região de interface dopada com germânio é relativamente fina, com mais de 65% da área de núcleo compreendendo a sílica pura depositada na etapa d).

11. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa b), flúor é usado como o material de diminuição de índice.

12. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa b), boro é usado como o material de diminuição de índice.

13. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa b), flúor e boro são codopados dentro do material de diminuição de índice.

14. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa b), pelo menos trinta camadas de material de revestimento são depositadas.

15. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracteriza-**

do pelo fato de que na realização da etapa b), os componentes químicos que seguem são usados: SiCl_4 , SiF_4 , O_2 e He.

16. Método de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo fato de que** as taxas de fluxo associadas para os componentes químicos são 1000 mL/min, 1000 mL/min, 1000 mL/min e 400 mL/min, respectivamente.

17. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa c), os componentes químicos que seguem são usados: SiCl_4 , GeCl_4 , O_2 e He.

18. Método de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo fato de que** as taxas de fluxo associadas são tais de modo que a razão de $\text{SiCl}_4/\text{GeCl}_4$ é pelo menos igual a $\frac{1}{2}$, e a razão de GeO_2/O_2 é maior do que 1.

19. Método de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo fato de que** as taxas de fluxo associadas são tais de modo que a razão de GeO_2/O_2 é menos do que um.

20. Método de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado pelo fato de que** as taxas de fluxo associadas são tais de modo que a razão de $\text{SiCl}_4/\text{GeCl}_4$ é menos do que $\frac{1}{2}$.

21. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa d), os componentes químicos que seguem são usados: SiCl_4 , O_2 e He.

22. Método de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo fato de que** as taxas de fluxo associadas para os componentes químicos são 260 mL/min, 450 mL/min e 250 mL/min.

23. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa d), as etapas que seguem são realizadas:

- 1) deposição de uma camada de fuligem de sílica sobre a camada de interface dopada com germânio;

- 2) molhar a camada de fuligem depositada em uma solução de SiCl_4 com essencialmente nenhum oxigênio presente; e
- 3) sinterização da camada de fuligem molhada em uma temperatura suficiente para formar o material de sílica puro.

24. Método de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa d2), a camada de fuligem depositada é imersa em SiCl_4 gasoso.

25. Método de acordo com a reivindicação 23, **caracterizado pelo fato de que** na realização da etapa d2), a camada de fuligem depositada é molhada em SiCl_4 liquefeito.

26. Método de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo fato de que** pelo menos uma rede de Bragg é então formada dentro da fibra óptica usando as etapas que seguem:

- f) trefilação de uma fibra óptica fina a partir da pré-forma em colapso da etapa e);
- g) exposição de pelo menos porção da fibra durante a trefilação da etapa f) a uma fonte de radiação UV periódica, em que a radiação UV modifica periodicamente o índice de refração da região de interface dopada com germânio e forma pelo menos uma rede de Bragg nela.

27. Método de acordo com a reivindicação 26, **caracterizado pelo fato de que** a periodicidade da radiação de UV é mudada para formar uma pluralidade de redes de Bragg dentro da fibra óptica resistente a hidrogênio.

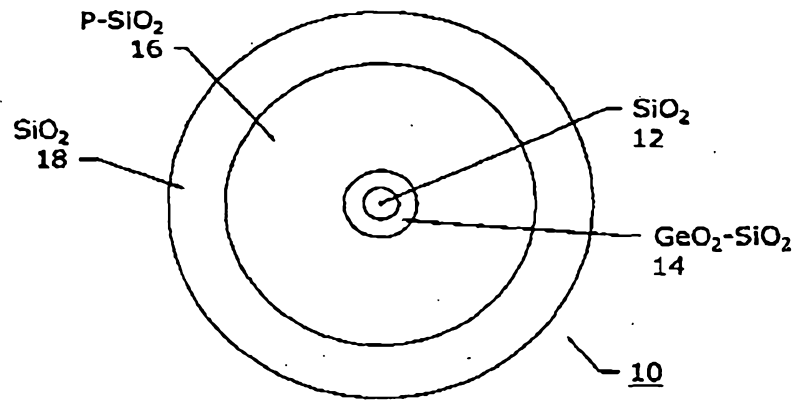


FIG. 1

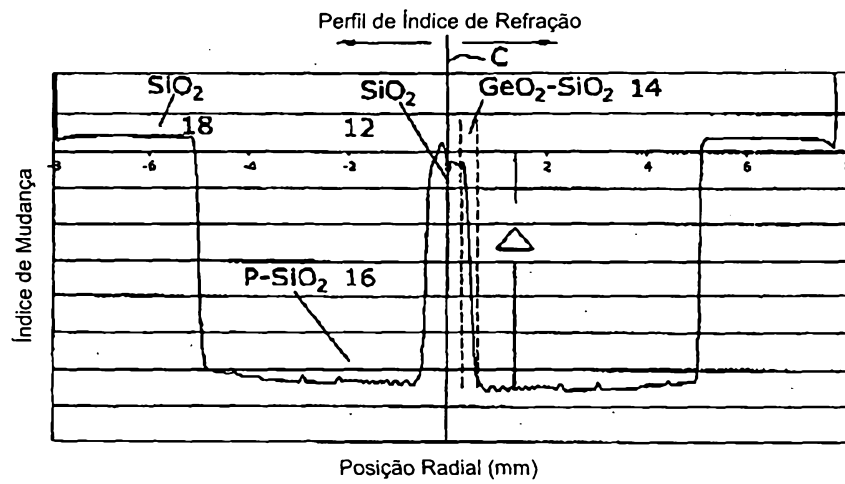


FIG. 2

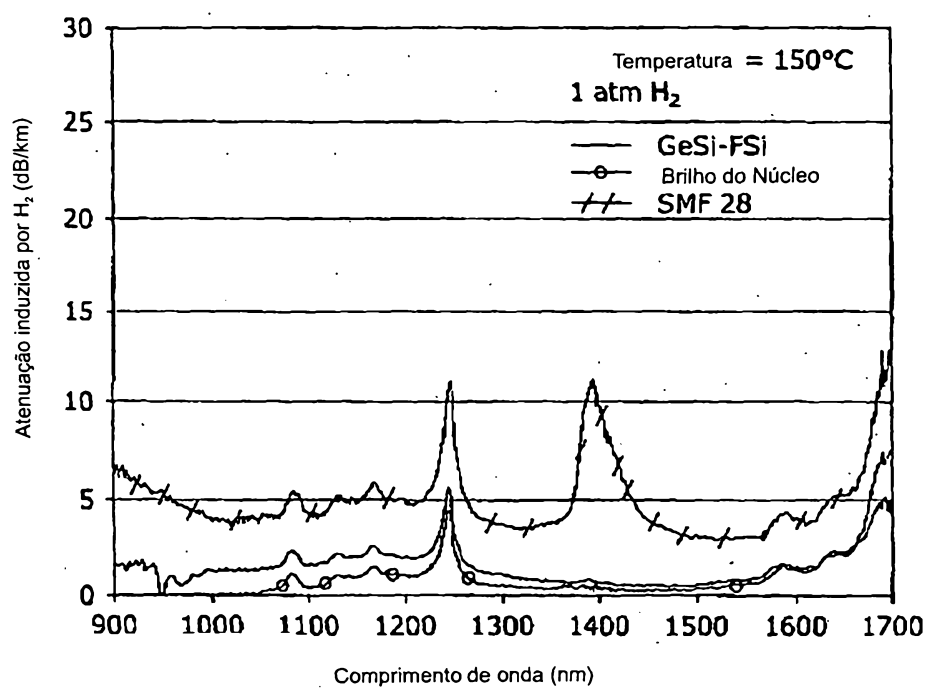


FIG.3

FIG. 4

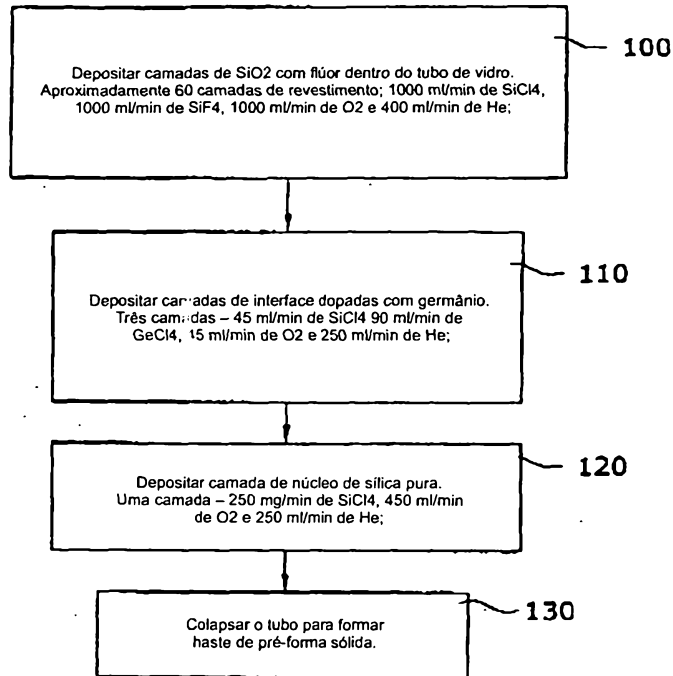
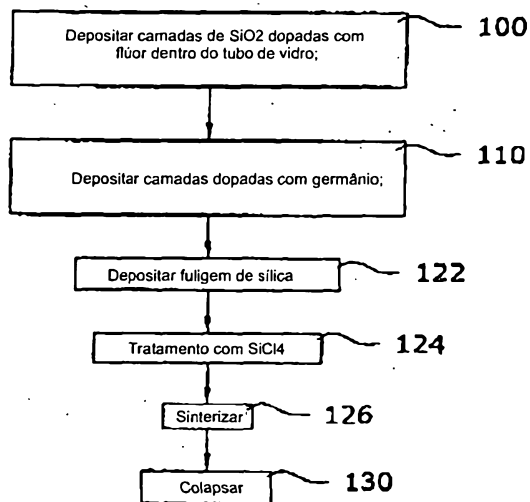


FIG. 5



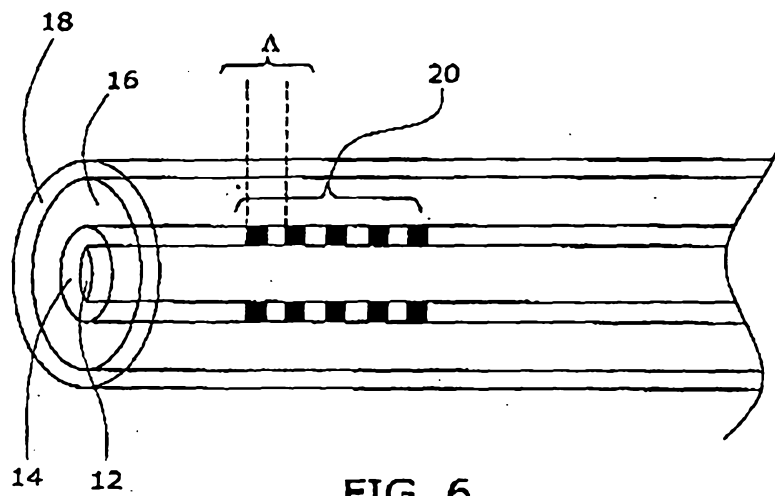


FIG. 6

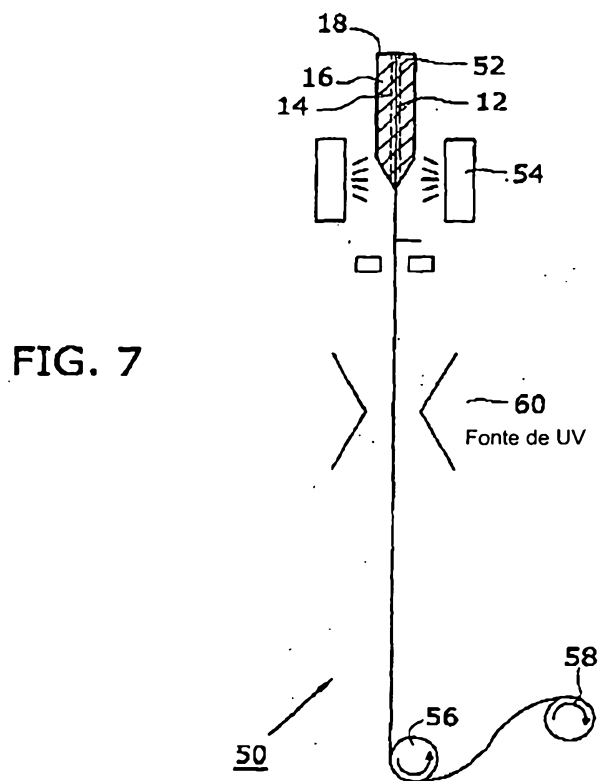


FIG. 7

FIG. 8

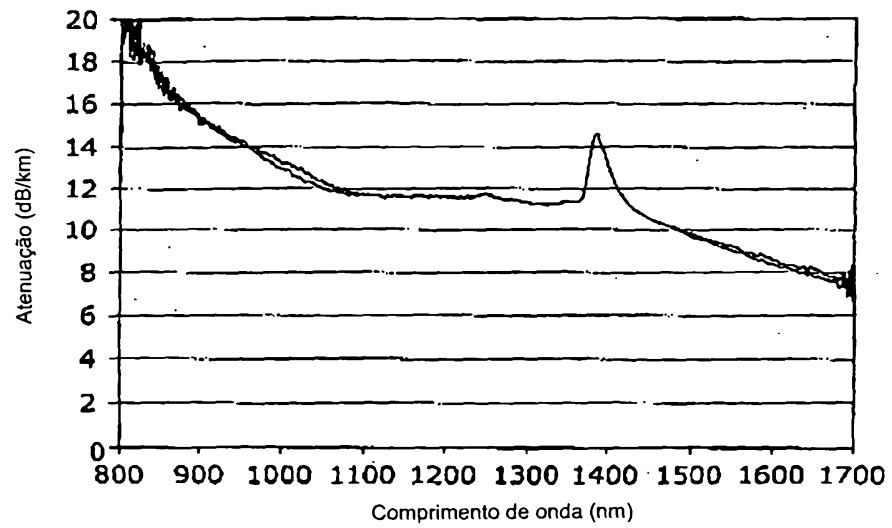


FIG. 10

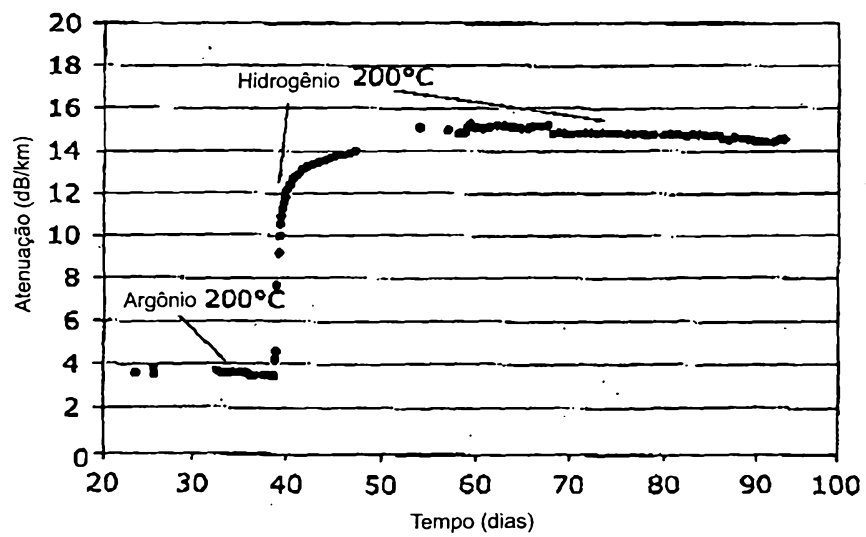


FIG.9

