



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 282 052**

⑫ Número de solicitud: 200700342

⑬ Int. Cl.:
H01S 3/117 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **02.02.2007**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.10.2007**

⑭ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.10.2007

⑰ Solicitante/s:
Universitat de València Estudi General
Avda. Blasco Ibáñez, nº 13
46010 Valencia, ES

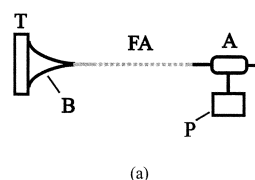
⑱ Inventor/es: **Delgado Pinar, Martina;**
Díez Cremades, Antonio;
Cruz Muñoz, José Luis y
Andrés Bou, Miguel V.

⑲ Agente: **No consta**

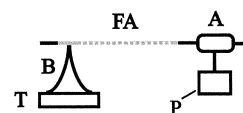
⑳ Título: **Láser de fibra óptica con realimentación distribuida, pulsado mediante ondas elásticas.**

㉑ Resumen:

Láser de fibra óptica con realimentación distribuida, pulsado mediante ondas elásticas, que consiste en una red de Bragg grabada en una fibra óptica fotosensible y activa, un sistema de excitación del material activo, un elemento transductor generador de vibraciones y una pieza de acoplo entre el transductor y la fibra óptica. La emisión pulsada del láser con realimentación distribuida se obtiene haciendo propagar una onda elástica a lo largo de la red de Bragg. La onda elástica se genera mediante la excitación del transductor y se transmite a la fibra a través de la pieza de acoplo. De aplicación en el sector de la industria optoelectrónica en general, en el campo de sensorado óptico y, también, en el tratamiento y procesado de materiales.



(a)



(b)

Figura 1

ES 2 282 052 A1

DESCRIPCIÓN

Láser de fibra óptica con realimentación distribuida, pulsado mediante ondas elásticas.

Campo de la invención

La invención descrita en esta patente desarrolla un láser de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), pulsado mediante ondas elásticas. Esta invención tiene su aplicación en el sector de la industria optoelectrónica en general y, en particular, como componente fundamental en algunas técnicas ópticas de sensado remoto (por ejemplo, LIDAR); también en el tratamiento y procesamiento de materiales.

Estado de la técnica

En las últimas décadas se ha producido un desarrollo intenso y continuado de los sistemas láser de fibra óptica. La tecnología de fibra óptica permite diseñar sistemas que pueden presentar algunas ventajas respecto a los sistemas láser tradicionales. Entre ellas, podríamos destacar la buena calidad del haz láser y la simplicidad, flexibilidad y robustez de los sistemas de fibra óptica. El abanico de aplicaciones de los láseres de fibra óptica es muy amplio, cubriendo varios campos como son ciertas aplicaciones médicas, los sistemas de telecomunicaciones, el procesamiento de materiales y los sistemas sensores.

En líneas generales, un láser es un oscilador óptico formado por un medio activo o amplificador y una estructura que proporciona la realimentación positiva. En el caso concreto de los láseres de fibra óptica, el medio activo suele consistir en una sección de fibra óptica cuyo núcleo está codopado con alguna tierra rara, por ejemplo, erbio o yterbio. Por otra parte, las estructuras típicas que proporcionan realimentación positiva pueden ser cavidades ópticas resonantes, por ejemplo de tipo Fabry-Perot o de tipo anillo resonante, o estructuras más complejas como pueden ser las estructuras que proporcionan realimentación distribuida (DFB, en su acrónimo inglés) y estructuras con reflectores distribuidos (DBR, en su acrónimo inglés).

Del mismo modo que ocurre en el caso de los láseres tradicionales, existen láseres de fibra óptica de emisión continua ("CW") y de emisión pulsada. Los láseres de emisión continua ("CW") se caracterizan por la potencia máxima de emisión y por su longitud de onda. Los láseres de emisión pulsada se caracterizan por la energía total del pulso, debiéndose conocer además la potencia de pico, la duración del pulso y la frecuencia de repetición. En función del mecanismo que permite obtener la emisión pulsada se pueden encontrar, básicamente, dos tipos de láseres pulsados: láseres en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch") y láseres en régimen de sincronización en fase de modos ("mode-locking"). En los láseres pulsados de tipo de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), la emisión pulsada se obtiene modulando el factor de calidad (factor Q) de la cavidad láser. En estos sistemas, la frecuencia de emisión suele ser baja, del orden de kilohercios, la duración de los pulsos de nanosegundos, y las potencias de pico pueden llegar a kilovatios. En los láseres en régimen de sincronización en fase de modos ("mode-locking"), la emisión pulsada se obtiene introduciendo una modulación en la luz que se propaga en la cavidad, que puede ser de frecuencia o amplitud, y que fuerza a los modos lon-

gitudinales de la cavidad láser a oscilar en fase. La frecuencia de repetición de los pulsos emitidos suele ser de decenas de megahercios, y la duración de los mismos puede ser inferior a un picosegundo.

Existe una gama muy amplia de láseres de fibra óptica en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), basados tanto en técnicas de conmutación pasivas [véase Laroche, M. *et al.*, "Compact diode-pumped passively Q-switched tunable Er-Yb double-clad fiber laser", *Opt. Lett.*, vol. 27, pp. 1980-1982, Nov. 2002, así como, Paschotta, R. *et al.*, "Passively Q-switched 0.1 mJ fiber laser system at 1.53 μm ", *Opt. Lett.*, vol. 24, pp. 388-390, March 1999] como en técnicas de conmutación activas [véase Alvarez-Chávez, J. A. *et al.*, "High-energy, high-power ytterbium-doped Q-switched fiber laser", *Opt. Lett.*, vol. 25, pp. 37-39, Jan. 2000]. Los láseres de fibra óptica basados en régimen de conmutación activo del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), 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 o electro-ópticos. 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 añade 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 del sistema.

En los últimos años se han desarrollado algunos prototipos de láseres de fibra óptica en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch activo"), en los que la conmutación del factor Q de la cavidad láser no requiere extraer la luz de la fibra [véase Chandonnet, A. *et al.*, "High-power Q-switched erbium fiber laser using an all-fiber intensity modulator", *Opt. Eng.*, vol. 32, pp. 2031-2035, Sept. 1993, así como, Huang, D. W. *et al.*, "Q-switched all-fiber laser with an acoustically modulated fiber attenuator", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, pp. 1153-1155, Sept. 2000]. En estos sistemas, la computación 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".

La anchura espectral de la emisión láser es también una de las características básicas de un sistema láser. En la mayor parte de los láseres de fibra óptica, la cavidad resonante permite la oscilación de varios modos longitudinales que contribuyen a la emisión (en ocasiones, cientos de modos). Cada modo longitudinal oscila a una cierta longitud de onda óptica, siendo la separación espectral entre dos modos de oscilación adyacentes fija y característica de cada cavidad láser. En los láseres de onda continua ("CW") y en los de emisión pulsada en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), la anchura espectral de la emisión láser está determinada, en gran medida, por el número total de modos que contribuyen a ella. A mayor núme-

ro de modos, mayor es la anchura espectral de luz emitida.

En ciertas aplicaciones en las que se requieren fuentes de luz con una longitud de coherencia grande, como pueden ser algunas técnicas de sensado remoto (por ejemplo LIDAR) y las aplicaciones de espectrometría, son necesarios láseres muy estables con anchos de línea inferiores a un picómetro. Esta condición suele requerir que los láseres emitan un solo modo longitudinal de oscilación. En este sentido, los láseres de fibra con realimentación distribuida (láser DFB) constituyen una opción muy interesante ya que son sistemas cuya estructura es muy simple, emiten luz con un ancho de línea muy estrecho y, además, la relación señal-ruido es excelente.

Existen varias publicaciones que hacen referencia a láseres DFB de fibra óptica de emisión continua, como por ejemplo la de Loh, W. H. *et al.*, "Single-sided output Sn/Er/Yb distributed feedback fiber laser", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 69, pp. 2151, 1996, y también, Loh, W. H. *et al.*, *Electron. Lett.*, Vol. 31, pp. 1440, 1995. De hecho, algunas versiones de este tipo de láser ya están disponibles a nivel comercial [véase la página Web <http://www.koheras.dk>]. No ocurre lo mismo con los láseres con realimentación distribuida DFB de fibra óptica pulsados. En este sentido, sólo podemos mencionar la existencia de un único tipo de láser DFB de fibra óptica en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), basado en la generación de defectos mediante un modulador de carácter magnético [Pérez-Millán, P. *et al.*, "Active Q-switched distributed feedback erbium-doped fiber lasers", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 87, 011104, 2005]. El láser descrito en esta última referencia consiste en una red de Bragg grabada en una fibra óptica activa con un pequeño elemento magnetostrictivo pegado sobre ella. El estiramiento del elemento magnetostrictivo cuando se le aplica un campo magnético produce un estiramiento local de la fibra, generando la emisión de un pulso láser. En este láser, es necesario que el elemento magnetostrictivo esté pegado sobre la red de Bragg.

La patente de los Estados Unidos US 6510256 B1 describe un dispositivo pasivo para analizar el espectro de potencia de una señal óptica, basado en la propagación de un pulso elástico a lo largo de una red de Bragg de periodo no uniforme. En este dispositivo la red de Bragg está grabada en fibra fotosensible no activa, y es fundamental para su funcionamiento que el periodo de la red sea no uniforme.

Descripción de la invención

La invención objeto de esta patente es un láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), que emplea una técnica de modulación del factor Q basada en la propagación de una onda elástica a lo largo de la propia fibra óptica activa.

El láser consta de una sección de fibra óptica activa, dopada con algún tipo de tierra rara, en cuyo núcleo hay grabada una red de Bragg, de manera que cuando esta fibra se ilumina con luz procedente del sistema de bombeo proporciona la ganancia del láser. La característica principal de la invención reside en que la emisión del láser en régimen pulsado se consigue empleando una técnica de modulación del factor Q basada en la generación de una onda elástica y su posterior propagación a lo largo de la propia fibra

óptica activa, pudiendo ser dicha onda elástica longitudinal o transversal. Por tanto, la onda elástica se genera y propaga a través de un mecanismo de modulación que utiliza un elemento transductor generador de vibraciones que está unido a la fibra óptica. De esta forma, la excitación del elemento transductor produce una vibración del mismo, que se transmite a la sección de fibra dopada donde está grabada la red de Bragg en forma de una onda elástica, lo que genera la emisión de un pulso láser. En el caso de la onda elástica longitudinal, se excita el modo fundamental longitudinal del cilindro de sílice que forma la fibra óptica mientras que, en el caso de una onda elástica transversal, se excita el modo fundamental de flexión.

El elemento transductor generador de vibraciones puede estar unido directamente a la fibra óptica, o bien a través de una pieza de acoplo. En este último caso, la pieza que acopla el transductor con la fibra óptica puede tener una forma preferente con una base plana y un perfil abocinado que acaba en un vértice, pudiendo estar unido dicho elemento transductor generador de vibraciones a la base plana de la pieza de acoplo. En una configuración, cuando la propagación de una onda elástica sea longitudinal, la pieza de acoplo estará unida por su vértice a un extremo de la fibra óptica, de tal modo que el eje axial de la fibra y el eje de simetría de la pieza abocinada sean paralelos. En otra configuración, cuando la propagación de una onda elástica sea transversal, la pieza de acoplo estará unida por su vértice al lateral de la fibra óptica, de tal modo que el eje axial de la fibra y el eje de simetría de la pieza abocinada sean perpendiculares.

El elemento transductor generador de vibraciones puede ser un componente piezoeléctrico o magnetostrictivo. Cuando el transductor generador de vibraciones es piezoeléctrico, su control se realiza mediante regulación del voltaje eléctrico, mientras que si es magnetostrictivo, dicho control se consigue mediante la regulación de la intensidad eléctrica.

El pulso del láser se puede conseguir de varias maneras, según cómo sea la forma de onda del voltaje aplicado al transductor piezoeléctrico. Los modos más comunes resultan de aplicar al transductor piezoeléctrico una onda de voltaje sinusoidal o un tren de pulsos. En esta invención, la forma preferente de aplicar la tensión eléctrica al transductor piezoeléctrico es mediante una onda de voltaje en forma de tren de pulsos, debido a que la electrónica de control para este tipo de ondas es mucho más sencilla; además, cuando se emplea como onda de voltaje un tren de pulsos, se consigue que la emisión del dispositivo láser se realice mediante una serie de pulsos discretos de una manera más simple.

El material dopante activo que contiene la fibra óptica puede ser erbio, yterbio, neodimio, holmio o cualquier mezcla entre ellos. La fibra óptica fotosensible y dopada con material activo puede ser no birrefringente o de alta birrefringencia; este segundo tipo de fibra óptica se conoce también como fibra mantenedora de polarización. Otra característica óptica es que la red de Bragg grabada en la fibra óptica puede ser una red de Bragg de periodo no uniforme, (o, como se conoce técnicamente, una red de Bragg con "chirp"), y puede estar apodizada, de manera que el espectro resultante no presente lóbulos laterales. El dispositivo también consta de un sistema de excitación del material activo que comprende un diodo láser

de bombeo con salida de fibra y un acoplador de fibra óptica tipo multiplexor.

A continuación se destacan una serie de características que presenta la invención objeto de esta patente, que la diferencian de otras invenciones análogas conocidas en el estado de la técnica:

1) Se trata de un láser de fibra óptica pulsado DFB, en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"). La potencia de pico puede alcanzar varios vatios, y la frecuencia de repetición de los pulsos emitidos puede ser variada de manera continua desde 1 hercio hasta centenares de kilohercios.

2) La técnica de modulación del factor Q está basada en la propagación de una onda elástica en la propia fibra óptica. Cuando no existe onda elástica propagándose por la fibra, el sistema no emite ya que no se produce realimentación positiva. La propagación de la onda elástica genera una desfase local (un defecto en la red de Bragg), dando origen a un láser DFB con un factor Q alto y produciéndose la emisión de un pulso láser.

3) No existe contacto físico directo entre el modulador (formado por el transductor y la posible pieza de acoplo) y la red de Bragg. El punto de contacto entre el modulador y la fibra óptica se encuentra en la sección de fibra, bien anterior, o bien posterior a la sección donde está la red de Bragg.

4) La invención objeto de esta patente es un dispositivo activo, se trata de un láser que emite luz, a diferencia del dispositivo descrito en la patente de los Estados Unidos US 6510256 B1, que es un filtro variable puramente pasivo, donde no hay emisión de luz, y cuya aplicación es analizar el espectro de potencia de otras señales ópticas. Por otra parte, la invención descrita en esta patente está basada en la propagación de una onda elástica a lo largo de una red de Bragg de periodo uniforme, mientras que el dispositivo de la patente US 6510256 B1 está basado en la propagación de un pulso elástico a lo largo de una red de Bragg de periodo no uniforme, siendo indispensable esta característica de no uniformidad del periodo para el funcionamiento del dispositivo.

5) Los requerimientos de voltaje, en el caso del transductor piezoeléctrico, y de corriente en el caso del transductor magnetostrictivo, son muy bajos, pudiéndose satisfacer mediante sistemas electrónicos convencionales de baja potencia.

6) El láser emite con un solo modo longitudinal de oscilación, y puede emitir una polarización lineal, o las dos polarizaciones lineales ortogonales, simultáneamente.

7) La anchura espectral de la emisión láser es inferior a 1 picómetro.

8) La longitud de onda de emisión del láser puede ser ajustada durante el proceso de fabricación dentro de los siguientes intervalos: desde 1020 nm a 1180 nm, y desde 1525 nm a 1585 nm. Estos valores también son conocidos y empleados habitualmente en otros dispositivos, de forma que el sistema de generación y propagación mediante onda elástica preconizado en esta invención también permite una modulación en dichos rangos.

9) 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 de la fibra óptica. Como consecuencia, el sistema puede ser (a) más eficiente y (b) más estable desde un punto de

vista mecánico, no existiendo el problema del alineamiento de componentes.

Descripción de las figuras

Para comprender mejor el objeto de la presente invención, se incluyen unas figuras representativas de unas formas preferentes de realización práctica, susceptibles de cambios accesorios que no desvirtúen su fundamento.

La figura 1 muestra dos configuraciones posibles del láser de fibra óptica con realimentación distribuida, pulsado mediante ondas elásticas. (T) es el transductor, (FA) es la sección de fibra óptica activa en cuyo núcleo se ha grabado una red de Bragg, (B) es la pieza de perfil abocinado que conecta el transductor con la fibra óptica, (A) es un acoplador de fibra óptica y (P) es el sistema de bombeo, que proporciona luz de la frecuencia adecuada para excitar el medio activo de la fibra óptica activa. La figura 1 (a) es una configuración en la que el sistema modulador está en línea con FA, mientras que la figura 1 (b) es una configuración en la que el modulador está dispuesto perpendicularmente a la fibra (puede estar, indistintamente, a la izquierda o a la derecha de FA).

La figura 2 muestra un ejemplo de la emisión del láser de fibra óptica con realimentación distribuida, pulsado mediante ondas elásticas (línea continua), cuando la frecuencia de repetición es de 6.7 kHz. La forma de onda del voltaje aplicado al transductor piezoeléctrico es un tren de pulsos (línea discontinua).

La figura 3 muestra las curvas de calibración del láser de fibra óptica con realimentación distribuida pulsado mediante ondas elásticas, en función del voltaje aplicado al transductor piezoeléctrico.

La figura 4 muestra las curvas de calibración del láser de fibra óptica con realimentación distribuida pulsado mediante ondas elásticas, en función de la potencia de bombeo, para varias frecuencias de repetición.

La figura 5 muestra un ejemplo de la emisión del láser de fibra óptica con realimentación distribuida pulsado mediante ondas elásticas, cuando la forma de onda del voltaje aplicado al transductor piezoeléctrico es sinusoidal.

Descripción de un modo de realización preferente

A continuación se describe un ejemplo de realización práctica, no limitativa, de la presente invención. Este ejemplo de realización práctica está basado en la configuración que muestra la figura 1 (a) del láser de fibra óptica con realimentación distribuida, pulsado mediante ondas elásticas. El elemento transductor (T) consiste en un disco de material piezoeléctrico. La pieza de perfil abocinado (B) está realizada en vidrio, su base es circular de unos 10 mm de diámetro. Esta pieza está fijada por su base al piezoeléctrico y por su extremo a la fibra (FA). La fibra empleada como medio activo es fibra óptica monomodo a 980 nm, cuyo corazón está codopado con Erblio (Er). Utilizando una técnica estándar, se ha grabado una red de Bragg de reflectividad alta en el núcleo fotosensible de esta fibra. El medio activo se bombea a través de un acoplador (A) de tipo multiplexor WDM, estando formado el sistema de bombeo (P) por un diodo láser semiconductor conectorizado (con salida de fibra óptica), que emite luz de longitud de onda 980 nm.

El funcionamiento del sistema es el siguiente: cuando no se aplica ningún voltaje al transductor piezoeléctrico, el láser no emite puesto que no existe realimentación positiva. Cuando se aplica un pulso de

voltaje de las características adecuadas, el piezoeléctrico genera una onda elástica de presión que se propaga por la fibra óptica activa. La expansión (o compresión) de una sección pequeña de la fibra activa causada por la onda elástica da origen a una cavidad tipo DFB con un factor de calidad elevado, produciéndose la emisión de un pulso.

En este ejemplo de realización práctica, todos los elementos por los cuales se propaga la señal óptica son de fibra óptica, de modo que todos ellos están conectados entre sí mediante empalmes de fibra óptica por fusión.

Un ejemplo de funcionamiento del láser de fibra óptica con realimentación distribuida pulsado mediante ondas elásticas se representa en la figura 2 donde, con línea discontinua, se muestra la forma de onda del voltaje aplicado al transductor piezoeléctrico (en este caso se trata de un tren de pulsos de anchura 120 ns); la emisión del láser se muestra con línea continua. El láser responde emitiendo un pulso de luz por cada pulso de la señal eléctrica.

La respuesta del láser en función de la amplitud de la señal de voltaje que se aplica al piezoeléctrico puede visualizarse en la figura 3. La potencia de bombeo es 23 mW y la frecuencia de repetición de 10 kHz. La potencia de pico aumenta con el voltaje hasta alcanzar un valor máximo, decreciendo a partir de éste. Por el contrario la anchura decrece de forma monótona.

La respuesta del láser en función de la potencia de bombeo puede analizarse a la vista de la figura 4. La figura 4 (a) proporciona la potencia de pico de la

emisión láser para varias frecuencias de repetición. 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. Para cada frecuencia de repetición encontramos dos límites para el bombeo, uno inferior y otro superior. Para bombeos por debajo del inferior, el sistema no tiene suficiente ganancia para emitir un pulso óptico por cada pulso eléctrico, de manera que se obtiene un tren de pulsos irregular. Para bombeos por encima del límite superior, el sistema tiene exceso de ganancia y suele emitir varios pulsos ópticos por cada pulso eléctrico, e incluso suele aparecer una componente de emisión continua. Estos valores umbrales, tanto el inferior como el superior, aumentan a medida que aumentamos la frecuencia de repetición del láser. La figura 4 (b) muestra la anchura temporal de los picos para varias frecuencias de repetición. En todos los casos, la anchura decrece con el bombeo hasta un cierto valor mínimo. Este valor mínimo aumenta con la frecuencia de repetición.

El láser se puede hacer pulsar con otras formas de excitación del transductor piezoeléctrico. La figura 5 muestra un ejemplo de funcionamiento del láser DFB pulsado cuando la señal eléctrica aplicada al piezoeléctrico (en línea discontinua) es una señal sinusoidal en lugar de un tren de pulsos. En este ejemplo, la frecuencia del tren de pulsos emitido por el láser es de 120 kHz.

REIVINDICACIONES

1. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), que consta de una sección de fibra óptica activa, dopada con algún tipo de tierra rara, en cuyo núcleo hay grabada una red de Bragg, de manera que cuando esta fibra se ilumina con luz procedente del sistema de bombeo proporciona la ganancia del láser, **caracterizado** porque la emisión del láser en régimen pulsado se consigue empleando una técnica de modulación del factor Q basada en la generación de una onda elástica y su posterior propagación a lo largo de la propia fibra óptica activa, a través de un mecanismo de modulación que utiliza un elemento transductor generador de vibraciones que está unido a la fibra óptica, de forma que la excitación del elemento transductor produce una vibración del mismo, que se transmite a la sección de fibra dopada donde está grabada la red de Bragg en forma de una onda elástica, lo que genera la emisión de un pulso láser.

2. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en la reivindicación 1, **caracterizado** porque la emisión del láser en régimen pulsado se consigue empleando una técnica de modulación del factor Q basada en la propagación de una onda elástica longitudinal a lo largo de la propia fibra óptica activa, para lo que se excita el modo fundamental longitudinal de la fibra.

3. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en la reivindicación 1, **caracterizado** porque la emisión del láser en régimen pulsado se consigue empleando una técnica de modulación del factor Q basada en la propagación de una onda elástica transversal a lo largo de la propia fibra óptica activa, para lo que se excita el modo fundamental de flexión de la fibra.

4. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque el elemento transductor generador de vibraciones (T) está unido a la fibra óptica (FA) a través de una pieza de acoplo (B).

5. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque, la pieza (B) que acopla el transductor (T) con la fibra óptica (FA) tiene una base plana y un perfil abocinado que acaba en un vértice.

6. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque el elemento transductor generador de vibraciones (T) está unido a la base plana de la pieza de acoplo (B).

7. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en la reivindicación 2 y en cual-

quiera de las reivindicaciones 4, 5 y 6, **caracterizado** porque la pieza de acoplo (B) está unida por su vértice a un extremo de la fibra óptica (FA), de tal modo que el eje axial de la fibra (FA) y el eje de simetría de la pieza abocinada (B) sean paralelos.

8. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en en la reivindicación 3 y en cualquiera de las reivindicaciones 4, 5 y 6, **caracterizado** porque la pieza de acoplo (B) está unida por su vértice al lateral de la fibra óptica (FA), de tal modo que el eje axial de la fibra (FA) y el eje de simetría de la pieza abocinada (B) sean perpendiculares.

9. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el elemento transductor generador de vibraciones (T) es un componente piezoeléctrico, controlando la emisión de pulsos mediante la regulación del voltaje eléctrico.

10. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en la reivindicación 9, **caracterizado** porque la forma preferente de aplicar la tensión eléctrica al transductor piezoeléctrico es mediante una onda de voltaje en forma de tren de pulsos, simplificando la electrónica de control del dispositivo.

11. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el elemento transductor generador de vibraciones (T) es un componente magnetostrictivo, controlando la emisión de pulsos mediante la regulación de la intensidad eléctrica.

12. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado** porque el material dopante activo que contiene la fibra óptica es erbio, yterbio, neodimio, holmio o cualquier mezcla entre ellos.

13. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque la fibra óptica fotosensible y dopada con material activo es no birrefringente.

14. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado** porque la fibra óptica fotosensible y dopada con material activo es una fibra mantenedora de polarización (fibra de alta birrefringencia).

15. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado** porque la red de Bragg grabada en la fibra óptica es de periodo no uniforme (red de Bragg con "chirp").

16. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con

realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicación 1 a 15, **caracterizado** porque la red de Bragg grabada en la fibra óptica está apodizada, de manera que el espectro resultante no presente lóbulos laterales.

17. Láser de emisión pulsada de fibra óptica con

realimentación distribuida en régimen de conmutación del factor de calidad de la cavidad ("Q-switch"), según lo dispuesto en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizado** porque el sistema de excitación del material activo comprende un diodo láser de bombeo con salida de fibra y un acoplador de fibra óptica tipo multiplexor.

5

10

15

20

25

30

35

40

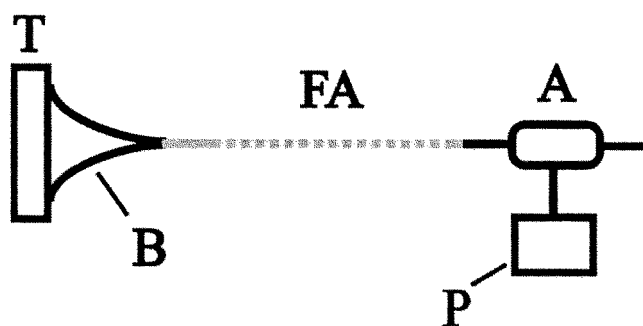
45

50

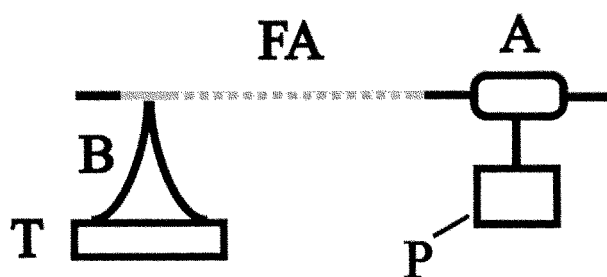
55

60

65



(a)



(b)

Figura 1

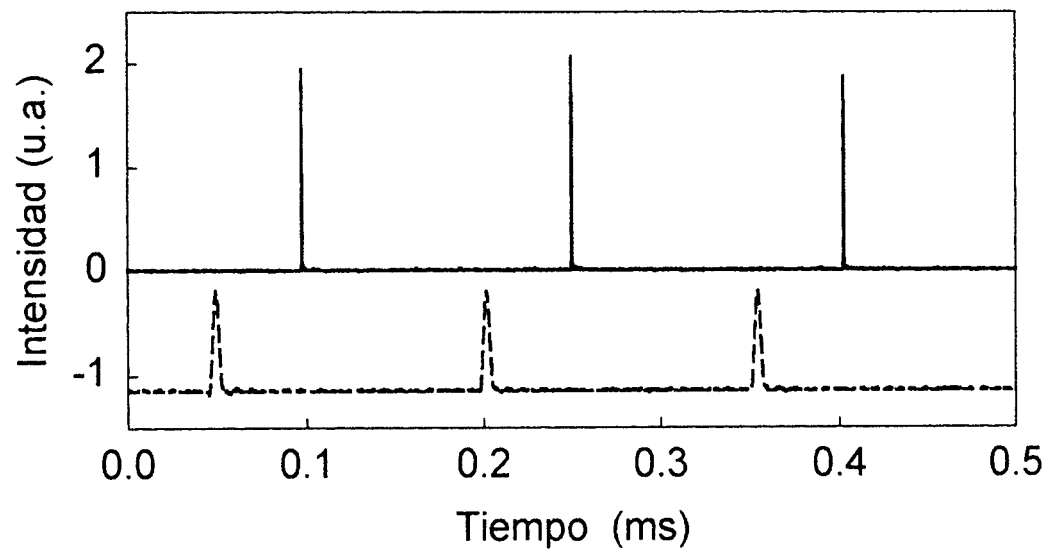


Figura 2

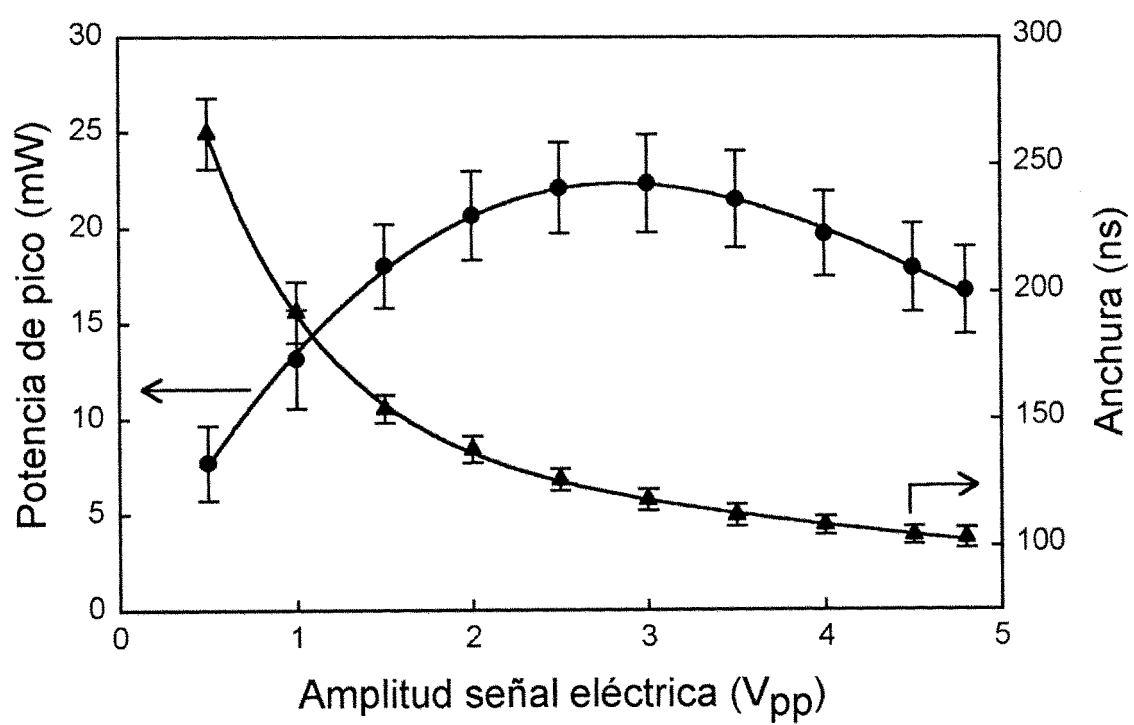


Figura 3

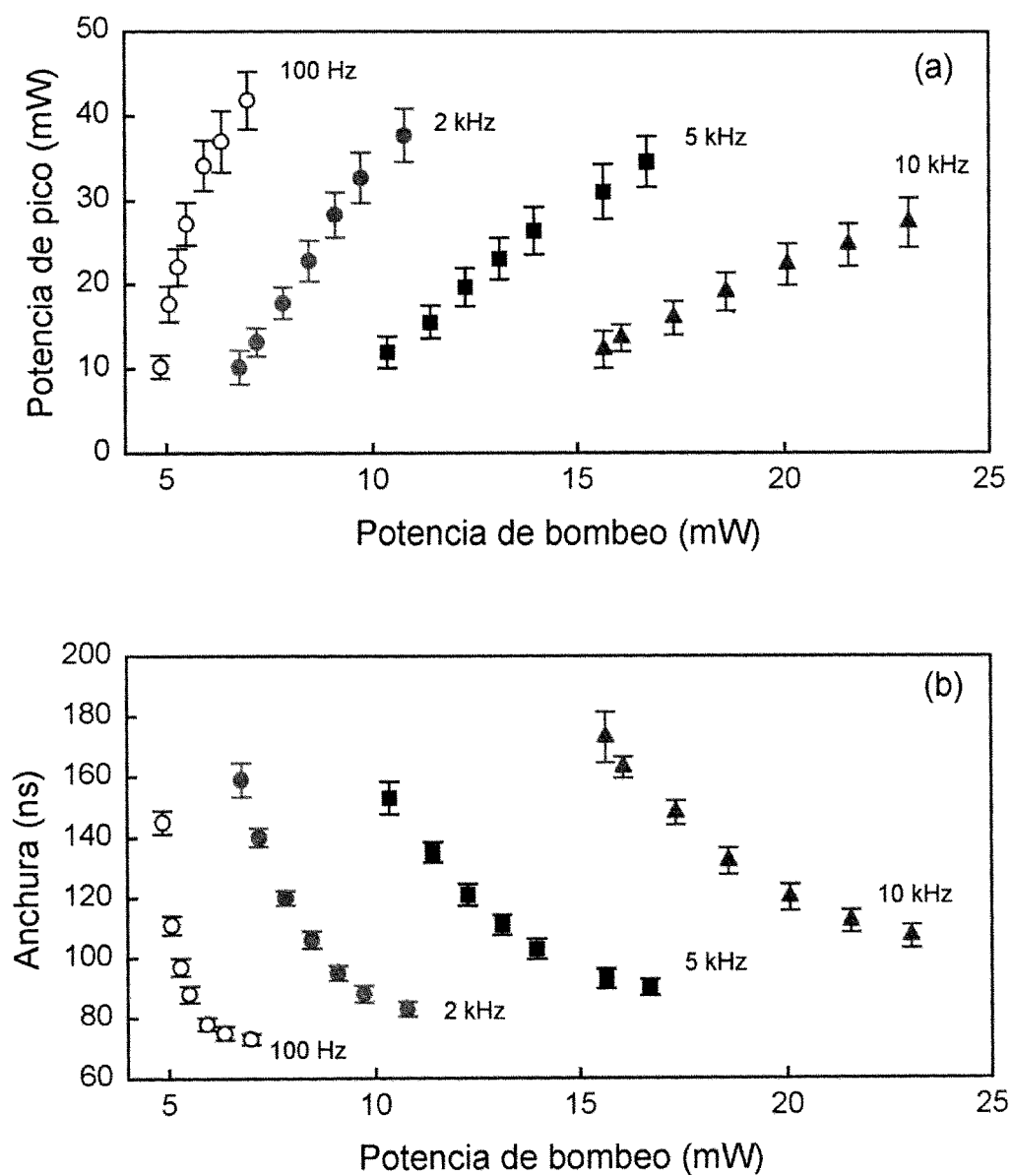


Figura 4

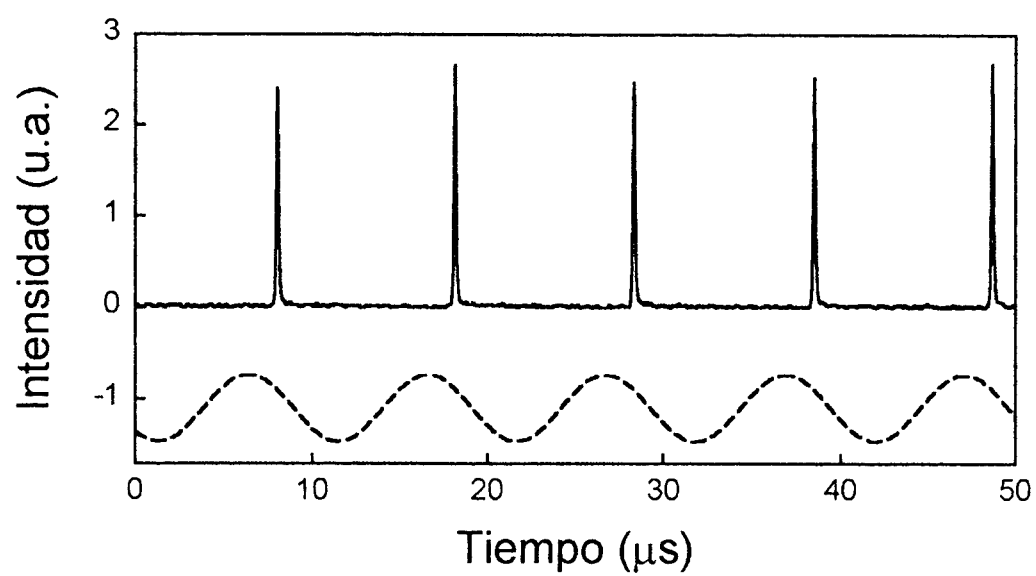


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 282 052

⑫ Nº de solicitud: 200700342

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: **02.02.2007**

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: **H01S 3/117** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ANDRÉS, M.; CRUZ, J.; DÍEZ, A.; PÉREZ-MILLÁN, P.; DELGADO-PINAR, M.; DUCHOWICZ, R.; ZALVÍDEA, D. & RUSSO, N.: "All-fibre Laser Active Q-Switching Techniques". ICTON 2005, páginas 331-336.	1-12,15,17 :
X	ANDERSEN, T.: "Applications of Nonlinear Optics and Optical Fibers". PhD thesis, Capítulo 5 (págs. 45-55). University of Aarhus, Dinamarca. Abril de 2006.	1,2,4,11, 12,16,17 9
A		
A	US 20020176125 A1 (ASSEH, A. et al.) 28.11.2002	
A	JP 06152041 A (FUJI ELECTRIC CO. LTD.) 31.05.1994	

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

08.05.2007

Examinador

O. González Peñalba

Página

1/1