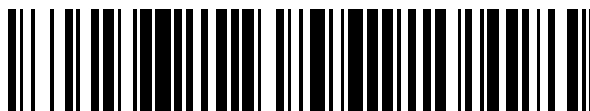


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 848**

51 Int. Cl.:
G02F 1/01 (2006.01)
G01N 21/45 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09151982 .7**
96 Fecha de presentación: **03.02.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2214049**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.08.2010**

54 Título: **INTERFERÓMETRO ÓPTICO DE GUÍA DE ONDAS INTEGRADO.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
09.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
09.02.2012

73 Titular/es:
OPTISENSE B.V.
HENGELSESTRAAT 705
7521 PA ENSCHEDE, NL

72 Inventor/es:
Klein Koerkamp, Hermanus Marcellinus Maria;
Koster, Tonnis Meindert y
Diemeer, Martinus Bernardus Johannes

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 373 848 T3

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

DESCRIPCIÓN

Interferómetro óptico de guía de ondas integrado

La presente invención se refiere a un sensor de interferómetro óptico de guía de ondas integrado para la detección evanescente de cantidades químicas y/o físicas, que comprende un sustrato que lleva una estructura en capas de guía de ondas provista de

- una primera capa interior de guía de ondas intercalada entre dos primeras capas de revestimiento formadas por una primera capa de revestimiento inferior y una primera capa de revestimiento superior, de un índice de refracción más bajo que la primera capa interior de guía de ondas,
- una segunda capa interior de guía de ondas intercalada entre dos segundas capas de revestimiento formada por una segunda capa de revestimiento inferior y una segunda capa de revestimiento superior, de un índice de refracción más bajo que la segunda capa interior de guía de ondas,
- un divisor y un combinador para acoplar ópticamente dichas primera y segunda capas interiores de guía de ondas en una primera y segunda juntas, respectivamente.

Se conoce un interferómetro óptico de guía de ondas integrado como tal por la publicación de patente de Estados Unidos nº 6.240.226 (Lucent Technologies, Inc.). El interferómetro óptico de guía de ondas integrado descrito en la misma es del tipo Mach-Zehnder. Este conocido interferómetro de Mach-Zehnder incluye un primer canal interior de guía de ondas y un segundo canal interior de guía de ondas, unidos ambos de manera estrecha en un primer acoplador direccional y un segundo acoplador direccional. El primer canal interior de guía de ondas está rodeado en todos los lados no en contacto con el sustrato por un primer revestimiento, y el segundo canal interior de guía de ondas está rodeado en todos los lados no en contacto con el sustrato por un segundo revestimiento. El primer revestimiento incluye una sección de un revestimiento polimérico en contacto, en todos los lados no en contacto con el sustrato, con el primer canal interior de guía de ondas entre el primer y el segundo acopladores direccionales. Fuera de la sección polimérica, el primer canal interior de guía de ondas está rodeado por un material de revestimiento estándar. El segundo canal interior de guía de ondas es similar al primer canal interior de guía de ondas, excepto que se emplea un material de revestimiento estándar en toda su longitud. El revestimiento polimérico tiene un índice de refracción que varía con la temperatura. La temperatura de la sección del revestimiento polimérico se ajusta para causar un cambio correspondiente en la fase de la luz que fluye a través del primer canal interior de guía de ondas limitado por el revestimiento polimérico para efectuar un cambio o modulación de la luz deseado.

Es de hacer notar que la presente invención no está limitada al interferómetro de Mach-Zehnder, sino que también se extiende a otros interferómetros, tales como un llamado interferómetro de Michelson o un llamado interferómetro de Young. Sin embargo, la presente invención se refiere particularmente a un llamado interferómetro óptico de guía de ondas plana, que es un interferómetro que consiste en una fina película interior transparente intercalada entre capas de revestimiento transparentes con índices de refracción más bajos que confinan la luz que se propaga en la película interior de tal modo que está presente un gran campo de detección óptica evanescente en las capas de revestimiento, en donde tal apilamiento de la guía de ondas está preferiblemente depositado sobre un sustrato liso y plano con el propósito de proporcionar estabilidad mecánica. Además, en la estructura de la presente invención, el divisor y el combinador no sólo se refieren a un primer y un segundo acoplador direccional, como se describe en dicha publicación de patente de Estados Unidos nº 6.240.226, sino que también se refieren a, por ejemplo, un primer cubo divisor de rayos microóptico y un segundo cubo divisor de rayos microóptico, o un primer divisor ramificado en Y y un segundo divisor ramificado en Y, respectivamente. Finalmente, el término "detección evanescente", como se usa anteriormente, es un término bien conocido en la técnica, que es aplicar un material químicamente sensible como capa de revestimiento dentro de una ventana obtenida retirando localmente la capa de revestimiento aplicada originalmente.

Una desventaja de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado conocido por dicha publicación de patente de Estados Unidos nº 6.240.226 es que, dependiendo del campo técnico de uso, la eficacia y precisión en aplicaciones de detección no cumplen los deseos de hoy en día. Para aplicaciones de detección se requiere un campo evanescente grande, lo cual fuerza a que el núcleo sea fino y predominantemente plano, sin estructuración de crestas o con sólo una estructuración de crestas superficial. Una sección de revestimiento polimérica cubrirá por tanto sólo la parte superior del núcleo de guía de ondas. Por consiguiente, la modulación termoóptica no será tan eficaz para un revestimiento polimérico que rodee el núcleo en todos los lados no en contacto con el sustrato.

Por lo tanto, es un objetivo de la invención mejorar la técnica anterior, y para lograr ese objetivo un interferómetro del tipo mencionado en el preámbulo según la invención comprende:

- una sección de un material de revestimiento polimérico incluido en una de las primeras capas superiores de revestimiento y/o incluida en una de las segundas capas superiores de revestimiento, siendo aplicado el material de revestimiento polimérico dentro de una ventana entre la primera y segunda juntas retirando localmente una de las primeras capas superiores de revestimiento y/o una de las segundas capas superiores de revestimiento aplicadas originalmente, caracterizada porque dicho material de revestimiento polimérico tiene un índice de refracción entre 1,46 y 2,5 que varía con la temperatura, y porque el sensor comprende

- medios para subir y bajar la temperatura de dicho material de revestimiento polimérico, formando el material de revestimiento polimérico de este modo una sección de modulación adaptada para cambiar la fase de la radiación que se propaga a través de dichas primera y segunda capas interiores de guía de ondas.

5 Un rasgo importante es, por tanto, que se obtiene una sección de modulación por medio de una estructura de capas asimétrica equipada con dicha sección de material de revestimiento polimérico que tiene un índice de refracción más alto que la capa de revestimiento inferior, seleccionado de tal modo que el campo evanescente está cerca del "corte". Esto significa que el campo evanescente es empujado hacia dicha sección del material de revestimiento polimérico, mientras que los cambios térmicos en su índice de refracción tendrán un fuerte efecto sobre el índice de refracción efectivo de la estructura.

10 La publicación de patente de Estados Unidos nº 2006/0165340 (Wu) describe un dispositivo de guía de ondas termoóptico que incluye un sustrato, una guía de ondas óptica y un calentador de película fina que ejerce un efecto termoóptico sobre la guía de ondas óptica. El dispositivo de guía de ondas termoóptico incluye además una ranura de separación térmica dispuesta en paralelo con un núcleo de guía de ondas óptica a lo largo de dos lados del núcleo de guía de ondas óptica que corresponde al calentador de película fina. En el método de fabricación del dispositivo de guía de ondas termoóptico, la ranura de separación térmica dispuesta cerca del núcleo de guía de ondas óptica se forma junto con la guía de ondas óptica, en un procedimiento de formación de la guía de ondas óptica sobre el sustrato usando un fotopolímero.

15 La publicación de patente francesa nº 2.774.887 (Centre Nat. Rech. Scient.) describe un sensor de interferómetro de Mach-Zehnder provisto de una ventana de detección llena de un material polimérico y que incluye además una sección de modulación independiente formada por un modulador óptico acústico.

20 Particularmente, dicho interferómetro acorde con la invención satisface las ecuaciones siguientes en dicha sección de modulación:

$$(1) \quad n_c > n_s$$

$$(2) \quad V = 2\pi (h/\lambda) (n_f^2 - n_c^2)^{1/2}$$

25 (3) $r = (n_f^2 - n_s^2) / (n_f^2 - n_c^2)$

- siendo n_c el índice de refracción de la primera capa de revestimiento superior y/o la segunda capa de revestimiento superior;
- siendo n_s el índice de refracción de la primera capa de revestimiento inferior y/o la segunda capa de revestimiento inferior;
- 30 - siendo n_f el índice de refracción de la primera capa interior y/o la segunda capa interior;
- siendo h el grosor de la primera capa interior y/o la segunda capa interior;
- siendo λ la longitud de onda óptica;
- variando V entre 0,1 y 4 para $r > 1,1$.

35 Un rasgo importante de una realización preferida del presente interferómetro es una optimización de la eficacia termoóptica (energía requerida para un cambio en el índice de refracción dado) mediante una elección del índice de refracción del revestimiento polimérico, n_c , de tal modo que el modo óptico tiene un gran campo evanescente en ese revestimiento. Las condiciones para eso son como sigue:

40 1) El índice de refracción del revestimiento polimérico, n_c , es cercano al del núcleo n_f . Esto induce el corte del modo con una fuerte expansión del campo fuera del núcleo. Una medida para esta condición es el valor del llamado parámetro V : $V = 2\pi (h/\lambda) (n_f^2 - n_c^2)^{1/2}$.

Para una guía de ondas simétrica que tiene un índice de refracción idéntico para el revestimiento polimérico superior y el revestimiento polimérico inferior, la condición de corte para el modo fundamental es a $V = 0$. El modo de primer orden puede existir partiendo de $V = \pi$ (nótese que la guía de ondas debe permanecer monomodal).

45 Para una guía de ondas altamente asimétrica, que tiene una gran diferencia de índice de refracción entre el revestimiento polimérico superior y el revestimiento polimérico inferior, n_s , el corte del modo fundamental se produce a $V = \pi/2$. El modo de primer orden puede existir partiendo de $V = 3\pi/2$.

50 2) La diferencia de índice de refracción entre el revestimiento polimérico superior y el revestimiento polimérico inferior, n_s , es grande (asimetría alta). Esto induce que la expansión del campo se produzca exclusivamente en el revestimiento polimérico. Una medida cualitativa para esta condición es la relación de la energía óptica en los límites del núcleo con el revestimiento polimérico (P_c) y con el revestimiento inferior (P_s), Para los modos TE esta relación, P_c/P_s , es:

$$P_c/P_s = r = (n_f^2 - n_s^2) / (n_f^2 - n_c^2)$$

Por lo tanto, una elección adecuada para V sería en el intervalo entre $V = 0,1$ y $V = 4$, en combinación con un valor para r en el intervalo de $r > 1,1$.

5 Preferiblemente, dicho material de revestimiento polimérico está hecho al menos sustancialmente de un material seleccionado del grupo que consiste en poli(metacrilato de pentabromofenilo), poli(acrilato de pentabromofenilo), poli(metacrilato de pentabromobencilo), poli(acrilato de pentabromobencilo), poli(metacrilato de 2,4,6-tribromofenilo), poli(sulfuro de vinilfenilo), poli(metacrilato de 1-naftilo), poli(2-viniltiofeno), poli(2,6-dicloroestireno), poli(N-vinilftalámi-
10 da), poli(2-cloroestireno) y poli(metacrilato de pentaclorofenilo). En una alternativa, dicho material de revestimiento polimérico está hecho al menos sustancialmente de un material seleccionado del grupo que consiste en un polímero basado en anillos aromáticos de benceno y un polímero basado en anillos aromáticos condensados, tal como un monómero epoxi SU-8 o una poliimida aromática. Preferiblemente, se han añadido partículas de alto índice de refracción al material de dicho material de revestimiento polimérico a fin de aumentar el índice de refracción del mismo.

15 Preferiblemente, dicha capa de revestimiento inferior está hecha de sílice cultivada térmicamente o depositada por vapor químico (CVD, por sus siglas en inglés), sílice que contiene vidrios multicomponentes, vidrios de fluoruro, polímeros orgánicos que contienen silicio o polímeros híbridos orgánicos-inorgánicos que contienen silicio o polímeros orgánicos que contienen flúor o polímeros híbridos orgánicos-inorgánicos que contienen flúor.

20 En una realización preferida de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con la invención, dichos medios para subir y bajar la temperatura de dicho material de revestimiento polimérico comprenden un calentador y/o un enfriador adyacente a la sección de dicho material de revestimiento polimérico. Dicho calentador y/o enfriador puede incluir bandas resistivas eléctricas calentadoras o elementos termoelectrónicos de enfriamiento/calentamiento que están dispuestos cerca de dicha(s) sección(es) polimérica(s).

25 En una realización preferida adicional de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con la invención, dicha primera capa interior de guía de ondas y/o dicha segunda capa interior de guía de ondas está(n) provista(s) de un perfil en la forma de una cresta.

30 En una realización preferida adicional de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con la invención, el índice de refracción de dicha primera capa interior de guía de ondas y/o dicha segunda capa interior de guía de ondas se selecciona en el intervalo entre 1,5 y 2,5. Particularmente, dicha primera capa interior de guía de ondas y/o dicha segunda capa interior de guía de ondas está(n) hecha(s) al menos sustancialmente de un material seleccionado del grupo que consiste en Si_3N_4 , TiO_2 , Ta_2O_3 , ZrO_2 , Al_2O_3 , Y_2O_3 y Nb_2O_5 .

35 En una realización preferida adicional de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con la invención, se aplica una espuma sobre dichos medios para subir y bajar la temperatura de dicho material de revestimiento polimérico.

40 El presente interferómetro podría ser sensible para turbulencias de aire por encima de los medios para subir y bajar la temperatura de dicho material de revestimiento polimérico, esto es, los calentadores. Estas inducen fluctuaciones de señal interferentes. Esto puede ser evitado aplicando capas finas de espuma de poliuretano (PUR) como aislantes térmicos sobre la parte superior de los calentadores. La espuma de PUR es un excelente aislante térmico. La capa de espuma puede ser aplicada dejando gotear una disolución prepolimérica diluida de PUR sobre los calentadores y dejando curar esto como capa de espuma por absorción de humedad de la atmósfera ambiente. Alternativamente, los calentadores pueden ser cubiertos con una cubierta de un material más denso, a la vez que se deja un hueco para el aire, térmicamente aislante, estrecho, entre la superficie de los calentadores y la cubierta.

45 En una realización preferida adicional de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con esta invención, se proporcionan medios para la modulación eléctrica de una señal de dichos medios para subir y bajar la temperatura de dicho material de revestimiento polimérico. Se puede usar un principio de modulación avanzado, llamado modulación serrodyne, para obtener una respuesta del presente interferómetro con una alta sensibilidad. El procesamiento de las señales serrodyne requiere una señal de salida sinusoidal a fin de realizar un análisis de Fourier para la determinación de la fase óptica. El calentador proporciona principalmente una modulación de raíz cuadrada en respuesta a un voltaje aplicado. Por lo tanto, un voltaje de modulación optimizado de tal modo que se obtiene una modulación óptica sinusoidal, puede ser codificado en una tabla de búsqueda y por medio de un conversor digital/analógico enviado a un circuito electrónico. Usando diodos, los voltajes positivos y negativos son enviados entonces a circuitos eléctricos amplificadores independientes que manejan los calentadores eléctricos. Esta manera, que usa una única señal de modulación de entrada, derivada de una única tabla de búsqueda, se puede usar para manejar secuencialmente los calentadores de los dos moduladores termoopticos del presente interferómetro a fin de obtener la respuesta óptica sinusoidal, compensando de este modo el comportamiento dependiente del voltaje no lineal del efecto termooptico. También, la influencia de la temperatura sobre la resistencia de los calentadores puede ser compensada por un diseño correcto de la tabla de búsqueda. En lugar de dos elementos calentadores también puede estar provisto un elemento calentador.

55 En una realización preferida adicional de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con la

- invención, se usa una banda de metal de polarización como dicho medio para subir y bajar la temperatura de dicho material de revestimiento polimérico. El presente interferómetro funciona bien sólo con uno de los dos posibles estados de polarización de la luz (TE y TM). La fibra óptica que entra en el interferómetro entrega ambas polarizaciones. Por lo tanto, se prefiere un supresor de polarizaciones. Esto se podría hacer por absorción selectiva de una de las polarizaciones (TM) en el material de sustrato de Si en la sección de transporte del interferómetro. Esto proporciona una atenuación de < 10 db/cm. Se puede obtener un valor mucho más alto (supresor más corto) por absorción selectiva del modo TM en una capa de metal. En el interferómetro esta puede ser la capa metálica del calentador. La funcionalidad del calentador y del supresor puede ser desacoplada aplicando estructuras de metal multicapas (p.ej., Cr/Au, con el Cr para suprimir y el Au para calentar).
- 5
- 10 La presente invención también se refiere al uso de un interferómetro óptico de guía de ondas integrado de acuerdo con la invención en una varilla medidora.
- La invención será aclarada adicionalmente con la ayuda de un dibujo que se refiere a una realización preferida de un interferómetro óptico integrado de acuerdo con la invención, en el que
- la figura 1 es un trazado esquemático de un interferómetro óptico integrado estándar del tipo Mach-Zehnder;
- 15
- la figura 2 es un trazado esquemático del funcionamiento del interferómetro estándar de la figura 1 para la detección evanescente de cantidades químicas y/o físicas;
 - la figura 3 es un trazado esquemático del interferómetro de la figura 2, pero adaptado ahora de acuerdo con la invención;
 - la figura 4 se refiere a un uso específico del interferómetro de la figura 3, esto es, como varilla medidora.
- 20 El interferómetro 1 de la figura 1 consiste en una guía de ondas 2 de canal de entrada que se divide en dos ramas 3, 4 idénticas. Después de una longitud bien definida, estas dos ramas 3, 4 se combinan de nuevo para formar la guía de ondas 5 de salida. La luz que entra en la guía de ondas 2 de entrada se divide en partes iguales sobre las dos ramas 3, 4 y se combina de nuevo en la guía de ondas 5 de salida. La sección transversal del canal óptico de guía de ondas del interferómetro 1 consiste en una capa interior de alto índice de refracción con un perfil de cresta que está intercalada entre capas amortiguadoras de índice de refracción bajo. En caso de guías de ondas enterradas, el campo óptico está contenido completamente en las capas interior y amortiguadoras, y la propagación de la luz no es afectada por perturbaciones del entorno.
- 25
- Con referencia a la figura 2, usando técnicas de grabado, un revestimiento 6 superior es retirado localmente por encima de las guías de ondas de canal en posiciones bien definidas en ambas ramas 3, 4 del interferómetro 1. En estas llamadas ventanas 7, 8, el campo evanescente de la luz que viaja a través de las guías de ondas de canal subyacentes, se extiende hacia el entorno por encima del interferómetro 1 y se vuelve susceptible a los cambios del entorno. Una capa de interfaz que se une de manera específica a moléculas de analitos de interés está provista sobre la superficie de la ventana 7 de detección. Para mantener el interferómetro 1 equilibrado, la ventana 8 de referencia está provista de una capa de interfaz que no muestra unión específica. Cuando el material de muestra se hace fluir sobre ambas ventanas de detección y de referencia 7, 8, la unión específica de las moléculas de analito a la capa interfaz en la ventana 7 de detección es sondada por el campo evanescente de la luz que viaja a través de la rama 3 de detección. Esto causa un cambio en la velocidad de propagación de la luz, dando como resultado una diferencia de fase entre la luz que viene de la rama 3 de detección y la rama 4 de referencia en la guía de ondas 5 de salida. La diferencia de fase inducida es proporcional a la cantidad de moléculas de analito que se unen a la capa de interfaz y da como resultado un cambio periódico en la intensidad de la luz en la guía de ondas 5 de salida.
- 30
- Con referencia a la figura 3, acorde con la invención, usando técnicas de grabado, un revestimiento 6 superior es retirado localmente por encima de los canales de guía de ondas en posiciones bien definidas en ambas ramas 3, 4. Estas llamadas secciones de modulación están llenas de un material 9 de revestimiento polimérico de alto índice de refracción, que va a tener un índice de refracción entre 1,46 y 2,5 que varía con la temperatura. Sobre este material 9 de revestimiento polimérico, está dispuesta una banda metálica 10 calentadora para cambiar el índice de refracción del polímero tras un calentamiento o enfriamiento. Esto cambiará la fase de la luz que fluye a través del canal para efectuar una modulación de la luz en el interferómetro. Usando un principio de modulación avanzado (modulación serrodyne) en combinación con la sección activa termoóptica en el interferómetro 1 y la electrónica relacionada, la intensidad de salida del interferómetro 1 es transformada en una señal de respuesta del sensor que es igual a la diferencia de fase inducida causada por la unión específica de las moléculas de analito a la capa interfaz en la ventana 7 de detección.
- 35
- 40
- 45
- 50
- La figura 4a muestra un uso específico del presente interferómetro mostrado en la figura 3, a saber, como una varilla medidora 1 con moduladores 11, 12 termoópticos. Este interferómetro está basado en un interferómetro de Mach-Zehnder que tiene guías de onda que están desviadas de vuelta al borde de entrada del chip usando un espejo 13 abatible o una guía de ondas curvada. Como resultado, el presente interferómetro es muy compacto y se usa, como se muestra, en una aplicación de varilla medidora. En otras palabras, el extremo del sensor puede ser introducido en un recipiente 14 lleno con una cantidad (pequeña) de una sustancia 15 a ser analizada. La figura 4b muestra estructuras de varillas medidoras alternativas.
- 55

REIVINDICACIONES

1. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado para la detección evanescente de cantidades químicas y/o físicas, que comprende un sustrato que lleva una estructura en capas de guía de ondas provista de

- 5 - una primera capa interior de guía de ondas intercalada entre dos primeras capas de revestimiento formadas en esta secuencia partiendo del sustrato por una primera capa (6) de revestimiento inferior y una primera capa de revestimiento superior, de un índice de refracción más bajo que la primera capa interior de guía de ondas,
- 10 - una segunda capa interior de guía de ondas intercalada entre dos segundas capas de revestimiento formadas en esta secuencia partiendo del sustrato por una segunda capa (6) de revestimiento inferior y una segunda capa de revestimiento superior, de un índice de refracción más bajo que la segunda capa interior de guía de ondas,
- 15 - un divisor y un combinador para acoplar ópticamente dichas primera y segunda capas interiores de guía de ondas en una primera y segunda juntas, respectivamente,
- 20 - una sección de un material (9) de revestimiento polimérico incluido en una de las primeras capas (6) de revestimiento superior y/o incluido en una de las segundas capas (6) de revestimiento superior, siendo el material (9) de revestimiento polimérico aplicado dentro de una ventana (7, 8) entre la primera y segunda juntas retirando localmente una de las primeras capas (6) de revestimiento y/o una de las segundas capas (6) de revestimiento aplicadas originalmente, caracterizada porque dicho material (9) de revestimiento polimérico tiene un índice de refracción entre 1,46 y 2,5 que varía con la temperatura, y porque el sensor comprende medios (10) para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico, formando el material de revestimiento polimérico de este modo una sección de modulación adaptada para cambiar la fase de la radiación que se propaga a través de dichas primera y segunda capas interiores de guía de ondas.

2. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según la reivindicación 1, en el que dicho interferómetro (1) en dicha sección de modulación satisface las ecuaciones:

- 25 (1) $n_c > n_s$
- (2) $V = 2\pi (h/\lambda) (n_f^2 - n_c^2)^{1/2}$
- (3) $r = (n_f^2 - n_s^2) / (n_f^2 - n_c^2)$
- 30 - siendo n_c el índice de refracción de la primera capa de revestimiento superior y/o la segunda capa de revestimiento superior;
- siendo n_s el índice de refracción de la primera capa de revestimiento inferior y/o la segunda capa de revestimiento inferior;
- siendo n_f el índice de refracción de la primera capa interior y/o la segunda capa interior;
- siendo h el grosor de la primera capa interior y/o la segunda capa interior;
- siendo λ la longitud de onda óptica;
- variando V entre 0,1 y 4 para $r > 1,1$.

35 3. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según la reivindicación 1 o 2, en el que dicho material (9) de revestimiento polimérico está hecho al menos sustancialmente de un material seleccionado del grupo que consiste en poli(metacrilato de pentabromofenilo), poli(acrilato de pentabromofenilo), poli(metacrilato de pentabromobencilo), poli(acrilato de pentabromobencilo), poli(metacrilato de 2,4,6-tribromofenilo), poli(sulfuro de vinilfenilo), poli(metacrilato de 1-naftilo), poli(2-viniltiofeno), poli(2,6-dicloroestireno), poli(N-viniltalamida), poli(2-cloroestireno) y poli(metacrilato de pentaclorofenilo).

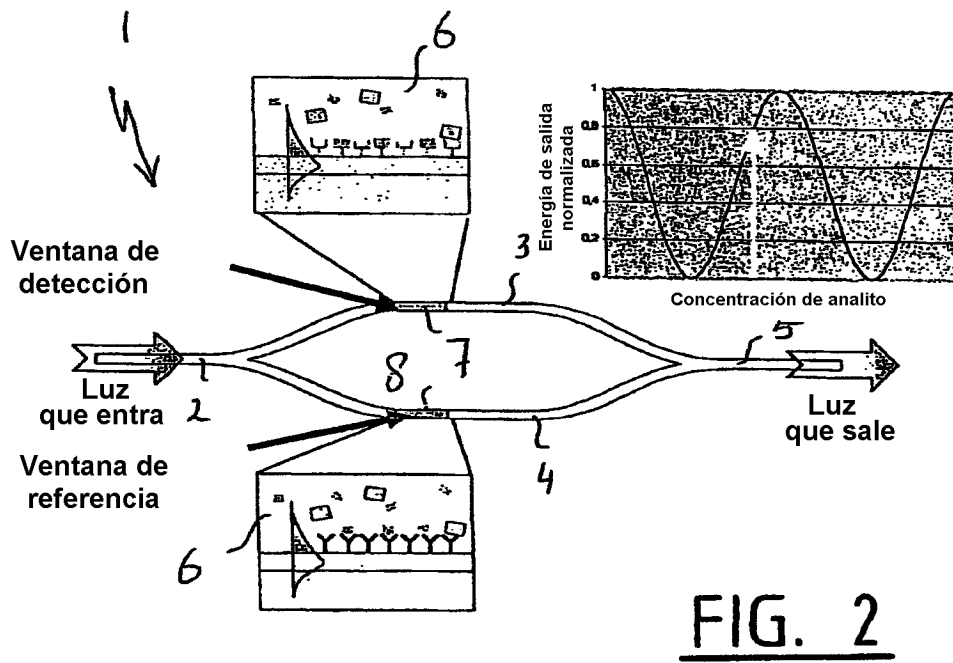
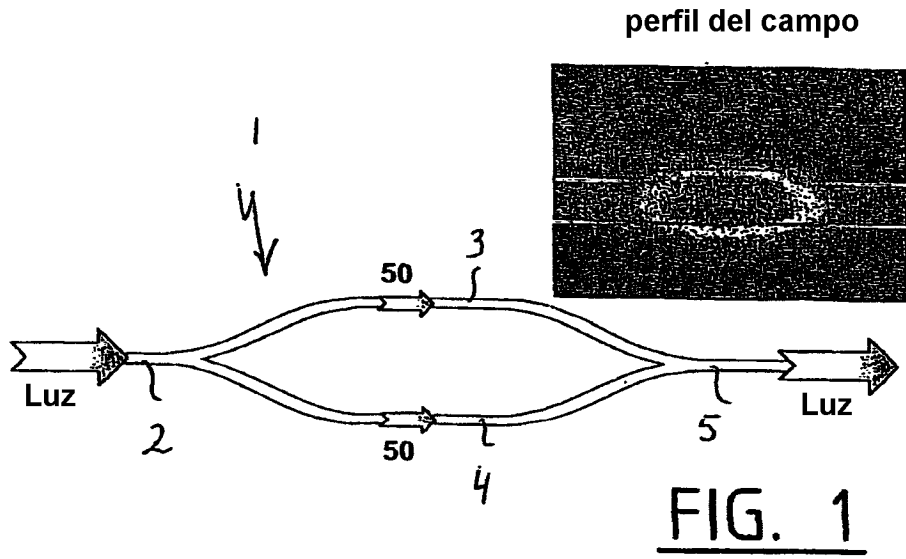
40 4. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según la reivindicación 1 o 2, en el que dicho material (9) de revestimiento polimérico está hecho al menos sustancialmente de un material seleccionado del grupo que consiste en un polímero basado en anillos aromáticos de benceno y un polímero basado en anillos aromáticos condensados.

45 5. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según la reivindicación 3 o 4, en el que se han añadido partículas de alto índice de refracción al material de dicho material (9) de revestimiento polimérico a fin de aumentar el índice de refracción del mismo.

50 6. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 5, en el que dichos medios (10) para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico comprenden un calentador y/o un enfriador adyacente a la sección de dicho material (9) de

revestimiento polimérico.

7. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 6, en el que dicha primera capa interior de guía de ondas y/o dicha segunda capa interior de guía de ondas está(n) provista(s) de un perfil en la forma de una cresta.
- 5 8. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 7, en el que el índice de refracción de dicha primera capa interior de guía de ondas y/o dicha segunda capa interior de guía de ondas se selecciona en el intervalo entre 1,5 y 2,5.
- 10 9. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 8, en el que dicha primera capa interior de guía de ondas y/o dicha segunda capa interior de guía de ondas está(n) hecha(s) al menos sustancialmente de un material seleccionado del grupo que consiste en Si_3N_4 , TiO_2 , Ta_2O_3 , ZrO_2 , Al_2O_3 , Y_2O_3 y Nb_2O_5 .
- 15 10. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 9, en el que dicha primera capa de revestimiento inferior y/o dicha segunda capa de revestimiento inferior está(n) hecha(s) al menos sustancialmente de sílice cultivada térmicamente o depositada por vapor químico (CVD), sílice que contiene vidrios multicomponentes, vidrios de fluoruro, polímeros orgánicos que contienen silicio o polímeros híbridos orgánicos-inorgánicos que contienen silicio o polímeros orgánicos que contienen flúor o polímeros híbridos orgánicos-inorgánicos que contienen flúor.
- 20 11. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 10, en el que dicho medio (10) para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico es una banda de metal polarizante.
12. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 11, que comprende además una espuma aplicada sobre dichos medios para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico.
- 25 13. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 11, que comprende además una cubierta aplicada sobre dichos medios (10) para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico, en donde es mantenido un hueco para el aire entre dicha cubierta y dichos medios (10) para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico.
- 30 14. Sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 13, en el que están provistos medios para la modulación eléctrica de una señal a ser aplicada a dichos medios (10) para subir y bajar la temperatura de dicho material (9) de revestimiento polimérico.
15. Uso de un sensor (1) de interferómetro óptico de guía de ondas integrado según cualquiera de las reivindicaciones precedentes 1 a 14 en una varilla medidora.



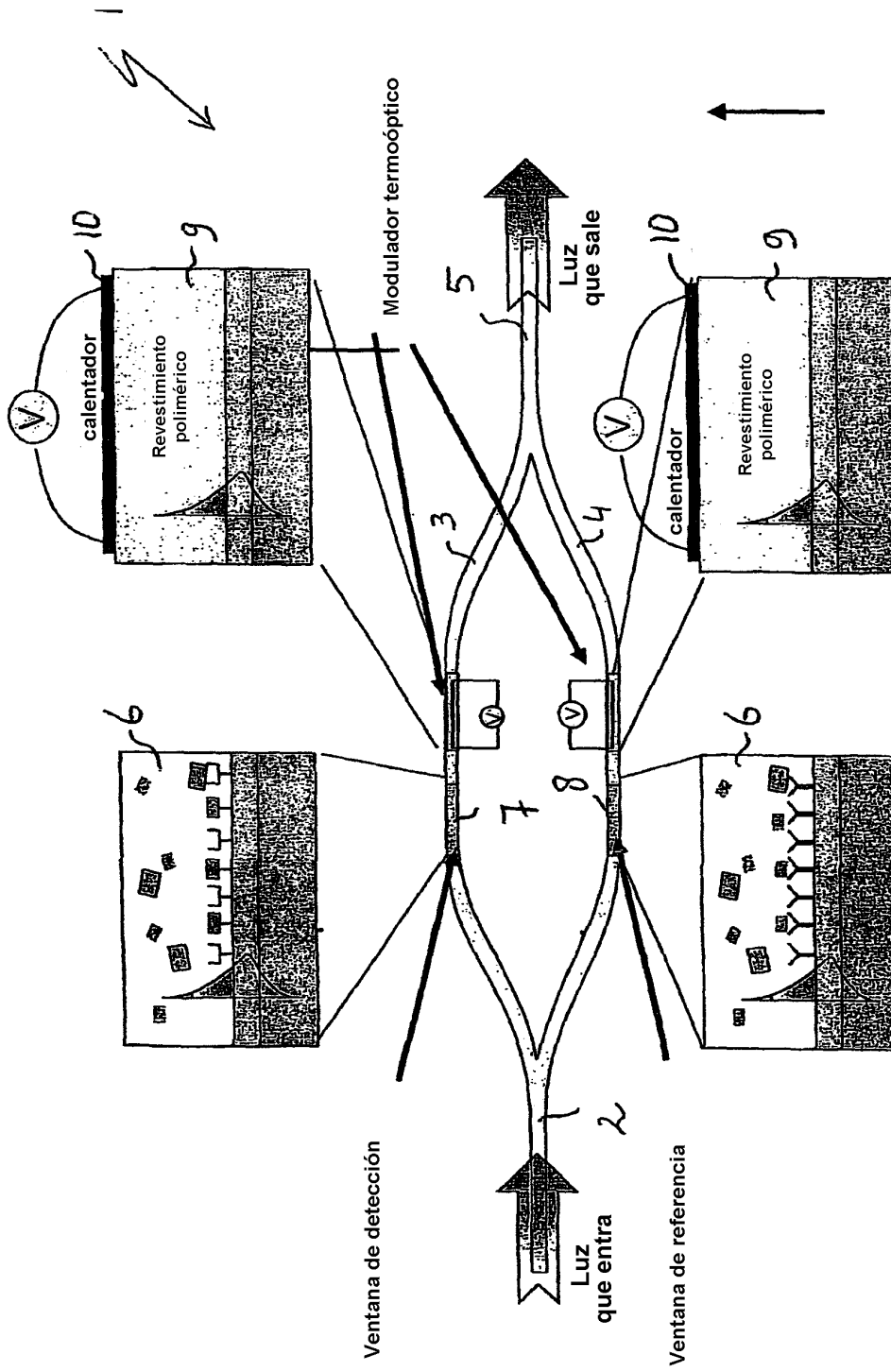


FIG. 3

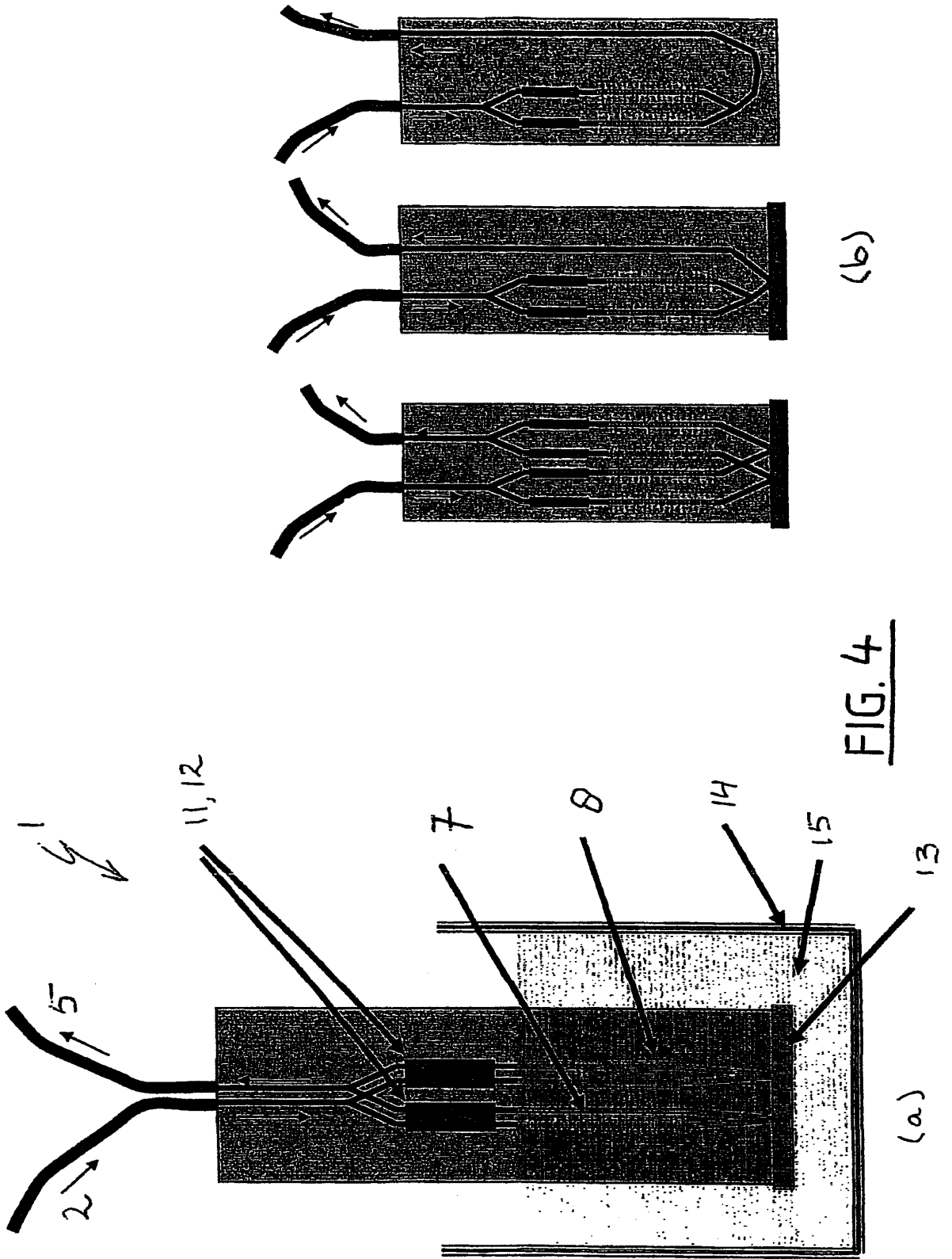


FIG. 4