



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

(11) PI 0607535-5 B1

(22) Data do Depósito: 26/04/2006

(45) Data de Concessão: 13/03/2018



(54) Título: SENSOR DISTRIBUÍDO DE FIBRA ÓPTICA APERFEIÇOADO, REVERSÍVEL, DE BAIXO CUSTO E COM ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

(51) Int.Cl.: G01N 21/77; G02B 6/25; G02B 6/26; G02B 6/30; G02B 6/34; G02B 6/42

(30) Prioridade Unionista: 28/04/2005 US 60/676,121

(73) Titular(es): CLAUDIO OLIVEIRA EGALON

(72) Inventor(es): CLAUDIO OLIVEIRA EGALON; CLAUDIO OLIVEIRA EGALON

TÍTULO: SENSOR DISTRIBUÍDO DE FIBRA ÓPTICA APERFEIÇOADO.
REVERSÍVEL, DE BAIXO CUSTO E COM ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

ANTECEDENTES: CAMPO DA INVENÇÃO

- 5 [01] A presente invenção refere-se, em geral, a sensores espectroscópicos de fibra óptica. Especificamente, esta invenção se relaciona a sensores baseados em absorção, fluorescência, fosforescência e quimiluminescência.

ANTECEDENTES: ESTADO DA TÉCNICA ANTERIOR

- 10 [02] Sensores espectroscópicos de fibra óptica são utilizados em várias aplicações industriais para a detecção de temperatura e análitos químicos em forma líquida ou gasosa. Estes sensores foram desenvolvidos utilizando duas configurações distintas: a do optrodo (ou optodo) e a do sensor distribuído.

- [03] O optrodo é o sensor de fibra óptica mais simples de todos. Peterson et al.,
15 patente Americana No. 4,200,110, expõe um indicador químico, localizado na face distal de uma fibra, que é excitado por uma fonte de luz localizada na face proximal. A luz de excitação viaja pela fibra até a face distal e interage com o indicador produzindo um sinal de luz espectroscópico (de fluorescência, fosforescência, quimiluminescência e/ou de absorção). O sinal viaja de volta à face proximal da
20 fibra aonde ele é coletado por um detector e correlacionado com o parâmetro de medição. Neste caso, a fibra não possui qualquer região sensível ao longo da mesma e é utilizada apenas como um canal para a luz a qual se propaga, sem qualquer perturbação, em direção ao indicador químico e de volta, em direção oposta, à face proximal. Para fazer medidas ao longo da fibra, é necessário instalar
25 sensores adicionais resultando em um sistema complexo.

- [04] No caso do sensor distribuído, a fibra inteira, ou seções da mesma, atua como um sensor. Em um caso, a fibra pode ser fabricada com um único revestimento sensível ao parâmetro que está sendo medido. Em um outro caso, se remove várias seções originais do revestimento da fibra para expor o núcleo da mesma. Em
30 seguida, as regiões expostas do núcleo são recobertas com um agente sensível ao parâmetro de medição, frequentemente tendo um índice de refração semelhante ao do revestimento. Em ambos os casos, se pode sondar estas regiões sensíveis com uma luz de excitação. A fibra resultante, além de guiar a luz, também possui

múltiplos pontos sensores, e atua como um sensor quase distribuído. Visto que o optrodo requer vários filamentos de fibra óptica para fazer medidas espaciais múltiplas, o sensor distribuído requer geralmente apenas um único filamento de fibra óptica. Portanto, a vantagem da detecção distribuída é que a mesma pode fazer medidas espaciais múltiplas com um único dispositivo.

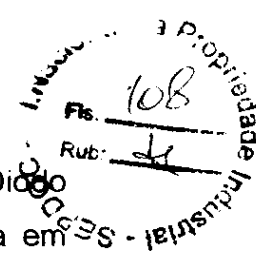
[05] É possível sondar as regiões sensíveis de um sensor de fibra óptica distribuído de duas maneiras: usando a excitação axial ou a excitação transversal, sendo a excitação transversal considerada superior pela presente invenção.

[06] A excitação axial é usada geralmente como meio de sondagem do revestimento sensível. Na excitação axial, a luz de excitação é injetada a partir de um extremo da fibra, ao longo de seu eixo, e interage com o revestimento sensível do sensor através de sua cauda evanescente. O revestimento absorve a luz de excitação na região evanescente produzindo ou um sinal de absorção ou um sinal luminescente que pode ser detectado na extremidade da fibra.

[07] Porém, a técnica axial de excitação tem vários inconvenientes inerentes. A interação entre a cauda evanescente da luz de excitação com o revestimento sensível é muito fraca requerendo uma fonte de potência elevada, um esquema caro de detecção e/ou uma fibra óptica muito longa. Além disso, dependendo do arranjo, o alinhamento colinear da fonte de luz (tal como um laser) com o eixo da fibra óptica pode ser muito dificultoso, requerendo calibração e manejo cuidadosos.

[08] Schwabacher, número internacional de publicação WO 01/71316 ('316), demonstra um arranjo linear de quemosensores, dispostos ao longo de uma fibra óptica, sendo que cada região é sensível a uma espécie química e está separada por uma seção substancialmente inerte, tal como o revestimento original. Esta região substancialmente inerte deve ter um comprimento mínimo, preferivelmente de 250 centímetros. Publicação '316 documenta ambos os métodos axiais e transversais de excitação, mas considera o método axial o modo preferido.

[09] Na incorporação preferida, Publicação '316 introduz um pulso de excitação laser ao longo do eixo da fibra óptica, cada região reativa estando separada por uma distância mínima contendo regiões substancialmente inertes. Estas seções inertes, relativamente longas, são requeridas pela tecnologia utilizada em '316 para prevenir o superposição dos sinais fluorescentes provenientes de regiões sucesivas do reagente. A luz de excitação de uma fonte (tal como um laser, um laser de



diodo, um laser de gas, um laser de corante, laser de estado sólido, LED (Diodo Emissor de Luz), etc.) se introduz axialmente na fibra óptica, e se propaga em direção às regiões reativas.

[10] Para determinar a específica região reativa, entre várias ou centenas, que está produzindo o sinal, o atraso entre o pulso de excitação e do sinal fluorescente deve ser medido com precisão e correlacionado com a distância a cada região específica por meio de instrumentos tais como um osciloscópio e um tubo foto multiplicador. Este arranjo requer um comprimento extremamente longo de fibra quando se necessita medir centenas de espécies, aumentando o tamanho e a complexidade total do dispositivo de análise. Além disso, os instrumentos de precisão utilizado podem também aumentar o custo total do sistema sensor perceptivelmente.

[11] Se pode transmitir a luz de excitação em direção às regiões reativas da fibra de detecção utilizando uma ou mais fibras de excitação. Isto requer a introdução axial da luz na fibra de excitação. Uma incorporação sugere o uso de uma fibra de excitação para cada região reativa com a luz de excitação iluminando transversalmente a região reativa da fibra sensora.

[12] Uma outra incorporação requer o uso de divisores de feixe de luz para refletir a luz de excitação transversalmente em direção às regiões reativas. O uso de divisores de feixe de luz requer a utilização de lasers caros de alta energia no qual a intensidade de iluminação nas regiões reativas diminui à medida que divisores de feixe de luz adicionais são introduzidos.

[13] Em um outro esquema, a fibra da excitação é preparada removendo-se seu revestimento em várias seções ao longo da fibra, estas seções removidas são instaladas em regiões adjacentes às regiões reativas da fibra de detecção, permitindo que seu campo evanescente excite transversalmente a fibra de detecção. Uma desvantagem é que o campo evanescente da fibra da excitação é muito fraco entregando muito pouca energia à fibra de detecção. Além disso, outros métodos de excitação axial e transversal se revelam; sendo porém, em geral muito caros.

[14] Embora se reconheça que os esquemas apresentados por '316 são operacionais, os mesmos são limitadas pela complexidade, o custo de fabricação, e robustez. Para fabricar seções alternadas de regiões reativas e inertes, se deve remover o revestimento apenas em regiões aonde se deposita o reagente,

deixando-se intacto o revestimento nas regiões inertes. Este procedimento aumenta o custo e a complexidade de produção do sensor, limitando as opções de automatização e fabricação dos mesmos.

[15] Outras técnicas utilizadas na indústria requer o uso de instrumentação cara tal como um reflectômetro óptico no domínio temporal (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR). Custando em torno de US\$ 20.000,00 ou mais, o OTDR adiciona um custo considerável a qualquer sistema que utiliza a técnica axial de excitação. Além disso, a disponibilidade de OTDRs com distintos comprimentos de onda é limitada, limitando as opções de reagente que se podem utilizar com o sensor. Outra desvantagem destes sistemas é causada por curvas inadvertidas na fibra e irregularidades físicas no material da guia de onda, que mudam o índice de refração do dispositivo, resultando em interferência dos sinais produzidos. Além disso, essas técnicas possuem uma baixa resolução espacial, em torno de aproximadamente 10 centímetros. Uma resolução espacial mais refinada se faz necessária.

[16] Uma vez mais é reconhecido por este inventor que a excitação transversal da região sensível é uma técnica superior, produzindo uma quantidade substancial de sinal fluorescente. Porém, nenhum inventor do passado foi capaz de identificar que essa excitação lateral, quando feita corretamente, pode sondar seções bem curtas de uma fibra sensível resultando em um sensor de alta resolução espacial. Uma alta resolução espacial, de pelo menos de 5 milímetros, se deseja em aplicações aonde existe uma variação grande de temperatura e/ou de concentração de uma espécie química ao longo do comprimento da fibra óptica. Por exemplo, a determinação em tempo real da concentração de íons de cloro em estruturas de concreto em seções curtas ao longo da fibra. Os esforços anteriores também não puderam proporcionar uma técnica mais simples de excitação capaz de conduzir a um sensor robusto e de baixo custo.

[17] O que é necessário é uma fonte de luz barata que possa sondar uma fibra proporcionando uma alta resolução espacial, em torno de 5mm ou menos, permitindo a localização exacta do ponto de detecção. Além disso, o que se faz necessário é um sistema de fibra óptica de baixo custo que utiliza dispositivos baratos, disponíveis no mercado, que se podem fabricar por meios automatizados. O que também se faz necessário é um dispositivo que se pode utilizar com fontes

de luz infravermelhas, visíveis, e ultravioletas do espectro electromagnético. Além disso, o que é necessário é um dispositivo de detecção robusto que se pode alimentar facilmente e não é afetado por interferência externa tal como dobras na fibra e luz ambiente. É também necessário um modelo genérico de sensor de fibra óptica que se pode adaptar a distintas espécies químicas. O que também se necessita é uma fonte de luz intensa de sondagem, e de baixo custo, um reagente fluorescente ou de absorção na superfície da fibra óptica com o intento de se produzir um sinal intenso que possa ser detectado facilmente. E o que finalmente se faz necessário, é um modelo genérico de detecção modular que se pode atualizar facilmente com a tecnologia disponível.

RESUMO DA INVENÇÃO

[18] De acordo com esta invenção se apresenta um sensor de fibra óptica reversível, robusto, barato, distribuído e com alta resolução espacial. A invenção se pode utilizar nas regiões infravermelhas, visíveis, e ultravioletas do espectro electromagnético. A fonte de luz utilizada proporciona uma iluminação intensa, de baixo custo, na região sensível da fibra e produz um sinal intenso de fácil detecção. Esta invenção pode ser utilizada com diferentes revestimentos sensíveis a distintas espécies químicas. Ademais esta invenção se pode atualizar continuamente com novos meios e produtos químicos, novas fontes de luz de sondagem do revestimento sensível e novos códigos de computação.

[19] O modelo preferido desta invenção geralmente consta de uma fibra óptica sensível, uma fonte de luz de sondagem ou de excitação da fibra, uma fonte de alimentação, um meio de detecção, um meio de processamento de sinal, e um meio de exibição visual do sinal. A fonte de luz de sondagem, ou de excitação, da fibra é colocada próxima, e em comunicação óptica direta, à região sensível da fibra óptica. A fibra óptica é sensível à temperatura e/ou a pelo menos uma espécie química, e é opticamente afetada, de uma maneira monotônica, por estes parâmetros. A fibra óptica sensível recebe a luz de sondagem da fonte de luz numa direção transversal e a luz de sondagem interage com a região sensível da fibra óptica. Enquanto sondada, a região sensível da fibra modifica a luz de sondagem e gera um sinal de

luz que é afetado pela temperatura e/ou a presença de uma espécie química. O sinal de luz é acoplado ao núcleo da fibra óptica como um sinal de luz e transmitido em direção ao meio de detecção, que está em comunicação óptica axial com uma das faces da fibra. O detector correlaciona a intensidade do sinal de luz com um sinal elétrico. O sinal eletrônico é transmitido ao meio de processamento de sinal, onde o sinal eletrônico se correlaciona com a quantidade que está sendo medida (temperatura, concentração da espécie química, etc.). A quantidade correlacionada se transmite e se exibe em um meio de exibição visual do sinal.

[20] Uma seção, ou a área inteira, ao redor do núcleo da fibra óptica é sensível à espécie química que está sendo medida. Um reagente sensível se incorpora a um revestimento permeável o qual se aplica diretamente ao núcleo exposto da fibra. A fibra sensível que resulta é preferivelmente reversível, retornando sempre à intensidade do sinal de referência.

[21] Numa configuração preferida, utiliza-se um Diodo Emissor de Luz no ultravioleta, LED UV, como uma fonte de luz de sondagem da fibra a qual é posicionada adjacente à fibra óptica, com o intento de iluminar sua região sensível. O LED UV foi escolhido por vários motivos. Em primeiro lugar, o LED UV é uma fonte barata que se pode dispor facilmente, diminuindo o custo de fabricação do sensor. Em segundo lugar, desenvolvimentos recentes na tecnologia de LEDs produziu uma fonte de maior intensidade e pequeno tamanho resultando em um feixe de luz de interrogação estreito e intenso. Além disso, a proximidade do LED UV ao sensor de fibra óptica gera um sinal de luz intenso, permitindo o uso de meios baratos de detecção, tais como um foto detector de silício. Finalmente, o tamanho do LED permite a iluminação de seções curtas do revestimento, em várias posições ao longo do comprimento da fibra produzindo múltiplos pontos de detecção independentes, de alta resolução espacial. A técnica também permite a localização exacta do ponto de detecção numa substância, permitindo a medição de variação da temperatura e da concentração de uma espécie química ao longo do comprimento da fibra.

[22] Uma incorporação adicional inclui um reflector na outra face da fibra óptica, numa posição oposta à posição do detector, o qual reflete o sinal de luz que se propaga na direção oposta, em direção ao meio de detecção.

[23] Outra incorporação inclui o uso de uma fibra óptica sensível com um núcleo afilado, em forma de uma seção de cone, geralmente divergindo em direção ao detector enquanto que o sinal de luz se propaga da região sensível da fibra óptica em direção ao detector. Esta configuração, comparada às outras, possui a vantagem de acoplar mais luz no núcleo da fibra aumentando o sinal do dispositivo. Dessa forma, o núcleo afilado evita que os raios de luz da fibra óptica sejam irradiados para fora, acoplando a luz em modos guiados de baixa perda os quais se propagam por distâncias muito mais longas da fibra. Esta fibra especial pode ser manufacturada com uma torre de puxamento de fibra óptica usando uma preforma afilada. Alternativamente, sopradores de vidros profissionais podem ser utilizados para se fabricar esta fibra manualmente.

[24] Em uma outra incorporação, se posiciona um arranjo linear de fontes de luz ao longo da fibra óptica sensível, e cada fonte de luz emite uma luz de sondagem em direção à região sensível de forma consecutiva, simultaneamente, e/ou independentemente das outras fontes numa direção transversal em relação ao núcleo da fibra óptica. O comprimento do arranjo linear de fontes de luz corresponde substancialmente ao comprimento da região sensível da fibra óptica. Se pode utilizar esse arranjo para aumentar a intensidade de luz total do sinal acoplado ao sensor.

[25] Uma incorporação alternativa, utiliza uma fibra óptica de excitação para excitar transversalmente a fibra óptica sensível. Neste caso, a fibra de excitação age como uma guia de onda para a luz de excitação e é posicionada paralela à fibra óptica sensível. Uma das extremidades da fibra de excitação é fabricada com um de ângulo de 45 graus, aproximadamente, a qual é utilizada para mudar a direção da luz de excitação em direção à fibra óptica sensível. A luz de sondagem é gerada por uma fonte de luz no extremo próximo da fibra de excitação, e introduzida axialmente na mesma. Se pode mover a posição do extremo distal da fibra de excitação a fim de sondar diversas seções da fibra de detecção; se pode também utilizar fibras múltiplas de excitação, cada uma sondando uma área específica da fibra óptica sensível.

[26] Outra incorporação alterna utiliza uma fibra óptica de excitação tendo várias redes de Bragg de longo período. Esta fibra de excitação também se posiciona ao longo da fibra óptica sensível e ilumina, ou sonda, várias seções da fibra sensível

utilizando as redes de Bragg de longo período. Cada rede de Bragg é projetada para acoplar a luz dos modos guiados da fibra de excitação, com um comprimento de onda específico, λ_1 , dentro do espectro de absorção da fibra sensível, em modos radiantes. Neste caso, uma luz branca, proveniente de uma fonte de banda larga, passa por um monocromador que varre os distintos comprimentos de onda do espectro de absorção da fibra sensível. Quando o monocromador sintoniza o comprimento de onda λ_1 , somente a rede de Bragg sintonizada a este comprimento de onda reflete a luz de excitação em direção à seção de fibra óptica sensível no qual a seção iluminada da fibra corresponde à posição desta rede de Bragg. Este procedimento se pode repetir para outros comprimentos de onda.

[27] Uma incorporação adicional utiliza um núcleo de fibra óptica ativo dopado com uma substância que amplifica o sinal da região sensível. Esta incorporação é semelhante a uma fibra óptica amplificadora. Neste caso, o sinal do revestimento sensível é acoplado ao núcleo da fibra. O núcleo ativo é então excitado pela luz modificada do revestimento sensível amplificando o sinal original. Este sinal amplificado se dirige então em direção ao detector. Se prefere esta incorporação para os casos em que a fibra sensível é muito longa.

[28] Se pode utilizar um reagente fluorescente ou de absorção com esta invenção e suas incorporações alternas. Utilizando um reagente apropriado se pode determinar a concentração de uma espécie química e a temperatura ao redor do reagente. Reagentes sensíveis a temperatura (reagentes termo-sensíveis) e a uma dada espécie química estão disponíveis comercialmente. Por exemplo, Lucigenina é um reagente fluorescente que se pode utilizar para detectar íons de cloro. Substâncias fosforescentes, sensíveis a variações de temperatura, também estão disponíveis no mercado. Por exemplo, oxissulfuro de lântano dopado com Europium, oxissulfuro de gadolínio dopado com europium e oxissulfuro de ítrio dopado com europium (veja Wickersheim, Patente Americana No. 4,560,286) são materiais termo sensíveis que se podem utilizar com esta invenção para a determinação de temperatura.

[29] Esta invenção foi criada para melhorar sensivelmente os sistemas de sensores de fibra óptica, em especial, através do posicionamento da fonte de luz, tal como um LED UV ou de luz branca, diretamente adjacente à região sensível do sensor de fibra óptica a fim de iluminá-la transversalmente. Este posicionamento aumenta a intensidade do sinal acoplado ao núcleo, diminui a complexidade do

sistema, os custos de fabricação, e, a utilização de LEDs de pequenos tamanhos permite a localização exata do ponto de detecção numa substância com uma alta resolução espacial.

5 BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS.

[30] FIGURA 1 é um diagrama de bloco ilustrando a operação da invenção com um indicador fluorescente.

[31] FIGURA 1A é um diagrama de bloco ilustrando a operação da invenção com um indicador baseado em absorção.

10 [32] FIGURA 2 é uma vista perfilada da fibra de detecção.

[33] FIGURA 2A é uma vista lateral da fibra original.

[34] FIGURA 3 é uma vista lateral da fibra sensível, sem o revestimento e o revestimento protetor exterior.

[35] FIGURA 4 é uma vista lateral da fibra sensível desta invenção, ilustrando a região sensível.

15 [36] FIGURA 5 é uma vista lateral ilustrando uma incorporação alterna desta invenção contendo um espelho que reflete a luz na segunda face da fibra.

[37] FIGURA 6 é uma vista lateral da fibra de detecção desta invenção ilustrando o núcleo afilado.

20 [38] FIGURA 7 é uma vista lateral de uma incorporação alterna da fibra sensível, ilustrando um arranjo linear de LEDs.

[39] FIGURA 8 é o esquema do circuito eletrônico permitindo uma incorporação alterna desta invenção.

25 [40] FIGURA 9 é um diagrama ilustrando a operação de uma fibra óptica de excitação com um extremo distal de 45 graus.

[41] FIGURA 10 é um diagrama ilustrando a operação de uma fibra óptica de excitação fabricada com várias redes de Bragg de longo período.

[42] FIGURA 11 é um diagrama de blocos do sistema de detecção desta invenção.

[43] FIGURA 12 é um esquema do circuito eletrônico permitindo uma incorporação alterna desta invenção.

30 [44] FIGURA 13 é um gráfico ilustrando os dados obtidos com esta invenção.

[45] FIGURA 14 é uma vista perfilada desta invenção instalada dentro de uma estrutura.

[46] FIGURA 15 é um gráfico ilustrando os dados obtidos com esta invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[47] A seguinte descrição detalhada é, neste momento, a melhor maneira de realizar a invenção. Não se deve interpretar esta descrição de uma forma limitadora, mas simplesmente com a finalidade de ilustrar princípios gerais das possíveis incorporações desta invenção. A descrição detalhada abaixo, em conexão com as figuras anexas, reflete, neste momento, as incorporações preferidas da invenção. Não se tenciona representar as únicas formas nas quais esta invenção pode ser construída e/ou ser utilizada. Esta descrição apresenta sim as funções e a sequência dos passos para se construir e operar a invenção com respeito às incorporações ilustradas. Porém, se deve compreender que as mesmas funções e sequências, ou equivalentes, podem ser obtidas através de distintas incorporações ainda contidas dentro do espírito e alcance abarcados pela invenção.

[48] A Figura 1 ilustra um diagrama de bloco do sensor 98. De acordo com a ilustração, uma fonte de excitação UV (a fonte de sondagem), por exemplo um diodo emissor de luz UV (LED UV) 100, ilumina transversalmente uma seção do revestimento sensível da fibra 102, feita de um material fluorescente, gerando a fluorescência 104, na qual a luz proveniente desta fonte está representada por flechas. O LED UV 100 é alimentado por uma fonte de alimentação 114 que proporciona uma corrente para o LED UV 100, e o LED UV 100 é posicionado próximo, e em comunicação óptica, ao revestimento sensível 102.

[49] Uma fração da fluorescência 104 é acoplada ao núcleo 106 da fibra e guiada em direção a um detector 108, por exemplo, um fotodetector de silício, que converte a intensidade da luz de fluorescência 104 em um sinal elétrico. Este sinal elétrico é transmitido em direção a um meio de processamento de sinal 110, tal como um multímetro, via um cabo 112. No meio de processamento de sinais 110, o sinal é amplificado e sua intensidade óptica é exibida. A intensidade lida pelo meio de processamento de sinais 110 é então correlacionada com a concentração da espécie química ao redor do sensor 98.

[50] Numa maneira similar de medição, se utiliza um sensor de fibra óptica baseado em absorção segundo as ilustrações da Figura 1A. Desta forma, uma fonte de luz de sondagem da fibra, tal como um diodo emissor de luz branca (LED branca) 103,

ilumina transversalmente uma seção do revestimento sensível 102, feita com um reagente/indicador baseado em absorção, na qual a luz proveniente desta fonte está representada por flechas. A fonte de luz de sondagem, 103, é alimentada por uma fonte de alimentação 114 proporcionando uma corrente à fonte de luz de sondagem 103, que se coloca próxima e em comunicação óptica, ao revestimento sensível 102.

[51] A fonte original de luz de sondagem é filtrada pelo revestimento sensível baseado em absorção 102 e uma fração da luz filtrada se acopla ao núcleo 106 da fibra em forma de modos de fuga 105. Os modos de fuga 105 então se propagam em direção a um detector 108, por exemplo, um fotodetector de silício, que correlaciona a intensidade da luz absorvida com um sinal elétrico. Este sinal elétrico é transmitido em direção ao meio de processamento de sinais 110, tais como um multímetro, via um cabo 112. No meio de processamento de sinais 110, o sinal é amplificado e sua intensidade óptica é exibida no meio de exibição de sinais. A intensidade lida pelo meio de processamento de sinais 110 então se correlaciona com a concentração da espécie química ao redor do sensor 98.

[52] Por exemplo, reagentes fluorescentes disponíveis comercialmente, tais como Lucigenina, tem sua fluorescência atenuada pelos íons de cloro e podem ser utilizados como indicador para esta espécie química. Desta forma, um sinal de alta intensidade no meio de exibição de sinais corresponde a uma concentração baixa dos íons de cloro e vice-versa. Um reagente baseado em absorção, o corante de Reichardt (Reichardt's dye), por exemplo, e disponível comercialmente, pode ser utilizado para determinar umidade relativa. No caso deste reagente, um sinal de alta intensidade corresponde a altos níveis de umidade relativa.

[53] Controlando a posição de iluminação da fonte de luz de sondagem, é possível sondar diversas seções da fibra 98 criando um sensor de múltiplos pontos. Ou o diodo emissor de luz UV 100 pode ser transportado às várias seções da fibra 98, contendo reagentes diferentes, ou cada seção do reagente pode ser individualmente iluminada pelo seu diodo emissor de luz UV correspondente. Com diâmetros de menos de 5 milímetros, LEDs UV 100, recentemente introduzidos no mercado, podem ser utilizados para obter uma resolução espacial igual à seção iluminada da região sensível da fibra 98 no qual o comprimento iluminado de cada seção da fibra é comparável ao diâmetro do LED UV 100.

[54] A Figura 2 ilustra uma seção perfilada da fibra óptica 98 desta invenção, com um núcleo 106 de vidro ou de plástico, rodeado por um revestimento fluorescente 102, sensível, por exemplo, a íons de cloro. Ou se pode impregnar o revestimento inerte com um reagente sensível ou se pode aplicar este reagente diretamente à superfície do núcleo da fibra 106.

[55] O coração do sensor 98 é um núcleo de fibra óptica 106 recoberto por um material polimérico dopado com um corante fluorescente sensível à quantidade que se deseja medir. Ao recobrirse o núcleo 106 com o material polimérico contendo o corante fluorescente, forma-se o dito revestimento fluorescente 102.

[56] Há diversas maneiras de fabricar o sensor 98. Um dos métodos mais fáceis inclui obter uma fibra óptica 96, disponível no mercado, que inclui o núcleo 106, o revestimento 116 e um revestimento protetor exterior 101 da fibra. Para fabricar o sensor 98, o revestimento protetor 101 e o revestimento 116 da fibra são removidos em posições específicas, escolhidas de antemão, aonde se deseja sondar o analito (veja Figura 2A) e o revestimento sensível é preparado e aplicado diretamente ao núcleo 106 exposto da fibra. Diversas fibras ópticas, comercialmente disponíveis, podem ser utilizadas para esta tarefa. Preferivelmente tal fibra teria um núcleo 106 de grande diâmetro, da ordem de 1 a 1,5 mm, resultando em um sensor 98 com um sinal elevado, embora outros diâmetros possam produzir resultados aceitáveis.

[57] O procedimento para remover os dois revestimentos, descrito mais abaixo, supõe o uso das fibras 96 que são feitas de um núcleo de vidro 106, de um revestimento plástico 116, e de um revestimento protetor exterior de plástico 101. Este procedimento supõe também que o reagente usado é sensível aos íons de cloro. Para outras espécies de reagentes e espécies químicas o procedimento pode variar ligeiramente.

[58] A fabricação do sensor 98 a partir da fibra óptica 96 requer a remoção do revestimento plástico 116 e do revestimento protetor exterior 101 ao redor do núcleo 106 em regiões específicas 92 aonde a sensibilidade é desejada. Esta remoção pode ser realizada por meios químicos, por meios mecânicos (usando uma lâmina), ou com o uso de uma fonte de calor o qual queima os revestimentos interno 116 e externo 101 da fibra. Escolhendo um ou outro método, o núcleo de vidro 106 é exposto ao ambiente exterior e pode ser recoberto com o revestimento sensível a íons de cloro. O resultado é a fibra com uma região removida de seu revestimento

original 92, veja Figura 3, onde o revestimento 101 e o revestimento protetor exterior 116 originais foram removidos. Embora esta ilustração mostre apenas uma única região exposta 92, se pode remover seções múltiplas ao longo do sensor ou até mesmo o comprimento total do núcleo 106 pode ser exposto.

- 5 [59] O seguinte descreve um método de preparação de um único tipo de revestimento sensível; entretanto, há numerosos tipos de revestimentos sensíveis, cuja preparação pode variar. Usando uma capela de laboratório, dois gramos de acetato de PoliVinila, PVA, são adicionados a um béquer contendo 100 ml da acetona. A solução resultante é transparente possuindo porém uma viscosidade
- 10 maior do que a da acetona. Se adiciona 10 mg de Lucigenina à solução de acetona/PVA resultando numa solução de cor amarelada.
- 15 [60] Algumas gotas da solução são aplicadas à superfície de uma lâmina de vidro e a região exposta 92 da fibra é colocada em contato com estas gotas. Uma vez em contacto, uma película fina se forma ao redor do núcleo 106 da fibra de vidro. Para assegurar um revestimento uniforme sobre a superfície do núcleo 106 da fibra, a fibra 96 é girada ao redor de seu eixo enquanto em contato com essas gotas. Sendo a acetona um solvente volátil, o revestimento sensível deve ser aplicado rapidamente à superfície do núcleo 106 da fibra enquanto as gotas ainda estiverem molhadas. Se o procedimento levar demasiadamente longo, o filme sobre a lâmina
- 20 de vidro se endurecerá e nenhum material será transferido à superfície do núcleo exposto 106.
- [61] A Figura 4 ilustra o sensor 98 resultante, obtido deste procedimento, com um núcleo 106 da fibra, um revestimento de plástico 116, e uma nova região sensível 102. O índice de refração resultante nesta região é similar ao índice de refração do
- 25 PVA, $n=1,47$ (veja a Tabela 1).

Tabela 1. Índice de refração e diâmetros de diversas seções da fibra.

	Núcleo	Revestimento	Revestimento sensível
Diâmetro (mm)	1,000	1,035	1,035
Índice de refração	1,457	1,376	1,47

[62] Embora o índice de refração do revestimento sensível 102 seja mais elevado do que o índice de refração do núcleo 106, há ainda uma quantidade considerável de luz fluorescente injetada ao núcleo 106 da fibra. Há várias razões por trás deste fenômeno; por exemplo, o núcleo 106 da fibra possui um alto diâmetro, permitindo a propagação de modos de fuga. Estes modos de fuga são raios de luz que não sofrem reflexão total interna na interface do núcleo e do revestimento porém se propagam por distâncias relativamente longas no núcleo 106 da fibra. Estes tipos de raios de luz são particularmente úteis em fibras ópticas de comprimentos relativamente curtos, de 1m ou menos. Além disso, a maior parte dos raios de luz na região sensível 102 adentram o núcleo 106 da fibra como modos de fuga. Uma vez que estes raios de luz alcançam a região do núcleo 106 rodeada pelo revestimento plástico original 116, alguns desses modos de fuga são acoplados a modos guiados de propagação.

[63] O mesmo procedimento discutido acima pode ser usado para preparar fibras de poli carbonato. Estas fibras tem a vantagem de possuir um núcleo de alto índice de refração, 1,582, mais elevado do que o índice de refração do PVA, 1,47. Neste caso, a luz fluorescente produzida na seção sensível da fibra é injetada em modos guiados através do acoplamento de ondas evanescentes. Alguns modos de fuga também se propagam ao longo da fibra.

[64] Um outro arranjo deste tipo de sensor requer acesso a uma torre de puxamento de fibra óptica (optical fiber drawing tower). Usando essa torre, é possível fabricar uma fibra óptica especial com um núcleo de alto índice de refração cercado por um revestimento fluorescente. Schott Glass oferece vários bastões de vidro, ou preformas, com um diâmetro de 32 mm, que podem ser usados para fabricar uma fibra óptica. Uma preforma de vidro é escolhida e introduzida na fornalha da torre e puxada numa fibra de diâmetro menor, entre 1 e 1,5mm. A fibra resultante é revestida então com a solução de Acetona/PVA/lucigenina preparada previamente. O resultado final é uma fibra óptica completamente revestida com um reagente sensível aos íons de cloro.

[65] A Figura 5, é uma incorporação adicional do sensor incluindo uma superfície refletora 122, no término oposto do sensor 98 ao detector 108, que reflete os modos guiados que se propagam ao revés 124, em direção ao detector 108, aumentando o sinal fluorescente.

[66] Ainda outro arranjo, mostrado na Figura 6, inclui o uso de um sensor de fibra óptica sensível 98 com um núcleo afilado 107, divergindo geralmente em direção ao detector 108 com a fluorescência 104 propagando da região sensível 102 do sensor 98 em direção ao detector 108. Esta configuração afilada do núcleo 107 possui a vantagem de acoplar mais luz ao núcleo 107 da fibra do que as outras configurações aumentando o sinal do sensor 98. Com um núcleo de fibra óptica afilado 107, os raios de luz que se irradiariam do núcleo 107 da fibra são acoplados a modos guiados e modos de fuga propagando-se por longas distâncias. Esta fibra pode ser manufacturada com uma torre de puxamento de fibra utilizando uma preforma de vidro afilada. Alternativamente, esta fibra pode também ser manufacturada manualmente por aqueles habilidosos na arte de dar forma a vidros.

[67] Uma outra incorporação, ilustrada na Figura 7, inclui um arranjo linear de fontes de luz, tais como um diodo emissor de luz UV, montados em um suporte 134 ao longo do comprimento do sensor 98, cada fonte de luz 100 emitindo simultaneamente uma luz de excitação numa direção transversal ao núcleo da fibra óptica 106. O comprimento da disposição linear de fontes de luz 138 corresponde substancialmente ao comprimento da região sensível 102 do sensor de fibra óptica 98. Este arranjo pode ser usado para aumentar o sinal total do sensor 98. Um conector de fibra óptica 132 fornece proteção à extremidade da fibra do sensor 98, impedindo sua fratura, e permitindo posicionar, de forma reproduzível a extremidade do sensor 98 da fibra ao lado do detector 126.

[68] No caso específico do sensor de íon de cloro que está sendo descrito, os diodos emissores de luz UV 100, comercialmente disponíveis, com intensidade máxima a um comprimento de onda de 375nm, são utilizados como fontes de excitação. O indicador de íon de cloro, Lucigenina, absorve a luz ultravioleta e emite luz fluorescente na região de 505 nanômetros. Cada diodo emissor de luz 100 é então aceso e apagado, de maneira alternada, a fim de sondar cada região sensível específica da fibra 102, resultando em um sensor verdadeiramente distribuído 98.

[69] A fonte de alimentação 114 deve ser projetada para que não exceda as limitações de corrente dos LEDs 100. Um diagrama esquemático preferido do circuito para uma fonte de alimentação portátil é ilustrado na Figura 8. Especificamente, Figura 8 ilustra o circuito da fonte de alimentação 114 que controla

a corrente provida à fonte de iluminação 100 e 103. Este circuito específico foi projetado para alimentar tres fontes diferentes, ou de forma simultânea ou uma de cada vez. "VM" representa o LED indicador e "Potent." 10K Ω representa um potenciômetro. À medida que a resistência do potenciômetro é variada, se pode

5 aumentar ou diminuir a intensidade de luz das fontes que são alimentadas.

[70] Outro arranjo alternativo deste esquema de excitação é possível. Isso envolve a substituição dos diodos emissores de luz UV 100 por uma tira de OLEDs (Diodos Orgânicos de Emissão de Luz ou "Organic Light Emitting Diodes"). Embora uma tecnologia recente, OLEDs podem, em princípio, ser incorporados a uma tira sobre

10 a qual o sensor de fibra óptica pode ser montado.

[71] A Figura 9 mostra um arranjo alternativo que usa uma fibra óptica de sondagem baseada em excitação 144 para sondar transversalmente a fibra óptica sensível 98. Neste caso, a fibra 144 de excitação atua como uma guia de luz para a luz 150 de excitação e é estendida paralela à fibra óptica sensível 98. A fibra de

15 excitação 144 é manufaturada com uma face distal 148, a um ângulo de aproximadamente 45 graus, embora se possa utilizar outros ângulos, a fim de redirecionar a luz de excitação 150 em direção à fibra óptica sensível 98. A luz de excitação é gerada por uma fonte de luz UV do LED 100 localizada na extremidade próxima da fibra 152, e introduzida axialmente. A posição da face distal 148 da fibra

20 de excitação pode ser transladada para sondar diferentes seções da fibra sensível 98; ou se pode utilizar múltiplas fibras de excitação, cada uma sondando uma área específica da fibra óptica sensível 98.

[72] Outra incorporação alternativa, considerada na Figura 10, utiliza uma fibra óptica de excitação 154 com várias redes de Bragg de longo período 156. Esta fibra

25 de excitação 154 também é estendida ao longo da fibra óptica sensível 98 e ilumina várias de suas seções sensíveis através das redes de Bragg de longo período 156. Cada uma das redes de Bragg 156 é projetada para acoplar os modos fundamentais de propagação 158 da fibra de excitação 154 aos modos não-guiados 162 ao redor de um comprimento de onda específico, λ_1 , dentro do espectro de absorção do corante fluorescente. Neste caso, a luz UV de excitação do LED 100 de banda

30 larga passa por um monocromador 160 que faz a varredura dos distintos comprimentos de onda dentro do espectro de absorção do corante. Quando o monocromador 160 é ajustado ao comprimento de onda λ_1 , somente as redes de

Bragg sintonizadas a este comprimento de onda acopla a luz da fibra óptica sensível 98 iluminando a seção correspondente da fibra sensível à posição desta rede de Bragg específica. Este procedimento pode ser repetido para outros comprimentos de onda.

- 5 [73] Um arranjo do sistema de detecção está ilustrado na Figura 11 e consiste de um fotodetector de silício 108, um cabo 112 para o fotodetector, um conector macho 164 e uma unidade de leitura 166. O conector macho 164 é conectado a um conector fêmea 168 na unidade de leitura 166. O fotodetector 108 é montado dentro de um invólucro, hermético à luz (não ilustrado), o qual pode ser conectado
- 10 ao conector de fibra óptica. O detector está conectado a um cabo que transmite o sinal fotoelétrico em direção a um circuito de amplificação (ilustrado na Figura 12). O circuito amplifica o sinal e a sua intensidade é indicada no meio de exibição 170 do meio de leitura 166.

- [74] A presente invenção descrita acima foi construída e testada em concentrações
- 15 diferentes de água salgada. Os dados obtidos com esta experiência estão ilustrados na Figura 13. Quando a concentração de sal aumenta, o sinal da fibra óptica diminui. Observe que a resposta da leitora é linear com a concentração de sal na água. Cada curva corresponde à resposta do detector quando a ponta da fibra é posicionada a distâncias diferentes do detector. De acordo, a curva superior
- 20 corresponde a uma distância mais próxima ao detector ($\Delta x = 0\text{mm}$), enquanto que a curva inferior corresponde a uma distância maior, de 2mm, ao detector.

- [75] As inclinações destas curvas são semelhantes demonstrando que a sensibilidade do sensor é reproduzível. Estes dados também demonstram a reversibilidade do sinal enquanto que sua reproduzibilidade foi observada quando o
- 25 extremo da fibra foi desconectado e reconectado. A concentração de cada solução, assim como os dados do gráfico da Figura 13, estão documentados na Tabela 2. Este experimento demonstrou que o sensor tem uma resposta linear, é robusto, seu sinal é estável, reversível e reproduzível.

- [76] Esta invenção, em suas várias formas, pode ser usada em muitas diferentes
- 30 aplicações, incluindo, porém não limitada a, o monitoramento da intrusão do íon de cloro em estruturas de concreto (causa da corrosão e da falha estrutural subsequente), o monitoramento da concentração dos íons de cloro em estruturas de aeronaves (a causa da corrosão de cova ou "pit corrosion"), a medição do conteúdo

5

Solu- ção #	Concentra- ção de NaCl (g/ml)	Sinal (mV)					
		$\Delta x=0$ mm	$\Delta x=0.3$ mm	$\Delta x=0.6$ mm	$\Delta x=1.0$ mm	$\Delta x=1.5$ mm	$\Delta x=2.0$ mm
0	0	49.6	48.7	46.7	44.2	40.8	37.5
1	7	47.9	46.7	45,8	42.1	39.7	36.6
2	14	47.1	46.2	44.6	41.7	38.4	35.1
3	21	46.0	45.2	43.6	40.3	37.8	34.5
4	28	44.7	44.1	42.5	40.2	36.9	34.2
5	35	43.5	42.2	41.1	38.3	35.7	32.6

20 1. O corpo de prova de concreto foi moldado com o sensor da fibra duas
semanas antes do dia 1.

2. No dia 1, ou $T=-460h$ o topo do corpo de prova foi submetido a 100 ml de água de sal no ponto de saturação.
3. No dia 19 a água de sal foi substituída por água pura ($T=-28h$)
4. $T=0h$ na figura 15 corresponde ao dia 20 ($T=0 h$). O nível do sinal da fibra está abaixo de 30 milivolts o que indica uma concentração elevada de cloro devido à exposição anterior à água salgada.
5. Em $T=+20h$ o sinal do detector começa a aumentar por causa da diminuição da concentração dos íons de cloro devido a permeação da água pura que começou no dia 19 (48h atrás).
6. Em $T=+40h$ o sinal do sensor alcança seu nível máximo, em torno de 60 milivolts.
7. No dia 22 a água pura foi novamente substituída por água salgada ($T=+48.9 h$).
8. Entre $T=+50 h$ e $T=+60 h$ o sinal do sensor começa a diminuir devido à concentração crescente de íons de cloro em torno do ponto de monitoração.
9. Em torno de $T=+80h$, o sinal alcança um de seus níveis mais baixos e se estabiliza.

[78] O experimento foi terminado em torno de $T=+90 h$.

[79] Embora esta invenção tenha sido descrita em termos de incorporações particulares, se reconhece que variações adicionais desta invenção podem ser concebidas sem abandonar o presente conceito inventivo. Muitas melhorias, modificações e adições serão aparentes ao artesão hábil sem abandonar o espírito e o alcance da presente invenção descrita e definida nas reivindicações que se seguem.



Números de Referência

92	Região exposta da fibra	124	Modos de propagação ao revés.
98	Fibra óptica com revestimento sensível	128	Interface entre o núcleo afilado e o revestimento.
100	LED UV	132	Conector de fibra óptica.
101	Revestimento protetor exterior da fibra	134	Suporte de fibra óptica.
102	Revestimento fluorescente.	138	Arranjo linear de LEDs.
103	LED de luz branca	144	Fibra de excitação com um término de 45 graus.
104	Sinal de luz fluorescente.	148	Extremo distal reflector a um ângulo de 45 graus.
105	Sinal de luz baseado em absorção.	150	Luz de excitação
106	Núcleo da fibra.	152	Término próximo da fibra
107	Núcleo afilado.	154	Fibra óptica com redes de Bragg de longo período.
108	Foto detector de silício.	156	Redes de Bragg de longo período.
110	Meio de leitura.	158	Modo guiado da fibra de excitação.
112	Cabo do foto detector.	160	Monocromador
114	Fonte de luz.	162	Modos não-guiados
116	Revestimento original	164	Conector macho do foto detector
118	Segunda face da fibra óptica.	166	Meio de leitura
120	Primera face da fibra óptica.	168	Conector fêmea do meio de leitura
122	Superfície refletora	170	Display da unidade de leitura

REIVINDICAÇÕES

1. Sensor distribuído de fibra óptica 98, **caracterizado** por:

um sensor de fibra óptica 98, dito sensor de fibra óptica 98, possuindo um núcleo 106, preferencialmente de vidro ou plástico, e um revestimento 116, dito revestimento 116, possuindo pelo menos uma região sensível 102 e dita região sensível 102 sendo sensível a pelo menos um parâmetro de medição;

pelo menos uma fonte de luz de sondagem 100 ou 103, dita fonte da luz de sondagem 100 ou 103, capaz de produzir uma luz de sondagem, dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, localizada adjacente ao dito sensor de fibra óptica 98, e próxima à dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98, a fim de excitar cada região sensível 102 individualmente, uma de cada vez;

um meio de detecção 108, dito meio de detecção estando em comunicação axial com o primeiro término do dito sensor de fibra óptica 98;

um meio de processamento de sinais 110, dito meio de processamento de sinais 110, estando em comunicação com o dito meio de detecção;

um meio de exposição de sinais, dito meio de exposição de sinais estando em comunicação com o dito meio de processamento de sinais 110;

uma fonte de alimentação 114, dita fonte de alimentação 114, capaz de prover a energia necessária à dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, o dito meio de detecção, o dito meio de processamento de sinais 110, e o dito meio de exposição de sinais;

no qual o dito sensor de fibra óptica 98, é opticamente afetado, numa relação monotônica, pela presença de pelo menos um dos parâmetros de medição que se localiza no ambiente ao redor do dito sensor de fibra óptica 98;

no qual cada arranjo linear de fontes de luz de sondagem 100 ou 103, configurado a emitir, independentemente e um por um, a luz de sondagem a um ângulo, em direção à a região sensível 102, cada arranjo linear de fontes de luz de sondagem 100 ou 103, iluminando uma parcela discreta da região sensível 102;

no qual a dita luz de sondagem interage individualmente com cada dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98, de maneira tal que uma luz modificada de sondagem é gerada a partir daí, cada tal modificação sendo provocada substancialmente pela presença do dito parâmetro de medição sendo que a dita luz de sondagem modificada é acoplada substancialmente ao dito núcleo 106, do dito sensor de fibra óptica 98, como um sinal de luz associado com cada dita região sensível 102;

no qual o dito meio de detecção recebe o dito sinal de luz associado quando o dito sinal de luz cruza o primeiro término do dito sensor de fibra óptica 98, sendo que o dito meio de detecção correlaciona a intensidade do dito sinal de luz associado com um sinal elétrico associado, e o dito sinal elétrico associado é transmitido em direção ao dito meio de processamento de sinais 110; e

no qual, o dito sinal elétrico associado é correlacionado com uma quantidade do dito parâmetro de medição, sendo que esta dita quantidade é transmitida e indicada no dito meio de exposição de sinais.

2. Sensor distribuído de fibra óptica 98 de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um núcleo 107, de geometria afilada, geralmente divergindo em direção ao dito meio de detecção, enquanto que o dito sinal de luz se propaga da dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98, em direção ao dito detector 108, no qual o dito núcleo 107, de geometria afilada diminui a perda de intensidade do dito sinal de luz.

3. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um núcleo 106, dopado com uma substância fluorescente resultando num núcleo 106, fluorescente, em que o dito núcleo 106, fluorescente aumenta a intensidade do dito sinal de luz que se propaga em direção ao dito meio de detecção.

4. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por um núcleo 106, de fibra óptica com um índice de refração menor do que o índice de refração da dita região sensível 102.

5. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela dita região sensível 102 manufaturada com um tipo de reagente selecionado da seguinte lista: um reagente colorimétrico, um reagente de absorção, um reagente fluorescente, e um reagente quimiluminescente.

6. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo dito parâmetro de medição selecionado da lista seguinte: a concentração de uma espécie química ao redor da dita região sensível 102 e a temperatura ao redor da dita região sensível 102 do sensor de fibra óptica 98.

7. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pela dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, selecionada da seguinte lista: um LED (diodo emissor de luz) de luz ultravioleta, um LED de luz visível de banda larga e um OLED (diodo orgânico emissor de luz).

8. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por uma fonte de luz de sondagem 100 ou 103, com um diâmetro máximo de 5 milímetros e dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, capaz de produzir uma resolução espacial de pelo menos 5 milímetros.

9. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por uma fonte de luz de sondagem 100 ou 103, com um diâmetro mínimo de 5 milímetros e dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, é capaz de produzir uma resolução espacial de até 5 milímetros.

10. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, no qual a dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, é caracterizada por um arranjo linear de fontes de luz de sondagem 138, ao longo da dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98.

11. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 10 no qual cada fonte de luz do dito arranjo linear de fontes de luz de sondagem 138, é **caracterizado** pela emissão simultânea da dita luz de sondagem numa direção transversal à dita região sensível 102 provendo desta forma um sinal de luz mais brilhante.

12. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 10 no qual cada fonte de luz do dito arranjo linear de fontes de luz de sondagem 138, é

caracterizado pela emissão consecutiva da dita luz de sondagem numa direção transversal à dita região sensível 102.

13. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 10 **caracterizado** pela emissão consecutiva da dita luz de sondagem em grupos adjacentes das ditas fontes de luz de sondagem 100 ou 103, numa direção transversal à dita região sensível 102.

14. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 10 **caracterizado** pela

emissão independente, um por um, de cada fonte de luz do dito arranjo linear de fontes de luz de sondagem 138, numa direção transversal à dita região sensível 102,

em que cada uma das ditas pluralidades de fontes de luz de sondagem 100 ou 103, são atuadas pela dita fonte de alimentação 114.

15. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 com o dito meio de detecção **caracterizado** por um fotodetector de silício 108, posicionado no primeiro término do dito sensor de fibra óptica 98.

16. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** por um refletor 122 posicionado no segundo término do dito sensor de fibra óptica 98, no qual o dito refletor aumenta o dito sinal de luz através da reflexão do modo de propagação ao revés 124, em direção ao dito meio de detecção.

17. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** pela

dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, que é

transmitida por uma fibra óptica de excitação 144,

dita fibra óptica de excitação 144, contendo uma face distal 148, com um ângulo de reflexão,

dita fibra óptica de excitação 144, estando posicionada paralela ao dito sensor de fibra óptica 98,

dita face distal 148, com um ângulo de reflexão estando configurada para iluminar transversalmente a dita região sensível 102 com a dita luz de sondagem,

sendo que a dita fonte de luz de sondagem 100 ou 103, introduz axialmente a dita luz de sondagem na dita fibra óptica de excitação 144,

sendo que a dita luz de sondagem é acoplada ao núcleo 106, da dita fibra óptica de excitação 144,

sendo que a dita luz de sondagem é transmitida ao longo da dita fibra óptica de excitação 144, e, uma vez incidente na dita face distal 148, com um ângulo de reflexão, a dita luz de sondagem é refletida transversalmente em direção à dita região sensível 102, pelo dito ângulo de reflexão no término distal da fibra de excitação 144, fazendo com que a dita luz de sondagem interaja com a dita região sensível 102.

18. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** por uma face distal 148, angular refletora reposicionável para iluminar regiões discretas do dito sensor de fibra óptica 98.

19. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** por uma pluralidade de fibras de excitação 144, cada uma contendo uma face distal 148, angular refletora na extremidade, posicionadas paralelas ao dito sensor de fibra óptica 98, dito ângulo

refletor da face distal 148, de cada dita fibra de excitação 144, estando posicionado em regiões discretas ao longo do dito sensor de fibra óptica 98.

20. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** pela

dita luz de sondagem que é transmitida por uma fibra óptica de excitação 154,

dita fibra óptica de excitação 154, possuindo uma pluralidade de redes de Bragg de longo período 156,

dita fibra de excitação 154, estando posicionada paralela ao longo do dito sensor de fibra óptica 98,

dita rede de Bragg de longo período 156, iluminando transversalmente, em posições discretas, dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98,

no qual uma fonte de luz de sondagem 100 ou 103, introduz a dita luz de sondagem num monocromador 160,

no qual o dito monocromador 160, filtra a dita luz de sondagem a um comprimento de onda específico,

no qual a dita luz de sondagem a um comprimento de onda específico é introduzida axialmente na fibra óptica de excitação 154,

no qual a dita luz de sondagem a um comprimento de onda específico se propaga até a sua rede de Bragg de longo período 156, correspondente a qual possui características semelhantes em relação ao comprimento de onda da dita luz de sondagem, e

a dita rede Bragg de longo período 156, correspondente redireciona transversalmente a luz de sondagem em direção à dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98,

no qual cada rede de Bragg 156, é projetada para

acoplar a luz a partir de um modo guiado da dita fibra de excitação 154, em modos radiantes a comprimentos de onda específicos dentro de um espectro de absorção específico, e no qual os modos radiantes a um comprimento de onda específico iluminam a região sensível 102 do revestimento 102.

21. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 20, caracterizado por um monocromador 160, que pode ser sintonizado de forma incremental a fim de filtrar a luz de sondagem a um comprimento de onda específico correspondente a uma rede de Bragg de longo período 156, dita rede de Bragg de longo período 156, estando localizada num ponto ao longo da dita fibra óptica de excitação 154.

22. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pelo dito sensor de fibra óptica 98, e a dita luz de sondagem que podem ser instalados "in situ", dentro de um corpo no qual pelo menos um parâmetro de medição pode ser medido em pelo menos um ponto, dentro do dito corpo, o qual está sendo sondado.

23. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, no qual a dita fonte de luz de sondagem 103, é caracterizada por pelo menos uma fonte de luz branca 103, de banda larga,

no qual a dita luz de banda larga interage com a dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98, de maneira tal que uma parcela da luz de banda larga é absorvida pela dita região sensível 102 gerando uma luz de banda larga de sondagem parcialmente absorvida, dita absorção sendo substancialmente afetada pela presença do dito parâmetro de medição sendo que a dita luz de banda larga de sondagem

parcialmente absorvida é substancialmente acoplada ao dito núcleo 106, do dito sensor de fibra óptica 98, como um sinal de luz na forma de uma pluralidade de modos guiados e modos de fuga 105.

24. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1, no qual a dita fonte de luz de sondagem 100, é caracterizada por pelo menos uma fonte de luz LED 100, de excitação ultravioleta, dita fonte de luz de excitação 100, produzindo uma luz de sondagem e dita fonte de excitação estando adjacente ao dito sensor de fibra óptica 98, próxima à dita região sensível 102;

no qual o dito meio de detecção consiste em um foto detector de silício 108,

no qual, a dita luz de sondagem interage com a dita região sensível 102 do dito sensor de fibra óptica 98, a qual uma parcela da dita luz de sondagem é absorvida pela dita região sensível 102,

dita região sensível 102 emite uma luz fluorescente 104, uma vez excitada pela dita luz de sondagem,

dita luz fluorescente 104, é substancialmente afetada pela presença do dito parâmetro de medição,

dita luz fluorescente 104, é substancialmente acoplada ao dito núcleo 106, como um sinal de luz,

e o dito sinal de luz é transmitido ao dito primeiro término do dito sensor de fibra óptica 98;

no qual o dito foto detector de silício 108, recebe o dito sinal de luz uma vez que o dito sinal de luz atravessa o primeiro término do dito sensor de fibra óptica 98,

o dito foto detector de silício 108, correlaciona, de maneira monotônica, a intensidade do dito sinal de luz com

um sinal elétrico,

o dito sinal elétrico é transmitido ao dito meio de processamento de sinais 110; e

no qual o dito sinal elétrico é correlacionado com uma quantidade do dito parâmetro de medição no dito meio de processamento de sinais 110,

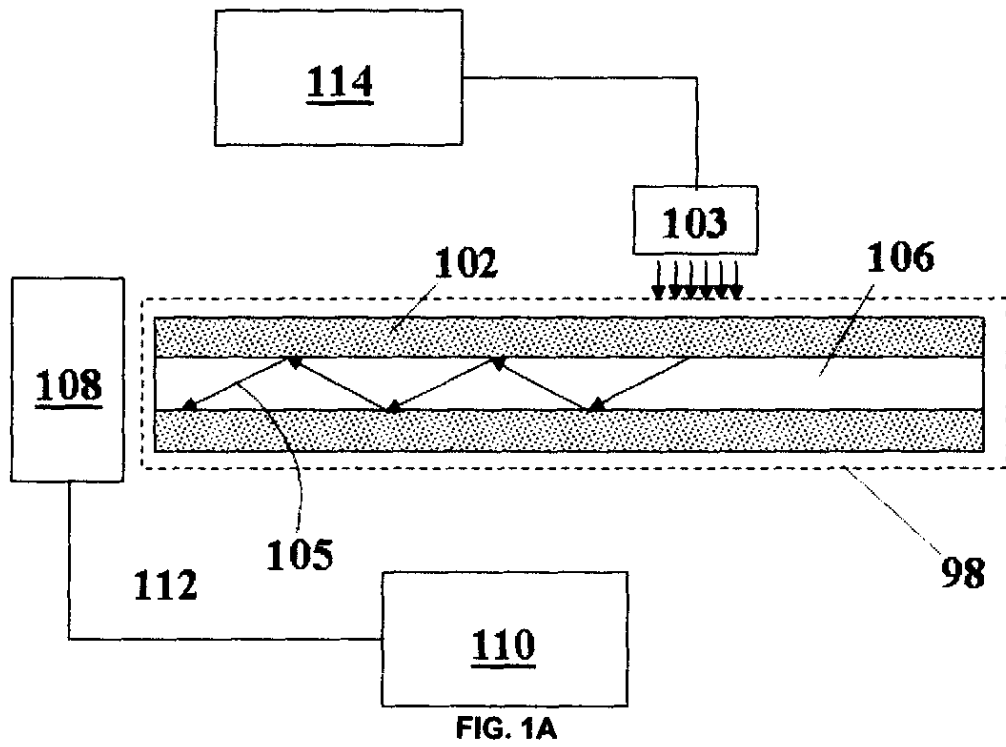
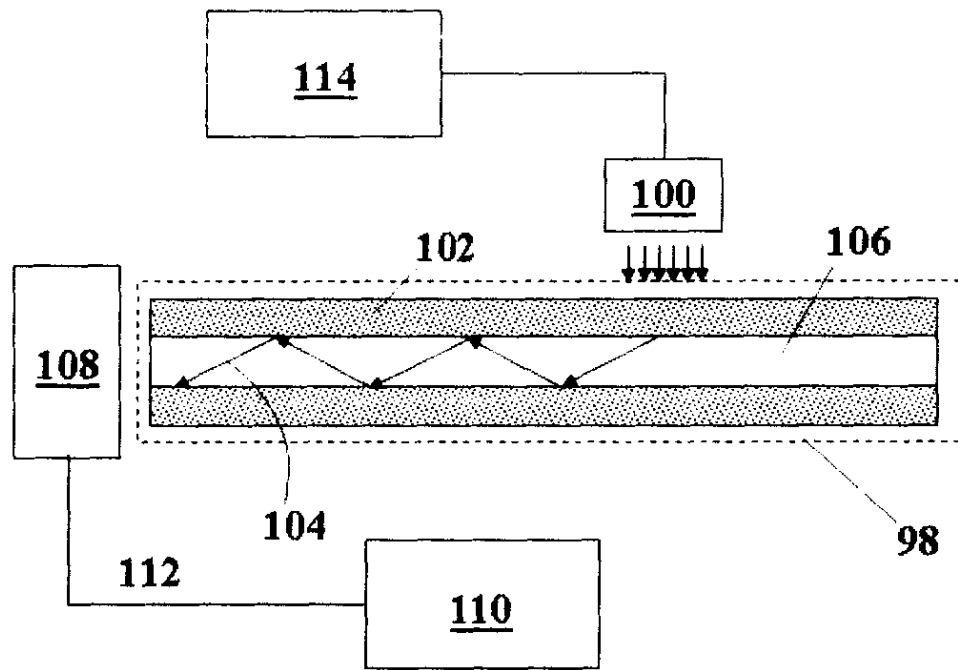
e a dita quantidade do dito parâmetro de medição é transmitida e indicada no dito meio de exibição 170, de sinais.

25. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 com a dita fibra sensora caracterizada por um revestimento 102, contendo diferentes reagentes sensíveis, a fim de capacitar cada dito revestimento 102, uma sensibilidade para uma dada espécie química, no qual cada dito revestimento 102, tem um comprimento específico o qual define a resolução espacial da fibra sensora.

26. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 1 **caracterizado** por uma pluralidade de LEDs a fim de controlar a intensidade do sinal e a sensibilidade das regiões sensível 102s.

27. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 26 **caracterizado** por uma corrente variável a qual alimenta os ditos LEDs a fim de controlar a intensidade do sinal e a sensibilidade das regiões sensível 102s.

28. Sensor distribuído de fibra óptica 98, de acordo com a reivindicação 27 **caracterizado** por uma leitora que lê a intensidade de luz integrada das regiões sensível 102s como o objetivo de fazer medidas.



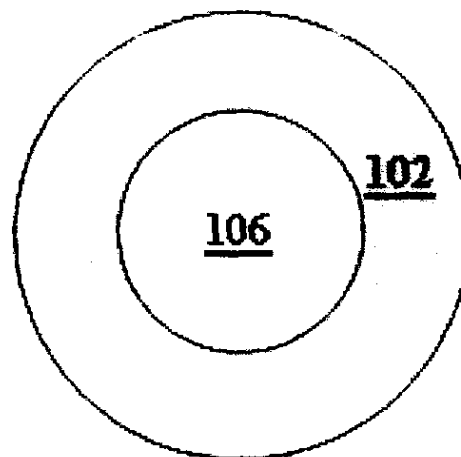


FIG. 2

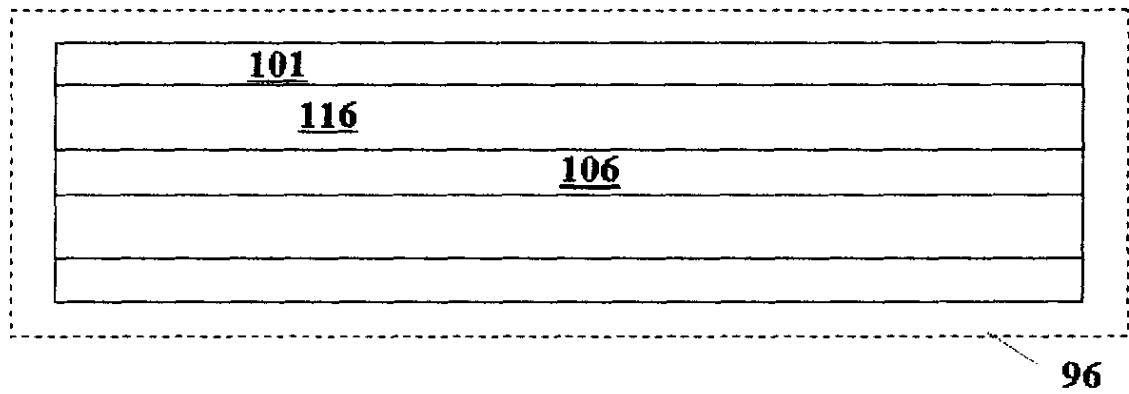


FIG. 2A

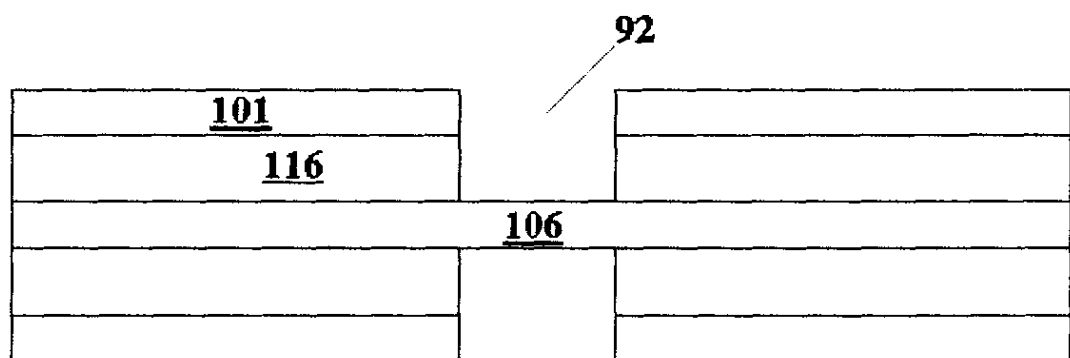


FIG. 3

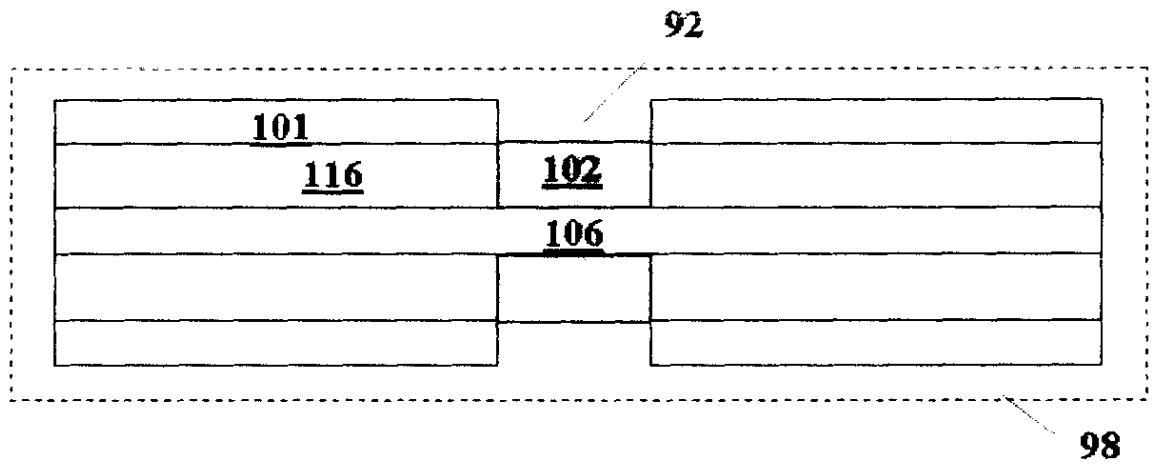


FIG. 4.

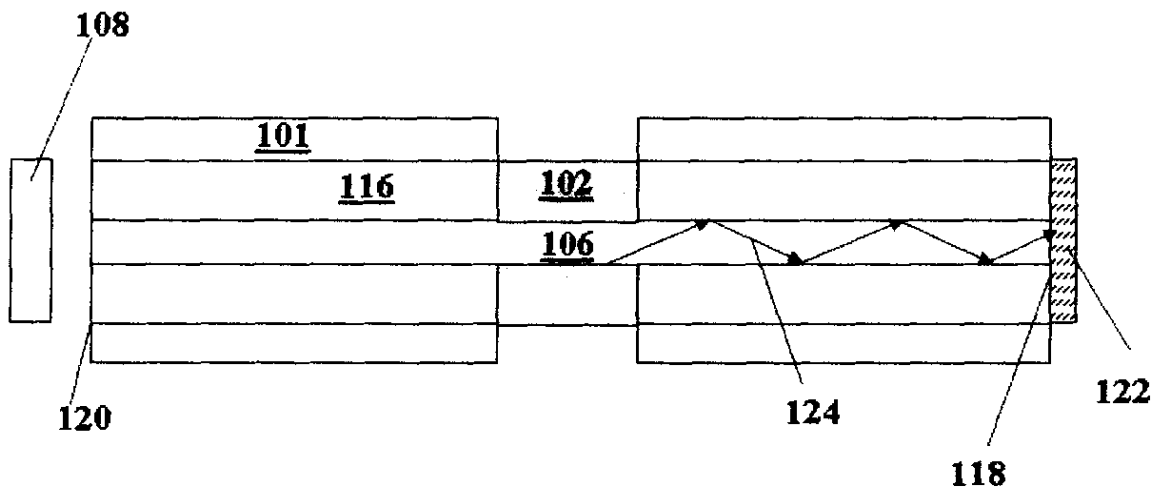


FIG. 5.

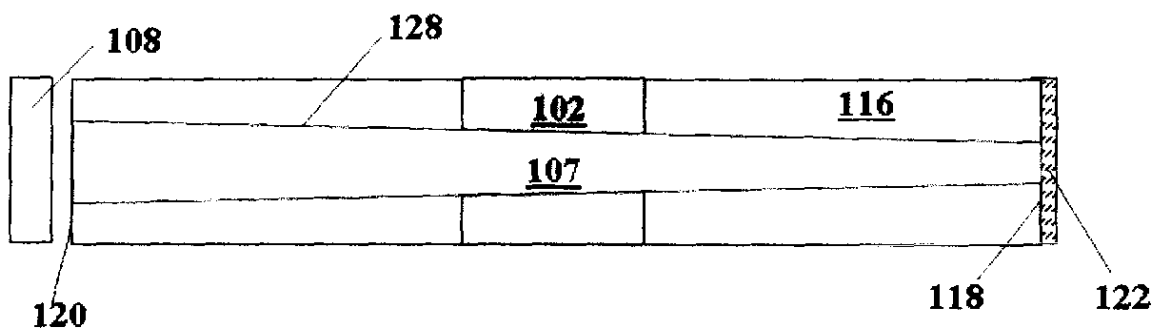


FIG. 6.

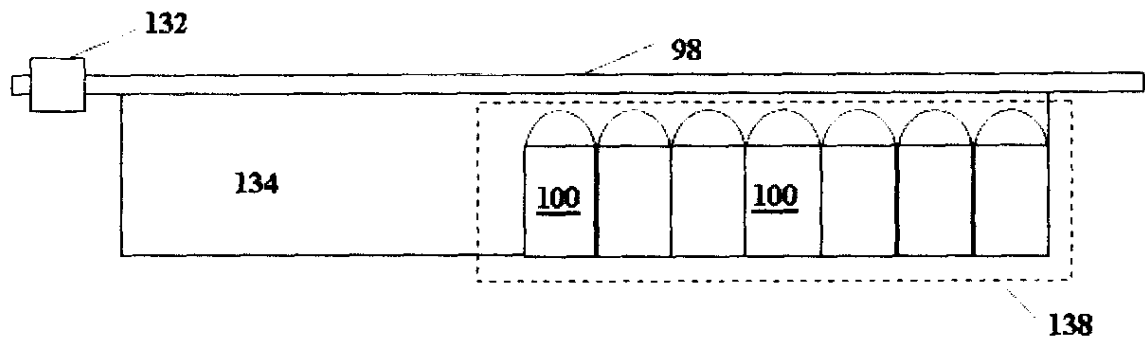


FIG. 7.

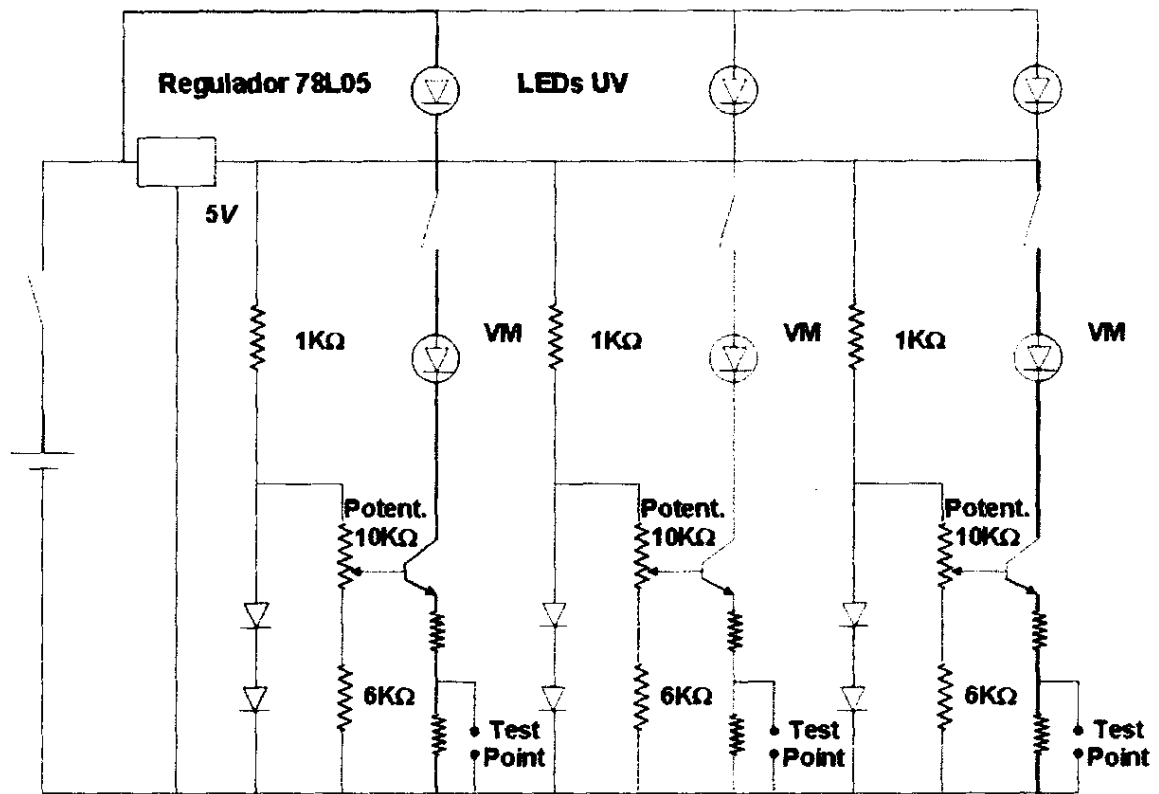


FIG. 8.

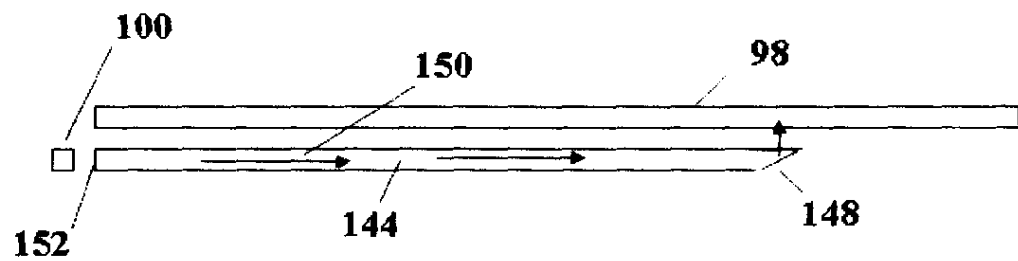


FIG. 9.

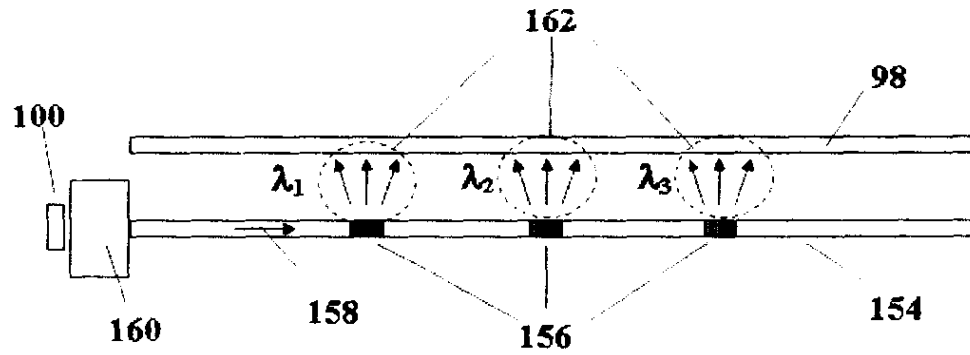


FIG. 10.

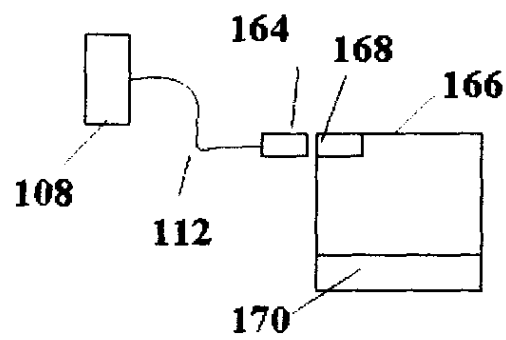


FIG. 11.

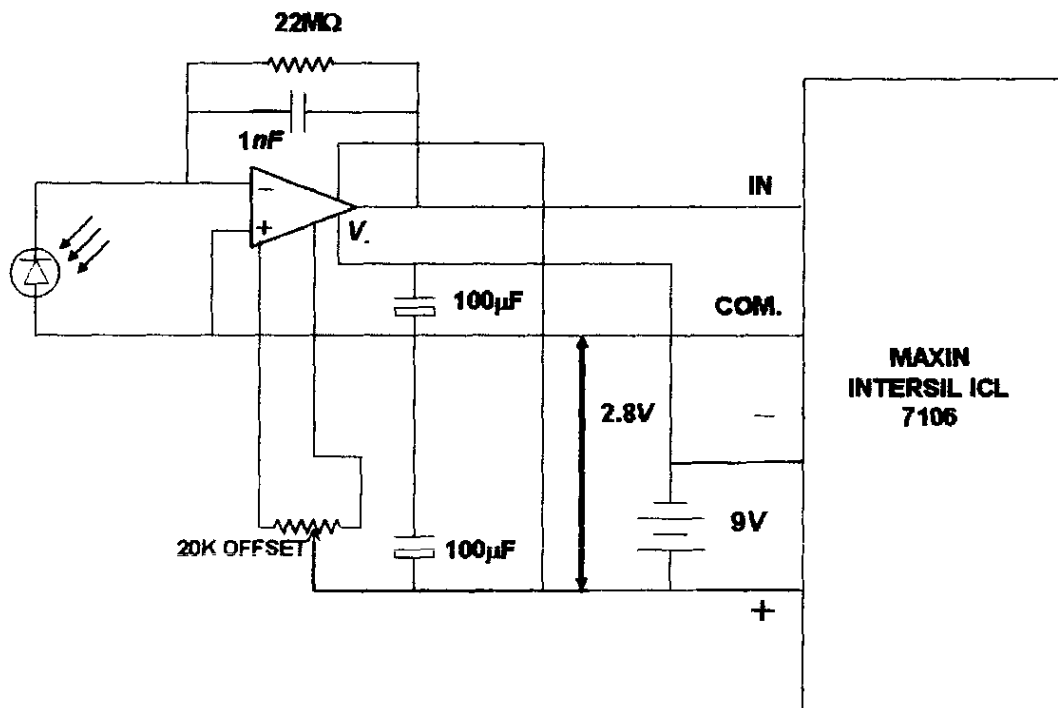


FIG. 12.

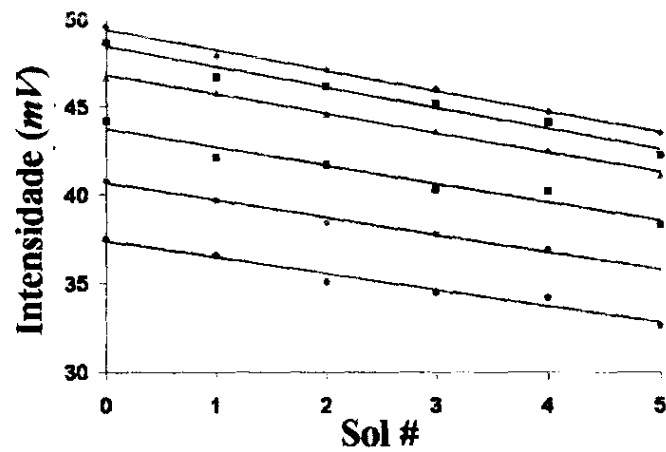


FIG. 13

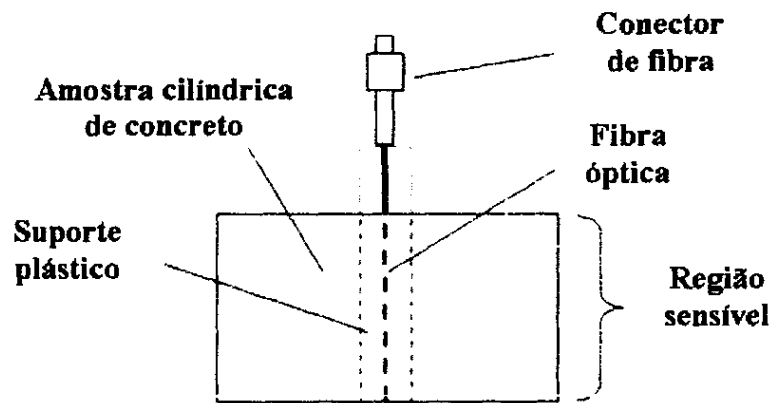


FIG. 14

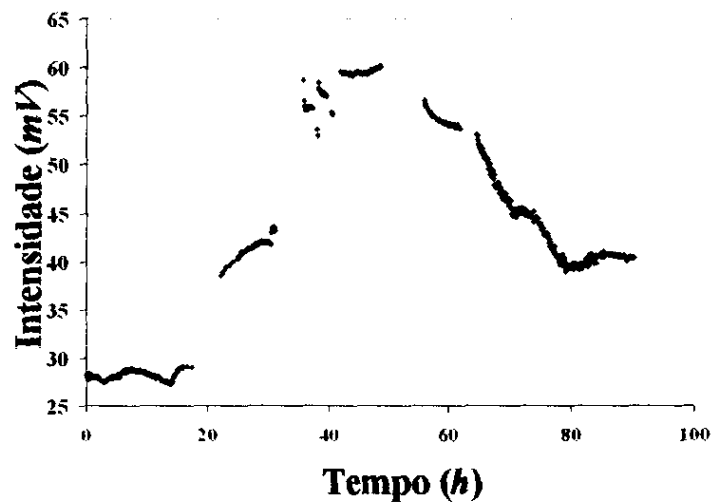


FIG. 15