

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 277**

51 Int. Cl.:

G02B 3/08 (2006.01)

A61F 2/16 (2006.01)

G02C 7/02 (2006.01)

G02C 7/06 (2006.01)

G02C 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.02.2011** **PCT/NL2011/050113**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.08.2011** **WO11102719**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.02.2011** **E 11706638 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.12.2017** **EP 2537061**

54 Título: **Lentes oftálmicas quirales ajustables**

30 Prioridad:

17.02.2010 NL 2004255

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

10.05.2018

73 Titular/es:

AKKOLENS INTERNATIONAL B.V. (100.0%)

Overaseweg 9

4836 BA Breda, NL

72 Inventor/es:

SIMONOV, ALEKSEY NIKOLAEVICH y

ROMBACH, MICHIEL CHRISTIAAN

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 667 277 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Lentes oftálmicas quirales ajustables

- 5 Las lentes oftálmicas (también: "LOs") corrigen errores ópticos del ojo tales como, por ejemplo, errores de refracción, tales como miopía, hipermetropía y presbicia, así como otros errores, tales como astigmatismo. Las LOs pueden colocarse fuera del ojo humano tal como, por ejemplo, lentes de gafas o lentes de contacto, cuyas LOs pueden ser monofocales (con una distancia focal), multifocales (con múltiples distancias focales) o progresivas (con un rango de distancias focales). Las LOs monofocales proporcionan una visión nítida a una única distancia focal y son más
- 10 comunes, por ejemplo, como las gafas de lectura y la mayoría de lentes de contacto. Las LOs multifocales proporcionan por lo menos dos focos, por ejemplo, gafas bifocales y lentes de contacto multifocales, o, alternativamente, proporcionan un rango continuo de distancias focales tal como, por ejemplo, en gafas progresivas.
- 15 Las lentes intraoculares (también: "LIOs") son LOs que se colocan dentro del ojo humano y que pueden ser monofocales, multifocales, progresivas y acomodativas (con foco variable). Las invenciones que se describen aquí pueden aplicarse a todas las LOs, por ejemplo, gafas, por ejemplo, gafas bifocales; de ahora en adelante se utilizarán LIOs para ilustrar los principios y las realizaciones de dichas lentes.
- 20 Las LIOs generalmente las implantan un cirujano después de la extracción de la lente natural. Las LIOs monofocales, las LIOs multifocales difractivas y refractivas que proporcionan múltiples focos (generalmente dos o tres) son las más comunes. Se están desarrollando LIOs acomodativas que proporcionan un foco variable y se mueven mediante el proceso acomodativo del ojo.
- 25 Las LIOs pueden ser monofocales, proporcionando monofocalidad, presentando una única distancia focal. Las LIOs monofocales en combinación con los elementos ópticos naturales del ojo permiten proyectar sobre la retina una única imagen nítida de un solo plano de objeto. Las LIOs también pueden ser multifocales, proporcionando multifocalidad, presentando múltiples distancias focales distintas. Con las LIOs multifocales, puede obtenerse una mezcla de múltiples imágenes nítidas de múltiples planos de objetos en la retina. Además, la distancia focal de la lente puede fijarse durante la fabricación, como en las LIOs monofocales de foco fijo, o como en LIOs multifocales
- 30 fijas.
- Alternativamente, las distancias focales de las LIOs pueden ser ajustables como en las LOs monofocales de foco regulable (de las cuales la distancia focal individual es ajustable) y las LIOs multifocales ajustables (de las cuales por lo menos una distancia focal es ajustable). Las LIOs acomodativas tienen una distancia focal fija en estado de
- 35 reposo (en un ojo emétrope) y una distancia focal variable en estado acomodativo. En la acomodación, la distancia focal de la LIO depende del grado de acomodación del ojo. En LIOs acomodativas ajustables, la distancia focal fija de la lente es ajustable, lo cual es importante para obtener emetropía.
- 40 Las LIOs difractivas combinan una pluralidad de zonas difractivas para proporcionar multifocalidad. Las LIOs multifocales difractivas tienen un gran número de zonas de transición pronunciadas cuyas zonas provocan una degradación significativa de la imagen debido a la dispersión de la luz. En algunos casos, las LIOs difractivas pueden proyectar en la retina imágenes fantasma, es decir, órdenes de difracción no deseadas, lo que conduce a trastornos graves en la percepción visual.
- 45 Las LIOs refractivas multifocales no producen una degradación de la imagen causada por la dispersión debido a superficies lisas y a un número limitado de zonas de transición. Estas lentes intraoculares multifocales refractivas incluyen diseños con una pluralidad de zonas ópticas como en US2006192919 y WO2007037690, diseños con simetría radial como en WO0108605 y WO9206400, diseños con superficies ópticas esféricas y con superficies ópticas inclinadas a lo largo del azimut como en WO203126 y DE10241208 y diseños que incluyen una máscara de
- 50 fase cúbica suave como en US2003225455.

Explicación de figuras

- 55 **La figura 1** muestra una proyección, 1, de una superficie óptica, 2, en el plano XY del sistema de coordenadas OXYZ, 3. El radio-vector r_0 , 4, conecta el punto de origen O del sistema de coordenadas con el centro O' del área proyectada D. El radio-vector r, 5, denota la coordenada de un punto arbitrario P dentro de D. El ángulo θ es el ángulo entre r y r_0 .
- 60 **La figura 2** muestra una superficie quiral, 6, en este ejemplo una superficie quiral de tipo tornillo lineal con quiralidad en sentido antihorario frente a un espejo plano, 7. La imagen reflejada de la superficie quiral, 8, es una superficie de tipo tornillo lineal en sentido horario. Debido a la quiralidad, la imagen reflejada no puede superponerse al original mediante ninguna combinación de rotación y traslación.
- La figura 3** muestra una superficie quiral de tipo tornillo parabólica, 9, en este ejemplo con quiralidad en sentido antihorario, con una zona de transición, 10, y una superficie quiral lisa, 11.

La figura 4 muestra una superficie quiral, 12, compuesta, en este ejemplo, por dos superficies cúbicas lisas, lateralmente desplazadas, 13 y 14, con zonas de transición, 15 y 16.

La figura 5 muestra una lente oftálmica que produce dos focos discretos y que comprende dos superficies ópticas 17, que consisten en la superficie quiral, 12, explicada en la figura 4 y una superficie cúbica lisa, 18.

La figura 6 muestra una lente oftálmica que proporciona multifocalidad continua, iluminada por un haz de luz colimada (representado como un haz de rayos), 19, que se propaga a lo largo del eje óptico, 20, y que atraviesa una lente oftálmica quiral, 21, en este ejemplo con una superficie quiral de tipo tornillo parabólica, con zona de transición, 10, y una superficie quiral lisa, 11. La lente produce un rango de desenfoque extendido y continuo, 22.

La figura 7 muestra una lente oftálmica que proporciona multifocalidad discreta, iluminada por un haz de luz colimada (representado como un haz de rayos), 19, que se propaga a lo largo del eje óptico, 20, y atraviesa una lente oftálmica quiral, 23, en este ejemplo, una lente que comprende dos superficies de tipo tornillo parabólicas, con zonas de transición no solapadas angularmente, 24 y 25, en la superficie anterior y posterior, respectivamente. Después de la refracción de la lente, los rayos de luz convergen hacia dos focos discretos, 26 y 27, a lo largo del eje óptico.

La figura 8 muestra la vista frontal de la lente oftálmica, 23, representada en la figura 7 con dos zonas de transición no superpuestas en la superficie anterior y posterior. La línea discontinua, 24, representa la zona de transición en la superficie anterior de la lente y una línea continua, 25, representa la zona de transición en la superficie posterior de la lente.

La figura 9 muestra una lente oftálmica que proporciona multifocalidad ajustable, iluminada por un haz de luz colimada (representado como un haz de rayos), 19, que se propaga a lo largo del eje óptico, 20, y atraviesa un elemento óptico quiral anterior, 28, y un elemento óptico quiral posterior, 29, con zonas de transición no superpuestas angularmente, 30 y 31. La lente produce dos focos discretos, 32 y 33, en la dirección del eje óptico. En este ejemplo, cada elemento óptico de la lente comprende una superficie de tornillo parabólica y el elemento posterior se utiliza para ajustabilidad - mediante su rotación, 34, puede ajustarse la potencia refractiva de la lente multifocal de manera que las regiones focales se muevan simultáneamente, 35 y 36, a lo largo del eje óptico.

Superficies ópticas quirales

Una superficie óptica quiral es una superficie de un elemento óptico que proporciona modulación de fase de luz quiral. Por ejemplo, una superficie quiral de un elemento óptico de refracción realizado en un material con un índice de refracción constante es una superficie óptica quiral. En términos matemáticos, una superficie tridimensional se define como quiral si no es invariante bajo una transformación de paridad. Esto significa que la imagen especular de la superficie no puede representarse sobre el original mediante rotaciones y traslaciones, véase la figura 2. En M. Petitjean (J. Math. Phys. 43, 4147-4157, 2002) y Salomon y otros (J. Mater. Chem. 25, 295-308, 1999) se dan, por ejemplo, definiciones de quiralidad; ambos documentos se incluyen en este documento por referencia. El grado de quiralidad puede cuantificarse en términos de carga topológica o medida de quiralidad continua.

Las superficies ópticas quirales, en el contexto de este documento, se caracterizan por una cierta inclinación en direcciones radiales y acimutales. La pendiente puede progresar de manera lineal o no lineal de acuerdo con cualquier función que no rompa la simetría quiral de la superficie requerida. Aunque no necesariamente, las superficies ópticas quirales también pueden incluir por lo menos una zona de transición, por ejemplo, tal como se muestra en la figura 3.

Puede construirse una superficie óptica quiral a partir de prácticamente cualquier forma óptica, incluidas formas parabólicas, esféricas, prismáticas, etc. Considérese, por ejemplo, una superficie cúbica definida por

$$z = S_U(x, y) \equiv U(axy^2 + bx^3/3) \quad (1)$$

en el sistema de coordenadas OXYZ, véase la figura 1, con el Z eje a lo largo del eje óptico; U es la pendiente de la superficie medida, por ejemplo, en $[\text{mm}^{-2}]$; a y b son las constantes adimensionales, normalmente $a = b$ cuando los ejes X e Y tienen las mismas escalas. De acuerdo con US-A-3305294, un par de dichos elementos cúbicos ($a = b$), desplazados entre sí a lo largo del eje X puede producir una lente de foco variable. Aplicando transformaciones de paridad $(x, y) \rightarrow (-x, y)$ o $(x, y) \rightarrow (x, -y)$ puede encontrarse fácilmente que esta superficie no es quiral. Sin embargo, una combinación de las dos superficies cúbicas puede hacerse quiral, por ejemplo, una superficie compuesta definida por

$$z = \begin{cases} S_{U_1}(x + x_0, y), y \geq 0 \\ S_{U_2}(x - x_0, y), y < 0 \end{cases} \quad (2)$$

dónde x_0 es la constante de desplazamiento, U_1 y U_2 son los parámetros de pendiente de la superficie (generalmente $U_1 \neq U_2$), es una superficie quiral. La superficie definida por la ec. (2) se muestra en la figura 4.

Por analogía con US2003225455, que describe una superficie cúbica en un elemento óptico para una lente intraocular de profundidad de campo extendida (EDF), puede observarse que la superficie compuesta quiral definida por la ec. (2) también proporciona multifocalidad continua o EDF. Los rangos de multifocalidad están determinados por los parámetros U_1 y U_2 en combinación con x_0 y pueden seleccionarse de manera diferente proporcionando dos zonas de multifocalidad distintas (a lo largo del eje óptico). De manera similar, con un elemento óptico que comprenda tres superficies cúbicas pueden obtenerse tres zonas distintas de multifocalidad, etc.

El experto en la materia puede concluir fácilmente que la combinación (como en US-A-3305294) de una superficie óptica definida por la ec. (2) con una superficie óptica cúbica dada por la ec. (1), tal como se muestra en la figura 5, da como resultado una lente con dos focos distintos. Estos focos pueden separarse a lo largo del eje óptico, el eje Z, y en el plano XY (cuando la inclinación lineal, es decir, el prisma de cuña, se añade a una de las superficies ópticas).

Marco matemático

Suponiendo que un par de elementos ópticos idénticos se superponen para formar una lente de foco variable centrada en el punto O' , en coordenadas cilíndricas, cada uno de los elementos está especificado por la función

$$z = S(r, \vartheta), \quad (3)$$

dónde z es el grosor del elemento, r es el radio y ϑ es el ángulo polar y el punto O' caracterizado por el vector r_0 es el centro de la superficie óptica con el área D , véase la figura 1. Sea O ser el centro de rotación, entonces si un elemento gira $+\Delta\vartheta$ y otro elemento gira $-\Delta\vartheta$ el grosor resultante es

$$\Delta z = S(r, \vartheta + \Delta\vartheta) - S(r, \vartheta - \Delta\vartheta). \quad (4)$$

Tomando el grosor dependiente de la rotación de una lente de foco variable resultante en la forma

$$\Delta z = \Delta\vartheta A(r - r_0)^2, \quad (5)$$

es decir, la potencia óptica de la lente varía linealmente con $\Delta\vartheta$, siendo A el coeficiente de amplitud, aplicando expansiones de Taylor a las ecuaciones 4 y 5 puede encontrarse

$$\Delta\vartheta A(r - r_0)^2 = S(r, \vartheta + \Delta\vartheta) - S(r, \vartheta - \Delta\vartheta) \cong 2\Delta\vartheta \frac{\partial S(r, \vartheta)}{\partial \vartheta} + 2 \frac{(\Delta\vartheta)^3}{3!} \frac{\partial^3 S(r, \vartheta)}{\partial \vartheta^3} + \dots \quad (6)$$

Nótese que si $|\vartheta| \ll 1$ la ec. (5) se simplifica a

$$\Delta z = \Delta\vartheta A(r - r_0)^2 \cong \Delta\vartheta A(r^2 - r_0^2 - 2rr_0[1 - \vartheta^2/2]). \quad (7)$$

La aproximación de la función desconocida $S(r, \vartheta)$ en $|\vartheta| \ll 1$ puede determinarse a partir de la ecuación diferencial

$$\frac{\partial S(r, \vartheta)}{\partial \vartheta} = \frac{A}{2}(r^2 + r_0^2 - 2rr_0[1 - \vartheta^2/2]), \quad (8)$$

La solución general de la ec. (8) toma la forma:

$$S(r, \vartheta) = \frac{A}{2}(r - r_0)^2\vartheta + \frac{Ar r_0}{6}\vartheta^3 + C, \quad (9)$$

dónde C es la constante de integración. Utilizando la ec. (9) el grosor resultante dado por la ecuación (4) es

$$\Delta z = \Delta\vartheta A(r^2 + r_0^2 - 2rr_0[1 - \vartheta^2/2]) + \frac{(\Delta\vartheta)^3 A}{3} r r_0. \quad (10)$$

El término residual $(\Delta\vartheta)^3 A r r_0/3$ es un cono con un vértice en el origen O . La pendiente del cono varía cúbicamente junto con $\Delta\vartheta$.

Considérese ahora un caso extremo cuando el centro de rotación O está situado en el infinito, o $|r|, |r_0| \rightarrow \infty$. En este caso, la rotación es equivalente a un desplazamiento lineal que es conveniente representar en coordenadas cartesianas

$$\begin{aligned} x &= r \sin \vartheta \rightarrow r\vartheta \\ y &= (r-r_0) \cos \vartheta \rightarrow (r-r_0) \end{aligned} \quad (11)$$

La ec. (9) toma la forma

$$z = S(r, \vartheta) \rightarrow \tilde{S}(x, y) = \frac{A}{2r_0} (x^3/3 + xy^2) + C. \quad (12)$$

que coincide con el término principal de superficies cúbicas descrito en US-A-3305294 por L. Álvarez. Un par de elementos de Álvarez, que se desplazan recíprocamente, produce una lente parabólica de foco variable con la potencia óptica variando linealmente con el desplazamiento lateral.

En otro extremo, cuando el centro de rotación O coincide con el centro de la lente O' , o $r_0 = 0$, la ec. (9) se simplifica a

$$S(r, \vartheta) = \frac{A}{r_0} r^2 \vartheta + C, \quad (13)$$

y el grosor dependiente del ángulo resultante, tal como se define en la ec. (4), es

$$\Delta z = \Delta \vartheta A r^2. \quad (14)$$

La ecuación (13) determina el grosor de un elemento óptico quiral de tipo tornillo parabólico. En la configuración más simple cuando una superficie del elemento óptico es plana, otra superficie es una superficie quiral de tipo tornillo parabólico, o alternatively, una superficie óptica quiral parabólica, tal como se ilustra en la figura 3.

Debe observarse que las implementaciones de potencia de refracción ajustable a partir de rotación se han descrito en un documento de la técnica anterior "*Adjustable refractive power from diffractive moire elements*" por S. Bernet y M. Ritsch-Marte, Appl. Optics 47, 3722-3730 (2008)), cuyo documento se incluye en el presente documento por referencia. Sin embargo, los autores limitaron el estudio sólo a elementos ópticos difractivos (DOEs). Su diseño resultó en una lente de Fresnel varifocal con una lente de sector adicional de una potencia óptica diferente. Se sugirió un diseño DOE optimizado para evitar la lente de sector adicional.

Tal como se aprecia en la ecuación (14), la potencia óptica de una lente de foco variable centrada en O' es proporcional a $\Delta \vartheta A$ y varía linealmente con el ángulo de rotación $\Delta \vartheta$. Sin embargo, esta expresión es válida sólo para el sector angular $\Delta \vartheta \leq \vartheta < 2\pi - \Delta \vartheta$. Los sectores $0 \leq \vartheta < \Delta \vartheta$ y $2\pi - \Delta \vartheta \leq \vartheta < 2\pi$ dan como resultado una potencia óptica proporcional a $\Delta \vartheta A - \pi A$. Por lo tanto, la lente de foco variable con dos elementos ópticos quirales de tipo tornillo girados entre sí produce dos focos distintos, véanse las figuras 7-9. Hay que tener en cuenta también que las intensidades de luz en los focos son proporcionales a $2(\pi - \Delta \vartheta)$ y $2\Delta \vartheta$ respectivamente.

Por ejemplo, utilizando fórmulas de W.J. Smith, Modern Optical Engineering, 3ª ed. (McGraw-Hill, Nueva York, 2000), la potencia óptica Φ , es decir, la longitud focal inversa, de la combinación de lente que comprende dos elementos ópticos quirales de tipo tornillo girados entre sí realizados en un material con el índice de refracción n es:

$$\Phi_1 = 2(n-1)\Delta \vartheta A, \quad (15)$$

cuando $\Delta \vartheta \leq \vartheta < 2\pi - \Delta \vartheta$ y

$$\Phi_2 = 2(n-1)(\Delta \vartheta - \pi)A, \quad (16)$$

cuando $0 \leq \vartheta < \Delta \vartheta$ y $2\pi - \Delta \vartheta \leq \vartheta < 2\pi$.

Puede demostrarse matemáticamente que un único elemento óptico quiral con la función de grosor de acuerdo con la ec. 13 produce una multifocalidad efectiva, es decir, EDF. Haciendo uso de la expresión general para la función de transferencia óptica (OTF) de un sistema óptico incoherente, es decir, un ojo con un elemento óptico quiral implantado, véase J.W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, (Roberts&Company, 2005), en la aproximación paraxial puede encontrarse fácilmente que

$$H(\omega_r, \omega_\alpha, \varphi) \cong H(\omega_r, \omega_\alpha + 2\varphi/A, 0), \quad (17)$$

dónde H es la OTF desenfozada, φ es el parámetro de desenfoque (véase J.W. Goodman para aclaraciones), ω_r y ω_α son la frecuencia espacial en coordenadas polares

$$\begin{aligned} \omega_x &= \omega_r \cos \omega_\alpha, \\ \omega_y &= \omega_r \sin \omega_\alpha, \end{aligned} \quad (18)$$

dónde ω_x y ω_y son las frecuencias espaciales correspondientes en las coordenadas cartesianas. Entonces, tal como se aprecia en la ec. (17), el desenfoque no conduce a la degradación de la imagen resultante (en la retina) sino sólo a la rotación de la imagen. Esta rotación puede hacerse muy pequeña maximizando el parámetro de la pendiente A. La figura 6 representa una lente oftálmica que comprende un único elemento óptico quiral con multifocalidad continua.

La presente invención

La presente invención describe lentes oftálmicas monofocales y multifocales ajustables que comprenden superficies ópticas quirales que proporcionan una modulación quiral del haz de luz. Las ópticas quirales son particularmente adecuadas para esta aplicación y ni siquiera se insinúan en ningún documento de la técnica anterior.

WO-A-2009/012789 describe una lente intraocular multifocal ajustable que comprende por lo menos dos elementos ópticos, comprendiendo cada elemento óptico una superficie óptica y medios de posicionamiento adaptados para posicionar ambos elementos ópticos en el ojo.

La presente invención, según se define en las reivindicaciones, proporciona una lente intraocular del tipo mencionado anteriormente, en la que ambas superficies ópticas son superficies ópticas refractivas quirales adaptadas para proporcionar una modulación quiral del haz de luz, la combinación de las superficies ópticas refractivas quirales está adaptada para proporcionar por lo menos dos focos ajustables, y en el que la combinación de las superficies ópticas refractivas quirales está adaptada de manera que la distancia focal de los focos ajustables depende de la posición mutua de las superficies ópticas quirales.

De acuerdo con una realización preferida, la posición mutua es la posición rotacional mutua de los elementos ópticos quirales alrededor de cualquier eje paralelo al eje óptico, los elementos ópticos están situados concéntricamente y en el que la rotación es una rotación alrededor del eje central de los elementos ópticos.

Preferiblemente, por lo menos uno de los elementos ópticos comprende un componente de superficie óptica adaptado para corregir por lo menos una aberración del ojo o por lo menos una aberración de la propia lente.

Además, es ventajoso si por lo menos una de las superficies ópticas quirales es una superficie óptica quiral parabólica.

Una lente oftálmica ajustable puede ser una lente oftálmica multifocal ajustable que comprende por lo menos un elemento óptico que comprende por lo menos una superficie óptica de corrección y por lo menos dos superficies ópticas quirales, o, alternativamente, una lente oftálmica ajustable puede ser una lente oftálmica multifocal ajustable que comprende por lo menos dos elementos ópticos que comprenden por lo menos una superficie óptica de corrección y por lo menos dos superficies ópticas quirales. Las superficies ópticas quirales incluidas en lentes oftálmicas pueden incluir por lo menos una zona de transición y las superficies ópticas quirales para disposiciones ópticas multifocales adaptadas para proporcionar multifocalidad deben incluir por lo menos una zona de transición que debe combinarse con zonas de transición adicionales de superficies ópticas quirales adicionales, combinadas en ciertas configuraciones. Por lo tanto, se requiere una combinación de por lo menos dos superficies ópticas quirales que incluyen por lo menos una zona de transición incluida en cada superficie óptica quiral, con zonas de transición en una configuración no superpuesta, para proporcionar multifocalidad.

Por ejemplo, para lentes multifocales ajustables, puede adaptarse una combinación de dos superficies ópticas quirales de modo que la combinación proporcione ajustabilidad y proyecte, en una posición extrema de los elementos ópticos, dos focos de igual intensidad y, en la otra posición extrema de los elementos, un solo foco con una intensidad igual a dichos dos focos combinados, es decir, la energía total permanece constante independientemente de la distribución sobre el eje óptico. Unas zonas de transición extendidas radiales en paralelo en el mismo eje que no se solapan proporcionan dos focos de igual intensidad combinando un sector discreto, por ejemplo, una reducción a la mitad discreta, de cada superficie óptica quiral con un sector discreto de otra superficie óptica quiral. Unas zonas de transición extendidas radiales en paralelo en el mismo eje con superposición completa

proporcionan un foco y la función óptica de la disposición multifocal se reduce a una función plana dado que la modulación quiral de los elementos quirales de signos opuestos se anulan entre sí. En el caso de superficies ópticas quirales parabólicas, la función parabólica, en este ejemplo, una función de enfoque, puede permanecer y añadirse a la potencia de enfoque total de la lente oftálmica en combinación con la potencia de enfoque de la disposición óptica de corrección adicional. Las posiciones de rotación de las zonas de transición entre estos extremos resultarán en intensidades relativas variables de los focos, con un foco disminuyendo en intensidad de acuerdo con una rotación en sentido horario, el otro foco de acuerdo con una rotación en sentido antihorario. Esta lente multifocal ajustable proporciona una amplia libertad de ajuste. Por ejemplo, una multifocalidad discreta ajustable puede proporcionar una lente multifocal discreta con, por ejemplo, dos focos, por ejemplo, uno enfocando el ojo a una distancia y una a una distancia de lectura, de los cuales puede ajustarse la intensidad relativa, proporcionando una lente sólo para visión a distancia, o una lente para visión de lectura solamente, o una lente para cualquier combinación de visión a distancia y visión de lectura entre estos extremos.

La distancia de los focos depende del diseño, pendiente, de las superficies ópticas quirales, pero, lo más importante, de la posición relativa de las superficies quirales, que puede ser una posición de rotación relativa. Por lo tanto, el ajuste puede lograrse girando los elementos ópticos uno respecto al otro. Dicha rotación puede ser cualquier rotación, incluida la rotación con el eje de rotación posicionado en los elementos ópticos, por ejemplo, posicionados en el centro de los elementos ópticos, en una configuración que se asemeja a una rueda de un carro, o en el borde de los elementos ópticos, en una configuración que se asemeja a un abanico, un ejemplo de esta configuración en forma de abanico ilustrada en, por ejemplo, EP0187177, o una rotación con el eje de rotación posicionado fuera de los elementos ópticos, una configuración que proporciona una rotación predominantemente similar a un abanico a distancias cercanas y, a una distancia creciente, una configuración que proporciona una combinación de rotación y desplazamiento en abanico, proporcionando eventualmente, a una distancia infinita, un desplazamiento lineal puro de los elementos ópticos, con superficies ópticas quirales adaptadas para proporcionar funciones ópticas deseadas para dichas configuraciones giratorias específicas.

Un elemento óptico comprende dos lados ópticos con formas de acuerdo con por lo menos una función óptica, por ejemplo, una superficie de forma libre, por ejemplo, una superficie quiral o por lo menos una superficie cúbica, cuya superficie puede combinarse, por ejemplo, con una superficie parabólica o una superficie de lente esférica, o con una superficie plana.

La lente puede ser una lente oftálmica intraocular ajustable, una lente intraocular ajustable, LIO ajustable, cuya lente puede ser una lente intraocular monofocal ajustable o, alternativamente, una lente intraocular multifocal ajustable, de cuyas lentes la posición relativa de los elementos ópticos se ajusta ocasionalmente, por medios externos, por ejemplo, un ajuste anual por parte de un cirujano ocular para ajustar la lente para, por ejemplo, la deriva refractiva del ojo. Las LIOs se implantan en el ojo por un cirujano para corregir trastornos ópticos del ojo, por ejemplo, para corregir la presbicia. Las lentes intraoculares monofocales proyectan una imagen nítida, enfocada y nítida sobre la retina. Las lentes intraoculares multifocales proyectan múltiples imágenes nítidas superpuestas de múltiples planos de objetos simultáneamente, por ejemplo, dos imágenes nítidas superpuestas de un objeto a una distancia cercana y un objeto a una distancia mayor. Los pacientes con lentes monofocales generalmente requieren gafas progresivas para una visión nítida en un rango extendido, los pacientes con lentes multifocales generalmente requieren gafas monofocales, los pacientes con LIOs acomodativas generalmente no necesitan gafas. Por lo tanto, las LIOs pueden construirse así de acuerdo con las descripciones descritas en el presente documento para la implantación en el ojo humano para proporcionar una combinación de por lo menos dos focos, multifocalidad y corrección de por lo menos un trastorno óptico del ojo. Alternativamente, la lente puede montarse en una estructura cuya estructura esté adaptada para proporcionar un ajuste continuo de los elementos ópticos mediante el proceso de acomodación del propio ojo, permitiendo que el ojo se acomode.

Por lo menos una superficie óptica quiral de la lente oftálmica (descrita en el presente documento) puede comprender una superficie quiral parabólica, o superficie quiral de tipo tornillo parabólica, tal como se muestra en la figura 3. Dicha superficie quiral parabólica, por sí sola, proporciona multifocalidad óptica, es decir, EDF. Dos superficies parabólicas pueden proporcionar multifocalidad ajustable o, en el caso de elementos difractivos ópticos, enfoque único ajustable y pueden incluirse en lentes oftálmicas de diseño delgado. Las superficies ópticas quirales pueden ser superficies ópticas asimétricas, en gran medida de forma libre, preferiblemente superficies ópticas quirales parabólicas que han demostrado que proporcionan ópticas de calidad debido a la ausencia de valores cero en el espectro espacial, generalmente en los alrededores de la región cero del espectro, que preserva información, alternativamente, proporciona una relación S/N máxima (es decir, por ejemplo, baja dispersión de luz). Las dos superficies ópticas quirales son de quiralidad opuesta, alternativamente, de parte derecha o parte izquierda, pero no necesariamente de igual inclinación. La realización preferida incluye superficies ópticas quirales con una forma según $z = Ar^2\vartheta$ dentro de la pupila circular del ojo, siendo z el pandeo de la superficie, r la coordenada radial, ϑ el ángulo polar en el plano de la superficie, y A la inclinación de la máscara, o, en coordenadas alternativas, de acuerdo con $z = \phi(r, \vartheta) = Ar^2\vartheta$, definido en una pupila de radio unitario, siendo r la coordenada radial y, en esta notación, ϑ el ángulo polar en el plano transversal. Los grados de inclinación, el ángulo polar, y la rotación de las

superficies ópticas quirales proporcionan unos parámetros de diseño con inclinación angular que, en este contexto, es la derivada parcial respecto al ángulo polar que es lineal o no lineal lo cual también se aplica a la pendiente radial que, en este contexto, es la derivada parcial respecto al radio. La superficie óptica quiral incluye un punto de origen central y una zona de transición radial que no es quiral. Así, alternativamente, puede componerse una superficie óptica quiral que no incluya dicho punto de origen ni la zona de transición. Una superficie cúbica adaptada puede ser superficies ópticas quirales, tal como se muestra en la figura 4, que se incluyan en las lentes descritas en el presente documento, o, alternativamente, cualquier otra superficie quiral puede ser superficies ópticas quirales que se incluyan en lentes descritas en el presente documento.

Dichas lentes oftálmicas ajustables pueden incluir por lo menos una superficie óptica quiral cuya superficie puede ser una superficie óptica quiral difractiva, o, alternativamente, cuya superficie puede ser una superficie óptica quiral refractiva, o, alternativamente, una combinación de superficies ópticas puede incluir por lo menos una superficie óptica difractiva y por lo menos una superficie óptica refractiva. Pueden adaptarse superficies reflectivas de espejo para proporcionar una modulación quiral, y tales superficies siguen siendo una opción para incluirse en lentes oftálmicas; sin embargo, las superficies reflectantes no son prácticas actualmente para incluirse en lentes oftálmicas.

[12, 13] La estructura de la lente oftálmica intraocular ajustable puede comprender ópticas intraoculares quirales que incluyen por lo menos una superficie óptica quiral tal como se describe en el presente documento y también medios de posicionamiento (también: hápticos) para posicionar la estructura de la lente en el ojo humano.

También, una estructura de gafas ajustable puede comprender ópticas de gafas y medios de posicionamiento (también: montura de gafas) para posicionar la estructura de gafas delante del ojo humano con la estructura de gafas comprendiendo por lo menos una lente de gafas quiral que incluye por lo menos una superficie óptica quiral tal como se describe en el presente documento.

Puede adaptarse una única superficie quiral que proporcione modulación quiral o, alternativamente, múltiples superficies quirales cuyas zonas de transición se solapan con precisión, para proporcionar multifocalidad continua, un rango de distancias focales que aumenten gradualmente que proyecten la imagen en la retina simultáneamente. Dichas lentes soportan la proyección de un número infinito de imágenes igualmente nítidas de un rango continuo definido de planos de objeto sobre la retina. La multifocalidad continua se denomina Profundidad de Foco Extendida (PFE) en la literatura técnica. La PFE da como resultado un desenfoque de la imagen, generalmente menor y, en consecuencia, un contraste de imagen reducido. Una única superficie óptica quiral con una zona de transición, o una superficie óptica quiral completamente lisa, sin zonas de transición, proporciona una multifocalidad continua, al igual que múltiples superficies ópticas quirales de las cuales las zonas de transición se solapan con precisión. Por lo tanto, las combinaciones de lentes oftálmicas que no tienen zonas de transición, o un número limitado de zonas de transición, pueden proporcionar una multifocalidad continua con un efecto comparable a la lente descrita en US2003225455 cuya lente no comprende superficies ópticas quirales sino una única superficie óptica cúbica. Por lo tanto, la multifocalidad continua puede proporcionarse mediante una lente oftálmica que incluye por lo menos un elemento óptico. El rango en el que la nitidez se extiende a lo largo del eje óptico y el grado de nitidez a lo largo de dicho rango depende principalmente del parámetro de inclinación de la superficie óptica quiral. La distancia focal del rango, es decir, una distancia definida, por ejemplo, como la distancia del centro del rango al plano principal de la lente oftálmica, depende principalmente de la potencia de enfoque de la óptica de corrección en combinación con la potencia de enfoque del ojo. Tales lentes continuas multifocales pueden adaptarse como lentes oftálmicas, LOs, incluyendo lentes intraoculares, LIOs.

Obsérvese también que combinaciones de superficies ópticas quirales con diferentes grados de inclinación, de signo contrario, proporcionarán combinaciones de multifocalidad discreta y multifocalidad continua, cuyas combinaciones, aunque complejas, pueden configurarse para adaptarse a requisitos complejos de ojos particulares.

Pueden adaptarse más de dos superficies quirales distribuidas en por lo menos dos elementos ópticos para proporcionar una lente multifocal continua ajustable en la que las dimensiones del rango de nitidez pueda variarse en una combinación fija con el grado de nitidez, por ejemplo, desde un rango limitado en la dirección del eje óptico en combinación con un grado de nitidez relativamente alto hasta un rango extendido a lo largo del eje óptico en combinación con un grado de nitidez relativamente bajo, o, en términos alternativos, una extensión del rango en la dirección del eje óptico, la dirección Z, dará como resultado una extensión del rango en la dirección del eje X o Y o en una dirección de una combinación de los mismos.

Las lentes oftálmicas indicadas anteriormente pueden posicionarse delante del ojo, por ejemplo, como una lente de unas gafas, con la lente equipada con medios de posicionamiento requeridos, por ejemplo, una montura de gafas, o posicionarse en la parte superior del ojo, como una lente de contacto, con la lente equipada con medios de posicionamiento requeridos, por ejemplo, un anillo para la lente de contacto para adaptarse a la córnea, o posicionarse y fijarse en una posición adecuada dentro del ojo, tal como una lente intraocular, en la cámara anterior del ojo o en la cámara posterior del ojo, como una LIO fáquica o como una LIO afáquica equipada con medios de

posicionamiento requeridos, por ejemplo, hápticos. Alternativamente, las superficies quirales pueden distribuirse sobre diferentes ayudas para la visión como en: gafas que pueden comprender una superficie quiral y una lente de contacto la otra superficie quiral, o, alternativamente, gafas una superficie quiral y una lente intraocular la otra superficie quiral, o, alternativamente, la lente intraocular una superficie quiral y una lente de contacto la otra superficie quiral.

Las lentes oftálmicas multifocales descritas en el presente documento pueden comprender disposiciones ópticas de refracción como en lentes de gafas tradicionales, lentes de contacto y lentes intraoculares, o comprender disposiciones ópticas reflectantes tales como, por ejemplo, en telescopios intraoculares para el tratamiento de distrofia macular tal como, por ejemplo, en US7008448 y WO03082155 o disposiciones ópticas difractivas como en lentes intraoculares multifocales difractivas, o combinaciones de disposiciones ópticas refractivas, reflectivas y difractivas.

Las lentes oftálmicas indicadas anteriormente pueden posicionarse delante del ojo, por ejemplo, como una lente de unas gafas, con la lente equipada con medios de posicionamiento requeridos, por ejemplo, una montura de gafas, o posicionarse en la parte superior del ojo, como una lente de contacto, con la lente equipada con medios de posicionamiento requeridos, por ejemplo, un anillo para la lente de contacto para adaptarse a la córnea, o posicionarse y fijarse en una posición adecuada dentro del ojo, tal como una lente intraocular, en la cámara anterior del ojo o en la cámara posterior del ojo, como una LIO fáquica o como una LIO afáquica equipada con medios de posicionamiento requeridos, por ejemplo, hápticos. Alternativamente, las superficies quirales pueden distribuirse sobre diferentes ayudas para la visión como en: gafas que pueden comprender una superficie quiral y una lente de contacto la otra superficie quiral, o, alternativamente, gafas una superficie quiral y una lente intraocular la otra superficie quiral, o, alternativamente, la lente intraocular una superficie quiral y una lente de contacto la otra superficie quiral.

Las lentes oftálmicas multifocales descritas en el presente documento pueden comprender disposiciones ópticas de refracción como en lentes de gafas tradicionales, lentes de contacto y lentes intraoculares, o comprender disposiciones ópticas reflectantes tales como, por ejemplo, en telescopios intraoculares para el tratamiento de distrofia macular tal como, por ejemplo, en US7008448 y WO03082155 o disposiciones ópticas difractivas como en lentes intraoculares multifocales difractivas, o combinaciones de disposiciones ópticas refractivas, reflectivas y difractivas.

REIVINDICACIONES

1. Lente intraocular multifocal ajustable, que comprende:

- 5 - por lo menos dos elementos ópticos (28, 29), comprendiendo cada elemento óptico una superficie óptica; y
 - medios de posicionamiento adaptados para posicionar ambos elementos ópticos en el ojo,

caracterizada por el hecho de que:

- 10 - ambas superficies ópticas son superficies ópticas refractivas quirales adaptadas para proporcionar una modulación quiral de un haz de luz (19),
 - la combinación de las superficies ópticas refractivas quirales está adaptada para proporcionar por lo menos dos focos ajustables (32, 33), y
15 - en que la combinación de las superficies ópticas refractivas quirales está adaptada de manera que la distancia focal de los focos ajustables (32, 33) depende de la posición mutua de las superficies ópticas quirales.

20 2. Lente de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada por el hecho de que la posición mutua es la posición de rotación mutua de los elementos ópticos quirales alrededor de cualquier eje paralelo al eje óptico (20), en que los elementos ópticos (28, 29) están situados concéntricamente y en que la rotación es una rotación alrededor del eje central de los elementos ópticos.

25 3. Lente de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizada por el hecho de por lo menos uno de los elementos ópticos (28, 29) comprende un componente de superficie adaptado para corregir por lo menos una aberración del ojo o por lo menos una aberración de la propia lente.

30 4. Lente de acuerdo con la reivindicación 1, 2 o 3, caracterizada por el hecho de que por lo menos una de las superficies ópticas quirales es una superficie óptica quiral parabólica.

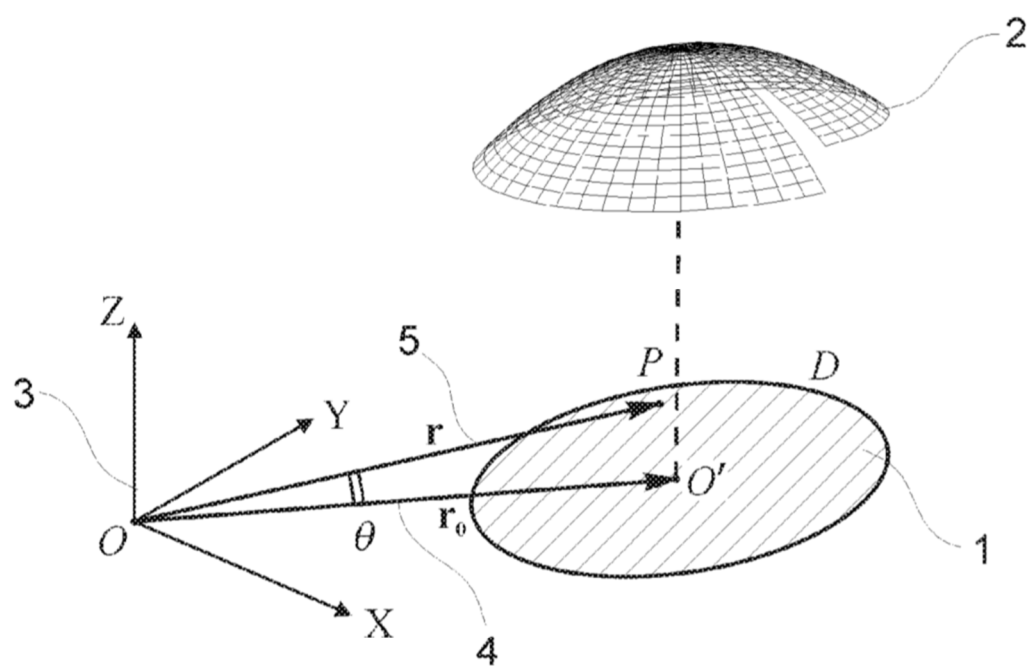


Fig.1

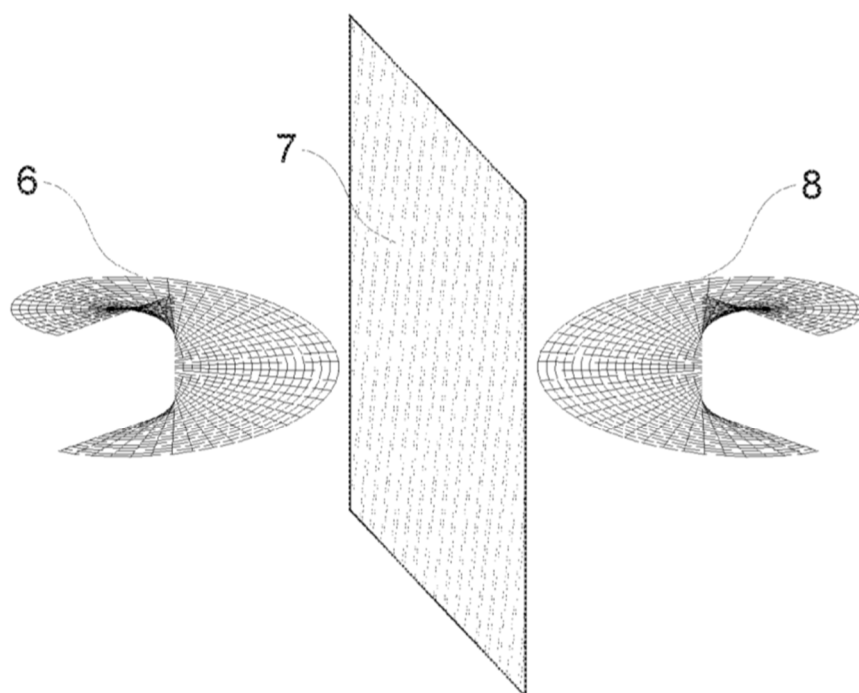


Fig. 2

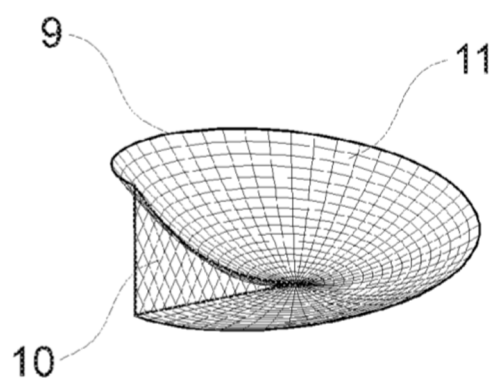


Fig. 3

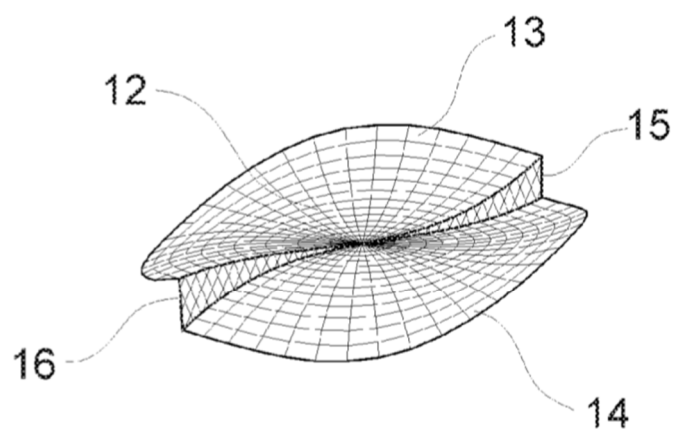


Fig. 4

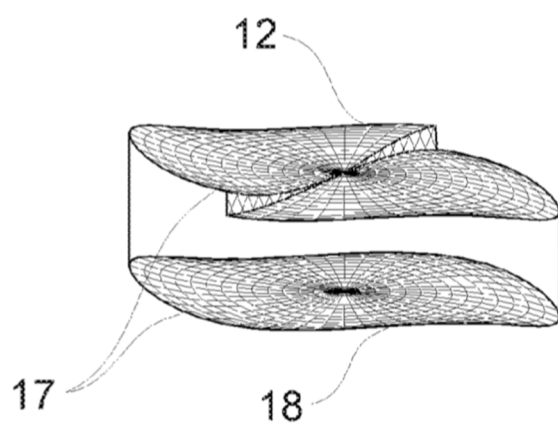


Fig. 5

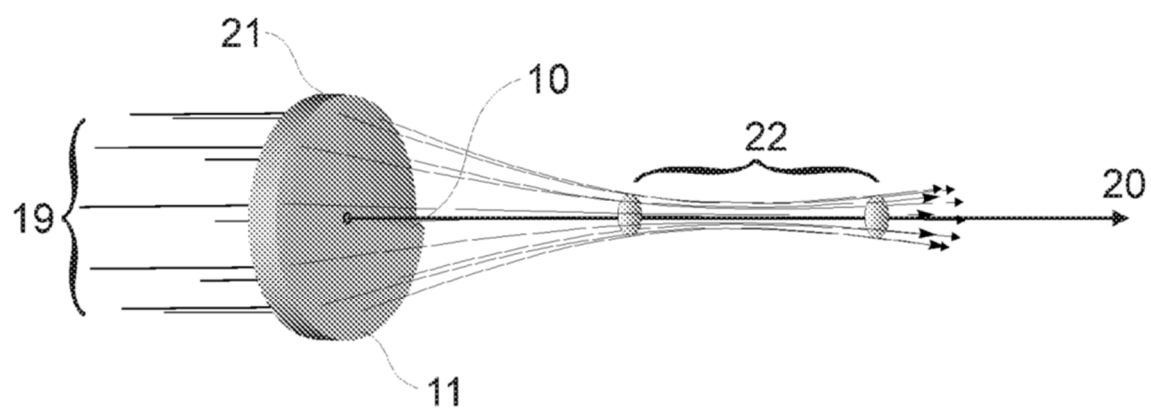


Fig. 6

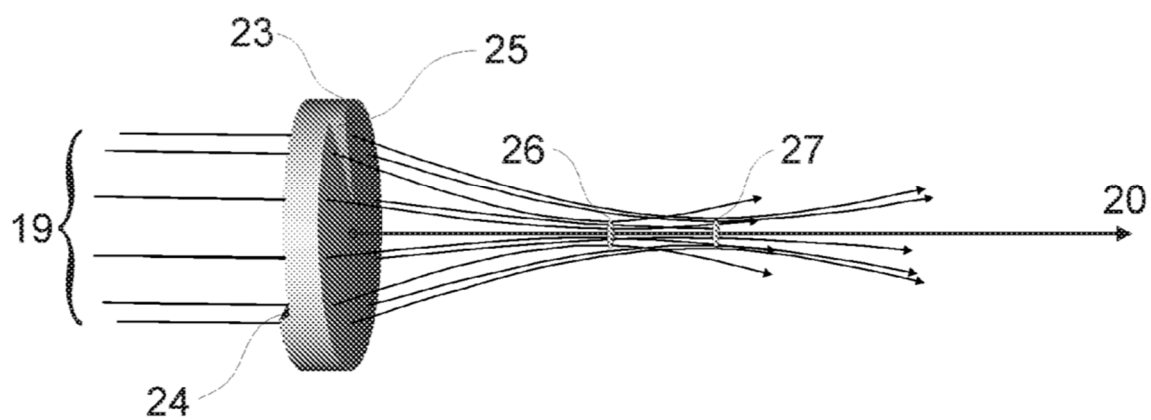


Fig. 7

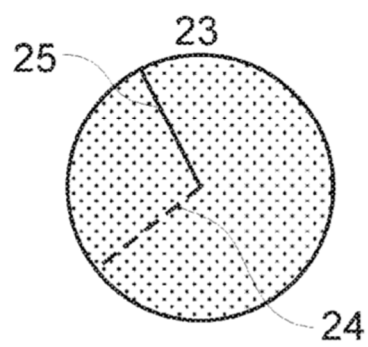


Fig. 8

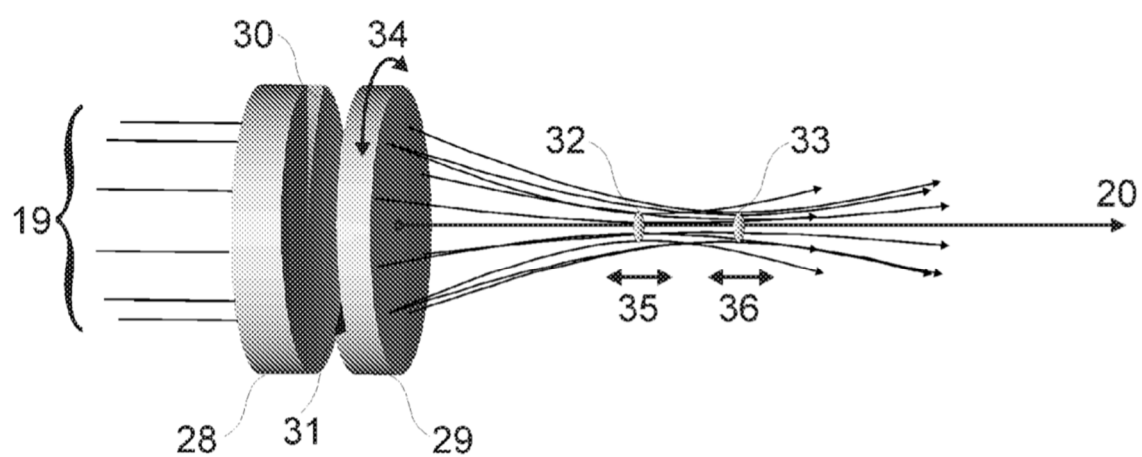


Fig. 9

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.

Documentos de patentes citados en la descripción

- | | | |
|----|---|---|
| 10 | <ul style="list-style-type: none"> • US 2006192919 A [0007] • WO 2007037690 A [0007] • WO 0108605 A [0007] • WO 9206400 A [0007] • WO 0203126 A [0007] | <ul style="list-style-type: none"> • US 2003225455 A [0007] [0012] [0039] • US 3305294 A [0011] [0013] [0021] • WO 2009012789 A [0029] • EP 0187177 A [0033] • US 7008448 B [0043] [0045] • WO 03082155 A [0043] [0045] |
| 15 | <ul style="list-style-type: none"> • DE 10241208 [0007] | |

Literatura no de patentes citada en la descripción

- | | | |
|----|--|--|
| 20 | <ul style="list-style-type: none"> • M. PETITJEAN. <i>J. Math. Phys.</i>, 2002, vol. 43, 4147-4157 [0009] • SALOMON y otros. <i>J. Mater. Chem.</i>, 1999, vol. 25, 295-308 [0009] • S. BERNET; M. RITSCH-MARTE. Adjustable refractive power from diffractive moire elements. <i>Appl. Optics</i>, 2008, vol. 47, 3722-3733 [0024] | <ul style="list-style-type: none"> • W.J. SMITH. Modern Optical Engineering. McGraw-Hill, 2000 [0026] • J.W. GOODMAN. Introduction to Fourier Optics. Roberts&Company, 2005 [0027] |
| 25 | | |