



(51) Clasificación Internacional de Patentes:
G02B 27/30 (2006.01) **G02B 23/10** (2006.01)
G01B 11/00 (2006.01) **G01T 1/29** (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/ES2016/000032

(22) Fecha de presentación internacional:
29 de febrero de 2016 (29.02.2016)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
P201500173 6 de marzo de 2015 (06.03.2015) ES

(71) Solicitante: **UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID** [ES/ES]; Avenida de Seneca, 2, 28040 Madrid (ES).

(72) Inventores: **SANCHEZ BREA, Luis Miguel**; Dpto. de Óptica. - Grupo Complutense de Óptica Aplicada, Facultad de CC. Físicas, Plaza de Ciencias, 1, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid (ES). **TORCAL MILLA, Francisco Jose**; Dpto. de Óptica. - Facultad de CC. Físicas, Plaza de Ciencias, 1, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: OPTOELECTRONIC DEVICE AND METHOD FOR COLLIMATING AND DETERMINING THE DEGREE OF COLLIMATION OF A LIGHT BEAM

(54) Título : DISPOSITIVO OPTO-ELECTRÓNICO Y MÉTODO PARA COLIMAR Y DETERMINAR EL GRADO DE COLIMACIÓN DE UN HAZ DE LUZ

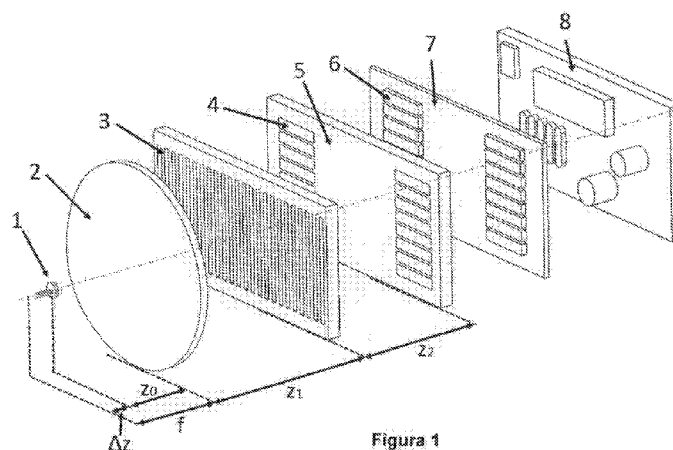


Figura 1

(57) Abstract: The invention relates to an optoelectronic device for determining the degree of collimation of a light beam, which can also be used for collimating beams by means of the incorporation of a collimation element (2). The device comprises a diffraction grating (3), a mask (5) including a plurality of windows (4) each having a diffraction grating, said diffraction gratings of the windows (4) being out of phase with one another, a matrix (7) of photodetectors (8), the number of which can be greater than or equal to the number of windows (4) of the mask (5) or which can be located in a matrix with two-dimensional distribution (CMOS or CCD), and one or more data processing elements (8). The invention also relates to methods for determining the degree of collimation of a light beam or for collimating a beam.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]



**Publicada:**

— *con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))*

La presente invención se refiere a un dispositivo opto-electrónico para determinar el grado de colimación de un haz de luz que, mediante la incorporación de un elemento de colimación 2, también puede utilizarse para colimar haces. El dispositivo comprende una red de difracción 3, una máscara 5 que incluye una multiplicidad de ventanas 4 cada una de ellas con una red de difracción, estando las redes de difracción de las ventanas 4 desfasadas entre sí, una matriz 7 de fotodetectores 8 cuyo número puede ser igual o mayor al número de ventanas 4 de la máscara 5 o bien pueden estar ubicados en una matriz con distribución bidimensional (CMOS o CCD) y uno o más elementos de procesamiento de datos 8. La invención también incluye métodos para determinar el grado de colimación de un haz de luz o para colimar un haz.

Título

Dispositivo opto-electrónico y métodos para colimar y determinar el grado de colimación de un haz de luz

5 Sector de la técnica

La presente invención se encuadra en el sector de Tecnología Óptica y más concretamente en el sector de Dispositivos Opto-electrónicos.

Estado de la técnica

- 10 La determinación o conocimiento del grado de colimación de un haz de luz es de gran importancia en numerosas aplicaciones ópticas, tales como dispositivos metroológicos, sistemas para iluminación, óptica de consumo, aplicaciones de los láseres, etc. Existen métodos sencillos y bien conocidos para colimar de forma aproximada una fuente de luz general, mediante el uso de una lente, tal como el método de autocolimación. Las
- 15 técnicas interferométricas para la medida del grado de colimación de un haz están entre las más precisas, siendo conocidas desde hace varias décadas [D. Malacara, ed., Optical Shop Testing (Wiley, New York, 1978)]. No obstante, solamente se pueden utilizar con haces de luz que tengan un alto grado de coherencia temporal o espacial, como suelen ser los láseres.
- 20 Por otra parte, en muchas situaciones es necesario conocer el grado de colimación de un haz de luz proveniente de otro tipo de fuentes tales como diodos emisores de luz (LEDs), diodos láser, láseres de emisión superficial con cavidad vertical (VCSELs) y otras fuentes que presentan un grado de coherencia parcial temporal y/o espacial.

Existen técnicas que permiten medir el grado de colimación de haces de luz mediante

25 sistemas de doble red, pero necesitan realizar desplazamientos laterales, por lo que los dispositivos de colimación se vuelven complicados [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)].

Por otro lado, han aparecido sistemas para determinar el grado de colimación basados

30 en una conjunción de redes lineales y circulares, pero el procesado de las señales resulta

complicado y no intuitivo [K. Patorski, K. Pokorski, and M. Trusiak, "Circular-linear grating Talbot interferometry with moiré Fresnel imaging for beam collimation" Opt. Lett. 39, 291 (2014)].

Asimismo, se puede determinar el grado de colimación mediante la medida del periodo
5 de una auto-imagen y comparación con el periodo de la red de difracción que genera dicha auto-imagen [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 auto-imagen es el mismo que el de la red, entonces el haz está colimado. La desventaja de esta técnica es que requiere una
10 precisión muy grande en el posicionado de los elementos ópticos y opto-electrónicos para asegurar la medida del periodo con la precisión requerida, del orden de nanómetros en muchos casos.

La ventaja de utilizar las auto-imágenes de una red de difracción para determinar el grado de colimación de un haz es que los requisitos de la fuente de iluminación son menos
15 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 auto-imágenes, ni necesita ser monocromática. Por ejemplo, es conocido que las fuentes policromáticas pueden generar autoimágenes estables durante una larga distancia [N Guérineau, B. Harchaoui, J. Primot "Talbot experiment re-examined: demonstration of an achromatic
20 and continuous self-imaging regime," Optics Communications 180 199-203 (2000)].

Entre las patentes relacionadas con la invención cabe destacar:

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.

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

Es por ello que el objeto de la presente patente es un dispositivo que determina el grado de colimación de un haz de forma robusta y sencilla, que sirve para distintos tipos de fuentes de luz, y no solamente para haces láser. Asimismo, utilizando el dispositivo que
30 mide el grado de colimación descrito en esta patente se desarrolla un método para obtener un haz con alto grado de colimación.

Descripción detallada de la invención

Dispositivo opto-electrónico y métodos para colimar y determinar el grado de colimación de un haz de luz.

Un aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo opto-electrónico que permite medir el grado de colimación de un haz láser o un haz de luz con una coherencia parcial espacial o temporal y que, asimismo, sirve para colimar un haz de luz con precisión cuando se le añade un elemento colimador.

En esta memoria descriptiva, se entiende por "haz de luz" o, simplemente, "haz" cualquier tipo de haz de luz y de haz láser.

Para medir el grado de colimación de un haz de luz, 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 auto-imágenes a varias distancias de la red de difracción [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 modula la amplitud de dicha onda, las auto-imágenes generadas se ubican a distancias múltiplos enteros de la distancia de Talbot $z = p^2/\lambda$. En la referencia [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)] se describe un sistema que utiliza una red de difracción de periodo p y una máscara con dos ventanas, cada una con una red de difracción de periodo p , desplazadas entre sí $p/4$ (90 grados eléctricos). Mediante las señales eléctricas, S_A y S_B respectivamente, generadas por dos fotodetectores ubicados detrás de las redes de difracción de las dos ventanas, se puede obtener una Figura de Lissajous al mover lateralmente y de forma continuada la red de difracción.

La forma de la Figura de Lissajous depende de diversos aspectos. Si utilizamos un modelo puramente geométrico para el análisis del dispositivo, la Figura de Lissajous es cuadrangular o rectangular. No obstante, debido a efectos difractivos, el tamaño finito de la fuente de luz, la policromaticidad de la fuente de luz, o a un mal posicionamiento de los elementos que involucran el dispositivo, la Figura de Lissajous presenta una forma más redondeada. Este tipo de formas se pueden describir matemáticamente, como veremos posteriormente.

La forma de la Figura de Lissajous también depende del grado de colimación del haz. Cuando el haz está colimado, la Figura de Lissajous es simétrica respecto a los ejes vertical y horizontal, mientras que cuando el haz está descolimado la Figura de Lissajous se hace elipsoidal y no simétrica respecto a los mismos ejes. Por consiguiente, la medida de la elipticidad de la Figura de Lissajous obtenida nos permite determinar el grado de colimación del haz de luz. El problema que se plantea con la solución descrita en la referencia [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)] es que, para generar la Figura de Lissajous, se requiere el desplazamiento lateral mecánico de la red de difracción respecto de la máscara con dos ventanas y los fotodetectores del dispositivo. Aunque este sistema es viable en prototipos de laboratorio, el movimiento continuo de la red de difracción hace que un dispositivo que utilice esta tecnología sea complicado y costoso.

En la presente invención se simplifica el método de obtención de la Figura de Lissajous con respecto a lo descrito en los párrafos anteriores. Un esquema del dispositivo de la invención se muestra en la Figura 1. En lugar de requerir un movimiento relativo entre la red de difracción y la máscara formada por dos ventanas, cada una de las cuales tiene un fotodetector detrás, como tenía el dispositivo descrito 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)], en la presente invención se sustituye dicha máscara con únicamente dos ventanas por una máscara 5 con una multiplicidad (N) de ventanas 4, cada una de ellas con una red de difracción de periodo p . En la Figura 2 se muestra un ejemplo de la máscara 5 con la multiplicidad de ventanas 4 cuyas redes de difracción están desplazadas unas con respecto de las demás. Las redes de difracción de las ventanas 4 deben estar desplazadas entre sí una fracción del periodo. Una opción es que, si hay N ventanas, el desplazamiento relativo entre ellas sea $2\pi/N$ o $360^\circ / N$, aunque otras opciones son también viables. Asimismo, en lugar de ubicar 2 fotodetectores, uno detrás de cada una de las dos ventanas, en el dispositivo de la presente invención se ubican N fotodetectores 6 o un array bidimensional, como puede ser una cámara CCD o CMOS. De esta forma, se obtienen N señales que, convenientemente dispuestas en pares $\{S_A \text{ y } S_B\}$ permiten la obtención de la Figura de Lissajous sin necesidad de movimiento relativo de la red de difracción. En la Figura 3 se muestra un ejemplo de distribución de intensidad que llega

a cada uno de los fotodetectores 6 para el caso de la distribución de ventanas de la Figura 2. El dispositivo de la invención presenta una gran ventaja puesto que simplifica enormemente la medición del grado de colimación del haz. Con los N fotodetectores, que podrán estar duplicados, o no, para mejorar la calidad de la señal, se obtiene una serie de pares de señales $\{S_A \text{ y } S_B\}$ que se utilizan para representar la Figura de Lissajous. En la Figura 4 se muestra la Figura de Lissajous obtenida con los fotodetectores 6 de la Figura 3 para tres grados distintos de colimación. Cuando el haz está colimado, Figura 4b, la Figura de Lissajous es simétrica respecto a los ejes vertical y horizontal mientras que en las Figuras 4a y 4c el haz está descolimado.

10 Un aspecto de la presente invención se refiere a un dispositivo para determinar el grado de colimación de un haz de luz que comprende:

- una red de difracción 3,
- una máscara 5 que incluye N ventanas 4 cada una de ellas con una red de difracción, donde $N \geq 4$,
- 15 - una matriz 7 de fotodetectores 6, situados detrás de cada una de las ventanas, siendo su número N igual o mayor al número de ventanas,
- uno o más elementos de procesamiento de datos 8.

Cuando el dispositivo quiere utilizarse para colimar un haz de luz, debe incorporarse al mismo un elemento de colimación 2 que puede ser una lente, un conjunto de lentes o un elemento óptico difractivo. Por lo tanto, un segundo aspecto de la invención se refiere a un dispositivo para colimar un haz de luz que comprende:

- un elemento de colimación 2,
- una red de difracción 3,
- una máscara 5 que incluye N ventanas 4 cada una de ellas con una red de difracción, 25 donde $N \geq 4$,
- una matriz 7 de fotodetectores 6, situados detrás de cada una de las ventanas, siendo su número N igual o mayor al número de ventanas,
- uno o más elementos de procesamiento de datos 8.

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.

El número de ventanas 4 en la máscara 5 es variable, aunque preferentemente, será un número par y más preferentemente, la máscara 5 incluye 16 ventanas 4. Por otro lado, las ventanas 4 en la máscara 5 pueden estar dispuestas en una o más columnas (Figuras 9 y 10). Es conveniente, aunque no necesario, que el desfase transversal entre cada una de las redes de difracción de cada ventana 4 sea igual a $360^\circ/N$, donde N es el número de ventanas 4. Otra opción es duplicar las ventanas con el mismo desfase, como se muestra en la Figura 2.

Una configuración posible es ubicar todas las ventanas 4 a la misma distancia d entre el eje óptico del haz y el centro de la ventana, como se muestra en la Figura 8. Cuanto mayor sea la distancia d entre el eje óptico del haz y el centro de la ventana, mayor será la sensibilidad que tendrá el dispositivo de medida. No obstante, como el haz debe cubrir todas las ventanas (o al menos la mayoría de ellas) la distancia d se debe adaptar al tamaño estimado que tendrá el haz una vez colimado.

En relación con el desfase entre las redes de las diferentes ventanas, también es posible que no se produzca dicha duplicidad. Entonces, los datos de salida se pueden disponer convenientemente para obtener N datos de la Figura de Lissajous a partir de las N ventanas utilizadas. Este ejemplo se muestra en la Figura 11.

Aunque simplifica el procesado de señales posterior, no es necesario que todas las ventanas 4 se encuentren a la misma distancia del eje óptico del haz de luz de entrada. Otra posible configuración es ubicar las ventanas 4 y, por ello los fotodetectores 6, en varias columnas como se muestra en la Figura 9. De esta forma, se optimiza el área de detección.

Desde el punto de vista electrónico, la configuración más rápida desde el punto de vista de procesamiento de datos es ubicar N fotodetectores 6 uno detrás de cada ventana 4. Sin embargo, dicha configuración se simplifica si se ubica una cámara formada por una distribución bidimensional de fotodetectores 6, como es una cámara CCD o una cámara CMOS. En este caso, mediante programación, se pueden seleccionar los fotodetectores (también denominados píxeles) adecuados para obtener los datos para la Figura de Lissajous.

Entre los elementos para el procesamiento de datos 8 se pueden seleccionar una placa electrónica, un microprocesador o un ordenador.

Si se analiza el sistema desde un punto de vista geométrico, la Figura de Lissajous será cuadrada o rectangular si las redes son redes de Ronchi. No obstante, la forma de la Figura de Lissajous puede cambiar por distintos motivos. En primer lugar, se producen efectos difractivos que hacen que la auto-imagen no se recupere de forma perfecta, sobre todo si el plano de los fotodetectores 6 no coincide con la distancia de Talbot. Además, cuando la fuente de luz no es puntual sino que tiene un tamaño finito, la Figura de difracción tiende a eliminar armónicos superiores y la Figura de Lissajous se hace cada vez más suave. También, cuando la fuente es policromática, se eliminan armónicos en la Figura de Lissajous. Todo esto debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar un dispositivo que mida la elipticidad de la Figura de Lissajous.

Por consiguiente, para determinar el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous de una forma precisa, las señales {S_A y S_B} se ajustan a una figura compleja generada por [M. Fernandez-Guasti, M. de la Cruz Heredia "Diffraction pattern of a circle / square aperture" J. Mod. Opt. 40(6) 1073-1080 (1993)]

$$\frac{x'^2}{R_1^2} + \frac{y'^2}{R_2^2} - s^2 \frac{x'^2 y'^2}{R_1^2 R_2^2} = 1, \quad (1)$$

donde x' e y' son las coordenadas de la Figura (señales {S_A y S_B}), R₁ y R₂ son los ejes principales y s es el parámetro que da cuenta de la forma de la Figura de Lissajous. Cuando el parámetro s es nulo, s = 0, la función representa una elipse / círculo. Cuando el parámetro s = 1 la función representa un rectángulo / cuadrado.

El grado de elipticidad se puede medir a partir del siguiente parámetro,

$$e = \sqrt{1 - \left(\frac{R_{min}}{R_{max}} \right)^2}, \quad (2)$$

donde R_{min} es el valor menor entre R₁ y R₂ y R_{max} es el valor mayor entre R₁ y R₂, aunque cualquier parámetro que compare R₁ y R₂ es válido.

Por consideraciones físicas, cuando la Figura de Lissajous no es circular, los ejes principales de la elipse (1) están ubicados a 45 grados respecto al eje x. Por consiguiente, considerando este cambio de variables

$$\begin{cases} x = (\bar{x}' - \bar{x}) \cos \theta - (\bar{y}' - \bar{y}) \sin \theta \\ y = (\bar{x}' - \bar{x}) \cos \theta + (\bar{y}' - \bar{y}) \sin \theta \end{cases} \quad (3)$$

donde $\theta = 45^\circ$, $\bar{x}$ es el valor medio de la señal de los fotodetectores 6 que generan S_A e $\bar{y}$ es el valor medio de la señal de los fotodetectores 6 que generan S_B , la ecuación (1)

se convierte en la siguiente ecuación

$$\frac{s^2}{4R_1^2 R_2^2} (x^2 - y^2)^2 - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1^2} + \frac{1}{R_2^2} \right) (x^2 + y^2) + \left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right) xy + 1 = 0, \quad (4)$$

En la Figura 5 se muestra esta ecuación para diversos valores de s y R_1/R_2 . Con el fin de obtener los parámetros de interés R_1 , R_2 , los puntos de la Figura de Lissajous experimentales $\{S_A$ y $S_B\}$ se tienen que ajustar a esta ecuación. Para ello, a partir de (4) consideraremos el siguiente polinomio

$$au + bv + cxy + 1 = 0 \quad (5)$$

donde $u = (x^2 - y^2)^2$, $v = (x^2 + y^2)$, $a = s^2/4R_1^2 R_2^2$, $b = -(1/R_1^2 + 1/R_2^2)/2$ y $c = (1/R_1^2 - 1/R_2^2)$. Los parámetros a , b , c se deben calcular a partir de datos experimentales $\{S_A$ y $S_B\}$. Entonces, para cada par de valores (x_m, y_m) con $m = 1, \dots, M$ del conjunto $\{S_A$ y $S_B\}$ que generan la Figura de Lissajous, obtenemos una ecuación que se puede representar de forma matricial $A^*z = B$

$$\begin{pmatrix} u_1 & v_1 & x_1 y_1 \\ u_2 & v_2 & x_2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_M & v_M & x_M y_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

donde $u_1 = (x_1^2 - y_1^2)^2$, $v_1 = (x_1^2 + y_1^2)$ y así sucesivamente. Este sistema de ecuaciones lineales se puede resolver mediante un ajuste de mínimos cuadrados

$$z = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot B \quad (7)$$

y de esta forma se obtienen los parámetros a , b y c . A partir de estos valores se pueden obtener los mejores parámetros R_1 y R_2 para el ajuste, que por comparación resultan ser

$$\begin{aligned} R_1^2 &= \frac{-2}{2b - c} \\ R_2^2 &= \frac{-2}{2b + c} \end{aligned} \quad (8)$$

En consecuencia, la elipticidad se obtiene mediante

$$e^2 = \frac{2c}{2b+c} \quad \text{o} \quad e^2 = \frac{-2c}{2b-c} \quad (9)$$

dependiendo del signo de los parámetros. Para una de las ecuaciones (9) se resulta un valor positivo y para la otra un número complejo puro. Nos quedaremos como parámetro de elipticidad, e , con el valor positivo.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de ajuste de los datos obtenidos con la máscara 5 de la Figura 4 y con los parámetros a , b , y c obtenidos con este procedimiento para distintas distancias Δz entre la fuente de luz y el plano focal de la lente 2. Se observa claramente que la elipticidad es un parámetro válido para medir el grado de colimación del haz y para buscar el grado de máxima colimación, que ocurre cuando $\Delta z = 0$.

Por otra parte, en la Figura 7 se muestra el ajuste de la ecuación (4) para dos casos obtenidos según el esquema de la Figura 1 y la máscara de la Figura 2. En la Figura 7a la distancia z_2 es la que se corresponde a una autoimagen y en la Figura 7b la distancia z_2 es distinta a la que se corresponde a una autoimagen. En ambas Figuras la forma de la Figura de Lissajous es muy distinta, ya que varía el parámetro s . No obstante el ajuste obtenido con la ecuación (4) es excelente para ambos casos.

Por lo tanto, otro aspecto de la invención se refiere a un método para determinar el grado de colimación de un haz de luz que incluye los siguientes pasos:

- a) hacer pasar el haz de luz a través del dispositivo de la invención,
- b) obtener una Figura de Lissajous,
- c) determinar el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous.

Para determinar el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous así obtenida, se puede recurrir a la medición visual de dicha Figura o bien se puede procesar matemáticamente. En cuanto a la medición visual, el haz de luz estará colimado si la Figura de Lissajous es circular/cuadrada y no estará colimado si la Figura de Lissajous es elíptica/rectangular. Para la medición matemática se siguen los siguientes pasos:

- d) obtener los datos de la matriz A (6),
- e) realizar el ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación (7),

f) obtener los parámetros R_1 y R_2 de la ecuación (8),

g) obtener la elipticidad e según la ecuación (9).

La invención también se refiere a un método para colimar un haz de luz que incluye los siguientes pasos:

- 5 a) hacer pasar el haz de luz a través del dispositivo de la invención que incluye un elemento colimador 2,
- b) obtener una Figura de Lissajous,
- c) determinar el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous bien mediante medición visual bien matemáticamente,
- 10 d) desplazar la fuente de luz 1 con respecto al elemento de colimación 2 a lo largo del eje óptico,
- e) monitorizar el parámetro de elipticidad e del paso c),
- f) detener el desplazamiento de la fuente de luz 1 cuando el parámetro e sea mínimo, teniendo en cuenta que los pasos c) y d) se realizan simultáneamente o
- 15 consecutivamente y que por mínimo se entiende el menor valor posible de la elipticidad a lo largo de la medida completa.

Para realizar la medición matemática del grado de elipticidad de la Figura de Lissajous en el paso c) se siguen los siguientes pasos:

- i) obtener los datos de la matriz A (6),
- 20 ii) realizar el ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación (7),
- iii) obtener los parámetros R_1 y R_2 de la ecuación (8),
- iv) obtener la elipticidad e según la ecuación (9) seleccionando el parámetro de elipticidad, e , con valor positivo.

25 Breve descripción de las Figuras

Figura 1. Muestra, de forma esquemática, la configuración básica del dispositivo para colimar y del dispositivo para determinar el grado de colimación de un haz de luz, y la

distribución de los diferentes componentes: 1 fuente de luz, 2 elemento de colimación, 3 red de difracción, 4 ventana con red de difracción, 5 máscara que contiene la multiplicidad de ventanas, 6 fotodetector, 7 matriz de fotodetectores y 8 elementos de procesamiento de datos. Se muestran la máscara 5, la matriz 7 de fotodetectores 6 y los elementos de procesamiento de datos 8 separados para una mejor comprensión pero en una realización podrían ir pegados, al menos la máscara 5 y los fotodetectores 6.

Figura 2. Muestra, de forma esquemática, un ejemplo de máscara 5 para obtener la Figura de Lissajous, para el caso de 8 ventanas 4 duplicadas (16 en total) con la que se obtienen ocho puntos en la Figura de Lissajous. En este caso, las ventanas están duplicadas para una mayor robustez, aunque podrían no estarlo. Los números representan el desplazamiento lateral de cada red de forma que 360 resulta un desplazamiento de un periodo p .

Figura 3. Ejemplo de distribución de intensidad en los fotodetectores para una fuente colimada utilizando la máscara 5 de la Figura 2.

Figura 4. Ejemplo de Figuras de Lissajous para el caso de haz descolimado convergente y descolimado divergente, Figura 4a y Figura 4c respectivamente, y para el caso de haz colimado, Figura 4b. Cuando el haz está colimado la Figura de Lissajous presenta simetría. Este ejemplo se ha obtenido con la distribución de intensidad de la Figura 3.

Figura 5. Gráfica de la ecuación 1 donde se muestra un perfil de ajuste de la Figura de Lissajous. En la Figura 5a la relación entre ejes es la misma (haz colimado), y el factor de forma s varía para cada curva. En la Figura 5b la relación entre ejes es distinta (haz descolimado) y el factor de forma s varía para cada curva.

Figura 6. Variación de elipticidad e (ecuación 9) en función de la distancia entre la fuente de luz 1 y el punto focal del elemento colimador 2, Δz , para la máscara de la Figura 2. Conociendo el valor de la elipticidad podemos saber el grado de colimación del haz, por lo que se puede medir el grado de colimación del haz a partir de la elipticidad. Por otra parte, cuando se tiene $\Delta z = 0$, entonces el haz está perfectamente colimado.

Figura 7. Ejemplos de Figuras de Lissajous obtenidas con la máscara de la Figura 2 cuando el haz está perfectamente colimado para dos planos de observación z_2 distintos. En la Figura 7a, la distancia z_2 entre la red de difracción 3 y la máscara 5 con ventanas 4 es igual a un plano de Talbot de la red de difracción $z_2 = p^2/\lambda$, $\lambda = 880 \text{ nm}$, $p = 110 \mu\text{m}$

En la Figura 7b, esta distancia es $z_2 = p^2/\lambda + 500\mu m$. Aunque la forma de la Figura de Lissajous cambie, y también lo haga el parámetro s , con la ecuación (9) se obtiene un valor de elipticidad igual para los dos casos.

Figura 8. Ejemplo de máscara 5 cuando las ventanas 4 se ubican únicamente en 2 columnas separadas una distancia d del eje central. Cada una de las ventanas (rectángulos negros) contiene una red de difracción con desfases relativos.

Figura 9. Ejemplo de máscara 5 cuando las ventanas 4 se ubican en 4 columnas. Cada una de las ventanas (rectángulos negros) contiene una red de difracción con desfases relativos.

Figura 10. Ejemplo de máscara 5 cuando las ventanas 4 se disponen en una multiplicidad de columnas equiespaciadas. Cada una de las ventanas (rectángulos negros) contiene una red de difracción con desfases relativos.

Figura 11. Ejemplo de máscara 5 cuando las redes de las ventanas 4 no están duplicadas. De esta forma se puede obtener un mayor número de puntos de la Figura de Lissajous.

Figura 12. Resultados experimentales de elipticidad en función de la distancia LED-lente obtenidos con el Ejemplo 1.

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 para medir el grado de colimación de un haz o colimar un haz.

Ejemplo 1.

Se fabricó un dispositivo para colimar y un dispositivo para determinar el grado de colimación de una fuente de luz 1 LED de longitud de onda $\lambda = 880$ nanómetros (modelo HE8807SG de Hitachi), incluyendo, como elemento de colimación 2, una lente de focal 25 milímetros y diámetro 20 milímetros en el caso del dispositivo para colimar. El dispositivo incluía una red de difracción 3 de periodo $p = 110$ micrómetros, una máscara 5 que contenía 16 ventanas 4 situadas en dos columnas con una distancia de

$d = 2$ milímetros entre el eje central de la máscara 5 y el centro de las ventanas 4. Cada una de las ventanas contenía una red de difracción de periodo $p = 110$ micrómetros con intervalos de desfase $360^\circ/8$. Las redes de difracción de las ventanas se encontraban duplicadas. Esta máscara se muestra en la Figura 2. Para la adquisición de datos se
 5 utilizaron fotodetectores 6 de silicio para infrarrojo de Osram –modelo Opto SFH2400Z 60° , colocando uno detrás de cada ventana 4. La máscara 5 se encuentra a una distancia de Talbot de la red de difracción 3, $z_T = 2 \cdot p^2/\lambda = 27.5$ milímetros. Para el tratamiento de dichos datos se utilizó un programa informático. La dependencia de la elipticidad de la
 10 Figura de Lissajous con la distancia entre la fuente de luz y el punto focal del sistema de colimación se muestra en la Figura 6. El mínimo corresponde a la situación óptima de colimación cuya Figura de Lissajous se muestra en la Figura 4b. El resultado experimental se muestra en la Figura 12.

Ejemplo 2.

Se fabricaron dispositivos idénticos a los descritos en el Ejemplo 1 pero utilizando un
 15 número de ventanas $N = 24$ dispuestas en dos columnas equidistantes a ambos lados del eje central de la máscara. La máscara se situó a dos distancias de Talbot de la red de difracción. El desfase entre las redes de difracción de las ventanas era en este caso $360^\circ/24$ y las ventanas estaban duplicadas.

Ejemplo 3.

20 Se fabricaron dispositivos idénticos a los descritos en el Ejemplo 2 sustituyendo la lente de colimación por un sistema de lentes, en el caso de los dispositivos para colimar, y no se duplicaron los desfases de las redes de difracción de las ventanas 4 de la máscara 5. En este caso los desfases fueron a intervalos $360^\circ/16$. Un ejemplo con 16 ventanas se muestra en la Figura 11.

25 Ejemplo 4.

Se fabricaron dispositivos idénticos a los descritos en el Ejemplo 2 con $N=32$ ventanas, situándolas en 4 columnas de 8 ventanas tal y como se muestra en la Figura 9. Como fuente de luz se utilizó un diodo LED de longitud de onda diferente: $\lambda = 650$ nanómetros.

Ejemplo 5.

Se fabricaron dispositivos idénticos a los descritos en el Ejemplo 2 con N=72 ventanas, pero situando las ventanas en 9 columnas, tal y como se muestra en la Figura 10. Como elemento colimador, cuando fue necesario incluirlo, se utilizó un Elemento Óptico Difractivo en lugar de una lente.

5 Ejemplo 6.

Se fabricaron dispositivos idénticos a los descritos en los ejemplos 1-5 pero se usó una matriz bidimensional de fotodetectores para la adquisición de datos. En unos casos se utilizó una cámara CMOS -modelo DMK 72BUC02 de Imaging Source- y en otros una cámara CCD -modelo DMK 51AU02.AS de Imaging Source-. En estos casos, la máscara
10 se simula mediante software, integrando la luz que llega a los píxeles correspondientes de la cámara.

Ejemplo 7.

Se fabricaron dispositivos idénticos a los descritos en el Ejemplo 2 utilizando como fuente de luz un diodo laser en lugar de un LED.

15 Ejemplo 8.

Se determinó el grado de colimación de un haz utilizando los dispositivos para tal fin que se describen en los Ejemplos 1-7. Se hizo pasar un haz de luz a través de cada uno de los dispositivos obteniendo una Figura de Lissajous. Observando en tiempo real la representación gráfica de la Figura de Lissajous obtenida en cada caso, se determinó de
20 forma visual si el haz de luz estaba o no estaba colimado adecuadamente. Si la Figura de Lissajous resultaba circular/cuadrada el haz estaba adecuadamente colimado.

Ejemplo 9.

Se determinó el grado de colimación de un haz utilizando los dispositivos para tal fin que se describen en los Ejemplos 1-7. Para ello se hizo pasar el haz de luz a través del
25 dispositivo de la invención y se obtuvo una Figura de Lissajous. A continuación se obtuvieron los datos de la matriz A de la ecuación

$$\begin{pmatrix} u_1 & v_1 & x_1 y_1 \\ u_2 & v_2 & x_2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_M & v_M & x_M y_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

que se resolvió mediante la inversa de Penrose para obtener el vector $z = (a, b, c)$

$$z = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot B, \quad (7)$$

a continuación, de z se obtuvieron los parámetros R_1 y R_2 de la Figura de Lissajous

$$\begin{aligned} R_1^2 &= \frac{-2}{2b - c}, \\ R_2^2 &= \frac{-2}{2b + c}, \end{aligned} \quad (8)$$

y se calculó la elipticidad de la Figura de Lissajous mediante la ecuación

$$e^2 = \frac{2c}{2b+c} \quad \text{o} \quad e^2 = \frac{-2c}{2b-c} \quad (9)$$

Ejemplo 10.

- 10 Se colimó un haz de luz proveniente de una fuente de luz 1. Para ello se utilizaron los dispositivos que se describen en los Ejemplos 1-7 e incluyen un elemento de colimación 2. Se hizo pasar un haz de luz a través de cada uno de los dispositivos obteniendo una Figura de Lissajous. Observando en tiempo real la representación gráfica de la Figura de Lissajous se determinó de forma visual si el haz de luz estaba o no estaba colimado
- 15 adecuadamente. Se desplazó la fuente de luz respecto al elemento de colimación 2, hasta que la Figura de Lissajous resultó circular/cuadrada, de manera que el haz quedaba adecuadamente colimado.

Ejemplo 11.

- Se colimó un haz de luz proveniente de una fuente de luz 1 utilizando los dispositivos
- 20 que se describen en los Ejemplos 1-7 e incluyen un elemento de colimación 2. Se hizo pasar un haz de luz a través de cada uno de los dispositivos obteniendo una Figura de Lissajous y se representó en tiempo real la elipticidad de la Figura de Lissajous. Se fue desplazando la fuente de luz respecto al elemento de colimación 2, y monitorizando la elipticidad de la misma siguiendo el mismo método que se describe en el ejemplo 9,
- 25 hasta encontrar el mínimo, es decir, $\Delta z=0$ que correspondía con la posición de colimación óptima. El resultado experimental obtenido utilizando la configuración del Ejemplo 1 se muestra en la Figura 12. La incertidumbre en la distancia entre la fuente de luz 1 y el

elemento colimador 2 resulta $\delta z = 0.087 \mu\text{m}$. La incertidumbre en la divergencia del haz calculada como $\delta\phi = D \cdot \delta z / 2 \cdot f^2 = 1.4 \mu\text{rad}$.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para determinar el grado de colimación de un haz de luz que comprende:

- una red de difracción 3,

- una máscara 5 que incluye N ventanas 4 cada una de ellas con una red de difracción,
5 estando las redes de difracción de las ventanas 4 desfasadas entre sí,

- una matriz 7 de fotodetectores 6 cuyo número es, al menos, igual al número N de
ventanas,

- uno o más elementos de procesamiento de datos 8,

donde el número de ventanas $N \geq 4$ y el desplazamiento entre las redes de difracción
10 de cada ventana 4 es igual a $360^\circ/N$.

2. Dispositivo según la reivindicación 1 en el que la máscara 5 incluye 16 ventanas 4.

3. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que las ventanas
15 4 están duplicadas con el mismo desfase.

4. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la distancia
d'entre el eje óptico del haz de luz y el centro de la ventana 4 es la misma para todas las
ventanas 4.

5. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-3 en el que las ventanas 4 están
dispuestas en 4 o más columnas.

6. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los
25 fotodetectores 6 se ubican en una distribución bidimensional.

7. Dispositivo según la reivindicación 6 en el que la distribución bidimensional es una cámara CMOS o una cámara CCD.

5 8. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que los elementos para el procesamiento de datos 8 se seleccionan entre el grupo formado por: una placa electrónica, un microprocesador y un ordenador.

9. Dispositivo para colimar un haz de luz que comprende:

- un elemento de colimación 2,
 - 10 - una red de difracción 3,
 - una máscara 5 que incluye N ventanas 4 cada una de ellas con una red de difracción, estando las redes de difracción de las ventanas 4 desfasadas entre sí,
 - una matriz 7 de fotodetectores 6 cuyo número es, al menos, igual al número N de ventanas,
 - 15 - uno o más elementos de procesamiento de datos 8,
- donde el número de ventanas $N \geq 4$.

10. Dispositivo según la reivindicación 9 en el que el elemento de colimación 2 es una lente, un conjunto de lentes o un Elemento Óptico Difractivo.

20 11. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-10 en el que la máscara 5 incluye 16 ventanas 4.

25 12. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-11 en el que el desplazamiento entre las redes de difracción de cada ventana 4 es igual a $360^\circ/N$, donde N es el número de ventanas 4.

13. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-12 en el que las ventanas 4 están duplicadas con el mismo desfase.

14. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-13 en el que la distancia d entre el eje óptico del haz de luz y el centro de la ventana 4 es la misma para todas las ventanas 4.

15. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-13 en el que las ventanas 4 están dispuestas en 4 o más columnas.

16. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-15 en el que los fotodetectores 6 se ubican en una distribución bidimensional.

17. Dispositivo según la reivindicación 16 en el que la distribución bidimensional es una cámara CMOS o una cámara CCD.

18. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 9-17 en el que los elementos para el procesamiento de datos 8 se seleccionan entre el grupo formado por: una placa electrónica, un microprocesador y un ordenador.

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

a) hacer pasar el haz de luz a través de un dispositivo según se define en las reivindicaciones 1-8,

b) obtener una Figura de Lissajous,

c) determinar el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous.

20. Método según la reivindicación 19 en el que el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous se determina mediante medición visual.

21. Método según la reivindicación 19 en el que el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous se determina matemáticamente añadiendo los siguientes pasos:

d) obtener experimentalmente los datos de la matriz A de la ecuación

$$\begin{pmatrix} u_1 & v_1 & x_1 y_1 \\ u_2 & v_2 & x_2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_M & v_M & x_M y_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix},$$

10 donde $z=(a, b, c)$ se obtienen a partir de datos experimentales $\{S_A \text{ y } S_B\}$ de las señales detectadas por los fotodetectores 6 y donde $u_1 = (x_1^2 - y_1^2)^2$, $v_1 = (x_1^2 + y_1^2)$ y así sucesivamente, mediante la resolución de la ecuación

$$z = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot B$$

e) obtener los parámetros R_1 y R_2 de la ecuación

$$15 \quad R_1^2 = \frac{-2}{2b - c},$$

$$R_2^2 = \frac{-2}{2b + c},$$

f) obtener la elipticidad e según la ecuación

$$e^2 = \frac{2c}{2b + c} \quad \text{o} \quad e^2 = \frac{-2c}{2b - c}$$

20 seleccionando el parámetro de elipticidad, e , con valor positivo.

22. Método para colimar un haz de luz que incluye los siguientes pasos:

a) hacer pasar el haz de luz a través de un dispositivo según se define en las reivindicaciones 9-18,

25 b) obtener una Figura de Lissajous,

- c) determinar el grado de elipticidad de la Figura de Lissajous,
- d) desplazar la fuente de luz 1 con respecto al elemento de colimación 2, a lo largo del eje óptico,
- e) monitorizar el parámetro de elipticidad e del paso c)
- 5 f) detener el desplazamiento de la fuente de luz 1 cuando el parámetro e sea mínimo,
- teniendo en cuenta que los pasos c) y d) se realizan simultáneamente o consecutivamente y que por mínimo se entiende el menor valor posible de la elipticidad a lo largo de la medida completa.
- 10 23. Método para colimar un haz de luz según la reivindicación 22 en el que el paso c) se realiza mediante medición visual.

24. Método para colimar un haz de luz según la reivindicación 22 en el que el paso c) se realiza matemáticamente siguiendo los siguientes pasos:

- 15 i) obtener los datos de la matriz A de la ecuación

$$\begin{pmatrix} u_1 & v_1 & x_1 y_1 \\ u_2 & v_2 & x_2 y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_M & v_M & x_M y_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ -1 \end{pmatrix},$$

- donde $z=(a, b, c)$ se obtienen a partir de datos experimentales $\{S_A \text{ y } S_B\}$ de las señales detectadas por los fotodetectores 6 y donde $u_1 = (x_1^2 - y_1^2)^2$, $v_1 = (x_1^2 + y_1^2)$ y así sucesivamente, mediante la resolución de la ecuación
- 20

$$z = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \cdot B$$

- ii) obtener los parámetros R_1 y R_2 de la ecuación

25

$$R_1^2 = \frac{-2}{2b - c},$$

$$R_2^2 = \frac{-2}{2b + c},$$

iii) obtener la elipticidad e según la ecuación

$$e^2 = \frac{2c}{2b+c} \text{ o } e^2 = \frac{-2c}{2b-c}$$

seleccionando el parámetro de elipticidad, e , con valor positivo.

1/10

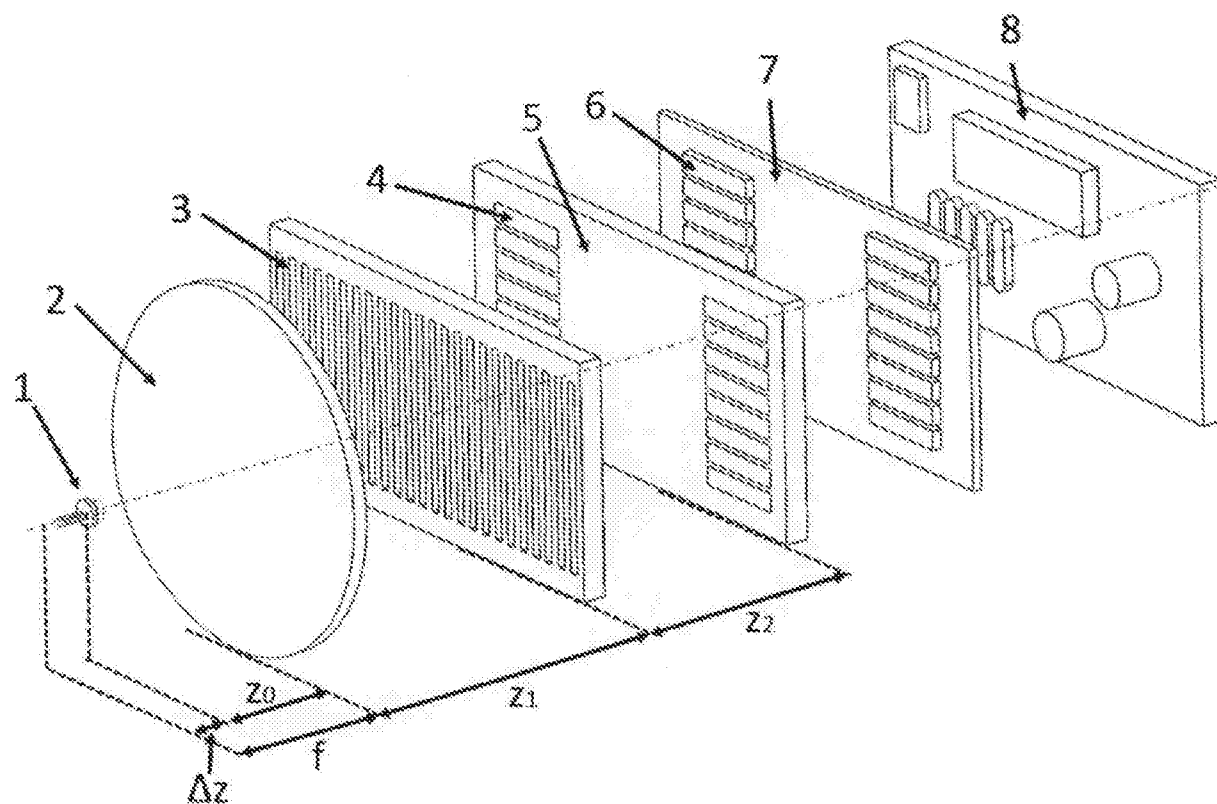


Figura 1

2/10

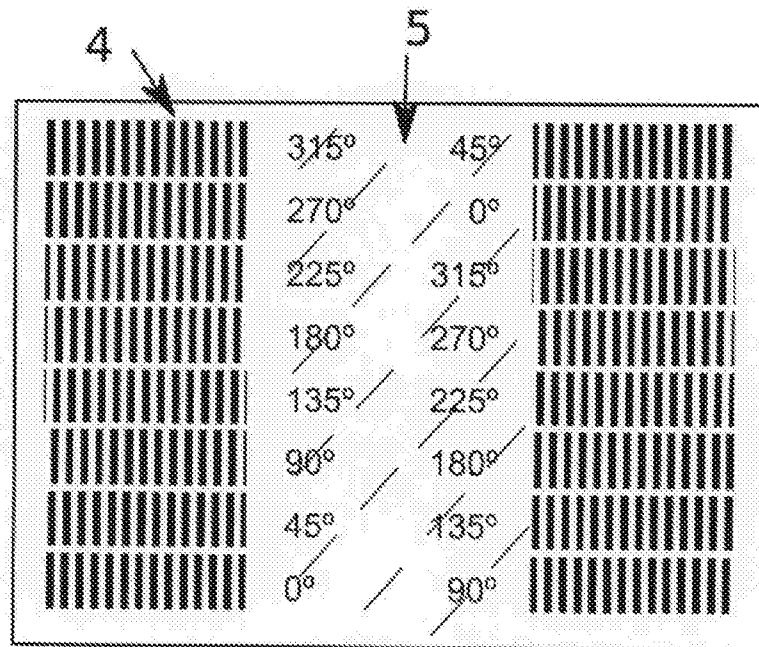


Figura 2

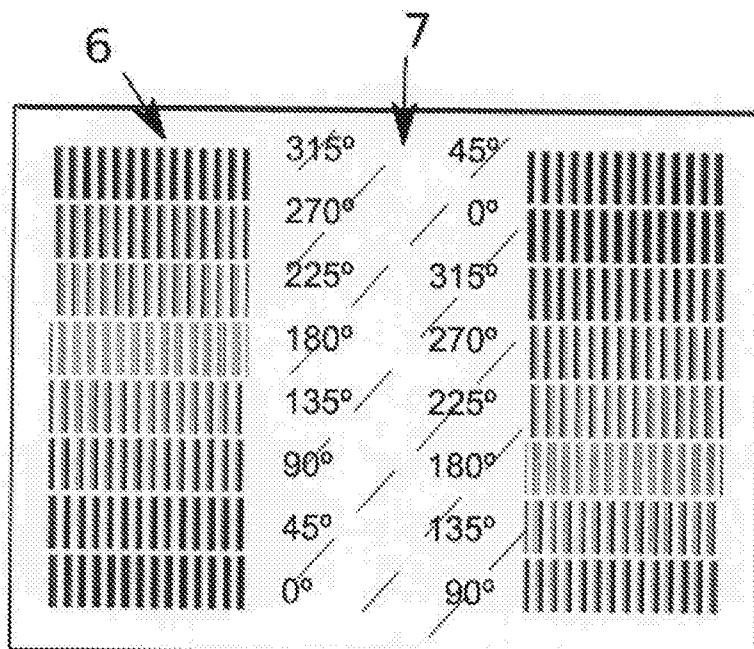


Figura 3

3/10

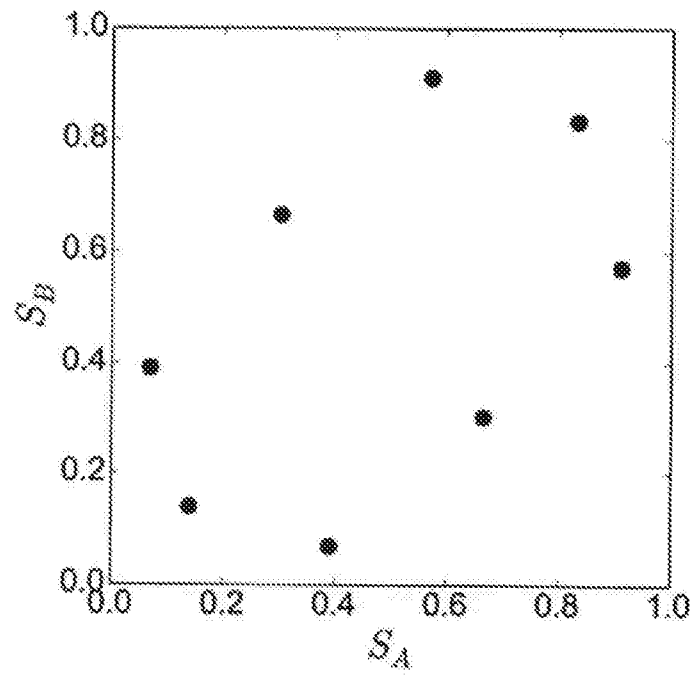


Figura 4a

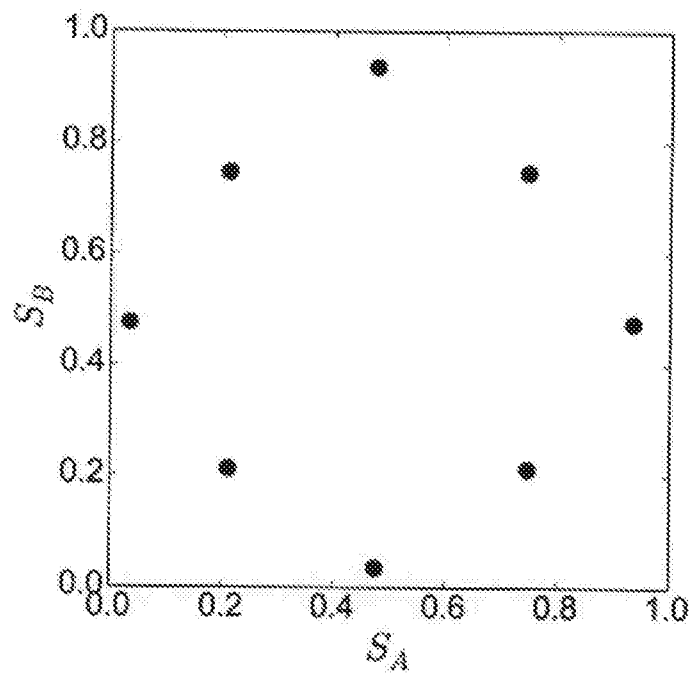


Figura 4b

4/10

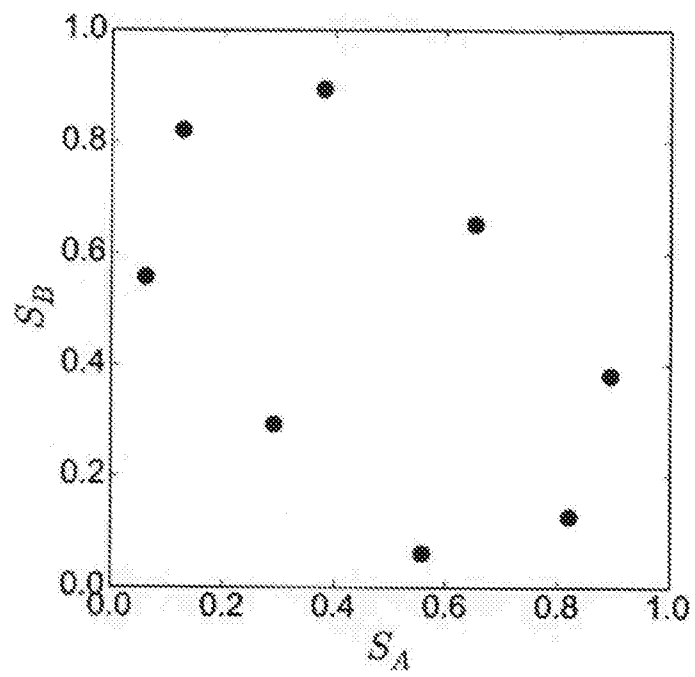


Figura 4c

5/10

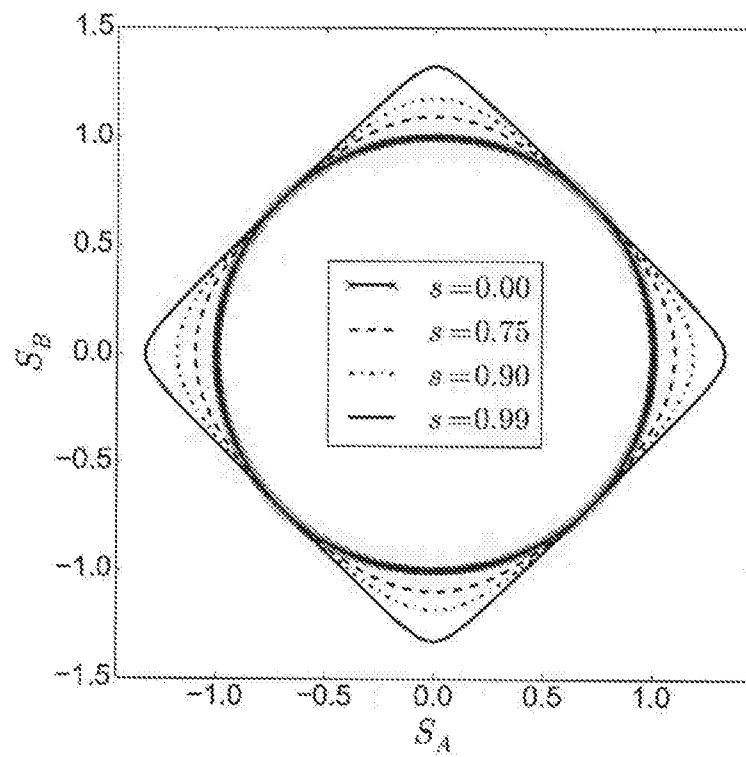


Figura 5a

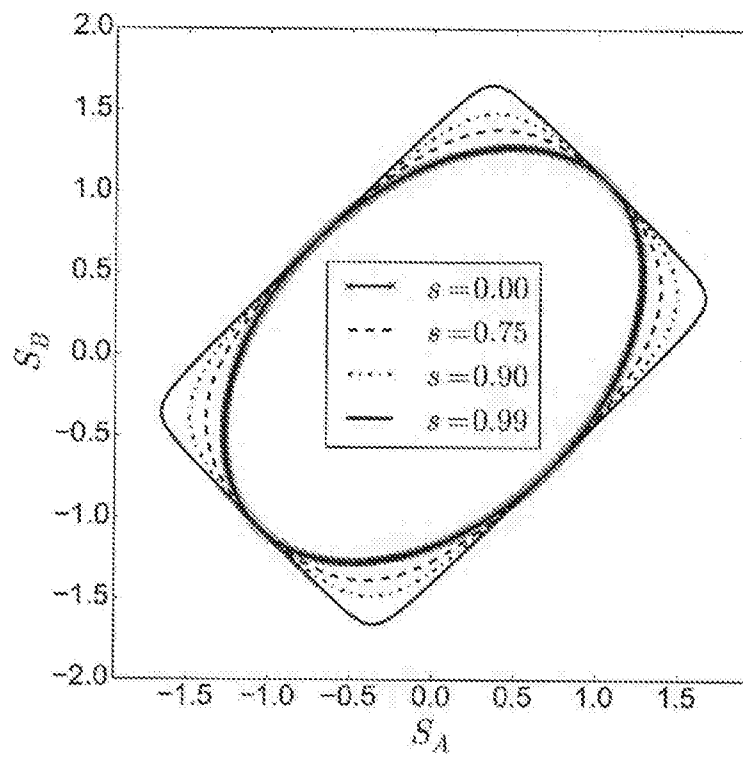


Figura 5b

6/10

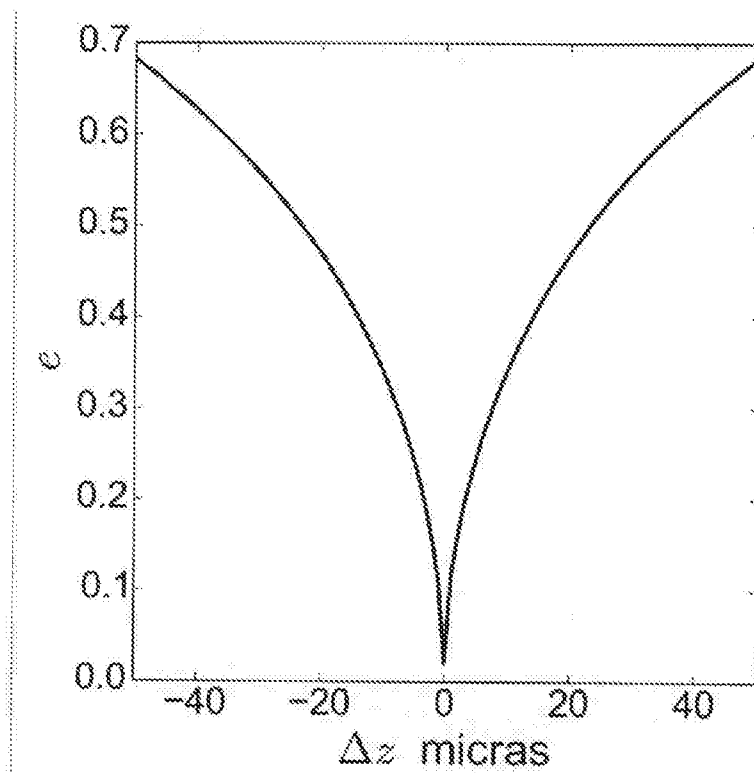


Figura 6

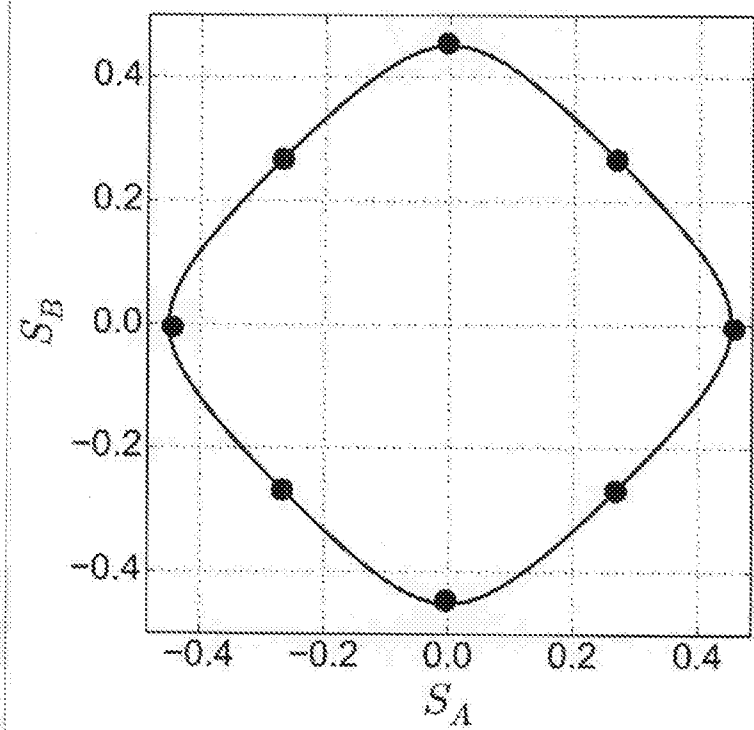


Figura 7a

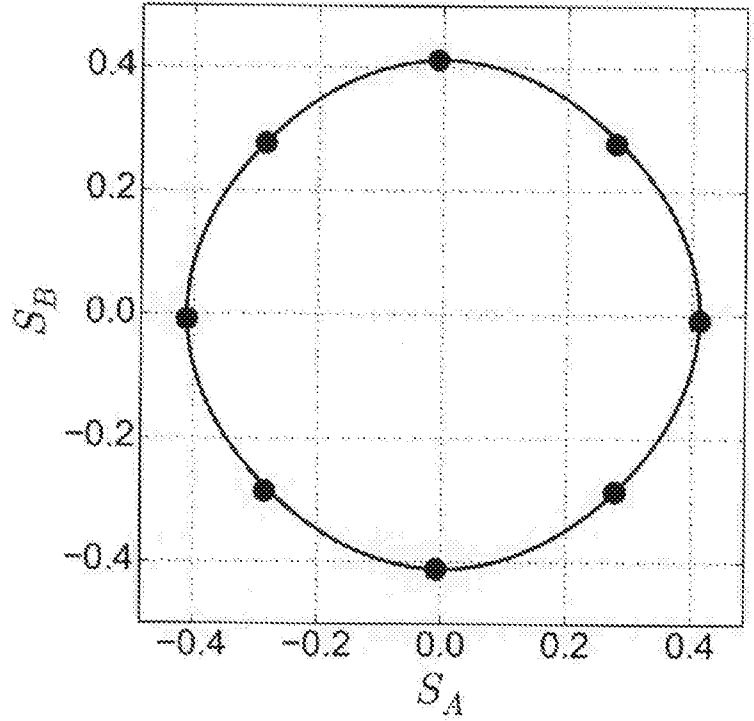


Figura 7b

8/10

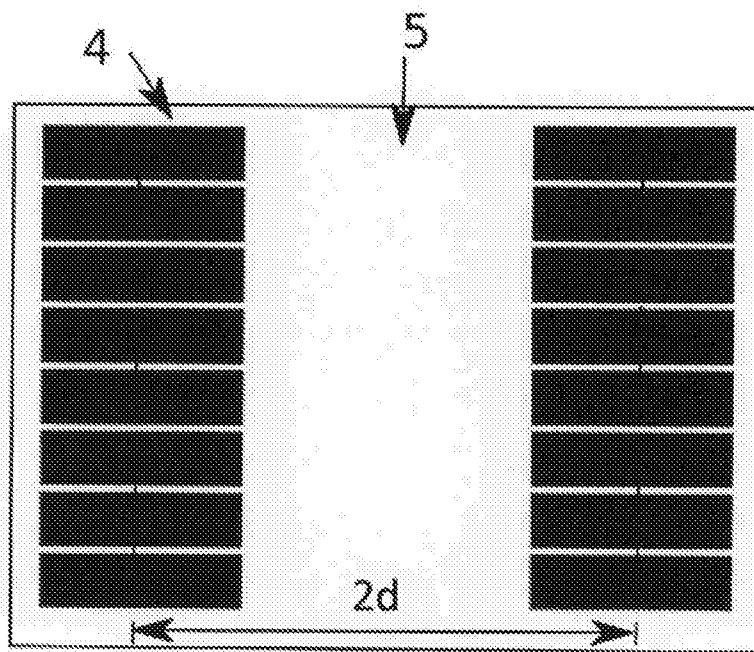


Figura 8

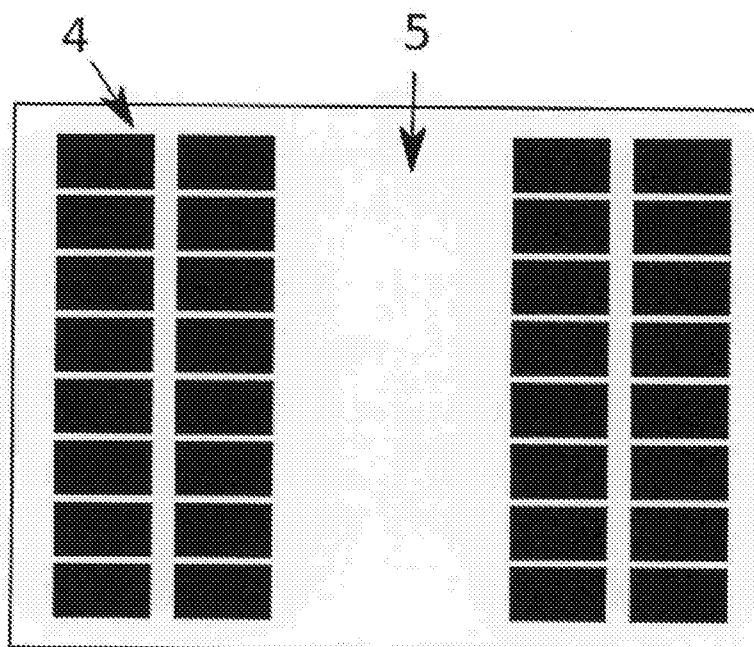


Figura 9

9/10

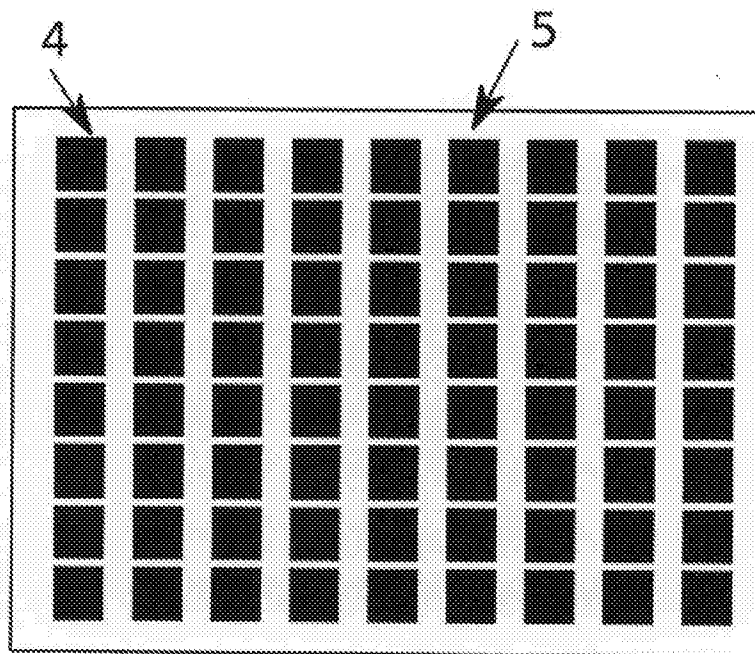


Figura 10

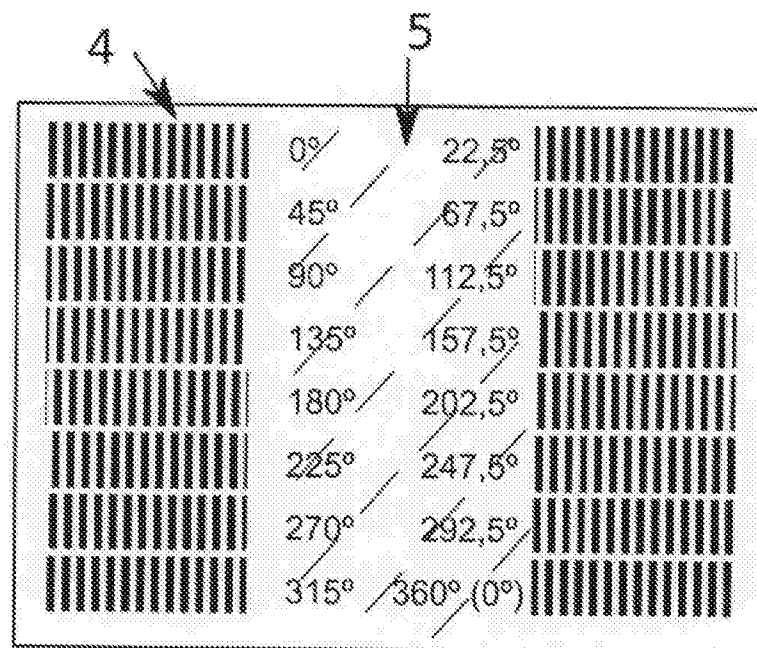


Figura 11

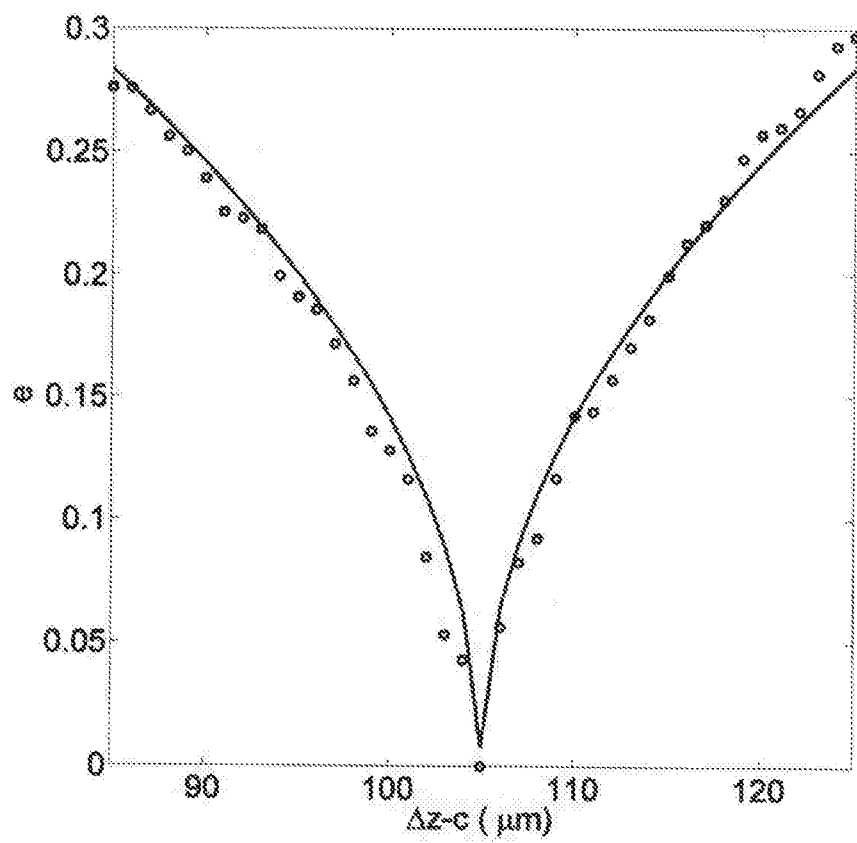


Figura 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2016/000032

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B, G01B, G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4498767 A (MCGOVERN WILLIAM E ET AL.) 12/02/1985, abstract, figures, column 1, line 49-column 2, line 16; column 2, line 30- column 3, line 20; column 4, lines 16-23.	1-24
A	Optics department, Applied Optics Complutense Groups, Universidad Complutense of Madrid, L M Sánchez-Brea, et. al.; "Continuous self-imaging regime with a double-grating mask", Document retrieved from internet <URL: http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CDQOFjAC&url=http%3A%2F%2Fprints.ucm.es%2F26221%2F&ei=u4CWVai9G4GtUaHal_AE&usg=AFQjCNHn_EGO55Dpt8TkI5fxn0_Dvr6kZcA&sig2=CMq3KJc639HaOgbv6elqvw&bvm=bv.96952980,d.d24 >, [retrieved on 03/07/2015] date 13/10/2009, all the page web.	1-24
A	US 3924953 A (ALLARD FREDERICK C) 09/12/1975, abstract, figures; column 1, line 60-column 2, line 26; column 2, lines 35-48.	1-24

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.	
"E" earlier document but published on or after the international filing date	
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15/03/2016

Date of mailing of the international search report
(16/03/2016)

Name and mailing address of the ISA/

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Facsimile No.: 91 349 53 04

Authorized officer
A. López Ramiro

Telephone No. 91 3495322

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2016/000032

C (continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0462599 A2 (APPLIED MATERIALS INC) 27/12/1991, abstract, figures; column 1, lines 37-44; column 3, lines 3-21 and 49-58; column 5, line 47- column 6, line 28.	1-24
A	US 2014071427 A1 (LAST MATTHEW EMANUEL) 13/03/2014, abstract, figures; paragraphs 33, 38-40, 47, 48.	1-24
A	US 2008128631 A1 (SUHAMI AVRAHAM) 05/06/2008, abstract, figures; paragraphs 176-186, 252-266.	1-24

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

Information on patent family members

PCT/ES2016/000032

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US4498767 A	12.02.1985	NONE	
-----	-----	-----	-----
US3924953 A	09.12.1975	NONE	
-----	-----	-----	-----
US2014071427 A1	13.03.2014	US2014071431 A1	13.03.2014
-----	-----	-----	-----
EP0462599 A2	27.12.1991	US5337144 A	09.08.1994
		KR100226002B B1	15.10.1999
		JPH04297028 A	21.10.1992
		JP3065380B B2	17.07.2000
		DE69117103T T2	27.06.1996
-----	-----	-----	-----
US2008128631 A1	05.06.2008	US2009301538 A1	10.12.2009
		US8063379 B2	22.11.2011
		US2008142069 A1	19.06.2008
		US7985918 B2	26.07.2011
-----	-----	-----	-----

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2016/000032

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B27/30 (2006.01)

G01B11/00 (2006.01)

G02B23/10 (2006.01)

G01T1/29 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº
PCT/ES2016/000032

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver Hoja Adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)
G02B, G01B, G01T

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	US 4498767 A (MCGOVERN WILLIAM E ET AL.) 12/02/1985, resumen, figuras, columna 1, línea 49-columna 2, línea 16; columna 2, línea 30- columna 3, línea 20; columna 4, líneas 16-23.	1-24
A	Optics department, Applied Optics Complutense Groups, Universidad Complutense de Madrid, L M Sánchez-Brea, et. al.; "Continuous self-imaging regime with a double-grating mask", Documento recuperado de internet <URL: http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=0CDQQFjAC&url=http%3A%2F%2Fprints. ucm.es%2F26221%2F&ei=u4CWVai9G4GtUaHalAE&usg=AFQjCNHnEGO55Dpt8TkI5fxn0_Dvr6kZcA&sig2=CMq3KJc639HaOgbv6elqvw&bvm=bv.96952980,d.d24 >, [recuperado el 03/07/2015] fecha 13/10/2009, toda la página web.	1-24
A	US 3924953 A (ALLARD FREDERICK C) 09/12/1975, resumen, figuras; columna 1, línea 60-columna 2, línea 26; columna 2, líneas 35-48.	1-24

☒ En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.	
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.	

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.
15/03/2016

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.
16 de marzo de 2016 (16/03/2016)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional
OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)
Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado
A. López Ramiro
Nº de teléfono 91 3495322

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional n°

PCT/ES2016/000032

C (Continuación). DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES		
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones n°
A	EP 0462599 A2 (APPLIED MATERIALS INC) 27/12/1991, resumen, figuras; columna 1, líneas 37-44; columna 3, líneas 3-21 y 49-58; columna 5, línea 47- columna 6, línea 28.	1-24
A	US 2014071427 A1 (LAST MATTHEW EMANUEL) 13/03/2014, resumen, figuras; párrafos 33, 38-40, 47, 48.	1-24
A	US 2008128631 A1 (SUHAMI AVRAHAM) 05/06/2008, resumen, figuras; párrafos 176-186, 252-266.	1-24

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

Solicitud internacional nº

PCT/ES2016/000032

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US4498767 A	12.02.1985	NINGUNO	
US3924953 A	09.12.1975	NINGUNO	
US2014071427 A1	13.03.2014	US2014071431 A1	13.03.2014
EP0462599 A2	27.12.1991	US5337144 A	09.08.1994
		KR100226002B B1	15.10.1999
		JPH04297028 A	21.10.1992
		JP3065380B B2	17.07.2000
		DE69117103T T2	27.06.1996
US2008128631 A1	05.06.2008	US2009301538 A1	10.12.2009
		US8063379 B2	22.11.2011
		US2008142069 A1	19.06.2008
		US7985918 B2	26.07.2011

CLASIFICACIONES DE INVENCION

G02B27/30 (2006.01)

G01B11/00 (2006.01)

G02B23/10 (2006.01)

G01T1/29 (2006.01)