



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

(11) PI 0712541-0 B1

(22) Data do Depósito: 18/05/2007

(45) Data de Concessão: 12/06/2018



(54) Título: SENSOR DE FIBRA ÓPTICA E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DO MESMO

(51) Int.Cl.: G01D 3/036; G01D 5/353; G01L 9/00

(30) Prioridade Unionista: 07/06/2006 US 11/448,475

(73) Titular(es): BAKER HUGHES INCORPORATED

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

SENSOR DE FIBRA ÓPTICA E MÉTODO DE FABRICAÇÃO DO MESMO

FUNDAMENTOS

Sensores de fibra ótica, especificamente aqueles utilizados em ambientes inóspitos, tais como ambientes de
5 cavidades de poços, são predominantemente afetados por alterações indesejadas de parâmetros (por exemplo, mudanças de temperatura para um sensor de pressão) e fontes de desvio. Sendo assim, quando se tem tentado fazer uma medição, sensores adicionais têm sido exigidos para tentar
10 compensar tais alterações indesejadas de parâmetros e desvio de medição. Por exemplo, dois sensores de pressão podem ser empregados próximos um do outro com características diferentes de sensores (isto é, respostas diferentes ao parâmetro indesejado), e cálculos podem ser
15 feitos em uma tentativa de eliminar o efeito do parâmetro na medição (efetivamente em uma tentativa de isolar o parâmetro de interesse, por exemplo, efeitos de temperatura no ponto de interesse).

Embora isto possa parecer ser uma boa solução, as
20 condições nos dois sensores devem ser exatas para eliminar com precisão as influências do parâmetro indesejado. Além disso, a necessidade de ajustar e acionar sensores múltiplos em cada ponto de medição de interesse pode ser tediosa e dispendiosa.

25 O que é necessário na técnica é uma solução simples, de baixo custo para eliminação de alterações indesejadas de parâmetros e fontes de desvio em sensores de fibra ótica.

SUMÁRIO

O descrito acima e outros problemas e deficiências do
30 estado da técnica são superados e atenuados pelo sensor de

fibra ótica de núcleo múltiplo presentemente descrito, o qual inclui uma fibra ótica com pelos menos dois núcleos, onde os núcleos possuem porções de medição ordenadas, por exemplo, interferômetros em-fibras, porções de treliça
5 Bragg ou estruturas fotogravadas aleatórias. Em uma modalidade exemplificativa, as porções de medição são gravadas dentro dos núcleos múltiplos durante formação da fibra. Em outra modalidade exemplificativa, as porções de medição são gravadas dentro dos núcleos durante o processo
10 de estiramento e antes de aplicação do revestimento protetor.

Em uma modalidade exemplificativa, a fibra é arrumada de modo que uma força atuará na fibra de núcleo múltiplo afetando as porções de medição ordenadas de uma maneira
15 diferente. Tal força pode ser uma força aplicada em resposta a uma mudança ambiental (por exemplo, um diafragma que atua contra a fibra em resposta a uma mudança de pressão), ou tal força pode ser diretamente responsiva à mudança ambiental (por exemplo, a mudança de formato da
20 fibra resultante da mudança de formato de uma mola ou invólucro de perfuração de cavidade do poço). Em outra modalidade exemplificativa, tal arranjo faz com que uma treliça fique em compressão e outra fique em tensão.

Em outras modalidades exemplificativas, porções
25 diferentes da fibra de núcleo múltiplo são projetadas para reagir diferentemente à pressão, e núcleos de guia de luz nas porções de medição ordenadas são configurados para detectar a pressão. Em uma modalidade exemplificativa, a fibra contém um núcleo de módulo inferior próximo a um
30 primeiro núcleo de guia de luz e um núcleo de módulo

superior próximo a um segundo núcleo de guia de luz. A provisão da fibra de núcleo múltiplo e da reação diferencial da pressão para as porções de fibra que contém os núcleos de módulo inferior e superior, respectivamente, nas porções de medição dos núcleos múltiplos, elimina mudanças de temperatura ou fontes de desvio que possam afetar de outra forma as medições.

Em outras modalidades exemplificativas, uma pressão de referência age sobre uma fibra de núcleo múltiplo além de uma pressão de orifício de poço (ou outra aplicação). Em tal modalidade, a fibra de núcleo múltiplo contém pelo menos dois núcleos de guia de luz posicionados em relação espacial diferente em relação a um núcleo oco. O núcleo oco age como uma porta provocando diferentes reações induzidas por pressão em relação aos núcleos de guia de luz.

Em outra modalidade exemplificativa, uma fibra de núcleo múltiplo é colocada sobre uma superfície ou em um dispositivo de interesse de modo que mudança em formato da superfície ou dispositivo atuará sobre a fibra de núcleo múltiplo afetando as porções de medição ordenadas de uma maneira diferente. Em outra modalidade exemplificativa, a reflectometria de domínio ótico é utilizada com a fibra de núcleo múltiplo para propiciar medições distribuídas e detecção de formato em diversos pontos de interesse.

O acima discutido e outras características e vantagens do sensor de fibra ótica de núcleo múltiplo presentemente descrito serão percebidos e entendidos por aqueles versados na técnica a partir da descrição detalhada e desenhos a seguir.

30 BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

Em relação agora aos desenhos, onde elementos similares são numerados de forma similar nas diversas FIGURAS:

5 a FIGURA 1 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa que utiliza Treliças Bragg em uma mesma distância ao longo da fibra;

a FIGURA 2 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa acionada por uma haste de pressão e foles;

10 a FIGURA 3 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa acionada por uma haste de pressão e diafragma;

a FIGURA 4 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa
15 assimetricamente acionada por uma haste de pressão e diafragma;

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

20 a FIGURA 6 é uma vista em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa que possui diferentes núcleos de módulo e núcleos de guia de luz;

a FIGURA 7 é uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa acionada por
25 pressões de poço e de referência; e

a FIGURA 8 é uma vista em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa que possui um núcleo de porta oco e núcleos de guia de luz.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES EXEMPLIFICATIVAS

30 Será feita referência agora em detalhe a modalidades

exemplificativas, exemplos dos quais são ilustrados nos desenhos em anexo.

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

As porções de treliça 16 e 18 podem ser gravadas nos núcleos por qualquer forma e em qualquer momento. Contudo, em uma modalidade exemplificativa, as porções de treliça 16 e 18 são fotogravadas em núcleos 12 e 14 durante formação de fibra. Em uma modalidade exemplificativa, as porções de treliça são gravadas durante o processo de estiramento e antes da aplicação de um revestimento protetor. Em tal modalidade exemplificativa, os sensores colocados são especificamente insensíveis a fatores de tração uma vez que todas as porções de treliça colocadas farão tração juntas.

Além disso, enquanto a modalidade exemplificativa acima descreve o uso de treliças Bragg, deveria ser reconhecido que outras estruturas úteis para ler tais fibras podem ser utilizadas, tais como interferômetros em-fibra, difusores Rayleigh e estruturas fotogravadas aleatórias, dentre outros, desde que porções de medição ordenadas sejam propiciadas na fibra.

Com relação agora à FIGURA 2, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa 10 é ilustrada em um sistema projetado para acionar a fibra por uma haste de pressão 24 e foles 26. A

haste de pressão 24 se estende a partir dos foles normalmente contra a fibra de núcleo múltiplo, a qual é propiciada em invólucro isolado de meios 28. O fole 26 é responsivo a uma mudança de pressão para fazer com que a
5 haste de pressão 24 misture a fibra 10.

Com relação novamente à FIGURA 1, observa-se que a haste de pressão 24 e foles 26 é um mecanismo exemplificativo para propiciar a força induzida por pressão sobre a fibra ilustrada pela seta 30. Tal força 30 dobra a
10 fibra 10, colocando a treliça exemplificativa 16 em tensão e a treliça exemplificativa 18 em compressão. Podem ser realizadas medições diferenciais nos núcleos 12 e 14 para detectar a mudança de pressão. Observa-se que não apenas fatores de desvio são eliminados devido à natureza ordenada
15 das porções de medição de núcleo (por exemplo, treliças gravadas durante formação de fibra em núcleos múltiplos de uma fibra de núcleo múltiplo), porém efeitos de temperatura também são eliminados devido à natureza do sistema de núcleo múltiplo.

20 Com relação agora à FIGURA 3, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa 10 é ilustrada como sendo acionada por uma haste de pressão 24 e um diafragma 32. Outro uso que não seja o do diafragma 32 ao invés dos foles 26, a operação do
25 sistema de sensor ordenado é idêntica àquela descrita acima com relação à FIGURA 2. Deveria ser observado que qualquer mecanismo eficaz para transmitir uma força representativa de pressão contra a fibra é contemplado aqui, as modalidades de fole e haste de pressão e diafragma e haste
30 de pressão sendo meramente exemplificativas.

Com relação agora à FIGURA 4, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa 10 é ilustrada como sendo assimetricamente acionada por uma haste de pressão 24 e diafragma. Deveria ser reconhecido que qualquer tipo de acionamento da fibra pode ser realizado, desde que as porções de medição de núcleo (20 na FIGURA 1) dos núcleos 12 e 14 são diferentemente afetadas por uma força representativa de uma mudança de pressão.

Com relação agora à FIGURA 5, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa 34 é ilustrada como sendo acionada por pressão de poço, ilustrada genericamente em 36 como agindo sobre a fibra de núcleo múltiplo 34 dentro do alojamento isolado de meios 28. Com referência agora à FIGURA 6, nesta modalidade exemplificativa, a fibra de núcleo múltiplo 34 inclui núcleos de guia de luz 12 e 14, bem como um núcleo de módulo inferior 38 e um núcleo de módulo superior 40. À medida que a pressão de poço 36 age sobre a fibra 34, o núcleo de módulo inferior 38 e o núcleo de módulo superior 40 reagem de forma diferente, fazendo com que a fibra 34 dobre. Esta dobra conseqüentemente afeta os núcleos de guia de luz 12 e 14 de forma diferente (observe-se que os núcleos 12 e 14 deveriam ser posicionados dentro da fibra de modo que os mesmos dobrassem de forma diferente em relação aos efeitos das reações de núcleo de módulo inferior e superior à pressão), e a pressão pode ser calculada independente de efeitos de temperatura e fatores de desvio. Além disso, embora a provisão de núcleos de módulo inferior e módulo superior tenha sido descrita com

relação a esta modalidade exemplificativa, qualquer construção de fibra que faça a fibra deformar sob pressão é contemplada, incluindo, por exemplo, um núcleo único (propiciado pelo menos ao longo da porção de medição de
5 núcleo) que possua um módulo diferente dos núcleos de guia de luz e que possua um espaçamento diferente com relação aos núcleos 12 e 14. Além disso, os termos "módulo inferior" e "módulo superior" são meramente indicativos de uma diferença nos módulos dos dois núcleos, e não se
10 destinam necessariamente a implicar uma diferença grande em propriedades de módulo entre os dois núcleos 38 e 40.

Com relação agora à FIGURA 7, uma vista plana em seção transversal de uma fibra de núcleo múltiplo exemplificativa 42 é ilustrada como sendo acionada por
15 pressões de poço e de referência, ilustradas genericamente em 36 e 44, respectivamente. Um alojamento de meios isolados 46 é propiciado sobre a fibra 42 e inclui uma vedação de pressão 48, que separa as zonas de pressão de poço e de referência. Em relação agora à FIGURA 8, a fibra
20 34 inclui núcleos de guia de luz 12 e 14, que são espaçadas de forma diferente em relação a um núcleo oco 50. O núcleo oco 50 se estende da zona de pressão de poço 36 até a zona de pressão de referência 38, e provoca deformação da fibra 34 devido à diferença em pressão entre a zona de pressão de
25 referência e a zona de pressão de poço. Devido ao espaçamento diferencial dos núcleos 12 e 14 em relação ao núcleo oco 50, o dobramento afetará os núcleos de guia de luz 12 e 14 de forma diferente, e a mudança em pressão na zona de pressão de poço 36 pode ser medida.

30 Com relação agora à FIGURA 9, uma fibra de núcleo

múltiplo exemplificativa 20 é colocada sobre uma superfície 52 ou em um dispositivo de interesse de modo que a mudança em formato da superfície 52 ou dispositivo agirá sobre a fibra de núcleo múltiplo 20 que afeta as porções de medição ordenadas de uma maneira diferente. Mais especificamente, a fibra 20 pode ser posicionada de modo que uma mudança em formato da superfície 52 afete de forma diferente as porções de medição ordenadas 16 e 18 (por exemplo, porção de medição de colocação 16 em tensão e porção de medição de colocação 18 em compressão).

Em outras modalidades exemplificativas, a reflectometria de domínio ótico é utilizada com a fibra de núcleo múltiplo para propiciar medições distribuídas, por exemplo, para sentir formato, em diversos pontos de interesse, conforme é descrito no Pedido de Patente U.S. No. de Série 11/180.389, depositado em 13 de julho de 2005, cujos conteúdos inteiros são especificamente incorporados aqui mediante referência.

Em outra modalidade exemplificativa, tal fibra ótica de núcleo múltiplo é fixada ao ponto de interesse, por exemplo, uma mola ou invólucro de perfuração, a fim de monitorar formato absoluto e mudança de formato. Tal arranjo pode de outra forma utilizar reflectometria de domínio de frequência ótica e, por exemplo, sensores, tanto à base de treliça de Bragg quanto difusor Rayleigh, para monitorar formato de fibra. Quando utilizado em um orifício de poço, pode ser utilizado para verificar formato de orifício de poço sobre todo o orifício de poço de cavidade ou sobre regiões isoladas com medidas que sejam insensíveis a temperatura e outros mecanismos de desvio (como com os

arranjos de sensor descritos acima). Tal arranjo seria também menos sensível a tensões devido ao processo de cabeamento, uma vez que todos os núcleos seriam também afetados de uma maneira similar. O uso de tal fibra de núcleo múltiplo também elimina a necessidade de interpretar tensões de invólucro e, por conseguinte, é menos propensa a erros em medições e modelos mecânicos de invólucro. Isto também elimina a necessidade de entender a fixação ao invólucro com relação à transferência de tensão.

Ficará evidente àqueles versados na técnica que, embora modalidades exemplificativas tenham sido mostradas e descritas, diversas modificações e variações podem ser feitas às modalidades descritas aqui sem se afastar do espírito e âmbito da invenção. Conseqüentemente, deve ser entendido que as diversas modalidades foram descritas a título de ilustração e não limitação.

REIVINDICAÇÕES

1. Sensor ótico de fibra, **caracterizado** por compreender:

uma fibra ótica (10, 34, 42) que compreende uma pluralidade de núcleos de guia de luz (12, 14) , em que pelo menos dois núcleos de guia de luz (12, 14) incluem porções de medição ótica ordenadas (16, 18),

um mecanismo (24, 36; 24, 32) configurado para aplicar uma força na referida fibra ótica (10, 34, 42) em resposta ao parâmetro ambiental incidente no referido sensor de fibra ótica,

em que a fibra ótica (10, 34, 42) é configurada para dobrar em resposta à força aplicada pelo referido mecanismo à referida fibra ótica (10, 34, 42),

em que os pelos menos dois núcleos de guia de luz (12, 14) são posicionados dentro da referida fibra ótica (10, 34, 42) de modo que os mesmos sejam afetados de forma diferente pelo referido dobramento da referida fibra ótica (10, 34, 42), e

em que a referida fibra ótica é configurada de modo que a interrogação das referidas porções de medição ótica (16, 18) ordenadas com luz gere uma primeira medição de parâmetro ambiental detectado corrigido de temperatura e desvio.

2. Sensor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da referida fibra ótica (10, 34, 42) ser posicionada sobre uma superfície de dispositivo ou dentro de um dispositivo.

3. Sensor, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato da referida fibra ótica (10, 34, 42) ser configurada para dobrar em resposta a uma mudança em

pressão ambiental.

4. Sensor, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato da referida fibra ótica (10, 34, 42) ser configurada para dobrar em resposta a uma mudança em
5 formato do dispositivo ou da superfície de dispositivo.

5. Sensor, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato da referida fibra ótica (10, 34, 42) ser configurada para medir posição e formato do dispositivo ou da superfície de dispositivo com um refletor de referência
10 de banda larga posicionado em uma relação operável às porções de medição ótica ordenadas (16, 18), onde comprimentos de trajetória ótica são estabelecidos para as porções de medição ótica ordenadas (16, 18), e com um reflectômetro de domínio de frequência posicionado em uma relação operável aos núcleos
15 de fibra ótica.

6. Sensor, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato da referida fibra ótica (10, 34, 42) ser fixada à mola de perfuração ou invólucro de um orifício de poço e ser configurada para monitorar formato absoluto e
20 mudança de formato.

7. Sensor, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato das porções de medição ótica ordenadas (16, 18) compreenderem treliças Bragg ordenadas.

8. Sensor, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato das referidas porções de medição
25 ótica ordenadas (16, 18) compreenderem interferômetros em-fibra ou estruturas fotogravadas aleatórias.

9. Método para fabricar um sensor ótico de fibra, o sensor conforme definido na reivindicação 1, **caracterizado**
30 pelo fato de compreender:

gravar uma primeira porção de medição (16) em um primeiro núcleo ótico (12) em uma fibra ótica (10, 34, 42) em uma primeira posição ao longo do comprimento do referido primeiro núcleo ótico;

5 gravar uma segunda porção de medição (18) em um segundo núcleo ótico (14) relativo de forma colocada à referida primeira porção de medição (16) na referida fibra ótica (10, 34, 42);

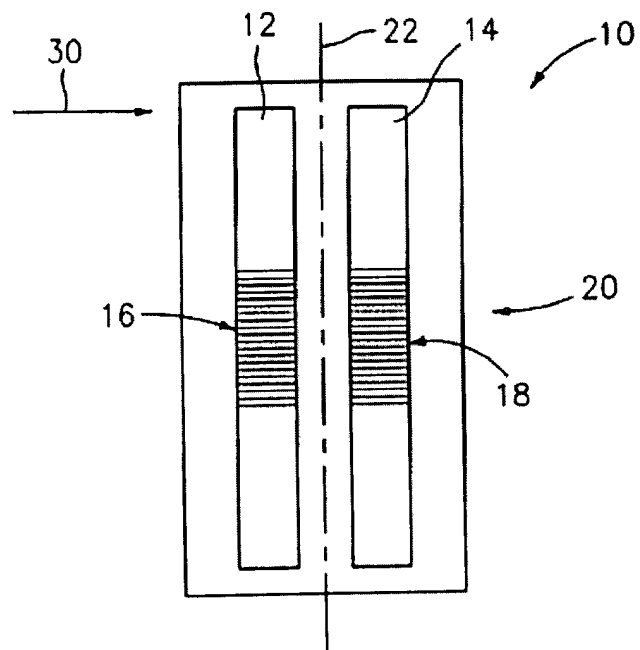
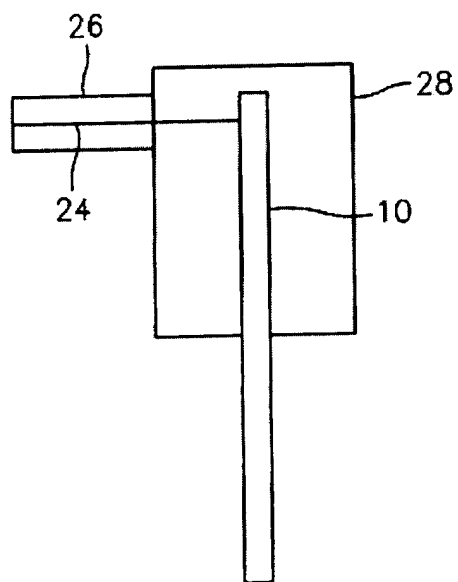
em que as referidas primeira e segunda porções de
10 medição (16, 18) são gravadas durante formação de fibra do sensor ótico de fibra.

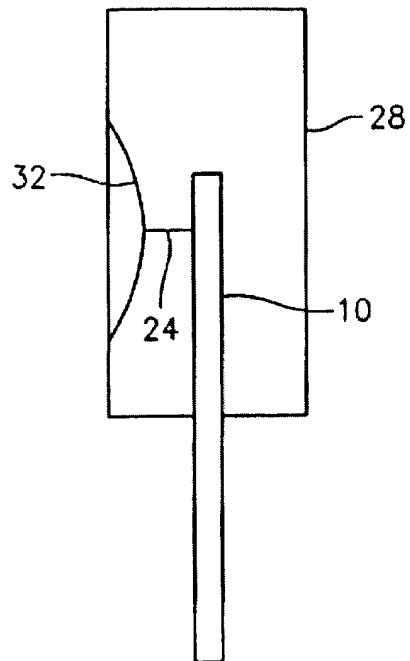
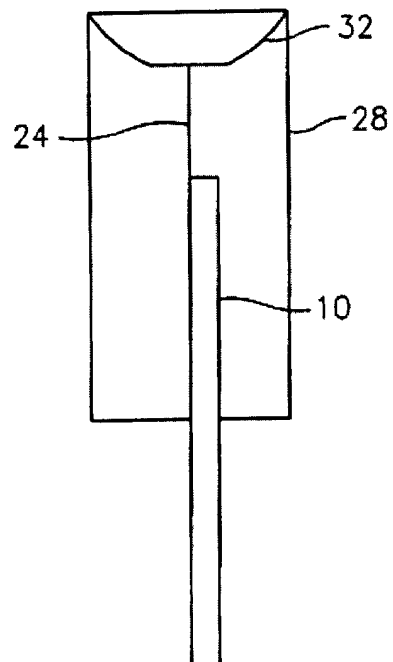
10. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato das referidas primeira e segunda porções (16, 18) serem gravadas durante desenho da fibra
15 ótica (10, 34, 42).

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado** pelo fato das referidas primeira e segunda porções de medição (16, 18) serem gravadas antes da aplicação de uma porção protetora em torno dos referidos primeiro e
20 segundo núcleos óticos.

12. Método, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de pelo menos uma das referidas primeira e segunda porções de medição (16, 18) compreenderem uma treliça Bragg, um interferômetro em-fibra ou uma
25 estrutura fotogravada aleatória.

13. Método, de acordo com a reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato das referidas primeira e segunda porções de medição (16, 18) compreenderem uma treliça Bragg, interferômetros em-fibra ou estruturas fotogravadas
30 aleatórias.

*FIG. 1**FIG. 2*

*FIG. 3**FIG. 4*

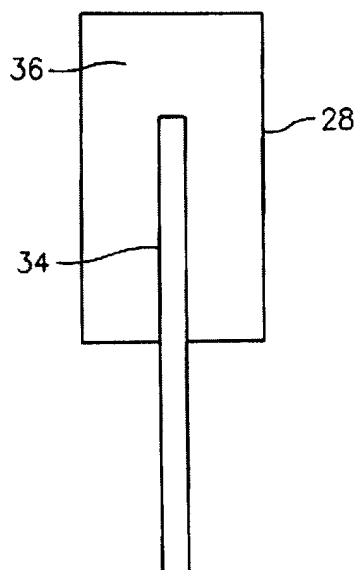


FIG. 5

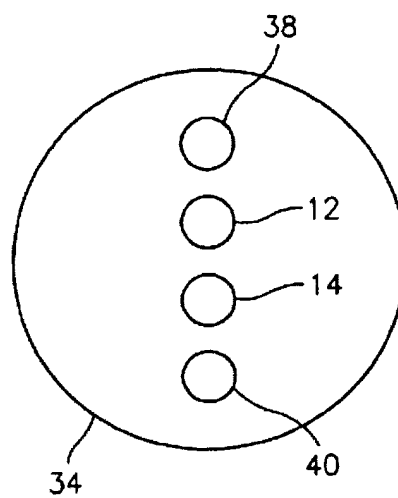


FIG. 6

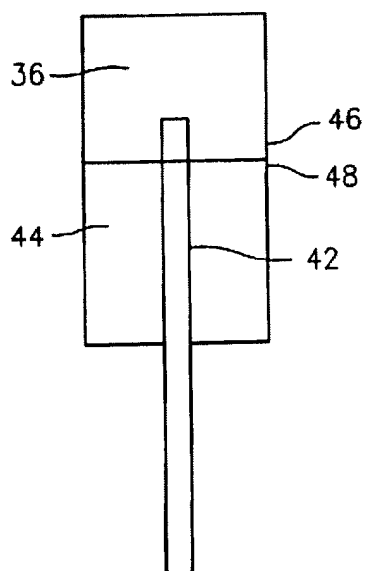


FIG. 7

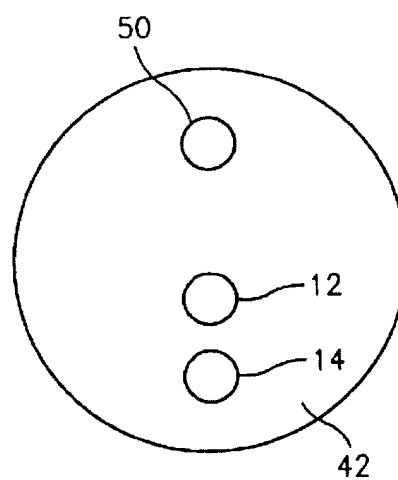


FIG. 8