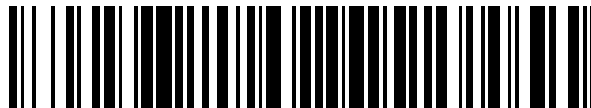


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 230**

51 Int. Cl.:

**H01S 3/11** (2006.01)

**H01S 3/08** (2006.01)

**H01S 3/081** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2013 PCT/US2013/075606**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.07.2014 WO14107294**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2013 E 13870151 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 2904670**

54 Título: **Oscilador láser en modo bloqueado de arranque automático**

30 Prioridad:

**04.01.2013 US 201313733966**

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

**14.01.2019**

73 Titular/es:

**ALCON LENSX, INC. (100.0%)  
33 Journey, Suite 175  
Aliso Viejo, CA 92656, US**

72 Inventor/es:

**RAKSI, FERENC**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 696 230 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

Oscilador láser en modo bloqueado de arranque automático

Campo técnico

5 Este documento de patente se refiere a osciladores láser, con más detalle a osciladores láser en modo bloqueado con una capacidad de arranque automático.

Antecedentes

En osciladores láser en modo bloqueado, los modos de cavidad se llenan durante los viajes de ida y vuelta de los impulsos de luz en el oscilador. Estos osciladores incluyen un componente en modo de bloqueo que sincroniza las fases de los diferentes modos de cavidad, organizándolos en una serie de impulsos láser ultra-cortos.

10 Varios mecanismos pueden conducir al modo de bloqueo, que incluye una modulación temporal o espectral de la ganancia de amplificación, pérdida de cavidad, o estructura de modo de la cavidad láser. Muchas clases de estos mecanismos pueden estar caracterizadas como comportamiento o respuesta óptica no lineal. En láseres en modo bloqueado activamente los procesos en modo de bloqueo son controlados mediante intervención activa externa. En láseres en modo bloqueado pasivamente la dinámica del propio láser modula los parámetros de la cavidad. Ambas clases de láseres pueden exhibir un rico comportamiento dinámico que determina eventualmente los parámetros operativos y las características de salida de los impulsos generados, incluyendo la duración de impulso, la potencia media, la potencia de pico, el modo de calidad, la estabilidad dinámica, y la capacidad de arranque automático.

15 Las características de salida de osciladores láser en modo bloqueado reflejan habitualmente compromisos de diseño entre requisitos contradictorios, ya que el comportamiento no lineal en modo de bloqueo está controlando más de una de las características de salida del oscilador láser. Un ejemplo de tales requisitos contradictorios es la necesidad de que el comportamiento óptico no lineal esté activo durante el tiempo suficiente para que el oscilador láser arranque automáticamente, compitiendo con la necesidad de que el comportamiento óptico no lineal esté activo solo durante un corto tiempo para crear impulsos láser ultra-cortos.

20 Algunos diseños de láser resuelven estos requisitos contradictorios o en competencia incluyendo dos componentes en modo de bloqueo con diferentes mecanismos no lineales para sincronizar las fases. Por ejemplo, uno de los espejos de extremo o el material de ganancia del oscilador pueden exhibir un mecanismo no lineal que efectúa las fases de los modos de cavidad, y un elemento absorbente adicional puede poner en modo bloqueo los modos de cavidad modulando sus amplitudes. Los requisitos de diseño en competencia anteriores se pueden resolver implementando elementos no lineales que tienen diferentes escalas de tiempo características.

25 Otro par de requisitos de diseño contradictorios implica la intensidad de haz para el inicio del comportamiento óptico no lineal. La funcionalidad de arranque automático prefiere bajas intensidades de haz de inicio, mientras que una manera eficiente de conformar los impulsos en impulsos ultra-cortos implica altas intensidades de haz de inicio. De nuevo, algunos láseres incluyen diferentes componentes que dependen de diferentes mecanismos no lineales para satisfacer simultáneamente estos requisitos de diseño.

30 Sin embargo, la utilización de elementos no lineales para resolver los conflictos de diseño en estos láseres, también presenta problemas. Cada elemento no lineal puede ser complejo y caro. Además, a menudo los beneficios tienen un coste. Por ejemplo, el efecto Kerr de fase de modulación en el que se basan algunos diseños introduce un acoplamiento complejo involuntario e indeseable entre los efectos temporales y espaciales, modulando el impulso a medida que se propaga a través del elemento no lineal basado en celdas Kerr. Esta modulación necesita ser tenida en cuenta cuando se diseña la cavidad, aumentado de forma inconveniente la complejidad del diseño. Además, la cavidad necesita ser estable sin tener en cuenta el efecto Kerr para el arranque automático, y con el efecto Kerr para generar impulsos cortos en modo bloqueado. No siempre es posible cumplir con estos requisitos. El rango operativo de tales diseños puede ser muy estrecho en términos de tolerancias de los parámetros de la cavidad. También, el láser resultante puede no ser estable contra las perturbaciones ambientales. Otros elementos no lineales también pueden presentar desafíos comparables.

35 Los documentos US 2009/052479 A1; US 2004/213302 A1; URSULA KELLER Y COL: "Semiconductor Saturable Absorber Mirrors (SESAM's) for Femtosecond to Nanosecond Pulse Generation in Solid-State Lasers", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol. 2, n° 3, Septiembre de 1996; y REGINA GUMENYUK Y COL: "Temporal control of vector soliton bunching by slow/fast saturable absorption", JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA – B., vol. 29, n° 1, Enero de 2012 describe diferentes diseños de espejos de absorbente saturable semiconductor para generación de impulso de sub-picosegundo en osciladores láser en estado sólido.

Resumen

La invención se ha definido en la reivindicación 1. Realizaciones de la invención se han expuesto en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

La fig. 1 ilustra un oscilador láser 100 con un absorbente saturable 110.

La fig. 2 ilustra la dependencia temporal de la capacidad de absorción de diferentes osciladores láser.

La fig. 3A ilustra un oscilador láser 100 con un absorbente saturable 112 y una celda Kerr 114.

5 La fig. 3B ilustra la dependencia temporal de la capacidad de absorción del oscilador láser de la fig. 3A.

Las figs. 4A-B ilustran ejemplos de un oscilador láser 200 con dos absorbentes saturables 212 y 214.

Las figs. 5A-D ilustran implementaciones del oscilador láser de dos absorbentes 200.

Descripción detallada

10 La fig. 1 ilustra un típico oscilador láser 100 en modo bloqueado pasivamente con cierto detalle. El oscilador 100 puede incluir un elemento no lineal 110, tal como un absorbente saturable 110 que sirve como un espejo de extremo o reflector de la cavidad láser del oscilador 100. El oscilador 100 también puede incluir un espejo acoplador 120 de salida, un material 130 de ganancia láser, y, para diseños compactos, uno o más espejos de plegado 140-1, 140-2, etc. El material 130 de ganancia láser puede ser bombeado por diferentes sistemas, tal como por uno o más diodos de bombeo. El bombeo excita electrones en el material 130 de ganancia a niveles de energía superiores, cuyas transiciones inducidas  
15 posteriores de nuevo a sus estados de baja energía emiten fotones, llenando los modos de cavidad del oscilador 100. La terminología es utilizada a menudo de modo que el espejo de extremo 110 y el espejo acoplador 120 de salida definen una cavidad láser.

20 Los absorbentes saturables 110 más avanzados son espejos absorbentes saturables semiconductores, o SESAMS, con estructuras de pozo cuántico como absorbentes. Mientras que aquí se describirán los principios operativos para que el elemento no lineal 110 sea un absorbente saturable, otras realizaciones pueden utilizar otros elementos no lineales, tal como elementos de ganancia saturables. En estos elementos no lineales la luz que se propaga a través del material de amplificación o de absorción cambia la densidad de población de los niveles atómicos, los niveles moleculares o la estructura de banda semiconductor y cambia así las características de ganancia, absorción o reflexión del material.

25 El elemento absorbente saturable 110 no lineal, tal como un SESAM 110, puede absorber una fracción de luz incidente de baja intensidad pero resulta saturado cuando la intensidad de la luz alcanza un nivel de umbral llamado la fluencia de saturación  $F_{sat,a}$ , perdiendo su capacidad para absorber luz cuya intensidad sobrepasa el umbral. A veces esta saturación es también denominada como la activación del absorbente saturable 110. La fluencia de saturación depende de las propiedades atómicas, moleculares y espectroscópicas del material absorbente y está dada por la fórmula  $F_{sat,a} = hv/\sigma_a$ , donde  $hv$  es la energía fotónica y  $\sigma_a$  es la sección transversal de absorción de los centros de absorción en el material.  
30 Los valores típicos para  $F_{sat,a}$  son desde  $10 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  a  $500 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ . La energía de saturación del absorbente,  $E_{sat,a}$ , es un producto de la fluencia de saturación  $F_{sat,a}$  y el área de modo efectivo  $A_{eff,a}$  en la ubicación del absorbente:  $E_{sat,a} = A_{eff,a} \cdot F_{sat,a}$ . Las relaciones análogas describen materiales de ganancia saturables, que conectan la fluencia de saturación  $F_{sat,g}$  y la energía de saturación  $E_{sat,g}$  del material de ganancia:  $E_{sat,g} = A_{eff,g} \cdot F_{sat,g}$ , donde  $F_{sat,g} = hv/\sigma_g$ , con  $\sigma_g$  es la sección transversal de ganancia de los centros de ganancia en el material y  $A_{eff,g}$  el área de modo efectivo en la ubicación del material de ganancia. En algunos casos el absorbente insaturado 110 puede absorber una fracción de absorción, tal como 1-10% de la luz incidente cuando la intensidad de la luz está por debajo del umbral de saturación. Por otro lado, una vez que la intensidad del haz sobrepasa el umbral de saturación, el absorbente 110 resulta saturado y su capacidad de absorción puede caer muy por debajo del 1%.

35 Una vez que el oscilador 100 y su diodo de bombeo son energizados, los modos de cavidad se llenan y la luz empieza a hacer viajes de ida y vuelta entre el espejo de extremo de absorbente saturable 110 y el espejo acoplador 120 de salida. Durante cada viaje de ida y vuelta, el material 130 de ganancia amplifica la luz mediante una fracción de amplificación. A potencias de bombeo bajas, y por consiguiente fluencias de haz bajas, la fracción de amplificación o ganancia del material 130 de ganancia es menor que la fracción de absorción del absorbente saturable 110, impidiendo así el inicio de la acción de emisión láser del oscilador 100. A medida que aumenta el bombeo y por lo tanto la ganancia, la fracción de amplificación puede sobrepasar la fracción de absorción y la acción de emisión láser del oscilador 100 puede activarse. Siempre que la fluencia del haz permanezca muy por debajo de  $F_{sat}$ , el absorbente tiene una acción no dinámica o no lineal y la emisión láser se producirá en un modo de onda continua.

40 A medida que aumentan adicionalmente el bombeo y por lo tanto la ganancia, la fluencia de haz puede aumentar hacia  $F_{sat,a}$ . En estas fluencias la no linealidad del absorbente saturable 110 resulta activada y da lugar a una acción dinámica: cuando las fases de los modos de cavidad del oscilador 100 se sincronizan constructivamente a través de fluctuaciones aleatorias, y da lugar así a un impulso de fase sincronizada con una amplitud mejorada cuya fluencia aumenta por encima del umbral de fluencia de saturación  $F_{sat,a}$ , la fracción de absorción del absorbente saturable 110 disminuye y así cada viaje de ida y vuelta este impulso de fase sincronizada resulta amplificado más fuertemente que el resto del haz por el material 130 de ganancia. Esta amplificación selectiva de un impulso de fase sincronizada, a menudo denominado como modo de bloqueo, inicia la orientación pulsada del oscilador láser 100 en lugar del modo de onda continua.  
55

El espejo acoplador 120 de salida puede estar diseñado para transmitir una pequeña fracción del porcentaje del impulso láser incidente durante la reflexión, liberando un impulso láser desde el oscilador 100. La fracción reflejada del impulso láser experimenta su siguiente viaje de ida y vuelta y vuelve al espejo acoplador 120 de salida nuevamente amplificado, donde el espejo acoplador 120 de salida transmite una fracción del impulso láser otra vez. Cuando este proceso es repetido durante cada viaje de ida y vuelta, el oscilador láser 100 emite un tren de impulsos láser. Este proceso es a menudo denominado como el arranque automático de las operaciones en modo bloqueado del oscilador láser 100.

Los materiales dentro de la cavidad tales como el vidrio o cristal del material de ganancia poseen dispersión cromática que da como resultado diferentes componentes espectrales del impulso que se propaga a diferentes velocidades dentro del material. Esta dispersión ensancha o difunde indeseablemente el impulso y aumenta el umbral en modo de bloqueo. Es por lo tanto común controlar la dispersión de luz en la cavidad láser incluyendo elementos de compensación en la cavidad, tales como pares de prismas dispersivos o espejos chirrido. Se ha observado que incluso el mecanismo de arranque automático puede ser ayudado por tales elementos de compensación.

Una medida útil para cuantificar la dispersión es la "dispersión de retardo de grupo", o GDD, a menudo definida como:

$$GDD = \lambda^3/c^2 * d^2n(\lambda)/d\lambda^2 * L$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz,  $c$  es la velocidad de la luz,  $n(\lambda)$  es el índice dependiente de la longitud de onda de refracción y  $L$  es la longitud del camino óptico en la cavidad. La GDD de los elementos ópticos 110-140, y de cualquier otro elemento óptico que pueda estar presente en el oscilador 100 se puede determinar por ejemplo por medición o deducirla del diseño. Armado con el conocimiento de la GDD, se puede implementar un controlador de dispersión en la cavidad con una GDD de valor aproximadamente igual y opuesto a la GDD determinada de los elementos ópticos del oscilador 100. La cavidad así diseñada produce poca o ninguna dispersión durante los viajes de ida y vuelta de los impulsos, eliminando los problemas descritos y mejorando la utilidad del oscilador láser.

La compensación de dispersión también puede contrarrestar la propagación del impulso iniciada por cambios de fase de la luz que varían con el tiempo, causados por efectos no lineales. Cuando una cavidad es compensada eficientemente, minimizar la propagación temporal de los impulsos debido a la dispersión y a efectos no lineales, el impulso láser en la cavidad es denominado como un solitón y el láser es llamado para operar en el régimen en modo bloqueo de solitón.

La fig. 2 ilustra que el estado activado del absorbente saturable 110 es transitorio: una vez activado, o abierto, la capacidad de absorción del absorbente saturable 110 cae a sus valores casi transparentes solo durante un tiempo corto, seguido por una recuperación de su capacidad para absorber luz durante un tiempo de recuperación de absorbente saturable.

El diseño de estos osciladores láser 100 en modo bloqueado pasivamente se enfrenta a dos requisitos de diseño: se espera que los osciladores 100 sean capaces de arrancar de forma automática la operación en modo de bloqueo y de conformar los impulsos emitidos en impulsos láser de alta intensidad, ultra-cortos. Estos requisitos son contradictorios y compiten. Por un lado, el oscilador será capaz de arrancar de forma automática si el absorbente saturable 110 permanece abierto durante un tiempo suficientemente largo de arranque automático  $T_{SS}$  para amplificar en un impulso fuerte una pequeña fluctuación creada por la alineación accidental de varios modos de cavidad no sincronizados con diferentes períodos. El tiempo de recuperación del absorbente saturable necesario para el arranque automático,  $T_{SS}$ , depende de las diferentes características materiales y puede variar en una amplia gama. La curva (a) muestra que valores típicos de  $T_{SS}$  pueden incluir decenas de femtosegundos (fs) a decenas o centenas de nanosegundos, tal como en el intervalo de 10 fs-100 ns, en algunos otros casos 100 fs-10 ns, todavía en otros casos 500 fs-10 ns.

Por otro lado, cuanto más largo es el tiempo de recuperación de absorbente saturable del absorbente saturable 110, más largo es el impulso amplificado. Por lo tanto, el segundo requisito de diseño, la necesidad de conformar los impulsos en impulsos ultra-cortos, tal como en impulsos en las decenas de intervalo de femtosegundos, exige para el mismo tiempo de recuperación de absorbente saturable que sea un tiempo  $T_{PS}$  de conformación de impulso suficientemente corto para conformar los impulsos en impulsos ultra-cortos. La curva (b) muestra que se pueden encontrar valores típicos del tiempo  $T_{PS}$  de conformación de impulso en el intervalo de 1 fs-1 ns, en otros casos de 10 fs-1 ns, todavía en otros casos de 50 fs-500 fs.

Además, la cavidad láser también necesita conseguir el comportamiento dinámico deseado en la escala de tiempo más larga de la acumulación de los impulsos en la cavidad durante muchos viajes de ida y vuelta. Cuando el láser es estable en esta escala de tiempo, el láser emite un tren de "onda continua" de impulsos en modo bloqueado en el denominado régimen en modo bloqueado cw. Si la dinámica es inestable en esta escala de acumulación, el resultado es una secuencia periódica de impulsos de  $q$  conmutada gigantes con impulsos cortos en modo bloqueado bajo la envolvente de intensidad de  $q$  conmutada, o impulsos bajo una envolvente más aleatoria. El funcionamiento del láser en tal régimen en modo bloqueado de  $q$  conmutada (QML) puede dañar potencialmente los componentes ópticos del láser. Por lo tanto, el funcionamiento en el régimen en modo bloqueado cw es a menudo deseable, por ejemplo cuando los impulsos láser son inyectados en un amplificador posterior.

Hay de nuevo requisitos contradictorios para el diseño del absorbente saturable: esta vez en las amplitudes de umbral

donde se activa la no linealidad, abriendo el absorbente. Para generar impulsos ultra-cortos, en modo bloqueado, el absorbente saturable 110 debería abrirse a intensidades superiores. Tales diseños seleccionan para una amplificación adicional solo la proximidad del pico del impulso formado accidentalmente, haciendo que el impulso sea ultra-corto. Para completar, la saturación de ganancia y la lente Kerr a menudo se sintonizan con la absorción para conseguir impulsos de intensidad superior, ultra-cortos.

Desafortunadamente, es más probable que las mismas amplitudes de umbral den lugar a la conmutación  $q$  indeseable. Sin embargo, estos requisitos en competencia aún dejan un intervalo limitado de parámetros dónde se puede conseguir el modo de bloqueo  $cw$  sin conmutación  $q$ . Sin ajustar la lente Kerr, se puede conseguir estabilidad contra QML sintonizando la absorción y la saturación de ganancia para satisfacer:

$$E_P \left| \frac{dq_P(E_P)}{dE_P} \right|_{E_{st}} < \frac{T_R}{\tau_L} + \frac{E_P}{E_{sat,g}},$$

dónde  $q_P(E_P)$  representa la pérdida de viaje de ida y vuelta en la energía de impulso introducida por el absorbente saturable para un impulso dado en modo bloqueado con energía de impulso dentro de la cavidad  $E_P$  en la cavidad;  $E_{st}$  es el valor es estado constante de la energía de impulso;  $T_R$  es el tiempo del viaje de ida y vuelta de la cavidad; y  $\tau_L$  es la vida útil del estado superior del medio de ganancia. Esta ecuación muestra que para una pequeña potencia dentro de la cavidad la reducción de la pérdida debería ser mayor que la reducción de la ganancia, con el fin de encender el modo de bloqueo y mantener la energía de impulso creciendo exponencialmente. Sin embargo, la reducción de pérdida debería estar limitada por encima de una cierta energía dentro de la cavidad según lo prescrito por la magnitud imitada de la derivada de la pérdida en la ecuación anterior. Desde ese punto la ganancia disminuiría más rápido de lo que disminuiría la pérdida y el impulso láser dejaría de crecer más, evitando oscilaciones y conmutación  $q$ . En la ecuación  $q_P(E_P)$  representa todas las pérdidas saturables. Por ejemplo, en el caso de dos absorbentes en la cavidad,  $q_P(E_P)$  es la suma de las contribuciones de los absorbentes individuales:  $q_P = q_{P1} + q_{P2}$ .

En suma, la forma de impulso y el arranque automático impone requisitos contradictorios en el tiempo de recuperación y la conformación de impulso y la estabilidad QML impone requisitos contradictorios en la fluencia de saturación. La necesidad de satisfacer estos requisitos contradictorios plantea un desafío sustancial en el diseño de osciladores láser en modo bloqueado pasivamente que utilizan un solo elemento no lineal, tal como el absorbente saturable 110.

La fig. 3A ilustra que, como se ha mencionado antes, algunos osciladores láser 100 pueden hacer uso de dos elementos no lineales, un elemento no lineal lento 112 y un elemento no lineal rápido 114, para satisfacer estos requisitos de diseño conflictivos. Por ejemplo, el elemento no lineal lento puede ser un absorbente saturable 112 y el elemento no lineal rápido puede ser una célula Kerr 114. La célula Kerr puede ser un elemento separado en la cavidad o el material 130 de ganancia puede proporcionar el cambio no lineal en el índice de refracción. Los elementos restantes del oscilador 100 pueden ser análogos al espejo acoplador 120 de salida descrito previamente, al material 130 de ganancia, y a los espejos de plegado 140-1/140-2.

La fig. 3B ilustra que en estos diseños, la dependencia temporal de la capacidad de absorción puede ser compleja. Cuando la intensidad de la luz sobrepasa un umbral debido a una fluctuación, el elemento no lineal lento 112 puede ser capaz de arrancar de forma automática el oscilador 100 mediante su inmersión de absorción, siempre y cuando su tiempo de recuperación  $T_{SS}$  sea suficientemente lento. El elemento no lineal rápido 114 puede superponer en esta curva de recuperación lenta un proceso de recuperación más rápido con este tiempo de recuperación más rápido  $T_{PS}$  para conformar los impulsos en impulsos ultra-cortos.

Sin embargo, tales diseños pueden tener al menos los siguientes inconvenientes. (a) Utilizar dos elementos no lineales es costoso. (b) Implementar dos elementos ocupa espacio extra que es de alta calidad en una cavidad de oscilador estrecha. (c) Tener dos elementos separados complica el proceso de fabricación. (d) Los dos elementos pueden requerir sintonización y calibración separados. Y finalmente, (e) introducen el doble de consecuencias no deseadas, que necesitan una compensación adicional. El problema (e) surge porque el elemento no lineal lento 112 y el elemento no lineal rápido 114 utilizan típicamente diferentes modos de funcionamiento, tal como un efecto Kerr que modula la fase y un SESAM que modula la amplitud. Estos diferentes modos de funcionamiento pueden conducir a diferentes tipos de consecuencias no deseadas. Por ejemplo, como se ha descrito antes, el efecto Kerr introduce un acoplamiento complejo indeseable entre los efectos temporales y espaciales, modulando el impulso cuando se propaga a través del elemento no lineal. Esta modulación necesita ser compensada, por ejemplo insertando lentes dinámicas adicionales en la cavidad, aumentando adicionalmente la complejidad del diseño.

La fig. 4A ilustra realizaciones que proporcionan una solución simple a los desafíos de diseño contradictorios anteriores. Una de las realizaciones es un oscilador láser 200 para amplificar un haz de luz pulsada que puede incluir los análogos de elementos previamente introducidos: un espejo de extremo 210 para devolver el haz de luz pulsada al oscilador láser 200, un espejo acoplador 220 de salida para reflejar una parte reflejada del haz de luz pulsada de nuevo en el oscilador láser, y para acoplar una parte emitida del haz de luz pulsada fuera del oscilador láser 200, y un material 230 de ganancia láser, posicionado entre el espejo de extremo 210 y el espejo acoplador 220 de salida a lo largo de una trayectoria óptica para amplificar el haz de luz. Los osciladores 200 que están destinados a funcionar en un entorno espacial reducido pueden también incluir uno o varios espejos de plegado tales como 240-1 y 240-2.

Además, el oscilador 200 puede incluir de nuevo dos elementos no lineales, 212 y 214, uno optimizado para el requisito de arranque automático en modo bloqueado, el otro para el requisito de conformación de impulso ultra-corto. Sin embargo, en contraste con el oscilador 100, en realizaciones del oscilador 200 de acuerdo con la presente invención los elementos no lineales 212 y 214 tienen el mismo principio operativo, ya que ambos son absorbentes saturables.

5 En algunos osciladores 200, el absorbente saturable de arranque automático 212 y el absorbente saturable de conformación de impulso 214 pueden ser elementos ópticos separados. En algunos osciladores 200 el absorbente saturable de arranque automático 212 y el absorbente saturable de conformación de impulso 214 pueden ser capas separadas dentro del único espejo de extremo 210. En cualquiera de estos casos, se pueden seleccionar los parámetros de material y las posiciones de los absorbentes 212 y 214 para optimizar sus funcionalidades.

10 La optimización puede implicar elegir adecuadamente los tiempos de recuperación y las fluencias de umbral del absorbente saturable de arranque automático 212 y del absorbente saturable de conformación de impulso 214. El absorbente saturable de arranque automático 212 puede tener un tiempo  $T_{SS}$  de recuperación de arranque automático en el intervalo de 10 fs-100 ns, 100 fs-10 ns o 500 fs- 10 ns. El absorbente saturable de conformación de impulso 214 puede tener un tiempo  $T_{PS}$  de recuperación de conformación de impulso en el intervalo de 1 fs-1 ps, 10 fs-1 ps, o 50 fs-500 fs. Por consiguiente, en algunos casos, el tiempo  $T_{PS}$  de recuperación de conformación de impulso puede ser 1-1.000 veces más corto que el tiempo  $T_{SS}$  de recuperación de arranque automático. En otras realizaciones,  $T_{PS}$  puede ser 10-100 veces más corto que el tiempo  $T_{SS}$  de recuperación de arranque automático. Los intervalos adecuados en las fluencias de umbral se describen más tarde.

20 Cada uno del absorbente saturable de arranque automático 212 y del absorbente saturable de conformación de impulso 214 puede funcionar en un modo de transmisión o de reflexión.

El oscilador 200 que tiene un par de elementos 212 y 214 no lineales con el mismo principio operativo puede cumplir con los desafíos de diseño enumerados anteriormente de las siguientes maneras. (a) Utilizar un par de elementos no lineales del mismo principio es más barato, cuando puede estar formados de una manera integrada como capas separadas en el mismo cristal semiconductor. (b) De forma análoga, los dos elementos no lineales del mismo principio pueden ocupar menos espacio, especialmente en las realizaciones integradas. (c) Basándose en el mismo principio operativo, la fabricación conjunta de los elementos 212 y 214 no lineales también es más simple. (d) La calibración de los dos elementos 212 y 214 no lineales del mismo principio también es más fácil. Y, finalmente (e) dado que los dos elementos 212 y 214 no lineales funcionan basándose en el mismo principio, no hay necesidad de dos mecanismos de compensación separados para sus consecuencias y efectos no deseados.

30 Para resaltar el último punto (e), en un oscilador láser 100 donde el elemento 110 no lineal o al menos uno de los elementos 112/114 no lineales funciona sobre la base del efecto Kerr, el índice de refracción de un material es modulado como una función de la intensidad de la luz a través de un acoplamiento complejo de los efectos temporales y espaciales. El índice de refracción es modulado en el tiempo a medida que el impulso se propaga a través del material no lineal. Una de las consecuencias de esta modulación es que el perfil espacial del impulso perpendicular a la dirección de propagación resulta distorsionado espacialmente, dado que la parte central de mayor intensidad del impulso sufre una modulación de fase más alta que sus "alas", distorsionando así el haz. Este efecto es a veces denominado como enfoque automático. Las cavidades láser de este tipo necesitan un diseño muy cuidadoso y una implementación precisa. A menudo tienen un filtro espacial dentro de la cavidad, tal como una abertura, por lo que la cavidad total prefiere los modos de impulso corto deseados y suprime los modos no bloqueados o de impulso largo. Como se ha observado antes, la necesidad de tales elementos de compensación aumenta la complejidad del diseño, requiere el ajuste fino de la cavidad láser, y hace que se consiga la estabilidad y un buen modo de perfil espacial para el haz láser más desafiante. También, las celdas Kerr tienen típicamente fluencias de umbral mucho más altas y es difícil hacerlas funcionar con impulsos de pico segundo, relativamente más largos.

45 Motivadas por estas complicaciones, las realizaciones de acuerdo con la presente invención del oscilador 200 utilizan absorción saturable como el principio de funcionamiento compartido de los elementos 212 y 214 no lineales. Estos osciladores 200 emplean absorbentes saturables 212 y 214 en lugar de celdas Kerr, como absorbentes saturables no modulan la fase de luz considerablemente; actúan principalmente sobre la amplitud de la luz. Utilizar la absorción saturable como el principio compartido elimina la necesidad de implementar mecanismos de control para los modos transversales en el oscilador 200.

50 Una manera eficiente de implementar el mismo principio operativo es formar los absorbentes saturables 212 y 214 a partir del mismo material, tal como a partir del mismo semiconductor.

Algunas realizaciones del oscilador pueden utilizar dos elementos de ganancia.

55 Incluso en las realizaciones del mismo principio los desafíos de diseño anteriores necesitan ser abordados. Si los absorbentes saturables 212 y 214 están formados en el mismo semiconductor, el absorbente saturable de arranque automático 212 necesita que la fluencia de umbral del semiconductor sea baja de modo que pueda inicial el oscilador 200 amplificando las pequeñas fluctuaciones aleatorias del haz, mientras que el absorbente saturable de conformación de impulso 214 necesita que la fluencia de umbral sea alta de modo que pueda seleccionar y amplificar solo el pico de

los impulsos, haciéndolos así los más cortos posibles.

La fig. 4A ilustra una realización de transmisión del absorbente saturable de arranque automático 212 y del absorbente saturable de conformación de impulso 214. La fig. 4B ilustra una realización de reflexión del absorbente saturable de arranque automático 212 y del absorbente saturable de conformación de impulso 214. Algunos de estos osciladores 200 pueden hacer uso de espejos de plegados 240-3 y 240-4 adicionales.

Las figs. 5A-C ilustran que realizaciones de acuerdo con la presente invención del oscilador láser 200 abordan estos requisitos de diseño contradictorios exponiendo los dos absorbentes saturables a diferentes intensidades de haz, mientras que la fig. 5D ilustra que otros ejemplos no de acuerdo con la invención pero útiles para comprender la invención modifican las fluencias de umbral de los dos absorbentes saturables, como se describe a continuación.

El oscilador 200 de la fig. 5A puede enfocar el haz láser a un punto focal FS, por ejemplo utilizando un espejo de plegado 240 de enfoque, posiblemente en combinación con un extensor de haz. Para mayor claridad, solo la sección relevante del oscilador 200 se ha mostrado explícitamente. Posicionar los absorbentes saturables 212 y 214 de manera diferente en relación con el punto focal FS es una manera eficiente de controlar la intensidad de haz experimentada por los absorbentes individualmente, a medida que el enfoque comprime el radio del haz alrededor del punto focal FS y aumenta así la intensidad del haz (energía del haz por unidad de área) allí. Tal expansión y nuevo enfoque del haz se puede conseguir incluyendo también una amplia variedad de elementos refractivos y reflexivos.

En estas realizaciones del oscilador 200, el absorbente saturable de arranque automático 212 se puede colocar cerca del punto focal FS donde el haz resulta comprimido a su radio más pequeño. Por lo tanto, cuando después de energizar el oscilador 200 la luz empieza a fluctuar, la intensidad o la fluencia del haz de fluctuación sobrepasa el umbral primero en un punto focal FS, cerca de donde está ubicado el absorbente saturable de arranque automático 212. En respuesta, el absorbente saturable de arranque automático 212 resulta activado y la fluctuación resulta amplificada durante sus viajes de ida y vuelta. Dado que el absorbente saturable de arranque automático 212 tiene un tiempo  $T_{SS}$  de recuperación suficientemente lento, la fluctuación amplificada puede arrancar automáticamente el oscilador 200.

Al mismo tiempo, dado que el absorbente saturable de conformación de impulso 214 está posicionado más lejos del punto focal FS que el absorbente saturable de arranque automático 212, en su ubicación el mismo haz es distribuido sobre un radio de haz más largo y así la intensidad del haz experimentada por el absorbente saturable de conformación de impulso 214 es inferior a la intensidad experimentada por el absorbente saturable de arranque automático 212. Por esta razón, la misma fluctuación que activó el absorbente saturable de arranque automático 212 no activa el absorbente saturable de conformación de impulso 214 si están formados a partir del mismo semiconductor y tienen así la misma fluencia o intensidad de umbral. Una vez que el absorbente saturable de arranque automático 212 ha iniciado el oscilador 200 y el impulso en modo bloqueado empieza a resultar más y más amplificado después de unos pocos viajes de ida y vuelta, eventualmente la intensidad de impulso sobrepasa el umbral de fluencia también en la ubicación del absorbente saturable de conformación de impulso 214, activándolo o abriéndolo. Una vez que el absorbente saturable de conformación de impulso 214 también es activado, empieza a reducir el impulso, conformándolo en un impulso ultra-corto.

Expresando el diseño de la fig. 5A de otra manera, el oscilador 200 puede variar espacialmente un radio R de haz del haz de luz pulsada a lo largo de una trayectoria óptica en el oscilador. El absorbente saturable de arranque automático 212 puede estar dispuesto en una primera ubicación en el oscilador 200 donde el radio del haz es  $R_1$ , y el absorbente saturable de conformación de impulso 214 puede estar dispuesto en una segunda ubicación en el oscilador 200 donde el radio del haz es  $R_2$ , en donde  $R_1$  es menor que  $R_2$ .

La fig. 5B ilustra otra realización integrada del oscilador 200 donde el absorbente saturable de arranque automático 212 y el absorbente saturable de conformación de impulso 214 están formados no solo del mismo tipo de semiconductor, sino de hecho dentro del mismo cristal semiconductor: en un sustrato 216 del espejo de extremo 210. En el diseño de absorbente saturable reflexivo mostrado, una capa de espejo 218 del espejo de extremo 210 puede formar una onda estacionaria a partir del haz de luz incidente y del haz de luz reflejada. De forma análoga al principio de diseño de la realización de la fig. 5A, el absorbente saturable de arranque automático 212 puede estar formado como una capa donde la intensidad del haz es alta, tal como lejos de los nodos de la onda estacionaria, mientras que el absorbente saturable de conformación de impulso 214 puede estar formado donde la intensidad del haz es inferior, tal como más cerca de un nodo de la onda estacionaria. Como antes, con este diseño como unas formas de fluctuación accidentales, la intensidad de la luz crece por encima del umbral de fluencia primero en el absorbente saturable de arranque automático 212, activándolo para arrancar de forma automática el oscilador 200. A medida que los impulsos resultan amplificados durante sus viajes de ida y vuelta, la intensidad del haz alcanza el umbral incluso alrededor de regiones de nodo de la onda estacionaria donde está ubicado el absorbente saturable de conformación de impulso 214, activando así el absorbente saturable de conformación de impulso 214. Una vez activado, el absorbente saturable de conformación de impulso 214 puede conformar entonces los impulsos en impulsos ultra-cortos.

En estas arquitecturas, las capas de absorbentes saturables pueden estar formadas y posicionadas eficientemente utilizando diseños de pozo cuántico, dado que el grosor de los pozos cuánticos puede ser controlado con una precisión mucho menor que la longitud de onda de la luz y también se pueden controlar muy bien las condiciones de crecimiento.

En estas realizaciones integradas, donde las dos capas de absorbente están formadas en el mismo semiconductor, dado que las capas están creciendo secuencialmente, se pueden aplicar diferentes condiciones de crecimiento a las capas de absorbente saturable de arranque automático y de conformación de impulso. Estos diseños pueden conseguir diferentes fluencias de saturación y tiempos de recuperación para las capas de absorbente saturable 212 y 214.

- 5 La fig. 5C ilustra un oscilador 200 con el espejo de extremo 210 integrado de la fig. 5B, en donde la capa de absorbente saturable de arranque automático 212 está posicionada lejos de los nodos de la onda estacionaria de luz y por lo tanto cerca de un máximo de la onda estacionaria de la luz, mientras que la capa de absorbente saturable de conformación de impulso 214 está posicionada cerca de un nodo de la onda estacionaria de luz.

- 10 A continuación, se describirán diferentes realizaciones del oscilador láser 200 de espacio libre. El oscilador láser 200 se puede utilizar como un láser iniciador para un láser de amplificación de impulso chirrido (CPA), donde los impulsos amplificados se utilizan para cirugía oftálmica. Para tales láseres quirúrgicos oftálmicos una longitud de onda en el infrarrojo cercano puede ser útil donde los cristales o vidrios dopados con Nd o Yb funcionan bien. La longitud de onda del láser puede estar en el intervalo de 1030 nm-1070 nm. Cuando los impulsos del oscilador son amplificados posteriormente en un amplificador, la potencia del oscilador es menos crítica. Así, una potencia media de 10 a 250 mW relativamente baja puede ser suficiente, con una duración de impulso entre 1 fs y 1.000 fs, o 150 fs y 500 fs y una frecuencia de repetición entre 1 MHz y 1.000 MHz, o 40 y 150 MHz. Estos niveles de potencia, duraciones de impulso y frecuencias de repetición se pueden conseguir con materiales de ganancia de Nd e Yb en una configuración óptica compacta. Por ejemplo, en un láser con una potencia media de 100 mW, una duración de impulso de 300 fs, una frecuencia de repetición de 100 MHz, un acoplador de salida del 5% y pérdidas no saturables, la potencia media dentro de la cavidad puede ser 2 W, o 20 nJ de energía por impulso con una potencia de pico de aproximadamente 6 kW.

- 15 Con una longitud de cavidad de 1,5 m, un acoplador de salida plano y espejos de enfoque alrededor del cristal y el SESAM con un radio de curvatura de 0,1 m, el área de modo puede ser de aproximadamente 800 micrómetros cuadrados dentro del cristal y en el SESAM, dando como resultado una fluencia óptica de aproximadamente 2.400  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ . Con el fin de impedir una conmutación Q, el absorbente saturable de conformación de impulso 214 puede funcionar en óptica, o funcionar, con fluencias de 3-10 veces, 2-30 veces o 1-100 veces la fluencia de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso 214. Esta noción puede establecer un valor de diseño para la fluencia de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso 214 en el intervalo de 20-2.000  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ , 80-1.200  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ , o 200-800  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ .

- 20 Dado que el oscilador 200 puede ser capaz de producir impulsos que son hasta diez veces más cortos que el tiempo de recuperación del absorbente, especialmente en el régimen de modo bloqueado de solitón, el tiempo de recuperación del absorbente saturable de conformación de impulso puede ser de aproximadamente 1-10 picosegundos, en algunos casos, aproximadamente 3 ps.

- 25 Con el fin de iniciar las operaciones en modo bloqueado de forma fiable, el absorbente saturable de arranque automático 212 puede ser capaz de "organizar previamente" los modos del láser para generar picos de impulso casi aleatorios, que pueden activar el absorbente de conformación de impulso 214. Esto sucederá si el contenido de energía de los picos de impulso dentro de una ventana de tiempo del tiempo de recuperación del absorbente de conformación de impulso 214 es una fracción notable de la energía de saturación del absorbente de conformación de impulso 214. Para alcanzar por ejemplo 1/10 de la energía de saturación del absorbente de conformación de impulso 214 a 5 veces la energía de saturación del absorbente de arranque automático 212, la fluencia de saturación del absorbente de arranque automático 212 puede ser  $5 \cdot 10 = 50$  veces inferior a la del absorbente de conformación de impulso 214. Con los intervalos numéricos anteriores para el absorbente de conformación de impulso 214, este factor de aproximadamente una relación de 50 puede traducirse en un intervalo de fluencias de saturación de aproximadamente 0,5-40  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ , 2-25  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$ , o un intervalo de 4-15  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  para el absorbente de arranque automático 212. En diferentes realizaciones, la relación de una fluencia de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso 214 a una fluencia de saturación del absorbente saturable de arranque automático 212 puede estar en un intervalo de 1-100, 2-30, y 3-10, que define intervalos de fluencia de saturación adicionales para el absorbente saturable de arranque automático 212.

El tiempo de recuperación del absorbente de arranque automático 212 también puede ser más largo, tal como un orden de magnitud más largo que los picos de impulso de arranque deseado, o el tiempo de recuperación del absorbente de conformación de impulso 214, en el intervalo de 10-100 ps, tal como 30 ps.

- 30 Se ha observado que un tiempo de recuperación más largo puede reducir la fluencia de saturación del absorbente, las excitaciones dentro del absorbente pueden permanecer en su nivel de energía superior por más tiempo, puede almacenar más energía en el estado superior y las excitaciones relegadas no necesitan ser bombeadas de nuevo a su nivel superior. Esto es útil para el diseño del absorbente de arranque automático 212 de tiempo de recuperación largo, de fluencia de saturación baja. También se observa que después de los transitorios de activación, el absorbente de arranque automático 212 puede funcionar en el estado completamente abierto, en fluencia de 10-100 veces por encima de la saturación, tal como aproximadamente 50 veces por encima de la saturación. Esta saturación profunda también ayuda a impedir inestabilidades de conmutación Q.

El factor de diferencia 10-100 entre las fluencias de saturación de los dos absorbentes se puede dividir en dos partes.



Tomando una relación de 50 como un ejemplo, un factor de 10 puede provenir de las diferencias en el material y en las propiedades espectroscópicas del absorbente de arranque automático 212 y del absorbente de conformación de impulso 214. El factor restante de 5 puede provenir de las diferentes ubicaciones de los absorbentes 212 y 214 en relación con los nodos del patrón de onda estacionaria en el espejo de extremo 210 de SESAM integrado en capas.

5 La fig. 5D ilustra que en los ejemplos del oscilador 200, que no están de acuerdo con la invención pero que son útiles para comprender la invención, en lugar de posicionar los absorbentes saturables 212 y 214 en ubicaciones con diferentes intensidades de haz, pueden estar formados con diferentes umbrales de fluencia o umbrales de saturación. En tales ejemplos, incluso si los absorbentes experimentan intensidades de haz similares o incluso idénticas, pueden resultar activados a diferentes intensidades de haz o fluencias debido a sus diferentes umbrales. De forma análoga a las  
10 otras realizaciones, en algunos osciladores 200 el absorbente saturable de arranque automático 212 puede estar formado con un umbral de saturación inferior al umbral de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso 214. En tal oscilador 200 las fluctuaciones activan primero el absorbente saturable de arranque automático 212 que inicia la amplificación de los impulsos con un tiempo  $T_{SS}$  de relajación. Cuando la amplitud de impulso resulta amplificada durante sus múltiples viajes de ida y vuelta, alcanza el umbral de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso 214, activándolo. El absorbente saturable de conformación de impulso 214 activado conforma  
15 entonces el impulso en un impulso ultra-corto. En el ejemplo de la fig. 5D, el absorbente saturable de conformación de impulso también puede actuar como un espejo de extremo 210.

En una realización del oscilador 200, la diferencia del umbral o las fluencias de saturación se puede conseguir formando los absorbentes saturables 212 y 214 de diferentes materiales. Los materiales pueden ser elegidos de SESAM, absorbentes de semiconductor en bruto, absorbentes atómicos en vidrios o cristal, pozos cuánticos de semiconductor, puntos cuánticos, estructuras de capa de dopaje, películas delgadas de tintes orgánicos, semiconductores orgánicos, o capas de nanotubos de carbono, entre otros.  
20

En otra realización, las capas de absorbente saturable 212 y 214 pueden estar formadas de materiales similares pero con sus propiedades espectroscópicas cambiadas o modificadas. Por ejemplo el espectro de absorción del cristal semiconductor subyacente se puede modificar de modo que se cambia el pico de la absorción modificando los grosores de capa en los pozos cuánticos de los absorbentes.  
25

Aquí se recuerda que los pozos cuánticos son nano-estructuras bidimensionales cuya extensión geométrica puede ser comparable con la longitud de onda de las excitaciones cuánticas de la materia huésped: sus electrones, agujeros, excitones, y polarones, entre otros. La espectroscopia de pozos cuánticos se puede alterar modificando su estructura, composición material, defecto o concentración de dopante, implantación de iones, y la tensión en las capas inducida por las diferentes condiciones de crecimiento. Las propiedades espectroscópicas de las estructuras de pozo cuántico también pueden ser sintonizadas y modificadas empleando diferentes geometrías de crecimiento, aplicando diferentes condiciones de crecimiento, niveles de defecto, niveles dopantes, y condiciones de implantación de iones para conseguir las fluencias de saturación y los tiempos de recuperación o de relajación de absorción.  
30

Las realizaciones de los absorbentes saturables que utilizan tintes o semiconductores orgánicos pueden personalizar las propiedades espectroscópicas cambiando ligeramente su composición química. Aún en otras realizaciones de absorbente los materiales huésped, tales como vidrios o cristales pueden modificar la espectroscopia de los átomos embebidos. Los tiempos  $T_{SS}$  y  $T_{PS}$  de recuperación y las fluencias de saturación o de umbral también pueden ser personalizados manipulando las interacciones entre moléculas en tintes y semiconductores orgánicos.  
35

Mientras que los principios de funcionamiento se demostraron aquí en implementaciones de espacio libre, los mismos principios también se pueden implementar en osciladores de fibra. Por ejemplo, el oscilador láser 200 puede ser un oscilador 200 de fibra bombeado por diodos. El oscilador puede incluir un solo diodo de bombeo o una gran variedad de otros diodos y estructuras de diodo, tales como un banco o un grupo de diodos. Los osciladores de fibra pueden ser mucho más pequeños que los osciladores de espacio libre y pueden requerir una sintonización y una calibración menos fina. En aplicaciones quirúrgicas, donde la aglomeración del quirófano es una limitación apremiante, reducir la extensión espacial del oscilador láser 200 puede ser una característica de diseño muy apreciada.  
40  
45

En algunos ejemplos, el oscilador láser 200 puede incluir estructuras adicionales para mejorar el comportamiento dinámico y la calidad de impulso, que incluyen elementos de control de dispersión, tales como rejillas de Bragg de fibra, y diodos de bomba de frecuencia estabilizada, que contienen una barra de estabilización de frecuencia, tales como una rejilla de Bragg de volumen dentro del diodo. Tales capas pueden proporcionar impulsos con poco ruido y alta estabilidad de impulso a impulso. La fibra puede estar formada de vidrio dopado con Nd o Yb.  
50

En general, el oscilador láser 200 puede emitir impulsos iniciadores esencialmente de transformación limitada, por ejemplo con una forma Gaussiana. En algunos ejemplos, también se pueden generar impulsos planos superiores. La duración de impulso puede ser menor de 1.000 fs. En algunas implementaciones, la duración de impulso puede estar en el intervalo de 10-1.000 fs, en algunas otras realizaciones en el intervalo de 100-500 fs. La frecuencia de impulso, o frecuencia de repetición puede estar en el intervalo de 1-1.000 MHz, en otras realizaciones en el intervalo de 10-100 MHz. La potencia del haz de impulsos puede estar en el intervalo de 10-1.000 mW, en otras realizaciones en el intervalo de 100-200 mW.  
55

Se ha mencionado finalmente que una de las aplicaciones ampliamente utilizadas de los osciladores láser 200 descrito aquí es para servir como una fuente de impulsos iniciadores en láseres de Amplificación de Impulso Chirrido (CPA) de Q conmutada.

5 Aunque esta descripción contiene muchas especificaciones, éstas no deberían interpretarse como limitaciones en el marco de la invención que está definido por las reivindicaciones, sino como descripciones de características específicas para realizaciones particulares de la invención. También se han implementado ciertas características que se han descrito en este documento en el contexto de realizaciones separadas en combinación en una sola realización. Contrariamente, diferentes características que se han descrito en el contexto de una sola realización también pueden ser implementadas en múltiples realizaciones de forma separada o en cualquier sub-combinación adecuada.

10

**REIVINDICACIONES**

1. Un oscilador láser (110, 200) para generar un haz de luz pulsada, que comprende:
- un espejo acoplador (220) de salida, configurado para reflejar una parte reflejada del haz de luz pulsada de nuevo al oscilador láser, y
  - 5 para acoplar una parte emitida del haz de luz pulsada fuera del oscilador láser;
  - un espejo de extremo (210), configurado para devolver el haz de luz pulsada al oscilador láser;
  - un material de ganancia (230), posicionado entre el espejo acoplador de salida y el espejo de extremo a lo largo de una trayectoria óptica, configurado para amplificar el haz de luz pulsada;
  - 10 un absorbente saturable de arranque automático (212), configurado para arrancar de forma automática una operación en modo de bloqueo pulsada del oscilador láser; y
  - un absorbente saturable de conformación de impulso (214), configurado para conformar impulsos del haz de luz pulsada en impulsos láser con una longitud de impulso de menos de 1.000 femtosegundos; en donde:
  - el oscilador láser (200) está configurado para variar espacialmente una densidad de potencia del láser; y
  - 15 el absorbente saturable de arranque automático (212) está dispuesto en una primera ubicación donde una densidad de potencia es superior que una densidad de potencia en una segunda ubicación donde está dispuesto el absorbente saturable de conformación de impulso.
2. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- el absorbente saturable de arranque automático (212) y el absorbente saturable de conformación de impulso (214) son elementos ópticos separados.
- 20 3. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- el absorbente saturable de arranque automático (212) y el absorbente saturable de conformación de impulso (214) son capas separadas integradas en el mismo sustrato.
4. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- 25 el absorbente saturable de arranque automático (212) y el absorbente saturable de conformación de impulso (214) son capas separadas integradas con el espejo de extremo (210).
5. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- el absorbente saturable de arranque automático (212) tiene un tiempo de recuperación de arranque automático  $T_{SS}$  en el intervalo de uno de 10 fs-100 ns, 100 fs-10 ns, y 500 fs-10 ns.
6. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- 30 el absorbente saturable de conformación de impulso (214) tiene un tiempo de recuperación de conformación de impulso  $T_{PS}$  en el intervalo de 1 fs-1 ps, 10 fs-1 ps, y 50 fs-500 fs.
7. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- una relación de un tiempo  $T_{SS}$  de recuperación de arranque automático del absorbente saturable de arranque automático (212) a un tiempo  $T_{PS}$  de recuperación de conformación de impulso del absorbente saturable de conformación de impulso (214) está dentro de uno de los intervalos de 1-1.000 y 10-100.
- 35 8. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:
- al menos uno del absorbente saturable de arranque automático (212) y el absorbente saturable de conformación de impulso (214) comprende al menos uno de
- un espejo de absorción (210) saturable semiconductor (SESAM), un conjunto de capas de dopaje, una estructura de pozo cuántico semiconductor, un absorbente atómico en un vidrio, un punto cuántico, una película delgada o un tinte orgánico, un semiconductor orgánico, y una capa de nanotubos de carbono.
- 40 9. El oscilador laser de la reivindicación 1, en el que:
- el absorbente saturable de arranque automático (212) está configurado para funcionar en uno de un modo de

transmisión y un modo de reflexión; y

el absorbente saturable de conformación de impulso (214) está configurado para funcionar en uno de un modo de transmisión y un modo de reflexión.

10. El oscilador láser (200) de la reivindicación 1, en el que:

5 el oscilador láser está configurado para variar espacialmente un radio R de haz del haz de luz pulsada dentro del oscilador láser;

el absorbente saturable de arranque automático (212) está dispuesto en una primera ubicación en el oscilador láser donde el radio de haz es  $R = R1$ ; y

10 el absorbente saturable de conformación de impulso (214) está dispuesto en una segunda ubicación en el oscilador láser donde el radio de haz es  $R = R2$ ; en donde

$R1$  es menor que  $R2$ .

11. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:

el absorbente saturable de arranque automático (212) y el absorbente saturable de conformación de impulso (214) están formados dentro del espejo de extremo (210);

15 el espejo de extremo (210) está configurado para formar una onda estacionaria a partir de una luz incidente y una luz reflejada, teniendo la onda estacionaria al menos un nodo; y

el absorbente saturable de conformación de impulso (214) está formado más cerca del nodo que el absorbente saturable de arranque automático.

12. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:

20 una relación de una fluencia de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso a una fluencia de saturación del absorbente saturable de arranque automático está en el intervalo de uno de 1-100, 2-30, y 3-10.

13. El oscilador láser de la reivindicación 1, en el que:

una relación de una fluencia operativa óptica del absorbente saturable de conformación de impulso a una fluencia de saturación del absorbente saturable de conformación de impulso está en el intervalo de uno de 1-100, 2-30, y 3-10.

25 14. Un oscilador láser para generar un haz de luz pulsada según la reivindicación 1, que comprende una estructura de espejo de absorción saturable de semiconductor, comprendiendo dicha estructura de espejo de absorción saturable de semiconductor

el espejo de extremo que consiste de una capa (210) de espejo de extremo, configurada para devolver el haz de luz pulsada al oscilador láser;

30 el absorbente saturable de arranque automático que consiste de un capa de absorción saturable de arranque automático, configurada para arrancar de forma automática una operación en modo de bloqueo pulsado del oscilador láser, y

35 el absorbente saturable de conformación de impulso que consiste de una capa de absorción saturable de conformación de impulso, configurada para conformar impulsos del haz de luz pulsada en impulsos láser con una longitud de impulso de menos de 1.000 femtosegundos; y

en donde el material de ganancia, está posicionado entre el espejo acoplador de salida y la estructura de espejo de absorción saturable de semiconductor a lo largo de una trayectoria óptica, configurado para amplificar el haz de luz pulsada; y

40 en donde la capa saturable de absorción de arranque automático está formada dentro de la estructura de espejo de absorción saturable de semiconductor en una primera ubicación donde una intensidad del haz de luz pulsada es mayor que una intensidad de la luz pulsada en una segunda ubicación donde está dispuesta la capa de absorción saturable de conformación de impulso.

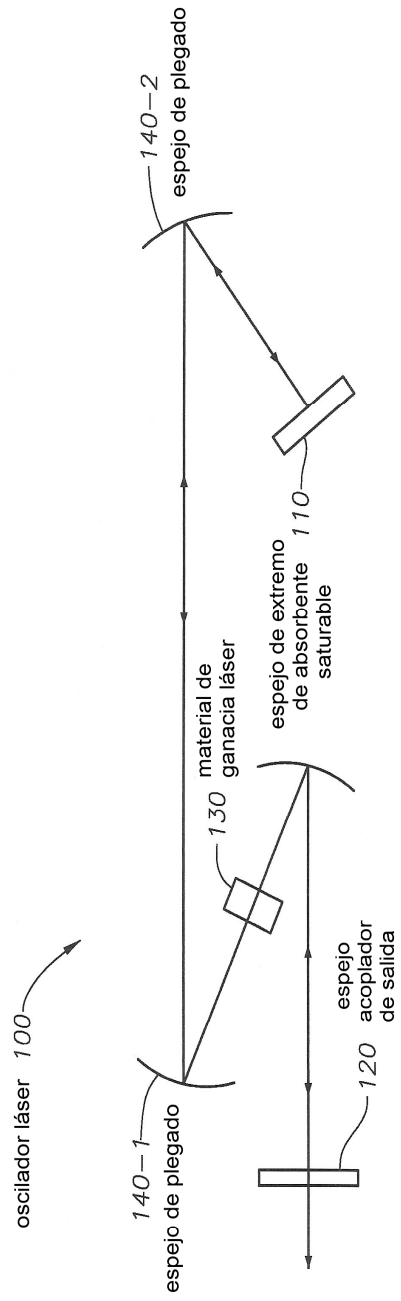


FIG. 1

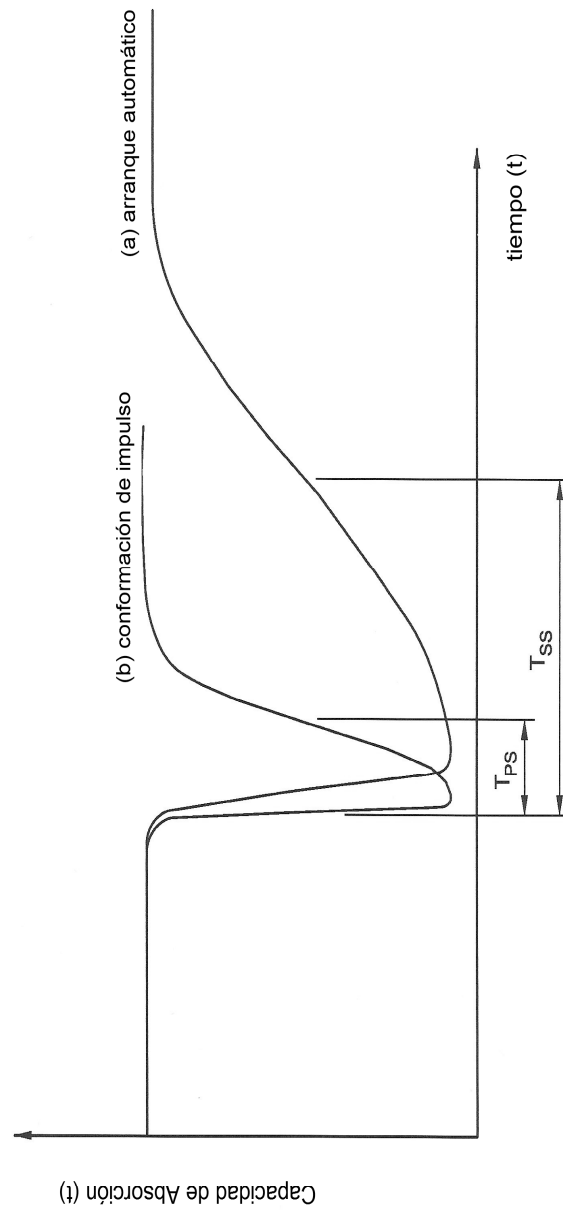


FIG. 2

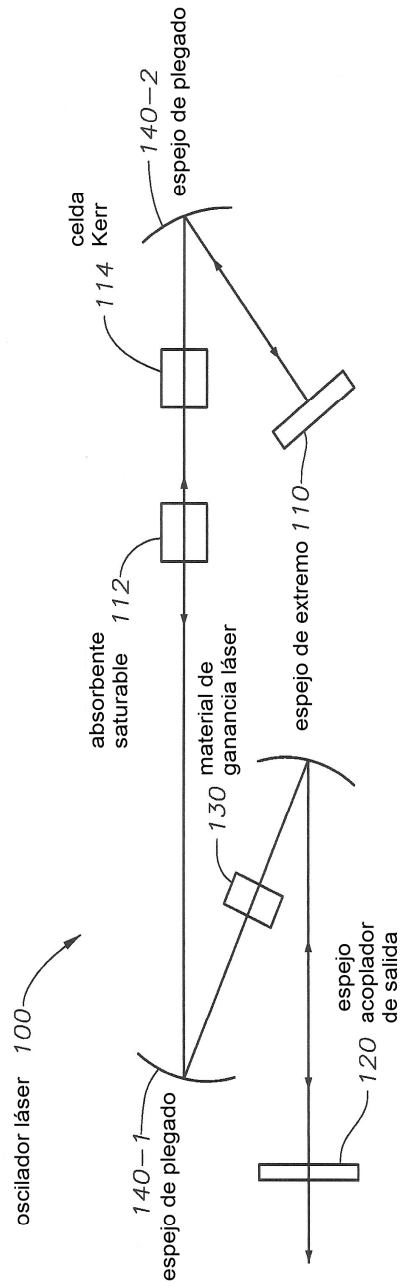


FIG. 3A

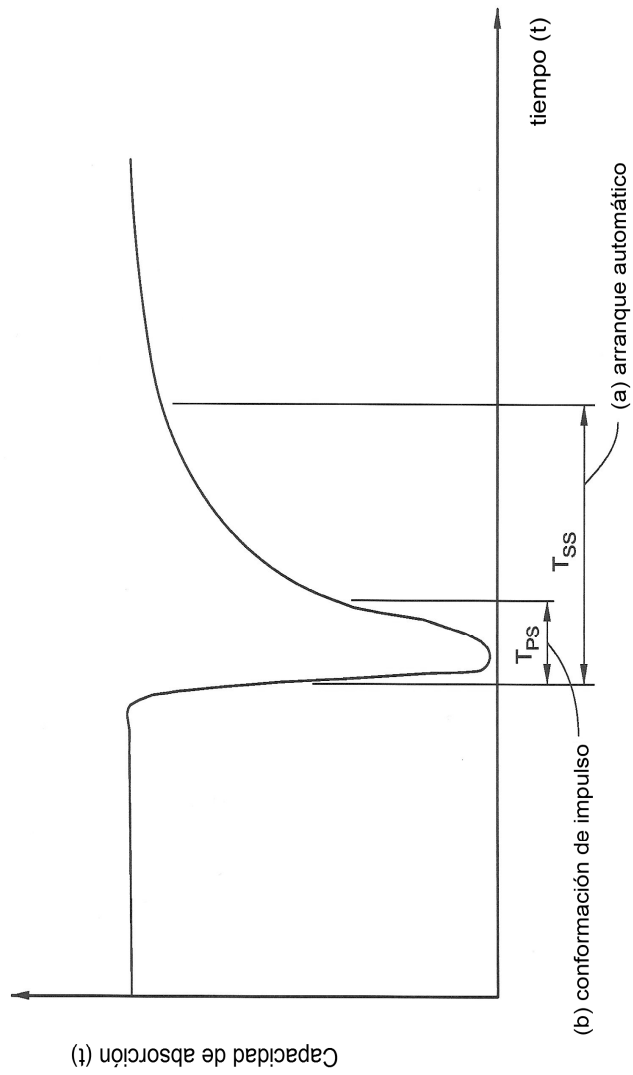


FIG. 3B



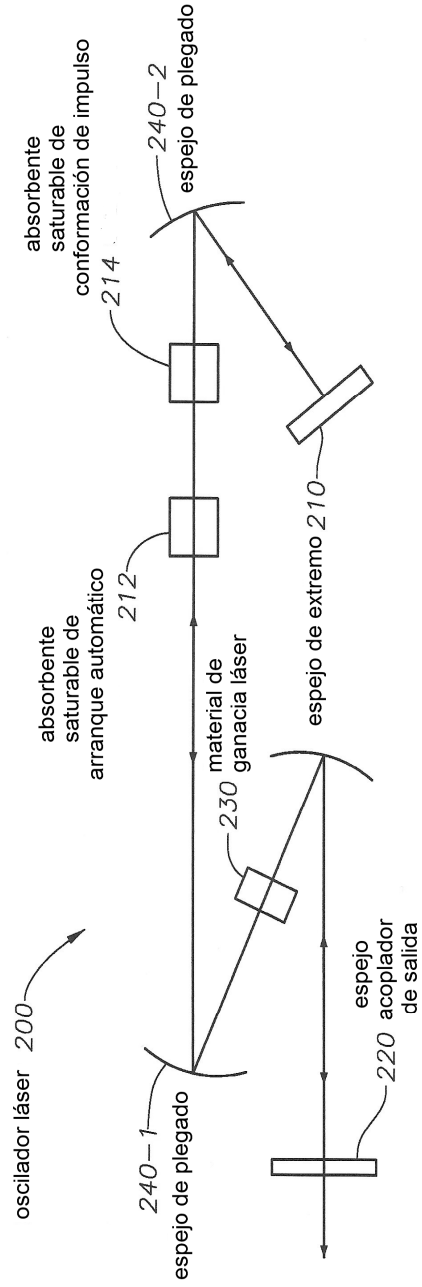


FIG. 4A

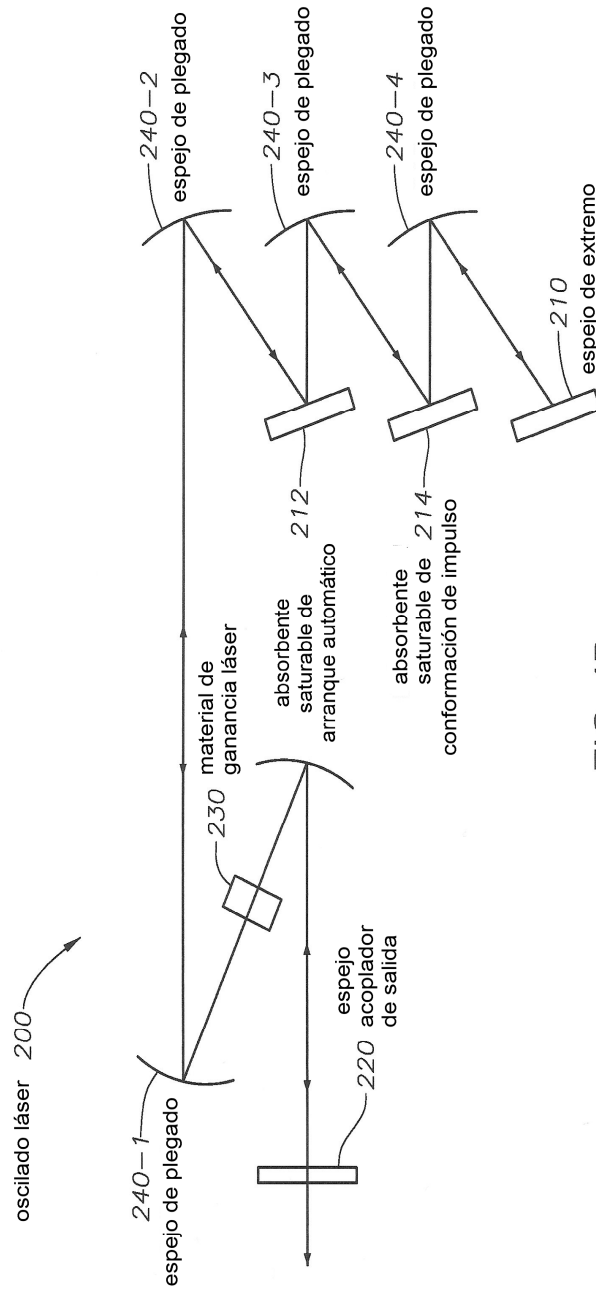


FIG. 4B

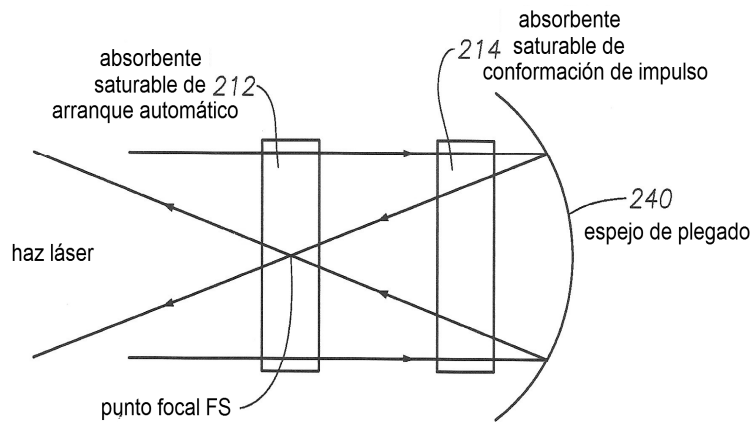


FIG. 5A

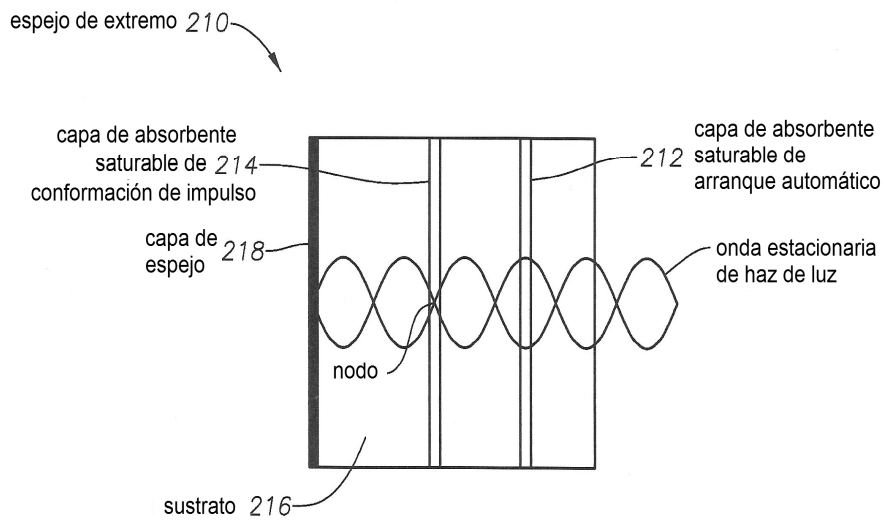


FIG. 5B

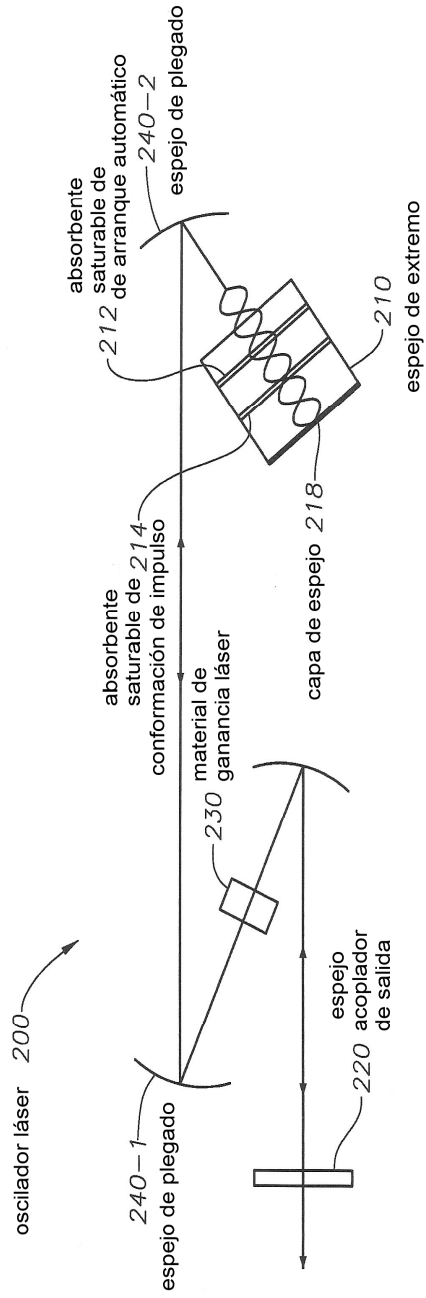


FIG. 5C

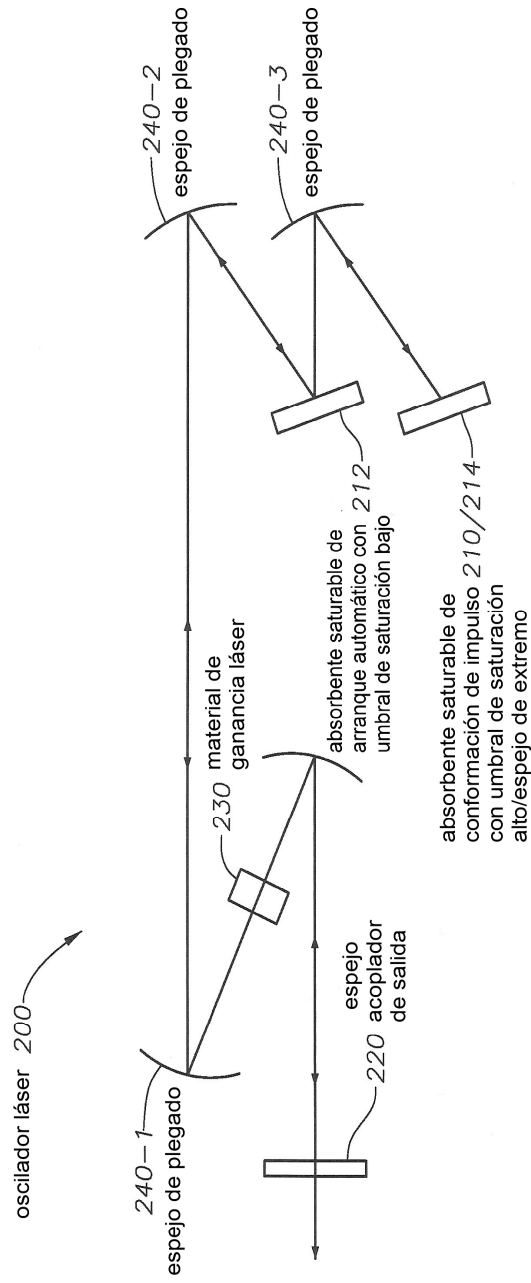


FIG. 5D