

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 469**

51 Int. Cl.:
H01S 5/183 (2006.01)
H01S 5/14 (2006.01)
H01S 3/109 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08763430 .9**
96 Fecha de presentación: **01.07.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2176930**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **21.04.2010**

54 Título: **DISPOSITIVO LÁSER DE CAVIDAD EXTERNA QUE EMITE EN SUPERFICIE.**

30 Prioridad:
05.07.2007 EP 07111811

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
17.11.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
17.11.2011

73 Titular/es:
Koninklijke Philips Electronics N.V.
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven, NL

72 Inventor/es:
BAIER, Johannes y
MOENCH, Holger

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 368 469 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).

DESCRIPCION

Dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie con conversión de frecuencia intracavidad, un método relativo al mismo y una unidad de proyección de imágenes.

10 Antecedentes de la invención

Los láseres que emiten en superficie vertical (VCSEL) se conocen en la técnica por sus bajos costes de fabricación. Recientemente, se han desarrollado láseres que emiten en superficie vertical con una cavidad externa (VECSEL), que permiten generar de manera eficaz haces de gran área con alta calidad de haz. Colocando un dispositivo de conversión de frecuencia en la cavidad externa ahora es posible generar luz láser a longitudes de onda, para las que no es posible una generación directa de luz láser a un coste y esfuerzo razonables.

Un campo de aplicación típico de un dispositivo tal son los proyectores de imágenes RGB, para los que las fuentes de luz láser son ideales debido a su alta luminancia y alta calidad de haz. Mientras que la luz láser roja y azul puede generarse directamente por diodos láser a un coste razonable, actualmente no es viable generar luz láser verde usando directamente un diodo láser. Por tanto, los dispositivos láser de cavidad externa que emiten en superficie vertical con conversión de frecuencia intracavidad son prometedores para esta aplicación.

En los dispositivos láser de cavidad externa que emiten en superficie en vertical con conversión de frecuencia intracavidad, la luz láser se genera en un elemento láser semiconductor, similar al chip láser de un dispositivo VCSEL, que comprende al menos una capa de ganancia con habitualmente varios pozos cuánticos y al menos un reflector Bragg distribuido altamente reflectante. Un espejo láser se dispone espaciado del elemento láser para formar una cavidad externa, que completa el resonador láser. Cuando se hace funcionar el elemento láser, esta configuración genera luz a una frecuencia fundamental. Colocando un dispositivo de conversión de frecuencia, por ejemplo, un cristal no lineal, en la cavidad externa, se genera luz a una segunda frecuencia diferente de la frecuencia fundamental, por ejemplo, a una frecuencia armónica. La luz a la segunda frecuencia puede desacoplarse entonces fácilmente de la cavidad externa y usarse para la aplicación deseada.

Surge un problema, puesto que el rendimiento tanto del elemento láser semiconductor como del dispositivo de conversión de frecuencia depende habitualmente de la temperatura. La eficacia de conversión del dispositivo de conversión de frecuencia desde la frecuencia fundamental a la segunda frecuencia depende considerablemente de un acoplamiento exacto de su ancho de banda de ajuste de fase, que depende considerablemente de la temperatura para la mayoría de los materiales de conversión de frecuencia eficaces habituales. Si el ancho de banda de ganancia del elemento láser se desplaza debido a un cambio de la temperatura, el ancho de banda de ganancia puede desplazarse fuera del ancho de banda de ajuste de fase, lo que puede dar como resultado una baja eficacia de conversión y por tanto una baja potencia de la luz a la segunda frecuencia. Habitualmente, puede tratarse este problema mediante un control activo de la temperatura de ambos, el elemento láser y el dispositivo de conversión de frecuencia.

El documento WO 2006/105249 da a conocer un láser que emite en superficie de cavidad extendida vertical con frecuencia estabilizada, que comprende un chip láser semiconductor para la generación de luz láser a una frecuencia fundamental, un acoplador de salida, que define una cavidad externa y un cristal no lineal para generar luz a la frecuencia del segundo armónico que se dispone en el interior de la cavidad externa junto con un filtro de interferencia de película delgada.

En este caso, el filtro de película delgada sirve para limitar la longitud de onda de emisión del láser al ancho de banda de ajuste de fase del cristal no lineal. Aunque debido a esta configuración, puede omitirse un control de la temperatura del chip láser, todavía es necesario controlar activamente la temperatura del cristal no lineal, lo que resulta costoso y puede llevar a problemas importantes cuando se integra el dispositivo láser en unidades de proyección pequeñas.

El documento US 2005/0286573 A1 da a conocer un sistema láser de segundo armónico de alta potencia y bajo nivel de ruido. El sistema comprende un diodo láser con emisión de borde, una lente de colimador y un cristal óptico no lineal para doblar la frecuencia. Además, se da a conocer el uso de una rejilla de deflexión y un espejo de aplicación de láser de selección de longitud de onda para evitar saltos de modo y por tanto reducir el ruido de intensidad en la señal de salida de frecuencia duplicada.

Por tanto un objetivo es proporcionar un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie con conversión de frecuencia intracavidad, que sea aplicable universalmente y pueda fabricarse de manera económica.

65

Sumario de la invención

El objeto de la invención se resuelve mediante un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie con conversión de frecuencia intracavidad según la reivindicación 1, una unidad de proyección de imágenes según la reivindicación 10 y un método para generar luz convertida de frecuencia intracavidad según la reivindicación 11. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas de la invención.

El dispositivo láser según la invención comprende al menos un elemento láser que emite en superficie con múltiples capas semiconductoras, en el que están dispuestas al menos una capa de ganancia y una capa reflectante para obtener luz a una frecuencia fundamental. La capa de ganancia comprende habitualmente varias estructuras semiconductoras de pozo cuántico para emitir fotones a una frecuencia fundamental, por ejemplo, puede usarse GaAs con AlGaAs o InGaAs con GaAs.

La al menos una capa reflectante es altamente reflectante a la frecuencia fundamental y por ejemplo puede ser un reflector Bragg distribuido (DBR), que permite una reflectividad muy alta, mayor del 99,8%. El resonador láser se completa con medios reflectores, dispuestos espaciados del elemento láser y reflectantes a la frecuencia fundamental para formar una cavidad externa. Un dispositivo de conversión de frecuencia está dispuesto en el interior de la cavidad externa para generar luz a una segunda frecuencia, que es habitualmente una frecuencia armónica de la frecuencia fundamental. El dispositivo de conversión de frecuencia, por tanto, convierte la luz, generada por el elemento láser a la frecuencia fundamental, que se desplaza a través de la cavidad externa, en luz a una segunda frecuencia que es diferente de la frecuencia fundamental. Habitualmente, la segunda frecuencia es la frecuencia del segundo armónico de la frecuencia fundamental, aunque también es posible triplicar o "cuadruplicar" la frecuencia, así como cualquier otra conversión de frecuencia ascendente o descendente, la primera, por ejemplo, también por métodos de mezclado de frecuencia bien conocidos por los expertos.

La luz a la segunda frecuencia puede desacoplarse de la cavidad externa por medio de un acoplador de salida adecuado que va a usarse para la aplicación deseada. Esto puede lograrse, por ejemplo, dotando los medios reflectores de un recubrimiento adecuado, de manera que la luz a la segunda frecuencia pueda desacoplarse a través de los medios reflectores, por ejemplo un espejo dicróico.

Los dispositivos de conversión de frecuencia preferidos y usados frecuentemente son cristales no lineales, por ejemplo, y sin limitación, niobato de litio periódicamente polarizado (PPLN), tantalato de litio periódicamente polarizado (PPLT) o KTP, donde PPLN es especialmente preferido. Estos materiales pueden diseñarse con las propiedades de conversión de longitud de onda deseadas. Tales dispositivos de conversión de frecuencia se basan habitualmente en cuasiajustes de fase en un ancho de banda de ajuste de fase estrecho, donde el ancho de banda de ajuste de fase es recíprocamente proporcional a la longitud del cristal. Por ejemplo, el ancho de banda de ajuste de fase de un cristal de doble frecuencia PPLN que convierte la radiación IR de 1060 nm a 530 nm en radiación visible es de aproximadamente 1 nm para un cristal de 2 mm de longitud e incluso más estrecho para una longitud de cristal típica de aproximadamente 3-5 mm. Para una generación eficaz de luz a la segunda frecuencia, la frecuencia fundamental tiene que encontrarse dentro del ancho de banda de ajuste de fase del dispositivo de conversión de frecuencia.

La frecuencia fundamental del dispositivo láser puede seleccionarse de un gran intervalo de longitudes de onda mediante una selección apropiada de la estructura de pozo cuántico, el DBR y la configuración de los medios reflectores. Aunque esto permite fijar la frecuencia fundamental al ancho de banda de ajuste de fase del dispositivo de conversión de frecuencia a una temperatura definida, han de tomarse medidas adicionales puesto que las propiedades del elemento láser y del dispositivo de conversión de frecuencia dependen de la temperatura.

Por tanto, según la invención, en el interior de la cavidad externa están dispuestos medios de filtro paso banda ópticos sintonizables, para evitar un desplazamiento de la frecuencia fundamental fuera del ancho de banda de ajuste de fase del dispositivo de conversión de frecuencia.

Usando los medios de filtro paso banda, es posible limitar la luz emitida del elemento láser a una longitud de onda pico del filtro paso banda. Sintonizando los medios de filtro, es posible ventajosamente fijar la longitud de onda de la luz emitida a la frecuencia fundamental al ancho de banda de ajuste de fase del dispositivo de conversión de frecuencia, incluso si cambia la temperatura del elemento láser o el dispositivo de conversión de frecuencia. Por tanto, no es necesario proporcionar un control de temperatura para estos componentes, puesto que tras un desplazamiento del ancho de banda de ajuste de fase del dispositivo de conversión de frecuencia, es posible adaptar activamente la longitud de onda pico de los medios de filtro paso banda y, por tanto, la frecuencia fundamental al ancho de banda de ajuste de fase del dispositivo de conversión de frecuencia, de manera que pueda obtenerse una potencia máxima de luz a la segunda frecuencia.

Los medios de filtro paso banda pueden sintonizarse a partir de una señal, obtenida por medios detectores. Los medios detectores están diseñados para detectar al menos un valor físico, lo que permite maximizar la potencia de luz a la segunda frecuencia. Los medios detectores por tanto generan una señal, que permite sintonizar el filtro paso banda. Los medios detectores pueden conectarse directamente al filtro paso banda óptico o empleando cualquier

sistema de circuitos de control intermedio. Los medios detectores y si es necesario cualquier sistema de circuitos de control pueden formarse preferiblemente sobre el sustrato semiconductor del elemento láser para simplificar la configuración del dispositivo.

5 El dispositivo láser puede contener elementos eléctricos u ópticos adicionales para mejorar adicionalmente las propiedades de generación de luz. Por ejemplo, el elemento láser puede comprender preferiblemente un segundo DBR parcialmente reflectante, dispuesto en el lado de la capa de ganancia, dirigido a la cavidad externa, de manera que la capa de ganancia esté intercalada entre dos estructuras DBR. Esta disposición preferida prevé una separación del medio de ganancia de las pérdidas en la cavidad externa. Lo más preferiblemente, el segundo DBR
10 tiene una reflectividad a la frecuencia fundamental en un intervalo del 85% - 95%. Esta configuración que usa dos DBR posibilita además bombear eléctricamente la capa de ganancia, por ejemplo, mediante un dopado adecuado de las capas DBR.

15 Alternativamente a un bombeo eléctrico de la capa de ganancia, puede usarse un bombeo óptico que use un segundo elemento láser. Además, la cavidad externa puede comprender un elemento de control de polarización, por ejemplo una estructura de rejilla de línea bidimensional, ya que la conversión de frecuencia depende habitualmente de una polarización definida de la luz a la frecuencia fundamental. Un elemento de enfoque, por ejemplo, una lente de enfoque, puede estar presente para mejorar adicionalmente las propiedades de conversión de frecuencia o de aplicación de láser del dispositivo.

20 Como se explicó anteriormente, los medios detectores están diseñados para detectar al menos un valor físico, que permita maximizar la potencia de luz a la segunda frecuencia. Normalmente, el cambio de temperatura del dispositivo de conversión de frecuencia es un parámetro crucial, de manera que los medios detectores pueden comprender un detector de temperatura, configurado para medir la temperatura del dispositivo de conversión de
25 frecuencia o un cambio de su temperatura. Usando una base de datos adecuada, puede ser posible determinar la longitud de onda del ancho de banda de ajuste de fase correspondiente a una temperatura del dispositivo de conversión de frecuencia y sintonizar los medios de filtro paso banda a esta longitud de onda.

30 En una realización preferida de la invención, los medios detectores comprenden un detector óptico, que puede hacerse funcionar para detectar la potencia de la luz a la segunda frecuencia. La presente realización permite maximizar ventajosamente la potencia óptica a la segunda frecuencia directamente, independientemente de la causa de la caída de potencial en la potencia. El detector óptico puede ser, por ejemplo, un fotodiodo pin o cualquier otro detector óptico adecuado para la segunda frecuencia deseada, conocido en la técnica. Los medios detectores pueden comprender además un sistema de circuitos de control, por ejemplo un controlador PID, para permitir la
35 compensación eficaz de un desplazamiento en la longitud de onda. Como se mencionó anteriormente, los medios detectores y/o el detector óptico pueden formarse preferiblemente sobre el sustrato semiconductor del elemento láser, para reducir la complejidad global del dispositivo.

40 El detector óptico puede colocarse en el interior de la cavidad externa del dispositivo láser, para obtener un factor de forma pequeño del dispositivo, aunque se prefiere colocar el detector óptico fuera de la cavidad externa para reducir las pérdidas dentro de la cavidad de láser externa. Por ejemplo, un pequeño porcentaje del haz de luz a la segunda frecuencia, que está desacoplado de la cavidad externa, puede dirigirse al detector óptico mediante un divisor de haz tal como se conoce en la técnica.

45 Los medios de filtro paso banda ópticos sintonizables pueden ser de cualquier tipo adecuado, que permita filtrar la luz en la cavidad externa. El ancho de banda de los medios de filtro paso banda se adaptarán al dispositivo de conversión de frecuencia particular, por ejemplo, usando un cristal PPLN típico con 3 mm de longitud para convertir radiación IR a 1060 nm al intervalo visible verde, el ancho de banda del filtro será aproximadamente de 0,7 nm FWHM.
50

Para aumentar la eficacia para la conversión de frecuencia dentro de la cavidad externa, se prefiere seleccionar el ancho de banda de los medios de filtro paso banda extremadamente pequeños, de manera que el número de modos longitudinales de la cavidad externa, que permiten la generación de luz láser a la frecuencia fundamental, esté limitado. Esto puede lograrse seleccionando el ancho de banda del filtro menor que el espaciamiento de longitud de
55 onda de los modos de cavidad extendida longitudinales adyacentes. Lo más preferiblemente, el número de modos longitudinales a la frecuencia fundamental es 1. Por ejemplo, usando una cavidad externa con una longitud de 1 cm a una longitud de onda fundamental de 1060 nm, esto da como resultado un ancho de banda de filtro requerido inferior a 0,06 nm FWHM.

60 Preferiblemente, los medios de filtro paso banda ópticos sintonizables comprenden un filtro dieléctrico paso banda óptico sintonizable. Un filtro tal puede diseñarse ventajosamente con propiedades de transmisión de banda muy estrecha. La sintonización del filtro dieléctrico puede lograrse variando el índice de refracción del material de filtro, que es generalmente conocido en la técnica. A modo de ejemplo es posible variar el índice de refracción de un filtro dieléctrico hecho con un material de filtro sensible a la presión, variando una presión aplicada al filtro, por ejemplo,
65 usando un piezo elemento. Además, es posible sintonizar el filtro variando la temperatura del filtro dieléctrico, por

ejemplo usando una disposición calentador/refrigerador adecuada, es decir, un elemento Peltier. Aunque esto haría necesario un control de temperatura, es más simple controlar activamente la temperatura de un filtro dieléctrico que la temperatura del elemento láser o del dispositivo de conversión de frecuencia.

5 Lo más preferiblemente, los medios de filtro paso banda ópticos comprenden un interferómetro Fabry-Perot y un elemento de accionamiento para sintonizar una frecuencia de resonancia del interferómetro. Los interferómetros Fabry-Perot (etalones) son generalmente conocidos en la técnica y se basan en interferencia entre dos superficies reflectantes dieléctricas. Las frecuencias de resonancia de un interferómetro de este tipo pueden sintonizarse variando la longitud óptica entre las superficies reflectantes. Debe indicarse, que aunque un interferómetro Fabry-Perot tiene habitualmente una pluralidad de frecuencias de resonancia y así una pluralidad pasos banda, puede obtenerse una característica paso banda "casi" única, cuando el intervalo espectral libre entre dos picos de resonancia del interferómetro se selecciona para ser mayor que el ancho de banda de emisión y un posible ancho de banda de desplazamiento de temperatura del elemento láser. Por ejemplo, para una frecuencia fundamental de 1060 nm, y un elemento láser normalmente de tipo InGaAs, la longitud óptica máxima del filtro sería de 10 μm .

15 Para permitir una sintonización del filtro paso banda y así variar la longitud óptica entre las superficies reflectantes, puede usarse cualquier actuador adecuado, por ejemplo un actuador microelectromecánico (MEMS). En el ejemplo mostrado anteriormente, el actuador permitirá una deflexión de al menos 100 nm. Preferiblemente, el actuador es un piezo actuador. Los piezo actuadores permiten ventajosamente una colocación precisa y rápida con una resolución subnanométrica. Lo más preferiblemente, se usan piezo actuadores de tipo pila. Dependiendo del tipo de piezo actuador, puede ser necesario un conjunto de circuitos de accionamiento que puede integrarse fácilmente sobre el sustrato semiconductor del elemento láser.

25 En una realización preferida de la invención, el dispositivo de conversión de frecuencia y el filtro paso banda están formados de manera solidaria. Un diseño de este tipo reduce ventajosamente las piezas necesarias del dispositivo láser. Preferiblemente, el dispositivo de conversión de frecuencia comprende un elemento primero y segundo, espaciados en un eje óptico del dispositivo láser, en el que el elemento primero y segundo tienen superficies opuestas, que forman el interferómetro Fabry-Perot. Ambas superficies están dotadas de un recubrimiento, para obtener una alta reflectividad a la frecuencia fundamental. Lo más preferiblemente, el recubrimiento está diseñado además de manera antirreflectante para la segunda frecuencia para conseguir un desacoplamiento eficaz de la luz a la segunda frecuencia.

35 Con esta configuración, el interferómetro se forma de manera ventajosa entre los dos elementos del dispositivo de conversión de frecuencia. La sintonización del filtro paso banda puede conseguirse fácilmente desplazando o bien el primer o bien el segundo elemento a lo largo del eje óptico usando los actuadores mencionados anteriormente. Las dos superficies reflectantes deben mantenerse paralelas entre sí.

40 Los elementos primero y/o segundo pueden estar diseñados con propiedades de conversión de frecuencia. Preferiblemente ambos elementos tienen el mismo índice de refracción, ya que esto garantiza que el haz óptico sólo se desplace paralelo al eje óptico, lo que elimina la necesidad de una compensación angular costosa en el interior de la cavidad externa del dispositivo láser. Además se prefiere dotar a las superficies de los elementos, que no contribuyen al interferómetro de Fabry-Perot de un recubrimiento antirreflectante al menos a la frecuencia fundamental para minimizar adicionalmente las pérdidas por reflexión en la cavidad externa.

45 En una realización preferida de la invención, las superficies opuestas del elemento primero y segundo, que forman el interferómetro Fabry-Perot, son paralelas entre sí y están inclinadas hacia el eje óptico. Esta configuración preferida permite seleccionar libremente la reflectividad de las superficies, sin el riesgo de que estas superficies actúen como espejos láser cuando la reflectividad a la frecuencia fundamental es demasiado alta, lo que posiblemente permitiría una aplicación de láser sin la mejora de filtro paso banda del interferómetro. Además, valores de reflectividad alta de las superficies opuestas mejoran ventajosamente el contraste y permiten un ancho de banda estrecho del interferómetro.

55 Preferiblemente, las superficies opuestas están inclinadas hacia el eje óptico con un ángulo mayor que 2°. Ángulos de inclinación elevados mayores que 2° permiten incorporar un control de polarización en las superficies reflectantes del interferómetro, lo que ventajosamente mejora una configuración económica y compacta del dispositivo. El control de polarización de la luz a la frecuencia fundamental es importante porque, como se mencionó anteriormente, la conversión de frecuencia depende habitualmente de una polarización definida de la luz a la frecuencia fundamental.

60 Mientras que para la incidencia perpendicular, las propiedades de reflexión de una superficie (óptica) dieléctrica son constantes para todas las polarizaciones posibles de la luz incidente, el coeficiente de reflexión depende de la polarización para la incidencia no perpendicular. Sin embargo, los ángulos de inclinación elevados requieren un espaciado muy pequeño de las superficies del interferómetro en el eje óptico para evitar que los haces reflejados múltiples pierdan solapamiento espacial, lo que reduciría el rendimiento del interferómetro. Preferiblemente, el ángulo de inclinación está entre 10° y 45°. Lo más preferiblemente, los recubrimientos, previstos sobre las superficies opuestas son recubrimientos de múltiples capas, que ventajosamente pueden estar diseñados

con un control de polarización fuerte.

Tal como se mencionó anteriormente, los medios reflectores están diseñados para ser altamente reflectantes a la frecuencia fundamental para permitir una aplicación de láser en el interior de la cavidad externa y preferiblemente muestran propiedades antirreflectantes a la segunda frecuencia para permitir un desacoplamiento eficaz de la luz a la segunda frecuencia. Para este fin, puede usarse un espejo láser común con un recubrimiento adecuado. Alternativamente, una rejilla de Bragg de volumen, diseñada con propiedades adecuadas tal como se explicó anteriormente, puede sustituir al espejo láser.

Según una realización preferida de la invención, los medios reflectores son un recubrimiento, previsto sobre el filtro paso banda óptico o sobre el dispositivo de conversión de frecuencia. Esta realización simplifica adicionalmente de manera ventajosa la configuración del dispositivo. Para permitir una aplicación de láser en el interior de la cavidad externa, el recubrimiento es altamente reflectante a la frecuencia fundamental y preferiblemente muestra propiedades antirreflectantes a la segunda frecuencia. Para conseguir un funcionamiento estable del láser, puede ser necesario proporcionar una lente de enfoque. La lente de enfoque puede estar dispuesta en el interior de la cavidad externa o en el lado del elemento láser, dirigido a la cavidad externa, o puede estar formada como lente térmica en el sustrato semiconductor del elemento láser, como se conoce en la técnica. Preferiblemente, los medios reflectores están formados como un recubrimiento sobre la superficie del segundo elemento, que no forma el interferómetro Fabry-Perot.

Una unidad de proyección de imágenes según la invención comprende al menos un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie tal como se mencionó anteriormente, una unidad de control electrónico y al menos un modulador espacial de luz. Un dispositivo láser permite generar un haz de luz con una alta calidad de haz y alta luminancia, por tanto es ideal para aplicaciones en proyectores. Puesto que no es posible a un esfuerzo y coste razonable generar directamente luz láser verde para una unidad de proyección RGB, un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie con conversión de frecuencia intracavidad, tal como se comentó anteriormente es muy ventajoso para tales aplicaciones. A modo de ejemplo, usando un cristal de PPLN diseñado de manera apropiada como dispositivo de conversión de frecuencia, es posible generar luz verde a 532 nm usando un elemento láser de IR, que emita luz a una longitud de onda fundamental de 1064 nm. Naturalmente, la invención no está limitada a la generación de luz verde; también pueden generarse otros colores mediante un diseño adecuado de los componentes. Para mejorar adicionalmente la luminancia de la unidad de proyección, se prefiere usar una disposición de elementos láser en un único dispositivo láser o una disposición de dispositivos láser por cada color.

El modulador espacial de luz puede ser cualquier dispositivo que permita generar una imagen según una distribución de colores dada, por ejemplo una señal de vídeo. Un modulador espacial de luz de este tipo puede ser una válvula de paso de luz binaria, por ejemplo, un dispositivo DLP, un modulador LCOS (cristal líquido sobre silicio), un dispositivo LCD o un escáner microelectromecánico, que puede generar una imagen escaneando el haz de láser.

Debe entenderse que la unidad de proyección de imágenes puede comprender otros componentes eléctricos, ópticos o mecánicos, que pueden ser necesarios dependiendo de la aplicación necesaria.

Según el método de la invención, se genera luz convertida intracavidad con un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie, que comprende al menos un elemento láser que emite en superficie con múltiples capas, en el que están dispuestas al menos una capa de ganancia y una capa reflectante para obtener luz láser a una frecuencia fundamental, medios reflectores, espaciados del láser que emite en superficie para formar una cavidad externa, un dispositivo de conversión de frecuencia, dispuesto en el interior de la cavidad externa para generar luz a una segunda frecuencia diferente de la frecuencia fundamental, que normalmente es una frecuencia armónica de la frecuencia fundamental, medios de filtro paso banda ópticos sintonizables, dispuestos en el interior de la cavidad externa, y medios detectores, en el que dichos medios de filtro paso banda pueden sintonizarse a partir de una señal, que se obtiene por los medios detectores, para maximizar la potencia de salida del dispositivo láser a la segunda frecuencia.

Para sintonizar el filtro paso banda, puede usarse cualquier señal de control adecuada. La señal puede generarse directamente usando los medios detectores o puede generarse mediante un sistema de circuitos de control, por ejemplo, un microcontrolador. Para maximizar activamente la potencia de salida a la segunda frecuencia, se conocen en la técnica métodos de maximización recurrentes e iterativos adecuados. Un método de este tipo puede hacerse funcionar de manera activa en un bucle cerrado para un funcionamiento en tiempo real o puede hacerse funcionar en intervalos de tiempo dados.

Breve descripción de los dibujos

Los objetivos, características y ventajas anteriores y otros de la presente invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción de realizaciones preferidas, en la que:

la figura 1 muestra una primera realización del dispositivo láser según la invención en un vista en sección transversal

y

la figura 2 muestra una segunda realización del dispositivo láser según la invención.

5 Descripción detallada de realizaciones

La figura 1 muestra una primera realización del dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie con conversión de frecuencia intracavidad según la invención. Un elemento 1 láser que emite en superficie semiconductor está diseñado con una capa 1a de ganancia, intercalada entre dos reflectores 1b, 1c de Bragg distribuidos (DBR). El sustrato 1d sirve para soportar mecánicamente las capas del elemento 1 láser y es transparente a la frecuencia fundamental. La configuración descrita anteriormente y mostrada en la figura es similar a la configuración de un dispositivo láser VCSEL típico.

La capa 1a de ganancia comprende pozos cuánticos de InGaAs embebidos en GaAs, diseñados para emitir luz a una frecuencia fundamental o longitud de onda de 1064 nm. Los dos DBR 1b, 1c forman una cavidad láser interna, por tanto el DBR 1b es altamente reflectante (> 99,8%) a la frecuencia fundamental. La reflectividad de DBR 1c es menor para permitir un desacoplamiento de y una realimentación desde una cavidad 12 externa, formada por un espejo 2 láser. DBR 1b está dopado de tipo p y DBR 1c está dopado de tipo n para suministrar una corriente de bomba eléctrica a la capa 1a de ganancia para permitir un bombeo eléctrico. Naturalmente, también es posible dopar el DBR 1b y 1c en un orden inverso, dependiendo de la aplicación deseada.

El espejo 2 láser muestra una alta reflectividad a la frecuencia fundamental y está recubierto con un recubrimiento antirreflectante (no mostrado) en su superficie interna, que se dirige a la cavidad 12 externa al menos para una segunda frecuencia. Alternativamente, el espejo 2 láser podría sustituirse por una rejilla de Bragg de volumen con propiedades adecuadas tal como se conoce en la técnica.

La luz a la segunda frecuencia se genera mediante un dispositivo 3 de conversión de frecuencia, que comprende un primer elemento 3a y un segundo elemento 3b. El elemento 3a está hecho de un material no lineal de niobato de litio periódicamente polarizado, diseñado para convertir luz a la frecuencia fundamental en luz a la segunda frecuencia. En este caso, la segunda frecuencia es la frecuencia del segundo armónico de la frecuencia fundamental con una longitud de onda de 532 nm. El elemento 3b consiste en cristal óptico, transparente a la frecuencia fundamental y la segunda. El elemento 3b puede consistir alternativamente en el material del elemento 3a, por ejemplo, niobato de litio. Los elementos 3a, 3b muestran el mismo índice de refracción, de modo que el haz de luz que se desplace en el interior de la cavidad 12 no se desplace de manera angular.

Como el dispositivo 3 de conversión de frecuencia tiene un ancho de banda de ajuste de fase estrecho para conversión de frecuencia, que puede desplazarse, por ejemplo, con un cambio en la temperatura, se requiere un control de frecuencia a la frecuencia fundamental.

Por tanto, las superficies opuestas de los elementos 3a y 3b forman de manera solidaria un interferómetro Fabry-Perot sintonizable para permitir el control de la frecuencia de emisión del elemento 1 láser y para estrechar el ancho de banda de la luz emitida a la frecuencia fundamental. Las dos superficies están dotadas de un recubrimiento 11 para obtener alta reflectividad a la frecuencia fundamental, tal como puede observarse a partir de la sección ampliada en la figura 1.

Para sintonizar el interferómetro Fabry-Perot, se varía la distancia entre los elementos 3a y 3b en una dirección paralela al eje óptico, que se indica mediante una línea discontinua en la figura. Por tanto, un piezo actuador 6 de tipo pila está dispuesto en el segundo elemento 3b. El piezo actuador 6 está conectado a y controlado por una unidad 9 de control. Como entrada a la unidad 9 de control un detector 7 óptico está dispuesto fuera de la cavidad 12 externa, configurado para medir la potencia de la luz a la segunda frecuencia. El detector 8 detecta la potencia del haz de luz 5 a la segunda frecuencia, que se desacopla de la cavidad 12 externa a través del espejo 2 láser. Por tanto, el haz 5 se divide usando un divisor 8 de haz, que dirige una pequeña parte de la luz a la segunda frecuencia hacia el detector 8.

Usando la disposición descrita anteriormente, es posible determinar activamente la potencia de la luz a la segunda frecuencia y usar esta información para optimizar la distancia entre los dos elementos 3a y 3b, sintonizando así la frecuencia paso banda del interferómetro de Fabry-Perot. Esto permite adaptar la frecuencia de la luz, emitida por el elemento 1 láser al ancho de banda de ajuste de fase del material no lineal. Por tanto, es posible maximizar fácilmente la potencia de luz a la segunda frecuencia en una operación en bucle cerrado. Una maximización puede llevarse a cabo usando métodos tal como se conocen en la técnica, por ejemplo usando un método de gradiente.

Como puede observarse adicionalmente a partir de la figura, las superficies opuestas de los elementos 3a y 3b son paralelas entre sí y están inclinadas hacia el eje óptico. El ángulo de inclinación evita el riesgo de que las superficies actúen como espejos láser.

65

La figura 2 muestra una realización adicional de un dispositivo láser según la invención. En general la configuración de la realización según la figura 2 es análoga a la realización de la figura 1. Por tanto, se usan signos de referencia correspondientes.

5 En la presente realización, a diferencia de la realización de la figura 1, la cavidad 12 externa está formada por un recubrimiento 2' dieléctrico dispuesto sobre el segundo elemento 3b del dispositivo 3 de conversión de frecuencia. La disposición según la presente realización reduce así la complejidad del dispositivo. Para sintonizar el interferómetro Fabry-Perot y así variar la distancia entre el primer elemento 3a y el segundo elemento 3b, se dispone un actuador 6' MEMS. Se consigue un funcionamiento estable del láser, puesto que se forma una lente de enfoque
10 térmica durante el funcionamiento en el interior del sustrato 1d del elemento 1 láser.

La invención se ha ilustrado y descrito con detalle en los dibujos y en la descripción anterior. Tal ilustración y descripción deben considerarse ilustrativas o a modo de ejemplo y no limitativas; la invención no se limita a las realizaciones dadas a conocer.
15

En las reivindicaciones, la expresión "que comprende" no excluye otros elementos, y el artículo indefinido "un" o "una" no excluye una pluralidad. El mero hecho de que se citen ciertas medidas en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí no indica que no pueda usarse ventajosamente una combinación de estas medidas. Ningún signo de referencia en las reivindicaciones debe interpretarse como limitativo del alcance.
20

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie con conversión de frecuencia intracavidad que comprende:
 - al menos un elemento (1) láser que emite en superficie con múltiples capas, en el que están dispuestas al menos una capa (1a) de ganancia y una capa (1b) reflectante para obtener luz láser a una frecuencia fundamental,
 - medios reflectores, espaciados del elemento (1) láser que emite en superficie para formar una cavidad (12) externa,
 - un dispositivo (3) de conversión de frecuencia, dispuesto en el interior de la cavidad (12) externa para generar luz a una segunda frecuencia, que es diferente de la frecuencia fundamental, y caracterizado por
 - medios de filtro paso banda ópticos sintonizables, dispuestos en el interior de la cavidad (12) externa,
 - y medios detectores, en el que dichos medios de filtro paso banda ópticos pueden sintonizarse a partir de una señal, que se obtiene por los medios detectores.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que los medios detectores comprenden un detector (7) óptico, que puede hacerse funcionar para detectar la potencia de la luz a la segunda frecuencia.
3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que los medios de filtro paso banda comprenden un filtro dieléctrico sintonizable.
4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que los medios de filtro paso banda comprenden un interferómetro Fabry-Perot y un elemento (6, 6') de accionamiento para sintonizar una frecuencia de resonancia del interferómetro.
5. Dispositivo según la reivindicación 4, en el que el elemento de accionamiento es un piezo actuador (6).
6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 4-5, en el que el dispositivo (3) de conversión de frecuencia y los medios de filtro paso banda están formados de manera solidaria.
7. Dispositivo según la reivindicación 6, en el que el dispositivo (3) de conversión de frecuencia comprende un elemento primero (3a) y uno segundo (3b), espaciados en un eje óptico del láser, en el que los elementos primero (3a) y segundo (3b) tienen superficies opuestas, dotadas de un recubrimiento (11), que forman el interferómetro Fabry-Perot .
8. Dispositivo según la reivindicación 7, en el que las superficies opuestas de los elementos primero (3a) y segundo (3b) son paralelas entre sí y están inclinadas hacia el eje óptico.
9. Dispositivo según la reivindicación 8, en el que las superficies opuestas están inclinadas hacia el eje óptico con un ángulo mayor que 2°.
10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios reflectores son un recubrimiento (2'), previsto sobre los medios de filtro paso banda ópticos o sobre el dispositivo (3) de conversión de frecuencia.
11. Unidad de proyección de imágenes con al menos un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, una unidad de control electrónico y al menos un modulador espacial de luz.
12. Método para generar luz convertida de frecuencia intracavidad con un dispositivo láser de cavidad externa que emite en superficie, que comprende al menos un elemento (1) láser que emite en superficie con múltiples capas, en el que están dispuestas al menos una capa (1a) de ganancia y una capa (1b) reflectante para obtener luz láser a una frecuencia fundamental, medios reflectores, espaciados del elemento (1) láser que emite en superficie para formar una cavidad (12) externa, un dispositivo (3) de conversión de frecuencia, dispuesto en el interior de la cavidad (12) externa para generar luz a una segunda frecuencia, que es diferente de la frecuencia fundamental, caracterizado porque se prevén medios de filtro paso banda ópticos sintonizables, dispuestos en el interior de la cavidad (12) externa y medios detectores, en el que dichos medios de filtro paso banda se sintonizan a partir de una señal, que se obtiene

por los medios detectores, para maximizar la potencia de salida del dispositivo láser a la segunda frecuencia.

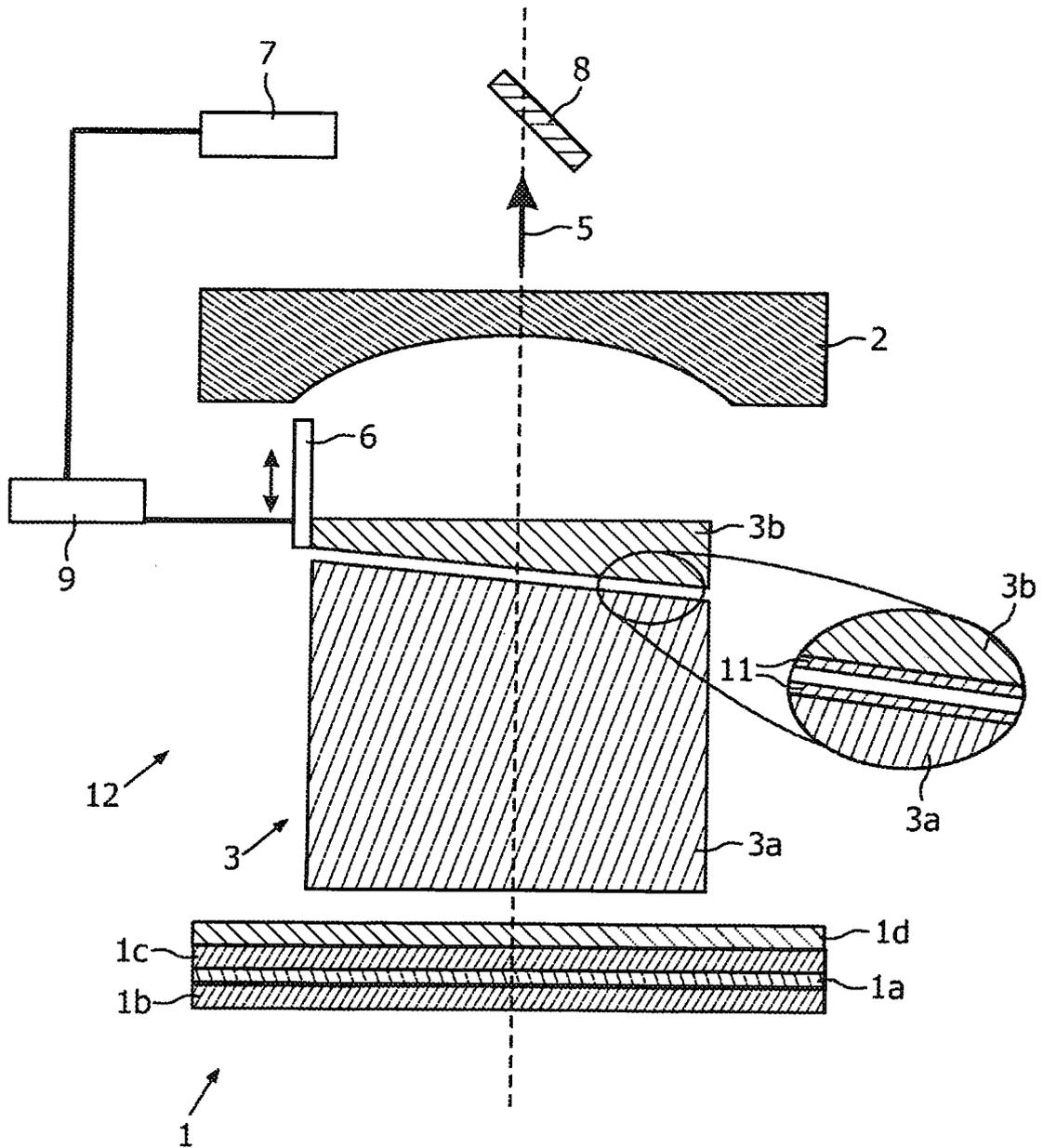


FIG. 1

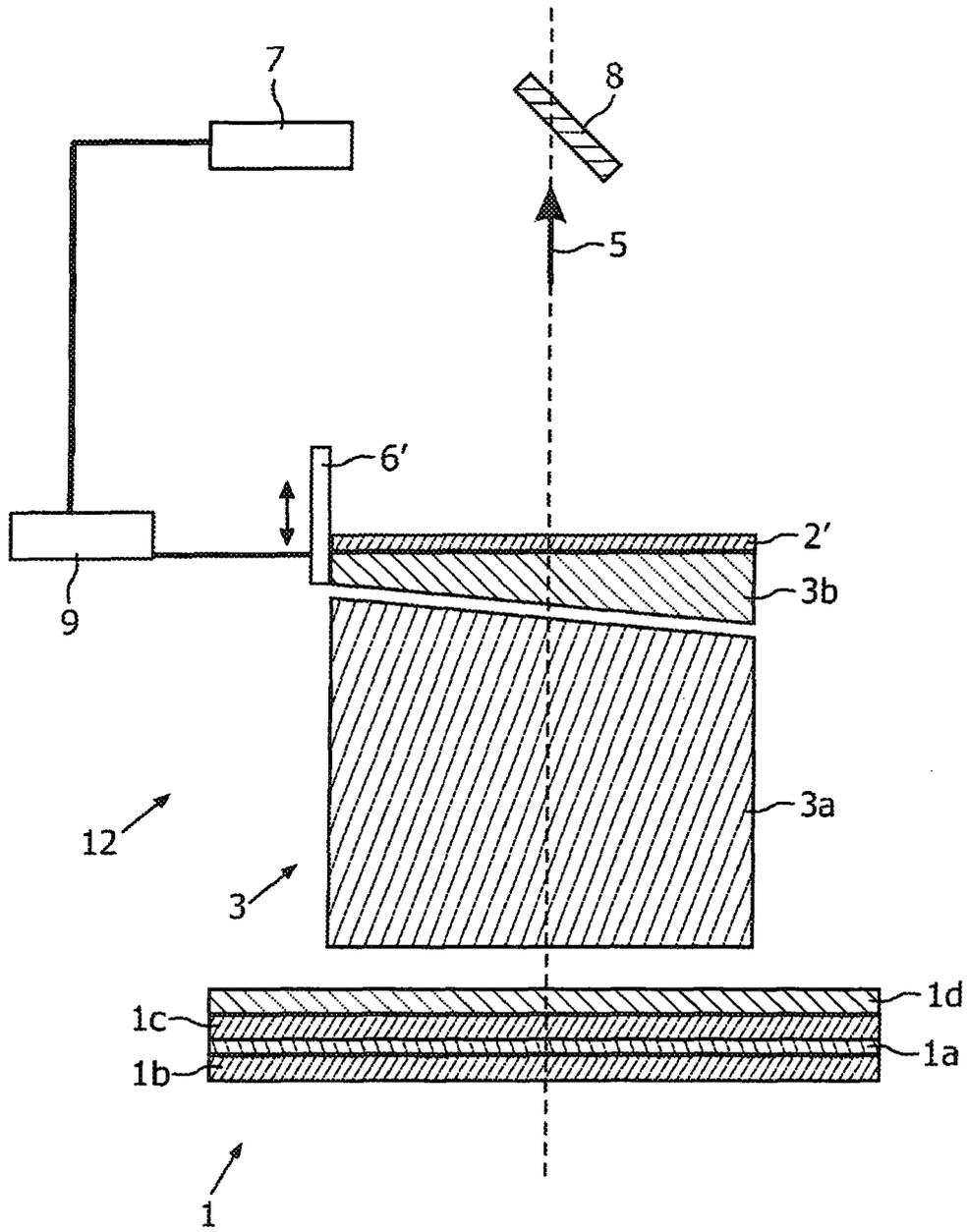


FIG. 2