

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 329**

51 Int. Cl.:

G02C 7/04 (2006.01)

G02C 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2011** **PCT/EP2011/056552**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.11.2011** **WO11134948**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2011** **E 11716259 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 2564265**

54 Título: **Lente multifocal**

30 Prioridad:

27.04.2010 DE 102010018436

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

26.02.2021

73 Titular/es:

CARL ZEISS MEDITEC AG (100.0%)

Göschwitzer Strasse 51-52

07745 Jena , DE

72 Inventor/es:

FIALA, WERNER y

GERLACH, MARIO

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 808 329 T3

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

DESCRIPCIÓN

Lente multifocal

5 Campo técnico

La invención se refiere a una lente multifocal con un número $n > 2$ de potencias principales, en la que al menos una potencia principal es de refracción y al menos una potencia principal adicional es de difracción. La lente multifocal incluye una primera parte de lente que tiene al menos una primera zona anular e incluye al menos una segunda parte de lente que tiene al menos una segunda zona anular. Las zonas están formadas en cada caso al menos con una subzona principal y con al menos una subzona de fase.

Técnica anterior

15 Por el documento EP 1 194 797 B1 se conocen lentes multifocales con potencias de refracción y difracción. Estas lentes tienen zonas anulares o circulares-anulares, en las que cada una de estas zonas anulares está dividida en una subzona principal y una subzona de fase. El sistema de las subzonas principales representa una lente difractiva que tiene dos potencias principales. Las potencias de refracción en las subzonas de fase se seleccionan de modo que la potencia de refracción promedio de toda la zona o de toda la lente corresponda a una de las dos potencias de difracción principales. A diferencia de las lentes difractivas convencionales, la lente según el documento EP 1 194 797 B1 no tiene ningún escalón topográfico u óptico sobre la superficie de la lente.

25 En el documento EP 1 194 797 B1 también se describen lentes trifocales en las que la potencia de refracción promedio es igual al promedio de las tres potencias principales, en las que la mayor potencia principal viene dada por la potencia de difracción de orden $+1$, y en las que la menor potencia principal viene dada por la potencia de difracción de orden -1 .

30 Las lentes trifocales del tipo descrito tienen aberraciones cromáticas longitudinales tanto en las potencias principales mayor como en la menor de las tres potencias principales. Por tanto, si estas lentes van a emplearse como lentes oftálmicas (por ejemplo lentes de contacto, lentes intraoculares), en particular la aberración cromática longitudinal en la menor de las potencias principales resulta desventajosa. En concreto, esta potencia se utiliza entonces para formar imágenes de objetos alejados, y una aberración cromática longitudinal asociada con el orden de difracción -1 es particularmente negativa en un uso de este tipo.

35 Las lentes multifocales con más de dos potencias principales son deseables específicamente en el área de la oftalmología puesto que permiten una visión nítida a gran distancia, a media distancia y en la distancia de lectura. Además de las lentes trifocales según el documento EP 1 194 797 B1, se conocen otras lentes trifocales. En el documento US 5.344.447 se describen lentes difractivas trifocales, adicionalmente también en el documento US 5.760.871. En el documento US 2008/0030677 A1 se describe una lente trifocal adicional.

40 La lente trifocal según el documento US 5.344.447 tiene una potencia de difracción principal mínima igual a la potencia de difracción de orden -1 con aberración cromática longitudinal. Además, esta lente tiene los escalones topográficos u ópticos en al menos una de las superficies de lente, algo habitual en las lentes difractivas.

45 La lente trifocal según el documento US 5.760.871 también tiene una potencia de difracción principal mínima que corresponde al orden de difracción -1 con aberración cromática longitudinal.

50 La lente trifocal según el documento US 2008/0030677 A1 tiene una potencia de difracción principal mínima, que corresponde al orden de difracción cero, y una potencia máxima, que corresponde al primer orden de difracción de la lente difractiva. Según esta técnica anterior, la luz se dirige a una ubicación entre los dos focos de estas potencias por un determinado diseño de escalones de difracción adyacentes. Como todas las lentes difractivas convencionales, esta lente tiene escalones topográficos o escalones ópticos en una de las dos superficies de lente.

55 Los escalones topográficos en la superficie de una lente son desventajosos por diferentes motivos: habitualmente, estos escalones son difíciles de producir o no pueden producirse con la precisión necesaria. Además, estos escalones afectan a la comodidad de uso de las lentes oftálmicas tales como las lentes de contacto.

60 Una lente de difracción o lente difractiva consiste generalmente en una serie de zonas de lente circulares-anulares de área idéntica en cada caso; habitualmente, estas zonas se denominan zonas de Fresnel. Entre zonas adyacentes, habitualmente, se proporcionan escalones con las diferencias de longitud de trayecto t asociadas a los mismos, siendo estas diferencias de longitud de trayecto habitualmente menores que una longitud de onda λ de diseño. El área o tamaño de las zonas determina las separaciones entre las potencias de difracción de la lente, aumentando estas separaciones a medida que disminuye el área de las zonas. La diferencia de longitud de trayecto óptico t determina las intensidades máximas relativas en las potencias de difracción individuales, por ejemplo, con $t = t = \lambda/2$, hay dos potencias de difracción principales, que corresponden al orden de difracción cero y uno, y en ambos casos tienen una intensidad máxima de $(2/\pi)^2 = 40,5\%$, siendo el 100% la intensidad máxima de una lente de difracción limitada con

zonas de Fresnel idénticas, pero sin escalones entre las zonas. Esta última lente es una lente refractiva "normal". Para diferencias de longitud de trayecto, que son absolutamente menores que media longitud de onda de diseño, predomina la potencia del orden cero, en el caso de $\text{abs}(t) > \lambda/2$, la potencia del primer orden de difracción tiene la mayor intensidad relativa.

Es extremadamente importante señalar que una potencia de refracción está asociada con cada zona de Fresnel individual de una lente difractiva; esta potencia de refracción puede calcularse mediante la refracción de un rayo de luz incidente aplicando la ley de refracción de Snell. La zona de Fresnel individual puede tener una potencia uniforme, aunque también puede tener una configuración de superficie de modo que la potencia de refracción varíe a lo largo de la superficie de zona; entonces, la potencia de refracción de esta zona es una potencia promedio.

En las lentes difractivas multifocales convencionales con escalones ópticos entre zonas contiguas, ninguna de las potencias de difracción es idéntica a las potencias de refracción de las zonas. En particular, esto también es aplicable a la potencia de difracción de orden cero de una lente difractiva.

Hay dos formaciones fundamentales de lentes difractivas. En la primera formación, la diferencia de longitud de trayecto t entre la primera y la segunda zona es igual a aquella entre la segunda y la tercera zona, etc. Las formas de realización de estas lentes difractivas tienen habitualmente un perfil en diente de sierra en una de las dos superficies de una lente fabricada con un índice de refracción dado. En la segunda formación fundamental de lentes difractivas según la técnica anterior, las diferencias de longitud de trayecto óptico son $+t$ entre la primera y la segunda zona, $-t$ entre la segunda y la tercera zona, $+t$ entre la tercera y la cuarta zona, etc. En el documento EP 1 194 797 B1 se explican los inconvenientes de estas lentes difractivas conocidas.

En el documento EP 1 194 797 B1 se mencionan lentes según la invención que se forman sin escalones topográficos ni ópticos sobre la superficie de la lente. En este contexto, también se menciona una lente trifocal, en la que las zonas individuales tienen diferentes potencias promedio, y además, de manera desventajosa, se producen aberraciones cromáticas longitudinales tanto en las potencias principales menor como en la mayor de las tres potencias principales.

Presentación de la invención

El objetivo de la presente invención es proporcionar una lente al menos trifocal, que permita una visión mejorada tanto a corta distancia como a media distancia y en particular a gran distancia.

Este objetivo se alcanza con una lente multifocal que tiene las características según la reivindicación 1.

Una lente multifocal según la invención tiene al menos un número $n > 2$ de potencias principales. Por tanto, la lente multifocal es al menos una lente trifocal. Especialmente al menos una de las potencias principales es de refracción y al menos una potencia principal adicional es de difracción. La lente multifocal tiene una primera parte de lente que incluye al menos una primera zona anular. La lente multifocal incluye además al menos una segunda parte de lente que tiene al menos una segunda zona anular. Las zonas de las partes de lente tienen en cada caso al menos una subzona principal y al menos una subzona de fase. Tanto la subzona principal como la subzona de fase también están formadas de manera anular. Para formar las n potencias principales, en la lente multifocal según la invención, se combinan un máximo de $n-1$ partes de lente. Una potencia de refracción promedio de una zona de una parte de lente es igual a una potencia de refracción promedio de una zona de otra parte de lente. Es decir, que todas las partes de lente que forman una lente multifocal tienen la misma potencia de refracción promedio. Por tanto, si una lente está construida por ejemplo por dos partes de lente, estas dos partes de lente tienen la misma potencia de refracción promedio. Por tanto, si la lente está construida por ejemplo por tres partes de lente, las tres partes de lente tienen la misma potencia de refracción promedio. Con una configuración específica de este tipo de la lente multifocal, puede mejorarse la formación de imágenes y por tanto también la visión con la lente a corta distancia, a media distancia y en particular a gran distancia.

Las partes de lente son diferentes en al menos un parámetro óptico. Por ejemplo, como parámetros ópticos cabe mencionar una potencia tal como una potencia de lejos o una potencia de cerca o una potencia de adición. Además, un parámetro óptico también puede ser por ejemplo una intensidad de lejos o un tamaño de una superficie óptica.

En este contexto, por una parte de lente, en particular se entenderá un área circular o circular-anular (anular) de la lente. Una parte de lente también puede estar compuesta por varias áreas o zonas circulares o circulares-anulares no contiguas de la lente.

Por una potencia principal, se entiende una potencia cuya intensidad relativa es mayor de 0,05 (5%), en particular mayor de o igual a 0,07 (7%).

De una manera particularmente ventajosa, se consigue una configuración en la que la lente multifocal no tiene ninguna aberración cromática longitudinal de difracción en la menor de las n potencias principales. Esto garantiza una característica de formación de imágenes muy mejorada y por tanto una visión considerablemente mejor en particular a gran distancia.

Una aberración cromática de refracción por una dispersión del material óptico, que es pequeña con respecto a la aberración cromática de difracción, y opuesta en el orden de difracción +1, no es un problema en la presente invención.

- 5 Especialmente esto es particularmente ventajoso con respecto a la representación del color y la percepción de las imágenes.

Preferiblemente, se prevé que la potencia de refracción promedio de una zona sea igual a la menor de las potencias principales de la lente multifocal. Así se consigue una especificación de potencias. Preferiblemente, también se forma para todas las zonas de una parte de lente, si tiene al menos dos zonas. En particular, las zonas de una parte de lente tienen la misma potencia de refracción promedio.

En particular, la menor de las n potencias principales está libre de aberración cromática longitudinal de difracción.

- 15 Preferiblemente, la lente multifocal está formada con la forma y/o posición relativa de las zonas entre sí de modo que la menor de las potencias principales está libre de aberración cromática longitudinal independientemente del número de las potencias principales $n > 2$. Por tanto, la lente también está formada con sus partes de lente y las zonas asociadas respectivamente de modo que no sólo en una lente trifocal, sino también en una lente cuadrifocal etc., la menor de las potencias principales siempre esté libre de aberración cromática longitudinal de difracción.

20 La menor de las n potencias principales de la lente multifocal depende de la potencia de refracción de una subzona principal de una primera zona ponderada por la proporción de área de la subzona principal con respecto a la superficie total de esta primera zona y además también depende de la potencia de refracción de la subzona de fase de esta primera zona ponderada por la proporción de área de la subzona de fase con respecto a la superficie total de esta zona considerada. Esto se aplica en particular a cada una de las zonas de la lente multifocal, donde en particular para la menor de las potencias principales D_1 de la lente, por tanto, se aplica la relación:

$$D_1 = D_{G1}(1 - p_1) + D_{S1}p_1 = D_{G2}(1 - p_2) + D_{S2}p_2$$

- 30 En este caso, se aplica:

D_{G1} es la potencia de refracción en la subzona principal de la primera zona (y 3ª, 5ª...zona); D_{S1} es la potencia de refracción de la subzona de fase de la primera (y 3ª, 5ª...) zona. p_1 es la proporción de área de la subzona de fase con respecto a la primera (y 3ª, 5ª...) zona total.

35 D_{G2} es la potencia de refracción en la subzona principal de la segunda zona (y 4ª, 6ª...zona); D_{S2} es la potencia de refracción en la subzona de fase de la segunda (y 4ª, 6ª...) zona. p_2 es la proporción de área de la subzona de fase con respecto a la segunda (y 4ª, 6ª...) zona total.

- 40 La explicación anterior se muestra para una lente con dos partes de lente, en la que las zonas de número impar están asociadas con la primera parte de lente y las zonas de número par están asociadas con la segunda parte de lente. La ecuación mencionada anteriormente también se aplica a una lente multifocal con más de dos partes de lente; así, para una parte de lente j adicional, se aplica:

$$D_1 = D_{Gj}(1 - p_j) + D_{Sj}p_j$$

45 Se prevé que la primera parte de lente tenga al menos dos zonas, entre las que visto en una dirección radial de la lente, está dispuesta la al menos una zona de la segunda parte de lente. Por tanto, la configuración en esta implementación es de tal modo que en una disposición alterna de anillos se forma una primera zona de la primera parte de lente, a continuación le sigue una zona de la segunda parte de lente y visto en una dirección radial, entonces de nuevo se forma una primera zona adicional de la primera parte de lente..

50 Por tanto, si se forman más de dos partes de lente, se aplica esta disposición alterna de modo que visto en una dirección radial, consecutivamente se dispone respectivamente una zona de una de las partes de lente, y entonces, si se forma una zona anular a partir de cada parte de lente, de nuevo le sigue una primera zona de la primera parte de lente, etc.

También puede preverse que en caso de más de dos partes de lente, cada parte de lente tenga sólo una zona, y así se forme la lente multifocal. También puede preverse que al menos una parte de lente tenga más de una zona.

60 Preferiblemente, se prevé que se forme una primera zona de la primera parte de lente limitando con una zona de la segunda parte de lente y las superficies ópticas de estas dos zonas son del mismo tamaño. Esto ocurre en particular para todas las zonas respectivamente adyacentes en pares de dos partes de lente diferentes.

Con respecto a las superficies ópticas de las zonas, a este respecto pueden considerarse tanto la cara anterior como la cara posterior de la lente. Dependiendo de cómo esté configurada la lente multifocal a este respecto, la cara anterior puede tener un perfil de superficie correspondiente y la cara posterior puede tener un perfil de superficie correspondiente. Por tanto, si la cara anterior está configurada de manera correspondiente, la cara posterior puede estar formada de manera asférica. Esto ocurre a la inversa si la cara posterior tiene un perfil de superficie correspondiente.

También puede preverse que la superficie coincidente respectiva con la superficie con el perfil de superficie estructurado (perfil con las zonas anulares) tenga una forma tórica o asférica-tórica. Así, puede formarse una lente intraocular monotórica para corregir el astigmatismo corneal.

Preferiblemente, se prevé que una zona global formada por zonas adyacentes de dos partes de lente tenga una subzona principal global o una subzona principal con la potencia de refracción promedio D_{G12} y una subzona de fase con la potencia D_{S2} . La potencia D_{S2} ya se indicó anteriormente, la potencia D_{G12} viene dada por:

$$D_{G12} = D_{G1} \frac{1-p_1}{2-p_2} + D_{S1} \frac{p_1}{2-p_2} + D_{G2} \frac{1-p_2}{2-p_2}$$

En particular, estas relaciones se aplican a una lente trifocal con dos partes de lente.

Preferiblemente, una zona global formada por las dos zonas adyacentes de las dos partes de lente tiene una potencia de refracción de la subzona de fase global o la subzona de fase, que corresponde a la potencia de la subzona de fase de una parte de lente. En particular, es la parte de lente, que está radialmente más hacia fuera, y por tanto la subzona de fase radialmente más hacia fuera tiene la potencia D_{S2} .

Preferiblemente, se prevé que en una implementación de la lente multifocal, una intensidad de lejos relativa de la al menos una zona de la primera parte de lente sea más de un 10%, en particular al menos un 30%, preferiblemente al menos un 100% diferente de una intensidad de lejos relativa de la al menos una zona de la segunda parte de lente. Con una diferencia específica de este tipo en las intensidades de lejos, puede mejorarse la característica de formación de imágenes de la lente multifocal de una manera particularmente positiva, en particular con respecto a la eliminación de una aberración cromática longitudinal en la menor de las potencias principales de la lente.

Preferiblemente, se prevé que en una implementación de la lente multifocal con más de dos partes de lente, se formen intensidades de lejos relativas en cada caso diferentes en pares entre zonas de partes de lente diferentes. Por tanto, en particular se prevé que las intensidades relativas de las menores potencias respectivamente de las partes de lente tengan una diferencia de porcentaje mayor del 10%. Por tanto, incluso en lentes multifocales específicas con más de tres potencias principales, también existe una especificación tal de las intensidades de lejos.

De una manera particularmente ventajosa, la lente es una lente trifocal, que está construida a partir de dos partes de lente bifocal. Una lente específica de este tipo permite de una manera particularmente ventajosa una mejora de la visión y especialmente no tiene ninguna aberración cromática longitudinal en la menor de las potencias principales.

Preferiblemente, las partes de lente están formadas con una forma y/o disposición local una en relación con otra de modo que una potencia de lejos de la lente multifocal sea sustancialmente igual a la potencia de lejos de una lente, formada exclusivamente por zonas de la primera parte de lente o exclusivamente por zonas de la segunda parte de lente.

En particular, las partes de lente están formadas preferiblemente con una forma y/o disposición local una en relación con otra de modo que una potencia de cerca de la lente multifocal sea sustancialmente igual a la potencia de cerca de una lente, formada exclusivamente por zonas de la primera parte de lente o exclusivamente por zonas de la segunda parte de lente.

Preferiblemente, una proporción de área porcentual de la al menos una subzona de fase con respecto a la proporción de área total de la superficie óptica de una zona es menor del 25%, preferiblemente está entre el 8% y el 17%.

En particular puede preverse que una potencia de adición de una parte de lente bifocal sea igual a la potencia de adición de una segunda parte de lente. Sin embargo, las potencias de adición de varias partes de lente también pueden ser diferentes.

En una implementación ventajosa, puede preverse que las menores potencias de las partes de lente y las potencias de adición de las partes de lente sean en cada caso iguales, y en particular que las intensidades de lejos y/o las intensidades de cerca de las potencias de las partes de lente sean diferentes.

- En una implementación adicional, también puede preverse que las mayores potencias de las partes de lente y las potencias de adición de las partes de lente sean en cada caso diferentes y en particular que las intensidades de lejos y/o las intensidades de cerca de las potencias de las partes de lente sean diferentes. En particular, las menores potencias de las partes de lente son entonces iguales.
- En una configuración de la lente multifocal como lente trifocal formada por dos partes de lente bifocal, puede preverse que la menor potencia de la primera parte de lente bifocal sea diferente de la menor potencia de la segunda parte de lente bifocal.
- En particular, también puede preverse que la mayor potencia de la primera parte de lente bifocal sea diferente de la mayor potencia de la segunda parte de lente bifocal.
- Preferiblemente, se prevé que una parte de lente tenga al menos dos zonas, que tienen un número idéntico de subzonas principales y un número idéntico de subzonas de fase. En particular, cada zona tiene sólo una subzona principal y sólo una subzona de fase, estando dispuesta la subzona de fase de manera preferible radialmente más hacia fuera que la subzona principal y terminando con el borde de zona radialmente exterior. En particular, también se prevé que ambas partes de lente tengan en cada caso múltiples zonas, formadas de manera idéntica con respecto al número de las subzonas principales y subzonas de fase y/o con respecto a la disposición local de la subzona de fase en una zona.
- También puede preverse que las zonas de una parte de lente y/o las zonas de otra parte de lente estén formadas de manera diferente con respecto a su número de subzonas principales y/o con respecto a su número de subzonas de fase. De manera similar, las posiciones locales de las subzonas de fase en una zona también pueden ser diferentes.
- En una forma de realización preferida, se forma una zona de una parte de lente limitando con una zona de otra parte de lente y las superficies ópticas de las zonas son del mismo tamaño. En particular, las superficies ópticas de todas las zonas de una parte de lente son del mismo tamaño. Se aplica lo correspondiente en particular también a las superficies ópticas de todas las zonas de otra parte de lente.
- Preferiblemente, una intensidad de lejos relativa de la al menos una zona de la primera parte de lente es más de un 10%, en particular al menos un 30%, en particular al menos un 100% diferente de una intensidad de lejos relativa de la al menos una zona de la segunda parte de lente.
- Preferiblemente, las partes de lente tienen potencias de adición idénticas.
- Preferiblemente, una lente con $n > 2$ potencias principales está construida a partir de $n - 1$ partes de lente bifocal. Por tanto, puede ser una lente trifocal construida a partir de dos partes de lente bifocal. También puede preverse una lente cuatrifocal, formada por tres partes de lente bifocal. En particular para esta lente, son ventajosas las implementaciones con potencias de adición idénticas y/o con intensidades de lejos diferentes en más de un 10% y/o superficies ópticas de igual tamaño de las zonas de las partes de lente.
- Preferiblemente, en una lente con $n > 2$ potencias principales, construida a partir de $n - 1$ partes de lente bifocal, se prevé una configuración en la que se forma un rango de foco continuo y por tanto también un rango de potencia con una formación solapada de los rangos de profundidad de foco de los focos respectivos. Esto tiene la ventaja de que no se produce un fallo de la imagen para determinados rangos de potencia entre las potencias y por tanto no se producen los focos inversos.
- En una implementación diferente, se prevé que una lente con $n > 2$ potencias principales, en particular cuatro potencias principales, esté construida a partir de menos de $n - 1$, en particular dos partes de lente bifocal.
- Preferiblemente, en este caso, se prevé que el tamaño de una superficie óptica de una zona de la primera parte de lente sea diferente del tamaño de una superficie óptica de una zona de la segunda parte de lente.
- En particular, la superficie óptica de la segunda parte de lente es mayor que la superficie óptica de la primera parte de lente en al menos un 50%, en particular al menos un 90%. Así, las lentes cuatrifocales también pueden formarse a partir de dos partes de lente bifocal.
- En estas implementaciones, en particular se prevé que las potencias de adición de las dos partes de lente sean diferentes.
- En estas implementaciones, en particular se prevé que las dos partes de lente tengan intensidades de lejos relativas idénticas, preferiblemente en un 50%.
- En particular, las superficies ópticas de la lente están libres de escalones topográficos y ópticos. Esto significa que el contorno de superficie es continuo. En particular, esto también significa que el frente de onda detrás de la lente según

la invención es continuo, es decir, no se producirán diferencias de longitud de trayecto óptico o escalones ópticos entre partes parciales del frente de onda detrás de la lente.

En una implementación preferida de la lente, una superficie de la lente estructurada con las zonas se forma de modo que tiene un efecto astigmático con respecto a su característica de formación de imágenes. En particular, las potencias de las zonas se forman de manera diferente dependiendo de un ángulo del meridiano y por tanto la posición de un meridiano, en particular el eje principal. En una lente tórica, los dos meridianos son ejes principales, los ejes de la elipse. La diferencia de las dos potencias en los dos meridianos se denomina cilindro. La superficie de la lente estructurada con las zonas se aplica en particular a un cuerpo de base tórico o tórico-asférico. A partir de aquí, también se obtiene una variante de configuración bitórica, en la que ambos lados (estructurado y no estructurado) pueden formarse de manera tórica o esférica-tórica. La ventaja de la configuración bitórica es que puede dividirse el efecto óptico tórico sobre las dos superficies, la superficie anterior y la superficie posterior de la lente. Esto da como resultado diferencias de radio menores en los meridianos principales respectivamente para ambas superficies en comparación con una lente intraocular monotórica con el mismo efecto de cilindro. La calidad de la formación de imágenes de las lentes intraoculares bitóricas es mejor en comparación con las lentes intraoculares monotóricas. Así, puede construirse una lente intraocular bitórica para corregir astigmatismos corneales.

Preferiblemente, en al menos un, en particular en cada meridiano, una potencia de refracción promedio de una zona de la primera parte de lente es en cada caso igual a una potencia de refracción promedio de una zona de la segunda parte de lente. En particular esto también es posible en diferentes meridianos.

En una implementación ventajosa, se prevé que toda la lente con $n > 2$ potencias principales esté compuesta por un máximo de $n-1$ partes de lente con en cada caso al menos una zona y por tanto ya no están presentes partes de lente adicionales. Por tanto, en este contexto, puede preverse que una lente trifocal esté compuesta por dos partes de lente bifocal. De manera similar, puede preverse que una lente cuádrifocal esté compuesta por tres partes de lente, en particular tres partes de lente bifocal, y por tanto ya no se proporcionan partes de lente adicionales. De manera similar, puede preverse que una lente cuádrifocal esté compuesta meramente por dos partes de lente diferentes, en particular dos partes de lente bifocal diferentes, y por tanto ya no están presentes partes de lente adicionales. Las comprobaciones e implementaciones específicas mencionadas anteriormente también se aplican a lentes globales que están compuestas por $n-1$ partes de lente, en particular $n - 1$ partes de lente bifocal.

Sin embargo, en implementaciones adicionales también puede preverse que una lente global con $n > 2$ potencias principales esté diseñada con un máximo de $n-1$ partes de lente con en cada caso al menos una zona, que a su vez está formada en cada caso por al menos una subzona principal y al menos una subzona de fase, y además tiene al menos una parte de lente adicional.

En este contexto, puede formarse una lente diseñada en particular como lente cuádrifocal. Según una primera implementación, puede preverse que esta lente cuádrifocal esté compuesta sólo por dos partes de lente, que difieren en al menos un valor de un parámetro óptico. Las dos partes de lente tienen en cada caso al menos una zona, que a su vez respectivamente tiene al menos una subzona principal y una subzona de fase. Una potencia de refracción promedio de una zona de la primera parte de lente es igual a una potencia de refracción promedio de una zona de la segunda parte de lente. Preferiblemente, se prevé que la potencia de adición de la primera parte de lente sea de 3,75 dioptrías, y la potencia de adición de la segunda parte de lente sea de 3,1 dioptrías. Preferiblemente, el diámetro de esta lente es de 4,245 mm. En particular, se prevé que la intensidad de lejos relativa en las zonas de la primera parte de lente sea del 90%, y preferiblemente la intensidad de lejos relativa en las zonas de la segunda parte de lente sea del 40%. Preferiblemente, la proporción de área de la subzona principal en una zona es del 90%. Preferiblemente, esta proporción de área porcentual de la subzona principal es igual en todas las zonas.

Las áreas ópticas de las zonas de la primera parte de lente y por tanto las zonas numeradas con una secuencia numérica impar son diferentes en tamaño de las áreas ópticas de las zonas de la segunda parte de lente y por tanto las zonas numeradas con números pares.

En una forma de realización preferida adicional todas las zonas anulares numeradas de forma impar tienen la misma área de superficie. Además, todas las zonas anulares numeradas de forma par tienen la misma área de superficie, que es diferente del área de superficie de las zonas anulares numeradas de forma impar. Por tanto los grosores radiales de las zonas son diferentes y disminuyen con el radio de la lente.

En una implementación adicional puede preverse que esta lente cuádrifocal no esté compuesta por dos partes de lente que difieren en un valor de un parámetro óptico, pero que además de estas dos partes de lente, esté presente una tercera parte de lente. La lente cuádrifocal se construye entonces compuesta por tres partes de lente, que son en particular tres partes de lente bifocal. En particular, aquí, se prevé que las zonas de las dos primeras partes de lente estén dispuestas alternando entre sí visto en una dirección radial, realizándose esto en particular hasta un diámetro de 4,245 mm. Entonces, limitando radialmente hacia fuera, la tercera parte de lente limita con una formación anular. Esta tercera parte de lente, que también es bifocal, se extiende entonces preferiblemente hasta un diámetro total de aproximadamente 6 mm, en particular 5,888 mm. Esta tercera parte de lente bifocal también está formada compuesta por al menos una, en particular múltiples zonas, teniendo cada zona a su vez una subzona principal y una subzona de

fase. Preferiblemente, la potencia de adición de la tercera parte de lente es de 3,33 dioptrías. Esto corresponde al promedio de los dos valores de dioptrías de 3,75 y 3,1 de las dos primeras partes de lente.

Preferiblemente, la intensidad de lejos relativa en las zonas de la tercera parte de lente es del 65%.

Tal implementación de una lente cuádrifocal con una tercera parte de lente adicional radialmente externa con los valores específicos mencionados sería ventajosa especialmente si está presente una pupila grande del ojo, en la que se insertará la lente intraocular. Como con pupilas grandes la intensidad de lejos y de cerca y menos la intensidad intermedia son importantes y pasan a primer plano, tal configuración con una tercera parte de lente es ventajosa.

En una implementación adicional de una lente, que puede denominarse lente cuádrifocal, a diferencia de la implementación mencionada anteriormente, en la que esta lente está compuesta por dos partes de lente, se prevé que las intensidades de lejos relativas no sean del 90% y 40%, sino preferiblemente del 85% y 39,5%. Preferiblemente, una lente de este tipo corresponde a las proporciones de 50:20:30 con respecto a las intensidades relativas para la gran distancia, la media distancia y la corta distancia.

En este caso también, adicionalmente puede preverse una implementación adicional, en la que como tercera parte de lente adicional se prevé una como la explicada en la implementación mencionada anteriormente, previéndose en este caso de nuevo en particular una potencia de adición de 3,33 dioptrías y una intensidad de lejos relativa del 65%.

En este caso también, puede preverse que la potencia de adición de las zonas de la tercera parte de lente sea de 3,33 dioptrías.

En una implementación adicional, puede preverse que una lente cuádrifocal según las explicaciones anteriores esté compuesta meramente por dos partes de lente, que difieren en un valor de al menos un parámetro óptico. A diferencia de las explicaciones específicas mencionadas anteriormente, en este caso, puede preverse que la potencia de adición sea de nuevo de 3,75 dioptrías en la primera parte de lente y de 3,1 dioptrías en la segunda parte de lente, sin embargo, las intensidades de lejos relativas son del 82% en la primera parte de lente y del 41,75% en la segunda parte de lente.

En este caso también, puede formarse una forma de realización adicional de modo que la lente cuádrifocal no esté compuesta por estas dos partes de lente, sino por tres partes de lente. Para ello, en este caso también, de nuevo se prevé que además de las dos partes de lente con las zonas dispuestas alternando de dentro hacia fuera visto en una dirección radial, la tercera parte de lente se forme limitando con estas dos partes de lente hacia fuera en la dirección radial. Preferiblemente se forma con varias zonas, formadas de manera idéntica con respecto a los valores de parámetro. En particular, en este caso, se prevé que la intensidad de lejos relativa sea de nuevo del 65%. En este caso también, la potencia de adición puede ser de 3,33 dioptrías.

En una forma de realización adicional, a diferencia de las lentes cuádrifocales mencionadas anteriormente, de nuevo puede proporcionarse una lente cuádrifocal, que esté construida a partir de dos partes de lente. Difieren en particular en la intensidad de lejos relativa de las formas de realización mencionadas hasta ahora, en las que la intensidad de lejos relativa de la primera parte de lente es del 86,5% y la de la segunda parte de lente es del 40%. De otro modo, los valores para las potencias de adición son análogos a las formas de realización mencionadas anteriormente.

En este caso también, adicionalmente puede preverse una forma de realización adicional, en la que una tercera parte de lente está dispuesta limitando radialmente hacia fuera con las dos primeras partes de lente como una parte de lente bifocal para la lente cuádrifocal. Sin embargo, esta tercera parte de lente también incluye preferiblemente múltiples zonas, que son idénticas con respecto a los valores de parámetro de los parámetros ópticos. En este caso también, en particular puede preverse que la intensidad de lejos relativa de las zonas de la tercera parte de lente sea del 65%, en particular que la potencia de adición sea también de 3,33 dioptrías.

También puede preverse que en todas las formas de realización mencionadas anteriormente con lentes cuádrifocales construidas a partir de tres partes de lente bifocal, la potencia de adición de la tercera parte de lente no sea de 3,33 dioptrías, sino de 3,75 dioptrías. Especialmente si la potencia de adición promedio de las dos primeras partes de lente es de 3,33 dioptrías y el valor de la potencia de adición de la tercera parte de lente es de 3,75 dioptrías. Como consecuencia, las intensidades de los picos de la potencia de cerca son menores para pupilas grandes, aunque la distribución de intensidades de cerca se amplía. Sin embargo, la energía total de esta potencia de cerca no se ve afectada por ello.

Preferiblemente, en las implementaciones recién mencionadas para lentes cuádrifocales, se prevé que la primera parte de lente tenga siete zonas y la segunda parte de lente también tenga siete zonas. Preferiblemente, en las implementaciones de una lente cuádrifocal con tres partes de lente bifocal, se prevé que el número de las zonas de la tercera parte de lente sea mayor de 5, en particular mayor de 10. En particular, esto depende del diámetro de la pupila.

En particular, la lente multifocal es una lente de ojo, en particular una lente de contacto o de manera más preferida una lente intraocular.

- Tanto los valores específicos de los parámetros especificados en los documentos como la especificación de los parámetros y la relación de los parámetros entre sí para la caracterización de las características específicas de la lente deben considerarse incluidos por el alcance de la invención incluso dentro del alcance de las desviaciones, por ejemplo, debido a errores de medición, errores de sistema, tolerancias DIN, etc., de manera que en este contexto las
- 5 indicaciones relativas a una identidad de potencias, intensidades de lejos, indicaciones posicionales, dimensionamientos y similares deben considerarse idénticas incluso dentro del alcance de una indicación de "sustancialmente".
- Otras características de la invención se desprenderán de las reivindicaciones, las figuras y la descripción de las figuras.
- 10 Las características y combinaciones de características mencionadas anteriormente en la descripción, así como las características y combinaciones de características mencionadas a continuación en la descripción de las figuras y/o mostradas en las figuras solas pueden utilizarse no sólo en la combinación especificada respectivamente, sino también en otras combinaciones o solas sin apartarse del alcance de la invención.
- 15 Breve descripción de los dibujos
- Las formas de realización de la invención se explican en más detalle a continuación a modo de dibujos esquemáticos. Muestran:
- 20 la figura 1, una representación esquemática de una sección parcial de una sección transversal de lente de una lente trifocal conocida según el documento EP 1 194 797 B1, construida a partir de zonas idénticas;
- la figura 2, una representación de un diagrama, en la que se muestra la intensidad relativa de potencias de lente para una lente trifocal según la figura 1;
- 25 la figura 3, una representación esquemática en sección transversal de una lente bifocal según el documento EP 1 194 797 B1, en la que las zonas idénticas de la lente están configuradas de modo que la intensidad relativa de la menor de las dos potencias tiene un valor previsto;
- 30 la figura 4, una representación esquemática de una sección parcial de una sección transversal de una lente bifocal adicional según el documento EP 1 194 797 B1, en la que las zonas idénticas de esta lente están configuradas de modo que la intensidad relativa en la menor de las dos potencias tiene un valor adicional, diferente en comparación con la representación según la figura 3;
- 35 la figura 5, una representación esquemática de una sección parcial de una lente en sección transversal según una forma de realización de la lente multifocal según la invención;
- la figura 6, un diagrama, en el que se muestran las intensidades relativas de las potencias de la lente según la figura 5;
- 40 la figura 7, un diagrama, en el que se muestran las potencias de las subzonas principales de las lentes según la figura 3 y la figura 4 en función de la intensidad relativa de la menor potencia (potencia de lejos) para algunas proporciones a modo de ejemplo de las subzonas principales con respecto a la zona global y para una potencia de adición de 4 dioptrías;
- 45 la figura 8, un diagrama, en el que se representan las intensidades relativas de las potencias principales de una lente según la figura 5;
- la figura 9, una representación ampliada de una sección de una cara anterior de una forma de realización de una lente según la invención, en la que se representa la representación sin escalones sustancialmente a escala con respecto a las dimensiones y la geometría;
- 50 la figura 10, una representación esquemática de una sección parcial de una forma de realización adicional de una lente según la invención, que está formada como una posible lente cuadrifocal;
- 55 la figura 11, un diagrama, en el que se representan las intensidades relativas de las potencias principales de la lente según la figura 10;
- la figura 12, un diagrama, en el que se representan las intensidades relativas de las potencias principales de una lente según la invención según la forma de realización en la figura 5, estando construida esta lente a partir de zonas de dos partes de lente, que tienen respectivamente diferentes potencias de adición y respectivamente diferentes intensidades de lejos relativas;
- 60 la figura 13, una vista en planta esquemática de una forma de realización de una lente según la invención;
- 65

la figura 14, una sección parcial esquemática de la lente según la figura 13 en una representación en sección longitudinal;

la figura 15, un diagrama, en el que se representan las intensidades relativas de las potencias principales de una lente según la invención según la forma de realización en la figura 16, estando construida esta lente cuadrifocal a partir de zonas de dos partes de lente, que tienen respectivamente diferentes potencias de adición y respectivamente intensidades de lejos relativas idénticas así como superficies ópticas de tamaño respectivamente diferente;

la figura 16, una representación esquemática de una sección parcial de una lente según la figura 15 en sección transversal según una forma de realización de la lente multifocal según la invención;

la figura 17, una vista en planta de una sección parcial de una forma de realización adicional de una lente según la invención; y

la figura 18, un diagrama, en el que se representan las intensidades relativas de las potencias principales de una lente según la figura 17, estando construida esta lente cuadrifocal a partir de zonas de tres partes de lente, que tienen respectivamente diferentes potencias de adición y respectivamente diferentes intensidades de lejos relativas.

Implementación preferida de la invención

En las figuras, los elementos similares o funcionalmente similares están dotados de los mismos caracteres de referencia.

En la figura 1, en una representación en sección, se muestra una parte de una lente trifocal 1 con potencias de difracción y refracción conocidas de la técnica anterior por el documento EP 1 194 797 B1. La lente 1 tiene una aberración cromática longitudinal en la menor y en la mayor de las tres potencias principales, como muestra la curva discontinua en la figura 2. En la figura 2, en el eje vertical, se traza la intensidad relativa y en el eje horizontal se traza la potencia de la lente en dioptrías. Resultan evidentes las intensidades relativamente grandes I_R de las tres potencias principales, estando representada la línea continua para luz monocromática con una longitud de onda de diseño de 550 nm, y tomando la línea discontinua como base para la luz policromática con una distribución de Gauss en el intervalo de longitud de onda entre 450 nm y 650 nm. La intensidad para 450 nm y 650 nm, respectivamente, es del 20% de la intensidad máxima para 550 nm.

Como se explica en detalle con respecto a estas configuraciones en el documento EP 1 194 797 B1, la lente 1 según la figura 1 está compuesta por las zonas 2 y 2' de igual área, que están formadas de manera anular y tienen en cada caso subzonas principales 3 y 3' y subzonas de fase 4 y 4'. Las zonas 2 y 2' vistas radialmente desde el eje central A y por tanto hacia arriba en la representación según la figura 1, están casi numeradas en su orden y las zonas impares 2 están formadas de modo que por ejemplo la menor de las potencias de difracción corresponde a la potencia de refracción promedio de las zonas 2. Entonces, por el contrario, la potencia de refracción promedio de las zonas pares 2' corresponde a la mayor potencia de difracción. Debido a esta configuración, la lente 1 según la figura 1 tiene una aberración cromática longitudinal tanto en la mayor como en la menor de las potencias principales, como también resulta evidente en la figura 2. En el lado posterior de la lente 1, el perfil o el contorno está formado de modo que en una zona 2, la subzona de fase 4 se extiende en oblicuo hacia atrás con respecto al contorno de la subzona principal 3. En la zona 2' adyacente, esto es exactamente a la inversa, de modo que aquí el contorno de la subzona de fase 4' se extiende entonces de nuevo en oblicuo hacia delante con respecto a la subzona principal 3' de la zona 2' adicional, de modo que se forman elevaciones y depresiones casi alternas.

En la figura 3, se muestra el perfil topográfico de una lente bifocal 5 según el documento EP 1 194 797 B1 en una sección parcial. Esta lente 5 tiene una distribución de intensidades relativa dada entre dos potencias principales de, por ejemplo, el 40% para la menor potencia (potencia de lejos). La lente bifocal 5 tiene a modo de ejemplo una menor potencia (potencia de lejos) de 20 dioptrías y una mayor potencia (potencia de cerca) de 24 dioptrías. La potencia de adición de la lente 5 es por tanto de 4 dioptrías. La lente 5 está construida a partir de zonas idénticas 6, que a su vez están divididas en subzonas principales 7 y subzonas de fase 8.

Las potencias en las subzonas 7 y 8 se seleccionan de modo que la potencia promedio de la zona 6 ponderada por las proporciones de área porcentuales p_1 y $1 - p_1$, respectivamente, es igual a la menor de las dos potencias principales de la lente 5.

En la figura 4, se muestra esquemáticamente el perfil topográfico de una lente bifocal 9 adicional según el documento EP 1 194 797 B1 en una sección parcial. Esta lente 9 está compuesta por zonas idénticas 10 con las correspondientes subzonas principales 11 y subzonas de fase 12. La lente bifocal 9 según la figura 4 tiene a modo de ejemplo las mismas potencias principales que la lente 5 según la figura 3, aunque una división de intensidad diferente entre la menor y la mayor de las dos potencias principales. Esto significa que las potencias de refracción en las subzonas principales 7 de la lente 5 son diferentes de las potencias de refracción en las subzonas principales 11 de la lente 9; las potencias de refracción en las subzonas de fase 8 y 12 también son diferentes en cada caso.

En la figura 5, en una representación esquemática, se muestra una sección longitudinal a través de una forma de realización de una lente multifocal 13 según la invención, mostrándose sólo una sección de la lente 13. La lente 13 es una lente trifocal y por tanto tiene $n=3$ potencias principales. La lente 13 tiene una primera parte de lente 15 y una segunda parte de lente 16. La primera parte de lente 15 está construida a partir de múltiples zonas anulares 6. Cada zona anular 6 tiene una subzona principal 7 y una subzona de fase 8. La proporción de área porcentual p_1 y por tanto el tamaño de la superficie óptica y por tanto de una superficie anular total respectiva de una subzona de fase 8 de una zona 6 es por ejemplo de entre el 8% y el 17% de un área total de una zona 6. A diferencia de esto, entonces, la proporción de área y por tanto el tamaño de la superficie óptica de una subzona principal 7 es igual a $1-p_1$. Con respecto a las proporciones de área, esto se considera con respecto a una cara anterior 14 de la lente 13. Toda la superficie óptica 151, que es un área anular de una zona 6, se identifica como toda la superficie óptica 161, que también es un área anular de una zona 10.

La lente 13 está construida de modo que la segunda parte de lente 16 tiene múltiples zonas anulares idénticas 10, teniendo en este caso también cada zona 10 una subzona principal 11 y una subzona de fase 12. En este caso también, con respecto a la cara anterior 14 de la lente 13, se forman una proporción de área p_2 para la subzona de fase 12 y una proporción de área $1-p_2$ para la subzona principal 11. Por ejemplo, en este caso también, la proporción de área p_2 está entre el 8% y el 17% del área total de la zona 10. Según la representación, puede apreciarse que en la dirección radial de la lente 13 y por tanto en perpendicular hacia arriba en la representación según la figura 5 con respecto al eje horizontal A', las zonas 6 y 10 están dispuestas de manera alterna y por tanto de manera alternada. Por tanto, la lente 13 está construida como una combinación de diferentes zonas 6 y 10 dispuestas de manera alternada adyacentes y limitando entre sí. En la forma de realización, se prevé que cada zona 6 tenga respectivamente sólo una subzona principal 7 y respectivamente sólo una subzona de fase 8, previéndose en particular también que las subzonas de fase 8 de las zonas 6 estén formadas en el borde de la forma anular de una zona 6, en particular formadas radialmente por fuera de y limitando con el borde de zona exterior de una zona 6. A las zonas 10 de la segunda parte de lente 16 se aplica una configuración análoga.

También puede preverse que las zonas 6 de la primera parte de lente y/o las zonas 10 de la segunda parte de lente se formen de manera diferente con respecto a su número de subzonas principales 7 y/u 11 y/o con respecto a su número de subzonas de fase 8 y/o 12. De manera similar, las posiciones locales de las subzonas de fase 8 y 12, respectivamente, en una zona 6 y 10, respectivamente, también pueden ser diferentes.

La cara anterior 14 de la lente 13 está formada sin discontinuidades ni escalones topográficos u ópticos, lo que significa que el contorno de la cara anterior 14 es continuo. Además, una lente 13 formada sin escalones de este tipo también implica que el frente de onda detrás de la lente 13 es continuo. El contorno de la cara anterior 14 está configurado en la forma de realización de modo que la dirección del contorno de una subzona de fase 8 de una zona 6 se dirige hacia el lado posterior 17 de la lente 13 y se une con el contorno de una subzona principal 11 de la zona 10 radialmente posterior. Lo mismo se aplica a todas las zonas 6 y todas las zonas 10. Esto es a modo de ejemplo. También puede preverse que las extensiones del contorno de todas las subzonas de fase 8 se dirijan en cada caso hacia delante. Es esencial que todas estén orientadas en una dirección.

En la forma de realización, una cara posterior 17 de la lente 13 está formada de manera esférica. También puede preverse que la cara posterior 17 esté formada de manera correspondiente a la cara anterior 14 y que la cara anterior 14 esté formada de manera correspondiente a la configuración esférica de la cara posterior 17 según la representación en la figura 5. Por tanto, en un orden radial, la lente 13 está compuesta en particular por zonas impares, que corresponden a las zonas 6 de la primera parte de lente 15, y por zonas pares, que corresponden a las zonas 10 de la segunda parte de lente 16. La superficie óptica 151 de una zona 6 tiene el mismo tamaño que una superficie óptica 161 de una zona 10. Además, las superficies ópticas 151 de todas las zonas 6 tienen el mismo tamaño. Se aplica lo correspondiente a las superficies ópticas 161 de todas las zonas 10.

En la figura 9, en una representación ampliada, se muestra a escala el contorno o el perfil de una cara anterior 14 de una implementación adicional de una lente según la invención con respecto a las otras proporciones de tamaño. Puede apreciarse la configuración sin escalones.

En la figura 6, se muestra un diagrama, en el que se representa la intensidad relativa I_R en función de la potencia D de la lente 13. Por tanto, la figura 6 muestra la TFR o PSF axial de la lente según la figura 5; los resultados se aplican a un diámetro de lente de 6 mm. Las zonas impares 6 de la lente 13 según la figura 5 corresponden a una parte de lente bifocal 15 según una lente análoga en la figura 3 con una intensidad de lejos relativa del 40%. Las zonas pares 10 de la lente 13 según la figura 5 corresponden a una parte de lente bifocal 16 según una lente análoga a la figura 4 con una intensidad de lejos relativa del 50%. Como resulta evidente, la lente 13 según la figura 5 tiene un foco de intensidad débil en el centro entre el foco lejano idéntico (ejemplo: 20 dioptrías) y el foco cercano idéntico (ejemplo: 24 dioptrías) de las dos lentes según la figura 3 y la figura 4. La curva continua K1 identifica la intensidad relativa de las potencias principales de la lente 13. La curva K2 muestra la intensidad relativa de una lente que tiene sólo zonas 6 (parte de lente 15) con una intensidad de lejos relativa del 50%. La curva K3 muestra la intensidad relativa de una lente que tiene sólo zonas 10 (parte de lente 16) con una intensidad de lejos relativa del 40%. Para una mejor perceptibilidad, las curvas K2 y K3 de las dos partes de lente bifocal 15 y 16 se desplazan en cada caso 0,1 y 0,2 dioptrías, respectivamente.

En el documento EP 1 194 797 B1, se describe cómo deben determinarse las potencias D_G de las subzonas principales y las potencias D_S de las subzonas de fase con una intensidad relativa deseada de la menor potencia (potencia de lejos). Como se explica, estas potencias también dependen de la proporción de área p de las subzonas de fase y de la proporción de área $(1-p)$ de las subzonas principales con respecto a las zonas anulares globales de la lente, respectivamente.

La figura 7 muestra la asociación entre la diferencia Dif de la potencia de refracción D_G de la subzona principal y la potencia de lejos deseada dependiendo de la intensidad relativa I_R de la potencia de lejos para proporciones de área a modo de ejemplo de las subzonas principales en las zonas globales y para la potencia de adición a modo de ejemplo de 4 dioptrías. Esta asociación puede determinarse según las explicaciones del documento EP 1 194 797 B1 para cualquier proporción de área de las subzonas principales con respecto a las zonas anulares globales. Por ejemplo, la curva K4 es aquí para una potencia de adición de 4 dioptrías y una proporción de área de la subzona principal del 95%, la curva K5 es para una potencia de adición de 4 dioptrías y una proporción de área de la subzona principal del 90%, y la curva K6 es para una potencia de adición de 4 dioptrías y una proporción de área de la subzona principal del 85%. La curva K7 se aplica a una potencia de adición de 2 dioptrías y una proporción de área de la subzona principal del 95%.

En beneficio de la simplicidad y la claridad, ahora, se define lo siguiente:

Queda claro que una zona 6 o zona 10 individual no representa una lente 13, que tiene potencias de refracción y de difracción. Más bien, una lente 13 con potencias de refracción y difracción está compuesta por al menos dos zonas 6 y 10. No obstante, en beneficio de la simplicidad, ahora se hace referencia a zonas 6 o una parte de lente bifocal 15 o zonas 10 o una parte de lente bifocal 16, que tienen una mayor potencia y una menor potencia.

La figura 8 muestra la TFR o PSF axial de una lente trifocal según la figura 5, teniendo las zonas impares 6 una intensidad de lejos relativa del 86% y las zonas pares 10 una intensidad de lejos relativa del 40%. Como resulta evidente, en esta lente 13, la intensidad del foco intermedio es considerable. La curva continua muestra la distribución de intensidades de las potencias para luz monocromática con una longitud de onda de 550 nm. La figura 7 también muestra los resultados para luz policromática según una distribución de Gauss en el intervalo de longitud de onda entre 450 nm y 650 nm según la curva discontinua. A partir de aquí, puede apreciarse que la menor de las tres potencias principales no tiene ninguna aberración cromática longitudinal. Los resultados de la figura 8 se aplican a un diámetro de lente de 6 mm.

En la figura 9, como ya se mencionó anteriormente, se muestra a escala una sección de la cara anterior 14 de una lente intraocular 13 de 20 dioptrías de potencia de lejos. Las partes de subzona principal de las zonas 6 (zonas impares) y 10 (zonas pares) son en cada caso del 85%. La intensidad de lejos relativa de las zonas 6 es del 86%, la de las zonas 10 es del 40%. El índice de refracción de la lente 13 es de 1,46. Como resulta evidente por la figura 9, esta lente 13 no tiene ningún escalón topográfico, sino sólo transiciones suaves, difícilmente perceptibles entre las subzonas principales; estas transiciones están formadas por las respectivas subzonas de fase. A diferencia de las lentes difractivas convencionales, las lentes de la presente invención no tienen ningún escalón topográfico. Estos escalones topográficos son necesarios en las lentes difractivas con el fin de producir diferencias de longitud de trayecto óptico entre los frentes de onda de las zonas individuales. El frente de onda detrás de una lente difractiva es por tanto discontinuo, mientras que el frente de onda detrás de una lente según la presente invención es continuo.

La figura 10 muestra esquemáticamente una implementación de una lente cuadrifocal 18 construida a partir de tres partes de lente diferentes, en particular las partes de lente bifocal 15, 16 y 23. Las partes de lente 15 y 16 tienen en cada caso múltiples zonas 6 y 10, como ya se explicó anteriormente. La tercera parte de lente 23 también tiene múltiples zonas 19, que a su vez están construidas en cada caso a partir de una subzona principal 20 y una subzona de fase 12. Las partes de lente 15, 16 y 23 tienen tres diferentes intensidades de lejos relativas. Las intensidades de lejos están formadas en pares con una diferencia mayor del 10%. En una lente 18 según la figura 10, las zonas con los números 1,4,7... $(1+3 \cdot m)$ en un orden radial son zonas 6, además las zonas con los números 2,5,8... $(2+3 \cdot m)$ son zonas 10, y finalmente las zonas con los números 3,6,9... $(3+3 \cdot m)$ son zonas 19 con las subzonas 20 y 21 $(m=0,1,2,...)$. Estas tres partes de lente respectivamente bifocal 15, 16 y 23 tienen en cada caso la misma potencia de lejos y de cerca en la forma de realización. Al menos dos de las tres partes de lente 15, 16 y 23 tienen en cada caso diferentes intensidades de lejos y de cerca relativas, respectivamente. La proporción de área porcentual p_3 y por tanto el tamaño de la superficie óptica de la subzona de fase 21 está en particular entre el 8% y el 17%. Por tanto, la proporción $1-p_3$ de la subzona principal 20 está entre el 83% y el 92%. Las superficies ópticas 151, 161 y 191 de las zonas 6, 10 y 19 tienen el mismo tamaño. Las zonas 19 tienen superficies ópticas 191 de igual tamaño, que son superficies anulares.

En la figura 11 se muestra la TFR o PSF axial de una lente según la figura 10. En este ejemplo, las zonas 6 con los números 1,4,7... tienen una intensidad de lejos relativa del 86%, las zonas 10 con los números 2,5,8... tienen una intensidad de lejos relativa del 75%, y las zonas 19 con los números 3,6,9... tienen un 9%. Los resultados de la figura 11 se aplican a un diámetro de lente de 5,75 mm. La curva continua indica de nuevo la intensidad de las potencias con luz monocromática con una longitud de onda de 550 nm, mostrando la línea discontinua la intensidad de la luz policromática entre 450 nm y 650 nm (con distribución de Gauss).

Otras intensidades de lejos y de cerca relativas de las zonas 6, 10 y 19, respectivamente, dan como resultado otras intensidades relativas en los cuatro máximos de la figura 11.

- 5 Como ya se ha explicado en el documento EP 1 194 797 B1, la diferencia ΔD entre la mayor potencia D_2 (potencia de cerca) y la menor potencia D_1 (potencia de lejos), es decir, la potencia de adición de una lente bifocal formada por zonas anulares con cada al menos una subzona principal y al menos una subzona de fase, es:

$$\Delta D = \frac{8\lambda N}{B^2} \quad (1)$$

- 10 En la ecuación 1, λ es la longitud de onda de diseño (por ejemplo 550 nm), N es el número de las zonas anulares de igual área o zonas globales, y B es el diámetro de la lente, en la que se ubican las zonas anulares. Con N zonas de igual área del área de cada F_z en un diámetro B , la potencia de adición ΔD viene dada por tanto por:

$$\Delta D = \frac{2\lambda\pi}{F_z} \quad (2)$$

- 15 Por tanto, la potencia de adición es inversamente proporcional al área de superficie F_z de las zonas globales. Las zonas globales tienen un perfil de potencia, que viene dado por la potencia de refracción D_G en las subzonas principales y la potencia de refracción D_S en las subzonas de fase, como se muestra en el documento EP 1 194 797 B1. Como este perfil de potencia se repite en cada zona del área F_z , el perfil de potencia es periódico en F_z .

- Si ahora de manera alterna se combinan zonas de una lente según el documento EP 1 194 797 B1 con una intensidad de lejos relativa I_1 y una potencia de adición dada con zonas de una lente según el documento EP 1 194 797 B1 con una intensidad de lejos relativa I_2 y la misma potencia de adición, por tanto, las dos zonas según el documento EP 1 194 797 B1 tienen una potencia de refracción promedio de D_1 (potencia de lejos). Debido a las diferentes intensidades de lejos relativas, sin embargo, las dos zonas tienen en cada caso diferentes potencias en las subzonas principales y las subzonas de fase. En la figura 7, se muestra a modo de ejemplo la dependencia de las potencias en las subzonas principales de la intensidad de lejos relativa para lentes bifocales con 4 dioptrías de potencia de adición. Las potencias en las subzonas de fase pueden calcularse a partir de la potencia de lejos de la lente (correspondiente a la potencia promedio de las zonas globales) y las potencias en las subzonas principales:

Como se muestra en el documento EP 1 194 797 B1, se aplican las siguientes relaciones a la potencia de lejos promedio D_{av} y las potencias de refracción D_G y D_S :

$$D_{av} = D_G(1 - p) + D_S p \quad (3)$$

- 35 donde p es la proporción de área porcentual de la subzona de fase con respecto a la zona global, y D_G es la potencia de refracción de la subzona principal, D_S es la potencia de refracción de la subzona de fase. Como ejemplo, se debe pedir que la intensidad relativa de la potencia de lejos sea del 70%, y la potencia de lejos debe de ser de 20 dioptrías; además, la proporción p de la subzona de fase debe ser de 0,15 o del 15%, la proporción de la subzona principal es entonces del 85%. Basándose en la figura 7, se obtiene el valor de 1,8 dioptrías para la diferencia entre la potencia de subzona principal y la potencia de lejos. Así, se obtiene el valor $D_G = 21,8$ dioptrías, y con la ayuda de la fórmula 3 anterior el valor $D_S = 9,8$ dioptrías. De manera análoga, para una intensidad de lejos relativa del 60% en lugar del 70%, se obtienen los valores $D_G = 22,2$ dioptrías y $D_S = 7,53$ dioptrías.

- 45 Las respectivas diferencias en las subzonas principales y en las subzonas de fase son pequeñas como resulta evidente por la figura 7 o estos ejemplos, si las diferencias de las intensidades de lejos relativas I_1 e I_2 no son grandes. En estos casos, las zonas globales con intensidad de lejos relativa I_1 difieren ligeramente de las zonas globales con intensidad de lejos relativa I_2 . Por tanto, se mantiene sustancialmente la periodicidad del perfil de potencia, es decir, la diferencia entre las potencias se determina adicionalmente por el área F_z de las zonas individuales, con potencias ligeramente diferentes en las subzonas. La figura 6, que se aplica a una lente, en la que se combinan zonas con $I_1 = 40\%$ con zonas con $I_2 = 50\%$, muestra por tanto sustancialmente una TFR o PSF axial de una lente bifocal con una potencia de adición correspondiente al área F_z . Las ligeras diferencias en las subzonas de las dos zonas 6 y 10 consecutivas producen sólo ligeras variaciones en las características de esta lente.

- 55 Sin embargo, si las intensidades de lejos relativas I_1 e I_2 en zonas consecutivas difieren sustancialmente, entonces, la perturbación de la periodicidad en F_z es considerable. Más bien, se obtiene una periodicidad del perfil de potencia

dada por el área de superficie de dos zonas adyacentes, por tanto por $2 \cdot F_z$. Por tanto, las lentes 13 o 18 compuestas por zonas globales, para las cuales las intensidades de lejos relativas I_1 e I_2 son en cada caso sustancialmente diferentes, tienen una potencia de adición, que viene dada por

$$\Delta D_N = \frac{2\lambda\pi}{2F_z} \quad (4)$$

Las potencias individuales para una lente 13 a modo de ejemplo con dos partes de lente 15 y 16 se especifican ahora de la siguiente manera:

D_1 es la menor de las potencias principales (potencia de lejos) de la lente 13.

D_{G1} es la potencia de refracción en la subzona principal 7 de la primera zona 6 (y la 3ª, 5ª...zona) y D_{S1} es la potencia de refracción en la subzona de fase 8 de la primera zona 6 (y 3ª, 5ª...).

p_1 es la proporción de área de la subzona de fase 8 con respecto a la primera zona 6 global (y 3ª, 5ª...).

D_{G2} es la potencia de refracción en la subzona principal 11 de la segunda zona 10 (y 4ª, 6ª...zona) y D_{S2} es la potencia de refracción en la subzona de fase 12 de la segunda zona 10 (y 4ª, 6ª...).

p_2 es la proporción de área de la subzona de fase 11 con respecto a la segunda zona 10 global (y 4ª, 6ª...).

Entonces se aplica lo siguiente:

$$D_1 = D_{G1}(1-p_1) + D_{S1}p_1 = D_{G2}(1-p_2) + D_{S2}p_2 \quad (5)$$

La potencia de refracción promedio D_{G12} de las dos primeras subzonas principales D_{G1} y D_{G2} y de la subzona de fase D_{S1} de una zona global 22 (figuras 13 y 14) compuesta por una zona 6 de la primera parte de lente 15 y una zona colindante 10 de la segunda parte de lente 16 viene dada por

$$D_{G12} = D_{G1} \frac{1-p_1}{2-p_2} + D_{S1} \frac{p_1}{2-p_2} + D_{G2} \frac{1-p_2}{2-p_2} \quad (6)$$

La potencia D_{G12} corresponde a la potencia de la subzona principal de una zona global 22 con área de superficie $2 \cdot F_z$, la potencia de la subzona de fase de la zona global con área de superficie de $2 \cdot F_z$ es D_{S2} , sin embargo, la proporción del área de esta subzona de fase con respecto a la zona global 22 con área de superficie de $2 \cdot F_z$ es ahora p_{12} con

$$p_{12} = \frac{p_2}{2} \quad (7)$$

puesto que ahora el área doble $2 \cdot F_z$ sirve de referencia.

Mediante la combinación de dos zonas 6 y 10 de cada área de superficie idéntica F_z (superficies ópticas de igual tamaño) de dos partes de lente diferentes 15 y 16, además, ahora aparecen zonas globales 22 con un área de superficie $2F_z$. Estas zonas 22 tienen una potencia de subzona principal promedio de D_{G12} , la potencia de subzona de fase de estas zonas combinadas es D_{S2} . Esta subzona de fase tiene ahora una proporción p_{12} con respecto a la zona global 22. Puesto que el área de esta zona global 22 es dos veces más grande que el área de las dos zonas individuales 6 y 10, la adición de estas zonas combinadas 22 según la ecuación 2 se reduce a la mitad.

La zona global 22 con el área de superficie de $2 \cdot F_z$ tiene por tanto una potencia de subzona principal D_{G12} , que es una potencia promedio según la ecuación 6. La potencia de subzona de fase de esta zona es D_{S2} . Si la potencia D_{G12} era una potencia homogénea, uniforme, por tanto, la zona 22 con el área de superficie de $2 \cdot F_z$ sería una zona de una lente bifocal con la potencia de adición ΔD_N según la ecuación 4.

Mediante la combinación de las zonas 6 con el área de superficie de F_z y las potencias D_{G1} y D_{S1} con las zonas 10 con el área de superficie de F_z y las potencias D_{G2} y D_{S2} , se obtiene una lente con tres potencias principales, siendo la menor una potencia de refracción sin aberración cromática longitudinal.

La combinación de zonas similares (zonas 6 o zonas 10) de una lente según el documento EP 1 194 797 B1 da como resultado una lente bifocal. La combinación de zonas 6 y 10 con respectivamente diferentes intensidades de lejos relativas, como se explicó anteriormente, y en particular con una diferencia de intensidad de lejos específica de más del 10% da como resultado una lente trifocal 13.

En particular, las zonas 6 y zonas 10 se combinan entre sí de modo que la lente 13 resultante tenga la misma potencia de lejos y la misma potencia de cerca que las lentes compuestas exclusivamente por las zonas 6 o exclusivamente por las zonas 10. Si la diferencia de las intensidades de lejos relativas de las zonas 6 y las zonas 10 es suficientemente grande, por tanto, la lente resultante es trifocal, es decir, tiene una potencia intermedia adicional. Para que la menor de estas tres potencias principales no tenga ninguna aberración cromática longitudinal, las potencias de refracción promedio de las zonas 6 y 10 tienen que ser idénticas a esta potencia más pequeña. Se aplican hechos análogos a las lentes de la invención, que tienen más de tres potencias principales, por ejemplo una lente cuádrifocal 18 (figura 10). A diferencia de esto, las zonas de una lente trifocal según el documento EP 1 194 797 B1 tienen potencias de refracción promedio, que son diferentes.

Si ahora se combinan zonas con respectivamente diferentes intensidades de lejos relativas y potencias de refracción promedio respectivamente idénticas según la figura 10, por tanto, se obtiene una implementación de una lente cuádrifocal 18. La lente 18 tiene una cara anterior 14', en la que en la tercera parte de lente 23 construida a partir de las zonas anulares 19, la subzona de fase 21 tiene una proporción de área porcentual p3 con respecto al área total de una zona 19. En la figura 11, se muestra la TFR o PSF axial de una lente 18 de este tipo. Se trazan la intensidad relativa I_R y la potencia D. En este ejemplo, las intensidades de lejos relativas en las tres zonas diferentes 6, 10, 19 o en las partes de lente 15, 16 y 23 son del 86% y del 75% y del 9%, respectivamente. Los resultados de la figura 11 se aplican a un diámetro de 5,75 mm. La curva continua es de nuevo para luz monocromática con una longitud de onda de 550 nm, la curva discontinua es para luz policromática entre 450 nm y 650 nm (con distribución de Gauss).

Dependiendo de la posición radial de una zona 6 de la primera parte de lente 15, puede preverse que la proporción de área p1 varíe de modo que en una zona interna 6 la proporción p1 de una subzona de fase 7 pueda ser diferente de una proporción p1 en una zona 6 exterior adicional. Lo mismo se aplica a las zonas 10 de la parte de lente 15 y, en caso de estar presentes, para las zonas 19 de la parte de lente 23.

De manera similar, las potencias y por tanto los perfiles de potencia de las respectivas zonas 6, 10 o 19 pueden ser continuos o discontinuos. Pueden ser constantes o depender del radio.

En general, se aplica que la combinación de $n > 2$ zonas distintas o partes de lente distintas en cada caso con al menos una zona con respectivamente n diferentes intensidades de lejos relativas $I_1, I_2, \dots, I_n$ y respectivamente potencias de refracción promedio idénticas da como resultado una lente, que tiene $(n+1)$ potencias principales, no teniendo la menor de estas potencias principales ninguna aberración cromática longitudinal, y correspondiendo a la potencia de refracción promedio de todas las n zonas distintas.

En todas las lentes comentadas hasta ahora con $n > 2$ potencias principales y $n - 1$ partes de lente, las potencias de lejos y las potencias de adición de las lentes o zonas de lente individuales eran idénticas, sólo las intensidades de lejos y de cerca relativas de las zonas eran diferentes, respectivamente.

Las lentes con $n > 2$ potencias principales y $n - 1$ partes de lente también las engloba la invención, que tienen respectivamente diferentes intensidades de lejos relativas, respectivamente potencias de refracción promedio idénticas, aunque diferentes potencias de adición. Un ejemplo es una lente también según la lente 5, que incluye las zonas impares 6 según la figura 3, siendo la potencia de lejos de 20 dioptrías, la potencia de adición de 4 dioptrías y la intensidad de lejos relativa del 40%. Las zonas pares 10 de esta lente son zonas de una lente según la figura 4, que tiene una potencia de lejos de 20 dioptrías, una potencia de adición de 2 dioptrías y una intensidad de lejos relativa del 60%. En la figura 12 se muestra la TFR o PSF axial de esta lente. Por los resultados para luz policromática entre 450 nm y 650 nm (curva discontinua), puede verse que de nuevo la menor de las potencias principales no tiene ninguna aberración cromática longitudinal. La curva continua es para luz monocromática con una longitud de onda de 550 nm. Los resultados se aplican a un diámetro de lente de 3,6 mm.

Se destaca el hecho de que en todas las lentes comentadas, la menor de las diversas potencias (potencia de lejos) está libre de aberración cromática longitudinal. Este hecho resulta evidente por las figuras 8, 11 y 12 y 15, en las que también se muestran las funciones correspondientes para luz policromática.

Las intensidades relativas de las potencias individuales de las lentes pueden variarse mediante la elección correspondiente de las intensidades de lejos relativas de las zonas individuales. Por tanto, si se desean determinadas intensidades relativas en las potencias individuales pueden conseguirse mediante la variación sistemática de los parámetros tales como las intensidades de lejos relativas individuales de las zonas y las potencias de adición individuales de las zonas ("método de prueba y error").

En la figura 13, se representa una vista en planta esquemática de la lente 13 en particular no a escala con respecto a los tamaños de área de las zonas 6 y 10, mostrándose parcialmente en sección longitudinal según la línea de sección V-V en la figura 5. La primera parte de lente 15 y por tanto la suma de las zonas 6, algunas de las cuales se muestran en la figura 13, constituye una parte de lente bifocal 15. De manera correspondiente, en la implementación según la figura 13, la segunda parte de lente 16 está formada con múltiples zonas 10, que también constituyen una parte de lente bifocal. Por tanto, la lente 13 con sus tres potencias principales está construida a partir de dos partes de lente bifocal 15 y 16. Tienen en cada caso múltiples zonas 6 y 10, respectivamente. Se disponen de manera alterna entre sí. Las zonas 6 de la primera parte de lente 15 tienen un área idéntica F_z . De manera similar, las zonas 10 de la segunda parte de lente 16 tienen la misma área F_z . Esto puede verse con respecto a la configuración del área en la cara anterior 14 de la lente 13. Por tanto, en la forma de realización, se forman dos zonas adyacentes 6 y 10 a partir de las dos partes de lente bifocal diferentes 15 y 16 con las mismas áreas F_z . Las dos zonas adyacentes 6 y 10 de las dos partes de lente diferentes 15 y 16 constituyen una zona global 22. Con respecto a la potencia de refracción promedio de tal zona global 22 con respecto a la potencia de subzona principal de la misma así como con respecto a la potencia de subzona de fase, se hace referencia a las explicaciones mencionadas anteriormente. En la figura 14, en una representación en sección adicional, se muestra una sección parcial, en la que se representa una zona global 22. Tal zona global 22 también puede formarse en otras ubicaciones de la lente 13 entre una zona 6 y una zona 10. Por tanto la configuración según la figura 14 así como las asociaciones de ecuación explicadas anteriormente también se aplican a todos los pares de zonas adicionales con una zona 6 y una zona 10. Mediante la subzona principal 7 y 11 y la subzona de fase 8, se forma una subzona principal global de la zona global 22. La subzona de fase 12, que localmente representa la subzona externa radial, es la subzona de fase global de la zona global 22.

En la figura 16, se muestra un ejemplo adicional de una lente intraocular cuadrifocal según la presente invención. Esta lente 24 corresponde a las figuras 13 y 14 en su construcción. Por tanto, la lente 24 sólo está construida a partir de dos partes de lente bifocal 25 y 26. La parte de lente 25 incluye varias zonas anulares 27, en particular dos, que están configuradas de modo que la potencia de refracción promedio es de 21 dioptrías y la mayor de las dos potencias es de 24,5 dioptrías. Por tanto, la potencia de adición es de 3,5 dioptrías. La parte de lente 26 incluye varias zonas anulares 28, en particular dos, que están formadas de modo que la potencia de refracción promedio es también de 21 dioptrías. Sin embargo, la potencia de adición es de 1,75 dioptrías. En todas las zonas 27 y 28, la intensidad de lejos relativa es del 50%. Todas las partes de lente bifocal 25 y 26 tienen por tanto intensidades igual de altas en las dos potencias principales. Las zonas 27 y 28 están dispuestas de manera alterna en la dirección radial.

En este caso también, se forma una cara anterior 14" que representa una superficie óptica de la lente 24. Sin embargo, las zonas 27 y 28 tienen respectivamente sólo una subzona principal 29 o 31 y respectivamente sólo una subzona de fase 30 o 32 en la forma de realización. Las subzonas de fase 30 y 32 están dispuestas radialmente fuera y limitando con el respectivo borde de zona exterior en la respectiva zona 27 y 28, respectivamente. Una zona 27 tiene una superficie óptica global 251, teniendo una zona 28 una superficie óptica global 261. Las superficies ópticas 251 y 261 están dimensionadas de manera diferente, siendo la superficie 261 al menos un 50%, en particular un 100% mayor que la superficie 251. Las zonas impares 28 contadas hacia el exterior en la dirección radial son por tanto sustancialmente mayores en cuanto al área que las zonas pares 27. Las proporciones de área porcentuales p_4 y p_5 de las subzonas de fase 30 y 32 preferiblemente están entre el 8% y el 17%.

Ahora, esta lente está colocada en teoría detrás de una córnea de una sola superficie con 43 dioptrías de potencia con una profundidad de cámara anterior de 4 mm (la profundidad de cámara anterior es la distancia entre el centro de la córnea y la cara anterior de la lente intraocular). El índice del medio de inmersión que rodea la lente intraocular es de 1,336 (valor estándar). En la figura 15 se muestra la potencia variable del sistema compuesto por córnea y lente intraocular. Esta potencia también se denomina potencia "ocular". Como resulta evidente por la figura 15, la combinación de dos partes de lente 25 y 26 con respectivamente una potencia de lejos idéntica, pero con respectivamente una potencia de adición diferente y en particular tamaños de superficie óptica diferentes da como resultado una lente intraocular cuadrifocal. La menor de las cuatro potencias corresponde a la potencia más pequeña de las partes de lente 25 y 26 y está libre de aberración cromática longitudinal, la más grande de las cuatro potencias corresponde a la mayor de las dos potencias de la parte de lente 25, la segunda menor de las cuatro potencias corresponde a la mayor de las dos potencias de la parte de lente 26. Una potencia adicional ubicada entre la mayor y la segunda menor de las cuatro potencias es atribuible a fenómenos de interferencia entre todas las zonas de la lente. El ejemplo según las figuras 15 y 16 muestra por tanto que mediante la combinación de sólo dos partes de lente bifocal 25 y 26, también pueden implementarse lentes cuadrifocales.

En la presente descripción, se han descrito a modo de ejemplo implementaciones preferidas de lentes según la presente invención. Evidentemente, la invención no está limitada a las formas de realización comentadas. El experto en la técnica, entenderá inmediatamente que existen formas de realización adicionales, que no se apartan de la idea básica de la presente invención.

En la representación de una lente 33 en la figura 17, no se representa la tercera parte de lente bifocal externa colindante en la dirección radial a las dos primeras partes de lente. Esta tercera parte de lente está compuesta por una pluralidad de zonas, que tienen en cada caso una subzona principal y una subzona de fase. Preferiblemente, las zonas de esta tercera parte de lente tienen una potencia de adición de 3,75 dioptrías. Las intensidades de lejos

relativas de las zonas de esta tercera parte de lente son preferiblemente del 65%. Preferiblemente, esta tercera parte de lente se extiende en un intervalo de diámetro entre 4,245 mm y 6 mm de toda la lente.

En la figura 17, se forman las zonas 34 de la primera parte de lente y zonas 35 de la segunda parte de lente, estando compuesta cada una por una subzona principal y por una subzona de fase. Como resulta evidente, en la dirección radial, las zonas 34 de la primera parte de lente están dispuestas de manera alterna con las zonas 35 de la segunda parte de lente. En la implementación mostrada, la primera parte de lente está construida compuesta por siete zonas 34 y la segunda parte de lente también está construida compuesta por siete zonas 35. La potencia de adición de la primera parte de lente es de 3,75 dioptrías y la potencia de adición de la segunda parte de lente es de 3,1 dioptrías. Las dos partes de lente se extienden hasta un diámetro de 4,245 mm en la lente 33.

La intensidad de lejos relativa en las zonas 34 de la primera parte de lente es del 90% en la forma de realización, siendo la intensidad de lejos relativa en las zonas de la segunda parte de lente del 40%. La potencia de refracción promedio de todas las zonas es idéntica. La proporción de área de la superficie óptica de la subzona principal es del 90% en todas las zonas. Esto se aplica tanto a las dos primeras partes de lente como a la tercera parte de lente.

Además, como puede apreciarse en la representación en la figura 17, un grosor radial d1 de la primera zona 34 de la primera parte de lente es mayor que el grosor radial d2 de la siguiente zona 35 de la segunda parte de lente. Se muestran grosores radiales d3 a d5 adicionales que corresponden a las zonas 34 y 35 adicionales respectivamente. Los grosores radiales d1 a d5 etc. están configurados de tal modo que todas las zonas 34 tienen el mismo tamaño de superficie y todas las zonas 35 tienen el mismo tamaño de superficie, que es diferente del tamaño de superficie de las zonas 34.

En una forma de realización general preferida adicional todas las zonas anulares 34 tienen el mismo tamaño de superficie. Además, todas las zonas anulares 35 tienen el mismo tamaño de superficie, que es diferente del tamaño de superficie de las zonas anulares 34. Por tanto los grosores radiales d1 a d5 etc. son diferentes y disminuyen con el radio de la lente.

Basándose en la representación en la figura 17, en el diagrama según la figura 18, se muestra una distribución de intensidades de la intensidad relativa I_R para las cuatro potencias principales de la lente según la figura 17. Se ilustran los cuatro picos o vértices sustanciales con sus distribuciones de intensidades relativas.

Basándose en la representación en la figura 17, también puede preverse una lente cuadrifocal, que no tenga la tercera parte de lente externa y por tanto esté construida sólo compuesta por las dos primeras partes de lente. Entonces no se proporcionan partes de lente adicionales.

Basándose en la representación en la figura 17 y la explicación de la lente cuadrifocal compuesta por tres partes de lente, siendo en cada caso bifocales, puede proporcionarse una lente correspondiente, en la que los valores para las potencias de adición son de nuevo 3,75, 3,1 y 3,33 o 3,75 para las tres primeras partes de lente. A diferencia de la explicación anterior, en este caso, entonces puede preverse que las intensidades de lejos relativas sean del 85% para las zonas 34 del primera parte de lente, del 39,5% para las zonas 35 de la segunda parte de lente y del 65% para la zona de la tercera parte de lente. En este caso también, alternativamente, podría proporcionarse una lente cuadrifocal, que esté compuesta sólo por las dos primeras partes de lente.

De nuevo por el contrario, pueden proporcionarse dos implementaciones adicionales para una lente cuadrifocal, en las que entonces sólo de manera diferente con respecto a las intensidades de lejos relativas, son del 82% para la primera parte de lente, del 41,75% para la segunda parte de lente y del 65% para la tercera parte de lente. En este caso también, entonces puede proporcionarse una lente cuadrifocal que esté construida compuesta sólo por las primeras dos partes de lente.

Como lente cuadrifocal alternativa adicional puede proporcionarse una que de nuevo sólo difiera en las intensidades de lejos con respecto al ejemplo mencionado anteriormente. En este caso, entonces puede preverse que la intensidad de lejos relativa de la primera parte de lente sea del 86,5% y que la de la segunda parte de lente sea del 40%. Si está presente una tercera parte de lente, la intensidad de lejos relativa de la misma es en particular de nuevo del 65%.

En todas las implementaciones, la primera zona más interna de la primera parte de lente también se denomina anular.

REIVINDICACIONES

1. Lente ocular multifocal difractiva, con un número $n > 2$ de potencias principales, que incluye una primera parte de lente (15, 25) que tiene al menos dos primeras zonas anulares (6, 27), y al menos una segunda parte de lente (16, 26) que tiene al menos dos segundas zonas anulares (10, 28), en la que las zonas (6, 10, 19, 27, 28) tienen en cada caso al menos una subzona principal (7, 11, 20, 29, 31) y al menos una subzona de fase (8, 12, 21, 30, 32), en la que dichas subzonas principales (7, 11, 20, 29, 31) presentan potencias de refracción y dichas subzonas de fase (8, 12, 21, 30, 32) presentan potencias de refracción y proporcionan desplazamientos de fase, y en la que una combinación de dichas subzonas principales (7, 11, 20, 29, 31) forma una parte de lente difractiva que proporciona una potencia principal de difracción y siendo dicha potencia principal de difracción una de dichas potencias principales de dicha lente multifocal, y en la que una zona (6, 27) de la primera parte de lente (15, 25) está dispuesta adyacente y limitando con una zona (10, 28) de la segunda parte de lente (16, 26), y en la que una potencia de refracción promedio de una primera zona (6, 27) de la primera parte de lente (15, 25) es una función que depende de la potencia de refracción de la subzona principal (7, 29) de dicha primera zona (6, 27) ponderada por la proporción de área de la subzona principal (7, 29) de la superficie total de esta primera zona (6, 27) y depende de la potencia de refracción de la subzona de fase (8, 30) de dicha primera zona (6, 27) ponderada por la proporción de área de la subzona de fase (8, 30) con respecto a la superficie total de esta primera zona (6, 27) considerada, y en la que una potencia de refracción promedio de una segunda zona (10, 28) de la segunda parte de lente (16, 26) es una función que depende de la potencia de refracción de la subzona principal (11, 31) de dicha segunda zona (10, 28) ponderada por la proporción de área de la subzona principal (11, 31) de la superficie total de esta segunda zona (10, 28) y depende de la potencia de refracción de la subzona de fase (12, 32) de dicha segunda zona (10, 28) ponderada por la proporción de área de la subzona de fase (12, 32) con respecto a la superficie total de esta segunda zona (10, 28) considerada, y en la que la potencia de refracción promedio (D_{av}) de una primera zona (6, 27) y una segunda zona (10, 28) se define según $D_{av} = (1-p)D_g + pD_s$ para cada zona, siendo D_g la potencia de refracción de la subzona principal de la zona y D_s la potencia de refracción de la subzona de fase de dicha zona y siendo p la parte de área de superficie de la superficie total de dicha zona, y

$$D_G = \frac{\int_{r_{n-1}}^{r_{n'}} r D_Z(r) dr}{\int_{r_{n-1}}^{r_{n'}} r dr}$$

30 y

$$D_S = \frac{\int_{r_{n'}}^{r_n} r D_Z(r) dr}{\int_{r_{n'}}^{r_n} r dr}$$

35 donde r_{n-1} se refiere al radio de unión interior de la zona de orden n (6, 27, 10, 28), $r_{n'}$ se refiere al radio de unión exterior de la subzona principal de la zona (6, 27, 10, 28) y r_n se refiere al radio de unión exterior de la zona (6, 27, 10, 28) y el radio de unión exterior de la subzona de fase de la zona (6, 27, 10, 28), en la que para cada primera zona (6, 27) la potencia de refracción de la subzona principal (7, 29) es diferente de la potencia de refracción de la subzona de fase (8, 30) y en la que para cada segunda zona (10, 28) la potencia de refracción de la subzona principal (11, 31) es diferente de la potencia de refracción de la subzona de fase (12, 32), caracterizada por que para formar las n potencias principales, se combinan un máximo de $n - 1$ partes de lente bifocal (15, 16, 23, 25, 26), que difieren en al menos uno de los siguientes parámetros ópticos, potencia dióptrica, una intensidad luminosa de la potencia de visión de lejos, un tamaño de una superficie óptica, en la que en una disposición alterna de anillos se forma una primera zona (6, 27) de la primera parte de lente (15, 25), entonces se forma una segunda zona (10, 28) de la segunda parte de lente (16, 26), entonces de nuevo se forma una primera zona adicional (6, 27) de la primera parte de lente (15, 25) etc., y si se forman más de dos partes de lente, por tanto, esta disposición alterna se aplica de modo que visto en una dirección radial, consecutivamente se dispone respectivamente una zona de una de las partes de lente, y entonces, si se forma una zona anular a partir de cada parte de lente, de nuevo le sigue una primera zona de la primera parte de lente, etc., y en la que las superficies ópticas de todas las zonas (6, 10, 19, 27, 28) de la primera parte de lente (15, 25) son del mismo tamaño y las superficies ópticas de todas las zonas (6, 10, 19, 27, 28) de la segunda parte de lente (16, 26) son del mismo tamaño, y una potencia de refracción promedio de una zona (6, 27) de la primera parte de lente (15, 25) es igual a una potencia de refracción promedio de una zona (10, 28) de la segunda parte de lente (16, 26), y la potencia de refracción promedio de una zona (6, 10, 19, 27, 28) es igual a la menor de las potencias principales de la lente multifocal (13, 18, 24), y por potencia principal se entiende una potencia cuya intensidad relativa es mayor de 0,05 (5%).

2. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que la primera parte de lente (15, 25) tiene al menos dos zonas (6, 27), entre las que visto en una dirección radial de la lente (13, 18, 24) está dispuesta una zona (10, 28) de la segunda parte de lente (16, 26), en particular visto en una dirección radial, las zonas (6, 10, 19, 27, 28) de las partes de lente (15, 16, 23, 25, 26) están dispuestas en un orden alterno.

3. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una zona global (22) formada por una de las dos zonas adyacentes (6, 10, 19, 27, 28) de dos partes de lente (15, 16, 23, 25, 26) tiene una potencia de refracción promedio de una subzona principal global, que se determina según la siguiente fórmula:

$$D_{G12} = D_{G1} \frac{1-p_1}{2-p_2} + D_{S1} \frac{p_1}{2-p_2} + D_{G2} \frac{1-p_2}{2-p_2},$$

siendo D_{G1} la potencia de refracción en la subzona principal de la primera zona; D_{S1} la potencia de refracción en la subzona de fase de la primera zona; D_{G2} la potencia de refracción en la subzona principal de la segunda zona; p_1 la parte de área de la subzona de fase de la primera zona total; p_2 la parte de área de la subzona de fase de la segunda zona total.

4. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que se forma una zona (6, 19) de la primera parte de lente (15,) limitando con una zona (10) de la segunda parte de lente (16) y las superficies ópticas (151, 161,) de las zonas (6, 10) son del mismo tamaño.

5. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una intensidad de lejos relativa de las zonas (6) de la primera parte de lente (15) es mayor del 10%, en particular al menos un 30%, en particular al menos un 100% mayor que una intensidad de lejos relativa de las zonas (10) de la segunda parte de lente (16, 23).

6. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que es una lente trifocal (13), que está construida a partir de dos partes de lente bifocal (15, 16).

7. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, caracterizada por que es una lente cuádrifocal (18), construida a partir de tres partes de lente bifocal (15, 16, 23).

8. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 5, caracterizada por que es una lente cuádrifocal (24), que está construida a partir de dos partes de lente bifocal (25, 26), en la que la superficie óptica (251, 261) de una zona (27, 28) de la primera parte de lente (25, 26) tiene un tamaño diferente con respecto a la superficie óptica (251, 261) de una zona (27, 28) de la segunda parte de lente (25, 26).

9. Lente ocular multifocal según la reivindicación 8, caracterizada por que la superficie óptica (251, 261) de la segunda parte de lente (25, 26) es mayor que la superficie óptica (251, 261) de la primera parte de lente (25, 26) en al menos un 50%, en particular al menos un 90%.

10. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que las potencias de adición de las dos partes de lente (25, 26) son diferentes y/o las dos partes de lente (25, 26) tienen intensidades de lejos relativas idénticas.

11. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que una superficie (14, 17) de la lente (13, 18, 24) estructurada con las zonas (6, 10, 19, 27, 28) se forma de modo que tiene un efecto astigmático con respecto a su característica de formación de imágenes, en particular las potencias de una zona (6, 10, 19, 27, 28) son diferentes dependiendo de un ángulo del meridiano.

12. Lente ocular multifocal según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada por que en al menos un, en particular en cada, meridiano de la lente (13, 18, 24), una potencia de refracción promedio de una zona (6, 10, 23, 25, 26) de la primera parte de lente (15, 16, 23, 25, 26) es respectivamente igual a una potencia de refracción promedio de una zona (6, 10, 19, 27, 28) de la segunda parte de lente (15, 16, 23, 25, 26).

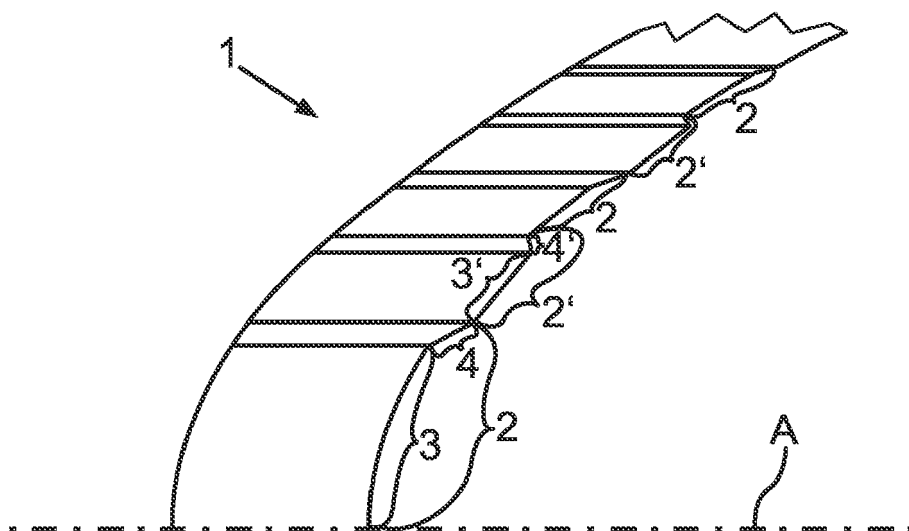


Fig. 1

(estado de la técnica)

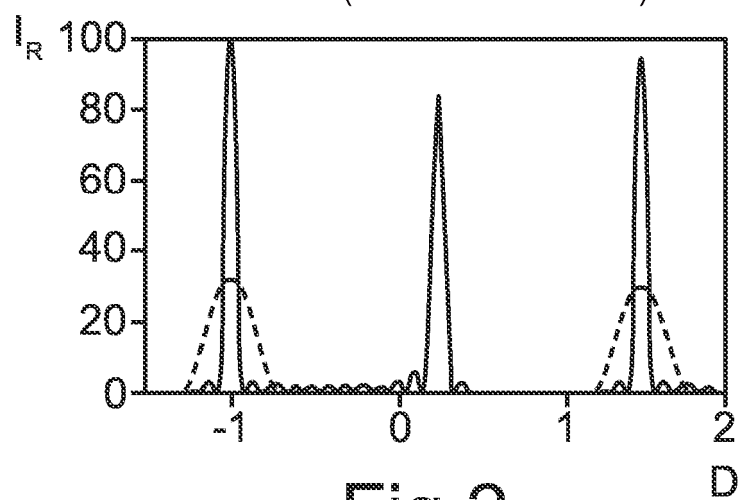


Fig. 2

(estado de la técnica)

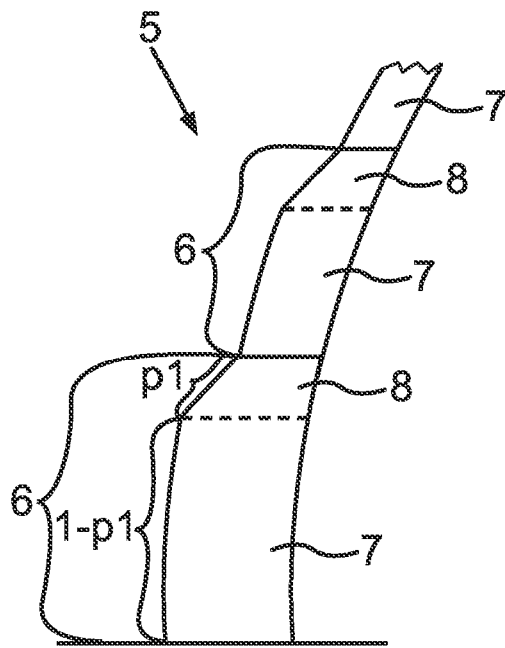


Fig.3

(estado de la técnica)

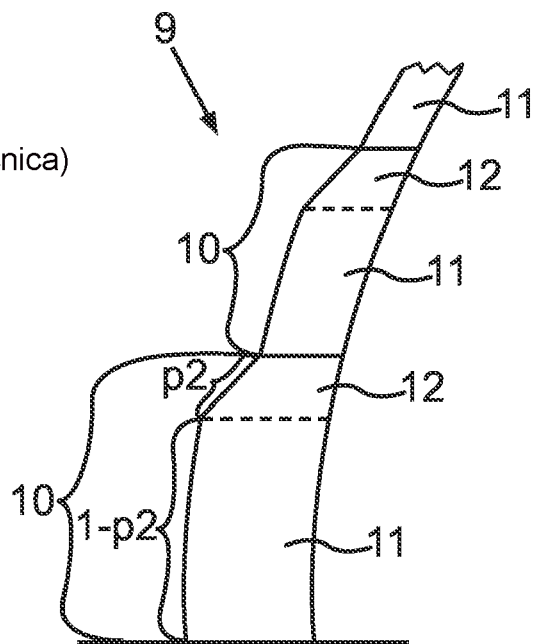


Fig.4

(estado de la técnica)

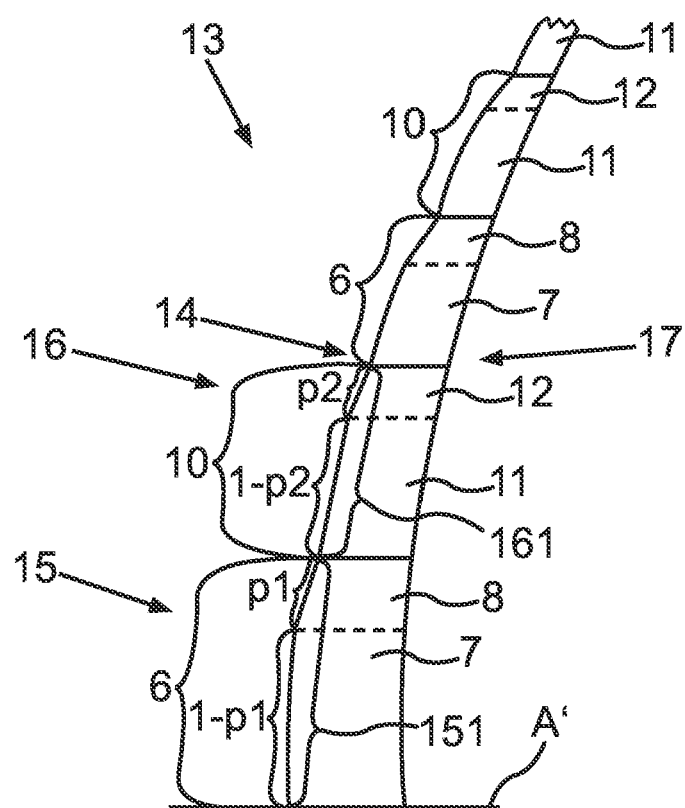


Fig.5

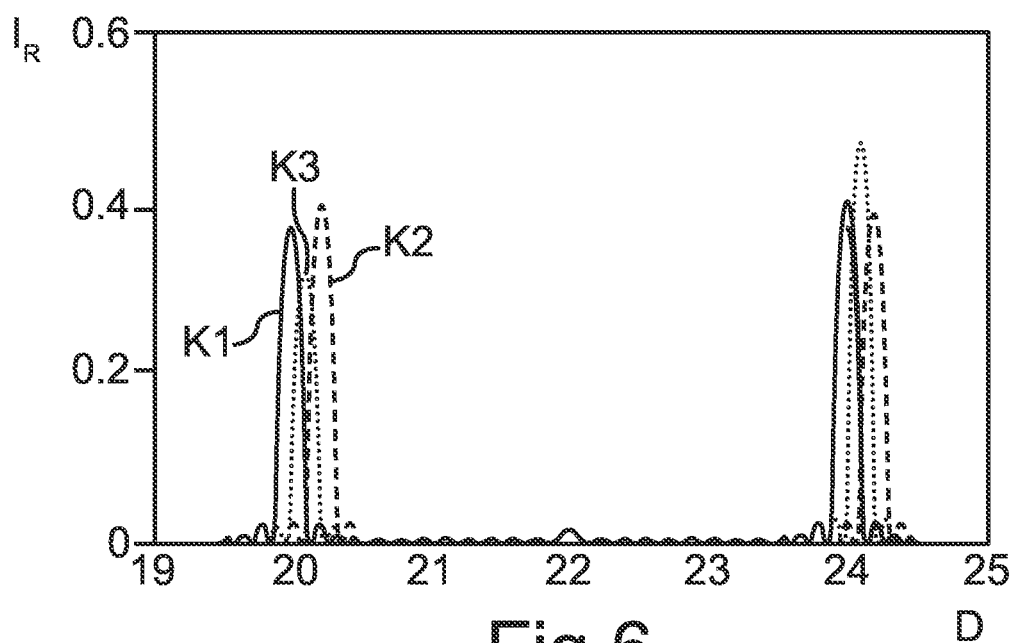


Fig.6

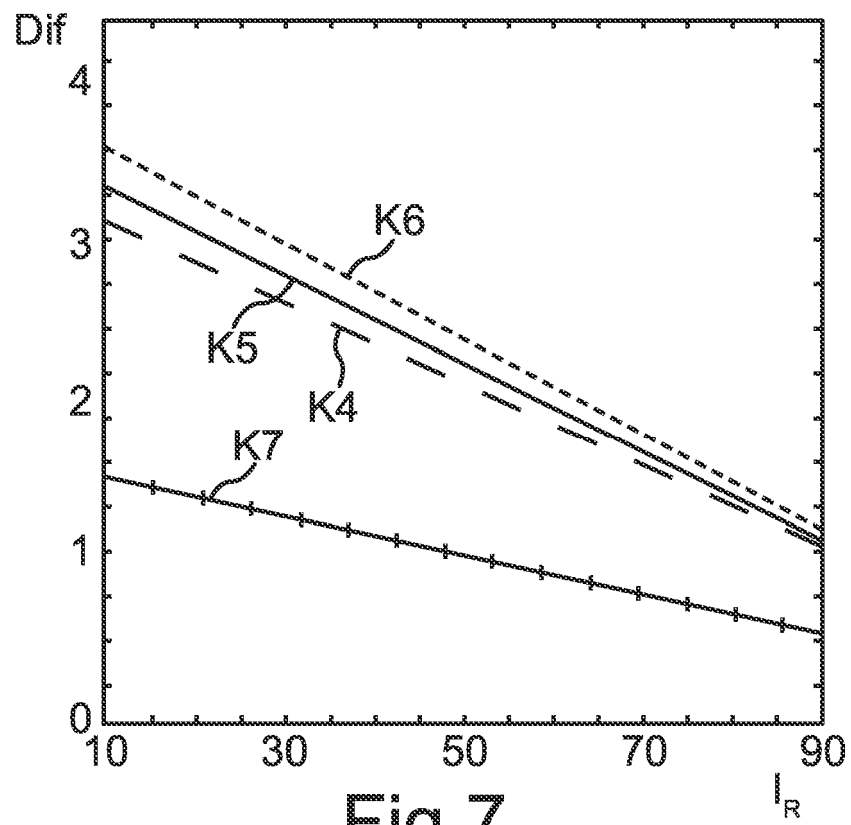


Fig.7

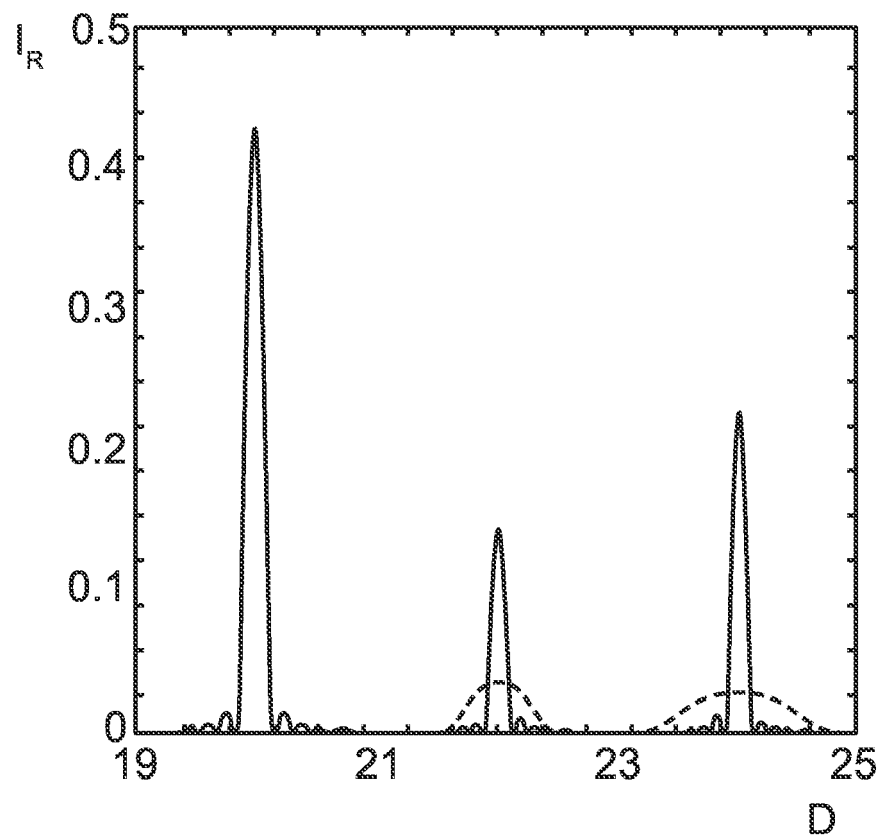


Fig.8

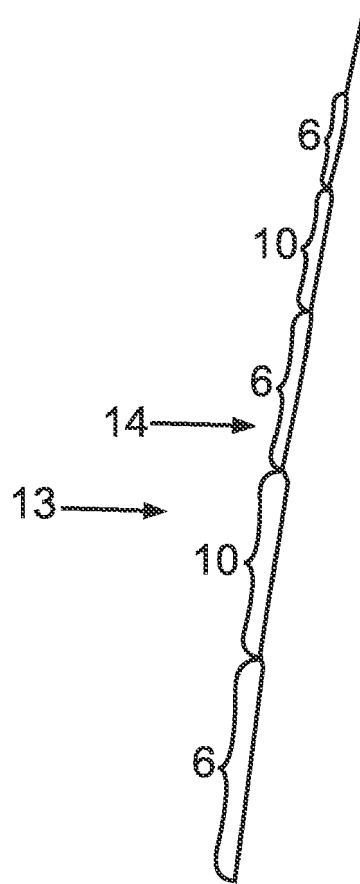


Fig.9

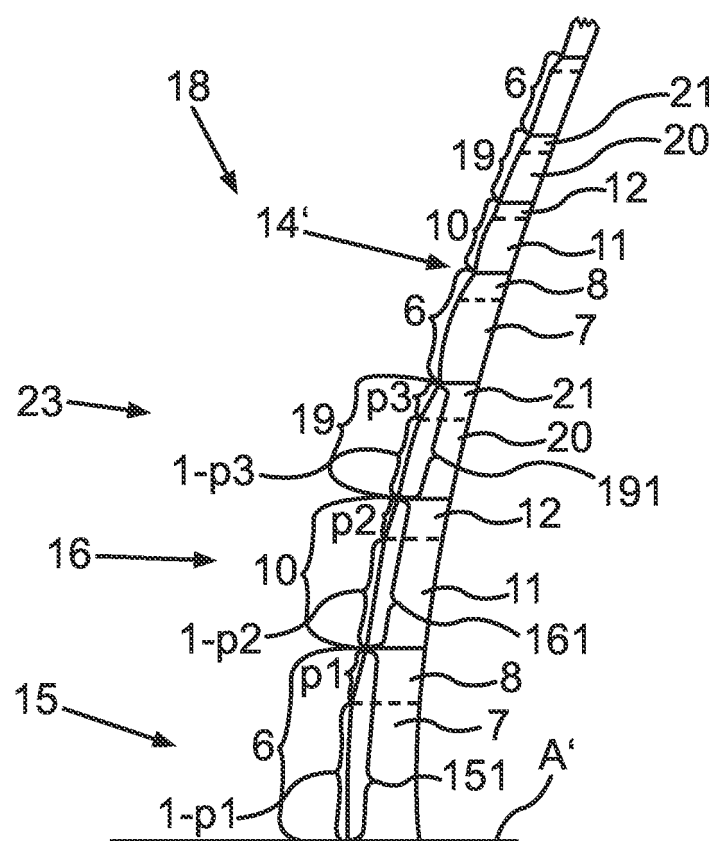


Fig.10

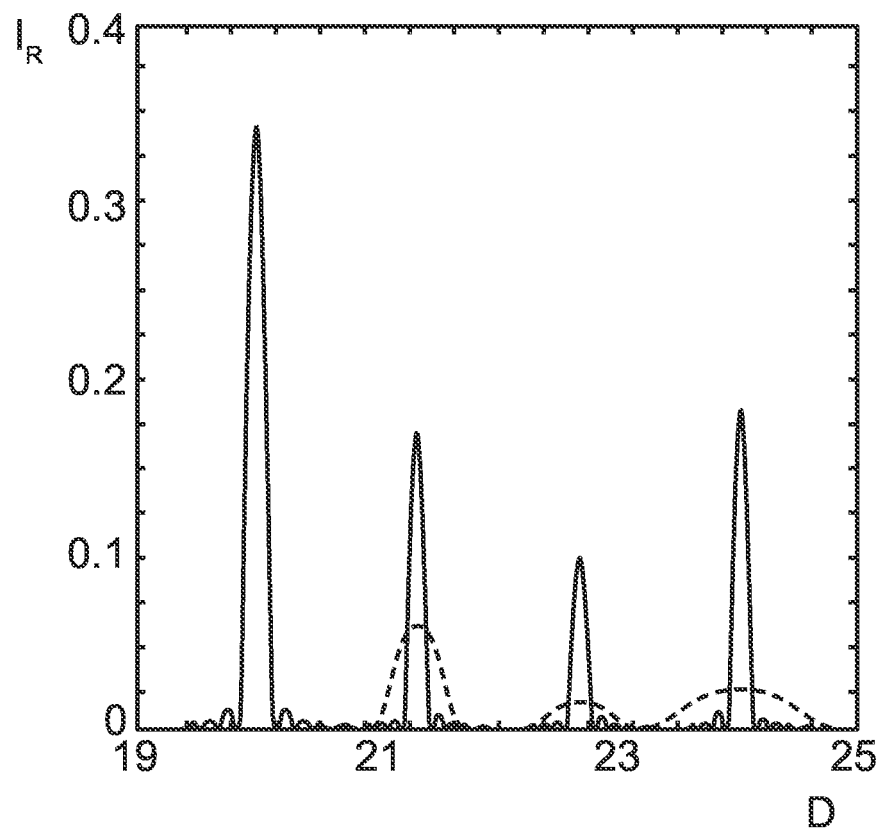
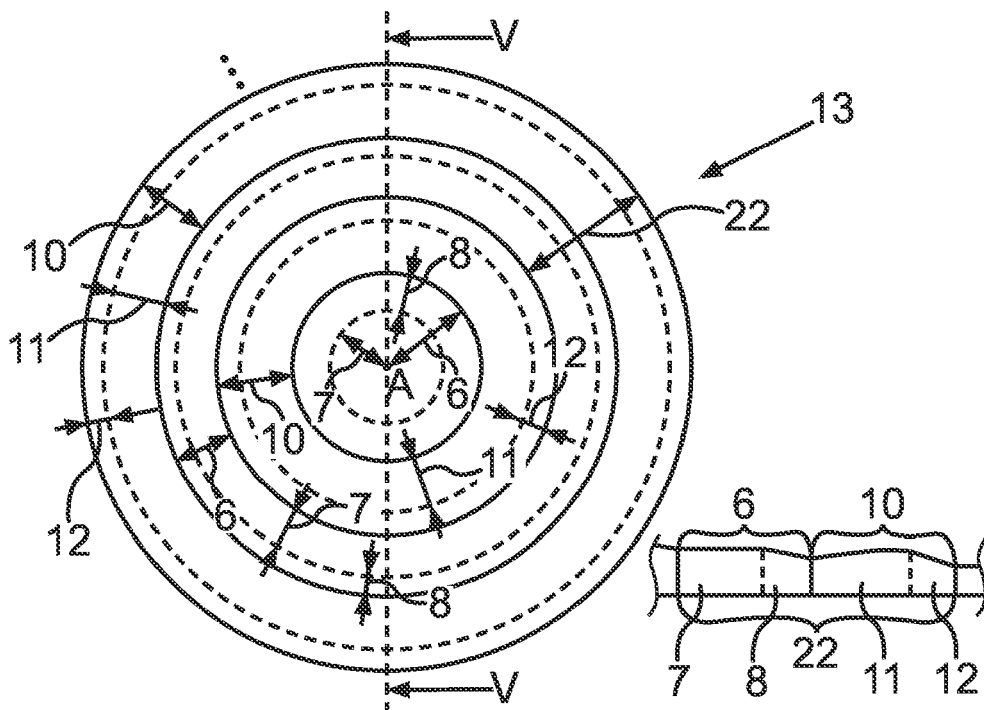
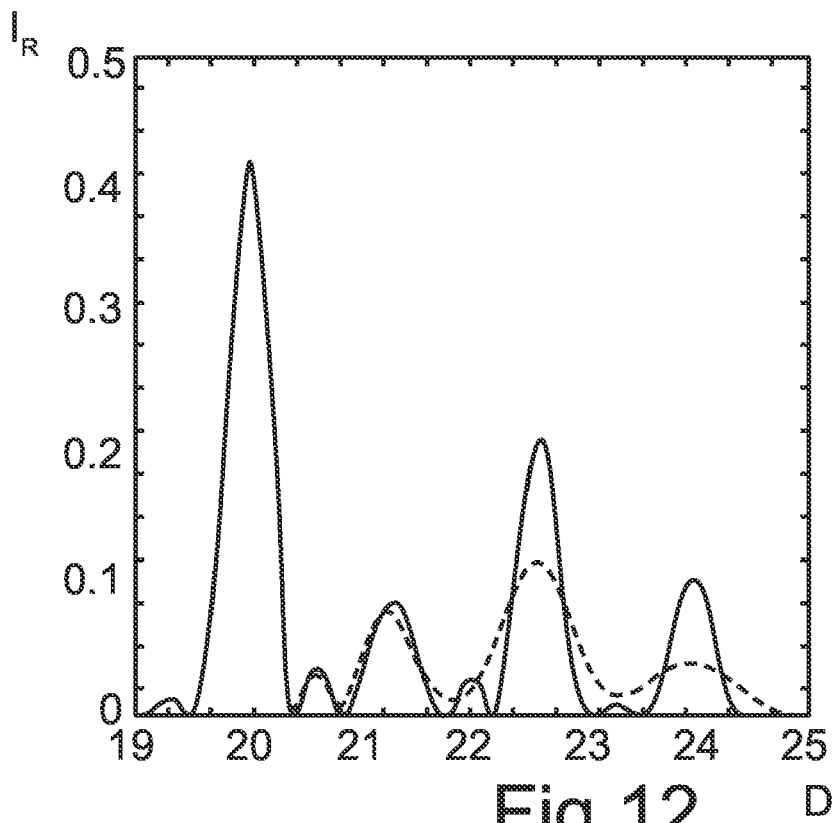


Fig.11



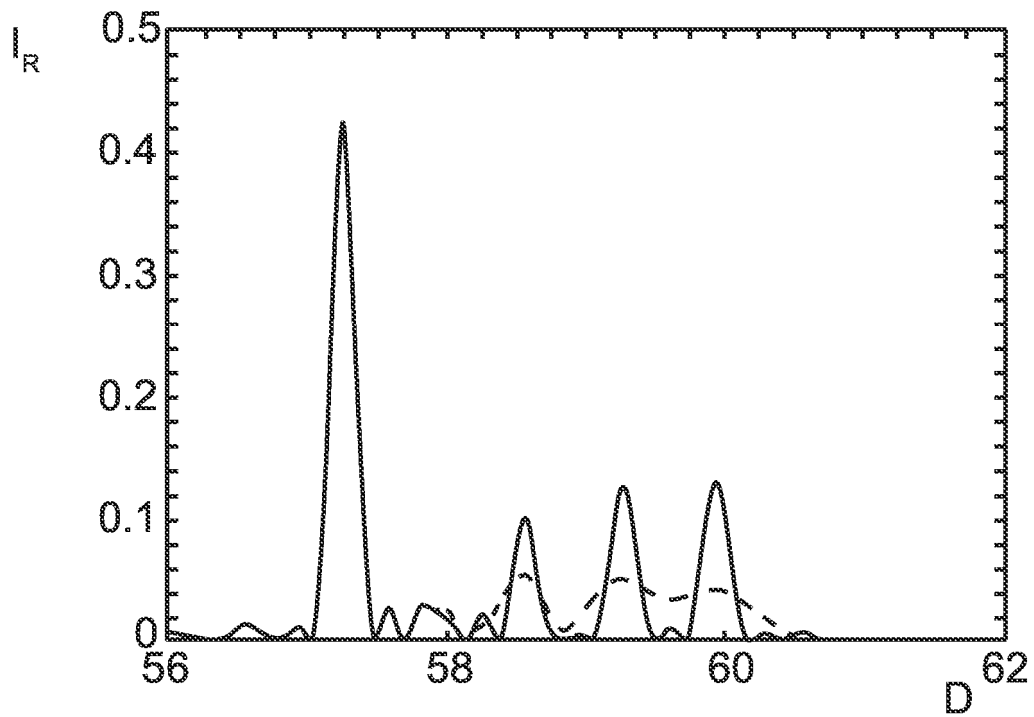


Fig.15

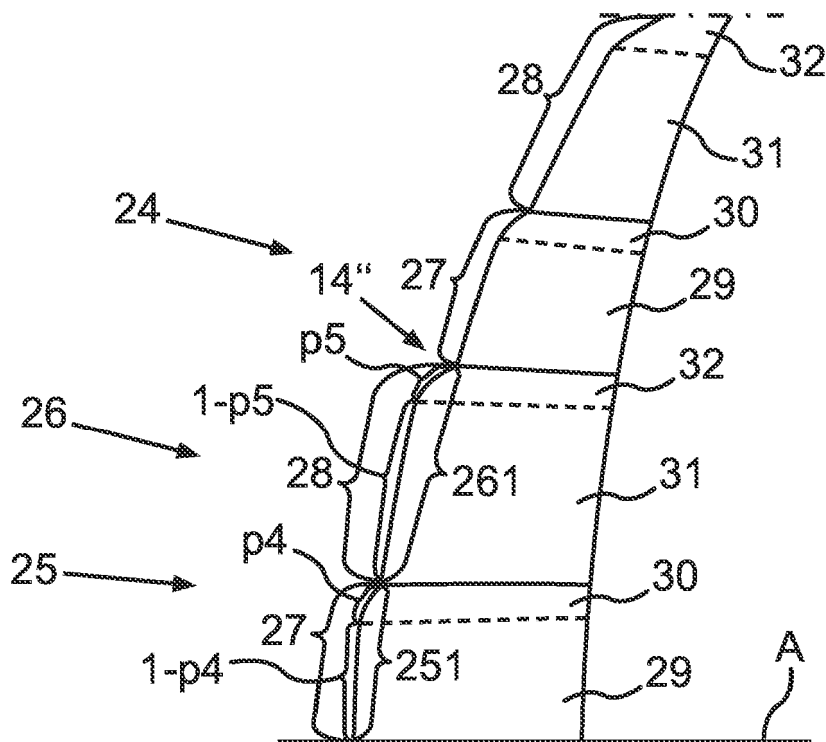


Fig.16

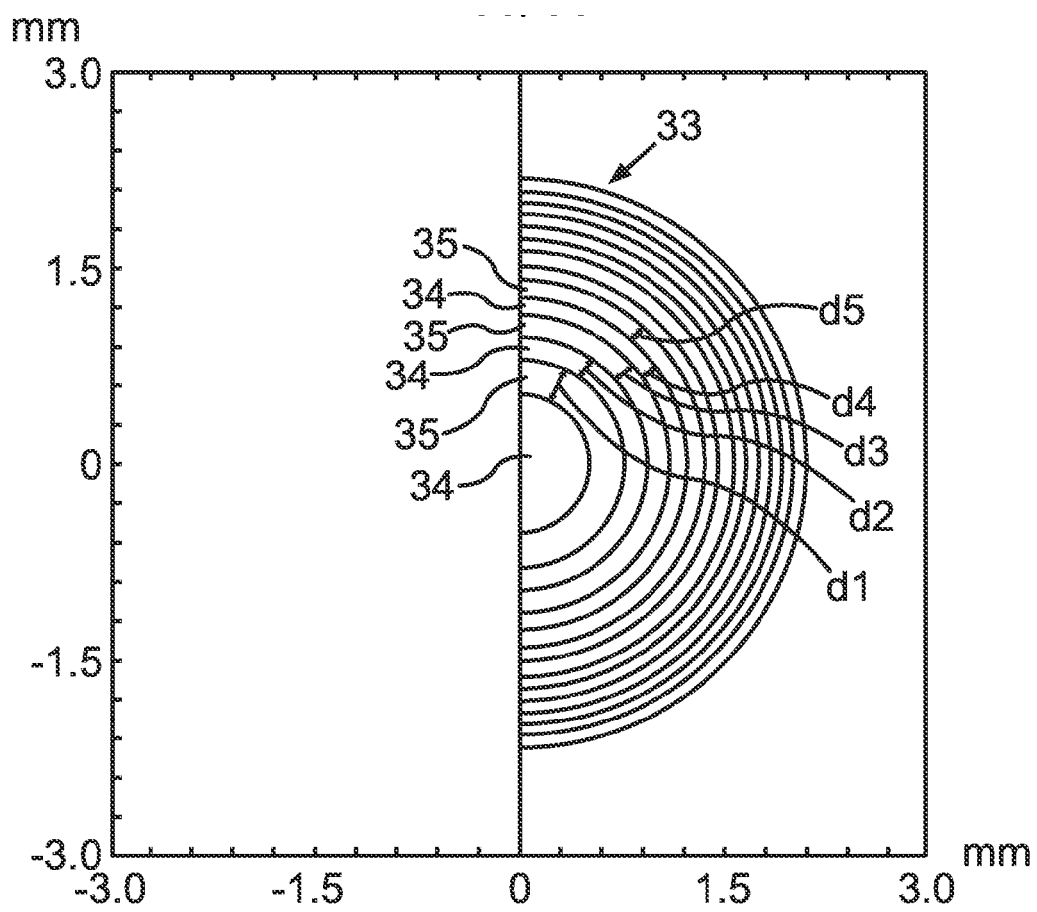


Fig.17

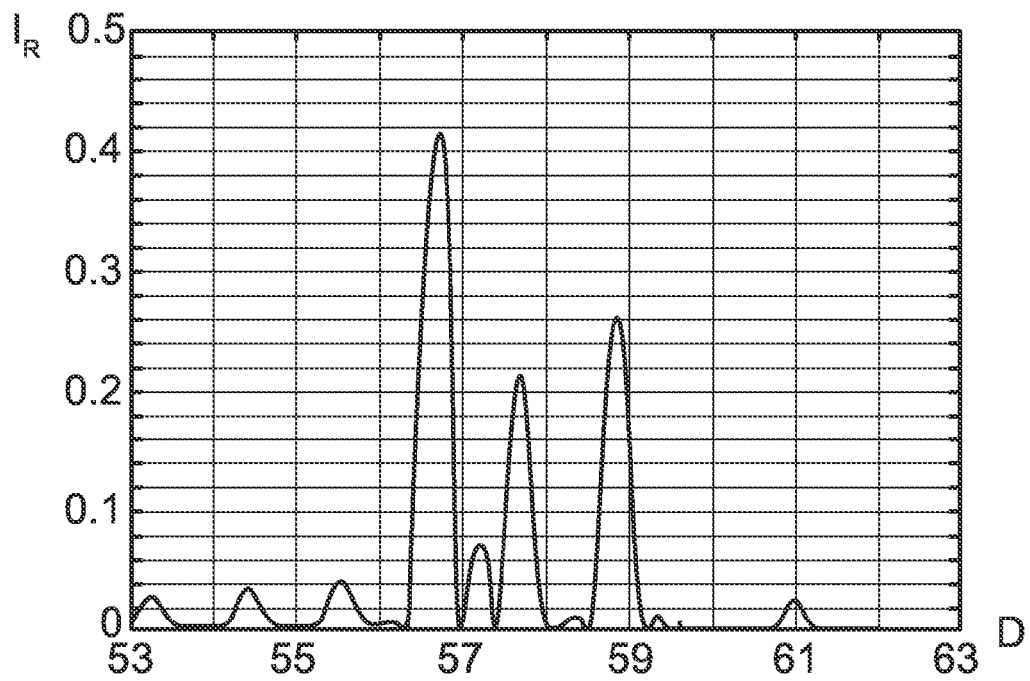


Fig.18