

(11) Número de Publicação: **PT 1882178 E**

(51) Classificação Internacional:

G01N 21/77 (2011.01) **G02B 6/25** (2011.01)
G02B 6/26 (2011.01) **G02B 6/30** (2011.01)
G02B 6/34 (2011.01) **G02B 6/42** (2011.01)

(12) FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO

(22) Data de pedido: **2006.04.26**

(30) Prioridade(s): **2005.04.28 US 676121 P**

(43) Data de publicação do pedido: **2008.01.30**

(45) Data e BPI da concessão: **2011.12.07**
052/2012

(73) Titular(es):

CLAUDIO OLIVEIRA EGALON
4117 TIVOLI AVENUE LOS ANGELES, CA 90066
US

(72) Inventor(es):

CLAUDIO OLIVEIRA EGALON **US**

(74) Mandatário:

MANUEL GOMES MONIZ PEREIRA
RUA DOS BACALHOEIROS, Nº 4 1100-070 LISBOA **PT**

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

(57) Resumo:

UM SENSOR ESPECTROSCÓPICO DE FIBRA ÓPTICA QUE INCLUI UMA FIBRA ÓPTICA SENSÍVEL, UMA FONTE DE LUZ DE SONDAÇÃO, UMA FONTE DE ALIMENTAÇÃO, UM MEIO DE DETECÇÃO, UM MEIO DE PROCESSAMENTO DE SINAIS, E UM MEIO DE EXIBIÇÃO DE SINAIS. O SENSOR DE FIBRA ÓPTICA TEM UM REVESTIMENTO SENSÍVEL FEITO OU COM UM INDICADOR FLUORESCENTE OU COM UM INDICADOR BASEADO EM ABSORÇÃO. A FIBRA É ÓPTICAMENTE AFETADA PELA PRESENÇA DE PELO MENOS UM PARÂMETRO DE MEDIÇÃO. A FONTE DE LUZ DE SONDAÇÃO, ADJACENTE À FIBRA SENSÍVEL, ILUMINA A FIBRA LATERALMENTE. A LUZ DE SONDAÇÃO É MODIFICADA PELO REVESTIMENTO SENSÍVEL, ACOPLADA AO NÚCLEO DO SENSOR DE FIBRA ÓPTICA COMO UM SINAL DE LUZ E É GUIADA EM DIREÇÃO AO MEIO DE DETECÇÃO SITUADO NA FACE TERMINAL DA FIBRA ÓPTICA. O MEIO DE DETECÇÃO CONVERTE A INTENSIDADE DE LUZ EM UM SINAL ELÉTRICO E TRANSMITE O MESMO EM DIREÇÃO AO MEIO DE PROCESSAMENTO DE SINAIS, NO QUAL O SINAL ELÉTRICO É CORRELACIONADO COM O PARÂMETRO DE MEDIÇÃO. A QUANTIDADE CORRELACIONADA É ENTÃO TRANSMITIDA E EXIBIDA NO MEIO DE EXIBIÇÃO DE SINAIS.

RESUMO

**SENSOR DISTRIBUÍDO DE FIBRA ÓPTICA APERFEIÇOADO, REVERSÍVEL,
DE BAIXO CUSTO E COM ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL**

Um sensor espectroscópico de fibra óptica que inclui uma fibra óptica sensível, uma fonte de luz de sondagem, uma fonte de alimentação, um meio de detecção, um meio de processamento de sinais, e um meio de exibição de sinais. O sensor de fibra óptica tem um revestimento sensível feito ou com um indicador fluorescente ou com um indicador baseado em absorção. A fibra é ópticamente afetada pela presença de pelo menos um parâmetro de medição. A fonte de luz de sondagem, adjacente à fibra sensível, ilumina a fibra lateralmente. A luz de sondagem é modificada pelo revestimento sensível, acoplada ao núcleo do sensor de fibra óptica como um sinal de luz e é guiada em direção ao meio de detecção situado na face terminal da fibra óptica. O meio de detecção converte a intensidade de luz em um sinal elétrico e transmite o mesmo em direção ao meio de processamento de sinais, no qual o sinal elétrico é correlacionado com o parâmetro de medição. A quantidade correlacionada é então transmitida e exibida no meio de exibição de sinais.

DESCRIÇÃO

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

ANTECEDENTES - CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se, em geral, a sensores espectroscópicos de fibra óptica. Especificamente, esta invenção diz respeito a sensores baseados em absorção, fluorescência, fosforescência e quimiluminescência.

ANTECEDENTES - DESCRIÇÃO DA TÉCNICA ANTERIOR

Sensores espectroscópicos de fibra óptica são utilizados em várias aplicações industriais para a detecção de temperatura e espécies químicas em forma líquida ou gasosa. Estes sensores, foram desenvolvidos utilizando duas configurações distintas: a do optrodo (ou optodo) e a do sensor distribuído.

O optrodo é o sensor de fibra óptica mais simples de todos. Peterson et al., 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 regresso à face proximal da fibra onde 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 sensores adicionais resultando em um sistema complexo contendo vários dispositivos.

No caso do sensor distribuído, a fibra inteira, ou secções da mesma, atua como um sensor. Num caso, a fibra pode ser fabricada com um único revestimento sensível ao parâmetro que está sendo medido. Num outro caso, removem-se várias secções originais do revestimento da fibra para expôr o núcleo da mesma. Em 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, podem-se 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.

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.

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.

Porém, a técnica axial de excitação possui vários incovenientes. 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 difícil, requerendo calibração e manejo delicado.

Schwabacher, número de publicação internacional 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 secção substancialmente inerte, tal como o revestimento original. Esta região substancialmente inerte deve ter um comprimento mínimo, preferivelmente de 250 centímetros. A Publicação '316 documenta ambos os métodos axiais e transversais de excitação, mas considera o método axial o modo preferido.

Na forma de realização preferida, a 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 secções inertes, relativamente longas, são requeridas pela tecnologia utilizada em '316 para evitar a superposição dos sinais

fluorescentes provenientes de regiões sucessivas 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.) introduz-se axialmente na fibra óptica, e propaga-se em direção às regiões reativas.

Para determinar a região reativa específica que está produzindo o sinal, entre várias das mesmas, 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 utilizados podem também aumentar, significativamente, o custo total do sistema sensor.

Pode-se 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.

Uma outra forma de realização 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.

Em um outro esquema, a fibra da excitação é preparada removendo-se o seu revestimento em várias secções ao longo da fibra, estas secções removidas são instaladas em regiões adjacentes às regiões reativas da fibra de detecção, permitindo que o 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 são revelados outros métodos de excitação axial e transversal, no entanto, estes métodos não são, em média, económicos.

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 secções com regiões reativas e inertes alternadas, deve-se remover o revestimento apenas em regiões onde 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.

Adicionalmente, outras técnicas utilizadas na indústria requerem o uso de instrumentação cara tal como um reflectómetro óptico no domínio temporal (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR). Custando cerca 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 a mudança do índice de refração do dispositivo causada por curvas inadvertidas na fibra bem como irregularidades físicas no material do guia de onda, resultando em interferência dos sinais produzidos. Além disso, essas técnicas possuem uma baixa resolução espacial, em, aproximadamente, cerca de 10 centímetros. Uma resolução espacial mais refinada é altamente recomendada.

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 até o presente foi capaz de identificar que essa excitação lateral, quando feita corretamente, pode sondar secções bem curtas de uma fibra sensível resultando num sensor de alta resolução espacial. Uma alta resolução espacial, de pelo menos de 5 milímetros, é desejável em aplicações onde 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 iões de cloro em estruturas de concreto em secções curtas ao longo da fibra. Os esforços anteriores também não puderam proporcionar uma técnica mais simples de excitação capaz de produzir a um sensor robusto e de baixo custo.

O que é necessário é uma sonda de fonte de luz que possa, de um modo adicional, proporcionar uma elevada resolução espacial ao sensor de fibra, em torno de 5 mm ou menos, permitindo a localização exacta do ponto de detecção. É, de um modo adicional, necessário um sistema de fibra óptica de baixo custo que utilize dispositivos baratos, disponíveis no mercado, que possa ser fabricado por meios automatizados. É

também necessário um dispositivo flexível que possa utilizar fontes de luz infravermelhas, visíveis, e ultravioletas do espectro electromagnético. De um modo adicional o que é necessário é um dispositivo de sensor robusto que possa ser alinhado facilmente, e que não seja afetado por interferências externas como as dobras e a luz ambiente. De um modo adicional é necessário um modelo genérico de sensor de fibra óptica que se possa adaptar para vigiar distintas espécies químicas. O que é também necessário é uma fonte de luz intensa de sondagem, e de baixo custo, para uma fibra de base fluorescente e de absorção com o intento de se produzir um sinal intenso que possa ser detectado facilmente. O que é finalmente necessário é um sistema de detecção modular que se possa atualizar facilmente com a tecnologia disponível.

RESUMO DA INVENÇÃO

De acordo com a invenção, um sistema sensor é descrito, conforme reivindicado na reivindicação 1 das reivindicações anexas. Isto provê uma fibra óptica reversível, robusta, barata, distribuída e com alta resolução espacial. A presente invenção pode ser utilizada nas regiões infravermelhas, visíveis, e ultravioletas do espectro electromagnético. A pluralidade de fontes de luz de sondagem da presente invenção proporciona uma iluminação intensa, e de baixo custo, capaz de sondar a região sensível da fibra produzindo um sinal intenso de fácil deteção. Esta invenção pode ser dopada, ou utilizada, com distintos revestimentos, cada qual sensíveis a diferentes espécies químicas. Ademais esta invenção pode ser atualizada continuamente com novos dopantes e produtos químicos, novas fontes de luz de sondagem, novos sensores e novos códigos computacionais.

A presente invenção geralmente compreende uma fibra óptica sensível, uma pluralidade de fontes de luz de sondagem posicionadas em um arranjo linear, ou de excitação, da fibra, uma fonte de alimentação, um meio de detecção, um meio de processamento de sinais, e um meio de exibição visual do sinal. O arranjo linear de fontes de luz de sondagem, ou de excitação, da fibra é posicionado próximo, 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 monotónica, por estes parâmetros. A fibra óptica sensível recebe a luz da fonte de sondagem em uma direção transversal enquanto que 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 é 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 electrónico é transmitido ao meio de processamento de sinal, onde o sinal electrónico se correlaciona com a quantidade que está sendo medida (temperatura, concentração da espécie química, etc.). A quantidade correlacionada é então exibida em um display.

Uma secção, ou a área inteira, ao redor do núcleo da fibra óptica é sensível à espécie química que está sendo medida. Um reagente sensível é incorporado num 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.

Numa configuração preferida, utiliza-se um Diodo Emisor 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 a sua região sensível. O LED UV foi escolhido por vários motivos. Em primeiro lugar, o LED UV é uma fonte barata que pode ser obtida facilmente, diminuindo o custo de fabricação do sensor. Em segundo lugar, desenvolvimentos recentes na tecnologia de LEDS, produziu uma fonte de luz de pequeno tamanho resultando num 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 secções 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.

Uma forma de realização adicional pode incluir 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.

Ainda noutra forma de realização, inclui o uso de uma fibra óptica sensível com um núcleo afilado, em forma de uma secção 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 com as 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 manufaturada com uma torre de puxamento de fibra óptica usando uma preforma afilada. Alternativamente, sopradores de vidros profissionais podem ser utilizados para fabricar esta fibra manualmente.

A pluralidade de fontes de luz é posicionada num arranjo linear ao longo da fibra óptica sensível com cada fonte de luz emitindo uma luz de sondagem, em direção transversal ao núcleo da fibra, de forma consecutiva ou independente. O comprimento do arranjo linear de fontes de luz corresponde substancialmente ao comprimento da região sensível da fibra óptica. Pode-se utilizar esse arranjo para aumentar a intensidade de luz total do sinal acoplado ao sensor.

Utilizando um exemplo comparativo, uma fibra óptica de excitação pode ser utilizada para excitar transversalmente a fibra óptica sensível. Neste caso, a fibra de excitação age como um guia de onda para a luz de excitação e é posicionada paralelamente à fibra óptica sensível. Uma das extremidades da fibra de excitação é fabricada com um de ângulo de 45°, 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. Pode-se mover a posição do extremo distal da fibra de excitação a fim de sondar diversas secções da fibra de detecção; pode também utilizar-se fibras múltiplas de excitação, cada uma sondando uma área específica da fibra óptica sensível.

Utilizando um outro exemplo comparativo, a fibra óptica de excitação possui 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 secções da fibra sensível utilizando as redes de Bragg de longo período. Cada rede de Bragg é projetada para acoplar a luz dos modos guiados pela 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 secção de fibra óptica sensível no qual a secção iluminada da fibra corresponde à posição desta rede de Bragg. Este procedimento é repetido para outros comprimentos de onda.

Uma forma de realização adicional utiliza um núcleo de fibra óptica ativo dopado com uma substância que amplifica o sinal da região sensível. Esta forma de realização 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 dirige-se então em direção ao detector. Prefere-se esta forma de realização para os casos em que a fibra sensível é muito longa.

Pode-se utilizar um reagente fluorescente ou de absorção com a presente invenção e suas formas de realização alternativas. Utilizando um reagente apropriado pode-se determinar a

concentração de uma espécie química e a temperatura ao redor do reagente. Reagentes sensíveis à 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 iões de cloro. Substâncias fosforescentes, sensíveis a variações de temperatura, também estão disponíveis no mercado. Por exemplo, oxisulfureto de lântano dopado com Europium, oxisulfureto de gadolinium dopado com europium e oxisulfureto 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.

A presente invenção foi criada para aperfeiçoar substancialmente os sistemas de sensores de fibra óptica através do posicionamento transversal da fonte de luz, tal como um LED UV ou de luz branca, diretamente adjacente à região sensível do sensor de fibra óptica. Este posicionamento aumenta a intensidade do sinal acoplado ao núcleo, diminui a complexidade do sistema, os custos de fabricação, e, quando da utilização de LEDs de pequenas dimensões, permite a localização exata do ponto de detecção em uma substância, com uma alta resolução espacial.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

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

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

FIGURA 2 é uma vista perfilada da fibra de detecção.

FIGURA 2A é uma vista lateral da fibra original.

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

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

FIGURA 5 é uma vista lateral de uma outra incorporação desta invenção contendo um espelho que reflete a luz na segunda face da fibra.

FIGURA 6 é uma vista lateral de uma outra incorporação desta invenção ilustrando o núcleo afilado.

FIGURA 7 é uma vista lateral de uma outra incorporação da fibra sensível, ilustrando um arranjo linear de LEDs.

FIGURA 8 é o diagrama de um circuito electrónico capaz de habilitar esta invenção.

FIGURA 9 é um diagrama ilustrando um exemplo comparativo de operação de uma fibra óptica de excitação com um extremo distal de 45 graus.

FIGURA 10 é um diagrama ilustrando um exemplo comparativo de operação de uma fibra óptica de excitação, composto de várias redes de Bragg de longo período.

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

FIGURA 12 é o diagrama de um circuito electrónico capaz de habilitar esta invenção.

FIGURA 13 é um gráfico ilustrando os dados obtidos com esta invenção.

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

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

DESCRIÇÃO DAS FORMAS DE REALIZAÇÃO PREFERIDAS

A seguinte descrição detalhada é, neste momento, a melhor maneira de realizar a invenção. Não se deve interpretar esta descrição de uma forma limitada, mas simplesmente com a finalidade de ilustrar princípios gerais das possíveis formas de realização desta invenção. A descrição detalhada, abaixo, em conexão com os desenhos anexos, reflete, neste momento, as formas de realização 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 formas de realização ilustradas. Porém, deve-se compreender que as mesmas funções e sequências, ou equivalentes, podem ser obtidas através de distintas formas de realização ainda contidas dentro do espírito e âmbito da invenção.

Um diagrama de blocos do sensor 98 é ilustrado na Figura 1. De acordo com a ilustração, uma fonte de excitação UV (a fonte de sondagem), por exemplo um arranjo linear de diodos

emisores de luz no UV (LED UV) 100, ilumina transversalmente uma secção 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. Os LEDs no UV 100 são alimentados por uma fonte de alimentação 114 que proporciona uma corrente para os LEDs no UV 100, estando estes LEDs posicionados próximos, e em comunicação óptica, ao revestimento sensível 102.

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 a 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.

Numa maneira similar de medição, utiliza-se um sensor de fibra óptica baseado em absorção segundo as ilustrações da Figura 1A. Desta maneira, uma fonte de luz de sondagem da fibra, tal como um arranjo linear de diodos emisores de luz branca (LEDs de cor branca) 103, ilumina transversalmente uma secção 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.

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 propagam-se então em direção a um detector 108, por exemplo, um fotodetector de silício, que correlaciona a intensidade da luz absorbida 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 correlaciona-se então com a concentração da espécie química ao redor do sensor 98.

Por exemplo, reagentes fluorescentes disponíveis comercialmente, tais como Lucigenina, tem sua fluorescência atenuada pelos iões 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 iões 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.

Observando mais particularmente a Figura 2 pode ver-se a secção perfilada da fibra óptica 98 da presente invenção, com um núcleo 106 de vidro ou de plástico, rodeado por um revestimento fluorescente 102, sensível, por exemplo, a iões de cloro. Ou se impregna o revestimento inerte com um

reagente sensível ou aplica-se este reagente diretamente à superfície do núcleo da fibra 106.

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 recobrir-se o núcleo 106 com o material polimérico contendo o corante fluorescente, forma-se o dito revestimento fluorescente 102.

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, onde se deseja sondar a espécie (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.

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 seja sensível aos iões de cloro. Para outras espécies de reagentes e espécies químicas o procedimento pode variar ligeiramente.

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 onde 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 a 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 iões de cloro. O resultado é a fibra com uma região removida de seu revestimento original 92, ver 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, podem remover-se secções múltiplas ao longo do sensor ou até mesmo o comprimento total do núcleo 106 pode ser exposto.

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 gramas de acetato de Polivinilo, PVA, são adicionados a um bêquer contendo 100 ml da acetona. A solução resultante é transparente possuindo porém uma viscosidade maior do que a da acetona. Adicionam-se 10 mg de Lucigenina à solução de acetona/PVA resultando numa solução de cor amarelada.

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 estão molhadas. Se o procedimento fôr demasiadamente longo, o filme sobre a lâmina de vidro endurecerá e nenhum material será transferido para a superfície do núcleo exposto 106.

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

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

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 PVA, $n=1,47$ (veja a Tabela 1).

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 no 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, propagam-se 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.

O mesmo procedimento discutido acima pode ser usado para preparar fibras de policarbonato. 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 secção 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.

Uma outra forma de realização 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 1,5 mm. 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 iões de cloro.

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.

Ainda outra forma de realização, mostrada 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 manufaturada com uma torre de puxamento de fibra utilizando uma preforma de vidro afilada. Alternativamente, esta fibra pode também ser manufaturada manualmente por peritos na arte de dar forma a vidros.

Na Figura 7, uma pluralidade de fontes de luz, por exemplo, vários diodos emissores de luz no UV, são montados sobre um suporte 134, em um arranjo linear, ao longo do comprimento do sensor 98. Num exemplo comparativo, cada fonte de luz 100 emite 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 a sua fratura, e permitindo posicionar, de forma reproduzível a extremidade do sensor 98 da fibra ao lado do detector 126.

No caso específico do sensor de ião 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. O indicador de ião de cloro, Lucigenina, absorve a luz ultravioleta e emite luz fluorescente na região de 505 nanômetros. À medida que cada diodo emissor de luz 100 é ligado e apagado, é possível sondar cada região sensitiva específica da fibra 102, resultando num sensor verdadeiramente distribuído 98.

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.

Outra forma de realização alternativa 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 a qual o sensor de fibra óptica pode ser montado.

A Figura 9 ilustra um exemplo comparativo que utiliza uma fibra óptica de excitação 144 capaz de sondar transversalmente a fibra óptica sensível 98. Neste caso, a fibra 144 de excitação atua como um guia de luz para a luz 150 de excitação e é estendida paralela à fibra óptica sensível 98. A fibra de excitação 144 é manufaturada com uma

face distal 148, a um ângulo de aproximadamente 45°, embora se possam 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 de excitação pode ser transladada para sondar diferentes secções da fibra sensível 98, ou pode utilizar-se múltiplas fibras de excitação, cada uma sondando uma área específica da fibra óptica sensível 98.

Um outro exemplo comparativo, ilustrado na Figura 10, utiliza uma fibra óptica de excitação 154 com várias redes de Bragg de longo período 156. Esta fibra de excitação 154 também é estendida ao longo da fibra óptica sensível 98 e ilumina várias de suas secções 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_i , dentro do espectro de absorção do corante fluorescente. Neste caso, a luz UV de excitação do LED 100 de banda 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_i , somente as redes de Bragg sintonizadas a este comprimento de onda acoplam a luz da fibra óptica sensível 98 iluminando a secção correspondente da fibra sensível à posição desta rede de Bragg específica. Este procedimento pode ser repetido para outros comprimentos de onda.

Uma forma de realização do sistema de detecção está ilustrada na Figura 11. Consiste num 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 ao conector de fibra óptica. O detector está conectado a um cabo que transmite o sinal fotoeléctrico 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.

A presente invenção descrita acima foi construída e testada em concentrações 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. Note-se que a resposta da leitura 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. Nesta conformidade, a curva superior 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.

Tabela 2. Dados numéricos da Figura 16. Seis soluções diferentes da água salgada foram utilizadas. A extremidade da fibra foi posicionada a seis distâncias distintas, Δx , do detector.

Solução #	Concentração 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

As inclinações destas curvas são semelhantes demonstrando que a sensibilidade do sensor é reproduzível. Estes dados também demonstram a reversibilidade do sinal enquanto a sua reproduzibilidade foi observada. Quando o 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. Esta experiência demonstrou que o sensor tem uma resposta linear, é robusto, seu sinal é estável, reversível e reproduzível.

Esta invenção, em suas várias formas, pode ser usada em muitas diferentes 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

subseqüente), a monitorização da concentração dos iões de cloro em estruturas de aeronaves (a causa da corrosão de cova ou "pit corrosion"), a medição do conteúdo de cloro e de outros iões no solo de plantas, e a medição da concentração dos iões de cloro em dessalinizadores. Quando modificada corretamente, esta invenção pode ser utilizada para detectar outros tipos de iões, moléculas e temperatura desde que se possa escolher um indicador e uma matriz polimérica apropriada.

Devido à característica modular do sensor, é possível embutir o subsistema do sensor numa estrutura de concreto expondo a extremidade da fibra e seu conector de energia ao meio ambiente exterior (veja Figura 14). Desta forma, um teste do sensor foi feito para determinar sua resposta enquanto embutido dentro de um corpo de prova cilíndrico de concreto. O corpo de prova de concreto foi sujeito à água de sal (salmoura) e o sinal do sensor foi monitorado durante vários dias. A resposta do sensor durante as últimas 90 horas deste experimento está ilustrada na Figura 15. O seguinte é uma descrição da linha temporal dos eventos desta experiência onde $T=0\text{h}$ corresponde ao dia 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 $T=-460\text{h}$ 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 ($T=-28\text{h}$).
4. $T=0\text{h}$ na figura 15 corresponde ao dia 20 ($T=0\text{ h}$). 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 iões 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 iões de cloro em torno do ponto de monitorização.

9. Em torno de $T=+80h$, o sinal alcança um de seus níveis mais baixos e estabiliza-se.

A experiência foi terminada em torno de $T=+90$ h.

Embora esta invenção tenha sido descrita no que respeita a formas de realização particulares, reconhece-se que variações adicionais desta invenção podem ser concebidas sem abandonar o presente conceito inventivo. Muitas melhorias, modificações e adições serão aparentes para o perito na matéria sem abandonar o espírito e alcance da presente invenção descrita e definida nas reivindicações que se seguem.

Números de Referência

92 Região exposta da fibra 1

98 Fibra óptica com revestimento sensível 1

100 LED UV

- 101 Revestimento protetor exterior da fibra
- 102 Revestimento fluorescente
- 103 LED de luz branca
- 104 Sinal de luz baseado em fluorescência 1
- 105 Sinal de luz baseado em absorção
- 106 Núcleo da fibra
- 107 Núcleo afilado
- 108 Foto detector de silício
- 110 Unidade de leitura
- 112 Cabo fotodetector
- 114 Fonte de luz
- 116 Revestimento original
- 118 Segunda face da fibra óptica
- 120 Primeira face da fibra óptica
- 122 Superfície refletora
- 124 Modos de propagação ao revés

128 Interface entre o núcleo afilado e o revestimento

132 Conector de fibra óptica

134 Suporte de fibra óptica

138 Arranjo linear de LEDs

144 Fibra de excitação com um término de 45°

148 Extremo distal reflector a um ângulo de 45°

150 Luz de excitação

152 Término próximo da fibra

154 Fibra óptica com redes de Bragg de longo período

156 Redes de Bragg de longo período

158 Modo guiado da fibra de excitação

160 Monocromador

162 Modos de radiação

164 Conector macho do foto detector

166 Meio de leitura

168 Conector fêmea do meio de leitura

170 Display da unidade de leitura

6 de Março de 2012

REIVINDICAÇÕES

1. Sensor distribuído de fibra óptica com alta resolução espacial e alta intensidade, caracterizado por compreender:

um sensor de fibra óptica (98), possuindo o dito sensor de fibra óptica um núcleo (106), possuindo o dito sensor um revestimento (116), possuindo o dito revestimento, pelo menos, uma região sensitiva (102), e sendo a dita região sensitiva sensível a, pelo menos, um mensurando;

uma pluralidade de fontes de luz de sondagem (100, 103) posicionada num arranjo linear ao longo de pelo menos uma dita região sensitiva, produzindo cada dita fonte de luz de sondagem uma luz de sondagem, e estando cada dita fonte de luz de sondagem adjacente à dita fibra sensitiva óptica numa, pelo menos, região sensitiva referida, na qual cada pluralidade de fontes de luz de sondagem referida, emite independentemente a dita luz de sondagem em direção transversal a, pelo menos, uma dita região sensitiva, uma por uma, iluminando cada dita pluralidade de fontes de luz de sondagem, de forma independente, uma porção discreta de pelo menos uma região sensitiva;

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

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

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

uma fonte de alimentação (114), provendo a dita fonte de alimentação a energia necessária para cada dita fonte de luz

de sondagem, o dito meio de detecção, o dito meio de processamento de sinais e o dito meio de exposição de sinais; no qual o dito sensor de fibra óptica é ópticamente afetado, em uma relação monotónica, pela presença do dito pelo menos um mensurando localizado em um ambiente ao redor do sensor de fibra óptica;

no qual, quando em uso, a dita luz de sondagem interage individualmente com pelo menos uma dita região sensitiva do dito revestimento sensível da fibra óptica de maneira tal que uma luz de sondagem modificada é gerada a partir daí, cada dita modificação sendo causada substancialmente pela presença de dito mensurando e dita luz de sondagem modificada sendo acoplada substancialmente ao dito núcleo como um sinal de luz associado com pelo menos uma das ditas regiões sensíveis; no qual o dito meio de detecção é adaptado para receber o dito sinal de luz associado uma vez que o mesmo cruza o primeiro término do dito sensor de fibra óptica;

no qual o dito meio de detecção é adaptado para medir a intensidade do dito sinal de luz num dado intervalo de comprimentos de onda, correlacionar tal intensidade do dito sinal de luz com um sinal elétrico, e transmitir o dito sinal elétrico em direção ao dito meio de processamento de sinais; no qual o dito meio de processamento de sinal é adaptado para correlacionar o dito sinal elétrico com uma quantidade do dito mensurando que está sendo medido, dita quantidade sendo transmitida e indicada no dito meio de exposição de sinais.

2. O sensor de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por um núcleo (107) ter uma geometria afilada, geralmente divergindo em direção ao dito meio de detecção à medida que o dito sinal de luz se propaga de pelo menos uma das ditas regiões sensitivas do dito sensor de fibra óptica ao dito detector; e por a dita geometria afilada diminuir a perda de

intensidade do dito sinal de luz.

3. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual o dito núcleo da fibra é dopado com uma substância fluorescente resultando num núcleo fluorescente, sendo que o dito núcleo fluorescente aumenta a intensidade do dito sinal de luz que se propaga em direção ao dito meio de detecção.

4. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual o índice de refração do dito núcleo é menor ou igual do que o índice de refração da dita região sensitiva para permitir o acoplamento da luz de pelo menos uma das ditas regiões sensíveis ao dito núcleo da fibra.

5. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual pelo menos uma das ditas regiões sensitivas (102) é manufacturada com um reagente selecionado a partir de um grupo que consiste de um reagente colorimétrico, um reagente baseado em absorção e um reagente fluorescente.

6. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual o dito mensurando é selecionado a partir de um grupo consistindo na concentração de uma espécie química ao redor de, pelo menos, uma das ditas regiões sensitivas da fibra óptica ou, da temperatura ambiente ao redor de, pelo menos, uma das ditas regiões sensitivas da fibra óptica.

7. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual as ditas fontes de luz de sondagem (100, 103) são selecionadas a partir de um grupo que consiste de um diodo emisor de luz de luz ultravioleta, um LED de luz visível de banda larga e um diodo orgânico emissor de luz.

8. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual as fontes de luz de sondagem (100, 103) possuem um diâmetro máximo de 5 mm e ditas fontes de luz de sondagem são capazes de produzir uma resolução espacial de pelo menos 5 mm.

9. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual as fontes de luz de sondagem (100, 103) possuem um diâmetro mínimo de 5 mm e ditas fontes de luz de sondagem são capazes de produzir uma resolução espacial de até 5 mm.

10. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual as ditas fontes de luz de sondagem emitem a dita luz de sondagem consecutivamente, a um ângulo, em direção a pelo menos uma região sensitiva.

11. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual a dita pluralidade de fontes de luz de sondagem emite a dita luz de sondagem em grupos adjacentes, sendo as fontes de luz iluminadas simultaneamente dentro de um dado grupo, a um ângulo em direção a pelo menos uma dita região sensitiva, um grupo de cada vez, a fim de prover um sinal de luz intensificado.

12. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual cada dita pluralidade de fontes de luz de sondagem é configurada para emitir independentemente a dita luz de sondagem a um ângulo na direção de pelo menos uma dita região sensitiva, uma por uma, iluminando cada dita pluralidade de fontes de luz de sondagem independentemente uma porção discreta de pelo menos uma dita região sensitiva.

13. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual o dito meio de detecção (108) é um foto detector de silício

posicionado no primeiro término do dito sensor de fibra óptica.

14. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual um refletor (122) é posicionado no segundo término do dito sensor de fibra óptica, no qual o dito refletor aumenta o dito sinal de luz à medida que o modo de propagação ao revés é refletido em direção ao dito meio de detecção.

15. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual o dito sensor de fibra óptica e a dita luz de sondagem são instalados "in situ", num corpo dentro do qual pelo menos um parâmetro de medição pode ser detectado em pelo menos um ponto, dentro do dito corpo, o qual está sendo sondado.

16. O sensor de acordo com a reivindicação 1, no qual a dita pluralidade de fontes de luz de sondagem compreende pelo menos uma fonte de luz branca de banda larga (103), no qual, quando utilizada, a dita fonte de luz de banda larga é disposta a interagir com, pelo menos, uma das ditas regiões sensíveis do dito revestimento sensitivo da fibra óptica, de maneira tal que uma fração da luz de banda larga é absorvida por pelo menos uma região sensitiva para formar uma luz de banda larga absorvida parcialmente, sendo a dita absorção afetada substancialmente pela presença de um mensurando, e sendo a dita luz de banda larga parcialmente absorvida acoplada substancialmente ao dito núcleo como um sinal de luz (105) na forma de uma pluralidade de modos guiados e modos de fuga.

17. O sensor de acordo com a reivindicação 1,

no qual a dita pluralidade de fontes de luz de sondagem compreende pelo menos um LED de luz ultravioleta (100), produzindo a dita fonte de luz, quando utilizada, uma luz de sondagem e estando a dita fonte de excitação adjacente ao dito sensor de fibra óptica próxima a pelo menos uma dita região sensitiva do dito revestimento;

no qual o dito meio detector (108) compreende um foto detector de silício;

no qual, quando utilizada, a dita de luz de sondagem interage com pelo menos uma das ditas regiões sensíveis do dito sensor de fibra óptica, de maneira tal que uma fração da dita luz de sondagem é absorvida por, pelo menos, uma das ditas regiões sensíveis, emitindo, pelo menos, uma das ditas regiões sensíveis uma luz fluorescente uma vez excitada pela dita luz de sondagem, dita luz fluorescente é substancialmente afetada pela presença do dito mensurando, dita luz fluorescente é substancialmente acoplada ao dito núcleo como um sinal de luz (104), e o dito sinal de luz é transmitido ao dito primeiro término do dito sensor de fibra óptica;

no qual o dito foto detector de silício é disposto a receber o dito sinal de luz uma vez que o mesmo atravessa o dito primeiro término do dito sensor de fibra óptica, o dito foto detector de silício correlaciona, de maneira monotónica, a intensidade do dito sinal de luz, dentro de um dado intervalo de comprimento de onda, com um sinal elétrico, dito sinal elétrico é transmitido ao dito meio de processamento de sinais; e

no qual o dito sinal elétrico é correlacionado com um mensurando no dito meio de processamento de sinais, e o dito sinal do é transmitido e indicado no dito meio de exibição de sinais.

18. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual a dita fibra é revestida com diferentes reagentes sensitivos, a fim de capacitar uma sensibilidade, a cada revestimento sensitivo, a uma específica espécie química, no qual cada revestimento tem um comprimento específico o qual define a resolução espacial da fibra sensora.

19. O sensor de acordo com a reivindicação 1 incluindo, além disso, uma pluralidade de LEDs, a fim de controlar a intensidade do sinal e a sensitividade de pelo menos uma região sensitiva.

20. O sensor de acordo com a reivindicação 19 no qual uma corrente elétrica variável é proporcionada os ditos LEDs a fim de controlar a intensidade do sinal e a sensitividade de pelo menos uma região sensitiva.

21. O sensor de acordo com a reivindicação 20 incluindo, além disso, uma leitora para ler a intensidade de luz integrada de pelo menos uma região sensível com o intuito de fazer medições.

22. O sensor de acordo com a reivindicação 1 no qual as ditas fontes de luz de sondagem são capazes de ser reposicionáveis a fim de iluminar diferentes regiões discretas ao longo do comprimento da fibra.

6 de Março de 2012

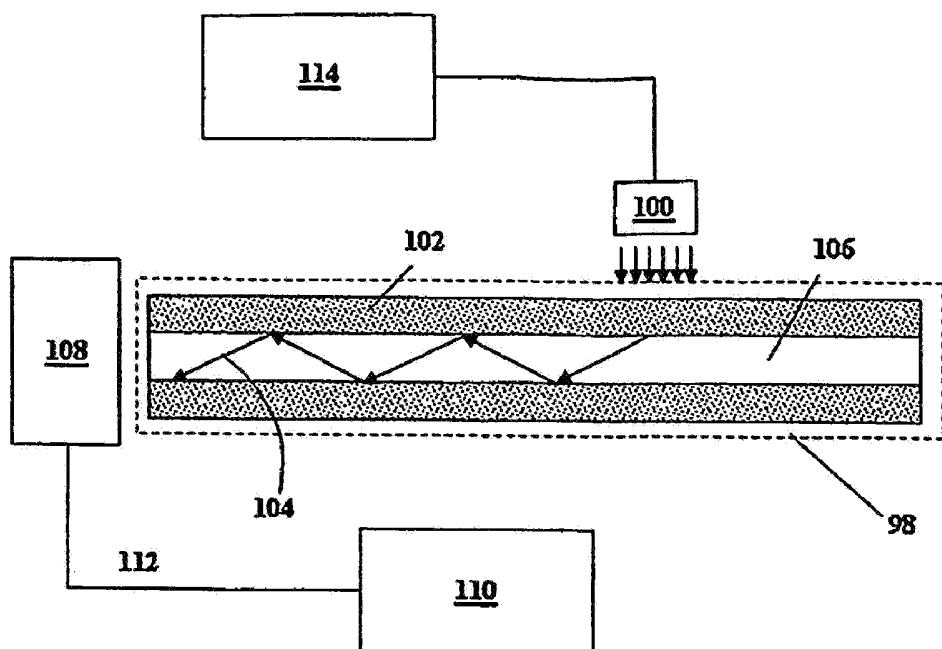


FIG. 1

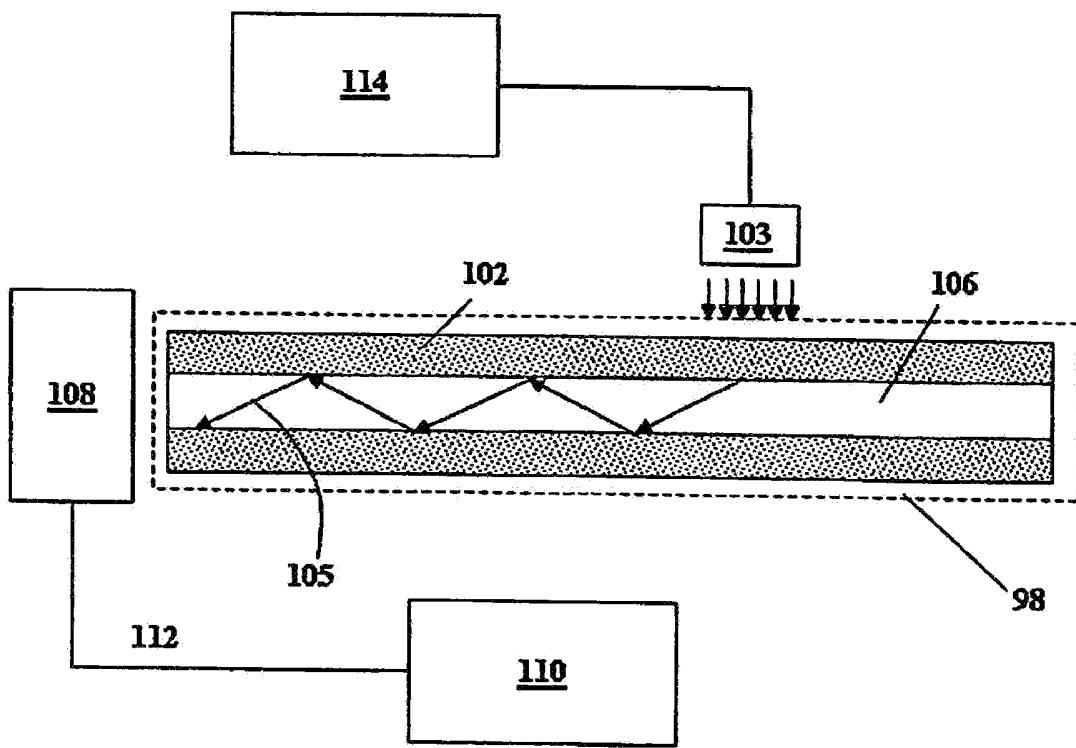
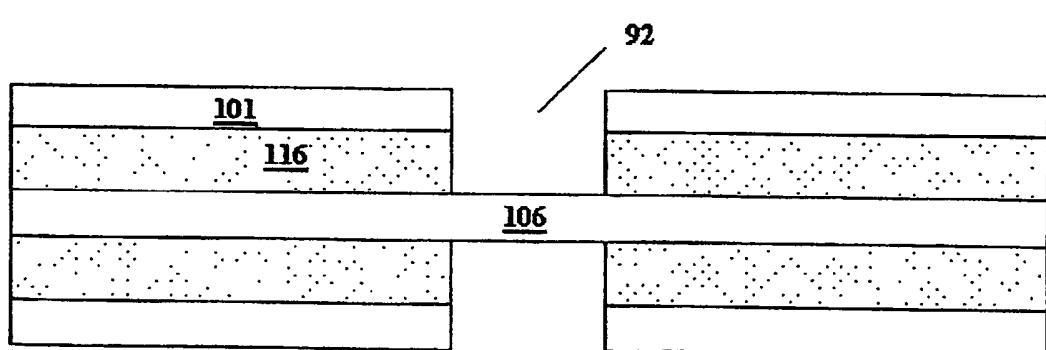
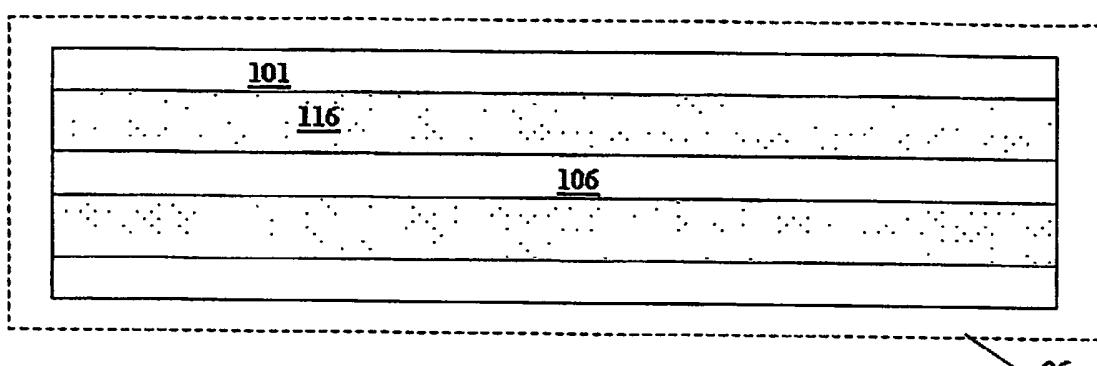
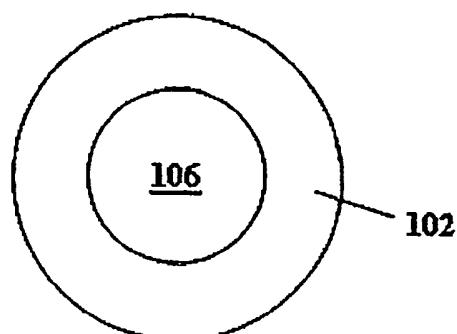


FIG. 1A



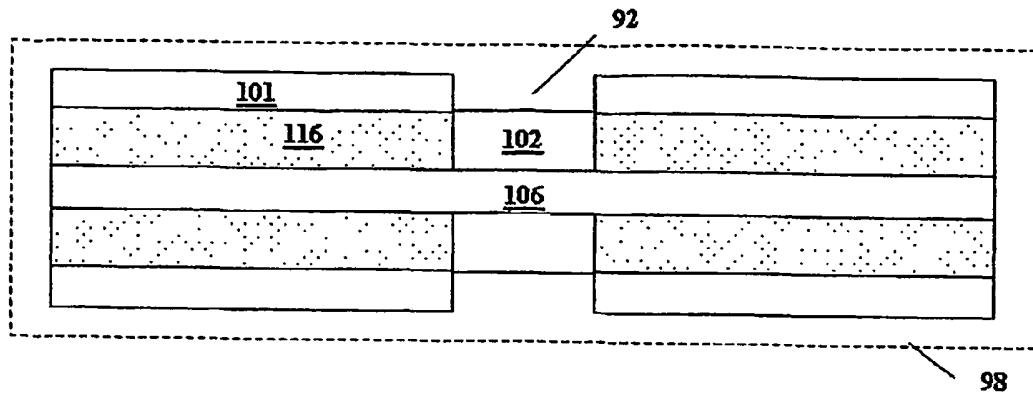


FIG. 4.

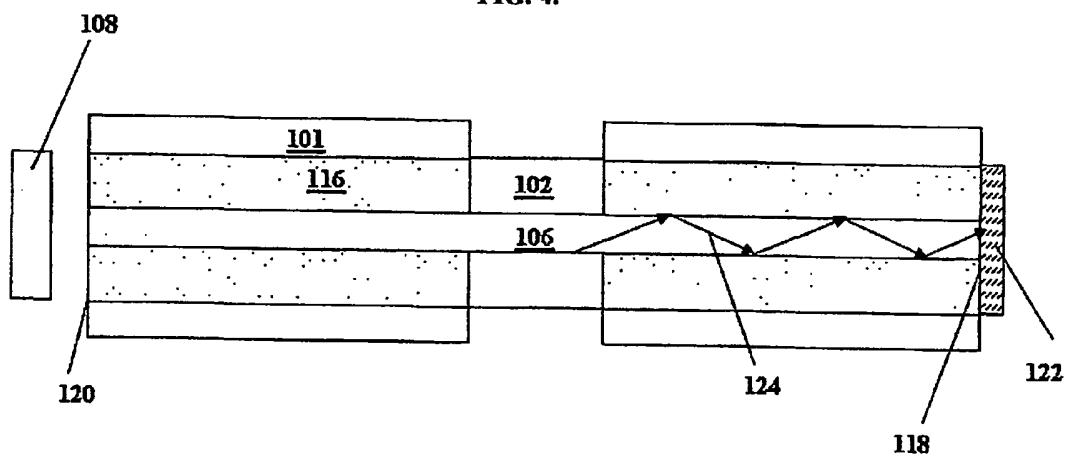


FIG. 5.

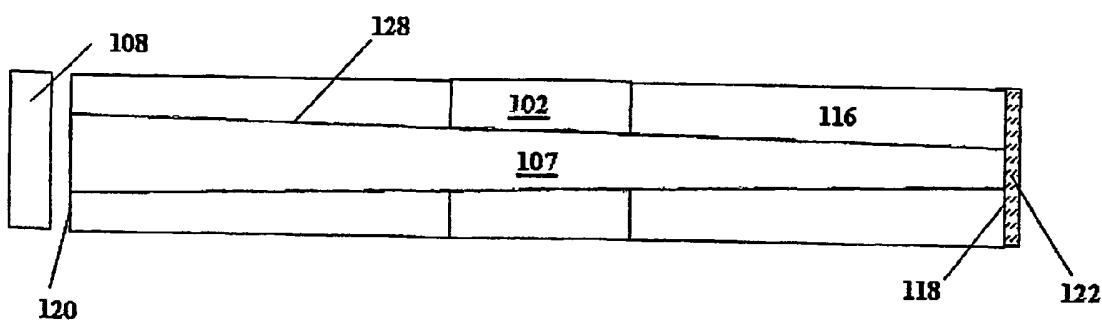


FIG. 6.

4 / 6

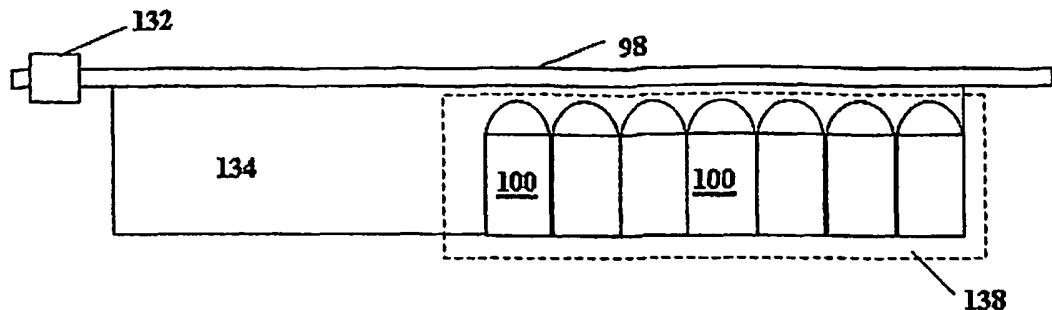


FIG. 7.

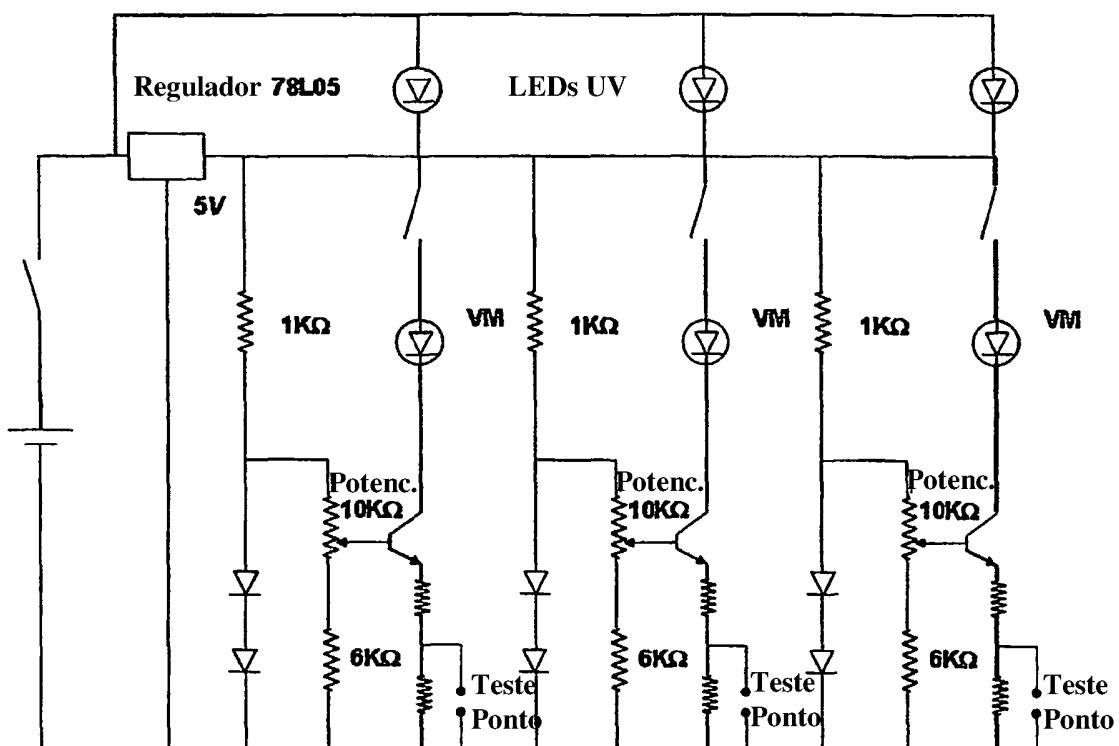


FIG. 8.

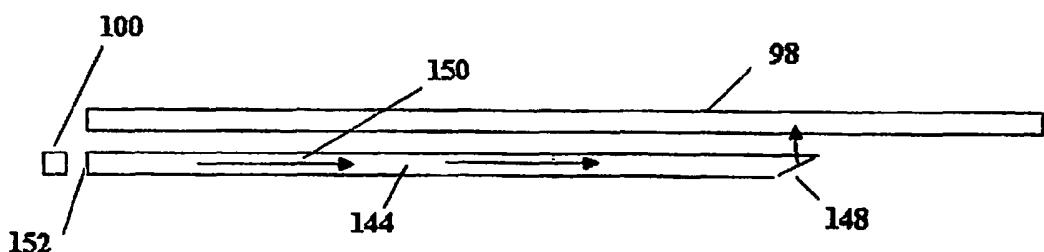


FIG. 9.

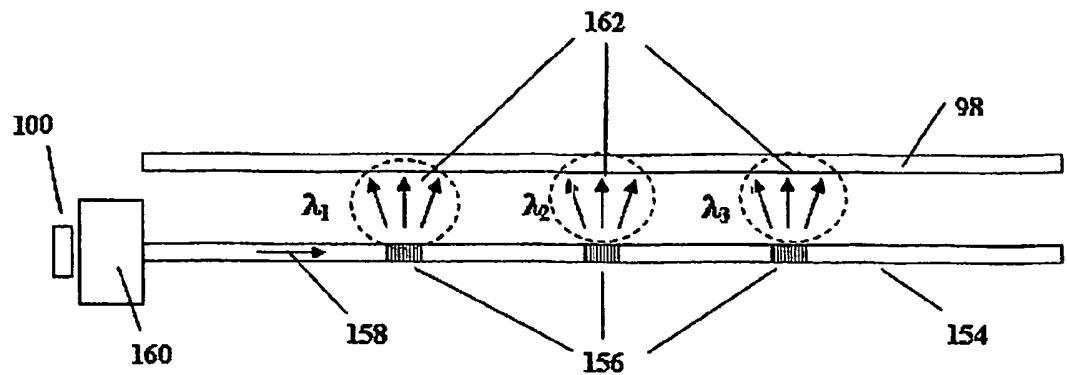


FIG. 10.

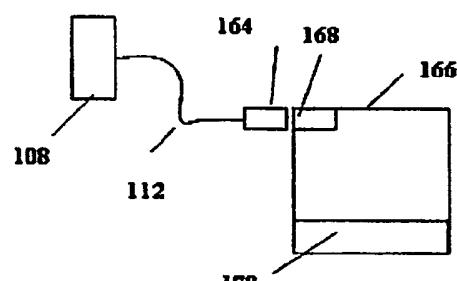


FIG. 11.

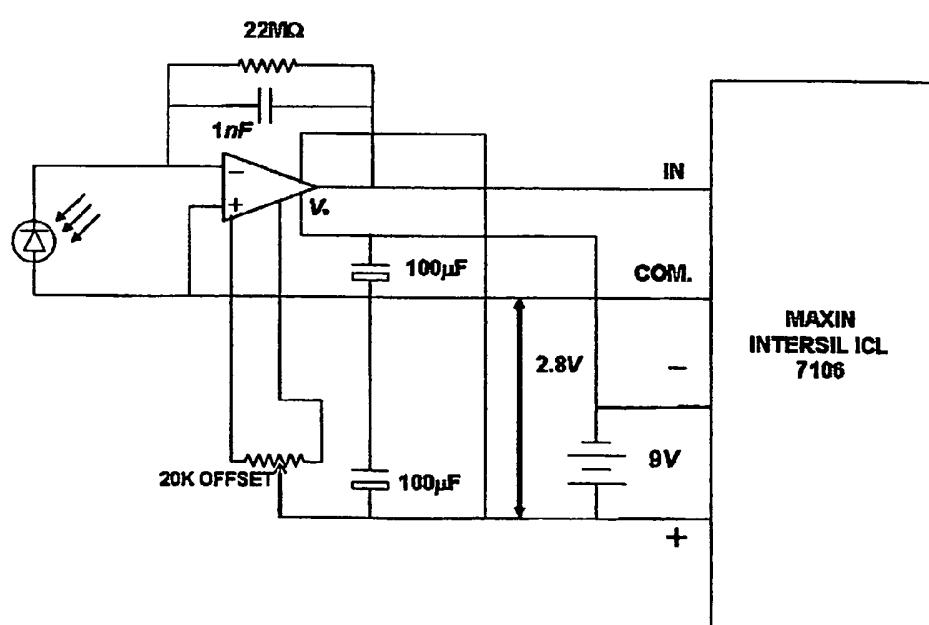
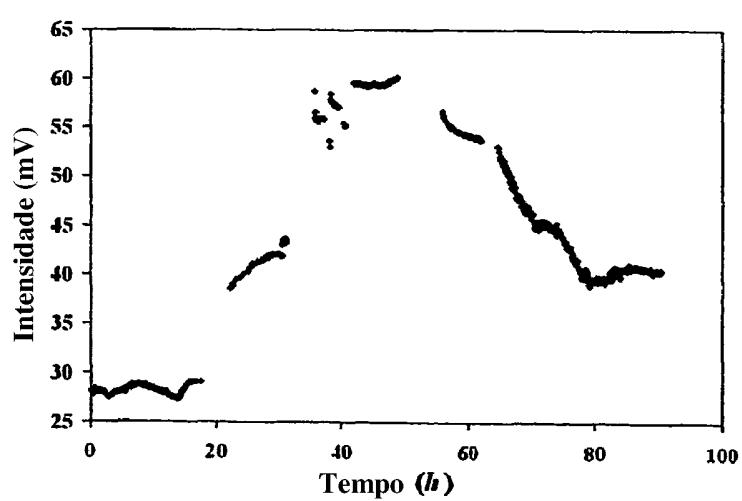
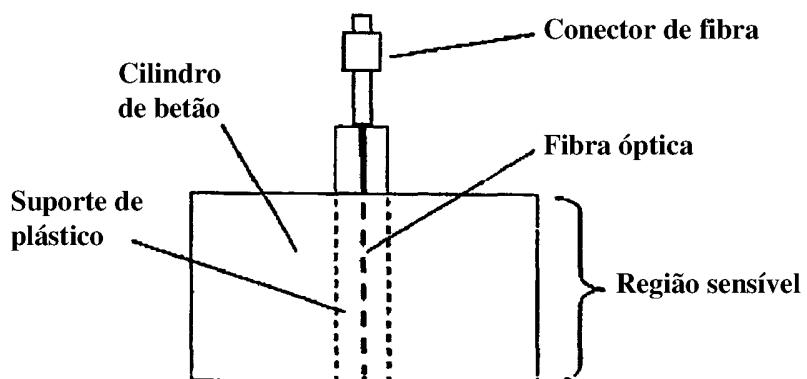
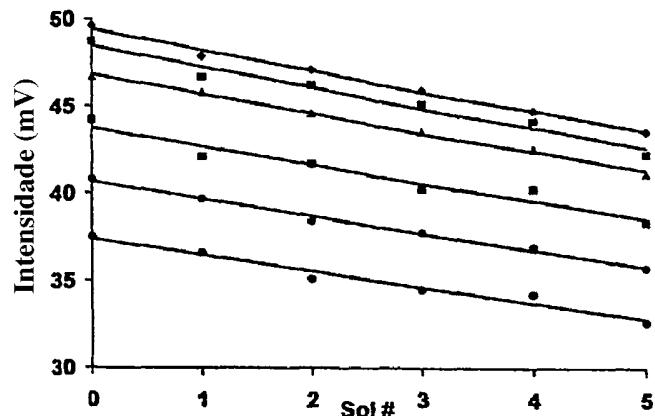


FIG. 12.

6/6



2000 Gheringa & Every Ltd
The Broadgate Tower
20 Primrose Street
London EC2A 2ES
ROYAUME UNI

Date	10.11.11
------	----------

Reference MXL00151EP	Application No./Patent No. 06769900.9 - 2213 / 1882178
Applicant/Proprietor Egalon, Claudio Oliveira	

Decision to grant a European patent pursuant to Article 97(1) EPC

Following examination of European patent application No. 06769900.9 a European patent with the title and the supporting documents indicated in the communication pursuant to Rule 71(3) EPC dated 22.06.11 is hereby granted in respect of the designated Contracting States.

Patent No. : 1882178
Date of filing : 26.04.06
Priority claimed : 28.04.05/USP 676121

Designated Contracting States and Proprietor(s) : AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Egalon, Claudio Oliveira
320 Virginia Street Apt.5
El Segundo CA 90245/US

This decision will take effect on the date on which the European Patent Bulletin mentions the grant (Art. 97(3) EPC).

The mention of the grant will be published in European Patent Bulletin 11/49 of 07.12.11.

Examining Division

Fazio V

Kokkonen J

Beyfuss M



Registered letter
EPO Form 2006A 12.07 (04/11/11)

to EPO postal service: 04.11.11



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

European Patent Office
80298 MUNICH
GERMANY
Tel. +49 (0)89 2399 - 0
Fax +49 (0)89 2399 - 4465



Lord, Michael
Gill Jennings & Every LLP
The Broadgate Tower
20 Primrose Street
London EC2A 2ES
ROYAUME UNI

For any questions about
this communication:
Tel. +31 (0)70 340 45 00

Date
01.12.11

Reference MXL00151EP	Application No./Patent No. 06769900.9 - 2213 / 1882178
Applicant/Proprietor Egalon, Claudio Oliveira	

Communication

concerning the registration of amendments relating to

a transfer (R. 22 and 85 EPC)
 entries pertaining to the applicant / the proprietor (R. 143(1)(f) EPC)

As requested, the entries pertaining to the applicant of the above-mentioned European patent application / to the proprietor of the above-mentioned European patent have been amended to the following:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC
NL PL PT RO SE SI SK TR
Egalon, Claudio Oliveira
4117 Tivoli Avenue
Los Angeles, CA 90066/US

The registration of the changes has taken effect on 24.11.11.

In the case of a published application / a patent, the change will be recorded in the Register of European Patents and published in the European Patent Bulletin (Section I.12 / II.12).

Your attention is drawn to the fact that, in the case of the registration of a transfer, any automatic debit order only ceases to be effective from the date of its express revocation (cf. point 14(c) of the Arrangements for the automatic debiting procedure, Supplement to OJ EPO 3/2009).

For the Examining Division



Client Data Registration
Tel.: +49 (0)89 2399 2780