

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 955 839**

51 Int. Cl.:

G02F 1/1333 (2006.01)

G02F 1/1337 (2006.01)

G02F 1/29 (2006.01)

G02C 7/08 (2006.01)

G02B 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2017** **E 17187777 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2023** **EP 3447567**

54 Título: **Dispositivo óptico con alineación de cristal líquido**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.12.2023

73 Titular/es:

MORROW N.V. (100.0%)
Technologiepark-Zwijnaarde 122
9052 Gent, BE

72 Inventor/es:

DE SMET, JELLE;
MARCHAL, PAUL WILFRIED CECILE y
CIRKEL, PETER

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 955 839 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo óptico con alineación de cristal líquido

5 La presente descripción se refiere a dispositivos ópticos, en particular a dispositivos ópticos que comprenden un líquido.

10 La presbicia es un trastorno bien conocido en el que el ojo pierde su capacidad para enfocar a corta distancia, afectando a más de 2 mil millones de pacientes en todo el mundo. Las soluciones clásicas incluyen lentes pasivos como gafas de lectura, lentes progresivas o lentes de contacto multifocales. Sin embargo, estas lentes pasivas suelen tener un campo de visión limitado, un contraste reducido o tiempos de adaptación largos.

15 Por lo tanto, las lentes reenfocables, donde la longitud focal de una parte de la lente puede ser cambiada, han atraído mucha atención en este campo, ya que eliminarían muchos de los problemas conocidos. Aunque existen algunas soluciones opto-mecánicas, se prefieren las soluciones electro-ópticas ya que son más fáciles de reconfigurar, tienen un tiempo de respuesta más rápido y son mecánicamente más robustas. La mayoría de las soluciones electro-ópticas requieren una cavidad llena de uno o más líquidos y generalmente utilizan una implementación basada en cristal líquido. Si bien la tecnología de pantalla de cristal líquido es muy madura, encontrar una forma de integrar una lente de cristal líquido con capacidad de enfoque en lentes oftálmicas ha resultado ser difícil, principalmente debido a la forma de menisco que suelen tener las lentes oftálmicas.

20 Por ejemplo, las lentes de cristal líquido reenfocables existentes se describen en el documento US 7.728.949. Esta patente describe lentes que consisten en dos mitades de lente de plástico: una primera mitad de lente curvada con una estructura óptica difractiva/refractiva y una segunda mitad de lente. En ambas mitades de la lente se depositan electrodos transparentes. Las mitades de la lente se pegan juntas en toda la superficie, excepto en el área de la estructura óptica, con un adhesivo curable por UV. En la ubicación de la estructura óptica, un material cristalino líquido llena el espacio entre ambas mitades de la lente. En el estado apagado, el cristal líquido tiene el mismo índice de refracción que el sustrato de plástico de las mitades de la lente. A continuación, oculta la estructura difractiva/refractiva y no hay acción de lente. Al aplicar un campo eléctrico entre las mitades de la lente, se modula el índice de refracción del material cristalino líquido y se vuelve diferente de la estructura óptica difractiva/refractiva subyacente, lo que conduce a la acción de la lente.

25 El enfoque anterior, donde la lente de cristal líquido se fabrica directamente en dos mitades de lente relativamente gruesas (>1 mm), tiene una serie de desventajas. Es muy difícil fabricar en gran volumen debido a que la deposición conformal de la capa de electrodo sobre la superficie curva de la estructura óptica difractiva/refractiva es difícil de realizar y puede generar problemas de rendimiento y confiabilidad. Obtener un sello rentable y estéticamente limpio utilizando un proceso de llenado de una sola gota de última generación es difícil de lograr en lentes ultrafinas, lo que dificulta la producción en gran volumen de este enfoque. La estructura óptica difractiva/refractiva puede tener una superficie plana, pero esto limita el diámetro máximo en los diseños típicos de lentes delgadas donde la lente plana necesita ser integrada de alguna manera entre las superficies curvas trasera y frontal. La estructura óptica difractiva/refractiva puede ser curva, pero entonces el cristal líquido puede derramarse durante el proceso, lo que lleva a la contaminación de las superficies y a una mala adherencia del pegamento. Llenar la cavidad después de la adhesión es otra opción, pero puede dejar visible el canal a través del cual se llena la lente y comprometer la estética de esta. Hay que fabricar cada lente en blanco por separado, lo que limita la capacidad de producción. Dado que generalmente se requiere un cambio de longitud focal independiente de la polarización, uno debe usar una estructura de lente multicapa con cristales líquidos nemáticos, por ejemplo, dos capas con alineación ortogonal para ambas polarizaciones, o usar una sola capa combinada con un cristal líquido colestérico. El enfoque hace que sea realmente difícil crear una estructura de lente de múltiples capas, obligando a utilizar cristal líquido colestérico para construir una lente independiente de la polarización con solo una capa. Sin embargo, se sabe que para las personas expertas en el estado de la técnica es muy difícil controlar la opacidad de las capas de colesteroína, especialmente las capas gruesas, debido a las líneas de inclinación y a la gran energía interna de las capas de colesteroína. Para evitar la opacidad de los cristales líquidos colestéricos, es necesario reducir el espesor de la capa de cristal líquido, pero esto limita la altura de la llama, lo que obliga a utilizar un paso más corto de las llamas en la estructura óptica difractiva/refractiva, aumentando así las aberraciones cromáticas. Como se mencionó, las lentes de múltiples capas que utilizan cristales líquidos planos en estado apagado pueden resultar en una lente independiente de la polarización con menos turbidez, pero el enfoque propuesto dará lugar a lentes con un espesor considerable y muchos problemas de manipulación.

30 Otra forma de abordar los desafíos mencionados anteriormente podría ser formar primero una capa de cristal líquido de película delgada en una superficie plana y luego incrustar esta superficie plana en lentes pasivas. Se describe un intento en el documento EP 1.428.063B1, que describe un método para construir insertos de lentes electrocromáticas basados en cristal líquido. El enfoque descrito consiste en fabricar primero un dispositivo de cristal líquido en un sustrato plano. El dispositivo consiste en dos sustratos opuestos que se enfrentan, en los cuales se depositan conductores transparentes, separados entre sí mediante separadores de bolas clásicas o partículas esféricas de polímero. El espacio se llena con una capa de cristal líquido y se sella posteriormente. El dispositivo plano se termoforma para su integración en bloques de lentes. El dispositivo descrito no tiene ninguna acción de lente, es decir, se puede utilizar para cambiar la transparencia de la lente, no la potencia óptica.

5 US8587734 describe un sistema de lente de cristal líquido adaptativo con un primer conjunto de sustratos, un segundo conjunto de sustratos que tiene un perfil de fase continua, y una capa de cristal líquido dispuesta entre el primer y segundo conjunto de sustratos. Una desventaja del sistema de lentes descrito es que no se puede garantizar la confiabilidad óptica.

Además, relevantes para la invención son EP3255479, US2013128334, US2007216851 y US2015192781.

10 Por lo tanto, existe la necesidad de un dispositivo óptico con un perfil de fase ajustable eléctricamente, por ejemplo, un cambio en la longitud focal, mediante el cual este dispositivo pueda ser fabricado en masa con propiedades ópticas confiables.

En un primer aspecto de la invención, un dispositivo óptico se define según la reivindicación 1 adjunta.

15 La invención se basa en la observación de que se producen declinaciones de cristal líquido cuando se activan las moléculas de cristal líquido que se encuentran en superficies inclinadas. En particular, la topografía de la superficie, formada por las pendientes, inclina las moléculas de LC y, por lo tanto, cuando se enciende el campo, puede orientar las moléculas de LC (con sus dipolos inherentes) en una dirección no deseada. Esto provoca declinaciones, dependiendo de las superficies inclinadas, en partes del dispositivo óptico. Tales desviaciones cambian la forma en que la luz se transmite a través del dispositivo óptico, lo que provoca efectos ópticos no deseados. En la práctica, la reacción óptica continua deseada del dispositivo se interrumpe y se pueden observar fallas ópticas mediante el dispositivo óptico. Esto disminuye la confiabilidad óptica del dispositivo óptico.

20 Al compensar el ángulo de inclinación de al menos una superficie inclinada en la dirección de alineación, se evitan la mayoría de estas desalineaciones. Las moléculas de LC tienden a orientarse en una dirección de alineación predeterminada ya que la pendiente se compensa. Esto disminuye significativamente las fallas ópticas y mejora la confiabilidad óptica del dispositivo.

25 En el dispositivo óptico, las moléculas de cristal líquido están en contacto con las superficies inclinadas. Dado que estas superficies inclinadas tienen un ángulo de inclinación con respecto a las capas de electrodos, una molécula de LC en contacto con la superficie inclinada y con un inclinación previa de cero tenderá a mostrar un ángulo correspondiente al ángulo de inclinación con respecto a las capas de electrodos. Este ángulo de la molécula de LC con relación a las capas de electrodo se denomina ángulo de inclinación efectivo. Este ángulo de inclinación efectivo influye en la dirección de orientación cuando el dispositivo está encendido. La invención tiene como objetivo adaptar estos ángulos de inclinación efectivos mediante la adición de un inclinación previa para obtener una dirección de orientación más uniforme cuando el dispositivo se enciende.

30 Dicho material cristalino líquido está alineado verticalmente en un estado apagado y en donde dicha inclinación previa compensa la inclinación al orientar dicho material para alinearse, en un estado encendido, sustancialmente paralelo a la dirección de alineación. Compensar la pendiente tiene como objetivo asegurar que las moléculas de LC se alineen en una dirección predeterminada cuando el dispositivo óptico esté en estado encendido. En un estado apagado, las moléculas de LC se alinean verticalmente. La presente invención tiene ventajas sustanciales para dispositivos ópticos con moléculas de LC alineadas verticalmente.

35 Dicha inclinación previa compensa la pendiente mediante la elección de la inclinación previa de tal manera que las proyecciones en la primera capa de electrodo de las moléculas en el material cristalino líquido se encuentren dentro de un rango de 60 grados desde la dirección de alineación, preferiblemente dentro de un rango de 45 grados desde la dirección de alineación, y más preferiblemente dentro de un rango de 30 grados desde la dirección de alineación. Más preferiblemente, este último se mide en un estado apagado del dispositivo óptico. Esto significa que cuando las moléculas de LC se alinean verticalmente, su vector muestra una componente vertical, así como una componente en la dirección de alineación. Este componente en la dirección de alineación es, al menos en una modalidad preferida, más grande que un componente perpendicular de manera que una proyección de las moléculas se encuentre dentro del rango mencionado desde la dirección de alineación.

40 La dirección de alineación define la orientación prevista de la mayoría de las moléculas al activar un campo eléctrico. Sin embargo, si las moléculas se orientan en esta dirección está relacionado con su orientación con respecto a las capas de electrodos. Por lo tanto, cuando se realiza una proyección de las moléculas en la primera capa de electrodo, se puede determinar que las moléculas se orientan en la dirección deseada cuando la proyección se encuentra dentro del rango mencionado anteriormente desde la dirección de alineación. Cuando se cumple esta condición, las moléculas tenderán a orientarse en la dirección de alineación cuando se active el campo. Esto proporciona una reacción predecible y, por lo tanto, confiable de las moléculas para que se puedan alcanzar los efectos ópticos deseados.

45 Preferiblemente, el dispositivo óptico comprende múltiples segmentos, y en donde la dirección de alineación de uno de los múltiples segmentos es paralela y opuesta a la dirección de alineación de otro de los múltiples segmentos. Las pruebas han demostrado que las moléculas de LC podrían ser provistas de un inclinación previa para compensar una

inclinación en direcciones opuestas. Sin embargo, según las pruebas, se prefiere que todas las direcciones de alineación en el dispositivo óptico sean paralelas.

5 Preferiblemente, el material cristalino líquido tiene una inclinación previa en una dirección de alineación única y en donde la inclinación previa compensa el ángulo de inclinación de al menos una superficie inclinada al ser mayor que dicho ángulo de inclinación. Además, preferiblemente, dicho ángulo de inclinación se mide en un plano que comprende la dirección de alineación y es perpendicular a dicha primera capa de electrodo. La persona experta se dará cuenta de que cuando, por ejemplo, se proporcionan estructuras difractivas similares a Fresnel, se alternan superficies inclinadas con superficies de conexión que interconectan las superficies inclinadas adyacentes. Las superficies de conexión están orientadas sustancialmente perpendicularmente a las superficies inclinadas o sustancialmente perpendicularmente a las capas de electrodos. En la práctica, estas superficies de conexión pueden influir en la orientación de las moléculas de LC. Sin embargo, se considera que estas superficies de conexión tienen una influencia menor y, por lo tanto, no se consideran parte de las superficies inclinadas.

10
15 Las pruebas han demostrado que es especialmente deseable orientar las moléculas de LC en una única dirección de alineación cuando se activa el campo entre la primera y la segunda capa de electrodos. Esto se obtiene mediante la compensación de las pendientes en la dirección de alineación única. Se ha observado que los ángulos efectivos de inclinación de las moléculas de LC pueden variar siempre y cuando se pueda observar una única dirección de alineación. Esto se obtiene mediante la compensación de la pendiente en la dirección de alineación. Los componentes del ángulo de inclinación efectivo en otras direcciones son secundarios en cuanto a su efecto en la orientación de las moléculas de LC, mientras que el componente del ángulo de inclinación efectivo en la dirección de alineación determina principalmente la orientación de las moléculas de LC.

20
25 Preferiblemente, la inclinación previa es sustancialmente uniforme en el dispositivo óptico. Alternativamente, es posible ajustar selectivamente los ángulos de inclinación previa dependiendo de la posición en el dispositivo óptico (por ejemplo, utilizando un material fotosensible), asegurando que el ángulo de inclinación absoluto sea el mismo en todo el dispositivo. Proporcionar un ángulo de inclinación previa sustancialmente constante es bastante fácil de realizar y controlar. Para alterar la inclinación previa, se puede aumentar la intensidad con la que se frota la superficie (Stohr et al, 'Microscopic Origin of Liquid Crystal Alignment on Rubbed Polymer Surfaces') o utilizar materiales de alineación fotosensibles (Yaroshchuk et al, 'Photoalignment of liquid crystals: basics and current trends') o una mezcla de LC alineados vertical y horizontalmente (Wu et al., 'Controlling pretilt angles of liquid crystal using mixed polyimide alignment layer') u otros enfoques explicados en la literatura.

30
35 La al menos una superficie inclinada está inclinada con respecto al menos a la primera capa de electrodo. La al menos una superficie inclinada comprende múltiples superficies inclinadas con respecto a la primera capa de electrodo en múltiples direcciones y/o múltiples ángulos de inclinación. Las superficies inclinadas forman una estructura óptica similar a la de Fresnel.

40
45 Preferiblemente, la estructura óptica difractiva tiene una forma elipsoide de manera que al menos una superficie inclinada comprende segmentos de superficie inclinada con orientaciones de inclinación opuestas. La forma elipsoide se utiliza a menudo con fines ópticos y crea superficies inclinadas opuestas de tal manera que, sin compensación de inclinación previa, las moléculas de LC inevitablemente se orientarían en direcciones opuestas, creando así las declinaciones descritas anteriormente. Preferiblemente, al utilizar una forma elipsoide como estructura óptica difractiva, se elige la dirección de alineación para que sea paralela al eje más corto del elipsoide. Esto implica que la inclinación previa es paralela a este eje más corto. En esta dirección, los ángulos de inclinación de la estructura óptica difractiva pueden ser compensados con un inclinación previa mínimo. En esta dirección, se suprimen las pendientes que causan declinaciones.

50 La primera capa de electrodo se extiende sustancialmente paralela a la segunda capa de electrodo. Preferiblemente, se proporcionan varios separadores entre la superficie inclinada y la segunda capa de electrodo. Los separadores mantienen las capas a una distancia predeterminada entre sí, permitiendo que las capas se extiendan de forma sustancialmente paralela.

55 La invención también se refiere a un método de fabricación de un dispositivo óptico según se define en la reivindicación 14 adjunta.

Utilizando este método, se puede fabricar un dispositivo óptico con las propiedades ópticas confiables descritas anteriormente. La persona experta se dará cuenta de que la inclinación previa puede ser proporcionado utilizando múltiples técnicas y, dependiendo de la técnica utilizada, en diferentes etapas del proceso de fabricación.

60 Preferiblemente, el paso de proporcionar la inclinación previa comprende uno de frotar el dispositivo óptico en dicha dirección de alineación y utilizar materiales de alineación fotosensibles.

65 La invención se describirá ahora con más detalle con respecto a los dibujos que ilustran algunas modalidades preferidas de la invención. En las figuras:

la Figura 1 muestra una sección transversal de un dispositivo óptico de acuerdo con una modalidad de la invención;

la Figura 2 muestra una orientación de LC prevista en un estado encendido y apagado del dispositivo;

5 la Figura 3 ilustra los efectos de una dirección de alineación en superficies inclinadas;

la Figura 4 ilustra la inclinación previa compensando las superficies inclinadas;

10 la Figura 5 ilustra vistas de una parte de una superficie de lente en donde se muestra los efectos de la inclinación previa en las moléculas de LC en múltiples ubicaciones de la superficie de la lente;

la Figura 6 ilustra una vista en perspectiva de una superficie de lente en donde la superficie está segmentada y se aplican diferentes inclinaciones previas a los segmentos;

15 la Figura 7 ilustra múltiples opciones para aplicar una inclinación previa a una superficie de lente.

En los dibujos se ha asignado el mismo número de referencia a un elemento igual o análogo.

20 La presente descripción se realizará con respecto a modalidades particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero la descripción no se limita a ello. Los dibujos descritos son solo esquemáticos y no son limitantes. En los dibujos, el tamaño de algunos elementos puede estar exagerado y no estar dibujado a escala con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no necesariamente corresponden a reducciones prácticas reales de la descripción.

25 Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones se utilizan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Los términos son intercambiables en circunstancias apropiadas y las modalidades de la descripción pueden funcionar en secuencias diferentes a las descritas o ilustradas aquí.

30 Además, los términos superior, inferior, encima, debajo y similares en la descripción y las reivindicaciones se utilizan con fines descriptivos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Los términos utilizados son intercambiables en circunstancias apropiadas y las modalidades de la descripción aquí descritas pueden funcionar en otras orientaciones diferentes a las descritas o ilustradas aquí.

35 El término “que comprende”, utilizado en las reivindicaciones, no debe interpretarse como limitado a los medios enumerados a continuación; no excluye otros elementos o pasos. Debe interpretarse como especificando la presencia de las características, enteros, pasos o componentes mencionados, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, enteros, pasos o componentes adicionales, o grupos de estos. Por lo tanto, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende los medios A y B” no debe limitarse a dispositivos que consisten únicamente en los componentes A y B. Esto significa que, con respecto a la presente descripción, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B. El término “al menos uno de”, utilizado en las reivindicaciones, debe interpretarse como especificando la presencia de uno o más de las características, enteros, pasos o componentes mencionados, reemplazando así la expresión y/o. Por lo tanto, al menos uno de A y B debe interpretarse como A y/o B. El término “uno de”, utilizado en las reivindicaciones, debe interpretarse como especificando la presencia de un solo uno de las características, enteros, pasos o componentes mencionados, reemplazando así la expresión o. Por lo tanto, uno de A y B debe interpretarse como A o B.

50 Un termoplástico, o plástico termosensible, es un material plástico, un polímero, que se vuelve maleable o moldeable por encima de una temperatura específica y se solidifica al enfriarse. Preferiblemente, estas capas termoplásticas están hechas de polímeros que son ópticamente transparentes, es decir, que tienen entre un 5 y un 100 % de eficiencia de transmisión de luz en el espectro visual, por ejemplo, de 400 a 700 nm. Ejemplos son el tereftalato de polietileno, el triacetato de celulosa, el poliuretano transparente de policarbonato o los materiales de tiouretano utilizados para fabricar gafas como el Mitsui MR8. Las películas hechas de estos materiales pueden tener espesores que varían entre 5 y 1000 μm y típicamente resisten radios de curvatura de hasta 3 mm.

55 El elemento óptico difractivo comprende una estructura de lente de Fresnel que induce un perfil de fase predeterminado en la luz transmitida.

60 El material fluido que llena la cavidad 7 es un material cristalino líquido. Preferiblemente, el índice de refracción del material cristalino líquido que llena la cavidad se ajusta preferiblemente al índice de refracción del elemento óptico difractivo 4, el borde 6 y el adhesivo al menos para uno de los estados del material cristalino líquido. Por ejemplo, el índice ordinario del conocido cristal líquido E7 es igual al pegamento UV NOA74. El material cristalino líquido está alineado verticalmente. Un material cristalino líquido alineado verticalmente es un material en el cual los cristales líquidos se alinean naturalmente de forma vertical hacia una superficie de alineación. En otras palabras, cuando no se aplica voltaje, en el estado de apagado del dispositivo óptico, los cristales líquidos permanecen sustancialmente perpendiculares a la superficie de alineación. En una parte inferior del dispositivo óptico, la superficie de alineación

está principalmente formada por las superficies inclinadas de la estructura difractiva. En la parte superior del dispositivo óptico, la superficie de alineación está formada por la segunda capa de electrodo o la capa que comprende el segundo electrodo. Las capas de alineación superior e inferior forman las paredes inferior y superior de la cavidad del dispositivo óptico. En una modalidad, la superficie de alineación inferior y la superficie de alineación superior no son paralelas, sino que muestran segmentos inclinados correspondientes a las superficies inclinadas.

Se ha observado que los cristales en materiales cristalinos líquidos alineados verticalmente tienden a adoptar, en su estado de reposo, una posición sustancialmente perpendicular con respecto a la superficie de contacto, que es la superficie de alineación, en lugar de con respecto a la capa de electrodo. Una consecuencia de este comportamiento en el dispositivo óptico de la invención es que al menos una parte de los cristales adopta una posición, en su estado de apagado, que está inclinada con respecto a la primera capa de electrodo. Esta inclinación está directamente relacionada con la pendiente de al menos una superficie inclinada en la estructura difractiva. Por lo tanto, típicamente, esta inclinación con respecto a la capa de electrodo es discontinua en el dispositivo óptico. En la descripción adicional, la inclinación de la molécula de LC con respecto a la normal de la primera capa de electrodo se denomina ángulo de inclinación efectivo. En la Figura 4, se ilustra el ángulo de inclinación efectivo con la indicación de referencia β .

El concepto de inclinación previa es conocido para los materiales de LC. En la literatura, el término inclinación previa puede tener definiciones ligeramente diferentes, generalmente dependiendo de las circunstancias. En la presente descripción, se utilizan materiales cristalinos líquidos alineados verticalmente, y la capa de alineación es discontinua, mostrando diferentes direcciones de inclinación y/o ángulos con respecto a las capas de electrodos. La inclinación previa se define en este contexto como el ángulo, en un estado apagado del dispositivo, entre los cristales de LC y una normal de superficie de un material de alineación. El material de alineación es el material en contacto con las moléculas de LC. En la Figura 4, se ilustra la inclinación previa con la indicación de referencia α . Según esta definición, queda claro que cuando la superficie de alineación es paralela a la primera capa de electrodo, el ángulo de inclinación efectivo β y la inclinación previa α son iguales. Esto se ilustra en la Figura 4 en la parte central de la figura. Además, según esta definición, cuando no se proporciona una inclinación previa, las moléculas de LC se extienden sustancialmente perpendicularmente a la superficie de alineación.

Se describen múltiples técnicas en la literatura para proporcionar una inclinación previa a las moléculas de LC. Muchas de estas técnicas tienen como objetivo orientar las moléculas de LC en una dirección predeterminada. Esto influye en la dirección hacia la cual las moléculas de LC se orientan al cambiar al estado encendido. Para la mayoría de los sistemas ópticos, se prefiere que estas moléculas de LC se orienten en una sola dirección. Esto también deja claro que la inclinación previa en muchos casos no solo define un ángulo, sino también define una dirección en la que se orienta el ángulo. Por ejemplo, cuando se realiza la inclinación previa mediante frotado, la dirección del frotado determina la dirección de la inclinación previa y la intensidad del frotado determina el ángulo de inclinación previa.

Para completar, se explica los efectos ópticos de los materiales de LC en un dispositivo óptico, incluyendo el efecto llamado fuga de luz. Para garantizar una respuesta óptica uniforme para una polarización en toda la estructura difractiva, las moléculas de LC nemáticas deben permanecer alineadas uniaxialmente en todos los estados. De esta manera, la retardación causada por las moléculas birrefringentes no afectará la polarización de la luz polarizada linealmente en dos orientaciones perpendiculares específicas. Cuando el perfil de fase de la luz transmitida es influenciado, por ejemplo, por la altura de la estructura difractiva en diferentes ubicaciones, se puede controlar cuidadosamente para exhibir un comportamiento específico, como enfocarse en un punto. La luz polarizada linealmente paralela a la dirección uniaxial seguirá polarizada linealmente, pero con un perfil de fase cambiado, mientras que la dirección perpendicular permanece sin cambios. Un dispositivo óptico con la respuesta deseada puede construirse colocando un polarizador lineal delante de la celda de cristal líquido con la orientación de corrección (a costa de una reducción en la transmisión de luz total), o colocando dos celdas idénticas en un ángulo de 90 grados, lo que resulta en un dispositivo independiente de la polarización.

Sin embargo, si la orientación molecular se desvía de una configuración uniaxial, por ejemplo, debido a la superficie de la estructura difractiva, se produce una retardación dependiente de la posición. Como resultado, se producirá un cambio dependiente de la posición en la polarización y el perfil de fase local se convertirá en una superposición de dos estados. A diferencia de la orientación uniaxial perfecta, un polarizador lineal no puede eliminar el perfil de fase no deseado en todo el dispositivo y, por lo tanto, se producirá una doble imagen dependiente de la posición. De manera similar, dos dispositivos idénticos de este tipo darían lugar a imágenes dobles dependientes de la posición. Este efecto se llama fuga de luz y se minimiza mediante la presente invención.

Preferiblemente, el sustrato inferior comprende la primera capa termoplástica transparente óptica 2, y comprende un primer electrodo transparente óptico 8. El sustrato superior comprende la segunda capa termoplástica transparente óptica 3, y comprende el segundo electrodo transparente óptico 9. Las capas 2 y 3 se proporcionan a una distancia fija d , preferiblemente establecida por un número de separadores 5 colocados encima del elemento óptico difractivo 4. La distancia d se mantiene preferiblemente mediante el borde 6. El elemento óptico difractivo 4, los separadores 5 y el borde 6 se posicionan entre las capas 2 y 3 y entre las capas de electrodos 8 y 9, como se ilustra en la Figura 1. La distancia d puede estar entre 10 nanómetros (nm) y 100 micrómetros (μm), típicamente entre 50 nm y 50 μm .

En una modalidad preferida, el borde 6, el separador 5 y el elemento óptico difractivo 4 tienen la misma composición de material. Por ejemplo, el separador 5, el elemento óptico difractivo 4 y el borde 6 pueden estar hechos de un monómero de alto índice de refracción, como el diacrilato de bisfenol fluorado o adhesivos UV de alto índice de refracción, como NOA 1625 o NOA 164.

5 Como se describe a continuación, el borde 6, el separador 5 y el elemento óptico difractivo 4 pueden ser formados utilizando tecnología de nanoimpresión a partir de la misma capa, con la composición de material mencionada anteriormente, presente en el sustrato inferior.

10 La tecnología de nanoimpresión es una tecnología de patrón más simple, de menor costo y de alto rendimiento en comparación con la tecnología de patrón litográfico utilizada en la fabricación de semiconductores y paneles planos. Como se describe, entre otros, en "Una revisión de la litografía de nanoimpresión de rollo a rollo", de Kooy et al en Nanoscale Research Letters 2014, incorporado por referencia, la litografía de nanoimpresión implica el uso de un molde prefabricado que contiene una inversión del patrón deseado. Este molde se presiona en un sustrato recubierto de polímero, mediante el cual el patrón se replica en el polímero mediante su deformación mecánica. Después de la deformación, el patrón se fija mediante un proceso térmico en el polímero deformado o exponiendo el polímero deformado a la luz ultravioleta, lo que resulta en un endurecimiento del patrón nanoimpreso. A continuación, se retira el molde. El patrón inverso puede corresponder a una única estructura a formar. Formar una matriz de estructuras en el polímero requiere repetir el proceso de nanoimpresión tantas veces como el número de estructuras necesarias. La capacidad de producción puede aumentarse si el molde contiene una matriz del patrón inverso, de modo que durante una sola nanoimpresión se formen simultáneamente el número deseado de estructuras en el mismo polímero.

25 Preferiblemente, la superficie del elemento óptico difractivo 4, que está orientada hacia la segunda capa termoplástica 3, contiene ranuras submicrónicas configurados como una capa de alineación para un material cristalino líquido. Estas ranuras pueden ser creadas al formar el elemento óptico difractivo 4 mediante nanoimpresión, como se discutió en los párrafos anteriores. El molde utilizado en el proceso de nanoimpresión no solo contiene la forma negativa del borde 6, el separador 5 y el elemento óptico difractivo 4, sino que su superficie interna, al menos en la ubicación de la forma del elemento óptico difractivo 4, contiene ranuras en un patrón circular o rectangular, por ejemplo. Este enfoque permite formar estas características de manera integral. Y.J. Liu et al describe la formación de estos patrones de alineación utilizando la tecnología de nanoimpresión en 'Nanoimprinted ultrafine line and space nano-gratings for liquid crystal alignment', al igual que R. Lin et al. en 'Molecular-Scale Soft Imprint Lithography for Alignment'.

35 Las propiedades de alineación del material cristalino líquido no solo son determinadas por la geometría de las ranuras en sí mismas, sino también por el material que constituye el elemento óptico difractivo 4 en el cual se forman las ranuras. Si se utiliza otro material para la misma configuración de las ranuras, se puede formar una capa adicional de alineación conformal que cubra estas ranuras para proporcionar diferentes propiedades de alineación del material. Por ejemplo, una capa de alineación homeotrópica podría ser recubierta, superponiéndose al menos en parte a las ranuras si el material del elemento óptico difractivo alinea las moléculas de cristal líquido de manera planar. Esta capa de alineación conformal puede cubrir completamente la superficie ranurada del elemento óptico difractivo 4. Alternativamente, solo una parte de esta superficie ranurada puede estar cubierta con esta capa adicional de alineación conformal, lo que permite aprovechar la diferencia en las propiedades de alineación de los materiales entre la capa adicional de alineación conformal y el elemento óptico difractivo 4.

45 Una capa de un material de nivelación puede estar presente dentro de la cavidad 7 encima del elemento óptico difractivo 4. También puede estar presente una capa de alineación en la parte inferior de la cavidad 7, mediante ranuras formadas en la superficie de la capa de nivelación plana, cuya superficie está orientada hacia la segunda capa termoplástica 3. Durante el funcionamiento del dispositivo 1, estas ranuras ayudan a orientar los cristales líquidos presentes en la cavidad 7. Preferiblemente, otra capa de alineación también está presente en el lado de la cavidad 7 adyacente al segundo electrodo transparente óptico 3, de manera que se enfrenta a la superficie ranurada.

50 Los materiales, respectivamente, del elemento óptico difractivo 4 y de la capa de planarización, al menos en su interfaz, pueden tener el mismo índice de refracción. Además, la constante dieléctrica en campos eléctricos de baja frecuencia (por ejemplo, 1 Hz-10 kHz) de estos materiales puede ser diferente. Este material de nivelación también se puede utilizar para formar la parte superior del borde 6. Si está presente una muesca 16, esta se forma en este material de nivelación.

60 Los electrodos transparentes ópticos pueden estar hechos de materiales como Óxido de Indio y Estaño (ITO), nanocables de plata ClearOhm® o tintas AGFA Orgacon. Debido a la fragilidad del ITO, se pueden utilizar materiales menos rígidos y más flexibles como PEDOT:PSS, grafeno, nanotubos de carbono o nanocables de plata. Los electrodos transparentes ópticos 8, 9 pueden ser diseñados para abordar individualmente diferentes zonas del elemento óptico difractivo 4. Estos electrodos también pueden ser diseñados para reducir la capacidad total, por ejemplo, al tener electrodos solo dentro del área del elemento óptico difractivo 4 o para separar el electrodo dentro de esta área del electrodo dentro del área del borde 6.

En un segundo aspecto de esta descripción, se utilizan dispositivos ópticos 1, tal como se describe en el aspecto anterior, en instrumentos ópticos. Cuando se inserta en un instrumento óptico, el dispositivo óptico 1 está configurado para ajustar el perfil de fase de la luz hacia el ojo.

5 Un instrumento óptico de este tipo puede ser una lente, donde el dispositivo óptico se utiliza como un inserto de lente. Al considerar aplicaciones oftálmicas, la lente podría ser una lente de gafas, una lente de contacto o una lente intraocular. Dado que tanto las lentes de gafas como las lentes de contacto generalmente tienen una forma de menisco, el dispositivo óptico puede integrarse más fácilmente en la lente cuando el dispositivo óptico 1 también está curvado con una curvatura sustancialmente igual a la curvatura de la lente en la que debe ser incrustado. Normalmente, el
10 dispositivo óptico se curvará en dos direcciones ortogonales. Para las lentes intraoculares, se puede incrustar un dispositivo óptico plano o curvado.

Tales instrumentos ópticos pueden contener más de un dispositivo óptico 1. Varios de estos dispositivos ópticos 1 se pueden apilar. Apilando múltiples dispositivos ópticos, se pueden combinar las propiedades electro-ópticas de los
15 dispositivos ópticos individuales. Por ejemplo, dos dispositivos llenos de cristal líquido nemático, pero con una alineación ortogonal pueden dar lugar a una lente sintonizable independiente de la polarización.

La Figura 2 muestra el comportamiento previsto de las moléculas de LC 10 para crear una diferencia bien controlada en el índice de refracción entre el estado encendido/apagado. Esta diferencia controlada resulta en las deseables
20 propiedades ópticas confiables del dispositivo óptico. En las figuras, las moléculas de LC en el estado apagado se denominan 10a y las moléculas de LC en el estado encendido se denominan 10b. En el estado de apagado, las moléculas de LC están alineadas verticalmente.

El dispositivo óptico que comprende las moléculas de LC opera a través de una diferencia en el índice de refracción del cristal líquido en su estado encendido y apagado. Este es el resultado de un cambio en la orientación de las
25 moléculas de LC y a menos que se controle cuidadosamente, la lente se comporta de manera errónea. La mayoría, preferiblemente todas, de las moléculas apuntan hacia arriba en el estado de reposo. En este estado, el índice de refracción del cristal líquido coincide sustancialmente con el índice de refracción del material de resina de la lente. Esto significa que el índice de refracción ordinario, n_o , de la mezcla de cristal líquido utilizada es sustancialmente el mismo que el índice de refracción del material de la lente. Esta coincidencia se realiza de manera suficiente para todas
30 las longitudes de onda de la luz visible. Por lo tanto, se prepara un material de resina para fabricar la lente con una curva de dispersión del índice de refracción que se asemeja estrechamente a la curva de dispersión de la mezcla de cristal líquido, de modo que el índice de refracción de ambos no se desvíe en más de 0,05.

35 Cuando se aplica un campo eléctrico, se desea que la mayoría, preferiblemente todas, de las moléculas de LC se alineen sustancialmente de forma horizontal, todas extendiéndose sustancialmente paralelas a un eje predeterminado, y preferiblemente apuntando en sustancialmente la misma dirección. De esta manera, existe una potencia óptica solo para una polarización y tanto la capa de alineación superior como la inferior funcionan de manera coordinada. Para que esta potencia óptica sea de utilidad práctica, la diferencia en el índice de refracción ordinario y extraordinario debe ser lo suficientemente grande, típicamente $> 0,15$.
40

La Figura 1 muestra una sección transversal de un dispositivo óptico de la invención, y muestra una situación típica en donde la estructura difractiva comprende múltiples superficies inclinadas 11 en donde las pendientes tienen diferentes direcciones de inclinación y/o diferentes ángulos de inclinación. Las lentes de Fresnel muestran un alto
45 grado de simetría. Por lo tanto, las superficies inclinadas 11 pueden tener diferentes ángulos de inclinación. Superficies inclinadas que están inclinadas en la dirección de alineación preferida 12 se denominan con 11a. Superficies inclinadas que están inclinadas en una dirección opuesta a la dirección de alineación preferida 12 se denominan con 11b. La Figura 4 muestra además una superficie plana 11c. Para obtener el comportamiento ilustrado en la Figura 2 en un dispositivo óptico con dicha estructura difractiva, según la invención, se altera la inclinación previa de las moléculas
50 de LC. El comportamiento de un material de LC, sin alterar la inclinación previa, se ilustra en la Figura 3.

Los dispositivos ópticos se crean preferentemente con una dirección de alineación preferida 12 en el poliimida. Esto asegura que la potencia de una dirección de polarización de la luz se enfoque, mientras que la otra permanece sin
55 alterar. Esto se logra, según una modalidad, mediante el frotamiento de las capas de poliimida tanto en la superficie de la lente como en la superficie de la capa sin lente en una dirección antiparalela. Tenga en cuenta que también se pueden utilizar otras técnicas que logren el mismo resultado.

Durante las pruebas, se observó que esta técnica de crear una dirección de alineación preferida funcionó correctamente para las lentes con baja potencia óptica. En otras palabras, cuando se utilizan estructuras difractivas con estructuras medias o bajas, esta técnica funcionó correctamente. Sin embargo, para lentes de mayor potencia, esto resultó en un gran número de declinaciones cuando se enciende el campo.
60

La invención se basa al menos parcialmente en la idea de que la topografía de la superficie inclina adicionalmente las moléculas de LC y, por lo tanto, cuando se enciende el campo, puede orientar las moléculas de LC (con sus dipolos inherentes) en direcciones opuestas en los lados opuestos de la lente. Esto causa declinaciones, especialmente en el
65 lado donde los dipolos de LC en las superficies superior e inferior están orientados en direcciones opuestas. Dicho

comportamiento no deseado se ilustra en la Figura 3 y se explica con más detalles a continuación. Este efecto no deseado se vuelve más pronunciado cuanto mayor es la pendiente de las facetas en la lente o, por lo tanto, la potencia y el diámetro de la lente. Tenga en cuenta que estas desviaciones suelen ocurrir en el mismo lado de la lente en las zonas más pronunciadas del exterior.

5 La Figura 3 ilustra dicha situación. El dispositivo óptico en la Figura 3, mostrado en el centro de la figura, está tratado para tener una dirección de alineación preferida 12 hacia el lado derecho de la figura. La estructura difractiva en el dispositivo óptico es una lente de Fresnel. En el lado izquierdo de la figura, se muestra una sección transversal de un segmento de pendiente 11a en el lado izquierdo del dispositivo óptico. En el lado derecho de la figura, se muestra una
10 sección transversal de un segmento de pendiente adicional 11b en el lado derecho del dispositivo óptico. De las figuras, se desprende claramente que estos segmentos de pendiente tienen orientaciones de inclinación opuestas. Si la pendiente del lado izquierdo tiene un ángulo de inclinación de 20 grados, la pendiente del lado derecho tiene un ángulo de inclinación de -20 grados.

15 La Figura 3 muestra, además, en ambos lados, una situación superior y una inferior. La situación superior corresponde a las moléculas de LC en su estado vertical 10a, mientras que la situación inferior corresponde a las moléculas de LC en su estado horizontal 10b. El estado vertical es el estado que toman las moléculas de LC cuando no se crea un campo eléctrico significativo entre las capas de electrodos. El estado de reposo es el estado que toman las moléculas de LC cuando se crea un campo eléctrico predeterminado entre las capas de electrodos.

20 Como resultado de la dirección de alineación preferida, como se ilustra en la Figura 3, la mayoría de las moléculas de LC tienden a orientarse hacia la derecha en el estado de reposo 10b. Sin embargo, el ángulo de inclinación en el lado derecho de la Figura hace que las moléculas de LC que se encuentran en proximidad de la superficie inclinada se orienten hacia la izquierda, como se ilustra con el número de referencia 10bb. La Figura en el lado derecho y en la
25 posición inferior ilustra que una parte de las moléculas de LC se dirigen hacia la izquierda 10bb, mientras que otra parte de las moléculas de LC se dirigen hacia la derecha 10b. En este contexto, se observa que esta es una extensión abstracta de la alineación de las moléculas en los lados de la cavidad hacia el interior de la célula de LC en masa. En general, las moléculas a granel mostrarán un giro adicional para compensar la falta de orientación en la masa de la célula. Esto perturba la luz transmitida a través de las moléculas de LC de manera que se hacen visibles errores
30 ópticos en el dispositivo óptico.

Para abordar este problema, se altera la inclinación previa α del material de LC con respecto a la superficie del material de alineación para compensar la inclinación establecida por la topografía de la superficie. Este inclinación previa es una propiedad conocida de un material de LC, que expresa el ángulo α entre las moléculas de LC y la normal de la
35 superficie del material de alineación 11. Para simplificar, se puede entender que, si se puede aumentar la inclinación previa del LC más que la pendiente, todas las moléculas de LC se orientarán en la misma dirección y se puede lograr el comportamiento de alineación deseado. Esto se ilustra en la Figura 4. La Figura 4 ilustra los principios de inclinación previa. La Figura muestra el ángulo α entre la normal de la superficie y la molécula de LC en superficies con diferentes ángulos de inclinación.

40 A partir de la Figura 4, se puede observar que la inclinación previa puede ser elegido de tal manera que la inclinación absoluta, en las Figuras ilustradas con el ángulo β , de las moléculas de LC 10a, corresponda con la dirección de alineación preferida 12. En otras palabras, sustancialmente todas las moléculas de LC 10a están orientadas, en el estado vertical, para tener la misma dirección de inclinación absoluta β . Para lograr esto, se elige un inclinación previa
45 con un ángulo α mayor que el ángulo de la superficie inclinada opuesta más empinada. Esto se ilustra en la parte derecha de la Figura 4, donde la superficie inclinada 11b tiene una normal de superficie que forma un ángulo con respecto al eje vertical en dirección opuesta en comparación con la dirección de inclinación previa. El ángulo de inclinación previa α es mayor que el ángulo entre la normal de la superficie y la dirección vertical, de manera que la inclinación absoluta resultante β esté en la dirección deseada. Cuando las moléculas de LC son activadas al encender el campo eléctrico, todas las moléculas de LC se orientarán hacia el lado derecho evitando así la situación ilustrada en la Figura 3 y obteniendo propiedades ópticas confiables.

50 Para alterar la inclinación previa, se puede aumentar la intensidad con la que se frota la superficie (Stohr et al, 'Microscopic Origin of Liquid Crystal Alignment on Rubbed Polymer Surfaces') o utilizar materiales de alineación fotosensibles (Yaroshchuk et al, 'Photoalignment of liquid crystals: basics and current trends') o una mezcla de LC alineados vertical y horizontalmente (Wu et al., 'Controlling pretilt angles of liquid crystal using mixed polyimide alignment layer') u otros enfoques explicados en la literatura. Tenga en cuenta que es posible ajustar selectivamente los ángulos de inclinación previa dependiendo de la posición en la lente (por ejemplo, utilizando un material fotosensible), asegurando que el ángulo de inclinación absoluto sea el mismo en toda la lente de Fresnel.
60

Otra aproximación es limitar las pendientes de las facetas. Esto se puede lograr utilizando un diseño más esférico de una lente para una potencia de lente específica o, alternativamente, eliminando las partes externas de la mitad de la lente donde la pendiente es mayor que la inclinación previa (por ejemplo, hacer una lente ovalada).

65 La Figura 5A muestra una vista en perspectiva de parte de una superficie de la lente. Esta parte podría ser la parte central de un elemento óptico difractivo 4 como se describe anteriormente. En esta figura, se dibuja la normal de la

- superficie en múltiples ubicaciones de la superficie de la lente. Esta normal de superficie se representa como una flecha con una línea ininterrumpida, y se indica con el signo de referencia N. La orientación de LC en el estado de apagado es, como se explicó anteriormente, una combinación de la normal de superficie y la inclinación previa. El vector que muestra la orientación del LC también se dibuja en estas múltiples ubicaciones de la superficie de la lente, y se indica con el signo de referencia Np. Este vector de orientación de LC se dibuja con una línea punteada interrumpida. Este vector de orientación de LC está directamente relacionado y tiene la intención de ilustrar la orientación de las moléculas de LC en el estado de apagado. El ángulo de inclinación previa se ilustra como el ángulo α , siendo el ángulo entre la normal de la superficie N y el vector de orientación del LC Np.
- El ángulo de inclinación efectivo β se define anteriormente como el ángulo entre la normal de la superficie de la primera capa de electrodo y la orientación del LC. En la Figura 5 se muestra la normal de la superficie de la primera capa de electrodo y se indica con el signo de referencia 13. El ángulo de inclinación efectivo β se muestra como el ángulo entre las moléculas de LC y la normal de la superficie 13.
- El ángulo de inclinación efectivo β es determinante para la dirección de orientación de las moléculas de LC cuando la lente está activada. El efecto del ángulo de inclinación efectivo β en la dirección de orientación de las moléculas de LC se puede explicar mejor proyectando el vector de orientación de LC Np sobre una superficie paralela a la primera capa de electrodo. Se observa que la dirección de alineación 12 se define típicamente de forma paralela a la primera capa de electrodo. Las proyecciones del vector de orientación de LC Np sobre esta superficie se muestran en la Figura 5 y se indican con el signo de referencia Npxy. La proyección Npxy comprende un componente paralelo a la dirección de alineación 12 y un componente transversal a la dirección de alineación 12. Se observa que el componente transversal puede ser 0, dependiendo de la ubicación en la superficie de la lente. En particular, cuando la superficie inclinada no está inclinada en una dirección transversal a la dirección de alineación, el componente transversal de la proyección Npxy es 0.
- En la Figura 5, se utiliza un ángulo θ para ilustrar el ángulo entre la proyección Npxy y la dirección de alineación 12. Las pruebas han demostrado que se puede garantizar un funcionamiento confiable y predecible del dispositivo de lente cuando, en prácticamente toda la superficie de alineación, θ es menor a 60 grados, preferiblemente menor a 45 grados y, especialmente, menor a 30 grados. Basándose en la explicación anterior y en las Figuras correspondientes, la persona experta se dará cuenta de que el ángulo θ puede hacerse más pequeño aumentando la inclinación previa y/o reduciendo los ángulos de inclinación.
- La Figura 5B muestra la misma superficie de la lente en una vista superior, paralela a la primera capa de electrodo, y muestra las mismas flechas que se muestran en la Figura 5A. Por lo tanto, la Figura 5B muestra las proyecciones de las moléculas de LC en la primera capa de electrodo Npxy. La Figura 5B también muestra la normal de la superficie N. En la Figura 5B, se puede ver claramente el ángulo θ . Para las proyecciones mostradas en la línea central de la lente, el ángulo θ es 0. Para las proyecciones en la parte inferior de la lente, el ángulo θ es de aproximadamente 30 grados.
- La Figura 5C muestra la misma superficie de la lente en una vista lateral, también mostrando las mismas flechas que se muestran en las Figuras 5A y 5B. A partir de la Figura 5C, se observa claramente que los ángulos de inclinación efectivos β son tales que todos los vectores de orientación de LC Np apuntan hacia el lado derecho de la figura. Como resultado, los vectores de orientación de LC Np tienen todos un componente vectorial positivo en la dirección de alineación. La persona experta reconocerá directamente que el efecto de estos vectores, todos apuntando hacia el lado derecho de la figura, es que las moléculas de LC se orientarán hacia el lado derecho cuando se activen. Esto crea una reacción uniforme de las moléculas de LC cuando se activan, lo cual es, como se describe anteriormente, ventajoso.
- La Figura 6 muestra una Figura similar a la Figura 5A, pero en donde la superficie de la lente comprende dos segmentos. Las flechas en la Figura 6 son análogas a las flechas en la Figura 5, descritas anteriormente. La inclinación previa es diferente en los dos segmentos de tal manera que la dirección de alineación de un segmento es paralela y opuesta a la dirección de alineación en el otro segmento. En particular, la dirección de alineación 12a, en el lado derecho de la superficie de la lente de la Figura 6, apunta hacia la derecha. La dirección de alineación 12b, en el lado izquierdo de la superficie de la lente de la Figura 6, apunta hacia la izquierda. Cuando las moléculas de LC se activan, las moléculas de LC en el lado derecho de la superficie de la lente se orientarán hacia la derecha, mientras que las moléculas de LC en el lado izquierdo de la superficie de la lente se orientarán hacia la izquierda. Los efectos se describen arriba. La inclinación previa absoluta puede ser significativamente menor cuando la superficie de la lente está segmentada, para compensar el ángulo de inclinación de la superficie de la lente. A partir de la Figura 6, quedará claro para la persona experta que la mayoría de la normal de la superficie mostrará al menos un componente vectorial en la dirección de alineación. La inclinación previa tiene como objetivo principal compensar la influencia de los componentes vectoriales en direcciones distintas a la dirección de alineación, de manera que su influencia se reduzca al activar las moléculas de LC.
- La Figura 7 muestra múltiples opciones de segmentación para superficies de lentes, en donde se pueden asignar múltiples direcciones de alineación y/o inclinación previas a los múltiples segmentos. En la Figura 7, las flechas ilustran la dirección de alineación mientras que las líneas interrumpidas ilustran la segmentación de la lente. La Figura 7A

muestra una superficie de lente con solo un segmento, por lo tanto, tiene solo una dirección de alineación. La Figura 7a corresponde a la modalidad mostrada en la Figura 5. La Figura 7B muestra una superficie de lente con dos segmentos correspondientes a la modalidad de la Figura 6. Los dos segmentos están provistos de direcciones de alineación opuestas.

5 Al considerar múltiples segmentos en una superficie de lente, junto a dos segmentos con alineación paralela pero opuesta, son posibles otras configuraciones. Por ejemplo, en el caso de una estructura de lente de Fresnel difractiva de simetría central en combinación con un cristal líquido que tiene una alineación unidireccional preferida, las moléculas en los segmentos en el lado de la lente (ver Figuras 5A y 5B) tienen la componente transversal mayor con respecto a la dirección
10 de alineación debido a la pendiente local. Para reducir el ángulo θ , ver las Figuras 5 y 6, sin afectar la calidad óptica en el centro de la lente, los segmentos exteriores pueden ser provistos de un ángulo de inclinación previa mayor. Esto podría implicar un empeoramiento en la coincidencia de índices en el estado de apagado, pero resultará en un mejor rendimiento óptico en el estado de encendido. La frontera entre los segmentos interno y externo puede tener formas más complejas que una línea paralela con la dirección de alineación y puede ser diseñada de acuerdo con medidas específicas de calidad óptica
15 deseadas. Esta segmentación se ilustra en la Figura 7C.

Tal configuración puede incluso combinarse aún más con una división central con direcciones de alineación paralelas, pero opuestas. Un ejemplo de dicha configuración se ilustra en la Figura 7D. De esta manera, se impone una gran línea central de declinación por diseño, pero las desviaciones fuera del eje se minimizan en los lados, mientras que el
20 ángulo de inclinación efectivo y el ángulo de inclinación previa están en gran medida en la misma dirección.

A costa de la complejidad, se puede implementar una segmentación aún más refinada, optimizando aún más la calidad óptica.

25 Basándose en las Figuras y la descripción, la persona experta podrá comprender el funcionamiento y las ventajas de la invención, así como diferentes modalidades de esta. Sin embargo, se señala que la descripción y las Figuras tienen únicamente la finalidad de comprender la invención, y no de limitar la invención a ciertas modalidades o ejemplos utilizados en ella. Por lo tanto, se enfatiza que el alcance de la invención solo se definirá en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo óptico, que comprende una primera capa de electrodo (8) y una segunda capa de electrodo (9) dispuesta a una distancia (d) de la primera capa de electrodo, las cuales son transparentes a la luz, y en donde la primera capa de electrodo (8) se extiende sustancialmente paralela a la segunda capa de electrodo (9);
- 5 en donde el dispositivo óptico además comprende, entre la primera y segunda capa de electrodo:
- una estructura óptica difractiva (4) adyacente a la primera capa de electrodo y que comprende una estructura de lente de Fresnel con múltiples superficies inclinadas (11, 11a, 11b) con respecto al menos a la primera capa de electrodo (8); y
 - un material cristalino líquido, 'LC', (10) que llena un espacio (7) entre la estructura de lente de Fresnel y la segunda capa de electrodo,
- 10 en donde, en un estado apagado, sustancialmente todas las moléculas de LC del material de LC (10) están orientadas en una dirección vertical y, en un estado encendido, la mayoría de las moléculas de LC están orientadas en una dirección horizontal, sustancialmente paralela a una dirección de alineación preferida (12), la dirección de alineación preferida es paralela a la primera capa de electrodo (8), y;
- 15 en donde las múltiples superficies inclinadas de la estructura de lente de Fresnel (4) están adaptadas para proporcionar, en el estado de apagado, un ángulo de inclinación previa (α) a aquellas moléculas de LC (10bb) del material cristalino líquido que están en contacto con las múltiples superficies inclinadas, de modo que las proyecciones (Npxy) de los vectores de orientación (Np) de esas moléculas de LC en la primera capa de electrodo (8) se encuentren dentro de un rango de 60 grados desde la dirección de alineación preferida (12), lo que resulta en que la mayoría de las moléculas de LC cambien sustancialmente paralelas a la dirección de alineación preferida en el estado de encendido, compensando así la diferencia en los ángulos de inclinación de cada una de las múltiples superficies inclinadas;
- 20 en donde el ángulo de inclinación previa (α) es el ángulo entre un vector normal de superficie de la superficie inclinada (11b) y el vector de orientación de esas moléculas de LC (10bb) en contacto con la superficie inclinada y en donde el ángulo de inclinación es el ángulo entre la superficie inclinada (11b) y la dirección de alineación preferida (12) en un plano que comprende la dirección de alineación preferida (12) y una dirección perpendicular a dicha primera capa de electrodo (8).
- 25
- 30
- 35 2. El dispositivo óptico de la reivindicación 1, en donde las proyecciones (Npxy) se encuentran dentro de un rango (θ) de 45 grados desde la dirección de alineación, y preferiblemente dentro de un rango (θ) de 30 grados desde la dirección de alineación.
- 40 3. El dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una de las superficies de lente inclinada comprende múltiples segmentos, en donde se pueden asignar múltiples direcciones de alineación y/o inclinación previa a los múltiples segmentos;
- 45 en donde los múltiples segmentos preferiblemente incluyen al menos un segmento interno y segmentos externos, en donde las moléculas del material de LC en los segmentos externos tienen una componente transversal mayor con respecto a la dirección de alineación (12) que las moléculas en el segmento interno, y en donde el ángulo de inclinación previa aplicado en los segmentos externos es mayor que el ángulo de inclinación previa aplicado en los segmentos internos.
- 50 4. El dispositivo óptico de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo óptico está provisto de una división central entre dos direcciones de alineación opuestas (12, 12b) y con primeros segmentos y segundos segmentos, en donde la dirección de alineación (12a) de los primeros segmentos es paralela y opuesta a la dirección de alineación (12b) de los segundos segmentos.
- 55 5. El dispositivo óptico de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el material cristalino líquido tiene una inclinación previa (α) en una dirección de alineación única (12) y en donde la inclinación previa compensa el ángulo de inclinación (11) de al menos una superficie inclinada al ser mayor que dicho ángulo de inclinación.
- 60 6. El dispositivo óptico de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la estructura óptica difractiva (4) tiene una forma elipsoide tal que al menos una superficie inclinada (11a) comprende segmentos de superficie inclinada con orientaciones de inclinación opuestas.
7. El dispositivo óptico según la reivindicación 1, en donde las superficies inclinadas de la estructura de lente de Fresnel se alternan con superficies de conexión que interconectan las superficies inclinadas adyacentes.

8. El dispositivo óptico de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se proporcionan múltiples separadores (5) encima del elemento óptico difractivo (4), para establecer la distancia fija (d) entre la primera y la segunda capa de electrodos (8,9).
- 5 9. El dispositivo óptico de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las superficies inclinadas del elemento óptico difractivo (4) contienen ranuras submicrónicas configurados como una capa de alineación para el material cristalino líquido.
- 10 10. El dispositivo óptico de la reivindicación 9, en donde se forma una capa adicional de alineación conformal que recubre estas ranuras.
11. El dispositivo óptico según la reivindicación 9 o 10, en donde otra capa de alineación está presente en el lado de la cavidad (7) adyacente al segundo electrodo transparente óptico (3), de manera que se enfrenta a la superficie ranurada (11).
- 15 12. Una pila de múltiples dispositivos ópticos según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
13. La pila según la reivindicación 12, en donde se apilan dos dispositivos ópticos llenos de cristal líquido nemático, pero con una alineación ortogonal para obtener una lente sintonizable independiente de la polarización.
- 20 14. Método de fabricación de un dispositivo óptico según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- 25 -proporcionar una primera capa de electrodo (8);
 -formar una estructura óptica difractiva (4) adyacente a la primera capa de electrodo, dicha estructura óptica difractiva comprende una estructura de lente de Fresnel con múltiples superficies inclinadas (11) inclinadas con respecto al menos a la primera capa de electrodo (8);
 30 -proporcionar una segunda capa de electrodo (9) a una distancia (d) de la primera capa de electrodo, en donde la segunda capa de electrodo (9) se extiende sustancialmente paralela a la primera capa de electrodo (8);
 -llenar un espacio (7) entre la superficie inclinada y la segunda capa de electrodo con un material cristalino líquido, 'LC' (10);
- 35 en donde, en un estado apagado, sustancialmente todas las moléculas de LC de dicho material de LC (10) están orientadas en una dirección vertical y, en un estado encendido, la mayoría de las moléculas de LC están orientadas en una dirección horizontal, sustancialmente paralela a una dirección de alineación preferida (12), siendo la dirección de alineación preferida paralela a la primera capa de electrodo (8), y; el método que comprende el paso adicional de:
- 40 -adaptar las múltiples superficies inclinadas de la estructura de lente de Fresnel (4) para proporcionar, en el estado de reposo, un ángulo de inclinación previa (α) a aquellas moléculas de LC (10bb) del material cristalino líquido que están en contacto con las múltiples superficies inclinadas de manera que las proyecciones (Npxy) de los vectores de orientación (Np) de esas moléculas de LC en la primera capa de electrodo (8) se encuentren dentro de un rango de 60 grados desde la dirección de alineación preferida (12), lo que resulta en que la mayoría de las moléculas de LC cambien sustancialmente paralelas a la dirección de alineación preferida en el estado activado, compensando así la diferencia en los ángulos de inclinación de cada una de las múltiples superficies inclinadas;
- 45 50 en donde el ángulo de inclinación previa (α) es el ángulo entre un vector normal de superficie de la superficie inclinada (11b) y el vector de orientación de esas moléculas de LC (10bb) en contacto con la superficie inclinada y en donde el ángulo de inclinación es el ángulo entre la superficie inclinada (11b) y la dirección de alineación preferida (12) en un plano que comprende la dirección de alineación preferida (12) y es perpendicular a dicha primera capa de electrodo (8).
- 55 15. Método según la reivindicación 14, en donde el paso de proporcionar la inclinación previa con un ángulo de inclinación previa (α) comprende uno de frotar el dispositivo óptico en dicha dirección de alineación y usar materiales de alineación fotosensibles.

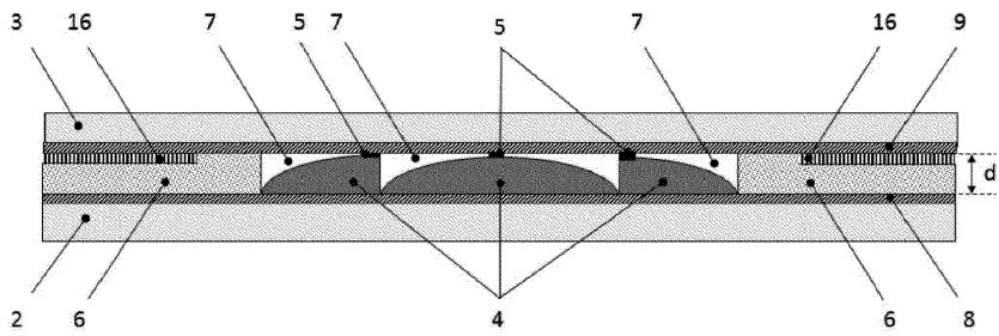


FIG. 1

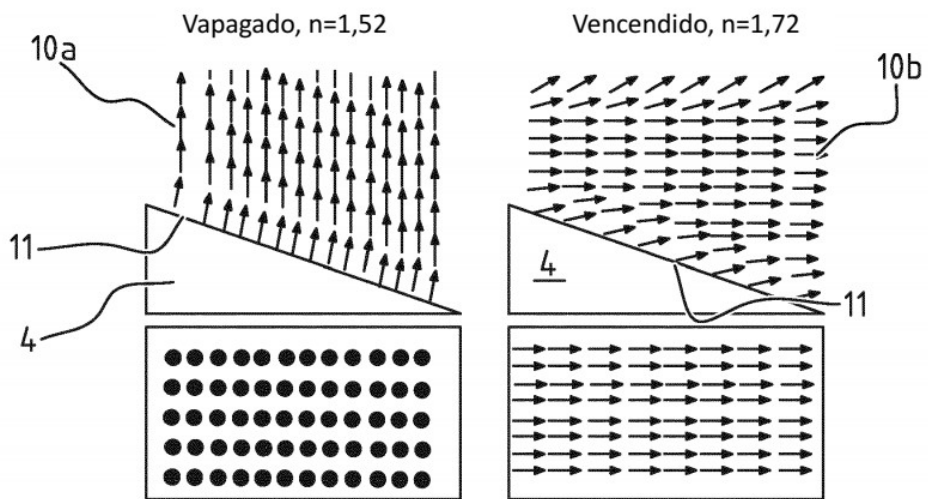


FIG. 2

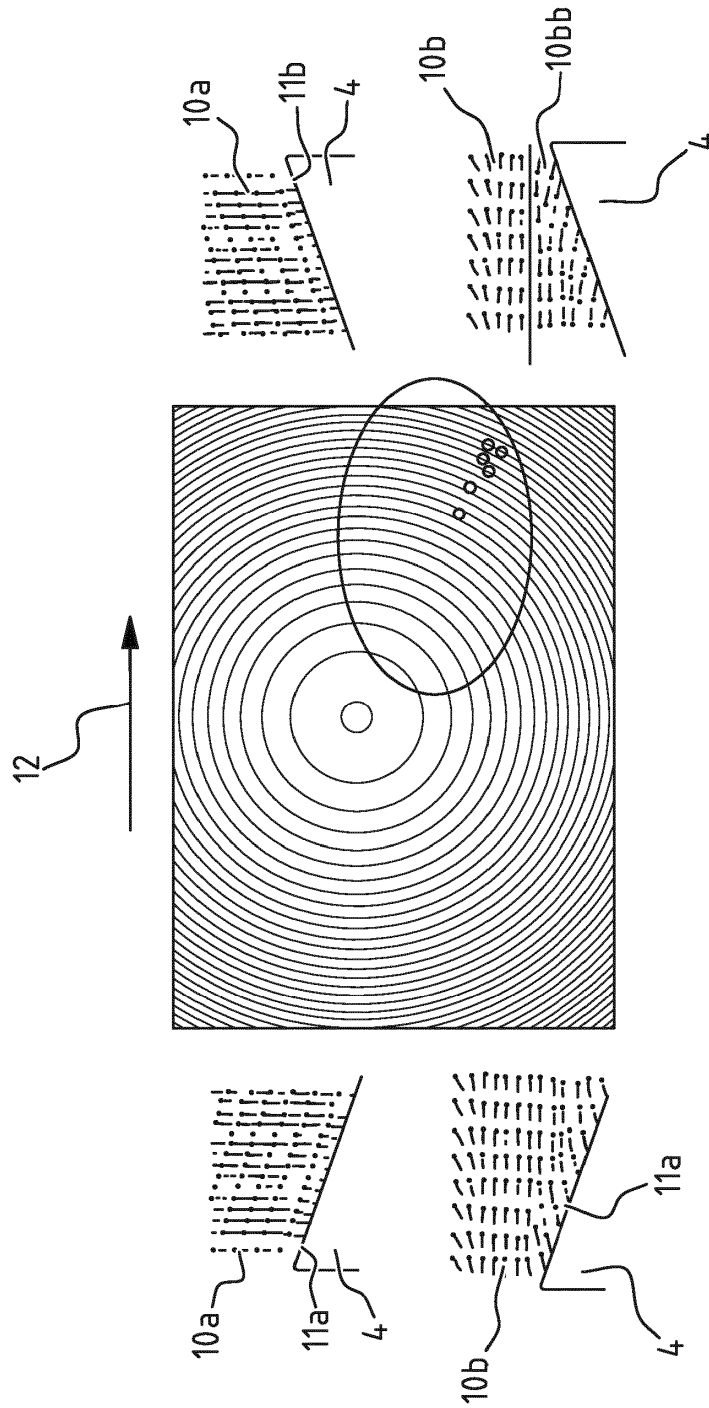


FIG. 3

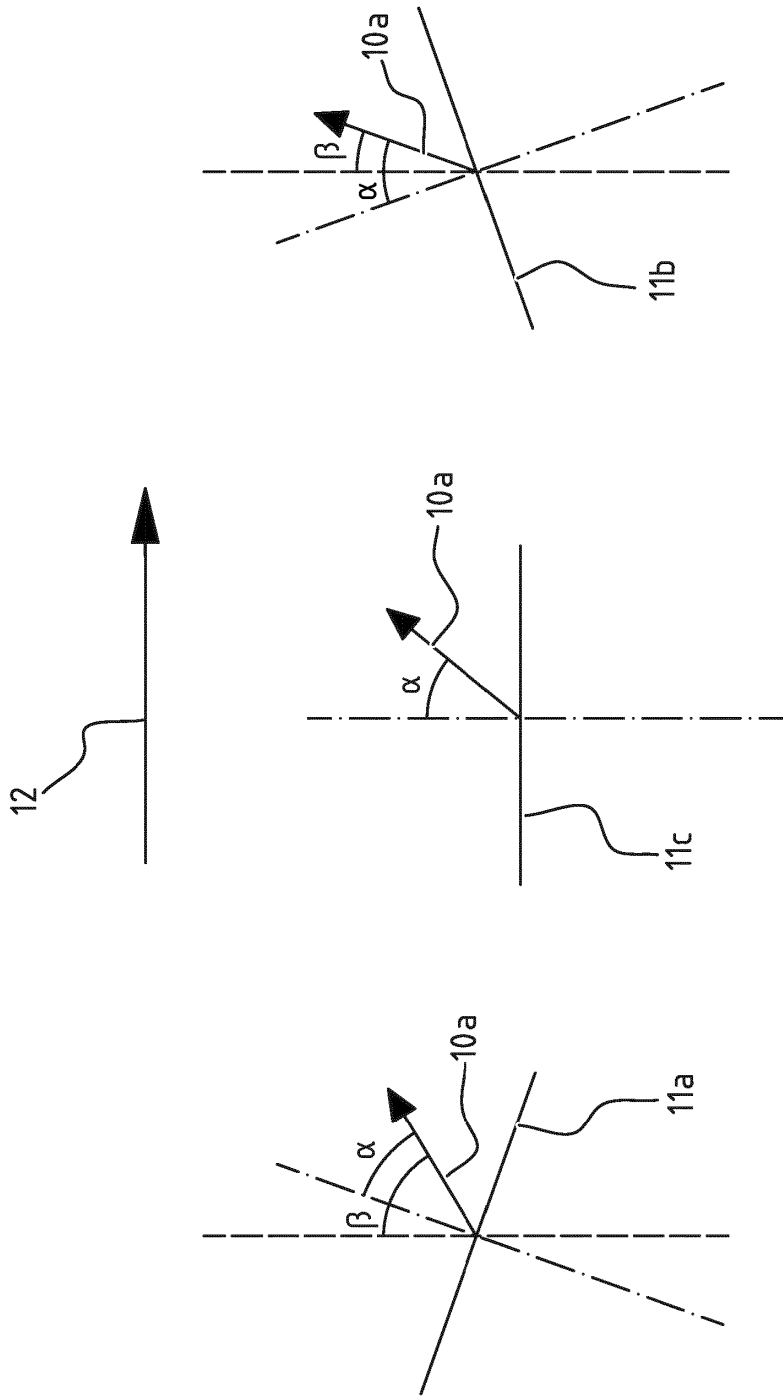


FIG. 4

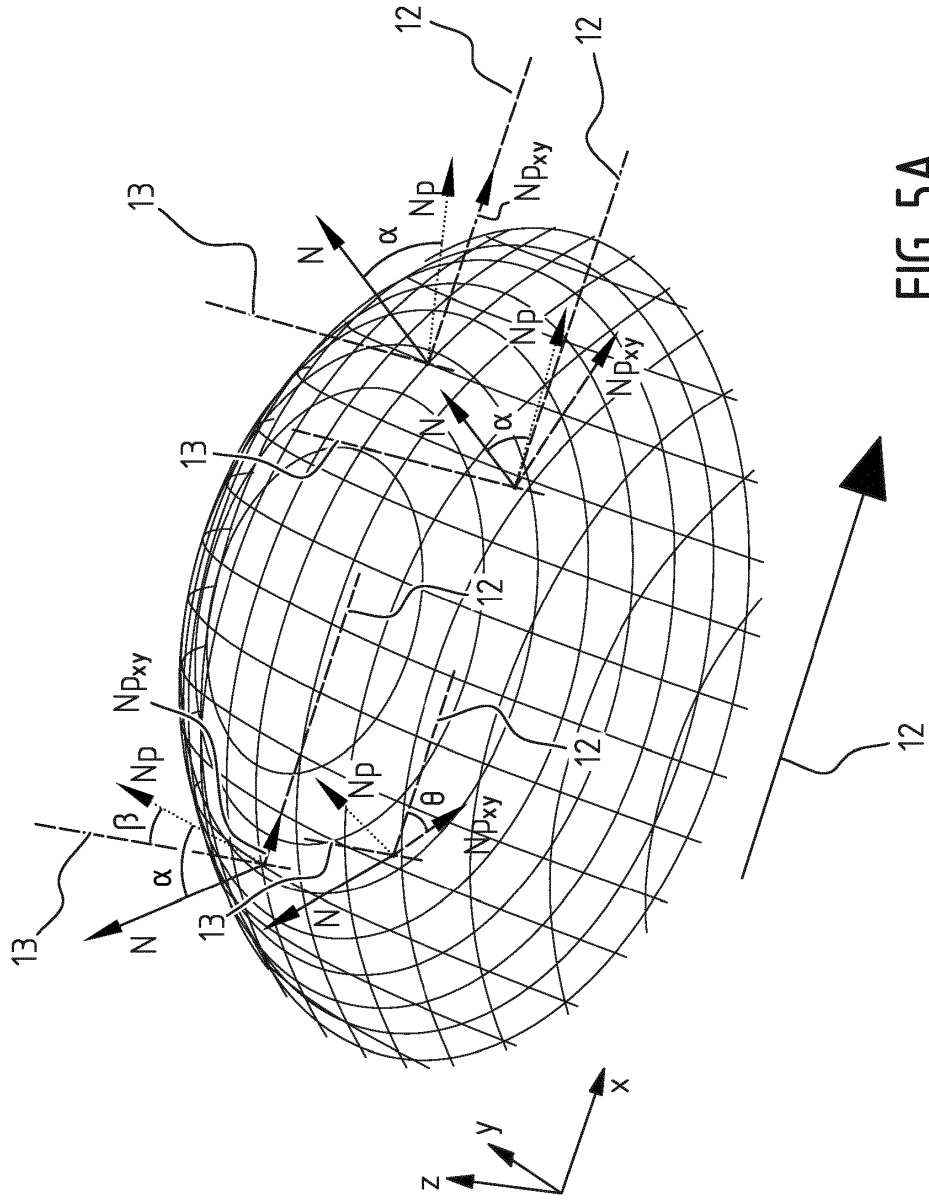


FIG. 5A

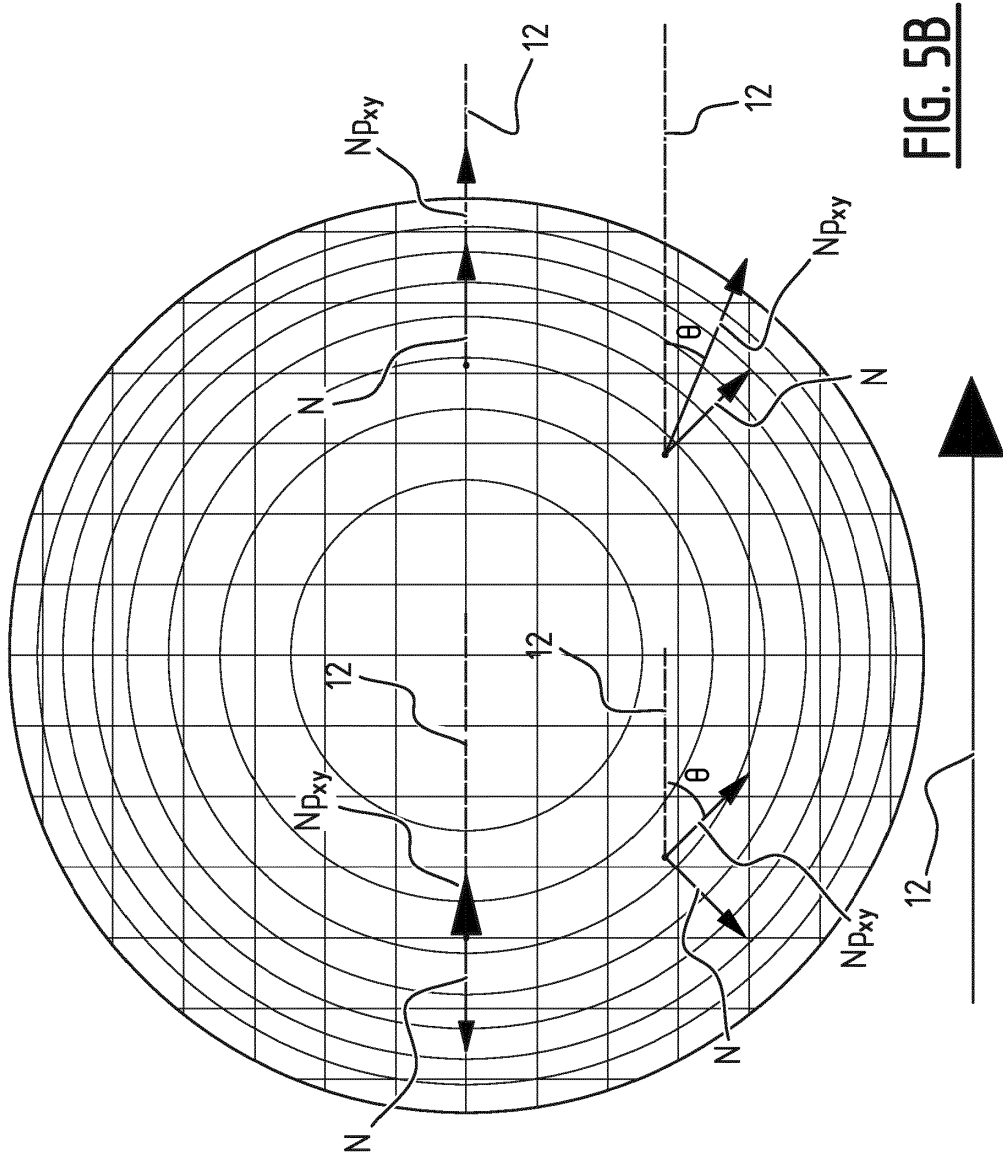


FIG. 5B

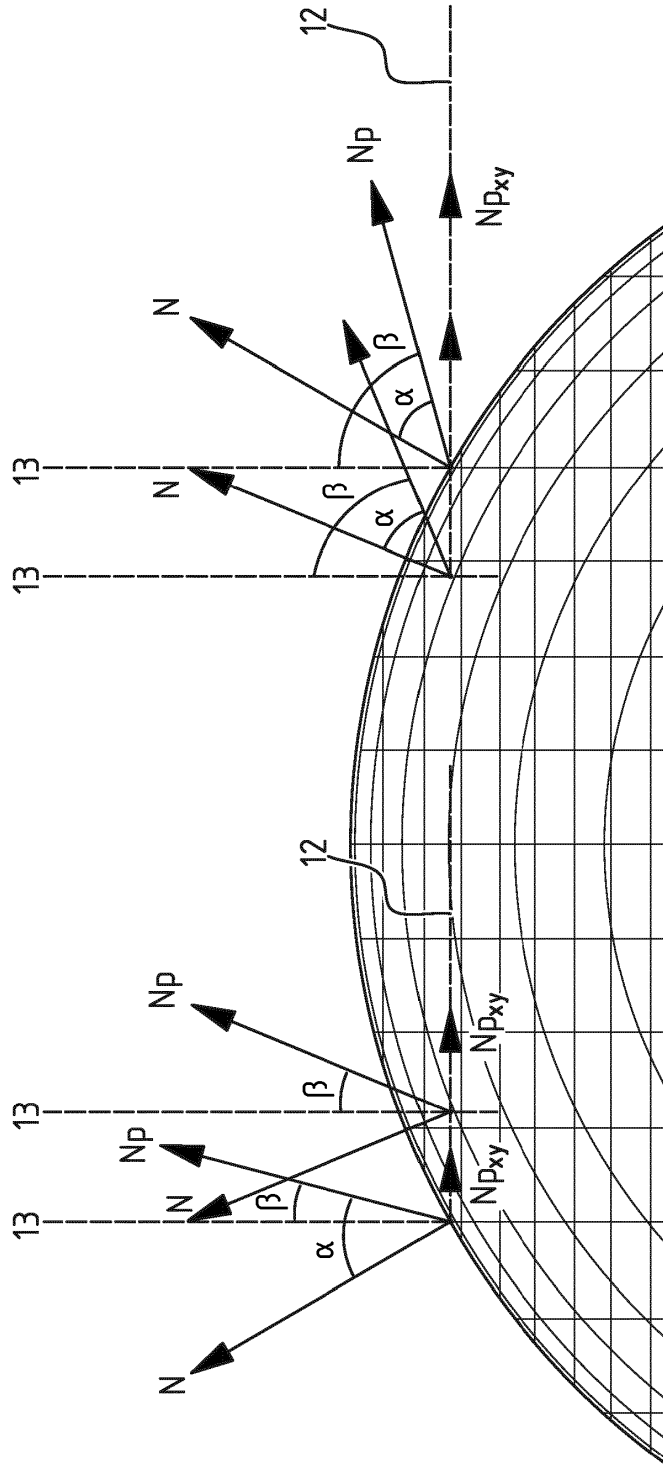


FIG. 5C

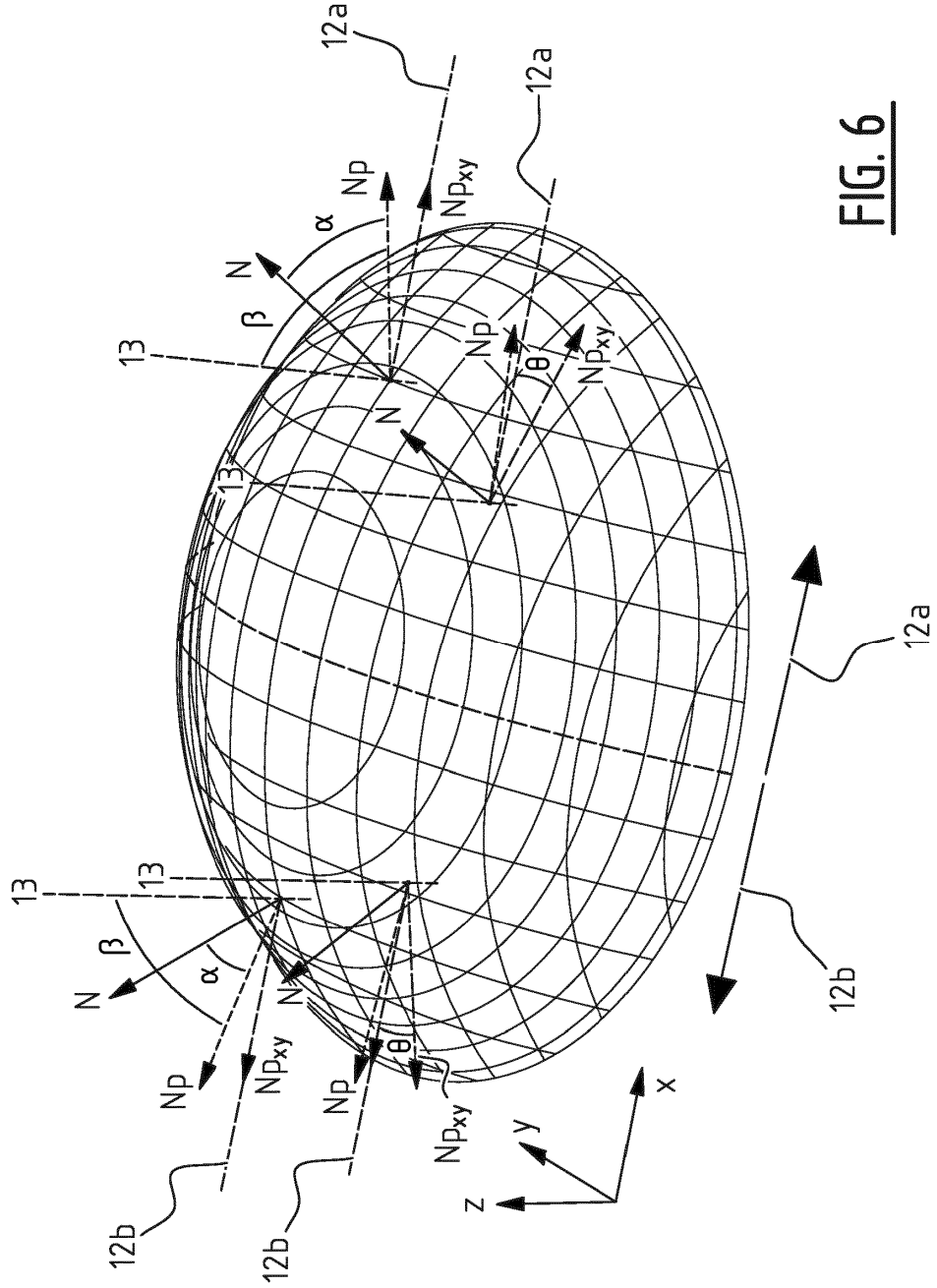


FIG. 6

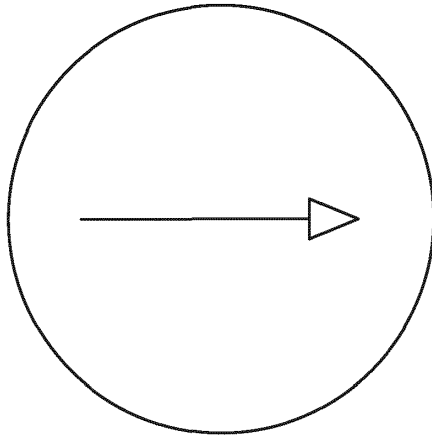


FIG. 7A

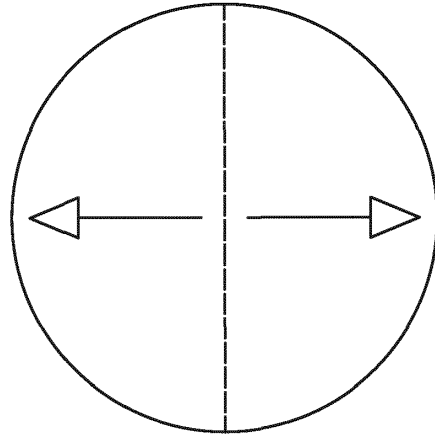


FIG. 7B

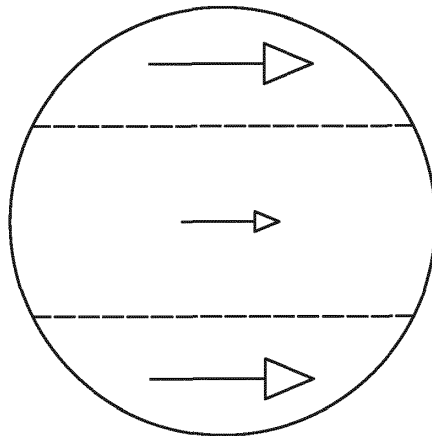


FIG. 7C

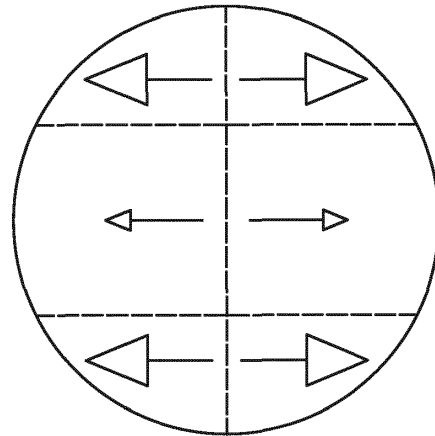


FIG. 7D