

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 613**

51 Int. Cl.:

**H01S 3/23** (2006.01)

**H01S 3/06** (2006.01)

**H01S 3/03** (2006.01)

**H01S 3/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2014 E 14178635 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 2835881**

54 Título: **Arreglo de amplificador óptico**

30 Prioridad:

**07.08.2013 GB 201314098**

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

**14.04.2016**

73 Titular/es:

**ROFIN-SINAR UK LTD (100.0%)  
York Way, Willerby  
Kingston upon Hull, HU10 6HD, GB**

72 Inventor/es:

**LEE, JASON ROBERT y  
FULFORD, BENJAMIN STUART**

74 Agente/Representante:

**LAZCANO GAINZA, Jesús**

**ES 2 566 613 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**

Arreglo de amplificador óptico

- 5 La presente invención se relaciona con un aparato amplificador óptico para usar en la amplificación de pulsos iniciales ultracortos de baja potencia, de frecuencia reducida, y en particular, aunque no de manera exclusiva, con un aparato amplificador óptico que tiene un preamplificador y un amplificador de potencia integrado en una única región activa de placa cristalina.
- 10 Los láseres con anchos de pulso de menos de 10 ps proporcionan nuevas capacidades de procesamiento en aplicaciones industriales de micromecanización. Sin embargo, las velocidades de procesamiento que permiten la fabricación en masa requieren frecuencias de repetición de pulso de entre 100 kHz a 10 MHz, ajustables a una frecuencia óptima con potencias promedio en exceso de 100 W. Típicamente, tales combinaciones no pueden alcanzarse con la mayoría de las arquitecturas láser ya que la energía máxima de pulso está limitada por los efectos no lineales y el daño al cristal láser. Los osciladores de disco láser delgados han alcanzado potencias próximas a 150 W, que se encuentran en el extremo inferior del intervalo de potencia requerido, pero a frecuencias de repetición de pulso fijas de entre 3,50MHz y 60 MHz, que se encuentran por encima del intervalo requerido, y no pueden ajustarse fácilmente a una frecuencia óptima para un proceso específico mientras que se mantiene la potencia promedio.
- 15
- 20 Actualmente, los amplificadores de potencia de oscilador maestro (MOPA) se usan para obtener las potencias promedio altas requeridas. En tal aparato un oscilador maestro láser de baja potencia genera pulsos del ancho requerido los cuales se acoplan en un amplificador de potencia. El pulso de entrada estimula la emisión dentro del amplificador la cual se suma al pulso de entrada para crear un pulso de energía de salida mayor. Dado que la intensidad y la fluencia son significativamente menores de las que pueden alcanzarse dentro de un oscilador que tiene una salida similar, el aparato puede alcanzar energías y potencia de salida mayores antes de que ocurra el daño. Los MOPA se implementan en un número de arquitecturas láser alternas.
- 25
- El documento US 6,654,163 de Fraunhofer-Gesellschaft zur Foerderung der angewanten describe un aparato amplificador óptico el cual se encuentra en el amplificador INNOSLAB disponible comercialmente de, por ejemplo, EdgeWave GmbH, Alemania. Como se ilustra en la Figura 1, este aparato tiene un medio del amplificador de placa cristalina rectangular A. El haz B, el cual se emite por un oscilador, recorre una trayectoria C entre los espejos D,E en los cuales el haz B cruza el medio del amplificador A varias veces. Con cada cruce del medio A, la sección transversal del haz B aumenta en la dirección x. El tamaño del haz se mantiene en la dirección y delgada. La expansión a lo largo del eje x se selecciona para asegurar que la intensidad del haz se mantiene casi constante mientras el haz se amplifica. El número de cruces se selecciona para maximizar la superposición entre el haz B y el medio del amplificador A. De esta manera, al usar un único paso a través del amplificador, la energía almacenada puede extraerse de manera eficiente mientras que se evitan los umbrales para el daño y los efectos no lineales. Al usar tal aparato, se han alcanzado niveles de potencia promedio de 400 W con un ancho de pulso de 680 fs a una frecuencia de 76 MHz.
- 30
- 35
- 40 Una desventaja de este arreglo es que se requiere suficiente potencia de entrada para asegurar que ocurra la saturación efectiva en los pocos pasos iniciales a través del amplificador.
- Los sistemas amplificadores, los cuales se conectan después en cascada a tal aparato oscilador-amplificador con un segundo amplificador de placa rectangular, donde el haz realiza una trayectoria de un cruce en un único paso, pueden alcanzar niveles de potencia de hasta 1,1 kW con un ancho de pulso de 615 fs a una frecuencia de 20 MHz. Nuevamente, estas aproximaciones de la amplificación dependen de que exista suficiente potencia inicial de entrada para asegurar la extracción efectiva. Adicionalmente, un arreglo en cascada requiere un espacio considerable.
- 45
- Para superar la desventaja de requerir suficiente potencia inicial de entrada, se ha propuesto la amplificación de potencias iniciales menores con el uso de amplificadores de regeneración o etapas de preamplificación. El documento US 7,903,715 de Gigaphoton Inc. detalla el uso de un amplificador de regeneración en una arquitectura láser alterna. En la Figura 2 se muestra una modalidad donde una placa del medio de amplificación F se usa para llevar a cabo las múltiples funciones de un amplificador G dispuesto en la forma de la Figura 1, con un único paso de múltiples cruces del medio activo F, y un amplificador de regeneración H, con múltiples pasos de un único cruce del medio activo F. Un láser de potencia inicial baja J se inyecta en un resonador que se forma de dos espejos M, N. La señal inyectada se introduce al conmutar un elemento fotoacústico K. El haz B después realiza múltiples pasos en un único cruce entre los espejos M, N hasta que se extrae la mayor parte de la energía almacenada. En un tiempo conveniente, una célula Pockels L se conmuta y el haz B sale del amplificador de regeneración H al amplificador G con el uso de un polarizador P. El arreglo es compacto de manera que el amplificador G y el amplificador de regeneración H comparten el mismo medio activo F, pero se separan entre sí en el medio F y operan como dispositivos ampliamente independientes.
- 50
- 55
- 60

Una desventaja de este arreglo se encuentra en los requisitos para los componentes activos. Tales células Pockels y los elementos fotoacústicos añaden costo y complejidad al arreglo.

5 Los amplificadores ópticos de técnicas anteriores se describen además en KIRIYAMA H Y OTROS: "Demonstration of high energy-extraction efficiency in a novel laser-diode pumped eight-pass Nd:YAG zig-zag slab amplifier", FUSION ENGINEERING AND DESIGN, vol. 44, no. 1-4, 1 de febrero de 1999 (01-02-1999), páginas 419-422, XP004161777 y KIRIYAMA H Y OTROS: "Development of high-repetition-rate LD pumped Nd:YAG laser and its application", LASER PHYSICS, vol. 16, no. 4, 1 de abril de 2006 (01-04-2006), páginas 666-672, XP019316832.

10 Es un objetivo de la presente invención proporcionar un amplificador óptico el cual proporciona amplificación para pulsos iniciales ultracortos de baja potencia, de frecuencia reducida.

15 Es un objetivo adicional de al menos una modalidad de la presente invención proporcionar un amplificador óptico el cual integra un preamplificador y un amplificador de potencia en un medio activo con un acoplamiento parcial del preamplificador y el amplificador de potencia.

Es además un objetivo adicional de al menos una modalidad de la presente invención proporcionar un amplificador óptico el cual usa solamente componentes pasivos.

20 De acuerdo con un primer aspecto de la invención se proporciona un aparato amplificador óptico de acuerdo con la reivindicación 1.

25 Al proporcionar un arreglo donde el haz pasa a través del medio de amplificación a lo largo de una primera trayectoria de preamplificación, regresa a lo largo de la misma primera trayectoria y después pasa a través del medio de amplificación nuevamente a lo largo de una segunda trayectoria de amplificación de potencia la cual se superpone localmente a la trayectoria de preamplificación de manera que ocurre una parte del acoplamiento parcial, el sistema puede asegurar la saturación efectiva de todos los cruces a través del amplificador. Adicionalmente, cuando el haz pasa sobre la primera trayectoria de preamplificación dos veces, se alcanza la extracción de potencia eficiente. Dado que la segunda trayectoria difiere de la primera trayectoria, la superposición maximizada de las trayectorias con el medio de amplificación puede alcanzarse por lo tanto al permitir la amplificación de pulsos ultracortos de baja potencia a niveles de potencia óptimos.

35 Preferentemente, el haz realiza al menos tres cruces del medio de amplificación en cada trayectoria. Esto permite que el medio de amplificación sea compacto y por lo tanto proporciona un dispositivo pequeño. Preferentemente, la segunda trayectoria realiza al menos un cruce adicional a la primera trayectoria. Opcionalmente, la segunda trayectoria realiza al menos dos veces la cantidad de cruces de la primera trayectoria. De esta manera, la superposición con el medio de amplificación se maximiza.

40 Preferentemente, el amplificador óptico incluye un espejo de imagen localizado en un lado de la salida del medio de amplificación en donde el haz incide sobre el espejo de imagen después de un primer paso de la primera trayectoria y el espejo de imagen se dispone para volver a formar la imagen del haz de regreso a lo largo de la primera trayectoria para realizar el doble paso en la etapa del preamplificador. De esta manera, el haz de retorno es una imagen del haz en la entrada para el amplificador con el haz de retorno que se superpone exactamente a la primera trayectoria del haz a través del amplificador lo que asegura un doble paso de la misma trayectoria. Cuando la ganancia a lo largo de la trayectoria es lo suficientemente alta, la segunda trayectoria asegura la saturación y extracción eficiente.

45 Preferentemente, el amplificador óptico incluye la primera y la segunda lente localizadas en un lado de la entrada del medio de amplificación en donde las lentes se disponen para formar un telescopio con un aumento de uno. De esta manera, el haz, al salir de la etapa del preamplificador, puede volver a formar su imagen para formar el haz de entrada a la etapa del amplificador de potencia.

50 Preferentemente una placa de cuarto de onda se localiza adyacente al espejo de imagen en el lado de la salida del medio de amplificación. De esta manera, un haz linealmente polarizado que sale del medio de amplificación puede convertirse para polarizarse circularmente, reflejarse en el espejo de imagen y pasar a través de la placa de cuarto de onda nuevamente, la polarización circular se convierte a polarización lineal en una dirección perpendicular a la polarización del haz en el primer paso de la primera trayectoria.

60 Preferentemente, el amplificador óptico incluye una pluralidad de elementos de polarización. Preferentemente un primer elemento de polarización se localiza adyacente al espejo de imagen en el lado de la salida del medio de amplificación. Preferentemente, un segundo elemento de polarización se localiza a un lado de la entrada del medio de amplificación. Con mayor preferencia, el segundo elemento de polarización es un cubo de polarización. Preferentemente el cubo de

polarización se dispone de manera que el haz de entrada emitido por el oscilador pasa a través del cubo. De esta manera, el haz de entrada puede tener su polarización lineal establecida a una orientación deseada, mientras que el haz de retorno de la etapa del preamplificador se reflejará en el cubo. Esta reflexión del haz de retorno permite que el haz sea dirigido al medio de amplificación en una trayectoria diferente a la primera trayectoria para la etapa del amplificador de potencia.

5

Ventajosamente, el segundo elemento de polarización y la primera lente se disponen para acoplar el haz de entrada emitido por el oscilador al medio de amplificación para la etapa del preamplificador. Con mayor preferencia, el cubo de polarización se dispone entre la primera y segunda lente. Esto proporciona un arreglo compacto. Preferentemente además, un espejo de retorno se localiza entre el segundo elemento de polarización y la segunda lente. El espejo de retorno redirige el haz de regreso al medio de amplificación para la etapa del amplificador de potencia. El uso de un espejo de retorno entre la primera y segunda lente, pliega de manera efectiva el telescopio de manera que el arreglo es más compacto.

10

En una modalidad, el amplificador óptico incluye un selector de pulsos dispuesto en una entrada del amplificador óptico. De esta manera, los pulsos pueden rechazarse del haz de entrada del oscilador para reducir la frecuencia y así reducir la potencia de entrada promedio. Por lo tanto, la optimización de la frecuencia puede alcanzarse para una potencia promedio específica.

15

Preferentemente los espejos altamente reflectivos son planos. De esta manera, el haz puede disponerse para pasar a través de los espejos en la dirección y en cada cruce en una trayectoria. Por lo tanto, se forma una trayectoria en zigzag entre los espejos. Alternativamente, los espejos altamente reflectivos pueden seleccionarse de un grupo que comprende: espejos esféricos, espejos cilíndricos y espejos de diferentes radios de curvatura a lo largo de dos ejes perpendiculares. Preferentemente los espejos altamente reflectivos se disponen para que no sean paralelos.

20

Preferentemente el medio de amplificación es una placa de forma rectangular y sección transversal. Preferentemente, el medio de amplificación es una única placa cristalina ópticamente excitada. La placa puede formarse en una estructura intercalada cristalina con un medio activo dopado dispuesto entre dos medios activos no dopados.

25

Alternativamente, el medio de amplificación puede ser un gas excitado entre electrodos rectangulares para proporcionar una descarga de la placa que tiene una sección transversal rectangular con un borde largo y un borde corto.

30

Las modalidades de la presente invención se describirán a continuación, solamente a modo de ejemplo, en las cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un arreglo de una técnica anterior de un amplificador óptico;

35

La Figura 2 es un diagrama esquemático de un arreglo de una técnica anterior de otro amplificador óptico;

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un amplificador óptico de acuerdo con una modalidad de la presente invención;

40

La Figura 4 es un diagrama esquemático de la etapa del preamplificador del amplificador óptico de la Figura 3;

La Figura 5 es un diagrama esquemático de la etapa del amplificador de potencia del amplificador óptico de la Figura 3;

45

La Figura 6 es un diagrama esquemático de un amplificador óptico de acuerdo con una modalidad adicional de la presente invención; y

La Figura 7 es un gráfico de la potencia inicial de entrada contra la potencia de salida de la etapa del preamplificador y la etapa del preamplificador y la etapa del amplificador de potencia integradas en un amplificador óptico de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

50

Inicialmente se hace referencia a la Figura 3 de los dibujos la cual ilustra un amplificador óptico, que generalmente se indica con el número de referencia 10, donde un haz 12, emitido por un oscilador de baja potencia, de CW o pulsos (no mostrado) se amplifica al pasar a través de un medio de amplificación 14 en una primera trayectoria 16, la cual realiza un doble paso a través del medio de amplificación 14, y una segunda trayectoria 18, la cual realiza un único paso a través del medio de amplificación 14, de acuerdo con una modalidad de la presente invención. En cada trayectoria, el haz 12 cruza el medio de amplificación 14 varias veces por reflexión de los espejos 20, 22 dispuestos en un lado de la entrada 24 y un lado opuesto de la salida 26 del medio de amplificación 14, respectivamente.

55

El medio de amplificación 14 es una única placa cristalina que es rectangular en sección transversal con un borde corto y un borde largo. El borde corto de la sección transversal se encuentra a lo largo del eje x, el borde largo se encuentra a lo largo del eje y, y el eje z es el eje óptico cuando los ejes x, y, y z forman un sistema de coordenadas rectangular. El borde largo se muestra en la Figura 1. En una modalidad, el medio de amplificación es una estructura cristalina con un medio activo

60

dopado intercalado entre dos secciones rectangulares no dopadas. Como se conoce en la técnica, el medio de amplificación 14 se bombea de manera óptica lo que da una región activa de ganancia. Este bombeo puede ser mediante arreglos de diodos láser. En una modalidad alternativa, el medio de amplificación se crea por una descarga de gas de la placa. Este es típicamente un gas, tal como CO<sub>2</sub> que se excita entre dos electrodos planos rectangulares dispuestos en paralelo.

5

Los espejos 20, 22 son altamente reflectivos de manera que la mayor parte de la potencia se transfiere a través del amplificador óptico 10. Los espejos 20, 22 son planos con un diámetro suficiente para permitir que el haz 12 'camine' a través de la superficie en la dirección y. Los espejos se disponen de frente al primer 28 y segundo 30 extremos del medio de amplificación 14 y escalonados de manera que el haz pueda entrar y salir de cada extremo 28, 30 sin recortar un borde de cualquiera de los espejos 20, 22. Aunque los espejos 20, 22 pueden disponerse para ser paralelos a los extremos 28, 30, puede introducirse un ángulo de inclinación para reducir la probabilidad de una oscilación láser entre los espejos la cual no se asocia con el haz inicial. Esta oscilación reducirá la energía almacenada disponible para el haz inicial y reducirá la potencia de salida alcanzable. En modalidades alternativas los espejos 20, 22 son esféricos, cilíndricos o de diferentes radios de curvatura a lo largo de dos ejes perpendiculares, típicamente x y y. Preferentemente, los espejos altamente reflectivos se disponen para que no sean paralelos.

20

El arreglo de los espejos 20, 22 es tal que un haz 12 que entra al medio de amplificación 14 en el lado de la entrada realiza al menos una reflexión de cada uno de los espejos para definir una trayectoria que comprende una pluralidad de cruces 32 a través del medio de amplificación 14 en el plano yz. Cada cruce se encuentra en una posición diferente de manera que el haz 12 incide sobre cada espejo 20, 22 en un punto diferente para cada reflexión a medida que viaja a través del medio de amplificación 14. La trayectoria de cruces 32 aparece como un zigzag a través del medio 14. Podrá apreciarse que el tamaño del haz y la geometría del amplificador 10 pueden seleccionarse de manera que la trayectoria del haz 12 se superpone a una mayor parte del medio 14.

25

Un espejo de imagen 34 se localiza en el lado de la salida 26 del medio de amplificación 14 en donde el haz 12 incide sobre el espejo de imagen 34 después de un primer paso de la primera trayectoria 16. El espejo de imagen es un espejo esférico con un radio de curvatura que se selecciona para formar la imagen del haz 12 exactamente de regreso sobre él mismo. De esta manera, el haz 12 regresa a través del medio de amplificación 14 como un segundo paso. El haz de retorno es una imagen del haz en la entrada 24 para el amplificador 10 con el haz de retorno que se superpone exactamente a la primera trayectoria 16 del haz a través del amplificador 10 lo que asegura un doble paso de la misma trayectoria 16.

30

35

El espejo de imagen 34 que se localiza adyacente es una placa de cuarto de onda 40. La placa de cuarto de onda 40 es un elemento estándar el cual convierte la luz linealmente polarizada en luz circularmente polarizada y viceversa. Un haz linealmente polarizado 12 que sale del medio de amplificación 14 se convierte para ser circularmente polarizado, se refleja en el espejo de imagen 34 y pasa a través de la placa de cuarto de onda 40 nuevamente, se convierte de regreso a polarización lineal pero en una dirección perpendicular a la polarización del haz 12 cuando salió del medio de amplificación 14.

40

En el lado de la entrada 24 del medio de amplificación 14 el haz polarizado 12, emitido por un oscilador u otro láser inicial, se introduce al amplificador 10. La primera 36 y la segunda 38 lentes se disponen juntas en el lado de la entrada con un cubo de polarización 42 y un espejo de retorno 44. El cubo de polarización 42 no afecta la polarización del haz de entrada 12 cuando pasa a través de este y la lente 36 dispuesta en la trayectoria 16 puede usarse para acoplar el haz 12 en el medio de amplificación 14. El cubo de polarización 42 se dispone de manera que el haz de retorno 12, que ha completado un doble paso del medio de amplificación 14, se reflejará en su totalidad. El haz reflejado se dirige hacia el espejo de retorno 44 el cual se dispone para enviar el haz 12 de regreso al medio de amplificación 14 en una segunda trayectoria 18 diferente e independiente de la primera trayectoria 16. Entre el espejo de retorno 44 y el medio de amplificación 14 se dispone la segunda lente 38. Las primera 36 y segunda 38 lentes se disponen para formar un telescopio con un aumento de uno. De esta manera el haz vuelve a formar su imagen de regreso al medio de amplificación 14.

45

50

Durante el uso, se proporciona un haz inicial de entrada linealmente polarizado 12. Esto se proporciona por una fuente tal como un oscilador de baja potencia, de onda continua o pulsos (no mostrado) el cual puede condicionarse con el uso de óptica adecuada (no mostrada) para el acoplamiento óptico en el medio de amplificación 14. En la entrada al amplificador 10, el haz 12 viajará a través de una etapa del preamplificador 46. Esto se ilustra de mejor manera en la Figura 4, donde estas partes de la Figura 3 son relevantes para la etapa del preamplificador 46. Se les ha dado el mismo número de referencia a tales partes para que la descripción sea más clara.

55

60

La placa delgada de cristal del material del amplificador 14 se ha bombeado con diodos láser para crear una lámina delgada de ganancia. Dentro del material del amplificador de cristal 14 el haz 12 es confinado por la lente generada térmicamente en la dirección x, también conocido como el eje delgado, mientras que el haz 12 puede bifurcarse libremente en la dirección y, también conocida como el eje ancho. El haz 12 continúa viajando generalmente en la dirección z hasta que incide sobre el espejo de múltiples rebotes 22. El ángulo de inclinación del espejo 22 dirige el haz 12 a lo largo de una segunda dirección

para cruzar 32 a través del cristal 14 hasta que incide sobre espejo 20. El espejo 20 después redirige el haz 12 a través del cristal 14 a lo largo de una dirección adicional para cruzar nuevamente el cristal 14 hasta que sale del medio de amplificación 14 al pasar a través del extremo 30 del cristal 14 encima del espejo 22. El haz 12 ha recorrido una primera trayectoria 16 a través del medio del amplificador 14 en un único paso realizando tres cruces 32 en el medio de amplificación 14.

El haz 12 se bifurca libremente después a lo largo de ambos ejes antes de pasar a través de la placa de cuarto de onda 40 la cual convierte los haces con polarización lineal inicialmente a polarización circular. El haz 12 después golpea el espejo de imagen 34 antes de pasar nuevamente a través de la placa de cuarto de onda 40 la cual convierte la polarización circular del haz a polarización lineal orientada, a lo largo de una dirección perpendicular, a la polarización cuando el haz 12 se introdujo en el amplificador 10. El espejo de imagen 34 se selecciona para asegurar que el haz 12 se refleja como una imagen del haz 12 en la entrada del amplificador 10. De esta manera, el haz reflejado 12 puede seguir de manera exacta la primera trayectoria 16 en sentido contrario a través del material del amplificador 14 lo que asegura un doble paso de la trayectoria 16. La ganancia a lo largo del primer paso es suficientemente alta de manera que el segundo paso asegura la saturación y la extracción eficiente. El haz 12 después sale del material del amplificador 14 a través del extremo 24 en la misma localización en la que se introdujo. El doble paso inicial a lo largo de la trayectoria 16 del sistema amplificador 10 constituye una etapa del preamplificador 46.

De regreso a la Figura 3, el haz 12 viaja desde que sale del material del amplificador 14 y pasa a través de la primera lente 36 antes de golpear el cubo de polarización 42. La rotación de la polarización que ocurrió en el haz en la placa de cuarto de onda 40 resulta en que el haz 12 se refleja internamente en el cubo de polarización 42. El cubo de polarización 42 hace que el haz 12 se redirija al espejo de retorno 44 el cual refleja el haz 12 en otra dirección lo que ocasiona que este pase a través de la segunda lente 38. La primera lente 36 y la segunda lente 38 forman un telescopio con un aumento de uno el cual forma la imagen de la salida de la etapa del preamplificador 46 de regreso en el material del amplificador 14 y la etapa del amplificador de potencia 48.

En la etapa del amplificador de potencia 48, ilustrada en la Figura 5, donde estas partes de la Figura 3 son relevantes para esta etapa 48, el haz 12 primero se propaga en el material del amplificador 14 a lo largo de la dirección z, en este caso paralelo al lado 50 del material del amplificador 14. En la dirección x, la dirección delgada, el haz 12 es contenido nuevamente por la lente generada térmicamente, mientras que en la dirección ancha, dirección y, el haz 12 se bifurca libremente. Al salir del medio de amplificación 14 después de un primer cruce 32 en el extremo 30, el haz 12 golpea el espejo 22 y se redirige a través del material del amplificador 14 antes de golpear el espejo 20 y volver a redireccionarse. Múltiples rebotes, en este caso seis rebotes, ocurren entre el espejo 20 y el espejo 22 lo que provoca que el haz 12 realice siete cruces a través del material del amplificador 14, siguiendo una segunda trayectoria 18. Este único paso a través del medio de amplificación 14 termina cuando el haz 12 se acopla en el borde alejado 52 del medio de amplificación 14, pasando por encima del borde 54 del espejo 22. Típicamente cualquiera de los siete, como se muestra, o nueve cruces del material del amplificador 14 crea la trayectoria 18 con el número de cruces 32 seleccionado para maximizar la superposición del haz 12 con el material del amplificador 14 sin que el haz 12 vaya a recortar el borde superior 54 del espejo 54. La segunda trayectoria 18 a través del sistema amplificador 10 se denomina la etapa del amplificador de potencia 48 y se diseña para asegurar que la extracción de energía de las áreas no incluidas en la etapa del preamplificador 46 se maximice.

Se observa que la segunda trayectoria 18 cruza el mismo volumen del medio de amplificación 14 que la primera trayectoria 16. Puede considerarse que las trayectorias 16, 18 se superponen en el medio de amplificación 14 pero son independientes y distintas entre sí gracias a los distintos ángulos de entrada al medio de amplificación 14. Como se muestra en la Figura 3, el acoplamiento óptico del haz 12 en el medio de amplificación 14 puede alcanzarse cuando el haz entra al medio 14 en el mismo punto de entrada en las etapas del preamplificador 46 y del amplificador de potencia 48.

Con referencia ahora a la Figura 6 de los dibujos se ilustra el amplificador 10 con la inclusión de un selector de pulsos 56 en la entrada entre el láser de pulso inicial (no mostrado) y el cubo de polarización 42. Se conoce que para obtener altas energías de pulso en pulsos ultracortos, es frecuentemente necesario reducir la tasa de repetición del pulso. Esto puede alcanzarse al colocar un selector de pulsos 56 entre el láser inicial y el amplificador 10. El amplificador 10 actúa después solo en los pulsos deseados. Los pulsos bloqueados no constituyen necesariamente una gran pérdida de energía dado que la potencia promedio del láser inicial será pequeña en comparación con la potencia promedio de salida del amplificador 10, y la potencia promedio restante es suficiente para saturar el amplificador 10. En esta modalidad el único componente activo es el selector de pulsos, los otros componentes son solamente pasivos.

En un ejemplo del amplificador óptico 10 con un preamplificador integrado 46 y el amplificador de potencia 48, una potencia inicial de entrada se varió de entre 0 y 35 mW y el haz se acopló a un amplificador de potencia de la placa delgada 14 que se bombea mediante el uso de cuatro barras de diodos (no mostrados) cada una que emite 90 W. La geometría se dispuso para proporcionar una primera trayectoria 16 de tres cruces 32 en la cual el haz 12 realizó un doble paso en la etapa del preamplificador 46 y una segunda trayectoria de siete cruces 32 en un único paso de la etapa del amplificador de potencia

48. Las mediciones previas del único paso con un láser acoplado de fibra de cw ha demostrado un coeficiente de ganancia de señal pequeña de aproximadamente  $1,5 \text{ cm}^{-1}$  bajo condiciones similares, mientras que el uso del medio de amplificación de cristal 14 en un oscilador ha generado 145 W.

5 Con referencia a la Figura 7, se ilustra un gráfico de potencia inicial de entrada 60, que va de 0 a 35 mW, contra la potencia de salida del preamplificador 62, que va de 0 a 5 W, y la potencia de salida del amplificador de potencia 64, que va de 0 a 50 W. La potencia de salida del preamplificador es de antes de introducir el amplificador de potencia. El potencia de salida del amplificador de potencia es de un amplificador con el amplificador de potencia de siete cruces. Aunque todos los puntos muestran un aumento en la potencia de salida del amplificador de potencia sobre el preamplificador, existe de manera significativa una mayor reducción en la salida del preamplificador, ~65%, en comparación con el amplificador de potencia, ~30%, cuando la entrada inicial se reduce de 33 mW a 5 mW. Esto demuestra la importancia del preamplificador en este diseño. La potencia adicional añadida al pulso inicial por el preamplificador es suficiente para saturar de manera efectiva el amplificador de potencia lo que introduce un grado de insensibilidad a la potencia inicial. Por ejemplo, una reducción del 50% en la potencia inicial resulta en solo una reducción del 10% en la salida del amplificador.

15 En una demostración adicional, se alcanzó una salida de potencia de 50 W con una potencia inicial de cw de 30 mW con el uso de un amplificador de potencia de siete cruces. Esto es alrededor de tres veces mayor que una salida de 17 W lograda con una potencia inicial de 30 mW en un sistema que no tiene preamplificación. El haz de salida se midió  $M^2 < 1,3$  y se observó que era de tipo gaussiano. Cuando el amplificador se operó con un amplificador de potencia de nueve cruces, la salida de potencia fue de 70 W mientras que se mantuvo la calidad del haz del haz de salida tipo gaussiano y  $M^2 < 1,3$ .

20 Como puede observarse de los ejemplos anteriores, la inclusión de la etapa de preamplificación 46 dentro del medio de amplificación 14 significa que una entrada inicial significativamente por debajo de la potencia requerida para la saturación efectiva se amplifica al usar la etapa del preamplificador 46. La potencia de salida de la etapa del preamplificador 46 es lo suficientemente alta como para asegurar la saturación efectiva del amplificador de potencia 48 para potencias iniciales tan bajas como 15 mW. La potencia de salida del amplificador de potencia 48 después se ve poco afectada por los aumentos en la potencia inicial.

25 La ramificación de este desempeño operacional es particularmente significativa al optimizar los parámetros del pulso para procesos llevados a cabo con el uso de pulsos ultracortos. En un sistema tradicional donde el pulso inicial se encuentra a una frecuencia fija y a una potencia promedio modesta de hasta 5 W, un selector de pulsos se usará para rechazar un número de pulsos adyacentes para reducir la frecuencia al valor requerido y por lo tanto en sistemas tradicionales, la potencia promedio de salida se reducirá también significativamente. Si se aplicase un criterio similar de entrada al amplificador ilustrado en la Figura 6, típicamente, la potencia de salida del amplificador 10 después del selector de pulsos puede reducirse a una cantidad en la región de 0,1 % a 10 % de lo emitido del pulso inicial. Por lo tanto, el amplificador de la presente invención puede asegurar la amplificación a una potencia promedio lo suficientemente alta para permitir los procesos industriales a las velocidades requeridas.

30 Una ventaja principal de la presente invención es que esta proporciona un amplificador óptico para amplificar pulsos iniciales ultracortos de baja potencia, de frecuencia reducida, los cuales generan potencias de salida a un nivel requerido para procesos de fabricación en masa eficientes.

35 Una ventaja adicional de la presente invención es que esta proporciona un amplificador óptico el cual integra un preamplificador y un amplificador de potencia en un medio activo con acoplamiento parcial del preamplificador y del amplificador de potencia que proporcionan un dispositivo compacto a un costo relativamente bajo.

40 Aún una ventaja adicional de una modalidad de la presente invención es que esta proporciona un amplificador óptico el cual usa solamente componentes pasivos.

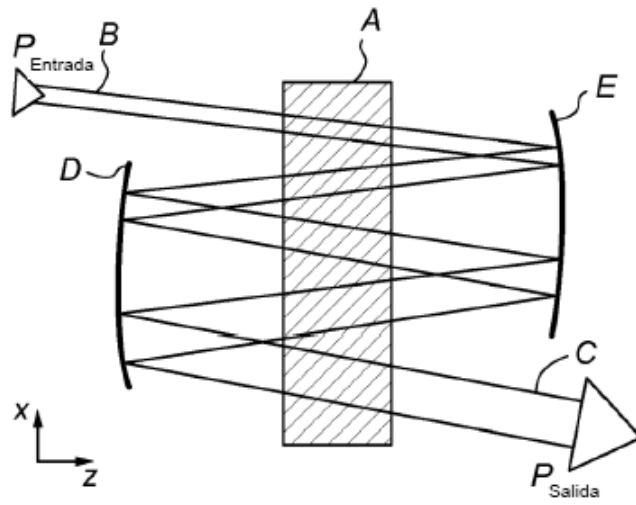
45 Podrá apreciarse por los expertos en la técnica que pueden realizarse varias modificaciones a la invención aquí descrita sin apartarse del alcance de la misma. Por ejemplo, puede crearse un haz estable o inestable al seleccionar la óptica adecuada y/o al manipular el haz dentro del medio de amplificación. El uso de un medio de amplificación delgado puede, con el calentamiento suficiente, generar una lente térmica para manipular el haz. Podría usarse una estructura de guía de onda índice la cual permite el calentamiento reducido de manera que la guía es mediante reflexión interna total y se evita una lente térmica.

Reivindicaciones

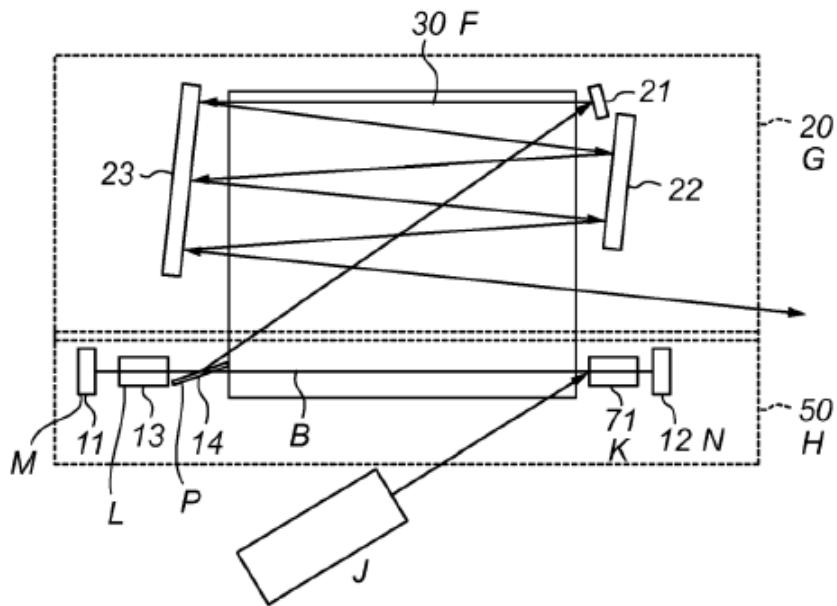
1. Aparato que comprende un oscilador que emite un haz (12) para amplificarse y un amplificador óptico (10), el amplificador óptico que comprende:  
 5 un medio de amplificación (14) que tiene una sección transversal rectangular con un borde largo y un borde corto, el borde corto de la sección transversal se encuentra a lo largo de un eje x, el borde largo se encuentra a lo largo de un eje y, y con el eje z, los ejes x, y, y z forman un sistema de coordenadas rectangular;  
 al menos dos espejos altamente reflectivos (20,22), en donde el medio de amplificación se dispone entre los al  
 10 menos dos espejos altamente reflectivos, en donde los al menos dos espejos altamente reflectivos se diseñan y se disponen de manera que el haz realiza al menos una reflexión de cada uno de los al menos dos espejos altamente reflectivos para definir las primera y segunda trayectorias (16, 18), cada una de las trayectorias que comprende una pluralidad de cruces (32) a través del medio de amplificación en el plano yz,  
 en donde las primera y segunda trayectorias son distintas entre sí y se superponen en el medio de amplificación,  
 15 caracterizado porque:  
 el haz, en la entrada al amplificador óptico, realiza un doble paso de una primera trayectoria (16) en una etapa del preamplificador (46) y después realiza un único paso de una segunda trayectoria (18) en un etapa del amplificador de potencia.
2. Aparato como se reivindica en la reivindicación 1 en donde existen al menos tres cruces (32) del medio de amplificación (14) en cada trayectoria (16,18).
3. Aparato como se reivindica en la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en donde la segunda trayectoria (18) realiza al menos un cruce más (32) que la primera trayectoria (16).
- 25 4. Aparato como se reivindica en cualquier reivindicación anterior en donde el amplificador óptico (10) incluye un espejo de imagen (34) localizado en un lado de la salida (26) del medio de amplificación (14) en donde el haz (12) incide sobre el espejo de imagen después de un primer paso de la primera trayectoria (16) y el espejo de imagen se selecciona para formar la imagen del haz exactamente de regreso sobre él mismo a lo largo de la primera trayectoria para realizar el doble paso en la etapa del preamplificador (46).
- 30 5. Aparato como se reivindica en cualquier reivindicación anterior en donde el amplificador óptico (10) incluye las primera y segunda lentes (36,38) localizadas en un lado de la entrada (24) del medio de amplificación (14) en donde las lentes se disponen para formar un telescopio con un aumento de uno y en donde la imagen del haz, al salir de la etapa del preamplificador (46), se vuelve a formar a través del telescopio para formar un haz de entrada a la etapa de amplificación de potencia (48).
- 35 6. Aparato como se reivindica en cualquier reivindicación anterior en donde el amplificador óptico (10) incluye una pluralidad de elementos de polarización.
- 40 7. Aparato como se reivindica en la reivindicación 4, en donde una placa de cuarto de onda (40) se localiza adyacente al espejo de imagen (34) en el lado de la salida (26) del medio de amplificación (14).
8. Aparato como se reivindica en la reivindicación 6 o la reivindicación 7 en donde un primer elemento de polarización se localiza en un lado de la entrada (24) del medio de amplificación (14).
- 45 9. El aparato amplificador óptico (10) como se reivindica en la reivindicación 8 en donde el primer elemento de polarización es un cubo de polarización (42).
- 50 10. Aparato como se reivindica en la reivindicación 8 o la reivindicación 9 en donde el primer elemento de polarización y la primera lente (36) se disponen para acoplar el haz (12) emitido por el oscilador al medio de amplificación (14) para la etapa del preamplificador (46).
11. Aparato como se reivindica en la reivindicación 9 o la reivindicación 10 en donde el cubo de polarización (42) se dispone entre la primera y la segunda lente (36,38).
- 55 12. Aparato como se reivindica en la reivindicación 11 en donde un espejo de retorno (44) se localiza entre el primer elemento de polarización y la segunda lente (38) para redirigir el haz de regreso al medio de amplificación para la etapa de amplificación de potencia (48).



- 5
13. Aparato como se reivindica en cualquier reivindicación anterior en donde el amplificador óptico (10) incluye un selector de pulsos dispuesto en una entrada del amplificador óptico.
  14. Aparato como se reivindica en cualquier reivindicación anterior en donde los espejos altamente reflectivos (20,22) se seleccionan de un grupo que comprende:  
espejos planos, espejos esféricos, espejos cilíndricos y espejos de diferentes radios de curvatura a lo largo de dos ejes perpendiculares.



**Fig. 1**  
TÉCNICA ANTERIOR



**Fig. 2**  
TÉCNICA ANTERIOR

