

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 647 957**

51 Int. Cl.:

A61F 9/008 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.12.2010 PCT/EP2010/007531**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2012 WO12076031**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.12.2010 E 10790830 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 2648665**

54 Título: **Dispositivo láser, en particular para la cirugía láser oftalmológica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.12.2017

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

72 Inventor/es:
**WÖLFEL, MATHIAS;
KITTELMANN, OLAF y
THUERMER, DANIEL**

74 Agente/Representante:
LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 647 957 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

Dispositivo láser, en particular para la cirugía láser oftalmológica

- 5 La invención se refiere a dispositivos láser y en particular a someter a prueba una función de barrido de un dispositivo láser.

Los dispositivos láser, que funcionan con radiación láser enfocada, para tratar material muerto o vivo (por ejemplo tejido del ojo humano), presentan a menudo componentes que pueden controlarse, que permiten una función de barrido. Con la función de barrido el foco de radiación puede ajustarse de manera precisa en diferentes posiciones en un plano ortogonal a la dirección de propagación de radiación (barrido transversal) y/o en diferentes posiciones a lo largo de la dirección de propagación de radiación (barrido longitudinal). Ejemplos de componentes que pueden servir para el barrido de radiación láser son espejos dispuestos de manera pivotante, espejos deformables, cristales electroópticos, lentes dispuestas de manera desplazable, lentes con una capacidad refractiva variable, etc. Cuando en el marco de esta publicación se hable de componentes de barrido, se hará referencia no sólo a los componentes ópticos que actúan sobre la radiación láser sino también a la totalidad de los componentes necesarios para el barrido de la radiación láser y en los que puede influirse mediante señales de control eléctricas de una disposición de control electrónica. Así, en el sentido de la invención, pertenecen a los componentes de barrido en particular también los actuadores dado el caso necesarios para el accionamiento de los componentes de barrido ópticos, que pueden activarse mediante las señales de control de la disposición de control. Tales actuadores pueden comprender por ejemplo accionamientos de galvanómetro, accionamientos piezoeléctricos, accionamientos motores, fuentes de tensión o corrientes controlables, etc. Se entiende que la enumeración anterior de posibles actuadores y componentes de barrido ópticos es meramente a modo de ejemplo y no debe entenderse de manera limitativa.

25 La invención propone un dispositivo láser determinado y configurado preferiblemente para la cirugía láser oftalmológica, que comprende una fuente de láser para proporcionar radiación láser, componentes de barrido controlables para ajustar una posición de enfoque de la radiación láser, componentes de medición para la obtención de información, representativa de una posición real del foco de radiación, así como una disposición de control que controla la fuente de láser y los componentes de barrido, que está configurada para efectuar la realización de un ciclo de prueba de al menos una parte de los componentes de barrido con la fuente de láser apagada según un patrón de barrido de prueba predeterminado, definiendo el patrón de barrido de prueba al menos una trayectoria de barrido para el foco de radiación y estando configurada la disposición de control para efectuar durante un movimiento de barrido a lo largo de la trayectoria de barrido varias veces consecutivamente una detección de la posición de enfoque real sin detener el movimiento de barrido y en asociación con cada posición de enfoque real detectada, determinar una posición de enfoque teórica. El ciclo de prueba es por así decirlo un ciclo en seco, en el que es posible comprobar la función de barrido del dispositivo láser, sin que al mismo tiempo se emita radiación láser desde el dispositivo láser.

40 En el documento US2002/0193704 se describe un ciclo en seco de este tipo.

Fenómenos de envejecimiento, una falta de uso prolongada y/o errores de transmisión de datos pueden llevar a que un ajuste teórico de los componentes de barrido ordenado por la disposición de control (según una posición teórica determinada del foco de radiación) no se implemente de manera precisa y que el ajuste real de los componentes de barrido conseguido en realidad sea diferente del ajuste teórico. Entonces, con la fuente de láser encendida la posición real del foco de radiación sería diferente de la posición teórica. Durante el tratamiento de materia muerta todavía puede ser aceptable en el sentido de que puede repetirse el tratamiento con una pieza de trabajo nueva si resulta que el primer tratamiento no era lo suficientemente preciso. Con tejido vivo como por ejemplo tejido de ojo humano este modo de proceder no es viable por motivos evidentes. La realización de un ciclo de prueba previo de los componentes de barrido puede dar certeza de que con el tratamiento con láser a continuación realmente los valores teórico y real se encuentren próximos con una precisión suficiente y/o puede dar información sobre la medida de posibles desviaciones entre los valores teórico y real, de modo que antes del tratamiento con láser todavía pueden tomarse medidas de corrección adecuadas (por ejemplo cambiar al menos una parte de los componentes de barrido, determinar factores de corrección y adaptar los valores teóricos mediante los factores de corrección).

55 La trayectoria de barrido define una línea de movimiento determinada, a lo largo de la cual el foco de radiación se mueve de manera continua durante el movimiento de barrido, sirviendo la indicación del foco de radiación sólo como aclaración, porque en el ciclo de prueba no incide radiación láser en los componentes de barrido y por consiguiente tampoco existe foco de radiación. Evidentemente, con la fuente de láser encendida el foco de radiación entonces existente seguiría la línea de movimiento predeterminada por la trayectoria de barrido.

65 Preferiblemente la disposición de control está configurada para efectuar una detección de la posición de enfoque real según una frecuencia de exploración dada a intervalos de tiempo regulares. La frecuencia en el tiempo, con la que se detectan las posiciones de enfoque reales (frecuencia de exploración), puede estar predeterminada de manera invariable o puede seleccionarla el usuario. Con una velocidad de trayectoria dada, con la que se mueve el foco de radiación (imaginario) a lo largo de la trayectoria de barrido, la disposición de control, basándose en el

recorrido de trayectoria dado, la velocidad de trayectoria y la frecuencia de exploración, puede determinar para cada posición de enfoque real medida la posición de enfoque teórica correspondiente.

Normalmente la zona, en la que puede desplazarse el foco de radiación está limitada por especificaciones constructivas, físicas y/o de la técnica de control. Así, el usuario tiene disponible un campo de barrido máximo predeterminado que determina los límites externos para los movimientos de barrido del foco de radiación. En formas de realización, que sólo permiten movimientos de enfoque transversales, el campo de barrido disponible es por tanto una superficie transversal. Por el contrario, en formas de realización que permiten movimientos de enfoque transversales y longitudinales, el campo de barrido disponible es un espacio tridimensional. Transversalmente el campo de barrido disponible puede tener por ejemplo un límite externo de forma circular. En el caso tridimensional el campo de barrido disponible puede tener por ejemplo una forma de cilindro circular.

Al menos en algunas aplicaciones puede ocurrir que el campo de barrido disponible tenga que utilizarse para una aplicación hasta muy cerca de sus límites. No sólo, pero especialmente entonces es importante tener la seguridad de que también en las zonas de borde del campo de barrido disponible los componentes de barrido pueden funcionar de manera precisa y que las desviaciones de los valores teórico/real de la posición de enfoque, en todo caso, sólo aparecen en unas medidas tolerables. Por tanto, de manera conveniente, en la invención el patrón de barrido de prueba define al menos una trayectoria de barrido para el foco de radiación, que en al menos un punto discurre en el límite de un campo de barrido máximo dado. La trayectoria de barrido puede tocar el límite de campo de barrido por ejemplo una o varias veces de manera puntual y/o puede discurrir a lo largo de al menos una parte de su longitud de trayectoria (dado el caso incluso por toda su longitud) a lo largo del límite.

El patrón de barrido de prueba puede definir al menos una trayectoria de barrido circular para el foco de radiación que discurre en un plano transversal ortogonal a la dirección de propagación de radiación. En el caso de una capacidad de barrido longitudinal de los componentes de barrido el patrón de barrido de prueba puede definir incluso varias trayectorias de barrido circulares, que discurren en diferentes planos transversales, es decir, en planos transversales, que longitudinalmente tienen una distancia entre sí. A este respecto, por ejemplo una primera trayectoria de barrido circular puede situarse en un primer plano transversal, que delimita el campo de barrido disponible en un primer lado longitudinal. Una segunda trayectoria de barrido circular puede situarse en un segundo plano transversal, que delimita el campo de barrido disponible en el lado longitudinal opuesto. Si el patrón de barrido de prueba todavía define una o varias trayectorias de barrido circulares adicionales, estas trayectorias de barrido circulares adicionales pueden situarse en planos intermedios transversales, que se sitúan entre los dos planos transversales de extremo de las trayectorias de barrido circulares primera y segunda.

Alternativa o adicionalmente a una o varias trayectorias de barrido circulares, el patrón de barrido de prueba puede definir al menos una trayectoria helicoidal para el foco de radiación con un eje helicoidal que discurre a lo largo de la dirección de propagación de radiación y/o el patrón de barrido de prueba puede definir al menos una trayectoria de barrido que discurre en forma de meandro en un plano transversal ortogonal a la dirección de propagación de radiación. Una trayectoria de barrido en forma de meandro de este tipo puede estar delimitada por ejemplo por un círculo imaginario, con el que choca en varios puntos. El choque de la trayectoria de barrido en forma de meandro con el círculo de delimitación imaginario puede ser al menos en parte puntual; también puede ser a modo de línea, siguiendo entonces la trayectoria de barrido en forma de meandro en una parte de su longitud de trayectoria el círculo de delimitación.

En una configuración preferida la trayectoria de barrido en forma de meandro presenta una pluralidad de tramos de trayectoria rectos que discurren paralelos entre sí con una distancia mutua, que de manera alterna en extremos opuestos están unidos entre sí en cada caso por pares. De este modo es posible analizar el campo de barrido disponible no sólo en la zona de sus bordes sino también en su interior de manera amplia para detectar desviaciones de los valores teórico/real.

Para obtener una medida para la precisión de posicionamiento de los componentes de barrido, la disposición de control puede estar configurada para determinar desviaciones entre las posiciones de enfoque teóricas y las posiciones de enfoque reales y comparar las desviaciones determinadas con al menos un umbral de desviación predeterminado. Puede ser tolerable una determinada cantidad de errores de posicionamiento (es decir, casos en los que la desviación del valor teórico/real supera un umbral de desviación asociado). Por ello, en una configuración preferida la disposición de control está configurada para, a partir de la consecución de una cantidad predeterminada de desviaciones que superan el umbral de desviación, efectuar la emisión de un mensaje de aviso perceptible de manera óptica y/o acústica. Resulta conveniente que además del mensaje de aviso la disposición de control entre en un modo de bloqueo, que impida un accionamiento del dispositivo láser con la fuente de láser encendida. El modo de bloqueo está configurado por ejemplo de tal modo que la disposición de control sólo puede abandonarlo tras la realización satisfactoria de un ciclo de prueba adicional de los componentes de barrido.

Expresado de manera más general, la disposición de control puede estar configurada para, con una realización no satisfactoria del ciclo de prueba, bloquear un funcionamiento del dispositivo láser con la fuente de láser encendida.

La realización de un ciclo de prueba de los componentes de barrido puede ser útil en particular tras un tiempo de interrupción prolongado del dispositivo láser durante el cual ha estado fuera de funcionamiento. Por tanto, preferiblemente la disposición de control está configurada para, en caso de iniciar el dispositivo láser para establecer su disponibilidad operativa, efectuar la realización del ciclo de prueba controlada por programa. Se entiende que pueden estar definidos otros eventos desencadenantes que efectúen la realización del ciclo de prueba.

A continuación se explicará la invención en más detalle mediante los dibujos adjuntos. Representan:

la figura 1, en una representación en bloques esquemática elementos de un dispositivo láser según un ejemplo de realización,

la figura 2, un ejemplo de una trayectoria de barrido en forma de meandro como componente de un patrón de barrido de prueba que puede implementarse por el dispositivo láser de la figura 1 en un ciclo de prueba,

la figura 3, una disposición de varias trayectorias de barrido circulares transversales situadas con una distancia longitudinal como componente de un patrón de barrido de prueba y

la figura 4, un ejemplo de una trayectoria de barrido helicoidal como componente de un patrón de barrido de prueba.

El dispositivo láser de la figura 1, designado en la misma con 10, sirve para tratar mediante corte un objeto mostrado en el caso de ejemplo como ojo humano 12 por medio de radiación láser enfocada de pulsos ultracortos. De pulsos ultracortos significa en este caso duraciones de pulso en el intervalo de femtosegundos hasta como máximo picosegundos de un solo dígito. El efecto aprovechado para el tratamiento de corte es la denominada descomposición óptica inducida por láser, que lleva a una fotodisrupción dentro del material tratado (en este caso tejido del ojo). La consecución de una pluralidad de este tipo de fotodisrupciones puede dar lugar a numerosas figuras de corte en el ojo 12 y aquí sobre todo en la córnea.

El dispositivo láser 10 comprende una fuente de láser de femtosegundo 14, que proporciona un rayo láser 16, que tras pasar por un tramo óptico, a lo largo del cual están dispuestos diferentes elementos para guiar y conformar el rayo, incide en el ojo 12 como rayo láser enfocado 16'. Los elementos mencionados para el guiado y conformación del rayo comprenden un sistema óptico de enfoque 18 formado por ejemplo por un objetivo F-theta así como componentes de barrido 20 indicados en este caso esquemáticamente por un único bloque. Cabe destacar que la representación del sistema óptico de enfoque 18 y de los componentes de barrido 20 en la figura 1 como bloques separados sirve únicamente para una mejor ilustración. Es fácilmente concebible que una parte de los componentes ópticos responsables del enfoque del rayo láser 16 también pueda asumir una funcionalidad de barrido. Así, por ejemplo, no queda excluido que una o varias lentes incluidas en el sistema óptico de enfoque 18 o incluso el sistema óptico de enfoque 18 en conjunto, para el posicionamiento longitudinal del foco de radiación, puedan desplazarse en la dirección de propagación del rayo. Del mismo modo, en una configuración preferida, los componentes ópticos que sirven para el barrido del rayo láser 16 están separados de los componentes ópticos que sirven para el enfoque del rayo láser 16 y como consecuencia se disponen fuera del sistema óptico de enfoque 18.

Por ejemplo los componentes de barrido para el barrido transversal del rayo láser 16 pueden comprender un par de espejos de desviación dispuestos de manera giratoria, cuyos ejes de giro se sitúan perpendiculares entre sí, así como en asociación con cada uno de los espejos de desviación, un accionamiento de galvanómetro que puede controlarse individualmente. Este tipo de espejos de desviación accionados de manera galvanométrica son en sí conocidos por los expertos; por tanto, en este punto, no es necesaria una explicación más detallada. Para el barrido longitudinal del foco de radiación los componentes de barrido pueden utilizar por ejemplo una lente prevista como parte de un sistema óptico de expansión de rayo (no representado en más detalle), que para la variación de divergencia del rayo láser 16 se dispone de manera que puede desplazarse en la dirección de propagación del rayo o puede ajustarse con respecto a su capacidad refractaria. Entonces un actuador correspondiente en forma de accionamiento lineal o de una fuente de tensión controlable también puede formar parte de los componentes de barrido 20.

Con un equipamiento mínimo del dispositivo láser 10 los componentes de barrido 20 están configurados en cualquier caso para el barrido transversal del rayo láser 16. En una configuración preferida los componentes de barrido 20 están configurados adicionalmente para el barrido longitudinal. Se entiende por lo demás que además de las configuraciones a modo de ejemplo mencionadas de los componentes de barrido pueden aplicarse otros principios de acción que permitan un barrido transversal y/o longitudinal, por ejemplo una desviación del rayo controlada en un cristal electroóptico o influir en la divergencia del rayo láser mediante deformación de un espejo óptico dispuesto en el trayecto de propagación del rayo láser 16.

El dispositivo láser 10 incluye además una disposición de control basada en procesador 22 para controlar el funcionamiento del dispositivo láser. La disposición de control 22 está controlada por programa; el programa de control de la disposición de control 22 está depositado en una disposición de memoria 26.

Aunque la disposición de control 22 en la figura 1 esté representada por un solo bloque, se entiende que sus funciones de control pueden estar divididas en diferentes módulos de control, que pueden estar integrados en tarjetas de control separadas en diferentes módulos constructivos. Así, la disposición de control 22 puede comprender por ejemplo un módulo de control de barrido dibujado con líneas discontinuas en 22a, que es responsable del control de los componentes de barrido 20 y que junto con los mismos, o junto con al menos una parte de los componentes de barrido 20, está integrado de manera constructiva en un dispositivo de barrido previamente montado como componente separado. Las funciones de control restantes de la disposición de control 22 pueden estar centralizadas por ejemplo en un módulo de control central 22b situado de manera constructiva por fuera de este dispositivo de barrido, que entre otras cosas es responsable de la sincronización del funcionamiento de la fuente de láser 14 y del funcionamiento de los componentes de barrido 20 y puede enviar órdenes de control correspondientes al módulo de control de barrido 22a para iniciar una operación de barrido. Las operaciones de ajuste concretas para ajustar los componentes de barrido 20 se controlan entonces por el módulo de control de barrido 22a según datos de barrido adecuados, cargados anteriormente en el módulo de control de barrido 22a y que definen un patrón de barrido a realizar.

Según la posible división de la disposición de control 22 en módulos de control separados también la disposición de memoria 26 puede estar dividida en módulos de memoria separados y el programa de control mencionado en módulos de programa separados, que a su vez pueden estar almacenados en módulos de memoria diferentes. Por ejemplo un módulo de memoria puede estar integrado junto con el módulo de control de barrido 22a en el dispositivo de barrido mencionado y almacenar las partes de programa necesarias para el control de los componentes de barrido 20. Por el contrario, uno o varios módulos de memoria adicionales pueden estar asociados al módulo de control central 22b y almacenar las partes de programa restantes del programa de control.

Con la disposición de control 22 está unida además una unidad de emisión 28 en forma de monitor, en el que pueden emitirse los resultados de la prueba que todavía se explicarán más abajo, que se obtienen en el marco de un ciclo de prueba del dispositivo láser 10. Aunque en la figura 1 no se represente en más detalle, alternativa o adicionalmente al monitor 28 a la disposición de control 22 puede estar conectada una impresora, para emitir los resultados de la prueba mencionados en forma impresa.

En la figura 1 está dibujado además un eje de coordenadas triaxial que según la notación habitual define un plano transversal x-y ortogonal a la dirección de propagación de radiación del rayo láser 16, mientras que el eje z define la dirección longitudinal de la propagación del rayo.

La disposición de control 22 está configurada para, con la fuente de láser 14 apagada, realizar un ciclo de prueba en el que se controlan los componentes de barrido 20 o al menos una parte de los mismos según un patrón de barrido de prueba predeterminado. Este ciclo en seco, en el que no se emite radiación láser desde la fuente de láser 14, permitirá un control de posición, mediante el cual se garantizará que toda la zona, en la que de manera nominal puede ajustarse el foco de radiación en la dirección x, y y dado el caso, z, realmente puede alcanzarse. En particular, el control de posición permitirá una comprobación de posibles desviaciones del valor teórico/real de la posición de enfoque en toda la zona de barrido. La zona de barrido máxima, que en el presente caso suponiendo una capacidad de barrido tanto transversal como longitudinal es un espacio tridimensional, también se designa en este caso campo de barrido disponible.

Los componentes de medición indicados esquemáticamente como un solo bloque (dispositivo de medición) 30 están previstos para detectar el estado de ajuste real de al menos una parte de los componentes de barrido 20 según una técnica de medición y proporcionar los valores de medición correspondientes a la disposición de control 22. Ésta, a partir de los valores de medición proporcionados, puede calcular valores para la posición real del foco de radiación. Por ejemplo, para la detección de la posición real de un espejo de desviación giratorio incluido en los componentes de barrido 20, los componentes de medición 30 pueden comprender un detector de posición, tal como se muestra y describe en el documento EP 1 295 090 B1.

Las posiciones de enfoque reales calculadas pueden almacenarse por la disposición de control 22 en la disposición de memoria 26 en asociación con posiciones de enfoque teóricas correspondientes. Con un tratamiento de corte del ojo 12, las posiciones de enfoque teóricas se proporcionan por ejemplo en forma de tabla indicando los respectivos valores x, y y z. Tras finalizar el tratamiento de corte del ojo 12 la disposición de control 22 puede comparar los valores reales de la posición de enfoque determinados mientras tanto con los valores teóricos correspondientes y emitir información correspondiente a través del monitor 28 o una impresora conectada. A partir de aquí el cirujano puede evaluar la calidad del tratamiento de corte y finalmente el éxito de la cirugía.

El ciclo de prueba mencionado anteriormente es conveniente sobre todo (pero no solo) cuando durante el funcionamiento de barrido del dispositivo láser 10 por medio de los componentes de medición es posible recibir y almacenar valores de medición para la posición de enfoque real, aunque el dispositivo láser 10 no está configurado para evaluar las posiciones de enfoque reales durante el funcionamiento de barrido en cuanto a las desviaciones con respecto a las posiciones de enfoque teóricas correspondientes y dado el caso, intervenir con una corrección, en caso de que las desviaciones sean demasiado grandes. Tales situaciones pueden darse por ejemplo cuando los datos teóricos y reales de las posiciones de enfoque durante una operación de barrido no pueden transmitirse del

módulo de control de barrido 22a al módulo de control central 22b, sino que el módulo de control central 22b obtiene acceso a estos datos sólo tras finalizar la operación de barrido. El ciclo de prueba permite así una comprobación preliminar de la calidad de posicionamiento de los componentes de barrido 20. En función del resultado del ciclo de prueba el cirujano o un programa de evaluación de funcionamiento automático puede decidir que el campo de barrido disponible puede alcanzarse con una precisión suficiente para realizar un tratamiento planificado del ojo, o pueden ser necesarias medidas como un cambio de al menos una parte de los componentes de barrido, en caso de que la zona de barrido alcanzable sea insuficiente.

El ciclo de prueba puede iniciarse mediante la disposición de control 22 automáticamente, es decir, sin una intervención especial de un usuario, por ejemplo como consecuencia del inicio del sistema al encender un interruptor principal del dispositivo láser 10 no representado en más detalle y/o con un control del tiempo tras el transcurso de unos intervalos de tiempo predeterminados.

Para explicar el patrón de barrido de prueba indicado en el marco del ciclo de prueba, ahora adicionalmente se remitirá a las figuras 2 a 4. Suponiendo un campo de barrido disponible en forma de cilindro circular (es decir, un campo de barrido, cuyo límite externo transversal es circular), el patrón de barrido de prueba puede comprender por ejemplo una trayectoria de barrido en forma de meandro 32 que se recorrerá en un plano transversal dado y/o varias trayectorias de barrido circulares 34 (en el caso de ejemplo mostrado, tres) que se recorrerán en diferentes planos transversales. La trayectoria de barrido en forma de meandro 32 mostrada en la figura 2 se extiende dentro de los límites de una circunferencia imaginaria (no se representa en más detalle), que marca el límite externo transversal del campo de barrido disponible. Dentro de esta circunferencia la trayectoria de barrido en forma de meandro 32 está configurada a modo de patrón de líneas sinuosas con una pluralidad de tramos de trayectoria rectos 36 que discurren en paralelo con una distancia uno al lado de otro, estando unidos entre sí los tramos de trayectoria 36 de manera alterna en extremos opuestos mediante tramos de trayectoria de unión 38. Una vez que uno de los tramos de trayectoria rectos 36 choca con la circunferencia imaginaria, se conecta un tramo de trayectoria de unión 38, que o bien sigue la forma de arco circular de la circunferencia imaginaria o bien, como se representa en la figura 2, corresponde a una cuerda de la circunferencia. Con una trayectoria de barrido en forma de meandro 32 de este tipo, la zona de barrido disponible en la dirección transversal puede comprobarse de manera detallada tanto en los límites de zona como en el interior. En función de la densidad deseada de los puntos de comprobación, la distancia mutua de los tramos de trayectoria rectos 36 puede seleccionarse más estrecha o ancha.

Las trayectorias de barrido circulares 34 de la figura 3 sirven sobre todo para comprobar la precisión de barrido por la extensión longitudinal (longitud z) del campo de barrido disponible. En este sentido, las trayectorias de barrido circulares 34 pueden estar dimensionadas de tal modo que correspondan al límite externo transversal del campo de barrido disponible. Sin embargo, también es concebible seleccionar para las trayectorias de barrido circulares 34 un diámetro menor, de modo que discurren radialmente dentro del límite externo transversal del campo de barrido disponible.

En la dirección longitudinal resulta conveniente que las dos trayectorias de barrido circulares más externas, en la vista de la figura 3 por tanto la trayectoria de barrido circular más superior y más inferior, se sitúen en los límites de zona longitudinales del campo de barrido. La trayectoria de barrido circular intermedia de las trayectorias de barrido circulares 34 mostradas en la figura 3 puede situarse por ejemplo en el centro longitudinal del campo de barrido disponible.

El orden temporal, en el que se recorren la trayectoria de barrido en forma de meandro 32 y las trayectorias de barrido circulares 34, puede seleccionarse de manera aleatoria. Por ejemplo, en primer lugar puede recorrerse la trayectoria de barrido en forma de meandro 32 y a continuación las tres trayectorias de barrido circulares 34. Del mismo modo es concebible el orden inverso. También es posible recorrer en primer lugar una cantidad parcial de las trayectorias de barrido circulares 34, entonces introducir la trayectoria de barrido en forma de meandro 32, antes de que se procese la cantidad restante de trayectorias de barrido circulares 34.

El plano transversal, en el que se sitúa la trayectoria de barrido en forma de meandro 32, puede corresponder al plano transversal de una de las trayectorias de barrido circulares 34. Alternativamente puede realizarse en un plano transversal diferente de las trayectorias de barrido circulares 34. Para un control aún más detallado de la función, incluso es concebible realizar la trayectoria de barrido en forma de meandro 32 varias veces en diferentes planos transversales.

Otra trayectoria de barrido de prueba a modo de ejemplo, que puede ajustarse en el ciclo de prueba en los componentes de barrido 20 se muestra en la figura 4 en forma de trayectoria de barrido helicoidal 40. El eje helicoidal de la trayectoria de barrido helicoidal 40 discurre preferiblemente paralelo a la dirección z, es decir, en la dirección de propagación de radiación. De manera conveniente la trayectoria de barrido helicoidal 40 discurre por los límites externos del campo de barrido disponible. En el caso de ejemplo mostrado comprende tres vueltas de hélice; sin embargo se entiende que la trayectoria de barrido helicoidal puede estar compuesta por un número mayor o menor de vueltas.

Las trayectorias de barrido de prueba mostradas en las figuras 2 a 4, en el marco de la invención, pueden estar contenidas en el patrón de barrido de prueba individualmente o en cualquier combinación.

5 La trayectoria de barrido en forma de meandro 32, las trayectorias de barrido circulares 34 y la trayectoria de barrido helicoidal 40 son trayectorias continuas predeterminadas, para cuya implementación los componentes de barrido 20 se ajustan correspondientemente de manera continua. Un control del tiempo implementado por ejemplo mediante el programa de control de la disposición de control 22 da lugar, a intervalos de tiempo regulares, a una detección del estado de ajuste real de al menos una parte de los componentes de barrido 20 mediante los componentes de medición 30 y con ello a una detección de la posición de enfoque real. Esta detección se produce mientras se recorre la trayectoria de barrido en cuestión de manera continua, es decir, mientras que se desplaza de manera continua la parte de los componentes de barrido 20 necesaria para recorrer la trayectoria de barrido. Por tanto, los componentes de barrido 20 no se detienen antes de que se detecte una posición de enfoque real. Después de que se realice el ciclo de prueba sin radiación láser, en el caso de la posición de enfoque real se trata sólo de una posición imaginaria, que corresponde al estado de ajuste real de los componentes de barrido 20, pero que debido a la ausencia de un foco de radiación no se plasma en una posición de enfoque real. El intervalo de exploración temporal de la posición de enfoque real puede situarse por ejemplo en el intervalo de algunos μs hasta varios ms (por ejemplo aproximadamente 10 ms). El número de valores de exploración obtenidos durante un ciclo de prueba (es decir, el número de las posiciones de enfoque reales determinadas) puede ascender por ejemplo a varios cientos, varios miles o incluso más. Este número comparativamente grande de valores de exploración permite sacar una conclusión fiable sobre la función correcta del dispositivo de barrido en todo el campo de barrido disponible.

Para cada posición de enfoque real detectada la disposición de control 22 determina una posición de enfoque teórica correspondiente. Ésta puede determinarla a partir del recorrido de trayectoria conocido de la trayectoria de barrido realizada en ese momento (por ejemplo, la trayectoria de barrido en forma de meandro 32 o una de las trayectorias de barrido circulares 34), la velocidad de trayectoria, es decir, la velocidad de desplazamiento de los componentes de barrido 20, así como a partir del intervalo de tiempo con el que se explora la posición de enfoque real. Las posiciones de enfoque teóricas así determinadas se almacenan por la disposición de control 22 en asociación con las posiciones de enfoque reales detectadas en la disposición de memoria 26.

30 Cabe señalar que en función de la trayectoria de barrido puede ser suficiente considerar para las posiciones de enfoque teóricas y/o las posiciones de enfoque reales sólo una o dos coordenadas en lugar de las tres coordenadas del sistema de coordenadas x, y y z. Por ejemplo, para la trayectoria de barrido en forma de meandro 32 puede ser suficiente indicar las posiciones de enfoque teóricas y/o las posiciones de enfoque reales sólo mediante los valores de coordenada x e y. En cuanto a las trayectorias de barrido circulares 34, puede ser suficiente obtener y almacenar para las posiciones de enfoque teóricas y las posiciones de enfoque reales sólo el valor de coordenada z y un valor de coordenada transversal, por ejemplo el valor de coordenada x. En la medida en que lo permita el dispositivo láser 10, puede ser preferible sin embargo registrar para todas las posiciones de enfoque teóricas y posiciones de enfoque reales los tres valores de coordenada.

40 Tras la realización del patrón de barrido de prueba la disposición de control 22 lleva a cabo un análisis de las posiciones de enfoque teóricas y posiciones de enfoque reales registradas. En este sentido determina desviaciones entre las posiciones de enfoque teóricas y las posiciones de enfoque reales y compara las desviaciones halladas con al menos un umbral predeterminado. Por ejemplo, la disposición de control 22 puede determinar las desviaciones entre las posiciones de enfoque teóricas y las posiciones de enfoque reales correspondientes por separado para cada eje de coordenadas individualmente y compararlas con un umbral de desviación asociado. El umbral de desviación a aplicar puede ser igual para los ejes de coordenadas o ser diferente para diferentes ejes de coordenadas. En caso deseado la disposición de control 22 puede determinar adicionalmente una desviación total a partir de las desviaciones halladas a lo largo de los ejes de coordenadas individuales, por ejemplo a modo de distancia euclidiana. También la desviación total así hallada puede compararla con un umbral de desviación asociado. Se entiende que cada umbral de desviación puede estar predeterminado de manera fija o que puede seleccionarse por el usuario a través de una unidad de entrada no representada en más detalle, unida con la disposición de control 22.

55 Parte de la evaluación de la disposición de control 22 puede ser una comprobación de plausibilidad. Las posiciones de enfoque reales que difieren demasiado con respecto a su posición de enfoque teórica asociada pueden rechazarse por la disposición de control 22 por no ser plausibles y no considerarse en la evaluación adicional.

60 La disposición de control 22 cuenta aquellos casos en los que una desviación del valor teórico/real supera un umbral de desviación correspondiente. Una vez que el número de casos que superan una tolerancia de desviación dada alcanza un límite predeterminado fijo, la disposición de control 22 da lugar a la emisión de una indicación de aviso en el monitor 28. La indicación de aviso comunica al usuario que la precisión de barrido no es suficiente. Como reacción adicional a la consecución del límite para el número de errores permitidos la disposición de control 22 puede entrar en un modo de bloqueo, que impide un funcionamiento del dispositivo láser 10 con la fuente de láser encendida 14. Sólo tras la realización satisfactoria de un ciclo de prueba adicional, en el que el número de las desviaciones del valor teórico/real situadas por encima del umbral de desviación queda por debajo del límite permitido, se interrumpe el modo de bloqueo y se permite el funcionamiento del dispositivo láser 10 con la fuente de láser encendida 14.

5 Alternativa o adicionalmente la disposición de control 22 puede estar configurada para no evaluar las desviaciones del valor teórico/real determinadas en más detalle y dado el caso junto con las posiciones de enfoque reales y/o las posiciones de enfoque teóricas emitir las en el monitor 28 o de otra forma. En este caso la valoración del resultado de la prueba se confía al usuario.

10 La metodología dada a conocer en este sentido permite una comprobación de si el comportamiento dinámico de los componentes de barrido 20 (en general: del sistema de barrido) se corresponde con los requisitos especificados y si el espacio de barrido disponible puede aprovecharse en su totalidad, es decir, alcanzarse. Para ello, el patrón de barrido de prueba define preferiblemente una o varias trayectorias de barrido, que se sitúan en el espacio de barrido máximo disponible de tal modo que recorriendo estas trayectorias de barrido puede garantizarse que el sistema de barrido pueda alcanzar toda la zona de barrido posible de manera limpia y que en ningún punto se produzcan problemas. El recorrido de las trayectorias de barrido constituye un movimiento continuo, es decir, el sistema de barrido no se detiene en los puntos de exploración para la estabilización local. Esta medición de posición disparada en el tiempo con un movimiento de barrido continuo puede llevar a la aparición de errores de contorno, que sin embargo pueden aceptarse como precisión de medición ligeramente reducida, porque a pesar de este tipo de errores de contorno puede obtenerse la prueba buscada del aprovechamiento completo del espacio de barrido máximo disponible.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo láser, en particular para la cirugía láser oftalmológica, que comprende
- 5 - una fuente de láser (14) para proporcionar radiación láser,
- componentes de barrido controlables (20) para ajustar una posición de enfoque de la radiación láser,
- componentes de medición (30) para la obtención de información, representativa de una posición real del foco de radiación,
- 10 - una disposición de control (22) que controla la fuente de láser (14) y los componentes de barrido (20), que está configurada para efectuar la realización de un ciclo de prueba de al menos una parte de los componentes de barrido con la fuente de láser apagada según un patrón de barrido de prueba predeterminado, definiendo el patrón de barrido de prueba al menos una trayectoria de barrido (32, 34) para el foco de radiación y estando configurada la disposición de control (22) para efectuar durante un movimiento de barrido a lo largo de la trayectoria de barrido varias veces consecutivamente una detección de la posición de enfoque real sin detener el movimiento de barrido y en asociación con cada posición de enfoque real detectada, determinar una posición de enfoque teórica, caracterizado por que el patrón de barrido de prueba define al menos una trayectoria de barrido (32, 34) para el foco de radiación, que en al menos un punto discurre en el límite de un campo de barrido máximo dado, que está limitado por especificaciones constructivas.
- 15
2. Dispositivo láser según la reivindicación 1, en el que la disposición de control (22) está configurada para efectuar una detección de la posición de enfoque real según una frecuencia de exploración dada a intervalos de tiempo regulares.
- 25
3. Dispositivo láser según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de barrido de prueba define al menos una trayectoria de barrido circular (34) que discurre en un plano transversal ortogonal a la dirección de propagación de radiación para el foco de radiación.
- 30
4. Dispositivo láser según la reivindicación 3, en el que el patrón de barrido de prueba define varias trayectorias de barrido circulares (34), que discurren en diferentes planos transversales.
- 35
5. Dispositivo láser según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de barrido de prueba define al menos una trayectoria de barrido (32) que discurre en forma de meandro en un plano transversal ortogonal a la dirección de propagación de radiación.
- 40
6. Dispositivo láser según la reivindicación 5, en el que la trayectoria de barrido en forma de meandro (32) está delimitada por un círculo imaginario, con el que choca en varios puntos.
- 45
7. Dispositivo láser según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de barrido de prueba define al menos una trayectoria helicoidal para el foco de radiación con un eje helicoidal que discurre a lo largo de la dirección de propagación de radiación.
- 50
8. Dispositivo láser según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición de control (22) está configurada para determinar desviaciones entre las posiciones de enfoque reales y las posiciones de enfoque teóricas correspondientes y comparar las desviaciones determinadas con al menos un umbral de desviación predeterminado.
- 55
9. Dispositivo láser según la reivindicación 8, en el que la disposición de control (22) está configurada para, a partir de la consecución de una cantidad predeterminada de desviaciones que superan el umbral de desviación, efectuar la emisión de un mensaje de aviso perceptible de manera óptica y/o acústica.
- 60
10. Dispositivo láser según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición de control (22) está configurada para, con una realización no satisfactoria del ciclo de prueba, bloquear un funcionamiento del dispositivo láser con la fuente de láser encendida.
11. Dispositivo láser según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición de control (22) está configurada para, en caso de iniciar el dispositivo láser para establecer su disponibilidad operativa, efectuar la realización del ciclo de prueba controlada por programa.

FIG 1

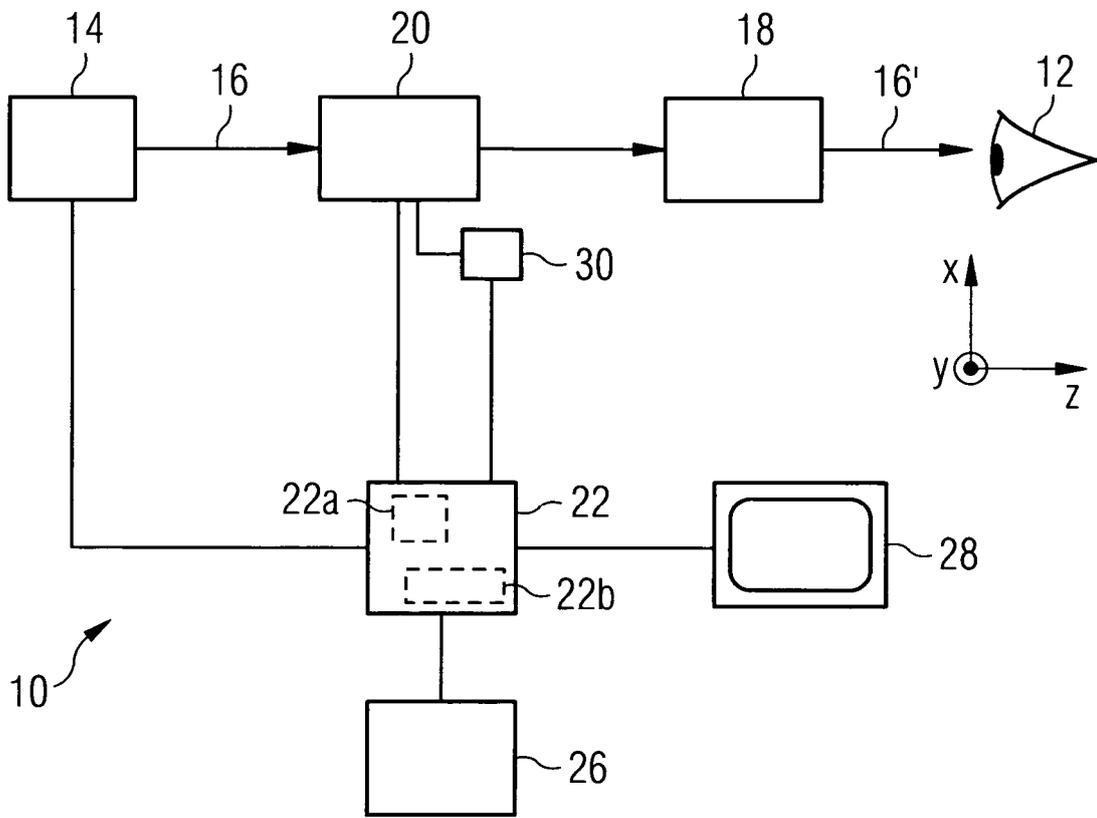


FIG 2

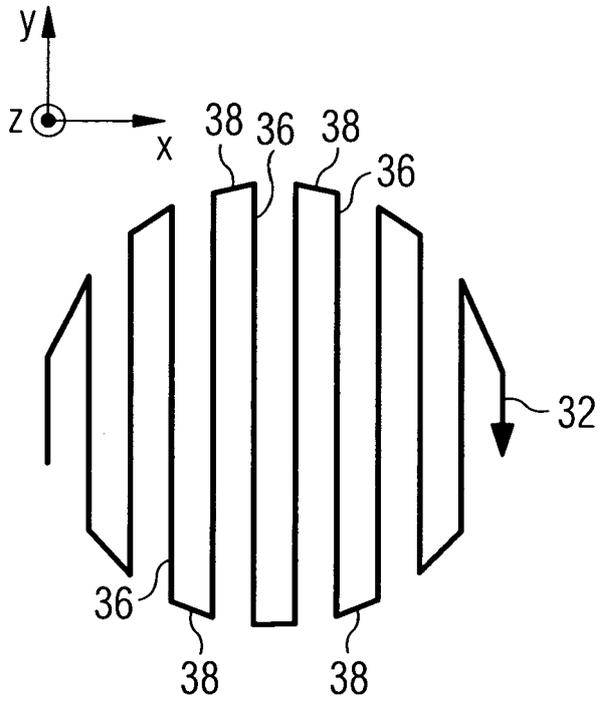


FIG 3

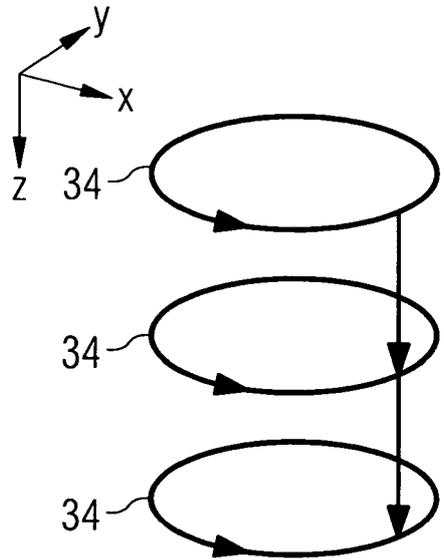


FIG 4

