

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 549 977**

21 Número de solicitud: 201500458

51 Int. Cl.:

G02B 27/30 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

19.06.2015

43 Fecha de publicación de la solicitud:

03.11.2015

Fecha de la concesión:

18.02.2016

45 Fecha de publicación de la concesión:

25.02.2016

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
(100.0%)**

**Sección de Contratos y Patentes C/ Donoso
Cortés, 65 - 1ª Planta
28015 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**SÁNCHEZ BREA, Luis Miguel y
HERRERA FERNÁNDEZ, José María**

54 Título: **Métodos y dispositivos optoelectrónicos para colimar y/o para determinar el grado de colimación de un haz de luz**

57 Resumen:

Métodos y dispositivos optoelectrónicos para colimar y/o determinar el grado de colimación de un haz de luz.

La invención se refiere a un método para determinar el grado de colimación de un haz de luz y a un método para colimar un haz de luz mediante el cálculo de los periodos de dos autoimágenes, o más, generadas por una red de difracción a distancias diferentes.

Además, incluye dispositivos optoelectrónicos diseñados para llevar a cabo ambos métodos. Los distintos dispositivos comprenden una red de difracción (3), uno o varios sistemas de fotodetección (4) y un dispositivo electrónico de procesamiento de datos (5). Cuando se incluye un único sistema de fotodetección, se obtienen dos o más autoimágenes mediante espejos o mediante la inclinación del sistema de fotodetección con respecto al eje óptico del dispositivo. Los dispositivos diseñados para colimar un haz incluyen un elemento colimador (2).

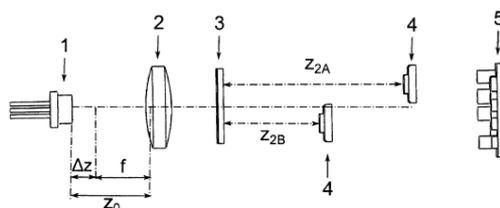


Figura 1b

ES 2 549 977 B2

DESCRIPCIÓN

Métodos y dispositivos optoelectrónicos para colimar y/o para determinar el grado de colimación de un haz de luz.

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se encuadra en el sector de la Tecnología Óptica y más concretamente en el sector de Dispositivos Optoelectrónicos.

Estado de la técnica

- 10 El grado de colimación de un haz de luz es de gran importancia en numerosas aplicaciones ópticas, tales como dispositivos metrológicos, sistemas para iluminación, óptica de consumo, aplicaciones de los láseres, etc. Se dice que un haz luminoso se encuentra colimado cuando su grado de colimación es máximo. En esta situación el haz de luz se propaga
- 15 paralelamente y, en el caso ideal, la divergencia es mínima. Existen métodos sencillos, bien conocidos, para colimar una fuente de luz general, mediante el uso de una lente o un sistema de lentes, tal como comparar el tamaño del haz a varias distancias o el método de autocolimación, donde se coloca un objeto real en el foco de una lente convergente para que la imagen se forme en el
- 20 infinito. Seguidamente se coloca detrás de la lente un espejo plano que refleja los rayos de luz de tal forma que la imagen del mismo tamaño se forma en el objeto. Estos métodos de fácil implementación son aproximados y en la mayoría de las aplicaciones industriales o experimentales producen excesiva incertidumbre.
- 25 Las técnicas interferométricas para colimar un haz de luz o medir su grado de colimación conocidas como LSI (del inglés "lateral shearing interferometry") están entre las más precisas, siendo conocidas desde hace varias décadas [D. Malacara, ed., Optical Shop Testing (Wiley, New York, 1978)]. La base de estas técnicas consiste en duplicar el frente de ondas bajo estudio,
- 30 desplazarlo ligeramente y obtener el patrón de interferencia entre el frente de ondas original y el desplazado. Sin embargo, para producir dicho patrón se requiere el uso de haces de luz que tengan un alto grado de coherencia temporal y espacial, como suelen ser los láseres.

En muchas situaciones es necesario colimar o conocer el grado de colimación de un haz de luz proveniente de otro tipo de fuentes tales como diodos emisores de luz (LEDs, del inglés "light-emitting diodes"), diodos láser, láseres de emisión superficial con cavidad vertical (VCSELs, del inglés "vertical-cavity surface-emitting lasers") y otras fuentes que presentan un cierto grado de coherencia parcial temporal y/o espacial.

Los colimadores que utilizan redes de difracción, mediante el efecto Talbot, constituyen una técnica atractiva y muy precisa para la colimación de haces de luz de este tipo de fuentes. La ventaja de utilizar las autoimágenes de las redes de difracción para determinar el grado de colimación de un haz de luz es que los requisitos de la fuente de iluminación son menos restrictivos, pues el fenómeno no se debe a las interferencias, sino a la difracción. De esta forma, no es necesario que la fuente sea puntual para producir autoimágenes, ni necesita que sea monocromática.

Recientemente, se ha desarrollado una técnica para determinar el grado de colimación basada en una conjunción de redes de difracción lineales y circulares, como es la presentada en [K. Paturski, K. Pokorski, and M. Trusiak, "Circular-linear grating Talbot interferometry with moiré Fresnel imaging for beam collimation" *Opt. Lett.* 39, 291 (2014)]. El inconveniente de esta técnica es la notable dificultad en el procesado de las señales obtenidas a la salida del sistema de colimación. Otro ejemplo para medir con baja incertidumbre el grado de colimación de un haz con un grado de coherencia parcial se muestra en [L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, F. J. Salgado-Remacha, T. Morlanes, I. Jimenez-Castillo, and E. Bernabeu, "Collimation method using a double grating system" *Appl. Opt.* 49, 3363 (2010)] donde se utilizan dos redes de difracción lineales. No obstante, esta técnica requiere un desplazamiento lateral de la red, por lo que el dispositivo se vuelve complicado y costoso. También fuentes con alto grado de policromaticidad pueden generar autoimágenes cuando se utiliza una red de difracción. Por ejemplo, es conocido que las fuentes policromáticas pueden generar autoimágenes estables a una larga distancia [N Guérineau, B. Harchaoui, J. Primot "Talbot experiment re-examined: demonstration of an achromatic and continuous self-imaging regime," *Optics Communications* 180 199-203 (2000)]. Por otra parte, se puede determinar el grado de colimación de un haz mediante la medida del periodo de una autoimagen y la comparación con el periodo de la red de difracción que forma dicha autoimagen [L.M. Sanchez-

Brea, F.J. Torcal-Milla, J.M. Herrera-Fernandez, T. Morlanes, and E. Bernabeu "Self-imaging technique for beam collimation" Optics Letters 39(19) 5764-5767 (2014)]. Cuando el periodo de la autoimagen es el mismo que el de la red, entonces el haz está colimado. La principal desventaja de esta técnica es
 5 la necesidad de conocer el periodo de la red con una precisión elevada, del orden del nanómetro en muchos casos. Esto supone un control muy estricto de las condiciones ambientales y del posicionado de los diferentes elementos ópticos y opto-electrónicos. Pequeñas variaciones de temperatura, rotaciones, desalineamientos de los componentes, etc. pueden producir
 10 variaciones del periodo de la red de difracción utilizada o variaciones del periodo de las autoimágenes. Por ello, es necesario idear un sistema que no necesite el conocimiento previo de la red de difracción utilizada.

La difracción es un fenómeno característico de la luz ligado a su carácter ondulatorio donde un haz luminoso deja de seguir una trayectoria rectilínea,
 15 tal y como indica la óptica geométrica, al encontrarse con un obstáculo o al atravesar una abertura. El efecto Talbot tiene lugar cuando una onda incide sobre una red de difracción. En el régimen de campo cercano se pueden encontrar réplicas de la forma del objeto conocidas como autoimágenes (del inglés "self-images") situadas en $z_k = k p^2 / \lambda$, siendo k un número entero, p el
 20 periodo de la red y λ la longitud de onda de campo incidente. Las distancias donde se localizan las autoimágenes, z_k , se denominan distancias de Talbot.

Basados en los fenómenos físicos mencionados, se conocen en el estado de la técnica diversos dispositivos que comprueban el grado de colimación de un haz. Entre las patentes relacionadas con la invención cabe destacar:

25 La patente CN1080997 (A) que muestra un dispositivo que testea el grado de colimación de una fuente de luz láser de forma computerizada comprensiva. Incluye un ancho rango de medidas siempre que se trate de una fuente de luz láser.

La patente CN101469977 (A) que muestra un dispositivo que comprueba la
 30 colimación incrementando la precisión y con una estructura compacta.

En definitiva existe en el estado de la técnica la necesidad de un método de determinación del grado de colimación de un haz de forma robusta y sencilla, y la necesidad de un método para obtener un haz con alto grado de colimación. Además, ambos métodos deben ser muy precisos por lo que
 35 deben ser invariantes frente a las condiciones ambientales y de

posicionamiento de los diferentes elementos de los que consten sus respectivos montajes. Asimismo deben ser compatibles con distintos tipos de fuentes de luz, y no solamente con haces con alto grado de coherencia y monocromaticidad. Por otro lado, estos métodos deben ser independientes
5 del periodo de la red de difracción.

Descripción detallada de la invención

Métodos y dispositivos optoelectrónicos para colimar y/o para determinar el grado de colimación de un haz de luz.

- 10 La presente invención se refiere a un método de medición del grado de colimación de un haz de luz y a un método para colimar un haz de luz con elevada precisión. Ambos utilizan el efecto Talbot producido por la difracción en régimen de campo cercano y las autoimágenes generadas por una red de difracción para comprobar el grado de colimación y realizar la colimación.
- 15 Estos métodos pueden ser aplicados a haces provenientes de fuentes extensas y/o policromáticas con gran independencia de las condiciones ambientales, del posicionado de los elementos opto-mecánicos y del periodo de la red de difracción.

En esta memoria descriptiva, se entiende por “haz de luz” o, simplemente,
20 “haz” cualquier tipo de haz de luz, incluido un haz láser, capaz de producir autoimágenes al incidir sobre una red de difracción.

Para medir el grado de colimación de un haz, en la presente invención se utiliza una red de difracción **3** de un periodo p . Al propagarse la luz, debido a efectos difractivos, se generan autoimágenes a determinadas distancias de la red de difracción **3** [K. Patorsky, “The self-imaging phenomenon and its applications,” Progress in Optics 27 1-108 (1989)]. Si λ es la longitud de onda media del haz de luz, y la red de difracción **3** modula su amplitud, las autoimágenes generadas se ubican a distancias de Talbot enteras o semienteras $z_k = k p^2 / \lambda$ siendo k un número entero. No obstante, es posible
25 encontrar autoimágenes a distancias distintas, aunque suelen presentar una amplitud menor. En la referencia [L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, J.M. Herrera-Fernandez, T. Morlanes, and E. Bernabeu “Self-imaging technique for beam collimation” Optics Letters 39(19) 5764-5767 (2014)] se describe una técnica con la cual se puede medir el grado de colimación de un haz de luz
30 comparando el periodo de una red de difracción **3** con el periodo de una
35

autoimagen. Para ello, se requiere un conocimiento muy preciso del periodo de la red de difracción **3** y del periodo de la autoimagen. En la solución del artículo de L.M. Sanchez-Brea y col. de 2014, se asume que el periodo de la red de difracción **3** es conocido. Las redes de difracción se pueden grabar con precisiones muy pequeñas, del orden de 1 nanómetro, bajo condiciones muy controladas, mediante, por ejemplo, técnicas de haces de electrones. Sin embargo, para la realización práctica de un dispositivo no es posible mantener estas condiciones tan estrictas. Por ejemplo, cuando varía la temperatura ambiental, el periodo de la red de difracción **3** se puede ver modificado debido a dilataciones del sustrato en el cual ha sido grabada. También se requiere que las condiciones mecánicas del dispositivo sean muy estrictas, controlando de una forma muy precisa las tolerancias de posición y giro de los elementos ópticos del sistema. Por ejemplo, si la red de difracción **3** está ligeramente rotada respecto de un sistema de fotodetección utilizado para la medición, el periodo de la autoimagen observado se verá modificado. Esto hace que el procedimiento de medida descrito en el artículo científico de L.M. Sanchez-Brea y col. de 2014 no sea válido para un dispositivo que actúe en condiciones estándar.

En la presente invención, para determinar el grado de colimación de un haz de luz, se plantea, en primer lugar, comparar el periodo de, al menos, dos autoimágenes generadas por una red de difracción **3**, y no como se propone en el artículo [L.M. Sanchez-Brea, F.J. Torcal-Milla, J.M. Herrera-Fernandez, T. Morlanes, and E. Bernabeu "Self-imaging technique for beam collimation" *Optics Letters* 39(19) 5764-5767 (2014)] entre el periodo de la red de difracción **3** y una de sus autoimágenes.

Respecto a la medida del periodo de la autoimagen, en dicho artículo se plantea utilizar un array lineal de fotodetectores o una cámara bidimensional para obtener los datos del experimento. Debido a que la medida de la intensidad luminosa de las autoimágenes generadas $I(x)$ suele ser bastante ruidosa se propone el uso de la función semivariograma para la medida del periodo de las autoimágenes, definido como [LM Sanchez-Brea, FJ Torcal-Milla, E Bernabeu "Variogram-based method for contrast measurement" *Applied Optics* 46(22) 5027-5032 (2007)]

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \langle [I(x+h) - I(x)]^2 \rangle_x, \quad (1)$$

donde x es la posición central de los fotodetectores y $\langle - \rangle$ significa promedio espacial respecto de x .

En primer lugar, dado que el semivariograma de una función periódica también es periódico con el mismo periodo no hay variación en la medida del mismo. En segundo lugar, debido a que se calcula como promedios estadísticos espaciales, la función semivariograma es capaz de eliminar las fluctuaciones aleatorias propias de las medidas de la intensidad y, por ello, se puede calcular el periodo de la autoimagen con menor incertidumbre que si lo hiciéramos directamente a partir de las medidas de intensidad luminosa. En dicho artículo se calcula la posición de los primeros mínimos del semivariograma y, a través de ellos, se realiza un ajuste lineal. Cuando la calidad de la señal y del semivariograma es buena, como cuando se utiliza un haz proveniente de un láser, esta técnica es aceptable. Sin embargo, en la presente invención se pretende determinar el grado de colimación para fuentes parcialmente coherentes espacial y/o temporalmente. Entonces, las autoimágenes pueden tener una menor calidad y verse afectadas por el ruido. Así, con esta forma de medir el periodo no se obtienen los resultados de incertidumbre requeridos.

Para calcular el periodo del semivariograma, un aspecto de la presente invención se refiere a utilizar un ajuste por mínimos cuadrados a todo el semivariograma, en lugar de solamente a la posición de los mínimos del semivariograma, como se hacía en el citado artículo científico. Esto permite tener un número mucho mayor de puntos para el ajuste y, por ello, el periodo se calcula menor incertidumbre.

Otro aspecto de la invención se refiere a un método para colimar un haz de luz con precisión mediante la medida del periodo de, al menos, dos autoimágenes generadas por una red de difracción **3**.

En la Figura 1, se muestra un dispositivo optoelectrónico con el que se puede tanto determinar el grado de colimación de un haz de luz como colimar un haz de luz, en ambos casos mediante la medida del periodo de dos autoimágenes producidas por una red de difracción **3** cuyo periodo no es necesario conocer. El único requisito necesario es que dichas autoimágenes se produzcan a distancias distintas. Sea un haz de luz con un grado de colimación desconocido, proveniente de una fuente de luz **1**. Por ejemplo, dicho haz puede provenir de un láser, un diodo láser, un LED u otro tipo de fuente de luz

con una determinada coherencia parcial espacial o temporal. Este haz se intenta colimar mediante un elemento de colimación **2** que puede ser una lente de una focal objeto f , un conjunto de lentes o un elemento óptico difractivo. Posteriormente, se ubica una red de difracción **3** que produce autoimágenes en semidistancias de Talbot $z_k = k p^2/\lambda$, donde k es un número entero. Si la fuente de iluminación **1** no está ubicada a una distancia f del elemento de colimación **2**, sino que tiene un desplazamiento Δz respecto a este punto, el haz presenta una cierta convergencia o divergencia dependiendo del signo de Δz . Este haz atraviesa la red de difracción **3**. A una distancia z_2 , entre la red de difracción **3** y el plano de observación donde se encuentra situado un sistema de fotodetección **4**, se obtiene una distribución periódica de luz, donde el periodo viene determinado por

$$p_{\Delta z} = (1 + \alpha z_2)p, \quad (2)$$

siendo $\alpha \approx -\Delta z/f^2$. La distancia z_2 puede ser la propia de una autoimagen, es decir, la semidistancia de Talbot $z_k = k p^2/\lambda$, con $k = 1, 2, \dots$, etc., u otra distancia en la cual se produzca una modulación periódica de la cantidad luminosa. Si ubicamos dos sistemas de fotodetección **4** de las autoimágenes a distintas distancias z_{2A} y z_{2B} , sobre cada uno de los sistemas de fotodetección **4** se generarán autoimágenes cuyo periodo será p_A y p_B , respectivamente.

A través de la medida del periodo de estas autoimágenes se puede determinar el grado de colimación de un haz de luz. No obstante, las autoimágenes con intensidad luminosa $I(x)$ normalmente presentan fluctuaciones aleatorias debidas a efectos tales como suciedad, inhomogeneidades del haz luminoso, errores en la fabricación de las redes de difracción, etc. Es por ello que se utiliza la ecuación (1) para determinar el periodo de la autoimagen.

Si se utiliza una cámara CCD, CMOS, o un array lineal de fotodetectores como sistema de fotodetección **4** para capturar la distribución de intensidad $I(x)$, los píxeles están distribuidos de forma periódica. Por consiguiente, la definición del semivariograma se puede simplificar de la siguiente forma

$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2(N-n)} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2, \quad (3)$$

donde N es el número total de píxeles, $I_i = I(i\Delta x)$ es la intensidad luminosa del haz medida con el píxel i , y Δx es la distancia entre píxeles.

En la Figura 2a, se muestra como ejemplo un perfil de intensidad experimental $I(x)$ para una fuente de iluminación 1 LED cuya longitud de onda media es 880 nanómetros y una red de difracción 3 cuyo periodo es 100 micrómetros. La autoimagen se mide a una distancia $z_2 = 22.72$ milímetros donde se sitúa el sistema de fotodetección 4. En la Figura 2b se muestra el semivariograma obtenido con la ecuación (3) para el ejemplo de la Figura 2a. Como se puede observar, aunque la distribución de intensidad luminosa $I(x)$ de la autoimagen no sea de gran calidad, el semivariograma es muy suave y sinusoidal. Desde el punto de vista teórico, el semivariograma de una función sinusoidal pura es también una función sinusoidal pura del mismo periodo. Sin embargo, cuando la señal periódica tiene fluctuaciones, éstas se reflejan en la envolvente del semivariograma, no en su periodo. Por ello, para determinar el periodo de forma precisa, se puede ajustar el semivariograma experimental a la siguiente función

$$2\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right), \quad (4)$$

donde se hace un ajuste polinómico a las envolventes superior e inferior. Con este ajuste, que se puede hacer mediante algoritmos de ajuste u optimización, se obtiene el periodo p de la autoimagen. Una vez determinado el periodo p_A y p_B de las dos autoimágenes mediante este procedimiento es posible calcular el grado de colimación del haz. Para ello, utilizamos la ecuación (2) para cada una de las distancias z_{2A} y z_{2B}

$$\begin{aligned} p_A &= (1 + \alpha z_{2A})p, \\ p_B &= (1 + \alpha z_{2B})p. \end{aligned} \quad (5)$$

Dividiendo ambas ecuaciones y despejando se determina el valor del grado de colimación α ,

$$\alpha = -\frac{p_B - p_A}{p_B z_{2A} - p_A z_{2B}}. \quad (6)$$

También, se puede determinar que el haz de luz está colimado cuando el periodo de las dos autoimágenes, obtenido por los dos sistemas de fotodetección 4, es el mismo.

Asimismo, a partir de la definición de α , $\alpha = -\Delta z/f^2$, se puede determinar la distancia entre la fuente de luz **1** y el plano focal objeto del elemento de colimación **2**, que resulta ser

$$\Delta z = \frac{p_B - p_A}{p_B z_{2A} - p_A z_{2B}} f^2. \quad (7)$$

5 Por lo tanto, un aspecto de la invención se refiere a un método para determinar el grado de colimación de un haz de luz aplicable independientemente del grado de coherencia y/o de la cromaticidad del haz, así como de las condiciones ambientales en las que se encuentre inmerso, y es más robusto que otras opciones del estado de la técnica frente a
10 variaciones de las condiciones opto-mecánicas de la configuración para la implementación del mencionado método. El método comprende:

- a) hacer incidir el haz de luz sobre una red de difracción **3**,
- b) detectar, al menos, dos autoimágenes generadas por la red de difracción **3** del paso a), estando cada una de ellas a distinta distancia de Talbot, $z_A \neq z_B$,
15 de dicha red de difracción **3**,
- c) determinar los periodos p_A y p_B de las autoimágenes detectadas en el paso b),
- d) calcular el grado de colimación del haz α mediante la ecuación

$$\alpha = -\frac{p_B - p_A}{p_B z_{2A} - p_A z_{2B}}. \quad (6)$$

20 El periodo p de la red de difracción **3** puede ser conocido o no. Además, la red de difracción **3** puede actuar por reflexión o transmisión, lo que determina que el haz se refleje en la red de difracción o se transmita a su través. La red de difracción **3** puede ser una red de Ronchi, que modula la amplitud, aunque también podría ser una red con una modulación sinusoidal u otro tipo de
25 modulación de amplitud y/o fase.

La determinación de los periodos p_A y p_B de las autoimágenes puede realizarse mediante cualquier algoritmo de ajuste que permita una alta resolución; preferentemente, se realiza mediante la técnica del ajuste del semivariograma a la función

$$30 \quad 2\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos(2\pi h/p), \quad (4)$$

La invención también se refiere a un método para colimar un haz de luz. Este método comprende:

- a) hacer incidir el haz de luz que se desea colimar sobre un elemento colimador **2**,
- b) hacer incidir el haz colimado en el paso a) sobre una red de difracción **3**,
- c) detectar, al menos, dos autoimágenes generadas por la red de difracción **3**
 5 del paso b) a, al menos, dos distancias distintas de Talbot, z_A , z_B , de dicha red de difracción **3**,
- d) modificar la distancia entre la fuente de luz **1** y el elemento colimador **2** mediante el desplazamiento de la fuente de luz **1** y/o del elemento colimador **2** a lo largo del eje óptico, y repetir el paso c) hasta que los periodos p_A y p_B
 10 de las autoimágenes sean iguales.

Para obtener esta posición de forma precisa, una opción es determinar la intersección de los ajustes lineales a mínimos cuadrados obtenidos mediante un barrido de las medidas de los periodos de las autoimágenes al mover la fuente de luz **1** y/o el elemento colimador **2** a lo largo del eje óptico, siguiendo
 15 los siguientes pasos:

- i) Realizar un ajuste por mínimos cuadrados a cada una de las expresiones

$$p_A = (1 + \alpha z_{2A})p, \quad (5)$$

$$p_B = (1 + \alpha z_{2B})p.$$

- ii) Determinar la intersección de los ajustes realizados en i).

- 20 Otra opción es calcular $p_v = |p_A p_B / (p_A - p_B)|$ y desplazar la fuente de luz **1** y/o el elemento colimador **2** a lo largo del eje óptico hasta que p_v tienda a infinito.

Una tercera opción para determinar cuándo $p_A = p_B$, en el caso de que se produzcan franjas de Vernier, es desplazar la fuente de luz **1** y/o el elemento
 25 de colimación **2** hasta que visualmente desaparezca el patrón de franjas de Vernier.

El elemento de colimación **2** puede ser una lente, un conjunto de lentes o un elemento óptico difractivo o un híbrido difracto-refractivo.

El periodo p de la red de difracción **3** puede ser conocido o no. Además, la
 30 red de difracción **3** puede actuar por reflexión o transmisión, lo que determina que el haz se refleje en la red de difracción o se transmita a su través. La red

de difracción **3** puede ser una red de Ronchi que modula la amplitud, aunque también podría ser una red con una modulación sinusoidal u otro tipo de modulación de amplitud y/o fase.

La determinación de los periodos p_A y p_B de las autoimágenes puede realizarse mediante cualquier algoritmo de ajuste que permita una baja incertidumbre; preferentemente, se realiza mediante la técnica del ajuste del semivariograma a la función

$$2\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos(2\pi h/p), \quad (4)$$

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la obtención del punto de colimación mediante la determinación de la intersección de los ajustes realizados en ii).

Para poder medir el periodo de dos autoimágenes generadas por una red de difracción **3** y generar un haz colimado de acuerdo con los métodos descritos, la presente invención se refiere también a varios dispositivos optoelectrónicos diseñados con este fin. En todos ellos, para crear un dispositivo colimador, se añade al dispositivo un elemento de colimación **2** entre la fuente de luz **1** y la red de difracción **3**. El elemento de colimación **2** puede ser una lente de una focal objeto f , un conjunto de lentes o un elemento óptico difractivo.

Para determinar el grado de colimación de un haz de luz, un primer dispositivo optoelectrónico se representa esquemáticamente en la Figura 1 e incluye:

- una red de difracción **3** de periodo p , que puede o no ser conocido, que está situada en el eje óptico del dispositivo y que genera autoimágenes,
- al menos, dos sistemas de fotodetección **4**, que pueden ser arrays lineales de fotodetectores, cámaras CCD o cámaras CMOS, que se encuentran ubicados fuera del eje óptico y a distancias diferentes z_{2A} y z_{2B} con respecto a la red de difracción **3**, donde se hallan dos autoimágenes,
- un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de las señales recibidas por los sistemas de fotodetección **4** para la obtención de los periodos p_A y p_B y, en el caso de que el dispositivo optoelectrónico se utilice para colimar un haz de luz, para la monitorización de la distancia Δz .

La Figura 1a es una vista en perspectiva y la Figura 1b es una vista lateral. Se muestran los sistemas de fotodetección **4** y el dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes **5** separados para una mejor

comprensión pero, en este dispositivo, al menos uno de los sistemas de fotodetección **4** podría ir pegado al dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes **5**.

Un segundo dispositivo optoelectrónico está representado en la Figura Figura
5 4. En este caso, se incluye en el eje óptico un divisor de haz **6**, entre la red de difracción **3** y dos sistemas de fotodetección **4**, de manera que los dos sistemas de fotodetección **4** están situados a la salida del divisor de haz **6**, uno situado en el eje óptico del dispositivo y el otro en el eje perpendicular al mismo, pudiendo medir la misma zona de la red de difracción **3**. Colocando
10 los dos sistemas de fotodetección **4** a diferentes distancias, tomando como origen la red de difracción **3**, se obtienen dos autoimágenes a partir de una única zona de la red de difracción **3**. Se muestra los sistemas de fotodetección **4** y el dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes **5** separados para una mejor comprensión pero, en este
15 dispositivo, al menos uno de los sistemas de fotodetección **4** podría ir pegado al dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes **5**.

Un tercer dispositivo optoelectrónico incluye dos espejos **7** situados a la salida del divisor de haz **6**, uno situado en el eje óptico del dispositivo y el otro perpendicular al mismo, con la cara espejada orientada hacia el divisor de
20 haz **6** de manera que los dos espejos **7** redirigen la luz hasta un único sistema de fotodetección **4**, como se aprecia en la Figura 5Figura 5. Cada uno de los dos espejos **7** incluye sobre su cara espejada una máscara **8** de un material opaco y antirreflectante que bloquea parte del haz de tal forma que las autoimágenes no solapen.

Una variación particular con respecto al tercer dispositivo optoelectrónico se
25 refiere a un cuarto dispositivo, mostrado en la Figura Figura 6a, que incluye dos espejos **7** pero, en este caso, sin máscaras opacas antirreflectantes. Estos espejos redirigen la luz hasta un único sistema de fotodetección **4** donde las dos autoimágenes se solapan. Si se utilizan fuentes de luz que no
30 tienen un alto grado de coherencia, no se producen interferencias entre las dos imágenes sino que se solapan, produciéndose un nuevo patrón de franjas conocido como patrón de franjas de Vernier (Figura Figura 6b). En este caso, el periodo del patrón de las franjas de Vernier es mucho mayor que el periodo de las autoimágenes situadas en z_A y z_B , que tienen un periodo similar al
35 periodo de la red de difracción **3** que las genera. Por ello, se determina la posición de colimación del haz incrementando notablemente la precisión. En

este caso, el dispositivo es útil para colimar un haz de luz, bien mediante la ecuación $p_v = |p_A p_B / (p_A - p_B)|$, o bien de forma visual.

Un quinto dispositivo optoelectrónico está representado en la Figura 7 y está formado por una red de difracción **3**, un sistema de fotodetección **4** y un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de las autoimágenes generadas por la red de difracción **3** y de comparación de los periodos p_A y p_B . En este caso, el sistema de fotodetección **4** está inclinado con respecto al eje óptico del dispositivo un ángulo θ , de manera que se obtienen múltiples autoimágenes de las que se eligen, al menos, dos para medir el grado de colimación del haz de luz procedente de la fuente de iluminación **1**, de acuerdo con el método de la invención. El ángulo θ puede ser de $45^\circ \pm 30^\circ$.

Los sistemas de fotodetección **4** pueden ubicarse en una cámara con distribución bidimensional, como pueden ser una cámara CMOS o una cámara CCD.

Por otro lado, como dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos se puede emplear una placa electrónica, un microprocesador o un ordenador.

Breve descripción de las figuras

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1. Muestra, de forma esquemática, la configuración básica de uno de los dispositivos optoelectrónicos de la invención y la distribución de los diferentes componentes: **1** fuente de luz, **2** elemento de colimación que, en este caso, es una lente, **3** red de difracción, **4** sistema de fotodetección que puede ser un array lineal de fotodetectores, una cámara CCD o CMOS, presentándose en esta configuración dos sistemas de fotodetección ubicados a distancias de Talbot z_{2A} y z_{2B} , respectivamente, siendo $z_{2A} \neq z_{2B}$, **5** dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes y comparación de los periodos p_A y p_B .

Figura 2. (a) Muestra un ejemplo de perfil de intensidad experimental $I(x)$ obtenido con una red de difracción **3** de periodo $p = 100$ micrómetros medido a una distancia z_2 de 22.72 milímetros, donde se sitúa un sistema de

fotodetección 4. (b) Muestra un ejemplo de semivariograma obtenido para la señal de la Figura 2a (línea discontinua) y ajuste de dicho semivariograma a la función descrita en la ecuación (4) (línea continua).

Figura 3. Cálculo experimental del periodo de las autoimágenes según el Ejemplo 8, mediante la técnica descrita en la ecuación (5).

Figura 4. Muestra, de forma esquemática, la configuración de un dispositivo de la invención en el que se utiliza un divisor de haz 6. **Figura 5.** Muestra, de forma esquemática, la configuración de un dispositivo de la invención en el que se utilizan dos espejos 7 a la salida de un divisor de haz 6, un espejo situado en el eje óptico y el otro espejo situado perpendicularmente al eje óptico, con la cara espejada orientada hacia el divisor de haz 6, de forma que los espejos redirigen la luz hasta un sistema de fotodetección 4 compuesto por dos o más arrays lineales de fotodetectores pertenecientes, por ejemplo, a una cámara CMOS.

Figura 6. (a) Muestra de forma esquemática la configuración de un dispositivo de la invención en el que se utilizan dos espejos 7, sin máscaras opacas y antirreflectantes, de forma que redirigen la luz hasta un sistema de fotodetección 4 compuesto por dos o varios arrays lineales de fotodetectores pertenecientes, por ejemplo, a una cámara CMOS. (b) Ejemplo de patrón de franjas de Vernier entre la distribución de intensidad superpuesta proveniente de los dos espejos 7 cuando el periodo de las autoimágenes es diferente.

Figura 7. Muestra, de forma esquemática, la configuración de un dispositivo de la invención en el que se utiliza un sistema de fotodetección 4, formado por varios arrays lineales de fotodetectores o un array bidimensional de fotodetectores pertenecientes, por ejemplo, a una cámara CMOS, cuya característica principal es que está inclinado un cierto ángulo θ respecto al eje óptico definido por la propagación del haz de luz desde la fuente 1 hacia la red de difracción 3.

Modo de realización de la invención

Una vez definida la geometría del sistema y el proceso de medida, a continuación se presentan ejemplos de dispositivos optoelectrónicos para medir el grado de colimación de un haz o colimar el haz y ejemplos de ambos métodos.

La invención no está limitada a las realizaciones concretas que se describen, sino que abarca también, por ejemplo, las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, distancias, componentes, configuraciones, etc.).

En particular, si bien las realizaciones preferentes de la invención están descritas para algunos sistemas concretos de fotodetección, elementos de colimación, reflexión y división del haz, y generación de autoimágenes, los métodos y sistemas descritos pueden ser aplicados con otros sistemas o elementos que cumplan la misma función. No existen, por lo tanto, limitaciones inherentes a la invención en cuanto a la medida y análisis de las autoimágenes, el número de autoimágenes, el elemento de colimación utilizado y su número, el elemento generador de autoimágenes, su número, y sus características, el número de elementos reflexivos y divisores del haz así como bloqueadores del mismo y sus características, las longitudes de onda utilizadas así como el tipo y características del haz y/o la fuente luminosa.

Ejemplo 1 Se fabricaron un dispositivo optoelectrónico para colimar y un dispositivo optoelectrónico para determinar el grado de colimación de una fuente luminosa **1** LED (modelo HE8807SG de Hitachi) de longitud de onda centrada en $\lambda = 880$ nanómetros. Como elemento de colimación **2**, se incluyó un elemento óptico difractivo (DOE, del inglés *diffractive optical element*) conocido como lente de Fresnel cuya distancia focal es $f = 35$ milímetros y de diámetro $d = 20$ milímetros fabricada mediante fotolitografía, en el caso del dispositivo para colimar. En ambos casos, el dispositivo incluía una red de difracción **3** de periodo $p = 110$ micrómetros fabricada en cromo sobre un sustrato de vidrio. Como sistema de fotodetección **4**, se utilizaron dos arrays lineales pertenecientes a dos cámaras bidimensionales CMOS de la marca Imaging Source, modelo DMK 72BUC02, de tamaño de píxel 2.2×2.2 micrómetros y una resolución de 2592×1944 píxeles. Estas cámaras se ubicaron en el mismo plano que la red de difracción **3**, perpendiculares a la propagación del haz de luz, fuera del eje óptico y a dos distancias de Talbot distintas, $z_{2A} = 2p^2/\lambda = 27.50$ milímetros y $z_{2B} = p^2/\lambda = 13.75$ milímetros, tomando como origen la red de difracción **3**. Para el análisis numérico, se utilizó un programa informático ejecutado en un ordenador que actuaba como elemento de procesamiento de datos **5**. Un esquema de ambos dispositivos

se muestra en las Figuras 1a y 1b, en vista horizontal y transversal, respectivamente; el dispositivo para colimar incluye el elemento colimador **2**, mientras que el dispositivo para medir el grado de colimación no lo incluye.

5 **Ejemplo 2.** La Figura 4 muestra un segundo ejemplo. Se fabricaron un dispositivo optoelectrónico para colimar y un dispositivo optoelectrónico para determinar el grado de colimación para haces de menor tamaño que con el dispositivo descrito en el Ejemplo 1. Como red de difracción **3** se utilizó una red de periodo $p = 100$ micrómetros fabricada en cromo sobre vidrio. Como elemento de colimación **2**, se incluyó una lente de focal $f = 40$ milímetros y de diámetro $d = 20$ milímetros de la marca Melles Griot, en el caso del dispositivo para colimar. Tomando como base los dispositivos del Ejemplo 1, se incluyó un cubo divisor de haz **6** entre la red de difracción **3** y el sistema de fotodetección **4**, situándolo en el eje óptico. Se utilizó un cubo divisor de haz **6** de sustrato N-BK7, no polarizado, con tratamiento antirreflectante, formado por dos prismas de ángulo recto unidos por la hipotenusa, de la marca TECHSPEC®, modelo 10 mm NIR, de dimensiones $10 \times 10 \times 10$ milímetros, tal y como muestra la Figura 4. El divisor de haz **6** divide la amplitud del haz incidente en dos haces que viajan por dos direcciones perpendiculares entre sí. De esta forma, los dos sistemas de fotodetección **4** se colocaron en el eje óptico en las distancias Talbot $z_{2A} = 5p^2/\lambda = 56.81$ milímetros y $z_{2B} = 2p^2/\lambda = 22.72$ milímetros, tomando como origen la red de difracción **3** y en planos perpendiculares entre sí. Con esta disposición, se añade la ventaja de captar la señal de la misma zona de la red de difracción **3**.

25

Ejemplo 3. La Figura 5 muestra un tercer ejemplo de dispositivos optoelectrónicos para situaciones en las que el número de fotosensores es limitado. En particular, se fabricaron un dispositivo para colimar y un dispositivo para determinar el grado de colimación en los que se requiere un único sistema de fotodetección **4**. Para ello, se tomaron como base los dispositivos del Ejemplo 2; se incluyeron en el eje óptico dos espejos **7** de primera superficie $\lambda/4$ de 25×25 milímetros cuadrados, de superficie de aluminio mejorado, a las distancias $z_{2A} = 5p^2/2\lambda = 27.90$ milímetros y $z_{2B} = 2p^2/2\lambda = 11.36$ milímetros, tomando como origen la red de difracción **3**, en planos perpendiculares entre sí y con la cara espejada orientada hacia el

35

divisor de haz **6**, de forma que redirigen la luz hasta un único sistema de fotodetección **4** que, en este caso, es una cámara bidimensional CMOS, de la marca Imaging Source, modelo DMK 72BUC02, de tamaño de píxel 2.2×2.2 micrómetros y con una resolución de 2592×1944 píxeles. De esta forma, se utiliza un único sistema de fotodetección **4** en lugar de dos. Además, en cada espejo **7**, se colocó una lámina adhesiva de cartulina negra, opaca y mate, de 25×12.5 milímetros cuadrados de superficie, alineada con el perímetro del espejo, como máscara opaca y antirreflectante **8**, de forma que las autoimágenes no solaparan. Se muestra el sistema de fotodetección **4** y el dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes **5** separados para una mejor comprensión, pero en este dispositivo podrían ir pegados.

Ejemplo 4. La Figura 6a muestra un cuarto ejemplo de dispositivo optoelectrónico para situaciones en las que se requiere una precisión en la medida aún mayor. En particular, se fabricó un dispositivo para colimar y un dispositivo para determinar el grado de colimación basado en el dispositivo del Ejemplo 3 donde los espejos **7** no incorporaron ninguna máscara opaca. Como elemento de colimación **2** se utilizó un sistema de lentes compuesto por dos lentes convergentes de la marca Melles Griot cuya distancia focal en ambos casos es $f' = 60$ milímetros y la separación entre ambas es 30 milímetros. Con esta disposición, las autoimágenes se solapan en el sistema de fotodetección **4** produciendo un patrón de franjas de Vernier cuyo tamaño es mayor que el periodo de las autoimágenes, por lo que la incertidumbre cometida en su medición es menor. Un ejemplo de este patrón de franjas se muestra en la Figura Figura 6b.

En la Figura 6a se muestra el sistema de fotodetección **4** y el dispositivo electrónico de procesamiento de las autoimágenes **5** separados para una mejor comprensión, pero en este dispositivo podrían ir pegados.

Ejemplo 5. La Figura 7 muestra un quinto ejemplo de dispositivo optoelectrónico para situaciones en las que el espacio disponible es limitado. Se fabricaron un dispositivo para colimar y un dispositivo para determinar el grado de colimación en el que se incluyó un único sistema de fotodetección **4**. En este caso se utilizó una red de difracción fabricada en cromo sobre vidrio cuyo periodo es $p = 20$ micrómetros. Tras la red de difracción **3**, y en el eje

óptico, se colocó un sistema de fotodetección **4** inclinado 45° con respecto al eje óptico del dispositivo. De esta forma, con un único sistema de fotodetección **4**, se pueden medir los periodos de varias autoimágenes. En este caso, se midieron los periodos de dos autoimágenes diferentes, en las
 5 filas superior e inferior del sistema de fotodetección **4**. Las distancias Talbot fueron $z_{2A} = 4p^2/\lambda = 1.82$ milímetros y $z_{2B} = 5p^2/\lambda = 2.27$ milímetros, tomando como origen la red de difracción **3**. Como sistema de fotodetección **4** se empleó la misma cámara de los Ejemplos 3 y 4. Se muestra el sistema de fotodetección **4** y el dispositivo electrónico de procesamiento de las
 10 autoimágenes **5** separados para una mejor comprensión, pero en este dispositivo podrían ir pegados.

Ejemplo 6. Se determinó el grado de colimación de un haz utilizando los dispositivos que se describen en los Ejemplos 1-3 y 5. Para ello, se hizo
 15 pasar un haz de luz a través de cada uno de los dispositivos optoelectrónicos descritos en el ejemplo correspondiente. Dado que el semivariograma de una función periódica es a su vez periódico, se utilizó la función semivariograma para un array lineal de fotodiodos,

$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2(N-n)} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2, \quad (3)$$

20 para suavizar la señal de las autoimágenes detectadas por los sistemas de fotodetección **4** y aumentar la precisión de la medida de los periodos p_A y p_B . Los periodos se obtuvieron a través del ajuste de los semivariogramas correspondientes a la función

$$2\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - \left\{ (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right) \right\}, \quad (4)$$

25 El grado de colimación α en cada posición de la fuente de luz **1** se obtuvo a través de la expresión

$$\Delta z = \frac{p_B - p_A}{p_B z_{2A} - p_A z_{2B}} f^2 \quad (7)$$

ya que $\alpha \approx -\Delta z / f^2$.

30 **Ejemplo 7.** Se colimó un haz luminoso cuyo emisor es una fuente de luz **1**. Para ello se hizo pasar un haz de luz a través de cada uno de los dispositivos descritos en los Ejemplos 1-3 y 5 que comprenden un elemento colimador **2**

situado en la posición anterior a una red de difracción **3** y en el eje óptico del sistema, tal y como se aprecia en las figuras en las que se representan los esquemas de los distintos dispositivos optoelectrónicos. Dado que el semivariograma de una función periódica es a su vez periódico, se utilizó la función semivariograma para un array lineal de fotodiodos,

$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2(N-n)} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2, \quad (3)$$

para suavizar la señal de las autoimágenes detectadas por los sistemas de fotodetección **4** y aumentar la precisión de la medida de los periodos p_A y p_B . Estos se obtuvieron a través del ajuste de los semivariogramas correspondientes a la función

$$\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - \left\{ (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right) \right\}, \quad (4)$$

A continuación se obtuvo la diferencia de periodos experimentales $\Delta p = p_B - p_A$ como punto de referencia y se desplazó la fuente de luz **1** en la dirección del eje óptico y en el sentido de decrecimiento de la diferencia monitorizando la modificación de Δp hasta que $p_B = p_A$ de manera que $\Delta p = p_B - p_A = 0$.

Ejemplo 8. Se colimó un haz luminoso cuyo emisor es una fuente de luz **1**. Para ello se hizo pasar un haz de luz a través de cada uno de los dispositivos descritos en los Ejemplos 1-3 y 5 que comprenden un elemento colimador **2** situado en la posición anterior a una red de difracción **3** y en el eje óptico del sistema, tal y como se aprecia en las figuras en las que se representan los esquemas de los distintos dispositivos. Dado que el semivariograma de una función periódica es a su vez periódico, se utilizó la función semivariograma para un array lineal de fotodiodos,

$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2(N-n)} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2, \quad (3)$$

para suavizar la señal de las autoimágenes detectadas por los sistemas de fotodetección **4** y aumentar la precisión de la medida de los periodos p_A y p_B . Estos se obtuvieron a través del ajuste de los semivariogramas correspondientes a la función

$$\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right), \quad (4)$$

En la Figura 2a, se muestra un perfil de intensidad experimental medido en z_{2B} . En la Figura 2b, se muestra el semivariograma obtenido con la ecuación (3) para el perfil de intensidad de la Figura 2a (línea continua). El periodo de la autoimagen se obtiene a partir de su ajuste a la ecuación (4) (línea discontinua).
 5 Mediante el dispositivo del ejemplo 2, se utilizaron dos arrays de fotodetectores 4 ubicados en $z_{2A} = 5p^2/\lambda = 56.81$ milímetros y $z_{2B} = 2p^2/\lambda = 22.72$ milímetros para calcular el periodo de las autoimágenes a distintas distancias Δz entre la fuente de luz 1 y el elemento de colimación 2. Cuando se produce la intersección de los ajustes lineales mediante la técnica de
 10 mínimos cuadrados de las expresiones de la ecuación (5), el periodo coincide, se obtiene $\Delta z = 0$ y, por consiguiente, es la posición en la cual el haz está colimado. El punto de colimación se obtiene en la intersección de los ajustes a mínimos cuadrados de los periodos de ambas autoimágenes (Figura 3) que, en este ejemplo, fue $z = 27.7842$ milímetros.

15

Ejemplo 9. Se colimó un haz luminoso cuyo emisor es una fuente de luz 1. Para ello se hizo pasar un haz de luz a través del dispositivo que se describe en el Ejemplo 4 y en la Figura 6a. Cuando las autoimágenes son incoherentes, la superposición es la suma de las intensidades, por lo que se
 20 produjo un patrón de franjas de Vernier mostrado en la Figura 6b. El periodo de esta distribución periódica de intensidad se calculó mediante la ecuación $p_v = |p_A p_B / (p_A - p_B)|$ donde p_A y p_B son los periodos de las autoimágenes que se obtuvieron a las distancias Talbot $z_{2A} = 5p^2/2\lambda = 27.90$ milímetros y $z_{2B} = 2p^2/2\lambda = 11.36$ milímetros, respectivamente, tomando como origen la
 25 red de difracción 3.

Dado que el patrón de franjas Vernier es periódico, y el semivariograma de una función periódica es a su vez periódico, se utilizó la función semivariograma para un array lineal de fotodiodos,

$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2^{(N-n)}} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2, \quad (3)$$

30 para disminuir la incertidumbre en la medida de p_v . Se obtuvo el periodo p_v a través del ajuste del semivariograma a la función

$$\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right). \quad (4)$$

A continuación se desplazó la fuente de luz **1** en la dirección del eje óptico y en el sentido de incremento de p_v hasta que $p_B = p_A$, de manera que p_v visualmente desapareció y analíticamente su valor tendió a infinito. En este ejemplo, se cuenta con la ventaja de que el periodo de las franjas de los patrones de Vernier se puede medir con mayor facilidad que en los ejemplos anteriores al ser mayor el periodo de las franjas de los patrones de Vernier que el periodo de las autoimágenes de la red de difracción **3**.

REIVINDICACIONES

1. Método para determinar el grado de colimación de un haz de luz que comprende los siguientes pasos:

- 5 a) hacer incidir el haz de luz sobre de una red de difracción **3**,
 b) detectar, al menos, dos autoimágenes generadas por la red de difracción **3** del paso a) a, al menos, dos distancias distintas de Talbot, z_A , z_B , de dicha red de difracción **3**,
 c) determinar los periodos p_A y p_B de las autoimágenes detectadas en el paso
 10 b),
 d) determinar el valor de α mediante la ecuación

$$\alpha = -\frac{p_B - p_A}{p_B z_{2A} - p_A z_{2B}} \quad (6)$$

15 donde $\alpha \approx -\Delta z / f^2$, siendo Δz el desplazamiento de la fuente de luz **1** con respecto la distancia f , y siendo f la distancia focal del elemento de colimación **2**.

2. Método según la reivindicación 1 en el que se suaviza la señal periódica de las autoimágenes detectadas en el paso b) mediante el cálculo del semivariograma

20
$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2(N-n)} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2 \quad (3).$$

3. Método según la reivindicación 2 en el que los periodos p_A y p_B de las autoimágenes detectadas en el paso b) se obtienen mediante el ajuste de cada semivariograma a la ecuación

25
$$2\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right) \quad (4).$$

4. Método para colimar un haz de luz que comprende los siguientes pasos:

- a) hacer incidir el haz de luz que se desea colimar sobre un elemento colimador **2**,

- b) hacer incidir el haz colimado en el paso a) sobre una red de difracción **3**,
 c) detectar, al menos, dos autoimágenes generadas por la red de difracción **3** del paso b) a, al menos, dos distancias distintas de Talbot, z_A , z_B , de dicha red de difracción **3**,
 5 d) modificar la distancia entre la fuente de luz **1** y el elemento colimador **2** mediante el desplazamiento de la fuente de luz **1** y/o del elemento colimador **2** a lo largo del eje óptico, y repetir el paso c) hasta que los periodos p_A y p_B de las autoimágenes sean iguales.

10 5. Método según la reivindicación 4 que, en el paso d), incluye las siguientes etapas:

- i) Realizar un ajuste por mínimos cuadrados obtenidos mediante un barrido de las medidas de los periodos de las autoimágenes al mover la fuente de luz **1** y/o el elemento colimador **2** a lo largo del eje óptico, a cada una de las
 15 expresiones

$$p_A = (1 + \alpha z_{2A})p, \quad (5)$$

$$p_B = (1 + \alpha z_{2B})p.$$

ii) Determinar la intersección de los ajustes realizados en i).

20 6. Método según la reivindicación 4 en el que se suaviza la señal periódica de las autoimágenes detectadas en el paso b) mediante el cálculo del semivariograma

$$\gamma(h = n\Delta x) = \frac{1}{2(N-n)} \sum_{i=1}^{N-n} (I_{i+n} - I_i)^2 \quad (3).$$

25 7. Método según la reivindicación 6 en el que los periodos p_A y p_B de las autoimágenes detectadas en el paso b) se obtienen mediante el ajuste de cada semivariograma a la ecuación

$$2\gamma(h) = (\alpha_1 + \beta_1 h + \gamma_1 h^2 + \delta_1 h^3) - \left\{ (\alpha_2 + \beta_2 h + \gamma_2 h^2 + \delta_2 h^3) \cos\left(\frac{2\pi h}{p}\right) \right\} \quad (4).$$

8. Método según la reivindicación 4, en el que se detecta que los periodos p_A y p_B de las autoimágenes son iguales de forma visual cuando desaparece el patrón de franjas de Vernier.

5 9. Método según la reivindicación 4, en el que aplicando la fórmula

$$p_v = |p_A p_B / (p_A - p_B)|$$

p_A es igual a p_B cuando p_v tiende a infinito.

10 10. Dispositivo optoelectrónico para determinar el grado de colimación de un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 1-3 que comprende:

- una red de difracción **3**,
- al menos, dos sistemas de fotodetección **4** ubicados a distintas distancias de la red de difracción **3**, en planos paralelos al plano en el que está situada la red de difracción **3** estando al menos uno ubicado fuera del eje óptico,
- 15 - un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.

20 11. Dispositivo optoelectrónico para determinar el grado de colimación de un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 1-3 que comprende:

- una red de difracción **3**,
- un divisor de haz **6** ubicado a continuación de la red de difracción **3** a lo largo del eje óptico del dispositivo,
- dos sistemas de fotodetección **4** ubicados en dos planos distintos,
- 25 perpendiculares entre sí y paralelos a dos caras del divisor de haz **6**, y a distintas distancias del divisor de haz **6**,
- un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.

12. Dispositivo optoelectrónico para determinar el grado de colimación de un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 1-3 que comprende:

- una red de difracción **3**,
- 5 - un divisor de haz **6** ubicado a continuación de la red de difracción **3** a lo largo del eje óptico del dispositivo,
- dos espejos **7** ubicados en dos planos distintos, perpendiculares entre sí y paralelos a dos caras del divisor de haz **6**, con las caras espejadas cubiertas por sendas máscaras opacas y antirreflectantes que bloquean parte del haz
- 10 de tal forma que las autoimágenes no solapan, y orientadas hacia el divisor de haz **6**,
- un sistema de fotodetección **4** ubicado en un plano paralelo a una cara del divisor de haz **6** distinta a las dos caras del divisor de haz **6** a las que son paralelas los espejos **7**,
- 15 - un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.

13. Dispositivo optoelectrónico para determinar el grado de colimación de un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 1-3 que comprende:

- 20 - una red de difracción **3**,
- un sistema de fotodetección **4** ubicado en un plano inclinado un ángulo θ con respecto al plano en el que está situada la red de difracción **3**,
- un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.

25 14. Dispositivo optoelectrónico según la reivindicación 13 en el que el ángulo θ es de $45^\circ \pm 30^\circ$.

15. Dispositivo optoelectrónico según la reivindicación 14 en el que el ángulo θ es de 45° .

16. Dispositivo optoelectrónico según cualquiera de las reivindicaciones 10-15 en el que el/los sistema/s de fotodetección **4** se ubican en una cámara con distribución bidimensional CMOS o CCD.
- 5 17. Dispositivo optoelectrónico según cualquiera de las reivindicaciones 10-16 en el que el dispositivo electrónico **5** se selecciona entre el grupo formado por: una placa electrónica, un microprocesador y un ordenador.
- 10 18. Dispositivo optoelectrónico para colimar un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 4- 9 que comprende:
- un elemento colimador **2**,
 - una red de difracción **3**,
 - al menos, dos sistemas de fotodetección **4** ubicados a distintas distancias de la red de difracción **3**, en planos paralelos al plano en el que está situada la
- 15 red de difracción **3** y, al menos uno, ubicado fuera del eje óptico,
- un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.
19. Dispositivo optoelectrónico para colimar un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 4- 9 que comprende:
- 20 - un elemento colimador **2**,
- una red de difracción **3**,
 - un divisor de haz **6** ubicado a continuación de la red de difracción **3** a lo largo del eje óptico del dispositivo,
 - dos sistemas de fotodetección **4** ubicados en dos planos distintos,
- 25 perpendiculares entre sí y paralelos a dos caras del divisor de haz **6**,
- un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.
20. Dispositivo optoelectrónico para colimar un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 4- 9 que comprende:

- un elemento colimador **2**,
- una red de difracción **3**,
- un divisor de haz **6** ubicado a continuación de la red de difracción **3** a lo largo del eje óptico del dispositivo,
- 5 - dos espejos **7** ubicados en dos planos distintos, perpendiculares entre sí y paralelos a dos caras del divisor de haz **6** y con las caras espejadas orientadas hacia el divisor de haz **6**,
- un sistema de fotodetección **4** ubicado en un plano paralelo a una cara del divisor de haz **6** distinta a las dos caras del divisor de haz **6** a las que son paralelas los espejos **7**,
- 10 - un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.

21. Dispositivo optoelectrónico según la reivindicación 20 en el que las superficies espejadas de los dos espejos **7** están cubiertas por sendas máscaras opacas y antirreflectantes que bloquean parte del haz de tal forma que las autoimágenes no solapan.

15

22. Dispositivo optoelectrónico para colimar un haz de luz de acuerdo con el método de las reivindicaciones 4- 9 que comprende:

- 20 - un elemento colimador **2**,
- una red de difracción **3**,
- un sistema de fotodetección **4** ubicado en un plano inclinado un ángulo θ con respecto al plano en el que está situada la red de difracción **3**,
- un dispositivo electrónico **5** de procesamiento de datos.

25

23. Dispositivo optoelectrónico según la reivindicación 22 en el que el ángulo θ es de $45^\circ \pm 30^\circ$.

24. Dispositivo optoelectrónico según la reivindicación 23 en el que el ángulo θ es de 45°.

5 25. Dispositivo optoelectrónico según cualquiera de las reivindicaciones 18-24 en el que el/los sistema/s de fotodetección 4 se ubican en una cámara con distribución bidimensional CMOS o CCD.

10 26. Dispositivo optoelectrónico según cualquiera de las reivindicaciones 18-25 en el que el dispositivo electrónico 5 se selecciona entre el grupo formado por: una placa electrónica, un microprocesador y un ordenador.

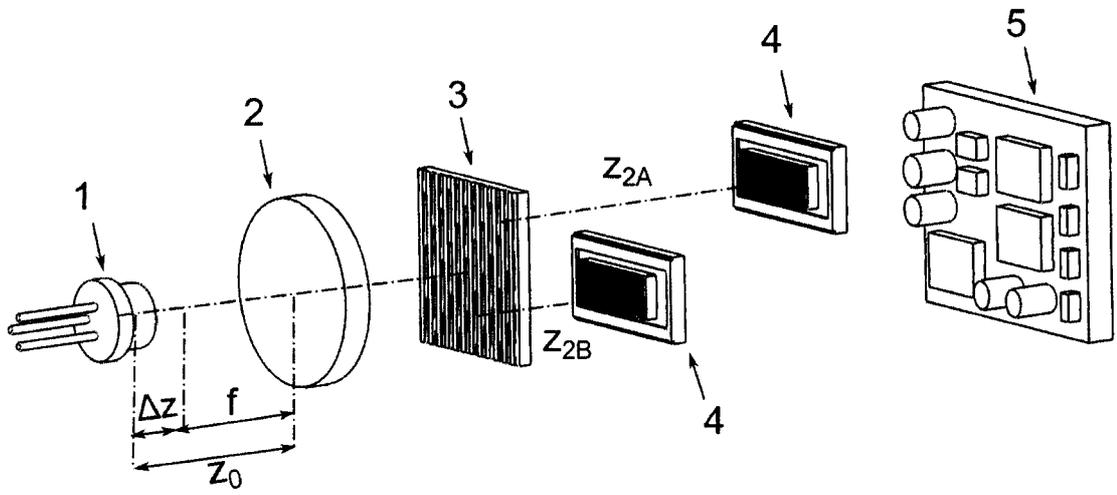


Figura 1a

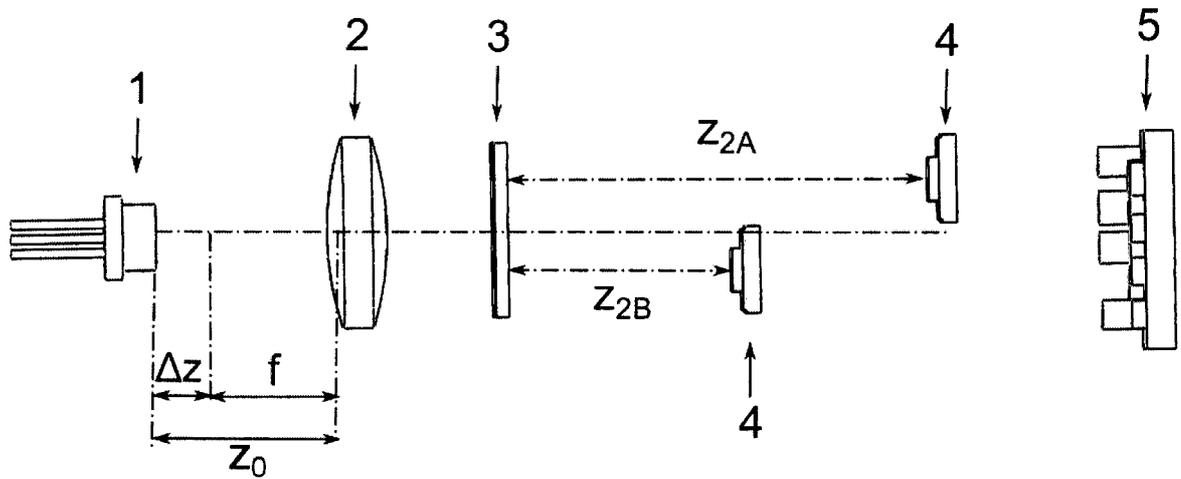


Figura 1b

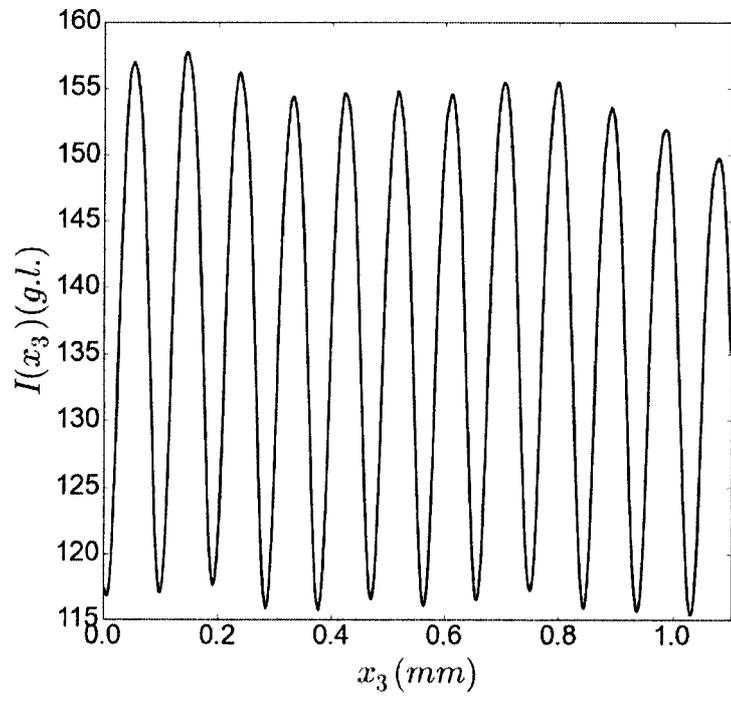


Figura 2a

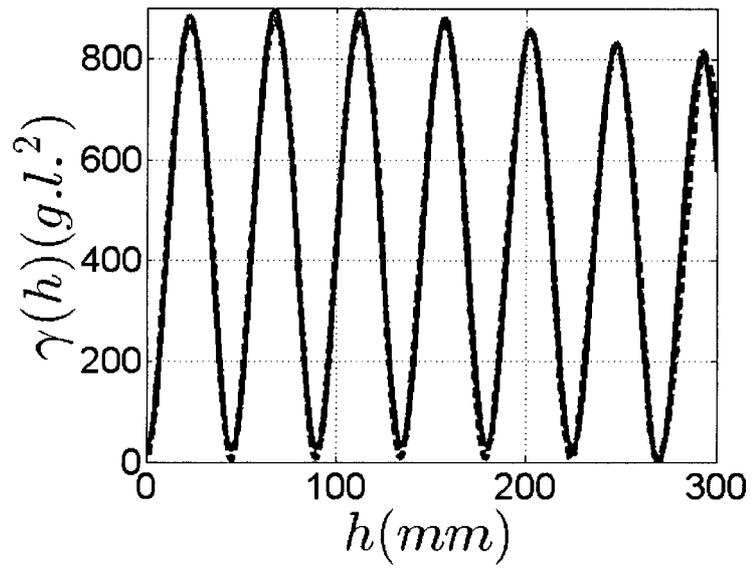


Figura 2b

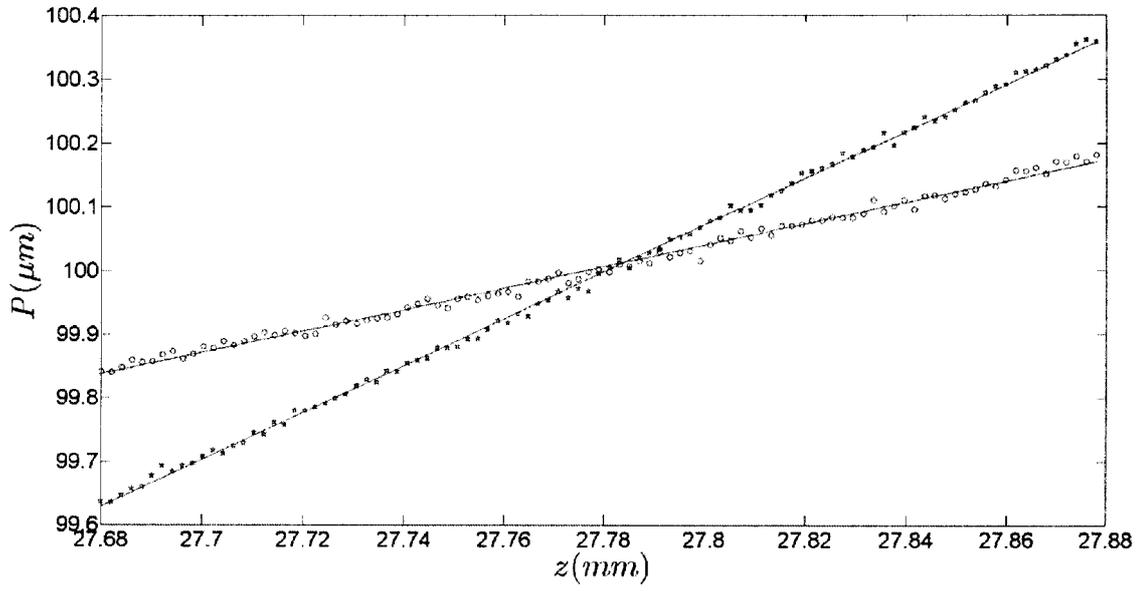


Figura 3

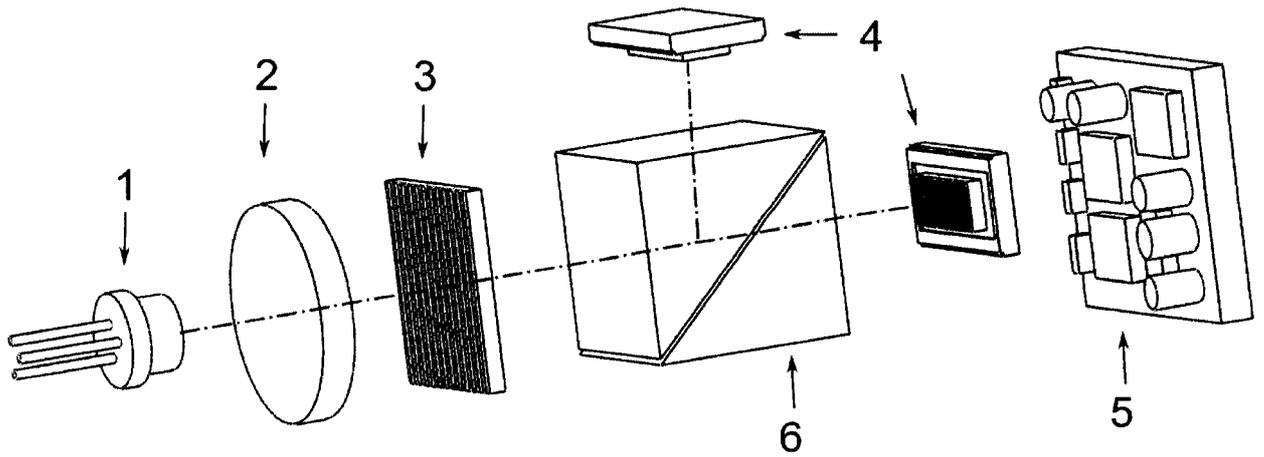


Figura 4

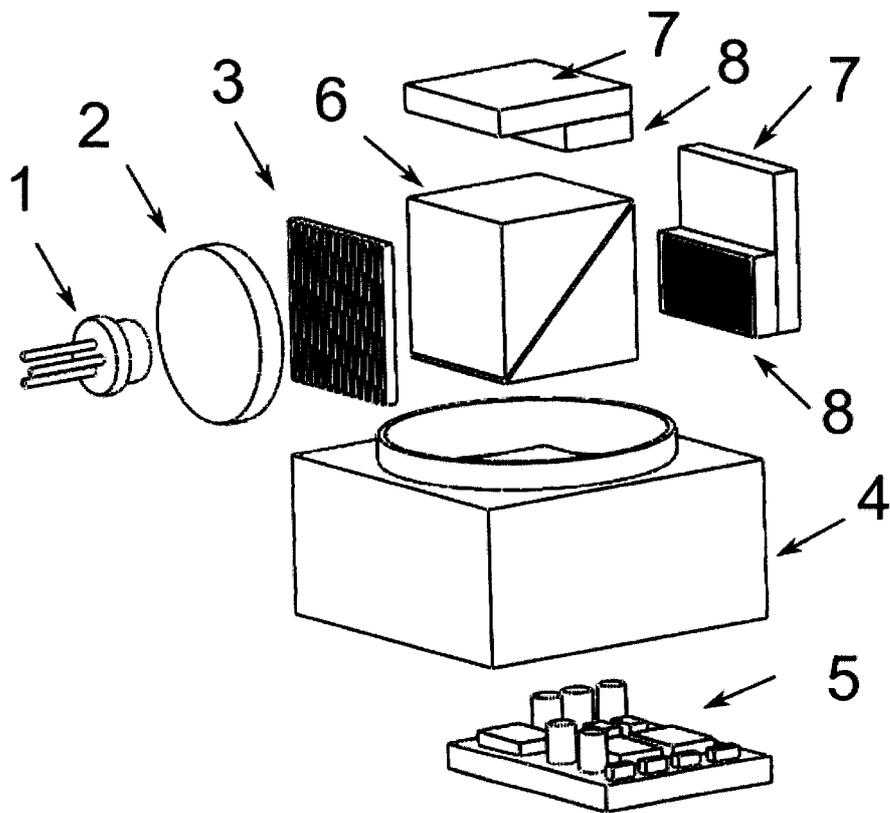


Figura 5

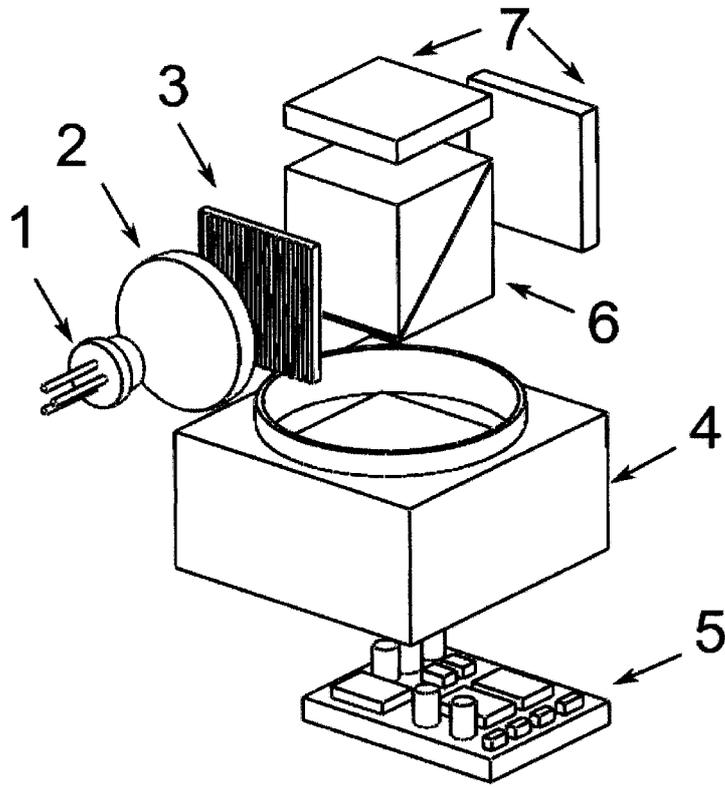


Figura 6a

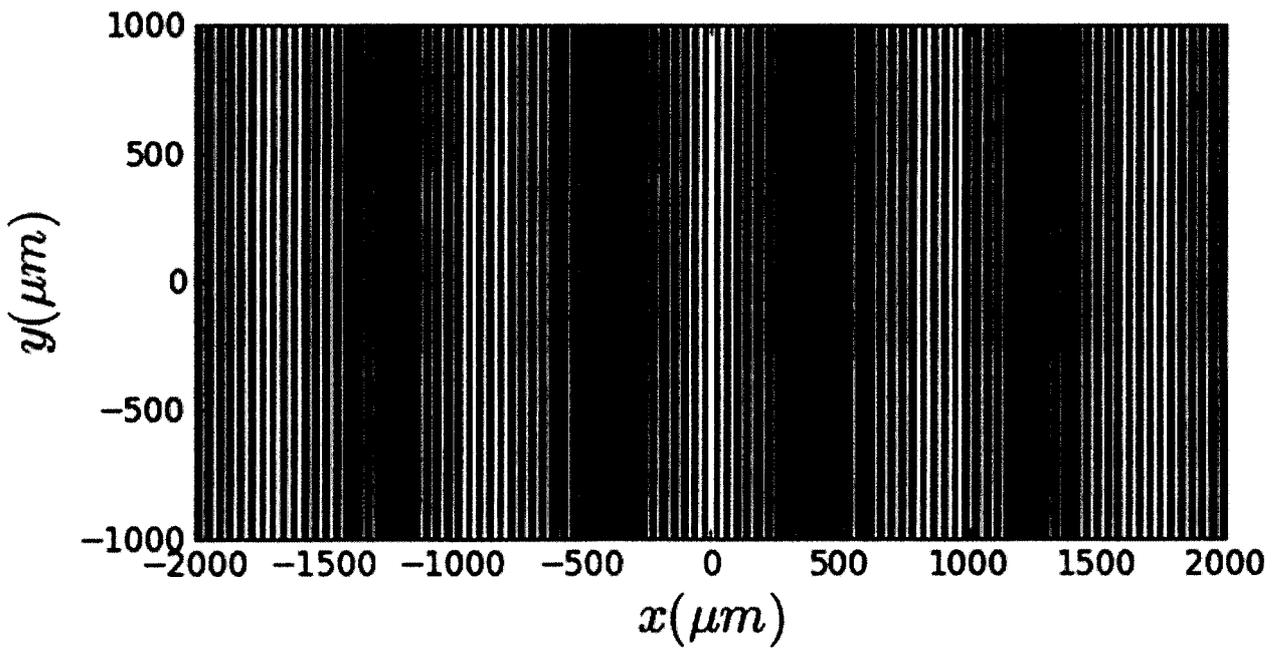


Figura 6b

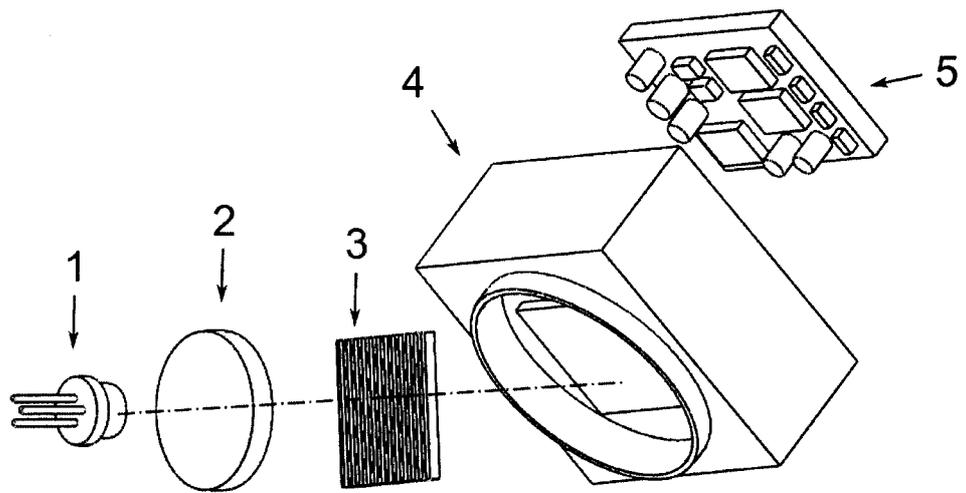


Figura 7



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201500458

②② Fecha de presentación de la solicitud: 19.06.2015

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G02B27/30** (2006.01)
G01B9/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	SALGADO-REMACHA F. J.; TORCAL-MILLA F. J.; SANCHEZ-BREA L. M.; BERNABEU E. "Use of steel substrates in diffractive optics: Near field of high surface quality steel tape gratingst". Optics and Lasers in Engineering, 20110301 Elsevier, Amsterdam, NL 31.12.2010 vol: 49 nº: 3 págs: 356-360 XP027581817 ISSN 0143-8166.	1-26

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
23.10.2015

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G02B, G01B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPESP, XPAIP, XPI3E, INSPEC.

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 23.10.2015

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-26	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-26	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	SALGADO-REMACHA F. J.; TORCAL-MILLA F. J.; SANCHEZ-BREA L. M.; BERNABEU E. "Use of steel substrates in diffractive optics: Near field of high surface quality steel tape gratings". Optics and Lasers in Engineering, 20110301 Elsevier, Amsterdam, NL 31.12.2010 vol: 49 nº: 3 págs: 356-360 XP027581817 ISSN 0143-8166.	

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

En el documento D01 se investiga experimentalmente el efecto de los parámetros de aspereza en rejillas de difracción de cintas de acero, sobre el contraste en las autoimágenes. Los resultados experimentales se comparan con los modelos teóricos.

Consideramos que este documento no anticipa la invención tal como se reivindica en las reivindicaciones de la 1ª a la 26ª, ni se encuentra en él sugerencias que dirijan a un experto en la materia hacia el objeto reivindicado en las citadas reivindicaciones.

Por lo tanto la invención tal como se reivindica en las reivindicaciones de la 1ª a la 26ª posee novedad y actividad inventiva.