



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 329 206**

21 Número de solicitud: 200601134

51 Int. Cl.:
H01S 5/065 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación: **04.05.2006**

43 Fecha de publicación de la solicitud: **23.11.2009**

Fecha de la concesión: **18.08.2010**

45 Fecha de anuncio de la concesión: **30.08.2010**

45 Fecha de publicación del folleto de la patente:
30.08.2010

73 Titular/es: **Universitat Illes Balears**
Ctra. Valldemossa, Km. 7,5 - Edif. Son Lledó
07122 Son Sardina, Illes Balears, ES

72 Inventor/es: **Ballé Monjo, Salvador;**
Furfaro, Luca;
Javaloyes, Julien y
Mulet Pol, José

74 Agente: **Pons Ariño, Ángel**

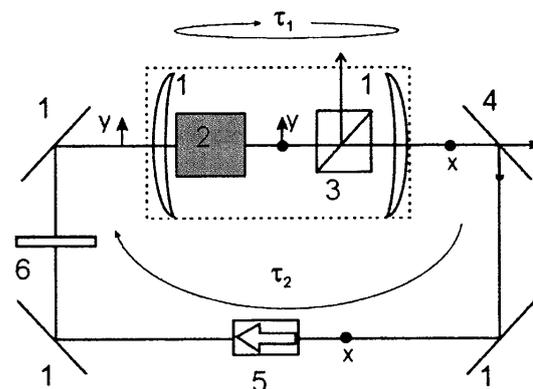
54 Título: **Aparato y método para la obtención de pulsos cortos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos por saturación de ganancia cruzada entre polarizaciones ortogonales.**

57 Resumen:

Aparato y método para la obtención de pulsos cortos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos por saturación de ganancia cruzada entre polarizaciones ortogonales.

Describe un nuevo sistema capaz de producir pulsos cortos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos sin necesidad de utilizar sistemas que introduzcan pérdidas saturables en el dispositivo. La frecuencia de repetición es fácilmente sintonizable y permite, además, el bloqueo a un armónico de la frecuencia fundamental.

Fig. 1



ES 2 329 206 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

DESCRIPCIÓN

Aparato y método para la obtención de pulsos cortos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos por saturación de ganancia cruzada entre polarizaciones ortogonales.

Campo de la invención

La presente invención describe un nuevo sistema capaz de producir pulsos cortos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos sin necesidad de utilizar sistemas que introduzcan pérdidas saturables en el dispositivo. La frecuencia de repetición es fácilmente sintonizable y permite, además, el bloqueo a un armónico de la frecuencia fundamental.

Antecedentes de la invención

En el campo de la tecnología láser, la obtención de pulsos láser cortos e intensos constituye en la actualidad uno de los retos más interesantes debido a la gran cantidad de aplicaciones que posee en ámbitos tan variados como la espectroscopia, procesamiento de materiales, así como en telecomunicaciones (cf. E. A. Avrutin y col. IEE Proc.-Optoelectron, vol. 147, pp. 251, 2000).

En general, la emisión de un dispositivo láser puede ser mono-modal o multi-modal dependiendo de las características de la cavidad óptica y el acoplamiento no lineal de la luz dentro del medio activo.

En condiciones especiales es posible la emisión de pulsos cortos e intensos mediante técnicas de bloqueo de modos. Este fenómeno es un caso particular de emisión multi-modal caracterizada por tener una relación de fase fija entre los modos longitudinales de la cavidad láser. Este mecanismo da lugar a la generación de pulsos de luz láser cortos e intensos caracterizados por que su frecuencia de repetición está directamente relacionada con el tiempo de ida y vuelta de la luz en la cavidad resonante, y que la anchura temporal de los pulsos está relacionada con el número de modos bloqueados. La capacidad para producir pulsos más cortos queda limitado por la anchura espectral de la curva de ganancia del láser y por la irregularidad en el espaciado entre modos.

En la actualidad existen dos métodos de generar bloqueo de modos; el bloqueo de modos activo y el bloqueo de modos pasivo.

El bloqueo de modos activo consiste en la modulación externa de uno de los parámetros del láser. Para ello se emplea una modulación externa cuya frecuencia, en adelante f_m , puede ser la fundamental, un armónico o un sub-armónico de $\Delta\nu$, $f_m = \Delta\nu$, $n\Delta\nu$, $\Delta\nu/n$ siendo n un número entero. Esta modulación fija la fase de los modos adyacentes dando lugar a un estado con bloqueo de modos (cf. H. A. Haus y col., IEEE J. Selected Topics Quantum Electron, vol. 6, pp. 1173, 2000).

Entre las técnicas empleadas para conseguir el bloqueo de modos activo se encuentra:

1. Modulación de la ganancia por medio de la modulación de la corriente eléctrica en diodos láser.
2. Modulación de la amplitud utilizando moduladores electro-ópticos o acusto-ópticos.
3. Modulación de fase.

Uno de los mayores inconvenientes del bloqueo de modos activo es que necesita una modulación externa precisa. Con los métodos electrónicos actuales es difícil alcanzar frecuencias de repetición a multi-GHz, lo que ha provocado que las técnicas ópticas activas hayan recibido una especial atención. En estos sistemas, un láser externo inyecta pulsos ópticos que se propagan dentro del medio activo del láser provocando el bloqueo de modos (cf. Y. J. Wen y col. IEEE J. Quantum Electron, vol. 37, pp. 1183, 2001).

La supresión de ganancia causada por la inyección del pulso produce una modulación de la ganancia, tal y como lo hace la modulación de la corriente, pero permitiendo frecuencias de repetición más rápidas (cf. G. R. Lin y col. Opt. Express, vol. 13, pp. 1008, 2005). No obstante, y aún teniendo en cuenta las ventajas de esta técnica, la necesidad de una fuente externa para generar pulsos complica y encarece el sistema.

Por este motivo el bloqueo pasivo es ampliamente utilizado para obtener pulsos ópticos cortos de frecuencia de repetición elevada y con niveles de ruido bajos. El bloqueo de modos pasivo se obtiene mediante la combinación de dos elementos, un amplificador láser el cual aporta ganancia y un absorbente saturable, que actúa como un obturador (cf. H. A. Haus, IEEE J. Quantum Electron, vol. 11, pp. 736, 1975). El absorbente saturable es un elemento no lineal que induce auto modulación de la luz a frecuencia más rápida que la que sería posible por cualquier tipo de modulación activa. El modo en el que el absorbente saturable favorece la generación de pulsos puede ser entendido en términos de un principio de mínima ganancia. El absorbente saturable induce bloqueo pasivo de modo ya que los pulsos pueden saturar más fácilmente el absorbente, por lo que la emisión continua es discriminada por sus mayores pérdidas ópticas. Así se puede forzar a que la anchura del pulso inicial sea estrechada en sucesivos viajes de la luz láser dentro de la cavidad resonante. De esta forma la anchura final del pulso de luz láser emitido es un balance entre el acortamiento impuesto por el absorbente, y el ensanchamiento debido a la dispersión.

Para obtener bloqueo pasivo de modos estable es necesario abrir alrededor del pulso una ventana estrecha de ganancia neta que impida que el sistema se auto inicie en el intervalo de tiempo comprendido entre dos pulsos consecutivos y que las pérdidas no saturadas superen la ganancia. Además el bloqueo pasivo de modos con absorbentes saturables lentos requieren dos condiciones adicionales:

- i) la absorción debe recuperarse más rápidamente que la ganancia
- ii) el absorbente tiene que ser más fácilmente saturable que el amplificador.

Por todo esto la construcción de absorbentes saturables con tiempos de recuperación mas rápidos que unos pocos pico-segundos encuentra serias dificultades tecnológicas, lo que ha motivado el desarrollo de los denominados absorbentes saturables artificiales. Este tipo de sistemas está caracterizado por pérdidas ópticas que pueden responder de forma ultrarrápida o instantánea a cambios de la intensidad. Entre las técnicas que emplean estos sistemas cabe destacar: bloqueo de modos por adición de pulsos; rotación no lineal de la polarización, en adelante NLPR; y bloqueo de modos mediante lente por efecto Kerr (cf. E. P. Ippen, Appl. Phys. B, vol. 58, pp.159, 1994).

En el campo de los láseres de semiconductor, la polarización de la luz ha sido recientemente utilizada para el bloqueo de modos mediante NLPR (cf. X. Yang y col Opt. Express, vol. 12, pp. 2248, 2004), así como para la generación de ondas milimétricas (cf. S. Pajarola y col., IEEE Trans. Microwave Theory and Techn, vol. 47, pp.1234, 1999).

Entre los láseres semiconductores, los dispositivos de cavidad externa vertical de emisión superficial, en adelante VECSEL, son una alternativa interesante a los láseres de emisión lateral en aplicaciones de alta potencia, conversión de frecuencia y en aplicaciones de bloqueo de modos (cf. A. C. Tropper y col., J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 37, pp.75, 2004).

Inicialmente los VECSEL con bloqueo de modos activo usaban dispositivos bombeados ópticamente, en los que el bloqueo de modo se obtenía mediante bombeo sincronizado (cf. W. Jiang y col., Appl. Phys. Lett., vol. 60, pp. 677, 1992). Por otra parte el bloqueo pasivo era obtenido mediante espejos semiconductores absorbentes saturables (cf. U. Keller, y col., IEEE J. Selected Topics Quantum Electron., vol. 2, pp. 435, 1996).

Estos sistemas generaban pulsos de pico-segundos con potencias de salida de hasta 200 mW (cf. S. Hoogland, y col., IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, pp. 1135, 2000). Estudios posteriores permitieron obtener pulsos inferiores a pico-segundos mediante técnicas de control de la dispersión.

La simetría circular de los láseres de cavidad vertical y emisión superficial, en adelante VCSEL, introduce una débil selectividad entre la emisión de la luz a lo largo de los dos ejes preferenciales, que son definidos por la débil anisotropía de la cavidad. Por esta razón los dispositivos basados en VCSEL ofrecen un excelente marco de trabajo para el uso de la polarización en aplicaciones tecnológicas. Aunque la polarización ha sido empleada para conmutación óptica, no ha sido aún utilizada para el bloqueo de modos (cf. A. C. Tropper y col., J. Phys. D: Appl. Phys., vol. 37, pp. 75, 2004).

Por ello en esta invención se presenta un novedoso sistema que emplea la polarización de la luz como sistema para generar bloqueo de modos pasivo, no siendo necesario el uso de complicados espejos semiconductores absorbentes saturables ni otro tipo de elementos saturables, lo que permite obtener un sistema más sencillo y barato capaz de producir pulsos de luz láser cortos e intensos cuya frecuencia puede ser fácilmente sintonizable.

Breve descripción de la invención

En un primer aspecto, la presente invención se refiere a un método (en adelante método de la invención) capaz de generar bloqueo pasivo de modos en dispositivos láser mediante la interacción no lineal entre dos haces con polarizaciones ortogonales que experimentan dentro del medio activo modulación por ganancia cruzada, siendo una de estas polarizaciones una copia de la luz láser polarizada generada por el dispositivo láser que ha sido previamente rotada, retardada e introducida en la cavidad resonante mediante un sistema de realimentación.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un aparato (en adelante aparato de la invención) capaz de llevar a cabo el método de la invención que comprende:

- i) Un sistema láser que comprende:
 - a) Un medio activo, capaz de amplificar las dos componentes de polarización
 - b) Un sistema resonante que contienen un divisor de luz polarizante, que permite la generación de luz láser con una determinada polarización siendo la otra expulsada de la cavidad y que nunca llega a alcanzar el umbral láser y
- ii) Un segmento de realimentación que envía parte de la luz emitida por el láser dentro del sistema resonante después de ser rotada y retardada que comprende:
 - a) Un divisor de luz no polarizante

ES 2 329 206 B1

- b) Espejos reflectantes alineados que redireccionan parte de la luz emitida hacia el medio láser
- c) Un aislante óptico, que asegura la operación unidireccional del segmento de realimentación.
- 5 d) Una lámina de media onda que rota el estado de polarización de la luz.

En un tercer aspecto de la presente invención se refiere al aparato de la invención cuyo diseño está basado en al menos un anillo de fibra óptica que comprende:

- 10 i) Un primer anillo de fibra óptica que comprende:
 - a) Un medio activo
 - 15 b) Un divisor de luz polarizante
 - c) Un filtro de paso de banda
 - 20 d) Un aislante óptico
 - e) Un controlador de la polarización
- ii) Un sistema de realimentación de fibra óptica acoplado al anillo principal que comprende:
 - 25 a) Un controlador de la polarización

Las características de la siguiente invención serán mejor entendidas en la descripción de la invención en conexión con las figuras. Debe entenderse que las figuras tienen sólo el propósito de ilustrar y describir, no siendo por ello entendidas como una definición de los límites de la presente invención.

30 Descripción de las figuras

La Figura 1 muestra un esquema genérico de un sistema de bloqueo de modos pasivo por modulación cruzada de ganancia entre polarizaciones ortogonales, donde 1 son los espejos reflectantes, 2 es el medio activo, 3 es el divisor de luz polarizante, 4 es un divisor de luz no polarizante, 5 es el aislante óptico y 6 es la lámina de media onda.

La Figura 2 muestra el diseño del sistema de bloqueo pasivo de modos por modulación cruzada de ganancia entre polarizaciones ortogonales en un láser del tipo VCSEL, en el que el sistema de realimentación está fuera de la cavidad láser; donde 1 son los espejos reflectantes, 3 es el divisor de luz polarizante, 4 es un divisor de luz no polarizante, 5 es el aislante óptico y 6 es la lámina de media onda. 7 es un colimador, 8 es un espejo parcialmente reflectante y 9 es un láser del tipo VCSEL.

La Figura 3, muestra el diseño del sistema de bloqueo pasivo de modos por modulación cruzada de ganancia entre polarizaciones ortogonales en un láser donde el sistema de realimentación se encuentra dentro de la cavidad del láser; donde 1 son los espejos reflectantes, 3 es el divisor de luz polarizante, 4 es un divisor de luz no polarizante, 5 es el aislante óptico y 6 es la lámina de media onda. 7 es un colimador, y 10 es un Amplificador Óptico de Cavidad Vertical de Emisión por Superficie, en adelante VCSOA.

La Figura 4, muestra un esquema de un láser con bloqueo pasivo de modos por modulación cruzada de ganancia entre polarizaciones ortogonales con un segmento de realimentación dentro de la cavidad y cuya longitud de onda de emisión es sintonizable; donde 1 son los espejos reflectantes, 3 es el divisor de luz polarizada, 4 es un divisor de luz no polarizada, 5 es el aislante óptico y 6 es la lámina de media onda. 7 es un colimador, 10 un amplificador óptico VCSOA y 11 es un red de difracción que permite ajustar la longitud de onda de emisión del dispositivo.

La Figura 5 muestra un esquema de un láser semiconductor en anillo con bloqueo de modos pasivo, donde 3 es el divisor de luz polarizante, 5 es un aislante óptico, 12 es un amplificador óptico semiconductor, 13 es un filtro de paso de banda, 14 es un divisor de haz en "Y", 15 son controladores de la polarización y 16 es una fibra óptica.

La Figura 6 muestra para el sistema de la figura 2; a) la señal en función del tiempo de las componentes de polarización "X" e "Y" de la luz láser en línea sólida y línea punteada respectivamente. b) Espectro óptico de la componente "X". c) Evolución de la inversión de población (proporcional a la ganancia).

La Figura 7 representa, para el sistema de la figura 2, un diagrama de bifurcación (máximos y mínimos de la intensidad de las componentes "X" e "Y") en función del tiempo de viaje en el segmento de realimentación, t2.

La Figura 8 muestra, para el sistema de la figura 3, la intensidad de la señal de ambas polarizaciones, cuando aumenta el tiempo de retardo de la reinyección t2. Aquí se enseña el bloqueo de modos a armónicos. La frecuencia de

ES 2 329 206 B1

repetición utilizada es 1 GHz, a) $t_2 = 2.0t_1$, b) $t_2 = 2.1t_1$, c) $t_2 = 2.2t_1$, d) $t_2 = 2.3t_1$, e) $t_2 = 2.4t_1$, f) $t_2 = 2.5t_1$, g) $t_2 = 2.6t_1$, h) $t_2 = 2.7t_1$, i) $t_2 = 2.8t_1$, j) $t_2 = 2.9t_1$.

La Figura 9 muestra, para el sistema de la figura 3, los pulsos láser a frecuencias de repetición de 10 GHz (Fig. 3a) y 20 GHz (Fig. 3c), obtenidos de un sistema basado en un láser VCSCOA con reflectividad del espejo de 75% en configuración de cavidad externa, los diagramas b) y d) muestran las funciones de autocorrelación correspondientes.

Ejemplos de realización de la invención

Los siguientes ejemplos y figuras sirven para ilustrar pero no limitan la presente invención.

Ejemplo 1

Uso del aparato de la invención para obtener pulsos de luz láser

El diseño del aparato mostrado en la figura 1 permite obtener pulsos de luz láser mediante bloqueo de modos pasivo por modulación cruzada de ganancia entre haces con polarizaciones ortogonales que puede ser ajustado en frecuencia de repetición. Dicho aparato se fundamenta en la capacidad del láser en generar un haz de luz láser de carácter multimodo longitudinal.

En este dispositivo el medio activo recibe realimentación en ambas polarizaciones, "x" e "y", siendo esta última, una copia con diferente amplitud de la polarización "x" que ha sido reinyectada después de ser rotada en polarización y retardada en tiempo.

El medio activo (2) proporciona la ganancia en ambas polarizaciones con un dicroísmo despreciable, no obstante el divisor de luz polarizante (3) induce un fuerte dicroísmo a la radiación lo que determina la polarización del láser en la componente "x".

En ausencia del sistema de realimentación de luz láser rotada y retardada, el dispositivo láser no emite un tren regular de pulsos ópticos. Sin embargo la presencia del sistema de reinyección añade una modulación extra a la ganancia. Así la polarización ortogonal reinyectada actúa como un sistema efectivo para producir pulsos. Aunque el láser podría emitir luz con polarización "x", parte de la salida es reinyectada con polarización ortogonal después de haber sido retardada convenientemente. De esta forma cuando la luz llega al medio activo la polarización ortogonal disminuye la ganancia a través del fenómeno de modulación cruzada de ganancia. De esta forma la reinyección apropiada de la luz láser no permite sostener un régimen de emisión continua en la polarización "x" apareciendo por esto emisión pulsada.

En el bloqueo de modos pasivo con absorbentes saturables, se abre una ventana de ganancia neta alrededor del pulso gracias a los diferentes tiempos de recuperación de la ganancia y la absorción. En el presente dispositivo, el sistema resonante del láser define el período fundamental de repetición (t_1) mientras que el sistema de reinyección establece un retardo (t_2), siendo la diferencia entre ambos tiempos, $\Delta t = (t_1 - t_2)$ la que controla la ventana de ganancia neta.

En el ejemplo correspondiente a la configuración descrita en la Figura 2, un láser VCSEL (9) produce un haz láser pulsado a una longitud de onda de 980 nm. Una de las polarizaciones de la luz emitida, en el esquema la componente "y" de la polarización, es eliminada del sistema resonante por medio del divisor de luz polarizante (3) sin que ésta logre alcanzar el umbral de emisión láser. De esta forma, sólo se produce emisión láser linealmente polarizada en la componente "x", la cuál escapa de la cavidad óptica a través del espejo (8). Parte de esta emisión es posteriormente dirigida hacia un sistema de realimentación mediante un espejo semireflectante (4). El haz láser linealmente polarizado es dirigido hacia el sistema de realimentación, alineado mediante el uso de espejos reflectantes (1), hacia un aislante óptico (5) que consiste en un rotador de Faraday que se encuentra entre dos polarizadores cuyos ejes de transmisión están orientados 45° el uno del otro. Este aislante óptico (5) asegura la unidireccionalidad del segmento de realimentación. Después de hacer pasar la luz láser linealmente polarizada por el aislante óptico (5), ésta atraviesa una lámina de media onda (6) que convierte al estado de polarización "y", siendo tras esto la luz realimentada en el medio activo. En los ejemplos ilustrados en las figuras 6 y 7, la frecuencia de repetición de pulsos es 1 GHz ($t_1 = 1\text{ns}$). En la figura 6a, el empleo de tiempos de desfase en la realimentación de la luz láser (t_2) iguales a $1.2(t_1)$ da lugar a trenes de pulsos cortos de 30 ps. La componente "x" de la emisión muestra que los pulsos de luz láser emitidos aparecen en conexión con una emisión multi-modal, tal y como se puede observar en la figura 6b. Los diferentes picos en el espectro óptico del campo están separados por aproximadamente $1/t_1$ tal y como es característico del bloqueo de modos. La anchura espectral de la emisión láser así obtenida es de 15 GHz, valor que se ajusta al ancho de banda óptico disponible, y que indica que la duración de los pulsos generados está limitada por este último factor. El estudio de la inversión de población en el medio activo, figura 6c, muestra que la llegada de un pulso con polarización "x" induce una reducción en la población. Esto se corresponde con un estadio rápido que dura aproximadamente la duración del pulso. Este estadio es seguido por una recuperación lenta la cual es interrumpida por la llegada del haz láser con polarización ortogonal después de un tiempo Δt . Esto causa otra reducción de la población hacia su valor mínimo, y desde aquí la inversión de población exhibe un segundo estadio de recuperación lenta de duración $t_1 - \Delta t$, hasta la llegada del próximo pulso láser con polarización "x". Este proceso se repite cada período t_1 . Por esto la selección de Δt juega un papel decisivo en la obtención de un bloqueo de modos estable. En la figura 7 se muestra un diagrama de bifurcación mostrando las intensidades máximas y mínimas de ambas polarizaciones en

ES 2 329 206 B1

función del incremento del tiempo de retardo de la reinyección t_2 . Para cada t_2 fijo, un único punto en el diagrama representa emisión continua, dos puntos indican un régimen de operación estable y más de dos puntos establecen un régimen quasi-periódico. Para esta selección particular de los parámetros, el sistema opera de modo continuo cuando $t_1=t_2$, para cualquier intensidad de la reinyección. Cuando t_2 aumenta, el régimen continuo se vuelve inestable y aparece una oscilación de la amplitud de la luz emitida cuya amplitud crece con t_2 , y así se obtienen pulsos con alto ratio de extinción sobre un amplio intervalo de t_2 . Esta región define una anchura de resonancia y un tiempo de reinyección óptimo para el cuál se consigue la mayor potencia de salida y el pulso más corto. Valores mayores de t_2 producen ventanas de pulsos irregulares, así la estructura general consiste en un bloqueo de modos en los intervalos que definen las resonancias, que cualitativamente se repiten cada $t_2 \approx n \cdot t_1$ siendo n un número entero. Esta figura provee un escenario característico cuando se cambia el tiempo de retardo a una intensidad de reinyección fija.

A pesar de la simplicidad de este sistema, el cuál restringe la anchura espectral de la emisión a unos pocos GHz, dicho sistema permite generar por bloqueo de modos pulsos estables tan cortos como 30 ps a una frecuencia de repetición de unos cuantos GHz.

Ejemplo 2

Uso del aparato de la invención para obtener pulsos de luz láser más cortos

Mediante el aumento de la anchura de banda óptica del sistema es posible obtener pulsos de anchuras más estrechas. Esta situación, descrita esquemáticamente en la figura 3, puede ser obtenida utilizando un amplificador óptico VCSCOA cuyo espejo superior tenga una reflectividad moderada. Ello permite, además, la inclusión del segmento de realimentación dentro de la cavidad láser, con lo que se puede dirigir mayor potencia al segmento de realimentación tal y como se muestra en la figura 3. En este diseño, el haz de luz emitido por el VCSCOA (10) es colimado por una lente (7), dicho haz es posteriormente polarizado por la acción del divisor de luz polarizante (3), parte de la luz láser polarizada que se ha generado es dividida por medio de un divisor de luz (4) que se encuentra dentro del sistema resonante, y que dirige el haz láser dividido hacia un conjunto de espejos (1) alineados con un aislante óptico (5) que envía la luz hacia una lámina de media onda (6) que rota la polarización de la luz láser y la dirige hacia el medio activo. En este sistema el espejo (1) del sistema resonante tiene una reflectividad del 100% ya que la salida del pulso láser se realiza a través de una desviación tomada del divisor de luz (4). La figura 8 muestra el resultado de este sistema cuando se incrementa el tiempo de retardo en la realimentación desde $2 \cdot t_1$ hasta $3 \cdot t_1$, siendo por otra parte la frecuencia de repetición fundamental de 1 GHz ($t_1 = 1$ ns). Cuando t_2 supera $2 \cdot t_1$ aparecen pulsos por bloqueo de modos pasivo estable a 1 GHz. Sin embargo, valores mayores de t_2 producen un régimen de operación inestable. Esta inestabilidad está seguida por ventanas de bloqueo de modos estable pero a armónicos. Esto permite obtener como resultado el bloqueo de modos del segundo, tercer y sexto armónicos, (figuras g, i, j respectivamente) dado que 2, 3 o 6 pulsos circulan en la cavidad resonante por viaje de ida y vuelta. La figura 9 demuestra que el sistema puede generar pulsos de 10 ps de duración a frecuencias de repetición de 10 GHz y 20 GHz.

Ejemplo 3

Uso del aparato de la invención para seleccionar la longitud de onda del pulso láser de salida

En un tercer montaje, la sustitución de un espejo del sistema resonante por una red de difracción (11) permite ajustar la longitud de onda del pulso láser de salida del dispositivo tal y como se ilustra en la figura 4. En este caso lo más conveniente es utilizar un amplificador óptico VCSCOA (10) a fin de aumentar el rango óptico de amplificación. Este dispositivo funciona de forma análoga al sistema del ejemplo 2, donde la red de difracción (11) actúa como un espejo selectivo en la longitud de onda de emisión.

Ejemplo 4

Diseño de un sistema para generar pulsos de luz láser integrado en un anillo de fibra óptica

El siguiente ejemplo presenta un sistema robusto apropiado para aplicaciones a longitudes de onda de 1550 nm, capaz de ser integrado en dispositivos planos y que está caracterizado por ser un anillo láser semiconductor con bloqueo de modos tal y como se ilustra en la figura 5. Este sistema comprende un amplificador óptico semiconductor, en adelante SOA, como fuente (12), que dirige la luz hacia un divisor de haz polarizante (3) el cual divide el haz de salida del amplificador óptico semiconductor (12), en dos polarizaciones (x, y) de las cuales una de ellas es eliminada fuera del sistema resonante y se toma como salida, mientras que la otra polarización es dirigida hacia un filtro de paso de banda (13) que selecciona la longitud de onda de la luz que va a realimentar el amplificador óptico semiconductor (12), actuando así como un elemento limitador de la anchura de banda.

El elemento (13) tiene que ser no reflejante para garantizar la unidireccionalidad operacional del dispositivo. Desde este punto la luz es dirigida hacia un aislante óptico (5) y de aquí a un divisor de haz en forma de Y (14), el cual divide el haz en dos ramas, una de estas ramas forma parte del sistema resonante, mientras que la otra forma parte del segmento de realimentación. Debido a que este segundo segmento presenta diferente longitud, introduce un tiempo de retraso en la luz que realimenta el sistema resonante. Además el sistema presenta un controlador de la polarización en cada uno de los segmentos que proporciona polarizaciones ortogonales a la salida y que aseguran que la polarización que realimenta el sistema óptico semiconductor (12) esté correctamente alineada.

REIVINDICACIONES

5 1. Método para la generación de pulsos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos por fenómenos de saturación cruzada de ganancia entre haces con polarizaciones ortogonales, donde uno de estos haces es una copia de la luz láser polarizada generada por el dispositivo láser que ha sido previamente rotada, retardada e introducida en la cavidad resonante mediante un sistema de realimentación.

2. Aparato láser capaz de llevar a cabo el método según la reivindicación 1, que comprende:

10 i) Un láser que comprende:

a) Un medio activo

15 b) Un sistema resonante formado por al menos un espejo y un divisor de luz polarizante.

c) Un divisor de luz que se encuentra fuera del sistema resonante y

20 ii) Un segmento de realimentación que comprende:

a) Al menos dos espejos reflectantes alineados

c) Un aislante óptico.

25 d) Una lámina de media onda.

3. Aparato láser según la reivindicación 2, donde el medio activo es un láser VCSEL.

4. Aparato láser según la reivindicación 2, donde el medio activo es un Amplificador Óptico VCSEA.

30 5. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, donde el divisor del haz no polarizante se encuentra incluido en el sistema resonante.

6. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 3, 4 y 5, donde al menos uno de los espejos de la cavidad resonante ha sido sustituido por una red de difracción.

7. Aparato láser capaz de llevar a cabo el método de la reivindicación 1, cuya estructura esta basada en al menos un anillo de fibra óptica que comprende:

40 i) Un primer anillo de fibra óptica que comprende:

a) Un medio activo

45 b) Un divisor de luz polarizante

c) Un filtro de paso de banda

d) Un aislante óptico y

50 e) Un controlador de la polarización y

ii) Un sistema de realimentación de fibra óptica acoplado al anillo principal que comprende:

55 a) Un controlador de la polarización.

8. Aparato láser según la reivindicación anterior en el que el medio activo es un amplificador óptico de semiconductor (SOA).

Fig. 1

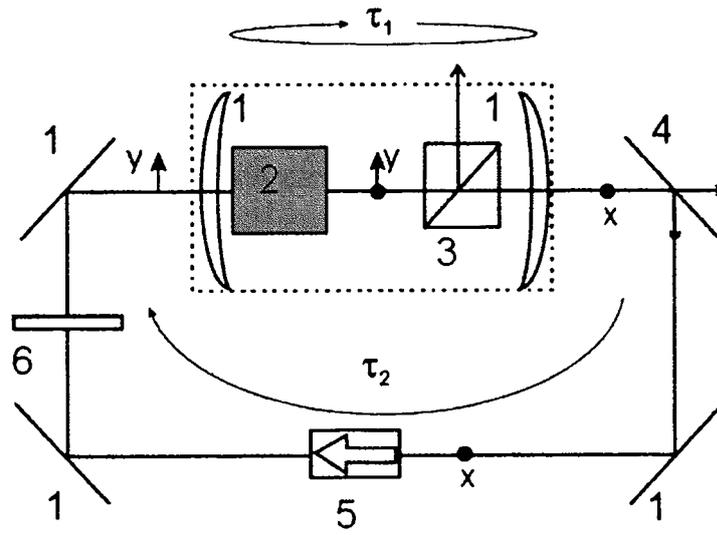


Fig. 2

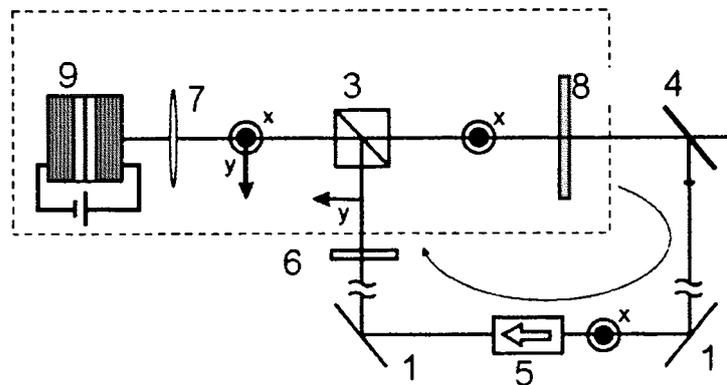


Fig. 5

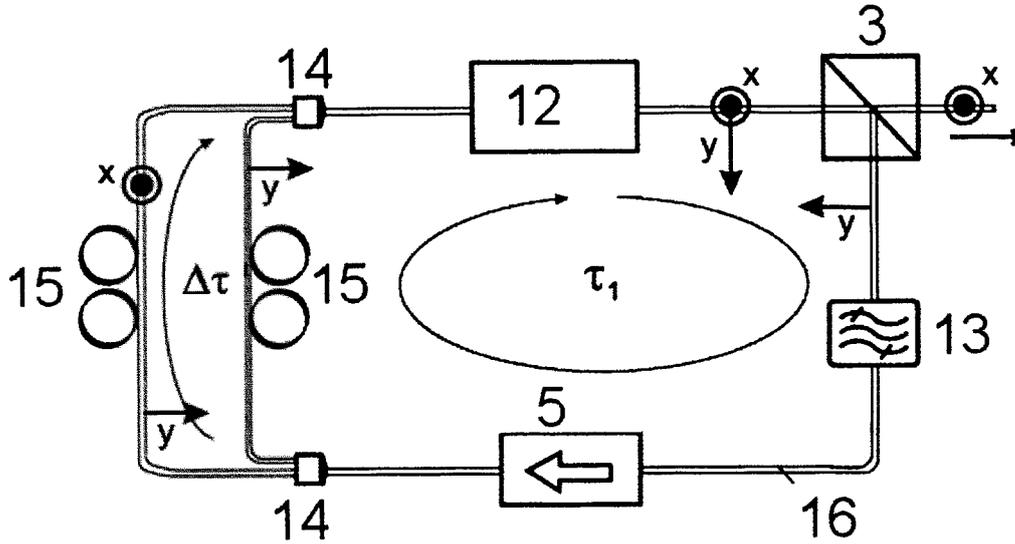


Fig. 6

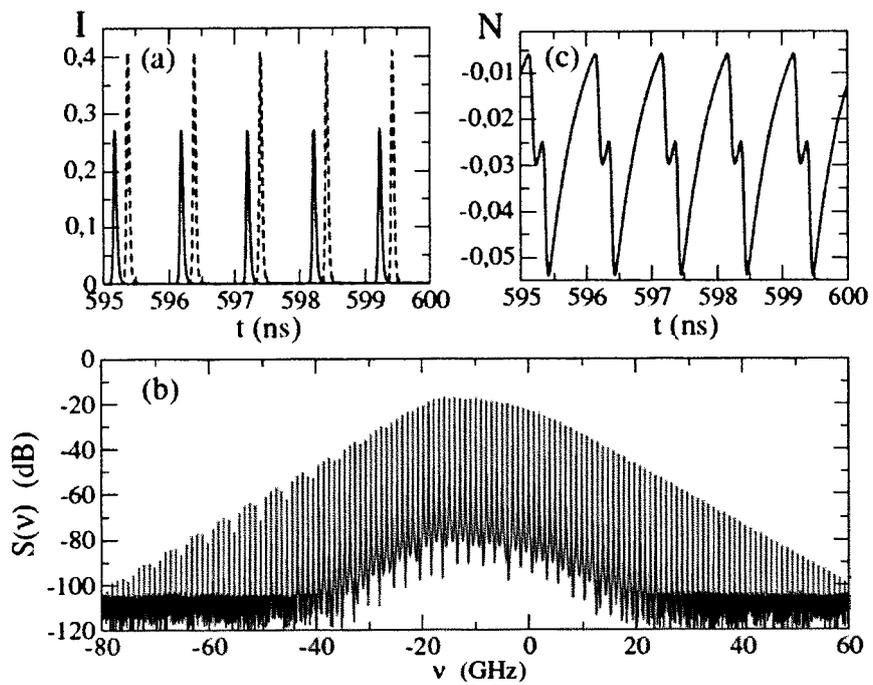


Fig. 7

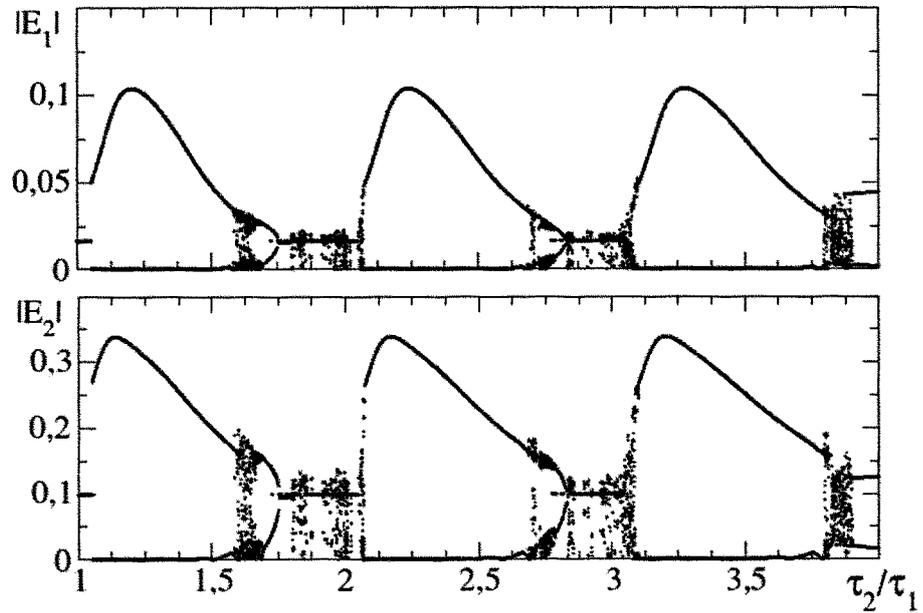


Fig. 8

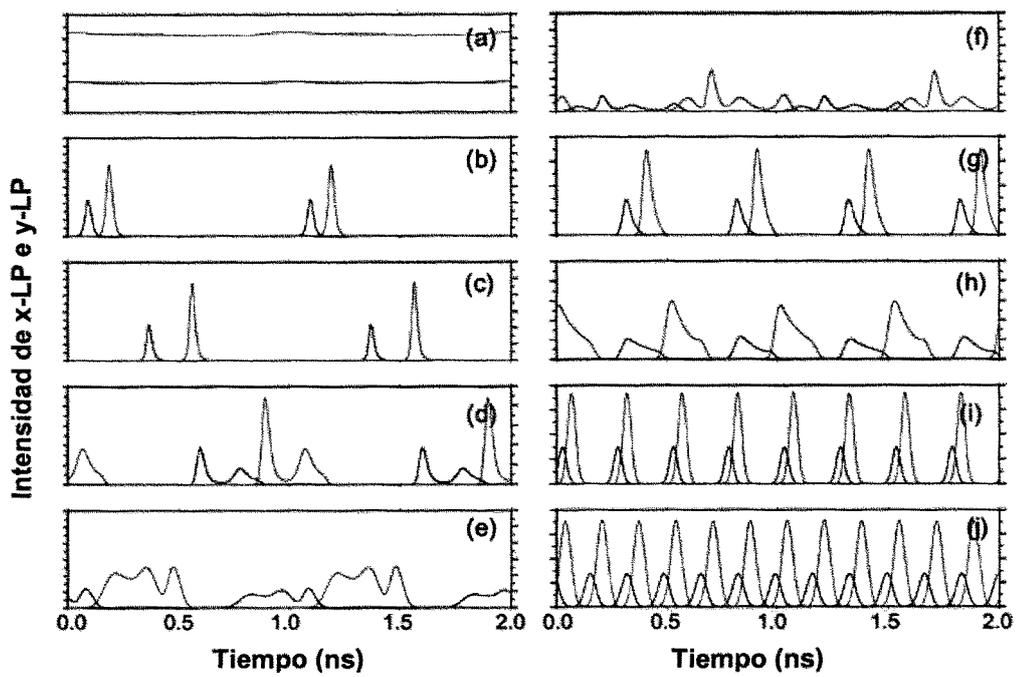
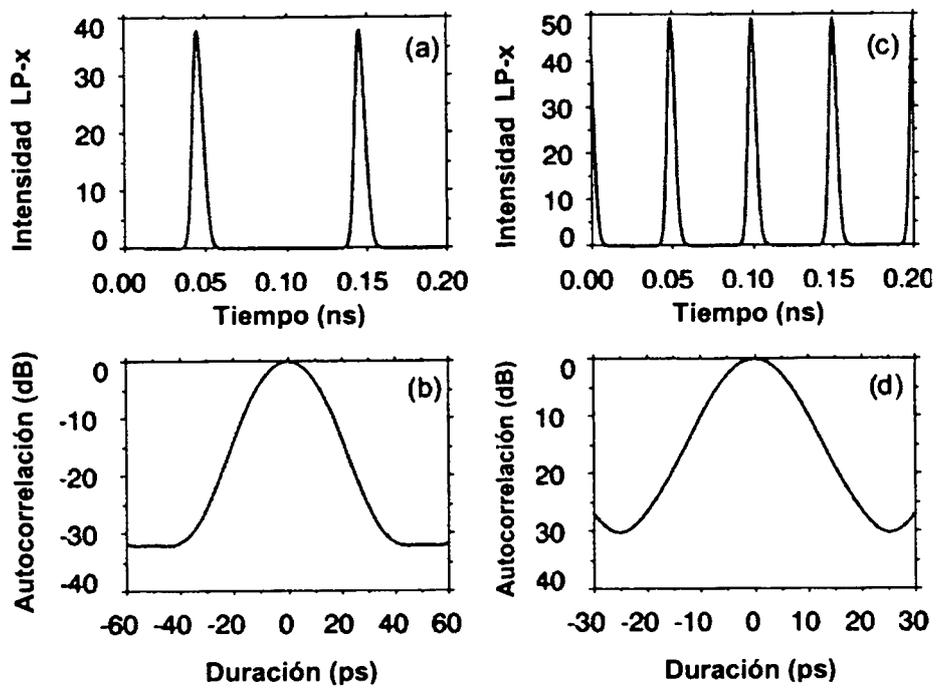


Fig. 9





OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 329 206

② Nº de solicitud: 200601134

③ Fecha de presentación de la solicitud: **04.05.2006**

④ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.: **H01S 5/065** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	CARRUTHERS, T.; DULING, I. & DENNIS, M.: "Active-passive modelocking in a single-polarisation erbium fibre laser", ELECTRONICS LETTERS, 23.06.1994, Vol. 30, Nº 13, IEE STEVENAGE GB, páginas 1.051-1.053, ISSN 0013-5194.	1-8
A	COUDERC, V.; GUY, O.; ROISSÉ, E. & BARTHÉLÉMY, A.: "Modelockin of CW Nd:YAG laser using nonlinear polarisation evolution in type II frequency doubling crystal", ELECTRONICS LETTERS, 02.04.1998, Vol. 34, Nº 7, IEE STEVENAGE, GB, páginas 672-673, ISSN 0013-5194.	1-8
A	OKHOTNIKOV, O. & SALCEDO, J.: "Self-starting passively modelocked fibre laser exploiting polarisation evolution in MQW waveguide", ELECTRONICS LETTERS, 18.08.1994, Vol. 30, Nº17, IEE STEVENAGE, GB, páginas 1.421-1.422, ISSN 0013-5194.	1-8
A	HOROWITZ, M. & SILBERBERG, Y.: "Noiselike generation in erbium-doped fiber lasers due to nonlinear polarizarion rotation in birefringent fibers", Technical Digest Summaries of papers presented at the Conference on Lasers and Electro-Optics Conference Edition. 1998 Technical Digest Series, Vol. 6, 1998, página 495, ISBN 1-55752-339-0.	

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:

<p>Fecha de realización del informe 06.11.2009</p>	<p>Examinador O. González Peñalba</p>	<p>Página 1/4</p>
---	--	-----------------------

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H01S

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

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 06.11.2009

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-8	SÍ
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-8	SÍ
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de **aplicación industrial**. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión:

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como ha sido publicada.

Consideraciones:

Dicha Solicitud se refiere, respectivamente en sus reivindicaciones 1, 2 y 7, a un método y a dos realizaciones de aparatos para la generación de impulsos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos por fenómenos de saturación cruzada de ganancia entre haces con polarizaciones ortogonales, de tal modo que uno de estos haces es una copia obtenida de la luz láser polarizada generada por el dispositivo láser, que es rotada y retardada antes de introducirla de nuevo en la cavidad resonante mediante un sistema de realimentación.

La reivindicación 2 recoge, como ya se ha dicho, un aparato, en este caso su versión compacta, para la realización del método anteriormente expuesto, el cual consta de un generador de láser provisto de un divisor de luz polarizante y un divisor de luz que se encuentra fuera del sistema resonante, y de un segmento de realimentación que comprende al menos dos espejos reflectantes alineados, un aislante óptico y una lámina de media onda.

En las reivindicaciones 3 a 6, dependientes de la reivindicación de dispositivo, se recogen y detallan algunos elementos y aspectos constructivos del dispositivo de la reivindicación 2, como el medio activo, la disposición del divisor de haz no polarizante y el uso de una red de difracción en sustitución de al menos un espejo de la cavidad resonante.

Por su parte, la reivindicación 7 define otra versión del aparato láser para la realización del método referido, con una estructura más extensa que está basada en al menos un anillo de fibra óptica que comprende un medio activo (concretado en la reivindicación 8 como un amplificador óptico de semiconductor), un divisor de luz polarizante, un filtro de paso de banda, un aislante óptico y un controlador de la polarización, y al cual se acopla un sistema de realimentación de fibra óptica que comprende también un controlador de la polarización.

1. Documentos considerados:

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	CARRUTHERS, T.; DULING, I. & DENNIS, M.: "Active-passive modelocking in a single-polarisation erbium fibre laser", ELECTRONICS LETTERS, 23.06.1994, Vol. 30, N° 13, IEE STEVENAGE, GB, páginas 1.051-1.053, ISSN 0013-5194.	23.06.1994
D02	COUDERC, V.; GUY, O.; ROISSÉ, E. & BARTHÉLÉMY, A.: "Modelocking of CW Nd:YAG laser using nonlinear polarisation evolution in type II frequency doubling crystal", ELECTRONICS LETTERS, 02.04.1998, Vol. 34, N° 7, IEE STEVENAGE, GB, páginas 672-673, ISSN 0013-5194.	02.04.1998
D03	OKHOTNIKOV, O. & SALCEDO, J.: "Self-starting passively mode-locked fibre laser exploiting polarisation evolution in MQW waveguide", ELECTRONICS LETTERS, 18.08.1994, Vol. 30, N°17, IEE STEVENAGE, GB, páginas 1.421-1.422, ISSN 0013-5194.	18.08.1994

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera que la presente invención tiene, para todas sus reivindicaciones, novedad y actividad inventiva por no estar comprendida en el estado de la técnica ni poder ser deducida de éste de una manera evidente por un experto en la materia.

Se han encontrado métodos, además de los citados en la memoria por el propio Solicitante, para la generación de láser con diversas formas de bloqueo de modos que permiten la obtención de haces en impulsos. Así, el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A para todas las reivindicaciones, expone la generación de impulsos de láser con una duración de orden inferior a los picosegundos en un láser en anillo de fibra dopada con erbio, al combinar el mecanismo no lineal de acortamiento de los impulsos de los láser con rotación de la polarización, en el que se produce un bloqueo de modos pasivo, con el funcionamiento con bloqueo de modos activo de los láser en anillo de polarización única unidireccional. La disposición experimental de este generador de impulsos láser, ilustrada en la Figura 1 de D01, guarda ciertas semejanzas con la de la presente Solicitud en su versión en anillo, pero, como se ha visto, su principio de funcionamiento es diferente. Dicha técnica de rotación no lineal de la polarización (NLPR) implicada en el generador de D01, también se recoge como método de bloqueo pasivo de modos en otros documentos del estado de la técnica, como el D02, asimismo citado en el IET con la categoría A para todas las reivindicaciones. Este documento expone un ejemplo de aplicación de la técnica de NLPR en el bloqueo de modos de un láser de CW Nd:YAG utilizando evolución no lineal de la polarización en un cristal de duplicación de frecuencias de tipo II.

Por su parte, D03, también citado en el IET como ejemplo del estado de la técnica, divulga un tipo alternativo al bloqueo de modos por NLPR, que consigue un bloqueo de modos de auto-iniciación en un láser de fibra dopada con erbio, basándose en la evolución de la polarización en una guía de onda MQW (múltiples pozos cuánticos) intracavidad. Si bien estos documentos y otros del estado de la técnica recogen soluciones para el mismo problema planteado en la invención (generar impulsos cortos de luz láser mediante bloqueo pasivo de modos), ninguna de ellas se basa en la saturación de ganancia cruzada entre polarizaciones ortogonales que constituye la esencia de la presente invención. Puede concluirse, por tanto, que la invención es nueva e inventiva respecto al estado de la técnica analizado.