

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 928 807**

51 Int. Cl.:

H01S 3/0941 (2006.01)

H01S 3/102 (2006.01)

H01S 5/06 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/16 (2006.01)

H01S 5/042 (2006.01)

H01S 5/062 (2006.01)

A61B 18/26 (2006.01)

A61B 18/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2020** **E 20172968 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.08.2022** **EP 3907835**

54 Título: **Método para operar láseres pulsados bombeados por diodos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
22.11.2022

73 Titular/es:

DORNIER MEDTECH LASER GMBH (100.0%)
Argelsrieder Feld 7
82234 Wessling, DE

72 Inventor/es:

HIERETH, WERNER

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 928 807 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método para operar láseres pulsados bombeados por diodos

Estado de la técnica

La invención se refiere a un método como se define en la reivindicación 1 de la patente y un sistema láser como se define en la reivindicación 5 de la patente.

5 Los láseres de estado sólido se bombean comúnmente usando lámparas de gas o diodos láser como fuentes de luz de bombeo. Si bien las lámparas de gas son más baratas que los diodos láser, tienen una vida útil más corta y, además, solo pueden proporcionar una emisión espectral amplia, dando como resultado una eficiencia bastante baja del bombeo de láseres de estado sólido.

10 Los láseres de diodo, por otro lado, son mucho más caros que las lámparas de gas, pero tienen una vida útil mucho mayor y un ancho espectral pequeño (por ejemplo, 2-3 nm) de su espectro de emisión y son, por lo tanto, mucho más eficientes en el bombeo de láseres de estado sólido que tienen bandas de absorción espectral con ancho estrechos (por ejemplo, unos pocos nm). Sin embargo, con el fin de bombear eficientemente láseres de estado sólido con bandas de absorción de ancho estrecho, los láseres de diodo deben operarse en un intervalo de temperatura bastante pequeño debido a que la longitud de onda emitida/el espectro emitido del láser de diodo depende de la temperatura del diodo láser y, por ejemplo, la longitud de onda emitida o la longitud de onda máxima del espectro de emisión puede cambiar o variar, por ejemplo, en $\sim 0,28 \text{ nm}/^\circ\text{C}$.

20 Por lo tanto, los diodos láser están diseñados para emitir una longitud de onda definida/una longitud de onda máxima del espectro de emisión definida solo a una temperatura de operación definida.

Mientras que para los láseres de estado sólido bombeados por diodos de onda continua (Continuous Wave Diode-Pumped Solid-State Lasers, CWDPSSL) esto no es un problema, ya que los diodos láser tienen una disipación de calor constante durante la operación, para láseres de estado sólido bombeados por diodos pulsados (Pulsed Diode-Pumped Solid-State Lasers, PDPSSL), la relación temperatura-longitud de onda entre la longitud de onda emitida por el diodo láser y su temperatura puede depender, entre otras cosas, del ciclo de trabajo de operación y los parámetros de refrigeración/operación del diodo láser.

30 Las técnicas actuales para bombear láseres de estado sólido pulsados son engorrosas, lentas y poco eficientes, dando como resultado, por ejemplo, en reducciones no deseadas de la eficiencia de salida de potencia láser de los láseres de estado sólido en un amplio intervalo de frecuencias de operación deseadas del láser de estado sólido. Es más, las técnicas actuales para bombear láseres de estado sólido pulsados a través de diodos láser tienen el inconveniente de que el intervalo de temperaturas en el que puede funcionar el diodo láser es bastante limitado, por lo que también se limita además el posible intervalo de frecuencias de operación/ajustes de frecuencia del láser de estado sólido pulsado, especialmente para aplicaciones médicas/quirúrgicas.

40 Además de las soluciones actuales para optimizar el control de la temperatura de los diodos láser, es decir, para controlar el espectro de emisión/longitud de onda emitida de los diodos láser, para el bombeo de láseres de estado sólido son bastante estáticas, tienen una latencia baja para la compensación de los cambios de temperatura del diodo láser y, entre otras cosas, necesitan mecanismos de refrigeración complejos y dedicados para los diodos láser, por ejemplo, que comprenden refrigeradores termoeléctricos.

45 Los documentos WO 2013/079943 A1 o US 2006/018350 A1 divulgan un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado en donde la fuente de luz de bombeo de diodo láser está configurada para emitir una serie de pulsos de luz para bombear el láser de estado sólido.

50 En el documento WO 2013/079943 A1, una lente térmica constante dentro del medio láser se mantiene estable mediante bombeo óptico modulado, en donde entre los pulsos de láser, se proporcionan pulsos de bomba de compensación térmica pulsados adicionales por debajo del umbral de operación del láser para mantener constante la lente térmica dentro del medio láser.

55 En el documento US 2006/018350 A1, se aplica un pulso de ráfaga de potencia de bombeo al medio de ganancia láser que calienta el medio de ganancia y, a continuación, el medio de ganancia se subcalienta lo suficiente aplicando un pulso intermedio para realizar una carga térmica de estado estacionario en el medio de ganancia antes de aplicar un pulso posterior. El medio de ganancia de estado sólido puede ser Tm:Ho:YAG.

60 El documento EP 2 443 707 A1 divulga un láser de estado sólido bombeado por diodos, que de acuerdo con un ejemplo es un láser Tm:YAG bombeado por un diodo láser de longitud de onda de bombeo de 760 nm-815 nm. El láser de estado sólido puede funcionar desde aproximadamente 100 Hz hasta 1000 Hz. En un ejemplo, el láser de estado sólido se opera a 250 Hz con longitudes de pulso de 200 microsegundos y con una amplitud de corriente de activación en el intervalo de 50 A a 220 A.

Problema

Por lo tanto, el objeto de la presente invención es proporcionar medios mejorados para bombear láseres de estado sólido pulsados. Por ejemplo, en particular, es un objeto de la presente invención mejorar la eficiencia y la eficacia del bombeo de diodos de un láser de estado sólido pulsado y mejorar la estabilidad y la eficiencia de salida de potencia láser de un/el láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado.

Solución

De acuerdo con la presente invención, este objeto se logra mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1 y un sistema láser de acuerdo con la reivindicación 5.

Las realizaciones ventajosas y los desarrollos adicionales son el objeto de las reivindicaciones dependientes.

Un método a modo de ejemplo para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado de acuerdo con la presente invención comprende todas las etapas siguientes:

- proporcionar una fuente de luz de bombeo para bombear un láser de estado sólido, en donde dicha fuente de luz de bombeo comprende al menos una unidad de diodos láser para emitir una serie de pulsos de luz para bombear el láser de estado sólido,
- modular la serie de pulsos de emisión de luz de la al menos una unidad de diodos láser de tal manera que solo los pulsos de luz con una frecuencia cercana o igual a un ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido se operen con una/la amplitud de pulso necesaria y/o una/la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido, y estando además la al menos una unidad de diodos láser configurada de tal manera que cualquier otro pulso de luz de la al menos una unidad de diodos láser se opera para no desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido.

En el presente documento, las expresiones amplitud de pulso necesaria y duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido pueden entenderse, entre otras cosas, como amplitud de pulso mínima necesaria y duración de pulso mínima necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido.

Por lo tanto, en la etapa de modulación a modo de ejemplo descrita anteriormente, los pulsos de luz con una frecuencia cercana o igual a un ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido pueden operarse con amplitudes de pulso que sean iguales o mayores que una/la amplitud de pulso necesaria (mínima) y/o con duraciones de pulso que son iguales o mayores que una/la duración de pulso necesaria (mínima) para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido.

Dicho de otra manera, las expresiones "amplitud de pulso necesaria" y "duración de pulso necesaria" pueden entenderse como una referencia a una amplitud de pulso mínima y/o una duración de pulso mínima necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido.

Es más, en el presente documento, una frecuencia cercana a un ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido puede entenderse, entre otras cosas, como una frecuencia dentro de un intervalo predeterminado alrededor del ajuste de frecuencia solicitado. Por ejemplo, dentro de un intervalo de $\pm 10\%$ o dentro de un intervalo de $\pm 20\%$ del ajuste de frecuencia solicitado para la operación pulsada del láser de estado sólido.

En otras palabras, en el método descrito a modo de ejemplo en el presente documento para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado, solo los pulsos de luz emitidos por la al menos una unidad de diodos láser con una frecuencia cercana o igual a un ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido se operan con parámetros de bombeo de diodo láser, tales como, por ejemplo, duración(es) del pulso y amplitud(es) del pulso, que son suficientes para desencadenar la emisión láser del láser de estado sólido, es decir, solo los pulsos de luz emitidos por la al menos una unidad de diodos láser con una frecuencia cercana o igual a una frecuencia solicitada del láser de estado sólido están provistos de energías por encima del umbral de emisión láser del láser de estado sólido.

Cualquier otro pulso de luz emitido por la al menos una unidad de diodos láser, es decir, pulsos de luz con frecuencias no iguales a una/la frecuencia solicitada del láser de estado sólido y/o los pulsos de luz con frecuencias fuera, es decir, por encima o por debajo de, un/dicho intervalo predeterminado alrededor de un/el ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido se operan con parámetros de bombeo de diodo láser, tales como, por ejemplo, duración(es) del pulso y amplitud(es) del pulso, que no desencadenen una emisión de luz del láser de estado sólido.

Dicho de otra manera, pulsos de luz emitidos por la al menos una unidad de diodos láser con frecuencias no iguales a una/la frecuencia solicitada del láser de estado sólido y/o pulsos de luz con frecuencias fuera, es decir, por encima

o por debajo de, un/dicho intervalo predeterminado alrededor de un/el ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido se operan/proporcionan con energías por debajo del umbral de emisión láser del láser de estado sólido.

5 Por lo tanto, entre los pulsos de luz emitidos por el láser de estado sólido, la al menos una unidad de diodos láser puede continuar inyectando/bombeando el láser de estado sólido con pulsos de luz, pero a energías por debajo del umbral de emisión láser del láser de estado sólido.

10 Las etapas del método descritas a modo de ejemplo en el presente documento para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado y el sistema láser descrito a modo de ejemplo en el presente documento y las configuraciones del sistema láser para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado pueden, entre otras cosas, mejorar significativamente la salida de potencia láser de un láser de estado sólido operado en modo pulsado.

15 Las pruebas experimentales internas han mostrado sorprendentemente que pueden lograrse aumentos significativos de la salida de potencia láser de un láser de estado sólido pulsado. En particular, por ejemplo, pueden lograrse aumentos en la energía máxima por pulso de láser de hasta un 30 % o más en comparación con los sistemas láser de estado sólido pulsado conocidos. Este beneficio es, en particular, notable en ajustes de baja frecuencia. Las razones de este efecto técnico beneficioso bastante inesperado y sorprendentemente grande pueden entenderse, entre otras cosas, por el hecho de que, debido a la operación pulsada modulada de la unidad de diodos láser que comprende pulsos con energías inferiores, el umbral de emisión láser del láser de estado sólido puede calentar el o los diodos láser de la unidad de diodos láser más rápidamente, de manera más eficiente y eficaz para alcanzar una/la temperatura de operación designada del o los diodos láser de la unidad de diodos láser, permitiendo de este modo una variación más rápida de la longitud de onda de la luz emitida por el o los diodos láser de la unidad de diodos láser hacia/para la longitud de onda de operación designada del o los diodos láser de la unidad de diodos láser en la que el medio de ganancia/el cristal láser del láser de estado sólido absorbe mejor la luz emitida por el o los diodos láser de la unidad de diodos láser.

30 No solo se alcanza más rápido la temperatura de operación designada del o los diodos láser de la unidad de diodos láser en comparación con los sistemas actuales, sino que las condiciones de operación del o los diodos láser, en particular, su/sus temperaturas de operación, se mantienen más estables y precisas en comparación con los sistemas actuales. Por ejemplo, ya que el o los diodos láser de la unidad de diodos láser no operan a plena capacidad, energía máxima o corriente máxima en todo momento durante la operación de bombeo, también el riesgo de sobrecalentamiento del o los diodos láser de la unidad de diodos láser y, por lo tanto, nuevamente el riesgo de variar la longitud de onda de la luz de bombeo emitida por el o los diodos láser de la unidad de diodos láser a longitudes de onda que se absorben menos o no se absorben en absoluto por el medio de ganancia/el cristal láser del láser de estado sólido y dando como resultado un bombeo ineficaz y se reduce la pérdida en la salida de potencia láser del láser de estado sólido.

40 En consecuencia, el bombeo del láser de estado sólido es más estable, más eficiente y más preciso, dando como resultado también una salida láser más estable del láser de estado sólido.

45 Gracias al rápido alcance de las operaciones óptimas del o los diodos láser de la unidad de diodos láser para establecer rápidamente un bombeo óptimo y eficiente del láser de estado sólido, los métodos y medios descritos en el presente documento también permiten cambios rápidos de los diferentes modos de operación del láser de estado sólido, por ejemplo, cambios rápidos entre diferentes ajustes de frecuencia del láser de estado sólido, tales como, por ejemplo, cambiar de ajustes de alta frecuencia/ajustes de alta tasa de repetición a ajustes de baja frecuencia/ajustes de baja tasa de repetición. En el presente documento, ajustes de alta frecuencia/ajustes de alta tasa de repetición pueden, por ejemplo, referirse a frecuencias superiores a 100 Hz o superiores a 200 Hz, y ajustes de baja frecuencia/ajustes de baja tasa de repetición pueden referirse a frecuencias inferiores a 100 Hz o inferiores a 50 Hz.

50 Las etapas del método presentadas a modo de ejemplo para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado y las configuraciones del sistema láser descritas a modo de ejemplo en el presente documento permiten cambios casi instantáneos entre diferentes ajustes de frecuencia del láser de estado sólido, por ejemplo, entre ajustes de baja frecuencia y ajustes de alta frecuencia. En otras palabras, las etapas del método presentadas a modo de ejemplo en el presente documento para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado y las configuraciones del sistema láser descritas a modo de ejemplo en el presente documento eliminan esencialmente las escalas de tiempo bastante largas necesarias en los sistemas convencionales, que pueden necesitar decenas de segundos o minutos o incluso más, para cambios entre diferentes ajustes de frecuencia del láser de estado sólido.

60 Ya que las etapas del método presentado a modo de ejemplo en el presente documento para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado y las configuraciones del sistema láser descritas a modo de ejemplo en el presente documento permiten operaciones más eficientes y estables del sistema láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado, por ejemplo, puede simplificarse un mecanismo de refrigeración para los diodos láser y, por ejemplo, puede implementarse mediante un mecanismo de refrigeración por agua. En consecuencia, puede prescindirse de componentes de regulación térmica más caros y/o más engorrosos para el o los diodos láser de la unidad de diodos láser, tales como refrigeradores termoeléctricos.

Por lo tanto, además de proporcionar un flujo de operación más rápido del láser de estado sólido, una salida de potencia mejorada del láser de estado sólido, en particular, en ajustes de baja frecuencia, pueden lograrse energías láser más altas por pulso láser en comparación con los sistemas láser de estado sólido conocidos, y latencias más bajas para cambiar entre diferentes ajustes de frecuencia del láser de estado sólido, las configuraciones del sistema láser descritas a modo de ejemplo en el presente documento pueden permitir además un diseño simplificado y más compacto de un sistema láser de estado sólido bombeado por diodos en comparación con los sistemas actuales.

Los medios, configuraciones del sistema láser y métodos descritos a modo de ejemplo en el presente documento para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pueden ser específicamente adecuados para láseres de estado sólido bombeados por diodos pulsados para aplicaciones médicas/quirúrgicas, por ejemplo, para el tratamiento de tejido biológico, y en donde el láser de estado sólido se opera en modo pulsado en un intervalo de ajustes de frecuencia de uno a varios cientos de Hz.

El ajuste de frecuencia de láser de estado sólido bombeado por diodos seleccionable de acuerdo con la invención se sitúa en una frecuencia por debajo de 300 Hz, en particular, por ejemplo, a o por debajo de 100 Hz.

Por ejemplo, para el tratamiento de tejidos blandos con el sistema láser de estado sólido descrito en el presente documento puede ser aplicable un ajuste de frecuencia con una frecuencia entre 100 - 300 Hz o entre 50 - 300 Hz.

Para el tratamiento o eliminación de componentes más duros, como cálculos urinarios, por ejemplo, podría usarse un ajuste de frecuencia para el láser de estado sólido bombeado por diodos dentro del intervalo de ajustes de frecuencia de 3 a 100 Hz.

Ajustes de frecuencia más bajos para el láser de estado sólido bombeado por diodos junto con energías más altas/corrientes de diodo láser más altas, por ejemplo, con corrientes de diodo láser de hasta 100 A o hasta 200 A o más altas, puede aplicarse con el fin de facilitar y acelerar las fragmentaciones de cálculos que se van a eliminar de un paciente. Tal modo de tratamiento o de operación puede, entre otras cosas, denominarse fragmentación. Los fragmentos de cálculos más pequeños pueden eliminarse posteriormente usando ajustes de frecuencia más altos para el láser de estado sólido bombeado por diodos y energías más bajas/corrientes de diodo láser más bajas, por ejemplo, corrientes de diodo láser de menos de 100 A o menos de 50 A. Dicho modo de tratamiento o de operación puede denominarse, entre otras cosas, como pulverización.

Un método a modo de ejemplo para operar un láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado puede comprender los siguientes ajustes y etapas.

Por ejemplo, el ajuste de frecuencia de láser seleccionable/solicitable/objetivo para un láser de estado sólido bombeado por diodos a modo de ejemplo puede ser uno de los siguientes ajustes de frecuencia: 5, 10, 20, 25, 50, 75 o 100 Hz y una unidad de diodos láser a modo de ejemplo puede diseñarse/configurarse para emitir pulsos de luz con una frecuencia de 100 Hz para una longitud de onda de bombeo elegida, por ejemplo, una longitud de onda de bombeo optimizada para un ajuste de frecuencia preferido/deseado del láser de estado sólido, es decir, un modo de operación deseado del láser de estado sólido.

Para dichos ajustes de frecuencia a modo de ejemplo del láser de estado sólido bombeado por diodos, la modulación de los pulsos de luz emitidos desde/por la unidad de diodos láser a modo de ejemplo puede especificarse de la siguiente manera.

- Por ejemplo, para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 5 Hz, solo cada 20° pulso de luz de la unidad de diodos láser puede operarse con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido,
- para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 10 Hz, solo cada 10° pulso de luz de la unidad de diodos láser puede operarse con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido,
- para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 20 Hz, solo cada 5° pulso de luz de la unidad de diodos láser puede operarse con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido,
- para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 25 Hz, solo cada 4° pulso de luz de la unidad de diodos láser se opera con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido,
- y en donde, en un ejemplo no de acuerdo con la invención, para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 50 Hz, solo cada 2° pulso de luz de la unidad de diodos láser se opera con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser

de estado sólido,

- y en donde, en un ejemplo no de acuerdo con la invención, para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 75 Hz o 100 Hz, todos los pulsos de la unidad de diodos láser se operan con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido.

En el presente documento, una duración de pulso necesaria a modo de ejemplo para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido puede ser una duración de hasta 150 μ s o puede ser una duración de hasta 500 μ s o más y una amplitud de pulso a modo de ejemplo necesaria expresada en términos de corriente eléctrica aplicada para accionar un diodo láser/la unidad de diodos láser puede ser de hasta 200 A o más y una corriente eléctrica a modo de ejemplo aplicada a un diodo láser/la unidad de diodos láser que da como resultado una emisión de pulso de luz desde el diodo láser/la unidad de diodos láser y que no desencadena una emisión de luz láser del láser de estado sólido puede ser, por ejemplo, de 65 A o inferior.

Entre otras cosas, puede concebirse que la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido se modulen adicionalmente de tal manera que los valores de la o las amplitudes de pulso necesarias y/o la o las duraciones de pulso necesarias de los pulsos para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido puede diferir para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado.

En ejemplos no de acuerdo con la invención, en los casos a modo de ejemplo enumerados anteriormente, puede concebirse que para un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido seleccionado/solicitado de 75 Hz o 100 Hz, todos los pulsos de la unidad de diodos láser se operen con al menos la amplitud de pulso necesaria y/o con al menos la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido, aunque los pulsos no tienen todos la misma amplitud de pulso y/o la misma duración de pulso. En otras palabras, en este ejemplo, los pulsos pueden tener al menos una amplitud y una duración de pulso necesarias para desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido pero algunos o cada uno puede tener diferentes amplitudes de pulso y/o diferentes duraciones de pulso.

Puede concebirse además, que, en general, durante la operación del láser de estado sólido bombeado por diodos pulsado, la corriente eléctrica proporcionada para accionar al menos un diodo láser/unidad de diodos láser puede ser distinta de cero en todo momento. Esto puede, entre otras cosas, facilitar adicionalmente el control de la temperatura de operación de la unidad de diodos láser y, en particular, puede acortar adicionalmente el tiempo de calentamiento de la unidad de diodos láser y, por lo tanto, puede optimizar adicionalmente (es decir, reducir) la latencia del sistema láser cuando opera el láser de estado sólido con/cambiando entre diferentes ajustes de frecuencia.

Un sistema láser de estado sólido bombeado por diodos a modo de ejemplo que puede operarse como se ha descrito a modo de ejemplo en el presente documento, puede comprender un láser de estado sólido y al menos una unidad de diodos láser que puede configurarse para funcionar de acuerdo con cualquiera de las etapas descritas a modo de ejemplo en el presente documento.

De acuerdo con la invención, el láser de estado sólido es un láser de estado sólido Tm:YAG (Thulium:Ytterium Aluminium Garnate).

Una unidad de diodos láser a modo de ejemplo, un diodo láser a modo de ejemplo de la unidad de diodos láser, puede configurarse para emitir pulsos de luz con una longitud de onda de 780 nm o en el intervalo de 778 - 782 nm a 100 Hz y con duraciones de pulso de hasta 500 μ s y con amplitudes de hasta una corriente máxima de 200 A o 250 A y a una temperatura a modo de ejemplo de 25 °C.

Una unidad de diodos láser a modo de ejemplo puede comprender un solo diodo láser o una matriz unidimensional de diodos láser, por ejemplo, una barra diodo-láser o una matriz bidimensional de diodos láser, por ejemplo, una pila de barras diodo-láser o una matriz tridimensional de diodos láser, por ejemplo, comprendiendo múltiples pilas de barras diodo-láser.

La unidad de diodos láser a modo de ejemplo descrita en el presente documento/el o los diodos láser a modo de ejemplo de la unidad de diodos láser a modo de ejemplo pueden configurarse, en particular, de tal manera que puedan emitir luz con un espectro de emisión que coincida sustancialmente con el espectro de absorción del medio de ganancia del láser de estado sólido, cuando la unidad de diodos láser/el o los diodos láser se operan en o cerca del máximo de una corriente eléctrica predeterminada suministrada a la unidad de diodos láser/el o los diodos láser.

En particular, la unidad de diodos láser a modo de ejemplo descrita en el presente documento/los diodos láser a modo de ejemplo de la unidad de diodos láser a modo de ejemplo pueden configurarse/diseñarse para emitir luz a/con una longitud de onda que coincida con la longitud de onda a la que el medio de ganancia del láser de estado sólido absorbe mejor la luz cuando la unidad de diodos láser/el o los diodos láser a modo de ejemplo se operan a/con una corriente eléctrica máxima predeterminada y con/a una frecuencia (una/la frecuencia de operación) que es la más crítica para

el uso previsto, es decir, el ajuste de frecuencia solicitado f del láser de estado sólido en términos de salida de potencia máxima del láser/salida de energía del láser E , de tal manera que puede optimizarse el producto $E \times f$.

Es más, el láser de estado sólido puede operarse a/con un ajuste de frecuencia solicitado lo más cerca posible (por ejemplo, dentro de menos del 10 o el 20 %) a una/la frecuencia de operación diseñada de una unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo para optimizar la salida de potencia láser/salida de energía láser del láser de estado sólido. En el presente documento, la frecuencia de operación de la unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo puede entenderse, entre otras cosas, como la frecuencia de bombeo para proporcionar/emitir pulsos de luz desde la unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo para el estado sólido láser que no desencadena una emisión láser del láser de estado sólido.

Las siguientes figuras ilustran a modo de ejemplo:

la figura 1: modulación a modo de ejemplo de una serie de pulsos de emisión de luz de una unidad de diodos láser
la figura 2: salida de potencia/energía láser de estado sólido a modo de ejemplo en diferentes configuraciones de frecuencia

La figura 1 ilustra una modulación a modo de ejemplo 100 de una serie 108 de pulsos de emisión de luz 105, 106, 107 de una unidad de diodos láser/el o los diodos láser a modo de ejemplo (no mostrados), con el eje de ordenadas 104 representando a modo de ejemplo la amplitud o energía de los pulsos de luz 105, 106, 107 o representando a modo de ejemplo la o las corrientes eléctricas suministradas a la unidad de diodos láser/diodo láser que desencadenan dichos pulsos de luz 105, 106, 107, y con el eje de abscisas 103 a modo de ejemplo representando el tiempo.

Los pulsos a modo de ejemplo indicados con los números de referencia 106 y 107 representan pulsos emitidos a modo de ejemplo por la unidad de diodos láser/el o los diodos láser con una amplitud/energía que se requiere o es suficiente para desencadenar la emisión de luz de un/el láser de estado sólido (no mostrado) que está recibiendo dichos pulsos desde la unidad de diodos láser/el o los diodos láser, es decir, dichos pulsos 106, 107 se operan en o por encima del umbral de emisión láser del láser de estado sólido y con una frecuencia 101 correspondiente a un/el ajuste de frecuencia solicitado del láser de estado sólido pulsado.

Es más, el número de referencia 102 indica a modo de ejemplo una/la frecuencia de operación de la unidad de diodos láser/el o los diodos láser a modo de ejemplo con la que la unidad de diodos láser/el o los diodos láser emiten los pulsos de luz 105, 106, 107 para bombear el láser de estado sólido y en donde los pulsos de luz 105 con una frecuencia diferente de un/el ajuste de frecuencia solicitado 101 se operan para no desencadenar la emisión de luz del láser de estado sólido, es decir, se operan con una amplitud/energía por debajo del umbral de emisión láser del láser de estado sólido.

La figura 2 ilustra a modo de ejemplo los resultados de la prueba 200 comparando la salida de potencia/energía láser de estado sólido a diferentes ajustes de frecuencia solicitados 200a, 200b, 200c que comprenden los ajustes de frecuencia solicitados de 5 Hz, 10 Hz y 25 Hz cuando se usan métodos de bombeo convencionales 203a, 203b, 203c en comparación con los métodos de bombeo de un láser de estado sólido con una unidad de diodos láser/el o los diodos láser de acuerdo con los medios y métodos descritos en el presente documento.

Por ejemplo, el panel 200a muestra la salida de potencia/energía láser de estado sólido 202 a un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido solicitado de 5 Hz en función de la corriente eléctrica 201 suministrada a una/la unidad de diodos láser/el o los diodos láser para un bombeo convencional 203a (línea que conecta los puntos de medición en forma de diamante) y para un bombeo modulado 204a de acuerdo con el método a modo de ejemplo descrito en el presente documento (línea que conecta los puntos de medición en forma de cuadrado).

El panel 200b muestra a modo de ejemplo la salida de potencia/energía láser de estado sólido 202 a un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido solicitado de 10 Hz en función de la corriente eléctrica 201 suministrada a una/la unidad de diodos láser/el o los diodos láser para un bombeo convencional 203b (línea que conecta los puntos de medición en forma de diamante) y para un bombeo modulado 204b de acuerdo con el método a modo de ejemplo descrito en el presente documento (línea que conecta los puntos de medición en forma de cuadrado).

El panel 200c a muestra modo de ejemplo la salida de potencia/energía láser de estado sólido 202 a un ajuste de frecuencia de láser de estado sólido solicitado de 25 Hz en función de la corriente eléctrica 201 suministrada a una/la unidad de diodos láser/el o los diodos láser para un bombeo convencional 203c (línea que conecta los puntos de medición en forma de diamante) y para un bombeo modulado 204c de acuerdo con el método a modo de ejemplo descrito en el presente documento (línea que conecta los puntos de medición en forma de cuadrado).

Como puede verse al comparar los tres paneles diferentes 200a, 200b, 200c que tienen las mismas escalas, las ganancias/mejoras en las eficiencias de salida de potencia/energía láser de estado sólido son significativas para todos los ajustes de frecuencia solicitados, pero son más altos para los ajustes de frecuencia solicitados más bajos.

Por integridad, se observa que para los resultados mostrados, la unidad de diodos láser/el o los diodos láser para el

bombeo a modo de ejemplo del láser de estado sólido de acuerdo con el método a modo de ejemplo descrito en el presente documento, la frecuencia de operación a modo de ejemplo de la unidad de diodos láser/el o los diodos láser fue de 100 Hz.

- 5 Sin embargo, las ganancias significativas en la salida de potencia/energía láser de un/el láser de estado sólido pueden lograrse también con otras frecuencias de operación de la unidad de diodos láser/el o los diodos láser.

Seguido de dos hojas que comprenden la figura 1 y la figura 2, en donde los números de referencia identifican los siguientes componentes.

- 10 **100** modulación a modo de ejemplo de pulsos de luz para bombear un láser de estado sólido
- 101** ajuste de frecuencia/frecuencia a modo de ejemplo (solicitado) de un/el láser de estado sólido
- 15 **102** frecuencia de operación a modo de ejemplo de la unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo
- 103** eje de abscisas a modo de ejemplo, eje de tiempo a modo de ejemplo, t
- 20 **104** eje de ordenadas a modo de ejemplo, a modo de ejemplo que representa la amplitud/energía de los pulsos de luz emitidos por una unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo o una corriente eléctrica a modo de ejemplo, I, suministrada a la unidad de diodos láser/el o los diodos láser
- 25 **105** el o los pulsos de luz a modo de ejemplo emitidos por la unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo que se operan con amplitudes/energías que no desencadenan emisión de luz por el láser de estado sólido, es decir, unidad de diodos láser a modo de ejemplo/pulsos de diodo láser a modo de ejemplo para bombear el láser de estado sólido que se operan por debajo del umbral de emisión láser del láser de estado sólido
- 30 **106, 107** el o los pulsos de luz a modo de ejemplo emitidos por la unidad de diodo láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo que se operan con suficientes amplitudes/energías altas que desencadenan la emisión de luz por el láser de estado sólido, es decir, unidad de diodos láser a modo de ejemplo/pulsos de diodo láser a modo de ejemplo para bombear el láser de estado sólido que se operan en o por encima del umbral de emisión láser del láser de estado sólido
- 35 **108** serie a modo de ejemplo de pulsos de luz emitidos por la unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser para bombear un/el láser de estado sólido
- 40 **200** resultados de prueba a modo de ejemplo para las ganancias logradas en la salida de potencia láser de un/el láser de estado sólido en modo pulsado cuando se bombea de acuerdo con el método descrito en el presente documento en comparación con los métodos de bombeo convencionales
- 200a, 200b, 200c** resultados de prueba a modo de ejemplo para los ajustes de frecuencia solicitados 5 Hz, 10 Hz y 25 Hz del láser de estado sólido
- 45 **201** eje de abscisas a modo de ejemplo, corriente eléctrica a modo de ejemplo suministrada a la unidad de diodos láser a modo de ejemplo/el o los diodos láser a modo de ejemplo(es), por ejemplo, en unidades de amperios
- 50 **202** eje de ordenadas a modo de ejemplo, potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía de un láser de estado sólido a modo de ejemplo en modo pulsado, por ejemplo, especificado en milijulios (mJ)
- 203a** potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía del láser de estado sólido para bombeo convencional y un ajuste de frecuencia solicitado de 5 Hz para el láser de estado sólido
- 55 **204a** potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía del láser de estado sólido para bombeo de acuerdo con el método descrito en el presente documento y un ajuste de frecuencia solicitado de 5 Hz para el láser de estado sólido
- 60 **203b** potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía del láser de estado sólido para bombeo convencional y un ajuste de frecuencia solicitado de 10 Hz para el láser de estado sólido
- 204b** potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía del láser de estado sólido para bombeo de acuerdo con el método descrito en el presente documento y un ajuste de frecuencia solicitado de 10 Hz para el láser de estado sólido
- 65 **203c** potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía del láser de estado sólido para bombeo convencional y un

ajuste de frecuencia solicitado de 25 Hz para el láser de estado sólido

204c potencia láser a modo de ejemplo/salida de energía del láser de estado sólido para bombeo de acuerdo con el método descrito en el presente documento y un ajuste de frecuencia solicitado de 25 Hz para el láser de estado sólido

5

REIVINDICACIONES

1. Método para operar un láser Tm:YAG de estado sólido bombeado por diodos pulsado que comprende:
proporcionar una fuente de luz de bombeo para bombear un láser Tm:YAG, comprendiendo dicha fuente de luz de bombeo al menos una unidad de diodos láser para emitir una serie de pulsos de luz (105, 106, 107) para bombear el láser Tm:YAG, en donde la al menos una unidad de diodos láser emite pulsos de luz con una longitud de onda entre 778 y 782 nm y con duraciones de pulso de hasta 500 μ s y con amplitudes de hasta una corriente máxima de 250 A, y en donde dicha al menos una unidad de diodos láser emite unos pulsos de emisión de luz (106, 107) con una frecuencia de repetición de pulso (101) cercana o igual a un ajuste de frecuencia solicitado del láser Tm:YAG y emite otros pulsos de emisión de luz (105) con frecuencias que no son iguales al ajuste de frecuencia solicitado del láser Tm:YAG, es decir, emite otros pulsos de emisión de luz (105) con frecuencias fuera de un intervalo predeterminado alrededor del ajuste de frecuencia solicitado del láser Tm:YAG,
modula la serie de pulsos de emisión de luz (105, 106, 107) de la al menos una unidad de diodos láser de tal manera que solo los pulsos de luz (106, 107) con una frecuencia (101) cercana o igual al ajuste de frecuencia solicitado del láser Tm:YAG se operen con una amplitud de pulso necesaria y/o una duración de pulso necesaria suficiente para desencadenar la emisión de luz del láser Tm:YAG, en donde el ajuste de frecuencia de láser Tm:YAG bombeado por diodos solicitado se sitúa en una frecuencia por debajo de 300 Hz, y de tal manera que dichos otros pulsos de luz (105) emitidos por la al menos una unidad de diodos láser se operan con una amplitud de pulso y/o duración de pulso que no es suficiente para desencadenar la emisión de luz del láser Tm:YAG.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el ajuste de frecuencia de láser Tm:YAG bombeado por diodos solicitado se sitúa en una frecuencia igual o menor que 100 Hz.
3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el ajuste de frecuencia de láser solicitado para el láser Tm:YAG bombeado por diodos es uno de los siguientes ajustes de frecuencia: 5, 10, 20 o 25 Hz, y en donde la al menos una unidad de diodos láser se opera para emitir pulsos de luz (105, 106, 107) con una frecuencia (102) de 100 Hz, y en donde para un ajuste de frecuencia de láser Tm:YAG solicitado de 5 Hz, solo cada 20º pulso de luz de la unidad de diodos láser se opera con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser Tm:YAG,
y en donde para un ajuste de frecuencia de láser Tm:YAG solicitado de 10 Hz, solo cada 10º pulso de luz de la unidad de diodos láser se opera con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser Tm:YAG,
y en donde para un ajuste de frecuencia de láser Tm:YAG solicitado de 20 Hz, solo cada 5º pulso de luz de la unidad de diodos láser se opera con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser Tm:YAG,
y en donde para un ajuste de frecuencia de láser Tm:YAG solicitado de 25 Hz, solo cada 4º pulso de luz de la unidad de diodos láser se opera con la amplitud de pulso necesaria y/o la duración de pulso necesaria para desencadenar la emisión de luz del láser Tm:YAG.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde durante la operación del láser Tm:YAG bombeado por diodos pulsado, la corriente eléctrica proporcionada para accionar la al menos una unidad de diodos láser es distinta de cero en todo momento.
5. Sistema láser Tm:YAG bombeado por diodos que comprende:
un láser Tm:YAG,
al menos una unidad de diodos láser configurada para operar de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
6. Láser Tm:YAG bombeado por diodos de acuerdo con la reivindicación de sistema láser anterior, en donde la al menos una unidad de diodos láser comprende un solo diodo láser o una matriz unidimensional de diodos láser, por ejemplo, una barra diodo-láser o una matriz bidimensional de diodos láser, por ejemplo, una pila de barras diodo-láser o una matriz tridimensional de diodos láser, por ejemplo, comprendiendo múltiples pilas de barras diodo-láser.

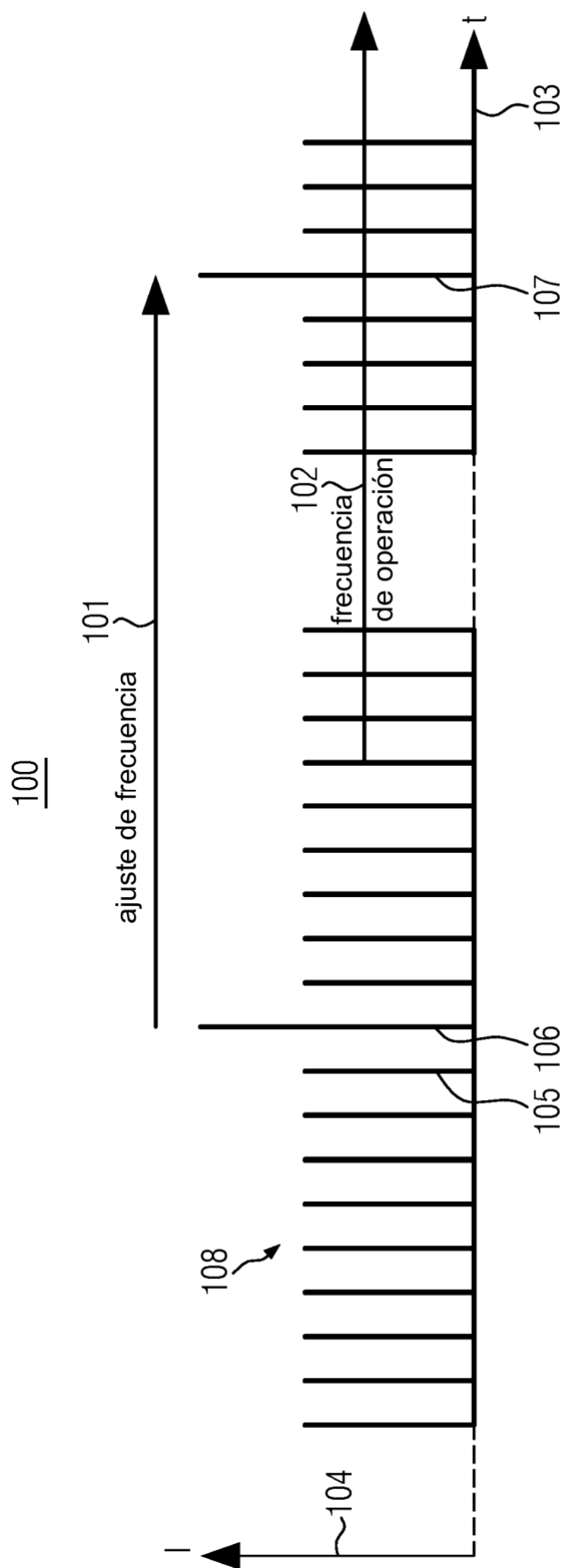


FIG. 1

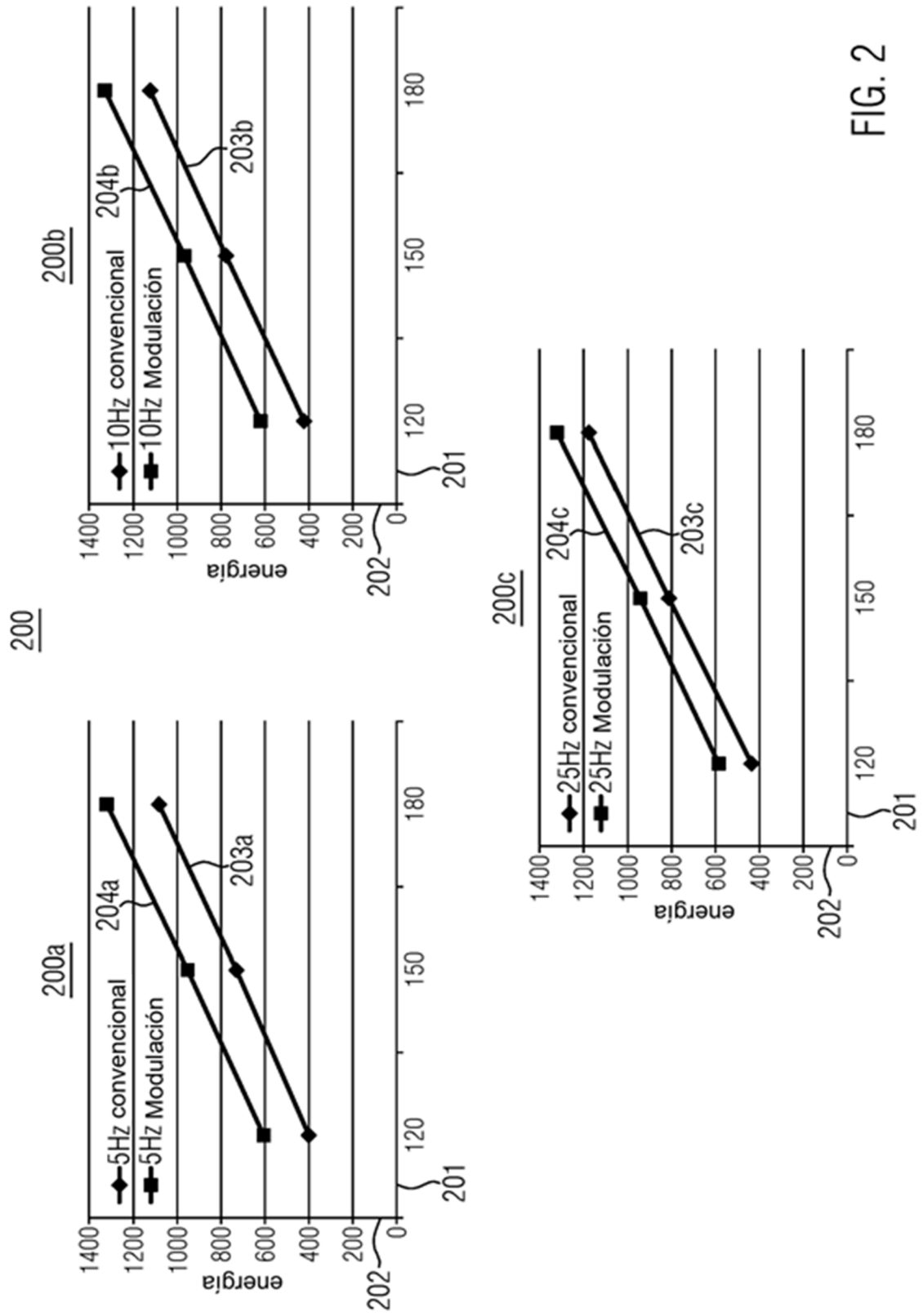


FIG. 2