



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 368 043**

⑫ Número de solicitud: 200801236

⑤① Int. Cl.:

G02B 6/34 (2006.01)

G01N 21/41 (2006.01)

G01N 21/84 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **29.04.2008**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **14.11.2011**

⑫③ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
14.11.2011

⑦① Solicitante/s:
**Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Serrano, 117
28006 Madrid, ES**

⑦② Inventor/es: **Zinoviev, Kirill;
Dominguez Horna, Carlos y
Lechuga Gómez, Laura María**

⑦④ Agente: **Carpintero López, Francisco**

⑤④ Título: **Acoplador de red de difracción, y sistema y procedimiento para la caracterización de un espécimen mediante su acoplamiento lumínico a éste.**

⑤⑦ Resumen:

Acoplador de red de difracción, y sistema y procedimiento para la caracterización de un espécimen mediante su acoplamiento lumínico a éste.

Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) que comprende una guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) con primera superficie (102, 202, 302, 402) y una segunda superficie (103, 203, 303, 403) opuesta a dicha primera superficie (102, 202, 302, 402), donde dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) tiene una red de difracción (110, 210, 310, 410) en una de dichas superficies. Adicionalmente comprende una película de polímero blando (120, 220, 320, 420) depositada sobre y fijada a dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401), donde dicha película de polímero blando (120, 220, 320, 420) rodea parcialmente dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) y deja despejada una de dichas dos superficies de dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401), siendo así el acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) montable sobre y temporalmente adherible a un espécimen (230, 330, 430) mediante la fijación de dicha película de polímero blando (120, 220, 320, 420) a dicho espécimen (230, 330, 430).

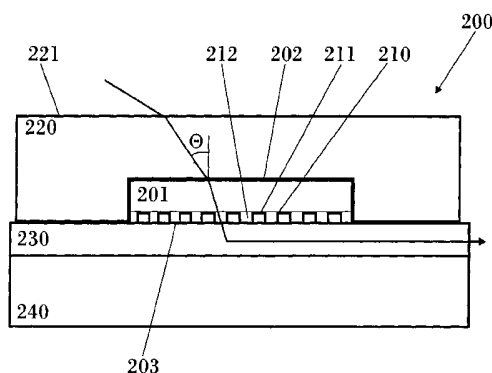


FIG. 2

ES 2 368 043 A1

DESCRIPCIÓN

Acoplador de red de difracción, y sistema y procedimiento para la caracterización de un espécimen mediante su acoplamiento lumínico a éste.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a dispositivos ópticos y, más en particular, a acopladores de red de difracción.

Estado de la técnica

Las rejillas o redes de difracción (del inglés, "grating") ópticas frecuentemente se usan para la excitación fuera del plano de modos de guíaonda. La luz acoplada se puede usar a continuación para propósitos diversos, tales como para transportar la energía electromagnética a lo largo de la guíaonda o para la caracterización de película delgada (del inglés, "thin film") por el denominado método "m-line". La excitación del modo de la guíaonda tiene lugar a un ángulo de incidencia muy específico que depende de los parámetros del sistema que comprende una estructura de difracción y una estructura de guíaonda.

Se han descrito diferentes formas de llevar a cabo la excitación fuera del plano de modos de la guíaonda, ya sea en rejillas o redes de difracción de difracción (del inglés, "diffraction gratings") embebidas en guíaondas o montadas sobre ellas o por medio de acopladores de prisma (del inglés, "prism couplers") montables, por ejemplo, por R. Ulrich y col., en "Measurement of Thin Film Parameters with a Prism Coupler", Appl. Opt. 12, 2901-2908 (1973) o por S. Monneret y col., "m-lines technique: prism coupling measurements and discussion of accuracy for homogeneous waveguides", J. Opt. A 2, 188-195 (2000).

Los acopladores de prisma, a pesar de su fiabilidad y su eficacia, tienen varias desventajas: el índice de refracción del prisma debe ser más alto que el índice de propagación efectivo del modo excitado. Este factor no permite utilizar prismas para el acoplamiento de luz en las guíaondas hechas de materiales con un elevado índice de refracción. Además, los prismas son voluminosos. Un prisma que se puede usar para trabajar con muchos chips consecutivamente, pero la integración de varios prismas en cada chip de pequeño tamaño para la fabricación en discontinuo es impracticable.

La longitud típica de los acopladores de red de difracción (del inglés, diffraction grating couplers, DGC) no supera los 100 μm , lo cual proporciona la capacidad de integrar muchos de ellos dentro de una pequeña área de unos pocos milímetros cuadrados. La excitación de un modo de la guíaonda en una rejilla o red de difracción poco profunda (con una profundidad de unas decenas de nanómetros) tiene lugar en un intervalo muy estrecho de ángulos de incidencia. El ángulo de excitación puede variar más de 10^{-1} grados en respuesta a una variación de 10^{-2} en el índice de refracción de una guíaonda o de la capa de revestimiento (del inglés, "cladding layer"). Esta propiedad se usa eficazmente en sensores y se puede aplicar a la caracterización de guíaondas. La determinación del índice de refracción complejo (del inglés, "complex refractive index") y el grosor de una guíaonda se pueden llevar a cabo tal como se realiza en el método "m-line" para el acoplamiento del prisma.

El problema principal con los acopladores de red de difracción de alta calidad es la complejidad de su fabricación, tal como la precisión elevada, la litografía de resolución submicrométrica, la caracterización de cada rejilla o red de difracción, la compatibilidad de las tecnologías para la fabricación de una corrugación con periodicidad submicrométrica y un sistema de circuitos de onda de luz en la misma muestra. Estos problemas incrementan los costes y complican la fabricación de guíaondas con las rejillas o redes de difracción embebidas. La fabricación de la corrugación en cada muestra, especialmente para la caracterización, es muy cara y laboriosa. Además, una vez fabricada, la rejilla o red de difracción no puede ser extraída de la guíaonda. Además, las redes de difracción generalmente poseen una baja eficacia de acoplamiento, a menos que se aplique un perfil de corrugación complicado o una estructura multicapa, lo cual es difícil de lograr con rejillas o redes de difracción embebidas en las guíaondas. Se ha informado de algunos intentos por R. Orobtschouk y col., en "High-efficiency light coupling in a sub-micrometric silicon- on- insulator waveguide", Appl. Opt. 39, 5773-5777 (2000), por S. Ura y col., en "Efficiency enhanced third order grating coupler", Appl. Opt. 38, 3003-3007 (1999) y por N. Destouches y col., en "99% efficiency measured in the - 1st order of a resonant grating", Opt. Express 13, 3230-3235 (2005).

Por otra parte, el PDMS, un elastómero viscoelástico de silicona, se usa ampliamente para litografía suave y se ha aplicado para la fabricación de dispositivos ópticos, incluyendo redes de difracción extensibles, como ha comunicado A.N. Simonov y col., en "Light scanner based on a viscoelastic stretchable grating", Opt. Lett. 30, 949-951 (2005).

Las rejillas o redes de difracción de elastómero puro han sido presentadas recientemente por Kocabas y col., en "High-refractive-index measurement with an elastomeric grating coupler", Opt. Lett. 30, 3150-3152, en donde se describe una impresión elastomérica que tiene una estructura de rejilla o red de difracción en su superficie (2005). Tales rejillas o redes evitan la fabricación de los acopladores embebidos en los circuitos ópticos integrados (del inglés, "integrated optical circuits", IOC). Su fabricación fue como sigue: se vertió polidimetilsiloxano líquido sobre un molde consistente en una rejilla o red de difracción maestra preparada por litografía de interferencia sobre una oblea de silicio (PDMS). Se colocó una oblea pulida sobre la superficie superior. Después de curar el PDMS líquido, la

impresión elastomérica de la rejilla o red se desprendió de la superficie de silicio. La técnica presentada sirve para medir un índice de refracción elevado de guiaondas planas de silicio sobre aislante (del inglés, "silicon-on-insulator", SOI) y permite que la impresión elastomérica se extraiga sin dañar la superficie de la guiaonda.

- 5 Sin embargo, este procedimiento tiene desventajas heredadas de la elasticidad del polímero, como ha comunicado Y. Xia y col., en "Soft Lithography", Angew Chem. Int. Ed. 37, 550-575 (1998): La periodicidad de la corrugación se puede distorsionar por varios factores, como la contracción térmica, el colapso lateral y otros. Como consecuencia, la rejilla o red de difracción debe ser lo suficientemente gruesa para evitar el colapso de la corrugación. Otra desventaja es que el índice de refracción del elastómero es fijo y bajo. Como resultado de esto, si la rejilla o red de difracción está
10 diseñada para el acoplamiento de luz dentro o fuera de la guiaonda, se producen longitudes de excitación del acoplador relativamente grandes, especialmente con un elevado confinamiento del modo.

Resumen de la invención

- 15 La presente invención trata de resolver los problemas mencionados anteriormente por medio de un acoplador de red de difracción que tiene una guiaonda fabricada de materiales ópticos duros, una red y una parte de polímero blando con el fin de fijar o montar la guiaonda en un sustrato o en el espécimen que ha de medirse o caracterizarse. Así, según la presente invención, se usa un elastómero sólo con el propósito del montaje. El dispositivo y el procedimiento
20 aseguran un contacto bueno y reproducible del IOC con el acoplador de red de difracción fabricado separadamente. La guiaonda y la red pueden estar especialmente diseñadas, fabricadas en discontinuo, fijadas a una película de polímero blando (como polidimetilsiloxano), cuidadosamente caracterizadas y luego instaladas sobre el sustrato o espécimen que ha de caracterizarse.

- 25 Un aspecto de la invención se refiere a un acoplador de red de difracción que comprende una guiaonda óptica con una primera superficie y una segunda superficie opuesta a dicha primera superficie, donde dicha guiaonda óptica tiene una red de difracción en una de dichas superficies. El acoplador adicionalmente comprende una película de polímero blando depositada sobre y fijada a dicha guiaonda óptica, donde dicha película de polímero blando rodea parcialmente dicha guiaonda óptica y deja despejada una de dichas dos superficies de dicha guiaonda óptica, siendo así el acoplador
30 de red de difracción montable sobre y temporalmente adherible a un espécimen mediante la fijación de dicha película de polímero blando a dicho espécimen.

La película de polímero blando está hecha de poli(dimetilsiloxano).

- 35 Preferentemente, cuando el acoplador está montado sobre dicho espécimen, no hay hueco de aire entre dicho acoplador de red de difracción y dicho espécimen.

- Preferentemente, la red de difracción comprende una pluralidad de crestas, siendo controlables dichas crestas según un ángulo de incidencia de la luz. Dichas crestas son preferentemente de forma rectilínea.
40

- La red de difracción está preferentemente caracterizada por: el índice de refracción de dichas crestas, el índice de refracción de los huecos entre dichas crestas, su grosor, el perfil de dichas crestas y su período. La red de difracción está preferentemente diseñada de tal manera que su período satisface una condición de correspondencia de fase para la excitación de al menos un modo de propagación TE y un modo de propagación TM.
45

- En una realización particular, la guiaonda óptica comprende al menos una capa. Esta guiaonda óptica puede ser una guiaonda plana. Esta guiaonda óptica puede estar hecha de al menos un material óptico duro. La guiaonda óptica está preferentemente caracterizada por su índice de refracción y su grosor.

- 50 La red de difracción está preferentemente grabada químicamente sobre dicha guiaonda óptica. La red de difracción está preferentemente hecha de un material diferente del material del que está hecha la capa de la guiaonda sobre la que se graba químicamente dicha red de difracción.

- En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema para la caracterización de un espécimen, que comprende: un acoplador de red de difracción como el anteriormente mencionado; un espécimen en el que está montado dicho acoplador de red de difracción por medio de la película de polímero blando de dicho acoplador de la red de difracción; y una fuente de luz para iluminar dicho acoplador de red de difracción; en el que dicho acoplador de red de difracción está configurado para acoplar luz procedente de dicha fuente de luz a dicho espécimen, excitando así al menos un modo en la guiaonda comprendida en dicho acoplador de red de difracción.
60

Preferentemente, el espécimen es un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o una pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato.

- 65 La presente invención también proporciona el uso del acoplador de red de difracción ya mencionado para medir el índice de refracción de un espécimen, siendo dicho espécimen un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o una pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato.

La presente invención también se refiere a un procedimiento de caracterización de un espécimen, que comprende las siguientes etapas: montar un acoplador de red de difracción sobre un espécimen, presionando la película de polímero blando de dicho acoplador de red de difracción contra dicho espécimen; excitar al menos un modo en la guíaonda comprendida en dicho acoplador de red de difracción iluminando dicho acoplador de red de difracción con un haz de luz emitido por un láser; barrer los ángulos de incidencia de dicho haz de luz emitida sobre dicho acoplador de red de difracción; registrar los ángulos de excitación de los modos de la guíaonda; calcular un cierto parámetro del espécimen usando técnicas de modelado. Preferentemente, el espécimen es un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato.

Las ventajas de la invención propuesta serán evidentes por la descripción que sigue.

Descripción breve de los dibujos

Para completar la descripción y para proporcionar una mejor comprensión de la invención, se suministra un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integral de la descripción e ilustran una forma de realización preferida de la invención, lo cual no se debería interpretar como una restricción del alcance de la invención, sino simplemente como un ejemplo de cómo se puede realizar la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

La figura 1 muestra una sección transversal de un acoplador de red de difracción según una realización de la presente invención.

La figura 2 muestra una vista de la sección transversal de una realización ejemplar de un acoplador de red de difracción según la presente invención.

La figura 3 muestra una vista de la sección transversal de una realización ejemplar de un acoplador de red de difracción según la presente invención.

La figura 4 muestra una vista de la sección transversal de una realización ejemplar de un acoplador de red de difracción según la presente invención.

Las figuras 5a a 5h ilustran un experimento basado en la figura 2.

Las figuras 6a a 6d ilustran un experimento basado en la figura 3.

Las figuras 7a a 7f muestran un ejemplo de fabricación del acoplador de red de difracción de la invención.

La figura 8 muestra un ejemplo de una configuración para la caracterización de la sonda.

Las figuras 9a a 9c muestran la transmisión de una sonda de red frente al ángulo de incidencia para la polarización TE (9a), la imagen del punto producido por la luz transmitida a través de la sonda (9b) y la vista de la sección transversal de la estructura usada en el experimento (9c).

Las figuras 10a-10c muestran un experimento de excitación de una sonda de la guíaonda y las imágenes del punto producido por la luz transmitida a través de la sonda en la resonancia y fuera de la resonancia.

Las figuras 10d-10g muestran el proceso de montaje del acoplador de la figura 10a sobre un sustrato de vidrio. Se muestra la evolución de la sonda que se adhiere a la superficie de vidrio.

La figura 11 muestra un ejemplo de la película de polímero.

La figura 12 muestra una demostración del acoplamiento de luz fuera del plano en una guíaonda de varillas (del inglés, "rib waveguide") usando el sistema híbrido propuesto DGC-PDMS.

La figura 13 muestra las distribuciones modales del campo eléctrico construido para una guíaonda de nitruro de silicio con y sin sonda montada sobre ella.

Descripción de formas de realización preferidas de la invención

En el contexto de la presente invención, se deben considerar las siguientes definiciones:

Polímeros blandos (del inglés, "soft polymers"): polímeros amorfos que, por encima de su temperatura de transición, sus propiedades mecánicas son similares a aquéllas del caucho. En otras palabras, los polímeros blandos tienen, por encima de su temperatura de transición, la propiedad de elasticidad. Gracias a esta propiedad, es posible un movimiento segmental considerable. Así, los polímeros blandos se pueden utilizar como adhesivo temporal.

ES 2 368 043 A1

Material óptico duro: El material que, por debajo de su temperatura de transición de vidrio, permite la propagación de luz sin pérdidas. Ejemplos no limitativos de materiales ópticos duros son óxido de silicio, nitruro de silicio, óxido de titanio, óxido de tantalio y vidrio.

- 5 Material voluminoso (del inglés, “bula material”): Es un material que tiene un espesor muy superior a la longitud de onda de la luz que potencialmente puede viajar a través de él. No se observan fenómenos de interferencia cuando la luz se propaga a través de materiales voluminosos.

Modo TE (transversal eléctrico): modo que no presenta campo eléctrico en la dirección de propagación.

10

Modo TM (transversal magnético): modo que no presenta campo magnético en la dirección de propagación.

La implementación de la presente invención puede llevarse a cabo como sigue:

- 15 La figura 1 muestra una sección transversal de un acoplador de red de difracción (del inglés, “diffraction grating coupler”) 100 según una realización de la presente invención. Comprende una guíaonda óptica 101 que tiene una red de difracción 110. La guíaonda 101 puede ser una guíaonda monocapa o una guíaonda multicapa (formada por una pila de capas).

- 20 La red o rejilla de difracción 110 puede estar embebida en o fijada a la guíaonda 101. La red 110 es una estructura de formaciones en crestas paralelas 112, a lo largo de una porción o a lo largo de toda la superficie de la guíaonda 101. Las crestas 112 se pueden denominar “dientes”, mientras que el espacio 111 entre las crestas 112 se puede denominar “huecos” 111.

- 25 La red 110 está definida por medio de una pluralidad de crestas o dientes 112, cada uno de ellos que está separado por los respectivos huecos 111. Los dientes de la red 112 están hechos de un material con índice de refracción diferente de aquel de los huecos de la red 111. La red 110 puede estar realizada sobre cualquiera de las dos superficies de la guíaonda 102 103.

- 30 Preferentemente, la guíaonda óptica 101 es una guíaonda plana. La guíaonda 101 está hecha de un material óptico duro como se ha definido previamente.

- El acoplador de red de difracción 100 también comprende una película de polímero 120, a la cual están fijadas la guíaonda 101 y red 110. La guíaonda 101, la red 110 y la película de polímero 120 forman una “guíaonda sonda” o una “sonda”. La película de polímero 120 es blanda. Ejemplos poco limitativos de polímeros blandos son: poli(dimetilsiloxano) (PDMS), SU8 fotorresistente y polimetilmetacrilato (PMMA). Preferentemente, la película de polímero blando está hecha de poli(dimetilsiloxano) (PDMS). Así, una guíaonda 101 hecha de material óptico duro está permanentemente fijada a una película de polímero blando 120.

- 40 La película de polímero 120 depositada sobre y fijada a la guíaonda 101 rodea parcialmente la guíaonda 101. Como se puede observar en la figura 1, la película de polímero 120 no rodea completamente la guíaonda 101, pero deja una superficie abierta y libre.

- La sonda (guíaonda 101 más red o rejilla de difracción 110 más película de polímero 120) tiene los siguientes parámetros: grosor de la guíaonda 101, índice de refracción de la guíaonda 101, profundidad de corrugación de la red o rejilla de difracción, período y ciclo de trabajo de la rejilla o red de difracción 110, índice de refracción del material del cual están hechas las crestas o los dientes 112 e índice de refracción de la película de polímero. El grosor de la guíaonda 101 preferentemente está entre 50 y 5000 nanómetros. El índice de refracción de la guíaonda 101 preferentemente está entre 1,1 y 4,1 RIU (unidades del índice de refracción). La profundidad de corrugación de la rejilla o red de difracción preferentemente está entre 50 y 5000 nanómetros. El período de la rejilla o red 110 preferentemente está entre 200 y 1000 nanómetros. El ciclo de trabajo de la rejilla o red 110 preferentemente está entre 0,2 y 0,8. El índice de refracción del material del que están hechos las crestas o los dientes 112 preferentemente está entre 1,1 y 4,1 RIU. El índice de refracción de la película de polímero 120 preferentemente está entre 1,1 y 2,1 RIU.

- 55 El acoplador de red de difracción 100 está diseñado para ser montable sobre un sustrato o espécimen por medio de la película de polímero 120, que está diseñada para fijar el acoplador de red de difracción 100 a ese sustrato o espécimen. Para montarla, la sonda (guíaonda 101 que tiene la rejilla o red de difracción 110 más la película de polímero blando 120) se puede presionar contra cualquier sustrato o espécimen por su lado o superficie que tiene la sonda óptica abierta (o libre) (no cubierta por la película de polímero 120). Así la guíaonda sonda presionada (por medio de la película de polímero blando 120) contra el sustrato o espécimen puede quedarse fijada a ese sustrato o espécimen, de tal manera que no se forma ningún hueco de aire entre la sonda de la guíaonda y el sustrato o espécimen. La sonda de la guíaonda (guíaonda 101 que tiene la rejilla o red de difracción 110 más película de polímero blando 120) puede ser liberada del sustrato o espécimen cuando sea necesario.

- 65 Así, cuando esta estructura híbrida (la sonda hecha de un material duro y una película de polímero blando) se coloca sobre cualquier circuito óptico integrado (IOC), las propiedades estructurales únicas del polímero blando (por ejemplo, PDMS) aseguran que no se forme ningún hueco de aire entre el acoplador de red de difracción y el IOC, incluso si el sustrato es no plano (es decir, el PDMS se adhiere a la superficie). Esta condición asegura el correcto

ES 2 368 043 A1

comportamiento del sistema propuesto. La elasticidad del polímero blando (por ejemplo, PDMS) permite que sea liberado de estructuras frágiles y complejas, que permite que los acopladores sean extraídos de, por ejemplo, una guiaonda, y se vuelvan a montar cuando sea necesario.

- 5 Por lo tanto, se consigue un procedimiento flexible y muy robusto para volver a usar y volver a montar rejillas o redes de difracción ("gratings"), que se puede utilizar para la inyección puntual de luz en el IOC y para determinar las propiedades ópticas de una capa dada.

10 La figura 2 muestra una vista de la sección transversal de una realización ejemplar de un acoplador de red de difracción 200 fijado a un sustrato 240 sobre el cual está localizado un espécimen 230. El propósito del experimento es caracterizar dicho espécimen 230 (por ejemplo una capa de la guiaonda) o acoplar luz a esta capa 230 (en este caso, el espécimen que es una guiaonda monocapa). Se asume que no hay huecos de aire entre la sonda y la superficie del espécimen (o guiaonda) 230 gracias a la estructura que comprende un polímero blando 220. La luz incidente a un cierto ángulo Θ sobre la rejilla o red 210 se acopla parcialmente al espécimen (guiaonda 230) depositado sobre el sustrato 240 y se propaga a lo largo de él. Los parámetros (grosor e índice de refracción) de la guiaonda 230, junto con los parámetros (grosor, índice de refracción y período de la o red de difracción) de la sonda definen los ángulos de excitación Θ de los modos de propagación permitidos para la propagación a lo largo de la estructura formada por la guiaonda 230 y la sonda (guiaonda 201 con la rejilla o red de difracción 210 más película de polímero blando 220). Puesto que se asume que los parámetros de la sonda son conocidos, conociendo entonces los ángulos de excitación se pueden encontrar los parámetros de la guiaonda 230 usando procedimientos convencionales evidentes para aquellos expertos en la materia. Esos ángulos de excitación Θ se pueden encontrar, por ejemplo, usando barrido angular y detectando el máximo de energía de luz que sale de la guiaonda 230 a su salida.

25 La sonda colocada en una guiaonda monomodo 230 que tiene un índice de refracción comparable a aquél de la sonda, forma una estructura de guiaonda que tiene un grosor superior al grosor de la guiaonda 230. Así, se pueden excitar dos modos y se puede encontrar el índice de refracción y el grosor de la guiaonda resolviendo el correspondiente sistema de ecuaciones de dispersión.

30 La figura 3 describe una vista de corte transversal de otra realización ejemplar de un acoplador de red de difracción 300 fijada a un espécimen de material voluminoso o a la capa 330. El índice de refracción del material voluminoso que forma la capa 330 define los ángulos de excitación Θ de los modos de propagación de la sonda de la guiaonda permitidos para la propagación en la estructura formada por la sonda y el espécimen voluminoso 330 en esta configuración. Conociendo los ángulos de excitación, se pueden encontrar los parámetros (es decir, el índice de refracción complejo) del material voluminoso 330 usando procedimientos convencionales evidentes para aquellos expertos en la materia. Esos ángulos de excitación Θ se pueden encontrar, por ejemplo, usando barrido angular y detectando el comportamiento anormal de la luz reflejada de la estructura formada por la sonda y el espécimen voluminoso 330. El propósito de este ejemplo particular es medir el índice de refracción del material voluminoso 330 o calibrar la sonda si se conoce el índice de refracción del material voluminoso 330.

40 Gracias a la combinación del polímero blando y la rejilla o red de difracción basada en un material óptico duro, el acoplador se puede usar para la caracterización del índice de refracción de materiales voluminosos con un índice inferior al de la sonda. Esto se consigue excitando la sonda y obteniendo el índice de refracción que se ha caracterizar del ángulo de excitación.

45 En cualquiera de las implementaciones ilustradas en las figuras 1-3, la rejilla o red de difracción 110, 210, 310 se puede implementar en el lado superior o superficie 102, 202, 302 de la guiaonda 101, 201, 301 o en el lado opuesto o superficie 103, 203, 303 de la guiaonda 101, 201, 301.

50 Cuando la rejilla o red de difracción 110, 210, 310 está construida sobre el lado o superficie superior 102, 202, 302 de la guiaonda 101, 201, 301, el índice de refracción de las crestas o dientes de la rejilla o red de difracción 112, 212, 312 es diferente del índice de refracción de la película de polímero 120, 220, 320, que rellena los huecos 111, 211, 311 entre los dientes 112, 212, 312.

55 Alternativamente, cuando la rejilla o red de difracción 110, 210, 310 está construida sobre el lado o superficie inferior (debajo) 102, 202, 302 de la guiaonda 101, 201, 301, el índice de refracción de las crestas o dientes de la rejilla o red de difracción 112, 212, 312 debe ser diferente de aquél del medio ambiente, por ejemplo, el aire (véase figura 1).

60 En cualquiera de las implementaciones ilustradas en las figuras 1-3, la excitación de los modos de la guiaonda se lleva a cabo mediante una luz de un láser coherente procedente de una fuente de láser, no ilustrada en las figuras.

El acoplador de red de difracción 100, 200, 300 de la invención se puede usar para la caracterización de las propiedades intrínsecas (tales como el grosor de la guiaonda y el índice de refracción) de la sonda de guiaonda. La guiaonda 101, 201, 301 que forma la sonda de guiaonda está hecha de un material que tiene un índice de refracción sustancialmente superior a aquél del polímero que forma la película de polímero blando 120, 220, 320. La guiaonda 101, 201, 301 soporta al menos un modo de propagación con polarización TE y al menos un modo de propagación con polarización TM para permitir la resolución del sistema de ecuaciones de dispersión y así permitir la caracterización de la sonda.

ES 2 368 043 A1

La sonda que forma el acoplador de red de difracción 100, 200, 300 de la invención también se puede usar para la caracterización del índice de refracción de materiales voluminosos, siguiendo la implementación de la figura 3. En esta forma de realización, la estructura formada por el acoplador de red de difracción 300 (guiaonda 301 con la rejilla o red de difracción 310 más la película de polímero blando 320) más la capa de material voluminoso 330 soporta al menos un modo de polarización TE y/o un modo de polarización TM. Como es evidente para un experto, esto es un requerimiento necesario para excitar el modo de propagación en la sonda y a continuación averiguar el índice de refracción del material voluminoso 330. En este caso, el índice de refracción de la guiaonda 301 debe ser mayor que el índice de refracción del material que se ha de caracterizar (material voluminoso 330). El período de la rejilla o red de difracción 310 se elige para proporcionar la excitación de la estructura. Esto significa que el período de la rejilla o red de difracción 310 se debe elegir de forma adecuada. Si el período no se elige de forma adecuada, no habrá excitación de la sonda de la guiaonda observada y no se podrá determinar el índice de refracción.

La sonda que forma el acoplador de red de difracción 100, 200, 300 de la invención también se puede usar para la caracterización de una película delgada (del inglés, "thin film") o de una pila de películas delgadas (del inglés, "stack of thin films") depositadas sobre un sustrato. La figura 4 representa esta realización, en la que la estructura formada por el acoplador de red de difracción 400 (guiaonda 401 con la rejilla o red de difracción 410 más una película de polímero blando 420) más la película delgada o pila de películas delgadas 430 más el sustrato 440 soporta al menos un modo de propagación de polarización TE y al menos un modo de propagación de polarización TM. De nuevo, éste es un requerimiento necesario para excitar el modo de propagación en la sonda. El índice de refracción de la guiaonda 401 puede ser superior o inferior al índice de refracción del material caracterizado (el material que forma la pila de películas delgadas 430) y aquél de la película de polímero 420. El período de la rejilla o red de difracción 410 se elige para proporcionar la excitación de la estructura de la guiaonda. Ese período se debe elegir de forma adecuada. Si el período no se elige de forma adecuada, no habrá excitación de la sonda de la guiaonda observada y no se podrá determinar el índice de refracción.

Alternativamente, la sonda que forma el acoplador de red de difracción también se puede diseñar y usar para la caracterización de guiaondas ópticas. Esto también se ilustra en la figura 4, en la que se ha de caracterizar la guiaonda 430. En esta realización, la estructura formada por la sonda de guiaonda (guiaonda 401 con la rejilla o red de difracción 410 más película de polímero blando 420) más la película delgada o pila de películas 430 (la guiaonda que se ha de caracterizar) más el sustrato 440 soporta al menos un modo de propagación de polarización TE y al menos un modo de propagación de polarización TM. La sonda puede estar diseñada para el acoplamiento de luz en una guiaonda óptica.

Nótese que la razón por la que el polímero que forma la película de polímero 120, 220, 320, 420 de cualquiera de las realizaciones previas debe ser blando es que, al contrario que otros tipos de polímeros, las películas elastoméricas se pueden adaptar fácilmente a la forma de la superficie a la cual es necesario fijarlas. En este sentido, las sondas de guiaonda que comprenden una película 120, 220, 320, 420 de polidimetilsiloxano (PDMS) y una guiaonda hecha de un material óptico duro son apropiadas para ser fijadas a un espécimen 230, 330, 430.

Así, las sondas de guiaonda que comprenden un material de película blando 120, 220, 320, 420 permiten construir acopladores de red de difracción que son montables: Esto es debido a las propiedades de unión y de separación de la película de polímero blando 120, 220, 320, 420 comprendida en la sonda de guiaonda.

En lo que se refiere a la fabricación de la rejilla o red de difracción 110, 210, 310, 410, preferentemente se realiza embebiéndola en la guiaonda 110, 210, 310, 410. Para este propósito, se puede usar ataque o grabado químico (del inglés, "etching") en seco o en mojado combinado con litografía.

A continuación, se muestran varios ejemplos del uso del acoplador de red de difracción 100, 200, 300, 400:

La figura 5a muestra un experimento de un acoplador de red de difracción fijado a una guiaonda a su vez depositada sobre un tope o amortiguador (del inglés, "buffer") y un sustrato. Corresponde a la realización de la figura 4, en la que se presenta una estructura que comprende dos películas delgadas 530 depositadas sobre un sustrato 540. En este experimento, la sonda está montada sobre una guiaonda que tiene un índice de refracción de 2,03 y un grosor de 180 nm, a su vez depositada sobre un tope ("buffer") de sílice (con un grosor de 2 μm), a su vez localizado sobre un sustrato de silicio (que tiene un índice de 3,88, y en el que se omitió la parte imaginaria). La sonda tiene una rejilla o red de difracción con un grosor de 30 nm, un período de 500 nm y un ciclo de trabajo de 0,5. Se asume que la guiaonda de la sonda tiene un grosor de 150 nm y un índice de refracción de 2,03. El ángulo de incidencia se calculó en el aire.

La figura 5b muestra la dependencia de la reflexión de la estructura con el ángulo de incidencia. Se observa una reflexión anormal cercana a la unidad si el ángulo de excitación está lejos del ángulo correspondiente a la condición de

autocolimación $\Theta_{mc} = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{2\Lambda}\right)$. Para la estructura presentada en la figura 5a, la condición de autocolimación

se satisface cuando el ángulo de incidencia es de 39,25°, para una longitud de onda del láser de 633 nm. En este intervalo se observan una reflexión y un factor Q bajos.

La figura 5b muestra los resultados de simulaciones de reflexión de la sonda montada sobre una guiaonda con un índice de refracción de 2,03 depositada sobre tope ("buffer") de sílice (con un grosor de $2\ \mu\text{m}$) localizado sobre un sustrato de silicio (con un índice de 3,88 y cuya parte imaginaria se omitió). La sonda tiene una rejilla o red de difracción con un grosor de 30 nm, un período de 500 nm y un ciclo de trabajo de 0,5. La guiaonda 501 de la sonda tenía un grosor de 150 nm y un índice de refracción del 2,03. El ángulo de incidencia se calculó en el aire.

Así, el grosor de la guiaonda 501 se debe elegir para evitar el índice de refracción efectivo de la guiaonda compleja

$$n^* = \sin(\Theta_{\text{aut}}) + m \frac{\lambda}{\Lambda}.$$

Esta condición es válida para ambos casos: cuando la rejilla o red de difracción está implementada en el lado superior de la guiaonda 501' o en el lado opuesto (inferior) de la guiaonda 501. La figura 5d muestra la reflexión frente al ángulo de incidencia para un espécimen de guiaonda diferente (figura 5c). La situación es similar a la mostrada en la figura 5b. Apenas se distingue un pico de reflexión anormal, cerca de los $39,25^\circ$. La diferencia entre las gráficas (figuras 5b y 5d) es en ambos casos el ángulo de aceptación (del inglés, "acceptance angle") de la rejilla o red de difracción. En la figura 5b, los picos de reflexión son mucho más estrechos, lo que se atribuye al menor contraste del índice de refracción de la corrugación (0,62 comparado con 1,03). Así, la resolución de esta estructura es mejor. Aunque el grosor de la guiaonda en la que se reduce la reflexión de resonancia cambia, el ángulo de excitación correspondiente aún está en torno a $39,25^\circ$. La anchura de cada pico es de $0,05^\circ$ aproximadamente. Así la resolución en el área entre 150 y 200 nm se define como $(41,8^\circ - 40,175^\circ / 0,05^\circ)^{-1} = 1,5\ \text{nm}$ (se asume que la precisión de las mediciones es de $0,05^\circ$ igual a la anchura angular del pico en FWHM). La resolución en el área de 100-125 nm se define como $(39,08^\circ - 37,8725^\circ / 0,05^\circ)^{-1} = 1\ \text{nm}$ (se asume que la precisión de las mediciones es de $0,05^\circ$ igual a la anchura angular del pico en FWHM).

En la figura 5e las curvas de reflexión de resonancia se presentan para el modo de orden cero y el modo de primer orden. Una sonda montada sobre una guiaonda con un índice de refracción de 2,03 está depositada sobre tope ("buffer") de sílice (con un grosor de $2\ \mu\text{m}$) localizado sobre un sustrato de silicio (con un índice de 3,88, parte imaginaria omitida). La sonda tiene una rejilla o red con un grosor de 30 nm, un período de 500 nm y un ciclo de trabajo de 0,5. Se asume que la guiaonda de la sonda tiene un grosor de 150 nm y un índice de refracción del 2,03. El ángulo de incidencia se calculó en el aire. Los círculos sólidos representan la situación en la que el índice del espécimen de guiaonda es de 2,03, los círculos huecos representan la situación en la que el índice de refracción del espécimen de guiaonda es de 2,00. La línea rayada representa una guiaonda cuyo grosor es de 150 nm, la línea punteada representa una guiaonda cuyo grosor es de 175 nm. La línea sólida representa una guiaonda con un grosor de 200 nm. La rejilla o red de difracción es aquella de la figura 5c.

La figura 5f muestra los ángulos de excitación frente a los parámetros de la muestra de guiaonda. Se montó una sonda sobre una guiaonda depositada sobre un tope ("buffer") de sílice (con un grosor de $2\ \mu\text{m}$) localizado sobre un sustrato de silicio (con un índice de 3,88, parte imaginaria omitida). La sonda tiene una rejilla o red de difracción con un grosor de 30 nm, un período de 500 nm y un ciclo de trabajo de 0,5. Se asume que la guiaonda de la sonda tiene un grosor de 150 nm y un índice de refracción de 2,03. El ángulo de incidencia se calculó en el aire. Los cuadrados huecos representan el modo de orden cero, los cuadrados sólidos representan el modo de primer orden. La rejilla o red de difracción es aquella de la figura 5c.

El índice de refracción de la guiaonda del espécimen afecta a ambos modos, pero el modo de orden cero se ve afectado más fuertemente ($32\text{-}42^\circ/\text{RIU}$) comparado con el modo de primer orden ($22\text{-}27^\circ/\text{RIU}$). El grosor afecta más al modo de primer orden ($0,07\text{-}0,093^\circ/\text{nm}$) que al modo de orden cero ($0,028\text{-}0,033^\circ/\text{nm}$). Un parámetro importante es también la diferencia angular entre los modos, que se incrementa en $0,33^\circ/0,01\ \text{RIU}$ aproximadamente a medida que aumenta, el índice de refracción del espécimen de guiaonda. Por tanto, si la precisión de las mediciones angulares está limitada por el ángulo de aceptación, que prácticamente en todos los casos es mejor que $0,1^\circ$, entonces la precisión de las mediciones se puede estimar resolviendo numéricamente las ecuaciones de dispersión para el grosor y el índice de refracción. Los resultados de las simulaciones se presentan en la figura 5g. Los ángulos, $40,07^\circ$ y $17,4^\circ$, correspondientes a la excitación del modo de guiaonda para una guiaonda con un índice de refracción de 2,03 y un grosor de 150 nm se tomaron de la figura 5f. Los puntos marcados por los cuadrados sólidos se calcularon usando la aproximación de la matriz de transferencia tomando la desviación angular de $0,1^\circ$ tanto en la dirección positiva como negativa de los valores reales.

Finalmente, la figura 5h muestra la reflexión de una sonda montada sobre una guiaonda implantada con un grosor de 250 nm y un índice de refracción de 1,5 depositada sobre un tope ("buffer") de sílice (con un grosor de $1,75\ \mu\text{m}$) localizado sobre un sustrato de silicio (con un índice de 3,88, parte imaginaria omitida). La sonda tiene una rejilla o red de difracción con un grosor de 30 nm, un período de 500 nm y un ciclo de trabajo de 0,5. Se asume que la guiaonda de la sonda tiene un grosor entre 100 y 150 nm y un índice de refracción de 2,03. El ángulo de incidencia se calculó en el aire.

Las figuras 6a y 6b describen vistas de corte transversal de un experimento basado en la realización de la figura 3, en la que un acoplador de red de difracción está fijado a una capa de material voluminoso 630, 630'.

Las figuras 6a y 6b muestran dos experimentos sobre la caracterización del índice de refracción de materiales voluminosos: En la figura 6a la rejilla o red de difracción está localizada en el lado de la guíaonda no rodeado por la película de polímero 620, mientras que en la figura 6b la rejilla o red está localizada en el lado de la guíaonda rodeado por la película de polímero 620'. La sensibilidad es superior en la figura 6b, puesto que en este caso el ángulo de aceptación de la rejilla o red de difracción es más pequeño.

La figura 6c muestra la sensibilidad del ángulo de excitación sobre el índice de refracción del espécimen. Los cuadrados sólidos representan una rejilla o red de difracción de 20 nm, una guíaonda de 100 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6b. Los cuadrados huecos representan una rejilla o red de difracción de 20 nm, una guíaonda de 100 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6a. Los triángulos sólidos representan una rejilla o red de difracción de 30 nm, una guíaonda de 100 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6b. Los triángulos huecos representan una rejilla o red de difracción de 30 nm, una guíaonda de 150 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6b.

Se calculan los ángulos de excitación y los ángulos de aceptación de la sonda montada sobre el sustrato voluminoso con un índice de refracción n , a partir de los cuales también se calcula la sensibilidad representada en la figura 6c como el cambio en el ángulo de excitación por unidad de cambio en el índice de refracción:

$$Sens = \frac{\Delta\Theta_{exc}}{\Delta n_{sp}}$$

La resolución se define como la relación $Res = \frac{\Theta_{acc}}{Sens}$ en la que Θ_{acc} es el ángulo de aceptación de la rejilla o red de difracción medido a la anchura completa de la altura media (del inglés, "full width of half maximum", FWHM). La figura 6d muestra la resolución en la definición del índice de refracción del espécimen frente al índice de refracción del espécimen. Los cuadrados sólidos representan una rejilla o red de difracción de 20 nm, una guíaonda de 100 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6a. Los cuadrados huecos representan una rejilla o red de difracción de 20 nm, una guíaonda de 100 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 3. Los triángulos sólidos representan una rejilla o red de difracción de 30 nm, una guíaonda de 100 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6a. Los triángulos huecos representan una rejilla o red de difracción de 30 nm, una guíaonda de 150 nm y la rejilla o red de difracción de la figura 6a.

El índice de refracción de los materiales voluminosos se puede medir con una precisión superior a 0,0025 si se usa la sonda con los parámetros apropiados. Para este propósito, el grosor de la sonda debe tender al grosor correspondiente a la condición límite de la guíaonda sonda colocada sobre el espécimen (material voluminoso). La condición límite es un conjunto de parámetros (por ejemplo, índice de refracción y grosor) más allá de los cuales una guíaonda no se puede excitar más. Por ejemplo, una guíaonda con un índice de refracción de 2,0 depositada sobre un sustrato de sílice no se puede excitar (no puede propagar la luz) si su grosor está por debajo de 70 nm aproximadamente.

A continuación se describen algunos ejemplos de fabricación. En las figuras 7a, 7b, 7c, 7d y 7f se muestra una vista del corte transversal del dispositivo fabricado. La figura 7f muestra una vista superior del dispositivo una vez fabricado. La fabricación del acoplador fue como sigue:

Una capa de dióxido de silicio de $1\ \mu\text{m}$ (SiO_2) se hizo crecer térmicamente sobre un sustrato de silicio. A continuación se fabricaron redes de difracción usando la combinación de holografía y ataque o grabado químico ("etching") con iones reactivos. Toda la oblea se cubrió mediante una de difracción o red con un período = 500 nm, ciclo de trabajo = 0,5 y una profundidad = 40 nm. A continuación se depositó una capa de 150 nm de nitruro de silicio (Si_3N_4) con la técnica LPCVD. A continuación se realizó la definición de las sondas usando fotolitografía y ataque o grabado químico con iones reactivos (figura 7a). Posteriormente, la oblea se cubrió con una película prefabricada de PDMS (figura 7b). Se aplicó un ataque o grabado químico intenso con iones reactivos para formar las cavidades bajo las sondas (figura 7c). Se usó una capa de óxido de silicio como capa protectora del ataque o grabado químico. A continuación se llevó a cabo el ataque o grabado químico del sílice en una disolución de SIO-ataque químico (figura 7d). Posteriormente, la película se cortó con un cúter a lo largo de los surcos de la línea de corte definidos sobre un chip (figura 7e). Finalmente la pieza cortada de la película de PDMS se extrajo de la oblea junto con las sondas y se puso sobre un espécimen (figura 7f).

Adicionalmente, la presente invención proporciona un procedimiento de caracterización (por ejemplo, medición de ciertos parámetros, como el índice de refracción complejo) de un espécimen (como un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o una pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato), que comprende las etapas de: montaje de una sonda de guíaonda o un acoplador de red de difracción fabricado según el procedimiento ya explicado sobre un espécimen 230, 330, 430, presionando la película blanda 220, 320, 420 del acoplador de red de difracción 200, 300, 400 contra el espécimen 230, 330, 430; proporcionando la excitación de al menos un modo de guíaonda en la guíaonda 201, 301, 401 comprendida en el acoplador de red de difracción 200, 300, 400, iluminando el acoplador de red de difracción con un haz de luz emitido por un láser; barriendo los ángulos de incidencia del haz de luz emitido sobre la red o rejilla de difracción de la guíaonda que forma la sonda; registro

de los ángulos de excitación de los modos de guíaonda; cálculo de un cierto parámetro usando técnicas de modelado existentes.

A continuación, se describe un ejemplo de caracterización de la sonda. Se montó una sonda sobre un sustrato previamente limpiado, preferentemente un sustrato de un material duro, y más preferentemente sobre vidrio BK7 y sustratos PMA. El acoplador de red de difracción se referencia como 800. La excitación de la sonda se llevó a cabo desde el sustrato para ambas polarizaciones TE y TM. La excitación fue más eficiente cuando la luz procedente de un láser 850 se enfocó con una lente 860. Para fijar el punto a un tamaño de $40 \mu\text{m}$, se aplicó una lente 860 con una distancia focal de 75 mm. Es necesario un diámetro del haz superior a 1,5 mm (y es necesaria una apertura numérica superior a 0,01). La figura 8 muestra el experimento.

La excitación se puede observar usando una matriz de CCD. La excitación está acompañada de anomalías en la transmisión. La línea negra en el centro del punto transmitido corresponde a la excitación de la sonda con el ángulo Q_0 . Las figuras 9a-9c muestran la transmisión de la sonda de la red o rejilla de difracción frente al ángulo de incidencia para la polarización TE. Se asume que la sonda tiene una guíaonda 901 con un grosor de 150 nm y un índice de 2,03. La profundidad de la rejilla o red de difracción de 30 nm de la sonda se asume que tiene surcos con forma rectangular con un ciclo de trabajo de 0,5, un periodo de 500 nm y un índice de 2,03.

En el experimento de la figura 10a, se ilustran un láser 1050, una lente 1060, un acoplador de red de difracción 1000 y una cámara 1080. La figura 10b represente el modo fuera de resonancia y la figura 10c representa el modo en resonancia. La imagen se escaneó usando una cámara web de baja resolución. La línea negra en la segunda imagen corresponde al mínimo en la gráfica de la figura 9a.

La sonda de guíaonda 1000 se montó sobre el sustrato de vidrio (figura 10a) siguiendo el proceso de montaje ilustrado en las fotografías 10d, 10e, 10f y 10g, que muestran la evolución de la fijación de la sonda a la superficie del vidrio, que en este experimento era BK7. Las fotografías se tomaron después de 9 minutos (figura 10d), 26 minutos (figura 10e), 29 minutos (figura 10f) y 82 minutos (figura 10g). Las fotografías 10d, 10e, 10f y 10g se tomaron con un microscopio óptico.

Después de montar el chip con las sondas, se observan burbujas de aire entre la sonda de nitruro de silicio y el sustrato (puntos blancos no homogéneos). Con el tiempo, las burbujas son expulsadas por la presión creada por la película de elastómero. Así, en la figura 10g no se observan huecos de aire.

Según las simulaciones, se observa una dependencia significativa de la reflexión con el grosor de la capa de aire comenzando en 5 nm. Puesto que no se observaron otros cambios en la imagen después de 80 minutos, se concluyó que el grosor de los huecos de aire es inferior a 5 nm. La corrugación fabricada por holografía óptica no tenía una calidad perfecta puesto que algunas no uniformidades sobre las sondas se pueden atribuir a no uniformidades en la profundidad de la red de difracción. Algunas no uniformidades fueron debidas a la calidad de la superficie del sustrato que no se limpió antes del experimento.

La película de polímero formada sobre la superficie puede no ser plana. Esto puede estar causado por las tensiones producidas durante la colocación de la película sobre el sustrato. Esto puede afectar a las mediciones, provocando incertidumbre en las mediciones angulares y produciendo probablemente un efecto de tipo prisma. Con respecto a la figura 11, en la que se ilustra una película de polímero no plana:

$$\begin{aligned}\alpha_2 - \alpha_{01} &= a \sin(n_{PDMS} \sin(\alpha_1 - \alpha_{01})) \\ \alpha_3 + \alpha_{02} &= a \sin(n_{PDMS} \sin(\alpha_1 + \alpha_{02}))\end{aligned}$$

$$\text{Si } \alpha_{01} = \alpha_{02} \text{ entonces } \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} = \frac{1}{2} (a \sin(n_{PDMS} \sin(\alpha_1 - \alpha_{01})) + a \sin(n_{PDMS} \sin(\alpha_1 + \alpha_{02})))$$

El ángulo de excitación normalmente se mide en ambas direcciones positiva y negativa, y el resultado se obtiene como la semisuma de estos ángulos: $\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2}$. No obstante, si $\alpha_{01} = \alpha_{02} \neq 0$, entonces el ángulo: $\frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2} = \frac{1}{2}$

$(a \sin(n_{PDMS} \sin(\alpha_1 - \alpha_{01})) + a \sin(n_{PDMS} \sin(\alpha_1 + \alpha_{02})))$ es diferente de aquél cuando la superficie superior es paralela a la inferior. Si los ángulos son $\alpha_{01} = \alpha_{02} \neq 0$ y desconocidos, entonces la incertidumbre en las mediciones angulares puede dar como resultado errores significativos cuando se caracterizan materiales diferentes usando el procedimiento propuesto.

El problema de la no planaridad se resolvió usando una placa de vidrio colocada sobre la superficie superior de la película de PDMS. No se creó la superficie paralela perfecta pero al menos se obtuvo una superficie plana con un ángulo interno conocido.

5 El índice de refracción de la película de PDMS se midió usando la reflexión interna total (TIR) de la interfaz prisma de vidrio BK7 - película de PDMS. La TIR se produce a $37,48^\circ$, que corresponde a un índice de refracción de 1,413 (para la verificación del procedimiento se midió el índice de refracción del aire, la TIR se produjo a $-5,60^\circ$ que corresponde al índice de 1,001, así la precisión de las mediciones fue de 10^{-3}).

10 En la figura 12, se presenta una demostración de acoplamiento de luz fuera del plano en una guiaonda de varillas ("rib waveguide") usando el sistema híbrido propuesto DGC-PDMS. La luz de un láser de He-Ne (632,8 nm) se enfocó sobre la rejilla o red de difracción por medio de una lente plano-convexa y a un cierto ángulo de incidencia se acopló a la guiaonda. La altura de la varilla ("rib") era de 4 nm mientras que la guiaonda tenía un grosor de 250 nm.

15 El acoplamiento se produce sobre una guiaonda compuesta formada por una sonda de red de difracción y una guiaonda plana (véase figura 5a). La onda excitada está confinada según los parámetros de la estructura compleja. La distribución de la guiaonda sin el acoplador es diferente y hay algunas pérdidas en el extremo del elemento de acoplamiento. Las pérdidas están definidas por la superposición de las distribuciones de los campos eléctricos de ambas guiaondas. Para maximizar la transferencia de energía entre las guiaondas, las distribuciones de los campos en
20 modo guiaonda deben coincidir tanto como sea posible. Así el grosor de la guiaonda del acoplador se debe minimizar. Si es necesario el acoplamiento fuerte a poca distancia, entonces se debe suministrar una modulación fuerte del índice de refracción. Así, es mejor situar la rejilla o red de difracción en la parte inferior de la sonda.

La figura 13 muestra las distribuciones modales del campo eléctrico construido para una guiaonda de nitruro de silicio ($n = 2,03$) con un grosor de 150 nm con y sin la sonda montada sobre ella. La curva sólida se refiere a una sonda
25 de 100 nm de grosor con una rejilla o red de difracción que tiene una profundidad de 30 nm, un ciclo de trabajo de 0,5 y una periodicidad de 500 nm. La curva rayada se refiere a la cubierta sólo con PDMS, sin la sonda. La curva punteada se refiere a una sonda de 50 nm con los mismos parámetros de la rejilla o red de difracción.

30 El otro grupo de acopladores se colocó sobre un chip pequeño ($3 \times 7 \text{ mm}^2$) con un conjunto de guiaondas de varilla ("rib waveguides"). Los chips se alinearon de manera que varios acopladores coincidían con las guiaondas, que tienen un grosor de 180 nm y una altura de la varilla ("rib") de 140 nm.

35 Tal y como se esperaba, no se observaron huecos de aire entre las rejillas o redes de difracción y las guiaondas, confirmando que el DGC está en contacto con el IOC. La luz procedente de un láser de He-Ne (632,8 nm) se acopló a las guiaondas por medio del enfoque directo con una lente objetivo (magnificación 10, apertura numérica 0,25).

La excitación fuera del plano de la misma guiaonda sobre la misma rejilla o red de difracción se llevó a cabo usando un haz de luz enfocado mediante una lente plano-convexa con una distancia focal de 75 mm. La apertura numérica y
40 el tamaño del punto en el foco fue de 0,33 y $12 \mu\text{m}$ respectivamente. La eficacia de acoplamiento máxima del 5% se obtuvo cuando se excitó el modo fundamental de polarización TE. Aunque la eficacia obtenida se puede considerar baja, se puede aumentar mediante un diseño apropiado del acoplador y mediante la optimización de los parámetros de las ópticas de enfoque. Así, según las simulaciones, la longitud de excitación de la estructura usada en el experimento es de $50 \mu\text{m}$, esto es, el tamaño de punto a lo largo de la guiaonda se debe ajustar a este valor. Entonces se espera que
45 la eficacia de acoplamiento se incremente en un factor de tres.

Para determinar el índice de refracción y el grosor de la guiaonda descrita en la sección previa, se encontraron los ángulos de excitación para ambas polarizaciones TE y TM. Los modos de excitación se produjeron en el primer orden de difracción a $37^\circ 40'$ (modo de orden cero), $23^\circ 00'$ (modo de primer orden) en el caso de la polarización TE y
50 a $32^\circ 10'$ (modo de orden cero), $17^\circ 00'$ (modo de primer orden) en el caso de luz polarizada TM. Los cálculos de los parámetros de la guiaonda correspondientes a las constantes de propagación dieron un índice de refracción de 2,044 y un grosor de 168 nm. Estos parámetros se corresponden con las magnitudes medidas por el elipsómetro (2,03 para el índice de refracción y 180 nm para el grosor), que demuestra la capacidad del procedimiento para la caracterización de películas delgadas.

55 En conclusión, la invención describe un nuevo sistema híbrido genérico que combina el acoplamiento de un elemento de difracción con PDMS. La técnica de montaje permite el posicionamiento preciso de los acopladores en circuitos ópticos integrados. Los resultados experimentales han confirmando la validez de la configuración propuesta tanto para la caracterización de los materiales usados como para el acoplamiento de luz dentro/fuera en un IOC. Es
60 necesaria la optimización adicional de los acopladores internos. No obstante, se ha demostrado que el procedimiento es robusto, fiable y conceptualmente simple para ser usado en circuitos ópticos integrados.

En general, las sondas se pueden diseñar y fabricar para cada tarea y aplicación particular. Sobre un único chip de PDMS se pueden colocar varios acopladores. Todas las guiaondas y la circuitería óptica se pueden fabricar y adherirse
65 al otro sustrato hecho de material duro o de película de elastómero ligero. La combinación de DGCs y sistemas microfluidos preparados sobre PDMS con un IOC es prometedora para aplicaciones de detección. Los dispositivos fabricados usando tecnologías de silicio se pueden transferir sobre sustratos transparentes que sustituye la tecnología de fabricación de dispositivos fotónicos sobre sustratos de vidrio.

ES 2 368 043 A1

En el contexto de la presente invención, los términos “cerca”, “próximo”, “aproximadamente” y “sustancialmente” y términos de su familia (como “aproximado”, etc.) se debe entender que indican valores muy próximos a aquéllos que acompañan al término mencionado. Es decir, se debe aceptar una desviación dentro de límites razonables de un valor exacto, debido a que el experto en la técnica entenderá que esa desviación de los valores indicados es inevitable debido a imprecisiones en la medición, etc.

En este texto, el término “comprende” y sus variaciones (tales como “que comprende”, etc.) no se debe entender en un sentido excluyente, esto es, estos términos no se debe interpretar que excluyen la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc., adicionales.

Por otra parte, obviamente la invención no está limitada a la(s) forma(s) de realización específica descrita en el presente documento, sino que también engloba cualquier variación que se pueda considerar por la persona experta en la materia (por ejemplo, en lo que respecta a la elección de los materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance general de la invención según se define en las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) que comprende una guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) con una primera superficie (102, 202, 302, 402) y una segunda superficie (103, 203, 303, 403) opuesta a dicha primera superficie (102, 202, 302, 402), donde dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) tiene una red de difracción (110, 210, 310, 410) en una de dichas superficies,

caracterizado por que adicionalmente comprende una película de polímero blando (120, 220, 320, 420) depositada sobre y fijada a dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401), donde dicha película de polímero blando (120, 220, 320, 420) rodea parcialmente dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) y deja despejada una de dichas dos superficies de dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401), siendo así el acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) montable sobre y temporalmente adherible a un espécimen (230, 330, 430) mediante la fijación de dicha película de polímero blando (120, 220, 320, 420) a dicho espécimen (230, 330, 430).

2. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 1, en el que dicha película de polímero blando está hecha de poli(dimetilsiloxano).

3. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, en el que, cuando está montado sobre dicho espécimen (230, 330, 430), no hay hueco de aire entre dicho acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) y dicho espécimen (230, 330, 430).

4. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según cualquier reivindicación precedente, en el que dicha red de difracción (110, 210, 310, 410) comprende una pluralidad de crestas (112, 212, 312, 412).

5. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 4, en el que dichas crestas (112, 212, 312, 412) son de forma rectilínea.

6. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) comprende al menos una capa.

7. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) es una guíaonda plana.

8. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401) esta hecha de al menos un material óptico duro.

9. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha red de difracción (110, 210, 310, 410) es grabada químicamente sobre dicha guíaonda óptica (101, 201, 301, 401).

10. Acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) según la reivindicación 9, en el que dicha red de difracción (110, 210, 310, 410) está hecha de un material diferente del material del que está hecha la capa de la guíaonda (101, 201, 301, 401) sobre la que se graba químicamente dicha red de difracción (110, 210, 310, 410).

11. Sistema para la caracterización de un espécimen, que comprende:

un acoplador de red de difracción (200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones precedentes;

un espécimen (230, 330, 430) en el que está montado dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400) por medio de la película de polímero blando (220, 320, 420) de dicho acoplador de la red de difracción (200, 300, 400); y

una fuente de luz para iluminar dicho acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400),

en el que dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400) está configurado para acoplar luz procedente de dicha fuente de luz a dicho espécimen (230, 330, 430), excitando así al menos un modo en la guíaonda (201, 301, 401) comprendida en dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400).

12. Sistema según la reivindicación 11, en el que dicho espécimen (230, 330, 430) es un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato.

13. Uso del acoplador de red de difracción (100, 200, 300, 400) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para medir el índice de refracción de un espécimen, siendo dicho espécimen un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o una pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato.

ES 2 368 043 A1

14. Procedimiento de caracterización de un espécimen, que comprende las siguientes etapas:

- montar un acoplador de red de difracción (200, 300, 400) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 sobre un espécimen (230, 330, 430), presionando la película de polímero blando (220, 320, 420) de dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400) contra dicho espécimen (230, 330, 430);

- excitar al menos un modo en la guíaonda (201, 301, 401) comprendida en dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400) iluminando dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400) con un haz de luz emitido por un láser;

- barrer los ángulos de incidencia de dicho haz de luz emitida sobre dicho acoplador de red de difracción (200, 300, 400);

- registrar los ángulos de excitación de los modos de la guíaonda;

- calcular un cierto parámetro del espécimen usando técnicas de modelado.

15. Procedimiento según la reivindicación 14, en el que dicho espécimen (230, 330, 430) es un material voluminoso o un material de película delgada depositado sobre un sustrato o una pila de películas delgadas depositadas sobre un sustrato.

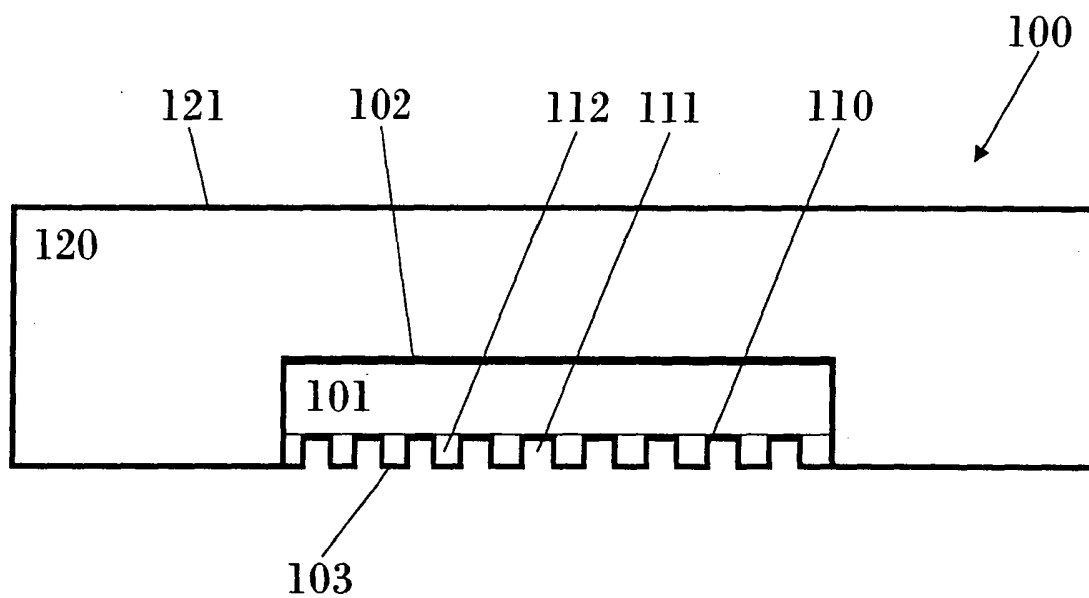


FIG. 1

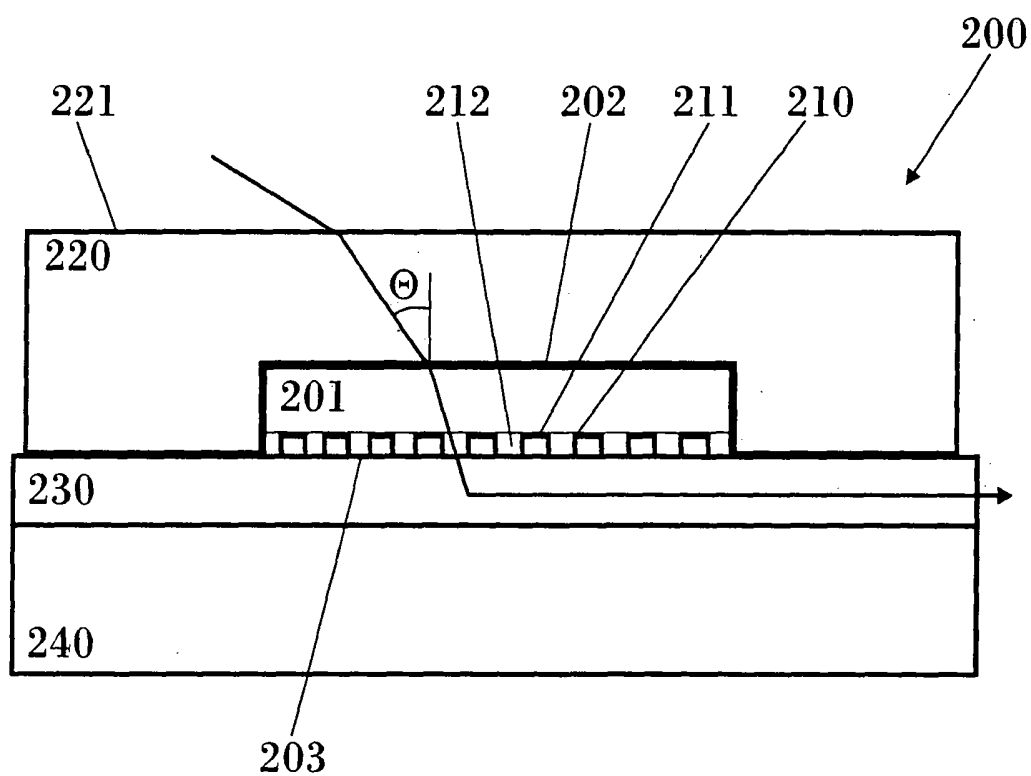


FIG. 2

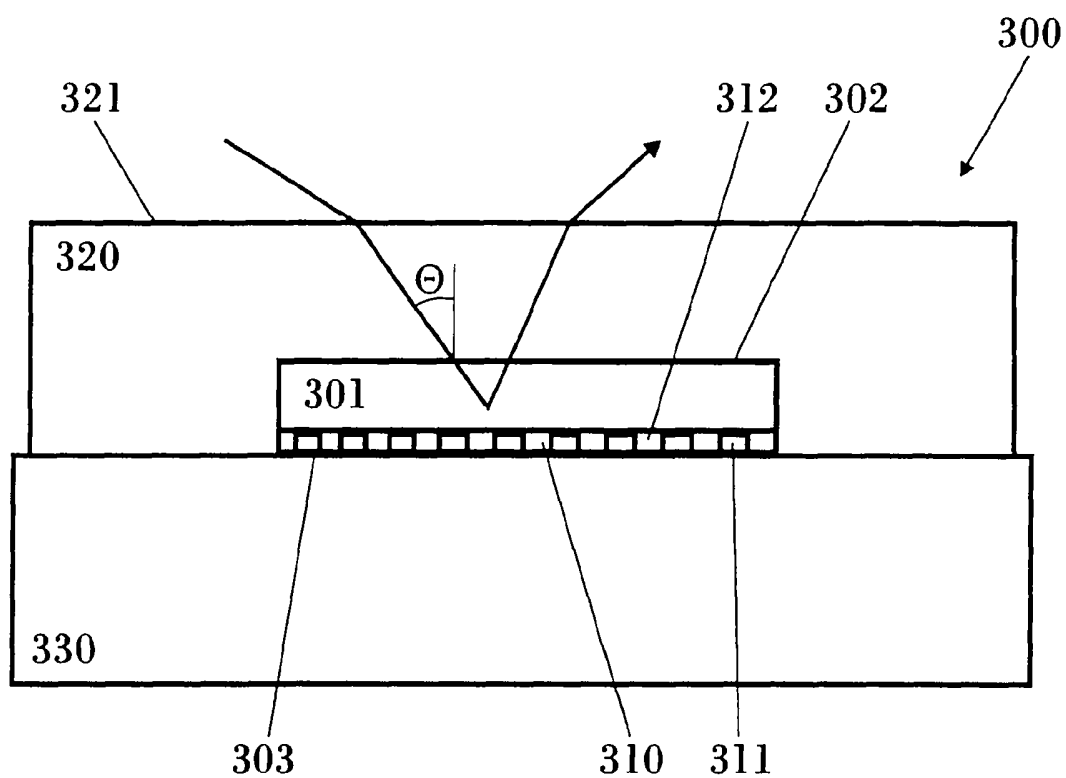


FIG. 3

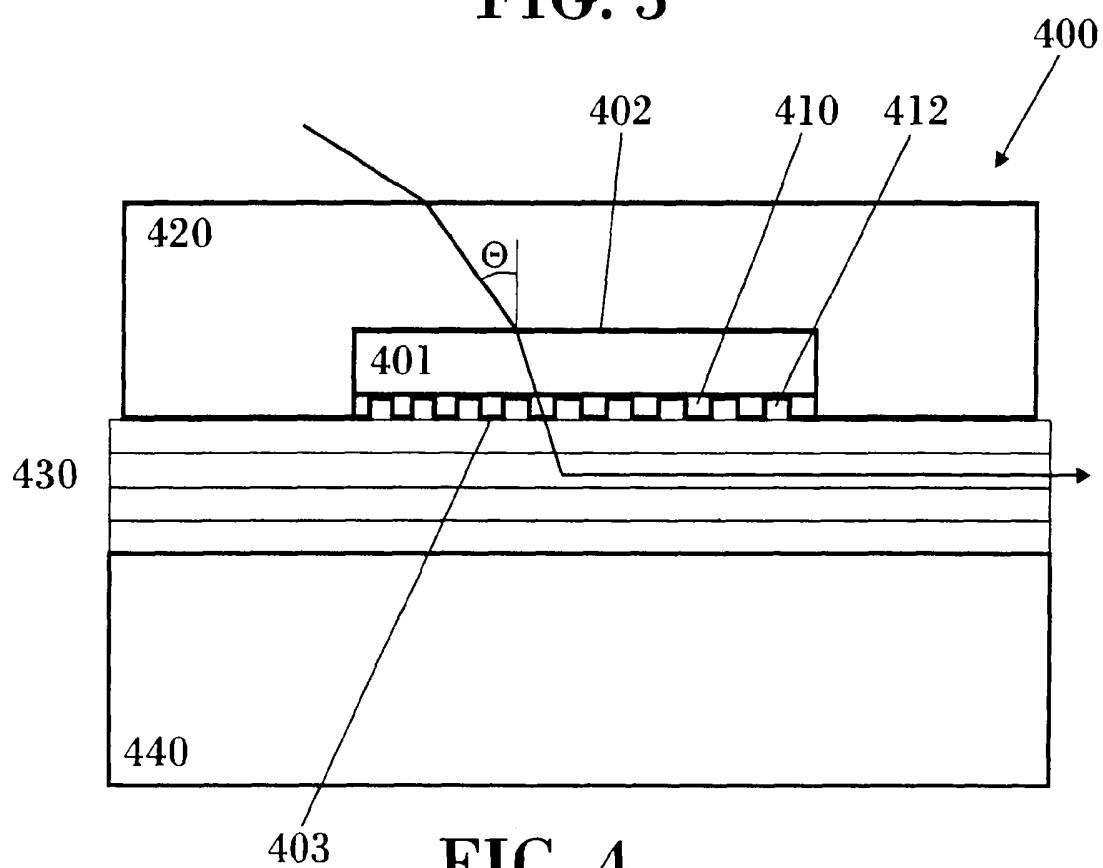


FIG. 4

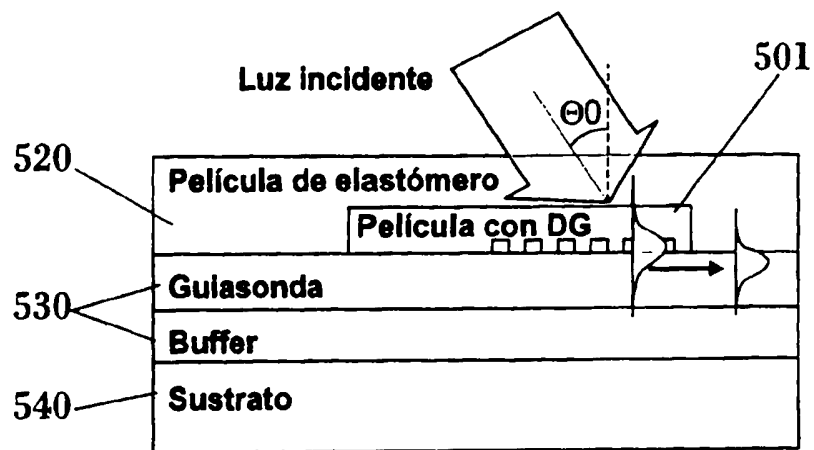


FIG. 5a

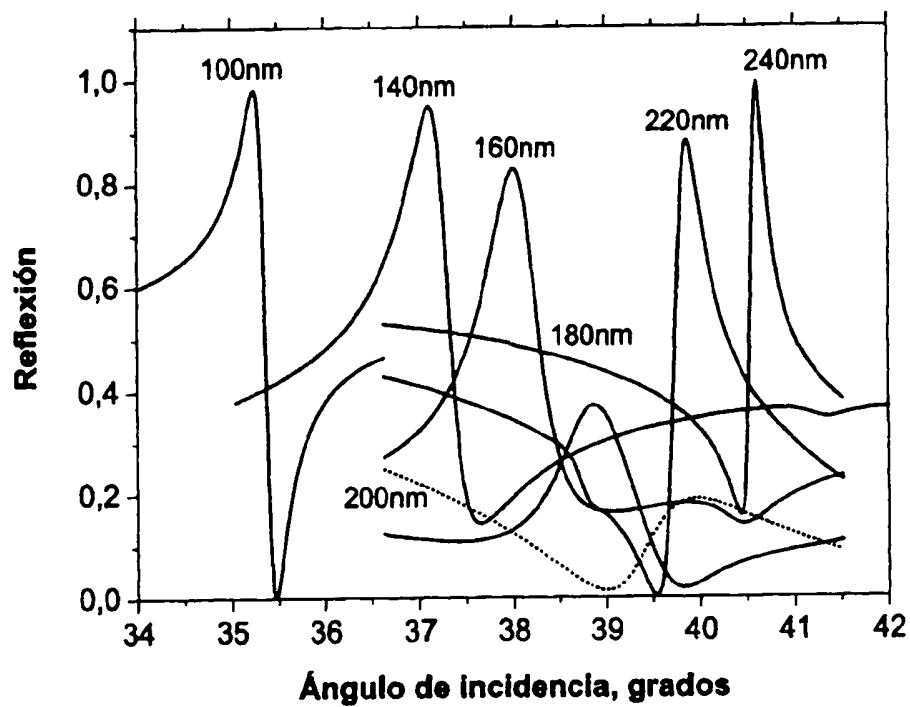


FIG. 5b

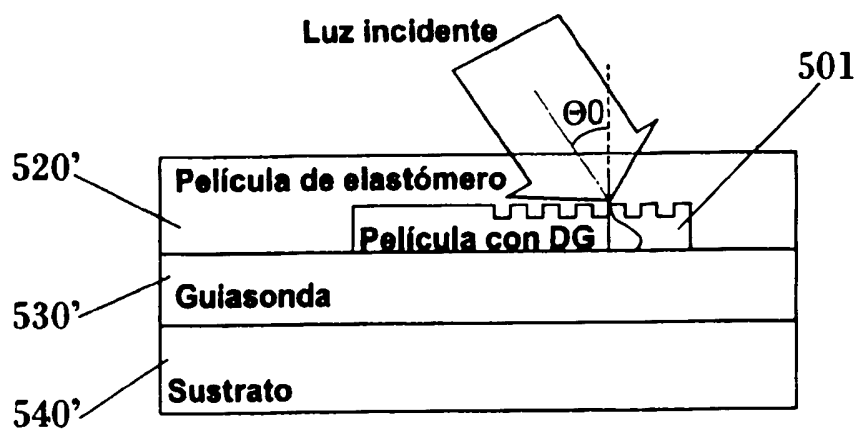


FIG. 5c

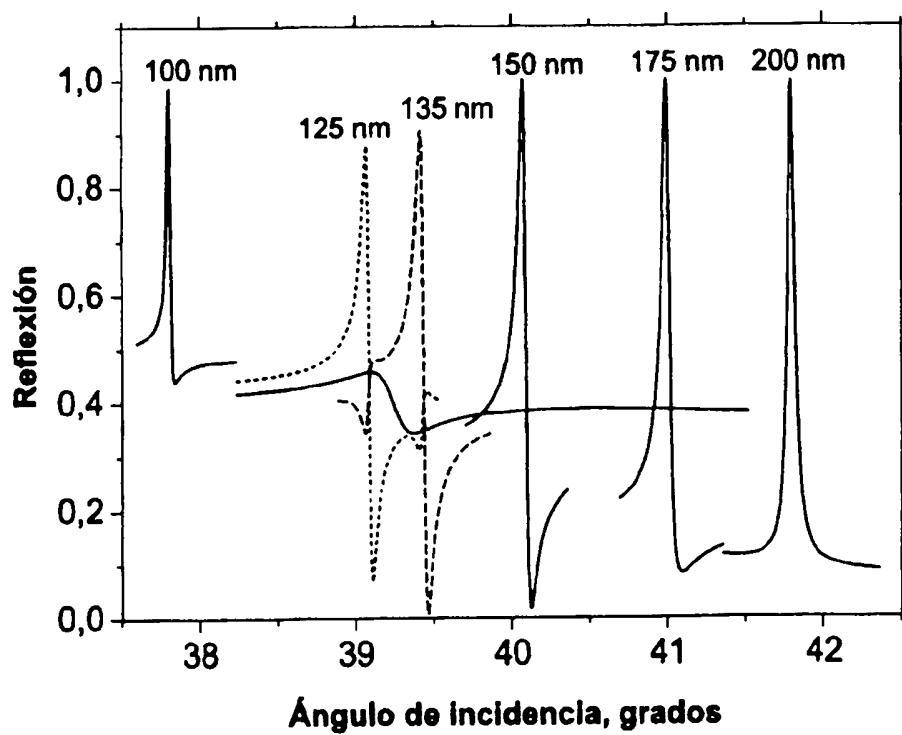


FIG. 5d

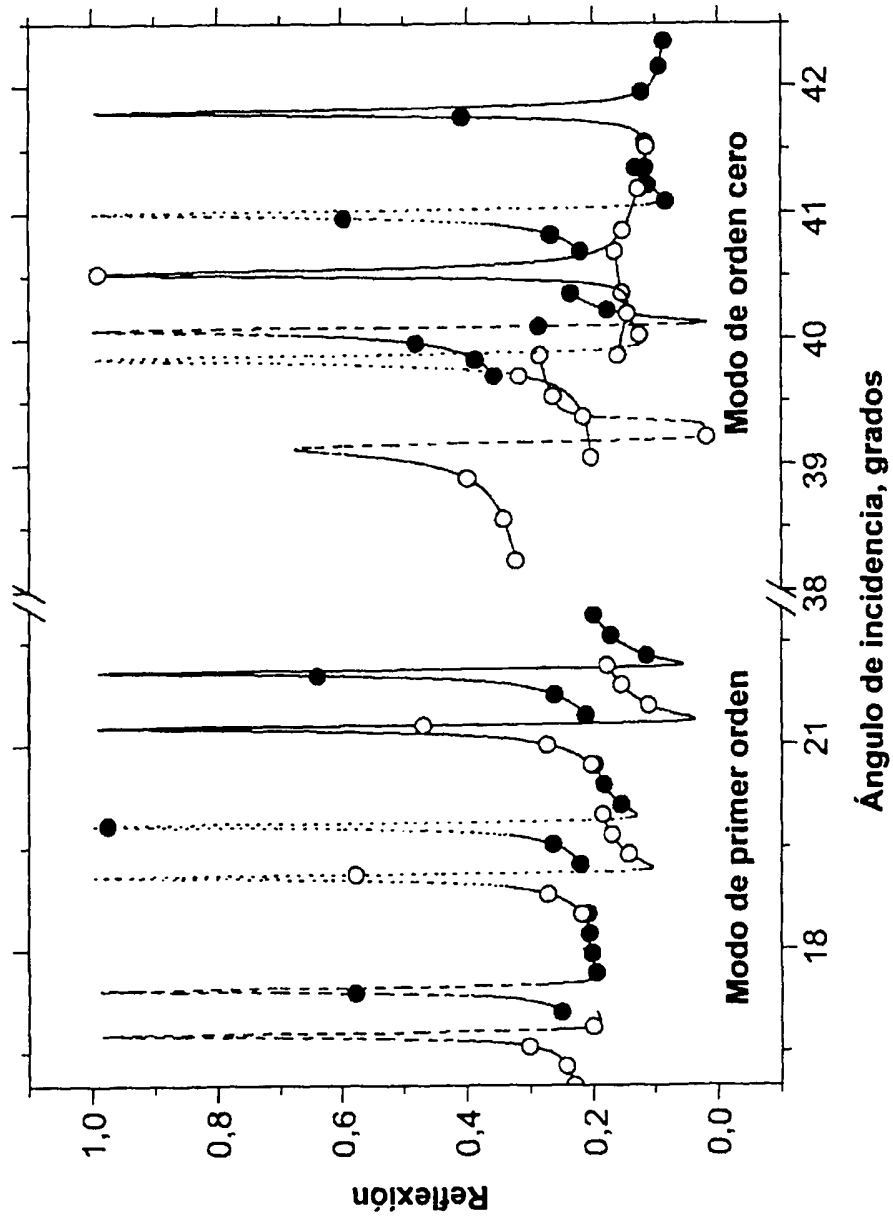


FIG. 5e

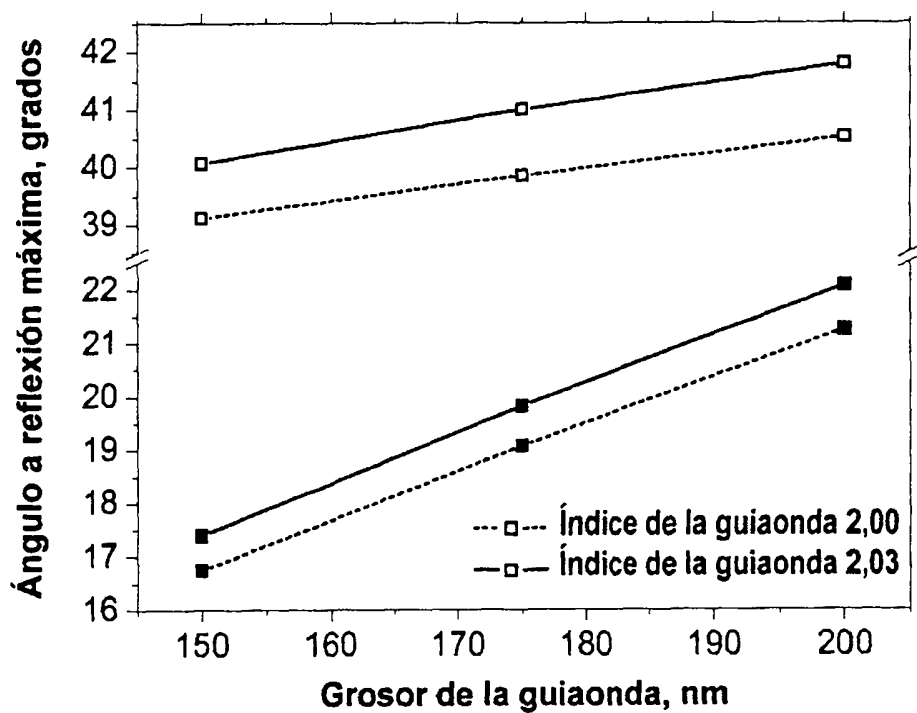


FIG. 5f

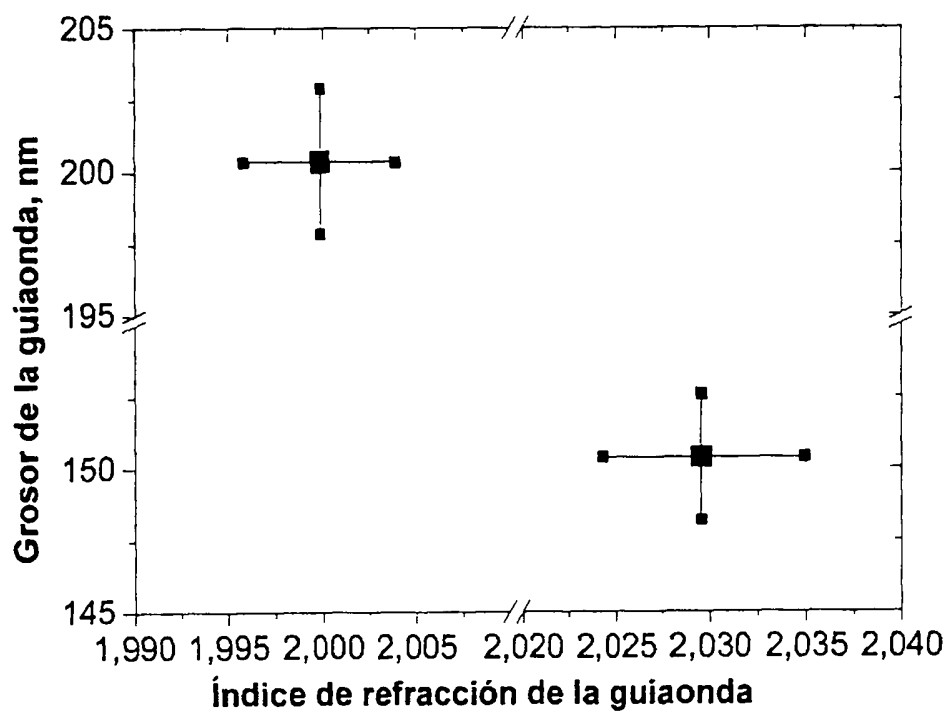


FIG. 5g

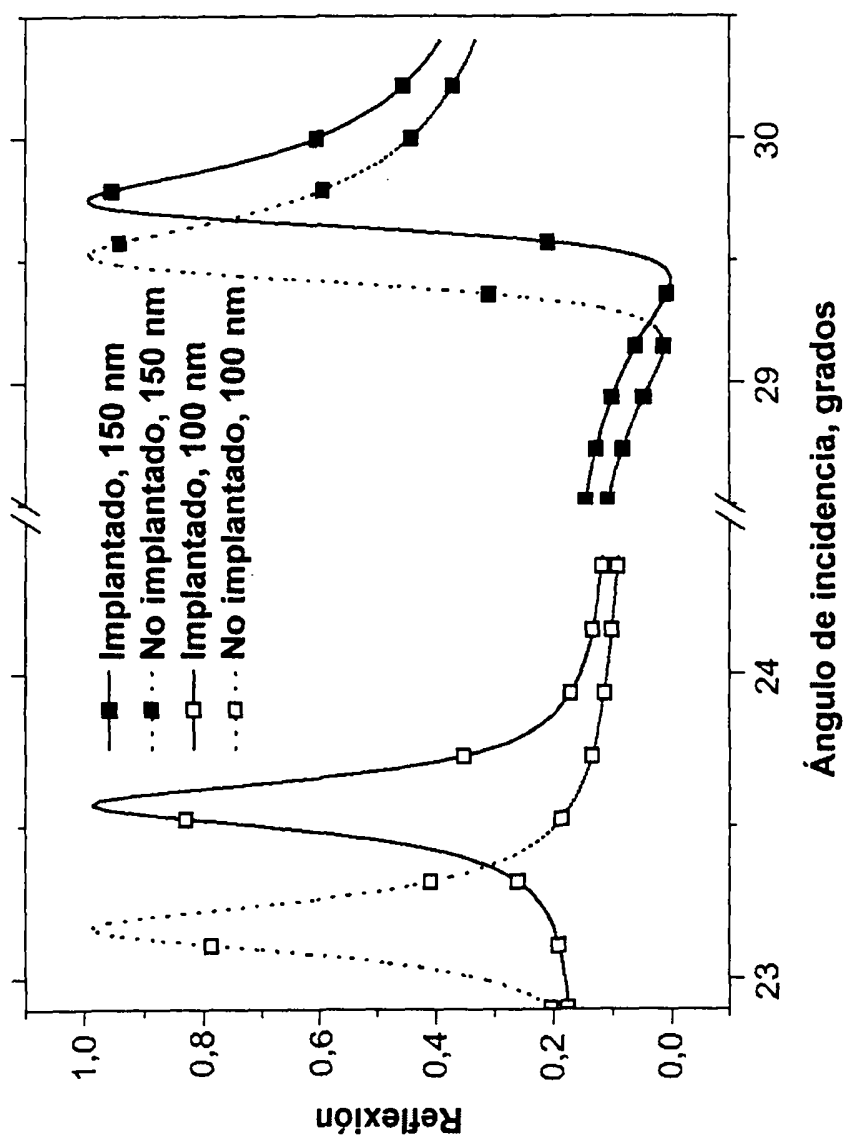


FIG. 5h

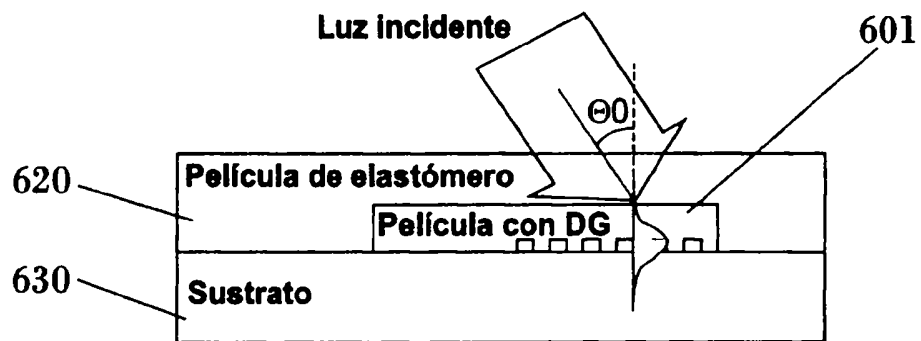


FIG. 6a

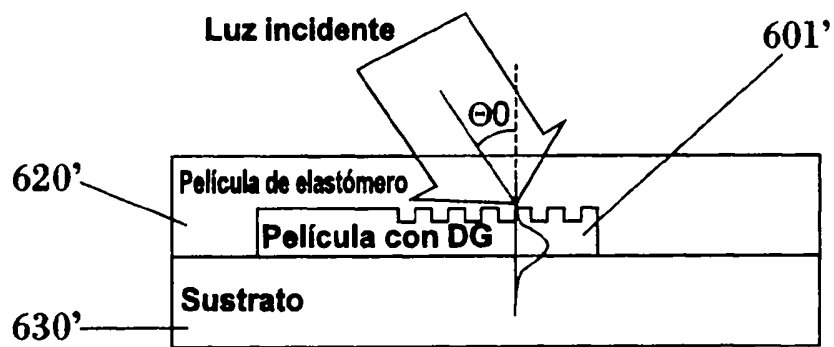


FIG. 6b

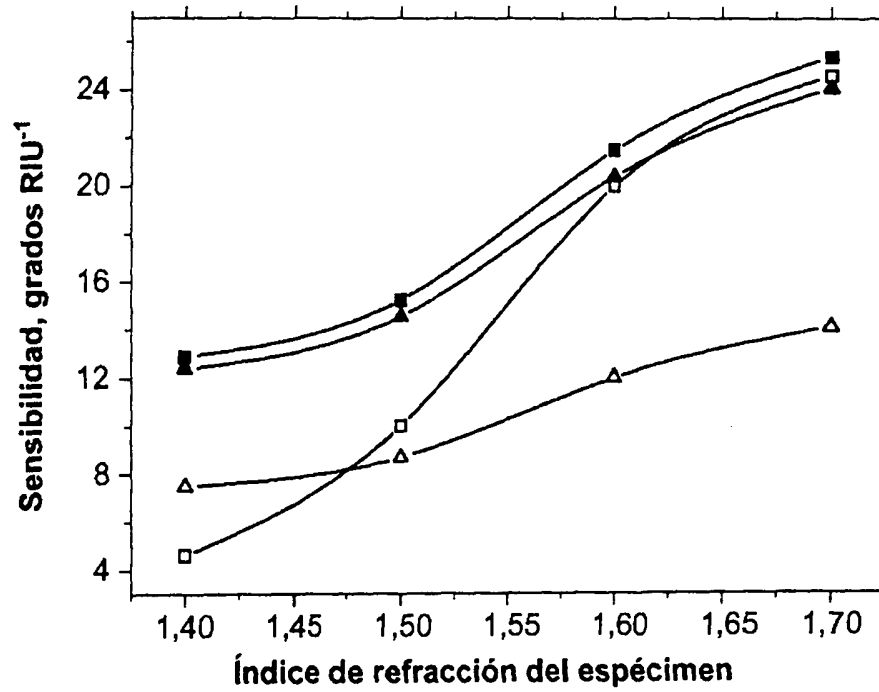


FIG. 6c

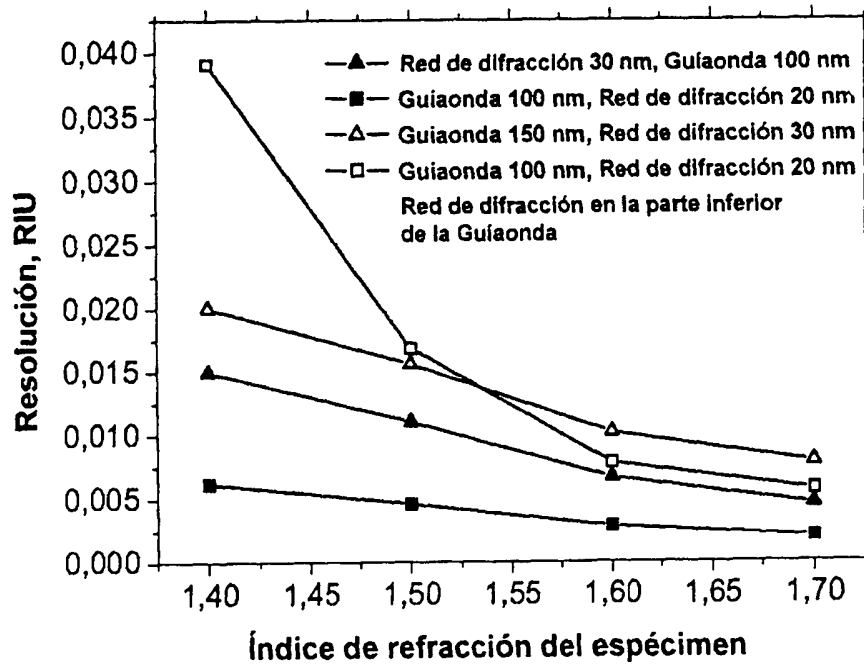


FIG. 6d

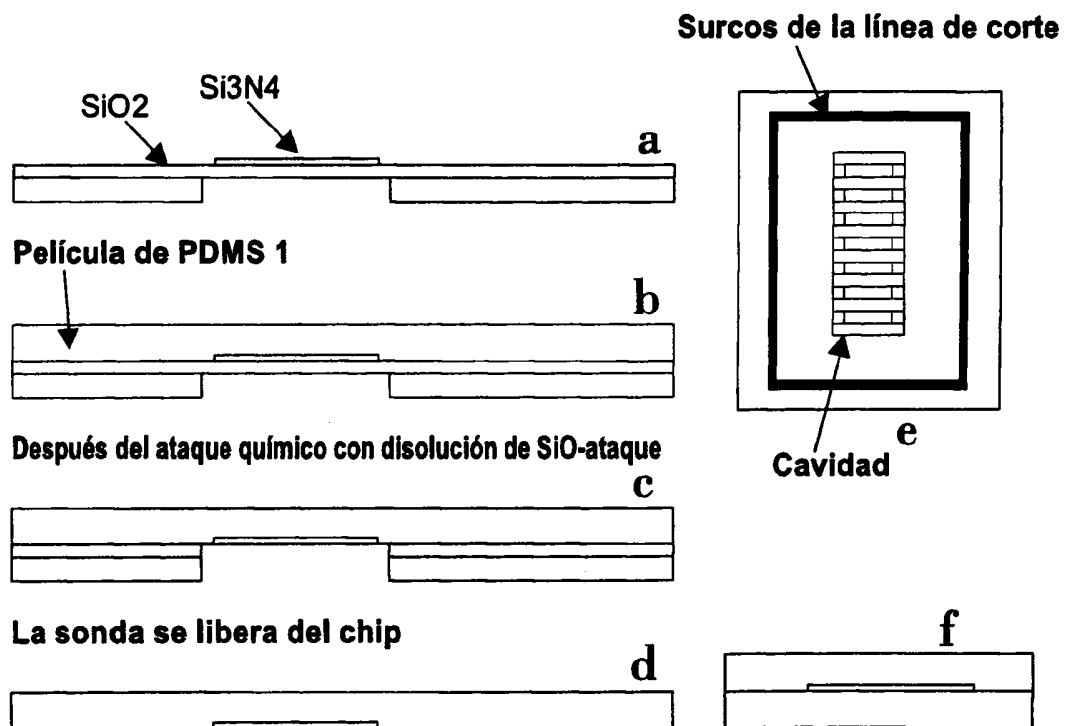


FIG. 7

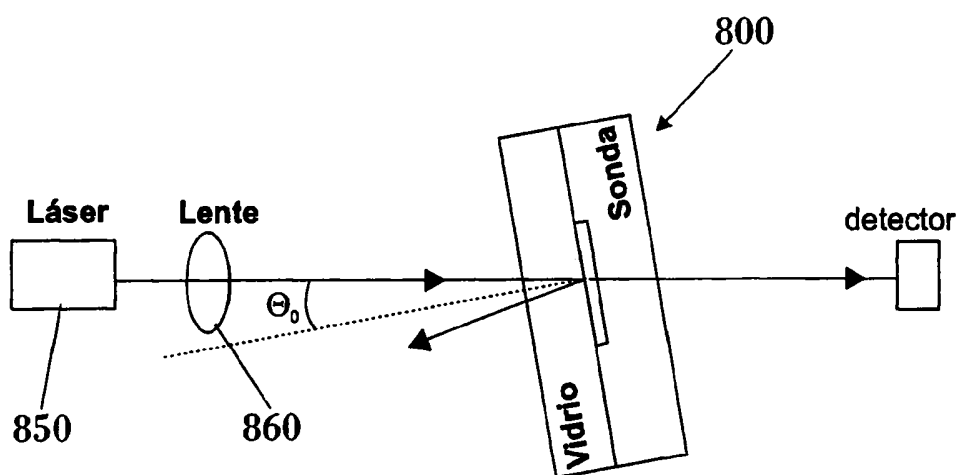


FIG. 8

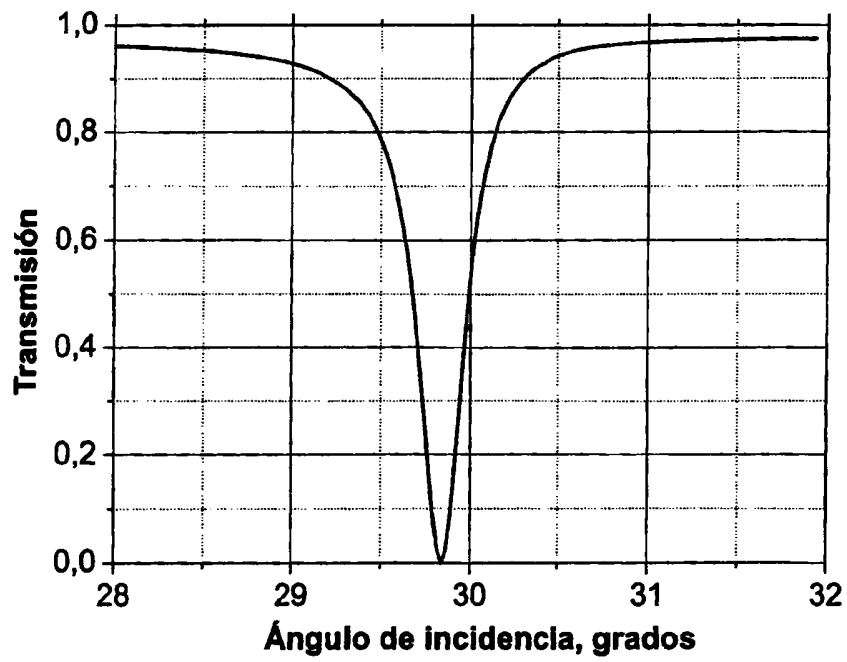
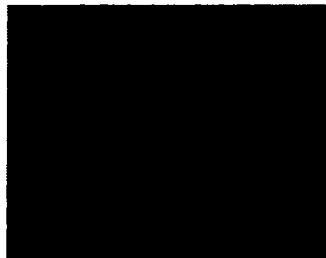


FIG. 9a



El punto en la matriz de CCD

FIG. 9b

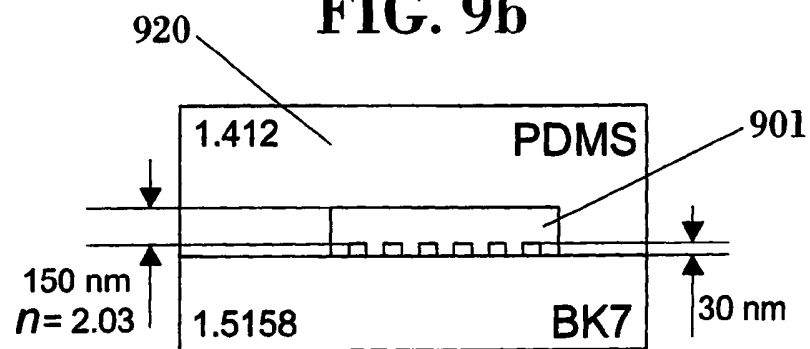


FIG. 9c

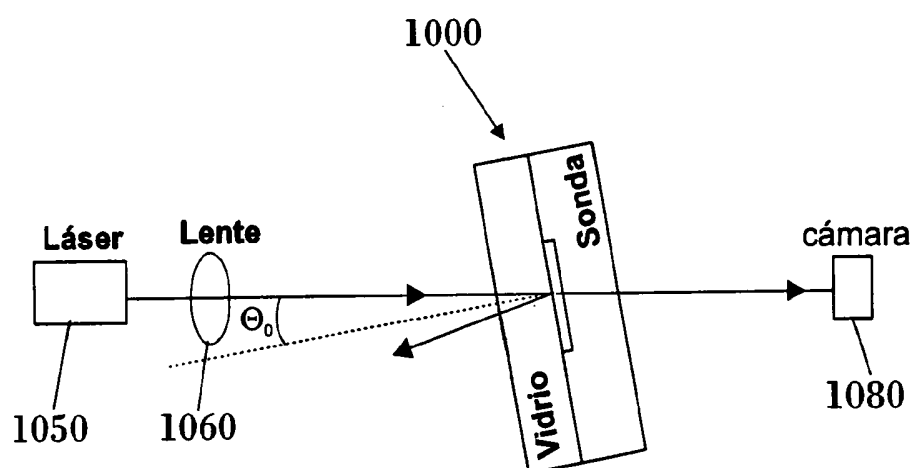


FIG. 10a

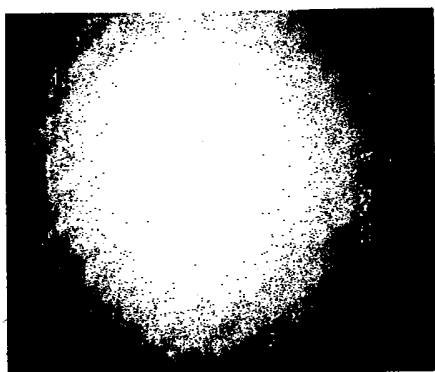


FIG. 10b

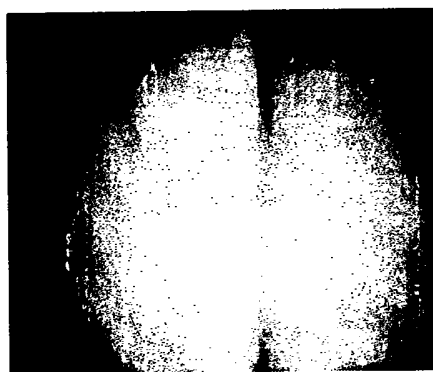


FIG. 10c

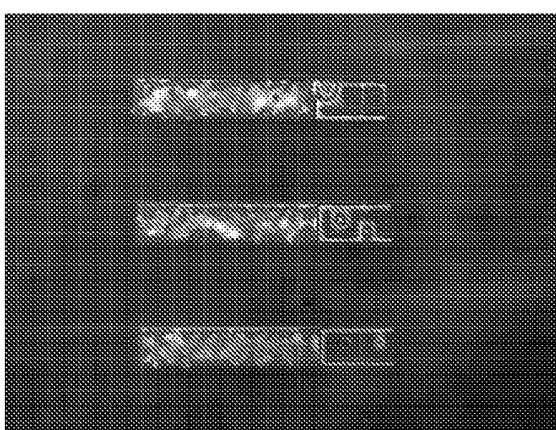


FIG. 10d

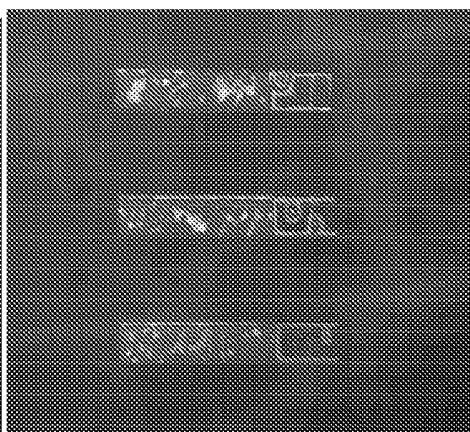


FIG. 10e

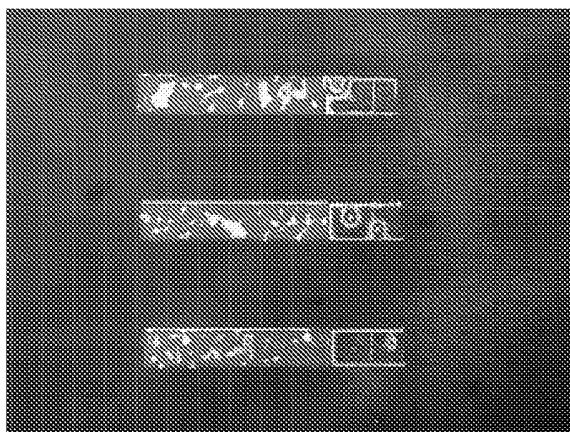


FIG. 10f

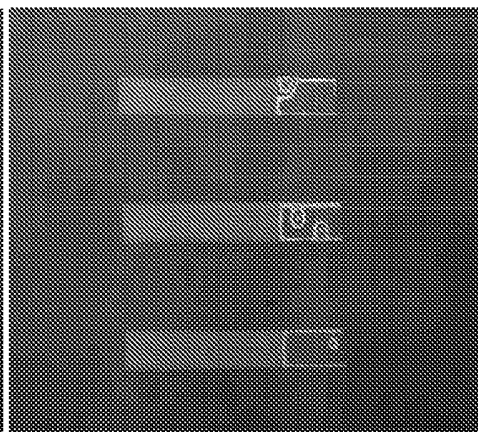


FIG. 10g

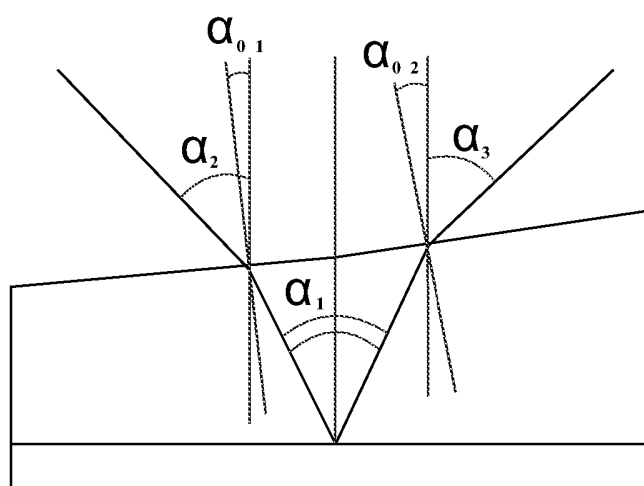


FIG. 11

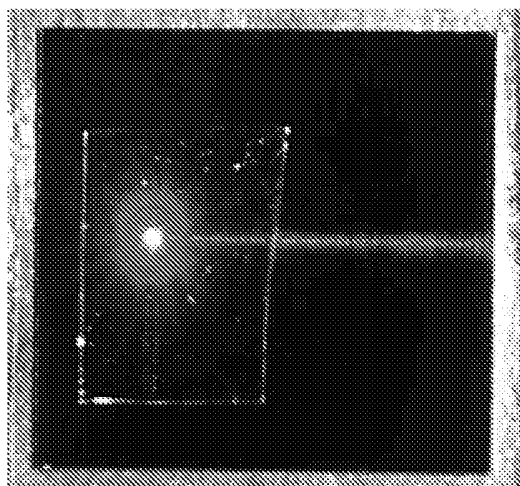


FIG. 12

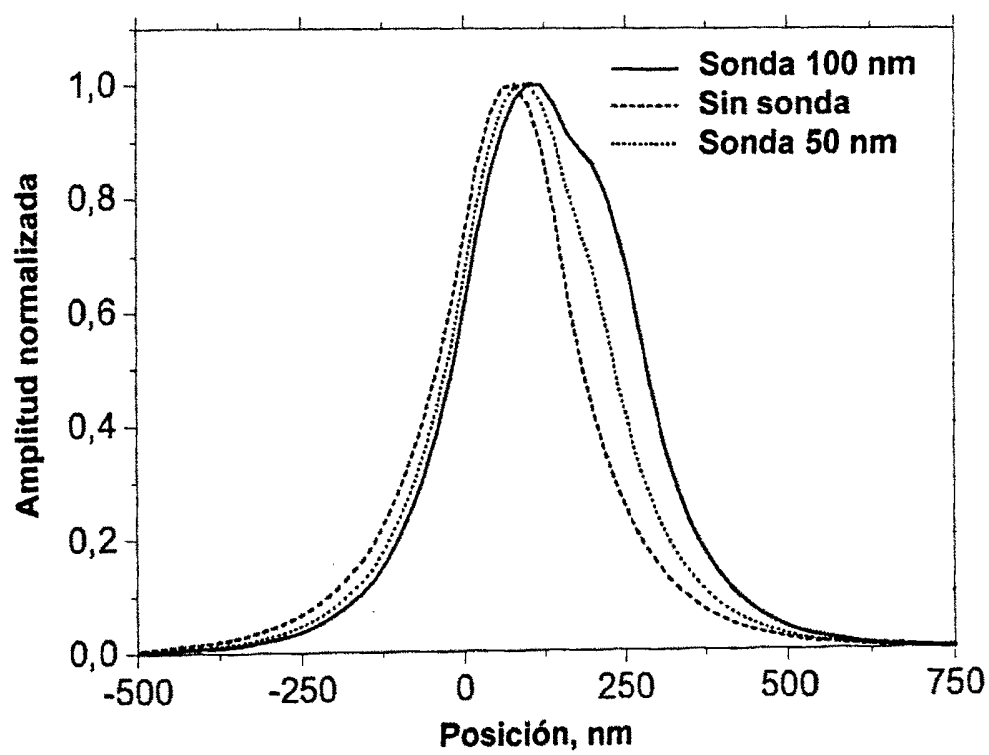


FIG. 13



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

21 N.º solicitud: 200801236

22 Fecha de presentación de la solicitud: 29.04.2008

32 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

5 Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	SZENDRO, I.: "Art and practice to emboss gratings into sol-gel waveguides", PROCEEDINGS OF THE SPIE – THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE, vol. 4284, 2001, páginas 80-87, XP002541101, ISSN: 0277-786X.	1
A	KOCABAS, A. et al.: "HIGH-REFRACTIVE-INDEX MEASUREMENT WITH AN ELASTOMERIC GRATING COUPLER", OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 30, nº 23, 1 de diciembre de 2005, páginas 3150-3152, XP 001237610, ISSN: 0146-9592.	1,14
A	VOROS, J. et al.: "Optical grating coupler biosensors", BIOMATERIALS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV., vol. 23, nº 17, 1 de septiembre de 2002, páginas 3699-3710, XP004361332, ISSN: 0142-9612.	1,14
A	US 20060008206 A1 (MAISENHOELDER, B.) 12.01.2006, resumen; párrafos [0057]-[0063].	1
A	WO 2007043005 A1 (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) todo el documento.	1,14
A	US 20060239612 A1 (DE DOBBELAERE, P. et al.) 26.10.2006, resumen; párrafos [0031],[0032],[0036],[0045],[0046].	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

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

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

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

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

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
08.09.2011

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G02B6/34 (2006.01)**G01N21/41** (2006.01)**G01N21/84** (2006.01)

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

G02B, G01N

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

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 08.09.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-15	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-15	SI
	Reivindicaciones	NO

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

Base de la Opinión.-

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

Consideraciones:

La presente Solicitud se refiere, respectivamente en sus reivindicaciones 1, 11 y 14, a un acoplador óptico de red de difracción, a un sistema de medida que lo integra, y a un procedimiento para caracterizar un espécimen, que utiliza dicho sistema. Así, el acoplador definido en la primera reivindicación comprende una guía de ondas con dos superficies opuestas, una de las cuales incorpora una red de difracción, y una película de polímero blando, depositada y fijada a dicha guía de onda de manera que la rodea parcialmente dejando al descubierto una de dichas dos superficies, a fin de poder adherirse parcialmente al espécimen mediante la fijación a este de dicha película polimérica. Por su parte, el sistema de la reivindicación 11 añade al conjunto de acoplador y espécimen una fuente de luz que se acopla a dicho espécimen a través de dicho acoplador, excitando así al menos un modo en la guía de onda comprendida en dicho acoplador. Por último, el procedimiento de caracterización del espécimen barre con un haz de luz de láser diversos ángulos de incidencia de dicho haz sobre el acoplador, previamente montado sobre un espécimen, y registra los ángulos de excitación de los modos en la guía de ondas, para calcular un cierto parámetro del espécimen utilizando técnicas de modelado.

Otras reivindicaciones dependientes de las anteriores añaden detalles y concretan características estructurales o de materiales del objeto de la invención, respectivamente en sus aspectos de dispositivo, sistema y método, con vistas a un funcionamiento óptimo de este.

1. Documentos considerados.-

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

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	KOCABAS, A. et al.: "HIGH-REFRACTIVE-INDEX MEASUREMENT WITH AN ELASTOMERIC GRATING COUPLER", OPTICS LETTERS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, vol. 30, nº 23, 1 de diciembre de 2005, páginas 3150-3152, XP 001237610, ISSN: 0146-9592.	diciembre 2005

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

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-15 de la presente Solicitud tiene novedad y actividad inventiva por no estar comprendida en el estado de la técnica ni poder ser deducida de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Se conoce en el estado de la técnica el uso de acopladores ópticos de guía de ondas con una o más rejillas de difracción acoplados ópticamente sobre especímenes para medir parámetros o características de estos, ya sea mediante la variación del índice de refracción, fluorescencia, excitación de plasmón superficial u otros fenómenos ópticos que se producen en el acoplamiento. Así, por ejemplo, el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A, divulga un sensor óptico de medición del índice de refracción y su fabricación, con el mismo funcionamiento que el de la invención (barrido con haz de láser del sensor en diversos ángulos, acoplado sobre el espécimen) y el mismo material (poli(dimetilsiloxano)). Sin embargo, este material, al contrario que en la presente invención, se utiliza para la guía de ondas y no para una película de cobertura, de la que el sensor carece, lo que constituye la diferencia esencial que confiere novedad y actividad inventiva a la invención, al solucionar el problema técnico de la adhesión del acoplador al espécimen de un modo que no es evidente partiendo solo de este documento. Otros documentos recogen también sustratos de soporte de la guía de ondas, algunos de ellos realizados en materiales poliméricos o plásticos, pero no se ha encontrado en ninguno la característica de blandura con los fines específicos de adaptabilidad y adherencia del acoplador considerada en la presente invención, ni tampoco la estructura concreta del ajuste entre dicho sustrato y la guía de ondas, adecuada a tales fines.

Cabe concluir, por tanto, que la invención definida en todas las reivindicaciones de esta Solicitud tiene novedad y actividad inventiva de acuerdo con los Artículos 6 y 8 de la Ley de Patentes.