

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 093**

51 Int. Cl.:

**H04B 10/572** (2013.01)

**H01S 5/068** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2010 PCT/US2010/025477**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.06.2011 WO11068550**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2010 E 10707164 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2018 EP 2507877**

54 Título: **Método y sistema para estabilización y bloqueo de longitud de onda para transmisores con multiplexación por división de longitud de onda**

30 Prioridad:

**02.12.2009 US 629425**

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

**24.05.2018**

73 Titular/es:

**HUAWEI TECHNOLOGIES CO. LTD. (100.0%)  
Building B1-3-A Huawei Industrial Base Bantian  
Longgang District  
Shenzhen, Guangdong 518129, CN**

72 Inventor/es:

**WEN, YANG JING;  
LIU, JIZHONG y  
BAI, YU SHENG**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 669 093 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

Método y sistema para estabilización y bloqueo de longitud de onda para transmisores con multiplexación por división de longitud de onda

### ANTECEDENTES

5 En redes ópticas, se usan a menudo sistemas de transmisión con multiplexación por división de longitud de onda (WDM, del inglés "Wavelength Division Multiplexing"), por ejemplo en redes de Interconexión Óptica Síncrona (SONET, del inglés "Synchronous Optical Networking")/Jerarquía Digital Síncrona (SDH, del inglés "Synchronous Digital Hierarchy") y Redes Ópticas Pasivas (PONs, del inglés "Passive Optical Networks"). Los sistemas de transmisión WDM transmiten una pluralidad de señales a una pluralidad de longitudes de onda adaptadas a una

10 malla de multiplexor/demultiplexor. Se han usado sistemas de transmisión WDM basados en fuentes de luz coherente, tales como láseres de realimentación distribuida (DFB, del inglés "Distributed FeedBack"), que tienen diferentes longitudes de onda de salida. Típicamente, son necesarios un número relativamente grande de láseres DFB para operaciones de red e inventario, lo que incrementa el coste. Para reducir la cantidad de inventario, pueden usarse diodos láser que tienen longitudes de onda sintonizables en vez de láseres DFB. Sin embargo, debido al

15 relativamente alto coste de los diodos láser sintonizables, el coste global del sistema puede no ser reducido significativamente. Para reducir el coste de sistemas de transmisión WDM, pueden usarse fuentes de luz incoherente de banda ancha con esquemas de segmentación de espectro en vez de fuentes de luz coherente. Las fuentes de luz incoherente incluyen diodos emisores de luz (LED, del inglés "Light Emitting Diode"), diodos láser de Fabry-Perot de funcionamiento libre (FPLD, del inglés "Fabry-Perot Laser Diode"), y fuentes basadas en ruido de

20 emisión espontánea amplificada (ASE, del inglés "Amplified Spontaneous Emission"). Los diodos LED y FPLD pueden ser modulados directamente, mientras que son necesarios moduladores externos para modular las fuentes basadas en ruido ASE. La segmentación de espectro de tales fuentes de luz incoherente puede introducir un ruido relativamente fuerte y bajas tasas de transmisión de datos, lo que no es adecuado para comunicaciones de gigahercios (GHz).

25 Subsiguientemente, se han introducido fuentes de luz WDM de alta velocidad y bajo coste, por ejemplo usando diodos FPLD de bombeo externo o amplificadores ópticos de semiconductor reflectante (RSOA, del inglés "Reflective Semiconductor Optical Amplifier"). Tales diodos FPLD o amplificadores RSOA usan luz de bombeo para emitir luz sustancialmente coherente. Los diodos FPLD y amplificadores RSOA de bombeo externo son atractivos debido a que pueden ser usados para transmisores incoloros, en que una pluralidad de tales fuentes que están

30 configuradas de forma similar pueden ser acopladas a un filtro WDM y ser usadas para proporcionar una pluralidad de longitudes de onda diferentes en redes WDM. El aspecto incoloro de tales fuentes reduce la cantidad de inventario requerido. Sin embargo, tales fuentes de bombeo externo requieren luz de bombeo basada o bien en fuentes de onda continua (CW, del inglés "Continuous Wave") o fuentes de luz incoherente de banda ancha, tales como fuentes basadas en ruido ASE con segmentación de espectro, lo que incrementa el coste.

35 El documento 2007/047608 A1 se refiere a alterar características espectrales, espaciales o temporales de un dispositivo emisor de luz.

El documento US 7 130 320 B1 divulga un láser de cavidad externa que tiene una longitud de onda de la salida de láser que es sintonizada mediante un elemento sintonizador rotatorio montado sobre el eje de un motor.

40 El documento US 6 477 190 B1 divulga un módulo óptico. Una señal de vuelta procedente de un láser es dividida, una primera parte de la señal de vuelta es proporcionada a un primer fotodiodo y una segunda parte de la señal de vuelta es reenviada a un filtro y a un segundo fotodiodo. Las señales de salida del primer fotodiodo y del segundo fotodiodo son proporcionadas a un divisor. Sobre la base de la salida del divisor, un dispositivo de control de temperatura controla un elemento termoelectrónico.

45 El documento US 2002/076132 A1 divulga un filtro óptico para modulación de banda lateral única simultánea y estabilización de longitud de onda. Un sistema de control de láser proporciona simultáneamente una modulación de banda lateral única de luz emitida por un láser modulado directamente para reducir la dispersión de fibra para control de realimentación.

### SUMARIO

50 En una realización, un dispositivo que comprende al menos un procesador; un láser; un reflector de luz; un multiplexor acoplado al láser a través de una fibra; en que el multiplexor está dispuesto entre el láser y el reflector de luz, y está configurado para transmitir luz de salida procedente del láser a aproximadamente un máximo de transmisión del multiplexor; un fotodetector acoplado al láser y al por lo menos un procesador y configurado para detectar una fotocorriente de una luz de vuelta procedente del láser; y un controlador de temperatura acoplado al

55 láser; en que el al menos un procesador está configurado para recibir una fotocorriente de la luz de vuelta procedente del láser; determinar un desplazamiento de longitud de onda entre una longitud de onda de la luz de salida procedente del láser y el máximo de transmisión del multiplexor; y ajustar una temperatura del láser para

reducir sustancialmente el desplazamiento de longitud de onda y alinear la longitud de onda de la luz de salida procedente del láser con el máximo de transmisión del multiplexor.

5 En otra realización, un método comprende: correlacionar una fotocorriente detectada de una luz de vuelta procedente de un láser con un desplazamiento de longitud de onda entre una longitud de onda de una luz de salida y un máximo de transmisión del multiplexor acoplado al láser a través de una fibra y dispuesto entre el láser y un reflector de luz; y sintonizar térmicamente la longitud de onda del láser para maximizar sustancialmente la fotocorriente detectada y minimizar sustancialmente el desplazamiento de longitud de onda ajustando una temperatura del láser.

10 Éstas y otras características se entenderán más claramente a partir de la siguiente descripción detallada tomada en conjunción con los dibujos y reivindicaciones adjuntos.

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una comprensión más completa de esta divulgación, se hace referencia ahora a la siguiente descripción breve, tomada en conexión con los dibujos adjuntos y la descripción detallada, en que números de referencia similares representan partes similares.

- 15 La figura 1 es un diagrama esquemático de una realización de una red PON.  
 La figura 2 es un diagrama esquemático de una realización de un transmisor WDM.  
 La figura 3 es un gráfico de una realización de una fotocorriente detectada para luz de salida de láser.  
 La figura 4 es un gráfico de una realización de un espectro de transmisión de filtro.  
 La figura 5 es un gráfico de una realización de un espectro de salida de láser de funcionamiento libre.  
 20 La figura 6 es un gráfico de una realización de un espectro de salida de láser con autobombeo, en que la longitud de onda de salida está muy separada del máximo de transmisión de filtro.  
 La figura 7 es un gráfico de una realización de un espectro de salida de láser con autobombeo y con bloqueo de longitud de onda.  
 25 La figura 8 es un diagrama de flujo de una realización de un método de estabilización y bloqueo de longitud de onda.

### DESCRIPCIÓN DETALLADA

30 Debe entenderse al principio que aunque se proporciona posteriormente una implementación ilustrativa de una o varias realizaciones, los sistemas y/o métodos divulgados pueden ser implementados usando cualquier número de técnicas, bien sea conocidas actualmente o existentes. La divulgación no debe entenderse de ningún modo limitada a las implementaciones ilustrativas, dibujos y técnicas ilustrados posteriormente, incluyendo los diseños e implementaciones a modo de ejemplo ilustrados y descritos aquí, sino que puede ser modificada dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas junto con su alcance completo de equivalentes.

35 Recientemente, se han introducido fuentes de luz WDM de bajo coste y alta velocidad, que usan diodos FPLD con autobombeo y amplificadores RSOA, lo que elimina el requisito de usar costosas fuentes de luz de bombeo externo. Un transmisor basado en amplificador RSOA con autobombeo fue propuesto para una red PON WDM en la Patente de los EE.UU. nº 7.295.778 expedida el 13 de noviembre de 2007 a Lee et al. y titulada "Wavelength Multiplexed Passive Optical Network System", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El transmisor basado en amplificador RSOA con autobombeo puede comprender una rejilla de Bragg de fibra reflectante (FBG, del inglés "Fiber Bragg Grating") acoplada a cada amplificador RSOA en el transmisor. La  
 40 rejilla FBG puede ser usada como reflector y selector de longitud de onda. El amplificador RSOA y la rejilla FBG pueden determinar una cavidad, en que la longitud de onda puede ser determinada por la rejilla FBG. Otro sistema de transmisión similar fue introducido en la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. nº 2008/0279557 presentada el 13 de noviembre de 2008 por Park et al. y titulada "WDM-PON System Using Self-Injection Locking, Optical Line Terminal Thereof, and Data Transmission Method", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El sistema de transmisión puede comprender también una rejilla para cada  
 45 amplificador RSOA. Sin embargo, la rejilla puede estar situada en un multiplexor, por ejemplo una matriz de rejillas de guía de ondas (AWG, del inglés "Arrayed Waveguide Grating"), en vez del amplificador RSOA. Otro transmisor mejorado fue propuesto en las actas de 2006 de la conferencia "Optical Fiber Communications (OFC)" por Wong et al. con el título "Directly-Modulated Self-Seeding Reflective SOAs as Colorless Transmitters for WDM Passive Optical  
 50 Networks", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El transmisor mejorado puede comprender un reflector para cada amplificador RSOA acoplado a una matriz AWG y situado en un nodo remoto del amplificador RSOA. El reflector puede ser un circulador óptico y la matriz AWG puede realizar

selección de longitud de onda.

Además, un transmisor basado en diodo FPLD con autobombeo fue propuesto en la Publicación de Solicitud de Patente de los EE.UU. nº 2006/0083515 presentada el 20 de abril de 2006 por Hann et al. y titulada "WDM-PON Having Optical Source of Self-Injection Locked Fabry-Perot Laser Diode", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El transmisor basado en diodo FPLD con autobombeo puede comprender una rejilla FBG para cada diodo FPLD situado en un terminal de red óptica (ONT, del inglés "Optical Network Terminal"). La rejilla FBG puede estar situada con un enrutador de longitud de onda en un nodo remoto del terminal ONT y el diodo FPLD puede tener autobombeo por parte de la rejilla FBG correspondiente. El láser FP puede operar bajo condición de onda CW y su salida puede ser modulada usando un modulador externo acoplado al nodo remoto a través de una fibra de distribución. De este modo, cada transmisor puede requerir dos fibras de distribución para proporcionar luz reflejada y luz modulada, lo que puede incrementar el coste del sistema. Un sistema de transmisión modificado fue propuesto en las actas de 2005 de la conferencia "European Conference on Optical Communications (ECOC)" por Hann et al. con el título "Directly-Modulated Upstream Signal Transmission Using a Self-Injection Locked F-P LD for WDM-PON", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El transmisor modificado puede comprender también una rejilla FBG en un nodo remoto para cada diodo FPLD situado en un terminal ONT. Sin embargo, la salida del láser FP puede ser modulada directamente usando datos de modulación en vez de operación de onda CW.

Otro sistema de transmisión mejorado fue propuesto en la Patente de los EE.UU. nº 7.167.649 expedida el 23 de enero de 2007 a Song et al. y titulada "Dense Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network System Utilizing Self-Injection Locking of Fabry-Perot Laser Diodes", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El sistema de transmisión mejorado puede comprender un multiplexor WDM compartido (por ejemplo, una matriz AWG) para una pluralidad de terminales ONT. Para cada transmisor ONT, el diodo FPLD puede tener autobombeo por un espejo parcialmente reflectante, que puede ser compartido por los terminales ONT y estar situado frente al transmisor y al multiplexor WDM. El espejo parcialmente reflectante puede transmitir una parte de la luz procedente del diodo FPLD y reflejar otra parte de luz de vuelta al diodo FPLD. La selección de longitud de onda de luz procedente del diodo FPLD puede ser realizada mediante la correspondiente banda de paso del multiplexor, por ejemplo del puerto correspondiente. Similarmente, un multiplexor WDM compartido fue propuesto en la Patente de los EE.UU. nº 7.149.431 expedida el 12 de diciembre de 2006 a Jung et al. y titulada "Self-Seeded Fabry-Perot Laser Device for Wavelength Division Multiplexing System", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. Sin embargo, en vez de usar el espejo parcialmente reflectante como un reflector con el multiplexor WDM compartido, puede usarse un circulador que tenga un bucle de realimentación óptico. El bucle de realimentación óptico puede comprender un amplificador óptico para amplificar la luz de realimentación (o reflejada).

Todos los sistemas propuestos de transmisión anteriores pueden sufrir de inestabilidad de polarización de modo, en que la polarización de la luz reflejada puede no estar alineada con la polarización de la luz en la cavidad de láser. La luz reflejada puede tener cualquier polarización debido a birrefringencia inherente en las fibras que establecen el acoplamiento entre los componentes. La birrefringencia en fibras puede variar con cambios en el entorno, tales como vibraciones y variaciones de temperatura, y por lo tanto la polarización de la luz reflejada puede variar con el tiempo, lo que puede causar una salida de láser inestable en el tiempo.

Un sistema de transmisión WDM para mejorar la operación del láser de modo único en redes ópticas (por ejemplo redes PON WDM) es propuesto en la Solicitud de Patente de los EE.UU. nº 12/169.717 presentada el 17 de noviembre de 2009 por Yu Sheng Bai y titulada "Method and Apparatus for Colorless Dense Wavelength Division Multiplexing Transmitters", que se incorpora aquí por referencia como si estuviera reproducida en su totalidad. El láser de modo único puede ser un láser FP (por ejemplo un diodo FPLD) o un amplificador RSOA. El láser puede estar configurado para operar con una longitud de onda seleccionada y con una polarización única. El diseño del láser puede ser mejorado para proporcionar una operación de láser estable y mantener la longitud de onda y/o la intensidad de salida. Específicamente, el láser puede estar configurado para permitir que vuelva a la cavidad de láser una parte de la luz reflejada que puede tener la misma polarización de la luz en el láser FP y para aislar sustancialmente luz reflejada que puede tener una polarización diferente. Como la luz que es reflejada de vuelta hacia la cavidad de láser puede tener sustancialmente la misma polarización que la luz dentro de la cavidad de láser, la operación del láser FP puede mantenerse estable y por lo tanto pueden mantenerse su longitud de onda y/o su intensidad de salida. Mejorar la operación del láser de modo único puede reducir el coste de transmisores incoloros en redes ópticas, por ejemplo en comparación con láseres sintonizables y láseres DFB.

Se divulga aquí un método y dispositivo para estabilizar y bloquear las longitudes de onda de transmisores en redes WDM, que pueden comprender una pluralidad de láseres de modo único, tales como cualquiera de los sistemas de transmisión anteriores. Por ejemplo, el transmisor puede ser un transmisor WDM que comprende una pluralidad de diodos FPLD y/o amplificadores RSOA, que pueden tener autobombeo por una pluralidad de longitudes de onda correspondientes y estar acoplados a un multiplexor. El transmisor puede ser un transmisor incoloro, en que los diodos FPLD y/o los amplificadores RSOA pueden operar para aproximadamente el mismo espectro de longitudes de onda. El dispositivo puede comprender un fotodetector de monitorización para cada láser, que puede estar

configurado para detectar la luz de vuelta del láser correspondiente para estabilizar y bloquear la longitud de onda de autobombeo del láser. Específicamente, el fotodetector puede obtener una fotocorriente para la luz de vuelta, que puede ser usada para controlar la temperatura del láser usando un calentador/refrigerador acoplado al láser. Controlar la temperatura del láser puede sintonizar la longitud de onda de salida del láser para que case con el máximo de longitud de onda de transmisión del multiplexor.

El transmisor WDM puede ser usado en una pluralidad de redes ópticas, tales como redes de transporte o acceso WDM densas (DWDM, del inglés "Dense WDM"), redes PON, redes SONET/SDH, y redes Ethernet ópticas. La figura 1 ilustra una realización de una red PON 100. La red PON 100 comprende un terminal de línea óptica (OLT, del inglés "Optical Line Terminal") 110, una pluralidad de terminales de red óptica (terminales ONT) 120, y una red de distribución óptica (ODN, del inglés "Optical Distribution Network") 130. La red PON 100 es una red de comunicaciones que no requiere que ningún componente activo distribuya datos entre el terminal OLT 110 y los terminales ONT 120. En vez de ello, la red 100 usa los componentes ópticos pasivos en la red ODN 130 para distribuir datos entre el terminal OLT 110 y los terminales ONT 120. Ejemplos de redes PON 100 adecuadas incluyen la red PON de modo de transferencia asíncrono (APON, del inglés "Asynchronous transfer mode PON") y la red PON de banda ancha (BPON, del inglés "Broadband PON") definidas por el estándar ITU-T G.983 de Sector de Estandarización de Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la red PON de gigabit (GPON, del inglés "Gigabit PON") definida por el estándar ITU-T G.984, la red PON Ethernet (EPON, del inglés "Ethernet PON") definida por el estándar IEEE 802.3ah, y la red PON de multiplexación por división de longitud de onda (WDM-PON), todas las cuales se incorporan aquí por referencia como si estuvieran reproducidas en su totalidad.

En una realización, el transmisor WDM puede comprender una pluralidad de diodos FPLD y/o amplificadores RSOA, que pueden estar configurados para proporcionar un transmisor óptico incoloro. Por ejemplo, el transmisor puede ser un transmisor WDM o DWDM que comprende una pluralidad de diodos FPLD, que pueden operar para aproximadamente el mismo espectro de longitudes de onda. Adicional o alternativamente, el transmisor puede comprender una pluralidad de amplificadores RSOA, que pueden estar configurados para operación de anchura de línea estrecha para longitudes de onda deseadas WDM. El transmisor puede comprender componentes discretos, tales como láseres FP, un filtro WDM, rotadores, y un reflector. Los componentes pueden estar acoplados entre sí y montados sobre una tarjeta o plataforma óptica. Alternativamente, el transmisor puede ser un transmisor láser integrado sobre un chip. Las longitudes de onda de salida procedentes de los láseres pueden ser sintonizadas controlando las temperaturas de los láseres sobre la base de una luz de vuelta detectada. Así, las longitudes de onda de salida pueden ser estabilizadas y bloqueadas en la malla WDM (por ejemplo canales de longitud de onda). Por ejemplo, para alinear las longitudes de onda de salida de los láseres con una pluralidad de longitudes de onda de transmisión o máximos de un multiplexor o filtro WDM, puede cambiarse la temperatura de los diodos FPLD y/o los amplificadores RSOA sobre la base de una fotocorriente detectada de la luz de vuelta, como se describe en detalle posteriormente. En algunas realizaciones, los láseres FP pueden estar también configurados para operación de modo único mejorada, por ejemplo permitiendo una polarización única dentro del chip o cavidad de láser y manteniendo así la longitud de onda y la intensidad de salida, como se describe en detalle posteriormente.

La figura 2 ilustra una realización de un transmisor WDM 200, que puede estar basado en un diseño de láser de modo único mejorado. El transmisor WDM 200 puede comprender al menos un transmisor láser 210 que puede estar acoplado a un multiplexor 220 a través de una primera fibra 215. Aunque se muestra un único transmisor láser 210 acoplado al multiplexor 220, el transmisor WDM 200 puede comprender cualquier cantidad de transmisores láser 210 que pueden estar acoplados al multiplexor 220 a través de una cantidad correspondiente de las primeras fibras 215. Adicionalmente, el transmisor WDM 200 puede comprender un reflector de luz 230, que puede estar acoplado al multiplexor 220 y a una segunda fibra 240. La segunda fibra 240 puede estar acoplada al multiplexor 220 y puede acoplar el transmisor WDM 200 a otros componentes de red. Por ejemplo, el transmisor WDM 200 puede estar situado en el terminal OLT 110 o en cualquiera de los terminales ONT 120, en que la segunda fibra 240 puede acoplar el transmisor WDM 200 a la red ODN 130. En una realización, los transmisores láser 210 y el multiplexor 220 pueden estar todos en diferentes posiciones físicas, quizás incluso con una separación de kilómetros.

En una realización, los transmisores láser 210 pueden estar configurados similarmente para transmitir luz en un intervalo de longitud de onda. Cada transmisor láser 210 puede comprender un láser 212, por ejemplo un diodo FPLD o un amplificador RSOA, un rotador 214 acoplado al láser 212, un detector 216 acoplado al láser 212, y un calentador/refrigerador 218 acoplado al detector 216 y al láser 212. El rotador 214 puede estar configurado para soportar una polarización única dentro del láser 212. La luz emitida desde cada transmisor láser 210 puede ser transportada al multiplexor 220 a través de la primera fibra 215 correspondiente. Las ondas de luz transportadas por las primeras fibras 215 desde los transmisores láser 210 pueden ser combinadas en una única onda de luz en el multiplexor 220. Cada uno de los transmisores láser 210 también puede ser modulado separadamente, por ejemplo usando controladores eléctricos que pueden estar acoplados a los transmisores láser 210. El láser 212, el rotador 214 y el detector 216 pueden estar alineados y situados directamente uno con otro o pueden estar acoplados a través de fibras (no mostrado). En algunas realizaciones, el láser 212 y el rotador 214 (y/o el detector 216) pueden

estar acoplados usando al menos una lente (no mostrado), que puede estar situada entre los dos.

En una realización, el láser 212 puede ser un láser FP (por ejemplo un diodo FPLD) que comprende un chip de láser 250 (por ejemplo un chip de ganancia de láser), y una faceta de reflexión trasera 252 y una faceta de reflexión delantera 254 por lados opuestos del chip de láser 250. La faceta de reflexión trasera 252 puede estar situada por el lado orientado hacia el detector 216 y la faceta de reflexión delantera 254 puede estar situada por el lado orientado hacia el rotador 214. El chip de láser 250 puede comprender un bloque de ganancia de semiconductor, que puede estar polarizado usando corriente o tensión eléctrica para emitir luz en un intervalo de longitud de onda. El bloque de ganancia de semiconductor puede tener un espectro de ganancia relativamente ancho, por ejemplo una anchura de espectro desde aproximadamente 40 nanómetros (nm) a aproximadamente 50 nm. El chip de láser 250, la faceta de reflexión trasera 252 y la faceta de reflexión delantera 254 pueden determinar una cavidad del láser 212.

La faceta de reflexión trasera 252 puede estar recubierta con un recubrimiento de alta reflexión (HR, del inglés "High-Reflection") (por ejemplo, de metal o de película dieléctrica delgada) que refleja la luz emitida por el chip de láser 250. La faceta de reflexión delantera 254 puede reflejar la luz en la dirección opuesta de la faceta de reflexión trasera 252. Así, una parte de la luz emitida por el chip de láser 250 puede sufrir múltiples reflexiones internas, por ejemplo rebotar hacia atrás y hacia delante dentro de la cavidad y entre la faceta de reflexión trasera 252 y la faceta de reflexión delantera 254. La faceta de reflexión delantera 254 puede permitir que una parte de la luz salga del láser, por ejemplo a través de una abertura. Adicionalmente, la faceta de reflexión delantera 254 puede estar recubierta con un recubrimiento antirreflectante (AR, del inglés "Anti-Reflection") por el lado orientado hacia el rotador 214. Así, puede permitirse que una parte sustancial de la luz reflejada de vuelta hacia el láser 212 entre en la cavidad de láser. La luz reflejada puede ser una luz de bombeo que interacciona con la luz internamente reflejada en la cavidad de luz, lo que puede producir una salida de luz coherente desde el láser 212. La salida de luz coherente puede ser transmitida desde la faceta de reflexión delantera 254 al rotador 214. Como la luz de bombeo del láser 212 es emitida inicialmente por el láser 212, se dice que el láser es un láser o fuente de luz con autobombeo.

En una realización alternativa, el láser 212 puede ser un amplificador RSOA que comprende sólo una faceta de reflexión trasera 252 o adicionalmente una faceta de reflexión delantera 254 que tiene una reflexión sustancialmente menor que la faceta de reflexión correspondiente de un láser FP. Así, la ganancia óptica en la cavidad del amplificador RSOA puede tener una dependencia periódica más débil respecto a la longitud de onda en comparación con el láser FP.

En una realización, el rotador 214 puede ser un rotador de Faraday configurado para rotar la polarización de la luz entrante por un lado en aproximadamente 45 o aproximadamente -45 grados y transmitir la luz rotada por el lado opuesto. El rotador de Faraday puede comprender un medio óptico que rota la luz, tal como un vidrio paramagnético. El rotador de Faraday puede proporcionar una luz desde cualquiera de los dos lados que puede ser rotada en aproximadamente 45 o aproximadamente -45 grados con respecto al otro lado. Por ejemplo, el rotador de Faraday puede rotar la polarización de una luz entrante desde el láser 212 y transmitir la luz rotada al multiplexor 220. El rotador de Faraday puede rotar también la polarización de una luz reflejada entrante desde el multiplexor 220 y transmitir la luz rotada al láser 212. De este modo, una luz que pasa dos veces a través del rotador de Faraday, tal como una luz reflejada en un camino de ida y vuelta, puede ser rotada en aproximadamente 90 o aproximadamente -90 grados por el rotador de Faraday.

En algunas realizaciones, un polarizador (no mostrado) puede ser situado entre el rotador 214 y el láser 212. El polarizador puede estar configurado para transmitir una parte de la luz que puede estar polarizada de forma similar a la luz en el láser 212, por ejemplo a aproximadamente cero o aproximadamente 180 grados con respecto a la polarización de la luz en la cavidad de láser. Adicionalmente, el polarizador puede permitir que vuelva al láser 212 sólo luz reflejada que tenga sustancialmente la misma polarización que la luz en la cavidad de láser. La luz reflejada que tiene polarización ortogonal a la luz en la cavidad de láser puede afectar a la operación del láser y cambiar su intensidad y/o longitud de onda de salida, lo que puede no ser deseado. Las polarizaciones de luz indeseadas, tales como por reflexiones parásitas introducidas por los conectores de fibra o segmentos en la fibra, pueden ser suprimidas por el polarizador para mantener la polarización de luz en la cavidad de láser. La polarización de luz en la cavidad puede corresponder a la longitud de onda de salida deseada del láser. Consecuentemente, una longitud de onda única y una polarización única pueden ser mejoradas en la cavidad.

En una realización, el detector 216 puede ser un fotodetector, por ejemplo un fotodiodo, configurado para detectar la intensidad de la luz de vuelta procedente del láser 212. El detector 216 puede recibir la luz de vuelta transmitida desde la faceta de reflexión trasera 252 y convertir la intensidad de luz detectada en una fotocorriente detectada. La fotocorriente detectada puede ser capturada y analizada usando un procesador o controlador (no mostrado), tal como hardware y/o software. El procesador o controlador puede estar acoplado al detector 216. La fotocorriente detectada puede estar correlacionada con un desplazamiento entre la longitud de onda de salida del láser 212 y un correspondiente máximo de transmisión del multiplexor 220, y por lo tanto puede ser usada para propósitos de estabilización de longitud de onda y sintonización, como se describe en detalle posteriormente. La longitud de onda de salida del láser 212 puede estar sometida a deriva en el tiempo y/o fluctuar debido a condiciones ambientales, tales como vibraciones mecánicas y/o variaciones de temperatura. Por lo tanto, la fotocorriente detectada puede ser

usada para comparar la longitud de onda de salida con un correspondiente máximo de transmisión del multiplexor 220 para estabilizar y bloquear de acuerdo con ello la longitud de onda de salida. El desplazamiento entre la longitud de onda de salida del láser 212 y el máximo de transmisión de un puerto de multiplexor acoplado al transmisor láser 210 puede ser controlado sobre la base de la fotocorriente detectada. Por lo tanto, la longitud de onda de salida  
5 puede ser sintonizada para alinear la longitud de onda con el máximo de transmisión.

En una realización, el calentador/refrigerador 218 puede ser un controlador de temperatura configurado para sintonizar y alinear la longitud de onda de salida del láser 212 con el máximo de transmisión controlando térmicamente el láser 212. Por ejemplo, el calentador/refrigerador 218 puede ser un refrigerador termoeléctrico (TEC, del inglés "ThermoElectric Cooler") o simplemente un calentador que cambia la longitud de onda de salida del  
10 láser 212 cambiando la temperatura del láser 212. El calentador/refrigerador puede estar acoplado eléctricamente al detector 216 y acoplado térmicamente al láser 212. Así, el calentador/refrigerador 218 puede ser controlado sobre la base de la fotocorriente detectada del detector 216, por ejemplo usando un procesador o controlador (no mostrado) acoplado al detector 216 y al calentador/refrigerador 218. El calentador/refrigerador 218 puede aumentar o reducir la temperatura del láser 212 para aumentar o reducir su longitud de onda y alinear la longitud de onda con el máximo  
15 de transmisión. La longitud de onda puede estar alineada cuando la fotocorriente detectada indica que no hay ningún desplazamiento sustancial entre la longitud de onda de salida y el máximo de transmisión.

En una realización, el láser 212 puede ser un amplificador RSOA que puede tener un espectro de ganancia amplio. El espectro de ganancia del amplificador RSOA puede ser afectado, por ejemplo por reflexiones internas imprevistas hacia dentro del amplificador RSOA, lo que puede causar máximos de ganancia periódicos en el amplificador RSOA.  
20 El esquema de bloqueo de longitud de onda puede seguir siendo usado para bloquear la longitud de onda de operación en el máximo de un periodo de ganancia.

En una realización, el multiplexor 220 puede ser una matriz AWG configurada para combinar una pluralidad de ondas de luz procedentes de las primeras fibras 215 en una onda de luz combinada que se propaga en la segunda fibra 240. El multiplexor 220 puede también filtrar las ondas de luz que corresponden a diferentes transmisores láser  
25 210 para diferentes longitudes de onda. El multiplexor 220 puede ser un filtro WDM que filtra la luz para una única longitud de onda o para un intervalo de longitud de onda que es más estrecho que el intervalo de longitud de onda del bloque de ganancia de semiconductor. El láser 212 puede estar configurado para transmitir luz en un modo único y a una longitud de onda única, que puede solaparse sustancialmente con un máximo de transmisión del multiplexor 220. Típicamente, el espaciado de modo en la cavidad puede ser mayor que aproximadamente 100 GHz y el filtro  
30 WDM puede tener una anchura de banda menor que el espaciado de modo. De acuerdo con ello, la luz combinada procedente del multiplexor 220 puede comprender una pluralidad de canales de longitudes de onda distintas, tales como los canales DWDM descritos en el estándar ITU-T G.694.1 y/o los canales WDM gruesos (CWDM, del inglés "Coarse WDM") descritos en el estándar ITU-T G.694.2. En otras realizaciones, el multiplexor 220 puede ser un dispositivo de entrelazado óptico, un multiplexor de rejilla de Bragg de fibras, un multiplexor óptico de adición/extracción (OADM, del inglés "Optical Add-Drop Multiplexer"), un multiplexor OADM reconfigurable (ROADM, del inglés "Reconfigurable OADM"), o cualquier tipo de filtro WDM.  
35

Adicionalmente, el multiplexor 220 puede estar configurado para demultiplexar la luz reflejada procedente del reflector de luz 230 en una pluralidad de ondas de luz o canales y reenviar cada canal a un transmisor láser 210 correspondiente. Específicamente, el demultiplexor 220 puede dividir la luz reflejada procedente del reflector de luz  
40 230 en una pluralidad de ondas de luz reflejadas a diferentes longitudes de onda y reenviar cada onda de vuelta al transmisor láser 210 correspondiente. Las diferentes longitudes de onda pueden ser usadas para el bombeo de los transmisores láser 210 correspondientes.

En una realización, el reflector de luz 230 puede estar acoplado al multiplexor 220 por un lado y a la segunda fibra 240 por el otro lado y puede comprender un espejo 260 por el lado de la segunda fibra 240. El espejo 260 puede ser  
45 un espejo parcialmente reflectante que transmite una parte de la luz procedente del multiplexor 220 en dirección descendente por la fibra 240 y refleja de vuelta otra parte de la luz hacia el multiplexor 220. En una realización, el multiplexor 220 puede tener un intervalo espectral libre finito (FSR, del inglés "Free Spectral Range"), que puede ser más grande que o comparable al espectro de ganancia del chip de láser 250. Por ejemplo, para una longitud de onda de luz transmitida igual a aproximadamente 1550 nm, el intervalo (FSR) de la matriz AWG puede ser mayor  
50 que aproximadamente 50 nm. El intervalo FSR puede comprender una pluralidad de máximos de transmisión, que pueden estar espaciados aproximadamente de igual forma a través del espectro. Por lo tanto, sin usar filtros adicionales, la matriz AWG puede permitir la transmisión de una pluralidad de bandas de longitud de onda procedentes de los transmisores láser 210. Para proporcionar una única banda de longitud de onda procedente de los transmisores láser 210, el espectro 260 puede estar configurado para reflejar una parte de la luz de vuelta al  
55 multiplexor 220 que tiene una anchura de banda más estrecha que el intervalo FSR. Por ejemplo, el espejo 260 puede estar recubierto con un recubrimiento de paso de banda que casa con una banda de longitud de onda deseada. De este modo, el reflector de luz 230 puede promover transmisiones de luz en una banda de longitud de onda, tal como la banda C (por ejemplo desde aproximadamente 1529 a aproximadamente 1562 nm), y suprimir transmisiones para otras bandas de longitud de onda.

En una realización alternativa, el reflector de luz 230 puede estar acoplado al multiplexor 220 y a la segunda fibra 240 a través de un acoplador (no mostrado). El acoplador puede estar configurado para reenviar una parte de la luz combinada procedente del multiplexor 220 al reflector de luz 230 y reenviar de vuelta una luz reflejada procedente del reflector de luz 230 al multiplexor 220. El acoplador puede permitir también la transmisión de una parte de la luz procedente del multiplexor 220 en sentido descendente por la segunda fibra 240. De acuerdo con ello, el espejo 260 en el reflector de luz 230 puede ser un espejo altamente reflectante en vez de un espejo parcialmente reflectante.

Adicionalmente, el reflector de luz 230 puede comprender un rotador 262 acoplado al espejo 260, que puede rotar luz en el reflector 230 para promover una polarización única en los transmisores láser 210 y por lo tanto mejorar la operación de láser de modo único. El rotador 262 puede ser un rotador de Faraday configurado de forma similar al rotador 214, y el reflector de luz puede ser denominado espejo de rotador de Faraday. Así, el rotador 262 puede rotar una luz entrante procedente del multiplexor 220 y transmitir la luz rotada al espejo de reflejo parcial 260. El rotador 262 puede también rotar la luz reflejada procedente del espejo de reflejo parcial 260 y transmitir la luz rotada al multiplexor 220. De este modo, una luz que pasa dos veces a través del rotador 262, tal como una luz reflejada en un camino de ida y vuelta, puede ser rotada en aproximadamente 90 grados.

En el transmisor WDM 200, el estado de polarización de la luz reflejada puede ser rotado en aproximadamente 270 grados por el reflector de luz 230, en que aproximadamente 90 grados son introducidos por el paso doble por el rotador 262 y aproximadamente 180 grados son introducidos por la reflexión en espejo. Combinar el reflector de luz 230 y el rotador 214 en el transmisor láser 210 a lo largo del camino de ida y vuelta de una luz emitida por el láser 212 puede rotar la luz reflejada de vuelta hacia el láser 212 en alrededor de 360 grados. De este modo, la luz reflejada puede estar sustancialmente alineada con la luz dentro de la cavidad de láser. La combinación del rotador 214 y el reflector 230 puede usarse para alinear sustancialmente la luz reflejada en polarización con la de la luz dentro de la cavidad de láser independientemente de birrefringencia aleatoria o arbitraria, que puede existir en las fibras entre el láser y los componentes del reflector. Así, puede eliminarse la dependencia, respecto a la polarización, de la luz reflejada y puede mejorarse la estabilidad de la operación de modo único. Adicionalmente, como el multiplexor 220 está situado entre el rotador 214 y el rotador 262, cambios indeseados en la polarización de la luz, que pueden ser introducidos por los componentes del multiplexor 220, pueden ser sustancialmente realineados en el láser 212 o aislados del láser.

En realizaciones alternativas, el transmisor WDM 200 puede estar configurado sobre la base de cualquier configuración que use láseres o fuentes de luz con autobombeo, por ejemplo diodos FPLD y/o amplificadores RSOA. Por ejemplo, el transmisor WDM 200 puede estar configurado de forma similar a cualquiera de los sistemas de transmisión propuestos descritos anteriormente para redes PON WDM. De acuerdo con ello, el transmisor WDM 200 puede comprender el láser con autobombeo y un reflector que proporciona la luz de autobombeo al láser. El transmisor WDM 200 puede comprender también el detector 216 y el calentador/refrigerador 218, que pueden estar acoplados al láser con autobombeo y ser usados para estabilización y bloqueo de longitud de onda.

En una realización, puede usarse un modelo analítico para evaluar el desplazamiento de longitud de onda entre la salida de láser y el máximo de transmisión sobre la base de la fotocorriente detectada en el transmisor WDM 200. El modelo analítico puede describir las interacciones de luz entre los componentes de transmisor y reflector de láser y correlacionar la fotocorriente detectada con el desplazamiento de longitud de onda. Las interacciones de luz pueden comprender la combinación del camino de luz entre los componentes de transmisor y reflector de láser en una primera cavidad y una segunda cavidad adyacente a la primera cavidad. La primera cavidad puede ser la cavidad del láser 212 que está determinada por el camino de luz entre la faceta de reflexión trasera 252 y la faceta de reflexión delantera 254. La segunda cavidad puede ser una cavidad externa que está determinada por el camino de luz entre la faceta de reflexión delantera 254 del láser 212 y el espejo 260 del reflector de luz 230.

El modelo analítico puede comprender una pluralidad de parámetros ópticos correspondientes a los componentes a lo largo del camino de luz. Por ejemplo, la reflectancia de la faceta de reflexión trasera 252 puede estar designada por  $R_b$ , la reflectancia de la faceta de reflexión delantera 254 puede estar designada por  $R_f$ , y la reflectancia del espejo 260 puede estar designada por  $R_{ext}$ . La reflectancia del espejo 260  $R_{ext}$  puede incluir también cualquier pérdida de acoplamiento entre la primera cavidad y la segunda cavidad y/o cualquier otra pérdida de componente en la segunda cavidad, tal como desde el multiplexor 220. La reflectancia del espejo 260  $R_{ext}$  puede depender de la frecuencia o longitud de onda de la luz. Por ejemplo, al aumentar el desplazamiento de longitud de onda entre la longitud de onda de salida del láser 212 y el máximo de transmisión, las pérdidas de transmisión en el multiplexor 220 pueden aumentar y en consecuencia  $R_{ext}$  puede disminuir.

El campo eléctrico de la luz emitida por el chip de láser 250 en la primera cavidad que incide sobre la faceta de reflexión delantera 254 puede estar representada por  $E_i e^{j\omega t}$ , donde  $E_i$  es la amplitud de campo y  $\omega$  es la frecuencia angular. Además, el campo eléctrico de la luz reflejada de vuelta desde la faceta de reflexión delantera 254 hacia la primera cavidad (o cavidad de chip) puede ser representado como

$$E_r e^{j\alpha} = \left\{ \sqrt{R_f} + (1 - R_f) \sqrt{R_{ext}} e^{-j\omega\tau_{ext}} + (1 - R_f) R_{ext} \sqrt{R_f} e^{-2j\omega\tau_{ext}} + \dots \right\} E_i e^{j\alpha}, \quad (1)$$

donde  $\tau_{ext}$  es el tiempo de retardo de ida y vuelta en la segunda cavidad. Por lo tanto, la reflectancia efectiva  $r_{eff}$  de la luz reflejada de vuelta hacia la primera cavidad (por ejemplo  $E_r/E_i$ ) puede ser representada como

$$r_{eff} = \sqrt{R_f} \left( 1 + (1 - R_f) \sqrt{\frac{R_{ext}}{R_f}} e^{-j\omega\tau_{ext}} \right), \quad (2)$$

donde pueden despreciarse múltiples reflexiones en la segunda cavidad. Adicionalmente, la condición de oscilación de la luz en la cavidad puede estar dada por

$$\sqrt{R_b} e^{(g - \alpha_m)l} e^{-j\omega\tau} r_{eff} = 1, \quad (3)$$

donde  $l$  es la longitud del chip de láser 250,  $g$  es la ganancia del chip de láser 250,  $\alpha_m$  es el coeficiente de pérdida del chip de láser 250, y  $\tau$  es el tiempo de retardo de ida y vuelta en la primera cavidad. La ganancia umbral  $g_{th}$  y la frecuencia de oscilación  $\omega$  pueden ser obtenidas igualando la magnitud y el argumento de la ganancia de ida y vuelta en la ecuación (3) a la unidad, tal como

$$g_{th} = \alpha_m - \frac{1}{l} \ln \left( \sqrt{R_b} |r_{eff}| \right), \quad (4a)$$

$$\omega = \omega_k + \frac{1}{\tau} \text{Arg}(r_{eff}), \quad (4b)$$

donde  $\omega_k$  es la  $k$ -ésima frecuencia de modo longitudinal en el chip de láser 250.

En una realización, la segunda cavidad puede tener una longitud desde aproximadamente un metro a aproximadamente 10 metros (m), y por lo tanto la frecuencia de luz en la segunda cavidad puede ser igual a aproximadamente unos pocos megahercios (MHz). Típicamente, los modos de cavidad externos en la segunda cavidad pueden estar estrechamente espaciados en comparación con la anchura de línea de modo en el chip de láser 250. Puede producirse una realimentación o reflexión de luz máxima desde la segunda cavidad a la primera cavidad cuando la fase está alineada o casada entre el campo eléctrico en la primera cavidad y el campo reflejado procedente de la segunda cavidad. En la ecuación (2), la fase casada puede expresarse como  $\Phi = \omega\tau_{ext} = 2M\pi$ , donde  $M$  es un entero. Así, la reflectancia efectiva  $r_{eff}$  puede ser representada como

$$r_{eff} = \sqrt{R_f} \left( 1 + (1 - R_f) \sqrt{\frac{R_{ext}}{R_f}} \right), \quad (5)$$

lo que puede llevar al menor valor de ganancia umbral. La corriente umbral del láser 212 puede suponerse proporcional a la ganancia umbral, tal como

$$I_{th}(\lambda) \propto \alpha_m l - \ln \left( \sqrt{R_b} |r_{eff}(\lambda)| \right), \quad (6)$$

donde la notación en la ecuación (6) está cambiada desde la frecuencia ( $\omega$ ) a la longitud de onda ( $\lambda$ ) para corresponder al parámetro de longitud de onda que puede usarse experimentalmente. La potencia de salida de la luz de vuelta procedente de la faceta de reflexión trasera 252 puede expresarse como

$$P(\lambda) = \eta(I_b - I_{th}(\lambda)), \quad (7)$$

donde  $I_b$  es la intensidad de corriente de polarización de láser y  $\eta$  es la eficiencia cuántica del chip de láser 250.

Las ecuaciones (5), (6) y (7) muestran que la cantidad de realimentación o reflexión de luz hacia la primera cavidad contribuye a la reflectancia efectiva  $r_{eff}$ , es inversamente proporcional a la corriente umbral  $I_{th}$ , y es proporcional a la potencia de salida  $P$  del láser 212. En la ecuación (5),  $R_{ext}$  y por lo tanto  $r_{eff}$  pueden disminuir al aumentar el desplazamiento de longitud de onda entre la longitud de onda de salida del láser 212 y el máximo de transmisión del multiplexor 220. Consecuentemente, el desplazamiento de longitud de onda puede reducir la potencia de salida detectada del láser 212, de acuerdo con la ecuación (7). Como la luz de vuelta del láser 212 es detectada y

convertida en una fotocorriente por el detector 216, el desplazamiento de longitud de onda puede reducir también la fotocorriente detectada. Las ecuaciones (5), (6) y (7) pueden ser usadas para correlacionar el desplazamiento de longitud de onda y la fotocorriente detectada.

5 La figura 3 ilustra una realización de una fotocorriente 300 detectada para una luz de vuelta procedente de un diodo FPLD configurado de forma similar al láser 212. El diodo FPLD está acoplado a un filtro de paso de banda óptico sintonizable que es usado en vez de un multiplexor o una matriz AWG para producir el desplazamiento de longitud de onda entre la salida del diodo FPLD y el máximo de longitud de onda del filtro. El diodo FPLD tiene una intensidad de corriente umbral igual a aproximadamente nueve miliamperios (mA) y está polarizado a aproximadamente 35 mA. El filtro sintonizable tiene un espectro de forma gaussiana y una anchura de banda igual a aproximadamente 0,22 nm para alrededor de tres dB. La fotocorriente 300 detectada es obtenida usando un detector similar al detector 216. La fotocorriente 300 detectada está representada por una curva que comprende una pluralidad de valores de fotocorriente obtenidos experimentalmente variando el máximo de longitud de onda del filtro. El máximo de longitud de onda del filtro es variado desde aproximadamente 1540 nm a aproximadamente 1541 nm.

15 El valor más alto de fotocorriente se obtiene para un valor máximo de longitud de onda del filtro igual a aproximadamente 1540,48 nm, por ejemplo alrededor del centro del intervalo de valores máximos de longitud de onda del filtro. El valor de fotocorriente disminuye a ambos lados del valor más alto de fotocorriente y es sustancialmente constante en los dos bordes del intervalo de máximos de longitud de onda del filtro. El valor más alto de fotocorriente es igual a aproximadamente 7,4 unidades de medida, que es una unidad arbitraria (u. a.), y el valor constante de fotocorriente en los bordes del intervalo de máximos de longitud de onda del filtro es igual a 6,9 u.  
20 a. El aumento en el valor de fotocorriente detectado en torno al centro del intervalo de longitud de onda puede ser atribuido a un desplazamiento despreciable de longitud de onda (por ejemplo a aproximadamente 1540,48 nm) entre la salida de láser y el máximo de longitud de onda del filtro. La disminución en el valor de fotocorriente detectado con la distancia al centro del intervalo puede ser atribuida al aumento en las pérdidas en la cavidad debido al aumento en el desplazamiento de longitud de onda entre la salida de láser y el máximo de longitud de onda del filtro. Un cambio despreciable en el valor de fotocorriente detectado en los bordes del intervalo puede resultar de alcanzar un umbral en el que una cantidad despreciable de luz es reflejada de vuelta y no se detecta un cambio sustancial en la luz de vuelta.

La figura 4 ilustra una realización de un espectro de transmisión de filtro 400 que corresponde a un filtro sintonizable usado en conjunción con el diodo FPLD para obtener la fotocorriente 300 detectada. En la figura 4, el espectro de transmisión de filtro 400 está representado por una curva que comprende una pluralidad de valores de transmisión a lo largo del mismo intervalo de longitud de onda mostrado en la figura 3. El valor más alto de transmisión en el espectro de transmisión de filtro 400 se produce para una longitud de onda igual a aproximadamente la longitud de onda del valor más alto de la fotocorriente 300 detectada, es decir para aproximadamente 1540,48 nm. La alineación entre las longitudes de onda de la fotocorriente más alta detectada y la transmisión más alta de filtro indica un emparejamiento de longitud de onda entre la salida de láser y el máximo de transmisión del filtro, en que el desplazamiento de longitud de onda es igual a aproximadamente cero o es mínimo. Además, como el valor de transmisión en el espectro de transmisión de filtro 400 disminuye con la distancia a la condición de desplazamiento mínimo de longitud de onda, por ejemplo con la distancia a aproximadamente 1540,48, el valor de fotocorriente en la fotocorriente 300 detectada disminuye. Como el desplazamiento mínimo de longitud de onda corresponde a la fotocorriente máxima detectada en el patrón de fotocorriente frente a longitud de onda, el patrón puede usarse para estabilizar y bloquear la longitud de onda de láser en el máximo de longitud de onda del filtro.

El desplazamiento de longitud de onda que corresponde a los datos en la figura 3 y la figura 4 se obtiene cambiando el máximo de longitud de onda del filtro de un filtro sintonizable acoplado a un diodo FPLD. En un sistema de transmisión WDM, tal como el transmisor WDM 200, el máximo de transmisión del filtro puede no ser cambiado pero el desplazamiento de longitud de onda puede ser provocado por sintonización de la salida de láser usando un controlador de temperatura, como se ha descrito anteriormente. Así, la fotocorriente detectada para la luz de vuelta del láser puede ser obtenida y representada gráficamente frente a un intervalo de longitudes de onda o alternativamente frente a un intervalo correspondiente de temperatura de láser. Por ejemplo, el espectro de ganancia del láser y su longitud de onda de resonancia (por ejemplo longitud de onda de salida) pueden desplazarse a longitudes de onda más largas cuando aumenta la temperatura del láser. La longitud de onda de resonancia del láser puede ser determinada por el índice de refracción del chip de láser que puede variar con cambios de temperatura. El espectro de ganancia del láser puede depender de la temperatura del láser dado que cambiar la temperatura también cambia el hueco de banda que determina el espectro de ganancia. En una realización, la longitud de onda de resonancia que corresponde a un modo de cavidad en el láser puede ser desplazada a una longitud de onda más larga aumentando la temperatura de una manera lineal. Por ejemplo, el cambio en longitud de onda debido a la variación de temperatura puede expresarse mediante la relación

$$\lambda = \lambda_0 + \xi \times (T - T_0),$$

donde  $T_0$  es la temperatura de referencia inicial,  $\lambda_0$  es la longitud de onda de modo para  $T_0$ , y  $\xi$  es la pendiente de la relación lineal entre longitud de onda y temperatura. Por ejemplo, la pendiente  $\xi$  puede ser igual a aproximadamente

0.1 nm/°C para láseres de borde con longitudes de onda en torno a 1550 nm.

Cambiar la temperatura de láser puede cambiar también la intensidad de corriente umbral del láser y consecuentemente su potencia de salida. Por lo tanto, la forma esperada de la fotocorriente detectada frente a la temperatura puede ser ligeramente diferente de la forma de la fotocorriente 300 detectada. Por ejemplo, la fotocorriente detectada frente a la temperatura puede no ser simétrica en torno al punto de temperatura en el que puede estar situado el valor máximo de fotocorriente correspondiente al desplazamiento mínimo de longitud de onda. Los valores de fotocorriente para el lado de temperaturas más altas respecto al valor máximo de fotocorriente pueden ser menores que los valores de fotocorriente detectados para el lado de temperaturas más bajas. Como el desplazamiento mínimo de longitud de onda puede seguir estando alineado con la fotocorriente máxima detectada en el patrón de fotocorriente frente a temperatura, el patrón puede ser usado para estabilizar y bloquear la longitud de onda de láser en el máximo de transmisión del filtro de una manera similar al patrón de fotocorriente frente a longitud de onda anterior.

Típicamente, otros aspectos del sistema pueden contribuir a pérdidas de luz a lo largo del camino entre el transmisor de láser y el reflector, tales como cualquier flexión en la fibra y/o envejecimiento de láser que puede degradar la ganancia de láser. Tales parámetros pueden reducir el nivel de potencia de salida detectada y por lo tanto de fotocorriente detectada. Sin embargo, estos parámetros pueden ser independientes de la longitud de onda en el intervalo de longitudes de onda de salida de láser (por ejemplo en torno a 1550 nm) y por lo tanto pueden no afectar a la estabilización y bloqueo de longitud de onda sobre la base de la correlación entre fotocorriente y desplazamiento de longitud de onda.

La figura 5 ilustra una realización de un espectro de salida de láser 500, para un láser FP sin autobombeo ni bloqueo de longitud de onda. El espectro de salida de láser 500 puede comprender una pluralidad de máximos a una pluralidad de longitudes de onda, que pueden corresponder a una pluralidad de modos (modos longitudinales) en la cavidad. Los modos longitudinales pueden estar determinados por la longitud de cavidad y por el índice de refracción del bloque de ganancia de semiconductor en el láser. Los modos longitudinales y las longitudes de onda correspondientes pueden solaparse con el intervalo de longitud de onda del bloque de ganancia de semiconductor. El número de modos longitudinales que pueden estar soportados puede estar limitado por la anchura del espectro de ganancia. Por ejemplo, para cada modo, la longitud de onda puede ser obtenida de acuerdo con

$$\lambda = 2nl / m,$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $n$  es el índice de refracción del bloque de ganancia de semiconductor,  $l$  es la longitud de cavidad, y  $m$  es el número de modo. El espaciado entre los modos puede estar determinado por la longitud de la cavidad. Por ejemplo, el espaciado de modo  $\Delta v$  puede ser obtenido de acuerdo con

$$\Delta v = c / 2nl,$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz.

La figura 6 ilustra una realización de un espectro de salida de láser 600 con autobombeo para un diodo FPLD. El diodo FPLD tiene autobombeo a una longitud de onda seleccionada (por ejemplo 1540,48 nm) usando un reflector. El diodo FPLD está también acoplado a un filtro. Sin embargo, el filtro tiene un máximo de transmisión que está desplazado en alrededor de 0,5 nm respecto a la longitud de onda seleccionada y por lo tanto puede no estar bloqueado en longitud de onda. De acuerdo con ello, el espectro de salida de láser 600 con autobombeo puede comprender una pluralidad de máximos a una pluralidad de longitudes de onda, lo que puede ser similar al espectro de salida de láser 500. Como la longitud de onda de salida no casa con el máximo de transmisión del filtro, el láser puede seguir teniendo operación multimodo incluso cuando se usa una única longitud de onda de bombeo.

La figura 7 ilustra una realización de un espectro de salida de láser 700 con autobombeo y bloqueo de longitud de onda, que corresponde a un diodo FPLD. El diodo FPLD tiene autobombeo a una longitud de onda seleccionada (por ejemplo 1540,48 nm) usando un reflector. Adicionalmente, el diodo FPLD está bloqueado en longitud de onda usando un filtro, en que el máximo de transmisión del filtro está sustancialmente alineado con la longitud de onda de autobombeo seleccionada. De acuerdo con ello, el espectro de salida de láser 600 con autobombeo y bloqueo de longitud de onda puede comprender un único máximo "pronunciado" para la longitud de onda seleccionada que corresponde al modo excitado en la cavidad. El espectro de salida de láser 600 con autobombeo y bloqueo de longitud de onda puede comprender también una pluralidad de máximos relativamente suprimidos para una pluralidad de longitudes de onda correspondientes a otros modos. Como la longitud de onda de salida (longitud de onda de bombeo) está casada con el máximo de transmisión del filtro, el láser puede tener operación de modo único y transmitir luz a la longitud de onda única seleccionada. La tasa de supresión de modo del láser para los restantes modos puede ser mayor que aproximadamente 30 dB.

La figura 8 ilustra una realización de un método de estabilización y bloqueo de longitud de onda 800, que puede usarse para estabilizar y bloquear la longitud de onda de salida de un láser, tal como un diodo FPLD o un

amplificador RSOA. El láser puede tener autobombeo, por ejemplo usando un espejo a lo largo del camino de la luz transmitida, y la salida de láser puede ser filtrada, por ejemplo usando un filtro WDM, una matriz AWG, o un multiplexor. El máximo de transmisión del filtro puede ser alineado con la longitud de onda de salida seleccionada del láser por sintonización térmica del láser, por ejemplo usando un calentador/refrigerador. El método de estabilización y bloqueo de longitud de onda 800 puede ser implementado mediante al menos los componentes anteriormente descritos, al menos algunos de los cuales pueden operar en conjunción con uno o varios circuitos integrados para aplicaciones específicas (ASIC, del inglés "Application Specific Integrated Circuit") y/o cualquier componente de red de propósito general, tal como un ordenador o componente de red con potencia de procesamiento, recursos de memoria y capacidad de tráfico de red suficientes para manejar la carga de trabajo necesaria asignada a él. Por ejemplo, el método de estabilización y bloqueo de longitud de onda 800 puede usarse en un sistema de transmisión WDM, tal como el transmisor WDM 200.

El método 800 puede empezar en 810, donde el láser puede ser polarizado para transmitir luz. Por ejemplo, el láser puede ser polarizado con una intensidad de corriente que excede la intensidad de corriente umbral del chip de láser. En el bloque 820, la luz transmitida puede ser filtrada para una longitud de onda seleccionada, que puede corresponder a uno de los modos excitados en la cavidad de láser. Por ejemplo, el láser puede estar acoplado a un puerto AWG que tiene un máximo de transmisión alineado con la longitud de onda seleccionada. En el bloque 830, la luz transmitida puede ser reflejada de vuelta hacia la cavidad de láser para proporcionar la luz de bombeo (realimentación). Por ejemplo, el láser puede estar acoplado a un reflector, por ejemplo un espejo, que puede reflejar al menos una parte de la luz de vuelta a la cavidad de láser.

A continuación, en el bloque 840, la potencia de luz de vuelta del láser puede ser detectada y convertida en fotocorriente. Por ejemplo, la luz de vuelta puede ser detectada desde la faceta de reflexión trasera del láser usando un fotodetector acoplado al láser. En el bloque 850, el método 800 puede determinar si la longitud de onda de salida del láser está bloqueada sobre la base de la fotocorriente detectada. Por ejemplo, la longitud de onda de salida puede estar bloqueada en el máximo de transmisión del filtro si la fotocorriente detectada ha alcanzado un valor máximo a lo largo del espectro de transmisión de filtro. Si se cumple la condición en el bloque 850, por ejemplo cuando la longitud de onda de salida del láser está bloqueada, el método 800 puede terminar. En otro caso, el método 800 puede pasar al bloque 860, en el que la longitud de onda de salida puede ser sintonizada por control térmico del láser. Por ejemplo, el láser puede ser calentado/refrigerado usando un calentador/refrigerador acoplado al láser para aumentar o reducir la longitud de onda de salida del láser y reducir así el desplazamiento de longitud de onda entre la longitud de onda de salida y el máximo de transmisión del filtro. El método 800 puede volver entonces al bloque 840 para detectar de nuevo la fotocorriente de la luz de vuelta. Los procesos en los bloques 840 a 860 pueden ser repetidos hasta que el desplazamiento de longitud de onda entre la longitud de onda de salida y el máximo de transmisión del filtro es igual a aproximadamente cero y la longitud de onda del láser está estabilizada y bloqueada. Así, una fotocorriente detectada de una luz de vuelta procedente de un láser puede ser correlacionada con un desplazamiento de longitud de onda entre una longitud de onda del láser y un máximo de transmisión del filtro, y la longitud de onda del láser puede ser sintonizada térmicamente para maximizar sustancialmente la fotocorriente detectada y minimizar sustancialmente el desplazamiento de longitud de onda.

Al menos una realización ha sido divulgada, y están dentro del alcance de la divulgación variaciones, combinaciones y/o modificaciones de la o las realizaciones y/o características de la o las realizaciones hechas por una persona con experiencia ordinaria en la técnica. Realizaciones alternativas resultantes de combinar, integrar, y/u omitir características de la o las realizaciones también están dentro del alcance de la divulgación. Cuando se han indicado explícitamente limitaciones o intervalos numéricos, debe entenderse que tales limitaciones o intervalos expresados incluyen limitaciones o intervalos iterativos de igual magnitud que caen dentro de las limitaciones o intervalos expresamente indicados (por ejemplo, desde aproximadamente 1 a aproximadamente 10 incluye 2, 3, 4, etc.; mayor que 0,10 incluye 0,11, 0,12, 0,13, etc.). Por ejemplo, siempre que se divulga un intervalo numérico con un límite inferior,  $R_l$ , y un límite superior,  $R_u$ , cualquier número que cae dentro del intervalo es divulgado específicamente. En particular, los siguientes números dentro del intervalo son divulgados específicamente:  $R = R_l + k * (R_u - R_l)$ , donde  $k$  es una variable que varía desde 1 por ciento a 100 por ciento con un incremento de 1 por ciento, es decir,  $k$  es 1 por ciento, 2 por ciento, 3 por ciento, 4 por ciento, 5 por ciento, ..., 50 por ciento, 51 por ciento, 52 por ciento, ..., 95 por ciento, 96 por ciento, 97 por ciento, 98 por ciento, 99 por ciento, o 100 por ciento. Además, cualquier intervalo numérico definido por dos números  $R$  como los anteriormente definidos se divulgan también específicamente. El uso del término "opcionalmente" respecto a cualquier elemento de una reivindicación significa que el elemento es necesario, o alternativamente, que el elemento no es necesario, estando ambas alternativas dentro del alcance de la reivindicación. Debe entenderse que el uso de términos más amplios, tales como comprende, incluye y tiene, proporciona soporte para términos más estrechos tales como consta de, consta esencialmente de, y está compuesto sustancialmente por. De acuerdo con ello, el alcance de la protección no está limitado por la descripción anteriormente expuesta sino que está definido por las reivindicaciones que siguen, incluyendo ese alcance todos los equivalentes de la materia de las reivindicaciones. Todas y cada una de las reivindicaciones se incorporan como divulgación adicional en la memoria descriptiva y las reivindicaciones son una realización o realizaciones de la presente divulgación. La discusión de una referencia en la divulgación no es una admisión de que constituye técnica anterior, específicamente para cualquier referencia que tenga una fecha de publicación posterior a la fecha de prioridad de esta solicitud. La divulgación de todas las patentes, solicitudes de patente, y publicaciones citadas en la

divulgación es incorporada aquí por referencia, en la medida en que proporcionan detalles a modo de ejemplo, detalles de procedimiento y otros que suplementan la divulgación.

5 Aunque se han proporcionado varias realizaciones en la presente divulgación, debe entenderse que los sistemas y métodos divulgados podrían estar realizados de muchas otras formas específicas sin apartarse del espíritu o alcance de la presente divulgación. Los ejemplos presentes deben considerarse ilustrativos y no restrictivos, y se pretende que no haya una limitación a los detalles dados aquí. Por ejemplo, los diversos elementos o componentes pueden ser combinados o integrados en otro sistema o ciertas características pueden ser omitidas, o no implementadas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo que comprende:

al menos un procesador;

5 un láser (212);

un reflector de luz (230) acoplado al láser (212) y configurado para reflejar la luz de salida procedente del láser (212) de vuelta hacia el láser (212) para proporcionar luz de bombeo para el láser (212);

10 un multiplexor (220) acoplado al láser (212) a través de una fibra (215), en que el multiplexor (220) está dispuesto entre el láser (212) y el reflector de luz (230), y está configurado para transmitir luz de salida procedente del láser (212) a aproximadamente el máximo de transmisión del multiplexor (220);

un fotodetector (216) acoplado al láser (212) y al por lo menos un procesador y configurado para detectar una fotocorriente de una luz de vuelta procedente del láser (212); y

un controlador de temperatura (218) acoplado al láser (212);

en que el al menos un procesador está configurado para:

15 recibir una fotocorriente de la luz de vuelta procedente del láser (212);

determinar un desplazamiento de longitud de onda entre una longitud de onda de la luz de salida procedente del láser (212) y el máximo de transmisión del multiplexor (220); y

20 ajustar una temperatura del láser (212) para reducir sustancialmente el desplazamiento de longitud de onda y alinear la longitud de onda de la luz de salida procedente del láser (212) con el máximo de transmisión del multiplexor (220).

2. El dispositivo según la reivindicación 1, en que el reflector de luz (230) es un espejo.

3. El dispositivo según la reivindicación 2, en que el multiplexor (220) y el espejo soportan un modo único en el láser (212) correspondiente a la longitud de onda de la luz de salida procedente del láser (212) y suprimen sustancialmente otros modos en el láser (212).

25 4. El dispositivo según la reivindicación 3, en que la longitud de onda de la luz de salida procedente del láser (212) correspondiente al modo único es desplazada cambiando la temperatura del láser (212).

5. El dispositivo según la reivindicación 4, en que el láser (212) está adaptado a luz de salida que tiene una longitud de onda que es linealmente proporcional a la temperatura del láser (212).

6. Un método que comprende:

30 correlacionar una fotocorriente detectada de una luz de vuelta procedente de un láser (212) con un desplazamiento de longitud de onda entre una longitud de onda de una luz de salida y un máximo de transmisión de un multiplexor (220) acoplado al láser (212) a través de una fibra (215) y dispuesto entre el láser (212) y un reflector de luz (230) acoplado al láser (212) y configurado para reflejar la luz de salida procedente del láser (212) de vuelta al láser (212) para proporcionar luz de bombeo para el láser (212); y

35 sintonizar térmicamente la longitud de onda del láser (212) para maximizar sustancialmente la fotocorriente detectada y minimizar sustancialmente el desplazamiento de longitud de onda ajustando una temperatura del láser (212).

40 7. El método según la reivindicación 6, en que una potencia detectada de la luz  $P$  es inversamente proporcional a una intensidad de corriente umbral  $I_{th}$  del láser de acuerdo con  $P(\lambda) = \eta(I_b - I_{th}(\lambda))$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda del láser,  $I_b$  es una intensidad de corriente de polarización del láser (212), y  $\eta$  es una eficiencia cuántica del láser (212).

8. El método según la reivindicación 7, en que la intensidad de corriente umbral  $I_{th}$  es inversamente proporcional a una reflectancia efectiva  $r_{eff}$  de luz de realimentación del láser (212) de acuerdo con

$$I_{th}(\lambda) \propto \alpha_m l - \ln\left(\sqrt{R_b} r_{eff}(\lambda)\right),$$

donde  $\alpha_m$  es un coeficiente de pérdida del láser,  $l$  es una longitud de una cavidad en el láser (212), y  $R_b$  es una

reflectancia de una faceta de reflexión trasera del láser (212).

9. El método según la reivindicación 8, en que la reflectancia efectiva  $r_{eff}$  es proporcional a una reflectancia de una faceta de reflexión delantera del láser  $R_f$  y una reflectancia de la luz de realimentación  $R_{ext}$  de acuerdo con

$$r_{eff} = \sqrt{R_f} \left( 1 + (1 - R_f) \sqrt{\frac{R_{ext}}{R_f}} \right).$$

- 5 10. Un terminal de línea óptica, OLT, o un terminal de red óptica, ONT, que comprende el dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5.

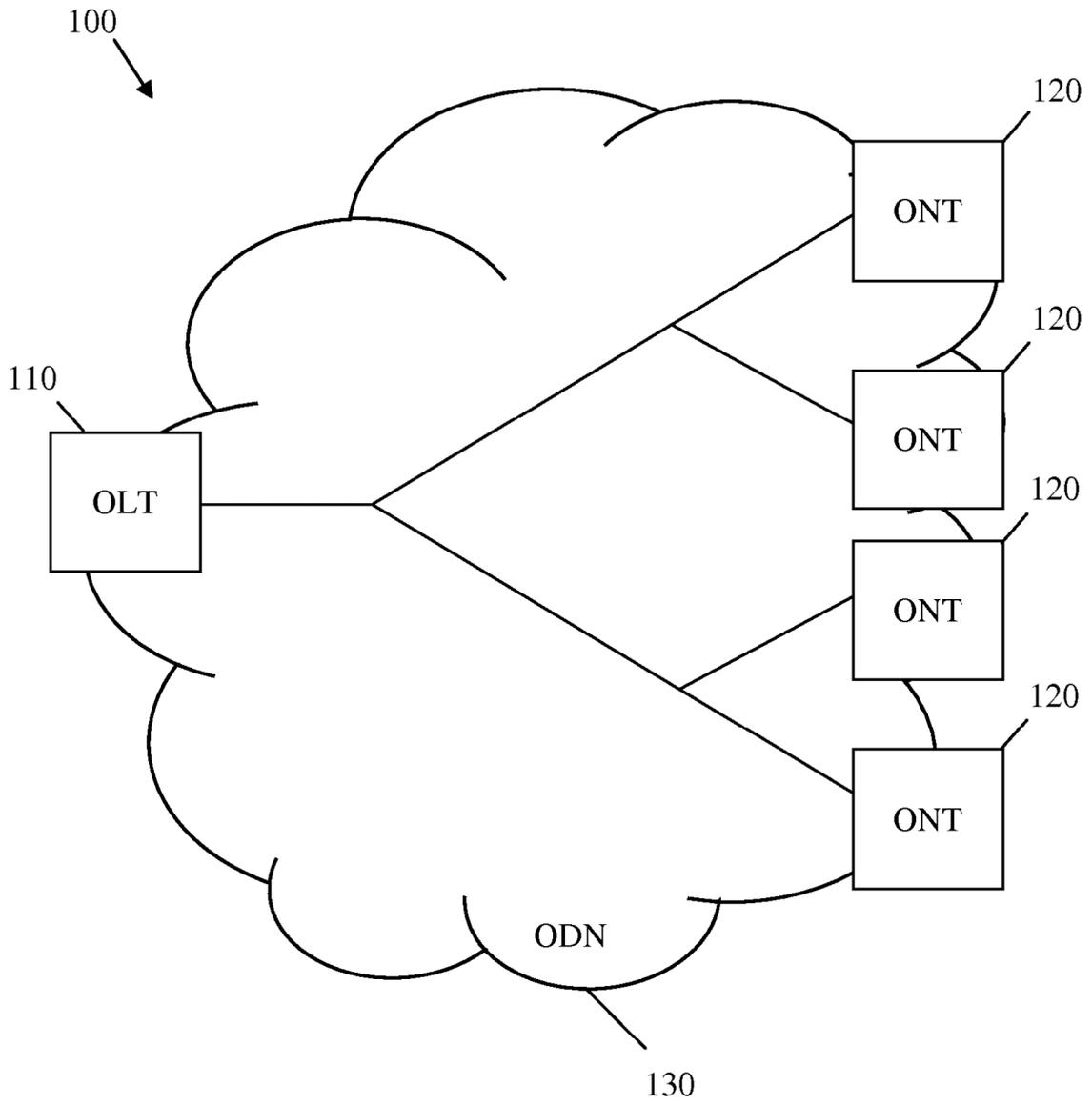


FIG. 1

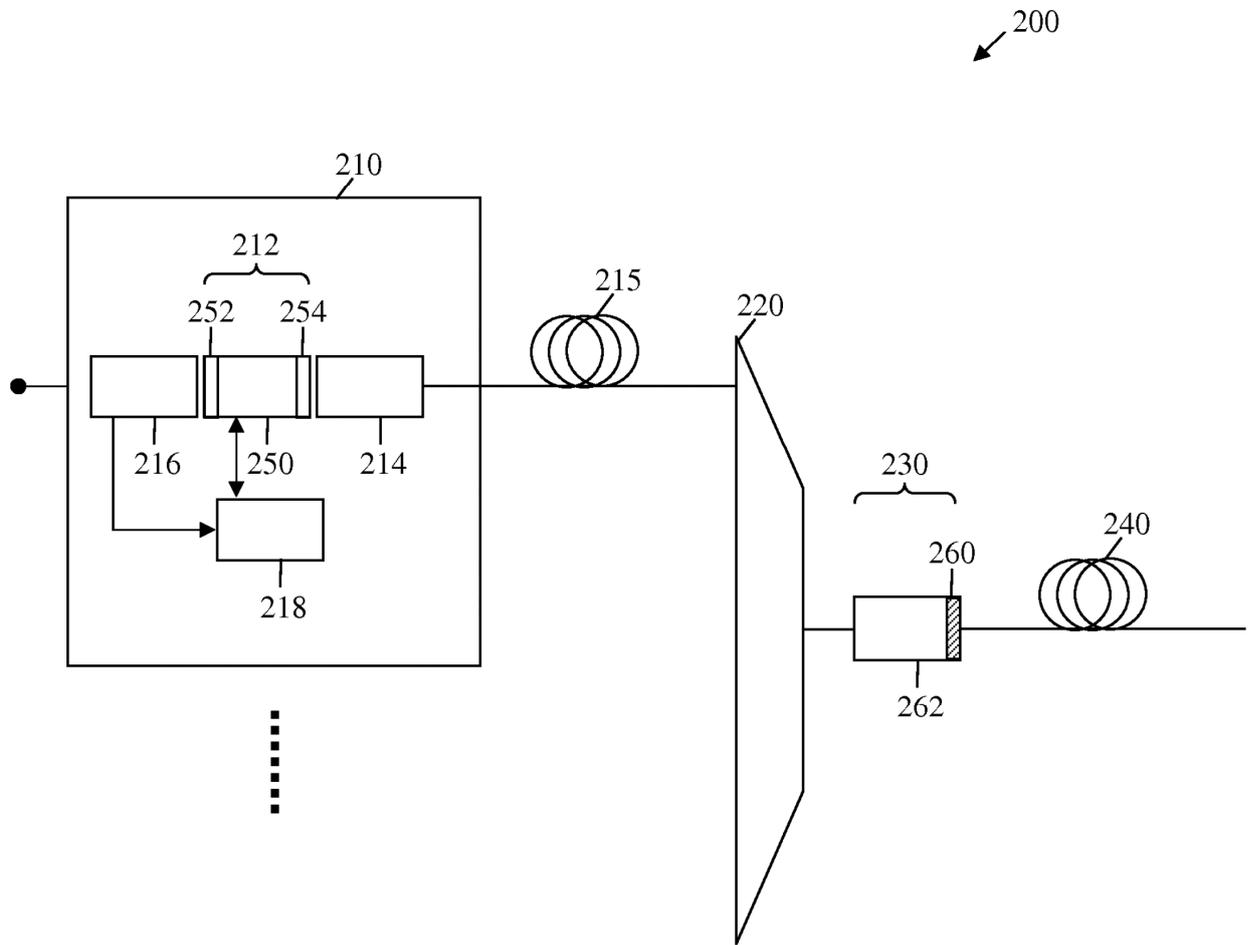


FIG. 2

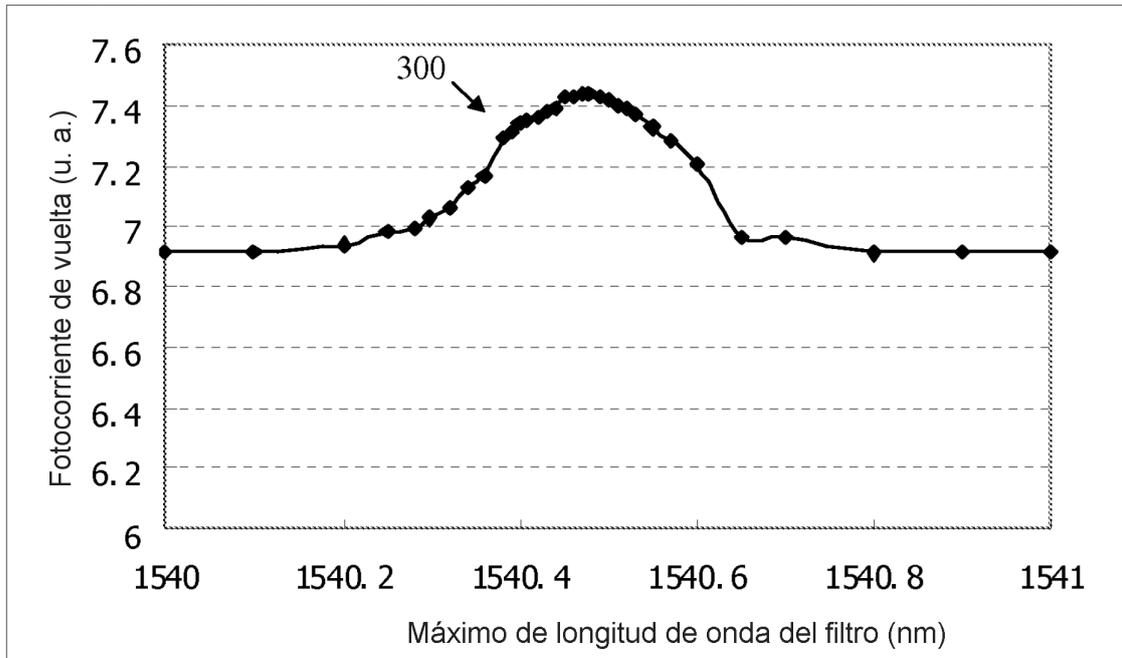


FIG. 3

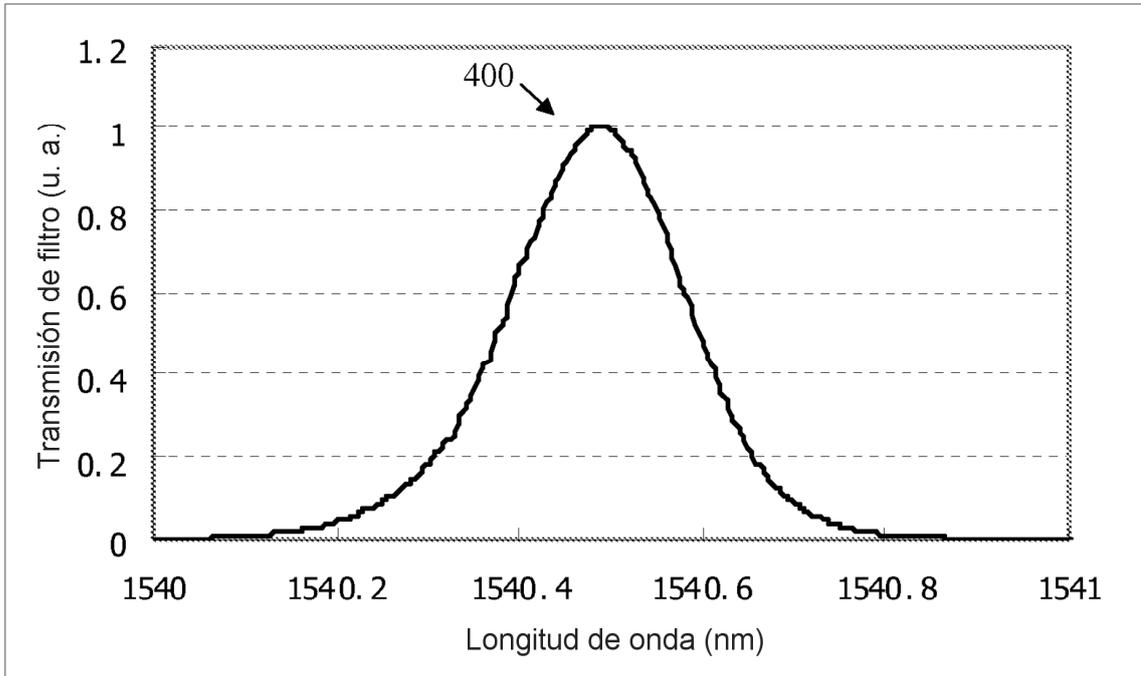


FIG. 4

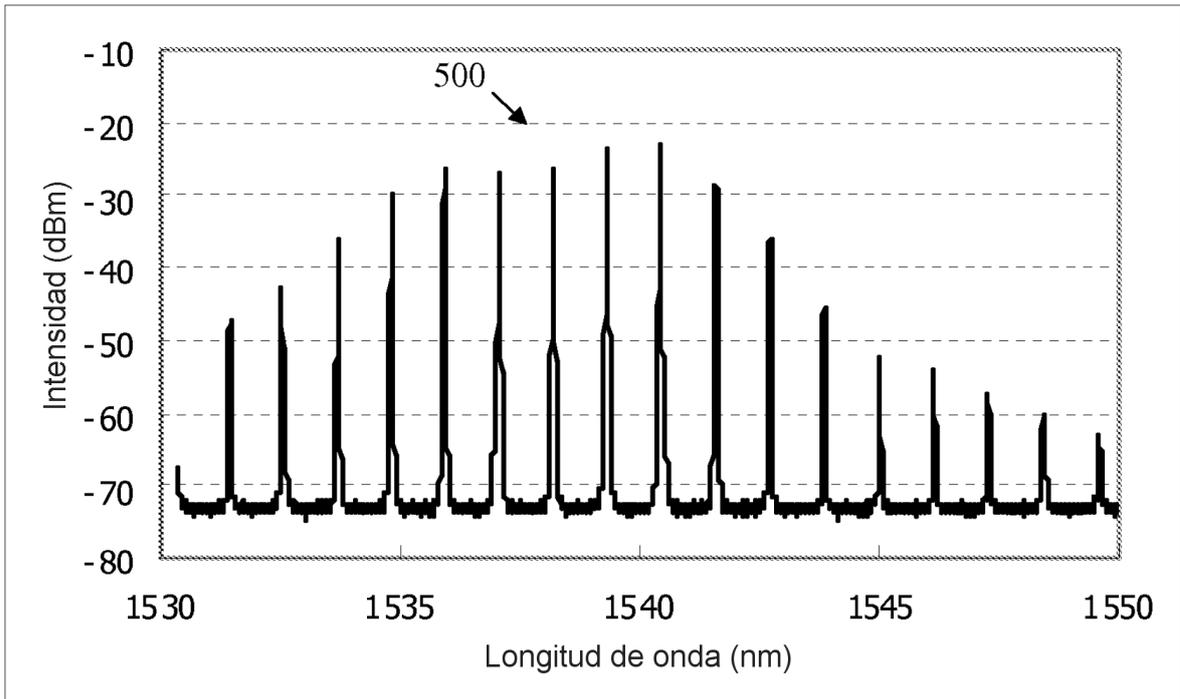


FIG. 5

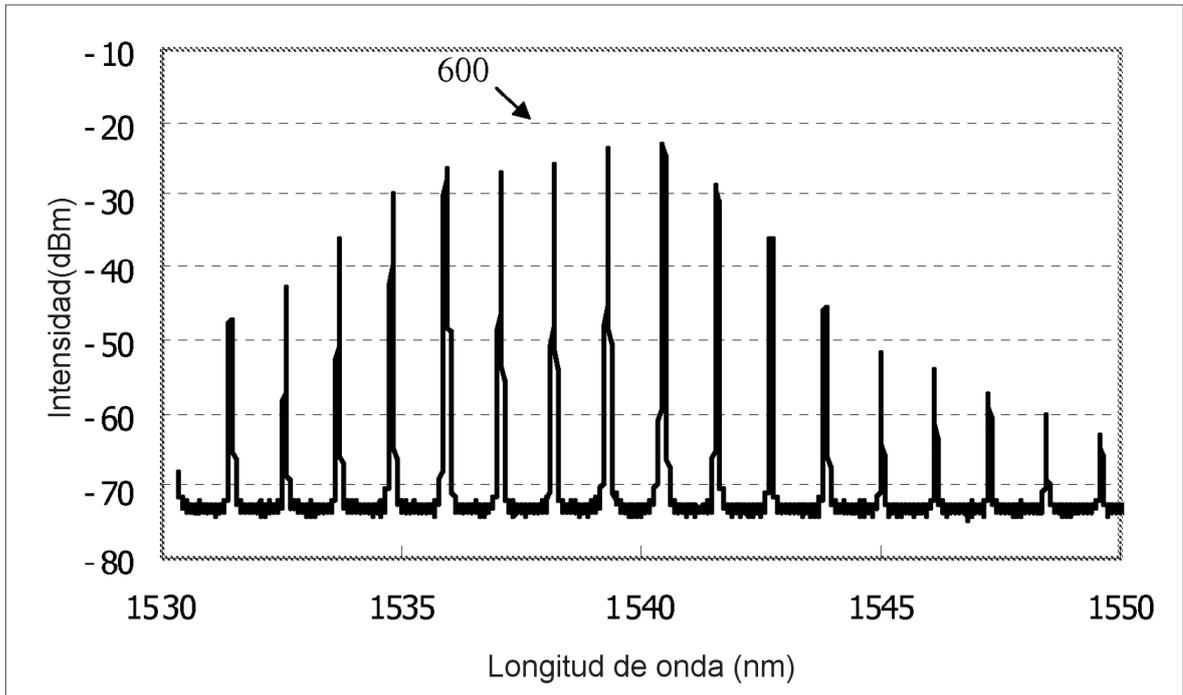


FIG. 6

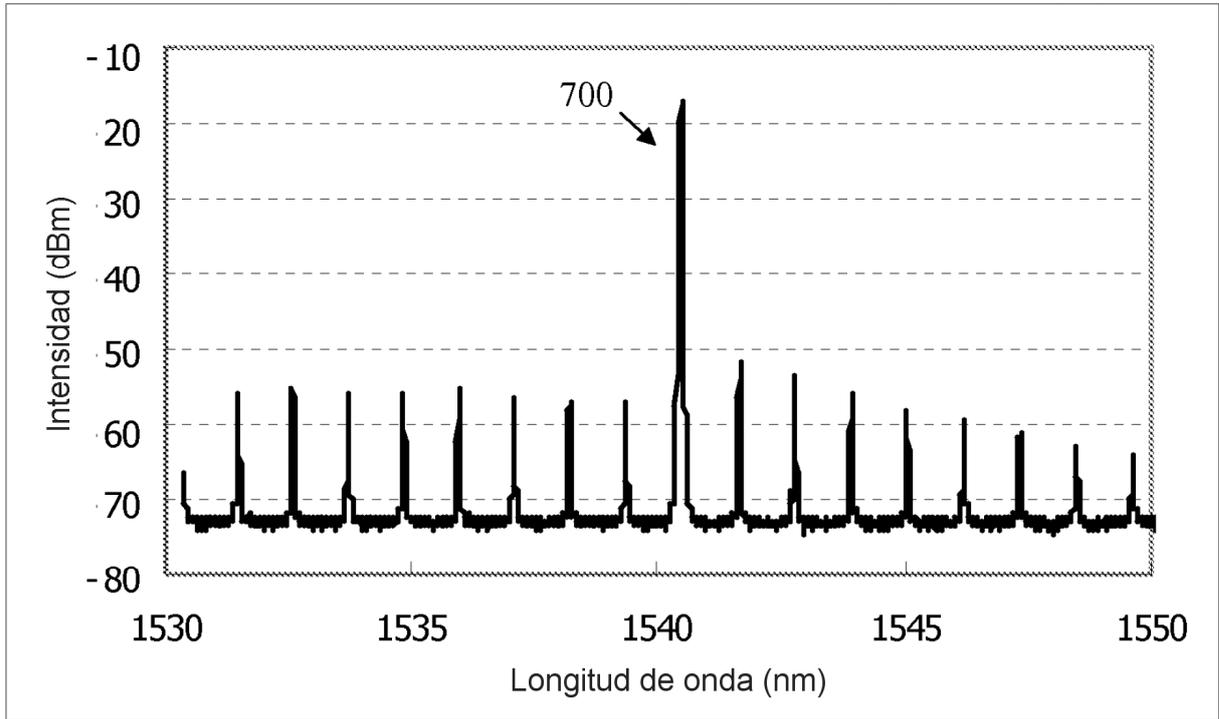


FIG. 7

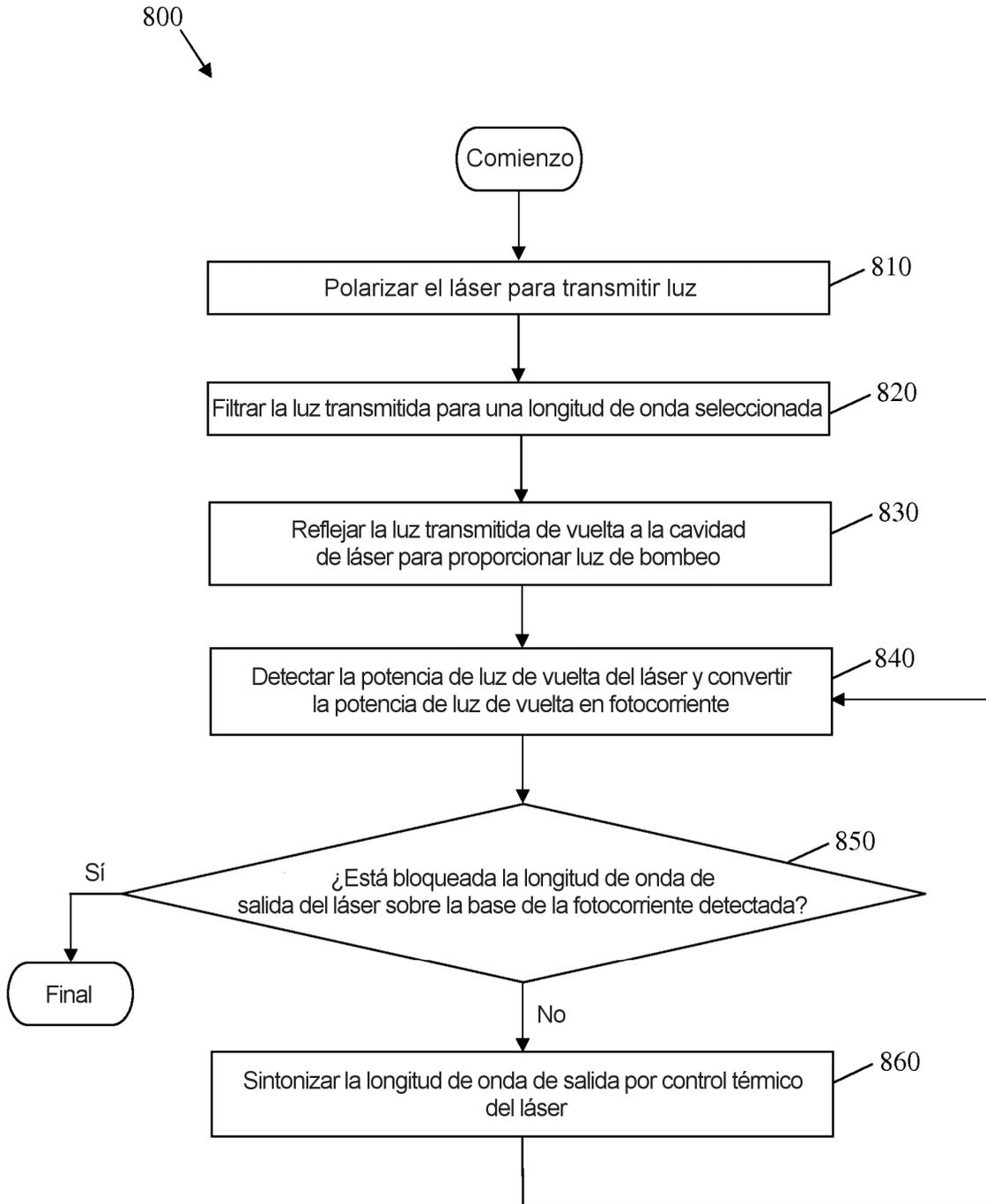


FIG. 8