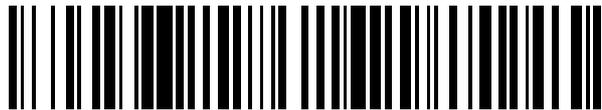


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 026**

21 Número de solicitud: 201831185

51 Int. Cl.:

G02B 6/10 (2006.01)

G02B 1/111 (2015.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

05.12.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

05.06.2020

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA (100.0%)
Campus de Arrosadía, s/n, Edificio de Rectorado
31006 PAMPLONA (Navarra) ES**

72 Inventor/es:

**DEL VILLAR FERNANDEZ, Ignacio;
CORRES SANZ, Jesús María;
FUENTES LORENZO, Omar y
ARREGUI SAN MARTIN, Francisco Javier**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

54 Título: **Procedimiento, guía-onda y sistema para generar modos cercanos a la condición de corte**

57 Resumen:

Procedimiento, guía-onda (1) y sistema (100) para generar modos cercanos a la condición de corte (LMR), estando la guía-onda (1) provista de un sustrato (2) con al menos una cara (3a, 3b) plana con al menos una película (4a, 4b) de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad de un respectivo elemento externo, de modo que inyectando una radiación electromagnética (6) polarizada vertical o horizontal en el sustrato se generen resonancias en modos TE y/o TM correspondientes a modos cercanos a la condición de corte.

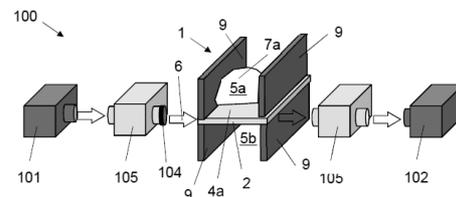


Fig. 2

DESCRIPCIÓN

Procedimiento, guía-onda y sistema para generar modos cercanos a la condición de corte

5

Sector técnico de la invención

La siguiente invención se refiere a un procedimiento, guía-onda y sistema para generar modos cercanos a la condición de corte a modo de sensor o filtro, basados en el depósito o recubrimiento con una película delgada en al menos una de las caras con mayor superficie de una guía-onda plana, con geometría como por ejemplo la de un porta de microscopio, lámina o sustrato, e incidir luz polarizada a través de una de las caras laterales de la guía-onda para excitar modos cercanos a la condición de corte.

10

Antecedentes de la invención

La deposición de películas delgadas sobre una guía-onda determina la generación de dos tipos fundamentales de resonancias: las basadas en plasmones superficiales, en inglés surface plasmon resonance – SPR, (Kretschmann y Raether, Z. Naturforsch. Teil A 23:2315-2136, 1968) y las resonancias basadas en modos con pérdidas cercanos a la condición de corte, en inglés lossy mode resonance - LMR, (M. Marciniak, J. Grzegorzewski and M. Szustakowski, IEE Proceedings J., 140:247-251, 1993). Ambas resonancias se han llegado a visualizar en el mismo setup basado en configuración de Kretschmann (I. Del Villar, V. Torres, M. Beruete, Opt. Lett. 40:4739-4742, 2015), y también en fibra óptica (I. Del Villar et al. J. Lightwave Technol. 28: 110:117, 2010; R. C. Jorgenson y S. S. Yee, Sens. & Actuators. B 12:213, 1993).

20

25

De acuerdo con (Yang y Sambles, J. Mod. Opt., 44:1155-1163, 1997), para excitar un plasmón superficial y obtener una resonancia SPR es preciso que la parte real de la permitividad del material de la película delgada sea negativo y su valor absoluto sea mayor que el valor absoluto de su parte imaginaria y mayor que el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la guía-onda y del dieléctrico que rodea a la película delgada. En cambio para excitar un modo cercano a la condición de corte y generar una resonancia LMR, se necesita que la parte real de la permitividad del material de la película delgada sea positivo y su valor absoluto mayor que el de su parte imaginaria y también mayor que el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la guía onda y del dieléctrico que rodea a la película delgada.

30

35

Además de las dos importantes diferencias ya citadas (que en un caso se excita un plasmón superficial y en el otro un modo guiado cercano a la condición de corte, y que las permitividades de la película delgada y del sustrato necesarias para que se desencadene el fenómeno son completamente diferentes), con los modos cercanos a la condición de corte se pueden generar dos tipos de resonancias, las de modo TE, mediante incidencia en la guías de luz polarizada horizontal, y las resonancias en modo TM, mediante incidencia de luz polarizada vertical, mientras que los SPR solo se pueden observar resonancias de un tipo, las de polarización TM. De manera que, al contrario que con los SPR, la presente invención permite monitorizar, mediante la variación de la polarización de la luz incidente, ambas resonancias situadas en diferentes longitudes de onda del espectro que se monitoriza.

Otra importante diferencia consiste en que, al contrario que en el caso de los SPR, en los LMR se puede sintonizar la posición de la resonancia en el espectro electromagnético en función del espesor de la película delgada (I. Del Villar et al. Appl. Opt., 51:4298:4307, 2012). Asimismo, cada par de resonancias TE y TM se puede obtener múltiples veces para valores discretos del espesor, y cada una de estas resonancias tendrá una sensibilidad y un ancho de banda diferentes (I. Del Villar et al. Opt. Laser Technol., 763762, 2015), cosa que no es posible con los SPR. Por último, cuando los medios que rodean a la película delgada (el sustrato que hace de guía-onda y el medio externo), presentan un índice similar, se puede llegar a incrementar la sensibilidad de forma extraordinaria, alcanzándose hasta un millón de nanómetros por unidad de índice de refracción en el caso de la fibra óptica como guía-onda (A. Ozcariz, C. R. Zamarreño, P. Zubiate & F. J. Arregui, Sci. Rep., 7:10280, 2017).

Hasta la fecha el fenómeno que ha dado lugar a mayor número de aplicaciones y que ha centrado el interés de la comunidad científica son los dispositivos basados en SPR (J. Homola, S.S. Yee, G. Gauglitz. Sens. Actuators B, 54, 3-15, 1999). En cuanto a la implementación práctica de los sensores SPR, existen esquemas sencillos en que se emplea una guía onda plana (US2006147147 y US5991048A), pero su desarrollo comercial no ha tenido éxito, porque para excitar los plasmones superficiales resulta más sensible y robusta la plataforma basada en configuración de Kretschmann (Kretschmann y Raether, Z. Naturforsch. Teil A 23:2315-2136, 1968). En esta configuración, se deposita una capa fina de un metal altamente reflexivo (por ejemplo, oro o plata) sobre la base de un prisma (U.S. Pat. No. 7015471; U.S. Pat. No. 6738141).

La configuración de Kretschmann ha tenido un gran éxito comercial, pero presenta inconvenientes derivados de su configuración geométrica, lo que ha restringido enormemente su aplicación. Todo ello se debe a la necesidad de incluir un prisma que permita acoplar la luz a la película metálica y un controlador de la polarización de la luz incidente. Esto provoca que
5 los dispositivos comerciales basados en SPR, si bien ofrecen unas altas prestaciones, presentan poca portabilidad y un precio muy elevado, no alcanzable para cualquier centro de investigación o empresa.

Para evitar esta problemática y conseguir un dispositivo más portable y económico, se ha
10 trasladado el fenómeno a la fibra óptica, midiendo la intensidad de la luz para cada longitud de onda a la salida de la fibra después de haber atravesado la zona sensible (U.S. Pat. No. 5327225; Esp. Pat. No. 2114175).

Sin embargo, el ángulo óptimo para generar SPRs se sitúa entre los 40 y 70° (C. Rhodes et
15 al., J. Appl. Phys., 100:54905, 2006), que no es precisamente el ángulo predominante en la señal que se propaga en la fibra óptica. De hecho en la fibra óptica la luz va guiada en el eje longitudinal de la fibra, es decir, predominantemente a 90°, de ahí que la fibra óptica, aunque se ha empleado para SPRs (ES2381087A1), resulta mucho menos adecuada que la configuración de Kretschmann para el SPR. Eso explica que tampoco las guías onda planas
20 citadas más arriba, por donde la luz también se guía con un ángulo cercano a los 90° con respecto a la normal de la superficie de la película metálica, hayan tenido éxito comercial. De ahí que los dispositivos comerciales basados en SPR se basan en configuración de Kretschmann.

25 Por el contrario, el ángulo óptimo para generar los LMR se sitúa entre los 85 y 90°. Para esos ángulos la configuración de Kretschmann es muy complicada de obtener. Se ha logrado en (I. Del Villar, V. Torres, M. Beruete, Opt. Lett. 40:4739-4742, 2015), pero con una gran dificultad y obteniendo una resonancia mucho menos clara que en el caso del SPR.

30 En cambio en fibra óptica los resultados han sido mejores y se han obtenido numerosas publicaciones con aplicaciones en el campo de sensores de humedad (C. R. Zamarreño et al., Sens. & Actuators. B, 146:414-417, 2010), pH (C. R. Zamarreño et al., Sens. & Actuators. B, 150:290-297, 2011), químicos (S. P. Usha, Sens. & Actuators. B, 218:196:204, 2015), biosensores (S. P. Usha Biosensors and Bioelectronics 87, 178-186, 2017), inmunosensores
35 (Socorro et al. Sens. & Actuators. B 2014) e incluso excitación mediante aplicación de voltaje

(Corres et al. Opt. Express, 21:31668–31677, 2013; M. Smietana J. Lightwave Technol. 36:954:960, 2018).

5 Con todo, el salto a una aplicación comercial no se ha producido porque la fibra es una guía-onda que presenta como inconveniente que, si no se guía luz polarizada por la fibra, las resonancias de mayor sensibilidad son muy anchas y difíciles de monitorizar (F. Chiavaioli et al. Anal. Chem. Soc. Sensors, 3: 936-943, 2018). Si bien existe la opción de guiar luz polarizada, para ello se requiere del uso de fibras ópticas especiales (A. Ozcariz, C. R. Zamarreño, P. Zubiate & F. J. Arregui, Sci. Rep., 7:10280, 2017), cuyo coste es
10 incomparablemente superior al que por ejemplo tienen los portas de microscopio.

Asimismo, existen otras desventajas del sistema basado en fibra frente al basado en guía onda plana:

- Con el sistema basado en fibra se requiere, para cada fibra óptica nueva que se
15 inserta, de la realización de empalmes mediante máquina fusionadora, mientras que para la guía onda plana basta con intercambiar la guía onda plana, que puede ser un sencillo porta.
- El sistema basado en fibra requiere de un polarizador en línea y de un controlador de polarización, cuyo rango de longitudes de onda se encuentra limitado a una corta región del espectro electromagnético, muy al contrario que con el sistema basado en guía onda plana,
20 que es de funciona en un amplio espectro y para el que basta con utilizar un económico cristal polarizador en vez del polarizador del línea y el controlador de polarización, más costosos.
- El sistema basado en fibra no goza de la simplicidad de manejo del basado en guía-onda plana, pues para el caso de la fibra hace falta una sintonización manual del controlador de polarización cada vez que se usa el dispositivo, ya que depende de la birrefringencia del
25 latiguillo de fibra, mientras que en el caso de la guía onda plana un sencillo sistema de rotación del cristal permite ajustar la polarización horizontal o vertical.

Y como prueba de que el sistema de fibra no resulta interesante tecnológicamente, cabe destacar que solo se ha generado una patente de LMR basada en fibra: Pat. No.
30 WO/2011/027016; Esp. Pat. No. P200930656. Así, con todo lo anteriormente citado, se entiende la necesidad de un sistema que resuelva los anteriores problemas.

Explicación de la invención

El procedimiento para generar modos cercanos a la condición de corte (LMR) de la presente
35 invención permite generar modos cercanos a la condición de corte en una guía-onda provista

de un sustrato con al menos una cara plana provista de al menos una película colocada entre el sustrato y un respectivo elemento externo, siendo la película de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del respectivo elemento externo, comprendiendo el procedimiento inyectar una radiación electromagnética polarizada vertical o horizontal en el sustrato en una dirección esencialmente paralela a la cara plana, de modo que se generen resonancias en modos TE y/o TM correspondientes a modos cercanos a la condición de corte al interactuar la radiación electromagnética polarizada con la o las películas colocadas sobre ella; y recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda.

Mediante este procedimiento se consiguen superar las limitaciones de los sensores de fibra óptica conocidos basados en resonancia originada por modos cercanos a la condición de corte (en inglés lossy mode resonance - LMR), mediante la sustitución de la región sensora, de fibra óptica, por una guía-onda plana como la de un porta de microscopio, lámina o sustrato. Gracias a la utilización de la guía-onda plana se evita tener que empalmar a la fibra sensora latiguillos de fibra óptica que van conectados a la fuente que emite la radiación electromagnética y al detector que recibe la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda, con lo que se gana en simplicidad y en robustez. Además, la geometría del sustrato la guía-onda puede ser tal como un porta de microscopio, siendo esta menos frágil que una fibra óptica.

Otra importante diferencia con respecto a los sensores basados en fibra óptica conocidos, de los tipos basados en LMR es que, el hecho de usar una guía-onda con un sustrato con al menos una cara plana permite obtener fácilmente resonancias en modo TE y en modo TM, lo que mejora en gran medida la nitidez de la resonancia generada.

Para inyectar la radiación electromagnética polarizada vertical o horizontal en el sustrato se puede utilizar un cristal polarizador orientado horizontal o verticalmente, o incluso un controlador de la polarización que regule ambas orientaciones. De esta manera, se consiguen obtener las resonancias en modo TE y en modo TM, mejorando en gran medida la nitidez de la resonancia generada, y de una manera mucho más sencilla que mediante sistemas conocidos basado en polarizador en línea sobre fibra y el controlador de polarización en fibra. Es más, en el caso de los sistemas en fibra conocidos, hace falta regular la polarización cada

vez que se introduce una fibra nueva, pues la birrefringencia de cada fibra cambia, a lo que cabe añadir que el control de la polarización hay que hacerlo de modo manual debido a la mayor complejidad del sistema de polarización en fibra. Y además está el problema de que las fibras que se requieren son monomodo y por tanto tienen una longitud de onda de corte
5 definida que limita el rango de longitudes de onda donde opera el sistema sensor.

En una variante de realización, siendo al menos un elemento externo un analito a analizar, el procedimiento comprende recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda para caracterizar el o los analitos. De esta manera, una vez se disponga del sistema sensor
10 para realizar el procedimiento, para analizar otros analitos bastará con ir sustituyendo la guía-onda por otras nuevas que incorporen otros analitos, cada una de las cuales tiene un precio muy inferior a las fibras de alto coste que se emplean en sistemas de fibra con polarización conocidas en el estado de la técnica. Existe la opción de optar por fibras convencionales, pero en este caso no se puede controlar la polarización, lo que impide la visualización nítida de la
15 primera resonancia y por tanto la sensibilidad empeora ostensiblemente si se compara con el sistema polarizado (F. Chiavaioli et al. Anal. Chem. Soc. Sensors, 3: 936-943, 2018) y lo hace poco atractivo para su uso comercial.

El interés en incidir por una cara lateral del sustrato de la guía-onda estriba en que las resonancias originadas por modos cercanos a la condición de corte se muestran de un modo más nítido con este tipo de incidencia. Además, mediante el control de la polarización de la luz incidente se puede generar resonancias en modo TE y TM. Las resonancias obtenidas con esta técnica se pueden sintonizar para que aparezcan, en función del espesor de la película, en diferentes posiciones del espectro electromagnético, lo que permite emplear este
20 procedimiento con fuentes de luz y detectores muy variados. En función del movimiento de las resonancias se podrán detectar, entre otras variables, el índice de refracción del medio externo, el índice de la película en todo el rango espectral analizado, el espesor de la película depositada o compuestos químicos o biológicos que modifiquen las propiedades de la película depositada.

30 En una variante de realización, siendo el sustrato una lámina que comprende dos caras planas paralelas entre sí provistas cada una de una película entre el sustrato y el respectivo elemento externo, y siendo cada elemento externo un analito a analizar, el procedimiento comprende recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda para caracterizar los
35 analitos. A esto cabe añadir la posibilidad de incluso depositar más de un material en cada

cara, con lo cual aún se podrían generar más resonancias, convirtiéndolo en un dispositivo multiparámetro.

5 En un sistema sensor basado en este procedimiento, una a vez se disponga del sistema sensor, bastará con sustituir la guía-onda sensora por una nueva para analizar diferentes analitos previamente incorporados en la guía-onda, cada una de las cuales tiene un precio muy inferior a las fibras de alto coste que se emplean en sistemas de fibra con polarización. Existe la opción de optar por fibras convencionales, pero en este caso no se puede controlar la polarización, lo que impide la visualización nítida de la primera resonancia y por tanto la
10 sensibilidad empeora ostensiblemente si se compara con el sistema polarizado (F. Chiavaioli et al. Anal. Chem. Soc. Sensors, 3: 936-943, 2018) y lo hace poco atractivo para su uso comercial.

15 En una variante de realización, el procedimiento comprende además preparar previamente la guía-onda, depositando sobre una cara plana del sustrato progresivamente una película mientras se detectan las resonancias en modos TE y/o TM generadas al interactuar una radiación electromagnética polarizada vertical o horizontal dirigida hacia el sustrato en una dirección esencialmente paralela a la cara plana para determinar el grosor de la película en función de unas resonancias en modos TE y/o TM objetivo. En cuanto a la deposición de la
20 película generadora de la resonancia, el proceso en un sustrato plano es más sencillo que en uno con geometría circular, como es el caso de la fibra óptica. Además, debido a la geometría de la guía-onda plana, se podrá depositar un material diferente en cada una de las dos caras de mayor superficie del sustrato, de manera que un solo sustrato se podrá convertir en un sensor con al menos dos resonancias diferentes, las cuales se convertirán en cuatro si
25 controlamos mediante polarización la obtención de resonancias TE y TM. Por el contrario, en el caso de los SPR en configuración de Kretschmann, por el hecho de que una cara de la guía onda plana se cubre con un prisma, solo se puede depositar una película y además solo se puede excitar la resonancia en modo TM, con lo que se obtiene una resonancia por cada cuatro que se logran con el procedimiento y sistema de la presente invención.

30 Se prevé también poder obtener una señal de referencia o blanco mediante una guía-onda plana sin depositar, pudiendo incluso ser una región no depositada de la misma guía-onda plana donde se ha depositado la película o películas delgadas.

Se da a conocer también una guía-onda para generar modos cercanos a la condición de corte que se puede utilizar en el procedimiento anteriormente descrito y que presenta un sustrato con al menos una cara plana provista de al menos una película entre el sustrato y un respectivo elemento externo, que en esencia se caracteriza porque la o las películas son de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del elemento externo.

En una variante de realización, el sustrato de la guía-onda es una lámina que comprende dos caras planas paralelas entre sí, provistas cada una de al menos una película entre el sustrato y su respectivo elemento externo, siendo las películas de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del respectivo elemento externo.

En una variante de realización, la guía-onda comprende una pluralidad de películas apiladas, permitiendo aumentar la sensibilidad de la resonancia, biofuncionalizar la superficie, o ser sensibles a un determinado parámetro a detectar.

En una variante de realización, al menos una película de la guía-onda tiene forma de tiras paralelas entre sí que se extienden sobre la cara del sustrato en una dirección longitudinal o transversal, de modo que se permita regular que las resonancias en modo TE y TM se sintonicen a la misma longitud de onda, mejorando de esta manera la profundidad del pico de resonancia sin utilización de polarizador, y consiguiendo que el grating pueda hacer que incluso con materiales sin parte imaginaria se genere una resonancia.

En una variante de realización, el sustrato de la guía-onda es un porta o cubreportas de microscopio, permitiendo fabricar guía-ondas con un coste bajo.

En una variante de realización, la o las películas de la guía-onda son de un óxido metálico o un polímero, siendo preferentemente de un óxido metálico de un elemento escogido entre zinc, indio, galio, estaño, iridio, cadmio, itrio, escandio, níquel, cobre, o aleaciones, dopados o combinaciones binarias, ternarias o cuaternarias de los óxidos de los elementos anteriores

entre ellos mismos, con otros elementos como flúor, cobre, galio, magnesio, calcio, estroncio o aluminio o combinaciones de estos últimos entre ellos; o de polímeros escogidos entre poli(vinilpirrolidona), poli(vinilalcohol), poliacrilamida, ácido poliacrílico, poliestireno sulfato, polianilina sulfato, poli(tiofeno-3-acético ácido), polianilina, polipirrol, poli(3-hexil tiofeno),
 5 poli(3,4-etilendioxitiofeno) y poli(dimetil amonio dicloruro), siendo materiales en los que la parte real de su permitividad es positiva y su valor absoluto es mayor que el valor absoluto de su parte imaginaria y mayor que la parte real de la permitividad del dieléctrico que rodea a la película delgada y capaz de producir al menos un modo cercano a la condición de corte.

- 10 Puesto que la película está formada por un material en el que la parte real de su permitividad es positiva y su valor absoluto es mayor que el valor absoluto de su parte imaginaria y mayor que la parte real de la permitividad del dieléctrico o medio o elemento externo que rodea a la película delgada y capaz de producir al menos un modo cercano a la condición de corte, los materiales más adecuados son los polímeros y los óxidos metálicos, cuando para los SPR los
 15 materiales adecuados son los metales. Es más, se ha demostrado recientemente que cuando el índice de refracción externo, siendo por ejemplo dicho medio o elemento externo el aire, es ligeramente superior al del sustrato, se produce un aumento de sensibilidad que puede permitir que el dispositivo alcance más de un millón de nanómetros por unidad de índice de refracción (A. Ozcariz, C. R. Zamarreño, P. Zubiarte & F. J. Arregui, Sci. Rep., 7:10280, 2017).
- 20 Sin embargo, el caso anterior funciona solo para la región cercana al índice de sílice, el material más empleado para fabricar fibras ópticas. Conseguir adaptar el material del sustrato para índices adecuados a aplicaciones concretas, como pueden ser por ejemplo los medios acuosos, supone un incremento de la complejidad, a la hora de fabricar la fibra óptica adecuada, muy alto. En cambio, existen guías-onda planas de materiales mucho más
 25 variados, lo que facilita la sintonización de la sensibilidad del dispositivo sensor.

Se da a conocer también un sistema basado en la generación de modos cercanos a la condición de corte que comprende una guía-onda de las anteriormente descritas y unos medios emisores adaptados para inyectar una radiación electromagnética polarizada vertical
 30 o horizontal en el sustrato de la guía-onda en una dirección esencialmente paralela a la cara plana; y unos medios receptores adaptados para recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda. En este caso, el sensor basado en incidencia lateral sobre guía-onda plana con geometría como la de un porta de microscopio, lámina o sustrato comprende:

- una guía-onda plana por la que se transmite la luz que recibe por una de sus caras laterales
 35 y al menos una película delgada situada una de las dos caras de mayor superficie de la guía

- una fuente de radiación electromagnética de amplio espectro cuya salida se orienta para incidir en una de las caras laterales de la guía-onda plana, pasando previamente por un sistema de polarización que controle la generación de la resonancia TE y la TM.

5 - Un dispositivo detector para la medida de la radiación que sale por la cara opuesta de la guía-onda plana, de manera que se pueda determinar, en función de la longitud de onda de la o las resonancias, el parámetro o los parámetros a detectar por parte del sensor.

10 La fuente de radiación electromagnética, que puede ser una fuente de luz, puede consistir en un LED, un array de LEDS, un láser de semiconductor o una lámpara halógena. El sistema de detección de radiación electromagnética, que puede ser un sistema de detección de luz, estará adaptado para detectar las longitudes de onda producidas por la fuente escogida.

El dispositivo detector comprende preferentemente un espectrómetro aunque también se puede usar un interrogador.

15 En una variante de realización, comprendiendo la guía-onda al menos un analito, los medios receptores están adaptados para recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda que incluye la interacción de las resonancias en modos TE y/o TM con el analito y caracterizar el o los analitos, de modo que se puedan realizar análisis del o los analitos.

20 En una variante de realización basada en transmisión directa, los medios emisores y los medios receptores están dispuestos en extremos opuestos de la guía-onda, donde la fuente de radiación se enfoca hacia una de las caras laterales del sustrato y la radiación se propaga a través del sustrato hasta salir por la cara opuesta, junto a la que se posiciona el detector, o basado en reflexión, donde se recubre con un espejo (de preferencia, oro, plata, cromo, aluminio o platino) la cara opuesta a la cara por donde incide la luz, de manera que la luz se refleja y regresa provoca la reflexión de la luz hasta salir por la cara donde incide la luz, en la que a la vez que la fuente se coloca el receptor. En ambas configuraciones (transmisión y reflexión) la película o películas delgadas se pueden poner sobre una o sobre las dos caras de mayor superficie del sustrato

30 En una variante de realización basada en reflexión, la guía-onda está provista de una capa especular en un extremo de la guía-onda y los medios emisores y los medios receptores están dispuestos en el otro extremo opuesto de la guía-onda, junto con unos medios optoacopladores.

35

En una variante de realización el sistema se comprenden además unos medios de cambio de la guía-onda de modo que se permita remplazar la guía-onda en el sistema, permitiendo realizar análisis en serie. También se prevé que el sistema comprenda además unos medios de limpieza de la guía-onda, permitiendo realizar análisis en serie simplemente limpiando y
5
remplazando el analito en la guía-onda, que podría también realizarse mediante unos medios de remplazo del o de los analitos de la guía-onda.

Por tanto el sistema de la presente invención puede ser utilizado tanto como filtro óptico, ampliando y atenuando longitudes de onda de la luz o radiación electromagnética que
10
atraviesa la guía-onda, y como sensor óptico, caracterizando el o los analitos que puedan colocarse en la guía-onda.

Aunque pueda parecer que la configuración basada en guía onda plana descrita es similar a la de los sensores SPR en configuración de Kretschmann, conviene recalcar las diferencias
15
entre los LMR y los SPR:

- Los LMR se basan en la excitación de modos cercanos a la longitud de onda de corte y no en la excitación de plasmones superficiales, de manera que se puede generar una resonancia en modo TE y otra en modo TM.
- La posibilidad de obtener resonancias en modo TE y TM permite tener una idea del
20
índice de refracción de la película de la película delgada en función de la separación entre las longitudes de onda centrales de cada resonancia, pues esta se incrementa conforme el índice aumenta (I. Del Villar et al. J. Opt., 12 (9), 095503, 2010)
- Las dos resonancias TE y TM de los LMR se pueden obtener múltiples veces, cosa que no es posible con los SPR. Por otra parte, las múltiples resonancias presentarán cada
25
una de ellas diferentes sensibilidades y anchos de banda, lo que se podrá utilizar con diversos fines y para diferentes aplicaciones.
- Las resonancias LMR se generan con materiales diferentes a los que se emplean para generar los SPR (para excitar un plasmón superficial y obtener una resonancia SPR es preciso que la parte real de la permitividad del material de la película delgada sea negativo y su valor
30
absoluto sea mayor que el valor absoluto de su parte imaginaria y mayor que el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la guía-onda y del dieléctrico que rodea a la película delgada. En cambio, para excitar un modo cercano a la condición de corte y generar una resonancia LMR, se necesita que la parte real de la permitividad del material de la película delgada sea positivo y su valor absoluto mayor que el de su parte imaginaria y también mayor
35
que el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la guía onda y del dieléctrico que

rodea a la película delgada). Estas condiciones dan como resultado que los materiales típicos que generan los SPR son los metales, mientras que los polímeros y óxidos metálicos son más adecuados para obtener LMR.

- Las resonancias en una guía onda plana son mucho más nítidas que con los SPR, pues los SPR están orientados a trabajar con ángulos de incidencia no rasante y para lo cual hace falta un prisma óptico que acople la luz. Por el contrario, los LMR se excitan mejor en una guía onda plana, pues los ángulos de incidencia óptimos están cercanos a los 90°.

En definitiva, el juego de posibilidades que permite la presente invención, comparado con los sistemas conocidos en el estado de la técnica es muy amplio, lo que permitirá detectar más de un parámetro al mismo tiempo.

Breve descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de facilitar la comprensión de las características de la invención, se acompaña a la presente memoria descriptiva un juego de dibujos en los que, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La Fig. 1a muestra una vista lateral de una guía-onda según la presente invención;
 la Fig. 1b muestra una vista frontal de la guía-onda de la Fig. 1a;
 la Fig. 2 muestra un sistema basado en transmisión directa que incorpora la guía-onda de las Figs. 1a y 1b;

la Fig. 3 muestra espectros que presentan atenuaciones para diferentes longitudes de onda y polarizaciones en una guía-onda de la presente invención en el sistema de la Fig. 2;

la Fig. 4 muestra espectros que presentan atenuaciones (LMR en modo TM) para diferentes índices de refracción del medio externo para polarización vertical en una guía-onda de la presente invención en el sistema de la Fig. 2;

la Fig. 5 muestra espectros que presentan atenuaciones (LMR en modo TE) para diferentes índices de refracción del medio externo para polarización horizontal en una guía-onda de la presente invención en el sistema de la Fig. 2;

la Fig. 6 presenta la correspondencia entre la longitud de onda del pico de resonancia y la humedad relativa en una guía-onda de la presente invención en una guía-onda de la presente invención en el sistema de la Fig. 2;

la Fig. 7a muestra una vista lateral de otra guía-onda según la presente invención;
 la Fig. 7b muestra una vista frontal de la guía-onda de la Fig. 7a;

la Fig. 8 muestra un sistema basado en reflexión que incorpora la guía-onda de las Figs. 7a y 7b;

las Figs. 9a y 9b muestran una vista lateral y frontal de otra guía-onda según la presente invención;

5 las Figs. 10a y 10b muestran una vista lateral y frontal de otra guía-onda según la presente invención;

las Figs. 11a y 11b muestran una vista lateral y frontal de otra guía-onda según la presente invención; y

10 las Figs. 12a y 12b muestran una vista lateral y frontal de otra guía-onda según la presente invención.

Descripción detallada de los dibujos

Las Fig. 1a y 1b presentan una guía-onda 1 según la presente invención para generar modos cercanos a la condición de corte LMR. Como se puede observar, la guía-onda 1 presenta un
 15 sustrato 2 con al menos una cara 3a, 3b, en este caso dos caras planas 3a, 3b, provistas cada una de una película 4a, 4b entre el sustrato 2 y un respectivo elemento externo 5a, 5b, en que las películas 4a, 4b son de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores
 20 absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato 2 y de la parte real de la permitividad del elemento externo 5a, 5b, de modo que al inyectar una radiación electromagnética, como se verá más adelante, se generen modos cercanos a la condición de corte al interactuar la radiación electromagnética con la guía-onda 1. Como se puede observar, en la guía-onda 1 presentada en las Figs. 1a y 1b el primer elemento externo 5a, dispuesto adyacente a la
 25 primera cara 3a, podría ser un analito, es decir, un componente que podrá ser analizado mediante la detección de los modos cercanos a la condición de corte característicos, generados al interactuar también la radiación electromagnética con el primer elemento externo 5a. En este caso, el segundo elemento externo 5b, adyacente a la segunda cara 3b, podría ser directamente el aire o el medio en el que se colocara la guía-onda 1. También se prevé
 30 que la guía-onda esté desprovista de analitos, es decir, que los elementos externos 5a, 5b sean el medio externo de la guía-onda. Esta configuración sería especialmente útil para utilizar la guía-onda a modo de filtro analógico de frecuencias, por ejemplo a modo de filtro óptico, de modo que las frecuencias de la radiación electromagnética que las atravesase se atenúen y amplíen en función de la configuración de la o las películas 4a, 4b de la guía-onda 1.

Naturalmente, cuando la guía-onda 1 está provista de un analito también se puede utilizar a modo de filtro.

En la realización presentada en las Figs. 1a y 1b se observa que el sustrato 2 es una lámina, preferentemente delgada tal como un porta o cubreportas de microscopio, que comprende dos caras 3a, 3b planas paralelas entre sí, provistas cada una de al menos una película 4a,4b, en este caso una primera película 4a en la primera cara 3a y una segunda película 4b en la segunda cara 3b, entre el sustrato 2 y su respectivo elemento externo 5a, 5b, siendo estas películas 4a, 4b de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película 4a, 4b mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato 2 y de la parte real de la permitividad del respectivo elemento externo 5a, 5b. Por tanto, los materiales de las películas 4a, 4b deberán escogerse debidamente en función de los elementos externos 5a, 5b, bien estos sean analitos o el medio externo en el que se colocará la guía-onda 1. Será pues necesario para generar los modos cercanos a la condición de corte en la guía-onda 1, que las películas 4a, 4b sean de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película 4a, 4b mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato 2 y de la parte real de la permitividad del elemento externo 5a, 5b. Típicamente, los materiales de las películas 4a y 4b serán un óxido metálico o un polímero, siendo, por ejemplo, un óxido metálico de un elemento escogido entre zinc, indio, galio, estaño, iridio, cadmio, itrio, escandio, níquel, cobre, o aleaciones, dopados o combinaciones binarias, ternarias o cuaternarias de los óxidos de los elementos anteriores entre ellos mismos, con otros elementos como flúor, cobre, galio, magnesio, calcio, estroncio o aluminio o combinaciones de estos últimos entre ellos; o un polímero escogido entre poli(vinilpirrolidona), poli(vinilalcohol), poliacrilamida, ácido poliacrílico, poliestireno sulfato, polianilina sulfato, poli(tiofeno-3-acético ácido), polianilina, polipirrol, poli(3-hexil tiofeno), poli(3,4-etilendioxitiofeno) y poli(dimetil amonio dicloruro).

A modo de guía-onda 1 se contemplan todos los portas de microscopio comerciales, habitualmente de borosilicato, y también los de otros materiales cuya parte real de su índice de refracción no supere el de la película delgada 4a, 4b. Por otra parte, el espesor del sustrato 2 de la guía-onda 1 podrá ser como el estándar de los portas de microscopio, 1 mm, u otro, pues la resonancia se puede obtener con sustratos 2 de diferente espesor, siendo esta más

profunda conforme el sustrato 2 es más estrecho. La guía-onda 1 será más sensible si el índice de refracción del medio externo en que se hacen los experimentos es ligeramente inferior al del sustrato 2 de la guía-onda 1. Además, de cara a evitar interferencias en la resonancia, se colocarán preferentemente una serie de piezas opacas 9 rodeando la entrada y la salida de la luz en la guía-onda 1.

La Fig. 2 presenta un sistema 100 basado en la generación de modos cercanos a la condición de corte (LMR) según la presente invención que comprende una guía-onda 1, del tipo anteriormente descrito; unos medios emisores 101 adaptados para inyectar una radiación electromagnética 6 polarizada vertical o horizontal en el sustrato 2 de la guía-onda 1 en una dirección esencialmente paralela a la cara 3a, 3b plana; y unos medios receptores 102 adaptados para recibir y preferentemente analizar la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda 1. Al comprender la guía-onda 1 presentada en el sistema de la Fig. 2 al menos un analito 7a, los medios receptores 102 están adaptados para recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda 1 que incluye la interacción de las resonancias en modos TE y/o TM con el analito 7a y caracterizar el analito 7a. Naturalmente, si la guía-onda 1 estuviera provista de dos o más analitos 7a, 7b, por ejemplo adyacentes a cada una de las diferentes caras 3a, 3b del sustrato, o incluso más de un analito adyacente a una misma cara 3a, 3b del sustrato 2, los medios receptores 102 podrían estar adaptados para recibir la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda 1 que incluye la interacción de las resonancias en modos TE y/o TM con los diferentes analitos 7a, 7b y caracterizar los analitos 7a, 7b. Se contempla, por tanto, que sobre una misma guía-onda 1 se pueda disponer de múltiples analitos 7a, 7b diferenciados. Los analitos 7a, 7b pueden ser gases o líquidos. En el caso de los líquidos podría tratarse de un sensor con microfluídica, siendo el volumen de los analitos 7a, 7b del orden de los microlitros.

Como puede observarse, el sistema 100 presentado en la Fig. 2 se basa en transmisión directa, estando los medios emisores 101 y los medios receptores 102 dispuestos en extremos opuestos de la guía-onda 1. Además, está provisto de unos medios polarizadores 104 que permiten polarizar vertical u horizontalmente la radiación electromagnética 6 antes de ser inyectada en la guía-onda 1. Naturalmente, el sustrato de la guía-onda 1 podría incorporar alternativa o complementariamente unos medios polarizadores 104, tales como una lámina adyacente a la porción del sustrato 2 donde se inyecta la radiación electromagnética 6, de modo que la radiación electromagnética 6 esté debidamente polarizada al alcanzar el sustrato. El sistema 100 también está provisto de unos medios colimadores 105, tales como una fibra

5 óptica o una lente, dispuestos para recoger la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda 1, y dirigir la radiación electromagnética a los medios receptores 102 adaptados para recibir la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda. Para poder generar la resonancia TE, la TM o cualquier estado intermedio entre ambas los medios polarizadores 104 pueden ser un dispositivo que permita rotar a voluntad un cristal polarizador a cualquier ángulo deseado.

10 De esta manera, el sistema 100 de la Fig. 2 permite realizar un procedimiento para generar modos cercanos a la condición de corte (LMR) en la guía-onda 1 provista de un sustrato 2 con al menos una cara 3a, 3b plana provista de al menos una película 4a, 4b colocada entre el sustrato y un respectivo elemento externo 5a, 5b, siendo la película 4a, 4b de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del respectivo elemento externo, 15 comprendiendo el procedimiento inyectar una radiación electromagnética 6 polarizada vertical o horizontal en el sustrato 2 de la guía-onda 1 en una dirección de propagación esencialmente paralela a la cara plana, de modo que se generen ventajosamente resonancias en modos TE y/o TM correspondientes a modos cercanos a la condición de corte al interactuar la radiación electromagnética 6 polarizada con la o las películas 4a, 4b colocadas sobre ella; y recibir en 20 medios receptores 102 la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda 1. De esta manera, en el caso que al menos un elemento externo 5a, 5b sea un analito 7a, 7b a analizar, el procedimiento comprenderá recibir la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda para permitir caracterizar el o los analitos 7a, 7b

25 Se prevé que la guía-onda se pueda preparar previamente, depositando sobre una cara 3a,3b plana del sustrato 2 progresivamente una película 4a, 4b mientras se detectan las resonancias en modos TE y/o TM generadas al interactuar una radiación electromagnética 6 polarizada vertical o horizontal dirigida hacia el sustrato en una dirección esencialmente paralela a la cara plana para determinar el grosor de la película en función de unas resonancias en modos TE y/o TM objetivo. De esta manera se conseguiría sintonizar la guía-onda 1 controlando la deposición y grosor de una, o incluso más, películas 4a, 4b de diferentes materiales sobre las caras 3a, 3b plana. Se contempla además que las películas 4a, 4b puedan tener un espesor adaptado para generar múltiples resonancias.

35

- Además, se prevé que al menos en una de las dos caras 3a, 3b de mayor superficie de la guía-onda 1, preferentemente sobre la o las películas 4a, 4b, se puedan depositar diversos materiales a modo de analitos 7a, 7b, que pueden estar fabricados mediante técnicas como grabado laser directo, fotolitografía, etc, de cara a que desplazando la guía-onda 1 en dirección perpendicular a la de propagación de la luz se pueda monitorizar la resonancia correspondiente a cada uno de los materiales. También se prevé que en una de las caras 3a, 3b de mayor superficie del sustrato 2 de la guía-onda 1 se deje una región sin depositar como señal de referencia
- 5
- 10 Naturalmente, la guía-onda 1 puede presentar una única cara plana 3a o dos caras planas 3a, 3b o incluso más caras planas cuando por ejemplo el sustrato 2 tuviera forma de prisma, por ejemplo, tres caras planas si el sustrato 2 tuviera forma de prisma triangular, o incluso más caras mediante prismas de otras formas geométricas: cuadrado, pentagonal, etc. Naturalmente se prevé que cada cara pueda tener ninguna, una o incluso más películas
- 15 apiladas, que juntamente con los elementos externos 5a, 5b que pueden ser tanto analitos 7a, 7b como el medio externo en el que se coloca la guía-onda 1, determinarán los modos cercanos a la condición de corte (LMR) que se generarán al inyectar una radiación electromagnética 6 en la guía-onda 1.
- 20 Anteriormente el fenómeno de generación de modos cercanos a la condición de corte (LMR) se había observado en fibra óptica y en configuración de Kretschmann, pero nunca mediante la incidencia lateral en una guía-onda plana. En comparación con la configuración de Kretschmann, la gran ventaja es la eliminación del prisma óptico, lo que simplifica el sistema y habilita la deposición de una película diferente en cada una de las dos caras de mayor
- 25 superficie de la guía-onda, habilitando más de un sensor en el mismo dispositivo. Asimismo, no solo se excitará la plataforma con luz polarizada en modo TM, sino que se incluirá un sistema de polarización que permite regular la excitación, tanto de las resonancias en modo TE como TM (en la Figura 3 se muestran datos experimentales de espectros obtenidos con incidencia de luz sin polarizar, polarizada verticalmente y horizontalmente).
- 30
- Por otro lado, en comparación con la fibra óptica, la incidencia lateral sobre guía onda plana supone la eliminación de los empalmes de los latiguillos a la sección de fibra sensora, lo que redunda en mayor simplicidad a la hora de implementar cada experimento, pues basta con intercambiar la guía-onda por una nueva, y además el sistema es menos frágil. Además, el
- 35 control de la polarización es mucho más sencillo, ya que se basa solamente en la utilización

de un cristal polarizador, cuya orientación incluso se podrá regular de forma automática con un rotador. En fibra, por el contrario, o bien se emplean fibras especiales de alto coste en las que se aplica un complejo sistema de polarización controlado de forma manual, o se opta por fibra convencional donde la polarización no es posible y por tanto las resonancias se monitorizan peor, lo que redundará en una mucha menor sensibilidad del dispositivo (F. Chiavaioli et al. *Anal. Chem. Soc. Sensors*, 3: 936-943, 2018).

Las resonancias se generarán en transmisión o en reflexión, y su posición en el espectro se podrá sintonizar en el rango del ultravioleta, del visible o del infrarrojo cercano, medio y lejano, o incluso hasta en el terahercio, pues los LMR se generan en un espectro muy amplio (I. Del Villar et al. *Appl. Opt.*, 51:4298:4307, 2012), lo que permitirá realizar medidas de parámetros químicos, biomédicos o ambientales. Por otro lado, el sensor de la invención se puede usar en las mismas aplicaciones que los sensores SPR y que los sensores LMR basados en fibra. El dispositivo es altamente sensible a los cambios en el medio que lo rodea, por lo que se podrán desarrollar sensores químicos, ambientales, bioquímicos, etc., tanto en el caso de que la película delgada sea sensible al parámetro que se desea o añadiendo una o varias capas que sean sensibles al parámetro a detectar. También se pueden desarrollar dispositivos sensores basados en la variación del índice del medio externo (refractómetros), basados en la variación de las propiedades de la película, o incluso filtros ópticos.

La capacidad de generarse resonancias con incidencia lateral se debe a que las resonancias basadas en modos cercanos al corte se generan mediante ángulos de incidencia cercanos a los 90° (I. Del Villar, V. Torres, M. Beruete, *Opt. Lett.* 40:4739-4742, 2015). En función del espesor de la película delgada responsable de la generación de la resonancia, se puede sintonizar la posición de esta en el espectro, pudiendo incluso darse la posibilidad de que se genere más de una resonancia, cada una de las cuales se sitúa a diferentes longitudes de onda. Empezando de longitudes de onda más largas hacia las más cortas, la primera resonancia es la que tendrá una mayor sensibilidad. Sin embargo, es también la más ancha, de ahí que el sistema de polarización que permite separar la resonancia TE de la TM, es esencial para reducir al máximo el ancho de banda y así poder explotar al máximo las características del sensor. Por otra parte, tener varias resonancias permitirá obtener múltiples medidas simultáneas, que mejorarán los errores producidos por interferencias y ruido.

La longitud de onda central de la resonancia experimentará variaciones en función de los parámetros que se detectan, llegando a obtener grandes desplazamientos como los que se

observan en las Figuras 7 y 8 para el índice de refracción externo y la humedad respectivamente.

5 En resumen, se siguen manteniendo las propiedades de las resonancias de modos cercanos al corte en dispositivos de fibra óptica (sintonización de la resonancia en el ultravioleta, el visible o el infrarrojo mediante el espesor de la película delgada, eliminación de la necesidad de introducir luz polarizada, control de la sensibilidad y del ancho de la resonancia en función del orden de la resonancia sobre la que se trabaja), y se añaden otras como la simplicidad de la utilización de una guía-onda plana, ya que puede servir al efecto un simple porta de
10 microscopio, la posibilidad de depositar en las dos caras de mayor superficie materiales diferentes y generar resonancias en modo TE y TM y cada una de ellas múltiples veces, así como la capacidad de depositar en un sustrato plano rejillas de difracción en diferentes ejes, lo que permitirá incluso unir la resonancia en modo TE y en modo TM (I. Del Villar et al. Opt Express, 25:10743-10756, 2017) o también obtener la resonancia con un material sin
15 pérdidas.

De esta manera, el sistema 100 utiliza para acoplar luz a la guía-onda 1, es decir, inyectar radiación electromagnética 6 a la guía-onda 1 plana, dos elementos. El primero son unos medios emisores 101 de “amplio espectro”, a modo de fuente de luz, con múltiples longitudes
20 de onda, donde “amplio espectro” significa un mínimo de dos longitudes de onda, aunque es deseable un rango lo suficientemente amplio para abarcar el espectro de resonancia de la muestra, como por ejemplo una fuente de luz blanca o la radiación de un cuerpo negro. El segundo elemento incorpora unos medios colimadores 105 de colimación de la luz y unos medios polarizadores 104 que permiten excitar resonancias TE o TM en función de la
25 orientación del polarizador (horizontal o vertical).

Del modo ilustrado en la Fig. 2, se observa que la potencia óptica inyectada por los medios emisores 101 en un extremo de la guía-onda 1 viaja a través de esta, a la vez que interactúa con la película o películas 4a, 4b delgadas y elementos externos 5a,5b, que pueden ser tanto
30 uno o más analitos 7a, 7b como el medio externo que rodea la guía-onda 1, y llega a los medios receptores 102 o dispositivo detector, bien directamente en el caso de la configuración en transmisión o una vez reflejada por la capa especular 8 en el caso de la configuración en reflexión

35 La potencia óptica que llega a los medios detectores 102 o dispositivo detector será por tanto

ventajosamente función del índice de refracción del elemento externo 5a, 5b, que puede ser el medio externo que rodea la guía-onda 1, en contacto con la película o películas 4a, 4b delgadas, que absorben parte de la luz o radiación electromagnética 6 guiada por la guía-onda 1.

5

De esta manera, midiendo el espectro a la salida de la guía-onda 1, se puede determinar el índice de refracción de cada una de las muestras o analitos 7a, 7b que se pongan en contacto con la película o películas 4a, 4b depositadas en la guía-onda 1, o se puede determinar también la deposición de algún compuesto químico, molécula o bacteria que se adhiera a la película 4a, 4b delgada.

10

En general, las guía-ondas 1 y sistemas y procedimientos descritos pueden utilizarse en aplicaciones múltiples: refractómetros, filtros ópticos, y en el campo químico o bioquímico, para detección de especies que están presentes en disoluciones en estado líquido o gas. Otra aplicación muy interesante que se basa en el hecho de generar resonancias TE y TM mediante el control de la polarización de la luz incidente consiste es que, debido a que la longitud de onda de cada resonancia es diferente, si conforme va aumentando el espesor de la película depositada se caracteriza la longitud de onda de la resonancia TE y de la TM, así como su separación, se puede obtener el espesor de la película así como el índice de refracción de la misma en todas las longitudes de onda que cubren la fuente de luz y el detector.

15

20

En el sistema 100 de la presente invención podrá utilizarse a modo de medios receptores 102 o detectores cualquier dispositivo capaz de detectar la intensidad de todas o una parte de las longitudes de onda que salgan a través de la guía-onda 1. Como ejemplo de medios receptores 102 puede emplearse un espectrómetro capaz de medir la intensidad de la luz en función de la longitud de onda. También un interrogador o un detector de intensidad situado en la longitud de onda de la resonancia son buenas opciones.

25

A continuación, se describe una realización de un sistema 100 de la presente invención utilizando una guía-onda 1 de la presente invención, basada en transmisión directa montada en un sistema como el anteriormente descrito en la Fig. 2.

30

En este caso, los medios emisores 101 a modo de fuente de luz corresponden a una lámpara de luz halógena DH-2000-H (Avantes Inc.), el sustrato 2 de la guía-onda 1 es un porta de microscopio de soda lime glass con los bordes esmerilados (en inglés grounded edges). El

35

tamaño del porta es 75x26x1 mm, orientando el lado más largo en dirección transversal a la dirección de propagación de la luz. Este porta presenta un índice de refracción entre 1.538 y 1.520, que corresponde a una permitividad entre 2.3654 y 2.3104, en el rango de longitudes de onda entre 400 y 700 nm, de acuerdo con (M. Rubin, "Optical properties of soda lime silica glasses," Sol. Energy Mater., vol. 12, pp. 275–288, 1985).

Se depositó una película 4a delgada de 60 nm de espesor de óxido de indio y estaño (ITO) en una primera cara 3a del sustrato 2, dando como resultado la zona sensible de la guía-onda 1. Se midió su índice en un elipsómetro Horiba ellipsometer UVISEL y dio como resultado un índice de refracción entre $1.9+0.05i$ y $1.8+0.0003i$, permitividad correspondiente entre $3.6075+0.19i$ y $3.24+0.0011i$, en el rango entre 400 y 700 nm. No se depositó en este caso película en la segunda cara 3b.

En esta realización no se utilizó analito, sino que el elemento externo fue directamente el medio externo. En un caso, el elemento externo utilizado fue agua, que de acuerdo con la referencia (M. Daimon and A. Masumura. Measurement of the refractive index of distilled water from the near-infrared region to the ultraviolet region, Appl. Opt. 46, 3811-3820 (2007)) tiene índice de refracción entre 1.343 y 1.330 (permitividad entre 1.8036 y 1.7689) en el rango de longitudes de onda entre 400 y 700 nm. También se utilizó a modo de elemento externo aire, con índice de refracción 1 y permitividad 1.

Con todos estos valores se cumplen las condiciones de LMR en todo el rango entre 400 y 700 nm, es decir, la película es de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del elemento externo.

Este proceso se realizó mediante un equipo de sputtering K675XD de Quorum Technologies, Ltd., a una presión parcial de 8×10^{-2} mbar y una intensidad de corriente de 150 mA. La radiación electromagnética 6 de los medios emisores 101, que es una fuente de luz blanca, se conectó a una fibra óptica de 200 μm de diámetro VIS/NIR de Ocean Optics a cuya salida se colocó una lente que dirige el haz de luz hacia una de las caras laterales del porta, que tiene 26 mm de longitud, y entre la lente colimadora de los medios colimadores 105 y el porta se coloca un cristal polarizador, a modo de medios polarizadores 104 orientado

horizontalmente. Tras atravesar la luz el porta, esta pasa por una lente que colima la luz, a modo de medios colimadores 105, hacia la entrada de otra fibra de 200 μm de diámetro VIS/NIR de Ocean Optics, la cual se conectó por el otro extremo a un espectrómetro USB4000, que permite monitorizar un rango de longitudes de onda entre 200 y 850 nm
5 utilizando una conexión SMA y conectado a su vez a una computadora para la adquisición de los espectros.

La Fig. 3 presenta las respuestas espectrales del sistema 100 al incidir luz sin polarizar, polarizada horizontalmente y polarizada verticalmente, mientras que la Fig. 4 presenta las
10 respuestas espectrales del sistema 100 en función del índice de refracción de diferentes elementos externos, de los que se deriva su permitividad, al incidir luz polarizada verticalmente y la Fig. 5 presenta las respuestas espectrales en función del índice de refracción de diferentes elementos externos, de los que se deriva su permitividad, al incidir luz polarizada horizontalmente al montar la guía-onda 1 en un sistema 100 como el anteriormente
15 presentado en la Fig. 2.

Este sistema 100 se introdujo en una cámara climática ACS CH 250 (from Angelantoni Industries) y se le sometió a ciclos de humedad entre el 30 y el 90%. Conforme aumenta la humedad se produce un aumento de la longitud de onda de resonancia, tal y como cabe
20 esperar pues el índice externo, por acumulación de película de agua, aumenta.

En la Fig. 6, se presenta la correspondencia entre la longitud de onda del pico de resonancia y la humedad relativa. Concretamente se observa una variación espectral de 70 nm para el rango de humedad analizado. Este desplazamiento es comparable al obtenido con ITO sobre
25 fibra óptica como sensor de humedad (M Hernández et al 2009 J. Phys.: Conf. Ser. 178 012019), lo que demuestra la capacidad de los sensores basados en incidencia lateral sobre guía-onda plana para comportarse como los de fibra óptica, con todas las ventajas que presenta esta tecnología en términos de simplicidad, robustez y capacidad de tener dos caras donde depositar materiales sensibles, con lo que se duplican las posibilidades que ofrecen los
30 dispositivos basados en fibra óptica y también los dispositivos basados en configuración de Kretschmann, donde también se puede depositar únicamente en un lado del porta de microscopio.

Las Figs. 7a y 7b presentan otra realización de la guía-onda 1 de la presente invención,
35 análoga a la anteriormente descrita en las Figs. 1a y 1b, pero que es especialmente adecuada

para su uso en un sistema 100 basado en reflexión tal como el presentado en la Fig. 8, al estar provista de una capa especular 8 en un extremo del sustrato 2. En este caso, la guía-onda 1, del mismo modo que la guía-onda 1 anteriormente descrita, también comprende un sustrato 2 con al menos una cara 3a, 3b plana provista de al menos una película 4a, 4b entre el sustrato y un respectivo elemento externo 5a, 5b, siendo la o las películas 4a, 4b de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del elemento externo 5a, 5b.

10

Como puede observarse en la Fig. 8, el sistema 100 que incorpora la guía-onda 1 anteriormente descrita en las Figs. 7a y 7b permite conformar un sistema 100 análogo al anteriormente presentado en la Fig. 2, aunque en este caso el sistema 100 está basado en reflexión, de modo que la guía-onda 1 está provista de una capa especular 9 en un extremo de la guía-onda 1 y los medios emisores 101 y los medios receptores 102 están dispuestos en el otro extremo opuesto de la guía-onda 1 junto con unos medios optoacopladores 103, que podrían incorporar los medios polarizadores 104 de la radiación electromagnética 6. También se prevé que los medios optoacopladores 103 realicen la función de medios colimadores 105 al recoger la radiación electromagnética 6 tras su paso por la guía-onda 1 y dirigir la radiación electromagnética 6 a los medios receptores 102 adaptados para recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda 1.

15

20

En este caso, es necesario que la guía-onda 1 esté provista de una capa especular 9 situada en uno de los extremos de la guía-onda 1, de manera que refleje en sentido inverso la radiación electromagnética 6 o luz que se propaga a través de la guía-onda 1, que puede consistir en una capa de un metal altamente reflexivo, como oro, plata o cromo, lo suficientemente gruesa para proporcionar una reflexión adecuada. También requiere de un sistema de control de la polarización que a la vez permita bifurcar la luz de la proveniente de los medios emisores 101 o fuente y la que se dirige a los medios receptores 102 o detector.

25

30

Puesto que se prevé que los sistemas 100 anteriormente presentados puedan utilizarse para caracterizar diferentes analitos, pudiendo dichos analitos estar previamente preparados en diferentes guía-ondas 1, se prevé que los sistemas 100 puedan estar provistos de unos medios de cambio o de remplazo de la guía-onda 1, de modo que se pueda realizar análisis en secuencia tras remplazar una guía-onda por otra, por ejemplo mediante un dispositivo de

35

carga de guías-ondas 1, tal como un brazo robótico o un sistema de carriles o noria que cargue una guía-onda que haya sido previamente preparada entre los medios emisores 101 y los medios receptores 102 y dispuesta en un banco de guías-ondas y retire la guías-onda tras su análisis, permitiendo así automatizar una secuencia de análisis de analitos. Naturalmente, el sistema puede incluso previamente preparar cada guía-onda 1, depositando sobre sus caras 3a,3b planas del sustrato 2 progresivamente la o las películas 4a, 4b, del modo anteriormente descrito e incluso depositar el o los analitos 7a, 7b.

Naturalmente, también se prevé poder reemplazar el analito 7a, 7b en una guía-onda 1 para realizar una serie de análisis en los sistemas 100 anteriormente descritos sin cambiar completamente la guía-onda. En este caso, se prevé que los sistemas 100 puedan incorporar unos medios de limpieza de la guía-onda 1 que permita retirar un analito de la guía-onda 1, por ejemplo pulverizando la guía-onda 1 con un líquido de limpieza, e incorporando posteriormente en la guía-onda 1 otro analito, permitiendo así también automatizar una secuencia de análisis si no es necesario desechar la guía-onda tras cada análisis.

El sistema y procedimiento presentados en la presente invención puede utilizarse a modo de sensor óptico para la detección de una muestra o analito y se puede llevar a cabo, mediante la colocación de la muestra a medir o analito 7a, 7b sobre una de las películas delgadas 5a, 5b que se pueden depositar sobre una de las dos caras 3a, 3b de mayor superficie del sustrato 2 de la guía-onda 1, en la parte que no está cubierta por las piezas opacas 9 que evitan que la luz no guiada por la guía-onda 1 interfiera con las medidas. Sobre la otra cara de mayor superficie del sustrato 2 de la guía-onda 1 se puede depositar otra película delgada y alrededor de ella colocar otra muestra o ser simplemente el medio de detección el aire.

Se prevé además que la guía-onda 1 pueda comprender una pluralidad de películas 4a, 4b apiladas, del modo ilustrado en las Figs. 9a y 9b, de modo que la guía-onda 1 pueda estar provista de varias películas apiladas en una o más caras, pudiendo utilizarse tanto en un sistema 100 basado en transmisión como en reflexión, con el fin de que cumplan funciones diversas como aumentar la sensibilidad de la resonancia, biofuncionalizar la superficie, o ser sensibles a un determinado parámetro a detectar. Un ejemplo son las aplicaciones en biosensores o en detección selectiva, donde se puede recubrir la película 4a, 4b delgada con una o más capas adicionales que incluyen compuestos inmovilizados, sensibles específicamente a la especie a detectar (por ejemplo enzimas y coenzimas, antígenos y anticuerpos, etc.). También se prevé que sobre la o las películas 4a, 4b delgadas de material

se pueda depositar al menos una capa adicional sensible al analito o parámetro a detectar o que sirva para aumentar la sensibilidad de la resonancia.

5 A su vez, la película o películas 4a, 4b delgadas que recubren la guía-onda 1 se pueden nanoestructurar, es decir, crear un patrón periódico tanto en el eje transversal a la dirección de propagación de la radiación a través de la guía-onda, por ejemplo, al menos una película 4a,4b puede tener forma de tiras paralelas entre sí que se extienden sobre la cara 3a,3b del sustrato 2 en una dirección longitudinal, del modo ilustrado en las Figs. 10a y 10b, como en el eje que coincide con la dirección de propagación de la guía-onda, o una dirección transversal, del modo ilustrado en las Figs. 11a, 11b. En el primero de los casos se podrá regular el que la resonancia en modo TE y TM se sintonicen a la misma longitud de onda, mejorando de esta manera la profundidad el pico de resonancia (I. Del Villar et al. Opt. Express, 25:10743-10756, 2017), mientras que en el segundo de los casos el grating puede hacer que incluso con materiales sin parte imaginaria se genere una resonancia. Es más, se pueden usar otras 15 geometrías para las películas delgadas como pueden ser las metasuperficies.

Naturalmente, se contemplan también otras muchas combinaciones de las características técnicas anteriormente descritas para cada una de las guías-ondas 1 presentadas, que pueden utilizarse en los sistemas y procedimientos anteriormente descritos. Por ejemplo, las 20 Figs. 12a y 12b presentan otra guía-onda 1 según la presente invención que en una primera cara 3a del sustrato 2 presenta un conjunto de películas 4a apiladas y un primer analito 7a mientras que la segunda cara 3b del sustrato 2 presenta una única segunda película 4b apilada y un segundo analito 7b. Naturalmente, se contempla que una de las caras estuviera desprovista de películas o analitos, o incluso ambas caras, actuando la guía-onda solamente por efecto de la generación de modos cercanos a la condición de corte (LMR) entre el sustrato 2 y el medio externo, por ejemplo a modo de filtro óptico. También se contempla que en una de las dos caras 3a,3b de mayor superficie del sustrato 2 de la guía-onda 1 se deposite un material de muy alta reflectividad o especular o incluso que el sustrato 2 esté directamente apoyado por debajo por una capa que haga de soporte de la guía-onda 1, con lo que solo se 30 podrá depositar por una de las caras del soporte 2 para producir el fenómeno de la resonancia

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para generar modos cercanos a la condición de corte (LMR) en una guía-
onda (1) provista de un sustrato (2) con al menos una cara (3a, 3b) plana provista de al menos
5 una película (4a, 4b) colocada entre el sustrato y un respectivo elemento externo (5a, 5b),
siendo la película de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor
absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el
valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos
de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del
10 respectivo elemento externo, comprendiendo el procedimiento:

- inyectar una radiación electromagnética (6) polarizada vertical o horizontal en el sustrato en
una dirección esencialmente paralela a la cara plana, de modo que se generen resonancias
en modos TE y/o TM correspondientes a modos cercanos a la condición de corte al interactuar
15 la radiación electromagnética polarizada con la o las películas colocadas sobre ella; y
- recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda.

2.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado
20 porque, siendo al menos un elemento externo (5a, 5b) un analito (7a, 7b) a analizar, el
procedimiento comprende recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda
para caracterizar el o los analitos.

3.- Procedimiento según la reivindicación anterior, caracterizado porque, siendo el sustrato (2)
25 una lámina que comprende dos caras (3a, 3b) planas paralelas entre sí provistas cada una de
una película (4a,4b) entre el sustrato, y siendo cada elemento externo (5a, 5b) un analito (7a,
7b) a analizar, el procedimiento comprende recibir la radiación electromagnética tras su paso
por la guía-onda para caracterizar los analitos.

30 4.- Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado
porque comprende además preparar previamente la guía-onda (1), depositando sobre una
cara (3a,3b) plana del sustrato (2) progresivamente una película (4a, 4b) mientras se detectan
las resonancias en modos TE y/o TM generadas al interactuar una radiación electromagnética
(6) polarizada vertical o horizontal dirigida hacia el sustrato en una dirección esencialmente

paralela a la cara plana para determinar el grosor de la película en función de unas resonancias en modos TE y/o TM objetivo.

5.- Guía-onda (1) para generar modos cercanos a la condición de corte (LMR) que comprende un sustrato (2) con al menos una cara (3a, 3b) plana provista de al menos una película (4a, 4b) entre el sustrato y un respectivo elemento externo (5a, 5b), caracterizada porque la o las películas son de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del elemento externo.

6.- Guía-onda (1) según la reivindicación anterior, caracterizada porque el sustrato (2) es una lámina que comprende dos caras (3a, 3b) planas paralelas entre sí, provistas cada una de al menos una película (4a,4b) entre el sustrato y su respectivo elemento externo (5a, 5b), siendo las películas de un material con una permitividad cuya parte real es positiva y cuyo valor absoluto de la parte real es mayor que el valor absoluto de la parte imaginaria, y siendo el valor absoluto de la parte real de la permitividad de la película mayor que los valores absolutos de la parte real de la permitividad del sustrato y de la parte real de la permitividad del respectivo elemento externo.

7.- Guía-onda (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6, caracterizada porque comprende una pluralidad de películas (4a,4b) apiladas.

8.- Guía-onda (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizada porque al menos una película (4a,4b) tiene forma de tiras paralelas entre sí que se extienden sobre la cara (3a,3b) del sustrato (2) en una dirección longitudinal o trasversal.

9.- Guía-onda (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizado porque el sustrato (2) es un porta o cubreportas de microscopio.

10.- Guía-onda (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 9, caracterizada porque la o las películas (4a,4b) son de un óxido metálico o un polímero.

11.- Guía-onda (1) según la reivindicación anterior, caracterizada porque la o las películas (4a,4b) son de un óxido metálico de un elemento escogido entre zinc, indio, galio, estaño, iridio, cadmio, itrio, escandio, níquel, cobre, o aleaciones, dopados o combinaciones binarias, ternarias o cuaternarias de los óxidos de los elementos anteriores entre ellos mismos, con
5 otros elementos como flúor, cobre, galio, magnesio, calcio, estroncio o aluminio o combinaciones de estos últimos entre ellos; o de polímeros escogidos entre poli(vinilpirrolidona), poli(vinilalcohol), poliacrilamida, ácido poliacrílico, poliestireno sulfato, polianilina sulfato, poli(tiofeno-3-acético ácido), polianilina, polipirrol, poli(3-hexil tiofeno), poli(3,4-etilendioxitiofeno) y poli(dimetil amonio dicloruro).

10

12.- Sistema (100) basado en la generación de modos cercanos a la condición de corte (LMR) que comprende:

- una guía-onda (1) según una cualquiera de las reivindicaciones 5 a 11;

15

- unos medios emisores (101) adaptados para inyectar una radiación electromagnética polarizada vertical o horizontal en el sustrato de la guía-onda en una dirección esencialmente paralela a la cara plana; y

20

- unos medios receptores (102) adaptados para recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda.

13.- Sistema (100) según la reivindicación anterior, caracterizado porque, comprendiendo la guía-onda (1) al menos un analito (7a, 7b), los medios receptores (102) están adaptados para
25 recibir la radiación electromagnética tras su paso por la guía-onda que incluye la interacción de las resonancias en modos TE y/o TM con el analito y caracterizar el o los analitos.

14.- Sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, caracterizado porque está basado en transmisión directa, estando los medios emisores (101) y los medios
30 receptores (102) dispuestos en extremos opuestos de la guía-onda (1).

15.- Sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, caracterizado porque está basado en reflexión, estando la guía-onda (1) provista de una capa especular (9) en un extremo de la guía-onda y estando los medios emisores (101) y los medios receptores (102)
35 dispuestos en el otro extremo opuesto de la guía-onda junto con unos medios optoacopladores (103).

16.- Sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, caracterizado porque comprende además unos medios de cambio de la guía-onda (1).

5 17.- Sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, caracterizado porque comprende además unos medios de limpieza de la guía-onda (1)

18.- Sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, caracterizado porque comprende además unos medios de remplazo del o de los analitos (7a,7b) de la guía-onda
10 (1).

19.- Uso de un sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18 como filtro óptico.

15 20.- Uso de un sistema (100) según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18 como sensor óptico.

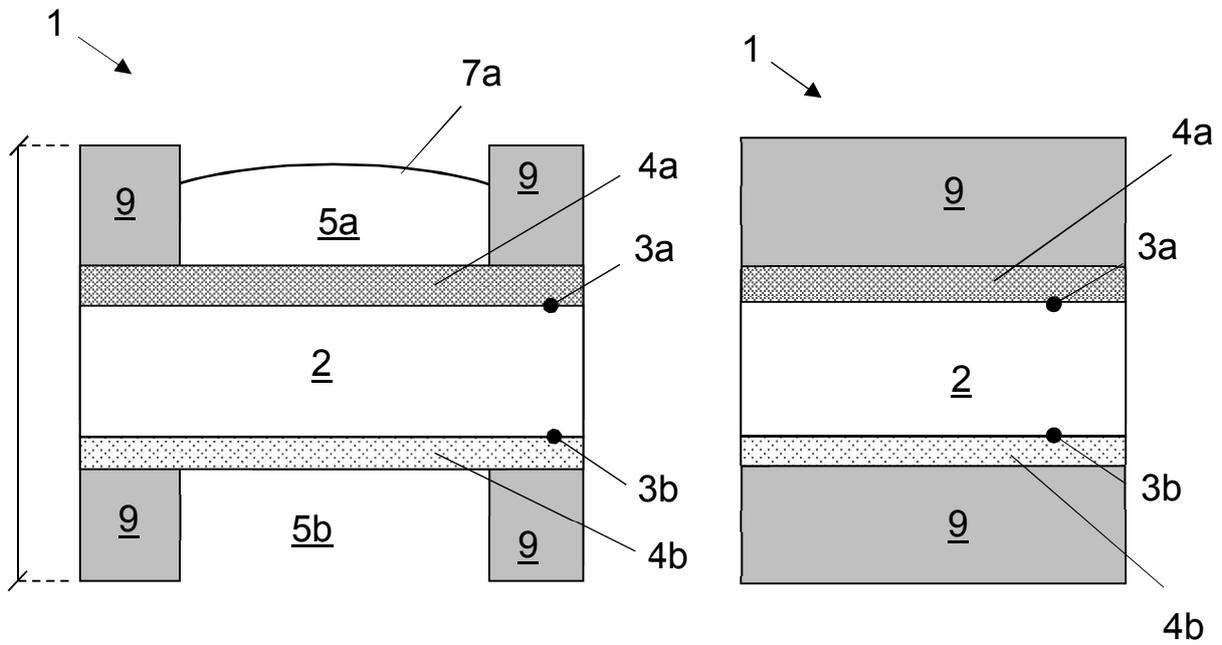


Fig. 1a

Fig. 1b

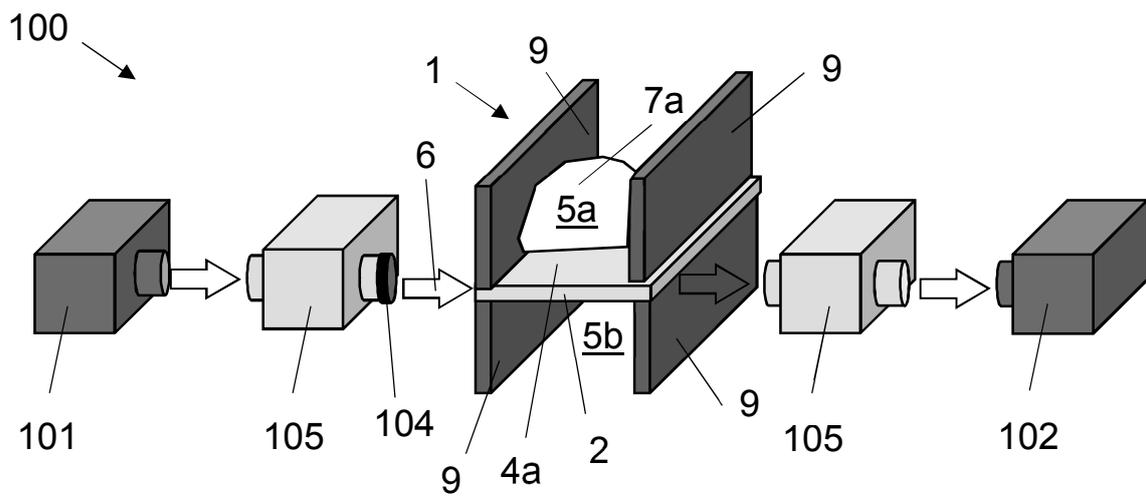


Fig. 2

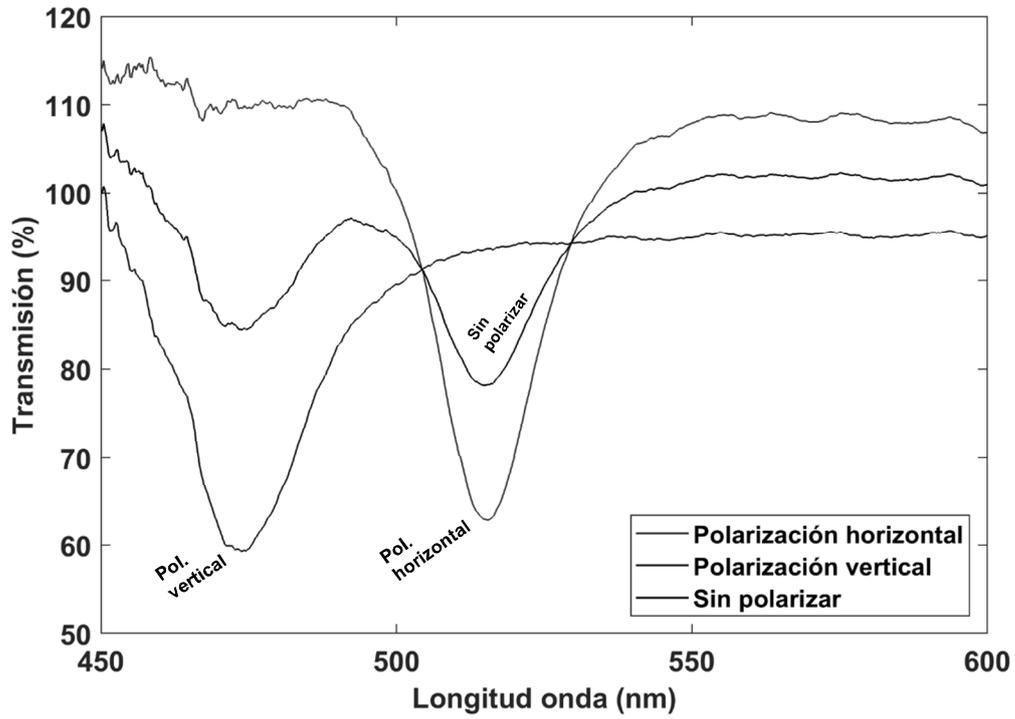


Fig. 3

Espectros en función del índice de refracción (polarización vertical)

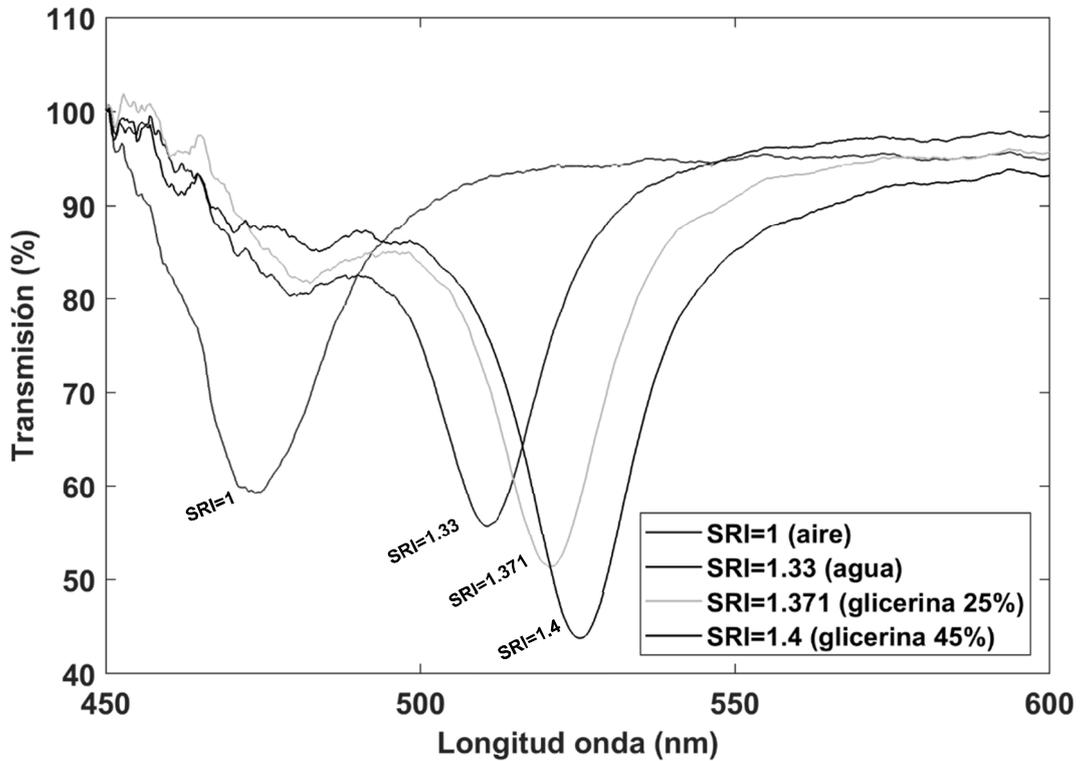


Fig. 4

Espectros en función del índice de refracción (polarización horizontal)

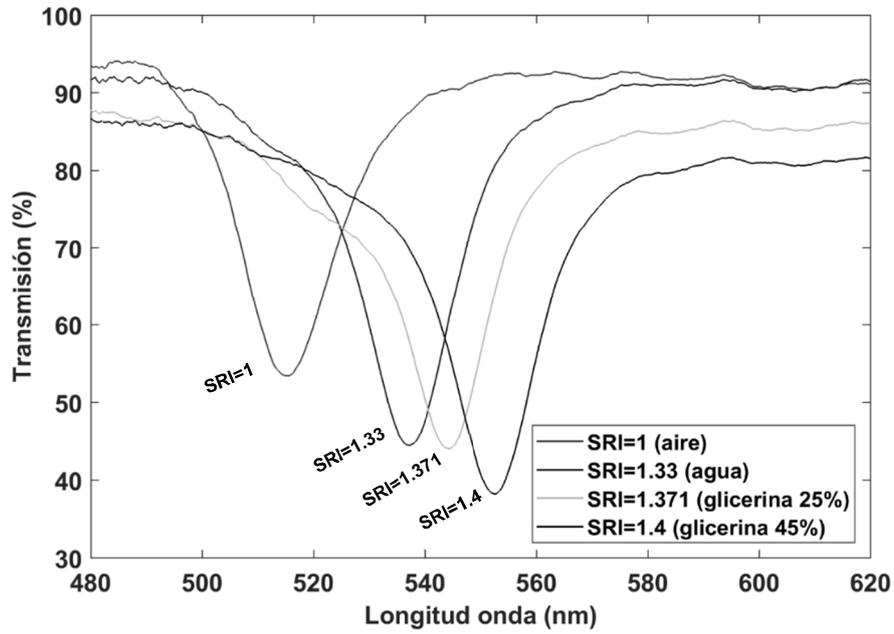


Fig. 5

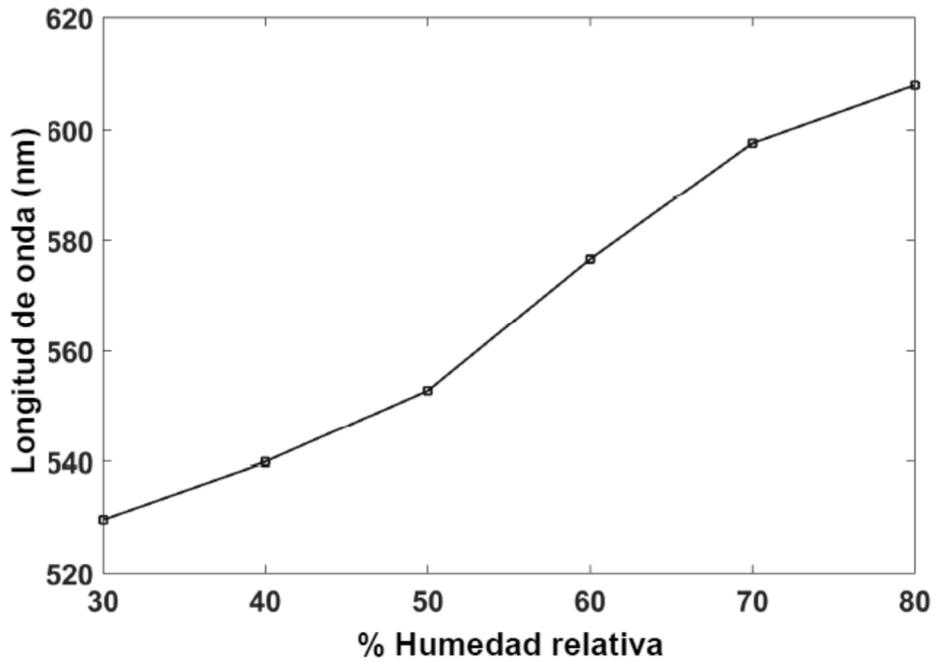


Fig. 6

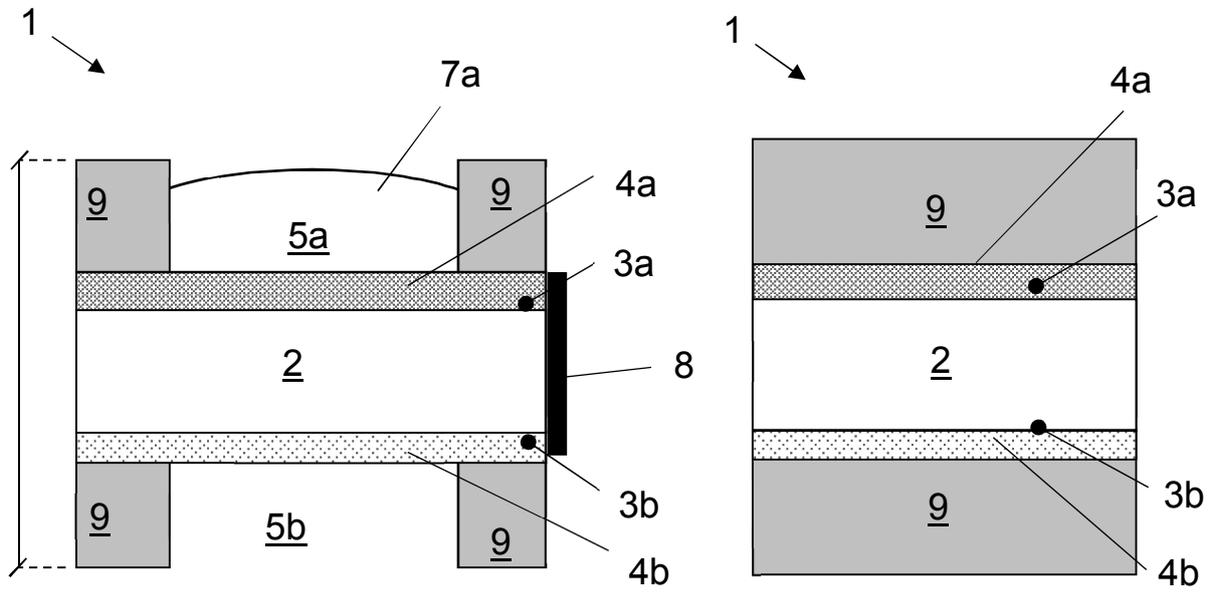


Fig. 7a

Fig. 7b

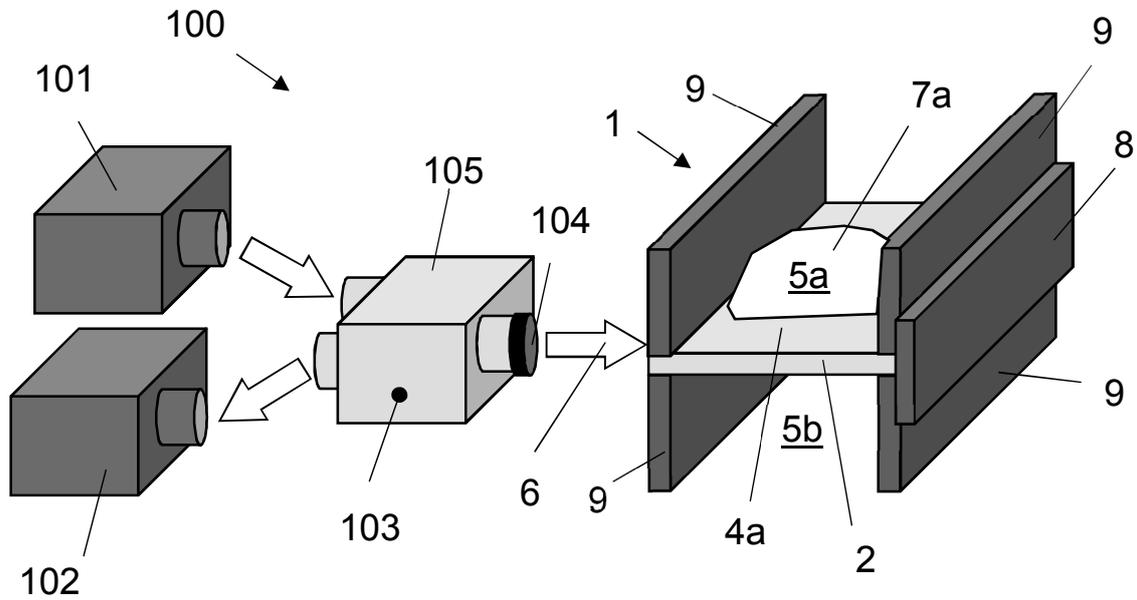


Fig. 8

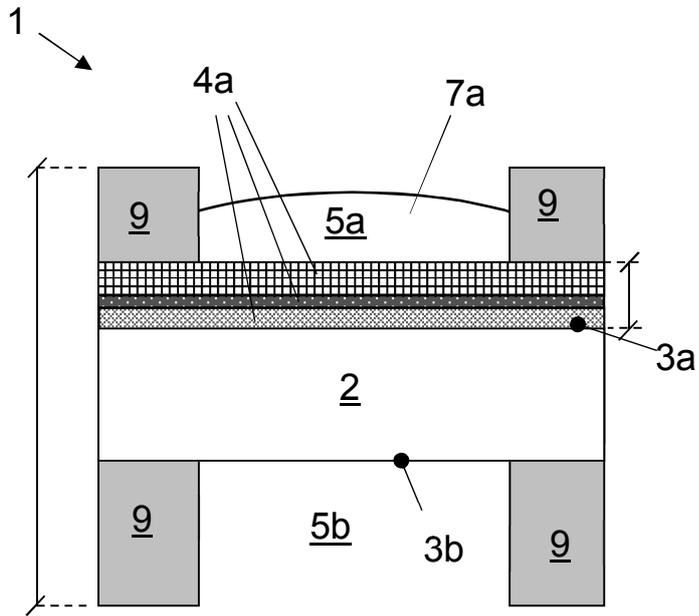


Fig. 9a

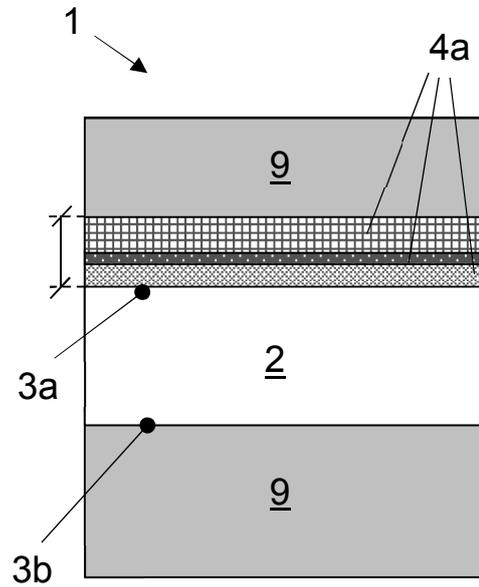


Fig. 9b

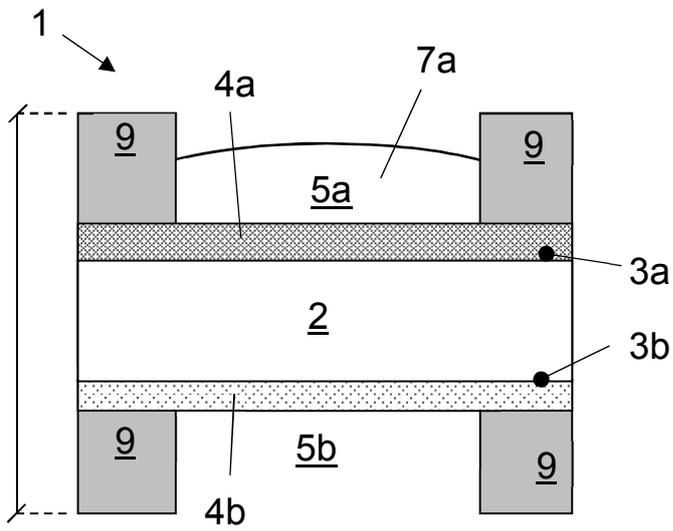


Fig. 10a

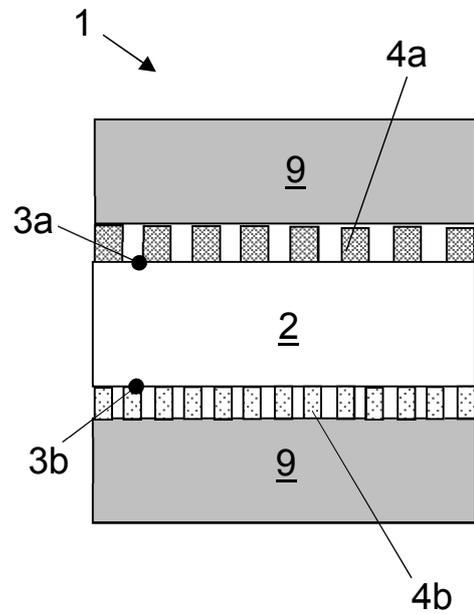


Fig. 10b

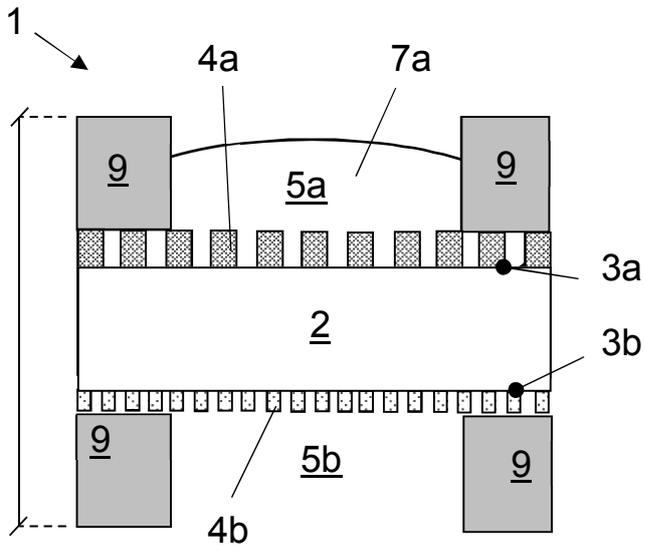


Fig. 11a

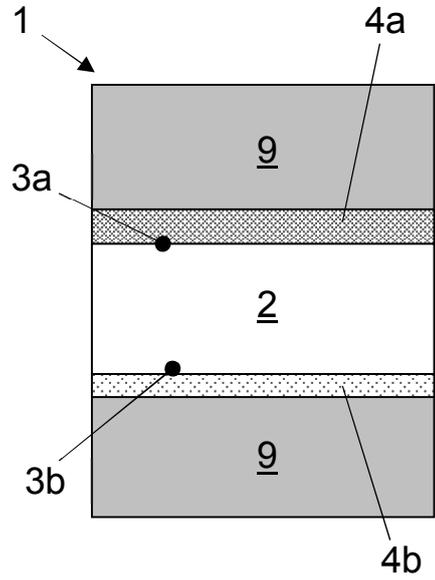


Fig. 11b

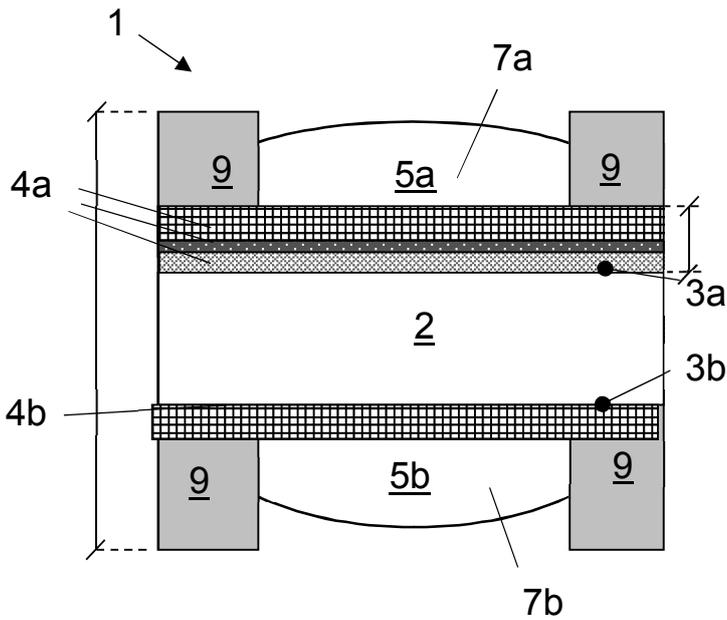


Fig. 12a

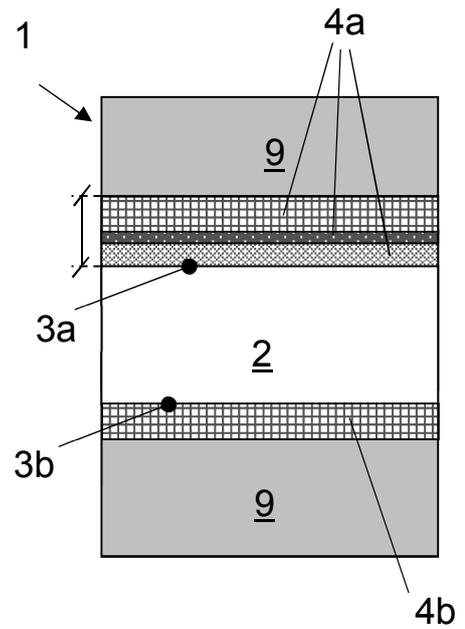


Fig. 12b



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ②¹ N.º solicitud: 201831185
②² Fecha de presentación de la solicitud: 05.12.2018
③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤¹ Int. Cl.: **G02B6/10** (2006.01)
G02B1/111 (2015.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	SOCORRO A B et al. Fiber-optic biosensor based on lossy mode resonances. Sensors and Actuators B: Chemical: international journal devoted to research and development of physical and chemical transducers Elsevier BV, NL. McDonagh Colette; MacCraith Brian, 30/11/2002, Vol. 174, Páginas 263 - 269, ISSN 0925-4005, <DOI: 10.1016/j.snb.2012.07.039>	1-20
A	WANG QI et al. A comprehensive review of lossy mode resonance-based fiber optic sensors. Optics and Lasers in Engineering Elsevier, AMSTERDAM, NL. Kulkarni Rishikesh; Rastogi Pramod, 30/11/2002, Vol. 100, Páginas 47 - 60, ISSN 0143-8166, <DOI: 10.1016/j.optlaseng.2017.07.009>	1-20
A	USHA SRUTHI P et al. Semiconductor metal oxide/polymer based fiber optic lossy mode resonance sensors: A contemporary study. Optical Fiber Technology, 20180713 ELSEVIER, AMSTERDAM, NL. Lee Byoungho; Albert Jacques; Galtarossa Andrea; Lopez Higuera Jose Miguel, 13/07/2018, Vol. 45, Páginas 146 - 166, ISSN 1068-5200, <DOI: 10.1016/j.yofte.2018.07.003>	1-20

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 n.º:

Fecha de realización del informe
26.02.2019

Examinador
J. Botella Maldonado

Página
1/2

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

G02B

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, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.