



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

(21) **PI 0712574-7 A2**

(22) Data de Depósito: 18/05/2007  
(43) Data da Publicação: 21/11/2012  
(RPI 2185)



(51) *Int.Cl.:*  
G01L 11/02  
G01L 1/24

(54) **Título:** SENSOR DE PRESSÃO DE FIBRA ÓPTICA DE MÚLTIPLOS NÚCLEOS

(30) **Prioridade Unionista:** 02/06/2006 US 11/445.765

(73) **Titular(es):** Baker Hughes Incorporated

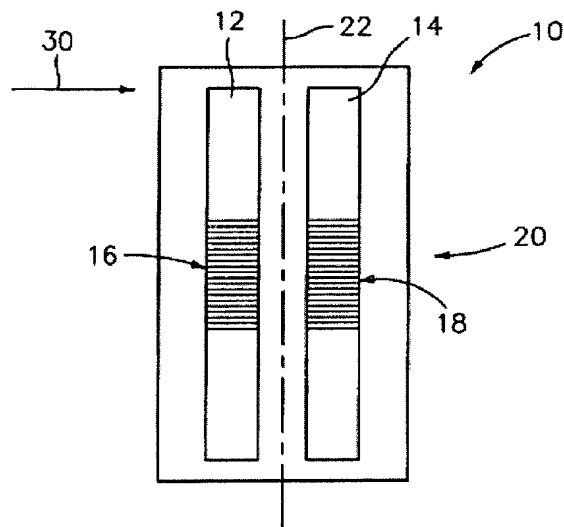
(72) **Inventor(es):** Brooks Childers

(74) **Procurador(es):** Orlando de Souza

(86) **Pedido Internacional:** PCT US2007069206 de 18/05/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/143368de 13/12/2007

(57) **Resumo:** SENSOR DE PRESSÃO E MÉTODO DE DETECÇÃO DE PRESSÃO. Um sensor de pressão de fibra óptica de núcleo múltiplo é descrito, cujo sensor inclui uma fibra óptica que tem pelo menos dois núcleos, onde os núcleos têm porções de medição co-localizadas, por exemplo, interferômetros em fibra ou porções de Rede de Bragg. Em uma modalidade de exemplo, a fibra é disposta de modo que uma força induzida por pressão atue sobre a fibra de núcleo múltiplo na referida posição co-localizada, afetando os núcleos de guia de luz de uma maneira diferente. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra óptica é configurada para se flexionar em resposta a mudanças de pressão.



## **SENSOR DE PRESSÃO E MÉTODO DE DETECÇÃO DE PRESSÃO**

### **ANTECEDENTES**

Os sensores de pressão de fibra ótica, particularmente aqueles utilizados em ambientes severos, tais como ambientes de poço abaixo, predominantemente são importunados por mudanças de temperatura e fontes de deriva. Assim, quando uma medição é tentada, é requerido que sensores adicionais tentem compensar essas mudanças de temperatura e a deriva da medição. Por exemplo, dois sensores de pressão poderiam ser empregados próximos um do outro, tendo características de sensor diferentes (por exemplo, respostas diferentes ao parâmetro indesejado), e cálculos podem ser feitos em uma tentativa de eliminação do efeito do parâmetro sobre a medição (efetivamente em uma tentativa de isolamento do parâmetro de interesse, por exemplo, efeitos de temperatura no ponto de interesse).

Embora isto pareça ser uma boa solução, as condições nos dois sensores devem ser exatas para a eliminação de forma acurada das influências do parâmetro indesejado. Também, a necessidade de configuração e de passagem de múltiplos sensores em cada ponto de interesse de medição pode ser tediosa e dispendiosa.

O que é necessário na técnica é uma solução simples, de baixo custo para a eliminação das mudanças de temperatura e fontes de deriva em sensores de pressão de fibra ótica.

### **SUMÁRIO**

Os problemas descritos acima e outros e deficiências da técnica anterior são suplantados e aliviados pelo sensor de pressão de fibra ótica de núcleo múltiplo presentemente

descrito, o qual inclui uma fibra ótica que tem pelo menos dois núcleos, onde os núcleos têm porções de medição co-localizadas, por exemplo, interferômetros em fibra ou porções de rede de Bragg. Em uma modalidade de exemplo, a fibra é disposta de modo que uma força induzida por pressão atue sobre a fibra de núcleo múltiplo afetando as porções de medição co-localizadas de uma maneira diferente. Em uma outra modalidade de exemplo, esse arranjo faz com que uma rede esteja sob compressão e uma outra esteja sob tração. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra é atuada por um fole ou diafragma sensível à pressão. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra é atuada por uma força normal ao eixo geométrico da fibra. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra é atuada de forma assimétrica ao longo de um eixo geométrico longitudinal da fibra.

Em outras modalidades de exemplo, porções diferentes da fibra de núcleo múltiplo são projetadas para reagirem diferentemente a uma pressão, e núcleos de guia de luz nas porções de medição co-localizadas são configurados para a detecção de pressão. Em uma modalidade de exemplo, a fibra contém um núcleo de módulo mais baixo próximo de um primeiro núcleo de guia de luz e um núcleo de módulo mais alto próximo de um segundo núcleo de guia de luz. A provisão da fibra de núcleo múltiplo e a reação diferencial da pressão às porções de fibra contendo os núcleos de módulo mais baixo e mais alto, respectivamente, nas porções de medição dos múltiplos núcleos, eliminam mudanças de temperatura ou fontes de deriva que de outra forma poderiam afetar as medições. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra de núcleo múltiplo compreende pelo menos dois núcleos

que têm a mesma dopagem. Em uma outra modalidade, pelo menos dois núcleos são refletivos para o mesmo comprimento de onda.

Em outras modalidades de exemplo, uma pressão de referência atua sobre uma fibra de núcleo múltiplo além de uma pressão de furo de poço (ou de outra aplicação). Nessa modalidade, a fibra de núcleo múltiplo contém pelo menos dois núcleos de guia de luz providos em uma relação espacial diferente em relação a um núcleo oco. O núcleo oco atua como uma ancoragem causando reações diferentes induzidas por pressão com respeito aos núcleos de guia de luz.

Os recursos discutidos acima e outros e vantagens do sensor de pressão de fibra ótica de núcleo múltiplo presentemente descrito serão apreciadas e entendidas por aqueles versados na técnica a partir da descrição detalhada a seguir e dos desenhos.

#### BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Com referência, agora, aos desenhos, onde elementos iguais são numerados de forma igual nas várias FIGURAS:

a FIGURA 1 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo utilizando Redes de Bragg a uma mesma distância ao longo da fibra;

a FIGURA 2 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo atuada por uma haste de comando e por um fole;

a FIGURA 3 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo atuada por uma haste de comando e por um diafragma;

a FIGURA 4 é uma vista plana em seção transversal de

uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo atuada de foram assimétrica por uma haste de comando e por um diafragma;

a FIGURA 5 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo atuada por uma  
5 pressão de poço;

a FIGURA 6 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo que tem núcleos e núcleos de guia de luz de módulo diferente;

a FIGURA 7 é uma vista plana em seção transversal de  
10 uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo atuada por pressões de poço e de referência; e

a FIGURA 8 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo que tem um núcleo oco de ancoragem e núcleos de guia de luz.

#### 15 DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES DE EXEMPLO

Uma referência será feita, agora, em detalhes, a modalidades de exemplo, cujos exemplos são ilustrados nos desenhos associados.

Com referência, agora, à FIGURA 1, uma vista plana em  
20 seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo é ilustrada geralmente em 10. Um primeiro núcleo 12 e um segundo núcleo 14 incluem porções de rede de Bragg 16,  
18 em uma mesma porção de medição, mostrada geralmente em 20, em relação a um eixo geométrico longitudinal, ilustrado  
25 pela linha 22, da fibra 10.

As porções de rede 16 e 18 podem ser escritas nos núcleos por qualquer forma e em qualquer momento. Contudo, na modalidade de exemplo, as porções de rede 16 e 18 são foto-atacadas quimicamente nos núcleos 12 e 14 durante uma  
30 formação de fibra. Mais especificamente, as porções de rede

são escritas durante o processo de estiramento e antes da aplicação de um revestimento de proteção. Nessa modalidade de exemplo, os sensores co-localizados são particularmente insensíveis a fatores de deriva, uma vez que todas as porções de rede co-localizadas derivarão em conjunto.

Também, embora a modalidade de exemplo acima descreva o uso de redes de Bragg, deve ser reconhecido que outras estruturas úteis para a leitura dessas fibras podem ser usadas, tais como interferômetros em fibra, difusor de Rayleigh e estruturas foto-atacadas quimicamente randômicas, dentre outras, desde que porções de medição co-localizadas sejam providas na fibra.

Com referência, agora, à FIGURA 2, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo 10 é ilustrada em um sistema projetado para atuar a fibra por uma haste de comando 24 e por um fole 26. A haste de comando 24 se estende a partir do fole normalmente contra a fibra de núcleo múltiplo, a qual é provida em um alojamento de meio isolado 28. O fole 26 responde a uma mudança de pressão para fazer com que a haste de comando 24 flexione a fibra 10.

Com referência de volta à FIGURA 1, é notado que a haste de comando 24 e o fole 26 são um mecanismo de exemplo para a provisão de uma força induzida por pressão sobre a fibra ilustrada pela seta 30. Essa força 30 flexiona a fibra 10, colocando a rede 16 de exemplo sob tração e a rede 18 de exemplo sob compressão. Medições diferenciais nos núcleos 12 e 14 podem ser feitas, então, para a detecção da mudança de pressão. É notado que não apenas os fatores de deriva são eliminados, devido à natureza co-

localizada das porções de medição de núcleo (por exemplo, redes escritas durante uma formação de fibra em múltiplos núcleos em uma fibra de núcleo múltiplo), mas efeitos de temperatura também são eliminados, devido à natureza do sistema de núcleo múltiplo. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra de núcleo múltiplo compreende pelo menos dois núcleos que têm a mesma dopagem, para a minimização de reações diferenciais à pressão. Em uma outra modalidade, pelo menos dois núcleos são refletivos para o mesmo comprimento de onda.

Com referência, agora, à FIGURA 3, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo 10 é ilustrada como sendo atuada por uma haste de comando 24 e por um diafragma 32. Além de usar o diafragma 32, ao invés do fole 26, a operação do sistema de sensor co-localizado é idêntica àquela descrita acima com respeito à FIGURA 2. Deve ser notado que qualquer mecanismo efetivo para a transmissão de uma força representativa de uma pressão contra a fibra é contemplado aqui, as modalidades de fole e de haste de comando e de diafragma e de haste de comando sendo meramente de exemplo.

Com referência, agora, à FIGURA 4, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo 10 é ilustrada como sendo atuada de forma assimétrica por uma haste de comando 24 e por um diafragma. Deve ser reconhecido que qualquer tipo de atuação sobre a fibra pode ser realizada, desde que as porções de medição de núcleo (20 na FIGURA 1) de núcleos 12 e 14 sejam afetadas de forma diferencial por uma força representativa de uma mudança de pressão.

Com referência, agora, à FIGURA 5, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo 34 é ilustrada como sendo atuada por uma pressão de poço, ilustrada geralmente em 36 como atuando sobre a fibra de núcleo múltiplo 34 dentro do alojamento de meio isolado 28. Com referência, agora, à FIGURA 6, nesta modalidade de exemplo, a fibra de núcleo múltiplo 34 inclui núcleos de guia de luz 12 e 14, bem como um núcleo de módulo baixo 38 e um núcleo de módulo alto 40. Conforme a pressão de poço 36 atua sobre a fibra 34, o núcleo de módulo baixo 38 e o núcleo de módulo alto 40 reagem diferentemente, fazendo com que a fibra 34 se flexione. Esta flexão de modo conforme afeta os núcleos de guia de luz 12 e 14 diferentemente (note que os núcleos 12 e 14 devem ser dispostos dentro da fibra de modo que eles se flexionem diferentemente em relação aos efeitos de razões de núcleo de módulo baixo e alto a uma pressão), e a pressão pode ser calculada independentemente de efeitos de temperatura e de fatores de deriva. Também, embora uma provisão de núcleos de módulo baixo e de módulo alto tenha sido descrita com respeito a esta modalidade de exemplo, qualquer construção de fibra que faça com que a fibra se deforme sob pressão é contemplada, incluindo, por exemplo, um núcleo único (provido pelo menos parcialmente ao longo da porção de medição de núcleo) tendo um módulo diferente dos núcleos de guia de luz e tendo um espaçamento diferente com respeito aos núcleos 12 e 14. Também, os termos "módulo baixo" e "módulo alto" são meramente indicativos de uma diferença no módulo dos dois núcleos, e não têm por significado necessariamente implicarem em uma diferença de propriedades

de módulo entre os dois núcleos 38 e 40.

Com referência, agora, à FIGURA 7, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo de exemplo 42 é ilustrada como sendo atuada por pressões de poço e de referência, ilustradas geralmente em 36 e 44, respectivamente. Um alojamento de meio isolado 46 é provido sobre a fibra 42 e inclui um selo de pressão 48, que separa as zonas de pressão de poço e de referência. Com referência, agora, à FIGURA 8, a fibra 34 inclui núcleos de guia de luz 12 e 14, os quais são espaçados diferentemente em relação a um núcleo oco 50. O núcleo 50 se estende a partir da zona de pressão de poço 36 até a zona de pressão de referência 38, e causa uma deformação da fibra 34, devido à diferença de pressão entre a zona de pressão de referência e a zona de pressão de poço. Devido ao espaçamento diferencial dos núcleos 12 e 14 em relação ao núcleo oco 50, a flexão afetará os núcleos de guia de luz 12 e 14 diferentemente, e a mudança na pressão na zona de pressão de poço 36 poderá ser medida.

Será evidente para aqueles versados na técnica que, embora modalidades de exemplo tenham sido mostradas e descritas, várias modificações e variações podem ser feitas nas modalidades mostradas aqui, sem que se desvie do conceito inventivo ou do escopo da invenção. Assim sendo, é para ser entendido que as várias modalidades foram descritas a título de ilustração e não de limitação.

**REIVINDICAÇÕES**

1. Sensor de pressão **caracterizado** por compreender:

uma fibra ótica que compreende uma pluralidade de núcleos de guia de luz, onde pelo menos dois núcleos de  
5 guia de luz incluem porções de medição ótica co-localizadas,

onde a fibra ótica é configurada para se flexionar em resposta a uma mudança na pressão ambiental incidente no sensor de pressão,

10 onde pelo menos dois núcleos de guia de luz são posicionados dentro da fibra ótica, de modo que eles sejam afetados de forma diferencial pela flexão da fibra ótica, e

onde a fibra ótica é configurada de modo que uma interrogação das porções de medição ótica co-localizadas  
15 com luz gere uma medição de pressão de temperatura e deriva corrigidas.

2. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por ainda compreender um dispositivo de atuação configurado para flexionar a fibra ótica em  
20 resposta a uma mudança de pressão ambiental.

3. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato da fibra ótica ser posicionada dentro de um alojamento de meio isolado.

4. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 2,  
25 **caracterizado** pelo fato do dispositivo de atuação ser uma haste de comando atuada por um fole ou diafragma.

5. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato do dispositivo de atuação geralmente atuar normalmente sobre a fibra em relação a um  
30 eixo geométrico longitudinal da fibra.

6. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato do dispositivo de atuação atuar ao longo de ou próximo de um eixo geométrico longitudinal da fibra para carregamento de forma assimétrica da fibra.

5 7. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato da fibra ótica ser configurada para flexão, em resposta a uma mudança na pressão ambiental.

8. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato da fibra ótica ainda compreender um  
10 núcleo de módulo baixo e um núcleo de módulo alto.

9. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato da fibra ótica ser posicionada dentro de um alojamento de meio isolado que tem uma zona representativa de pressão ambiental.

15 10. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato da fibra ótica ainda compreender um núcleo oco que se estende entre uma zona de pressão ambiental e uma zona de pressão de referência.

11. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação  
20 10, caracterizado pelo fato da fibra ser posicionada dentro de um alojamento de meio isolado que tem um selo de pressão entre as zonas de pressão ambiental e de pressão de referência.

12. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação  
25 1, caracterizado pelo fato de haver pelo menos dois núcleos que têm a mesma dopagem.

13. Sensor de pressão, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de pelo menos dois núcleos serem refletivos para ao mesmo comprimento de onda.

30 14. Método de detecção de pressão caracterizado por

compreender:

a instalação, em um ponto de interesse, de uma fibra ótica que compreende uma pluralidade de núcleos de guia de luz, onde pelo menos dois núcleos de guia de luz incluem  
5 porções de medição ótica co-localizadas,

a configuração da fibra ótica para flexão em resposta a uma mudança na pressão ambiental incidente no sensor de pressão, de modo que pelo menos dois núcleos de guia de luz sejam afetados de forma diferencial pela flexão da fibra  
10 ótica, e

a interrogação das porções de medição ótica co-localizadas com luz para a geração de uma medição de pressão de temperatura corrigida.

15 15. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por compreender a flexão da fibra ótica com um dispositivo de atuação configurado para se mover, em resposta a uma mudança de pressão ambiental.

20 16. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender a flexão da fibra ótica em um alojamento de meio isolado.

17. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender a flexão da fibra ótica com uma haste de comando atuada sobre um fole ou diafragma.

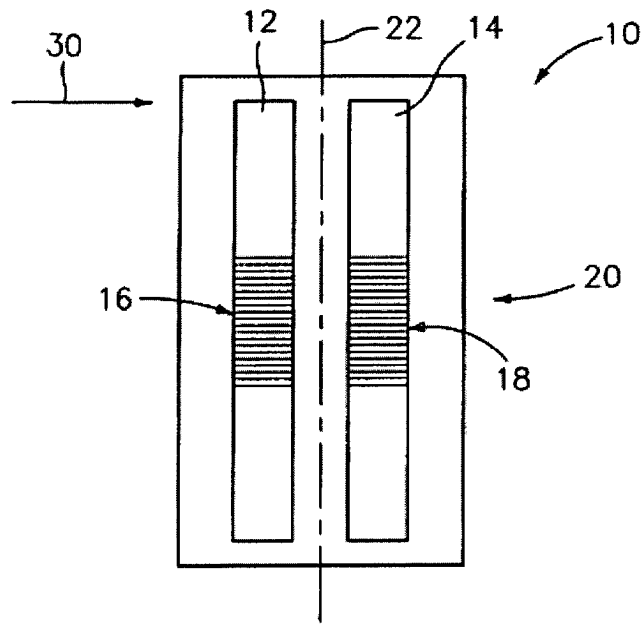
25 18. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender a flexão da fibra ótica em uma direção normal em relação a um eixo geométrico longitudinal da fibra.

30 19. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado por compreender o

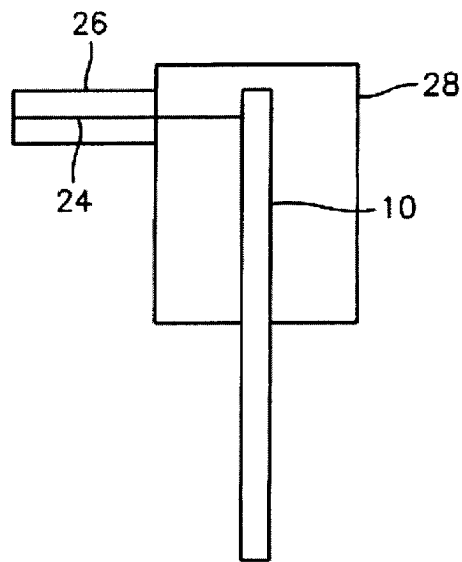
carregamento de forma assimétrica da fibra ao empurrar a fibra ao longo de ou próximo de um eixo geométrico longitudinal da fibra.

5 20. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por compreender a flexão da fibra pela exposição da fibra a uma pressão ambiente, onde a fibra é configurada para se flexionar em resposta a uma mudança na pressão ambiental.

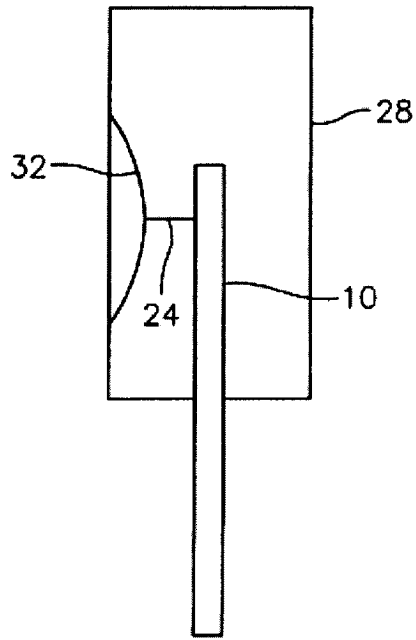
10 21. Método de detecção de pressão, de acordo com a reivindicação 14, caracterizado por compreender a flexão da fibra pela exposição da fibra a uma pressão de referência e a uma pressão ambiental, onde a fibra é configurada para se flexionar em resposta a uma mudança na pressão ambiental.



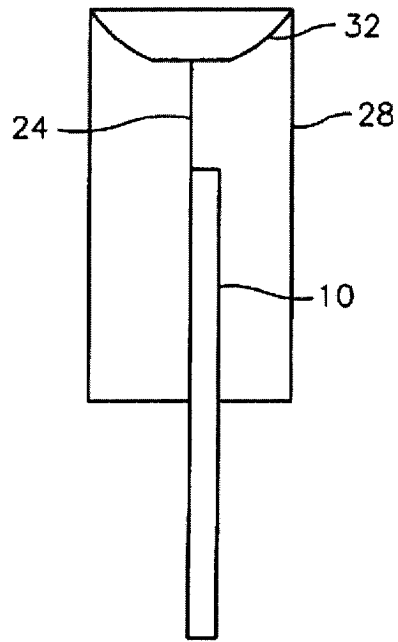
*FIG. 1*



*FIG. 2*



**FIG. 3**



**FIG. 4**

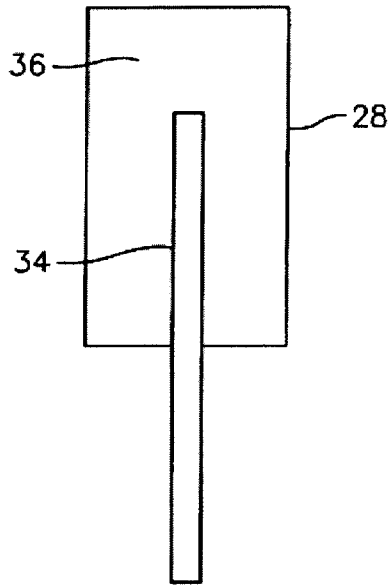


FIG. 5

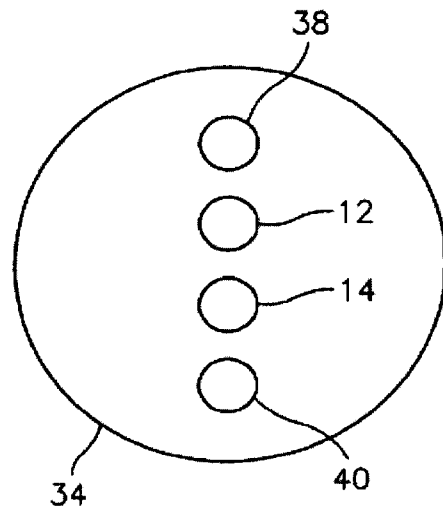


FIG. 6

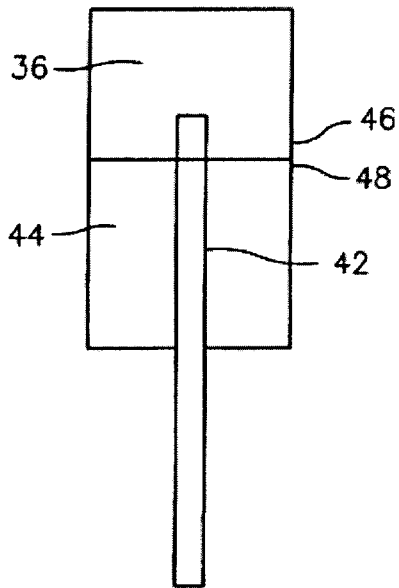


FIG. 7

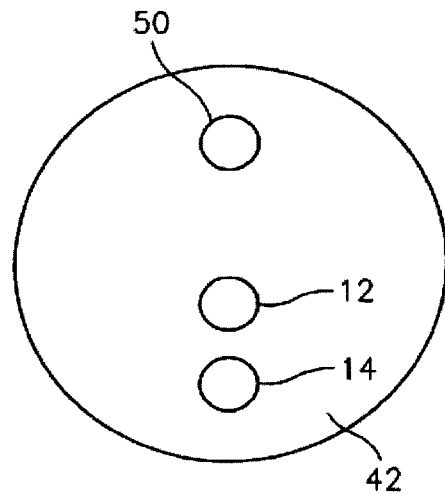


FIG. 8

RESUMO**SENSOR DE PRESSÃO E MÉTODO DE DETECÇÃO DE PRESSÃO**

Um sensor de pressão de fibra ótica de núcleo múltiplo é descrito, cujo sensor inclui uma fibra ótica que tem pelo menos dois núcleos, onde os núcleos têm porções de medição co-localizadas, por exemplo, interferômetros em fibra ou porções de Rede de Bragg. Em uma modalidade de exemplo, a fibra é disposta de modo que uma força induzida por pressão atue sobre a fibra de núcleo múltiplo na referida posição co-localizada, afetando os núcleos de guia de luz de uma maneira diferente. Em uma outra modalidade de exemplo, a fibra ótica é configurada para se flexionar em resposta a mudanças de pressão.