

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 123**

51 Int. Cl.:

G02B 6/34 (2006.01)

G02B 6/30 (2006.01)

G02B 6/293 (2006.01)

G02B 6/124 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.01.2015** **PCT/EP2015/051867**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.08.2015** **WO15114067**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.01.2015** **E 15704237 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020** **EP 3100089**

54 Título: **Sistema para acoplar una radiación en una guía de ondas**

30 Prioridad:

29.01.2014 EP 14153146

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.02.2021

73 Titular/es:

UNIVERSITEIT GENT (50.0%)

Sint-Pietersnieuwstraat 25

9000 Gent, BE y

IMEC VZW (50.0%)

72 Inventor/es:

BIENSTMAN, PETER y

WERQUIN, SAM

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 804 123 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

Sistema para acoplar una radiación en una guía de ondas

5 CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere al campo de la óptica. Más en particular, se refiere a métodos y sistemas para acoplar eficazmente la radiación a una guía de ondas, por ejemplo, cuando se utiliza iluminación de inundación.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los circuitos integrados fotónicos se aplican en numerosos campos de aplicación, tales como en el área de comunicación por fibra óptica, aplicaciones biomédicas, informática fotónica, procesamiento de señales, etc. Dichos circuitos integrados fotónicos por lo general pueden comprender una serie de elementos ópticos tales como un detector, una fuente, un resonador u otro elemento de procesamiento de radiación, interconectado a través de guías de onda. Para el acoplamiento de radiación a un circuito integrado fotónico, el acoplamiento de red todavía es, con mucho, la solución más utilizada. Una alineación adecuada entre el haz de radiación incidente, por ejemplo, que proviene de una fibra óptica u otra fuente de radiación, y la red es a menudo crucial para tener un buen acoplamiento de la radiación en la guía de ondas. Sin embargo, durante los últimos años se ha producido una miniaturización importante de los componentes del circuito integrado fotónico, lo que hace todavía más difícil la alineación de la radiación incidente y el dispositivo. Un ejemplo de dispositivos integrados fotónicos donde la miniaturización se ha utilizado en gran medida son los dispositivos integrados fotónicos basados en silicio sobre aislante. El alto índice de contraste de SOI permite, por ejemplo, la fabricación de resonadores de anillo de tamaño micrométrico que pueden utilizarse para una diversidad de aplicaciones fotónicas. El acoplamiento de la radiación a los resonadores pequeños se realiza utilizando pequeñas redes. La utilización de dicho sistema puede realizarse por multiplexación, tal como, por ejemplo, sistemas de ensayo multiplexados para aplicaciones de biosensores. Con el fin de hacer menos difíciles las condiciones de alineación entre la fuente de irradiación y el acoplador de red para el acoplamiento al dispositivo, a veces se utiliza iluminación de inundación. Cuando se utiliza iluminación de inundación, se irradia una gran zona del dispositivo integrado fotónico. Esta técnica proporciona una tolerancia de alineación muy alta. Al mismo tiempo, como útil en algunas aplicaciones, permite el acoplamiento a una pluralidad de redes de acopladores, de manera simultánea, para una multiplexación rápida. La utilización de una solución de este tipo permite hacer menos difíciles los requisitos de alineación entre la radiación entrante y la red de acopladores.

Sin embargo, la iluminación de inundación tiene el inconveniente de que la radiación que no incide en la red de acopladores pero que incide en la zona alrededor de la red de acopladores, causa radiación parásita. Las reflexiones parásitas en la superficie del dispositivo pueden deteriorar el funcionamiento y la calidad del circuito integrado fotónico y, por lo tanto, limitar su rendimiento.

Una solución que se ofreció en el pasado es la utilización de una película de oro reflectante, en la zona del dispositivo fotónico fuera de la red de acopladores, para reflejar la radiación de nuevo hacia el espacio libre. A continuación, se aplica una película de oro como capa adicional en la parte superior del dispositivo fotónico. Sin embargo, esta es una etapa de procesamiento costosa y adicional. Todavía existe margen de mejora en los sistemas y métodos para acoplar la radiación en una guía de ondas de un circuito integrado fotónico.

Un dispositivo que recibe un haz expandido se describe en el documento: DANIEL PATKO ET AL: "Interferometría acoplada de red de haz único: sensor sin etiquetas miniaturizado de alta resolución para cribado paralelo basado en placa", OPTICS EXPRESS, vol. 20, nº 21, 8 de octubre de 2012 (2012-10-08), página 23162, XP055127632.

En el documento WO2005114276 (CIPHERGEN), la luz entra a través de un sustrato y una primera red la transfiere a través de una guía de luz a una red separada. Lo que antecede transfiere la luz de retorno a través del sustrato. La interferencia parásita causada dentro del sustrato debido a múltiples reflejos internos totales de luz que está destinada a entrar se reduce al proporcionar capas antirreflectantes.

55 SUMARIO DE LA INVENCION

Un objeto de las formas de realización de la presente invención es proporcionar sistemas y métodos eficientes para acoplar una radiación a una guía de ondas, que soporta poca o ninguna radiación parásita.

La radiación parásita puede ser causada, por ejemplo, por radiación que penetra en la superficie irradiada del dispositivo en una posición donde no se realiza ningún acoplamiento y que se refleja hacia la zona de acoplamiento por una de las superficies del dispositivo.

Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que se proporcionan sistemas y métodos en los que la alineación de la radiación entrante y la red de acopladores se atenúa, es decir, es menos crucial, pero en donde, de manera simultánea, la cantidad de radiación parásita acoplada en la guía de ondas del dispositivo fotónico está limitada.

Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la dependencia de la longitud de onda de las redes se puede superar ajustando los parámetros de diseño de la red para limitar la dependencia de la longitud de onda. Es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que los elementos adicionales utilizados para prevenir o reducir el efecto de la radiación parásita se pueden poner en práctica de manera sencilla. Otra ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores utilizada para resolver o reducir el problema del acoplamiento de radiación parásita a la red de acopladores, se puede realizar al mismo tiempo que la definición de la red de acopladores. Esto último permite impedir etapas de procesamiento adicionales.

El objetivo anteriormente descrito se logra mediante un método y dispositivo de conformidad con la presente invención.

La presente invención se refiere a un dispositivo integrado fotónico para acoplar radiación utilizando iluminación de inundación, comprendiendo el dispositivo:

- una guía de onda integrada,
- una red de acopladores en la superficie del dispositivo para acoplar la radiación desde dicha iluminación de inundación hacia la guía de ondas integrada, y
- una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores en la superficie del dispositivo,

en donde la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores está situada en relación con la red de acopladores con el fin de impedir al menos alguna radiación desde dicha iluminación de inundación, incidiendo en la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores y de este modo, incidiendo en una posición alejada de la red de acopladores, para que no se refleje dentro del dispositivo hacia la red de acopladores. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que cuando se irradia por inundación un circuito integrado óptico, tal como un circuito integrado fotónico, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores impide que parte del haz que, cuando se refleja en el dispositivo, interferiría con la radiación directamente incidente sobre la red de acopladores se impida en su interferencia. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que las señales parásitas reflejadas y su patrón de interferencia correspondiente se reducen de manera eficiente.

Por lo tanto, es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que, cuando se someten a irradiación de inundación, por ejemplo, a través de un amplio haz láser colimado, el ruido se reduce en comparación con los dispositivos que carecen de una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores. Puesto que se puede aplicar un haz láser colimado ancho, es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que la tolerancia de alineación entre la fibra y la guía de onda aumenta en comparación con los dispositivos en los que solamente se puede usar un haz láser más pequeño. Por el contrario, las técnicas de acoplamiento tradicionales requieren una alineación delicada y una precisión micrométrica. Por lo tanto, es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que sean más sólidas frente a la variación de la posición de incidencia, por ejemplo, vibración. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que es posible la excitación simultánea de múltiples acopladores de red. Los acopladores de red podrían, por ejemplo, organizarse en una matriz compacta de acopladores de red. La excitación simultánea permite mejores posibilidades de multiplexación. Es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que la potencia de las reflexiones parásitas se reduce en comparación con un sistema que carece de una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores. Por lo tanto, es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que, por ejemplo, utilizada en una aplicación de detección, la señal del sensor se ve menos perturbada por las reflexiones parásitas. En algunas formas de realización, se pueden aplicar las características para aplicaciones de detección. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores se puede poner en práctica con el mismo procedimiento litográfico que el procedimiento que se utiliza para poner en práctica el transductor, lo que da como resultado una facilidad mejorada de puesta en práctica de características para bloquear, reflejar o redireccionar la radiación alejada de la red de acopladores. Por lo tanto, es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que no se requieren etapas de procesamiento adicionales para poner en práctica la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores.

La distancia entre la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores puede estar entre 0,1 y 1,3, de manera ventajosa entre 0,7 y 1,1 veces x, siendo determinado x como (descuidando la interferencia multivías)

$$x = 2 \cdot \sum_i d_i \cdot \tan(\theta_i)$$

con $i = 1 \dots n$ y n correspondiente al número de capas en el dispositivo integrado fotónico entre la superficie superior y una superficie reflectante inferior del dispositivo integrado fotónico, donde se refleja la radiación, siendo d_i el espesor de la i -ésima capa, y $\theta_i = \arcsin(n_0 \sin(\theta_0) / n_i)$ es la dirección de propagación en la i -ésima capa con n_i siendo el índice de refracción de la i -ésima capa, siendo θ_0 el ángulo de incidencia en la superficie superior y n_0 el índice de refracción del medio desde el cual incide la radiación, optimizando la red de acopladores para un ángulo de incidencia θ_0 .

La distancia entre la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores puede estar entre 0,1 y 1,3, de manera ventajosa entre 0,7 y 1,1 veces y, siendo y determinada como

$$y = 2 \cdot n_0 \cdot \theta_0 \cdot d_{eff}$$

siendo d_{eff} el espesor efectivo total del dispositivo integrado, que para un dispositivo de $i = 1$ a n capas se puede determinar como la suma de d_i/n_i sobre todas las capas, siendo θ_0 el ángulo de incidencia en la superficie superior y n_0 el índice de refracción del medio desde el cual incide la radiación, estando la red de acopladores optimizada para un ángulo de incidencia θ_0 .

La red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores puede ser una red de acopladores hacia atrás, acoplando radiación prácticamente paralela a la superficie del dispositivo integrado fotónico, en una dirección alejada de la red de acopladores.

Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la radiación incidente sobre la red de acopladores hacia atrás difracta la radiación de nuevo hacia el espacio libre. Por lo tanto, es una ventaja que esta radiación difractada no se propague a la zona del sustrato en la dirección de la red de acopladores.

El dispositivo integrado fotónico puede comprender una estructura cónica de modo que la radiación difractada por la red de acopladores hacia atrás sea guiada por la estructura cónica para disipar la radiación difractada por la red de acopladores hacia atrás.

La red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores puede ser una red adaptada para difractar la radiación de nuevo hacia el espacio libre. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la radiación que se propaga hacia atrás procedente de la red de acopladores hacia atrás se disipa y, por lo tanto, no se refleja en el borde del dispositivo hacia la guía de ondas. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la radiación que se propaga hacia atrás se disipa en la zona de placa de silicio que cubre la superficie del dispositivo.

La red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores puede ser una red de alto contraste. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la red de alto contraste impide que la radiación llegue al acoplador de fibra maximizando así la reflexión de primer orden. Una ventaja de la red de alto contraste es que puede introducir una alta reflexión sobre una banda de longitud de onda más ancha que la banda de longitud de onda en donde, por ejemplo, la red de acopladores hacia atrás es eficiente.

El dispositivo, además, puede comprender redes adicionales para bloquear, reflejar o redireccionar la radiación alejada de la red de acopladores con el fin de impedir que la radiación incida en la superficie superior y se refleje varias veces entre la superficie superior y una superficie reflectante inferior del dispositivo con lo que se impide que alcance una red de acopladores.

La presente invención también se refiere a un método para fabricar un dispositivo integrado fotónico para acoplar radiación a una guía de ondas, cuyo método comprende un proceso litográfico para formar una estructura de red, en donde el proceso litográfico se utiliza para formar, de manera simultánea, la red de acopladores y una o más redes de bloqueo, reflexión o redirección de radiación alejada de la red de acopladores en una misma superficie del dispositivo. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que se puede fabricar un dispositivo con un rendimiento de ruido mejorado sin requerir etapas de procesamiento adicionales. Los aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes adjuntas. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden combinarse con las características de las reivindicaciones independientes y con las características de otras reivindicaciones dependientes según corresponda y no simplemente como se establece explícitamente en las reivindicaciones.

Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes a partir de, y se dilucidarán con referencia a, las formas de realización descritas a continuación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1a es una sección transversal vertical esquemática de un dispositivo integrado fotónico convencional conocido en la técnica y que sufre radiación parásita durante la iluminación de inundación.

La Figura 1b es una sección transversal vertical esquemática de un dispositivo integrado fotónico con una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores de conformidad con una forma de realización de la presente invención.

5 La Figura 2 ilustra la señal de transmisión perturbada por la interferencia debida a reflexiones parásitas y la señal de transmisión no perturbada por interferencia.

La Figura 3 ilustra una representación esquemática de la propagación de radiación para la red de contraste hacia atrás de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

10 La Figura 4 ilustra una representación esquemática de la propagación de radiación para una red de alto contraste de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

15 La Figura 5 ilustra una imagen TEM de una red de acoplador hacia atrás de conformidad con formas de realización de la presente invención.

La Figura 6 ilustra una imagen TEM de una red de alto contraste de conformidad con formas de realización de la presente invención.

20 La Figura 7 ilustra la transmisión simulada al sustrato para diferentes redes de anti-transmisión de conformidad con formas de realización de la presente invención.

La Figura 8 ilustra el espectro de transmisión del acoplador de fibra combinado con una red de acopladores hacia atrás delante de la red de acopladores de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

25 La Figura 9 ilustra el espectro de transmisión del acoplador de fibra combinado con una red de alto contraste delante de la red de acopladores de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

30 La Figura 10 ilustra el espectro de Fourier de un margen de longitud de onda dentro de la zona efectiva de la red de acopladores hacia atrás y un espectro de Fourier fuera de la zona efectiva de la red de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

35 La Figura 11 ilustra el espectro de Fourier de un margen de longitud de onda dentro de la zona efectiva de la red de alto contraste y un espectro de Fourier fuera de la zona efectiva de red de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

La Figura 12 ilustra la dependencia de la longitud de onda de la relación I_1/I_2 para el alto contraste y la red de acopladores hacia atrás de conformidad con las formas de realización de la presente invención.

40 La Figura 13 ilustra un dispositivo alternativo que comprende una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores, de conformidad con una forma de realización de la presente invención.

Los dibujos son solamente esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos.

45 Cualquier referencia numérica en las reivindicaciones no se interpretará como limitativo del alcance.

En los diferentes dibujos, las mismas referencias numéricas se refieren a elementos iguales o análogos.

50 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE FORMAS DE REALIZACIÓN ILUSTRATIVAS

La presente invención se describirá con respecto a formas de realización particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la invención no está limitada a los mismos sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solamente esquemáticos y no limitativos. En los dibujos, el tamaño de algunos de los elementos puede ser exagerado y no estar dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones absolutas y las dimensiones relativas no corresponden a reducciones reales en la puesta en práctica de la invención.

60 Además, los términos primero, segundo y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se utilizan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, ya sea temporal, espacial, de clasificación o de cualquier otra manera. Debe entenderse que los términos así utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las formas de realización de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras secuencias distintas a las descritas o ilustradas en el mismo.

65 Además, los términos "superior", "inferior" y similares en la descripción y las reivindicaciones, se utilizan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Debe entenderse que los términos así utilizados

son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las formas de realización de la invención descritas en el presente documento pueden funcionar en otras orientaciones que las descritas o ilustradas en el mismo.

Conviene señalar que el término "que comprende", utilizado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como restringido a los medios enumerados a continuación; y no excluye otros elementos o etapas. Por lo tanto, debe interpretarse como que especifica la presencia de las características, números enteros, etapas o componentes indicados, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, números enteros, etapas o componentes, o grupos de los mismos. Por lo tanto, el alcance de la expresión "un dispositivo que comprende los medios A y B" no debe limitarse a los dispositivos que consisten solamente en los componentes A y B. Significa que, con respecto a la presente invención, los únicos componentes pertinentes del dispositivo son A y B.

La referencia a lo largo de esta memoria descriptiva a "una sola forma de realización" o "una forma de realización" significa que una función, estructura o característica particular descrita en relación con la forma de realización está incluida en al menos una forma de realización de la presente invención. Por lo tanto, la presencia de las frases "en una sola forma de realización" o "en una forma de realización" en varios lugares a lo largo de esta especificación no se refieren, necesariamente, a la misma forma de realización, pero pueden hacerlo. Además, las funciones, estructuras o características particulares se pueden combinar de cualquier manera adecuada, tal como sería evidente para un experto en esta técnica con respecto a esta idea inventiva, en una o más formas de realización.

De manera similar, debe apreciarse que, en la descripción de formas de realización, a modo de ejemplo, de la invención, algunas características de la invención a veces se agrupan en una sola forma de realización, figura o descripción de la misma con el fin de racionalizar la divulgación y ayudar a comprender uno o más de los diversos aspectos inventivos. Sin embargo, este método de divulgación no debe interpretarse como un reflejo de la intención de que la invención reivindicada requiera más características de las que se mencionan expresamente en cada reivindicación. Por el contrario, tal como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos se encuentran en menos de todas las características de una sola forma de realización descrita con anterioridad. Por lo tanto, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada se incorporan expresamente en esta descripción detallada, y cada una de las reivindicaciones se presenta como una forma de realización separada de esta invención.

Además, aunque algunas formas de realización descritas en el presente documento incluyen algunas, pero no otras características incluidas en otras formas de realización, las combinaciones de características de diferentes formas de realización están destinadas a estar dentro del alcance de la invención, y forman diferentes formas de realización, tal como se entendería por los expertos en esta técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las formas de realización reivindicadas puede utilizarse en cualquier combinación.

En la descripción proporcionada en este documento, se exponen numerosos detalles específicos. Sin embargo, se entiende que las formas de realización de la invención se pueden poner en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos, los métodos, estructuras y técnicas bien conocidas no se han mostrado en detalle para no oscurecer la comprensión de esta descripción.

Cuando en formas de realización de la presente invención se hace referencia a "red de acopladores", se hace referencia a una red para acoplar radiación en una guía de ondas.

En las formas de realización de la presente invención, se hace referencia a una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores. Dicha red también puede denominarse red anti-transmisión, ya que impide que la radiación se transmita a la red bloqueando la radiación, reflejando la radiación o redireccionando la radiación transmitida fuera de la red de acopladores. La radiación que alcanzaría la red de acopladores indirectamente puede interferir con la radiación que incide directamente en la red de acopladores, lo que podría dar lugar a una disminución en la cantidad de radiación acoplada en un canal de ruido adicional y, por lo tanto, debe evitarse.

Cuando en formas de realización de la presente invención se hace referencia a "la señal del sensor" o "señal de transmisión" se hace referencia a la señal procedente de la red de acopladores.

Cuando en las formas de realización de la presente invención se hace referencia al "ángulo de incidencia", se hace referencia al ángulo entre la radiación entrante y la normal a la superficie del dispositivo.

Las formas de realización de la presente invención pueden ser aplicables a cualquier dispositivo óptico integrado de guía de onda mediante el cual el acoplamiento se realiza desde una fibra o espacio libre a una guía de onda integrada. Dicho dispositivo óptico puede ser un circuito integrado fotónico (PIC). Lo que antecede puede referirse a una diversidad de formas y sistemas de materiales tales como, por ejemplo, plataformas de guías de ondas de contraste de bajo índice (por ejemplo, guías de ondas de polímero, guías de ondas de vidrio/sílice, guías de ondas $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, guías de ondas $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$), guías de ondas de contraste de alto índice (por ejemplo, silicio sobre aislante, membranas semiconductoras), guías de ondas plasmónicas (p. ej., matrices de nanopartículas metálicas, capas metálicas), también denominados circuitos fotónicos de ondas de luz (PLC). Un circuito integrado fotónico comprende al menos un componente óptico integrado, tal como, por ejemplo, pero sin limitarse a una cavidad óptica integrada, un

resonador óptico integrado, un interferómetro óptico integrado, un acoplador óptico integrado, una guía de onda, una estructura cónica, un filtro sintonizable, un desplazador de fase, una retícula, un modulador, un detector, una fuente o una combinación de los mismos. Los componentes ópticos pueden ser activos o pasivos. Los componentes pueden integrarse, por ejemplo, de forma monolítica, heterogénea o híbrida. La integración monolítica es la tecnología de integración que utiliza un único flujo de procesamiento para procesar los diversos componentes que potencialmente utilizan diferentes materiales, por ejemplo, detectores de germanio integrados en silicio fotónico IC. La integración heterogénea es la tecnología de integración para la cual los componentes se procesan en flujos de proceso separados, que luego se integran a nivel de matriz o de placa, por ejemplo, vinculación BCB, vinculación de placas y otros sistemas de vinculación, integración 3D. La integración híbrida es la integración de componentes o materiales en plataformas fotónicas integradas procesadas, por ejemplo, ensamblado integrado de detectores, golpeo, aglutinado, unión de cableado, co-empaquetado, etc.

En formas de realización ventajosas, el dispositivo óptico con guía de onda integrada es un sistema de material SOI (Silicio-sobre-Aislante), también denominado sistema fotónico de silicio. Sin embargo, los dispositivos y métodos de la presente invención pueden basarse en otros sistemas de materiales, tales como, por ejemplo, sistemas de materiales III-V, capas metálicas, sistemas de materiales de contraste de bajo índice o una combinación de los mismos.

Las formas de realización de la presente invención proporcionan una solución para la radiación parásita que es causada por la irradiación de un dispositivo integrado fotónico utilizando iluminación de inundación. La iluminación de inundación da como resultado una cantidad importante de radiación que golpea el dispositivo integrado fotónico fuera de la zona de acoplamiento para el acoplamiento en radiación, normalmente definida por el acoplador de red. A modo de ilustración, la aparición de radiación parásita se describe a continuación con referencia a la Figura 1a. La Figura 1a ilustra, de este modo, un problema resuelto o reducido por formas de realización de la presente invención. La Figura 1a ilustra un dispositivo integrado fotónico 10 convencional, que en el ejemplo ilustrado es un dispositivo de silicio-sobre-aislante que comprende una red de acopladores 14 para acoplar la radiación al dispositivo 10. Cuando el dispositivo 10 se ilumina con un haz de irradiación 11 amplio, por ejemplo, un rayo láser colimado, la parte de la radiación que incide en la red de acopladores 14 está acoplada directamente a la guía de onda 13. La radiación que incide sobre la superficie del dispositivo en la zona fuera de la red de acopladores, por ejemplo, delante de la red, se transmitirá a través de la interfaz silicio-aire. Este haz se propaga a través del sustrato del dispositivo y se refleja en la superficie posterior. Como el componente longitudinal del vector de onda se conserva después de la refracción, la condición de Bragg para la red de acopladores 14 también se cumple con el haz de radiación reflejado 12. La condición de Bragg:

$$\beta = k_{in} \sin(\theta) + K$$

en donde

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_{eff}$$

es la constante de propagación del modo guiado, en donde K se define como

$$K = \frac{2\pi}{A}$$

en donde A es el período de la red y en donde

$$k_{in} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

es el vector de onda y θ es el ángulo de incidencia. La radiación reflejada luego se acoplará desde la capa tampón de óxido 16 a la red de acopladores 14 y más adelante a la guía de ondas. El desplazamiento de ida y vuelta a través del sustrato del dispositivo 10 introduce una diferencia de longitud de trayectoria importante y afecta a la fase de la radiación reflejada 12. La diferencia de fase entre la radiación directamente acoplada y la reflejada genera un fuerte patrón de interferencia en la radiación que está acoplada a la guía de onda 13. Esto último limita la funcionalidad y calidad del dispositivo integrado fotónico.

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un dispositivo integrado fotónico para acoplar radiación que utiliza iluminación de inundación. En formas de realización de la presente invención, el dispositivo 100 comprende una guía de onda integrada y una red de acopladores 104 en la superficie del dispositivo 100 para acoplar la radiación del espacio libre o de una fibra a la guía de onda. El circuito integrado comprende, además, una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 también en la superficie del circuito integrado 100. En formas de realización de la presente invención, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 está situada de modo que la radiación desde la iluminación de inundación que, de otro modo, se dirigiría al dispositivo y se reflejaría en la parte inferior, alcanzaría así a la red de acopladores 104. La posición de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de

acopladores 103 es, por lo tanto, tal que al menos parte de la radiación proveniente de la fibra se impide que se transmita en el dispositivo y se refleje dentro del dispositivo 100 hacia la red de acopladores 104.

En las formas de realización de la presente invención, se utilizan redes ópticas integradas en la superficie del dispositivo para bloquear la transmisión de luz. Estas redes ópticas integradas también se denominan redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103. Se proporciona al menos una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores, aunque las formas de realización no están restringidas a la misma y más redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores, por ejemplo, para evitar que la radiación desde la iluminación de inundación que de otro modo alcanzaría la red de acopladores después de múltiples reflexiones. Las redes para bloquear, reflejar o direccionar la radiación alejada de la red de acopladores 103 se colocan en posiciones que conducen a las rutas de radiación parásita que causan señales de interferencia mediante reflexiones en la parte posterior del dispositivo. Al colocar las redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103, las trayectorias de radiación parásita que causan interferencia con la radiación que se acopla a la guía de ondas se reducen en gran medida. En formas de realización de la presente invención, esta reducción puede ser más de 10 dB, preferiblemente más de 20 dB.

La distancia entre al menos una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores y la red de acopladores se puede determinar en función del ángulo de incidencia, el número de capas presentes en el dispositivo y pasadas antes de que se alcance una capa reflectante, el tipo de material, etc. Por ejemplo, la distancia entre la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores está entre 0,1 y 1,3 veces x, de manera ventajosa entre 0,7 y 1,1 veces x, siendo x determinada como

$$x = 2 \cdot \sum_i d_i \cdot \tan(\theta_i)$$

con $i = 1 \dots n$ y n correspondiente al número de capas en el dispositivo integrado fotónico entre la superficie superior y una superficie reflectante inferior del dispositivo integrado fotónico, donde se refleja la radiación, siendo el espesor de la i -ésima capa, y $\theta_i = \arcsin(n_0 \sin(\theta_0) / n_i)$ siendo la dirección de propagación en la i -ésima capa con n_i siendo el índice de refracción de la i -ésima capa, siendo θ_0 el ángulo de incidencia en la superficie superior y n_0 siendo el índice de refracción del medio desde el cual incide la radiación. El dispositivo integrado fotónico normalmente puede optimizarse para un ángulo de incidencia dado de θ_0 .

Cuando existe una incidencia prácticamente vertical, la distancia entre la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores está comprendida entre 0,1 y 1,3, de manera ventajosa puede estar entre 0,3 y 1,1 veces y, siendo y determinada como

$$y = 2 \cdot n_0 \cdot \theta_0 \cdot d_{\text{eff}}$$

con θ_0 siendo el ángulo de incidencia en la superficie superior y n_0 siendo el índice de refracción del medio desde el cual incide la radiación y d_{eff} siendo el espesor efectivo total del dispositivo integrado. De nuevo, el dispositivo integrado fotónico, y más en particular la red de acopladores, puede optimizarse para un ángulo de incidencia dado θ_0 .

Las redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103 se pueden fabricar durante las mismas etapas de procesamiento durante las cuales se obtiene la red de acopladores 104. Lo que antecede se compara con las soluciones de la técnica anterior en las que, por ejemplo, se requiere una capa de oro adicional con el fin de impedir las trayectorias de radiación parásita que causan interferencia. Para estas soluciones de la técnica anterior se requiere un procesamiento adicional y por separado. En formas de realización de la presente invención, las redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103 cambian las características de transmisión de la superficie del dispositivo 100 de modo que las rutas de radiación parásita que interferirían con la radiación que se está acoplando a la guía de ondas, son entonces reducidas en gran medida o incluso eliminadas. En formas de realización de la presente invención, las redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103 tienen una característica de transmisión dependiente de la longitud de onda. La reducción de las rutas de radiación parásita que causan interferencia depende, por lo tanto, de la longitud de onda. En las formas de realización de la presente invención, la dependencia de la longitud de onda está limitada a la optimización de los parámetros de diseño de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103. Por lo tanto, en las formas de realización de la presente invención, el margen de trabajo efectivo de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de la radiación alejada de la red de acopladores correspondiente a una reducción de las trayectorias de radiación parásita de 10 dB es superior a 4 nm, preferiblemente superior a 8 nm. Las características de diseño de la red pueden abarcar un espaciado de la red de espaciado de línea variable (red apodizada), que cambia la altura u otros parámetros geométricos de la red, utilizando una profundidad de grabado variable, utilizando un factor de relleno variable, etc.

En las formas de realización de la presente invención, la radiación de inundación, por ejemplo, se utiliza un rayo láser colimado o una fibra para iluminar la superficie del dispositivo. Mientras que para haces pequeños se requiere una alineación delicada entre la fibra y la red de acopladores de fibra, en las formas de realización actuales se puede utilizar irradiación de inundación y la alineación no es crítica ya que se impide que la radiación que incide en el sustrato fuera de la zona de red de acopladores alcance la red de acopladores. Como consecuencia de la utilización de la radiación de inundación, el acoplamiento será más sólido contra las vibraciones.

En las formas de realización de la presente invención, el dispositivo 100 puede comprender una matriz compacta de redes de acopladores 104 y redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103, por ejemplo, cuando se realiza la multiplexación. En estas formas de realización de la presente invención, una matriz de acopladores de red compacta de este tipo se excita, de manera simultánea, utilizando un haz láser colimado amplio para mejores posibilidades de multiplexación. Las redes para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores 103 delante de las redes de acopladores 104 reducen así las reflexiones que interfieren en las redes de acopladores 104.

La Figura 1 ilustra una sección transversal vertical de un dispositivo 100 de conformidad con una forma de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención. El dispositivo 100, a modo de ejemplo, ilustrado en la Figura 1 comprende:

- un sustrato de silicio grueso 107 con un espesor d3 de 725 μm ,
- una capa tampón de óxido gruesa 106 con un espesor d2 de 2 μm ,
- una capa superior de silicio que es la capa de guía de ondas 105 con un espesor d1 de 220 nm.

Aunque se indican los valores específicos utilizados en el ejemplo, el espesor de las diferentes capas podría ser diferente. En algunos ejemplos, el espesor d1 podría estar comprendido entre 10 nm y 1000 nm, el espesor d2 podría estar entre 500 nm y 5000 nm y el espesor d3 podría estar entre 500 μm y 5 mm. Aunque no está en el presente ejemplo, conviene señalar que también podrían estar presentes capas dieléctricas adicionales tales como SiN o SiO₂.

En la forma de realización, a modo de ejemplo, de la Figura 1 el espesor del sustrato de silicio grueso 107 es de 725 μm . Para un espesor de dispositivo de 725 μm , la ubicación de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 en la superficie del dispositivo 100 se calcula que es 73 μm frente a la red de acopladores 104. El ángulo de incidencia utilizado es de 10°. En esta posición, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 impedirá que la radiación incidente 101 se transmita a la parte posterior del sustrato y se refleje hacia la red de acopladores 104. Esta red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores, por lo tanto, reduce las interferencias parasitarias.

El dispositivo 100 ilustrado en la Figura 1 comprende una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 frente a una red de acopladores de fibra 104. Ambas redes están modeladas en la capa superior de silicio que es la capa de guía de ondas 105. A modo de ilustración, el dispositivo 100 es iluminado con un amplio haz láser colimado 101.

En las formas de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención, la guía de ondas es parte de un sensor microring, aunque las formas de realización de la presente invención no están limitadas a las mismas. La curva 202 en la Figura 2 ilustra el espectro de la señal 202 del sensor. La curva 203 ilustra el espectro inalterado de la señal del sensor. En el ejemplo ilustrativo, el patrón en la potencia transmitida tiene un período de 450 pm y modula las señales del sensor hasta la medida en que la intensidad máxima se suprime en gran medida y que la señal del sensor se destruye de manera efectiva. El período mínimo corresponde a una sola reflexión, mientras que las reflexiones de orden superior disminuirán el período. El patrón de interferencia se deteriora, en gran medida, o incluso completamente destruye la señal del sensor.

En algunas formas de realización de la presente invención, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 es una red de acopladores hacia atrás 301 que difracta la radiación alejada de la guía de ondas y de la red de acopladores 104. El principio de funcionamiento de dicha red de acopladores hacia atrás 301 se ilustra de manera esquemática en la Figura 3. En la Figura 5 se ilustra una imagen TEM de una red de acopladores de este tipo 301. En lugar de refractarse a la zona del sustrato y reflejarse hacia la red de acopladores de fibra 104, la radiación se refracta por la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores desde la guía de ondas y la red de acopladores 104. En formas de realización de la presente invención, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 acopla la radiación en una guía de onda adicional que guía la radiación alejada de los circuitos integrados fotónicos.

En una forma de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención, la red de acopladores hacia atrás se realiza grabando líneas profundas de 70 nm en la capa de guía de onda 105. En la forma de realización, a modo de ejemplo, la capa de guía de onda 105 tiene un espesor d1 de 220 nm. Estas líneas tienen un ciclo de servicio del 50%. Si la radiación incidente 101 tiene una longitud de onda de 1550 nm y un ángulo de incidencia de 10°, la condición de Bragg

implica que el período de red de la red de acopladores hacia atrás es de 540 nm. De manera ventajosa, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores no es, o no es mucho mayor, que la red de acopladores puesto que la transmisión parásita al sustrato tiene que bloquearse en una zona igual a la de la red de acopladores.

En las formas de realización de la presente invención, el dispositivo 100 puede comprender una estructura cónica tal que la radiación difractada por la red de acopladores hacia atrás es guiada por la estructura cónica para disipar la radiación difractada por la red de acopladores hacia atrás.

En algunas formas de realización de la presente invención, la radiación que se propaga hacia atrás se disipa en la zona de placa de silicio que cubre la superficie del dispositivo utilizando una estructura cónica.

En algunas formas de realización de la presente invención, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 es una red de alto contraste 401 que maximiza el coeficiente de reflexión de primer orden de la superficie del dispositivo. En lugar de guiar la radiación a la zona de la placa, la zona de alto contraste impide que la radiación alcance la red de acopladores 104 maximizando la reflexión de primer orden. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que las redes de alto contraste tienen una alta reflexión sobre bandas de longitud de onda ancha. Dependiendo de la optimización de las redes de alto contraste, se ha informado una atenuación superior al 99,5% en un margen de 70 nm. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que las tolerancias de fabricación son relativamente grandes, como por ejemplo también fue descrito por Zhou et al. en IEEE Photonics Technology Letters, vol. 20 de 2008 (6) 434-436. El principio de funcionamiento de una red 401 de tan alto contraste se ilustra, de manera esquemática, en la Figura 4. Una imagen TEM de una red 301 de tan alto contraste se ilustra en la Figura 6.

A modo de ilustración, la Figura 7 muestra la transmisión simulada de radiación incidente 101 en el sustrato del dispositivo 100 en función de la longitud de onda de la radiación incidente 101. La transmisión simulada se expresa en una unidad arbitraria. La curva 701 es una curva de referencia que ilustra la transmisión simulada en caso de que no esté presente una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada del acoplador 103. La curva 702 ilustra la transmisión simulada en caso de que haya una red de acopladores hacia atrás. La curva 703 ilustra la transmisión simulada en caso de que haya una red de alto contraste. Del gráfico de la Figura 7 resulta evidente que tanto la red de alto contraste 401 como la red de acopladores hacia atrás 301 reducen de manera importante la potencia transmitida al sustrato en comparación con el caso en donde no hay red presente. La Figura 7 también ilustra que la red de acopladores hacia atrás solamente es eficiente en una banda estrecha alrededor de la longitud de onda de 1550 nm para la cual está diseñada. La red de alto contraste, por el contrario, puede introducir una alta reflexión sobre una banda de longitud de onda relativamente ancha, tal como se indicó con anterioridad. Al optimizar el diseño de la red de alto contraste 401, el ancho de banda se puede aumentar aún más. De este modo, se puede alcanzar un ancho de banda de decenas de nanómetros.

La red de alto contraste 401 y la red de acopladores hacia atrás 301 son dos ejemplos de una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 de conformidad con las formas de realización de la presente invención. También son posibles otras redes para bloquear, reflejar o redireccionar la radiación alejada de la red de acopladores. Por ejemplo, no se requiere que la distancia entre las líneas de la red se fije sobre la red completa. En formas de realización de la presente invención, la distancia entre las líneas de la red puede depender de la posición.

A modo de ilustración, la forma de realización, a modo de ejemplo, de la Figura 1 se prueba en una configuración de medición. Por lo tanto, el dispositivo 100 está montado en un mandril de medición para caracterización. Un rayo láser colimado ilumina la red de acopladores 104 y la superficie circundante del dispositivo. El láser sintonizable es objeto de barrido a 5 nm/s en un margen de 20 nm con una resolución de longitud de onda de 10 pm. Se utiliza una cámara de infrarrojos IR para registrar los espectros de salida con una velocidad de fotogramas de 500 Hz.

La Figura 8 ilustra el espectro de transmisión de una red de acopladores de fibra 104 combinada con una red de acopladores hacia atrás 301 en donde la red de acopladores hacia atrás tiene un período de red de 530 nm. El espectro de transmisión en la Figura 8 ilustra una zona alrededor de 1551.5 nm en donde los efectos de interferencia reducida son claramente visibles. Esta zona de supresión corresponde a la longitud de onda de red de acopladores hacia atrás objetivo durante el diseño. La Figura 10 ilustra la transformada de Fourier del espectro de transmisión en la Figura 8. La Figura 10 compara el espectro de Fourier de una zona de 3 nm alrededor de 1551.5 nm (curva 1002 con efecto de red de acopladores hacia atrás) con el de una zona de 3 nm con fuerza de interferencia máxima (curva 1001 sin efecto de red). La potencia transmitida con un período de 450 pm se suprime satisfactoriamente en la zona de 3 nm alrededor de 1551.5 nm. Este efecto puede observarse con claridad cuando se compara la curva 1001 en una zona de 3 nm con la intensidad de interferencia máxima con la curva 1002 en una zona donde la radiación incidente se difracta alejada de la red de acopladores 104 por la red de acopladores hacia atrás 301. La zona de supresión de la curva en la Figura 8 ilustra la presencia de un componente que corresponde a oscilaciones de 220 pm, pero con una intensidad notablemente menor. Este componente también es visible en el espectro de Fourier en la Figura 10, en la curva 1002, alrededor del número de onda 5 correspondiente a la oscilación de 220 pm. En la forma de realización, a modo de ejemplo, de la Figura 1 la radiación incidente 101 en la red de acopladores hacia atrás 301 se difracta alejada de la

red de acopladores 104 por la red de acopladores hacia atrás 301. Sin embargo, la radiación incidente en el dispositivo 100, a 146 μm antes de la red de acopladores 104 y antes de la red de acopladores hacia atrás 301, dará lugar a una reflexión de segundo orden del sustrato del dispositivo. La radiación incidente en la superficie del dispositivo, 146 μm , frente al acoplador de fibra, hará dos desplazamientos de retorno a través del sustrato, reflejándose dos veces en la superficie inferior y, por lo tanto, llegando a la red de acopladores 104 con menor intensidad y dando lugar a efectos menos pronunciados de interferencia.

En las formas de realización de la presente invención, una red adicional para bloquear, reflejar o redirigir la radiación alejada de la red de acopladores se puede situar en la posición que conduce a las reflexiones de segundo orden (por ejemplo, una red de acopladores hacia atrás adicional). Esta disposición dará lugar a una disminución del pico de segundo orden en el espectro.

En una forma de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención, ilustrada de manera esquemática en la Figura 1, se pone en práctica una red de alto contraste 401 en una posición a 73 μm antes de la red de acopladores 104. El período de la red de alto contraste 401 en la forma de realización, a modo de ejemplo, es 1050 nm. La Figura 9 ilustra el espectro de transmisión cuando se ilumina el dispositivo 100 con radiación incidente 101 de conformidad con la Figura 1 mediante el cual un láser sintonizable es objeto de barrido a 5 nm/s en un margen de 20 nm con una resolución de longitud de onda de 10 pm. En la forma de realización, a modo de ejemplo, con la red de alto contraste 401, el período de 450 pm sigue siendo la oscilación dominante mientras que su intensidad se reduce en gran medida. Esta circunstancia puede observarse en la Figura 9 en la zona de 1551.5 nm y también en la Figura 11 que ilustra los espectros de Fourier de una zona dentro de la zona de 1551.5 nm y de una zona fuera de la zona de 1551.5 nm. Un componente de pequeña magnitud a las 220 pm apenas se puede distinguir del ruido.

A modo de ilustración, los resultados de medición de los párrafos anteriores se modelan mediante las siguientes fórmulas. El patrón de intensidad en la guía de onda de la señal se puede modelar como una señal de interferencia de dos haces dada por:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\phi)$$

En donde I_1 es la intensidad de la radiación incidente 101 que se acopla directamente a la guía de onda a través de la red de acopladores 104, e I_2 es la intensidad del acoplamiento de radiación en la guía de onda a través de reflexiones en la parte posterior, y $\Delta\phi$ expresa la diferencia de longitud de la vía entre ambas ondas interferentes. Puesto que los componentes de Fourier de la Figura 10 y de la Figura 11 se originan a partir del único término oscilante en la ecuación

anterior, son proporcionales a la amplitud del coseno, o $2\sqrt{I_1 I_2}$. La comparación de los dos espectros de Fourier en la Figura 10 o en la Figura 11 permite determinar la reducción en la intensidad del haz parásito como una consecuencia de la puesta en práctica de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103. La eficiencia de supresión de la red de reducción de intensidad o de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada del acoplador de la red 103 está dada por:

$$10 \log_{10} \left[\left(\frac{X_1}{X_2} \right)^2 \right]$$

en donde X_1 es la amplitud del componente de Fourier dominante fuera de la zona de efecto de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103. Este es el máximo de la primera curva 1001 en la Figura 10 (red de acopladores hacia atrás) o de la Figura 11 (red de alto contraste). X_2 en la fórmula es la amplitud del componente de Fourier dominante dentro de la zona de efecto de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103. Este es el máximo de la segunda curva 1002 en la Figura 10 o el máximo de la segunda curva 1101 en la Figura 11. Para la red de acopladores hacia atrás 103, la señal que se origina a partir de reflexiones de segundo orden se hace dominante en la zona suprimida mientras que el componente de 450 pm se suprime por completo. Por lo tanto, para evaluar la mejora en el patrón de intensidad en la guía de onda de la señal, la intensidad del componente de Fourier correspondiente a las oscilaciones del período de 220 pm debe utilizarse para X_2 en la expresión logarítmica anterior. Para la red de alto contraste, el componente de 450 pm sigue siendo dominante, por lo que X_2 corresponde al componente de Fourier de este período. En la forma de realización, a modo de ejemplo, con la red de acopladores hacia atrás se realiza un aumento de la eficiencia de 12 dB. En la forma de realización, a modo de ejemplo, con la red de reflexión de alto contraste se realiza una atenuación de 10 dB. Las eficiencias calculadas solamente son válidas para el efecto de red alrededor de la longitud de onda de red central.

A modo de ilustración, la eficiencia de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores en función de la longitud de onda se puede calcular utilizando un modelo diferente. La intensidad del patrón de interferencia también es evidente en la relación de extinción de franjas consecutivas. A partir del modelo del patrón de intensidad en la guía de ondas de señal, la dependencia de la relación I_1/I_2 de la relación de extinción se calcula analíticamente para ser:

$$\sqrt{I_1/I_2} = \frac{(1-z)}{-(1+z) + \sqrt{4z}}$$

en donde z es la relación de intensidad entre máximos y mínimos consecutivos del espectro. La Figura 12 ilustra la dependencia de la longitud de onda de la relación I_1/I_2 para formas de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención. En la primera forma de realización, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 es una red de acopladores hacia atrás y en la segunda forma de realización, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 es una red de alto contraste. El gráfico 1201 ilustra la supresión de una red de alto contraste y el gráfico 1202 ilustra la supresión de una red de acopladores hacia atrás. La línea horizontal en la Figura 5 representa el umbral de supresión. Se puede observar en la Figura 5 que la red de acopladores hacia atrás, en la forma de realización, a modo de ejemplo, tiene una supresión máxima más alta que la red de alto contraste. Por otro lado, la red de alto contraste es efectiva en un margen de longitud de onda más amplio. Sin efecto de red, se encuentra que I_2 es de 12 a 15 dB más débil que la intensidad del acoplamiento de radiación directamente en la guía de onda.

En la forma de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención, donde la red de acopladores hacia atrás se utiliza como una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103, se midió experimentalmente una extinción de hasta 27 dB debido a la red de acopladores hacia atrás. Esta extinción es 12 dB superior a la línea de base en la Figura 12. La extinción está limitada por reflexiones de segundo orden del sustrato del dispositivo. La transmisión directa a través de la red se elimina prácticamente por completo, tal como lo sugiere el espectro de Fourier.

En un nivel de supresión arbitrario de 3 dB, el ancho de banda de la zona suprimida es de 6 nm, con una zona de 4 nm que supera la supresión de 10 dB.

En la forma de realización, a modo de ejemplo, de la presente invención, donde la red de alto contraste 401 se utiliza como una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103, se calcula una reducción de la intensidad I_2 de hasta 24 dB. Esto significa una supresión de 11 dB. La supresión máxima se reduce en comparación con la red de acopladores hacia atrás, pero el umbral de supresión se supera en un margen más amplio, es decir, 8 nm. Las eficiencias de supresión obtenidas de la representación espectral corresponden muy bien a los valores calculados a partir de los componentes de Fourier. La diferencia entre simulación y experimento para la red de alto contraste se puede atribuir al modelo de simulación, que es menos adecuado para describir los cambios de fase muy rápidos en la zona de alto contraste y los parámetros de diseño no se predicen con precisión.

A modo de ilustración adicional, la Figura 13 ilustra una forma de realización alternativa en donde tanto una red de acopladores como una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores están presentes en una superficie del dispositivo. En la presente forma de realización, la iluminación de inundación se realiza a través de una superficie inferior del dispositivo. La iluminación de inundación se propaga a la superficie donde están presentes la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección. La radiación que llega directamente a la red de acopladores es acoplada por la red de acopladores a la guía de ondas. Al menos parte de la radiación de la iluminación de inundación que alcanza la superficie fuera de la zona de la red de acopladores que podría, por reflexión, alcanzar la red de acopladores e interferir con la radiación que incide directamente en el acoplador de la red, se bloquea, refleja o redirige alejada del acoplador red. De esta forma, se puede impedir la radiación parásita que interfiere de manera negativa con la radiación directamente captada por la red de acopladores. En el presente ejemplo, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección, redirige la radiación alejada de la red de acopladores.

En un segundo aspecto, las formas de realización de la presente invención se refieren a un método para fabricar un dispositivo 100 para acoplar radiación de una fibra a una guía de ondas. En formas de realización de la presente invención, la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 se pone en práctica con el mismo procedimiento litográfico que se utiliza para poner en práctica la red de acopladores 104. Por lo tanto, es una ventaja de las formas de realización de la presente invención que no se requieran etapas de procesamiento adicionales para poner en práctica la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103. En una solución de la técnica anterior, se utiliza deposición de metal con el fin de impedir que la reflexión parásita altere la señal. Sin embargo, esta solución de la técnica anterior requiere alteraciones en las etapas de procesamiento del dispositivo. Los procedimientos litográficos para poner en práctica redes se conocen como tales en la información de referencia de esta técnica y, por lo tanto, no se analizan aquí con más detalle.

En algunas formas de realización de la presente invención, la guía de ondas puede utilizarse como un transductor de biosensor. La guía de ondas podría ser, por ejemplo, un resonador microring de silicio sobre aislante, que es una excelente plataforma para biosensores nanofotónicos sin etiquetas. El alto índice de contraste de la plataforma de silicio sobre aislante da lugar a un alto confinamiento de los campos ópticos en las guías de onda, lo que hace que los resonadores microring sean muy sensibles a los cambios en la superficie de la guía de ondas. Estos cambios pueden ser causados por la presencia de biomateriales. En formas de realización de la presente invención, el biomaterial provoca un cambio en el índice de refracción en la superficie del biosensor y esto induce un cambio en la longitud de onda que es visible en la señal del sensor. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la radiación que normalmente se reflejaría en la red de acopladores 104 e interferiría con la señal del sensor se atenúa en las formas de realización de la presente invención por la presencia de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103. Si no es así, la radiación reflejada interferiría con la señal del sensor. Además, la radiación reflejada no está cambiando su longitud de onda en presencia de biomateriales, lo que dificulta aún más la interpretación en sistemas que carecen de una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103.

El alto índice de contraste de la plataforma de silicio sobre aislante permite la fabricación de sensores de tamaño micrométrico y un alto grado de multiplexación. En formas de realización de la presente invención, la iluminación de inundación de una matriz de acopladores de red vertical se utiliza para acoplar la radiación de entrada en las guías de onda del dispositivo. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la iluminación de inundación permite un rendimiento sólido y de bajo ruido de un dispositivo sensor de resonancia microring en un entorno de laboratorio en un circuito integrado. Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la iluminación de inundación proporciona una tolerancia de alineación muy alta en comparación con una interfaz de dispositivo de fibra frágil.

Una ventaja de las formas de realización de la presente invención es que la iluminación de inundación permite la excitación simultánea de múltiples sensores para una lectura paralela rápida. En formas de realización de la presente invención, una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores 103 impide que las reflexiones parásitas en el sustrato del dispositivo deterioren la señal del sensor y limiten el rendimiento (por ejemplo, el rendimiento de los biosensores de resonadores microring). Las formas de realización, a modo de ejemplo, con una red de acopladores hacia atrás o con una red de alto contraste tienen una zona de supresión que es lo suficientemente amplia como para cubrir el margen espectral libre de los sensores microring que es de 4 nm.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo integrado fotónico (100) para acoplar una radiación utilizando iluminación de inundación, comprendiendo dicho dispositivo:

- una guía de ondas integrada (113),
- una red de acopladores (104) en una superficie del dispositivo (100) para acoplar la radiación desde dicha iluminación de inundación hacia la guía de ondas integrada (113), y caracterizada por
- una red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores (103), de la red de bloqueo, de reflexión o de redirección en la superficie del dispositivo (100),

en donde la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores (103) está situada en relación con la red de acopladores (104) con el fin de impedir que al menos alguna radiación desde dicha iluminación de inundación, incida en la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores y, por lo tanto, incida en una posición de dicha superficie alejada de la red de acopladores, impidiendo que se refleje dentro del dispositivo (100) hacia la red de acopladores (104).

2. El dispositivo integrado fotónico (100) según la reivindicación 1, en donde la distancia entre la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores está entre 0,1 y 1,3 veces x , de manera ventajosa entre 0,7 y 1,1 veces x , siendo x determinada como (sin tener en cuenta la interferencia multivías)

$$x = 2 \cdot \sum d_i \cdot \tan(\theta_i)$$

con $i = 1 \dots n$ y n correspondiente al número de capas en el dispositivo integrado fotónico entre la superficie y una superficie reflectante inferior del dispositivo integrado fotónico, donde se refleja la radiación, siendo d_i el espesor de la i -ésima capa, y $\theta_i = \arcsin(n_0 \cdot \sin(\theta_0) / n_i)$ siendo la dirección de propagación en la i -ésima capa con n_i siendo el índice de refracción de la i -ésima capa, siendo θ_0 el ángulo de incidencia en la superficie y n_0 el índice de refracción del medio desde el cual incide la radiación,

estando la red de acopladores optimizada para un ángulo de incidencia θ_0 .

3. El dispositivo integrado fotónico (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la distancia entre la red de acopladores y la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores está entre 0,1 y 1,3 veces x , de manera ventajosa entre 0,7 y 1,1 veces y , siendo y determinada como $y = 2 \cdot n_0 \cdot \theta_0 \cdot d_{\text{eff}}$, siendo θ_0 el ángulo de incidencia sobre la superficie y n_0 el índice de refracción del medio desde el cual incide la radiación, y d_{eff} el espesor efectivo del dispositivo integrado fotónico, estando la red de acopladores optimizada para un ángulo de incidencia θ_0 .

4. El dispositivo integrado fotónico (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores es una red de acopladores hacia atrás, que acopla la radiación desde dicha iluminación de inundación prácticamente paralela a la superficie del dispositivo integrado fotónico (100), en una dirección alejada desde la red de acopladores.

5. El dispositivo integrado fotónico (100) según la reivindicación 4, comprendiendo el dispositivo integrado fotónico una estructura cónica tal que la radiación difractada por la red de acopladores hacia atrás es guiada por la estructura cónica para disipar la radiación difractada por la red de acopladores hacia atrás.

6. El dispositivo integrado fotónico (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores es una red adaptada para difractar la radiación de nuevo hacia el espacio libre.

7. El dispositivo integrado fotónico (100) según la reivindicación 6, en donde la red de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejada de la red de acopladores (103) es una red de alto contraste.

8. El dispositivo integrado fotónico (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo, además, comprende otras redes de bloqueo, de reflexión o de redirección de radiación alejadas de la red de acopladores para impedir que una radiación que incide sobre la superficie y que se refleja varias veces entre superficie y una superficie reflectante de fondo del dispositivo no alcance a la red de acopladores.

9. Un método para fabricar un dispositivo integrado fotónico (100) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 para acoplar la radiación utilizando iluminación de inundación en una guía de ondas, cuyo método comprende un proceso litográfico para formar una estructura de red, en donde el proceso litográfico se utiliza para formar, de manera

simultánea, la red de acopladores (104) y una o más redes de bloqueo, de reflexión o de redirección de la radiación alejada de la red de acopladores (103) en la superficie del dispositivo.

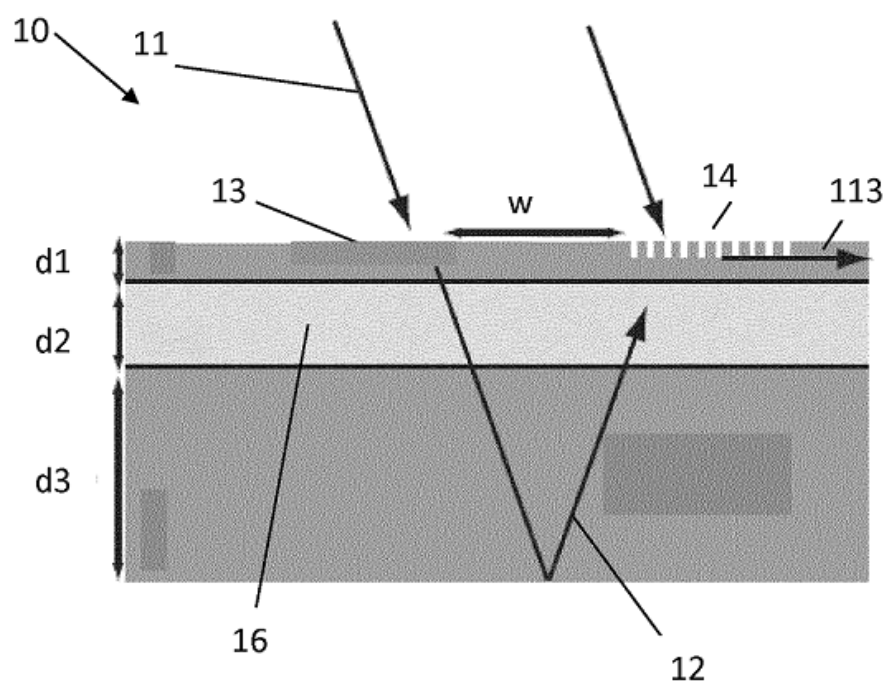


FIG. 1a

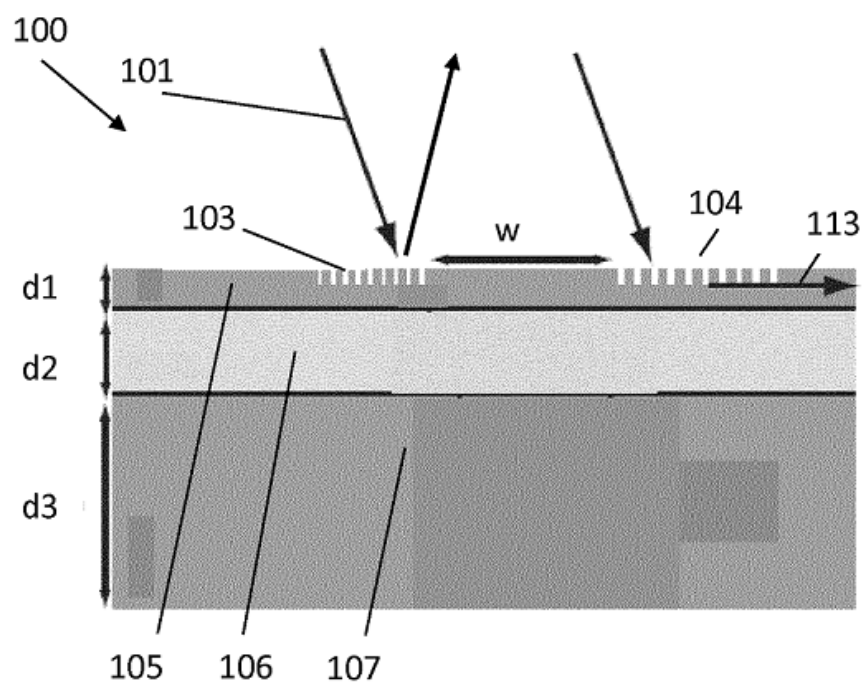


FIG. 1b

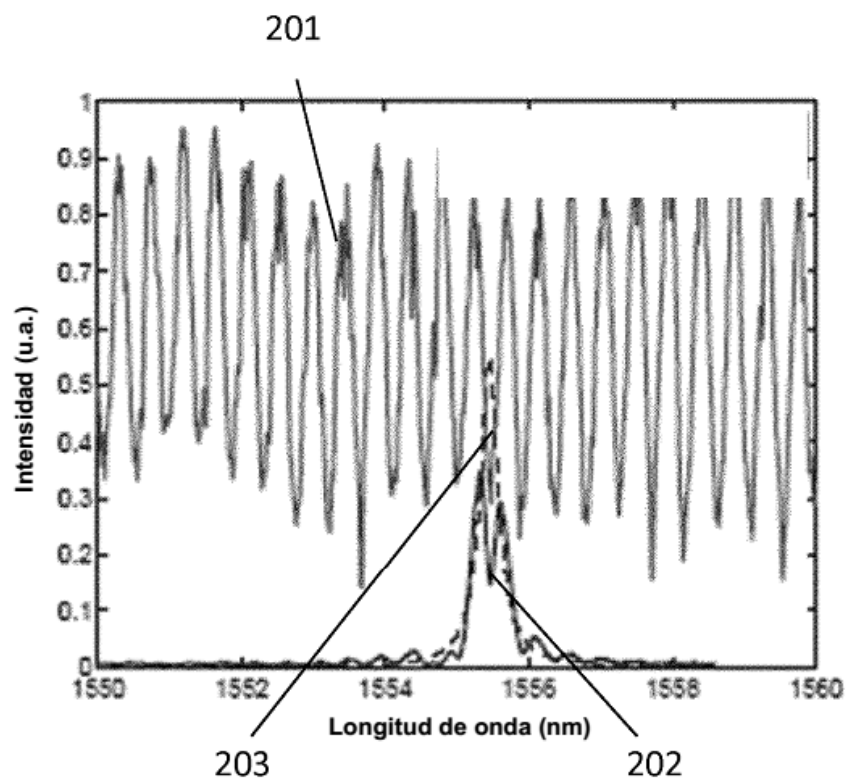


FIG. 2

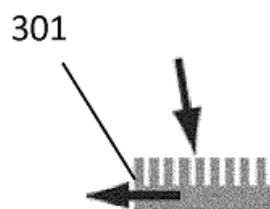


FIG. 3

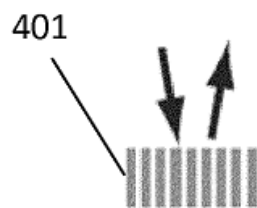


FIG. 4

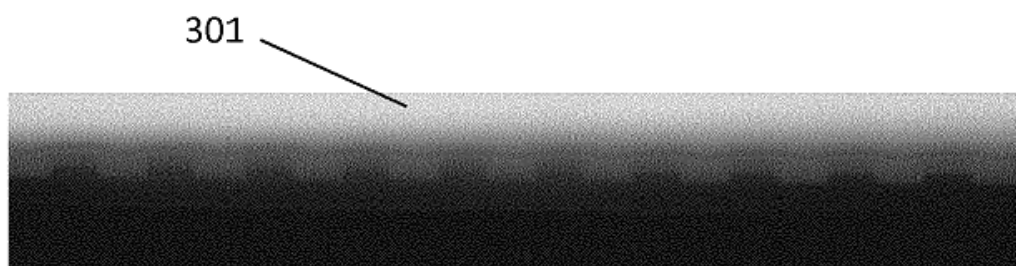


FIG. 5

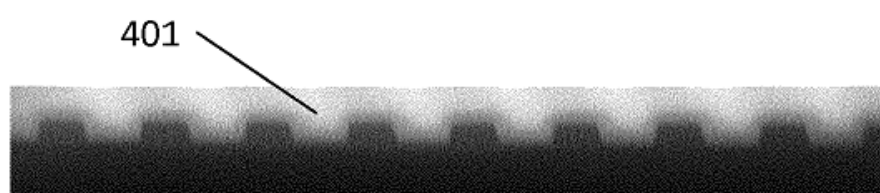


FIG. 6

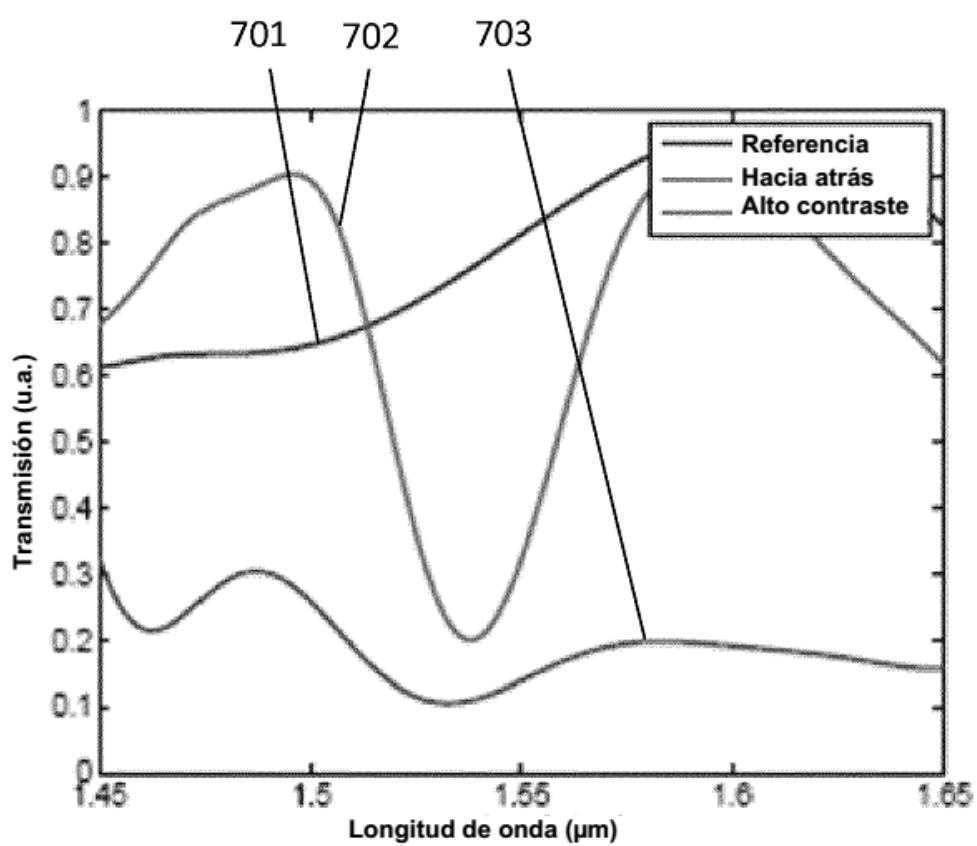


FIG. 7

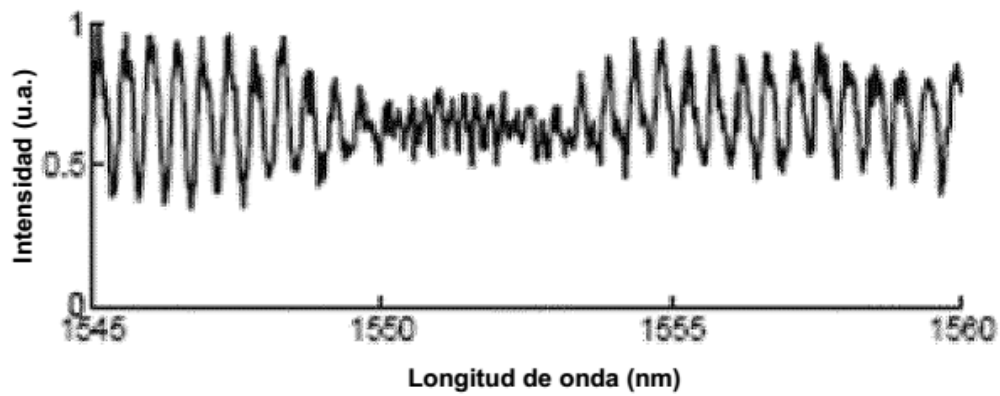


FIG. 8

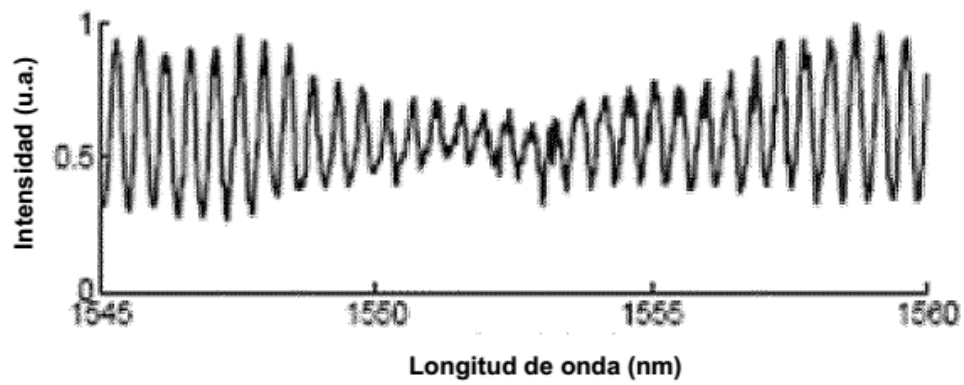


FIG. 9

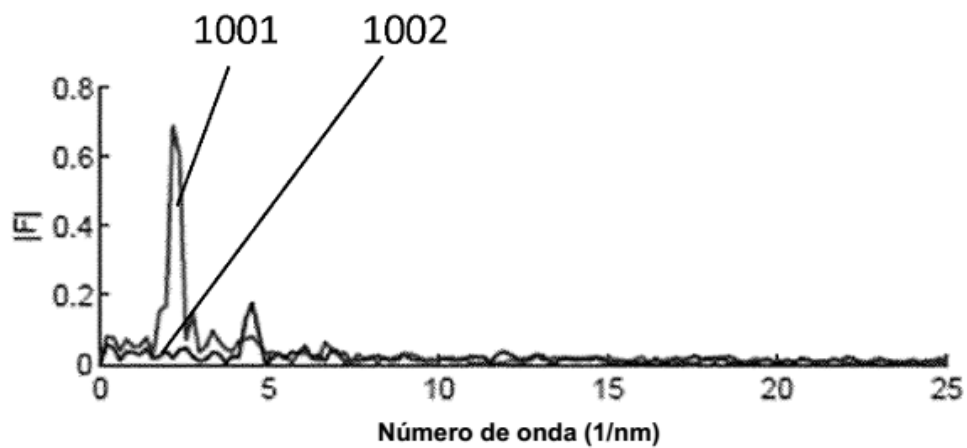


FIG. 10

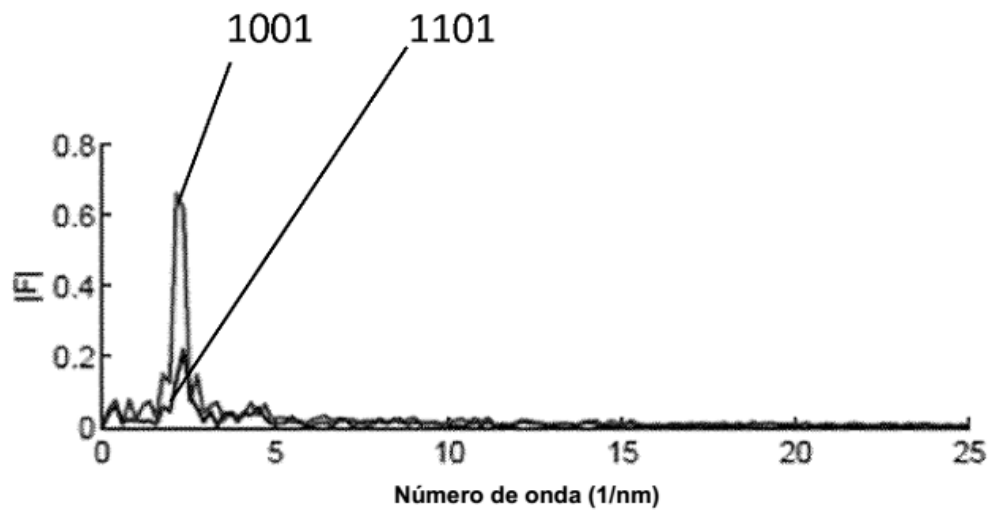


FIG. 11

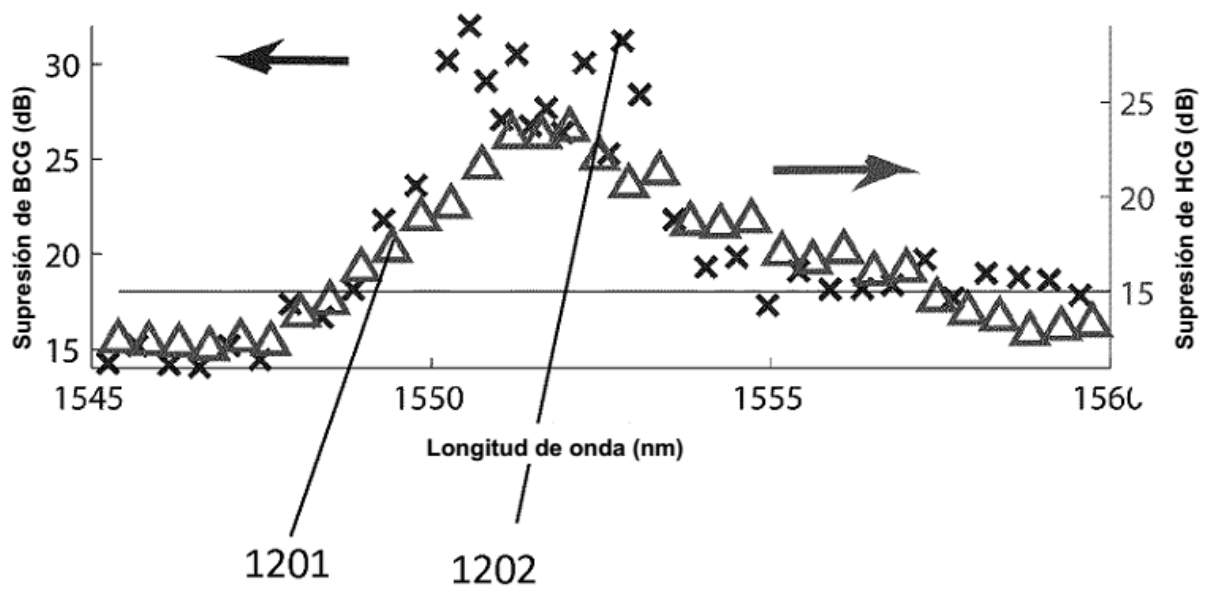


FIG. 12

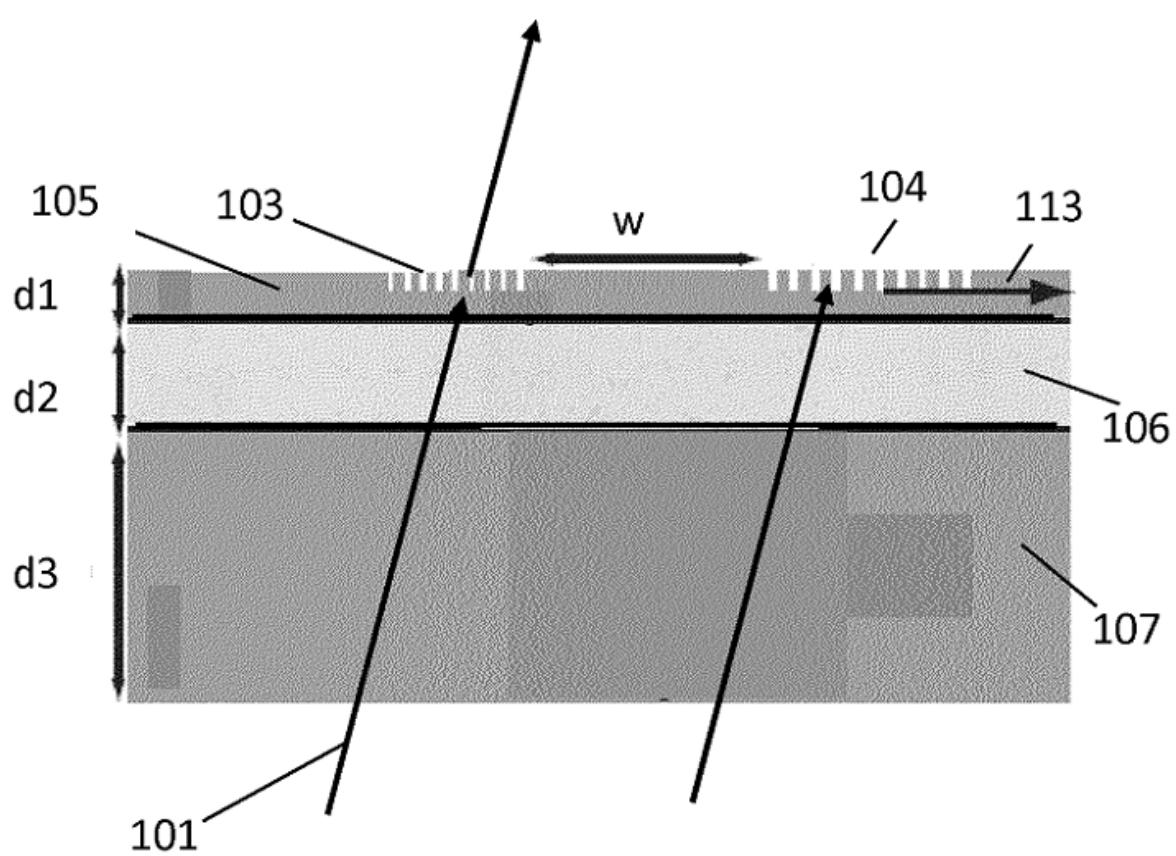


FIG. 13