

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 241**

51 Int. Cl.:

**H01S 5/00** (2006.01)  
**A61F 9/008** (2006.01)  
**H01S 3/23** (2006.01)  
**H01S 3/067** (2006.01)  
**H01S 5/065** (2006.01)  
**H01S 5/183** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2013** **PCT/EP2013/053961**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014** **WO2014131445**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2013** **E 13709796 (0)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.02.2017** **EP 2789061**

54 Título: **Aparato láser y método para el procesamiento por láser de un material diana**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.06.2017**

73 Titular/es:

**WAVELIGHT GMBH (100.0%)**  
**Am Wolfsmantel 5**  
**91058 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:

**VOGLER, KLAUS, DR. y**  
**KITTELMANN, OLAF, DR.**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 615 241 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

Aparato láser y método para el procesamiento por láser de un material diana

La presente descripción se refiere en general a un aparato y a un método para procesar por láser un material diana. Más en concreto, el aparato y el método de la presente descripción están destinados a una aplicación de impulsos múltiples de radiación láser pulsada para crear microdisrupciones en un material diana.

Una aplicación de un solo impulso de radiación láser pulsada utiliza un único impulso de láser para crear una microdisrupción en un material diana. Por el contrario, una aplicación de múltiples impulsos crea una microdisrupción en el material diana a través del efecto combinado de una pluralidad de impulsos de radiación aplicados sucesivamente y de manera sustancial en el mismo emplazamiento del material diana. Típicamente, cada impulso de la pluralidad no tiene energía e intensidad suficientes para crear una disrupción en el material, aunque el efecto acumulado de la pluralidad de impulsos logra la disrupción deseada. En aplicaciones de un solo impulso, un punto focal de la radiación láser es dirigido a una nueva posición después de cada aplicación de un impulso, en el que los emplazamientos de aplicación de los impulsos tienen poco o ningún solapamiento. En aplicaciones de múltiples impulsos, después de que un grupo de impulsos se aplican sustancialmente en el mismo emplazamiento del material diana, el punto focal de la radiación láser se mueve a una nueva posición para la aplicación de un siguiente grupo de impulsos. Aunque los impulsos dentro de un grupo tienen suficiente solapamiento posicional para tener el efecto acumulado necesario para lograr la disrupción deseada del material, los impulsos de diferentes grupos no tienen solapamiento posicional o sustancialmente ningún solapamiento posicional.

Los sistemas láser convencionales de un solo impulso que proporcionan radiación láser pulsada de fs (femtosegundo) están provistos de un oscilador láser de estado sólido o de fibra y de un dispositivo de amplificación que funciona como un amplificador de impulso gorjeado o un amplificador regenerativo para amplificar los impulsos. Se emplea un selector de impulsos para reducir la frecuencia de repetición de los impulsos generados por el oscilador láser de estado sólido o de fibra a un valor suficientemente bajo para permitir la amplificación de los impulsos mediante el dispositivo amplificador. Otros diseños convencionales de sistemas láser de fs emplean un resonador láser de cavidad larga o de descarga en cavidad para conseguir la energía de impulsos deseada necesaria para aplicaciones de un solo impulso en un material diana.

Los documentos EP 1 829 510 A1 y US 2008/0015662 A2 describen un aparato láser de fs que emplea un doble impulso para conseguir una fotodisrupción en tejido corneal humano, en el que el impulso doble consiste en un preimpulso de menor energía y un impulso principal de mayor energía.

El documento US 2003/0222324 A1 describe una técnica para extraer por ablación enlaces conductores de un chip de circuito integrado que utiliza conjuntos de impulsos de radiación láser. Cada impulso no tiene energía suficiente para cortar completamente un enlace, aunque extrae una parte del enlace. La extracción del material de enlace ocurre así de manera escalonada con cada impulso individual del conjunto.

El documento US 2003/0222324 A1 describe una técnica para extraer por ablación enlaces conductores de un chip de circuito integrado que utiliza conjuntos de impulsos de radiación láser. Cada impulso no tiene energía suficiente para cortar completamente un enlace, aunque extrae una parte del enlace. La extracción del material de enlace ocurre así de manera escalonada con cada impulso individual del conjunto.

En el documento US 2010/004643 A1, se describe un sistema que comprende un láser para proporcionar impulsos de láser, óptica láser para proporcionar una pluralidad de ráfagas de impulsos de láser individuales, un escáner con frecuencia de escaneo, y un sistema de control que comprende un patrón predeterminado de disparos de láser para dirigir el láser a una parte del cristalino del ojo. Se emplean anchuras de impulso de entre aproximadamente 1 fs y 100 fs y energías de entre aproximadamente 1 nJ y 1 mJ. La tasa de impulso es de entre aproximadamente 1 KHz y varios GHz. Un oscilador / amplificador láser Lumera Rapid puede proporcionar un impulso de 20  $\mu$ J a una tasa de 50 KHz o una ráfaga de entre 2 y 20 impulsos, separándose cada impulso de la ráfaga 20 ns.

El documento US 2008/015662 A1 describe un aparato para el procesamiento por láser de la córnea del ojo, que emite a la córnea del ojo un tren de impulsos de radiación láser con una duración de impulso en el orden de femtosegundos.

El documento WO 2007/092803 A2 describe métodos y sistema basados en láser para extraer una o más estructuras de enlace diana de un circuito fabricado sobre un sustrato. Dos impulsos inmediatamente adyacentes de una salida de láser tienen una separación temporal en el orden de aproximadamente 2 nanosegundos a aproximadamente 10 nanosegundos.

Del documento US 6.735.234 B1, se conoce un láser de cavidad externa vertical semiconductor ópticamente bombeado y con emisión superficial (OPS-VECSEL) que está bloqueado en modo pasivo por un espejo semiconductor de absorción saturable.

El objeto de la presente invención se consigue con un láser como se define en la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

- En un aspecto, la presente descripción proporciona un aparato láser que comprende: una fuente de láser para generar radiación láser pulsada en impulsiones de duración ultracorta; un selector para seleccionar grupos de impulsos de la radiación láser, comprendiendo cada grupo de impulsos una pluralidad de impulsos con una frecuencia de repetición de impulsos de al menos 100 MHz, en el que los grupos de impulsos tienen una frecuencia de repetición de grupo de no más de aproximadamente 1 MHz; un dispositivo de escáner para escanear un punto focal de la radiación láser pulsada; y un controlador para controlar el dispositivo de escáner en base a un programa de control que incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas por el controlador, hacen que se cree una separación/disrupción/daño en el material diana.
- La fuente de láser incluye un láser semiconductor. El láser semiconductor puede ser uno de un tipo VECSEL (láser de cavidad externa vertical y emisión superficial), un tipo VCSEL (láser de cavidad vertical y emisión superficial) y un tipo MIXSEL (láser de cavidad externa y emisión superficial integrada en modo bloqueado).
- En algunas realizaciones, la frecuencia de repetición de impulsos es de al menos 500 MHz, 800 MHz o 1 GHz.
- En algunas realizaciones, un grupo de impulsos incluye no menos de 10 impulsos o 20 impulsos o 50 impulsos u 80 impulsos o 100 impulsos.
- En algunas realizaciones, un grupo de impulsos tiene una duración de grupo de no más de 500 ns o 200 ns o 150 ns o 120 ns.
- En algunas realizaciones, grupos sucesivos de impulsos son desplazados temporalmente al menos la duración de un grupo de impulsos.
- En algunas realizaciones, al menos una de la energía y la potencia de pico es nominalmente la misma para todos los impulsos de un grupo. Nominalmente se refiere al ajuste del aparato láser que emite los impulsos y quiere decir que se aplican los mismos valores diana de energía y / o potencia de pico para todos los impulsos de un grupo. Esto no impide la aparición de fluctuaciones de los valores reales de energía o potencia de pico entre los impulsos de un grupo debido a procesos estadísticos.
- En algunas realizaciones, el aparato comprende un emplazamiento de salida para emitir la radiación láser pulsada hacia un material diana, en el que los impulsos emitidos al emplazamiento de salida se caracterizan por características de impulso que garantizan la generación de una descomposición óptica inducida por láser en el tejido del ojo humano por cada grupo de impulsos.
- En algunas realizaciones, la energía acumulada de un grupo de impulsos emitidos al emplazamiento de salida está en el orden de nanojulios o microjulios. Como ejemplo numérico y no limitativo, la energía acumulada de un grupo de impulsos emitidos al emplazamiento de salida puede estar entre 0,1 y 1 microjulios.
- En algunas realizaciones, la energía de un solo impulso dentro del grupo de impulsos emitidos al emplazamiento de salida está en el orden de picojulios o nanojulios.
- El material diana es un material biológico. El material biológico es tejido de un ojo humano, por ejemplo, tejido de la córnea o material del cristalino humano.
- A continuación se describirán realizaciones de la presente descripción a modo de ejemplo, con mayor detalle y con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
- La figura 1 ilustra un ejemplo de un aparato láser para crear incisiones en un ojo humano de acuerdo con una realización;
- La figura 2 ilustra con mayor detalle componentes de un dispositivo láser del aparato de la figura 1 de acuerdo con una realización; y
- La figura 3 ilustra un ejemplo de un método para crear incisiones en un ojo humano de acuerdo con una realización.
- Con referencia ahora a los dibujos, se muestran en detalle ejemplos de realización del aparato y método descritos. La siguiente descripción no pretende de ningún modo ser exhaustiva o limitar o restringir de otro modo las reivindicaciones adjuntas a las realizaciones específicas mostradas en los dibujos y dadas a conocer en el presente documento. Aunque los dibujos representan posibles realizaciones, los dibujos no son necesariamente a escala y algunas características pueden simplificarse, exagerarse, eliminarse o seccionarse parcialmente para ilustrar mejor las realizaciones. Además, algunos dibujos pueden estar en forma esquemática.
- La figura 1 ilustra un ejemplo de realización de un aparato 10 configurado para crear incisiones en tejido de ojo humano. En la realización ilustrada, el aparato 10 incluye un dispositivo láser y un ordenador de control. El dispositivo láser puede crear incisiones en una córnea, un cristalino humano u otra estructura de un ojo humano usando radiación láser pulsada ultracorta. Tal como se utiliza en el presente documento, por ultracorta se entiende una duración de impulso en el orden de un picosegundo o femtosegundo o attosegundo.

En el ejemplo ilustrado de la figura 1, el aparato 10 realiza cirugía láser en un ojo humano 12. El aparato 10 incluye un dispositivo láser 14, un adaptador de paciente 16, un ordenador de control 18 y una memoria 20, que se pueden acoplar como se muestra. El dispositivo láser 14 incluye una fuente de láser 22, un dispositivo de conformación de tren de impulsos 24, un escáner 26, uno o más espejos ópticos 28 y un objetivo de enfoque 30, que se pueden acoplar como se muestra. El adaptador de paciente 16 incluye un elemento de contacto 32 y un manguito de soporte 34. La memoria 20 almacena un programa de control 36.

La fuente de láser 22 genera un haz de láser 38 con impulsos ultracortos. El punto focal del haz de láser 38 puede crear una descomposición óptica inducida por láser (LIOB) en tejidos tales como la córnea u otra estructura del ojo 12. El haz de láser 38 puede tener cualquier longitud de onda adecuada, tal como una longitud de onda en el orden de 300-1900 nanómetros (nm), por ejemplo, una longitud de onda en el orden de 300-650, 650-1050, 1050-1250, 1100-1400 o 1400-1500 o 1500-1900 nm. El haz de láser 38 puede tener también un volumen de enfoque relativamente pequeño, por ejemplo 5 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) o menos de diámetro.

El dispositivo de conformación de tren de impulsos 24, el escáner 26, los espejos ópticos 28 y el objetivo de enfoque 30 están en la trayectoria de haz del haz de láser 38. La fuente de láser 22 genera el haz de láser 38 como una secuencia de impulsos de radiación láser que se suceden a intervalos regulares. El dispositivo de conformación de tren de impulsos 24 forma la secuencia proporcionada por la fuente de láser 22 en un tren de impulsos compuesto por grupos sucesivos de impulsos (o "ráfagas"). Cada grupo de impulsos del tren de impulsos comprende una pluralidad de impulsos de radiación. En algunas realizaciones, los impulsos de un grupo de impulsos se forman directamente mediante la selección de impulsos sucesivos de la secuencia proporcionada por la fuente de láser 22, de manera que el intervalo de tiempo entre los impulsos del grupo corresponde al intervalo de tiempo entre los impulsos de la secuencia proporcionada por la fuente de láser 22. En otras realizaciones, el intervalo de tiempo entre los impulsos de un grupo de impulsos puede ser mayor que el intervalo de tiempo entre los impulsos de la secuencia proporcionada por la fuente de láser 22. Para ello, el dispositivo de conformación de tren de impulsos 24 puede seleccionar para un grupo de impulsos, impulsos de la secuencia que están separados por al menos un impulso intermedio. Por el contrario, el intervalo de tiempo entre grupos sucesivos de impulsos del tren de impulsos emitidos por el dispositivo de conformación de tren de impulsos 24 es un múltiplo del intervalo de tiempo entre los impulsos de un grupo. El dispositivo de conformación de tren de impulsos 24 puede proporcionar adicionalmente una función de amplificación para los impulsos del tren de impulsos.

El escáner 26 está configurado para controlar transversalmente y longitudinalmente el punto focal del haz de láser 38. "Transversal" se refiere a una dirección perpendicular a la dirección de propagación del haz de láser 38, y "longitudinal" se refiere a la dirección de propagación de haz. El plano transversal puede designarse como un plano x-y, y la dirección longitudinal puede designarse como la dirección z.

El escáner 26 puede dirigir transversalmente el haz de láser 38 de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, el escáner 26 puede incluir un par de espejos de escáner accionados galvanométricamente que se pueden inclinar alrededor de ejes perpendiculares entre sí. Como otro ejemplo, el escáner 26 puede incluir un cristal electro-óptico que pueda dirigir electroópticamente el haz de láser 38. El escáner 26 puede dirigir longitudinalmente el haz de láser 38 de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, el escáner 26 puede incluir una lente longitudinalmente ajustable, una lente de potencia de refracción variable o un espejo deformable que pueda controlar la posición z del enfoque de haz. Los componentes de control de enfoque del escáner 26 pueden estar dispuestos de cualquier manera adecuada a lo largo de la trayectoria de haz, por ejemplo, en la misma o en diferentes unidades modulares.

El uno o más espejos ópticos 28 dirigen el haz de láser 38 hacia el objetivo de enfoque 30. Por ejemplo, un espejo óptico 28 puede ser un espejo de desviación inamovible o un espejo de desviación móvil. Como alternativa, se puede proporcionar un elemento óptico que pueda refractar y / o difractar el haz de láser 38 en lugar de un espejo óptico 28.

El objetivo de enfoque 30 enfoca el haz de láser 38 sobre un área diana del ojo 12. El objetivo de enfoque 30 puede acoplarse de forma separable al adaptador de paciente 16. El objetivo de enfoque 30 puede ser cualquier dispositivo óptico adecuado, tal como un objetivo F-Theta.

El adaptador de paciente 16 establece una interfaz con la córnea del ojo 12. El manguito 34 se acopla al objetivo de enfoque 30 y retiene el elemento de contacto 32. El elemento de contacto 32 es transparente o translúcido a la radiación láser y tiene una cara de tope 40 que interactúa con la córnea y puede nivelar una parte de la córnea. En algunas realizaciones, la cara de tope 38 es plana y forma un área plana sobre la córnea. La cara de tope 40 puede estar en un plano x-y, de manera que el área plana está también en un plano x-y. En otras realizaciones, la cara de tope 40 no necesita ser plana, por ejemplo, puede ser convexa o cóncava.

El ordenador de control 18 controla componentes controlables del dispositivo láser 14 tales como, por ejemplo, la fuente de láser 22, el dispositivo de conformación de tren de impulsos 24, el escáner 26 y / o el espejo o espejos 28, de acuerdo con el programa de control 36. El programa de control 36 contiene un código informático que ordena a los componentes controlables que enfoquen la radiación de láser pulsada en una región del ojo 12 para realizar la fotodisrupción de al menos una parte de la región.

El escáner 26 puede dirigir el haz de láser 38 para formar incisiones de cualquier geometría adecuada. Se puede realizar una fotodisrupción en cualquier parte adecuada del tejido del ojo 12. El aparato 10 puede realizar una fotodisrupción en una capa de tejido moviendo el enfoque del haz de láser 38 a lo largo de una trayectoria de escaneo dada. Cuando el haz de láser 38 se desplaza a lo largo de la trayectoria de escaneo, los impulsos de radiación crean fotodisrupciones en el tejido del ojo 12. Más en concreto, una fotodisrupción es causada por cada grupo de impulsos del tren de impulsos emitidos por el dispositivo de conformación de tren de impulsos 24. Mediante la yuxtaposición de una pluralidad de fotodisrupciones, se puede crear una incisión de cualquier geometría deseada en el ojo 12.

A continuación, se hace referencia además a la figura 2. En esta figura, se muestra que la fuente de láser 22 incluye una fuente de bomba 42 y un resonador láser 44. La fuente de bomba 42 puede estar configurada para el bombeo eléctrico u óptico del resonador láser 44. Por ejemplo, la fuente de bomba 42 puede incluir un circuito de accionamiento semiconductor electrónico o un diodo de bomba. El resonador láser 44 puede ser del tipo VECSEL. VECSEL significa láser de cavidad externa vertical y emisión superficial y designa un tipo de láser semiconductor que se basa en un chip de ganancia semiconductor con emisión superficial y un resonador que se completa con uno o varios elementos ópticos externos. Se puede encontrar información más detallada sobre láseres de tipo VECSEL en *Semiconductor Disc Lasers: Physics and Technology*, editado por Oleg G. Okhotnikov, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, ISBN 978-3-527-40933-4.

En otras realizaciones, el resonador láser 44 es otro tipo de láser semiconductor tal como, por ejemplo, un VCSEL o MIXSEL. Para el bloqueo en modo pasivo, el resonador 44 puede incluir un espejo de absorción saturable (SAM) fabricado con tecnología de semiconductores.

La fuente de láser 22 genera el haz de láser 38 como una secuencia de impulsos de radiación ultracortos que se suceden a intervalos regulares y que tienen una frecuencia de repetición de impulsos de al menos 100 MHz. Un diagrama P-t en la parte inferior izquierda de la figura 2 ilustra esquemáticamente la secuencia de impulsos en una posición (1) en la salida de la fuente de láser 22. La secuencia se indica con el número 46 y los impulsos individuales de la secuencia se indican con el número 48. En el diagrama P-t, P indica potencia y t indica tiempo. La frecuencia de repetición de impulsos de los impulsos 48 de la secuencia 46 puede tener cualquier valor adecuado en el orden de 100 MHz-500 MHz, 500 MHz-1 GHz, 1 GHz-2 GHz, 2 GHz-5 GHz, 5 GHz-10 GHz, o 10 GHz-20 GHz. La energía de impulsos (y del mismo modo la potencia de pico de impulsos) es la misma (dentro de tolerancias aplicables ya que son inevitables en la creación de impulsos de láser ultracortos) para todos los impulsos 48 de la secuencia 46. La energía de impulsos puede tener cualquier valor adecuado y puede, por ejemplo, estar en el orden de picojulios (pJ). Por ejemplo, la energía de impulsos de los impulsos 48 emitidos por la fuente de láser 22 puede ser de al menos aproximadamente 1 pJ y como máximo de aproximadamente 10 nJ por impulso. En algunas realizaciones, los impulsos 48 pueden tener una energía de impulsos en el orden de 1-100 pJ, 100-500 pJ, 0,5-1 nJ o 1-10 nJ.

En la realización ilustrada de la figura 2, un aislador óptico 50 está acoplado entre la fuente de láser 22 y el dispositivo de conformación de tren de impulsos 24 para suprimir la retroreflexión de impulsos en el resonador láser 44. Se conocen de manera tradicional estructuras adecuadas de aisladores ópticos para el fin pretendido y en el presente documento se omite una descripción detallada de las mismas.

Después de pasar a través del aislador óptico 50, el haz de láser 38 entra en el dispositivo de conformación de tren de impulsos 24. El dispositivo de conformación de tren de impulsos 24 incluye un preamplificador 52, un selector de impulsos 54 y un posamplificador (o "amplificador de refuerzo") 56. El preamplificador 52 efectúa una amplificación de los impulsos 48 de la secuencia 46 mediante cualquier factor adecuado. Por ejemplo, el factor de amplificación puede estar en el orden de  $10^2$ - $10^4$ , 200-5000, 500-3000 o 700-2000. En algunas realizaciones, el preamplificador 52 efectúa una amplificación de los impulsos 48 a un nivel de energía en el orden de nanojulios (nJ), por ejemplo, en el orden nJ de un dígito o dos dígitos. En algunas realizaciones, el preamplificador 52 es un amplificador óptico semiconductor (SOA). En otras realizaciones, el preamplificador 52 es un amplificador de fibra.

El selector de impulsos 54 realiza la recogida de impulsos en los impulsos (preamplificados) 48 de la secuencia continua de impulsos 46 para generar un tren de impulsos que consta de grupos sucesivos de impulsos que comprenden cada uno una pluralidad de impulsos (preamplificados). Un diagrama P-t en la parte inferior derecha de la figura 2 ilustra esquemáticamente un patrón del tren de impulsos emitido por el selector de impulsos 54, es decir, en una posición (2) a lo largo de la trayectoria de haz del haz de láser 38. El tren de impulsos se indica con el número 58 y grupos (o "ráfagas") de impulsos en el tren se indican con el número 60. Los grupos de impulsos 60 incluyen cada uno el mismo número de impulsos (preamplificados). Los impulsos preamplificados se indican con el número 48'. El número de impulsos 48' en cada grupo de impulsos 60 puede tener cualquier valor adecuado, por ejemplo, puede estar en el orden de 10-1000, 10-500, 20-200 o 50-150. La energía de impulsos es la misma para todos los impulsos 48' en un grupo de impulsos 60.

El selector de impulsos puede ser cualquier dispositivo adecuado que permita seleccionar impulsos individuales o grupos de impulsos de la secuencia continua de impulsos 46 y pasar los impulsos o grupos de impulsos seleccionados al posamplificador 56. Por ejemplo, el selector de impulsos 54 puede ser implementado como un modulador acústico-óptico (AOM). Otras realizaciones de un impulso seleccionado pueden incluir un modulador

electro-óptico o una célula de Pockels. La frecuencia de repetición de los grupos de impulsos 60 es menor en al menos un orden de 2 o 3 que la frecuencia de repetición de impulsos de la secuencia 46. La frecuencia de repetición de los grupos de impulsos 60 no es superior a aproximadamente 1 MHz y varía, por ejemplo, de 100 a 500 kHz o de 500 kHz a 1 MHz.

5 La frecuencia de repetición de impulsos de los impulsos 48' en un grupo de impulsos 60 es la misma que la frecuencia de repetición de los impulsos 48 de la secuencia 46. Si definimos la relación entre la duración de un grupo 60 y el intervalo de repetición de los grupos 60 como un ciclo de operación, el valor del ciclo de operación puede estar en el orden de 2-30, 5-20 o 5-15 %. Por ejemplo, el ciclo de operación puede ser de aproximadamente el 10 %.

10 El posamplificador 56 realiza la amplificación de los impulsos 48' del tren de impulsos 60 para elevar el nivel de energía de los impulsos 48' un factor que es de al menos 10, 20, 50 o 100. En algunas realizaciones, el posamplificador 56 amplifica los impulsos 48' a un nivel de energía en el orden de nJ de 1 dígito, 2 dígitos o 3 dígitos o en el orden de microjulios ( $\mu\text{J}$ ) de 1 dígito o dos dígitos. Por ejemplo, el posamplificador amplifica los impulsos 48' a aproximadamente un valor de 1  $\mu\text{J}$ . El posamplificador puede incluir un amplificador de fibra, por ejemplo, un  
15 amplificador de fibra de modo de gran área (LMA) o una fibra de gran densidad (LPF).

Con referencia de nuevo a la figura 1, el adaptador de paciente 16 con su elemento de contacto 32 proporciona un emplazamiento de salida en el que el haz de láser 38 es emitido desde el aparato 10 hacia la diana (es decir, el ojo 12). A medida que salen a través del adaptador de paciente 16, los impulsos de un grupo de impulsos tienen la misma energía y potencia y cada impulso individual de un grupo de impulsos del haz de láser 38 no tiene energía  
20 suficiente para conseguir una descomposición óptica inducida por láser en el tejido ocular sometido a tratamiento. Es decir, la energía de cada impulso individual está por debajo de un umbral de energía aplicable para aplicaciones de un solo impulso, es decir, está por debajo de un nivel de energía necesario para inducir un LIOB mediante un solo impulso. Sin embargo, el efecto acumulado de la totalidad de los impulsos de un grupo de impulsos emitidos al adaptador de paciente 16 es suficiente para inducir un LIOB en el tejido tratado. En algunas realizaciones, el  
25 escáner 26 es controlado para mover el haz de láser 38 continuamente, de manera que los impulsos de un grupo de impulsos se apliquen al tejido ocular tratado "sobre la marcha", es decir, sin detener el movimiento del haz de láser 38. Como el desplazamiento temporal de los impulsos de un grupo de impulsos es suficientemente corto teniendo en cuenta la velocidad de escaneo del haz de láser 38, se asegura sin embargo que los impulsos de un grupo de impulsos sean disparados sobre el tejido ocular con suficiente solapamiento posicional para conseguir el LIOB deseado. Al mismo tiempo, el desvío temporal de grupos sucesivos del tren de impulsos 60 es suficientemente  
30 grande para asegurar que se disparen grupos sucesivos en posiciones separadas del tejido ocular sin superposición sustancial. De esta manera, las series de grupos de impulsos en el tren de impulsos 60 son eficaces para crear una serie de fotodisrupciones en el tejido del ojo 12.

Aunque no se muestra en los dibujos, el dispositivo láser 14 puede incluir en algunas realizaciones componentes  
35 ópticos adicionales tales como un alargador de impulsos, un compresor de impulsos, una rejilla de reflexión y / o una rejilla de transmisión. Estos componentes son convencionales per se, de modo que puede omitirse aquí una descripción detallada de los mismos.

La figura 3 es un ejemplo de un método para crear una incisión en una diana, por ejemplo, en el ojo 12. El método puede realizarse utilizando el aparato 10. En la etapa 200, puede proporcionarse un láser de tipo VECSEL. En la  
40 etapa 210, el láser de tipo VECSEL puede controlarse para generar radiación láser. La radiación generada puede tener una frecuencia de repetición de impulsos de aproximadamente 1 GHz o más. En la etapa 220, se pueden seleccionar grupos de impulsos a partir de la radiación generada, en donde los grupos de impulsos pueden tener una frecuencia de repetición de aproximadamente 1 MHz o menos. En la etapa 230, un punto focal de la radiación láser puede ser controlado para moverse sobre un área diana de una diana para crear una incisión en la diana. La  
45 incisión puede tener cualquier geometría adecuada y puede crearse, por ejemplo, en la córnea o en el cristalino de un ojo humano 12.

# REIVINDICACIONES

1. Aparato láser para crear una incisión en un tejido de un ojo humano (12), comprendiendo:
  - un adaptador de paciente (16) configurado para establecer una interfaz con la córnea del ojo humano (12);
  - una fuente de láser (22) configurada para generar radiación láser pulsada en impulsiones de duración ultracorta;
  - un selector (24) configurado para seleccionar grupos (60) de impulsos de la radiación láser, comprendiendo cada grupo de impulsos una pluralidad de impulsos con una frecuencia de repetición de impulsos de al menos 100 MHz, en el que los grupos de impulsos tienen una frecuencia de repetición de grupo de no más de aproximadamente 1 MHz;
  - un dispositivo de escáner (26) configurado para escanear un punto focal de la radiación láser pulsada;
  - un controlador (18) configurado para controlar el dispositivo de escáner en base a un programa de control (36) que incluye instrucciones que, cuando son ejecutadas por el controlador, hacen que se cree una fotodisrupción basada en LIOB en el tejido del ojo humano (12) para cada grupo de impulsos.
- caracterizado por que la fuente de láser (22) incluye un láser semiconductor que es uno de un tipo VECSEL, un tipo VCSEL y un tipo MIXSEL,
- en el que una energía de impulsos de la radiación láser pulsada generada por el láser semiconductor (22) está en el orden de 1 a 100 picojulios, y
- en el que el aparato láser comprende además:
  - un primer amplificador (52) configurado para amplificar la energía de los impulsos de la radiación láser pulsada en el orden de nanojulios antes de la selección de los grupos de impulsos (60), y
  - un segundo amplificador (56) configurado para amplificar los impulsos seleccionados por el selector (54) en un factor de al menos 10, 20, 50 o 100.
2. Aparato láser según la reivindicación 1, en el que la frecuencia de repetición de impulsos es de al menos 500 MHz, 800 MHz o 1 GHz.
3. Aparato láser según la reivindicación 1 o 2, en el que un grupo de impulsos (60) incluye no menos de 10 impulsos o 20 impulsos o 50 impulsos u 80 impulsos o 100 impulsos.
4. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que un grupo de impulsos (60) tiene una duración de grupo de no más de 200 ns o 150 ns o 120 ns.
5. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que grupos sucesivos de impulsos (60) son desplazados temporalmente al menos la duración de un grupo de impulsos.
6. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende un emplazamiento de salida para emitir la radiación láser pulsada hacia un material diana, en el que impulsos emitidos al emplazamiento de salida se caracterizan por características de impulso que garantizan la generación de una descomposición óptica inducida por láser en el tejido del ojo humano por cada grupo de impulsos.
7. Aparato láser según la reivindicación 6, en el que la energía acumulada de un grupo (60) de impulsos emitidos al emplazamiento de salida está en el orden de nanojulios o microjulios.
8. Aparato láser según la reivindicación 7, en el que la energía acumulada de un grupo (60) de impulsos emitidos al emplazamiento de salida está en el orden de entre 0,1 y 1 microjulios.
9. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que la energía de un impulso emitido al emplazamiento de salida está en el orden de nanojulios.
10. Aparato láser según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que un grupo de impulsos tiene la misma energía para todos los impulsos del grupo o tiene la misma potencia de pico para todos los impulsos del grupo.

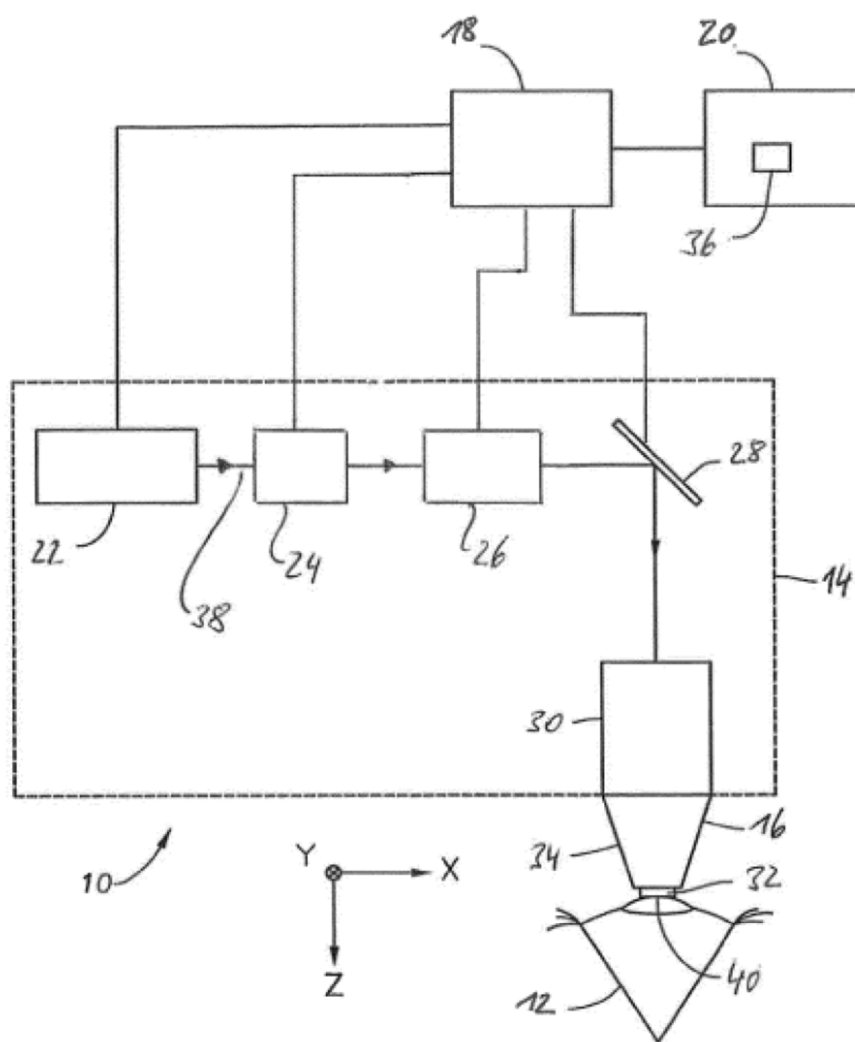


Fig. 1

Fig. 2

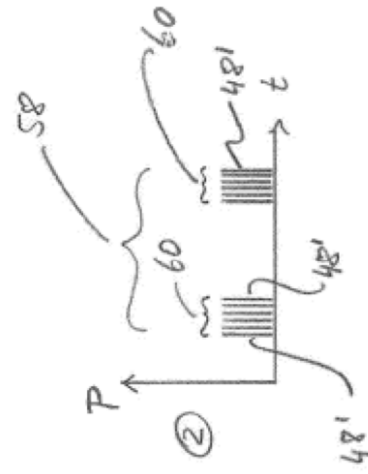
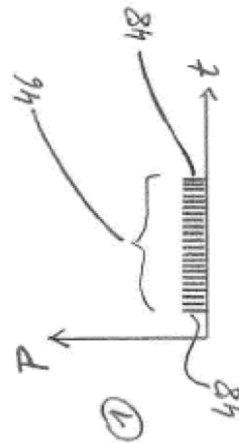
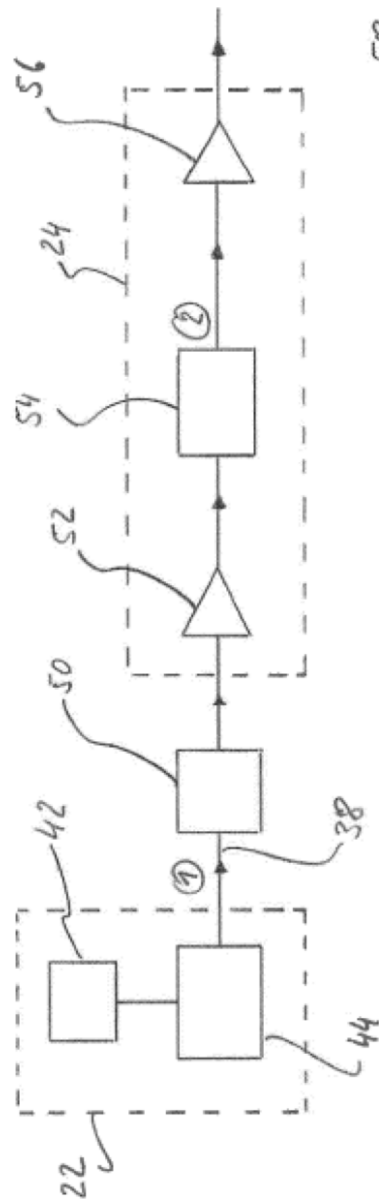


Fig. 3

