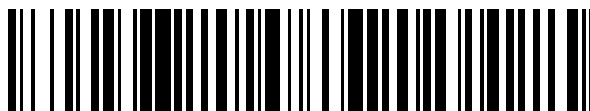


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 332**

51 Int. Cl.:

H01S 3/08	(2006.01)
H01S 3/082	(2006.01)
H01S 3/07	(2006.01)
H01S 3/109	(2006.01)
H01S 3/11	(2006.01)
H01S 3/13	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2007 PCT/DK2007/000350**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2008 WO08006371**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2007 E 07764479 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 2067220**

54 Título: **Sistema de láser bombeado que usa realimentación a medios de bombeo**

30 Prioridad:

12.07.2006 EP 06388051
12.07.2006 US 830718 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.09.2018

73 Titular/es:

ADVALIGHT (100.0%)
Diplomvej 373, 1
2800 Kongens Lyngby, DK

72 Inventor/es:

TIDEMAND-LICHTENBERG, PETER;
THORHAUGE, MORTEN y
MORTENSEN, JESPER LILTORP

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 683 332 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

Sistema de láser bombeado que usa realimentación a medios de bombeo

5 **Campo técnico**

La siguiente invención se refiere a un sistema de láser que comprende medios de generación de bombeo para generar al menos un primer y un segundo haces de bombeo, preferiblemente enfocados, medios de emisión de láser para emitir radiación al bombearse de manera apropiada, estando dichos medios de emisión de láser dispuestos en un primer resonador para recibir el primer haz de bombeo con el fin de generar un primer haz que tiene una primera frecuencia, y estando dichos medios de emisión de láser dispuestos en un segundo resonador para recibir el segundo haz de bombeo con el fin de generar un segundo haz que tiene una segunda frecuencia, y estando al menos un conmutador Q dispuesto en los resonadores primero y segundo, de modo que el primer haz y el segundo haz pasan ambos por un conmutador Q, y teniendo dicho sistema de láser una salida generada a partir de dicho primer haz y dicho segundo haz.

Los sistemas de láser, que comprenden dos o más láseres o elementos de ganancia o alternativamente un elemento de ganancia que genera dos o más líneas de láser (es decir dos o más longitudes de onda), y en los que participa una denominada generación de frecuencia suma u otra forma de conversión no lineal, son un área de investigación relativamente nueva. Con el fin de lograr una conversión más eficiente, los láseres pueden ser pulsados. Los láseres individuales pueden pulsarse pulsando una fuente de bombeo (lo cual no es tan eficiente) o pueden pulsarse cambiando periódicamente el denominado factor Q de la cavidad del láser modulando las pérdidas en la cavidad. Esto puede lograrse usando un denominado conmutador Q. El conmutador Q puede ser o bien activo, tal como un conmutador Q electroóptico o acustoóptico, o pasivo usando un absorbedor saturable.

Uno de los principales problemas de tales sistemas es sincronizar los láseres individuales ya que habitualmente tienen tiempos de acumulación de impulsos diferentes. De ese modo, los impulsos que se propagan en la cavidad no se solapan de manera temporal. Esto es un problema, ya que la conversión no lineal sólo puede producirse si los impulsos se solapan. Si el solapamiento entre los impulsos individuales no se controla o regula de ninguna manera, el solapamiento entre los impulsos será aleatorio y por tanto no estará optimizado. Por consiguiente, la conversión no lineal tampoco estará optimizada.

Un método para optimizar el solapamiento es regular el enfoque de la luz emitida a partir de la fuente de bombeo en el elemento de láser. Evidentemente, esto sólo es posible en sistemas en los que la luz de la fuente de bombeo se enfoca en el elemento de láser. Por tanto, si la fuente de bombeo es una lámpara de descarga de gas o una lámpara de destello, no es posible usar este tipo de regulación. En cualquier caso, resulta difícil cambiar el enfoque del haz de fuente de bombeo en sistemas de láser comerciales, ya que la funcionalidad del láser depende en gran medida de un enfoque preciso. Además, los sistemas mecánicos para cambiar el punto focal tienen imprecisiones inherentes y aumentarán adicionalmente de manera considerable el coste global del sistema de láser.

Otro método para regular el solapamiento de impulsos se refiere a cambiar o trasladar uno o más espejos de la cavidad con el fin de cambiar el enfoque propio en el elemento de láser. Esto cambia el solapamiento entre el modo de cavidad (es decir, el tamaño de punto en el elemento de láser) y la fuente de bombeo, mediante lo cual se cambia la ganancia del elemento de láser. Además, el propio cambio en el modo de cavidad puede cambiar la ganancia. Una vez más, este método tiene base mecánica y por tanto implica un aumento considerable del coste global del sistema así como introducir una fuente de alineación incorrecta.

Una tercera posibilidad es cambiar la posición del elemento de láser con respecto al punto focal de la fuente de bombeo. Sin embargo, esto sólo es posible si el elemento de láser es más corto que la rama de cavidad, en la que está dispuesto el elemento de láser. Adicionalmente, debe ser posible trasladar el elemento de láser, lo cual significa de nuevo que se necesitan medios de traslación mecánicos. Por tanto, este método tiene las mismas desventajas que los métodos anteriormente mencionados.

Una cuarta posibilidad es emplear un método en el que las cavidades tienen pérdidas individuales, estáticas o variables, de modo que la diferencia en las pérdidas intracavidad supera a la diferencia entre las ganancias respectivas de los elementos de láser.

Una quinta posibilidad es usar una pluralidad de conmutadores Q y un retardo electrónico variable entre los mismos. Esto es una solución algo más compleja, que requiere alimentaciones eléctricas independientes para los conmutadores Q individuales así como una línea de retardo variable electrónica. Si el sistema funciona en el rango de nanosegundos, lo cual sucede con frecuencia para tales sistemas, tal electrónica es relativamente cara y sensible. Además, si cada línea de láser del sistema usa un conmutador Q independiente, esto aumenta el coste global del sistema, ya que generalmente los conmutadores Q son relativamente caros.

La patente estadounidense n.º 5.121.402 da a conocer un láser de anillo de múltiples elementos de ganancia, que tiene la capacidad de ampliarse a escala para potencias de salida pulsada superiores. El láser de anillo comprende

una pluralidad de fuentes de bombeo y elementos de ganancia correspondientes. Todos los haces de láser resultantes de los elementos de ganancia individuales pasan por el mismo conmutador Q en la cavidad de anillo.

5 El documento US 2006/126675 A1 se refiere a un dispositivo de láser en estado sólido, que comprende un primer eje óptico y un segundo eje óptico que tienen una parte de eje óptico usada en común y separados por unos medios de separación de ejes ópticos, un primer resonador compuesto en el primer eje óptico, un segundo resonador compuesto en el segundo eje óptico, un primer emisor de luz para permitir que una luz de excitación entre en el primer resonador, un segundo emisor de luz para permitir que una luz de excitación entre en el segundo resonador, una unidad de conversión de longitud de onda proporcionada en la parte de eje óptico usada en común, y un espejo de salida proporcionado en un lado de salida de la unidad de conversión de longitud de onda, en el que la unidad de conversión de longitud de onda comprende dos o más cristales ópticos para la conversión de longitud de onda, el espejo de salida tiene dos o más espejos de salida individuales, y la longitud de onda de un haz de láser que va a proyectarse se determina mediante la selección de encendido o apagado del primer emisor de luz y el segundo emisor de luz, y también mediante la selección de los cristales ópticos para la conversión de longitud de onda y los espejos de salida individuales dependiendo del encendido y apagado del primer emisor de luz y el segundo emisor de luz.

Divulgación de la invención

20 El propósito de la presente invención es proporcionar un sistema de láser nuevo y mejorado, en el que pueda optimizarse el solapamiento de impulsos entre dos o más líneas de láser del sistema.

La invención es según la reivindicación 1.

25 Esto se logra, según la invención, al comprender los medios de generación de bombeo al menos una primera fuente de bombeo para generar el primer haz, y una segunda fuente de bombeo para generar el segundo haz, en los que al menos una parte de dicha salida se realimenta a un sistema de regulación que comprende un comparador, un sistema de control y un sistema de optimización, y en los que el comparador está adaptado para comparar dicha parte de dicha salida con una señal de referencia y de ese modo proporcionar una señal de error resultante al sistema de control, y en los que el sistema de control está adaptado para proporcionar una primera señal de control a la primera fuente de bombeo basándose en dicha señal de error para controlar la salida de intensidad de la primera fuente de bombeo, y en los que el sistema de optimización está adaptado para proporcionar una segunda señal de control, para controlar la salida de intensidad de la segunda fuente de bombeo, regulando así el tiempo de acumulación de impulsos de láser individuales del primer haz y segundo haz, respectivamente.

35 El sistema de regulación está adaptado de ese modo para controlar la salida de intensidad de los medios de bombeo, lo que a su vez regula la ganancia de los medios de láser, controlando así el tiempo de acumulación de los impulsos de láser individuales de dichos haces primero y segundo. De ese modo, el solapamiento entre los impulsos individuales puede optimizarse de una manera sencilla.

40 En una realización preferida de la invención, dicho al menos un conmutador Q es un conmutador Q activo, tal como un conmutador Q electroóptico o acustoóptico. Los conmutadores Q activos son favorables en comparación con los conmutadores Q pasivos, ya que estos últimos tienen un intervalo de funcionamiento limitado con respecto a la frecuencia de repetición y al efecto de impulso. Por tanto, normalmente tiene que elegirse un punto de funcionamiento invariable.

50 Según una realización preferida de la invención, dicho al menos un conmutador Q está dispuesto tanto en el primer resonador como en el segundo resonador, de modo que el primer haz y el segundo haz pasan ambos por el mismo conmutador Q.

Según una realización preferida, los medios de bombeo son una fuente de bombeo individual, tal como un diodo láser. Por tanto, esta fuente de bombeo individual se usa para generar al menos dichos haces de bombeo primero y segundo. En este caso, es posible regular el efecto de haz de bombeo individual mediante el uso de métodos conocidos en sí mismos, tal como mediante el uso de un retardador de fase, un divisor de haz polarizante o un cristal birrefringente.

60 Alternativamente, los medios de bombeo comprenden al menos una primera fuente de bombeo, tal como un primer diodo láser, para generar el primer haz de bombeo, y una segunda fuente de bombeo, tal como un segundo diodo láser, para generar el segundo haz de bombeo. De ese modo, se logra una realización sencilla particular de los medios de bombeo.

Según una realización preferida según la invención, los medios de emisión de láser son un elemento de ganancia o elemento de láser individual. Por tanto, este elemento de láser individual se usa para generar al menos dos haces de láser pulsados que tienen frecuencias o longitudes de onda diferentes.

65 Alternativamente, los medios de emisión de láser comprenden al menos un primer elemento de ganancia o elemento

de emisión de láser para generar dicho primer haz, y un segundo elemento de ganancia o elemento de láser para generar dicho segundo haz. De ese modo, se logra una realización sencilla particular de los medios de emisión de láser, en la que se usan elementos de láser independientes para generar las líneas (o longitudes de onda) de láser individuales del sistema.

5 Evidentemente, el sistema de láser puede comprender tres, cuatro o incluso más fuentes de bombeo así como tres, cuatro o más elementos de ganancia, generando por tanto el sistema de láser resultante haces con tres, cuatro o más frecuencias. El/los elemento(s) de ganancia puede(n) ser, por ejemplo, un cristal de Nd:YAG o de Nd:YVO4.

10 Según una realización preferida de la invención, el primer haz sigue una primera trayectoria en dicho primer resonador, y el segundo haz sigue una segunda trayectoria en dicho segundo resonador, y en el que al menos una parte de la primera trayectoria y la segunda trayectoria son coincidentes. Dicho de otro modo, dicho primer resonador y dicho segundo resonador tienen un eje de propagación óptica intracavidad coincidente. Por tanto, el primer elemento de láser y el segundo elemento de láser pueden situarse en las partes de la primera cavidad y la segunda cavidad, respectivamente, que no son coincidentes.

15 En una realización según la invención, dicho primer resonador y/o dicho segundo resonador son cavidades de resonador lineales. En otra realización según la invención, dicho primer resonador y/o dicho segundo resonador son cavidades de resonador de anillo. De manera común para todas estas realizaciones, las cavidades comprenden habitualmente una pluralidad de espejos, siendo normalmente uno o más de estos espejos comunes para todas las cavidades de resonador. Los espejos de cavidad tienen preferiblemente un recubrimiento reflectante para proporcionar un alto coeficiente de reflexión para al menos dichas frecuencias primera y segunda.

20 Según una realización preferida, el primer resonador y el segundo resonador tienen un espejo de salida común. Dicho espejo de salida tiene normalmente un recubrimiento antirreflectante para emitir la longitud de onda o longitudes de onda deseadas.

25 Según una realización particularmente preferida de la invención, el sistema de láser comprende adicionalmente un elemento de conversión no lineal. Por tanto, el elemento de conversión no lineal puede usarse, entre otras cosas, para el mezclado de frecuencias suma o el mezclado de diferencias de frecuencia usando tanto los modos fundamentales como los armónicos de los haces primero y segundo, respectivamente. El elemento de conversión puede ser, por ejemplo, un cristal de KTP periódicamente polarizado u otro elemento óptico no lineal.

30 Según una realización de la invención, el elemento de conversión no lineal está situado en el eje de propagación óptica intracavidad coincidente. Por tanto, la conversión de los haces primero y segundo puede lograrse antes de emitirse a través del espejo de salida común.

35 Según una realización alternativa, el elemento de conversión no lineal está situado después del espejo de salida común. En este caso, tanto el primer haz como el segundo haz se emiten a partir del espejo de salida común y por tanto se convierten fuera de sus cavidades respectivas. Sin embargo, el elemento de conversión no lineal también puede situarse en la primera cavidad pero fuera de la segunda cavidad.

40 En una realización particularmente preferida de la invención, al menos una parte de la salida del elemento de conversión no lineal se realimenta al sistema de regulación. Esto proporciona una manera sencilla particular para regular las fuentes de bombeo usando el sistema de regulación, ya que la salida del elemento de conversión indica directamente la eficiencia de la conversión y por tanto también el grado de solapamiento entre los impulsos.

45 El sistema de láser puede comprender dos o más conmutadores Q, que están situados, por ejemplo, en las partes de las cavidades que no son coincidentes. Esta realización es particularmente útil en sistemas en los que se generan tres o más haces de láser, o en sistemas en los que las líneas de láser individuales tienen una gran diferencia de longitudes de onda.

50 Según una realización preferida de la invención, la diferencia de tiempo entre la activación de dichos conmutadores Q es fija. Alternativamente, la diferencia de tiempo entre la activación de dichos conmutadores Q es variable.

55 En una realización preferida según la invención, la salida del sistema de láser es un haz convertido no lineal. Por tanto, la frecuencia del haz convertido es, por ejemplo, la suma o la diferencia de las frecuencias de los haces individuales de las cavidades de resonador o sus armónicos. Por ejemplo, es posible usar haces de láser de resonador individuales que emiten láser a 1064 nm y 1342 nm, respectivamente, con el fin de generar un haz de láser de color amarillo-naranja a 593 nm.

60 Según otra realización preferida de la invención, la salida del sistema tiene múltiples frecuencias o líneas de láser. Estas líneas de láser individuales pueden ser, por ejemplo, los haces de láser de resonador individuales, es decir dichos haces primero y segundo. También es posible lograr una salida de múltiples líneas de láser usando el elemento de conversión no lineal. En el caso de usar haces de láser de resonador individuales que emiten láser a 1064 nm y 1342 nm y usar además los armónicos de estos haces, es posible lograr líneas de salida individuales de

532 nm, 671 nm y 593 nm, es decir salida verde, roja y amarilla.

El sistema puede usarse para una amplia gama de aplicaciones. El sistema de láser puede usarse, por ejemplo, en sistemas de velocimetría de imágenes de partículas (PIV), que con frecuencia usan haces de láser de diferentes longitudes de onda. De manera similar, el sistema de láser también puede usarse para sistemas de anemometría láser Doppler usando dos o más longitudes de onda.

El sistema de láser también puede usarse, entre otras cosas, para pantallas RGB, ya que el sistema puede generar las líneas de láser individuales necesarias para tales pantallas.

El sistema de láser también puede usarse para generar láseres de estado sólido con una salida amarilla. En la actualidad, los sistemas de láser amarillo sólo se encuentran comercialmente a una escala muy limitada. Una de las áreas de uso más prometedoras para el sistema es en aplicaciones optomédicas, tales como dermatología, terapia fotodinámica y oftalmología. La sangre tiene un alto coeficiente de absorción para la luz amarilla, y esto puede usarse, por ejemplo, para el tratamiento de daños relacionados con el sistema vascular, tales como manchas en vino de Oporto, en el tratamiento del acné y el rejuvenecimiento de la piel. Además, el sistema de láser puede usarse para terapia fotodinámica, que es un método prometedor para el tratamiento del cáncer de piel. En la actualidad, las aplicaciones optomédicas mencionadas se basan con frecuencia en láseres de colorante. El sistema de láser según la invención puede generar, por ejemplo, luz amarilla con una longitud de impulso en el rango de nanosegundos con una frecuencia de repetición en el rango de kilohercios y con un efecto promedio de varios vatios.

El sistema de láser también puede aplicarse a la separación de isótopos por láser.

Breve descripción de los dibujos

La invención se explica a continuación con más detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

la figura 1 muestra una primera realización de un sistema de láser según la invención,

la figura 2 una segunda realización de un sistema de láser según la invención,

la figura 3 una tercera realización de un sistema de láser según la invención,

la figura 4 una cuarta realización de un sistema de láser según la invención,

la figura 5 una quinta realización de un sistema de láser según la invención,

la figura 6 un diagrama esquemático de un sistema de regulación de realimentación según la invención,

la figura 7 la eficiencia de conversión en función de la potencia de bombeo de las fuentes de bombeo primera y segunda,

la figura 8 la eficiencia de conversión en función de la potencia de bombeo de la segunda fuente de bombeo para una potencia de bombeo fija dada para la primera fuente de bombeo, y

la figura 9 una serie de medidas que demuestran la dependencia entre la intensidad de bombeo y el solapamiento de impulsos.

Mejores modos de llevar a cabo la invención

La figura 1 muestra una primera realización del sistema de láser según la invención. El sistema 101 de láser comprende una primera fuente 102 de bombeo y una segunda fuente 103 de bombeo, preferiblemente en forma de un primer diodo láser y un segundo diodo láser. La luz emitida a partir de la primera fuente 102 de bombeo se enfoca mediante una primera lente 104 de condensación y en un primer elemento de ganancia o elemento 106 de láser. Cuando se bombea este elemento 106 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 106 de láser. Un primer haz 121 de láser emitido resultante que tiene una primera frecuencia se emite en ambos sentidos en una primera cavidad de resonador lineal, que comprende tres espejos M11, M12 y M15. Los tres espejos M11, M12 y M15 tienen preferiblemente un recubrimiento reflectante con el fin de tener una alta reflectancia a la primera frecuencia.

De manera similar, la luz emitida a partir de la segunda fuente 103 de bombeo se enfoca mediante una segunda lente 105 de condensación y en un segundo elemento de ganancia o elemento 107 de láser. Cuando se bombea el segundo elemento 107 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 107 de láser. Un haz 122 de láser emitido resultante se emite en ambos sentidos en una segunda cavidad de resonador lineal, que comprende tres espejos M13, M14 y M15.

5 Las trayectorias del primer resonador y del segundo resonador tienen una parte de trayectoria de haz coincidente entre los espejos M14 y M15. Un conmutador 108 Q y un elemento 109 de conversión no lineal están situados en esta trayectoria de propagación intracavidad coincidente. El conmutador 108 Q es preferiblemente un conmutador Q activo, tal como un conmutador Q electroóptico o un conmutador Q acustoóptico. El elemento 109 de conversión no lineal convierte el primer haz 121 y el segundo haz 122 generando un haz convertido que tiene una frecuencia, que es la suma o la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia o los armónicos de las frecuencias primera y segunda. La salida del elemento 109 de conversión no lineal también puede contener varias líneas de láser, es decir varios haces de diferentes longitudes de onda/frecuencias.

10 El haz de luz convertido, y si se desea también los haces 121 primero y 122 segundo, se emiten a través del espejo M15 de salida común, que tiene preferiblemente un recubrimiento antirreflectante para emitir la longitud de onda deseada del haz convertido. Una parte 112 de realimentación de la salida 113 se realimenta a través de un divisor 110 de haz, por ejemplo, a un fotodiodo o a un medidor 111 de potencia. La señal detectada se procesa mediante un sistema de regulación o microprocesador 114, que controla la primera fuente 102 de bombeo y/o la segunda fuente 15 103 de bombeo. Las fuentes 102, 103 de bombeo regulan a su vez los tiempos de acumulación de impulsos para los elementos 106 y 107 de láser, ya que el tiempo de acumulación de impulsos depende de la intensidad del haz de bombeo. Dado que la señal convertida es una medida directa de la eficiencia del solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 121 y el segundo haz 122, la señal detectada por el fotodiodo 111 puede usarse para regular la salida de intensidad de la primera fuente 102 de bombeo y/o la segunda fuente 103 de bombeo, y de ese modo los tiempos de acumulación correspondientes de los impulsos de láser individuales. De ese modo es posible optimizar el solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 121 y el segundo haz 122 variando la intensidad de bombeo y encontrando la salida máxima de la señal 112 de realimentación.

25 El elemento 109 de conversión no lineal también puede situarse después del espejo M15 de salida común. Si el sistema de láser es, por ejemplo, un sistema de láser de múltiples líneas que emite únicamente haces de láser de la primera frecuencia y la segunda frecuencia, el elemento 109 de conversión no lineal puede situarse en la trayectoria del haz 112 de realimentación, usando de ese modo únicamente el elemento 109 de conversión no lineal para la regulación de realimentación.

30 La primera realización también puede modificarse de modo que comprende dos conmutadores Q, en la que un primer conmutador Q está situado en el primer resonador en la trayectoria entre los espejos M11 y M14, y un segundo conmutador Q está situado en el segundo resonador en la trayectoria entre los espejos M13 y M14. En este caso, los conmutadores Q pueden sincronizarse de manera temporal, por ejemplo si la diferencia en las longitudes de onda entre los haces primero y segundo es relativamente grande.

35 La figura 2 muestra una segunda realización del sistema de láser según la invención, en la que números de referencia similares hacen referencia a partes similares de la primera realización. El sistema 201 de láser comprende una primera fuente 202 de bombeo y una segunda fuente 203 de bombeo, preferiblemente en forma de un primer diodo láser y un segundo diodo láser. La luz emitida a partir de la primera fuente 202 de bombeo se enfoca mediante una primera lente 204 de condensación y en un primer elemento de ganancia o elemento 206 de láser. Cuando se bombea este elemento 206 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 40 206 de láser. Un primer haz 221 de láser emitido resultante que tiene una primera frecuencia se emite en ambos sentidos en una primera cavidad de resonador de anillo, que comprende cuatro espejos M21, M22, M25 y M26. Los cuatro espejos M21, M22, M25 y M26 tienen preferiblemente un recubrimiento reflectante con el fin de tener una alta reflectancia a la primera frecuencia.

45 De manera similar, la luz emitida a partir de la segunda fuente 203 de bombeo se enfoca mediante una segunda lente 205 de condensación y en un segundo elemento de ganancia o elemento 207 de láser. Cuando se bombea el segundo elemento 207 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 207 de láser. Un haz 222 de láser emitido resultante se emite en ambos sentidos en una segunda cavidad de resonador de anillo, que comprende cuatro espejos M23, M24, M25 y M26.

55 Las trayectorias del primer resonador y del segundo resonador tienen una parte de trayectoria de haz coincidente del espejo M24 al M25 y después del M25 al M26 y hacia el M23. Un conmutador 208 Q y un elemento 209 de conversión no lineal están situados en esta trayectoria de propagación intracavidad coincidente. El conmutador 208 Q es preferiblemente un conmutador Q activo, tal como un conmutador Q electroóptico o un conmutador Q acustoóptico. El elemento 209 de conversión no lineal convierte el primer haz 221 y el segundo haz 222 generando un haz convertido que tiene una frecuencia, que es la suma o la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia o los armónicos de las frecuencias primera y segunda. La salida del elemento 209 de conversión no lineal también puede contener varias líneas de láser, es decir varios haces de diferentes longitudes de onda/frecuencias.

60 El haz de luz convertido, y si se desea también los haces 221 primero y 222 segundo, se emiten a través de los espejos M25 y M26 de salida comunes, que tienen preferiblemente un recubrimiento antirreflectante para emitir la longitud de onda/frecuencias deseadas. Una parte 212 de realimentación de una primera salida 213 se realimenta a través de un divisor 210 de haz, por ejemplo, a un fotodiodo o a un medidor 211 de potencia. La señal detectada se procesa mediante un sistema de regulación o microprocesador 214, que controla la primera fuente 202 de bombeo

y/o la segunda fuente 203 de bombeo. Las fuentes 202, 203 de bombeo regulan a su vez los tiempos de acumulación de impulsos para los elementos 206 y 207 de láser, ya que el tiempo de acumulación de impulsos depende de la intensidad de la luz de bombeo. Dado que la señal convertida es una medida directa de la eficiencia del solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 221 y el segundo haz 222, la señal detectada por el fotodiodo 211 puede usarse para regular la salida de intensidad de la primera fuente 202 de bombeo y/o la segunda fuente 203 de bombeo, y de ese modo los tiempos de acumulación correspondientes de los impulsos de láser individuales. De ese modo es posible optimizar el solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 221 y el segundo haz 222 variando la intensidad de bombeo y encontrando la salida máxima de la señal 212 de realimentación.

El elemento 209 de conversión no lineal también puede situarse detrás del espejo M25 de salida común. Si el sistema de láser es, por ejemplo, un sistema de láser de múltiples líneas que emite únicamente haces de láser de la primera frecuencia y la segunda frecuencia, el elemento 209 de conversión no lineal puede situarse en la trayectoria del haz 212 de realimentación, usando de ese modo únicamente el elemento 209 de conversión no lineal para la regulación de realimentación.

La realización también puede modificarse de modo que comprende dos conmutadores Q, en la que un primer conmutador Q está situado en el primer resonador en la trayectoria entre los espejos M21 y M22, y un segundo conmutador Q está situado en el segundo resonador en la trayectoria entre los espejos M23 y M24. En este caso, los conmutadores Q pueden sincronizarse de manera temporal, por ejemplo si la diferencia en las longitudes de onda entre los haces primero y segundo es relativamente alta.

En la realización mostrada, la primera fuente 202 de bombeo está situada detrás del espejo M21 y la segunda fuente de bombeo detrás del espejo 24. Sin embargo, en lugar de eso la primera fuente 202 de bombeo puede situarse detrás del espejo M22 y/o la segunda fuente 203 de bombeo puede situarse detrás del espejo M23. Además, las cavidades de resonador de anillo pueden comprender un diodo óptico de modo que el primer haz 221 y el segundo haz 222 sólo se propagan en una dirección en las cavidades de resonador de anillo. Alternativamente, el sistema 201 de láser puede comprender una segunda salida 215 a través, por ejemplo, del espejo M26.

La figura 3 muestra una tercera realización del sistema de láser según la invención, en la que números de referencia similares se refieren a partes similares de las realizaciones primera y segunda. El sistema 301 de láser comprende una primera fuente 302 de bombeo y una segunda fuente 303 de bombeo, preferiblemente en forma de un primer diodo láser y un segundo diodo láser. La luz emitida a partir de la primera fuente 302 de bombeo se enfoca mediante una primera lente 304 de condensación y en un primer elemento de ganancia o elemento 306 de láser. Cuando se bombea este elemento 306 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 306 de láser. Un primer haz 321 de láser emitido resultante que tiene una primera frecuencia se emite en ambos sentidos en una primera cavidad de resonador lineal, que comprende cuatro espejos M31, M32, M35 y M36. Los cuatro espejos M31, M32, M35 y M36 tienen preferiblemente un recubrimiento reflectante con el fin de tener una alta reflectancia a la primera frecuencia.

De manera similar, la luz emitida a partir de la segunda fuente 303 de bombeo se enfoca mediante una segunda lente 305 de condensación y en un segundo elemento de ganancia o elemento 307 de láser. Cuando se bombea el segundo elemento 307 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 307 de láser. Un haz 322 de láser emitido resultante se emite en ambos sentidos en una segunda cavidad de resonador de anillo, que comprende cuatro espejos M33, M34, M35 y M36.

Las trayectorias del primer resonador y del segundo resonador tienen una parte de trayectoria de haz coincidente del espejo M34 al M35 y después del M35 al M36 y hacia el M33. Un conmutador 308 Q y un elemento 309 de conversión no lineal están situados en esta trayectoria de propagación intracavidad coincidente. El conmutador 308 Q es preferiblemente un conmutador Q activo, tal como un conmutador Q electroóptico o un conmutador Q acustoóptico. El elemento 309 de conversión no lineal convierte el primer haz 321 y el segundo haz 322 generando un haz convertido que tiene una frecuencia, que es la suma o la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia o los armónicos de las frecuencias primera y segunda. La salida del elemento 309 de conversión no lineal también puede contener varias líneas de láser, es decir varios haces de diferentes longitudes de onda/frecuencias.

El haz de luz convertido, y si se desea también los haces 321 primero y 322 segundo, se emiten a través del espejo M35 de salida común, que tiene preferiblemente un recubrimiento antirreflectante para emitir la longitud de onda/frecuencias deseadas. Una parte 312 de realimentación de la salida 313 se realimenta a través de un divisor 310 de haz, por ejemplo, a un fotodiodo o a un medidor 311 de potencia. La señal detectada se procesa mediante un sistema de regulación o microprocesador 314, que controla la primera fuente 302 de bombeo y/o la segunda fuente 303 de bombeo. Las fuentes 302, 303 de bombeo regulan a su vez los tiempos de acumulación de impulsos para los elementos 306 y 307 de láser, ya que el tiempo de acumulación de impulsos depende de la intensidad de la luz de bombeo. Dado que la señal convertida es una medida directa de la eficiencia del solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 321 y el segundo haz 322, la señal detectada por el fotodiodo 311 puede usarse para regular la salida de intensidad de la primera fuente 302 de bombeo y/o la segunda fuente 303 de bombeo, y de ese modo los tiempos de acumulación correspondientes de los impulsos de láser individuales. De ese modo es posible

optimizar el solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 321 y el segundo haz 322 variando la intensidad de bombeo y encontrando la salida máxima de la señal 312 de realimentación.

5 El elemento 309 de conversión no lineal también puede colocarse después del espejo 325 de salida común. Si el sistema de láser es, por ejemplo, un sistema de láser de múltiples líneas que emite únicamente haces de láser de la primera frecuencia y la segunda frecuencia, el elemento 309 de conversión no lineal puede colocarse en la trayectoria del haz 312 de realimentación, usando de ese modo únicamente el elemento 309 de conversión no lineal para su utilización en la regulación de realimentación.

10 La figura 4 muestra una cuarta realización del sistema de láser según la invención. El sistema 401 de láser comprende una primera fuente 402 de bombeo y una segunda fuente 403 de bombeo, preferiblemente en forma de un primer diodo láser y un segundo diodo láser. La luz emitida a partir de la primera fuente 402 de bombeo se enfoca mediante una primera lente 404 de condensación y en un primer elemento de ganancia o elemento 406 de láser. Cuando se bombea este elemento 406 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 406 de láser. Un primer haz 421 de láser emitido resultante que tiene una primera frecuencia se emite en ambos sentidos en una primera cavidad de resonador lineal, que comprende dos espejos M41 y M43, y medios 416 de combinación de haces. Los dos espejos M41 y M43 tienen preferiblemente un recubrimiento reflectante con el fin de tener una alta reflectancia a la primera frecuencia.

20 De manera similar, la luz emitida a partir de la segunda fuente 403 de bombeo se enfoca mediante una segunda lente 405 de condensación y en un segundo elemento de ganancia o elemento 407 de láser. Cuando se bombea el segundo elemento 407 de láser, comienza a acumularse un impulso de láser y se emite a partir del elemento 407 de láser. Un haz 422 de láser emitido resultante se emite en ambos sentidos en una segunda cavidad de resonador lineal, que comprende dos espejos M42 y M43 y los medios 416 de combinación de haces. Los medios 416 de combinación de haces pueden ser, por ejemplo, un cristal birrefringente y garantizan que los dos haces 421, 422 que tienen longitudes de onda diferentes siguen dos trayectorias diferentes.

30 Las trayectorias del primer resonador y del segundo resonador tienen una parte de trayectoria de haz coincidente entre el espejo M43 y los medios 416 de combinación de haces. Un elemento 409 de conversión no lineal está colocado en esta trayectoria de propagación intracavidad coincidente. Un conmutador Q común está dispuesto junto a los dos elementos 406, 407 de láser de modo que se solapa tanto con el primer haz 421 como con la segunda trayectoria de haz 422. El conmutador 408 Q es preferiblemente un conmutador Q activo, tal como un conmutador Q electroóptico o un conmutador Q acustoóptico. El elemento 409 de conversión no lineal convierte el primer haz 421 y el segundo haz 422 generando un haz convertido que tiene una frecuencia, que es la suma o la diferencia entre la primera frecuencia y la segunda frecuencia o los armónicos de las frecuencias primera y segunda. La salida del elemento de conversión no lineal también puede contener varias líneas de láser, es decir varios haces de diferentes longitudes de onda/frecuencias.

40 El haz de luz convertido, y si se desea también los haces primero y segundo, se emiten a través del espejo M43 de salida común, que tiene preferiblemente un recubrimiento antirreflectante para emitir la longitud de onda/frecuencias deseadas. Una parte 412 de realimentación de la salida 413 se realimenta a través de un divisor 410 de haz, por ejemplo, a un fotodiodo o a un medidor 411 de potencia. La señal detectada se procesa mediante un sistema de regulación o microprocesador 414, que controla la primera fuente 402 de bombeo y/o la segunda fuente 403 de bombeo. Las fuentes 402, 403 de bombeo regulan a su vez los tiempos de acumulación de impulsos para los elementos 406 y 407 de láser, ya que el tiempo de acumulación de impulsos depende de la intensidad de la luz de bombeo. Dado que la señal convertida es una medida directa de la eficiencia del solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 421 y el segundo haz 422, la señal detectada por el fotodiodo 411 puede usarse para regular la salida de intensidad de la primera fuente 402 de bombeo y/o la segunda fuente 403 de bombeo, y de ese modo los tiempos de acumulación correspondientes de los impulsos de láser individuales. De ese modo, es posible optimizar el solapamiento de impulsos entre los impulsos del primer haz 421 y el segundo haz 422 variando la intensidad de bombeo y encontrando la salida máxima de la señal 412 de realimentación.

55 El elemento 409 de conversión no lineal también puede colocarse después del espejo M43 de salida común. Si el sistema de láser es, por ejemplo, un sistema de láser de múltiples líneas que emite únicamente haces de láser de la primera frecuencia y la segunda frecuencia, el elemento 409 de conversión no lineal puede colocarse en la trayectoria del haz 412 de realimentación, usando de ese modo únicamente el elemento de conversión no lineal para su utilización en la regulación de realimentación.

60 La figura 5 muestra una quinta realización del sistema de láser según la invención, en el que números de referencia similares se refieren a partes similares de la cuarta realización. Por tanto, sólo se describe la diferencia entre las dos realizaciones. La quinta realización sólo difiere de la cuarta realización en que comprende dos conmutadores Q independientes. Un primer conmutador 517 Q está dispuesto en la primera trayectoria 521 de haz junto al primer elemento 506 de láser. Un segundo conmutador 518 Q está dispuesto en la primera trayectoria 522 de haz junto al primer elemento 507 de láser.

65 La figura 6 muestra una ilustración esquemática de la funcionalidad del sistema de regulación de realimentación. Tal

como se describió en las cinco realizaciones anteriores, se usa una primera fuente 602 de bombeo para generar un primer haz que tiene una primera frecuencia f_1 , y se usa una segunda fuente 603 de bombeo para generar un segundo haz que tiene una segunda frecuencia f_2 . Se usa un elemento 609 de conversión no lineal para generar un haz convertido que tiene una tercera frecuencia f_3 . Al menos una parte de este haz se detecta mediante un fotodiodo o un medidor 611 de potencia.

El sistema 614 de regulación de realimentación funciona dejando que la primera fuente 602 de bombeo regule el efecto de salida del haz convertido resultante, y la segunda fuente 603 de bombeo tiene que realizar una rutina de optimización con el fin de maximizar el efecto de salida del haz convertido para el efecto elegido de la primera fuente 602 de bombeo. La regulación del sistema funciona comparando 634 la señal detectada con una señal 633 de referencia. Una señal 635 de error resultante, que es la diferencia entre la señal detectada y la señal 633 de referencia se alimenta a un sistema 631 de control, que, basándose en la señal 635 de error, genera una señal 636 de control, que a su vez regula la potencia de salida de la primera fuente 602 de bombeo. Basándose en el punto de ajuste elegido para la primera fuente 602 de bombeo, el sistema de realimentación usa la señal detectada para realizar una optimización usando un sistema 632 de optimización con el fin de generar una señal 637 de control, que a su vez regula la potencia de salida de la segunda fuente 603 de bombeo.

Con el fin de que el sistema 614 de regulación no se vuelva inestable debido a la rutina de optimización, la rutina de optimización tiene que realizarse más frecuentemente que la rutina de regulación. De ese modo, también es posible calcular el promedio de la contribución de la optimización.

La figura 7 muestra un ejemplo sobre cómo puede manifestarse la eficiencia de conversión η a partir del solapamiento de impulsos de los dos haces de láser en función de la potencia de bombeo P_1 de la primera fuente 602 de bombeo y la potencia de bombeo P_2 de la segunda fuente 603 de bombeo. Tal como se indica en la figura 7 la regulación de la potencia de salida del haz convertido será una función lineal a lo largo de un gran intervalo para la potencia de bombeo de las fuentes 602, 603 de bombeo.

La figura 8 muestra la eficiencia de conversión η en función de la potencia de bombeo P_2 de la segunda fuente 603 de bombeo para un punto de ajuste dado, es decir una potencia de bombeo P_1 fija de la primera fuente 602 de bombeo establecida mediante la rutina de regulación. El gráfico muestra que la eficiencia de conversión tiene una dependencia de tipo gaussiana o en forma de campana con respecto a la potencia de bombeo P_2 de la segunda fuente de bombeo. Con el fin de optimizar el sistema, se ejecuta la rutina de optimización usando el sistema 632 de optimización con el fin de encontrar el vértice del gráfico o, dicho de otro modo, maximizar la eficiencia de conversión η regulando la potencia de bombeo P_2 de la segunda fuente 603 de bombeo.

Las figuras 9a-f muestran varias medidas, que demuestran la relación entre la intensidad de bombeo y el solapamiento de impulsos. Durante las mediciones la primera fuente de bombeo (un primer diodo láser para un láser de 1319 nm) se accionó con una corriente constante, mientras que se hizo variar la corriente de la segunda fuente de bombeo (un segundo diodo láser para un láser de 1064 nm). La figura 9a muestra la potencia de salida de frecuencia suma en unidades arbitrarias en función de la corriente de la segunda fuente de bombeo. La potencia de bombeo es linealmente proporcional a la corriente. Tal como se observa a partir de las medidas y el ajuste de curva mostrado, la potencia de salida de frecuencia suma muestra una relación casi gaussiana con la corriente de bombeo (o potencia). Las figuras 9b-f muestran perfiles de oscilador a partir de las mediciones con la frecuencia representada en el eje de las x (en unidades arbitrarias) y la salida de potencia del láser de 1064 nm (marcado con el número de referencia 50) y la salida de potencia del de 1319 nm (marcado con el número de referencia 60) en el eje de las y, respectivamente. La potencia de salida de frecuencia suma correspondiente se muestra en la esquina superior derecha de las figuras individuales. Las mediciones muestran claramente que la potencia de salida de frecuencia suma se ve altamente afectada por la corriente de la fuente de bombeo con una relación no lineal. La figura 9c muestra adicionalmente efectos indirectos de los impulsos de 1319 nm a los impulsos de 1064 nm. Los efectos indirectos son artefactos de detección, que puede observarse que no afectan a la potencia de salida de frecuencia suma.

La invención se ha descrito con referencia a una realización preferida. Sin embargo, el alcance de la invención no se limita a la realización ilustrada, y pueden llevarse a cabo alteraciones y modificaciones sin desviarse de dicho alcance de la invención. Por ejemplo, no se necesita que los resonadores de láser individuales tengan un eje de propagación intracavidad coincidente, y en vez de eso los haces individuales pueden convertirse fuera del resonador o en un punto en el que los resonadores individuales se cruzan entre sí.

Lista de números de referencia

En los números, X indica un número, y x se refiere a una realización particular. Por tanto, por ejemplo 403 se refiere a la segunda fuente de bombeo de la cuarta realización.

x01 sistema de láser

x02 primera fuente de bombeo

ES 2 683 332 T3

	x03 segunda fuente de bombeo
5	x04 primera lente de enfoque
	x05 segunda lente de enfoque
	x06 primer elemento de ganancia / cristal de láser
10	x07 segundo elemento de ganancia / cristal de láser
	x08 conmutador Q
	x09 elemento de conversión no lineal / cristal no lineal
15	x10 espejo parcialmente reflectante
	x11 fotodetector / medidor de potencia
20	x12 realimentación
	x13 salida
	x14 circuito de regulación de realimentación / microprocesador
25	x15 salida
	x16 medios de combinación de haces
30	x17 primer conmutador Q
	x18 segundo conmutador Q
	x21 primer haz
35	x22 segundo haz
	x31 sistema de control
40	x32 sistema de optimización
	x33 señal de referencia
	x34 medios de comparación
45	x35 señal de error
	x36 señal de control
50	x37 señal de control
	MX espejo
	FX frecuencia
55	

REIVINDICACIONES

1. Sistema (x01) de láser que comprende:
 - 5 - medios (x02, x03) de generación de bombeo para generar al menos un primer y un segundo haces de bombeo, preferiblemente enfocados, los medios (x02, x03) de generación de bombeo comprenden al menos una primera fuente (x02) de bombeo para generar el primer haz (x21), y una segunda fuente (x03) de bombeo para generar el segundo haz (x22),
 - 10 - medios (x06, x07) de emisión de láser para emitir radiación al bombearse de manera apropiada,
 - estando dichos medios (x06, x07) de emisión de láser dispuestos en un primer resonador para recibir el primer haz de bombeo con el fin de generar un primer haz (x21) que tiene una primera frecuencia, y
 - 15 - estando dichos medios (x06, x07) de emisión de láser dispuestos en un segundo resonador para recibir el segundo haz de bombeo con el fin de generar un segundo haz (x22) que tiene una segunda frecuencia,
 - estando al menos un conmutador (x08; x17, x18) Q dispuesto en los resonadores primero y segundo, de modo que el primer haz y el segundo haz pasan ambos por un conmutador (x08; x17, x18) Q, y
 - 20 - teniendo dicho sistema (x01) de láser una salida (x13) generada a partir de dicho primer haz (x21) y dicho segundo haz (x22),
 - 25 caracterizado porque al menos una parte de dicha salida (x13) se realimenta a un sistema (x14) de regulación que comprende un comparador (x34), un sistema (x31) de control y un sistema (x32) de optimización, y en el que el comparador está adaptado para comparar dicha parte de dicha salida con una señal (x33) de referencia y de ese modo proporcionar una señal (x35) de error resultante al sistema (x31) de control, y en el que el sistema (x31) de control está adaptado para proporcionar una primera señal (x36) de control a la primera fuente (x02) de bombeo basándose en dicha señal (x35) de error para controlar la salida de intensidad de la primera fuente (x02) de bombeo, y en el que, basándose en el punto de ajuste elegido para la primera fuente de bombeo, el sistema (x32) de optimización está adaptado para proporcionar una segunda señal (x37) de control, para controlar a su vez la salida de intensidad de la segunda fuente (x03) de bombeo, regulando así el tiempo de acumulación de impulsos de láser individuales del primer haz (x21) y segundo haz (x22), respectivamente.
2. Sistema de láser según la reivindicación 1, en el que dicho al menos un conmutador (x08; x17, x18) Q es un conmutador Q activo, tal como un conmutador Q electroóptico o acustoóptico.
- 40 3. Sistema de láser según la reivindicación 1 ó 2, en el que dicho al menos un conmutador (x08; x17, x18) Q está dispuesto tanto en el primer resonador como en el segundo resonador, de modo que el primer haz (x21) y el segundo haz (x22) pasan ambos por el mismo conmutador Q.
- 45 4. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que los medios (x02, x03) de bombeo son una fuente de bombeo individual, tal como un diodo láser.
5. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que los medios (x02, x03) de bombeo comprenden al menos una primera fuente (x02) de bombeo, tal como un primer diodo láser, para generar el primer haz de bombeo, y una segunda fuente (x03) de bombeo, tal como un segundo diodo láser, para generar el segundo haz de bombeo.
- 50 6. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que los medios (x06, x07) de emisión de láser son un elemento de ganancia o elemento de láser individual.
- 55 7. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que los medios (x06, x07) de emisión de láser comprenden al menos un primer elemento de ganancia o elemento (x06) de emisión de láser para generar dicho primer haz (x21), y un segundo elemento de ganancia o elemento (x07) de láser para generar dicho segundo haz (x22).
- 60 8. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho primer resonador y dicho segundo resonador tienen un eje de propagación óptica intracavidad coincidente.
9. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho primer resonador y dicho segundo resonador son cavidades de resonador lineales y/o cavidades de resonador de anillo.
- 65 10. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que tanto dicho primer

resonador como dicho segundo resonador son cavidades de resonador de anillo.

- 5
11. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el primer resonador y el segundo resonador tienen un espejo de salida común.
12. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema comprende adicionalmente un elemento (x09) de conversión no lineal.
- 10
13. Sistema de láser según las reivindicaciones 8 y 12 o las reivindicaciones 8, 12 y cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que el elemento (x09) de conversión no lineal está situado en el eje de propagación óptica intracavidad coincidente.
14. Sistema de láser según las reivindicaciones 11 y 12, en el que el elemento (x09) de conversión no lineal está situado después del espejo de salida común.
- 15
15. Sistema de láser según la reivindicación 12, en el que el elemento (x09) de conversión no lineal está situado en la primera cavidad pero fuera de la segunda cavidad.
- 20
16. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 12-15, en el que al menos una parte de la salida del elemento (x09) de conversión no lineal se realimenta al sistema (x14) de regulación.
17. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema de láser comprende dos o más conmutadores (x17, x18) Q.
- 25
18. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la salida (x13) del sistema de láser es un haz convertido no lineal.
- 30
19. Sistema de láser según cualquiera de las reivindicaciones 1-18, en el que la salida (x13) del sistema tiene múltiples frecuencias o líneas de láser.

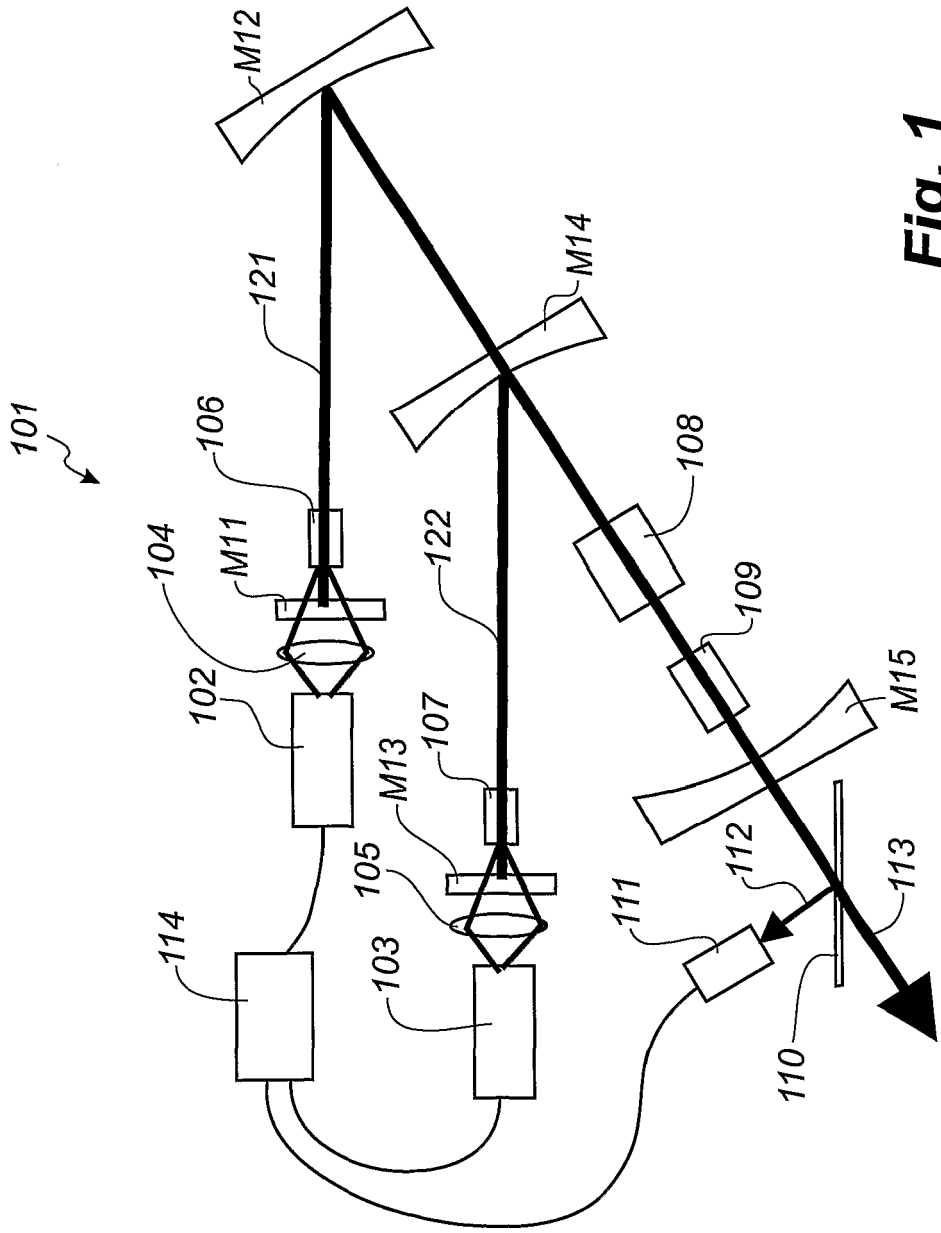


Fig. 1

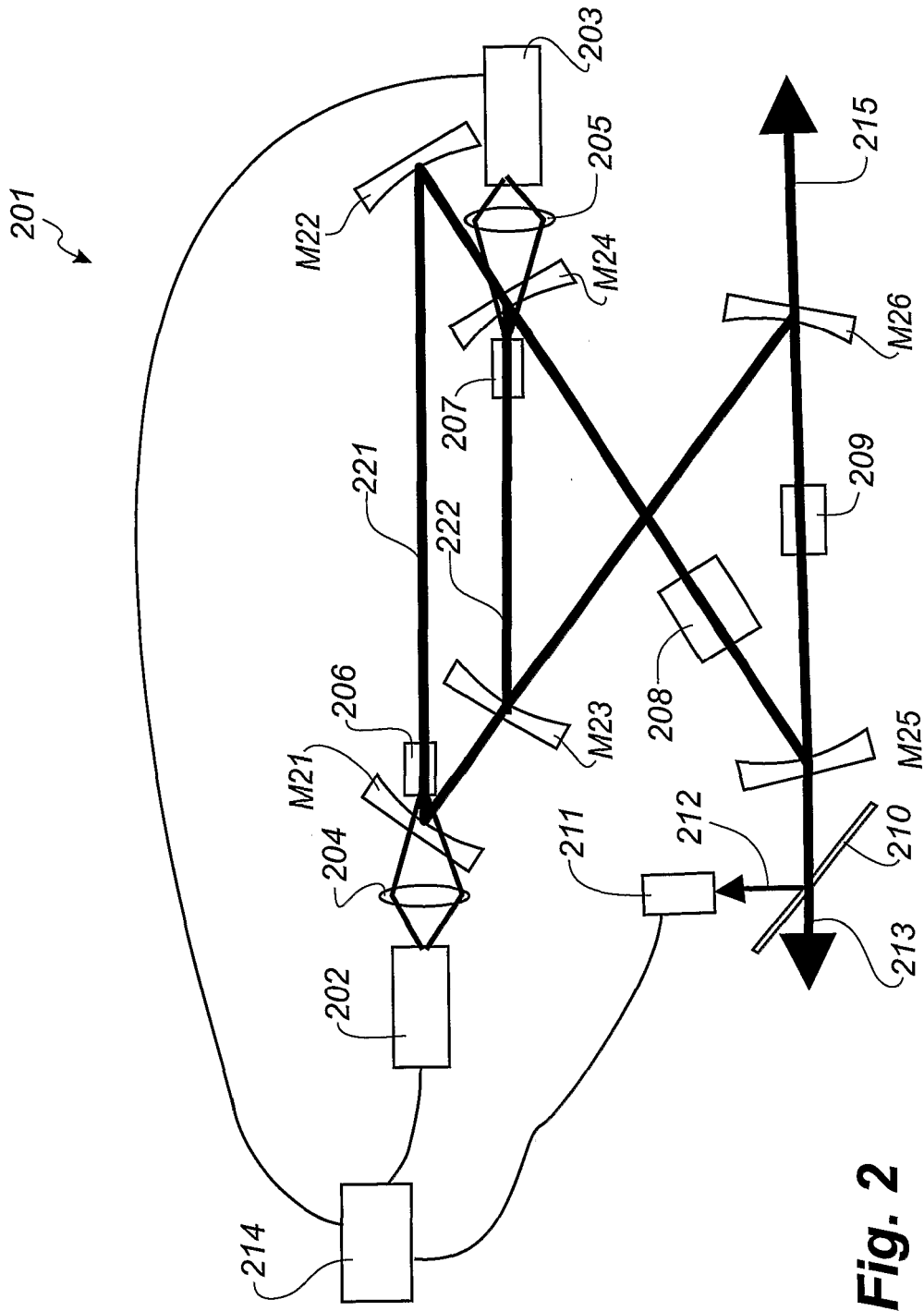


Fig. 2

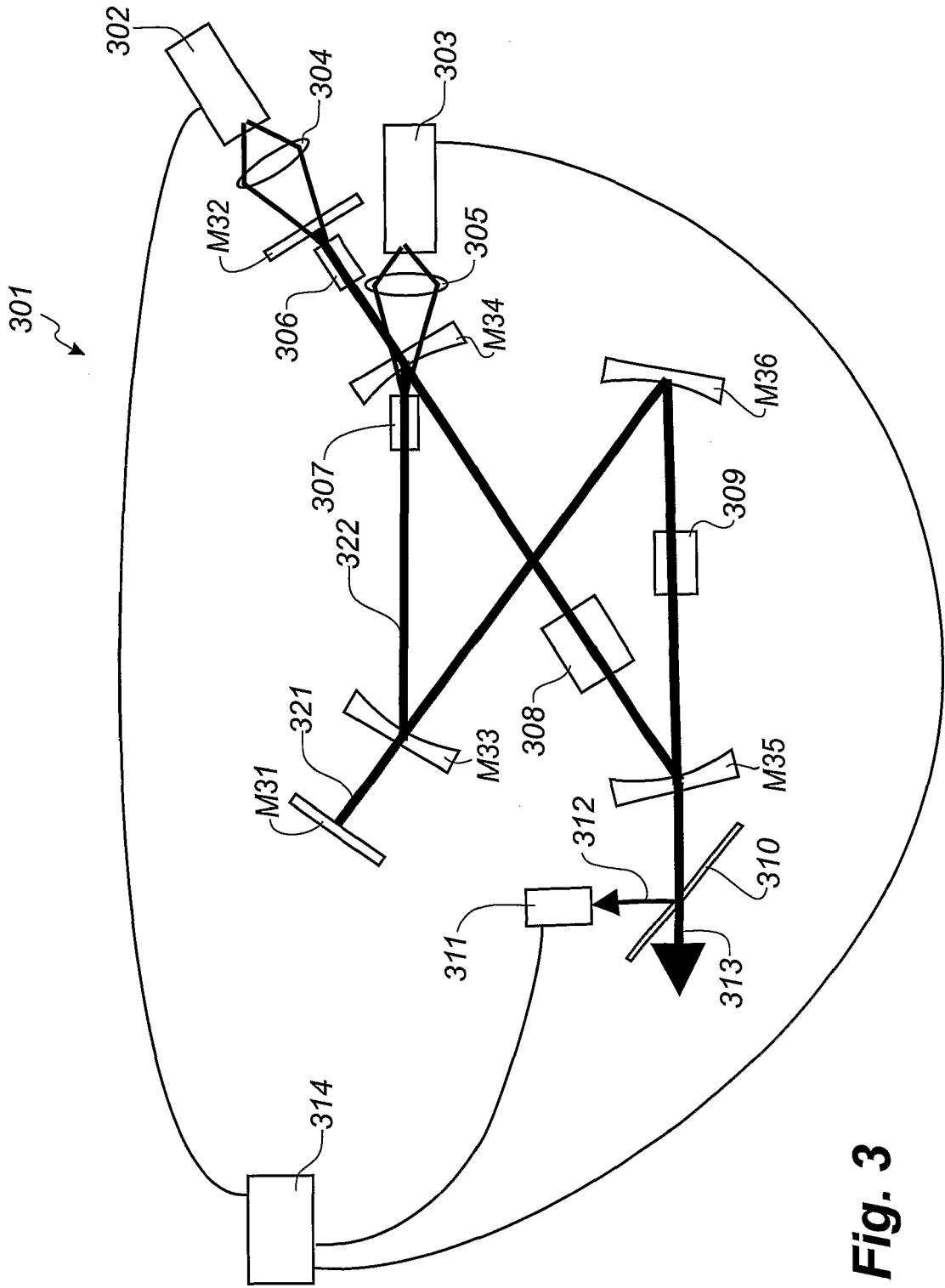


Fig. 3

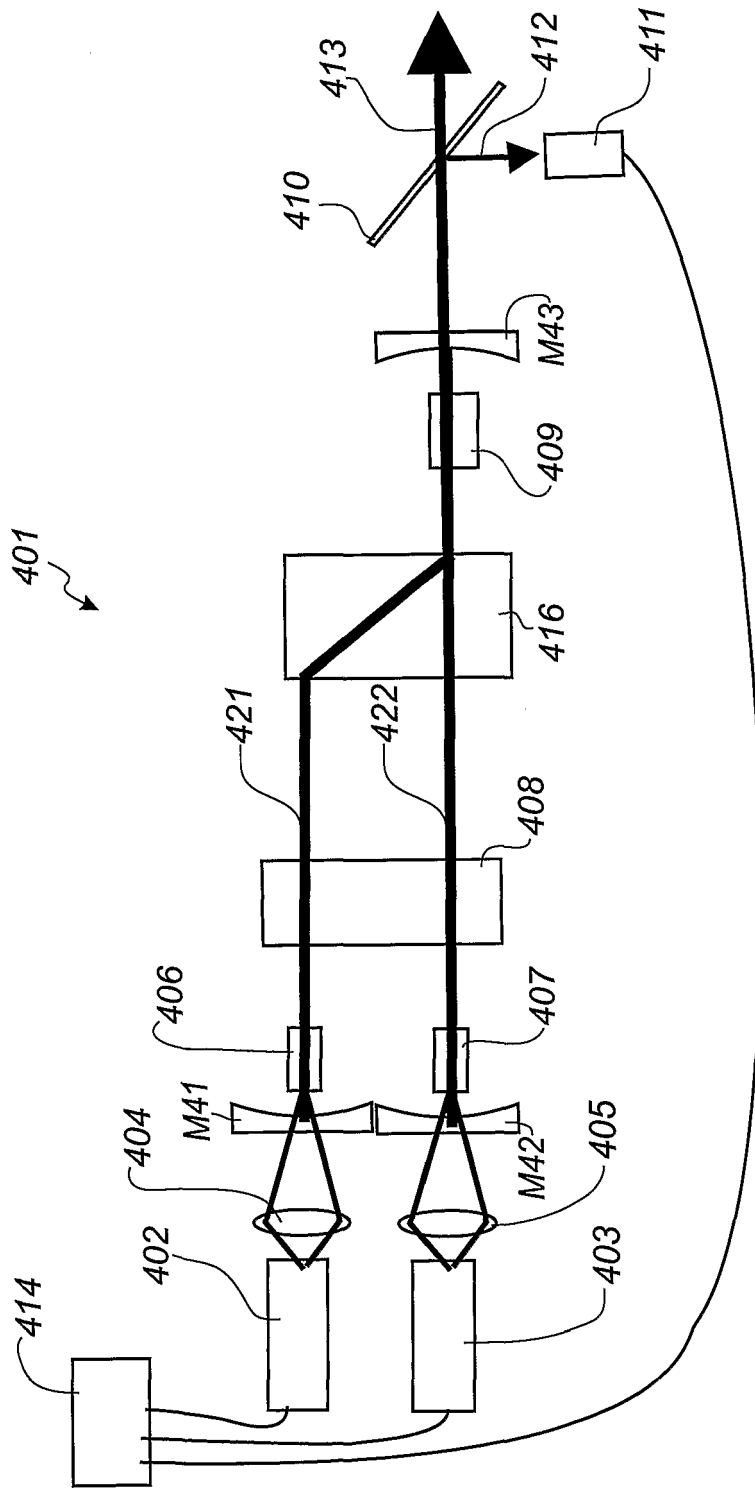


Fig. 4

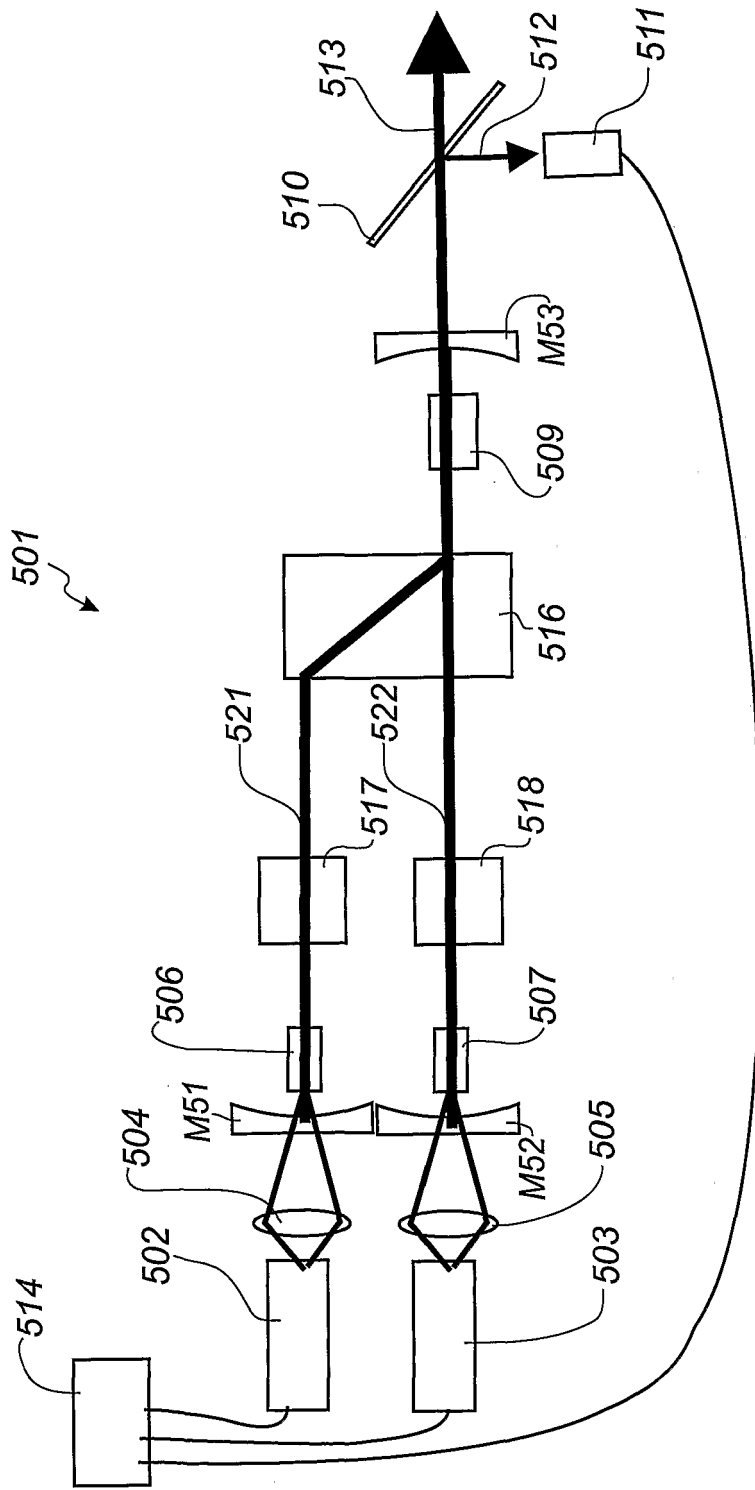


Fig. 5

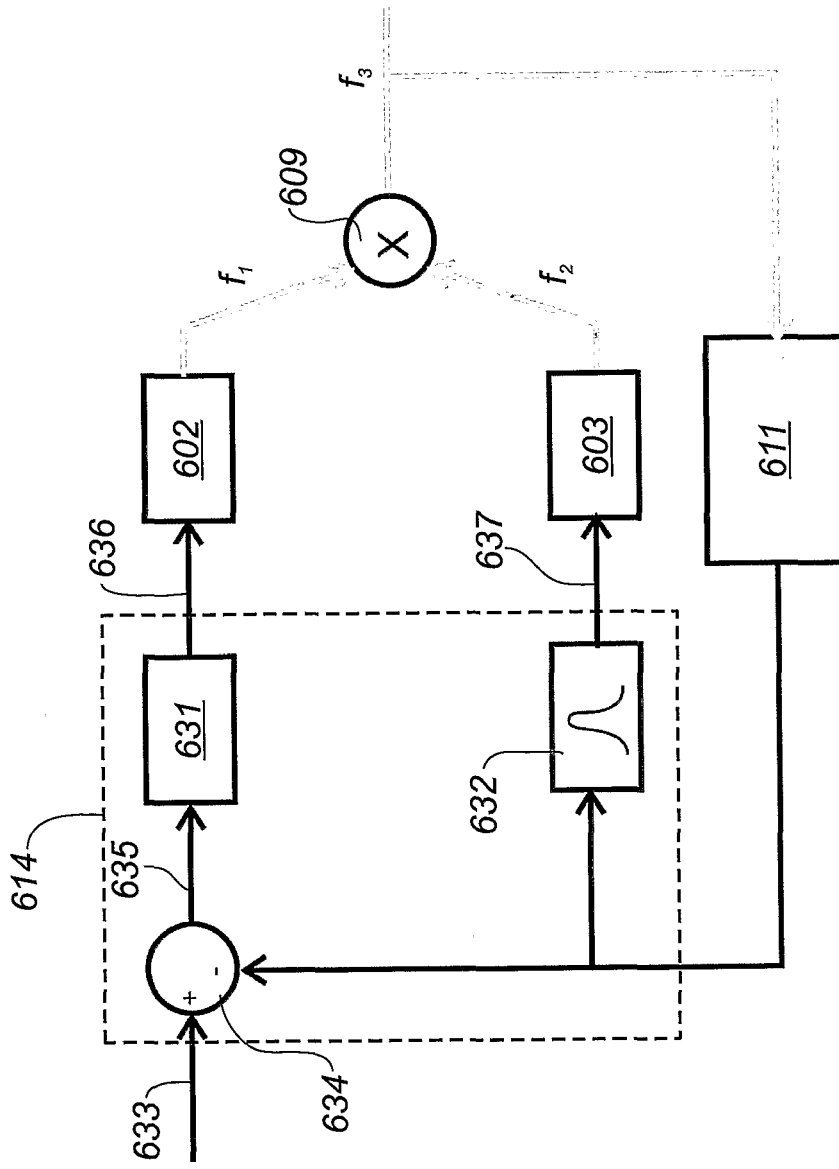


Fig. 6

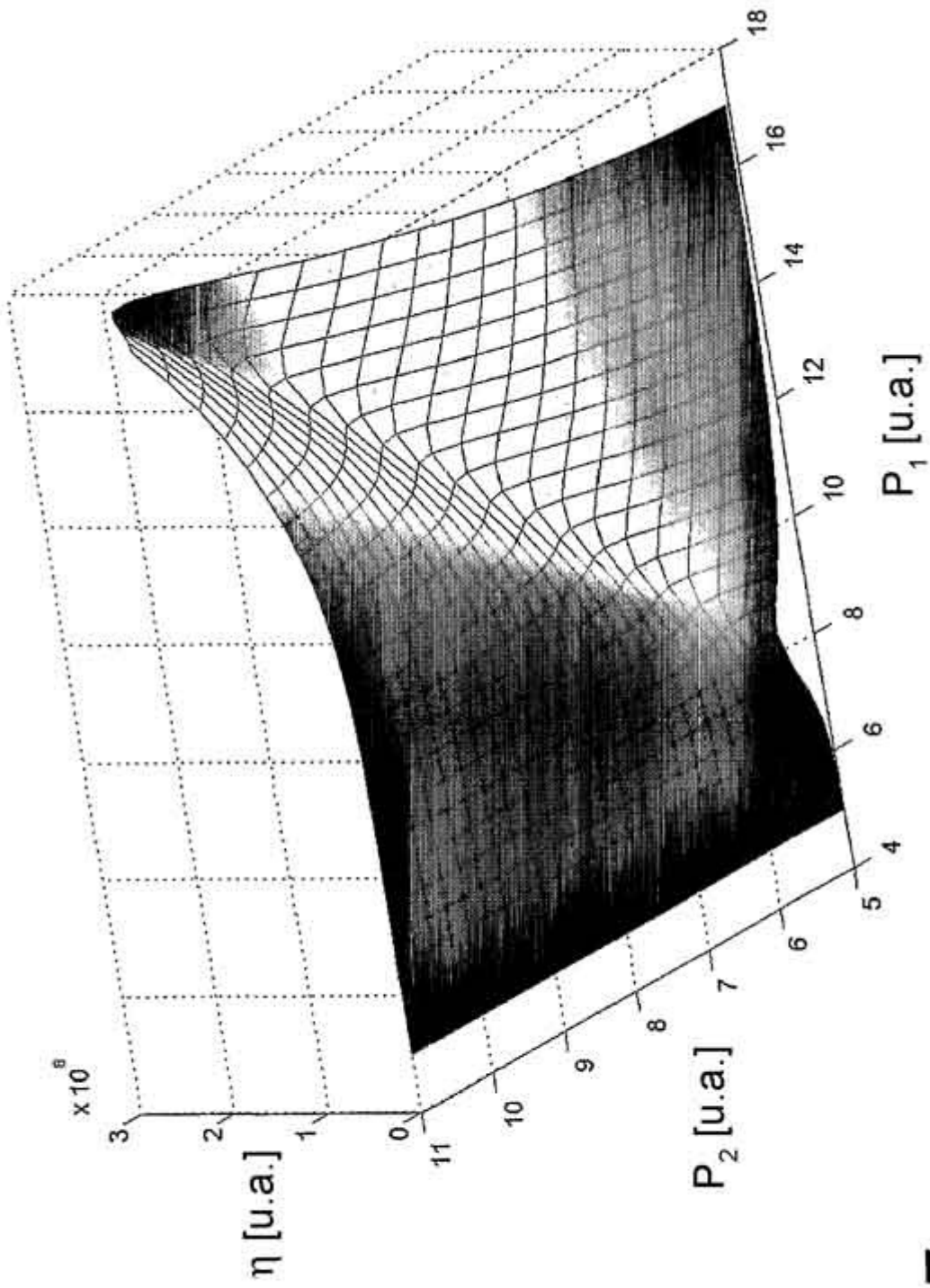


Fig. 7

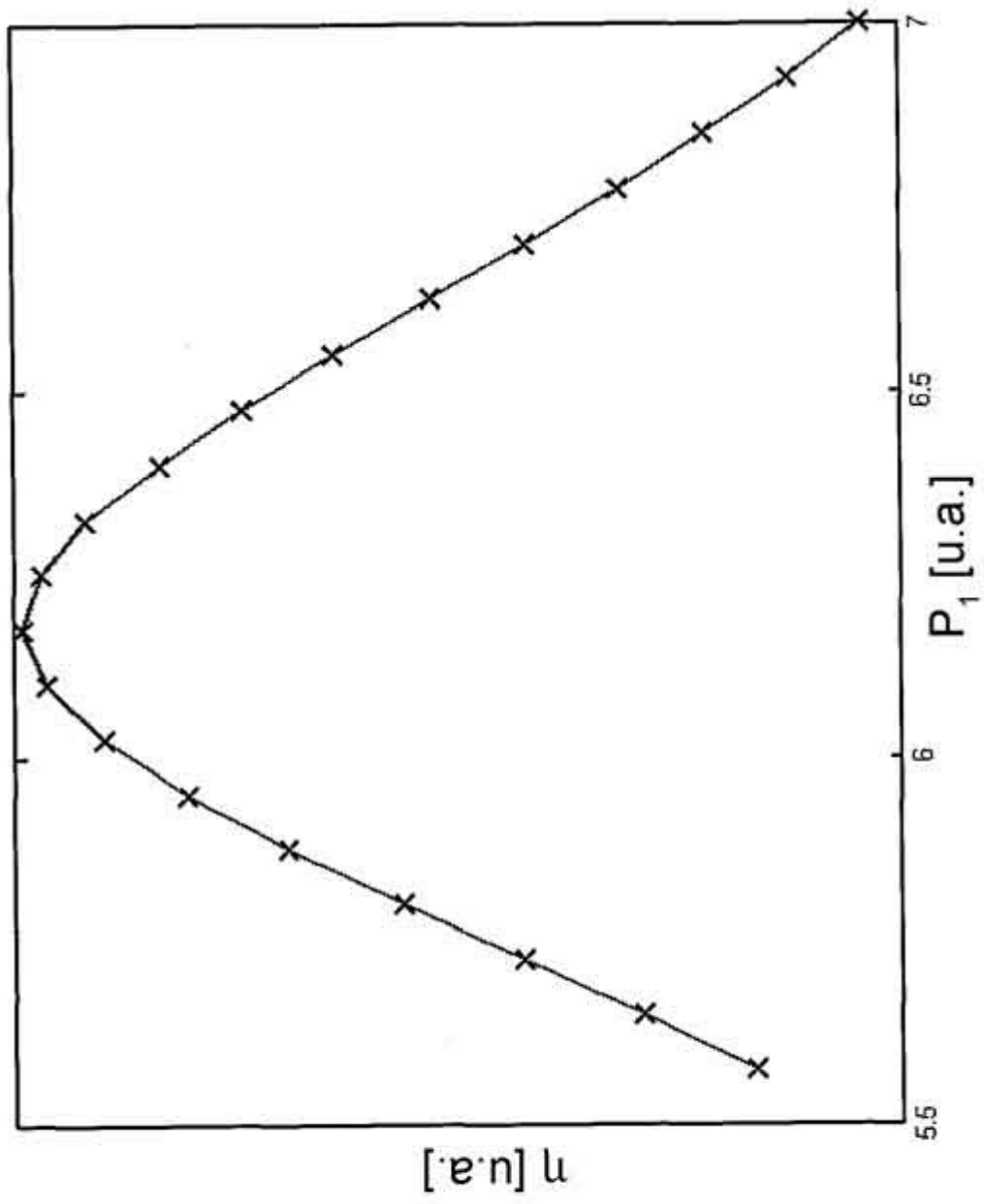


Fig. 8

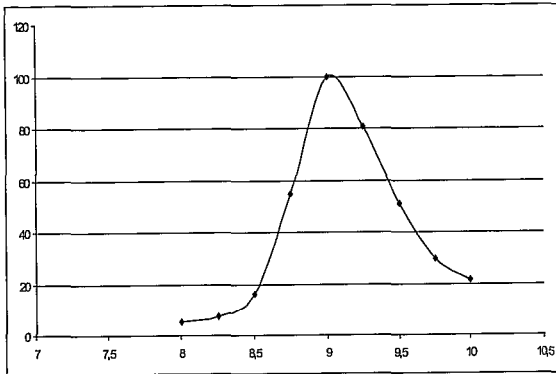


Fig. 9a

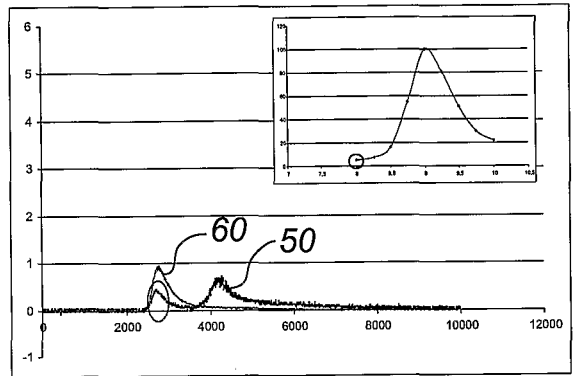


Fig. 9b

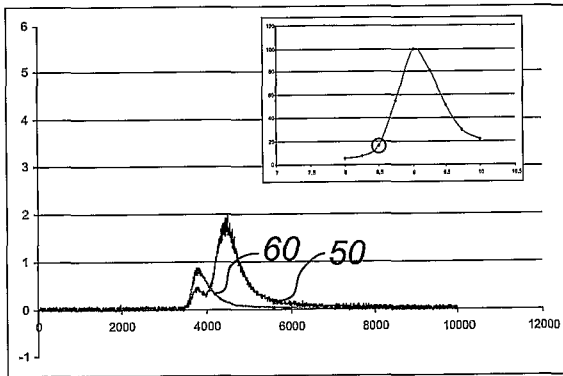


Fig. 9c

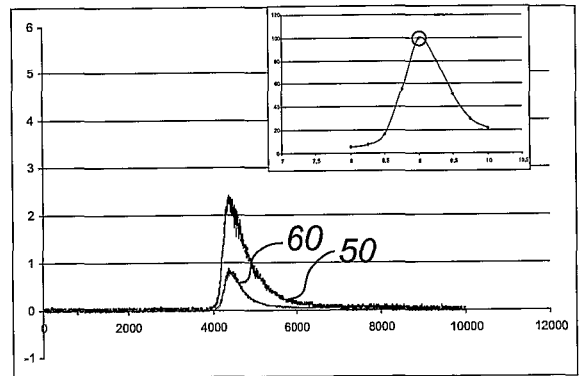


Fig. 9d

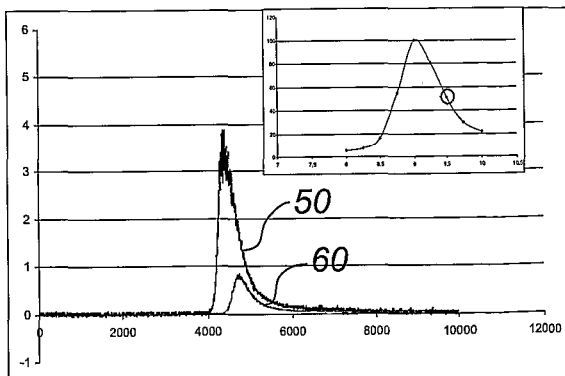


Fig. 9e

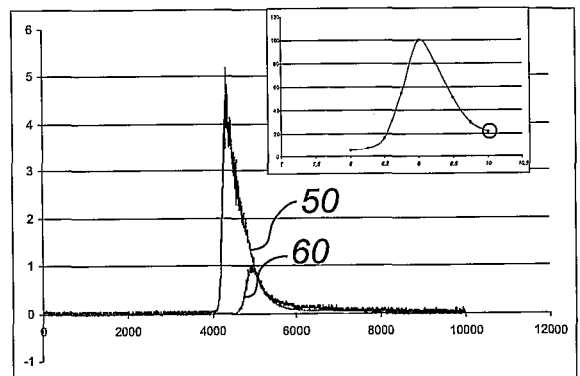


Fig. 9f