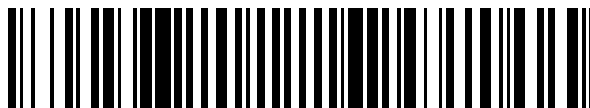


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 801 023**

21 Número de solicitud: 201930589

51 Int. Cl.:

G02F 1/29

(2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

26.06.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

07.01.2021

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

13.01.2022

Fecha de concesión:

25.11.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

02.12.2022

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)
Av. Gregorio Peces Barba, 1
28919 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

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

54 Título: **Lente sintonizable de cristal líquido**

57 Resumen:

La invención describe una lente (1) sintonizable de cristal líquido donde el electrodo superior (4) comprende: un primer sub-electrodo superior (41) y un segundo sub-electrodo superior (42); una línea de transmisión superior (43) de baja resistividad pero alta resistencia que conecta eléctricamente el primer sub-electrodo superior (41) y el segundo sub-electrodo superior (42); y una pluralidad de hilos conductores superiores (44) conectados eléctricamente a diferentes puntos de línea de transmisión superior (43), donde los hilos conductores superiores (44) están distribuidos de manera que cubren esencialmente toda la superficie de la lente (1) sin cruzarse unos con otros de modo que, cuando se aplican unas tensiones (V1, V2) a los respectivos sub-electrodos superiores primero (41) y segundo (42), la diferencia de tensión entre ambos se distribuye por toda la superficie de la lente (1).

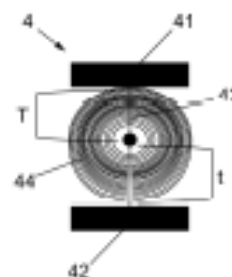


FIG.4

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 801 023 B2

DESCRIPCIÓN

Lente sintonizable de cristal líquido

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece de manera general al campo de la óptica, y más particularmente a las lentes sintonizables.

- 10 El objeto de la presente invención es una nueva lente de cristal líquido sintonizable que permite modificar la distancia focal a través de la tensión.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 15 Una lente homogénea convencional tiene dos características físicas que determinan la forma que adopta un frente de onda tras su paso por dicha lente: la diferencia entre el índice de refracción del material de la lente y el índice de refracción del medio circundante, y la curvatura de sus interfaces. Por tanto, la creación de una lente sintonizable, entendiendo el término “*sintonizable*” como susceptible de modificar propiedades ópticas de la lente tales como la
- 20 distancia focal, necesariamente implica la modificación de, al menos, una de dichas dos características físicas. Las lentes sintonizables presentan una multitud de aplicaciones, de entre las que se puede destacar el diseño de gafas progresivas, los dispositivos de realidad virtual o realidad aumentada, etc.

- 25 Las lentes sintonizables conocidas en la actualidad están basadas en la modificación controlada del índice de refracción del material que conforma la lente. En efecto, el cristal líquido posee un índice de refracción variable con la tensión. Por tanto, si se genera un gradiente de tensión en una lente de cristal líquido, puede obtenerse un gradiente en su índice de refracción. Esto permite crear lentes cuya distancia focal puede modificarse a través de la
- 30 tensión aplicada sin necesidad de partes móviles, y que además son más delgadas, más ligeras, consumen menos y presentan mayores potencias focales.

- Existen varios métodos para crear este tipo de lentes, de entre los que cabe destacar la denominada técnica modal, que se describe en el artículo de Naumov, A.F., et al. titulado
- 35 “*Liquid-crystal adaptive lenses with modal control*”, Optics Letters, 1998. 23(13): p. 992-994. Como se muestra en la Fig. 1, la lente sintonizable basada en la técnica modal comprende

unos electrodos de control (EC) y de tierra (ET) dispuestos en paralelo y que están formados por respectivas capas resistivas cuya resistividad es esencialmente uniforme, siendo la resistencia del electrodo de control (EC) mucho mayor que la resistencia del electrodo de tierra (ET). Unas capas de alineamiento superior e inferior (CA1, CA2) están dispuestas sobre las caras interiores de los respectivos electrodos (EC, ET), y una capa de cristal líquido (CL) rellena el espacio entre la capa superior de alineamiento (CA1) y la capa inferior de alineamiento (CA2). Además, en la cara exterior de los electrodos (EC, ET) se disponen sendos sustratos de vidrio (SV1, SV2) que proporcionan consistencia mecánica al dispositivo. Este dispositivo incluye además un contacto circular, en caso de lentes esféricas, o un par de contactos lineales, en caso de lentes cilíndricas. La Fig. 1 muestra concretamente una lente esférica con un contacto (C) ubicado a lo largo de la periferia del electrodo de control (EC).

Gracias a esta configuración, cuando se aplica una tensión AC al contacto (C), la impedancia del electrodo de control (EC) y la capacidad del condensador formado por la capa de cristal líquido (CL) forman un divisor de tensión que hace que la distribución de la tensión a lo largo de la capa de cristal líquido (CL) sea aproximadamente esférica. La Fig. 2 muestra de manera esquemática la forma que adopta la tensión, con un valor mínimo en el centro de la lente sintonizable y un valor máximo en el contacto (C) ubicado en la periferia. Esta distribución de la tensión a lo largo de la capa de cristal líquido (CL) provoca un gradiente en el índice de refracción que permite obtener una lente cuya distancia focal varía con la tensión aplicada.

Sin embargo, esta configuración presenta el inconveniente de la gran dificultad que presenta la fabricación de una capa de alta resistividad homogénea para el electrodo de control. En concreto, para lentes mayores de 2 mm resulta extremadamente difícil conseguir una capa de alta resistividad suficientemente homogénea.

Para resolver este problema, se planteó utilizar un electrodo de control formado por una pluralidad de sub-electrodos, donde la tensión de cada electrodo se controla de manera independiente. Esta técnica se describe en el artículo de S.P. Kotova, et al titulado "*Modal Liquid crystal wavefront corrector*", Opt. Express 10, 1258-1272 (2002). La Fig. 3 muestra una vista superior de un electrodo de control de este tipo que está formado por una pluralidad de sub-electrodos y una capa de alta resistividad. A pesar de ello se sigue teniendo el problema de crear capas de alta resistividad homogéneas.

Sin embargo, la aplicación de una tensión particular determinada a cada sub-electrodo individual tiene el inconveniente de que requiere un sistema de control y fabricación

extremadamente complejo.

En definitiva, todavía existe en la técnica la necesidad de una lente sintonizable mejorada que sea más eficiente.

5

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención resuelve los problemas anteriores gracias a una nueva configuración de electrodo de control donde se utiliza una estructura formada por elementos lineales para
10 distribuir la tensión a lo largo de toda la superficie de la lente. Se evita así la necesidad de utilizar capas de alta resistividad y múltiples electrodos de control como en las configuraciones de las técnicas anteriores, superándose así los inconvenientes asociados a las mismas. Además, esta nueva configuración presenta ventajas adicionales que se describirán a lo largo del presente documento.

15

En este documento, los términos "*superior*" e "*inferior*" se utilizan únicamente para diferenciar partes de la lente que están situadas respectivamente a uno u otro lado de la capa de cristal líquido. Por tanto, no deben interpretarse como limitantes en lo que respecta a la posición u orientación de la lente o de cualquiera de sus partes.

20

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

Podría decirse que la lente sintonizable de cristal líquido de la presente invención constituye
25 una solución intermedia entre la técnica modal y la técnica multi-electrodo descritas anteriormente, pero con una configuración diferente del electrodo de control, que se denominará aquí electrodo superior. Por tanto, la lente de la invención comprende los elementos habituales de una lente sintonizable de cristal líquido de este tipo, concretamente unos sustratos superior e inferior, y una capa de cristal líquido. A continuación, se describe
30 brevemente cada uno de estos elementos:

Sustratos superior e inferior

Se trata de un sustrato superior y un sustrato inferior que están dispuestos en
35 paralelo, y donde el sustrato superior comprende un electrodo superior y el sustrato inferior comprende un electrodo inferior.

Capa de cristal líquido

La capa de cristal líquido rellena el espacio entre el sustrato superior y el sustrato inferior.

Una lente de cristal líquido convencional presenta habitualmente elementos adicionales, tales como unas capas de alineamiento fijadas a las caras interiores de los sustratos superior e inferior, elementos laterales de separación entre sustratos, etc., aunque no se describen aquí por motivos de simplicidad. En cualquier caso, los elementos descritos hasta ahora se utilizan de manera general en cualquier dispositivo de cristal líquido. La lente sintonizable de la presente invención, sin embargo, se diferencia de éstas por que el electrodo superior comprende además unos sub-electrodos superiores, una línea de transmisión superior, y unos hilos conductores superiores:

a) Sub-electrodos superiores

El electrodo superior de la presente invención comprende un primer sub-electrodo superior y un segundo sub-electrodo superior. Se trata de dos sub-electrodos que pueden disponerse de diferentes modos en el sustrato superior, por ejemplo orientados en paralelo uno a cada lado de la lente vista en planta. Además, como se describirá con mayor detalle más adelante, cada uno de los sub-electrodos puede recibir una tensión individual diferenciada.

b) Línea de transmisión superior

Se trata de una línea de transmisión de baja resistividad pero alta resistencia, a modo de resistencia lineal, que conecta eléctricamente el primer sub-electrodo superior y el segundo sub-electrodo superior. Es decir, la línea de transmisión superior tiene una resistencia distribuida a lo largo de su longitud. Además, aunque la resistividad, o resistencia por unidad de longitud, de esta línea de transmisión superior es moderada, la resistencia total de la línea de transmisión es elevada. A modo de ejemplo, el rango de resistencia total de la línea de transmisión superior puede estar entre 50 k Ω y 1 M Ω . En cuanto a la resistividad de la línea de transmisión superior, preferentemente es de entre 100 Ω /sq y 500 Ω /sq. Gracias a esta configuración, la diferencia de tensión entre la tensión del primer sub-electrodo superior y el segundo sub-electrodo superior se

distribuye a lo largo de la línea de transmisión.

La línea de transmisión superior puede tener una resistencia distribuida uniformemente a lo largo de toda su longitud, en cuyo caso la distribución de la tensión a lo largo de dicha línea de transmisión superior sería también uniforme. Alternativamente, de acuerdo con una realización particularmente preferida de la invención, la resistencia de la línea de transmisión superior puede estar distribuida de manera variable a lo largo de su longitud. Para implementar la línea de transmisión, puede utilizarse simplemente una línea de ITO (indio dopado con estaño) cuya resistividad se controla modificando su grosor. Las ventajas y desventajas de cada una de estas configuraciones se describirán más adelante en este documento.

c) Hilos conductores superiores

Se trata de una pluralidad de hilos conductores superiores conectados eléctricamente a diferentes puntos de línea de transmisión superior. Ello implica que la tensión que adopta cada uno de los hilos conductores corresponde a la tensión en el punto de la línea de transmisión a la que está conectado. Además, los hilos conductores superiores están distribuidos de manera que cubren esencialmente toda la superficie de la lente sin cruzarse unos con otros. De ese modo, cuando se aplican unas tensiones a los respectivos sub-electrodos superiores primero y segundo, la diferencia de tensión entre ambos sub-electrodos se distribuye por toda la superficie activa de la lente.

Esta estructura permite distribuir la diferencia de tensión entre los sub-electrodos superiores a lo largo de toda la superficie de la lente de acuerdo con las necesidades de cada caso. Para ello, basta con jugar con la geometría de los hilos conductores superiores y con la distribución de la resistencia a lo largo de la línea de transmisión superior. En este documento se describen diferentes configuraciones dirigidas a obtener diferentes tipos de lentes sintonizables, como por ejemplo lentes esféricas, lentes cilíndricas, lentes de Fresnel, vórtices ópticos, etc. Cada una de las configuraciones se describirá con mayor detalle en la segunda parte de este documento haciendo referencia a los diferentes ejemplos representados en las figuras adjuntas.

Primera configuración

La primera configuración de lente sintonizable según la invención está basada en el uso de la línea de transmisión como divisor de tensión.

De acuerdo con una realización particularmente preferida de la invención, en una lente de acuerdo con la primera configuración los hilos conductores superiores están conectados eléctricamente a una pluralidad de puntos situados en un tramo de la línea de transmisión superior y adoptan una forma circular concéntrica. Además, el hilo conductor superior de menor diámetro está conectado al punto de menor tensión de dicho tramo de la línea de transmisión superior y el hilo conductor superior de mayor diámetro está conectado al punto de mayor tensión de dicho tramo de la línea de transmisión superior. Esta configuración dará lugar a una lente esférica.

En efecto, el hilo conductor de menor diámetro ubicado en el centro de la lente tiene la tensión más baja, mientras que el tramo de mayor diámetro ubicado en la periferia de la lente tiene la tensión más alta. Entre ambos, se ubica una pluralidad de hilos conductores intermedios adyacentes unos a otros y que están conectados a puntos de la línea de transmisión intermedios en el tramo mencionado. Se obtiene, por tanto, una superficie circular completamente cubierta por hilos conductores de forma circular cuyas tensiones varían desde la tensión mínima, correspondiente a la mencionada tensión baja del hilo conductor de menor diámetro, hasta una tensión máxima, correspondiente a la mencionada tensión alta del hilo conductor de mayor diámetro. Alternativamente, sería posible una configuración inversa para variar entre potencia óptica positiva o negativa. En cualquier caso, la distribución radial de tensiones dependerá de cómo varíe la resistencia de la línea de transmisión, aunque sería en cualquier caso posible obtener una distribución radial de tensiones esférica para así dar lugar a una lente esférica.

En principio, la línea de transmisión podría adoptar diferentes formas, aunque en una realización particularmente preferida de la invención la línea de transmisión superior tiene una forma rectilínea cuyo centro constituye el punto de menor tensión del tramo al que están conectados los hilos conductores superiores. La lente circular resultante quedará así centrada entre los dos sub-electrodos superiores.

Segunda configuración

La segunda configuración de lente sintonizable de acuerdo con la invención está basada en la técnica descrita en el documento ES2645759 titulado "*Micro lente de cristal líquido y matriz*

de microlentes de cristal líquido". Dicho documento describe una técnica para la generación de microlentes sintonizables de cristal líquido basándose en el uso de sendos pares de sub-electrodos respectivamente superior e inferior que tienen una geometría particular y a los que se aplica unas señales de excitación específicas.

5

De acuerdo con una realización preferente de la invención, una lente de acuerdo con esta segunda configuración presenta las siguientes características adicionales a las descritas anteriormente:

10 d) De una manera similar al electrodo superior descrito anteriormente, el electrodo inferior también comprende:

- Un primer sub-electrodo inferior y un segundo sub-electrodo inferior.

15 - Una línea de transmisión inferior de baja resistividad pero alta resistencia que conecta eléctricamente el primer sub-electrodo inferior y el segundo sub-electrodo inferior.

20 - Una pluralidad de hilos conductores inferiores conectados eléctricamente a diferentes puntos de la línea de transmisión inferior, estando los hilos conductores inferiores distribuidos de manera que cubren esencialmente toda la superficie activa de la lente tal que, cuando se aplican unas tensiones a los respectivos sub-electrodos inferiores primero y segundo, la diferencia de tensión entre ambos se distribuye por toda la superficie de la lente.

25

e) Los hilos conductores superiores y los hilos conductores inferiores están distribuidos de manera que, vistos en planta, conforman una matriz formada por figuras planas cerradas, donde cada figura plana comprende cuatro lados de los que dos lados corresponden a dos hilos conductores superiores y dos lados corresponden a hilos conductores inferiores. Las figuras pueden adoptar diferentes formas, aunque en una realización preferida de la invención cada figura plana es un paralelepípedo, más preferentemente un cuadrado, donde cada hilo conductor constituye un lado.

30

Además, los dos lados correspondientes a hilos conductores pertenecientes al mismo electrodo están situados en posiciones opuestas.

35

f) Cada sub-electrodo es excitado por una señal eléctrica alterna, estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los sub-electrodos de un mismo electrodo, y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los sub-electrodos superiores con relación a las señales eléctricas de los sub-electrodos inferiores.

5

En principio, las señales eléctricas aplicadas a los sub-electrodos pueden adoptar cualquier forma siempre que sean alternas, incluyendo formas cuadradas, triangulares, u otras. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen usando señales eléctricas de forma esencialmente sinusoidal. La frecuencia de estas señales será la habitualmente utilizada en este tipo de dispositivos de cristal líquido, por ejemplo aproximadamente de 1 kHz o similar. En cuanto a la amplitud de las señales eléctricas aplicadas, también estará en el rango de las habitualmente utilizadas en este tipo de dispositivos.

10

Así, como se describió con mayor detalle en el documento ES2645759 mencionado anteriormente, esta configuración provoca la generación de una lente que puede tener forma esférica o cilíndrica.

15

Tercera configuración

La tercera configuración de la lente de cristal líquido según la presente invención permite obtener una sección de lente de Fresnel. Una lente de Fresnel es un diseño para la obtención de lentes de gran apertura y pequeña distancia focal sin el peso y volumen de material que se utilizaría en una lente convencional de las mismas características. Para ello, la lente se divide en anillos circulares, siendo el grosor de la lente diferente en cada anillo, de modo que la superficie de la lente presenta un aspecto escalonado.

20

25

De acuerdo con una realización particularmente preferida de la invención, en una lente de acuerdo con la tercera configuración la línea de transmisión superior comprende un primer punto de conexión al primer sub-electrodo superior ubicado en una primera circunferencia y un segundo punto de conexión al segundo sub-electrodo superior ubicado en una segunda circunferencia concéntrica con relación a la primera circunferencia y de un diámetro menor, y los hilos conductores superiores están conectados a una pluralidad de puntos distribuidos entre el primer punto de conexión y el segundo punto de conexión y adoptan una forma circular concéntrica con relación a la segunda circunferencia, dando lugar a un tramo de lente de Fresnel.

30

35

En efecto, con esta configuración los hilos conductores cubren una superficie de forma anular

donde la tensión de cada hilo conductor va creciendo a medida que crece el diámetro del hilo conductor, lo que permite obtener una sección de lente de Fresnel. Esta estructura puede repetirse varias veces de forma concéntrica para dar lugar a las diferentes secciones de una lente de Fresnel.

5

Cuarta configuración

La cuarta configuración de la lente de cristal líquido sintonizable de la presente invención permite obtener una lente cilíndrica.

10

De acuerdo con una realización particularmente preferida de la invención, una lente de acuerdo con la cuarta configuración la línea de transmisión superior comprende una segunda línea de transmisión superior conectada eléctricamente entre el primer sub-electrodo superior y el segundo sub-electrodo superior, de modo que la línea de transmisión superior y la segunda línea de transmisión superior están ambas conectadas al primer sub-electrodo superior en el mismo punto. Además, la pluralidad de hilos conductores superiores son rectilíneos, paralelos, y están conectados a una pluralidad de puntos distribuidos a lo largo de la línea de transmisión superior y la segunda línea de transmisión superior.

15

Así, los hilos conductores superiores de esta configuración son rectilíneos y están ubicados en paralelo unos a otros. Además, al estar conectados a lo largo de ambas líneas de transmisión, los valores de las tensiones de la pluralidad de hilos conductores pasan desde un máximo correspondiente al hilo conductor conectado a un punto de la línea de transmisión superior cercano al segundo sub-electrodo superior, cuya tensión aplicada es más alta, a un mínimo correspondiente a un hilo conductor conectado al punto de conexión común de ambas líneas de transmisión al primer sub-electrodo superior, y de nuevo a un máximo correspondiente a un punto de la segunda línea de transmisión superior cercano al segundo sub-electrodo superior. Ello genera un perfil de tensiones esencialmente cilíndrico en un plano transversal a la dirección de los hilos conductores, generando así una lente cilíndrica.

25

30

Quinta configuración

La quinta configuración de la lente de cristal líquido de acuerdo con la presente invención permite obtener un vórtice óptico.

35

De acuerdo con una realización particularmente preferida de la invención, en una lente de

acuerdo con la quinta configuración la línea de transmisión superior tiene forma circular con los puntos de conexión a los sub-electrodos superiores primero y segundo ubicados uno junto a otro. Por su parte, los hilos conductores tienen dirección radial y están distribuidos a lo largo de toda la línea de transmisión superior.

5

Así, los hilos conductores están dispuestos radialmente y las tensiones son crecientes desde el hilo conductor más cercano al primer sub-electrodo superior hasta el hilo conductor más cercano al segundo sub-electrodo superior. Además, de acuerdo con una realización particularmente preferida de la invención, la pluralidad de hilos conductores superiores comprenden hilos conductores superiores de una longitud cercana al radio de la circunferencia formada por la línea de transmisión superior y otros hilos conductores superiores más cortos que rellenan los huecos que quedan entre aquellos. Esto permite que la superficie del vórtice esté cubierta en gran medida por los hilos conductores transmisores de la tensión.

10

15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

La Fig. 1 muestra un esquema de lente sintonizable de acuerdo con la técnica modal descrita en la técnica anterior.

20

La Fig. 2 muestra un diagrama de la tensión a lo largo de la lente sintonizable de la Fig. 1.

La Fig. 3 muestra un esquema de lente sintonizable multielectrodo de acuerdo con la técnica anterior.

25

La Fig. 4 muestra un ejemplo de electrodo superior de una lente sintonizable de acuerdo con la primera configuración de la presente invención.

La Fig. 5 muestra esquemáticamente las tensiones en cada punto representativo de la línea de transmisión de la lente según la primera configuración.

30

Las Figs. 6a y 6b muestran esquemáticamente un electrodo superior y un electrodo inferior de acuerdo con la primera configuración de la presente invención.

La Fig. 7 muestra esquemáticamente la disposición del electrodo superior y el electrodo inferior en la lente de acuerdo con la primera configuración de la presente invención.

35

Las Figs. 8a-8d muestran las franjas de interferencia de la lente según la primera configuración de la presente invención utilizando las siguientes tensiones: $V_2=0,7V_p$, y $V_1=$ (a) $1,3V_p$, (b) $1,6V_p$, (c) $1,9V_p$, (d) $2,2V_p$.

- 5 Las Figs. 9a-9c muestran diferentes estructuras correspondientes a una lente según la segunda configuración de la presente invención.

Las Figs. 10a-10c muestran respectivamente la estructura de los electrodos superior e inferior y su disposición en una lente según la segunda configuración de la presente invención.

10

Las Figs. 11a-11d muestran un ejemplo de señales alternas de amplitud variable aplicadas a los respectivos sub-electrodos de una lente según la segunda configuración de la presente invención, donde los desfases entre electrodos son: (a) $\varphi_1=0^\circ$, (b) $\varphi_2=180^\circ$, (c) $\varphi_3=90^\circ$, (d) $\varphi_4=270^\circ$.

15

Las Figs. 12a-12d muestran las franjas de interferencia de la lente según la segunda configuración de la presente invención empleando los desfases (a) $\varphi_1=0^\circ$, (b) $\varphi_2=180^\circ$, (c) $\varphi_3=90^\circ$, (d) $\varphi_4=270^\circ$ y las amplitudes $V_{off}=1V$ y $A_1=A_2=A_3=A_4=$ (a) $0,8V_p$, (b) $1,4V_p$, (c) $1,8V_p$, (d) $2V_p$.

20

La Fig. 13 muestra perfiles de fase para diferentes tensiones en una lente según la segunda configuración de la presente invención.

La Fig. 14 muestra perfiles de foco para diferentes tensiones en una lente según la segunda configuración de la presente invención.

25

La Fig. 15 muestra un perfil de fase basado en zonas de Fresnel en una lente de acuerdo con la tercera configuración de la presente invención.

- 30 Las Figs. 16a y 16b muestran respectivamente un electrodo superior y un detalle de dicho electrodo superior en una lente de acuerdo con la tercera configuración de la presente invención.

Las Figs. 17a y 17b muestran respectivamente un electrodo superior y un detalle de dicho electrodo superior en una lente de acuerdo con la cuarta configuración de la presente invención.

35

Las Figs. 18a y 18b muestran respectivamente un electrodo superior sin hilos conductores y con hilos conductores en una lente de acuerdo con la quinta configuración de la presente invención.

5

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

A continuación, se describen varios ejemplos de lentes (1) sintonizables de acuerdo con la presente invención haciendo referencia a las figuras adjuntas. Las figuras son meramente
10 ilustrativas y determinados elementos pueden estar ampliados con relación a su tamaño real.

Primera configuración (Figs. 4-8)

La Fig. 4 muestra un ejemplo de lente (1) sintonizable según primera configuración de la
15 invención que comprende un electrodo superior (4) formado por un primer sub-electrodo superior (41) y un segundo sub-electrodo superior (42) que están dispuestos en paralelo y entre los cuales se extiende una línea de transmisión superior (43) perpendicular a ambos que funciona como un divisor de tensión. La línea de transmisión superior (43) está dividida en dos tramos respectivamente superior (T) e inferior (t), donde el tramo superior (T) se
20 extiende entre el primer sub-electrodo superior (41) y el punto medio de la línea de transmisión superior (43), y el tramo inferior (t) se extiende entre dicho punto medio y el segundo sub-electrodo superior (42). Como se describió anteriormente, la resistencia de la línea de transmisión superior (43) puede ser uniforme a lo largo de ambos tramos (T, t), o bien puede cambiar con el propósito de ajustar la distribución de las tensiones. Por ejemplo, cuando la
25 línea de transmisión superior (43) se obtiene a partir de ITO, los tramos superior (T) e inferior (t) pueden tener anchos diferentes para dar lugar a diferentes resistencias.

Unos hilos conductores superiores (44) están conectados únicamente a puntos distribuidos a lo largo del tramo superior (T) y tienen una forma circular concéntrica, de modo que forman
30 una circunferencia casi completa excepto por el lugar donde se encuentra el tramo inferior (t) de la línea de transmisión (43). En este ejemplo concreto, los hilos conductores superiores (44) tienen 10µm de ancho y están separados unos de otros 10µm de distancia. La resistencia de los hilos conductores superiores (44) se puede controlar en el proceso de diseño mediante el ancho de línea o en el proceso de fabricación mediante el control del tiempo de ataque
35 ácido. Es posible diseñar así dispositivos específicos para producir resistencias de 50kΩ a 1MΩ, de modo que los consumos se mantengan en el orden de los µW.

A modo de ejemplo particular, en la Fig. 5 se ilustra un caso en que los anchos de los tramos (T, t) de la línea de transmisión superior (43) son: anchura del tramo superior (T) = 20 μm y anchura del tramo inferior (t) = 60 μm , respectivamente. Por tanto, el gradiente de tensión no va a ser equivalente en ambos tramos (T, t) de la línea de transmisión (43), ya que el tramo (t) de línea más ancho tendrá una resistencia menor (con el diseño propuesto, 3 veces menos). Por tanto, cuando se aplica una tensión (V1) al primer sub-electrodo superior (41) y una tensión (V2) al segundo sub-electrodo superior (42), la ecuación que determina la tensión en el centro V_{center} será:

$$V_{\text{center}} = (V1 - V2) \frac{R2}{R2 + R1} + V2$$

En caso de utilizar sólo una tensión de control (V1), la tensión V2 irá conectada a masa (0V). En esta situación, la tensión $V_{\text{center}} = V1/4$. Esta relación se puede cambiar en el diseño de la lente (1), y vendrá determinada por la tensión umbral y de saturación del cristal líquido que forma la capa de cristal líquido. La idea es que la tensión en el centro de la línea de transmisión superior (43) sea igual a la tensión umbral del cristal líquido para evitar pasos por 0V en el centro. Gracias a este diseño, se obtiene un gradiente de tensión con una sola fuente que evita el paso por cero en el centro de la lente (1).

Así, los hilos conductores superiores (44) circulares distribuyen la tensión por toda la superficie de la lente (1) para llevar a cabo la misma función del electrodo de control (EC) de resistividad uniforme empleado en la técnica modal o que los electrodos empleados en la técnica multielectrodo, descritas con anterioridad en este documento.

El proceso de fabricación de un electrodo superior (4) de este tipo comprende la realización de una fotolitografía del electrodo (4) sobre el sustrato de vidrio superior (2), como se muestra en la Fig. 6a. El vidrio está recubierto de una fina película de ITO. Por su parte, el sustrato inferior (3) será un plano de masa, como se muestra en la Fig. 6b. Además, con el propósito de facilitar el proceso de soldadura de los cables a los electrodos (4, 5), los sustratos (2, 3) se disponen ortogonalmente entre sí.

Por otra parte, la capa de alineamiento de los sustratos superior e inferior (2, 3) se podrá realizar de diversas maneras. El modo de operación preferido será con alineamiento homogéneo, con la dirección del alineamiento paralela a la línea de transmisión. Esta

configuración hace que sea importante tener en cuenta las características electro-ópticas del cristal líquido a la hora de fabricar el dispositivo. El espesor de la capa de cristal líquido deberá seguir una relación específica con la distancia entre los hilos conductores superiores (44). Se recomienda una relación mínima de $(\text{espesor cristal líquido})/(\text{distancia entre hilos conductores})$ en torno a 2 - 2,5 para asegurar una transición de fase aproximadamente lineal entre los mismos.

Considerando que el segundo sub-electrodo superior (42) está conectado a una tensión (V2) de 0V, la tensión (V1) aplicada al primer sub-electrodo superior (41) es muy sencilla. Con una señal cuadrada en torno a 1kHz, es suficiente para conseguir la lente (1). En las Figs. 8a-8d, se muestran algunos resultados correspondientes a diferentes valores de dicha tensión (V1).

Segunda configuración (Figs. 9-14)

Se describe un ejemplo de lente (1) de acuerdo con la segunda configuración de la presente invención. Como se ha mencionado con anterioridad en este documento, esta segunda configuración está basada en la técnica descrita en el documento ES2645759 titulado *"Microlente de cristal líquido y matriz de microlentes de cristal líquido"*.

Las Figs. 9a-9b muestran diferentes configuraciones de electrodos (4, 5) que se pueden utilizar en este ejemplo. Concretamente, la Fig. 9a muestra un ejemplo de electrodo (4, 5) que tiene apertura cuadrada, la Fig. 9b muestra un ejemplo de electrodo (4, 5) con apertura circular, y la Fig. 9c muestra un ejemplo de electrodo (4, 5) similar al de la Fig. 9a pero de forma paralelepípedica no rectangular. En cualquiera de los casos, se aprecia que el electrodo (4, 5) está formado por un par de sub-electrodos (41, 42; 51, 52) conectados a través de una línea de transmisión (43, 53) que genera un gradiente de tensión entre ambos sub-electrodos (41, 42; 51, 52). En este caso, la línea de transmisión (43, 53) tiene un grosor de 10µm. Unos hilos conductores (44, 54) están conectados a diferentes puntos distribuidos a lo largo de la línea de transmisión (43, 53) respectiva. En este ejemplo, el grosor de los hilos conductores (44, 54) es también de 10µm, y existe una separación de 10µm entre ellos.

En la Fig. 9c se puede ver que, considerando un caso en que la resistividad de la línea de transmisión (43, 53) es uniforme a lo largo de toda su longitud, la resistencia (R_{tot}) de la película de ITO que forma la línea de transmisión (43, 53) depende del número de zonas (n° huecos) donde no hay hilos conductores (44, 54) conectados a la línea de transmisión (43, 53) y de la resistencia de cada hueco (R_1). Este cálculo admite una simplificación: se

considera despreciable la resistencia que existe en los puntos de conexión de los hilos conductores (44, 54) frente a la que aparece en los huecos entre pares de hilos conductores (44, 54). La resistencia (R_1) se puede controlar en el proceso de fabricación mediante: el control del tiempo de atacado ácido (que afecta al espesor de la película y, por tanto, a R_{sq} = resistividad del ITO/espesor del ITO, o en el proceso de diseño, mediante la longitud del hueco (Lhueco) y el ancho de la línea (width). Se han diseñado los dispositivos específicos para producir resistencias R_{tot} de 50k Ω a 1M Ω (de esta manera los consumos se han mantenido en el orden de los μ W).

Una vez diseñados los electrodos (4, 5), se utiliza dicho patrón para fotolitografiar dos substratos de vidrio (2, 3) recubiertos de una película de ITO. Las Figs. 10a y 10b muestran esquemáticamente sendos electrodos respectivamente superior (4) e inferior (5) diseñados con apertura cuadrada. Es decir, los sub-electrodos (41, 42; 51, 52) son paralelos entre sí y están unidos por una línea de transmisión (43, 53) perpendicular a los mismos. Los hilos conductores (44, 54) están conectados a puntos distribuidos a lo largo de la línea de transmisión (43, 53) y son paralelos entre sí y a los respectivos sub-electrodos (41, 42; 51, 52). A su vez, los substratos (2, 3) se montan de manera que los hilos conductores (44, 54) de los electrodos superior (4) e inferior (5) queden ortogonales entre sí, como se muestra en la Fig. 10c en una vista en planta.

La capa de alineamiento de los substratos se podrá fabricar de diversas maneras. El modo de operación preferido es con alineamiento homogéneo, es decir, con la dirección del alineamiento paralela a una de las líneas de transmisión (43, 53). Esta configuración hace que sea importante tener en cuenta las características electro-ópticas del cristal líquido a la hora de fabricar el dispositivo. Se recomienda una tensión umbral (V_{th}) del cristal líquido mínima para evitar zonas planas que no produzcan cambio de fase en la zona central de las lentes (1). Por otro lado, se requieren cristales líquidos con birrefringencia alta para aumentar la potencia óptica. Además, al igual que en la configuración anterior, el espesor de la capa de cristal líquido deberá seguir una relación específica con la distancia entre hilos conductores (44, 54), recomendándose una relación mínima de (espesor cristal líquido)/(distancia entre hilos conductores) en torno a 2 - 2,5 para asegurar una transición de fase aproximadamente lineal entre los mismos.

Con esta configuración, tal como se define en el documento ES2645759, se requieren 4 señales alternas sinusoidales (V_1 , V_2 , V_3 , V_4) aplicadas respectivamente a cada uno de los 4 sub-electrodos (41, 42; 51, 52). Cada señal sinusoidal se caracterizará por una frecuencia

(ω en torno a 1kHz dependiendo del cristal líquido), una amplitud (A) y un desfase eléctrico (ϕ). Se definen cuatro señales: $V1=A1 \cdot \sin(\omega t + \phi1)$, $V2=A2 \cdot \sin(\omega t + \phi2)$, $V3=A3 \cdot \sin(\omega t + \phi3)$, y $V4=A4 \cdot \sin(\omega t + \phi4)$. El principio clave de funcionamiento requiere establecer un desfase eléctrico de 180° entre las señales que se aplican a los sub-electrodos (41, 42; 51, 52) del mismo substrato (2, 3) y un desfase de 90° entre señales que excitan los sub-electrodos (41, 42; 51, 52) de los substratos superior (2) e inferior (3), por ejemplo, $\phi1 = 0^\circ$, $\phi2 = 180^\circ$, $\phi3 = 90^\circ$ y $\phi4 = 270^\circ$. En el modo de operación preferido, las amplitudes de todas las señales serán simultáneamente iguales entre sí ($A1 = A2 = A3 = A4 = v$ voltios). El resultado de aplicar este método de excitación es una distribución del campo eléctrico en forma de pirámide cuyo vértice (en el centro de la superficie activa de la lente) tendrá un valor de 0 voltios. El gradiente entre el centro y el extremo de la lente será v voltios. Para evitar este paso por cero en el centro, se puede mejorar el control mediante la introducción de una tensión de offset. Para generar esta tensión V_{off} , se aplicará a baja frecuencia una tensión continua, u_{offset} , entre sub-electrodos (41, 42; 51, 52) como se muestra en las Figs. 11a-11d. Concretamente, en un pequeño lapso de tiempo, V_{off} se sumará a $V1$ y $V2$ y, en el siguiente, V_{off} se sumará a $V3$ y $V4$. Por ejemplo, si las amplitudes en los sub-electrodos (41, 42; 51, 52) son iguales ($A1 = A2 = A3 = A4 = v$), la tensión en el centro de la lente (1) será V_{off} y en el extremo $v+V_{off}$, por lo cual el gradiente seguirá siendo controlable e igual a v , aprovechando al máximo la birrefringencia del cristal líquido. Para compensar el problema de la anisotropía elástica del cristal líquido, es posible utilizar diferentes amplitudes de la tensión en cada sub-electrodo (41, 42; 51, 52). Las Figs. 12a-12d muestran micrografías correspondientes a algunos resultados obtenidos con diferentes valores de las tensiones ($V1, V2, V3, V4$).

Esta segunda configuración permite obtener una lente (1) de 1 cm de diámetro cuyo foco es sintonizable con la tensión. Se demuestra con ello que es posible una distribución homogénea de la tensión por la superficie para producir unos anillos concéntricos que se corresponden con un perfil esférico de la fase. Los perfiles de fase se pueden extraer de las micrografías anteriores, simplemente hay que tener en cuenta que cada anillo indica un salto de fase de 2π .

Como muestra la Fig. 13, es posible obtener perfiles parabólicos empleando tensiones muy pequeñas (inferiores a 2 voltios). Por otra parte, la Fig. 14 demuestra la posibilidad de controlar la distancia focal. En este caso se alcanzan distancias focales de hasta $+0.6D$, donde D =dioptrías. Esta potencia óptica puede ser fácilmente doblada usando un cristal líquido de alta birrefringencia. Se estima que sería posible conseguir hasta $+1.2D$.

Tercera configuración (Figs. 15-16)

Como se ha descrito más arriba en el presente documento, es conocido el uso de lentes de Fresnel para generar elevadas potencias ópticas con un peso y volumen de lente reducido.

5 La Fig. 15 muestra el perfil de fase de una lente de Fresnel. Actualmente, todos los diseños de lentes de Fresnel basados en cristal líquido emplean técnicas multielectrodo para generar los diferentes tramos de la lente de Fresnel, lo que presenta los inconvenientes relativos a la elevada complejidad de fabricación y posterior control mediante múltiples voltajes. Por otro lado, las zonas de Fresnel generan bajas eficiencias de difracción.

10 La tercera configuración de lente de acuerdo con la invención permite obtener una lente de Fresnel utilizando solamente dos tensiones de control (V_1 , V_2). Para ello, como se muestra en las Figs. 16a y 16b, el electrodo superior (4) está formado por dos sub-electrodos (41, 42) que en este ejemplo son paralelos entre sí y que disponen de una línea perpendicular a ambos que lleva la tensión hasta un punto más cercano al centro de la lente (1). La línea de transmisión superior (43) conecta un primer punto (P_1) de dicha línea perpendicular del primer sub-electrodo (41), que está ubicado en una primera circunferencia (O_1) con un segundo punto (P_2) de dicha línea perpendicular del segundo electrodo (41) que está ubicado en una segunda circunferencia (O_2) concéntrica con relación a la primera circunferencia (O_1) y de un menor diámetro.

Los hilos conductores superiores (44) están conectados eléctricamente a una pluralidad de puntos distribuidos a lo largo de la línea de transmisión (43) y tienen una forma circular concéntrica con relación a la segunda circunferencia (O_2). Nótese que, aunque por motivos de simplicidad en las Figs. 16a y 16b solo se ha representado una mitad de los hilos conductores (44), se entiende que la otra mitad de la lente (1) también dispondría de hilos conductores (44) correspondientes. En definitiva, los diámetros de la pluralidad de hilos conductores (44) están comprendidos entre el diámetro de la primera circunferencia (O_1) y el diámetro de la segunda circunferencia (O_2), repartiendo la tensión uniformemente a lo largo de toda la superficie anular. Los hilos conductores (44) más internos estarán a una tensión cercana a la tensión (V_2) del segundo sub-electrodo superior (41), mientras que los hilos conductores (44) más externos estarán a una tensión más cercana a la tensión (V_1) del primer sub-electrodo superior (42). Considerando que la tensión (V_2) es menor que (V_1), la distribución de tensiones obtenida permite generar un tramo de lente de Fresnel. Por ejemplo, para diseñar una lente (1) con +4D de potencia óptica, se pueden crear 36 zonas con desfase de 20π (Fig. 15). Además, el perfil de la lente (1) es configurable mediante la línea de

transmisión (43), pudiendo ser lineal, parabólico o de perfil arbitrario.

Gracias a este diseño se puede conseguir una lente de Fresnel con solo dos tensiones de control y fabricación simple (una sola fotolitografía). Las potencias ópticas pueden ser todo lo grandes que se requiera, simplemente aumentando la cantidad de zonas de Fresnel. Esta lente (1) puede suponer una revolución en el campo de las lentes adaptativas, con una fabricación y control sencillo, potencias ópticas y velocidades de conmutación elevadas.

Cuarta configuración (Fig. 17)

Se describe a continuación una lente (1) cilíndrica de acuerdo con la cuarta configuración de la presente invención. Es conocido que no se pueden fabricar lentes de cristal líquido cuyo espesor sea menor que la mitad del diámetro de la lente (ver el artículo de J. F. Algorri, V. Urruchi, N. Bennis, J.M. Sánchez-Pena, "*Using an Analytical Model to Design Liquid Crystal Microlenses*", IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 26, no. 8, pp. 793-796 (2014). La razón es que, para espesores más pequeños, la distribución de tensión no es la apropiada, ya que en el centro de la lente (1) la tensión cae a 0V.

Una posible solución a esta restricción podría ser el empleo de la técnica descrita en esta solicitud. Como se muestra en las Figs. 17a y 17b, una lente (1) de acuerdo con la cuarta configuración de la invención comprende un electrodo superior (4) formado por dos sub-electrodos (41, 42) dispuestos en paralelo entre sí y unidos por una línea de transmisión (43) y una segunda línea de transmisión (43'). Ambas líneas de transmisión (43, 43'), que en este ejemplo son rectas, están conectadas eléctricamente al primer sub-electrodo (41) en un mismo punto (M) y están conectadas al segundo sub-electrodo (42) en dos puntos diferentes (A, B). Ambas líneas de transmisión (43, 43') están igualmente inclinadas con relación a los sub-electrodos (41, 42). Unos hilos conductores (44) rectos, paralelos, y perpendiculares a los sub-electrodos (41, 42) están conectados a una pluralidad de puntos distribuidos a lo largo de las respectivas líneas de transmisión (43, 43'), de modo que el gradiente de tensión (V_1-V_2) entre los sub-electrodos (41, 42) se distribuye uniformemente por toda la superficie de la lente. Al igual que en todas las configuraciones descritas, el perfil de la lente (1) es configurable mediante el control de la resistencia de la línea de transmisión (43) o de los puntos de conexión de los hilos conductores, pudiendo ser lineal, parabólico o de perfil arbitrario.

Quinta configuración (Fig. 18)

Por último, se describe un vórtice óptico de acuerdo con una quinta configuración de la presente invención. En este caso, como se observa en las Figs. 18a y 18b, los dos sub-electrodos (41, 42) están situados uno junto a otro, y la línea de transmisión (43) tiene forma circular conectada a dichos sub-electrodos (41, 42) en dos puntos muy cercanos uno de otro.

- 5 Gracias a esta estructura, el gradiente de tensión (V_1 - V_2) se distribuye a lo largo de la circunferencia de la línea de transmisión (43). Unos hilos conductores (44) radiales están conectados a puntos ubicados a lo largo de la línea de transmisión (43) circular. Los hilos conductores tienen diferentes longitudes para cubrir de la manera más completa posible la superficie de la lente (1) interior a la línea de transmisión (43). Por tanto, algunos hilos
- 10 conductores (44) tienen una longitud sólo ligeramente menor al radio de la circunferencia de la línea de transmisión (43), mientras que otros tendrán longitudes más pequeñas. La tensión presente en la línea de transmisión (43) se distribuye así a lo largo de todos los sectores de la lente (1), generándose una tensión radial por toda la superficie que, traducida a un perfil de fase radial, produce los vórtices ópticos.

15

REIVINDICACIONES

1. Lente (1) sintonizable de cristal líquido, que comprende:
 - 5 - un sustrato superior (2) y un sustrato inferior (3) dispuestos en paralelo, donde el sustrato superior (2) comprende un electrodo superior (4) y el sustrato inferior (3) comprende un electrodo inferior (5); y
 - una capa de cristal líquido que rellena el espacio entre el sustrato superior (2) y el sustrato inferior (3),
- 10 caracterizada por que el electrodo superior (4) comprende:
 - un primer sub-electrodo superior (41) y un segundo sub-electrodo superior (42);
 - una línea de transmisión superior (43) de baja resistividad pero alta resistencia que conecta eléctricamente el primer sub-electrodo superior (41) y el segundo sub-
 - 15 electrodo superior (42), donde resistencia de la línea de transmisión superior (43) está distribuida de manera variable a lo largo de su longitud mediante una modificación del grosor de la línea de ITO que la conforma; y
 - una pluralidad de hilos conductores superiores (44) conectados eléctricamente a diferentes puntos de línea de transmisión superior (43), donde los hilos conductores superiores (44) están distribuidos de manera que cubren esencialmente toda la
 - 20 superficie de la lente (1) sin cruzarse unos con otros de modo que, cuando se aplican unas tensiones (V1, V2) a los respectivos sub-electrodos superiores primero (41) y segundo (41), la diferencia de tensión entre ambos se distribuye por toda la superficie de la lente (1).
- 25 2. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con la reivindicación 1, donde la resistencia total de la línea de transmisión superior es de entre 50 kΩ y 1 MΩ.
3. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la resistividad de la línea de transmisión superior es de entre 100 Ω/sq y
- 30 500 Ω/sq
4. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, donde los hilos conductores superiores (44) están conectados eléctricamente a una pluralidad de puntos situados en un tramo (T) de la línea de transmisión superior (43) y
- 35 adoptan una forma circular concéntrica, donde el hilo conductor superior (44) de menor diámetro está conectado al punto de menor tensión del tramo (T) de la línea de transmisión superior (43) y el hilo conductor superior (44) de mayor diámetro está conectado al punto de

mayor tensión del tramo (T) de la línea de transmisión superior (43), dando lugar a una lente esférica.

5. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con la reivindicación 4, donde la línea de transmisión superior (43) tiene una forma rectilínea cuyo centro constituye el punto de menor tensión del tramo al que están conectados los hilos conductores superiores (44).

6. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con las reivindicaciones 4-5, donde una relación mínima entre (espesor cristal líquido)/(distancia entre hilos conductores (44)) es de aproximadamente 2 - 2,5.

7. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, donde:

- el electrodo inferior (5) también comprende un primer sub-electrodo inferior (51) y un segundo sub-electrodo inferior (52); una línea de transmisión inferior (53) de baja resistividad pero alta resistencia que conecta eléctricamente el primer sub-electrodo inferior (51) y el segundo sub-electrodo inferior (52); y una pluralidad de hilos conductores inferiores (54) conectados eléctricamente a diferentes puntos de la línea de transmisión inferior (53), estando los hilos conductores inferiores (54) distribuidos de manera que cubren esencialmente toda la superficie activa de la lente (1) tal que, cuando se aplican unas tensiones (V3, V4) a los respectivos sub-electrodos inferiores primero (51) y segundo (52), la diferencia de tensión entre ambos se distribuye por toda la superficie de la lente (1);

- los hilos conductores superiores (44) y los hilos conductores inferiores (54) están distribuidos de manera que, vistos en planta, conforman una matriz formada por figuras planas cerradas, donde cada figura plana comprende cuatro lados de los que dos lados corresponden a dos hilos conductores superiores (44) y dos lados corresponden a hilos conductores inferiores (54), y donde los dos lados correspondientes a hilos conductores (44, 54) pertenecientes al mismo electrodo (4, 5) están situados en posiciones opuestas; y

- cada sub-electrodo (41, 42; 51, 52) es excitado por una señal eléctrica alterna (V1, V2, V3, V4), estando desfasadas 180° las señales eléctricas de los sub-electrodos (41, 42; 51, 52) de un mismo electrodo (4, 5), y estando desfasadas 90° las señales eléctricas de los sub-electrodos superiores (41, 42) con relación a las señales eléctricas de los sub-electrodos (51, 52) inferiores.

8. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con la reivindicación 7, donde cada figura

plana es un paralelepípedo en el que cada hilo conductor (44, 54) constituye un lado.

9. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con la reivindicación 8, donde cada figura plana es un cuadrado en el que cada hilo conductor (44, 54) constituye un lado.

5

10. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-9, donde las señales eléctricas alternas (V1, V2, V3, V4) tienen forma esencialmente sinusoidal.

10 11. Lente (1) sintonizable de cristal líquido de acuerdo con las reivindicaciones 7-10, donde una relación mínima entre (espesor cristal líquido)/(distancia entre hilos conductores (44)) es de aproximadamente 2 - 2,5.

12. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones
15 1-3, donde la línea de transmisión superior (43) comprende un primer punto de conexión al primer sub-electrodo superior (41) ubicado en una primera circunferencia (O1) y un segundo punto de conexión al segundo sub-electrodo superior (42) ubicado en una segunda circunferencia (O2) concéntrica con relación a la primera circunferencia y de un diámetro menor, y donde los hilos conductores superiores (44) están conectados a una pluralidad de
20 puntos de la línea de transmisión (43) distribuidos entre el primer punto de conexión y el segundo punto de conexión y adoptan una forma circular concéntrica con relación a la segunda circunferencia (O2), dando lugar a un tramo de lente de Fresnel.

13. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones
25 1-3, que además comprende una segunda línea de transmisión superior (43') conectada eléctricamente entre el primer sub-electrodo superior (41) y el segundo sub-electrodo superior (42), donde la línea de transmisión superior (43) y la segunda línea de transmisión superior (43') están ambas conectadas al primer sub-electrodo superior (41) en el mismo punto (M), y donde la pluralidad de hilos conductores superiores (44) son rectilíneos,
30 paralelos, y están conectados a una pluralidad de puntos distribuidos a lo largo de la línea de transmisión superior (43) y la segunda línea de transmisión superior (43'), dando lugar a una lente cilíndrica.

14. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones
35 1-3, donde la línea de transmisión superior (43) tiene forma circular con los puntos de conexión a los sub-electrodos superiores primero (41) y segundo (42) ubicados uno junto a otro, y donde los hilos de transmisión (44) tienen dirección radial y están distribuidos a lo

largo de toda la línea de transmisión superior, dando lugar a un vórtice óptico.

15. Lente sintonizable de cristal líquido de acuerdo con la reivindicación 14, donde la pluralidad de hilos conductores superiores (44) comprenden hilos conductores superiores (44) de una longitud cercana al radio de la circunferencia formada por la línea de transmisión superior (43) y otros hilos conductores superiores (44) más cortos que rellenan los huecos que quedan entre aquellos.
- 5

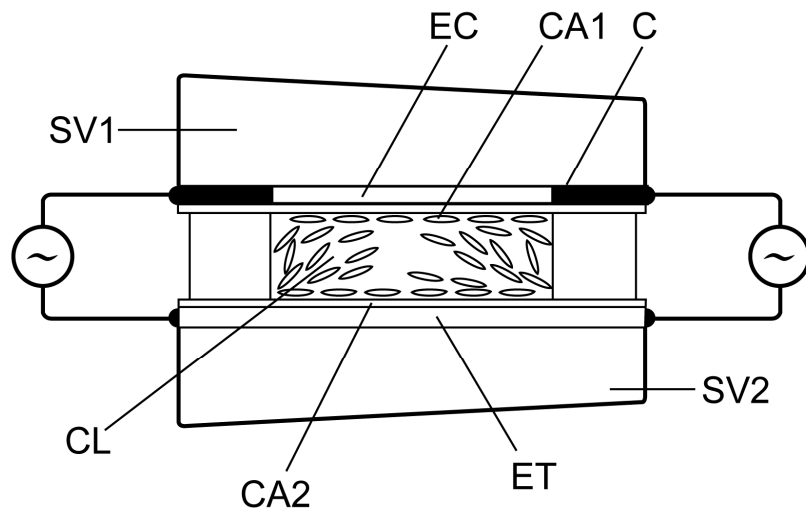


FIG.1
TÉCNICA ANTERIOR

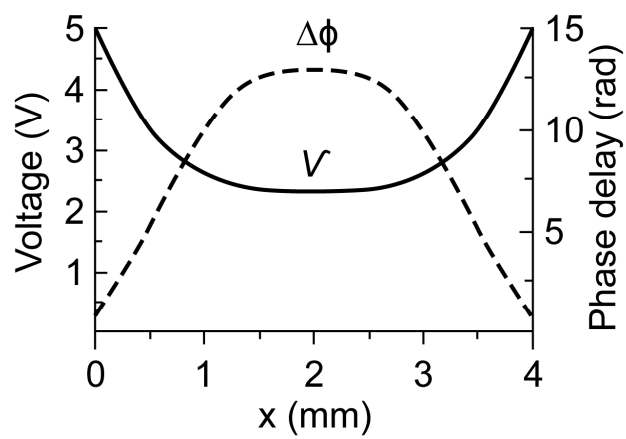


FIG.2
TÉCNICA ANTERIOR

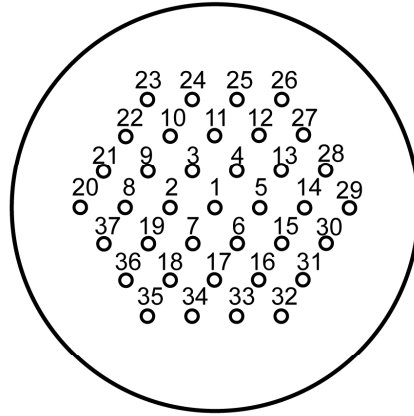


FIG.3
TÉCNICA ANTERIOR

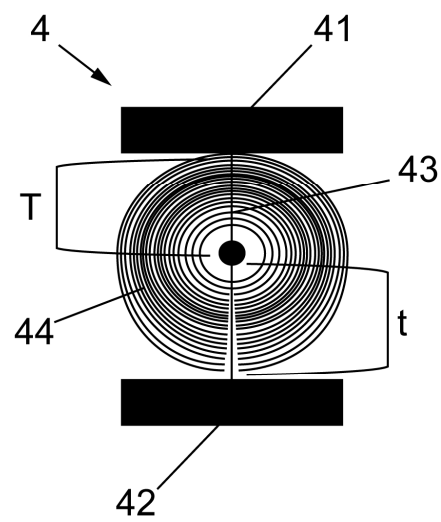


FIG.4

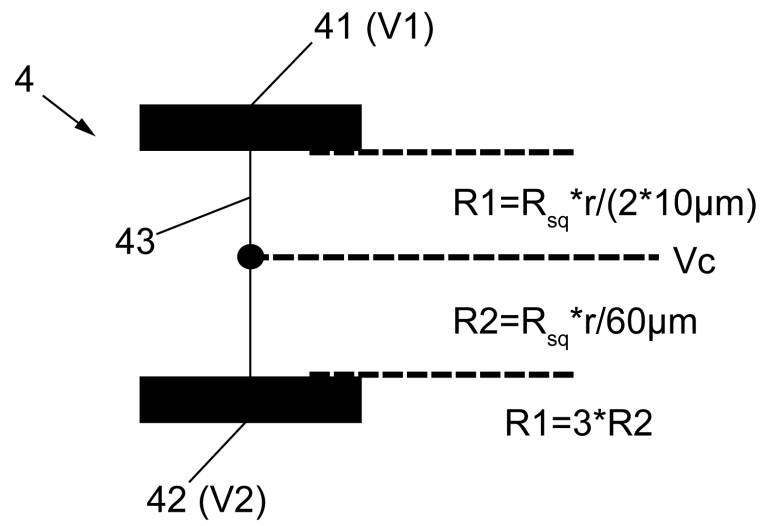


FIG.5

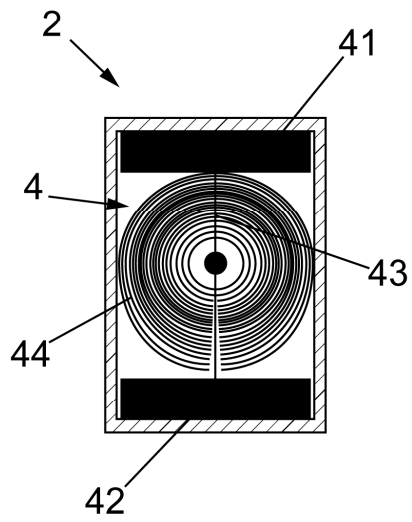


FIG.6a

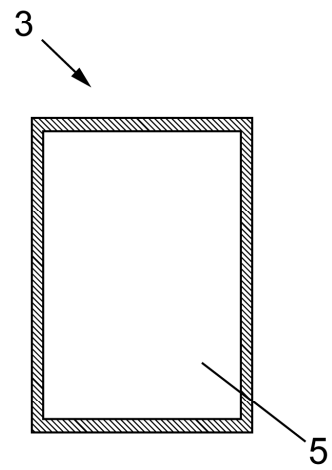


FIG.6b

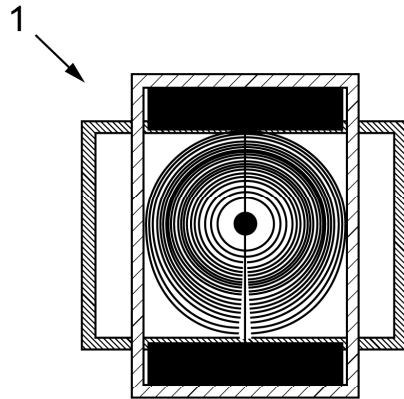


FIG.7

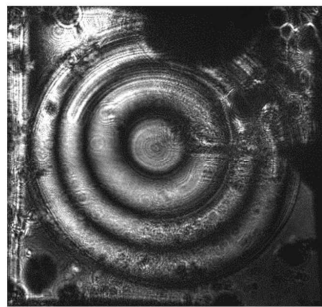


FIG.8a

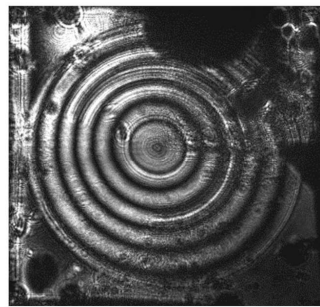


FIG.8b

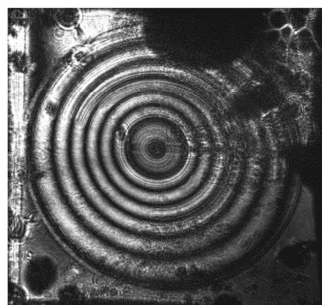


FIG.8c

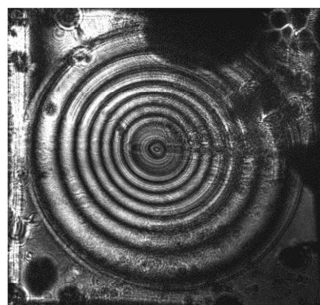


FIG.8d

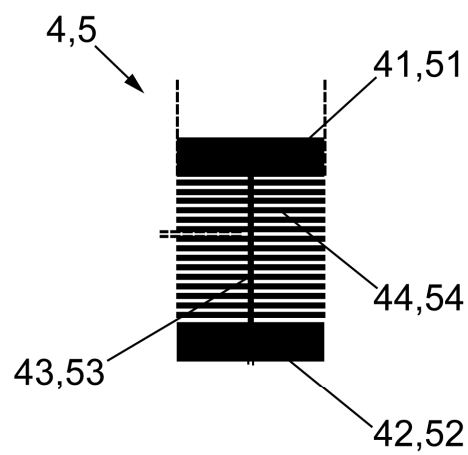


FIG. 9a

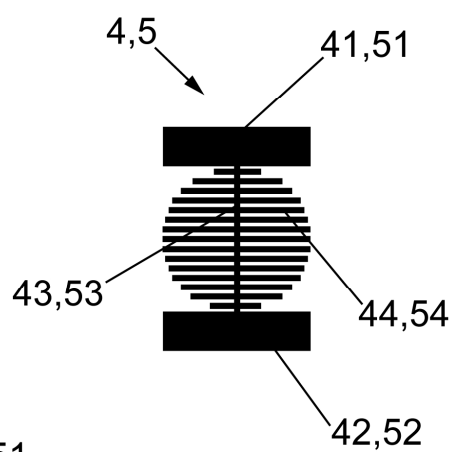


FIG. 9b

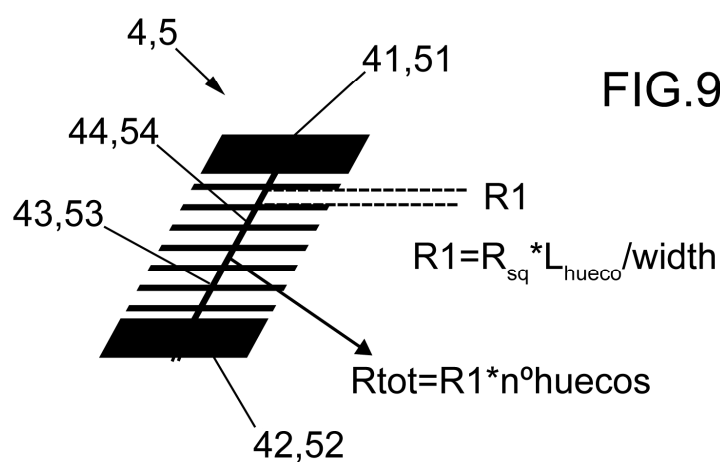
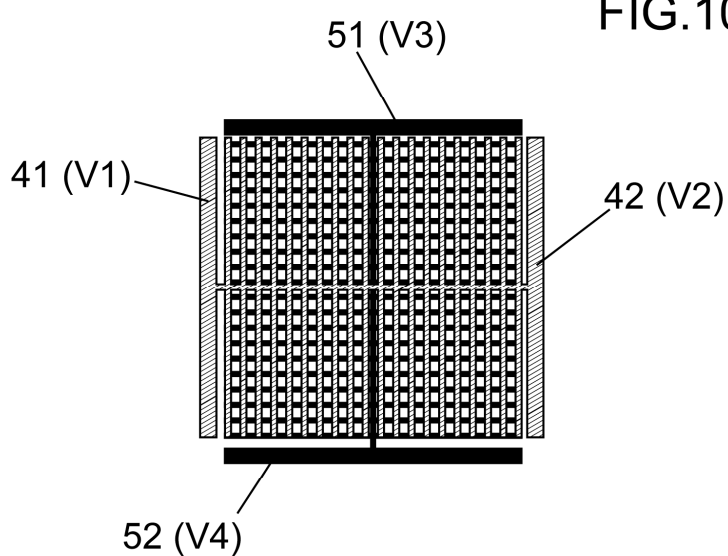
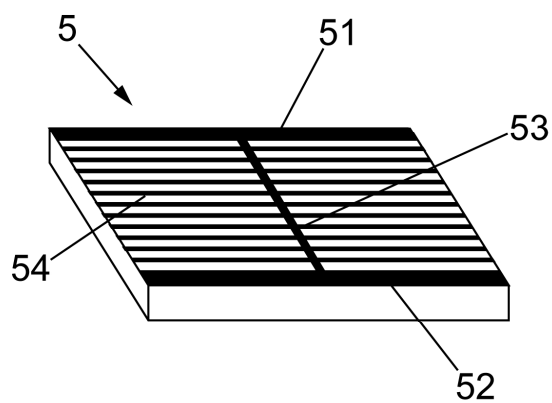
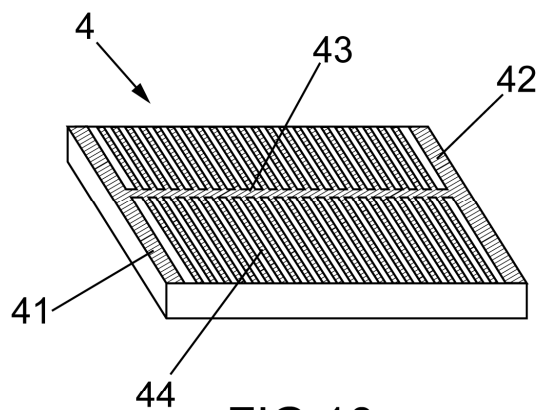


FIG. 9c



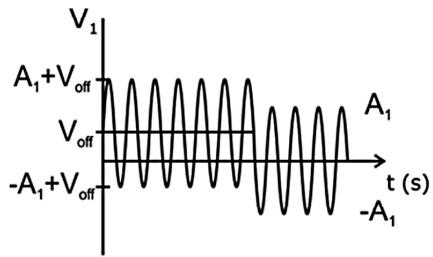


FIG. 11a

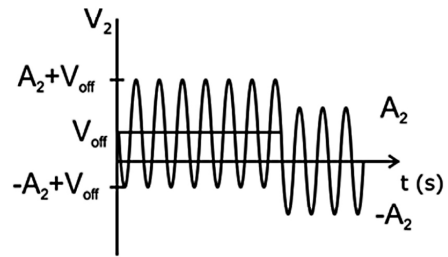


FIG. 11b

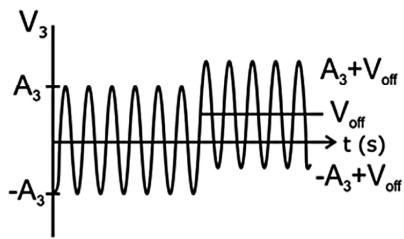


FIG. 11c

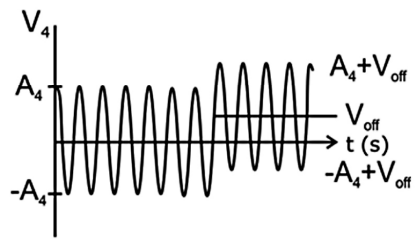


FIG. 11d

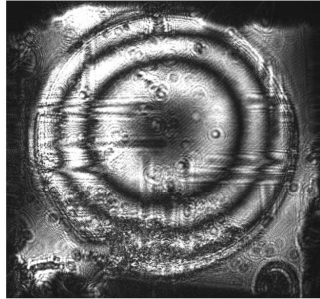


FIG.12a

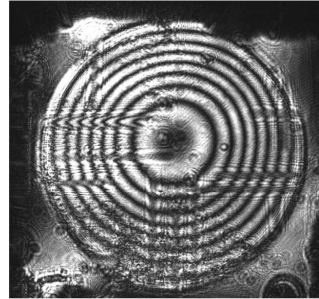


FIG.12b

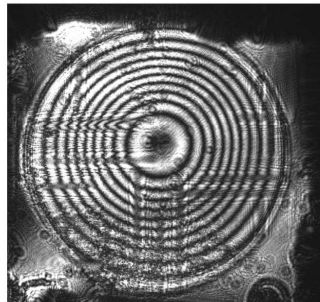


FIG.12c

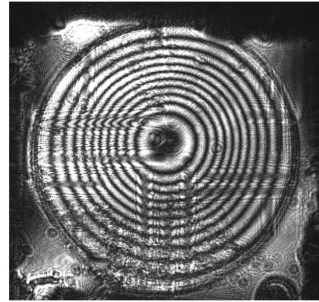


FIG.12d

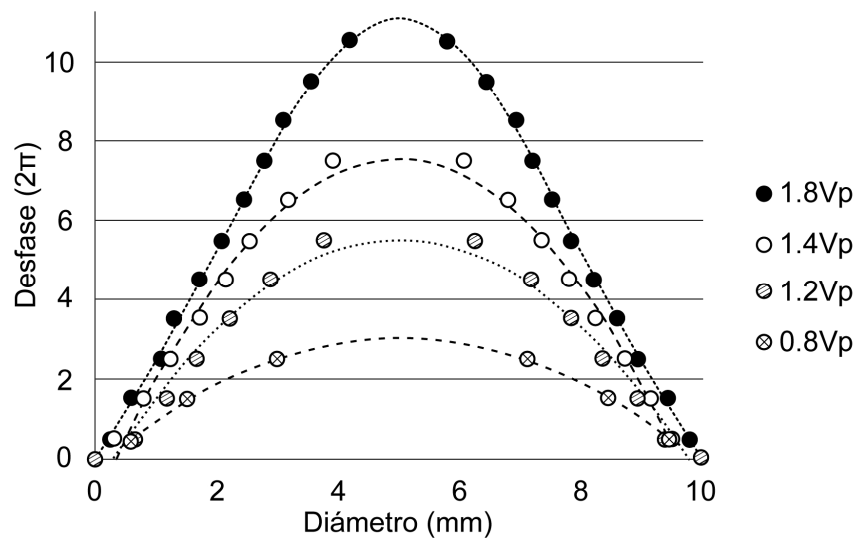


FIG.13

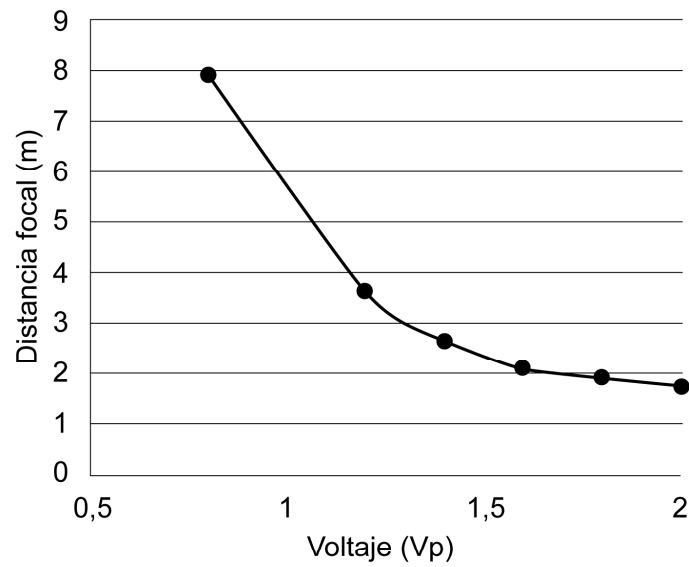


FIG.14

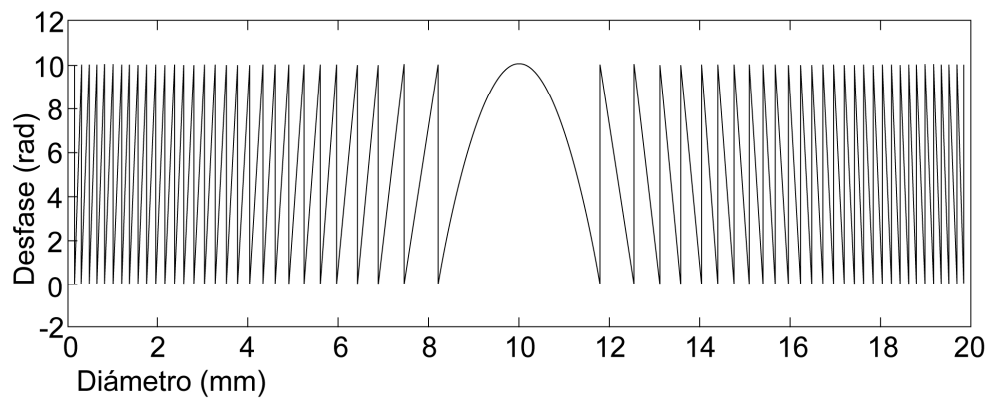
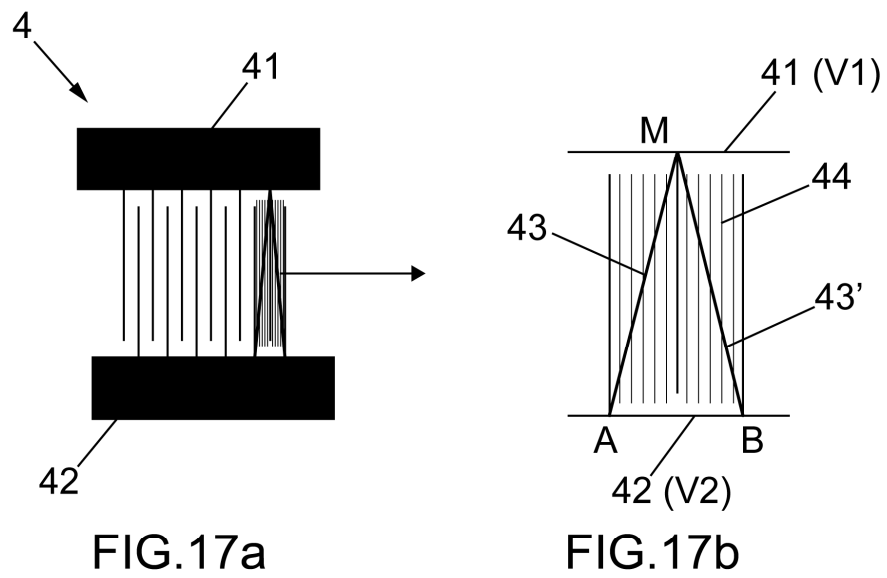
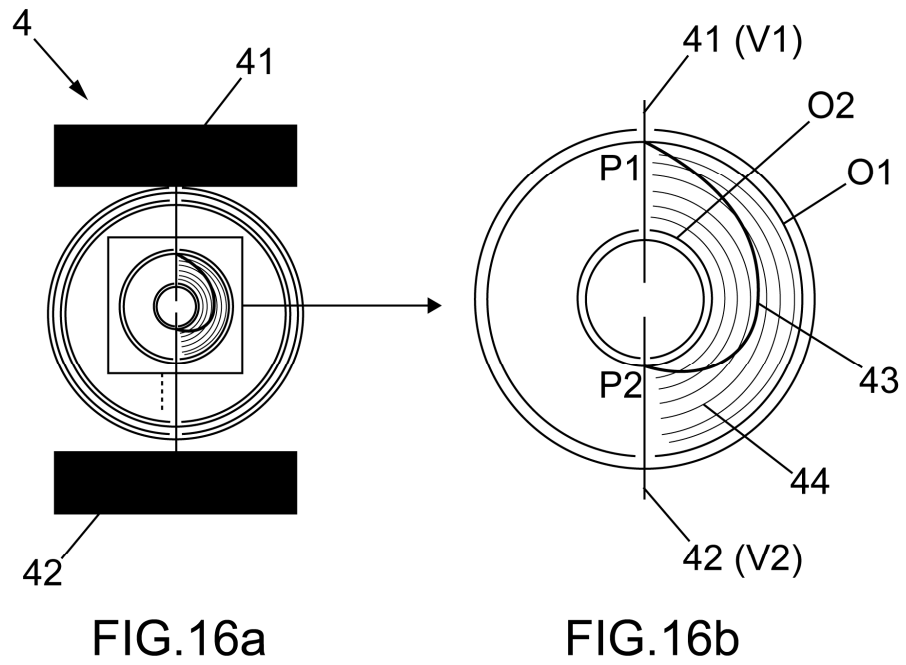


FIG.15



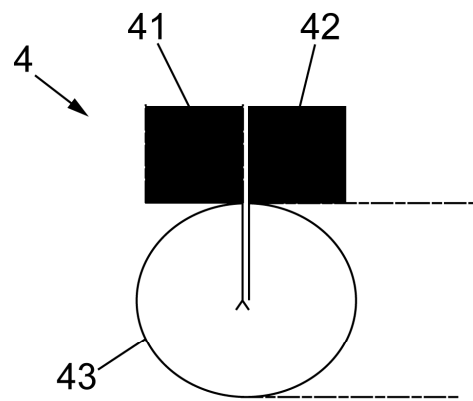


FIG.18a

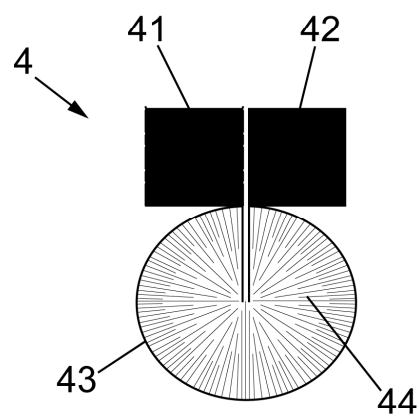


FIG.18b