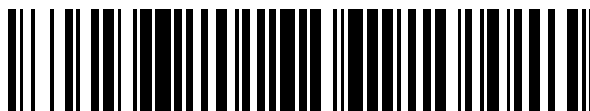


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 589 528**

51 Int. Cl.:

G02B 6/13 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

G02B 6/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.02.2013 PCT/EP2013/052387**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.08.2013 WO13117621**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.02.2013 E 13705948 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.06.2016 EP 2812740**

54 Título: **Guías de onda flexibles para tomografía de coherencia óptica**

30 Prioridad:

07.02.2012 US 201261596085 P

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

15.11.2016

73 Titular/es:

**MEDLUMICS S.L. (100.0%)
Ronda de Poniente 6, 2A
28760 Tres Cantos (Madrid), ES**

72 Inventor/es:

**RUBIO GUIVERNAU, JOSE LUIS y
MARGALLO BALBAS, EDUARDO**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 589 528 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

Guías de onda flexibles para tomografía de coherencia óptica

Antecedentes

Campo

5 Las realizaciones descritas aquí se refieren al campo de tomografía de coherencia óptica.

Antecedentes

10 La tomografía de coherencia óptica (OCT) es una técnica de formación de imágenes empleada para ver las capas a diferentes profundidades de una muestra. Las capas se pueden combinar para crear un mapa tridimensional de la superficie de muestra y la profundidad de hasta unos pocos milímetros. Los sistemas de imágenes de OCT recolectan habitualmente la información de la estructura de la muestra sobre una base de línea por línea. Cada escaneo de línea (también llamada un escaneo A) proporciona información en profundidad en una dimensión de una región de la muestra. Al escanear el haz de luz lateralmente a través de la muestra y, a continuación agrupar varias escaneos A, se pueden formar modelos di y tridimensionales de la muestra. El escaneo se lleva a cabo tradicionalmente por el movimiento mecánico de un elemento óptico.

15 Las siguientes referencias proporcionan información antecedente útil para ayudar a comprender la invención: Patente Estadounidense No. 5,321,501 otorgada a Swanson et al.; Afshin, G., et al., "Transfer of micro and nano-photonics silicon nanomembrane waveguide devices on flexible substrates," Optics Express 18(19):20086, Optical Society of America, United States (septiembre 2010); Byun, K.Y., et al., "Single-Crystalline Silicon Layer Transfer to a Flexible Substrate Using Wafer Bonding," Journal of Electronic Materials 39(10):2233-2236, The Minerals, Metals & Materials Society, Estados Unidos (junio 2010); KAISER, K., "Herstellung eines hochelastischen Tubenendoskops aus Silikon," Hamburger Studententag zur Medizin- und Biotechnologie 7:16-17, Alemania (mayo 2010); and ZENG, X., et al., "Fabrication of Complex Structures on Nonplanar Surfaces Through a Transfer Method," Journal of Microelectromechanical Systems 20(1):6-8, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Estados Unidos (febrero 2011).

25 Resumen

Las realizaciones en el presente documento describen el uso de un sustrato flexible que comprende una pluralidad de guías de onda para ser utilizado con un sistema OCT.

30 En una realización, un sistema de tomografía de coherencia óptica para formación de imágenes de separación de profundidad de una muestra incluye un sustrato de material sustancialmente flexible unido a una capa de material semiconductor, la capa de material semiconductor se modela para formar una pluralidad de guías de onda, un elemento óptico dispuesto en un extremo distante de la pluralidad de guías de onda, y uno o más interferómetros configurados para combinar una luz de referencia con la luz recibida por al menos una porción de la pluralidad de guías de onda para separar las contribuciones de una profundidad dada de la muestra utilizando tomografía de coherencia óptica. Se dobla el sustrato. El sistema adicionalmente incluye un elemento que guía la luz acoplado entre la pluralidad de guías de onda sobre el sustrato doblado y uno o más interferómetros.

40 En otra realización, un sistema de tomografía de coherencia óptica para formación de imágenes de separación de profundidad de una muestra incluye un sustrato de material sustancialmente flexible unido a una capa de material semiconductor, se modela la capa de material semiconductor para formar una pluralidad de guías de onda. Se dobla el sustrato. La tomografía de coherencia óptica incluye adicionalmente un elemento óptico dispuesto en un extremo distante de la pluralidad de guías de onda, y uno o más interferómetros configurados para combinar una luz de referencia con la luz recibida por al menos una porción de la pluralidad de guías de onda sobre el sustrato doblado para separar las contribuciones de una pluralidad de profundidades de la muestra utilizando tomografía de coherencia óptica. El sistema adicionalmente incluye un elemento que guía la luz acoplado entre la pluralidad de guías de onda sobre el sustrato doblado y uno o más interferómetros.

45 Un método de ejemplo para hacer un sistema de tomografía de coherencia óptica incluye unir una capa de material semiconductor a una capa de material flexible. La capa de material semiconductor se adelgaza adicionalmente a un grosor de menos de 10 micras. El método incluye modelar la capa de material semiconductor para formar una pluralidad de guías de onda unida a la capa de material flexible. El método también incluye doblar la capa de material flexible que tiene la pluralidad de guías de onda unida a esta y acoplar la pluralidad de guías de onda en el material flexible doblado a uno o más interferómetros utilizados para realizar tomografía de coherencia óptica.

Otro método de ejemplo para hacer un sistema de tomografía de coherencia óptica incluye modelar una capa de material semiconductor en una capa de dispositivo de una placa de contacto SOI para formar una pluralidad de guías de onda y depositar una primera capa de material flexible sobre la pluralidad de guías de onda formadas en la capa de dispositivo. La placa de contacto SOI incluye una estructura de capa que tiene la capa de dispositivo, una capa de óxido embebida, y una capa de manija.

La capa de manija se graba para eliminar sustancialmente la capa de manija seguido por grabar la capa de óxido embebida para eliminar sustancialmente la capa de óxido embebida. Una segunda capa de material flexible se deposita sobre la pluralidad de guías de onda de tal manera que la pluralidad de guías de onda se intercala entre la primera y segunda capas de material flexible para formar un circuito óptico flexible. El método incluye adicionalmente doblar el circuito óptico flexible y acoplar la pluralidad de guías de onda sobre el circuito óptico flexible doblado a uno o más interferómetros utilizados para realizar tomografía de coherencia óptica.

Breve descripción de los dibujos/figuras

Los dibujos acompañantes, que se incorporan aquí y forman una parte de la especificación, ilustran realizaciones de la presente invención y, junto con la descripción, sirven para explicar adicionalmente los principios de la invención y permitir a un experto en la técnica pertinente hacer y utilizar la invención.

Las figuras 1A-D ilustran una pluralidad de guías de onda sobre un sustrato flexible y ejemplos de doblado del sustrato, de acuerdo con las realizaciones.

Las figuras 2A-D ilustran diferentes vistas del extremo de un catéter, de acuerdo con las realizaciones.

La figura 3 ilustra un diagrama de bloques de un sistema OCT, de acuerdo con una realización.

La figura 4 ilustra un ejemplo de método, de acuerdo con una realización.

La figura 5 ilustra un método de ejemplo, de acuerdo con una realización.

Descripción detallada

Aunque se discuten configuraciones y disposiciones específicas, se debe entender que esto se hace sólo con propósitos ilustrativos. Un experto en la técnica pertinente reconocerá que otras configuraciones y disposiciones se pueden utilizar sin apartarse del alcance de la presente invención. Será evidente para un experto en la técnica pertinente que esta invención también se puede emplear en una variedad de otras aplicaciones.

Cabe notar que las referencias en la especificación a "una realización", "una realización", "una realización de ejemplo," etc., indican que las realizaciones descritas pueden incluir una función, estructura, o característica particular, pero cada realización no necesariamente puede incluir la función, estructura o característica particular. Más aún, dichas frases no se refieren necesariamente a la misma realización. Adicionalmente, cuando una función, estructura o característica particular se describe en relación con una realización, estaría dentro del conocimiento de un experto en la técnica efectuar dicha función, estructura o característica en relación con otras realizaciones sea o no que se describa explícitamente.

Superar la necesidad de movimiento mecánico en un escáner OCT se puede realizar al utilizar un gran número de guías de onda ópticas para recolectar la luz desde múltiples puntos de una muestra. Se han fabricado previamente guías de onda en un circuito de onda de luz plana (PLC). El PLC puede incluir adicionalmente elementos activos para cambiar la ruta de la luz entre las diferentes guías de onda o modular la frecuencia de la luz. Sin embargo, las guías de onda fabricadas en un PLC son, por definición, coplanas. Esto dificulta el uso de un sistema OCT basado en PLC para aplicaciones que requieren escaneo radial o cónico (tales como endoscopia).

Adicionalmente, las sondas endoscópicas comunes o de catéter pueden ser menores de 3 mm, que limita el número de guías de onda utilizables a lo largo del borde de un PLC.

En una realización de la presente invención, se proporcionan guías de onda sobre un sustrato flexible. El sustrato flexible permite para las guías de onda sean curvadas o dobladas en varias formas y llenan de manera más eficiente un área dada. Por ejemplo, el sustrato flexible se puede curvar en capas o espiral apretado en una forma de tipo acordeón. Una vez que el sustrato flexible se ha manipulado en una forma particular, se puede colocar en una carcasa o cualquier otro tipo de empaque para protección y para ayudar al sustrato a mantener su forma. Por ejemplo, el sustrato flexible se puede curvar y, posteriormente, colocar en la carcasa cilíndrica de un endoscopio para proporcionar una densa matriz de guías de onda dentro de la carcasa.

La figura 1A ilustra un ejemplo de un sustrato 102 flexible que comprende una pluralidad de guías 104 de onda. El sustrato flexible puede ser un polímero tal como, por ejemplo y sin limitación, polidimetilsiloxano (PDMS) o parileno. El sustrato flexible también puede ser un material semiconductor delgado. El sustrato 102 flexible puede ser suficientemente flexible con el fin de enrollar o doblar sin que se rasgue.

5 El sustrato 102 flexible se configura para adaptarse a diferentes formas según sea útil para diferentes aplicaciones.

Una vez implementadas sobre el sustrato 102 flexible, las guías 104 de onda luego se pueden disponer de una manera no coplanas mientras que permite una óptica de enfoque para dirigir la luz que sale de las diferentes guías 104 de onda de acuerdo con cualquier patrón de muestra deseada.

10 Las guías 104 de onda se pueden elaborar de un solo material de polímero, o pueden incluir una combinación de materiales de polímeros. Por ejemplo, las guías 104 de onda se pueden elaborar de cualquiera de SU-8, PMMA, PDMS, etc.

15 Las guías 104 de onda también se pueden elaborar de un material semiconductor tal como silicio o materiales semiconductores III-V tales como arseniuro de galio o fosfuro de indio. Se debe entender que pueden existir impurezas u otras combinaciones de materiales en los materiales semiconductores, por ejemplo, compuestos, terciarios o cuaternarios.

20 Las guías 104 de onda se pueden fabricar sobre la superficie del sustrato 102 flexible. El patrón de superficie puede implicar una variedad de técnicas de grabado y enmascaramiento litográfico. Algunos ejemplos de técnicas de grabado incluyen el grabado iónico reactivo, grabado por plasma acoplado inductivo, y grabado químico en húmedo. En otra realización, las guías 104 de onda pueden estar formadas a través de micromecanizado por volumen en el que el material de guías 104 de onda se une al sustrato 102 flexible y posteriormente se adelgaza a un grosor final inferior a 100 micras. Las guías de onda de modo único más pequeñas o guías de onda de modo casi único se pueden adelgazar hasta un grosor final inferior a 10 micras o por debajo de 1 micra. En una realización, el grosor final de las guías 104 de onda es de aproximadamente 3 micras. Ejemplos de procedimientos de adelgazamiento incluyen pulido químico mecánico, grabado en húmedo por volumen, y grabado utilizando un gas reactivo tal como di-fluoruro de xenón. Se puede garantizar la integridad estructural a través de la introducción de capas de portador con resistencia a la tracción adecuada pero con suficiente flexibilidad. Otros procesos de transferencia de sustrato a nivel de placa de contacto se pueden utilizar para transferir guías de onda formadas como una capa de dispositivo óptico sobre películas tal como sustrato 102, como lo entendería un experto en la técnica.

30 En otro ejemplo, las guías 104 de onda se pueden incorporar dentro del sustrato 102 flexible. La incorporación de guías 104 de onda puede proporcionar una mejor contención del modo óptico dentro de la guía de onda debido al mismo material o material de revestimiento similar que rodea a cada guía de onda. El sustrato 102 puede estar en capas alrededor de las guías 104 de onda para poder incorporar las guías 104 de onda. En otro ejemplo, las guías 104 de onda se pueden dopar en regiones de una capa semiconductor superior depositada sobre la capa dopada para incorporar guías 104 de onda. Las capas semiconductoras pueden crecer de forma epitaxial o depositar utilizando técnicas de depósito de vapor químico.

35 Se pueden disponer las guías 104 de onda sobre o dentro del sustrato 102 de tal manera que todas las guías de onda son paralelas entre sí. Cuando las guías 104 de onda se disponen sobre una capa de un sustrato semiconductor o de plástico, pueden crear un circuito integrado óptico flexible.

40 Las figuras 1B-D ilustran diversas formas en las que se puede doblar el sustrato 102 en diferentes formas. La figura 1B muestra el sustrato 102, que contiene las guías 104 de onda embebidas, que se enrollan en una forma cilíndrica. La figura 1C muestra el sustrato 102 enrollado en sí mismo para crear un patrón de espiral de las guías 104 de onda. La figura 1D muestra el sustrato 102 doblado para crear un patrón de capas. La disposición circular y en espiral del sustrato 102 es útil cuando se requiere escaneo circular o cónico. Las figuras 1C y 1D pueden ser particularmente útiles cuando se desean patrones de escaneo denso tridimensionales. También se pueden considerar otras formas sin desviarse del alcance de la invención.

45 Dicha combinación de guías de onda y sustrato flexible, cuando se doblan, se pueden combinar con elementos activos para cambiar un haz de luz de una guía de onda a otra. De tal manera, el escaneo se puede realizar sin la necesidad de medios de escaneo mecánicos. Los elementos activos pueden estar basados en electro-óptica, termoóptica, o efectos de inyección de portador, por ejemplo. En combinación con la óptica de terminales que enfoca la luz que sale de cada guía de onda sobre un punto diferente de la superficie de la muestra, se puede lograr un sistema de escaneo acinético (sin ninguna parte móvil) para la formación de imágenes OCT.

50 Las guías de onda definidas dentro de los PLC tradicionales son, por definición, coplanas. Esto dificultaría el uso de un sistema de escaneo con base en PLC acinético para algunas aplicaciones, tales como sistemas OCT endoscópicos o con base en catéter, donde se necesitan esquemas de escaneo de muestra especiales (por

- ejemplo, escaneo radial o escaneo cónico). Los escáneres de línea son generalmente ineficientes para la obtención de información de imagen radial o cónica. La razón es que el sistema de enfoque óptico necesario para convertir los haces de luz desde una serie de guías de onda coplanas en un PLC en un patrón de escaneo complejo sobre el tejido es difícil de implementar. Con el fin de resolver este problema, un sistema puede utilizar un sistema de guía de onda flexible, tal como las realizaciones descritas con respecto a las figuras 1A-1D.
- Las figuras 2A-D proporcionan diferentes vistas del extremo de un catéter o endoscopio que incluye un sistema de guía de onda flexible de acuerdo con una realización. Se ilustra que los elementos mostrados en líneas de trazos están dentro de la carcasa 201.
- La figura 2A ilustra una vista lateral de una sonda que incluye una carcasa 201, un elemento 202 que guía la luz, un sistema 204 de guía de onda flexible, y un elemento 206 óptico dispuesto en el extremo 208 distante de la sonda. El elemento 202 que guía la luz puede ser, por ejemplo, una sola fibra óptica o un haz de fibras. Alternativamente, el elemento 202 que guía la luz puede ser una guía de onda plana fabricada sobre un sustrato. En un ejemplo, el elemento 202 que guía la luz es una guía de onda fabricada sobre el mismo sustrato flexible como se incluye en el sistema 204 de guía de onda flexibles.
- El sistema 204 de guía de onda flexibles puede incluir una pluralidad de guías de onda similares al sustrato 102 como se describe en las figuras 1A-D. Adicionalmente, el sistema 204 de guía de onda flexibles se puede enrollar en una forma de espiral o cilíndrica, por ejemplo. En una realización, un diámetro de extremo 208 distante de la carcasa 201 es de menos de 3 mm. En otro ejemplo, el diámetro de extremo 208 distante es menor de 1 mm.
- El elemento 206 óptico dirige la luz que sale del sistema 204 de guía de onda flexibles sobre una muestra, de acuerdo con una realización. El elemento 206 óptico puede ser, por ejemplo, cualquier cantidad de lentes y/o espejos diseñados para guiar la luz que sale del extremo 208 distante hacia una muestra de la que se va a formar imagen. El elemento 206 óptico también se puede diseñar para recolectar la luz dispersada devuelta fuera de la muestra. En una realización, el elemento 206 óptico incluye por lo menos una lente que es una lente de índice de gradiente (GRIN). En otro ejemplo, el elemento 206 óptico incluye uno o más componentes de lente esférica. El extremo 208 distante puede incluir adicionalmente o alternativamente un espejo para dirigir la luz en un ángulo específico a medida que sale desde el extremo 208 distante. Dicho espejo también se puede utilizar para la recolección de luz en un ángulo específico fuera de la muestra. Dicho espejo puede ser un espejo estático o un espejo móvil.
- El elemento 202 que guía la luz se configura para transmitir luz entre el sistema 204 de guía de onda flexibles y otros componentes ópticos no dispuestos dentro de la carcasa 201, de acuerdo con una realización. En otro ejemplo, otros componentes ópticos se acoplan directamente con el sistema 204 de guía de onda flexibles dentro de la carcasa 201.
- Estos otros componentes ópticos pueden incluir moduladores eléctricos o térmicos para cambiar la frecuencia de la luz. Otros componentes ópticos también pueden incluir uno o más interferómetros para interferir de forma constructiva y/o destructiva la luz. Los interferómetros se pueden utilizar para realizar tomografía de coherencia óptica de dominio de frecuencia o tiempo.
- Aunque solo se ilustra un elemento 202 que guía la luz, se debe entender que cualquier cantidad de elementos que guían la luz se pueden utilizar para guiar la luz de diversas guías de onda dentro del sistema 204 de guía de onda flexibles a otros componentes ópticos del sistema. Alternativamente, se pueden utilizar uno o más conmutadores ópticos para cambiar una guía de onda particular de la pluralidad de guías de onda en el sistema 204 de guía de onda flexibles para acoplar la luz en el elemento 202 que guía la luz.
- La figura 2B ilustra una vista frontal que mira en el extremo 208 distante de la sonda, de acuerdo con una realización.
- El elemento 206 óptico puede ocupar la región en el extremo 208 distante. Como tal, el sistema 204 de guía de onda flexibles se muestra detrás del elemento 206 óptico mediante líneas de trazos. El sistema 204 de guía de onda flexibles se envuelve en una forma similar a tubo, de acuerdo con una realización.
- La figura 2C ilustra una vista superior de la sonda que incluye el sistema 204 de guía de onda flexibles y el elemento 206 óptico dentro de la carcasa 201, de acuerdo con una realización. Se puede ver que el elemento 202 que guía la luz se conecta al sistema 204 de guía de onda flexibles dentro de la carcasa 201.
- La figura 2D ilustra una vista en perspectiva del extremo de la sonda. Se observa una forma cilíndrica del sistema 204 de guía de onda flexibles dispuesto dentro de la carcasa 201 cilíndrica de la sonda, de acuerdo con una realización.

El elemento 202 que guía la luz se puede acoplar a una porción del sistema 204 de guía de onda flexibles, de acuerdo con una realización, o se puede acoplar a todas las guías de onda en el sistema 204 de guía de onda flexibles. Se ilustra un solo elemento 202 que guía la luz; sin embargo, una pluralidad de elementos de guía de luz se puede disponer alrededor de sustancialmente toda la circunferencia del sistema 204 de guía de onda flexibles para captar la luz de las guías de onda de sistema 204 de guía de onda flexibles.

Se puede utilizar otro elemento óptico para dirigir la luz del elemento 202 que guía la luz a una o más de las guías de onda en el sistema 204 de guía de onda flexibles. Por ejemplo, un multiplexor se puede disponer entre el elemento 202 que guía la luz y el sistema 204 de guía de onda flexibles. En otro ejemplo, el multiplexor se dispone en el sustrato del sistema 204 de guía de onda flexibles. El multiplexor puede incluir uno o más de conmutadores ópticos, circuladores, moduladores de dirección de haz, etc. El multiplexor permite la integración de muchas rutas ópticas a través del sistema 204 de guía de onda flexibles con una sola ruta óptica a través del elemento 202 que guía la luz.

La figura 3 ilustra un diagrama de un ejemplo de un sistema 300 OCT que incluye el uso de un sistema de guía de onda flexible de acuerdo con una realización. El sistema 300 OCT incluye un sensor 302 óptico, uno o más interferómetros 304, un elemento 306 que guía la luz que acopla interferómetros 304 a un multiplexor 308, un sistema 310 de guía de onda flexibles, y un elemento 312 óptico. En el ejemplo ilustrado en la figura 3, el elemento 312 óptico es una lente GRIN. No se muestra en la figura 3 una fuente de luz que produciría la luz que se dirige sobre una muestra 314 a cierta distancia del elemento 312 óptico. La luz producida desde la fuente de luz también puede dirigirse hacia abajo el elemento 306 que guía la luz y a través del sistema 310 de guía de onda flexibles en su camino a la muestra 314. En una realización, la fuente de luz también se puede utilizar como una luz de referencia.

En una realización, se utilizan uno o más interferómetros 304 para realizar tomografía de coherencia óptica de dominio de tiempo (TD-OCT). Se modula la longitud de la ruta óptica de un brazo de referencia de uno o más interferómetros 304 para modular un haz de luz de referencia. Cuando el haz de referencia modulado se combina con un haz de luz recibida de la muestra 314, la interferencia resultante separa las contribuciones de señal de una profundidad dada de la muestra 314. La longitud de la ruta óptica del brazo de referencia se puede cambiar con el tiempo para producir datos de imagen a diferentes profundidades de la muestra 314. La modulación de la longitud de la ruta óptica se realiza tradicionalmente al mover mecánicamente uno o más espejos en la ruta del haz de luz de referencia. Sin embargo, también se deben considerar otras técnicas de modulación, tales como, por ejemplo, moduladores termo-ópticos o electro-ópticos acoplados a una guía de onda para alterar la longitud de la ruta óptica de la luz dentro de la guía de onda.

En otra realización, uno o más interferómetros 304 se utilizan para realizar tomografía de coherencia de dominio de frecuencia (FD-OCT). Al realizar FD-OCT, múltiples profundidades de la muestra 314 se pueden analizar sustancialmente de manera simultánea, por ejemplo, al utilizar una pluralidad de detectores separados espectralmente en el sensor 302 óptico. Se puede realizar una transformada de Fourier sobre la señal recibida por el sensor 302 óptico para separar diversos componentes de la señal asociados con diferentes profundidades de la muestra 314. En un ejemplo, la realización de FD-OCT permite la adquisición de información de imagen a varias profundidades sin la necesidad de cambiar la longitud de la ruta óptica del brazo de referencia en uno o más interferómetros 304.

Se puede configurar el multiplexor 308 para transmitir la luz a través de un primer subconjunto de guías de onda en el sistema 310 de guía de onda flexibles, mientras que recibe la luz dispersada devuelta de la muestra 314 de un segundo subconjunto de guías de onda en el sistema 310 de guía de onda flexibles. Ya que la luz se refleja devuelta desde la muestra 314 en el elemento 312 óptico, ésta se desplaza de nuevo a lo largo del elemento 306 que guía la luz a uno o más interferómetros 304, de acuerdo con una realización. En otro ejemplo, la luz puede viajar de regreso a uno o varios interferómetros 304 utilizando una ruta diferente a través del elemento 306 que guía la luz. Uno o más interferómetros 304 pueden combinar la luz con una luz de referencia para interferir de forma constructiva y/o destructiva la luz. La luz separada asociada ya sea con una determinada profundidad de la muestra 314 al realizar TD-OCT, o una pluralidad de profundidades de la muestra 314 al realizar FD-OCT, se recolecta en el sensor 302 óptico.

La muestra 314 puede ser una muestra de tejido, por ejemplo, un recubrimiento de corazón o colon. Se puede formar imagen de una pluralidad de ubicaciones sobre la muestra 314 en un tiempo debido a la pluralidad de guías de onda presentes en el sistema 310 de guía de onda flexibles. Adicionalmente, se puede recolectar información radial y/o cónica de la imagen desde la muestra 314 debido a la disposición circular de las guías de onda.

La figura 4 ilustra un diagrama de flujo que representa un procedimiento 400 para la fabricación de un sistema de tomografía de coherencia óptica, de acuerdo con una realización de la invención. La fabricación del sistema puede implicar la fabricación de una pluralidad de guías de onda sobre un material flexible, tal como aquellas ilustradas, por ejemplo, en las figuras 1B - 1D. Se debe apreciar que el método 400 puede incluir operaciones adicionales a aquellas mostradas, o realizar las operaciones en un orden diferente a aquel mostrado.

El método 400 inicia en la etapa 402, donde una capa semiconductor se une a una capa de material flexible, de acuerdo con una realización. El semiconductor puede ser, por ejemplo, silicio o arseniuro de galio. El material flexible puede ser, por ejemplo, PDMS o Parileno. La unión puede ser anódica, o se pueden utilizar otras técnicas que pueden ser conocidas por un experto en la técnica pertinente, dada la descripción aquí.

5 El método 400 continúa con la etapa 404 donde se adelgaza la capa semiconductor. El adelgazamiento puede producir una capa semiconductor que tiene un grosor de menos de 10 micras. En una realización, el grosor final de la capa semiconductor es de alrededor de 3 micras. Se puede utilizar pulido mecánico (CMP) para el procedimiento de adelgazamiento. Se debe entender que la etapa 404 puede no ser necesaria en el caso en el que la capa semiconductor sea ya lo suficientemente delgada cuando se une inicialmente al material flexible.

10 En la etapa 406, la capa semiconductor se modela para formar guías de onda sobre el material flexible, de acuerdo con una realización. El patrón de la capa semiconductor puede implicar técnicas de litografía convencionales para primero moldear una capa fotorresistente sobre la capa semiconductor y, posteriormente, grabar el material semiconductor expuesto para formar las guías de onda. Alternativamente, se puede utilizar un material de máscara dura tal como nitruro de silicio en lugar de material fotorresistente. En una realización, las guías de onda se forman como líneas sustancialmente paralelas sobre el material flexible. Después de que se forman las guías de onda, se puede depositar o agregar un material de revestimiento sobre la parte superior de las guías de onda para confinar adicionalmente el modo de luz dentro del núcleo de guía de onda.

15 En la etapa 408, la capa de material flexible que tiene la pluralidad de guías de onda se dobla en una forma particular, de acuerdo con una realización. En un ejemplo, el material flexible se puede doblar en una forma cilíndrica o forma de espiral como se ilustra en las figuras 1B y 1C respectivamente. Una forma generalmente circular puede ayudar a la colocación de las guías de onda flexible en un aparato tubular similar tal como un catéter o endoscopio. También se pueden considerar otras formas para colocación más convenientemente de las guías de onda flexibles en diversos dispositivos. Las diversas formas dobladas de las guías de onda pueden disminuir el factor de forma de un sistema óptico y también proporcionar técnicas de formación de imagen adicionales no fácilmente disponibles de guías de onda estrictamente coplanas.

20 En la etapa 410, la pluralidad de guías de onda se acopla a uno o más interferómetros, de acuerdo con una realización. Uno o más interferómetros combinan la luz recibida de por lo menos una porción de la pluralidad de guías de onda con un haz de luz de referencia para realizar formación de imágenes OCT. El acoplamiento entre las guías de onda y los interferómetros puede implicar cualquier cantidad de elementos que guían la luz, lentes, espejos, multiplexores, etc. Por ejemplo, un elemento que guía la luz, tal como una fibra óptica, se puede utilizar para acoplar la luz desde la pluralidad de guías de onda hasta uno o más interferómetros. En otro ejemplo, se pueden utilizar una o más lentes para enfocar la luz que sale desde la pluralidad de guías de onda sobre un elemento que guía la luz, o directamente sobre un elemento óptico integrado como parte de uno o más interferómetros.

25 La figura 5 ilustra un diagrama de flujo que representa un procedimiento 500 para la fabricación de un sistema de tomografía de coherencia óptica, de acuerdo con otra realización de la invención. Se debe apreciar que el método 500 puede incluir operaciones adicionales a aquellas mostradas, o realizar las operaciones en un orden diferente a aquel mostrado.

30 El método 500 inicia en la etapa 502, donde una capa de dispositivo de una placa de contacto de aislante sobre silicio (SOI) se modela para formar guías de onda, de acuerdo con una realización. La placa de contacto SOI puede incluir una capa de dispositivo semiconductor, una capa de dióxido de silicio embebida, y una capa de manija que puede tener hasta varios cientos de micras de grosor. Sin embargo, se debe apreciar que el proceso de la placa de contacto SOI y de fabricación descrito en el método 500 no se debe limitar al uso de silicio como la capa de dispositivo, y que también se pueden utilizar otros materiales y polímeros semiconductores. Como se indicó anteriormente, el patrón de la capa semiconductor puede implicar técnicas de litografía convencionales para primero modelar una capa fotorresistente sobre la capa semiconductor y, posteriormente, grabar el material semiconductor expuesto para formar las guías de onda. Alternativamente, se puede utilizar un material de máscara dura tal como nitruro de silicio en lugar de material fotorresistente. En una realización, las guías de onda se forman como líneas sustancialmente paralelas sobre el material flexible. La capa de dispositivo puede tener un grosor de, por ejemplo, menos de 10 micras. En una realización, el grosor final de la capa de dispositivo es de alrededor de 3 micras. Después de que se forman las guías de onda, se puede depositar o agregar un material de revestimiento en la parte superior de las guías de onda para confinar adicionalmente el modo de luz dentro del núcleo de guía de onda. Se pueden agregar otras capas de material o etapas de proceso para funcionalidad eléctrica u óptica adicional.

35 El método 500 continúa en la etapa 504, donde se deposita una capa delgada de material flexible sobre la parte superior de la placa de contacto SOI asegurando una buena adhesión a la capa de dispositivo en la que se han definido las guías de onda, de acuerdo con una realización. El material flexible puede ser, por ejemplo, PDMS o Parileno. El depósito se realiza a través de hilatura, transferencia de capa con base en temperatura y aplicación de presión u otros métodos conocidos por un experto en la técnica pertinente, dada la descripción aquí. La adhesión

entre el material flexible y la capa de dispositivo en la que se han definido las guías de onda se puede asegurar a través de la preparación de superficie utilizando plasma de O₂ u otros medios, tales como, por ejemplo, capas de promoción de adhesión intermedia. Se pueden utilizar otras técnicas para mejorar la adhesión como lo sabría el experto en la técnica pertinente, dada la descripción aquí.

5 El método 500 continúa con la etapa 506 donde la placa de contacto SOI con el material flexible sobre la parte superior se unen a un sustrato portador, de acuerdo con una realización. Dicha unión se puede conseguir a través de una capa de adhesivo delgada, que incluye una capa fotorresistente. El adhesivo se puede seleccionar de tal manera que se puede quitar fácilmente con un solvente sin afectar negativamente la capa flexible o las guías de onda. Dicho solvente puede ser, por ejemplo, acetona, metanol, isopropanol o cualquier otro solvente orgánico o inorgánico.

15 El método 500 continúa con la etapa 508 donde se graba la capa de manija de la placa de contacto SOI, utilizando la capa de óxido embebida como una capa de detención. Esta etapa de grabado se puede hacer utilizando grabado anisotrópico en húmedo, grabado isotrópico en húmedo, grabado por iones reactivos profundos, otros procesos de grabado a base de plasma u otros medios conocidos por un experto en la técnica pertinente, dada la descripción aquí. Esta etapa de grabado se puede modular por una etapa de litografía, donde las islas de silicio sólido se protegen mediante una máscara blanda o dura. Dichas islas rígidas se pueden dejar sobre el óxido embebido en la medida de lo esto pueda ser necesario para fortalecer la estructura para el empaque, necesidades de aplicación funcionales u otras necesidades de aplicación.

20 En la etapa 510, la capa de óxido embebida se graba posteriormente lejos utilizando una solución de grabado, de acuerdo con una realización. En un ejemplo, la solución de grabado se puede elegir para tener ya sea una velocidad de grabado cero o insignificante para el material de guía de onda para proteger las guías de onda. Dicho reactivo de grabado puede ser a base de ácido fluorhídrico (HF), pero otras composiciones son posibles como lo sabría un experto en la técnica pertinente.

25 En la etapa 512, se deposita otra capa flexible sobre las guías de onda de silicio expuestas, de acuerdo con una realización. La etapa 512 es opcional, sin embargo, la capa flexible adicional intercala las guías de onda con el fin de proteger el circuito óptico, agrega resistencia mecánica adicional, y mejora el revestimiento alrededor de las guías de onda. En esta etapa, son posibles patrones adicionales del circuito óptico flexible, mediante los cuales las formas arbitrarias se pueden definir en el sustrato. Se pueden utilizar dichas formas para mejorar la flexibilidad, simplificar el empaque, o para otros fines. Se pueden realizar patrones utilizando máscaras de litografía para proteger el circuito óptico flexible desde la etapa de grabado. Se puede lograr el grabado del circuito óptico flexible, por ejemplo, a través de procesos de grabado a base de plasma.

35 En la etapa 514, el circuito óptico flexible, se libera del sustrato portador, de acuerdo con una realización. La liberación se puede producir en el nivel de boquilla después de cortar el circuito óptico flexible unido al sustrato portador en moldes de tamaño adecuado. La liberación se puede realizar al utilizar un solvente que disuelve solamente la capa de adhesión.

40 En la etapa 516, el circuito óptico flexible, se dobla en una forma particular, de acuerdo con una realización. En un ejemplo, el circuito óptico flexible se puede doblar en una forma cilíndrica o forma de espiral como se ilustra en las figuras 1B y 1C respectivamente. Una forma generalmente circular puede ayudar a la colocación de las guías de onda flexibles en un aparato tubular similar tal como un catéter o endoscopio. También se pueden considerar otras formas para colocación más convenientemente de las guías de onda flexibles en diversos dispositivos. Las diversas formas dobladas de las guías de onda pueden disminuir el factor de forma de un sistema óptico y también proporcionar técnicas de formación de imagen adicionales no fácilmente disponibles a partir de guías de onda estrictamente coplanas.

45 En la etapa 518, la pluralidad de guías de onda en el material flexible se acopla a uno o más interferómetros, de acuerdo con una realización. Uno o más interferómetros combinan la luz recibida de por lo menos una porción de la pluralidad de guías de onda con un haz de referencia de la luz para realizar formación de imágenes OCT. El acoplamiento entre las guías de onda y los interferómetros puede implicar cualquier cantidad de elementos que guían la luz, lentes, espejos, multiplexores, etc. Por ejemplo, un elemento que guía la luz, tal como una fibra óptica de guía, se puede utilizar para acoplar la luz desde la pluralidad de guías de onda hasta uno o más interferómetros. En otro ejemplo, se pueden utilizar una o más lentes para enfocar la luz que sale de la pluralidad de guías de onda sobre un elemento que guía la luz, o directamente sobre un elemento óptico integrado como parte de uno o más interferómetros.

55 Algunas realizaciones de un sistema de guía de onda flexible, descrito en este documento proporcionan ciertas ventajas estructurales. Por ejemplo, las guías de onda dispuestas sobre un sustrato flexible, pueden tener una ventaja de tamaño sobre las fibras ópticas independientes, porque las guías de onda dispuestas sobre un sustrato se pueden hacer mucho más pequeñas que una fibra independiente debido a que se puede utilizar el sustrato como soporte estructural para las guías de onda.

La utilización de guías de onda más pequeñas permite el empaque de más guías de onda sobre un área determinada. Como tal, se pueden tomar más puntos de datos individuales para una superficie dada. Adicionalmente, una vez que se han dispuesto las guías de onda sobre un sustrato, las guías de onda se pueden organizar en una forma específica, estable, que puede no ser posible o fácil con fibras ópticas independientes.

- 5 Las realizaciones de la presente invención se han descrito anteriormente con la ayuda de elementos fundamentales funcionales que ilustran la implementación de funciones específicas y relaciones de las mismas. Los límites de estos elementos fundamentales funcionales se han definido arbitrariamente aquí para conveniencia de descripción. Se pueden definir límites alternativos, siempre que las funciones y relaciones especificadas de los mismos se realicen de forma apropiada.
- 10 La descripción anterior de las realizaciones específicas revelará completamente la naturaleza general de la invención que otros pueden, mediante aplicación de conocimientos dentro de la experiencia de la técnica, modificar y/o adaptar fácilmente para diversas aplicaciones tal como realizaciones específicas, sin exceso de experimentación, sin apartarse del concepto general de la presente invención. Por lo tanto, se pretende que dichas adaptaciones y modificaciones estén dentro del significado y rango de equivalentes de las realizaciones descritas, con base en la enseñanza y guía presentada aquí. Se debe entender que la fraseología o terminología en el presente documento
- 15 tiene el propósito de descripción y no de limitación, de tal manera que la terminología o fraseología de la presente especificación se debe interpretar por el experto en la técnica a la luz de las enseñanzas y guía.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de tomografía de coherencia óptica para formación de imagen separada a profundidad de una muestra, comprende:
- 5 un sustrato (102) de material sustancialmente flexible unido a una capa de material semiconductor, en el que se modela la capa de material semiconductor para formar una pluralidad de guías (104) de onda, y en las que se dobla el sustrato;
- un elemento (206) óptico dispuesto en un extremo distante de la pluralidad de guías (104) de onda;
- 10 uno o más interferómetros (304) configurados para combinar una luz de referencia con la luz recibida por al menos una porción de la pluralidad de guías (104) de onda sobre el sustrato (102) doblado para separar las contribuciones de una profundidad dada de la muestra (314) utilizando tomografía de coherencia óptica; y un elemento (202) que guía la luz acoplado entre la pluralidad de guías (104) de onda sobre el sustrato (102) doblado y uno o más interferómetros (304).
2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el sustrato (102) es un polímero.
3. El sistema de la reivindicación 2, en el que el polímero es PDMS.
- 15 4. El sistema de la reivindicación 2, en el que el polímero es parileno.
5. El sistema de la reivindicación 1, en el que el sustrato (102) es un semiconductor flexible.
6. El sistema de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de guías (104) de onda se compone de por lo menos uno de silicio, arseniuro de galio, y fosfuro de indio.
7. El sistema de la reivindicación 1, comprende adicionalmente un multiplexor (308) óptico configurado para cambiar una ruta de luz desde el elemento (202) que guía la luz hasta una o más de la pluralidad de guías (104) de onda.
- 20 8. El sistema de la reivindicación 1, en el que el sustrato (102) se configura para ser enrollado en una forma sustancialmente cilíndrica.
9. El sistema de la reivindicación 8, en el que el sustrato (102) se dispone dentro de una carcasa (201) sustancialmente cilíndrica.
- 25 10. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento (206) óptico comprende uno o más espejos.
11. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento óptico comprende una o más lentes.
12. El sistema de la reivindicación 11, en el que por lo menos una de una o más lentes es una lente de índice de gradiente.
13. El sistema de la reivindicación 1, en el que el elemento (202) que guía la luz es una fibra óptica.
- 30 14. El sistema de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de guías (104) de onda comprende guías de onda de modo único.
15. Un sistema de tomografía de coherencia óptica para formación de imagen separada a profundidad de una muestra (314), comprende:
- 35 un sustrato (102) de material sustancialmente flexible unido a una capa de material semiconductor, en el que la capa de material semiconductor se modela para formar una pluralidad de guías (104) de onda, y en el que se dobla el sustrato;
- un elemento (206) óptico dispuesto en un extremo distante de la pluralidad de guías (104) de onda;
- 40 uno o más interferómetros (304) configurados para combinar una luz de referencia con la luz recibida por al menos una porción de la pluralidad de guías (104) de onda sobre el sustrato (102) doblado para separar las contribuciones de una pluralidad de profundidades de la muestra (314) utilizando tomografía de coherencia óptica; y un elemento

- (202) que guía la luz acoplado entre la pluralidad de guías (104) de onda sobre el sustrato (102) doblado y uno o más interferómetros (304).
- 5 16. El sistema de la reivindicación 15, comprende adicionalmente un multiplexor (308) óptico configurado para cambiar una ruta de luz desde el elemento (202) que guía la luz hasta una o más de la pluralidad de guías (104) de onda.
17. El sistema de la reivindicación 15, en el que el sustrato (102) se configura para ser enrollado en una forma sustancialmente cilíndrica.
18. El sistema de la reivindicación 17, en el que el sustrato (102) se dispone dentro de una carcasa (201) sustancialmente cilíndrica.
- 10 19. El sistema de la reivindicación 15, en el que la pluralidad de guías (104) de onda comprende guías de onda de modo único.
20. Un método para fabricar un sistema de tomografía de coherencia óptica, que comprende:
- unir una capa de material semiconductor a una capa de material (102) flexible;
- adelgazar la capa de material semiconductor a un grosor menor de 10 micras;
- 15 modelar la capa de material semiconductor para formar una pluralidad de guías (104) de onda unida a la capa de material (102) flexible;
- doblar la capa de material (102) flexible que tiene la pluralidad de guías (104) de onda unida a la misma; y
- acoplar la pluralidad de guías (104) de onda en el material (102) flexible doblado a uno o más interferómetros (304) utilizados para realizar tomografía de coherencia óptica.
- 20 21. Un método para fabricar un sistema de tomografía de coherencia óptica, que comprende:
- modelar una capa de material semiconductor en una capa de dispositivo de una placa de contacto SOI para formar una pluralidad de guías (104) de onda, en la que la placa de contacto SOI incluye:
- la capa de dispositivo,
- una capa de óxido embebida, y
- 25 una capa de manija;
- depositar una primera capa de material flexible sobre la pluralidad de guías (104) de onda formada en la capa de dispositivo;
- grabar la capa de manija de la placa de contacto SOI para eliminar sustancialmente la capa de manija;
- 30 grabar la capa de óxido embebida de la placa de contacto SOI para eliminar sustancialmente la capa de óxido embebida;
- depositar una segunda capa de material flexible sobre la pluralidad de guías (104) de onda de tal manera que la pluralidad de guías (104) de onda se intercalan entre la primera y segunda capas de material flexible para formar un circuito óptico flexible;
- doblar el circuito óptico flexible; y
- 35 acoplar la pluralidad de guías (104) de onda sobre el circuito óptico flexible doblado a uno o más interferómetros (304) utilizados para realizar tomografía de coherencia óptica.

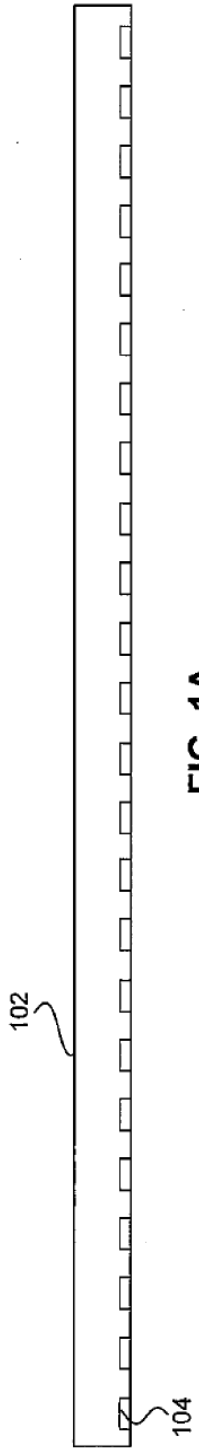


FIG. 1A

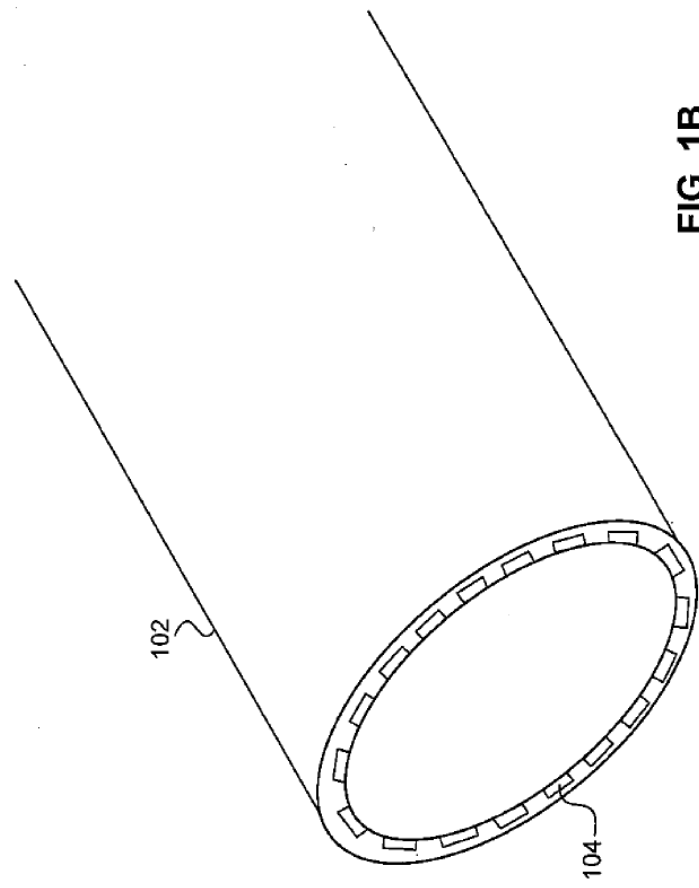


FIG. 1B

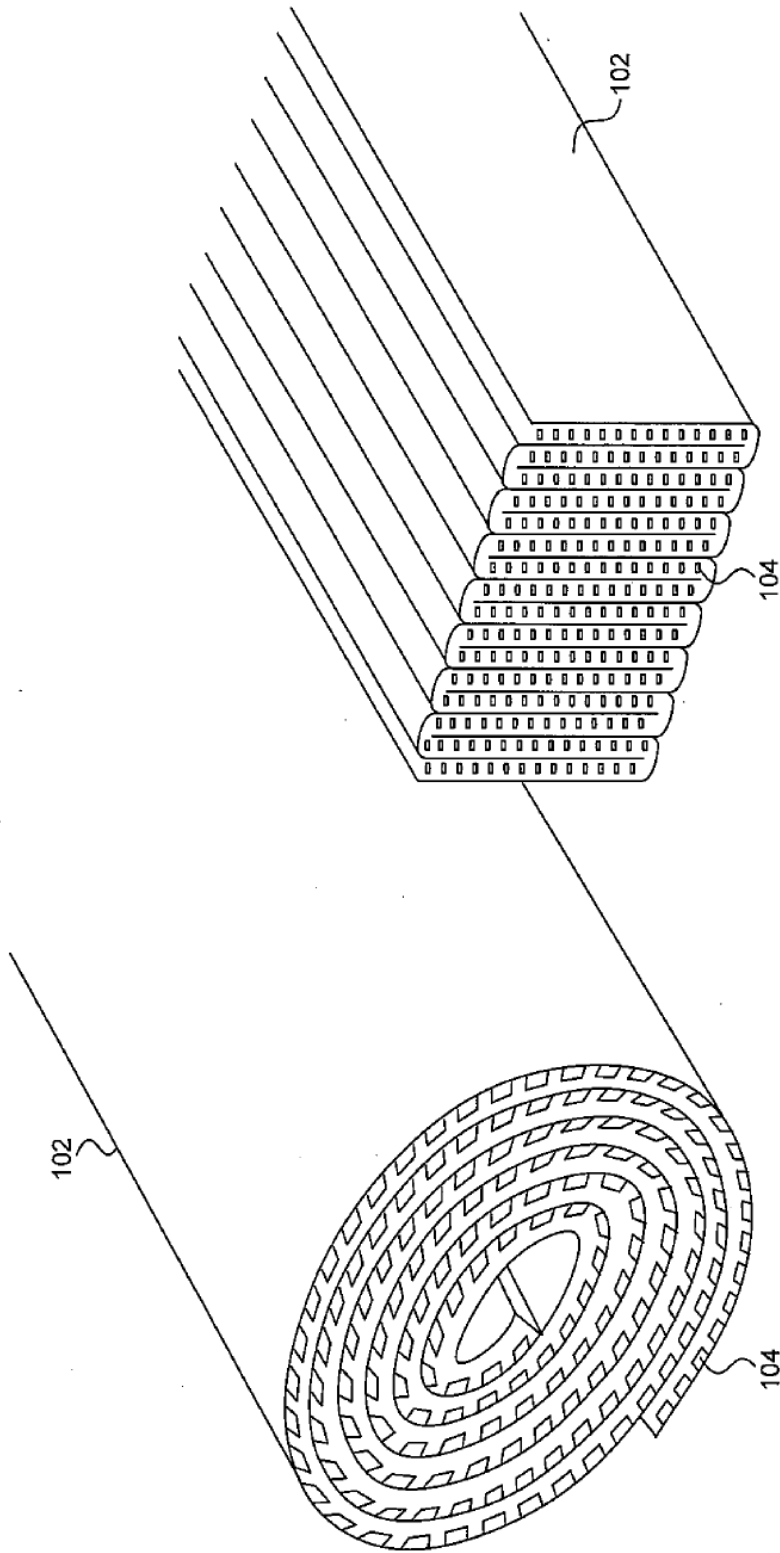


FIG. 1D

FIG. 1C

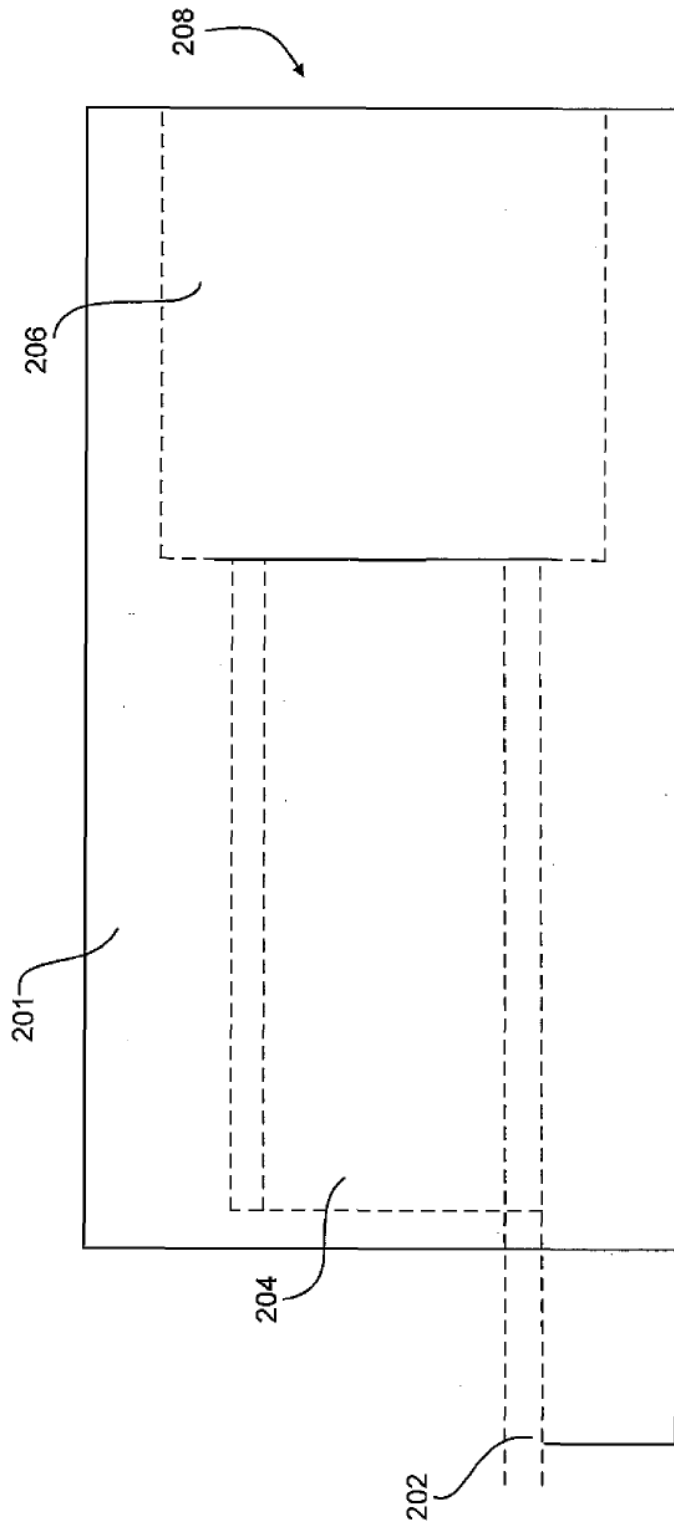


FIG. 2A

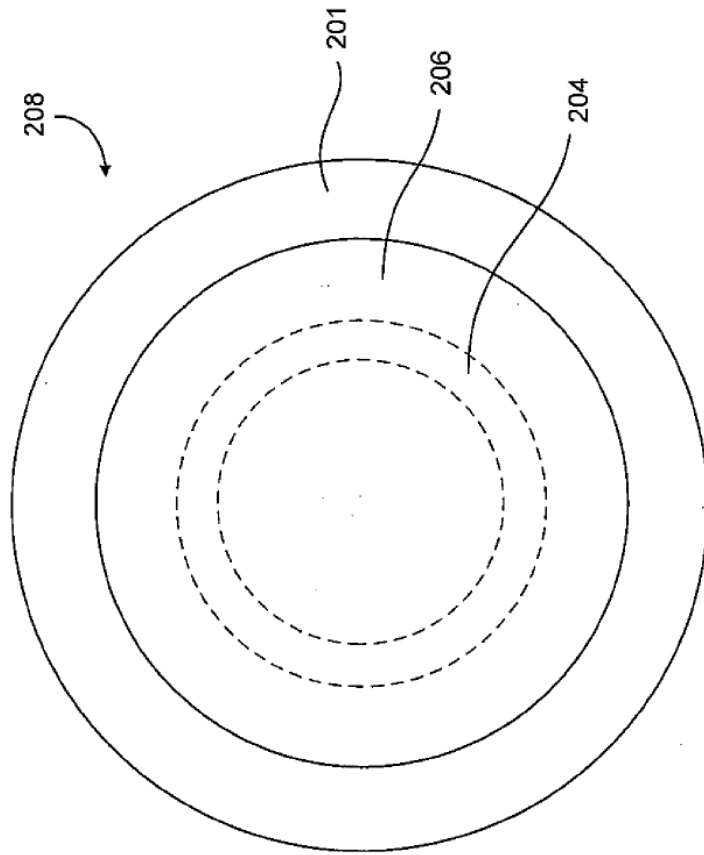


FIG. 2B

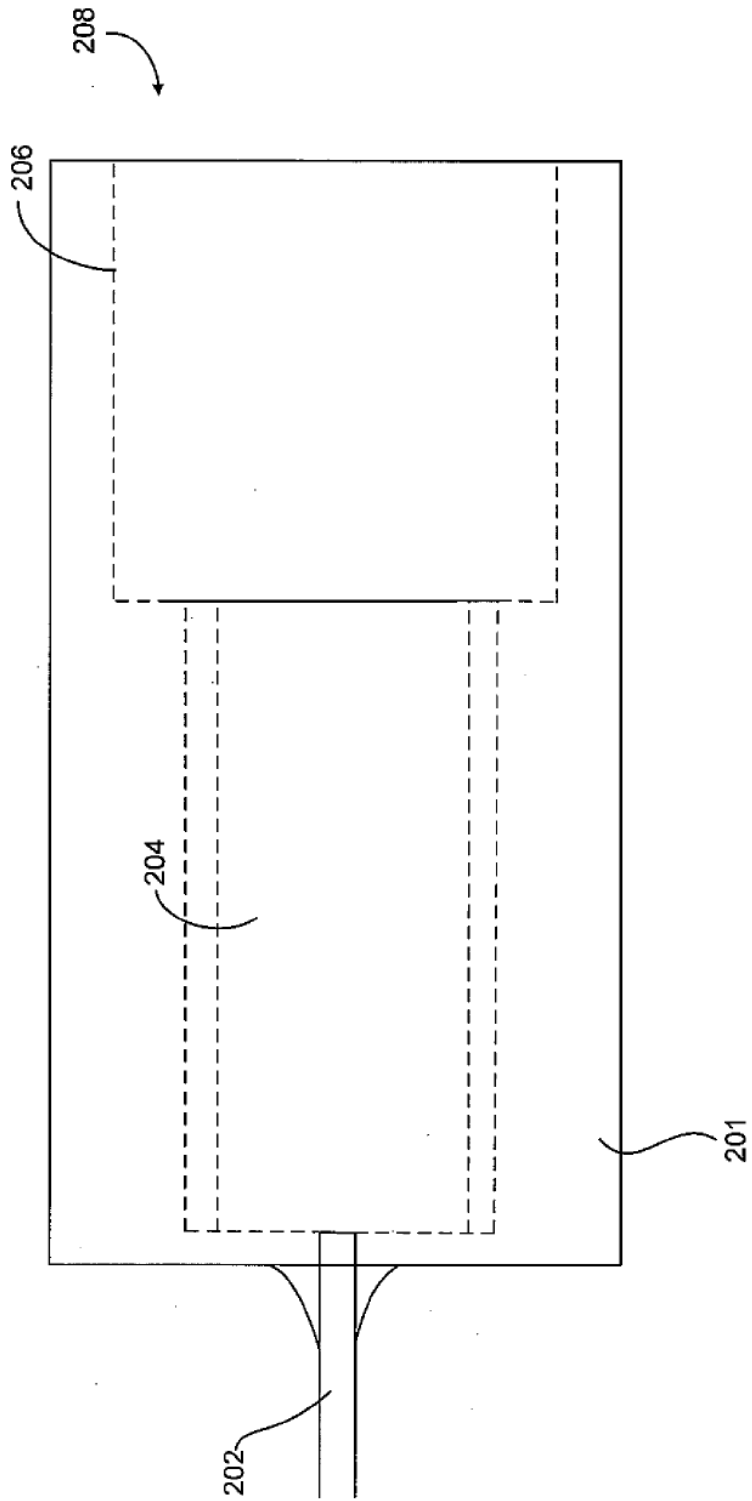


FIG. 2C

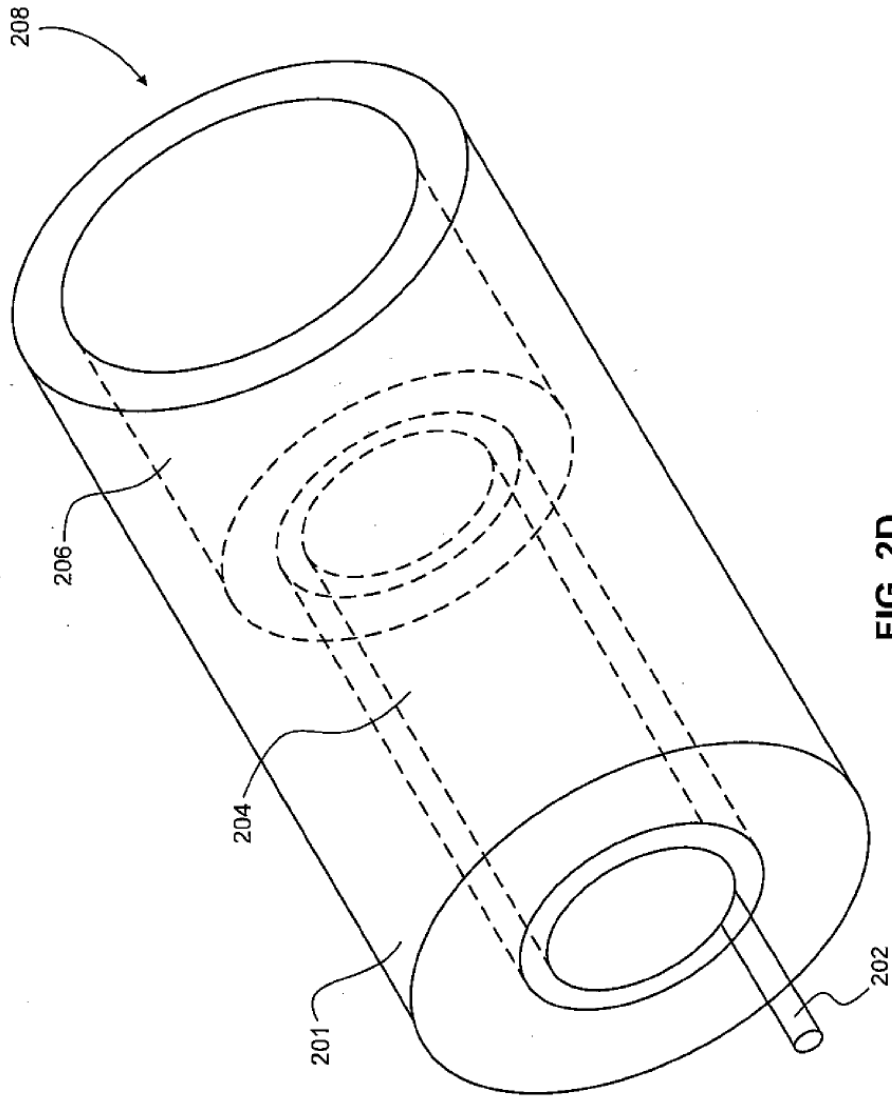


FIG. 2D

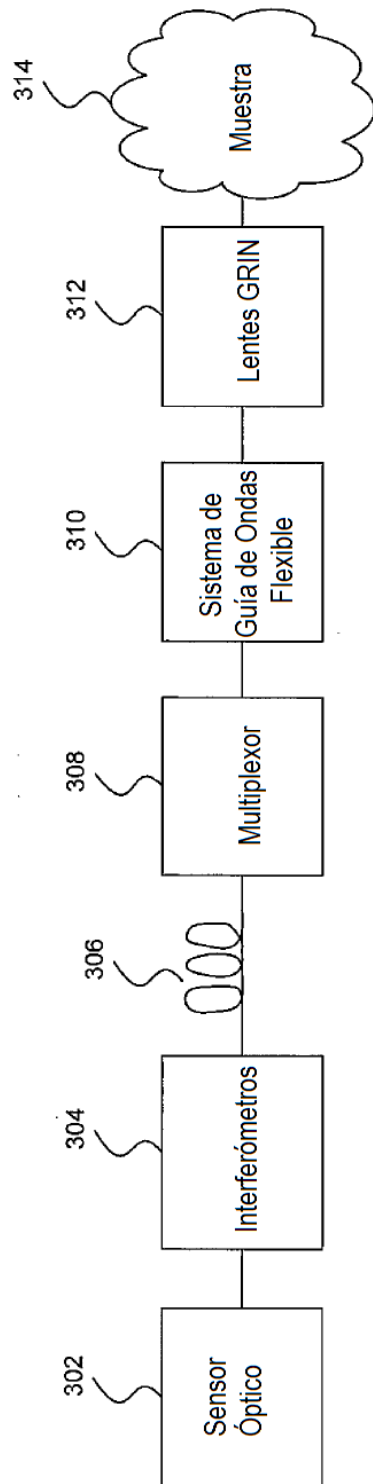


FIG. 3

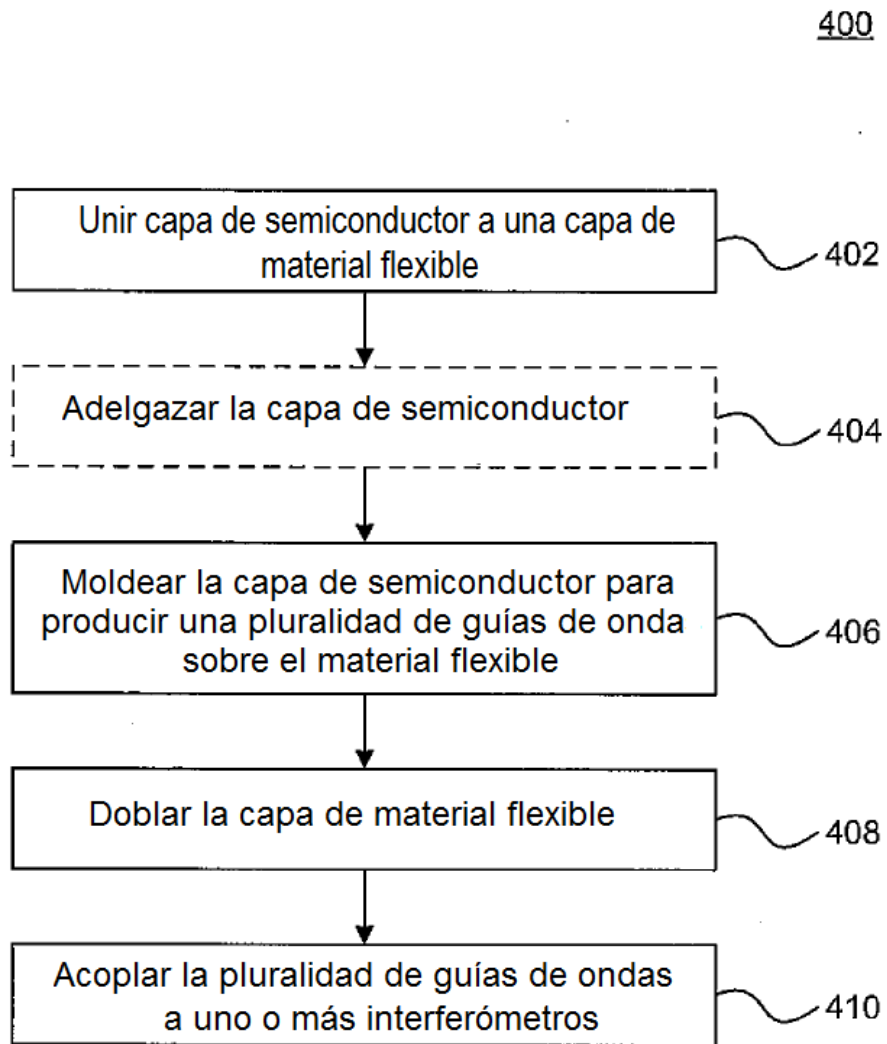


FIG. 4

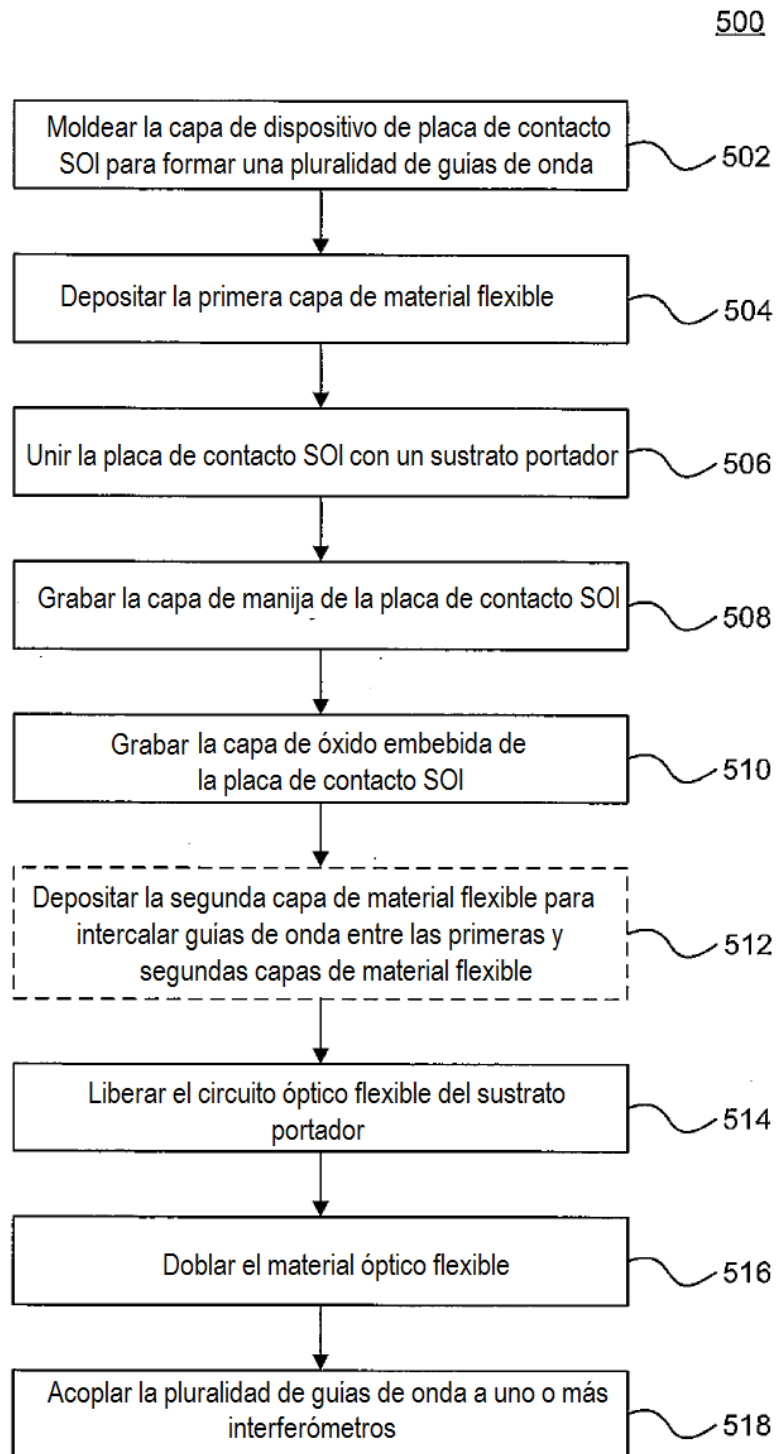


FIG. 5