

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 495**

51 Int. Cl.:

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 26/10 (2006.01)

G02B 1/11 (2015.01)

G02B 6/12 (2006.01)

G02B 6/136 (2006.01)

G02B 6/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2015 PCT/EP2015/073926**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.04.2016 WO16059177**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2015 E 15780902 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 3207413**

54 Título: **Escáner de haz óptico**

30 Prioridad:

15.10.2014 US 201462064355 P

13.10.2015 US 201514882291

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

20.07.2018

73 Titular/es:

**MEDLUMICS S.L. (100.0%)
Plaza de la Encina, 10-11, Núcleo 3-2° A
28760 Tres Cantos, Madrid, ES**

72 Inventor/es:

**MARGALLO BALBÁS, EDUARDO;
RUBIO GIVERNAU, JOSÉ LUIS y
ZINOVIEV, KIRILL**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 676 495 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

Escáner de haz óptico

Antecedentes**Campo**

- 5 Las realizaciones de la invención se refieren a diseños de un dispositivo de escaneo de haces microfabricado y su uso en un formato de matriz.

Antecedentes

- 10 La orientación de haz en los dispositivos de formación de imágenes puede realizarse usando varias técnicas que hacen uso de efectos electro o termo ópticos en chip o usando el escaneo mecánico moviendo lentes o espejos en un espacio libre. Un mecanismo habitual para la orientación de haz usa un espejo para orientar la luz que sale de una guía de onda óptica e incluye una lente de colimación y un espejo localizado a cierta distancia de la guía de onda. El espejo de escaneo bidimensional desvía el haz de luz y lo proyecta sobre una muestra.

- 15 La propagación de la luz a lo largo de guías de onda ópticas modeladas en chip se produce en el plano. Sin embargo, las tecnologías planas habitualmente usadas para la fabricación de dispositivos integrados no permiten la fabricación de elementos de colimación (o enfoque) eficientes para obtener un rendimiento de alta calidad. La lente se localiza habitualmente de manera simétrica con respecto al eje óptico de la guía de onda. A menudo se usa una solución híbrida para solucionar este problema: una lente de espacio libre se une al mismo banco óptico donde se fija la guía de onda. Sin embargo, la alineación de la lente de espacio libre requiere una precisión muy alta en las tres direcciones ortogonales del orden de 1 micrómetro.

- 20 Muchos dispositivos de interferometría, tales como los sistemas de tomografía de coherencia óptica (OCT), usan una luz colimada que se dirige además a una lente de enfoque operada en modo telecéntrico para hacer que la longitud de trayectoria óptica total sea indiferente a la localización del haz en la muestra de la que se han formado imágenes. El uso de elementos ópticos de espacio libre puede proporcionar un rendimiento de alta calidad; sin embargo, es relativamente voluminoso, requiere una alineación precisa y no deja muchas posibilidades de reducción del tamaño total del dispositivo.
- 25

El documento de patente US5263111-A desvela un dispositivo para dirigir un haz óptico que comprende una guía de onda, un reflector y un elemento óptico dispuesto sobre una primera superficie de un sustrato.

Breve resumen

- 30 En las realizaciones presentadas en el presente documento, se presentan diseños de dispositivos de un escáner de haz óptico microfabricado que pueden usarse con aplicaciones de OCT. El diseño también permite la fabricación masiva del dispositivo con el fin de formar matrices de escaneo.

- 35 En una realización, se presenta un dispositivo que incluye un sustrato que tiene una primera superficie y una segunda superficie paralela opuesta. El dispositivo incluye una guía de onda modelada sobre la primera superficie y configurada para guiar un haz de radiación a lo largo de una longitud de la guía de onda. El dispositivo también incluye una faceta localizada en la primera superficie y diseñada para reflejar al menos una parte del haz de radiación en un ángulo que es sustancialmente perpendicular a la primera superficie. Un elemento óptico está localizado o en la primera superficie o en la segunda superficie, y está diseñado para recibir la parte reflejada del haz de radiación.

- 40 En otra realización, se presenta un dispositivo de escaneo que tiene un sustrato con una primera superficie y una segunda superficie paralela opuesta. Una zona del sustrato incluye la primera superficie y la segunda superficie paralela opuesta, y se define mediante un proceso de grabado a través de un espesor del sustrato, donde la zona permanece unida al sustrato mediante una o más bisagras. Una guía de onda se modela sobre la primera superficie de la zona y guía un haz de radiación a lo largo de una longitud de la guía de onda. El dispositivo de escaneo incluye una faceta localizada en la primera superficie de la zona. La faceta está diseñada para reflejar al menos una parte del haz de radiación a través de la zona. Un elemento óptico está localizado en la segunda superficie de la zona, y está diseñado para recibir la parte reflejada del haz de radiación.
- 45

- 50 En otra realización, se presenta un dispositivo de escaneo que incluye una pluralidad de elementos individualmente dirigibles formados a partir del mismo sustrato. Cada elemento de la pluralidad de elementos incluye una zona del sustrato, una guía de onda, una faceta y un elemento óptico. La zona tiene una primera superficie y una segunda superficie paralela opuesta, donde la zona se define mediante un proceso de grabado a través de un espesor del

5 sustrato, y donde la zona permanece unida al sustrato mediante una o más bisagras. La guía de onda se modela sobre la primera superficie de la zona y guía un haz de radiación a lo largo de una longitud de la guía de onda. La faceta está localizada en la primera superficie de la zona y está diseñada para reflejar al menos una parte del haz de radiación a través de la zona. El elemento óptico está localizado en la segunda superficie de la zona, y está diseñado para recibir la parte reflejada del haz de radiación. Cada elemento de la pluralidad de elementos está diseñado para orientar un haz de radiación correspondiente mediante el movimiento de una zona correspondiente.

Breve descripción de los dibujos/figuras

10 Los dibujos adjuntos, que se incorporan en el presente documento y forman una parte de la memoria descriptiva, ilustran realizaciones de la presente invención y, junto con la descripción, sirven además para explicar los principios de la invención y para facilitar que los expertos en la materia realicen y usen la invención.

La figura 1 ilustra un dispositivo de escaneo de haces que usa ópticos de espacio libre.

La figura 2 ilustra un dispositivo para dirigir un haz óptico, de acuerdo con una realización.

La figura 3 ilustra un dispositivo para dirigir un haz óptico, de acuerdo con una realización.

La figura 4 ilustra un dispositivo para dirigir un haz óptico, de acuerdo con una realización.

15 La figura 5 ilustra un dispositivo para dirigir un haz óptico, de acuerdo con una realización.

La figura 6 ilustra un dispositivo para dirigir un haz óptico, de acuerdo con una realización.

Las figuras 7A - 7C ilustran diversas vistas de un escáner de haz óptico, de acuerdo con una realización.

La figura 8 ilustra un escáner de haz óptico con dos elementos ópticos, de acuerdo con una realización.

20 La figura 9 ilustra un dispositivo de escaneo de haces que tiene una pluralidad de elementos dirigibles, de acuerdo con una realización.

La figura 10 ilustra un diagrama de bloques de un sistema interferométrico, de acuerdo con una realización.

La figura 11 ilustra una representación gráfica simulada de reflectividad frente a longitud de onda para diferentes i valores, de acuerdo con una realización.

Las realizaciones de la presente invención se describirán con referencia a los dibujos adjuntos.

25 Descripción detallada

Aunque se exponen configuraciones y disposiciones específicas, debe entenderse que esto se hace solo con fines ilustrativos. Los expertos en la materia reconocerán que pueden usarse otras configuraciones y disposiciones sin alejarse del alcance de la presente invención. Para los expertos en la materia será evidente que la presente invención también puede emplearse en una diversidad de aplicaciones diferentes.

30 Cabe señalar que las referencias en la memoria descriptiva a "una realización", "una realización a modo de ejemplo," etc., indican que la realización descrita puede incluir un rasgo, estructura, o característica específico, pero cada realización puede no incluir necesariamente el rasgo, estructura, o característica específico. Además, tales frases no hacen referencia necesariamente a la misma realización. Además, cuando un rasgo, estructura, o característica específico se describe en relación con una realización, estaría dentro del conocimiento de los expertos en la materia
35 realizar tal rasgo, estructura, o característica en relación con otras realizaciones, descritas o no explícitamente.

Las realizaciones en el presente documento se refieren a diversos diseños de un escáner de haz óptico. Dichos dispositivos de escaneo son útiles para aplicaciones de formación de imágenes que pueden adquirir datos barriendo un haz de radiación a través de una muestra. Estas aplicaciones de formación de imágenes incluyen, pero sin limitarse a, la interferometría, la microscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR), la microscopía
40 confocal y la espectroscopia RAMAN. La tomografía de coherencia óptica (OCT) es una técnica que se describe en el presente documento y que puede beneficiarse del uso de los dispositivos incorporados.

En el presente documento, las expresiones "radiación electromagnética", "luz", "haz de radiación," y "haz óptico" se usan para describir las mismas señales electromagnéticas que se propagan a través de los diversos elementos y sistemas descritos.

Los diversos diseños de dispositivos permiten que el escáner de haz óptico se fabrique usando técnicas de microfabricación convencionales. De esta manera, la fabricación masiva produce un gran número de dispositivos de escaneo con buena uniformidad y bajo coste. Debe entenderse que las realizaciones de la presente invención no se limitan a las etapas de fabricación específicas tomadas para fabricar los dispositivos. Existen muchas técnicas de fabricación potenciales conocidas por los expertos en la materia que podrían usarse para fabricar finalmente los dispositivos incorporados en el presente documento.

Una ventaja de la microfabricación es la integración monolítica de los componentes que conduce a una mejor alineación y a menores pérdidas ópticas. La figura 1 ilustra un ejemplo de un dispositivo de escaneo de haces 100 que usa elementos ópticos de espacio libre para dirigir un haz hacia una muestra. Un sustrato 102 incluye una guía de onda modelada 104 para guiar un haz de luz hacia una lente 106. La lente 106 se alinea fuera de chip con la faceta de salida de la guía de onda 104. La lente 106 enfoca la luz sobre un espejo de escaneo separado 108. Un haz de salida de radiación 110 se refleja desde el espejo de escaneo 108 hacia la muestra 112. El espejo de escaneo 108 se acopla a un accionador con el fin de mover lateralmente y/o inclinar el ángulo del espejo de escaneo 108 con el fin de orientar la dirección del haz de radiación 110 hacia la muestra 112. Como alternativa, la luz puede colimarse por la lente 106, reflejarse por el espejo 108 y dirigirse a una lente de enfoque operada en modo telocéntrico y localizada entre la muestra 112 y el espejo 108.

El dispositivo de orientación de haces 100 puede producir un ángulo de orientación de haz ancho debido al rango de movimiento proporcionado al espejo de escaneo 108. Sin embargo, el dispositivo de orientación de haces 100 requiere el uso de elementos ópticos de espacio libre que hacen muy difícil la miniaturización. Además, cada uno de los elementos ópticos debe alinearse con precisión, lo que requiere una gran habilidad y consume mucho tiempo.

Las figuras 2-5 ilustran diversas realizaciones de un dispositivo diseñado para dirigir un haz de radiación. Las realizaciones utilizan el mismo concepto básico de dirigir un haz de radiación en un ángulo que sea sustancialmente perpendicular a una superficie del sustrato. Sin embargo, las realizaciones difieren en la colocación y la formación de ciertos elementos.

La figura 2 ilustra un dispositivo 200 diseñado para dirigir un haz de radiación, de acuerdo con una realización. El dispositivo 200 incluye un sustrato 202, una guía de onda 204 que incluye una capa central 206 rodeada por capas de revestimiento 208a y 208b, y un elemento óptico 214. Un reflector 210 se forma en el plano con la guía de onda 204 y se diseña para reflejar un haz de radiación 212 hacia el elemento óptico 214.

El sustrato 202 puede ser cualquier material adecuado que permita realizar etapas de modelado por micromecanizado de superficie y/o masivo. En un ejemplo, el sustrato 202 es un material cristalino tal como silicio, arseniuro de galio, fosfuro de indio, etc. En otros ejemplos, el sustrato 202 es amorfo, tal como vidrio o polisilicio. La capa central 206 de la guía de onda 204 puede comprender un material que tenga un índice de refracción más alto que las capas de revestimiento 208a y 208b con el fin de confinar un haz de radiación que se propaga a través de la guía de onda 204. La guía de onda 204 puede tener una estructura cristalina o ser un polímero. Los ejemplos de materiales de guía de onda 204 incluyen, pero no se limitan a, silicio, nitruro de silicio, arseniuro de indio y galio, silicio dopado, PMMA, parileno y SU-8. En un ejemplo, las capas de revestimiento 208a y 208b son dióxido de silicio, mientras que tanto el sustrato 202 como la capa central 206 son de silicio. La guía de onda 204 puede ser una guía de onda de tira, una guía de onda estriada, o una fibra óptica dispuesta a través de la superficie del sustrato 202.

El reflector 210 se coloca a corta distancia de un extremo de la guía de onda 204, de acuerdo con una realización. Esta distancia no puede ser demasiado grande, o de lo contrario el haz de radiación que sale de la guía de onda 204 se extenderá demasiado y se producirán pérdidas ópticas no deseadas. En esta realización, tanto el reflector 210 como la guía de onda 204 se modelan en el plano sobre una primera superficie del sustrato 202. El reflector 210 puede diseñarse para tener una superficie que esté en ángulo. Por ejemplo, el reflector 210 puede tener una superficie que esté en ángulo, en un ángulo de sustancialmente 45 grados, con respecto a la primera superficie del sustrato 202. Este ángulo hace que el haz de radiación se dirija en un ángulo que es sustancialmente perpendicular a la superficie del sustrato. 202. En otro ejemplo, el reflector 210 tiene una superficie que está en ángulo, en un ángulo de sustancialmente 54,74 grados, con respecto a la primera superficie del sustrato 202. En la realización ilustrada en la figura 2, la luz se refleja hacia arriba y lejos del sustrato 202 hacia el elemento óptico 214.

El reflector 210 puede formarse a partir del grabado de las capas que forman la guía de onda 204, de acuerdo con una realización. Puede usarse un grabador anisotrópico húmedo para eliminar el material a lo largo de los planos de cristal para formar la superficie del reflector 210. La superficie puede alisarse adicionalmente mediante un proceso de eliminación de óxido exponiendo rápidamente el reflector 210 a otro grabador químico tal como el ácido fluorhídrico (HF). También pueden emplearse técnicas de grabado en seco para crear la superficie en ángulo del reflector 210. Por ejemplo, el grabado con iones reactivos (RIE) que usa una máscara de tipo escala de grises para producir material fotosensible a diferentes alturas puede usarse para producir estructuras no planas.

El elemento óptico 214 está dispuesto sobre la guía de onda 204 y sobre una superficie superior del sustrato 202, de acuerdo con una realización. En esta realización, el elemento óptico 214 es una lente. La lente puede diseñarse para

enfocar el haz de radiación 212 o para colimar el haz de radiación 212. El elemento óptico 214 puede fabricarse usando el grabado por litografía de nanoimpresión o por litografía convencional usando una máscara de escala de grises. El reflujo térmico de un polímero transparente también puede usarse para crear la forma curva de la lente. El elemento óptico 214 puede fabricarse usando RIE directamente en el sustrato 202. La ventaja de usar RIE puede aprovecharse cuando el material de sustrato tiene un alto índice de refracción (por ejemplo, materiales tales como silicio, InP, etc.), por lo que el rendimiento de la lente depende mucho menos del índice de refracción de los medios circundantes. La curvatura y la posición de la superficie de enfoque de la lente pueden ajustarse de manera que el punto focal y la distancia focal de la lente alcancen el rendimiento de colimación o de enfoque deseado. En un ejemplo, se introduce una capa de polímero intermedia entre el elemento óptico 214 y la guía de onda 204 con el fin de establecer una distancia de trabajo de lente. El elemento óptico 214 puede recubrirse posteriormente con una pila dieléctrica antirreflectante para minimizar la pérdida de luz.

La figura 3 ilustra otra realización de un dispositivo 300 diseñado para dirigir un haz de radiación. El dispositivo 300 incluye muchos de los mismos elementos que el dispositivo 200, que incluyen un sustrato 302, una guía de onda 304 con una capa central 306 y unas capas de revestimiento 306a y 306b, y un reflector 310 colocado a cierta distancia de un extremo de la guía de onda 304. La descripción de estos elementos no se repetirá para esta realización.

El dispositivo 300 incluye un elemento óptico 314. En esta realización, el elemento óptico 314 es un espejo. Como tal, el elemento óptico 314 recibe el haz de radiación 312 reflejado desde el reflector 310 y refleja el haz de radiación hacia abajo, hacia el sustrato 302. El elemento óptico 314 puede curvarse de tal manera que el haz de radiación 312 se colima a medida que se refleja alejándose del elemento óptico 314. El elemento óptico 314 puede formarse usando cualquiera de las mismas técnicas descritas anteriormente para el elemento óptico 214. Con el fin de penetrar en el sustrato 302, el sustrato 302 incluye un material que es sustancialmente transparente a una longitud de onda del haz de radiación 312. Por ejemplo, el sustrato 302 puede ser de silicio mientras que el haz de radiación 312 está en el rango de infrarrojos. Ejemplos de rangos de infrarrojos incluyen el infrarrojo cercano (800 nm - 1,4 μm), infrarrojo de onda corta (1,4 - 3 μm), infrarrojo de onda media (3 - 8 μm) e infrarrojo de onda larga (15 - 1000 μm).

La figura 4 ilustra otra realización de un dispositivo 400 diseñado para dirigir un haz de radiación. El dispositivo 400 incluye muchos de los mismos elementos que el dispositivo 200, incluyendo un sustrato 402, una guía de onda 404 con una capa central 406 y unas capas de revestimiento 408a y 408b, y un reflector 410 colocado a cierta distancia de un extremo de la guía de onda 404. Sin embargo, el reflector 410 está en ángulo, de tal manera que un haz de radiación 412 se refleja hacia abajo, hacia el sustrato 402, de acuerdo con esta realización. El haz de radiación 412 atraviesa el sustrato 402 y finalmente se recibe por el elemento óptico 414. Mientras que la guía de onda 404 se modela sobre una primera superficie del sustrato 402, el elemento óptico 414 se acopla a una superficie paralela opuesta del sustrato 402. De esta manera, ambos lados del sustrato 402 se utilizan para dirigir y/o modular el haz de radiación 412. En esta realización, el elemento óptico 414 es una lente similar al elemento óptico 214.

Puesto que el haz de radiación 412 se refleja a través del sustrato 402 antes de que llegue al elemento óptico 414, los reflejos no deseados de la luz pueden producirse en la superficie del sustrato 402. Además, cualquier luz reflejada desde la superficie del sustrato 402 puede acoplarse de nuevo a la guía de onda 404, provocando interferencias no deseadas. De acuerdo con una realización, el dispositivo 400 incluye un recubrimiento antirreflectante (AR) 416. El recubrimiento AR 416 puede aplicarse y modelarse sobre la superficie del sustrato 402 antes del modelado de la guía de onda 404. El recubrimiento AR 416 puede modelarse de tal manera que solo exista por debajo del reflector 410, o puede abarcar un área más grande en la superficie del sustrato 402. En un ejemplo, el recubrimiento AR 416 existe a través de toda la superficie del sustrato 402. La figura 5 ilustra otra realización de un dispositivo 500 diseñado para dirigir un haz de radiación. El dispositivo 500 incluye algunos de los mismos elementos que el dispositivo 200, tal como el sustrato 502, la guía de onda 504 con una capa central 506 y unas capas de revestimiento 508a y 508b. En esta realización, el reflector 510 se forma a partir de una faceta en el extremo de la guía de onda 504. De esta manera, un haz de radiación 512 se refleja hacia abajo, hacia el sustrato 502 antes de que haya salido de la guía de onda 504.

Se incluye un recubrimiento antirreflectante (AR) 516 en una interfaz entre la guía de onda 504 y el sustrato 502, de acuerdo con una realización. El recubrimiento AR 516 puede modelarse de manera que solo exista por debajo del reflector 510. En otro ejemplo, el recubrimiento AR 516 cubre un área mayor en la superficie del sustrato 502. El recubrimiento AR 516 puede existir a través de toda la superficie del sustrato 502. De acuerdo con una realización, el elemento óptico 514 se forma en el sustrato 502 en una superficie opuesta a la superficie donde se modela la guía de onda 504. El elemento óptico 514 puede diseñarse con el fin de actuar como una lente o un espejo. El elemento óptico 514 puede modelarse usando RIE junto con litografía de escala de grises para crear el grabado no uniforme dentro del sustrato 502.

La figura 6 ilustra otra realización de un dispositivo 600 diseñado para dirigir un haz de radiación. El dispositivo 600 es similar al dispositivo 500 e incluye muchos de los mismos componentes, tales como un sustrato 602, una guía de onda 604 que tiene una capa central 606 y unas capas de revestimiento 608a y 608b y un reflector 610 para reflejar

5 un haz de radiación 612 hacia un elemento óptico 614. Dos capas de recubrimiento AR 616a y 616b se incluyen dentro de la trayectoria del haz de radiación 612 a medida que se propaga hacia el elemento óptico 614, de acuerdo con una realización. El recubrimiento AR 616a puede localizarse en la interfaz entre la capa central 606 y la capa de revestimiento 608b, mientras que el recubrimiento AR 616b puede localizarse en la interfaz entre la capa de revestimiento 608b y el sustrato 602.

De acuerdo con otra realización, se excluyen del diseño el recubrimiento AR 516 de la figura 5 o las capas de recubrimiento AR 616a y 616b de la figura 6. En este caso, puede determinarse un espesor t o de la capa de revestimiento 508b o de la capa de revestimiento 608b para eliminar sustancialmente la retrodispersión del haz de radiación 512/612 en la interfaz entre la capa de revestimiento 508b/608b y el sustrato 502/602.

10 En un ejemplo, la capa de revestimiento 508b/608b puede comprender dióxido de silicio con un índice de refracción de aproximadamente $n_1 = 1,4467$, mientras que la capa central 506/606 y el sustrato 502/602 comprenden silicio con índices de refracción de $n_0 = 3,4434$ y $n_2 = 3,4434$, respectivamente. Los índices de refracción se proporcionan para una longitud de onda dada $\lambda = 1,32 \mu\text{m}$. Una reflectividad R en las interfaces de silicio - dióxido de silicio - silicio entre la capa central 506/606, la capa de revestimiento 508b/608b, y el sustrato 502/602 se proporciona por:

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(2\varphi)}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(2\varphi)} \quad (1)$$

15

donde:

$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \quad (2)$$

$$r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{2\pi n_1 t}{\lambda} \quad (4)$$

Los t valores que maximizan o minimizan la ecuación (1) pueden obtenerse resolviendo $dR/dt = 0$, que da como resultado:

$$\text{sen}\left(\frac{4\pi n_1 t}{\lambda}\right) = 0 \quad \xrightarrow{\text{da}} \quad t = i \frac{\lambda}{4n_1} \quad (5)$$

20

donde i es un número entero positivo mayor que cero. Para esta realización específica, R se minimiza para $\lambda = 1,32 \mu\text{m}$ cuando i es incluso un número entero positivo como se ilustra en la figura 11. Además, puede observarse a partir de la figura 11 que el pico de reflectividad es más amplio cuando $i = 2$ (es decir, $t = \lambda/(2n_1)$). El uso de este espesor ($t = \lambda/(2n_1)$) para la capa de revestimiento 508b/608b puede permitir una baja retrodispersión de la luz en aplicaciones que requieren un ancho de banda más amplio.

25

Las figuras 2-6 ilustran realizaciones para dirigir un haz de radiación a través de un elemento óptico. Estas realizaciones no tienen la capacidad inherente de cambiar la dirección del haz de salida sin el uso de algún elemento modulador. Aunque pueden incluirse algunos elementos moduladores ópticos (por ejemplo, térmicos, acústicos, eléctricos, etc.) para orientar la dirección del haz de salida, el rango de ángulos que puede alcanzarse es pequeño en comparación con la inclinación física o el movimiento de ciertos elementos.

30

Las figuras 7A-7C ilustran diversas vistas de un dispositivo de escaneo 700, de acuerdo con una realización. La figura 7A proporciona una vista isométrica, la figura 7B proporciona una vista lateral, y la figura 7C proporciona otra vista lateral del dispositivo de escaneo 700. El dispositivo de escaneo 700 incluye un sustrato 702, una guía de onda 704 y unas áreas grabadas 706a y 706b que definen una zona 708 unida al sustrato 702 a través de las bisagras 710a y 710b, de acuerdo con una realización. El sustrato 702 y la guía de onda 704 son similares a los descritos anteriormente con referencia a las figuras 2-6. El dispositivo de escaneo 700 también puede incluir un recubrimiento

35

antirreflectante (AR) entre la guía de onda 704 y la zona 708.

En la realización mostrada, un reflector 712 se incluye como una faceta al final de la guía de onda 704, que se modela sobre la zona 708. El reflector 712 recibe un haz de radiación 714 que se propaga a lo largo de una longitud de guía de onda 704 y refleja el haz de radiación 716 a través de la zona 708 y hacia un elemento óptico 718 dispuesto en una superficie paralela opuesta de la zona 708. El reflector 712 también puede incluirse a cierta distancia alejado de la guía de onda 704 como se ha descrito anteriormente con respecto a cualquiera de las figuras 2-4.

Las zonas grabadas 706A y 706b penetran a través del espesor del sustrato 702, de tal manera que la zona 708 solo se suspende en su lugar a través las de bisagras 710a y 710b, de acuerdo con una realización. Las zonas grabadas 706a y 660b pueden formarse usando un proceso de grabado químico seco tal como RIE, grabado profundo por iones reactivos (DRIE), grabado por plasma acoplado inductivamente (ICP), grabado con difluoruro de xenón (XeF_2) etc., o usando un proceso de grabado químico húmedo tal como el grabado con hidróxido de potasio (KOH) o el grabado con hidróxido de tetrametilamonio (TMAH).

El elemento óptico 718 puede ser una lente o espejo como se ha expuesto anteriormente, y puede formarse a través de cualquiera de los métodos ya descritos en las realizaciones ilustradas en las figuras 2-6. El elemento óptico 718 puede usarse o para enfocar o para colimar el haz de radiación 716. En la realización ilustrada en la figura 7B, el elemento óptico 718 es una lente modelada en la superficie inferior de la zona 708. De esta manera, el reflector 712 se localiza en una superficie superior de la zona 708 mientras que el elemento óptico 718 está en una superficie inferior paralela opuesta de la zona 708.

La zona 708 puede unirse al sustrato 702 a través de cualquier número de bisagras. Por ejemplo, puede usarse una única bisagra para unir la zona 708 al sustrato 702. En otro ejemplo, pueden usarse múltiples bisagras localizadas a lo largo de un lado de la zona 708. En otro ejemplo más, puede colocarse una bisagra a lo largo de cada lado o cada esquina de la zona 708. La guía de onda 704 puede modelarse para extenderse a lo largo de la superficie de una de las bisagras de tal manera que el reflector 712 se localiza sobre la zona 708. En la realización ilustrada en la figura 7A, la guía de onda 704 se modela sobre la bisagra 710b.

La zona 708 es capaz de girar alrededor de un eje que pasa a través de las bisagras 710a y 710b, de acuerdo con una realización. Esta rotación se ilustra en la figura 7C. Basándose en la rigidez y el tamaño de las bisagras 710a y 710b, la zona 708 puede girar hasta un ángulo θ con respecto a la superficie superior de la zona 708. En un ejemplo, la zona 708 puede girar hasta 10 grados. En otro ejemplo, la zona 708 puede girar hasta 20 grados. La zona 708 puede ser capaz de girar alrededor de cualquier número de ejes que pasen a través de cualquier número de bisagras que acoplen la zona 708 al sustrato 702. En una realización, tanto la fuente del haz de radiación (reflejado desde el reflector 712) como el elemento óptico 718 giran juntos como una estructura rígida, proporcionando de este modo un funcionamiento de nivel de aberración uniforme en todo el rango de escaneo. En otra realización, la zona 708 puede desplazarse lateralmente con respecto a un eje que pasa a través de las bisagras 710a y 710b.

La rotación de la zona 708 puede realizarse a través de una diversidad de técnicas bien conocidas en el campo de los sistemas microelectromecánicos (MEMS). Por ejemplo, la zona 708 puede aislarse eléctricamente de una parte del sustrato 708, mientras que se aplica un primer potencial a la zona 708 y se aplica un potencial diferente a la parte del sustrato 708 en las proximidades de la zona 708. La interacción electrostática provocada por la diferencia de potencial provoca un movimiento en la zona 708.

También pueden aprovecharse unos efectos de conexión de capacitancia para provocar una rotación de la zona 708. También pueden emplearse materiales piezoeléctricos (tales como PZT o PVDF) para provocar la rotación de la zona 708. En otra realización, puede usarse el accionamiento electromagnético si se fabrica una bobina eléctrica en la zona 708. El flujo de corriente eléctrica a través de la bobina excita un campo magnético que interactúa con un campo magnético inducido en las proximidades de la zona 708, produciendo de este modo una rotación/desplazamiento de la zona 708.

La figura 8 ilustra otra realización de un dispositivo de escaneo 800. El dispositivo de escaneo 800 incluye muchas características similares a las del dispositivo de escaneo 700, tales como el sustrato 802, la guía de onda 804, el reflector 806 y la zona 808 soportada por las bisagras 810a y 810b. El dispositivo de escaneo 800 incluye un elemento óptico 812 formado en la superficie inferior de la zona 808 mediante, por ejemplo, técnicas de micromecanizado. El elemento óptico 812 puede ser una lente formada a partir del mismo silicio que constituye el resto de la zona 808, mientras que un segundo elemento óptico 814 se acopla a una superficie exterior del elemento óptico 812. El segundo elemento óptico 814 puede tener un índice de refracción diferente del elemento óptico 812. Por ejemplo, el segundo elemento óptico 814 puede ser un polímero mientras que el elemento óptico 812 es una lente de silicio.

La figura 9 ilustra una matriz de escaneo 900 que incluye una pluralidad de elementos individualmente dirigibles 902,

de acuerdo con una realización. Cada elemento dirigible 902 puede funcionar de manera sustancialmente similar al dispositivo de escaneo 700 como se ha descrito con respecto a las figuras 7A - 7C. Como tal, cada elemento dirigible 902 puede diseñarse para orientar un haz de radiación correspondiente que emana del elemento dirigible correspondiente. Aunque la figura 9 ilustra una única fila de elementos dirigibles 902, debe entenderse que es posible cualquier disposición de elementos dirigibles, tal como una matriz que tenga cualquier número de filas y columnas. Aprovechando las técnicas de fabricación masiva, la pluralidad de elementos dirigibles puede fabricarse de una manera rápida y relativamente económica.

La matriz de escaneo 900 puede usarse para numerosas aplicaciones de formación de imágenes, incluyendo OCT. Como tal, una fuente óptica 904 puede acoplarse a una unidad de multiplexación 906 para suministrar los diversos haces de radiación a cada elemento dirigible 902. La fuente óptica 904 puede incluir uno o más láseres, uno o más diodos emisores de luz, o una o más fuentes de descarga de gases. En un ejemplo, la fuente óptica 904 incluye una fuente láser de barrido para emitir un rango de diferentes longitudes de onda.

La unidad de multiplexación 906 puede incluir unos componentes electrónicos asociados que proporcionan señales de control a diversos elementos de modulación de la unidad de multiplexación 906 con el fin de dirigir la luz a través de diversas guías de onda que finalmente conducen a cada uno de los elementos dirigibles 902. La unidad de multiplexación 906 puede usar cualquier método de multiplexación que permita la separación de la luz dirigida a cada elemento dirigible 902. Uno de tales métodos de multiplexación es la multiplexación en el dominio del tiempo, en la que la unidad de multiplexación 906 conmuta entre diferentes guías de onda de salida de manera controlada, de modo que en un momento dado solo está activa una guía de onda asociada. Otro método de multiplexación adecuado es la multiplexación en el dominio de la frecuencia, en la que la luz que atraviesa cada una de las guías de onda se modula de tal manera que el comportamiento de frecuencia en el tiempo de las señales correspondientes a diferentes guías de onda puede diferenciarse mediante un dispositivo de procesamiento. La multiplexación en el dominio de la coherencia también puede usarse en la unidad de multiplexación 906, introduciendo un retardo de grupo diferente a la luz que atraviesa cada guía de onda, de manera que las señales correspondientes a diferentes guías de onda aparezcan en diferentes posiciones de coherencia y, por lo tanto, puedan diferenciarse por un dispositivo de procesamiento. En una realización, estos métodos no son exclusivos y pueden combinarse con el fin de encontrar el mejor compromiso de diseño. En función del método de multiplexación usado, la unidad de multiplexación 906 puede ser un elemento pasivo o accionado eléctricamente. Algunos de los métodos de multiplexación, como la multiplexación en el dominio de la coherencia, no requieren ningún accionamiento eléctrico de la unidad de multiplexación 906. Por lo tanto, en una realización, las implementaciones basadas en una multiplexación en el dominio de la coherencia no requieren medios de transmisión eléctrica para señales de control.

También puede incluirse un circuito de control 908 como parte de la matriz de escaneo 900. El circuito de control 908 proporciona señales eléctricas a cada uno de los elementos dirigibles 902. Estas señales eléctricas hacen girar las zonas móviles de los elementos dirigibles, de acuerdo con una realización. El circuito de control 908 puede diseñarse de manera que cada uno de los elementos dirigibles 902 gire al unísono. El circuito de control 908 puede enviar señales diferentes a cada elemento dirigible 902 de manera que la rotación de cada elemento sea diferente. El circuito de control 908 puede recibir entradas procedentes de otra unidad de procesamiento o directamente de un usuario para seleccionar qué elementos dirigibles se usan.

El conjunto de dispositivos de escaneo en combinación con ópticos integrados que funcionan adecuadamente puede permitir alcanzar una alta velocidad de escaneo sobre un amplio campo de visión con una alta relación de señal a ruido (SNR) incluso en sistemas OCT en el dominio del tiempo. En el caso de los sistemas de fuente de barrido, esta solución puede aumentar la velocidad de escaneo ya que cada elemento dirigible individual 902 puede diseñarse con una gran frecuencia resonante y operativa, proporcionando un mejor rendimiento que las construcciones ópticas masivas más grandes.

Cada elemento individualmente dirigible 902 puede asociarse con su propio interferómetro para realizar una formación de imágenes OCT, de acuerdo con una realización. En otro ejemplo, los haces de radiación de cada elemento dirigible 902 son multiplexados, de tal manera que cada uno puede usarse dentro del mismo interferómetro.

Una disposición de interferómetro que puede usarse para realizar OCT en una muestra se ilustra en la figura 10. El sistema OCT 1001 incluye una fuente óptica 1002, un elemento de división 1004, un brazo de muestra 1006, un brazo de referencia 1008, una unidad de retardo 1012 y un detector 1014. La unidad de retardo 1012 puede incluir diversos elementos de modulación de luz. Estos elementos de modulación pueden realizar una modulación de fase y/o de frecuencia para contrarrestar los efectos ópticos no deseados en la luz, y para seleccionar una o más profundidades de la muestra 1010 de la que van a formarse imágenes. El uso del término "luz" puede hacer referencia a cualquier rango del espectro electromagnético. En una realización, el término "luz" hace referencia a la radiación infrarroja a una longitud de onda de aproximadamente 1,3 μm .

En la realización mostrada, la unidad de retardo 1012 se localiza dentro del brazo de referencia 1008. Sin embargo,

debe entenderse que la unidad de retardo 1012 puede localizarse, en cambio, en el brazo de muestra 1006. Como alternativa, diversos elementos de la unidad de retardo 1012 pueden estar presentes tanto en el brazo de muestra 1006 como en el brazo de referencia 1008. Por ejemplo, los elementos de la unidad de retardo 1012 que introducen un retardo variable en la luz pueden localizarse en el brazo de muestra 1006, mientras que los elementos que modulan diferentes modos de polarización de la luz pueden localizarse en el brazo de referencia 1008. En un ejemplo, el brazo de muestra 1006 y el brazo de referencia 1008 son guías de onda ópticas, tales como guías de onda modeladas o fibras ópticas. En una realización, todos los componentes del sistema OCT 1001 están integrados en un circuito plano de ondas de luz (PLC). En otra realización, al menos los componentes dentro de la unidad de retardo 1012 están integrados en el mismo sustrato de un PLC. También pueden considerarse otras implementaciones, tales como, por ejemplo, sistemas de fibra óptica, sistemas ópticos de espacio libre, sistemas de cristal fotónico, etc. Los diversos componentes ópticos, tales como el elemento de división 1004, el brazo de muestra 1006, el brazo de referencia 1008 y la unidad de retardo 1012, pueden integrarse en el mismo sustrato que la unidad de multiplexación 804. Debe entenderse que el sistema OCT 1001 puede incluir cualquier número de otros elementos ópticos no mostrados por motivos de claridad. Por ejemplo, el sistema OCT 1001 puede incluir espejos, lentes, rejillas, divisores, elementos micromecánicos, etc., a lo largo de las trayectorias del brazo de muestra 1006 o el brazo de referencia 1008.

El elemento de división 1004 se usa para dirigir la luz recibida de la fuente óptica 1002 tanto para el brazo de muestra 1006 como para el brazo de referencia 1008. El elemento de división 1004 puede ser, por ejemplo, un acoplador bidireccional, un divisor óptico, o cualquier otro dispositivo óptico de modulación que convierte un solo haz de luz en dos o más haces de luz.

La luz que se desplaza hacia abajo del brazo de muestra 1006 incide finalmente sobre la muestra 1010. En una realización, el brazo de muestra 1006 incluye una guía de onda que guía la luz hacia uno o más de los elementos dirigibles 902. La muestra 1010 puede ser cualquier muestra adecuada de la que formar imágenes, tal como tejido. La luz se dispersa y se refleja de vuelta desde diversas profundidades dentro de la muestra 1010, y la radiación dispersada/reflejada se recoge nuevamente en el brazo de muestra 1006. En otra realización, la radiación dispersada/reflejada se recoge de nuevo en una guía de onda diferente a la guía de onda de transmisión. La profundidad de escaneo puede elegirse a través del retardo impuesto a la luz dentro de la unidad de retardo 1012.

La luz dentro del brazo de muestra 1006 y el brazo de referencia 1008 se recombina antes de recibirse en el detector 1014. En la realización mostrada, la luz se recombina por el elemento de división 1004. En otra realización, la luz se recombina en un elemento de acoplamiento óptico diferente al elemento de división 1004. El detector 1014 puede incluir cualquier número de fotodiodos, dispositivos de acoplamiento de carga y/o estructuras CMOS para transducir la luz recibida en una señal eléctrica. La señal eléctrica contiene datos ópticos resueltos en profundidad relacionados con la muestra 1010 y puede recibirse por un dispositivo de procesamiento para un análisis adicional y procedimientos de procesamiento de señales. Tal como se usa en el presente documento, la expresión "resolución en profundidad" define datos en los que pueden identificarse una o más partes de los datos relacionados con las profundidades específicas de una muestra de la que se han formado imágenes.

La fuente óptica 1002 puede incluir uno o más diodos emisores de luz (LED) o diodos de láser. Por ejemplo, los LED pueden usarse cuando se realiza un análisis en el dominio del tiempo y/o en el dominio espectral, mientras que los láseres sintonizables pueden usarse para barrer la longitud de onda de la luz a través de un rango de longitudes de onda.

El sistema OCT 1001 se ilustra como un diseño de interferómetro similar a un interferómetro de Michelson, de acuerdo con una realización. Sin embargo, también son posibles otros diseños de interferómetro, incluidos los diseños de interferómetro Mach-Zehnder o Mireau.

Debe apreciarse que la sección Descripción detallada, y no las secciones Sumario y Resumen, está destinada a usarse para interpretar las reivindicaciones. Las secciones Sumario y Resumen pueden exponer una o más, pero no todas, las realizaciones a modo de ejemplo de la presente invención tal y como se contemplan por el o los inventores y, por lo tanto, no pretenden limitar la presente invención ni las reivindicaciones adjuntas de ninguna manera.

Las realizaciones de la presente invención se han descrito anteriormente con la ayuda de bloques de construcción funcionales que ilustran la implementación de sus funciones y relaciones especificadas. Los límites de estos bloques de construcción funcionales se han definido arbitrariamente en el presente documento por la conveniencia de la descripción. Pueden definirse límites alternativos siempre que sus funciones y relaciones especificadas se realicen de manera adecuada.

La descripción anterior de las realizaciones específicas revelará por completo la naturaleza general de la invención, pudiendo otros, aplicando el conocimiento dentro de la experiencia de la técnica, modificar y/o adaptar fácilmente tales realizaciones específicas para diversas aplicaciones, sin experimentación indebida y sin alejarse del concepto general de la presente invención. Por lo tanto, se pretende que tales adaptaciones y modificaciones estén dentro del

significado y rango de equivalencias de las realizaciones desveladas, sobre la base de la enseñanza y la orientación presentadas en el presente documento. Debe entenderse que la fraseología o terminología en el presente documento tiene fines descriptivos y no limitantes, de tal manera que la terminología o fraseología de la presente memoria descriptiva debe interpretarse por los expertos en la materia a la luz de las enseñanzas y la guía.

- 5 La amplitud y el alcance de la presente invención no deben estar limitados por ninguna de las realizaciones a modo de ejemplo anteriormente descritas, sino que deberían definirse solo de acuerdo con las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo, que comprende:

un sustrato (402; 502; 602; 702; 802) que tiene una primera superficie y una segunda superficie paralela opuesta;

5 una guía de onda (404; 504; 604; 704; 804) modelada en la primera superficie y configurada para guiar un haz de radiación (412; 512; 612; 716; 816) a lo largo de una longitud de la guía de onda (404; 504; 604; 704; 804);

un reflector (410; 510; 610; 712; 806) dispuesto en la primera superficie y configurado para reflejar al menos una parte del haz de radiación (412; 512; 612; 716; 816) en un ángulo que es sustancialmente perpendicular a la primera superficie; y

10 un elemento óptico (414; 514; 614; 718; 812) configurado para recibir la parte reflejada del haz de radiación (412; 512; 612; 716; 816);

caracterizado por que el elemento óptico (414; 514; 614; 718; 812) está dispuesto en la segunda superficie.

2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el sustrato (402; 502; 602; 702; 802) comprende silicio.

3. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la guía de onda (404; 504; 604; 704; 804) comprende nitruro de silicio.

15 4. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el reflector (510; 610; 712; 806) es una faceta en un extremo de la guía de onda (504; 604; 704; 804).

5. El dispositivo de la reivindicación 4, en el que el reflector (510; 610; 712; 806) está en ángulo, en un ángulo de sustancialmente 45 grados, con respecto a la primera superficie.

20 6. El dispositivo de la reivindicación 4, en el que el reflector (510; 610) está en ángulo, en un ángulo de sustancialmente 54,74 grados, con respecto a la primera superficie.

7. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el reflector (410; 712) está localizado a una distancia lejos de un extremo de la guía de onda (404; 704).

8. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el elemento óptico (414; 514; 614; 718; 812) es un espejo.

9. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el elemento óptico (414; 514; 614; 718; 812) es una lente.

25 10. El dispositivo de la reivindicación 9, en el que la lente se forma en la segunda superficie del sustrato (402; 502; 602).

11. El dispositivo de la reivindicación 1, que comprende además un recubrimiento antirreflectante (416; 516; 616b) configurado para reducir sustancialmente los reflejos del haz de radiación (412; 512; 612; 716; 816) provocados por una interfaz entre el sustrato (402; 502; 602; 702; 802) y la guía de onda (404; 504; 604; 704; 804).

30 12. El dispositivo de la reivindicación 11, que comprende además un segundo recubrimiento antirreflectante (616a) configurado para reducir sustancialmente los reflejos del haz de radiación (612) provocados por una segunda interfaz entre el sustrato (602) y la guía de onda (604).

13. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el dispositivo (700; 800) una zona (708; 808) del sustrato (702; 802) que tiene una primera superficie y una segunda superficie paralela opuesta, en el que la zona (708; 808) se define mediante un proceso de grabado a través de un espesor del sustrato (702; 802), y en el que la zona (708; 808) permanece unida al sustrato (702; 802) mediante una o más bisagras (710a, 710b; 810a, 810b);

40 en el que la guía de onda (704; 804) está modelada en la primera superficie de la zona (708; 808);
en el que el reflector (712; 806) está dispuesto sobre la primera superficie de la zona (708; 808) y está configurado para reflejar al menos una parte del haz de radiación (716; 816) a través de la zona (708; 808);
y en el que el elemento óptico (718; 812) está dispuesto sobre la segunda superficie de la zona (708; 808).

14. El dispositivo de la reivindicación 13, en el que el elemento óptico (718; 812) es una lente formada en la segunda superficie de la zona (708; 808).

15. El dispositivo de la reivindicación 14, que comprende además un segundo elemento óptico (814) dispuesto en una superficie exterior del elemento óptico (812).
16. El dispositivo de la reivindicación 13, en el que la zona (708; 808) está configurada para girar a lo largo de un eje que se extiende a través de la una o más bisagras (710a, 710b; 810a, 810b).
- 5 17. El dispositivo de la reivindicación 16, en el que la zona (708; 808) está configurada para girar hasta un ángulo de 20 grados con respecto a la primera superficie.
18. Una matriz de escaneo, comprendiendo la matriz de escaneo (900) una pluralidad de dispositivos (700; 800) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17, en la que los dispositivos (700; 800) son elementos individualmente dirigibles (902) formados a partir del mismo sustrato;
- 10 y en el que cada elemento individualmente dirigible (902) está configurado para orientar un haz de radiación correspondiente mediante el movimiento de una zona correspondiente.

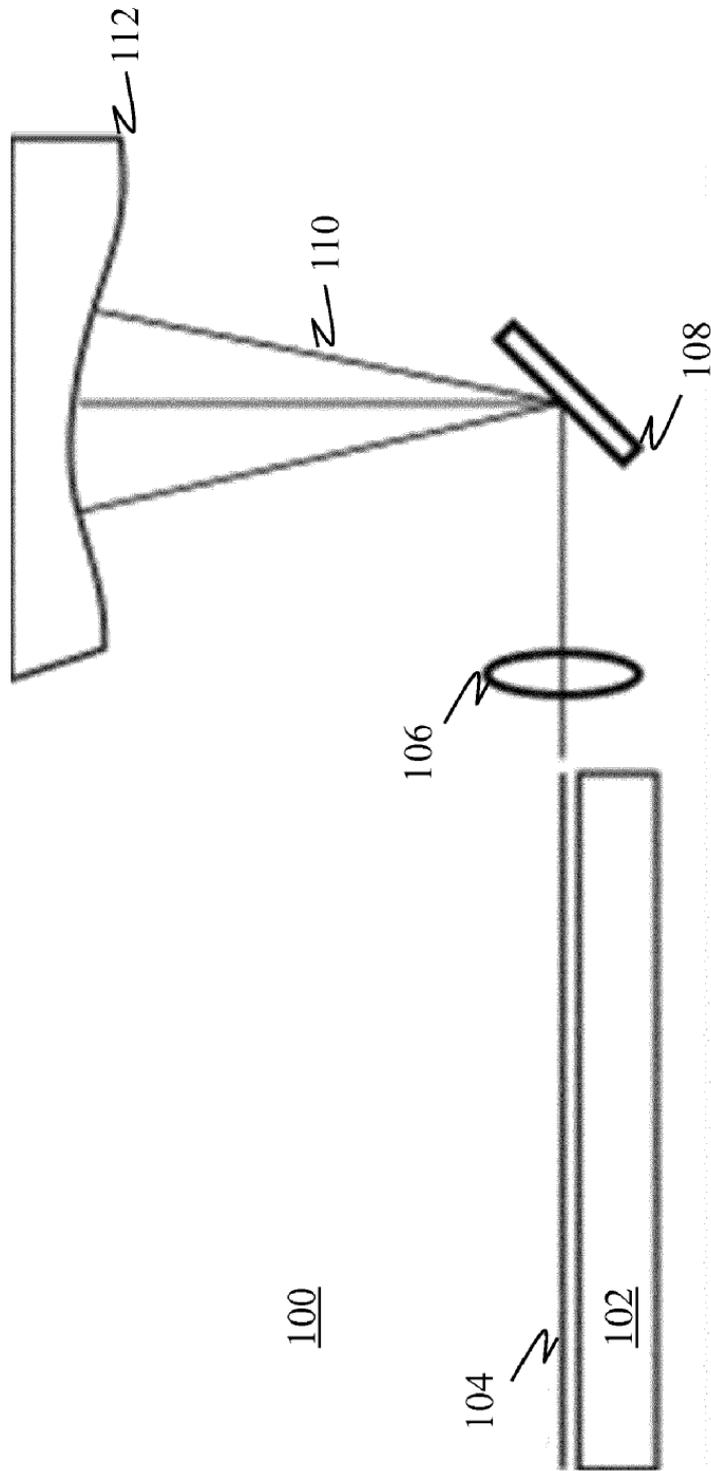


FIG. 1

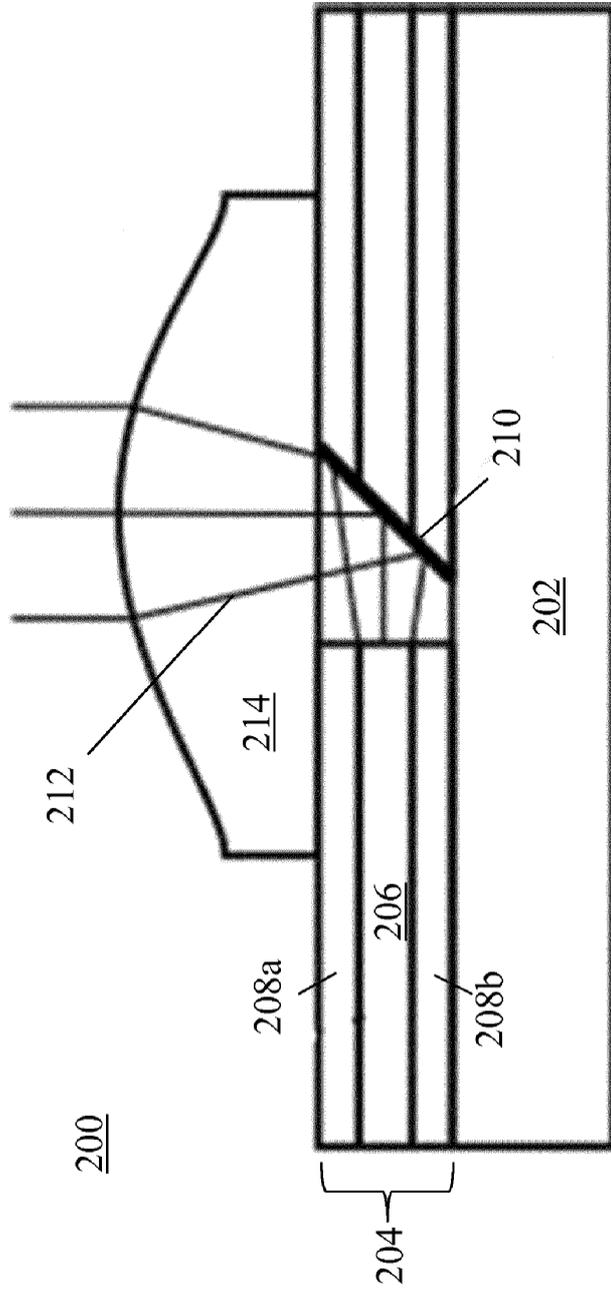


FIG. 2

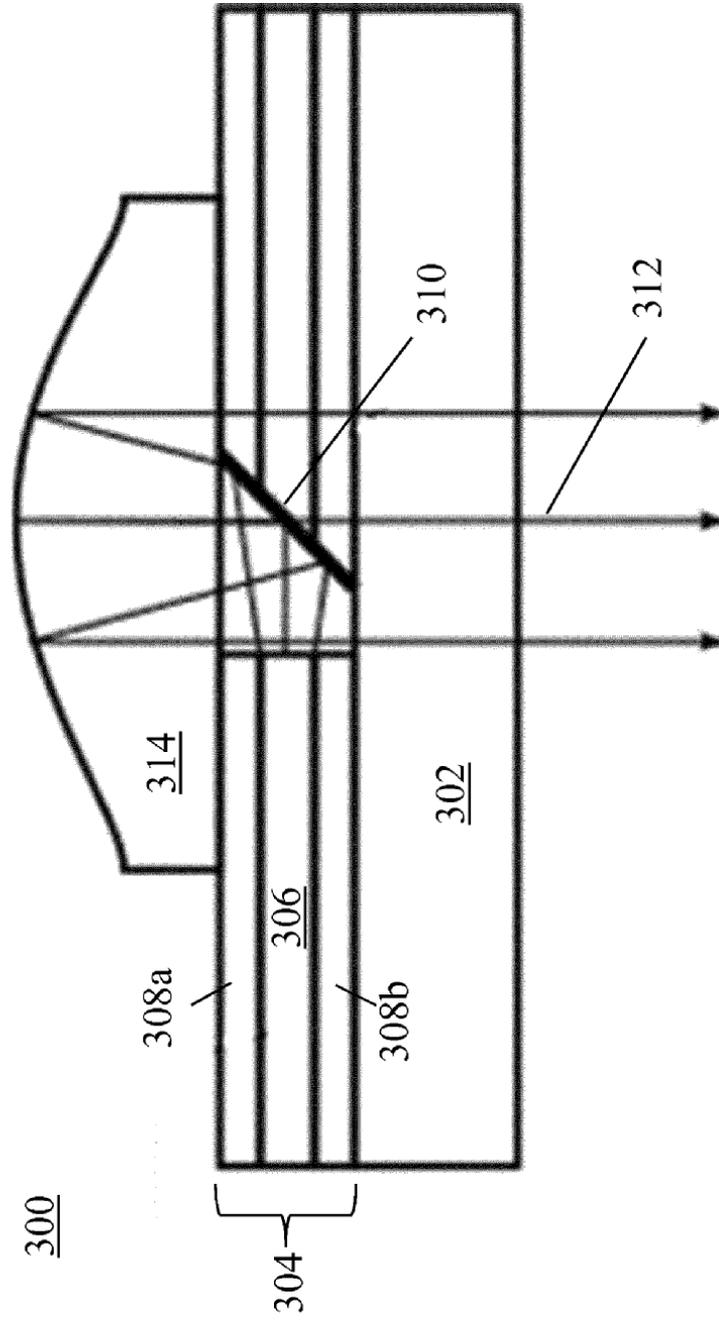


FIG. 3

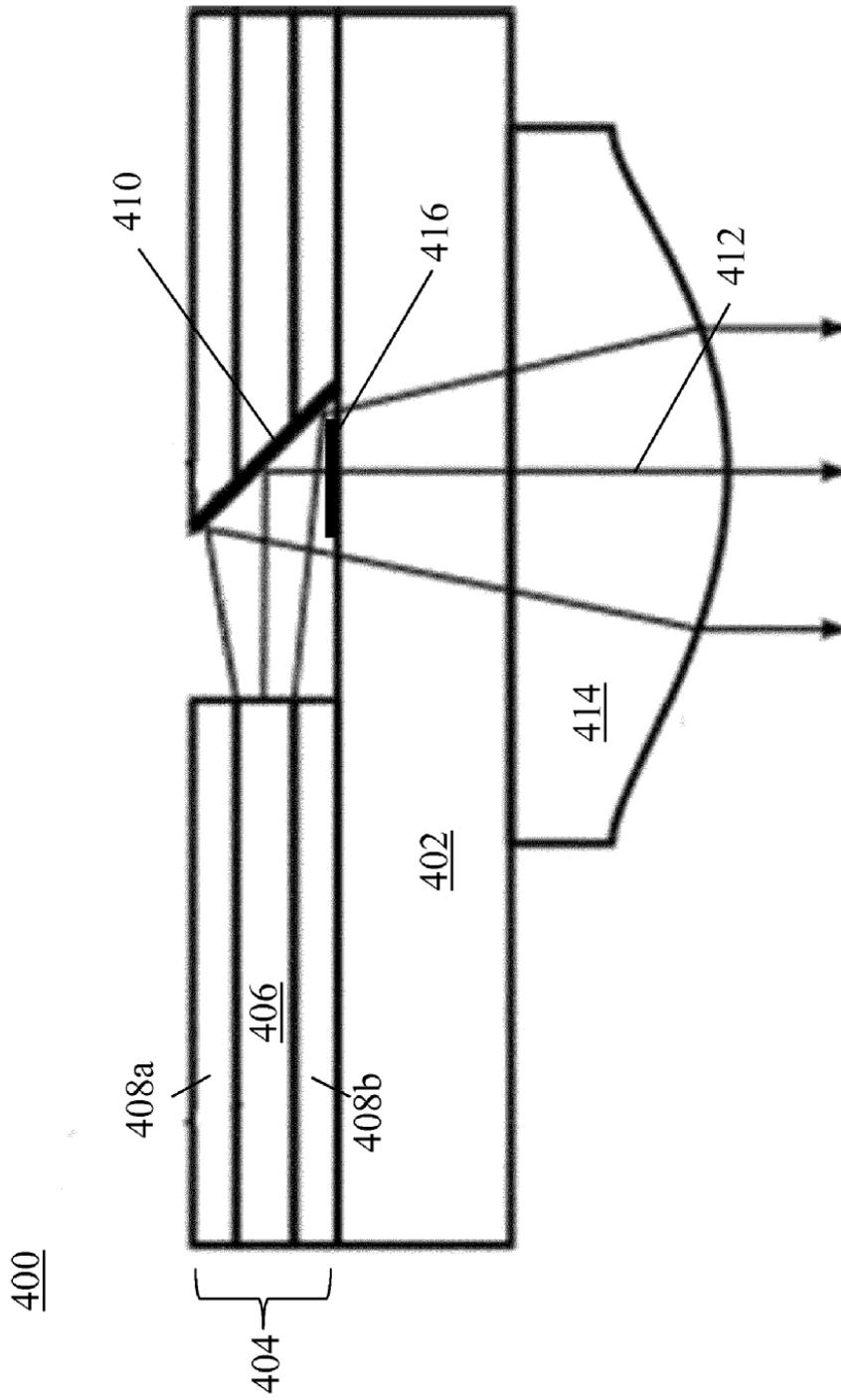


FIG. 4

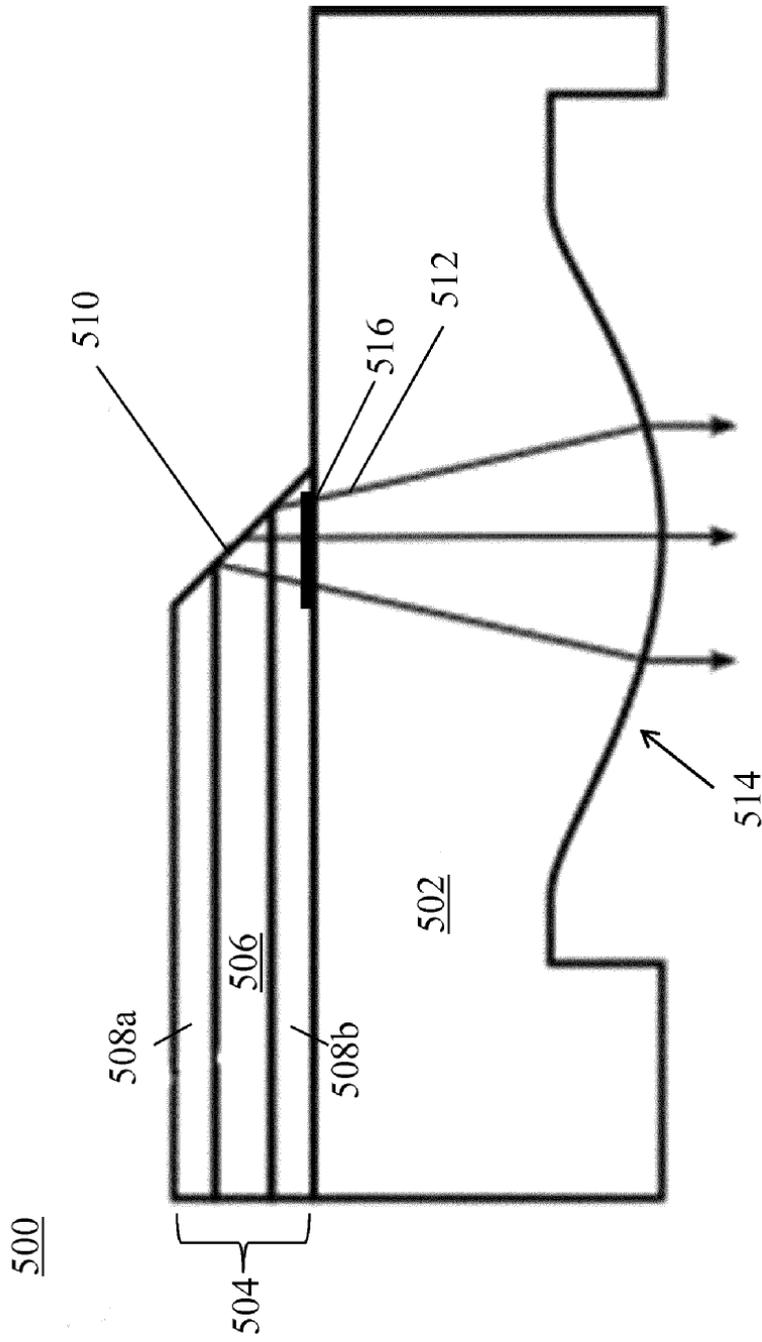


FIG. 5

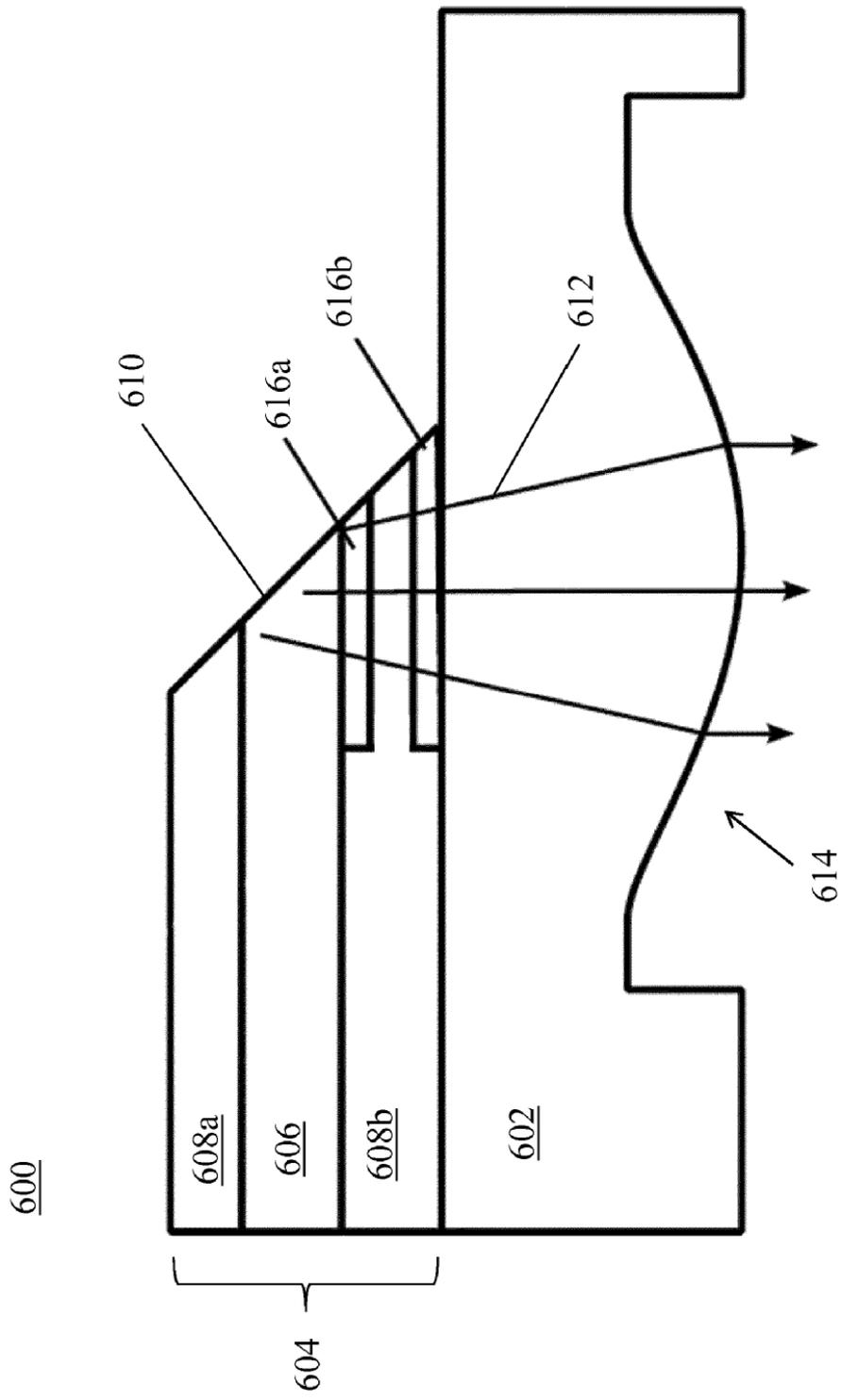


FIG. 6

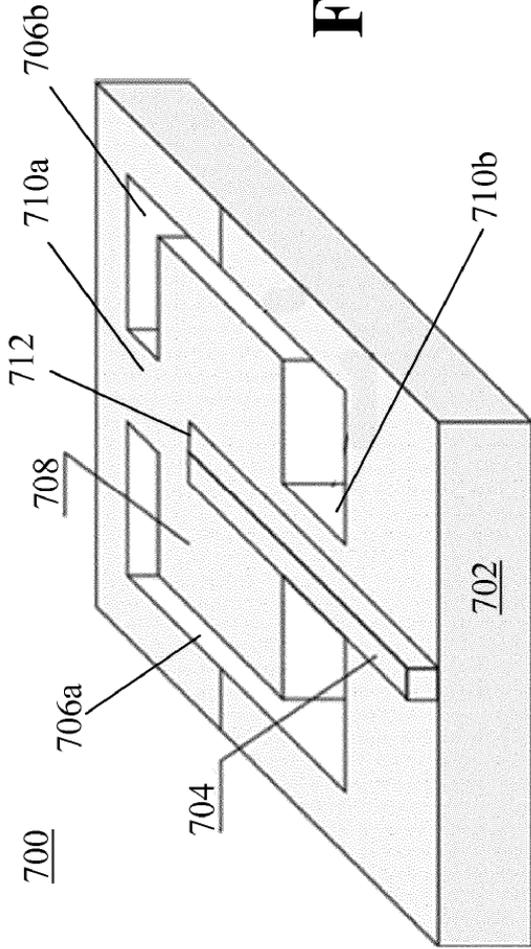


FIG. 7A

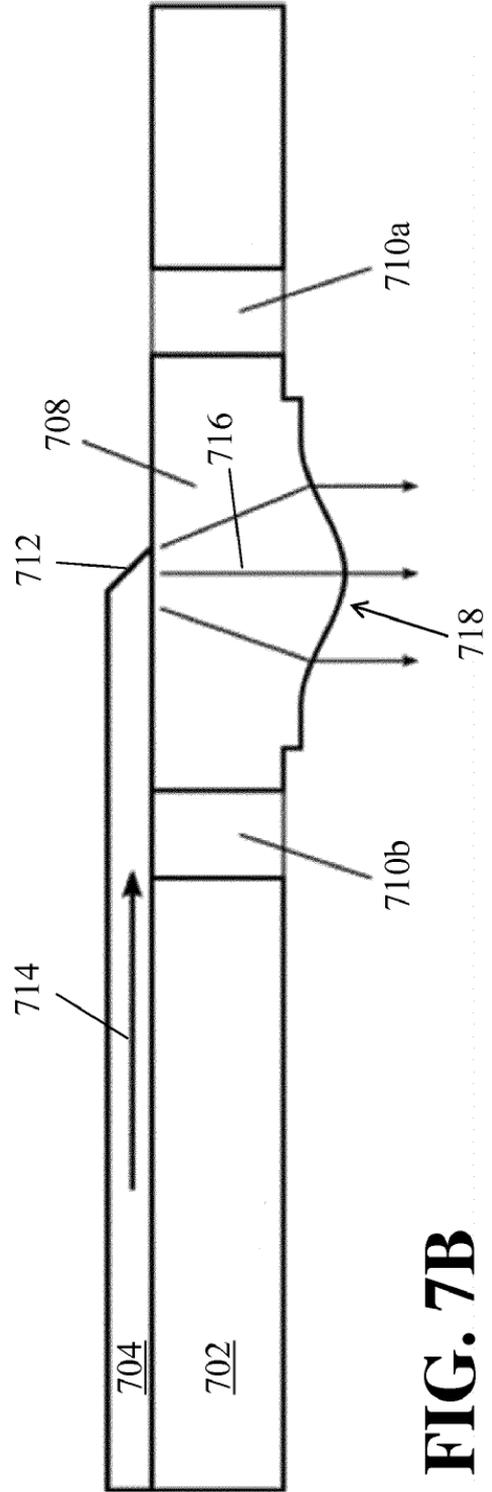


FIG. 7B

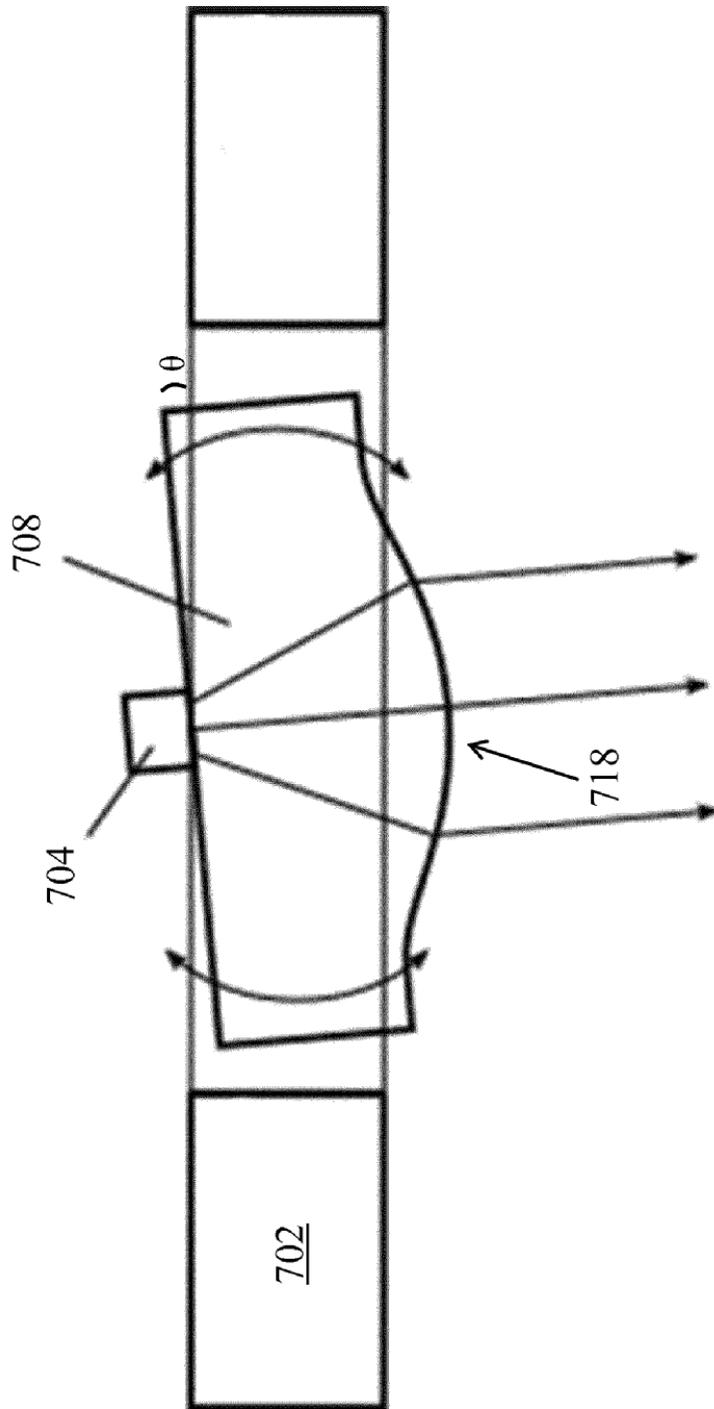


FIG. 7C

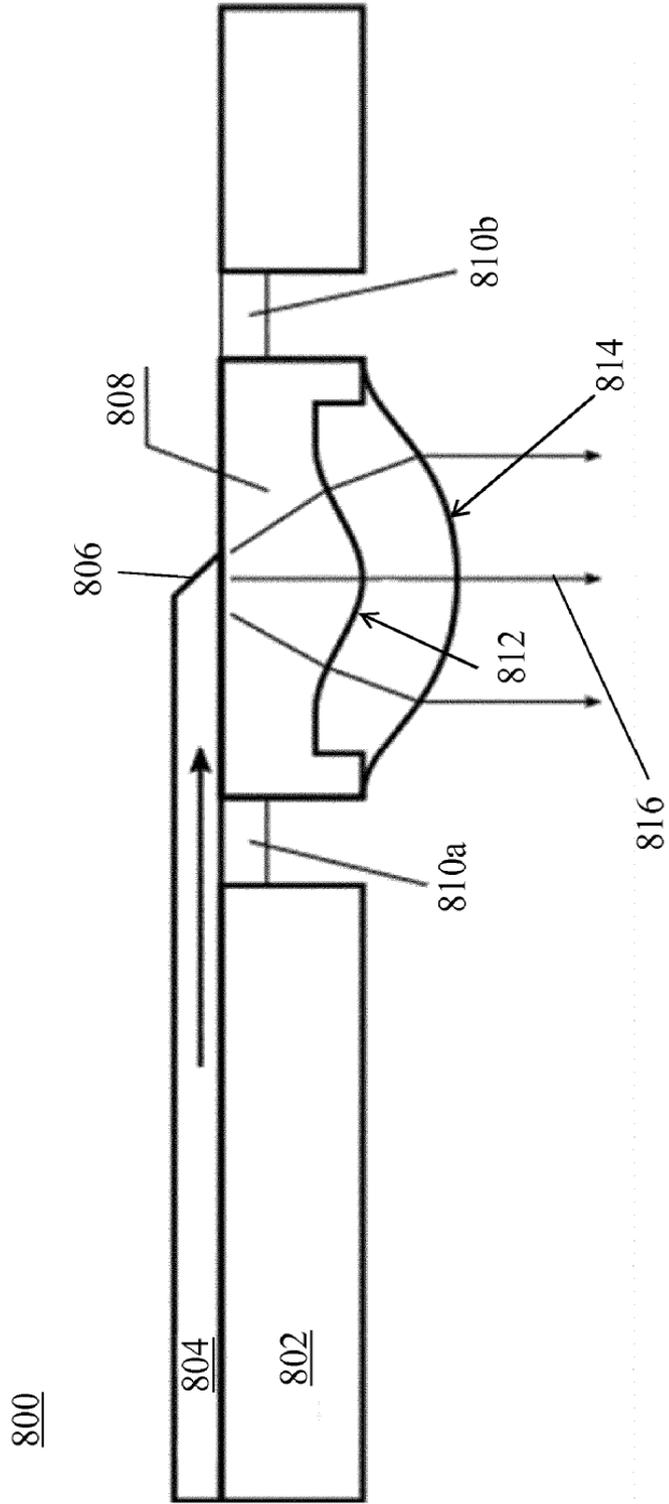


FIG. 8

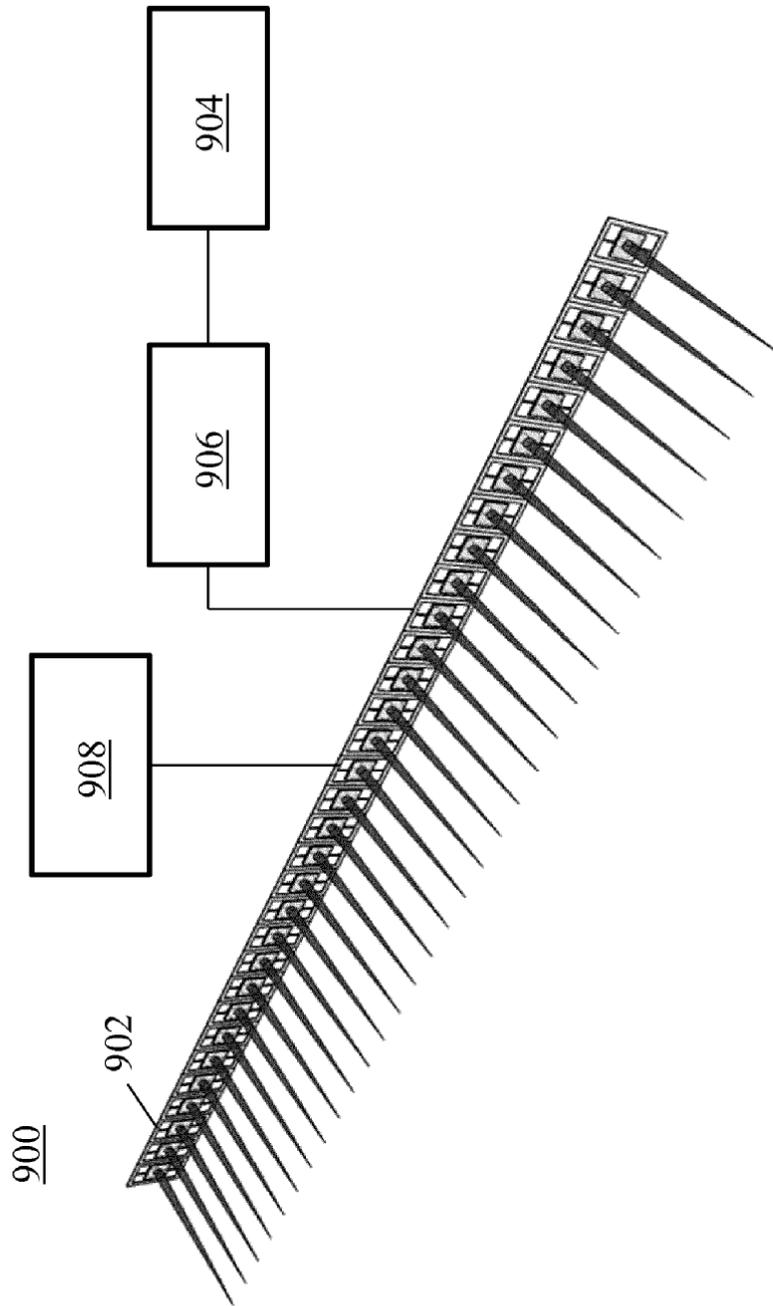


FIG. 9

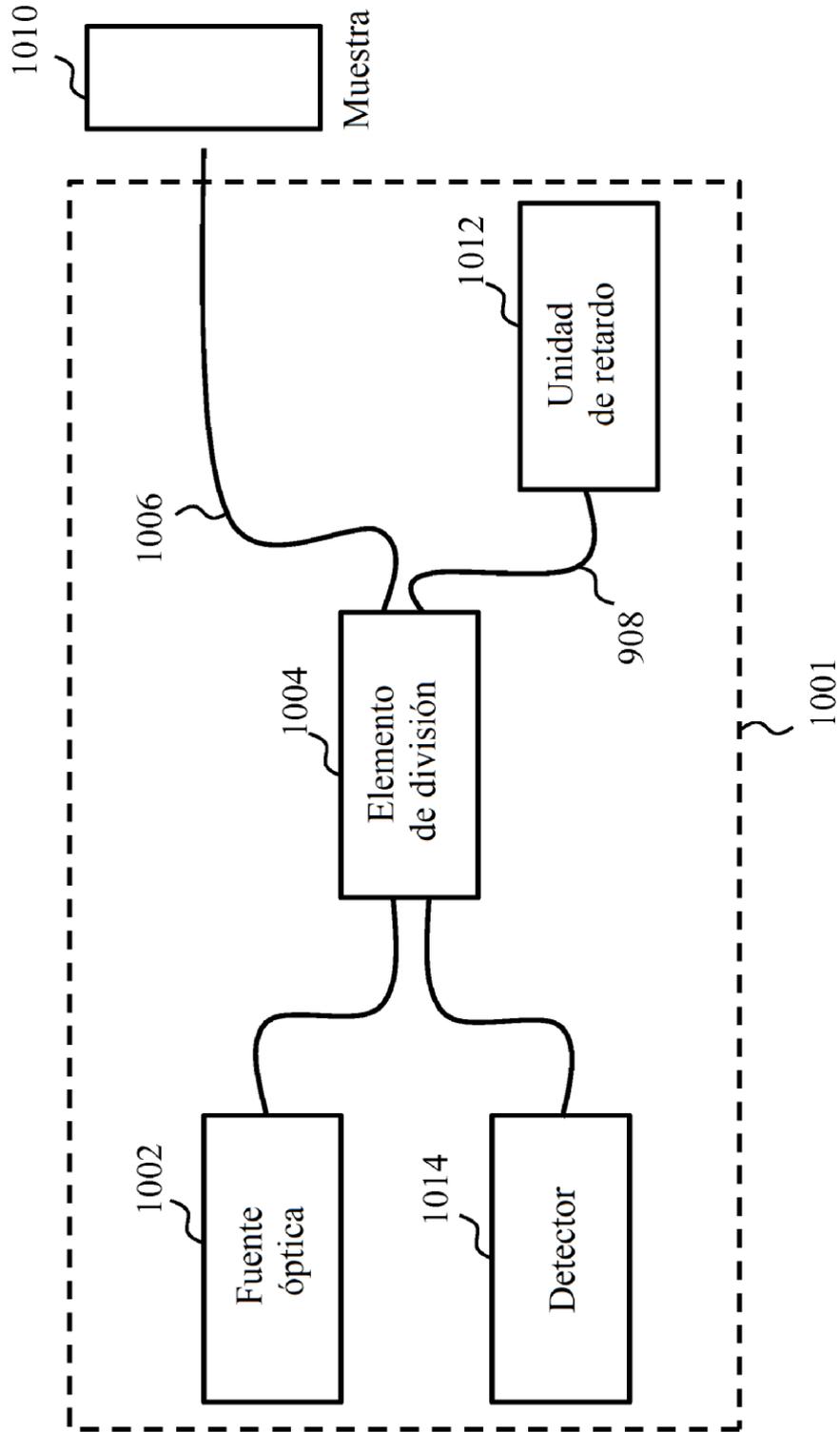


FIG. 10

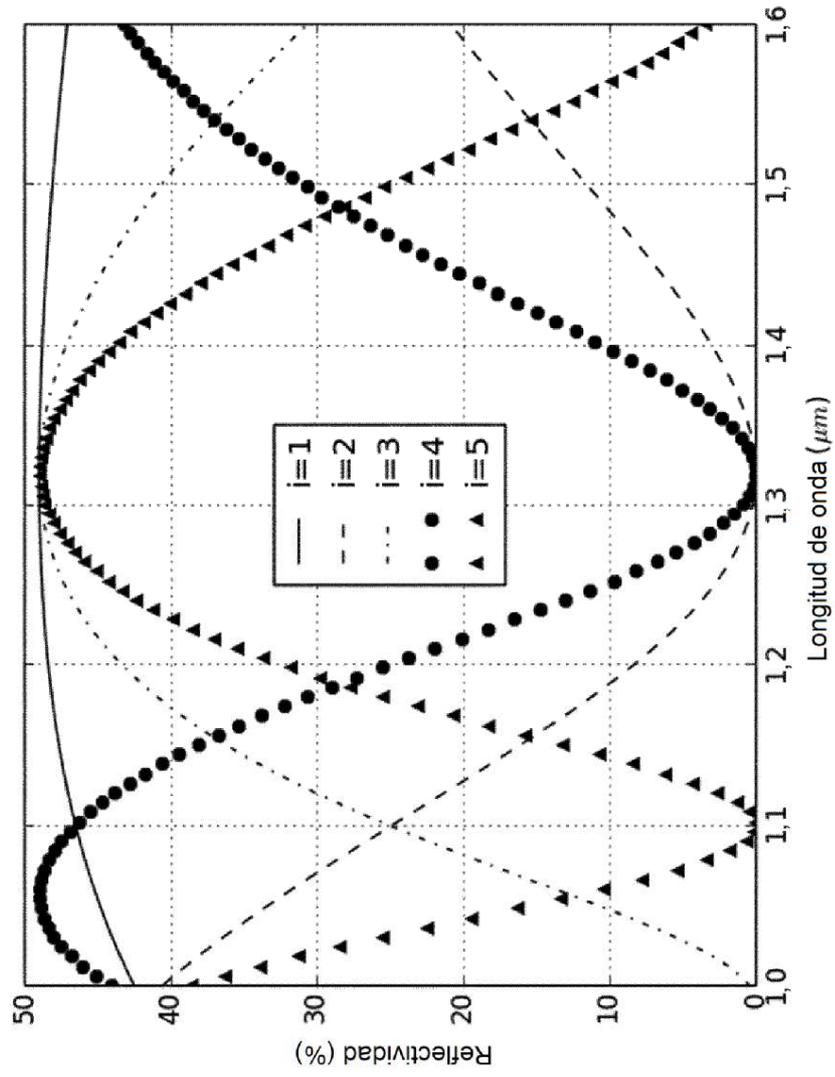


FIG. 11