

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 995 311**

51 Int. Cl.:

G02F 1/01 (2006.01)

G02B 6/12 (2006.01)

G02B 6/293 (2006.01)

G02F 1/225 (2006.01)

H01S 5/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.05.2023** **E 23175866 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024** **EP 4286924**

54 Título: **Acoplador interferométrico resonante y método para modificar una señal óptica utilizando el mismo**

30 Prioridad:

30.05.2022 US 202263346930 P

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

10.02.2025

73 Titular/es:

XANADU QUANTUM TECHNOLOGIES INC.
(100.00%)
777 Bay Street, Suite 2902
Toronto, Ontario M5G 2C8, CA

72 Inventor/es:

LISCIDINI, MARCO;
MENOTTI, MATTEO;
VERNON, ZACHARY y
VIOLA, ALICE

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 995 311 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

Acoplador interferométrico resonante y método para modificar una señal óptica utilizando el mismo

Campo

Las mejoras se refieren generalmente a chips fotónicos y, más particularmente, a acopladores interferométricos resonantes.

Antecedentes

De manera análoga a los chips electrónicos que proporcionan funciones para señales electrónicas, los chips fotónicos proporcionan funciones para señales ópticas. Las señales ópticas se definen ampliamente como señales electromagnéticas que se extienden en la región visible o en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético, por ejemplo. Los chips fotónicos suelen tener una o más guías de ondas que discurren sobre un sustrato con uno o más componentes fotónicos interconectados entre las guías de ondas.

En algunas aplicaciones, son muy deseables los chips fotónicos configurados para mejorar o suprimir el campo electromagnético (o la potencia óptica) dentro de un intervalo espectral dado. Para ello, el componente fotónico se puede proporcionar en forma de interferómetro tal como un interferómetro Mach-Zehnder (MZI). Un MZI divide una guía de ondas de entrada en dos guías de onda separadas, normalmente denominadas rutas de brazo, que luego se recombinan en una guía de ondas de salida. Las diferencias en los parámetros de propagación a lo largo de las dos rutas de brazo, como la diferencia de longitud, pueden inducir un desplazamiento de fase relativo que, a su vez, puede conducir a una interferencia constructiva o destructiva cuando las dos rutas de brazo se recombinan. Como un MZI puede conducir a una mejora de campo en el caso de una interferencia constructiva, también puede conducir a la supresión de campo en el caso de una interferencia de destrucción. Sin embargo, la mejora o supresión de campo obtenida a través de un MZI no se limita necesariamente a un intervalo espectral dado.

Otros componentes fotónicos que actúan como filtros de paso de banda pueden limitar la mejora o supresión de campo al intervalo espectral dado. Los ejemplos de dichos filtros de paso de banda pueden incluir, pero no se limitan a esto, resonadores tales como resonadores de anillo. Cuando un resonador de anillo de este tipo se acopla evanescentemente a una guía de ondas que transporta una señal óptica, se permite que la potencia óptica que oscile dentro de un intervalo espectral resonante del resonador de anillo se acumule durante múltiples viajes de ida y vuelta debido a la interferencia constructiva y a la reflexión interna total que se producen dentro del resonador de anillo. La acumulación de potencia óptica puede conducir a una mejora de campo solo dentro del intervalo espectral resonante, que puede ser significativamente estrecho en algunas aplicaciones. La estrechez y/o la posición espectral del intervalo espectral resonante se pueden modificar en función de los materiales de la guía de ondas y del resonador de anillo, o en función de la distancia entre la guía de ondas y el resonador de anillo, por citar solo algunos ejemplos, véase, por ejemplo, el documento de DAOXIN DAI ET AL: "Silicon-based on-chip multiplexing technologies and devices for Peta-bit optical interconnects", NANOPHOTONICS, vol. 3, núm. 4-5, 1 de enero de 2014 (01-01-2014), XP055433463.

Aunque los chips fotónicos existentes que mejoran o suprimen el campo dentro de un intervalo espectral dado son satisfactorios hasta cierto punto, aún queda margen de mejora.

Compendio

Si bien la invención se define en las reivindicaciones independientes, aspectos adicionales de la invención se exponen en las reivindicaciones dependientes, los dibujos y la siguiente descripción. Se describe un acoplador interferométrico resonante que se configura para mejorar o suprimir el campo dentro de un ancho espectral específico. Descrito en términos generales, el acoplador interferométrico resonante tiene una guía de ondas de bus que transporta una señal óptica que tiene una potencia óptica que se extiende a lo largo de un intervalo espectral dado. La guía de ondas de bus tiene una sección de entrada a través de la que se recibe la señal óptica, una sección doblada y una sección de salida conectadas en serie entre sí. El acoplador interferométrico resonante tiene un primer resonador que tiene un primer punto de acoplamiento evanescente con la sección de entrada y un segundo punto de acoplamiento evanescente con la sección de salida. El primer resonador tiene primeras resonancias que se superponen al menos parcialmente con el intervalo espectral dado de la señal óptica. Como tal, se permite que se produzca una mejora de campo dentro del primer resonador para que la potencia óptica se distribuya dentro de las primeras resonancias. También se proporciona un interferómetro. El interferómetro tiene una primera ruta de brazo que se extiende a lo largo de la sección doblada entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo y una segunda ruta de brazo que se extiende a lo largo del primer resonador entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo. De esta manera, la mejora de campo que se produce dentro del primer resonador, es decir, a lo largo de la segunda ruta de brazo, también se alimenta a la primera ruta de brazo por medio del primer punto de acoplamiento y la naturaleza rotatoria del primer resonador, lo que puede beneficiar aún más la manipulación de campo. El acoplador interferométrico resonante también tiene un segundo resonador que tiene un tercer punto de acoplamiento evanescente con la sección doblada. El segundo resonador tiene una segunda resonancia que se superpone con al menos una de las primeras resonancias y a través de la que se imparte un desplazamiento de fase. El desplazamiento de fase impartido por el segundo resonador puede causar interferencia en el segundo punto de acoplamiento evanescente, donde las rutas de brazo primera y segunda se recombinan entre sí. De esta manera, la mejora o

supresión de campo se puede diseñar para que se produzca en un intervalo espectral muy específico según el diseño de los resonadores primero y segundo, lo que permite un control resonante selectivo del factor de calidad de una o más resonancias de los resonadores primero y segundo. En algunas realizaciones, se puede usar un mecanismo de sintonización que actúa sobre el segundo resonador para modificar (por ejemplo, mover, estrechar, ampliar) la(s) segunda(s) resonancia(s) del segundo resonador.

Según un primer aspecto de la presente divulgación, se proporciona un acoplador interferométrico resonante que comprende: un sustrato; una guía de ondas de bus montada en el sustrato, teniendo la guía de ondas de bus en conexión en serie una sección de entrada, una sección doblada y una sección de salida; un primer resonador montado en el sustrato y que tiene un primer punto de acoplamiento evanescente con la sección de entrada y un segundo punto de acoplamiento evanescente con la sección de salida, teniendo el primer resonador primeras resonancias; un interferómetro que tiene una primera ruta de brazo que se extiende a lo largo de la sección doblada entre los puntos de acoplamiento ascendentes primero y segundo y una segunda ruta de brazo que se extiende a lo largo del primer resonador entre los punto de acoplamiento evanescente primero y segundo; y un segundo resonador que se monta en el sustrato y que tiene un tercer punto de acoplamiento evanescente con la sección doblada, teniendo el segundo resonador al menos una segunda resonancia que se superpone con al menos una de las primeras resonancias y a través de la que se imparte un primer desplazamiento de fase, provocando el primer desplazamiento de fase interferencia en el segundo punto de acoplamiento evanescente.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el acoplador interferométrico resonante puede comprender, por ejemplo, un mecanismo de sintonización montado en el sustrato, siendo el mecanismo de sintonización operable para modificar la segunda resonancia del segundo resonador.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el mecanismo de sintonización puede incluir, por ejemplo, un calentador configurado para calentar al menos un área del segundo resonador.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el acoplador interferométrico resonante puede comprender, por ejemplo, una barrera térmica que aisle térmicamente los resonadores primero y segundo entre sí.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el acoplador interferométrico resonante puede comprender, por ejemplo, al menos un tercer resonador montado en el sustrato y adyacente al segundo resonador, teniendo el tercer resonador al menos un cuarto punto de acoplamiento con la sección doblada y al menos una tercera resonancia que se superpone con al menos una de las primeras resonancias y a través de la que se imparte un segundo desplazamiento de fase.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, la tercera resonancia puede, por ejemplo, espaciarse espectralmente de la segunda resonancia.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el segundo resonador puede tener, por ejemplo, un cuarto punto de acoplamiento con la sección doblada aguas abajo del tercer punto de acoplamiento.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, al menos uno del primer resonador y el segundo resonador puede ser, por ejemplo, un resonador en anillo.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, la segunda resonancia puede ser, por ejemplo, el doble de ancha que la de las primeras resonancias.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el sustrato puede hacerse, por ejemplo, de silicio, la guía de ondas del bus puede consistir en óxido de silicio y nitruro de silicio, y la segunda resonancia puede tener una anchura total a la mitad como máximo de aproximadamente 2 nm.

Además, según el primer aspecto de la presente divulgación, el primer desplazamiento de fase impartido por el segundo resonador puede, por ejemplo, depender de la frecuencia.

Según un segundo aspecto de la presente divulgación, se proporciona un método para modificar una señal óptica utilizando un acoplador interferométrico resonante, teniendo el acoplador interferométrico resonante una guía de ondas de bus que tiene en conexión en serie una sección de entrada, una sección doblada y una sección de salida, un primer resonador que se acopla evanescentemente con la sección de entrada en un primer punto de acoplamiento y se acopla evanescentemente con la sección de salida en un segundo punto de acoplamiento, un medidor que tiene una primera ruta de brazo que se extiende a lo largo de la sección doblada entre la puntos de acoplamiento primero y segundo, y una segunda ruta de brazo que se extiende a lo largo del primer resonador entre los puntos de acoplamiento primero y segundo, comprendiendo el método: dividir una señal óptica en una primera parte de señal óptica propagada a lo largo de la primera ruta de brazo y una segunda parte de señal óptica propagada a lo largo de la segunda ruta de brazo; la segunda señal óptica resuena dentro del primer resonador en las primeras resonancias del primer resonador; usar un segundo resonador que se acopla evanescentemente a la sección doblada en un tercer punto de acoplamiento, impartir un primer desplazamiento de fase a la primera parte de señal óptica a través de al menos una segunda resonancia superponerse parcialmente con una de las primeras resonancias; y en la segunda punto de acoplamiento aguas abajo del tercer punto de acoplamiento, acoplar las partes de señal óptica primera y segunda

entre sí, el primer desplazamiento de fase provoca interferencia al menos para la segunda resonancia; y tener como salida una señal óptica de salida modificada por dicha interferencia en la guía de ondas de salida.

Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, el método puede comprender, por ejemplo, sintonizar la segunda resonancia del segundo resonador.

- 5 Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, dicha sintonización puede incluir, por ejemplo, al menos una de desplazamiento espectral de la segunda resonancia, estrechamiento de la segunda resonancia y ampliación de la segunda resonancia.

Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, dicho sintonización puede incluir, por ejemplo, calentar al menos un área del segundo resonador.

- 10 Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, dicho sintonización puede incluir, por ejemplo, modificar un índice de refracción del segundo resonador.

Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, el método puede comprender, por ejemplo, aislar térmicamente los resonadores primero y segundo entre sí.

- 15 Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, la segunda resonancia puede ser, por ejemplo, el doble de ancha que la de las primeras resonancias.

Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, la señal óptica puede tener, por ejemplo, una distribución de potencia óptica dentro de una banda de telecomunicaciones, y la segunda resonancia puede tener una anchura total a la mitad como máximo de aproximadamente 2 nm.

- 20 Además, según el segundo aspecto de la presente divulgación, el primer desplazamiento de fase impartido por el segundo resonador puede, por ejemplo, depender de la frecuencia.

Todos los detalles de implementación técnica y las ventajas descritas con respecto a un aspecto particular de la presente invención son evidentemente aplicables mutatis mutandis a todos los demás aspectos de la presente invención.

- 25 Tras la lectura de la presente divulgación, los expertos en la técnica apreciarán muchas otras características y combinaciones de las mismas en relación con las presentes mejoras.

Descripción de las figuras

En las figuras,

- 30 la Fig. 1 es una vista esquemática de un primer ejemplo de un acoplador interferométrico resonante para modificar una señal óptica, mostrado con resonadores primero y segundo acoplados entre sí mediante un interferómetro, teniendo los resonadores primero y segundo resonancias primera y segunda respectivas, según una o más realizaciones;

la Fig. 1A es un gráfico que muestra un ejemplo de un intervalo espectral dado de la señal óptica de la Fig. 1, según una o más realizaciones;

- 35 la Fig. 1B es un gráfico que muestra las primeras resonancias ejemplares del primer resonador de la Fig. 1, según una o más realizaciones;

la Fig. 1C es un gráfico que muestra un ejemplo de una segunda resonancia del segundo resonador de la Fig. 1, según una o más realizaciones;

la Fig. 2 es una vista esquemática de un segundo ejemplo de un acoplador interferométrico resonante, mostrado con un resonador de anillo como segundo resonador, según una o más realizaciones;

- 40 la Fig. 2A es una vista esquemática de un resonador de microcavidad que actúa como segundo resonador, según una o más realizaciones;

las Figs. 3A, 3B y 3C son gráficos que muestran la mejora de la intensidad en función de la frecuencia para el acoplador interferométrico resonante de la Fig. 2 con coeficientes de acoplamiento de $\kappa = 0$, $\kappa = 0.2$ y $\kappa = 0.8$, respectivamente, según una o más realizaciones;

- 45 la Fig. 4 es una vista esquemática de un tercer ejemplo de un acoplador interferométrico resonante, mostrado con un primer resonador acoplado a los resonadores tanto segundo como tercero mediante un interferómetro, según una o más realizaciones;

la Fig. 5 es una vista esquemática de un cuarto ejemplo de un acoplador interferométrico resonante, con resonadores primero y un segundo acoplados entre sí mediante un interferómetro, teniendo cada uno de los resonadores primero y segundo dos puntos de acoplamiento evanescentes a una guía de ondas de bus, según una o más realizaciones; y

la Fig. 6 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un método para modificar una señal óptica usando un acoplador interferométrico resonante, según una o más realizaciones.

Descripción detallada

Esta divulgación describe un acoplador interferométrico resonante configurado para controlar un acoplamiento lineal efectivo entre un primer resonador y una guía de ondas de bus. Cuando una señal óptica viaja a través del primer resonador, sufre un desplazamiento de fase que oscila entre 0 y 2π en una o más de sus resonancias. Este efecto se aprovecha usando un interferómetro para lograr un acoplador efectivo entre el primer resonador y la guía de ondas del bus, controlando la eficiencia del acoplamiento en un intervalo de frecuencias específico por medio de un segundo resonador. Al cambiar la eficiencia de acoplamiento efectiva, el factor de calidad de una resonancia seleccionada se puede aumentar o disminuir para mejorar o suprimir cualquier interacción luz-materia que tenga lugar en esa resonancia. El acoplador interferométrico resonante puede, por lo tanto, permitir el control de una posición espectral y/o un factor de calidad de una o más de sus resonancias. Al controlar sus resonancias, se puede mejorar la fuerza de cualquier interacción no lineal en estas resonancias. Dado que la mejora de campo en cada resonancia depende del tamaño del resonador y de la tasa de disipación de energía asociada, que es inversamente proporcional al factor de calidad del modo, se desea controlar tales propiedades para mejorar los procesos no lineales deseados y, al mismo tiempo, suprimir los efectos espurios no deseados. Estos procesos no lineales pueden incluir, pero no se limitan a esto, fluorescencia paramétrica, mezcla de cuatro ondas, dispersión Raman, fluorescencia, luz comprimida y similares. Como se describe a continuación, el acoplador interferométrico resonante puede controlar el factor de calidad de las resonancias individuales sin afectar a las demás resonancias de los resonadores, ofrecer una capacidad de sintonización dinámica después de la fabricación, reducir la interferencia térmica en el caso de los calentadores que se utilizan como elementos de sintonización, proporcionar escalabilidad para controlar múltiples resonancias y también proporcionar una amplia compatibilidad en términos de plataformas de materiales e intervalos de longitud de onda.

La Fig. 1 muestra un ejemplo de dicho acoplador interferométrico resonante 100. Como se representa, el acoplador interferométrico resonante 100 tiene un sustrato 102 y una guía de ondas de bus 104 montada en el sustrato 102. El sustrato 102 puede ser cualquier tipo adecuado de sustrato que pueda actuar como una oblea fotónica. Los ejemplos de obleas fotónicas pueden incluir, pero no se limitan a esto, obleas de silicio, obleas de óxido de zinc, obleas de nitruro de aluminio, obleas de indio y galio, obleas de arseniuro de galio, obleas de nitruro de galio, obleas de carburo de silicio, obleas de niobato de litio, obleas de óxido de titanato de bario, obleas de tantalita de litio, obleas de langasita, obleas de germanio, obleas de germanio sobre silicio, otras obleas de semiconductores III-V o cualquier otra oblea óptica que pueda usarse en las industrias de telecomunicaciones y circuitos integrados fotónicos. En algunas realizaciones, el acoplador interferométrico resonante 100 tiene una o más capas de cobertura depositadas sobre la guía de ondas del bus 104 y el resto del sustrato 102.

Como se muestra, la guía de ondas de bus 104 tiene en conexión en serie una sección de entrada 104a, una sección doblada 104b y una sección de salida 104c. En algunas realizaciones, la guía de ondas de bus 104 puede discurrir sobre el sustrato 102. En algunas otras realizaciones, la guía de ondas de bus 104 puede estar total o parcialmente enterrada dentro del sustrato 102. Normalmente, la guía de ondas de bus 104 es una guía de ondas en banda. Sin embargo, la guía de ondas de bus 104 puede ser cualquier tipo de guía de ondas. Incluyendo, pero sin limitarse a esto, una guía de ondas nervadas, una guía de ondas segmentada, una guía de ondas de cristal fotónico, una guía de ondas de forma triangular, una guía de ondas de fibra óptica y similares.

La guía de ondas de bus 104 se configura para recibir una señal óptica 106 en la sección de entrada 104a, que luego se propaga a la sección de salida 104c a través de la sección doblada 104b. En algunas realizaciones, la señal óptica 106 puede ser un peine de frecuencias 108 que tiene un intervalo espectral libre dado FSR, tal como se ilustra en la Fig. 1A. La señal óptica 106 puede ser de cualquier tipo de luz coherente distribuida dentro de la región visible, la región del infrarrojo cercano, la región del infrarrojo medio y/o la región del infrarrojo lejano del espectro electromagnético. Normalmente, la señal óptica 106 puede estar dentro de algunas bandas de telecomunicaciones. Incluyendo, pero sin limitarse a esto, la banda original (por ejemplo, 1260-1360 nm), la banda extendida (por ejemplo, 1360-1460 nm), la banda de longitud de onda corta (por ejemplo, 1460-1530 nm), la banda convencional (por ejemplo, 1530-1565 nm), la banda de longitud de onda larga (por ejemplo, 1565-1625 nm), la banda de longitud de onda ultralarga (por ejemplo, 1625-1675 nm) y similares.

El acoplador interferométrico resonante 100 tiene un primer resonador 110 montado en el sustrato 102. En la realización ilustrada, el primer resonador 110 se proporciona en forma de resonador de anillo de pista de carreras. En la práctica, los resonadores de anillo pueden preferirse a otros tipos de resonadores, ya que son más fáciles de fabricar. Sin embargo, en algunas otras realizaciones, el primer resonador 110 puede proporcionarse en forma de resonador de anillo de cristal fotónico, un resonador tradicional de reflexión interna total (TIR), un resonador en modo galería susurrante y similares. Las interacciones no lineales pueden tener lugar dentro del primer resonador. Por consiguiente, el primer resonador 110 puede hacerse preferiblemente de un material que pueda soportar altas intensidades y/o materiales que muestren una fuerte susceptibilidad óptica no lineal.

Como se muestra, el primer resonador 110 tiene un primer punto de acoplamiento evanescente 112 con la sección de entrada 104a y un segundo punto de acoplamiento evanescente 114 con la sección de salida 104c. El acoplamiento óptico entre la guía de ondas de bus 104 y el primer resonador 110 se realiza a través del campo evanescente de la señal óptica 106, que se extiende fuera de la guía de ondas de bus 104 en un perfil radial que disminuye exponencialmente. Cuando el primer resonador 110 y la guía de ondas del bus 104 se juntan estrechamente en el primer o segundo punto de acoplamiento evanescente 112, 114, la potencia óptica de la guía de ondas del bus 104 puede acoplarse al primer resonador 110, o viceversa. Puede haber tres factores que afecten a un acoplamiento tan evanescente: i) la distancia d entre la guía de ondas de bus 104 y el primer resonador 110, ii) la longitud de acoplamiento L_d y iii) los índices de refracción de la guía de ondas de bus 104 y el primer resonador 110. Para optimizar el acoplamiento, normalmente se prefiere reducir la distancia d entre el primer resonador 110 y la guía de ondas de bus 104.

En esta realización, la sección doblada 104b tiene una sección de guía de ondas en forma de C o U que tiene una primera sección doblada que se extiende alejándose del primer resonador 110 y una segunda sección doblada que se extiende hacia atrás hacia el primer resonador 110. Cuando la señal óptica 106 se introduce en la sección de entrada 104a de la guía de ondas de bus 104, una primera parte de la señal óptica (en adelante "primera parte de señal óptica") se propaga hacia la sección doblada 104b de la guía de ondas de bus 104, mientras que una segunda parte de la señal óptica (en lo sucesivo, "segunda parte de señal óptica") se acopla al primer resonador 110.

Debido a su forma, tamaño, índice de refracción y otros parámetros, el primer resonador 110 tiene una o más primeras resonancias, denominadas en lo sucesivo primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$. Las primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$, y cualquier otra resonancia a la que se hace referencia en esta memoria, incluyen una o más longitudes de onda (o frecuencias) de la señal óptica 106 que resuenan dentro del resonador correspondiente. En algunas realizaciones, para que la luz interfiera constructivamente dentro del primer resonador 110 y cree un efecto resonante, la circunferencia o longitud efectiva del primer resonador 110 debe ser un múltiplo entero de la longitud de onda de la señal óptica 106. Como tal, solo las longitudes de onda dadas permiten que la resonancia tenga lugar dentro del primer resonador 110. Como resultado, cuando la señal óptica 106 contiene múltiples longitudes de onda (por ejemplo, luz blanca), solo las primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$ pueden atravesar completamente el primer resonador 110. Se observa que, dado que la circunferencia o longitud efectiva del primer resonador 110 puede dictar qué longitudes de onda son resonantes, las primeras resonancias se pueden seleccionar mediante parámetros de construcción (por ejemplo, forma, diámetro, circunferencia) del primer resonador 110. La potencia óptica distribuida en la resonancia se acumula a lo largo de varios viajes de ida y vuelta, lo que resulta en una mejora de campo para estas longitudes de onda resonantes. En la Fig. 1B se muestran ejemplos de primeras resonancias. Como se representa, algunas longitudes de onda de la señal óptica son resonantes, ya que muestran una potencia óptica mayor que las longitudes de onda fuera de las primeras resonancias. Normalmente, las longitudes de onda fuera de las primeras resonancias no pueden rebotar dentro del primer resonador 110 y tienden a filtrarse fuera del primer resonador 110, lo que puede provocar pérdidas ópticas en estas longitudes de onda. El primer resonador 110 puede impartir un primer desplazamiento de fase ϕ_1 a las primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$. El primer desplazamiento de fase ϕ_1 puede oscilar entre 0 y 2π radianes en algunas realizaciones. El desplazamiento de fase ϕ_1 puede ser un desplazamiento de fase $\phi_1(\lambda)$ dependiente de la longitud de onda (o dependiente de la frecuencia) en algunas realizaciones. Como tal, a cada una de las primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$ se le puede conferir un primer desplazamiento de fase respectivo ϕ_1' resonando dentro del primer resonador.

Volviendo a la Fig. 1, el acoplador interferométrico resonante 100 tiene un interferómetro 116 que puede ser del tipo Mach-Zehnder. Como se muestra, el interferómetro 116 tiene una primera ruta de brazo 116a que se extiende a lo largo de la sección doblada 104b entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 112 y 114 y una segunda ruta de brazo 116b que se extiende a lo largo del primer resonador 110 entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 112 y 114. Por consiguiente, la primera parte de señal óptica se propaga a lo largo de la primera ruta de brazo 116a, mientras que la segunda parte de señal óptica se propaga a lo largo de la segunda ruta de brazo 116b. Como se ha descrito anteriormente, la segunda parte de señal óptica realiza viajes de ida y vuelta dentro del primer resonador 110, lo que puede mejorar la potencia óptica distribuida en las primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$. La segunda señal óptica se suministra simultánea y continuamente a la sección de salida 104c a través del segundo punto de acoplamiento evanescente 114, pero también a la sección doblada 104b a través del primer punto de acoplamiento evanescente 112 debido a la naturaleza rotatoria del primer resonador 110.

En algunas realizaciones, una diferencia de longitud entre las rutas de brazo primera y segunda 116a y 116b crea un desplazamiento de fase relativo entre la primera parte de señal óptica que se propaga a lo largo de la primera ruta de brazo 116a y la segunda parte de señal óptica que se propaga a lo largo de la segunda ruta de brazo 116b. En algunas realizaciones, este cambio de fase relativo inducido por la longitud puede crear una interferencia constructiva o destructiva cuando las partes de señal óptica se recombinan entre sí en el segundo punto de acoplamiento evanescente 114. En algunas realizaciones, la diferencia de longitud entre las rutas de brazo primera y segunda 116a y 116b puede diseñarse para favorecer la interferencia constructiva o destructiva, según la aplicación.

Como tal desplazamiento de fase relativo inducido por longitud puede proporcionar una mejora o supresión de campo, es posible que no esté limitado a un cierto intervalo espectral. Como se ilustra, el acoplador interferométrico resonante 100 se provee de un segundo resonador 120 montado en el sustrato 102. Más específicamente, el segundo resonador 120 tiene un tercer punto de acoplamiento evanescente 122 con la sección doblada 104b. El segundo resonador 120

puede proporcionarse en forma de resonador de anillo de pista de carreras, un resonador de anillo de cristal fotónico, un resonador TIR, un resonador en modo galería susurrante y similares.

Como se muestra en la Fig. 1C, el segundo resonador 120 tiene una o más segundas resonancias que se superponen con al menos una de las primeras resonancias y a través de las que se imparte un segundo desplazamiento de fase ϕ_2 . Esto se puede obtener seleccionando las longitudes apropiadas para los resonadores primero y segundo 110 y 120. Esto se puede lograr eligiendo las longitudes del primer y segundo resonador 110 y 120 para que sean conmensurables, por ejemplo, siendo la longitud del segundo resonador 120 $\frac{3}{4}$ de la longitud de los primeros resonadores 110. Las longitudes típicas del primer resonador 110 dependen del intervalo de longitudes de onda operativas; en el ancho de banda de telecomunicaciones, pueden ser del orden de unos pocos cientos de micrómetros o más. En algunas realizaciones, la longitud de la guía de ondas doblada 104b que se extiende entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 112 y 114 se establece para lograr una eficiencia de acoplamiento deseada de las primeras resonancias que no se verán afectadas por el segundo resonador 120, es decir, las primeras resonancias que no se superponen con las segundas resonancias. Cuando el campo está en resonancia con los resonadores primero y segundo 110 y 120, sufre un desplazamiento de fase adicional, es decir, el segundo desplazamiento de fase ϕ_2 . Dado que el segundo desplazamiento de fase ϕ_2 puede oscilar entre 0 y 2π , se puede proporcionar un control completo sobre la interferencia del interferómetro, lo que a su vez puede resultar en un aumento o una disminución de la eficiencia de acoplamiento del primer resonador 110 a la guía de ondas del bus 104 en el segundo punto de acoplamiento evanescente 114.

Como tal, las segundas longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,2}$ corresponden a algunas de las primeras longitudes de onda resonantes $\lambda_{R,1}$. Como se muestran, el segundo desplazamiento de fase ϕ_2 puede ser un desplazamiento de fase $\phi_2(\lambda)$ dependiente de la longitud de onda (o dependiente de la frecuencia) en algunas realizaciones. A cada segunda longitud de onda resonante se le puede conferir un segundo desplazamiento de fase respectivo ϕ_2' resonando dentro del segundo resonador 120. Se observa que el segundo desplazamiento de fase ϕ_2 que se imparte selectivamente a la segunda longitud de onda resonante conduce a la interferencia en el segundo punto de acoplamiento evanescente 114, donde las resonancias primera y segunda se recombinan entre sí en la sección de salida 104c. Por ejemplo, si el primer desplazamiento de fase ϕ_1' impartido por el primer resonador 110 en una longitud de onda resonante dada es 0 o 2π y el segundo desplazamiento de fase ϕ_2' impartido por el segundo resonador 120 en la longitud de onda resonante dada es 0 o 2π , entonces puede producirse una interferencia constructiva en la longitud de onda resonante dada en el segundo punto de acoplamiento evanescente 114. Si el primer desplazamiento de fase ϕ_1' impartido por el primer resonador 110 en una longitud de onda resonante dada es 0 o 2π y el segundo desplazamiento de fase ϕ_2' impartido por el segundo resonador 120 en la longitud de onda resonante dada es π , entonces puede producirse una interferencia destructiva en la longitud de onda resonante dada en el segundo punto de acoplamiento evanescente 114.

En algunas realizaciones, el tamaño, la forma, el índice de refracción y otros parámetros de los resonadores primero y segundo 110 y 120 se diseñan colectivamente para promover la interferencia constructiva o destructiva para una sola resonancia o para un conjunto de resonancias específicas. En algunas realizaciones, la segunda resonancia es dos veces más ancha que la de las primeras resonancias, preferiblemente cinco veces más ancha que la de las primeras resonancias y, lo más preferiblemente, diez veces más ancha que la de las primeras resonancias. En algunas otras realizaciones, la segunda resonancia es dos veces más estrecha que la primera resonancia, preferiblemente cinco veces más estrecha que la primera resonancia y lo más preferiblemente diez veces más estrecha que la primera resonancia. En las realizaciones en las que el sustrato es silicio, las guías de onda se componen de óxido de silicio o nitruro de silicio y las longitudes de onda deseadas se distribuyen en la banda de telecomunicaciones, las resonancias primera y segunda pueden tener una anchura total a la mitad como máximo de aproximadamente 10 nm, preferiblemente de aproximadamente 5 nm y lo más preferiblemente de aproximadamente 2 nm. Se observa que estos valores pueden variar según la realización. Por ejemplo, los valores absolutos de las anchuras de las resonancias primera y segunda pueden variar según la plataforma de material y la longitud de onda de la señal óptica. Se pretende que al usar un segundo resonador 120 en lugar de un dispositivo de desplazamiento de fase de banda ancha, se pueda impartir un desplazamiento de fase en un ancho de banda significativamente más estrecho, lo que puede proporcionar ventajas significativas. En consecuencia, la construcción del acoplador interferométrico resonante 100 puede diseñarse cuidadosamente para seleccionar longitudes de onda en las que puede producirse la mejora o supresión de campo.

La Fig. 2 muestra otro ejemplo de un acoplador interferométrico resonante 200 para modificar una señal óptica 206. En esta realización, el acoplador interferométrico resonante 200 tiene un sustrato 202 y una guía de ondas de bus 204 montada en el sustrato 202. La guía de ondas de bus 204 tiene en conexión en serie una sección de entrada 204a, una sección doblada 204b y una sección de salida 204c. Un primer resonador 210 se monta en el sustrato 202. Como se muestra, el primer resonador 210 tiene un primer punto de acoplamiento evanescente 212 con la sección de entrada 204a y un segundo punto de acoplamiento evanescente 214 con la sección de salida 204c. El acoplador interferométrico resonante 200 tiene un interferómetro 216 que tiene una primera ruta de brazo 216a que se extiende a lo largo de la sección doblada 204b y una segunda ruta de brazo 216b que se extiende a lo largo del primer resonador 210 entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 212 y 214. Un segundo resonador 220 se monta en el sustrato 202. Como se muestra, el segundo resonador 220 tiene un tercer punto de acoplamiento evanescente 222 con la sección doblada 204b. En esta realización específica, tanto el primer resonador 210 como el segundo resonador 220 se proporcionan en forma de resonador de anillo de forma circular. Los resonadores primero y segundo

210 y 220 pueden diferir en tamaño, forma, índice de refracción u otros parámetros para proporcionar diferentes resonancias. Preferiblemente, longitudes, tamaños y formas de los resonadores primero y segundo 210 y 220 se seleccionan para proporcionar las resonancias primera y segunda deseadas. Además, la longitud de la guía de ondas doblada 204b que se extiende entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 212 y 214 se establece para lograr una eficiencia de acoplamiento deseada de las primeras resonancias que no se verán afectadas por el segundo resonador 220. Más específicamente, en este ejemplo, el primer resonador 210 tiene primeras resonancias, mientras que el segundo resonador 220 tiene al menos una segunda resonancia que se superpone al menos parcialmente con una de las primeras resonancias. La Fig. 2A muestra otro ejemplo en el que el segundo resonador 220 se proporciona en forma de resonador de anillo de cristal fotónico 220' en lugar de un resonador de anillo. En este ejemplo, la segunda resonancia puede definirse por las distancias de espaciamiento entre las microcavidades, por ejemplo.

Volviendo a la Fig. 2, el acoplador interferométrico resonante 200 tiene un mecanismo de sintonización 230 montado en el sustrato 202. El mecanismo de sintonización 230 es operable para modificar la segunda resonancia del segundo resonador 220 según se desee. Se descubrió que, aunque la fabricación del acoplador interferométrico resonante 200 puede realizarse con gran precisión y exactitud, la diferencia en las tolerancias puede desempeñar un papel importante en la obtención de un segundo resonador 220 que tenga la segunda resonancia deseada. En consecuencia, mediante el uso del mecanismo de sintonización 230, la segunda resonancia se puede modificar según se desee después de la fabricación en cualquier momento durante la vida útil del acoplador de interferómetro resonante 200. El mecanismo de sintonización 230 se puede usar para modificar la segunda resonancia dinámicamente en función del tiempo. Los defectos de fabricación o las variaciones de temperatura, por citar solo algunos ejemplos, pueden compensarse mediante el funcionamiento del mecanismo de sintonización, lo que añade flexibilidad y permite la escalabilidad.

En algunas realizaciones, el mecanismo de sintonización 230 puede configurarse para mover, estrechar o ampliar espectralmente la segunda resonancia según se desee. Por ejemplo, el mecanismo de sintonización 230 puede incluir un calentador 232 configurado para calentar al menos un área A del segundo resonador 220 que, a su vez, puede modificar el tamaño, la forma, el índice de refracción del segundo resonador o una combinación de los mismos. El calentador 232 puede proporcionarse en forma de dos o más contactos eléctricos 234 que propagan una señal eléctrica a través de una región resistiva 236 próxima al segundo resonador 220. La región resistiva 236 puede incluir un elemento resistivo o simplemente una parte del sustrato, según la realización. Como se muestra en esta realización, los resonadores primero y segundo 210 y 220 se aíslan térmicamente entre sí usando una barrera térmica 240. La barrera térmica 240 puede evitar que el calor generado por el calentador modifique las primeras resonancias del primer resonador 210 además de la segunda resonancia del segundo resonador 220. En otras palabras, la barrera térmica 240 puede evitar la diafonía térmica entre los resonadores primero y segundo 210 y 220. En algunas realizaciones, la barrera térmica 240 se proporciona en forma de primera pared 242 que define en un lado una primera cámara 244a que abarca el primer resonador 210 y en un lado opuesto una segunda cámara 244b que abarca el segundo resonador 220. En algunas realizaciones, la barrera térmica se proporciona en forma de distancia de espaciamiento que separa los resonadores primero y segundo 210 y 220 entre sí. En estas realizaciones, el aire que llena la distancia de espaciamiento puede actuar como barrera térmica 240. En estas últimas realizaciones, pueden omitirse tabiques tales como la primera pared 242 y otros elementos térmicamente aislantes. Cuando las cámaras primera y segunda 210 y 220 se aíslan térmicamente entre sí, el calor generado por el calentador 232 próximo al segundo resonador 220 puede no interferir con la temperatura próxima al primer resonador 210. En consecuencia, la segunda resonancia puede modificarse sin afectar a las primeras resonancias. En algunas realizaciones, la falta de diafonía térmica entre los resonadores primero y segundo 210 y 220 puede tener ventajas significativas. Incluyendo, pero sin limitarse a esto, simplificar el control del acoplador interferométrico resonante 200 y facilitar la adición de resonadores tercero, cuarto u otros sin crear un conjunto difícil de controlar de elementos que interactúan, por citar algunos ejemplos.

En algunas otras realizaciones, el mecanismo de sintonización 230 puede incluir un enfriador que, por ejemplo, mediante el efecto Peltier, puede enfriar el segundo resonador 220 modificando así la segunda resonancia. Se pueden usar otros tipos de mecanismos de sintonización en algunas otras realizaciones. Por ejemplo, el mecanismo de sintonización 230 puede incluir un módulo electroóptico que varíe el índice de refracción de una parte del segundo resonador 220. En algunas realizaciones, el módulo electroóptico puede accionarse de forma estática o dinámica. En algunas otras realizaciones, el mecanismo de sintonización 230 puede incluir una fuente que proyecta luz o que bombea electrones al área A próxima al segundo resonador 220. La luz o los electrones bombeados pueden excitar electrones dentro del segundo resonador y cambiar así su índice de refracción local, lo que lleva a un cambio en la segunda resonancia del segundo resonador. Aunque solo se muestra el segundo resonador 220 con un mecanismo de sintonización, se observa que se puede proporcionar otro mecanismo de sintonización al primer resonador 210 para modificar sus primeras resonancias. En algunas realizaciones, cada resonador del acoplador interferométrico resonante 200 tiene su propio mecanismo de sintonización dedicado e independiente.

Las Figs. 3A, 3B y 3C son gráficos que muestran la mejora de la intensidad en función de la frecuencia para el acoplador interferométrico resonante 200. En estas simulaciones, κ indica el coeficiente de acoplamiento del segundo resonador 220 y, más específicamente, del acoplamiento que se produce en el tercer punto de acoplamiento evanescente 222. Como se muestra, la Fig. 3A muestra la mejora de intensidad en una situación en la que $\kappa = 0$, es decir, en una situación sin acoplamiento. Las Figs. 3B y 3C muestran las resonancias en situaciones en las que $\kappa = 0.2$ y $\kappa = 0.8$, respectivamente. Se observa que a medida que aumenta el coeficiente de acoplamiento κ , se reduce la mejora de intensidad de las resonancias a $1210 \times 2\pi$ THz y $1216 \times 2\pi$ THz. Las líneas punteadas representan el

desplazamiento de fase dependiente de la frecuencia entre las rutas de brazo primera y segunda 216a y 216b del acoplador interferométrico 200. El enfoque descrito anteriormente se puede generalizar a otras configuraciones en las que el segundo resonador es más complicado y presenta un conjunto deseado de resonancias con la anchura adecuada. De hecho, para producir la configuración de desplazamiento de fase deseada hay que poder controlar la posición de las segundas resonancias del segundo resonador y sus anchuras espectrales. Con este fin, hay varias configuraciones posibles que se pueden adoptar. Por ejemplo, el control independiente de varias resonancias (incluso en el caso de que las resonancias no estén espaciadas uniformemente en frecuencia) se puede obtener usando varios segundos resonadores de diferentes tamaños, cada uno de ellos dirigido a un conjunto específico de resonancias, tal como se muestra en la Fig. 4.

Más específicamente, la Fig. 4 muestra otro ejemplo de un acoplador interferométrico resonante 400. En esta realización, el acoplador interferométrico resonante 400 tiene un sustrato 402 y una guía de ondas de bus 404 montada en el sustrato 402. La guía de ondas de bus 404 tiene en conexión en serie una sección de entrada 404a, una sección doblada 404b y una sección de salida 404c. Un primer resonador 410 se monta en el sustrato 402. Como se muestra, el primer resonador 410 tiene un primer punto de acoplamiento evanescente 412 con la sección de entrada 404a y un segundo punto de acoplamiento evanescente 414 con la sección de salida 404c. El acoplador interferométrico resonante 400 tiene un interferómetro 416 que tiene una primera ruta de brazo 416a que se extiende a lo largo de la sección doblada 404b y una segunda ruta de brazo 416b que se extiende a lo largo del primer resonador 410 entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 412 y 414. Como se representa, los resonadores segundo y tercero 420a y 420b se montan en el sustrato 402. Como se muestra, los resonadores segundo y tercero 420a y 420b tienen puntos de acoplamiento evanescente tercero y cuarto 422a y 422b con la sección doblada 404b. El segundo resonador 420a tiene al menos una segunda resonancia y el tercer resonador 420b tiene al menos una tercera resonancia. Normalmente, las resonancias segunda y tercera se espacian espectralmente entre sí. Sin embargo, pueden superponerse al menos parcialmente entre sí en algunas realizaciones. Cada una de las resonancias segunda y tercera se superpone al menos parcialmente con una o más de las primeras resonancias del primer resonador 410. En algunas realizaciones, los resonadores segundo y tercero 420a y 420b pueden tener mecanismos de sintonización dedicados 430a y 430b que funcionan de forma independiente entre sí. Más específicamente, el segundo resonador 420a puede tener un primer mecanismo de sintonización 430a operable para modificar la segunda resonancia y el tercer resonador 420b puede tener un segundo mecanismo de sintonización 430b operable para modificar la tercera resonancia, siendo los mecanismos de sintonización primero y segundo 430a y 430b independientes entre sí. Además, en las realizaciones en las que los mecanismos de sintonización primero y segundo 430a y 430b involucran calentadores, se puede proporcionar una o más barreras térmicas 440 para aislar térmicamente los resonadores primero, segundo y tercero 410, 420a y 420b entre sí. En estas realizaciones, las barreras térmicas 440 pueden proporcionarse en forma de tabiques de pared que separan los resonadores, distancias de espaciamiento que distancian los resonadores entre sí, y similares. En la realización ilustrada, el primer resonador 410 también se provee de su propio mecanismo de sintonización dedicado 430.

En las realizaciones en las que se desea ajustar la anchura espectral del segundo resonador, se pueden usar realizaciones tales como la que se muestra en la Fig. 5. Más específicamente, la anchura espectral del segundo resonador se puede ajustar seleccionando la distancia entre el segundo resonador y la guía de ondas del bus y también conectando el segundo resonador usando dos puntos de acoplamiento evanescente diferentes, creando así un segundo interferómetro. Se descubrió que esta configuración puede permitir la superación de los límites establecidos por el acoplamiento evanescente para algunas plataformas de materiales e intervalos de longitudes de onda. Por ejemplo, una configuración de este tipo puede ser ventajosa al usar plataformas de material que tengan eficiencias de acoplamiento más bajas.

La Fig. 5 muestra otro ejemplo de un acoplador interferométrico resonante 500. En esta realización, el acoplador interferométrico resonante 500 tiene un sustrato 502 y una guía de ondas de bus 504 montada en el sustrato. La guía de ondas de bus 504 tiene en conexión en serie una sección de entrada 504a, una sección doblada 504b y una sección de salida 504c. Un primer resonador 510 se monta en el sustrato 502. Como se muestra, el primer resonador 510 tiene un primer punto de acoplamiento evanescente 512 con la sección de entrada 504a y un segundo punto de acoplamiento evanescente 514 con la sección de salida 504c. El acoplador interferométrico resonante 500 tiene un interferómetro 516 que tiene una primera ruta de brazo 516a que se extiende a lo largo de la sección doblada 504b y una segunda ruta de brazo 516b que se extiende a lo largo del primer resonador 510 entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo 512 y 514. El acoplador interferométrico resonante 500 se provee de un segundo resonador 520 que tiene puntos de acoplamiento evanescente tercero y cuarto 522a y 522b con la sección doblada 504b de la guía de ondas de bus 504. Como se muestra, el cuarto punto de acoplamiento evanescente 522b está aguas abajo del tercer punto de acoplamiento evanescente 522a a lo largo de la sección doblada 504b de la guía de ondas de bus 504. Como se muestra, el segundo resonador 520 se posiciona dentro del perímetro dado formado por la guía de ondas doblada 504 y la segunda ruta de brazo 516b a lo largo del primer resonador 510. En otras realizaciones, el segundo resonador 520 se puede posicionar fuera del perímetro dado. Por ejemplo, en situaciones en las que el segundo resonador 520 se proporciona en forma de resonador de anillo, la guía de ondas de bus 504 puede tener secciones curvilíneas, que incluye al menos una sección cóncava, que se acopla al segundo resonador 520 en los puntos de acoplamiento evanescente tercero y cuarto 522a y 522b. En algunas otras realizaciones, el segundo resonador 520 puede proporcionarse en forma de resonador de cristal fotónico posiciona dentro y/o fuera del perímetro dado. Tal configuración puede conducir a un segundo interferómetro 536 que tiene una tercera ruta de brazo

536a entre los puntos de acoplamiento evanescente tercero y cuarto 522a y 522b a lo largo de la sección doblada 504b y una cuarta ruta de brazo 522a y 522b entre los puntos de acoplamiento evanescente tercero y cuarto 522a y 522b a lo largo del segundo resonador 520.

Haciendo referencia ahora a la Fig. 6, se describe un método 600 para modificar una señal óptica usando un acoplador interferométrico resonante tal como los descritos anteriormente. Por ejemplo, el acoplador interferométrico resonante tiene una guía de ondas de bus que tiene en conexión en serie una sección de entrada, una sección doblada y una sección de salida, un primer resonador que se acopla evanescentemente con la sección de entrada en un primer punto de acoplamiento y se acopla evanescentemente con la sección de salida en un segundo punto de acoplamiento, un interferómetro que tiene una primera ruta de brazo que se extiende a lo largo de la sección doblada entre los puntos de acoplamiento primero y segundo y una segunda ruta de brazo que se extiende a lo largo del primer resonador entre los puntos de acoplamiento primero y segundo. El acoplador interferométrico resonante usado en el método 600 se puede realizar usando cualquiera de los acopladores interferométricos resonantes 100, 200, 400 o 500 descritos anteriormente o cualquier otro acoplador adecuado.

El método 600 tiene una etapa 602 de dividir una señal óptica en una primera parte de señal óptica propagada a lo largo de la primera ruta de brazo y una segunda parte de señal óptica propagada a lo largo de la segunda ruta de brazo. En la etapa 604, la segunda señal óptica resuena dentro del primer resonador en las primeras resonancias del primer resonador. En la etapa 606, se imparte un primer desplazamiento de fase a la primera parte de señal óptica a través de una segunda resonancia que se superpone al menos parcialmente con una de las primeras resonancias. En la etapa 608, las partes de señal óptica primera y segunda se acoplan entre sí en el segundo punto de acoplamiento, provocando así una interferencia constructiva o destructiva al menos para la segunda resonancia. En la etapa 610, una señal óptica de salida modificada por la interferencia de la cuarta etapa se emite en la guía de ondas de salida.

En algunas realizaciones, el método 600 tiene una etapa 612 para sintonizar la segunda resonancia del segundo resonador. La etapa 612 de sintonización puede incluir desplazar espectralmente la segunda resonancia, estrechar espectralmente la segunda resonancia y/o ampliar espectralmente la segunda resonancia. En algunas realizaciones, la etapa 612 de sintonización puede incluir una etapa de calentamiento de al menos un área del segundo resonador. El área calentada puede estar próxima al resonador. Por ejemplo, el área calentada puede ser parte del segundo resonador o parte del sustrato sobre el que descansa el segundo resonador. En estas realizaciones, el método 600 puede incluir una etapa de aislar térmicamente los resonadores primero y segundo entre sí. En algunas realizaciones, la etapa 612 de sintonización incluye modificar un índice de refracción de la sección doblada, modificar un índice de refracción del segundo resonador o una combinación de los mismos. Se observa que la etapa 612 de sintonizar la segunda resonancia es opcional en algunas realizaciones y se puede omitir.

Como se puede entender, los ejemplos descritos anteriormente e ilustrados pretenden ser solo ejemplares. Por ejemplo, un único acoplador interferométrico resonante puede incluir uno o más sustratos sobre los que se montan los componentes fotónicos. Por ejemplo, la guía de ondas de bus puede extenderse sobre dos sustratos distintos, con el primer resonador en un primer sustrato y el segundo resonador en un segundo sustrato. Se entiende que el acoplamiento evanescente pretende abarcar el acoplamiento lateral en algunas realizaciones. En consecuencia, los puntos de acoplamiento evanescentes pueden denominarse de manera equivalente puntos de acoplamiento laterales en algunas realizaciones. Se observa que los acopladores interferométricos resonantes y los métodos asociados presentados en esta memoria pueden usarse en varios campos diferentes que incluyen, entre otros, la óptica no lineal cuántica y clásica (por ejemplo, la modificación de una señal de luz comprimida, la generación de luz no clásica, la conversión de frecuencia), las telecomunicaciones y la comunicación de datos (por ejemplo, filtrado óptico, conmutación óptica), el desarrollo láser (por ejemplo, los sistemas de conmutación Q, el oscilador paramétrico óptico (OPO), la amplificación paramétrica óptica (OPA)), la detección óptica (por ejemplo, la medición con precisión del cambio del índice de refracción efectivo en el segundo resonador a través de la transmisión del primer resonador), y similares. El alcance se indica por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un acoplador interferométrico resonante que comprende:

un sustrato;

una guía de ondas de bus montada en el sustrato, teniendo la guía de ondas de bus en conexión en serie una sección de entrada, una sección doblada y una sección de salida;

un primer resonador montado en el sustrato y que tiene un primer punto de acoplamiento evanescente con la sección de entrada y un segundo punto de acoplamiento evanescente con la sección de salida, teniendo el primer resonador primeras resonancias;

un interferómetro que tiene una primera ruta de brazo que se extiende a lo largo de la sección doblada entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo y una segunda ruta de brazo que se extiende a lo largo del primer resonador entre los puntos de acoplamiento evanescente primero y segundo; y caracterizado por

un segundo resonador montado en el sustrato y que tiene un tercer punto de acoplamiento evanescente con la sección doblada, teniendo el segundo resonador al menos una segunda resonancia que se superpone con al menos una de las primeras resonancias y a través de la que se imparte un primer desplazamiento de fase, el primer desplazamiento de fase provoca interferencia en el segundo punto de acoplamiento evanescente.

2. El acoplador interferométrico resonante de la reivindicación 1 comprende además un mecanismo de sintonización montado en el sustrato, siendo el mecanismo de sintonización operable para modificar la segunda resonancia del segundo resonador.

3. El acoplador interferométrico resonante de la reivindicación 2 en donde el mecanismo de sintonización incluye un calentador configurado para calentar al menos un área del segundo resonador.

4. El acoplador interferométrico resonante de la reivindicación 3, que comprende además una barrera térmica que aísla térmicamente los resonadores primero y segundo entre sí.

5. El acoplador interferométrico resonante de cualquier reivindicación anterior comprender además al menos un tercer resonador montado en el sustrato y adyacente al segundo resonador, teniendo el tercer resonador al menos un cuarto punto de acoplamiento con la sección doblada y al menos una tercera resonancia que se superpone con al menos una de las primeras resonancias y a través de la que se imparte un segundo desplazamiento de fase.

6. El acoplador interferométrico resonante de la reivindicación 5 en donde la tercera resonancia se espacia espectralmente de la segunda resonancia.

7. El acoplador interferométrico resonante de cualquier reivindicación anterior en donde el segundo resonador tiene un cuarto punto de acoplamiento con la sección doblada aguas abajo del tercer punto de acoplamiento.

8. El acoplador interferométrico resonante de cualquier reivindicación anterior en donde al menos uno del primer resonador y el segundo resonador es un resonador de anillo.

9. El acoplador interferométrico resonante de cualquier reivindicación anterior en donde la segunda resonancia es dos veces más ancha que la de las primeras resonancias.

10. El acoplador interferométrico resonante de cualquier reivindicación anterior en donde el sustrato se hace de silicio, la guía de ondas de bus consiste en una de óxido de silicio y nitruro de silicio, y la segunda resonancia tiene una anchura total a la mitad como máximo de aproximadamente 2 nm.

11. El acoplador interferométrico resonante de cualquier reivindicación anterior en donde el primer desplazamiento de fase impartido por el segundo resonador depende de la frecuencia.

12. Un método para modificar una señal óptica utilizando un acoplador interferométrico resonante, teniendo el acoplador interferométrico resonante una guía de ondas de bus que tiene en conexión en serie una sección de entrada, una sección doblada y una sección de salida, un primer resonador que se acopla evanescentemente con la sección de entrada en un primer punto de acoplamiento y se acopla evanescentemente con la sección de salida en un segundo punto de acoplamiento, un medidor que tiene una primera ruta de brazo que se extiende a lo largo de la sección doblada entre la puntos de acoplamiento primero y segundo, y una segunda ruta de brazo que se extiende a lo largo del primer resonador entre los puntos de acoplamiento primero y segundo, comprendiendo el método:

dividir una señal óptica en una primera parte de señal óptica propagada a lo largo de la primera ruta de brazo y una segunda parte de señal óptica propagada a lo largo de la segunda ruta de brazo;

la segunda señal óptica que resuena dentro del primer resonador en primeras resonancias del primer resonador;

usar un segundo resonador que se acopla evanescentemente a la sección doblada en un tercer punto de acoplamiento, impartiendo un primer desplazamiento de fase a la primera parte de señal óptica a través de al menos una segunda resonancia que se superpone al menos parcialmente con una de las primeras resonancias; y

- 5 en el segundo punto de acoplamiento aguas abajo del tercer punto de acoplamiento, acoplando las partes de señal óptica primera y segunda entre sí, el primer desplazamiento de fase provoca interferencia al menos para la segunda resonancia; y

tener como salida una señal óptica de salida modificada por dicha interferencia en la guía de ondas de salida.

13. El método de la reivindicación 12, que comprende además sintonizar la segunda resonancia del segundo resonador.

- 10 14. El método según la reivindicación 13 en donde dicha sintonización incluye al menos una de las siguientes opciones: desplazar espectralmente la segunda resonancia, estrechar la segunda resonancia y ampliar la segunda resonancia.

15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 12-14 en donde la señal óptica tiene una distribución de potencia óptica dentro de una banda de telecomunicaciones, y la segunda resonancia tiene una anchura total a la mitad como máximo de aproximadamente 2 nm.

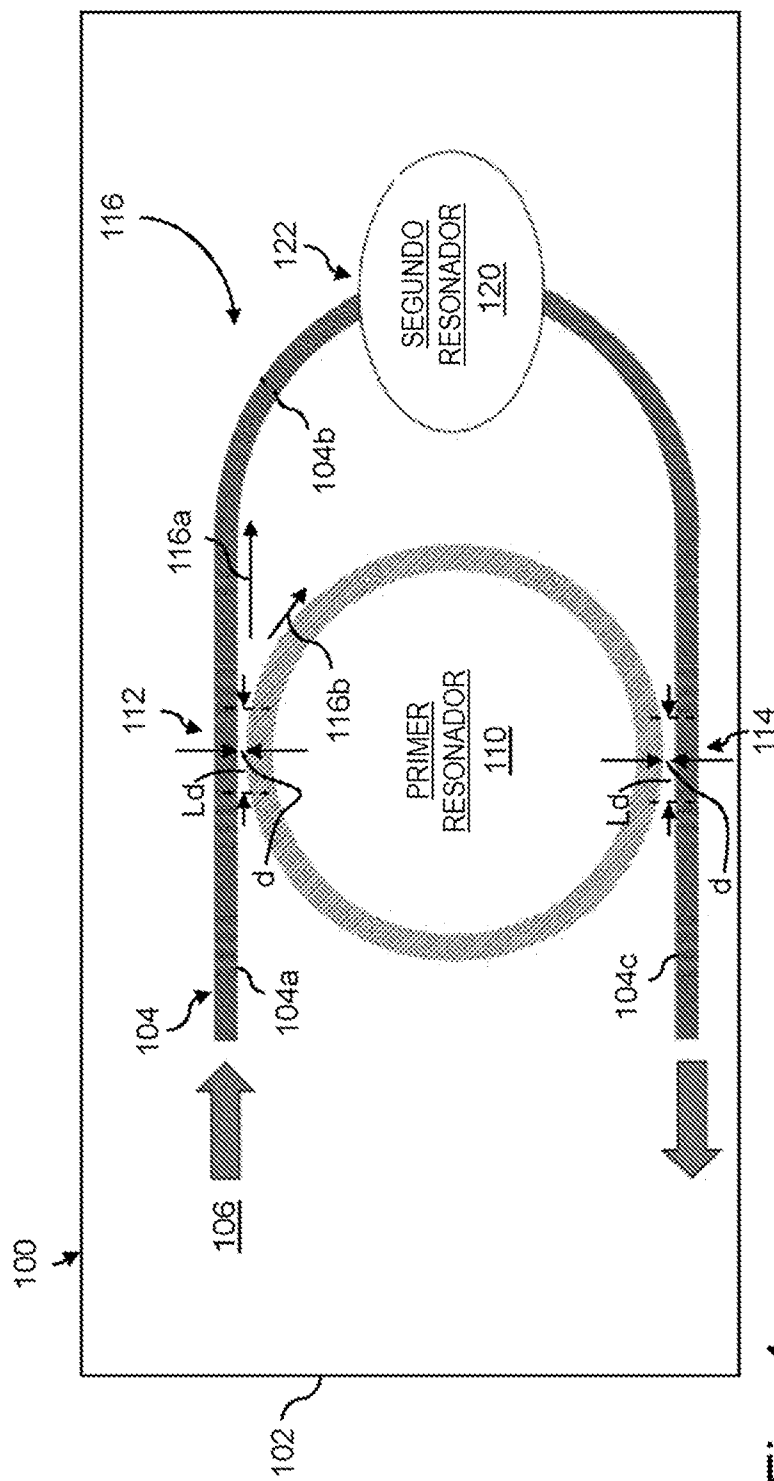


Fig. 1

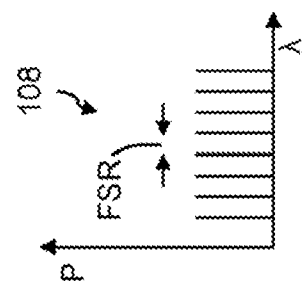


Fig. 1A

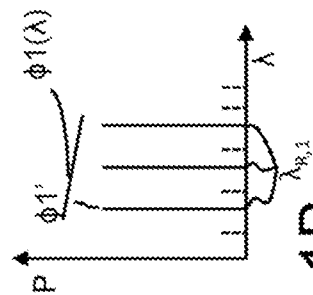


Fig. 1B

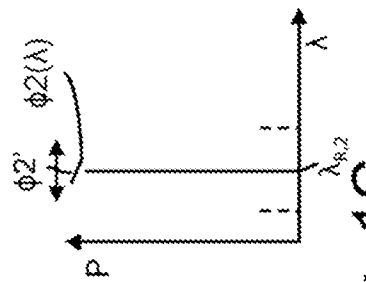
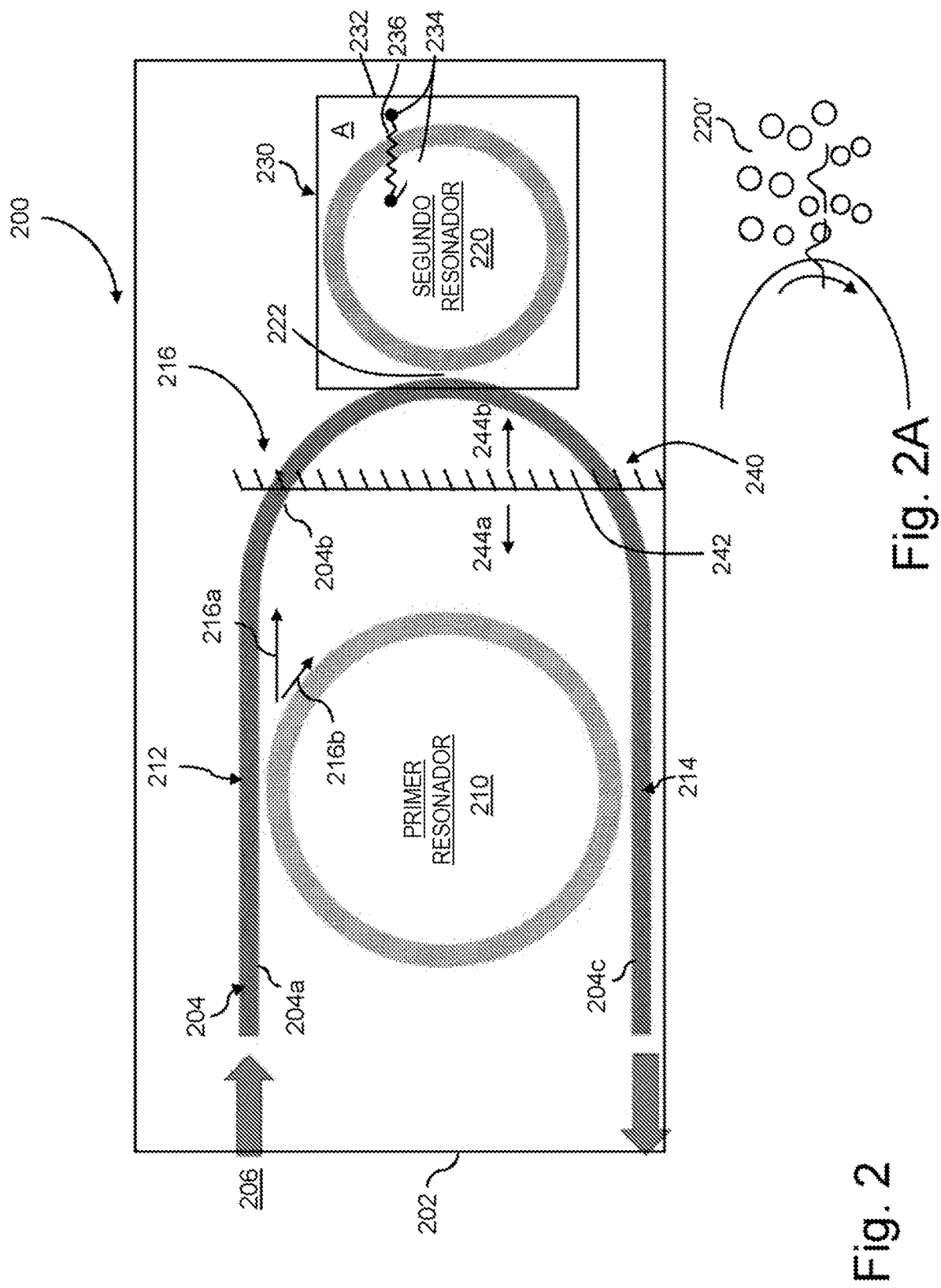


Fig. 1C



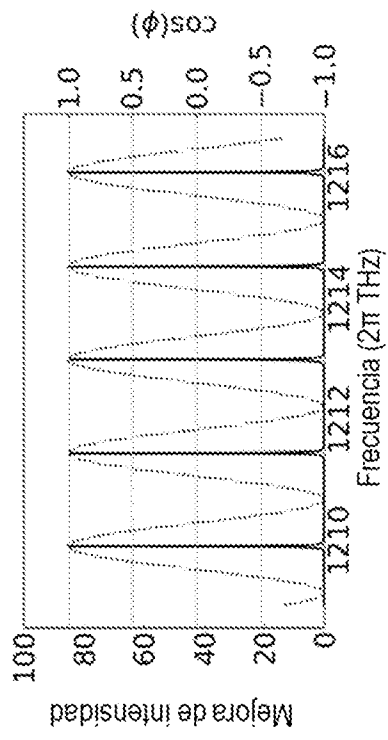


Fig. 3A

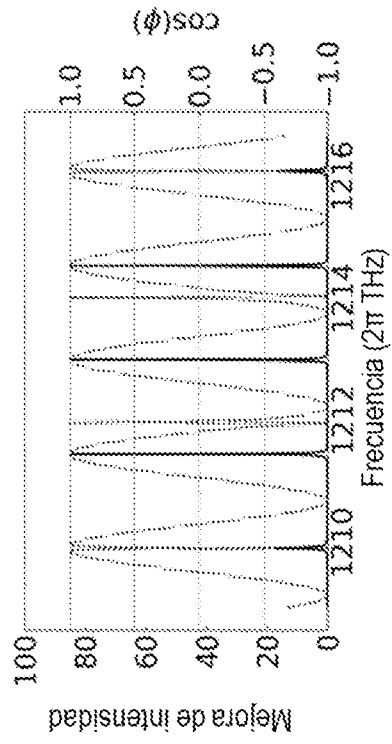


Fig. 3B

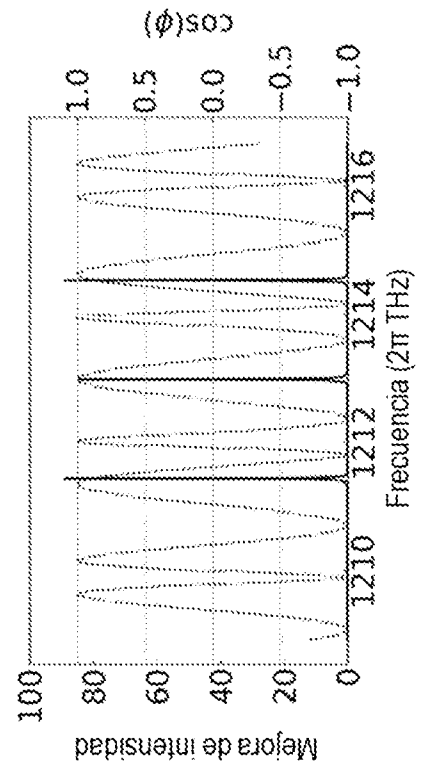


Fig. 3C

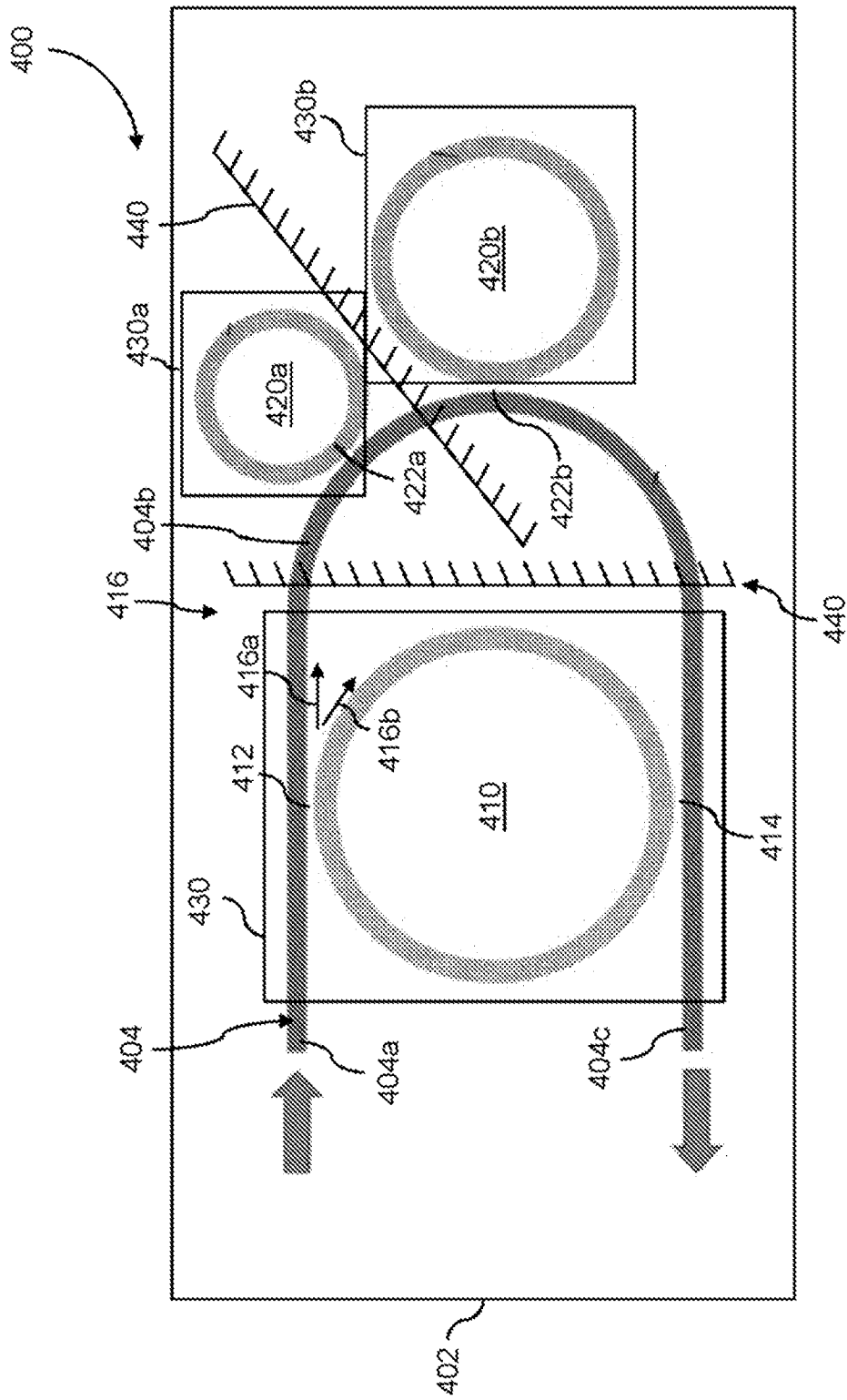


Fig. 4

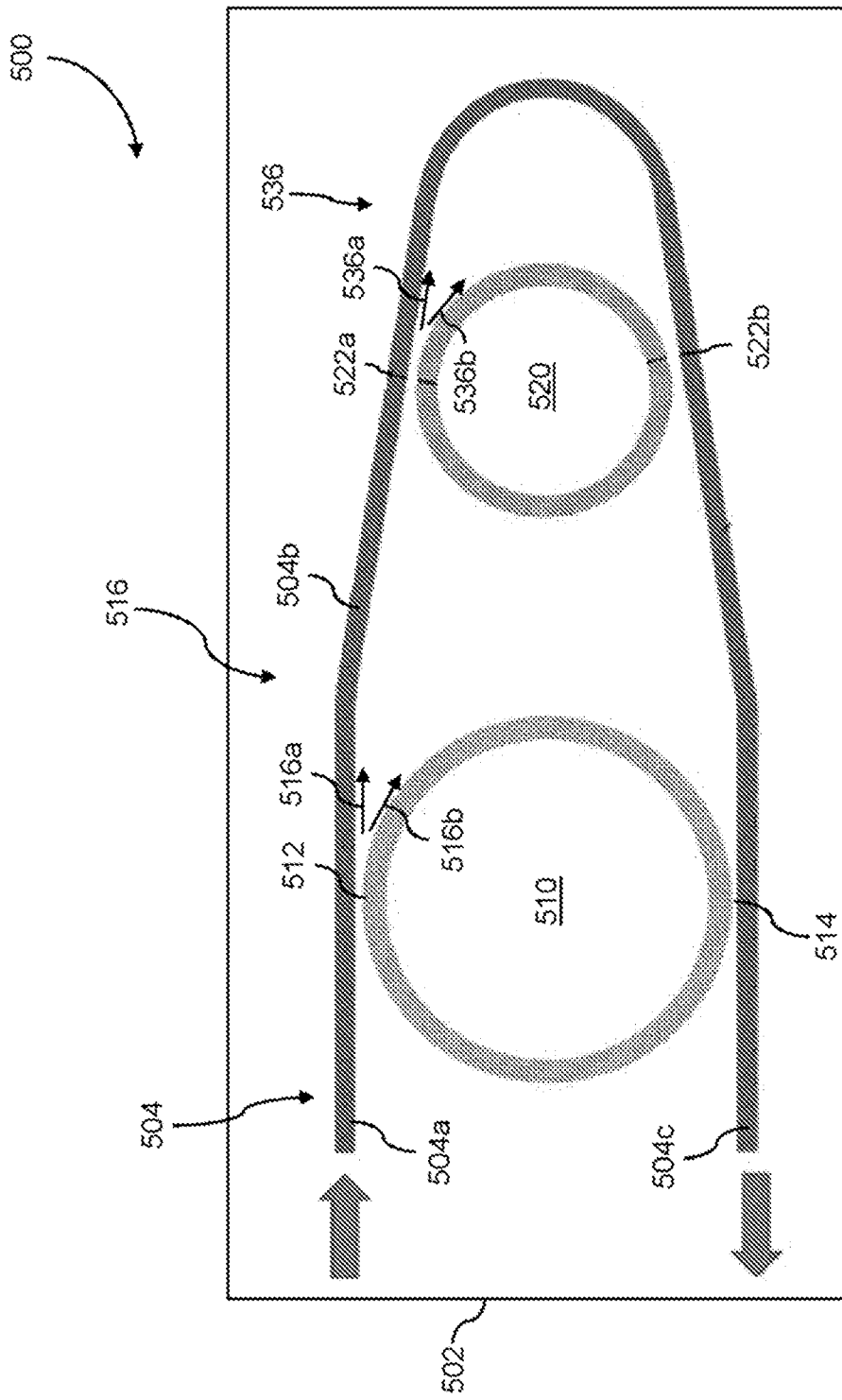


Fig. 5

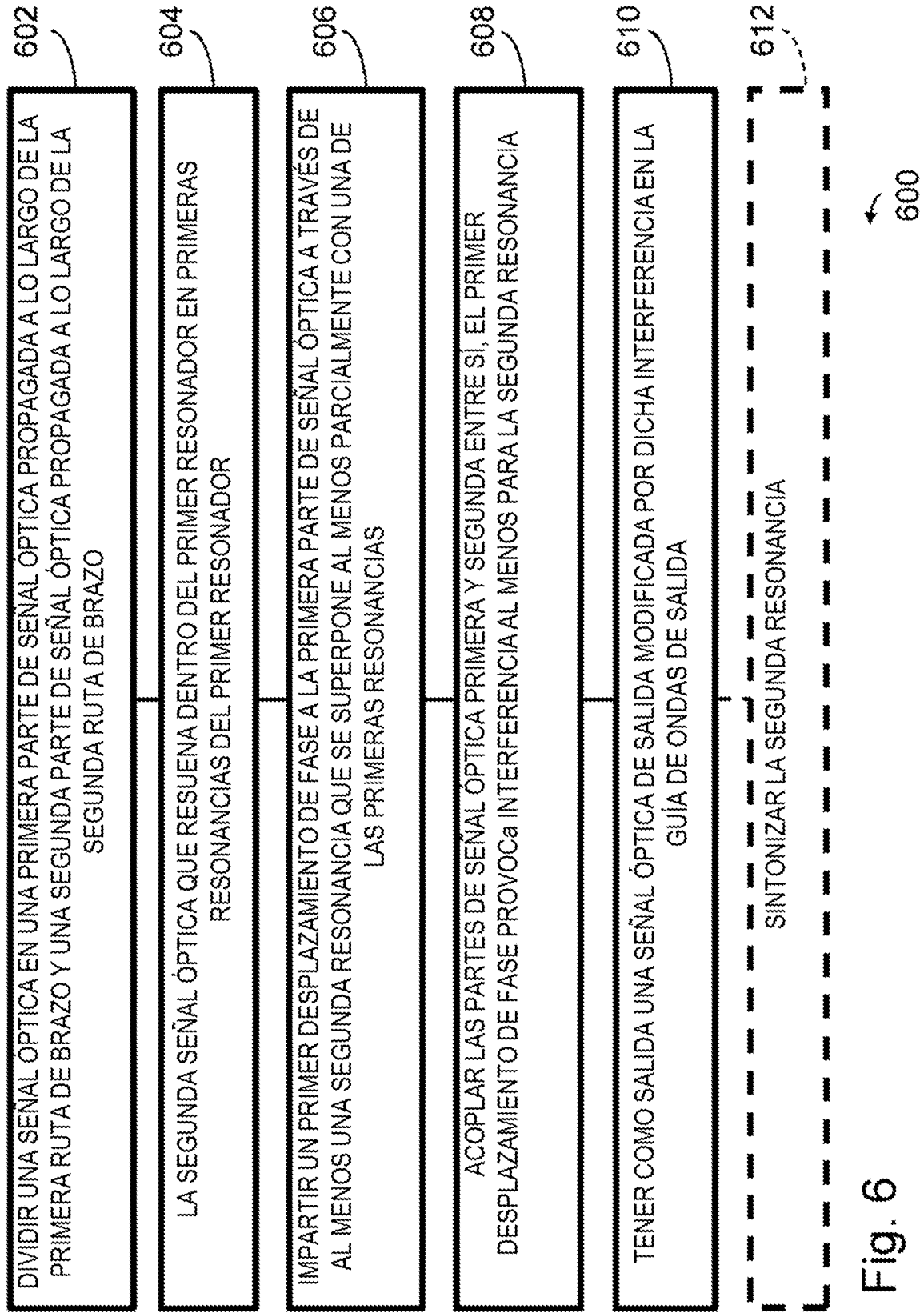


Fig. 6