



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

(11) PI 0807720-7 B1



(22) Data do Depósito: 16/12/2008

(45) Data de Concessão: 19/03/2019

(54) Título: REDES DE BRAGG DE FIBRA ÓTICA COM RESISTÊNCIA AO HIDROGÊNIO APERFEIÇOADA

(51) Int.Cl.: G02B 6/028; G02B 6/124.

(30) Prioridade Unionista: 20/12/2007 US 12/004,233.

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

(72) Inventor(es): DANIEL S. HOMA; JUSTIN W. CRUSSE.

(86) Pedido PCT: PCT US2008087006 de 16/12/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/085763 de 09/07/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 20/08/2009

(57) Resumo: REDES DE BRAGG DE FIBRA ÓTICA COM RESISTÊNCIA AO HIDROGÊNIO APERFEIÇOADA A presente invenção refere-se a perdas induzidas pelo hidrogênio nas fibras dopadas com germânio que são significativamente reduzidas aumentando a concentração de oxigênio na região de núcleo do vidro. O aumento no oxigênio funciona para "curar" os defeitos deficientes de germânio, dessa maneira substancialmente reduzindo os locais onde a ligação do hidrogênio pode penetrar. Vantajosamente, a presença do oxigênio excessivo não compromete a capacidade de criar redes induzidas pela radiação UV na área de núcleo da fibra. Na realidade, foi verificado que a estabilidade do vidro aumenta até mesmo mais durante a radiação UV. Dessa maneira, uma estrutura de FBG adequada para uso em ambientes severos de alta temperatura pode ser formada.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**REDES DE BRAGG DE FIBRA ÓTICA COM RESISTÊNCIA AO HIDROGÊNIO APERFEIÇOADA**".

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a redes de Bragg de fibra ótica e, mais particularmente, a redes de Bragg de fibra ótica particularmente bem adequadas para aplicações em ambientes severos.

Antecedentes da Invenção

10 Uma rede de Bragg de fibra (FBG) é uma modulação do índice refrativo periódico permanente no núcleo de uma fibra de vidro silicioso ótica de modo único sobre um comprimento de tipicamente 1-100mm. Ela pode ser criada em uma fibra fotossensível (isto é, uma fibra incluindo um dopante fotossensível, tal como germânio) pela iluminação transversalmente da fibra com um padrão de interferência periódico gerado pela luz do laser ultravioleta (UV).
15 Acredita-se que a modulação do índice refrativo em um FBG padrão seja formada pela ruptura induzida pelo UV das ligações eletrônicas nos defeitos com base em Ge, liberando elétrons que são a seguir recapturados em outros locais na matriz de vidro. Essa reorganização das ligações causa uma mudança no espectro de absorção e densidade da fibra, dessa maneira mudando o índice refrativo do vidro. É bem conhecido que uma FBG reflete a
20 luz dentro de uma largura de banda estreita (tipicamente 0,1 – 0,3 nm), centralizada no comprimento de onda de Bragg $\lambda_B = n_{eff}\Lambda$, onde n_{eff} é o índice refrativo efetivo visto pela luz propagando na fibra e Λ é o período físico da modulação do índice refrativo.

25 É sabido que o comprimento de onda de Bragg refletido λ_B de uma FBG mudará com qualquer perturbação externa que muda o índice refrativo efetivo visto pela luz em propagação e/ou o período de rede físico (Λ), tal como temperatura e esforço. Pela medição do comprimento de onda de Bragg refletido λ_B (usando, por exemplo, uma fonte de luz de banda larga e um espectrômetro), uma FBG pode ser usada como um sensor para medir
30 tais perturbações externas. Uma FBG induzida pela radiação UV padrão pode ser feita termicamente estável até 150-200°C e, dessa maneira, usada

como um sensor até esse limite. Infelizmente, em temperaturas mais altas, a modulação do índice refrativo induzido pela radiação UV decai e a rede é eliminada.

5 FBGs podem também ser usadas como um sensor de pressão medindo a mudança no comprimento de onda de Bragg causado pela compressão induzida pela pressão hidrostática da fibra de vidro silicioso. Um sensor de pressão de FBG pode ser fabricado com dimensões relativamente pequenas, boa reprodutibilidade e estabilidade em longo prazo, providas pela construção toda de sílica do sensor. Um sensor de FBG todo de fibra
10 com sensibilidade de pressão melhorada e compensação de temperatura inerente pode ser fabricado usando uma FBG de laser de fibra ativa ou passiva escrita em uma fibra de orifício lateral birrefringente, a fibra tendo dois canais abertos (orifícios) simetricamente posicionados em cada lado do núcleo da fibra. Vide, por exemplo, Patentes US 5.828.059 e 5.841.131. Também é possível fabricar sensores de pressão de FBG com sensibilidade de
15 pressão realçada usando um elemento transdutor de vidro circundando a fibra ótica, para converter pressão para esforço/compressão na fibra ou para converter pressão para birrefringência da fibra.

Além disso, a difusão dos gases (tal como hidrogênio) para dentro do núcleo da fibra causará uma mudança no índice refrativo proporcional
20 à concentração de hidrogênio e consequentemente modificará o comprimento de onda de Bragg de uma FBG escrita dentro do núcleo da fibra. O hidrogênio também causará um aumento na perda do sinal ao longo de uma fibra ótica, o que foi verificado ser prejudicial para lasers de fibra dopada com terra rara com base em FBG. Finalmente, a difusão dos gases para dentro dos
25 furos de uma fibra de orifício lateral mudará a pressão dentro dos furos e, portanto a diferença de pressão que afeta a medição da pressão hidrostática externa.

A Patente US 5.925.879 descreve o uso de um revestimento de carbono em um sensor de FBG para proteger a fibra ótica e os sensores
30 quando expostos a um ambiente severo. O carbono demonstrou prover um bom revestimento hermético para fibras óticas, as tornando essencialmente

impermeáveis a ambos a água e o hidrogênio, dessa maneira mantendo a resistência mecânica e a pequena perda da fibra. Um revestimento de carbono pode ser aplicado em uma fibra ótica durante o processo de repuxamento antes que o vidro de fibra resfrie através de um processo pirolítico (vide, por exemplo, Patente US 5.000.541). O revestimento de carbono usando uma técnica similar pode também ser aplicado em emendas entre fibras herméticas para manter a hermeticidade depois da emenda das fibras revestidas com carbono, como descrito na Patente US 4.727.237. Na última patente, uma técnica pirolítica é usada com base no aquecimento da região da emenda da fibra com um laser de CO₂ dentro de uma câmara contendo um gás reagente, fazendo com que um revestimento de carbono se forme na superfície de vidro pela pirólise do gás reagente. Entretanto, a temperatura na fibra precisa exceder 1000°C para prover revestimentos altamente herméticos. Uma FBG padrão em uma fibra de sílica dopada com germânio não pode ser revestida com carbono usando um tal processo desde que a rede será eliminada, como discutido acima, pela alta temperatura envolvida no processo.

Dessa maneira, permanece uma necessidade na técnica por uma técnica para formar FBGs protegidas que possam ser usadas em alta temperatura, ambientes severos, sem experimentar as perdas induzidas pelo hidrogênio associadas com a técnica anterior.

Sumário da Invenção

As necessidades que permanecem na técnica são tratadas pela presente invenção, que se refere a uma rede de Bragg de fibra ótica e, mais particularmente, a uma rede de Bragg de fibra ótica particularmente bem adequada para aplicações em ambientes severos.

De acordo com a presente invenção, perdas induzidas pelo hidrogênio nas fibras dopadas do núcleo são significativamente reduzidas aumentando a concentração de oxigênio na região de núcleo do vidro. Foi verificado que o aumento no oxigênio funciona para "curar" os defeitos deficientes de dopante, dessa maneira substancialmente reduzindo os locais onde a ligação de hidrogênio pode penetrar. Vantajosamente, a presença do oxigê-

nio excessivo não compromete a capacidade de criar redes induzidas pela radiação UV na área de núcleo da fibra. Na realidade, foi verificado que a estabilidade do vidro aumenta até mesmo mais durante a radiação UV. Dessa maneira, uma estrutura de FBG adequada para uso em ambientes severos de alta temperatura pode ser formada. O dopante do núcleo pode compreender germânio, ou alternativamente, qualquer um dos materiais selecionados do grupo consistindo em Al, Ga, Zn, In, Zr, Bi, Sn, Pb, Sb, P, B ou um material fotossensível similar pode ser utilizado para formar redes dentro das fibras óticas.

10 Em uma modalidade da presente invenção, um aumento no oxigênio é provido modificando a razão de fluxos de oxigênio em relação ao tetracloreto de germânio durante o processamento MCVD (isto é, depósito de vapor químico modificado - um dos métodos bem conhecidos convencionais de fabricação de uma fibra ótica). Compostos diferentes de tetracloreto
15 de germânio podem ser usados.

Aspectos adicionais e outros e vantagens da presente invenção se tornarão evidentes durante o decorrer da discussão seguinte e com referência aos desenhos acompanhantes.

Breve Descrição dos Desenhos

20 Com referência agora aos desenhos,

A figura 1 é uma vista lateral recortada de uma rede de Bragg de fibra exemplar (FBG) formada de acordo com a presente invenção,

A figura 2 é um gráfico da perda induzida pelo hidrogênio em uma fibra ótica como uma função do comprimento de onda, ilustrando a redução na perda à medida que a concentração de oxigênio na região de núcleo da fibra é aumentada, de acordo com os ensinamentos da presente invenção,
25

A figura 3 é um gráfico da perda induzida pelo hidrogênio em um comprimento de onda de 1000nm, ilustrando a redução da espécie de defeito do oxigênio na fibra à medida que a concentração de oxigênio na região de núcleo da FBG é aumentada,
30

A figura 4 é um gráfico similar a esse da figura 3, nesse caso

marcado para um comprimento de onda de 1550nm, um comprimento de onda de operação padrão,

A figura 5 contém um gráfico ilustrando o aumento na atenuação da fibra ótica exposta à radiação UV na formação de FBGs e

5 A figura 6 é um gráfico ilustrando a redução na perda induzida pelo hidrogênio para aplicações de detecção de temperatura distribuída (DTS).

Descrição Detalhada

Como mencionado acima, sensores de fibra ótica podem ser
10 usados na indústria petrolífera e gasosa para obter várias medições no fundo do furo, tal como pressão e/ou temperatura dentro da furação. Uma fileira de fibras óticas dentro de um sistema de fibra ótica pode ser usada para comunicar informação dos poços à medida que eles estão sendo perfurados, além de comunicar a informação dos poços completados. Alternativamente,
15 uma fibra ótica pode ser desenvolvida com um sensor ótico de fibra de temperatura-pressão de ponto único. Adicionalmente, uma série de redes de Bragg de fibra de reflexão fraca (FBGs) pode ser escrita em um comprimento da fibra ótica, ou um sensor Fabry-Perot de ponto único pode ser emendado em um comprimento da fibra ótica. Nessas aplicações de FBG, um sinal ótico é transmitido para baixo da fibra, que é refletido e/ou dispersado de volta para um receptor e analisado para caracterizar os parâmetros externos
20 (por exemplo, comprimento de onda do sinal ótico refletido) ao longo do comprimento da fibra ótica. Usando essa informação, as medições no fundo do furo incluindo, mas não limitado a temperatura, pressão e ambiente químico, podem ser obtidas.
25

Entretanto, quando fibras óticas convencionais, tal como fibras de sílica dopadas com germânio, são expostas ao calor intenso, pressão e ambiente rico em substância química de um poço petrolífero, as perdas por atenuação aumentam significativamente. Esse aumento na perda da resistência ótica do sinal é devido, em parte, à difusão do hidrogênio para dentro da estrutura de vidro. Existem dois tipos gerais de perdas por hidrogênio
30 permanentes (isto é, com base na reação) que ocorrem em tais fibras. O

primeiro tipo de perda, citada a seguir como perda induzida pela borda do comprimento de onda curto (SWE), é associado com os defeitos do tipo deficiente em dopante (por exemplo, germânio) ao longo da fibra. (O outro tipo de perda, associada com a formação de OH, não é problemático nos comprimentos de onda associados com as aplicações da presente invenção.)

Com relação à perda induzida pela SWE, átomos de hidrogênio se ligarão em quaisquer ligações abertas ou fracas na estrutura de vidro, tal como a certos átomos dopantes (por exemplo, Ge, Sn, Pb, Sb, B, P) na proximidade dos centros deficientes de oxigênio dopante ou para formar SiOH e/ou OH "dopante". Para fibras dopadas com germânio, a atenuação aumenta rapidamente com os aumentos na temperatura. Visto que as temperaturas em um poço petrolífero ou gasoso típico geralmente variam de ligeiramente menos do que a temperatura de superfície perto da superfície para entre quase 90 a 250°C, fibras óticas dopadas com germânio convencionais não são suficientemente estáveis para uso prolongado em profundidade em um poço.

Embora a fibra de sílica dopada com germânio de revestimento com carbono ou materiais similares densos no sentido molecular seja uma maneira efetiva para reduzir a difusão do hidrogênio para dentro do vidro em temperaturas menores, a efetividade do revestimento de carbono diminui rapidamente à medida que a temperatura ambiente aumenta.

Como ilustrado nos desenhos acompanhantes e discutido em detalhes abaixo, a presente invenção é direcionada para uma fibra ótica com uma quantidade de oxigênio intencionalmente aumentada introduzida no núcleo para minimizar as perdas induzidas pelo hidrogênio em temperaturas elevadas. A figura 1 ilustra uma fibra ótica exemplar 10 da presente invenção, que compreende uma região de núcleo rica em oxigênio dopada com germânio 12 e uma camada de revestimento de vidro silicioso 14 formada para circundar a região de núcleo rica em oxigênio 12. Uma rede de Bragg de fibra (FBG) 16 é formada na região do núcleo 12 via exposição à radiação UV convencional, como discutido acima, que foi verificado modificar o índice refrativo nas regiões 18, de modo que a fibra 10 refletirá a luz propagando no "comprimento de onda de Bragg" λ_B , todos os outros comprimentos de

onda continuando para propagar ao longo da fibra 10. O espaçamento Λ entre as regiões 18 é definido como o período da FBG 16.

De acordo com a presente invenção, as perdas induzidas pelo hidrogênio dentro da fibra 10 são reduzidas aumentando a concentração de oxigênio na região de núcleo 12. Por exemplo, a razão dos fluxos de oxigênio em relação ao tetracloreto de germânio durante o processamento MCVD pode ser controlada em uma maneira conhecida para prover o aumento desejado na concentração de oxigênio. A figura 2 é um gráfico da perda induzida pelo hidrogênio como uma função do comprimento de onda para um sinal ótico propagando através de uma fibra ótica do tipo descrita acima em associação com a figura 1. Em particular, a figura 2 inclui um conjunto de três curvas (I, II e III), curva I associada com uma razão de $O_2:GeCl_4$ de 1:1, curva II associada com uma razão de $O_2:GeCl_4$ de 10:1 e curva III associada com uma razão de $O_2:GeCl_4$ de 20:1, onde existe um aumento na concentração de oxigênio no movimento da curva I para a curva II para a curva III. Em geral, aumentando a concentração de oxigênio, os defeitos do tipo deficiente de oxigênio são reduzidos, assim reduzindo a perda por SWE (como mostrado pela diminuição dramática na perda induzida pelo hidrogênio ao longo da região de comprimento de onda curto).

Também evidente nos gráficos da figura 2 é o pico de absorção no comprimento de onda de 1410 nm. Pode ser observado que o pico de absorção se torna mais predominante à medida que o número de espécies de GeOH aumenta (isto é, à medida que a concentração de oxigênio aumenta). Como também mostrado na figura 3, a perda induzida pelo hidrogênio diminui dramaticamente à medida que a concentração de oxigênio aumenta. Em particular, a figura 3 ilustra a atenuação induzida pelo hidrogênio como uma função do comprimento de onda para uma FBG tendo um comprimento de onda central de 1500nm. A curva superior na curva da figura 3 é associada com uma razão 10:1 de O_2 em relação ao $GeCl_4$, onde a curva inferior é associada com a razão de concentração aumentada de 20:1. A perda dentro da faixa de comprimento de onda associada com as aplicações de monitoração do fundo do furo é observada ficar na ordem de 10 – 20 dB/km. A figura

4 contém curvas similares associadas com um comprimento de onda central da FBG de 1000 nm, novamente ilustrando o efeito do mecanismo de perda por SWE à medida que a concentração de oxigênio aumenta.

Como também mencionado acima, a maior concentração de oxigênio no núcleo da fibra da disposição inventiva resultará na melhora da estabilidade do vidro quando exposto à radiação durante a fabricação da rede (a radiação sendo, por exemplo, radiação UV, radiação gama ou qualquer outra região espectral suficiente para induzir a mudança no índice refrativo dentro do vidro dopado). A figura 5 contém um gráfico ilustrando a atenuação aumentada na fibra ótica exposta à radiação UV durante a fabricação de redes em linha das redes de Bragg de fibra exemplares (FBGs) tendo um comprimento L de aproximadamente 4,5 mm e um período Λ de aproximadamente 1,0 mm. A atenuação induzida pela radiação UV de comprimento de onda curto é minimizada por ambas uma redução na concentração de germânio e um aumento na razão $O_2/GeCl_4$ durante o depósito. Novamente, os resultados são mostrados para fibras com uma concentração de germânio aproximada de 4,0% em mol e 10,0% em mol, bem como para razões de $O_2:GeCl_4$ de 10 e 20. Pelo aumento da concentração de oxigênio dentro da região de núcleo, é demonstrada a diminuição da atenuação. Além do mais, aumentando o oxigênio, a fotossensibilidade do material do núcleo diminuirá, resultando em uma diminuição na reflexibilidade (ou amplitude) da rede. Portanto, aumentando a presença de oxigênio na região do núcleo, uma rede pode ser formada de menor reflexibilidade sem precisar modificar a abertura numérica (NA) ou o perfil do índice refrativo da fibra.

A introdução de oxigênio adicional no núcleo da fibra de uma fibra de multimodo dopada com germânio pode também melhorar o desempenho da fibra quando usada em aplicações de detecção de temperatura distribuída (DTS), particularmente em comprimentos de onda mais curtos, tal como 1064 nm. A figura 6 é um gráfico ilustrando a diminuição na atenuação induzida pelo hidrogênio como uma função do comprimento de onda para a aplicação de DTS, mostrando em particular a redução da perda induzida pelo hidrogênio no comprimento de onda de 1064 nm, à medida que a concen-

tração de oxigênio aumenta. Além do mais, pode ser mostrado que o aumento induzido pelo hidrogênio na atenuação diferencial entre o comprimento de onda anti-"stokes" de 1016 nm e o comprimento de onda "stokes" de 1116 nm, na fibra de rede de aberturas numéricas altas (NA=0,20), é dramaticamente reduzida com um aumento no oxigênio, como mostrado na tabela I, abaixo. Adicionalmente, a razão entre esses dois comprimentos de onda também diminuirá com um aumento na concentração de oxigênio. A implementação da fibra inventiva, dessa maneira, resulta em uma medição de DTS provida mais estável em um ambiente rico em hidrogênio. Embora esse exemplo seja associado com uma fibra de modo único, é para ser entendido que resultados similares podem ser encontrados em fibras de multimodos, que são bem adequadas para aplicações de DTS.

Tabela I - Estabilidade melhorada do comprimento de onda curto no hidrogênio

[O ₂]/[GeCl ₄]	1	10	20
Atenuação diferencial (dB/km)	11,24	5,67	1,35
Anti-stokes/stokes (dB/km)	1,26	1,18	1,10

Embora seja evidente que as modalidades ilustrativas da invenção descrita aqui satisfazem os objetivos da presente invenção, é para ser verificado que numerosas modificações e outras modalidades podem ser planejadas por aqueles versados na técnica. Adicionalmente, aspecto(s) e/ou elemento(s) de qualquer modalidade podem ser usados unicamente ou em combinação com aspecto(s) e/ou elemento(s) de outra(s) modalidade(s). Portanto, será entendido que as reivindicações anexas são planejadas para abranger todas tais modificações e modalidades, que se situem dentro do espírito e do escopo da presente invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Grade de Bragg de fibra ótica (16) fabricada em uma fibra (10), compreendendo:

5 uma região de núcleo de vidro de sílica dopada (12) incluindo uma rede de Bragg induzida por radiação UV formada na mesma, e uma camada de revestimento (14) formada para envolver a região do núcleo de vidro de sílica dopada (12) para confinar um sinal óptico de propagação dentro da referida região do núcleo (12), **caracterizada pelo fato de que** a região de núcleo (12) tem uma razão de concentração de O₂ / dopante na
10 fibra fabricada (1) de pelo menos 10:1 para reduzir, em combinação com a radiação UV, a presença dos sítios de ligação hidrogênio e minimizar perdas induzidas por hidrogênio num sinal óptico que se propaga, e o dopante é selecionado de um grupo que consiste de Al, Ga, Ge, Zn, In, Zr, Bi, Sn, Pb, Sb ou P.

15 2. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a razão de concentração de O₂ / dopante de pelo menos 10:1 mantém a estabilidade da região de núcleo de vidro de sílica dopada (12) quando exposta à radiação.

20 3. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 2, **caracterizada pelo fato de que** a razão de concentração de O₂ / dopante de pelo menos 10:1 mantém a estabilidade da região de núcleo de vidro de sílica dopada (12) quando exposta à radiação UV.

25 4. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 3, **caracterizada pelo fato de que** a razão de concentração de O₂ / dopante de pelo menos 10:1 mantém a estabilidade da região de núcleo de vidro de sílica dopada (12) quando exposta à radiação gama.

5. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a região de núcleo de vidro de sílica dopada (12) compreende Ge.

30 6. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a razão de concentração de O₂ / dopante é de pelo menos 20:1.

7. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** a razão de concentração de O₂ / dopante de pelo menos 10:1 e aumentada para pelo menos 20:1 é selecionada para fornecer um nível desejado de refletividade ao longo da grade de Bragg (16), em que um menor valor de razão de concentração de O₂ / dopante próximo a 10:1 é associado a uma maior refletividade e um maior valor de razão de concentração de O₂ / dopante próximo de 20:1 é associado a uma menor refletividade.

8. Grade de Bragg de fibra ótica (16) de acordo com a reivindicação 1, **caracterizada pelo fato de que** o núcleo (12) é formado por um processo de deposição química por vapor modificada tendo um fluxo de oxigênio aumentado através da mesma.

FIG. 1

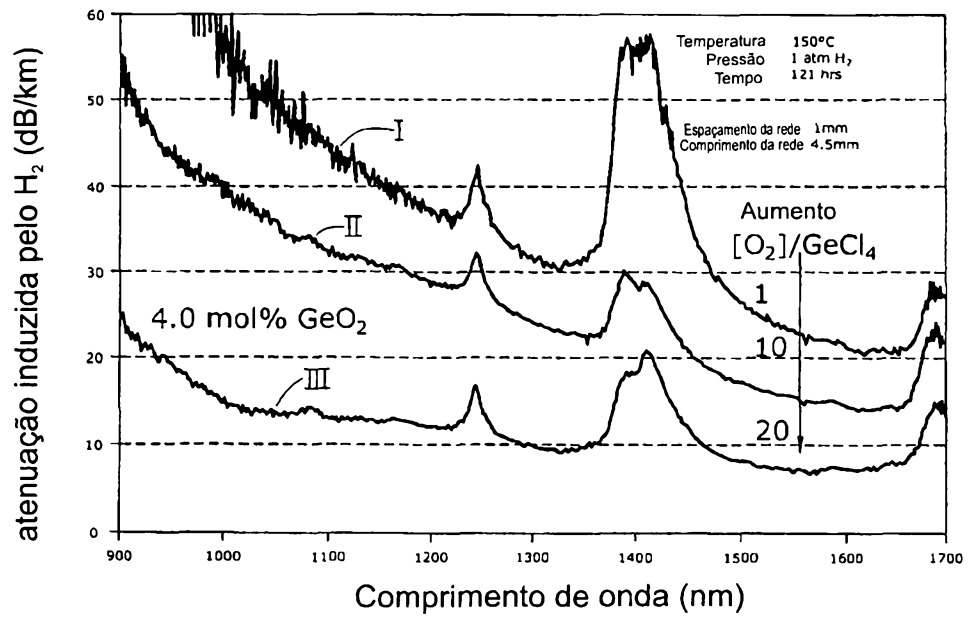
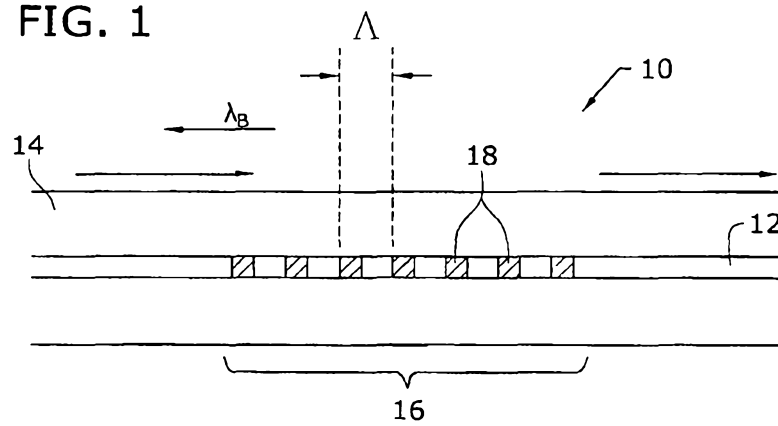


FIG. 2

FIG. 3

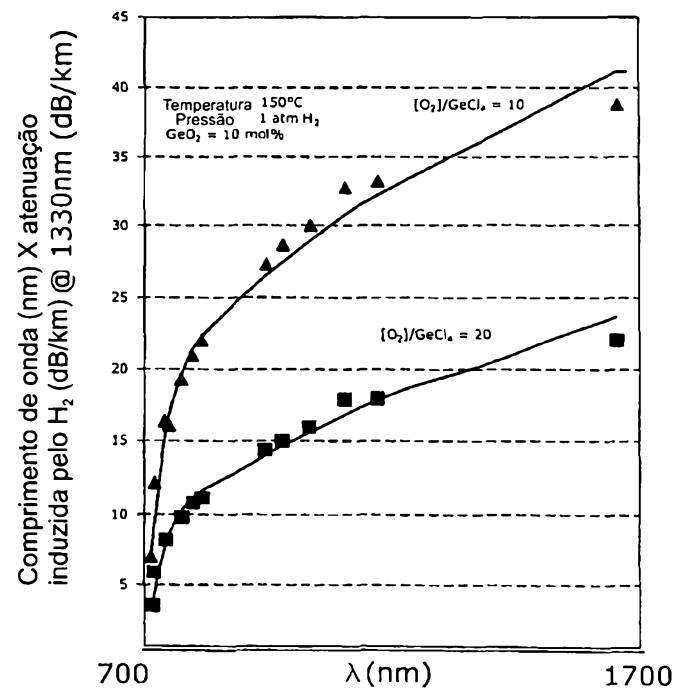
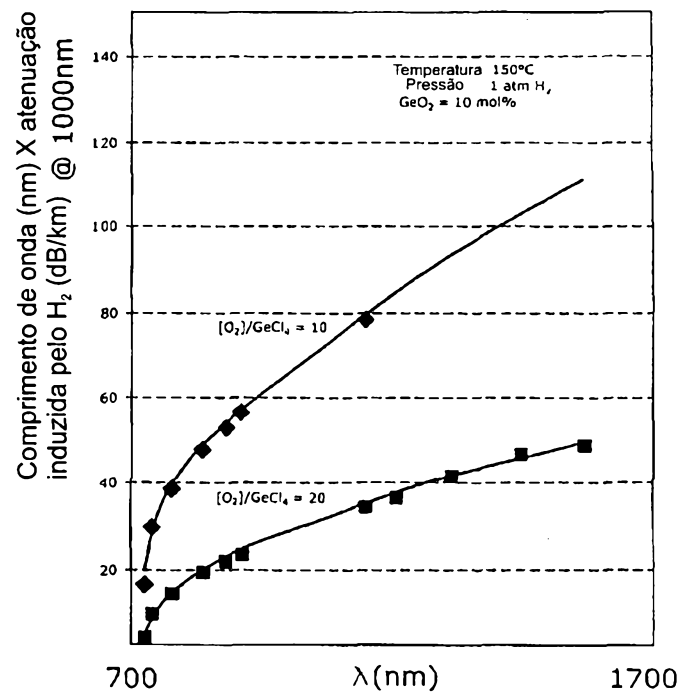


FIG. 4

FIG. 5

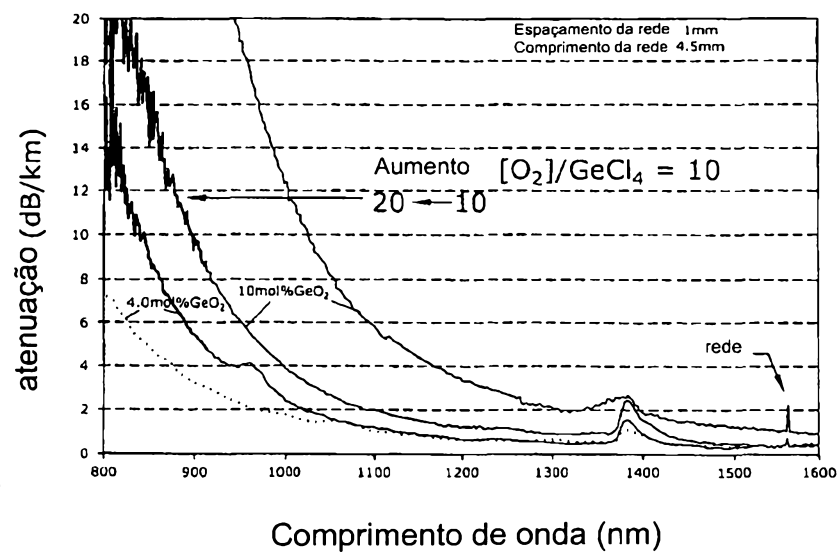


FIG. 6

