

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 811 531**

51 Int. Cl.:

<b>H01S 3/11</b>	(2006.01)
<b>H01S 5/183</b>	(2006.01)
<b>H01S 5/14</b>	(2006.01)
<b>H01S 5/065</b>	(2006.01)
<b>H01S 5/024</b>	(2006.01)
<b>H01S 3/094</b>	(2006.01)
<b>H01S 5/04</b>	(2006.01)
<b>H01S 3/081</b>	(2006.01)
<b>H01S 3/08</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2013 PCT/GB2013/050799**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2013 WO13144619**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2013 E 13719133 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020 EP 2831964**

54 Título: **Láser de disco semiconductor con auto bloqueo de modos**

30 Prioridad:

**29.03.2012 GB 201205587**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.03.2021**

73 Titular/es:

**SOLUS TECHNOLOGIES LIMITED (100.0%)  
Venture Building, 1 Kelvin Campus, West of  
Scotland Science Park, Maryhill Road  
Glasgow, Central Scotland G20 0SP, GB**

72 Inventor/es:

**HAMILTON, CRAIG JAMES;  
MALCOLM, GRAEME PETER ALEXANDER y  
KORNASZEWSKI, LUKASZ**

74 Agente/Representante:

**PONS ARIÑO, Ángel**

**ES 2 811 531 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

Láser de disco semiconductor con auto bloqueo de modos

La presente invención hace referencia al campo de los láseres semiconductores y en particular a un láser de disco semiconductor (SDL, por sus siglas en inglés), configurado para emitir pulsos ultracortos de radiación.

5 Ha de señalarse que los SDL son también conocidos en la técnica como láseres de emisión superficial con cavidad externa vertical (VECSEL– del inglés Vertical External Cavity Surface Emitting Laser) o Láseres semiconductores de bombeo óptico (OPSL – del inglés Optically Pumped Semiconductor Lasers). Por lo tanto, el término láser de disco semiconductor, cuando se utiliza a lo largo de la presente descripción, se utiliza para hacer referencia a cada uno de estos sistemas.

10 El término pulsos “ultracortos” tal como se utiliza dentro de la siguiente descripción hace referencia a pulsos con una duración de aproximadamente 100 picosegundos (ps) a unos pocos femtosegundos (fs).

Los pulsos ultracortos de radiación óptica generados por fuentes de láser, se emplean en una serie de aplicaciones científicas, en instrumentación y en óptica no lineal. Una aplicación en particular para estos pulsos ultracortos se encuentra en el campo de la microscopía no lineal, por ejemplo microscopía de fluorescencia de excitación con dos fotones (TPEF, del inglés Two-Photon Excited Fluorescence) u otras técnicas de microscopía multi-fotón similares. Históricamente, se han empleado fuentes de láser de Ti:safiro para realizar estas técnicas de microscopía no lineales debido a los inherentes grandes rangos ajustables (700 nm a 1.000 nm) y a las potencias de pico disponibles para tales medios de ganancia. Un sistema láser de Ti:safiro se bombea ópticamente generalmente a una longitud de onda en la región verde del espectro, y por lo tanto estos sistemas son bombeados habitualmente con láseres de estado sólido de doble frecuencia que tienen un medio de ganancia dopado con neodimio, tal como YAG (granate de itrio y aluminio) dopado con neodimio (Nd:YAG) o ortovanadato de itrio dopado con neodimio (Nd:YVO<sub>4</sub>), en donde la radiación que tiene una longitud de onda fundamental de aproximadamente 1064 nm se convierte en radiación con una longitud de onda de aproximadamente 532 nm mediante técnicas de duplicación de frecuencia. Como resultado, los láseres ultrarrápidos de estado sólido descritos anteriormente son relativamente complejos, voluminosos, tienen altos requerimientos de mantenimiento y, lo que es más significativo, son costosos de producir.

Como una alternativa a las fuentes de láser de Ti:safiro, es conocido en la técnica emplear espejos absorbentes saturables semiconductores (SESAM, del inglés semiconductor saturable absorber mirrors) ultrarrápidos, para láseres de estado sólido con bombeo por diodos con bloqueo de modos. Se han realizado diseños compactos “plegando” cavidades largas o incrementando la tasa de repetición de los láseres que permiten de forma natural una longitud de cavidad menor. La principal desventaja de los sistemas que emplean SESAM es que éstos todavía resultan relativamente complejos de producir y mantener.

Más recientemente, unos sistemas compactos ultrarrápidos de láser dopado con cromo, tales como los láseres de Cr:LiCAF, Cr:LiSAF, y Cr:LiSGAF han sido desarrollados y empleados para microscopía TPEF no lineal. Aunque se han demostrado potencias medias de hasta 500 mW, los sistemas basados en dichos materiales están a menudo limitados en cuanto a su capacidad para escalar suficientemente su potencia media.

Otras fuentes alternativas basadas en láseres de fibra y diodo láser semiconductor con esquemas de amplificación se han mostrado también de forma exitosa como láseres compactos para aplicaciones de microscopía no lineal. Pueden emplearse láseres de fibra para generar pulsos muy cortos a través de técnicas de bloqueo de modos pasivo. Están sin embargo limitados a operar a longitudes de onda de alrededor de 1030 nm y 1550 nm y en los segundos armónicos producidos a partir estas longitudes de onda fundamentales. Dentro de los láseres semiconductores con esquemas de amplificación, p.ej., fuentes con conmutación de ganancia basadas en láseres de emisión superficial con cavidad vertical (VECSEL); diodo láser de reflexión de Bragg-retroalimentación distribuida (DFB) de InGaAsP con conmutación de ganancia; y diodo láser con bloqueo de modos de la cavidad externa que consiste en múltiples pozos cuánticos (AlGaAs), la simplicidad o compactibilidad del sistema se ve comprometida ya que todos ellos requieren diversas etapas para comprimir y/o amplificar los pulsos ópticos generados.

Un aspecto clave para optimizar un sistema láser compacto para aplicaciones de microscopía no lineal, es el término medio de vital importancia entre la tasa de repetición del láser y la intensidad de la señal multi-fotón generada. La intensidad de la señal en la microscopía TPEF se escala como el producto de la potencia de pico por la potencia media (asumiendo que el tamaño del punto de la imagen, la absorción, muestra, trayectoria de detección, etc., permanecen constantes). Un ejemplo de un SDL de pulsos ultracortos se describe en la publicación de patente de EE.UU. número US 2009/0290606. Este documento describe el bombeo óptico de la estructura de ganancia del SDL con pulsos ópticos, suministrados a una frecuencia de repetición de pulsos correspondiente a una frecuencia resonante del resonador láser. El resonador incluye adicionalmente una disposición de bloqueo de modos pasivo, tal como un elemento óptico que muestra un fuerte efecto Kerr óptico, un cristal no lineal generador de segundos

armónicos que actúa en conjunto con el acoplador de salida, o un acoplador de salida que comprende un espejo absorbente saturable semiconductor (SESAM). Aunque la combinación descrita del bombeo óptico de la estructura de ganancia con una fuente de pulsos de bomba óptica, en conjunto con un esquema de bloqueo de modos pasivo, es capaz de generar pulsos que se sitúan en un rango de 100 ps a ~ 100 fs, la incorporación de tales elementos se suma a la complejidad y coste global de la fuente de pulsos ultracortos.

Los siguientes documentos describen otros ejemplos de bombeo óptico de las estructuras de ganancia del SDL que emplean los espejos absorbentes saturables semiconductores (SESAM):

- Electronic Letters, vol. 47, nº 7, 1 de enero de 2011, página 454 titulado "Modelocked GaSb disk laser producing 384 fs pulses at 2 mm wavelength";
- Optics Letters, vol. 34, nº 20, 7 de octubre de 2009, página 3139 titulado "Power-scalable 157 nm mode-locked semiconductor disk laser using wafer fusion".

El documento US 2004/0190567 A1 divulga un láser con bloqueo de modos de lente Kerr en el que el cuerpo semiconductor del láser de disco se utiliza como bloqueador de modos.

Es por lo tanto un objeto de una realización de la presente invención obviar, o al menos mitigar, las desventajas anteriores de las fuentes de radiación de pulsos ultracortos conocidas en el arte.

Es un objeto adicional de una realización de la presente invención proporcionar un sistema de láser de disco semiconductor con auto bloqueo de modos.

#### Resumen de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención se proporciona un láser con auto bloqueo de modos, comprendiendo el láser un resonador terminado por un primer y un segundo espejos y plegado por un tercer espejo, el tercer espejo coronado por un medio de ganancia semiconductor de múltiples capas que incluye al menos una capa de pozo cuántico y una capa de lente Kerr óptica, en donde la longitud del resonador se selecciona de tal manera que el tiempo de desplazamiento ida y vuelta de un modo de la cavidad corresponde al tiempo de vida del nivel superior de uno o más portadores en un semiconductor, situados dentro del medio de ganancia para introducir una perturbación en una intensidad de un campo de salida del láser, causando que la capa de la lente Kerr óptica induzca el bloqueo de modos de la lente Kerr del campo de salida del láser.

La anterior configuración proporciona un láser que bloquea modos sin requerir que se incorpore en el mismo un elemento dedicado de bloqueo de modos activo o pasivo. Seleccionar la longitud del resonador para que sea comparable con el tiempo de vida del nivel superior de uno o más portadores en un semiconductor situados dentro del medio de ganancia, causa una pequeña perturbación en la intensidad del campo de salida del láser que es suficiente para que la capa de la lente Kerr óptica induzca el bloqueo de modos en el campo de salida. Esto tiene como resultado un láser semiconductor que es más sencillo en cuanto a su operación y mantenimiento, y que tiene costes de producción reducidos en comparación con aquellos sistemas conocidos en la técnica.

El segundo espejo puede ser parcialmente reflector y parcialmente transmisor a una longitud de onda fundamental del medio de ganancia para actuar como un acoplador de salida del resonador.

Más preferiblemente, la capa de la lente Kerr óptica comprende un disipador de calor montado sobre el medio de ganancia semiconductor. El disipador de calor puede comprender una capa de cristal de diamante.

El resonador puede además comprender un diafragma de abertura con una abertura situada en el mismo. Preferiblemente, el diafragma de abertura se sitúa adyacente al segundo espejo. Alternativamente, la abertura se sitúa adyacente al primer espejo.

El resonador puede plegarse adicionalmente por un cuarto espejo, estando dicho cuarto espejo situado entre el segundo y el tercer espejo. El cuarto espejo tiene preferiblemente un radio de curvatura cóncavo.

El resonador puede plegarse adicionalmente por un quinto espejo, dicho quinto espejo estando situado entre el segundo y cuarto espejo. El quinto espejo es preferiblemente plano.

El resonador puede plegarse adicionalmente por un sexto espejo, estando dicho sexto espejo situado entre el segundo y el quinto espejo. El sexto espejo tiene preferiblemente un radio de curvatura cóncavo.

Opcionalmente, el láser comprende una fuente de campo óptico de onda continua (cw), cuya salida está configurada para bombear el medio de ganancia. La fuente de campo óptico de (cw) puede comprender un sistema de diodos láser acoplados de fibra.

5 El resonador puede además comprender un controlador de astigmatismo que proporciona medios para introducir astigmatismo en el modo de la cavidad en el medio de ganancia.

En esta realización el resonador se configura preferiblemente de tal manera que la capa de la lente Kerr actúa para compensar el astigmatismo introducido en el modo de la cavidad. Compensando el astigmatismo introducido en el modo de la cavidad, se aumenta el área de solapamiento entre el modo de la cavidad y un punto de bombeo en el medio de ganancia. Como resultado es mejorada la naturaleza de auto bloqueo de modos del láser.

10 El controlador de astigmatismo puede comprender un medio de rotación de espejo. El medio de rotación de espejo puede emplearse para hacer girar el cuarto espejo para variar el ángulo de incidencia de un campo resonante sobre el cuarto espejo.

Más preferiblemente, el láser proporciona un campo de salida que comprende pulsos ultracortos. Los pulsos ultracortos pueden tener un ancho de pulso en el rango de 100 ps a 100 fs.

15 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención se proporciona un método de auto bloqueo de modos de un láser, donde el método comprende

- proporcionar un resonador que termina en un primer y un segundo espejo y plegado en un tercer espejo, dicho tercer espejo coronado por un medio de ganancia semiconductor de múltiples capas que incluye al menos un pozo cuántico y una capa de lente Kerr óptica; y

20 - seleccionar una longitud del resonador de tal modo que un tiempo del desplazamiento de ida y vuelta de un modo de la cavidad se corresponda con el tiempo de vida del nivel superior de uno o más portadores de semiconductores situados dentro del medio de ganancia para introducir una perturbación en una intensidad de un campo de salida del láser, causando que la capa de lente Kerr óptica induzca el bloqueo de modos de la lente Kerr del campo de salida del láser.

25 El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender situar un diafragma de abertura con una abertura situada dentro del resonador.

Preferiblemente el diafragma de abertura se sitúa adyacente al segundo espejo. Alternativamente, la abertura se sitúa adyacente al primer espejo.

30 El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender plegar la cavidad proporcionando un cuarto espejo entre el segundo y el tercer espejo.

El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender plegar la cavidad proporcionando un quinto espejo entre el segundo y el cuarto espejo.

El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender plegar la cavidad proporcionando un sexto espejo entre el segundo y el quinto espejo.

35 El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender proporcionar un campo óptico de onda continua (cw) configurado para bombear el medio de ganancia.

El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender introducir astigmatismo al modo de la cavidad en el medio de ganancia.

40 El astigmatismo puede ser introducido en el modo de la cavidad haciendo girar el cuarto espejo para aumentar el ángulo de incidencia de un campo resonante sobre el cuarto espejo.

El método de auto bloqueo de modos de un láser puede además comprender configurar el resonador de tal manera que la capa de la lente Kerr actúe para compensar el astigmatismo introducido en el modo de la cavidad. De este modo, se aumenta el área de solapamiento entre el modo de la cavidad y un punto de bombeo en el medio de ganancia.

45 Las realizaciones del segundo aspecto de la invención pueden comprender características para implementar las características preferidas u opcionales del primer aspecto de la invención, o viceversa.

Breve descripción de los dibujos

Aspectos y ventajas de la presente invención resultarán evidentes al leer la siguiente descripción detallada y al hacer referencia a los siguientes dibujos en los que:

5 La Figura 1 presenta una representación esquemática de un láser semiconductor de emisión superficial de cavidad externa, con auto bloqueo de modos, de acuerdo con una realización de la presente invención;

La Figura 2 presenta una representación esquemática de un láser de disco semiconductor (SDL) empleado por el láser de la Figura 1;

La Figura 3 presenta una representación esquemática de un aparato de refrigeración empleado en conjunto con el SDL de la Figura 2;

10 La Figure 4 presenta una representación esquemática de un modo de la cavidad, un punto de bombeo y un modo de la lente Kerr en la superficie del SDL de la Figura 1;

La Figura 5 presenta un láser semiconductor de acuerdo con una realización alternativa de la presente invención; y

La Figura 6 presenta un láser semiconductor de acuerdo con una realización adicional alternativa de la presente invención.

15 En la siguiente descripción, las partes similares se encuentran marcadas a lo largo de la especificación y los dibujos con los mismos números de referencia. Los dibujos no se encuentran necesariamente a escala y las proporciones de ciertas partes han sido exageradas para ilustrar mejor los detalles y las características de las realizaciones de la invención.

Descripción detallada

20 En referencia inicialmente a la Figura 1, se muestra una representación esquemática de un láser 1 semiconductor de emisión superficial de cavidad externa, con auto bloqueo de modos, de acuerdo con una realización de la presente invención. Para claridad en la comprensión, se proporcionan unos ejes dentro de esta figura. El plano de la cavidad al que se hace referencia a continuación es el plano definido por los ejes x y z. Puede verse que el láser 1 con auto bloqueo de modos comprende un resonador láser 2 formado entre un primer 3 y un segundo espejo 4 e incluye un  
25 láser 5 de disco semiconductor (SDL) bombeado ópticamente de múltiples capas, del cual se proporcionan detalles adicionales a continuación, en referencia a las Figuras 2 y 3. Tal como puede verse el SDL 5 está dispuesto para funcionar como un primer espejo de plegamiento para el resonador 2. Tres espejos 6, 7 y 8 de plegamiento adicionales se incluyen dentro del resonador 2 y de este modo el resonador 2 puede considerarse un resonador plegado cuatro veces.

30 El primer espejo 3 y los tres espejos 6, 7 y 8 de plegamiento están dispuestos para ser altamente reflectores en la longitud de onda fundamental del SDL 5 mientras que el segundo espejo 4 es parcialmente reflector y parcialmente transmisor en esta longitud de onda fundamental, y de este modo actúa como un acoplador de salida para el resonador 2. Un diafragma 9 de abertura que comprende una abertura 10, tal como una abertura de ranura, puede situarse adyacente al segundo espejo 4. La abertura puede orientarse en el plano de la cavidad, en un plano  
35 perpendicular al plano de la cavidad o en efecto comprender un iris y de este modo tener un componente en ambos planos.

Los espejos 3, 6, 7 y 8 puede montarse dentro de soportes de espejo controlados piezo-eléctricamente, para proporcionar un medio de ajuste fino del alineamiento de estos componentes. Además, los espejos 3, 6 y 8 son espejos cóncavos mientras los espejos 4 y 7 y el SDL 5 son sustancialmente elementos reflectantes planos, de tal  
40 manera que el resonador 2 es ópticamente estable y la forma del modo de la cavidad en el SDL 5 puede controlarse, tal como se discute en mayor detalle a continuación.

Se proporciona un campo 11 de bombeo óptico onda continua (cw) adecuado para bombear el SDL 5 empleando un sistema 12 de diodos láser acoplados de fibra. En la realización descrita actualmente el sistema 12 de diodos láser acoplados de fibra se configura para generar un campo 11 de bombeo óptico de cw a 808 nm. Un DILAS®  
45 M1F4S22-808 30C-SS2.1 es un ejemplo de un sistema 12 de diodo láser acoplado de fibra adecuado de este tipo.

En la realización descrita actualmente, el sistema 12 de diodos láser acoplados de fibra está dispuesto para bombear el medio 18 de ganancia en un ángulo adecuado para proporcionar un punto de bombeo elíptico en la superficie del medio 18 de ganancia. Se podrá apreciar por el lector experto que la presente invención no está así limitada y que el sistema 12 de diodos láser acoplados de fibra podría proporcionar un campo 11 de bombeo que  
50 sea perpendicular al medio 18 de ganancia, para proporcionar un punto de bombeo circular en la superficie del

medio 18 de ganancia. El sistema 12 de diodos láser acoplados de fibra puede también estar dispuesto para bombear el medio 18 de ganancia bombeando a través del primer espejo 3.

En la Figura 1 el campo resonante de cavidad interna se representa generalmente con el número de referencia 13, mientras que el campo de salida de pulsos ultracortos del resonador 2 láser se representa en general con el número de referencia 14.

Una representación esquemática del SDL 5 se presenta en la Figura 2. Puede verse que el SDL 5 comprende una estructura 15 de oblea que se hace crecer mediante la técnica de deposición de vapor mediante procesos químicos organometálicos (MOCVD) en un sustrato 16 de GaAs. La deposición de la estructura de oblea puede lograrse mediante técnicas alternativas conocidas en la técnica p.ej., técnicas de deposición mediante epitaxia por haces moleculares (MBE, por sus siglas en inglés). La estructura 15 de oblea comprende una región 17 única de reflector de Bragg distribuido (DBR), un medio 18 de ganancia, una barrera 19 de potencial de confinamiento del portador y una capa 20 de prevención de la oxidación.

Hay muchas variaciones de las estructuras 15 de oblea incorporadas dentro de los SDL conocidos para los expertos en la técnica, y la presente invención no se limita a su uso con cualquier región 17 de DBR o estructura del medio 18 de ganancia en particular. En general, el medio 18 de ganancia comprenderá múltiples pozos cuánticos separados a igual distancia entre estructuras de media onda que permiten que el SDL 5 sea bombeado ópticamente a una longitud de onda de la bomba conveniente mientras que las regiones 17 de DBR, generalmente, comprenden múltiples pares de capas de cuarto de onda que muestran altas reflectancias.

Las realizaciones descritas actualmente comprenden un medio 18 de ganancia que comprende pozos cuánticos de InGaAs separados a igual distancia entre estructuras de GaAs de onda media que permiten que el SDL 5 sea bombeado ópticamente a 808 nm a la vez que generan una salida de 980 nm. Las regiones 17 de DBR comprenden treinta pares de capas de cuarto de onda de AlAs-GaAs que producen reflectancias mayores de 99,9% centradas a 980 nm, mientras que la barrera 19 de potencial de confinamiento del portador comprende una única capa de un grosor de longitud de onda de  $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ . La capa 20 de prevención de oxidación puede comprender una fina cubierta de GaAs.

Entre los medios de ganancia alternativos conocidos para los expertos en la técnica que pueden utilizarse alternativamente se incluyen estructuras de arseniuro de galio (GaAs) capaces de generar longitudes de onda de salida entre 670 nm y 1300 nm; estructuras de fosfuro de indio (InP) capaces de generar longitudes de onda de salida entre 1350 nm y 1600 nm;

y antimoniuro de galio estructuras de (GaSb) capaces de generar longitudes de onda entre 1800 nm y 2700 nm. Estos medios de ganancia pueden estar basados en pozos cuánticos o puntos cuánticos tal como es conocido por los expertos en la técnica.

Por razones que se describirán en mayor detalle a continuación, la longitud del resonador 2 puede seleccionarse de tal manera que el tiempo de desplazamiento de ida y vuelta del modo de la cavidad corresponde al tiempo de vida del nivel superior de los portadores de semiconductores situados dentro del medio 18 de ganancia. En la realización descrita actualmente el tiempo de vida de los portadores de semiconductores es de aproximadamente 5 ns, dando al resonador una longitud de aproximadamente 750 nm y una tasa de repetición de alrededor de 200 MHz.

Esta disposición es contraria a la doctrina dentro de la técnica en la que es generalmente deseable hacer la longitud de un resonador tan pequeña como sea posible para ayudar en la miniaturización global del sistema. Las principales restricciones sobre la longitud mínima de un resonador es el requerimiento para proporcionar el suficiente espacio físico para todos los componentes ópticos que se requiere incorporar en el sistema y para permitir que se logren las características deseadas del modo de la cavidad. En los sistemas conocidos en la técnica las longitudes del resonador seleccionado tienen como resultado un tiempo de desplazamiento de ida y vuelta para el modo de la cavidad que es mucho menor que el tiempo de vida del nivel superior del medio de ganancia asociado, habitualmente en varias órdenes de magnitud.

La Figura 3 presenta en mayor detalle un aparato 21 de refrigeración empleado para mejorar las características operativas del SDL 5. En particular, el aparato 21 de refrigeración comprende un disipador 22 de calor y un dispositivo de refrigeración 23 de agua o termoeléctrico estándar. El disipador 22 de calor comprende un monocristal de diamante que comprende una cara 24 externa en forma de cuña.

Puede depositarse un recubrimiento anti-reflexión de alto rendimiento sobre la superficie de la cara 24 en forma de cuña.

El disipador 22 de calor con un monocristal de diamante se adhiere mediante contacto óptico con la estructura 15 de oblea de manera que el medio 18 de ganancia se sitúa entre el disipador 22 de calor y la región 17 de DBR. La

estructura 15 de oblea y el disipador 22 de calor se fijan a continuación encima de una capa de una hoja 25 de indio sobre el dispositivo de refrigeración 23 de agua o termoeléctrico.

5 El monocristal de diamante es muy adecuado para ser empleado como el disipador 22 de calor, ya que muestra niveles de conductividad térmica comparables con los del zafiro y el carburo de silicio. Por tanto, la disposición descrita permite que el disipador 22 de calor disipe el calor generado dentro del medio 18 de ganancia mediante el campo 11 de bombeo hacia el aparato 21 de refrigeración después de que se haya propagado únicamente una distancia limitada en el medio 18 de ganancia. Como resultado, la eficiencia general del SDL 5 se ve aumentada significativamente.

10 Además, existe una ventaja adicional inherente a la hora de emplear el monocristal de diamante como el disipador 22 de calor. Ésta reside en el hecho de que dicho monocristal de diamante es un material que muestra un efecto Kerr óptico inherente. Es este efecto el que se explota para configurar el láser 1 semiconductor para operar como un sistema con auto bloqueo de modos, tal como se describirá a continuación en mayor detalle en referencia a la Figura 4.

15 En particular, la Figura 4 presenta una representación esquemática de un modo 26 de la cavidad, un punto 27 de bombeo y un modo 28 de la lente Kerr en la superficie del SDL 5 de la Figura 1. El láser se configura de tal manera que haya un solapamiento del área del modo 26 de la cavidad, el punto 27 de bombeo y el modo 28 de la lente Kerr en la superficie del SDL 5.

20 El área del modo 28 de la lente Kerr en el SDL 5 está definida por el disipador 22 de calor de un monocristal de diamante y en la realización descrita en la actualidad muestra un perfil elíptico con su eje principal orientado a lo largo del eje x. De manera similar el punto 27 de bombeo en el SDL 5 está configurado para tener un perfil elíptico con su eje principal también orientado a lo largo del eje x. El eje principal del modo 28 de la lente Kerr en la realización descrita actualmente es menor que el eje principal del punto 27 de bombeo.

25 El espejo 6 de plegamiento cóncavo se dispone para introducir astigmatismo al modo 26 de la cavidad. Esto se logra haciendo girar el espejo 6 de plegamiento cóncavo alrededor del eje y para aumentar el ángulo de incidencia del campo 13 resonante sobre este espejo 6. Tal como puede observarse a partir de la Figura 4, esta rotación tiene como resultado el modo 26 de la cavidad en el SDL 5 que tiene un perfil elíptico con su eje principal orientado a lo largo del eje y.

30 En esta configuración el láser 1 semiconductor comienza a emitir luz láser cuando el medio 18 de ganancia es bombeado por el campo 11 de bombeo y el campo 14 de salida se genera de este modo. Lo más significativo es que el láser tiene auto bloqueo de modos, de tal manera que se produce un campo de salida ultracorto a 980 nm, es decir pueden generarse anchos de pulsos de 100 ps a unos pocos femtosegundos. Este resultado es sumamente repetible y el bloqueo de modos tiene lugar sin ningún requerimiento para entradas adicionales por parte del operador del láser 1.

35 Los inventores creen que existen dos mecanismos independientes que contribuyen a permitir el auto bloqueo de modos del láser 1. En el láser 1 descrito actualmente estos mecanismos actúan en combinación pero alternativamente pueden explotarse independientemente.

40 El primer mecanismo para el bloqueo de modos del láser 1 tiene como resultado el hecho de que la longitud del resonador 2 se selecciona de tal manera que el tiempo de desplazamiento de ida y vuelta del modo 26 de la cavidad esté cerca del tiempo de vida del nivel superior de los portadores de semiconductores situados en el medio 18 de ganancia. Esto introduce una pequeña perturbación en la intensidad del campo 14 de salida que es suficiente para el pequeño efecto Kerr óptico inherente del disipador 22 de calor de un monocristal de diamante para inducir el bloqueo de modos en el campo 14 de salida.

45 Este proceso es ayudado adicionalmente por el segundo mecanismo, el cual reside en la introducción del astigmatismo en el modo 26 de la cavidad en la superficie del SDL 5. Una vez que el efecto de la lente Kerr del disipador 22 de calor comienza, el eje principal del modo 26 de la cavidad se reduce de forma efectiva causando un mayor solapamiento entre el área del modo 26 de la cavidad y el punto 27 de bombeo. De este modo, empleando el efecto de de lente Kerr del disipador 22 de calor para superar el astigmatismo inducido, se proporciona un segundo medio para el auto bloqueo de modos del campo 14 de salida.

50 Como podrá ser apreciado por el lector experto ambos de estos mecanismos pueden ser asistidos por la presencia del diafragma 9 de abertura cuando la abertura 10 está configurada de tal manera que el modo de emisión de luz láser del resonador en la abertura 10 se encuentra cerrado y no es posible emitir luz láser en la ausencia del efecto Kerr inducido por el disipador 22 de calor. Se podrá apreciar adicionalmente que el diafragma 9 de abertura podría situarse adyacente al primer espejo 3.

La Figura 5 presenta una representación esquemática de un láser 29 semiconductor de emisión superficial de cavidad externa con auto bloqueo de modos de acuerdo con una realización alternativa de la presente invención, similar al láser 1 presentado en la Figura 1. En esta realización, los espejos 8 de plegamiento han sido reemplazados por el acoplador 4 de salida, de tal manera que ahora puede considerarse que el resonador 2b es un resonador plegado tres veces.

La Figura 6 presenta una representación esquemática de un láser 30 semiconductor de emisión superficial de cavidad externa con auto bloqueo de modos de acuerdo con una realización adicional alternativa de la presente invención, similar al láser 1 presentado en la Figura 1. En esta realización se ha omitido el espejo 8 de plegamiento y el espejo 7 de plegamiento ha sido reemplazado por el acoplador 4 de salida, de tal manera que ahora puede considerarse que el resonador 2c es un resonador plegados dos veces.

Podrá apreciarse que pueden incorporarse una cantidad de alternativas en las realizaciones descritas anteriormente. Por ejemplo, la estructura del SDL 5 puede variarse para proporcionar longitudes de onda de salida alternativas según se requiera por la aplicación en particular para la que va a emplearse el láser semiconductor.

Además, las orientaciones del modo 26 de la cavidad, el punto 27 de bombeo y el modo 28 de lente Kerr pueden variarse de tal manera que los ángulos entre los ejes principales asociados varíen de la realización descrita en particular. Lo que es importante, es que el resonador esté configurado de tal manera que el astigmatismo introducido en el modo 26 de la cavidad por la configuración del resonador 2 se reduzca mediante el efecto Kerr óptico, inducido por el disipador 22 de calor, cuando el medio 18 de ganancia es bombeado por el campo 11 de bombeo, de tal manera que se aumenta el área de solapamiento entre el modo 26 de la cavidad y el punto 27 de bombeo.

El disipador de calor puede comprender alternativamente materiales distintos del monocristal de diamante siempre que el material empleado muestre la capacidad de disipación de calor y las propiedades de lente Kerr óptica requeridas. El zafiro (Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y el carburo de silicio (SiC) son ejemplos de materiales alternativos que pueden ser empleados para producir el disipador de calor.

Los láseres semiconductores descritos ofrecen una cantidad de ventajas sobre aquellos conocidos en la técnica. Cuando se comparan con los láseres ultrarrápidos de estado sólido descritos previamente los sistemas actualmente descritos son significativamente menos complejos, más compactos, presentan requerimientos de mantenimiento reducidos y sin significativamente menos costosos de producir.

El hecho de que los láseres semiconductores descritos tengan auto bloqueo de modos también elimina el requerimiento de incorporar elementos dedicados de bloqueo de modos activo o pasivo. Esto nuevamente tiene como resultado que los láseres semiconductores actualmente descritos presenten una complejidad, requerimiento de mantenimiento y costes de producción asociados reducidos.

Los sistemas de láseres semiconductores actualmente descritos pueden emplearse para generar pulsos con anchos de pulsos en un rango de 100 ps a ~ 100 fs, a longitudes de onda entre 670 nm y 2700 nm y con salidas de potencia en un rango de 100 mW a 5 W.

Los factores anteriores hacen los láseres semiconductores descritos ideales para su uso dentro de las técnicas de microscopía no lineal, p.ej., microscopía de fluorescencia de excitación con dos fotones (TPEF) u otras técnicas de microscopía multi-fotón similares. Por ejemplo, los anchos de pulso cortos permiten que se realice un perfil de profundidad significativa en las proteínas verdes fluorescentes (GFP, por sus siglas en inglés) que muestran picos de excitación a 395 nm y 475 nm o 496 nm dependiendo de las GFP en particular empleadas.

La presente invención describe un láser con auto bloqueo de modos y un método para el auto bloqueo de modos de un láser. El láser comprende un resonador que termina en un primer y un segundo espejo y plegado por un tercer espejo. El tercer espejo comprende un único reflector de Bragg distribuido (DBR) sobre el que se monta un medio de ganancia semiconductor de múltiples capas y que incluye al menos una capa de pozo cuántico y una capa de lente Kerr óptica. El auto bloqueo de modos puede lograrse seleccionando la longitud del resonador de tal manera que el tiempo de desplazamiento de ida y vuelta de un modo de la cavidad se ajuste al tiempo de vida del nivel superior de uno o más portadores de semiconductores dentro del medio de ganancia. El auto bloqueo de modos del láser puede mejorarse adicionalmente configurando el resonador láser de tal manera que el efecto de la lente de la capa de lente Kerr actúe para reducir un astigmatismo introducido deliberadamente en el modo de la cavidad.

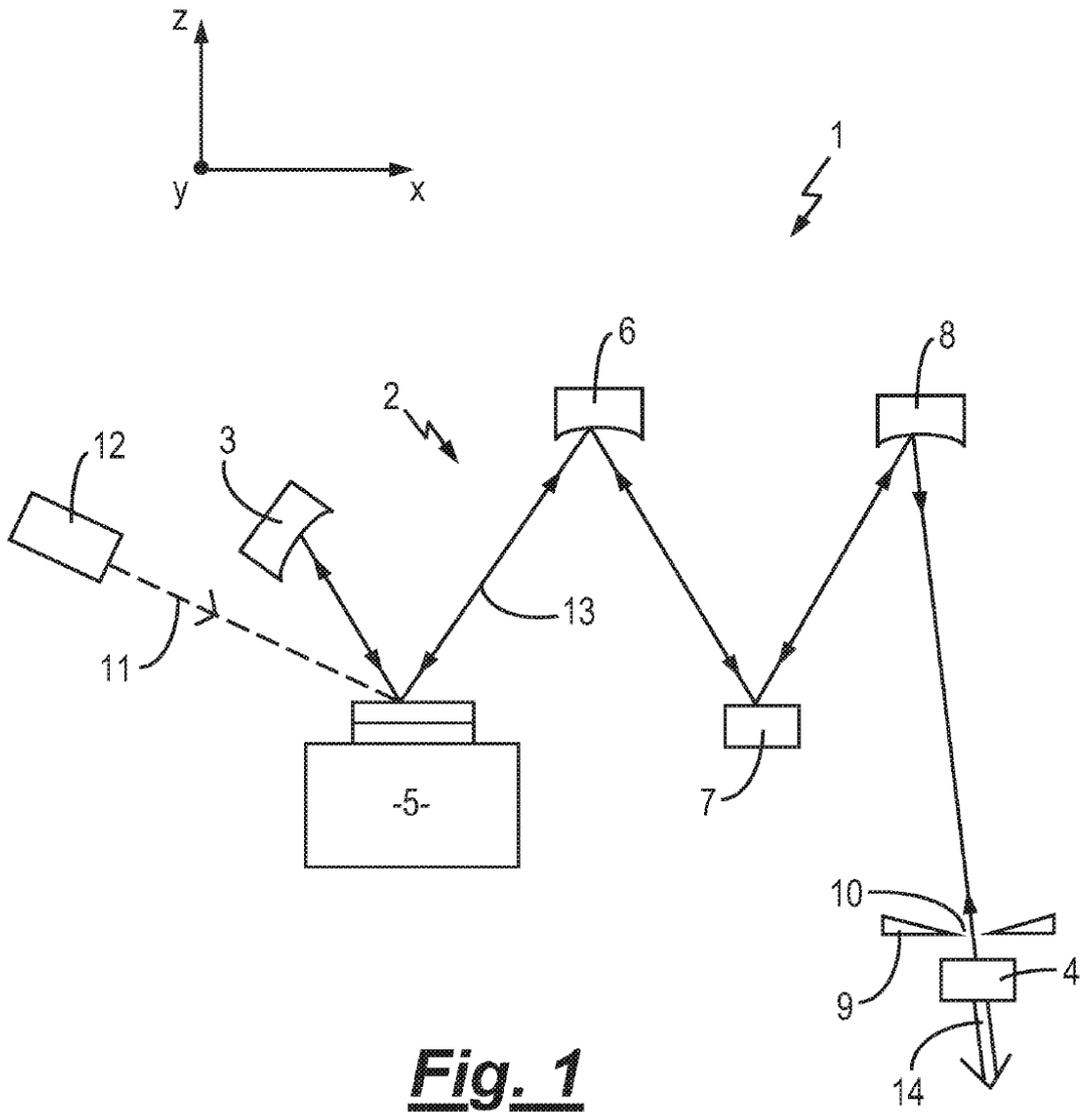
La anterior descripción de la invención ha sido presentada para los propósitos de ilustración y descripción y no pretende ser exhaustivo o limitar la invención a la forma precisa divulgada. Las realizaciones descritas fueron elegidas y descritas para explicar mejor los principios de la invención y su aplicación práctica para de este modo permitir que otros expertos en la técnica utilicen mejor la invención en diversas realizaciones y con varias modificaciones según sea adecuado para el uso en particular que se contempla. Por lo tanto, pueden incorporarse

modificaciones y mejoras adicionales sin apartarse del alcance de la invención según se define por las reivindicaciones anexas.

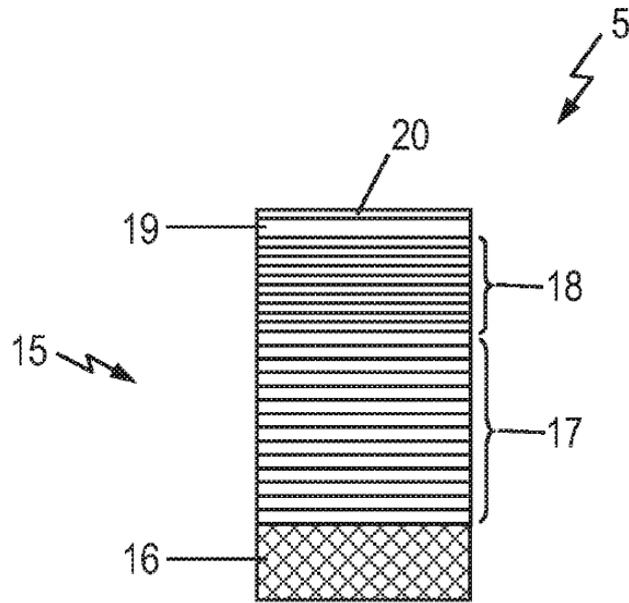
## REIVINDICACIONES

1. Un láser (1, 29, 30) con auto bloqueo de modos, el láser (1, 29, 30) comprendiendo un resonador (2, 2b, 2c) que termina en un primer (3) y un segundo (4) espejo y plegado por un tercer espejo (17), el tercer espejo (17) coronado por un medio (18) de ganancia semiconductor de múltiples capas que incluye al menos una capa de pozo cuántico, y una capa (22) de lente Kerr óptica.
- 5  
caracterizado por que
- la longitud del resonador (2, 2b, 2c) se selecciona de tal manera que un tiempo de desplazamiento de ida y vuelta de un modo (26) de la cavidad se corresponde con un tiempo de vida del nivel superior de uno o más portadores de semiconductores situados dentro del medio (18) de ganancia para introducir una perturbación en una intensidad de un campo (14) de salida del láser (1, 29, 30) causando que la capa (22) de lente Kerr óptica induzca el bloqueo de modos de la lente Kerr del campo (14) de salida del láser (1, 29, 30).
- 10
2. Un láser (1, 29, 30) con auto bloqueo de modos según se reivindica en la reivindicación 1, en donde la capa (22) de lente Kerr óptica comprende un disipador de calor montado sobre el medio (18) de ganancia semiconductor.
3. Un láser (1, 29, 30) con auto bloqueo de modos según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en donde el resonador (2, 2b, 2c) además comprende un diafragma (9) de abertura con una abertura situada en el mismo.
- 15
4. Un láser con auto bloqueo de modos según se reivindica en la reivindicación 3, en donde el diafragma (9) de abertura se sitúa adyacente al segundo espejo (4).
5. Un láser (1, 29, 30) con auto bloqueo de modos según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes en donde el resonador (2, 2b, 2c) es plegado adicionalmente por un cuarto espejo (6), el cuarto espejo (6) estando situado entre el segundo (4) y tercer espejo (17).
- 20
6. Un láser (1, 29) con auto bloqueo de modos según se reivindica en la reivindicación 5 en donde el resonador (2, 2b) es plegado adicionalmente por un quinto espejo (7), el quinto espejo (7) estando situado entre el segundo (4) u el cuarto (6) espejo.
7. Un láser (1) con auto bloqueo de modos según se reivindica en la reivindicación 6 en donde el resonador (2) es plegado adicionalmente por un sexto espejo (8), el sexto espejo (8) estando situado entre el segundo (4) y el quinto (7) espejo.
- 25
8. Un láser (1, 29, 30) con auto bloqueo de modos según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el resonador comprende además un controlador (6) de astigmatismo que proporciona un medio para introducir astigmatismo en el modo (26) de la cavidad en el medio (18) de ganancia, y el resonador (2, 2b, 2c) está configurado de tal manera que la capa de lente Kerr actúa para compensar el astigmatismo introducido en el modo (26) de la cavidad.
- 30
9. Un método de auto bloqueo de modos de un láser (1, 29, 30) donde el método comprende
- proporcionar un resonador (2, 2b, 2c) que termina en un primer (3) y un segundo (4) espejo, y plegado por un tercer espejo (17), el tercer espejo (17) coronado por un medio (18) de ganancia semiconductor que incluye al menos una capa de pozo cuántico, y una capa (22) de lente Kerr óptica; y
- 35  
caracterizado por que
- la longitud del resonador (2, 2b, 2c) se selecciona de tal manera que el tiempo de desplazamiento de ida y vuelta de un modo (26) de la cavidad se corresponde con un tiempo de vida del nivel superior de uno o más portadores de semiconductores situados dentro del medio (18) de ganancia para introducir una perturbación en una intensidad de un campo (14) de salida del láser (1, 29, 30), causando que la capa (22) de lente Kerr óptica induzca el modo de bloqueos de lente Kerr del campo (14) de salida del láser (1, 29, 30).
- 40
10. Un método de auto bloqueo de modos de un láser (1, 29, 30) según se reivindica en la reivindicación 9 en donde el método además comprende situar un diafragma (9) de abertura con una abertura situada en el mismo dentro del resonador (2, 2b, 2c).
- 45

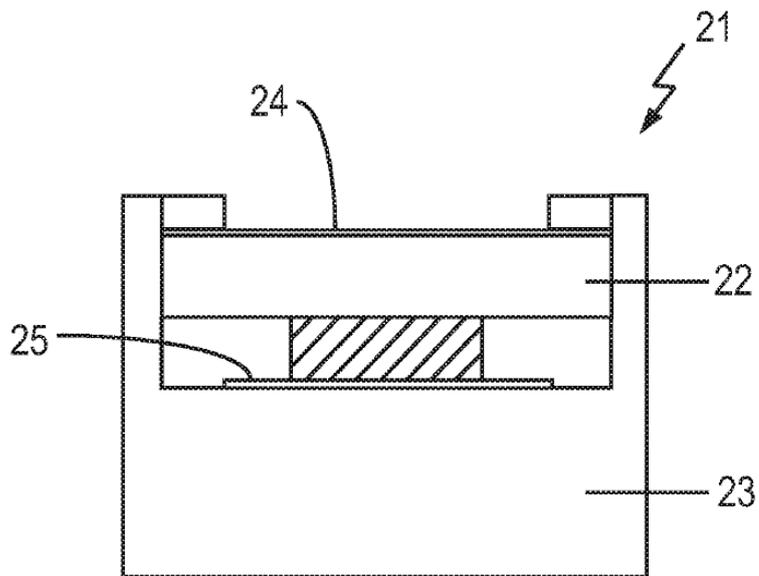
11. Un método de auto bloqueo de modos de un láser según se reivindica en la reivindicación 10 en donde el diafragma (9) de abertura se sitúa adyacente al segundo espejo (4).
- 5 12. Un método de auto bloqueo de modos de un láser (1, 29, 30), según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en donde el método además comprende plegar el resonador (2, 2b, 2c) proporcionando un cuarto espejo (6) entre el segundo (4) y el tercer (17) espejos.
13. Un método de auto bloqueo de modos de un láser (1, 29) según se reivindica en la reivindicación 12, en donde el método además comprende plegar el resonador (2, 2b) proporcionando un quinto espejo (7) entre el segundo (4) y el cuarto (6) espejo.
- 10 14. Un método de auto bloqueo de modos de un láser (1) según se reivindica en la reivindicación 13, en donde el método además comprende plegar el resonador (2) proporcionando un sexto espejo (8) entre el segundo (4) y quinto (7) espejo.
- 15 15. Un método de auto bloqueo de modos de un láser (1, 29, 30) según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en donde el método además comprende introducir astigmatismo en el modo (26) de la cavidad en el medio (18) de ganancia, y configurar el resonador (2, 2b, 2c) de tal manera que la capa de lente Kerr actúe para compensar el astigmatismo introducido en el modo (26) de la cavidad.



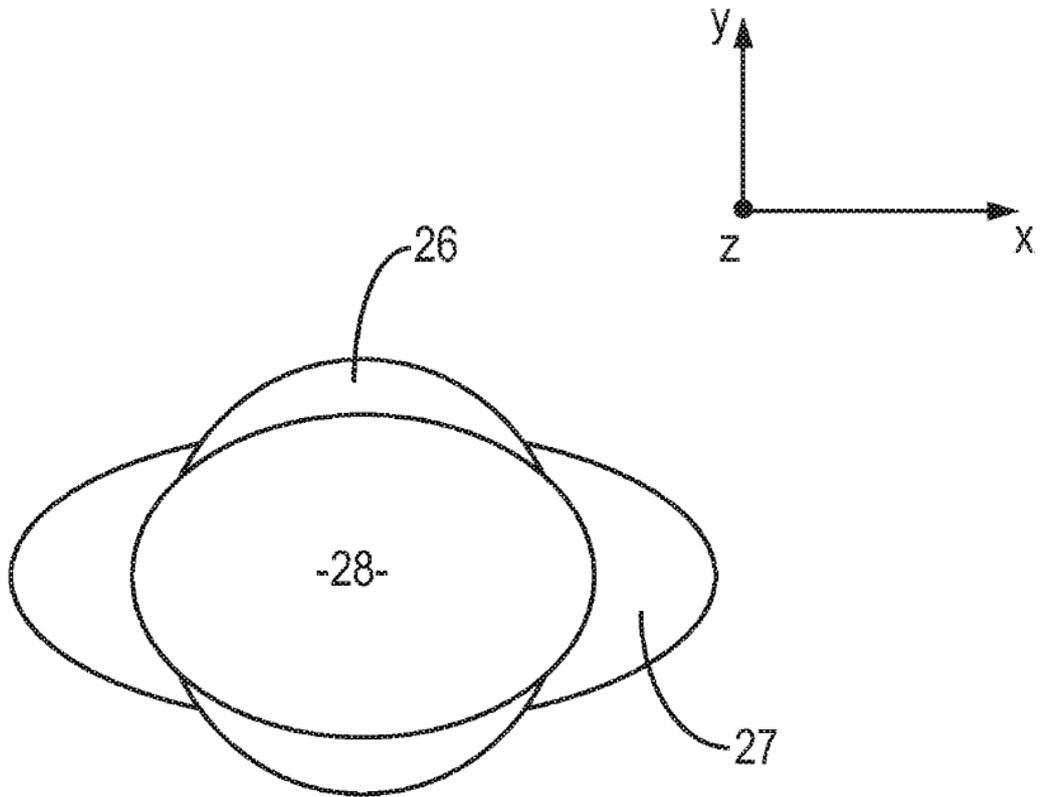
**Fig. 1**



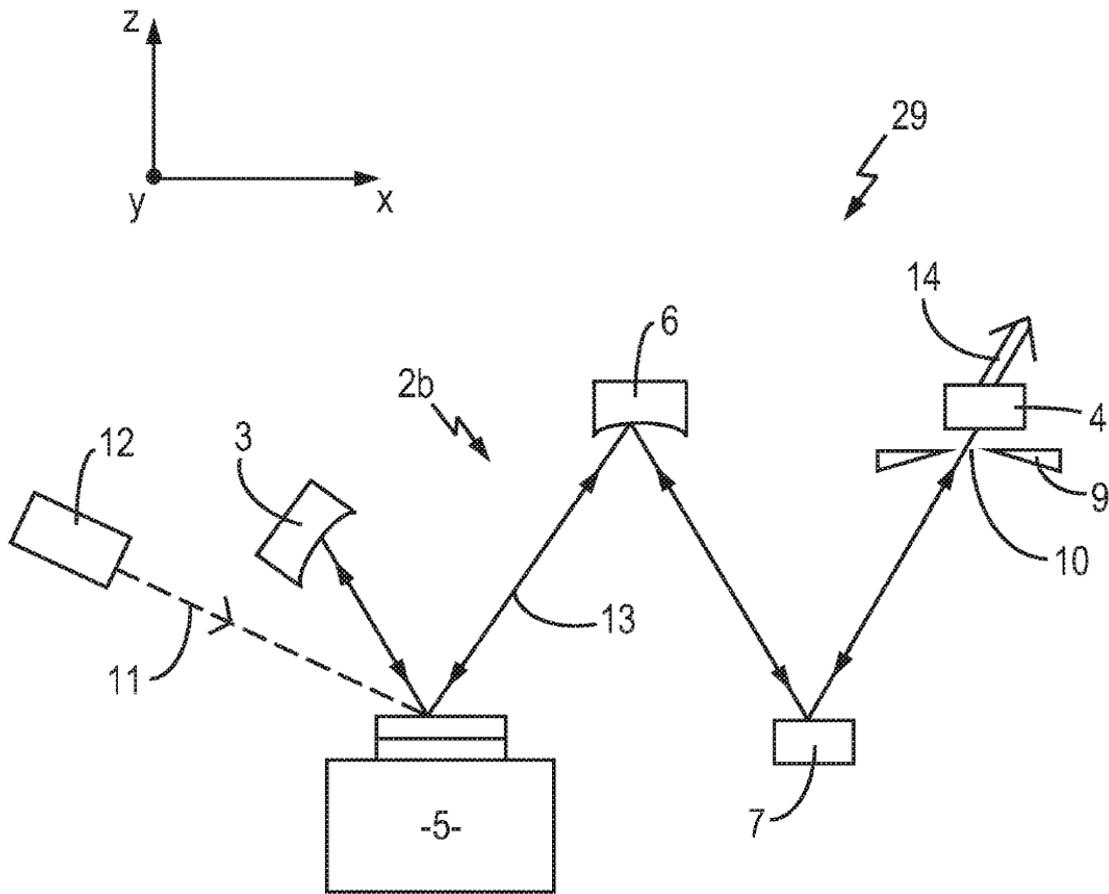
**Fig. 2**



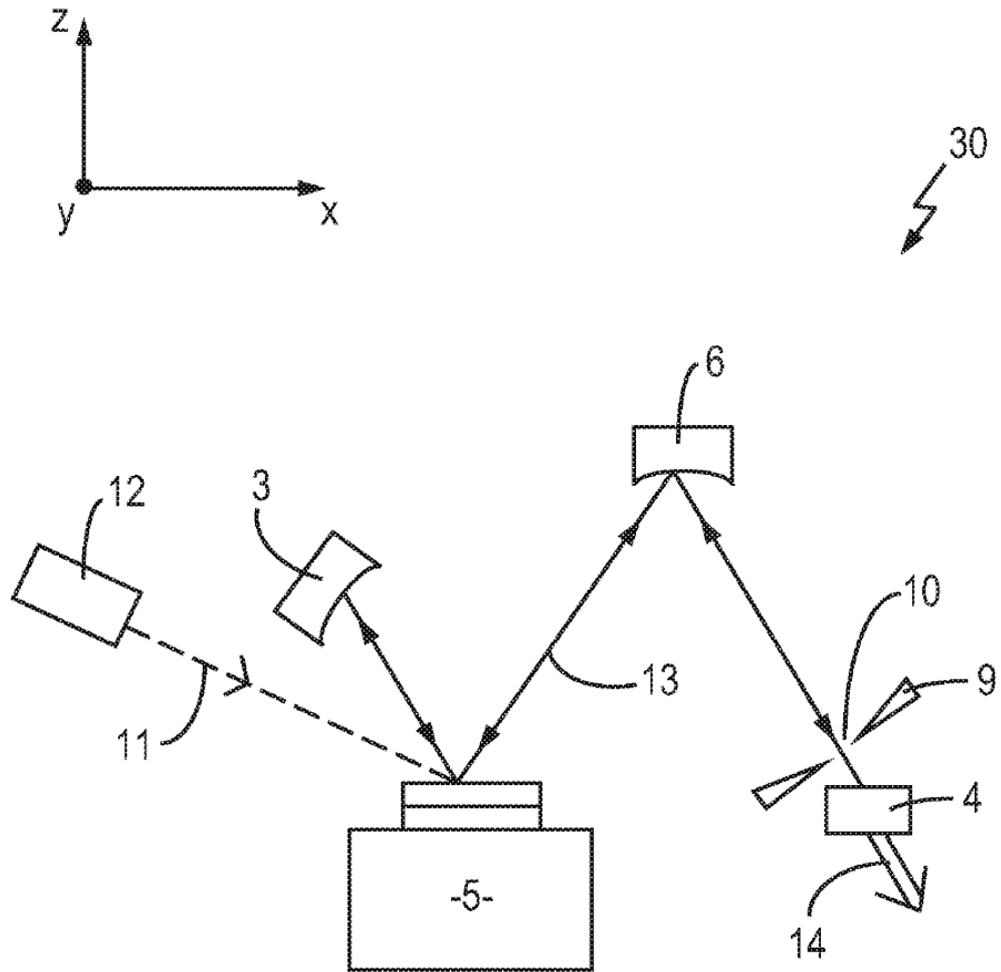
**Fig. 3**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**