

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 047**

51 Int. Cl.:

H01S 3/0941 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2016** E 16152376 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.05.2018** EP 3048678

54 Título: **Amplificación del haz láser mediante el bombeo homogéneo de un medio de amplificación**

30 Prioridad:

23.01.2015 GB 201501171

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

12.06.2018

73 Titular/es:

**ROFIN-SINAR (UK) LTD (100.0%)
Meadow Road Bridgehead Business Park Kinston
Upon Hull
Humberside HU13 0DG, GB**

72 Inventor/es:

**BAKER, HOWARD JOHN;
LEE, JASON ROBERT;
FULFORD, BENJAMIN STUART y
BIRKIN, DAVID JAMES LEWIS**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 672 047 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

Amplificación del haz láser mediante el bombeo homogéneo de un medio de amplificación

5 La presente invención se refiere a un aparato y método para la amplificación de un haz láser mediante el bombeo de un haz de fuente compuesto homogéneo a través de un medio de amplificación.

El artículo de C L Bonner y otros: "Diode-bar end-pumped high-power Nd:Y 3 Al 5 O 12 planar waveguide laser", en el Journal Optical Society of America OCIS, 15 de junio de 1998 (1998-06-15), páginas 942-944, describe tal disposición.

10 Los láseres con anchos de pulso de menos de IOps ofrecen nuevas capacidades de procesamiento en aplicaciones industriales de micromecanizado. Sin embargo, las velocidades de procesamiento que permiten la fabricación en masa requieren frecuencias de repetición de impulsos de entre 100 kHz a 10 MHz, ajustables a una frecuencia óptima con potencias medias superiores a 100 W. Típicamente, tales combinaciones no pueden alcanzarse con la mayoría de las arquitecturas láser ya que la energía de pulso máxima está limitada por efectos no lineales y daños en el cristal de láser. Los osciladores de láser de disco delgado han alcanzado potencias cercanas a 150 W, que están en el extremo inferior del intervalo de potencia requerido, pero a frecuencias de repetición de impulsos fijas de entre 3.50 MHz y 60 MHz, que están por encima del intervalo requerido, y no pueden ajustarse fácilmente a una frecuencia óptima para un proceso específico mientras se mantiene la potencia media.

20 Actualmente, los amplificadores de potencia del oscilador maestro (MOPA) se utilizan para obtener las altas potencias medias requeridas. En tal aparato, un oscilador maestro láser de baja potencia genera impulsos del ancho requerido que se acoplan en un amplificador de potencia. El pulso de entrada estimula la emisión dentro del amplificador que se añade al pulso de entrada para crear un pulso de energía de salida más alto. La intensidad tanto como la fluencia son significativamente menores que las que se conseguirían dentro de un oscilador que tiene una salida similar, el aparato puede alcanzar una mayor potencia de salida y energías antes de que ocurra el daño. Los MOPA se están implementando ahora en varias arquitecturas láser alternativas.

30 En cada una de estas disposiciones, un único medio cristalino en estado sólido forma la región activa del amplificador que típicamente se bombea a través de una o más barras de diodos láser. Una barra de diodo láser es una matriz lineal de los emisores con un eje rápido, que se refiere al eje vertical (perpendicular a la oblea semiconductora) donde el haz diverge rápidamente, y un eje lento, es paralelo a la cara de las barras. El eje lento (eje x) y el eje rápido (eje y) son perpendiculares entre sí y ortogonales al eje de bomba (eje z). El acoplamiento correcto de la energía de los emisores al medio láser en estado sólido es crucial para que el dispositivo funcione de manera eficiente con el modo estable y la potencia, requisitos previos de cualquier sistema láser industrial. La técnica de acoplamiento debe garantizar una absorción y calentamiento casi uniformes, tanto transversales como a lo largo del eje de bomba. En sistemas láser de 4 niveles tales como Nd: YAG, los perfiles de índice de refracción generados térmicamente pueden conducir a la dirección del haz, la distorsión modal y la despolarización. Mientras que algunos de estos efectos pueden reducirse mediante la elección de la geometría del cristal, tal como una guía de onda de franja delgada o plana, no pueden eliminarse por completo. Además, en sistemas de casi 3 niveles, como Yb: YAG, una población finita de nivel inferior de láser a temperatura ambiente puede conducir a regiones absorbentes no deseadas si el cristal no se bombea de manera uniforme.

45 El documento EP1318578 de Daniel Kopf describe un sistema de bombeo para un amplificador regenerativo en el que se obtiene un punto de bombeo de diodo láser sustancialmente lisa adecuada a partir de una fuente de matriz de diodos láser o matrices múltiples, mediante la formación de imágenes de cada emisor individual de la matriz o las matrices sin enfocar sustancialmente el mismo punto en el medio emisor de láser. Debido a la ausencia de enfoque, se alcanza un haz láser de diodo con relación de aspecto comparativamente bajo en la superficie del medio de ganancia con una intensidad comparativamente baja del punto, lo que evita daños térmicos y otros problemas causados por intensidades más altas en la configuración del amplificador regenerativo.

50 El esquema de bombeo de EP1318578 es como se detalla en la Figura 1. En el eje rápido de la barra A del diodo láser, se coloca un colimador B de eje rápido en forma de lente cilíndrica, con distancia focal, $f1$, entre 0,2-1 mm, a una distancia $f1$ de los emisores C del diodo láser. Esto actúa para colimar la luz fuertemente divergente en el eje rápido. En el eje lento, una lente cilíndrica D de distancia focal $f2$ se coloca a una distancia $\sim f2$ de los emisores de diodos C. Esta lente actúa solo en el eje lento. Actúa para colimar el haz en el eje lento y crea un solapamiento sustancial entre los haces creados por los emisores individuales dentro de la matriz. Alternativamente, al desplazar ligeramente la posición de la lente cilíndrica, los haces pueden colocarse adyacentes entre sí en el eje lento. Sobre todo, no hay enfoque del haz en el eje rápido.

60 El propósito de este esquema de bombeo es crear un haz casi circular, o de baja relación de aspecto, con un perfil suave en la superficie del medio de ganancia para usar en un amplificador regenerativo con una región activa de disco delgado en comparación con las estructuras de guía de onda de franja delgada o planas utilizadas en los MOPA. La baja relación de aspecto y el perfil del haz son necesarios para evitar aberturas no deseadas y efectos de calentamiento no uniformes. Para crear un perfil uniforme, la lente cilíndrica en el eje lento no crea una imagen del haz, sino que crea un perfil de campo lejano, la transformada de Fourier del campo cercano, a una distancia focal, $f2$, desde la lente. Una desventaja de

esta disposición es que la ganancia en la región activa es limitada y, por lo tanto, se requieren amplificadores regenerativos complejos para los MOPA.

Se sabe que después de que el haz de bombeo entra en el cristal se absorbe de acuerdo con la conocida ley de Beer, $I_{sal} = I_{ent} \exp(-az)$, donde I_{sal} es la intensidad del haz restante para una intensidad de haz de entrada de I_{ent} después de una distancia de propagación z a través un medio absorbente caracterizado por un coeficiente de absorción a . Para superar esta disminución exponencial en la intensidad de bombeo del haz, se han propuesto disposiciones de doble bombeo. Una disposición de doble bombeo en el amplificador INNOSLAB se encuentra disponible comercialmente, por ejemplo, de EdgeWave GmbH, Alemania, y se muestra en la Figura 2. El esquema de bombeo está dentro del recuadro de líneas.

La Figura 2 muestra un diseño doble con dos barras de diodo láser planas E, F, incidentes cada una sobre el cristal láser G a través de los lados opuestos con el eje de bomba que es colineal al eje de propagación del haz de semilla amplificado u oscilante. En el eje rápido, el haz se visualiza directamente en el cristal mediante el uso de un telescopio con un aumento adecuado para generar una altura de banda bombeada típicamente entre 20 % y 50 % de la altura del cristal. En el eje lento, el haz se enfoca en una guía de onda plana H. Los múltiples haces del emisor se 'mezclan' a medida que viajan a lo largo de la guía de onda, dando como resultado una salida con un perfil más homogéneo o uniforme. Mediante el uso de un aumento adecuado, el haz homogeneizado se visualiza en el cristal de manera que el ancho del cristal se bombee uniformemente.

Las principales desventajas de este enfoque son la complejidad de los componentes y la gran huella del dispositivo que, típicamente, es de 500 mm por 500 mm. La huella se determina en gran medida por el tamaño y la complejidad de la óptica de homogeneización de la bomba y las guías de onda en lugar de los diodos de cristal o de bomba en sí. Además, como el eje de bomba es colineal al eje de propagación del haz de semilla, se requieren ópticas adicionales para redirigir el haz de bombeo y el haz de semilla uno con respecto al otro.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un aparato y un método para la amplificación de un haz láser mediante el bombeo de con un haz de fuente compuesto homogéneo a través de un medio de amplificación que supere al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior.

Un objetivo adicional de al menos una modalidad de la presente invención es proporcionar un amplificador láser que incluye una única región activa de franja cristalina ópticamente excitada de doble bombeo en una disposición más simple y más compacta que la técnica anterior.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato para amplificar un haz láser, que comprende:

un medio de amplificación que tiene una sección transversal rectangular que proporciona una primera faceta con un borde largo y un borde corto, el borde largo que está a lo largo de un eje x , el borde corto que está a lo largo de un eje y y un eje z que define un eje de bomba dentro de un sistema de coordenadas rectangulares;

y un módulo de bombeo, el módulo de bombeo que comprende:

un haz de bombeo, el haz de bombeo que es un compuesto de haces de fuente del emisores dispuesto en una matriz lineal con un eje lento que es paralelo al eje x y un eje rápido que es paralelo al eje y ;

y un conjunto óptico localizado entre los emisores y la primera faceta del medio de amplificación;

el conjunto óptico que tiene:

adyacente a los emisores, una primera lente en el eje rápido configurada para actuar sobre el haz de bombeo y una matriz de las segundas lentes en el eje lento, cada segunda lente configurada para actuar sobre un haz de fuente individual y una tercera lente, a una separación de las primera y segunda lentes, configurada para actuar sobre el haz de la bomba; en donde los haces de fuente individuales se solapan en la primera faceta, se captan imágenes y se dimensionan para llenar la primera faceta a lo largo del borde largo en el eje lento y se enfocan a un tamaño de haz, menor que una longitud del borde corto, en el eje rápido;

se proporciona de esta manera un bombeo homogéneo del medio de amplificación y un haz láser que pasa a través del medio de amplificación en una dirección ortogonal al haz de bombeo se amplificará uniformemente.

De esta forma, los sistemas ópticos en los ejes rápido y lento forman un haz de bombeo compuesto a partir de una matriz lineal de los emisores en la que todos los haces de fuente individuales se solapan en la faceta del medio de amplificación creando un perfil de ganancia similar a Gauss a lo largo del eje y , y un perfil similar a un sombrero de copa a lo largo del eje x , que están dentro de un haz de bombeo con relación de aspecto de campo cercano para proporcionar un bombeo homogéneo mejorado. Además, la disposición óptica puede ser relativamente corta en longitud para proporcionar un esquema de bombeo compacto.

Preferentemente, la primera lente comprende un colimador de eje rápido, con una distancia focal f_{1y} , y la tercera lente comprende una lente con una distancia focal f_2 , la combinación se elige para dar el tamaño de haz requerido en el eje rápido en la primera faceta. Este tamaño de haz será menor que la longitud del borde corto. El colimador de eje rápido puede tener una distancia focal corta, con la altura del haz a la salida del colimador que típicamente es mayor que la altura del haz deseada en la entrada a la faceta. La altura del haz en la faceta puede ajustarse al variar la distancia entre los emisores y el colimador de eje rápido. Con mayor preferencia, la tercera lente se configura para crear una cintura del haz

gaussiano de cada haz de fuente en o cerca de la primera faceta. Esto se logra al seleccionar la posición de la cintura del haz para que sea una distancia f_2 desde la tercera lente. Además, el paso del haz de eje rápido a través de la tercera lente puede proporcionar un medio para dirigir el haz de bombeo mediante pequeños desplazamientos en la dirección y.

5 Preferentemente, las segundas lentes comprenden cada una un colimador de eje lento, cada una que tiene una distancia focal f_{1x} , que proporciona un aumento de $M_x = f_2/f_{1x}$ con la tercera lente en el eje lento. De esta manera, con la primera faceta situada a una distancia igual a f_2 desde la tercera lente, todos los haces de fuente se solapan en la primera faceta proporcionando un haz sustancialmente homogeneizado en la primera faceta. Preferentemente, la distancia entre las segundas lentes y las terceras lentes es menor que la suma $f_2 + f_{1x}$. Esto ventajosamente hace que los haces de fuente
10 tengan una característica divergente a medida que pasan al medio de amplificación. Preferentemente, la tercera lente se configura para dirigir los haces de fuente periféricos en el medio de amplificación en un ángulo para crear una reflexión interna total dentro del medio de amplificación. Esta combinación de características actúa para garantizar que todo el medio de amplificación se bombee de manera sustancialmente uniforme.

15 Preferentemente, la tercera lente es una lente esférica. De esta forma, el conjunto óptico puede usar componentes estándares que reducen el costo y la simplicidad del diseño. La tercera lente puede ser una lente esférica equivalente o Gradium™. Tales lentes pueden usarse para reducir posibles aberraciones.

20 La primera y la segunda lentes pueden proporcionarse como un único elemento óptico. Tales elementos ahora están fácilmente disponibles y el uso de un único elemento óptico simplifica de nuevo el diseño y facilita la construcción. Este único elemento óptico y la tercera lente proporcionan ventajosamente un conjunto óptico compacto.

25 Preferentemente, el área del haz de bombeo en la primera faceta tiene una longitud sustancialmente igual a la longitud del borde largo y un ancho inferior al 50 % de la longitud del borde corto. Con mayor preferencia, el ancho es de 20 % a 30 % de la longitud del borde corto. De esta manera, el medio de amplificación tiene una lámina bombeada delgada con una sección transversal rectangular cuya dimensión en la dirección y es más pequeña que la dimensión del medio de amplificación.

30 Preferentemente, la matriz lineal de los emisores es una barra de diodos láser. Con mayor preferencia, hay una pluralidad de barras de diodos láser que proporcionan un único haz de bombeo dentro del área de la primera faceta y en donde la pluralidad correspondiente de conjuntos ópticos tiene una tercera lente común. De esta forma, la energía del haz de bombeo puede multiplicarse. De este modo, preferentemente, el módulo de bombeo comprende una pluralidad de barras de diodos láser que proporcionan el haz de bombeo, cada barra que incluye una primera lente, cada emisor que incluye una segunda lente y el aparato que tiene una sola tercera lente configurada para actuar sobre el haz de bombeo, de
35 manera que los haces de fuente individuales se solapan sustancialmente en la primera faceta y se captan las imágenes y se dimensionan para llenar la primera faceta.

40 Esta pluralidad de barras de diodos láser es posible ya que la distancia entre las segundas lentes y las terceras lentes puede ser suficiente para permitir el uso de espejo(s) para dirigir los haces de fuente desde cada barra de diodo láser a la abertura de la tercera lente. Pueden usarse otros elementos tales como cubos polarizantes.

45 Preferentemente, el módulo de bombeo puede comprender una primera barra de diodo láser y una segunda barra de diodo láser, la segunda barra de diodo láser que incluye una matriz lineal de los emisores dispuestos ortogonalmente a la primera barra de diodo láser con un eje lento que es paralelo al eje z y que comprende además un segundo conjunto óptico que incluye un espejo para dirigir el haz hacia la tercera lente común. De esta manera, se proporciona un módulo de bombeo compacto de doble barra de diodos.

50 Puede haber una tercera barra de diodo láser, la tercera barra de diodo láser que incluye una matriz lineal de los emisores dispuestos orientados hacia la segunda barra de diodo láser con un eje lento que es paralelo al eje z y que comprende además un tercer conjunto óptico que incluye un espejo para dirigir el haz hacia la tercera lente común. De esta forma, se proporciona un módulo de bombeo compacto de triple barra de diodos.

55 Preferentemente, hay una barra de diodo láser adicional, la barra de diodo láser adicional que incluye una matriz lineal de los emisores dispuestos linealmente a una primera barra de diodo láser con un eje lento que es paralelo al eje x.

60 El módulo de bombeo puede comprender una primera barra de diodo láser y una segunda barra de diodo láser, la segunda barra de diodo láser que incluye una matriz lineal de los emisores dispuestos con un eje lento que es paralelo al eje z y que comprende además un segundo conjunto óptico que incluye un cubo polarizante para dirigir el haz hacia la tercera lente común. De esta manera, se proporciona un módulo de bombeo compacto de doble barra de diodos.

65 El módulo de bombeo puede comprender una primera barra de diodo láser y una segunda barra de diodo láser a diferentes longitudes de onda, la segunda barra de diodo láser que incluye una matriz lineal de los emisores dispuestos con un eje lento que es paralelo al eje z y que comprende además un segundo conjunto óptico que incluye un espejo dicróico para dirigir el haz hacia la tercera lente común. De esta manera, se proporciona un módulo de bombeo compacto de doble barra de diodos.

La pluralidad de barras de diodos láser puede apilarse en el eje y. La pluralidad de barras de diodo láser también puede escalonarse en el eje z.

5 Preferentemente, un eje de propagación del haz láser es transversal al eje de bomba. De esta manera, el medio de amplificación puede bombearse lateralmente y no se requieren ópticas que tendrían que actuar tanto en la bomba como en los haces láser.

10 Puede haber un segundo módulo de bombeo dispuesto en un lado opuesto del medio de amplificación, el segundo lado que proporciona la segunda faceta que es opuesta a la primera faceta y ortogonal a los ejes de bomba. De esta forma, el medio de amplificación se bombea de manera homogénea.

Ventajosamente, un eje de propagación de al menos un haz de bombeo está fuera del eje con respecto al eje z. Esta disposición fuera del eje impide que los haces opuestos de la bomba interfieran con los conjuntos ópticos.

15 Preferentemente, el medio de amplificación es una única franja cristalina. El medio de amplificación puede ser un vidrio. El medio de amplificación puede ser una cerámica. Preferentemente, el medio de amplificación es una franja formada en una estructura de sándwich con un medio dopado entre dos medios no dopados.

20 Puede haber una cuarta lente, a una separación de la tercera lente, la cuarta lente que se configura para actuar sobre el haz de bombeo en el eje rápido de manera que el haz se dimensione para acoplarse en la región dopada. Preferentemente, la cuarta lente es cilíndrica. De esta forma, el haz de bombeo puede acoplarse a una guía de ondas.

De acuerdo con un segundo aspecto que no forma parte de la presente invención, se proporciona un método para bombear un haz compuesto homogéneo a través de un medio de amplificación, que comprende las etapas:

- 25 a) proporcionar una pluralidad de haces de fuente de los emisores dispuestos en una matriz lineal;
 b) proporcionar un conjunto óptico entre los emisores y una primera faceta del medio de amplificación, el conjunto óptico que tiene una primera lente en un eje rápido adyacente a los emisores para actuar sobre los haces de fuente; una matriz de las segundas lentes, adyacente a la primera lente, en un eje lento, cada segunda lente configurada para actuar sobre un haz de fuente individual; y una tercera lente, a una separación de las primera y segunda lentes, configuradas para actuar sobre los haces de fuente; y
 30 c) separar las lentes para solapar los haces de fuente individuales sobre una primera faceta del medio de amplificación; los haces de fuente individuales que captan imágenes y se dimensionan para llenar la primera faceta a lo largo de un borde largo del medio de amplificación en el eje lento; los haces de fuente individuales se enfocan a un tamaño de haz menor que la longitud de un borde corto del medio de amplificación en el eje rápido; y los haces de fuente periféricos sometidos a reflexión interna total al entrar en el medio de amplificación.

Preferentemente, la matriz lineal de los emisores proviene de una barra de diodos.

40 Preferentemente, los haces de fuente individuales tienen una cintura del haz en la primera faceta. La posición de la cintura del haz con relación a la primera faceta puede variarse mediante el ajuste de la posición de la primera lente con relación a la primera faceta.

45 Las modalidades de la presente invención se describirán ahora, a manera de ejemplo, solamente con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:

La Figura 1 es una disposición óptica para un esquema de bombeo de diodos de acuerdo con la técnica anterior;

50 La Figura 2 es un aparato para amplificar un haz láser de acuerdo con la técnica anterior;

La Figura 3 es una ilustración esquemática de un aparato para amplificar un haz láser mostrado en la Figura 3(a) en el eje lento y en la Figura 3(b) en el eje rápido, de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

55 La Figura 4 es una ilustración de un perfil de bomba de haz del aparato de la Figura 3 en la primera faceta tomada en la Figura 4(a) sin el conjunto óptico y en la Figura 4(b) con el conjunto óptico;

Las Figuras 5 a 12 son ilustraciones esquemáticas del aparato para amplificar un haz láser mostrado en (a) el eje rápido y en (b) el eje lento, de acuerdo con las modalidades de la presente invención;

60 La Figura 13 es una ilustración esquemática de un aparato para amplificar un haz láser que incluye dos módulos de bombeo de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

La Figura 14 es el aparato de la Figura 13 ahora con una geometría de bombeo inclinada de acuerdo con una modalidad adicional de la presente invención.

65

La Figura 15 es un gráfico de la uniformidad del pequeño coeficiente de ganancia de señal a través del medio de amplificación bajo las condiciones de bombeo del aparato de la Figura 14.

Se hace referencia inicialmente a la Figura 3 de los dibujos que ilustra un aparato para amplificar un haz láser, generalmente denominado amplificador láser e indicado por el número de referencia 10, para amplificar un haz láser 12 a través de un medio de amplificación, que es un cristal 14, donde el cristal 14 se bombea por un módulo de bombeo 16, de acuerdo con una modalidad de la presente invención. La Figura 3 tiene dos partes, con la Figura 3(a) que es una vista superior y la Figura 3(b) que es una vista lateral.

El cristal 14 es un medio de estado sólido formado como una única estructura cristalina que puede doparse en partes como se conoce en la técnica. El cristal 14 tiene una sección transversal rectangular, que proporciona un borde corto 26 y un borde largo 28. Esto puede denominarse como una sola franja cristalina. Aunque se describe un cristal, el medio de amplificación puede ser de vidrio o cerámica. Además, la franja podría formarse en una estructura de sándwich con un medio dopado entre dos medios no dopados.

El haz láser 12 se genera típicamente a partir de una fuente láser considerada como el oscilador maestro. Un oscilador maestro láser de baja potencia genera un haz láser de impulsos que se acoplan en el amplificador láser 10. Cada impulso de entrada estimula la emisión dentro del cristal 14 que se añade al impulso de entrada para crear un impulso de energía de salida más alto. De esta forma, el amplificador láser 10 puede considerarse como un amplificador de potencia y el haz láser puede considerarse como un haz de semilla.

Para que el cristal 14 actúe como un medio emisor de láser, se requiere que se bombee desde una fuente secundaria. Una matriz lineal de los emisores proporciona esta fuente secundaria. En esta modalidad, la fuente secundaria es un láser de diodo, o con mayor preferencia una barra de diodo láser 18. La barra de diodo láser 18 es una matriz lineal de los emisores de diodo láser semiconductor 20 dispuestos a lo largo de un eje x, de una sola altura de fila en el eje y, y dirigida de manera que cada emisor 20 emita un haz de fuente 22 en el eje z. Los emisores 20 son preferentemente emisores láser multimodo. En la Figura solo se muestran los haces de los emisores de diodos más exteriores para mayor claridad. Los ejes x, y, z definen un sistema de coordenadas rectangulares estándar, con cada eje que es ortogonal a los demás. El eje y se denomina como el eje rápido, ver Figura 3(b). El eje rápido es típicamente el eje vertical que es perpendicular a la oblea semiconductor. En el eje rápido, cada emisor genera un modo gaussiano rápidamente divergente. En el eje lento, el eje x, como se muestra en la Figura 3(a) y que es paralelo a la barra 18, la emisión de cada emisor 20 se combina para proporcionar una aproximación de un sombrero de copa con una divergencia lenta. Los haces de fuente 22 se combinan por lo tanto para proporcionar un haz de bombeo compuesto que se visualiza en una primera faceta 24 del cristal 14.

Con el fin de obtener imágenes de los haces 22 en el cristal 14, un conjunto óptico 30 se localiza entre los emisores 20 y el lado rectangular o la primera faceta 24 del cristal 14. En la modalidad de la Figura 3 hay diecinueve emisores 20 en la barra de diodo láser 18. El conjunto óptico 30 comprende una primera lente 34, una matriz de las segundas lentes 40 y una tercera lente 36. El conjunto óptico 30 puede considerarse independientemente en los ejes rápido y lento.

Con referencia ahora a la Figura 3(a), en el eje lento, el conjunto óptico 30 muestra la matriz de las segundas lentes 40 y la tercera lente 36. Las segundas lentes 40 son una matriz de lentes de colimación de eje lento 42, con distancias focales f_{1x} , que se colocan a una distancia igual a f_{1x} después de cada emisor 20. Cada lente individual 42 será típicamente una lente cilíndrica que actúa sobre un único haz de fuente del emisor 22.

La tercera lente 36 se separa a una distancia L_1 de las segundas lentes 40. Esta distancia L_1 no es crucial y puede variarse para adaptarse a otros parámetros en el diseño. De hecho, L_1 puede ser suficiente para localizar otros componentes ópticos en el conjunto, ver Figura 7, por ejemplo. Una distancia típica para L_1 es ~ 25 mm. La distancia entre la tercera lente 36 y la primera faceta 24 es la distancia de proyección de la bomba y se selecciona como f_2 , la distancia focal de la tercera lente. Las lentes 36, 40 proporcionan un aumento, $M_x \approx f_2/f_{1x}$. Esto proporciona una imagen de cada haz de fuente 22 desde cada emisor 20 a lo largo de la longitud total de la primera faceta 24. Por lo tanto, los haces de fuente 22 se solapan completamente, en el eje lento, en la primera faceta 24. Esta técnica garantiza que la longitud total del medio de amplificación se expone a un haz de eje lento sustancialmente homogeneizado.

La distancia focal f_{1x} de la matriz de lentes cilíndricas de la segunda lente 40 se elige para proporcionar esta ampliación. Cuando se incluye la colimación de ejes rápidos, la condición también requiere que las segundas lentes 40 se posicionen a una distancia física de los emisores 20 que es algo mayor que f_{1x} para compensar la refracción de eje lento que se introduce por la lente de eje rápido 34. La combinación del conjunto óptico 30 de las segunda y tercera lentes puede considerarse como una lupa telescópica de dos lentes 38. Tal lupa 38 puede tener una potencia óptica considerable, por ejemplo, $\times 70$ y puede adaptarse para que coincida con una gama de tamaños y geometrías de facetas.

De este modo, las distancias focales de las lentes 36, 40 se eligen para proporcionar una expansión adecuada en los haces de fuente individuales 22, de manera que se solapan con el cristal 14 y no se dejan regiones sin bombear, en el eje lento. Típicamente, el ancho del emisor 20 es de ~ 150 μm y la longitud del cristal es de ~ 7 mm, lo que requiere un aumento de ~ 47 , que se obtiene típicamente con $f_{1x} = 1,8$ mm y $f_2 = 80$ mm. Sobre todo, las imágenes ampliadas de los emisores se forman a una distancia focal para la tercera lente 36 lo que garantiza el solapamiento espacial. Por lo tanto, el derrame

del haz alrededor del cristal se minimiza y cualquier variación espacial en las salidas del emisor se promedia a través de la imagen aumentada, lo que resulta en un bombeo homogéneo del cristal 14.

5 Al solapar los haces, las lentes 36, 40 se seleccionan típicamente de manera que la distancia L_1 puede ser menor que la suma ($f_{1x} + f_2$) lo que hace que los haces de fuente 22, que pasan al cristal 14 tengan una característica divergente en el eje lento, que, con el efecto adicional de la reflexión interna total de los haces de fuente periféricos que entran en el cristal 14 en un ángulo, actúen para garantizar que el cristal 14 completo se bombee de manera sustancialmente uniforme.

10 Este solapamiento también proporciona cierta inmunidad frente a fallas del diodo láser o del emisor de diodo láser 20 individuales. Un solo fallo del emisor reduciría la potencia de bombeo pero no dejaría ningún área a lo largo del eje lento sin bombear. Esto está en contraste con la técnica anterior, donde la falla de un diodo láser individual o emisor de diodo láser daría como resultado una región sin bombear. En cuatro cristales láser de nivel, esto podría resultar en efectos térmicos no deseados. Además, en los sistemas láser de cuasi 3 niveles, una región no bombeada se está absorbiendo, lo que introduce de esta manera pérdidas y reduce la eficiencia del dispositivo.

15 Ahora, considerando el conjunto óptico 30 en el eje rápido, nos referimos a la Figura 3(b). Los haces de fuente 22 que salen de los emisores 20 tienen una gran divergencia. Por lo tanto, la primera lente 34 es un colimador de eje rápido como se conoce en la técnica para ralentizar la divergencia. Típicamente, la colimación de eje rápido tiene una distancia focal, f_{1y} , entre 0,6 mm y 0,9 mm. El colimador de eje rápido 34 se localiza a una distancia focal, f_{1y} , desde los emisores 20, de manera que cada haz de fuente del emisor 22 entra directamente en la primera lente 34 del conjunto óptico 30. Los haces de eje rápido colimados resultantes son usualmente una buena aproximación a un haz gaussiano de manera que la longitud focal f_{1y} , se selecciona para proporcionar una altura de haz deseada al salir del colimador, lente 34, de $2w_0$. Las matrices ABCD estándares pueden usarse para describir la disposición óptica y la ley ABCD utilizada para calcular el tamaño del haz en puntos a lo largo del eje óptico. Como puede haber aberraciones, al haz después de la primera lente 20 34 se le asigna un valor apropiado de M^2 , típicamente 1,3, como se conocerá por los expertos en la técnica.

El conjunto óptico en el eje rápido también incluye la tercera lente 36. Esta es una lente esférica y su distancia focal f_2 y posición también se controlan por sus requisitos en el eje lento.

30 Recordando que el objetivo es crear una lámina de ganancia delgada dentro del cristal 14, se selecciona una altura deseada del haz $2w_1$ en la primera faceta. La altura del haz $2w_1$ usualmente es inferior a $2w_0$. Además, es beneficioso que haya una cintura gaussiana en o cerca de la primera faceta 24, es decir, una distancia de cintura L_2 entre la tercera lente y la cintura del haz debería ser igual a la distancia de proyección de la bomba que se seleccionó como f_2 .

35 Para obtener el control necesario de la posición de la cintura del haz y su tamaño, el proceso de cálculos ABCD utiliza los parámetros w_0 y L_1 , que pueden variarse dentro de límites prácticos, en combinación con la f_2 preseleccionada. Los cálculos combinados proporcionan una solución iterativa para obtener el diseño más apropiado.

40 En el caso en que el tamaño o la posición de la cintura del haz no sea satisfactorio, puede ser necesaria una potencia de enfoque cilíndrica adicional en el eje rápido. Una forma de obtener esto sin introducir un componente óptico adicional es mediante el ajuste de la posición de la primera lente 34 con relación a los emisores 20. Esto puede introducir tanto un radio de curvatura de forma de onda positivo como negativo para proporcionar un grado de libertad adicional en los cálculos de ABCD revisados.

45 Para la modalidad descrita, la tercera lente 36 tiene una distancia focal f_2 de típicamente ~ 80 mm y la primera lente 34 se coloca ~ 25 mm desde el colimador de eje rápido. El cristal 14 se coloca a una distancia de f_2 de la tercera lente 36. Un haz de fuente del emisor 22 con un radio de ~ 1 μm dará, por lo tanto, una media altura de banda bombeada de ~ 100 μm formada en la primera faceta 24 del cristal 14. La región bombeada es un área de la primera faceta 24 del cristal 14. La altura del cristal en el borde corto 26 tiene un valor típico entre 0,75 mm y 1 mm. La altura del área de la región bombeada es $\sim 20\%$ a 30% de la altura total del cristal en el borde corto 26 para proporcionar la lámina de ganancia delgada.

50 A diferencia de la técnica anterior de la Figura 1, se crea un haz de alta relación de aspecto de campo cercano sobre el cristal 14, con relaciones de aspecto típicas $> 10:1$. Esto es significativo ya que coincide con la geometría de las estructuras de guía de onda de franja delgada o planas del cristal bombeado. La Figura 4 demuestra el efecto de usar el conjunto óptico 30 descrito anteriormente. Con referencia a la Figura 4(a), sin formación de imágenes, el perfil del haz de bombeo se reduce lentamente desde el centro hacia el borde. En la práctica, la coincidencia de este perfil con un cristal láser rectangular daría lugar a bien a zonas no bombeadas o bombeadas lo que resulta en regiones absorbentes hacia el borde del cristal, o un derrame significativo de la potencia de bombeo más allá de los bordes del cristal. Ambas situaciones darían como resultado un dispositivo ineficiente. Sin embargo, mediante la formación de imágenes de los haces de fuente del emisor individuales y solapándolos espacialmente, el perfil del haz de bombeo tiene bordes mucho más afilados. Esto se muestra en la Figura 4(b). Esto permite una coincidencia mucho más cercana entre el perfil del haz de bombeo y el cristal láser, lo que da como resultado un bombeo eficiente y casi uniforme del cristal láser con una pérdida mínima de potencia de bombeo.

En la Figura 5 se muestra una modalidad alternativa de un amplificador láser 10a, que incluye un módulo de bombeo 16 que usa una sola barra de diodo láser 18. Las partes similares a las del amplificador láser de la Figura 3 han recibido el mismo número de referencia para ayudar a la claridad y se proporcionan las vistas de eje rápido y eje lento.

5 En la Figura 5, el soporte 43 para la barra de diodo láser 18 se muestra para indicar el espacio requerido para una barra de diodo láser 18 en el amplificador láser 10a. En esta modalidad, se proporcionan los colimadores de eje rápido y lento 34, 40 como un único elemento óptico 44 montado delante de los emisores 20 en los haces de fuente de salida 22 de los emisores 20. La tercera lente 36 es plano-convexa. Los colimadores de eje lento 40 por lo tanto, se alinean individualmente para dirigir cada haz de fuente del emisor 22 a una posición deseada en la cara convexa 46 de manera que se formará una imagen en el área de la región de bombeo del cristal 14.

10 La potencia de bombeo de entrada al cristal 14, por lo tanto, la ganancia disponible en el amplificador 10, 10a, está limitada por la potencia disponible por la barra de diodo 18. Para aumentar aún más la potencia, pueden combinarse varias barras de diodos 18 dentro de un único módulo de bombeo 16. La distancia L1 puede ser suficiente para permitir esto, con cada matriz de haces de fuente 22 de cada barra de diodo láser 18 que comparte la abertura de la tercera lente 36.

15 La Figura 6 muestra el amplificador láser 10b con una disposición lado a lado de dos barras 18a, b para duplicar la energía potencial desde un módulo de bombeo 16. En el conjunto óptico 30 cada barra 18a, b tiene un colimador de eje rápido 34a, b como la primera lente y una matriz de colimadores de eje lento 40a, b como las segundas lentes. Los haces de fuente del emisor 22a, b se solapan en el eje lento en el cristal 14 por la acción de la tercera lente 36. Esta técnica produce el escalado de potencia requerida, pero con una huella ampliada.

20 Con referencia a la Figura 7, se ilustra un amplificador láser 10c que muestra una aproximación para reducir el módulo de bombeo de dos barras 16 de la Figura 6 hacia la huella de un único módulo de bombeo de barra. Las barras de diodo 18a, b están de nuevo en el mismo plano, pero una barra de diodo 18b se hace girar en una dirección transversal a la segunda barra de diodo 18a. Un espejo 48 se localiza a 45 grados con respecto al eje lento en la barra de diodos 18b para reflejar los haces de fuente del emisor transversales 22b a lo largo de una trayectoria paralela a los haces de fuente del emisor 22a de la segunda barra de diodos 18a. El espejo 48 se localiza enfrente del soporte 43a, pero está alejado de los haces de fuente del emisor 22a. Esto reduce la huella del amplificador láser 10c y también el diámetro requerido de la tercera lente 36.

25 Este enfoque puede extenderse fácilmente a tres y cuatro barras de diodos, como se muestra en las Figuras 8 y 9. En la Figura 8, el amplificador láser 10d tiene una tercera barra de diodos 18c que se localiza transversalmente a la segunda barra de diodos 18a y opuesta a la primera barra de diodos 18b de la disposición de la Figura 7. Un segundo espejo 48b se localiza a 45 grados con respecto al eje lento en la tercera barra de diodos 18c para reflejar los haces de fuente del emisor transversales 22c a lo largo de una trayectoria paralela a los haces de fuente del emisor 22a de la segunda barra de diodos 18a. El espejo 48b se localiza frente al soporte 43a, pero alejado de los haces de fuente del emisor 22a.

30 En la Figura 9, el amplificador láser 10e puede considerarse como un duplicado del amplificador láser 10c de la Figura 7 mientras se sigue utilizando una tercera lente común 36 en el conjunto óptico 30. La tercera lente 36 es esférica para proporcionar la misma distancia focal en los ejes rápido y lento para captar imágenes de los emisores de cada barra de diodo láser sobre la faceta 24 del cristal 14. La cuarta barra de diodo láser 18d está en una disposición lado a lado a la segunda barra de diodo láser 18a como para el amplificador láser 10b de la Figura 6. La primera barra de diodo 18a es transversal a la segunda barra de diodo láser 18b y la tercera barra de diodo láser 18c es transversal a la cuarta barra de diodo láser 18d, con la segunda barra de diodo láser 18b y la tercera barra de diodo láser 18c que se orientan una frente a otra. El primer espejo 48a se localiza a 45 grados con respecto al eje lento en la barra de diodos 18b para reflejar los haces de fuente del emisor transversales 22b a lo largo de una trayectoria paralela a los haces de fuente del emisor 22a, 22d de la segunda barra de diodo 18a y la cuarta barra de diodo 18d. El primer espejo 48a se localiza enfrente del soporte 43a, pero alejado de los haces de fuente del emisor 22a. El segundo espejo 48b se localiza a 45 grados con respecto al eje lento en la tercera barra de diodos 18c para reflejar los haces de fuente del emisor transversales 22c a lo largo de una trayectoria paralela a los haces de fuente del emisor 22a, 22d de la segunda barra de diodos 18a y la cuarta barra de diodos 18d. El segundo espejo 48b se localiza enfrente del soporte 43d de la cuarta barra de diodo láser 18d pero alejado de los haces de fuente del emisor 22d.

35 Por último, el escalado mediante el uso de este enfoque está limitado solo por la apertura práctica de la tercera lente 36. Cuando dos barras de diodos láser se disponen transversalmente entre sí, es posible un módulo de bombeo más compacto 16 mediante el uso de un esquema de combinación de polarización en lugar del espejo 48. Con referencia ahora a la Figura 10, se ilustra un amplificador láser 10f en el que el conjunto óptico 30 usa una placa de media onda 50 para girar la polarización de los haces de emisor 22b de la barra de diodo transversal 18b a 90 grados en comparación con los segundos haces fuente del emisor 22a de la barra de diodo 18a. Un cubo polarizante 52 se localiza en la trayectoria del haz entre el elemento óptico 40a y la tercera lente 36. Los haces de fuente del emisor 22a desde la segunda barra de diodo 18a se transmiten a través del cubo polarizante 52, mientras que los haces de fuente del emisor 22b de la barra de diodo transversal 18b se reflejan para ser colineales con los haces de fuente del emisor 22a. Los haces de fuente del emisor 22a, 22b después de que el cubo polarizante 52 se solapa exactamente se reduce la huella requerida del módulo de bombeo 16 y la abertura de la tercera lente 36. Esto puede extenderse fácilmente a una cantidad de barras de diodos.

Alternativamente, el cubo polarizante 52 se reemplaza por un espejo dicróico y se retira la placa de media onda 50. La barra de diodo 18a funciona a una primera longitud de onda con alta transmisión a través del espejo dicróico. La barra de diodo 18b funciona a una segunda longitud de onda con alta reflexión desde el espejo dicróico. Las longitudes de onda operacionales de la barra de diodo 18a y la barra de diodo 18b tienen una alta absorción en el cristal 14, lo que garantiza un bombeo eficiente. La huella requerida del módulo de bombeo 16 y la abertura de la tercera lente 36 se reducen. Esto puede extenderse fácilmente a una cantidad de barras de diodos.

Mientras que los amplificadores láser 10a-f tienen barras de diodo láser dispuestas en un solo plano, también son posibles las técnicas de escalado no planas. Con referencia a la Figura 11, se ilustra un amplificador láser 10g que tiene dos barras de diodo láser 18a, 18b dispuestas transversalmente entre sí. Como se ve en la vista lateral del eje rápido inferior, la barra de diodo transversal 18b se localiza en un plano ligeramente más abajo o por debajo de la segunda barra de diodo láser 18a. Un espejo 48a se localiza a 45 grados con respecto al eje lento de la barra de diodos 18b para reflejar los haces de fuente del emisor transversales 22b a lo largo de una trayectoria sustancialmente paralela a los haces de fuente del emisor 22a de la segunda barra de diodos 18a. El espejo 48a tiene una altura de manera que los haces de fuente del emisor 22b de la barra de diodo transversal 18b se reflejan desde el espejo 48a mientras que los haces de fuente del emisor 22a de la segunda barra de diodo 18a rebotan en la parte superior 54 del espejo 48a. La segunda lente 36 actúa para enfocar los dos conjuntos de haces de fuente del emisor 22a, 22b en el eje rápido en una línea en el cristal 14. También se podría usar una disposición apilada uniforme de barras de diodo láser 18e-h. Este se ilustra en la Figura 12. Se proporciona una matriz bidimensional de emisores 20 que puede usarse en lugar de la matriz lineal de los emisores en las barras de diodos individuales 18e-h de las modalidades descritas anteriormente.

En las Figuras 3 y 5 a 12, los amplificadores láser 10, 10a-g se muestran con un módulo de bombeo 16 que proporciona un haz de bombeo a una faceta 24 del cristal 14. En una modalidad preferida, el haz láser 12 se propaga a través del cristal 14 en un eje de propagación transversal al eje de bomba (eje z). Esto está en contraste con la disposición INNOSLAB de la técnica anterior y elimina ventajosamente el requisito de un elemento óptico, típicamente un cubo polarizante, a cada lado del cristal 14 para separar el haz de bombeo y el haz láser.

Después de que el haz de bombeo ingresa al cristal, se absorbe de acuerdo con la ley de Beer. Si este proceso de absorción no se gestiona con cuidado, puede producirse una ganancia exponencial y un perfil de temperatura dentro del cristal. Dado que el cristal se bombea transversalmente al eje de propagación del haz láser amplificado u oscilante 12, puede producirse una dirección del haz intensa o una distorsión modal. Para mitigar estos efectos, el haz se bombea por la doble cara, y el nivel de dopante y la longitud del cristal en la dirección de la bomba (eje z) se eligen cuidadosamente. En la Figura 13 se muestra un amplificador láser bombeado por doble cara 10j. Un primer módulo de bombeo 16a se localiza en una primera faceta 24 del cristal 14, como se describió anteriormente con referencia a la Figura 7. Un segundo módulo de bombeo 16b se localiza en el lado opuesto 56 del cristal 14. Las barras de diodo láser 18 de los módulos de bombeo 16a, b se disponen de manera que sus haces de fuente del emisor 22, cada una forma un haz de bombeo 58a, b, en el cristal 14 que están dentro del mismo plano y cada uno de los haces de bomba 58a, b se solapan dentro de una banda delgada dentro del cristal después de pasar a través de sus respectivos conjuntos ópticos 30a, b. Los primer y segundo módulos de bombeo 16a, b son idénticos para proporcionar la misma potencia de bombeo y el mismo perfil de haz de bombeo en los lados opuestos 24, 56 del cristal. Mientras que los módulos de bombeo 16a, b son los del amplificador láser 10c, mostrado en la Figura 7, podrían usarse los módulos de bombeo de cualquier modalidad de la presente invención. Al bombear por los dos lados, los dos perfiles de bomba añaden reducir incoherentemente el efecto de la disminución exponencial. Es posible una reducción adicional al tiempo que se asegura una eficiencia del láser adecuada al optimizar la absorción del medio cristalino de manera que ~ 70 % a 80 % del haz de bombeo se absorba de cada módulo de bombeo 16a, b.

En la Figura 14 se muestra una modalidad adicional de la disposición de bombeo de doble cara. A las partes similares a las de la disposición de la Figura 13 se les ha dado el mismo número de referencia para ayudar a la claridad. El eje de propagación del haz del módulo de bombeo 16b está ahora inclinado en un ángulo α con respecto al eje de bomba del cristal láser. Preferentemente, el ángulo α está en el intervalo de 0 grados a 20 grados. El eje del haz del módulo de bombeo 16a es colineal con el eje de bomba del cristal láser. La inclinación relativa de los módulos de bombeo 16a, b evita que los haces de bomba golpeen las facetas del emisor del módulo de bombeo y provoquen un fallo prematuro mientras se mantiene el bombeo uniforme. En una modalidad adicional, el eje de propagación del haz del módulo de bombeo 16a también puede estar inclinado con respecto al eje de bomba del cristal láser.

Como la barra del diodo láser se separa físicamente del cristal por el conjunto óptico, esto permite bombear el cristal en un ángulo con respecto a las facetas de la bomba. Cuando se bombea por la doble cara, esto es particularmente útil ya que cualquier potencia no absorbida puede separarse espacialmente de las facetas del diodo láser en el lado opuesto. Si las salidas de los diodos láser no están aisladas, la fiabilidad de los emisores puede verse comprometida con una reducción de vida útil asociada.

Como una alternativa a la inclinación de los módulos de bombeo 16a, b, el haz de bombeo puede dirigirse para proporcionar pequeños desplazamientos en la dirección y. El paso del haz de eje rápido a través de la tercera lente proporciona los medios para dirigir el haz. También puede ser beneficioso que el cristal 14 tenga facetas débilmente inclinadas 24, 56 para evitar la oscilación láser interna no deseada cuando se usa como un amplificador. Al analizar la

fluorescencia resultante del cristal láser cuando se bombea por la doble cara mediante el uso de la disposición de la Figura 14, la región central bombeada del cristal es altamente uniforme a lo largo del eje x, y casi gaussiana a lo largo del eje y.

5 La Figura 15 muestra un gráfico de la medición del pequeño coeficiente de ganancia de señal 62 contra la dirección de propagación del haz amplificado, dada como una posición de franja normalizada 64, es decir, la distancia desde el centro dividida por el ancho de la franja para tres configuraciones de bomba diferentes. Los puntos 66 representan el bombeo desde un único módulo y muestra que con solo uno de los módulos que bombean el cristal, el pequeño coeficiente de ganancia de la señal disminuye desde el borde de la bomba de entrada del cristal, como se esperaba a partir de la ley de Beer. Los puntos 68 también representan el bombeo desde un único módulo, pero localizado en un lado opuesto del cristal, y nuevamente muestran que el pequeño coeficiente de ganancia de señal disminuye desde el borde de la bomba de entrada del cristal. Esto crearía una dirección del haz dependiente de la bomba, esfuerzos térmicos y una zona de baja inversión de población que podría absorberse con bajas potencias de la bomba. Los puntos 70 en el gráfico representan el caso cuando ambos módulos de bombeo están funcionando y el cristal se bombea por la doble cara. Los puntos 70 muestran que el pequeño coeficiente de ganancia de señal es casi invariable a través del ancho del cristal láser, como se esperaba del perfil de fluorescencia. La alta uniformidad asegura los efectos térmicos mínimos y una inversión uniforme.

El amplificador láser descrito en la presente descripción puede usarse en un haz láser de paso único. Alternativamente, el haz láser puede estar dentro de una disposición de amplificador de múltiples travesías tal como el preamplificador y el amplificador de potencia descrito en el documento GB2505315 para los presentes solicitantes. El documento GB2505315 describe un amplificador óptico que integra un preamplificador y un amplificador de potencia en un solo medio activo rectangular para permitir la amplificación de impulsos ultracortos de baja potencia a niveles de potencia óptimos. Un haz láser pasa a través del medio de amplificación a lo largo de una primera trayectoria de preamplificación lo que hace múltiples travesías del medio. Se forma una imagen a lo largo de la primera trayectoria para hacer un doble paso del medio como un preamplificador. Luego, el haz vuelve a formar una imagen en el medio en una segunda trayectoria de amplificación de potencia, haciendo múltiples travesías del medio en una sola pasada. Las trayectorias son independientes, pero se solapan de manera que se logra una extracción de energía eficiente. Usando el amplificador láser de la presente invención, el único medio activo rectangular es el cristal láser descrito en la presente descripción que se bombea desde los módulos de bombeo que incluyen una o más barras de diodo láser cuyos emisores se representan en una superficie o en superficies opuestas del cristal mediante conjuntos ópticos con ejes de bomba transversales a la dirección de propagación del haz láser, de acuerdo con las modalidades de la presente invención.

La principal ventaja de la presente invención es que proporciona un aparato y método para amplificar un haz láser en el que el solapamiento de haces de fuente, dimensionados para llenar el medio de amplificación a través de un conjunto óptico simple proporciona un haz de bombeo de alta relación de aspecto y campo cercano para el bombeo homogéneo del medio de amplificación como el cristal en un MOPA.

Una ventaja adicional de al menos una modalidad de la presente invención es que proporciona un aparato y un método para amplificar un haz láser que puede ajustarse a la potencia simplemente al acoplar múltiples emisores a través de los mismos sistemas ópticos.

Una ventaja adicional de al menos una modalidad de la presente invención es que proporciona un aparato y un método para amplificar un haz láser que proporciona redundancia en el sentido de que un emisor fallido no provocará que una región del medio de amplificación quede sin bombear y el aparato esté útil ya que tiene pocos componentes que pueden reemplazarse fácilmente.

Aún otra ventaja de al menos una modalidad de la presente invención es que proporciona un aparato y método para amplificar un haz láser que proporciona un amplificador láser que incluye una única región activa de franja cristalina ópticamente excitada de doble bombeo en una disposición más simple y más compacta que la técnica anterior.

50 Los expertos en la técnica apreciarán que pueden hacerse modificaciones a la invención en la presente descripción descrita sin apartarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones. Por ejemplo, las técnicas de escalado de potencia son representativas de las cuales podrían emplearse con el conjunto óptico y los expertos en la técnica reconocerán que son posibles otras disposiciones. Aunque se muestra una sola lente para la tercera lente, se apreciará que un par de lentes puede sustituirse. Aunque se ha descrito una faceta de un medio de amplificación, la técnica puede aplicarse para proporcionar un acoplamiento óptico en una guía de ondas, lo cual requeriría el par de lentes.

Reivindicaciones

1. El aparato (10, 10a-j) para amplificar un haz láser (12), que comprende:
 un medio de amplificación (14) que tiene una sección transversal rectangular que proporciona una primera faceta (24) con un borde largo (28) y un borde corto (26), el borde largo que está a lo largo de un eje x, el borde corto que está a lo largo de un eje y y un eje z que define un eje de bomba dentro de un sistema de coordenadas rectangular; y un módulo de bombeo (16, 16a, 16b), el módulo de bombeo que comprende:
 una matriz lineal de los emisores (20), la matriz que tiene un eje lento que es paralelo al eje x y un eje rápido que es paralelo al eje y y cada emisor que proporciona un haz de fuente del emisor individual (22, 22a-d);
 y un conjunto óptico (30, 30a, 30b) localizado entre los emisores y la primera faceta del medio de amplificación; el conjunto óptico que tiene:
 adyacente a los emisores, una primera lente (34, 34a, 34b) en el eje rápido configurada de manera que cada haz de fuente del emisor individual entre directamente en la primera lente;
 adyacente a la primera lente, una matriz de las segundas lentes (40, 40a, 40b) en el eje lento, cada una de las segundas lentes configurada para actuar sobre un haz de fuente del emisor individual;
 y una tercera lente (36) en el eje lento y el eje rápido, a una separación de la primera lente y las segundas lentes, configurada de manera que cada haz de fuente del emisor individual que sale de las segundas lentes entre en la tercera lente y los haces de fuente del emisor individuales se solapan para proporcionar un haz de bombeo compuesto (58a, 58b);
 el conjunto óptico que se configura de manera que:
 los haces de fuente del emisor individuales se solapan en la primera faceta, captan imágenes y se dimensionan para llenar la primera faceta a lo largo del borde largo en el eje lento y se enfocan a un tamaño de haz menor que la longitud del borde corto en el eje rápido;
 lo que proporciona de esta manera un bombeo homogéneo del medio de amplificación con un haz de bombeo que tiene un perfil de haz de bombeo que coincide con la geometría del medio de amplificación y se amplificará uniformemente un haz láser que pasa a través del medio de amplificación en una dirección ortogonal al haz de bombeo.
2. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en la reivindicación 1, en donde la primera lente comprende un colimador de eje rápido, con una distancia focal f_{1y} , y la tercera lente comprende una lente con distancia focal f_2 , la combinación elegida para dar el tamaño del haz en el eje rápido en la primera faceta.
3. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en la reivindicación 2, en donde las segundas lentes comprenden cada una un colimador de eje lento, cada una que tiene una distancia focal f_{1x} , que proporciona un aumento de $Mx = f_2/f_{1x}$ con la tercera lente en el eje lento.
4. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en donde la tercera lente es esférica.
5. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las primera y segunda lentes se proporcionan como un único elemento óptico.
6. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la tercera lente se configura para crear una cintura de haz de cada haz de fuente delante de la primera faceta y/o la tercera lente se configura para dirigir los haces de fuente periféricos en el medio de amplificación en un ángulo para crear una reflexión interna total dentro del medio de amplificación.
7. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la matriz lineal de los emisores es una barra de diodo láser (18, 18a-d).
8. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en la reivindicación 7, en donde el módulo de bombeo comprende una pluralidad de barras de diodo láser cada una que proporciona una matriz lineal de haces de fuente del emisor individuales, cada barra de diodo láser que incluye una primera lente, cada emisor que incluye una segunda lente y el aparato que tiene una sola tercera lente configurada para que todos los haces de fuente del emisor individuales se solapen para proporcionar el haz de bombeo, en donde los haces de fuente del emisor individuales se solapan en la primera faceta, se forman imágenes y se dimensionan para llenar la primera faceta a lo largo del borde largo en el eje lento y se enfoca a un tamaño de haz menor que la longitud del borde corto en el eje rápido.
9. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el conjunto óptico incluye uno o más espejos (48, 48a, 48b) y/o uno o más cubos polarizantes (52) para dirigir los haces de fuente a la tercera lente.
10. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde hay un segundo módulo de bombeo dispuesto en un lado opuesto del medio de amplificación, el segundo módulo de bombeo que proporciona un segundo haz de bombeo con haces de fuente individuales que se solapan en una segunda faceta (56), opuesta a la primera faceta, en la cual se forman imágenes y se dimensionan para llenar la segunda faceta

a lo largo del borde largo en el eje lento y se enfocan a un tamaño de haz menor que la longitud del borde corto en el eje rápido, lo que proporciona de esta manera un bombeo homogéneo del medio de amplificación y se amplificará uniformemente un haz láser que pasa a través del medio de amplificación en una dirección ortogonal a los haces de bomba.

- 5
11. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en la reivindicación 10, en donde un eje de propagación de al menos un haz de bombeo está fuera del eje con respecto al eje z.
- 10
12. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el medio de amplificación se selecciona de un grupo que comprende: una única franja cristalina, vidrio y cerámica.
13. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el medio de amplificación es una franja de vidrio formada en una estructura de sándwich con un medio dopado entre dos medios no dopados.
- 15
14. El aparato (10, 10a-j) como se reivindicó en la reivindicación 12 o la reivindicación 13, en donde una cuarta lente en el eje rápido, a una separación de la tercera lente, se configura para dimensionar el haz de bomba para acoplarse en la región dopada.
- 20
15. Un método para bombear un haz compuesto homogéneo (58a, 58b) a través de un medio de amplificación (14), que comprende las etapas:
- 25
- (a) proporcionar una pluralidad de haces de fuente (22, 22a-d) de los emisores (20) dispuestos en una matriz lineal; (b) proporcionar un conjunto óptico (30, 30a, 30b) entre los emisores y una primera faceta (24) del medio de amplificación, el conjunto óptico que tiene una primera lente (34, 34a, 34b) en un eje rápido adyacente a los emisores, los haces de fuente entran directamente a la primera lente; una matriz de las segundas lentes (40, 40a, 40b), adyacente a la primera lente, en un eje lento, cada segunda lente configurada para actuar sobre un haz de fuente del emisor individual; y una tercera lente (36) en el eje lento y el eje rápido, a una separación de las primera y segunda lentes, configuradas para actuar sobre los haces de fuente; y
- 30
- (c) separar las lentes para solapar los haces de fuente individuales sobre la primera faceta del medio de amplificación; los haces de fuente individuales que forman imágenes y se dimensionan para llenar la primera faceta a lo largo de un borde largo (28) del medio de amplificación en el eje lento; los haces de fuente individuales que se enfocan a un tamaño de haz menor que la longitud de un borde corto (26) del medio de amplificación en el eje rápido; y los haces de fuente periféricos sometidos a reflexión interna total al entrar en el medio de amplificación.

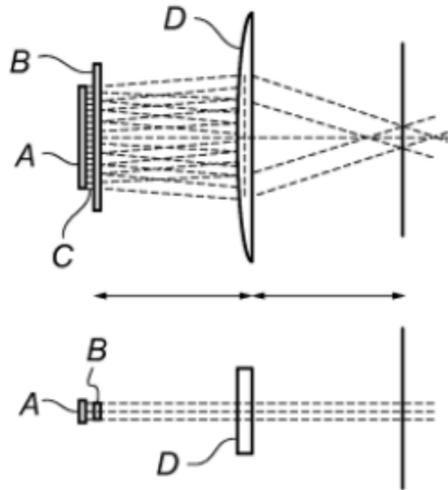


Fig. 1

TÉCNICA ANTERIOR

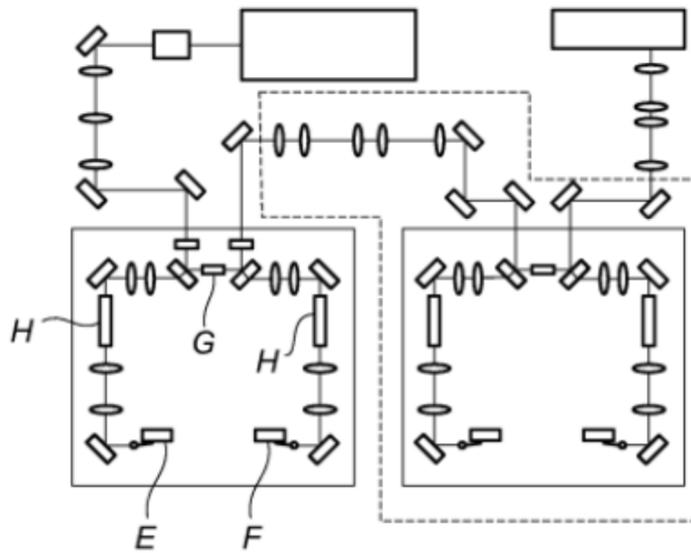


Fig. 2

TÉCNICA ANTERIOR

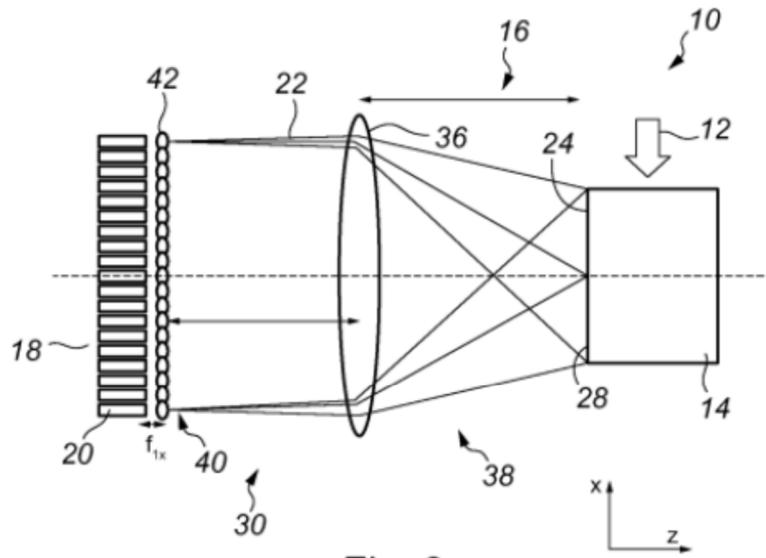


Fig. 3a

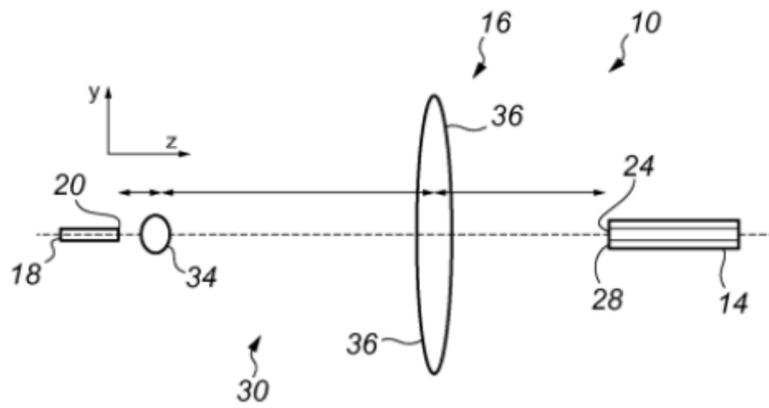


Fig. 3b

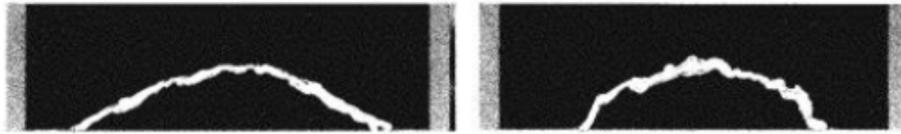


Fig. 4a

Fig. 4b

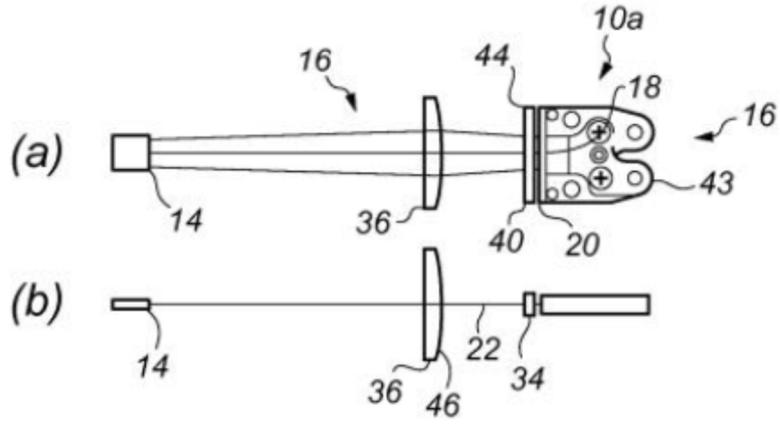


Fig. 5

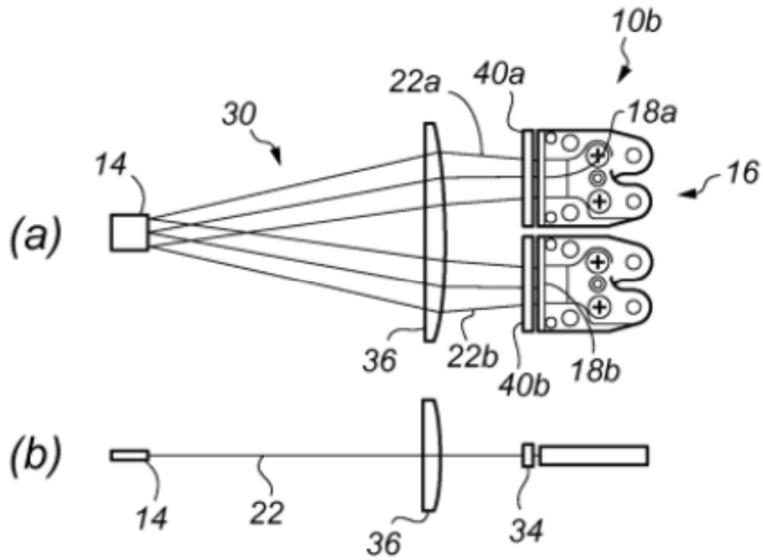


Fig. 6

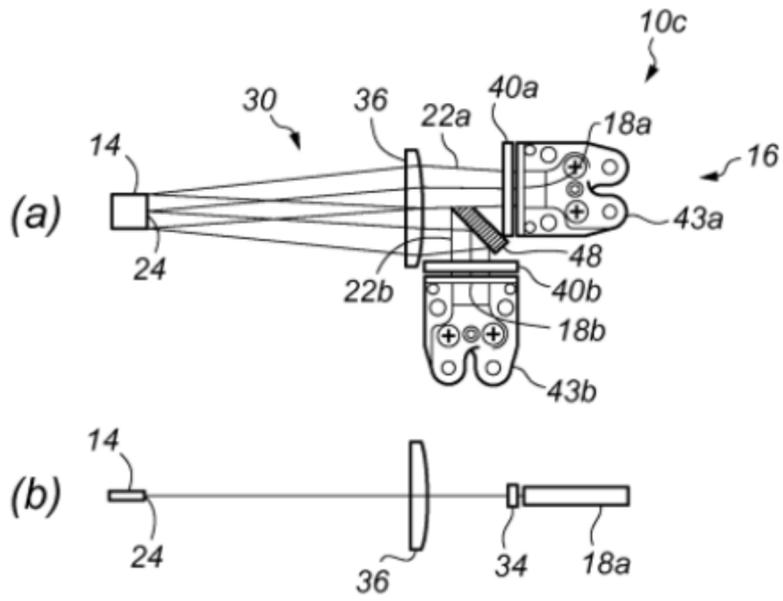


Fig. 7

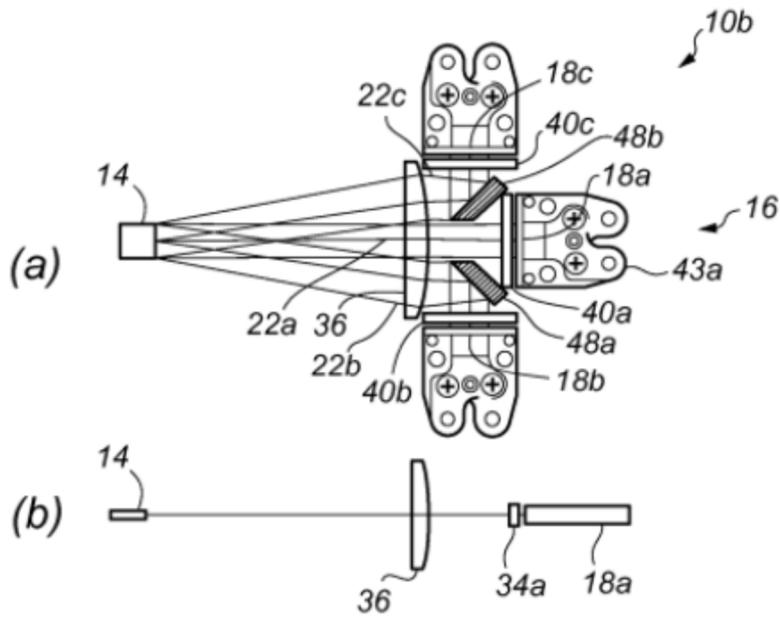


Fig. 8

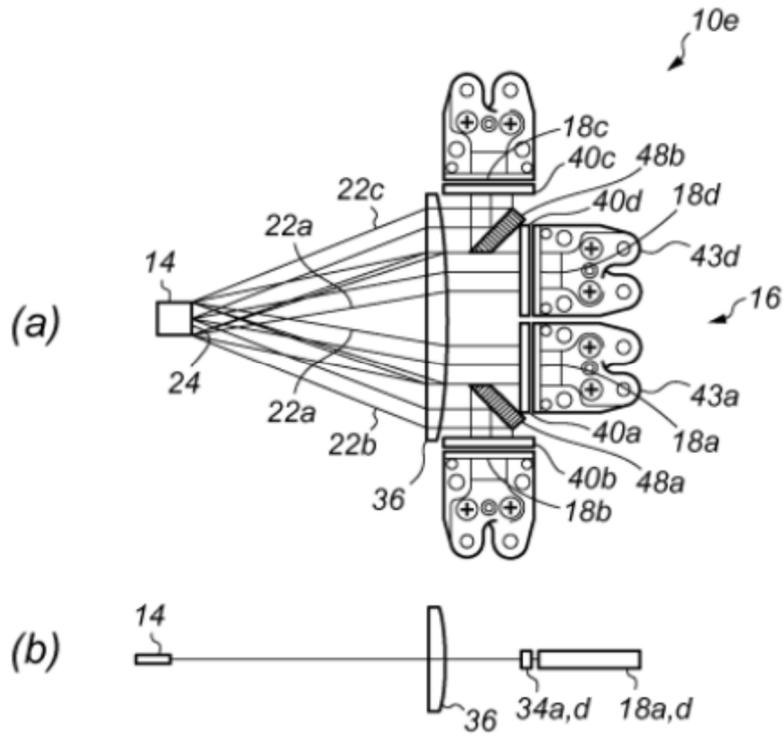


Fig. 9

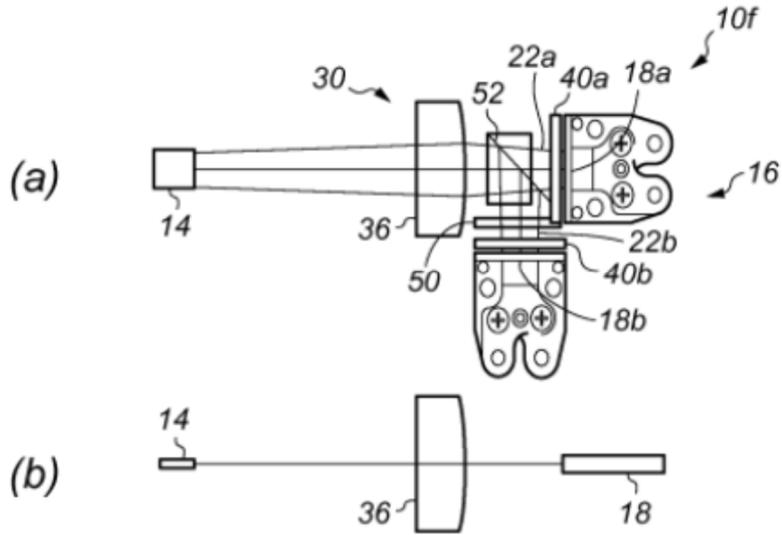


Fig. 10

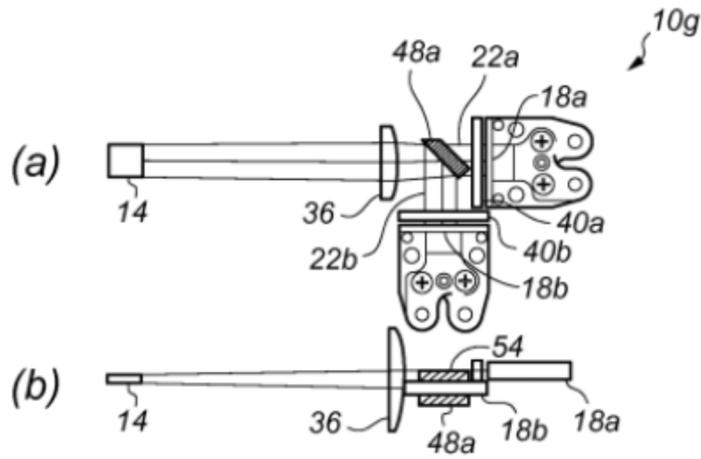


Fig. 11

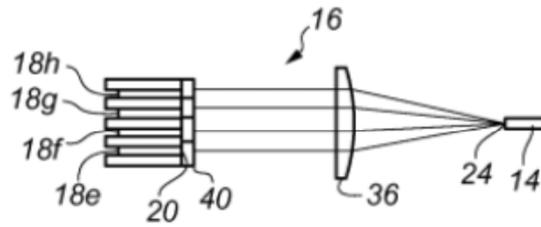


Fig. 12

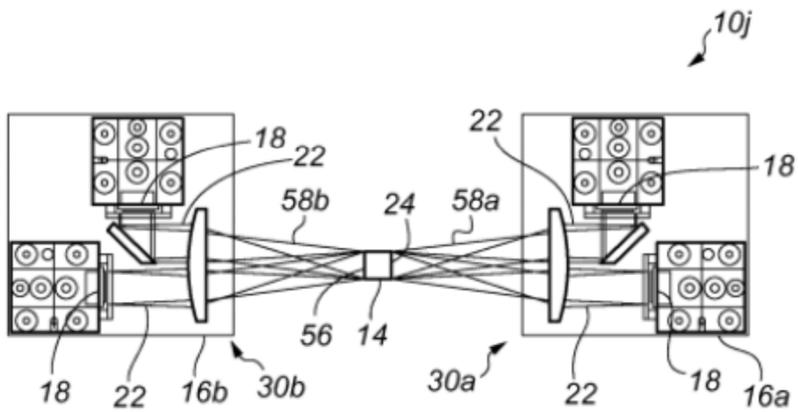


Fig. 13

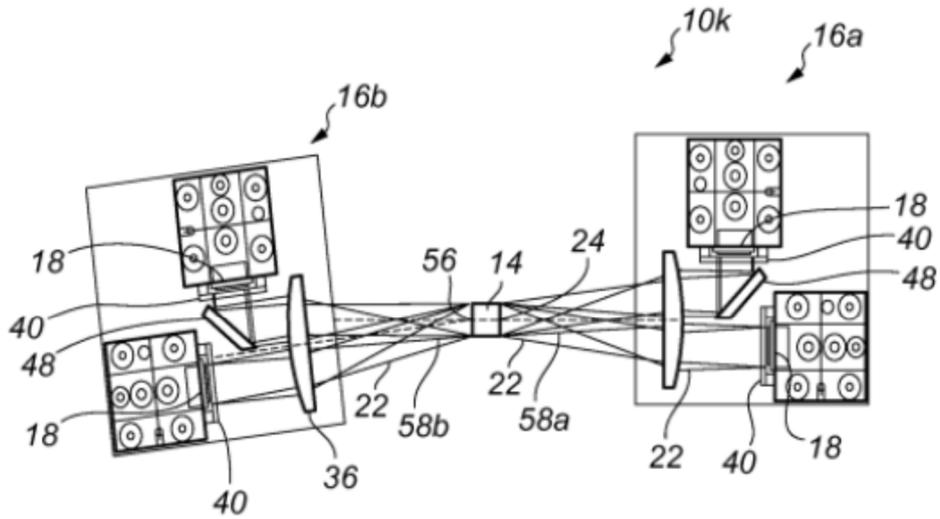


Fig. 14

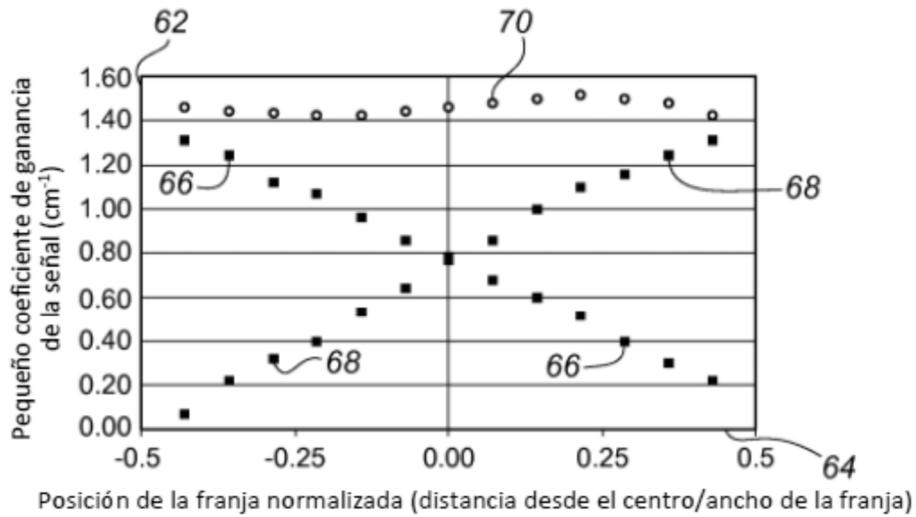


Fig. 15