

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 984 010**

51 Int. Cl.:

G01M 11/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.06.2018** **PCT/ES2018/070464**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2019** **WO19002656**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.06.2018** **E 18823157 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2024** **EP 3647758**

54 Título: **Aparato para determinar la potencia óptica de lentes y método de medida**

30 Prioridad:

28.06.2017 ES 201730854

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

28.10.2024

73 Titular/es:

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS (CSIC) (50.0%)**

C/ Serrano 117

28006 Madrid, ES y

2EYES VISION S.L. (50.0%)

72 Inventor/es:

**DORRONSORO DÍAZ, CARLOS;
GAMBRA URRALBURU, ENRIQUE;
BARCALA GOSENDE, XOANA;
RODRÍGUEZ LÓPEZ, VÍCTOR y
MARCOS CELESTINO, SUSANA**

74 Agente/Representante:

CALLE LÓPEZ, Alejandro

ES 2 984 010 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

Aparato para determinar la potencia óptica de lentes y método de medida

5 CAMPO DE LA TÉCNICA

Esta invención pertenece al campo técnico de la óptica y, más en particular, a los aparatos para medir la potencia óptica de lentes.

10 ANTECEDENTES

Existen numerosas maneras de medir la potencia óptica de una lente. Una de ellas es utilizar el cambio de las interdistancias entre elementos ópticos, pero tiene la desventaja de que se utilizan partes móviles, limitando la robustez del aparato y la velocidad de medida.

15 Además, en los últimos años se han desarrollado lentes optoajustables, que varían su potencia óptica en respuesta a una señal eléctrica. Estas lentes pueden proceder de distintas tecnologías, y ya se utilizan en numerosas aplicaciones, y en algunas de ellas con variaciones rápidas y periódicas de potencia óptica. En algunas de estas lentes, como la divulgada en el documento WO 2012/055049, el cambio de potencia óptica se produce a muy alta velocidad en
20 respuesta a un impulso eléctrico, sin que ello suponga un precio elevado. Esto ha permitido nuevas aplicaciones en las cuales la lente funciona con variaciones rápidas y periódicas de potencia óptica. Sin embargo, las lentes optoajustables sufren efectos dinámicos, desviaciones con respecto a la potencia óptica estática cuando las lentes se usan en un ciclo dinámico, con tiempos de respuesta que pueden ir desde fracciones de milisegundos hasta minutos. Debido a estos efectos dinámicos, la potencia óptica de la lente no es controlada perfectamente por la señal eléctrica.
25 La potencia óptica transitoria para un valor eléctrico transitorio dado puede ser inferior o superior a la potencia óptica obtenida para estados estacionarios a largo plazo. La respuesta de la lente puede sufrir distorsiones: retrasos en los tiempos de subida o bajada, rebasamientos por un frenado tardío u oscilaciones. Estos efectos dinámicos tienen una gran dependencia del ciclo de trabajo, tanto de la amplitud de los escalones de potencia óptica que se le exigen a la lente como de la frecuencia de las variaciones.

30 Se conocen métodos suficientemente rápidos para observar los efectos dinámicos que se producen en lentes optoajustables, como el de la medida de la intensidad en el centro de un rayo láser con un pequeño fotodiodo (Berge, B., & Peseux, J. (2000). Variable focal lens controlled by an external voltage: An application of electrowetting. The European Physical Journal E, 3(2), 159-163) o bien con una fibra (Annibale, P., Dvornikov, A., & Gratton, E. (2015).
35 Electrically tunable lens speeds up 3D orbital tracking. Biomedical optics express, 6(6), 2181 -2190), pero la medida obtenida depende de la calidad de imagen, y en particular del emborronamiento inducido por el desenfoque de la propia lente, y no sólo de la potencia óptica, y además son muy sensibles a descentramiento. Otros métodos descritos consisten en capturar la imagen de un objeto a través de la lente con una cámara de alta velocidad (Oku, H., & Ishikawa, M. (2009). High-speed liquid lens with 2 ms response and 80.3 nm root-mean-square wavefront error. Applied
40 Physics Letters, 94(22), 221 108), pero no proporcionan datos para calcular de manera inmediata la potencia óptica de la lente.

También existen métodos basados en aberrometría que pueden utilizarse para calcular de forma precisa la potencia óptica y la calidad óptica. Si bien estas técnicas no suelen ser suficientemente rápidas para medidas dinámicas de
45 lentes optoajustables, existen implementaciones que podrían llegar a serlo, como las descritas en Jarosz, J., Mece, P., Conan, J. M., Petit, C., Paques, M., & Meimon, S. (2017). High temporal resolution aberrometry in a 50-eye population and implications for adaptive optics error budget. Biomedical Optics Express, 8(4), 2088-2105. En cualquier caso, las técnicas basadas en aberrometría son técnicas sofisticadas que proporcionan medidas indirectas de la potencia óptica, con montajes ópticos de alta complejidad y un alto coste computacional y económico.

50 Por todo lo anterior, existe la necesidad de un instrumento óptico realizable, para la medida a alta velocidad de lentes, con el cual evaluar, caracterizar y comprobar su potencia óptica. En el caso de las lentes optoajustables, cuya potencia óptica depende de la señal eléctrica de entrada, además existe la necesidad de calibrar su potencia óptica estática y dinámica. A efectos de esta patente, se entenderá como "alta velocidad" los regímenes de funcionamiento de la lente
55 optoajustable o de las cámaras con frecuencias muy superiores a la frecuencia crítica de fusión del parpadeo del sistema visual humano, es decir, con frecuencias iguales o superiores a los 50 Hz. En esos regímenes, el sistema visual percibe a través del sistema una imagen estática pese a que la lente está oscilando entre dos o más focos. Por el contrario, se entenderá como "baja velocidad" a regímenes de funcionamiento de la lente optoajustable o de las cámaras con frecuencias inferiores a dicha frecuencia.

60 El documento de patente JP S59 3238 A describe un medidor de lentes automático que comprende dos prismas que deben rotarse en direcciones opuestas para detectar la potencia de refracción de la lente que se va a inspeccionar. El documento de patente US4826315 describe un medidor de lentes en el que el haz de luz emitido desde una fuente de luz es colimado por una lente convexa y entra en un lente que se va a examinar; el haz de luz refractado de conformidad
65 con las potencias de refracción de varias partes de la lente que se va a examinar entra en un tope de seis aperturas. Esta operación se repite cuando se retira la lente que se va a examinar. El documento de patente GB1490215 describe

un aparato para examinar una lente, la cual se mueve a través de un haz a velocidad constante frente a un fotodetector en dos posiciones. La potencia de la lente se calcula en base al intervalo de tiempo entre las posiciones. El documento de patente EP0366357 describe un método para medir la potencia de una lente; el método se basa en introducir la lente en una trayectoria de haz de luz y compararla con la misma medición sin la lente.

Es necesario un sistema robusto, sencillo, directo, sin partes móviles y cuyo coste sea bajo, en la medida de lo posible, para la medida de la potencia óptica de lentes. Idealmente debería tener una alta velocidad de captura y poder utilizarse desde el chequeo del correcto funcionamiento de lentes optoajustables, hasta su caracterización detallada y calibración, llegando hasta el establecimiento de sus prestaciones y el guiado del diseño de dispositivos basados en ellas.

RESUMEN DE LA INVENCION

Estos problemas se solucionan mediante un aparato y un método para determinar la potencia óptica de un sistema óptico de ensayo según las reivindicaciones 1 y 9, respectivamente. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones preferidas de la invención.

En un primer aspecto inventivo, la invención proporciona un aparato para determinar la potencia óptica de un sistema óptico de ensayo, comprendiendo el aparato:

un conjunto generador de objeto óptico para generar un objeto óptico según un eje óptico;

un soporte para el sistema óptico de ensayo, de modo que cuando el sistema óptico de ensayo está situado en el soporte, dicho sistema óptico de ensayo está alineado con el eje óptico, y cuando el objeto óptico es generado, el sistema óptico de ensayo proyecta una imagen óptica inicial del objeto óptico;

un detector de imagen digital;

un conjunto deflector situado entre el conjunto generador de objeto óptico y el detector digital de imágenes, destinado a producir un desplazamiento lateral al menos en una parte de la imagen óptica inicial, generando así simultáneamente generar una imagen óptica desplazada y una imagen óptica de referencia en una imagen digital,

estando el detector de imagen digital situado para capturar la imagen óptica desplazada y la imagen óptica de referencia en al menos una imagen digital que contiene datos sobre el desplazamiento lateral; y

medios de procesamiento para determinar la potencia óptica del sistema óptico de ensayo a partir de los datos sobre el desplazamiento lateral contenidos en la imagen digital.

En distintas realizaciones, el sistema óptico de ensayo puede comprender una lente (como puede ser una lente optoajutable), una lente compuesta, un sistema óptico tal como un objetivo o un sistema de tipo prismático, o un instrumento óptico.

El hecho de que el conjunto deflector produzca un desplazamiento lateral en la imagen óptica inicial no obliga a que éste esté situado en ninguna posición particular, sino que puede estar en cualquier posición entre el conjunto generador de objeto óptico y el detector de imagen digital.

La principal ventaja de este aparato es que permite obtener la potencia óptica del sistema óptico de ensayo por un procedimiento sencillo y robusto, poco sensible a errores de posicionamiento, ya que no tiene partes que se muevan entre sí, que introducen pasos adicionales en los procesos de medida, alargándolos e impidiendo su uso para grandes cantidades de lentes en serie, y que además obligan a vigilar las tolerancias de posicionamiento y a calibrar constantemente las interdistancias entre los elementos. Al ser capaz el aparato de captar tanto una imagen óptica desplazada y una imagen óptica de referencia, para calcular el desplazamiento lateral de forma relativa, el aparato resulta asimismo poco sensible a errores de medida procedentes de desajustes, vibraciones, descentramientos y desalineamientos, incluso los introducidos por el propio sistema óptico de ensayo.

En algunas realizaciones particulares, el conjunto generador de objeto óptico incluye una fuente de luz que ilumina desde atrás una máscara perforada o una litografía plasmada en una lámina transparente. No obstante, en otras realizaciones, el objeto óptico puede ser autoiluminado, como por ejemplo un objeto generado en un monitor o en un microdisplay, o incluso un led. Incluso en otras realizaciones, puede ser una imagen impresa e iluminada. En algunas realizaciones particulares el objeto óptico tiene forma de línea o rendija óptica, y en otras, de punto. Son posibles objetos simples o múltiples. En general prácticamente cualquier objeto es válido, siempre que sea conocido. Los medios de procesamiento han sido programados conociendo el objeto óptico, para que puedan calcular su desplazamiento lateral de forma sencilla.

En algunas realizaciones, el conjunto generador de objeto óptico está configurado para generar el objeto óptico de

forma pulsada en el tiempo. En estas realizaciones, ventajosamente el detector de imagen digital puede comprender una cámara convencional de baja velocidad (que puede tener una frecuencia de captura inferior a 50 Hz, o inferior a 30 Hz), que está sincronizada con el conjunto generador de objeto óptico. El conjunto generador de objeto óptico puede comprender una fuente de luz pulsada.

5 En ciertas realizaciones, la frecuencia de captura del detector de imagen digital es igual a la frecuencia de generación de pulsos del generador de objeto óptico; de esta forma no se emiten pulsos de luz que no sean capturados por el detector de imagen digital.

10 En otras realizaciones, la frecuencia de generación de pulsos y la frecuencia de captura son múltiplos o fracciones, es decir, puede haber dos o más pulsos por cada captura del detector de imagen digital. Para ello, los pulsos generados por el generador de objeto óptico en el tiempo son discernibles temporalmente por el detector de imagen digital gracias a alguna propiedad característica del pulso, como puede ser la intensidad de cada pulso.

15 En algunas realizaciones particulares, el soporte comprende un carrete, una línea de montaje, un revólver o un tambor con una pluralidad de soportes individuales, estando el soporte adaptado para posicionarse en una pluralidad de posiciones distintas, de modo que en cada una de estas posiciones un soporte individual se encuentre situado de tal forma que cuando un sistema óptico de ensayo está situado en el soporte individual, está alineado con el eje óptico.

20 Estas realizaciones se emplean cuando se pretende evaluar una serie de sistemas ópticos de ensayo a gran velocidad. El soporte comprende una pluralidad de soportes individuales, y se va moviendo entre varias posiciones de modo que, en cada posición, uno de los soportes individuales, que soportará un sistema óptico de ensayo, se encuentra en la posición de medida del aparato, esto es, alineado con el eje óptico. En estas realizaciones, la única parte móvil es el soporte del aparato, mientras que el aparato de medida queda fijo, y va tomando las imágenes correspondientes para
25 cada sistema óptico de ensayo.

En algunas realizaciones particulares, el conjunto deflector comprende un único elemento deflector de entre los siguientes: un prisma, un espejo, una superficie parcialmente reflejante, una red de difracción, un modulador espacial de luz, una red de micropismas y una red de microespejos. Estos elementos son especialmente adecuados para
30 provocar el desplazamiento lateral de la imagen óptica inicial del objeto óptico.

De acuerdo con la invención, el elemento deflector está dispuesto para producir un desplazamiento lateral sólo en parte de la imagen óptica inicial. Esta realización permite obtener en una misma imagen digital y de forma simultánea datos sobre la imagen óptica desplazada y la imagen óptica de referencia.

35 En algunas realizaciones particulares, el conjunto deflector comprende varios elementos deflectores. Esta realización permite obtener dos o más imágenes ópticas desplazadas con desplazamientos que pueden ser en sentidos opuestos, que son a la vez imagen de referencia unas de otras, aumentando la precisión de la medida y aumentando la tolerancia a vibraciones y a errores de posicionamiento.

40 En algunas realizaciones particulares, uno de los elementos deflectores está dispuesto para recibir sólo parte de la imagen óptica inicial, mientras que otro de los elementos deflectores está dispuesto para recibir una parte distinta de la imagen óptica inicial. Esta realización por tanto también permite obtener en una misma imagen digital datos sobre la imagen óptica desplazada y la imagen óptica de referencia, pero de un modo distinto.

45 En algunas realizaciones particulares, el detector de imagen digital tiene una tasa de captura superior a 120 imágenes por segundo, y puede ser mayor de 500 imágenes por segundo, siendo por tanto capaz de obtener medidas sucesivas de potencia óptica discriminadas en el tiempo que permiten elaborar una curva de la respuesta dinámica temporal de lentes optoajustables.

50 En algunas realizaciones particulares, el sistema óptico de ensayo funciona con una frecuencia de cambio de la potencia óptica, y el detector de imagen digital tiene una frecuencia de captura inferior a la frecuencia de cambio de la potencia óptica del sistema óptico de ensayo. En algunas realizaciones, el detector de imagen digital tiene una frecuencia de captura más de 5 veces inferior a la frecuencia de cambio de la potencia óptica del sistema óptico de ensayo.
55

Este aparato consigue el efecto técnico principal de obtener la potencia óptica dinámica de un sistema óptico de ensayo, pero con un bajo coste.

60 En algunas realizaciones particulares, el aparato comprende adicionalmente un sistema de calibración entre el conjunto generador de objeto óptico y el soporte para el sistema óptico de ensayo, comprendiendo dicho sistema de calibración una lente de calibración colimadora, una lente de calibración focalizadora y una lente de calibración principal situada entre ellas en un plano conjugado ópticamente con el plano del soporte para el sistema óptico de ensayo.

65 El sistema de calibración permite calcular una relación de referencia entre potencia óptica y desplazamiento lateral

capturado por el detector de imagen digital. El sistema de calibración se puede usar cuando no existe un sistema óptico de ensayo situado en el soporte, para calibrar el aparato y poder comprobar que un sistema de calibración, cuya potencia óptica es previamente conocida, proyecta una imagen óptica de referencia y una imagen óptica desplazada concordes con su potencia óptica.

5 Además, este sistema de calibración se puede usar junto con el sistema óptico de ensayo, pudiendo así usarse para añadir o restar dioptrías. Se puede medir o calibrar la potencia óptica del sistema óptico de ensayo como aquella que compensa una potencia óptica de signo contrario en el sistema de calibración, entendiéndose que compensa completamente el desplazamiento lateral inducido por el sistema de calibración. También se puede usar para cambiar
10 el rango en el que se realizan las medidas de potencia óptica (si la potencia del sistema óptico de ensayo es demasiado alta o demasiado baja), ampliando así las posibilidades del sistema.

En algunas realizaciones particulares, el aparato comprende adicionalmente elementos ópticos, como por ejemplo una lente colimadora o una lente focalizadora, situados a ambos lados del sistema óptico de ensayo y que contribuyen a configurar los parámetros de la proyección del objeto óptico en la imagen óptica inicial, en función de las características del sistema óptico de ensayo.
15

Este aparato permite la medida de cualquier potencia óptica del sistema óptico de ensayo, positiva o negativa, ya que la lente colimadora y la lente focalizadora contribuyen a complementar la potencia óptica del sistema ensayo, de modo que pueda ser medida con más claridad por el aparato de medida.
20

En un segundo aspecto inventivo, la invención proporciona un método para medir la potencia óptica de un sistema óptico de ensayo; comprendiendo el método:

25 generar un objeto óptico mediante un conjunto generador de objeto óptico;
proyectar una imagen óptica inicial del objeto óptico disponiendo el sistema óptico de ensayo en un soporte;
30 producir un desplazamiento lateral al menos en una parte de la imagen óptica inicial mediante un conjunto deflector, generando simultáneamente una imagen óptica desplazada y una imagen óptica de referencia en una imagen digital;
capturar por medio de un detector de imagen digital al menos una imagen digital que contiene datos sobre el desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada y sobre la imagen óptica de referencia; y
35 calcular por medio de unos medios de procesamiento la potencia óptica del sistema óptico de ensayo a partir de los datos sobre el desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada y de la imagen óptica de referencia.

Este método permite la medida de la potencia óptica de un sistema óptico de ensayo de un modo fácil, rápido y robusto, poco sensible a condiciones externas y a la calidad de sus componentes.
40

El método puede realizarse mediante un aparato según el aspecto inventivo definido anteriormente, o en cualquiera de las realizaciones de este aparato.

45 El hecho de generar una imagen óptica de referencia proporciona una insensibilidad adicional frente a desalineamientos y descentramientos del sistema óptico de ensayo y anula el efecto de las vibraciones en el sistema, ya que tanto la imagen óptica de referencia como la imagen óptica desplazada sufrirían los mismos efectos frente a desalineamientos, descentramientos y vibraciones.

50 En algunas realizaciones, la etapa de generar un objeto óptico comprende generar un objeto óptico de forma pulsada en el tiempo. En estas realizaciones, la etapa de capturar al menos una imagen digital puede realizarse con una cámara de baja velocidad que está sincronizada con el conjunto generador de objeto óptico.

El método permite medidas de la potencia óptica dinámica de una lente optoajustable incluso con un detector de imagen digital que tiene una frecuencia de captura inferior a la frecuencia de cambio de la potencia óptica de la lente optoajustable oscilando periódicamente entre varias potencias y, por tanto, a la frecuencia del desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada. Esto es debido a que la potencia óptica dinámica se obtiene del procesamiento de la imagen óptica desplazada capturada en la imagen digital, a partir de los píxeles definidos por los valores extremos de dicha variación del desplazamiento lateral, y de la energía integrada en cada potencia óptica intermedia entre dichos valores extremos, y estos datos quedan capturados con el sistema objeto de la invención en imágenes digitales convencionales de baja velocidad.
60

En algunas realizaciones particulares, el método comprende adicionalmente la etapa de calibrar el aparato mediante la medida o mediante la compensación de la potencia óptica inducida por un sistema óptico de ensayo de calibración.
65

Este método permite la calibración del aparato cuando ha sido sometido a condiciones que hagan dudar de su

exactitud, tales como traslados, movimientos, etc.

En algunas realizaciones particulares, la etapa de calcular la potencia óptica del sistema óptico de ensayo comprende identificar un primer grupo de píxeles correspondientes a la imagen óptica desplazada y un segundo grupo de píxeles correspondientes a la imagen óptica de referencia, medir el desplazamiento lateral que separa ambos grupos de píxeles y correlacionar el desplazamiento lateral con una tabla de medida que asigna un valor de potencia óptica a cada valor de desplazamiento lateral.

Este método permite la medición de la potencia óptica de manera fiable y robusta, sin verse afectado por desplazamientos o desalineamientos de los componentes del aparato.

En algunas realizaciones particulares, el sistema óptico de ensayo comprende una lente optoajustable. En algunas realizaciones particulares, las etapas de capturar la señal de referencia y la señal desviada se realizan varias veces, estando el sistema óptico de ensayo sometida a una señal eléctrica variable, obteniendo por tanto una relación entre la señal eléctrica suministrada al sistema óptico de ensayo y la potencia óptica que dicho sistema óptico de ensayo proporciona para dicha señal eléctrica.

Ventajosamente, este método es de aplicación en el aparato de la invención, tanto en régimen estático, cuando la lente optoajustable alterna entre varias posiciones estables, como en régimen dinámico, cuando la lente optoajustable alterna a alta velocidad entre potencias ópticas diferentes, y puede hacerlo incluso con detectores de imagen digital de baja velocidad ya que se puede medir la potencia óptica dinámica aunque la lente optoajustable varíe su magnitud con una frecuencia muy superior a la velocidad de captura del detector de imagen digital.

En algunas realizaciones particulares, el soporte comprende un carrete, una línea de montaje, un revólver o un tambor con una pluralidad de soportes individuales, estando el soporte adaptado para posicionarse en una pluralidad de posiciones distintas, de modo que en cada una de estas posiciones un soporte individual se encuentre situado de tal forma que cuando un sistema óptico de ensayo está situado en el soporte individual, está alineado con el eje óptico, y el método incluye la etapa de disponer una pluralidad de lentes por el soporte, capturándose datos de la imagen óptica desplazada y datos de la imagen óptica de referencia para cada una de las lentes, permitiendo así que las lentes sean comprobadas, caracterizadas y/o seleccionadas.

Esta realización se emplea cuando se pretende evaluar una serie de lentes, que se pueden medir a gran velocidad. El soporte comprende una pluralidad de soportes individuales, y se va moviendo de modo que en cada posición, uno de los soportes individuales, que soportará una lente, se encuentra en la posición de medida del aparato. La única parte móvil sería el soporte, mientras que el aparato de medida queda fijo, y va tomando las imágenes correspondientes para cada lente.

Los diferentes aspectos y realizaciones particulares de la invención definidos en los párrafos anteriores pueden combinarse entre sí, incluyendo características de aparato y método, siempre y cuando sean compatibles entre sí.

Éstas y otras ventajas de la invención serán aparentes a la luz de la descripción detallada de la misma.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para completar la descripción y de cara a una mejor comprensión de la invención, se proporciona el siguiente juego de figuras. Dichas figuras son parte integral de la descripción, e ilustran uno o varios ejemplos particulares, que no deberían interpretarse como si restringieran el ámbito de protección de la invención, sino simplemente como un ejemplo de cómo se puede llevar a cabo la invención. Este juego comprende las siguientes figuras:

La figura 1 muestra una figura esquemática de un aparato para medir la potencia óptica que no es según la invención.

La figura 2 muestra una figura esquemática de una realización de un aparato para medir la potencia óptica según la invención.

La figura 3 ilustra datos procedentes de simulaciones computacionales de las prestaciones esperadas sobre una realización particular de la invención como la mostrada en la figura 1.

Las figuras 4a y 4b muestran imágenes digitales obtenidas por una realización particular de la invención.

La figura 5 muestra una imagen digital obtenida por otra realización particular de la invención.

La figura 6 muestra una figura esquemática de otra realización de un aparato para medir la potencia óptica según la invención.

La figura 7 muestra una gráfica comparativa entre una respuesta ideal de un sistema óptico de ensayo y la respuesta real.

La figura 8 muestra el funcionamiento de la invención para el caso en el que se utiliza una fuente de luz pulsada y una cámara de baja velocidad, usando para ello la gráfica de la figura 7.

- 5 La figura 9 muestra una gráfica comparativa entre la respuesta real del sistema óptico de ensayo y la respuesta real compensada cuando la señal de entrada es corregida.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

- 10 La figura 1 muestra una figura esquemática de una primera realización de un aparato 1 que no es según la invención. En ella, el aparato comprende:

- 15 un conjunto generador de objeto óptico 2, que comprende una fuente de luz 21 y una máscara 22 con una rendija;
- un soporte 3 para el sistema óptico de ensayo;
- un detector de imagen digital 5;
- 20 un prisma 6 situado entre la máscara 22 y el detector de imagen digital 5; y
- unos medios de procesamiento.

- 25 En esta figura, al igual que en resto de figuras esquemáticas, la posición del prisma 6 se realiza a efectos de posicionamiento relativo al resto de elementos, pero no sugiere ninguna forma ni orientación particular.

- El conjunto generador de objeto óptico 2 genera un objeto óptico, el cual es proyectado. Cuando el sistema óptico de ensayo está situado en el soporte 3 y el objeto óptico es generado, el sistema óptico de ensayo proyecta una imagen óptica inicial 41 del objeto óptico según un eje óptico 10. En este caso, el sistema óptico de ensayo es una lente de ensayo 4. En el caso particular que se ilustra en la figura 1, en la formación de esta imagen óptica inicial 41 intervienen, además de una lente de ensayo 4 colocada en su soporte 3, una lente colimadora 11 y una lente focalizadora 12, colocadas a ambos lados de la lente de ensayo 4. En distintas realizaciones, estos elementos pueden variar en función del rango de potencias ópticas esperadas en la lente de ensayo 4. Lo importante es que dicha lente de ensayo 4 proyecte la imagen óptica inicial 41, bien sola o bien en combinación con otros elementos ópticos, como la lente colimadora 11 y la lente focalizadora 12.

- El prisma 6 está destinado a producir un desplazamiento lateral en la imagen óptica inicial 41, cuando ésta se observa desde el detector de imagen digital 5, generando así una imagen óptica desplazada 61 y una imagen óptica de referencia 60. El detector de imagen digital 5 está situado para capturar la imagen óptica desplazada 61 y la imagen óptica de referencia 60 en al menos una imagen digital 50 que contiene datos sobre el desplazamiento lateral. Este desplazamiento lateral depende de la potencia óptica de la lente de ensayo 4 y se produce sin ningún movimiento de los elementos del sistema, en particular sin movimiento alguno del prisma 6.

- En esta realización la imagen óptica inicial 41 se forma sobre el prisma 6. En otras realizaciones, la luz es deflectada antes de formar la imagen óptica inicial y en otras, después, generándose igualmente una imagen óptica desplazada por el prisma 6, sin que estas realizaciones alternativas afecten al efecto técnico principal producido por el aparato de medida 1.

- En la realización mostrada en esta figura, el prisma 6 es extraíble, de modo que cuando el prisma 6 se encuentra entre la lente de ensayo 4 y el detector de imagen digital 5, el detector de imagen digital 5 captura una imagen digital con datos de la imagen óptica desplazada 61, y cuando el prisma 6 es extraído, el detector de imagen digital captura otra imagen digital con datos de la imagen óptica de referencia 60.

- El detector de imagen digital 5 comprende en este caso un objetivo fotográfico 51 y un sensor de imagen 52 en el que se captura la imagen digital.

- Los medios de procesamiento calculan la potencia óptica de la lente de ensayo 4 a partir de datos sobre el desplazamiento lateral contenidos en la imagen digital. En el caso de que la lente de ensayo 4 sea una lente optoajustable, que varía su potencia óptica en función de una señal eléctrica de entrada (como puede ser la señal periódica rectangular mostrada mediante línea fina en la figura 7), se crean sucesivamente imágenes ópticas desplazadas en otras posiciones laterales, una para cada potencia óptica (no mostradas en la figura).

- La figura 2 muestra una realización alternativa de un aparato 1 para medir la potencia óptica de un sistema óptico de ensayo, de acuerdo con la invención.

- En este caso, al igual que en la realización mostrada en la figura 1, el conjunto deflector comprende un único prisma

6, pero éste está situado para producir un desplazamiento lateral sólo en una parte de la imagen óptica inicial 41. El resto de la imagen óptica inicial 41 se convierte en imagen óptica de referencia 60, sin ser afectado por ningún elemento deflector.

- 5 Esta es una manera sencilla de que el detector de imagen digital 5 capture una sola imagen que comprende los datos de la imagen óptica desplazada 61 y de la imagen óptica de referencia 60, obtenidos de forma simultánea.

En otras realizaciones, el conjunto deflector tiene dos prismas, de modo que uno de ellos está dispuesto para producir un desplazamiento lateral sólo en parte de la imagen óptica inicial, mientras que otro de ellos está dispuesto para producir un desplazamiento lateral en una parte distinta de la imagen óptica inicial.

De esta forma, el detector de imagen digital recibe una sola imagen digital que comprende datos de dos imágenes distintas, cada una de ellas generada por uno de los prismas. Cada una de estas dos imágenes puede considerarse como imagen óptica de referencia e imagen óptica desplazada, puesto que su combinación contiene los datos de desplazamiento lateral, pero a la vez están referenciadas la una a la otra.

Las estrategias que capturan imágenes ópticas desplazadas e imágenes ópticas de referencia en una única imagen digital compensan errores debidos a la colocación del sistema óptico de ensayo, a los propios desalineamientos intrínsecos a la lente de ensayo (especialmente si es una lente optoajutable) y a las vibraciones durante la medida. Como los errores de medida mencionados afectan a ambas imágenes ópticas, la captura simultánea de ambas permite descontar la influencia del error sobre la medida.

La figura 3 ilustra cómo funciona una realización particular de la invención como la mostrada en la figura 1 y los resultados numéricos que proporciona la simulación computacional precisa de la misma.

En concreto, se muestran datos sobre la imagen óptica de referencia (en línea continua) y datos sobre la imagen óptica desplazada (en línea discontinua) para distintas potencias de la lente de ensayo. En el eje X se muestran la potencia óptica P del sistema óptico de ensayo, en dioptrías (D), y en el eje Y se muestra la posición del centro de la imagen óptica C, medida en píxeles (pix). Las barras de error representan el ensanchamiento de la imagen óptica en unidades de píxeles del detector, suponiendo que el objeto iluminado es idealmente estrecho (un punto, una línea o una rendija).

La imagen óptica de referencia, tomada sin prisma, mostrada en línea continua, permanece siempre en la misma posición, y la imagen se va ensanchando por emborronamiento de desenfoque (como indican las barras de error) a medida que aumenta la potencia óptica P del sistema óptico de ensayo.

En presencia del prisma, la imagen óptica desplazada, mostrada en línea discontinua, se va ensanchando de forma parecida, pero se produce una pendiente descendente, un desplazamiento lateral en su posición, a medida que aumenta la potencia óptica P del sistema óptico de ensayo.

A medida que aumenta la potencia óptica del sistema de ensayo se incrementa el ensanchamiento, pero esto sólo afecta a la medida de forma secundaria, ya que la medida se basa en la posición relativa de la imagen óptica desplazada respecto a la imagen óptica de referencia. Sin conjunto deflector no hay desplazamiento lateral, pero con conjunto deflector se produce un desplazamiento que sirve para medir la potencia óptica del sistema óptico de ensayo, también en presencia del emborronamiento por desenfoque que produce ensanchamiento de las imágenes ópticas.

En la práctica, cuando se utiliza un algoritmo de medida del desplazamiento absoluto, sin tomar imagen óptica de referencia, el sistema resulta poco robusto, ya que la posición de la imagen óptica desplazada es muy sensible al centrado del sistema óptico de ensayo y también a las vibraciones o pequeños desalineamientos del aparato de medida. Sin embargo, en nuestro caso, al capturar una imagen óptica de referencia junto con la imagen óptica desplazada, se elimina esta afección, y el sistema resulta más robusto.

En las figuras 4a y 4b se muestran dos ejemplos de imágenes digitales para una configuración particular del aparato de medida de la invención.

- 55 En este caso, el objeto óptico es una línea de luz con forma de rendija óptica, comprendiendo el generador de objeto óptico una ranura en una placa opaca iluminada desde atrás por un led extenso.

El conjunto deflector utilizado en este caso comprende un prisma que afecta solamente la mitad de la imagen óptica inicial, correspondiente a la mitad superior de las imágenes. El resto de la imagen óptica inicial se ve inalterada, convirtiéndose por tanto en la imagen óptica de referencia, viéndose en la parte inferior de las imágenes. En este caso, por lo tanto, la imagen óptica desplazada y la imagen óptica de referencia se capturan simultáneamente y en la misma imagen digital, aunque en otras realizaciones esta captura puede realizarse en distintas imágenes digitales.

La figura 4a muestra la imagen digital que contiene los datos sobre la imagen óptica de referencia 60 y la imagen óptica desplazada por el prisma 61, en un caso en el que el sistema óptico de ensayo tiene poca potencia óptica y, por lo tanto, produce poco desplazamiento lateral. La figura 4b muestra una imagen digital análoga, pero capturada

cuando el sistema óptico de ensayo tiene una potencia óptica más alta, por lo que produce un desplazamiento lateral más elevado. La imagen óptica de referencia 60, capturada en la parte inferior de la imagen digital, no varía su posición a pesar del cambio en la potencia óptica del sistema óptico de ensayo, debido a que la luz que la forma no atraviesa el prisma. Sin embargo, la imagen óptica desplazada 61 sufre un desplazamiento lateral que depende de la potencia

5 óptica del sistema óptico de ensayo. La referencia es estable y compensa las posibles irregularidades, desalineamientos y vibraciones a las que esté sometidos el aparato de medida.

En este caso particular, el sistema óptico de ensayo es una lente optoajustable de focal variable en ambas imágenes digitales, y la cámara es una cámara de alta velocidad capaz de capturar 3500 imágenes por segundo, y por tanto

10 como se ve en las imágenes digitales capaz de capturar el desplazamiento lateral de la imagen óptica de la rendija a medida que la lente optoajustable cambia su potencia óptica. Entre las imágenes de las figuras 4a y 4b han pasado tan solo 5 milisegundos, pero el sistema objeto de la invención es capaz de registrar cambios de potencia óptica con la misma precisión que si se tratara de una lente fija.

En otros casos, como por ejemplo el caso en el que el conjunto deflector comprende dos prismas orientados de manera distinta, la parte inferior de la imagen no permanece inalterada, sino que es la diferencia de movimiento entre ambas

15 rendijas lo que da a los medios de procesamiento los datos necesarios para calcular la potencia óptica. En ese caso cualquiera de las dos podría considerarse como imagen óptica desplazada o como imagen óptica de referencia. Como es obvio, los medios de procesamiento basan su cálculo en una relación entre desplazamiento lateral y potencia óptica distinta del caso anterior.

En realizaciones distintas se utilizan objetos ópticos diferentes, tales como una cruz, un punto, un círculo, un cuadrado, o un semiespacio, con cualquiera de las orientaciones, inclinaciones posiciones o tamaños posibles. En cada caso

25 habría que cambiar los medios de procesamiento para extraer el desplazamiento lateral a partir de la imagen digital.

Se ha visto las ventajas en el uso de un detector de imagen digital de alta velocidad. Sin embargo, una de las ventajas de la presente invención es que permite evaluar la respuesta dinámica de la lente optoajustable incluso con cámaras

convencionales de baja velocidad, de bajo coste. Esto se muestra en la figura 5.

En esta figura, aunque no lo parezca a simple vista, el objeto óptico es una rendija simple, igual que en el caso de las Figuras 4a y 4b.

30

El sistema óptico de ensayo es una lente optoajustable, que varía su potencia óptica a alta velocidad, alternando cada 10 ms entre dos potencias ópticas con 3 dioptrías de diferencia entre ellas.

35

El conjunto deflector comprende dos prismas con las mismas dioptrías, pero uno de ellos tiene la base del prisma en una dirección opuesta a la del otro. Cada uno de los dos prismas ocupa la mitad de la sección correspondiente a la imagen óptica inicial.

El detector de imagen digital es una cámara de baja velocidad, que toma una imagen cada 200 ms, con lo cual cada imagen digital comprende 10 ciclos completos de la lente optoajustable: desde que la cámara toma una imagen hasta

40 que toma la siguiente, la lente ha cambiado 20 veces de potencia óptica.

Lo que se observa en la imagen digital de la figura 5 es el registro de los desplazamientos laterales entre los cuales han oscilado las imágenes ópticas durante los 10 ciclos completos de la lente optoajustable. Se observa que la rendija de la parte inferior de la imagen se desdobra en dos rendijas de luz 60, 60', correspondientes a lo que podemos llamar

45 imagen óptica de referencia y la rendija de la parte superior se desdoble en dos rendijas de luz 61, 61', correspondientes a lo que podemos llamar imagen óptica desplazada. Como tanto la rendija de la parte superior como la rendija de la parte inferior han sido desplazadas, pero en sentido contrario, cualquiera de las dos puede considerarse imagen óptica de referencia, y la otra, imagen óptica desplazada con respecto a la imagen óptica de referencia. Dentro de cada una de ellas, cada una de las rendijas de luz observadas corresponde a los extremos entre los cuales oscilan estas imágenes.

Si esta cámara de baja velocidad estuviera integrada en los aparatos de medida de potencia óptica conocidos por el experto en la materia, sería totalmente inadecuada para medir la variación de la potencia óptica de dicha lente

55 optoajustable.

Sin embargo, la imagen digital de la figura 5 permite observar y medir la energía integrada en el tiempo correspondiente a cada potencia óptica de la lente optoajustable y, por tanto, conocer el recorrido que ha seguido la rendija al desplazarse, y compararlo con el recorrido ideal, lo que permite observar los efectos dinámicos de la lente. Permite

60 comprobar si cuando la lente funciona a alta velocidad el desplazamiento lateral es el mismo que cuando funciona a baja velocidad o si por el contrario la lente responde con un salto en dioptrías menor o mayor. También permite comprobar la pérdida de energía en posiciones intermedias de potencia óptica, correspondientes al tiempo que dura la transición entre niveles de potencia óptica.

La imagen digital proporcionada por una cámara de baja velocidad, que muestra una respuesta integrada en tiempo,

65

no proporciona información tan detallada del comportamiento dinámico del sistema óptico de ensayo como la proporcionada por la cámara de alta velocidad, que muestra una respuesta discriminada en tiempo. Sin embargo, proporciona información suficiente para un gran número de aplicaciones, especialmente para la comprobación del correcto funcionamiento de la lente optoajustable o de sistemas ópticos o instrumentos que contienen una lente optoajustable como núcleo tecnológico y elemento crítico. Por ejemplo, en el caso de simuladores de visión simultánea por multiplexación temporal.

En realizaciones particulares, con la ilustrada en la figura 6, el aparato incorpora adicionalmente un sistema de calibración.

Como se ha comentado anteriormente, el aparato de la invención mide el desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada con respecto a la imagen óptica de referencia. Como existe una relación unívoca entre el desplazamiento lateral y la potencia óptica del sistema óptico de ensayo, se puede medir dicha potencia óptica con sólo medir el desplazamiento lateral. Un ejemplo de ello es la figura 3 obtenida a partir de simulaciones, que muestra una relación lineal entre desplazamiento en píxeles y potencia óptica.

Esta relación lineal se puede estimar a partir de los valores nominales de los componentes utilizados (potencias ópticas de las lentes, interdistancias entre elementos, etc.). Sin embargo, existe el inconveniente de que estos valores nominales no siempre coinciden con los valores reales de las magnitudes de los elementos y relaciones que componen el aparato, por lo que puede que esa estimación no sea todo lo exacta que se necesita. Una opción para salvar este inconveniente es realizar una calibración previa del aparato estableciendo experimentalmente dicha relación entre desplazamiento lateral y potencia óptica, por ejemplo, midiendo lentes de potencias ópticas conocidas, llamadas lentes de prueba, y midiendo el desplazamiento lateral que generan. Así se traza la curva de calibración (que normalmente es una recta, ya que las simulaciones predicen una dependencia lineal) que proporciona la tabla de conversión entre desplazamiento lateral frente a potencia óptica que se utilizará en medidas posteriores.

Dichas lentes de prueba ocupan el espacio del sistema óptico de ensayo y han de ser adaptadas al soporte preexistente. Por ello, en algunas realizaciones particulares, como la mostrada en la figura 6, se incorpora en el aparato de medida 1 un sistema de calibración para poder medir el sistema óptico de ensayo en presencia de lentes de prueba.

El objeto óptico es proyectado según un eje óptico 10 por el sistema generador de objeto óptico 2 en un objeto óptico de calibración 80 gracias a un sistema de calibración 8 formado por una lente de calibración colimadora 81, una lente principal de calibración 82 y una lente de calibración focalizadora 83. La lente principal de calibración 82 está situada entre la lente de calibración colimadora 81 y la lente de calibración focalizadora 83, en un plano conjugado ópticamente con el plano del soporte 3 en el que se coloca el sistema óptico de ensayo 4. Esto hace que ambos planos sean equivalentes y que el efecto óptico de la lente principal de calibración 82 se sume al del sistema óptico de ensayo 4.

Este sistema de calibración tiene varias aplicaciones.

Una primera aplicación es realizar calibraciones, con la ventaja de que las lentes de calibración están siempre disponibles, y no es necesario modificar la estructura del aparato de medida para introducirlas. Además, al tener su propio espacio definido, no afecta de ningún modo al entorno del soporte 3 donde está situado el sistema óptico de ensayo 4.

Además, las lentes de calibración 81, 82, 83 se pueden utilizar para añadir o restar dioptrías y cambiar el rango en el que se realizan las medidas (si la potencia del sistema óptico de ensayo es demasiado alta o demasiado baja) ampliando así las posibilidades del aparato de medida.

En el caso de lentes optoajustables, un uso particular es calibrar la señal eléctrica que provoca una determinada respuesta deseada en términos de potencia óptica. Para ello, se utiliza la lente optoajustable como sistema óptico de ensayo 4 y se utiliza una lente principal de calibración 82 de la misma potencia óptica que la potencia óptica que se desea provocar en la lente optoajustable, pero de signo contrario. Situadas ambas lentes 4, 82 en el aparato de medida, se va variando la señal eléctrica que alimenta la lente optoajustable hasta que la potencia óptica de la lente optoajustable compensa la potencia óptica de la lente de prueba, algo que se observa cuando el desplazamiento lateral observado en la imagen digital, que combina el inducido por la lente optoajustable 4 y por la lente principal de calibración 82, es igual a cero.

Otra de las aplicaciones se puede observar en las Figuras 7 y 9.

La figura 7 muestra una comparación entre una respuesta ideal (línea fina) de una lente optoajustable a una señal de entrada rectangular de periodo 20 ms y la respuesta que se obtiene en realidad (línea gruesa), como resultado de los efectos dinámicos en la variación de la potencia óptica de la lente.

Idealmente, se esperaría que la lente variara de forma totalmente instantánea el valor de su potencia óptica: ante una señal de entrada rectangular que varía entre dos valores distintos, se espera que la potencia óptica siga el mismo esquema, variando de manera instantánea entre dos valores de potencia óptica nominal, superior e inferior.

Sin embargo, lo que se observa en la medida de la potencia óptica real, representada por la línea gruesa, es que existen efectos dinámicos que hacen que la potencia óptica real de salida no corresponda exactamente con lo idealmente esperado. La potencia óptica presenta un pico con respecto al valor nominal cuando se produce el cambio en la señal de entrada. El pico es superior al valor nominal superior cuando la señal aumenta de intensidad e inferior al valor nominal inferior cuando la señal cambia hacia su valor inferior.

Como se ha indicado, la figura 8 muestra el funcionamiento de la invención para el caso en el que se utiliza una fuente de luz pulsada y una cámara de baja velocidad. Como en el caso mostrado en la gráfica de la figura 7, la línea gruesa representa la señal de respuesta de una lente (por ej., una lente optoajustable) que se obtiene en realidad al aplicar la señal de entrada rectangular de periodo 20 ms de la figura 7.

En el caso mostrado en la figura 8, la caracterización de esta señal de respuesta periódica no requiere el uso de una cámara de alta velocidad (aunque también podría utilizarse una cámara de alta velocidad). En este caso, la señal de respuesta periódica se puede caracterizar empleando un conjunto generador de objeto óptico que genera pulsos de luz muy cortos (típicamente de menos de 1 ms), siendo la duración del pulso de luz muy inferior al periodo de la señal de respuesta periódica. Estos pulsos de luz se muestran en el eje de coordenadas mediante estrellas. La imagen generada por un pulso de luz es capturada por el detector de imagen digital, que puede ser una cámara de baja velocidad, y que está sincronizada con la generación de pulsos de luz por parte del generador óptico. Las capturas de la cámara de baja velocidad se muestran en la figura 8 mediante puntos blancos.

En esta realización, la velocidad de captura es tal que se impide que una misma captura contenga información relativa a más de un pulso de luz. Por tanto, la captura de la información relativa a un pulso se completa antes de que incida otro pulso.

No obstante, también es posible que haya dos o más pulsos por cada captura del detector de imagen digital. En tal caso, los pulsos registrados por el detector tienen que ser discernibles temporalmente mediante una o más características del pulso, tales como la intensidad de cada pulso, su duración, su forma, etc.

Posteriormente, estas capturas se pueden procesar para reconstruir un ciclo de la señal periódica de respuesta, es decir, de potencia óptica. Para que esta reconstrucción sea posible, la frecuencia de la señal de entrada no puede ser múltiplo entero de la frecuencia de los pulsos de luz, ya que para reconstruir un ciclo de una señal cíclica se necesita conocer varios valores que toma dicha señal en un mismo ciclo.

En una realización concreta, la señal de entrada periódica es una señal rectangular de frecuencia 50 Hz, y la frecuencia de captura del detector de imagen digital es igual a la frecuencia de generación de pulsos del generador de objeto óptico e igual a 30 Hz.

En esta realización se muestra el resultado para una señal de entrada rectangular, pero igualmente sería aplicable siempre que la señal de potencia óptica a caracterizar sea cíclica (todos los ciclos son iguales). De esta forma, cada imagen capturada con la cámara de baja velocidad corresponde con un punto del ciclo de la señal de potencia óptica (punto de dimensión temporal igual a la duración del pulso de luz). El conjunto de todas las imágenes tomadas permite muestrear el ciclo completo.

La figura 9 muestra la comparación entre dicha respuesta real de la lente optoajustable (línea gruesa) y una respuesta real compensada (línea fina) cuando se corrige la señal de entrada para compensar efectos dinámicos, gracias a los datos obtenidos en un aparato de medida según la invención.

El aparato de medida según la invención ofrece la precisión necesaria para caracterizar la respuesta dinámica, y por tanto proporciona al técnico la información que necesita para variar la señal de entrada y obtener unos valores de potencia óptica de salida mucho más uniformes, sin los picos u otras distorsiones que se observaban cuando la señal no había sido modificada. Como se ve en la respuesta real compensada, representada por la línea fina, no existen los picos anteriormente mencionados, por lo que el comportamiento dinámico de la lente optoajustable es mucho más parecido al ideal.

REIVINDICACIONES

1. Aparato (1) para determinar una potencia óptica de un sistema óptico de ensayo (4), donde el aparato (1) comprende

un conjunto generador de objeto óptico (2) para generar un objeto óptico según un eje óptico (10);

un soporte (3) para el sistema óptico de ensayo (4), de modo que cuando el sistema óptico de ensayo (4) está situado en el soporte (3), dicho sistema óptico de ensayo (4) está alineado con el eje óptico (10), y cuando el objeto óptico es generado, el sistema óptico de ensayo (4) proyecta una imagen óptica inicial (41) del objeto óptico;

un detector de imagen digital (5);

un conjunto deflector (6) situado entre el conjunto generador de objeto óptico (2) y el detector de imagen digital (5), caracterizado por que

dicho conjunto deflector está destinado a producir un desplazamiento lateral en al menos una parte de la imagen óptica inicial (41), generando así simultáneamente una imagen óptica desplazada (61) y una imagen óptica de referencia (60) en una imagen digital,

estando el detector de imagen digital (5) situado para capturar la imagen óptica desplazada (61) y la imagen óptica de referencia (60) en al menos una imagen digital (50) que contiene datos sobre el desplazamiento lateral; y

medios de procesamiento para determinar la potencia óptica del sistema óptico de ensayo (4) a partir de los datos sobre el desplazamiento lateral y de referencia contenidos en la imagen digital (50).

2. Aparato (1) según la reivindicación 1, en el que el objeto óptico es una línea de luz con forma de rendija óptica.

3. Aparato (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto deflector (6) comprende un único elemento deflector de entre los siguientes: un prisma, un espejo, una superficie parcialmente reflejante, una red de difracción, un modulador espacial de luz, una red de microprismas y una red de microespejos, en el que el único elemento deflector está preferiblemente dispuesto para producir un desplazamiento lateral sólo en parte de la imagen óptica inicial.

4. Aparato (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el conjunto deflector (6) comprende varios elementos deflectores, y preferiblemente, uno de los elementos deflectores está dispuesto para producir un desplazamiento lateral sólo en parte de la imagen óptica inicial, mientras que otro de los elementos deflectores está dispuesto para producir un desplazamiento lateral en una parte distinta de la imagen óptica inicial.

5. Aparato (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el sistema óptico de ensayo (4) funciona con una frecuencia de cambio de potencia óptica, y el detector de imagen digital (5) tiene una frecuencia de captura inferior a la frecuencia de cambio de la potencia óptica del sistema óptico de ensayo.

6. Aparato (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente un sistema de calibración entre el conjunto generador de objeto óptico (2) y el soporte (3) para el sistema óptico de ensayo (4), comprendiendo dicho sistema de calibración una lente de calibración colimadora (81), una lente de calibración focalizadora (83) y una lente de calibración principal (82) situada entre ellas en un plano conjugado ópticamente con el plano del soporte (3) para el sistema óptico de ensayo (4).

7. Aparato (1) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto generador de objeto óptico (2) está configurado para generar el objeto óptico de forma pulsada en el tiempo.

8. Aparato (1) según la reivindicación 7, en el que el detector de imagen digital (5) comprende una cámara que está sincronizada con el conjunto generador de objeto óptico.

9. Un método para determinar una potencia óptica de un sistema óptico de ensayo que comprende:

generar un objeto óptico mediante un conjunto generador de objeto óptico (2);

proveer el sistema óptico de ensayo (4) en un soporte (3) de modo que proyecte una imagen óptica inicial (41) del objeto óptico;

proveer un conjunto deflector (6)

caracterizado por que dicho conjunto deflector produce un desplazamiento lateral en al menos una parte de la

imagen óptica inicial (41), generando simultáneamente una imagen óptica desplazada (61) y una imagen óptica de referencia (60) en una imagen digital;

5 capturar por medio de un detector de imagen digital (5) al menos una imagen digital (50) que contiene datos sobre el desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada (61) y sobre la imagen óptica de referencia (60); y

10 calcular por medio de unos medios de procesamiento la potencia óptica del sistema óptico de ensayo (4) a partir de los datos sobre el desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada (61) y de la imagen óptica de referencia (60).

10. El método según la reivindicación 9, en el que la etapa de generar un objeto óptico comprende generar un objeto óptico de forma pulsada en el tiempo.

15 11. El método según la reivindicación 10, en el que la etapa de capturar al menos una imagen digital se realiza con una cámara de baja velocidad sincronizada con la generación del objeto óptico de forma pulsada.

20 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en el que la etapa de calcular la potencia óptica del sistema óptico de ensayo comprende identificar un primer grupo de píxeles correspondientes a la imagen óptica desplazada (61) y un segundo grupo de píxeles correspondientes a la imagen óptica de referencia (60), medir el desplazamiento lateral que separa ambos grupos de píxeles y correlacionar el desplazamiento lateral con una tabla de medida que asigna un valor de potencia óptica a cada valor de desplazamiento lateral.

25 13. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que el sistema óptico de ensayo (4) comprende una lente optoajustable, y en el que preferiblemente la etapa de capturar una imagen digital (50) que contiene datos sobre el desplazamiento lateral de la imagen óptica desplazada (61) se realiza varias veces, estando el sistema óptico de ensayo (4) sometido a una señal eléctrica variable, obteniendo por tanto una relación entre la señal eléctrica suministrada al sistema óptico de ensayo (4) y la potencia óptica que dicho sistema óptico de ensayo proporciona para dicha señal eléctrica.

30 14. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 13, en el que el soporte (3) comprende un carrete, una línea de montaje, un revólver o un tambor con una pluralidad de soportes individuales, estando el soporte adaptado para posicionarse en una pluralidad de posiciones distintas, de modo que en cada una de estas posiciones un soporte individual se encuentre situado de modo que cuando un sistema óptico de ensayo está situado en el soporte individual, está alineado con el eje óptico (10) y el método incluye la etapa de disponer una pluralidad de lentes en el soporte (3), de modo que se capturan datos de la imagen óptica desplazada y datos de la imagen óptica de referencia para cada lente de la pluralidad de lentes, permitiendo así que las lentes sean comprobadas, caracterizadas y/o seleccionadas.

40 15. El método según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, llevado a cabo por un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

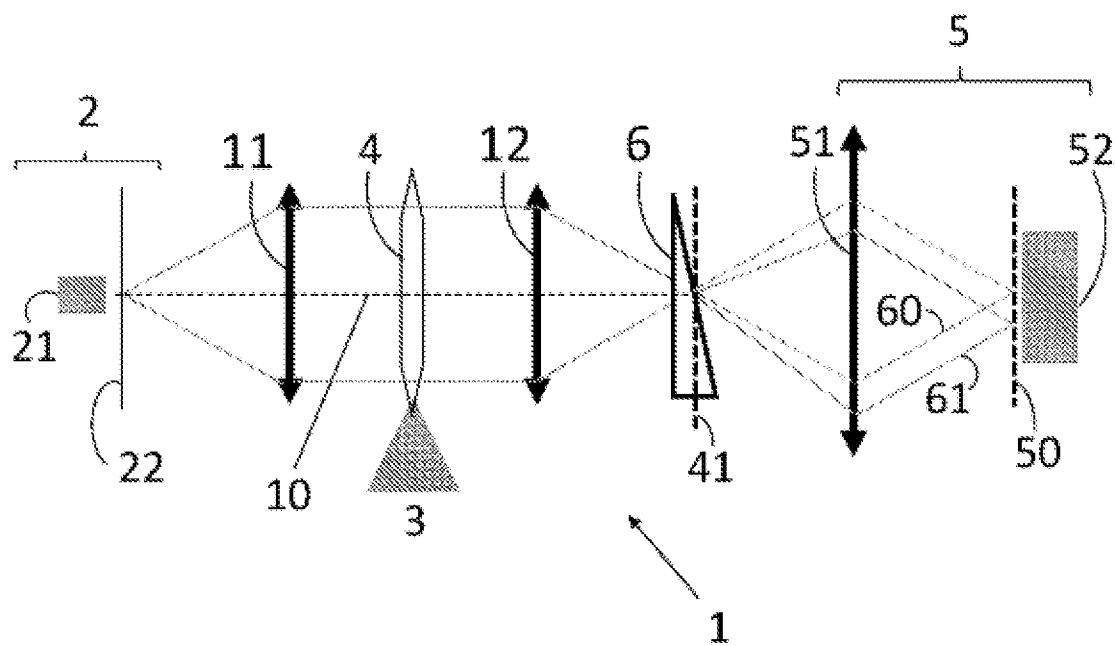


Fig. 1

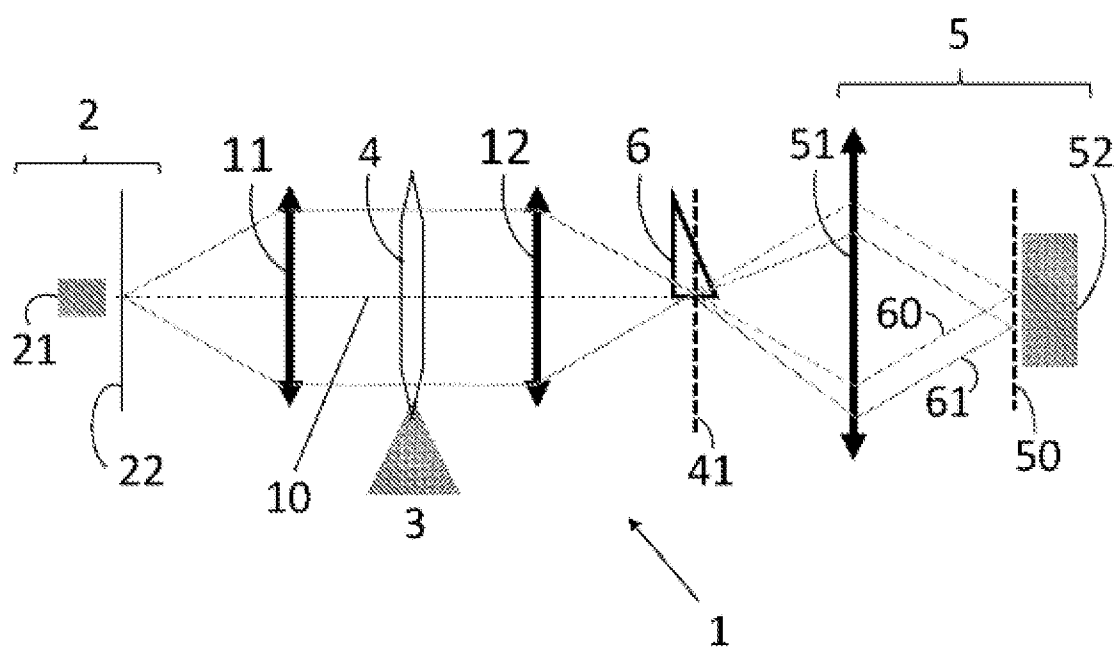


Fig. 2

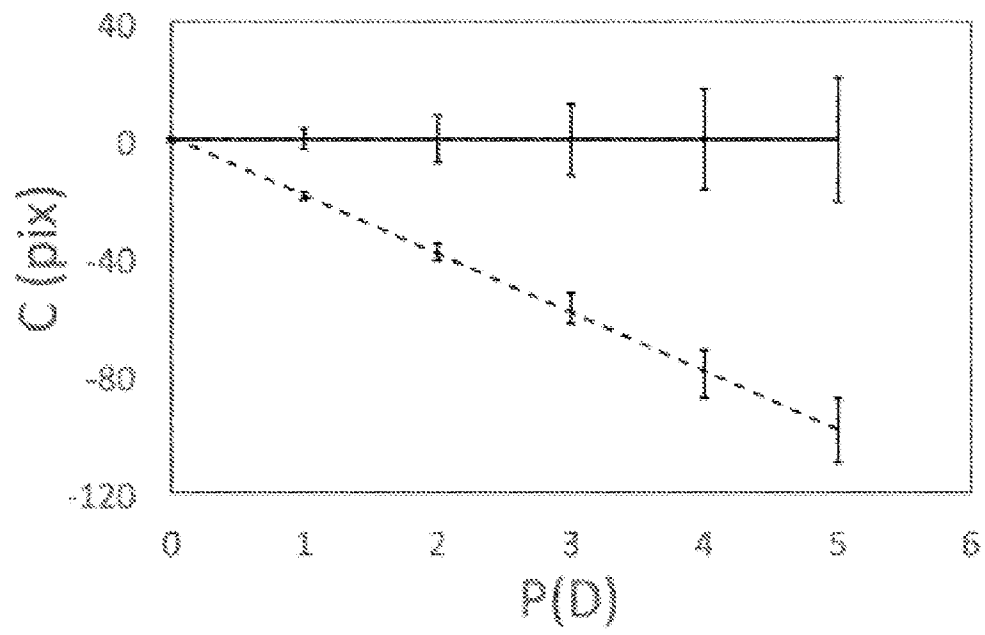


Fig. 3

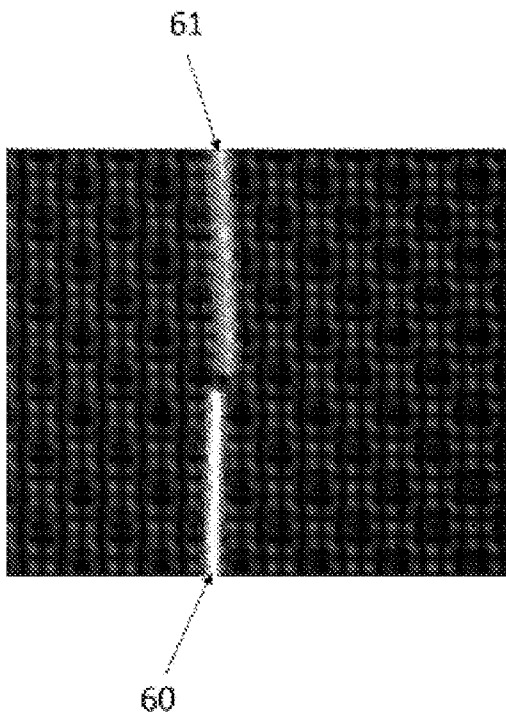


Fig. 4a

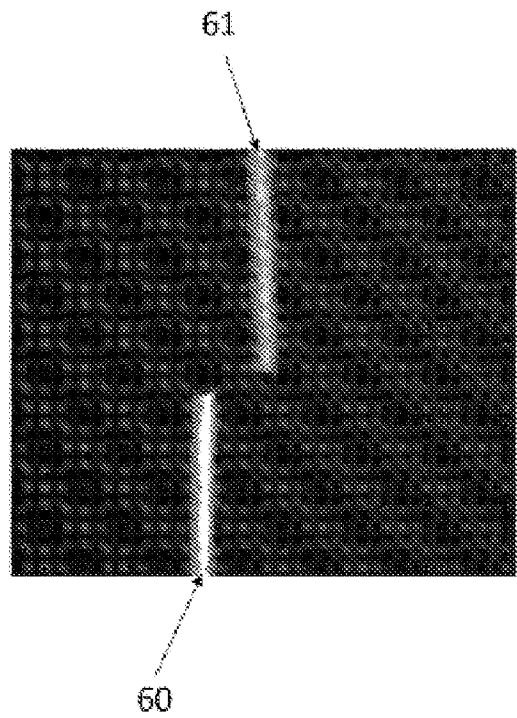


Fig. 4b

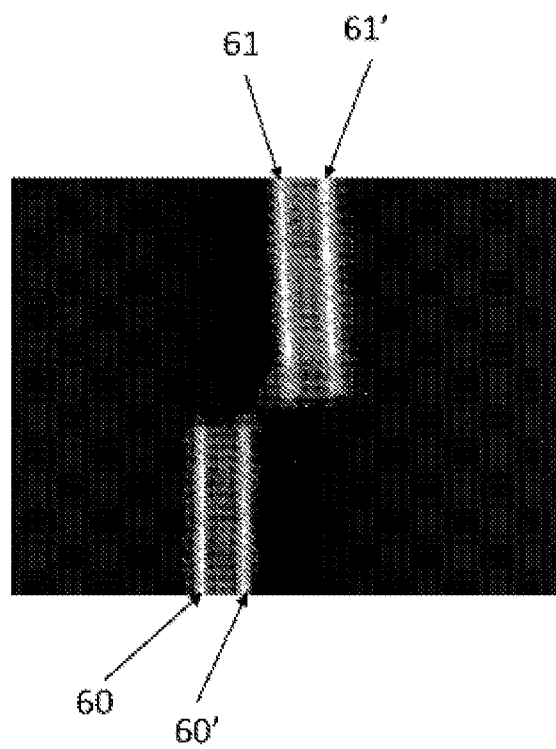


Fig. 5

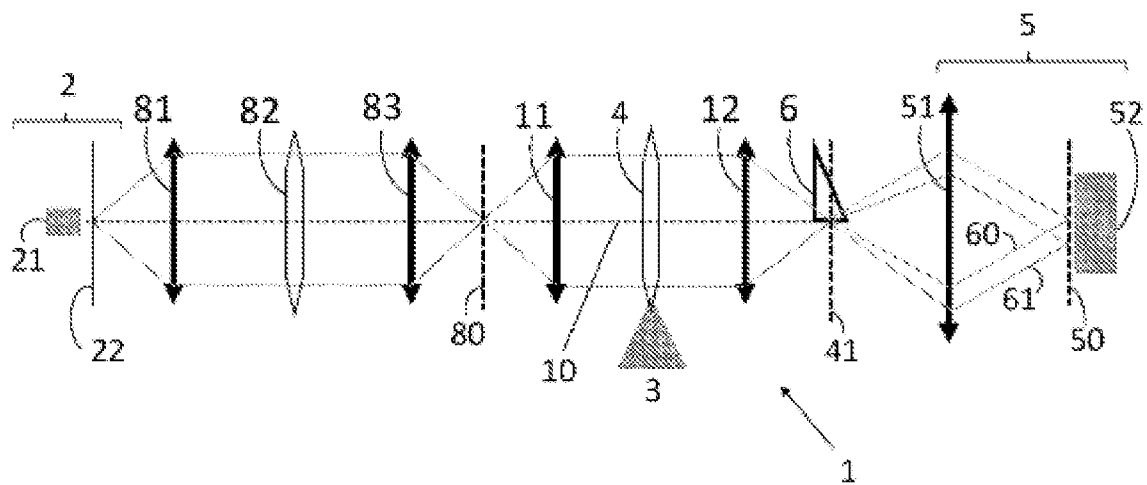


Fig. 6

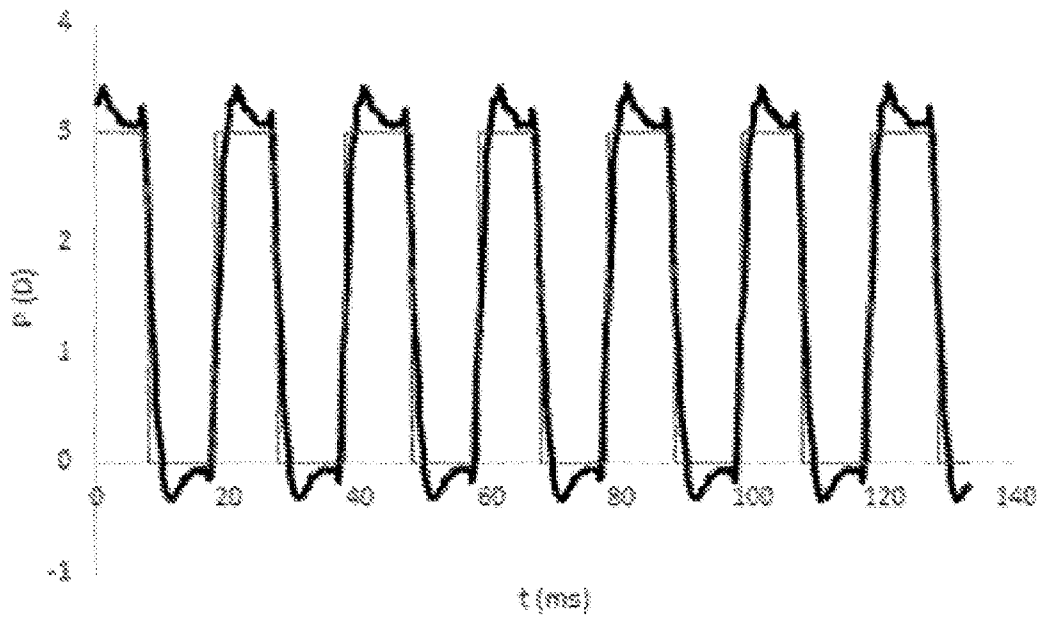


Fig. 7

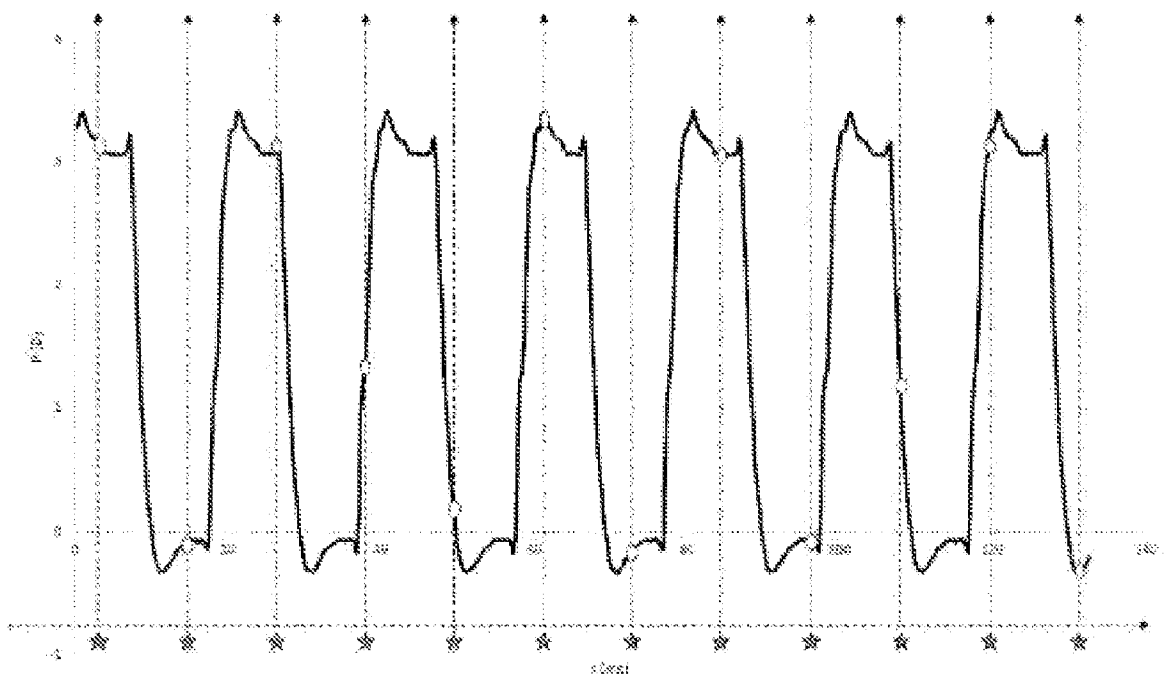


Fig. 8

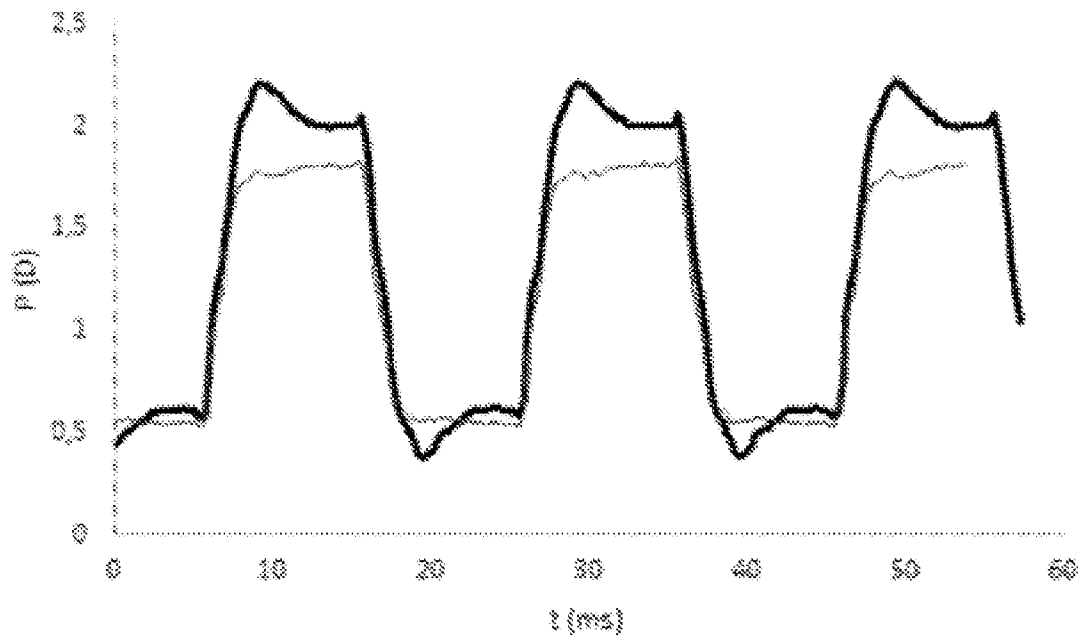


Fig. 9