

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 636 713**

21 Número de solicitud: 201631544

51 Int. Cl.:

G02B 6/12 (2006.01)

G01N 21/17 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

02.12.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

06.10.2017

71 Solicitantes:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
(100.0%)**

**Ctro. Apoyo de la Innovación, la Investigación y
la Transferencia de Tecnología CTT, Edif, 6 G
Camino de Vera, s/n
46022 Valencia ES**

72 Inventor/es:

**MUÑOZ MUÑOZ, Pascual;
GARGALLO JAQUOTOT, Bernardo;
MICO CABANES, Gloria y
PASTOR ABELLÁN, Daniel**

74 Agente/Representante:

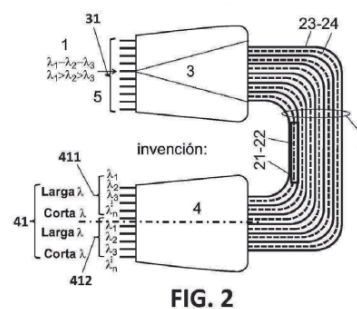
PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **DISPOSITIVO FOTÓNICO SENSOR, MÉTODO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS QUE HACE USO DEL MISMO Y USOS DE DICHO DISPOSITIVO**

57 Resumen:

Dispositivo fotónico sensor, método de análisis de muestras que hace uso del mismo y usos de dicho dispositivo.

Se describen en este documento un dispositivo sensor y un método de análisis de muestras que hace uso dicho dispositivo, basándose ambos en el uso de una sub-agrupación de guías que se usa como referencia junto con otra sub-agrupación de guías que presenta una serie de ventanas definidas en las guías de onda de tal manera que se dan variaciones en el campo de evanescencia de cada porción de las guías de onda de la ventana, o de las ventanas en el caso de formaciones de ventanas, que está en contacto óptico mediante la ventana con una porción de la muestra a analizar. Las mediciones de dichas variaciones con respecto a una medida de referencia que se toma de la sub-agrupación de referencia permiten determinar y cuantificar el analito de la muestra.



**DISPOSITIVO FOTÓNICO SENSOR, MÉTODO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS QUE
HACE USO DEL MISMO Y USOS DE DICHO DISPOSITIVO**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se enmarca en el campo de la investigación y análisis de sustancias mediante medios ópticos.

10

Más concretamente la invención está relacionada con un dispositivo fotónico para técnicas de espectrometría mediante la utilización de medios ópticos y un método analítico que hace uso de dicho dispositivo.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

En el campo de los dispositivos ópticos y la fotónica son conocidos los dispositivos denominados AWG por sus siglas en inglés (*Arrayed Waveguide Grating*). Estos dispositivos se utilizan comúnmente como multiplexores o demultiplexores ópticos en sistemas WDM (*Wavelength Division Multiplexed*). Estos dispositivos son capaces de multiplexar/demultiplexar un gran número de longitudes de onda en una sola fibra óptica, aumentando así la capacidad de transmisión de las redes ópticas.

25

Los AWG convencionales consisten en un par de zonas de propagación libre que actúan como acopladores. Ambos acopladores están conectados entre sí por un conjunto discreto de guías de onda comúnmente llamadas agrupación de guías de onda (en inglés, "arrayed waveguides" o AWs). A la entrada del primer acoplador y a la salida del segundo se conectan una o varias guías de onda que actuarán como los puertos de entrada y salida del AWG respectivamente.

30

Cuando se inyecta luz a través de al menos una de las guías de entrada, el haz se propaga a través de dicha(s) guía(s) de onda y alcanza el primer acoplador. Éste actúa como una región de propagación libre donde la luz ya no se confina lateralmente, sino que se difracta hacia el lado opuesto del acoplador. Dicha luz difractada se recoge

entonces por la agrupación de guías de onda (AWs) que tienen una longitud incremental entre ellas. Dicha longitud incremental es un numero entero de veces (m) (también conocido como orden de difracción) la longitud de onda de la luz propagada en dichas guías $\Delta L = m(\lambda_0/n_{WG}(\lambda_0))$, siendo λ_0 la longitud de la onda central de diseño del AWG en el vacío y $n_{WG}(\lambda_0)$ es el índice de refracción efectivo de la guía de onda. Esta diferencia de longitud entre guías de onda adyacentes determina un cambio de fase que depende por lo tanto de la longitud de onda de la luz aplicada λ (que en general puede ser distinta de la de diseño), siendo dicho cambio $\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} n_{WG}(\lambda)(m \lambda_0/n_{WG}(\lambda_0))$.

Todas estas guías están conectadas al segundo acoplador donde la luz que proveniente de cada una de las guías de la agrupación se propaga libremente obteniendo así a la salida del acoplador una interferencia de los campos provenientes de dichas guías. De esta forma, en el plano de salida obtendremos posiciones en las que la interferencia se produce de forma constructiva y posiciones en las que la interferencia es destructiva. Dicha interferencia es dependiente de la longitud de onda, a causa del desfase relativo entre la luz de las guías de la agrupación, $\Delta\phi$, descrito anteriormente. Aquellas posiciones en las que una o más de las longitudes de onda interfieren de manera constructiva se conocen como puntos focales del AWG, y es donde se posicionan las guías de onda de salida para recoger la luz de una o más longitudes de onda. De esta forma, el funcionamiento del dispositivo completo consiste en separar las distintas longitudes de onda introducidas por una guía de entrada en diferentes posiciones espaciales y, por tanto, en diferentes guías de onda, o puertos, de salida (demultiplexación). Al tratarse de un componente pasivo y recíproco, si se introducen por las distintas guías de salida señales de luz cuyas longitudes de onda guardan una determinada relación entre sí y con el diseño particular del AWG, dichas longitudes de onda se verán combinadas en un único puerto de entrada (multiplexación).

El uso de dispositivos AWG con distintas funcionalidades es conocido en el estado del arte, en este sentido se tiene que el documento PCT / ES2014 / 070782 describe un conjunto reflectante AWG provisto con reflectores Sagnac con el fin de minimizar el tamaño del dispositivo. Además, el uso de reflectores de Sagnac permite la modificación de la respuesta espectral del dispositivo, que es típicamente de tipo Gaussiano.

En la tesis doctoral del Dr. ZhixiongHu (*Zhixiong "Development of an integrated microspectrometer using Arrayed Waveguide Grating (AWG)" PhD thesis, University of Glasgow*) se describe un sensor espectroscópico de fluorescencia. Consta de un AWG y una cubeta de muestra vinculada a un chip de micro-fluidos; este dispositivo sólo puede
5 funcionar en análisis de fluorescencia, no siendo de utilidad en análisis basados en índice refractivo o absorción.

En el caso de B. Gargallo, P. Muñoz "*Full field model for interleave-chirped arrayed waveguide gratings*" *Optics Express* 2013; 21(6); 6928-6942 se describe teóricamente un
10 dispositivo AWG tipo *Interleave-Chirped AWG* cuya agrupación de guías de onda entre acopladores se divide en sub-agrupaciones intercaladas, cada sub-agrupación con diferente longitud física base (que depende de la longitud de onda) y cierta longitud incremental para cada sub-agrupación. Cada sub-agrupación actúa de manera independiente de forma que cada longitud de onda de entrada al dispositivo puede ser
15 enfocada en tantos puntos del plano de salida como sub-agrupaciones existan. Además es posible modificar la fase relativa entre dichas longitudes de onda estableciendo distintos $\Delta\phi$ para cada sub-agrupación.

En K. Kodate, Y. Komai "*Compact spectroscopic sensor using an array waveguide grating*" *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* 2008; 10(044011) se describe un sensor
20 espectrométrico para la medición del espectro de transmitancia de líquidos. El dispositivo consiste en un dispositivo AWG común como el descrito anteriormente provisto de varias ranuras de inyección de muestra dentro del acoplador de entrada actuando como zonas de detección. Mientras que en Z. Hu, A. Glidle, C. Ironside, J. M. Cooper and H. Yin "*An integrated microspectrometer for localised multiplexing measurements*" *Lab Chip* 2015;
25 15: 283-289 se presenta un espectrómetro AWG con lentes para medidas de fluorescencia. Sin embargo aunque en ambos casos se describen sensores espectrométricos, uno para la medición del espectro de transmitancia y otro para mediciones de fluorescencia estando ambos basados en dispositivos AWG, en dichos
30 documentos se detalla que las zonas de detección de estos espectrómetros están emplazadas, respectivamente, en uno de los acopladores del AWG o en la guía de entrada de éste.

Asimismo en el documento US2006/0045412 se describe un dispositivo compacto para la

interrogación simultánea de múltiples sensores de fibra óptica modulados en longitud de onda, que contiene un demultiplexor materializado como un elemento AWG que lleva a múltiples guías de onda de salida y foto-detectores correspondientes a las diferentes longitudes de onda de detección. En US2006/0045412 el dispositivo AWG no constituye
5 ni forma parte de un dispositivo sensor, sino que es un elemento asociado al tratamiento de las señales obtenidas en los sensores, de naturaleza no relevante en esa invención.

En el documento EP2620753 se detalla una disposición para la determinación óptica y análisis de una pluralidad de señales ópticas de salida, cada una de ellas de una longitud
10 de onda diferente, que se basa en un dispositivo AWG, el cual actúa como multiplexador para multiplexar en una señal común las señales de salida hacia una unidad receptora.

El sensor óptico del documento US 20120298849 emplea partes o superficies de un elemento de guía de ondas (un anillo resonador) como elemento de medición por campo evanescente al estar en contacto con una sustancia o afectado por alguna otra magnitud
15 de medición.

Y, por último, el documento EP1927839 describe un dispositivo interrogador de varios sensores materializados en fibra óptica, en este caso para la detección de impactos que, mediante un dispositivo AWG, recoge y demultiplexa las señales de salida de los
20 sensores separándolas en función de su longitud de onda, hacia los respectivos fotodetectores. El dispositivo AWG hace las veces de dispositivo de tratamiento de señales obtenidas en sensores, y no de sensor en sí, ni en su conjunto ni en partes del mismo.

25

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

En un aspecto de la invención se tiene un dispositivo fotónico sensor que actúa a modo de espectrómetro. Dicho dispositivo está basado en un AWG (Arrayed Waveguide
30 Grating) el cual ha sido modificado mediante técnicas de intercalado (en inglés “*interleaving*”), esto es, la agrupación de guías de onda, se divide en sub-agrupaciones intercaladas. Además de intercalado, está desintonizado, es decir, con relaciones de fase diferentes dentro de cada sub-agrupación, dando lugar a un DI-AWG (del inglés “Detuned Interleaved”-AWG), en el cual al menos una de las sub-agrupaciones

intercaladas actúa como sensor.

La citada configuración intercalada y con sintonización DI-AWG de dos o más sub-agrupaciones de guías de onda mutuamente desfasadas permite la replicación de la señal en diversos puntos focales para la misma longitud de onda. De esta manera una de las sub-agrupaciones se usa como referencia y la(s) otra(s) sub-agrupación(es), que incluye(n) ventanas de detección en el seno de un medio circundante de tal manera que la luz de dicha sub-agrupación puede entrar en contacto con una sustancia presente en dicho medio, se utiliza(n) para la detección / medición de dicha sustancia basándose en la señal de referencia. Dado que el dispositivo ofrece un número de puntos focales a su salida para cada longitud de onda, al menos tantos como sub-agrupaciones, y que la luz de entrada al dispositivo puede presentar múltiples longitudes de onda, el dispositivo actúa como un sensor espectrométrico con múltiples configuraciones.

La sustancia depositada en las ventanas de detección interactúa con el campo evanescente de las guías de onda, cuya implementación particular se detalla más adelante, siendo esta interacción la base de la detección o análisis que permite llevar a cabo el dispositivo de la invención. Los modos electromagnéticos guiados en guías de onda dieléctricas no están totalmente confinados, sino que una porción del modo de propagación, cuya magnitud depende de la implementación particular de la guía de onda, se propaga por la región exterior al núcleo; este efecto da lugar al conocido campo de evanescencia, el cual está en contacto directo con el medio que rodea la guía de onda. En el caso de las guías de onda que incluyen las ventanas de detección, el campo evanescente está en contacto directo (al menos ópticamente) con el medio a través de la ventana.

Por ello, cuando una sustancia se encuentra en el espacio comprendido en dicha ventana, la muestra interactúa con el campo de evanescencia correspondiente generando alteraciones en el mismo. Dichas alteraciones afectan a la parte real, imaginaria, o ambas, del índice de refracción efectivo de la(s) guía(s) de onda para la(s) que se define(n) la(s) ventana(s); las variaciones en el índice de refracción efectivo de una guía de onda se pueden medir mediante la cuantificación de los

cambios en intensidad, fase o polarización de la luz observada en los puntos focales anteriormente descritos, luz que se recolecta en las guías de onda o puertos de salida.; el estudio de dicha interacción entre la luz formada por un conjunto de longitudes de onda, e intensidad, fase y polarización determinadas, y la materia, es comúnmente perteneciente al campo de la espectroscopia, es por ello que el dispositivo objeto de la invención se puede denominar espectrómetro. El dispositivo de la invención permite obtener información de la muestra en tiempo real al llevar a cabo su inspección cuando se encuentran en contacto, al menos óptico, a través de las ventanas de detección de manera que los cambios de fase o absorción de la luz que circula por las guías permiten obtener información sobre composición y concentración de la muestra en un determinado instante, y su evolución a lo largo de un cierto periodo de tiempo de observación

En otro aspecto de la invención se tiene un método de análisis de muestras que hace uso del dispositivo fotónico sensor de la invención, mientras que un aspecto adicional de la invención se refiere al uso del dispositivo de la invención para espectroscopia, más concretamente para de espectroscopia de absorción, de refracción o de fluorescencia.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un diagrama de un dispositivo del estado del arte.

Figura 2.- Muestra un diagrama del dispositivo de la invención.

Figuras 3a, 3b.- Muestra en la figura 3b un diagrama del dispositivo de la invención en funcionamiento como sensor, mientras que en la figura 3a se aprecian las ventanas de las guías de onda de la sub-agrupación de guías de detección, estando éstas y las guías de onda de la sub-agrupación de guías de referencia respectivamente

referenciadas.

Figura 4.- Muestra en la figura 4 un diagrama del dispositivo de la invención en funcionamiento como sensor operando en modo reflectivo.

5

Figuras 5a, 5b.- Muestra en la figura 5b un diagrama del dispositivo de la invención en funcionamiento para espectroscopia de absorción, mientras que en la figura 5a se aprecian las guías de onda de la sub-agrupación de guías de detección marcadas como material absorbente del cual están hechas.

10

Figuras 6a, 6b.- Muestra en la figura 6b un diagrama del dispositivo de la invención en funcionamiento para espectroscopia de refracción, mientras que en la figura 6a se aprecian las guías de onda de la sub-agrupación de guías de detección marcadas como material refractivo del cual están hechas.

15

Figuras 7a, 7b - Muestra en la figura 7b un diagrama del dispositivo de la invención en funcionamiento para espectroscopia de fluorescencia, mientras que en la figura 7a se aprecian las guías de onda de la sub-agrupación de guías de detección marcadas como material fluorescente.

20

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

En una realización preferente del dispositivo (1) objeto del primer aspecto de la invención mostrado en la figura 2, se tiene un dispositivo (1) fotónico sensor basado en AWG (Array Waveguide Grating) el cual comprende una pluralidad de guías de onda (2) donde se definen al menos una sub-agrupación de guías de referencia (24), y al menos una sub-agrupación de guías de detección (23) cuyas guías de onda (2) comprenden al menos una ventana (21) óptica definida en un tramo de guías de onda (22). Dicho dispositivo (1) se complementa con un acoplador óptico de entrada (3) y un acoplador óptico de salida (4) conectados entre sí mediante las guías de onda (2), y asimismo se encuentran respectivamente conectados a unas guías de onda de entrada (31) y unas guías de onda de salida (41). Los acopladores (3,4) pueden ser de varios tipos, preferiblemente se implementan acopladores de espacio libre tipo Dragone, acopladores de estrella, acopladores tipo multimodo ("multimode

25

30

interference, MMI”) o acopladores basados en guías de índice gradual. Preferiblemente, las guías de onda (2) son guías planas, guías cilíndricas, guías de ranura, guías bimodales, o guías sub-longitud de onda, comprendiendo tramos que pueden ser rectos, curvos y/o en espiral, de un material transparente a las longitudes de onda de trabajo, que comprende Fosforo de Indio, Silicio o Germanio, preferentemente Silicio o Nitruro de Silicio, y se prefiere que las guías de onda (2) presenten longitudes incrementales, de manera que las guías de onda pares (ΔL_e) y las guías de onda impares (ΔL_o) siguen las siguientes ecuaciones :

- $\Delta L_e = m \lambda_0 / n_{WG}$;donde m es un número entero, λ_0 es la longitud de onda central y n_{WG} es el índice de refracción de la guía de onda (2), y
- $\Delta L_o = \Delta L_e + \Delta$; de tal manera que las guías de onda pares (ΔL_e) y las guías de onda impares (ΔL_o) definen las respectivas sub-agrupaciones (23, 24), donde Δ se determina tal que cada sub-agrupación (23, 24) produce un desfase distinto para una misma longitud de onda.

El dispositivo de la invención se completa con una fuente de radiación (5) lumínica asociada al acoplador óptico de entrada (3) para generar una señal, y una red de detectores conectados al acoplador óptico de salida (4).

La configuración definida en el apartado anterior se puede implementar en una posible realización preferente de la invención que se puede observar en la figura 3, donde las sub-agrupaciones (23,24) están ópticamente desfasadas entre sí, de tal manera que cuando una luz de una o más longitudes de onda una o más longitudes de onda, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ donde $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_N$, es alimentada en una de las guías de onda de entrada (31), dicha luz se separa en las guías onda de salida (41), en virtud de la longitud de onda.

Las guías de entrada (31) se alimentan mediante la fuente de radiación (5) lumínica de tal manera que la luz es dividida mediante el acoplador óptico de entrada (3) y se reparte a la pluralidad de guías de onda (2) que interconectan los acopladores (3,4). La luz que atraviesa las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) sufre la alteración debida exclusivamente a aquellas guías de onda (2) de dicha sub-agrupación de guías de referencia (24), mientras que la luz que atraviesa aquellas guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) es alterada por las propiedades de un analito en contacto con las ventanas (21) definidas en los tramos

de guías de onda (22) de las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23).

La pluralidad de guías de onda (2) alimenta el acoplador óptico de salida (4) de manera que la combinación de dicho acoplador óptico de salida (4) y las alteraciones experimentadas por la luz en las sub-agrupaciones (23,24) permite que la luz que pasa por aquellas guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) se enfoca en un subconjunto de guías de salida de referencia (411), mientras que la luz de la sub-agrupación de guías de detección (23) se enfoca en un subconjunto de guías de salida de detección (412), pudiendo ser estos subconjuntos de guías de salida (411, 412) disjuntos o solapados.

El dispositivo (1) puede funcionar en modo de transmisión o en modo de reflexión, en este último modo las guías de onda (2) se encuentran truncadas, preferiblemente en un punto medio de la longitud óptica de las mismas, y van equipadas con unos reflectores ubicados en los extremos generados al cortar las guías de onda (2), dichos reflectores son preferiblemente tipo Sagnac, (en inglés "*Sagnac Loop Reflector*", SLR).

En una realización alternativa del dispositivo (1) del primer aspecto de la invención correspondiente al modo de reflexión, se tiene que el dispositivo (1) funciona en modo reflectivo (R-AWG) usando reflectores de Sagnac y usando un único acoplador (3,4). Las sub-agrupaciones (23,24) se conectan por un lado al acoplador (3,4), y por el otro se termina con reflectores SLR, uno por cada guía de onda (2) de la agrupación.

En un segundo aspecto de la invención se tiene un método para llevar a cabo análisis de material biológico, o análisis de muestras, método en el cual las guías de onda de salida (41) se conectan a detectores, así cuando un campo óptico, compuesto por una o más longitudes de onda, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$, tal que $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_N$, entra en una de las guías de onda de entrada (31), dicho campo óptico se separa en las guías de onda de salida (41), en virtud de la longitud de onda, una parte del mismo en las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) (λ_i $i=1..N$) y otra parte en las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) (λ_i' $i=1..N$), de forma que la señal de una misma longitud de onda está presente en al menos una guía de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) y

también en al menos una guía de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23). Dado que el campo de las guías de la sub-agrupación de guías de detección (23) proviene de aquellas guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) que está expuesta al analito se puede obtener al mismo tiempo, y separados
5 espacialmente, la referencia y la señal de sensado para todas las longitudes de onda del campo óptico de entrada.

En una realización alternativa del segundo aspecto de la invención, se emplea un dispositivo (1), con una pluralidad de guías de onda (2) que interconectan un único
10 acoplador (3,4), con un conjunto de reflectores (7), de manera que el dispositivo funciona en reflexión. La fuente de radiación (5) conectada a las guías de onda de entrada (31) alimenta el acoplador (3,4) que divide la luz hacia la pluralidad de guías de onda (2). El funcionamiento de las sub-agrupaciones (23,24) es análogo al de la realización principal, salvo que la luz realiza un trayecto de ida desde el único
15 acoplador (3,4) a los espejos (7) y vuelta, desde los mismos de nuevo al mismo único acoplador (3,4). La combinación de dicho único acoplador (3,4) y las alteraciones experimentadas por la luz en las sub-agrupaciones (23,24) tiene el efecto análogo a la realización principal. La configuración de los detectores en esta realización particular es similar, situándose en esta realización particular, pero no necesariamente, en dos
20 subconjuntos de guías (411, 412): el subconjunto de guías de salida de referencia (411) y el subconjunto de guías de salida de detección (412) alrededor de una guía de onda interior (413) a la que se conecta la fuente de radiación (5).

En una posible realización más preferida del segundo aspecto de la invención en la
25 cual se realiza una aplicación de la invención en tareas de espectroscopia de absorción y que aparece mostrada en la figura 5a con una configuración como la mostrada en la figura 5b, cuando un campo óptico, compuesto por una o más longitudes de onda, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ tal que $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_N$, se alimenta en al menos una de las guías de onda de entrada (31), dicho campo óptico se separa
30 en las guías de onda de salida (41), en virtud de la longitud de onda, una parte del mismo en las guías de salida de referencia (411) (λ_i $i=1..N$) y otra parte en las guías de salida de detección (412) (λ_i' $i=1..N$), de forma que la señal de una misma longitud de onda está presente en al menos una de las guías de salida de referencia (411) y también en al menos una guía de salida de detección (412). En esta

realización particular, la luz que atraviesa las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) es alterada por las propiedades absorbentes del analito en las ventanas (21), preferiblemente de igual longitud cada una, definidas en los tramos de guías de onda (22). La absorción relativa del analito para cada longitud de onda se determina por comparación de la cantidad de luz entre las guías de salida de referencia (411), cuya cantidad de luz no se ve alterada por el analito, con la luz en las guías de salida de detección (412), que al provenir de la sub-agrupación de guías de detección (23) sí está en interacción con el analito, y por tanto, puede presentar un cambio en su intensidad. Dicha comparación se realiza preferentemente, pero no de forma restringida, por parejas, esto es, λ_i con λ_i' para $i=1\dots N$.

En una realización todavía más preferida se tiene la aplicación de la invención en técnicas de espectroscopia de refracción, como se aprecia en la figura 6a con una configuración como la mostrada en la figura 6b. En esta realización cuando un campo óptico, compuesto por una o más longitudes de onda, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, [\lambda]_N$ tal que $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_N$, se alimenta en al menos una de las guías de onda de entrada (31), dicho campo óptico se separa en las guías de onda de salida (41), en virtud de la longitud de onda, una parte del mismo en las guías de salida de referencia (411) (λ_i $i=1..N$) y otra parte en las guías de salida de detección (412) (λ_i' $i=1..N$), de forma que la señal de una misma longitud de onda está presente en al menos una guía de salida de referencia (411) y también en al menos una guía de onda de salida de detección (412). En esta realización particular, la luz que atraviesa las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) es alterada por las propiedades refractivas del analito en las ventanas (21), pudiendo ser en esta realización de distinta longitud, definidas en los tramos de guías de onda (22).

La longitud de las ventanas (21) de guías de onda (2) consecutivas en la sub-agrupación de guías de detección (23), en una realización particular, puede ser igual o diferir en una cantidad constante. Esto habilita que la interacción de la luz con el analito en las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) sufra un desfase lineal entre guías de onda (2) debido a las propiedades refractivas del analito. Por ello, las longitudes de onda (λ_i' $i=1..N$) se desplazan de sus posiciones iniciales, y la cantidad de luz detectada en las guías de salida de detección (412) cambia. Estableciendo una comparación preferentemente, pero no de forma

restringida, por parejas, esto es λ_i con $\lambda_{i'}$ para $i=1..N$, se puede determinar la cantidad de desplazamiento de las longitudes de onda ($\lambda_{i'}$ $i=1..N$), y por tanto el cambio de índice de refracción debido al analito.

5 En una realización aún más preferida se tiene la aplicación de la invención en técnicas de espectroscopia de fluorescencia como la que muestra en la figura 7a con una configuración como la mostrada en la figura 7b, en la cual cuando un campo óptico, compuesto por una o más longitudes de onda, λ_3, λ_4 tal que $\lambda_3 > \lambda_4$, se alimenta en al menos una de las guías de onda (2) de entrada (31), dicho campo óptico viaja
10 por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de referencia (24), y por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23), en las que se encuentran definidas ventanas (21), preferiblemente de igual longitud para cada guía de onda (2) y definidas en los tramos de guías de onda (22). Cuando en dichas ventanas (21) se presenta un analito con propiedades fluorescentes, las longitudes de onda del campo
15 óptico alimentado de entrada son absorbidas por el analito, y la energía de las mismas es emitida a longitudes de onda más largas, por el fenómeno de fluorescencia, λ_1, λ_2 en el ejemplo simplificado de la figura 7b, siendo $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \lambda_4$. Las longitudes de onda cortas de la entrada, provenientes de las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) se proyectan y separan en las guías de
20 salida de referencia (411), mientras que las longitudes de onda largas emitidas por fluorescencia en el analito y recolectadas por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) se proyectan y separan en las guías de salida de detección (412). La medida y comparación de las intensidades lumínicas de las guías de salida de referencia (411) y las guías de salida de detección (412) permite
25 componer el espectro de la fuente de radiación (5) y de la fluorescencia producida en el analito.

Tal y como se desprende de la lectura de los detalles del segundo aspecto de la invención el dispositivo del primer aspecto de la invención puede ser usado para
30 espectroscopia de absorción, para espectroscopia de refracción o para espectroscopia de fluorescencia. Siendo estos usos un tercer aspecto de la invención.

En aquel segundo aspecto de la invención referido al método de análisis de muestras que hace uso del dispositivo fotónico sensor del primer aspecto la invención, se tiene que

el método se basa en hacer contactar la muestra con los tramos de guía de onda (22) expuestos a través de la(s) ventana(s) (21), para posteriormente hacer circular la señal desde la fuente de la radiación (5) a través del acoplador de entrada (3) hasta las guías de onda (2), pudiendo entonces medir en acoplador de salida (4) datos de la radiación lumínica correspondiente a la señal que ha pasado por las guías de onda (22) de la sub-agrupación de referencia (24) -estos datos pueden ser potencia, fase y polarización de la radiación lumínica- y las guías de onda (22) de la sub-agrupación de detección (23) cuyos tramos de guías de onda (22) comprenden al menos una ventana (21) óptica. Con esto se puede determinar al menos uno de: presencia, concentración y distribución de analito en la muestra a partir de las medidas llevadas a cabo.

En el segundo aspecto de la invención el análisis de muestras puede comprender técnicas espectroscopia de absorción, técnicas espectroscopia de refracción o técnicas de espectroscopia de fluorescencia.

Cuando el análisis se lleva a cabo mediante técnicas de espectroscopia de fluorescencia, como las mostradas por las figuras 7a y 7b, es preciso alimentar en al menos una de las guías de onda (2) de entrada (31) un campo óptico compuesto por una o más longitudes de onda, λ_3, λ_4 tal que $\lambda_3 > \lambda_4$, haciendo que dicho campo óptico viaje por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de referencia (24), y por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23), en las que se encuentran definidas ventanas (21), para posteriormente contactar en dichas ventanas (21) un analito con propiedades fluorescentes, de tal manera que aquellas longitudes de onda del campo óptico son absorbidas por el analito, y la energía de las mismas es emitida a longitudes de onda más largas, por el fenómeno de fluorescencia, de manera que las longitudes de onda cortas de la entrada, provenientes de las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) se proyectan y separan en las guías de salida de referencia (411), mientras que las longitudes de onda largas emitidas por fluorescencia en el analito y recolectadas por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) se proyectan y separan en las guías de salida de detección (412). Hecho esto, se procede medir y comparar las intensidades lumínicas de las guías de salida de referencia (411) y las guías de salida de detección (412), para posteriormente componer el espectro de la fuente de radiación (5) y de la fluorescencia producida en el analito.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1) fotónico sensor basado en AWG (*Array Waveguide Grating*) caracterizado por que comprende:
 - una pluralidad de guías de onda (2) que definen:
 - al menos una sub-agrupación de referencia (24), y
 - al menos una sub-agrupación de detección (23) cuyas guías de onda (2) comprenden al menos una ventana (21) óptica definida en un tramo de guías de onda (22),
 - estando las sub-agrupaciones (23,24) ópticamente desfasadas entre sí,
 - un acoplador óptico de entrada (3) y un acoplador óptico de salida (4) conectados entre sí mediante las guías de onda (2),
 - una fuente de radiación (5) lumínica asociada al acoplador óptico de entrada (3) para generar una señal, y
 - una red de detectores conectados al acoplador óptico de salida (4).

2. Dispositivo (1) fotónico sensor según reivindicación 1 caracterizado por que los acopladores (3,4) se seleccionan de entre: acopladores de espacio libre tipo Dragone, acopladores de estrella, acopladores tipo multimodo ("multimode interference MMI") y acopladores basados en guías de índice gradual.

3. Dispositivo (1) fotónico sensor según reivindicación 1 caracterizado por que las guías de onda (2) se seleccionan de entre: guías planas, guías cilíndricas, guías de ranura, guías bimodales y guías sub-longitud de onda, comprendiendo tramos que pueden ser rectos, curvos o en espiral.

4. Dispositivo (1) fotónico sensor según reivindicación 1 caracterizado por que las guías de onda (2) tienen longitudes incrementales, de manera que las guías de onda pares (ΔL_e) y las guías de onda impares (ΔL_o) siguen las siguientes ecuaciones :
 - $\Delta L_e = m \lambda_0 / n_{WG}$; donde m es un número entero, λ_0 es la longitud de onda central y n_{WG} es el índice de refracción de la guía de onda (2), y

- $\Delta L_o = \Delta L_e + \Delta$; de tal manera que las guías de onda pares (ΔL_e) y las guías de onda impares (ΔL_o) definen las respectivas sub-agrupaciones (23, 24), donde Δ se determina tal que cada sub-agrupación (23, 24) produce un desfase distinto para una misma longitud de onda.

5

5. Dispositivo (1) fotónico sensor según reivindicación 1 caracterizado por que las guías de onda (2) de las sub-agrupaciones (23,24) tienen distintos puntos focales para una misma longitud de onda, de manera que la señal generada por la fuente de radiación (5) al pasar por las respectivas guías de onda (2) se replica en distintos puntos de salida.

10

6. Dispositivo (1) fotónico sensor según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que las guías de onda (2) están fabricadas con un material transparente a las longitudes de onda de trabajo y que comprende Fosforo de Indio, Silicio o Germanio, preferentemente Silicio o Nitruro de Silicio.

15

7. Método de análisis de muestras que hace uso del dispositivo (1) descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, método caracterizado por que comprende los siguientes pasos:

20

- contactar la muestra con los tramos de guía de onda (22) expuestos a través de al menos una de las ventanas (21),
- hacer circular una señal desde la fuente de la radiación (5) a través del acoplador de entrada (3) hasta las guías de onda (2), y
- medir en el acoplador de salida (4) una radiación lumínica correspondiente a la señal que ha pasado por:
 - las guías de onda (22) de la sub-agrupación de referencia (24), y
 - las guías de onda (22) de la sub-agrupación de detección (23) cuyos tramos de guías de onda (22) comprenden ventana (21) óptica, y
- determinar al menos uno de: presencia, concentración y distribución de analito en la muestra a partir de las medidas llevadas a cabo en el paso anterior.

25

30

8. Método de análisis de muestras según reivindicación 7 caracterizado por que la medición se lleva a cabo en el acoplador óptico de salida (4) y comprende medir al menos uno de: potencia, fase y polarización de la radiación lumínica.

5

9. Método de análisis de muestras que hace uso del dispositivo (1) descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 donde el análisis de muestras comprende técnicas de espectroscopia de absorción.

10

10. Método de análisis de muestras que hace uso del dispositivo (1) descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 donde el análisis de muestras comprende técnicas de espectroscopia de refracción.

15

11. Método de análisis de muestras que hace uso del dispositivo (1) descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 donde el análisis de muestras comprende técnicas de espectroscopia de fluorescencia, estando el método caracterizado porque comprende:

20

- alimentar en al menos una de las guías de onda de entrada (31), un campo óptico, compuesto por una o más longitudes de onda, λ_3, λ_4 tal que $\lambda_3 > \lambda_4$, haciendo que dicho campo óptico viaje por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de referencia (24), y por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23), en las que se encuentran definidas las ventanas (21),

25

- contactar en dichas ventanas (21) un analito con propiedades fluorescentes, de tal manera que aquellas longitudes de onda del campo óptico son absorbidas por el analito, y la energía de las mismas es emitida a longitudes de onda más largas debido al fenómeno de fluorescencia, de manera que las longitudes de onda cortas de la entrada, provenientes de las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de referencia (24) se proyectan y separan en las guías de salida de referencia (411), mientras que las longitudes de onda largas emitidas por fluorescencia en el analito y recolectadas por las guías de onda (2) de la sub-agrupación de guías de detección (23) se proyectan y separan en las guías de salida de detección (412),

30

- medir y comparar las intensidades lumínicas de las guías de salida de referencia (411) y las guías de salida de detección (412), y
- componer el espectro de la fuente de radiación (5) y de la fluorescencia producida en el analito.

5

12. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para espectroscopia de absorción.

13. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para espectroscopia de refracción.

10

14. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para espectroscopia de fluorescencia.

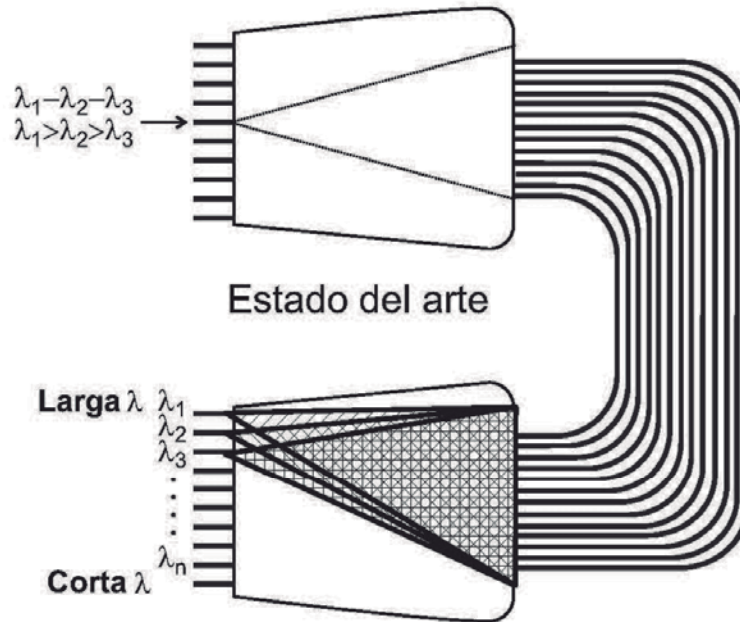


FIG. 1

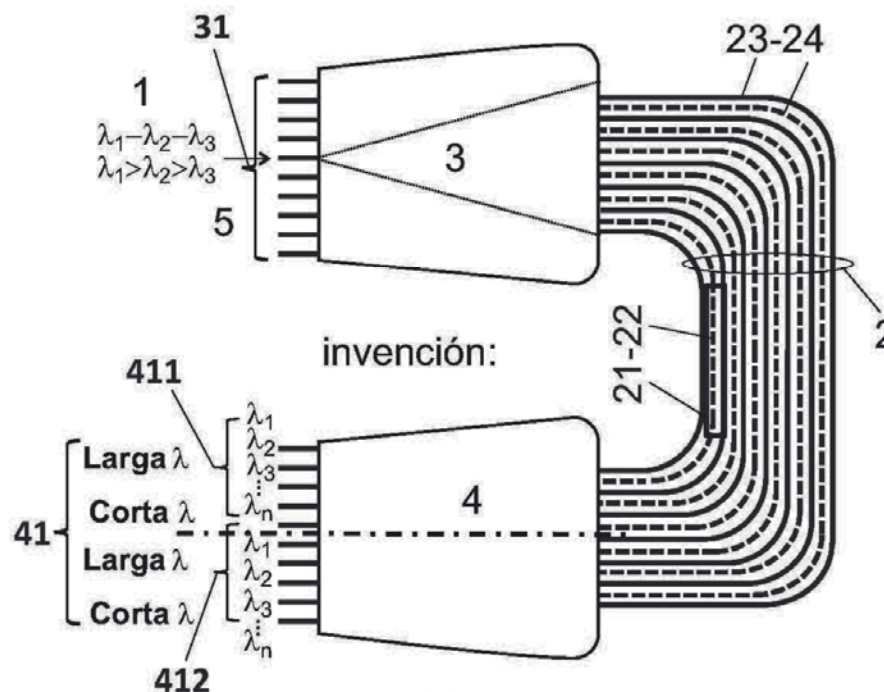
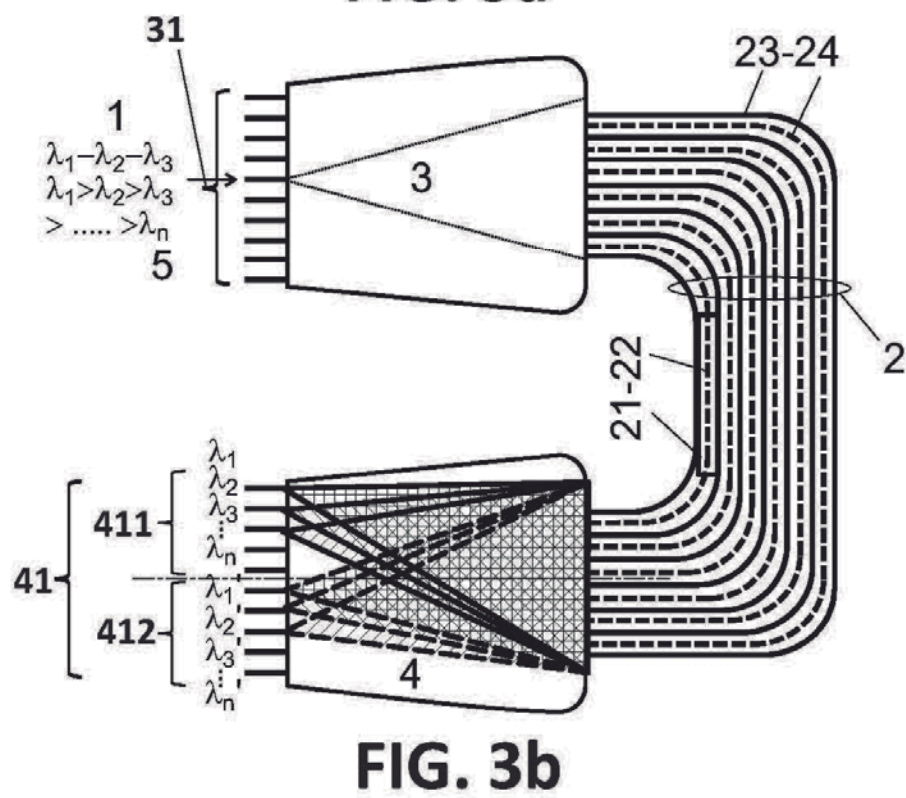
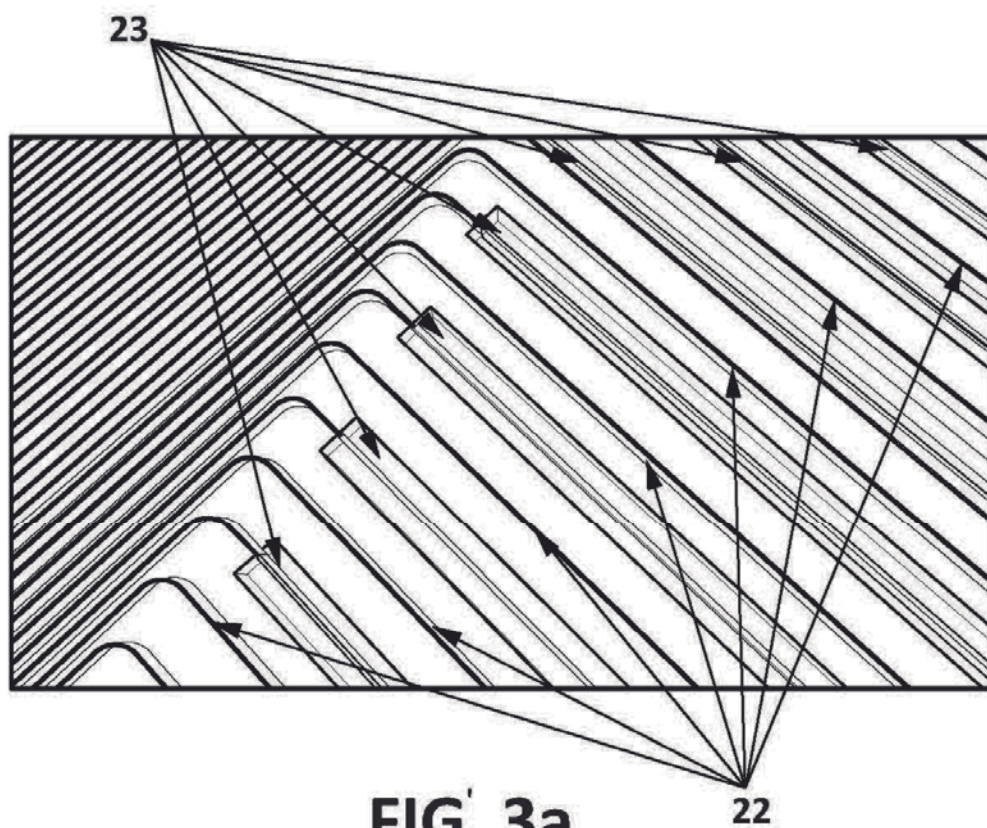


FIG. 2



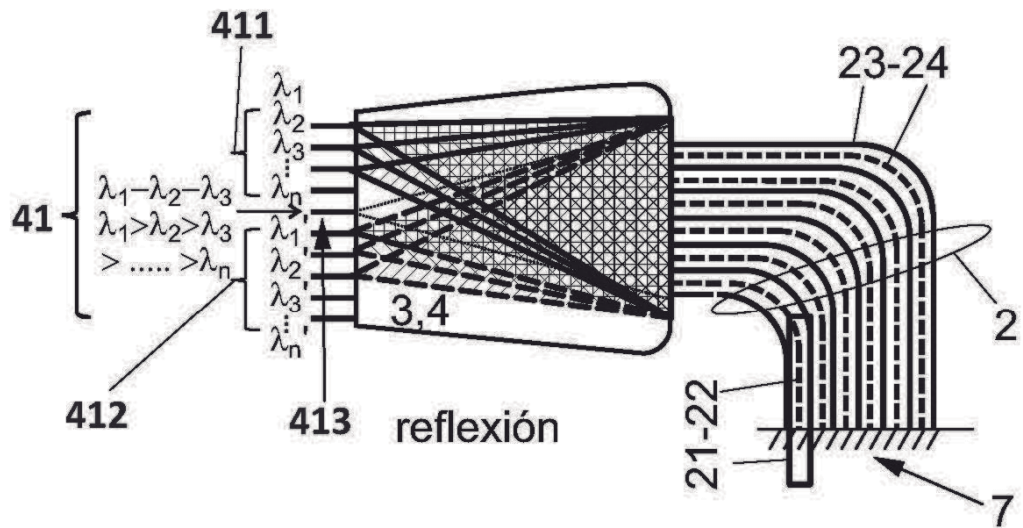


FIG. 4

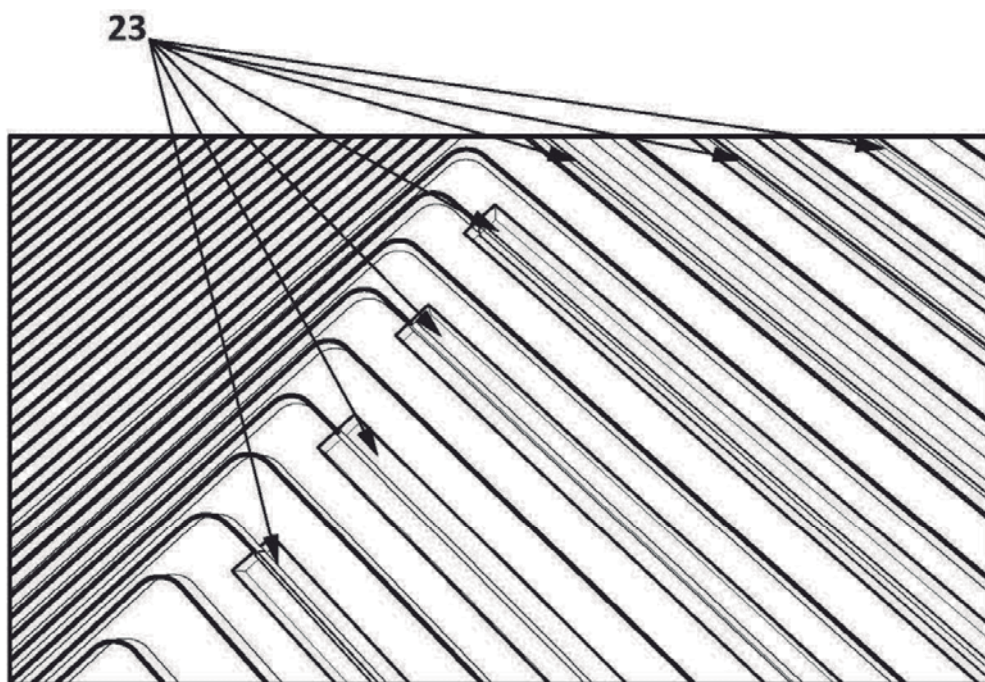


FIG. 5a

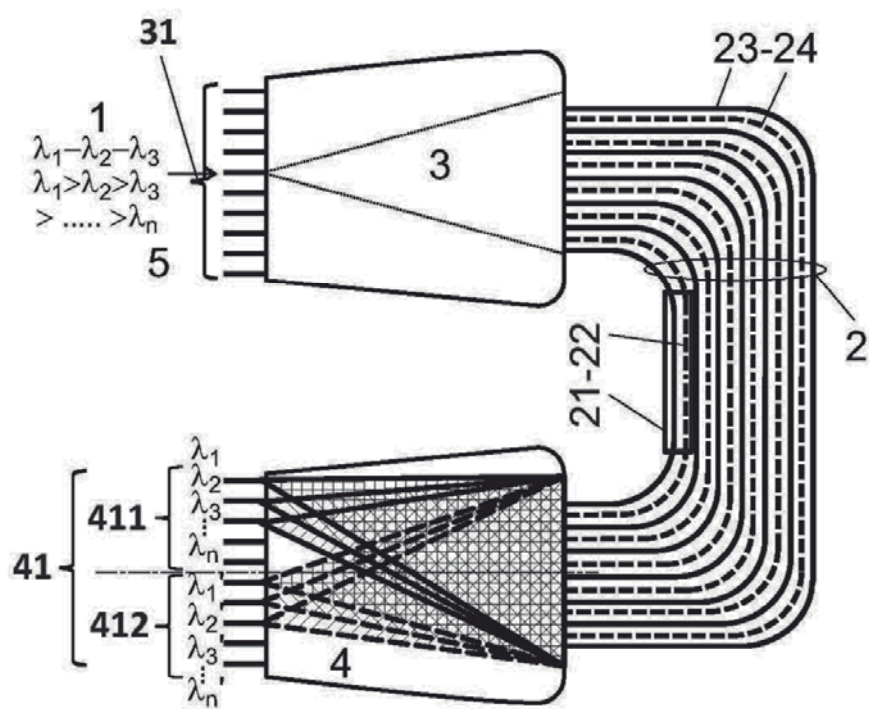


FIG. 5b

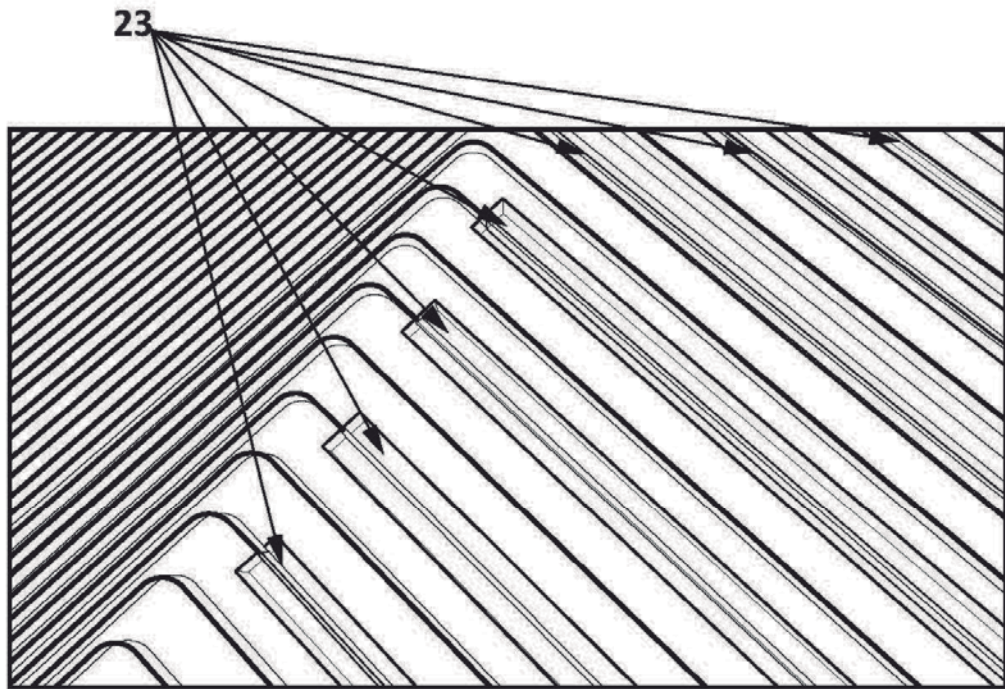


FIG. 6a

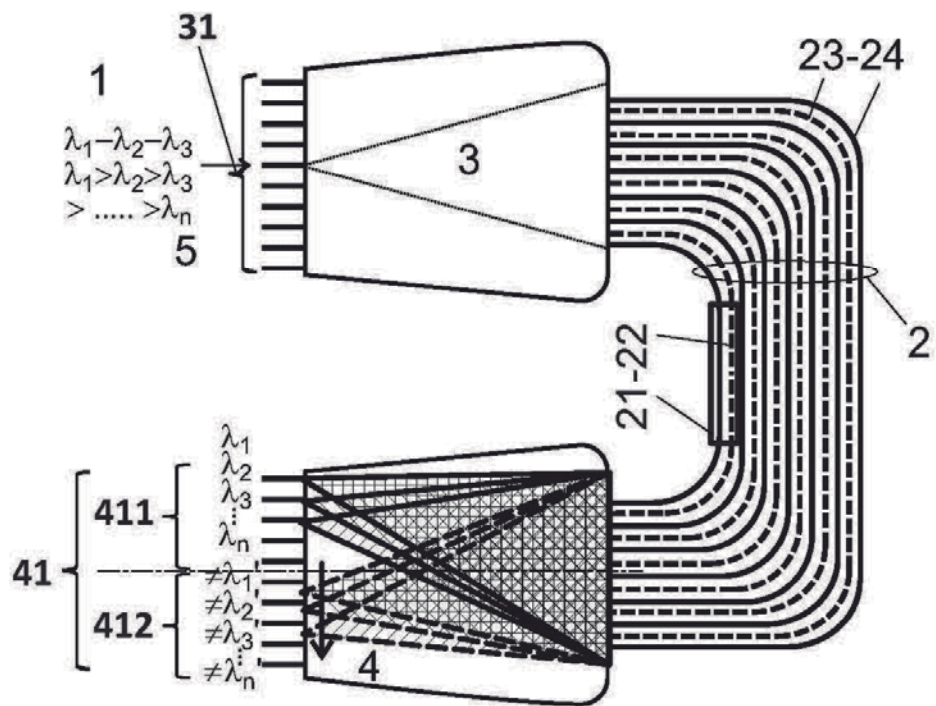


FIG. 6b

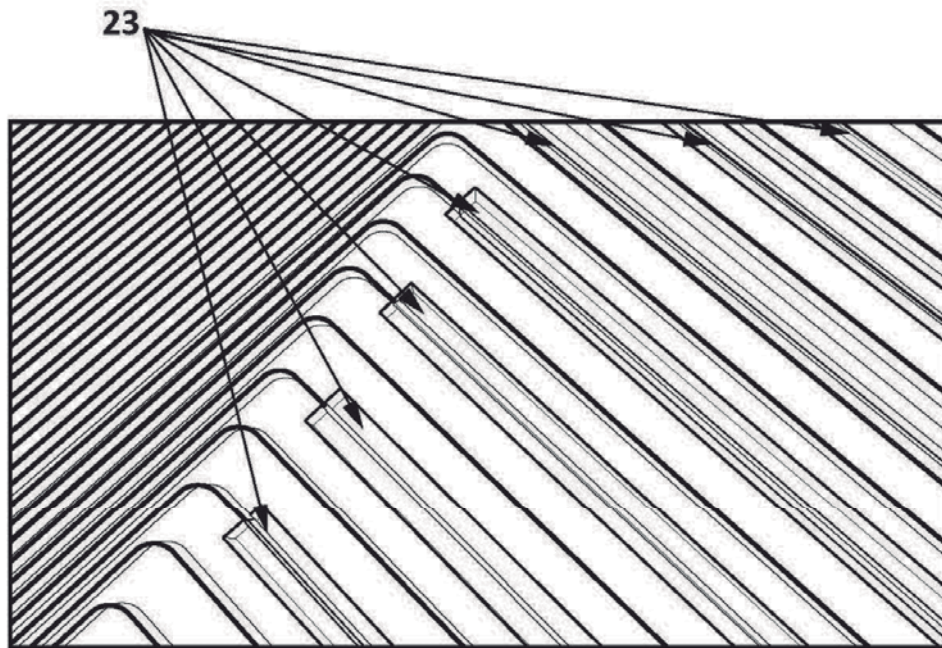


FIG. 7a

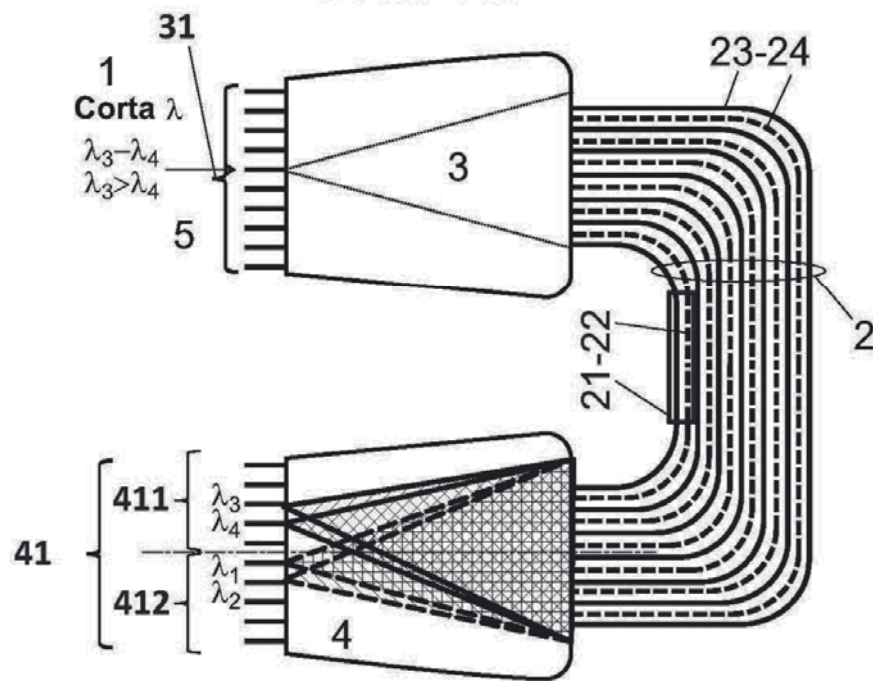


FIG. 7b



- ②① N.º solicitud: 201631544
②② Fecha de presentación de la solicitud: 02.12.2016
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	Kodate K et al. COMPACT SPECTROSCOPIC SENSOR USING AN ARRAYED WAVEGUIDE GRATING. 01/08/2007, Páginas 159 - 160, ISBN 978-1-4244-0641-8; ISBN 1-4244-0641-2. Figura 1.	1-14
A	EP 2450693 A1 (TNO) 09/05/2012. Resumen; párrafos [0021], [0026]; figura 1.	1-14
A	US 2005018949 A1 (YAN MING) 27/01/2005. Párrafo [0047]; figura 8.	1-14
A	JP 2000028526 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 28/01/2000. Resumen; figura 1.	1-14
A	US 2006132764 A1 (GREK BORIS et al.) 22/06/2006. Figura 2.	1-14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
28.09.2017

Examinador
S. Sánchez Paradinas

Página
1/5

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G02B6/12 (2006.01)**G01N21/17** (2006.01)**G01N21/64** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G02B, G01N

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 28.09.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-14	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-14	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	Kodate K et al. COMPACT SPECTROSCOPIC SENSOR USING AN ARRAYED WAVEGUIDE GRATING. Optical MEMS and Nanophotonics, 2007 IEEE/LEOS International Conference on, 20070801 IEEE, Pi. Anonymous, Páginas 159 - 160, ISSN ISBN 978-1-4244-0641-8 ; ISBN 1-4244-0641-2	01.08.2007
D02	EP 2450693 A1 (TNO)	09.05.2012
D03	US 2005018949 A1 (YAN MING)	27.01.2005
D04	JP 2000028526 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE)	28.01.2000
D05	US 2006132764 A1 (GREK BORIS et al.)	22.06.2006

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

La solicitud se refiere a un dispositivo fotónico sensor basado en AWG (*Array Waveguide Grating*) y a un método de análisis de muestras que hace uso de dicho dispositivo. El dispositivo comprende un conjunto de guías de onda que a su vez se divide en al menos una sub-agrupación de referencia y una sub-agrupación de detección ópticamente desfasadas, un acoplador óptico de entrada, un acoplador óptico de salida, una fuente de radiación lumínica y una red de detectores. La sub-agrupación de detección consta de guías de onda que comprenden al menos una ventana óptica en la que se coloca una muestra a analizar.

El dispositivo basado en AWG pretende ser un sensor espectrométrico para *"obtener al mismo tiempo, y separados espacialmente, la referencia y la señal de sensado para todas las longitudes de onda del campo óptico de entrada"* (**página 11, líneas 4-6**).

En el estado de la técnica existen multitud de antecedentes de aparatos y/o procedimientos que comprenden un dispositivo AWG para la detección espectroscópica de analitos y/o su caracterización.

Pueden considerarse ejemplos de estos antecedentes del estado de la técnica los documentos **D01 a D05** citados en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET). Los aparatos y/o procedimientos mencionados en estos documentos presentan características diferenciadas con relación a los objetos técnicos definidos de una manera detallada en las reivindicaciones independientes primera (relativa al dispositivo) y séptima (relativa al método) de la solicitud en estudio. Por ello, los documentos D01 a D05 solo muestran el estado general de la técnica y no se consideran de particular relevancia. Cualquiera de esos documentos da a conocer dispositivos y métodos para la detección y medida espectroscópica basada en AWG, pero en ninguno de ellos se anticipan todas las características que limitan los objetos de protección de las reivindicaciones independientes.

El **documento D01** describe un sensor espectroscópico basado en AWG para medir las características de absorción de varios analitos. El dispositivo tiene una configuración típica de un AWG, con guías de onda de entrada, guías de onda de salida, zonas de propagación libre y una agrupación de guías de onda o *"arrayed waveguides"* (AW). El dispositivo incluye además ranuras para la inyección de muestra que se pueden posicionar en las guías de entrada o salida, en las zonas de propagación libre y también en la AW (**figura 1**). Si bien la zona de detección se incluye en el propio AW, el dispositivo del documento D01 no diferencia entre guías de referencia y detección. Para cada muestra inyectada mide los valores de transmitancia en un rango de longitudes de onda, que compara con los valores de transmitancia de una segunda muestra inyectada.

El **documento D02** describe también un dispositivo AWG que combina detección y medida a través de una estructura de guías de onda con ranuras (**figura 1; resumen; párrafos [0021], [0026]**). El dispositivo comprende una ventana de detección (**ref. 13**) en la cual se deposita una muestra, quedando en contacto con las guías de onda o rellenando las ranuras de las guías de onda, de tal forma que provoca un cambio en el índice de refracción efectivo.

En el **documento D03** se describe un biosensor para la detección interferométrica de resonancia de plasmón superficial (SPR) formado por un conjunto de guías de ondas planas, una de las cuales se utiliza como referencia (**figura 8a; párrafo [0047]**). El dispositivo descrito comprende un *"splitter"* o separador (**ref. 803**) que dirige la radiación lumínica procedente de la fuente hacia las guías de onda, y un conjunto de guías de onda con una diferencia de longitud ΔL entre ellas (**refs. 804, 806**) en las cuales se sitúan los sensores SPR (**ref. 805**). Las señales procedentes de cada sensor en cada fibra llegan a tiempos diferentes (**figura 8b**).

En el **documento D04** se describe un dispositivo para la medida del índice de refracción de una muestra líquida que se deposita en una ranura con forma de cuña situada en las guías de onda de un dispositivo AWG (**figura 1; resumen**).

El **documento D05** describe un espectrofotómetro de alta resolución que incluye un recipiente para contener una muestra acoplado a un AWG, estando la zona de detección localizada en la guía de onda de entrada (**figura 2**).

Así pues, los documentos citados solo muestran el estado general de la técnica, y no se consideran de particular relevancia. No parece existir ninguna indicación en estos documentos, ni considerados de forma individual ni en combinación, que hubiera llevado a una persona experta en la materia a aplicar las características incluidas en los documentos citados y llegar a la invención como se revela en las reivindicaciones primera (dispositivo) y séptima (método). Por lo tanto, los objetos de estas **reivindicaciones independientes** cumplen los requisitos de **novedad y actividad inventiva** de acuerdo con los artículos 6 y 8 de la Ley de Patentes 11/1986.

Las **reivindicaciones dependientes** 2 a 6 y 8 a 14 delimitan características adicionales optativas relativas al procedimiento y al dispositivo, y dependen de forma directa o indirecta de las reivindicaciones independientes. Por lo tanto, también cumplen los requisitos con respecto a **novedad y actividad inventiva** (art. 6 y 8 de la Ley de Patentes 11/1986).