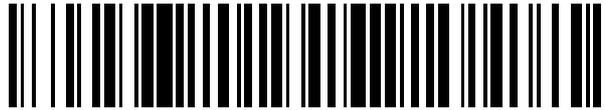


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 551 158**

51 Int. Cl.:

A61F 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.04.2009 E 09837427 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2015 EP 2377493**

54 Título: **Método para fabricar una lente intraocular fáquica**

30 Prioridad:

06.01.2009 JP 2009001169

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

16.11.2015

73 Titular/es:

**CARL ZEISS MEDITEC AG (100.0%)
Göschwitzer Strasse 51-52
07745 Jena, DE**

72 Inventor/es:

**KOBAYASHI, ATSUSHI;
SUZUKI, HIROAKI y
ANDO, ICHIRO**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 551 158 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

Método para fabricar una lente intraocular fáquica

CAMPO TÉCNICO

5 El presente invento se refiere a un método de fabricación de una lente intraocular fáquica que tiene una red de difracción y también a una lente intraocular fáquica con una estructura que puede por ello ser fabricada de modo favorable.

TÉCNICA ANTECEDENTE

10 Como es bien conocido, el cristalino que controla la visión, algunas veces pierde su función de ajuste o tiene sus características tales como la transparencia de la propia lente deterioradas debido a factores genéticos o de envejecimiento. Esto consecuentemente causa problemas tales como los desórdenes refractivos incluyendo la miopía, hipermetropía o presbicia, o incluso cataratas y similares, lo que hace difícil obtener una visión efectiva. Para abordar tales situaciones, se ha utilizado convenientemente una lente intraocular fáquica (en lo que sigue llamada "lente intraocular" como es apropiado) que es colocada en su sitio en la cápsula para reemplazar el cristalino después de enucleación y retirada del mismo.

15 Sin embargo, como las lentes intraoculares que han sido utilizadas convencionalmente son lentes unifocales, el problema es que la función del ojo termina sin ajuste focal, aunque la visión es recuperada después de la cirugía ocular.

20 Para enfrentarse a tal problema, se ha propuesto una lente intraocular capaz de generar múltiples focos adoptando una lente de difracción descrita, por ejemplo, en el Documento de Patente 1 y similar y que hace uso de la difracción de la luz. La lente de difracción descrita en el Documento de Patente 1 está provista con una red de difracción con relieves sobre la superficie de la lente y capacitadas para formar dos focos generados por la luz de orden 0 y por la luz difractada de primer orden. Por ello, una lente intraocular bifocal es disponible asignando los focos por la luz de orden 0 y por la luz difractada de primer orden para visión de lejos y visión de cerca respectivamente.

25 Sin embargo, se ha reconocido de forma creciente en los últimos años que una lente intraocular bifocal que adopta una estructura de lente de difracción convencional no es suficiente para mejorar la visión. Es decir, en caso de que una lente intraocular que adopta la estructura de lente de difracción descrita en el Documento de Patente 1 anterior, por ejemplo, la luz de orden 0 y la luz difractada de primer orden son asignadas para visión de lejos y visión de cerca respectivamente, lo que ha revelado un problema de que asignar energía a la sección intermedia entre la luz de orden 0 y la luz difractada de primer orden resulta más difícil y el contraste en el rango de visión intermedia resulta demasiado bajo.

30 En estas circunstancias, se ha propuesto una lente intraocular que genera múltiples focos formando múltiples áreas con diferentes relieves sobre la lente en su dirección radial en el Documento de Patente 2, por ejemplo, con el fin de hacer posible generar más número de focos. Sin embargo, la lente intraocular descrita en el Documento de Patente 2 tenía un riesgo de fallar al conseguir el efecto focal deseado cuando el diámetro del haz de luz incidente varía en casos tales como la contracción de la pupila. Además, incluso si el diseño de la lente está basado en una consideración de diámetro fisiológico de la pupila, no es posible necesariamente insertar una lente intraocular en la posición deseada con relación a la pupila y conservarla estable en ella, lo que plantea un riesgo de fallar al conseguir el efecto focal deseado debido a la excentricidad de la lente.

Documento de Patente 1: Patente Norteamericana nº 5121980

Documento de Patente 2: Patente Norteamericana nº 7188949

El documento EP 0 393 639 A2 describe un dispositivo óptico multifocal que dirige luz a un punto focal de primer orden y a un punto focal de orden 0.

40 El documento WO 2006/047698 A1 describe una lente oftálmica con una primera región óptica formada con placa de fase multifocal que difracta la luz en el primer y segundo órdenes de difracción, y una segunda región óptica separada espacialmente.

El documento US 5 122 903 describe un dispositivo óptico con un patrón de lente de Fresnel y un patrón superpuesto con crestas lineales separadas igualmente que forman juntas un elemento óptico astigmático.

45 **REUMEN DEL INVENTO**

PROBLEMA QUE INTENTA RESOLVER EL INVENTO

Con lo anterior a la vista, es consecuentemente un objeto del presente invento, proporcionar un método de fabricación de una lente intraocular fáquica que sea capaz de garantizar cada efecto de multi-focalización de modo más seguro, al tiempo que reduce el impacto de la contracción de la pupila y de la excentricidad de la lente.

50 Además, este invento se centra en proporcionar una lente intraocular fáquica con una estructura que puede ser fabricada

favorablemente por el método de fabricación.

MEDIOS PARA RESOLVER EL PROBLEMA

5 Los modos de este invento que han contribuido a resolver los problemas anteriores se han descritos en los párrafos siguientes. También los componentes adoptados en cada uno de los modos descritos a continuación pueden ser adoptados en cualquier otra combinación posible.

10 Un primer modo de este invento con relación a un método para fabricar una lente intraocular fáquica como se ha descrito en la reivindicación 1 proporciona un método de fabricación de una lente intraocular fáquica que ha de ser colocada en su sitio en una cápsula de lente provista con una red de difracción que tiene relieves que se extienden concéntricamente sobre una superficie de la lente, que comprende las operaciones de: adopción de distintos tipos de relieves cuyas luces difractadas de primer orden dan distancias focales respectivas diferentes unas de otras para el patrón de relieves; establecimiento de una estructura síncrona en la que al menos dos relieves son dispuestos para superponerse uno a otro en al menos parte de un área en una dirección radial de la lente, y con respecto a cada uno de los pasos de red de un relieve que tiene un paso de red máximo entre los relieves dispuestos en superposición, los pasos de red de otro relieve son superpuestos periódicamente, con el fin de obtener el patrón de relieves, y formar el patrón de relieves resultante de la superficie de la lente.

20 De acuerdo con el método de fabricación de este invento, al menos dos focos pueden ser generados por cada luz difractada de primer orden de al menos dos relieves. Con esta disposición, la luz de orden 0 por la superficie refractiva de la lente intraocular, por ejemplo, es establecida a un foco para visión de lejos, mientras que la luz de primer orden por uno de los dos relieves es establecida a un foco para la visión de cerca, además de tener la luz de primer orden establecida a un foco para visión intermedia. Esto hace posible obtener una buena intensidad de difracción en el rango de visión intermedia además de en los rangos de visión de lejos y de cerca, proporcionando así una lente intraocular capaz de entregar buena visión en el rango intermedio. La palabra "relieve" en este invento se refiere a una forma dentada o con picos.

25 De acuerdo con la lente intraocular fabricada por el presente método de fabricación, distintos tipos de relieves son dispuestos para solaparse unos con otro. Esto permite que luz difractada de primer orden sea generada por cada relieve en el área completa donde distintos tipos de relieves están solapados. Por ello, de manera distinta a una lente de difracción en la que son establecidos diferentes relieves en cada área, como se ha descrito en el documento de Patente 2 por ejemplo, es ahora posible obtener una lente intraocular de manera más segura con nuevas propiedades ópticas sin precedentes, por lo que las propiedades ópticas deseadas son obtenidas restringiendo variaciones relativas de la intensidad de difracción en un área particular causadas por cambios en el diámetro de la luz incidente como consecuencia de cambios en la abertura y en la excentricidad de la lente y similares.

30 Además, especialmente por el presente método de fabricación, es establecida una estructura síncrona en la que los pasos de red de otros relieves son superpuestos periódicamente con cada paso de red del relieve que tiene el máximo paso de red entre los relieves dispuestos en superposición. Es decir, la estructura síncrona es establecida donde los radios de zona de otros relieves son superpuestos periódicamente con cada radio de zona del relieve que tiene el máximo paso de red. Aquí, la expresión "paso de red" significa una anchura de cada relieve entre las líneas de cresta o de valle en sentido radial. El "radio de zona" se refiere a un radio de una línea de cresta o de valle situada en el lado exterior del centro concéntrico medido desde el centro concéntrico en la zona entre las líneas de cresta y de valle de cada relieve que se extiende concéntricamente. También "concéntricamente" significa un estado de múltiples líneas en forma de círculos o algo similar tales como óvalos que se extienden en un patrón anular centrado en un eje óptico o en un eje excéntrico. También la "dirección radial de la lente" mencionada en las reivindicaciones de este invento significa una dirección radial centrada en el eje óptico, y en caso de que el eje óptico esté fuera del centro geométrico de la lente, no es necesariamente idéntica a la dirección radial de la lente con relación a su configuración periférica exterior. Esto hace posible generar de manera distinta un pico de intensidad de difracción de la luz difractada de primer orden de cada relieve y obtener una multitud de focos más ciertamente. En otras palabras superponiendo simplemente distintos tipos de relieves no se puede obtener claramente un pico de intensidad de difracción de cualquier relieve y dar como resultado generar picos de orden no pretendido de haces de luz, mientras aumenta la cantidad de deslumbramiento causado por los haces luminosos parásitos. Por el contrario, de acuerdo con el presente método de fabricación, la intensidad de difracción puede ser asignada efectivamente a la luz difractada de primer orden de otros relieves sincronizando los pasos de red de diferentes patrones de relieve, reduciendo así la intensidad de haces innecesarios de luz difractada de orden enésimo incluyendo luz difractada de segundo orden. Como resultado, la cantidad de luz parásita y demás puede ser reducida y el deslumbramiento y similar puede ser reducido.

35 40 45 50 55 Mientras tanto, la luz difractada de primer orden en este invento es luz de interferencia de primer orden que acompaña a la difracción y también es luz difractada que genera una diferencia de fase de una longitud de onda. En otras palabras, como la velocidad de la luz es menor en un medio con índice de refracción mayor que el del aire, es la luz difractada positiva de primer orden es decir la luz de interferencia de primer orden obtenida haciendo uso de este fenómeno, y por superposición, en fases retrasadas en una longitud de onda, los haces de luz que pasan a través de relieves adyacentes entre sí desde el centro concéntrico hacia la periferia en una red de difracción con relieves que tiene una línea de cresta en el lado central del círculo concéntrico, y por el contrario, en caso de utilizar una red de difracción con relieves con su

positivo y negativo invertidos que tienen una línea de cresta en el lado exterior del círculo concéntrico, es la luz difractada negativa de primer orden es decir la luz de interferencia de primer orden generada en el lado opuesto de los relieves obtenidos por superposición, en fases avanzadas en una longitud de onda, los haces de luz que pasan a través de relieves adyacentes entre sí desde el centro hacia la periferia. La "luz de primer orden" descrita en las reivindicaciones de este invento ha de ser interpretada como luz de primer orden con un valor absoluto tanto de la luz difractada positiva de primer orden como de la luz difractada negativa de primer orden.

También en este invento, bastará que distintos tipos de relieves sean dispuestos superpuestos en al menos una parte del área en la dirección radial de la lente, y no necesariamente sean dispuestos superpuestos en la totalidad a través de la superficie de la lente. Por ello, por ejemplo, distintos tipos de relieves pueden ser dispuestos superpuestos solo en el centro de la lente o en el área intermedia en la dirección radial de la lente, mientras solo un relieve puede ser dispuesto en otras áreas.

Además, como distintos tipos de relieves en este invento, al menos dos tipos son lo bastante buenos, y de hecho desde luego, tres o más patrones de relieves pueden ser dispuestos superpuestos.

También la "lente intraocular fáquica" en este invento se refiere a una lente intraocular colocada en su sitio en la cápsula de la lente para reemplazar el cristalino después de su retirada. Las formas y materiales y demás del plano de referencia donde es formada la estructura síncrona de los relieves no están limitados particularmente. Por ejemplo, tal plano de referencia puede ser un plano esférico, cilíndrico o tórico así como un plano esférico incluyendo una superficie convexa o cóncava, o incluso una superficie plana. Especialmente, en caso de que el plano de referencia sea distinto de un plano de superficie plana, las propiedades refractivas ópticas, además de la difracción de este invento, han de ser demostradas.

Un segundo modo de éste el invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica, de acuerdo con el primer modo, que comprende además la operación de establecimiento de una distancia focal para una luz de orden 0 por una superficie refractiva de la lente siendo una distancia focal diferente de la de cualquiera de las luces difractadas de primer orden generadas por los distintos tipos de relieves.

De acuerdo con el presente modo, es posible obtener una lente intraocular con tres o más focos incluyendo el foco generado por cada luz difractada de primer orden de al menos dos relieves así como el foco de la luz de orden 0 por la superficie refractiva. Los distintos tipos de relieves pueden ser formados sobre una superficie refractiva o sobre un plano distinto de la superficie refractiva. Por ello, este modo incluye una disposición en la que se forma un relieve sobre el lado no refractivo de una lente, uno de cuyos lados es un plano curvado como una superficie refractiva cóncava o convexa y el otro es un plano como una superficie no refractiva, y además incluye, como un tercer modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con el segundo modo, una disposición en la que la superficie de lente anterior formada con el patrón de relieve es la superficie refractiva.

Un cuarto modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con uno del primer al tercer modos, que comprende además la operación de establecimiento de cada profundidad de relieve del relieve que tiene el máximo paso de red, que es obtenido superponiendo los distintos tipos de relieves, es hecha constante en una dirección de zona.

Aquí, la expresión "profundidad de relieve" significa una altura de un relieve en la dirección del eje óptico en cada posición de radio de zona. De acuerdo con el presente modo, se hace innecesario establecer la profundidad del relieve con el máximo paso de red para cada zona, haciendo así más fácil establecer el patrón de relieve.

Un quinto modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con el cuarto modo, comprende además las operaciones de formación en cada zona en el relieve que tiene el máximo paso de red de otro tipo de relieve con al menos dos profundidades de relieve en el área en la dirección radial de la lente donde los distintos tipos de relieves dispuestos en superposición, y el establecimiento de dimensiones de al menos las dos profundidades de relieve con relación a una superficie curva base virtual para que varíen gradualmente en la dirección de zona.

De acuerdo con el presente modo, la profundidad del relieve de otro tipo puede ser establecida con más exactitud, y el pico de intensidad de difracción por el relieve de otro tipo puede ser generado de manera más distinta. De este modo, la frase "profundidades de relieve con relación a una superficie curva base virtual son establecidas para que varíen gradualmente en la dirección de la zona" incluye modos en los que la profundidad aumenta y disminuye gradualmente.

Un sexto modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con el cuarto modo, que comprende además las operaciones de formación en cada zona en el relieve que tiene el máximo paso de red de otro tipo de relieve con al menos dos profundidades de relieve en el área en dirección radial de la lente donde los distintos tipos de relieves dispuestos en superposición, y establecimiento de dimensiones de al menos dos profundidades de relieve con relación a la superficie curva base virtual de modo que sean constantes en la dirección de la zona. De acuerdo con el presente modo, se ha hecho innecesario establecer la forma de otro tipo de relieve por cada radio de zona, haciendo así más fácil establecer la forma de otro tipo de relieve.

Un séptimo modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo a uno del primer al sexto modos, en el que cada uno de los distintos tipos de relieves tiene una línea de cresta que se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada con un ángulo de vértice agudo y una línea de valle que se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada con un ángulo agudo incluido.

5 De acuerdo con el presente modo, es ahora posible generar efectivamente efectos de difracción en cada uno de múltiples relieves y generar efectivamente un pico para la luz difractada de primer orden de cada tipo de relieve.

10 Un octavo modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con uno del primer al séptimo modos, que comprende además las operaciones de: establecimiento a la luz de orden 0 por la superficie refractiva de una lente ajustado a un foco para la visión de lejos; establecimiento a la luz difractada de primer orden por un tipo de relieve de un foco para visión de cerca; y establecimiento a la luz difractada de primer orden por otro tipo de relieve de un foco para visión intermedia.

15 De acuerdo con el presente modo, es ahora posible obtener una lente intraocular que tiene un foco para visión intermedia además de para la visión de lejos y para visión de cerca. Por ello, el problema convencional con lentes del tipo de difracción de contraste reducido para visión intermedia puede ser mejorado, haciendo así posible proporcionar una mejor visión intermedia.

20 Un noveno modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con uno del primer al séptimo modos, que comprende además las operaciones de: establecimiento a la luz de orden 0 por la superficie refractiva de la lente de un foco para visión de cerca; establecimiento a la luz difractada de primer orden por un tipo del relieve de un foco para visión de lejos; y establecimiento a la luz difractada de primer orden por otro tipo del relieve de un foco para visión intermedia.

25 También en el presente modo, es ahora posible obtener una lente intraocular que tiene un foco para una mejor visión intermedia. Aquí, en este modo, tanto el foco de visión de cerca como el foco de visión de lejos resultan ser los de la luz negativa de primer orden por el relieve correspondiente, pero como se ha descrito anteriormente, la luz de primer orden en este invento ha de ser interpretada como luz de primer orden con un valor absoluto que incluye la luz negativa de primer orden.

Un décimo modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con uno del primer al noveno modos, en el que los distintos tipos de relieves están dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$A = (2 (m - NM) + a) / N$$

30 donde A es una constante de zona de un relieve, 'a' es una constante de zona del otro relieve, M es un número de zona de un relieve, m es un número de zona del otro relieve, y N es la de una distancia focal de un relieve con relación a la del otro relieve, que es expresada como:

$$(distancia focal de un relieve) / (distancia focal del otro relieve).$$

35 Aquí, la "constante de zona" significa una constante para ajustar un radio de zona de un número de zona dado a un cierto valor, y el radio de zona viene dado por la siguiente ecuación utilizando la constante de zona 'a':

$$Radio de zona = \sqrt{(2m + a) \lambda f}$$

donde λ es la longitud de onda de diseño, y f es una distancia focal. También, el "número de zona" se refiere a un número asignado para cada zona en el orden de 1, 2, 3, ... desde el centro en 0 hacia fuera en la dirección de zona.

40 De acuerdo con el presente modo, es fácil establecer una estructura síncrona donde un paso de red del otro relieve es superpuesto periódicamente con el de un relieve.

Un undécimo modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fáquica de acuerdo con uno del primer al décimo modos, en el que los distintos tipos de relieves están dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$D \leq \lambda / (N_{lente} - N_{med})$$

45 donde D es una dimensión de la profundidad del relieve, λ es una longitud de onda de diseño, N_{lente} es un índice de refracción de un material óptico, y N_{med} es un índice de refracción de un medio circundante.

50 De acuerdo con el presente modo, la profundidad de relieve máxima es igual a una longitud de onda, lo que hace posible facilitar del modo más seguro la asignación de la luz de orden 0 y de la luz de primer orden. Por ello, el presente modo es utilizado preferiblemente en combinación con otros modos tales como el anterior tercer modo, en que el patrón de relieve está formado sobre la superficie refractiva. Con esta disposición, la intensidad de la luz de orden enésimo innecesaria tal como la luz de segundo orden puede ser reducida, y los efectos focales de la luz de orden 0 y de la luz de primer orden

pueden ser producidos efectivamente.

Otro aspecto del presente invento se refiere a una lente intraocular fáquica. Un primer modo del invento relacionado con la lente intraocular fáquica como se ha descrito en la reivindicación 5 proporciona una lente intraocular fáquica adaptada para ser colocada en su sitio una cápsula de lente, y provista con una red de difracción que tiene un patrón de relieve que se extiende concéntricamente sobre la superficie de la lente, comprendiendo: una estructura síncrona donde distintos tipos de relieves incluyendo al menos dos relieves cuyas luces difractadas de primer orden dan distancias focales respectivas diferentes una de otra son colocadas para superponerse una con otra en al menos una parte de un área en una dirección radial de la lente, y con respecto a cada uno de los pasos de red de un relieve que tiene un paso de haber máximo entre los relieves dispuestos en superposición, siendo los pasos de red de otro relieve superpuestos periódicamente.

De acuerdo con la lente intraocular del presente modo, al menos dos focos pueden ser generados por cada luz difractada de primer orden de al menos dos relieves. Esto hace posible obtener un foco para visión de lejos de la luz de orden 0 por la superficie refractiva de la lente intraocular, por ejemplo, al tiempo que se obtiene un foco para visión de cerca de la luz de primer orden por uno de los dos relieves, además de obtener el foco para visión intermedia por la otra luz de primer orden. Esto hace posible obtener una buena intensidad de difracción en el rango de visión intermedia además de en los rangos de visión de lejos y de cerca, proporcionando así una lente intraocular capaz de entregar una buena visión en el rango intermedio. La palabra "relieve" en este invento se refiere a una forma dentada.

Especialmente de acuerdo con la lente intraocular del presente modo, los distintos tipos de relieves son dispuestos superpuestos. Esto permite que la luz difractada de primer orden sea generada por cada relieve en el área completa donde distintos tipos de relieves son superpuestos, y por ello, de forma distinta a una lente de difracción sobre la que diferentes relieves son dispuestos en cada área, como se ha descrito en el Documento de Patente 2 anterior por ejemplo, es ahora posible restringir variaciones relativas de la intensidad de difracción en un área específica causadas por cambios en el diámetro de la luz incidente como consecuencia de cambios en la abertura y en la excentricidad de la lente y similares, permitiendo así obtener una lente intraocular con nuevas propiedades ópticas sin precedentes por lo que las propiedades ópticas deseadas son obtenidas de modo más seguro.

Y especialmente en el presente modo, una estructura síncrona donde pasos de red de otros relieves son superpuestos periódicamente con cada paso de red del relieve que tiene el máximo paso de red entre los relieves dispuestos en superposición, es decir, radios de zona de otros relieves son superpuestos periódicamente con cada radio de zona del relieve que tiene el máximo paso de red. La palabra "concéntricamente" significa un estado de múltiples líneas en formas de círculos o algo similar tales como óvalos que se extienden en un patrón anular centrado sobre un eje óptico o un eje excéntrico. También la "dirección radial de la lente" mencionada en las reivindicaciones de este invento significa una dirección radial centrada sobre el eje óptico, y en caso de que el eje óptico esté fuera del centro geométrico de la lente, no es necesariamente idéntica a la dirección radial de la lente con relación a su configuración periférica exterior. Esto hace posible generar de distinta manera un pico de intensidad de difracción de la luz difractada de primer orden de cada relieve y obtener una multitud de focos más ciertamente. En otras palabras superponiendo simplemente distintos tipos de relieves no se puede obtener claramente un pico de intensidad de difracción de cualquier relieve y da como resultado generar picos de orden no pretendido de haces de luz mientras aumenta la cantidad de deslumbramiento causada por los haces de luz parásitos. Por el contrario, de acuerdo con la lente intraocular en el presente modo, la intensidad de difracción puede ser asignada de manera efectiva a la luz difractada de primer orden de otros relieves sincronizando pasos de red de diferentes tipos de relieve, reduciendo así la intensidad de luz difractada de orden enésimo innecesaria que incluye luz difractada de segundo orden. Como resultado, la intensidad de luz de los haces de luz parásitos y demás puede ser reducida y el deslumbramiento y similares pueden ser reducidos.

También en el presente modo, bastará que distintos tipos de relieves sean dispuestos superpuestos en al menos una parte del área en la dirección radial de la lente, y no sean necesariamente dispuestos superpuestos todos a través de la superficie de la lente. Por ello, por ejemplo, distintos tipos de relieves pueden ser dispuestos superpuestos solamente en el centro de la lente o en el área intermedia en la dirección radial de la lente, aunque en otras áreas solamente puede ser dispuesto un relieve.

Además, como distintos tipos de relieves en el presente modo, al menos dos tipos son bastante buenos, y de hecho desde luego, tres o más tipos de relieves pueden ser dispuestos superpuestos.

Mientras tanto, la lente intraocular fáquica en el presente modo significa una lente intraocular colocada en su sitio en la cápsula de la lente para reemplazar el cristalino después de la retirada del mismo. Y las formas y materiales y demás del plano de referencia en que la estructura síncrona de los relieves es formada no están particularmente limitados. Por ejemplo, tal plano de referencia puede ser un plano esférico, cilíndrico o tórico así como un plano esférico incluyendo una superficie convexa o cóncava, o incluso una superficie plana. Especialmente, en caso de que el plano de referencia sea distinto de una superficie plana, la propiedad refractiva óptica, además de la difracción de este invento, ha de ser ejercida.

El segundo modo de este invento relacionado con la lente intraocular fáquica de acuerdo con el primer modo, en el que una distancia focal diferente de la de cualquier luz difractada de primer orden generada por los distintos tipos de relieves

es establecida para una luz de orden 0 por la superficie refractiva de la lente.

De acuerdo con el presente modo, es posible obtener una lente intraocular con tres o más focos incluyendo los focos generados por cada luz difractada de primer orden de al menos dos relieves así como el foco de la luz de orden 0 por la superficie refractiva. En esta situación, los distintos tipos de relieves pueden ser formados sobre una superficie refractiva o un plano distinto de la superficie de refractiva. Por ello, este modo incluye un modo en el que un lado es un plano curvado como una superficie refractiva cóncava convexa y el otro plano como una superficie no refractiva en el que se ha formado un relieve sobre el lado no refractivo, y además incluye, como un tercer modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática, un modo en el que la superficie de la lente formada con el patrón de relieve es la superficie refractiva.

Un cuarto modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con uno del primer al tercer modos, en el que cada profundidad de relieve del relieve que tiene el máximo paso de red, que es obtenido superponiendo los distintos tipos de relieves, es hecha constante en una dirección de zona.

Aquí, el término "profundidad de relieve" significa una altura de un relieve en cada posición de radio de zona en la dirección del eje óptico. De acuerdo con el presente modo, se ha hecho innecesario establecer la profundidad del relieve con el máximo paso de red para cada área, haciendo así más fácil establecer el patrón de relieve y fabricar los productos.

Un quinto modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con el cuarto modo, en el que en cada zona en el relieve que tiene el máximo paso de red, es formado otro tipo de relieve con al menos dos profundidades de relieve en el área en la dirección radial de la lente en que los distintos tipos de relieves son dispuestos en superposición, y dimensiones de al menos las dos profundidades de relieve establecidas con relación a una superficie curva base virtual varían gradualmente en la dirección de zona.

De acuerdo con el presente modo, la profundidad del relieve de otro tipo puede ser establecida con más exactitud, y el pico de intensidad de difracción por el relieve de otro tipo puede ser generado de forma más distinta. Aquí, en este modo, la frase "profundidades de relieve con relación a la superficie curva base virtual son establecidas para variar gradualmente en la dirección de zona" incluye modos en los que la profundidad aumenta y disminuye gradualmente.

Un sexto modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con el cuarto modo, en el que en cada zona en el relieve que tiene el máximo paso de red, es formado otro tipo de relieve con al menos dos profundidades de relieve en el área en la dirección radial de la lente en que los distintos tipos de relieves son dispuestos en superposición, y dimensiones de al menos las dos profundidades de relieve con relación a una superficie curva base virtual son establecidas constantes en la dirección de zona. De acuerdo con el presente modo, es hecho innecesario establecer la forma de otro tipo de relieve por cada radio de zona, haciendo así más fácil establecer la forma de otro tipo de relieve.

Un séptimo modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con uno del primer al sexto modos, en el que en cada uno de los distintos tipos de relieves tiene una línea de cresta que se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada con un ángulo de vértice agudo y una línea de valle que se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada con un ángulo agudo incluido.

De acuerdo con el presente modo, es ahora posible generar efectivamente efectos de difracción en cada uno de los distintos tipos de relieves y generar efectivamente un pico para la luz difractada de primer orden de cada tipo de relieve.

Un octavo modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con uno del primer al séptimo modos, en el que la luz de orden 0 por la superficie refractiva de la lente es establecida a un foco para la visión de lejos, la luz difractada de primer orden por un tipo del relieve es establecida a un foco para visión de cerca, y la luz difractada de primer orden por otro tipo de relieve es establecida a un foco para visión intermedia.

De acuerdo con el presente modo, es ahora posible obtener una lente intraocular que tiene un foco para visión intermedia además de para visión de lejos y para visión de cerca. Por ello, el problema convencional con lentes del tipo de difracción de contraste reducido para visión intermedia puede ser mejorado, haciendo así posible proporcionar una mejor visión intermedia.

Un noveno modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con uno del primer al séptimo modos, en el que la luz de orden 0 por la superficie refractiva es establecida a un foco para visión de cerca, la luz difractada de primer orden por un tipo del relieve es establecida a un foco para visión de lejos, y la luz difractada de primer orden por otro tipo del relieve es establecida a un foco para visión intermedia.

También en el presente modo, es ahora posible obtener una lente intraocular que tiene un foco para una mejor visión intermedia. Aquí, en este modo, tanto el foco de visión de cerca como el foco de visión de lejos resultan ser los de la luz negativa de primer orden por el relieve correspondiente, pero como se ha descrito anteriormente, la luz de primer orden en este invento ha de ser interpretada como la de primer orden con un valor absoluto que incluye la luz negativa de primer orden.

Un décimo modo de este invento relacionado con una lente intraocular fática de acuerdo con uno del primer al noveno modos, en el que los distintos tipos de relieves están dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$A = (2 (m - NM) + a) / N$$

5 donde A es una constante de zona de un relieve, 'a' es una constante de zona del otro relieve, M es un número de zona de un relieve, m es un número de zona del otro relieve, y N es una relación de una distancia focal de un relieve con relación a la del otro relieve, que es expresada como:

$$(\text{distancia focal de un relieve}) / (\text{distancia focal del otro relieve}).$$

Aquí, la "constante de zona" significa una constante para establecer un radio de zona de un número de zona dado en un cierto valor, y el radio de zona viene dado por la siguiente ecuación utilizando la constante de zona 'a':

10
$$\text{Radio de zona} = \sqrt{ (2m + a) \lambda f }$$

donde λ es la longitud de onda de diseño, y f es una distancia focal. También, el "número de zona" se refiere a un número asignado para cada zona en el orden de 1, 2, 3, ... desde el centro en 0 hacia fuera en la dirección de zona.

De acuerdo con el presente modo, es fácil establecer una estructura síncrona donde un paso de red del otro relieve es superpuesto periódicamente con el de un relieve.

15 Un undécimo modo de este invento relacionado con el método de fabricación de una lente intraocular fática de acuerdo con uno del primer al décimo modos, en el que los distintos tipos de relieves están dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$D \leq \lambda / (N_{\text{lente}} - N_{\text{med}})$$

20 donde D es una dimensión de la profundidad del relieve, λ es una longitud de onda de diseño, N_{lente} es un índice de refracción de un material óptico, y N_{med} es un índice de refracción de un medio circundante.

De acuerdo con el presente modo, la profundidad de relieve máxima es igual a una longitud de onda, lo que hace posible facilitar del modo más seguro posible la asignación de la luz de orden 0 y de la luz de primer orden. Por ello, el presente modo es utilizado preferiblemente en combinación con otros modos tales como el tercer modo anterior, en que patrones de relieve son formados sobre la superficie refractiva. De esta manera, la intensidad de la luz de orden enésimo innecesaria tal como la luz de segundo orden puede ser reducida, y los efectos focales de la luz de orden 0 y de la luz de primer orden pueden ser producidos efectivamente.

25

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La fig. 1 es un diagrama en vista frontal que muestra una lente intraocular como una primera realización del presente invento.

30 La fig. 2 es un diagrama en sección transversal de la lente intraocular tomada a lo largo de la línea 2-2 de la fig. 1.

La fig. 3 es un diagrama en sección transversal para explicar una forma de un patrón de relieve previsto sobre la lente intraocular mostrada en la fig. 1.

La fig. 4 es un diagrama en sección transversal para explicar una forma de un relieve para visión de cerca, que compone el patrón de relieve.

35 La fig. 5 es un diagrama en sección transversal para explicar una forma de un relieve para visión intermedia, que compone el patrón de relieve.

La fig. 6 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción en el patrón de relieve.

La fig. 7 es un diagrama para explicar un método de diseño del patrón de relieve.

La fig. 8 es un perfil de relieve del relieve para visión de cerca, que compone el patrón de relieve.

40 La fig. 9 es un perfil de relieve del relieve para visión intermedia, que compone el patrón de relieve.

La fig. 10 es un perfil de relieve del patrón de relieve.

La fig. 11 es un perfil de relieve de un patrón de relieve como una segunda realización de este invento.

La fig. 12 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción en el patrón de relieve.

La fig. 13 es un perfil de relieve de un patrón de relieve como una tercera realización de este invento.

La fig. 14 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción en el patrón de relieve.

La fig. 15 es un perfil de relieve de un patrón de relieve como una cuarta realización de este invento.

La fig. 16 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción en el patrón de relieve.

La fig. 17 es un perfil de relieve de un patrón de relieve como una quinta realización de este invento.

5 La fig. 18 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción en el patrón de relieve.

La fig. 19 es un diagrama en sección transversal que muestra una parte óptica de una lente intraocular como un aspecto diferente de este invento.

La fig. 20 es un diagrama en sección transversal que muestra una parte óptica de una lente intraocular como otro aspecto diferente de este invento.

10 La fig. 21 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción de un patrón de relieve de acuerdo a una estructura convencional.

Las figs. 22A y 22B muestran resultados de simulación de intensidad de difracción de patrones de relieve con una estructura de acuerdo con este invento y una estructura de acuerdo con la técnica anterior.

15 La fig. 23 es un perfil de relieve de un relieve para visión de cerca, que compone un patrón de relieve como un ejemplo 2 comparativo.

La fig. 24 es un perfil de relieve de un relieve para visión intermedia, que compone el patrón de relieve como el ejemplo 2 comparativo.

La fig. 25 es un perfil de relieve que muestra el patrón de relieve como el ejemplo 2 comparativo.

La fig. 26 es un gráfico que muestra un resultado de simulación de intensidad de difracción del patrón de relieve.

20 REALIZACIONES PARA LLEVAR A LA PRÁCTICA EL INVENTO

Para ilustrar además este invento más específicamente, sus realizaciones serán descritas en detalle a continuación con referencia a cada figura.

25 En primer lugar de todos, la fig. 1 muestra un diagrama en vista frontal de una lente intraocular 10 como una primera realización relacionada a la lente intraocular fáquica en este invento, y la fig. 2 muestra un diagrama en sección transversal de una parte óptica 12 de dicha lente intraocular 10 descrita anteriormente. Aquí en las figs. 1 y 2, un patrón de relieve 24 descrito posteriormente está mostrado con su tamaño exagerado para una mejor comprensión.

30 La lente intraocular 10 comprende la parte óptica 12 que es parte del cuerpo principal de la lente y proporciona propiedades ópticas de la lente intraocular 10 y un par de hápticas 14 que se extienden hacia fuera desde la parte óptica 12. La parte óptica 12 comprende una superficie frontal óptica 16 en una forma convexa aproximada de una esfera como un todo, y una superficie posterior óptica 18 en una forma convexa aproximada de una esfera como un todo. Y, la parte óptica 12 tiene, en su totalidad, una forma aproximada de un disco con el centro más grueso, y está formada como un sólido de revolución formado alrededor de un eje central geométrico 20 de lente como un eje de rotación. Mientras tanto, el par de hápticas 14 están formadas extendiéndose desde dos posiciones opuestas en la dirección radial a lo largo de la periferia de la parte óptica 12, y cada punta del par de hápticas 14 constituye un extremo libre formado para curvarse en una dirección de la circunferencia de la lente. Tal lente intraocular 10 es insertada en la cápsula de lente después de retirar el cristalino y colocada en su sitio para reemplazarlo teniendo las hápticas 14 que soportan la parte óptica 12 en una posición dada dentro de la cápsula.

35 La parte óptica 12 está provista con, como superficies de lente, la superficie frontal óptica 16 y la superficie posterior óptica 18, hechas ambas para ser superficies refractivas. También, una distancia focal dada es establecida para la luz de orden 0 por estas superficie frontal óptica 16 y superficie posterior óptica 18.

Mientras tanto, como materiales constitutivos de la parte óptica 12, son adoptados preferiblemente materiales de resinas y similares públicamente conocidos compuestos de distintos tipos de monómeros polimerizados que tienen propiedades ópticas tales como la transparencia óptica y demás, que son ejemplificados más específicamente por polimetilmetacrilato (PMMA) y cauchos de silicona.

45 También, especialmente sobre la superficie frontal óptica 16 de la presente realización, una red de difracción 22 es formada casi sobre toda ella. La red de difracción 22 comprende un patrón de relieve 24, que tiene una forma dentada que se extiende de forma continua en la dirección circunferencial de la lente de un modo concéntrico alrededor del eje central 20 de la lente.

La fig. 3 muestra un diagrama en sección transversal del patrón de relieve 24 en la dirección radial. Especialmente, el patrón de relieve 24 en la presente realización está formado con una superposición de un relieve 26 para visión de cerca mostrado diagramáticamente en la fig. 4 en sección transversal en la dirección radial y un relieve 28 para visión intermedia mostrado diagramáticamente en la fig. 5 en la dirección radial. Estas figs. 3 a 5 son perfiles de relieve que muestran cambios de altura de cada uno de los patrones de relieve 24 y de los relieves 26, 28 en la dirección radial de la lente, desde la superficie curva base suponiendo que la superficie curva base de la superficie frontal óptica 16 es la línea BC.

Estos relieves 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia están cada uno de extendiéndose concéntricamente alrededor del eje central 20 de la lente, y están hechos de una forma dentada que tiene una línea de cresta 30 que sobresale hacia fuera (hacia arriba en las figs. 3 a 5) desde la parte óptica 12 y una línea de valle 32 que sobresale hacia dentro (hacia abajo en las figs. 3 a 5) de la parte óptica 12.

En las siguientes descripciones, "paso de red" significa una anchura entre la línea de cresta 30 y la línea de valle 32 en la dirección radial. "Zona" significa un área entre la línea de cresta 30 y la línea de valle 32 y un número de zona es asignado para cada zona en el orden de 1, 2, 3... desde el centro en 0 hacia fuera en la dirección de zona. También "radio de zona" significa un radio periférico exterior en cada zona, es decir, un radio de la línea de cresta 30 o de la línea de valle 32 en cada zona situada en el lado exterior del círculo concéntrico medido desde el centro del círculo concéntrico (eje central 20 de lente en la presente realización). Por ello, "paso de red" es una anchura de cada zona en la dirección radial, y paso de red de una zona dada es una diferencia entre el radio de zona de dicha zona y el radio de zona de la zona numerada con un número menos. También, "profundidad de relieve" es una distancia de separación entre la línea de cresta 30 y la línea de valle 32 en la dirección del eje óptico en la posición de radio de zona.

Especialmente en la presente realización, la línea de cresta 30 se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada con un ángulo de vértice agudo, mientras que la línea de valle 32 está formada para extenderse circunferencialmente de la parte óptica 12 con una sección transversal que es un ángulo agudo incluido. Estos relieve 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia tienen cada uno una forma dentada, en la que la línea de cresta 30 y la línea de valle 32 están formadas inmediatamente cada una a continuación de la otra en la dirección radial de la lente con la línea de valle 32 posicionada más lejos del eje central 20 de la lente, mientras que el lado más próximo al eje central 20 de la lente, en oposición al lado más alejado, es hecho sobresalir desde la superficie frontal óptica 16 en cada zona.

Estos relieve 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia son dispuestos de tal modo que cada una de su luz difractada de primer orden da una distancia focal diferente entre ellas, y en la presente realización, se proporciona una refringencia de +4,00D al relieve 26 para visión de cerca de modo que se establezca la luz difractada de primer orden por el relieve 26 para visión de cerca al foco para visión de cerca, mientras que se le da una refringencia de +2,00D al relieve 28 para visión intermedia de modo que se establezca la luz difractada de primer orden por el relieve 28 para visión intermedia al foco para visión intermedia. Además, las distancias focales de la luz de orden 0 por la superficie frontal óptica 16 y la superficie posterior óptica 18 son hechas diferentes de las de la luz difractada de primer orden de cualquiera de estos relieve 26 para la visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia, y la luz de orden 0 por la superficie frontal óptica 16 y la superficie posterior óptica 18 es establecida a un foco para visión de lejos.

A continuación, se forma el patrón de relieve 24 teniendo estos relieve 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia dispuestos para superponerse entre ellos. En esta situación, el paso de red del relieve 28 para visión intermedia es hecho más ancho que el del relieve 26 para visión de cerca, y es establecida una estructura sincrónica en la que el paso de red en cada zona del relieve 26 para visión de cerca es superpuesto periódicamente con el de en cada zona del relieve 28 para visión intermedia. Esto permite que el radio de zona en cada zona de relieve 26 para visión de cerca sea superpuesto periódicamente con el de en cada zona del relieve 28 para visión intermedia. Especialmente en la presente realización, una de las profundidades de relieve de relieve 26 para visión de cerca es formada en una de las zonas de relieve 28 para visión intermedia, y dos zonas del relieve 26 para visión de cerca son formadas en una de las zonas del relieve 28 para visión intermedia. En otras palabras, cada una de las zonas del relieve 28 para visión intermedia es superpuesta con dos zonas del relieve 26 para visión de cerca.

Además, estos relieve 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia son establecidos para satisfacer la siguiente ecuación:

$$A = (2 (m - NM) + a) / N$$

donde A es una constante del relieve 28 para visión intermedia, 'a' es una constante de zona del relieve 26 para visión de cerca, M es un número de zona del relieve 28 visión intermedia, m es un número de zona del relieve 26 para de cerca, y N es una relación de una distancia focal del relieve 28 para visión intermedia con relación a la del relieve 26 para visión de cerca, que es expresada como:

$$(Distancia focal del relieve 28 para visión intermedia) / (Distancia focal del relieve 26 para visión de cerca).$$

Esto permite que se establezca una estructura sincrónica en la que el relieve 26 para visión de cerca y el relieve 28 para

visión intermedia son superpuestos periódicamente. Aquí, las constantes de zona A y 'a' son las utilizadas para ajustar un radio de zona de un cierto número de zona en un valor dado, y el radio de zona es determinado por la siguiente ecuación utilizando la constante de zona 'a':

$$\text{Radio de zona} = \sqrt{(2m + a) \lambda f}$$

5 donde λ es la longitud de onda de diseño, y f es una distancia focal.

Además, estos relieve 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia son cada uno ajustados para satisfacer la siguiente ecuación:

$$D \leq \lambda / (N_{\text{lente}} - N_{\text{med}})$$

10 donde D es una dimensión de la profundidad de relieve, λ es una longitud de onda de diseño, N_{lente} es un índice de refracción del material de lente, y N_{med} es un índice de refracción del medio circundante. Esto hace posible facilitar de modo más seguro la asignación de la luz de orden 0 y de la luz de primer orden en cada uno del relieve 26 para visión de cerca y del relieve 28 para visión intermedia. A continuación, la profundidad de relieve del patrón de relieve 24 en la posición en la que el relieve 26 para visión de cerca y el relieve 28 para visión intermedia se superponen entre ellos resulta ser una composición de las profundidades de relieve de estos relieves 26 y 28. Además, especialmente en la
15 presente realización, cada profundidad de relieve del relieve 28 para visión intermedia superpuesto con el relieve 26 para visión de cerca es hecha constante en la dirección de zona (dirección derecha-izquierda en la fig. 3).

Además, la red de difracción 22 es formada teniendo el patrón de relieve 24 hecho por superposición de estos relieve 26 para visión de cerca y relieve 28 para visión intermedia formados sobre la superficie curva base de la superficie frontal óptica 16.

20 De acuerdo con la lente intraocular 10 con tal estructura, la luz de orden 0 de la superficie frontal óptica 16 y de la superficie posterior óptica 18 proporciona un foco para visión de lejos, mientras que la luz difractada de primer orden del relieve 26 para visión de cerca proporciona un foco para visión de cerca, y además, la luz difractada de primer orden del relieve 28 para visión intermedia proporciona un foco para visión intermedia. Esto hace posible obtener un foco para visión intermedia además de para visión de lejos y para visión de cerca, permitiendo así obtener una cantidad suficiente de luz y un contraste más claro para la visión intermedia.
25

También, la fig. 6 muestra un resultado de simulación por ordenador de intensidad de difracción a lo largo del eje óptico obtenida mediante un patrón de relieve de acuerdo con la presente realización. Como es evidente de la fig. 6, de acuerdo con este ejemplo de trabajo, puede verse que aparece un pico de intensidad de difracción en el foco para visión intermedia de la luz difractada de primer orden por el relieve 28 para visión intermedia entre el foco para visión de lejos de la luz de orden 0 por la superficie frontal óptica 16 y la superficie posterior óptica 18 como superficies refractivas y el
30 foco para visión de cerca de la primera luz difractada por el relieve 26 para visión de cerca. Puede verse también que un pico es claramente generado en cada uno de los rangos de visión de lejos, de cerca e intermedia.

A continuación, especialmente en la presente realización, como el patrón de relieve 24 es formado por una superposición del relieve 26 para visión de cerca y del relieve 28 para visión intermedia, cada luz difractada de primer orden es formada en el rango completo del patrón de relieve 24. Esto hace posible restringir las variaciones relativas de la intensidad de difracción en un área particular causadas por cambios en el diámetro de luz incidente como consecuencia de una
35 contracción de la pupila y de la excentricidad de la parte óptica 12 y similar, permitiendo así obtener las propiedades ópticas deseadas del modo más seguro.

Adicionalmente, en especial en el patrón de relieve 24 de la presente realización, el relieve 26 para visión de cerca y el relieve 28 para visión intermedia son formados en una estructura sincrónica en la que sus pasos de red se superponen periódicamente entre sí. Esto hace posible obtener claramente un pico de cada luz difractada de primer orden del relieve 26 para visión de cerca y del relieve 28 de visión intermedia, disminuyendo así la cantidad de luz tal como la luz parásita y reduciendo el deslumbramiento y similar.
40

A continuación será descrito un método de fabricación de una lente intraocular fáquica que puede ser favorablemente utilizado en la fabricación de la lente intraocular 10 tal como la mencionada anteriormente, con referencia a la fig. 7.
45

En primer lugar de todo, se diseñan formas de la superficie frontal óptica 16 y de la superficie posterior óptica 18 en las que la luz de orden 0 genera un foco para visión de lejos como superficies refractivas. En esta situación, la distancia focal de la luz de orden 0 por la superficie frontal óptica 16 y la superficie posterior óptica 18 es establecida en una distancia diferente de la distancia focal de la luz de primer orden bien del relieve 26 para visión de cerca o bien del relieve 28 para
50 visión intermedia. Puede ser adoptado un método convencionalmente conocido, según sea apropiado, en el diseño de tal superficie frontal óptica 16 y de la superficie posterior óptica 18.

A continuación, es diseñada la forma del relieve 26 para visión de cerca con la potencia dióptrica en +4,00D. La profundidad de relieve es determinada generalmente por la siguiente ecuación:

ES 2 551 158 T3

$$\text{Profundidad de relieve} = p / (n_{\text{lente}} - n_{\text{med}}) \dots (1)$$

donde p es una diferencia de fase, n_{lente} es un índice de refracción del material de la lente, y n_{med} es un índice de refracción del medio circundante.

5 Aquí, la profundidad de relieve es deseablemente una diferencia de fase no mayor de una longitud de onda considerando que la asignación a la luz de orden 0 que genera visión de lejos, y más preferiblemente, es igual o menor que una diferencia de fase de la mitad de la longitud de onda. Entonces, suponiendo que λ es la longitud de onda de diseño y, por ejemplo, $p = \lambda/3$, $n_{\text{lente}} = 1,500$, $n_{\text{med}} = 1,336$, $\lambda = 500$ nm, se obtiene el siguiente valor:

$$\begin{aligned} \text{Profundidad de relieve} &= (0,0005/3) / (1,500 - 1,336) \\ &= 0,001016260163 \end{aligned}$$

10 A continuación, el radio de zona de la zona central (número de zona =0) es determinado por la consideración del diámetro de la pupila y del paso de zona. Por ejemplo, la zona central es establecida lo bastante pequeña en 0,2 mm comparada con el diámetro de la pupila. Una fórmula de difracción con el diámetro de la zona central ajustado en cualquier valor viene dada modificando la siguiente ecuación;

$$\text{Radio de zona} = \sqrt{2m\lambda f} \dots (2)$$

15 a la siguiente ecuación;

$$\text{Radio de zona} = \sqrt{(2m + a) \lambda f} \dots (3)$$

donde m es un número de zona, λ Es la longitud de onda de diseño, f es una distancia focal ($f = 1.000/\text{potencia}$), y 'a' es una constante de zona.

20 Por ello, suponiendo que el radio de la zona central es de 0,2 mm, la constante de zona 'a' puede ser determinada mediante la siguiente ecuación;

$$0,2 = \sqrt{(2 \times 0 + a) 0,0005 \times 250}$$

y por ello $a = 0,32$,

y consecuentemente, la ecuación para calcular el radio de zona con el radio de zona central establecido en 0,2 mm viene dada como sigue:

25
$$\text{Radio de zona} = \sqrt{(2m + 0,32) \lambda f} \dots (4)$$

Como es evidente de la ecuación (3), un incremento de la constante de zona 'a' por 2 corresponde a un incremento del número de zona por uno. Por ello, la altura del relieve central es determinada como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Altura del relieve central} &= \text{profundidad del relieve} \times (a / 2) \\ &= 0,0001626016261 \dots \end{aligned}$$

30 Además, como el punto central de la profundidad del relieve es donde se corta con la curva base virtual, el valor del eje Y del vértice central es determinado como sigue en un sistema de coordenadas con su origen en el vértice de la curva base:

$$\begin{aligned} \text{Valor del eje Y de vértice central} &= \text{altura de relieve central} - (\text{profundidad de relieve} / 2) \\ &= 0,0001626016261 - (0,001016260163 / 2) \end{aligned}$$

35
$$= - 0,0003455284554 \dots$$

[Tabla 1]

Relieve para visión de cerca					
Zona N°	Radio de curvatura de curva base virtual	Zona Origen (eje X)	Zona terminal (eje X)	Centro de curvatura de Zona (eje Y)	Radio de curvatura de zona
0	14,384	0,0000000	0,2000000	-12,8785710	12,8782254
1	14,384	0,2000000	0,5385165	-12,8791445	12,8798150
2	14,384	0,5385165	0,7348469	-12,8808691	12,8825535
3	14,384	0,7348469	0,8888194	-12,8825939	12,8852901
4	14,384	0,8888194	1,0198039	-12,8843189	12,8880248
5	14,384	1,0198039	1,1357817	-12,8860440	12,8907576

ES 2 551 158 T3

6	14,384	1,1357817	1,2409674	-12,8877693	12,8934885
7	14,384	1,2409674	1,3379088	-12,8894947	12,8962175
8	14,384	1,3379088	1,4282857	-12,8912204	12,8989446
9	14,384	1,4282857	1,5132746	-12,8929461	12,9016697
10	14,384	1,5132746	1,5937377	-12,8946721	12,9043930
11	14,384	1,5937377	1,6703293	-12,8963982	12,9071144
12	14,384	1,6703293	1,7435596	-12,8981244	12,9098338
13	14,384	1,7435596	1,8138357	-12,8998508	12,9125514

Como se ha descrito anteriormente, la curvatura de la superficie de difracción, parámetros geométricos tales como la posición central, y el perfil de relieve del relieve 26 para visión de cerca pueden ser derivados de la relación geométrica. La Tabla 1 muestra parámetros geométricos del relieve 26 para visión de cerca y la fig. 8 muestra el perfil de relieve del mismo.

- 5 A continuación, el patrón de relieve con la potencia dióptrica en +2,00D es diseñado como el relieve 28 para visión intermedia. El relieve 28 para visión intermedia necesita ser diseñado diseñando la luz de primer orden con una distancia focal diferente de la del relieve 26 para visión de cerca mientras la sincroniza con el relieve 26 para visión de cerca determinado por el proceso anterior.

En primer lugar, una fórmula para calcular un radio de zona del relieve 28 para visión intermedia es definida como sigue:

10
$$\text{Radio de zona} = \sqrt{(2M + A) \lambda (Nf)} \dots (5)$$

donde M es un número de zona, A es una constante de zona, y N es la relación de la distancia focal del relieve para visión intermedia con relación a la del relieve para visión de cerca, que es expresada como:

$$(\text{Distancia focal del relieve para visión intermedia}) / (\text{Distancia focal del relieve para visión de cerca}).$$

- 15 Entonces, con el fin de sincronizar el relieve 26 para visión de cerca y el relieve 28 para visión intermedia, asumiendo que una zona dada del relieve 26 para visión de cerca coincide con una zona dada del relieve 28 para visión intermedia, se deriva la siguiente ecuación a partir de las ecuaciones anteriores (3) y (5):

$$\sqrt{(2m + a) \lambda f} = \sqrt{(2M + A) \lambda (Nf)}$$

que es modificada para obtener la siguiente ecuación:

$$A = \{2(m - MN) + a\} / N \dots (6)$$

- 20 aunque $A > 0$.

A partir de la ecuación (6), la constante de zona A es determinada por la siguiente ecuación, suponiendo que, por ejemplo, la zona N° 1 del relieve 26 para visión de cerca coincide con la zona N° 0 del relieve 28 para visión intermedia:

$$A = \{2(1 - 0 \times 2) + 0,32\} / 2 = 1,16$$

- 25 El radio de zona del relieve 28 para visión intermedia sincronizado con el radio de zona del relieve 26 para visión de cerca es determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Radio de zona} = \sqrt{\{2M + 1,16\} \lambda (Nf)} \dots (7)$$

[Tabla 2]

Relieve para visión intermedia					
Zona N°	Radio de curvatura de curva base virtual	Zona Origen (eje X)	Zona terminal (eje X)	Centro de curvatura de Zona (eje Y)	Radio de curvatura de zona
0	14,384	0,0000000	0,5385165	-13,5901614	13,5902427
1	14,384	0,5385165	0,8888194	-13,5914234	13,5925192
2	14,384	0,8888194	1,1357817	-13,5932909	13,5953967
3	14,384	1,1357817	1,3379088	-13,5951586	13,5982706
4	14,384	1,3379088	1,5132746	-13,5970264	13,6011407
5	14,384	1,5132746	1,6703293	-13,5988945	13,6040072
6	14,384	1,6703293	1,8138357	-13,6007627	13,6068698
7	14,384	1,8138357	1,9467922	-13,6026312	13,6097288
8	14,384	1,9467922	2,0712315	-13,6044998	13,6125840
9	14,384	2,0712315	2,1886069	-13,6063686	13,6154355
10	14,384	2,1886069	2,3000000	-13,6082376	13,6182832
11	14,384	2,3000000	2,4062419	-13,6101067	13,6211272

12	14,384	2,4062419	2,5079872	-13,6119761	13,6239675
13	14,384	2,5079872	2,6057628	-13,6138457	13,6268040

Además, la altura del relieve central y el valor del eje Y del vértice central pueden ser determinados del mismo modo que en el relieve anterior 26 de visión de cerca, y la curvatura de la superficie de difracción, parámetros geométricos tales como la posición central, y el perfil de relieve del relieve 28 para visión intermedia, que sincroniza con el relieve 26 para visión de cerca, es derivado de la relación geométrica. La Tabla 2 muestra parámetros geométricos del relieve 28 para visión intermedia y la fig. 9 muestra el perfil de relieve del mismo.

[Tabla 3]

Relieve sincronizado					
Zona N°	Radio de curvatura de curva base virtual	Zona Origen (eje X)	Zona terminal (eje X)	Centro de curvatura de Zona (eje Y)	Radio de curvatura de zona
0	14,384	0,0000000	0,2000000	-12,2385446	12,2382824
1	14,384	0,2000000	0,5385165	-12,2391288	12,2398806
2	14,384	0,5385165	0,7348469	-12,2416996	12,2444795
3	14,384	0,7348469	0,8888194	-12,2434392	12,2472303
4	14,384	0,8888194	1,0198039	-12,2465019	12,2523122
5	14,384	1,0198039	1,1357817	-12,2482418	12,2550588
6	14,384	1,1357817	1,2409674	-12,2513056	12,2601331
7	14,384	1,2409674	1,3379088	-12,2530457	12,2628754
8	14,384	1,3379088	1,4282857	-12,2561104	12,2679422
9	14,384	1,4282857	1,5132746	-12,2578509	12,2706802
10	14,384	1,5132746	1,5937377	-12,2609166	12,2757395
11	14,384	1,5937377	1,6703293	-12,2626573	12,2784732
12	14,384	1,6703293	1,7435596	-12,2657240	12,2835250
13	14,384	1,7435596	1,8138357	-12,2674651	12,2862544

Subsiguientemente, es completado un perfil de relieve del patrón de relieve 24 que tiene una estructura síncrona donde el relieve 26 para visión de cerca y el relieve 28 para visión intermedia son superpuestos periódicamente combinando los perfiles de relieve del relieve 26 para visión de cerca y del relieve 28 para visión intermedia. La Tabla 3 muestra parámetros geométricos del patrón de relieve 24 y la fig. 10 muestra el perfil de relieve del mismo.

A continuación, de acuerdo al perfil de relieve obtenido, el patrón de relieve 24 es formado sobre la superficie frontal óptica 16. La formación del patrón de relieve 24 sobre la superficie frontal óptica 16 es hecha no solamente moldeando, sino también mecanizando y similar incluyendo tratamiento por láser, grabado y corte según sea apropiado. De este modo, se obtiene la lente intraocular 10 como en la realización anterior.

Una realización y un método de fabricación de este invento han sido descritos así, pero éstos son solo ejemplos, y este invento no ha de ser interpretado en un sentido limitado por ninguna descripción específica de tales realizaciones. Otros varios aspectos que pueden ser adoptados preferiblemente en este invento serán mostrados a continuación, pero debería comprenderse que este invento no está limitado a esos aspectos. En la descripción siguiente, se han omitido detalles aplicando los mismos números de referencia que los de la realización anterior a los mismos materiales y partes como aquellos de los mismos.

En primer lugar, la fig. 11 muestra un perfil de relieve de un patrón de relieve 50 como una segunda realización de este invento. En la presente realización, una estructura síncrona en la que dos relieves con la potencia dióptrica en +3,0D para visión de cerca y la otra en +1,0D para visión intermedia son superpuestos periódicamente. Por este modo, el perfil de relieve de la presente realización es el obtenido bajo los siguientes ajustes:

Radio de la curva base de la superficie frontal óptica 16 = 8000 mm

Potencia dióptrica de la parte óptica 12 = +25,0D

Índice de refracción del material de lente = 1,500

Índice de refracción del medio circundante = 1,336

Longitud de onda diseñada = 500 nm

Constante de zona del relieve para visión de cerca 'a' = 1

Mientras tanto, el paso de red es mayor en el relieve para visión intermedia que en el relieve para visión de cerca.

Especialmente en la presente realización, hay previstas dos profundidades de relieve para visión de cerca por cada zona

del relieve para zona intermedia, y se forman tres zonas en total, es decir, en uno fuera de los tres radios de zona del relieve para visión de cerca, el radio de zona del relieve para visión intermedia es hecho igual al del relieve para visión de cerca. En cada zona del relieve para visión intermedia compuesto de un solapamiento de relieves para visión de cerca, la altura de la profundidad de relieve del relieve para visión de cerca situada entre las profundidades de relieve del relieve para visión intermedia con relación a la superficie curva base virtual es hecha que varíe gradualmente en la dirección de zona (dirección de izquierda a derecha en la fig. 11), y en la presente realización, la altura es adoptada para que disminuya gradualmente al alejarse del centro en la dirección de zona. Tal patrón de relieve 50 puede también ser formado de acuerdo con el mismo método de fabricación que la primera realización anterior.

También, la fig. 12 muestra un resultado de simulación por ordenador de intensidad de difracción a lo largo del eje óptico obtenido por el patrón de relieve 50 de acuerdo con la presente realización, justo como en la primera realización anterior. Como es evidente de la fig. 12, también en la presente realización, se ha confirmado que un pico de intensidad de difracción es generado en el foco para visión intermedia de la luz difractada de primer orden por el relieve para visión intermedia entre el foco para visión de lejos de la luz de orden 0 por la superficie refractiva y el foco para visión de cerca de la luz difractada de primer orden por el relieve para visión de cerca, y un pico es claramente generado en cada uno de los rangos de visión de lejos, de cerca e intermedia.

Además, especialmente en la presente realización, se genera la luz difractada de segundo orden del relieve para visión intermedia. Así, cambiando los parámetros del patrón de relieve 50, es posible generar múltiples haces de luz para visión intermedia. También, la intensidad de pico y la posición focal de la luz difractada pueden ser ajustadas en distintos aspectos, por ejemplo, añadiendo además un relieve que se superpone periódicamente con el patrón de relieve 50 que tiene una estructura síncrona.

A continuación, la fig. 13 muestra un perfil de relieve de un patrón de relieve 60 como una tercera realización de este invento. En la presente realización, una estructura síncrona donde dos relieves con la potencia dióptrica en +3.0D para visión de cerca y en +1,0D para visión intermedia son superpuestos periódicamente. Mientras tanto, el paso de red es mayor en el relieve para visión intermedia que en el relieve para visión de cerca.

En la presente realización, dos profundidades de relieve del relieve para visión de cerca son proporcionadas por cada zona del relieve para zona intermedia, y se forman estas tres zonas en total, es decir, en uno fuera de los tres radios de zona del relieve para visión de cerca, el radio de zona del relieve para visión intermedia es igualado al del relieve para visión de cerca. En cada zona del relieve para visión intermedia compuesta de un solapamiento de relieves para visión de cerca, la altura de la profundidad de relieve del relieve para visión de cerca situado entre las profundidades de relieve del relieve para visión intermedia con relación a la superficie curva base virtual es mantenido aproximadamente constante en la dirección de zona (dirección de izquierda a derecha en la fig. 13).

Tal patrón de relieve 60 puede ser fabricado por un método más fácil que las anteriores primera y segunda realizaciones. En otras palabras, un relieve con una estructura síncrona puede ser fácilmente obtenido incrementando la profundidad de relieve donde el relieve con un menor paso de red es superpuesto con el que tiene un mayor paso de red basándose en el ciclo de superposición de múltiples relieves uno sobre cada otro. Por ejemplo, la potencia dióptrica de los relieves para visión de cerca y para visión intermedia en la presente realización es la misma que en los de la segunda realización anterior, pero como es evidente a partir de la segunda realización (véase fig. 11), el relieve para visión intermedia es sincronizado con el relieve para visión de cerca una vez de cada tres veces. Por ello, después de diseñar la forma del relieve para visión de cerca de acuerdo con el método de fabricación anterior, puede obtenerse fácilmente un patrón de relieve similar al de la segunda realización aumentando la profundidad de relieve de la forma del relieve obtenido para visión de cerca una vez de cada tres veces sin diseñar exactamente la forma del relieve para visión intermedia como en el método de fabricación anterior.

También, la fig. 14 muestra un resultado de simulación por ordenador de intensidad de difracción a lo largo del eje óptico obtenido por el patrón de relieve 60 de acuerdo con la presente realización, como se ha hecho en la primera realización anterior. Como es evidente en la fig. 14, a pesar de que la intensidad de difracción para visión intermedia cae ligeramente en oposición a la segunda realización anterior (véase fig. 12), se ha confirmado que puede conseguirse un efecto similar al de la segunda realización anterior generando un pico de intensidad de difracción en el foco para visión intermedia por un método de fabricación fácil de acuerdo con la presente realización.

A continuación, la fig. 15 muestra un patrón de relieve 70 en perfil como una cuarta realización de este invento. En la presente realización, una estructura síncrona en la que dos relieves con la potencia dióptrica en +4,0D para visión de lejos y en +2,0D para visión intermedia son superpuestos periódicamente. Mientras tanto, el paso de red es mayor en el relieve para visión intermedia que en el relieve para visión de lejos.

Como es evidente de la fig. 15, el patrón de relieve 70 de la presente realización tiene su profundidad con el positivo y negativo invertidos de los del patrón de relieve 24 (véase fig. 10) en la primera realización anterior, y la línea de cresta 30 está posicionada más cerca del centro que la línea del valle 32 en cada zona. De acuerdo con la presente realización, la luz de orden 0 de la superficie refractiva es establecida a un foco para visión de cerca y la luz negativa de primer orden del relieve para visión de lejos es establecida a un foco para visión de lejos, mientras la luz negativa de primer orden del relieve para visión intermedia es establecida a un foco para visión intermedia. Y como se ha descrito anteriormente, la luz

difractada de primer orden de este invento ha de ser interpretada como luz de primer orden incluyendo un valor absoluto la luz negativa de primer orden.

También, la fig. 16 muestra un resultado de simulación por ordenador de intensidad de difracción a lo largo del eje óptico obtenido por el patrón de relieve 60 de acuerdo con la presente realización, como se ha hecho en la primera realización anterior. Como es evidente de la fig. 16, se genera un pico de intensidad de difracción en el foco para visión de lejos por la luz negativa de primer orden del relieve para visión de lejos además del existente en el foco para visión de cerca por la luz de orden 0 de la superficie refractiva, de acuerdo con la presente realización, mientras se genera un pico de intensidad de difracción en el foco para visión intermedia por la luz negativa de primer orden del relieve para visión intermedia entre estos focos para visión de cerca y visión de lejos. También, se ha confirmado que puede generarse claramente un pico en cada uno de los rangos de visión de lejos, de cerca e intermedia en la presente realización, también.

A continuación, la fig. 17 muestra un patrón de relieve 80 en perfil como una quinta realización de este invento. En la presente realización, una estructura síncrona donde dos relieves con la potencia dióptrica en +3,0D para visión de cerca y en +1,0D para visión intermedia son superpuestos periódicamente. Mientras tanto, el paso de red es mayor en el relieve para visión intermedia que en el relieve para visión de cerca.

El patrón de relieve 80 de la presente realización tiene una forma similar a la del patrón de relieve 50 (véase fig. 11) como la segunda realización anterior, y especialmente en la presente realización, sólo el componente de relieve para visión de cerca es hecho aumentar hacia fuera desde el centro en cero cuando es comparado con el patrón de relieve 50 como la segunda realización anterior. Esto hace posible reducir la intensidad de difracción para visión de cerca.

También, la fig. 18 muestra un resultado de simulación por ordenador de intensidad de difracción a lo largo del eje óptico obtenido por el patrón de relieve 80 de acuerdo con la presente realización, como se ha hecho en la primera realización anterior. Como es evidente en la fig. 18, se confirma que un pico de intensidad de difracción en el foco para visión de cerca puede ser reducido, de acuerdo con la presente realización, cuando se compara a la segunda realización anterior (véase fig. 12).

También, en cada una de las realizaciones anteriores, se ha formado una red de difracción con una estructura síncrona donde múltiples relieves son superpuestos periódicamente casi sobre toda la superficie frontal óptica 16 de la parte óptica 12, pero bastará para que tal red de difracción sea formada en al menos una parte del área en la dirección radial de la lente, por ejemplo, sólo en el centro de la superficie frontal óptica 16 en la dirección radial. Consecuentemente, sólo pueden formarse un único relieve o similar en la otra parte del área. Por ejemplo, en caso del patrón de relieve 24 formado sobre la lente intraocular 10 como en la primera realización anterior, es posible desde luego formar la red de difracción con una estructura síncrona sobre la superficie posterior óptica 18.

Adicionalmente, la superficie de lente donde se forma la red de difracción con una estructura síncrona no está limitada a superficies refractivas. Por ejemplo, como se ha mostrado diagramáticamente en la fig. 19, la red de difracción 22 puede ser formada sobre un plano 102, uno de los dos planos 102 y 104 de una parte óptica 100 de una lente intraocular como un aspecto diferente de este invento, o como se ha mostrado diagramáticamente en la fig. 20, la red de difracción 22 puede incluso ser formada sobre un plano 112 de una parte óptica 110 de una lente intraocular como otro aspecto diferente de este invento en el que una superficie es la superficie plana 112 y la otra es un plano curvado 114 como superficie refractiva.

Además, con el propósito de reducir la aberración, es posible formar una red de difracción de acuerdo con este invento, por ejemplo, sobre una superficie de un estratificado de los materiales con diferente dispersión, como se ha descrito en el documento JP-A-2001-42112.

También, como cuando se compara el ejemplo 1 comparativo con el ejemplo de trabajo de acuerdo con la primera realización anterior (véase fig. 6), se ha realizado una simulación por ordenador de intensidad de difracción obtenida por un patrón de relieve de una lente bifocal de acuerdo con la estructura convencional. El patrón de relieve del ejemplo 1 comparativo fue establecido a una potencia dióptrica de +4,00D para visión de cerca. Un resultado de tan simulación está mostrado en la fig. 21. Como es públicamente conocido, en el ejemplo 1 comparativo de acuerdo con la estructura convencional, se ha confirmado que sólo pueden ser generados dos picos, uno por la luz de orden 0 de la superficie refractiva y el otro por la luz difractada de primer orden del relieve para visión de cerca, de modo diferente al ejemplo de trabajo.

Además, con el fin de mejorar la fiabilidad del resultado de la simulación, la generación de picos de intensidad de difracción fue verificada para el patrón de relieve de acuerdo con el ejemplo de trabajo y el patrón de relieve de acuerdo con el ejemplo 1 comparativo utilizando un diseño de onda óptica y software de análisis (VirtualLab, un nombre comercial de LightTrans). Tales verificaciones están mostradas en la fig. 22A y en la fig. 22B, para el ejemplo 1 comparativo. Como es evidente en las figs. 22A y 22B, se ha confirmado también en esta simulación, de acuerdo con el ejemplo de trabajo con una estructura de acuerdo con este invento, que un pico intensivo de intensidad de difracción en el foco para visión intermedia es generado entre los focos para visión de lejos y visión de cerca, de modo distinto a la estructura convencional.

También, como el ejemplo 2 comparativo, una lente intraocular que tiene un patrón de relieve con una estructura asíncrona donde los relieves para visión de cerca y visión intermedia son simplemente superpuestos sin que se haya preparado una sincronización. En este ejemplo 2 comparativo, una lente intraocular en una forma biconvexa fue establecida para tener su potencia dióptrica en +20,0D, índice de refracción del material de lente en 1,500, índice de refracción del medio circundante en 1,336, longitud de onda de diseño en 500 nm, mientras el relieve para visión de cerca con la potencia dióptrica en +4,00D y el relieve para visión intermedia con la potencia dióptrica en +2,00D, con cada zona constante establecida en 1, fueron superpuestos en la forma asíncrona para establecer un patrón de relieve, que fue formado sobre la superficie frontal óptica. Las figs. 23 y 24 muestran los perfiles de relieve del relieve para visión de cerca y visión intermedia, respectivamente. La fig. 25 muestra, como el ejemplo 2 comparativo, un perfil de relieve que es una superposición de estos relieves para visión de cerca y visión intermedia sin sincronización, mientras la fig. 26 muestra un resultado de simulación de una intensidad de difracción obtenida por el patrón de relieve de dicho ejemplo 2 comparativo. Como es evidente en la fig. 26, en el ejemplo 2 comparativo que es una simple superposición de múltiples patrones de relieve, se ha confirmado que no se detectó una generación obvia de picos en ninguna de la luz de orden 0 por la superficie refractiva, de la luz difractada de primer orden por el relieve para visión de cerca, o de la luz difractada de primer orden por el relieve para visión intermedia, haciendo que se generen picos de luz de orden no pretendido. Esto reveló la utilidad de este invento en el que una estructura síncrona es establecida donde múltiples relieves son superpuestos periódicamente.

CLAVES DE SÍMBOLOS

10: Lente intraocular, 12: Parte óptica, 16: Superficie frontal óptica, 20: Eje central de la lente, 22: Red de difracción, 24: Patrón de relieve, 26: Relieve para visión de cerca, 28: Relieve para visión intermedia.

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de una lente intraocular fáquica (10) que ha de ser colocada en su sitio en una cápsula de lente provista con una red de difracción (22) que tiene un patrón de relieves (24, 50, 60, 70, 80) que se extienden concéntricamente sobre una superficie (16, 102, 112) de la lente, caracterizado por que comprende las operaciones de:

5 adopción de distintos tipos de relieves (26, 28) cuyas luces difractadas de primer orden dan distancias focales respectivas diferentes unas de otras para el patrón de relieves (24, 50, 60, 70, 80);

 establecimiento de una estructura síncrona en la que al menos dos relieves (26, 28) son dispuestos de forma que se superpongan unos con otros en al menos una parte de un área en una dirección radial de la lente (10), y con respecto a cada uno de los pasos de red de un relieve (28) que tiene un paso de red máximo entre los relieves (26, 28) dispuestos en superposición, siendo los pasos de red de otro relieve (26) superpuestos periódicamente, con el fin de obtener el patrón de relieves (24, 50, 60, 70, 80); y

 formación del patrón de relieves (24, 50, 60, 70, 80) resultante sobre la superficie (16, 102, 112) de la lente.

2. El método de fabricación de una lente intraocular fáquica (10) según la reivindicación 1, que comprende además la operación de establecimiento de una distancia focal para una luz de orden 0 por una superficie refractiva (16, 114) de la lente (10), siendo una distancia focal diferente de la de cualquiera de las luces difractadas de primer orden generadas por los distintos tipos de relieves (26, 28).

3. El método de fabricación de una lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que los distintos tipos de relieves (26, 28) son dispuestos para satisfacer una ecuación siguiente:

$$A = (2 (m - NM) + a) / N$$

20 donde A es una constante de zona de un relieve (28), 'a' es una constante de zona del otro relieve (26), M es un número de zona de un relieve (28), m es un número de zona del otro relieve (26), y N es una relación de una distancia focal de un relieve (28) con relación a la del otro relieve (26), que es expresada como:

$$(distancia focal de un relieve 28) / (distancia focal del otro relieve (26)).$$

4. El método de fabricación de una lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que los distintos tipos de relieves (26, 28) son dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$D \leq \lambda / (N_{lente} - N_{med})$$

donde D es una dimensión de la profundidad de relieve, λ es una longitud de onda de diseño, N_{lente} es un índice de refracción de un material óptico, y N_{med} es un índice de refracción de un medio circundante.

5. Una lente intraocular fáquica (10) adaptada para ser colocada en su sitio en una cápsula de lente, y provista con una red de difracción (22) que tiene un patrón de relieves (24, 50, 60, 70, 80) que se extienden concéntricamente sobre una superficie de lente (16, 102, 112),

caracterizada por que comprende:

35 una estructura síncrona en la que distintos tipos de relieves (26, 28) incluyendo al menos dos relieves (26, 28) cuyas luces difractadas de primer orden dan distancias focales respectivas diferentes unas de otras son colocadas para superponerse unas con otras en al menos una parte de un área en una dirección radial de la lente (10), y con respecto a cada paso de red de un relieve (28) que tiene un paso de red máximo entre los relieves (26, 28) dispuestos en superposición, superponiéndose los pasos de red de otro relieve (26) periódicamente.

6. La lente intraocular fáquica (10) según la reivindicación 5, en la que una distancia focal diferente de la de cualquier luz difractada de primer orden generada por los distintos tipos de relieves (26, 28) es establecida para una luz de orden 0 por una superficie refractiva (16) de la lente (10).

7. La lente intraocular fáquica (10) según la reivindicación 6, en la que la superficie (16) de la lente formada con el patrón de relieves (24, 50, 60, 70, 80) es la superficie refractiva (16).

8. La lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 5-7, en la que cada profundidad de relieve del relieve (28) que tiene el máximo paso de red, que es obtenida superponiendo los distintos tipos de relieves (26, 28) es hecha constante en una dirección de zona.

9. La lente intraocular fáquica (10) según la reivindicación 8, en la que en cada zona en el relieve (28) que tiene el máximo paso de red, otro tipo de relieve (26) con al menos dos profundidades de relieve es formado en el área en la dirección radial de la lente (10) donde los distintos tipos de relieves (26, 28) son dispuestos en superposición, y dimensiones de al menos las dos profundidades de relieve con relación a una superficie curva base virtual varían

gradualmente en la dirección de zona.

5 10. La lente intraocular fáquica (10) según la reivindicación 8, en la que en cada zona en el relieve (28) que tiene el máximo paso de red, otro tipo de relieve (26) con al menos dos profundidades de relieve es formado en el área en la dirección radial de la lente (10) donde los distintos tipos de relieves (26, 28) son dispuestos en superposición y las dimensiones de al menos las dos profundidades de relieve con relación a la superficie curva base virtual son establecidas constantes en la dirección de zona.

10 11. La lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 5-10, en la que cada uno de los distintos tipos de relieves (26, 28) tiene una línea de cresta (30) que se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada con un ángulo de vértice agudo y una línea de valle (32) que se extiende circunferencialmente con una sección transversal formada por un ángulo agudo incluido.

12. La lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 5-11, en la que la luz de orden 0 por la superficie refractiva (16) de la lente (10) es establecida a un foco para visión de lejos; la luz difractada de primer orden por un tipo del relieve (26) es establecida a un foco para visión de cerca; y la luz difractada de primer orden por otro tipo de relieve (28) es establecida a un foco para visión intermedia.

15 13. La lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 5-11, en la que la luz de orden 0 por la superficie refractiva (16) de la lente (10) es establecida a un foco para visión de cerca, la luz difractada de primer orden por un tipo de relieve (26) es establecida a un foco para visión de lejos; y la luz difractada de primer orden por otro tipo de relieve (28) es establecida a un foco para visión intermedia.

20 14. La lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 5-13, en la que los distintos tipos de relieves (26, 28) son dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$A = (2(m - NM) + a) / N$$

donde A es una constante de zona de un relieve (28), 'a' es una constante de zona del otro relieve (26), M es un número de zona de un relieve (28), m es un número de zona del otro relieve (26), y N es la relación de una distancia focal de un relieve (28) con relación a la del otro relieve (26), que es expresada como:

25 (distancia focal de un relieves 28) / (distancia focal del otro relieve (26)).

15. La lente intraocular fáquica (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 5-14, en la que los distintos tipos de relieves (26, 28) están dispuestos para satisfacer la ecuación siguiente:

$$D \leq \lambda / (N_{\text{lente}} - N_{\text{med}})$$

30 donde D es una dimensión de la profundidad del relieve, λ es una longitud de onda de diseño, N_{lente} es un índice de refracción de un material óptico, y N_{med} es un índice de refracción de un medio circundante.

FIG.1

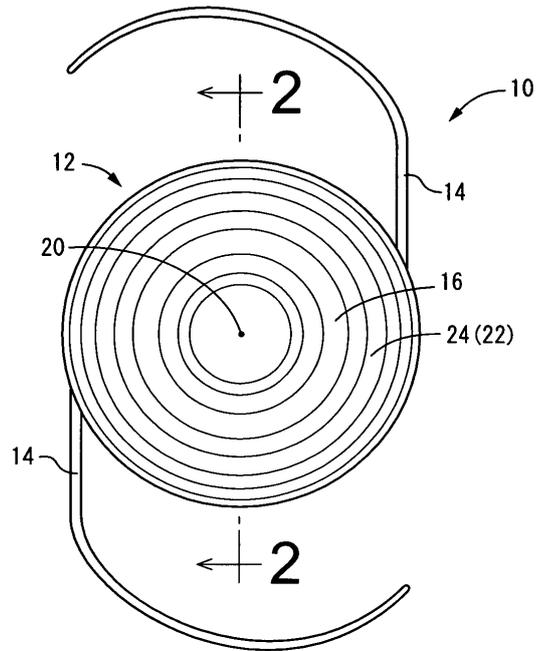


FIG.2

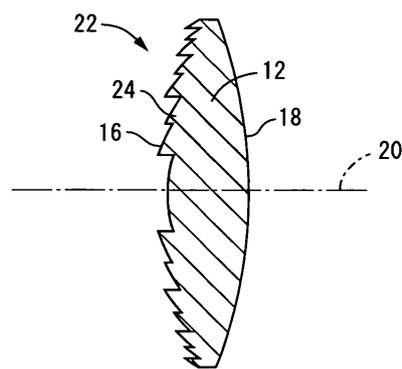


FIG.3

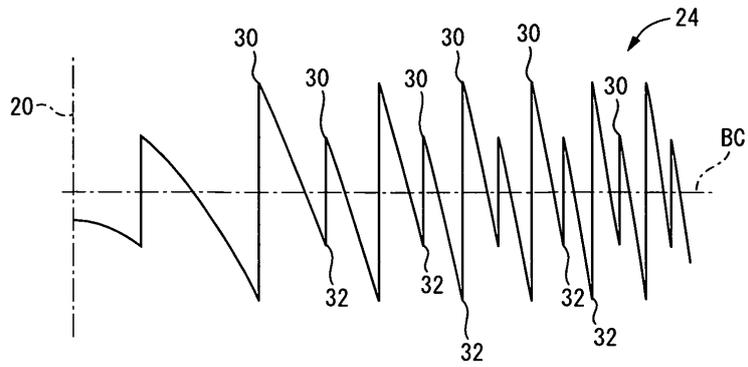


FIG.4

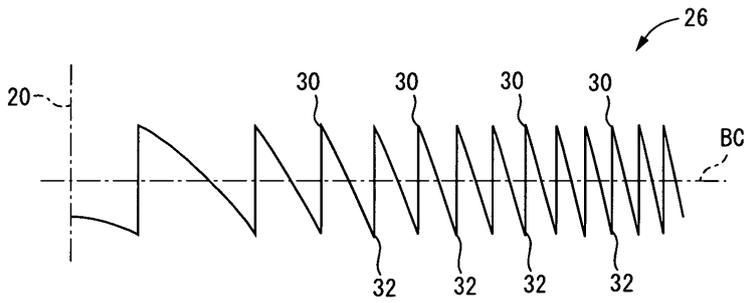


FIG.5

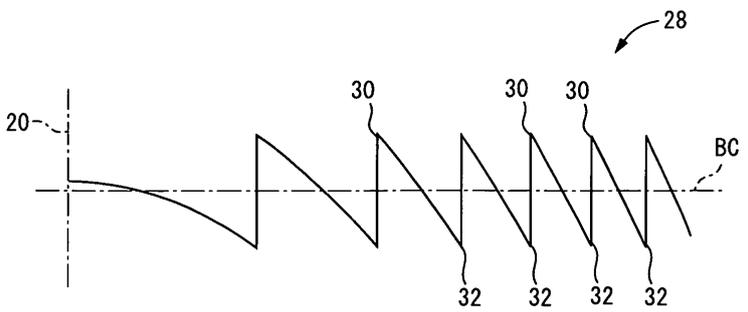
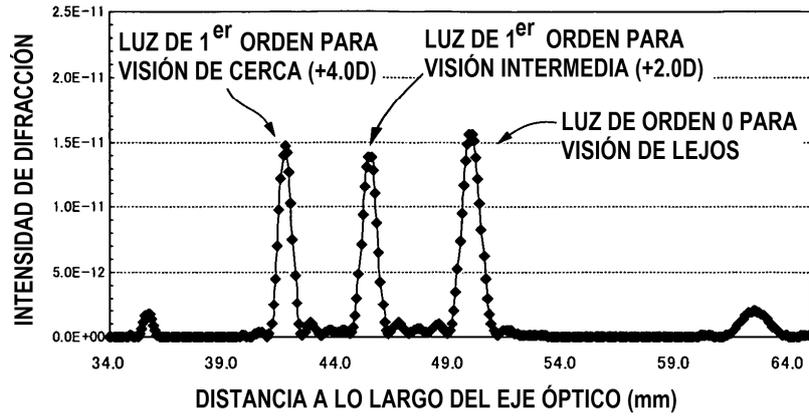


FIG.6

INTENSIDAD DE DIFRACCIÓN A LO LARGO DEL EJE ÓPTICO (EJEMPLO DE TRABAJO)



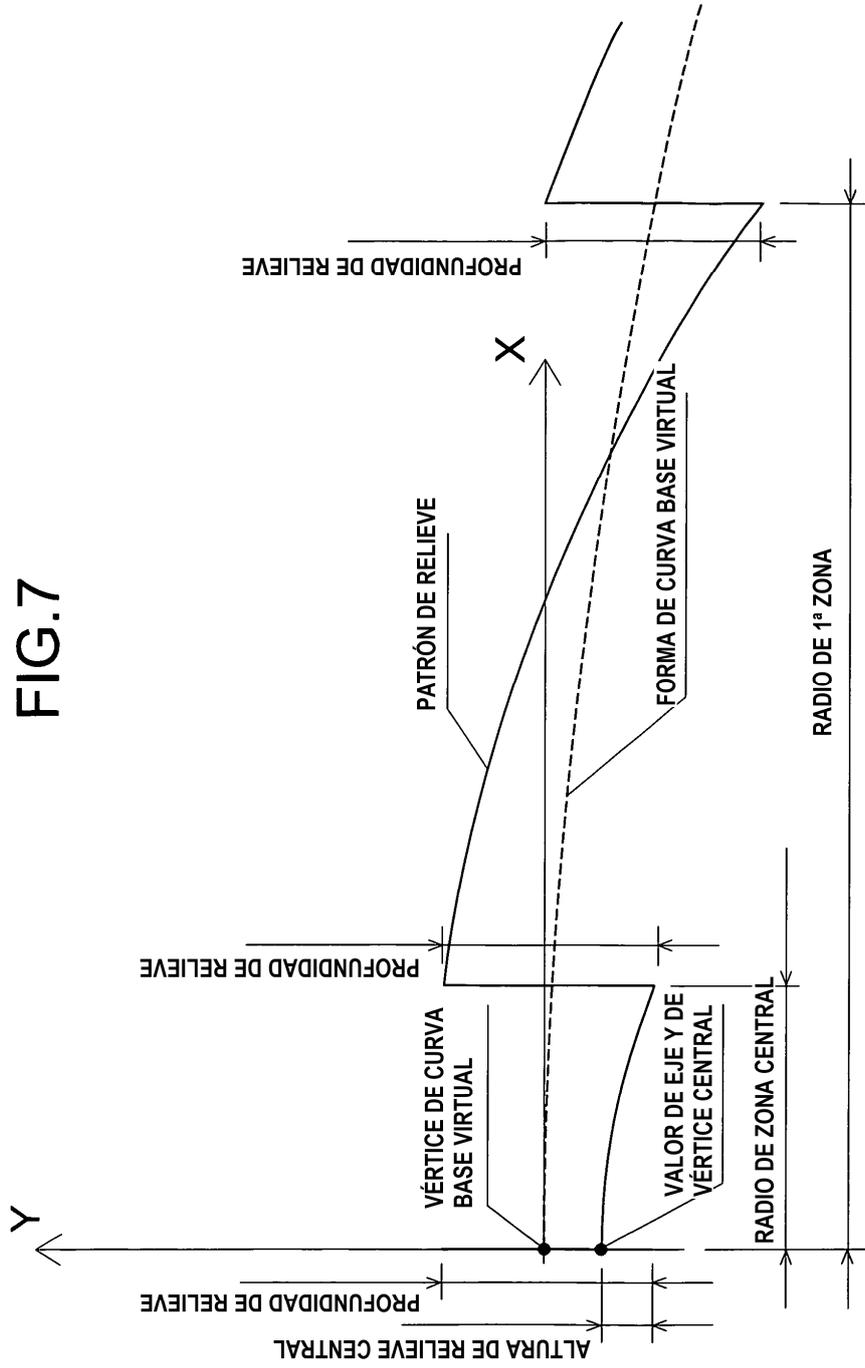


FIG.7

FIG.8

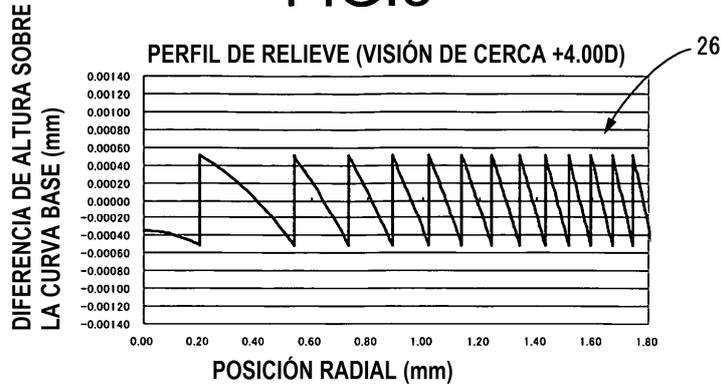


FIG.9

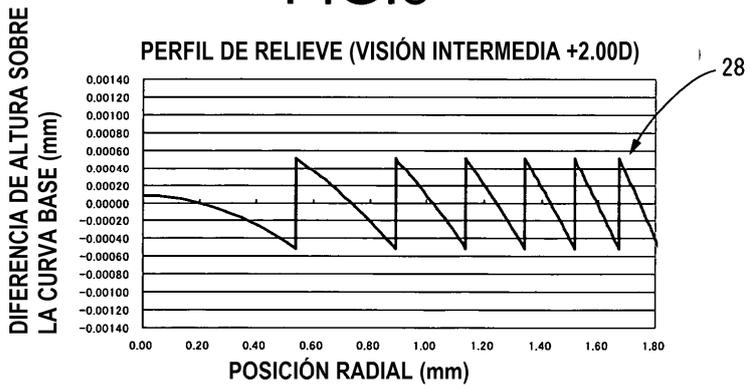


FIG.10

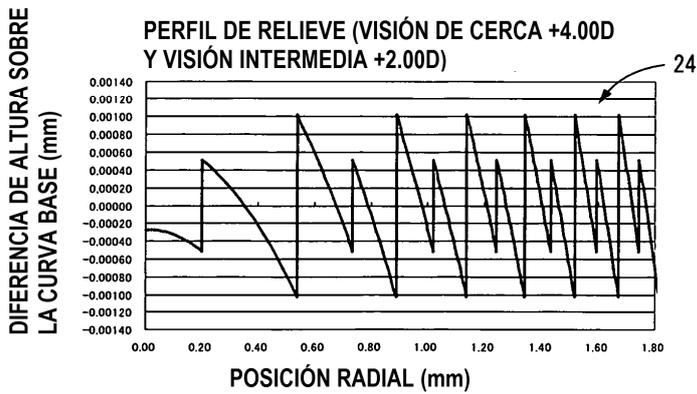


FIG.11

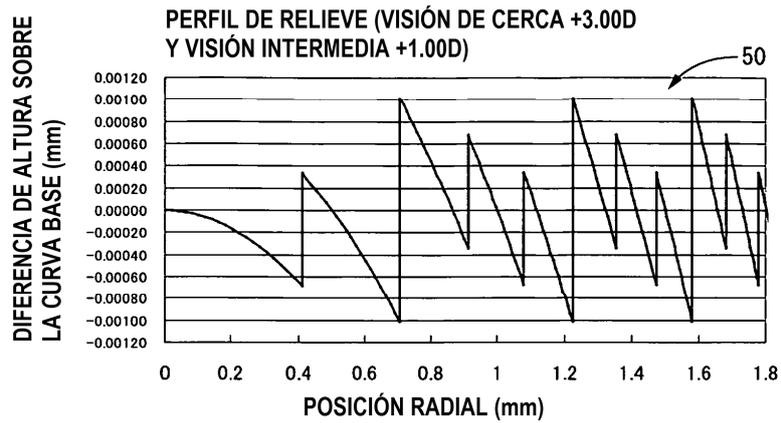


FIG.12

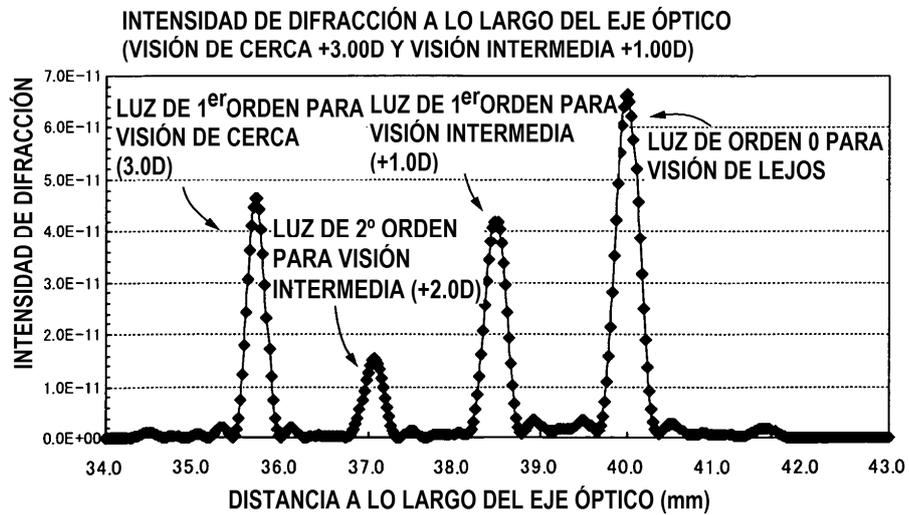


FIG.13

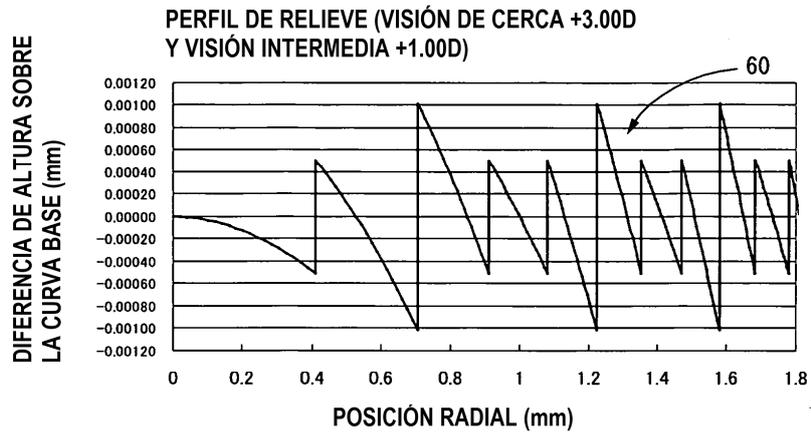


FIG.14

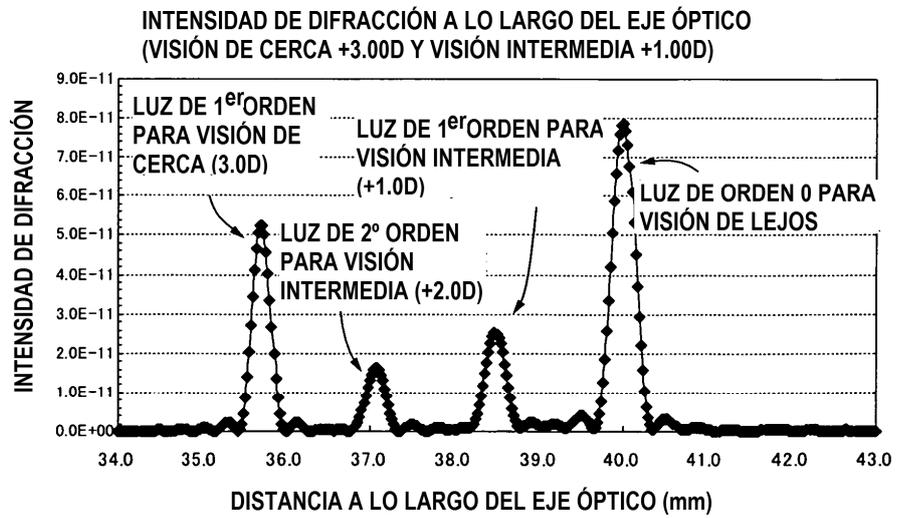


FIG.15

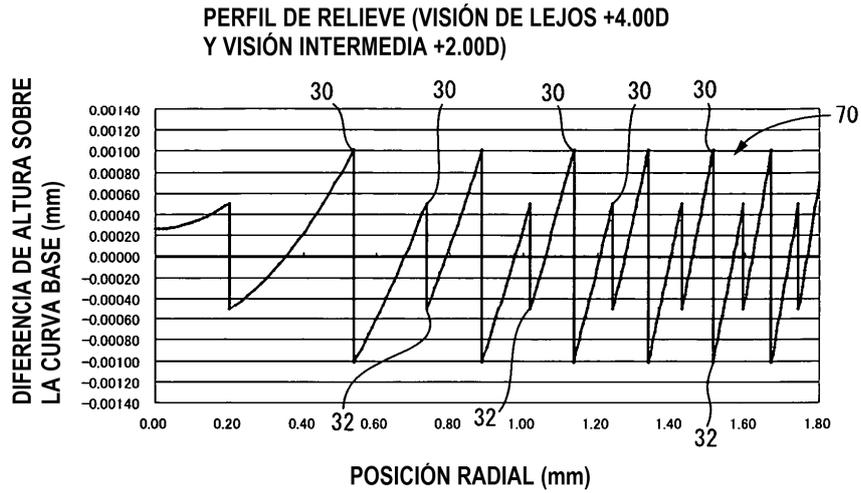


FIG.16

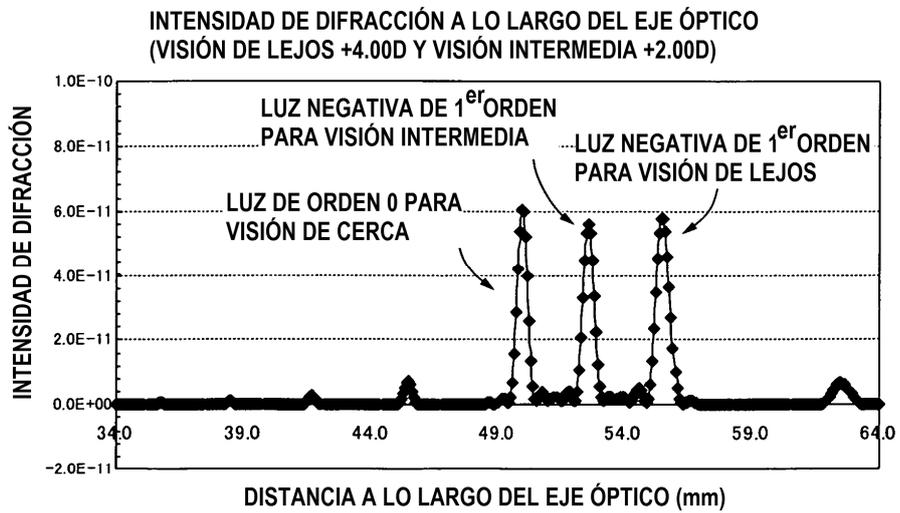


FIG.17

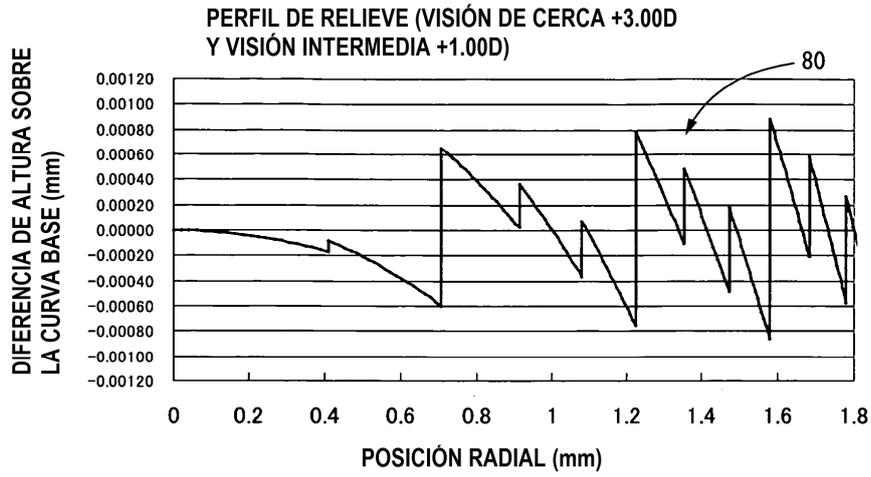


FIG.18

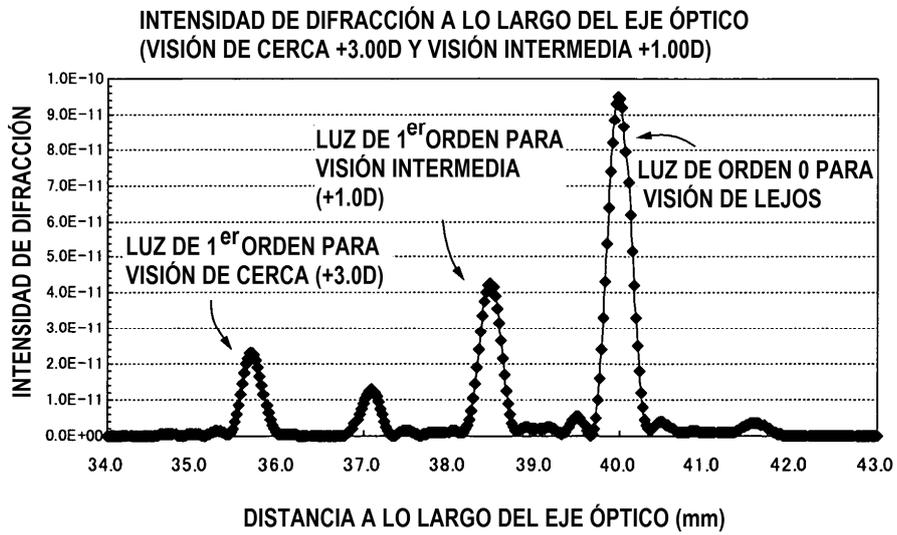


FIG.19

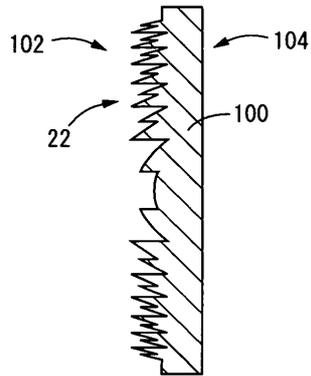


FIG.20

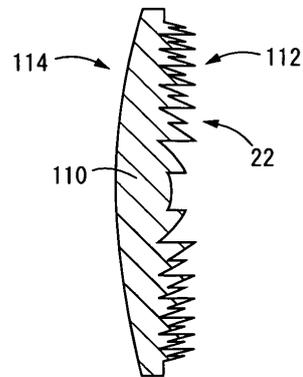


FIG.21

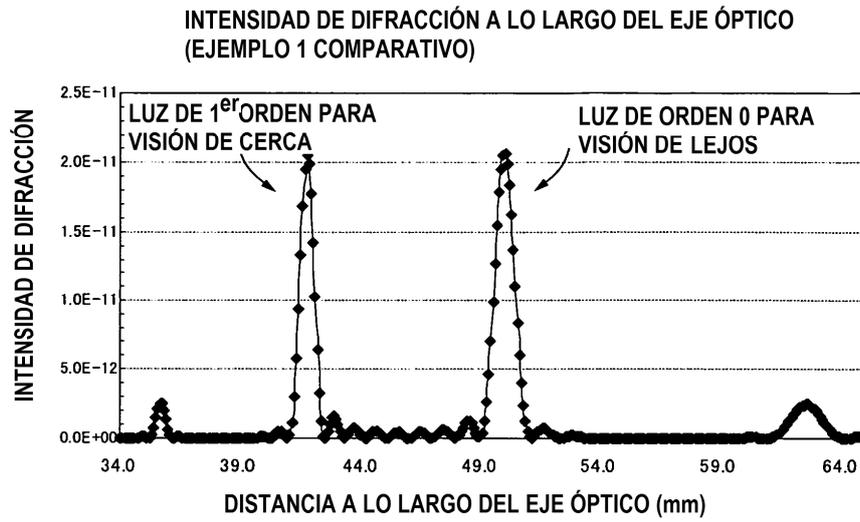


FIG.22A

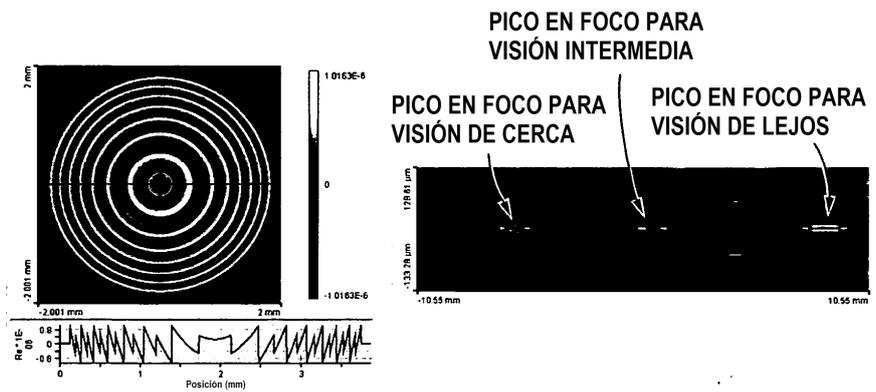


FIG.22B

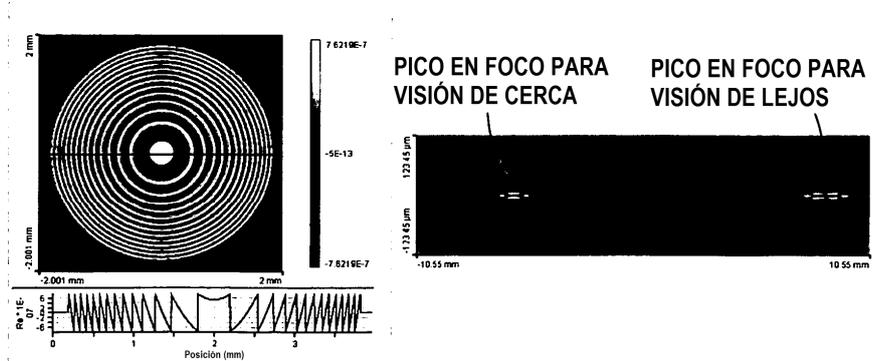


FIG.23

DIFERENCIA DE ALTURA SOBRE LA CURVA BASE (mm)

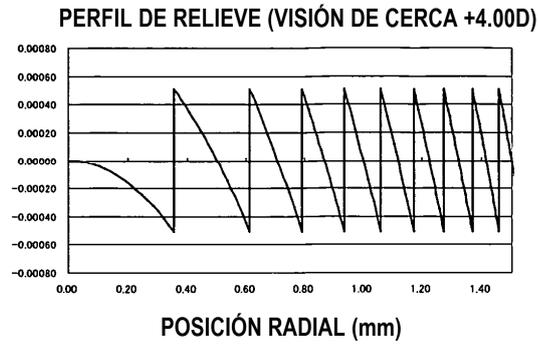


FIG.24

DIFERENCIA DE ALTURA SOBRE LA CURVA BASE (mm)

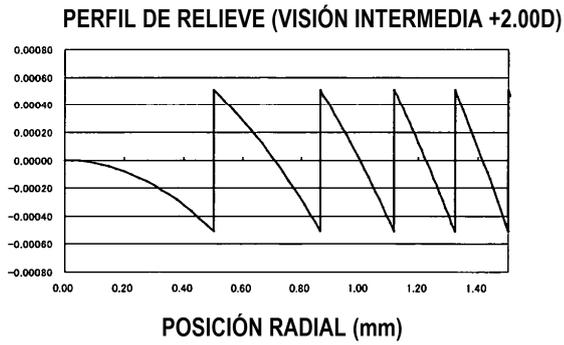


FIG.25

DIFERENCIA DE ALTURA SOBRE LA CURVA BASE (mm)

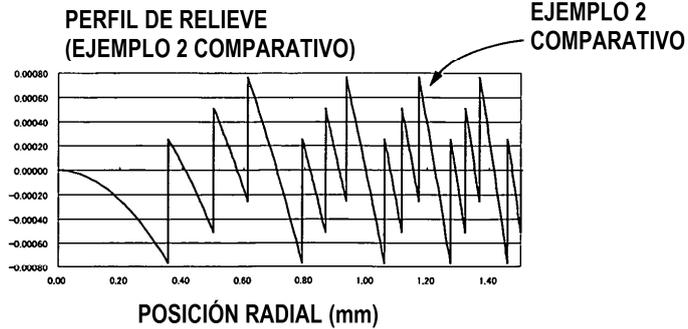


FIG.26

