

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 664 470**

51 Int. Cl.:

H01S 3/0941 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.11.2009 PCT/DE2009/001676**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.06.2011 WO11063777**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2009 E 09806162 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2017 EP 2514048**

54 Título: **Disposición miniaturizada de amplificador de láser con fuente de bombeo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.04.2018

73 Titular/es:
**SPHEREA GMBH (100.0%)
Wörthstrasse 85
89077 Ulm, DE**

72 Inventor/es:
**PEUSER, PETER y
PLATZ, WILLI**

74 Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 664 470 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

Disposición miniaturizada de amplificador de láser con fuente de bombeo

5 La invención hace referencia a una disposición miniaturizada de amplificador de láser con las características del preámbulo de la reivindicación 1 añadida, tal como se conoce por la solicitud US 6,512,630 B1. A continuación, dicho documento se abordará con mayor detalle.

La invención hace referencia en particular a un amplificador de láser de oscilador láser de estado sólido para generar radiación láser de elevada calidad del haz y de elevada potencia.

10 Los láseres miniaturizados son convenientes e incluso necesarios para numerosas aplicaciones, donde dichos láseres pueden generar radiación láser pulsatoria con anchos del pulso de pocos nanosegundos y energías del pulso en el rango de varios mJ. Son ejemplos de aplicación los sistemas de medición láser de largo alcance, los láseres para acabado de material o para la excitación de procesos ópticamente no lineales. Los láseres de estado sólido bombeados por diodos se consideran especialmente adecuados para ello. Para mayores detalles al respecto se remite a P. Peuser, N. P. Schmitt: "Diodengepumpte Festkörperlaser", de la editorial Springer Verlag, 1995. Las potencias del pulso requeridas se ubican usualmente en el rango desde aproximadamente 100 kW hasta más de un MW.

15 Mediante conmutación Q pasiva pueden realizarse láseres pulsados especialmente compactos o también miniaturizados, pero actualmente un funcionamiento fiable con elevada calidad del haz y estabilidad de amplitud sólo es posible en el caso de energías del pulso máximas de pocos mJ. Láseres pulsados correspondientes se describen en P. Peuser, W. Platz, P. Zeller, T. Brand, B. Köhler, M. Haag; Opt. Lett. 31 (2006) 1991. Para alcanzar un aumento progresivo de potencia pueden conectarse aguas abajo uno o también varios amplificadores con una trayectoria múltiple del haz (Multipass), debido a lo cual se alcanzan energías del pulso particularmente elevadas. No obstante, se reducen entonces las posibilidades para una miniaturización más amplia.

20 Si durante la excitación del material activo puede aplicarse la así llamada geometría de bombeo longitudinal, se crean condiciones previas óptimas para alcanzar un grado de efectividad elevado y una gran compactabilidad. Mayores detalles al respecto pueden encontrarse en la publicación antes mencionada de P. Peuser, N. P. Schmitt: Diodengepumpte Festkörperlaser, de la editorial Springer Verlag 1995.

Para sistemas de láser viables desde el aspecto práctico, se considera especialmente ventajoso que el acoplamiento con la unidad electrónica de abastecimiento y de control pueda producirse mediante una conexión de fibra de varios metros de largo.

30 Los láseres de fibra pulsados desarrollados en el último tiempo o las disposiciones reforzadas con fibras, se caracterizan por un modo de construcción muy compacto y por una calidad del haz elevada, pero las potencias disponibles del pulso se ubican mayormente por debajo de 100 kW, lo cual ya no es suficiente para muchas aplicaciones.

35 De este modo, diferentes procesos físicos fundamentales limitan las energías del pulso al rango por lo general de aproximadamente 1 mJ. Dichos procesos son principalmente ASE (la así llamada emisión espontánea amplificada), la dispersión estimulada de Brillouin, la dispersión estimulada de Raman, así como el autoenfoco. A este respecto, para mayores detalles se remite a F. D. Teodoro y otros, Opt. Lett. 27 (2002) 518 y R. L. Farrow y otros, Opt. Lett. 31 (2006) 3423. Debido a la sección transversal reducida de la fibra, en el funcionamiento del pulso en ns se presentan intensidades elevadas, de modo que en el caso de un aumento progresivo de la potencia de bombeo la fibra finalmente se rompe. Para generar algunos pocos mJ, la sección transversal de la fibra debería agrandarse tanto que se reduciría considerablemente la calidad del haz.

40 Por la solicitud US 6 553 052 B1 se conoce una disposición de amplificador de láser con un oscilador de láser y un amplificador de láser, donde el oscilador de láser y el amplificador de láser son bombeados a través de un diodo láser común. El haz de láser amplificado se desacopla lateralmente desde la disposición de amplificador de láser. El haz de bombeo del diodo láser se produce primero en el amplificador de láser, para bombearlo. Una radiación de bombeo sobrante que pasa a través del amplificador de láser (transmisión) se utiliza para bombear el oscilador de láser, para generar la radiación láser amplificante. Para ello, el amplificador de láser está dispuesto entre el oscilador de láser y la fuente de bombeo. La parte sobrante de la radiación de bombeo que pasa a través del amplificador de láser, en un extremo anterior, es conducida hacia dentro del oscilador de láser, a través del cual sale también la radiación láser amplificante, desde el oscilador de láser, para ser introducida entonces en el amplificador de láser. La radiación láser amplificada que sale en el extremo del amplificador de láser que está orientado hacia la fuente de bombeo, debe entonces desacoplarse lateralmente, ya que la fuente de bombeo se encuentra en el recorrido, en la dirección del eje longitudinal. Para acoplar la radiación de bombeo residual en el oscilador de láser se proporciona

una óptica del haz con diafragmas, la cual presenta lentes con aberturas centrales para el paso sin obstáculos de la radiación del oscilador de láser que se refleja.

Esta configuración posibilita que una mayor parte de la radiación de bombeo se encuentre disponible para la amplificación de láser, pero limita considerablemente la miniaturización.

5 Por la solicitud US 6 373 864 B1 se conoce una disposición de amplificador de láser que debe ser adecuada como sistema láser completamente pasivo para generar y amplificar pulsos cortos con una tasa de repetición elevada. Se proporciona para ello un láser de microchip como oscilador de láser, el cual está optimizado para generar pulsos de láser con una tasa de repetición elevada. Su longitud del resonador se selecciona por eso muy corta, para poder generar pulsos cortos. Además, una primera fuente de bombeo para el oscilador de láser está optimizada en cuanto a una tasa de repetición elevada. De este modo, la primera fuente de bombeo puede estar provista de una fuente de luz de bombeo particularmente clara. La radiación de bombeo generada por la primera fuente de bombeo, a través de una primera óptica del haz de bombeo o, en una forma de ejecución alternativa, a través de una primera fibra conductora de luz, en un primer extremo longitudinal, se acopla en el oscilador de láser. En el extremo longitudinal opuesto del oscilador de láser sale entonces la radiación láser amplificante, la cual, a través de una óptica de enfoque, es introducida en un cristal del amplificador de láser dispuesto desplazado con respecto al eje longitudinal del oscilador de láser, en su primer extremo longitudinal. En el segundo extremo longitudinal opuesto, el cristal del amplificador de láser está provisto de un reflector para la radiación láser que debe amplificarse, de manera que el haz de láser amplificado, orientado nuevamente hacia atrás a través del primer extremo longitudinal y desplazado con respecto a la radiación láser que ingresa, sale nuevamente y es redirigido a través de la óptica de enfoque. El cristal de amplificador de láser es bombeado a través de una segunda fuente de bombeo, la cual está optimizada en cuanto a la polarización de la luz y a la radiación para amplificar, para lograr una amplificación particularmente elevada. Esta segunda fuente de bombeo presenta una segunda fuente del haz de bombeo y una segunda óptica del haz de bombeo, con la cual se orienta de forma opuesta la segunda radiación de bombeo generada de ese modo y, en cuanto a los ejes longitudinales, desplazada con respecto a la primera radiación de bombeo, se introduce en la configuración de amplificador - oscilador de láser, formada por el oscilador de láser y el cristal de amplificación de láser. Ciertamente, la introducción tiene lugar en el segundo extremo longitudinal del cristal de amplificación de láser, el cual está provisto del revestimiento reflectante para reflejar la radiación láser amplificante.

Ese revestimiento reflectante debe utilizarse para conducir el haz de láser dos veces a través del cristal de amplificación de láser, para aumentar así la amplificación. El segundo dispositivo de guiado del haz de bombeo, como el primer dispositivo de guiado del haz, puede presentar una fibra conductora de luz. Pero también en el caso de la fibra conductora de luz esa segunda radiación de bombeo se introduce a través del segundo extremo longitudinal del cristal de amplificador de láser, mientras que la primera radiación de bombeo, en el primer extremo longitudinal opuesto del oscilador de láser y, para ello, aún desplazada, se introduce en la configuración del amplificador de láser.

La disposición de amplificador de láser según ese estado del arte se encuentra optimizada en cuanto a una amplificación de pulsos lo más cortos posible con una tasa de repetición del pulso lo más elevada posible, pero es completamente inadecuada para una miniaturización.

En la solicitud US 6 512 630 B1 antes mencionada se describe en cambio una configuración miniaturizada, en donde un así llamado microláser conmutado en Q de forma pasiva o un láser miniaturizado de forma general, está acoplado a un amplificador. La radiación de bombeo total se acopla de este modo en el microláser y se absorbe parcialmente en el cristal láser. La radiación de bombeo restante transmitida, no absorbida en el oscilador de láser, mediante una lente, es enfocada en el cristal del amplificador, junto con el haz de láser generado desde el microláser. El haz de láser que sale desde el oscilador se amplifica entonces en el cristal del amplificador. En este estado del arte, la radiación de bombeo total es proporcionada por una única fuente del haz de láser de diodos.

Sin embargo, una configuración de esa clase no es adecuada para un aumento progresivo efectivo de la potencia o de la energía del pulso, tal como se explica a continuación. Pueden diferenciarse en principio dos clases de bombeo diferentes: la excitación casi continua o pulsatoria y la excitación continua.

En la excitación casi continua puede generarse un único pulso que contiene la energía máxima posible, o pueden generarse también varios pulsos con menos energía durante un ciclo de bombeo.

En el caso de la excitación pulsatoria aplica: en el caso de un aumento de la potencia de bombeo, el pulso de láser, referido al inicio de un pulso de radiación de bombeo de longitud constante, es generado antes. Como consecuencia de ello, la energía almacenada en el amplificador ya no puede utilizarse después de eso, y la totalidad de la amplificación ya no puede aumentarse. A esto se asocia directamente también la reducción del grado de efectividad total. Una adecuación temporal del pulso del oscilador a la duración de la radiación de bombeo es determinante para alcanzar una energía máxima del pulso y un grado de efectividad elevado.

5 Por otra parte, en el caso de un aumento de la potencia de bombeo se generan usualmente varios pulsos durante un ciclo de bombeo, los cuales respectivamente contienen una energía del pulso más reducida. La distancia temporal de los pulsos es tanto menor, cuanto mayor es la potencia de bombeo. Es decir, que en ese caso, un aumento de la potencia de bombeo total, para alcanzar una amplificación más elevada, conduce al mismo tiempo a una modificación de la tasa de pulsos.

10 Algo similar aplica para el caso de la excitación continua. En ese caso, la tasa de pulsos aumenta, asociada a una reducción simultánea de la energía del pulso individual, de los pulsos generados por el oscilador de láser, cuando aumenta la potencia de bombeo total de la disposición de amplificador del oscilador de láser. O formulado de otro modo, una modificación de la potencia de bombeo o de la amplificación provoca una modificación de la tasa de pulsos. Se modifica además también el ancho del pulso, ya que se modifica también la densidad de inversión en el cristal del oscilador de láser.

El objeto de la invención consiste en crear un láser de alta potencia, regulable en cuanto a la potencia, con una calidad del haz elevada y con una efectividad elevada, el cual pueda miniaturizarse en alto grado.

15 Dicho objeto se soluciona a través de una disposición de amplificador de láser con las características de la reivindicación 1 añadida.

En las reivindicaciones dependientes se indican conformaciones ventajosas de la invención. En la reivindicación secundaria se indican utilidades ventajosas de la disposición de amplificador de láser.

20 La disposición de amplificador de láser de acuerdo con la invención presenta una fuente de bombeo óptica y una configuración de amplificador - oscilador de láser, la cual puede ser bombeada a través de radiación de bombeo, desde la fuente de bombeo. La configuración de amplificador - oscilador de láser está dispuesta de forma axial. Debido a la disposición axial a lo largo del eje del láser, las dimensiones de la configuración pueden mantenerse muy reducidas. La configuración de amplificador - oscilador de láser presenta un oscilador de láser y un amplificador de láser. El oscilador de láser puede ser excitado a través de radiación de bombeo para emitir un haz de láser que es guiado hacia el amplificador de láser, y desde allí es amplificado. De este modo, el amplificador de láser es excitado igualmente a través de radiación de bombeo. Para alcanzar un grado de miniaturización elevado, el oscilador de láser y el amplificador de láser, con respecto a un eje longitudinal de la configuración de amplificador - oscilador de láser, están dispuestos esencialmente de forma coaxial o colineal.

30 La fuente de bombeo presenta al menos dos fuentes del haz. Una primera fuente del haz genera una primera radiación de bombeo para bombear el oscilador de láser. Al menos una segunda fuente del haz genera una segunda radiación de bombeo para el amplificador de láser. Ambas radiaciones de bombeo se introducen en la configuración de amplificador - oscilador de láser, de manera que la misma se excita en dirección longitudinal.

Se proporciona para ello un dispositivo de guiado de la radiación de bombeo, mediante el cual las dos radiaciones de bombeo, para el bombeo longitudinal, pueden introducirse en la configuración de amplificador - oscilador de láser, esencialmente en la dirección del eje longitudinal.

35 Preferentemente se utiliza radiación láser proveniente de al menos dos o varias fuentes del haz de láser de diodos, acopladas por fibras, operadas de forma independiente una de otra, para excitar en dirección longitudinal una configuración de amplificador - oscilador de láser compacta, dispuesta de forma axial (preferentemente una configuración de amplificador - oscilador de láser de estado sólido). Se considera preferente bombear ópticamente el oscilador de láser y el amplificador de forma independiente uno de otro.

40 De acuerdo con conformaciones preferentes, el láser puede conmutarse en Q de forma pasiva o activa.

A través de esa configuración se logra que, con un grado de miniaturización muy elevado, se produzca un láser de alta potencia, regulable en cuanto a la potencia, con una calidad del haz elevada y con una efectividad elevada.

Aplicaciones ventajosas de la disposición de amplificador de láser, así como de sus conformaciones ventajosas, son:

- a) sistemas de láser portados por robot,
- 45 b) sistemas Lidar portados en aeronaves, miniaturizados
- c) transmisores láser para aplicaciones en el espacio
- d) láseres de bombeo para procesos ópticamente no lineales

Preferentemente se realiza una configuración de láser extremadamente compacta, que puede regularse de forma óptima, con la cual pueden generarse pulsos en ns de alta potencia. La configuración aquí representada permite además aplicar una conmutación Q activa.

5 De manera ventajosa, la configuración de bombeo de acuerdo con la invención se utiliza en combinación con sistemas ópticos de deflexión - por ejemplo con lentes y elementos mecánicos de precisión - los cuales guían la segunda radiación de bombeo, delante del oscilador de láser, hacia el amplificador de láser. Gracias a ello, el oscilador de láser y el amplificador pueden optimizarse independientemente uno de otro y ajustarse uno con respecto a otro, de modo que la radiación láser puede generarse con una elevada calidad del haz, con pulsos de láser de alta potencia y con una efectividad elevada.

10 De toda la potencia de la radiación de bombeo de la fuente de bombeo, la segunda radiación de bombeo que debe utilizarse para excitar el amplificador láser, preferentemente corresponde a la mayor parte. Eso puede lograrse por ejemplo debido a que la segunda fuente de radiación está realizada como láser de diodos de alta potencia, mientras que la primera fuente del haz puede ser láser de diodos con potencia más reducida. En otra conformación ventajosa, la fuente de bombeo, para formar la segunda fuente de radiación, presenta una pluralidad de láser de diodos que
15 generan en conjunto la segunda radiación de bombeo.

La primera y la segunda radiación de bombeo, de manera preferente, son guiadas mediante una línea de fibra óptica hacia la configuración de amplificador - oscilador de láser. Con el fin de una miniaturización lo más elevada posible, puede pensarse en distintas configuraciones de la línea de fibra óptica mencionada. Una disposición paralela de una
20 primera fibra óptica para guiar la primera radiación de bombeo y una segunda línea óptica para guiar la segunda radiación de bombeo puede seleccionarse de modo que las fibras se sitúen muy cerca unas de otras. Se considera especialmente preferente una conformación en donde la primera fibra óptica está dispuesta en el centro dentro de una segunda disposición de fibra. De este modo, la segunda radiación de bombeo se introduce alrededor de la primera radiación de bombeo. De este modo, la primera fibra óptica puede guiarse fácilmente hasta el oscilador de láser, donde la segunda radiación de bombeo irradiada radialmente por fuera de la primera fibra óptica, por ejemplo
25 mediante un dispositivo de deflexión óptico, puede ser guiada radialmente por fuera, alrededor del oscilador de láser, en la dirección longitudinal, delante del mismo, hasta el amplificador de láser.

Una disposición de esa clase, a modo de ejemplo, puede realizarse debido a que la segunda fibra óptica rodea de forma anular la primera fibra óptica.

30 En particular en el caso de que la segunda fuente de haz presente un grupo de segundos láseres de diodos, la línea de fibra óptica puede presentar también un haz de fibra constituido por segundas fibras ópticas, donde en el centro de ese haz de fibra está dispuesta la primera fibra óptica (éste no tiene que ser exactamente el centro, si bien eso se considera preferente).

A continuación se explican en detalle ejemplos de ejecución de la invención, mediante los dibujos añadidos. Las figuras muestran:

35 Figura 1: una representación esquemática de una primera forma de ejecución de una disposición de amplificador de láser con fuente de bombeo y configuración de amplificador - oscilador de láser;

Figura 1a: una representación esquemática de una segunda forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser;

40 Figura 2: una representación esquemática de un dispositivo de radiación de bombeo que puede utilizarse en la fuente de bombeo de la figura 1;

Figura 2a: una representación esquemática de una conformación alternativa del dispositivo de guiado de radiación de bombeo;

Figura 3: una representación esquemática del dispositivo de guiado de radiación de bombeo que puede utilizarse en la segunda forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser;

45 Figura 4: una representación esquemática de una tercera forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser; y

Figura 5: una representación esquemática de una cuarta forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser.

5 Las figuras 1, 1a, 4 y 5 muestran diferentes formas de ejecución de una disposición de amplificador de láser 19, las cuales presentan una fuente de bombeo 21, así como una configuración de amplificador - oscilador de láser 24. Las figuras 2, 2a y 3 muestran diferentes conformaciones de dispositivos de guiado de radiación de bombeo 26 para introducir la radiación de bombeo generada a través de la fuente de bombeo 21, en la configuración de amplificador - oscilador de láser 24.

10 En todas las formas de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19, la radiación de al menos dos o más fuentes del haz se utiliza para bombear la configuración de amplificador - oscilador de láser 24 colineal. De este modo, la configuración de bombeo longitudinal, la cual ofrece ventajas especiales en cuanto a la efectividad y a la calidad del haz, se usa tal como se indica en particular en P. Peuser, N. P. Schmitt, Diodengepumpte Festkörperlaser, de la editorial Springer Verlag 1995. Materiales activos de láser adecuados son por ejemplo los bien conocidos cristales de Nd: YAG y Nd: YLF, o también cristales enriquecidos con Yb, Tm o Ho.

En las formas de ejecución representadas de la disposición de amplificador de láser 19, como fuentes del haz para la fuente de bombeo 21 se utilizan al menos dos o varios láseres de diodos 1, 2, 2a de potencia elevada, acoplados por fibras.

15 La primera forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19, representada en la figura 1, muestra una fuente de bombeo 21, en donde, como primera fuente del haz para la primera radiación de bombeo, se utiliza un primer láser de diodos 1 y como segunda fuente del haz para la segunda radiación de bombeo 6 se utiliza al menos un segundo láser de diodos 2, en este caso en forma de un láser de diodos de potencia elevada, con una potencia más elevada que el primer láser de diodos 1.

20 El dispositivo de guiado de radiación de bombeo 26 presenta varias fibras ópticas 3, 4; para guiar la primera y la segunda radiación de bombeo hacia la configuración de amplificador - oscilador de láser 24. Una primera fibra óptica 3 se utiliza para bombear un oscilador de láser 9 miniaturizado, mientras que la mayor parte de la radiación de bombeo disponible en total se proporciona desde una o varias segundas fibras 4, para excitar ópticamente un cristal del amplificador 14.

25 La configuración de amplificador - oscilador de láser 24 presenta el oscilador de láser 9, así como un amplificador de láser 23. Se proporciona además un dispositivo óptico de deflexión 22, mediante el cual es colimada la segunda radiación de bombeo 6, de modo que la segunda radiación de bombeo 6, mediante una sección 20 definida determinada, se extiende desde varios milímetros hasta varios centímetros de forma casi paralela - en este caso paralelamente, con respecto al eje longitudinal 25 de la configuración de amplificador - oscilador de láser 24.

30 En el centro de esa radiación de bombeo 6 que atraviesa la sección 20, en una disposición axial, se encuentra el oscilador de láser 9 con un cristal de láser 10. El cristal de láser 10 está sostenido en un soporte 11 con barras, de modo que la mayor parte posible de la segunda radiación de bombeo 6 puede atravesar el soporte 11, para pasar así delante del cristal de láser 10 y, a continuación, enfocarse en el cristal del amplificador 14, del amplificador de láser 23. De ese modo, la segunda radiación de bombeo 6 se utiliza para la excitación óptica del amplificador de
35 láser 23.

En las formas de ejecución representadas en las figuras 1 y 1a, el cristal de láser 10 está conectado a un (cristal) de conmutador Q pasivo 9a. El cristal de láser 10 con el conmutador Q 9a se encuentra de forma centrada en el soporte 11.

40 El cristal de láser 10 puede ponerse en contacto óptico con el cristal del conmutador Q pasivo 9a (el así llamado láser casi - monolítico), donde la superficie de salida de esa configuración de cristal, para la longitud de ondas del láser, está revestida al menos de forma parcialmente reflectante, de manera que se emite un haz de láser 13 en forma de pulsos de láser cortos, con un ancho del pulso de usualmente algunos nanosegundos. Para más detalles sobre los fundamentos de los procesos físicos se remite a P. Peuser, N. P. Schmitt: Diodengepumpte Festkörperlaser, de la editorial Springer Verlag, 1995.

45 Además, en las formas de ejecución según las figuras 1 y 1a, en un soporte 8 se proporciona una primera lente de enfoque 8a (más reducida) para la primera radiación de bombeo, delante del oscilador de láser 9. De este modo, la geometría de bombeo del oscilador de láser 9 puede diseñarse de forma óptima. La lente de enfoque 8a más reducida, en comparación con el diámetro de la radiación de bombeo 6, a lo largo de la sección 20, posee una sección transversal esencialmente más reducida. La primera lente de enfoque 8a está colocada delante de la
50 superficie de acoplamiento del cristal de láser 10, de modo que la primera radiación de bombeo que debe introducirse en el oscilador de láser 9, se enfoca en el cristal de láser 10. El soporte 8 para la primera lente de enfoque 8a puede estar diseñado de forma regulable, de modo que la distancia de la primera lente de enfoque 8a con respecto al cristal de láser 10 es variable. Gracias a ello puede optimizarse la geometría de bombeo para el oscilador de láser, y en particular pueden determinarse la efectividad y la energía del pulso.

5 El dispositivo óptico de deflexión 22 presenta un dispositivo de lentes de colimador, el cual - tal como se representa - puede estar conformado a través de una lente de colimador 7 o a través de una superficie de entrada de un bloque de lentes (no representado), la cual actúa como lente de colimador. El dispositivo de lentes de colimador se utiliza para colimar la segunda radiación de bombeo 6. Además, el dispositivo óptico de deflexión 22 presenta una segunda lente de enfoque 12 para enfocar en el cristal de láser 14 la segunda radiación de bombeo 6 que es guiada delante del oscilador de láser 9, en el extremo de la sección 20.

10 La lente de colimador 7 está provista de una primera abertura 27 para poder guiar de forma no influenciada por el dispositivo de deflexión 22 la primera radiación de bombeo, hacia el oscilador de láser 9. La segunda lente de enfoque 12 está provista de una segunda abertura 28, para guiar el haz de láser 13 de forma no influenciada por el dispositivo óptico de deflexión 22, hacia el cristal de láser 14. En el cristal de láser 14, excitado por la segunda radiación de bombeo 6, el haz de láser 13 es amplificado, de modo que sale un haz de láser 15 amplificado.

15 La primera forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19 según la figura 1, así como la segunda forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19 según la figura 1a, se diferencian esencialmente en la fuente de bombeo 21. En la primera forma de ejecución, la fuente de bombeo posee el primer láser de diodos 1 como primera fuente del haz, para generar la primera radiación de bombeo, y el láser de diodos de alta potencia como segundo láser de diodos 1, para generar la segunda radiación de bombeo. En la segunda forma de ejecución, en lugar del láser de diodos de alta potencia se proporciona un grupo de fuentes del haz de láseres de diodos 2a, el cual se compone de varios segundos láseres de diodos 2 individuales.

20 A continuación se explican en detalle diferentes conformaciones del dispositivo de guiado de radiación de bombeo 26, mediante las representaciones de las figuras 2, 2a y 3.

25 En la ejecución del dispositivo de guiado de radiación de bombeo 26 representada en la figura 2, la primera fibra óptica 3 para guiar la primera radiación de bombeo para el oscilador de láser se encuentra en el centro de otra fibra que forma la segunda fibra óptica 4, la cual conduce la energía de bombeo para el amplificador consecutivo. La radiación proporcionada por la primera fibra 3 central se utiliza para bombear el oscilador de láser - de pulso 9 miniaturizado, de modo que se genera el haz de láser 13, cuya energía aumenta en el amplificador de láser 23 consecutivo. La segunda radiación de bombeo guiada en la segunda fibra óptica 4 dispuesta de forma anular alrededor de la primera fibra óptica 3 central, para el amplificador de láser 23, mediante el dispositivo óptico de deflexión 22, es colimada de manera que la misma es guiada alrededor del oscilador de láser 9 y finalmente es enfocada en el cristal del amplificador 14, dispuesto de forma axial.

30 En la otra ejecución del dispositivo de guiado de radiación de bombeo 26 representada en la figura 2a, las dos fibras de bombeo para el oscilador de láser 9 y para el amplificador de láser 23 - es decir, la primera fibra óptica 3 y la segunda fibra óptica 4 - están dispuestas una bien cerca de otra. En ese caso, la segunda lente de enfoque 12 para la segunda radiación de bombeo 6 (radiación de bombeo del cristal de amplificador 14) se dispone mínimamente desplazada de forma transversal, de modo que el haz de láser 13 y el haz de bombeo en el cristal del amplificador 35 14 se sitúan uno sobre otro. Los dispositivos de guiado de radiación de bombeo representados en las figuras 2 y 2a son especialmente adecuados para la primera forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19, representada en la figura 1.

40 En la conformación alternativa del dispositivo de guiado de radiación de bombeo 26, representado en la figura 3, la cual es adecuada en particular para la segunda forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19, la primera fibra óptica 3 que forma la fibra de bombeo para el oscilador de láser 9 está rodeada por un haz de fibra 4a constituido por varias segundas fibras ópticas 4, las cuales conducen de forma conjunta la radiación de bombeo para el amplificador de láser 23. Debido a ello pueden proporcionarse potencias de bombeo aún más elevadas para el amplificador de láser 23, ya que la radiación de las varias fuentes del haz de láseres de diodos 2a puede aprovecharse para la excitación óptica del amplificador de láser 23.

45 En la figura 4 se representa una tercera forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19, la cual representa un perfeccionamiento de la primera forma de ejecución mostrada en la figura 1 o de la segunda forma de ejecución mostrada en la figura 2. La disposición particularmente compacta de la configuración de amplificador - oscilador de láser 24 con el oscilador de láser 9 y el amplificador de láser 23 axial, según esta tercera forma de ejecución, puede utilizarse también para realizar una disposición del amplificador láser 9 con conmutación Q activa. 50 Con ese fin, el cristal del conmutador Q pasivo 9a de la primera o de la segunda forma de ejecución se reemplaza por una disposición electro - óptica conocida, formada por un polarizador 17, un conmutador Q electro - óptico 16 y un analizador 17a, los cuales se instalan en el resonador del oscilador de láser 9. Condición previa para ello es que el conmutador Q electro - óptico 16 presente una sección transversal relativamente reducida, de modo que la segunda radiación de bombeo 6 pueda pasar delante del mismo. A modo de ejemplo, el conmutador Q se 55 selecciona para ello de modo que su diámetro se ubique en el rango de por ejemplo un centímetro. Debido al diámetro reducido es posible guiar por delante, en el exterior, la segunda radiación de bombeo 6 colimada. Los conmutadores Q electro-ópticos miniaturizados 16 de esa clase ya son conocidos.

5 En la figura 5 se representa otra forma de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19, en la cual se prescinde de un dispositivo óptico de deflexión 22. En este caso, el haz de fibra 4a que conduce la radiación de bombeo para el amplificador de láser 23, está prolongado de modo que las segundas fibras ópticas 4 pueden ser conducidas alrededor del oscilador de láser 9. La segunda radiación de bombeo 6 que sale puede enfocarse entonces en el amplificador de láser 23, con una óptica de enfoque de colimador 29. La óptica de enfoque de colimador 29 presenta una lente de colimador 12a y la segunda lente de colimador 12. El haz de láser 13 generado en el oscilador de láser 9, a través de perforaciones que se encuentran presentes en el centro de la óptica de enfoque de colimador 29, se introduce en el cristal del amplificador 16 excitado, donde el mismo se amplifica - haz de láser 15 amplificado-.

10 El ejemplo de ejecución representado según la figura 5, al igual que el ejemplo de ejecución de la disposición de amplificador de láser 19 representado en la figura 4, usa el conmutador Q activo con el conmutador Q electro-óptico 16, así como el polarizador 16 y el analizador 17a. El conmutador Q 16, en este caso, se encuentra sostenido céntricamente en un soporte, el cual está realizado de forma similar al soporte 11. En el ejemplo de ejecución representado en la figura 5, un espejo de salida 18 está colocado en el área de la perforación de la lente de colimador 12a.

15 Las configuraciones de la disposición de amplificador de láser 19 descritas mediante las figuras 1 a 5, además de utilizarse para generar pulsos de láser cortos, pueden emplearse también como disposición de amplificador - oscilador para generar radiación láser continua o casi - continua, así como también radiación láser de frecuencia individual, cuando no se utiliza el cristal del conmutador Q 9a, o cuando el oscilador de láser 9 está diseñado como láser de frecuencia individual. De este modo, las propiedades esenciales del haz de láser 13, 15; hasta la potencia de la totalidad del sistema, se determinan a través del oscilador de láser 9. También en este caso se considera ventajoso que la potencia del oscilador de láser 9 pueda regularse independientemente de la amplificación, de modo que pueden alcanzarse las propiedades óptimas el haz en el rango de potencias de salida más reducidas del oscilador de láser 9.

25 En las formas de ejecución antes descritas se logra que, con un grado de miniaturización elevado, pueda realizarse un láser de alta potencia con una calidad del haz elevada y con una gran efectividad.

Otras ventajas especiales, en particular en comparación con la disposición de amplificador de láser miniaturizada conocida por el estado del arte según la solicitud US 6,512,630 B1 son:

- el oscilador de láser 9 y el amplificador de láser 23 pueden optimizarse independientemente uno de otro;
- 30 • el haz de láser 13 generado en el oscilador de láser 9 se amplifica de forma no influenciada por componente ópticos;
- la cantidad de los pulsos de láser emitidos por pulso de bombeo puede regularse independientemente de la potencia de amplificación;
- a través de una disposición separada del espejo de salida 18, el resonador del oscilador de láser 9 puede prolongarse de modo que puede alcanzarse una calidad del haz elevada, y
- 35 • es posible una conmutación Q pasiva o activa.

Lista de referencias

- 1 Primer láser de diodos (para primera radiación de bombeo)
- 2 Segundo láser de diodos (para segunda radiación de bombeo, preferentemente láser de diodos de alta potencia)
- 40 2a Fuente del haz de láser de diodos (para segunda radiación de bombeo)
- 3 Primera fibra óptica
- 4 Segunda fibra óptica
- 4a Haz de fibra (constituido por varias segundas fibras ópticas)
- 5 Línea de fibra ópticas (primera(s) y segunda(s) fibra(s) óptica(s) combinadas)
- 45 6 Segunda radiación de bombeo

- 7 Lente de colimador para segunda radiación de bombeo
- 8 Soporte para lente de enfoque reducida
- 8a Primera lente de enfoque (más reducida) para primera radiación de bombeo (desde el primer láser de diodos)
- 9 Oscilador de láser
- 5 9a (Cristal) de conmutador Q
- 10 Cristal de láser
- 11 Soporte para cristal de láser, con barras
- 12 Segunda lente de enfoque (más grande) para segunda radiación de bombeo
- 12a Lente de colimador
- 10 13 Haz de láser
- 14 Cristal del amplificador
- 15 Haz de láser amplificado
- 16 Conmutador Q electro -óptico
- 17 Polarizador
- 15 17a Analizador
- 18 Espejo de salida
- 19 Disposición de amplificador de láser
- 20 Sección
- 21 Fuente de bombeo
- 20 22 Dispositivo óptico de deflexión
- 23 Amplificador de láser
- 24 Configuración de amplificador - oscilador de láser
- 25 Eje longitudinal
- 26 Dispositivo de guiado de radiación de bombeo
- 25 27 Primera abertura
- 28 Segunda abertura
- 29 Óptica de enfoque de colimador

REIVINDICACIONES

1. Disposición de amplificador de láser (19) con:

5 una fuente óptica de bombeo (21) para emitir radiación de bombeo (6) y una configuración de amplificador -
oscilador de láser (24), dispuesta de forma axial, la cual puede ser bombeada a través de la radiación de bombeo
(6), donde la configuración de amplificador - oscilador de láser (24) presenta un oscilador de láser (9) que puede
excitarse a través de una parte de la radiación de bombeo para emitir un haz de láser (13), y un amplificador de láser
(23), el cual está diseñado tanto para recibir el haz de láser (13), como también radiación de bombeo (6), para
amplificar el haz de láser (13) mediante la radiación de bombeo (6), donde la fuente de bombeo (21) está diseñada
10 para introducir la radiación de bombeo (6) en la configuración de amplificador de láser (24), en un primer extremo
longitudinal de la configuración de amplificador de láser (24) que se sitúa de forma opuesta a un segundo extremo
longitudinal de la configuración de amplificador de láser (24), en el cual sale un haz de láser amplificado (15), y
donde el oscilador de láser (9) y el amplificador de láser (23), con respecto a un eje longitudinal (25) de la
configuración de amplificador - oscilador de láser (24), están dispuestos de forma coaxial y colineal, caracterizada
15 porque la fuente de bombeo (21) presenta al menos una primera fuente del haz (1) para generar una primera
radiación de bombeo para el bombeo del oscilador de láser (9), al menos una segunda fuente del haz (2) para
generar una segunda radiación de bombeo (6) para el amplificador de láser (23) y un dispositivo común de guiado
de la radiación de bombeo (26) para introducir tanto el primer haz de bombeo como también el segundo, mediante el
cual tanto la primera radiación láser como también la segunda radiación láser (6) pueden introducirse en la
20 configuración de amplificador - oscilador de láser (24) para el bombeo longitudinal en la misma dirección del eje
longitudinal (25), en el primer extremo longitudinal.

2. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 1, caracterizada porque la primera (1) y la segunda
(2) fuente del haz pueden operarse independientemente una de otra, de modo que el oscilador de láser (9), a través
de la primera radiación de bombeo, y el amplificador de láser (23), a través de la segunda radiación de bombeo (6),
pueden bombearse ópticamente de forma independiente uno de otro.

25 3. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la
primera fuente del haz es un primer láser de diodo (1) y/o porque la segunda fuente del haz es un segundo láser de
diodo (2) o está formada por varios segundos láseres de diodo (2a).

30 4. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la
primera y/o la segunda fuente del haz (1, 2) está acoplada mediante fibras a la configuración de amplificador -
oscilador de láser (24).

5. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 4, caracterizada porque el dispositivo de guiado de
radiación de bombeo (26) presenta al menos una primera fibra óptica (3) para guiar la primera radiación de bombeo
y al menos una segunda fibra óptica (4, 4a) para guiar la segunda radiación de bombeo (6).

35 6. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 5, caracterizada porque el dispositivo de guiado de
radiación de bombeo (26) presenta una línea de fibra óptica (5) en la cual están combinadas al menos una primera
fibra óptica (3) y al menos una segunda fibra óptica (4, 4a), para el guiado paralelo de las radiaciones de bombeo.

7. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 6, caracterizada porque en la línea de fibra óptica (5)
la primera fibra óptica (3) y la segunda fibra óptica (4, 4a) se extienden de forma coaxial o paralela una con respecto
a otra.

40 8. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizada porque el dispositivo
de guiado de radiación de bombeo (26) presenta un haz de fibra (4a) que consiste en varias segundas fibras ópticas
(4), para guiar la segunda radiación de bombeo (6).

45 9. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones 5 a 8, caracterizada porque en la línea de
fibra óptica (5) la primera línea óptica (3) se extiende en el centro dentro de la segunda fibra óptica (4), o en el centro
dentro de un haz de fibra (4a) que consiste en varias segundas fibras ópticas (4).

10. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque la
segunda fuente del haz (2, 2a) es esencialmente más potente que la primera fuente del haz (1).

50 11. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque se
proporciona un dispositivo óptico de deflexión (22) para guiar la segunda radiación de bombeo (6), pasando delante
del oscilador de láser (9), hacia el amplificador de láser (23).

12. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 11, caracterizada porque el dispositivo óptico de deflexión (22) presenta un dispositivo de lentes de colimador para colimar la segunda radiación de bombeo (6), de modo que la segunda radiación de bombeo (6) se extiende de forma casi paralela sobre una sección (20) definida.
- 5 13. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 12, caracterizada porque el dispositivo de deflexión está diseñado de modo que la segunda radiación de bombeo (6) se extiende alrededor del oscilador de láser (9).
14. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 12 ó 13, caracterizada porque el oscilador de láser (9) está dispuesto dentro de la sección definida (20) o cerca de la misma, y presenta una sección transversal que es esencialmente más reducida que la sección transversal de la segunda radiación de bombeo (6) guiada a través del dispositivo de deflexión (22) sobre la sección (20).
- 10 15. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizada porque el dispositivo de lentes de colimador presenta una lente de colimador (7) o una superficie de entrada de un bloque de lentes que actúa como lente de colimador.
16. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones 11 a 15, caracterizada porque el dispositivo de deflexión (22) presenta una primera abertura (27) para el paso no influenciado por el dispositivo de deflexión (22), de la primera radiación de bombeo, hacia el oscilador de láser (9).
- 15 17. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 16 y según una de las reivindicaciones 12 a 15, caracterizada porque la primera abertura (27) se extiende en el centro y/o de forma coaxial con respecto al eje longitudinal (25), a través de la disposición de lentes de colimador.
18. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones 16 ó 17, y según una de las reivindicaciones 5 a 9, caracterizada porque la primera fibra óptica (3) es conducida a través de la primera abertura (27), hacia el oscilador de láser (9).
- 20 19. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque el oscilador de láser (9) presenta un cristal de láser (10).
20. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 19, caracterizada porque el cristal de láser (10) está combinado con un conmutador Q pasivo o activo (9a, 16).
- 25 21. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque el oscilador de láser (9) y/o un cristal de láser (10) del mismo está dispuesto en un soporte (10), a través del cual puede pasar la segunda radiación de bombeo (6), pasando delante del oscilador de láser (9), así como del cristal (10).
- 30 22. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque una primera lente de enfoque (8a) está colocada delante de una superficie de acoplamiento del oscilador de láser (9), para enfocar la primera radiación de bombeo hacia el oscilador de láser (9).
23. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 22, caracterizada porque la distancia de la primera lente de enfoque (8a) con respecto a la superficie de acoplamiento puede ser regulada y/o es variable.
- 35 24. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizada porque se proporciona un dispositivo de lentes de enfoque para enfocar la segunda radiación de bombeo (6) guiada delante del oscilador de láser (9) y/o alrededor del oscilador de láser (9), en el amplificador de láser (24).
25. Disposición de amplificador de láser según la reivindicación 24, caracterizada porque el dispositivo de lentes de enfoque dispuesto entre el oscilador de láser (9) y el amplificador de láser (23) posee una segunda abertura para el paso no influenciado por el dispositivo de lentes de enfoque del haz de láser (13), desde el oscilador de láser (9) hacia el amplificador de láser (24).
- 40 26. Disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones 24 ó 25, caracterizada porque el dispositivo de lentes de enfoque posee una lente de enfoque (12) o una superficie de salida de un bloque de lentes que actúa como lente de enfoque.
- 45 27. Utilización de una disposición de amplificador de láser según una de las reivindicaciones precedentes:
- como láser portado por robot,

ES 2 664 470 T3

- en un transmisor miniaturizado para sistemas LIDAR, en particular en aeronaves,
- como transmisor láser para aplicaciones en el espacio, o
- como láser de bombeo para procesos ópticamente no lineales.

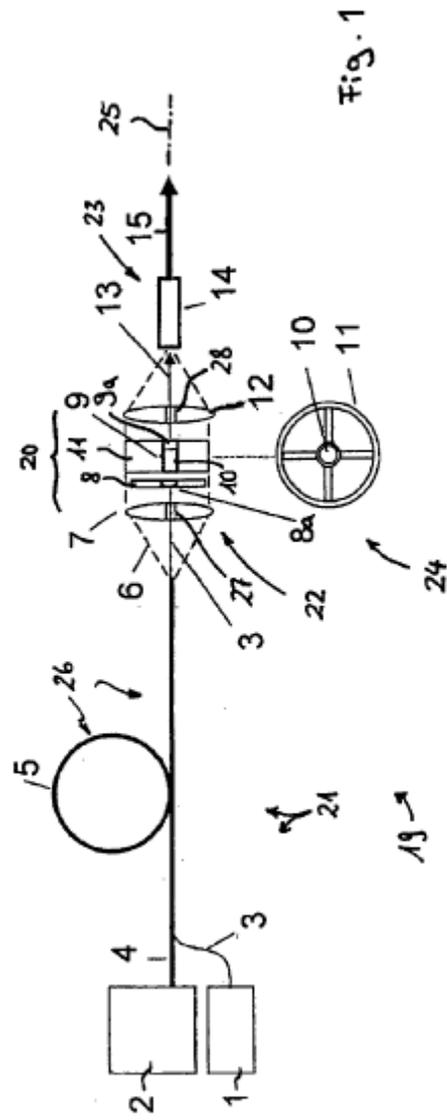


Fig. 1

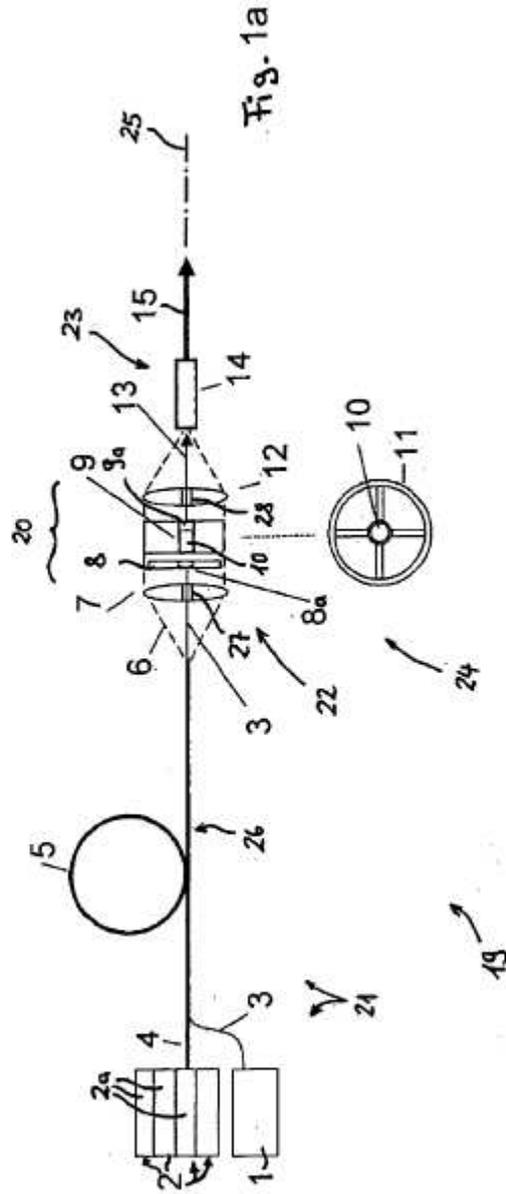
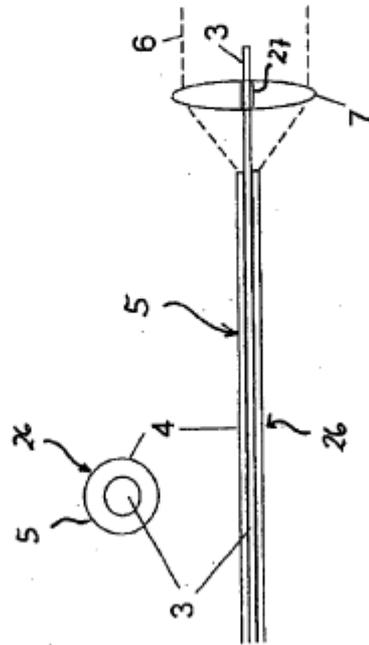


Fig. 2



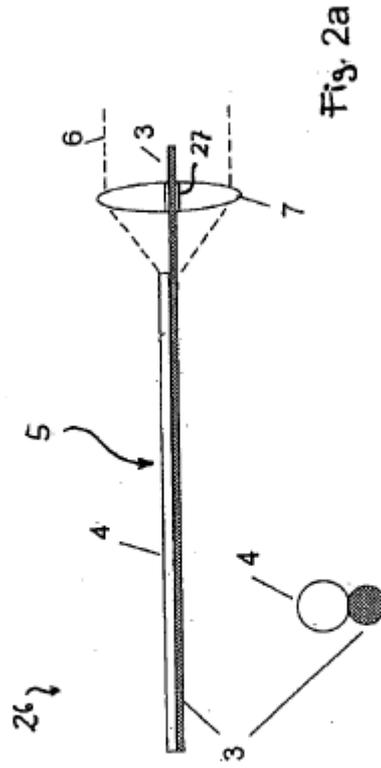
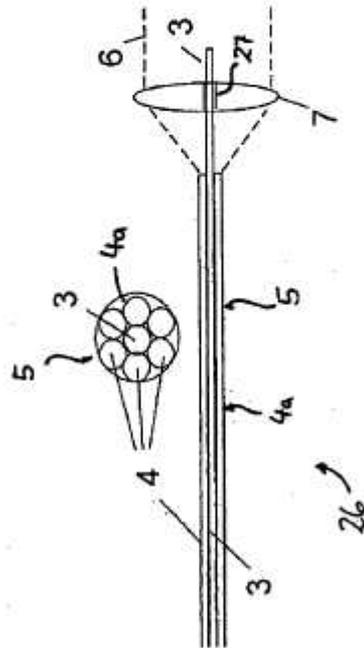


Fig. 3



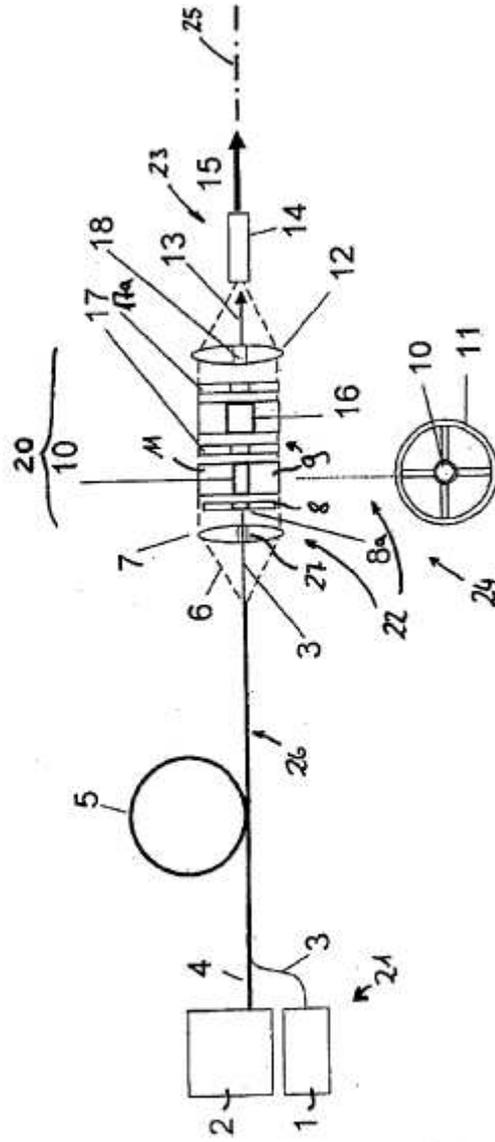


Fig. 4

19

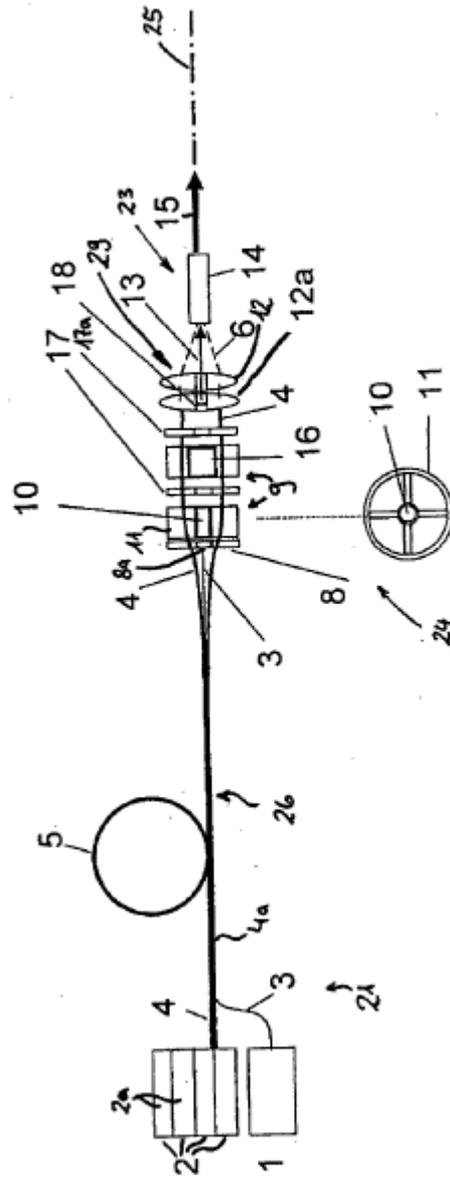


Fig. 5

19