

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 761**

51 Int. Cl.:

G01D 5/353	(2006.01)	G01N 21/63	(2006.01)
G01D 5/26	(2006.01)		
G01F 23/292	(2006.01)		
G01N 21/00	(2006.01)		
G02B 6/00	(2006.01)		
G01N 21/17	(2006.01)		
G01N 21/25	(2006.01)		
G01N 21/64	(2006.01)		
G01N 21/76	(2006.01)		
G01N 21/77	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.02.2010 PCT/US2010/022715**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.08.2010 WO10088591**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2010 E 10736516 (5)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.04.2020 EP 2391871**

54 Título: **Sensor de fibra óptica de iluminación, multi paramétrico y con múltiples puntos sensores**

30 Prioridad:

30.01.2009 US 148564 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

09.02.2021

73 Titular/es:

**EGALON, CLAUDIO OLIVEIRA (100.0%)
4117 Tivoli Avenue
Los Angeles, CA 90066, US**

72 Inventor/es:

EGALON, CLAUDIO OLIVEIRA

74 Agente/Representante:

SAHUQUILLO HUERTA, Jesús

ES 2 804 761 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sensor de fibra óptica de iluminación lateral, multi paramétrico y con múltiples puntos sensores

5 DOCUMENTO DE PRIORIDAD

[0001] Esta solicitud reivindica prioridad de la Aplicación de Patente Provisional No. 61/148,564, depositada en los Estados Unidos en la fecha de 30 de Enero de 2009.

10 REFERENCIA EN RELACIÓN CON EL PATROCÍNIO DE ALGUN GOBIERNO

[0002] No se aplica.

REFERENCIA A UN APÉNDICE DE MICROFICHAS

15

[0003] No se aplica.

CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

20 **[0004]** La presente invención se refiere, en general, a sensores espectroscópicos de fibra óptica. Específicamente, esta invención se relaciona a sensores basados en dispersión, absorción, colorimetría, fluorescencia y fosforescencia.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR Y OTRAS CONSIDERACIONES

25

[0005] Los sensores espectroscópicos de fibra óptica son utilizados en varias aplicaciones para la detección de esfuerzo, presión, temperatura, analitos químicos, turbidez, color de un sustancia, y otros parámetros de medición. Estos sensores han sido desarrollados utilizando dos técnicas distintas: el optrodo (o optodo) y el sensor distribuido.

30 **[0006]** El optrodo es el sensor de fibra óptica más sencillo de todos. Un optrodo corresponde a una fibra óptica conteniendo un indicador químico, localizado en el término distal de la fibra, y una fuente de excitación y un detector localizados en el término proximal. La luz de excitación se propaga hasta el término distal e interactúa con el indicador produciendo una señal de luz espectroscópica (de fluorescencia, fosforescencia, colorimétrico y/o de absorción). La señal se propaga desde el término distal hasta el término proximal de la fibra donde es colectada por un detector y correlacionada con el parámetro de medición. En este caso, la fibra posee solamente una región sensitiva en su término distal y la fibra es utilizada apenas como una guía para la luz que se propaga, sin cualquier perturbación, desde el término proximal hasta el indicador químico, donde la señal es generada, y volviendo hasta el término proximal.

40 **[0007]** En el caso del sensor distribuido, la fibra entera, o secciones de esta, actúa como un conducto para la luz y como un sensor. La fibra puede ser fabricada con un único revestimiento sensible al parámetro de medición o puede ser fabricada con varias secciones de revestimientos sensibles. En ambos los casos, se puede sondear estas regiones sensitivas con una luz de excitación: la fibra resultante posee múltiples puntos sensitivos, actuando como un sensor casi distribuido. Mientras que el optrodo requiere varios filamentos de fibras ópticas para hacer múltiples mediciones espaciales, el sensor distribuido requiere apenas un solo filamento de fibra óptica. Por lo tanto, la ventaja de un sensor distribuido es que puede hacer medidas espaciales múltiples con un solo dispositivo.

45 **[0008]** Es posible sondear las regiones sensitivas de un sensor de fibra óptica distribuido de dos maneras: utilizando la iluminación axial o la iluminación transversal mientras que la presente invención, considera la iluminación transversal superior.

50 **[0009]** La iluminación axial es la manera más utilizada de sondear una fibra sensora. En la iluminación axial, la luz es inyectada desde un extremo de la fibra, al largo de su eje, e interactúa con el revestimiento sensible del sensor a través de su cola evanescente. El revestimiento entonces absorbe la luz de sondear en la región evanescente produciendo o una señal de absorción, de dispersión o luminiscente que puede ser detectada en la extremidad de la fibra.

55 **[0010]** Sin embargo, la técnica axial de excitación tiene varias desventajas. Por ejemplo, la interacción entre la cola evanescente de la luz de excitación y el revestimiento sensible es muy pequeña requiriendo instrumentación cara para la detección de la señal, como una fuente de alta potencia, un esquema costoso de detección y/o una fibra óptica de extensión muy larga. Además, dependiendo del arreglo, el alineamiento de la fuente de luz (tal como un láser) con el eje de la fibra óptica puede ser muy dificultoso, requiriendo calibración y manejo cuidadosos.

60 **[0011]** Schwabacher, número internacional de publicación WO 01/71316 (`316), titulado "One-dimensional Arrays on Optical Fibers," (No. de patente americana 7,244,572 emitido el día 17 Julio de 2007) demuestra un arreglo lineal de quimiosensores al largo de una fibra óptica, cada región reactiva en el arreglo sensible a una especie química. Cada región reactiva estando separada por una región considerablemente inerte, tal como el revestimiento original. Esta región considerablemente inerte debe tener una extensión mínima, preferiblemente de 250 centímetros. Publicación `316 documenta ambos los métodos axiales y transversales de excitación, pero que
65 considera el método axial el método preferido.

[0012] En la incorporación preferida, Publicación `316 introduce un pulso de excitación de láser al largo del eje de la fibra óptica, cada región reactiva estando separada por una distancia mínima conteniendo regiones considerablemente inertes. Estas regiones inertes, relativamente largas, son requeridas por la tecnología utilizada en `316, para prevenir la superposición de las señales fluorescentes provenientes de regiones sucesivas del reactivo. Una luz de excitación de una fuente (tal como un láser, un láser del diodo, un láser de gas, un láser de tinte, un láser de estado sólido, LED, etc.) se introduce axialmente a la fibra óptica y la luz es guiada hacia las regiones reactivas.

[0013] Para determinarse la región reactiva, entre las varias o aún que a centenares, que está produciendo la señal, el retraso entre el pulso de excitación y de la señal es determinado con precisión y correlacionado con la distancia de cada región particular por medio de instrumentos de precisión tales como un osciloscopio y un tubo foto multiplicador. Este arreglo requiere una extensión muy larga de fibra para medir las centenares de especies, aumentando el tamaño y la complejidad total del dispositivo de análisis. Además, los instrumentos de precisión pueden también aumentar el coste total del sistema sensor perceptiblemente.

[0014] Se puede también transmitir la luz de excitación hacia las regiones reactivas de la fibra de detección usando una, o más, fibras de excitación. Esto también requiere la introducción axial de la luz hacia la fibra de excitación. Una incorporación requiere el uso de una fibra de excitación para cada región reactiva con cada fibra de excitación iluminando transversalmente la región reactiva de la fibra sensora.

[0015] Una otra incorporación requiere el uso de divisores de haz ("beam splitters") para entregar la luz de excitación transversalmente a las regiones reactivas. La técnica de divisores de haz hace uso de láseres costosos de alta energía donde la intensidad de iluminación de las películas sensoras disminuye mientras uno introduce más divisores de haz.

[0016] En otro esquema, la fibra de excitación (o de iluminación) es preparada removiéndose su revestimiento en varias secciones al largo de la fibra, estas secciones desnudas son posicionadas adyacentes a las regiones reactivas del sensor de fibra mientras que el campo evanescente excita transversalmente el sensor de fibra. Una desventaja de este arreglo es que el campo evanescente de la fibra de excitación es muy débil y entrega muy poca energía al sensor de fibra. Además, otros métodos de excitación axial y transversal se revelan siendo, sin embargo, e en el promedio, muy costosos.

[0017] Aunque se reconozca que los esquemas presentados por `316 son operacionales, los mismos son limitados por la complejidad, el costo de fabricación, y robustez. Para fabricar secciones que se alternan entre regiones reactivas e inertes, se debe remover el revestimiento solamente en regiones adonde se va el reactivo, dejándose el revestimiento intacto en otras regiones. Este procedimiento aumenta el costo y la complejidad de producción del sensor, limitando las opciones de automatización y fabricación de estos.

[0018] Otras técnicas utilizadas en la industria requieren el uso de instrumentación costosa tal como un reflectómetro óptico de dominio temporal (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR). Con costos de la orden de US\$ 3.000 o más, el OTDR agrega costo considerable a cualquier sistema que utilice la técnica axial de excitación. Además, la disponibilidad de distintos largos de onda de sistemas OTDRs es limitada, lo que restringe la selección de reactivos que pueden ser utilizados con el sensor. Otra desventaja de estos sistemas es causada por curvas inadvertidas en la fibra e irregularidades físicas en el material de la guía de onda, que cambian el índice de refracción del dispositivo e interfieren con las señales producidas. Además, las técnicas presentes carecen de una alta resolución espacial, de la orden de aproximadamente 10 centímetros. Una resolución espacial más refinada es necesaria.

[0019] Mientras que se aparenta que la excitación transversal de la región sensitiva es una técnica superior, produciendo una señal considerable, la arte anterior no hay conseguido identificar esta y otras ventajas. La iluminación lateral, cuando hecha correctamente, puede sondear secciones muy cortas de una fibra sensible resultando en un sensor de fibra óptica de alta resolución espacial e, por consiguiente, múltiples puntos sensores. Ejemplificando, una resolución espacial de 5 milímetros resulta en diez puntos sensores para cada 5 cm de fibra e un arreglo lineal con una alta densidad de puntos sensores. La alta resolución espacial de un sensor es un requisito en aplicaciones donde se existe una variación muy rápida de temperatura y/o concentración química a lo largo de pequeñas porciones de la fibra óptica. Por ejemplo, la determinación en tiempo real de la concentración de iones de cloruro en estructuras de concreto en secciones discretas y cortas al largo de la fibra. Los intentos anteriores también no pudieron proporcionar una técnica más sencilla de iluminación capaz de conducir hacia un sensor robusto y de bajo costo. Aún más importante, la arte anterior fue incapaz de reconocer que una fibra óptica de iluminación lateral, sin cualquier indicador químico, puede ser utilizado como un sensor.

[0020] Existen muchas necesidades y deseos de superar estas, y otras, imperfecciones y/o problemas del estado de la técnica anterior ejemplificados, pero que no necesariamente restringidos a las siguientes necesidades:

- a. Se hace indispensable utilizar una fuente de luz de sondear de bajo costo que pueda proporcionar una alta resolución espacial, de 5mm o menos, proporcionando la localización precisa del punto de detección;
- b. Se hace necesario también un sistema de fibra óptica de bajo costo que utilice elementos baratos, comercialmente disponibles, que se pueda fabricar por medios automatizados;
- c. Se lo hace necesario un dispositivo flexible que se puede utilizar con fuentes de luz infrarrojas, visibles, y ultravioletas del espectro electromagnético;
- d. Además, lo que es necesario es un dispositivo de detección robusto que se puede alinear fácilmente y no es afectado por interferencia externa tal como flexión de la fibra y luz ambiente;
- e. Es también necesario un modelo genérico de sensor de fibra óptica que se puede adaptar a los distintos parámetros de medición;

- f. Lo que también se lo necesita es una fuente de luz intensa, y de bajo costo, para sondear un sensor de fibra basado en fluorescencia y absorción con el intento de producir una señal intensa que pueda ser detectada fácilmente;
- g. También se lo hace necesario un modelo genérico de detección modular que se puede actualizar fácilmente con la tecnología disponible y
- h. Finalmente se hace necesario un sistema de detección sin cualquier indicador químico inmovilizado sobre la superficie de la fibra con el intuito de detectar un parámetro de medición dado. WO2006/116590 revela un sensor distribuido de fibra óptica que supera algunas de estas deficiencias. El sensor de WO2006/116590 comprende una fibra óptica con un revestimiento sensible en contacto directo con el entorno y que es iluminada lateralmente por una fuente de luz de sondeo.

RESUMEN DE LA INVENCION

[0021] Estos y otros problemas y necesidades son abordados y superados con éxito en la presente invención. De conformidad con un primer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de detección establecido en la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas se establecen en las reivindicaciones dependientes.

De conformidad con la misma, se describe un sensor de fibra óptica reversible, resistente, barato, distribuido con alta resolución espacial que no utiliza ningún indicador químico. También se presenta una variación de la fibra de revestimiento activa. Se puede utilizar la presente invención en las regiones infrarrojas, visibles, y ultravioletas del espectro electromagnético. La fuente de luz utilizada proporciona una iluminación intensa de la región sensible, aún que de bajo costo, y produce una señal intensa y de fácil detección. Esta invención puede ser utilizada con diferentes fuentes de luz de distintos largos de onda, cada largo de onda sensible hacia un parámetro de medición. Además, esta invención puede ser actualizada continuamente con nuevas fuentes de luz que sondear, nuevos sensores, y nuevos códigos de computación.

[0022] La realización preferida de esta invención generalmente consiste en una fibra óptica conteniendo múltiples regiones con el núcleo descubierto, una fuente de luz para sondear o de iluminación, una fuente de alimentación, un detector, un procesador de señales, y un display. La fuente de luz de sondear, o de iluminación, está en comunicación óptica directa, con el punto sensor de la fibra óptica: ella puede estar posicionada al lado del punto sensor o hacia una distancia más larga, como en el caso de un rayo de luz colimado a varios metros de distancia, desde que el mismo pueda iluminar el punto sensor. La fibra óptica puede ser utilizada como un sensor para determinar varios parámetros de medición por ejemplo, el color de un medio alrededor de la fibra, turbidez, fluorescencia, absorción espectral, la concentración de una especie química, índice de refracción e cualquiera otra propiedad óptica que es afectada, de una manera monotonita, por el parámetro de medición.

[0023] El sensor de fibra óptica es iluminado, de afuera, hacia un determinado ángulo, por una luz de sondear proveniente de una fuente de luz. Esta luz de sondear interactúa con una región sensitiva de la fibra óptica e, esta interacción, cambia la luz de sondear generando una señal de luz que es afectada por el parámetro de medición. La señal de luz es acoplada hacia el núcleo de la fibra óptica como una señal de luz y es transmitida hacia el detector que está en comunicación óptica axial con uno de los términos de la fibra. El detector correlaciona la intensidad de la señal de luz con una señal eléctrica. La señal eléctrica se transmite hacia el procesador de señales e es correlacionada con la cantidad que se está midiendo (color, turbidez, índice de refracción, concentración de una especie química, etc.). La cantidad correlacionada es transmitida y exhibida en un display.

[0024] Una porción, o la área entera, alrededor del núcleo de la fibra óptica es sensible a la especie química que se mide. Todavía, en este caso, contraria a la proposición de Egalon (Patente americana No. 7,473,906), no se es necesario tener un dopante sensible al parámetro de medición. El sensor de fibra resultante es reversible, retornando siempre a la intensidad de la señal de referencia.

[0025] En una de las configuraciones propuestas, utilizase un Diodo Emisor de Luz en el ultravioleta, LED UV, como una fuente de luz de sondear, posicionada adyacente a la fibra óptica, con el intento de iluminar la región sensitiva. El LED UV fue elegido por varias razones, todavía se lo comprende que se puede utilizar otras fuentes de luz. Sobre todo, el LED UV es una fuente barata y de fácil disponibilidad, disminuyendo el costo de fabricación del sensor. En segundo lugar, desarrollos recientes en la tecnología de LED ha producido una fuente de larga intensidad y de pequeño tamaño resultando en un rayo de luz de interrogación intenso y estrecho. Además, la proximidad del LED UV al sensor de fibra óptica genera una señal de luz intensa, permitiendo el uso de medios baratos de detección, tales como un foto detector de silicio. Finalmente, el pequeño tamaño del LED permite la iluminación de regiones cortas del revestimiento, en varias posiciones al largo de la fibra, produciendo múltiples puntos de detección independientes de alta resolución espacial. Esta técnica también permite la localización precisa del punto de detección en una sustancia produciendo un mapa de la variación del parámetro de medición al largo de la fibra, con una alta resolución espacial.

[0026] Una incorporación adicional incluí un espejo en el otro término de la fibra óptica, 118, en una posición opuesta a la posición del detector. Esto espejo refleja la señal de luz que se propaga en la dirección opuesta, hacia el detector.

[0027] Una otra realización incluye el uso de una fibra óptica sensible con un núcleo cónico (o cónico), en forma de una sección cónica, divergiendo generalmente hacia el detector mientras que la señal de luz se propaga de la región sensitiva de la fibra hacia el detector. Esta configuración, comparada a la configuración cilíndrica regular, posee la ventaja de juntar más luz hacia el núcleo de la fibra aumentando la señal del dispositivo. Con un núcleo cónico (cónico), los rayos de luz que serían irradiados hacia fuera de la fibra como modos de radiación, se acoplan en términos de modos guiados de baja pérdida los cuales se propagan por distancias más largas. Esta fibra

especial puede ser manufacturada con una torre de estiramiento de fibra óptica e una preforma ahuesada (afilada). Alternativamente, este tipo de fibra puede ser fabricada, manualmente, por personas con habilidad en la arte de dar forma a vidrios.

[0028] En una otra incorporación, se posiciona una multitud linear de fuentes de luz al largo de la fibra sin revestimiento. En este caso, cada fuente de luz genera una luz de sondear, de forma consecutiva, simultánea, y/o independiente, hacia un ángulo, en una dirección a la región sin revestimiento del núcleo de la fibra. La extensión del arreglo linear de fuentes de luz corresponde considerablemente a la extensión de la región sensitiva de la fibra óptica. Se puede utilizar este arreglo también para aumentar la intensidad de la señal acoplada hacia el sensor.

[0029] Una realización alternativa, utiliza una fibra óptica de iluminación en el lugar de los LED para sondear regiones de la fibra sensora. En este caso, se fabrica la fibra de iluminación con varios reflectores dieléctricos adentro, y al largo, de la fibra. Cada reflector, orientados hacia un ángulo de 45 grados, es proyectado para reflejar la luz de un modo guiado en un determinado largo de onda específico, λ_i , en dirección a la fibra sensible. Cada largo de onda específico, λ_i , están adentro del espectro de absorción del medio asociado con el sensor de fibra óptica. Mientras que el largo de onda de la luz de sondear es cambiado, es posible sondear distintos puntos del sensor de fibra óptica creando, de esta forma, un sensor distribuido perfeccionado.

[0030] En este caso, una luz blanca, proveniente de una fuente de banda ancha, pasa por un monocromador que escanea distintos largos de onda del medio asociado con el sensor de fibra óptica. Cuando el monocromador está sintonizado al largo de onda λ_i , solamente el reflector dieléctrico, asociado a este largo de onda, refleja la luz de iluminación en dirección al sensor de fibra óptica. De esta forma, la sección iluminada del sensor de fibra óptica corresponde a la posición de este específico reflector dieléctrico. Este procedimiento puede ser repetido para los otros largos de onda.

[0031] Una incorporación adicional utiliza un núcleo de fibra óptica activo dopado con una sustancia amplificadora de la señal de la región sensitiva. Esta incorporación es semejante a una fibra óptica amplificadora. En este caso, la señal del sensor es acoplado hacia el núcleo de la fibra. El núcleo activo es entonces excitado por la luz modificada del revestimiento sensible amplificando la señal original. Esta señal amplificada entonces se dirige hacia el detector. Se prefiere esta incorporación para los casos en que la fibra sensible es muy larga.

[0032] Se puede utilizar esta invención, y sus realizaciones alternativas en un ambiente que contiene sustancias fluorescentes, de absorción y de dispersión de luz. Por ejemplo, se determina la concentración de clorofila em agua midiendo su fluorescencia cuando excitada por una luz ultravioleta. La concentración de una sustancia en un medio líquido puede ser determinada cuando de la medida del color de este medio después de una reacción colorimétrica. Una especie química también puede ser determinada utilizando varias fuentes de luz, de distintos largos de ondas, que coinciden con el espectro de absorción del parámetro de medición. La turbidez de un medio puede ser determinada a través de la iluminación lateral de una fibra en cualquier largo de onda e de la medición de la intensidad acoplada a la fibra.

[0033] Esta invención fue creada para expandir considerablemente la capacidad del arte revelada por Egalon (Egalon, patente americana No. 7,473,906) y, mientras eso, perfeccionar sensiblemente los sistemas sensores de fibra óptica, en especial, con el posicionamiento transverso de la fuente de luz, tal como un LED de UV o de luz blanca, directamente adyacente, o hacia una dada distancia, de una región sensora de la fibra óptica. Este arreglo aumenta la intensidad de la señal acoplada al núcleo, disminuye la complejidad y los costos de fabricación y, al utilizar LED de pequeños tamaños, permite la localización precisa del punto de detección en una sustancia con una alta resolución espacial.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL LAS FIGURAS

[0034]

FIG. 1a es un diagrama de bloques ilustrando la operación de la presente invención y su capacidad de hacer medidas distribuidas con un analito fluorescente o fosforescente. En esta figura, la fuente de luz de sondear (100), del lado derecho de la figura, sondea el analito (93) en el medio asociado con el parámetro de medición de la fibra sensora (98). En la ilustración, una, o más, región/regiones del revestimiento original de la fibra fue/fueran removida(s): estas secciones coinciden con el punto sensor de la fibra (92).

FIG. 1b es un diagrama de bloques ilustrando la operación de la presente invención y su capacidad de hacer medidas distribuidas con un analito fluorescente o fosforescente. En esta figura, la fuente de luz de sondear (100'), del lado izquierdo de la figura, sondea el analito (93') en el medio asociado con el parámetro de medición estando este medio localizado en el punto sensor (92') correspondiente a la luz de sondear.

FIG. 1c es un diagrama de bloques ilustrando la operación de la presente invención estando el núcleo de la fibra óptica (106) localizado entre el analito (93) y la fuente de luz de sondear (100).

FIG. 2a es un diagrama de bloques ilustrando la operación de la presente invención en la cual el analito absorbe, o dispersa, la radiación originaria de la fuente de luz. En esta ilustración, el analito (93) está localizado entre la fuente de luz de sondear (100) y el núcleo de la fibra óptica (106).

FIG. 2b es un diagrama de bloques ilustrando la operación de la presente invención en la cual el analito absorbe o dispersa la radiación originaria de la fuente de luz. En esta ilustración, el núcleo de la fibra óptica (106) está localizado entre la fuente de luz de sondear (100) y el analito (93).

FIG. 3a es un gráfico de la respuesta del sensor contra a concentración de nitrato de sodio.

FIG. 3b es un gráfico de la respuesta del sensor contra a concentración de potasio. Esta curva también representa la medida de la turbidez de una solución.

FIG. 4a es una ilustración de como el sensor de las FIGS. 2a y 2b puede ser utilizado como un dispositivo para medir el nivel de un líquido, o la posición de la interface, de dos fluidos distintos, sean ellos gases y/o líquidos. En el caso ilustrado, el nivel del líquido (176) está arriba de un de los puntos sensores (92a). FIG. 4b es una ilustración de como el sensor de las FIGS. 2a y 2b puede ser utilizado como un dispositivo para medir el nivel de un líquido. En este caso, el nivel del líquido (176) está abajo de un de los puntos sensores (92a).

FIG. 5a es una realización alternativa del sensor de fibra óptica (98') con el revestimiento original (116). FIG. 5b es un ejemplo de una fibra sensora (98'), que no es parte de esta invención, con una película reactiva o sensible (99) recubierta sobre el revestimiento de fibra original.

FIG. 6a es una vista perfilada de la fibra óptica original (96).

FIG. 6b es una vista perfilada del sensor de fibra óptica, con regiones del revestimiento 116 y de la chaqueta protectora de la fibra 101 removidos.

FIG. 6c es una vista lateral ilustrando una realización alternativa de esta invención conteniendo un espejo (122) que refleja a luz incidente en el segundo término del sensor de fibra (98).

FIG. 7 es una vista lateral de una realización alternativa de la fibra sensora de esta invención ilustrando un núcleo cónico (107).

FIG. 8 es una vista lateral de una realización alternativa de la fibra sensora de esta invención ilustrando un arreglo lineal (138) de LED (100a).

FIG. 9 es una vista lateral de una realización alternativa de la fibra sensora (98) de esta invención ilustrando dos LED (100a y 100a') iluminando simultáneamente distintos puntos sensores (92).

FIG. 10a es un diagrama ilustrando la operación de una fibra óptica de iluminación con un extremo distal de 45 grados. La luz de la fuente de sondear (100) es introducida axialmente.

FIG. 10b es una ilustración demostrando la operación de una fibra óptica de iluminación con un extremo distal de 45 grados. La luz de las fuentes de sondear (100, 100', 100'') es introducida lateralmente en la fibra óptica produciendo un acoplador Nx1 con una única fibra.

FIG. 11a es un diagrama ilustrando la operación de una fibra óptica de iluminación fabricada con varias rejillas de largo periodo. La luz de sondear es introducida axialmente.

FIG. 11b es un diagrama ilustrando la operación de una fibra óptica de iluminación fabricada con varias rejillas de largo periodo. La luz de sondear es introducida lateralmente en la fibra óptica produciendo un acoplador Nx1 con una única fibra.

FIG. 12a es un diagrama ilustrando la operación de una fibra óptica de iluminación fabricada con varios reflectores dieléctricos 180 al largo de la fibra. La luz de sondear es introducida axialmente.

FIG. 12b es un diagrama ilustrando la operación de una fibra óptica de iluminación fabricada con varios reflectores dieléctricos 180 al largo de la fibra. La luz de sondear es introducida lateralmente en la fibra óptica produciendo un acoplador Nx1 con una única fibra.

FIG. 13 es un diagrama de bloques del sistema de detección de esta invención.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

[0035] La siguiente descripción detallada es, en este momento, la mejor manera contemplada de realizarse esta invención. No se lo hay de interpretar esta descripción de una manera restrictiva, pero que simplemente con la finalidad de ilustrar principios generales de las posibles realizaciones de esta invención. La descripción detallada abajo, en conexión con las figuras anexadas, describe, en este momento, las mejores realizaciones de esta invención sin la intención de representar las únicas formas que esta invención puede ser construida y/o utilizada. Esta descripción presenta si las funciones y la sucesión de los pasos para construirse y operar la invención con relación a las realizaciones ilustradas. No obstante, hay que comprenderse que las mismas funciones y secuencias equivalentes, pueden ser obtenidas utilizando distintas realizaciones aunque contenidas en el espíritu y alcance abarcados por la invención.

[0036] La FIG. 1a ilustra un diagrama de bloques del sensor 98. Según la misma, una fuente de sondear 100 ilumina externamente el punto sensor 92 de la fibra 98 hacia un determinado ángulo. La fuente de luz de sondear 100 posee un largo de onda capaz de generar fluorescencia/fosforescencia a partir de un analito 93 localizado en la región del punto sensor 92. Una vez iluminado por la luz de sondear 100 (luz de iluminación representada por flechas), analito 93, localizado próximo el núcleo de la fibra 106, genera una señal fluorescente que es acoplada hacia el núcleo de la fibra óptica 106 como una señal óptica 104 en la forma de modos de radiación de fuga y modos guiados. La fuente de luz de sondear 100 es conectada a la fuente de alimentación 114, que proporciona una corriente para la misma, estando ésta en comunicación óptica con el núcleo de la fibra 106.

[0037] La señal fluorescente 104a es acoplada hacia el núcleo 106 de la fibra y guiada hacia el detector 108, por ejemplo, un fotodetector de silicio, que convierte la intensidad de la luz de fluorescencia 104a en una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es transmitida hacia un procesador de señales 110, tal como un medidor de luz, vía el cabo de un fotodetector 112. En el procesador de señales 110, la señal es amplificada y la intensidad óptica es exhibida. La intensidad leída por el procesador de señales 110 es entonces correlacionada con la concentración del analito 93 alrededor del núcleo de la fibra óptica 106.

[0038] Con la finalidad de sondear un punto diferente 92' de la fibra 98 y obtener un sensor distribuido perfeccionado, (vea FIG. 1b), la luz de sondear 100' puede ser activada separadamente por la fuente de alimentación 114, que sondea un otro punto sensor 92', próximo a la luz de sondear 100'.

[0039] Esta configuración puede ser utilizada con el analito 93 entre la fuente de luz de sondear 100 y el núcleo

de la fibra óptica 106 (FIGS. 1a y 1b), con el analito en el otro lado del núcleo de la fibra (FIG. 1c), o con el analito completa o parcialmente alrededor de la fibra.

[0040] Un sensor para clorofila (analito 93) disuelto en agua (medio asociado con el parámetro de medición en el punto sensor 92) es un ejemplo práctico de la configuración descrita arriba. En este caso, clorofila fluoresce cuando es iluminada con una fuente de luz de sondear 100 de largo de onda apropiado. Esta fluorescencia se acopla hacia el núcleo de la fibra como una señal óptica 104 y la intensidad es una medida de la concentración de clorofila alrededor del núcleo de la fibra.

[0041] De la misma forma, se puede utilizar esta fibra para hacer mediciones basadas en absorción, colorimetría y dispersión, como indicado en las FIGs. 2a y 2b. De esta forma, una fuente de luz de sondear 100 ilumina externamente, hacia un determinado ángulo, el punto sensor 92 de la fibra 98. La fuente de luz de sondear 100 posee un largo de onda capaz de ser absorbido o dispersado por el analito 93 el cual está próximo al punto sensor 92 de la fibra. La fuente de luz de sondear 100, conectada a la fuente de alimentación 114 que proporciona una corriente eléctrica para la misma, está en comunicación óptica con el punto sensor 92.

[0042] Una vez iluminado por la luz de sondear 100 (luz de iluminación representada por flechas), analito 93, disuelto en el medio asociado con el parámetro de medición, y localizado próximo hacia el núcleo de la fibra 106, absorbe la luz de la fuente de sondear 100. La luz restante es acoplada hacia el núcleo de la fibra óptica 106 como una señal óptica 104, en la forma de modos guiados y de radiación de fuga, y transmitido hacia un detector 108 que lee la intensidad de luz y correlaciona la misma con la concentración del analito.

[0043] Refiriéndose a las FIGs. 2a y 2b, medio asociado con el parámetro de medición, localizado al lado del punto sensor 92 de la fibra, puede también ser el resultado de una reacción colorimétrica entre el analito 93 y un reactivo químico. Una vez que el medio asociado con el parámetro de medición, al lado del punto sensor 92, y en contacto con el núcleo del sensor de fibra óptica 106, es iluminado por la fuente de luz de sondear 100 (luz de iluminación representada por flechas), este medio absorbe la luz. La luz restante es acoplada hacia el núcleo de la fibra óptica 106 como una señal luminosa 104, en la forma de modos guiados y de radiación de fuga, y transmitida hacia un detector que mide la intensidad luminosa la cual es usada para determinar la concentración del analito.

[0044] Nuevamente refiriéndose a las FIGs. 2a y 2b, el medio asociado con el parámetro de medición, localizado al lado del punto sensor 92, puede también contener partículas que dispersan la luz de la fuente de iluminación 100 (luz de iluminación representada por flechas). Esta luz dispersada es acoplada hacia el núcleo de la fibra óptica 106 como una señal luminosa 104, en la forma de modos guiados y de radiación de fuga y transmitida hacia un detector que determina la intensidad luminosa y relaciona la misma con el parámetro de medición, por ejemplo, la turbidez del medio.

[0045] De una manera o de la otra, la luz de la fuente de sondear 100 es modificada por el ambiente alrededor del punto sensor de la fibra, acoplada hacia el núcleo 106 como una señal óptica 104, en la forma de modos guiados y modos de radiación de fuga, y guiada hacia un detector 108, por ejemplo., un foto-detector de silicio, que correlaciona la intensidad luminosa de la luz absorbida con una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es transmitida hacia un procesador de señales 110, tal como un medidor de luz, vía un cabo eléctrico del fotodetector 112. En el procesador de señales 110, la señal es amplificada y la intensidad óptica es exhibida. La intensidad leída por el procesador de señales 110 es entonces correlacionada con la concentración de la especie química que está alrededor del sensor de fibra 98, o inicialmente presente en el medio asociado antes de sufrir cualquier reacción química con un reactivo. De la misma manera como se lo fue descrito anteriormente, se puede sondear un punto sensor diferente 92' de la fibra con una otra fuente de sondear 100'. Se puede utilizar esta configuración o con el analito 93, o con el medio asociado con el parámetro de medición, localizado en el punto sensor 92 entre la fuente de luz de sondear 100 y el núcleo de fibra óptica 106, como ilustrado en la FIG. 2a. El analito, en el medio de medición, se puede también se localizar en el otro lado del núcleo de la fibra, como ilustrado en la FIG. 2b.

[0046] Las configuraciones ilustradas en las FIGs. 2a y 2b pueden ser utilizadas como un colorímetro para detectar diferentes especies químicas, como un turbidímetro (o un nefelómetro) para la detección de turbidez y como un refractómetro para detectar el nivel de un determinado líquido.

[0047] Existen varias reacciones colorimétricas disponibles para detectarse distintos parámetros como el pH y las concentraciones de hierro, nitrato, fosfato y amoniaco. Un ejemplo específico utiliza un kit para la detección de fosfato, 3466, comercializado por la Compañía LaMotte, ciudad de Chesterton, MD, EEUU. Con este kit, una muestra de agua es colectada y un reactivo, en la forma de una pastilla, es disuelto en la muestra. Después de una reacción química, la muestra de agua cambia de color y las diferentes gradaciones de este color son utilizadas para determinar la concentración de una especie química. En la presente invención, esta solución colorada, localizada en el punto sensor 92, y conteniendo el analito 93 que reaccionó con la pastilla reactiva, se pone en contacto con el núcleo de la fibra óptica 106. Esta solución, en el punto sensor 92, es iluminada lateralmente con una fuente de luz blanca 100b, o cualquiera otra fuente de luz de largo de onda apropiado. La luz es absorbida por la solución, acoplada hacia el núcleo de la fibra y la intensidad de luz guiada hacia el detector 108 es determinada.

[0048] Un otro ejemplo específico, es un kit de detección de nitrato, kit número 3473, comercializado por la compañía LaMotte. Con este kit, una muestra de agua es recogida y un reactivo de nitrato, en la forma de una pastilla, es disuelto en la muestra. Como antes, una reacción química modifica el color de la muestra de agua, la intensidad de la luz blanca acoplada hacia el núcleo de la fibra es transmitida hacia el detector y la concentración de la sustancia química es determinada. La intensidad de esta señal versus la concentración original de nitrato de sodio está ilustrada en la FIG. 3a. Una ecuación lineal fue ajustada a esos datos con N=50 (número de puntos experimentales) y R=0.9868 (el coeficiente de correlación). Utilizando los valores críticos del Coeficiente de Correlación de Pearson, se puede obtener un nivel de confianza de más de 99% para este valor de r.

[0049] Un turbidímetro fue demostrado con la configuración del sensor ilustrado en la FIG. 2b. FIG. 3b es un

gráfico de los datos obtenidos con esta configuración. En este caso, la turbidez de la solución fue utilizada para determinar la concentración de iones de potasio en una muestra utilizando el método de sodio borato de Tetrafenila (TPB) donde el TPB fue utilizado como un reactivo. En este método, varias soluciones, de diferentes concentraciones de cloruro de potasio (KCl), fueran diluidas a una razón de 1:5. Ocho mL de esta solución fueran mezcladas con dos gotas de hidróxido de sodio, conteniendo un inhibidor de metales, y 0.05 g de TPB. Después de una reacción química entre los iones de potasio y el TPB, la solución en el punto sensor 92 se torna turbida e, en contacto con el núcleo de la fibra óptica 106, es iluminada con una fuente de luz blanca 100b. La cantidad de luz acoplada hacia el núcleo de la fibra óptica 106, debido a la dispersión de las partículas de la muestra final en el punto sensor 92, fue medida con un foto detector 108a. La intensidad de esta señal versus las diferentes concentraciones del ion de potasio está documentada en la FIG. 3b. Una vez que el reactivo TPB es adicionado hacia la muestra original, el medio asociado con el parámetro de medición se torna turbido donde la turbidez aumenta con la concentración de iones de potasio en el medio original. Esto resulta un una dispersión mayor de la luz de sondear aumentando la señal que llega hacia el detector. Este gráfico fue ajustado con una curva logarítmica lineal conteniendo 6 puntos experimentales, resultando en un alto valor del coeficiente de correlación $R=0.96$. Las concentraciones de iones de potasio utilizadas fueran 50, 100, 200, 300 y 400 ppm. Utilizando los valores críticos del coeficiente de correlación de Pearson, esos valores corresponden a un nivel de confianza de más de 99% (Tabla A-6 de Triola, 2007) (consulte M. F. Triola, "Elementary Statistics", 10ª Edición, Pearson/Addison Wesley, 2007). Este experimento fue repetido varias veces resultando en valores semejantes a este nivel de confianza. Este sensor fue también testado utilizando un padrón de turbidez, Formazin, obtenido de la Compañía Hach, en Loveland, CO, EUA, en la forma de un kit de calibración, "Formazin Calibration Kit" (Edición del catálogo de los años 2008-2009).

[0050] Las configuraciones de las FIGs. 2a y 2b pueden también ser utilizadas como un refractómetro de bajo costo para la detección del nivel de un líquido dentro de un recipiente. Por ejemplo, haciendo referencia a la FIG. 2b, el medio asociado con el parámetro de medición en el punto sensor 92 puede ser gasolina, agua o aire. Cuando el punto sensor 92 es rodeado por aire, la intensidad de luz obtenida por el detector 108 es, por ejemplo, 989 unidades. Cuando el punto sensor está circundado por agua, la intensidad obtenida es de 500 unidades. FIGs. 4a y 4b son ilustraciones de como este sensor puede ser utilizado como un sensor de nivel de líquido. FIGs. 4a y 4b presentan la fibra sensora 98 dentro del recipiente 172, sumergida en el líquido 174 y la interface del fluido 176. Arriba del nivel del líquido está el aire 178. El sensor de fibra 98 está conectado a un arreglo lineal de LED 138. Cuando el punto sensor asociado con la fuente de luz de sondear 100, está sumergido en el líquido 174, la señal detectada por el detector 108, y leída por la lectura 111, es menor en la FIG. 4a que la señal obtenida en la FIG. 4b. Este resultado muestra que una señal de alta intensidad indica que el punto sensor está arriba del nivel del líquido mientras que una señal de baja intensidad indica que el punto sensor está sumergido. Este procedimiento puede ser repetido para los otros puntos sensores con la finalidad de determinar el nivel del líquido.

[0051] Otra alternativa para las configuraciones arriba está ilustrada en la FIG. 5a. En este caso, el revestimiento original de la fibra sensora 98' es preservado (esto es, no es removido) e iluminado por afuera con una fuente de luz de sondear 100 mientras que la fibra se queda rodeada por el medio asociado con el parámetro de medición en el punto sensor 92. Visto que esta configuración no requiere la remoción del revestimiento de la fibra, la manufactura de esta es más sencilla. Esta misma fibra revestida puede ser utilizada con una película sensitiva 99 depositada sobre el revestimiento original (vea FIG. 5b). Esta película sensible posee un indicador sensitivo al analito que se desea detectar.

[0052] Hay de notarse que, de todas las configuraciones descritas, solamente la FIG. 5b requiere un indicador químico inmovilizado sobre la superficie de la fibra de esta forma, las configuraciones restantes son más sencillas que las configuraciones propuestas por Egalon (Patente americana No. 7,473,906).

[0053] Las fuentes de luz de sondear de las configuraciones de las FIGs. 1, 2, 5 y 8 pueden ser sustituidas por un LED conteniendo múltiples pastillas individualmente direccionables. Estos LED contiene más de una pastilla que emiten diferentes largos de onda y pueden ser utilizados para sondear un único punto sensor con tres largos de onda distintos y detectar más de un parámetro en este único punto.

[0054] Existen diversas maneras de fabricarse la fibra sensora 98. Uno de los métodos más sencillos es obtener una fibra óptica 96a, disponible en el mercado, con un núcleo 106, un revestimiento 116 y una chaqueta externa 101 (FIG. 6a). Para fabricarse el sensor 98, la chaqueta 116 y el revestimiento 106 de la fibra son removidos en posiciones específicas, seleccionadas de antemano, que se desea sondear el analito (por ejemplo, nitrato). Existen diversas fibras ópticas, comercialmente disponibles, que pueden ser utilizadas para esta tarea incluyendo fibras hechas de vidrio y de plástico. Preferiblemente esta fibra tendería un núcleo 106 de grande diámetro, del orden de 1 a 1,5 mm, capaz de producir una fibra sensora 98 con una señal elevada, aún que otros diámetros puedan producir resultados aceptables; aún que diámetros mayores y menores pueden ser empleados.

[0055] Usando una fibra conteniendo un núcleo de vidrio 106a (vea FIG. 6a), un revestimiento plástico 116a, y una chaqueta externa de plástico 101a, la fibra sensora 98 puede ser manufacturada a partir de la fibra original 96. Esto es hecho a partir de la remoción de regiones específicas del revestimiento externo y del revestimiento plástico (vea Fig. 6a) en posiciones que se desea obtener un punto sensor. Esta remoción puede ser hecha por medios químicos, por medios mecánicos (usando una lámina), o usando una fuente de calor capaz de quemar los revestimientos externo 101 e interno 116a. Utilizando uno de estos métodos, el núcleo de vidrio 106a se queda en contacto con el ambiente externo. El resultado es una fibra con parte de su revestimiento original removido alrededor del punto sensor 92, como ilustrado en la Figura 6b. Aún que esta ilustración presente solamente una región expuesta 92, se puede remover secciones múltiples al largo del sensor o todo el revestimiento entero alrededor del núcleo 106.

[0056] Fibras ópticas de plástico, por ejemplo la fibra óptica Raytela® PBFU-FB1000 de Torae industries (Raytela® es una marca registrada de Toray Kabushiki Kaishi (Torae industries, Inc.) Corporation) Tokio, Japón, es un tipo de fibra que también puede ser utilizada para crear el sensor arriba. Esta fibra posee un núcleo y revestimiento de plástico pero que sin cualquier revestimiento externo. El revestimiento puede ser removido usando acetona según el procedimiento descrito por D.F. Merchant, P. J. Scully y N.F. Schmitt en el paper "Chemical tapering of polymer optical fibre", Sensors y Actuators, vol. 76, pp. 365-371, 1999.

[0057] Consultando la Fig. 6c, se puede ver una realización adicional que incluye un espejo reflector 122 en el segundo término 118 del sensor de la fibra sensora 98, localizado en el término contrario del detector 108. Este espejo reflector puede ser instalado con la finalidad de aumentar la cantidad de la señal de luz que llega hacia el detector 108 una vez que la señal de luz que se propaga en la dirección revés, 124, es redireccionada. Este método puede ser utilizado para aumentar la señal basado en fluorescencia, absorción o dispersión.

[0058] Un otro arreglo, ilustrado en la Fig. 7, incluye el uso de una sensor de fibra óptica fibra sensora 98a con un núcleo cónico 107, divergiendo generalmente hacia el detector, mientras que la fluorescencia 104a, adonde indicada, se propaga de la región del punto sensor 92 hacia el detector 108. La interface entre el núcleo cónico y el revestimiento es referida como numeral 128. Comparada a las otras configuraciones, esta configuración con el núcleo cónico 107 posee la ventaja de acoplar una cantidad mayor de luz en el núcleo de la fibra óptica 106 resultando en el aumento de la señal de la fibra sensitiva 98. Con un núcleo de fibra óptica cónico 107, los rayos de luz que se irradiarían del núcleo de la fibra óptica 106, son acoplados a modos guiados de baja pérdida, y se propagan por distancias mayores. Esta fibra puede ser manufacturada con una torre de estiramiento de fibra utilizando una preforma de vidrio afilada mientras que la misma es estirada con una velocidad constante. Un otro método consiste en estirar una preforma cilíndrica regular con una velocidad variable. Alternativamente, esta fibra puede también ser manufacturada manualmente por personas habilidosas en la arte de dar forma a vidrios. Una cuarta alternativa es utilizar una fibra óptica de plástico y el procedimiento descrito por Merchant et al., citado arriba.

[0059] En una otra incorporación, ilustrada en la Fig. 8, una pluralidad de fuentes de luz, e.g., LED UV 100a, son instaladas dentro de un soporte de fibra óptica 134 formando un arreglo lineal de fuentes de luz al largo de la fibra sensora 98. En este caso, cada fuente de luz de sondear 100 emite una luz de excitación simultáneamente, en dirección hacia el núcleo de la fibra óptica 106 (vea Figs. 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 5a y 5b). El largo de ese arreglo lineal de fuentes de luz corresponde considerablemente al largo de la región sensitiva del punto sensor 92 de la fibra óptica 98 (ilustrados en las Figs. 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 5a y 5b). Este arreglo puede ser utilizado para aumentar la señal total de la fibra sensora 98. Un conector de fibra óptica 132 es utilizado para proteger el término de la fibra sensora 98, para prevenir la rotura, y permitiendo un posicionamiento reproducible del término de la fibra 98 al lado del detector 126 108 (e.g., vea también Figs. 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 5a y 5b). Prendiendo y desprendiendo cada uno de los LED 100a, de manera alternativa, es posible sondear un punto sensor específico 92, resultando en una fibra sensora distribuida 98 y perfeccionada.

[0060] De preferencia, la fuente de alimentación 114 (vea Figs. 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 5a y 5b) es proyectada para que no exceda la corriente máxima de los LED 100a. Existen fuentes de alimentación para LED disponibles comercialmente, las mismas pueden ser utilizadas para alimentar cada fuente de luz, de entre ellas, el LED-PS de Sandhouse Design (Sandhouse Design LLC, Dunedin, FL, EUA).

[0061] La Fig. 9a es una ilustración de un tipo de espectrómetro sencillo que utiliza los varios puntos sensores (92, 92', 92'', ...) del sensor de fibra óptica de iluminación lateral (98), y un único detector (108), para determinar la concentración de un único analito (93) localizado en varios puntos sensores (92). Cada punto sensor (92) es iluminado por la fuente de luz correspondiente (100, 100', 100'', ...) teniendo, las mismas, diferentes largos de ondas, λ_i . Una vez que cada uno de estos puntos sensores son sondeados, uno de cada vez, el detector determina la intensidad de la señal de la fuente luz que es prendida (100). Una vez que la absorción del analito (93) es determinada para cada largo de onda, es posible obtener una respuesta espectral de lo mismo, de esta manera tenemos un dispositivo que funciona como un espectrómetro sencillo y barato. La resolución de este tipo de espectrómetro depende del largo del ancho espectral, $\Delta\lambda_i$, de cada fuente de sondear (100).

[0062] Fig. 9b es una ilustración de una otra realización alternativa del sensor de fibra (98) con por lo menos dos puntos sensores (92) iluminados simultáneamente por los LED (100a) correspondientes. Estos LED poseen distintos largos de onda que permiten la determinación simultánea de los parámetros de medición, determinados en su puntos sensores correspondientes, por un espectrómetro (108c) localizado en el primer término de la fibra óptica (120).

[0063] Otra disposición alternativa de este arreglo de iluminación es posible con la sustitución de los diodos emisores de luz 100a con una tira de OLED (Diodos Orgánicos de Emisión de Luz o "Organic Light Emitting Diodes"). Estos OLED pueden, en principio, ser incorporados en una tira sobre la cual el sensor de fibra óptica es dispuesto.

[0064] Fig. 10a expone un arreglo alternativo que utiliza una fibra óptica de iluminación 144 capaz de sondear el punto sensor 92 (vea Figs. 2a y 2b) de la fibra sensora 98. En este caso, la fibra óptica de iluminación 144 opera como un guía de luz para la luz de iluminación 150 y la fibra óptica de iluminación 144 es emplazada paralela a la fibra sensora 98. La fibra de iluminación 144 es manufacturada con un término distal 148, hacia un ángulo de aproximadamente 45 grados, aún que se puedan utilizar otros ángulos también, con la finalidad de redireccionar la luz de iluminación 150 en dirección la región sensora de la fibra 98. Todavía, ángulos diferentes de 45 grados puedan ser empleados desde que la luz sea direccionada hacia la región sensitiva. En este arreglo, la luz de iluminación es generada por la fuente de luz de sondear 100, localizada en el primer término de la fibra 152, e introducida axialmente. La posición del término reflector distal 148 de la fibra de iluminación puede ser trasladada para sondear diferentes secciones de la fibra sensora 98, o se puede también utilizar múltiples fibras de

iluminación, cada una sondeando una área específica de la fibra sensora 98.

[0065] FIG. 10b ilustra una realización alternativa de la FIG. 10a en la cual múltiples fuentes de luz de sondear, 100, 100', 100'', etc., ilumina lateralmente la fibra óptica de iluminación 144. Esta es una configuración preferida visto que la misma posibilita una iluminación múltiple y simultánea de la fibra óptica de iluminación 144 desde las distintas fuentes de luz. Esta configuración también simplifica la fibra de iluminación visto que la misma no requiere un alineamiento preciso de las fuentes de luz ni siquiera el uso de lentes para focalizar la luz en el primer término de la fibra 152. Con esta configuración específica, la fibra óptica de iluminación 144 hay de ser preferiblemente iluminada en una región en la cual no hay cualquier revestimiento. De esta forma, la iluminación de la fibra óptica de iluminación 144 es efectuada de una manera semejante a la de la fibra sensora 98. En este caso, la fibra óptica de iluminación 144 también se comporta como un acoplador N X 1 sencillo que requiere una única fibra.

[0066] Un otro arreglo alternativo, ilustrado en la Fig. 11a, usa una fibra óptica de iluminación 154 con varias rejillas de largo periodo 156. Esta fibra de iluminación 154 es posicionada al largo de la fibra sensible 98 e ilumina varias de su regiones sensibles con las rejillas de largo periodo 156. Cada una de las rejillas de largo periodo 156 es proyectada para acoplar los modos guiados de propagación 158 de la fibra de iluminación 154 hacia los modos de radiación no-guiados 162 alrededor de un largo de onda específico, λ_i , dentro del espectro de absorción de la región sensora. En este caso, la luz de banda ancha de una fuente de luz de sondear 100 es transmitida por un monocromador 160 que hace un barrido de los distintos largos de onda adentro del espectro de absorción de la región sensitiva de la fibra sensora 98. Cuando el monocromador 160 es ajustado hacia el largo de onda λ_i , solamente las rejillas de largo periodo sintonizadas a este largo de onda acoplan la luz de la fibra óptica de iluminación en dirección a la fibra sensible 98 iluminando la región correspondiente de la fibra sensible localizada al lado de esta específica rede de largo periodo 156. Esto procedimiento puede ser repetido para otros largos de onda. Esto mismo procedimiento, descrito en la Fig. 11b, puede ser utilizado para la configuración ilustrada en la Fig. 11a en la cual las fuentes de iluminación de luz de sondear 100, 100' y 100'' están posicionadas al lado de la fibra de iluminación (vea Fig. 11b). En este caso cada fuente de luz de sondear es seleccionada con diferentes largos de onda sintonizados a las rejillas de la fibra de iluminación 154.

[0067] Más dos realizaciones de la fibra óptica de iluminación están ilustradas en la Figs. 12a y 12b usando iluminación axial e iluminación lateral, respectivamente. En este caso, la fibra de iluminación 157 es manufacturada con varios reflectores dieléctricos 180, cada cual posicionado hacia un ángulo de 45 grados. Cada reflector dieléctrico es proyectado para reflejar la luz de un largo de onda específico, λ_i , (e.g., λ_1 , λ_2 y λ_3), de un modo guiado hacia un modo de radiación de la fibra de iluminación, en dirección al punto sensor 92 de la fibra óptica sensible 98. Esta fibra se comporta de una manera similar a la fibra de iluminación hecha con rejillas de Bragg con la ventaja adicional de su bajo costo. Los largos de onda, λ_i , están dentro del espectro de absorción del medio asociado con el parámetro de medición en el punto sensor 92 (vea FIGS. 1a, 1b y 1c) alrededor de la fibra sensora 98. Cambiando el largo de onda de la luz de entrada, es posible sondear múltiples puntos, en posiciones predeterminadas, al largo del sensor de fibra criando, de esta forma, un sensor distribuido perfeccionado.

[0068] En ambos los casos ilustrados por las FIGS. 11a y 12a, el monocromador puede ser sustituido por múltiples fuentes de luz monocromáticas, e.g., láseres y LED.

[0069] Un arreglo del sistema de detección, ilustrado en la FIG. 13, consiste en un fotodetector de silicio 108b dentro de un compartimiento a prueba de luz 109, un cabo 112 para el fotodetector, un conector macho 164 y una unidad de lectura 111. El conector macho 164 es conectado hacia la conectora hembra 168 de la unidad de lectura 111. El fotodetector 108a es dispuesto dentro de un receptáculo, hermético a la luz 109, donde puede ser conectado al conector de fibra óptica ilustrado en la Fig. 8. Este detector es conectado hacia un cabo que transmite la señal fotoeléctrica hacia un circuito de amplificación. El circuito amplifica la señal y la intensidad es indicada en el display 170 de la unidad de lectura 111. Varios sistemas de detección, disponibles comercialmente, pueden ser utilizados con esta invención por ejemplo, el medidor de luz de la AEMC Instruments, modelo CA811, (Chauvin Arnoux®, Inc., d.b.a. AEMC® Instruments, Foxborough, MA, EUA), el módulo de fotodiodo C10439 de la Corporación Hamamatsu (Hamamatsu Photonics, K.K., con sede en la ciudad de Hamamatsu, en Japón y con subsidiaria en Bridgewater, NJ, EUA), y el detector de punto único, modelo No. SPD-UV/VIS de la Sandhouse Design (Sandhouse Design, Bridgewater, NJ, EUA).

[0070] Esta invención, y su formas variadas, puede ser utilizada en varias aplicaciones, incluyendo, pero que no limitada a, la monitorización de la turbidez y color de una solución, la concentración de clorofila, el nivel de un líquido y otros.

Referencias numéricas

92	Punto sensor, Región expuesta del núcleo de la fibra	111	Lectura
92a	Punto sensor específico	112	Cable del fotodetector
93	Analito, medio asociado con el parámetro de medición	114	Fuente de alimentación
96	Fibra óptica original	116	Revestimiento de la fibra óptica
96a	Fibra óptica disponible comercialmente	116a	Revestimiento de plástico de la fibra óptica
98	Fibra sensora, Fibra óptica sensora	118	Segundo término de la fibra óptica
98a	Fibra óptica con núcleo cónico	120	Primer término de la fibra óptica

ES 2 804 761 T3

99	Película reactiva, Película sensible	122	Espejo reflector
100	Fuente de luz de sondear	124	Modo de propagación al revés
100a	LED	128	Interface entre el núcleo cónico y el revestimiento.
100b	Fuente de luz blanca	132	Conector de fibra óptica
101	Chaqueta protectora	134	Suporte de la fibra óptica
101a	Revestimiento externo de plástico	138	Arreglo lineal de LED
104	Señal óptica	144	Fibra óptica de iluminación
104a	Fluorescencia	148	Término reflector
106	Núcleo de la fibra óptica, núcleo	150	Luz de iluminación
106a	Núcleo de vidrio	152	Primer término de la Fibra óptica
107	Núcleo cónico	154	Fibra óptica de iluminación con varias rejillas de largo periodo
108	Detector	156	Rejillas de largo periodo
108a	Fotodetector	157	Fibra óptica de iluminación con reflectores dieléctricos
108b	Fotodetector de silicio	158	Modos guiados de una fibra óptica de iluminación
108c	Espectrómetro	160	Monocromador
109	Receptáculo hermético a la luz	162	Modos de radiación de fuga
110	Procesador de señales	164	Conector macho del Fotodetector
168	Conector hembra de la unidad de lectura	176	Interface del fluido
170	Display	178	Aire
172	Recipiente	180	Reflectores dieléctricos en la fibra
174	Líquido		

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de detección que comprende:
- 5 una fibra óptica sensible (98),
que tiene un primer (120) y un segundo (118) terminal,
que tiene un núcleo (106),
que se configura para que pueda colocarse en un entorno que contiene sustancias que son
quimioluminiscentes, fosforescentes, fluorescentes, que dispersan o absorben luz,
10 y que tiene al menos una región (92) en contacto directo con el entorno y que actúa como una región
sensible de la fibra, en la que dicha fibra óptica sensible se ve afectada ópticamente por el entorno, y en la que
dicha región sensible es sensible sin comprender ningún indicador químico;
al menos una fuente de luz de sondeo (100), configurada para proporcionar iluminación lateral de la fibra
15 óptica, produciendo una luz de sondeo que interactúa con un medio de medición y en el entorno de dicha región
sensible para generar a partir de ella una luz de sondeo modificada que es sustancialmente ayudada por dicho
medidor medio que interactúa con el entorno; y
que está sustancialmente acoplado a dicho núcleo como una señal óptica (104), en donde el
sistema de detección comprende además:
20 un detector (108) acoplado ópticamente con dicho primer terminal (120) de dicha fibra óptica sensible
para la recepción de la señal óptica al salir de dicho primer terminal (120), para medir la intensidad de la señal
óptica en un rango dado de longitudes de onda y para correlacionar la intensidad con una señal eléctrica; y
un procesador de señal (110) en comunicación de datos con dicho detector (108); por lo que la señal
eléctrica se correlaciona con una cantidad del mensurando que se está midiendo.
- 25 2. El sistema de detección de la reivindicación 1, en el que la región sensible de la fibra comprende una región
central desnuda.
3. El sistema de detección de la reivindicación 1, en el que la región sensible de la fibra comprende el revestimiento.
- 30 4. El sistema de detección de cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende además una pantalla
en comunicación de datos con dicho procesador de señal y una fuente de alimentación (114) configurada para
proporcionar energía a dicha fuente de luz, dicho procesador de señal y una pantalla.
5. El sistema de detección de la reivindicación 1 en el que:
- 35 dicha fibra óptica sensible comprende un revestimiento y tiene al menos dos de sus secciones de
revestimiento eliminadas (92) con al menos una región central desnuda (92) en contacto directo con el entorno
para proporcionar al menos dos sensibles regiones;
dichas fuentes de luz de sondeo iluminan dos o más regiones sensibles simultáneamente o una a la vez;
dichas fuentes de luz de sondeo tienen las mismas o diferentes longitudes de onda; y
40 dicha luz de sondeo interactúa ópticamente con el entorno en cada una de dichas regiones sensibles de
las que se genera una luz de sondeo modificada a partir de la misma, habiéndose afectado sustancialmente cada
modificación por al una medida y un medio (93) en el entorno que rodea cada punto de detección.
6. El sistema de detección de la reivindicación 1 en el que la fuente de luz es posicionable a cualquier distancia de
45 dicha región sensible.
7. El sistema de detección de la reivindicación 1 en el que el medio de medición comprende uno de color, turbidez,
analito e índice de refracción.
- 50 8. El sistema de detección de la reivindicación 1 en el que el entorno rodea dicho núcleo de fibra o está ubicado
entre dicho núcleo de fibra y la fuente de luz o está detrás de dicho núcleo de fibra.
9. El sistema de detección de la reivindicación 1, en el que la interacción óptica de la luz de sondeo con el medio
de medición y el resultado en uno de absorción de luz, dispersión, fluorescencia, fosforescencia y
55 quimioluminiscencia.
10. El sistema de detección de la reivindicación 1, mientras que dicho sistema de detección es un sensor de fibra
óptica multipunto, cada uno de dichos puntos de detección está iluminado por una pluralidad de fuentes de luz de
diferentes longitudes de onda y dicho punto de detección detecta la misma medida o diferentes medidas.
- 60 11. El sistema de detección de la reivindicación 1, en el que dicha fibra óptica sensible comprende además un
núcleo cónico (107), que diverge hacia una o ambas direcciones de propagación de la luz, para aumentar la
cantidad de señal óptica que se guía hacia los extremos de la fibra.
- 65 12. El sistema de detección de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha fuente de luz de
sondeo configurada para proporcionar iluminación lateral de la fibra óptica comprende un sistema de iluminación

que comprende:

una fibra óptica de iluminación (144) que tiene un primer (152) y un segundo (148) terminal,
que tiene un núcleo y al menos un punto donde no hay revestimiento,

- 5 al menos una fuente de luz que produce una luz de prueba y está configurada de manera tal que:
dicho lado de luz de sondeo ilumina dicho punto en la fibra óptica de iluminación donde no hay
revestimiento, y está sustancialmente acoplado a dicho núcleo de la fibra óptica de iluminación de tal manera que
la luz de sondeo es transmitida por la fibra óptica de iluminación.

- 10 13. El sistema de detección de la reivindicación 12, en el que la fibra óptica de iluminación tiene al menos un espejo
dieléctrico (180) o al menos una rejilla de período largo (156) a lo largo de dicha fibra óptica de iluminación,
pudiendo dicho espejo dieléctrico y rejilla de período largo de redirigir la luz de prueba dentro de un rango de
longitud de onda específico hacia el exterior de dicha fibra óptica de iluminación.

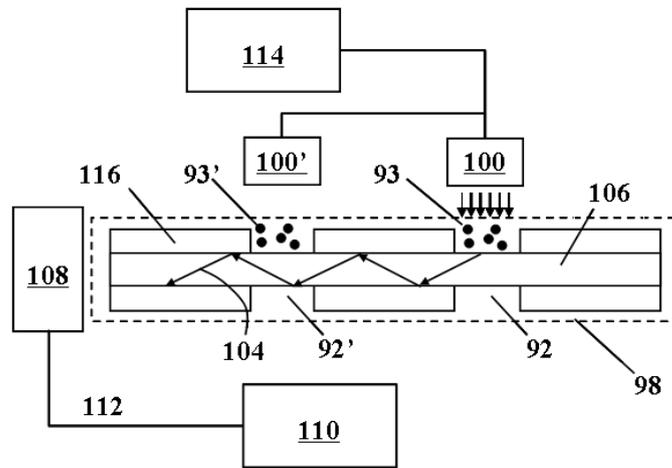


FIG. 1a.

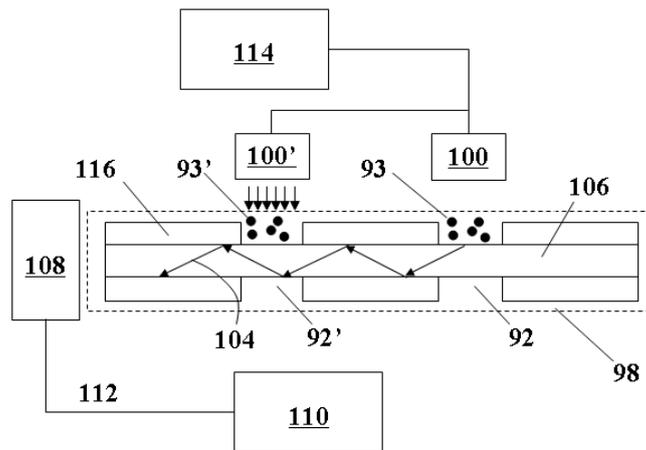


FIG. 1b.

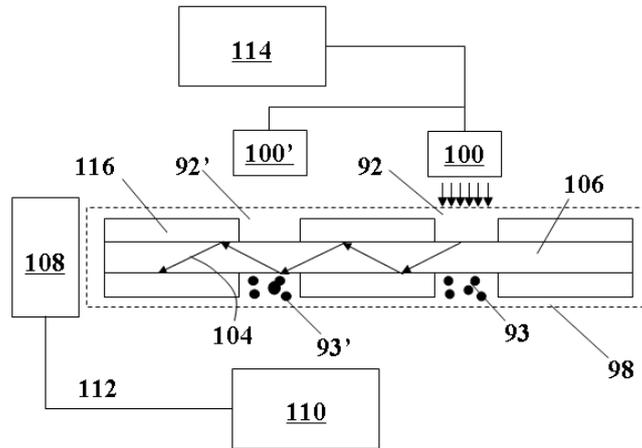


FIG. 1c.

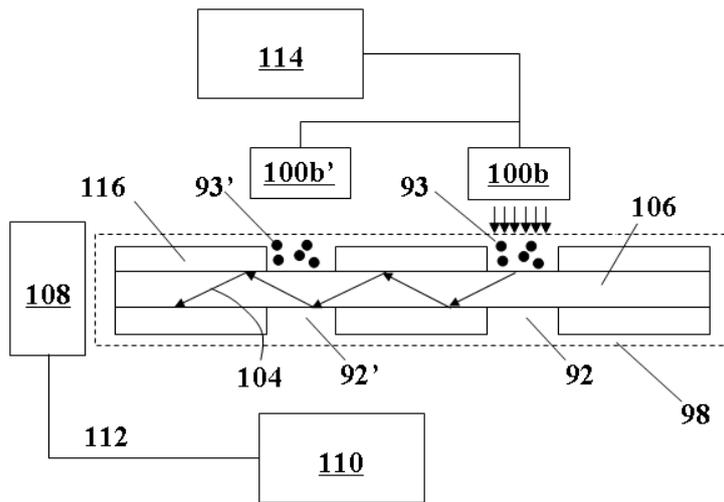


FIG. 2a.

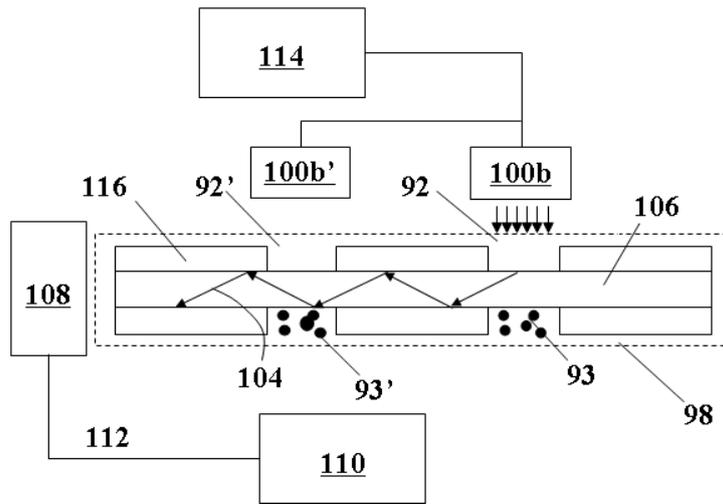


FIG. 2b.

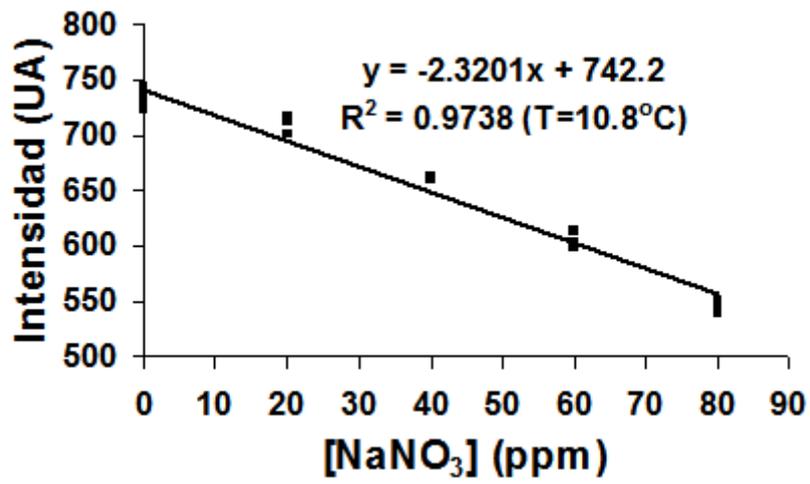


FIG. 3a.

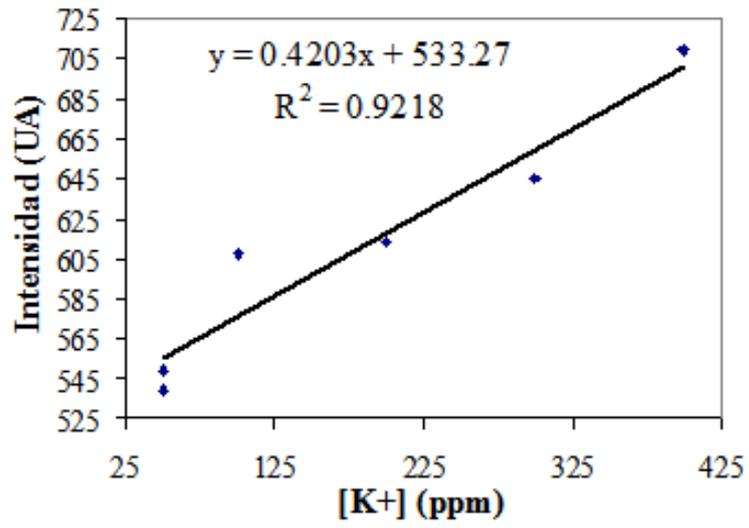


FIG. 3b.

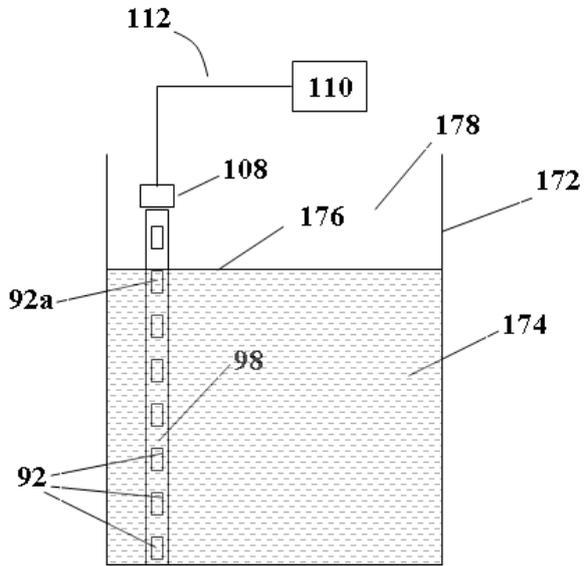


FIG. 4a.

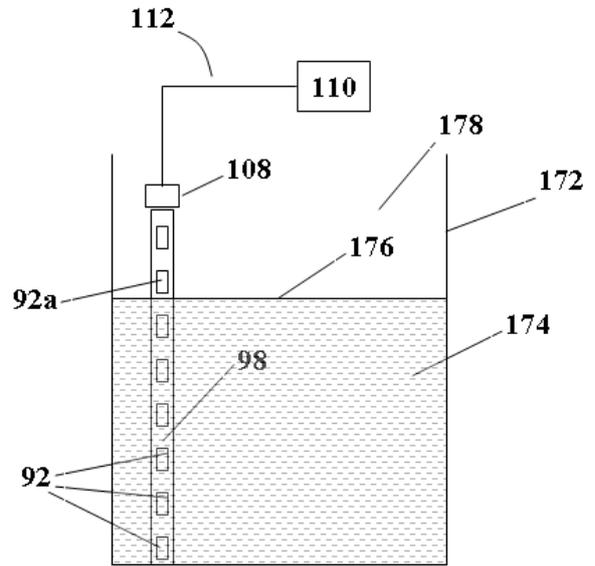
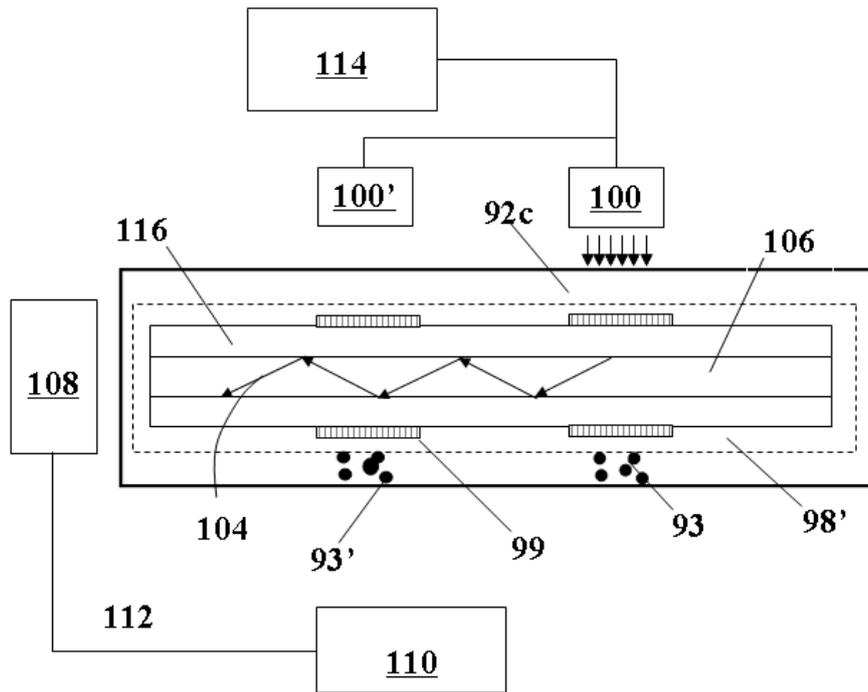
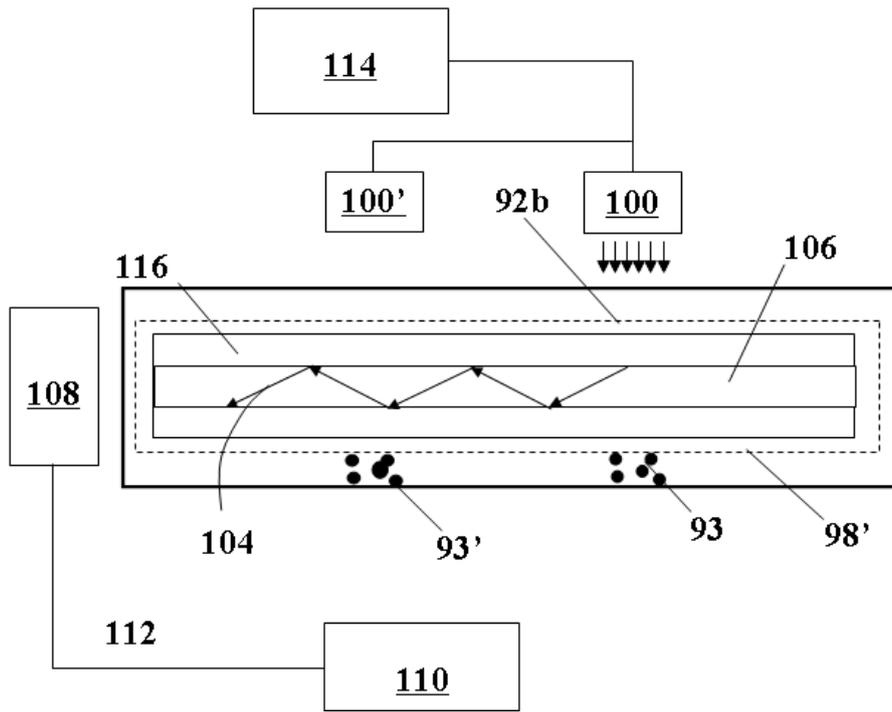


FIG. 4b.



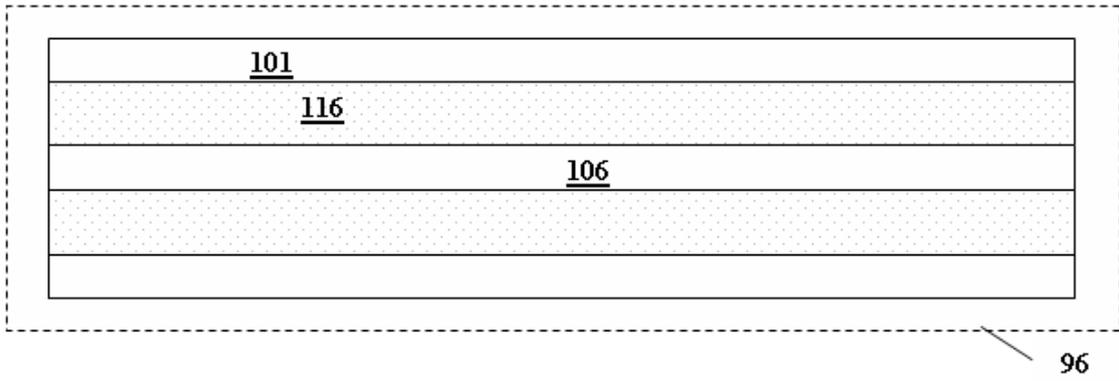


FIG. 6a.

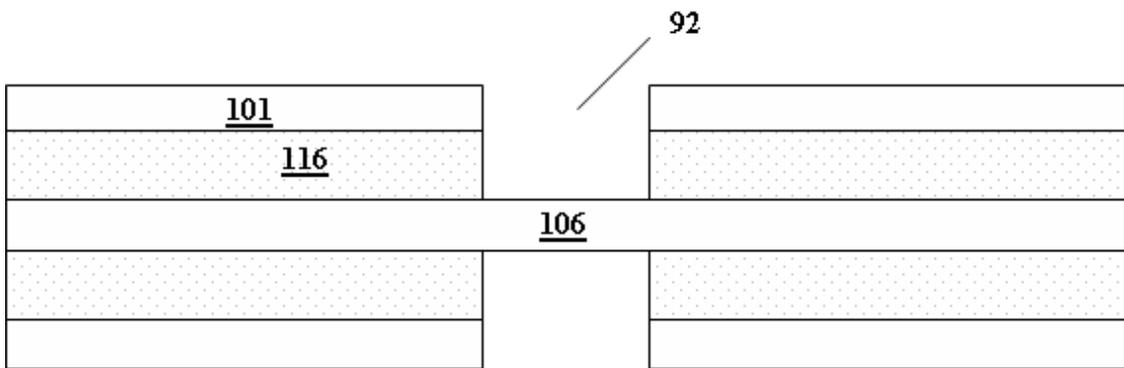


FIG. 6b.

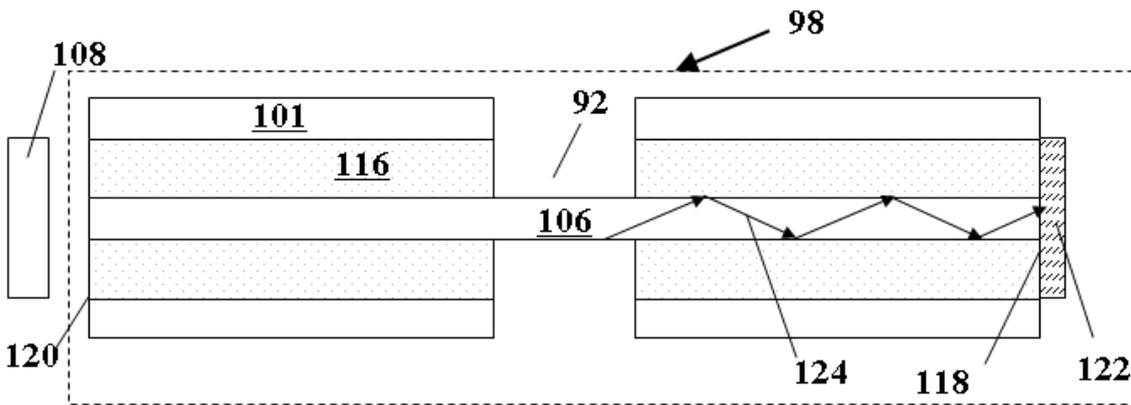


FIG. 6c.

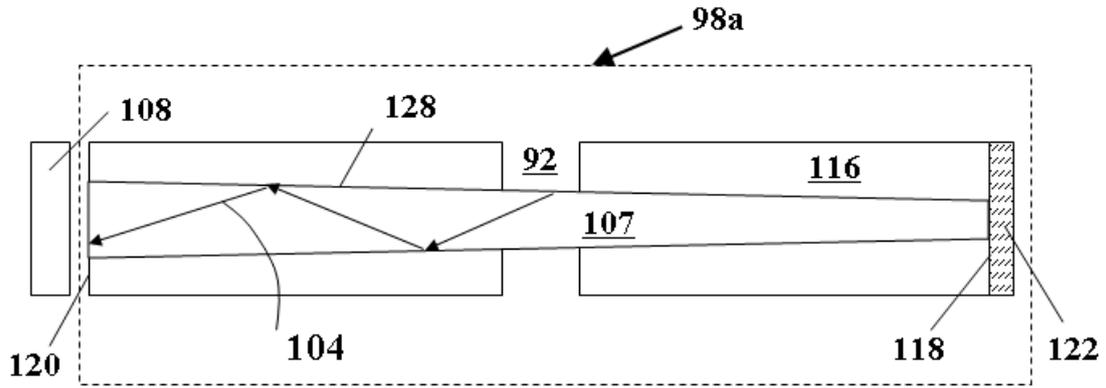


FIG. 7.

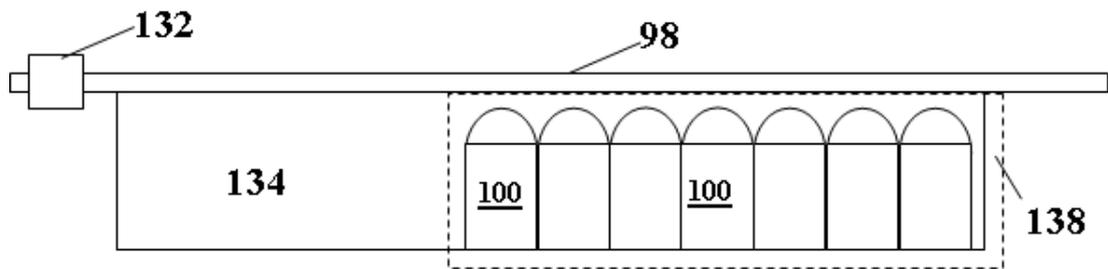


FIG. 8

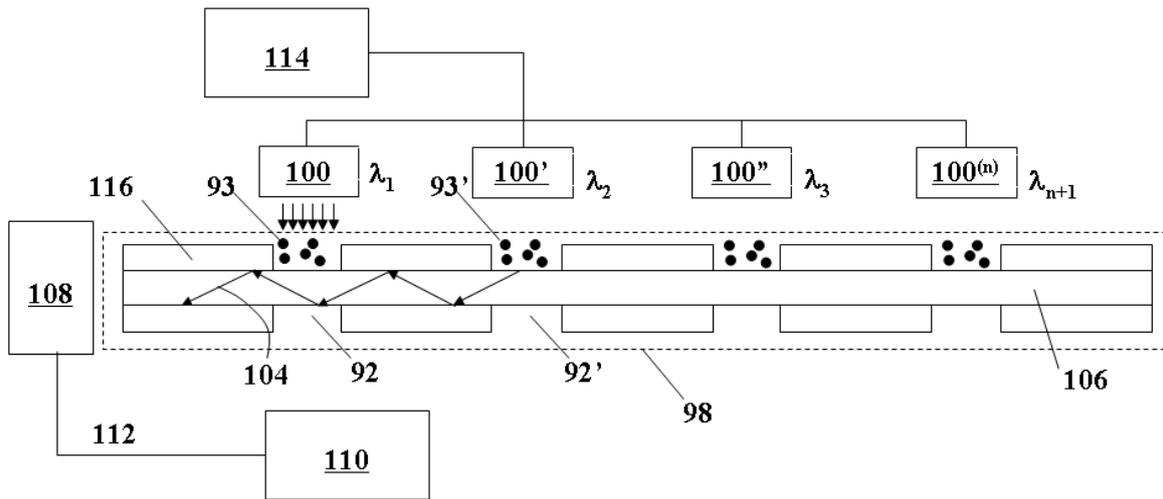


FIG. 9a

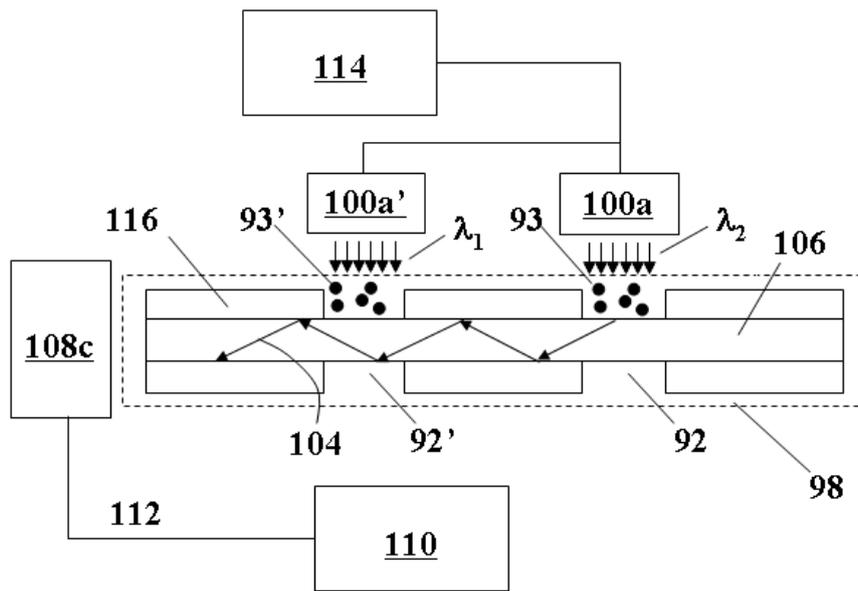


FIG. 9b

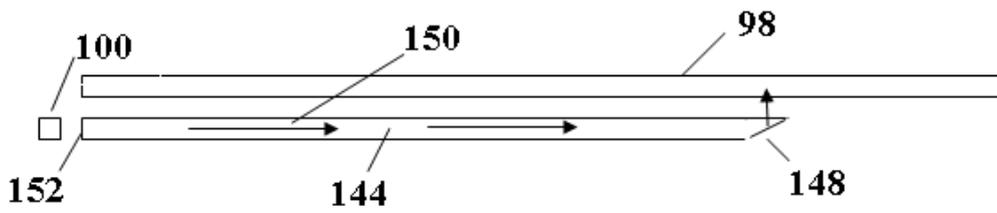


FIG. 10a.

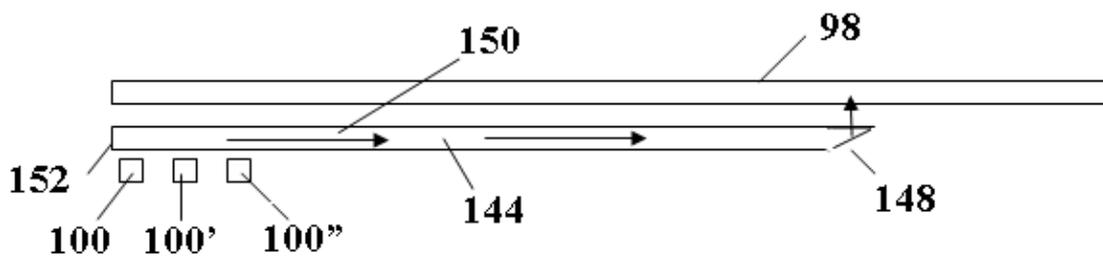


FIG. 10b.

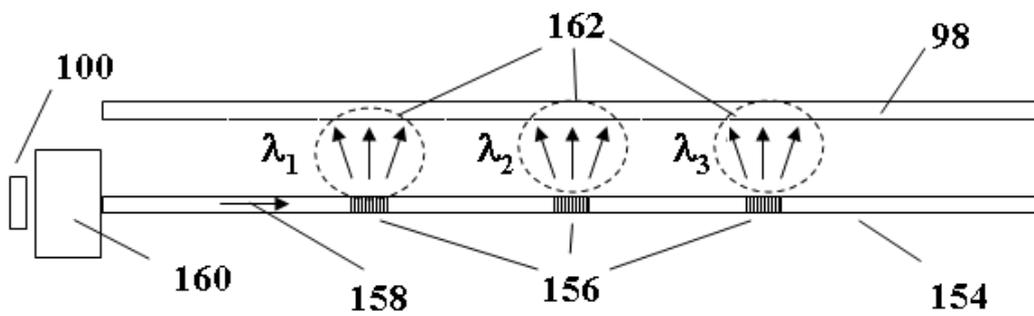


FIG. 11a.

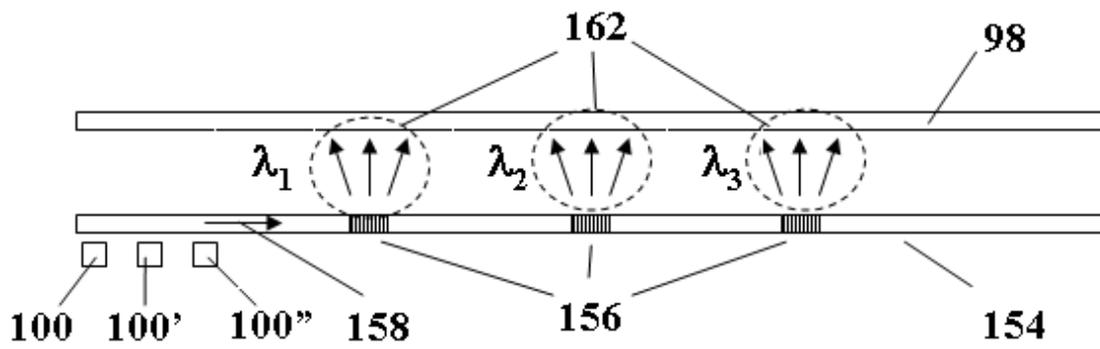


FIG. 11b.

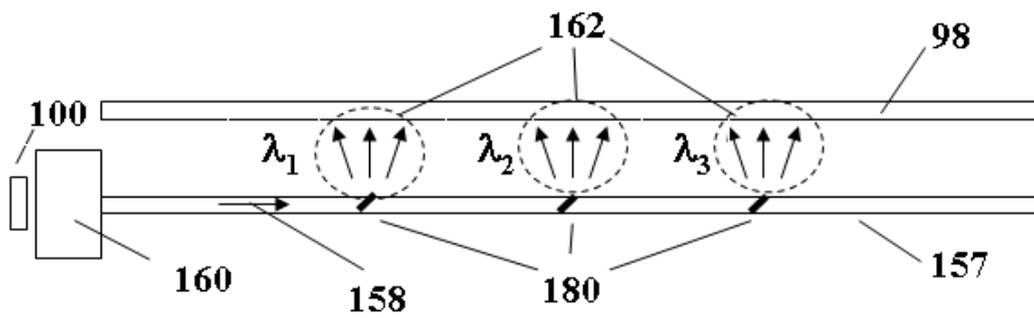


FIG. 12a.

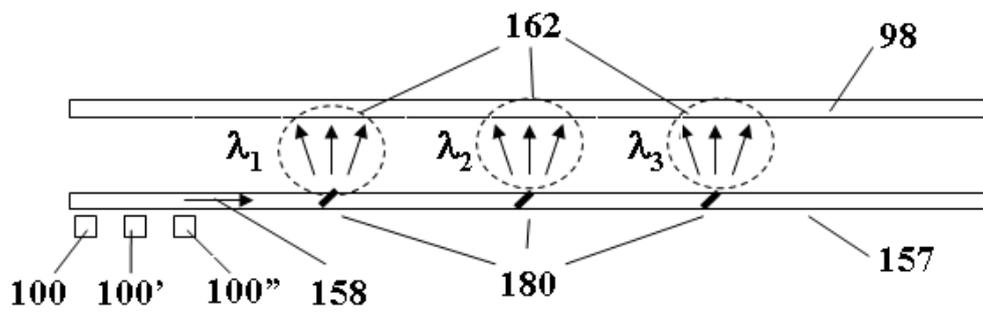


FIG. 12b.

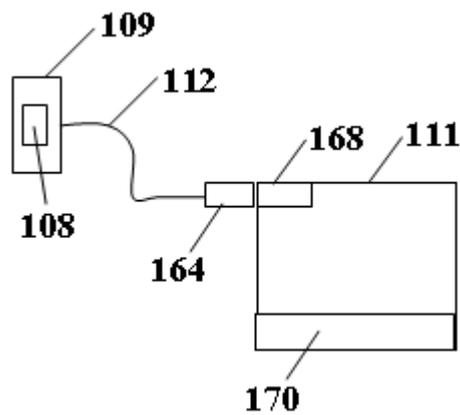


FIG. 13.