

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 248**

51 Int. Cl.:

G01J 1/42 (2006.01)

G01J 9/00 (2006.01)

B23K 26/06 (2014.01)

B23K 26/08 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.11.2009 PCT/EP2009/008001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.05.2011 WO11054367**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.11.2009 E 09756255 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2499473**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el examen de distorsiones del frente de onda dinámicas de un sistema láser**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.11.2017

73 Titular/es:
**WAVELIGHT GMBH (100.0%)
Am Wolfsmantel 5
91058 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:
**FÖSEL, MATTHIAS;
KITTELMANN, OLAF y
VOGLER, KLAUS**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 640 248 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

Procedimiento y dispositivo para el examen de distorsiones del frente de onda dinámicas de un sistema láser

5 La invención trata del examen de un sistema láser para detectar distorsiones del frente de ondas que pueden ser provocadas por procesos de regulación dinámicos dentro del sistema láser. Los sistemas láser aquí considerados sirven para el procesamiento de material, pudiendo ser el material a tratar de cualquier naturaleza. Además de materia muerta también son posibles materiales biológicos que se pueden tratar con un sistema láser del tipo aquí considerado. Un material biológico puede ser, por ejemplo, un tejido de ojo humano, por ejemplo, un tejido corneal o un tejido lenticular.

10 En el tratamiento por la técnica de láser de materiales se están imponiendo cada vez más los así llamados sistemas láser de femtosegundos (abreviado sistema láser Fs). Esto se refiere especialmente al tratamiento de materiales que en la gama espectral visible son transparentes. Los sistemas láser Fs trabajan con rayos láser enfocados pulsados, cuya duración de pulso es del orden de femtosegundos. Los sistemas láser Fs son especialmente apropiados para la producción de cortes en la profundidad del material a tratar. Se entiende que el material debe ser en este caso
15 transparente para los rayos láser. Con un enfoque correspondientemente intenso de los rayos láser, la potencia del láser se puede acoplar dentro del interior del material a tratar sin que las zonas de material atravesadas por los rayos y situados por encima del punto de enfoque sufran daños. El proceso que se produce en el punto de enfoque se define como fotodisrupción. En el punto de enfoque se sobrepasa, debido a la radiación altamente intensa, el umbral para la creación de un microplasma; se produce la evaporación de una esfera de material con un diámetro de, por ejemplo, 1 μm aproximadamente. Como consecuencia, se produce una microburbuja con un diámetro de, por ejemplo, 5 a 12 μm que separa el material que lo rodea y que a continuación se difunde por completo en el entorno.

Debido al tiempo de acción extremadamente breve por pulso de femtosegundo no se puede producir una conducción de calor (al menos ninguna de importancia) a las zonas de material del entorno. Después de la
25 disipación del plasma, toda la energía activa así como el calor se vuelve a separar fundamentalmente por completo del lugar del foco. El proceso elemental utilizado en el tratamiento de materiales transparentes mediante rayos láser Fs se define con frecuencia también como rotura óptica inducida por láser. El estado de la técnica se conoce por S. Konorov et al.: "Third-harmonic generation as a local probe for on-line monitoring of femtosecond optical breakdown in transparent materials", JOURNAL OF OPTICS. A: PURE AND APPLIED OPTICS, Bd. 5, nº 4,1. Julio 2003, páginas 362-366 y Miyagawa et al.: "Measurement and calculation of laser beam spot distortion caused by dynamic deformation of scanning mirror", OPTICAL MEMS AND THEIR APPLICATIONS CONFERENCE, 2005. IEEE/LEOS
30 INTERNATIONAL CONFERENCE ON OULU, FINLANDIA AGOSTO 1-4, 2005, páginas 137-138. Los sistemas láser tradicionales están dotados de elementos de desviación apropiados (denominados normalmente escáner) que permiten un control local al menos transversal, especialmente también longitudinal, del punto de enfoque. Longitudinal define aquí una dirección a lo largo de la trayectoria de los rayos láser, mientras que transversal define una dirección en un plano perpendicular respecto a la misma. Una notación habitual en el sector especializado describe el plano transversal como plano x,y y la dirección longitudinal como dirección z. Si se dispone mediante el correspondiente control de los elementos de desviación un número suficiente de espacios huecos creados por la descarga de plasma antes citada, por ejemplo, varios cientos o incluso varios miles, en la forma tridimensional deseada, unos al lado de otros, se produce un corte en el material a tratar. De este modo se puede crear
40 prácticamente cualquier número de figuras de corte.

También se puede entender sin más que, por ejemplo, en caso de tratamientos oculares existan las máximas exigencias en cuanto a la precisión de corte. Con esta finalidad se requiere un punto de enfoque extremadamente preciso de los rayos láser Fs y una alta intensidad punta. Se ha demostrado que durante la exploración de los rayos láser (es decir, en caso de desplazamiento transversal y/o longitudinal del punto de enfoque en función de la figura de corte a conseguir), se pueden producir mermas en la capacidad de enfoque de los rayos láser. También se ha comprobado que estas mermas pueden ser provocadas por deformaciones debidas a la inercia de la masa de los componentes ópticos que se regulan en el transcurso del proceso de exploración. Los breves tiempos de tratamiento que se suelen desear exigen elevadas velocidades de regulación de los componentes de desviación empleados para el control local transversal o longitudinal del punto de enfoque. La inercia de masa de los componentes de desviación puede dar lugar con estas velocidades de regulación a deformaciones no deseadas que ejercen una influencia significativa en la calidad del frente de onda de los rayos láser. Estas deformaciones han de temerse especialmente cuando los componentes de desviación se regulan rápidamente de forma oscilante (es decir, vaivén). Así se puede comprobar, por ejemplo, para los espejos de escáner usuales, como los que se emplean frecuentemente para el control transversal del enfoque, una deformación nada despreciable de las superficies, especialmente en la zona de los bordes de los espejos. Estas deformaciones provocan que un frente de onda plano que incide se convierta en un frente de onda más o menos distorsionado. Estas distorsiones empeoran la posibilidad de enfoque en el plano de tratamiento y reducen por consiguiente la precisión de corte. Las distorsiones de los frentes de onda pueden tener además su origen en la propia fuente del láser.

La tarea de la invención consiste en registrar mediante técnica de medición distorsiones de frente de onda dinámicas de los rayos láser de un sistema láser, a fin de comprobar así la calidad de radiación y la capacidad de enfoque de los rayos.

Para resolver esta tarea, la invención prevé, de acuerdo con un punto de vista, un procedimiento para el examen de un sistema láser que proporciona un rayo láser enfocado y que presenta un dispositivo de desviación controlable para el control local transversal o/y longitudinal del enfoque del rayo, comprendiendo el procedimiento:

- 5 - una orientación del rayo láser o de un rayo parcial desviado del mismo detrás del dispositivo de desviación a un medio ópticamente-no lineal para la generación de una radiación de frecuencia multiplicada, cuya longitud de onda corresponde a una armónica impar mayor de la longitud de onda del rayo láser,
- una activación del dispositivo de desviación,
- una medición de una potencia de la radiación de frecuencia multiplicada al activar el dispositivo de desviación.

10 La invención revela la posibilidad de utilizar para el examen de la capacidad de enfoque de los rayos láser escaneados, procesos cuya eficacia depende de la intensidad de la radiación láser aplicada. Los espectros de frecuencias no lineales cumplen este requisito. Si fuera necesario comprobar las variaciones dinámicas de la calidad de radiación durante la exploración transversal de los rayos láser, otro requisito consiste en que la eficacia del proceso no debe depender (o al menos no fundamentalmente) de la dirección de la radiación láser aplicada (que puede variar en función de la posición de enfoque transversal). Para ello se recomiendan procesos de multiplicación de orden impar (tercer orden, quinto orden, séptimo orden, etc.) en medios isotrópicos. No obstante, dado que con un orden más alto es necesario contar con un descenso de la eficacia de conversión, en el marco de la invención se prefiere el proceso de triplicado.

15 En cambio, una mezcla de 3 ondas (duplicación de frecuencia) en un cristal ópticamente no lineal no resulta adecuada para el examen de una radiación láser escaneada transversalmente. Una mezcla de 3 ondas como ésta requiere por regla general un medio anisótropo, dependiendo la eficacia de conversión en gran medida de la dirección de los rayos (ajuste de fases). Dado que durante el escaneado la dirección de los rayos varía en mayor o menor medida, esto se superpondría y falsearía el resultado de la medición.

20 En el caso del triplicado de frecuencia, la intensidad de la radiación de frecuencia triplicada (en adelante abreviado radiación THG; Third Harmonic Generation) depende cúbicamente de la intensidad de la radiación incidente. Por consiguiente, la eficacia de este proceso depende de la intensidad máxima de la radiación aplicada al medio no lineal que, por su parte, depende de la calidad espacial (diámetro de cintura, desarrollo del frente de onda) y de la calidad temporal (tiempo del envolvente del pulso, es decir, duración del pulso) de la radiación. Por este motivo, siempre que sea posible excluir otros parámetros de influencia, una variación temporal en la potencia de la radiación THG puede atribuirse a un cambio en la capacidad de enfoque de la radiación láser aplicada. Una variación como ésta en la capacidad de enfoque puede ser causada, por ejemplo, por un cambio dinámico del desarrollo del frente de onda de la radiación láser aplicada.

25 En una configuración preferida, la señal THG medida (potencia medida de la radiación de frecuencia triplicada) se registra como función del tiempo o/y como función de la posición del escáner. Esto permite detectar la capacidad de enfoque del rayo láser dinámicamente, por decirlo así, en tiempo real y sin destruir ningún objeto de prueba, como función de la posición del escáner. En este caso, la posición del escáner identifica el ajuste de los componentes de desviación necesario para una regulación del enfoque del rayo en una posición transversal o/y longitudinal determinada.

30 Para la realización del examen, el medio no lineal se dispone convenientemente de manera que el rayo láser o el rayo parcial desviado del mismo se enfoque en el medio no lineal. El medio no lineal puede ser, por ejemplo, un cristal, aunque también es posible imaginar otros materiales como polímeros o vidrio.

35 La medición de potencia de la radiación de frecuencia multiplicada se realiza mientras que el dispositivo de desviación está activo, es decir, mientras el rayo láser se escanea en dirección transversal o/y longitudinal. Preferentemente, la activación del dispositivo de desviación comprende un ajuste oscilante de al menos un componente de desviación del dispositivo de desviación. El comportamiento dinámico del frente de onda de la radiación láser puede variar según la frecuencia de oscilación o la carrera de oscilación. En especial puede ser que las distorsiones del frente de onda sean más fuertes cuanto mayor sea la frecuencia de oscilación o cuanto mayor sea la carrera de oscilación. Por consiguiente, la activación del dispositivo de desviación comprende preferiblemente una modificación de la frecuencia de oscilación o/y de la carrera de oscilación del al menos un componente de desviación. De este modo es posible detectar el comportamiento dinámico de las distorsiones del frente de onda en función de la frecuencia de oscilación o/y de la carrera de oscilación.

40 El dispositivo de desviación se puede componer de varios componentes de desviación (por ejemplo, espejo de escáner) que permiten respectivamente sólo una desviación parcial, por ejemplo, sólo en una dirección. Cada uno de estos componentes de desviación puede influir de distinta forma en la dinámica de las distorsiones del frente de onda durante el escaneado del rayo láser. Por este motivo resulta conveniente determinar no sólo la influencia dinámica del dispositivo de desviación en su totalidad en la capacidad de enfoque del rayo láser, sino también la influencia dinámica de cada componente de desviación por separado. Especialmente a estos efectos la activación del dispositivo de desviación puede incluir una variación de un modelo de activación del dispositivo de desviación, correspondiendo cada modelo de activación a otra figura móvil del enfoque del rayo. Por ejemplo, un primer modelo de activación puede corresponder a un movimiento lineal transversal (escaneado lineal) del enfoque de rayo que sólo se obtiene mediante la activación oscilante de un primer componente de desviación. Un segundo modelo de

activación puede corresponder a un escaneado lineal igualmente transversal que, sin embargo, se desarrolla perpendicularmente al escaneado lineal del primer modelo de activación y que sólo se obtiene por medio de un segundo componente de desviación.

5 Un tercer modelo de desviación puede corresponder, por ejemplo, a una trayectoria circular, para cuya realización se pueden activar conjuntamente los mencionados primer componente así como segundo componente de desviación. De este modo no sólo es posible determinar la influencia individual de los componentes de desviación en el comportamiento dinámico de la capacidad de enfoque del rayo láser, sino también la influencia combinada.

10 Se sobreentiende que el dispositivo de desviación se puede activar alternativa o adicionalmente conforme a cualquier otra figura de escaneado. En especial estas otras figuras de escaneado pueden incluir un movimiento en z exclusivo o al menos parcial del enfoque de rayo (ajuste de enfoque longitudinal).

15 El procedimiento según la invención puede comprender además la indicación de la potencia medida o/y de al menos un valor derivado de la misma en al menos un dispositivo de salida. El dispositivo de salida puede ser, por ejemplo, un monitor, un osciloscopio o una impresora. En especial, la fase de indicación puede comprender la indicación de un desarrollo temporal o/y de un espectro de frecuencia de la potencia medida en el dispositivo de salida. Como valor derivado de la potencia medida es posible imaginar un valor medio ponderado a través del período de medición de la potencia o/y de los valores extremos de la potencia medida (mínimos, máximos) o/y de los valores para la diferencia estándar o/y la variación de la potencia medida en un período de tiempo establecido. Las amplitudes espectrales de un espectro de frecuencias determinado de la potencia medida pueden considerarse como valor derivado en el sentido de la invención.

20 En la medida en la que en el marco del examen del sistema láser se analiza la influencia dinámica del dispositivo de desviación sobre la capacidad de enfoque del rayo láser para diferentes frecuencias de oscilación o/y diferentes carreras de oscilación o/y diferentes modelos de activación del dispositivo de desviación, es aconsejable indicar la potencia medida o/y el al menos un valor derivado por separado para diferentes valores de la frecuencia o/y de la carrera o/y para diferentes modelos de una regulación oscilante de al menos uno de los componentes de desviación del dispositivo de desviación.

25 La invención se puede utilizar para localizar y separar componentes de desviación que no cumplen determinados requisitos cualitativos. Para ello es ventajoso que el procedimiento comprenda un paso de comparación de la potencia medida o/y de al menos un valor derivado de la misma con al menos un valor de referencia preestablecido.

30 El valor de referencia lo puede preestablecer el fabricante o el usuario o puede haber sido determinado a partir de mediciones anteriores realizadas con otros dispositivos de desviación. El valor de referencia puede ser, por ejemplo, un valor de medición determinado para un dispositivo de desviación calificado como aceptable (o un componente de desviación del mismo). También es posible determinar el valor de referencia a partir de una pluralidad de valores de medición determinados en el marco de pruebas anteriores de varios dispositivos de desviación diferentes.

35 En función del resultado de la comparación de la potencia medida o/y del al menos un valor derivado de la misma con el al menos un valor de referencia se puede valorar la calidad del dispositivo de desviación examinado y ordenar, en su caso, un cambio del dispositivo de desviación examinado o de al menos una parte de éste. La comparación la puede llevar a cabo el propio personal encargado del examen. También es posible que el sistema láser esté dotado de una unidad de valoración electrónica apropiada que realiza automáticamente la comparación comunicando el resultado de la comparación al personal encargado del examen a través de una interfaz apropiada.

40 El procedimiento según la invención es especialmente apropiado para pruebas en serie en las que la medición de potencia de la radiación de frecuencia multiplicada se realiza varias veces de forma paralela o sucesivamente en el tiempo con respectivamente un dispositivo de desviación al menos parcialmente diferente. Esto permite, por ejemplo, a un fabricante comprobar individualmente los componentes de desviación fabricados por él antes de que se entreguen al comprador.

45 Alternativa o adicionalmente el procedimiento según la invención es apropiado para un control online de la calidad del frente de onda del rayo láser, para lo que la radiación de frecuencia multiplicada se genera a partir del rayo parcial y la medición de potencia se realiza durante un tratamiento de un material con el rayo láser. La medición de potencia se puede realizar de forma continua o al menos repetida en intervalos. Si los resultados de la medición de potencia indican un empeoramiento de la calidad del frente de onda, esto puede tomarse como motivo para interrumpir el tratamiento del material o por lo menos para suspenderlo temporalmente. Se entiende que una interrupción o suspensión del tratamiento de este tipo puede ser llevada a cabo automáticamente por una unidad de control idónea del sistema láser.

55

- Según otro punto de vista, la invención prevé una instalación para el examen de un sistema láser que proporciona un rayo láser enfocado y que presenta un dispositivo de desviación controlable para el control local transversal o/y longitudinal del enfoque del rayo. Esta instalación puede realizar especialmente el examen del sistema láser mediante el empleo de un procedimiento del tipo antes descrito. La instalación comprende:

- un multiplicador de frecuencia para la generación de radiación de frecuencia multiplicada a partir del rayo láser o de un rayo parcial derivado del mismo detrás del dispositivo de desviación, correspondiendo la longitud de onda de la radiación de frecuencia multiplicada a una armónica impar mayor de la longitud de onda del rayo láser,

- un dispositivo de medición para la medición de una potencia de la radiación de frecuencia multiplicada,

- 5 - un programa de prueba que en su ejecución por medio de una unidad de control controlada por un programa que controla un dispositivo de desviación, provoca un ajuste oscilante de este tipo de al menos uno de los componentes de desviación del dispositivo de desviación, de manera que el enfoque de rayo describa sucesivamente varias veces el mismo recorrido de movimiento.

10 En una variante de realización preferida, el programa de prueba puede provocar en su ejecución por medio de la unidad de control que el enfoque de rayo describa el mismo recorrido de movimiento (por ejemplo, línea, círculo) con una frecuencia de oscilación variable del al menos un componente de desviación. Alternativa o adicionalmente el programa de prueba puede provocar en su ejecución por medio de la unidad de control que el enfoque de rayo describa sucesivamente diferentes recorridos de movimiento. Los diferentes recorridos de movimiento pueden comprender, por ejemplo, dos rectas que se desarrollan en un plano transversal de forma transversal, especialmente de forma perpendicular la una respecto a la otra. También es posible que uno de los diferentes recorridos de movimiento sea una trayectoria circular que se desarrolla en un plano transversal. La invención se define por medio de las reivindicaciones que se acompañan. La invención se explica a continuación más detalladamente a la vista de los dibujos adjuntos. Estos muestran en la:

20 Figura 1 esquemáticamente un ejemplo de realización de un sistema láser, así como de un dispositivo para la comprobación de la calidad de radiación dinámica de los rayos láser generados por el sistema láser,

Figuras 2a, b y c figuras de escaneado para el examen de distorsiones dinámicas del frente de onda de la radiación láser del sistema láser de la figura 1,

Figura 3 un ejemplo para un resultado de medición posible con distintas frecuencias de escaneado.

25 El sistema láser mostrado en la figura 1 e identificado en general con el número 10 presenta una fuente de láser 12 para una radiación láser pulsada con duraciones de pulso en el rango de femtosegundos (por ejemplo, unos pocos 100 fs). La radiación sale de la fuente de láser 12 en forma de un rayo láser 14 que se expande por medio de un sistema óptico de expansión del rayo 16 formado, a modo de ejemplo, por un telescopio de Galileo, explorándose a continuación y enfocándose por medio de una unidad de escaneado y enfoque 18. La unidad de escaneado y enfoque 18 incluye componentes no representados con mayor detalle para el control local transversal y preferiblemente también longitudinal del enfoque del rayo. Estos componentes comprenden, por ejemplo, un par de espejos de desviación controlados galvanométricamente que pueden girar en dos direcciones basculantes perpendiculares una respecto a otra y que permiten un escaneado transversal del rayo láser 14. Para el escaneado longitudinal del rayo láser 14, la unidad de escaneado y enfoque 18 puede comprender, por ejemplo, una lente o un grupo de lentes ajustable en dirección de la trayectoria del rayo. Alternativamente es posible, por ejemplo, un control del enfoque longitudinal, regulándose con un ajuste de enfoque inalterado una lente del sistema óptico de expansión del rayo 16, por ejemplo, mediante un movimiento lineal en dirección del rayo o mediante una variación de la capacidad refractiva en caso de una lente con una capacidad refractiva variable.

40 A modo de explicación se parte a continuación de la base de que todos los componentes ópticos necesarios para el control de enfoque transversal y longitudinal están agrupados en la unidad de escaneado y enfoque 18. Naturalmente se entiende que estos componentes (componentes de desviación) se pueden disponer repartidos al menos parcialmente en el interior del sistema láser 10. Especialmente las funciones de la desviación transversal y de la desviación longitudinal pueden dividirse en cuanto a los componentes en diferentes unidades modulares.

Para el enfoque, la unidad de escaneado y enfoque 18 puede incluir, por ejemplo, un objetivo F-Theta. El rayo láser enfocado emitido por la unidad de escaneado y enfoque 18 se identifica con el número 14'.

45 Un ordenador de control 20 controlado por programa controla la fuente de láser 12, así como la unidad de escaneado y enfoque 18 conforme a un programa de control almacenado en una memoria 22. Para el tratamiento de un material, por ejemplo, del tejido ocular humano, el programa de control representa una figura de corte a obtener. Esta figura de corte puede ser, por ejemplo, un corte de Flap como el que es necesario para la generación de un Flap en un tratamiento LASIK del ojo humano. Otras figuras de corte a modo de ejemplo son un así llamado corte lenticular como el que es necesario para la extracción lenticular corneal, así como un corte endotelial corneal como el que se requiere para una queratoplastia de endotelio en la córnea humana.

55 Unos ajustes mecánicos rápidos de los componentes ópticos situados en la trayectoria de rayo del rayo láser 14 pueden dar lugar a deformaciones temporales de estos componentes y, como consecuencia, a distorsiones del frente de onda no deseadas de la radiación láser. La dinámica de estas distorsiones del frente de onda es una información importante para el usuario del sistema láser 10. Finalmente estas distorsiones del frente de onda reducen la capacidad de enfoque del rayo láser 14, lo que puede influir negativamente en la precisión de corte. Los procesos de ajuste ejecutados rápidamente, que pueden dar lugar a las mermas dinámicas mencionadas de la calidad del frente de onda, son posibles especialmente durante el escaneado del rayo láser 14. Por ejemplo, los

espejos de escáner utilizados para el control de enfoque transversal pueden experimentar, en virtud de su inercia de masa, deformaciones temporales en los bordes de espejo cuando los espejos se mueven suficientemente rápido.

A fin de poder examinar la calidad dinámica del sistema láser 10 y especialmente de los componentes ópticos que sirven para el control local de enfoque, se prevé un dispositivo de prueba identificado en general con el número 24 que, a partir del rayo láser enfocado 14' o de un rayo parcial derivado del mismo, por ejemplo, mediante un espejo divisor, genera un rayo de frecuencia multiplicada 14" de tercer o mayor orden impar y que mide su potencia. Con esta finalidad, el dispositivo de prueba 24 comprende un medio ópticamente no lineal 26 a disponer en el foco del rayo láser enfocado 14' que genera en un proceso no lineal una radiación con la correspondiente frecuencia multiplicada del rayo láser 14. El medio no lineal 26 es isotrópico para permitir una eficacia de conversión independiente de la dirección de radiación del rayo láser enfocado 14'. Dado que el examen del sistema láser 10 se lleva a cabo con la función de escaneado activada, es decir, mientras se escanea el rayo láser 14 por medio de la unidad de escaneado y enfoque 18, la dirección con la que el rayo láser enfocado 14' incide en el medio no lineal 26 varía al menos durante el escaneado transversal. La isotropía del medio no lineal 26 permite eliminar la influencia de estos cambios de dirección del rayo láser enfocado 14' en la eficacia de conversión.

Por medio de una lente convergente 28 conectada en serie al medio no lineal 26 se orienta la radiación que sale del medio 26 a un separador de longitud de onda 30 formado por un prisma. El separador 30 separa la radiación de onda fundamental restante (es decir, la radiación en la longitud de onda del rayo láser 14) de la radiación de frecuencia triplicada generada. La radiación de onda fundamental (representada por un rayo 14'') es absorbida en una trampa de rayos 32, mientras que la radiación de frecuencia triplicada representada por medio del rayo 14" llega, a través de un filtro óptico 34, a un medidor de potencia 36. El medidor de potencia 36 transmite al ordenador de control 20 una señal de medición representativa para la potencia medida del rayo de frecuencia triplicada 14". Dicho ordenador muestra en un dispositivo de salida 38, representado aquí a modo de ejemplo como monitor, valores (por ejemplo, el desarrollo temporal) para la potencia medida del rayo de frecuencia triplicada 14" o/y valores de al menos un valor derivado de la potencia medida. El medidor de potencia 36 puede estar formado, por ejemplo, por un fotodiodo combinado con una esfera de Ulbricht. Las esferas de Ulbricht son en sí conocidas por el experto en la materia; las mismas permiten una medición de la potencia independiente de la dirección de incidencia de la radiación láser a medir.

El filtro 34 filtra eventuales líneas secundarias perturbadoras, así como restos de la longitud de ondas fundamentales de la radiación de frecuencia triplicada. Otra lente convergente 40 conectada en serie con el separador de longitud de onda 30 converge las distintas partes de la radiación y la conduce a la trampa de rayos 32 (para la radiación de ondas fundamentales) o al medidor de potencia 36 (para la radiación de frecuencia triplicada).

Los componentes 26, 28, 30, 32, 34, 36, 40 se pueden agrupar como unidad de construcción en una carcasa común (no representada en detalle), lo que simplifica especialmente el manejo del dispositivo de prueba 24 y el examen del sistema láser 10.

Para la realización de un examen del sistema láser 10 mediante el dispositivo de prueba 24, el ordenador de control 20 controla la unidad de escaneado y enfoque 18 de manera que el rayo láser 14' enfocado en el medio no lineal 26 describa al menos una figura de escaneado predeterminada. Convenientemente el control se lleva a cabo de manera que el rayo láser 14' describa sucesivamente varias figuras de escaneado diferentes. Con esta finalidad se almacena o se puede almacenar en la memoria 22 un programa de prueba que contiene instrucciones de control adecuadas para generar esta(s) figura (s) de escaneado.

Para figuras de escaneado posibles se hace referencia adicionalmente a las figuras 2a a 2c. En estas figuras el medio no lineal 26 se representa esquemáticamente como cuerpo en forma de disco. Se entiende que esto no supone ninguna limitación y que en su lugar se puede emplear cualquier forma física para el medio no lineal 26.

En las figuras 2a a 2c se muestran también espejos de escáner 42, 44 con sus respectivos ejes de accionamiento que forman un par de espejos que sirve para el control de enfoque transversal y que se pueden emplear en la unidad de escaneado y enfoque 18 del sistema láser 10.

Según la figura 2a, una primera figura de escaneado se compone de una línea de escaneado recta 46 que se puede realizar mediante la inclinación oscilante de vaivén de uno de los dos espejos de escaneado, aquí del espejo 42. El otro espejo de escáner 44 se mantiene quieto en esta figura; de esta forma se puede analizar la influencia dinámica del espejo de escáner 42 sobre la capacidad de enfoque del rayo láser 14.

Según la figura 2b una segunda figura de escaneado consiste del mismo modo en una línea recta 48 que se desarrolla sin embargo perpendicular a la línea de escaneado 46 de la figura 2a y que se consigue con la simple inclinación de vaivén del espejo de escáner 44. En este caso el espejo de escáner 42 se mantiene quieto. Esto permite un examen de la influencia dinámica del espejo de escáner 44 en la calidad de radiación del rayo láser enfocado 14'.

Según la figura 2c, mediante la inclinación de vaivén simultánea de ambos espejos de escáner 42, 44 puede realizarse una trayectoria circular 50 como figura de escaneado. Dado que los dos espejos de escáner 42, 44 se mueven a menudo simultáneamente en aplicaciones prácticas, este examen es útil para analizar conjuntamente la influencia dinámica de ambos espejos de escáner 42, 44 sobre la calidad de radiación.

El programa de prueba para el ordenador de control 20 puede provocar no sólo una realización de diferentes figuras de escaneado (como las que se muestran a modo de ejemplo en las figuras 2a a 2c). El mismo se puede configurar alternativa o adicionalmente para realizar al menos una figura de escaneado con una frecuencia de oscilación variable o/y una carrera de oscilación variable del(de los) componente(s) de desviación en cuestión. Una carrera de oscilación variable puede provocar, por ejemplo, en el caso de la figura 2a, una reducción o una prolongación de la línea de escaneado 46. En el caso de la figura 2c, una variación como ésta puede provocar una reducción o un aumento del diámetro de la trayectoria circular 50 (siempre que la carrera de oscilación de ambos espejos de escáner 42, 44 se ajuste del mismo modo) o una distorsión de la trayectoria circular 50 en una trayectoria elíptica (en caso de una variación desigual de la carrera de oscilación de los espejos de escáner 42, 44).

Una variación de la frecuencia de oscilación provoca, en cambio, que la figura de escaneado en cuestión pase con mayor o menor rapidez.

Los valores de medición obtenidos por medio del medidor de potencia 36 pueden almacenarse en la memoria 22, en su caso, junto con los eventuales valores derivados calculados a partir de los mismos por el ordenador de control 20. La indicación en el dispositivo de salida 38 puede llevarse a cabo posteriormente después de haber realizado una serie de mediciones. Sin embargo, también es posible imaginar indicar los valores de potencia medidos, por decirlo así, en tiempo real en el dispositivo de salida 38, por ejemplo, en forma de oscilograma. Un oscilograma como éste muestra el desarrollo temporal de la potencia medida durante uno o varios períodos de oscilación. Por medio de las fluctuaciones de la potencia durante un período de oscilación es posible obtener información relativa a la dimensión de las distorsiones del frente de onda provocadas por la inercia condicionada por la masa del(de los) componente(s) de desviación en cuestión.

Alternativa o adicionalmente a un oscilograma como éste es posible una imagen de indicación como la que se muestra en la figura 3. Los valores numéricos aquí mostrados se basan en mediciones que se han determinado en una exploración circular similar a la figura 2 con una variación de la frecuencia de oscilación de los espejos de escáner utilizados de entre 50 y 900 Hz y con una potencia del rayo láser de 132,5 mW. A la ordenada del diagrama de la figura 3 se aplica la potencia P_{THG} de la radiación de frecuencia triplicada en μW . Los símbolos marcados representan respectivamente la potencia media durante una exploración circular de un minuto con la frecuencia en cuestión (cuadrado relleno en negro), así como la diferencia estándar de la potencia medida con la frecuencia en cuestión (línea vertical con rayas transversales horizontales). Se puede reconocer que la potencia media de la radiación de frecuencia triplicada disminuye al aumentar la frecuencia de escaneado. Al mismo tiempo, la diferencia estándar de la potencia medida aumenta con una frecuencia de exploración cada vez mayor. Esto se puede explicar por el hecho de que las deformaciones en los puntos de inversión de la oscilación de espejo son mayores cuanto mayor sea la frecuencia de escaneado. Por este motivo, la dependencia de la frecuencia de la potencia permite sacar conclusiones acerca de la calidad de los espejos de escáner utilizados. Si en un espejo de escáner medido o en un par de espejos de escáner medido, la caída de potencia hacia frecuencias más altas es más fuerte que para un espejo de referencia o un par de espejos de referencia valorado debidamente, el usuario lo puede considerar como motivo para cambiar el espejo o el par de espejos y desecharlos por inadecuados. Lo mismo ocurre en el caso de comprobaciones del desarrollo temporal de la potencia durante un período de oscilación. También aquí un análisis del desarrollo temporal y una comparación con datos de referencia apropiados puede proporcionar información sobre la calidad mecánica de los componentes de desviación comprobados.

Ya se ha mencionado que el rayo de frecuencia multiplicada 14'' se puede generar a partir de un rayo parcial que se desvía del rayo láser 14'. Es decir, no es necesario recurrir a todo el rayo láser 14' para analizar la calidad de radiación del sistema láser 10; en su lugar basta con desacoplar una parte (por ejemplo, aproximadamente de un 5 a un 10%) del rayo láser 14', por ejemplo, por medio de un espejo divisor no representado con mayor detalle en los dibujos. Para que el rayo parcial pueda utilizarse para el examen del efecto de los movimientos a alta velocidad de los componentes de desviación en la calidad del frente de onda, éste se desvía en dirección del rayo hacia los componentes de la unidad de escaneado y enfoque 18 que provocan la función de escaneado, no obstante, convenientemente delante de los componentes de enfoque de la unidad 18. Para un enfoque del rayo parcial desviado en el medio no lineal 26 puede preverse una lente de enfoque separada que tampoco se representa más detalladamente en los dibujos. Con una configuración de este tipo son posibles exámenes online del sistema láser 24, es decir, la calidad de radiación se puede comprobar directamente durante el tratamiento de un material con el rayo láser 14' (rayo principal) por medio del rayo parcial.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para el examen de un sistema láser que proporciona un rayo láser enfocado (14') y un dispositivo de desviación controlable (18) para el control local transversal o/y longitudinal del enfoque de rayo, comprendiendo el procedimiento:
- una orientación del rayo láser o de un rayo parcial desviado del mismo detrás del dispositivo de desviación a un medio ópticamente no lineal (26) para la generación de una radiación de frecuencia multiplicada (14''), cuya longitud de onda corresponde a una armónica impar mayor de la longitud de onda del rayo láser, enfocándose el rayo láser (14') o el rayo parcial en el medio no lineal (26),
 - 10 - una activación del dispositivo de desviación, comprendiendo la activación del dispositivo de desviación un ajuste oscilante de al menos uno de los componentes de desviación (42, 44) del dispositivo de desviación y además una variación de la frecuencia de oscilación o/y de la carrera de oscilación del al menos un componente de desviación (42, 44) y/o una variación de un modelo de activación del dispositivo de desviación, correspondiendo cada modelo de activación a otra figura de movimiento del foco del rayo,
 - 15 - una medición de una potencia de la radiación de frecuencia multiplicada al activar el dispositivo de desviación, y
 - una indicación de un desarrollo temporal o/y de un espectro de frecuencias de la potencia medida en un dispositivo de salida (38).
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1 que comprende la indicación de la potencia medida o/y del al menos un valor derivado por separado para diferentes valores de la frecuencia o/y de la carrera o/y para diferentes modelos de un ajuste oscilante de al menos uno de los componentes de desviación (42, 44) del dispositivo de desviación (18).
- 25 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 2 que comprende además la comparación de la potencia medida o/y de al menos un valor derivado de la misma con al menos un valor de referencia predeterminado.
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3 que comprende una realización repetida de la medición de potencia de la radiación de frecuencia multiplicada, cambiándose entre las mediciones respectivamente al menos un componente de desviación (42, 44) del dispositivo de desviación (18).
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, generándose la radiación de frecuencia multiplicada a partir del rayo parcial y realizándose la medición de potencia durante un tratamiento de un material con el rayo láser.
- 35 6. Dispositivo para el examen de un sistema láser (10) que proporciona un rayo láser enfocado (14') y que presenta un dispositivo de desviación controlable (18) para el control local transversal o/y longitudinal del foco del rayo, comprendiendo el dispositivo:
- un multiplicador de frecuencia (26) para la generación de radiación de frecuencia multiplicada (14'') a partir del rayo láser o de un rayo parcial derivado del mismo detrás del dispositivo de desviación, correspondiendo la longitud de onda de la radiación de frecuencia multiplicada a una armónica impar mayor de la longitud de onda del rayo láser, comprendiendo el multiplicador de frecuencia un medio ópticamente no lineal en el que se enfoca el rayo láser o el rayo parcial,
 - 40 - un dispositivo de medición (36) para la medición de una potencia de la radiación de frecuencia multiplicada,
 - un programa de prueba que en su ejecución por medio de una unidad de control (20) controlada por un programa que controla el dispositivo de desviación, provoca un ajuste oscilante de este tipo de al menos uno de los componentes de desviación (42, 44) del dispositivo de desviación, describiendo el enfoque de rayo sucesivamente
 - 45 varias veces el mismo recorrido de movimiento con una frecuencia de oscilación variable del al menos un componente de desviación (42, 44) y/o diferentes recorridos de movimiento sucesivos,
 - un dispositivo de salida para indicar en el mismo un desarrollo temporal o/y un espectro de frecuencias de la potencia medida.
- 50 7. Dispositivo según la reivindicación 6, comprendiendo los recorridos de movimiento diferentes dos rectas (46, 48) que se desarrollan en un plano transversal transversalmente, especialmente de forma perpendicular los unos respecto a los otros o/y siendo uno de los recorridos de movimiento diferentes una trayectoria circular (50) que se desarrolla en un plano transversal.

FIG 1

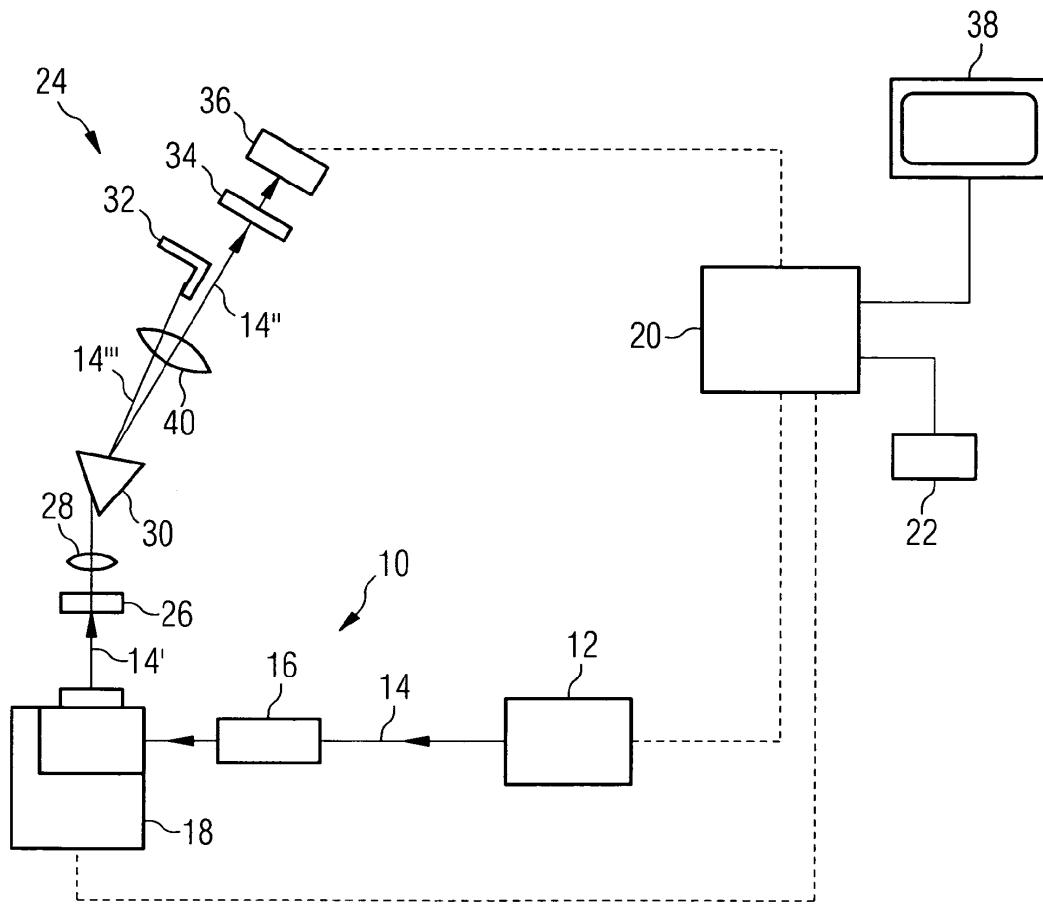


FIG 2a

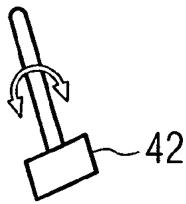
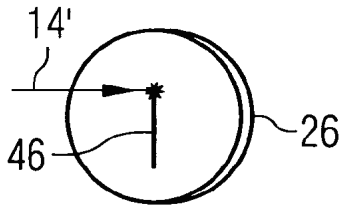


FIG 2b

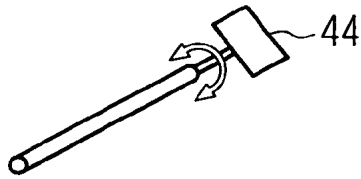
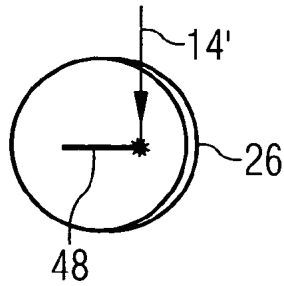


FIG 2c

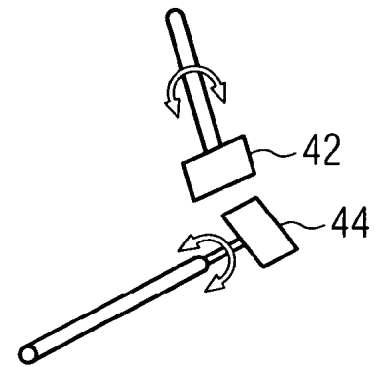
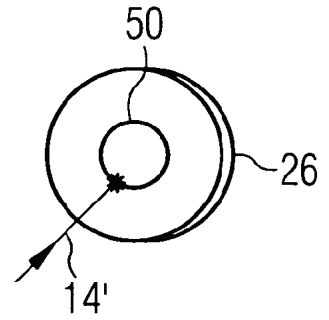


FIG 3

