



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 272 126**

⑫ Número de solicitud: 200401965

⑤① Int. Cl.:
H01S 3/067 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **30.07.2004**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **16.04.2007**

⑫③ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
16.04.2007

⑦① Solicitante/s: **Universitat de València**
Avda. Blasco Ibáñez, 13
46010 Valencia, ES

⑦② Inventor/es: **Pérez Millán, Pere;**
Díez Cremades, Antonio;
Andrés Bou, Miguel Vicente;
Zalvidea, Dobryna y
Duchowicz, Ricardo

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Láser de fibra óptica de emisión pulsada por conmutación del factor Q.**

⑤⑦ Resumen:

Láser de fibra óptica de emisión pulsada por conmutación del factor Q.

El invento objeto de esta patente es un láser de fibra óptica de emisión modulada en régimen de conmutación del factor Q de la cavidad (Q-switch), que emplea un modulador basado en un elemento magnetostrictivo. Se trata de un sistema Q-switch activo que permite controlar la frecuencia de repetición de forma continua, desde 0 Hz hasta más de 100 kHz, con un consumo energético inferior a 1 W y un tiempo de respuesta de decenas de microsegundos. En su realización más sencilla, el sistema se caracteriza por estar construido únicamente con componentes de fibra óptica, por lo que la luz está guiada permanentemente en la fibra óptica constituyendo un sistema "todo-fibra", que permite por reducir al máximo las pérdidas en la cavidad.

ES 2 272 126 A1

DESCRIPCIÓN

Láser de fibra óptica de emisión pulsada por conmutación del factor Q.

5 Sector de aplicación de la técnica

El objeto de la Patente desarrolla un láser de fibra óptica de emisión modulada en régimen de conmutación del factor Q de la cavidad, normalmente llamado Q-switch. Esta invención tiene su aplicación en el sector de la industria optoelectrónica en general, en el del tratamiento de materiales y en el de la medicina, en lo que se refiere a cirugía con láser y otros tratamientos láser.

Estado de la técnica

El desarrollo de nuevos sistemas láser de fibra óptica es un tema de interés permanente tanto en el campo de la óptica, en general, como en otros más específicos como son el de las comunicaciones y la metrología. La gama de aplicaciones de estos sistemas es realmente muy amplia, yendo desde su función como fuentes de luz para sistemas de comunicaciones ópticas, hasta las aplicaciones médicas, pasando por aplicaciones en el campo de los sensores de fibra óptica, en espectroscopia y en el tratamiento de materiales.

En un láser de fibra óptica, el medio que proporciona la ganancia al sistema es, generalmente, una sección de fibra óptica activa, que consiste en una fibra óptica cuyo núcleo ha sido dopado con algún tipo de tierra rara, típicamente, erbio, yterbio o neodimio. Para obtener emisión láser a partir del medio activo, éste se sitúa en el interior de una cavidad óptica que, generalmente, es de tipo anillo o de tipo Fabry-Perot.

La salida del haz láser puede ser de dos formas: onda continua o pulsada. La potencia de salida de los láseres varía mucho de unos tipos de láser a otros. Los láseres de onda continua se caracterizan por su potencia máxima de salida, mientras que los láseres de impulsos se caracterizan por la energía total por pulso (medida en julios), debiéndose conocer además la potencia pico, la duración del pulso y la frecuencia de repetición. Existen varias técnicas para generar pulsos muy cortos (entre nanosegundos y picosegundos) obteniendo potencias de pico muy altas, destacando entre ellas las denominadas Q-switch y Mode-locking.

La técnica de emisión modulada por Q-switch se fundamenta en la conmutación del factor de calidad (factor Q) de la cavidad láser, desde un valor bajo hasta un valor alto produciéndose entonces la emisión de un pulso láser. Podemos distinguir dos tipos diferentes de Q-switch: el activo y el pasivo. En el Q-switch activo, la conmutación del factor Q se produce por la acción de algún elemento cuyo funcionamiento requiere energía proveniente del exterior de la cavidad (generalmente de tipo eléctrico), mientras que en el pasivo, los cambios en el factor Q se producen por el comportamiento de algún componente de tipo pasivo, cuya acción no requiere de energía proveniente del exterior de la cavidad láser, siendo la energía óptica que contiene la cavidad láser la que determina el comportamiento de dicho elemento pasivo.

En lo que se refiere a láseres de fibra óptica en régimen de conmutación Q-switch, existe una gama muy amplia de desarrollos, tanto en lo que se refiere a sistemas basados en Q-switch pasivo como activo. Los láseres de fibra óptica basados en Q-switch pasivo [1-4], generalmente incorporan un componente denominado "absorbedor saturable". Este componente se caracteriza porque su coeficiente de atenuación óptica varía en función de la potencia de luz existente en la cavidad láser.

Los láseres de fibra óptica basados en Q-switch activo, incorporan un sistema modulador que permite variar las pérdidas de la cavidad láser, y de este modo variar el factor Q. Típicamente, los moduladores que se emplean son componentes de óptica discreta, generalmente moduladores acusto-ópticos [5] o electro-ópticos [6]. La incorporación de este tipo de componentes, en el interior de la cavidad láser de fibra óptica, supone que la luz ha de extraerse de la fibra para hacerla pasar por el modulador y, posteriormente, volverla a inyectar dentro de la fibra. Esto supone añadir pérdidas ópticas a la cavidad, lo que reduce negativamente en la eficiencia del láser. Además, el alineamiento de las fibras de entrada y de salida con el componente discreto requiere de sistemas de posicionamiento muy precisos y estables mecánicamente, lo que supone en muchos casos una seria limitación práctica, y un encarecimiento mayúsculo del sistema.

En los últimos años se han desarrollado algunos prototipos de láseres de fibra óptica en régimen Q-switch activo, en los que la conmutación del factor Q de la cavidad láser no requiere extraer la luz de la fibra [7-8]. En estos sistemas, la conmutación del factor Q de la cavidad láser se obtiene actuando sobre la propia fibra, aprovechando sus propiedades, de manera que en todo momento la luz permanece guiada por la fibra, constituyendo lo que se suele denominar un sistema "todo fibra" [9-10].

Descripción de la invención

El invento objeto de esta patente es un láser de fibra óptica, del tipo "todo fibra", en régimen de conmutación Q-switch, que emplea un modulador basado en un elemento magnetostrictivo.

El sistema incluye una sección de una cierta longitud de fibra dopada, típicamente con algún tipo de tierra rara,

que constituye el medio activo. Esta fibra activa, cuando se bombea con luz de la frecuencia adecuada, proporciona la ganancia del láser. También incluye dos elementos reflectantes de fibra óptica. La reflectividad de estos elementos depende de la longitud de onda de la luz, siendo preferible que la banda de longitudes de onda reflejada sea estrecha. En concreto, al menos uno de ellos debe ser del tipo red de Bragg grabada en la propia fibra óptica.

El modulador incluye un elemento magnetostrictivo, sobre el que se adhiere el elemento reflectante del tipo Red de Bragg, estando todo ello situado en el interior de una bobina eléctrica. La modulación del factor Q de la cavidad se produce cuando se hace pasar corriente eléctrica por la bobina, lo que produce un alargamiento del material magnetostrictivo que, a su vez, tensiona la red de Bragg cambiando su espectro de reflexión.

El invento objeto de esta patente puede presentar una serie de ventajas respecto a otros láseres Q-switch de fibra óptica:

- 1) El sistema láser está constituido por componentes de fibra óptica, de modo que en cualquier punto del sistema la luz se propaga por el interior la fibra óptica. Como consecuencia, el sistema puede ser (a) más eficiente y (b) estable desde un punto de vista mecánico, no existiendo el problema del alineamiento de componentes.
- 2) El modulador basado en el elemento magnetostrictivo que incorpora el sistema láser permite obtener tiempos de conmutación cortos (inferiores a 1 ms). La frecuencia de repetición de los pulsos emitidos por el láser puede variarse de una forma continua desde 0 Hz hasta valores superiores a 100 kHz.
- 3) La longitud de onda de emisión del láser de fibra óptica puede ajustarse dentro de la banda de emisión del medio activo actuando sobre los elementos reflectantes.
- 4) El modulador es compacto, robusto y de pequeñas dimensiones. El consumo de potencia eléctrica del modulador puede ser inferior a 1 W.

Descripción de las figuras

Para comprender mejor el objeto de la presente invención, se representa en los planos unas formas preferentes de realización práctica, susceptibles de cambios accesorios que no desvirtúen su fundamento.

La figura 1 son dos diagramas de las configuraciones posibles del láser de fibra óptica susceptibles de ser empleadas: (a) cavidad Fabry-Perot y (b) cavidad tipo anillo; siendo: (MA) el medio activo, (MM) el modulador magnetostrictivo, (FO) fibra óptica convencional, (A) un aislador óptico, (C) un circulador óptico y (R2) representa un dispositivo de fibra óptica que refleja señales ópticas de una determinada longitud de onda, por ejemplo una red de Bragg grabada en fibra.

La figura 2 muestra un esquema del modulador (MM) introducido en la figura 2, siendo: (FO) fibra óptica convencional, (R1) un elemento reflectante del tipo red de Bragg grabada en fibra óptica, (MT) un elemento de material magnetostrictivo y (B) una bobina eléctrica.

La figura 3 muestra dos ejemplos de la emisión del láser de impulsos en régimen de conmutación Q-switch, cuando la modulación es de baja frecuencia.

La figura 4 es un ejemplo de la emisión del láser de impulsos en régimen de conmutación Q-switch, cuando la modulación es de alta frecuencia.

La figura 5 muestra las curvas de caracterización del láser de impulsos en régimen de conmutación Q-switch. (a) Potencia de pico en función de la potencia de bombeo, para varias frecuencias de repetición. (b) Anchura de los pulsos emitidos en función de la frecuencia de repetición.

Ejemplo de realización práctica

A continuación, se describe un ejemplo de realización práctica, no limitativa, del presente invento.

Las figuras 1(a) y 2 muestran unos diagramas posibles de la configuración del láser de fibra óptica y del modulador, cuya realización práctica se detalla a continuación. El medio activo (MA) consiste en una sección de 1 m de fibra óptica monomodo cuyo corazón está codopado con Erblio (Er). El medio activo se excita mediante una señal de bombeo proporcionada por un diodo láser que emite luz de longitud de onda 980 nm (no incluido en la figura). Los elementos reflectantes (R1) y (R2) son dos redes de Bragg grabadas en el núcleo de la fibra óptica. (R1) tiene una reflectividad del 80%, la banda de longitud de onda que refleja está centrada en 1543 nm, y la anchura de esta banda es de 0.15 nm. (R2) tiene una reflectividad del 99%, la banda reflejada también está centrada en 1543 nm, y su anchura es 0.1 nm. En nuestro caso, la longitud de onda de emisión del láser de fibra óptica está determinada por la longitud de onda de reflexión de las redes de Bragg. De esta forma la medida de la longitud de onda de la emisión proporciona el dato adicional de la temperatura del sistema, dada la dependencia con la temperatura que presentan las redes de Bragg grabadas en fibra óptica.

El modulador (MM) está compuesto por un elemento magnetostrictivo, sobre el que se pega la red de Bragg (R1). El elemento magnetostrictivo es una barra de Terfenol-D ($\text{Tb}_{0.27}\text{Dy}_{0.73}\text{Fe}_2$) de sección cuadrada, de $1 \times 1 \text{ mm}^2$, y 15 mm de longitud. La sección de fibra donde se ha grabado (R1) está pegada axialmente a lo largo del elemento magnetostrictivo, quedando la posición de (R1) centrada respecto del elemento magnetostrictivo.

El funcionamiento del modulador (MM) es el que sigue. Cuando se aplica un campo magnético al elemento magnetostrictivo, éste aumenta su longitud. El aumento de longitud del (MT) produce un estiramiento de la red de Bragg (R1), lo que genera un desplazamiento en longitud de onda de la banda reflejada por (R1). En este ejemplo de realización, el campo magnético lo genera la bobina magnética cuando se hace pasar corriente eléctrica por ella.

En el sistema láser que se describe en este ejemplo de realización, la emisión se produce cuando la banda de reflexión del elemento (R1) coincide en longitud de onda con la del elemento (R2), es decir, cuando (R1) y (R2) están sintonizadas. En estas condiciones, para las longitudes de onda de solapamiento de las bandas de reflexión, la cavidad láser tiene un factor de calidad ("factor Q") alto, de manera que, si la potencia de bombeo es suficiente para alcanzar el umbral de emisión, el sistema láser de fibra emite luz de manera continua (modo "cw") a una longitud de onda determinada por el solapamiento entre (R1) y (R2). Cuando las bandas de reflexión de (R1) y (R2) no coinciden en longitud de onda, el factor Q de la cavidad láser es bajo, y el sistema láser no emite. El funcionamiento del sistema láser en régimen conmutado Q-switch se consigue modulando el factor Q de la cavidad, haciendo que pase de un valor bajo a un valor alto. Durante el periodo en que el factor-Q es bajo y no hay emisión de luz, se produce un efecto de acumulación de átomos excitados en el medio activo por el bombeo (proceso de "carga de la cavidad"), que no se desexcitan debido a la inexistencia de fotones de la frecuencia adecuada en la cavidad láser. Esta inversión de población decae al estado fundamental cuando el factor-Q de la cavidad pasa a tener un valor alto, emitiéndose un pulso de luz intenso ("descarga de la cavidad"). En la realización práctica que se describe aquí, la conmutación del factor-Q de la cavidad se consigue con el modulador (MM) que permite sintonizar las bandas de reflexión de (R1) y (R2) mediante la corriente que pasa por la bobina eléctrica (B).

La figura 3 muestra dos ejemplos de funcionamiento del sistema láser en régimen Q-switch. La línea continua corresponde a la señal emitida por el sistema láser y la línea discontinua muestra la corriente que circula por la bobina (B). La figura 3 (a) corresponde al caso en que, en ausencia de corriente en la bobina, las bandas de reflexión de (R1) y (R2) están sintonizadas. En este caso, la corriente en (B) desintoniza (R1) y (R2) dando lugar a un periodo de factor-Q bajo. Cuando la corriente que pasa por la bobina eléctrica (B) disminuye, las bandas de reflexión de (R1) y (R2) se solapan, dando lugar a un factor-Q alto, y por tanto a la emisión de un pulso de luz. La figura 3 (b) corresponde al caso en que, en ausencia de corriente en la bobina, las bandas de reflexión de (R1) y (R2) están desintonizadas, correspondiendo a un factor-Q bajo. En este caso, la corriente en la bobina produce la sintonización de las bandas de reflexión de (R1) y (R2), produciéndose entonces la emisión láser.

La figura 4 muestra un ejemplo de funcionamiento del láser de impulsos en régimen Q-switch, cuando la frecuencia de conmutación es de 125 kHz.

Por último, la figura 5 presenta algunas características del láser. En la figura 5 (a) se muestra la potencia de pico de la emisión láser en función de la potencia de bombeo, para varias frecuencias de conmutación. En el rango de potencias de bombeo estudiado, la potencia de pico aumenta de forma lineal en los tres casos, correspondiendo los valores mayores de potencia de pico a las frecuencias menores. La figura 5 (b) muestra la anchura temporal de los picos en función de la frecuencia de conmutación, para un valor del bombeo fijo de 76 mW. La anchura se mantiene constante con un valor de 180 ns hasta una frecuencia de 1 kHz, a partir de la cual se observa un ensanchamiento de los pulsos que aumenta con la frecuencia.

Lista de referencias

[1] M. Laroche, A. M. Chardon, J. Nilsson, D. P. Shepherd, W. A. Clarckson, S. Girard and R. Moncorgé, "Compact diode-pumped passively Q-switched tunable Er-Yb double-clad fiber laser", *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 1980-1982, Nov. 2002.

[2] V. N. Philippov, A. V. Kiryanov and S. Unger, "Advanced configuration of erbium fiber passively Q-switched laser with $\text{Co}^{2+}:\text{ZnSe}$ crystal as saturable absorber", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16, pp. 57-59, Jan. 2004.

[3] R. Paschotta, R. Häring, E. Gini, H. Melchior, U. Keller, H. L. Offerhaus and D. J. Richardson, "Passively Q-switched 0.1-mJ fiber laser system at 1.53 μm ", *Opt. Lett.*, vol. 24, pp. 388-390, March 1999.

[4] Liguo Luo and P.L. Chu, "Passive Q-switched erbium-doped fibre laser with saturable absorber", *Opt. Commun.*, vol. 161, pp. 257-263, March 1999.

[5] H. H. Kee, G. P. Lees and T. P. Newson, "Narrow linewidth CW and Q-switched erbium-doped fibre loop laser", *Electron. Lett.*, vol. 34, pp. 1318-1319, June 1998.

[6] J. A. Álvarez-Chávez, H. L. Offerhaus, J. Nilsson, P. W. Turner, W. A. Clarckson and D. J. Richardson, "High-energy, high-power ytterbium-doped Q-switched fiber laser", *Opt. Lett.*, vol. 25, pp. 37-39, Jan. 2000.

[7] A. **Chandonnet** and G. **Larose**, “High-power Q-switched erbium fiber laser using an all-fiber intensity modulator”, *Opt. Eng.*, vol. 32, pp. 2031-2035, Sept. 1993.

[8] D. W. **Huang**, W. F. **Liu** and C. C. **Yang**, “Q-switched all-fiber laser with an acoustically modulated fiber attenuator”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 1153-1155, Sept. 2000.

[9] G. **Larose**, A. **Chandonnet**, “Optical switch and Q-switched laser”, Institute National d’Optique, Canadá, Patente N°: US5444723, 1995-08-22.

[10] I. **Takeyuki**, K. **Tetsuo**, N. **Masataka**, “Q-switched optical fiber laser”, Nippon Telegraph & Telephone Corporation, Patente N°: JP10022560, 1998-01-23.

15

20

25

30

35

40

45

50

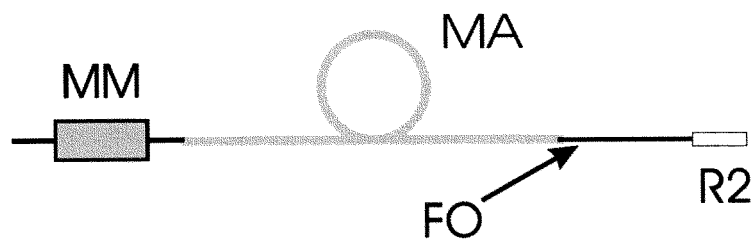
55

60

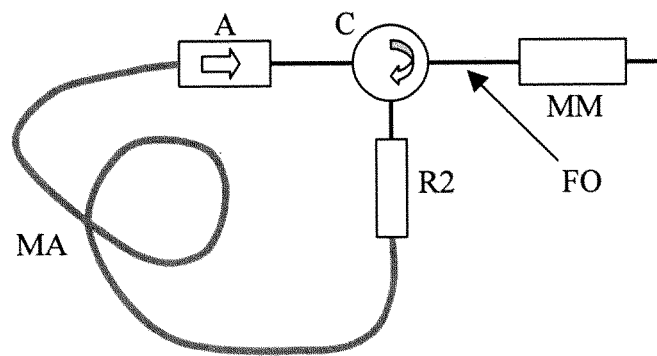
65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Láser de fibra óptica de emisión modulada en régimen de conmutación activo del factor Q de la cavidad (Q-switch), que consta de un medio activo de fibra óptica, dos elementos reflectantes de fibra óptica y un modulador construido con un material magnetostrictivo, y se **caracteriza** porque la frecuencia de repetición de los pulsos de luz emitidos por el sistema puede variarse de forma continua.
- 10 2. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicación 1, en el que los elementos reflectantes consisten en dos redes de Bragg grabadas en el núcleo de una sección de fibra óptica, formando una cavidad tipo Fabry-Perot, y una de las redes de Bragg está adherida a un material magnetostrictivo.
- 15 3. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicación 1, en el que los elementos reflectantes consisten en dos redes de Bragg grabadas en el núcleo de una sección de fibra óptica, formando una cavidad tipo anillo, y una de las redes de Bragg está adherida a un material magnetostrictivo.
- 20 4. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones anteriores, en el que se varía el factor Q de la cavidad mediante un campo magnético aplicado al material magnetostrictivo, que actúa sobre la fibra óptica que tiene grabada una red de Bragg y está adherida a dicho material magnetostrictivo, y modifica la respuesta espectral de la red de Bragg.
- 25 5. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones anteriores, en el que la red de Bragg grabada en fibra óptica, adherida al elemento magnetostrictivo, se introduce en el interior de una bobina eléctrica que genera el campo magnético y éste se controla mediante la amplitud de la corriente eléctrica.
- 30 6. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones anteriores, en el que una onda cuadrada de corriente circulando por la bobina permite obtener un tren de pulsos de luz láser cuya frecuencia de repetición es la frecuencia de la onda de corriente.
- 35 7. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones anteriores, en el que se consigue que la frecuencia de repetición de los pulsos alcance los 125 kHz, superando ampliamente el valor de 100 kHz.
- 40 8. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones anteriores, en el que el sistema de modulación del factor Q funciona con potencias inferiores a 1 W.
- 45 9. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones 1, 2, 3 y 4, en el que al aplicar un campo magnético se consigue conmutar el factor de calidad Q desde un valor bajo a un valor alto, por estar las redes inicialmente desintonizadas.
- 50 10. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones de 1, 2, 3 y 4, en el que al aplicar un campo magnético se consigue desintonizar las redes, que inicialmente estaban sintonizadas, y que anular el campo magnético se consigue conmutar el factor de calidad Q desde un valor bajo a un valor alto.
- 55 11. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones de 1, 2 y 3, en el que la longitud de onda de la luz emitida por el láser es una medida de la temperatura del mismo.
- 60 12. Láser de fibra óptica en régimen Q-switch activo, según reivindicaciones 1 y 2, en el que la luz permanece guiada en todo momento en el interior de la fibra óptica, constituyendo un sistema "todo fibra".
- 65



(a)



(b)

Figura 1

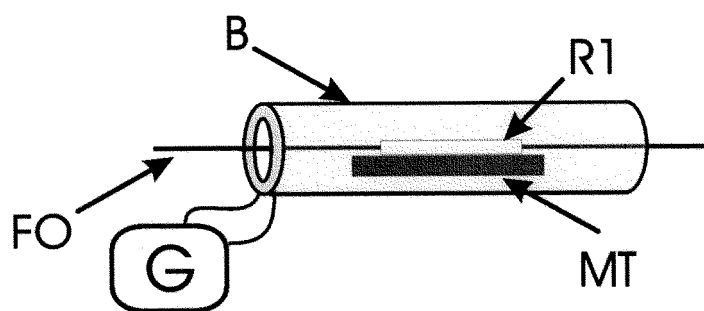


Figura 2

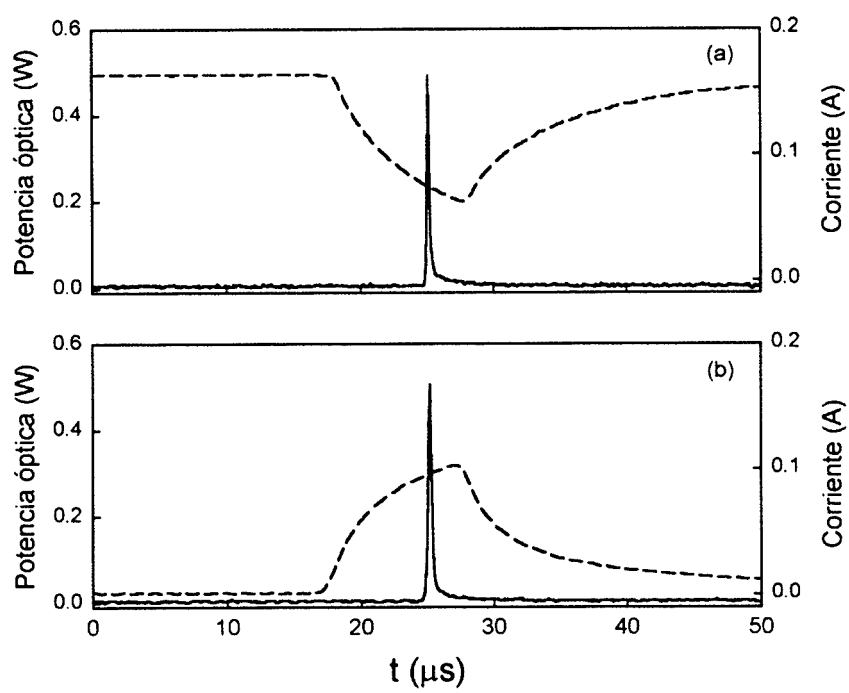


Figura 3

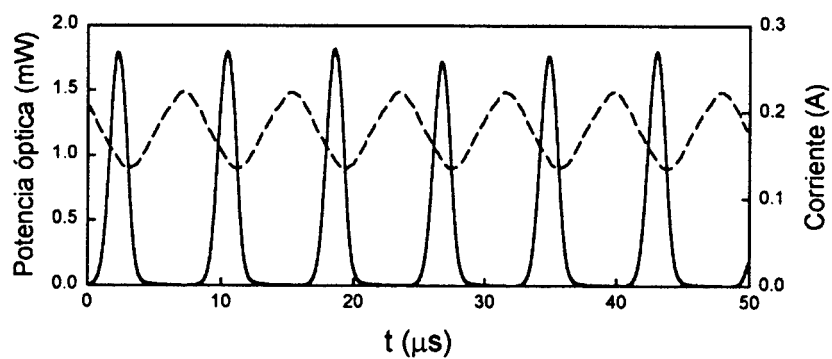


Figura 4

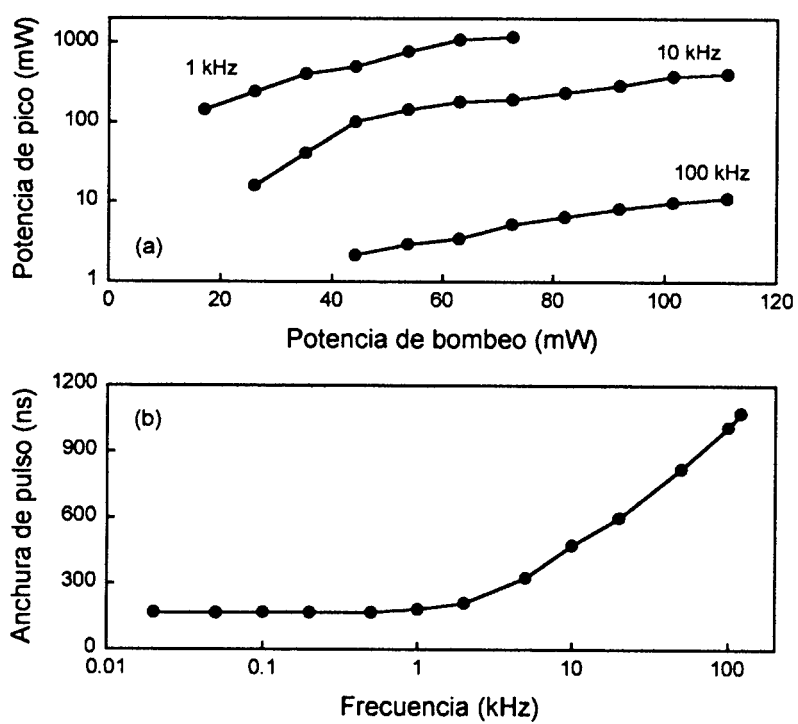


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 272 126

⑫ Nº de solicitud: 200401965

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 30.07.2004

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: H01S 3/067 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
Y	US 5999546 A (ESPINDOLA et al.) 07.12.1999, columna 2, línea 50 - columna 4, línea 24; columna 5, línea 40 - columna 6, línea 7.	1-12
Y	RUSSO N A; DUCHOWICZ R; MORA J; CRUZ J L; ANDRES M V. HIGH-EFFICIENCY Q-SWITCHED ERBIUM FIBER LASER USING A BRAGG GRATING-BASED MODULATOR. OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL. VOL 210, NR 6, PÁGINAS 361-366, (15.09.2002). 7460265 INSPEC. ISSN 0030-4018.	1-12
A	FORSTER R J; LANGFORD N; GLOAG A; ZHANG L; WILLIAMS J A R; BENNION I. OPTICS COMMUNICATIONS, NORTH-HOLLAND PUBLISHING CO. AMSTERDAM, NL. VOL 141, NR 5-6, PÁGINAS 283-287, (15.09.1997). 5714065 INSPEC. ISSN 0030-4018.	1
A	US 6058128 A (VENTRUDO) 02.05.2000, columna 4, línea 10 - columna 6, línea 26.	1

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

23.03.2007

Examinador

L. García Aparicio

Página

1/1