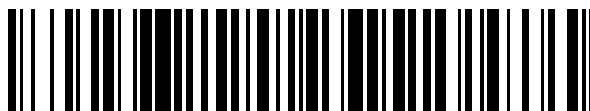


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 726 450**

51 Int. Cl.:

**H01S 3/042** (2006.01)

**H01S 3/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2011** **E 11193845 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** **EP 2466703**

54 Título: **Dispositivo de emisión de un rayo láser con efecto láser anti-transversal y con refrigeración longitudinal**

30 Prioridad:

**17.12.2010 FR 1004945**

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

**04.10.2019**

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)  
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade  
Nord  
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**BRANLY, STÉPHANE**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 726 450 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 emisión de un rayo láser con efecto láser anti-transversal y con refrigeración longitudinal

5 El campo de la invención es el de los láseres en estado sólido, en particular aquellos láseres de impulsos con impulsos cortos (nanosegundos a femptosegundos) de alta energía por impulso (superior a 10 J) y de alta potencia media (superior a 10 W).

10 Recordamos brevemente el funcionamiento de un dispositivo de emisión de un rayo láser. Comprende principalmente un medio amplificador y fuentes de bombeo que inyectan la 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 rayo láser a amplificar atraviesa la barra amplificadora una o varias veces por medio de dispositivos ópticos con espejos por ejemplo; en cada paso se extrae una parte de la energía inyectada durante el bombeado y es por tanto amplificada en la barra amplificadora. Para una barra amplificadora con forma cilíndrica, la energía depositada durante el bombeo es generalmente confinada en la parte de la barra amplificadora, delimitada por el diámetro del rayo de bomba.

15 En este tipo de configuración del dispositivo de amplificación de rayo láser, un fenómeno parásito denominado excitación estimulada transversal aparece entre el momento de depósito de energía en la barra amplificadora por bombeo óptico y el de su extracción por el rayo 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 barra amplificadora-entorno aseguran la función de espejos de esta sub-cavidad. El excitación estimulada transversal se establece cuando se satisface la condición de oscilación de esta sub-cavidad, es decir cuando hay una conservación de la energía en la ida-vuelta en el seno de la sub-cavidad, o dicho de otro modo, cuando la ganancia G transversal compensa las pérdidas P de la sub-cavidad.

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

25 Se representa en la figura 1c la ganancia G óptica transversal de un cristal 1 amplificador cilíndrico (figura1a) de longitud e, bombeada por sus dos caras de S1, S2 por un rayo láser de bombeo 4 de diámetro L. Si se designa  $g_0$  como la densidad lineal de ganancia, la ganancia de señal pequeña  $g_{ps}$  es igual a  $g_0 \times e$  en la dirección Ox longitudinal y a  $g_0 \times L$  en una dirección transversal perpendicular a Ox. Actualmente tenemos  $L \geq e$ .

La ganancia G óptica que es proporcional a  $e^{g_{ps}}$ , se obtiene:

30 
$$e^{g_0 \cdot L} \gg e^{g_0 \cdot e}$$

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

35 La excitación estimulada trasversal se manifiesta por un vaciado brutal de la energía almacenada en el cristal, provocado por emisiones simuladas trasversales no controladas que dependen del rayo láser que se quiere amplificar.

40 Esta excitación estimulada transversal es particularmente perturbadora en el caso de medios amplificadores sólidos de fuertes ganancias y de grandes dimensiones (típicamente una ganancia  $g_0$  de 0,88 y un diámetro de bomba de 70 mm). Evita, por ejemplo, generar impulsos láser de femptosegundos de potencia muy importante, típicamente del orden del petavatio, a partir de un cristal Ti: Zafiro bombeado con energías altas del orden de 100 J.

Hasta la fecha, hay dos tipos principales de soluciones para suprimir la excitación estimulada trasversal, los que consisten en reducir la ganancia para el rayo parásito y los que consisten en aumentar las pérdidas para el rayo parásito.

45 Los primeros son poco utilizados y poco apreciados ya que el problema es que reducir la ganancia para el rayo parásito consiste también en reducir la ganancia para el rayo principal. Se ha propuesto una solución elegante por la solicitante, que consiste en utilizar la energía de bombeo disponible, en fragmentarla y en enviar la al material bombeado en instantes diferentes. Esta solución ha sido el objeto de la solicitud de patente francesa No. 0413734 "Dispositivo electrónico de supresión de la excitación estimulada trasversal en amplificadores láser de alta energía".

50 La mayor parte de las soluciones se basan por lo tanto en el aumento del nivel de las pérdidas por las oscilaciones parásitas.

Una primera posibilidad es reemplazar el aire por agua alrededor de la superficie  $\Sigma$  que conecta las caras S1 y S2 del cristal 1, lo cual tiene como ventaja disminuir el coeficiente de reflexión en la interfaz (se pasa de 1 a 1,33 mientras que el material tiene en general un índice de refracción comprendido entre 1,5 y 1,8) y de mejorar la refrigeración del cristal en una zona en la que hay un depósito de calor importante. Esta solución ha sido objeto de la solicitud de patente francesa No. 04411815. Sin embargo, esta solución no es completamente satisfactoria ya que el coeficiente de reflexión en la interfaz sigue siendo demasiado elevado y además la radiación a 800 nm puede ser reflejada por la montura mecánica y reenviada hacia el material.

Las soluciones utilizadas actualmente consiste, de hecho, en reemplazar el agua por un líquido cuyo índice de refracción es idéntico o extremadamente próximo al del material (se habla por tanto de adaptación de índice) y de añadir a este líquido un material que absorbe la radiación a 800 nm: este material absorbente está del mismo modo en el estado líquido (se trata en general de un colorante) y está mezclado con el líquido de adaptación de índice. Por tanto, los fotones amplificadas a 800 nm perpendicularmente al eje, no son reflejados en la interfaz con el material gracias al líquido de adaptación de índice (ya que no pueden atravesar una segunda vez la zona de ganancia para ser amplificadas aún más) ya que son absorbidos por el colorante. Esta técnica descrita en la solicitud de patente FR 2 901 067 funciona bien para eliminar las oscilaciones transversales para las cadenas láser a base de zafiro dopado con titanio ya que debido a la baja tasa de reposición de los láseres de bombeo (al menos 0,1 Hz), la carga térmica en los cristales de zafiro dopado con titanio era limitada (como máximo 100 J de bombeo a 0,1 Hz que producen una carga térmica de 6 a 7 W, teniendo en cuenta el rendimiento de amplificación) y arquitecturas con una mezcla líquido de índice + colorante no circulante alrededor del cristal de zafiro titanio pueden responder perfectamente a la necesidad.

Pero la tecnología de las series de bombeo ha evolucionado sensiblemente estos últimos años y ahora se ha hecho posible disponer de una centena de julios a una tasa de repetición comprendida entre 1 y 5 Hz, y en un futuro muy cercano se podrán alcanzar 10 Hz lo que dorá una potencia media de bombeo del orden de kilovatio y un depósito térmico en el cristal del orden de 600 a 700 vatios.

En esta fase, no es eficaz implementar una evacuación radial del calor (representada por la flecha 10) por la mezcla líquido de índice + colorante cuya capacidad calorífica está muy por debajo de la del agua. Las propiedades térmicas de la mezcla utilizada (líquido de índice para asegurar la adaptación de índice y colorante que absorbe la emisión de láser parásito) no permiten una evacuación satisfactoria del calor. De hecho, el líquido de adaptación de índice es un mal conductor térmico lo que se traducen un ascenso en la cadencia de los láseres por un perfil de temperatura parabólica ilustrada en la figura 1 que degrada la relación de Strehl (que es un coeficiente de calidad del rayo) y que induce un corte focal térmico y aberraciones del frente de onda.

Una solución consiste en reemplazar el líquido de adaptación de índice por un dedo frío en contacto metálico con la superficie  $\Sigma$  del cristal. Esto permite reducir los efectos térmicos pero no de manera satisfactoria ya que la potencia media sobrepasa los 400 W. Además, dicho dispositivo criogénico es pesado, caro, sujeto a vibraciones y no permite suprimir el efecto de láser transversal.

Existen por tanto actualmente dispositivos de emisión de un rayo láser que comprenden un medio amplificador en forma de una placa sólida con un bombeo de extracción térmica en el eje longitudinal y que comportan en el borde (la superficie  $\Sigma$ ) un material sólido diferente que cumple las funciones de adaptación del índice y del absorbente; el material o bien es "soldado" al material amplificador o colocado en contacto por adherencia molecular. Pero estos bordes o coronas no son siempre realizables tecnológicamente en función de los materiales.

Como resultado, sigue siendo hoy en día una necesidad para un dispositivo de emisión de un rayo láser que proporciona satisfacción simultáneamente en el conjunto de las exigencias citadas anteriormente, en términos en particular de supresión de la excitación estimulada transversal, de refrigeración y de simplicidad de utilización.

La invención se basa en la refrigeración longitudinal compatible de la utilización de un líquido de adaptación de índice para suprimir la excitación simulada transversal. Un ejemplo de dicha refrigeración longitudinal es descrito en la publicación "*Diode-pumped active mirror amplifier for high-average power*" de Vetrotec J. y la patente US 4 225 826, pero el dispositivo descrito no permite suprimir la excitación estimulada transversal a la vez que asegura la refrigeración, de manera satisfactoria.

De forma más precisa la invención tiene por objeto un dispositivo de emisión de un rayo láser que comprende un medio amplificador sólido cilíndrico, de longitud  $\lambda$  de onda de fluorescencia, delimitado por una superficie  $\Sigma$  que conecta dos caras S1 y S2, destinado a ser bombeado por las dos caras una de ellas para convertirse en un medio de ganancia. Está principalmente caracterizado porque comprende un fluido de refrigeración de conductividad  $C_r$  térmica en contacto con el medio amplificador según una de las caras, y un líquido de adaptación de índice que absorbe o que difunde a la longitud de onda de la fluorescencia, de conductividad térmica  $C_i < 0,3C_r$ , en contacto con el medio amplificador según su superficie  $\Sigma$ .

Una de las ventajas de este dispositivo es que el gradiente térmico (según la hipótesis de un depósito de calor aproximadamente uniforme en el material) es importante según el eje  $O_x$  de propagación y débil

perpendicularmente al eje al contrario que en el caso de refrigeración radial. Los efectos de lente térmicas son por tanto reducidos de forma importante y la calidad del frente de onda es por tanto mejorada y aproximadamente independiente del nivel de potencia de bombeo.

5 Y la utilización del líquido para suprimir excitación estimulada transversal ofrece una solución inteligente y universal en el sentido de que es muy fácil de adaptar el líquido 21 (cambiando el colorante por ejemplo) al medio amplificador 1 elegido, al contrario que la solución de la técnica anterior con una corona sólida soldada al medio amplificador.

Con preferencia, la cara del medio amplificador en contacto con el fluido de refrigeración comprende un tratamiento reflexivo en la longitud  $\lambda$  de onda, destinado a reflejar el rayo láser hacia el medio amplificador.

10 Cuando el medio amplificador está destinado a ser bombeado por las dos caras, el tratamiento reflexivo con la longitud  $\lambda$  de onda es transparente a la longitud de onda de bombeo.

Comprende, eventualmente, también un fluido de refrigeración de conductividad  $C_r$  térmica en contacto con la otra cara.

El fluido de refrigeración es por ejemplo agua o el helio y el medio amplificador un cristal Ti:Za.

15 Según un modo de explotación particular, comprende aguas abajo del líquido de refrigeración, un elemento de corrección de fase del rayo emitido.

Este dispositivo de emisión de un rayo láser puede ser utilizado como oscilador láser o como amplificador láser.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán en la lectura de la descripción detallada que sigue, hecha a título de ejemplo no limitativo y con referencia a los dibujos anexos en los cuales:

20 Las figuras 1 ya descritas representan esquemáticamente un ejemplo de un dispositivo de amplificación de un rayo láser equipado con un dispositivo de supresión de excitación estimulada transversal y una refrigeración radial (figura 1a), el perfil de temperatura asociado en función del radio  $r$  de la barra (figura 1b), así como la ganancia transversal (figura 1c), según el estado de la técnica.

25 Las figuras 2 representan esquemáticamente un ejemplo de dispositivo de amplificación de un rayo láser equipado con un dispositivo de supresión de excitación estimulada transversal y una refrigeración longitudinal (figura 2a) y el perfil de temperatura asociado en función del radio  $r$  de la barra (figura 2b), según la invención.

De una figura la otra, los mismos elementos son identificados por las mismas referencias.

30 A continuación se va a tomar como ejemplo de medio 1 amplificador una barra de cristal con caras S1, S2 circulares de diámetro D. Los cristales contemplados son por tanto monocristales como cerámicas policristalinas.

Un dispositivo de amplificación de un rayo láser según la invención, descrito en relación con las figuras 2, está principalmente dotado:

35 - de un dispositivo 20 destinado a combatir las oscilaciones para citas transversales, y colocado de manera que un líquido 21 de adaptación de índice que absorbe o que difunde a la longitud de onda de fluorescencia, esté en contacto con la superficie  $\Sigma$  del cristal 1,

- de un dispositivo 30 de circulación de un fluido 31 de refrigeración situado de manera que el fluido 31 de refrigeración esté en contacto con una superficie S1 o S2 del cristal 1 (la superficie S2 en la figura).

El dispositivo 30 de refrigeración es concebido con preferencia de manera que puede dejar atravesar la radiación 4 de bombeo; el medio amplificador puede por tanto ser bombeado por las dos caras S1 y S2.

40 En la totalidad de la longitud  $e$  del cristal, la mezcla líquido 21 de índice + colorante está en contacto con la superficie  $\Sigma$  del cristal 1, y permite por tanto asegurar la función de supresión de oscilaciones transversales. Se mantiene en contacto con el cristal por medio de una pieza mecánica equipada de juntas 22 de estanqueidad, conocidas por el experto en la técnica.

45 Se añade una circulación independiente de un fluido 31 que va a estar en contacto con la cara S2 del cristal 1 (con preferencia toda la superficie S2) y va a evacuar el calor generado en el cristal 1 por la radiación 4 de bombeo. Éste fluido 31 de refrigeración es mantenido en contacto con el cristal 1 por medio de una pieza 30 mecánica del mismo modo equipada de juntas 32 de estanqueidad, y que permite la circulación de este fluido a lo largo de la superficie S2. Estas piezas 20 y 30 están dispuestas de manera que el líquido 21 de adaptación de índice y el fluido 31 de refrigeración no están en contacto.

Para que la evacuación térmica (representada por la flecha 10') sea esencialmente longitudinal (según Ox) evitando la aparición de cualquier gradiente de temperatura y por tanto de índice trasversal (según r) y evitando por tanto la aparición de una lente térmica en el medio amplificador, se utiliza un líquido de adaptación de índice cuya conductividad  $C_i$  térmica es inferior a la  $C_r$  del fluido de refrigeración con  $C_i < 0,3C_r$ .

- 5 Utilizando por ejemplo diiodometano de conductividad  $C_i$  térmica igual a 0,1 W/(m.K) como líquido 21 de adaptación de índice y el agua de conductividad  $C_r$  térmica igual a 0,6 W/(m.K) como fluido 31 de refrigeración, no hay casi ninguna aparición de lente térmica en el cristal de Ti:Za como se puede ver en la figura 2b.

10 Este desacoplamiento entre la función de efecto de láser anti-trasversal y la función de refrigeración permite por tanto evacuar cantidades de calor importantes teniendo en cuenta las constantes térmicas del agua. La evacuación del calor es aún más efectiva y el medio amplificador no es demasiado espeso: se tiene con preferencia  $e < D/2$ , D siendo el diámetro del medio unificador. Y la utilización de un líquido para suprimir la excitación estimulada trasversal ofrece una solución universal en ese sentido en el que es muy fácil de adaptar el líquido 21 al medio 1 amplificador elegido, contrariamente a la solución de la técnica anterior con una corona sólida soldada al medio predicador.

15 Otra ventaja muy importante es que el gradiente térmico (según la hipótesis de un depósito de calor aproximadamente uniforme en el material) es importante según el eje de Ox propagación y débil perpendicularmente al eje, contrariamente al caso de refrigeración radial. Los efectos de lente térmica son por tanto reducidos de forma importante y la calidad del frente de onda es por tanto mejorada y aproximadamente independiente del nivel de potencia de bombeo.

20 En una configuración de base, el medio 1 amplificador es bombeado para las dos caras S1 y S2 lo que es importante para uniformizar el depósito de calor, mientras que el rayo láser es reflejado por la superficie S2 del medio amplificador en contacto con el fluido 31 de refrigeración. En efecto, se puede considerar en un primer análisis que el rayo 4 de bombeo puede atravesar la lámina de agua sin dificultades ya que no es absorbido (el agua es transparente en una buena parte del espectro visible e infrarrojo próximo) e incluso si el frente de onda es ligeramente perturbado a través del agua, esto no tiene consecuencias ya que el proceso de bombeo consiste en una transferencia de energía después de la absorción de la radiación y esta radiación es absorbida de forma suficientemente rápida para que no haya riesgos de degradación del rayo de bomba que conduce, por ejemplo a sobrintensidades susceptibles de dañar el medio amplificador. Por otro lado, en esta configuración de base, el rayo a amplificar es reflejado en la interfaz medio amplificador-agua (superficie S2) con el fin de no tener que

25 atravesar la lámina de agua que es susceptible de degradar el frente de onda; a tal efecto la cara S2 (denominada cara trasera) del medio amplificador es tratada con una alta reflexividad (se tiene típicamente  $R > 98\%$ ) para la longitud de onda de fluorescencia del medio amplificador pero con una buena transparencia (se tiene típicamente  $T > 95\%$ ) para la longitud de onda del rayo 4 de bombeo.

30 Cuando el medio 1 amplificador no es bombeado más que por la cara S1, la condición de transparencia (del tratamiento reflexivo) de la cara S2 para la longitud de onda del rayo 4 de bombeo no es necesaria.

35 El hecho de tener la cara S2 de material tratado con una alta reflexividad para longitud de onda del amplificador tiene el riesgo de favorecer una oscilación parásita longitudinal (entre las 2 caras S1 y S2 del medio amplificador) porque si incluso la ganancia en el eje es muy débil, es la cara S1 (denominada cara delantera) la única que debe, gracias a su tratamiento anti-reflejos, concentrar la ganancia, o es conocido que un tratamiento anti-reflejos de doble banda (una banda para el láser, una banda para el bombeo) cuya una banda es grande y que debe ser resistente al flujo de láser no es extraordinariamente eficiente en términos de reflexividad residual.

40 Por lo tanto, según una primera variante de configuración, el rayo a amplificar atraviesa la lámina de agua y puede ser corregido si es necesario en el frente de onda por medio de un componente de corrección de la fase, por ejemplo un espejo deformable dispuesto alejado del cristal, aguas arriba de la lámina de agua, a lo largo del trayecto del rayo láser emitido.

45 Según una segunda variante, se agrega un segundo dispositivo de refrigeración en la otra cara del medio amplificador, la cara S1.

50 Sea cual sea la configuración elegida, el agua puede ser reemplazada por otro líquido tal como etileno, o etilenglicol o una mezcla agua + etilenglicol por ejemplo o incluso por un flujo de gas (por ejemplo de helio) optimizado para asegurar un buen intercambio térmico. El flujo de gas se adapta particularmente bien a variantes de configuración ya que conduce a perturbaciones menores del frente de onda que lo atraviesa de una lámina de agua, en particular si el flujo es turbulento.

A continuación se va a describir un ejemplo de realización con el agua como fluido de refrigeración, y un cristal de Ti:Za como medio amplificador con las superficies circulares S1 y S2 de 20 cm de diámetro.

55 Se observa:

$$F = \text{caudal de agua en l/min.}$$

## ES 2 726 450 T3

$\rho$  = masa volúmica del agua 1000 kg/m<sup>3</sup>.

$C_p$  = capacidad calorífica del agua 4180J/(kg.°C)

$\Delta T$  = elevación de temperatura en °C del agua de refrigeración.

$V$  = velocidad de flujo de agua en m/s.

5  $S$  = sección de filete de agua en m<sup>2</sup> =  $a \times D$ .

$P$  = potencia térmica a extraer del Ti:Za en W.

Se observa:

$$P(W) = F \times (1/60000) \times \rho \times C_p \times \Delta T$$

Con

10 
$$F \text{ (l/min)} = V \times S \times 60000$$

Para:

$P$  a evacuar = 1 kW;  $a$  = 5mm;  $D$  = 20cm;  $\Delta T$  = 1 °C, hace falta por tanto tener un caudal:  $F$  = 14,35 l/min o bien 0,24 m/s (o 0,8 km/h).

15 Dicho de otra manera, si se enfría la cara (S2) trasera de un Ti:Za de 20 cm de diámetro con una película de agua de 5 mm de espesor de caudal = 14,4 l/min, por tanto se extrae 1 kW de calor (es decir el estado amplificador principal de un sistema láser de 10 PW a 2 Hz) para un aumento de la temperatura del agua de solamente 1°C.

Esta configuración presenta las ventajas siguientes:

- 20
- la ausencia del ente térmica permite modificar la energía de bombeado sin modificar las condiciones de propagación del rayo a 800nm (= longitud de onda de fluorescencia del Ti:Za),
  - las potencias medias de bombeo superiores al kW son posibles,
  - la cara S2 del cristal de Ti:Za de contacto con el agua es tratada como reflexiva a 800nm. Por tanto el rayo a 800nm no atraviesa la película de agua, lo que permite evitar la degradación del frente de onda,
- 25
- las ganancias transversales  $\exp(g_0 \times L)$  hasta 20000 son alcanzables sin excitación estimulada trasversal, lo que permite lograr potencias pico de 10PW (300J de salida de aumento en un diámetro de 17 cm con 800J de bomba).

A título de otro ejemplo del medio amplificador, se puede citar: Nd : YAG, Nd : YLF, Yb : YAG, etc.

Se presenta un ejemplo del dispositivo de amplificación de un rayo láser emitido por un oscilador, pero el dispositivo según la invención puede también ser utilizado en un oscilador láser que genera un rayo láser.

30

**REIVINDICACIONES**

1. Dispositivo de emisión de un rayo láser que comprende:

5 - un medio (1) amplificador sólido cilíndrico, de longitud  $\lambda$  de onda de fluorescencia, delimitado por una superficie  $\Sigma$  que conecta dos caras S1 y S2, destinado a ser bombeado por las dos caras o una de ella para convertirse en un medio de ganancia,

- un fluido (31) de refrigeración de conductividad  $C_r$  térmica en contacto con el medio (1) amplificador, según una de las caras, y

10 - un líquido (21) de adaptación de índice que absorbe o que difunde en la longitud de onda de fluorescencia, de conductividad  $C_i$  térmica, en contacto con el medio (1) amplificador según su superficie  $\Sigma$ ,

**caracterizado porque  $C_i < 0,3C_r$ .**

2. Dispositivo de emisión de un rayo láser según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** la cara del medio (1) amplificador en contacto con el fluido (31) de refrigeración comprende un tratamiento reflexivo de la longitud  $\lambda$  de onda, destinado a reflejar el rayo láser hacia el medio amplificador.

15 3. Dispositivo de emisión de un rayo láser según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** el tratamiento reflexivo de la longitud  $\lambda$  de onda, es transparente a la longitud de onda de bombeo.

4. Dispositivo de emisión de un rayo láser según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende un fluido de refrigeración de conductividad  $C_r$  térmica en contacto con la otra cara.

20 5. Dispositivo de emisión de un rayo láser según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** comprende en el trayecto de salida del rayo emitido, aguas abajo del fluido de refrigeración, un elemento de corrección de fase.

6. Dispositivo de emisión de un rayo láser según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el fluido de refrigeración es agua o helio, y **porque** el medio amplificador es un cristal de Ti:Za.

25 7. Dispositivo de emisión de un rayo láser según una de las reivindicaciones anteriores que es un oscilador láser o un amplificador láser.

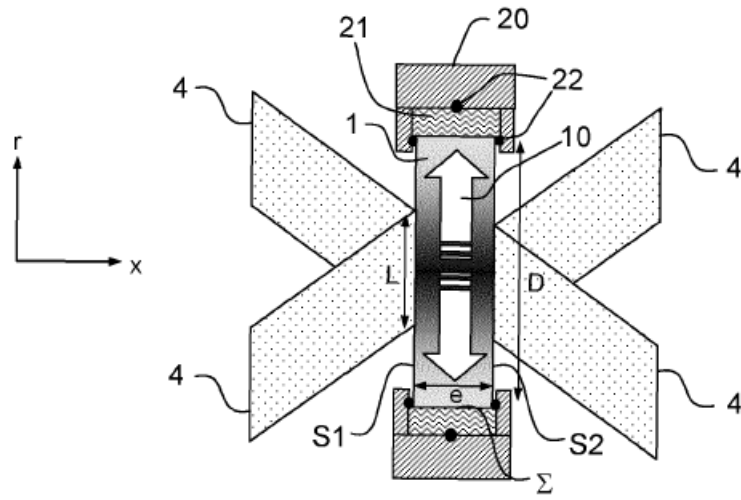


FIG. 1a

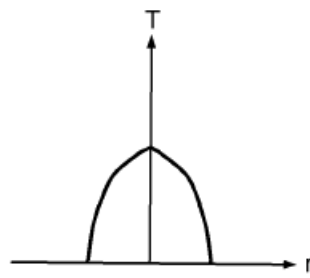


FIG. 1b

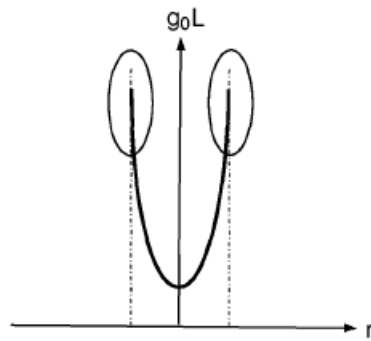


FIG. 1c



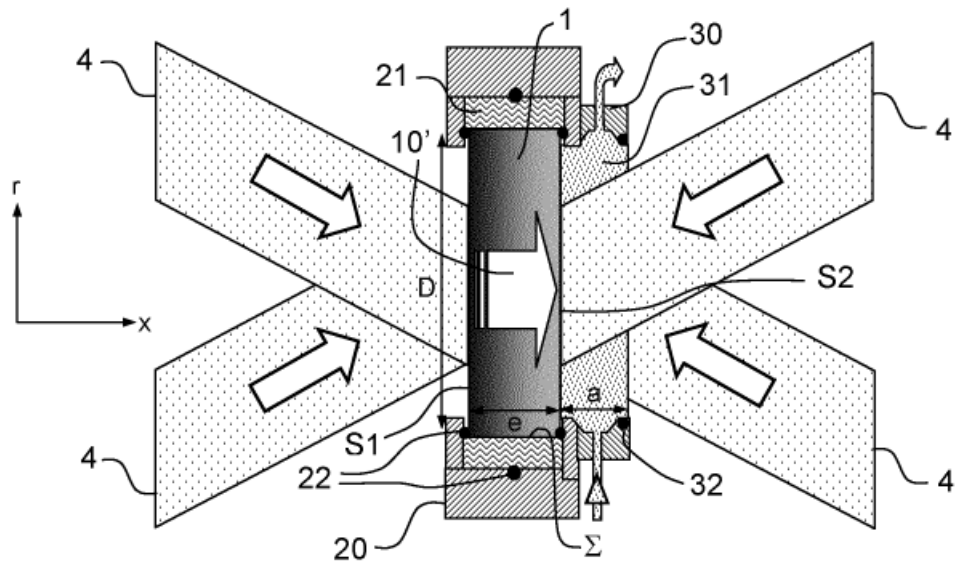


FIG.2a

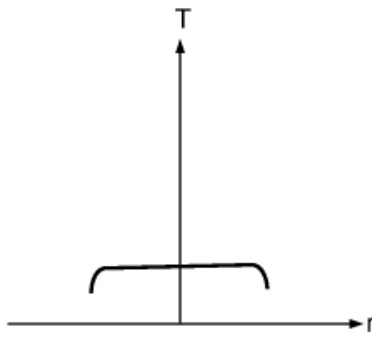


FIG.2b