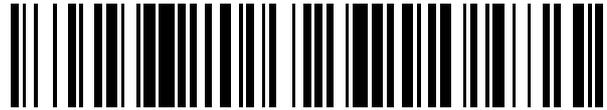


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 306**

51 Int. Cl.:

A61N 1/05 (2006.01)
G02C 7/04 (2006.01)
G02C 7/08 (2006.01)
A61F 2/16 (2006.01)
G02B 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.01.2008 E 08713890 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.04.2016 EP 2106566**

54 Título: **Lente electroactiva flexible**

30 Prioridad:

22.01.2007 US 881514 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.05.2016

73 Titular/es:

**E-VISION SMART OPTICS INC. (100.0%)
8437 Tuttle Avenue, Suite 319
Sarasota, FL 34243, US**

72 Inventor/es:

**BLUM, RONALD, D.;
HADDOCK, JOSHUA, N.;
KOKONASKI, WILLIAM y
HUNKELER, JOHN**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 570 306 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

Lente electroactiva flexible

5 Datos de solicitud relacionada

La presente invención reivindica prioridad por la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/881.514 presentada el 22 de Enero de 2007, titulada "Lente intraocular electroactiva dinámica avanzada", y está relacionada con la publicación de Estados Unidos número US 2006/0095128-A1, publicada el 4 de Mayo de 2006; la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/636.490, presentada el 17 de Diciembre de 2004; la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/623.947, presentada el 2 de Noviembre de 2004; la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/659.431, presentada el 9 de Marzo de 2005; la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/669.403, presentada el 8 de Abril de 2005, y la Solicitud Provisional de Estados Unidos número 60/960.607, presentada el 5 de Octubre de 2007.

15 Antecedentes de la invención

Las lentes intraoculares (LIOs) pueden ser usadas dentro de la superficie de un ojo para restablecer la función de visión, por ejemplo, mediante implante para pacientes de cirugía de catarata. Las LIOs incluyen lentes monofocales, que proporcionan un solo enfoque o una sola potencia óptica, lentes multifocales, que proporcionan múltiple enfoque o potencia óptica, y lentes acomodativas, que ajustan el enfoque de una lente.

La LIO se puede insertar en un estado plegado a través de una pequeña incisión de 3 mm o menos en el ojo. Se puede usar un dispositivo a modo de jeringa que tiene un pistón para ayudar a aplicar y colocar la LIO en la bolsa capsular que previamente alojaba el cristalino natural quitado. Una vez en el ojo, la LIO puede ser desplegada a su estado natural. Cuando el tamaño de la incisión para insertar una LIO en el ojo es superior a 2-3 mm, se producen cambios astigmáticos indeseados de la córnea. Por lo tanto los oftalmólogos prefieren usar la incisión más pequeña posible para insertar una LIO en el ojo. Por lo tanto, esto hace prácticamente necesaria una LIO flexible y plegable.

También se usan inlays corneales, onlays corneales y lentes de contacto monovisión y bifocales para corregir la visión del paciente. En muchos casos estos se llevan para corregir las necesidades de visión de cerca y de lejos de los pacientes. Cada uno de estos es una óptica muy fina y requiere curvatura cuando se aplica en el ojo o dentro de él.

Todos los elementos electroactivos actualmente conocidos dentro de una lente electroactiva se hacen de materiales rígidos. En una cierta realización anterior de los inventores con respecto a una lente de contacto electroactiva, un elemento electroactivo está alojado dentro de un material huésped exterior flexible. Sin embargo, el elemento electroactivo es rígido y por lo tanto puede aumentar algo el grosor de la lente de contacto.

US 20060095128 A1 describe lentes intraoculares electroactivas que incluyen múltiples zonas o pixels controlables independientemente, y un controlador capaz de ser programado a distancia. US 20040027536 A1 describe un sistema de lente electroactiva y un método para hacer el sistema de lente de contacto electroactiva. US 20040027501 A1 describe gafas multifocales electroactivas que tienen una pila de al menos dos regiones electroactivas, y las regiones producen una pluralidad de zonas de visión. WO 9427169 A1 describe una lente oftálmica hecha de al menos un material birrefringente, usando un elastómero monocristal líquido o un durómero monocristal líquido como material birrefringente. US 5217490 A describe implantes intraoculares de absorción de luz ultravioleta. WO 0049452 A1 describe en el campo técnico de los elementos electroactivos un elemento electroactivo flexible cuyo índice de refracción puede ser modificado eléctricamente. WO 8701931 A1 describe el uso de material metálico de memoria en una lente intraocular.

50 Resumen de la invención

Las realizaciones de la invención proporcionan una lente electroactiva flexible como la definida en la reivindicación 1 anexa. La lente electroactiva flexible puede incluir una o más lentes intraoculares, óptica intraocular, lentes de gafas, lentes de contacto, onlays corneales, inlays corneales, y lentes interoculares.

Descripción de los dibujos

Una realización específica de la presente invención se describirá con referencia a los dibujos siguientes, donde:

La figura 1 muestra una lente electroactiva flexible 2 en un estado plegado que tiene un alojamiento flexible y un elemento electroactivo rígido no cubierto por la invención.

La figura 2A muestra una lente electroactiva flexible 2 en un estado plegado que tiene un alojamiento flexible y un elemento electroactivo flexible según una realización de la invención.

La figura 2B muestra una lente electroactiva 2 en un estado desplegado que tiene un alojamiento rígido y un elemento electroactivo flexible no cubierto por la invención.

5 La figura 3A y la figura 3B muestran una vista expandida y aplastada, respectivamente, de una lente electroactiva flexible 2 en un estado desplegado que tiene una configuración difractiva en relieve superficial y una capa de cristal líquido según una realización de la invención.

10 La figura 4A muestra la lente electroactiva flexible 2 en un estado plegado que tiene una pluralidad de elementos electroactivos según una realización de la invención.

La figura 4B muestra la pluralidad de elementos electroactivos de la figura 4A según una realización de la invención.

15 La figura 5A, la figura 5B, la figura 5C, y la figura 5D muestran, cada una, una vista frontal de la lente electroactiva flexible 2 que tiene un elemento electroactivo, según una realización de la invención.

La figura 6 muestra la enciclorrotación de los ojos.

20 La figura 7A y la figura 7B muestran, cada una, una vista frontal de la lente electroactiva flexible 2 que tiene un eje A y una vista en sección transversal de la lente electroactiva flexible 2 tomada en el eje A, según una realización de la invención.

Y la figura 8A, la figura 8B y la figura 8C muestran, cada una, la colocación de la lente electroactiva 2 en un ojo que tiene diferente tamaño de pupila, según una realización de la invención.

25 El método y el aparato de la presente invención se entenderán mejor por referencia a la descripción detallada siguiente de realizaciones específicas y las figuras adjuntas que ejemplifican tales realizaciones.

Descripción detallada de realizaciones específicas

30 Las realizaciones preferidas siguientes ejemplificadas en los dibujos son ilustrativas de la invención y no se ha previsto limitar la invención abarcada por las reivindicaciones de esta solicitud.

35 Una lente electroactiva flexible 2 se ilustra en la figura 2A, la figura 3A, la figura 3B, la figura 4A, la figura 4B, la figura 5A, la figura 5B, la figura 5C, la figura 5D, la figura 7A, y la figura 7B según diferentes realizaciones de la presente invención. Aunque se describe la lente electroactiva, las realizaciones de la invención pueden ser usadas como otras lentes incluyendo, por ejemplo, lentes intraoculares, lentes de contacto, onlays corneales, inlays corneales y lentes interoculares.

40 El elemento electroactivo (por ejemplo, descrito con referencia a la figura 1, la figura 2A, la figura 2B, la figura 4A, la figura 4B, la figura 5A, la figura 5B, la figura 5C, la figura 5D, la figura 7A, y la figura 7B), la capa de cristal líquido (por ejemplo, descrita con referencia a la figura 4A y la figura 4B), y un elemento pixelado pueden ser usados para describir materiales que tienen propiedades ópticas que pueden ser alteradas por control eléctrico. Aunque las propiedades alterables aquí descritas incluyen típicamente el índice de refracción y la potencia óptica, las realizaciones de la invención pueden incluir una lente electroactiva 2 que tenga otras propiedades alterables, como por ejemplo potencia prismática, coloración y opacidad. Las propiedades de los materiales pueden ser controladas eléctrica y/u ópticamente.

45 Términos como "rígido", "duro", "inflexible", "inelástico" y/o "no plegable", pueden ser usados para describir un material o estructura adaptado para resistir cambios estructurales o de forma cuando se aplica una fuerza superior a un umbral predeterminado. Términos como "curvable", "blando", "flexible", "elástico" y/o "plegable" pueden ser usados para describir un material o estructura adaptado para cambiar la estructura o la forma cuando se aplica una fuerza superior al umbral predeterminado. Términos como "no plegado", "estado no plegado", "natural", "plano" y/o "relajado" pueden ser usados para describir un material o estructura en un estado de entropía relativamente alto (por ejemplo, como se representa en la figura 2B, la figura 3A, la figura 3B, la figura 4B, la figura 5A, la figura 5B, la figura 5C, la figura 5D, la figura 7A, y la figura 7B). Términos como "plegado", "estado plegado", "curvado" y/o "doblado" pueden ser usados para describir un material o estructura en un estado de entropía relativamente bajo (por ejemplo, como se representa en la figura 1, la figura 2A y la figura 4A).

50 La figura 1 representa una lente electroactiva flexible 2 no cubierta por la invención en un estado plegado que tiene un alojamiento flexible 4 y un elemento electroactivo rígido incrustado en el alojamiento. El elemento electroactivo rígido 6 no se curva típicamente cuando la lente electroactiva se pliega. El elemento rígido puede proteger los elementos contenidos en él contra la compresión, el curvado debido a la expansión o la contracción de materiales, u otras fuerzas internas o externas al elemento. El elemento rígido puede incluir una envuelta rígida y puede tener componentes elásticos, como material electroactivo. Típicamente, el elemento rígido puede estar espaciado del borde periférico de la lente electroactiva para permitir su plegado.

65

La figura 2A representa una lente electroactiva flexible 2 en un estado plegado que tiene un alojamiento flexible 4 y un elemento electroactivo flexible 6 incrustado en el alojamiento. Dado que el elemento electroactivo flexible no evita típicamente que la lente electroactiva se curve, el elemento electroactivo se puede extender radialmente más hacia el borde periférico de la lente electroactiva donde el plegado tiene lugar típicamente. Por ejemplo, cuando la lente electroactiva se pliega, el elemento electroactivo flexible se puede curvar a lo largo de la curva periférica de la lente plegada. En un ejemplo no cubierto por la invención, la lente electroactiva flexible puede estar incrustada en un alojamiento rígido para uso como una lente de gafa.

La figura 2B representa una lente electroactiva 2 no cubierta por la invención en un estado desplegado que tiene un alojamiento rígido 4 y un elemento electroactivo flexible 6 incrustado en el alojamiento. Por ejemplo, el elemento puede ser mínimamente rígido para proteger elementos contenidos en él contra algunas fuerzas internas o externas y/o para empujar la lente electroactiva hacia el estado desplegado. El elemento electroactivo puede ser menos flexible que la lente electroactiva.

Con referencia al alojamiento flexible 4 en la figura 1 y la figura 2A, y con referencia al elemento electroactivo flexible 6 en la figura 2A y la figura 2B, cada uno de los elementos flexibles de la lente electroactiva 2 puede estar adaptado para moverse entre un estado plegado y un estado desplegado. Cada uno del alojamiento flexible y/o el electroactivo flexible puede estar compuesto de un material flexible, como, por ejemplo, polisulfonas, polieterimidias, y/u otros materiales termoplásticos. Las polisulfonas son una clase de polímeros dieléctricos transparentes que son estables en un amplio rango de temperaturas (por ejemplo, de - 110°C a +150°C) y un rango de pH (por ejemplo, de 2 a 13). Las polisulfonas son altamente resistentes a ácidos minerales, álcali, electrolitos, ácidos y bases. Las polisulfonas son altamente resistentes a agentes oxidantes tal como blanqueadores, que, cuando por ejemplo la lente electroactiva se usa como una lente de contacto, pueden ser aplicados al alojamiento flexible para limpiar la lente.

Con referencia de nuevo a la figura 1, la figura 2A y la figura 2B, el alojamiento puede tener o no potencia óptica. Un alojamiento con potencia óptica puede tener una potencia óptica fijada y puede ser una lente refractiva o difractiva (por ejemplo, representada en la figura 3A y la figura 3B). Por ejemplo, un alojamiento sin potencia óptica puede no enfocar luz.

El elemento electroactivo 6 tiene un índice de refracción alterable. El elemento electroactivo está dispuesto entre electrodos (por ejemplo representados en la figura 3A, la figura 3B, la figura 5C y la figura 5D), que pueden estar adaptados para aplicar potencia al elemento. La lente electroactiva 2 puede incluir un controlador (por ejemplo representado en la figura 3A, la figura 3B, la figura 5C y la figura 5D), que puede estar conectado eléctricamente al elemento electroactivo, por ejemplo, mediante los electrodos. El controlador puede estar adaptado para mover eléctricamente los electrodos para modular la potencia aplicada al elemento electroactivo. Cuando se aplica potencia al elemento, por ejemplo, por encima de un umbral predeterminado, su índice de refracción se altera. El controlador puede incluir electrónica de activación, un suministro de potencia tal como una batería recargable, y otros elementos para mover los electrodos.

Con referencia de nuevo a la figura 2A, la lente electroactiva 2 es una lente electroactiva flexible incluyendo un alojamiento flexible 4 y un elemento electroactivo flexible 6 incrustado en el alojamiento. El alojamiento flexible puede tener una potencia óptica fijada. El elemento electroactivo puede tener una potencia óptica adaptada para cambiar dentro de un rango de potencia óptica desde una potencia óptica mínima a una potencia óptica máxima. Los electrodos 10 están conectados eléctricamente al elemento electroactivo para aplicarle potencia. Cuando se aplica potencia al elemento por debajo de un primer umbral predeterminado, el elemento puede tener la potencia óptica mínima. Cuando se aplica potencia al elemento por encima de un segundo umbral predeterminado, el elemento puede tener la potencia óptica máxima. La potencia óptica fijada puede ser mayor que la potencia óptica máxima. De esta forma, la potencia óptica fijada puede proporcionar la mayor parte de la potencia óptica de la lente electroactiva flexible.

En la presente invención, para operación a prueba de fallos, cuando no se aplica potencia (por ejemplo, a través de los electrodos), la pérdida de potencia óptica proporcionada por el elemento electroactivo puede ser mínima. Por ejemplo, la lente 2 puede funcionar como una lente estática que tiene una potencia óptica fijada, por ejemplo, adaptada para corregir a distancia de lejos, o alternativamente a distancia intermedia, o alternativamente a distancia de cerca.

Con referencia a la figura 1, la figura 2A, la figura 2B, la figura 3A y la figura 3B, el alojamiento 4 puede incluir una película anterior y una película posterior para contener el elemento electroactivo. Por ejemplo, cada película puede tener aproximadamente 100 micras de grosor y la lente electroactiva puede ser aproximadamente menos o igual a 500 micras de gruesa. Con referencia a la figura 2A y la figura 3B la lente electroactiva puede ser, por ejemplo, aproximadamente menos o igual a 200 micras de gruesa en el estado desplegado. La lente electroactiva desplegada puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 9 mm de ancho y la lente electroactiva plegada puede ser por ejemplo menos o igual a aproximadamente 3 mm de ancho.

Cuando se usa como un implante corneal, el diámetro de la lente electroactiva no deberá exceder del diámetro de la

córnea. En algunas realizaciones de la invención, la superficie exterior del alojamiento puede estar curvada para adaptación sustancial a la curvatura de la córnea (cuando se use en un implante corneal) o la superficie del ojo (cuando se use en una lente de contacto).

5 La figura 1 incluye un ejemplo de las medidas de una lente electroactiva plegada 2 en dos dimensiones. La dimensión horizontal de una lente electroactiva plegada es preferiblemente menor o igual a 2,8 mm, aunque se puede usar otras dimensiones.

10 Con referencia a la figura 4A y la figura 4B, el elemento electroactivo puede incluir múltiples capas de cristal líquido individualmente activadas para proporcionar potencias ópticas adicionales entre las potencias ópticas mínima y máxima.

15 La figura 3A y la figura 3B muestran una vista expandida y aplastada, respectivamente, de una lente electroactiva flexible 2 en un estado desplegado que tiene una configuración difractiva en relieve superficial y una capa de cristal líquido según otra realización de la invención. La lente electroactiva puede ser una lente flexible incluyendo una primera película flexible 8a que tiene una configuración difractiva en relieve superficial 20 que varía dentro de una profundidad, d, una segunda película flexible 8b, una capa de cristal líquido 22 que tiene material electroactivo 16, electrodos 10, un controlador 12, conexiones eléctricas 14, y capas de alineación 18. La capa de cristal líquido se puede disponer entre las películas primera y segunda, que pueden formar un alojamiento flexible 8 para encerrar la capa. Las películas pueden estar compuestas, por ejemplo, de polisulfonas, poliéter imidas, y/u otros materiales flexibles.

20 Los electrodos 10 pueden estar conectados eléctricamente a la capa de cristal líquido para aplicarle potencia. El controlador 12 puede estar adaptado para activar eléctricamente los electrodos para modular la potencia aplicada a la capa. La capa de cristal líquido tiene un índice de refracción alterable. Cuando se aplica potencia a la capa, por ejemplo, por encima de un umbral predeterminado, su índice de refracción se altera.

25 Las capas de alineación 18 pueden orientar las moléculas de material electroactivo 16 para proporcionar un índice de refracción inicial de la capa de cristal líquido 22 cuando se le aplica potencia por debajo de un primer umbral predeterminado. Se puede aplicar un campo eléctrico que tiene potencia superior a un segundo umbral predeterminado (por ejemplo, a través de los electrodos) para alinear moléculas de material electroactivo para alterar el índice de refracción de la capa de cristal líquido.

30 El índice de refracción de las películas primera y segunda es típicamente fijo. En un ejemplo, el índice de refracción de la capa de cristal líquido puede alternar entre adaptación y desadaptación del índice de refracción fijo de las películas primera y segunda.

35 En la figura 3A y la figura 3B, para operación a prueba de fallos, cuando no se aplica potencia (por ejemplo, a través de los electrodos), la capa de cristal líquido puede tener (a modo de ejemplo solamente) un índice de refracción, n, (por ejemplo, 1,67 y un grosor (por ejemplo, menos de 10 μm aproximadamente igual a la configuración difractiva en relieve superficial 20 de la película. En esta realización el material que forma el difractivo en relieve superficial también tiene un índice de 1,67. Cuando el índice de refracción de la capa de cristal líquido corresponda al índice de refracción del difractivo de relieve superficial, la lente electroactiva tendrá una potencia óptica despreciable. Cuando el índice del cristal líquido no corresponda al del material difractivo, la lente electroactiva tendrá la potencia óptica creada por la configuración difractiva.

40 La figura 4A representa la lente electroactiva flexible 2 en un estado plegado que tiene una pluralidad de capas electroactivas y la figura 4B representa la pluralidad de elementos electroactivos de la figura 4A. En la figura 4A, la lente electroactiva puede incluir un alojamiento flexible 4 que tiene un índice de refracción fijado, una pluralidad de elementos electroactivos 6a, 6b, 6c, y 6d incrustados en él, por ejemplo, dispuestos en una configuración apilada, y electrodos 10 independientemente conectados eléctricamente a cada uno de los elementos electroactivos. En la figura 4B, los elementos electroactivos 6a, 6b, y 6c pueden incluir capas de material electroactivo 16 separadas por un material aislante 24, tal como una película dieléctrica flexible. En la figura 4A y la figura 4B los elementos electroactivos pueden ser flexibles, o menos flexibles que el alojamiento.

45 En la figura 4A y la figura 4B cada uno de los elementos electroactivos puede tener un índice de refracción alterable y se puede activar individualmente. Dado que cada elemento electroactivo está aislado uno de otro, es posible encender selectivamente o en cualquier combinación un elemento o elementos electroactivos. Haciendo esto es posible tener una combinación aditiva de potencias ópticas o proporcionar una sola potencia óptica. Esto ofrece la capacidad de sintonizar la potencia óptica de la lente o óptica incluyendo dicha capa múltiple ópticamente apilada de elementos electroactivos después del implante quirúrgico.

50 Los elementos electroactivos pueden ser activados en respuesta a una señal de control procedente de una fuente externa a la lente electroactiva. Con referencia a la figura 5A, la figura 5B, la figura 5C y la figura 5D, la lente electroactiva puede incluir un receptor, tal como un dispositivo detector y/o un metal de memoria, para recibir señales de control procedente de una fuente externa a la lente. Las señales de control pueden ser usadas para

modular la potencia aplicada a cada uno de los elementos para sintonizar a distancia su potencia óptica.

Con referencia de nuevo a la figura 4A y la figura 4B, los elementos electroactivos se pueden apilar y ser activados individualmente para alterar la potencia óptica total de la lente electroactiva en cualquier combinación de las potencias ópticas alterables de los elementos.

En la figura 4B la lente electroactiva incluye elementos electroactivos 6a, 6b, y 6c que, cuando son activados, tienen potencias ópticas ejemplares de +0,25D o -0,25D, +0,50D o -0,50D, y +2,50D o +1,25D, respectivamente. Por ejemplo, los elementos pueden ser activados en varias combinaciones para proporcionar una potencia óptica total en un rango de una potencia óptica mínima de + 0,25D o - 0,25D a modo de ejemplo solamente, activando solamente +0,25D o y - 0,25D que siempre se necesita a una potencia óptica máxima de +4,50D a modo de ejemplo solamente, activando una combinación de +25D, +50D, +2,50D y +1,25D. En este ejemplo, la lente electroactiva puede tener potencias ópticas en cada incremento de 0,25D (positivo o negativo) entre las potencias mínima y máxima. Cuando cada uno de los elementos es activado individualmente en combinaciones adecuadas, el elemento puede proporcionar un incremento de cambio de potencia óptica y la potencia óptica total de la lente electroactiva puede ser sintonizada a las potencias ópticas deseadas. El incremento de cambio de potencia óptica en este ejemplo es 0,25D, pero en otras realizaciones es 0,12D. Los elementos pueden estar adaptados para proporcionar corrección para visión a una distancia de cerca, intermedia y/o de lejos. Se puede apreciar que los valores aquí usados son a efectos de demostración y se puede usar diferentes potencias ópticas, incrementos de cambio de potencia óptica, y/o números de elementos electroactivos (por ejemplo, con limitación al tamaño para colocación en el ojo).

En la presente invención, uno o más de los elementos 6c pueden estar pixelados. Los electrodos pueden aplicar potencia a los elementos pixelados. Poniendo en derivación algunos electrodos es posible proporcionar aproximadamente 50% de la potencia óptica máxima de los elementos. En el ejemplo anterior, el elemento 6c puede proporcionar una potencia óptica máxima de +2,50D y una potencia óptica reducida 50% de +1,25D.

Uno o más de los elementos electroactivos pueden incluir un elemento modal. Los elementos modales pueden cambiar la potencia óptica cuando se aplica un gradiente eléctrico potencial a una lente modal de enfoque variable. Los elementos modales pueden crear una óptica refractiva usando, por ejemplo, cristal líquido.

Con referencia de nuevo a la figura 4A y la figura 4B, los elementos electroactivos 6a, 6b, 6c, y 6d pueden incluir una combinación de cristales líquidos dispersados en polímero y cristales líquidos biestables. Cuando se aplica una potencia suficiente a cada uno de los elementos (por ejemplo, a través de los electrodos) los cristales biestables pueden ser sintonizados para lograr una potencia óptica deseada mientras que los cristales líquidos dispersados en polímero puede ser curados a distancia o fijados dentro del elemento una vez establecida la potencia óptica deseada. La curación de los cristales puede fijar la orientación de las moléculas para fijar la potencia óptica sintonizada mientras la lente electroactiva se coloca o incrusta en el ojo. Se puede usar una señal electromagnética (por ejemplo, un láser) que tenga una(s) longitud(es) de onda segura(s) para los ojos (por ejemplo, una longitud de onda de 1,5 μm) para curar a distancia los cristales, por ejemplo, usando un iniciador que sea sensible a la(s) longitud(es) de onda de la señal electromagnética. Los cristales líquidos dispersados en polímero pueden incluir, por ejemplo, una mezcla de una mezcla de cristales líquidos nemáticos E7 (producida por Merck) y un adhesivo óptico curado por UV NOA65 (producido por Norland Products). En una realización, el cristal líquido biestable puede ser sintonizado a distancia y el polímero puede ser curado a distancia usando dispositivos colocados fuera del ojo, mientras la lente electroactiva se incrusta dentro del ojo.

Se puede usar material de cristal líquido biestable para reducir la cantidad de consumo de potencia eléctrica requerida con el tiempo para alimentar la lente electroactiva. A la aplicación de un primer voltaje apropiado superior a un primer umbral predeterminado, la orientación general de cada uno de los cristales líquidos biestables individuales puede retener una orientación inducida por el primer voltaje una vez quitado el voltaje. Pueden hacerse volver a su estado original aplicando un segundo voltaje inferior a un segundo umbral predeterminado. Los cristales líquidos biestables pueden incluir, por ejemplo, cristal líquido ferroeléctrico estabilizado en superficie (SSFLF), que es un cristal líquido esméctico. El uso de un cristal líquido biestable puede reducir el consumo de potencia eléctrica, porque se puede usar voltaje para conmutar el dispositivo entre sus estados y típicamente no para mantener los estados de operación.

La figura 5A, la figura 5B, la figura 5C y la figura 5D muestran, cada una, una vista frontal de una lente electroactiva flexible 2 que tiene un elemento electroactivo flexible 6. La lente electroactiva flexible incluye una película flexible 4 en la que se incrusta el elemento electroactivo, una fuente de potencia 26, electrodos 10 y un material metálico de memoria 28. El material metálico de memoria polariza la lente electroactiva a su estado desplegado. Por ejemplo, la lente electroactiva se puede plegar para inserción en una incisión en el ojo. Una vez que la lente electroactiva ha sido liberada dentro del ojo, el material metálico de memoria puede desplegar la lente a su estado desplegado para operación dentro del ojo.

Con referencia a la figura 5C y la figura 5D, la lente electroactiva puede incluir un controlador y/o electrónica de activación 12 y conexiones eléctricas 14.

Los electrodos 10 están conectados eléctricamente al elemento electroactivo para aplicarle potencia. Con referencia a la figura 3A, al menos uno de los electrodos puede formar una configuración en relieve, conforme a la configuración difractiva en relieve superficial 20 de la primera película 8a.

5 Con referencia de nuevo a la figura 5A, la figura 5B, la figura 5C y la figura 5D, los electrodos pueden incluir una pluralidad de aros de electrodo concéntricos. Cuando los electrodos aplican potencia eléctrica al elemento electroactivo que tiene tales aros, el elemento puede recibir por ello propiedades ópticas difractivas.

10 En la presente invención, los electrodos pueden encenderse y apagarse en menos de aproximadamente un (1) segundo. Los electrodos están compuestos de un material conductor o metálico tal como aluminio, un material ópticamente transparente, tal como óxido de indio y estaño (ITO), un material orgánico conductor, tal como poli(3,4-etilendioxitiofeno) poli(estrensulfonato) (PEDOT:PSS) y/o nanotubos de carbono. Los electrodos pueden recubrir y rodear el material de cristal líquido. El material transparente puede incluir trazas finas de metales como plata o
15 aluminio para incrementar la conductividad. Se puede aplicar potencia a través de los electrodos transparentes para alterar las propiedades ópticas de la lente electroactiva, como se describe aquí. El grosor de la capa de electrodo puede ser, por ejemplo, menos de 1 μm , pero es preferiblemente menos de 0,1 μm . El controlador y/o la electrónica de activación 12, la fuente de potencia 26, el material metálico de memoria 28, y otros componentes electrónicos pueden estar conectados a los electrodos por las conexiones eléctricas 14. Las conexiones eléctricas pueden incluir pequeños hilos o trazas, que también pueden ser transparentes. Los electrodos y las conexiones eléctricas pueden ser flexibles.

20 Con referencia a la figura 5B y la figura 5D, la lente electroactiva puede incluir un activador de energía cinética 50 conectado eléctricamente al elemento electroactivo para convertir el movimiento del ojo a potencia eléctrica para suministrar la potencia eléctrica al elemento electroactivo. El activador de energía cinética puede incluir un conductor e imanes permanentes situados dentro del activador. Cuando el conductor se mueve con relación a un campo magnético producido por los imanes permanentes, se genera potencia eléctrica. Tales activadores son conocidos en la técnica y se usan típicamente para relojes de muñeca no accionados por batería. Por ejemplo, los movimientos del ojo, tal como los movimientos rápidos del ojo (REM), pueden cargar la fuente de potencia 26 (por ejemplo, durante los ciclos de sueño y/o vigilia).

25 Con referencia a la figura 5A y la figura 5B, la lente electroactiva puede incluir película piezoeléctrica 48 para generar potencia eléctrica. La película piezoeléctrica puede estar adaptada para conectar la lente electroactiva a una estructura del ojo. La tensión de la película piezoeléctrica se puede cambiar con el movimiento del ojo. La película puede transducir el cambio de tensión a potencia eléctrica. Por ejemplo, cuando la película piezoeléctrica se pueda montar en el cuerpo ciliar, el iris, cerca o en la pupila, y cuando la pupila se dilate y/o contraiga, la película piezoeléctrica se estirará y relajará, produciendo por ello potencia eléctrica.

30 Con referencia a la figura 5A y la figura 5C, la potencia eléctrica se puede generar usando una pila fotovoltaica del dispositivo detector 32. La pila fotovoltaica convierte la potencia solar a potencia eléctrica como es conocido en la técnica. La pila fotovoltaica puede estar adaptada para cargarse usando una fuente láser infrarrojo de 1,5 μm (no representado), por ejemplo, colocada fuera de la lente electroactiva. El láser se puede montar, por ejemplo, en un par de gafas adaptado para recargar la fuente de potencia cuando lo lleve puesto el usuario.

35 En cada de estas realizaciones, la potencia eléctrica generada puede ser almacenada dentro de la fuente de potencia 26. La fuente de potencia puede incluir una batería, tal como una batería de película fina, que puede ser recargable y/o flexible. La batería de película fina puede ser cargada inductivamente por carga remota. En una realización, una almohada habilitada inductivamente (no representada) proporciona la carga inductiva mientras el usuario de dicha lente electroactiva está durmiendo.

40 El material metálico de memoria 28 se usa para polarizar la lente electroactiva hacia el estado desplegado.

45 En otra realización, el material metálico de memoria puede ser usado para recibir señales de control de una fuente externa a la lente electroactiva. El controlador 12 puede usar las señales de control para modular la potencia aplicada al elemento electroactivo. El material metálico de memoria puede estar conectado eléctricamente al controlador y los elementos electroactivos. El material metálico de memoria funciona como una antena, un condensador, una bobina inductiva o análogos.

50 En otra realización, el material metálico de memoria puede ser usado para cargar la fuente de potencia 26. El material de memoria puede formar una bobina y/o una antena y puede estar adaptado para cargar inductivamente la fuente de potencia usando la potencia eléctrica transmitida de forma inalámbrica desde un dispositivo externo a la lente electroactiva.

55 En otra realización, el material metálico de memoria puede ser usado para programar y/o reprogramar el controlador y/o la electrónica de activación.

El material metálico de memoria puede estar compuesto, por ejemplo, de titanio-paladio-níquel, níquel-titanio-cobre, oro-cadmio, hierro-zinc-cobre-aluminio, titanio-niobio-aluminio, hafnio-titanio-níquel, níquel-titanio-cobre, oro-cadmio, hierro-zinc-cobre-aluminio, níquel-titanio, y/o hierro-manganeso-silicio, o cualquier combinación de los mismos.

5 Con referencia de nuevo a la figura 5A y la figura 5C, la lente electroactiva puede incluir un dispositivo detector 32 para detectar información sensorial. El dispositivo detector puede incluir por ejemplo uno o más de los dispositivos siguientes: una fotocélula sensible a UV o fotovoltaica, un conmutador basculante, un sensor de luz, un telémetro pasivo, un telémetro de tiempo de vuelo, un seguidor ocular, un detector de visión que detecta cuándo el usuario puede estar viendo, un acelerómetro, un conmutador de proximidad, un conmutador físico, un control de anulación manual, un conmutador capacitivo que conmuta cuando el usuario toca el puente de la nariz o análogos.

10 El dispositivo detector puede incluir dos o más redes de fotodetectores con una lente de enfoque colocada sobre cada red para medir distancias. Se puede usar un algoritmo de suma de diferencias para determinar qué red tiene la relación de contraste más alta para determinar la distancia a la que un objeto está colocado con respecto a la lente electroactiva.

15 El dispositivo detector puede incluir un telémetro para detectar distancias para enfocar la lente electroactiva y/o una célula solar para detectar luz ambiente y/o incidente en la lente electroactiva.

20 El dispositivo detector puede incluir un giroscopio de sistema microelectromecánico (MEMS) adaptado para detectar inclinaciones de la cabeza o enciclorrotación del ojo, cuya ilustración se representa en la figura 6. Además, el dispositivo detector puede incluir un mecanismo de temporización que puede ser usado en combinación con el giroscopio para distinguir un cambio en la distancia vista a partir de los efectos de curvado u otros movimientos.

25 En respuesta a la detección, el dispositivo detector puede disparar la activación y/o la desactivación de uno o más de dichos elementos de la lente electroactiva, por ejemplo, alterando la potencia eléctrica que se le aplica. El dispositivo detector puede estar acoplado directa o indirectamente a la electrónica y/o las conexiones eléctricas para activar eléctricamente los electrodos. En una realización, el dispositivo detector puede detectar la distancia de enfoque a la que el usuario está viendo y consiguientemente puede alterar o mantener la potencia óptica del elemento electroactivo. En un ejemplo, si el dispositivo detector detecta que el usuario está enfocando dentro del rango de distancia de cerca, la potencia óptica del elemento puede ser alterada de modo que la lente electroactiva proporcione corrección para visión a distancia de cerca.

30 En la presente invención, la lente electroactiva puede incluir además un conmutador remoto de invalización (no representado) para invalidar manualmente y conmutar estados ópticos de la lente electroactiva. Por ejemplo, el conmutador remoto puede activar, desactivar o poner una potencia óptica deseada. Cuando el conmutador remoto es activado, se puede enviar una señal de conmutador remoto a la lente electroactiva mediante una antena formada a partir del material metálico de memoria 28.

35 Con referencia de nuevo a la figura 5C y la figura 5D, la lente electroactiva puede incluir aberturas 34 para permitir que productos nutrientes y residuales celulares producidos por el cuerpo pasen a través de la lente electroactiva. Las aberturas pueden ser membranas semipermeables que permitan el paso de materiales a su través en base al tamaño de las moléculas de material. Las aberturas y/o los poros se pueden perforar, maquinar o estampar. Típicamente, las aberturas y los poros pueden estar situados en zonas no eléctricas o por lo demás no críticas de la lente electroactiva tal como cerca del eje pupilar donde los electrodos no se extienden o aplican potencia. Tales aberturas son conocidas en la técnica con respecto a inlays corneales no electroactivos.

40 La figura 7A y la figura 7B muestran, cada una, una vista frontal de la lente electroactiva flexible 2 que tiene un eje A y una vista en sección transversal AA de la lente electroactiva flexible 2 tomada en el eje A. La lente electroactiva incluye una película flexible 4 y un elemento electroactivo 6 incrustado en la película. La figura 7A incluye una envuelta 36, dispuesta entre la película flexible y el elemento electroactivo. Así, el elemento está rodeado por la envuelta, que, a su vez, está rodeada por el alojamiento flexible. La envuelta puede ser una barrera protectora, repelente de agua, compuesta, por ejemplo, de material acrílico hidrófilo. En una realización, el alojamiento flexible puede estar compuesto, por ejemplo, de silicona o un material acrílico hidrófobo. Típicamente, los materiales acrílicos hidrófilos tienen índices de refracción relativamente bajos y son moderadamente rígidos. Típicamente, los materiales acrílicos hidrófobos tienen índices de refracción relativamente más altos y son flexibles.

45 El alojamiento 4 puede estar compuesto de una membrana semipermeable. El alojamiento puede estar recubierto con materiales que son biocompatibles con objetos anatómicos en el ojo. Los materiales biocompatibles pueden incluir, por ejemplo, fluoruro de polivinilideno o perfluoroéter microporoso no hidrogel. El alojamiento puede estar recubierto opcionalmente con un sellante para evitar o retardar la lixiviación de materiales de la lente electroactiva. El alojamiento flexible 4 puede ser una sustancia semipermeable. El elemento electroactivo de cristal líquido y la electrónica asociada pueden estar herméticamente sellados para evitar la lixiviación al ojo con el tiempo.

60 Con referencia de nuevo a la figura 5A y la figura 5B, la lente electroactiva puede incluir hápticos 30 para estabilizar la lente en una posición deseada dentro del ojo como es conocido en la técnica. Los hápticos también pueden incluir

una antena y/o bucles de recarga para recibir señales de control de un dispositivo externo a la lente electroactiva.

5 La lente electroactiva puede incluir lentes intraoculares, que se pueden implantar con el mayor centrado posible (una alineación de un eje central de la lente con un eje central o eje pupilar del ojo) para obtener los mejores resultados ópticos. En una realización preferida de la presente invención, la lente electroactiva o una bolsa capsular que aloja la lente electroactiva deberá ser implantada directamente detrás de la pupila con el mayor centrado posible. Los hápticos 30 pueden ser usados para centrar la lente electroactiva dentro de la bolsa capsular. Alternativamente, los hápticos se pueden montar directamente en el ojo, por ejemplo, el músculo ciliar, extendiéndose fuera de la bolsa capsular. A causa de asimetría anatómica del ojo, la lente electroactiva puede ser implantada decentral a un eje pupilar. Se puede observar descentrado adicional dentro de la bolsa capsular (por ejemplo, en una desalineación de un eje central de la bolsa capsular con un eje central de la lente electroactiva insertada en ella) y con una pupila desalineada (que tiene un eje pupilar curvado o desalineado). El ojo tolera típicamente cantidades moderadas de descentrado. Debido a asimetría anatómica, un ojo natural y no alterado puede tener un descentrado de aproximadamente 0,1 o 0,2 mm. La lente electroactiva puede acomodar preferiblemente al menos 1 mm de descentrado.

15 La lente electroactiva se puede implantar en un ojo que ya tenga un implante de lente existente para corregir la disfunción óptica proporcionada por el implante de lente existente (no representado). Esta técnica se puede denominar implante de lente "a cuestras". La lente electroactiva se puede implantar delante del implante de lente existente (por ejemplo, más próxima a la superficie expuesta del ojo), por ejemplo, a la cámara posterior en el surco ciliar. En otras realizaciones, la lente electroactiva se puede implantar detrás del implante de lente existente (por ejemplo, más lejos de la superficie expuesta del ojo). En cualquiera de las realizaciones anteriores, la lente electroactiva puede ser usada en combinación con otra lente cristalino fija, por ejemplo,. La lente se puede colocar en la cámara anterior o posterior del surco ciliar.

20 Cuando las realizaciones aquí descritas se usan como una lente de contacto, la lente puede incluir una faldilla hidrófila blanda unida en o cerca de la periferia de la lente para estabilizar la lente en una posición centrada deseada. La lente de contacto se puede estabilizar más con una región de orientación lastrada o una superficie de unión truncada. La lente de contacto se puede cargar inductivamente por una caja de lente de contacto (no representada), por ejemplo, cuando la lente está colocada en la caja. El dispositivo detector 32 de la lente de contacto (por ejemplo, un fotodetector) puede estar situado en o sobre la superficie de la lente de contacto o faldilla unida, en una posición espaciada del eje pupilar para no interferir con la visión del usuario. En una realización, los parámetros de encaje en dimensiones y/o los componentes se pueden personalizar según las necesidades anatómicas y/o las preferencias del usuario.

25 La figura 8A, la figura 8B, y la figura 8C muestran, cada una, la colocación de la lente electroactiva 2 en un ojo 38 que tiene tamaños de pupila diferentes. La figura 8A representa una pupila dilatada que tiene un tamaño relativamente grande. La figura 8B representa una pupila que tiene un tamaño relativamente moderado. La figura 8C representa una pupila que tiene un tamaño relativamente pequeño. La figura 8A, la figura 8B, y la figura 8C muestran, cada una, las posiciones relativas de la pupila 40, el iris 42, el limbo 44, y la esclerótica 46, en el ojo. La lente electroactiva puede incluir un alojamiento flexible 4 y un elemento electroactivo 6. Cuando disminuye el tamaño de la pupila, la lente cubre un porcentaje creciente de la pupila 40 o abertura del ojo.

30 En cualquiera de las realizaciones anteriores, se puede usar material cristalino líquido. Los cristales líquidos incluyen un estado de agregación que es intermedio entre el sólido cristalino y el líquido amorfo. Muchos cristales líquidos están compuestos de moléculas en forma de varilla, y se clasifican ampliamente como: nemáticos, colestéricos y esmécticos.

35 La lente electroactiva puede ser usada para corregir errores refractivos del ojo incluyendo presbicia, miopía, hipermetropía, astigmatismo y aberraciones de orden superior.

40 En el sentido en que se usa aquí, la distancia de visión de cerca puede describir distancias de 18 pulgadas (45,72 cm) hasta aproximadamente 12 pulgadas (30,48 cm) desde un punto de visión; la distancia de visión intermedia puede describir distancias de más de 18 pulgadas (45,72 cm) a 29 pulgadas (73,66 cm) y la distancia de visión de lejos puede describir distancias superiores a aproximadamente 29 pulgadas (73,66 cm) desde la cara de una persona.

45 Aunque la invención se ha descrito con respecto a un número limitado de realizaciones, se apreciará que se puede hacer muchas variaciones, modificaciones y otras aplicaciones de la invención. Los expertos en la técnica apreciarán que las reivindicaciones anexas pretenden cubrir todas esas modificaciones y cambios.

REIVINDICACIONES

1. Una lente electroactiva flexible (2) incluyendo:
- 5 una óptica refractiva flexible (4) que tiene un índice de refracción fijado y configurada para colocarse dentro de un ojo o sobre él, incluyendo la óptica refractiva flexible al menos una película flexible (4, 8a, 8b);
- un elemento electroactivo flexible (6) incrustado dentro de dicha óptica refractiva flexible, donde dicho elemento electroactivo flexible (6) incluye una capa de cristal líquido (22) que tiene un índice de refracción alterable;
- 10 un material metálico de memoria (28) configurado para empujar la lente electroactiva flexible (2) hacia un estado desplegado, y además configurado como al menos uno de una antena, un condensador y una bobina inductiva;
- electrodos primero y segundo formados de un material conductor, estando dispuesto el elemento electroactivo flexible entre los electrodos primero y segundo (10); y
- 15 un controlador (12), conectado eléctricamente a dicho elemento electroactivo flexible (6), para aplicar potencia a dicho elemento electroactivo flexible (6) con el fin de alterar un índice de refracción de dicho elemento electroactivo flexible (6).
- 20 2. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde dicho elemento electroactivo flexible es tan flexible como dicha óptica refractiva flexible.
3. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde dicho elemento electroactivo flexible incluye al menos uno de un material de polisulfona y un material de polieterimida.
- 25 4. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde la mayor parte de la potencia óptica la proporciona dicha óptica refractiva flexible.
5. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, incluyendo además una pila fotovoltaica (32) conectada eléctricamente a dicho elemento electroactivo flexible para suministrarle potencia.
- 30 6. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, incluyendo además un activador de energía cinética (50) conectado eléctricamente a dicho elemento electroactivo flexible para convertir el movimiento del ojo en potencia eléctrica para suministrar potencia eléctrica a dicho elemento electroactivo flexible.
- 35 7. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, incluyendo además una película piezoeléctrica (48) adaptada para conectar la lente a una estructura ocular, donde una tensión de dicha película piezoeléctrica (48) está configurada para ser cambiada por el movimiento del ojo con el fin de producir potencia eléctrica.
- 40 8. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde dicho elemento electroactivo flexible (6) está adaptado para sintonización remota.
9. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde la lente electroactiva flexible (2) es una de una lente intraocular, óptica intraocular, lente de contacto, inlay corneal y onlay corneal.
- 45 10. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde la lente electroactiva flexible (2) incluye además una configuración difractiva en relieve superficial (20), y, opcionalmente,
- 50 donde el elemento electroactivo flexible (6) incluye un material electroactivo **caracterizado por** un índice de refracción aproximadamente igual al de la configuración difractiva en relieve superficial cuando no se aplica potencia al elemento electroactivo flexible.
11. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde los electrodos primero y segundo son electrodos en forma de aros concéntricos (10) conectados eléctricamente a dicho elemento electroactivo flexible.
- 55 12. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde cuando se aplica potencia eléctrica a dicho elemento electroactivo flexible, dicho elemento electroactivo flexible es difractivo.
- 60 13. La lente electroactiva flexible de la reivindicación 1, donde dicho elemento electroactivo flexible está pixelado.
14. La lente electroactiva flexible de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada además por** una envuelta hidrorrepelente (36) dispuesta alrededor del elemento electroactivo flexible (6).

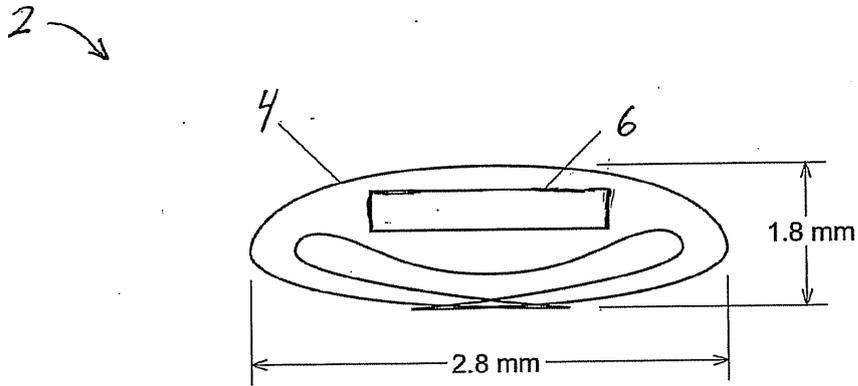


Fig. 1

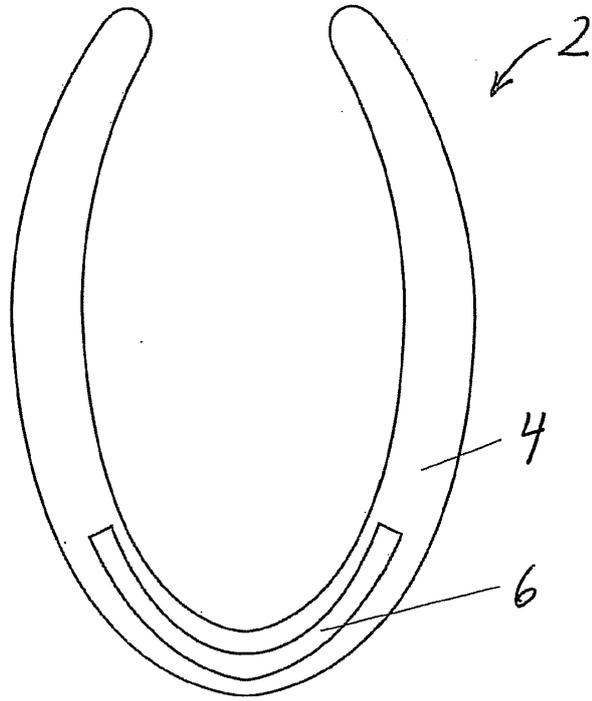


Fig. 2A

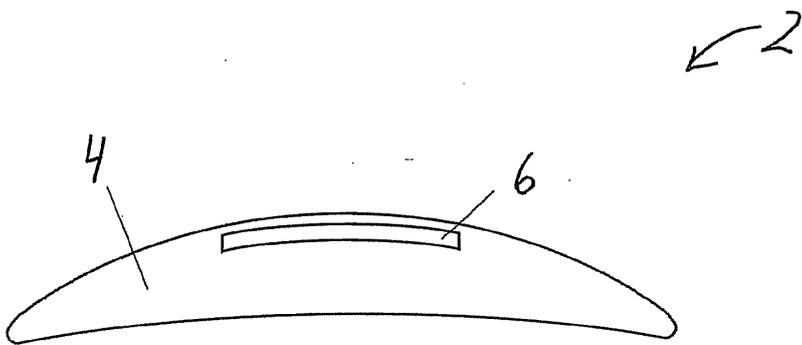


Fig. 2B

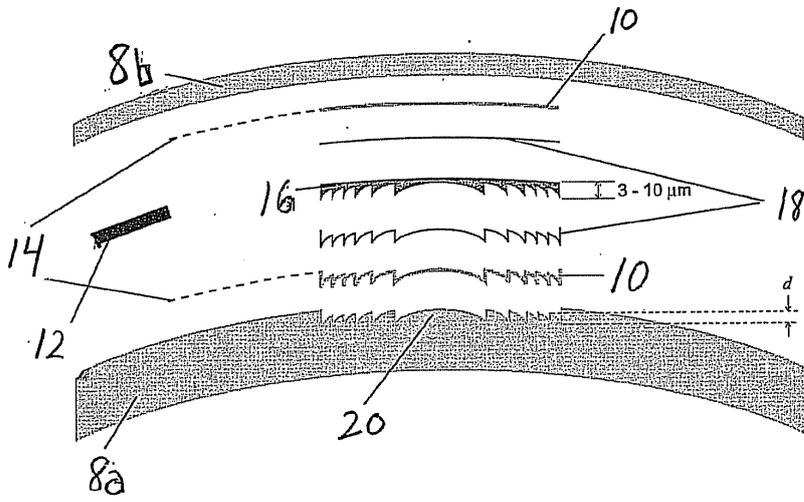


Fig. 3A

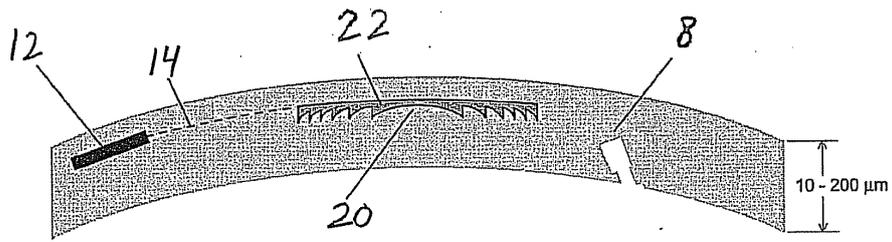


Fig. 3B

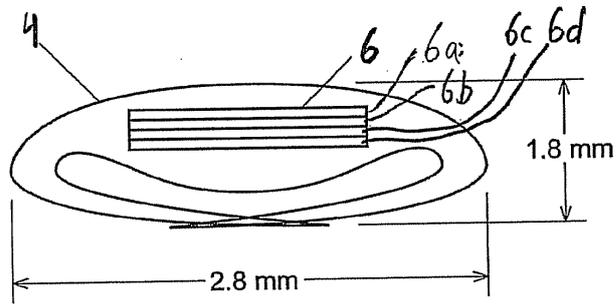


Fig. 4 A

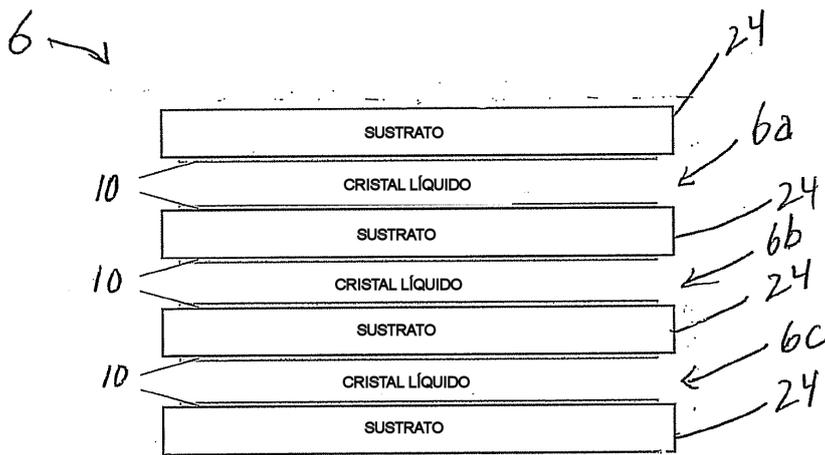


Fig. 4 B

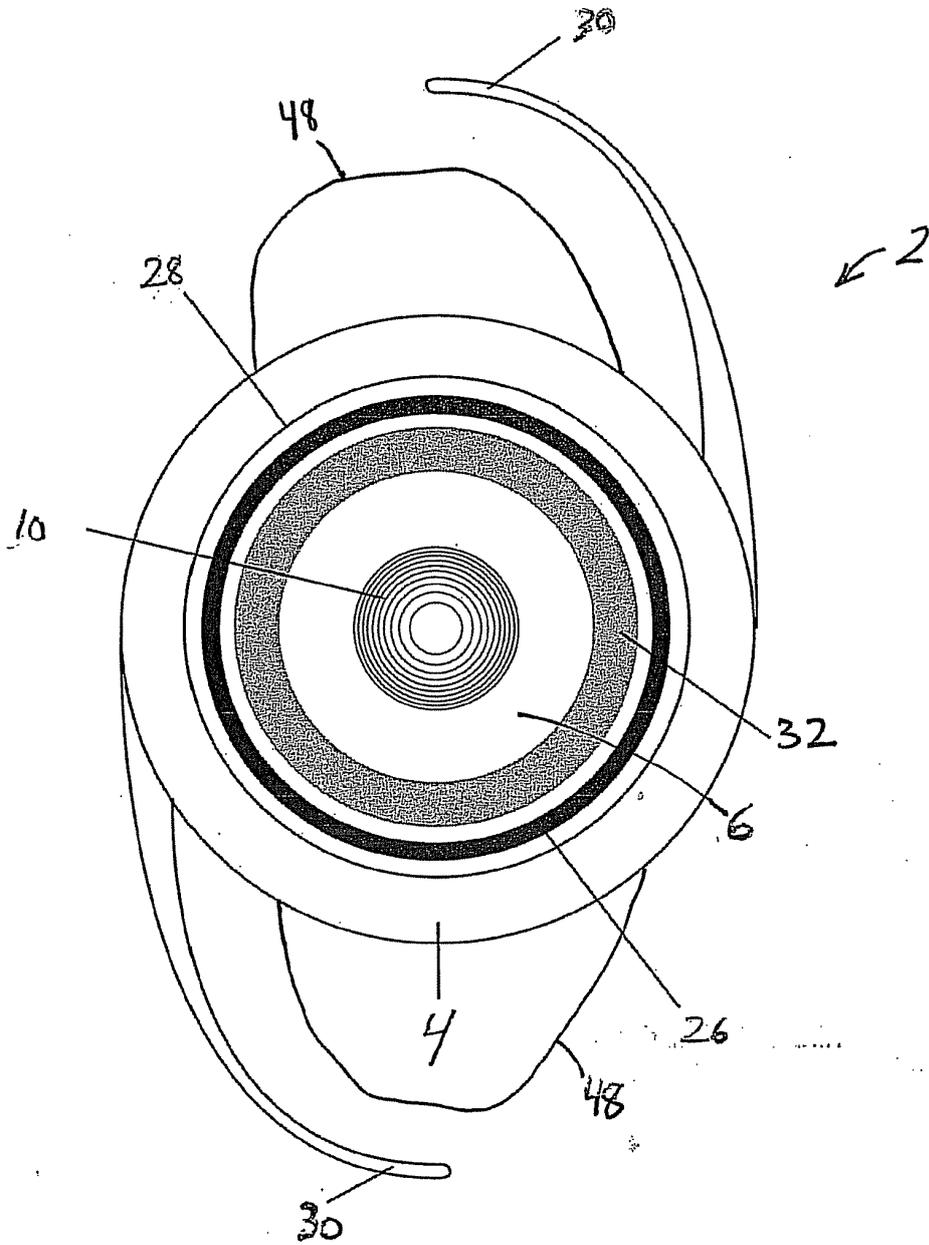


Fig. 5A

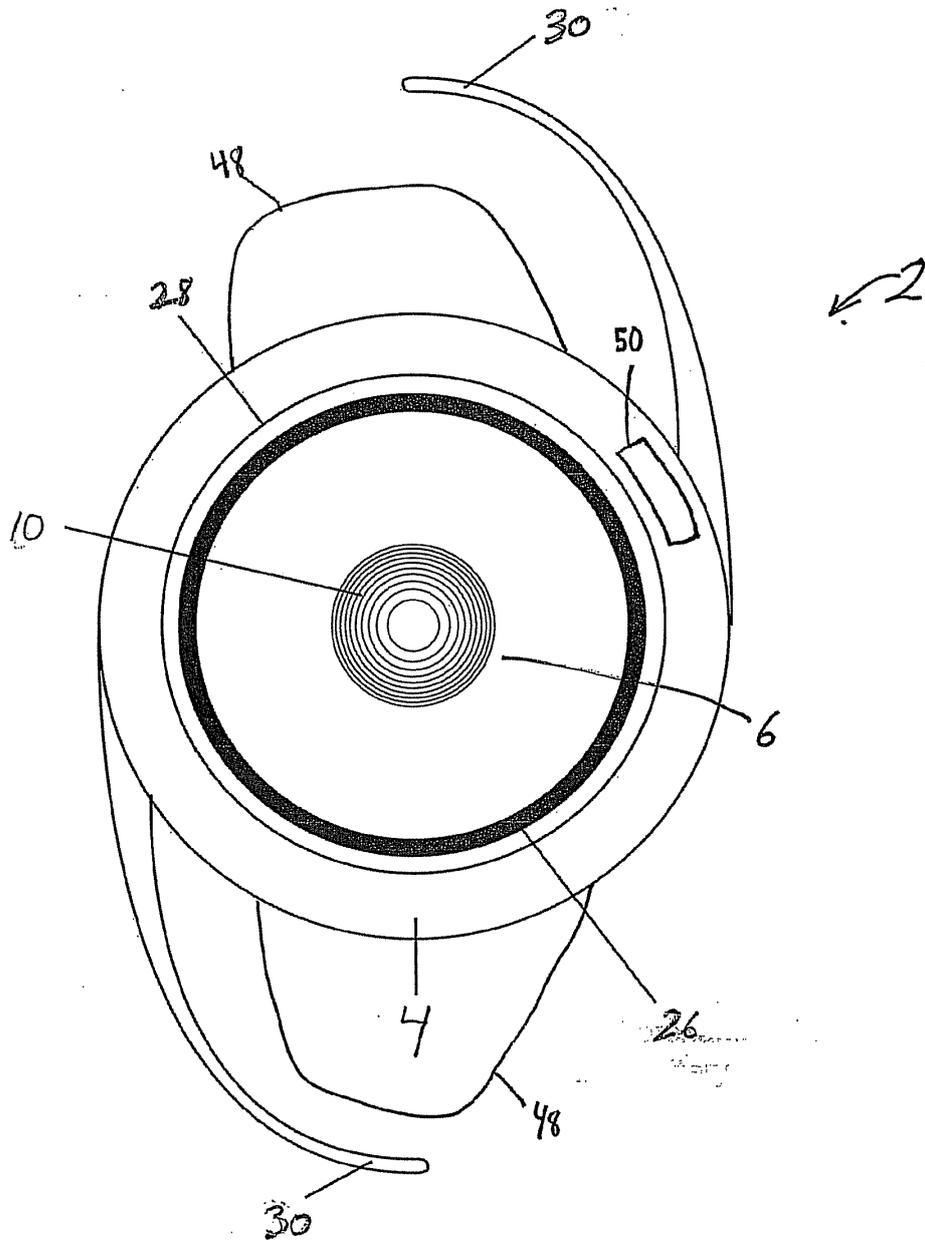


Fig. 5B

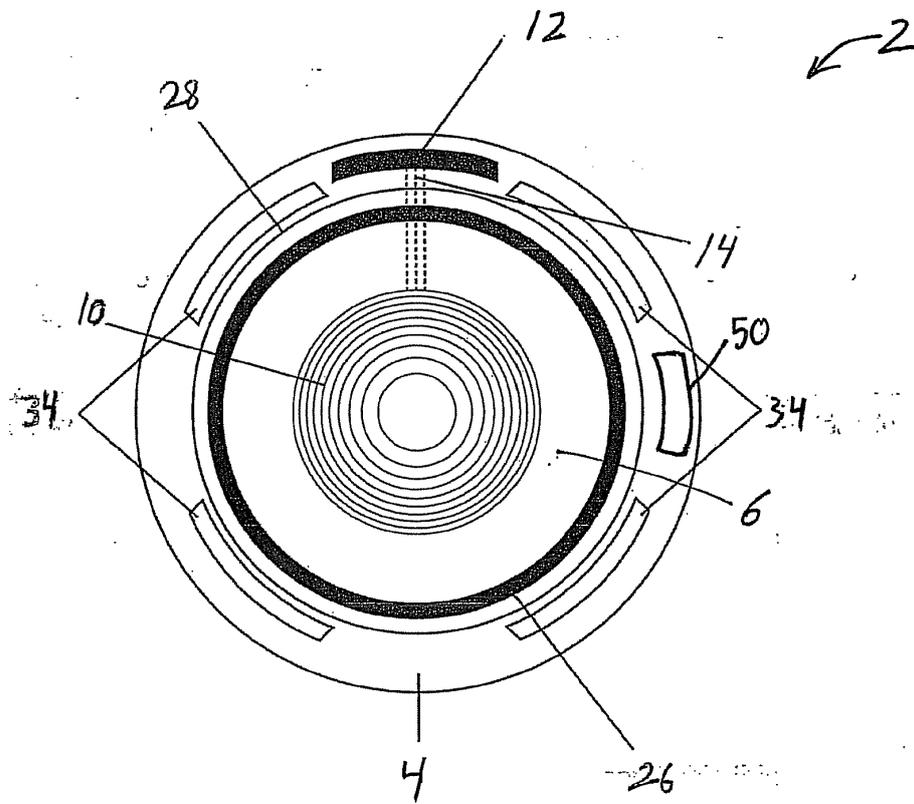


Fig. 5D

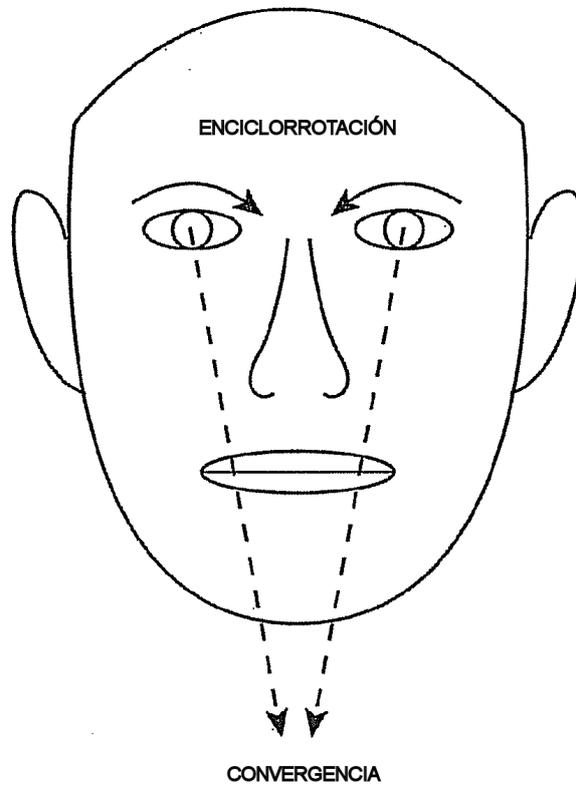
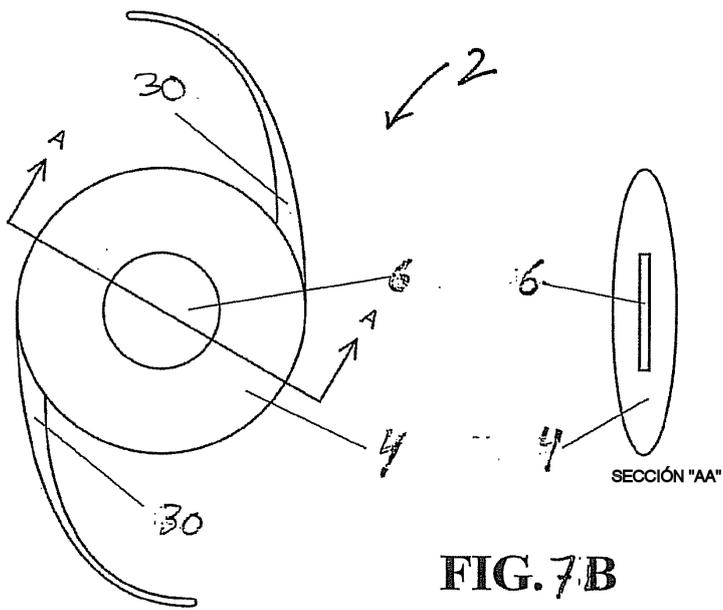
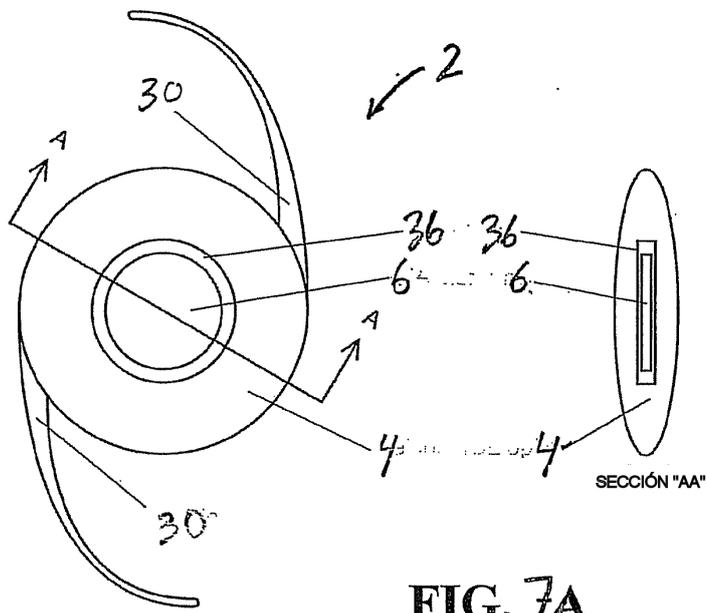


Fig. 6



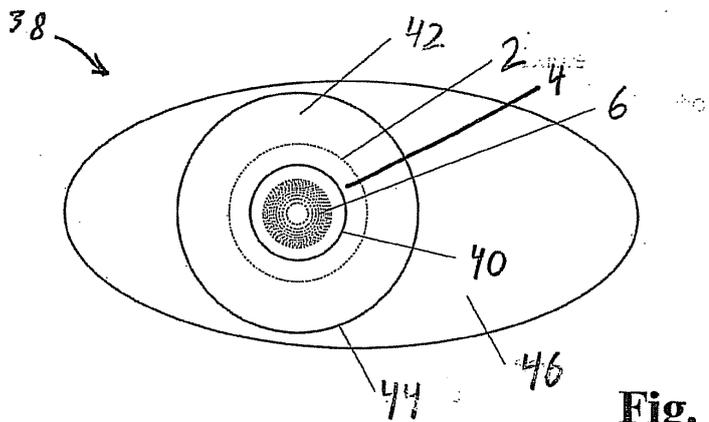


Fig. 8A

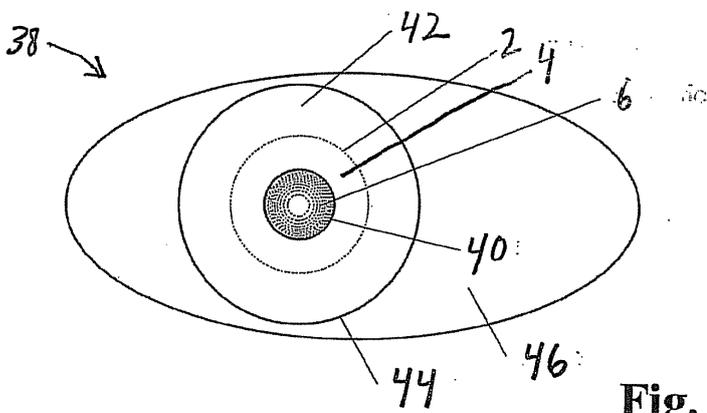


Fig. 8B

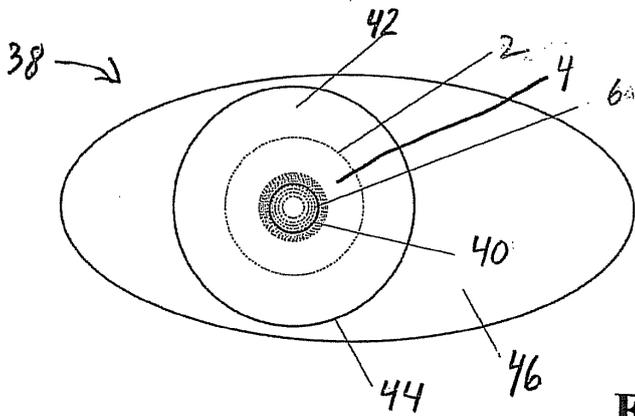


Fig. 8C