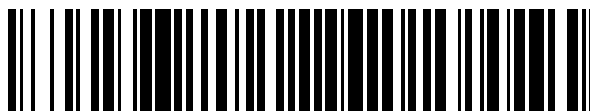


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 239**

51 Int. Cl.:

**A61F 2/16** (2006.01)

**G02C 7/04** (2006.01)

**G02B 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2014** **E 14159778 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2017** **EP 2778755**

54 Título: **Dispositivos oftálmicos que incorporan elementos de metasuperficie**

30 Prioridad:

**15.03.2013 US 201313833646**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**12.09.2017**

73 Titular/es:

**JOHNSON & JOHNSON VISION CARE, INC.**  
**(100.0%)**  
**7500 Centurion Parkway, Suite 100**  
**Jacksonville, FL 32256, US**

72 Inventor/es:

**PUGH, RANDALL B. y**  
**FLITSCH, FREDERICK A.**

74 Agente/Representante:

**IZQUIERDO BLANCO, María Alicia**

ES 2 632 239 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).

**Dispositivos oftálmicos que incorporan elementos de metasuperficie****Descripción****5 Campo de uso**

La presente invención describe dispositivos oftálmicos con inserciones de materiales y lentes que tienen elementos de metasuperficie sobre o dentro de ellos.

**10 Antecedentes**

Tradicionalmente, un dispositivo oftálmico, como una lente de contacto, una lente intraocular, o un tapón lagrimal, incluía un dispositivo biocompatible con una calidad correctora, cosmética o terapéutica. Una lente de contacto, por ejemplo, puede proporcionar uno o más de funcionalidad correctora de visión, mejora cosmética y efectos terapéuticos. Una característica física de la lente proporciona cada función. Un diseño que incorpora una calidad refractiva en una lente puede proporcionar una función correctora de visión. Un pigmento incorporado en la lente puede proporcionar una mejora cosmética. Un agente activo incorporado en una lente puede proporcionar una funcionalidad terapéutica. Tales características físicas se consiguen sin que la lente entre en un estado activado. Un tapón lagrimal ha sido tradicionalmente un dispositivo pasivo.

Los dispositivos oftálmicos nuevos basados en inserciones oftalmológicas activadas y no activadas se han descrito recientemente. Estos dispositivos pueden usar la función de activación para impulsar los componentes ópticos activos.

Recientemente se ha demostrado que pueden formarse lentes planas únicas mediante la fabricación de estructura de superficie especializada que tiene características metálicas de nanoescala presentadas en la superficie. Puede hacerse varios diseños por medio del control de los diseños de estructura celular de unidad de características de nanoescala.

Puede ser útil definir dispositivos oftálmicos para dar resultados de la incorporación de estructuras de nanoescala.

**Resumen**

Por consiguiente, la presente invención está dirigida a una lente que comprende una inserción de materiales que incluyen características metálicas de nanoescala que comprende una metasuperficie como se desvela en la reivindicación 1. La metasuperficie puede ser un patrón repetitivo de características con tamaño de sub-longitud de onda a una longitud de onda particular de luz. La interacción de las características con tamaño de sub-longitud de onda puede interactuar con la luz y alterar las características de fase de luz que vuelve a emitirse de las características. Las características en este sentido también pueden considerarse antenas de nanoescala. Puede haber numerosos métodos para formar características metálicas de nanoescala en una inserción y estas inserciones pueden encapsularse en una falda de lente de material oftálmico para formar dispositivos oftálmicos.

En algunas realizaciones, el diseño de la forma y los factores de tamaño de las características metálicas pueden determinarse en base al modelado de una característica de fase deseada de las características de nanoescala. La luz que incide sobre los elementos de la metasuperficie puede emerger con características alteradas de fase y esto puede modelarse. El diseño puede ser un proceso de modelado desde el principio donde la naturaleza de la estructura, la disposición, la localización de las características y otros factores y el efecto deseado en la luz pueden usarse en un modelo autoconsistente. Alternativamente, puede usarse el modelado iterativo basado en diseños de pruebas con ajustes basados en resultados previos. En algunas realizaciones, las características deseadas de lente de la superficie metálica de nanoescala pueden tener una característica de lente con enfoque radialmente simétrico. Los modelos pueden generar características deseadas de fase que tiene la simetría radial y una característica radial del efecto de la colección de elementos. Cuando la inserción se forma para que tenga una superficie tridimensional y curvada en oposición a la superficie plana, puede haber protocolos de estimación que pueden ser útiles para transformar las características de lente resultante de un dispositivo oftálmico con los elementos de metasuperficie en un modelo del dispositivo oftálmico en espacio tridimensional y la metasuperficie como un espacio plano equivalente. Puede haber estimaciones para las características focales efectivas de la metasuperficie que pueden dar como resultados parámetros de diseño. El proceso puede usarse con el proceso de modelado iterativo como se ha mencionado anteriormente.

En algunas realizaciones, los procesos de modelado pueden ocurrir por medio del uso de algoritmos basados en software para los cuales un usuario puede proporcionar parámetros y que pueden funcionar en sistemas informáticos. Los parámetros que un usuario proporciona pueden basarse en requisitos teóricos. En otros casos, los oftalmólogos pueden medir las características oftálmicas y necesidades correctivas de un paciente y formular estas necesidades en un conjunto de parámetros para el sistema de modelado. Los sistemas informáticos pueden

proporcionar resultados numéricos en algunas realizaciones o proporcionar elementos diseñados espacialmente como formaciones de puntos de datos de diseño.

En algunas realizaciones, las características metálicas pueden tener dimensiones pequeñas de área de superficie. Como ejemplo, las características de la metasuperficie pueden tener dimensiones que son 10.000 nm<sup>2</sup> o menos. Puede haber mucha diversidad en la naturaleza periódica de la colocación de los elementos de metasuperficie. Se despliegan en patrones radiales. La separación de los vecinos más cercanos puede relacionarse con las longitudes de onda deseadas de luz que interactuarán con los elementos. En algunas realizaciones, la separación puede ser menos que o aproximadamente igual que el espectro rojo temprano que puede ocurrir en el espectro visible. En algunas realizaciones, la separación o periodicidad puede ser inferior a o aproximadamente igual a 700 nm.

La inserción está envuelta en una falda de lente. Una falda de lente puede estar hecha de materiales que típicamente se emplean en la producción de lentes de contacto, como por ejemplo hidrogeles. En la falda oftálmica puede haber moldeadas características de estabilización que pueden ser útiles para orientar la lente en el ojo. Estas características pueden ser de particular uso para elementos de lente de metasuperficie que tienen aspectos de corrección de alto orden donde los aspectos de corrección no son radialmente simétricos. Pueden emplearse varios diseños de inserciones que pueden ajustarse en el dispositivo oftálmico resultante. La forma general de la superficie de la inserción que tiene los elementos de la metasuperficie puede ser convexa en naturaleza o alternativamente cóncava en naturaleza. Otras formas que pueden formarse en las inserciones para dispositivos oftálmicos pueden también estar comprendidas en la técnica dentro del alcance de esta divulgación.

#### Descripción de los dibujos

La FIG. 1 ilustra una realización ejemplar de una inserción de materiales para un dispositivo oftálmico activado y una realización ejemplar de un dispositivo oftálmico activado.

La FIG. 2 ilustra una lente de contacto ejemplar con varias características que incluyen una inserción incorporada de una única pieza que puede ser útil para implementar aspectos de la técnica.

La FIG. 3 ilustra una realización alternativa ejemplar a la demostrada en la FIG. 2.

La FIG. 4 ilustra una lente de contacto ejemplar con varias características que incluyen una inserción incorporada de múltiples piezas que puede ser útil para implementar aspectos de la técnica.

La FIG. 5 ilustra aspectos de la técnica anterior relacionada con una lente basada en elemento plano de metasuperficie y con el diseño de elementos de metasuperficie con un perfil de fase de hipérbola para funcionar como una lente.

La FIG. 6 ilustra cambios en el modelado de nanoestructura en base a sustratos de lente tridimensional más que sustratos planos.

La FIG. 7 ilustra una estimación característica de fase útil para modelar la lente.

La FIG. 8 ilustra una inserción ejemplar de materiales que comprende elementos activos y elementos de metasuperficie.

La FIG. 9 ilustra un dispositivo oftálmico activo ejemplar con estructuras que introducen elementos de metasuperficie después de la activación.

La FIG. 10 ilustra un dispositivo oftálmico activo ejemplar con estructuras que introducen elementos de metasuperficie después de la activación.

#### Descripción detallada de la invención

La presente invención se refiere a un dispositivo oftálmico que tiene componentes de metasuperficie que pueden afectar a los cambios en radiación electromagnética en el ambiente del ojo. En las siguientes secciones se darán descripciones detalladas de realizaciones de la invención. La descripción de realizaciones preferentes y alternativas son solamente realizaciones ejemplares, y se entiende que variaciones, modificaciones y alteraciones pueden ser aparentes para aquellos expertos en la técnica. Por lo tanto, se entiende que dichas realizaciones ejemplares no limitan el alcance de la invención subyacente.

#### Glosario

En esta descripción y reivindicaciones dirigidas a la invención presentada, pueden usarse varios términos para los cuales se aplicarán las siguientes definiciones:

Activado: como aquí se usa se refiere al estado de ser capaz de suministrar corriente eléctrica a o tener energía eléctrica almacenado en él.

5 Energía: como aquí se usa se refiere a la capacidad de un sistema físico para funcionar. Muchos usos en esta invención pueden relacionarse con dicha capacidad que es capaz de realizar acciones eléctricas trabajando.

Fuente de energía: como aquí se usa se refiere a un dispositivo o capa que es capaz de suministrar energía o colocar un dispositivo lógico o eléctrico en un estado activado.

10 Cosechador de energía: como aquí se usa se refiere a un dispositivo capaz de extraer energía del medio ambiente y convertirla en energía eléctrica.

15 Funcionalizar: como aquí se usa se refiere a un hacer una capa o dispositivo capaz de realizar una función que incluye, por ejemplo, energización, activación o control.

Fuga: como aquí se usa, se refiere a pérdida no deseada de energía.

20 Lente de dispositivo oftálmico: como aquí se usa se refiere a cualquier dispositivo que reside en o sobre el ojo. Estos dispositivos pueden proporcionar corrección óptica, pueden ser cosméticos, o pueden proporcionar funcionalidad no relacionada con el ojo. Por ejemplo, el término lente puede referirse a una lente de contacto, lente intraocular, lente de cubierta, inserción ocular, inserción óptica u otro dispositivo similar a través del cual la visión se corrija o modifique, o a través del cual la fisiología del ojo mejore cosméticamente (por ejemplo, color del iris) sin impedir la visión. Alternativamente, la lente puede proporcionar funciones no ópticas como, por ejemplo, control de glucosa o administración de medicinas. En algunas realizaciones, las lentes preferentes de la invención son lentes de contacto blandas hechas de elastómeros de silicona o hidrogeles, que incluyen, por ejemplo, hidrogeles de silicona e hidrogeles de flúor.

30 La mezcla que forma la lente o mezcla reactiva o mezcla de monómero reactiva (MMR): como aquí se usa, se refiere a un material de monómero o pre-polímero que puede curarse o entrecruzarse para formar una lente oftálmica. Varias realizaciones pueden incluir mezclas que forman lentes con uno o más aditivos como, por ejemplo, bloqueadores UV, tintes, fotoiniciadores o catalizadores, y otros aditivos que se puedan desear en una lente oftálmica como lentes de contacto o intraoculares.

35 Superficie formadora de lente: como aquí se usa se refiere a una superficie que se usa para moldear una lente. En algunas realizaciones, tal superficie puede tener un acabado de superficie de calidad óptica, lo que indica que es suficientemente lisa y formada de tal manera que una superficie de lente fabricada mediante la polimerización de un material formador de lente en contacto con la superficie de moldeo sea ópticamente aceptable. Además, en algunas realizaciones, la superficie formadora de lente puede tener una geometría que es necesaria para impartir a la superficie de la lente las características ópticas deseadas, incluyendo sin limitación, potencia esférica, esférica y cilíndrica, corrección de aberración delantera de onda, corrección de topografía corneal y similares así como combinaciones de los mismos.

45 Pila de ion de litio: como aquí se usa se refiere a una célula electroquímica donde los iones de litio se mueven a través de la célula para generar energía eléctrica. Esta célula electromecánica, típicamente llamada batería, puede volverse a activar o recargarse en sus formas típicas.

50 Inserción de material: como aquí se usa se refiere a una inserción encapsulada que se incluirá en un dispositivo oftálmico activado. Los elementos de energización y los circuitos pueden incorporarse en la inserción de material. La inserción de material define el fin principal del dispositivo oftálmico activado. Por ejemplo, en realizaciones donde el dispositivo oftálmico activado permite al usuario ajustar la potencia óptica, la inserción de material puede incluir elementos de energización que controlan una parte del menisco líquido en la zona óptica. Alternativamente, la inserción de material puede ser anular que la zona óptica esté vacía de materia. En tales realizaciones, la función activada de la lente puede no tener calidad óptica pero puede, por ejemplo, controlar la glucosa o administrar una medicina.

55 Metasuperficie: como aquí se usa se refiere a combinaciones hechas por el hombre de características a nano escala presentadas con periodicidad. Las combinaciones dan como resultado características útiles que distintas de estructuras naturales. En muchas realizaciones en la presente invención, la interacción de las características con luz, particularmente en un espectro visible, permite la construcción de los elementos de lente.

60 Molde: como aquí se usa se refiere a un objeto rígido o semi-rígido que puede usarse para formar lentes a partir de formulaciones no curadas. Algunos moldes preferentes incluyen dos partes de molde que forman una parte delantera de molde curvo y una parte trasera de molde curvo.

Nanoescala: como aquí se usa se refiere a un elemento que tiene una característica o características que tiene al menos una dimensión que es más pequeña que aproximadamente 1 micrón; así, su dimensionalidad para al menos una dimensión puede ser referida en nanómetros.

5 Modo de operación: como aquí se usa se refiere a un estado de alto consumo de corriente donde la corriente en un circuito permite al dispositivo realizar su principal función activada.

10 Zona óptica: como aquí se usa se refiere a un área de una lente oftálmica a través de la cual un usuario de la lente oftálmica ve.

Potencia: como aquí se usa se refiere al trabajo realizado o a la energía transformada por unidad de tiempo.

15 Recargable o re-energizable: como aquí se usa se refiere a la capacidad de recuperarse a un estado con mayor capacidad para realizar un trabajo. Muchos usos en esta invención pueden concernir la capacidad de recuperarse con la habilidad para hacer fluir corriente eléctrica a una cierta velocidad y durante un cierto periodo de tiempo restablecido.

20 Re-energizar o recargar: como aquí se usa se refiere a recuperarse a un estado con mayor capacidad para realizar un trabajo. Muchos usos en esta invención pueden concernir la recuperación de un dispositivo para la capacidad para hacer fluir corriente eléctrica a una cierta velocidad y durante un cierto periodo de tiempo restablecido.

25 Referencia: como aquí se usa se refiere a un circuito que produce un voltaje idealmente fijo y estable o producción de corriente adecuada para su uso en otros circuitos. Una referencia puede derivarse de una banda vacía, puede compensarse para temperatura, suministro y variación de proceso, y puede hacerse a la medida específicamente para un circuito integrado específico de aplicación (CIEA)

30 Liberado de un molde: como aquí se usa se refiere a una lente que está completamente separada del molde, o está ligeramente unida para que pueda retirarse con agitación suave o quitarse con una torunda.

35 Función de desajuste: como aquí se usa se refiere a un mecanismo de algoritmos auto-desencadenantes para fijar un circuito en un estado específico predeterminado incluyendo, por ejemplo, estado lógico o un estado de energización. Una función de reajuste puede incluir, por ejemplo, un circuito de reajuste encendido, que puede funcionar junto con un mecanismo de intercambio para asegurar la introducción apropiada del chip, tanto en la conexión inicial con la fuente de potencia como en el despertar del modo de almacenamiento.

40 Modo de suspensión o modo de esperar: como aquí se usa se refieren a un estado de bajo consumo de corriente de un dispositivo activado después de que el mecanismo de intercambio se haya cerrado que permite la conservación de energía cuando no se necesita el modo de operación.

45 Apilar: como aquí se usa significa colocar al menos dos capas de componentes en proximidad entre sí de tal manera que al menos una superficie de una de las capas contacte con una primera superficie de una segunda capa. En algunas realizaciones, una película, ya sea para adhesión o para otras funciones, puede residir entre las dos capas que están en contacto entre sí a través de dicha película.

50 Dispositivos de componentes integrados apilados o dispositivos CIP: como aquí se usa se refiere a los productos de tecnologías de empaquetado que montan capas finas de sustratos que pueden contener dispositivos eléctricos y electromecánicos en dispositivos integrados operativos por medio de almacenar al menos una parte de cada capa sobre otra. Las capas pueden comprender dispositivos componentes de varios tipos, materiales, formas y tamaños. Además, las capas pueden estar hechas de varias tecnologías para producción de dispositivos para ajustarse y asumir varios contornos.

55 Modo de almacenamiento: como aquí se usa se refiere a un estado de un sistema que comprende componentes electrónicos donde una fuente de potencia se suministra o es necesaria para suministrar una corriente de carga mínima diseñada. Estos términos no son intercambiables con modo de espera.

60 Inserto de sustrato: como aquí se usa se refiere a un sustrato formable o rígido capaz de soportar una fuente de energía en una lente oftálmica. En algunas realizaciones, el inserto de sustrato también soporta uno o más componentes.

Mecanismo de intercambio: como aquí se usa se refiere a un componente integrado en un circuito que proporciona varios niveles de resistencia que puede ser receptivo a un estímulo externo, que es independiente del dispositivo oftálmico.

65 Tridimensional: como aquí se usa se refiere a una forma o superficie que no es esencialmente plana.

**Dispositivo oftálmico activado**

Procediendo con la Figura 1, se ilustra una realización ejemplar de una inserción de material 100 para un dispositivo oftálmico activado y un correspondiente dispositivo oftálmico activado 150. La inserción de material 100 puede comprender una zona óptica 120 que puede o no ser funcional para proporcionar una corrección de visión. Donde la función activada del dispositivo oftálmico no se relaciona con la visión, la zona óptica 120 de la inserción de material 100 puede estar vacía de material. En algunas realizaciones, la inserción de material 100 puede incluir una parte no en la zona óptica 120 que comprende un sustrato 115 incorporado con elementos de energización 110 y componentes electrónicos 105. Puede haber numerosas realizaciones en relación con la inclusión de elementos de metasuperficie en dispositivos oftálmicos; sin embargo, muchos pueden definir partes de superficie dentro de la zona óptica 120 sobre los que se despliegan los elementos de metasuperficie.

En algunas realizaciones, una fuente de potencia 110, que puede ser, por ejemplo, una batería, y una carga 105, que puede ser, por ejemplo, un troquel semiconductor, puede unirse al sustrato 115. Las marcas conductoras 125 y 130 pueden interconectarse eléctricamente a los componentes electrónicos 105 y a los elementos de energización 110. La inserción de material 100 puede encapsularse por completo para proteger y contener los elementos de energización, marcas y componentes electrónicos. En algunas realizaciones, el material encapsulador puede ser semi-permeable, por ejemplo, para prevenir que sustancias específicas, como agua, entren en la inserción de material 100 y para permitir que sustancias específicas, como gases ambientes o productos secundarios de reacciones en los elemento de energización penetren o escapen de la inserción de material 100.

En algunas realizaciones, la inserción de material 100 puede incluirse en un dispositivo oftálmico 150, que puede comprender un material polimérico biocompatible. El dispositivo oftálmico 150 puede incluir un diseño de falda blanda con centro rígido donde un elemento óptico rígido comprende la inserción de elemento 100. En algunas realizaciones específicas, la inserción de elemento 100 puede estar en contacto directo con la atmósfera y la superficie corneal en las superficies respectivas anterior y posterior, o alternatively, la inserción de elemento 100 puede encapsularse en el dispositivo oftálmico 150. La periferia 155 de la lente oftálmica 150 puede ser de un material blando de falda, que incluye, por ejemplo, material de hidrogel.

La infraestructura de la inserción de material 100 y el dispositivo oftálmico 150 puede proporcionar un medio para numerosas realizaciones que incluyen elementos con nanoestructuras para formar metasuperficies. Algunas de estas realizaciones pueden incluir una función puramente pasiva del dispositivo oftálmico, donde por ejemplo, el componente de metasuperficie realiza efectos ópticos en relación con la corrección de visión, por ejemplo. Otras realizaciones pueden incluir el dispositivo oftálmico que tiene funciones activas donde de nuevo los propios componentes de metasuperficie realizan una función pasiva. Además, en otras realizaciones adicionales los componentes de metasuperficie pueden ser ellos mismos parte de la función activa del dispositivo oftálmico.

Procediendo con la Fig. 2, el elemento 200, una representación de una inserción ejemplar con pieza única puede ilustrarse en sección transversal. En la Fig. 2, el dispositivo oftálmico 220 puede tener una representación en sección transversal, 230, que representa una sección transversal a través de la localización representada por la línea 210. En una realización ejemplar, la zona óptica del dispositivo oftálmico 220 puede incluir un elemento polarizador, que puede representarse en la sección transversal como elemento 235. Sobre la superficie de elemento 235 puede haber elementos con nanoestructuras para formar la metasuperficie. En otras realizaciones, el elemento 235 puede únicamente representar una superficie que tiene los elementos de metasuperficie sobre él. El elemento 235 puede representar un sustrato formado tridimensionalmente que está unido a otra inserción formando piezas para formar una inserción.

También, fuera de la zona óptica del dispositivo puede haber patrones impresos colocados sobre la inserción con única pieza como se muestra por el elemento 221 y en sección transversal como los elementos 231. En algunas realizaciones, la pieza de inserción puede comprender simplemente los componentes de metasuperficie en 235 y una región opcionalmente impresa 231.

Como se muestra en la sección transversal, la pieza de inserción con única pieza 235 puede tener una forma tridimensional. Por ejemplo, la pieza puede asumir la forma tridimensionalmente curvada mediante termoformado de un material de lámina fina que puede comenzar en un formato plano. Los elementos de metasuperficie pueden añadirse a la lámina bien antes o después de que se realice el termoformado.

En algunas realizaciones, puede existir el requisito de orientación de la lente oftálmica en el medio ocular. Los elementos 250 y 260 pueden representar características de zona de estabilización que pueden ayudar a orientar la lente oftálmica formada en el ojo de un usuario. Además, en algunas realizaciones el uso de características de estabilización en la inserción con única pieza puede permitir su orientación en relación con las características de estabilización moldeadas. La habilidad para orientar puede ser particularmente importante para colocaciones de características de metasuperficie que no son radialmente simétricas por naturaleza, como sería el caso para un patrón que puede corregir aberraciones de segundo orden y mayores en visión.

Procediendo con la Fig. 3, el elemento 300, una variación de la inserción ejemplar con una única pieza mostrada en la Fig. 2, puede ilustrarse en sección transversal. En la Fig. 3, el dispositivo oftálmico, 320, puede tener una representación en sección transversal, 330, que representa una sección transversal a través de la localización representada por la línea 310. En una realización ejemplar, la zona óptica del dispositivo oftálmico 320 puede incluir una parte, no necesariamente mostrada a escala en la figura, donde la forma de la superficie es cóncava para la radiación incidente en oposición a la orientación convexa. Esto puede permitir realizaciones donde en lugar de ajustar aspectos de foco de la lente oftálmica los elementos de metasuperficie puedan ajustar aspectos divergentes de la superficie de la lente. Sobre esta superficie cóncava del elemento 335 puede haber elementos con nanoestructuras para formar la metasuperficie. También, fuera de la zona óptica del dispositivo puede haber patrones impresos colocados en la inserción con una única pieza como lo muestra el elemento 321 y en sección transversal como los elementos 331. En algunas realizaciones, la pieza de inserción puede simplemente comprender los componentes de metasuperficie en 335 y una región opcionalmente impresa en 331. Para las mismas motivaciones que en la realización en la Fig. 2, puede haber características de alineación o zonas de estabilización incorporadas en el dispositivo oftálmico como se muestra en los elementos 350 y 360, y puede haber patrones impresos en la inserción como características 331.

Procediendo con la Fig. 4, puede observarse el elemento 400, realizaciones adicionales donde pueden usarse múltiples piezas para formar dispositivo oftálmicos. En el elemento 405 una inserción con múltiples piezas 422 puede incluir un elemento activo en la zona óptica. La figura representa una representación en sección transversal 430 a través de la línea 410. Para fines ejemplares, la lente oftálmica también incluye características impresas como el elemento 431, que pueden también representarse en sección transversal como el elemento 431. Además, la lente ejemplar puede incluir características de estabilización 450 y 460.

Las inserciones con múltiples piezas también pueden ser útiles para realizaciones con formas anulares donde no hay material de inserción en la zona óptica. Con metasuperficies, puede hacerse una modificación de este tipo de inserción anular donde se encuentra una forma anular de dos piezas representado como elemento 436 mientras una pieza sencilla de la inserción puede estar colocada en la zona óptica y sujetar los elementos de metasuperficie.

Una realización ejemplar de una inserción con múltiples piezas puede incluir un elemento activo de lente basado en un menisco en el elemento 435 entre las dos piezas de inserción. La lente de menisco puede cambiar activamente las características focales cuando un circuito impulsado por batería aplica potencial eléctrico a las partes de la lente de menisco. Los elementos de metasuperficie pueden también incluirse en una de las superficies con múltiples piezas. En un ejemplo no limitativo, la inclusión de elementos de enfoque pasivos de metasuperficie en la superficie de una lente de menisco activo permite el ajuste de características ópticas para aspectos correctivos de mayor orden de la lente.

La inserción con múltiples piezas puede incluir una realización de metasuperficie a nanoescala también. En posteriores sesiones se encuentra una exposición para una realización que forma activamente elementos de metasuperficie en la región entre las dos piezas de inserción en el elemento 435. En algunas de estas realizaciones, la zona óptica puede tener orientaciones en relación con los ojos del usuario. Los métodos usados para formar tal metasuperficie que incluyen el dispositivo oftálmico pueden permitir un alineamiento registrado de los varios componentes de las lentes con los elementos de estabilización 450 y 460. Estos elementos mantendrán entonces una orientación establecida de la lente en relación con los ojos del usuario.

#### **Elementos de lente de metasuperficie**

Procediendo con la Fig. 5, se muestra el elemento 500, aspectos de implementaciones de la técnica anterior de dispositivos de lentes basados en superficies planas en la fase que altera la interacción de luz con elementos metálicos a nanoescala. En alguna implementación de lentes de superficie plana, las características metálicas pequeñas pueden definirse en base a la superficie plana en un diseño que interactúa con luz sobre la superficie de la lente plana. En los elementos 520 a 527 se representan un conjunto de diseños de una lente funcional. Las características de 510 comprenden la célula de unidad de elementos de metasuperficie que se despliegan en la superficie plana de tal manera que forman lentes.

En una realización ejemplar, la lente se optimiza para longitud de onda alrededor de 1,5 micrones, una longitud de onda electromagnética común de comunicación fuera del espectro visual. En otras realizaciones, la optimización puede ocurrir para longitudes de onda en el espectro visual. En otras realizaciones, la optimización puede ocurrir para longitudes de onda en el espectro visual. La célula de unidad varía del elemento 520 al 523. La longitud de los componentes oscila entre 180 y 85 nanómetros de longitud, y como puede observarse hay un ángulo entre elementos lineales de esa longitud que oscilan entre aproximadamente 90 angstroms y cero. El grosor del metal que comprende los elementos de metasuperficie puede ser de aproximadamente 50 nanómetros y los dispositivos pueden separarse entre sí por espacios que oscilan entre 750 nanómetros y 200 nanómetros. Cuando se está más cerca de 200 nanómetros, los componentes de metasuperficie pueden tender a “comunicarse” entre sí y alterar las propiedades de dispositivos vecinos. En la demostración de dispositivos funcionales, el número de componentes de célula de unidad se hizo en cuatro etapas diferenciadas aunque en la práctica el número de

diseños diferentes de componentes pueden ser significativamente más. Los varios parámetros se relacionan con la práctica demostrada para un cierto rango de longitud de onda. La variación de los aspectos del diseño de los elementos de metasuperficie en 510 que incluyen su grosor y longitudes puede ser útiles en ajuste de elementos de metasuperficie en diferentes rangos de longitud de onda.

Los elementos representados y los parámetros mencionados anteriormente se relacionan con aspectos usados para crear una lente plana donde la alteración de fase de los elementos de antena de metasuperficie se usa para modelar una distribución de fase radial hiperboloide 590 que da como resultado una lente. En 550 pueden encontrarse los elementos importantes que se relacionan con la estimación de las características deseadas de fase de un elemento colocado sobre la lente plana 560. La lente 560 puede tener un radio como el mostrado en el elemento 561. Las características de fase modelada de un elemento de metasuperficie, por ejemplo 524, en la posición 570 que pueden representarse como posición (x,y), es tal que las características de cambio de fase representadas por el elemento 590 es proporcional a la proyección del vector de localización sobre la superficie de modelo esférico 580. Eso dará como resultado la función de lente deseada con la característica focal deseada 581. Puede demostrarse para tal relación paramétrica que tal proyección para el cambio de fase  $PS(x,y)$  seguirá la relación de

$$(1) \quad PS(x, y) \cong \frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{(x^2 + y^2) + f^2} - f)$$

Donde  $PS(x,y)$  representa el cambio de fase deseado de un punto x,y en la lente plana y  $\lambda$  representa la longitud de onda de la luz, y f representa la característica focal de la lente desea. En un sistema de coordenadas polares el cambio de fase  $PS(r, \theta)$  es

$$(2) \quad PS(r, \theta) \cong \frac{2\pi}{\lambda} (\sqrt{r^2 + f^2} - f)$$

Puede ser aparente que la incorporación de lentes plantas de este tipo puede crear dispositivos oftálmicos nuevos. En un dispositivo intraocular, un plano de enfoque plano puede ser posible. La utilización de diseños de este tipo dentro de dispositivos intraoculares puede ser práctico para ajustar características focales en un sentido estático. Alternativamente, las realizaciones de elementos activos analizadas en dispositivos con formas tridimensionales en secciones posteriores pueden tener igualmente relevancia par realizaciones intraoculares de tipo de lente plana.

Procediendo con la Fig. 6, puede representarse el elemento 600, el modelo resultante para tal condición de lente donde la superficie no es plana. Puede ser práctico usar diseños similares de célula de unidad para los elementos a nanoescala de metasuperficie como se muestra en 610 como los elementos 620-627. Donde los aspectos del diseño de los elemento como su grosor, ángulo de características y longitudes puede relacionarse con la longitud de onda central deseada de enfoque y con las características deseadas de cambio de fase calculada.

Puede ser aparente que el cambio de una lente plana a una lente curvada pueda introducir una complejidad adicional en el modelado del dispositivo. Las características de la fase física a una onda de plano incidente basada en la superficie curvada pueden introducir un primer componente de aspectos de fase del dispositivo. Además, cuando la superficie se curva, la distancia forrada recta entre los elementos de metasuperficie sin forma y entre ellas puede ser diferente de la distancia a lo largo de la propia superficie entre elementos.

Puede haber alguna estimación razonable que pueda permitir parámetros estimados de diseño de lentes. Por ejemplo, en primer orden puede ser posible tratar las características de fase de la superficie curvada introduciendo una alteración de fase de la interacción de onda de plano con la superficie, y las características que alteran la fase de los elemento de antena de metasuperficie como independientes. Así, para modelar los parámetros de diseño de la antena de metasuperficie, puede ser suficiente considerar el cambio deseado de la fase debido a la antena de metasuperficie independiente del otro cambio de fase sustrayendo ese cambio de fase del cambio de fase total de dispositivo de lente tridimensionalmente formado.

En estimación, ya que las antenas de la metasuperficie a nanoescala son tan pequeñas, puede ser una buena estimación modelarlas como puntos. Aunque puede haber diferencias en cómo la onda de plano interactúa con un elemento inclinado de metasuperficie a nanoescala, puede ser todavía aceptable ignorar el impacto estimando el dispositivo pequeño como un punto que no está afectado por la distorsión que la curvatura de la superficie de la lente puede introducir.

Además, en otra estimación el espacio entre elementos en el diseño puede estimarse en base a la distancia entre los elementos en un espacio no curvado. En la práctica, la densidad de los elemento a nanoescala puede afectar a la eficiencia del dispositivo de enfoque y una implementación curvada puede hacer disminuir la densidad a la que los elementos de nanoescala se colocan. Sin embargo, los dispositivos pueden seguir creándose con efectos



de primer orden dentro de la estimación de que el espacio curvado no limita la densidad de diseño de elementos de nanoescala.

El efecto del espacio curvado puede observarse en la representación de la Fig. 6, elemento 690. Una superficie de modelo esférico puede representarse como elemento 671. Una superficie curvada puede representarse como elemento 691 donde un elemento de metasuperficie a nanoescala como el elemento 624 puede estar situado en un punto sobre la superficie ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ) en el punto 680. El impacto resultante en la característica de longitud de fase puede observarse como la longitud acortada de fase 691. Las ecuaciones para estimar el cambio de fase pueden convertirse en ecuaciones cuya dependencia es tridimensional y se representan por PS ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) o alternativamente en un sistema cilíndrico de coordenadas como PS ( $r$ ,  $\theta$ ,  $h$ ).

Aplicando las varias estimaciones mencionadas, puede analizarse un método para aplicar las características generales deseadas de lente a una superficie de lente curvada con elementos de metasuperficie en relación con la Fig. 7, elemento 700. En el elemento 710, puede encontrarse una descripción gráfica de la superficie curvada con elementos de metasuperficie. Pueden representarse las características de fase de combinación de la forma de la lente como el elemento 730 y después el componente de metasuperficie como el elemento 740. En un caso ejemplar donde la metasuperficie y la superficie curvada física son radialmente simétricos y enfocan una diferencia en longitud focal de los cambios de fase combinados puede entenderse como el elemento 750, donde el elemento 760 puede representar la característica focal resultante de lente como el elemento 760. Puede ser un cálculo razonable enfocarse en el ángulo de construcción relativa de las dos diferentes características focales independientes donde 770 puede representar el ángulo de la característica focal impactada por metasuperficie en la parte superior de la característica focal de la superficie de lente curvada física.

Continuando con las estimaciones, en 720 puede representarse el caso que resulta si se desacoplan las características de cambio de fase del dispositivo de lente oftálmica curvada del dispositivo de metasuperficie. Si el impacto tridimensional del impacto total de fase de la lente curvada con elementos de metasuperficie se estima que viene completamente de la característica de fase de dispositivo curvado, entonces puede estimarse que sustrayendo las características de fase PS lente ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) en la superficie de la lente se puede transformar la condición de modelado deseado de metasuperficie para que coincida de nuevo con la lente plana como se ha analizado en la referencia de la Fig. 6. Esto puede ser equivalente al sistema cilíndrico de coordenadas que tiene una representación donde el parámetro de altura,  $h$ , se establece como cero. Si se calcula que la transformación resultante ocurre manteniendo las contribuciones de longitud focal que pueden moldearse manteniendo los ángulos relativos de las características de longitud focal como lo muestra el elemento 771, entonces una nueva característica focal estimada para un modelo de lente plana con espacio de fase transformado puede representarse como elemento 750. Así, los aspectos de diseño para tales elementos de metasuperficie pueden calcularse de la misma manera que se ha mencionado con relación a la Fig. 6, y la ecuación 1, 2, donde la "f" es ahora una longitud focal efectiva estimada a partir del elemento 750. En la práctica, pueden usarse sistemas más sofisticados de modelado de frentes de onda para calcular rigurosamente las características de fase deseada de superficies curvadas tridimensionales arbitrarias y las características resultantes de fase deseada de elementos de metasuperficie de nanoescala aquí utilizados. Para hacer dispositivos consistentes con la técnica aquí expuesta, con características ópticas estimadas, pueden aplicarse estimaciones globales.

En el caso estimado donde las coordenadas cilíndricas pueden comprimirse a una relación de coordenada polar mediante la sustracción de las características tridimensionales del sustrato de lente física, entonces la representación de fase de coordenada polar puede ser de nuevo

$$(3) \quad PS(r, \theta) \cong \frac{2\pi}{\lambda} \left( \sqrt{r^2 + f'^2} - f' \right)$$

Además, el modelado de los parámetros de diseño de los elementos individuales de metasuperficie puede realizarse con protocolos sofisticados de modelado como por ejemplo simulaciones electromagnéticas de diferencias finitas en dominio de tiempo (FDTD). Estas simulaciones pueden ser computacionalmente intensivas si se realizan en elementos de nanosuperficie utilizados completamente tridimensionalmente pero posibles. Alternativamente, las estimaciones analizadas previamente pueden proporcionar una alternativa para generar resultados que pueden corregirse iterativamente a lo largo de la producción, ciclos de medición y de estimación refinada.

Procediendo con la Fig. 8, puede encontrarse el elemento 800, una realización ejemplar de algunos conceptos. El elemento 800 puede representar un dispositivo de inserción oftálmica que puede incluirse dentro de una lente oftálmica en algunas realizaciones, o puede representar un dispositivo oftálmico por sí mismos. El ejemplo incluye elementos de energización 830 que energizan el circuito de control 840 que puede comprender un circuito integrado. El circuito integrado así como otros componentes puede controlar otros componentes activos dentro del dispositivo. En un ejemplo no limitativo, en la zona activa puede haber una lente con base de menisco capaz de ajustar la potencia óptica cuando la luz procede a través del dispositivo. Cubriendo este dispositivo en la zona óptica,

en 820, pueden estar los elementos de metasuperficie. En el recuadro ampliado de 810, pueden observarse los elementos de metasuperficie. Estos elementos pueden estar diseñados para proporcionar una corrección óptica estática que en combinación con el cambio activo en la potencia óptica del elemento subyacente de lente puede proporcionar una función nueva.

En algunas realizaciones, como se muestra en la Fig. 9, los elementos de metasuperficie pueden definirse también de manera activa. La lente ejemplar de menisco analizada en el elemento 800 puede emplear típicamente la técnica de electromojado en dieléctricos (EMED). La técnica actúa en combinaciones de líquidos cambiando la energía libre de superficies de superficies cerca de los líquidos. Las combinaciones de líquidos inmiscibles, donde un líquido, por ejemplo, es un líquido polar como una solución acuosa, y el otro líquido es un líquido no polar como un aceite pueden ser efectivas para dispositivos EMED. La técnica puede usarse para crear una creación activa de elementos de metasuperficie. En el elemento 910, una combinación de líquidos de tipo EMED sin un campo eléctrico aplicado en una superficie activa puede dar como resultado un efecto de lente difusa sin elementos de metasuperficie regularmente definidos. El toque de luz de 910 representa una localización difusa de elementos. Estos elementos pueden encontrarse en la capa fluida identificada como 915. En el recuadro, la capa fluida 915 puede estar formada por componentes diluidos. En algunas realizaciones estos componentes pueden ser nanoesferas metálicas como se muestra en el elemento 930 o nanobarras metálicas como lo muestra el elemento 935. Los componentes metálicos pueden estar formados por oro, plata, platino u otros elementos que pueden formar componentes de nanotamaño.

La superficie de los nanocomponentes puede estar cubierta con sustancias químicas que imparten una energía de superficie al componente de nanotamaño. Estas sustancias químicas que cubren pueden establecer una preferencia para ciertos tipos de fluidos o rechazar ciertos tipos de fluidos. Las moléculas de ligando, 931, mostradas unidas a las nanoesferas 930, en algunas realizaciones, pueden hacer que las nanoesferas sean hidrofílicas por naturaleza o alternativamente hidrofóbicas. Si las nanoesferas fueran hidrofílicas pueden estar situadas preferentemente en el componente acuoso de la mezcla líquida de EMED. Cuando el primer líquido contiene componentes de nanotamaño, como 915 en la representación, el otro componente 913 puede estar libre de ellos. Entonces, los fluidos pueden estar contenidos en estructuras de nanoescala que están rodeadas por una parte superior 912, estructuras laterales 911 y una capa de superficie 916 sobre una capa o película dieléctrica 917. La capa de superficie puede ser de tal manera que la fase acuosa, por ejemplo, sea preferente para mojar la superficie como lo muestra el contacto de capa de fluido acuoso ejemplar 915 en ella. Subyacente a la capa o película dieléctrica 917 puede haber electrodos conductores 918. La capa de fluido puede estar en contacto por otro electrodo conductor 914. Cuando se aplica un potencial electro a los electrodos 918 y 914, la energía libre de superficie en la superficie de la capa de superficie 916 que está cerca de los electrodos 918 puede cambiar para favorecer el empapado por la capa de tipo aceite (que puede considerarse una característica húmeda de capa de aceite. Esta condición puede estar representada en 920.

Si los electrodos se definen de tal manera que la nanoestructura que contiene líquido cuando se localiza en pequeñas regiones como en el caso de líquido 914 en el caso 920, entonces las nanoesferas se concentran en características que pueden asumir los diseños de tipo de nanosuperficie como se muestra en el recuadro en 920. Estas formas ocurrirán con estructuras nanometálicas concentradas formadas por nanoesferas 930 o nanobarras 935, que pueden interactuar con luz de una manera similar a los componentes de metasuperficie descritos previamente. Las nanoesferas o nanobarras con moléculas de superficie unidad pueden formularse para ser un componente de un único tamaño en la mezcla de tamaño que oscila entre tamaños de esfera comercialmente disponibles de 2 nm a 250nm de Discovery Scientific Inc. alternativamente, también puede usarse una combinación de diferentes tamaños. Las propiedades ópticas de los fluidos pueden alterarse dependiendo del tamaño de esfera usado o la combinación de varios tamaños. También los ligandos pueden jugar papeles en la interacción con las propiedades ópticas al determinar el espacio más cercano entre nanoesferas en el líquido.

En algunas realizaciones la estructura lateral 911 puede estar diseñada para rodear elementos individuales de metasuperficie. En otras realizaciones, los elementos múltiples pueden estar situados dentro de cada estructura aislada de superficie. El diseño de la localizaciones de electrodos 918, o evitar localizaciones de electrodos, puede hacerse de tal manera que los elementos individuales estén separados en aproximadamente 250nm o más. El área relativa de superficie de las características diseñadas 918 en estas células individuales aisladas puede determinar la cantidad relativa de los dos fluidos inmiscible para contención del elemento de diseño de una región de fluido donde el efecto EMED provoca la definición de elementos de metasuperficie.

Procediendo con la Fig. 10, puede encontrarse una realización alternativa a la de la Fig. 9. Operando de una manera similar con electromojado como medio para definir los elementos activos de metasuperficie, la realización de la Fig. 10 desarrolla la capa con dispositivos de nanoestructura a lo largo de las paredes laterales de un electrodo. En el elemento 1010 la condición donde la nanoestructura que contiene la capa líquida se localiza a lo largo de la parte inferior de una célula pequeña. La célula tiene características estructurales similares a la de la realización 900. El elemento 1011 puede tener paredes laterales que contienen la célula con microfluído. Una parte superior de la célula puede ser el elemento 1012. El elemento 1014 puede ser un electrodo formado con la forma deseada de un elemento de nanosuperficie. El elemento 1013 puede ser una película o una capa dieléctrica formada en la pared lateral del electrodo que tiene las propiedades húmedas deseadas en su lado. El elemento 1015 puede ser un

electrodo que penetra a través de la parte superior de la célula. El elemento 1016 puede ser una capa de fluido que contiene las nanoesferas diluidas y el elemento 1018 puede ser otra capa de fluido, la capa 1016 puede tener las nanoesferas metálicas similares 930 y nanobarras 135, que pueden tener moléculas de ligando unidas 931 para definir la energía libre de superficie de la nanoestructura y por lo tanto cuyo tipo líquido sería el preferente en el que diluirse.

Donde se aplica un campo eléctrico al electrodo 1015 y electrodo 1016, ese potencial aplicado puede cambiar la energía libre de superficie de la región de pared lateral del elemento 1016 provocando que la capa de fluido se mueva a lo largo de la región de pared lateral como se muestra en la representación relacionada con 1020. La acumulación del fluido en la región puede formar las estructuras de metasuperficie como se muestra en el elemento 1020. De nuevo, la aplicación de voltaje en las células puede generar un patrón activo de nanoestructura que puede tener los efectos ópticos modelados. En algunas realizaciones, la aplicación de voltaje puede controlarse mediante electrónica contenida dentro de una estructura de inserción que también contiene elementos de energización.

Las estructuras de metasuperficie resultantes que se crean en la realización del elemento 1020 donde se localizan en proximidad al electrodo de metal pueden tener una interacción óptica alterada porque la estructura de las nanoestructuras metálicas con un dieléctrico y una segunda estructura metálica puede crear nanoestructuras con un acople mucho más fuerte con el campo magnético de la radiación electromagnética. Esto puede crear resonancias adicionales basadas en longitud de onda en base a parámetros como el grosor de la película dieléctrica. Esto puede crear otra dimensión para el modelado de las estructuras de nanosuperficie incorporadas en tales realizaciones.

**Reivindicaciones**

1. Una lente (220, 320) para residir en o dentro de un ojo que comprende:

- 5 un dispositivo de inserción (235, 335) encapsulado en una falda de lente de material oftálmico para formar la lente, donde al menos una parte de una superficie en el dispositivo de inserción tiene características metálicas que forman una metasuperficie, donde las características metálicas están dispuestas en un patrón cuya periodicidad es menor que una distancia igual a una longitud de onda predeterminada de luz visible;
- 10 donde las características metálicas tienen una forma y tamaño variados en base a su localización en la inserción y una característica de fase deseada de luz de la longitud de onda predeterminada, después de que la luz interactúe con las características metálicas;
- donde la forma y tamaño variado es constante para localizaciones sobre la superficie del dispositivo de inserción cuyo radio es constante en un sistema de coordenadas cilíndricas mencionado para la superficie e inserción.

15 2. La lente de la reivindicación 1 donde:

la característica metálica, forma y tamaño en su localización en la inserción pueden determinarse por una relación de cambio de fase en base a la relación estimada de

20

$$PS(r, \theta, h) \cong \frac{2\pi}{\lambda} \left( \sqrt{r^2 + f'^2} - f' \right)$$

25

donde r es un radio de la localización de la característica metálica,  $\theta$  es un ángulo polar de la localización de la característica metálica,  $\lambda$  es la longitud de onda predeterminada, h es la altura de un sistema de coordenadas cilíndricas de la localización de la característica metálica, y f es una longitud focal estimada efectiva para una características de lente deseada.

30

3. La lente de una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2 donde:  
las características metálicas tienen dimensiones máximas de área de superficie que son menos que o aproximadamente iguales a 10.000 nm<sup>2</sup>, y preferentemente la periodicidad es inferior a aproximadamente 700 nm.

35

4. La lente de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 donde el material oftálmico es un material de hidrogel.

5. La lente de la reivindicación 4 que además comprende:  
características de estabilización dentro de la falda de lente encapsuladora.

40

6. La lente de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 donde:  
al menos una parte de la superficie es cóncava en forma o convexa en forma.

45

50

55

60

65

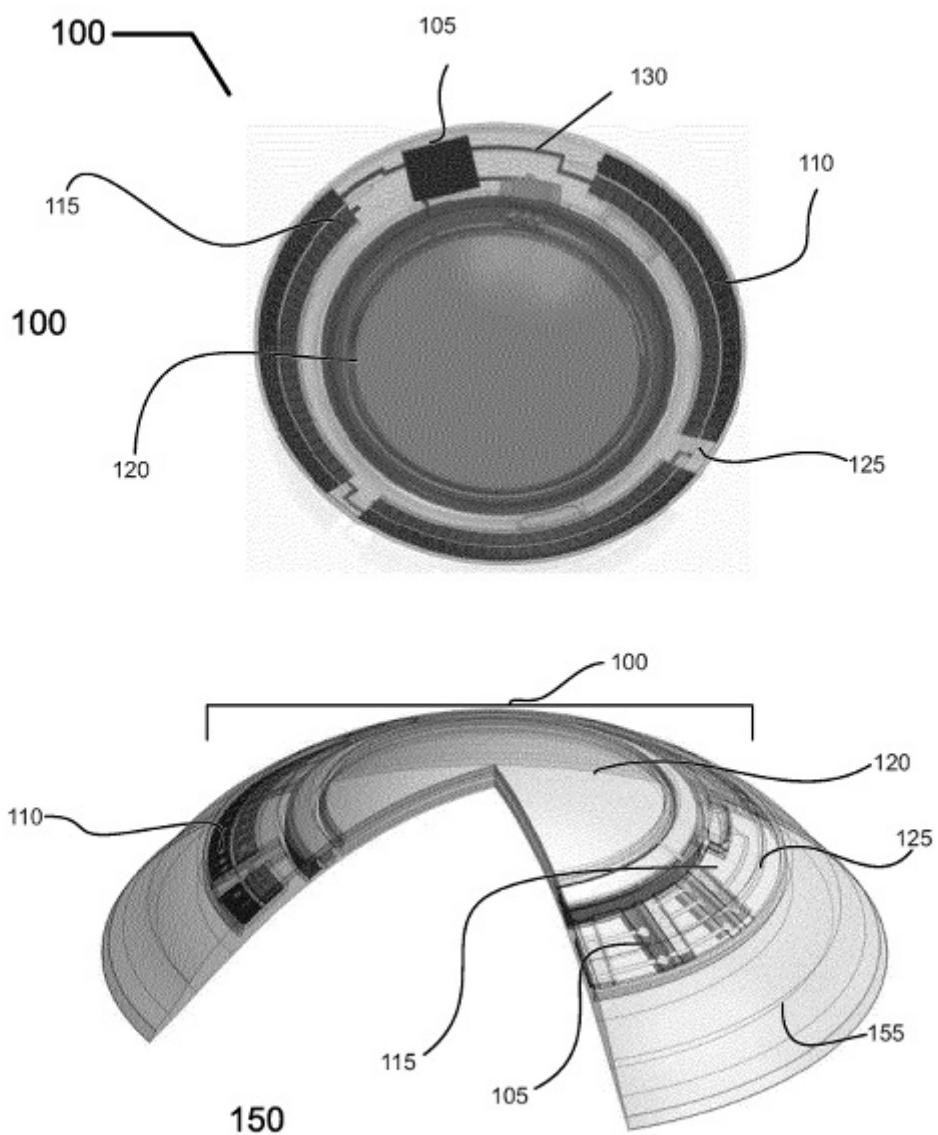


FIG. 1

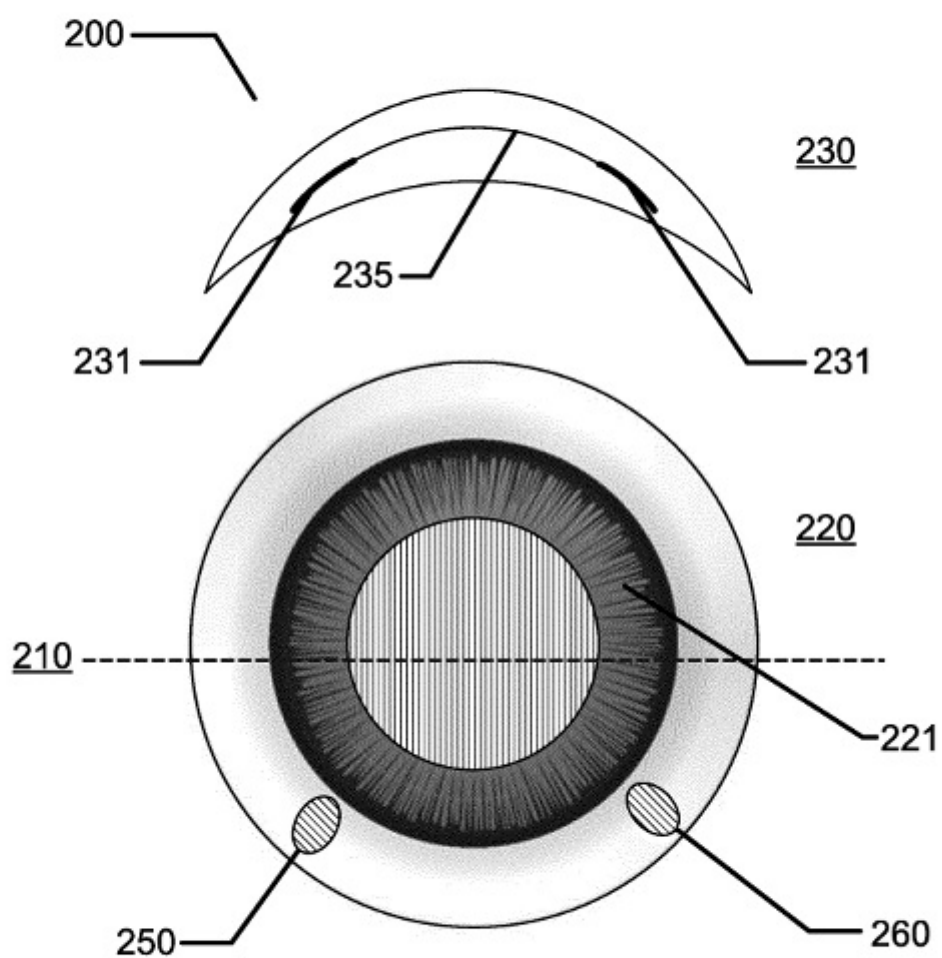


FIG. 2

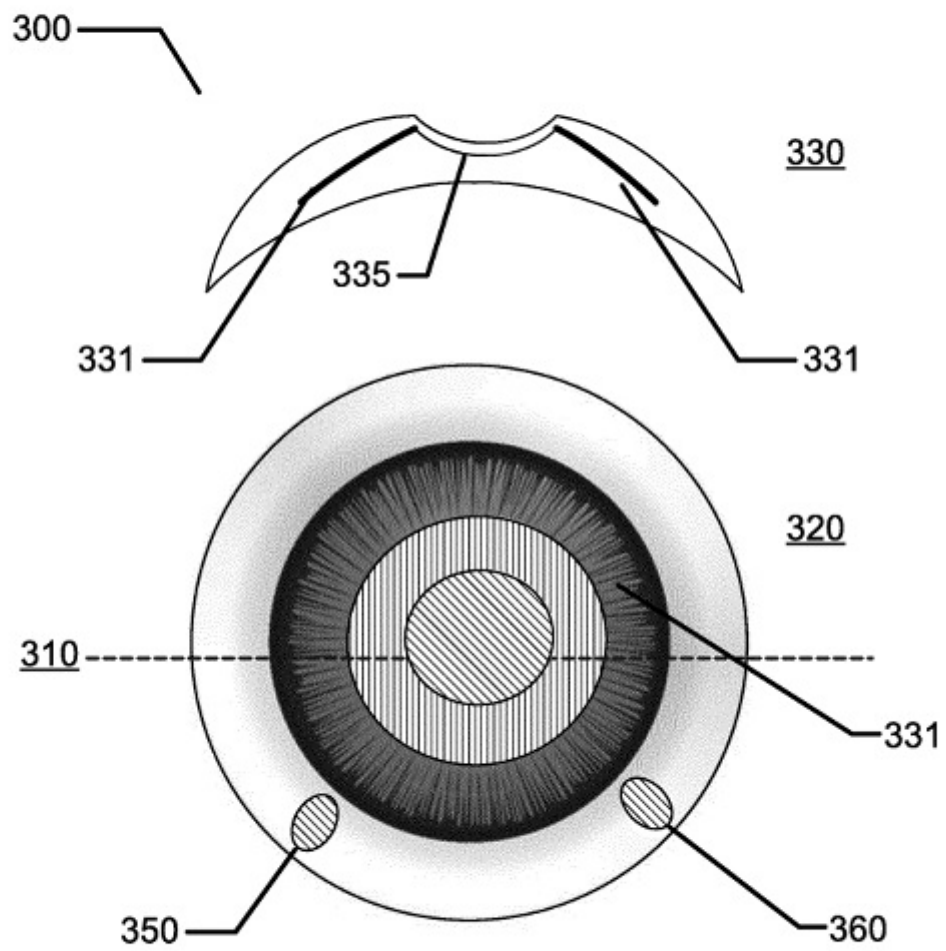


FIG. 3

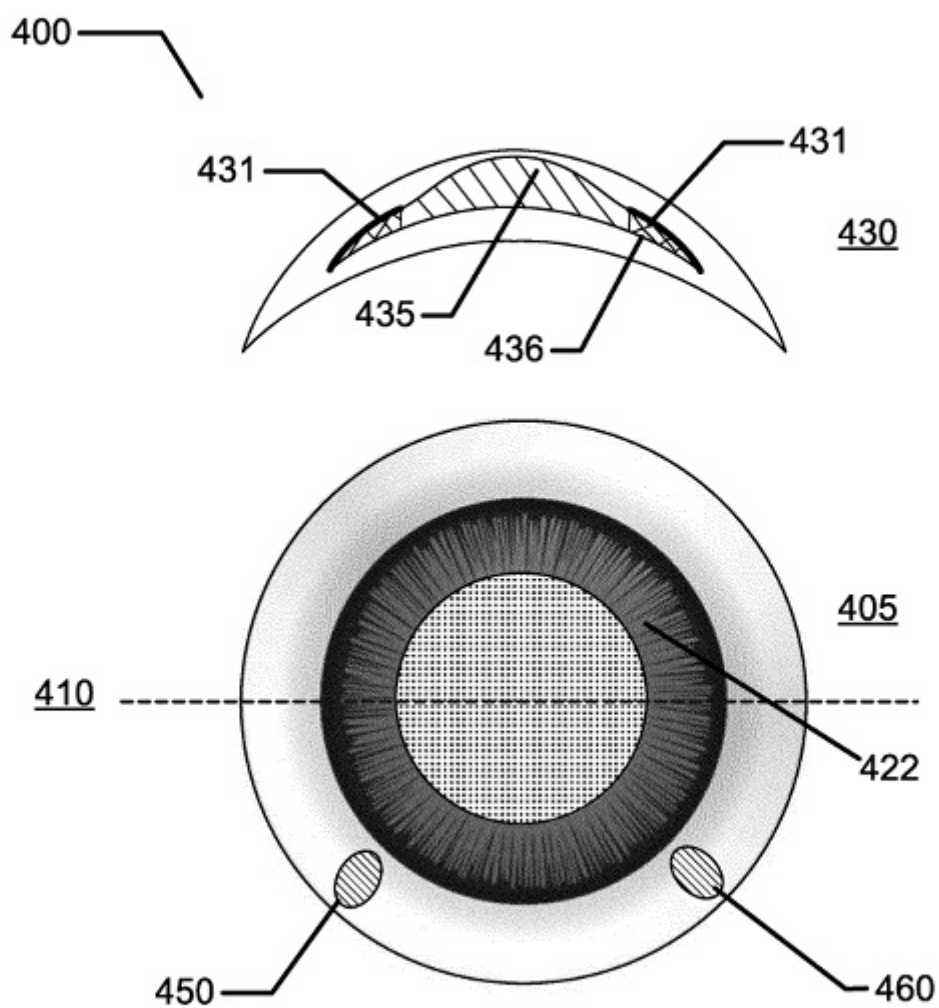
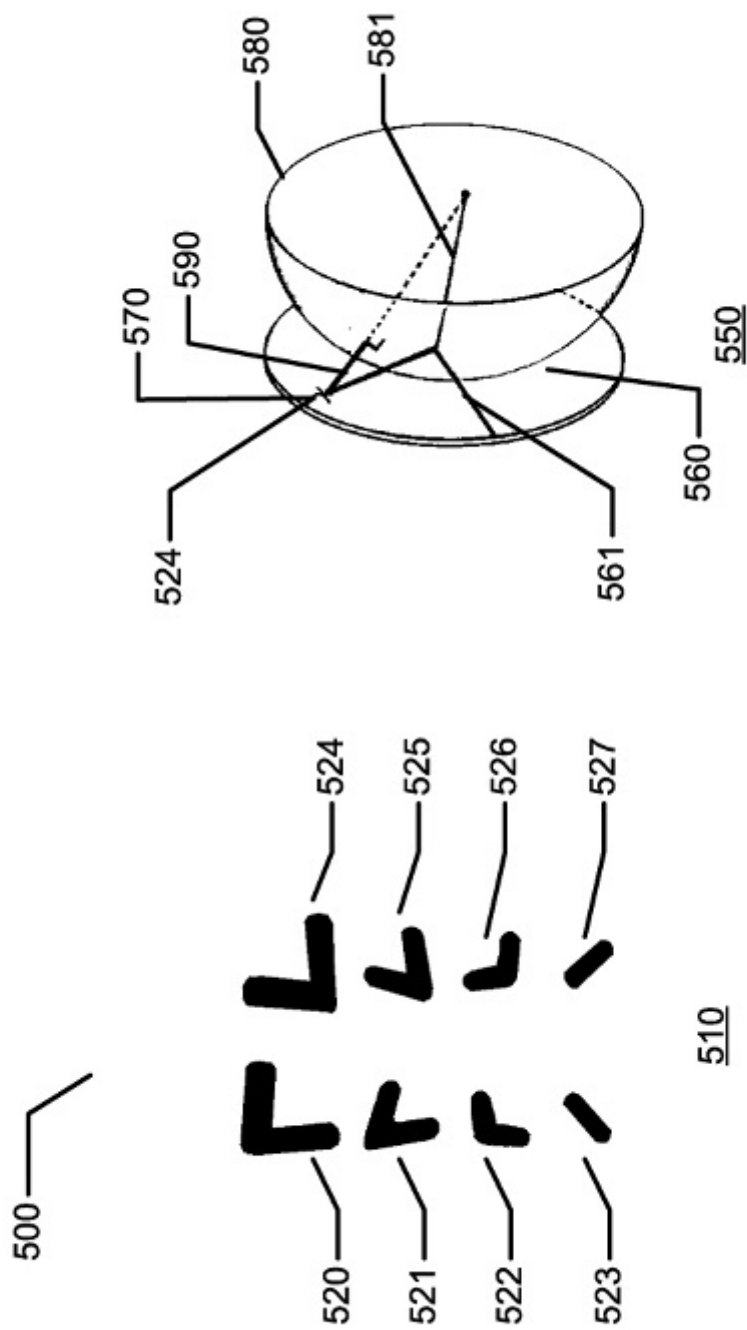


FIG. 4





**FIG. 5 (Estado de la Técnica)**

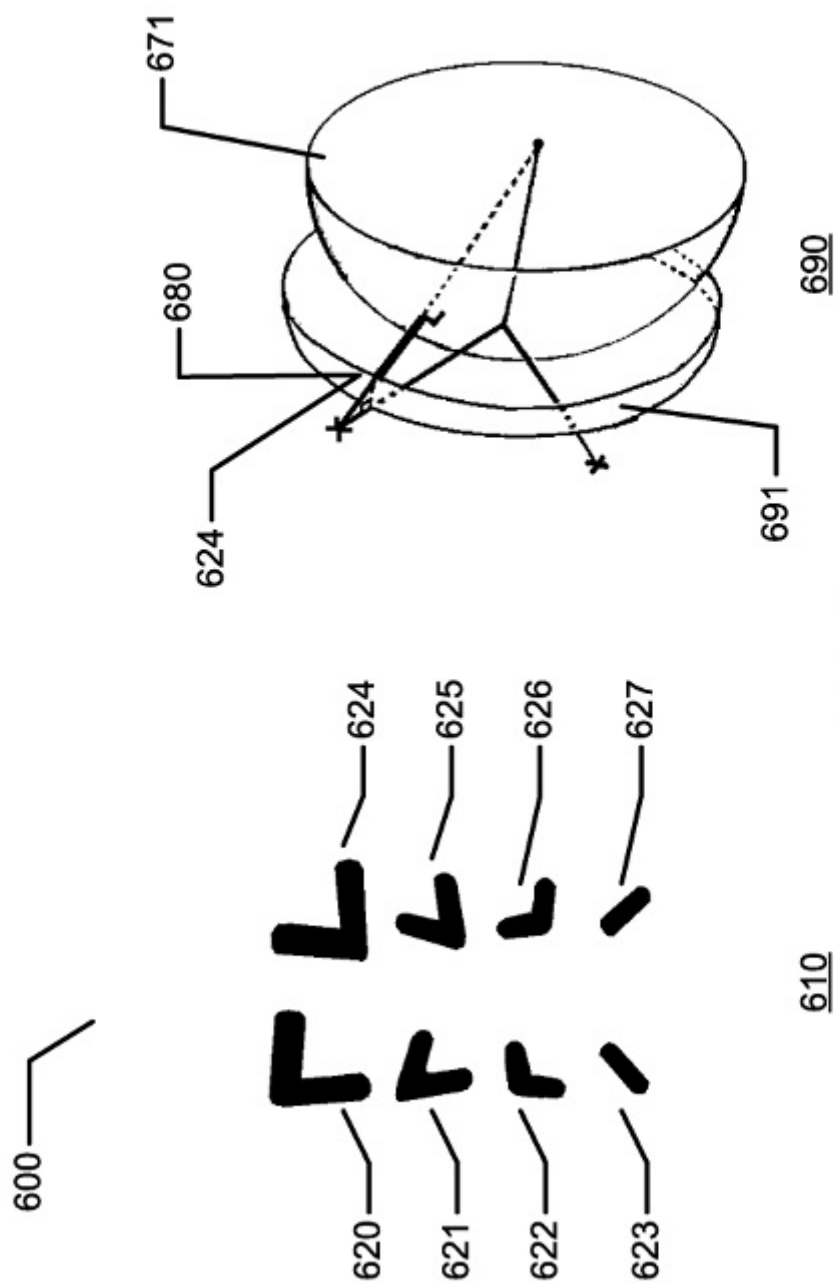


FIG. 6

