

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
14 de diciembre de 2017 (14.12.2017) **WIPO | PCT**

(10) Número de publicación internacional
WO 2017/212098 A1

- (51) Clasificación internacional de patentes:
H01S 5/026 (2006.01)
- (21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2017/070406
- (22) Fecha de presentación internacional:
05 de junio de 2017 (05.06.2017)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:
P201600461 06 de junio de 2016 (06.06.2016) ES
- (71) Solicitantes: **UNIVERSIDAD DE ALCALÁ DE HENARES** [ES/ES]; Plaza de San Diego s/n, 28801 Alcalá de Henares (ES). **CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC)** [ES/ES]; C/ Serrano nº 117, 28006 Madrid (ES).
- (72) Inventores: **JIMÉNEZ RODRIGUEZ, Marco**; Plaza de San Diego s/n., 28801 Alcalá de Henares (ES). **MONTEAGUDO LERMA, Laura**; Plaza de San Diego s/n., 28801

Alcalá de Henares (ES). **NARANJO VEGA, Fernando B.**; Plaza de San Diego s/n., 28801 Alcalá de Henares (ES). **GONZÁLEZ HERRÁEZ, Miguel**; Plaza de San Diego s/n., 28801 Alcalá de Henares (ES). **MONROY FERNÁNDEZ, Eva M.**; Plaza de San Diego s/n., 28801 Alcalá de Henares (ES). **VILLAFRANCA VELASCO, Aitor**; Plaza de San Diego s/n., 28801 Alcalá de Henares (ES).

(74) Mandatario: **ISABEL CARVAJAL Y URQUIJO** et al.; C/ Suero de Quiñones 34-36, 28002 Madrid (ES).

(81) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: MODE-LOCKED PULSED LASER COMPRISING A SATURABLE ABSORBER

(54) Título: LÁSER PULSADO ANCLADO EN MODOS CON ABSORBENTE SATURABLE

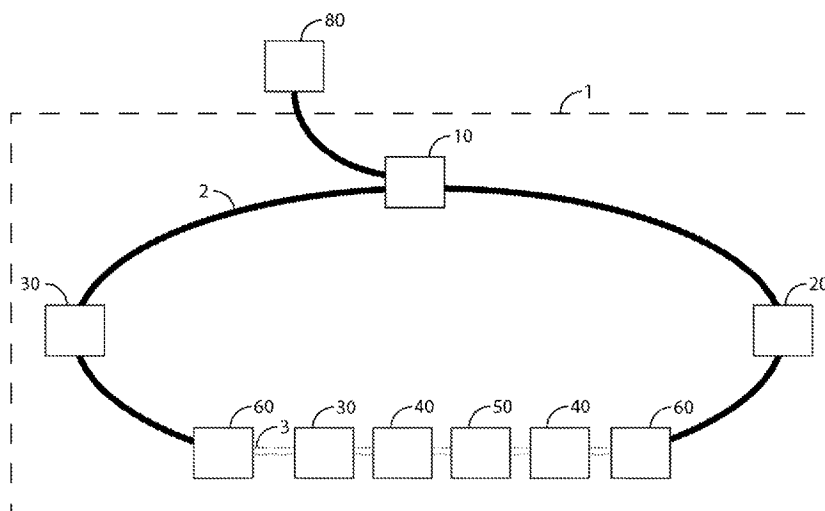


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a mode-locked pulsed laser in which the optical resonator (1) includes a saturable absorber (50) comprising group-III nitrides. The use of this type of material as a saturable absorber (50) allows a high level of emission energy and stability to be obtained, without increasing the complexity of the system.

(57) Resumen: Láser pulsado anclado en modos cuyo resonador (1) óptico comprende un absorbente saturable (50) basado en nitruros de grupo III. El uso de este tipo de materiales como absorbente saturable (50) permite alcanzar una elevada estabilidad y energía de emisión sin aumentar la complejidad del sistema.



WO 2017/212098 A1

(84) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declaraciones según la Regla 4.17:

— *sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea concedida una patente (Regla 4.17(ii))*

Publicada:

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

DESCRIPCIÓN

LÁSER PULSADO ANCLADO EN MODOS CON ABSORBENTE SATURABLE

5 **SECTOR DE LA TÉCNICA**

La presente invención se refiere al campo de las fuentes láser, y más concretamente a un láser pulsado anclado en modos basado en absorbentes saturables.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

Los láseres pulsados ultrarrápidos son sistemas emisores de luz capaces de concentrar una gran energía de radiación electromagnética en un período de tiempo muy breve, típicamente del orden de picosegundos a femtosegundos. Sus aplicaciones abarcan
15 sectores tan diversos como la medicina, la industria, las comunicaciones ópticas y la investigación científica. Entre sus aplicaciones más significativas cabe destacar, por ejemplo, la cirugía ocular, el micromecanizado de materiales, la generación de armónicos de orden superior o la espectroscopía no lineal.

20 Típicamente, los láseres ultrarrápidos comprenden un resonador con un medio de ganancia óptica, que genera en su salida uno o varios modos de oscilación con frecuencias ligeramente distintas y una relación de fase estable y definida, de manera que interfieran constructivamente durante la duración del pulso. En este tipo de láseres de anclado en modos (del inglés 'mode locked'), el periodo de repetición de los pulsos (T_{rep}), es decir, el
25 tiempo que transcurre entre la emisión de dos pulsos consecutivos, queda determinado por la longitud óptica del resonador. Asimismo, la potencia de pico de los pulsos depende linealmente con la potencia media y el tiempo de repetición de los pulsos, y es inversamente proporcional a la anchura de dichos pulsos (determinada a su vez por el tiempo de respuesta del material, entre otros factores).

30 Se conocen en el estado de la técnica diversas estrategias, tanto activas como pasivas, para conseguir el anclaje entre los modos de un láser. Entre los anclajes pasivos, destaca el uso de absorbentes saturables basados en semiconductores, así como de materiales que introducen efecto Kerr. En particular, los absorbentes saturables presentan un
35 comportamiento óptico no lineal, introduciendo pérdidas que dependen de la intensidad incidente, consiguiendo que las componentes más intensas del campo eléctrico

experimenten mayor ganancia neta y se vean favorecidas sobre el modo continuo. De esta forma, los pulsos suficientemente intensos, que se forman de manera aleatoria en la cavidad resonante del láser, pueden transmitirse, mientras que el fondo del láser se atenúa hasta virtualmente desaparecer. Las patentes US 5,488,620 A y US 5,436,925 A presentan
5 sendos ejemplos de anclaje de modos pasivo mediante absorbentes saturables basados en semiconductores.

Dentro del anclaje de modos mediante absorbentes saturables, se conoce un régimen de trabajo denominado 'modo solitón', obtenido en función de diferentes parámetros propios
10 del resonador: la no linealidad y dispersión de la fibra, longitud de cavidad resonante y rango de potencias de trabajo. En particular, se da el régimen de solitón para un determinado rango de potencia y un rango también de longitudes de la cavidad que verifican las siguientes condiciones:

- 15 – La potencia de pico en el resonador tiene que ser similar a la potencia de pico para generar el solitón.
- El periodo del solitón tiene que ser menor o igual que la longitud de la cavidad.

Los láseres que operan en modo solitón proporcionan una mayor estabilidad y una anchura
20 de pulso prácticamente independiente de otros parámetros del material o del elemento resonador. No obstante, para alcanzar este régimen es necesario implementar configuraciones de fibra ligeramente más complejas que combinan dispersión normal y anómala hasta conseguir alcanzar la condición de solitón, incrementándose así la complejidad global del montaje. Adicionalmente, se reduce el rango de operación en
25 términos de potencia máxima de trabajo.

A la hora de modular la radiación del láser en el interior del resonador, existen dos propiedades fundamentales de los semiconductores: la región prohibida de energía (del inglés 'bandgap') y los tiempos de relajación. La región prohibida de energía es la
30 separación entre las bandas de conducción y de valencia en un semiconductor, es decir, la banda en la cual existe una ausencia de niveles permitidos para los electrones y huecos. Por lo tanto, el valor de la región prohibida de energía está relacionado con los procesos ópticos de emisión/absorción que pueden ocurrir en el mismo, como por ejemplo la absorción de fotones o la emisión espontánea de fotones.

35 Cuando la radiación electromagnética incide sobre un semiconductor, dicha radiación

puede ser absorbida por el medio. Los electrones más externos, que en un estado relajado tienen una mayor probabilidad de encontrarse en la banda de valencia, pueden utilizar dicha energía para producir una transición, conocida como absorción óptica, para pasar a la banda de conducción y superar el bandgap, dejando un hueco en la banda de valencia.

5 Se crea así lo que se conoce como par electrón-hueco. Estos pares electrón-hueco poseen un tiempo de relajación, transcurrido el cual existe una gran probabilidad de que se recombinen, decayendo el electrón de nuevo a la banda de valencia. Este proceso de decaimiento puede llevar asociada la emisión de un nuevo fotón, cuya energía asociada será la energía del bandgap, en un proceso conocido como decaimiento radiativo. En otros
10 casos, el decaimiento del electrón a la banda de valencia no da lugar a la emisión de un nuevo fotón, produciéndose un decaimiento no radiativo.

En particular, cuando incide luz de alta intensidad óptica en un semiconductor, puede ocurrir que una gran cantidad de fotones sean absorbidos, produciendo que muchos
15 electrones puedan transitar desde la banda de valencia a la banda de conducción. Si esto ocurre, se puede dar el proceso conocido como saturación de la absorción interbanda, en el cual el borde de la banda de conducción se satura de electrones. En esta situación, la probabilidad de que un fotón de energía próxima al bandgap sea absorbido disminuye, provocando que el material se vuelva más transparente a dichos valores de energía. Es
20 decir, a mayor intensidad óptica incidente, mayor es la transmisión que presenta el material. Este fenómeno está directamente relacionado con el tiempo de decaimiento de los electrones en el semiconductor (tiempo de respuesta o tiempo de recuperación).

Por otro lado, existe la posibilidad de utilizar semiconductores que presenten saturación de
25 la absorción vía transición intrabanda (o intersubbanda). Esta transición no se da entre los bordes de la banda de valencia y la de conducción sino entre diferentes niveles de energía dentro de una de las dos bandas. Estas transiciones intrabanda (o intersubbanda) se obtienen mediante 'ingeniería de bandgap' de heteroestructuras basadas en pozos, puntos e hilos cuánticos. Aunque el uso de estas heteroestructuras supone una mayor complejidad
30 a la hora de optimizar el material para una determinada respuesta resonante a la longitud de onda de trabajo, las transiciones intrabanda (o intersubbanda) presentan tiempos de recuperación que pueden ser al menos un orden de magnitud menor que los obtenidos vía transiciones interbanda.

35 Así pues, los absorbentes saturables basados en semiconductor trabajan típicamente de acuerdo con este principio de funcionamiento utilizando tanto transiciones interbanda como

intrabanda (o intersubbanda). No obstante, los láseres pulsados anclados en modos basados en absorbentes saturables conocidos en el estado de la técnica presentan limitaciones en términos de potencia de pico, energía por pulso, estabilidad y rango de operación. Asimismo, presentan dependencias con la polarización que limitan su operación y aumentan la complejidad de los medios de acondicionamiento de señal incluidos en el resonador.

Por otra parte, es conocido el uso de nitruros de grupo III (AlN, InN, GaN y aleaciones) con diversas funcionalidades dentro del campo de las fuentes láser. Por ejemplo, US 2012/0127464 A1 incluye este tipo de nitruros como parte de un amplificador óptico de semiconductor (SOA, del inglés 'Semiconductor Optical Amplifier'). Por su parte, US 2012/0250714 A1 utiliza estos materiales como sustrato para guías de onda, US 2001/0036209 A1 en elementos aislantes y US 4,986,661 en cubiertas anti-reflejantes. Finalmente, US 7,031,365 utiliza guías de onda con regiones activas a base de nitruros del grupo III, si bien dichas regiones activas operan como galería susurrante (del inglés 'whispering gallery') sin producirse ningún anclaje de modos ni contar el dispositivo con absorbentes saturables. Ninguno de estos dispositivos permite, por lo tanto, solventar las limitaciones descritas para los láseres pulsados anclados en modos mediante absorbentes saturables previamente descritos.

Por lo tanto, sigue existiendo en el estado de la técnica la necesidad de un láser anclado en modos basado en absorbentes saturables que proporcione una mayor potencia de pico y energía de pulso, sin aumentar la complejidad del sistema.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención soluciona los problemas anteriormente descritos mediante un láser pulsado anclado en modos basado en un resonador con un medio de ganancia óptica y un absorbente saturable, en el que el absorbente saturable comprende al menos un nitruro del grupo III.

De acuerdo con diversas implementaciones preferentes, el nitruro de grupo III se selecciona de entre uno de los siguientes subgrupos, pudiendo no obstante un mismo absorbente saturable comprender elementos de varios subgrupos y/o múltiples elementos de un mismo subgrupo con el fin de configurar la longitud de onda y potencia de emisión del dispositivo:

- Un primer subgrupo formado por los compuestos binarios: nitruro de galio (GaN), nitruro de aluminio (AlN) o nitruro de indio (InN).
- 5 – Un segundo subgrupo formado por compuestos ternarios de nitruro de galio y nitruro de indio, como por ejemplo InGaN.
- Un tercer subgrupo formado por compuestos ternarios de nitruro de galio y nitruro de aluminio, como por ejemplo AlGaN.
- Un cuarto subgrupo formado por compuestos ternarios de nitruro de aluminio y nitruro de indio, como por ejemplo AlInN.
- 10 – Un quinto grupo formado por los compuestos cuaternarios de nitruro de galio, nitruro de aluminio y nitruro de indio, como por ejemplo AlInGaN.

Preferentemente, la longitud de onda de emisión del láser pulsado está comprendida en un rango comprendido entre 450 nm y 5 μ m. Es decir, el resonador y el absorbente saturable está configurado, mediante ingeniería de banda prohibida, para generar radiación electromagnética centrada en cualquier longitud de onda comprendida entre el espectro visible, el espectro infrarrojo cercano y el espectro infrarrojo medio.

En lo referente al formato del absorbente saturable dentro del resonador, se contemplan asimismo varias opciones preferentes:

- Un medio monolítico (del inglés 'bulk'), lo que permite el acceso a distintas configuraciones espaciales para la interacción de la radiación y el absorbente saturable.
- 25 – Una lámina delgada, lo que permite su desarrollo sobre sustratos adecuados y con distintas técnicas de depósito.
- Una guía de onda, para facilitar la integración del absorbente en estructuras complejas así como el acceso a distintos planos de incidencia cuando el absorbente está depositado en forma de lámina delgada.
- 30 – Una heteroestructura que comprende pozos cuánticos, puntos cuánticos y/o hilos cuánticos para optimizar y controlar su tiempo de respuesta y su respuesta óptica no-lineal. Nótese que dicha heteroestructura puede a su vez ser implementada en cualquiera de las modalidades anteriores (medio monolítico, lámina delgada y guía de onda).

35

Preferentemente, la propagación de señales dentro del resonador puede realizarse bien en

espacio libre, bien en un medio de fibra óptica, bien en una combinación de los dos anteriores. Asimismo, puede comprender preferentemente medios de colimación y/o enfoque tales como lentes u objetivos de microscopio para optimizar la interacción entre la radiación láser propagada por el resonador y el absorbente saturable.

5

En cuanto a la disposición de los elementos dentro del resonador, se contemplan dos geometrías preferentes:

10

- Un resonador en anillo, de modo que la radiación láser interactúa una única vez con el absorbente saturable en un recorrido completo por el resonador.
- Un resonador con uno o más elementos reflectantes, de modo que la radiación láser interactúa dos veces con el absorbente saturable en un recorrido completo por el resonador.

15

Preferentemente, y gracias a la flexibilidad de diseño proporcionada por el uso de nitruros del grupo III, el láser pulsado opera por encima del umbral límite de anclaje en modos en régimen de solitón. Es decir, mientras que en las fuentes láser pulsadas basadas en absorbentes saturables trabajando en modo solitón la potencia de emisión está limitada por dicho umbral, el láser pulsado de la invención no presenta esta restricción. En consecuencia, tanto la longitud óptica del resonador como la ganancia del medio de ganancia óptica están seleccionadas para operar por encima del dicho umbral, consiguiendo una mayor potencia de pico y energía de pulso. Además, el hecho de obtener el pulso fuera del régimen de solitón elimina la dependencia con la dispersión normal y anómala dentro de la cavidad láser.

25

También preferentemente, el resonador puede ser un resonador sin medios de acondicionamiento de polarización. Es decir, el uso de algunos nitruros del grupo III, como por ejemplo aquellos basados en InN/InGaN o InN monolítico, permite operar independientemente de la polarización de las señales propagadas por el resonador, simplificando notablemente el diseño y control del mismo.

30

35

El láser anclado en modos descrito proporciona, por lo tanto, una elevada potencia de pico, energía por pulso, estabilidad y rango de operación sin incrementar la complejidad del sistema. Asimismo, permite operar independientemente de la polarización, simplificando notablemente el diseño y el control del dispositivo. Éstas y otras ventajas de la invención serán aparentes a la luz de la descripción detallada de la misma.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5 Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, y para complementar esta descripción, se acompañan como parte integrante de la misma las siguientes figuras, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo:

10 La figura 1 muestra un láser anclado en modos basado en nitruros del grupo III con un resonador en anillo, de acuerdo con una implementación particular de la invención.

15 La figura 2 presenta un láser anclado en modos basado en nitruros del grupo III con un resonador implementado con elementos reflectantes, de acuerdo con una implementación particular de la invención.

La figura 3 ilustra un láser anclado en modos basado en nitruros del grupo III con un resonador en espacio libre, de acuerdo con una implementación particular de la invención.

20 La figura 4 ejemplifica una implementación particular del medio de ganancia óptica de la invención basado en una fibra dopada y un láser de bombeo.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

25 En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (como "comprendiendo", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir más elementos, etapas, etc.

30 La figura 1 presenta una realización preferente del láser pulsado de la invención que comprende un resonador (1) en anillo que combina propagación en un medio de fibra óptica (2) y en espacio libre (3). Nótese, no obstante, que todas las topologías de resonador utilizadas como ejemplos de la invención pueden implementarse también únicamente en fibra óptica (2), únicamente en espacio libre (3) o con cualquier combinación de los dos medios.

35 El láser comprende un acoplador (10) que permite extraer una parte de la señal pulsada

generada en el resonador (1) hacia una salida (80), mientras que el resto de dicha señal pulsada se mantiene en dicho resonador (1). Dentro del resonador (1), el dispositivo comprende también un medio de ganancia óptica (20) y un absorbente saturable (50), generalmente con su capa activa posicionada perpendicularmente al eje óptico del sistema, que introduce pérdidas dependientes de la intensidad dentro de la cavidad resonante. El resonador puede contar con cualquier medio adicional de acondicionamiento de señal (30), pudiendo dichos medios de acondicionamiento de señal (30) implementarse en la sección de propagación en fibra óptica (2) en la sección de propagación en espacio libre (3) o en ambos. Adicionalmente, el resonador comprende medios de transición (60) que actúan como interfaz entre el medio de fibra óptica (2) y la sección de propagación en espacio libre (3), y medios de optimización (40) que optimizan la interacción entre la radiación láser y el absorbente saturable (50).

Los medios de acondicionamiento de señal (30) pueden comprender, por ejemplo, aisladores en fibra óptica, polarizadores, láminas antirreflejantes, elementos para el control de la polarización, lentes ópticas, diafragmas, etc. Asimismo, los medios de acondicionamiento de señal (30) pueden comprender segmentos adicionales de fibra óptica (2) u otros elementos que introducen dispersión normal o anómala. Por ejemplo, en el caso de un absorbente saturable (50) con una heteroestructura basada en pozos y puntos cuánticos de GaN/AlN, se necesita un control de polarización de la luz y la colocación de dicho absorbente saturable con su capa activa con ángulo respecto a la dirección de propagación de la radiación electromagnética (eje óptico) para acceder a la polarización TM (transversal magnética) de la luz. Nótese, no obstante, que gracias al uso de nitruros del grupo III, es posible implementar láseres pulsados sin control de polarización dentro del resonador.

Los medios de optimización (40), de incluirse, pueden comprender cualquier dispositivo conocido en el estado de la técnica para colimar y/o enfocar radiación láser, como por ejemplo, lentes, objetivos de microscopio, fibras ópticas terminadas en lente, fibras ópticas estrechadas (del inglés 'tapered'), etc. Igualmente, los medios de transición (60) pueden comprender cualquier tecnología conocida en el estado de la técnica para pasar de un medio de fibra óptica (2) a un medio de propagación en espacio libre (3) y viceversa, con pérdidas optimizadas, como por ejemplo, colimadores ópticos, conjuntos de objetivo de microscopio y fibra óptica, etc.

Finalmente, el absorbente saturable (50) está basado en nitruros del grupo III, es decir

nitruros de galio, aluminio o indio y sus posibles aleaciones. Nótese que dichos nitruros del grupo III actúan directamente en el proceso de absorción saturada, independientemente de que el dispositivo comprenda o no otros nitruros del grupo III con otras funcionalidades ajenas a este proceso, como por ejemplo, la fabricación de sustratos o recubrimientos. Los nitruros del grupo III pueden estar integrados en distintas configuraciones, como por ejemplo, material masivo, láminas delgadas, heteroestructuras basadas en pozos, puntos e hilos cuánticos, guías de onda, etc.

El absorbente saturable (50) basado en nitruros del grupo III está preferentemente configurado para obtener pulsos ultrarrápidos (con frecuencias típicamente del orden de kilohertzios a megahertzios), de alta energía de pulso (típicamente del orden de picojulios a microjulios). Mediante ingeniería de banda prohibida (del inglés 'bandgap') del absorbente saturable, se determina la longitud de onda de emisión del láser pulsado, que puede abarcar desde 0.450 μm (visible) hasta 5 μm (infrarrojo medio). Adicionalmente, la gran estabilidad química y térmica de los nitruros del grupo III permite obtener una gran estabilidad en la señal óptica emitida por el láser, mientras que los rápidos tiempos de recuperación interbanda y/o intersubbanda de dichos materiales resultan en la generación de pulsos ultracortos (típicamente del orden de femtosegundos a picosegundos).

En particular, la frecuencia de operación del láser puede llegar hasta decenas de megahertzios, por ejemplo mediante un anillo de fibra de entre 1 y 10 metros de longitud utilizando un SOA como elemento amplificador. Asimismo, el láser puede emitir pulsos de hasta microjulios de energía de pulso y con una anchura de pulso desde los picosegundos hasta por debajo de los 100 fs. Además, la longitud de onda de emisión del láser pulsado puede abarcar desde 450 nm hasta 5 μm

La figura 2 presenta una topología alternativa al resonador (1) en anillo, en el que dicho resonador (1) comprende dos reflectores (70) en sus extremos. En el caso del reflector (70) en fibra óptica (2), puede implementarse por ejemplo mediante redes de Bragg. En el caso del reflector (70) en espacio libre (3), dicho reflector (70) puede implementarse mediante espejos como por ejemplo DBRs (reflector distribuido de Bragg, del inglés 'Distributed Bragg Reflector'), láminas delgadas de un material de alta reflectividad a la longitud de onda de trabajo o cualquier otro reflector. Nótese que en este caso, la radiación electromagnética generada atraviesa dos veces el absorbente saturable (50) antes de ser amplificada por los medios de ganancia óptica (20), lo que determina el diseño del absorbente saturable (50). Por ejemplo, en el caso de heteroestructuras cuánticas, puede

ser necesario reducir el número de periodos respecto a la topología en anillo, así como reducir la longitud de guías de ondas o el espesor de láminas delgadas o estructuras monolíticas.

5 La figura 3 presenta una tercera topología de resonador (1) en espacio libre (3) con un reflector (70) en un extremo y un divisor de haz (90) en el extremo opuesto. Dicho divisor de haz (90) refleja una parte de la radiación, manteniéndola en el interior del resonador (1), y extrae otra parte de la radiación hacia la salida (80).

10 Finalmente, la figura 4 presenta con mayor detalle los elementos que conforman una posible implementación del medio de ganancia óptica (20). Dichos medios de ganancia óptica (20) comprenden, en este caso, una fuente de bombeo (21) y un medio activo (22). La fuente de bombeo (21) es típicamente un diodo láser, mientras que el medio activo (22) puede ser una fibra dopada con un lantánido, como por ejemplo Erblio, Yterbio o Praseodimio. Tanto la frecuencia de emisión de la fuente de bombeo (21) como el rango
15 de amplificación de la fibra dopada (22) están adaptados a la longitud de onda de absorción del absorbente saturable (50) basado en nitruros del grupo III utilizado. Nótese, no obstante, que es posible implementar el medio de ganancia óptica (20) con cualquier otra técnica de amplificación conocida para láseres anclados en modos en el estado de la
20 técnica, siempre que opere con la ganancia y longitud de onda requeridos por el absorbente saturable (50) basado en nitruros del grupo III, como por ejemplo puede ser el caso de los amplificadores ópticos de semiconductor. Nótese asimismo que el medio de ganancia óptica (20) puede implementarse también en espacio libre, por ejemplo, mediante gases como He-Ne o Argón, o cristales como rubí o Nd-YAG, entre otros. En cualquiera de los
25 casos, el medio de ganancia óptica (20) comprende una banda de amplificación que comprende la longitud de onda a la que está optimizado el absorbente saturable (50).

Nótese que el láser pulsado de la invención puede comprender cualquier medio de amplificación y/o acondicionamiento adicional de manera externa al resonador (1). En
30 particular, puede comprender un amplificador siguiendo un esquema MOPA (Amplificador de potencia de oscilador maestro, del inglés 'Master Oscillator Power Amplifier'), permitiendo aumentar la potencia de los pulsos generados en el resonador (1) y reducir su duración temporal. El amplificador puede implementarse siguiendo el esquema previamente descrito para la figura 4, o utilizar cualquier otro esquema de amplificación
35 alternativo.

A la vista de esta descripción y figuras, el experto en la materia podrá entender que la invención ha sido descrita según algunas realizaciones preferentes de la misma, pero que múltiples variaciones pueden ser introducidas en dichas realizaciones preferentes, sin salir del objeto de la invención tal y como ha sido reivindicada.

5

El trabajo que ha dado lugar a esta invención ha recibido financiación del programa EURAMET a través del proyecto 14IND13 JRP-i22, así como del plan Nacional de I+D del Ministerio de Economía y Competitividad con el proyecto TEC2012-37958-C02-01.

REIVINDICACIONES

1. Láser pulsado anclado en modos que comprende un resonador (1) óptico con al menos un medio de ganancia óptica (20) y un absorbente saturable (50),
5 caracterizado por que el absorbente saturable (50) comprende al menos un nitruro de grupo III.
2. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III pertenece a un primer subgrupo formado por nitruro de galio, nitruro de aluminio y nitruro de indio.
10
3. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III pertenece a un segundo subgrupo formado por compuestos ternarios de nitruro de galio y nitruro de aluminio.
15
4. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III pertenece a un tercer subgrupo formado por compuestos ternarios de nitruro de galio y nitruro de indio.
- 20 5. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III pertenece a un cuarto subgrupo formado por compuestos ternarios de nitruro de aluminio, y nitruro de indio.
6. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 1 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III pertenece a un quinto subgrupo formado por compuestos cuaternarios de nitruro de galio, nitruro de aluminio y nitruro de indio.
25
7. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el resonador (1) está configurado para emitir a una longitud de onda comprendida en un rango que abarca desde un espectro visible hasta un espectro infrarrojo medio
30
8. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III está integrado como medio monolítico.
35

9. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III está integrado como lámina delgada.
- 5 10. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III está integrado como guía de onda.
- 10 11. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que al menos un nitruro de grupo III está integrado como heteroestructura seleccionada de entre una heteroestructura de pozos cuánticos, una heteroestructura de puntos cuánticos y una heteroestructura con hilos cuánticos.
- 15 12. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el resonador (1) comprende un medio de fibra óptica (2).
13. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 caracterizado por que el resonador (1) es un resonador en espacio libre (3).
- 20 14. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 caracterizado por que el resonador (1) comprende un medio de fibra óptica (2) y una sección de propagación en espacio libre (3).
- 25 15. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 14 caracterizado por que el resonador (1) comprende medios de transición (60) que actúan como interfaz entre el medio de fibra óptica (2) y la sección de propagación en espacio libre (3).
16. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el resonador (1) es un resonador en anillo.
- 30 17. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16 caracterizado por que el resonador (1) es un resonador en reflexión que comprende al menos un reflector (70).
- 35 18. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el resonador (1) comprende medios de optimización (40) adaptados para optimizar la interacción entre una radiación láser y el absorbente

saturable (50).

- 5 19. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que una longitud óptica del resonador (1) y una ganancia del medio de ganancia óptica (20) están configurados para operar por encima de un umbral límite de anclaje de modos en régimen de solitón.
- 10 20. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que el resonador (1) es un resonador sin medios de acondicionamiento (30) de polarización.
21. Láser pulsado de acuerdo con la reivindicación 20 caracterizado por que al menos un nitruro del grupo III comprende nitruro de indio.
- 15 22. Láser pulsado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores caracterizado por que comprende medios de amplificación externos al resonador (1) óptico.

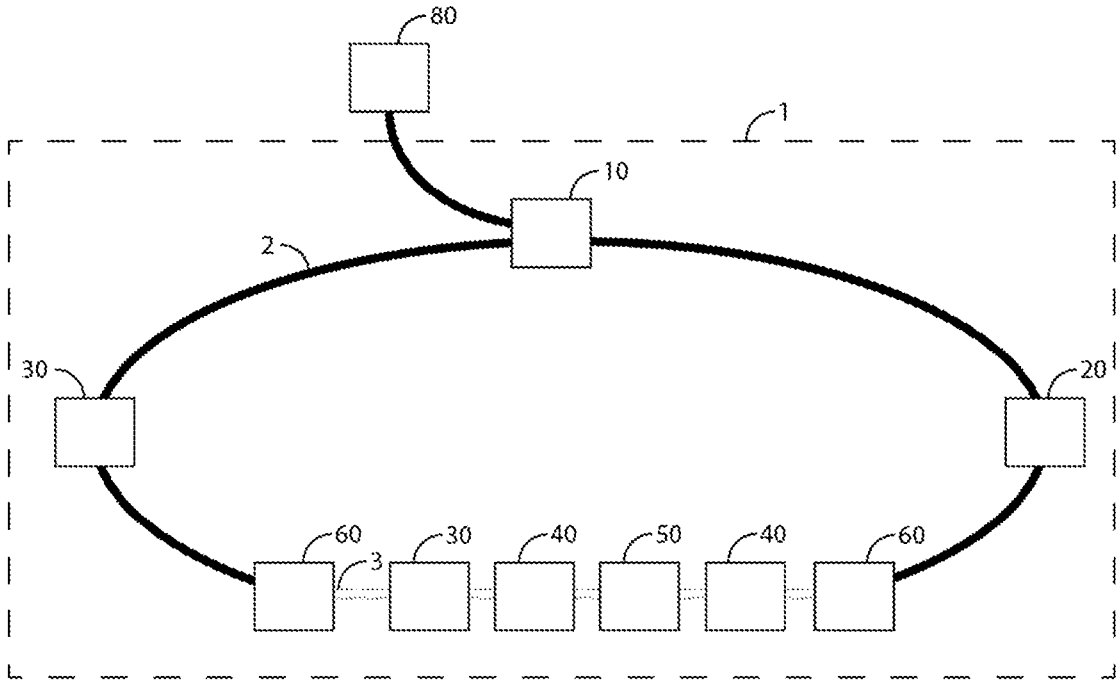


Fig. 1

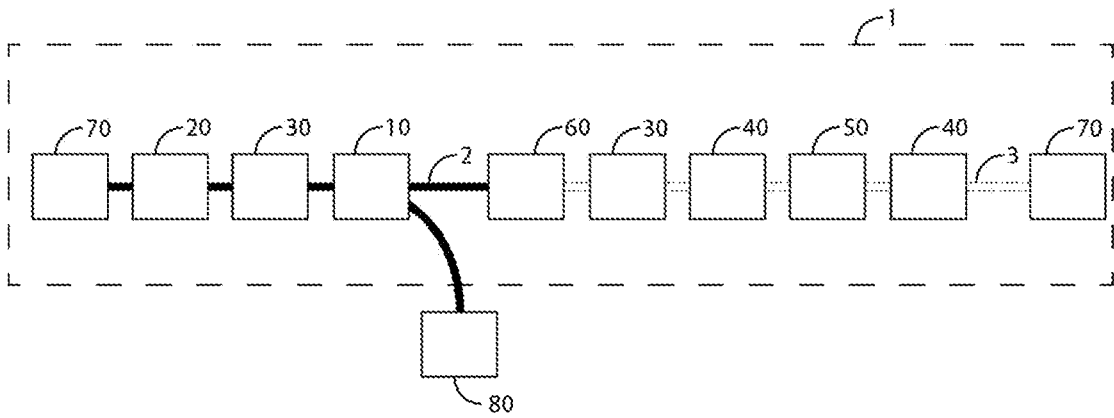


Fig. 2

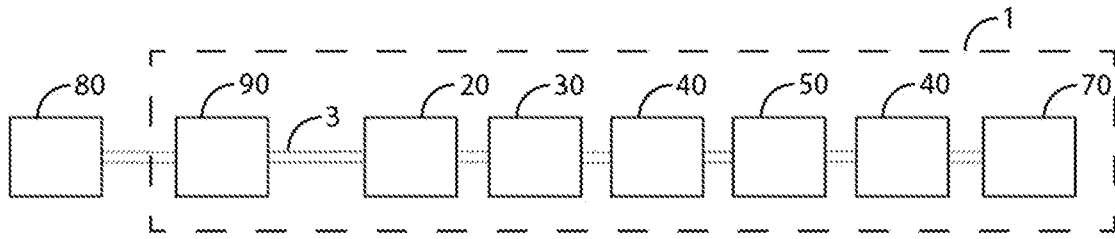


Fig. 3

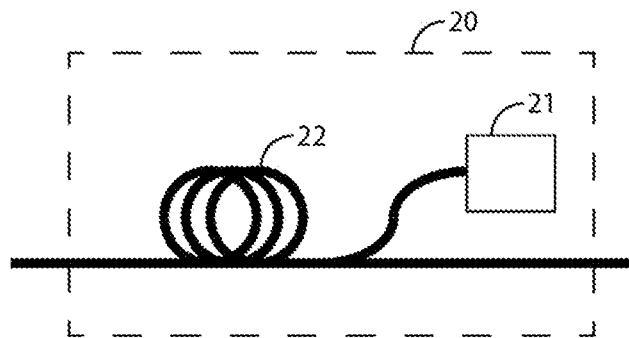


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2017/070406

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/026 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S, H01L, G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5436925 A (LIN, H. ET AL.) 25/07/1995, abstract; column 4, lines 48-54; column 4, line 65 - column 5, line 8; column 5, lines 27-50, 60-66; column 6, lines 20-46; figures.	1-22
X	JP 2005101642 A (RICOH KK) 14/04/2005, abstract; paragraphs [0001], [0013]-[0015], [0019], [0024]-[0027], [0029], [0035]; figure 1.	1-22
X	JP 2003031898 A (SHARP KK) 31/01/2003, abstract; paragraphs [0001]-[0004], [0006]-[0009], [0014]-[0021]; figures.	1-22
A	JP 2007201514 A (SHARP KK) 09/08/2007, the whole document.	1-6, 9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search
19/09/2017

Date of mailing of the international search report
(20/09/2017)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer
Ó. González Peñalba

Telephone No. 91 3495475

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/ES2017/070406

C (continuation).

DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5488620 A (MINDEN, M.) 30/01/1996, the whole document.	1-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

Information on patent family members

PCT/ES2017/070406

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US5436925 A	25.07.1995	JPH07307511 A EP0670617 A1 EP0670617 B1 DE69502642T T2	21.11.1995 06.09.1995 27.05.1998 17.09.1998
----- JP2005101642 A	----- 14.04.2005	----- JP4437438B B2	----- 24.03.2010
----- JP2003031898 A	----- 31.01.2003	----- JP4756784B B2	----- 24.08.2011
----- JP2007201514 A	----- 09.08.2007	----- JP4425948B B2	----- 03.03.2010
----- US5488620 A	----- 30.01.1996	----- NONE	----- -----

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2017/070406

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD
H01S5/026 (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
H01S, H01L, G02B

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

EPODOC, INVENES, WPI, INSPEC

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	US 5436925 A (LIN, H. ET AL.) 25/07/1995, resumen; columna 4, líneas 48-54; columna 4, línea 65 - columna 5, línea 8; columna 5, líneas 27-50, 60-66; columna 6, líneas 20-46; figuras.	1-22
X	JP 2005101642 A (RICOH KK) 14/04/2005, resumen; párrafos [0001], [0013]-[0015], [0019], [0024]-[0027], [0029], [0035]; figura 1.	1-22
X	JP 2003031898 A (SHARP KK) 31/01/2003, resumen; párrafos [0001]-[0004], [0006]-[0009], [0014]-[0021]; figuras.	1-22
A	JP 2007201514 A (SHARP KK) 09/08/2007, todo el documento.	1-6, 9

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
19/09/2017

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
20 de septiembre de 2017 (20/09/2017)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
Ó. González Peñalba
Nº de teléfono 91 3495475

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2017/070406

C (Continuación).		DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
A	US 5488620 A (MINDEN, M.) 30/01/1996, todo el documento.	1-22

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2017/070406

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US5436925 A	25.07.1995	JPH07307511 A EP0670617 A1 EP0670617 B1 DE69502642T T2	21.11.1995 06.09.1995 27.05.1998 17.09.1998
-----	-----	-----	-----
JP2005101642 A	14.04.2005	JP4437438B B2	24.03.2010
-----	-----	-----	-----
JP2003031898 A	31.01.2003	JP4756784B B2	24.08.2011
-----	-----	-----	-----
JP2007201514 A	09.08.2007	JP4425948B B2	03.03.2010
-----	-----	-----	-----
US5488620 A	30.01.1996	NINGUNO	
-----	-----	-----	-----