



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

(21) **PI0619501-6 A2**



* B R P I 0 6 1 9 5 0 1 A 2 *

(22) Data de Depósito: 08/12/2006
(43) Data da Publicação: 04/10/2011
(RPI 2126)

(51) *Int.Cl.:*
G02B 6/00

(54) **Título:** DISPOSIÇÃO ACÚSTICA DE FIBRA ÓPTICA DE ALTA DENSIDADE

(30) **Prioridade Unionista:** 09/12/2005 US 60/748,939

(73) **Titular(es):** Sabeus, Inc.

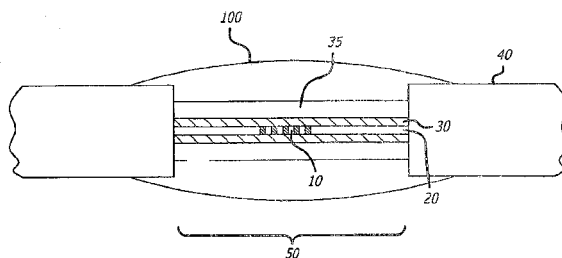
(72) **Inventor(es):** Eric Lee Goldner, Graham Martin, Kevin Ryu, Leo Lam

(74) **Procurador(es):** Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT US2006061812 de 08/12/2006

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/067988de 14/06/2007

(57) **Resumo:** DISPOSIÇÃO ACÚSTICA DE FIBRA ÓPTICA DE ALTA DENSIDADE. A presente invenção refere-se a um método para otimizar a arquitetura de uma disposição de sensor linear usando tecnologia WDM-TDM e para estabilizar o perfil espectral de reflexibilidade das grades Bragg de fibra dos sensores contra a influência dos fatores ambientais, tais como pressão e temperatura. O método inclui o descascamento de uma porção do revestimento esponjoso no exterior de uma fibra óptica na região da grating Bragg de fibra para afinar o revestimento na região da grating. Depois de o revestimento ser descascado e de a fibra óptica ser limpa, a área da fibra descascada é revestida com um plástico não provido de vazios.





PI0619501-6

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**DISPOSIÇÃO ACÚSTICA DE FIBRA ÓPTICA DE ALTA DENSIDADE**".

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se a disposições de sensores de fibra óptica que são usadas para detecção acústica dentro de certas aplicações como inspeção marítima e proteção de perímetro. Devido à alta sensibilidade e à faixa dinâmica tipicamente exigida para estas aplicações, sensores interferométricos são geralmente os instrumentos ópticos de escolha. As Grades Bragg de Fibra (FBGs) são amplamente usadas para prover as reflexões ópticas dentro dos interferômetros, especialmente na arquitetura de disposição de linha única de baixo custo simplificada recentemente desenvolvida, conforme mostrado em Process in Fiber Optic Acoustic and Seismic Sensing, Kirkendall e outros, Ata do 18^o Conferência de Sensor de Fibra Óptica, Cancun, México, outubro de 2006, o assunto da qual é aqui incorporado em sua totalidade para referência.

Como regra geral, o desempenho aperfeiçoado de tal sistema de disposição de linha única é obtido com o acréscimo de mais sensores ao sistema. Dentro de disposições rebocadas, a inclusão de mais sensores permite uma maior largura de faixa acústica e/ou ganho da disposição e média espacial de algumas fontes de ruído. Dentro de disposições estacionárias, o aumento do número de sensores na disposição resulta em uma maior resolução espacial. O uso de grandes números de sensores em uma disposição de sensor FBG é permitido pelo uso de uma combinação de Multiplexação por Divisão de Onda (WDM) e Multiplexação por Divisão de Tempo (TDM). Tais sistemas de multiplexação e os interrogadores exigidos para analisar a saída resultante de tais sistemas foram descritos por Kirkendall e outros em "Overview of high performance fibre-optic sensing", J. Phys. D: Appl. Phys, 37 (2004) R197-R216, o assunto do qual é aqui incorporado para referência em sua totalidade.

Entretanto, dois problemas tipicamente surgem no desenho de tais disposições. O primeiro problema é o de que as FBGs têm que ser especialmente empacotadas para limitar sua sensibilidade espectral às mu-

danças nas temperatura e pressão ambientes. Esta limitação é importante para assegurar que os espectros de reflexão da disposição permaneçam coincidentes com os comprimentos de onda da luz emitida pela fonte de laser. Tais sensores são tipicamente trabalhosos de serem fabricados, exigindo a junção e o empacotamento manuais, incluindo a montagem de mandris concêntricos e a vedação à pressão dos sensores, e similares.

O segundo problema com tais sensores é o fato de que, devido à disponibilidade de potência óptica limitada, à diafonia óptica entre os sensores e a configuração óptica elevada e às perdas de transmissão, as FBGs com reflexibilidades na ordem de 1-5% são usadas como refletores de interferômetro em disposições acústicas de sensor. Entretanto, o uso de tais FBGs resulta em poder incorporar números muito limitados de sensores por fibra por comprimento de onda. Tais sistemas são tipicamente limitados para incluir 1-4 sensores, e raramente podem incluir mais de 6 sensores sem experimentar uma perda significativa de sensibilidade devido à diafonia que resulta de múltiplas reflexões que limitam o ganho da disposição e degradam os resultados de processamento de disposição de faixa estreita.

Esta limitação é ilustrada pela seguinte análise. Para um sistema WDM-TDM híbrido incluindo uma disposição acústica linear, pode haver comprimentos de onda n_w com cada comprimento de onda servindo a n_s sensores. O número total de sensores N que formam a disposição é então:

$$N = n_w * n_s \quad \text{eq.1}$$

Para fins deste exemplo, um critério para diafonia aceitável entre os sensores de uma disposição N é fornecido, em unidades dB, por:

$$XT < -20\log(N-1) = -20*\log(n_w*n_s) \quad \text{eq. 2}$$

Entretanto, o nível máximo de diafonia óptica entre sensores em um sistema TDM de linha única com n_s sensores é fornecido por:

$$XT = 20*\log(\text{sqrt}((n_s-1)(2n_s-3/2))*R) \quad \text{eq. 3}$$

onde R é a reflexibilidade de cada FBG na disposição. A combinação das equações 2 e 3 acima produz a relação entre R e os parâmetros n_w e n_s :

$$1/R > (n_s*n_w)*\text{sqrt}((n_s-1)(2n_s-3/2)) \quad \text{eq. 4}$$

Como aquele versado na técnica irá imediatamente perceber, a

equação 4 pode ser solucionada para n_s em termos de R e n_w para encontrar o número máximo de sensores que pode ser servido por um único comprimento de onda. Os resultados de tais cálculos são apresentados nas Figuras 1 e 2.

5 Conforme pode ser visto na Figura 1, quando a reflexibilidade da FBG for de cerca de 1-3%, o número máximo de sensores por comprimento de onda por fibra será limitado a 1-4. Entretanto, se a reflexibilidade de FBG for limitada a aproximadamente 0,05%, este número rapidamente aumentará até 24 com $n_w > 3$. Isto grandemente simplifica as exigências de arquitetura
10 óptica, e, conseqüentemente, os custos de trabalho associados com a montagem da disposição.

11 Similarmente, a Figura 2 ilustra o número de sensores que pode ser incluído em uma disposição como uma função da reflexibilidade FBG, enquanto mantém um nível aceitável de diafonia entre os sensores. Como
15 na Figura 1, a limitação à reflexibilidade FBG em aproximadamente 0,5 ou menos significativamente aumenta o número de sensores que podem ser incluídos na disposição sem significativamente afetar a sensibilidade da disposição devido à diafonia entre os sensores.

Em uma típica aplicação, tal como uma disposição rebocada de
20 sensor, as disposições acústicas de sensor de fibra óptica são formadas pelo enrolamento de uma fibra óptica incluindo regiões nas quais são impressas as FBGs, em torno de um mandril ou núcleo, que é então envolvido em uma cobertura ou revestimento protetor para proteger a disposição durante o desdobramento e a retração. Em tal arranjo, as FBGs poderão ficar perma-
25 nentemente dobradas quando os sensores forem enrolados em torno dos raios na ordem de 12,7 mm (0,5 polegadas) de diâmetro.

As FBGs localizadas dentro da fibra óptica não revestida, isto é, a fibra que apresenta apenas uma jaqueta plástica fina de aproximadamente 50-100 microns de espessura formada de um material, tal como um acrilato,
30 tipicamente apresentam uma sensibilidade à pressão, medida em termos de deslocamento de comprimento de onda de seu pico espectral de reflexão, de aproximadamente $-4,3 \times 10^{-3}$ pm/kPa (-0,03 pm/psi), uma sensibilidade à

temperatura de aproximadamente 10-15pm/°C, e são geralmente um muito insensíveis aos esforços de flexão. Entretanto, para algumas aplicações de detecção acústica, a fibra é revestida com plástico provido de vazios antes da construção da disposição. Neste caso, a sensibilidade à pressão aumenta na ordem de 0,145 pm/kPa (1 pm/psi), a sensibilidade à temperatura aumenta na ordem de 30 pm/°C, e o esforço de flexão pode ser de algumas centenas de parte por milhão. Esta magnitude de perda de sensibilidade pode fazer com que a FBG seja inutilizável para aplicações de detecção interferométricas, onde o laser de interrogação tem que ter um comprimento de onda perto do centro do espectro de reflexão de FBG, e onde a disposição é exposta a temperaturas que variam de 0-35°C e pressões hidrostáticas de aproximadamente 103,4 a 2757,9 kPa (15 a 400 psi). Para endereçar esta perda de sensibilidade, o estado atual da técnica utiliza alojamentos especialmente projetados que isolam as FBGs da pressão e termicamente compensam a sensibilidade de temperatura, sendo também projetados para manter a FBG em uma condição não flexionada e, portanto, não tensionada. Entretanto, o custo dos materiais de empacotamento associados, o trabalho e o espaço podem ser significativos.

Portanto, existe a necessidade de uma fibra, até agora indisponível, contendo uma FBG com uma sensibilidade reduzida à flexão, à pressão e à temperatura, embora seja robusta e possa suportar uma manipulação bruta, que possa ser enrolada com a montagem de disposição de fibra, sem exigir empacotamento ou manipulação especial, realizando assim um desempenho aperfeiçoado com custo reduzido. A presente invenção cumpre estas e outras necessidades.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Em seu aspecto mais amplo, a presente invenção apresenta um método para simplificar a arquitetura WDM-TDM híbrida de uma disposição de sensor e reduzir o custo com a minimização do número de comprimentos de onda usados em uma disposição linear de um número fixo de sensores. Isto é conseguido com a formação de FBGs apresentando uma baixa reflexibilidade na fibra óptica e então com o revestimento da fibra para proteger

as FBGs de tal modo que elas possam ser flexionadas em torno de um mandril ou núcleo adequado sem inapropriadamente afetar adversamente a sensibilidade da disposição.

Em outro aspecto, a presente invenção apresenta um método para alterar o revestimento em uma fibra óptica incorporando FBGs para reduzir a sensibilidade da disposição de fibra óptica à flexão da fibra óptica, e para aperfeiçoar o desempenho acústico da disposição de fibra em permitindo o uso de FBGs de baixa reflexibilidade. Em vários aspectos, o método inclui o afinamento e a recobertura da fibra óptica na área das FBGs para alcançar estes aperfeiçoamentos.

Em outro aspecto, o método para aperfeiçoar o desempenho de uma grade de fibra óptica usada em uma disposição acústica inclui a remoção de um revestimento externo de uma porção de uma fibra óptica apresentando uma grade Bragg de fibra formada na mesma, e o revestimento da porção da fibra óptica onde o revestimento externo é removido com um material plástico não provido de vazios. Em outro aspecto, a remoção do revestimento externo inclui a imersão da porção de fibra óptica em um ácido, e, em ainda outro aspecto, a fibra é imersa em um banho de ácido onde o ácido está em uma maior temperatura, tal como 100°C. Em ainda outra concretização, o ácido é ácido sulfúrico.

Em um aspecto adicional da presente invenção, o método inclui a remoção de ácido residual da fibra óptica antes do revestimento da porção da fibra óptica onde o revestimento externo é removido com um material plástico não provido de vazios. Em ainda um aspecto adicional, o ácido é removido expondo a região descascada da fibra óptica a um solvente, tal como, por exemplo, álcool isopropílico. Em ainda outro aspecto, o álcool isopropílico é vibrado em frequências ultra-sônicas.

Outras características e vantagens da invenção se tornarão evidentes a partir da seguinte descrição detalhada, tomada em conjunção com os desenhos anexos que ilustram, por meio de exemplo, as características da invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é um gráfico que representa o número máximo de sensores que podem ser servidos por comprimento de onda como uma função da reflexibilidade da FBG e o número de comprimentos de onda usados.

5 A Figura 2 é um gráfico que representa o número total de sensores em uma disposição como uma função da reflexibilidade da FBG e o número de comprimentos de onda usados.

A Figura 3 é uma vista em seção transversal longitudinal de um comprimento de fibra óptica que inclui uma FBG incorporada em uma disposição de sensor linear.

10 A Figura 4 é uma vista em seção transversal longitudinal da fibra óptica da Figura 3 que ilustra a remoção de uma porção do revestimento externo da fibra óptica usando métodos de acordo com a presente invenção.

A Figura 5 é uma vista lateral do tanque, parcialmente em seção transversal, que ilustra uma concretização dos métodos da presente invenção usados para seletivamente remover a porção do revestimento externo da fibra óptica da Figura 4.

15 A Figura 6 é uma vista em seção transversal longitudinal da fibra óptica da Figura 3 que mostra a fibra depois da recobertura com um adesivo na área de remoção de revestimento para vedar a fibra óptica e prover proteção à fibra.

DESCRIÇÃO DETALHADA DAS CONCRETIZAÇÕES PREFERIDAS

Com referência agora aos desenhos em detalhes, nos quais numerais de referência indicam elementos similares ou correspondentes entre as diversas figuras, em uma concretização preferivelmente preferida, 25 uma fibra óptica que se destina ao uso em uma disposição acústica é revestida com um material plástico que é esponjoso para melhorar a sensibilidade acústica da fibra usando um processo de extrusão que permite que comprimentos muito longos de fibras, na ordem de quilômetros, sejam revestidos em um processo rápido e de baixo custo. Este processo, contudo, resulta em 30 uma disposição de sensor óptico que apresenta uma sensibilidade inadequada às mudanças na pressão, na temperatura ou na flexão, isto é, a tensão da fibra.

A simples remoção de todo o revestimento nas proximidades das FBGs que formam a disposição do sensor incorporada na fibra óptica reduz a magnitude das sensibilidades acima mencionadas, embora apresente diversos problemas. Primeiro, o material plástico espesso que é tipicamente usado para revestir a fibra óptica é difícil de ser removido da fibra óptica usando métodos mecânicos, tais como uma lâmina afiada ou outra ferramenta de descascar, ou métodos térmicos, tal como, por exemplo, fusão ou carbonização controlada do revestimento, sem ruptura da fibra. Em segundo lugar, muitas fibras ópticas também incluem cobertura ou outras jaquetas ou revestimentos internos necessários da fibra. Desse modo, a remoção de todo o revestimento plástico irá provavelmente também remover estas outras camadas, deixando assim o vidro suscetível à fratura induzida pela presença de água e/ou vapor d'água. Em terceiro lugar, a remoção de todo o revestimento plástico nas proximidades da FBG cria regiões de esforço à flexão significativo nas divisas da região descascada que deixam a fibra vulnerável à ruptura, aumentando a probabilidade de falha mecânica nessas localizações. As várias concretizações da presente invenção impedem estes problemas com a remoção de revestimento externo de plástico usando um processo rápido, repetível e de baixo custo que preserva os parâmetros críticos das FBGs e da fibra, tais como a resistência à tração e a flexibilidade da fibra.

A Figura 3 representa uma estrutura típica de uma fibra óptica incluindo uma FBG formada dentro da fibra que é usada em uma disposição de sensor, tal como é contemplado aqui. Conforme mostrado, a FBG 10 é tipicamente formada no núcleo 20 da fibra óptica, que é circundada por pelo menos uma camada de cobertura ou protetora 30. As camadas de núcleo e de cobertura são, por sua vez, circundadas por um núcleo esponjoso 35 que é protegido pela coberta protetora 40 que pode ser formada, conforme mencionado acima, a partir de um material plástico rijo que é escolhido tanto para proteger a fibra óptica encerrada dentro como também para prover as características de engenharia e estruturais necessárias, tal como resistência à água ou aos produtos químicos, resistência à tração, resistência à flexão e

similares, conforme determinado pelas exigências de desempenho do uso esperado da fibra óptica. Aqueles versados na técnica irão entender que a estrutura da fibra óptica representada na Figura 3 foi simplificada para fins de ilustração, e que outras estruturas podem também ser incluídas entre a
5 coberta externa e a própria fibra óptica para prover resistência, propriedades acústicas ou outras propriedades, conforme necessário, para que a disposição de sensor de fibra tenha uma execução satisfatória em uma determinada aplicação.

Em uma concretização da presente invenção, conforme representado na Figura 4, uma pequena seção 50 da coberta ou revestimento-
10 protetor da fibra óptica é removida da fibra nas proximidades da FBG 10 sobre um comprimento, por exemplo, que se estende a 25,4 – 50,8 mm (1-2 polegadas) além da divisa externa da FBG 10. A remoção da coberta ou revestimento reduz a rigidez da montagem da fibra óptica na área de FBG.

15 Em uma concretização atualmente preferida, a remoção da coberta ou revestimento é conseguida usando uma solução concentrada de ácido sulfúrico em uma temperatura elevada acima da temperatura ambiente, tipicamente em uma temperatura de aproximadamente 100°C. Conforme representado na Figura 5, para remover o revestimento, a montagem de fi-
20 bra 60 é dobrada em uma forma de "U" muito rasa, com a FBG 10 centralizada no fundo do "U" (mostrado sombreado). Este segmento da montagem de fibra 60 é então imerso em um banho 70 contendo ácido sulfúrico aquecido 80 em uma velocidade lenta definida, até que um comprimento predeterminado da montagem de fibra 60 fique imerso abaixo do nível de superfície
25 90 do ácido sulfúrico 80, sendo depois removido na mesma velocidade. A camada superficial rija da coberta ou revestimento de plástico esponjoso, criada como parte do processo de extrusão da montagem de fibra, e algumas centenas de microns da porção de espuma do revestimento são removidas. A velocidade de imersão e remoção da montagem de fibra será de-
30 pendente da composição da coberta ou revestimento e do núcleo esponjoso do revestimento, e da quantidade de núcleo de espuma que se deseja remover.

Depois da remoção do ácido, a região descascada 50 (Figura 4) da fibra é limpa usando um solvente ou solução de limpeza adequada, tal como, por exemplo, álcool isopropílico. A etapa de limpeza pode ser realizada usando uma variedade de técnicas, embora a limpeza ultra-sônica seja atualmente preferida. Este processo assegura a completa remoção do ácido sulfúrico para (1) impedir o descascamento imediato adicional, e (2) impedir que o ácido residual cause o descascamento adicional de longa duração do revestimento plástico. O resultado do processo de descascamento é uma cobertura ou revestimento 40 cuja espessura total suavemente se afila entre a localização onde o descascamento começa e a localização da FBG 10.

Finalmente, conforme ilustrado na Figura 6, uma camada fina de adesivo de poliuretano 100, tal como um poliuretano não provido de vazios ou outro plástico, é aplicada sobre a região descascada 50, incluindo a área que circunda a FBG 10. Esta camada de adesivo assegura uma boa vedação contra água ou outros contaminantes. A camada adesiva 100 é mostrada como ligeiramente sobreposta às divisas da região descascada 50 para fins de ilustração. Na prática, tal sobreposição seria minimizada para assegurar uma espessura total relativamente uniforme da montagem de fibra de modo a impedir qualquer interferência com o desdobramento ou a retração da montagem de fibra.

O tratamento de pós-revestimento das FBGs com adesivo também assegura uma sensibilidade FBG reduzida à flexão, pressão e temperatura, embora assegure que não haja nenhuma descontinuidade repentina nas dimensões ou rigidez do revestimento da fibra que pudesse de outro modo ser localizações para falha. O resultado é uma fibra contendo uma FBG que apresenta uma menor sensibilidade à temperatura e à pressão e que é também muito robusta contra manipulação, e pode ser enrolada com o restante da fibra durante a montagem de disposição, sem qualquer outro empacotamento especial ou manipulação exigida.

As várias concretizações da invenção solucionam assim os problemas descritos acima por meio da incorporação das seguintes abordagens novas do desenho pelo fato de prover uma fibra apresentando uma sensibili-

dade reduzida à flexão, permitindo que a fibra de detecção seja enrolada em uma estrutura acusticamente não-responsiva, e de permitir o uso de FBGs de baixa reflexibilidade ($\sim 0,05\%$), o que permite o uso de mais FBGs por comprimento de onda.

- 5 Enquanto diversas formas específicas da invenção foram ilustradas e descritas, tornar-se-á evidente que várias modificações podem ser formadas sem se afastar do espírito e escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para aperfeiçoar o desempenho de uma grade de fibra óptica usada em uma disposição acústica, que compreende:

5 a remoção de um revestimento externo de uma porção de uma fibra óptica apresentando uma grade Bragg de fibra formada na mesma;

o revestimento da porção da fibra óptica onde o revestimento externo é removido com um material plástico não-provido de vazios.

10 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, no qual a remoção do revestimento externo inclui a imersão da porção de fibra óptica em um ácido.

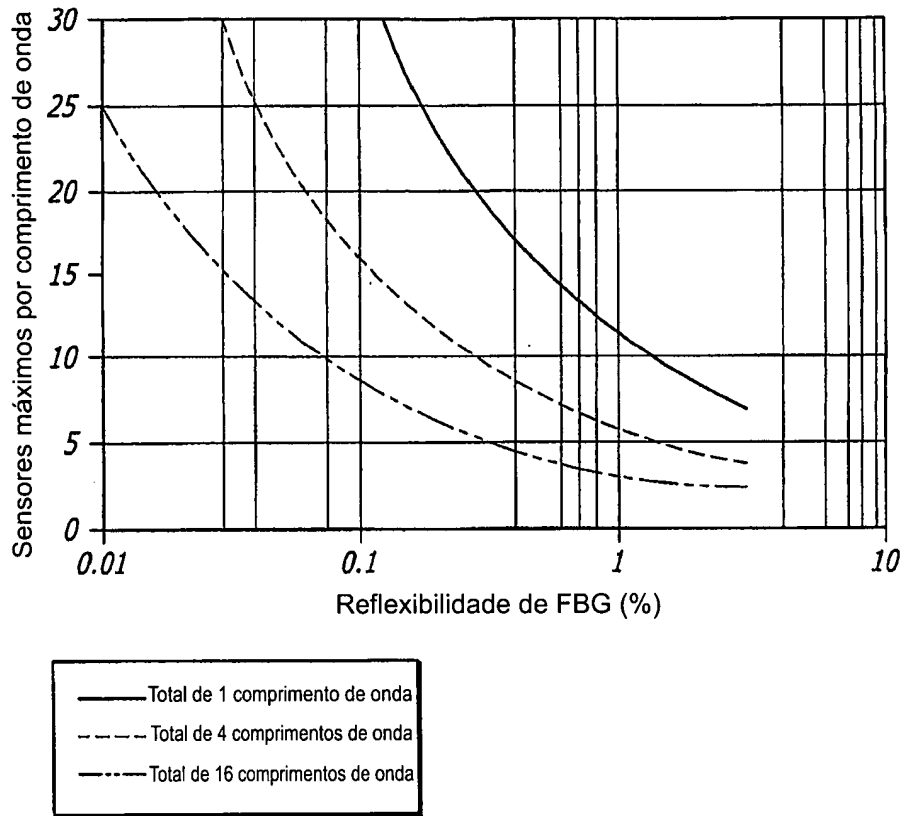
3. Método, de acordo com a reivindicação 2, que adicionalmente compreende a remoção do ácido residual da fibra óptica antes do revestimento da porção da fibra óptica onde o revestimento externo é removido com um material plástico não-provido de vazios.

15 4. Método, de acordo com a reivindicação 1, no qual o revestimento externo da fibra óptica é um material plástico esponjoso.

5. Produto formado pelo processo como definido na reivindicação 1.

20 6. Método de fabricação de uma disposição de sensor linear apresentando uma arquitetura WDM-TDM híbrida, que compreende:

25 a provisão de uma disposição de sensor apresentando um número total fixo de sensores, cada sensor incluindo uma FBG apresentando uma reflexibilidade que é otimizada para permitir que um número mínimo de comprimentos de onda seja usado sem reduzir o desempenho da disposição de sensor.

*FIG. 1*

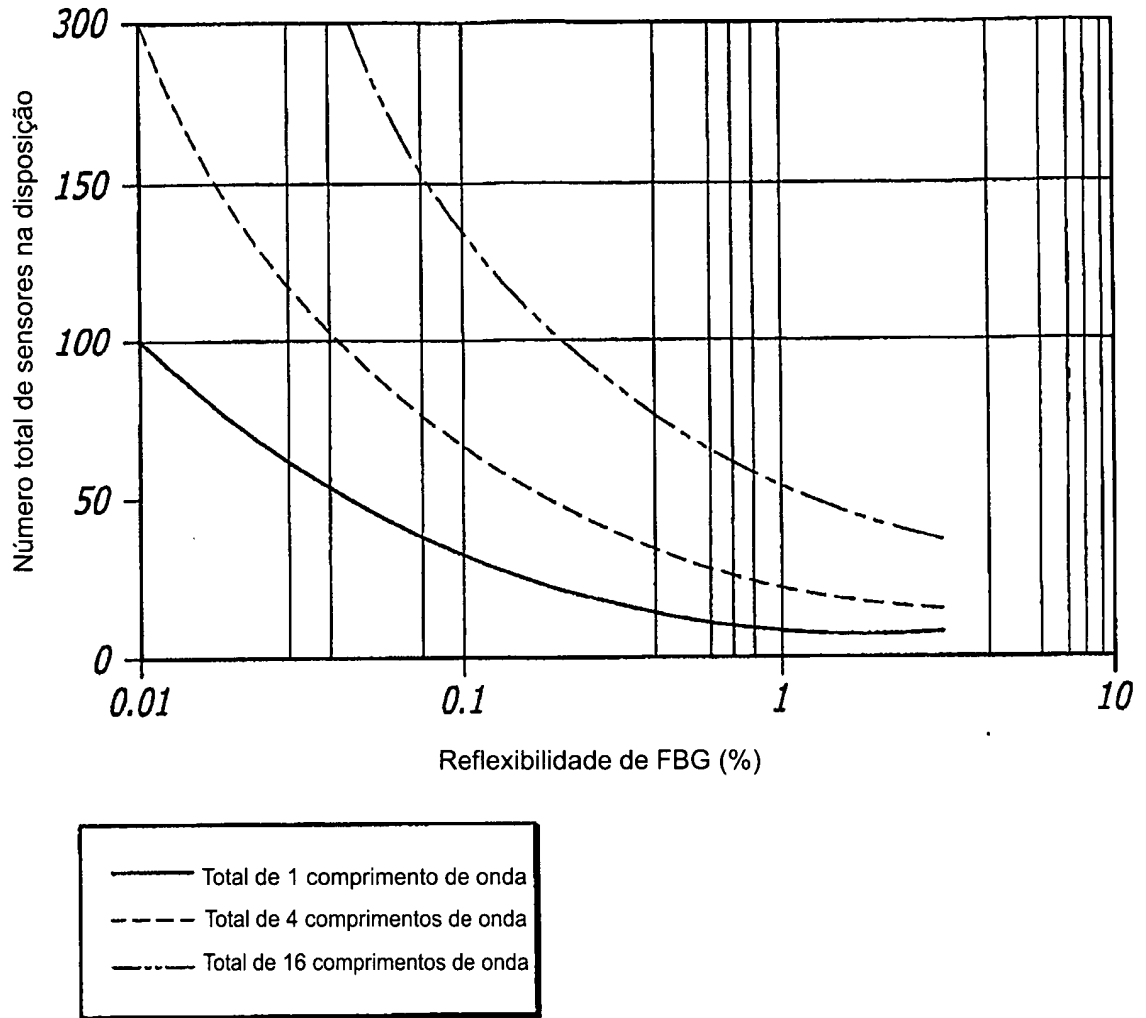


FIG. 2

FIG. 3

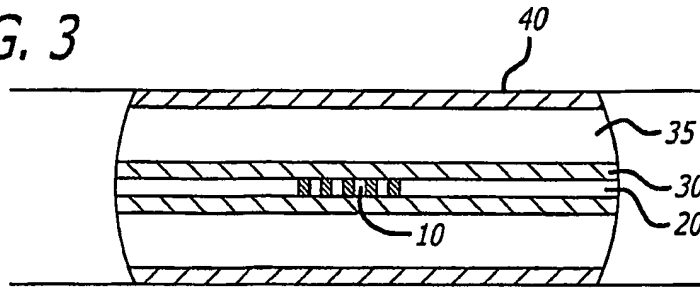


FIG. 4

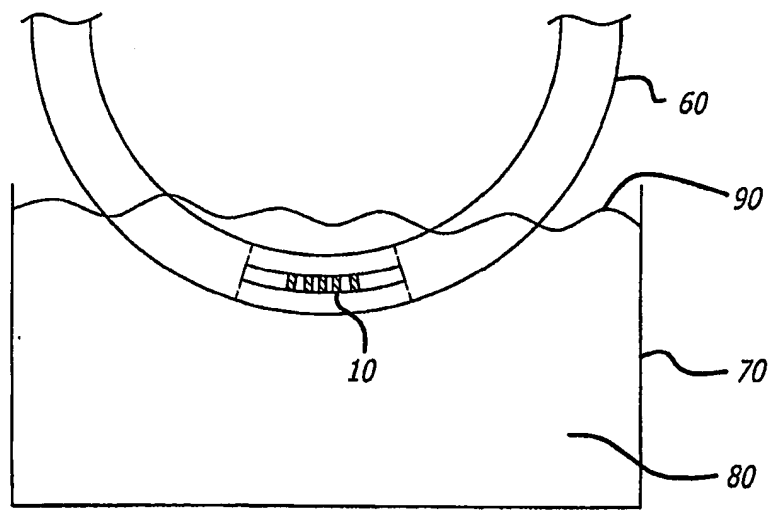
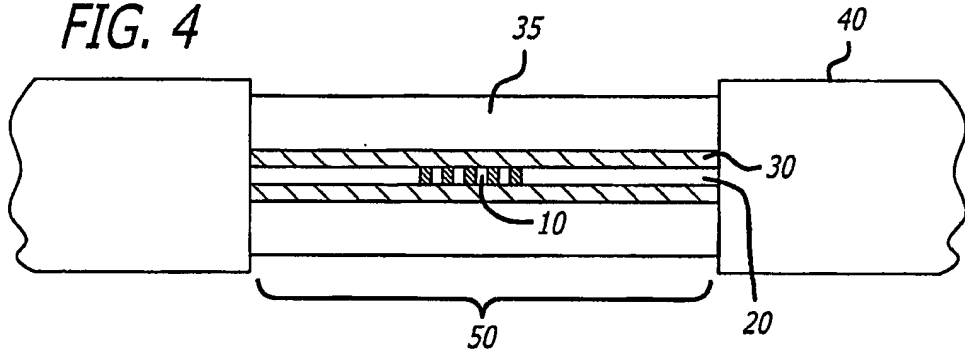


FIG. 5

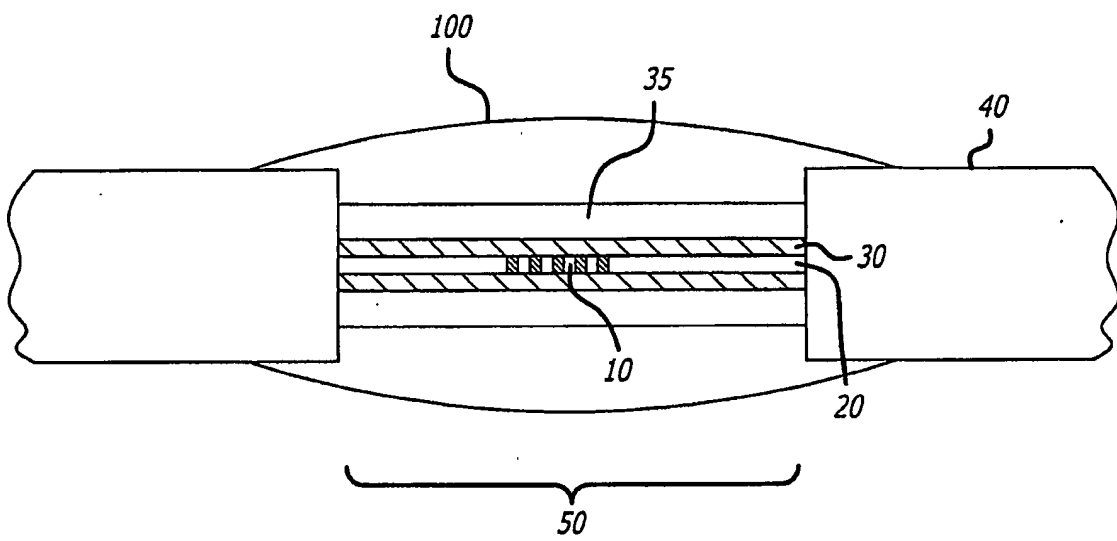


FIG. 6

P10619501-6

RESUMO

Patente de Invenção: "**DISPOSIÇÃO ACÚSTICA DE FIBRA ÓPTICA DE ALTA DENSIDADE**".

5 A presente invenção refere-se a um método para otimizar a arquitetura de uma disposição de sensor linear usando tecnologia WDM-TDM e para estabilizar o perfil espectral de reflexibilidade das grades Bragg de fibra dos sensores contra a influência dos fatores ambientais, tais como pressão e temperatura. O método inclui o descascamento de uma porção do revestimento esponjoso no exterior de uma fibra óptica na região da grating
10 Bragg de fibra para afinar o revestimento na região da grating. Depois de o revestimento ser descascado e de a fibra óptica ser limpa, a área da fibra descascada é revestida com um plástico não provido de vazios.