

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 218**

51 Int. Cl.:

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/06 (2006.01)

H01S 3/0941 (2006.01)

H01S 3/04 (2006.01)

H01S 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2011 E 11733876 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015 EP 2596555**

54 Título: **Dispositivo de amplificación de un haz láser que permite suprimir la emisión láser transversal**

30 Prioridad:

20.07.2010 FR 1003042

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

03.06.2015

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
45 rue de Villiers
92200 Neuilly-sur-Seine, FR**

72 Inventor/es:

**BRANLY, STÉPHANE;
DERYCKE, CHRISTOPHE y
LAUX, SÉBASTIEN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 537 218 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

Dispositivo de amplificación de un haz láser que permite suprimir la emisión láser transversal

El campo de la invención es el de la amplificación de un haz láser y, más particularmente, el de las barras amplificadoras.

5 Se recuerda brevemente el funcionamiento de un dispositivo de amplificación de un haz láser. Comprende principalmente un medio amplificador y unas fuentes de bombeo que inyectan energía en el medio amplificador. Este medio amplificador que tiene la forma de una barra puede ser un cristal, o incluso un vidrio dopado. A continuación, el haz láser a amplificar atraviesa la barra amplificadora una o varias veces por medio de dispositivos ópticos de espejos por ejemplo; en cada paso extrae una parte de la energía inyectada durante el bombeo y de ese modo es amplificado en la barra amplificadora. En una barra amplificadora de forma cilíndrica, la energía introducida durante un bombeo está confinada generalmente en la parte central de la barra amplificadora, delimitada por el diámetro D del haz de la bomba. Una parte de la energía introducida durante el bombeo no se convierte en energía luminosa sino en energía térmica en el medio amplificador; esa energía térmica debe evacuarse por medio de un dispositivo de refrigeración (a base de agua por ejemplo), que deberá ser tanto más eficaz cuanto más elevada sea la potencia térmica (producto de la energía térmica por la tasa de repetición de los impulsos de láser).

En este tipo de configuración de dispositivo de amplificación de haz láser, aparece un fenómeno parásito denominado emisión láser transversal entre la introducción de energía en la barra amplificadora por bombeo óptico y su extracción mediante el haz a amplificar.

20 Este fenómeno está ligado a la creación en la barra amplificadora de una sub-cavidad láser según un eje transversal al eje longitudinal de la barra amplificadora, las rupturas de índice de refracción en la interfaz de la barra amplificadora - ambiente aseguran la función de espejos de esta sub-cavidad. La emisión láser transversal se establece cuando se satisface la condición de oscilación de esta sub-cavidad, es decir cuando hay una conservación de la energía en una ida-vuelta en el seno de la sub-cavidad, o dicho de otra manera cuando la ganancia transversal G compensa las pérdidas P de la sub-cavidad.

25 A continuación se toma como ejemplo de barra amplificadora, un cristal; por supuesto se puede sustituir por un vidrio dopado.

Se ha representado en la figura 1 la ganancia óptica G transversal en un cristal amplificador 1 cilíndrico bombeado según el eje longitudinal Ox del cristal, por sus dos caras S1, S2 mediante un haz láser de bombeo 3 de diámetro D. El láser de bombeo es típicamente un láser sólido o un láser de fibra o un diodo láser. Si se designa g_0 la densidad lineal de ganancia, la ganancia con pequeña señal g_{ps} es igual a $g_0 \cdot e$ en la dirección longitudinal Ox y a $g_0 \cdot D$ en una dirección transversal perpendicular a Ox. Se tiene normalmente $D \geq e$ (las escalas de magnitud no se respetan en la figura con el fin de facilitar la lectura de la curva de ganancia); la longitud e del cristal está comprendida típicamente entre 2 y 5 cm, y el diámetro D entre 5 y 20 cm.

Siendo la ganancia óptica proporcional a $e^{g_{ps}}$, se tiene:

$$35 \quad e^{g_0 \cdot D} \gg e^{g_0 \cdot e}$$

La ganancia óptica G en la dirección transversal es por tanto mucho mayor que la ganancia óptica G en la dirección longitudinal, es decir en la dirección del haz láser a amplificar.

La emisión láser transversal se manifiesta por un vaciado brutal de la energía almacenada en el cristal, provocada por unas emisiones estimuladas transversales no controladas, a costa del haz láser que se desea amplificar.

40 Esta emisión láser transversal es particularmente molesta en el caso de medios amplificadores sólidos de elevadas ganancias y de grandes dimensiones (típicamente una ganancia g_0 de 0,88 y un diámetro de bomba de 70 mm). Impide por ejemplo generar impulsos láser de femto segundos de potencia de cresta muy grande, típicamente del orden del petavatio, a partir de un cristal Ti:Zafiro bombeado con elevadas energías del orden de 100 J.

Hasta la actualidad, la emisión láser parásita se suprimía incrementando las pérdidas P para el haz parásito colocando sobre la periferia del cristal un material absorbente a la longitud de onda de fluorescencia del cristal; con el fin de que el dispositivo sea plenamente eficaz es además necesario que el índice de refracción del cristal y el del material absorbente estén lo más próximos que sea posible con el fin de evitar una reflexión significativa en la interfaz cristal - material absorbente que conduciría al establecimiento de la emisión láser parásita. Esto puede realizarse por ejemplo por medio de un líquido absorbente en el que se sumerge la superficie Σ que enlaza las caras S1 y S2 del cristal. Esta solución se describe en la solicitud de patente FR 2 901 067. El líquido utilizado comprende un disolvente cuyo índice de refracción esta próximo al del cristal, y un colorante absorbente a la longitud de onda de fluorescencia del cristal. El material utilizado puede ser igualmente un sólido tal como el descrito en la publicación "Production of $>10^{21}$ W/cm² from a large-aperture Ti :sapphire laser system" de JD Bonlie et ál. (Applied Physics B (Lasers and Optics)) springer-verlag Alemania, vol. B70 junio 2000. Se proponen otras soluciones en la solicitud de patente FR 2 877 776 A1 y en la publicación "Suppression of parasitic lasing in large-aperture Ti: sapphire laser

amplifiers", de F.G.Patterson et ál., Optics Letters, vol. 24, nº 14, 15 de julio de 1999, páginas 963-965.

En el caso de un cristal amplificador de TI:Zafiro, el índice de refracción n es igual a 1,76. Para incrementar las pérdidas en la interfaz con un líquido, el del líquido utilizado debe estar próximo al del cristal; los dos índices se consideran como próximos si su diferencia de índice es inferior o igual a 0,01. Este líquido viene a sustituir al agua que rodea habitualmente al cristal, cuya función es evacuar la potencia térmica generada en el cristal por el proceso de bombeo. Debe por lo tanto asegurar igualmente esta función de evacuación de la potencia térmica además de la función de supresión de la emisión láser transversal; ahora bien las propiedades térmicas y en primer lugar la capacidad calorífica de este tipo de líquidos están muy por debajo de las del agua lo que les convierte en inoperantes ya que la tasa de repetición del láser y en consecuencia la potencia térmica media son elevadas, típicamente por encima de 1 Hz para un amplificador de elevada energía, es decir superior a 30 julios. Este líquido es además muy corrosivo. Además es caro y tóxico y por lo tanto peligroso utilizar; y se degrada con el tiempo.

En consecuencia, sigue existiendo a día de hoy una necesidad de un dispositivo que dé simultáneamente satisfacción al conjunto de las exigencias antes citadas, en términos principalmente de supresión de la emisión láser transversal y de la evacuación de la potencia térmica media para unos valores significativos de éstas (típicamente superior es a 100 vatios) pero también de seguridad de utilización y de robustez con el tiempo.

La solución aportada por la invención utiliza una estructura que incrementa significativamente las pérdidas para impedir la emisión láser parásita por otro medio que la igualación de los índices de refracción lo que permite un funcionamiento con unos medios de evacuación de la potencia térmica muy eficientes, por ejemplo una refrigeración por agua. Se utiliza para ello un cristal o un conjunto de cristales que tiene una estructura geométrica particular que permite incrementar el número de interfaces y por lo tanto el número de reflexiones en las interfaces, principalmente en la proximidad de las caras S1 y S2 donde la ganancia es particularmente grande, y un líquido absorbente que tenga una capacidad calorífica adaptada. El número de reflexiones adicionales debe ser suficientemente elevado (≥ 2) y/o los coeficientes de reflexión suficientemente reducidos ($\leq 0,1$) para que las pérdidas sean superiores a la ganancia.

Más precisamente la invención tiene por objetivo un dispositivo de amplificación de un haz láser tal como se describe en la reivindicación 1.

Preferentemente, la superficie Σ comprende un segundo diente de dos caras, estando inclinada la cara orientada hacia primer diente según un ángulo β_1 con respecto al eje Ox, siendo α_1 y β_1 tal es que los fotones se propagan paralelamente a la cara de ganancia máxima y reflejados con unas pérdidas elevadas (es decir con un coeficiente de reflexión $\leq 0,1$) por el primer diente llegan perpendicularmente sobre esta cara del segundo diente.

Según una característica de la invención, el medio de ganancia presenta otro máximo a lo largo de la otra cara de la estructura de la barra amplificadora; la superficie Σ presenta entonces un tercer diente en forma de otro bisel sobre toda o parte de su unión con esta otra cara de ganancia máxima y en una longitud e_2' localizada según el eje Ox, siendo e_2' superior a la longitud umbral predeterminada, estando orientado este otro chaflán según un ángulo α_2 con respecto a Ox, estando inclinada la segunda cara del segundo diente (orientado hacia este tercer diente) según un ángulo β_2 con respecto al eje Ox, siendo α_2 y β_2 tales que los fotones se propagan paralelamente a esta otra cara de ganancia máxima y reflejados por el tercer diente llegan perpendicularmente sobre esta cara.

El líquido de índice n_A es por ejemplo un líquido en el que se sumerge una densidad absorbente a la longitud de onda de fluorescencia λ de la estructura de la barra amplificada.

La longitud umbral se predetermina ventajosamente en función de la ganancia óptica.

Según otra característica de la invención, el ángulo α_1 y/o del ángulo α_2 que permiten evitar la reflexión total; son tales que

$$\text{sen } \alpha_1 < n_A/n_c \text{ y } \text{sen } \alpha_2 < n_A/n_c.$$

Se tiene típicamente:

$$e_1' = e_2', \alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = \beta_2.$$

Según un primer modo de realización de la invención, las caras de entrada y de salida son circulares y el (o los) diente(s) presenta(n) una simetría de revolución según el eje Ox.

Según una variante de realización el (o los) diente(s) se realiza(n) sobre dos partes opuestas de la superficie Σ .

Según un segundo modo de realización de la invención, las caras de entrada y de salida son rectangulares y el (o los) diente(s) se realiza(n) en dos partes de la superficie Σ , situadas según dos lados opuestos del rectángulo.

La estructura de barra amplificadora puede ser de cristal o de vidrio dopado.

La estructura de barra amplificadora puede comprender más de un cristal o más de un vidrio dopado. Puede comprender también uno (o varios) cristal(es) o vidrio(s) dopado(s) provisto(s) cada uno de uno (o varios) diente(s).

5 La invención tiene también por objeto un procedimiento de utilización de un dispositivo de amplificación de un haz láser tal como se ha descrito, caracterizado porque comprende una etapa de bombeo del dispositivo, y porque este bombeo induce una potencia térmica superior a 100 W de media.

Surgirán otras características y ventajas de la invención con la lectura de la descripción detallada que sigue, realizada a título de ejemplo no limitativo y con referencia los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 ya descrita representa esquemáticamente un ejemplo de cristal amplificador bombeado mediante un haz de bombeo, y un ejemplo de ganancia óptica G correspondiente,
 10 la figura 2 representa esquemáticamente un ejemplo de dispositivo de amplificación según la invención, con tres dientes, vista en sección según el eje Ox,
 la figura 3 representa esquemáticamente las pérdidas R de un ejemplo de estructura de cristal amplificador de tres dientes,
 15 la figura 4 representa esquemáticamente el producto G x R del mismo ejemplo de estructura de cristal amplificador de tres dientes,
 la figura 5 representa esquemáticamente un ejemplo de estructura de cristal de un único cristal, con tres dientes, vista en perspectiva,
 la figura 6 representa esquemáticamente en despiece, un ejemplo de estructura de cristal con un conjunto de tres cristales, y tres dientes, vista en perspectiva.

20 De una a otra figura, se referencian los mismos elementos mediante las mismas referencias.

A continuación se toma como ejemplo una barra amplificadora de cristal. Se puede sustituir por la de vidrio dopado tal como por ejemplo vidrio de fosfato o vidrio silicato dopado mediante unos iones de neodimio o unos iones de iterbio.

25 La figura 2 muestra una estructura de cristal 1 de un único cristal, en el que se modifica la geometría añadiendo unos "dientes" 2 a la superficie Σ , que son otras tantas nuevas interfaces sobre las que se reflejan en parte los fotones, siendo absorbida o difundida la otra parte.

El ángulo α de cada diente con respecto al eje Ox se optimiza para evitar una reflexión total en el interior del cristal, puesto que el objetivo es que una parte de los fotones se transmita. Se tiene por tanto:

$$\text{sen}(\alpha) < n_A/n_c \quad \text{con} \quad n_A < n_c$$

30 siendo n_c el índice del cristal, n_A el índice de líquido A que forma con el cristal esta interfaz.

Para ello, es posible modificar el ángulo α y/o el índice n_A .

35 Es necesario además que los fotones transmitidos no retornen: es necesario por tanto que sean absorbidos o difundidos por este líquido A que por lo tanto es un líquido absorbente o difusor para la o las longitud(es) de onda de fluorescencia del cristal. La superficie Σ está entonces sumergida en este líquido absorbente A; de manera clásica este líquido absorbente está contenido en un depósito que rodea de manera estanca esta superficie Σ .

En el caso de un cristal de TI:Zafiro, las longitud(es) están próximas a 800 nm. Son posibles dos casos:

1. El líquido A es un líquido homogéneo absorbente o difusor, que rodea la superficie Σ .

40 2. Si el líquido A es únicamente un líquido de adaptación de índice, se sumerge entonces en el líquido una densidad absorbente o un difusor. En este caso la densidad o difusor se enfrenta a la superficie Σ (la densidad es por ejemplo una lámina bajo la forma de un anillo situado en el plano (Oy, Oz) que es perpendicular al eje Ox); pudiendo rodear Σ pero no necesariamente.

45 Este líquido A puede ser un líquido de índice absorbente o difusor; existen tales líquidos cuyo índice n_A puede estar próximo a n_c que son utilizables si la potencia térmica a evacuar es reducida (caso de reducidas tasas de repetición de los impulsos láser, hasta 1 Hz como máximo): se trata por ejemplo de la mezcla de un líquido de adaptación de índice con un colorante, absorbente a la longitud de onda de fluorescencia del cristal o de un líquido de adaptación de índice en el que se sumerge una densidad o un difusor como se ha indicado anteriormente. Un líquido de ese tipo es sin embargo muy corrosivo y se degrada con el tiempo. Pero cuanto más diferente es n_A de n_c , más se incrementa la reflexión.

50 Cuando la potencia térmica a evacuar inducida por el bombeo, es grande (superior a 100 vatios de media), se utiliza un líquido no absorbente 4 que tiene unas buenas propiedades de evacuación de la potencia térmica, designado líquido de índice, cuyo índice de refracción está más próximo al del cristal que si se tratara de aire (cuyo índice es igual a 1) con el fin de reducir la reflexión pero en el que se sumerge un elemento absorbente o difusor designado

5 densidad 5. Esta densidad es típicamente una densidad neutra o un vidrio absorbente o un apilado de densidades, de vidrios absorbentes o ambos. El líquido de índice 4 tiene entonces una función de adaptación entre el cristal 1 y la densidad 5. El agua permite una refrigeración eficaz, se elige preferentemente como líquido absorbente agua coloreada o agua en la que se sumerge una densidad. Este líquido es por ejemplo agua cuyo índice es igual a 1,33 o una mezcla agua-etilenglicol cuyo índice es de 1,38.

Al final, todos los fotones transmitidos en las interfaces son absorbidos o difundidos por la densidad 5 o el líquido o difusor cuyos espectros de absorción cubren el espectro de fluorescencia del cristal.

10 Gracias a la geometría del cristal que introduce unas pérdidas importantes para el haz parásito, se puede evitar utilizar un líquido que permita una adaptación de índice casi perfecta, pero que no sea compatible con un funcionamiento con carga térmica elevada. Se utiliza por tanto un líquido cuya capacidad calorífica permite evacuar de manera eficiente el calor depositado durante el bombeo, incluso aunque no permita más que una adaptación de índice parcial (con una separación entre los índices de refracción del orden de 0,3). La geometría del cristal permite desacoplar la función de refrigeración y de adaptación de índice por un lado, de la función de absorción por otro lado.

15 La ganancia lineal g_0 se incrementa en función del dopado del cristal y, como se ha visto en el preámbulo, la ganancia óptica G según el eje Ox se incrementa en función del grosor e del cristal y de su ganancia lineal.

El número de dientes 2 se calcula por lo tanto en función del dopado del cristal 1: se añaden tantos dientes como sea necesario para evitar un efecto de láser paralelo a las caras $S1$ y $S2$ del cristal y próximo a éstas, es decir ahí donde la ganancia óptica G es particularmente elevada.

20 La sub-cavidad transversal susceptible de provocar una emisión láser transversal se sitúa en la proximidad de una cara $S1$ si el cristal 1 no se bombea más que por esta cara $S1$. Una segunda sub-cavidad transversal susceptible de provocar una emisión láser transversal se sitúa en la proximidad de la otra cara $S2$ si el cristal es bombeado también por esta cara $S2$.

25 Siendo la ganancia máxima a la altura de una cara S , se talla el cristal de manera que presente un primer diente 2 en forma de bisel en la unión de la superficie Σ y de esta cara en la que la ganancia es máxima, estando inclinado este bisel en un ángulo α sobre el eje Ox , estando orientada preferentemente la inclinación hacia el exterior del cristal. Se tiene típicamente α comprendido entre 30 grados y 50 grados. La longitud del bisel es tal que su proyección e' sobre Ox cubre al menos una longitud $L_{Gumbral}$ en la que la ganancia óptica es susceptible de contribuir a una emisión láser transversal, es decir cuando sobrepasa un umbral predeterminado: $G > G_{umbral}$. Como G_{umbral} es proporcional a $e^{g_0 \cdot L_{Gumbral}}$, se tiene entonces que $e' \geq L_{Gumbral}$. Se tiene típicamente e' comprendido entre $e/20$ y $e/6$. Si hay un bisel de un único lado se prefiere prever un medio para que los fotones no vuelvan a la zona de ganancia; se prevén unos medios de absorción. Se puede disponer por ejemplo un medio absorbente (en forma de L), que forma una vuelta para llegar a cubrir en parte la otra cara.

35 Se considera ahora el caso en que la ganancia es máxima en las dos caras y se designan por α_1 y e_1' las características del bisel de la cara $S1$ (el primer diente). Se prevé otro diente 2 (llamado tercer diente a continuación) en forma de un segundo bisel en la unión de la superficie Σ y de la otra cara $S2$, estando inclinado este bisel hacia el exterior del cristal en un ángulo α_2 y teniendo una proyección e_2' sobre Ox con $e_2' \geq L_{gumbral}$.

Se designan estos dientes según el eje Ox : un primer diente en la unión con $S1$, una muesca denominada segundo diente descrita a continuación y un tercer diente en la unión con $S2$.

40 Se prevé también preferentemente aún un segundo diente 2 de dos caras inclinadas, también designado muesca, situado entre el primer y tercer dientes anteriormente descritos (los dos biseles). El ángulo α_1 del primer diente es tal que los fotones 10 se propagan paralelamente a la cara de ganancia máxima $S1$ y reflejados por el primer bisel llegan perpendiculares sobre la primera cara de este segundo diente (o muesca), inclinada a su vez según un ángulo de 90° con respecto al ángulo de incidencia de los fotones sobre esta cara. De esta manera los fotones realizarán a partir de este segundo dioptrio un trayecto de vuelta en el sentido opuesto al trayecto de ida de manera que no alcancen la segunda cara en la que la ganancia es de nuevo máxima. Esta primera cara de este segundo diente (o muesca) 2 está inclinada más generalmente en un ángulo β_1 con respecto al eje Ox tal que:

$$\beta_1 = \pi - 2\alpha_1$$

Por las mismas razones, la segunda cara de esta muesca está inclinada en un ángulo β_2 tal que:

50
$$\beta_2 = \pi - 2\alpha_2.$$

La longitud según Ox de esta muesca es típicamente superior o igual a la mitad de la longitud total del cristal.

Según una alternativa esta muesca puede dividirse en dos dientes:

- uno próximo al bisel de S1 con una cara inclinada en β_1 (la que está orientada hacia S1), sin restricción de inclinación para la otra cara,
- la otra próxima al bisel de S2 con una cara inclinada en β_2 (la que está orientada hacia S2), sin restricción de inclinación para la otra cara.

5 Se tienen típicamente tres dientes como se ha representado en la figura 2, un primer diente en la unión con S1, una muesca denominada segundo diente y un tercer diente en la unión con S2 con:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \pi/4, \quad \beta_1 = \beta_2 = \pi/2 .$$

10 Esta muesca o segundo diente puede preverse también incluso en ausencia de ganancia máxima en la segunda cara y por tanto en ausencia del "tercer" diente en la unión de Σ y de S2. En este caso, no hay más restricciones sobre β_2 .

15 Si se considera por un lado que el primer diente genera un dioptrio de coeficiente de reflexión R1, y el segundo diente (o muesca), un dioptrio de coeficiente de reflexión R2 que reenvía los fotones en la misma dirección pero en sentido opuesto, y que por otro lado E es la energía de los fotones incidentes en el primer diente, los fotones tienen entonces una energía E' después de su trayecto de vuelta sobre los dos dioptrios, siendo E' proporcional a $E \times R_2 \times R_1^2$.

Para disminuir los coeficientes de reflexión, la superficie E puede estar además esmerilada.

Para un cristal sustancialmente cilíndrico (es decir con dos dientes próximos) de sección circular, los dientes 2 en la superficie Σ pueden tener por sí mismos simetría de revolución alrededor de Ox. Este es el caso por ejemplo para cristal Nd:Yag para el que la ganancia óptica G tiene igualmente simetría de revolución.

20 Para otros cristales como Tl:zafiro, la ganancia es máxima según un diámetro S específico cuya orientación está determinada partir de los ejes cristalográficos del cristal.

25 Para un cristal sustancialmente cilíndrico (es decir de dos dientes próximos) de sección rectangular, la superficie E presenta entonces cuatro lados que corresponden respectivamente a los lados del rectángulo. Los dientes 2 están presentes entonces preferentemente sobre dos lados opuestos paralelos que son los lados en los que la ganancia es máxima.

Se ha representado en la figura 5 una estructura de un único cristal 1 cuya cara S1 presenta un primer diente sobre dos partes opuestas de S1 y cuyo eje del chaflán es según Oy, la cara S2 presenta un tercer diente de la misma forma que el primer diente pero de inclinación opuesta. Este cristal comprende también una muesca (o segundo diente) igualmente en dos partes y cuya longitud según Ox cubre la distancia entre los primeros y terceros dientes.

30 La figura 6 muestra una estructura de cristal de tres cristales, que presenta la misma geometría que la estructura de la figura 5 con un primer cristal 1a para el primer diente, un segundo cristal 1b para el segundo diente y un tercer cristal 1c para el tercer diente.

35 Se han obtenido los resultados siguientes para una estructura de cristal amplificador 1 de un único cristal tal como se ha representado en la figura 2. Se trata más precisamente de un cristal 1 de Tl:zafiro de 30 mm de grosor e, una sección circular de diámetro Φ de 80 mm (antes de realizar los dientes) cuyas caras S1 y S2 presentan un bisel a 45° , de proyección e' de 5 mm en la unión de E con cada cara ($\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$ y $e_1' = e_2' = e' = 5$ mm), es decir un primer y tercer diente), y un segundo diente 2 situado entre los dos biseles y cuyas caras están orientadas a 90° y de longitud = 15 mm según Ox. El coeficiente de absorción del haz láser de bombeo es de $0,84 \text{ cm}^{-1}$ a 532 nm es decir una absorción de la energía de bombeo sobre el eje de propagación del haz láser de bombeo en un paso del 98%.

40 La ganancia óptica transversal obtenida a lo largo de este eje de propagación del haz láser de bombeo Ox se ha representado en la figura 1 y corresponde a un bombeo por las dos caras con una fluencia de $1,46 \text{ J/cm}^2$. La fluencia de saturación del haz láser a amplificar en el cristal, a 800 nm se estima en $1,1 \text{ J/cm}^2$. El diámetro D del bombeo es de 70 mm. Las pérdidas en las interfaces para el efecto láser paralelo a las caras se ha calculado con $R_1^2 = 0,04$ y $R_2 = 0,02$. La proporción de energía reinyectada R en la cavidad después de una ida y vuelta de los fotones, igual a:

$$45 \quad R = R_2 \times R_1^2,$$

se ha representado en la figura 3.

Para evitar el efecto láser transversal, es necesario que el producto de la ganancia por la proporción de energía reinyectada G x R sea inferior a 1. La figura 4 muestra que gracias a estos tres dientes, el producto G x R es inferior a 0,75.

50

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de amplificación de un haz láser según un eje Ox, que comprende:

- una estructura de barra amplificadora (1) de índice n_c , de longitud de onda de fluorescencia λ , delimitada por una superficie Σ que enlaza las caras de entrada S1 y de salida S2 de la estructura de barra amplificadora, y que tiene una dimensión e según la dirección Ox comprendida entre 2 cm y 5 cm, y una dimensión Φ según una dirección del plano Oyz perpendicular a Ox, con $e < \Phi$, y destinada a ser bombeada según el eje Ox para convertirse en un medio de ganancia de diámetro D centrado sobre el eje Ox, presentando la ganancia óptica un máximo a lo largo de la cara S1 o S2 de la estructura de barra amplificadora, denominada cara de ganancia máxima, y
- un líquido (4) de índice n_A que rodea a la estructura de la barra amplificadora (1) según su superficie Σ , siendo este líquido agua o una mezcla agua-etilenglicol,

caracterizado porque la superficie E comprende un primer diente (2) en forma de bisel sobre toda o parte de su unión con la cara de ganancia máxima, orientado según un ángulo α_1 con respecto a Ox comprendido entre 30° y 50° , y que tiene una longitud e_1' situada según el eje Ox, siendo e_1' superior a una longitud umbral predeterminada e inferior a $e/6$, de manera que evite provocar una emisión láser transversal parásita, **porque** el líquido (4) de índice n_A tiene una capacidad calorífica superior a 3000 julios por kilogramo por grado kelvin de manera que disipa la potencia térmica inducida por el bombeo, y **porque** la separación entre n_A y n_c es del orden de 0,3, pudiendo alcanzar 0,43, y **porque** una densidad (5) absorbente a la longitud de onda de fluorescencia λ de la estructura de barra amplificadora, y/o un elemento absorbente a esta longitud de onda, está sumergido en el líquido.

2. Dispositivo de amplificación de un haz láser según la reivindicación precedente, **caracterizado porque** la superficie Σ comprende un segundo diente (2) de dos caras, estando inclinada la cara orientada hacia el primer diente según un ángulo β_1 con respecto al eje Ox, siendo α_1 y β_1 tales que los fotones se propagan paralelamente a la cara de ganancia máxima y reflejados por el primer diente (2) llegan perpendicularmente sobre esta cara del segundo diente.

3. Dispositivo de amplificación de un haz láser según la reivindicación precedente, **caracterizado porque** el medio de ganancia presenta otro máximo a lo largo de la otra cara de la estructura de barra amplificadora y **porque** la superficie Σ presenta un tercer diente (2) bajo la forma de otro bisel sobre toda o parte de su unión con esta otra cara de ganancia máxima y sobre una longitud e_2' localizada según el eje Ox, siendo e_2' superior a la longitud umbral predeterminada, estando orientado este otro bisel según un ángulo α_2 con respecto a Ox, estando inclinada la segunda cara del segundo diente según un ángulo β_2 con respecto al eje Ox, siendo α_2 y β_2 tales que los fotones se propagan paralelamente a esta otra cara de ganancia máxima y reflejados por el tercer diente llegan perpendicularmente sobre esta cara.

4. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la longitud umbral se determina en función de la ganancia óptica.

5. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** el ángulo α_1 es tal que $\text{sen } \alpha_1 < n_A/n_c$.

6. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes tomada en combinación con la reivindicación 3, **caracterizado porque** el ángulo α_2 es tal que:

$$\text{sen } \alpha_2 < n_A/n_c.$$

7. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes tomada en combinación con la reivindicación 3, **caracterizado porque** $e_1'=e_2'$, $\alpha_1=\alpha_2$, $\beta_1=\beta_2$.

8. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** las caras de entrada y de salida son circulares y **porque** el (o los) diente(s) presenta(n) una simetría de revolución según el eje Ox.

9. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** el (o los) diente(s) se realiza(n) sobre dos partes de la superficie Σ , diametralmente opuestas.

10. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** las caras de entrada y de salida son rectangulares y porque el (o los) diente(s) se realiza(n) sobre dos partes de la superficie Σ , situadas según dos lados opuestos del rectángulo.

11. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la estructura de barra amplificadora comprende un único cristal o un único vidrio dopado.

12. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** la estructura de barra amplificadora comprende un cristal (1a, 1b, 1c) o un vidrio dopado por diente (2).
13. Dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones 11 o 12, **caracterizado porque** el cristal es de Ti:Zafiro.
- 5 14. Procedimiento de utilización de un dispositivo de amplificación de un haz láser según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** comprende una etapa de bombeo del dispositivo, y porque este bombeo induce una potencia térmica superior a 100 vatios de media.

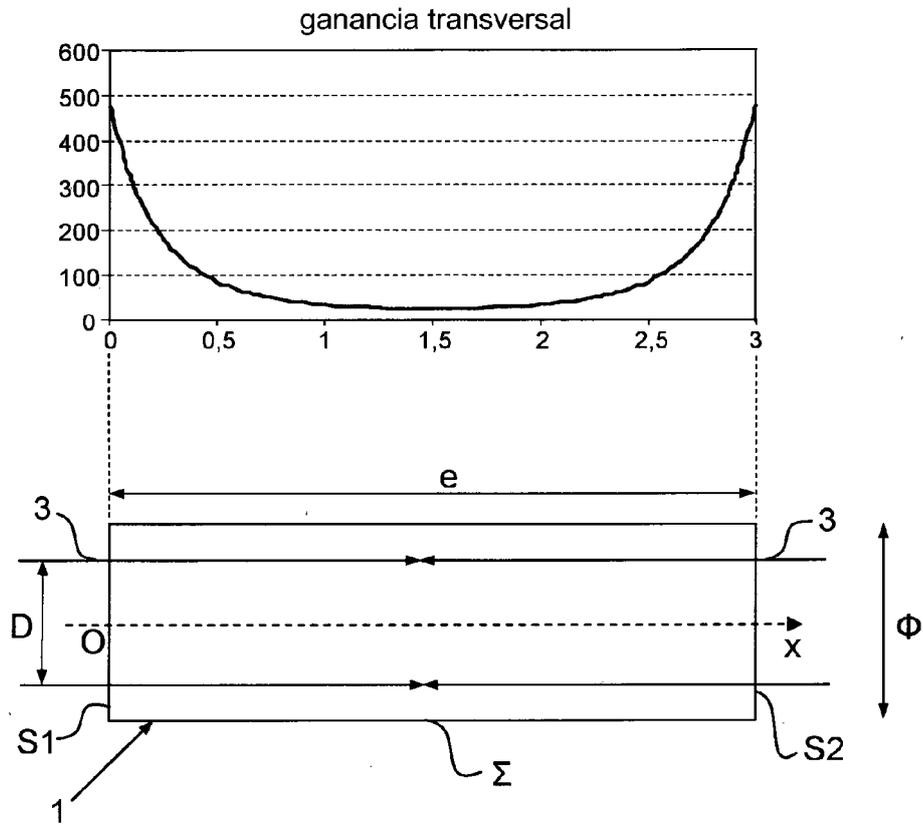


FIG.1

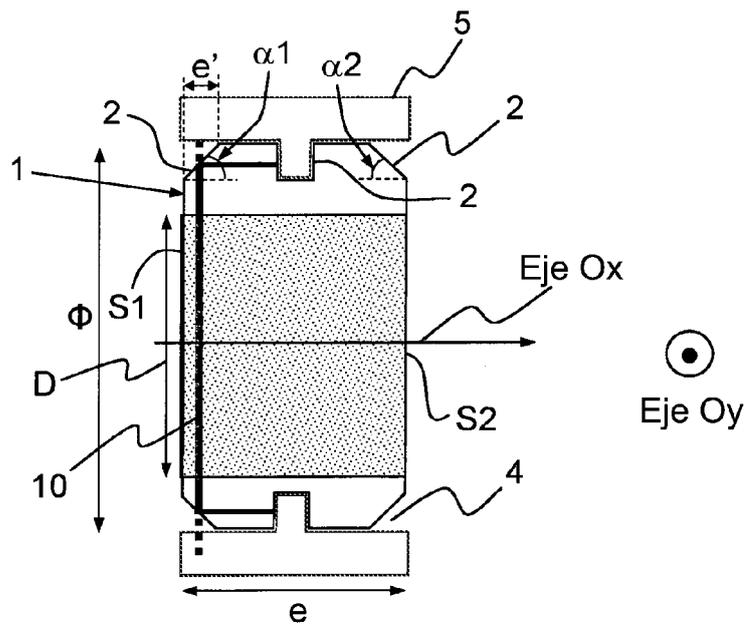


FIG.2

Proporción reinyectada total: R

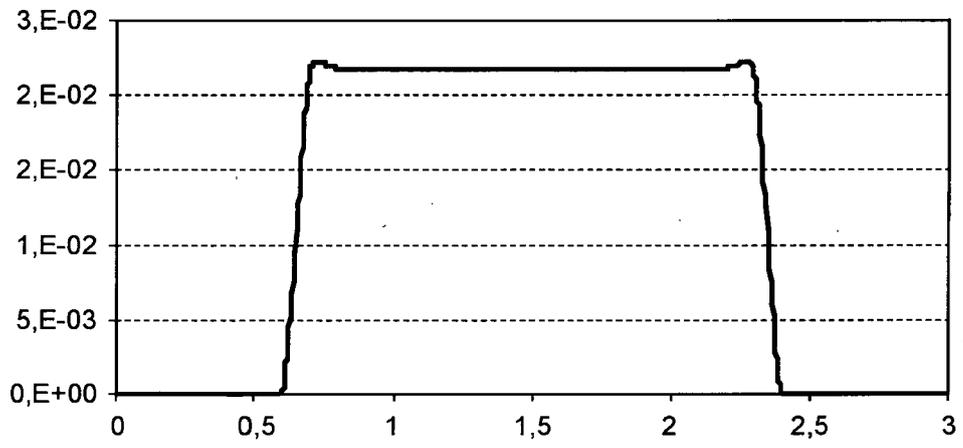


FIG.3

Producto GxR

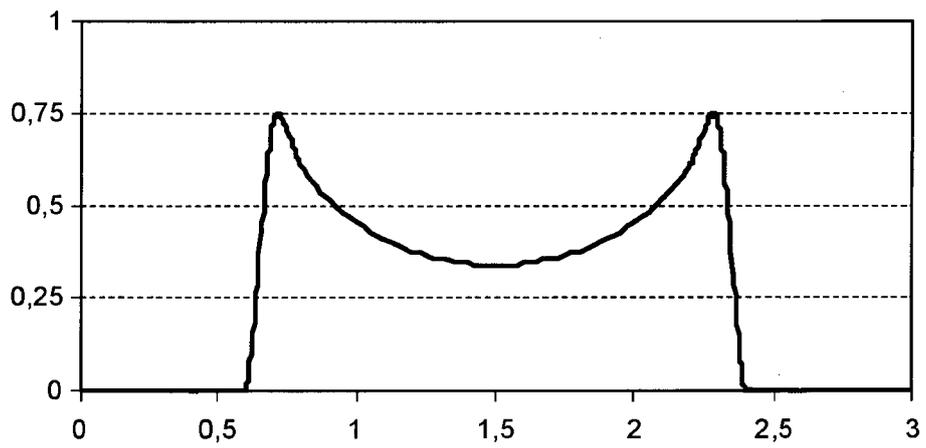


FIG.4

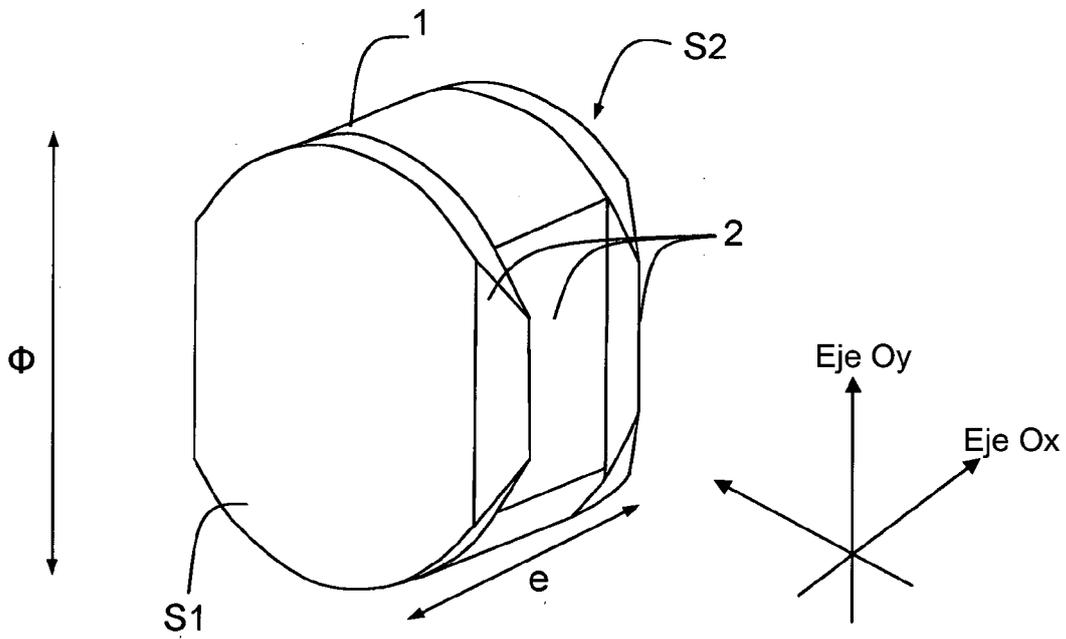


FIG. 5

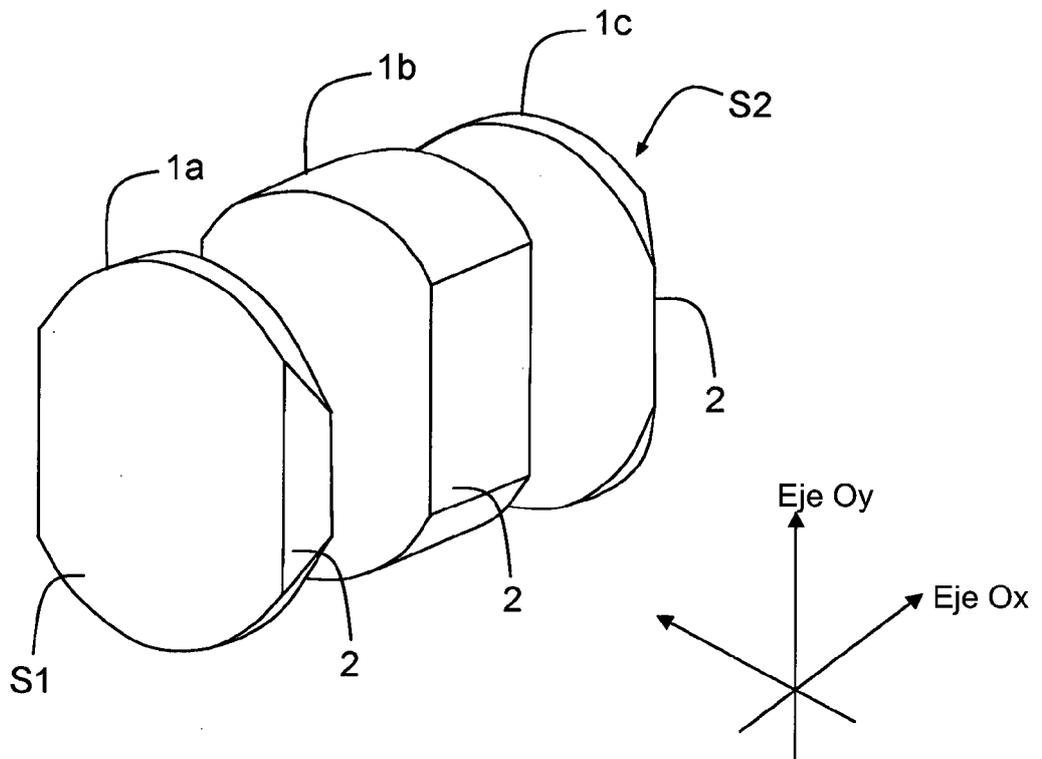


FIG. 6