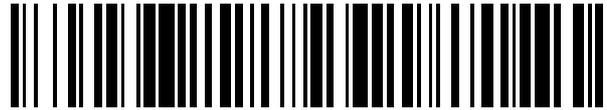


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 456**

21 Número de solicitud: 201830891

51 Int. Cl.:

G02F 1/29 (2006.01)
G02F 1/13 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

14.09.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

03.05.2019

71 Solicitantes:

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

**Avda. Ramiro de Maeztu, 7
28040 MADRID ES**

72 Inventor/es:

**GEDAY, Morten Andreas;
CAÑO GARCIA, Manuel;
OTON SANCHEZ, Jose Manuel;
QUINTANA ARREGUI, Patxi Xabier y
GEDAY, Jacob Andreas**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **DISPOSITIVO ÓPTICO CONFIGURABLE**

57 Resumen:

Dispositivo óptico configurable que comprende un elemento óptico (1), o varios elementos ópticos (1) dispuestos en cascada, donde cada elemento óptico (1) comprende una zona activa (2) constituida por una superficie de entrada y una superficie de salida para haces de luz, y un perímetro (3). Cada elemento óptico (1) comprende al menos un primer electrodo (4) transparente y al menos un contra-electrodo (5) transparente cuyas conexiones eléctricas están situadas en la zona del perímetro (3). El dispositivo está configurado para que, mediante la aplicación de una diferencia de potencial entre los electrodos (4, 5) de cada elemento óptico (1), se genere un campo eléctrico que haga variar el grado de conmutación en distintas áreas de la zona activa (2) de cada elemento óptico (1), generándose así un perfil de variación de camino óptico de en cada uno de los elementos ópticos (1) del dispositivo, que permite enfocar un haz de luz incidente de diferentes maneras, según el campo eléctrico aplicado a cada uno de los electrodos.

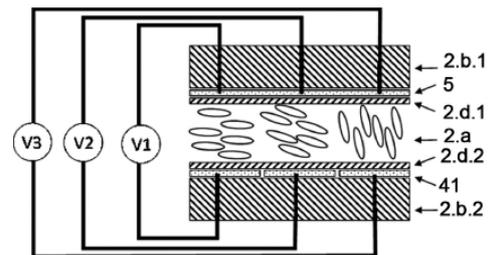


FIG.2

ES 2 711 456 A1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo óptico configurable

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo óptico configurable (o reconfigurable) capaz de introducir una variación radial en el perfil de fase de una radiación incidente arbitraria.

10

El dispositivo está basado en una, o varias células de cristal líquido en cascada, provistas de electrodos estructurados de tal modo que todos los electrodos son accesibles desde la periferia de la célula, pudiendo, en consecuencia, ser direccionados de forma independiente. El diseño específico de los electrodos, que forma parte de la invención, permite la fabricación de lentes reconfigurables y correctores de frente de onda.

15

La presente invención se refiere también a un método de fabricación del dispositivo óptico configurable mencionado anteriormente.

20

El dispositivo objeto de la presente invención tiene aplicación en el ámbito del diseño y comercialización de dispositivos ópticos para diferentes tipos de industrias, tales como la industria aeroespacial, sanitaria, seguridad, transporte, comunicaciones, etc.

25

Problema técnico a resolver y Antecedentes de la invención

Las lentes empleadas comúnmente se basan en la refracción de la luz. También son muy conocidas las lentes basadas en la difracción de la luz, conocidas también como lentes Fresnel, que son lentes difractivas de enfoque fijo, sin carga topológica (o de carga topológica zero),

30

En el estado de la técnica se conocen ciertos tipos de lentes de vórtice tales como las lentes difractivas en espiral. Un lente difractivo en espiral está caracterizada por su

perfil, que se describa por su carga topológica, y en caso de ser una lente de enfoque, por su distancia focal.

5 Haces ópticos de vórtice, o vórtices, son menos comunes y poco conocidos por el público en general. Un vórtice es un haz óptico en cual la fase de la luz varía espacialmente de una manera azimutal alrededor del centro del haz. Típicamente la fase varía un número que es múltiplo entero de 2π , en una vuelta alrededor del centro del haz. El número, múltiplo entero de 2π , se conoce como la carga topológica del vórtice.

10

Los elementos definidos en esta patente son todos elementos que cambian la carga topológica de un haz incidente.

15 Asimismo, se conoce un tipo de lente de contacto, como la divulgada en el documento US 5408281 A, que tiene una geometría espiral y capacidad de enfoque.

Asimismo, se conoce el documento US 2008226844 A1, dedicado a láminas de fase espiral configurables, pero basadas en un alineamiento no uniforme y que no emplea lentes en cascada.

20

Asimismo, se conoce el documento WO 2012/080532, que define un reflectarray de haz reconfigurable para frecuencias en los rangos de terahercios y de ondas milimétricas, basadas en estructuras de dipolos resonantes reconfigurables en células de cristal líquido.

25

No se conoce hasta la fecha ningún dispositivo óptico que emplee una misma estructura de electrodos pasivos para generar lentes difractivas en espiral con distinta distancia focal, dependiente únicamente del campo aplicado a los distintos electrodos y sin efectos de dentado (en inglés aliasing) presente en los dispositivos pixelados.

30

No se conoce hasta la fecha ningún dispositivo óptico que combine dos estructuras generadoras de vórtices en cascada. La combinación de tales estructuras en cascada de la presente invención permite emular, mediante un único dispositivo, prácticamente todo tipo de lente óptica, así como configurar sus características ópticas en función de las necesidades.

35

Un dispositivo de este tipo puede competir con moduladores espaciales de luz (SLM), con las ventajas añadidas de tener un mayor factor de llenado, de no tener efectos de dentado y de carecer de componentes electrónicos en la parte activa del mismo, transmitiendo, por tanto, mayor cantidad de luz. Además es estructural y
5 electrónicamente más simple y, por tanto, más económico.

La presente invención aprovecha algunas de las propiedades básicas de los cristales líquidos (LC's), en concreto su anisotropía molecular óptica y dieléctrica. La naturaleza fluida de los LC's combinada con su anisotropía dieléctrica intrínseca implica que, a
10 escala macroscópica, el material tiende a orientarse ofreciendo su constante dieléctrica más alta al campo aplicado.

En los LC's más comunes, los calamíticos nemáticos, las moléculas tienen forma alargada; el eje mayor de la molécula corresponde aproximadamente al eje de la
15 mayor constante dieléctrica y al eje óptico de anisotropía, también llamado indicatriz. Así pues, el índice de refracción mayor y la mayor constante dieléctrica son paralelas al eje mayor de la molécula. Estos materiales son los llamados LC's positivos.

Existen LC's de anisotropía dieléctrica negativa, en los cuales el eje molecular coincide
20 con el mayor índice de refracción (la indicatriz) y la menor constante dieléctrica. En esta descripción se asumen anisotropías uniaxiales, aproximación que resulta válida para todos los casos relevantes de cristal líquido (LC) en esta invención.

En otros materiales LC's, como las llamadas fases azules, un material isótropo puede
25 transformarse en anisótropo al aplicar un campo eléctrico. En tales casos, el índice tiende a aumentar en la dirección del campo, y disminuir en dirección perpendicular.

Adicionalmente los LC's son fluidos ordenados. Poseen un orden macroscópico intrínseco generado por fuerzas viscoelásticas intermoleculares que se extiende a
30 cientos de μm , lo cual permite alinearlos, en ausencia de campos externos, con interacciones superficiales relativamente débiles.

Así pues, se puede conseguir inducir un alineamiento preferencial del LC mediante el adecuado tratamiento superficial, el cual se transmite al resto del material, siempre
35 que el volumen del LC esté confinado en una célula con caras paralelas situadas a corta distancia. Dicho alineamiento puede eventualmente alterarse aplicando un

campo eléctrico externo. La conmutación entre un estado y otro queda determinada por el plano definido por la dirección de alineamiento y la dirección del campo eléctrico.

- 5 Como consecuencia, el índice o índices de refracción que percibe la luz que atraviesa un LC pueden modificarse por medio de campos eléctricos aplicados, haciendo que varíe la longitud de camino óptico (OLP del inglés Optical Light Path) o el estado de polarización (SOP del inglés State of Polarization) de la luz incidente.
- 10 La modificación del SOP es el fundamento en que se basan las pantallas de cristal líquido (LCD). Al controlar el SOP, se puede controlar –con la ayuda de un polarizador o de dos polarizadores– la cantidad de luz que atraviesa el sistema. Un LCD está usualmente formado por una célula de LC retroiluminada o provista de un espejo posterior, sobre el que se sitúa la célula de LC entre polarizadores.
- 15 sistema de excitación eléctrica formado por electrodos en forma de segmentos (pantallas alfanuméricas) o bien una matriz rectangular de píxeles como la que llevan los teléfonos móviles, proyectores y TV's.

Las variaciones de OLP constituyen el fundamento de las lentes de LC, y de
20 dispositivos fotónicos de LC más genéricos como los moduladores espaciales de luz (SLM). Estos dispositivos permiten manipular al menos una de las polarizaciones del frente de onda incidente.

Las lentes transparentes de LC suelen estar basadas en electrodos concéntricos a los
25 que se aplican distintas tensiones. El conexionado de elementos concéntricos resulta complejo si no se opta por montajes multicapa de los electrodos, los cuales a su vez presentan sus propios problemas. En consecuencia, se deben emplear esquemas complejos de direccionamiento con rangos de sintonizabilidad muy limitados, o bien electrodos entrelazados con formas espirales.

30 Los SLM's se basan en tecnologías derivadas de la producción comercial de LCDs, si bien deben prepararse para alcanzar retardos máximos de fase de 2π , en lugar del retardo π usualmente exigido a las pantallas LCD. Los SLM de altas prestaciones se basan en matrices rectangulares de píxeles de muy alta densidad, que permiten
35 ajustes casi arbitrarios de los frentes de onda. No obstante, la mayoría de pantallas son de visión directa, con un tamaño de píxel de decenas de μm (inferior a la agudeza

visual del ojo humano), o bien dispositivos de proyección transmisivos, o reflexivos como los LCoS (liquid crystal on silicon, cristal líquido sobre silicio).

Los dispositivos de visión directa emplean generalmente transistores de capa delgada (TFT) en una matriz activa, lo cual reduce el número de electrodos necesarios para controlar el gran número (millones) de píxeles individuales que lleva una pantalla. Una porción significativa del área activa de la pantalla está ocupada por los TFT y su circuitería, reduciendo el así llamado factor de llenado (la transmisión de luz) de la pantalla. El problema se agrava en los dispositivos transmisivos de proyección, porque el pequeño tamaño de sus píxeles reduce el factor de llenado hasta el punto de que la resolución de tales dispositivos está limitada en la práctica. En los dispositivos reflexivos LCoS los transistores y la circuitería microelectrónica se instalan detrás de la pantalla y no afectan al factor de llenado.

En cualquiera de los casos, la electrónica de control está sobre los píxeles o debajo del área activa, lo cual no es deseable en ciertas aplicaciones, en concreto aquellas en que la célula LC está expuesta a radiación electromagnética intensa o a radiaciones ionizantes, las cuales pueden deteriorar los elementos micro y nanoelectrónicos de los circuitos.

La presente invención se presenta dentro de este contexto. Se trata de un dispositivo transparente formado por electrodos con formas variadas, capaz de generar lentes de LC de cualquier perfil con un número arbitrario de píxeles, que se direccionan desde el perímetro del área activa. El dispositivo presenta varias ventajas sobre los dispositivos actuales:

- Es transparente, a diferencia de la mayoría de SLMs de alta resolución.
- Carece de elementos electrónicos en el área activa
- Puede direccionarse con un número arbitrario de píxeles individuales, sin interconexión ni solapamiento de electrodos en ninguna zona.
- Tiene un factor de llenado notablemente alto, tan sólo limitado por la separación entre electrodos
- Carece intrínsecamente de efectos de dentado o aliasing

Aparte de los cristales líquidos, existen otros materiales con efecto electro-óptico donde la anisotropía óptica del material cambia al aplicar un campo eléctrico. En estos

materiales, el índice de refracción tiende a aumentar en la dirección del campo, y disminuir en dirección perpendicular o al revés. En la presente invención se pueden sustituir los LCs por materiales con efecto electroóptico como el Niobato de Litio o por líquidos que muestren efecto Pockels o Kerr.

5

Descripción de la invención

A la vista del estado de la técnica anterior, se presenta el siguiente dispositivo óptico configurable (y/o sintonizable), objeto de la presente invención.

10

El dispositivo óptico configurable objeto de la presente invención comprende un elemento óptico configurable o varios elementos ópticos configurables dispuestos en cascada. Cada elemento óptico comprende una zona activa constituida por una superficie (o sustrato transparente) de entrada y una superficie (o sustrato transparente) de salida para haces de luz.

15

Cada elemento óptico incluye al menos un primer electrodo transparente y al menos un contra-electrodo (o segundo electrodo) transparente.

20

Las conexiones eléctricas para los electrodos están situadas en la zona del perímetro de cada elemento óptico, de manera que no existen pistas de conexión que penetren en la zona activa.

25

Según una posible forma de realización, el primer electrodo de al menos uno de los elementos ópticos está dividido en secciones, de manera que el dispositivo está configurado para generar campos eléctricos de distinta intensidad entre cada sección del primer electrodo y el segundo electrodo.

30

El dispositivo está configurado para que, mediante la aplicación de una diferencia de potencial entre distintas secciones de los electrodos de cada elemento óptico, se generen distintos campos eléctricos que hagan variar el grado de conmutación en distintas áreas de la zona activa de cada elemento óptico, generándose así un perfil de variación de OLP en cada uno de los elementos ópticos del dispositivo. Esto configura una determinada carga topológica y un determinado enfoque del haz de luz incidente, según el patrón de campos eléctricos aplicados a las secciones del primer electrodo.

35

Según una posible forma de realización, los elementos ópticos son células de cristal líquido (o células de cristal líquido polimerizable) con sus electrodos correspondientes. Alternativamente al cristal líquido, los elementos ópticos podrían estar constituidos por algún otro material electro-óptico (con capacidad de variar su índice de refracción ante la presencia de un campo eléctrico) y sus electrodos correspondientes.

5

Se permite así que existan conmutaciones parciales (según el número y disposición de secciones de los electrodos), que permiten variar localmente el índice de refracción de diferentes zonas de cada elemento óptico.

10

Según una posible forma de realización, también el contra-electrodo está dividido en secciones. En este caso, ambos electrodos están configurados tanto para presentar potenciales eléctricos distintos en cada sección, como para presentar potenciales eléctricos iguales en cada sección. La distribución de secciones del primer electrodo puede ser diferente de la distribución de secciones del contra-electrodo, permitiendo así que el dispositivo pueda ser reconfigurado (sintonizado) para crear dos juegos independientes de perfiles de camino óptico, lo cual cambia la carga topológica y el enfoque de un haz de luz incidente en distintas maneras.

15

Se pueden disponer en cascada elementos ópticos en los que el contra-electrodo no esté dividido en secciones, o elementos ópticos en los que el contra-electrodo sí esté dividido en secciones, o una cascada de elementos ópticos en los que uno tenga el contra-electrodo dividido en secciones y otro tenga el contra-electrodo sin división de secciones.

25

Según una posible forma de realización, un elemento óptico actúa como una lente difractiva espiral variable. En función del patrón aplicado, se produce un camino óptico con una determinada distancia de enfoque y carga topológica. Así, mediante la aplicación de un primer patrón adecuado de campos eléctricos, el perfil del camino óptico del elemento óptico se corresponde con el de una lente difractiva en espiral con una primera distancia de enfoque y una primera carga topológica, mientras que mediante la aplicación de un segundo patrón adecuado de campos eléctricos, el perfil del camino óptico del elemento óptico se corresponde con el de una lente difractiva en espiral con una segunda distancia de enfoque y una segunda carga topológica.

30

35

Según otra posible forma de realización, una pareja de elementos ópticos actúa conjuntamente, emulando una lente difractiva variable.

5 Según otra posible forma de realización, una pareja de elementos ópticos actúa conjuntamente, emulando un axicon variable.

Según otra posible forma de realización, una pareja de elementos ópticos actúa conjuntamente, emulando una lente difractiva espiral variable.

10 Según otra posible forma de realización, una pareja de elementos ópticos actúa conjuntamente, emulando la combinación de al menos dos de los siguientes sistemas: una lente, un axicon o una lámina de fase espiral.

15 Así pues, mediante la aplicación de los correspondientes campos eléctricos, el perfil del camino óptico de al menos uno de los elementos ópticos adyacentes colocados en cascada puede corresponderse al de una lente difractiva en espiral, mientras que el perfil del camino óptico de al menos uno de los restantes elementos ópticos adyacentes colocados en cascada puede corresponderse al de una lámina en fase espiral.

20 Según una realización particular, el primer electrodo de dos elementos ópticos adyacentes colocados en cascada está dividido en secciones, siendo la distribución de las secciones del primer electrodo de un elemento óptico una imagen especular de la distribución de las secciones del primer electrodo del elemento óptico adyacente.

25 Así pues, mediante la aplicación de los correspondientes campos eléctricos, el perfil de conmutaciones de los dos elementos ópticos adyacentes colocados en cascada corresponde al de dos lentes difractivas en espiral con topología inversa, y la combinación de elementos emula una lente difractiva.

30 Según otra realización particular, mediante la aplicación de los correspondientes campos eléctricos, el perfil de conmutaciones de dos elementos ópticos adyacentes colocados en cascada corresponde al de dos lentes difractivas en espiral. Preferentemente, ambas lentes difractivas en espiral están posicionadas en cascada,
35 con una determinada distancia de separación entre ellas, de manera que la distancia focal de ambas lentes coincida, lo que permite que funcionen como telescopio o

expansor de haz sintonizables, variando la carga topológica y enfoque de las lentes, aplicando los patrones adecuados de campos eléctricos a las secciones de los electrodos de los elementos ópticos.

- 5 Según otra realización particular, se añade un tercer elemento a la realización anterior para que la combinación de elementos resulte en un dispositivo que no afecta a la carga topológica de la luz.

10 Según una posible forma de realización, al menos uno de los electrodos de al menos un elemento óptico incluye estructuras con frecuencias de resonancia electromagnética variables según el grado de conmutación del cristal líquido adyacente.

15 Según una posible forma de realización, los electrodos tienen forma de polos que tienen frecuencias de resonancia electromagnética para frecuencias en los rangos de terahercios y de ondas milimétricas y de ondas micrométricas. Aplicando un campo de polarización a los dipolos se puede generar un perfil de fase para estas frecuencias igual que el perfil de fase generado para las realizaciones para haces de luz.

- 20 La presente invención contempla a su vez un método de fabricación de un dispositivo óptico configurable.

El método de fabricación comprende:

- 25 - disponer un elemento óptico o varios elementos ópticos colocados en cascada, donde cada elemento óptico comprende una zona activa constituida por una superficie de entrada y una superficie de salida para haces de luz, donde cada elemento óptico comprende al menos un primer electrodo transparente y al menos un segundo electrodo transparente,
- 30 donde cada elemento óptico dispone de conexiones eléctricas para los electrodos, estando situadas dichas conexiones eléctricas en la zona del perímetro de cada elemento óptico fuera de la zona activa, donde cada uno de los elementos ópticos del dispositivo cambia la carga topológica de un haz de luz incidente.

35

- aplicar una diferencia de potencial entre los electrodos de cada elemento óptico, produciéndose así un campo eléctrico que haga variar el índice de refracción del elemento óptico, generándose así un perfil de conmutaciones selectivas en cada uno de los elementos ópticos del dispositivo, variando así el perfil del camino óptico de cada elemento óptico, lo cual cambia la carga topológica de un haz de luz incidente.

5

De manera preferente, el método contempla que los elementos ópticos sean lentes de cristal líquido, estando cada lente constituida por una célula de cristal líquido situada entre al menos un primer electrodo y al menos un segundo electrodo.

10

Asimismo, de manera preferente, el método contempla que el cristal líquido de las lentes sea polimerizable también conocido como mesógeno reactivo (RM del Inglés Reactive Mesogen). El método comprende entonces la posibilidad de curar (mediante radiación UV u otro método de curado) el cristal líquido polimerizable, obteniéndose un dispositivo difractivo con un perfil de variación de fase fijo o parcialmente sintonizable.

15

Según una posible forma de realización, el método comprende aplicar un campo eléctrico entre los electrodos de dos elementos ópticos adyacentes colocados en cascada creando un perfil de conmutaciones de los dos elementos ópticos adyacentes correspondiente al de dos lentes difractivas en espiral. Asimismo, según una posible forma de realización, el método comprende posicionar ambas lentes difractivas en espiral en cascada, con una determinada distancia de separación entre ellas, de manera que la distancia focal de ambas lentes coincida, lo que permite que funcionen como telescopio o expensor de haz sintonizables, variando la carga topológica de las lentes.

20

25

Breve descripción de las figuras

Como parte de la explicación de al menos una forma de realización preferente del dispositivo, se han incluido las siguientes figuras, en donde con carácter ilustrativo y no limitativo se representa lo siguiente.

30

Figura 1: muestra una vista esquemática de una célula de cristal líquido, LC, clásica.

35

Figura 2: muestra una vista esquemática de una célula de cristal líquido en la que el primer electrodo está dividido en secciones, teniendo el LC anisotropía dieléctrica positiva.

- 5 Figura 3: muestra una vista esquemática de una célula de cristal líquido en la que el primer electrodo está dividido en secciones, teniendo el LC anisotropía dieléctrica negativa.

Figura 4: muestra una vista esquemática de un LC en fase azul.

10

Figura 5: muestra esquemáticamente el efecto que los diferentes grados de conmutación del LC nemático (Figuras 2 y 3) tienen sobre un haz incidente de luz linealmente polarizada en el mismo plano del papel.

- 15 Figura 6: muestra una situación idéntica a la mostrada en la Figura 5, en un dispositivo LC en fase azul como el mostrado en la Figura 4.

Figura 7: muestra un ejemplo de lente difractiva en fase (lente de fresnel) (C), cuyo efecto sobre la fase es equivalente al de una lente gruesa (A).

20

Figura 8A: muestra esquemáticamente un ejemplo de láminas de fase espiral (SPP, del inglés Spiral Phase Plate) con carga topológica 1.

- Figura 8B: muestra esquemáticamente un ejemplo de láminas de fase espiral (SPP) con carga topológica 2.
- 25

Figura 9A: muestra una lente difractiva espiral (SDL, del inglés Spiral Diffractive Lens) en donde se ha introducido una variación de fase radial hiperbólica con una carga topológica 1.

30

Figura 9B: muestra una lente difractiva espiral, SDL, en donde se ha introducido una variación de fase radial hiperbólica con una carga topológica 2.

- Figura 10A: muestra una realización consistente en una lámina de fase espiral (SPP) generadora de vórtices ópticos en cascada con la lente difractiva espiral (SDL) de la Figura 9A.
- 35

Figura 10B: muestra una realización consistente en una lámina de fase espiral (SPP) generadora de vórtices ópticos en cascada con la lente difractiva espiral (SDL) de la Figura 9B.

5

Figura 11A: muestra una vista frontal de la disposición mostrada en la Figura 10A.

Figura 11B: muestra una vista frontal de la disposición mostrada en la Figura 10B.

10 Figura 12A: muestra el resultado de “trocear” en secciones 2π , la disposición mostrada en la Figura 11A.

Figura 12B: muestra el resultado de “trocear” en secciones 2π , la disposición mostrada en la Figura 11B.

15

Figura 13A: muestra una estructura simplificada de 8 electrodos que se emplea para generar vórtices con cargas topológicas de 1.

20 Figura 13B: muestra una estructura simplificada de 8 electrodos que se emplea para generar vórtices con cargas topológicas de 2.

Figura 14A: muestra una lente difractiva con estructura simplificada de 8 electrodos para generar lentes difractivas de espiral (SDL) con cargas topológicas de 1.

25 Figura 14B: muestra una lente difractiva con estructura simplificada de 8 electrodos para generar lentes difractivas de espiral (SDL) con cargas topológicas de 2.

Figura 15A: muestra dos lentes difractivas de espiral en cascada, con cargas topológicas de 1 y -1.

30

Figura 15B: muestra dos lentes difractivas de espiral en cascada, con cargas topológicas de 2 y -2.

35 Figura 16A: muestra el resultado de asociar las lentes difractivas en espiral de la Figura 15A.

Figura 16B: muestra el resultado de asociar las lentes difractivas en espiral de la Figura 15B.

Figura 17A: muestra la asociación en cascada de dos lentes difractivas en espiral distintas, con cargas topológicas de 1 y -1.

Figura 17B: muestra la asociación en cascada de lentes difractivas en espiral distintas, con cargas topológicas de 2 y -2.

Figura 18A: muestra el resultado de asociar las lentes difractivas en espiral de la Figura 17A.

Figura 18B: muestra el resultado de asociar las lentes difractivas en espiral de la Figura 17B.

Figura 19A: muestra una estructura de lente difractiva en espiral como la mostrada en la Figura 14A, pero con un patrón en espiral más retorcido.

Figura 19B: muestra una estructura de lente difractiva en espiral como la mostrada en la Figura 14B, pero con un patrón en espiral más retorcido.

Descripción detallada

La presente invención se refiere, como ya se ha mencionado anteriormente, a un dispositivo óptico configurable.

El dispositivo está basado en un elemento óptico o una pareja de elementos ópticos (1) que, preferentemente, son células de LC con electrodos (4, 5) múltiples.

Cada célula LC está construida como una célula clásica de LC (ver Figura 1) con el LC (1.a) emparedado entre dos sustratos transparentes (1.b.1 y 1.b.2) con electrodos (4, 5) igualmente transparentes, y tratados con un agente o capa de alineamiento (1.d.1 y 1.d.2).

Cuando se aplica un campo eléctrico entre el contra-electrodo (5) o electrodo superior (tal como se muestra en las figuras) y el primer electrodo (4) o electrodo inferior (tal

como se muestra en las figuras), el LC se alinea hasta un determinado punto que depende de la viscosidad del material, las fuerzas de anclaje de las capas superficiales (1.d.1 y 1.d.2), el espesor del LC (1.a) y la intensidad del campo eléctrico.

- 5 Para crear un perfil de conmutación arbitrario se separa al menos uno de los electrodos en secciones (41), y se aplica el campo eléctrico adecuado entre cada sección de electrodos (41) y contra-electrodo (5).

10 Las Figuras 2, 3 y 4 muestran tres estados de conmutación diferentes que corresponden a tres tensiones de conmutación distintas ($V_1 < V_2 < V_3$) en un LC nemático positivo (2.a en Figura 2), un LC nemático negativo (3.a en Figura 3) y un LC en fase azul (4.a en Figura 4). En cada una de las figuras, las capas marcadas b, y d, así como la capa de electrodos (4, 5), son análogas a las capas del elemento óptico (1) en la Figura 1. El estado del LC se denota con las elipses (la elipticidad indica el
15 grado de anisotropía) y la orientación indica la orientación macroscópica del eje óptico.

Las capas de alineamiento (d) de las células nemáticas (Figuras 2 y 3) están acondicionadas para producir un alineamiento homogéneo en el caso de cristales líquidos con anisotropía dieléctrica positiva (Figura 2) y homeotrópico en el caso de
20 cristales líquidos con anisotropía dieléctrica negativa (Figura 3). Así pues, la conmutación del LC se produce en un plano perpendicular a los sustratos (en las figuras 2 y 3 en el plano del papel). Para el LC en fase azul, las capas de alineamiento (d en la Figura 4) no son imprescindibles.

25 En la Figura 5 se observa el efecto que los diferentes grados de conmutación del LC nemático (Figuras 2 y 3) tienen sobre un haz incidente de luz linealmente polarizada en el mismo plano del papel. La luz incide desde un medio isótropo (5.I), atraviesa un medio anisótropo (5.II) y sale a un nuevo medio isótropo (5.III). Si las dimensiones de las secciones de los electrodos (41) son suficientemente pequeñas, la luz se
30 recombina en una dirección ligeramente desviada de la dirección incidente. Los trazos continuos horizontales, o casi horizontales, muestran la progresión del haz supuesto una onda incidente plana.

La Figura 6 muestra una situación idéntica a la Figura 5 en un dispositivo con LC en fase azul (6.II) como el descrito en la Figura 4. En este caso no se necesita que el haz
35 incidente esté polarizado.

Los dispositivos de la invención se componen de un elemento óptico (1) o varios elementos ópticos (1) o células de LC montadas en cascada. Cada una de ellas introduce una distribución espacial de diferencias relativas de fase a un frente de onda
 5 incidente. La diferencia de fase inducida oscila entre 0 y una longitud de onda completa (λ), equivalente a un rango de $0 - 360^\circ$ o $0 - 2\pi$ radianes. Según la forma de realización de la invención que se trate, las células de LC pueden estar unidas o separadas una cierta distancia. En el segundo caso, las células pueden emular elementos ópticos compuestos, como telescopios o expansores de haz.

10

Cada célula funciona de modo similar a una lente difractiva espiral (SDL, del inglés Spiral Diffractive Lens) o a una lámina de fase espiral (SPP, del inglés Spiral Phase Plate). En estas lentes en forma de láminas se aprovecha la equivalencia de fase entre retardos múltiplos de 2π radianes, lo cual permite reducir el espesor óptico del
 15 dispositivo en intervalos equivalentes a retardos 2π . La diferencia de fase se puede conseguir modificando el espesor físico –una versión microscópica de las conocidas lentes de Fresnel– o el índice efectivo de refracción, como en los ejemplos mostrados en las Figuras 2, 3 y 4.

20

En la Figura 7 se observa un ejemplo de lente difractiva de fase (C), cuyo efecto sobre la fase es equivalente al de una lente gruesa (A). La lente está troceada en secciones (B) cuyo espesor es $\lambda/(n_1-n_2)$, siendo n_1 el índice del material (típicamente vidrio, $n_1 \approx 1.5$) y n_2 el índice del medio circundante (típicamente aire, $n_2 \approx 1.0$).

25

La lente difractiva tiene una variación espacial de OLP de 0 a λ , pero tiene el mismo funcionamiento, en primera aproximación, que la lente gruesa de mucha mayor variación de OLP.

30

El retardo de fase relativo, δ , entre diferentes zonas del frente de onda que se propaga por distintos puntos de la lente difractiva es $(2\pi/\lambda) \cdot (n_1-n_2) \cdot d$, siendo d el espesor. Cada sección produce retardos relativos, δ , entre 0 y 2π para espesores d entre 0 y $\lambda/(n_1-n_2)$.

35

En el caso mostrado en figura 7, la diferencia de retardo, o de OLP, proviene de que el frente de onda se propaga en diferentes proporciones en medios distintos (típicamente aire y la lente de vidrio o plástico).

Se puede conseguir la misma variación espacial de OLP con un dispositivo plano de caras paralelas en el que d es constante, pero donde exista una distribución espacial de índices de refracción en secciones equivalentes a las mencionados anteriormente.

5

Aunque actualmente el material electroóptico más fácil de adaptar al dispositivo propuesto sería el LC conmutado por un campo eléctrico, se puede modificar el estado del LC mediante un campo magnético, o calor, consiguiendo el mismo efecto.

10 También existen materiales alternativos como el Niobato de Litio (LiNbO_3), o líquidos que muestran efecto Pockels o Kerr, que son electro-ópticos y cuyos índices de refracción se pueden variar o reorientar aplicando un campo eléctrico.

La presente invención se relaciona con un dispositivo óptico formado por un elemento
 15 óptico (1) reconfigurable, típicamente de LC, o varios elementos ópticos (1) reconfigurables, típicamente de LC, en cascada, pegados uno a otro, o situados a una distancia determinada. Los elementos poseen ciertas propiedades ópticas variables que pueden modificarse por control externo. Los elementos LC son lentes difractivas espiral (SDL) cuya carga topológica, y cuya distancia focal pueden ser reconfiguradas.
 20 La distancia focal del elemento puede ser diseñada para ser finita o infinita. Si la distancia focal es infinita, la SDL se transforma en una lámina de fase espiral (SPP) como las que se muestran en la Figura 8. Las secciones de los electrodos (41) de estas láminas tienen forma de sectores circulares no espirales (figuras 13A y 13B); el nombre de la lámina SPP se refiere al perfil espiral que adopta el retardo de fase.

25

Las lentes difractivas espiral SDL de distancia focal finita se fabrican con células LC cuyas secciones de los electrodos (41) tienen forma de sectores espirales. Cada sección (41) tiene un origen muy próximo al centro, y va ensanchando y rotando a medida que se aproxima a la zona perimetral externa. Todos las secciones de los
 30 electrodos (41) alcanzan la zona perimetral, de manera que pueden conectarse a la electrónica de control externa por excitación directa con contactos independientes.

La forma espiral de las secciones de los electrodos (41) (ver figuras 14 A y 14B) determina la distorsión del frente de onda que se produce como resultado de la acción
 35 de los dos elementos LC en cascada. El dispositivo de dos elementos LC en cascada es capaz de emular una lente difractiva de fase convencional (Figura 7C) con una

fidelidad que depende del número de secciones de los electrodos (41). Para emular exactamente una lente difractiva de fase ideal se necesitaría un número infinito de elementos; cuanto mayor es el número de secciones de los electrodos (41), mayor es la aproximación conseguida.

5

A continuación se describen distintas formas de realización de la invención.

La primera de las realizaciones preferidas consiste en dos elementos en cascada.

10 En esta realización una de las células LC es una lámina de fase espiral (SSP), con un perfil de fase variable azimutal reconfigurable, como se muestra en las Figuras 8A y 8B. El sombreado más oscuro corresponde a una diferencia de fase de cero radianes, mientras que la zona más clara supone una diferencia de 2π radianes. Los patrones mostrados en las figuras corresponden a láminas de retardo que generan vórtices
15 ópticos con una carga topológica de 1 (Figura 8A) y de 2 (Figura 8B). Los patrones mostrados en las figuras 8A y 8B son dos configuraciones del mismo elemento.

El otro elemento LC reconfigurable de esta realización posee una componente espiral formada por un número de secciones de los electrodos (41) que se excitan a
20 diferentes tensiones con el fin de generar un perfil de retardos de fase entre 0 y 2π radianes.

En la Figura 9A se muestra el elemento en una configuración de lente difractiva espiral, SDL, que introduce una variación de fase radial hiperbólica con una carga
25 topológica 1; en la configuración del mismo elemento en Figura 9B la variación de fase radial es también hiperbólica, pero la carga topológica es 2 y la distancia focal es la mitad que la de la Figura 9A. En general, la carga topológica viene determinada por el número de espirales mientras que la distancia focal es tanto menor cuanto mayor es el giro de cada espiral. Al igual que en el elemento anterior, el rango de escalas de gris
30 muestra retardos que oscilan entre 0 (negro) y 2π radianes (blanco). Los patrones mostrados en las figuras 9A y 9B son dos configuraciones del mismo elemento.

En la Figura 10 se muestra la realización, consistente en una lámina de fase espiral (SPP) generadora de vórtices ópticos en cascada con una lente difractiva espiral
35 (SDL). Se indica el eje central, que habitualmente coincide con el camino óptico. Las dos configuraciones mencionadas aparecen en las Figuras 10A y 10B.

Poniendo en cascada la lámina de fase espiral de la Figura 8A con la lente difractiva espiral de la Figura 9A se genera un retardo de fase equivalente a la lámina de fase mostrada en la Figura 11A. Del mismo modo, la lámina de fase espiral de la Figura 8B
 5 junto con la lente difractiva espiral de la Figura 9B producen un retardo equivalente a la lámina de fase de la Figura 11B. Los retardos de fase de las Figuras 11A y B varían entre 0 (negro) y 4π radianes (blanco).

Las distribuciones de la Figura 11 se pueden trocear en secciones 2π , aprovechando
 10 la equivalencia de fase entre retardos múltiplos de 2π radianes, de manera análoga a la lente de la Figura 7A. Como resultado se obtienen las distribuciones de fase de la figura 12. Los retardos de fase de las Figuras 12A y B varían entre 0 (negro) y 2π radianes (blanco).

15 Los dos mapas de diferencias de fase de la Figura 12 se corresponden con lentes difractivas de fase con una variación de fase hiperbólica que subyace en la definición de las lentes difractivas espiral (SDL) de la Figura 9. Los mapas, y en consecuencia las dos configuraciones, por lo tanto, corresponden a dos lentes difractivas de fase con diferentes focos.

20 Para emular las láminas de fase espiral generadoras de vórtices ópticos, que se mostraban en la Figura 8, se puede utilizar una geometría de electrodos en secciones angulares (41) común a ambas estructuras. La Figura 13 muestra una estructura simplificada de 8 secciones de electrodos (4) que se emplea para generar cargas topológicas de 1 (Figura 13A) y de 2 (Figura 13B). La escala de gris de la Figura 13
 25 representa diferentes intensidades de campo eléctrico aplicadas a los electrodos. El campo aplicado es tanto mayor cuanto más claro es el nivel de gris.

De igual modo, las estructuras de lentes difractivas espiral de la Figura 9 pueden
 30 asimismo aproximarse con una geometría de secciones de los electrodos (41) común, tal como se muestra en la Figura 14. Al igual que en el caso anterior, se utiliza una estructura simplificada de 8 secciones de los electrodos (41) para generar cargas topológicas de 1 (Figura 14A) y de 2 (Figura 14B). La escala de gris de la Figura 14 representa diferentes intensidades de campo eléctrico aplicadas a los secciones de los
 35 electrodos (41), con el fin de generar diferencias de fase equidistantes en las células de LC. El campo aplicado es tanto mayor cuanto más claro es el nivel de gris.

El área activa de la Figura 14 se reduce a la zona espiral. La parte externa tan solo es una guía visual para observar las ocho secciones de electrodos (41) direccionados en ambas topologías y potencialmente puede ser la zona de conexión de las secciones de electrodos (41).

Combinando en cascada dos células LC, una con el patrón de secciones de electrodos (41) de la Figura 13, y la otra con el patrón de la Figura 14 se consigue un dispositivo que funciona como lente difractiva como las que se muestran en la Figura 12. La distancia focal puede variarse entre dos o más valores, modificando las tensiones aplicadas a cada uno de las secciones de electrodos (4).

El número de distancias focales diferentes que pueden conseguirse está determinado por el número de secciones de electrodos (4) que contienen ambos patrones. Asimismo, el número de secciones de electrodos (4) establece la mayor o menor fidelidad con que el patrón discreto de electrodos reproduce la variación de fase analógica ideal. En los ejemplos de las figuras se han utilizado tan solo 8 electrodos por simplicidad. Los dispositivos reales de la invención, en general, incluyen decenas o centenares de secciones de electrodos (41).

La segunda realización preferida está formada por dos células LC con secciones de electrodos (41) que forman lentes difractivas espiral reconfigurables. Su característica fundamental es que las células poseen cargas topológicas opuestas: una de ellas incrementa las diferencias de fase en sentido horario mientras que la otra las incrementa en sentido antihorario. Las dos lentes se diseñan con la misma carga topológica y distancia focal. Las cargas topológicas se cancelan, por lo que la diferencia de fase resultante carece de momento angular. Se obtiene así una lente difractiva que se comporta como las lentes difractivas convencionales, con la ventaja de ser reconfigurable y con el conexionado de las secciones de electrodos (41) en la zona del perímetro (3) o parte exterior, quedando la zona activa (2) o parte interior con su superficie de entrada y su superficie de salida libre y despejada de conexiones y componentes electrónicos.

En la Figura 15 se muestran dos lentes difractivas espiral en cascada. Las lentes de la Figura 15A están configuradas para tener cargas topológicas 1 y -1 , mientras que las de la Figura 15B están configuradas para tener cargas topológicas 2 y -2 .

Asociando en cascada las lentes difractivas espiral de la Figura 15A, y troceando los mapas de diferencias de fase de salida en secciones de 2π , aprovechando la equivalencia de fase entre retardos múltiplos de 2π radianes, producen una
5 distribución de diferencias de fase (Figura 16A) análoga a la mostrada en la Figura 12. De igual modo, las lentes espiral de la Figura 15B generan la distribución que se muestra en la Figura 16B.

De forma análoga a la primera realización preferida, ambas configuraciones de la
10 Figura 16 pueden conseguirse con el mismo patrón de secciones de electrodos (41) aplicando distintos campos eléctricos, como se muestra en la Figura 14.

Las dos células LC de la segunda realización preferida pueden ser idénticas, siempre que en el montaje en cascada se voltee una de las células, enfrentando dos caras
15 iguales de modo que el sentido de giro de la espiral se invierta, haciendo que el signo de la carga topológica sea opuesto en cada célula.

En la tercera realización preferida se emplean dos células LC reconfigurables en cascada configuradas con cargas topológicas opuestas, es decir, que incrementan la fase en sentido horario y antihorario respectivamente. Las células poseen secciones
20 de electrodos (41) configurados como lentes difractivas espiral. A diferencia de la segunda realización preferida, las espirales no están obligatoriamente ajustadas para generar la misma distancia focal, aunque el número de espirales –y en consecuencia la carga topológica– sea el mismo. Así pues, el haz de salida tendrá un perfil de
25 diferencias de fase sin ningún momento angular inducido.

Las dos realizaciones preferidas anteriores son casos particulares de ésta. La primera realización sería un caso extremo en que una de las células LC es una lente difractiva
30 espiral con distancia focal infinita, es decir, una lámina de fase espiral. La segunda es el caso en que la distancia focal de ambas lentes es igual.

En la Figura 17 se muestran lentes espiral distintas, con cargas topológicas iguales dos a dos aunque con signos opuestos. Cada una de las células posee distancia focal variable. La Figura 17A muestra dos células configuradas con cargas topológicas 1 y –
35 1 respectivamente. Poniendo las lentes en cascada se produce una distribución de

diferencias de fase que, si se trocea en secciones 2π como las mostradas en la Figura 12, genera una lente difractiva espiral como la mostrada en la Figura 18A.

5 La Figura 17B muestra dos células configuradas con cargas topológicas 2 y -2 respectivamente. Poniendo las láminas en cascada se produce una distribución de diferencias de fase que, si se trocea en secciones 2π como las mostradas en la Figura 12, genera una lente de fase difractiva como la mostrada en la Figura 18B.

10 En esta tercera realización preferida, el patrón de secciones de los electrodos (41) activos de las dos células LC es generalmente diferente. Por ejemplo, una de las células podría tener un patrón como el que se muestra en la Figura 14, mientras que la otra podría tener otro patrón diferente, más retorcido, como el mostrado en la Figura 19. Las lentes espiral generadas por los elementos de la Figura 19, para cualquier carga topológica no nula, tienen una distancia focal inferior a las lentes equivalentes
15 de la Figura 14.

En la cuarta realización preferida, las células LC que conforman el dispositivo no tienen obligatoriamente topologías complementarias. Como consecuencia, la lente difractiva espiral equivalente será una lámina con una carga topológica suma de las
20 dos células. Esta realización puede tener aplicación en sistemas donde la carga topológica sea irrelevante para su funcionalidad. También resultaría útil en sistemas en los que interese mantener el punto singular central, característico de los haces luminosos con carga topológica; en tales casos, obviamente, la cancelación de cargas topológicas no resulta apropiada.

25

Las tres realizaciones preferidas anteriores son casos particulares de ésta.

En la quinta realización preferida, se sustituyen el electrodo (5) continuo convencional o los patrones de electrodos convencionales que se han mencionado en esta
30 invención para excitación del cristal líquido y generación consiguiente de diferencias de fase. Los electrodos se reemplazan por una matriz de polos resonantes interconectados. Estos polos resuenan típicamente en frecuencias de la región de las microondas (GHz o THz), tal y como se describe en WO 2012080532 A1. La estructura del dispositivo sigue siendo la misma, como la dibujada en Figura 1, y el
35 dispositivo genera el mismo tipo de patrones de desfase como los mostrados anteriormente.

La diferencia fundamental está en la interacción entre la onda electromagnética y el dispositivo: El desfase no es la consecuencia de un retardo de la onda electromagnética al pasar por un material de índice variable, como en las realizaciones anteriores, sino la consecuencia de la interacción entre la onda electromagnética y dipolos (o secciones de electrodos) con frecuencias de resonancia variable. Variando la frecuencia de resonancia de un dipolo, o conjunto de dipolos, se varía el desfase que se introduce en la onda electromagnética. La frecuencia resonante de un dipolo –y en consecuencia los retardos de fase introducidos por el dipolo– está determinada por el estado de conmutación del LC adyacente. Al igual que en la patente citada, el estado de conmutación del LC se controla conectando los dipolos resonantes a una señal eléctrica AC de baja frecuencia y a la tensión deseada.

En correspondencia con las realizaciones anteriores, todos los dipolos correspondientes a una sección (41) de un electrodo (4) están caracterizados exclusivamente por un único estado de conmutación del LC. Los dipolos están interconectados y distribuidos en zonas equivalentes a los electrodos (4) mostrados anteriormente.

En todas las implementaciones mencionados anteriormente existe la posibilidad de situar los dos elementos ópticos (1) o lentes a una distancia no nula.

Según una sexta realización preferida, se colocan dos lentes difractivas espiral (SDL's) a una distancia dada, de forma que la distancia focal de ambas lentes coincida. Cambiando la carga topológica de ambos elementos, y como consecuencia su distancia focal, se puede cambiar la posición del punto de coincidencia de las distancias focales entre ambos dispositivos. De esta forma se puede generar un telescopio o un expansor de haz sintonizables, o dispositivos ópticos más complejos. Si se desea, se puede eliminar cualquier resto de carga topológica residual incluyendo un tercer elemento óptico (1), por ejemplo, una lámina de fase espiral.

La séptima forma de realización preferida es la implementación más simple de todas, pero únicamente puede aplicarse en aquellos entornos en los que la carga topológica del haz de salida es irrelevante. Tal podría ser el caso de una lente intraocular como la de US 005408281 A. La realización consiste en un solo elemento, con el diseño específico de electrodos descrito anteriormente, y su eventual aplicación como

dispositivo de focalización, específicamente a la generación de lentes con foco reconfigurable representa una aportación innovadora.

5 Los dispositivos LC poseen generalmente un patrón de secciones de electrodos (41) en un primer electrodo (4) (o primera placa) de la célula y un contra-electrodo (5) o electrodo continuo en la parte opuesta de la célula; este contra-electrodo (5) (o segundo electrodo) se conoce como plano de masa y se muestra continuo en las Figuras 2, 3 y 4.

10 La octava realización preferida es una variación de los elementos de las realizaciones anteriores, menos la quinta. La diferencia radica en que el contra-electrodo (5) de uno o varios elementos está dividido en secciones (41) igual que el primer electrodo (4) en el mismo elemento óptico (1) (Figuras 2, 3 y 4). Pero el patrón de secciones en el contra-electrodo (5) es distinto del patrón de secciones (41) en el primer electrodo (4).

15 De esta manera, uno de los electrodos (4 ó 5) podría tener el patrón correspondiente a una lente espiral como la de la Figura 14, mientras que el otro electrodo (5 ó 4) contiguo de la misma célula podría tener el patrón correspondiente a la lente espiral de la Figura 19.

20 Si se dispone de dos patrones de electrodos (4 y 5) en la misma célula, se puede elegir por direccionamiento qué estructura de lentes espiral reconfigurables se activa, dejando la espiral del contra-electrodo (el electrodo (5 ó 4)) de la célula con todas sus secciones interconectados entre sí a la misma tensión.

25 En una novena realización preferida se llena uno o varios elementos con un cristal líquido polimerizable. Esto permite sintonizar los dispositivos con campo eléctrico y curarlos mientras se aplica el campo eléctrico (habitualmente mediante luz UV), con lo que se obtendría un perfil de lente fijo, una vez polimerizado el cristal líquido. Una vez
30 polimerizado el LC, la lente puede ser extraída de su célula como una lente extremadamente fina, con lo cual los electrodos (4 y 5) en esta realización no son necesariamente transparentes.

Esta realización representa una manera innovadora de fabricación de lentes fijas, con
35 o sin carga topológica, que pueden ser utilizadas en asociación con otros elementos ópticos fijos o ajustables.

La forma de las secciones (41) de los electrodos (4) o de ambos electrodos (electrodos y contra-electrodos), en uno o en varios elementos LC, determina las características de la lente, tanto en lo referente a su distancia focal nominal como en sus
 5 aberraciones esféricas. Resulta trivial generar lentes con perfil hiperbólico, esférico o cualquier otro perfil cuadrático, o axicones; resulta incluso posible introducir aberraciones esféricas o de otro tipo diseñando las secciones de los electrodos adecuadamente.

10 Así pues, el proceso para diseñar los primeros electrodos (4) o electrodos activos es el siguiente:

- Se define la lente con el perfil deseado, incluyendo aberraciones si es el caso.

15 • Se trocea esta lente en secciones $0 - 2\pi$, correspondientes a una lente difractiva.

- Se sustrae de esta lente difractiva una lámina de fase espiral configurada como vórtice óptico de la topología deseada.

20

- Se vuelve a trocear la lente espiral difractiva resultante en intervalos $0 - 2\pi$.

- Se discretiza la variación analógica según el número de número de secciones discretas (41) que se vayan a emplear.

25

- Cada una de las secciones discretas (41) se extiende desde la periferia de la célula LC hasta el centro (la sección puede ser continua o un conjunto dipolos).

- Se define por cada sección discreta (41) una zona de contacto fuera de la zona
 30 activa.

- Se fabrican los dos electrodos y se tratan con un agente o capa de alineamiento adecuado.

35

- Se ensambla la célula con al menos uno, o potencialmente dos electrodos (4 y 5) con los patrones diseñados.

- Se llena la célula con el cristal líquido deseado, que posea la birrefringencia adecuada, y se sella.

5

- Se realiza el conexionado eléctrico adecuado al número de electrodos.
- Se monta, si es relevante, en cascada con otra célula fabricada de modo similar, aunque ni las lentes difractivas espiral ni las láminas de fase espiral generadoras de vórtices ópticos han de ser necesariamente iguales.

10

El resultado es un elemento LC o varios elementos LC reconfigurables que funcionan en asociación, donde cada uno de los cuales y el conjunto debe considerarse como una lámina difractiva espiral con su propia carga topológica y perfil lenticular, que puede ser reconfigurado.

15

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo óptico configurable **caracterizado** por que comprende un elemento óptico (1) configurable con una zona activa (2) constituida por una superficie de entrada y una superficie de salida para haces de luz y una zona de perímetro (3), donde el elemento óptico (1) comprende al menos un primer electrodo (4) transparente dividido en secciones (41) y al menos un contra-electrodo (5) transparente, donde el elemento óptico (1) dispone de conexiones eléctricas para los electrodos (4, 5) y/o secciones (41), estando situadas dichas conexiones eléctricas en la zona de perímetro (3) del elemento óptico (1), donde el dispositivo está configurado para que, mediante la aplicación de diferencias de potencial entre cada sección (41) del primer electrodo (4) y el contra-electrodo (5), se generen campos eléctricos que hagan variar selectivamente el grado de conmutación del elemento óptico (1) respectivamente en zonas correspondientes a las secciones (41) del primer electrodo (4), generándose así un perfil de camino óptico, que configura una determinada carga topológica y un determinado enfoque de un haz de luz incidente, según el patrón de campos eléctricos aplicados a las secciones (41) del primer electrodo (4), donde el dispositivo está configurado para que mediante la aplicación de un primer patrón adecuado de campos eléctricos, el perfil del camino óptico del elemento óptico (1) corresponda al de una lente difractiva en espiral con una primera distancia de enfoque y una primera carga topológica, y para que mediante la aplicación de un segundo patrón adecuado de campos eléctricos, el perfil del camino óptico del elemento óptico (1) corresponda al de una lente difractiva en espiral con una segunda distancia de enfoque y una segunda carga topológica.
2. Dispositivo óptico configurable según la reivindicación 1, **caracterizado** por que el contra-electrodo (5) está también dividido en secciones, y consecuentemente ambos electrodos (4, 5) están configurados tanto para presentar potenciales eléctricos distintos en cada sección, como para presentar potenciales eléctricos iguales en cada sección, y donde la distribución de secciones del primer electrodo (4) es diferente de la distribución de secciones del contra-electrodo (5), permitiendo así que el dispositivo pueda ser reconfigurado para crear dos juegos independientes de perfiles de camino

óptico, que cambia la carga topológica y el enfoque de un haz de luz incidente en distintas maneras.

- 5
3. Dispositivo óptico configurable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que comprende un primer elemento óptico (1) y un segundo elemento óptico (1) colocados en cascada con el primer elemento óptico (1), donde el primer elemento óptico (1) tiene su contra-electrodo (5) sin divisiones en secciones, y donde el segundo elemento óptico (1) tiene su contra-electrodo (5) dividido en secciones.
- 10
4. Dispositivo óptico configurable según la reivindicación 1, **caracterizado** por que comprende dos elementos ópticos (1) colocados en cascada.
- 15
5. Dispositivo óptico configurable según la reivindicación 2, **caracterizado** por que comprende dos elementos ópticos (1) colocados en cascada.
- 20
6. Dispositivo óptico configurable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el material de conmutación en uno o varios de los elementos ópticos (1) es un cristal líquido.
- 25
7. Dispositivo óptico configurable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que el material de conmutación en uno o varios de los elementos ópticos (1) es un cristal líquido polimerizable.
- 30
8. Dispositivo óptico configurable según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, **caracterizado** por que está configurado para que, mediante la aplicación de los correspondientes campos eléctricos, el perfil de camino óptico de los elementos ópticos (1) adyacentes colocados en cascada corresponda al de lentes difractivas en espiral.
- 35
9. Dispositivo óptico reconfigurable según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, **caracterizado** por que está configurado para que, mediante la aplicación de los correspondientes campos eléctricos, el perfil de camino óptico de los elementos ópticos (1) adyacentes colocados en cascada corresponda al de láminas de fase espiral.

10. Dispositivo óptico configurable según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, **caracterizado** por que está configurado para que, mediante la aplicación de los correspondientes campos eléctricos, el perfil de camino óptico de al menos uno de los elementos ópticos (1) adyacentes colocados en cascada
5 corresponda al de un lente difractiva en espiral y que el perfil de al menos uno de los restantes elementos ópticos (1) adyacentes colocados en cascada corresponde al de una lámina de fase espiral.
11. Dispositivo óptico configurable según la reivindicación 8, **caracterizado** por
10 que dos lentes difractivas en espiral están posicionadas en cascada, con una determinada distancia de separación entre ellas, de manera que la distancia focal de ambas lentes coincida, lo que permite que funcionen como telescopio o expensor de haz sintonizables, variando la carga topológica y enfoque de las lentes, aplicando los patrones adecuados de campos eléctricos a las secciones
15 de los electrodos de los elementos.
12. Dispositivo configurable según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por que uno de los electrodos (4, 5) incluye estructuras con frecuencias de resonancia electromagnética variables según el estado de
20 conmutación del cristal líquido adyacente.
13. Método de fabricación de un dispositivo óptico configurable, **caracterizado** por que comprende:
- 25 - disponer al menos dos elementos ópticos (1), según las reivindicaciones 1 y/o 2, dispuestos en cascada;
- aplicar un patrón de diferencias de potencial entre las secciones (41) del primer electrodo (4) y el contra-electrodo (5) de cada elemento óptico (1),
30 produciéndose así un campo eléctrico que haga variar el perfil de conmutaciones y en consecuencia el perfil del camino óptico del elemento óptico (1), lo cual cambia la carga topológica de un haz de luz incidente.
14. Método de fabricación de un dispositivo óptico configurable según la
35 reivindicación 13, **caracterizado** por que los elementos ópticos (1) emplean cristal líquido como material electroóptico.

- 5 15. Método de fabricación de un dispositivo óptico configurable según la reivindicación 14, **caracterizado** por que los elementos ópticos (1) emplean cristal líquido polimerizable como material electroóptico y donde el procedimiento comprende curar el cristal líquido polimerizable, obteniéndose un dispositivo difractivo con un perfil de variación de fase fijo o parcialmente sintonizable.
- 10 16. Método de fabricación de un dispositivo óptico configurable según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, **caracterizado** por que comprende aplicar un campo eléctrico entre los electrodos (4, 5) de dos elementos ópticos (1) adyacentes colocados en cascada creando un perfil de conmutaciones de los dos elementos ópticos (1) adyacentes correspondiente al de dos lentes difractivas en espiral.
- 15 17. Método de fabricación de un dispositivo óptico configurable según la reivindicación 16, **caracterizado** por que comprende posicionar ambas lentes difractivas en espiral en cascada, con una determinada distancia de separación entre ellas, de manera que la distancia focal de ambas lentes coincida, lo que permite que funcionen como telescopio o expansor de haz sintonizables, variando la carga topológica de las lentes.
- 20

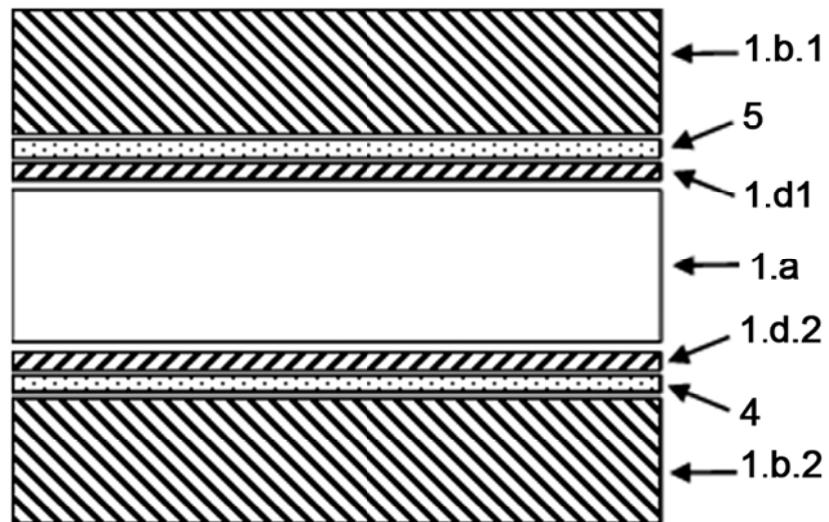


FIG.1

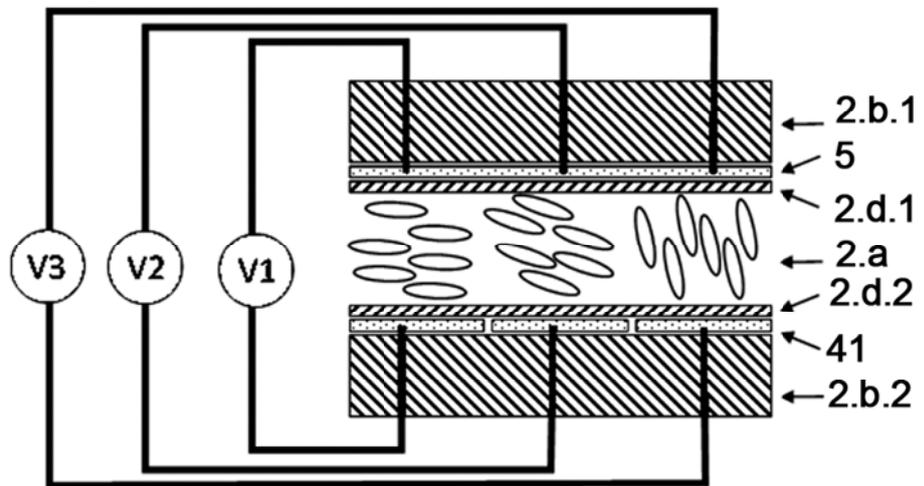


FIG.2

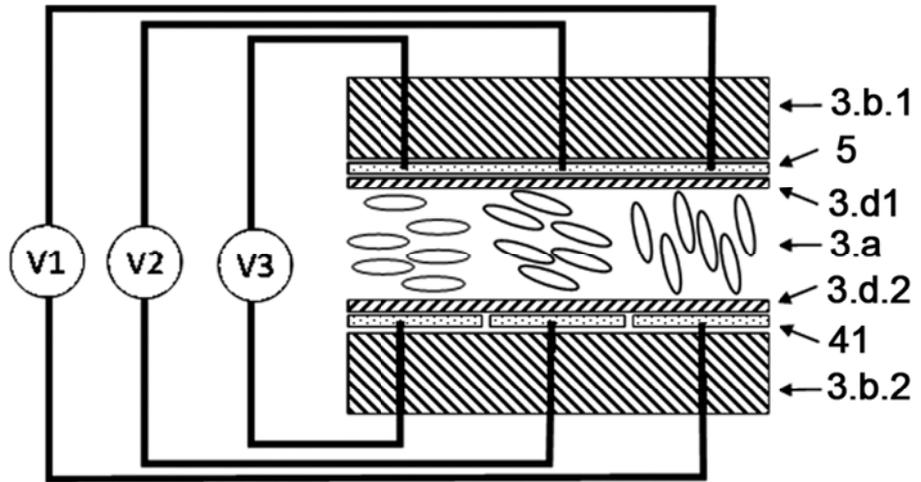


FIG.3

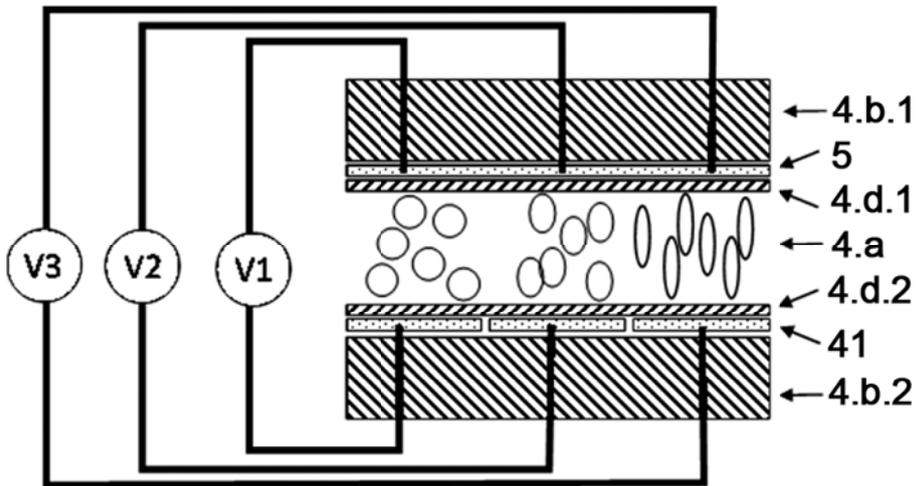


FIG.4

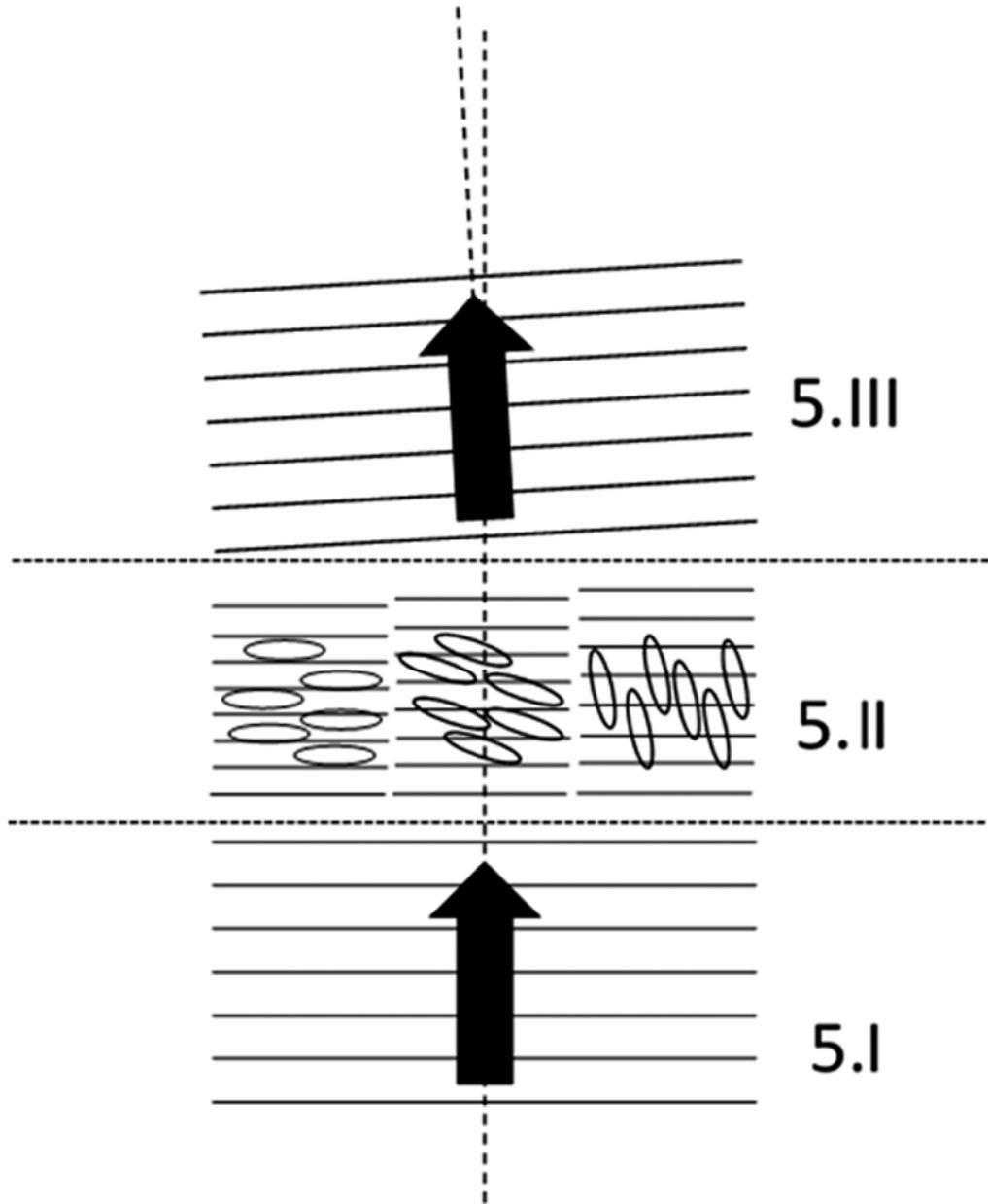


FIG.5

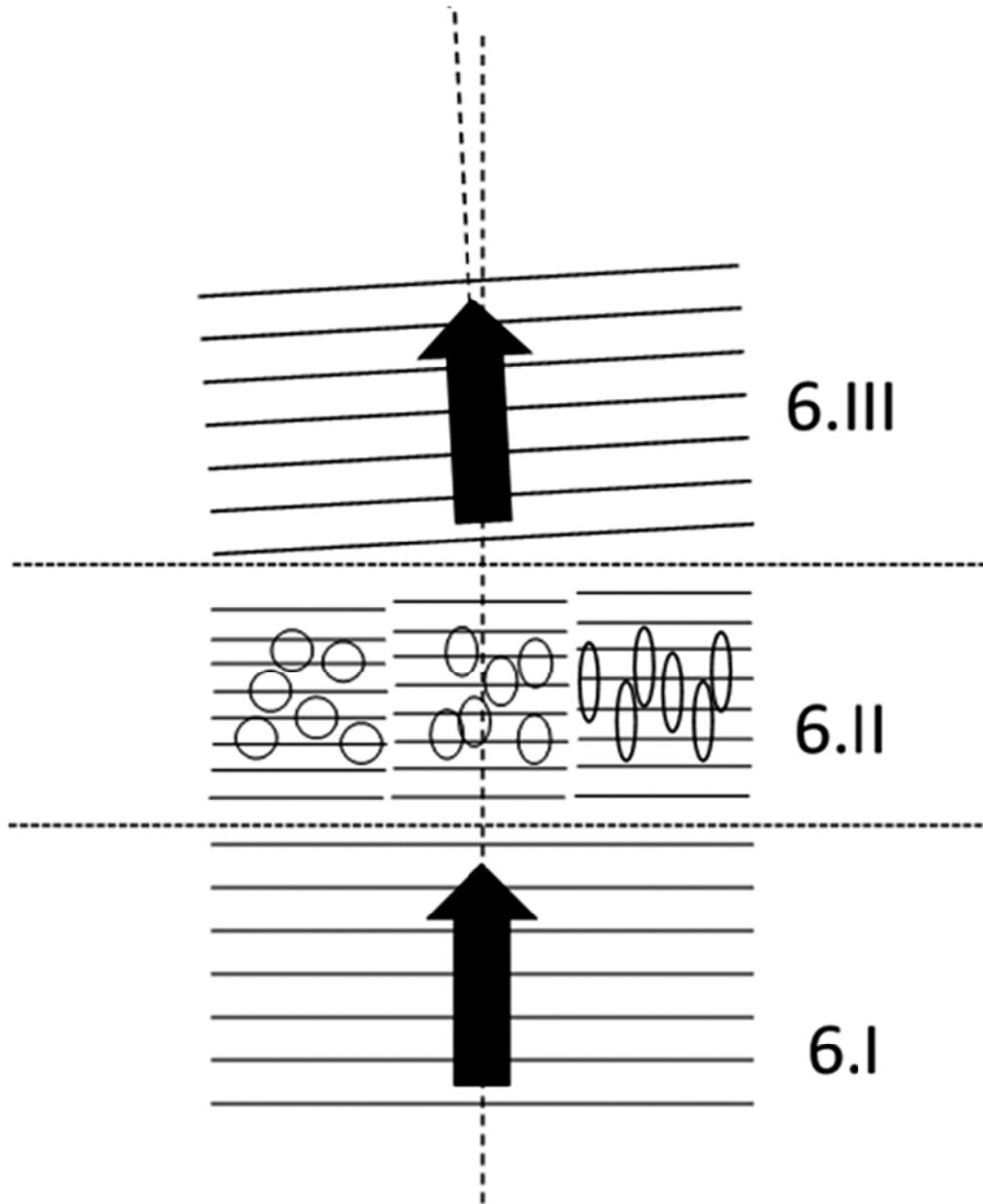


FIG.6

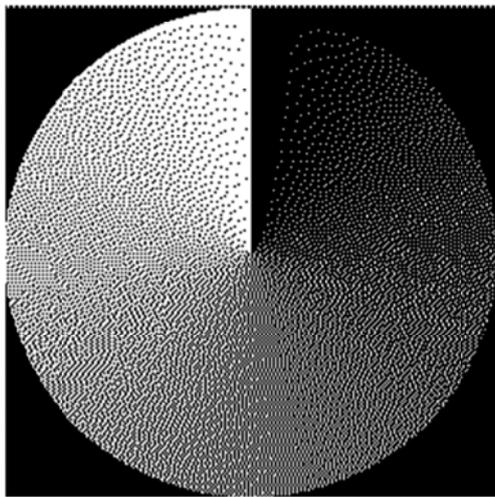
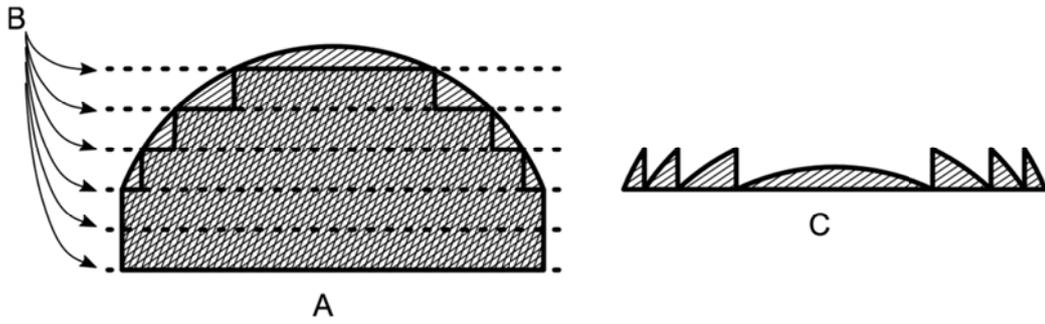


FIG. 8A

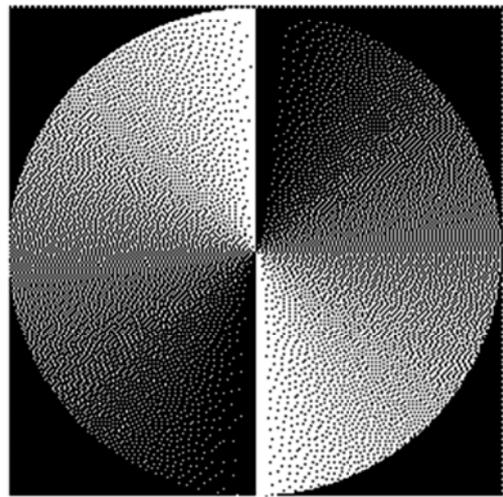


FIG. 8B

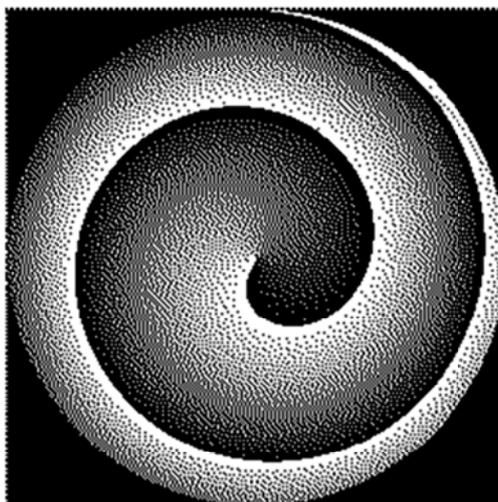


FIG. 9A

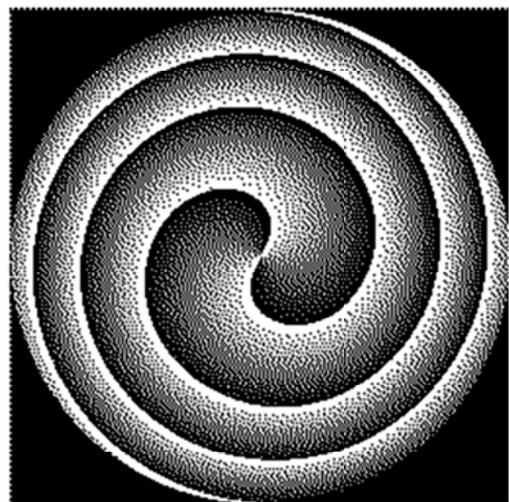


FIG. 9B

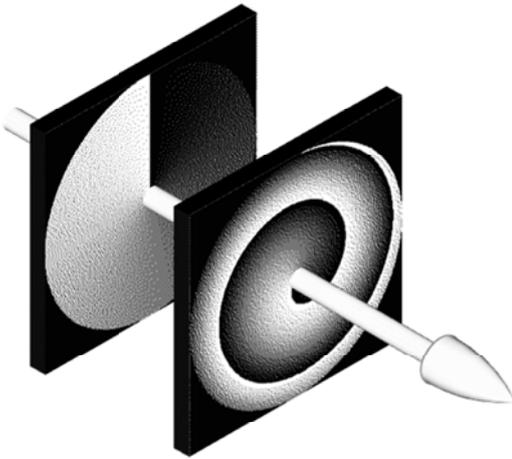


FIG. 10A

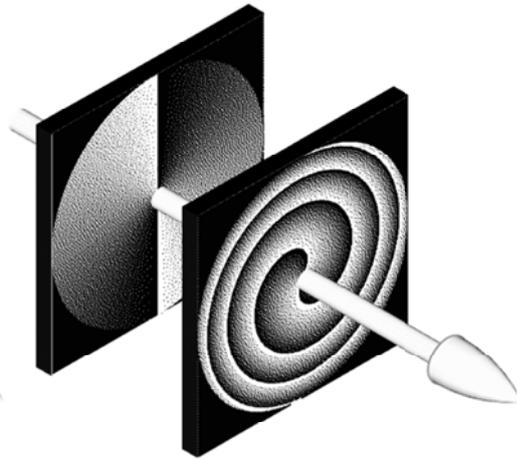


FIG. 10B

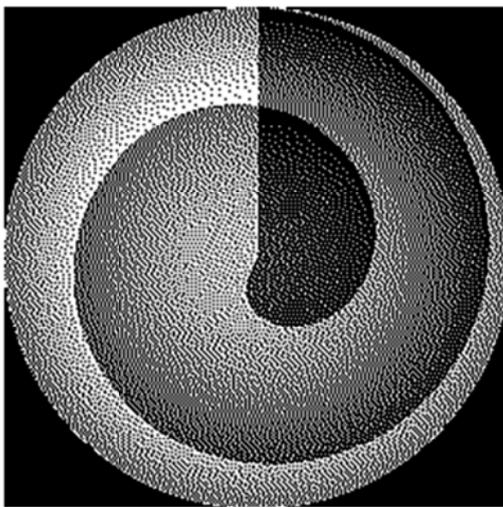


FIG. 11A

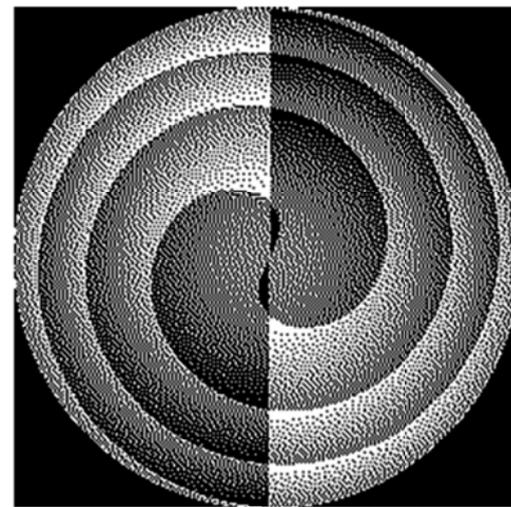


FIG. 11B

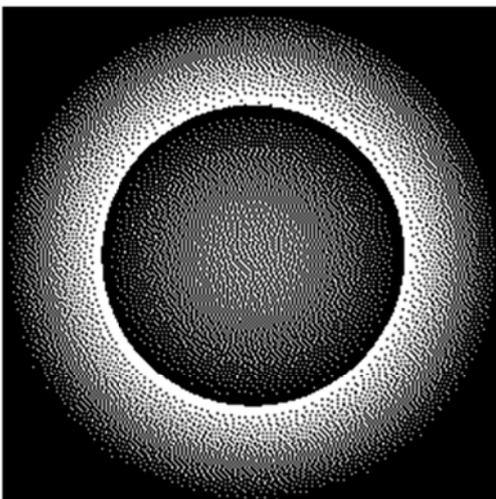


FIG. 12A

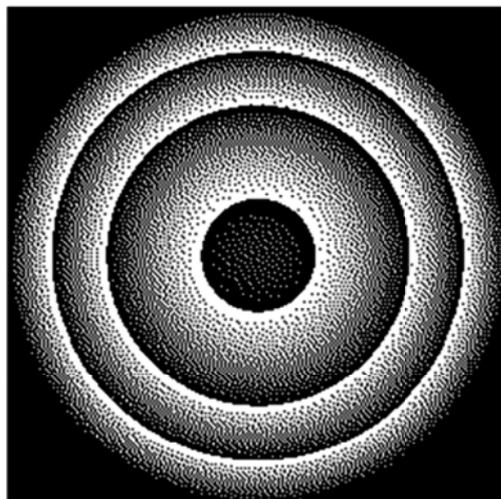


FIG. 12B

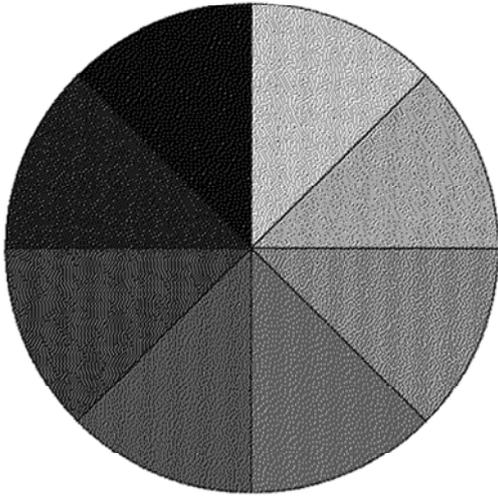


FIG. 13A

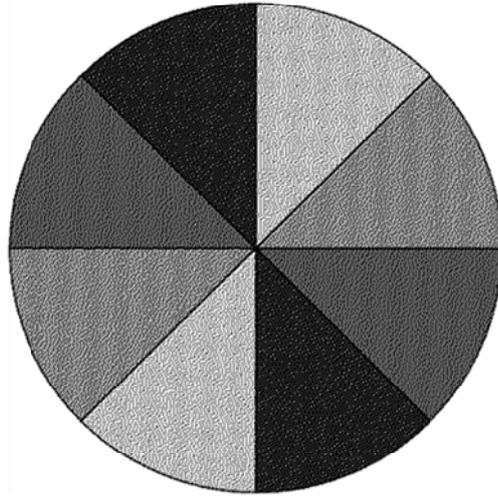


FIG. 13B

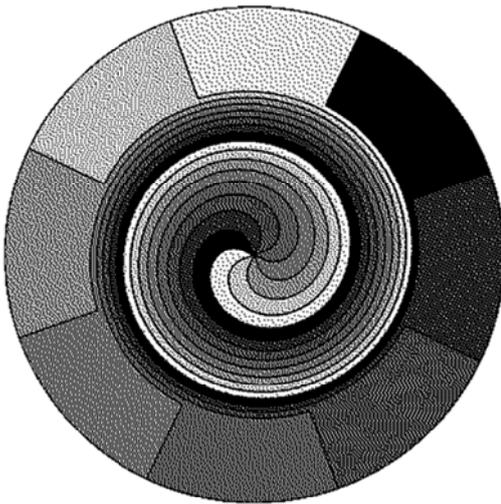


FIG. 14A

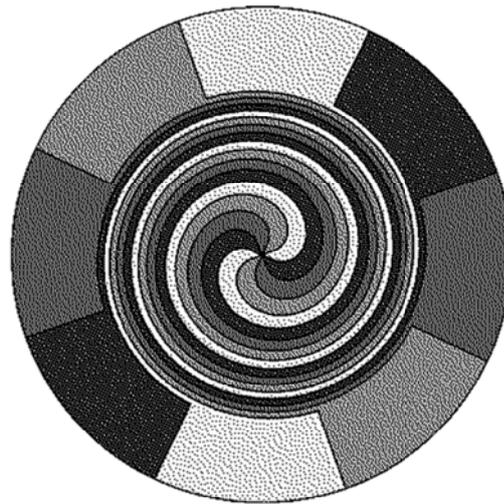


FIG. 14B

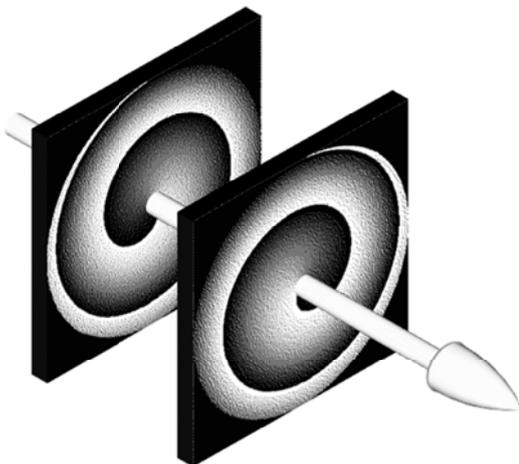


FIG. 15A

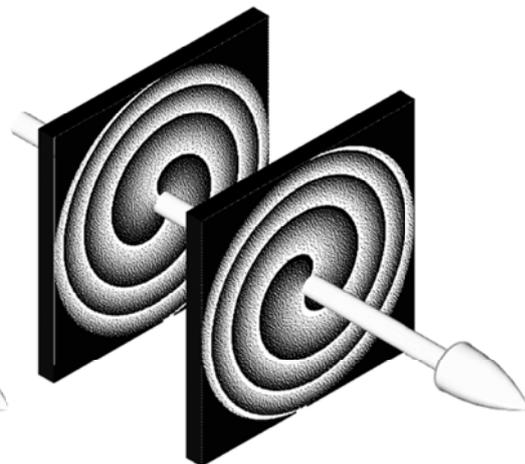


FIG. 15B

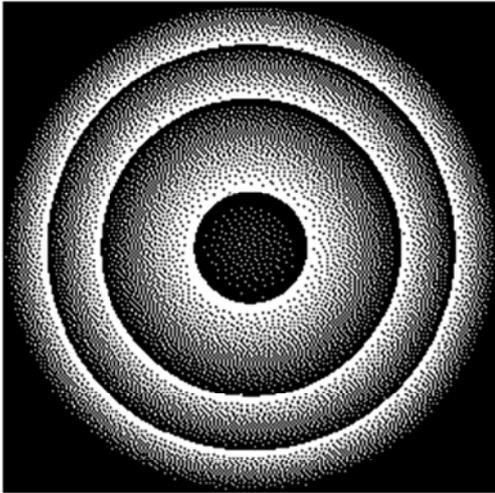


FIG. 16A

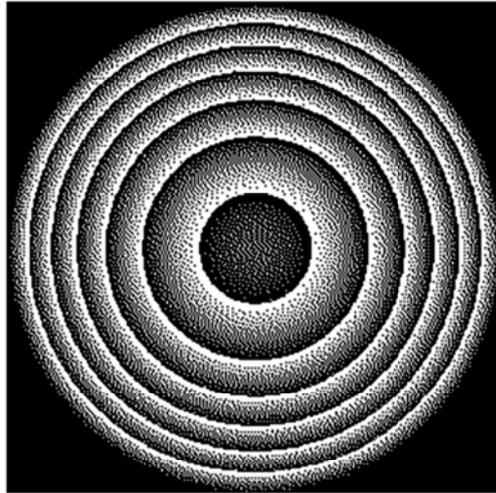


FIG. 16B

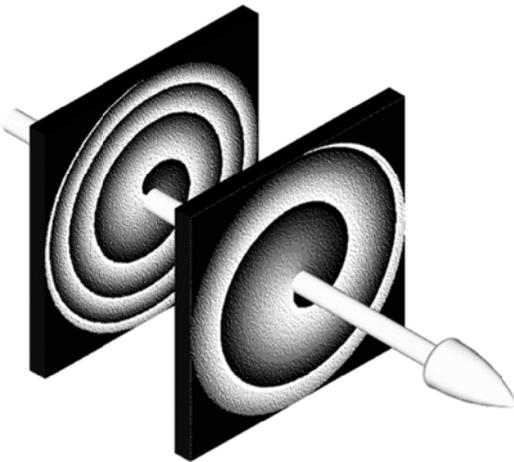


FIG. 17A

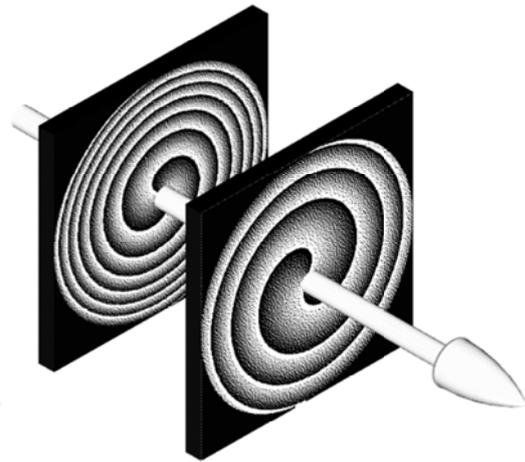


FIG. 17B

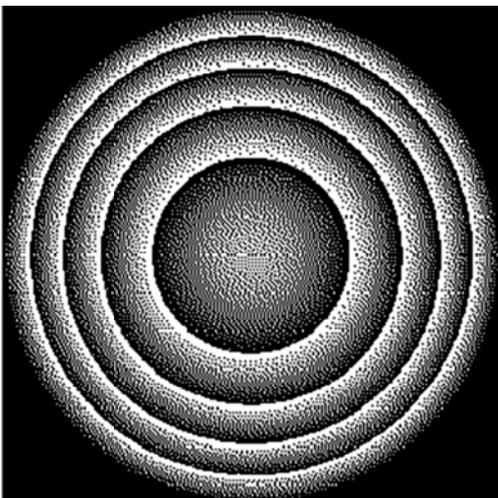


FIG. 18A

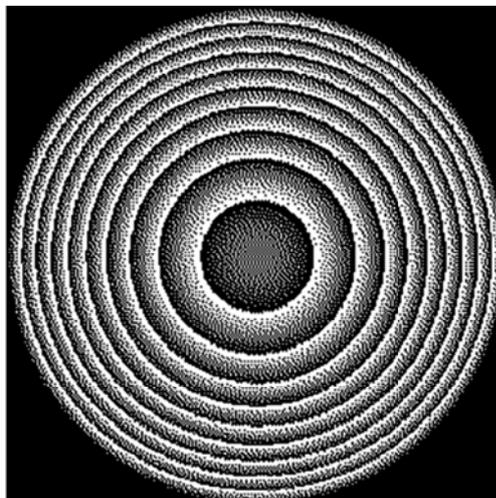


FIG. 18B

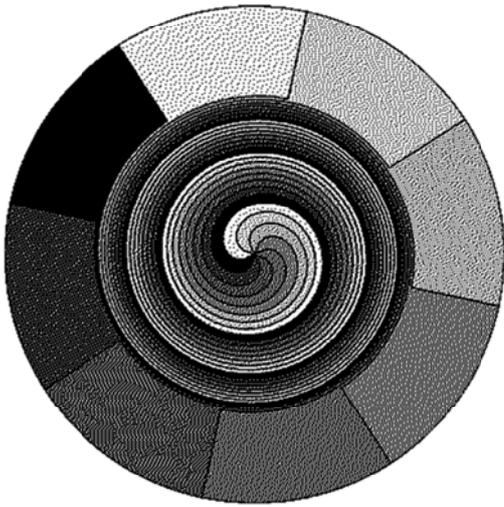


FIG.19A

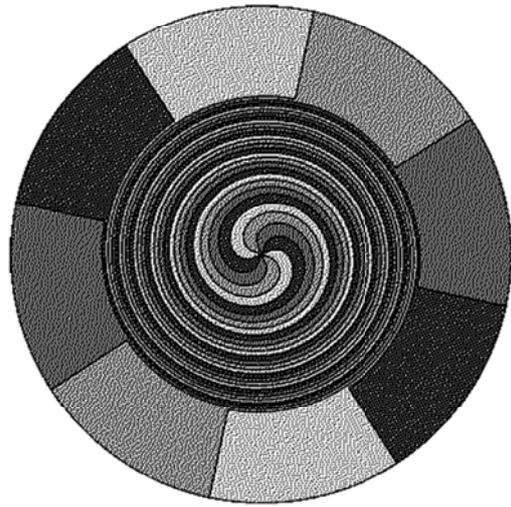


FIG.19B



②① N.º solicitud: 201830891

②② Fecha de presentación de la solicitud: 14.09.2018

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ALBERO, J. et al.: "Liquid Crystal Devices for the Reconfigurable Generation of Optical Vortices". JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 15/09/2012, Vol. 30, N° 18, Páginas 3055-3060 [en línea][recuperado el 08/04/2019], <DOI: 10.1109/JLT.2012.2211567>	1,6,7
A	15/09/2012, Vol. 30, N° 18, Páginas 3055-3060 [en línea][recuperado el 08/04/2019], <DOI: 10.1109/JLT.2012.2211567>	13-15
A	KR 20120124344 A (CHOI H H) 13/11/2012, Todo el documento.	1-17
A	US 2010/0007807 A1 (GALSTIAN, T.) 14/01/2010, Todo el documento.	1-17
A	CN 206162019 U (NINGBO THREDIM PHOTOELECTRICITY CO., LTD.) 10/05/2017, Todo el documento.	1, 2, 6, 7, 12-15
A	US 2016/0202493 A1 (HONG, S. H.) 14/07/2016, Resumen; párrafos [0010]-[0012], [0029]-[0089]; figuras 1-7.	1, 2, 6, 7, 12-15

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
22.04.2019

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G02F1/29 (2006.01)

G02F1/13 (2006.01)

G02B27/09 (2006.01)

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