

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 810**

51 Int. Cl.:

H01S 3/00 (2006.01)

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/23 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.12.2012 PCT/US2012/070478**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.06.2013 WO2013096376**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2012 E 12809986 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2777104**

54 Título: **Limitador transversal ajustable de haz de láser.**

30 Prioridad:

23.12.2011 US 201113336659

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

17.07.2017

73 Titular/es:

**ALCON LENSX, INC. (100.0%)
1209 Orange Street
Wilmington, DE 19801, US**

72 Inventor/es:

KARAVITIS, MICHAEL

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 624 810 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

Limitador transversal ajustable de haz de láser.

Referencia cruzada a la solicitud relacionada

5 La presente solicitud reivindica la prioridad conforme al artículo 35, párrafo 119 de la USC de la solicitud de patente US con número de serie 13/336.659 presentada el 23 de diciembre de 2011.

Campo técnico

Este documento de patente se refiere a láseres de femtosegundos que incluyen láseres de femtosegundos de alta potencia con amplificación de pulso gorjeado. Más en concreto, este documento de patente se refiere a la mejora de propiedades de haz de láser empleando elementos ajustables en láseres amplificados de pulso gorjeado.

10 Antecedentes

En muchas de las aplicaciones de láser actuales que presentan cada vez más desafíos, existe una búsqueda continua de pulsos más breves que tengan altas potencias por pulso. Estas características prometen un mejor control y más velocidad de funcionamiento de las aplicaciones de láser. Un avance notable en la evolución del campo fue la aparición y el desarrollo de sistemas láser que producen pulsos de láser de femtosegundos ultracortos.

15 Estos láseres de femtosegundos pueden usarse para una amplia variedad de aplicaciones, que incluyen varios tipos diferentes de cirugías oftalmológicas, donde los pulsos ultracortos pueden usarse para modificar el tejido ocular diana de una manera bien controlada.

20 En los primeros láseres de femtosegundos, la extrema brevedad de la duración del pulso provoca una potencia alta extrema en estos pulsos. Esta alta potencia, sin embargo, amenaza con dañar el medio de ganancia de los láseres. La solución fue la técnica de amplificación de pulso gorjeado (CPA). En la técnica CPA, los pulsos de siembra de femtosegundos son generados por un oscilador o láser de siembra. Estos pulsos de siembra se dirigen a un extensor que extiende la duración de los pulsos de siembra un factor de 10-1.000 al intervalo de picosegundos, reduciendo así drásticamente la potencia dentro de un pulso. Estos pulsos extendidos pueden amplificarse de forma segura con el medio de ganancia del amplificador sin dañar el propio medio de ganancia. Los pulsos amplificados son enviados luego a un compresor que comprime la duración de los pulsos amplificados nuevamente a femtosegundos. Hasta la fecha, los láseres basados en el enfoque de CPA se han incorporado en una gran cantidad de aplicaciones de forma exitosa.

25 El rendimiento de los sistemas de CPA es muy sensible al extensor que lleva a cabo la extensión sin socavar la calidad del haz, y el compresor se ajusta de manera precisa al extensor para que pueda comprimir los pulsos con mayor eficacia. Si estos factores de rendimiento no son correctos, la compresión de los pulsos de láser queda incompleta y la duración de los pulsos no se comprime nuevamente al intervalo de femtosegundos deseado. Por tanto, el ajuste preciso de la extensión y compresión en láseres de amplificación de pulso gorjeado sigue siendo un desafío.

30 Por ejemplo, el documento US7444049 proporciona un sistema de amplificación de pulso gorjeado (CPA) y se describe un método en el que el pulso se extiende usando pasadas a través de una red de Bragg o se comprime usando múltiples pasadas a través de una red de Bragg. Se puede utilizar un conmutador para controlar el número de pasadas a través de la red de Bragg, ajustando así la anchura del pulso comprimido o extendido. El documento US5499134 describe el uso de una sola red de Bragg para extender y comprimir el pulso gorjeado en una CPA.

Breve descripción

40 La necesidad de ajustar de forma precisa el extensor y el compresor genera problemas y retos durante el montaje y el mantenimiento de láseres de CPA para mantener su calidad de haz y la eficacia de la compresión.

45 Durante el montaje de láseres de CPA, el ajuste preciso que requiere tiempo debe ser realizado por personal altamente cualificado con equipos sofisticados y especializados. En un ámbito de investigación o laboratorio, los láseres de CPA pueden ser ajustados de forma precisa durante su montaje y también durante sus operaciones regulares por personal altamente cualificado del laboratorio con los equipos sofisticados que ya se encuentran a su disposición.

No obstante, en el contexto de un proceso de fabricación, la necesidad de personal altamente capacitado y equipos sofisticados implica costos adicionales, más tiempo para el proceso de montaje, desafíos en el control de calidad y posibles puntos de fallo.

50 Además, durante las operaciones regulares de láseres de CPA vendidos comercialmente que no se instalan típicamente en entornos de alta tecnología, el ajuste preciso se deteriora típicamente por diversas razones. Por tanto, los láseres de CPA requieren puestas a punto regulares para restablecer el ajuste preciso del extensor y el compresor. La frecuencia de mantenimiento en el lugar necesaria para mantener el ajuste preciso al día es un problema y supone un coste para el fabricante y para el operario de los láseres de CPA vendidos comercialmente.

Por tanto, por razones de fabricación y de mantenimiento, es altamente deseable desarrollar láseres de CPA que tengan una menor necesidad y frecuencia de ajuste preciso del extensor y el compresor.

5 Las implementaciones descritas en este documento de patente ofrecen mejoras para el ajuste preciso del extensor y el compresor en láseres de amplificación de pulso gorjeado al incluir elementos ajustables para limitar y controlar el haz de láser. El objeto de la presente invención se consigue mediante un sistema y un método como se define en las reivindicaciones independientes 1, 10. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas.

10 En particular, las realizaciones de un sistema de ajuste de láser pueden incluir un limitador de haz de siembra ajustable, configurado para poder unirse a un extensor-compresor de manera ajustable y transversal y para limitar una incidencia de un haz de siembra, generado por un oscilador en el extensor-compresor; en el que el extensor-compresor está configurado para ser integrado en un motor láser de amplificación de pulso gorjeado, y para extender una duración de pulsos de siembra del haz de siembra.

15 En otras realizaciones, un sistema de ajuste de láser puede incluir un limitador de haz de siembra ajustable, configurado para poder unirse a un extensor de manera ajustable y transversal y para limitar una incidencia de un haz de siembra, generado por un oscilador en el extensor; en el que el extensor está configurado para ser integrado en un motor láser de amplificación de pulso gorjeado y para extender una duración de pulsos de siembra del haz de siembra.

20 Finalmente, las realizaciones de un método para mejorar un rendimiento de un láser pueden incluir unir un limitador de haz de siembra de manera ajustable transversalmente a una cara de un extensor-compresor de un láser de amplificación de pulso gorjeado; dirigir un haz de siembra de pulsos de siembra generado por un oscilador del láser de amplificación de pulso gorjeado, en la cara de extensor; monitorizar una calidad de haz de un haz extendido, devuelto por el extensor-compresor, a medida que varía una coordenada transversal del limitador de haz de siembra; determinar una coordenada de calidad transversal del limitador de haz de siembra cuando la calidad de haz monitorizado del haz extendido cumple un criterio de calidad predeterminado; y fijar el limitador de haz de siembra a la cara de extensor en la coordenada de calidad transversal determinada.

25 Breve descripción de los dibujos

Las figuras 1A-B ilustran una realización de un motor láser de amplificación de pulso gorjeado de femtosegundos de alta potencia 1.

La figura 2A ilustra el concepto del método de extensión-compresión en un láser de CPA.

La figura 2B ilustra un extensor-compresor.

30 Las figuras 3A-C ilustran una cara de extensor y una cara de compresor de un extensor-compresor y un limitador de haz ajustable separado y unido.

La figura 4 ilustra un extensor-compresor, un limitador de haz de siembra ajustable y un limitador de haz amplificado ajustable en una vista lateral.

Las figuras 5A-B ilustran un limitador de haz ajustable, que se puede ajustar en dos dimensiones.

35 La figura 6 ilustra un método para ajustar el limitador de haz de siembra ajustable.

Descripción detallada

Este documento de patente describe realizaciones que optimizan el ajuste preciso del extensor y el compresor de láseres de amplificación de pulso gorjeado incluyendo uno o más elementos ajustables para limitar y controlar el haz de láser.

40 La figura 1A ilustra un motor láser de amplificación de pulso gorjeado (CPA) 1. El motor láser de CPA 1 puede ser, por ejemplo, un láser de amplificador regenerativo vaciado de cavidad (CDRA). Los elementos principales del láser de CPA 1 pueden incluir un oscilador 100, un extensor-compresor 200 y un amplificador óptico 300.

45 El oscilador 100 puede generar y producir un haz de siembra 101 de pulsos de siembra de femtosegundos 101p. El oscilador 100 puede ser una amplia variedad de fuentes de luz que pueden generar y producir pulsos de siembra para el motor láser de CPA 1. Los ejemplos incluyen osciladores de fibra bombeados por diodos o láseres de siembra de espacio libre. El oscilador 100 puede incluir un solo diodo GaAs que funcione a una longitud de onda de 808 nm, o una amplia variedad de otros diodos que funcionen a otras longitudes de onda. Los osciladores de fibra son mucho más pequeños que los osciladores de espacio libre, aunque tienen otras limitaciones con respecto a su distorsión de la forma de pulso y potencia máxima. En aplicaciones quirúrgicas, en las que la concentración de gente
50 en el quirófano es una limitación crucial, reducir el alcance espacial del motor láser usando osciladores de fibra puede ser una característica de diseño ventajosa.

En algunos ejemplos, el diodo oscilador puede incluir una barra estabilizadora de frecuencia, tal como una red de Bragg de volumen dentro del diodo. Además, el oscilador 100 puede incluir un espejo absorbente saturable

semiconductor o SESAM. La utilización de uno o más SESAM mejora la coherencia de los modos en los pulsos generados, provocando un funcionamiento esencialmente de modo bloqueado.

Las realizaciones del oscilador 100 pueden producir pulsos de siembra esencialmente con transformación limitada, por ejemplo, con una forma Gaussiana. En algunos ejemplos, también pueden generarse pulsos aplanados. La duración del pulso puede estar en el intervalo de 1-1.000 femtosegundos (fs), en otras realizaciones en el intervalo de 100 fs-10 ps. La frecuencia de pulso de siembra o velocidad de repetición puede estar en el intervalo de 10-100 MHz. La potencia del haz de pulsos de siembra puede estar en el intervalo de 10-1.000 mW.

El extensor-compresor 200 puede estar integrado en el motor láser de CPA 1 para extender y luego comprimir los pulsos de láser. El oscilador 100 puede acoplar el haz de siembra 101 al extensor-compresor 200 a través de un divisor de haz BS 150. La incidencia del haz de siembra 101 en el extensor-compresor 200 puede limitarse y controlarse mediante un sistema de ajuste de láser 220, que puede fijarse al extensor-compresor 200 de manera transversal y ajustable.

El extensor-compresor 200 puede extender los pulsos de siembra introduciendo diferentes tiempos de retardo para los diferentes componentes de frecuencia de los pulsos de siembra. En resumen, el extensor-compresor 200 puede introducir dispersión o gorjeo en los pulsos. Su funcionamiento se describirá con más detalle en relación a las figuras 2A-B más adelante. El extensor-compresor 200 puede producir un haz extendido 201 de pulsos extendidos 201p y acoplarlos al amplificador 300 a través del divisor de haz BS 150 y un aislante Faraday 410.

El amplificador 300 puede recibir los pulsos extendidos 201p del extensor-compresor 200, amplificar una amplitud de pulsos extendidos seleccionados y producir un haz de láser amplificado 301 de pulsos extendidos amplificados 301p. Estos pulsos extendidos amplificados 301p pueden acoplarse ópticamente de nuevo en el extensor-compresor 200 en una dirección inversa a través del aislante Faraday 410 y los divisores de haz BS 420 y BS 430. Cuando se usa en dirección inversa, el extensor-compresor 200 puede (volver a) comprimir una duración de los pulsos extendidos amplificados 301p y producir un haz amplificado-comprimido 401 de pulsos amplificados-comprimidos 401p de una longitud de femtosegundos.

El aislante Faraday 410 puede asegurar que el oscilador 100 esté protegido del haz amplificado potente 301 creado por el amplificador 300. En ausencia del aislante Faraday 410, una fracción del haz amplificado 301 puede alcanzar el oscilador 100 y dañarlo considerablemente debido al alto contenido de potencia de los pulsos extendidos amplificados 301p del haz extendido amplificado 301.

Aunque algunas realizaciones del motor láser de CPA 1 pueden usarse con éxito en aplicaciones oftalmológicas que incluyen cirugía de cataratas, capsulotomía y procedimientos de córnea, las implementaciones del motor láser de CPA 1 también pueden usarse en una gama muy amplia de otras aplicaciones que incluyen otros tipos de procedimientos oftalmológicos, tales como cirugía de retina y de córnea, así como también aplicaciones dermatológicas, dentales, cosméticas y de cirugía interna, y varias aplicaciones de mecanizado de material que dan forma a una pieza de material con fotodisrupción láser o algún otro proceso asistido por láser.

La figura 1B ilustra un ejemplo útil para entender la invención del láser de CPA 1, en el que las funciones del extensor-compresor 200 se llevan a cabo con dos bloques separados: un extensor 215 y un compresor 217. En algunas implementaciones, el extensor 215 y el compresor 217 pueden cortarse del mismo cristal único.

La figura 2A ilustra en detalle el concepto de generar gorjeo. El extensor-compresor 200 o el extensor 215 puede recibir un pulso de siembra corto 101p del haz de siembra 101 cuyo contenido de frecuencia o espectro puede ser aproximadamente uniforme, o "blanco", durante la mayoría de la duración del pulso. Es decir, la amplitud de los diferentes componentes espectrales de frecuencia/longitud de onda al inicio del pulso corto 101p es aproximadamente uniforme y permanece así durante la duración del pulso.

El extensor-compresor 200 o el extensor 215 puede extender la duración de pulso de los pulsos cortos 101p introduciendo diferentes tiempos de retardo para los diferentes componentes espectrales de los pulsos cortos 101p.

La figura 2A ilustra que los diferentes tiempos de retardo para los diferentes componentes espectrales extienden los pulsos de siembra cortos 101p en pulsos extendidos más largos 201p. La figura 2A muestra además que la extensión hace también que el contenido de frecuencia o espectro de los pulsos extendidos 201p dependa del tiempo. De acuerdo con una convención típica, se dice que los pulsos en los que la parte principal está dominada por las frecuencias rojas mientras que la parte posterior está dominada por las frecuencias azules poseen una dispersión o gorjeo positivo, como en el ejemplo que se muestra en la figura 2A.

La presente descripción se refiere a un gorjeo en el dominio de tiempo: los componentes de frecuencia alta y baja del pulso están separados temporalmente. Otros tipos de gorjeo, tales como gorjeo espacial, en el que los componentes de frecuencia alta y baja están separados espacialmente en el haz, provocan diversos desafíos adicionales de diseño y no se encuentran entre las funcionalidades deseadas del extensor-compresor 200 o el extensor 215.

El extensor-compresor 200 o el extensor 215 puede extender una duración de los pulsos de siembra de femtosegundos 101p desde un intervalo de 1-1.000 femtosegundos hasta una duración extendida de 1-1.000

picosegundos de los pulsos extendidos 201p. El extensor-compresor 200 puede extender la duración de los pulsos de siembra de femtosegundos 101p un factor de extensión mayor de 10, 100 o 1.000. Cada uno de estos factores de extensión introduce criterios de diseño diferentes para el amplificador 300.

5 Los primeros diseños de extensores y compresores implicaban varias redes de difracción, prismas u otros dispositivos de resolución espectral, todos ellos ajustables de manera individual. La ubicación y orientación de estos dispositivos de resolución espectral tenían que ser ajustadas y alineadas de manera precisa para lograr el efecto de extensión deseado. Estas alineaciones eran sensibles y por tanto necesitaban una calibración precisa durante la fabricación, y un mantenimiento o recalibración que debía repetirse regularmente durante el funcionamiento. Para aplicaciones en entornos que no son de alta tecnología, tal como en entornos médicos, la necesidad de mantenimiento de estos primeros tipos de láseres de CPA era un obstáculo para una aceptación más extendida en el mercado.

15 La figura 2B ilustra un ejemplo del extensor-compresor 200 que ofrece mejoras con respecto a estas desventajas. En primer lugar, el extensor-compresor 200 de la figura 2B puede suprimir la necesidad de dispositivos de resolución espectral ajustables individualmente para la extensión mediante la inclusión de una red de Bragg de volumen de gorjeo (CVBG). Esta CVBG puede incluir capas apiladas 210-i, formadas, por ejemplo, de vidrio refractario fototérmico (PTR) perpendicular a la dirección de exposición o al eje óptico 209. Las capas 210-i pueden tener un índice de refracción adecuado y un período o separación de red de difracción que varía gradualmente con la posición de las capas 210-i a lo largo del eje óptico 209. En tal diseño, la condición de la reflexión de Bragg ocurre a diferentes profundidades para los diferentes componentes espectrales del pulso corto de siembra 101p.

20 Dado que varios componentes espectrales del pulso de siembra 101p se reflejan a diferentes profundidades de la CVBG, atraviesan vías ópticas de diferentes longitudes y por tanto adquieren retrasos temporales diferentes. Como se muestra en el ejemplo de la figura 2B, cuando el pulso de siembra corto "blanco" 101p entra en el extensor-compresor 200 a través de una cara de extensor 211s, sus componentes de frecuencia roja se reflejan a partir de las regiones cercanas de una región de capa de extensión 210s que tiene un espacio de capa mayor, o períodos de red de difracción, dado que su longitud de onda es mayor y cumple las condiciones de reflexión de Bragg en esas regiones cercanas.

25 Por el contrario, los componentes de frecuencia azul, que tienen longitudes de onda más cortas, se reflejan a partir de regiones más lejanas de la región de capa de extensión 210s en la CVBG. Dado que los componentes azules atraviesan una vía óptica mayor, se retrasan con respecto a los componentes rojos del pulso de siembra 101p. Por tanto, el pulso de siembra corto blanco introducido 101p se extiende mediante el extensor-compresor CVBG 200 o el extensor 215 para formar un pulso extendido 201p más largo. En el ejemplo específico, el pulso extendido 201p desarrolla un gorjeo positivo porque los componentes azules se retrasan con respecto a los componentes rojos dentro del pulso. Otras implementaciones del extensor-compresor 200 pueden hacer que una CVBG produzca un gorjeo negativo, retrasando los componentes espectrales rojos con respecto a los azules. Visiblemente, en esta realización la función de extensión del extensor-compresor 200 o el extensor autónomo 215 puede llevarse a cabo sin alinear descomponedores espectrales ajustables de manera individual.

30 La segunda ventaja del diseño de CVBG del extensor-compresor 200 en la figura 2B es que los pulsos extendidos 201p pueden volverse a comprimir a pulsos de femtosegundos haciéndolos volver como pulsos extendidos amplificados 301p al mismo extensor-compresor 200 aunque a través de una cara de compresor 211c colocada en la posición opuesta. Este diseño permite que los pulsos extendidos amplificados 301p atraviesen una región de capa de compresión 210c de la misma estructura de capas 210-i que extendió los pulsos en la fase de extensión, únicamente desde la dirección opuesta. Dado que la misma estructura de capas es atravesada a la inversa, este diseño puede deshacer la extensión original con una gran precisión, una vez más sin necesitar dispositivos de resolución espectral ajustables de manera individual que requieran un ajuste preciso.

35 40 45 50 En detalle, cuando un pulso amplificado extendido 301p entra en el extensor-compresor de CVBG 200 a través de la cara de compresor 211c, sus componentes rojos son retrasados al mismo grado mediante las capas 210-i de la región de capa de compresión 210c, al mismo tiempo que sus componentes azules son retrasados durante la extensión mediante la región de capa de extensión 210s, restaurando así la longitud corta original del pulso de siembra 101p. Por tanto, el extensor-compresor 200 con la arquitectura CVBG puede compensar la extensión producida por el extensor de una manera muy eficiente y producir pulsos comprimidos 401p con una longitud comprimida nuevamente a femtosegundos.

55 En un ejemplo útil para entender la invención, como se representa en la figura 1B, la extensión llevada a cabo por el extensor 215 puede deshacerse con gran precisión mediante el compresor separado 217 si su estructura de capas 210-i es inversa a la otra. Una forma de lograr esto es cortar el extensor 215 y el compresor 217 a partir del mismo cristal después de que se hayan formado las capas 210-i de manera gradual con separación o índice de refracción variable, perpendicular a la dirección de exposición 209.

Queda claro a partir de la descripción anterior que la extensión de los pulsos de siembra 101p y la (re)compresión de los pulsos extendidos amplificados 301p son las más eficientes si en la estructura de capas 210-i la distancia entre capas, el espesor de las capas y la suavidad y el índice de refracción de las capas, denominadas en conjunto

características de capa, son independientes de las coordenadas (x,y) transversales a z, la dirección de exposición o eje óptico 209.

Desafortunadamente, en sistemas reales las características de capa normalmente dependen en cierto modo de las coordenadas (x,y) transversales. Por ejemplo, cuando la estructura de capas 210-i se forma mediante exposición a haces litográficos incidentes a lo largo de la dirección de exposición 209, normalmente ocurre que las características de capa finalmente exhiben cierto grado de variación transversal debido a las aberraciones del haz litográfico o a variaciones en el material dentro del cristal base utilizado.

Esta dependencia de (x,y) puede presentar problemas en el diseño debido al menos a dos motivos. (1) Primero, si las características de capa dependen de las coordenadas transversales (x,y) dentro del diámetro de haz, entonces los componentes espectrales de los pulsos extendidos 201p pueden adquirir diferentes retrasos dependiendo de las coordenadas (x,y). Esta inhomogeneidad hace que los pulsos extendidos 201p desarrollen un gorjeo espacial aparte del gorjeo temporal, que es más difícil de compensar de vuelta hacia una duración de pulso de femtosegundos.

(2) Segundo, la compresión es la más eficiente si los pulsos extendidos amplificados 301p se propagan a través de una región de capa de compresor 210c cuya estructura de capas es tan cercana como sea posible a la región de capa de extensión 210s, solo que invertida, para deshacer de manera precisa la extensión. Sin embargo, si las capas 210-i se forman con características de capa dependientes de (x,y), entonces las características de capa en la región de capa de compresión 210c pueden ser bastante diferentes de las de la región de capa de extensión 210s, haciendo que la compresión sea incompleta o ineficiente.

Por tanto, es un desafío de diseño reducir o minimizar el gorjeo espacial no deseado y la compresión incompleta de los pulsos de láser mediante el extensor-compresor 200, accionado por las variaciones transversales de las características de capa.

En este sentido, la figura 3A ilustra una realización del sistema de ajuste de láser 220 que puede superar ambos desafíos de diseño antes mencionados limitando la incidencia del haz de siembra 101 que cae sobre la cara de extensor 211s, y el haz extendido amplificado 301 que cae sobre la cara de compresor 211c hacia puntos en los que (1) las características de capa muestran variaciones mínimas dentro del diámetro de haz, y (2) la estructura de las capas en la región de capa de compresión 210c tiene una estructura muy similar a la de las capas en la región de capa de extensión 210s, aunque inversa. Dado que los puntos seleccionados en base a estos dos requisitos no siempre están perfectamente alineados entre sí, algunas realizaciones del sistema de ajuste de láser 220 pueden configurarse que se equilibren estos requisitos.

Las mejoras pueden conseguirse en algunas realizaciones al hacer que el sistema de ajuste de láser 220 tenga un limitador de haz de siembra ajustable 230s. El limitador de haz de siembra ajustable 230s se puede fijar a la cara de extensor 211s del extensor-compresor 200 de una manera ajustable y transversal, y se puede configurar para limitar una incidencia del haz de siembra 101, generado por el oscilador 100, en la cara de extensor 211s del extensor-compresor 200, como se describe con más detalle más adelante.

Aquí, el extensor-compresor 200 puede integrarse en el motor láser de amplificación de pulso gorjeado (CPA) 1 descrito anteriormente. En particular, el extensor-compresor 200 o el extensor 215 puede extender la duración de los pulsos de siembra 101p del haz de siembra 101 generado por el oscilador 100. En algunas realizaciones, el extensor-compresor 200 o el extensor 215 puede también incluir una red de Bragg de volumen gorjeado o CVBG.

El limitador de haz de siembra ajustable 230s puede incluir una abertura extensible 232s de radio r para comprimir o limitar un punto de incidencia del haz de siembra 101 en la cara de extensor 211s del extensor-compresor 200 o del compresor 215. Esta realización puede servir para abordar, entre otros, el primero de los desafíos descritos anteriormente, las variaciones transversales de las características de capa dentro del radio de haz, lo cual deriva en la generación de un gorjeo espacial y en la degradación del gorjeo temporal del haz extendido devuelto 201.

El uso del limitador de haz de siembra ajustable 230s puede mejorar la calidad del haz extendido 201 a través de las siguientes etapas: (1) unir de manera ajustable el limitador de haz de siembra ajustable transversal 230s a la cara de extensor 211s de manera que la abertura extensible 232s limite el punto de incidencia del haz de siembra 101 a una proximidad de radio r de una coordenada o ubicación transversal (x,y); (2) variar la coordenada transversal (x,y) del punto de incidencia y de la abertura de extensión 232s; (3) monitorizar una dependencia del gorjeo espacial, gorjeo temporal o calidad de haz del haz extendido reflejado 201 en las coordenadas transversales (x,y) mediante un dispositivo adecuado, tal como un analizador espectral o un analizador de frente de onda; (4) determinar la ubicación transversal (x,y)_{opt} que optimiza la calidad o gorjeo de haz monitorizado, o hace que la calidad o gorjeo monitorizado cumpla un criterio predeterminado; y finalmente (5) fijar el limitador de haz de siembra ajustable 230s a la cara de extensor 211s aproximadamente en la ubicación óptima (x,y)_{opt}. La ubicación transversal óptima (x,y)_{opt} normalmente corresponde a la región de capa de extensión 210s con las capas más suaves que siguen mejor las separaciones de capas diseñadas y el índice de refracción.

En la etapa (4), se puede rastrear no solamente el gorjeo espacial, sino cualquier indicador seleccionado de la calidad de haz. En algunas realizaciones, se puede optimizar la eficiencia de (re)compresión de los pulsos extendidos amplificados 301p a pulsos amplificados comprimidos de femtosegundos 401p mediante el compresor

217. Aún en otras realizaciones, se puede optimizar una medida de aberración seleccionada del haz extendido 201. En algunas realizaciones, una combinación de más de una calidad de haz puede optimizarse colectivamente.

5 El limitador de haz de siembra ajustable 230s puede realizarse no solo mediante el uso de la abertura extensible 232s, sino mediante el uso de un bloqueador de haz parcial, un atenuador de haz, una máscara o una lente. En cada uno de estos casos, el limitador de haz de siembra ajustable 230s puede ser ajustable y transversal de manera que puede limitar la incidencia del haz de siembra 101 en la cara de extensor 211s.

En algunas realizaciones, el limitador de haz de siembra ajustable 230s puede ser ajustable en una dimensión transversal, ya sea x , y o alguna dirección genérica, transversal al eje óptico 209 del extensor-compresor 200 o del extensor 215.

10 El limitador de haz de siembra ajustable 230s puede unirse a la cara de extensor 211s del extensor-compresor 200 o del extensor 215 con la ayuda de uno o más orificios de ajuste 234s, configurados para poder unirlos de manera ajustable a la cara de extensor 211s. La figura 3A ilustra que los orificios de ajuste 234s pueden ser hendiduras lineales, que permiten el ajuste del limitador de haz de siembra ajustable transversal 230s a lo largo de una dirección. En los orificios de ajuste 234s se pueden acoplar pasadores de ajuste 242s, configurados para recibir una unión ajustable del limitador de haz de siembra ajustable 230s. Los pasadores de ajuste 242s pueden incluir un pasador móvil, un tornillo, una combinación de perno y tuerca y una guía de deslizamiento. Los pasadores de ajuste 242s pueden estar formados, ubicados o unidos a un alojamiento de extensor-compresor 244 que recibe el extensor-compresor 200 o el compresor 215.

15 La figura 3B ilustra el limitador de haz de siembra ajustable 230s unido al alojamiento de extensor 244 mediante los pasadores de ajuste 242s que se acoplan en los orificios de ajuste 234s. El limitador de haz de siembra ajustable 230s puede, por tanto, limitar el punto de incidencia del haz de siembra 101 a un círculo de radio r centrado en la ubicación transversal (x,y) del centro de la abertura extensible 232s.

20 Dado que los orificios de ajuste 234s pueden permitir el movimiento en una dirección transversal, el limitador de haz de siembra 230s y, por tanto, el punto de incidencia del haz de siembra 101 puede moverse en una dirección transversal con respecto al eje óptico 209. En algunas realizaciones, la ubicación transversal del limitador de haz de siembra ajustable 230s puede ser ajustada mediante un ajustador 245 que puede incluir una guía de deslizamiento, una palanca, un micromotor, un ajustador electromagnético o un ajustador controlado por PZT. En otras realizaciones, el limitador de haz de siembra 230s puede ser ajustado manualmente por un técnico.

25 La figura 3C ilustra que algunas realizaciones del sistema de ajuste de láser 220 pueden incluir un limitador de haz amplificado ajustable 230c que se puede unir al extensor-compresor 200 o al compresor 217 por la cara de compresor 211c de manera transversal y ajustable. El limitador de haz amplificado 230c se puede configurar para limitar una incidencia del haz extendido amplificado 301 en la cara de compresor 211c del extensor-compresor 200 o el compresor 217.

30 Tal como se describe anteriormente, la eficiencia de la compresión de los pulsos extendidos amplificados 301p se puede mejorar si el haz extendido amplificado 301 se guía y se limita mediante una abertura de compresión 232c del limitador de haz amplificado 230c para ser reflejado por Bragg desde una región de capa de compresión 210c cuya estructura es lo más parecida posible a la estructura de capa de la región de capa de extensión 210s, seleccionado por el limitador de haz de siembra 230s, solo que de manera inversa. Para lograr eso, el limitador de haz amplificado 230c se puede ajustar transversalmente de manera análoga al limitador de haz de siembra 230s: conectando de manera ajustable sus orificios de ajuste 234c para ajustar los pasadores 242c que se puedan unir o colocar en el alojamiento de extensor-compresor 244. Con este diseño, el limitador de haz amplificado 230c se puede mover alrededor de la cara de compresor 211c, se puede usar un detector o sensor de monitorización-compresión para monitorizar la compresión de los pulsos amplificados comprimidos 401p, se puede identificar dentro del espacio de búsqueda la ubicación en la que la compresión monitorizada es óptima o aceptable y se puede fijar el limitador de haz amplificado 230c a la cara de compresor 211c en la ubicación identificada.

35 La figura 4 ilustra una vista lateral de una realización del extensor-compresor integrado 200. En esta realización, el limitador de haz de siembra ajustable 230s tiene dos orificios de ajuste 234s que pueden ser agujeros o hendiduras alargadas. Los pasadores de ajuste 242s pueden ser tornillos con cabezas con un radio suficientemente grande, para que cuando se aprieten los tornillos 242s, se sujeten al limitador de haz de siembra ajustable 230s y se fijen a la cara de extensor 211s del alojamiento 244 del extensor-compresor 200 para que la abertura extensible 232s esté en la posición $(x,y)_{opt,s}$ que se determinó mediante la monitorización de la calidad de haz del haz extendido 201, o en una posición que cumpla un criterio predeterminado.

40 De forma análoga, en la cara de compresor 211c, los pasadores de ajuste, por ejemplo tornillos 242c, pueden permitir un ajuste transversal de los orificios de ajuste 234c del limitador de haz amplificado 230c, seguido del ajuste de los tornillos 242c para fijar el limitador de haz amplificado 230c a la cara de compresor 211c para que la abertura de compresión 242c esté en una posición $(x,y)_{opt,c}$ óptima o en una posición que cumpla un criterio predeterminado.

45 Las figuras 5A-B ilustran una realización del sistema de ajuste de láser 220 que permite el ajuste transversal en dos direcciones. En esta realización, los dos orificios de ajuste bidimensionales (2D) 234s pueden ser circulares o

- extendidos de otra manera, en vez de las ranuras lineales de las figuras 3-4. Cuando se acoplan los orificios de ajuste 2D 234s con los pasadores de ajuste de mayor tamaño 242s, el limitador de haz de siembra ajustable 230s se puede mover en las direcciones x e y. Una vez que se han identificado las coordenadas transversales $(x,y)_{opt}$ del centro de la abertura extensible 232s que corresponden a la calidad óptima de haz, se pueden usar los pasadores de ajuste de mayor tamaño 242s con cabezas de mayor tamaño para sujetar o fijar el limitador de haz de siembra ajustable 230s en su posición óptima en el alojamiento de extensor-compresor 244.
- 5
- Con el fin de presentar una descripción completa, aquí se repite que en todas las realizaciones anteriores se puede integrar el extensor-compresor 200 en la unidad integrada 200 como en las figuras 1A, 2B, y 4. En otra realización, las figura 3A-C pueden ilustrar dos extremos de una realización integrada 200.
- 10
- La figura 6 ilustra un método 500 para mejorar el rendimiento de un motor láser CPA. El método 500 puede incluir:
- unir 510 un limitador de haz de siembra ajustado de manera ajustable transversalmente a una cara de un extensor-compresor de un láser de amplificación de pulso gorjeado;
- dirigir 520 un haz de siembra de pulsos de siembra, generado por un oscilador del láser de amplificación de pulso gorjeado, a la cara de extensor;
- 15
- monitorizar 530 una calidad de haz de un haz extendido, devuelto por el extensor-compresor, a medida que varía una coordenada transversal del limitador de haz de siembra;
- determinar 540 una coordenada de calidad transversal del limitador de haz de siembra cuando la calidad del haz monitorizada del haz extendido cumple un criterio de calidad predeterminado; y
- 20
- fijar 550 el limitador de haz de siembra a la cara de extensor en la coordenada transversal de calidad determinada. Los elementos estructurales en las etapas de los métodos anteriores pueden ser los denominados de manera análoga elementos estructurales, descritos en las figuras 1-5.
- En el contexto de la determinación 540, el criterio de calidad predeterminado puede adoptar muchas formas. En algunas realizaciones, el criterio de calidad puede ser si un gorjeo espacial del haz extendido ha alcanzado un valor mínimo mientras se varió la coordenada transversal del limitador de haz de siembra a lo largo de la cara de extensor. En otras realizaciones, el criterio de calidad puede ser si un valor de aberración de haz se redujo por debajo de un valor determinado moviéndose alrededor del limitador de haz amplificado. Aún en otras realizaciones, el criterio de calidad puede ser si un espectro de los pulsos extendidos de haz extendido ha alcanzado una dependencia temporal deseada.
- 25
- En algunas realizaciones, la monitorización 530 puede incluir medir un gorjeo espacial del haz extendido que corresponde a la coordenada transversal variada del limitador de haz de siembra.
- 30
- En algunas realizaciones, el método 500 puede incluir además unir un limitador de haz amplificado de manera ajustable transversalmente a una cara de compresor del extensor-compresor del láser de amplificación de pulso gorjeado; dirigir un haz amplificado de los pulsos extendidos amplificados, generado por un amplificador de láser de amplificación de pulso gorjeado, a la cara de compresor; monitorizar una compresión característica de los pulsos comprimidos de un haz comprimido devuelto por un extensor-compresor a medida que varía una coordenada transversal del limitador de haz amplificado; determinar una coordenada transversal de compresión del limitador de haz amplificado cuando las características de compresión monitorizada cumplen los criterios de compresión predeterminados; y fijar el limitador de haz amplificado a la cara de compresor en la coordenada transversal de compresión determinada.
- 35
- En algunas realizaciones del método 500, la determinación 540 de una coordenada transversal de calidad del limitador de haz de siembra puede implicar usar tanto la calidad del haz monitorizado como las características de compresión monitorizada. Esta realización del método 500 se puede poner en práctica, por ejemplo, cuando no se cumplen las condiciones de calidad y los criterios de compresión en la misma coordenada transversal del limitador de haz de siembra. En este caso, se puede calcular una coordenada transversal de solución intermedia para el limitador de haz de siembra que se puede calcular usando tanto la calidad del haz monitorizado como las características de compresión monitorizada.
- 40
- 45

REIVINDICACIONES

1. Sistema láser, que comprende:
- un oscilador (100), configurado para generar un haz de siembra que tiene un radio de haz;
- 5 un extensor-compresor (200) que comprende una red de Bragg de volumen de gorjeo (CVBG) formado en el mismo monocristal e integrado en un motor láser de amplificación de pulso gorjeado y configurado:
- para recibir el haz de siembra, y
- para extender una duración de pulsos de siembra del haz de siembra;
- un limitador de haz de siembra ajustable (230s) unido a una cara de extensor (211s) del extensor-compresor (200), y configurado
- 10 para un ajuste en una dimensión transversal con respecto al eje óptico del extensor-compresor a fin de limitar una incidencia en una dirección transversal con respecto al eje óptico de un haz de siembra (101), generado por el oscilador (100), en el extensor-compresor (200),
- un amplificador (300), configurado
- para recibir los pulsos de siembra extendidos del extensor-compresor (200),
- 15 para amplificar una amplitud de pulsos de siembra extendidos seleccionados para crear pulsos extendidos amplificados, y
- para producir un haz de láser de pulsos extendidos amplificados, en el que
- el extensor-compresor (200) está configurado
- para recibir el haz de láser de pulsos extendidos amplificados,
- 20 para comprimir una duración de los pulsos extendidos amplificados, y
- para producir un haz de láser de pulsos comprimidos, y
- un limitador de haz amplificado (230c), unido al extensor-compresor por una cara de compresor (211c) y configurado para su ajuste en una dimensión transversal con respecto al eje óptico a fin de limitar una incidencia en una dirección transversal con respecto al eje óptico de un haz amplificado en el extensor-compresor (200);
- 25 teniendo la red de Bragg de volumen de gorjeo (CVBG) variaciones transversales de las características de capa en una dirección transversal al eje óptico y en el que los limitadores de haz son ajustables para controlar dichas variaciones transversales de las características de capa dentro del radio de haz para reducir un gorjeo espacial.
2. Sistema láser según la reivindicación 1, comprendiendo el limitador de haz de siembra ajustable (230s):
- 30 una abertura extensible, configurada para limitar un punto de incidencia del haz de siembra en el extensor-compresor.
3. Sistema láser según la reivindicación 1, en el que:
- el limitador de haz de siembra ajustable (230s) comprende al menos uno de un bloqueador de haz parcial, un atenuador de haz, una máscara y una lente.
4. Sistema láser según la reivindicación 1, en el que:
- 35 el limitador de haz de siembra ajustable (230s) es ajustable en dos dimensiones transversales con respecto a un eje óptico del extensor-compresor.
5. Sistema láser según la reivindicación 1, comprendiendo el extensor-compresor:
- uno o más pasadores de ajuste, configurados para recibir una fijación ajustable del limitador de haz de siembra ajustable en el extensor-compresor.
- 40 6. Sistema láser según la reivindicación 5, comprendiendo el extensor-compresor (200):
- un alojamiento; en el que
- el alojamiento comprende una cara de extensor (211s), y
- el pasador de ajuste está fijado a la cara de extensor.

7. Sistema láser según la reivindicación 5, comprendiendo el limitador de haz de siembra ajustable (230s):

uno o más orificios de ajuste, configurados para unirse de manera ajustable al pasador de ajuste del extensor-compresor.

8. Sistema láser según la reivindicación 5, en el que:

5 el pasador de ajuste comprende al menos uno de un pasador móvil, un tornillo, una combinación de perno y tuerca y una guía de deslizamiento.

9. Sistema láser según la reivindicación 1, en el que:

10 el limitador de haz de siembra ajustable (230s) se puede ajustar mediante un ajustador, que comprende al menos uno de una guía de deslizamiento, una palanca, un micromotor, un ajustador electromecánico y un ajustador controlado por PZT.

10. Método para mejorar un rendimiento de un láser, comprendiendo el método:

15 unir un limitador de haz de siembra de manera ajustable transversalmente a una cara de extensor de un extensor-compresor de un láser de amplificación de pulso gorjeado, comprendiendo el extensor-compresor una red de Bragg de volumen de gorjeo (CVBG) formada en el mismo cristal, teniendo la red de Bragg de volumen de gorjeo variaciones transversales de las características de capa en una dirección transversal al eje óptico dentro de un radio de haz;

dirigir un haz de siembra de pulsos de siembra que tiene un radio de haz generado por un oscilador del láser de amplificación de pulso gorjeado, a la cara de extensor;

20 monitorizar una calidad de haz de un haz extendido, devuelto por el extensor-compresor, a medida que varía una coordenada transversal del limitador de haz de siembra;

determinar una coordenada de calidad transversal del limitador de haz de siembra cuando la calidad de haz monitorizado del haz extendido cumple un criterio de calidad predeterminado, en donde el criterio de calidad cumple una o más de las condiciones:

25 (i) si un gorjeo espacial del haz extendido ha alcanzado un valor mínimo mientras variaba la coordenada transversal del limitador de haz de siembra a través de la cara de extensor;

(ii) si un valor de aberración de haz se ha reducido por debajo de un valor determinado al moverse alrededor del limitador de haz amplificado.

(iii) si un espectro de los pulsos extendidos de haz extendido ha alcanzado una dependencia temporal deseada; y

30 fijar el limitador de haz de siembra a la cara de extensor en la coordenada transversal de calidad transversal determinada;

unir un limitador de haz de siembra de manera ajustable transversalmente a una cara de compresor del extensor-compresor de un láser de amplificación de pulso gorjeado;

dirigir un haz amplificado de pulsos extendidos amplificados, generado por un amplificador del láser de amplificación de pulso gorjeado, a la cara de compresor;

35 monitorizar una característica de compresión de pulsos comprimidos de un haz comprimido, devuelto por un extensor-compresor a medida que varía una coordenada transversal del limitador de haz amplificado;

determinar una coordenada transversal de compresión del limitador de haz amplificado cuando la característica de compresión monitorizada cumple un criterio de compresión predeterminado, en el que la compresión es óptima; y

40 fijar el limitador de haz amplificado a la cara de compresor en la coordenada transversal de compresión determinada.

11. Método según la reivindicación 10, comprendiendo la determinación de una coordenada de calidad transversal del limitador de haz de siembra:

usar conjuntamente la calidad de haz monitorizado y la característica de compresión monitorizada.

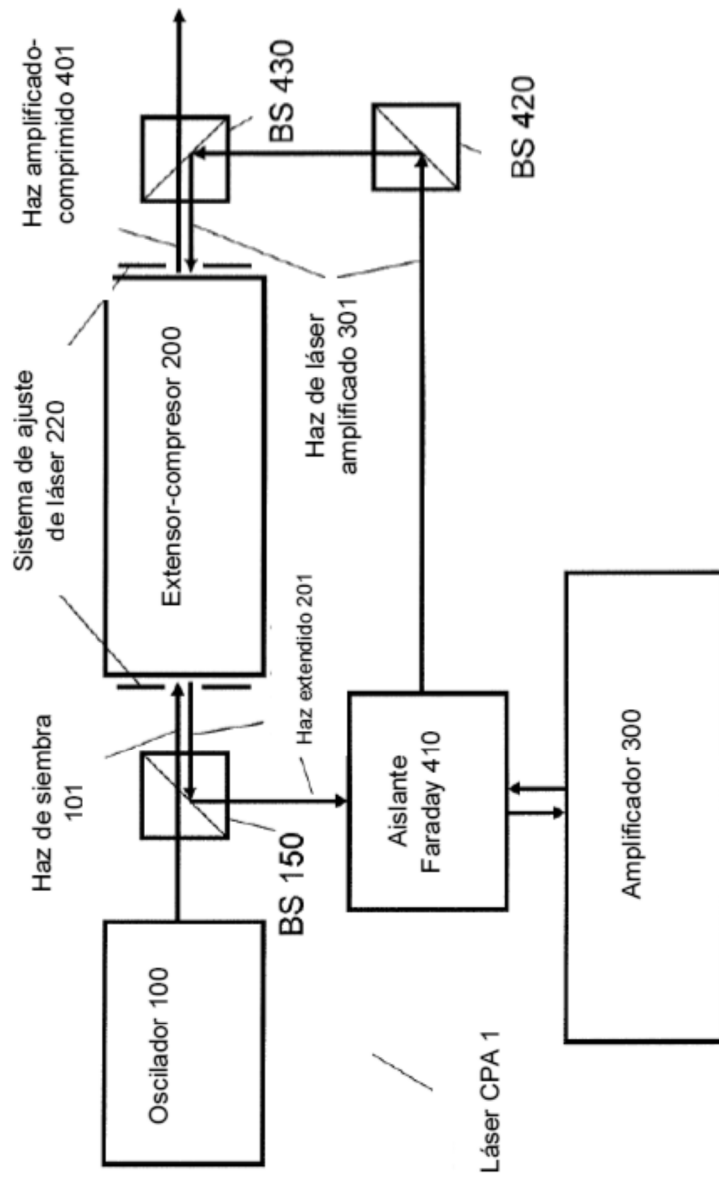


FIG. 1A

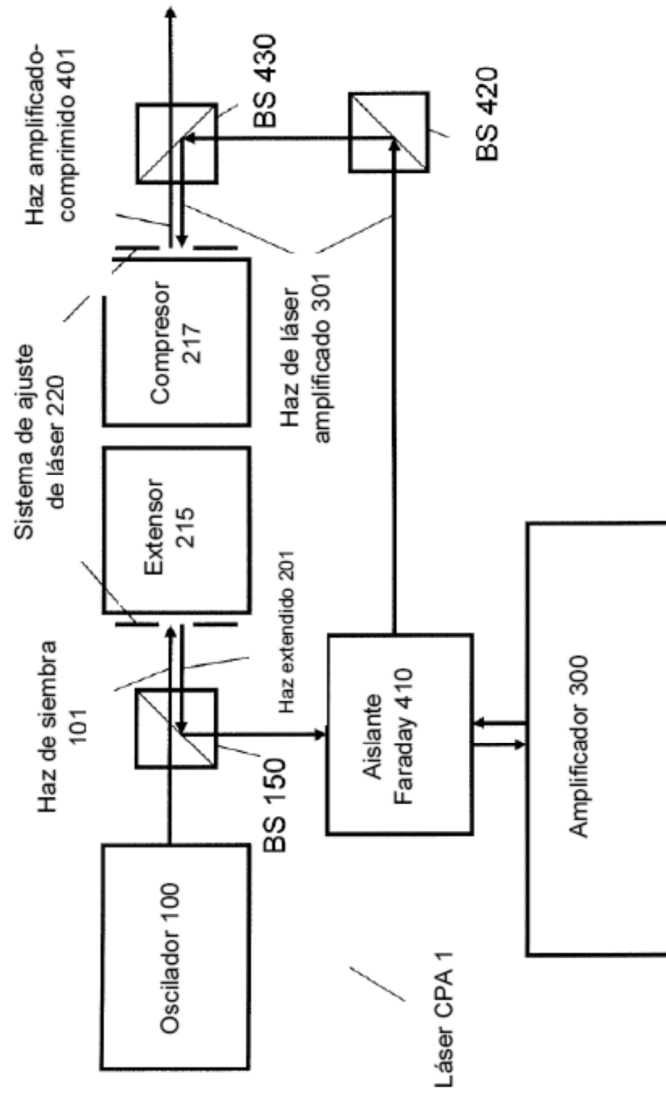


FIG. 1B

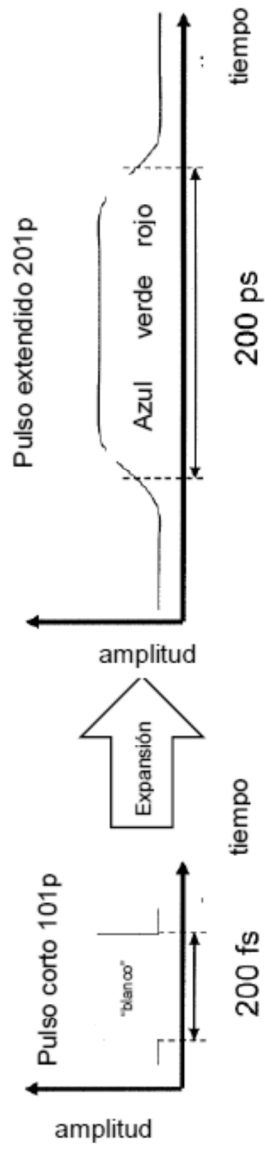


FIG. 2A

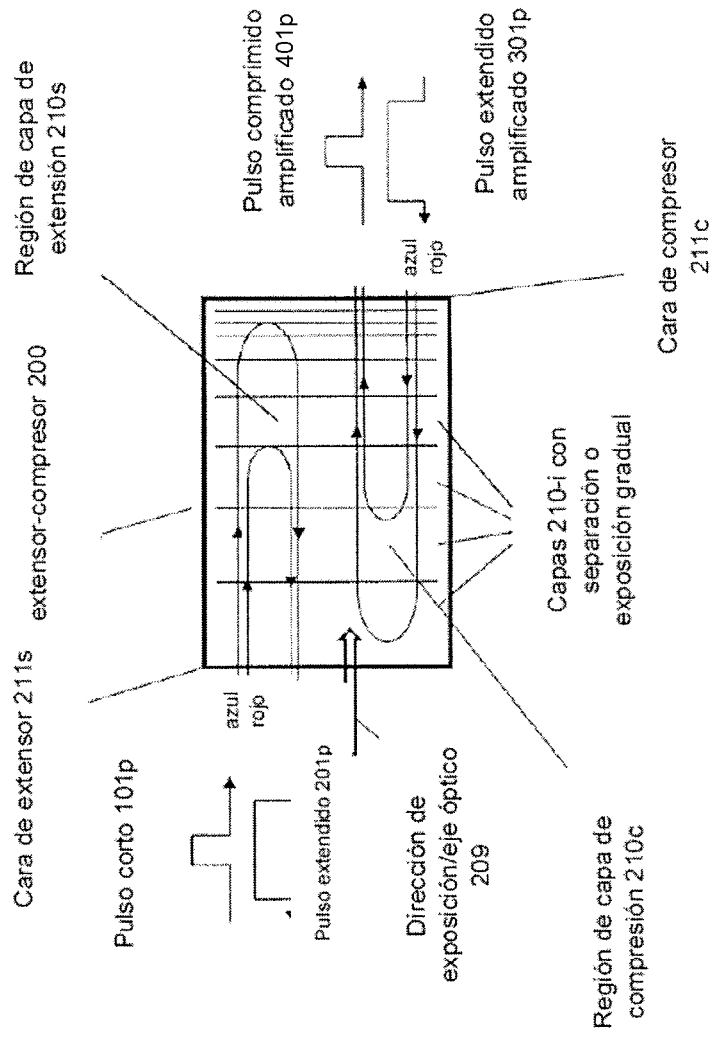


FIG. 2B

1.

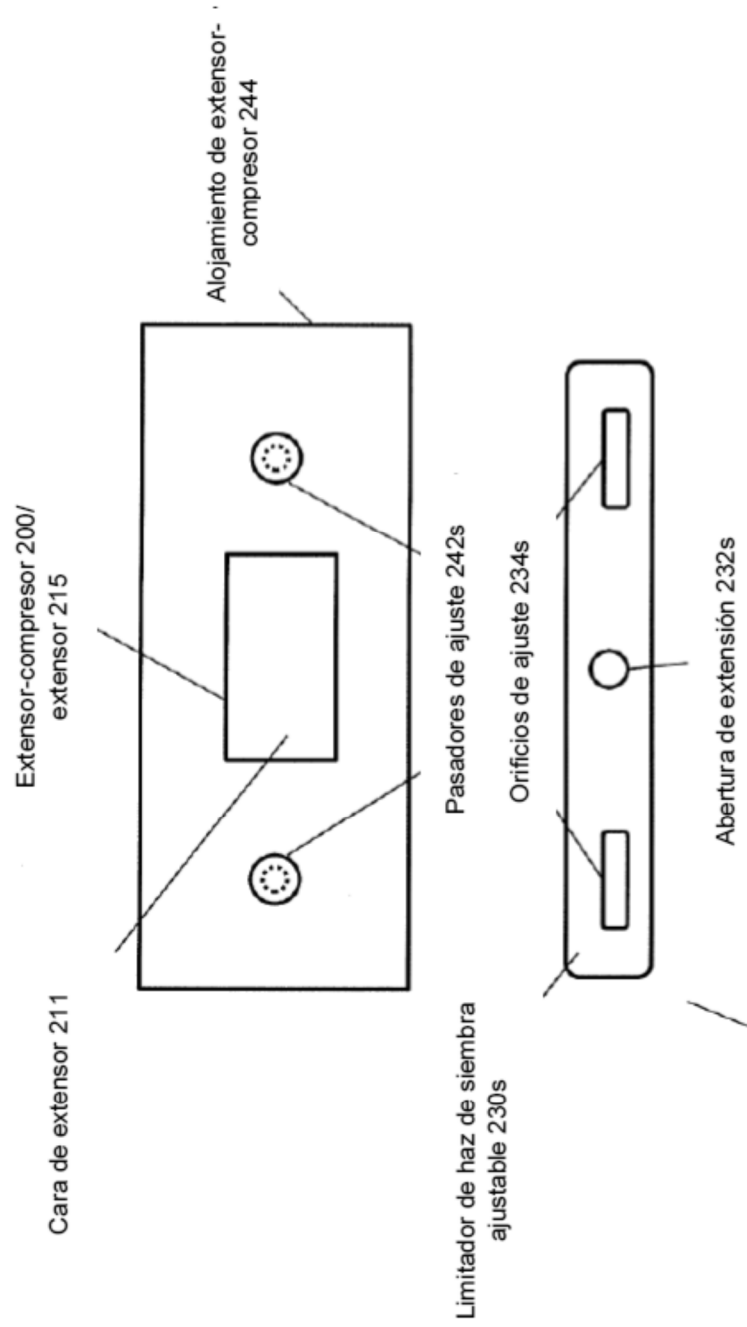


FIG. 3A

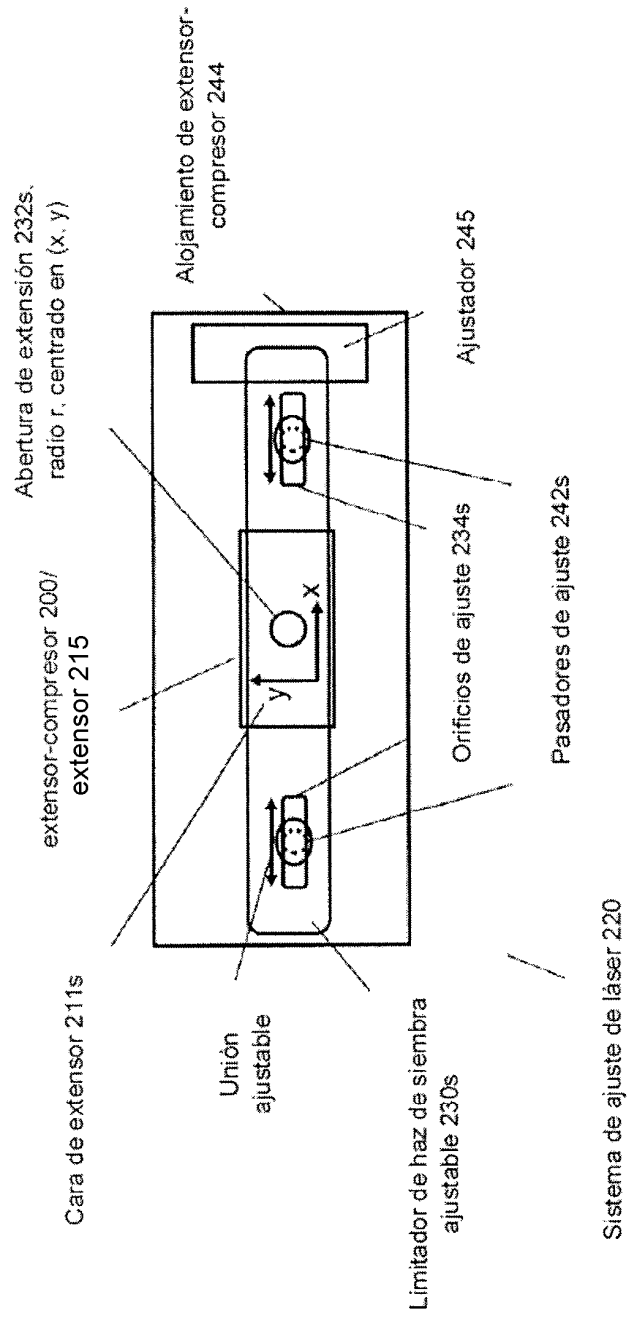


FIG. 3B

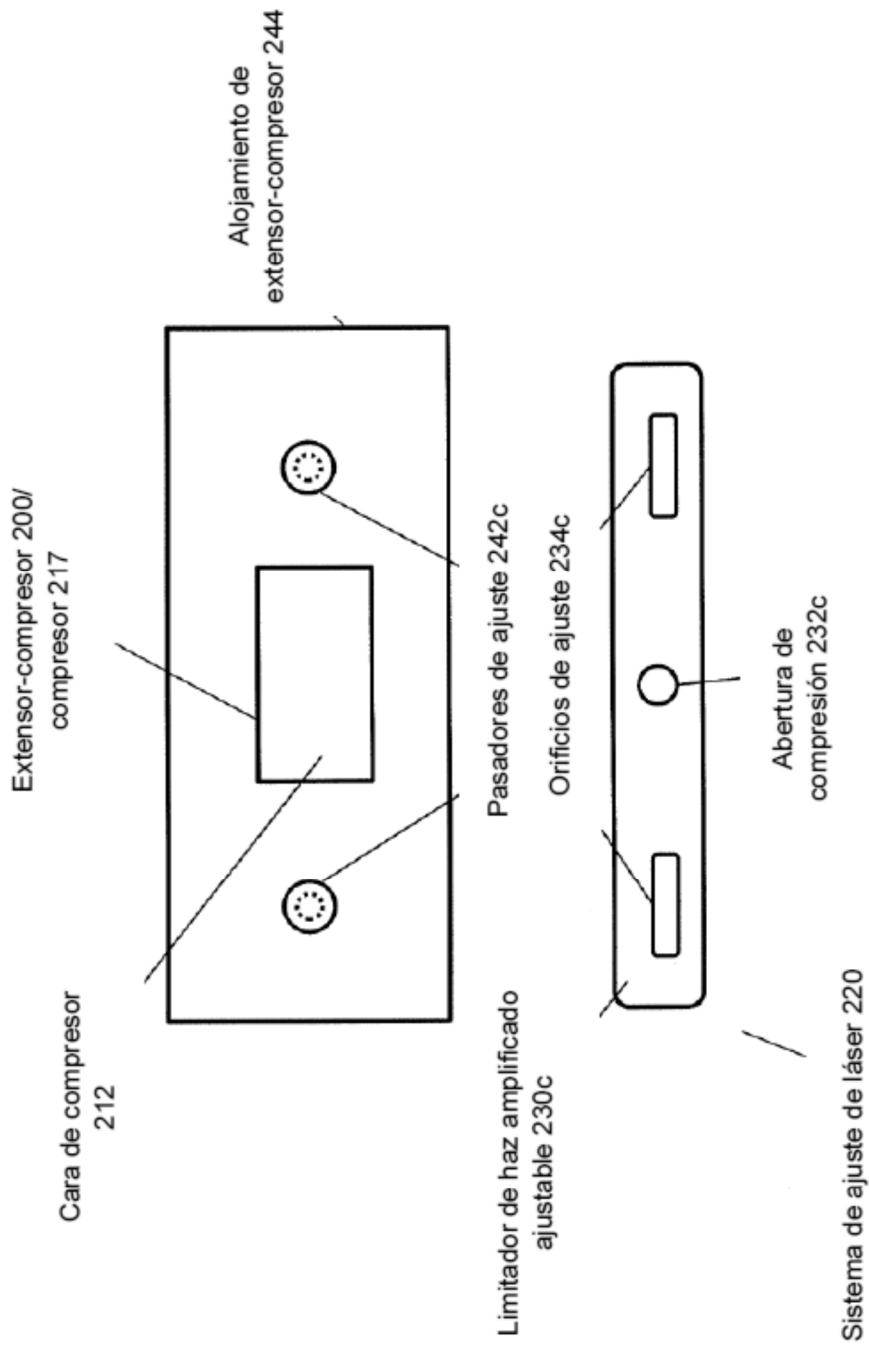


FIG. 3C

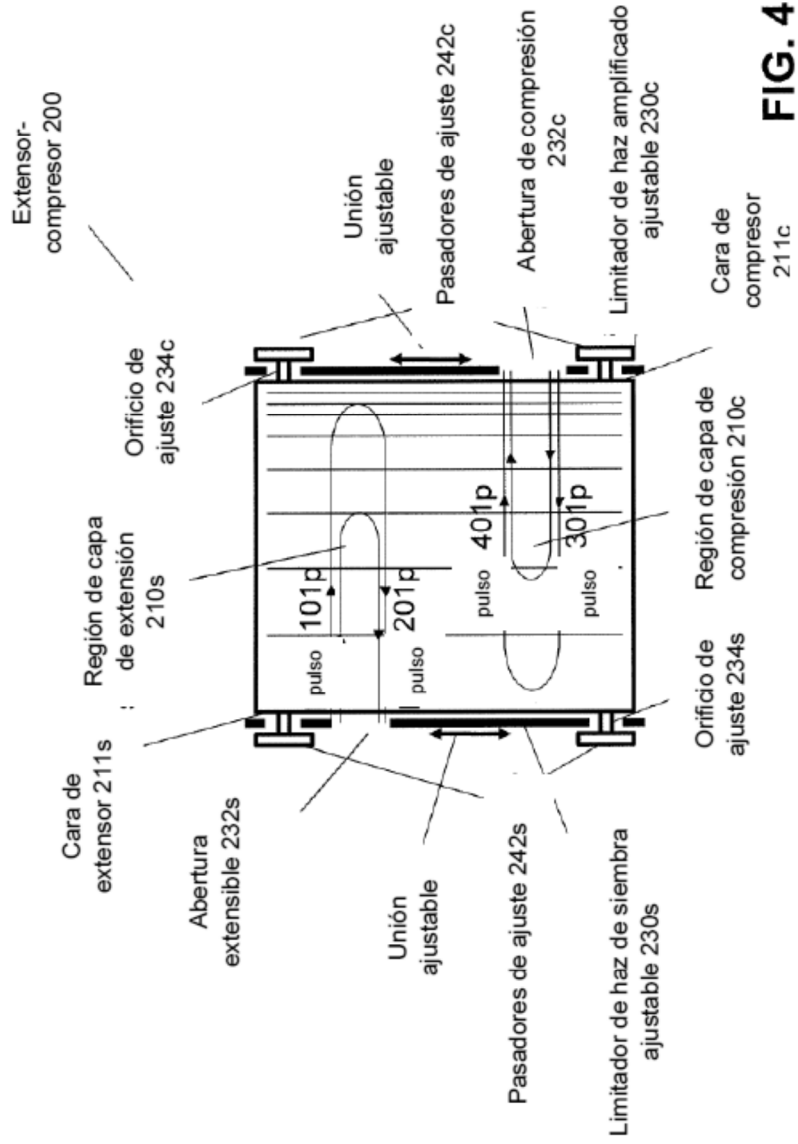


FIG. 4

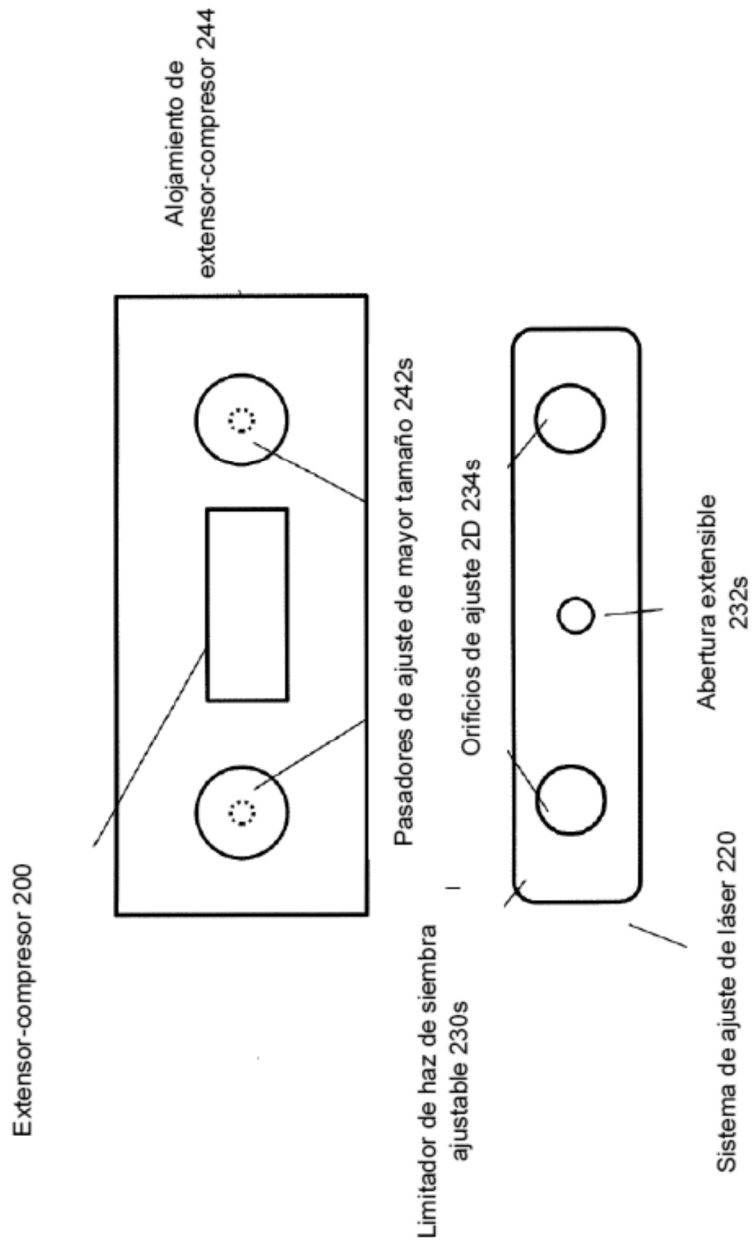


FIG. 5A

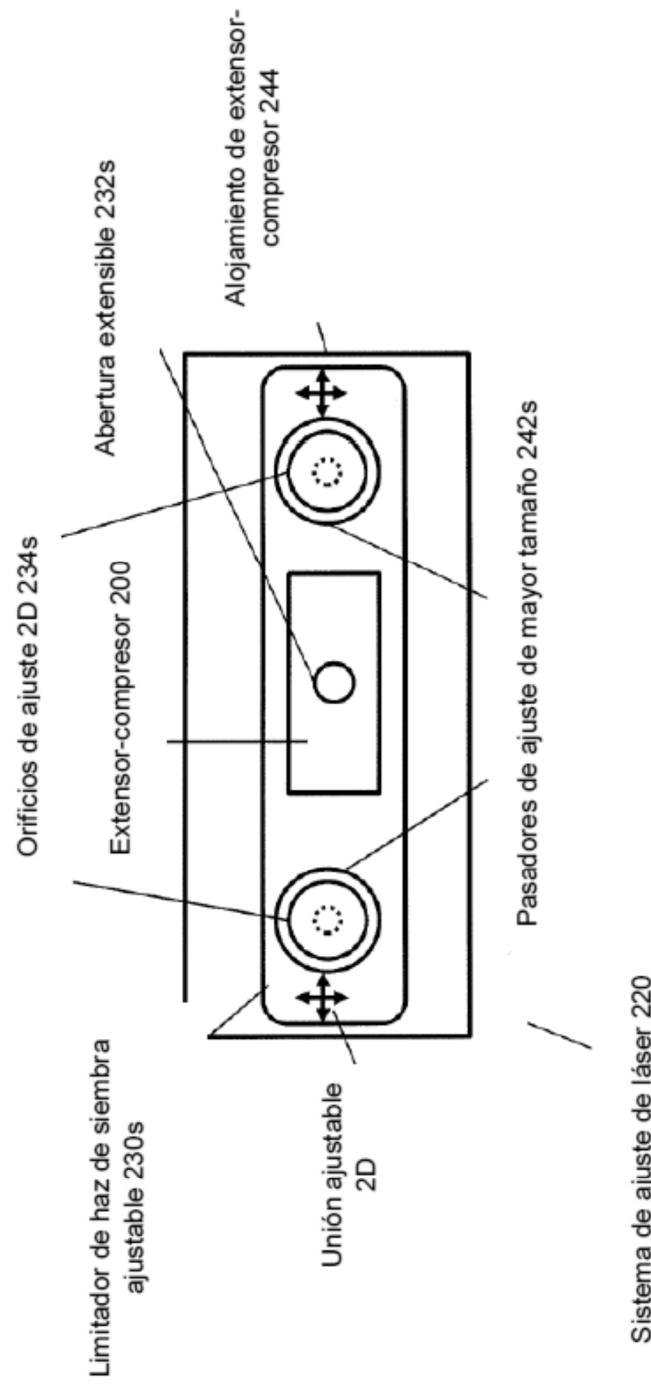


FIG. 5B

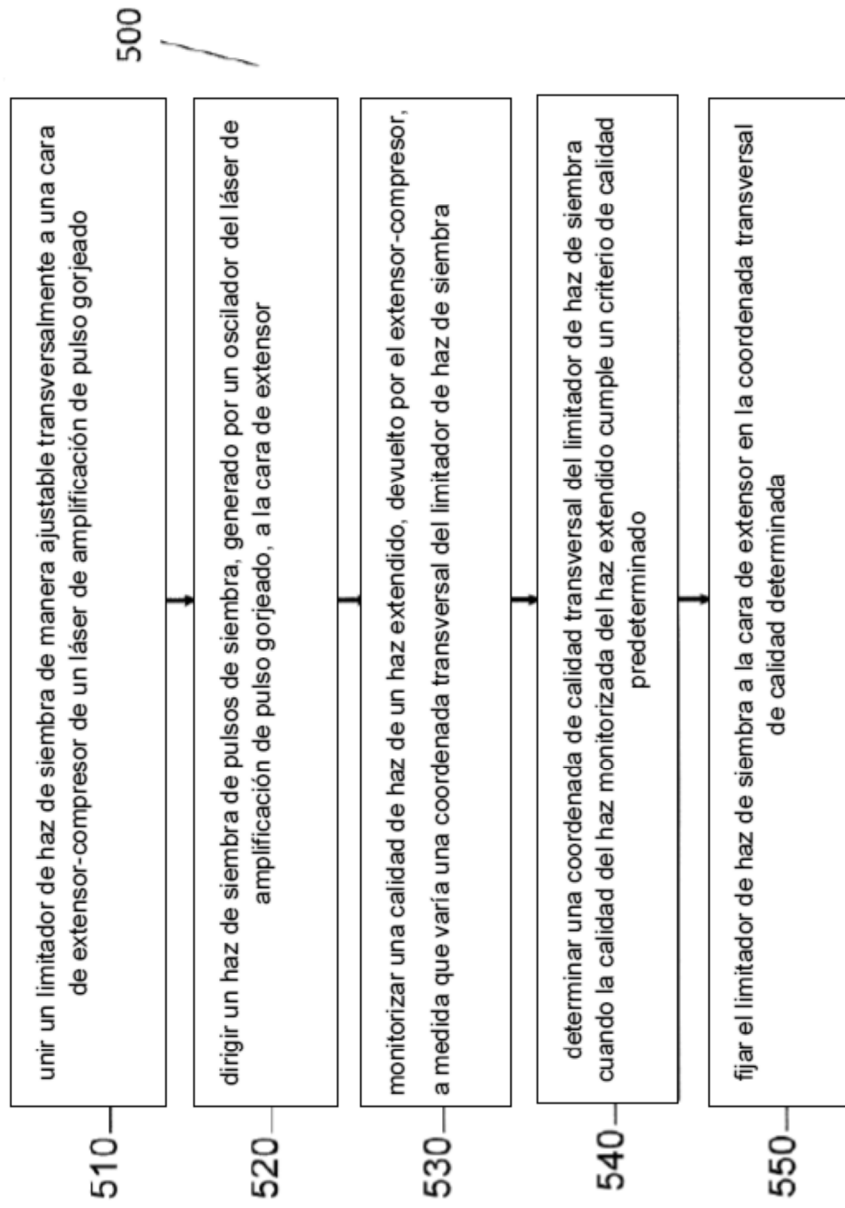


FIG. 6