

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 109**

51 Int. Cl.:

H01S 3/0941 (2006.01)
H01S 3/06 (2006.01)
H01S 3/16 (2006.01)
H01S 3/08 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
H01S 3/081 (2006.01)
H01S 3/094 (2006.01)
H01S 3/109 (2006.01)
H01S 3/11 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.10.2006 E 06846164 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 1946413**

54 Título: **Láser de bombeo de extremo, de alta potencia, con bombeo fuera de pico**

30 Prioridad:

28.10.2005 US 261010

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

18.09.2015

73 Titular/es:

**LASERSCOPE (100.0%)
3070 ORCHARD DRIVE
SAN JOSE, CA 95134-2011, US**

72 Inventor/es:

MITCHELL, GERALD

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 546 109 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Láser de bombeo de extremo, de alta potencia, con bombeo fuera de pico

5 Antecedentes de la invención

Campo de la invención

10 La presente invención se refiere a sistemas láser, y más particularmente a sistemas láser de bombeo de extremo, de alta potencia, con medios de ganancia de estado sólido.

Descripción de la técnica relacionada

15 Se desea una salida láser de alta potencia en una amplia gama de longitudes de onda y disciplinas en los sectores científico, industrial y médico. Se han desarrollado muchos sistemas para generar alta potencia. Sin embargo, unos sistemas que generan niveles de potencia de salida en exceso de varios cientos de vatios resultan muy complejos. Asimismo, algunos sistemas generan tales altas potencias solo en detrimento de la calidad del rayo.

20 En sistemas de estado sólido, para generar potencias de salida más altas, se aumenta la cantidad de energía utilizada para bombear el medio de ganancia. Sin embargo, muchos medios de estado sólido presentan efecto de lente térmica u otros problemas que causan aberraciones en el rayo de salida. La energía de bombeo puede aplicarse desde el lateral del medio de ganancia, conocido como un bombeo lateral, o desde el extremo del medio de ganancia, conocido como el bombeo de extremo, en la mayoría de los sistemas. Otros sistemas crean una óptica compleja para llenar un medio de ganancia con energía de bombeo. Un bombeo lateral es relativamente ineficaz; de manera que la conversión de energía de bombeo en salida láser es baja a energías de bombeo relativamente altas. Un bombeo de extremo es más eficaz. Sin embargo, se alcanza rápidamente un límite superior para medios de ganancia de bombeo de extremo, donde una absorción rápida de energía de bombeo en un pequeño volumen en los primeros pocos milímetros del medio de ganancia causa fractura térmica. Un daño térmico a un medio de ganancia de estado sólido puede controlarse mediante técnicas de enfriamiento sofisticadas, como se emplea en los así llamados láseres de disco. Asimismo, un efecto de lente térmica que ocurre en algunos medios de ganancia de estado sólido puede controlarse mediante la inclusión de cubiertas terminales no dopadas. Una cubierta terminal no dopada unida a un medio de ganancia evita deformación en la superficie del medio de ganancia debida a la alta absorción y la generación de calor sobre la superficie.

35 Se han investigado técnicas que aumentan el volumen del medio de ganancia en el que se absorbe la energía de bombeo, y en el que se genera el calor resultante, para evitar daño térmico y controlar el efecto de lente térmica. Una manera de distribuir generación de calor en el medio de ganancia que se ha investigado incluye la reducción de la concentración de dopaje del material activo. A concentraciones de dopaje más bajas, se absorbe menos energía en un volumen dado. Véase, Honea et al., "Analysis of intracavity-doubled diode-pumped Q-switched Nd: YAG laser producing more than 100 W of power at 0.532 μm ," OPTICS LETTERS, Vol. 23, N° 15, 1 agosto, 1998, páginas 1.203-1.205, en el que un canal de lente suministró la luz de bombeo de una matriz de diodo que funcionaba a 0,808 micrómetros al extremo de un vástago de un diámetro de 0,5 cm x 10 cm Nd: YAG (dopaje Nd de un 0,1 %) hecho con cubiertas terminales no dopadas de 0,5 cm.

45 Butterworth, Patente de los Estados Unidos N° 6 898 231 B2, describe un láser basado en un medio de ganancia que comprende neodimio Nd dopado itrio ortovanadato ("vanadato"), en el que la energía de bombeo se fija en una longitud de onda que se absorbe con una eficacia sustancialmente menor que la de las longitudes de onda de absorción de pico, permitiendo de esta manera que penetre más la energía de bombeo en un volumen mayor del medio de ganancia antes de ser absorbida y distribuyendo el calor generado. En la patente de Butterworth, por ejemplo, el cristal de vanadato era del orden de cinco milímetros de largo, y la concentración de dopaje era relativamente alta, de aproximadamente un 0,5 porcentaje atómico. Hardman et al., "Energy-Transfer up Conversion and Thermal Lensing and High-Power End-Pumped Nd: YLF Laser Crystals," IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Volumen 35, N° 4, abril 1999, describe un láser de bombeo longitudinal con la longitud de onda de bombeo desafinada para aumentar la longitud de absorción en el huésped YLF a aproximadamente tres milímetros. Pollnau et al., "Up Conversion-Induced Heat Generation and a Thermal Lensing in Nd: YLF and Nd: YAG," PHYSICAL REVIEW B, Volumen 58, N° 24, 15 diciembre 1998, p. 16.076-16.092, describe asimismo un bombeo fuera de pico para un huésped YLF, mientras que sugiere que un bombeo fuera de pico no es necesario para un huésped YAG, porque "una fractura de vástago no es un problema". (Véase, Pollnau et al., página 16.077). Véase asimismo, Wu et al., Patente de los Estados Unidos N° 6 347 101 B1; y Chang et al., Patente de los Estados Unidos N° 6 504 858 B2. Las publicaciones de Wu et al., Chang et al., Butterworth, Hardman et al. y Pollnau et al. describen unos sistemas que utilizan potencias de bombeo relativamente bajas de láseres de diodo, del orden de 20 o 30 vatios. Las potencias de salida resultantes de los láseres son, por ello, relativamente pequeñas, y no adecuadas para muchas aplicaciones.

65 Se han conseguido salidas de alta potencia para láseres de bombeo de diodo Tm: YAG que producen salidas de longitud de onda de 2 μm y que aplican un bombeo fuera de pico con potencias de bombeo sobre 300 vatios. Unos

medios dopados Tm demuestran una relajación transversal dos por uno, mejorando la eficacia de bombeo, siempre y cuando la intensidad de bombeo sea lo suficientemente alta. Honea et al. informan sobre salidas de longitud de onda de hasta $2 \mu m$ a 115 vatios en esta configuración, con bombeo fuera de pico de un vástago dopado Tm de 45 mm de largo con dos cubiertas terminales YAG no dopadas de 5 mm de largo. Honea et al., "115-W Tm : YAG Diode-Pumped Solid-State Laser," *IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS*, Vol. 33, N° 9, sept. 1997, páginas 1.592-1.600.

Es deseable proporcionar un sistema láser que genere salidas de alta potencia, de alta calidad, en una configuración fabricable.

Sumario de la invención

Aspectos particulares y preferidos de la presente invención se establecen en las reivindicaciones independientes y dependientes que acompañan.

Se proporciona un láser de alta calidad que produce fácilmente una potencia de salida por encima de 100 vatios utilizando una configuración láser descrita en la presente memoria, basada en un medio de ganancia de estado sólido, una fuente de energía de bombeo que está desafinada de la longitud de onda de absorción máxima para el medio de ganancia, y una óptica dispuesta para suministrar la energía de bombeo a través de un extremo del medio de ganancia para propagarse a lo largo de la longitud del medio de ganancia.

La óptica que suministra la energía de bombeo, la longitud del medio de ganancia y la concentración de dopaje en el medio de ganancia se fijan en configuraciones descritas, de manera que un 80 por ciento o más, y preferentemente más de un 90 por ciento, de la energía de bombeo se absorbe en el medio de ganancia. En configuraciones descritas, estos parámetros se designan de manera que la longitud de absorción, a la que se absorbe $1/e$ de la energía de bombeo, es del orden de decenas de milímetros, mayor de 50 milímetros en algunos modos de realización, y preferentemente al menos un tercio, mayor que una mitad en algunos modos de realización, de la longitud del medio de ganancia.

Unos modos de realización del sistema láser descritos en la presente memoria incluyen una fuente de energía de bombeo que suministra 500 vatios o más de energía a una longitud de onda que tiene una eficacia de absorción que es de aproximadamente un 20 por ciento o menos de una eficacia de absorción máxima para el medio de ganancia y elemento activo. Por ejemplo, se describe un sistema láser con un medio de ganancia que comprende un huésped YAG con forma de vástago con una concentración de dopaje Nd entre aproximadamente un 0,05 y un 0,5 porcentaje atómico, donde la longitud del huésped YAG dopado es sustancialmente mayor de 50 milímetros, como 100 milímetros, con un diámetro del orden de 10 milímetros o menos, y con una fuente de energía de bombeo que proporciona más de 500 vatios en una longitud de onda de entre 799 y 803 nanómetros. En configuraciones descritas se producen salidas dobles de intracavidad de más de 100 vatios. Una potencia de salida de más de 200 vatios a $1,064 \mu m$ está disponible en estas configuraciones. Las configuraciones descritas en la presente memoria son escalables para producir una salida de potencias más bajas, de por ejemplo 50 vatios, hasta 1.000 vatios o más, en las longitudes de onda convertidas de frecuencia, y correspondientemente salidas de longitud de onda primaria de alta potencia. La longitud de onda de salida puede configurarse para estar incluida en un intervalo de aproximadamente 200 a aproximadamente 1.100 nm en modos de realización descritos en la presente memoria.

En modos de realización del sistema láser descrito en la presente memoria, el medio de ganancia comprende un vástago largo del huésped cristalino como YAG, con una cubierta terminal no dopada en el primer extremo a través del que la radiación de bombeo entra al cristal, y opcionalmente con una cubierta terminal no dopada en el segundo extremo también.

La energía de bombeo se suministra utilizando una óptica en un modo de realización descrito en la presente memoria, que enfoca la energía de bombeo en un punto focal cerca de un extremo del medio de ganancia, para propagación a lo largo de la longitud del medio de ganancia. Se incluyen elementos ópticos que se disponen para proporcionar una cavidad resonante, que se adapta en modo al tamaño de mancha de la energía de bombeo en el punto focal. El resultado de esta configuración es un rayo de salida de alta calidad, con M^2 menor de 30, adecuado para acoplamiento dentro sistemas de suministro de fibra óptica y que está enfocado a objetivos relativamente pequeños.

Se describe un modo de realización en el que el sistema láser se configura para proporcionar rayos de salida que son un rayo convertido de frecuencia, como un primer, segundo o tercer armónico de la longitud de onda primaria en el sistema láser. En tal modo de realización, se incluye un componente para conversión de frecuencia en la cavidad resonante. Asimismo, un modo de realización del sistema incluye un conmutador Q en la cavidad resonante, para producir pulsos de alta frecuencia, de alta energía, de luz láser de salida.

La configuración láser descrita en la presente memoria es adecuada para generación de más de 100 vatios de salida a 532 nanómetros utilizando un medio de ganancia Nd: YAG y fuente de bombeo láser de diodo. La configuración es estable, fácilmente fabricada y de bajo coste.

- 5 En resumen, se describe un láser de alta potencia de bombeo de extremo que produce un rayo M^2 bajo con potencia de salida estable. Pueden producirse potencias de salida mayores de 100 e incluso mayores de 1.000 vatios utilizando huéspedes de estado sólido y fuentes de bombeo láser de diodo. La configuración láser respalda una conversión de frecuencia intracavidad eficaz.
- 10 Otros aspectos y ventajas de la presente invención pueden verse al revisar los dibujos, la descripción detallada y las reivindicaciones que siguen.

Breve descripción de los dibujos

- 15 La Fig. 1 es una diagrama simplificado de un sistema láser de estado sólido, de bombeo de diodo que produce una potencia de salida convertida de frecuencia de sobre 100 vatios.
 La Fig. 2 ilustra un extremo de un medio de ganancia en un sistema como se describe con referencia a la Fig. 1.
 La Fig. 3 es una ilustración esquemática de la distribución de energía de bombeo en un extremo del medio de ganancia para un sistema como se describe con referencia a la Fig. 1.
 20 La Fig. 4 ilustra en perfil de intensidad en al menos una dimensión de la energía de bombeo suministrada a un extremo del medio de ganancia para un sistema como se describe con referencia a la Fig. 1.
 La Fig. 5 es un gráfico de eficacia de absorción frente a longitud de onda para fuentes de energía de bombeo en un medio de ganancia Nd: YAG.
 La Fig. 6 es un diagrama simplificado de un sistema láser de estado sólido, de bombeo de diodo alternativo para producir altas potencias de salida.

Descripción detallada

- 30 Se proporciona una descripción detallada de modos de realización de la presente invención con referencia a las Fig. 1-6.

La Fig. 1 ilustra un sistema láser de alta potencia que comprende un medio de ganancia 10 que incluye un huésped cristalino dopado, que tiene un primer extremo 11 y un segundo extremo 12. El medio de ganancia 10 en un modo de realización representativo comprende Nd: YAG que tiene una longitud de aproximadamente 100 milímetros y un diámetro de aproximadamente 4,5 milímetros. El medio de ganancia 10 se enfría con agua en modos de realización de ejemplo, a lo largo de los laterales del huésped. Una cubierta terminal no dopada 13 de aproximadamente 10 milímetros de largo en este ejemplo se une al primer extremo 11 del medio de ganancia 10, y una cubierta terminal no dopada 14 asimismo de aproximadamente 10 milímetros de largo en este ejemplo se une al segundo extremo 12 del medio de ganancia 10.

40 En la configuración de bombeo de extremo de alta potencia mostrada, la cubierta terminal no dopada 13 puede unirse por difusión, pero preferentemente por crecimiento, a al menos el primer extremo 11. En modos de realización donde una energía de bombeo significativa alcanza el segundo extremo del huésped 10, puede unirse por difusión otra cubierta terminal no dopada 14, pero preferentemente por crecimiento, al segundo extremo 12. El extremo de salida de la cubierta terminal no dopada 14 se reviste de manera que sea reflectante a la longitud de onda de la energía de bombeo, mientras que transmite en el modo resonante. De esta manera, la energía de bombeo que no es absorbida en el segundo extremo 12 se redirecciona de vuelta al vástago para ser absorbida. A las potencias de bombeo muy altas posibles que utilizan la configuración descrita en la presente memoria, unos efectos de lente de extremo de vástago desempeñan un papel muy significativo en la estabilidad del resonador. Una absorción fuerte de la energía de bombeo en la superficie del medio de ganancia puede causar una distorsión significativa a la cara de extremo y fractura de vástago a niveles de alta potencia. Una distorsión de vástago conduce a una fuerte aberración esférica del rayo que reduce seriamente la calidad del rayo. Uniendo cubiertas terminales no dopadas sobre los extremos de vástago dopados, se evita la distorsión, porque la absorción tiene lugar ahora en la masa y no en la superficie. Asimismo, el límite de fractura es más alto y se eliminan sustancialmente efectos de extremo.

55 Una fuente de energía de bombeo en el modo de realización ilustrado comprende una matriz de diodo 15. Un modo de realización representativo emplea un apilamiento de siete barras de láseres de diodo, con cada barra produciendo 100 vatios para una energía de bombeo total de 700 vatios, centrada en 801 nanómetros. La longitud de onda de las barras cambia más o menos 1,5 nanómetros en condiciones de funcionamiento normales, proporcionando una energía de bombeo en el intervalo de aproximadamente 799 a aproximadamente 803 nanómetros.

65 La Fig. 5 muestra la eficacia de absorción frente a longitud de onda de energía de bombeo en un intervalo práctico de longitudes de onda, para Nd: YAG. Como se muestra, ocurre un máximo en el intervalo a aproximadamente 808 nanómetros. El intervalo de energía de bombeo de 799 a 803 se sitúa sustancialmente fuera del pico en 808, a un nivel que es menos de un 20 por ciento de la absorción máxima. Para 801, más o menos 1,5 nanómetros, la

absorción es menos de aproximadamente un 10 % de la absorción máxima en el pico cercano a 808 nanómetros. Otros intervalos de energía de bombeo son asimismo adecuados, incluyendo longitudes de onda cercanas a 825 nanómetros o más allá del intervalo ilustrado. Una ventaja específica de bombear a una longitud de onda con eficacias de absorción que están sustancialmente fuera de pico es una tolerancia a desplazamientos de longitud de onda. Cuando se bombea a 801 nanómetros en el Nd: YAG en el modo de realización descrito, los desplazamientos de longitud de onda de más o menos 1,5 nanómetros no tienen esencialmente efecto sobre la salida láser.

La energía de bombeo se suministra a través de óptica, incluyendo una lente de colimación de eje rápido 16, un multiplexor de polarización que actúa como un intercalador de rayo, duplicador de brillo 17, y un juego de lentes 18 dispuestas como un telescopio para enfocar la energía de bombeo cercana al primer extremo 11 del medio de ganancia 10. La energía de bombeo se suministra a la salida de las lentes de colimación de eje rápido 16 en una trayectoria 20 al intercalador de rayo, duplicador de brillo 17. La energía de bombeo se concentra a una mitad de su anchura en la salida del intercalador de rayo, duplicador de brillo 17 en la trayectoria 21 y se suministra a través de las lentes 18 en la trayectoria 22 a un punto focal en o cercano al primer extremo 11 del medio de ganancia 10.

En modos de realización de la invención, el intercalador de rayo, duplicador de brillo 17, reduce la anchura de la salida de energía de bombeo en una mitad, facilitando el enfoque de la energía de bombeo en un medio de ganancia con forma de vástago de relativamente pequeño diámetro 10, con una distancia de trabajo más larga. Las lentes 18 pueden variarse para ajustar el tamaño de mancha a un plano de imagen en el medio de ganancia 10 en un intervalo de parámetros de funcionamiento que sea adecuado para una implementación particular. Por ejemplo, el tamaño de mancha en el punto focal puede variarse en un intervalo de aproximadamente un 10 por ciento a aproximadamente un 90 por ciento del diámetro del medio de ganancia en forma de vástago 10.

La energía de bombeo pasa a través de un divisor de rayo 19 que se utiliza para dirigir la energía de resonancia a la óptica que define una cavidad resonante. El sistema incluye elementos ópticos que incluyen un espejo cóncavo 25, que es altamente reflectante a la energía de resonancia de 1.064 nanómetros, un divisor de rayo 19, que es reflectante a 1.064 nanómetros y transmisor a la longitud de onda de la fuente de energía de bombeo de aproximadamente 801 nanómetros, un espejo cóncavo 26 que es altamente reflectante a 1.064 nanómetros y transmisor a una longitud de onda de salida de 532 nanómetros, un espejo cóncavo 27 que es altamente reflectante tanto a 1.064 como a 532 nanómetros, y un espejo cóncavo 28 que es altamente reflectante tanto a 1.064 como a 532 nanómetros. Los elementos ópticos 25, 19, 26, 27, 28 definen una trayectoria resonante 32 que tiene esencialmente forma de Z, con una cola entre el divisor de rayo 19 y el espejo cóncavo altamente reflectante 25.

En el modo de realización ilustrado, se coloca un conmutador Q 29 en la cavidad resonante entre los espejos 26 y 27. Asimismo, se coloca un cristal no lineal 30, como LBO, entre los espejos 27 y 28. La cavidad resonante en forma de Z puede configurarse como se expone en la Patente de los Estados Unidos Nº 5 025 446 por Kuizenga, que capta la imagen del modo resonante en un extremo del medio de ganancia 10 en el cristal no lineal 30. La configuración descrita es estable y altamente eficaz para conversión de frecuencia. La configuración mostrada en la Fig. 1 produce una salida convertida de frecuencia (longitud de onda de 532 nanómetros en un modo de realización ilustrado) de más de 100 vatios en la línea 31.

El tamaño de mancha de bombeo en el plano de imagen cercano al primer extremo 11 del medio de ganancia 10 afecta a la calidad de modo del sistema láser, controla la ganancia, y la fuerza del efecto de lente térmica. Las Fig. 2 y 3 ilustran rasgos del tamaño de mancha de bombeo en el punto focal. La Fig. 2 muestra el medio de ganancia 10, y el extremo terminal no dopado 13 en el primer extremo 11 del medio de ganancia 10. La energía de bombeo se enfoca en la trayectoria 22 al punto focal cercano al primer extremo 11. Esto establece una abertura cercana al primer extremo para el modo resonante en la cavidad. La ganancia es inversamente proporcional al área y divergente del rayo de bombeo en el punto focal cercano al primer extremo 11 del medio de ganancia 10 en la interfaz dopada/no dopada del vástago. Cuanto más pequeño es el tamaño de mancha, más alta es la ganancia para un vástago dado. La lente térmica es asimismo inversamente proporcional al tamaño de mancha de bombeo en el plano de imagen. Cuando la mancha de bombeo se hace más pequeña, la lente térmica aumenta. Asimismo, la distribución de luz a través de la mancha de bombeo tiene un fuerte efecto sobre la lente térmica. La Fig. 3 ilustra la luz de distribución de la fuente de energía de bombeo en el primer extremo 11 en el vástago, que resulta de captar la imagen de la salida de la fuente de diodo láser en el primer extremo 11 del vástago. Como se ilustra en la Fig. 3, hay siete filas de salidas láser de diodo, como la fila 50. El resultado es un perfil de intensidad sustancialmente uniforme, como se ilustra en la Fig. 4 a lo largo de la dimensión horizontal en la Fig. 4, que se sitúa en un eje que es paralelo a la fila 50 de manchas de diodo láser. Las filas están separadas por una pequeña distancia en la dimensión vertical en un modo de realización donde se enfocan las lentes de colimación de eje rápido 16.

Asimismo, el tamaño de mancha en el plano de imagen afecta a modos transversales del láser. Los modos transversales del láser se controlan mediante el tamaño de mancha de bombeo y distribución de energía en aproximadamente el primer 30 por ciento de la longitud de vástago en el que se absorbe la mayor parte de la energía de bombeo. Cuando se reduce el tamaño de mancha en el plano de imagen, mejora la calidad de modo. Los elementos ópticos 25, 19, 26, 27, 28 que definen la cavidad resonante se configuran para adaptarse en modo a la abertura definida mediante el tamaño de mancha de energía de bombeo en el punto focal.

La concentración de dopaje en el medio de ganancia 10 se elige basándose en la calidad de modo y potencia de salida requeridas. El nivel de dopaje es relativamente bajo para permitir una distribución de la carga térmica a lo largo del eje óptico del medio de ganancia 10 (p. ej. una longitud de absorción 1/e de más de 50 milímetros en un vástago con un diámetro de menos de 10 milímetros), reduciendo por ello los estreses térmicos inducidos en la entrada al medio de ganancia. En un modo de realización descrito, la concentración de dopaje es de aproximadamente un 0,27 porcentaje atómico para el vástago mostrado en la Fig. 1, esto es aproximadamente 100 milímetros de largo entre el primer extremo 11 y el segundo extremo 12, y bombeado sustancialmente fuera de pico de aproximadamente 801 nanómetros donde la eficacia de absorción es menos de un 10 por ciento de la eficacia de absorción máxima en el pico cercano a 808 nanómetros para Nd: YAG. La longitud de absorción 1/e para este modo de realización es de aproximadamente 66 milímetros, más de la mitad de la longitud del vástago de 100 milímetros.

Unos intervalos de concentraciones de dopaje para modos de realización de la invención que comprenden un vástago Nd: YAG pueden estar incluidos entre aproximadamente un 0,05 y aproximadamente un 0,5 porcentaje atómico, y más preferentemente en un intervalo entre aproximadamente un 0,2 y un 0,4 porcentaje atómico para aplicaciones comerciales fabricables de manera inmediata y consistente. La longitud de onda de energía de bombeo, concentración de dopaje y la longitud del vástago se adaptan en un modo de realización preferente, de manera que la longitud de absorción es sobre un tercio de la longitud del vástago, y más de un 90 por ciento de la energía de bombeo se absorbe en dos pasadas a lo largo de la longitud del vástago, ya que la energía de bombeo no absorbida que alcanza el segundo extremo 12 del vástago se refleja de vuelta hacia el primer extremo 11. La cantidad de energía de bombeo no absorbida que alcanza el primer extremo 11 es muy baja, y tiene efectos insustanciales sobre las características de la energía de bombeo en el punto focal.

Estableciendo una combinación adecuada de parámetros que incluye la longitud para el medio de ganancia, la concentración de dopaje, el perfil de energía de bombeo en el plano de imagen, y la longitud de onda de energía de bombeo, se generan de manera inmediata potencias de salida mayores de 100 vatios de salida convertida de frecuencia a 532 nanómetros con un vástago Nd: YAG de aproximadamente 100 milímetros de largo y aproximadamente 4,5 milímetros de diámetro con un rayo de calidad razonablemente alta. La tecnología es escalable a configuraciones que soportan una energía de bombeo en el intervalo de kilovatio para cientos de vatios de energía de salida en las longitudes de onda primaria y de armónico para el láser.

La calidad de rayo puede caracterizarse mediante el parámetro M^2 . Cuanto más alto es M^2 , más baja es la calidad de rayo, y más difícil es enfocar el rayo en una mancha pequeña y acoplar el rayo dentro de dispositivos de suministro de apertura numérica pequeños, como fibra óptica. Un M^2 de menos de 30 se consigue de manera inmediata utilizando la tecnología descrita en la presente memoria, que permite un acoplamiento dentro de fibra óptica del orden de 100 micrones y más de diámetro, que proporciona un rayo con baja divergencia adecuado para muchas aplicaciones de alta potencia de luz láser, incluyendo aplicaciones médicas.

La tecnología descrita en la presente memoria es adaptable a otras configuraciones de la cavidad resonante, con o sin conversión de frecuencia y con o sin conmutación Q, y adaptable a otros medio de ganancia y fuentes de energía de bombeo dentro de los parámetros descritos en la presente memoria.

La Fig. 6 ilustra una configuración de sistema láser alternativa, en la que se proporciona energía de bombeo en ambos extremos del medio de ganancia, para potencias de salida más altas. En el sistema ilustrado, se proporciona un medio de ganancia 100 que tiene una longitud entre un primer extremo 101 y un segundo extremo 102, del orden de 50 a 100 milímetros o más largo. Unas cubiertas terminales no dopadas 103, 104 crecen en el primer extremo 101 y segundo extremo 102 respectivamente. Una primera fuente de energía de bombeo 105 dirige más de 100 vatios de energía de bombeo a través de un divisor de rayo 107 a un plano de imagen cercano al primer extremo 101 a una longitud de onda que se desafina de la longitud de onda de absorción máxima para el medio de ganancia. Una segunda fuente de energía de bombeo 106 dirige más de 100 vatios de energía de bombeo a través de un divisor de rayo 108 a un plano de imagen cercano al segundo extremo 102, a una longitud de onda que se desafina de la longitud de onda de absorción máxima. Unos componentes ópticos 109 y 110 se disponen para proporcionar una cavidad resonante para la primera longitud de onda. La combinación de parámetros que incluye la longitud para el medio de ganancia, la concentración de dopaje, los perfiles de energía de bombeo en los puntos focales en los extremos del medio de ganancia, y las longitudes de onda de energía de bombeo sustancialmente desafinadas de las longitudes de onda de absorción máximas, se establecen para longitudes de absorción de al menos un tercio de la longitud del vástago, de manera que se producen potencias de salida altas y rayos de alta calidad. Los componentes de resonador representados mediante el bloque 110 se adaptan para una aplicación particular del sistema láser, y pueden comprender espejos, polarizadores, conmutadores Q, cristales no lineales, aberturas, filtros, etalones, placas de onda media, y otros dispositivos.

Unos modos de realización del sistema láser pueden hacer uso de uno o más apilamientos de diodo u otras fuentes de energía de bombeo, pueden incluir uno o más medios de ganancia, y pueden incluir una variedad de configuraciones de cavidad resonante. Unos sistemas láser que emplean la tecnología descrita en la presente memoria pueden implementarse para que operen en un modo de onda continua CW (por sus siglas en inglés), un modo conmutado Q y unos modos de bloqueo de modo, dependiendo de las características de salida preferidas.

- 5 Se describe un láser de alta potencia, de bombeo de extremo, que produce una salida con potencia de salida estable y M^2 bajo. El nivel de dopaje del medio de ganancia se ajusta, la longitud de onda de bombeo se desafina fuera de bandas de bombeo principales, y la longitud del medio de ganancia es una seleccionada para permitir un bombeo de muy alta potencia mientras que se mantiene un estrés térmico y un efecto de lente térmica bajos. La abertura de ganancia para el sistema puede determinarse mediante el tamaño de mancha de la energía de bombeo de la que se capta la imagen en un extremo del medio de ganancia. El sistema láser puede ser convertido de frecuencia de intracavidad muy eficazmente a frecuencias de armónico segundo, tercero y más alto.
- 10 Mientras que la presente invención se divulga mediante referencia a los modos de realización preferidos y ejemplos detallados más arriba, debe entenderse que estos ejemplos tienen por objeto un sentido ilustrativo, más que limitativo. Se contempla que ocurran modificaciones y combinaciones de manera inmediata para los expertos en la materia, cuyas modificaciones y combinaciones entrarán dentro del espíritu de la invención y el alcance de las siguientes reivindicaciones. Lo que se reivindica es:
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un sistema láser, que comprende:

- 5 un medio de ganancia (10) que tiene una concentración de dopaje y un perfil de absorción para una eficacia de absorción en un intervalo de longitudes de onda de energía de bombeo y que tiene una eficacia de absorción máxima dentro del intervalo, teniendo el medio de ganancia un primer extremo, un segundo extremo y una longitud de 50 milímetros o más entre el primero (11) y segundo (12) extremos;
- 10 una fuente de energía de bombeo (15; 105) que tiene una longitud de onda a la que la eficacia de absorción es menos del máximo; y
- una óptica (18, 22) dispuesta para suministrar la energía de bombeo a través del primer extremo del medio de ganancia para propagar a lo largo de la longitud del medio de ganancia;
- 15 en el que la óptica, la longitud de onda de energía de bombeo, la longitud del medio de ganancia y la concentración de dopaje del medio de ganancia establecen una absorción superior a un 80 % de la energía de bombeo suministrada al medio de ganancia, y una longitud de absorción 1/e superior a un tercio de la longitud del medio de ganancia, en el que las ópticas dispuestas para suministrar la energía de bombeo se adaptan para captar la imagen de la fuente de energía de bombeo en un plano de imagen cercano al primer extremo del medio de ganancia con un tamaño de mancha, que incluye elementos ópticos dispuestos para proporcionar una cavidad resonante para proporcionar una salida láser, adaptándose en modo la cavidad resonante al tamaño de mancha de la energía de bombeo en el plano de imagen.
- 20 2. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que el medio de ganancia incluye un componente para redireccionar energía de bombeo que no es absorbida en el segundo extremo de vuelta a través del medio de ganancia, y más de un 90 % de la energía de bombeo se absorbe en 2 pasadas a través del medio de energía.
- 25 3. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que el medio de ganancia comprende un huésped de estado sólido con dopaje Nd, y la eficacia de absorción de la energía de bombeo es de aproximadamente un 20 % o menos de la eficacia de absorción en un pico cercano a 808 nm en el perfil.
- 30 4. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que el medio de ganancia comprende un huésped de estado sólido con dopaje Nd, y la energía de bombeo tiene una longitud de onda en un intervalo de aproximadamente 799-803 nm.
5. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que el medio de ganancia comprende un huésped YAG con dopaje Nd en un intervalo de aproximadamente un 0,2 a aproximadamente un 0,4 por ciento atómico.
- 35 6. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que el medio de ganancia comprende un huésped de estado sólido dopado, y que incluye una cubierta terminal no dopada (13) en el primer extremo.
7. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que el medio de ganancia comprende un huésped de estado sólido dopado, e incluye una cubierta terminal no dopada (13) en el primer extremo y una cubierta terminal no dopada (14) en el segundo extremo.
- 40 8. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que la fuente de energía de bombeo comprende una matriz de diodos láser.
- 45 9. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que la fuente de energía de bombeo suministra aproximadamente 500 vatios o más.
10. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que los elementos ópticos comprenden un componente para conversión de frecuencia para proporcionar una salida láser convertida de frecuencia, en el que la energía de bombeo es suficiente para generar la salida láser convertida de frecuencia a más de 100 vatios.
- 50 11. El sistema láser de la reivindicación 1, en el que la energía de bombeo es suficiente para generar una salida láser a más de 100 vatios con M^2 de menos de 30.
- 55 12. El sistema láser de la reivindicación 1, que incluye una segunda fuente de energía de bombeo (106) y una óptica (108) dispuestas para suministrar la energía de bombeo de la segunda fuente a través del segundo extremo del medio de ganancia para que se propague a lo largo de la longitud del medio de ganancia.
- 60 13. El sistema láser de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la longitud de absorción 1/e es de 50 milímetros o más.

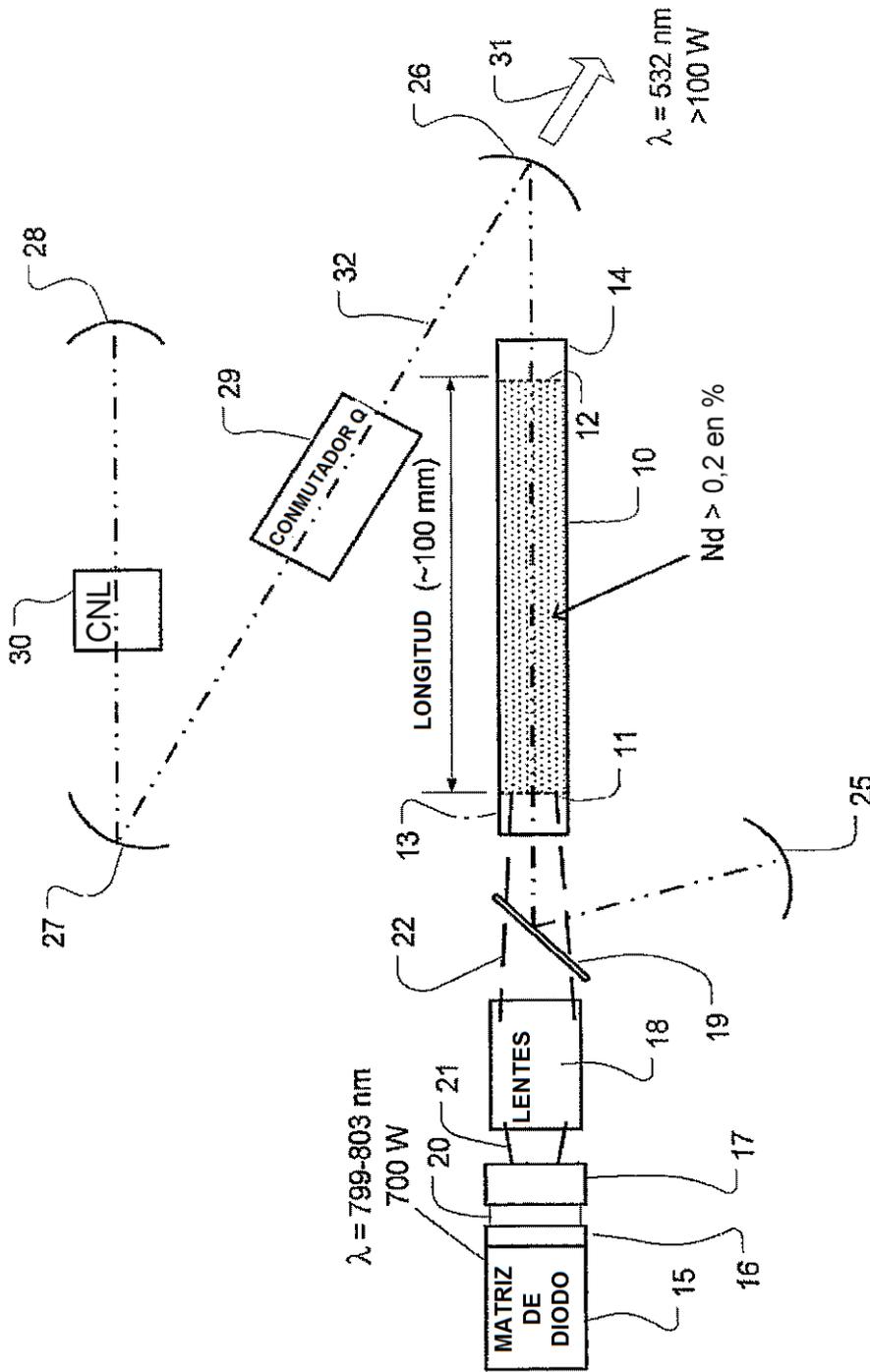


FIG. 1

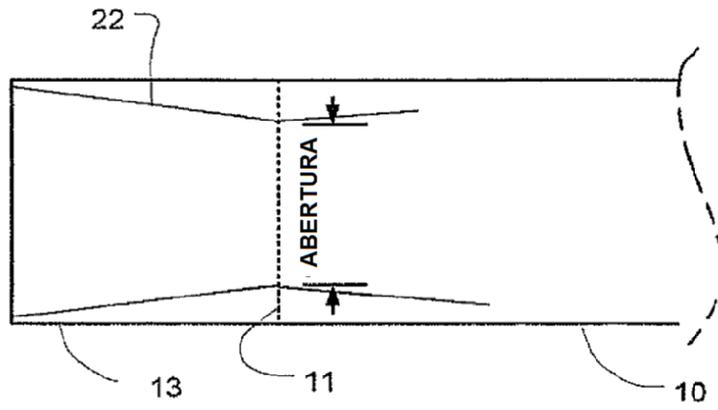


FIG. 2

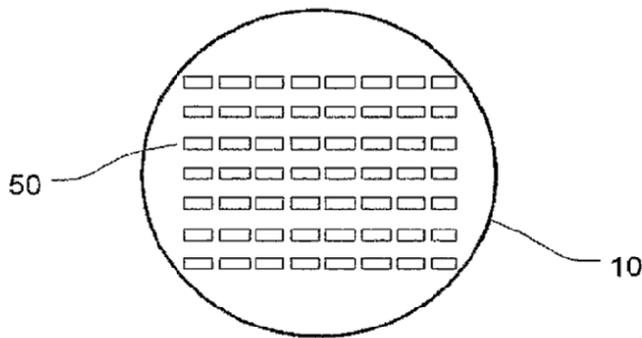


FIG. 3

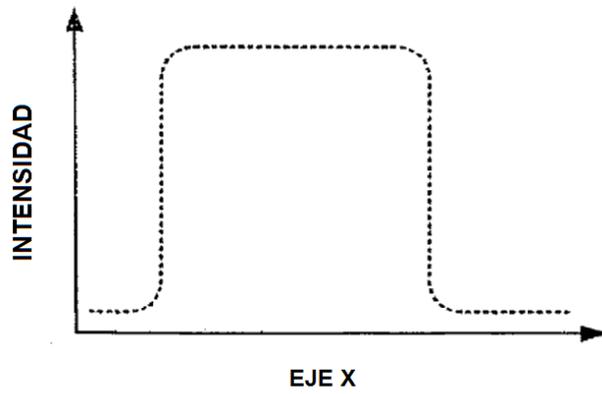


FIG. 4

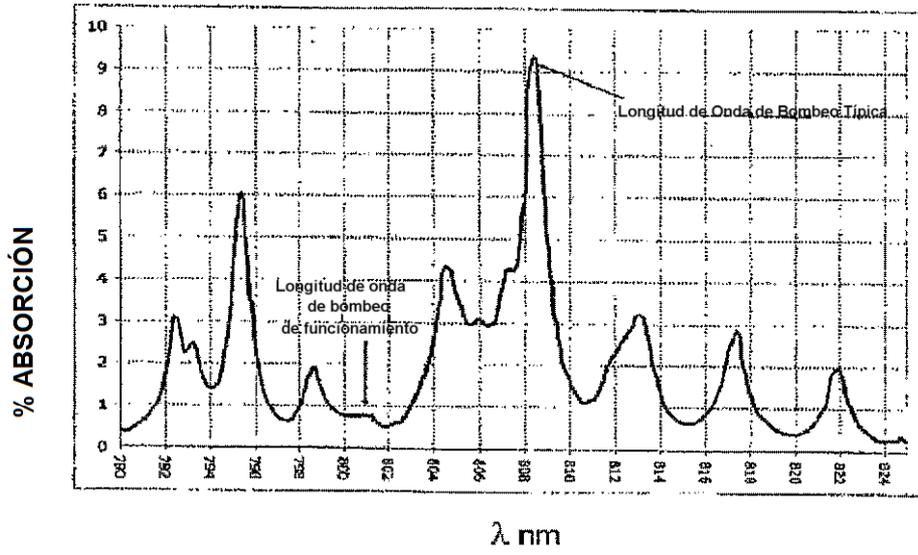


FIG. 5

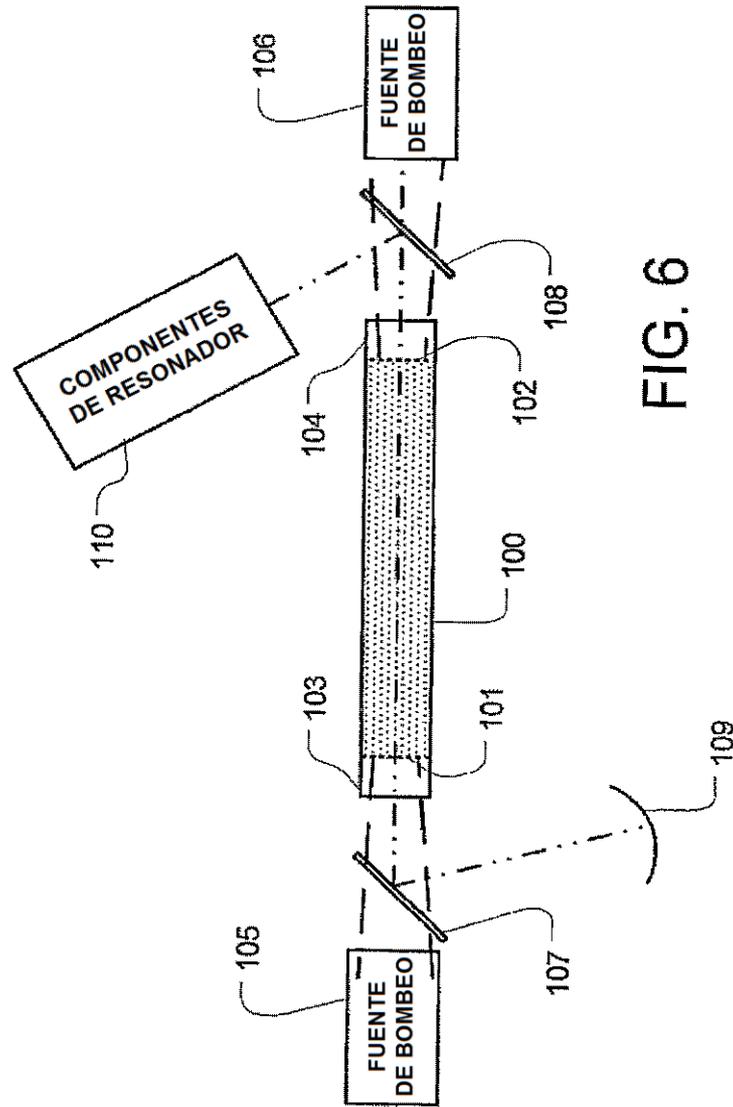


FIG. 6