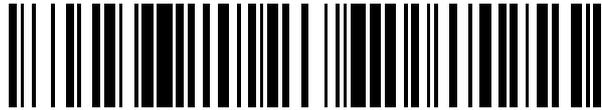


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 759**

21 Número de solicitud: 201630757

51 Int. Cl.:

G02F 1/133 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

06.06.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.12.2017

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
AV. GREGORIO PECES BARBA, 1
28919 LEGANÉS (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**ALGORRI GENARO, José Francisco;
URRUCHI DEL POZO, Virginia y
SÁNCHEZ PENA, José Manuel**

54 Título: **Micro lente de cristal líquido y matriz de microlentes de cristal líquido**

57 Resumen:

La invención describe microlente (1) de cristal líquido, que comprende: un sustrato (2s) superior y un sustrato (2i) inferior; una capa (3s) superior de alineamiento y una capa (3i) inferior de alineamiento; y una capa (4) de cristal líquido entre la capa (3s) superior de alineamiento y la capa (3i) inferior de alineamiento, donde: el sustrato (2s) superior comprende electrodos (51, 52) de control y el sustrato (2i) inferior comprende electrodos (53, 54) de control, formando dichos electrodos (51, 52, 53, 54) una figura plana, y donde cada electrodo (51, 52, 53, 54) es excitado por una señal eléctrica alterna, estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los electrodos (51, 52, 53, 54) de un mismo sustrato (2s, 2i), y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los electrodos (51, 52) del sustrato (2s) superior con relación a las señales eléctricas de los electrodos (53, 54) del sustrato (2i) inferior.

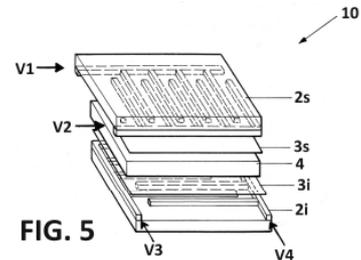


FIG. 5

DESCRIPCIÓN

Micro lente de cristal líquido y matriz de microlentes de cristal líquido

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece de manera general al campo de la óptica, y más particularmente a la creación de microlentes para diversas aplicaciones.

10 El objeto de la presente invención es una microlente de cristal líquido mejorada con relación a las microlentes actualmente conocidas. Otro objeto de la invención es una matriz de microlentes de cristal líquido.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15

Una lente homogénea convencional tiene dos características físicas que contribuyen a la forma en que dicha lente configura un frente de onda tras su paso por ella: la diferencia entre el índice de refracción del material de la lente y el del medio circundante, y la curvatura de sus interfaces. Además, se sabe que cuando la luz se propaga a través de un medio no homogéneo, los frentes de onda disminuyen su velocidad en las regiones “ópticamente densas” y se aceleran en las zonas de “menor densidad”. Por ello, debería ser posible diseñar una lente de un material homogéneo en el que haya un gradiente en el índice de refracción; este dispositivo se conoce como lente GRIN (GRadient INdex). Un material utilizado para la creación de lentes GRIN es el cristal líquido. El cristal líquido posee un índice de refracción variable con la tensión. Si en la configuración del dispositivo se genera un gradiente de tensión en el material, se consigue un gradiente en su índice de refracción y con ello la reproducción del efecto de una lente GRIN. Las ventajas del empleo de cristal líquido son múltiples: crear lentes sin partes móviles, más delgadas, de menor peso, menor consumo y mayores potencias focales.

30

Una importante aplicación de este tipo de lentes son las lentes de cristal líquido de tamaño micrométrico (diámetro inferior al milímetro). Este tipo de lente tiene numerosas aplicaciones como pueden ser acoplamiento de fibras, escáner, sensores CCD, control de aberraciones, sistemas autoestereoscópicos, procesamiento de imagen, etc. Las primeras microlentes fabricadas con cristal líquido se describen en el documento “*A liquid crystal microlens obtained with a non-uniform electric field*”, Liquid Crystals, vol. 5, Nº 5, pp. 1425-1433, enero 1989, usando una técnica denominada “hole patterned”. Este método de fabricación consiste

35

en fotolitografiar varios agujeros circulares en un electrodo de ITO (Indium Titanium Oxide) sobre un substrato de vidrio, posteriormente se introduce el cristal líquido entre dicho substrato de vidrio y otro habilitado con el electrodo de masa. Este esquema se muestra en la Fig. 1, donde se ha representado una sección transversal donde se aprecian los electrodos (E1, E2), un agujero (A) practicado en el electrodo (E1), y el cristal líquido (CL) que rellena el espacio entre ambos electrodos (E1, E2). Debido a que los electrodos (E1, E2) se sitúan directamente sobre el cristal líquido (CL), no es necesaria una elevada tensión y únicamente se requiere un electrodo de tensión de control. Su funcionamiento también está basado en el gradiente de tensión formado en el agujero (A).

10

Este tipo de microlente conocida presentaba diversos inconvenientes, tales como aberraciones astigmáticas y esféricas. Los mismo autores del artículo anterior proponen posteriormente una solución a este problema en la patente US 6,768,536 titulada "*Liquid crystal microlens*". Esta solución consiste simplemente en emplear electrodos con agujeros en los substratos superior e inferior, como se puede apreciar en la Fig. 2. De este modo, al ser la configuración simétrica, se reducen en cierta medida las aberraciones en los campos eléctricos producidos.

15

En cualquier caso, las microlentes basadas en cristal líquido actualmente conocidas continúan presentando severas limitaciones tales como una potencia óptica limitada, bajo factor de relleno debido a la apertura circular, y la presencia de aberraciones debido a una distribución no uniforme del campo eléctrico.

20

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

25

La presente invención resuelve los problemas anteriores gracias a una nueva configuración que permite obtener una microlente de cristal líquido con una gran potencia óptica y donde la forma y el foco de la microlente pueden sintonizarse a velocidades extremadamente rápidas. Más concretamente, la velocidad de sintonización dependerá del espesor de la lente, por lo que suponiendo espesores mínimos de 10 o 20 micras se conseguirá una velocidad aproximada de entre medio segundo y un segundo. Además, la microlente de cristal líquido de la presente invención puede adoptar una apertura cuadrada, lo que en el caso de una matriz de microlentes contribuye a conseguir un factor de relleno mucho mayor que en las matrices de microlentes circulares de la técnica anterior. Todas estas ventajas hacen que la microlente de cristal líquido de esta invención sea especialmente útil para su uso en la siguiente generación de dispositivos autoestereoscópicos basados en imagen integral y en sistemas de captura plenópticos, en los cuales la apertura cuadrada y la

30

35

capacidad de enfoque sintonizable en un gran rango pueden constituir un gran valor añadido.

5 Esencialmente, el concepto subyacente en esta invención es el descubrimiento por parte de los inventores de que es posible generar una microlente si se excita una capa de cristal líquido mediante cuatro electrodos lineales dispuestos por parejas respectivamente en los sustratos superior e inferior al cristal líquido, siempre y cuando las señales eléctricas de control aplicadas a los electrodos sean alternas y tengan unos determinados desfases entre sí. Además, la modificación individual de la amplitud de las señales eléctricas de control
10 permite controlar la forma y el foco de la microlente.

Un primer aspecto de la invención está dirigido a una microlente de cristal líquido que comprende fundamentalmente las siguientes características:

15 a) Elementos básicos para conformar un dispositivo de cristal líquido

La microlente de cristal líquido comprende al menos: un sustrato superior y un sustrato inferior dispuestos en paralelo; una capa superior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato superior y una capa inferior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato inferior; y una capa de cristal líquido que rellena el espacio entre la capa superior de alineamiento y la capa inferior de alineamiento. Estos elementos son los habitualmente presentes en dispositivos de cristal líquido convencionales.
20

25 b) Configuración de los electrodos de control

El sustrato superior comprende un primer y segundo electrodos lineales de control y el sustrato inferior comprende un tercer y cuarto electrodos lineales de control. Estos electrodos lineales están dispuestos de manera que, vistos en planta, conforman una figura plana esencialmente cerrada que comprende cuatro tramos formados por los respectivos cuatro electrodos de control, y donde los tramos correspondientes a electrodos de un mismo sustrato están situados en posiciones opuestas.
30

En este documento, el término "*electrodo lineal*" hace referencia a un electrodo que tiene una dimensión mucho mayor que la otra, y cuya superficie es por tanto mínima. No es necesario que un electrodo lineal sea recto, ya que puede adoptar diferentes formas tanto rectas como curvas.
35

En este documento, el término “*vista en planta*” hace referencia a una vista en dirección perpendicular al plano del cristal líquido.

5 Los cuatro electrodos lineales conforman por lo tanto una figura plana que puede tener en principio cualquier forma siempre que contenga cuatro tramos formados por los respectivos cuatro electrodos, y donde los tramos correspondientes a electrodos de un mismo sustrato están situados en posiciones opuestas. Esto significa que la figura tendrá un primer tramo correspondiente al primer electrodo, a continuación un
10 segundo tramo correspondiente al segundo electrodo, a continuación un tercer tramo correspondiente al tercer electrodo, y por último un cuarto tramo correspondiente al cuarto electrodo. Una configuración adecuada de los electrodos lineales permite obtener microlentes de formas muy diversas en función de las necesidades particulares de cada aplicación.

15 En una realización preferida de la invención, la figura plana puede ser un paralelepípedo donde el tramo correspondiente a cada electrodo constituye un lado. Más preferiblemente, la figura plana puede ser un cuadrado donde el tramo correspondiente a cada electrodo constituye un lado. Esta configuración específica
20 permite obtener lentes de apertura esencialmente cuadrada que son especialmente útiles para la creación de matrices de microlentes con un factor de relleno muy elevado.

La fijación de los electrodos al sustrato correspondiente puede en principio llevarse a
25 cabo de cualquier modo conocido en la técnica. Por ejemplo, realizando fotolitografía a unos sustratos comerciales de vidrio cubiertos de una capa conductora transparente de óxido de indio y estaño (ITO).

c) Configuración de las señales eléctricas de control

30 Cada electrodo es excitado por una señal eléctrica alterna, estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los electrodos de un mismo sustrato, y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los electrodos del sustrato superior con relación a las señales eléctricas de los electrodos del sustrato inferior.

35 En efecto, los inventores de esta solicitud han descubierto que la aplicación de señales eléctricas que cumplan estas condiciones a unos electrodos configurados del

modo descrito anteriormente, producen un gradiente de tensión eficaz en la capa de cristal líquido que tiene forma cuasi-piramidal. Habrá un voltaje igual a cero en el centro del área activa y un voltaje en los bordes igual al aplicado en cada uno de los tramos que forman la figura plana. Gracias a esta forma cuasi-piramidal y la respuesta no-lineal del cristal líquido ante el valor eficaz del voltaje aplicado, el resultado en el gradiente de índice de refracción, y en consecuencia en el desfase óptico, sea una semiesfera.

En principio, las señales eléctricas aplicadas a los electrodos pueden adoptar cualquier forma siempre que sean alternas, incluyendo formas cuadradas, triangulares, u otras. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen usando señales eléctricas de forma esencialmente sinusoidal. La frecuencia de estas señales será la habitualmente utilizada en este tipo de dispositivos de cristal líquido, por ejemplo aproximadamente de 1 kHz o similar. En cuanto a la amplitud de las señales de control, también estará en el rango de las habitualmente utilizadas en este tipo de dispositivos. Sin embargo, es importante señalar que no es necesario que las amplitudes de las cuatro señales de control sean iguales para la generación de la microlente de cristal líquido. Es más, como se describirá con mayor detalle más adelante en este documento, la modificación de la amplitud de las señales de control permite sintonizar tanto la potencia óptica como la posición del foco de la microlente. Esto puede ser útil en diversas aplicaciones, además de permitir compensar los problemas generados por la anisotropía elástica, común en los cristales líquidos.

En ocasiones, puede ocurrir que para ciertos tipos de cristales líquidos las lentes generadas contengan una superficie plana en el centro de su área activa, debido a falta de conmutación en esa zona, o bien que el foco se desvíe hacia alguno de los lados de la microlente. Para solucionar estos problemas, en una realización especialmente preferida de la invención se incluye además una tensión de offset continua aplicada de manera alterna a las señales eléctricas del primer y segundo electrodos y a las señales eléctricas del tercer y cuarto electrodos. Esto se describirá con mayor detalle más adelante en este documento.

También puede ocurrir que en determinados tipos de cristales líquidos que presenten características de anisotropía elástica relevantes, el foco de la microlente se desplace con relación al centro de la figura plana formada por los electrodos lineales. En efecto, para un cristal líquido con isotropía elástica y cuando se aplican señales eléctricas de la misma intensidad, idealmente se genera una microlente de forma

perfectamente esférica con el foco situado en el centro de dicha figura plana (o área activa). Sin embargo, si el cristal líquido posee una anisotropía elástica relevante, es posible que el foco de la microlente quede desplazado con relación al centro de dicha figura plana. Para corregir este defecto, en una realización preferida de la invención las señales eléctricas aplicadas a los electrodos tienen una amplitud diferente. Una adecuada selección de las amplitudes permite compensar efectos causados por la anisotropía elástica del cristal líquido de modo que el foco puede volver a situarse en el centro de la figura plana que forman los electrodos.

10 En definitiva, la configuración descrita permite obtener una microlente de cristal líquido con unas características mejoradas con relación a las microlentes de la técnica anterior. En primer lugar, una adecuada configuración de los electrodos lineales permite obtener lentes de cualquier forma deseada. Además, un adecuado control de la amplitud de las señales de control permite controlar tanto la potencia óptica de la microlente como la posición del foco.

15 De manera general, una mayor amplitud de las señales de control permite aumentar la potencia óptica. Específicamente con señales de control iguales para cada electrodo, un aumento de la amplitud producirá que el gradiente de tensión desde el centro del área activa a cada uno de los tramos sea mayor, produciendo en consecuencia mayor gradiente en el índice de refracción y mayor desfase óptico. Por otra parte, si se aplican señales de control diferentes para cada electrodo, el gradiente de tensión desde el centro del área activa hacia un determinado tramo será mayor que hacia el tramo opuesto. En consecuencia, el paso por
20 cero del voltaje, el cual determina la posición del foco, se acercará al tramo de menor voltaje.

25 En muchas aplicaciones este tipo de lentes no se utilizan en solitario sino que es necesario obtener una matriz formada por una pluralidad de microlentes dispuestas unas junto a las otras. Por ello, un segundo aspecto de la presente invención está dirigido a una matriz de microlentes de cristal líquido generadas de acuerdo con el mismo concepto inventivo. Una matriz de microlentes comprende fundamentalmente las siguientes características:

30

a) Elementos básicos para conformar un dispositivo de cristal líquido

La matriz de microlentes de cristal líquido comprende al menos: un sustrato superior y un sustrato inferior dispuestos en paralelo; una capa superior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato superior y una capa inferior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato inferior; y una capa de cristal líquido que rellena el espacio entre la capa superior de alineamiento y la capa inferior de alineamiento.

35

Estos elementos son los habitualmente presentes en dispositivos de cristal líquido convencionales.

b) Configuración de los electrodos de control

5

El sustrato superior comprende unos primer y segundo peines interdigitados formados por una pluralidad de púas esencialmente paralelas que forman una pluralidad de primeros y segundos electrodos.

10

El sustrato inferior comprende unos tercer y cuarto peines interdigitados formados por una pluralidad de púas esencialmente paralelas que forman una pluralidad de terceros y cuartos electrodos.

15

Los cuatro peines interdigitados están dispuestos de manera que, vistos en planta, conforman una pluralidad de figuras planas esencialmente cerradas, cada una de las cuales comprende cuatro tramos formados por los respectivos cuatro electrodos, y donde los tramos correspondientes a electrodos de un mismo sustrato están situados en posiciones opuestas.

20

En este documento, el término "*peine*" hace referencia a un electrodo que tiene una forma similar a un peine formado por una pluralidad de púas o elementos lineales esencialmente paralelos, los cuales están eléctricamente interconectados entre sí por medio de un tramo de base. No es necesario que las púas de un peine de este tipo tengan una forma recta, sino que pueden adoptar formas curvas o bien formas constituidas por varios tramos rectos dispuestos según direcciones diferentes. El uso de peines con púas de diferentes configuraciones permite la generación de figuras planas de diferentes aperturas en función de la aplicación deseada.

25

30

En este documento, el término "*interdigitado*" hace referencia a una configuración consistente en dos peines enfrentados con sus púas entrecruzadas de manera alterna. Normalmente, dos peines interdigitados tendrán púas de forma complementaria para evitar que unas púas se superpongan a otras y para facilitar la formación de figuras planas consistentes en polígonos regulares.

35

Una adecuada disposición de los dos pares de peines interdigitados dispuestos de acuerdo con direcciones diferentes permite crear una matriz de figuras planas cerradas y esencialmente idénticas entre sí donde cada figura está formada por

cuatro tramos correspondientes a púas de cada uno de los peines, y donde los tramos correspondientes a púas de peines de un mismo sustrato están situados en posiciones opuestas. Una configuración adecuada de los electrodos lineales permite obtener microlentes de formas muy diversas en función de las necesidades particulares de cada aplicación. Por ejemplo, en una realización preferida de la invención cada figura plana puede ser un paralelepípedo donde el tramo correspondiente a cada electrodo constituye un lado. Más preferiblemente, cada figura plana es un cuadrado donde el tramo correspondiente a cada electrodo constituye un lado.

5

10

c) Configuración de las señales eléctricas de control

Cada peine es excitado por una señal eléctrica alterna, estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los peines de un mismo sustrato, y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los peines del sustrato superior con relación a las señales eléctricas de los peines del sustrato inferior.

15

20

25

30

En principio, las señales eléctricas aplicadas a los peines pueden adoptar cualquier forma siempre que sean alternas, incluyendo formas cuadradas, triangulares, u otras. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen usando señales eléctricas de forma esencialmente sinusoidal. La frecuencia de estas señales será la habitualmente utilizada en este tipo de dispositivos de cristal líquido, por ejemplo aproximadamente de 1 kHz o similar. En cuanto a la amplitud de las señales de control, también está en el rango de las habitualmente utilizadas en este tipo de dispositivos. Sin embargo, es importante señalar que no es necesario que las amplitudes de las cuatro señales de control sean iguales para la generación de la microlente de cristal líquido. Es más, como se describirá con mayor detalle más adelante en este documento, la modificación de las señales de control permite sintonizar tanto la potencia óptica como la posición del foco de la microlente. Esto puede ser útil en diversas aplicaciones, además de permitir compensar los problemas generados en caso de que el cristal líquido empleado presente anisotropía elástica relevante.

35

En ocasiones, puede ocurrir que para ciertos tipos de cristales líquidos las lentes generadas contengan una superficie plana en el centro de su área activa debido a falta de conmutación en esa zona, o bien que el foco se desvíe hacia alguno de los lados de la microlente. Para solucionar estos problemas, en una realización especialmente preferida de la invención se incluye además una tensión de offset

continua aplicada de manera alterna a las señales eléctricas del primer y segundo peines y a las señales eléctricas del tercer y cuarto peines. Esto se describirá con mayor detalle más adelante en este documento.

5 También puede ocurrir que en determinados tipos de cristales líquidos que presenten características de anisotropía elástica relevantes, el foco de cada microlente de la matriz se desplace con relación al centro de la figura plana correspondiente. En efecto, para un cristal líquido con isotropía elástica y cuando se aplican señales eléctricas de la misma intensidad, idealmente se generan microlentes de forma
10 perfectamente esférica con el foco situado en el centro de cada figura plana (o área activa de la microlente). Sin embargo, si el cristal líquido posee una anisotropía elástica relevante, es posible que el foco de cada microlente quede desplazado con relación al centro de la figura plana correspondiente. Para corregir este defecto, en una realización preferida de la invención, las señales eléctricas aplicadas a los
15 peines tienen una amplitud diferente. Una adecuada selección de las amplitudes permite compensar efectos causados por la anisotropía elástica del cristal líquido de modo que el foco puede volver a situarse en el centro de la figura plana.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

20 La Fig. 1 muestra una sección transversal de un ejemplo de estructura de tipo “hole patterned” de acuerdo con la técnica anterior.

Las Figs. 2a y 2b muestran dos vistas de otro ejemplo de estructura de tipo “hole patterned”
25 de acuerdo con la técnica anterior.

La Fig. 3 muestra un ejemplo de sustrato con dos peines interdigitados según la invención.

La Fig. 4 muestra un esquema de la disposición ortogonal de dos pares de peines
30 interdigitados para formar una matriz de microlentes de forma cuadrada según la invención.

La Fig. 5 muestra una vista en perspectiva de una matriz de microlentes de forma cuadrada según la invención.

35 Las Figs. 6a-6d muestran un ejemplo de señales de control aplicadas a cada uno de los cuatro electrodos de una matriz de microlentes cuya apertura es cuadrada como la de las figuras anteriores.

La Fig. 7 muestra otro ejemplo de señales de control aplicadas a cada uno de los cuatro electrodos de control de una matriz de microlentes de apertura cuadrada donde se aplica una tensión continua de compensación.

5

La Fig. 8 muestra una micrografía real de un ejemplo de matriz de microlentes de acuerdo con la presente invención.

La Fig. 9 muestra una micrografía real de otro ejemplo de matriz de microlentes de acuerdo con la presente invención.

10

La Fig. 10 muestra una micrografía real de un ejemplo de matriz de microlentes de acuerdo con la estructura "hole patterned" de la técnica anterior.

La Fig. 11 muestra un gráfico que representa los perfiles de fase de una microlente según la presente invención y una microlente según la estructura "hole patterned" de la técnica anterior.

15

La Fig. 12 muestra un esquema de dos pares de peines interdigitados para formar una matriz de microlentes en forma de rombo.

20

La Fig. 13 muestra un esquema de dos pares de peines interdigitados para formar una matriz de microlentes de forma hexagonal.

25 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

A continuación, se describe con mayor detalle la presente invención haciendo referencia a las figuras adjuntas, que muestran varias realizaciones preferidas de la presente invención. Aunque estos ejemplos están específicamente dirigidos a diversas configuraciones de matrices (10) de microlentes, resultará evidente para un experto en la materia el modo en que la materia descrita en estos ejemplos puede ser aplicada a una microlente (1) individual. Por ejemplo, cuando se hace referencia a las diferentes configuraciones posibles de las señales de control que se aplican a los peines (111, 112, 113, 114), es evidente que estas señales de control pueden igualmente aplicarse a electrodos (51, 52, 53, 54) individuales de una única microlente (1) para conseguir los mismos efectos.

30

35

La Fig. 3 muestra una vista en perspectiva de un sustrato (2s) que presenta dos peines

(111, 112) interdigitados de acuerdo con la presente invención. En este ejemplo concreto, cada peine (111, 112) está formado por una base recta de la que emanan perpendicularmente una pluralidad de púas. Los dos peines (111, 112) están dispuestos de manera que sus púas están orientadas en sentidos opuestos y se entrecruzan de manera alternativa.

La Fig. 4 muestra esquemáticamente la posición relativa que adoptarán los dos pares de peines (111, 112; 113, 114) interdigitados dispuestos en los dos sustratos (2s, 2i) de una matriz (10) de microlentes. Como se puede apreciar, se dispone un primer par de peines (111, 112) interdigitados que corresponden al sustrato superior (2s), y un segundo par de peines (113, 114) interdigitados correspondientes al sustrato inferior (2i), estando el primer par de peines (111, 112) entrecruzados en una posición perpendicular con relación a la posición del segundo par de peines (113, 114) interdigitados. Gracias a esta disposición, las púas de los peines (111, 112; 113, 114) se cruzan generando una malla formada por cuadrados donde cada uno de los lados está formado por un tramo de la púa de uno de los peines (111, 112; 113, 114) que constituye un electrodo lineal (51, 52; 53, 54). Más concretamente, como se muestra en el detalle de la derecha, cada cuadrado de la malla está delimitado por un tramo de la púa de un primer peine (111) que constituye un primer electrodo (51) lineal, un tramo de la púa de un segundo peine (112) que constituye un segundo electrodo (52) lineal, un tramo de la púa de un tercer peine (113) que constituye un tercer electrodo (53) lineal, y un tramo de la púa de un cuarto peine (114) que constituye un cuarto electrodo (54) lineal. De ese modo, se genera una figura plana cuadrada que permitirá la generación de una microlente (1).

La Fig. 5 muestra una vista en perspectiva donde se han separado las diferentes capas que constituyen la matriz (10) de microlentes según la invención. De fuera a dentro, el dispositivo presenta un sustrato superior (2s) y un sustrato inferior (2i) dispuestos en paralelo. A continuación, una capa superior de alineamiento (3s) y una capa inferior de alineamiento (3i) dispuestas interiormente adyacentes a los sustratos respectivamente superior e inferior (2s, 2i). El volumen central está ocupado por una capa de cristal líquido (4). Los pares de peines (111, 112; 113, 114) interdigitados están respectivamente fijados al sustrato superior (2s) y al sustrato inferior (2i).

Las capas de alineamiento (3s, 3i) se podrán realizar de diversas maneras. Un modo de operación preferido será con alineamiento homogéneo, siendo la dirección del alineamiento paralela, o bien a las púas de los peines interdigitados (111, 112) primero y segundo, o bien a las púas de los peines interdigitados (113, 114) tercero y cuarto. Esta configuración hace

que sea importante tener en cuenta las características electro-ópticas del cristal líquido (4) a la hora de fabricar el dispositivo. Con el objetivo de reducir aberraciones y defectos, se tendrá que estudiar la anisotropía elástica del material, y testar las relaciones entre sus constantes elásticas características. Dichas relaciones determinan la diferencia en las fuerzas elásticas cuando el campo eléctrico es paralelo o perpendicular a la dirección del alineamiento. Como posibles alternativas se plantean: el uso de alineamiento homogéneo que forma 45° con relación a la dirección de las púas de los peines (111, 112; 113, 114) interdigitados correspondientes, o la fabricación de la matriz (10) con alineamiento homeotrópico para evitar diferencias en las fuerzas elásticas entre substratos (2s, 2i).

Además, se recomienda utilizar un cristal líquido (4) con una tensión umbral (V_{th}) del cristal líquido (4) mínima para evitar zonas planas sin cambio de fase en la zona central de las microlentes (1). Por otro lado, preferentemente se usan cristales líquidos (4) con birrefringencia alta para aumentar la potencia óptica. Además, es recomendable que el espesor de la capa de cristal líquido (4) siga una relación específica con el diámetro de la microlente (1); se recomienda una relación de espesor/diámetro en torno a 2 - 2,5 para asegurar la optimización de las características electro-ópticas del dispositivo.

La Fig. 6 muestra un ejemplo de señales de control de acuerdo con una realización preferida de la invención. La configuración de las señales de control es clave para controlar la generación de microlentes (1) esféricas en la matriz (10). En este ejemplo, se usan 4 señales alternas sinusoidales, una para cada uno de los 4 peines (111, 112; 113, 114) interdigitados que constituyen los electrodos de control. Cada señal sinusoidal se caracterizará por una frecuencia (ω en torno a 1kHz dependiendo del tipo de cristal líquido (4)), una amplitud (A) y un desfase eléctrico (ϕ). Se definen cuatro señales:

$$V1=A1 \cdot \text{sen}(\omega t + \phi1), \quad V2=A2 \cdot \text{sen}(\omega t + \phi2), \quad V3=A3 \cdot \text{sen}(\omega t + \phi3), \quad \text{y} \quad V4=A4 \cdot \text{sen}(\omega t + \phi4)$$

respectivamente aplicadas a los peines interdigitados (111, 112; 113, 114). Como se ha comentado anteriormente, el principio clave de funcionamiento requiere establecer un desfase eléctrico de 180° entre las señales que se aplican a los electrodos (peines) del mismo substrato y un desfase de 90° entre señales que excitan los electrodos (peines) de los substratos superior e inferior. Por ejemplo, $\phi1 = 0^\circ$, $\phi2 = 180^\circ$, $\phi3 = 90^\circ$ y $\phi4 = 270^\circ$. En el modo de operación preferido, la amplitudes de todas las señales deben ser simultáneamente iguales entre sí ($A1 = A2 = A3 = A4 = v$ voltios). El resultado de aplicar este novedoso método de excitación es, para cada una de las microlentes (1) individuales de la matriz (10) de microlentes generada, una distribución del campo eléctrico que adopta el valor cero en el centro de la superficie activa de la microlente (1) - es decir, en el centro de la figura plana formada por los cuatro electrodos (51, 52; 53, 54) lineales que la delimitan -, y donde el campo eléctrico presenta además un gradiente entre el centro y el extremo de

la microlente (1) de v voltios. El resultado es la aparición de microlentes (1) casi perfectamente esféricas con el foco situado en el centro del área activa. Además, gracias a esta configuración el gradiente es totalmente controlable, aprovechando al máximo la birrefringencia del cristal líquido (4). Por otra parte, la variación de la amplitud (v) de las señales de control permite controlar la potencia óptica de la microlente.

En algunos casos, las características del cristal líquido (4), en lo que respecta al valor V_{th} o a la anisotropía elástica, pueden no cumplir los requisitos mencionados anteriormente. En este caso, si únicamente se aplican las señales de control descritas en el párrafo anterior se producirán algunos defectos. En concreto, como la V_{th} del cristal líquido (4) es mayor que cero, las microlentes (1) presentarán una zona plana en el centro de su área activa debido a la falta de conmutación en esa zona. Por otra parte, si el cristal líquido (4) utilizado presenta una anisotropía elástica relevante, el foco de la microlente (1) puede no aparecer en el centro de la microlente (1), sino estar desplazado hacia alguno de los lados de su área activa.

Para resolver el problema de las microlentes (1) con una zona plana es necesario mantener una tensión controlada mínima (V_{off}) en el centro de su área activa. Para generar esta tensión V_{off} , puede aplicarse a baja frecuencia una tensión continua, u offset, entre los peines (111, 112; 113, 114) tal como se indica a continuación y se muestra en la Fig. 7:

- durante un pequeño lapso de tiempo, se suma la tensión continua V_{off} a las señales de control V_1 y V_2 aplicadas a los peines (111, 112) del sustrato superior (2s), y
- durante un lapso de tiempo subsiguiente, se suma la tensión V_{off} a las señales de control V_3 y V_4 aplicadas a los peines (113, 114).

De este modo si, por ejemplo, las amplitudes en los peines (111, 112, 113, 114) son iguales ($A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = v$), el voltaje será de V_{off} en el centro de la microlente (1) y de $v + V_{off}$ en el perímetro de la microlente (1), por lo cual el gradiente seguirá siendo controlable e igual a v , aprovechando al máximo la birrefringencia del cristal líquido (4).

Por otra parte, para compensar el problema de la anisotropía elástica, basta con aplicar señales de control con diferente amplitud a cada peine (111, 112, 113, 114) en función de la dirección hacia la que sea necesario desplazar el foco.

Las Figs. 8 y 9 muestran sendas micrografías reales de dos matrices (10) formadas por una pluralidad de microlentes (1). La Fig. 8 muestra una matriz (10) cuyas señales de control

presentan las siguientes características:

Desfases entre peines: $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 180^\circ$, $\varphi_3 = 90^\circ$, $\varphi_4 = 270^\circ$

Amplitudes: $A_1 = A_2 = 1 V_p$, $A_3 = A_4 = 1,6 V_p$, $V_{off} = 2 V$

5

donde V_p son voltios de pico.

La Fig. 9 muestra una matriz (10) cuyas señales de control presentan las siguientes características:

10

Desfases entre peines: $\varphi_1 = 0^\circ$, $\varphi_2 = 180^\circ$, $\varphi_3 = 90^\circ$, $\varphi_4 = 270^\circ$

Amplitudes: $A_1 = A_2 = 1,5 V_p$, $A_3 = A_4 = 1,9 V_p$, $V_{off} = 2 V$

donde V_p son voltios de pico.

15

Como se puede observar, se obtiene una apertura cuadrada con gradiente en toda la superficie, lo que permite un aprovechamiento de prácticamente el 100% del área de la matriz (10) gracias a un alto factor de relleno. Además, se obtiene una elevada potencia óptica, como indica el gran número de franjas de interferencia en la imagen de cada microlente (1). Estas ventajas pueden ser claves en aplicaciones como la captura plenóptica o la reproducción de imagen integral.

20

Para demostrar las ventajas de la invención propuesta respecto de los resultados de trabajos previos, se muestra en la Fig. 10 una matriz de microlentes de acuerdo con la estructura "hole patterned" ya conocida en la técnica. Se puede apreciar cómo existen zonas vacías entre cada microlente individual de la Fig. 10, por lo que el factor de relleno en este caso es considerablemente menor. Además, el número de franjas de interferencia de cada microlente es también muy inferior, lo que indica una menor potencia óptica. En tercer lugar, con la estructura "hole patterned" únicamente se dispone de una señal de control, lo que limita las posibilidades de controlar la forma de las microlentes generadas.

25

30

La Fig. 11 muestra una comparativa entre los perfiles de fase de las microlentes (1) generadas de acuerdo con la presente invención y las microlentes generadas de acuerdo con la estructura "hole patterned". Como se puede apreciar, las microlentes (1) de la presente invención tienen una potencia óptica mucho mayor. Concretamente, en la gráfica mostrada, la distancia focal en las microlentes (1) según la invención es de $f=219 \mu\text{m}$, mientras que la distancia focal en las microlentes "hole patterned" es de $f=564 \mu\text{m}$.

35

Por último, las Figs. 12 y 13 muestran diferentes alternativas con relación a la configuración de los peines (111, 112, 113, 114) que permiten obtener microlentes (1) de aperturas diferentes de la cuadrada. Por ejemplo, la Fig. 12 muestra una disposición en la que el primer par de peines (111, 112) está dispuesto de manera oblicua con relación al segundo par de peines (113, 114). Como consecuencia, se forma una malla formada por una pluralidad de áreas activas en forma de rombo, lo que permite obtener una matriz (10) de microlentes (1) de apertura romboidal. En otro ejemplo, como se aprecia en la Fig. 13, los peines (111, 112, 113, 114) están formados por varios tramos rectos dispuestos según direcciones diferentes en zigzag. Cuando ambos peines se superponen de acuerdo con la configuración de la presente invención, se forma una malla formada por una pluralidad de áreas activas hexagonales, lo que permite obtener una matriz (10) de microlentes (1) de apertura hexagonal o en “panal de abeja”.

REIVINDICACIONES

1. Microlente (1) de cristal líquido, que comprende:
- un sustrato (2s) superior y un sustrato (2i) inferior dispuestos en paralelo;
- 5 - una capa (3s) superior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato (2s) superior y una capa (3i) inferior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato (3i) inferior; y
- una capa (4) de cristal líquido que rellena el espacio entre la capa (3s) superior de alineamiento y la capa (3i) inferior de alineamiento,
- 10 caracterizada por que:
- el sustrato (2s) superior comprende un primer y segundo electrodos lineales (51, 52) de control y el sustrato (2i) inferior comprende un tercer y cuarto electrodos lineales (53, 54) de control, estando dichos electrodos lineales (51, 52, 53, 54) dispuestos de manera que, vistos en planta, conforman una figura plana esencialmente cerrada que comprende
- 15 cuatro tramos formados por los respectivos cuatro electrodos (51, 52, 53, 54) de control, y donde los tramos correspondientes a electrodos (51, 52, 53, 54) de un mismo sustrato (2s, 2i) están situados en posiciones opuestas, y
- donde cada electrodo (51, 52, 53, 54) es excitado por una señal eléctrica alterna, estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los electrodos (51, 52, 53, 54) de un
- 20 mismo sustrato (2s, 2i), y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los electrodos (51, 52) del sustrato (2s) superior con relación a las señales eléctricas de los electrodos (53, 54) del sustrato (2i) inferior.
2. Microlente (1) de acuerdo con la reivindicación 1, donde la figura plana esencialmente
- 25 cerrada es un paralelepípedo donde cada electrodo (51, 52, 53, 54) constituye un lado.
3. Microlente (1) de acuerdo con la reivindicación 2, donde la figura plana esencialmente
- cerrada es un cuadrado donde cada electrodo (51, 52, 53, 54) constituye un lado.
- 30 4. Microlente (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las señales eléctricas alternas tienen forma esencialmente sinusoidal.
5. Microlente (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que además
- 35 comprende una tensión de offset continua aplicada de manera alterna a las señales eléctricas del primer y segundo electrodos (51, 52) y a las señales eléctricas del tercer y cuarto electrodos (53, 54).

6. Microlente (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las señales eléctricas aplicadas a los electrodos (51, 52, 53, 54) tienen una amplitud diferente para compensar efectos causados por la anisotropía elástica del cristal líquido (4).

5 7. Matriz (10) de microlentes (1) de cristal líquido, que comprende:

- un sustrato (2s) superior y un sustrato (2i) inferior dispuestos en paralelo;
- una capa (3s) superior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato (2s) superior y una capa (3i) inferior de alineamiento interiormente adyacente al sustrato (3i) inferior; y

10 - una capa (4) de cristal líquido que rellena el espacio entre la capa (3s) superior de alineamiento y la capa (3i) inferior de alineamiento,

caracterizado por que

- el sustrato (2s) superior comprende unos primer y segundo peines (111, 112) interdigitados formados por una pluralidad de púas esencialmente paralelas que forman una pluralidad de primeros y segundos electrodos (51, 52);

15 - el sustrato (2i) inferior comprende unos tercer y cuarto peines (113, 114) interdigitados formados por una pluralidad de púas esencialmente paralelas que forman una pluralidad de terceros y cuartos electrodos (53, 54), donde dichos peines (111, 112, 113, 114) interdigitados están dispuestos de manera que, vistos en planta, conforman una pluralidad de figuras planas esencialmente cerradas, cada una de las cuales comprende cuatro tramos formados por los respectivos cuatro electrodos (51, 52, 53, 54), y donde los tramos correspondientes a electrodos (51, 52, 53, 54) de un mismo sustrato (2s, 2i) están situados en posiciones opuestas, y

20 - donde cada peine (111, 112, 113, 114) es excitado por una señal eléctrica alterna, estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los peines (111, 112, 113, 114) de un mismo sustrato (2s, 2i), y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los peines (111, 112) del sustrato (2s) superior con relación a las señales eléctricas de los peines (113, 114) del sustrato (2i) inferior.

30 8. Matriz (10) de microlentes (1) de acuerdo con la reivindicación 7, donde cada figura plana esencialmente cerrada es un paralelepípedo donde cada electrodo (51, 52, 53, 54) constituye un lado.

35 9. Matriz (10) de microlentes (1) de acuerdo con la reivindicación 8, donde cada figura plana esencialmente cerrada es un cuadrado donde cada electrodo (51, 52, 53, 54) constituye un lado.

10. Matriz (10) de microlentes (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-9, donde las señales eléctricas alternas tienen forma esencialmente sinusoidal.
- 5 11. Matriz (10) de microlentes (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-10, que además comprende una tensión de offset continua aplicada de manera alterna a las señales eléctricas del primer y segundo peines (111, 112) y a las señales eléctricas del tercer y cuarto peines (113, 114).
- 10 12. Matriz (10) de microlentes (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-11, donde las señales eléctricas aplicadas a los peines (111, 112, 113, 114) tienen una amplitud diferente para compensar efectos causados por la anisotropía elástica del cristal líquido (4).

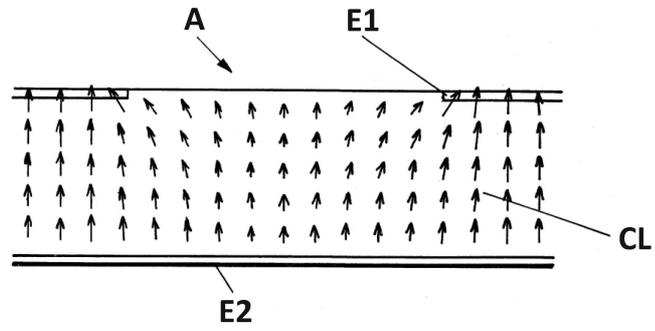
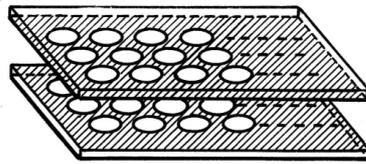


FIG. 1
(TÉCNICA ANTERIOR)

a)



b)

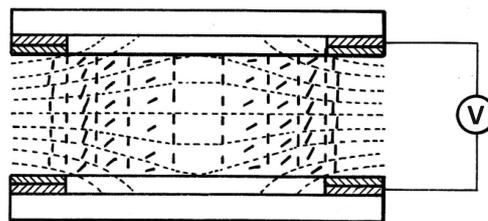


FIG. 2
(TÉCNICA ANTERIOR)

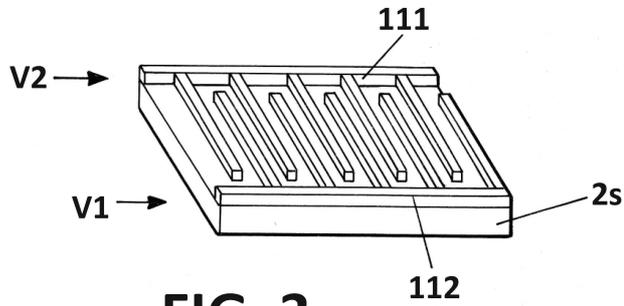


FIG. 3

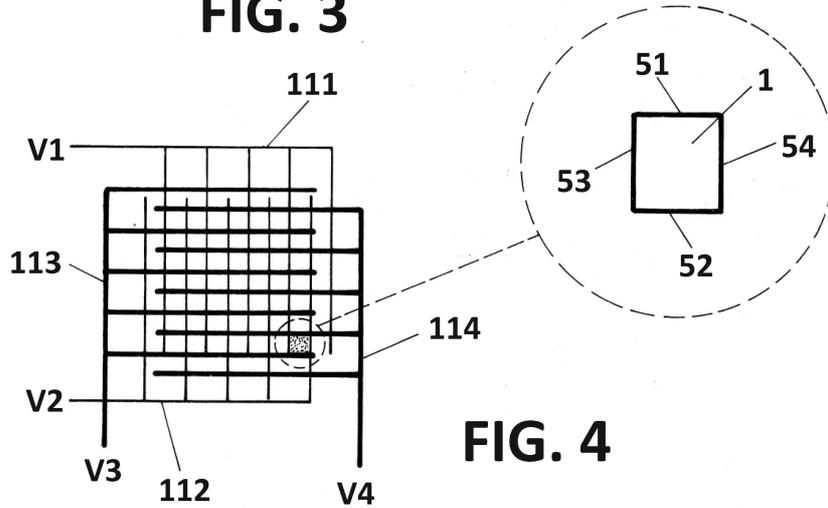


FIG. 4

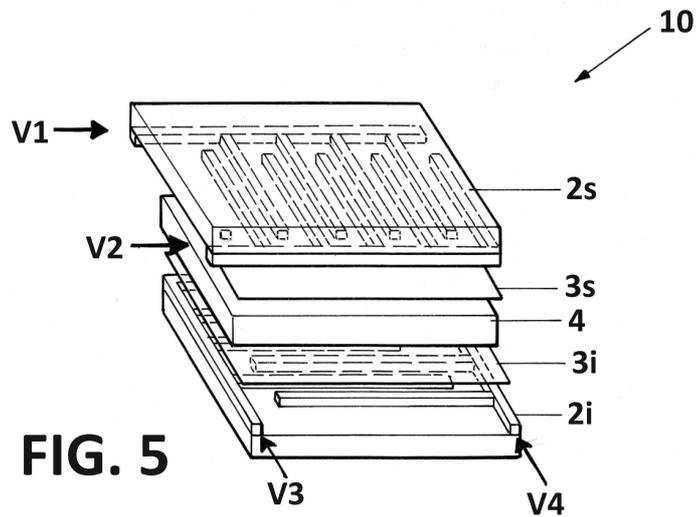


FIG. 5

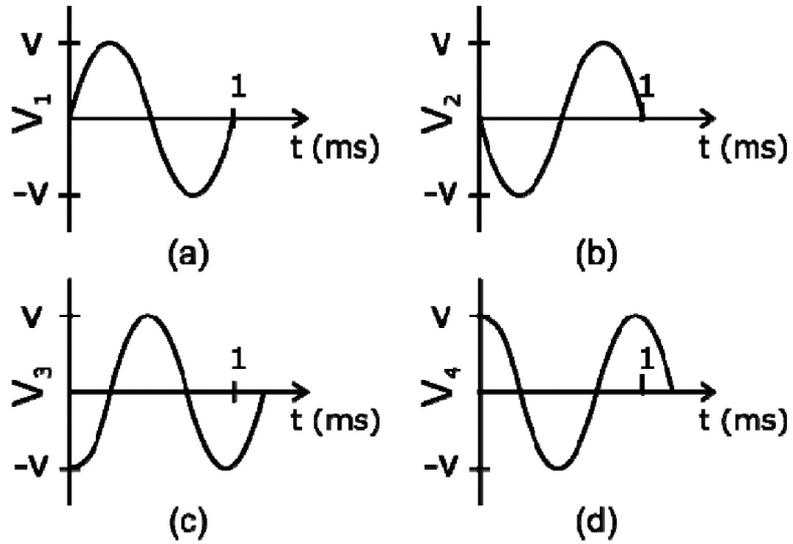


FIG. 6

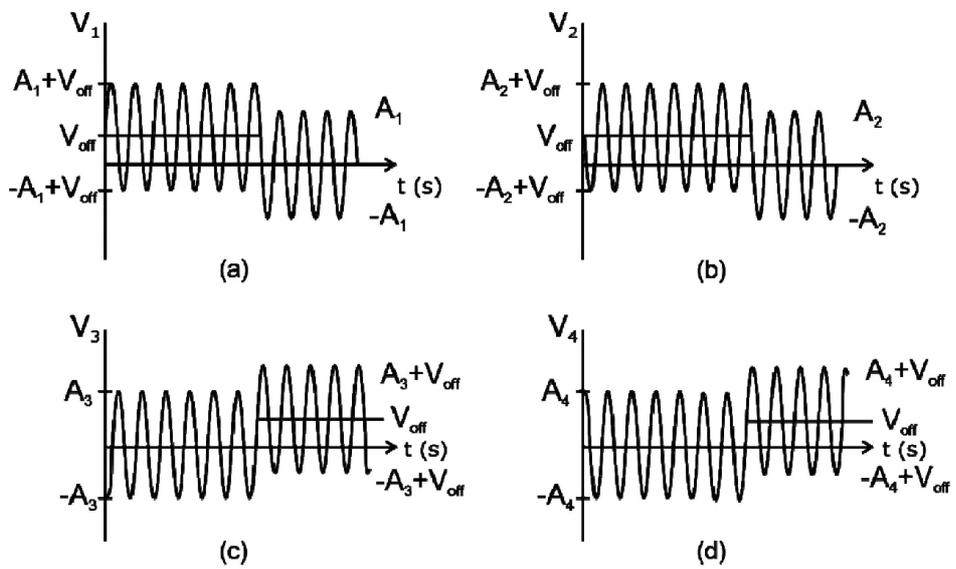


FIG. 7

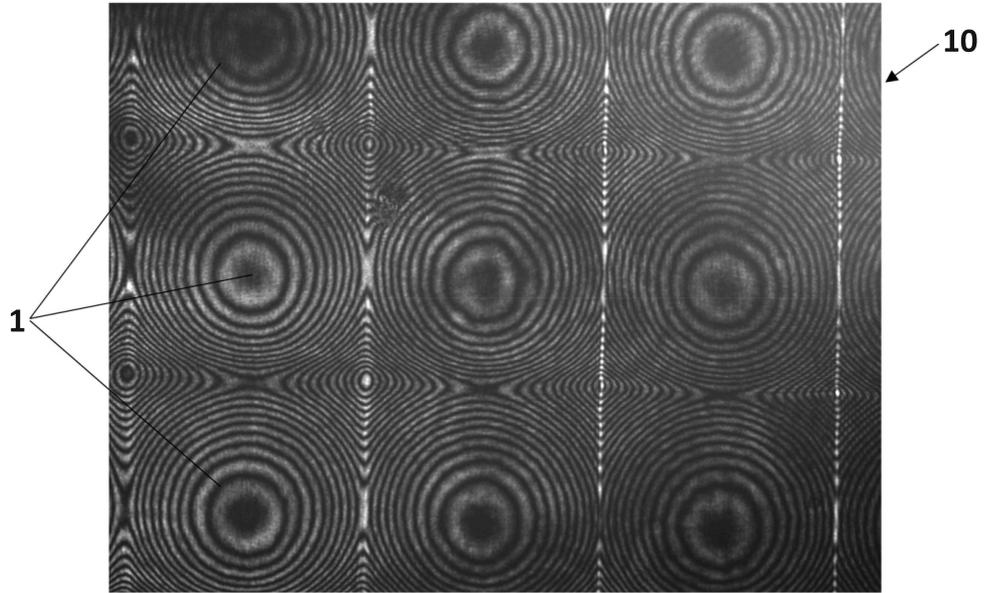


FIG. 8

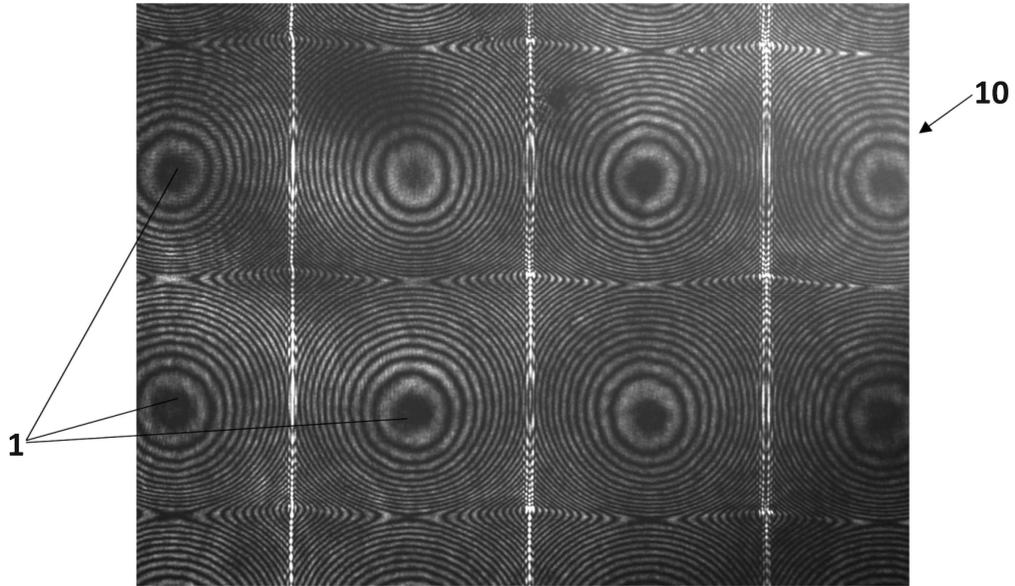


FIG. 9

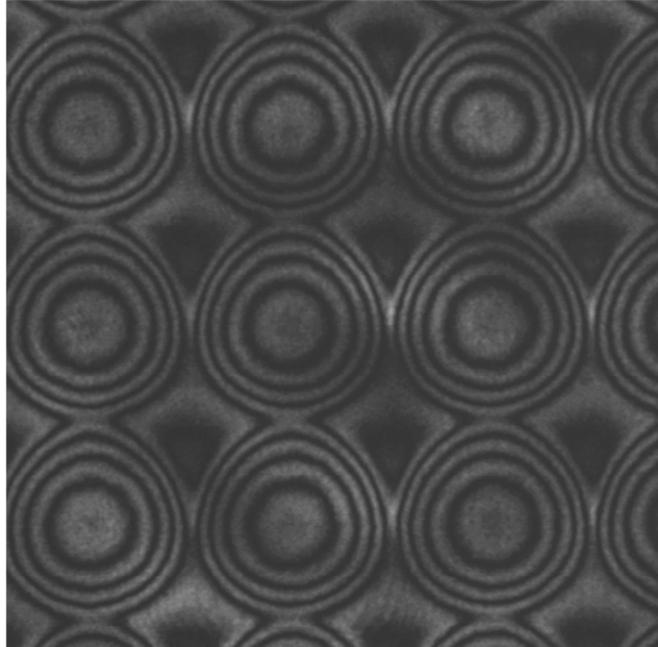


FIG. 10

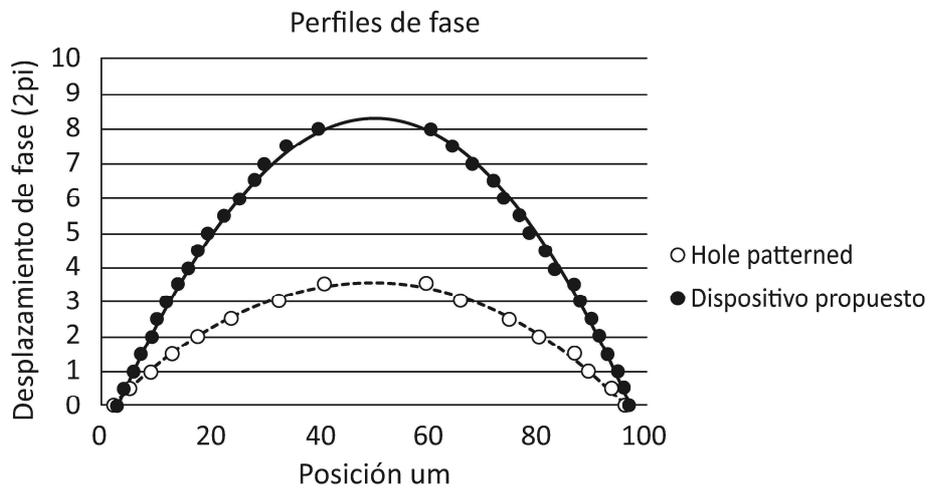


FIG. 11

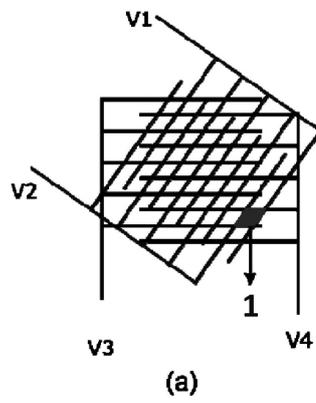


FIG. 12

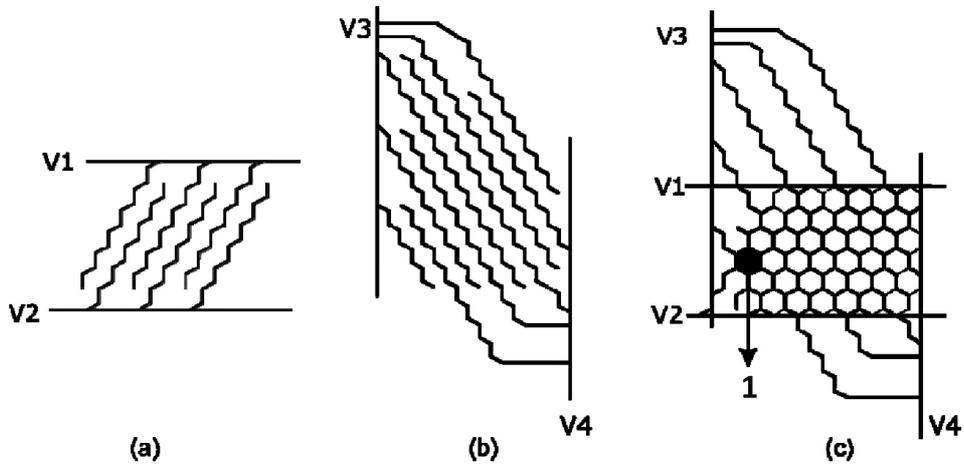


FIG. 13



②¹ N.º solicitud: 201630757

②² Fecha de presentación de la solicitud: 06.06.2016

③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤¹ Int. Cl.: **G02F1/133** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 4119367 A (RAYNES, E. et al.) 10/10/1978, Todo el documento.	1-12
A	EP 1316842 A1 (CITIZEN ELECTRONICS CO., LTD.) 04/06/2003, resumen; párrafos {0022}-[0025], [0037]-[0041]; Figuras.	1, 4, 7, 10
A	CN 203012311U U (UNIV. HUAZHONG SCI. & TECHNOLOGY) 19/06/2013, Todo el documento.	1-4, 7-10
A	US 3995939 A (BOREL, J. et al.) 07/12/1976, Resumen; columna 2, línea 38 - columna 4, línea 38; figuras.	1-4, 7-10
A	JP S59129836 A (CANON KK) 26/07/1984.	-

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
20.06.2017

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/4

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

G02F, G02B

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, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 20.06.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-12	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-12	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	US 4119367 A (RAYNES, E. et al.)	10.10.1978
D02	EP 1316842 A1 (CITIZEN ELECTRONICS CO., LTD.)	04.06.2003

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

Se ha considerado, dentro del límite de tiempo establecido al efecto, que la invención definida en las reivindicaciones 1-12 de la presente Solicitud tiene novedad y actividad inventiva por no estar incluida en el estado de la técnica ni poder deducirse de este de un modo evidente por un experto en la materia.

Se han encontrado en el estado de la técnica numerosos dispositivos ópticos de microlente o de conjuntos geoméricamente ordenados de microlentes, constituidos por cristales líquidos que, excitados por tensiones en sus electrodos, experimentan un control de su función óptica. Así, por ejemplo, el documento D01, citado en el Informe sobre el Estado de la Técnica (IET) con la categoría A para ciertas reivindicaciones y considerado entre los más próximos al objeto técnico en ellas definido, describe una matriz de cristales líquidos para presentación visual, compuestos de partes ópticas y de soporte similares a las recogidas en la primera reivindicación de esta Solicitud, pero con una configuración y estructura de electrodos diferente de esta, con electrodos transparentes que ocupan, no los márgenes del dispositivo, sino toda su superficie útil.

Tampoco el documento D02, también citado en el IET con la categoría A, que igualmente está compuesto de partes ópticas análogas a las de la invención, tiene una estructura de electrodos similar: se afirma en este documento que hay un par de electrodos que están dispuestos emparejados entre los sustratos superior e inferior del dispositivo, encerrando el cristal líquido sobre el que actúan, pero no se contempla en absoluto una estructura marginal de electrodos lineales emparejados dos a dos, característica que es esencial y distintiva de la presente invención y le confiere, por tanto, novedad y actividad inventiva con respecto al estado de la técnica considerado, de acuerdo con los Artículos 6 y 8 de la vigente Ley de Patentes.