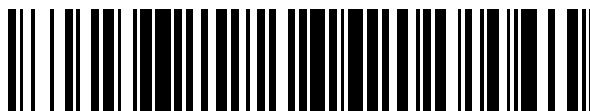


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 902**

51 Int. Cl.:

B23K 26/04 (2014.01)

B23K 26/06 (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2010 PCT/EP2010/005976**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.04.2012 WO12041351**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2010 E 10763131 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.05.2019 EP 2621662**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para el tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.11.2019

73 Titular/es:

**WAVELIGHT GMBH (100.0%)
Am Wolfsmantel 5
91058 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:

**WARM, BERNDT;
RIEDEL, PETER;
GORSCHBOTH, CLAUDIA y
WOITTENNEK, FRANZISKA**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 731 902 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 y procedimiento para el tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada

5 La invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para el tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada.

En el caso de los dispositivos en cuestión se trata especialmente de sistemas ópticos que dirigen, conforman y enfocan la radiación electromagnética generada, por ejemplo, por láseres o LEDs como fuentes de radiación sobre o dentro de un material a tratar. Como tratamiento de materiales se puede considerar, por ejemplo, una estructuración de material en el rango micro como la que se lleva a cabo en semiconductores o también en materiales metálicos.
10 En especial, la invención se puede utilizar en sistemas ópticos oftalmológicos, especialmente en la cirugía corneal refractiva como, por ejemplo, el LASIK.

En el tratamiento de materiales con radiación electromagnética enfocada, por regla general es importante posicionar el foco con precisión especialmente en la dirección de la radiación electromagnética (normalmente denominada "dirección z"). La posición del foco suele denominarse también "posición focal", por lo que este término no sólo
15 abarca la posición del foco en la dirección de la radiación (la así llamada profundidad focal), sino también, de forma más general, la posición y la orientación de la radiación enfocada, por ejemplo, un desplazamiento de la radiación en relación con el eje óptico del sistema o una posición angular.

En el documento US 2002/0171028 se describe un dispositivo para el control del foco. En este caso, la luz reflejada interfiere con un segundo haz de rayos a través de una trayectoria de rayos de reproducción, realizándose una
20 medición y un control interferométricos.

En el documento US 6,666,857 B2 también se lleva a cabo un control del foco por medio de un control de frente de onda interferométrico. El control activo del frente de onda durante la fotoablación en el ojo humano se consigue mediante una combinación de espejos adaptables.

En el documento US 2004/0021851 se utiliza un dispositivo óptico compuesto por un láser y una óptica de conformación de haz posterior para la medición de la distancia focal de una lente no conocida. Aquí, la medición de la distancia focal se realiza mediante el enfoque en una superficie de referencia a diferentes distancias. Se detecta la parte reflejada de la radiación. Los diámetros de enfoque se evalúan con las distancias respectivas. Por medio de la relación "newtoniana" $Z Z' = f^2$ se determina la distancia focal. Una rejilla óptica, que no se describe con mayor detalle, se utiliza para desacoplar la parte reflejada de la radiación. El formalismo de la matriz de Jones también se utiliza
25 para el cálculo de la distancia focal. La precisión del procedimiento es del 1%.

El documento WO 2007/096136 A1 describe un dispositivo para la detección de la posición focal de un sistema óptico con una superficie parcialmente reflectante en el foco a medir, con una cámara para la toma de una imagen reflejada por la superficie mencionada, y con un ordenador para la evaluación de la imagen tomada por la cámara. En este caso, en la trayectoria de rayos del sistema óptico se dispone, delante del sistema de reproducción de enfoque, un elemento óptico que influye en la imagen citada en dependencia de la posición focal. Mediante
35 elementos de la óptica de enfoque se lleva a cabo un control de la posición de enfoque. Este documento revela las características del preámbulo de las reivindicaciones 1 y 11.

La presente invención se describe y explica a continuación especialmente con respecto al así llamado fs-LASIK (Lasik femtosegundo), aplicándose análogamente el uso de la invención en otros tratamientos de material en los que se desea un control exacto de la posición focal.
40

La invención se basa en la tarea de, en caso de un tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada, permitir un control, especialmente una regulación, simple y fiable de la posición focal.

Con esta finalidad, la invención pone a disposición un dispositivo para el tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada que presenta:

- 45 - una fuente que emite radiación electromagnética,
- elementos para dirigir la radiación hacia el material,
- elementos para enfocar la radiación sobre o en el material,
- un dispositivo para generar un patrón en la trayectoria de los rayos de la radiación electromagnética,
- una superficie al menos parcialmente reflectante en la trayectoria de los rayos delante del foco de la radiación enfocada, reproduciéndose el patrón citado sobre al menos una parte del elemento mencionado para la dirección y
50 reproduciéndose el elemento citado para el enfoque en la superficie al menos parcialmente reflectante,
- al menos un detector en el que se refleja una imagen del patrón de la superficie citada y que genera señales eléctricas correspondientes a la imagen, conteniendo la imagen información sobre la posición del foco,
- un ordenador que recibe las señales eléctricas mencionadas y que está programado para procesar la imagen citada, a fin de generar una señal eléctrica dependiente de la posición focal, y
55

- un elemento de ajuste de divergencia dispuesto en la trayectoria de rayos citada y diseñado para recibir la señal eléctrica citada del ordenador, a fin de modificar una divergencia de la radiación electromagnética en dependencia de la señal.

5 El ordenador está diseñado, según la invención, para detectar cambios en el tamaño de imagen o en las distancias de punto de la imagen mencionada como función de cambios de divergencia de la radiación y para generar, en base a los mismos, la señal eléctrica dependiente de la posición focal.

10 Con un dispositivo de este tipo es posible controlar o regular la posición focal a través del elemento de ajuste de divergencia, para lo cual, durante el tratamiento de la imagen, el ordenador desvía la información sobre la posición focal y, a continuación, si la posición focal real no corresponde a una posición focal teórica deseada, genera una señal según la cual el elemento de ajuste de divergencia modifica la divergencia del rayo, de manera que la posición focal real corresponda a la posición focal teórica. Al cambiar la divergencia del rayo, la posición focal varía sin necesidad de activar el elemento de enfoque (es decir, la óptica de enfoque en sentido estricto). Si la divergencia del rayo aumenta, el foco se mueve en la dirección del rayo y si la divergencia del rayo se reduce, el foco se mueve en dirección contraria a la dirección del rayo.

15 De acuerdo con una configuración preferida de la invención, la superficie parcialmente reflectante citada se dispone en un punto del dispositivo en el que la radiación electromagnética también sale del dispositivo en la dirección del material a tratar.

20 Otra configuración preferida de la invención prevé que, en el caso del material a tratar, se trate de tejido ocular, especialmente la córnea. En esta aplicación de la invención, el dispositivo se utiliza, por ejemplo, para generar el así llamado "flap" especialmente con un láser de femtosegundo. Al cortar la córnea para la generación del flap mediante la técnica fs-LASIK, el corte debe ser, mediante el control de la posición focal, especialmente preciso y lo más uniforme posible, es decir, fiel a la profundidad focal. En este caso, normalmente una placa de vidrio con una así llamada superficie de aplanación se presiona contra la córnea para fijar el ojo y obtener una superficie de referencia para el corte del flap en el estroma de la córnea. Los pulsos enfocados del láser cortan a continuación un corte plano en la córnea por regla general a una profundidad de aproximadamente 100 μm relativamente con respecto a la superficie de aplanación. En el borde del corte, la profundidad de corte se reduce, de manera que el borde del flap se pueda levantar hasta conseguir una "bisagra", a fin de doblar el flap hacia un lado.

25 La invención antes descrita permite un ajuste exacto y constante de la profundidad de corte y, por lo tanto, subsana los problemas que en ocasiones se producen en el estado de la técnica y que pueden resultar como consecuencia de las variaciones no deseadas de la profundidad de corte debidas al cambio de las posiciones focales durante el procedimiento. Con la invención es posible reducir las variaciones en la profundidad de corte a unos pocos μm .

30 En los sistemas que se suelen utilizar en la actualidad para la técnica fs-LASIK, la profundidad de corte se fija generalmente antes del tratamiento con respecto a la así llamada superficie de aplanación, es decir, la superficie con la que la placa de vidrio citada presiona la córnea en un plano definido, realizándose cortes en cuerpos de ensayo.

35 La presente invención se basa en el conocimiento de que, a pesar de una determinación como ésta de la profundidad de corte con cuerpos de ensayo, también pueden producirse variaciones no deseadas de las profundidades de corte predefinidas. Tanto en el período de tiempo entre la determinación de la profundidad de corte con cuerpos de ensayo, como también durante la propia operación (es decir, durante la generación del corte), pueden producirse variaciones no deseadas en la profundidad de corte, y concretamente debidas a

40 - un cambio en la divergencia del rayo láser, en particular como consecuencia de cambios térmicos en los componentes del láser o en otros componentes ópticos, y también debido a una deriva en la dirección del rayo láser,
 - los cambios en los componentes ópticos para el enfoque debidos a su vez a los cambios térmicos, y a
 - inexactitudes de fabricación de las superficies de la placa de vidrio que se presiona contra el ojo para la generación de la superficie de aplanación.

45 En el estado de la técnica, una vez ajustada previamente la profundidad de corte, por ejemplo, con el cuerpo de ensayo citado, ya no se detectan los cambios que se producen posteriormente en los componentes y que influyen en la posición focal y que especialmente ya no se corrigen. La invención subsana esta deficiencia y permite opcionalmente:

50 - la detección de cambios en la divergencia del rayo láser, especialmente debidos a efectos térmicos;
 - la detección de cambios en las propiedades de enfoque de la óptica de enfoque debidos especialmente a efectos térmicos;
 - la detección de cambios en la forma del rayo láser;
 - la detección de cambios en la dirección del rayo;
 - la detección de inexactitudes de fabricación en relación con la superficie de aplanación mencionada y su medición;

55 y

- la comprobación del recorrido del rayo hasta inmediatamente antes del tratamiento del material, es decir, especialmente la guía de corte en el fs-LASIK; y además

- la detección de errores de sistema en el láser o en la trayectoria de los rayos, especialmente durante la operación.

5 En las reivindicaciones dependientes se describen otras configuraciones preferidas de la invención. La invención pone a disposición además un procedimiento según la reivindicación 11.

A continuación se explican con más detalle ejemplos de realización de la invención por medio del dibujo. Se muestra en la:

Figura 1 esquemáticamente, un dispositivo para el tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada;

10 Figura 2 un ejemplo de realización para una máscara en la trayectoria de los rayos de la radiación electromagnética; y

Figura 3 esquemáticamente, la influencia de los cambios en la divergencia del rayo en un patrón.

El dispositivo representado en la figura 1 para el tratamiento de material con radiación electromagnética enfocada se refiere al corte de un así llamado flap ("colgajo") en el LASIK femtosegundo, es decir, la generación de un corte en la córnea de un ojo representado aquí por el material M.

15 Como fuente de radiación 10 se utiliza un láser de femtosegundo del tipo conocido para esta aplicación. La radiación 12 emitida por el láser de femtosegundo se aporta a través de dos espejos de desviación 14 a un expansor de haz 16 que amplía el diámetro del haz. El rayo láser ampliado se dirige a un elemento de ajuste de divergencia 18, es decir, a un dispositivo con el que se puede aumentar o reducir la divergencia del rayo láser. Como elemento de
20 ajuste de divergencia se tiene en cuenta especialmente un telescopio con lentes ajustables, un sistema de espejos deformables o lentes deformables. A continuación, el rayo láser pasa a través de un generador de patrones 20, por ejemplo, una máscara de sombra del tipo que se describirá posteriormente con mayor detalle. El generador de patrones 20 genera una distribución no homogénea de la intensidad del rayo por su sección transversal. La figura 2 muestra a modo de ejemplo una máscara de sombra con la que se genera un patrón que presenta cuatro puntos en los vértices de un cuadrado. Para la generación de patrones también resultan adecuadas otras estructuras que no
25 sean los agujeros mostrados. Mediante la variación de la divergencia del rayo láser mediante el elemento de ajuste de divergencia 18, cambian las dimensiones de las imágenes de la máscara generadas por el rayo detrás de la máscara, es decir, el patrón. El generador de patrones puede girar preferiblemente dentro y fuera de la trayectoria de los rayos.

30 Después de pasar a través de la máscara, el rayo láser ensanchado y ajustado en su divergencia incide en un divisor de haz 22. El divisor de haz 22 desvía una parte del haz, en la figura 1 hacia abajo, a través de una lente L1 hacia un primer detector D1. Otra parte del rayo láser pasa por el divisor de haz 22 en línea recta. Este haz parcial choca contra un obturador 24 y, con el obturador 24 abierto, contra una unidad de desviación 26 con la que se guía el haz y se posiciona en relación con el ojo M. Se representa esquemáticamente una óptica de enfoque a través de una lente 28. Una placa de vidrio con una superficie de aplanación 30 (inferior) se presiona contra la córnea del ojo
35 M, como es habitual en la técnica fs-LASIK para el corte del flap. El foco F del rayo láser se ajusta mediante la óptica de enfoque (lente 28) y, al cortar el flap, se encuentra en un plano de la córnea fundamentalmente perpendicular a la dirección del rayo, por ejemplo, a 100 µm de profundidad con respecto a la superficie corneal.

40 Si con el elemento de ajuste de divergencia 18 se modifica la divergencia del rayo láser, también varía la posición del foco F, incluso con ajustes por lo demás invariables de los componentes ópticos, lo que se simboliza en la figura 1 a través de la flecha doble.

La superficie de aplanación 30 de la placa de vidrio es parcialmente reflectante, de manera que la imagen del patrón generado con el generador de patrones 20 se refleja de nuevo en la superficie de aplanación 30 y alcanza un segundo detector D2 a través del divisor de haz 22 y de una lente L2. La superficie de aplanación reflectante se sitúa tan cerca del foco F como lo permite el material a tratar.

45 Los dos detectores D1, D2 son cámaras electrónicas de alta resolución que generan señales eléctricas a partir de las imágenes tomadas por las mismas del patrón generado con el generador de patrones 20 que se transfieren a un ordenador C para su procesamiento.

Debido a la función del divisor de haz 22, el primer detector D1 recibe imágenes del patrón que pasan de la fuente de radiación 10 al primer detector D1 sin haberse reflejado en la superficie parcialmente reflectante 30. El segundo
50 detector D2 recibe imágenes del patrón reflejadas por la superficie parcialmente reflectante 30. Las lentes L1 o L2 formatean las imágenes en los detectores para obtener una máxima resolución.

Debido a la disposición descrita de los componentes ópticos con respecto a los detectores D1 y D2, las imágenes del patrón tomadas por los detectores contienen información sobre el estado óptico de todos los componentes ópticos del dispositivo, especialmente información sobre la divergencia del rayo a su paso por el generador de
55 patrones 20. El primer detector D1 detecta esta información para la trayectoria de los rayos delante del divisor de haz 22 y el segundo detector D2 detecta esta información con respecto a todos los componentes en la trayectoria de los rayos desde la fuente 10 hasta la superficie de aplanación 30.

El generador de patrones 20 se puede configurar, por ejemplo, como una placa con agujeros (máscara de sombra) que se puede insertar en la trayectoria de los rayos. En la figura 1 se indica el desplazamiento de la máscara de sombra con la flecha doble y la posición, en la que la máscara de sombra se retira de la trayectoria de los rayos, con la referencia 20'.

- 5 En lugar de la máscara de sombra, también se pueden prever elementos electroópticos que permanecen en la trayectoria de los rayos y que se pueden controlar de manera que o bien sea posible un paso libre del rayo o bien se genere una máscara en la trayectoria de los rayos con la que se genera un patrón.

La función del dispositivo según la figura 1 para el control o la regulación de la posición del foco F es la siguiente:

10 Como se ha explicado al principio, en los dispositivos del tipo en cuestión pueden producirse desplazamientos no deseados de la posición focal condicionados especialmente por efectos térmicos y debidos a cambios en las propiedades ópticas de los componentes en la trayectoria de los rayos de la radiación emitida por la fuente 10. Una variación de la posición focal se produce en especial cuando cambia la divergencia del rayo. Si la divergencia del rayo láser varía, las imágenes de la máscara (es decir, las imágenes del patrón generado por la máscara) aumentan o disminuyen en los detectores D1, D2, dependiendo de si la divergencia aumenta o disminuye. En este caso, las propiedades de la imagen, especialmente el tamaño de la imagen de la máscara generada en la superficie de aplanación 30, representan también una medida para la posición focal, es decir, la imagen del patrón de radiación generado por el generador de patrones 20 en la superficie de aplanación contiene información sobre la posición del foco F. Ésta puede utilizarse para el procesamiento de imágenes en el ordenador C, a fin de calcular las señales de control para el elemento de ajuste de divergencia 18 con las que se controla la divergencia del rayo, de manera que el foco F tenga una posición deseada.

15 La figura 2 muestra un ejemplo de una máscara de sombra con cuatro puntos P. La figura 3 muestra cómo en la superficie de aplanación 30 la imagen de esta máscara de sombra puede cambiar dependiendo de las divergencias variables de la radiación. Estos cambios se marcan, por ejemplo, con las flechas dobles de la figura 3. Así, en caso de una variación simétrica de la divergencia, por ejemplo, las posiciones originales de los puntos P1, P2, P3, P4 pueden desplazarse hacia el interior a las posiciones correspondientes P1', P2', P3' o P4', lo que significa que el foco F se aproxima a la superficie de aplanación 30. Sin embargo, si la posición focal deseada corresponde a la posición inicial de los puntos P1, P2, P3 y P4, esta posición inicial se puede restablecer cambiando la divergencia (por ejemplo, aumentando la divergencia en función del tipo de componentes ópticos). Esto puede realizarse a modo de bucle de control, de manera que en el tiempo transcurrido entre la preparación de una operación, por ejemplo, una calibración óptica del sistema hasta el final de la operación, la profundidad focal deseada siempre se mantenga con una gran precisión.

De lo dicho anteriormente se deduce que la imagen de la máscara en la superficie 30 contiene información sobre la posición del foco F. Se deduce además que la imagen del patrón en la superficie se puede modificar ajustando la divergencia mediante el elemento de ajuste de divergencia 18.

35 Con estas funciones es posible calibrar el dispositivo óptico según la figura 1 con respecto a la posición focal, es decir, por ejemplo, es posible asignar experimentalmente una imagen en la superficie 30 a cada posición focal en los rangos de fluctuación esperados con un ojo de prueba o similar. Esta imagen es tomada por el detector D2 y almacenada en el ordenador C junto con los datos que caracterizan la posición focal como la profundidad focal. Para el procesamiento de imágenes pueden almacenarse en el ordenador C los datos que se obtienen experimentalmente (empíricamente), asignándose respectivamente posiciones focales determinadas a las imágenes de patrón. Esta asignación funcional puede realizarse, por ejemplo, en forma de tabla o también mediante una función matemática obtenida empíricamente. Para el sistema óptico determinado del dispositivo, las variaciones del tamaño de imagen del patrón son una función clara de los cambios de divergencia de la radiación y además las variaciones de la posición focal son también una función clara del cambio del tamaño de imagen y, por lo tanto, una función clara de los cambios de divergencia. En relación con un sistema óptico proporcionado, es decir, un dispositivo según la figura 1, estas funciones pueden determinarse empíricamente de antemano y almacenarse en el ordenador C del modo descrito.

50 En el bucle de control, el elemento de ajuste de divergencia 18 actúa como elemento de control. La magnitud de perturbación del bucle de control se determina a partir de las imágenes de los detectores. Por ejemplo, de la imagen de la máscara se puede obtener información de longitud (dimensiones), por ejemplo, las dimensiones entre los puntos según la figura 3. A través de la interpolación, las magnitudes en las que se basa el análisis pueden ser más precisas que las dimensiones de píxel de los detectores D1, D2.

60 Por ejemplo, según la figura 3, la distancia entre los puntos rellenos y los puntos vacíos puede determinarse mediante el procesamiento de imágenes en el ordenador C, pudiéndose utilizar una función obtenida empíricamente, que incluye la variación de las distancias en dependencia de un cambio de la posición focal, para, mediante la modificación de la divergencia por medio del elemento de ajuste de divergencia 18, restaurar la posición de los puntos calculada a partir de las funciones almacenadas y, por lo tanto, la posición focal deseada. Todo esto sucede relativamente con respecto a una situación de referencia determinada inicialmente de forma experimental (empírica), en la que la posición focal se mide, por ejemplo, con un ojo de prueba o similar y siendo esta posición focal, por ejemplo, exactamente la profundidad de corte deseada al cortar una flap en el fs-LASIK. Esta profundidad de referencia deseada incluye en tal caso dimensiones muy específicas de los puntos en la imagen del patrón según las

figuras 2 y 3, controlando el ordenador C el elemento de ajuste de divergencia 18, de manera que las distancias entre los puntos correspondientes a la posición focal deseada se mantengan antes y durante la operación.

Las magnitudes de perturbación son especialmente las variaciones térmicas de la longitud de trayectoria óptica de la trayectoria de la radiación desde la fuente 10 hasta el divisor de haz 22, los cambios de divergencia en este recorrido o también otros cambios de los componentes ópticos. Esto da lugar a cambios en las imágenes de ambos detectores D1, D2, conteniendo ya la variación en el detector D1 toda la información sobre estas magnitudes de perturbación.

Las variaciones del componente óptico que se producen en el trayecto entre el divisor de haz 22 y la superficie de aplanación 30, especialmente los cambios condicionados térmicamente o también los posicionamientos erróneos de la superficie de aplanación 30, dan lugar a cambios en la imagen del detector D2, sin que ello afecte a las imágenes tomadas por el detector D1.

Por lo tanto, con el ordenador también puede llevarse a cabo una evaluación de las magnitudes de perturbación y, en su caso, éstas pueden localizarse, es decir, asignarse a determinados componentes ópticos.

Además del control descrito de la posición focal, el sistema descrito también permite otros controles fundamentales del sistema con vistas a aumentar la seguridad operativa. Así, con el ordenador, por ejemplo, se puede implementar una función de monitorización para detectar interrupciones del haz, cambios en la elipticidad del haz, suciedad, defectos en la óptica, etc. Todo esto tiene un efecto en la imagen del patrón tal y como aparece en uno o en ambos detectores D1, D2, pudiéndose evaluar el mismo, a fin de excluir riesgos para el paciente, por ejemplo, interrumpiendo la operación en caso de producirse desviaciones de los parámetros antes mencionados con respecto a los valores teóricos preestablecidos. Para que el esfuerzo de cálculo para el procesamiento de imágenes en el ordenador C sea lo más reducido posible, se recomienda elegir el patrón generado por el generador de patrones 20 del modo más sencillo posible. Dicho patrón se logra con la máscara relativamente simple mostrada en la figura 2. Con la disposición de puntos representada se puede generar respectivamente, mediante la suma de columnas y filas, una distribución unidimensional con respectivamente dos picos. La distancia entre estos picos puede determinarse mejor (mediante interpolación), sin un esfuerzo de cálculo especial, con resoluciones espaciales que con una distancia de pixel.

Las máscaras de sombra se pueden realizar, por ejemplo, mediante perforaciones en placas metálicas, películas ennegrecidas, elementos holográficos, matrices de lentes, etc. Las máscaras simples se pueden procesar con un procesamiento de imágenes sin un gran esfuerzo de cálculo y prácticamente en tiempo real, mientras que las máscaras más complejas permiten más funciones de control y análisis de errores.

En la variante del ejemplo de realización antes descrito con vistas a la figura 1 es posible omitir el detector D1 con la correspondiente lente L1 o sustituirlo por un espejo. Si se usa un espejo en lugar del detector D1, se puede añadir una desviación del rayo que permita el paso del rayo al foco F o que lo bloquee en el espejo.

Otra variante del ejemplo de realización según la figura 1 puede prever la supresión del detector D2 y de la lente correspondiente L2 o su sustitución por un espejo. En este caso, si el obturador 24 está cerrado, es posible medir la distribución del rayo emergente. Si el obturador 24 está abierto, la distribución de imagen ya existente en el detector D1 se superpone a una segunda distribución de imagen (reflejada por la superficie 30). Ambas imágenes pueden procesarse relativamente una respecto a otra, por ejemplo, una imagen puede extraerse de la otra. Las dos imágenes pueden separarse en el espacio una de otra, lo que simplifica el procesamiento de imágenes.

Si se suprimen el detector D1 y la lente correspondiente L1, el obturador 24 se puede sustituir por un espejo plegable para tomar las imágenes aquí de interés de forma desplazada en el tiempo con sólo un detector D2 (cámara), dependiendo del estado de plegado del espejo.

Si se preestablecen patrones de línea para el generador de patrones, también es posible utilizar como detectores cámaras de exploración lineal en lugar de cámaras bidimensionales.

También es posible controlar la posición focal con respecto a la posición y al ángulo mediante una configuración de los espejos de desviación 14. La posición focal, es decir, la ubicación del foco en un plano perpendicularmente a la dirección del rayo, también tiene un efecto sobre la imagen del patrón en la superficie de aplanación 30 y puede utilizarse mediante el procesamiento de imágenes en el ordenador C para el control de la posición del foco mediante los espejos de desviación que se configuran como elementos ajustables por motor que el ordenador C puede controlar. Para ello, el ordenador C, como se ha explicado antes por medio de la profundidad focal en relación con la divergencia, puede programarse también empíricamente (experimentalmente), de manera que controle los espejos de desviación 14 de modo que la posición del foco perpendicular a la dirección del rayo se ajuste a un valor deseado preestablecido por el ordenador. En este caso, esta posición teórica del foco se mantiene durante el corte de un flap en el plano definido por la profundidad focal constante.

Esto se aplica análogamente a la dirección de la radiación en la ubicación del foco F que también influye en la imagen del patrón en la superficie 30 y que, por consiguiente, se puede someter a un control y regulación análogos a las explicaciones anteriores sobre la relación entre la profundidad focal y la divergencia mediante el control de los espejos de desviación 14 a través del ordenador C.

Lista de referencias

	10	Fuente de radiación
	12	Radiación
	14	Espejos de desviación
5	16	Expansor de haz
	18	Elemento de ajuste de divergencia
	20	Generador de patrones
	22	Divisor de haz
	24	Obturador
10	26	Guía del haz
	28	Enfoque
	30	Superficie de aplanación
	F	Foco
	L1	Lente
15	L2	Lente
	D1	Detector
	D2	Detector
	C	Ordenador
	32	Patrón
20	P	Punto
	34	Señal

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para el tratamiento de material (M) con radiación electromagnética enfocada que presenta:
- una fuente (10) que emite radiación electromagnética (12),
 - 5 - elementos (14, 16, 18, 22, 26) para dirigir la radiación hacia el material (M),
 - elementos (28) para enfocar la radiación sobre o en el material (M),
 - un dispositivo (20) para generar un patrón (32) en la trayectoria de los rayos de la radiación electromagnética,
 - una superficie al menos parcialmente reflectante (30) en la trayectoria de los rayos delante del foco (F) de la radiación enfocada, reproduciéndose el patrón citado (32) sobre al menos una parte del elemento mencionado para la dirección y reproduciéndose el elemento citado para el enfoque en la superficie al menos parcialmente reflectante (30),
 - 10 - al menos un detector (D1, D2) en el que se refleja una imagen del patrón (32) de la superficie citada (30) y que genera señales eléctricas correspondientes a la imagen, conteniendo la imagen una información sobre la posición del foco (F),
 - 15 - un ordenador (C) que recibe las señales eléctricas mencionadas y que está programado para procesar la imagen citada, a fin de generar una señal eléctrica (34) dependiente de la posición focal, y
 - un elemento de ajuste de divergencia (18) dispuesto en la trayectoria de los rayos citada, caracterizado por que
 - 20 - el ordenador (C) está diseñado para detectar cambios en el tamaño de imagen o en las distancias de punto de la imagen mencionada como función de cambios de divergencia de la radiación y para generar, en base a los mismos, la señal eléctrica dependiente de la posición focal y
 - por que el elemento de ajuste de divergencia (18) está diseñado para recibir la señal eléctrica citada (34) del ordenador (C) y para modificar la divergencia de la radiación electromagnética en dependencia de la señal.
- 25 2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado por que la superficie citada (30) se dispone allí donde la radiación electromagnética sale del dispositivo.
3. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que el material (M) es un tejido ocular, especialmente la córnea.
- 30 4. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la fuente (10) es un láser, especialmente un láser de femtosegundo.
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la superficie citada (30) es una superficie de aplanación diseñada para presionarla contra una córnea.
- 35 6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el patrón (32) presenta dos o más puntos (P).
- 40 7. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el elemento de ajuste de divergencia (18) presenta un telescopio, un espejo deformable o una lente deformable.
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se prevén dos detectores (D1, D2) de los que uno (D1) detecta la radiación emitida por la fuente (10) y el otro (D2) detecta la radiación reflejada por la superficie (30).
- 45 9. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el dispositivo (20) que genera el patrón (32) se dispone en la trayectoria de los rayos de la radiación electromagnética detrás del elemento de ajuste de divergencia (18).
- 50 10. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el patrón (32) presenta puntos (P) dispuestos a modo de matriz.
11. Procedimiento para el tratamiento de material (M) con radiación electromagnética enfocada que presenta los siguientes pasos:
- 55 - generación de radiación electromagnética (12) por medio de una fuente (10),
 - concentración de la radiación en el material a tratar,
 - enfoque de la radiación sobre o en el material,
 - generación de un patrón (32) por medio de la radiación electromagnética,
 - 60 - puesta a disposición de al menos una superficie parcialmente reflectante (30) en la trayectoria de los rayos de la radiación electromagnética delante de un foco (F) de la radiación enfocada,
 - reproducción del patrón citado en la superficie al menos parcialmente reflectante citada (30),
 - detección de la radiación reflejada por la superficie citada (30) mediante al menos un detector (D1, D2), conteniendo las imágenes detectadas una información sobre la posición del foco (F),
 - 65 - generación de señales eléctricas que representan las imágenes detectadas, y

- procesamiento de las señales eléctricas citadas en un ordenador (C), a fin de generar una señal eléctrica (34) dependiente de la posición focal, caracterizado por
- 5 - la determinación de variaciones en el tamaño de imagen o en las distancias de puntos de las imágenes como función de cambios de divergencia de la radiación por medio de un ordenador (C) y generación de señales eléctricas que dependen de la posición focal, y
- ajuste de la divergencia de la radiación en dependencia de la señal eléctrica citada (34).

Fig. 1

