

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 491 618**

51 Int. Cl.:

G02C 7/02 (2006.01)

G02C 7/04 (2006.01)

A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2010 E 10725326 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014 EP 2440962**

54 Título: **LIO con corrección variable de aberración cromática**

30 Prioridad:

09.06.2009 US 185510 P

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

08.09.2014

73 Titular/es:

**NOVARTIS AG (100.0%)
Lichtstrasse 35
4056 Basel, CH**

72 Inventor/es:

**ZHANG, XIAOXIAO;
CURATU, COSTIN EUGENE;
VENKATESWARAN, KRISHNAKUMAR;
CARSON, DANIEL ROBERT;
KARAKELLE, MUTLU;
HONG, XIN y
LIU, YUEAI**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 491 618 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

LIO con corrección variable de aberración cromática.

5 Solicitud de prioridad

La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional de los Estados Unidos con número de serie 61/185.510, presentada el 9 de junio de 2009.

10 Solicitudes relacionadas

Esta solicitud se refiere a la solicitud pendiente de resolución con número de serie 12/780.244 titulada "ZONAL DIFFRACTIVE MULTIFOCAL INTRAOCULAR LENS WITH CENTRAL MONOFOCAL DIFFRACTIVE REGION" que reivindica prioridad sobre la solicitud con número de serie 61/185.512 presentada el mismo día que la solicitud sobre la que la presente solicitud reivindica prioridad.

Antecedentes

La presente invención se refiere a lentes intraoculares (LIO) que proporcionan compensación para aberraciones cromáticas.

Las lentes intraoculares se emplean de forma rutinaria para sustituir la lente cristalina natural ocluida mediante cirugía de cataratas. En otros casos, se puede implantar una lente intraocular en el ojo de un paciente manteniendo la lente del cristalino natural, para mejorar la visión del paciente. Tanto las LIO monofocales como las bifocales son conocidas. Mientras que las LIO monofocales proporcionan una única potencia de enfoque, las LIO bifocales pueden proporcionar una pluralidad de potencias de enfoque, típicamente dos, para proporcionar un grado de acomodación, conocido comúnmente como pseudoacomodación.

Sin embargo, muchas LIO convencionales muestran aberraciones cromáticas que pueden degradar su eficiencia en la concentración de la energía luminosa que incide en las mismas en la retina del paciente. Las LIO convencionales tampoco están concebidas para tratar las aberraciones cromáticas inherentes en las lentes y/o presentes en el sistema óptico del ojo del paciente.

De acuerdo con esto, existe una necesidad constante de lentes oftálmicas mejoradas y, particularmente LIO, con un rendimiento mejorado en comparación con las LIO convencionales.

Algunos documentos relevantes de la técnica anterior son:

D1 WO2006047698 (A1), "OPHTHALMIC LENS WITH MULTIPLE PHASE PLATES", se refiere a una lente oftálmica para proporcionar una pluralidad de focos con una óptica que comprende una superficie anterior, una superficie posterior y un eje óptico. La óptica prevé una primera región y una segunda región. La primera región presenta una potencia óptica refractiva y comprende una placa de fase multifocal para la formación de un primer foco y un segundo foco. La segunda región prevé una potencia óptica refractiva y comprende una placa de fase monofocal para la formación de un tercer foco. La lente del documento D1 es una lente multifocal. D2 US2004252274 (A1) "Bifocal multiorder diffractive lenses for vision correction", se refiere a una lente bifocal difractiva multiorden con un cuerpo de lente con una o más primeras regiones provistas de una primera estructura difractiva multiorden que proporciona una corrección de la visión de cerca y con una o más segundas regiones provistas de una segunda estructura difractiva multiorden que proporciona una corrección de la visión de lejos, definiendo dicha lente una abertura dividida entre las primeras y las segundas regiones. D3 WO 9928769, "Method of reducing the glare and the chromatic aberration associated with a multifocal ophthalmic lens by incorporating a blue light blocking die in the lens".

Sumario

El rendimiento mejorado en comparación con las LIO convencionales se consigue mediante las lentes y su procedimiento de fabricación según las reivindicaciones 1 y 11, respectivamente.

En otra forma de realización, un procedimiento para la fabricación de una LIO incluye determinar un filtro óptico que pueda funcionar para filtrar por lo menos la luz con una longitud de onda por debajo de 450 nm. El procedimiento también incluye determinar un primer perfil para por lo menos una estructura difractiva central con un radio dentro de un tamaño de pupila seleccionado para condiciones fotópicas. La por lo menos una estructura difractiva está configurada para corregir la aberración cromática longitudinal a menos de una dioptría en una longitud de onda correspondiente a la receptividad visual pico para la visión fotópica. El procedimiento también incluye determinar un segundo perfil para una región óptica fuera del radio de la primera estructura difractiva. La región óptica está configurada para permitir la aberración cromática longitudinal en una cantidad mayor que la aberración cromática longitudinal permitida por la por lo menos una estructura difractiva. La aberración cromática longitudinal permitida

por la región óptica cambia la energía luminosa de una receptividad visual pico para la visión fotópica hacia una receptividad visual pico para la visión escotópica, y la aberración cromática longitudinal permitida por la región óptica es menor que una dioptría en un rango de longitud de onda correspondiente a la receptividad visual pico para visión escotópica. A continuación, el procedimiento incluye la fabricación de lentes oftálmicas con el filtro óptico y el primer y el segundo perfil para la por lo menos una región difractiva central y la región óptica.

Se puede obtener una mayor comprensión de varios aspectos de la invención haciendo referencia a la descripción detallada siguiente en conjunción con los dibujos, que se explican brevemente a continuación.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1A es una vista lateral esquemática de una LIO de acuerdo con una forma de realización de la invención, la Figura 1B muestra un perfil de la superficie anterior de la LIO que se representa en la Figura 1A de la que se ha eliminado el perfil base de la superficie anterior,

La Figura 2 es una vista lateral esquemática de una LIO que prevé una pluralidad de estructuras difractivas que se extienden hasta una periferia de la LIO según otra forma de realización de la invención,

la Figura 3 es una vista lateral esquemática de una LIO con una región refractiva anular que separa la primera y la segunda estructura difractiva según otra forma de realización de la invención, y

la Figura 4 es una vista lateral esquemática de una LIO de acuerdo con otra forma de realización de la invención en la que la superficie posterior de la lente muestra un perfil base esférico para controlar el efecto de aberraciones esféricas, y

la Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para la fabricación de una LIO según una forma de realización particular de la presente invención, y

la Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra otro ejemplo de procedimiento de fabricación de una LIO según una forma de realización particular de la presente invención.

Descripción detallada

La presente invención proporciona en general una lente intraocular con dos estructuras difractivas con un foco común que proporciona aberración cromática para dos rangos de longitud de onda diferentes utilizadas en conjunción con un filtro óptico para limitar el espectro de colores que requiere corrección. Una primera estructura difractiva proporciona corrección de la aberración cromática para longitudes de onda relativamente largas, por encima de 550 nm, mientras que una segunda estructura difractiva que rodea la primera estructura difractiva proporciona corrección de la aberración cromática en un rango de longitud de onda más corto, al mismo tiempo que permite la aberración cromática en el rango de longitud de onda más largo. En funcionamiento, la combinación de estructuras difractivas proporciona una buena corrección de la aberración cromática en condiciones de pupila pequeña. El elemento difractiva exterior actúa en condiciones de pupila grande para proporcionar imágenes claras sin aberración cromática en longitudes de onda más cortas, correspondientes a la sensibilidad pico del ojo en condiciones de poca luz. La combinación de elementos difractivas, junto con el espectro restringido de la luz, gestiona de forma efectiva la corrección de la aberración cromática en diferentes rangos de longitudes de onda, para permitir una visión clara bajo una variedad de condiciones de luminosidad.

En las siguientes formas de realización, las características destacadas de los distintos aspectos de la invención se tratan en conexión con lentes intraoculares (LIO). Las enseñanzas de la invención también se pueden aplicar a otras lentes oftálmicas, como lentes de contacto.

El término "lente intraocular" y su abreviación "LIO" se utilizan en el presente documento de forma intercambiable para describir lentes que se implantan en el interior del ojo, bien para sustituir la lente natural del ojo, o para aumentar la visión de otro modo independientemente de si se retira o no la lente natural. Las lentes intracorneales y las lentes intraoculares fáquicas son ejemplos de lentes que se pueden implantar en el ojo sin retirar la lente natural.

Las Figuras 1A y 1B muestran esquemáticamente una lente intraocular (LIO) 10 de acuerdo con una forma de realización que incluye una óptica 12 provista de una superficie anterior 14 y una superficie posterior 16 dispuestas en un eje óptico OA. Se dispone una primera estructura difractiva 18 en una porción central de la superficie anterior, y se rodea mediante una segunda estructura difractiva 20, que se extiende desde un borde exterior (A) de la estructura monofocal 18 hasta un límite interior (B) de una región refractiva exterior 19 de la superficie anterior.

Tal como se muestra en la Figura 1A, en esta forma de realización, tanto la superficie anterior 14 como la superficie posterior 16 de la LIO 10 presentan perfiles base generalmente convexos. En este ejemplo, las curvaturas de los perfiles base de las superficies anterior y posterior son de manera que el cuerpo de la lente contribuya de forma

refractiva a la potencia óptica del enfoque de lejos de la LIO. Además, tal como se ha mencionado anteriormente, una región refractiva exterior 19 de la superficie anterior se extiende desde el borde exterior de la segunda estructura difractiva hasta la periferia de la lente, lo que puede contribuir de forma refractiva a una potencia óptica de enfoque de lejos para los tamaños de pupila grandes, por ejemplo en condiciones de poca luz.

De forma alternativa, las curvaturas de las superficies anterior y posterior se pueden seleccionar de manera que el cuerpo de la lente contribuya de forma refractiva con la potencia óptica de enfoque de cerca de la lente. En otros casos, las superficies anterior y posterior pueden presentar perfiles sustancialmente planos, de manera que la potencia óptica de enfoque de cerca y de lejos de la lente se deban a contribuciones difractivas de la primera y la segunda estructura difractiva sin contribución refractiva sustancial (si la hubiese) del cuerpo de la lente.

La óptica se puede formar a partir de cualquier material biocompatible adecuado, incluyendo una pluralidad de materiales poliméricos biocompatibles. Algunos ejemplos de dichos materiales incluyen, sin limitación, un material acrílico blando utilizado para la formación de lentes comerciales conocidas comúnmente como Acrysof (un copolímero reticulado de 2-feniletilo acrilato y 2-feniletilo metacrilato), silicona e hidrogel. Las técnicas según la presente invención pueden resultar particularmente adecuadas para materiales con índice refractivo elevado por encima de 1,5, que producen una dispersión cromática significativa. Los filtros ópticos adecuados pueden incluir materiales que se pueden incorporar en un material propuesto para la LIO 10 y se pueden corresponder con una gama conocida para mejorar la agudeza visual y/o para proteger el tejido de la retina de longitudes de onda potencialmente dañinas, al igual que una lente cristalina natural. Por ejemplo, un material adecuado sería el cromóforo Acrysof Natural tal como se describe en las patentes US nº 5.470.932 y 5.543.504. Aunque no se muestra, la LIO 10 también puede incluir una pluralidad de elementos de fijación (por ejemplo, hápticos) que pueden facilitar su colocación en el ojo del paciente.

Una ventaja de algunas formas de realización de la presente invención es que una LIO monofocal se puede hacer más fina que una LIO monofocal similar que sea solo refractiva debido a la agudeza visual mejorada de la corrección de la aberración cromática. Para obtener un rendimiento similar, una LIO dolo refractiva debe presentar un rendimiento refractivo mejor, como una mejor corrección para los rayos periféricos y desfasados del eje, que normalmente requiere más material refractivo. La corrección de la aberración cromática puede mejorar la agudeza visual sin precisar modificaciones extensas de las propiedades refractivas de la LIO, que a su vez requiere menos material refractivo. Esto se puede aprovechar ventajosamente para reducir un grosor de la LIO con el fin de permitir una incisión menor. Además, proporciona una ventaja sobre los procedimientos que utilizan una pluralidad de materiales, algunos con un índice refractivo inferior, para corregir la aberración cromática, que, una vez más, incrementa la cantidad de material de lente requerido.

Otra ventaja de las LIO de varias formas de realización de la presente invención puede ser una potencia difractiva relativamente inferior. En las lentes anteriores que pretendían corregir de manera uniforme la aberración cromática sobre una totalidad de lentes para las longitudes de onda visibles, la potencia difractiva tenía que ser lo suficientemente elevada como para corregir las aberraciones incluso en una periferia de las lentes que, a su vez, requería una potencia elevada para el elemento difractivo. Además, a medida que se incrementa la potencia refractiva nominal de la lente, la aberración cromática aumenta de forma correspondiente, requiriendo así más potencia difractiva. De acuerdo con la patente US nº 4.655.565 de Freeman, una lente de potencia relativamente baja con una potencia nominal de 12 D requeriría 3,4 D de potencia (negativa) difractiva para producir una corrección de la aberración cromática longitudinal neta de 1 dioptría. A medida que se incrementa la potencia difractiva, también se incrementa la cantidad de escalones requeridos, creando una mayor posibilidad de perturbaciones visuales, como brillos, producidos por la estructura difractiva.

Al contrario que en lentes anteriores, varias formas de realización de la presente invención permiten que la potencia difractiva tanto de la primera estructura difractiva como de la segunda estructura difractiva sea menor que la que se espera de la enseñanza de la patente US nº 4.655.565, proporcionando de este modo un rendimiento visual mejorado gracias a la corrección de la aberración cromática sin efectos negativos que, de otro modo, se podrían producir mediante la corrección. Por ejemplo, la aberración cromática longitudinal se podría reducir a menos de una dioptría en una zona central con una potencia difractiva de 2,39 para la primera estructura difractiva en una lente con una potencia nominal de 6 D, una potencia difractiva de 3,58 con una potencia de lente nominal de 21 D y una potencia difractiva de 4,56 con una potencia de lente nominal de 34 D. Del mismo modo, la potencia difractiva de la segunda estructura difractiva, que corrige la aberración cromática en un rango de longitud de onda inferior, puede ser relativamente baja. Por ejemplo, la aberración cromática longitudinal en un rango meta menor de 550 nm se podría reducir a menos de una dioptría para una potencia difractiva de 2,85 D con una potencia de lente nominal de 6D, una potencia difractiva de 3,58 con una potencia de lente nominal de 4,22 D y una potencia difractiva de 8,00 con una potencia de lente nominal de 34 D.

Haciendo referencia a las Figuras 1B, la primera estructura difractiva 18 incluye una pluralidad de escalones difractivos 22 separados entre sí mediante una pluralidad de alturas de tramo 24 de manera que la estructura difractiva 18 desvía la luz en una o más órdenes. En este ejemplo, las alturas del tramo 24 muestran alturas decrecientes como una función de la distancia que se incrementa desde el centro de la superficie anterior (es decir, la intersección del eje óptico con la superficie anterior). Se pueden seleccionar unas condiciones límite adecuadas

para proporcionar una transición fluida entre la primera estructura difractiva 18 y un primer escalón 24c de la segunda estructura difractiva. En general, se pueden encontrar detalles adicionales con respecto a la selección de las alturas del tramo en la patente US nº 5.699.142 de Lee *et al*, que describe, en particular, la apodización del patrón difractivo de un modo que pueda reducir el brillo y/o otros efectos negativos asociados con la luz en la periferia de la lente. Otros detalles con respecto a la corrección difractiva de la aberración cromática se pueden encontrar en las patentes US nº 4.655.565 de Freeman y US nº 5.117.306 de Cohen.

La primera estructura difractiva 18 de la LIO 10 muestra una aberración cromática longitudinal negativa. Es decir, se incrementa su potencia óptica con el incremento de la longitud de onda (su longitud focal se reduce para longitudes de onda más largas). Al contrario, la potencia refractiva que proporciona la LIO 10, así como el ojo humano muestran una aberración cromática positiva caracterizada por una reducción en la potencia óptica (incremento en la longitud focal) como una función de un incremento en la longitud de onda. De este modo, la primera estructura difractiva se puede adaptar para compensar la aberración cromática positiva del ojo humano y la de la propia lente para la visión de lejos/de cerca. La primera estructura difractiva 18 está adaptada para proporcionar corrección para la aberración cromática para un rango de longitud de onda que incluye longitudes de onda superiores a 550 nm, de manera que se proporcione una aberración cromática mínima sobre un rango relativamente amplio de colores visibles. La primera estructura difractiva 18 corresponde a un tamaño de pupila pequeño típico de condiciones de iluminación brillante. En condiciones de iluminación brillante tiene lugar una respuesta sensorial significativa por parte de los receptores visuales conocidos como celdas cono, que son sensibles a las variaciones de color. La receptividad visual del ojo bajo dichas condiciones es referida como visión "fotópica". En particular la fovea del ojo humano, que es responsable de la agudeza visual elevada, contiene dos tipos de celdas cono con una sensibilidad pico superior a 550 nm. Así, en términos de agudeza visual, puede resultar más beneficiosa la corrección de la aberración cromática de forma más estricta, es decir, proporcionando una corrección de la aberración cromática para un rango de longitud de onda más largo. La reducción de la aberración cromática longitudinal a menos de una dioptría sobre los rangos de longitud de onda descritos en el presente documento, típicamente resulta adecuada para proporcionar una agudeza visual buena, de manera que se utilizará este valor como una indicación de una corrección suficiente.

La segunda estructura difractiva 20 también muestra una corrección de la aberración cromática negativa. Sin embargo, las estructuras difractivas 18 y 20 difieren en que la corrección de la aberración cromática de la segunda estructura difractiva 20 permite que la aberración cromática persista en el extremo superior del rango de longitud de onda hasta un grado mayor que la primera estructura difractiva 18. Así, por ejemplo, la segunda estructura difractiva 20 puede corregir la aberración cromática en un rango de la luz filtrada desde 450 nm hasta 550 nm. Debido a que la segunda estructura difractiva 20 se encuentra en la parte exterior de la primera estructura difractiva 18 en la dirección radial, la corrección en dicha región corresponde más exactamente a unas condiciones de pupila de mayor tamaño asociadas con una luz baja. Con dichas condiciones, típicamente habrá luz insuficiente como para activar las células cono, lo que significa que la visión está dominada por receptores visuales conocidos como células bastón que presentan una sensibilidad al color limitada. La receptividad visual del ojo bajo estas condiciones de iluminación se conoce como visión "escotópica". Esto significa que la perturbación visual derivada de la aberración cromática es menos grave, en particular para los colores alejados de la sensibilidad pico de las células bastón (alrededor de 498 nm). La corrección de la aberración cromática de la segunda estructura difractiva 20 permite, de este modo, una transmisión más efectiva de la luz en el área de sensibilidad pico en condiciones de iluminación reducida, lo que se precisa para una agudeza visual buena, al mismo tiempo que se tolera la aberración cromática para longitudes de onda que presentan menor importancia con dichas condiciones.

Las modificaciones descritas también se pueden utilizar con otras modificaciones concernientes a la visión de lejos mejorada. Por ejemplo, las estructuras difractivas 18 y 20 se pueden modificar de manera que se enfoque la luz para un enfoque de visión de cerca o de visión de lejos, con el fin de proporcionar una calidad visual mejorada para ese rango. En condiciones de poca luz en las que hay pocas posibilidades de realizar actividades como la lectura u otras actividades de visión de cerca, se puede dirigir más energía luminosa a un foco distante mediante la segunda estructura difractiva 20, con el fin de mejorar la agudeza visual en este rango. Utilizada en conjunción con la corrección de la aberración cromática, la LIO 10 mencionada anteriormente ventajosamente puede proporcionar una visión de lejos mejorada también.

En las formas de realización anteriores, la segunda estructura difractiva 20 está truncada, es decir, no se extiende hasta la periferia de la lente. En formas de realización alternativas, se puede combinar una primera estructura difractiva truncada 18 con una estructura refractiva exterior que permita la aberración cromática para producir una corrección de la aberración cromática en un área central de la LIO 10, al mismo tiempo que permite la aberración cromática en una región exterior de la lente. En otra forma de realización alternativa, la segunda estructura difractiva 20 se puede extender a la periferia de la lente. A título de ejemplo, la Figura 2 muestra esquemáticamente dicha lente 46 que incluye una óptica 48 que presenta una superficie anterior 49A y una superficie posterior 49B. De forma similar a las formas de realización anteriores, se dispone una primera estructura difractiva 50 en una región central de la superficie anterior 49A y se rodea mediante una segunda estructura difractiva 52 que se extiende desde el borde exterior de la primera estructura difractiva hasta la periferia de la lente. Dicha segunda estructura difractiva 52 puede incluir una pluralidad de escalones difractivos que están separados entre sí por una pluralidad de tramos, que pueden presentar alturas sustancialmente uniformes o apodizadas, por ejemplo, del modo mencionado

anteriormente. En este caso, el tramo asociado con la segunda estructura difractiva 52 muestra alturas decrecientes como una función de la distancia creciente desde el centro de la superficie anterior.

La Figura 3 muestra esquemáticamente una LIO 54 según otra forma de realización, que presenta una óptica 56 con una superficie anterior 58 y una superficie posterior 60. Se dispone una primera estructura difractiva 62 en una porción central de la superficie anterior. Dicha superficie anterior también incluye una segunda estructura difractiva 64 que está separada de la primera estructura difractiva 62 mediante una región refractiva anular 66. Una región refractiva exterior 68 rodea la estructura bifocal.

En algunas formas de realización, se puede implantar un grado de asfericidad al perfil base de la superficie anterior y/o posterior de una LIO, de manera que se mejoren los efectos de las aberraciones esféricas. A título de ejemplo, la Figura 4 muestra esquemáticamente una LIO 70 que incluye una óptica 72 provista de una superficie anterior 74 y una superficie posterior 76 dispuestas sobre un eje óptico OA. De forma similar a las formas de realización anteriores, se dispone una primera estructura difractiva 78 en una región central de la superficie anterior 74, mientras que una segunda estructura difractiva 80 en la forma de una región anular rodea la primera estructura difractiva. El perfil base de la superficie posterior se desvía de un perfil esférico aparente (que se muestra con líneas discontinuas), con la desviación incrementándose progresivamente como una función de la distancia que se incrementa desde el centro de la superficie posterior definido en este caso como la intersección de eje óptico con la superficie posterior. En algunas formas de realización, la asfericidad del perfil base de la superficie posterior se puede caracterizar por una constante cónica. La asfericidad puede cambiar las aberraciones esféricas que muestran las LIO y/o desplazar hasta cierto grado una aberración esférica prevista de una córnea. Aunque en esta forma de realización, el perfil base de la superficie posterior está adaptado de manera que muestre un grado de asfericidad, en otras formas de realización, dicha asfericidad se puede incorporar a la superficie anterior o a ambas superficies, y se pueden superponer estructuras difractivas 18 y 20 en una o ambas superficies. También se puede prever una curvatura esférica variable en una superficie esférica, de modo que el perfil esférico se pueda definir mediante un primer polinomio con un radio determinado y un segundo polinomio en el exterior de dicho radio, que también puede coincidir con un radio de la primera estructura difractiva 18 y/o la segunda estructura difractiva 20, si se desea. La curva base también puede incluir una asfericidad de mayor orden.

La Figura 5 es un diagrama de flujo 100 que muestra un procedimiento de ejemplo de fabricación de una LIO de acuerdo con las formas de realización particulares de la presente invención. En la etapa 102, se determina un límite para la filtración de la luz de longitud de onda corta. En un ejemplo típico, este límite se puede corresponder con un filtro óptico conocido que se puede incorporar en un material propuesto para la LIO y se puede corresponder con un rango conocido para mejorar la agudeza visual y similar a una lente cristalina natural, como por ejemplo, el filtrado de la luz con una longitud de onda más corta que 450 nm. En la etapa 104 se determina un perfil para una primera estructura difractiva que proporciona una corrección de la aberración cromática por encima de 550 nm de acuerdo con cualquiera de las diversas formas de realización descritas en el presente documento, junto con cualquier variación adecuada que se pudiera poner de manifiesto para una persona experta en la técnica. En particular, la determinación del primer perfil difractivo puede tener en cuenta la potencia deseada, curvas base adecuadas para las superficies anterior y/o posterior, la asfericidad u otra corrección de aberración incorporada a una o a ambas superficies, y similares.

En la etapa 106, se determina un perfil para una segunda estructura difractiva que proporciona una corrección de la aberración cromática para un rango menor que 550 nm, al mismo tiempo que permite la aberración cromática para longitudes de onda mayores que 550 nm, lo que se puede dar de conformidad con las distintas formas de realización descritas en el presente documento junto con cualquier variación adecuada que se pudiera poner de manifiesto para una persona experta en la técnica. En particular, la determinación del segundo perfil difractivo puede tener en cuenta la potencia deseada, curvas base adecuadas para las superficies anterior y/o posterior, asfericidad u otra corrección de aberración incorporada a una o a ambas superficies, y similares. En la etapa 108, se fabrica una LIO con la primera y la segunda estructura difractiva que presenta los perfiles respectivos determinados en las etapas 104 y 106 junto con un filtro óptico con las propiedades seleccionadas en la etapa 102. Algunas técnicas de fabricación adecuadas pueden incluir cualquier procedimiento de formación adecuado para los materiales, incluyendo, pero no limitando a, el moldeado, la ablación y/o el torneado, junto con cualquier técnica para proporcionar un filtro óptico en la LIO, como la incorporación en el material de la LIO.

La Figura 6 es otro diagrama de flujo 200 que ilustra un procedimiento de ejemplo de la fabricación de una LIO según una forma de realización particular de la presente invención. En la etapa 202, se determina un límite de longitud de onda corta para un filtro óptico de la LIO. En la etapa 204, se determina un perfil para una primera estructura difractiva. El perfil corrige la aberración cromática con el fin de maximizar la intensidad de la luz alrededor de una receptividad visual pico para la visión fotópica. En la etapa 206, se determina un perfil para una segunda estructura difractiva en la parte exterior de la primera estructura difractiva. El perfil corrige la aberración cromática con el fin de maximizar la intensidad de la luz cerca de una receptividad visual pico para la visión escotópica, al mismo tiempo que permite una aberración cromática en longitudes de onda alejadas de la sensibilidad pico. En la etapa 208, se fabrica una LIO con el filtro óptico y la primera y la segunda estructura difractiva. Algunas técnicas de fabricación adecuadas pueden incluir cualquier procedimiento de formación adecuado a los materiales, incluyendo,

pero no limitando a, el moldeado, la ablación y/o el torneado, junto con cualquier técnica para proporcionar un filtro óptico en la LIO, como la incorporación en el material de la LIO.

5 En una variación del procedimiento que se muestra en la Figura 6, el área respectiva cubierta por la primera y la segunda estructura difractiva se puede ajustar para desplazar la energía luminosa visible entre los picos cromáticos respectivos de las estructuras difractivas. Dichos ajustes pueden permitir una transferencia más eficiente de la energía luminosa a los rangos fotópicos y escotópicos respectivos. Dichos ajustes pueden ser análogos a las técnicas para desplazar la energía luminosa entre los focos descritos en las patentes US nº 7.441.894 y 7.481.532 de Hong *et al*, pero, en este caso, el desplazamiento de energía se basa en la intensidad de la luz relativa como una
10 función de la longitud de onda.

En otra forma de realización, se puede producir un efecto similar variando el borde de la primera estructura difractiva
15 18 solamente, al mismo tiempo que se permite una región exterior que solo es refractiva, sustituyendo la determinación del perfil para la segunda estructura difractiva por la determinación de un perfil refractivo en la parte exterior de la primera estructura difractiva. En dicha forma de realización, la primera estructura difractiva 18 todavía corrige la aberración cromática en una región central de la LIO para un tamaño de pupila que se corresponda con las condiciones fotópicas, pero la primera estructura difractiva 18 se trunca en un radio determinado, de manera que, en combinación con la potencia refractiva, la aberración cromática de la luz que entra en el resto de la óptica desplaza la energía luminosa de una receptividad visual pico para la visión fotópica, a una receptividad visual pico para la
20 visión escotópica. La respuesta del ojo humano para una longitud de onda en la sensibilidad pico para visión escotópica tiende a ser ligeramente miópica, de manera que el ligero desplazamiento en la potencia puede ayudar a enfocar la luz para incrementar la intensidad de luz en el rango de longitud de onda de visión escotópica. De este modo, la aberración cromática no precisa corrección en la totalidad de la lente. Al contrario, la corrección de la aberración cromática solo precisa proporcionar la corrección suficiente para la visión fotópica al mismo tiempo que
25 se permite una buena visión escotópica en condiciones de pupila grande, cuando se tiene en cuenta la aberración cromática de la óptica en general. Para esta especificación, el rango de sensibilidad visual pico para la visión fotópica es de 580 nm, más o menos 30 nm, y el rango de sensibilidad visual pico para la visión escotópica es de 505 nm, más o menos 30 nm.

30 Los expertos en la materia apreciarán que se pueden realizar varios cambios a las formas de realización anteriores sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, en lugar de disponer ambas estructuras difractiva primera y segunda en una sola superficie de lente, una estructura se puede disponer en la superficie anterior de la lente y la otra en su superficie posterior. También se pueden incluir estructuras difractivas adicionales más allá de la primera y la segunda estructura difractiva. Además, los perfiles base de las superficies anterior y posterior se pueden
35 configurar de manera que el cuerpo de la lente contribuya refractivamente a la potencia óptica de enfoque de cerca de la LIO. Dichas variaciones y otras que se ponen de manifiesto para los expertos en la materia se entenderá que están comprendidas en el alcance de la invención tal como se reivindica.

REIVINDICACIONES

1. Lente oftálmica monofocal (10) adaptada para la sustitución de la lente cristalina natural con una potencia óptica, que comprende:
- 5 un filtro óptico que puede funcionar para filtrar por lo menos la luz visible con una longitud de onda menor que 450 nm;
- 10 una primera estructura difractiva monofocal (18) adaptada para producir un foco correspondiente a la potencia óptica para la luz visible en un primer rango de longitud de onda superior a 550 nm y para reducir la aberración cromática longitudinal de la lente y del ojo a entre cero y una dioptría para la luz visible entrante en el primer rango de la longitud de onda;
- 15 una segunda estructura difractiva monofocal (20) en la parte exterior de la primera estructura difractiva en una dirección radial adaptada para producir un foco para la luz visible correspondiente a la potencia óptica en un segundo rango de longitud de onda comprendido entre 450 nm y 550 nm y para reducir la aberración cromática longitudinal de la lente y del ojo para la luz visible entrante en el segundo rango de la longitud de onda a entre cero y una dioptría y estando realizada, de manera que permita la aberración cromática longitudinal en el primer rango de longitud de onda en una cantidad mayor que la de la primera estructura difractiva.
- 20 2. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que una eficiencia difractiva de la primera estructura difractiva (18) es del 100% para una longitud de onda de diseño de 580 nm.
- 25 3. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que una eficiencia difractiva de la segunda estructura difractiva (20) es del 100% para una longitud de onda de diseño de 505 nm.
- 30 4. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que la lente presenta una potencia general de hasta 6 D y la primera estructura difractiva (18) y la segunda estructura difractiva (20) presentan cada una de las mismas una potencia difractiva respectiva inferior a 3 D.
- 35 5. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que la lente presenta una potencia general de hasta 21 D y la primera estructura difractiva (18) y la segunda estructura difractiva (20) presentan cada una de las mismas una potencia difractiva respectiva inferior a 4,25 D.
7. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que el filtro óptico comprende un material absorbente de UV.
- 40 8. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que la lente oftálmica está formada a partir de un copolímero reticulado de 2-feniletilo acrilato y 2-feniletilo metacrilato.
9. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que el foco de la primera estructura difractiva (18) coincide con el foco de la segunda estructura difractiva (20).
- 45 9. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que el foco de la segunda estructura difractiva (20) es un foco de visión de lejos.
- 50 10. Lente oftálmica según la reivindicación 1, en la que la primera estructura difractiva (18) se extiende hasta un radio de por lo menos 2 mm, y la segunda estructura difractiva se extiende hasta un radio de por lo menos 3 mm.
11. Procedimiento para la fabricación de una lente oftálmica monofocal adaptada para la sustitución de la lente del cristalino natural, provista de una potencia óptica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- 55 determinar un primer perfil para una primera estructura difractiva monofocal (18) adaptada para producir un foco correspondiente a la potencia óptica para la luz visible en un primer rango de longitud de onda superior a 550 nm y para reducir la aberración cromática longitudinal de la lente y del ojo a entre cero y una dioptría para la luz visible entrante en el primer rango de longitud de onda;
- 60 determinar un segundo perfil para una segunda estructura difractiva monofocal (20) en la parte exterior de la primera estructura difractiva en una dirección radial adaptada para producir un foco para la luz visible correspondiente a la potencia óptica en un segundo rango de longitud de onda comprendido entre 450 nm y 550 nm y para reducir la aberración cromática longitudinal de la lente y del ojo para la luz visible entrante en el segundo rango de longitud de onda a entre cero y una dioptría y que está realizada, de manera que permita la aberración cromática longitudinal del primer rango de longitud de onda en una cantidad mayor que la primera estructura difractiva;
- 65

ES 2 491 618 T3

formar una lente oftálmica con el primer perfil y el segundo perfil e incorporar un filtro óptico que funcione para filtrar por lo menos la luz visible con una longitud de onda inferior a 450 nm.

- 5 12. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que una eficiencia difractiva de la primera estructura difractiva (18) es del 100% para una longitud de onda de diseño de 580 nm.
13. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que una eficiencia difractiva de la segunda estructura difractiva (20) es del 100% para una longitud de onda de diseño 505 nm.
- 10 14. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la lente presenta una potencia general de hasta 6 D y la primera estructura difractiva (18) y la segunda estructura difractiva (20) presentan cada una de las mismas una potencia difractiva respectiva inferior a 3 D.
- 15 15. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la lente presenta una potencia general de hasta 21 D y la primera estructura difractiva (18) y la segunda estructura difractiva (20) presentan cada una de las mismas una potencia difractiva respectiva inferior a 4,25 D.
16. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el filtro óptico comprende un material absorbente de UV.
- 20 17. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que la lente oftálmica está formada a partir de un copolímero reticulado de 2-feniletilo acrilato y 2-feniletilo metacrilato.
18. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el foco de la primera estructura difractiva (18) coincide con el foco de la segunda estructura difractiva (20).
- 25 19. Procedimiento según la reivindicación 11, en el que el foco de la segunda estructura difractiva (20) es un foco de visión de lejos.

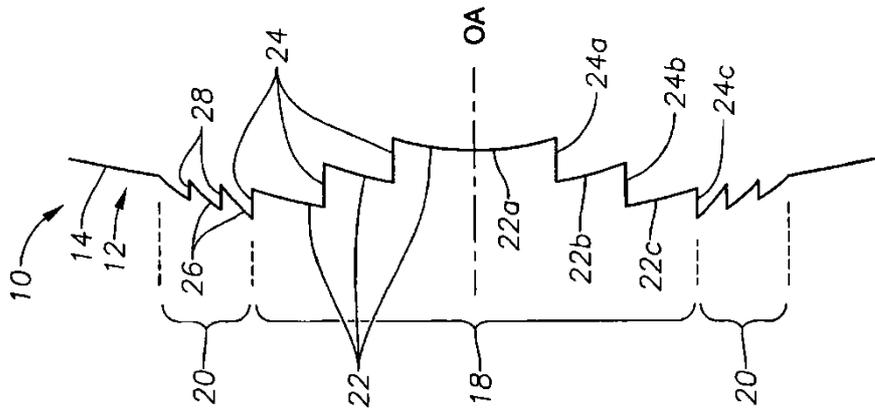


Fig. 1A

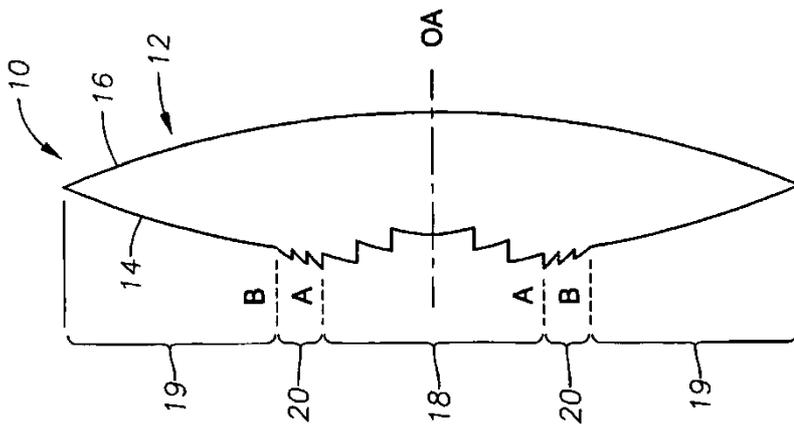


Fig. 1B

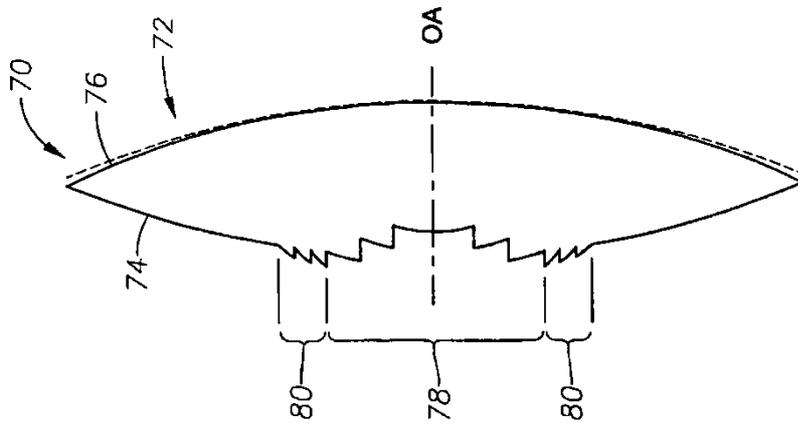


Fig. 4

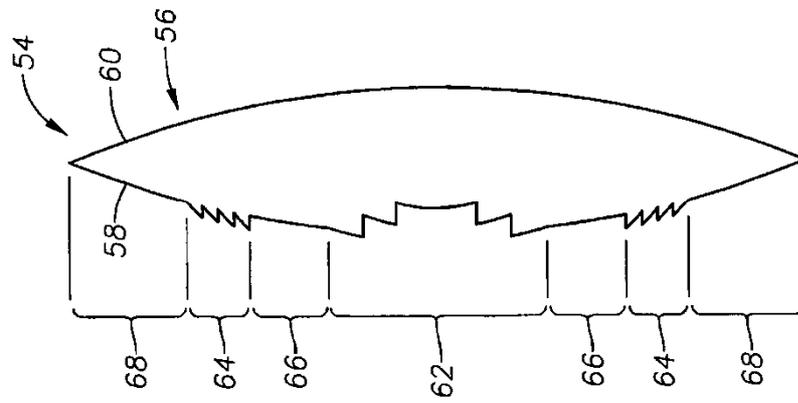


Fig. 3

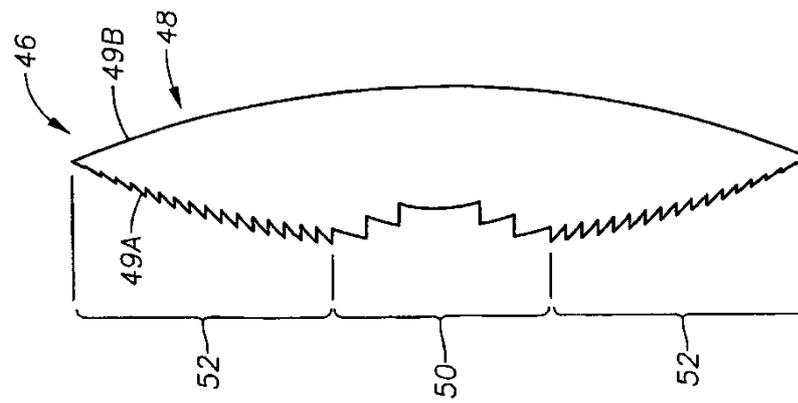


Fig. 2

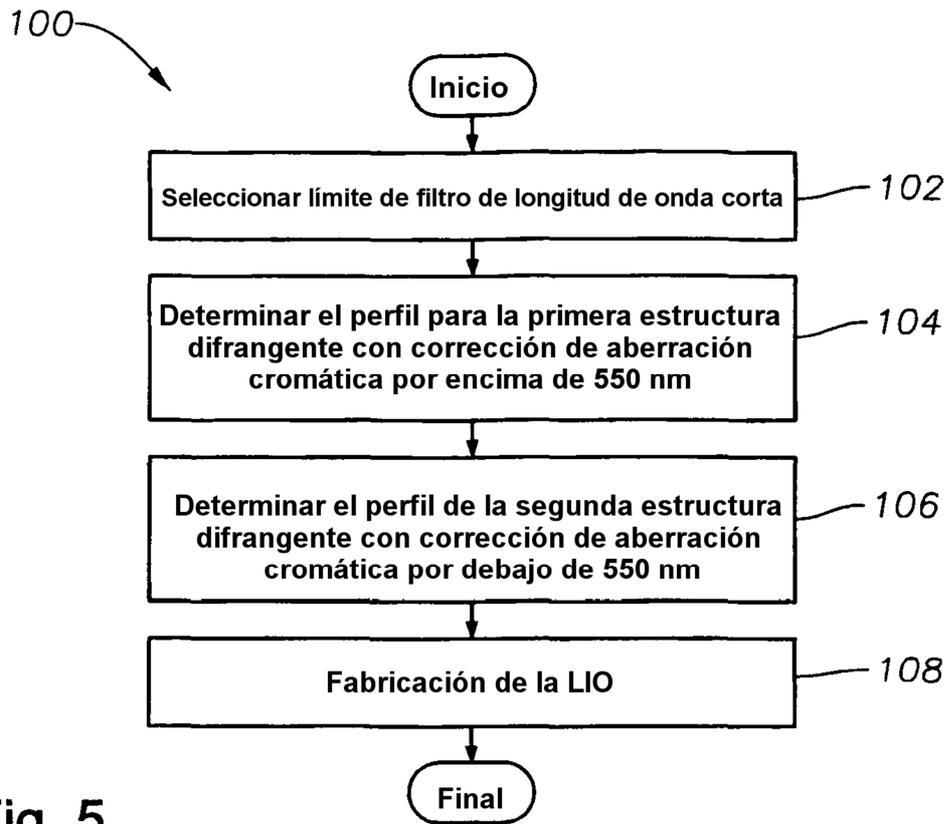


Fig. 5

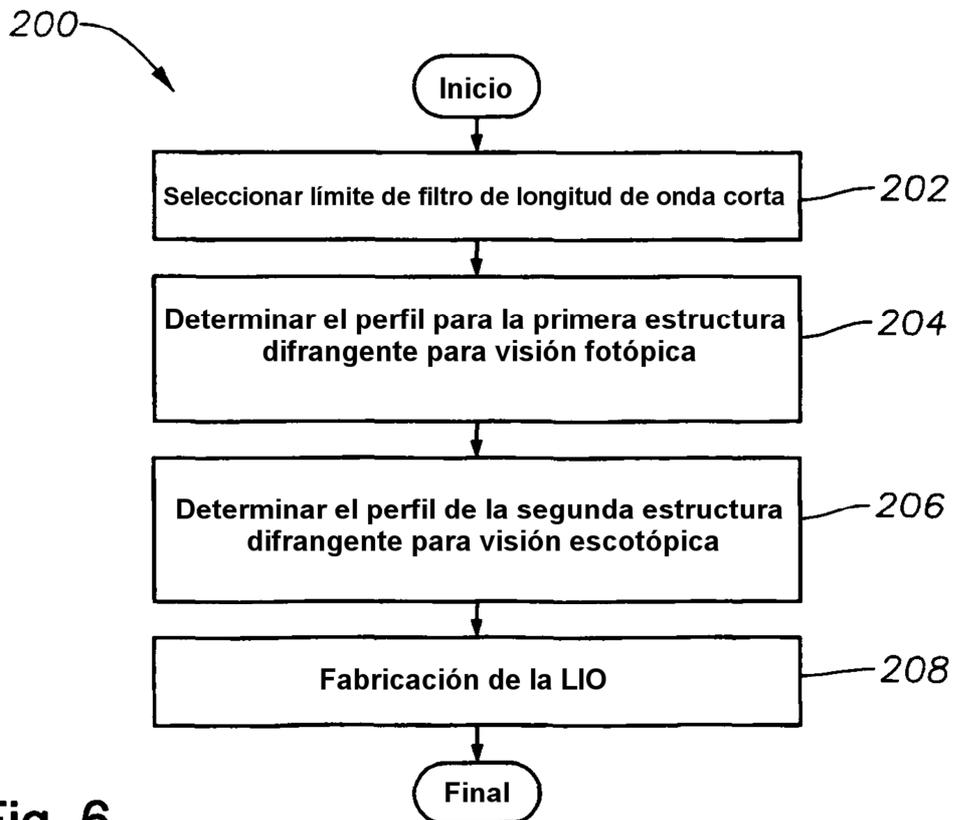


Fig. 6