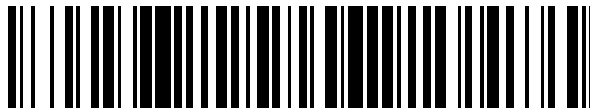


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 498**

51 Int. Cl.:

G02F 1/133 (2006.01)

G02F 1/13 (2006.01)

G02F 1/1343 (2006.01)

G02F 1/29 (2006.01)

G09G 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2013 PCT/IB2013/058989**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2014 WO14049577**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2013 E 13842473 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 2901210**

54 Título: **Lentes con potencia y alineación eléctricamente ajustable**

30 Prioridad:

30.09.2012 US 201261707962 P

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

16.10.2019

73 Titular/es:

**OPTICA AMUKA (A.A.) LTD. (100.0%)
9 Bareket Street, P.O. Box 7101
4951777 Petach Tikva, IL**

72 Inventor/es:

**YADIN, YOAV;
ALON, ALEX y
HADDAD, YARIV**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 727 498 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

Lentes con potencia y alineación eléctricamente ajustables

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 Esta solicitud reivindica el beneficio de la solicitud de patente provisional de EE.UU. 61/707.962, presentada el 30 de septiembre de 2012, que se incorpora en esta memoria como referencia.

Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a dispositivos ópticos y, en particular, a lentes eléctricamente ajustables.

Antecedentes

10 Las lentes ajustables son elementos ópticos cuyas características ópticas, como la distancia focal y/o la ubicación del eje óptico, se pueden ajustar durante el uso, generalmente bajo control electrónico. Tales lentes se pueden usar en una amplia variedad de aplicaciones. Por ejemplo, la patente de EE.UU. 7.475.985, cuya divulgación se incorpora en esta memoria como referencia, describe el uso de una lente electroactiva con el propósito de corregir la visión.

15 Las lentes ajustables eléctricamente contienen típicamente una capa delgada de un material electroóptico adecuado, es decir, un material cuyo índice de refracción local efectivo cambia en función de la tensión aplicada a través del material. Se utiliza un electrodo o serie de electrodos para aplicar las tensiones deseadas con el fin de ajustar localmente el índice de refracción al valor deseado. Los cristales líquidos son el material electroóptico que se usa más comúnmente para este propósito (en donde la tensión aplicada rota las moléculas, lo que cambia el eje de birrefringencia y por lo tanto cambia el índice de refracción efectivo), pero, como alternativa, pueden se pueden usar otros materiales, como los geles de polímeros, con propiedades electroópticas similares para este propósito.

20 En la técnica, se conocen varios diseños para lentes basados en cristales líquidos, aunque sus usos prácticos han sido limitados. Por ejemplo, Naumov et al. describe un enfoque para este propósito en "Liquid-Crystal Adaptive Lenses with Modal Control", *Optics Letters* 23, páginas 992-994 (1998), que se incorpora en esta memoria por referencia. Los autores utilizaron correctores de fase nemáticos de cristal líquido (LC) para formar frentes de onda esféricos y cilíndricos. Una celda LC con una impedancia eléctrica reactiva distribuida fue impulsada por una tensión de CA aplicada al límite de la celda para producir la distribución espacial deseada del índice de refracción.

25 Otros diseños de lentes ajustables utilizan una serie de electrodos para definir una cuadrícula de píxeles en el cristal líquido, similar al tipo de cuadrícula de píxeles utilizada en las pantallas de cristal líquido. Los índices de refracción de los píxeles individuales pueden controlarse eléctricamente para dar un perfil de modulación de fase deseado. (La expresión "perfil de modulación de fase" se usa en la presente descripción y en las reivindicaciones para indicar la distribución de los desplazamientos de fase locales que se aplican a la luz que pasa a través de la capa como resultado del índice de refracción efectivo de la variable local sobre el área de la capa electroóptica de la lente ajustable.) Las lentes que utilizan series de cuadrículas de este tipo se describen, por ejemplo, en la patente de EE.UU. 7.475.985.

30 El documento US-A-2010/0157181 describe un dispositivo de serie de lentes que incluye sustratos primero y segundo; un primer grupo de electrodos formado en el primer sustrato para incluir electrodos transparentes que se extienden en la primera dirección; un segundo grupo de electrodos formado en el segundo sustrato para incluir electrodos transparentes que se extienden en una segunda dirección; y una capa de cristal líquido con anisotropía de índice de refracción dispuesta entre los sustratos primero y segundo para producir un efecto de lente al cambiar la alineación de la molécula de cristal líquido.

35 El documento US-A-2004/169630 describe un modulador óptico de cristal líquido operado como una lente cóncava que usa un área de modulación de curva cuadrática de un área de modulación de índice de refracción de una capa de molécula de cristal líquido, que es diferente de un área de operación de lente convexa convencional, sin cambiar la configuración del modulador óptico de cristal líquido. El modulador óptico de cristal líquido se opera como una lente cóncava que utiliza un área de modulador de curva cuadrática utilizada por un modulador óptico de cristal líquido convencional, así como un área diferente de esa área para permitir que el modulador óptico de cristal líquido opere como una lente convexa y como una lente cóncava.

40 El documento US-A-5.212.583 describe un sistema de lentes electroópticas adaptativas para su uso en sistemas de almacenamiento de datos ópticos, series de fases ópticas, láser u otros proyectores ópticos y dispositivos de escaneo de trama y similares. El sistema proporciona un medio electroóptico para escanear un haz óptico o mover un punto de recuperación o almacenamiento óptico. El movimiento del haz se logra electroópticamente, cambiando el índice de refracción de un material electroóptico controlando los campos eléctricos aplicados al mismo.

Compendio

45 Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo óptico, que comprende: una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica

en la ubicación; un electrodo común, colocado sobre el área activa en un primer lado de la capa electroóptica; una serie de electrodos de excitación, que comprende bandas conductoras paralelas que se extienden sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado; y la circuitería de control, que se acopla para aplicar formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y están configurados para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control respectivas aplicadas a una pluralidad de los electrodos de excitación, modificando así un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica, en donde cada electrodo de excitación está conectado individualmente y controlado independientemente por la circuitería de control para ajustar el perfil de modulación de fase del dispositivo, y se caracteriza por que la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación para que el dispositivo funcione como una lente cilíndrica, que tiene propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase; y porque la capa electroóptica tiene un espesor de capa igual a una distancia entre los lados primero y segundo, y los electrodos de excitación tienen un paso entre electrodos que es menor de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica.

Las realizaciones de la presente invención que se describen a continuación proporcionan dispositivos ópticos ajustables electrónicamente mejorados.

Por lo tanto, se proporciona, según una realización de la presente invención, un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Un electrodo común se coloca sobre el área activa en un primer lado de la capa electroóptica. Una serie de electrodos de excitación, incluidas las bandas conductoras paralelas, se extiende sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado. La circuitería de control está acoplada para aplicar formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y está configurado para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control respectivas aplicadas a una pluralidad de los electrodos de excitación, modificando así un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica.

En algunas realizaciones, la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación para que el dispositivo funcione como una lente cilíndrica, posiblemente una lente Fresnel cilíndrica, que tenga propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase. Típicamente, la circuitería de control está configurada para modificar las formas de onda de tensión de control aplicadas a los electrodos de excitación para cambiar la longitud focal de la lente cilíndrica y/o desplazar una línea focal de la lente cilíndrica en una dirección transversal al dispositivo.

En realizaciones descritas, la capa electroóptica incluye un cristal líquido, que puede configurarse como una capa independiente de la polarización.

También se proporciona, según una realización de la presente invención, un aparato que incluye dispositivos ópticos primero y segundo como se describe anteriormente, en donde los dispositivos ópticos primero y segundo están dispuestos en serie. Los electrodos de los dispositivos ópticos primero y segundo pueden compartir un sustrato común. En una realización descrita, los electrodos de excitación en el segundo dispositivo óptico están orientados en una dirección ortogonal a los electrodos de excitación en el primer dispositivo óptico, y la circuitería de control puede configurarse para aplicar las tensiones de control a los electrodos de excitación en los dispositivos ópticos primero y segundo para que el aparato emule una lente esférica. Opcionalmente, la circuitería de control puede modificar las tensiones de control aplicadas a los electrodos de excitación para desplazar un eje óptico de la lente esférica.

Como alternativa, la capa electroóptica en el primer dispositivo óptico tiene un primer eje de birrefringencia, y la capa electroóptica en el segundo dispositivo óptico tiene un segundo eje de birrefringencia, perpendicular al primer eje de birrefringencia.

Se proporciona adicionalmente, según una realización de la presente invención, un sistema de lentes oftálmicas que incluye el dispositivo como se describe anteriormente.

Además, se proporciona, según una realización de la presente invención, un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice local de refracción efectivo en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Una primera serie de primeros electrodos de excitación, incluidas las primeras bandas conductoras paralelas, se extiende en una primera dirección sobre el área activa en un primer lado de la capa electroóptica. Una segunda serie de segundos electrodos de excitación, que incluyen segundas bandas conductoras paralelas, se extiende en una segunda dirección, ortogonal a la primera dirección, sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado. La circuitería de control está acoplada para aplicar las respectivas formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación y está configurado para modificar simultáneamente las respectivas formas de onda de control de control aplicadas tanto a los primeros electrodos de excitación como a los segundos electrodos de excitación para generar un perfil de modulación de fase específico en la capa electroóptica.

En realizaciones descritas, la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a diferentes amplitudes respectivas a diferentes electrodos de excitación y/o con diferentes ciclos de trabajo

respectivos a diferentes electrodos de excitación.

En algunas realizaciones, la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación de modo que el dispositivo funcione como una lente, como una lente de Fresnel, que tiene propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase. Típicamente, la circuitería de control está configurada para modificar las formas de onda de tensión de control aplicadas a los electrodos de excitación para cambiar la longitud focal de la lente y/o para desplazar un eje óptico de la lente. La circuitería de control puede aplicar las formas de onda de tensión a los electrodos de excitación para que el dispositivo funcione como una lente esférica astigmática.

En una realización, la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control de manera que la tensión aplicada a través de la capa electroóptica está restringida para estar dentro de un intervalo en el que el índice de refracción local efectivo varía como una función cuasilineal de la tensión aplicada.

En otra realización, el perfil de modulación de fase se define como una función que se puede separar en funciones de primer y segundo componente, que varían respectivamente a lo largo de los ejes primero y segundo alineados en las direcciones segunda y primer, respectivamente, y las formas de onda de control de tensión aplicadas a los electrodos de excitación primero y segundo se especifican según las funciones de los componentes primera y segunda, respectivamente. Las funciones de los componentes primera y segunda se pueden definir en términos de un conjunto de formas de onda de componentes que se seleccionan de modo que correspondan a diferentes desplazamientos de fase respectivos en la capa electroóptica, de modo que el perfil de modulación de fase incluya una suma de los desplazamientos de fase respectivos debidos a las funciones de los componentes primero y segundo en cada ubicación dentro del área activa.

Además, se proporciona, según una realización de la presente invención, un aparato que incluye dispositivos ópticos primero y segundo como se describe anteriormente, en el que los dispositivos ópticos primero y segundo están dispuestos en serie, posiblemente con ejes de birrefringencia perpendiculares.

Además, se proporciona, según una realización de la presente invención, un dispositivo óptico, que incluye una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que se determina por una tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. La capa electroóptica tiene lados primero y segundo y un espesor de capa igual a una distancia entre los lados primero y segundo. Los electrodos conductores se extienden sobre los lados primero y segundo de la capa electroóptica. Los electrodos incluyen al menos una serie de electrodos de excitación que tienen un paso entre electrodos que es menos de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica. La circuitería de control está acoplada para aplicar formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación para modificar un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica.

En una realización descrita, los electrodos incluyen bandas paralelas de un material conductor transparente que tiene huecos entre las bandas de un ancho de hueco que es menos del espesor de la capa de la capa electroóptica.

También se proporciona, según una realización de la presente invención, un método para producir un dispositivo óptico. El método incluye proporcionar una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Un electrodo común se coloca en un primer lado de la capa electroóptica, para cubrir el área activa. Una serie de electrodos de excitación, incluidas las bandas conductoras paralelas, se coloca de manera que se extienda sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado. La circuitería de control está acoplada para aplicar formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control aplicadas a una pluralidad de electrodos de excitación, modificando así un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica.

Además, se proporciona, según una realización de la presente invención, un método para producir un dispositivo óptico, que incluye proporcionar una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción local efectivo en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación. Una primera serie de primeros electrodos de excitación, incluidas las primeras bandas conductoras paralelas, se coloca de manera que se extienda en una primera dirección sobre el área activa en un primer lado de la capa electroóptica. Una segunda serie de segundos electrodos de excitación, incluidas las segundas bandas conductoras paralelas, se coloca de manera que se extienda en una segunda dirección, ortogonal a la primera dirección, sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado. La circuitería de control está acoplada para aplicar formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control aplicadas tanto a los primeros electrodos de excitación como a los segundos electrodos de excitación para generar un perfil de modulación de fase específico en la capa electroóptica.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para producir un dispositivo óptico, un método para producir un dispositivo óptico, comprendiendo el método: proporcionar una capa electroóptica, que

tiene un índice de refracción local efectivo en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación; colocar en un primer lado de la capa electroóptica un electrodo común, para cubrir el área activa; posicionar una serie de electrodos de excitación, que comprenden bandas conductoras paralelas, para extenderse sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado; y acoplar la circuitería de control para aplicar formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control aplicadas a una pluralidad de electrodos de excitación, modificando así un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica, en donde cada electrodo de excitación está individualmente conectado y controlado independientemente por la circuitería de control para ajustar el perfil de modulación de fase del dispositivo, y caracterizado por que la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación para que el dispositivo funcione como una lente cilíndrica, que tiene propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase; y por que la capa electroóptica tiene un espesor de capa igual a la distancia entre los lados primero y segundo, y los electrodos de excitación tienen un paso entre electrodos que es menos de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica.

Se proporciona además, según una realización de la presente invención, un método para producir un dispositivo óptico. El método incluye proporcionar una capa electroóptica, que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación, teniendo la capa electroóptica lados primero y segundo y un espesor de capa igual a una distancia entre los lados primero y segundo. Los electrodos conductores se colocan de manera que se extiendan sobre los lados primero y segundo de la capa electroóptica, incluyendo los electrodos al menos una serie de electrodos de excitación que tienen un paso entre electrodos que es menos de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica. La circuitería de control está acoplada para aplicar formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación para modificar un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica.

La presente invención se entenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la misma, tomada junto con los dibujos en los que:

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista lateral esquemática de un sistema óptico, según una realización de la presente invención;

La figura 2A es una ilustración esquemática, pictórica, de un dispositivo óptico, según una realización de la presente invención;

Las figuras 2B y 2C son vistas laterales esquemáticas de electrodos dispuestos en lados opuestos del dispositivo de la figura 2A, según una realización de la presente invención;

La figura 3A es una ilustración esquemática, pictórica, de un dispositivo óptico, según otra realización de la presente invención;

Las figuras 3B y 3C son vistas laterales esquemáticas de electrodos formados en lados opuestos del dispositivo de la figura 3A, según una realización de la presente invención;

La figura 3D es una vista lateral esquemática del dispositivo de la figura 3A, que muestra una superposición de los electrodos en los lados opuestos del dispositivo, según una realización de la presente invención; y

La figura 4 es un diagrama esquemático que muestra la dependencia del índice de refracción efectivo de una capa de cristal líquido en un dispositivo óptico en función de la tensión aplicada, utilizado para controlar un dispositivo óptico según una realización de la presente invención.

Descripción detallada de realizaciones

Visión general

Las lentes ajustables eléctricamente que utilizan un material electroóptico con una cuadrícula de píxeles pueden, en principio, generar cualquier perfil de modulación de fase deseado, dentro de los límites del intervalo alcanzable del índice de refracción local y el tono de los píxeles. Sin embargo, la realización de lentes prácticas para muchas aplicaciones, como el uso oftálmico, requiere una gran cuadrícula direccionable de píxeles muy pequeños, por ejemplo, una serie de al menos 400 X 400 píxeles con un paso de 50 μm o menos.

En los paneles de pantalla de cristal líquido (LCD), los píxeles se organizan normalmente en una serie de N filas y M columnas. Cada uno de los píxeles N*M puede recibir un conjunto de valores posibles (niveles de gris), independientemente de todos los demás píxeles. Se obtienen diferentes valores de píxeles mediante la alteración de las tensiones locales aplicadas a la capa de cristal líquido (LC). Típicamente, la tensión varía en el tiempo y alterna en signo (AC), a una velocidad más rápida que el tiempo de respuesta del LC, y el LC responde a la tensión aplicada promedio efectiva, siempre que la tensión promedio esté por encima de cierto umbral.

Las tensiones efectivas aplicadas a los píxeles del panel LCD se controlan mediante una circuitería de accionamiento.

Debido a la gran cantidad de píxeles, la circuitería de accionamiento generalmente controla las tensiones de los electrodos de columna y fila y no controla directamente la tensión en cada píxel. Este esquema le permite al accionador controlar solo $N+M$, en lugar de $N*M$, valores de tensión. Dado que es necesario controlar la tensión efectiva en cada píxel de forma independiente, se utilizan técnicas de tiempo compartido en el accionador para actualizar los valores de los píxeles en serie. Los electrodos de fila se usan normalmente para controlar las tensiones, seleccionando una fila activa, mientras que los electrodos de columna se usan para aplicar tensiones dependientes de los datos, correspondientes a los valores requeridos de los píxeles en la fila actualmente activa que se selecciona por la tensión de control de la fila. Los valores de píxel requeridos de una determinada columna se multiplexan así sobre las formas de onda de tensión de columna.

El tiempo compartido de este tipo se puede lograr, por ejemplo, colocando un transistor al lado de cada píxel. El transistor conecta el electrodo de columna al electrodo de píxel, y su conductividad es controlada por el electrodo de fila correspondiente. Las filas se tratan así en serie, una fila a la vez. Cuando se debe actualizar una determinada fila, por ejemplo el número k de la fila, la tensión del electrodo de la fila k se configura para abrir los transistores de los píxeles de esa fila, mientras que todas las demás tensiones de la fila se configuran para cerrar los transistores. Las tensiones de los electrodos de columna se actualizan según los datos que se muestran en la fila k . Aunque los paneles de este tipo son capaces de implementar una lente, el factor de relleno de píxeles relativamente bajo, debido a los transistores, produce efectos de difracción que limitan la calidad de la lente.

El tiempo compartido también se puede implementar sin recurrir a transistores. En este esquema, conocido como multiplexación por división en el tiempo, la capa LC se coloca entre dos series de electrodos paralelos, orientados ortogonalmente. Los electrodos del eje X se colocan en un lado de la LC, y los electrodos del eje Y, ortogonales a los electrodos del eje X, se colocan en el otro lado de la LC. La tensión en cada píxel es, por lo tanto, la diferencia entre las formas de onda de tensión de sus electrodos de fila y columna. Para lograr el perfil de modulación de fase deseado, las tensiones de todos los electrodos de fila, excepto la fila que se actualizará, se configuran en un valor V_{bias} , que se elige para garantizar que la diferencia de tensión entre V_{bias} y las tensiones del electrodo de columna sea inferior a la tensión de umbral de respuesta del LC. Solo los píxeles de la fila que se van a actualizar reciben tensiones que son más grandes que la tensión de umbral LC y, por lo tanto, se actualizan. Sin embargo, este esquema no puede admitir recuentos de píxeles grandes y, por lo tanto, no se puede utilizar para implementar una lente de alta calidad.

Las realizaciones de la presente invención que se describen en esta memoria superan las limitaciones anteriores al proporcionar nuevos dispositivos ópticos ajustables eléctricamente que pueden lograr un paso más fino y una direccionalidad más flexible que los dispositivos que se conocen en la técnica. Por ejemplo, los dispositivos descritos pueden configurarse para operar como lentes cilíndricas (con enfoque a lo largo de un eje, utilizando una serie de electrodos de banda) o para emular lentes esféricas, con enfoque de doble eje. Tanto la potencia focal como la ubicación del eje óptico, es decir, el punto o eje central efectivo de la lente definido de esta manera, pueden cambiarse libre y rápidamente mediante la aplicación de tensiones de control apropiadas.

En términos generales, los dispositivos descritos pueden configurarse para aplicar cualquier perfil de modulación de fase que sea separable. Un perfil de modulación de fase bidimensional, $e^{i\phi(x,y)}$ es separable si se puede descomponer en un producto de dos funciones unidimensionales, $e^{i\phi(x,y)} = e^{i\phi_x(x)} \cdot e^{i\phi_y(y)}$. En otras palabras, estos dispositivos pueden aplicar cualquier perfil de modulación de fase que se define como una función que se puede separar en dos funciones componentes que varían a lo largo de los respectivos ejes ortogonales, y el perfil de modulación de fase comprenderá una suma de los respectivos desplazamientos de fase debido a las funciones del primer y segundo componente. (Dado que la fase es una función cíclica, con el período 2π , el término "suma" debe entenderse en este contexto como que incluye la suma modular, con el módulo 2π).

En algunas de las realizaciones descritas, un dispositivo óptico comprende una capa electroóptica, lo que significa, como se explicó anteriormente, que el índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro del área activa de la capa está determinado por la tensión aplicada a través de la capa en los alrededores de la ubicación. Típicamente, la capa electroóptica comprende un cristal líquido, posiblemente una capa de cristal líquido independiente de la polarización (como una capa de LC colestérica), aunque como alternativa se pueden usar otros tipos de materiales electroópticos. Un electrodo común se coloca sobre el área activa en un lado de la capa electroóptica. Una serie de electrodos de excitación, que comprende bandas paralelas de un material conductor, se extiende sobre el área activa en el lado opuesto de la capa electroóptica.

Para accionar y modificar el perfil de modulación de fase de la capa electroóptica, la circuitería de control aplica las tensiones de control respectivas a los electrodos de excitación. Típicamente, cada banda (es decir, cada electrodo de excitación) está conectada y controlada individualmente por la circuitería de control, de modo que las formas de onda de tensión aplicadas a varios o incluso a todos los electrodos de excitación pueden modificarse simultáneamente. Esta configuración proporciona un elemento óptico de perfil unidimensional arbitrario y ajustable (como una lente cilíndrica), con una resolución limitada solo por la distancia entre las bandas y el espesor de la capa electroóptica. Las propiedades de modulación de fase del dispositivo pueden modificarse a un ritmo limitado solo por la velocidad de la circuitería de control y el tiempo de respuesta de la capa electroóptica.

Dos dispositivos de este tipo pueden superponerse en ángulos rectos, con los electrodos de excitación en un dispositivo orientados en una dirección ortogonal a los del otro dispositivo, para proporcionar un aparato capaz de

emular una lente esférica bajo la aproximación paraxial.

En otras realizaciones, un dispositivo óptico comprende una capa electroóptica con unas series primera y segunda de electrodos de excitación en lados opuestos de la capa. Cada una de las series comprende bandas paralelas de un material conductor que se extiende sobre el área activa, con la segunda serie orientada en una dirección ortogonal a la primera serie. La circuitería de control aplica formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación en ambas series y es capaz de modificar las tensiones de control aplicadas a múltiples electrodos de excitación (y posiblemente a todos los electrodos de excitación) en ambos lados de la capa electroóptica. La circuitería de control puede modificar al mismo tiempo las respectivas formas de onda de tensión de control aplicadas a los electrodos de excitación tanto en la primera como en la segunda serie para generar un perfil de modulación de fase específico en la capa electroóptica.

En estas realizaciones, no se requiere un esquema de multiplexación por división de tiempo, y las formas de onda de tensión de fila y columna dependen de los datos. Las formas de onda de tensión se eligen para crear una respuesta de fase lineal en el material electroóptico. Formalmente establecido, la expresión "respuesta de fase lineal", utilizado en relación con las formas de onda de tensión aplicadas al LC, significa que cuando un conjunto de formas de onda

de tensiones $\{V_{X,i}(t)\}_{i=1}^N$ se aplica a un primer conjunto de electrodos, que corresponde a un primer conjunto predefinido de valores de fase $\{\Phi_{X,i}\}_{i=1}^N$, y un conjunto de formas de onda de tensión $\{V_{Y,j}(t)\}_{j=1}^M$ se aplica a un segundo conjunto de electrodos, colocado ortogonalmente al primer conjunto de electrodos,

correspondiente a un segundo conjunto predefinido de valores de fase $\{\Phi_{Y,j}\}_{j=1}^M$, entonces para cada $i = 1..N$ y $j = 1..M$, el perfil de modulación de fase $T_{LC}\{V(t)\}$ para la luz que pasa a través de la capa electroóptica cuando la forma de onda de la tensión $V(t)$ se le aplicará será $T_{LC}\{V_{X,i}(t) - V_{Y,j}(t)\} = e^{i(\Phi_{X,i} + \Phi_{Y,j})}$. En realizaciones prácticas, los inventores han descubierto que los conjuntos de dieciséis o más valores de fase (es decir, $N, M \geq 16$) dan buenos resultados en términos de rendimiento óptico.

Por ejemplo, una lente esférica es un elemento óptico con una función de transferencia.

$T(x, y) = e^{i\frac{\pi}{\lambda f}(x^2 + y^2)}$, siendo f y λ la longitud focal del lente y la longitud de onda respectivamente. $T(x, y)$

es separable, $T(x, y) = e^{i\frac{\pi}{\lambda f}x^2} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda f}y^2}$, y la respuesta de fase total se puede expresar como la suma de una contribución de fase en el eje x y una contribución de fase en el eje y . El retardo de fase máximo de una lente

con un radio de apertura R es $\frac{\pi}{\lambda f}R^2$. El intervalo de modulación de fase se puede dividir en N niveles de

cuantización, $\Phi_i = \frac{i}{N} \cdot$

En algunas realizaciones de la presente invención, las formas de onda de tensión de respuesta de fase lineal se definen para corresponder a estos valores de fase. El valor de modulación de fase requerido se calcula para cada

electrodo. Por ejemplo, el electrodo colocado en $X = X_1$ requiere una fase $\frac{\pi}{\lambda f}(x_1 - x_0)^2$, en donde X_0 es el punto central de la lente. Este valor de fase se cuantifica al nivel de cuantificación predefinido más cercano. Denotando

el nivel de cuantización más cercano por $\Phi_l = \frac{l}{N} \cdot \frac{\pi}{\lambda f}R^2 \cong \frac{\pi}{\lambda f}(x_1 - x_0)^2$, la forma de onda de

tensión aplicada al electrodo en $X = X_1$ será $V_{X,l}(t)$. Mediante la selección adecuada de las formas de onda de tensión de respuesta de fase lineal, la modulación de fase en cada píxel será la suma de las modulaciones de fase correspondientes a las formas de onda de tensión de electrodo en los ejes X e Y , formando así una lente.

Por lo tanto, en distinción con los paneles LCD conocidos en la técnica, los electrodos de los ejes X e Y se excitan con formas de onda de tensión dependientes de los datos, y todos los electrodos pueden accionarse de manera simultánea e independiente. El término "simultáneamente", como se usa en este contexto, significa que las formas de onda de activación se aplican a múltiples píxeles, en diferentes filas y columnas de la serie definida por los electrodos, al mismo tiempo, sin multiplexación por división de tiempo. El término "independientemente" significa que se puede aplicar una forma de onda diferente, dependiente de los datos, a cada electrodo, a lo largo de los ejes X e Y . La circuitería de control puede aplicar las tensiones respectivas a diferentes electrodos a diferentes amplitudes y/o con formas de onda

temporales, teniendo típicamente diferentes ciclos de trabajo.

En los dispositivos LCD conocidos en la técnica, el paso de los píxeles es grande en comparación con el espesor de la capa de cristal líquido, para mantener los píxeles distintos de sus vecinos y minimizar las interferencias. La distancia entre los electrodos adyacentes es igualmente grande en relación con el espesor de la capa de cristal líquido. Por el contrario, en algunas realizaciones de la presente invención, el paso entre electrodos (que puede ser constante o variable) es menos de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica, o posiblemente menos de dos veces el espesor de la capa o incluso menos que el espesor de la capa en sí. La distancia entre las bandas del electrodo también puede ser menor que el espesor de la capa de la capa electroóptica. El paso pequeño del electrodo y el espacio estrecho entre los electrodos mejoran la resolución fina deseada del dispositivo óptico ajustable. Además, la diafonía entre píxeles adyacentes que resulta de esta geometría de electrodo fino puede ser realmente beneficiosa para suavizar el perfil de fase que se genera sobre el área del dispositivo óptico.

Descripción del sistema

La figura 1 es una vista lateral esquemática de un sistema óptico 20, según una realización de la presente invención. En la realización ilustrada, el sistema 20 está configurado para funcionar como una lente oftálmica, que proporciona una corrección dinámica para la visión de un ojo 22 de un usuario. Esta realización es solo un ejemplo no limitativo, sin embargo, de posibles aplicaciones de los principios de la presente invención.

El sistema 20 comprende dos dispositivos ópticos ajustables eléctricamente 24 y 26, que están dispuestos en serie y están configurados para funcionar como lentes cilíndricas ajustables. Un dispositivo de este tipo se ilustra en las figuras 2A-2C. En virtud de la orientación de los electrodos de excitación en los dispositivos 24 y 26, los respectivos ejes cilíndricos de los dos dispositivos son mutuamente perpendiculares, de modo que el dispositivo 24, por ejemplo, tiene una línea focal vertical, mientras que el dispositivo 26 tiene una línea focal horizontal. Aunque se muestran los dispositivos 24 y 26, por motivos de claridad, como unidades separadas, los dos dispositivos pueden compartir opcionalmente un sustrato común.

Como una opción adicional, que se ilustra en la figura 1, los dispositivos 24 y 26 se pueden usar junto con una lente convencional 28. Esta lente proporciona la potencia de refracción básica del sistema 20, que se ajusta dinámicamente mediante el funcionamiento de los dispositivos 24 y 26.

Una unidad de control (no mostrada) controla los dispositivos ópticos 24 y 26 para ajustar sus respectivas potencias ópticas y alineación. Por ejemplo, las respectivas potencias ópticas se pueden aumentar o disminuir para adaptarse a la distancia a la que el ojo 22 está intentando enfocar. Los dispositivos 24 y 26 pueden configurarse para que tengan la misma potencia óptica, a fin de emular una lente esférica, posiblemente con la adición de componentes esféricos. Como alternativa, los dispositivos 24 y 26 pueden tener diferentes potencias ópticas para funcionar como una lente astigmática.

Como otro ejemplo, que se ilustra en la figura 1, las líneas centrales ópticas de los dispositivos 24 y 26 pueden desplazarse transversalmente, de modo que el eje óptico del sistema 20 se desplaza desde un eje de línea de base 30 a un eje desviado 32. Este tipo de desplazamiento de eje se puede aplicar, posiblemente junto con el seguimiento del ojo, para alinear dinámicamente el eje óptico del sistema con el ángulo de la mirada del usuario.

En términos más generales, el sistema 20 se puede controlar, mediante la aplicación de tensiones de control apropiados a los dispositivos 24 y 26, para implementar sustancialmente cualquier perfil de fase que se pueda separar en componentes horizontales y verticales, siempre que el intervalo de desplazamientos de fase en el perfil sea alcanzable por el intervalo de variación del índice de refracción y el espesor de las capas electroópticas en los dispositivos 24 y 26. Para reducir el intervalo requerido de desplazamientos de fase, las tensiones aplicadas a los dispositivos 24 y 26 pueden elegirse de modo que los dispositivos funcionen como lentes de Fresnel cilíndricas.

En otras realizaciones, los dispositivos cilíndricos 24 y 26 pueden reemplazarse por un único dispositivo óptico con electrodos dispuestos para generar un perfil de fase bidimensional. Dicho dispositivo se describe a continuación con referencia a las figuras 3A-D.

Lente cilíndrica ajustable

Ahora se hace referencia a las figuras 2A-C, que muestran esquemáticamente detalles del dispositivo óptico 24, según una realización de la presente invención. La figura 2A es una ilustración pictórica del dispositivo, mientras que las figuras 2B y 2C son vistas laterales de lados opuestos del dispositivo. En el sistema 20 (figura 1), el dispositivo 26 puede ser de diseño idéntico al dispositivo 24, pero con electrodos de excitación 46 orientados horizontalmente, en lugar de verticalmente como se ilustra en la figura 2B.

El dispositivo 24 comprende una capa electroóptica 40, tal como una capa de cristal líquido, que típicamente está contenida por una encapsulación adecuada, como se conoce en la técnica. La capa 40 tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de su área activa (por ejemplo, dentro del área de la capa 40 que realmente contiene el cristal líquido) que está determinada por la tensión aplicada a través de la capa en esa ubicación. El cristal líquido en la capa 40 puede ser birrefringente, en cuyo caso el dispositivo 24 o el sistema 20 pueden

comprender un polarizador, como se conoce en la técnica (se omite en las figuras por simplicidad), para seleccionar la polarización de la luz que debe pasar y refractarse por la capa 40. Como alternativa, para evitar la necesidad de un polarizador, dos lentes de este tipo pueden ser concatenadas con ejes perpendiculares de birrefringencia, de modo que cada una funcione con una polarización ortogonal diferente, o se puede usar una capa de cristal líquido independiente de la polarización, tal como una capa de material de cristal líquido colestérico.

Los sustratos transparentes 42 y 44, como los espacios en blanco de vidrio, se colocan en los lados opuestos de la capa 40, y los electrodos respectivos se disponen sobre los sustratos como se muestra en las figuras 2B y 2C. Los electrodos comprenden un material conductor transparente, tal como el óxido de indio y estaño (ITO), como se conoce en la técnica. Como alternativa, se pueden usar electrodos no transparentes, siempre que sean lo suficientemente delgados como para que no causen efectos ópticos perturbadores. Un electrodo común 50 en el sustrato 44 se coloca sobre el área activa de la capa 40 en un lado. Aunque este electrodo común se muestra como un rectángulo monolítico, como alternativa, puede tener cualquier forma adecuada que cubra suficientemente el área activa de la capa 40. Una serie de electrodos de excitación 46, que comprende bandas paralelas del material conductor transparente sobre el sustrato 42, se extiende sobre el área activa en el lado opuesto de la capa 40. ("Paralelo" en este contexto puede incluir, también, electrodos que se desvían en ángulo en varios grados).

Por ejemplo, los patrones de electrodos mostrados en las figuras pueden formarse mediante litografía en sustratos 42 y 44, después de lo cual los sustratos se pegan entre sí a una distancia predefinida, típicamente unos pocos micrones, utilizando pegamentos o espaciadores grabados como se conoce en la técnica. La capa 40 se inserta y se sella en el espacio entre los sustratos. Aunque por razones de claridad visual, solo se muestran unos pocos electrodos 46 en la figura 2C, en la práctica, para una buena calidad óptica, el dispositivo 24 típicamente comprenderá al menos 100 electrodos de banda para la excitación, y posiblemente incluso 400 o más. Esta misma condición se aplica a los electrodos de banda mostrados en las figuras 3B y 3C.

La circuitería de control 48 está acoplada para aplicar tensiones de control respectivas a los electrodos de excitación 46, en relación con el nivel de tensión común del electrodo 50. La circuitería de control 48 comprende típicamente amplificadores y/o interruptores, como se conoce en la técnica, que controlan la amplitud o el ciclo de trabajo, o ambos, de la tensión que se aplica a cada electrodo 46. El patrón de amplitudes y/o ciclos de trabajo aplicados a los electrodos determina el perfil de modulación de fase de la capa 40. Los componentes del circuito en la circuitería 48 se fabrican típicamente como un chip de silicio, que luego se pega sobre el sustrato 42, como se muestra en la figura 2B. Como alternativa, algunos o todos los componentes de la circuitería 48 pueden formarse en un chip separado y conectarse al sustrato 42 mediante cables de unión adecuados u otras conexiones. En cualquier caso, la circuitería de control puede ubicarse en el lado de la serie de electrodos, como se muestra en la figura 3C, y no es necesario que ninguna parte de la circuitería de control se ubique sobre el área activa de la capa 40.

La circuitería 48 es capaz de modificar las tensiones de control aplicadas a cada uno de un conjunto de electrodos de excitación 46 (que pueden incluir todos los electrodos) de forma simultánea e independiente. Por ejemplo, la circuitería 48 pueden actualizar las tensiones de control aplicadas a todos los electrodos impares en la serie alternativamente con todos los electrodos pares. Este tipo de enfoque se adapta fácilmente a grandes recuentos de electrodos y, por lo tanto, puede utilizarse para crear sistemas ópticos ajustables eléctricamente con altos recuentos de píxeles y resolución fina.

Como se señaló anteriormente, el dispositivo 24 puede controlarse de esta manera para que funcione como una lente cilíndrica, con las propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase inducido en la capa 40 por las tensiones aplicadas a los electrodos 46. Opcionalmente, estas tensiones se pueden configurar para que el dispositivo 24 funcione como una lente de Fresnel cilíndrica. Las tensiones de control aplicadas a los electrodos de excitación 46 pueden modificarse para cambiar la distancia focal de la lente cilíndrica, así como para cambiar la línea focal de la lente cilíndrica en una dirección transversal al dispositivo (es decir, en una dirección paralela a la superficie de los sustratos 42 y 44).

Dispositivos con perfiles de modulación de fase bidimensionales

Las figuras 3A-3D ilustran esquemáticamente un dispositivo óptico 60 en el que se crea un perfil de modulación de fase bidimensional en una única capa electroóptica 62, según otra realización de la presente invención. La figura 3A es una ilustración pictórica del dispositivo 60, mientras que las figuras 3B y 3C son vistas laterales que muestran sustratos transparentes 64 y 66 en lados opuestos del dispositivo. La figura 3D es una vista lateral del dispositivo 60, que muestra una superposición de los electrodos de excitación 68 y 72 que están ubicados en los sustratos 64 y 66 en los lados opuestos del dispositivo. El dispositivo 60 puede ser sustituido en el sistema 20 (figura 1), por ejemplo, en lugar de la combinación de los dispositivos 24 y 26.

El dispositivo 60 contiene una capa electroóptica 62, como una capa de cristal líquido, similar a la capa 40, como se describió anteriormente. Los electrodos 68 y 72 en los sustratos 64 y 66, respectivamente, comprenden bandas paralelas de material conductor transparente que se extienden sobre el área activa de la capa 62 en direcciones mutuamente ortogonales. Aunque los electrodos 68 y 72 tienen una forma y una separación uniformes en las figuras, las tiras pueden tener como alternativa tamaños y/o pasos variables.

La circuitería de control 70 y 74, que puede ser de construcción y diseño similares la circuitería 48 (figura 2B), aplican tensiones de control a los electrodos de excitación 68 y 72, respectivamente. Como en el dispositivo 24, la circuitería de control en el dispositivo 60 puede modificar las tensiones de control aplicadas a cada uno de un conjunto de electrodos de excitación (que pueden incluir todos los electrodos) de manera simultánea e independiente. Sin embargo, la circuitería de control 70 y 74 juntos pueden modificar las tensiones aplicadas a los conjuntos de electrodos de excitación en ambos lados de la capa 62, modificando así el perfil de modulación de fase de la capa en dos dimensiones.

Las tensiones de control se pueden aplicar a los electrodos de excitación 68 y 72 de modo que el dispositivo 60 funcione como una lente (posiblemente una lente de Fresnel), con propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase. Las formas de onda de tensión de control dan como resultado una respuesta de fase lineal de la capa electroóptica, como se define y explica anteriormente. Las circuiterías de control pueden modificar las tensiones de control para cambiar la distancia focal y/o para cambiar el eje óptico de la lente. Los patrones de tensión aplicados por la circuitería 70 y 74 a través de los electrodos 68 y 72 se pueden elegir para dar un perfil de modulación de fase que sea circularmente simétrico, y por lo tanto puede emular una lente esférica. Como alternativa, se pueden aplicar diferentes patrones de tensión para que el dispositivo 60 funcione, por ejemplo, como una lente astigmática, con un componente cilíndrico más fuerte a lo largo de un eje u otro.

Como se muestra en la figura 3D, la superposición de los electrodos 68 y 72 crea una serie de píxeles 76, definida por las áreas de superposición de las bandas verticales de los electrodos 68 con las bandas horizontales de los electrodos 72. La distancia de centro a centro entre las bandas define el tono P de la serie de píxeles, mientras que el ancho D de las propias bandas conductoras define el tamaño de los píxeles 76. (Aunque estos parámetros se ilustran aquí con respecto a la serie bidimensional del dispositivo 60, dimensiones y consideraciones similares aplican a las series unidimensionales de los dispositivos 24 y 26, descritas anteriormente.) Estos parámetros dimensionales de la serie de electrodos se comparan con el espesor de capa T de la capa electroóptica 62, que se muestra en la figura 3A.

En contraste con la mayoría de los dispositivos de cristal líquido que se conocen en la técnica, el paso P entre electrodos del dispositivo 60 es menos de cuatro veces el espesor T de la capa 62, y puede ser menos del doble. Adicionalmente o como alternativa, la distancia entre las bandas del electrodo (PD) puede ser menor que el espesor de la capa T o posiblemente incluso menor que la mitad de T. En algunas implementaciones, incluso el paso P puede ser menor que T. Esta elección de dimensiones permite un alto factor de relleno de píxeles 76, y por lo tanto alta resolución. Además, la capa 62 relativamente gruesa permite que el dispositivo 60 genere un amplio intervalo de diferentes desplazamientos de fase, mientras que el pequeño paso soporta la modulación del índice de refracción y, por lo tanto, el desplazamiento de fase, con alta resolución. La diafonía entre píxeles adyacentes que resulta de esta elección de dimensiones puede ser realmente beneficiosa para suavizar el perfil de modulación de fase del dispositivo y, por lo tanto, aproximarse más estrechamente al perfil cuadrático de una lente convencional.

Como se señaló anteriormente, el dispositivo 60, así como la combinación de los dispositivos 24 y 26 en el sistema 20, se pueden usar particularmente para generar perfiles de modulación de fase que se pueden separar en las direcciones X e Y. La variación del índice de refracción efectivo de un cristal líquido u otra capa electroóptica, sin embargo, generalmente no es lineal en la tensión aplicada. En el sistema 20, cada uno de los dispositivos 24 y 26 se controla de manera independiente, de modo que la tensión aplicada a los electrodos 46 por la circuitería de control 48 se puede compensar para ajustar la no linealidad. Por otro lado, en el dispositivo 60, la tensión a través de cada píxel 76 es una función de las tensiones aplicadas tanto al electrodo vertical 68 como al electrodo horizontal 72 que se cruzan en el píxel, por lo que la compensación de la no linealidad no es sencilla.

En realizaciones de la presente invención, se pueden usar al menos dos enfoques diferentes para lograr la respuesta de fase lineal deseada, y así implementar perfiles de modulación de fase que se pueden separar en las direcciones X e Y. Uno de estos enfoques es limitar el intervalo de tensiones aplicadas, como se describe a continuación con referencia a la figura 4. Como alternativa, las formas de onda de tensión aplicadas a los electrodos 68 y 72 pueden elegirse de modo que su superposición dé una respuesta lineal en la capa 62.

La figura 4 es un diagrama esquemático que muestra la dependencia del índice de refracción efectivo n de una capa de cristal líquido en un dispositivo óptico sobre la tensión V aplicada que se usa en el dispositivo de control 60, según una realización de la presente invención. (Este gráfico se basa en los datos presentados por Wang et al., en "Liquid Crystal Blazed Grating Beam Deflector", *Applied Optics* 39, páginas 6545-6555 (2000)). Aunque la curva mostrada es en general no lineal, tiene una región aproximadamente lineal en el intervalo aproximado de 1-2 V, denominado región cuasilínea en esta memoria. La expresión "cuasilínea" se usa en la presente descripción y en las reivindicaciones para referirse a una región en la que el índice de refracción efectivo es aproximadamente lineal en la tensión, es decir, $n(V) = a + bV$ dentro de un límite de error predefinido, como dentro de $\pm 10\%$, en donde a y b son parámetros de desplazamiento constante y pendiente, respectivamente.

Cuando las tensiones que forman un perfil de lente cilíndrica $V_x(x)$ se aplican a los electrodos verticales 68 ($n(x) = a + bV_x(x)$ produce un perfil de fase cilíndrico), y un perfil similar pero invertido $V_y(y) = -V_x(y)$ se aplica a los electrodos horizontales 72, el perfil de tensión a través de la capa 62 es $V(x,y) = V_x(x) - V_y(y)$. Este perfil de tensión da un perfil de índice de refracción:

$$n(x,y) = a + b[V_X(x) - V_Y(y)] = a + bV_X(x) - bV_Y(y),$$

siempre que las tensiones estén en la región de respuesta lineal (o cuasilineal). El primer término (a) en el lado derecho de la ecuación es constante y, por lo tanto, no contribuye a la modulación de fase. Los términos segundo y tercero son los componentes de la lente cilíndrica horizontal y vertical, que juntos forman una lente bidimensional.

- 5 Dentro de la región de respuesta cuasilineal de la capa 62, se pueden obtener diferentes valores de modulación de fase en diferentes píxeles 76 aplicando diferentes tensiones, o aplicando las mismas tensiones para diferentes ciclos de trabajo, o una combinación de ambas técnicas, siempre y cuando la refracción la respuesta del índice es cuasilineal de modo que la ecuación $n(x,y) = a + bV_X(x) - bV_Y(y)$ se mantenga.

10 Por otro lado, aunque limitar las tensiones aplicadas al intervalo cuasilineal de la capa electroóptica 62 simplifica la operación del dispositivo 60, esta limitación no es esencial. Incluso cuando se opera fuera del intervalo cuasi lineal, la modulación de fase de la capa 62 se puede expresar como la suma de las modulaciones aplicadas sobre el eje X y el eje Y. En este caso, la circuitería de control 70 y 74 puede aplicar las tensiones de control a los electrodos 68 y 72 como formas de onda respectivas, teniendo patrones de variación temporal respectivos elegidos para generar un conjunto de desplazamientos de fase especificados en la capa 62. Si se requieren N niveles de fase diferentes para una lente de Fresnel, por ejemplo, luego se eligen pares de N formas de onda de tensión diferentes para los electrodos de las direcciones X e Y para proporcionar los niveles deseados de respuesta de fase. Formalmente, las formas de onda de tensión se definen para los electrodos de dirección X e Y, $V_{X_i}(t)$ y $V_{Y_j}(t)$, $i = 0 \dots N-1$, de modo que para cada $i, j = 0 \dots N-1$, la respuesta de fase de la capa 62 a la diferencia de tensión entre los electrodos es

$$\Phi\{V_{X_i}(t) - V_{Y_j}(t)\} = \Phi_0 + (i + j) \frac{2\pi}{N},$$

en donde t representa el tiempo, y Φ_0 es la fase de base.

20 La elección de formas de onda apropiadas permite realizar cualquier perfil de fase separable deseado (dentro de las limitaciones de la capa electroóptica). Un método para generar estas formas de onda de tensión se presenta a continuación en un Apéndice. En el enfoque descrito en el Apéndice, la modulación del ciclo de trabajo se aplica a los electrodos a una cierta tensión fija, pero las formas de onda se eligen de modo que durante ciertos períodos de tiempo (típicamente cortos), la tensión a través de la capa electroóptica se duplique debido a la superposición de las formas de onda de las direcciones X e Y. Los efectos de la tensión son promediados por el cristal líquido, pero no de manera lineal, es decir, una tensión V durante un período de 2T no es equivalente a una tensión de 2V durante un período de T. Este último tendrá un efecto mayor. Este grado adicional de libertad se utiliza para resolver el problema y elegir las formas de onda adecuadas para lograr la respuesta lineal deseada.

30 Sin embargo, será evidente en función de esta derivación que esta elección particular de formas de onda es solo un ejemplo de una posible implementación de este tipo de realización. Otros conjuntos de formas de onda pueden derivarse de manera similar y se considera que están dentro del alcance de la presente invención.

35 Por lo tanto, se apreciará que las realizaciones descritas anteriormente se citan a modo de ejemplo, y que la presente invención no se limita a lo que se ha mostrado y descrito particularmente anteriormente en este documento. Más bien, el alcance de la presente invención incluye tanto combinaciones como subcombinaciones de las diversas características descritas anteriormente en esta memoria, así como variaciones y modificaciones de las mismas que se les ocurrirían a los expertos en la materia al leer la descripción anterior y que no se describen en la técnica anterior.

Apéndice - Construyendo formas de onda de tensión para la respuesta de fase de la capa electroóptica

Planteamiento del problema:

40 Defina formas de onda de tensión para electrodos de dirección X y dirección Y $\{V_{X,i}(t)\}_{i=0}^{N-1}$ y $\{V_{Y,i}(t)\}_{i=0}^{N-1}$, de tal manera que para cada k, l = 0 ... N-1, la respuesta de fase LC a la diferencia de tensión entre los electrodos de dirección X e Y sea $T_{LC}\{V_{X,k}(t) - V_{Y,l}(t)\} = e^{i(\Phi_0 + (k+l)\frac{2\pi}{N})}$.

Definiciones

Las siguientes funciones de forma de onda de tensión se definen para $-T/4 < t < T/4$. El resto de la función se puede completar asumiendo que las funciones de tensión son periódicas y alternan en el signo: $V(t + T/2) = -V(t)$.

45 Una función escalonada con soporte entre t_1 y t_2 Se define por: $S_{t_1,t_2}(V_0, t) = \begin{cases} V_0 & t_1 < t < t_2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$, en donde

$$D = \frac{t_2 - t_1}{T/2}$$

es el ciclo de trabajo de $S_{t_1, t_2}(V_0, t)$. La respuesta del LC depende del ciclo de trabajo, y no de t_1 y t_2 por separado.

Una fase de una respuesta LC típica a una función escalonada, $R(t_2 - t_1, V_0) = T_{LC}\{S_{t_1, t_2}(V_0, t)\}$, es:

1. Monótonamente no decreciente como una función de V_0 , y también cóncava como una función de V_0 .
2. Monótonamente no decreciente como una función de D , y también cóncava como una función de D .

Al restar funciones de dos pasos podemos obtener una forma de onda que es igual a $2V_0$, V_0 , y 0 para diferentes regiones de tiempo. Por ejemplo, para $t_1 < t_2 < t_3$:

$$S_{t_1, t_3}(V_0, t) - S_{t_1, t_2}(-V_0, t) = \begin{cases} 2V_0 & t_1 < t < t_2 \\ V_0 & t_2 < t < t_3 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_1 = \frac{t_2 - t_1}{T/2} \quad \text{a tensión } 2V_0, \quad \text{y } D_2 = \frac{t_3 - t_2}{T/2} \quad \text{a tensión } V_0.$$

Esta forma de onda tiene un ciclo de trabajo de D_1 y D_2 , y no en t_1 , t_2 y t_3 por separado.

Construyendo las ondas requeridas

Supuesto: para cada i , $V_{X, i}(t) = -V_{Y, i}(-t)$.

Paso 0: definiendo $V_{X, 0}(t)$:

Paso 0.0: la combinación $k = 0, l = 0$

- a. Encontrar p_0 para la que $R(p_0, V_0) = e^{j\phi_0}$.

b. Definir $t_0 = \frac{p_0}{2}$

$$V_{X, 0}(t) = S_{0, t_0}(V_0, t).$$

Así, $V_{Y, 0}(t) = S_{-t_0, 0}(-V_0, t)$,

$V_{X, 0}(t) - V_{Y, 0}(t) = S_{-t_0, t_0}(V_0, t)$, y la respuesta a $V_{X, 0}(t) - V_{Y, 0}(t)$, que es una función escalonada de longitud p_0 , es $R(p_0, V_0) = e^{j\phi_0}$. Así, estas formas de onda resuelven la declaración del problema para $k = l = 0$.

Paso 1: definiendo $V_{X, 1}(t)$:

Paso 1.0: la combinación $k = 1, l = 0$ (y también $k = 0, l = 1$)

a. Encontrar p_1 para cual $R(p_1, V_0) = e^{j(\phi_0 + \frac{2\pi}{N})}$

b. Definir $t_1 = p_1 - t_0$

$$V_{X, 1}(t) = S_{0, t_1}(V_0, t)$$

Así, la respuesta a $V_{X, 1}(t) - V_{Y, 0}(t)$, que es una función escalonada de longitud $t_1 + t_0 = p_1$, es

$R(p_1, V_0) = e^{j(\phi_0 + \frac{2\pi}{N})}$, y estas formas de onda resuelven el planteamiento del problema para $k = 1$ y $l = 0$ (y también $k = 0$ y $l = 1$).

Paso 1.1: la combinación $k = 1, l = 1$

El requisito es:

$$T_{LC}\{V_{X,1}(t) - V_{Y,1}(t)\} = e^{i(\phi_0 + 2\frac{2\pi}{N})}$$

a. Calcular la respuesta de fase ϕ de $T_{LC}\{V_{X,1}(t) - V_{Y,1}(t)\}$, para $V_{X,1}(t)$ como se define en el paso 1.0.

b. Si está lo suficientemente cerca (dentro de la tolerancia requerida) al valor requerido ($\phi \cong \phi_0 + 2\frac{2\pi}{N}$), no hacer nada.

5 c. Si ϕ no está lo suficientemente cerca del valor requerido, entonces $\phi < \phi_0 + 2\frac{2\pi}{N}$ (debido a la naturaleza cóncava de R). En este caso el pulso de longitud t_1 se divide en dos pulsos de longitudes $t_1 - X$, y X respectivamente, en la forma:

$$V_{X,1}(t) = S_{0,t_1-X}(V_0, t) + S_{-t_0-X,-t_0}(V_0, t).$$

Esta forma de onda asegura que:

10 a. Los soportes de $V_{X,1}(t)$ y $V_{Y,0}(t)$ son disjuntas y, por lo tanto, la respuesta de la LC a la combinación $k = 1$ y $l = 0$ no cambia, ya que $V_{X,1}(t) - V_{Y,0}(t)$ todavía es igual a V_0 por un periodo de p_1 , y 0 en caso contrario.
 b. $V_{X,1}(t) - V_{Y,1}(t)$ es igual a $2V_0$ por un periodo de $2x$. Dado que la respuesta del LC a una tensión de $2V_0$ es más fuerte que la respuesta a una tensión de V_0 , aumentar X también aumentará la respuesta de fase, y un valor X se puede encontrar para el que

15
$$T_{LC}\{V_{X,1}(t) - V_{Y,1}(t)\} = e^{i(\phi_0 + 2\frac{2\pi}{N})}$$

Paso n: definiendo $V_{X,n}(t)$:

Paso n.0: la combinación $k = n$, $l = 0$ (y también $k = 0$, $l = n$)

a. Encontrar p_n para la que $R(p_n, V_0) = e^{i(\phi_0 + n\frac{2\pi}{N})}$

b. Definir $t_n = p_n - t_0$

20
$$V_{X,n}(t) = S_{0,t_n}(V_0, t)$$

Así, la respuesta a $V_{X,n}(t) - V_{Y,0}(t)$, que es una función escalonada de longitud $t_n + t_0 = p_n$, es

$R(p_n, V_0) = e^{i(\phi_0 + n\frac{2\pi}{N})}$, y estas formas de onda resuelven el planteamiento del problema para $k = n$ y $l = 0$ (y también $k = 0$ y $l = n$).

Pasos n.m, $m = 1$ a n : las combinaciones $k = n$ y $l = m$:

25 El requisito es:

$$T_{LC}\{V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t)\} = e^{i(\phi_0 + (n+m)\frac{2\pi}{N})}$$

a. Calcular la respuesta de fase ϕ de $T_{LC}\{V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t)\}$

b. Si está lo suficientemente cerca (dentro de la tolerancia requerida) al valor requerido ($\phi \cong \phi_0 + (n+m)\frac{2\pi}{N}$), no hacer nada.

30 c. Si ϕ no está lo suficientemente cerca del valor requerido, entonces $\phi < \phi_0 + (n+m)\frac{2\pi}{N}$ (debido a la

naturaleza cóncava de R). En este caso el pulso de $V_{X,n}(t)$ se divide: un período de X se deduce del intervalo $[t_{n-1}, t_n]$, y añadido a la gama $[-t_{1,m}, -t_{1,m-1}]$.

Esto asegura que:

- a. La respuesta del LC a las combinaciones $k = n$ y $l = 0..m-1$ no cambia.
- 5 b. La respuesta del LC a las combinaciones $k = n$ y $l = m$ aumenta debido a la región agregada donde $V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t) = 2V_0$. Aumentar X aumentará la respuesta de fase, y un valor X se puede encontrar para el que

$$T_{LC}\{V_{X,n}(t) - V_{Y,m}(t)\} = e^{i\left(\phi_0 + (n+m)\frac{2\pi}{N}\right)}.$$

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo óptico (24), que comprende:
 - 5 una capa electroóptica (40), que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación;
 - un electrodo común (50), colocado sobre el área activa en un primer lado de la capa electroóptica;
 - una serie de electrodos de excitación (46), que comprende bandas conductoras paralelas que se extienden sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado; y
 - 10 circuitería de control (48), que está acoplada para aplicar las respectivas formas de onda de control de tensión a los electrodos de excitación y está configurado para modificar simultáneamente las respectivas formas de onda de control de tensión aplicadas a una pluralidad de los electrodos de excitación, modificando así un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica, caracterizado por que cada electrodo de excitación está conectado individualmente y controlado independientemente por la circuitería de control para ajustar el perfil de modulación de fase del dispositivo, y
 - 15 la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación de modo que el dispositivo funcione como una lente cilíndrica, que tiene propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase; y por que
 - la capa electroóptica tiene un espesor de capa igual a una distancia entre los lados primero y segundo, y los electrodos de excitación tienen un paso entre electrodos que es menos de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica.
 - 20
2. El dispositivo según la reivindicación 1, en donde la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación de modo que el dispositivo funcione como una lente de Fresnel cilíndrica.
3. El dispositivo según la reivindicación 1 o 2, en donde la circuitería de control está configurada para modificar las formas de onda de tensión de control aplicadas a los electrodos de excitación para cambiar una longitud focal de la lente cilíndrica.
- 25
4. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde la circuitería de control está configurada para modificar las formas de onda de tensión de control aplicadas a los electrodos de excitación para desplazar una línea focal de la lente cilíndrica en una dirección transversal al dispositivo.
5. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde la capa electroóptica comprende un cristal líquido.
- 30
6. El dispositivo según la reivindicación 5, en donde el cristal líquido comprende una capa de cristal líquido colestérico.
7. El dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el paso entre electrodos es menos del doble del espesor de la capa de la capa electroóptica.
8. Aparato que comprende dispositivos ópticos primero y segundo según cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde los dispositivos ópticos primero y segundo están dispuestos en serie.
- 35
9. El aparato según la reivindicación 8, en donde los electrodos de excitación en el segundo dispositivo óptico están orientados en una dirección ortogonal a los electrodos de excitación en el primer dispositivo óptico.
10. El aparato según la reivindicación 8 o 9, en donde los electrodos del primer y segundo dispositivos ópticos comparten un sustrato común.
- 40
11. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, en donde la circuitería de control está configurada para aplicar las tensiones de control a los electrodos de excitación en los dispositivos ópticos primero y segundo, de modo que el aparato emule una lente esférica.
12. El aparato según la reivindicación 11, en donde la circuitería de control está configurada para modificar las tensiones de control aplicadas a los electrodos de excitación para desplazar un eje óptico de la lente esférica.
- 45
13. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 8-12, en donde la capa electroóptica en el primer dispositivo óptico está configurada para refractar la luz que tiene un primer eje de polarización, y la capa electroóptica en el segundo dispositivo óptico está configurada para refractar la luz que tiene un segundo eje de polarización, perpendicular al primer eje de polarización.
- 50
14. Un método para producir un dispositivo óptico (24), comprendiendo el método:

proporcionar una capa electroóptica (40), que tiene un índice de refracción efectivo local en cualquier ubicación dada dentro de un área activa de la capa electroóptica que está determinada por una forma de onda de tensión aplicada a través de la capa electroóptica en la ubicación;

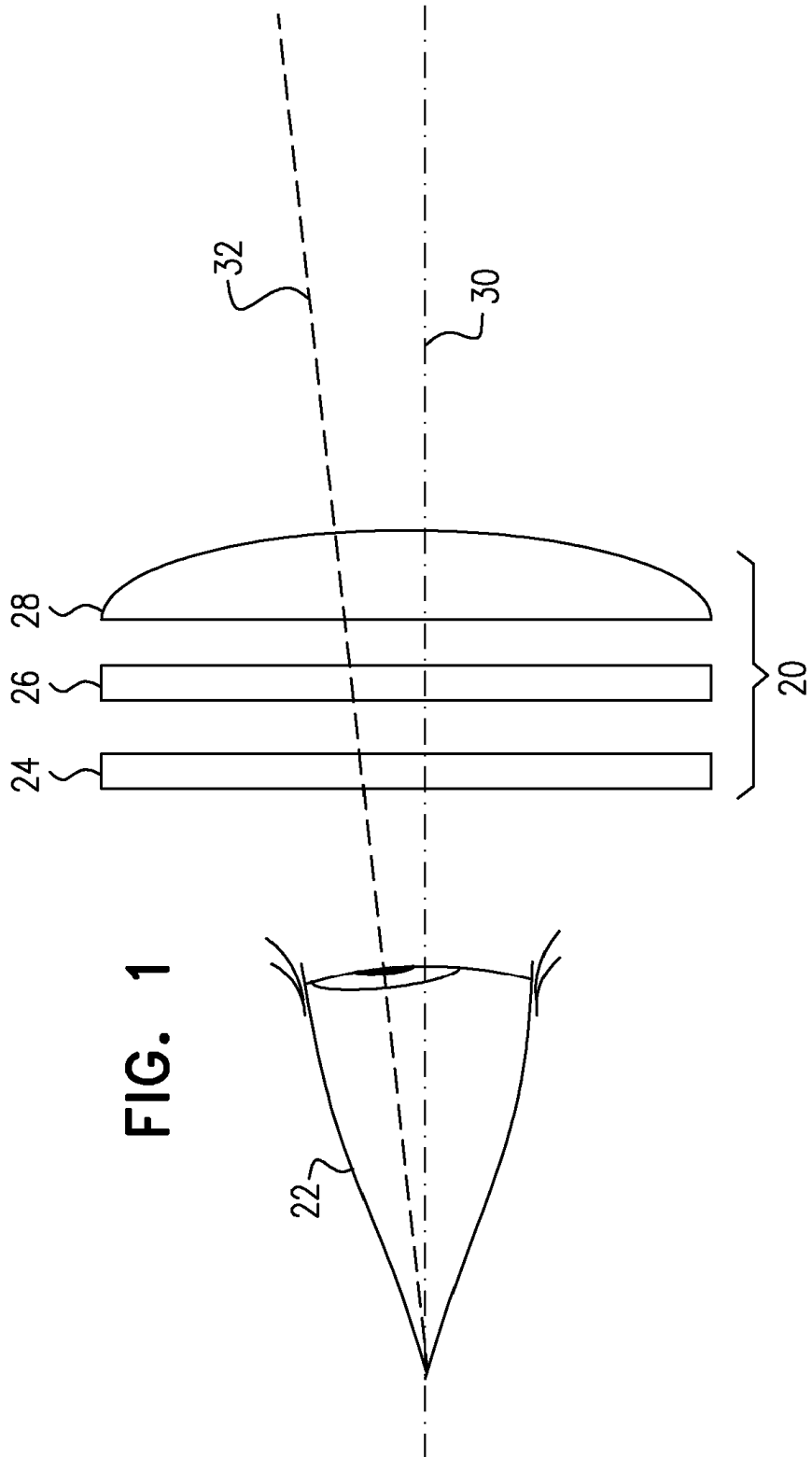
colocar en un primer lado de la capa electroóptica un electrodo común (50), para cubrir el área activa;

- 5 posicionar una serie de electrodos de excitación (46), que comprenden bandas conductoras paralelas, para extenderse sobre el área activa en un segundo lado de la capa electroóptica, opuesta al primer lado; y

- 10 acoplar la circuitería de control (48) para aplicar formas de onda de tensión de control respectivas a los electrodos de excitación y para modificar simultáneamente las formas de onda de tensión de control aplicadas a una pluralidad de los electrodos de excitación, modificando así un perfil de modulación de fase de la capa electroóptica, caracterizado por que cada electrodo de excitación está conectado individualmente al y controlado independientemente por la circuitería de control para ajustar el perfil de modulación de fase del dispositivo, y

la circuitería de control está configurada para aplicar las formas de onda de tensión de control a los electrodos de excitación de modo que el dispositivo funcione como una lente cilíndrica, que tiene propiedades focales determinadas por el perfil de modulación de fase; y por que

- 15 la capa electroóptica tiene un espesor de capa igual a una distancia entre los lados primero y segundo, y los electrodos de excitación tienen un paso entre electrodos que es menos de cuatro veces el espesor de la capa de la capa electroóptica.



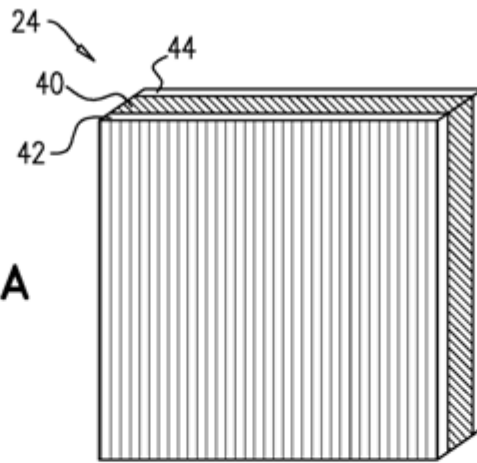


FIG. 2A

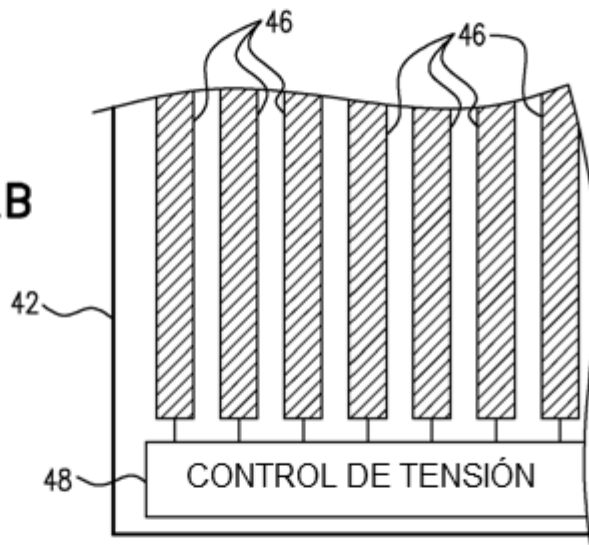


FIG. 2B

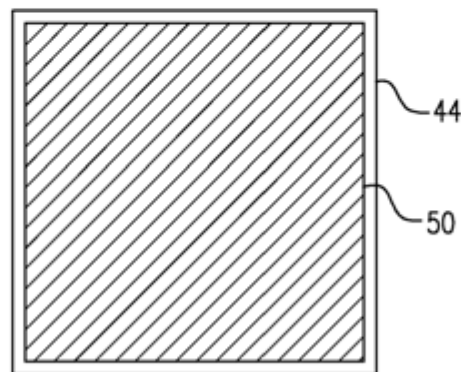


FIG. 2C

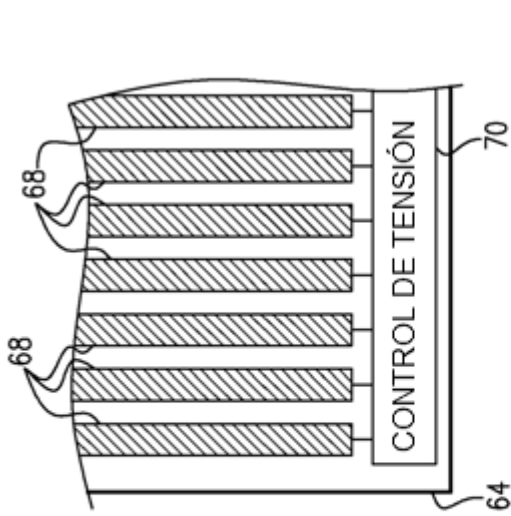


FIG. 3B

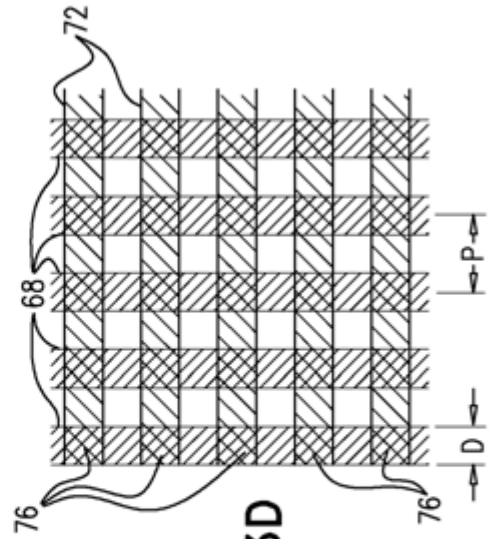


FIG. 3D

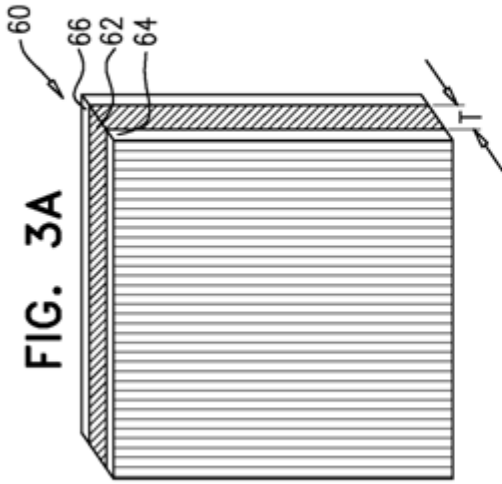


FIG. 3A

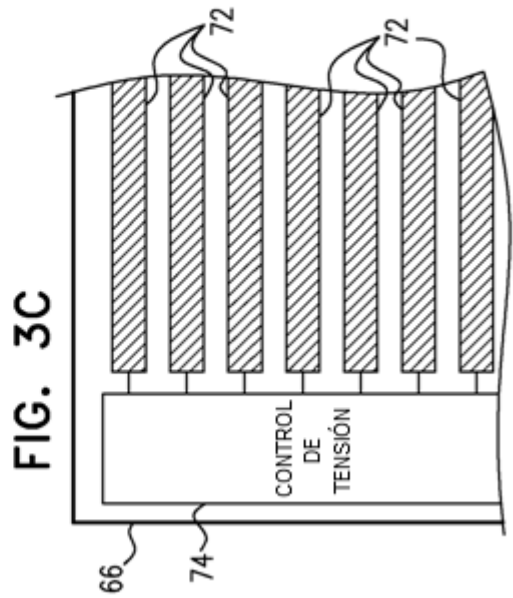


FIG. 3C

FIG. 4

