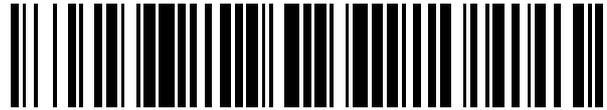


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 518**

51 Int. Cl.:

A61F 9/01 (2006.01)

B23K 26/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07711596 .2**

96 Fecha de presentación: **20.02.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **1986582**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **05.11.2008**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para detectar la posición focal de un sistema óptico y dispositivo de tratamiento oftalmológico**

30 Prioridad:

20.02.2006 DE 102006007750

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:

26.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:

26.12.2012

73 Titular/es:

**WAVELIGHT GMBH (100.0%)
AM WOLFSMANTEL 5
91058 ERLANGEN, DE**

72 Inventor/es:

**KITTELMANN, OLAF y
TRIEBEL, PETER**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 393 518 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 detectar la posición focal de un sistema óptico y un dispositivo de tratamiento oftalmológico.

5 La presente invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para detectar la posición focal de un sistema óptico. En particular, la invención se refiere a un dispositivo y a un procedimiento para detectar la profundidad focal de un sistema óptico de formación de imágenes y además también a un dispositivo y un procedimiento para controlar la posición focal y, en particular, la profundidad focal. Asimismo, la invención concierne también a un dispositivo de tratamiento y/o diagnóstico oftalmológico utilizando el dispositivo citado o el procedimiento citado.

10 Los sistemas ópticos que se comentan en la presente memoria son particularmente un sistema óptico de formación de imágenes en una instalación de tratamiento de material utilizando fuentes luminosas, como, en particular, láseres y LED. Por tratamiento de material se entiende aquí también una estructuración del material en el dominio micrométrico, por ejemplo para materiales dieléctricos, como, por ejemplo, tejido biológico o también materiales metálicos. En particular, la invención puede encontrar utilización en sistemas ópticos oftalmológicos, en particular en la cirugía refractiva de la córnea, como, por ejemplo, LASIK. En este caso, un ámbito de utilización especialmente apropiado para la presente invención es el LASIK fs, es decir, la cirugía refractiva de la córnea utilizando un láser de femtosegundos.

15 En los sistemas ópticos de formación de imágenes citados anteriormente, para la consecución de tratamientos de material altamente precisos se depende, entre otras cosas, de un control exacto de la posición focal. Por "posición focal" se entiende aquí, sobre todo, el lugar del foco en la dirección del eje óptico (la llamada profundidad focal), pero no sólo dicho lugar, sino también la posición y orientación de la radiación enfocada, es decir, por ejemplo un desplazamiento con respecto al eje óptico ideal del sistema o una posición angular del eje real de la radiación óptica con respecto al eje óptico ideal (deseado). En el LASIK fs se depende muy especialmente del mantenimiento de la profundidad focal calculada y esto es un uso especial de la presente invención.

20 En el documento WO 2005/039462 se determina la posición de la córnea del ojo por medio de zonas reflectoras dispuestas en el cristal de contacto para colocar el foco con relación a esta posición real durante el siguiente tratamiento.

25 En el documento DE 10 2004 009 212 A1 se presenta un elemento de contacto óptico para el tratamiento de material con láser. Este elemento de contacto se utiliza en la forma de realización preferida para LASIK fs. En este caso, este elemento de contacto consiste en una estructura óptica difractiva. Estas estructuras deben minimizar los ángulos de incidencia que aparecen debido a altas aperturas numéricas del objetivo. El elemento óptico difractivo (DOE) consiste aquí en una estructura de rejilla con periodo de rejilla radialmente adaptado. Los periodos de rejilla están en este caso entre 200 l/mm y 500 l/mm. Como tamaños de la mancha se indican valores en el dominio micrométrico. Debido a limitaciones ópticas es posible sólo una apertura numérica de aproximadamente 0,3. Se logra un agrandamiento de la apertura por la utilización de un segundo elemento difractivo en la trayectoria de los rayos del objetivo. Este DOE se realiza también como una estructura de rejilla circular con un periodo de rejilla mayor que se va haciendo hacia el eje óptico. Como ventaja de esta realización se indica en este caso la consecución de mayores aperturas numéricas. El elemento de contacto se realiza además en forma curvada. El radio de curvatura corresponde en este caso al radio de curvatura del ojo, aproximadamente 8 mm. El tratamiento de material se realiza con este radio de curvatura homogéneamente preajustado. La aspiración se realiza de manera análoga a los documentos WO 03/002008 A1 y EP 1 159 986 A2. No se realiza un control de foco con este procedimiento presentado.

30 En el documento EP 0 627 675 A1 se presenta un dispositivo óptico difractivo para formar imágenes de uno o más puntos espaciales de un rayo. En este caso, la estructura difractiva consiste también en una disposición segmentada de elementos difractivos binarios o de varios escalones de cualquier clase. La disposición puede ser, en particular, una disposición hexagonal o hexaédrica. Por tanto, se consigue una formación de imágenes de un rayo de luz. No obstante, sólo se efectúa una transformación de intensidad o/y de fase.

35 En el documento US 2002/0171028 se describe un dispositivo para control de foco. En este caso, la luz retornante por una trayectoria de los rayos formadores de imagen es puesta en interferencia con un segundo haz de rayos y, por tanto, se realiza un control interferométrico de las ondas.

40 Asimismo, en la patente US nº 6.666.857 B2 se realiza un control focal por medio de un control de frente de onda interferométrico. El control de frente de onda activo durante el proceso de fotoablación en el ojo humano se logra entonces por medio de una combinación de espejos adaptativos. No debe efectuarse ningún control de frente de onda activo.

45 En el documento US 2004/0051976 A1 se describe una disposición óptica de un microscopio confocal que consta de una fuente de láser, que emite principalmente en el dominio espectral UV, una óptica de ensanchamiento de los rayos, una agrupación ordenada de picaduras difractivas y un objetivo. No se describe una agrupación ordenada de

picaduras difractivas en su forma de realización exacta. Como ventaja de esta forma de realización técnica puede verse el aumento de la eficiencia, y así las agrupaciones ordenadas de picaduras y amplitudes, en dependencia de la relación de apertura, tienen una transmisión típica de entre 4% y 10%. Por el contrario, con una agrupación ordenada de picaduras difractivas, son posibles valores de transmisión de un elemento óptico de este tipo de hasta 80%, viniendo dada en este caso una dependencia de la relación de apertura o bien del número de picaduras únicamente por las condiciones de fabricación.

En el documento US 2004/0021851 se utiliza una disposición óptica que consta de un láser y la siguiente óptica de formación de rayos para medir la distancia focal de una lente desconocida. La medición de los valores focales se realiza en este caso por medio del enfocado sobre una superficie de referencia con diferentes distancias. En este caso, se detecta la parte retrorreflejada de la radiación. El diámetro de la mancha se evalúa entonces con las respectivas distancias. Por medio de la relación "newtoniana" $Z Z' = f^2$ se determina la distancia focal. Una rejilla óptica, que no se describe con detalle, es utilizada para el desacoplamiento de la parte retrorreflejada de la radiación. El formalismo de la matriz de Jones se aprovecha también para el cálculo de la distancia focal. La exactitud del procedimiento está en 1%.

En la patente US nº 6.909.546 B2 se describe una disposición óptica que consta de una fuente de luz (Nd:YAG2w) y la óptica siguiente de formación de rayos. En este caso, se utilizan dos elementos ópticos difractivos para homogeneizar la radiación láser. El primero de los dos DOE se utiliza en este caso para homogenización y filtrado de frecuencia espacial. Una picadura siguiente realiza el filtrado de la frecuencia espacial. Dentro de la estructura 2f del filtrado de la frecuencia espacial se encuentra el segundo DOE, que genera la distribución de intensidad deseada en el campo lejano. El campo lejano se genera por la lente de campo o, no obstante, el segundo DOE. En el foco se genera la distribución de intensidad deseada. No se realiza un control de foco en este procedimiento.

Por consiguiente, la invención tiene el objetivo de proporcionar un dispositivo y un procedimiento con los que sea detectable con exactitud la posición focal de un sistema óptico.

Para ello, la invención facilita un dispositivo para detectar la posición focal de un sistema óptico con una fuente de radiación, un sistema de formación de imágenes enfocante, una superficie al menos parcialmente reflectante en el foco, un sistema sensor digital adecuado (por ejemplo, una cámara CCD, una cámara CMOS o similares) para registrar una imagen reflejada por la superficie citada, un ordenador para procesar la imagen registrada por la cámara y un elemento óptico en la trayectoria de los rayos del sistema óptico, antes del sistema de formación de imágenes enfocante, que influye sobre la imagen citada dependiendo de la posición focal.

En este caso, el sistema óptico de formación de imágenes enfocante citado es preferentemente una óptica de enfoque con posición focal ajustable (variable), es decir, particularmente un sistema con el que puede ajustarse el lugar del foco en una dirección paralela al eje óptico de la formación de imágenes (es decir, la profundidad focal). Además, en un sistema de este tipo, en general, también la posición focal es ajustable en una dirección perpendicular al eje óptico de la radiación, por ejemplo en LASIK fs.

Por tanto, el dispositivo según la invención y el procedimiento correspondiente sirven, en particular, para el ajuste y reglaje iniciales de un sistema óptico de tal modo que, inmediatamente antes del procesamiento del material, se ajuste exactamente el foco con respecto a un plano prefijado, la denominada superficie, en particular de modo que esté justamente sobre esta superficie. Durante el uso en el LASIK, el plano nulo citado es preferentemente una superficie que se origina aspirando la córnea en una zona de interés contra una superficie de referencia (esto es conocido como tal para el experto en LASIK). El disco de aplastamiento transparente para la radiación utilizada está revestido en su lado vuelto hacia la cornea y aplicado a ésta de modo que la radiación incidente se refleja en un porcentaje reducido. Esta reflexión genera entonces la imagen citada de la radiación enfocada sobre este plano nulo, la cual que se mide y se evalúa con la cámara citada. Por tanto, en el enfoque ideal el foco debe estar exactamente sobre este plano nulo (es decir, en el ejemplo representado sustancialmente sobre la superficie de la córnea aplastada) y se ajusta entonces al sistema óptico en correspondencia con la evaluación de la imagen reflejada de modo que el enfoque sea óptimo, es decir que la posición del foco esté exactamente en este plano nulo. Por tanto, el sistema óptico es ajustado y reglado y puede utilizarse para el siguiente tratamiento de material. En el siguiente tratamiento de material se modifica en general la posición del foco con respecto al plano nulo citado. Así, por ejemplo, en el LASIK fs, durante el corte del llamado colgajo, se coloca el foco en el estroma y las posiciones del foco se varían sucesivamente en dirección transversal al eje óptico para generar el colgajo. Esto es conocido como tal. El ajuste inicial previamente descrito del sistema garantiza un posicionamiento exacto de los focos en los lugares nominales deseados.

En otros procesados de material, el plano nulo, que también puede indicarse como plano de referencia, puede definirse de otra manera y no debe coincidir necesariamente con la superficie del material a procesar. La radiación enfocada sobre el plano nulo y la medición de la imagen reflejada en este plano proporcionan un calibrado del sistema óptico de tal modo que el ajuste de las propiedades ópticas de formación de imágenes del sistema óptico para el estado ideal del enfoque exacto en el plano nulo sea conocido debido a la medición de imágenes, con lo que a continuación, partiendo de estos ajustes del sistema óptico, puede variarse la posición focal de manera correspondiente al tratamiento de material deseado, por ejemplo hacia el interior de la córnea.

Según una configuración, el elemento óptico citado, que influye en la imagen focal que se va a medir en dependencia de la posición focal, es una matriz de diafragmas (la denominada agrupación ordenada de picaduras).

5 El elemento óptico puede ser también un denominado elemento óptico difractivo (DOE) que genere un patrón de puntos en la distribución del campo lejano (conocido como tal para el experto y no explicado con detalle en la presente memoria).

10 El citado elemento óptico puede estar dispuesto en la trayectoria de los rayos de la imagen reflejada entre la superficie reflectante y la cámara o también fuera de esta trayectoria de los rayos, resultando respectivas ventajas según el tipo de utilización.

15 Con el elemento óptico puede influirse de preferencia localmente en la amplitud (intensidad) o la fase (frente de onda) de la imagen reflejada y pueden hacerse visibles las partes de desenfoque del frente de onda.

Asimismo, es posible prever el elemento óptico citado en la trayectoria de los rayos tanto de manera sensible a la fase como de manera sensible a la amplitud, en particular una combinación de ambas maneras.

20 Según una configuración preferida, el elemento óptico genera un patrón de puntos, en particular un patrón de puntos en forma de matriz regular.

25 La invención facilita también un procedimiento para detectar la posición focal de un sistema óptico, en el que se forman imágenes de la radiación de una fuente de radiación en un plano focal por medio de un sistema de formación de imágenes enfocante y en el que, para detectar la posición focal del sistema óptico, incluyendo el sistema de formación de imagen, se genera en el foco una imagen que se refleja allí y se toma con una cámara, influyéndose sobre un elemento óptico de la imagen registrada en dependencia del enfoque de la radiación y derivándose, en dependencia de la influenciación citada de la imagen, una información sobre la posición focal de la radiación enfocada en el lugar del foco previsto.

30 A continuación, se describen con más detalle ejemplos de formas realización de la invención con ayuda del dibujo, en el que:

35 La figura 1 muestra esquemáticamente, un primer ejemplo de forma de realización de un sistema óptico con un dispositivo para detectar una posición focal;

La figura 2 muestra un segundo ejemplo de forma de realización de un sistema óptico con un dispositivo para detectar la posición focal;

40 La figura 3 muestra esquemáticamente, un ejemplo de forma de realización de una disposición según la figura 2 con representación esquemática de distribuciones de fase de la radiación en el sistema y con una matriz perforada;

La figura 4 muestra un ejemplo de forma de realización de una disposición según la figura 2 con un elemento óptico difractivo; y

45 Las figuras 5 y 6 muestran ejemplos de formas de realización para imágenes registradas con una cámara para una formación de imágenes enfocante a la manera de una matriz perforada con enfoque exacto o errores de enfoque.

50 Conforme a la figura 1, un sistema óptico 10 presenta una fuente de luz 12 que, por ejemplo, puede ser un láser (como, por ejemplo, un láser fs) o un LED, etc. La radiación proporcionada por la fuente de luz 12 recorre un espejo de desacoplamiento 14 y se enfoca sobre un plano 18 por medio de un sistema de formación de imágenes 16 enfocante. El sistema de formación de imágenes 16 enfocante está indicado en las figuras sólo esquemáticamente por medio de una lente única. Usualmente, el sistema de formación de imágenes 16 enfocante presenta una pluralidad de lentes, de las cuales pueden maniobrarse una o más para ajustar y variar el foco. Tales sistemas ópticos de formación de imágenes son conocidos como tales.

55 En la figura 1, se han marcado con los símbolos de referencia 20a y 20b unas zonas (lugares) en las cuales puede posicionarse discrecionalmente un elemento óptico descrito con detalle más abajo. Ejemplos de tales elementos ópticos son los elementos ópticos 34 o 36 mostrados en las figuras 3 y 4.

60 La radiación reflejada por la superficie reflectante 18 llega al espejo de desacoplamiento 14 a través del sistema óptico de formación de imágenes 16 y eventualmente al elemento óptico descrito con detalle más abajo, dispuesto en la zona 20a, y es desviada desde allí en la figura 1 hacia arriba, a través de una óptica 22 de formación de imágenes, hasta una cámara digital 24, por ejemplo una denominada cámara CCD con alta resolución local. La imagen digital registrada con la cámara 24 se introduce en un ordenador C y se evalúa allí, como se describe con detalle más abajo.

65

La figura 2 muestra un ejemplo de realización modificado, en el que en las figuras componentes y características funcionalmente iguales o similares están provistos de los mismos símbolos de referencia. En el ejemplo según la figura 2 está prevista una óptica de ensanchamiento de los rayos (telescopio) que consta de los elementos ópticos 26, 28 para ensanchar el rayo antes de su enfoque con el sistema de formación de imagen 16. En vez del telescopio Kepler representado en la figura puede utilizarse en su lugar también otro sistema de formación de los rayos. Generalmente, el sistema óptico indicado en la figura 2 con "óptica de ensanchamiento de los rayos" puede ser también una óptica de formación de los rayos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en las zonas 20a y/o 20b puede disponerse, según las figuras 1 y 2, un elemento óptico que, en dependencia del enfoque más o menos óptico por medio del sistema de formación de imágenes 16 sobre la superficie reflectante 18, influya en la imagen antes descrita, originada por la reflexión y registrada con la cámara 24 y posibilite así una detección de si el enfoque sobre el plano correspondiente a la superficie 18 es exactamente el deseado o si la posición focal se ha desplazado con respecto a este plano, por ejemplo está, en la dirección del eje óptico, demasiado hacia delante o demasiado hacia atrás (la llamada profundidad focal).

Según la figura 3, como elemento óptico en el sentido anterior está dispuesta una máscara de agujeros 34 en la trayectoria de los rayos, antes del sistema de formación de imágenes 16 enfocante.

Por tanto, en el caso ideal se ajusta el sistema óptico de formación de imágenes 16 de tal modo que la radiación procedente de la fuente de luz 12 se enfoque exactamente en el plano 18 en un lugar prefijado. El foco está marcado en la figura 3 con el símbolo de referencia 18a. El ejemplo de forma de realización según la figura 3 corresponde al ejemplo conforme a la figura 2 con una óptica de ensanchamiento de los rayos en la zona que se indica con el símbolo de referencia 32. Allí están marcadas también simbólicamente las distribuciones de fase por los símbolos de referencia 30a, 30b, 30c.

El elemento óptico 34 es una matriz perforada con $N \times M$ agujeros individuales en la disposición regular representada. En este ejemplo de forma de realización, el elemento óptico puede realizarse como un elemento puro referido a la amplitud, es decir que puede influir en las intensidades de la radiación. Los diámetros de agujero típicos en la máscara de agujeros están entre $1 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$. Los agujeros pueden estar dispuestos particularmente en forma hexaédrica, cuadrada, hexagonal o bien circular. La disposición de los orificios individuales se ajusta al perfil de rayo utilizado y a los requisitos impuestos a la exactitud con respecto a la posición focal. Con el sistema descrito pueden determinarse con exactitud posiciones focales de hasta unos pocos μm . Dado que la radiación en el recorrido hasta el plano 18 y la imagen reflejada en el plano 18 corren respectivamente por el elemento óptico 34, se efectúa una influenciación de la imagen medida con la cámara 24 en dependencia de la exactitud del enfoque en el plano 18. Una variación de la posición focal con respecto al plano 18 (que es el plano nulo definido anteriormente) de unos pocos micrómetros puede detectarse por el procesado de la imagen registrada con la cámara 24 en el ordenador C.

Asimismo, es posible determinar la potencia de radiación que incide en el foco por la integración de las intensidades medidas con la cámara 24 en distintos puntos de imagen.

La figura 5 muestra a modo de ejemplo y esquemáticamente unas imágenes de reflexión obtenidas y evaluadas de esta manera. En este caso, la figura 5 muestra en el centro el diagrama de agujereado obtenido a modo de matriz para el caso de que el sistema óptico, incluido el sistema de formación de imágenes 16 enfocante esté ajustado de modo que el enfoque esté exactamente en el lugar deseado en el plano nulo 18. Como se ha dicho, la superficie reflectante para la generación de la imagen medida está también en este plano 18. Como muestra el diagrama de agujereado en la figura 5, en el centro, los distintos agujeros sin partes esféricas están iluminados en la imagen reflejada de una manera completamente homogénea, de conformidad con el perfil de los rayos de entrada.

La figura 5 muestra en el diagrama de agujereado izquierdo un desplazamiento de la posición focal con respecto al plano nulo 18 hacia atrás en aproximadamente $100 \mu\text{m}$. El procesado de la imagen proporciona, en comparación con el enfoque exacto (figura 5, en el centro), una variación de los distintos puntos de imagen en la matriz y el ordenador C está calibrado para el procesado de modo que "reconozca" esta divergencia. El calibrado del ordenador puede realizarse, por ejemplo, experimentalmente de tal manera que con un sistema óptico de formación de imágenes conocido se tomen y almacenen deliberadamente variaciones de la imagen generada reflejada en dependencia de la posición focal, con lo que, a continuación, puede determinarse la posición focal por comparación con imágenes efectivamente medidas.

La figura 5 muestra a la derecha un desenfoque de $-100 \mu\text{m}$ con una distancia focal del objetivo de 50 mm , con una variación correspondiente del diagrama de agujereado en comparación con el enfoque ideal. Expresado de una manera general, como se muestra en la figura 5 a la izquierda o a la derecha, la asimetría de la imagen permite un análisis del enfoque. Si este análisis, debido al procesado de la imagen con el ordenador C, proporciona una distribución de claridad asimétrica en la imagen, entonces los elementos del sistema de formación de imágenes 16 enfocante pueden variarse hasta que el procesado de la imagen arroje el resultado de que el foco está exactamente en el plano 18.

La figura 4 muestra un ejemplo de realización del dispositivo para detectar la posición focal de un sistema óptico 10, en el que el elemento óptico en el ejemplo de realización según la figura 2 está dispuesto en la zona 20b, es decir, de tal modo que la imagen reflejada en el plano 18 no corra en el camino hacia la cámara 24 por el elemento óptico 36.

El elemento óptico 36 es en este caso un elemento óptico difractivo (DOE) que, por ejemplo, forma un divisor de radiación de "1 en N", es decir que divide un rayo individual incidente en N rayos individuales, pudiendo variar N, por ejemplo, entre 2 y 50. La divergencia producida por el elemento óptico difractivo 36 puede corregirse de manera refractiva o difractiva por una segunda estructura (no mostrada). Asimismo, pueden disponerse uno detrás de otro varios elementos ópticos difractivos según el perfil de los rayos y el análisis deseado. Una ventaja de una disposición con elementos ópticos difractivos es la posibilidad de la corrección de la distribución de fases incidente. La distribución de fases puede ser influida tanto por la fuente de luz como por los elementos ópticos siguientes, es decir, en particular la óptica de ensanchamiento de los rayos. Asimismo, en este ejemplo de realización, de manera análoga a la descripción con ayuda de la figura 3, se registra con la cámara 24 la imagen reflejada en el plano 18 y se la evalúa en el ordenador C. La figura 6 muestra, para el caso de que el elemento óptico difractivo genere una distribución de radiación a modo de matriz, tres imágenes registradas con la cámara 24, indicando la imagen a la derecha en la figura 6 el caso de un enfoque ideal con una iluminación relativamente uniforme de los distintos puntos de imagen. En la figura 6 a la izquierda está representado el caso de que la posición focal se desvíe hacia un lado respecto del punto de formación de imágenes ideal 18a, concretamente en algunos centenares de micrómetros. Los distintos puntos de imagen están asimétricamente iluminados. La figura 6 muestra en el centro el caso de una posición focal desplazada hacia un lado en la otra dirección, iluminándose también menos simétricamente los distintos puntos de luz a modo de matriz que en el caso del enfoque ideal según la imagen de la figura 6 a la derecha.

Un elemento óptico 36 en forma de un DOE tiene, frente a una matriz perforada, la ventaja de una alta transmisión. Con un elemento difractivo puede lograrse típicamente una eficiencia entre 80 y 90%. Asimismo, una disposición de este tipo hace posible una dinámica muy alta en el procesado de la posición focal, es decir que puedan detectarse en un amplio intervalo desviaciones del foco respecto de la posición nominal ideal.

Asimismo, es posible disponer el elemento óptico difractivo 36 en las zonas 20a según las figuras 1 y 2.

Asimismo, el elemento óptico difractivo puede realizarse como un elemento binario o bien como una llamada estructura de rejilla multinivel. Las estructuras de rejilla pueden ser unidimensionales o bien bidimensionales.

Si se utiliza una disposición según las figuras 1, 2, 3 o 4 en el LASIK fs, entonces la superficie reflectante 18, que define el plano nulo explicado anteriormente, puede ser, por ejemplo, el lado trasero de una plaquita transparente en un dispositivo de succión conocido como tal, que esté constituido (revestido o sin revestir) de modo que se refleje un porcentaje reducido de la radiación incidente para obtener la imagen que se va a registrar con la cámara 24.

Como elementos ópticos difractivos se utilizan en particular: rejillas, lentes de zonas de Fresnel, los denominados elementos de perfilado de haz, etc. Asimismo, como elemento 36 pueden utilizarse los denominados componentes ópticos refractivos: por ejemplo, agrupaciones ordenadas de microlentes, elementos de perfilado de haz, etc. Si el elemento óptico 34 sirve para el análisis de la amplitud, entonces son adecuadas especialmente las máscaras de agujeros o bien disposiciones de agujeros en cualquier geometría, como cuadrada, hexaédrica, hexagonal, etc., según el tipo del rayo y el objetivo del análisis.

Asimismo, el elemento óptico puede estar configurado como una rendija o como una disposición de varias rendijas.

Con las disposiciones descritas no sólo puede determinarse y controlarse la posición focal, sino que también pueden registrarse divergencias de los rayos, potencias de láser, desviaciones de la radiación respecto del eje óptico, desviaciones en el llamado producto M^2 de los rayos o bien variaciones del perfil de los rayos de salida de la fuente de luz 12, dado que todos estos parámetros de los rayos pueden tener influencia sobre la imagen reflejada registrada con la cámara 24. Con respecto a todos estos parámetros de los rayos, el ordenador C puede proveerse previamente de un banco de datos obtenido experimentalmente mediante ensayos realizados a propósito, que asigne a parámetros individuales de los rayos unas desviaciones respecto de los valores nominales ideales que correspondan a respectivas variaciones de la imagen, de modo que el sistema pueda ajustarse a los valores ideales mediante una intervención en el mismo con magnitudes de ajuste correspondientes. En este caso, la utilización de elementos ópticos difractivos hace posible una compensación de variaciones de fase posiblemente producidas en la trayectoria de los rayos, las cuales también pueden influir en la posición focal. El sensor de Hartmann-Shack conocido como tal no hace posible un análisis de este tipo.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para detectar la posición focal de un sistema óptico (10) de una disposición LASIK, con una fuente de radiación (12), un sistema de formación de imágenes (16) enfocante, una superficie por lo menos parcialmente reflectante (18) formada por detrás de una plaquita transparente de un dispositivo de aspiración, un sistema sensor digital (24) para registrar una imagen reflejada por la superficie (18) citada, un ordenador (C) para procesar la imagen registrada por el sistema sensor digital (24), y con un elemento óptico (34; 36) previsto en la trayectoria de los rayos del sistema óptico (10), por delante del sistema de formación de imágenes (16) enfocante, caracterizado porque el elemento óptico (34; 36) previsto en la trayectoria de los rayos influye en la fase o amplitud de la imagen citada en función de la posición focal, reflejando la superficie parcialmente reflectante (18) un porcentaje de la radiación incidente para obtener la imagen que va a ser registrada por parte del sistema sensor digital.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque el elemento óptico (34; 36) es una matriz perforada.
3. Dispositivo según la reivindicación 1, caracterizado porque el elemento óptico (34; 36) es un elemento óptico difractivo.
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el elemento óptico (34) está dispuesto en la trayectoria de los rayos de dicha imagen reflejada citada.
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el elemento óptico (36) está dispuesto fuera de la trayectoria de los rayos de la imagen reflejada.
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el elemento óptico (34; 36) tiene una estructura de rejilla.
7. Dispositivo según la reivindicación 3, caracterizado porque el elemento óptico difractivo (34; 36) genera un patrón de puntos, en particular, un patrón de puntos en forma de matriz.
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la fuente de radiación (12) es un láser fs.
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones anteriores con unos medios para ajustar la formación de imágenes del sistema óptico (10) en función del procesado del ordenador.
10. Procedimiento para detectar la posición focal de un sistema óptico (10) inmediatamente antes del tratamiento de material, en el que la radiación de una fuente de radiación (12) se representa en un plano focal (18) a través de un sistema de formación de imágenes (16) enfocante y en el que, para determinar la posición focal de un sistema óptico, incluyendo el sistema de formación de imágenes (16), se genera una imagen en el foco (18a) disponiendo un elemento óptico (34; 36) en la trayectoria de los rayos, que es reflejada en este punto y registrada con una cámara (24), influyendo dicho elemento óptico (34; 36) en la imagen registrada en función del enfoque de la radiación y derivándose, en función de dicha influencia en la imagen, información sobre la posición focal de la radiación enfocada con respecto a un lugar focal (18a) previsto, caracterizado porque por medio del elemento óptico (34; 36) se influye en la fase o amplitud de la imagen en función de la posición focal y porque el sistema óptico es una disposición LASIK, reflejando la superficie parcialmente reflectante (18) un porcentaje de la radiación incidente para obtener la imagen que va a ser registrada con el sistema sensor digital.
11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que, por medio de la citada información derivada sobre la posición focal se ajusta un elemento óptico del sistema óptico (10) para modificar la posición focal.

Fig. 1

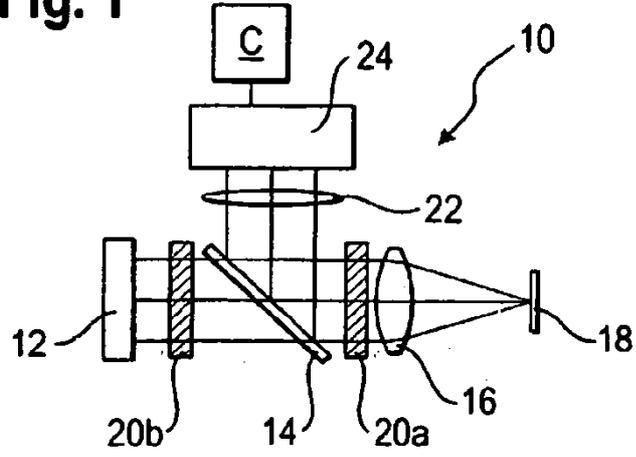


Fig. 2

