

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 970 847**

51 Int. Cl.:

H01S 3/067

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.05.2014** **PCT/ES2014/070382**

87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014** **WO14181018**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.05.2014** **E 14794740 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2023** **EP 2894733**

54 Título: **Dispositivo emisor de luz supercontinua de banda ancha y usos del mismo**

30 Prioridad:

07.05.2013 ES 201300435

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

30.05.2024

73 Titular/es:

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (100.0%)
Avda. Blasco Ibañez, 13
46010 Valencia, ES

72 Inventor/es:

ANDRÉS BOU, MIGUEL VICENTE;
CRUZ MUÑOZ, JOSÉ LUIS;
DÍEZ CREMADES, ANTONIO;
BARMENKOV, YURY y
PÉREZ MILLÁN, PERE

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ POVEDA, Sara

ES 2 970 847 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo emisor de luz supercontinua de banda ancha y usos del mismo

5 Sector de la técnica

La presente invención concierne, en general, a un dispositivo emisor de luz supercontinua de banda ancha, que incluye una fibra óptica no lineal que genera y emite luz supercontinua al ser excitados sus efectos no lineales mediante pulsos de luz láser, y más en particular a un dispositivo donde dichos pulsos de luz láser son de naturaleza caótica y que
10 emite luz supercontinua en forma de pulsos de luz distribuidos en el tiempo de forma aleatoria.

La invención también concierne a una serie de usos del dispositivo propuesto para múltiples aplicaciones.

Estado de la técnica anterior

En el estado de la técnica son conocidos diversos dispositivos emisores de luz supercontinua de banda ancha, algunos de los cuales se citan a continuación.

Las fuentes de luz supercontinuas disponibles comercialmente se basan en láseres de picosegundos trabajando en régimen de sincronización en fase de los modos de la cavidad láser, normalmente llamado "mode lock", que excitan fibras de cristal fotónico no lineales. La tecnología de láseres "mode-lock" es cara y por ello las fuentes supercontinuas de potencia superior a 1 W tienen precios de 40.000 euros. Estas fuentes tienen dos propiedades importantes: por una parte, constituyen una alternativa a las lámparas halógenas para espectroscopía y, por otra parte, generan un peine de frecuencias coherente de aplicación en metrología y espectroscopía con resolución temporal.

Otras fuentes de luz supercontinuas utilizan como sistema de excitación un sistema láser de fibra trabajando en régimen de conmutación del factor Q de la cavidad, normalmente llamado "Q-switch", el cual comprende un medio de ganancia de fibra dopada que está siendo continuamente bombeado por una fuente bomba, y proporciona unos pulsos láser de mayor energía y duración que los generados por los láseres "mode lock".

Tanto los láseres tipo "mode lock" como los tipo Q-switch" precisan de algún tipo de modulador de amplitud, fase o frecuencia, ya sea activo o pasivo.

El documento de patente CN102130413 describe una fuente láser supercontinua de tipo fibra óptica completa basada en una fibra óptica de Sílice dopada multi-componente. No se indica en dicho documento que la fibra utilizada sea no lineal. Los autores se basan en una fuente de bombeo láser semiconductor, una fibra óptica con doble revestimiento dopado con Yb, en una configuración tipo "Q-switch", y una fibra óptica de Sílice dopada multicomponente, para obtener una fuente láser supercontinua con una forma estructural simple, una potencia de salida alta y un rango espectral ancho y plano.

La cavidad de la fuente láser propuesta en CN102130413 emplea dos redes de Bragg de alta reflectividad, por lo que la eficiencia de emisión de luz láser ha de ser por fuerza muy baja al requerir reflectores de alta reflectividad en ambos extremos de la cavidad.

En la solicitud internacional WO2011124867A1 se describe un dispositivo emisor de luz supercontinua capaz de emitir luz entre los rangos infrarrojo y ultravioleta, que comprende una fuente láser y una fibra óptica microestructurada no lineal dispuesta para recibir el haz láser emitido por la fuente láser y generar y emitir la luz supercontinua, incluyendo el dispositivo unos medios para variar la duración de los pulsos de luz supercontinua emitidos.

En general, los láseres de fibra óptica (salvo alguna rara excepción como es el caso de CN102130413) no proporcionan inicialmente suficiente potencia y precisan de una etapa amplificadora para poder generar luz supercontinua, lo que viene a duplicar el número de componentes respecto al caso de poder emplear solo el láser.

El documento "Cr4+:YAG chirped-pulse oscillator", de New J Phys. 2008 August 10. pii: 083022. Sorokin E et al. Institut für Photonik, TU Wien, Gusshausstr. 27/387, A-1040 Vienna, Austria, describe una operación de "chirped-pulse" de un láser "mode-locked" pasivo Cr:YAG. Investigan diferentes regímenes de operación del láser en la vecindad de la dispersión cero. Muestran que para una configuración láser dada, la transición a la dispersión positiva permite un aumento de 5 veces en la energía del pulso de salida, aunque este aumento está limitado por la aparición del multipulso o "chaotic mode-locking". Los pulsos de salida tienen 1,4 ps de duración y se han reducido a 120 fs en una pieza de 3 m de fibra de sílice, lo que permite generación de supercontinuo en una fibra no lineal. La forma del espectro y la estabilidad del régimen "chirped-pulse" dependen fuertemente de la cantidad y la forma de la dispersión dentro de la cavidad.

Nota: "Chirped pulse amplification" (CPA) es una técnica para amplificar un pulso de láser ultracorto hasta el nivel del petavatio con el pulso de láser que se extendió temporal y espectralmente antes de la amplificación.

El documento "Chaos in the pulse spacing of passive Q-switched all-solid-state lasers", Marcelo Kovalsky y Alejandro Hnilo, OPTICS LETTERS / Vol. 35, No. 20 / October 15, 2010, describe la verificación experimental y teórica de que en un láser tipo "Q-switch" de Cr-YAG bombeado con un diodo, las inestabilidades en la separación entre impulsos ("jitter") se rigen por el caos determinista de bajas dimensiones. La caracterización lograda en el estudio de la dinámica estudiada y sus principales parámetros abre una puerta a formas efectivas para reducir el "jitter", que es de interés práctico, a través de mecanismos de control de caos. A la inversa, la dificultad en la predicción de la separación entre impulsos hace que este sistema sea atractivo para comunicaciones encriptadas de alta potencia, en espacio libre, basadas en una modulación robusta tipo Frecuencia-Modulada de un láser caótico.

Puede afirmarse, por tanto, que un experto en la materia conoce, por dichos dos documentos, los problemas de inestabilidad que supone el uso de régimen caótico en un láser "Q-switch" o un láser caótico, puesto que éste no permite obtener una emisión de luz de una manera controlada.

El documento WO 2009/070768 describe un sistema para generar luz supercontinua usando un láser en configuración "mode-lock".

Explicación de la invención

Aparece necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que cubra las lagunas halladas en el mismo, proporcionando un dispositivo emisor de luz supercontinua que sea eficiente pero más sencillo y económico que los conocidos, prescindiendo de gran parte de los componentes que incluyen los dispositivos de luz supercontinua del estado de la técnica.

Con tal fin, la presente invención concierne a un dispositivo emisor de luz supercontinua de banda ancha tal y como se define en la reivindicación 1 Este dispositivo comprende:

- una fibra óptica no lineal;
- un sistema de bombeo;
- una cavidad; y
- un medio activo, ubicado dentro de dicha cavidad, configurado y dispuesto para, por un bombeo proporcionado por dicho sistema de bombeo generar y emitir pulsos de luz láser hacia dicha fibra óptica no lineal que exciten los efectos no lineales de la misma para la generación y emisión de dicha luz supercontinua por un extremo de salida de la fibra óptica no lineal.

A diferencia de los dispositivos emisores de luz supercontinua de banda ancha conocidos, en el propuesto por la presente invención, la cavidad y el medio activo del mismo están configurados para que los pulsos de luz láser generados y emitidos por el medio activo sean pulsos de luz caóticos que exciten los efectos no lineales de la fibra óptica no lineal para que genere y emita luz supercontinua en forma de pulsos de luz distribuidos en el tiempo de forma aleatoria.

Para un ejemplo de realización preferido, el dispositivo de la presente invención comprende como mínimo un elemento de baja reflectividad ($<0,1$) dispuesto en o próximo al extremo de salida de la fibra óptica no lineal, tal y como reivindicado, teniendo dicha baja reflectividad preferentemente un valor comprendido entre -10 dB y -70 dB, y de manera más preferida de entre -30 dB y -50 dB.

Para un ejemplo de realización el mencionado elemento de baja reflectividad es una terminación no colimadora de la fibra óptica no lineal cortada en ángulo, mientras que para un ejemplo de realización alternativo el elemento de baja reflectividad es una terminación colimadora parcialmente reflectante del extremo de salida de la fibra óptica no lineal, tal como una terminación fundida en forma de microesfera, una lente colimadora con capa antireflectante montada en el extremo de salida de la fibra óptica no lineal o un colimador externo conectado al extremo de salida, cortado en ángulo, de la fibra óptica no lineal.

Según un ejemplo de realización, la fibra óptica no lineal es una fibra microestructurada no lineal.

De manera muy preferida, en especial por el alto rendimiento obtenido, la fibra óptica no lineal está dispuesta dentro de dicha cavidad, en general fundida con el medio activo, aunque para otros ejemplos de realización menos preferidos ésta puede ser externa, en cuyo caso el elemento de baja reflectividad está dispuesto al final de la cavidad y se focaliza la luz que sale por el mismo en la fibra óptica no lineal, aunque la eficiencia de esta construcción es mucho menor, ya que existen problemas de pérdida de luz y problemas de inestabilidad porque cualquier pequeña reflexión hacia el láser lo desestabiliza y además las vibraciones pueden afectar a la focalización de la luz en la fibra óptica no lineal.

Según un ejemplo de realización, el mencionado medio activo comprende una porción de fibra activa con un extremo de salida conectado con un extremo de entrada de la fibra óptica no lineal, y el sistema de bombeo comprende un diodo de bombeo dispuesto en un extremo de entrada de dicha porción de fibra activa para emitir luz hacia su interior.

Para una variante preferida de dicho ejemplo de realización, la fibra activa tiene su núcleo dopado con Iterbio (Yb), aunque para otras variantes menos preferidas éste está dopado con al menos uno de los siguientes elementos: Erblio (Er), Neodimio (Nd), Tulio (Tm) y Holmio (Ho), teniendo que diseñarse la fibra activa no lineal para que funcione en el régimen no lineal a la longitud de onda en que emita la fibra activa, que, por ejemplo, en el caso del dopaje con Er es en la banda de 1550 nm .

El dispositivo de la invención comprende, de acuerdo con un ejemplo de realización, un tramo de fibra adaptadora que interconecta al extremo de salida de la porción de fibra activa con el extremo de entrada de la fibra óptica no lineal.

Según la invención, el dispositivo comprende como mínimo un elemento de alta reflectividad ($>0,9$) dispuesto previo a un extremo de entrada de la porción de fibra activa, antes o después del punto de inserción de la luz proporcionada por dicho diodo de bombeo.

Adicionalmente, el dispositivo de la invención comprende una porción de fibra óptica adicional conectada al extremo de entrada de la porción de fibra activa, en la cual está dispuesto dicho elemento de alta reflectividad, , terminando en ángulo el extremo libre de la porción de fibra óptica adicional. Según un ejemplo de reivindicación, en dicha porción de fibra activa también está dispuesta una red de periodo largo que actúa como filtro elimina-banda centrado en la longitud de onda para la cual la fibra activa tiene un máximo de emisión espontánea.

El dispositivo de la presente invención está configurado, de acuerdo con un ejemplo de realización, para emitir pulsos de luz con un ancho del orden de nanosegundos y una tasa de emisión promedio del orden de mil pulsos por segundo.

Ventajosamente, de acuerdo con un ejemplo de realización preferido, todos los componentes del dispositivo de la invención son de fibra y están conectados por fusión.

El dispositivo propuesto por la presente invención supone una alternativa a los dispositivos emisores de luz supercontinua convencionales conocidos obteniendo una densidad espectral de potencia similar a la de estos, pero mejorada respecto a la obtenida con lámparas de amplio espectro. El dispositivo propuesto por la invención no emplea láseres en configuración "mode-lock" ni "Q-switch", lo que constituye una simplificación crucial en el número de componentes y adicionalmente no precisa de etapas amplificadoras ya que el propio láser caótico emite pulsos muy energéticos, es decir de alta intensidad. El sistema de excitación de los efectos no lineales en fibras de cristal fotónico consiste en un "láser" (ver comentario más abajo) de fibra óptica muy sencillo, de naturaleza caótica, pero con las propiedades adecuadas para excitar en régimen de nanosegundos la fibra óptica no lineal. La clave es el drástico abaratamiento de la fuente y con ello hacer muy asequible la fuente supercontinua para su incorporación a equipos de medida de múltiples usos y el desarrollo de las técnicas espectroscópicas en multitud de campos, lo que multiplicará el número de posibles usuarios y aplicaciones.

El abaratamiento se deriva de dos características de la invención. Por una parte no precisa de ningún tipo de modulador de amplitud, fase o frecuencia, sea activo o pasivo (que es lo que necesitan los láseres tipo "mode-lock" o "Q-switch") y, por otra parte (al contrario de la mayoría de láseres de fibra óptica) no precisa de una etapa amplificadora para poder generar luz supercontinua.

Anteriormente, el término "láser" ha sido entremecido porque en realidad, de manera estricta, el dispositivo de la presente invención solamente podría denominarse láser caótico si se extrajese del mismo la fibra óptica no lineal, ya que si no es así la emisión de luz es en banda ancha, y es discutible que una emisión de este tipo pueda denominarse "láser". En cualquier caso y teniendo en cuenta el anterior comentario, con el fin de clarificar la descripción de la invención, en diferentes partes de la presente memoria se denomina láser caótico al conformado por el conjunto de elementos del dispositivo que no incluyen a la fibra óptica no lineal.

Se puede decir, por tanto, que el aspecto diferencial del dispositivo de la presente invención radica en la combinación de un láser caótico con fibra óptica no lineal. El elemento diferenciador clave es la naturaleza caótica de la emisión, ambas del láser interno de bombeo y de la luz blanca emitida finalmente por el extremo de salida de la fibra óptica no lineal.

El dispositivo propuesto por la presente invención constituye una fuente de luz puntual de alta potencia y bajo coste que cubre parte del espectro ultravioleta, todo el espectro visible y el infrarrojo cercano, preferentemente entre 400 nm y 2400 nm, generando pulsos intensos con duraciones variables en torno a 1 ns y potencias de pico superiores a 1 kW.

La presente invención también concierne a una serie de usos del dispositivo propuesto, como, por ejemplo, como lámpara halógena (con un espectro de banda ancha adecuado, bajo coste y un brillo mucho mayor que el de las lámparas halógenas convencionales), y otras fuentes de banda ancha tipo LED.

Las prestaciones del dispositivo propuesto por la invención son inigualables para aplicaciones de espectroscopia óptica. La clave es la naturaleza puntual de la fuente y una intensidad varios órdenes de magnitud superior a la alcanzable con el esquema tradicional fuente halógena con filtro espacial, lo que significa una mejora crucial para las técnicas de imagen, caracterización de muestras pequeñas, detección de concentraciones bajas de sustancias activas, caracterización de nanopartículas aisladas, etc.

De esta forma, permite detectar señales varios órdenes de magnitud inferiores a las detectables en los sistemas convencionales en los siguientes campos:

5 *Imagen biomédica:*

- Microscopía de tiempo de vida de fluorescencia: Técnica de imagen que se emplea en microscopia confocal. Las fuentes supercontinuas permiten seleccionar la banda de excitación y ajustarla al óptimo de cada caso, empleando una sola fuente láser.

10 - Tomografía de coherencia óptica. Técnica de adquisición y procesamiento de señal que proporciona imágenes 3D en medios difusores de la luz como es el caso de los tejidos biológicos. Las fuentes supercontinuas proporcionan ultra-alta-resolución y simultáneamente ultra-alta-sensibilidad.

15 - Imagen molecular. Técnica de imagen para monitorizar los procesos moleculares en organismos vivos. Las fuentes supercontinuas proporcionan toda la banda de longitudes de onda necesarias, con una sola fuente que permite cubrir la banda 650 -900 nm que es la relevante para esta técnica.

Instrumentación de medida:

- Caracterización de fibras ópticas y componentes de fibra óptica

20 - Caracterización de materiales Las fuentes supercontinuas proporcionan una banda ultra-extensa, un haz gaussiano fácilmente focalizable, acoplado a fibra óptica, lo que permite una fácil compatibilización con múltiples equipo de fibra óptica o ubicados en mesas de trabajo diferentes.

Equipamiento industrial:

25 - Clasificación de piezas y materiales Las fuentes supercontinuas proporcionan una iluminación simultánea en el visible y en el infrarrojo, lo que permite una mejor eficacia en los robots de clasificación de piezas y materiales, la diferenciación de materiales orgánicos e inorgánicos, frutas y verduras, plásticos y madera, etc.

30 - Equipos de inspección. Interferometría de luz blanca para la detección de grietas, defectos y control de calidad.

Investigación fundamental:

35 - Nanofotónica: las fuentes supercontinuas proporcionan la intensidad que se necesita para la detección y caracterización de nanopartículas, nanocavidades ópticas y dispositivos nanoestructurados de forma individual al permitir una buena focalización y proporcionar una intensidad alto.

- Espectroscopía: todas las técnicas espectroscópicas se pueden beneficiar de las ventajas de las fuentes supercontinuas al hacer realidad una mejora de varios órdenes de magnitud en la intensidad, preservando el carácter puntual de la fuente de luz.

40 La presente invención concierne a diferentes usos del dispositivo propuesto para todos los campos citados.

Ventajas de la invención:

45 La invención permite implementar fuentes de bajo coste respecto a las soluciones empleadas hasta la fecha. El impacto del dispositivo propuesto por la presente invención sobre la mejora de la calidad de vida y la sostenibilidad se deriva de las aplicaciones médicas que se beneficiarán de una mejora de las técnicas de diagnóstico e imagen, la mejora de las técnicas espectroscópicas que permitirán la detección de moléculas en concentraciones mínimas y con ello la seguridad, la detección avanzada de enfermedades y la navegación quirúrgica mediante imagen molecular. Los parques solares de generación de energía necesitan una correcta caracterización de las superficies ópticas mediante instrumentos portátiles y de bajo coste, así como la caracterización en banda ancha de las condiciones ópticas de la atmósfera. La mejora de la caracterización de dispositivos fotónicos contribuirá, asimismo, a las comunicaciones ópticas. La investigación fundamental se beneficiará ampliamente del resultado del dispositivo de la presente invención al facilitar un equipamiento muy asequible a los grupos de investigación que trabajen en cualquiera de las técnicas de espectroscopia óptica, por ejemplo en la caracterización de nanopartículas, que a su vez son de aplicación al tratamiento del cáncer y otras enfermedades.

Breve descripción de los dibujos

60 Las anteriores y otras ventajas y características se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos, que deben tomarse a título ilustrativo y no limitativo, en los que:

la Fig. 1 es una representación esquemática del dispositivo propuesto por la presente invención para un ejemplo de realización;

la Fig. 2 es una gráfica que muestra el espectro de la señal de luz emitida por la salida del dispositivo de la Fig. 1;

65 la Fig. 3 es una gráfica que relaciona potencia normalizada con tiempo, que muestra el tren de pulsos caóticos generados en la salida del dispositivo de la Fig. 1;

la Fig. 4 muestra otra implementación del dispositivo propuesto por la presente invención, para un ejemplo de realización más elaborado que el de la Fig. 1; y las Figs. 5, 6, 7a, 7b, 7c, 8a y 8b son unas gráficas que muestran diferentes medidas de la señal de salida del dispositivo de la Fig. 4.

Descripción detallada de unos ejemplos de realización

En la Fig. 1 se ilustra, de manera esquemática, un ejemplo de realización del dispositivo emisor de luz supercontinua de banda ancha propuesto por la presente invención, para el cual éste comprende los siguientes elementos:

- un sistema de bombeo que incluye un diodo de bombeo D, por ejemplo de 5W y 980 nm,
- un medio activo formado por una porción de fibra activa Fm con su núcleo dopado con Yb y bombeada en la cubierta ("cladding"), con un extremo de entrada comunicado con el diodo de bombeo D, para ser bombeada por el mismo;
- una fibra óptica no lineal F, tal como una fibra microestructurada;
- un tramo de fibra adaptadora Fa (por ejemplo SM980) que interconecta al extremo de salida de la porción de fibra activa Fm con el extremo de entrada de la fibra óptica no lineal F, adaptándolas entre sí;
- un elemento de baja reflectividad R2 dispuesto en el extremo de salida de la fibra óptica no lineal F;
- una porción de fibra óptica adicional Fn conectada al extremo de entrada de la porción de fibra activa Fm, en la cual está dispuesto un elemento de alta reflectividad R1, tal como una red de Bragg de muy alta reflectividad, y una red de periodo largo N que actúa como filtro elimina-banda centrado en la longitud de onda (por ejemplo en 1030 nm) para la cual la fibra activa Fm tiene un máximo de emisión espontánea, terminando en ángulo el extremo libre T de la porción de fibra óptica adicional Fn, con el objetivo de tener la seguridad de que no se refleja luz en ese extremo de la fibra Fn, para que no se desestabilice la emisión y estropee el régimen caótico de pulsos necesario.

En la Fig. 1 se ha indicado con la referencia S la salida final del dispositivo, por donde se emite la luz supercontinua, y con la referencia Sm un punto de extracción del bombeo residual de la fibra activa Fm.

La cavidad del dispositivo de la Fig. 1 se encuentra definida entre R1 y R2, y la salida del diodo de bombeo D podría estar conectada, para un ejemplo de realización no ilustrado, antes de R1 (es decir a su izquierda según las posición ilustrada en la Fig. 1).

Las características técnicas de la fibra microestructurada no lineal F son un área modal pequeña y una dispersión cromática optimizadas para la longitud de onda de trabajo del láser. En una implementación concreta del dispositivo de la presente invención, como para la construcción del mismo se ha utilizado como fibra activa dopada con Yb que emite en torno a 1030 nm, la fibra microestructurada no lineal que se ha empleado se ha construido con un cero de la dispersión cerca de 1030 nm, siendo anómala para longitudes de onda superiores a 1030 y normal para longitudes de onda inferiores a 1030 nm. Asimismo, la curva del índice de grupo versus la longitud de onda se ha optimizado para conseguir que suba rápidamente a longitudes de onda largas. La optimización de esta fibra F permite extender al máximo el rango espectral de la fuente de luz blanca de 400 a 2400 nm, mientras que una realización no óptima de la fibra F reduce parcialmente el ancho de banda de la luz supercontinua emitida, pero no inutiliza completamente el dispositivo.

Se ha realizado un montaje experimental del dispositivo de la Fig. 1, en el que el diodo D de 5W bombea la fibra activa dopada con Yb y la cavidad láser se ha ajustado para que trabaje en régimen pulsado caótico, y se ha incluido en dicha cavidad una fibra microestructurada no lineal F fabricada en el laboratorio de los presentes inventores, en la que los efectos no lineales inducidos han dado lugar a la emisión de luz blanca. El espectro de la luz supercontinua emitida cubre buena parte del Visible desde unos 400 nm hasta más de 2400 nm, con una potencia de 156 mW, y tiene una intensidad del orden de -10dBm/nm, como se puede ver en la Fig. 2, siendo la potencia total obtenida de 264 mW, incluyendo 108 mW de potencia correspondiente al láser, es decir a los fotones del medio activo no transformados a otras longitudes de onda (pico de energía indicado en la Fig. 2 como "Laser Yb").

En la Fig. 3 se muestra una gráfica que relaciona potencia normalizada con tiempo que muestra el tren de pulsos caóticos generados en la salida S del dispositivo de la Fig. 1.

En la Fig. 4 se ilustra otro ejemplo de realización del dispositivo propuesto por la presente invención, para el cual éste comprende un mayor número de elementos que el de la Fig. 1, en particular un mayor número y variedad de porciones de fibra.

En dicha Fig. 4, los símbolos ilustrados tienen el siguiente significado:

- Empalme
- x Extremo con corte irregular
- / Conector APC
- // Conector UAPC

El dispositivo de la Fig. 4 está formado por los mismos elementos incluidos en el de la Fig. 1 más una serie de elementos adicionales, ubicados entre el extremo de la fibra no lineal F y la salida S, y un diodo de bombeo de mayor

potencia. Para su construcción se han empleado un diodo de bombeo de 976,5 nm y 7,6 W de potencia máxima, con fibra multimodo Fd, que conduce la potencia de bombeo a la cubierta de la fibra activa Fm cuyo núcleo está dopado con Yb, la potencia de bombeo residual se extrae en el punto Sm, la luz emitida por la fibra activa Fm se conduce a la fibra microestructurada no lineal F mediante un tramo de fibra adaptadora Fa modelo SM 980, el elemento de alta reflectividad R es una red de Bragg constituida en una fibra SM 980, la red de periodo largo N se ha constituido en la fibra Fs tipo PS 980, el tramo de fibra Fc que conecta la fibra Fm con la fibra Fa de la red de Bragg es del tipo HI 980 y el conector APC montado en fibra Fa conectada a la fibra Fs constituye la terminación T. La salida de luz S la proporciona un colimador. Al extremo de salida de la fibra óptica no lineal F se encuentra conectado un tramo de fibra Fp mantenedora de la polarización PM 980 con conector UAPC, a través de otro tramo de fibra adaptadora Fa SM980. Este conector UAPC proporciona la baja reflectividad requerida por estar la fibra cortada en ángulo y soporta mejor altas potencias de salida que un conector APC. La fibra PM980 montada con conector UAPC podría sustituirse por otro tipo de fibra no mantenedora de la polarización.

Se ha realizado una prueba experimental con la implementación del dispositivo de la Fig. 4, aplicando una corriente de bombeo de 8,51 A que proporciona una potencia óptica de bombeo de 7,6 W, obteniéndose a la salida S una potencia óptica de salida de 600 mW, incluyendo la correspondiente a la luz supercontinua y la correspondiente a la luz láser residual.

En las Figs. 5, 6, 7a, 7b, 7c, 8a y 8b se ilustran los resultados obtenidos para la citada prueba experimental con el dispositivo de la Fig. 4, mediante una serie de gráficas que se describen a continuación, y cuyos valores han sido obtenidos mediante medidas realizadas en la salida S con el fotoreceptor de silicio de "New Focus®" modelo 1801, que trabaja en un rango de 0 a 125 MHz y tiene un ancho de banda óptico nominal de 300 a 1050 nm. La potencia medida ha sido representada con unidades arbitrarias (a.u.).

En la Fig. 5 se ilustran las medidas tomadas para un único pulso (auto-disparado) de la luz supercontinua obtenida, el cual se muestra en detalle, y en la Fig. 6 se muestran, mediante tres correspondientes gráficas, otros tres pulsos tomados de manera aleatoria (también auto-disparados) con formas diferentes entre sí.

En las Figs. 7a a 7c se muestran tres respectivos ejemplos de medidas obtenidas para un único disparo, tomadas aleatoriamente, donde se aprecian diferentes trenes de pulsos en los que los pulsos están distribuidos en el tiempo de forma aleatoria.

Finalmente, en las Figs. 8a y 8b se representan dos trenes de pulsos más medidos desde 0 a 540 μ s, para un disparo único, de la señal de fotodetección obtenida a la salida S del dispositivo de la Fig. 4, mostrando la Fig. 8a los primeros cinco pulsos y la Fig. 8b los últimos cinco.

De las medidas representadas en tales gráficas, puede concluirse que:

- el espacio entre pulsos no es constante, cambiando aleatoriamente en un rango aproximado de 12 a 28 μ s;
- no se observa ninguna componente de onda continua;
- no se observan ventanas temporales sin pulsos en las condiciones de bombeo utilizadas;
- la forma de los pulsos cambia de manera aleatoria, con anchos de pulsos situados dentro del rango que va desde 30 a 40 ns aproximadamente.

Un experto en la materia podría introducir cambios y modificaciones en los ejemplos de realización descritos sin salirse del alcance de la invención según está definido en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo emisor de luz supercontinua de banda ancha, que comprende al menos:

- una fibra óptica no lineal (F);
 - un sistema de bombeo;
 - una cavidad (R1, R2); y
 - un medio activo (Fm), ubicado dentro de dicha cavidad, configurado y dispuesto para, por un bombeo proporcionado por dicho sistema de bombeo, generar y emitir pulsos de luz hacia dicha fibra óptica no lineal (F) que exciten los efectos no lineales de la misma para la generación y emisión de dicha luz supercontinua por un extremo de salida de la fibra óptica no lineal (F);
- estando el dispositivo **caracterizado** porque:
- dicha fibra óptica no lineal (F) está configurada dentro de dicha cavidad;
 - dicho medio activo comprende una porción de fibra activa (Fm) con un extremo de salida conectado a un extremo de entrada de la fibra óptica no lineal (F);
 - el sistema de bombeo comprende un diodo de bombeo (D) conectado a un extremo de entrada de dicha porción de fibra activa (Fm) para emitir luz hacia dicha porción de fibra activa (Fm);
 - dicha cavidad y dicho medio activo están configurados para que los pulsos de luz generados y emitidos por el medio activo sean pulsos de luz caóticos que exciten los efectos no lineales de la fibra óptica no lineal (F) para que genere y emita luz supercontinua en forma de pulsos de luz distribuidos en el tiempo de forma aleatoria;
 - una porción de fibra óptica adicional (Fn) conectada a un extremo de entrada de dicha porción de fibra activa (Fm), en la cual están dispuestos por lo menos un primer elemento (R1) siendo una red de Bragg de reflectividad superior a 0.9, y un extremo libre (T) de la porción de fibra adicional (Fn) terminando en ángulo;
 - al menos un segundo elemento (R2) de reflectividad inferior a 0.1 dispuesto en o próximo al extremo de salida de la fibra óptica no lineal (F); y
 - dicha cavidad definida entre el primer elemento (R1) y el segundo elemento (R2).

2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha baja reflectividad tiene un valor comprendido entre -30 dB y -50 dB.

3. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque dicho elemento de baja reflectividad (R2) es una terminación no colimadora de la fibra óptica no lineal (F) cortada en ángulo.

4. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque dicho elemento de baja reflectividad (R2) es una terminación colimadora parcialmente reflectante de dicho extremo de salida de la fibra óptica no lineal (F).

5. Dispositivo según la reivindicación 4, caracterizado porque dicha terminación colimadora es una terminación fundida en forma de microesfera, una lente colimadora con capa antireflectante montada en el extremo de salida de la fibra óptica no lineal (F) o un colimador externo conectado al extremo de salida, cortado en ángulo, de la fibra óptica no lineal (F).

6. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicha fibra óptica no lineal (F) es una fibra microestructurada no lineal.

7. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha fibra activa (Fm) tiene su núcleo dopado con al menos uno de los elementos del grupo que comprende Yb, Er, Nd, Tm y Ho, o una combinación de los mismos.

8. Dispositivo según la reivindicación 1 o 7, caracterizado porque comprende un tramo de fibra adaptadora (Fa) que interconecta al extremo de salida de la porción de fibra activa (Fm) con el extremo de entrada de la fibra óptica no lineal (F).

9. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque en la porción de fibra óptica adicional (Fn) está dispuesta una red de periodo largo (N) que actúa como filtro elimina-banda centrado en la longitud de onda para la cual la fibra activa (Fm) tiene un máximo de emisión espontánea.

10. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque está configurado para emitir pulsos de luz con un ancho del orden de nanosegundos y una tasa de emisión promedio del orden de mil pulsos por segundo.

11. Dispositivo según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque todos sus componentes son de fibra y están conectados por fusión.

12. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 como alternativa a una fuente emisora de luz de banda ancha tipo diodo emisor de luz.

13. Uso del dispositivo según la reivindicación 12 como alternativa a una lámpara halógena.

14. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para aplicaciones de imagen biomédica en microscopia de tiempo de vida de fluorescencia, tomografía de coherencia óptica o imagen molecular.
- 5 15. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para aplicaciones de instrumentación de medida en caracterización de fibras ópticas, materiales o componentes de fibra óptica.
- 10 16. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para aplicaciones de equipamiento industrial en clasificación de piezas y materiales, equipos de inspección, interferometría de luz blanca para la detección de grietas, defectos y control de calidad.
17. Uso del dispositivo descrito en una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para aplicaciones en nanofotónica o espectroscopía.

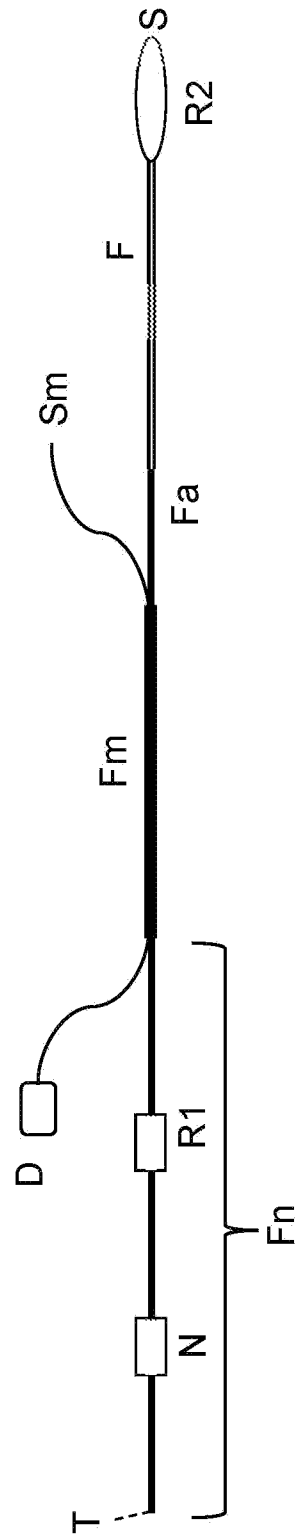


Fig. 1

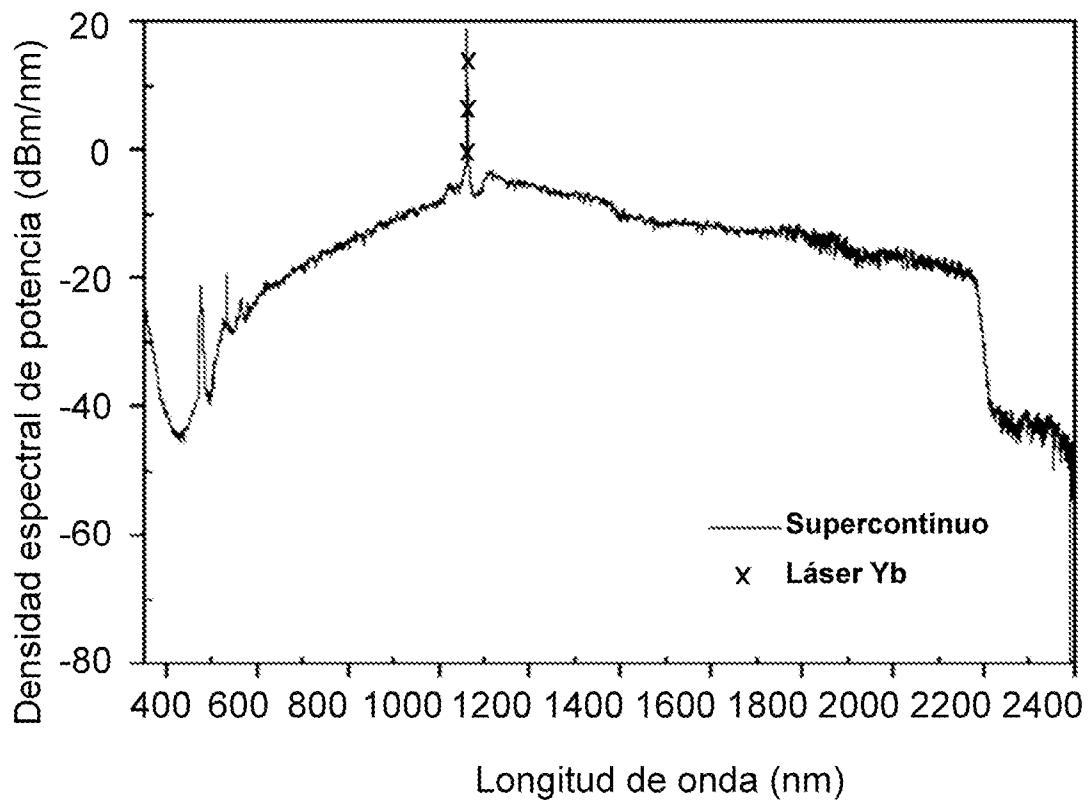


Fig. 2

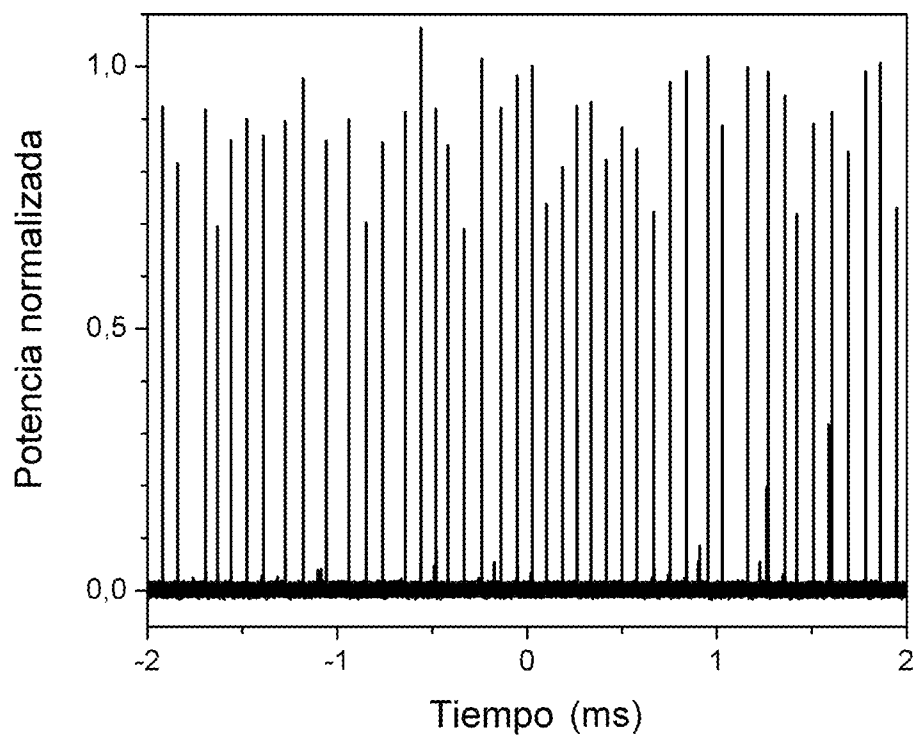


Fig. 3

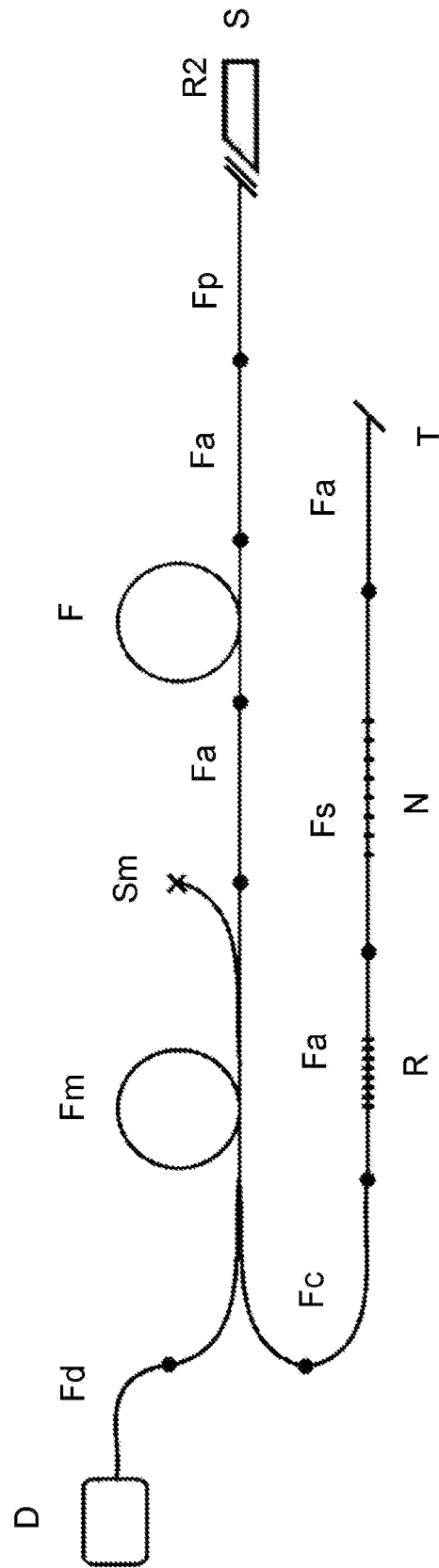


Fig. 4

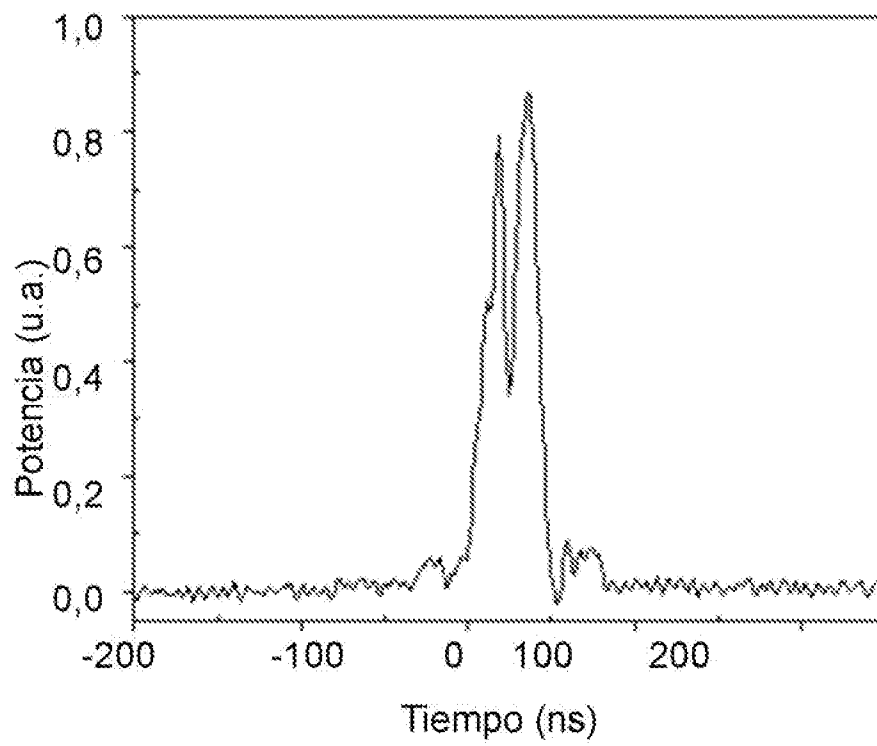


Fig. 5

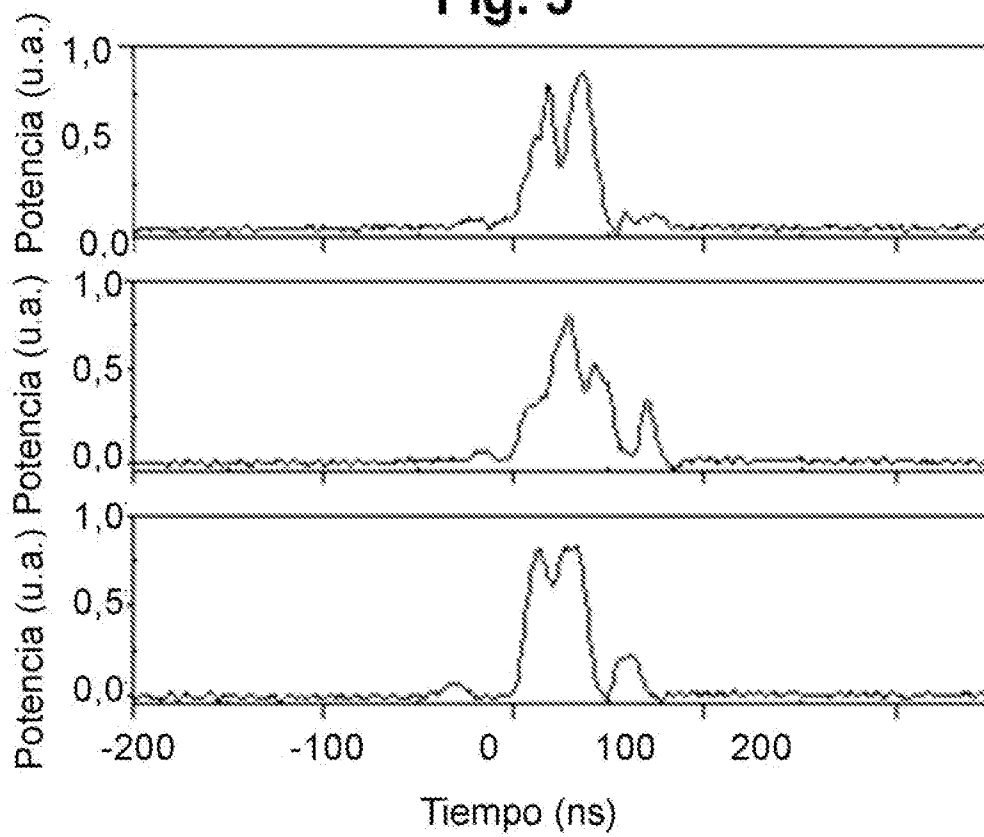


Fig. 6

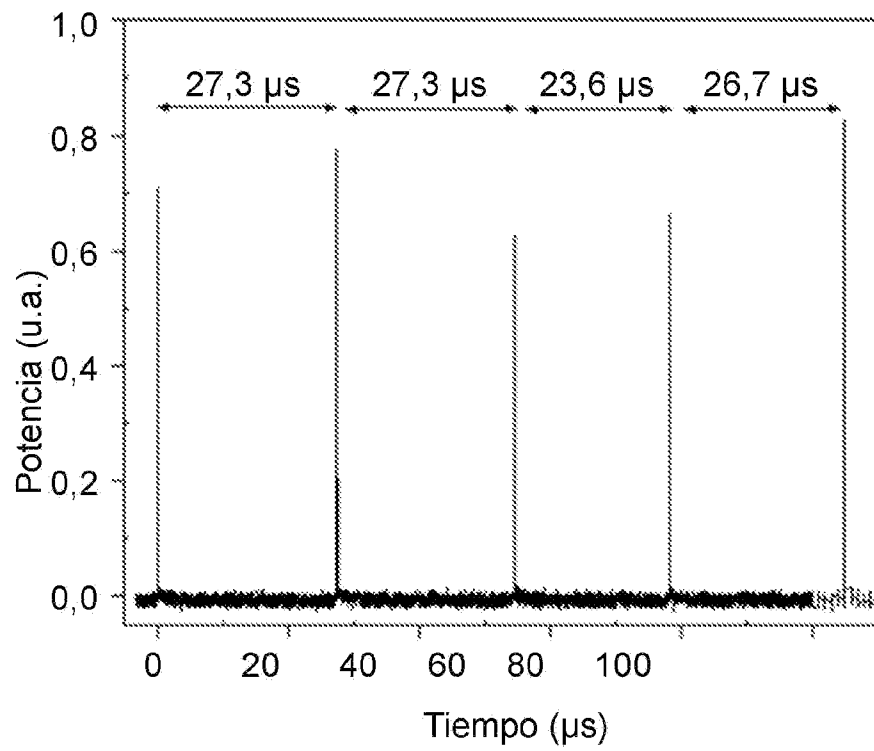


Fig. 7a

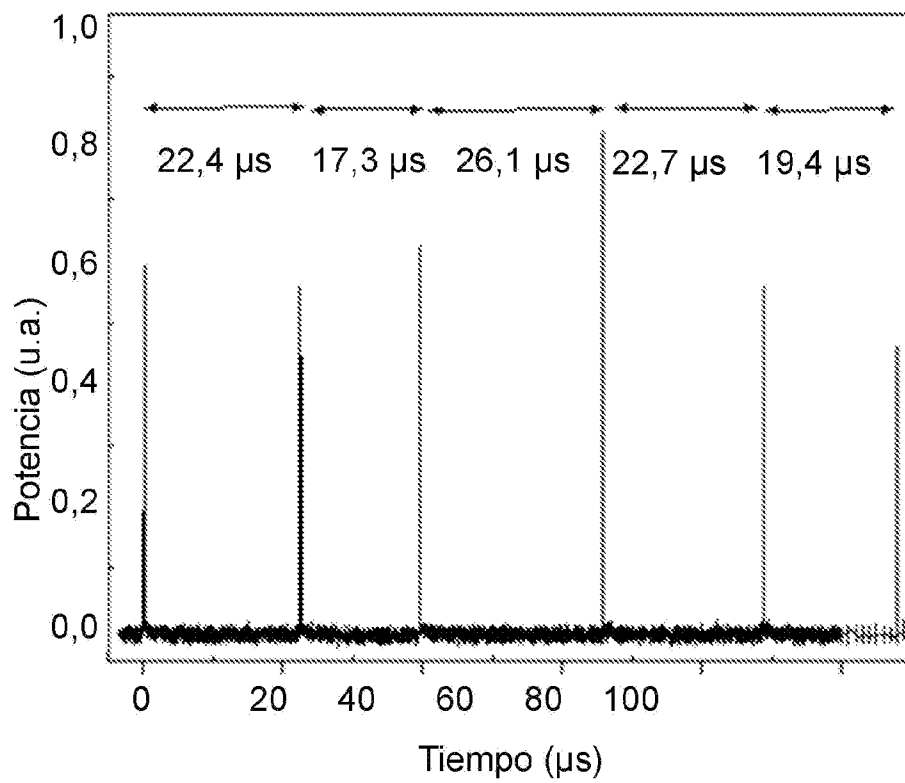


Fig. 7b

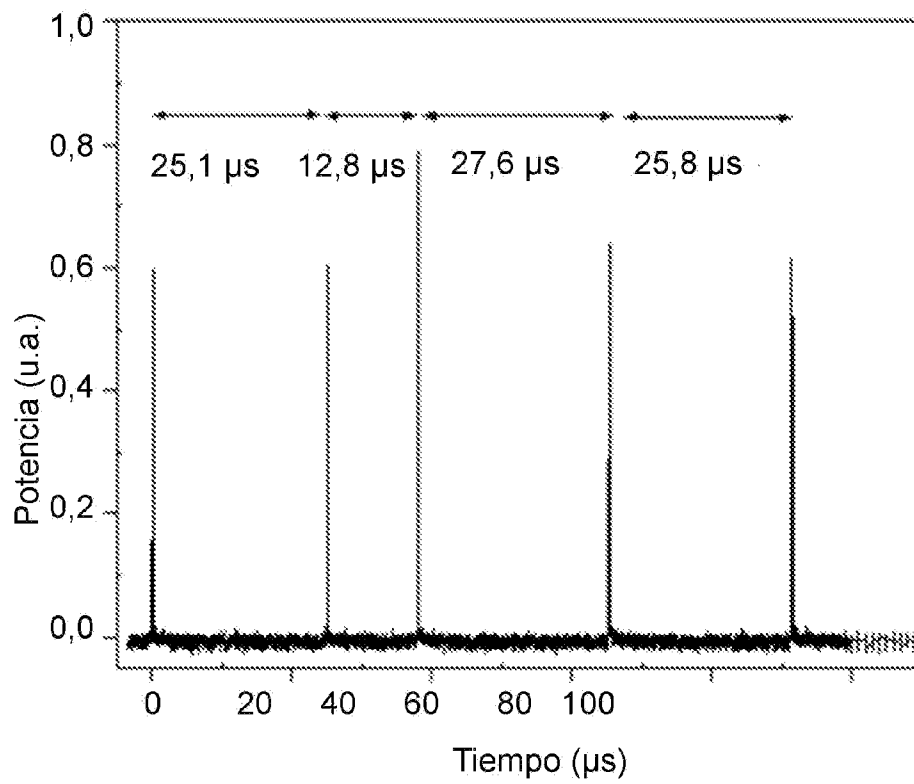


Fig. 7c

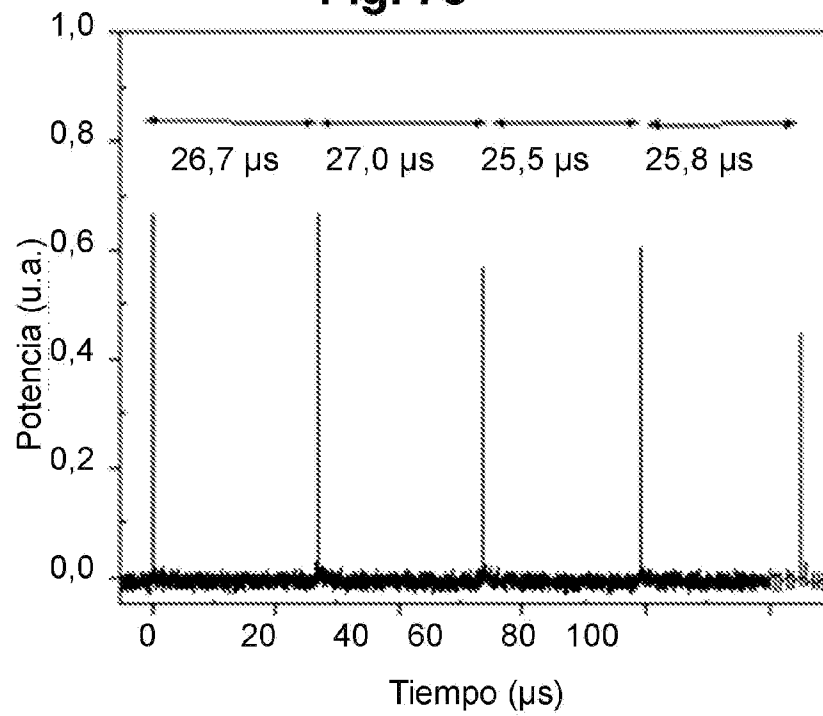


Fig. 8a

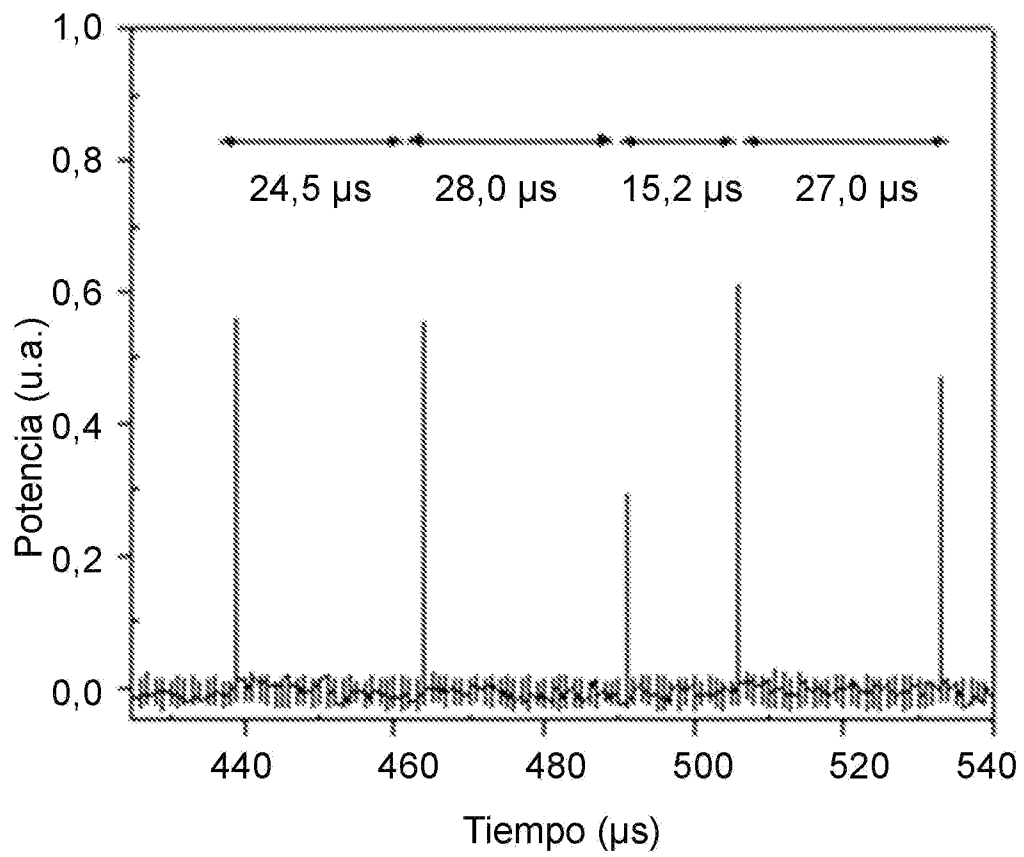


Fig. 8b