

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 978 455**

51 Int. Cl.:

G02C 7/02 (2006.01)

G02C 7/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.07.2018** **PCT/EP2018/069806**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.07.2019** **WO19141386**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.07.2018** **E 18745881 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.02.2024** **EP 3740814**

54 Título: **Lente de gafas progresiva con índice de refracción variable y procedimiento para su diseño y fabricación**

30 Prioridad:

19.01.2018 WO PCT/EP2018/000026

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

12.09.2024

73 Titular/es:

CARL ZEISS VISION INTERNATIONAL GMBH
(100.0%)

Turnstrasse 27
73430 Aalen, DE

72 Inventor/es:

KELCH, GERHARD;
MENKE, CHRISTOPH y
WIETSCHORKE, HELMUT

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 978 455 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 de gafas progresiva con índice de refracción variable y procedimiento para su diseño y fabricación

5 La invención se refiere a un procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente de gafas progresiva con el fin de utilizar el diseño para la fabricación de una lente de gafas progresiva según el preámbulo de la reivindicación 1, así como a un procedimiento para la fabricación de una lente de gafas progresiva según la reivindicación 11, así como a un programa informático según la reivindicación 9 y a un medio legible por ordenador según la reivindicación 10.

10 Las lentes progresivas se conocen y utilizan en la óptica de gafas desde hace décadas. Al igual que las lentes de gafas multifocales (generalmente lentes de gafas bifocales y trifocales), éstas proporcionan a las personas que padecen presbicia (prébitas) un efecto óptico adicional en la parte inferior de la lente para ver objetos cercanos, por ejemplo, al leer. Dicho efecto es necesario ya que, con la edad, el cristalino pierde progresivamente su capacidad de enfocar objetos cercanos. En comparación con estas lentes multifocales, las lentes progresivas ofrecen la ventaja de proporcionar un aumento continuo del efecto óptico desde la parte de visión lejana hasta la parte de visión cercana, de manera que se garantice una visión nítida no sólo de lejos y de cerca, sino también a todas las distancias intermedias.

15 Según el apartado 14.1.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, la parte de visión lejana es la parte de una lente de gafas multifocal o progresiva que posee el efecto dióptrico para la visión de lejos. Según el apartado 14.1.3 de esta norma, la parte de visión cercana es, de forma correspondiente, la parte de una lente de gafas multifocal o progresiva que posee el efecto dióptrico para la visión de cerca.

20 Hasta ahora, las lentes progresivas se han fabricado normalmente a partir de un material con un índice de refracción constante uniforme. Esto significa que el efecto dióptrico de la lente de gafas se determina exclusivamente a través de la conformación correspondiente de las dos superficies adyacentes al aire (superficie anterior o del lado del objeto, así como superficie posterior o del lado del ojo de acuerdo con las definiciones proporcionadas en los apartados 5.8 y 5.9 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10) de la lente. Según la definición del apartado 9.3 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, el efecto dióptrico es el término genérico para el efecto de enfoque y prismático de una lente de gafas.

25 Para generar el aumento continuo del efecto de enfoque en una lente de gafas progresiva a partir de un material con un índice de refracción constante uniforme, debe haber un cambio continuo correspondiente de la curvatura de la superficie en al menos una de las dos superficies de lente de gafas, como se refleja en el apartado 8.3.5 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 que define el término "lente de gafas progresiva" como una "lente de gafas con al menos una superficie progresiva y con un efecto creciente (positivo) cuando el usuario de las gafas mira hacia abajo". Según el apartado 7.7, una superficie progresiva es una superficie no rotacionalmente simétrica con un cambio continuo de la curvatura en toda o una parte de la superficie progresiva que sirve en general para proporcionar un efecto creciente de adición o un efecto de degresión.

30 Para una prescripción preestablecida, es posible optimizar una lente progresiva según este estado de la técnica antes descrito, lo que da lugar a un diseño determinado que tiene en cuenta las condiciones de uso, las especificaciones de grosor, etc. y que utiliza un material con un índice de refracción constante. En este caso, el término diseño se refiere a la distribución de los errores residuales esféricos y astigmáticos para el usuario de gafas en toda la lente.

35 Para esta lente progresiva puede determinarse una línea de visión principal que representa la totalidad de todos los puntos de visión a través de una de las dos superficies, por ejemplo, la superficie anterior o la superficie posterior, especialmente la superficie progresiva cuando el ojo se mueve al mirar de frente a puntos de objetos situados delante del usuario de gafas desde lejos hasta cerca, y para la que se pueden conseguir errores residuales astigmáticos residuales bajos, especialmente en la parte intermedia. La parte intermedia es toda la zona de transición entre la parte de visión de lejos (zona para la visión de lejos; véase 14.1.1 en DIN EN ISO 13666:2013-10: Parte de una lente de gafas multifocal o progresiva que posee el efecto dióptrico para la visión de lejos) y la parte de visión de cerca (zona para la visión de cerca; véase 14.1.3 DIN EN ISO 13666:2013-10: Parte de una lente de gafas multifocal o progresiva que posee el efecto dióptrico para la visión de cerca). En 14.1.2 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, la parte intermedia se define como la parte de una lente de gafas trifocal que posee el efecto dióptrico para la visión a una distancia que se encuentra entre lejos y cerca.

40 Sin embargo, debido a la ley de Minkwitz, los errores residuales astigmáticos próximos a la línea de visión principal aumentan en la dirección horizontal (como consecuencia del aumento del efecto en la dirección vertical).

45 El documento WO 89/04986 A1 se basa en principio en lentes de gafas progresivas (en este documento se utiliza la expresión "lentes de gafas progresivas") del tipo antes descrito. En la página 1, apartados 2 y 3 del documento, se deduce que "el proceso de fabricación y, especialmente, el pulido" de las superficies progresivas de las lentes de gafas progresivas son "complicados" debido a su forma de superficie "muy diferente de la forma esférica" y a que la superficie fabricada se desvía mucho de la forma teórica calculada. "Además" no es "posible (al menos con una superficie progresiva) mantener reducidas las aberraciones y especialmente el astigmatismo y la distorsión en toda la lente."

El documento WO 89/04986 A1 indica además en la página 2 que, aunque se conocen lentes de gafas con un índice de refracción variable, la realización de lentes de gafas progresivas sustituyendo el complicado diseño de la superficie

progresiva por un índice de refracción variable ha fracasado en el pasado probablemente debido a su previsible función de índice de refracción igualmente complicada.

El documento WO 89/04986 A1 afirma conseguir "una fabricación simplificada con propiedades de imagen comparables" "si [...] un índice de refracción del material de lente que varía al menos a lo largo de la línea de visión principal en la parte intermedia contribuye, al menos parcialmente, al aumento del índice de refracción". Sin embargo, esta realización tiene el objetivo de que "las diferencias de los radios de curvatura entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana [se] reduzcan, de manera que, por una parte, se acorte el tratamiento de una pieza en bruto con superficies límite esféricas para la fabricación de una superficie progresiva" y "por otra parte [...] [se] simplifique el proceso de pulido, que en el caso de las lentes de gafas progresivas según el estado de la técnica corresponde fundamentalmente al de una lente esférica, y se mejore el resultado del proceso de pulido". En el momento de la fecha de solicitud del documento WO 89/04986 A1 era habitual utilizar herramientas de pulido de gran superficie, cuyas superficies de pulido eran aproximadamente del tamaño de la superficie progresiva a pulir.

El documento continúa en la página 5, línea 15 y siguientes: Si, además, el astigmatismo a lo largo del meridiano principal también se reduce como consecuencia de la variación del índice de refracción, esto significa que también desaparece la restricción en el diseño de la lente de gafas de que el astigmatismo de la superficie a lo largo del meridiano principal o de la línea de visión principal deba ser reducido, de manera que la [...] lente de gafas no esté sujeta al teorema de Minkwitz, pudiendo configurarse la lente de gafas de forma mucho más favorable desde otros puntos de vista.

El objetivo declarado de este documento consiste en obtener fácilmente superficies pulibles, configurando la variación del índice de refracción de forma correspondientemente complicada. En la página 6, penúltimo párrafo se indica expresamente: "En casos extremos, es incluso posible que ambas superficies de la lente de gafas progresiva sean superficies esféricas. No obstante, naturalmente también es posible utilizar superficies asféricas rotacionalmente simétricas". Por otra parte, el documento no expresa ninguna restricción con respecto a la complejidad de la función de índice de refracción que, como se indica en la última frase de la página 6, puede describirse en el caso de una "función unidimensional $n(y)$ [...], por ejemplo, mediante funciones spline".

El documento revela dos ejemplos de realización. En el segundo ejemplo de realización, "tanto la superficie anterior, como también la superficie del lado del ojo [...] [son] superficies esféricas" (véase *ibid.*, pág. 11, última frase). En el primer ejemplo de realización, la superficie anterior presenta un meridiano principal en forma de un círculo (compárese *ibid.*, pág. 10, líneas 6-13) y perpendicularmente al mismo la conformación de secciones cónicas (compárese *ibid.*, pág. 11, líneas 6-14). En el primer ejemplo de realización, el lado posterior es esférico.

Con respecto al primer ejemplo de realización, el documento señala "expresamente [...] que a continuación [...] no se tuvo en cuenta en la optimización la corrección de las aberraciones y que, no obstante, se obtuvieron lentes con muy buenas propiedades de imagen en las zonas laterales. Una mejora adicional de las propiedades de imagen en las zonas laterales del meridiano principal se obtiene mediante una mayor optimización de la función de índice."

El documento WO 99/13361 A1 describe un así llamado objeto de lente "MIV" que debe presentar todas las características funcionales de las lentes progresivas, concretamente, una parte de visión lejana, una parte de visión cercana y una zona de progresión, pero cuyas zonas marginales deben estar libres de aberraciones astigmáticas. Este documento describe que un objeto de lente de este tipo puede presentar una superficie anterior esférica y una superficie posterior esférica. El objeto de lente debe presentar una zona de progresión con un índice de refracción continuamente creciente desde la parte de visión lejana hasta la parte de visión cercana. Sin embargo, con una realización como ésta normalmente no pueden realizarse todas las adiciones deseadas. Por este motivo, el documento indica: "Si se desea, la gama de adiciones también puede puentearse, si esto es imposible mediante el único índice de refracción variable, por medio de la fabricación de las lentes con un bloque en bruto de material con un índice de refracción variable como el antes descrito y por medio de la formación de curvas de geometría variable como las de las lentes progresivas convencionales, consiguiéndose así el resultado de que presenten un efecto mucho mayor en comparación con estas últimas, dado que la lente con un índice de refracción variable proporciona la adición deseada en las diferentes zonas utilizando curvas mucho menos diferenciadas entre el efecto de la parte de visión lejana y el efecto de la parte de visión cercana con una reducción de la superficie de aberración y un aumento de la superficie visual útil."

El documento US 2010/238400 A1, en el que se basa la invención, describe lentes de gafas progresivas compuestas respectivamente de varias capas. Al menos una de las capas puede presentar un índice de refracción variable que se describe con respecto a dos meridianos que se desarrollan ortogonalmente entre sí. Además, al menos una de las superficies de una de las capas puede presentar una forma de superficie progresiva. Se describe que la progresión del índice de refracción en la dirección horizontal puede utilizarse para la corrección completa de la geometría de las superficies.

Yuki Shitanoki et al: "Application of Graded-Index for Astigmatism Reduction in Progressive Addition Lens", Applied Physics Express, vol. 2, 1 de marzo de 2009, página 032401 describe, mediante la comparación de dos lentes de gafas progresivas fundidas con la ayuda de la misma pieza de molde, que el astigmatismo puede reducirse en una lente de gafas progresiva con un gradiente de índice de refracción en comparación con una lente de gafas progresiva sin un gradiente de índice de refracción.

Especialmente con vistas a distinguir el objeto de la presente invención de las lentes de gafas multicapa descritas en el documento US 2010/238400 A1, se indica que las lentes de gafas se someten regularmente a uno o varios procesos de acabado. Especialmente, se aplican capas funcionales por uno o ambos lados. Las capas funcionales de este tipo son capas que proporcionan a las lentes de gafas propiedades predeterminadas que son ventajosas para el usuario de las gafas y que las lentes de gafas no tendrían únicamente debido a las propiedades del material base o material portador, al que se aplican en su caso las capas funcionales, y a la conformación. Además de propiedades ópticas como, por ejemplo, el revestimiento antirreflectante, la vaporización de aluminio, la polarización de la luz, la coloración, la autocoloración, etc., las propiedades ventajosas como éstas también incluyen propiedades mecánicas como el endurecimiento, la reducción de la adherencia de la suciedad o del empañamiento, etc., y/o propiedades eléctricas como el blindaje contra la radiación electromagnética, la conducción de corriente eléctrica, etc., y/u otras propiedades físicas o químicas. Pueden encontrarse ejemplos de revestimientos funcionales, por ejemplo, en los documentos WO 10/109154 A1, WO 01/55752 A1 y DE 10 2008 041 869 A1. Estas capas funcionales no influyen o influyen de forma insignificante en las propiedades dióptricas de las lentes de gafas descritas en el marco de la presente solicitud de patente. Por el contrario, las capas descritas en el documento US 2010/238400 A1 tienen una influencia considerable en el efecto dióptrico de la lente de gafas progresiva.

El documento EP 2 177 943 A1 describe un procedimiento para el cálculo mediante una optimización de un sistema óptico, por ejemplo, de una lente oftálmica según al menos un criterio de una lista de criterios que influyen en la impresión visual de una persona sometida a examen. El documento propone minimizar una función de coste teniendo en cuenta valores teóricos y valores de criterio. Se especifica una fórmula general para una función de coste de este tipo. Se indican, entre otros, dos ejemplos:

Apartado [0016]: En una forma de realización, el sistema óptico de trabajo a optimizar comprende al menos dos superficies ópticas y los parámetros modificados son al menos los coeficientes de las ecuaciones de dos superficies ópticas del sistema óptico de trabajo.

Apartado [0018]: En una forma de realización, en la que el sistema óptico a optimizar presenta al menos dos superficies ópticas, la modificación del sistema de tratamiento óptico se lleva a cabo de manera que se modifique al menos el índice del sistema óptico de trabajo. Es posible fabricar una lente a partir de un material no homogéneo en el que exista un gradiente en el índice de refracción (conocida como lente GRIN). Por ejemplo, la distribución del índice que se optimiza puede ser axial o radial y/o puede depender de la longitud de onda.

Otros dos documentos relevantes son las memorias de patente EP3352001 B1 y EP3591458 B1.

El objetivo de la invención consiste en proporcionar una lente de gafas progresiva que presente propiedades ópticas mejoradas para el usuario de gafas en comparación con las lentes de gafas progresivas conocidas por el estado de la técnica y en poner a disposición un procedimiento con el que se pueda diseñar y fabricar una lente de gafas progresiva con propiedades ópticas de reproducción mejoradas.

Esta tarea se resuelve mediante un procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente de gafas progresiva con el fin de utilizar el diseño para la fabricación de una lente de gafas progresiva según la reivindicación 1, así como mediante un procedimiento para la fabricación de una lente de gafas progresiva según la reivindicación 11. La invención se define en las reivindicaciones.

Las realizaciones ventajosas y otras variantes perfeccionadas son objeto de las reivindicaciones dependientes. Mientras que el documento WO 89/04986 A1 propone reducir la complejidad de la geometría de superficie necesaria introduciendo una distribución del índice de refracción complicada pero, contrariamente a las suposiciones anteriores, técnicamente realizable, a fin de simplificar su fabricación (véase ibíd. pág. 2, 4º párrafo, última línea; pág. 4, primer párrafo, última frase; página 5, primer párrafo; página 5, segundo párrafo; página 5, último párrafo, última frase; página 6, penúltimo párrafo) y, de este modo, reducir las grandes desviaciones de la superficie fabricada con respecto a la superficie calculada que merman las propiedades ópticas (véase ibíd. pág. 1, 3º párrafo), los inventores han comprobado que este procedimiento no da lugar necesariamente a lentes de gafas progresivas con mejores propiedades ópticas para el usuario de gafas. Los inventores han comprobado que depende de la interacción entre el grado de complejidad de la geometría de la superficie progresiva y el grado de complejidad de la distribución del índice de refracción. A diferencia de la solución descrita en el documento WO 89/04986 A1, el objeto de la revelación consiste, por consiguiente, en un producto que comprende una lente de gafas progresiva o una representación de la lente de gafas progresiva, almacenada en un soporte de datos, o un soporte de datos con una representación virtual de la lente de gafas progresiva. La lente de gafas progresiva presenta una superficie anterior y una superficie posterior, así como un índice de refracción que varía en el espacio. La superficie anterior o la superficie posterior o la superficie anterior y la superficie posterior se configuran como una superficie progresiva. La lente de gafas progresiva se caracteriza por que la superficie anterior configurada como superficie progresiva se diseña como una superficie de forma libre o por que la superficie posterior configurada como superficie progresiva se diseña como una superficie de forma libre o por que ambas superficies configuradas como superficies progresivas se diseñan como superficies de forma libre. Por lo tanto, también se incluye el caso en el que ambas superficies, concretamente, la superficie anterior y la superficie posterior, se configuran como superficies progresivas, pero sólo una de las dos superficies está presente únicamente como una superficie de forma libre.

Por la expresión "representación de una lente de gafas progresiva almacenada en un soporte de datos" se entiende, por ejemplo, una representación de la lente de gafas progresiva almacenada en una memoria de un ordenador.

La representación de la lente de gafas progresiva comprende, especialmente, una descripción de la forma geométrica y del medio de la lente de gafas progresiva. Una representación como ésta puede comprender, por ejemplo, una descripción matemática de la superficie anterior, de la superficie posterior, de la disposición de estas superficies entre sí (incluido el grosor) y del límite del borde de la lente de gafas progresiva, así como la distribución del índice de refracción del medio del que se compone la lente de gafas progresiva. Esta representación de la forma geométrica de la lente de gafas también podría incluir la posición de determinados puntos de referencia de la construcción, puntos de centrado, así como marcas para la alineación de la lente (marcado permanente, véase a este respecto el apartado 14.1.24 de la norma DIN EN ISO 13666:2012). La representación puede ser en forma codificada o incluso encriptada. Por medio se entiende aquí el material/los materiales o la sustancia del que está fabricada la lente de gafas progresiva. La lente de gafas progresiva también se puede componer de varias capas, por ejemplo, también de un cristal fino con un grosor de entre 10 µm y 500 µm y de plástico aplicado sobre el mismo.

La representación, especialmente la descripción anteriormente explicada en detalle de la forma geométrica de la lente de gafas progresiva y del medio del que está formada la lente de gafas progresiva, también puede ser transformable mediante una conversión en datos de fabricación para la fabricación de la lente de gafas progresiva. La representación puede comprender alternativa o adicionalmente los datos de fabricación convertidos para la fabricación de la lente de gafas progresiva.

Por datos de fabricación se entienden los datos que pueden cargarse (i) en el dispositivo de control de la máquina de fabricación o (ii) en el dispositivo de control o dispositivos de control de las máquinas de fabricación para fabricar la lente de gafas progresiva con la forma geométrica y el medio según la invención.

Por representación virtual se entiende una descripción de la forma geométrica y del medio, especialmente de su perfil de índice de refracción, de la lente de gafas progresiva. Una representación de este tipo puede comprender, por ejemplo, una descripción matemática de la superficie anterior, de la superficie posterior, de la disposición de estas superficies entre sí (incluido el grosor) y del límite del borde de la lente de gafas progresiva, así como la distribución del índice de refracción del medio del que se compone la lente de gafas progresiva. La representación puede ser en forma codificada o incluso encriptada. Por medio se entiende aquí el material/los materiales o la sustancia del que está fabricada la lente de gafas progresiva.

De acuerdo con el apartado 5.8 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, la superficie anterior o superficie del lado del objeto de una lente de gafas es la superficie de una lente de gafas que, conforme a su finalidad, está separada en las gafas del ojo. Por lo tanto, según el apartado 5.9 de esta norma, la superficie posterior es la superficie del lado del ojo, es decir, la superficie de una lente de gafas que, conforme a su finalidad, está orientada en las gafas hacia el ojo.

Según el apartado 7.7 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, una superficie progresiva es una superficie no rotacionalmente simétrica con un cambio continuo de la curvatura por toda la superficie o una parte de ella que sirve en general para proporcionar un efecto de adición o un efecto de degeneración cada vez mayor. Una variación continua excluye los cambios bruscos. Especialmente en el marco de la invención, en general significa que el efecto de adición o degeneración de proximidad puede ponerse a disposición, pero no es necesario. En el marco de la presente invención, el índice de refracción variable en el espacio puede especialmente asumir al menos parcialmente esta función. Según esta definición, cualquier superficie de forma libre es una superficie progresiva, pero no a la inversa.

En un sentido más amplio, por una superficie de forma libre se entiende una superficie compleja que puede representarse en especial mediante exclusivamente funciones polinómicas (especialmente por partes) (especialmente splines polinómicos como, por ejemplo, splines bicúbicos, splines de grado superior de cuarto grado o superior, polinomios de Zernike, superficies de Forbes, polinomios de Chebyshev, series de Fourier, B-splines polinómicos racionales no uniformes (NURBS)). Hay que distinguir las superficies simples como, por ejemplo, las superficies esféricas, las superficies esféricas rotacionalmente simétricas, las superficies cilíndricas, las superficies tóricas o también las superficies descritas en el documento WO 89/04986 A1 que se describen como un círculo al menos a lo largo del meridiano principal (compárese ibíd. página 12, líneas 6-13). Dicho de otro modo, las superficies de forma libre no pueden, sin embargo, representarse en forma de cuerpos regulares clásicos como, por ejemplo, superficies esféricas, superficies esféricas, superficies cilíndricas, superficies tóricas o también las superficies descritas en el documento WO 89/04986 A1 (véase, por ejemplo, <https://www.computerwoche.de/a/die-natur-kennt-auch-nur-freiformflaechen>, 1176029 descargado el 18-01-2018; <http://www.megacad.de/kennenlernen/megacadschulungen/schulungsinhalte/schulung-freiformflaechen.html> descargado el 18-01-2018), por ejemplo, mediante exclusivamente funciones polinómicas (especialmente por partes) (especialmente splines polinómicos como, por ejemplo, splines bicúbicos, splines de grado superior de cuarto grado o superior, polinomios de Zernike, superficies de Forbes, polinomios de Chebyshev, series de Fourier, B-splines polinómicos racionales no uniformes (NURBS)). Las superficies de forma libre son, por consiguiente, superficies que no corresponden a ninguna geometría regular (véase, por ejemplo, <https://www.infograph.de/de/nurbs> descargado el 18-01-2018; https://books.google.de/books?id=QpugBwAAQBAJ&pg=PA101&lpg=PA101&dq=regelgeometrie+definition&source=bl&ots=CJjmQwghvo&sig=MvsGv0sqbAVEygCaW-JQhfJ99jw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi_jcD5y-HYAhXDXCwKHUaQCBw4ChDoAQgsMAI#v=onepage&q=regelgeometrie%20definition&f=false descargado el 18-01-2018) o que no pueden describirse mediante formas de geometría analítica (véase, por ejemplo, https://books.google.de/books?id=LPzBgAAQBAJ&pg=PA26&lpg=PA26&dq=regelgeometrie+definition&source=bl&ots=e1upLSj_inn&sig=hUNimu8d_eH5x8OvCiYsa242ddn8&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwi_jcD5y-

HYAhXDXCwKHUaQCBw4ChDoAQgvMAM#v=onepage&q=rulegeometry%20definition& f=false descargado el 18-01-2018).

Según la invención, se prevé que la superficie de forma libre sea una superficie de forma libre en el sentido estricto según el apartado 2.1.2 de la norma DIN SPEC 58194 de diciembre de 2015, en concreto, una superficie de lente de gafas fabricada con tecnología de forma libre que se describe matemáticamente en el marco de los límites de la geometría diferencial y que no es centralmente simétrica ni axialmente simétrica.

Más especialmente, en una variante de realización ventajosa, la superficie de forma libre puede no sólo no presentar una simetría central ni una simetría axial, sino tampoco una simetría rotacional ni ninguna simetría con respecto a un plano de simetría. Aunque resulta ventajoso eliminar cualquier restricción con respecto a la geometría de la superficie, es suficiente, considerando los requisitos actualmente comunes para las propiedades ópticas de las lentes de gafas progresivas, permitir como superficies progresivas únicamente superficies de forma libre con un alto grado de complejidad. Si, además, se permite el mismo grado de complejidad para la distribución del índice de refracción por la lente de gafas progresiva, concretamente al menos en dos o preferiblemente en tres dimensiones espaciales, en tal caso estas lentes de gafas progresivas cumplen los requisitos de los usuarios de gafas en cuanto a sus propiedades ópticas en el más alto grado.

La invención se caracteriza por una de las siguientes alternativas:

(a) El índice de refracción varía sólo en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y es constante en una tercera dimensión espacial, no presentando una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial ni una simetría central ni una simetría axial.

(b) El índice de refracción varía en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial. Una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial no presenta ni una simetría central ni una simetría axial en todos los planos perpendicularmente a la tercera dimensión espacial.

(c) El índice de refracción varía en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial. Una distribución del índice de refracción no presenta en absoluto una simetría central ni una simetría axial.

En una variante de realización preferida, la tercera dimensión espacial en el caso (a) o (b) se desarrolla en una dirección que

- no difiere en más de 5° de la dirección de visión cero si se utiliza conforme a lo previsto o

- no difiere en más de 10° de la dirección de visión cero si se utiliza conforme a lo previsto o

- no difiere en más de 20° de la dirección de visión cero si se utiliza conforme a lo previsto o

- no difiere en más de 5° de la dirección de visión principal si se utiliza conforme a lo previsto o

- no difiere en más de 10° de la dirección de visión principal si se utiliza conforme a lo previsto o

- no difiere en más de 20° de la dirección de visión principal si se utiliza conforme a lo previsto o

- no difiere en más de 5° de la dirección del vector normal de la superficie anterior en el centro geométrico de la lente de gafas progresiva o

- no difiere en más de 10° de la dirección del vector normal de la superficie anterior en el centro geométrico de la lente de gafas progresiva o

- no difiere en más de 20° de la dirección del vector normal de la superficie anterior en el centro geométrico de la lente de gafas progresiva o

- no difiere en más de 5° de la dirección del vector normal en el punto de medición prismático o

- no difiere en más de 10° de la dirección del vector normal en el punto de medición prismático o

- no difiere en más de 20° de la dirección del vector normal en el punto de medición prismático o

- no difiere en más de 5° de la dirección del vector normal en el punto de centrado o

- no difiere en más de 10° de la dirección del vector normal en el punto de centrado o

- no difiere en más de 20° de la dirección del vector normal en el punto de centrado.

Según la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 – 14-02-12 (en caso de una lente de gafas progresiva o de una lente de gafas progresiva en bruto), el punto de medición prismático es el punto en la superficie anterior especificado por el fabricante en el que deben determinarse los efectos prismáticos de la lente acabada. La definición del punto de centrado puede encontrarse en la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 en el apartado 5.20.

En otra variante de realización se prevé

(i) diseñar la superficie anterior configurada como una superficie de forma libre, de manera que el máximo de la magnitud de la curvatura media de la superficie anterior se encuentre en el canal de progresión, y/o

(ii) diseñar la superficie posterior configurada como una superficie de forma libre, de manera que el mínimo de la magnitud de la curvatura media de la superficie posterior se encuentre en el canal de progresión, o

5 (iii) que la superficie posterior presente una geometría de superficie esférica, rotacionalmente simétrica asférica o tórica y que la superficie anterior, configurada como una superficie de forma libre, esté diseñada de manera que el máximo de la magnitud de la curvatura media de la superficie anterior se encuentre en el canal de progresión, o

10 (iv) que la superficie anterior presente una geometría de superficie esférica, rotacionalmente simétrica asférica o tórica y que la superficie posterior, configurada como una superficie de forma libre, esté diseñada de manera que el mínimo de la magnitud de la curvatura media de la superficie posterior se encuentre en el canal de progresión, o

(v) no configurar la superficie posterior como una superficie de forma libre y diseñar la superficie anterior configurada como una superficie de forma libre de manera que el máximo de la magnitud de la curvatura media de la superficie anterior se encuentre en el canal de progresión, o

15 (vi) no configurar la superficie anterior como una superficie de forma libre y diseñar la superficie posterior configurada como una superficie de forma libre de manera que el mínimo de la magnitud de la curvatura media de la superficie posterior se encuentre en el canal de progresión.

Según la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, apartado 14.1.25, el canal de progresión es, en este caso, la zona de una lente de gafas progresiva que permite una visión nítida para las distancias situadas entre lejos y cerca.

20 Las superficies de este tipo pueden fabricarse con la máxima precisión utilizando los métodos de producción disponibles en la actualidad. Especialmente la elección de esta geometría de superficie para la superficie anterior ofrece ventajas en la fabricación. La eliminación del pulido mediante el uso de las herramientas de pulido actualmente disponibles, cuya superficie de pulido, al menos aproximadamente esférica, corresponde aproximadamente a un tercio de la superficie de lente de gafas a pulir, puede mantenerse suficientemente homogénea a lo largo de la superficie de lente de gafas a pulir, de manera que la desviación de la geometría calculada de la lente de gafas sea comparativamente reducida. De este modo, la desviación de las propiedades ópticas reales con respecto a las propiedades ópticas calculadas de la lente de gafas es extremadamente pequeña.

30 Otra variante de la invención se caracteriza por que la lente de gafas progresiva está diseñada de manera que presente las propiedades ópticas que se describen a continuación y que resultan más ventajosas para el usuario de gafas progresivas en comparación con una lente de gafas progresiva de comparación que no tiene ninguna variación espacial del índice de refracción, sino una distribución idéntica del equivalente esférico.

35 A modo de explicación se expone que una lente de gafas está diseñada para una disposición predeterminada frente a un ojo de un usuario de gafas y para una o varias distancias predeterminadas del objeto a las que el usuario de gafas debe percibir un objeto con nitidez. En una disposición diferente frente al ojo del usuario de gafas y para otras distancias del objeto, la lente de gafas carece de valor o la calidad óptica está gravemente limitada para el usuario de las gafas. Esto se aplica sobre todo a las lentes de gafas progresivas. Por consiguiente, una lente de gafas progresiva sólo se caracteriza por el conocimiento de la disposición predeterminada frente al ojo del usuario de las gafas. Dicho de otro modo, el conocimiento de la posición y orientación de la lente de gafas en el espacio en relación con el ojo es necesario y también suficiente para caracterizar de forma inequívoca el efecto óptico de la misma para el usuario de las gafas. Además, un óptico sólo puede insertar la lente de gafas en la montura de gafas en la posición correcta si conoce la posición y la orientación de la lente de gafas en relación con el ojo del usuario de las gafas. Una representación de la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de unas gafas progresivas, para el que está prevista la lente de gafas progresiva, es, por consiguiente, un componente inseparable del producto (artículo) o del artículo comercial "lente de gafas progresiva".

45 El fabricante coloca marcas permanentes en la lente de gafas progresiva, a fin de garantizar una colocación y orientación correctas por parte del óptico. En el apartado 14.1.24 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 se puede ver que esta marca se denomina marca para la alineación o marca permanente y que el fabricante la aplica para permitir la orientación horizontal de la lente de gafas [...] o la reconstrucción de otros puntos de referencia. Según el apartado 6.1 de la norma DIN EN ISO 14889:2009, el fabricante de lentes de gafas acabadas con bordes en bruto debe permitir una identificación mediante información en el embalaje individual o en un documento adjunto. Especialmente debe proporcionar valores de corrección para situaciones de uso, el efecto de adición de cerca, la designación de tipo o el nombre comercial y la información necesaria para medir la adición de cerca. De la designación de tipo o de la denominación comercial resulta el modelo de distancia de objeto tomado como base por el fabricante para la lente de gafas progresiva. Eventualmente, la distancia del objeto para el rango de lejos o de cerca también es un parámetro de pedido que el óptico puede o debe indicar. Según el apartado 3.1 de esta norma, por un fabricante se entiende una persona física o jurídica que comercializa la lente de gafas acabada con los bordes en bruto.

En esta variante, el producto comprende además una representación, almacenada en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva. Como ya se ha explicado, (no sólo) en esta variante la lente de gafas progresiva presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de

gafas progresiva frente al ojo del usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva. Además, la lente de gafas progresiva presenta un canal de progresión con una anchura. La lente de gafas progresiva concebida según esta variante posee un índice de refracción que varía espacialmente de manera que la anchura del canal de progresión de la lente de gafas progresiva varíe al menos en una sección (por ejemplo, en una sección horizontal o en la zona del canal de progresión en la que el aumento de acción se sitúa entre el 25% y el 75% de la adición o a lo largo de toda la longitud; la anchura del canal de progresión al principio y al final del canal de progresión en ocasiones también depende del diseño de la pieza de visión lejana o cercana) o sea mayor a lo largo de toda la longitud del canal de progresión que la anchura del canal de progresión de una lente de gafas progresiva de comparación para una misma prescripción y, en caso de un mismo modelo de distancia de objeto, con la misma distribución del equivalente esférico y la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable.

El término "equivalente esférico" se define aquí como la media aritmética del efecto de enfoque, tal como se describe, por ejemplo, en Albert J. Augustin: Augenheilkunde. 3ª edición completamente revisada y ampliada. Springer, Berlín et al. 2007, ISBN 978-3-540-30454-8, pág. 1272 o Heinz Diepes, Ralf Blendowske: Optik und Technik der Brille. 1ª edición, Optische Fachveröffentlichung GmbH, Heidelberg 2002, ISBN 3-922269-34-6, pág. 482:

$$\text{Equivalente esférico} = \text{Esfera} + \frac{1}{2} \times \text{Cilindro}$$

Según el apartado 9.2 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, el efecto de enfoque es el término genérico para el efecto esférico y astigmático de una lente de gafas. En la ecuación, el efecto esférico se abrevia en "esfera" y el efecto astigmático se representa mediante "cilindro". El término efecto esférico medio también se utiliza para el término equivalente esférico.

Según la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, apartado 14.1.25, el canal de progresión es (como ya se ha explicado antes) la zona de una lente de gafas progresiva que permite una visión nítida para las distancias entre lejos y cerca. En el centro del canal de progresión se desarrolla la línea de visión principal que representa la totalidad de todos los puntos de visión a través de una de las dos superficies limitadoras, es decir, la superficie anterior o la superficie posterior de la lente de gafas progresiva, cuando el ojo mira de frente a puntos de objetos situados delante del usuario de gafas de lejos a cerca. Normalmente, se supone que la línea de visión principal se encuentra en la superficie anterior. Con otras palabras, la línea de visión principal es la línea en la superficie anterior de una lente de gafas que une los principales puntos de visión a través de la lente progresiva para la visión de lejos y de cerca y en la que se sitúan los puntos de intersección de los rayos visuales para las distancias intermedias en la dirección "en línea recta" (nota: el uso de la superficie posterior como superficie de referencia sobre la que se sitúa la línea de visión principal es bastante inusual). La línea de visión principal suele ser una línea que se desarrolla aproximadamente vertical en las partes de visión lejana y de visión cercana y curvada en el canal de progresión, es decir, la parte de una lente de gafas progresiva que tiene el efecto dióptrico para la visión a distancias situadas entre lejos y cerca. La longitud del canal de progresión puede determinarse, por ejemplo, mediante la posición de los puntos de referencia de construcción de visión lejana y de visión cercana o la posición de los puntos de referencia de visión lejana y de visión cercana. Según el apartado 5.13 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, el punto de referencia de construcción de visión lejana es el punto en la superficie anterior de una lente de gafas acabada o de la superficie acabada de una lente de gafas en bruto en el que, según los datos del fabricante, están presentes los valores teóricos de construcción para la parte de visión lejana. Del mismo modo, según el apartado 5.14 de esta norma, el punto de referencia de construcción de visión cercana es el punto en la superficie anterior de una lente de gafas acabada o de la superficie tratada acabada de una lente de gafas en bruto en el que, según los datos del fabricante, están presentes los valores teóricos de construcción para la parte de visión cercana. Según el apartado 5.15, el punto de referencia de visión lejana o punto de referencia principal es el punto en la superficie anterior de una lente de gafas en el que debe conseguirse el efecto dióptrico para la parte de visión lejana y, según el apartado 5.17, el punto de visión cercana es la posición supuesta del punto de visión en una lente de gafas para la visión de cerca en condiciones determinadas.

En principio, sobre la base de la información anterior es posible definir y determinar de forma inequívoca las propiedades de la lente de gafas progresiva en relación con una lente de gafas progresiva de comparación. Un criterio sencillo resulta si se supone que el al menos una sección es una variante del grupo

- sección horizontal,

- sección a media adición (especialmente en la línea de visión principal),

- sección horizontal a media adición (especialmente en la línea de visión principal),

- sección horizontal a media adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal al 25% de la adición (especialmente en la línea de visión principal),

- sección horizontal a media adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal al 75% de la adición (especialmente en la línea de visión principal),

- sección horizontal a media adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal al 25% de la adición (especialmente en la línea de visión principal) y sección horizontal al 75% de la adición (especialmente en la línea de visión principal).

El apartado 14.2.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 define la adición de cerca o la adición como la diferencia entre el valor de refracción en el vértice de la parte de visión cercana y el valor de refracción en el vértice de la parte de visión lejana medidos con procedimientos especificados. Esta norma establece que los procedimientos de medición correspondientes figuran en la norma determinante para lentes de gafas. En la norma DIN EN ISO 13666:2013-10 se hace referencia como norma determinante a la norma DIN EN ISO 8598-1:2012, "Óptica e instrumentos ópticos - Instrumentos de medición del valor de refracción en el vértice - Parte 1: Instrumentos de uso general". El valor de refracción en el vértice se define en la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, apartado 9.7, como sigue. Se distingue entre el valor de refracción en el vértice del lado de la imagen, definido como el valor recíproco de la distancia focal paraxial del punto focal del lado de la imagen, medido en metros, y el valor de refracción en el vértice del lado del objeto definido como el valor recíproco de la distancia focal paraxial del punto focal del lado del objeto, medido en metros. Cabe señalar que de acuerdo con la óptica oftálmica se utiliza el valor de refracción en el vértice del lado de la imagen como el "valor de refracción en el vértice" de una lente de gafas, pero para determinados fines también se requiere el valor de refracción en el vértice del lado del objeto, por ejemplo, para la medición de la adición en algunas lentes de gafas multifocales y progresivas.

Otra variante para definir las propiedades de la lente de gafas progresiva mediante una comparación con las propiedades de una lente de gafas progresiva de comparación con propiedades que pueden predeterminarse de forma inequívoca, en concreto, la misma distribución del equivalente esférico sobre la lente en la misma posición de la lente de gafas frente al ojo del mismo usuario de lente de gafas progresiva tomando como base el mismo modelo de distancia de objeto, consiste en que el producto presenta además

(i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(ii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(iii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(iv) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva.

En esta variante de una lente de gafas progresiva que presenta una parte de visión lejana y una parte de visión cercana, la anchura del canal de progresión se define mediante la dimensión transversal a una dirección longitudinal del canal de progresión que se desarrolla entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana, dentro de la cual el valor de la magnitud de astigmatismo residual está por debajo de un valor límite predeterminado seleccionado dentro de un rango del grupo que se indica a continuación:

(a) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 1,5 dpt

(b) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 1,0 dpt

(c) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 0,75 dpt

(d) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 0,6 dpt

(e) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 0,5 dpt

(f) el valor límite es de 0,5 dpt.

Por astigmatismo residual se entiende el astigmatismo (por magnitud y dirección axial) en el que el astigmatismo o el efecto astigmático de la lente de gafas progresiva en un lugar respectivo de una superficie de la lente de gafas progresiva en relación con un haz de rayos que atraviesa la lente de gafas progresiva en este punto para el usuario de las gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, siempre que el usuario de las gafas progresivas use la lente de gafas progresiva conforme a lo previsto (de manera que se disponga delante del ojo del usuario de las gafas progresivas de un modo predeterminado), se desvía del efecto astigmático necesario para una corrección completa. El término "distribución" aclara que este astigmatismo residual puede variar, y normalmente variará, localmente a lo largo de la lente de gafas.

Formulado de otro modo, por astigmatismo residual se entiende la desviación del efecto astigmático (efecto astigmático real) de la lente de gafas progresiva del efecto astigmático "prescrito" con respecto a la magnitud y a la posición axial. Con otras palabras, el astigmatismo residual es la diferencia, en dependencia de la dirección de visión, entre el efecto astigmático real y el efecto astigmático teórico para el usuario de la lente de gafas progresiva en la posición de uso. En la posición de uso se tienen en cuenta la posición y la orientación de la lente de gafas en relación con el ojo en caso de un uso conforme a lo previsto. La dependencia de la dirección de visión del efecto astigmático puede resultar, especialmente, de la dependencia de la dirección de visión de la distancia del objeto y de la dependencia de la dirección de visión del efecto astigmático del ojo. Por consiguiente, el término "efecto prescrito"

debe entenderse en el sentido más amplio como un efecto teórico que debe tener la lente de gafas en función de su posición y orientación tomadas como base con respecto al ojo para la dirección de la respectiva dirección de visión y la distancia a la que el usuario de las gafas debe ver el objeto nítidamente para esta dirección de visión.

Para el cálculo concreto de la distribución de astigmatismo residual (u otras distribuciones de error como, por ejemplo, la distribución de error esférico u otras distribuciones de error de orden superior descritas, por ejemplo, en el documento EP 2 115 527 B1, o de distribuciones de efecto real como, por ejemplo, el efecto real astigmático, el efecto real esférico o el efecto real prismático), se tienen en cuenta regularmente la distancia del vértice corneal, la distancia de la pupila, la inclinación hacia delante de la lente de gafas, el ángulo de montura de la lente de gafas y el tamaño de la lente de gafas, incluyendo especialmente el grosor y/o el borde (desarrollo del borde). Además, normalmente se toma como base un modelo de distancia de objeto que describe la posición de los puntos del objeto en el campo de visión del usuario de las gafas relativamente con respecto a sus puntos de giro del ojo.

La distribución del astigmatismo residual puede estar ya disponible como descripción matemática calculada (como en el caso (i)) o puede determinarse a partir de la prescripción (a menudo también se utiliza el término receta) y un modelo de distancia de objeto (como en el caso (iii)) o de una distribución del efecto astigmático ya calculada para una corrección completa (como en el caso (ii)).

Además de los valores de refracción convencionales, la prescripción también puede incluir otros parámetros fisiológicos inherentes al usuario de las gafas (es decir, generalmente aquellos parámetros que son propios del usuario de las gafas), así como las condiciones de uso (es decir, generalmente aquellos parámetros que son atribuibles al entorno del usuario de las gafas) en las que se debe llevar la lente de gafas progresiva prescrita. También forman parte de los parámetros fisiológicos inherentes, entre otros, el error de refracción del usuario, la capacidad de acomodación y la distancia pupilar (en su caso también monocular). Las condiciones de uso incluyen información sobre el ajuste de las lentes delante del ojo y también datos que caracterizan el modelo de distancia de objeto como, por ejemplo, si se trata de unas gafas a utilizar en puestos de trabajo con pantalla de visualización de datos, tomándose como base para la dirección de visión lejana un objeto, concretamente la pantalla, a una distancia distinta del infinito. En caso de que la prescripción medida individualmente o determinada no contenga condiciones de uso específicas, se asumen determinados valores estándar (por ejemplo, inclinación estándar 9°).

Por un modelo de distancia de objeto se entiende una suposición de las distancias en el espacio a las que el usuario de las gafas debe ver los objetos con claridad. Un modelo de distancia de objeto puede caracterizarse, por ejemplo, por la distribución de las distancias del objeto desde el lado delantero de la lente de gafas en las diferentes direcciones de visión o por los puntos de penetración de los rayos a través de la superficie delantera. En el modelo de distancia de objeto, la posición del objeto se relaciona generalmente con el centro de giro del ojo, como ya se ha explicado anteriormente.

El cálculo del modelo puede tener en cuenta que el efecto y la posición axial del ojo varían a diferentes distancias del objeto y direcciones de visión. Especialmente, el cálculo del modelo puede tener en cuenta la así llamada regla de Listing. El cálculo del modelo puede, por ejemplo, tener en cuenta también la variación del efecto astigmático del ojo para la visión cercana y lejana, por ejemplo, del modo descrito en el documento DE 10 2015 205 721 A1.

Por corrección completa se entiende una corrección que se produce al usar la lente de gafas progresiva conforme a su finalidad y que permite al usuario de la lente de gafas progresiva, teniendo en cuenta las propiedades visuales de su ojo representadas por la prescripción, ver nítidamente objetos dispuestos a las distancias tomadas como base en el modelo de distancia de objeto.

Para una mayor información, cabe señalar que el soporte de datos en el que se almacena la representación predeterminada también puede ser, por ejemplo, una hoja de papel en lugar de una memoria de ordenador. Esta posibilidad se refiere especialmente al caso (iii) antes mencionado, en el que la prescripción también puede anotarse en una hoja de papel.

Otra forma de realización del producto comprende los siguientes componentes:

- una representación, almacenada en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de lentes de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, así como
- una o varias de las siguientes representaciones en un soporte de datos:

(i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de la lente de gafas progresiva para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(ii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de la lente de gafas progresiva para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(iii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de la lente de gafas progresiva para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

5 (iv) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de la lente de gafas progresiva para el que está prevista la lente de gafas progresiva.

10 La lente de gafas progresiva según esta forma de realización presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva delante del ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva. En esta forma de realización, el índice de refracción de la lente de gafas progresiva varía espacialmente, de manera que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente de gafas progresiva de comparación para una misma prescripción, con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas y con el mismo modelo de distancia de objeto, pero con un índice de refracción que no varía en el espacio.

15 Las propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva que puede percibir el usuario de las gafas mejoran con respecto a todos los tipos convencionales de lentes de gafas progresivas.

Otra variante del producto comprende los componentes que se indican a continuación:

- una representación, almacenada en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva,
20 - al menos una de las siguientes representaciones en un soporte de datos:

(i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

25 (ii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(iii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

30 (iv) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva.

35 La lente de gafas progresiva según esta forma de realización presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva. La lente de gafas progresiva posee un canal de progresión. El índice de refracción de la lente de gafas progresiva varía espacialmente, de manera que para un valor de astigmatismo residual predeterminado $A_{\text{Residual,límite}}$ del grupo

(a) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{Residual,límite}}$ es del orden de entre 0,25 dpt y 1,5 dpt

(b) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{Residual,límite}}$ es del orden de entre 0,25 dpt y 1,0 dpt

40 (c) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{Residual,límite}}$ es del orden de entre 0,25 y 0,75 dpt

(d) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{Residual,límite}}$ es del orden de entre 0,25 y 0,6 dpt

(e) El valor del astigmatismo residual $A_{\text{Residual,límite}}$ es del orden de entre 0,25 y 0,5 dpt

(f) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{Residual,límite}}$ es de 0,5 dpt

45 en una sección horizontal en el punto más estrecho del canal de progresión (por ejemplo, donde las líneas de isoastigmatismo para 1 dpt presentan la menor distancia entre sí) o en una sección horizontal a través del punto en la línea de visión principal en la que se alcanza la mitad de la adición, dentro de una zona con una distancia horizontal de 10 mm a ambos lados de la línea de visión principal, se aplique la siguiente relación:

$$B > c \times \frac{A_{\text{Residual,límite}}}{\text{grad W}}$$

50 siendo grad W el gradiente de efecto del equivalente esférico en la dirección de la línea de visión principal de la lente de gafas progresiva en el punto de la línea de visión principal en el punto más estrecho del canal de progresión o en el punto de la línea de visión principal en el que se alcanza la mitad de la adición, siendo B la anchura de la zona en la lente de gafas progresiva en la que el astigmatismo residual $A_{\text{Residual}} \leq A_{\text{Residual,límite}}$, siendo c una constante seleccionada del grupo:

- (a) $1,0 < c$
- (b) $1,1 < c$
- (c) $1,2 < c$
- (d) $1,3 < c$

5 Las propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva percibidas por el usuario de gafas mejoran en comparación con todos los tipos convencionales de lentes de gafas progresivas.

Otra variante de un producto comprende (i) una lente de gafas progresiva o (ii) una representación de la lente de gafas progresiva almacenada en un soporte de datos o (iii) un soporte de datos con una representación virtual de la lente de gafas progresiva, presentando la lente de gafas progresiva una superficie anterior y una superficie posterior, así como un índice de refracción que varía en el espacio. La superficie anterior o la superficie posterior o ambas superficies se configuran como una superficie progresiva. La superficie anterior configurada como una superficie progresiva se diseña como una superficie de forma libre y/o la superficie posterior configurada como una superficie progresiva se diseña como una superficie de forma libre.

15 La lente de gafas progresiva se compone de un sustrato que no presenta capas individuales, así como de un recubrimiento de superficie anterior en la superficie anterior del sustrato que comprende una o varias capas individuales y/o un recubrimiento de superficie posterior en la superficie posterior del sustrato que comprende una o varias capas individuales. Sólo el sustrato presenta el índice de refracción que varía en el espacio.

20 Una diferencia entre el equivalente esférico medido en cualquier punto de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva con el recubrimiento de superficie anterior y/o con el recubrimiento de superficie posterior y el equivalente esférico medido en cualquier punto correspondiente de la superficie anterior de una lente de gafas progresiva de comparación sin recubrimiento de superficie anterior y sin recubrimiento de superficie posterior, pero con un sustrato idéntico (con idéntica geometría e idéntico índice de refracción) es inferior a un valor del grupo que se indica a continuación:

- (a) el valor de diferencia es inferior a 0,001 dpt
- (b) el valor de diferencia es inferior a 0,002 dpt
- (c) el valor de diferencia es inferior a 0,003 dpt
- (d) el valor de diferencia es inferior a 0,004 dpt.

Naturalmente, esta variante también puede presentar una o varias de las características antes descritas.

30 Una primera variante perfeccionada del producto antes descrito se caracteriza por que al menos una de las superficies de forma libre no presenta una simetría central ni una simetría axial o por que al menos una de las superficies de forma libre no presenta una simetría central ni una simetría axial ni una simetría rotacional ni ninguna simetría con respecto a un plano de simetría.

Una segunda variante perfeccionada, en su caso combinada con la primera, se caracteriza por que

- (a) el índice de refracción cambia sólo en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y es constante en una tercera dimensión espacial, no presentando una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial una simetría central ni una simetría axial, o por que
- (b) el índice de refracción cambia en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial, no presentando una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial en todos los planos perpendiculares a la tercera dimensión espacial una simetría central ni una simetría axial, o por que
- (c) el índice de refracción cambia en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial, no presentando una distribución del índice de refracción ninguna simetría central ni ninguna simetría axial.

45 En el caso (a) o en el caso (b), la tercera dimensión espacial se desarrolla preferiblemente en una dirección que

- no difiere en más de 5° de la dirección de visión cero conforme al uso previsto o
- no difiere en más de 10° de la dirección de visión cero conforme al uso previsto o
- no difiere en más de 20° de la dirección de visión cero conforme al uso previsto o
- no difiere en más de 5° de la dirección de visión principal conforme al uso previsto o
- 50 - no difiere en más de 10° de la dirección de visión principal conforme al uso previsto o
- no difiere en más de 20° de la dirección de visión principal conforme al uso previsto o

- no difiere en más de 5° de la dirección del vector normal de la superficie anterior en el centro geométrico de la lente de gafas progresiva o
 - no difiere en más de 10° de la dirección del vector normal de la superficie anterior en el centro geométrico de la lente de gafas progresiva o
 - 5 - no difiere en más de 20° de la dirección del vector normal de la superficie anterior en el centro geométrico de la lente de gafas progresiva o
 - no difiere en más de 5° de la dirección del vector normal en el punto de medición prismático o
 - no difiere en más de 10° de la dirección del vector normal en el punto de medición prismático o
 - no difiere en más de 20° de la dirección del vector normal en el punto de medición prismático o
 - 10 - no difiere en más de 5° de la dirección del vector normal en el punto de centrado o
 - no difiere en más de 10° de la dirección del vector normal en el punto de centrado o
 - no difiere en más de 20° de la dirección del vector normal en el punto de centrado.
- En otra realización, la lente de gafas progresiva presenta un canal de progresión. En la lente de gafas progresiva
- 15 (i) la superficie anterior configurada como una superficie de forma libre puede diseñarse de manera que se maximice la magnitud de la curvatura media en el canal de progresión, y/o
 - (ii) la superficie posterior configurada como una superficie de forma libre puede diseñarse de manera que se minimice la magnitud de la curvatura media en el canal de progresión, o
 - (iii) la superficie posterior presenta una geometría de superficie esférica, rotacionalmente simétrica, asférica o tórica y la superficie anterior, configurada como una superficie de forma libre, se diseña de manera que el máximo de la magnitud de la curvatura media de la superficie anterior se encuentre en el canal de progresión, o
 - 20 (iv) la superficie anterior presenta una geometría de superficie esférica, rotacionalmente simétrica asférica o tórica y la superficie posterior, configurada como una superficie de forma libre, se diseña de manera que el mínimo de la magnitud de la curvatura media de la superficie posterior se encuentre en el canal de progresión, o
 - 25 (v) la superficie posterior no se configura como una superficie de forma libre y la superficie anterior configurada como una superficie de forma libre se diseña de manera que el máximo de la magnitud de la curvatura media de la superficie anterior se encuentre en el canal de progresión, o
 - (vi) la superficie anterior se configura como una superficie de forma libre y la superficie posterior configurada como una superficie de forma libre se diseña de manera que el mínimo de la magnitud de la curvatura media de la superficie posterior se encuentre en el canal de progresión.
 - 30 El producto antes descrito puede caracterizarse adicionalmente por que
 - el producto comprende además (i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, o (ii) comprende un soporte de datos con datos sobre una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas, por que
 - 35 - la lente de gafas progresiva presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, por que
 - la lente de gafas progresiva presenta un canal de progresión con una anchura, y por que el índice de refracción de la lente de gafas progresiva varía en el espacio, de manera que la anchura del canal de progresión de la lente de gafas progresiva sea mayor, al menos en una sección o a lo largo de toda la longitud del canal de progresión, que la anchura del canal de progresión de una lente de gafas progresiva de comparación con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable.
 - 40
- La última realización descrita del producto puede caracterizarse en otra configuración por que la al menos una sección es una variante seleccionada del grupo
- 45 - sección horizontal,
 - sección a media adición,
 - sección horizontal a media adición
 - sección horizontal a media adición y sección horizontal al 25% de la adición
 - 50 - sección horizontal a media adición y sección horizontal al 75% de la adición
 - sección horizontal a media adición y sección horizontal al 25% de la adición y sección horizontal al 75% de la adición.

Alternativa o adicionalmente, el producto puede presentar además:

- (i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 5 (ii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresivas, y/o
- (iii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 10 (iv) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (v) un soporte de datos con datos sobre una distribución del astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 15 (vi) un soporte de datos con datos sobre una distribución del efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (vii) un soporte de datos con datos sobre una prescripción y un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 20 (viii) un soporte de datos con datos sobre una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva,
- 25 - presentando la lente de gafas progresiva una parte de visión lejana y una parte de visión cercana, y
- correspondiendo la anchura del canal de progresión a la dimensión transversalmente a una dirección longitudinal del canal de progresión que se desarrolla entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana, dentro de la cual el valor de la magnitud del astigmatismo residual se encuentra por debajo de un valor límite predeterminado seleccionado dentro de un rango del grupo indicado a continuación:
- 30 (a) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 1,5 dpt
- (b) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 1,0 dpt
- (c) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 0,75 dpt
- (d) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 0,6 dpt
- 35 (e) el valor límite es del orden de entre 0,25 dpt y 0,5 dpt
- (f) el valor límite es de 0,5 dpt.

La variante adicional del producto antes descrita y, en su caso, sus variantes perfeccionadas antes descritas pueden caracterizarse por que

- el producto comprende además (i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, o (ii) un soporte de datos con datos sobre una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas, por que
- 40 - la lente de gafas progresiva presenta una distribución de un equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, por que
- 45 - el producto presenta además
- (i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 50 (ii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

- (iii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 5 (iv) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (v) un soporte de datos con datos sobre una distribución del astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 10 (vi) un soporte de datos con datos sobre una distribución de efecto astigmático necesaria para una corrección completa de la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (vii) un soporte de datos con datos sobre una prescripción y un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 15 (viii) un soporte de datos con datos sobre una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y por que
- el índice de refracción de la lente de gafas progresiva varía en el espacio, de manera que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente de gafas progresiva de comparación con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de gafas progresivas, pero con un índice de refracción que no varía en el espacio.
- 20 La variante adicional del producto antes descrita y, en su caso, sus variantes perfeccionadas antes descritas también pueden caracterizarse por que
- 25 - el producto comprende además (i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, o (ii) un soporte de datos con datos sobre una disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente a un ojo de un usuario de gafas progresivas, por que
- 30 - la lente de gafas progresiva presenta una distribución de equivalente esférico (W) para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, por que
- el producto presenta además
- 35 (i) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (ii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución de efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 40 (iii) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una prescripción y de un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (iv) una representación, almacenada en un soporte de datos, de una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 45 (v) un soporte de datos con datos sobre una distribución del astigmatismo residual para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- (vi) un soporte de datos con datos sobre una distribución de efecto astigmático necesaria para una corrección completa para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o
- 50 (vii) un soporte de datos con datos sobre una prescripción y un modelo de distancia de objeto para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo de un usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y/o

(viii) un soporte de datos con datos sobre una distribución del equivalente esférico para la disposición predeterminada de la lente de gafas progresiva frente al ojo del usuario de gafas progresivas para el que está prevista la lente de gafas progresiva, y por que

- 5 - la lente de gafas progresiva presenta un canal de progresión y una línea de visión principal y por que el índice de refracción de la lente de gafas progresiva varía en el espacio de manera que, para un valor predeterminado de astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ del grupo formado por
- (a) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ es del orden de entre 0,25 dpt y 1,5 dpt
 - (b) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ es del orden de entre 0,25 dpt y 1,0 dpt
 - (c) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ es del orden de entre 0,25 y 0,75 dpt
 - 10 (d) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ es del orden de entre 0,25 y 0,6 dpt
 - (e) el valor del astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ es del orden de entre 0,25 y 0,5 dpt
 - (f) el valor de astigmatismo residual $A_{\text{Residual, límite}}$ es del orden de 0,5 dpt

en una sección horizontal en el punto más estrecho del canal de progresión o para una sección horizontal a través del punto de la línea de visión principal donde se alcanza la mitad de la adición, dentro de una zona con una distancia horizontal de 10 mm a ambos lados de la línea de visión principal, se aplique la siguiente relación:

$$B > c \times \frac{A_{\text{Residual, límite}}}{\text{grad W}}$$

siendo grad W el gradiente de efecto del equivalente esférico de la lente de gafas progresiva en el punto más estrecho del canal de progresión en la línea de visión principal o en un punto de la línea de visión principal en el que se alcanza la mitad de la adición, siendo B la anchura de la zona de la lente de gafas progresiva en la que el astigmatismo residual es $A_{\text{Residual}} \leq A_{\text{Residual, límite}}$, siendo c una constante seleccionada del grupo:

- (a) $1,0 < c$
- (b) $1,1 < c$
- (c) $1,2 < c$
- (d) $1,3 < c$.

25 Se ha explicado antes que los inventores han comprobado que la interacción del grado de complejidad de la geometría de la superficie progresiva y del grado de complejidad de la distribución del índice de refracción es importante. Por este motivo, desviándose de la solución descrita en el documento WO 89/04986 A1, éstos proponen un procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente de gafas progresiva con una superficie anterior y con una superficie posterior y con un índice de refracción que varía en el espacio, en el que la superficie anterior o la superficie posterior o ambas superficies se configuran como una superficie progresiva, en forma de un procedimiento de cálculo del haz. Mediante el procedimiento de cálculo del haz se calculan las propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva en una pluralidad de puntos de evaluación por los que los rayos visuales atraviesan la lente de gafas progresiva. En este procedimiento de cálculo del haz, se determina al menos una propiedad óptica teórica para la lente de gafas progresiva en el punto de evaluación respectivo. En primer lugar, se determina un diseño para la lente de gafas progresiva, comprendiendo este diseño una representación de una geometría de superficie local de la superficie progresiva y un índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual a través de los puntos de evaluación. El diseño de la lente de gafas progresiva se modifica con vistas a una aproximación de la al menos una propiedad óptica teórica de la lente de gafas progresiva. Según la invención, la modificación comprende no sólo una modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva, sino también del índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual a través de los puntos de evaluación, comprendiendo la al menos una propiedad óptica teórica un astigmatismo residual teórico de la lente de gafas progresiva.

Generalmente, la superficie opuesta a la superficie progresiva modificada se preestablece fija. Ésta suele presentar una geometría de superficie simple como, por ejemplo, una geometría esférica, rotacionalmente simétrica, asférica o tórica. En el caso de una superficie tórica, la geometría de superficie y la posición axial se eligen a menudo de manera que compensen el déficit refractivo astigmático del ojo del usuario de gafas progresivas (a excepción del astigmatismo residual no deseado). La superficie opuesta a la superficie progresiva modificada también puede ser una superficie progresiva, en su caso también una superficie de forma libre, con una geometría de superficie fija. Ésta puede contribuir al aumento del efecto necesario para proporcionar la adición. La superficie progresiva modificada también puede contribuir al aumento del efecto necesario para proporcionar la adición. También es posible que ambas superficies, concretamente, la superficie anterior y la superficie posterior, se modifiquen junto con la distribución del índice de refracción para la aproximación de la distribución del astigmatismo residual teórico. Ya se conocen los procedimientos de cálculo del haz para su uso en el diseño de lentes de gafas progresivas. Especialmente se hace referencia a Werner Köppen: Konzeption und Entwicklung von Progressivgläsern, en Deutsche Optiker Zeitung DOZ 10/95, páginas 42-46, así como al documento EP 2 115 527 B1 y a las memorias impresas citadas en el mismo. También se conoce el

cálculo de distribuciones optimizadas del índice de refracción dependientes de la ubicación mediante programas de cálculo ópticos como, por ejemplo, el programa de cálculo ZEMAX de la empresa Zemax, LLC. Se hace referencia, por ejemplo, a su página web en <http://www.zemax.com/>.

La definición de las propiedades teóricas de una lente de gafas se refiere al así llamado diseño de una lente de gafas.

Un diseño de una lente de gafas comprende normalmente la distribución de los valores teóricos para uno o varios defectos de imagen que se incluyen preferiblemente en la optimización de la lente de gafas como valores objetivo o en la determinación de los valores objetivo. Especialmente, un diseño de una lente de gafas se caracteriza por la distribución del error de refracción (es decir, la diferencia entre el equivalente esférico de la lente de gafas progresiva en la trayectoria del haz en la posición de uso y el equivalente esférico determinado mediante la determinación de la refracción) y/o la distribución del astigmatismo residual (es decir, la diferencia entre el astigmatismo de la lente de gafas y el astigmatismo determinado mediante la determinación de la refracción). En lugar del término distribución del astigmatismo residual, en la literatura también se utilizan los términos distribución del error de astigmatismo y desviación astigmática. Además, un diseño de lente de gafas también puede comprender la distribución de valores teóricos de errores de aumento, de distorsión u otros defectos de imagen, especialmente defectos de imagen de orden superior, como se describe en el documento EP 2 115 527 B1. En este caso, puede tratarse de valores de superficie o, preferiblemente, de valores de uso, es decir, valores en la posición de uso de la lente de gafas.

Según la invención, el diseño de la lente de gafas progresiva se modifica con el objetivo de acercarse lo más posible al astigmatismo residual teórico predeterminado. Por ejemplo, el astigmatismo residual teórico puede fijarse en cero en todos los puntos de evaluación. También es posible preestablecer una distribución del astigmatismo residual que tenga preferiblemente valores muy inferiores a los que teóricamente se pueden alcanzar con una lente de gafas progresiva convencional con un índice de refracción que no varía en el espacio, pero con una superficie posterior (y/o anterior) de forma libre, o especificarla para la optimización de una lente de gafas progresiva de este tipo. Según Werner Köppen: Konzeption und Entwicklung von Progressivgläsern, en Deutsche Optiker Zeitung DOZ 10/95, páginas 42-46, el número de puntos de evaluación suele ser del orden de entre 1000 y 1500. El documento EP 2 115 527 B1 propone un número de más de 8000 puntos de evaluación.

Para acercarse lo más posible a este objetivo, según la invención no sólo se modifica localmente la geometría de superficie de la superficie progresiva (posterior) en el punto de evaluación, sino también el índice de refracción local en el medio de la lente de gafas progresiva atravesado por la trayectoria del haz en el punto de evaluación. Por medio se entiende el material o los materiales de los que se compone la lente de gafas progresiva.

Según la invención, la modificación de la superficie progresiva se realiza libremente en dos dimensiones espaciales y la modificación del índice de refracción local también se realiza libremente en al menos dos dimensiones espaciales.

Para acercarse lo más posible al objetivo, este proceso de modificación debe llevarse a cabo generalmente varias veces, es decir, de forma iterativa. En este caso debe aclararse una vez más que durante la modificación, especialmente durante la iteración, tanto la geometría de superficie local, como también el índice de refracción local pueden variar libremente y ni la geometría de superficie local ni el índice de refracción local son fijos. Por el contrario, el documento WO 89/04986 A1 revela la especificación de geometrías comparativamente simples para las superficies anterior y posterior y la búsqueda de una distribución adecuada del índice de refracción, a fin de producir el aumento de efecto necesario para la puesta a disposición de la adición y, en su caso, eliminar total o parcialmente el astigmatismo (residual) a lo largo de la línea de visión principal, así como, en su caso, realizar correcciones de los defectos de imagen a los lados del meridiano principal.

A pesar de que el índice de refracción depende por regla general de la longitud de onda, generalmente no se tiene en cuenta la dispersión y el cálculo se realiza para una así llamada longitud de onda de diseño. Sin embargo, no puede descartarse que un proceso de optimización tenga en cuenta diferentes longitudes de onda de diseño como, por ejemplo, en el documento EP 2 383 603 B1.

Dado que la modificación se lleva a cabo con el objetivo de aproximarse lo más posible a las propiedades ópticas teóricas, el experto en la materia también habla de optimización. La modificación se lleva a cabo hasta que se cumple un criterio de cancelación. En el caso ideal, el criterio de cancelación consiste en que la lente de gafas progresiva diseñada presente las propiedades ópticas teóricas preestablecidas. En caso de que el astigmatismo residual se fije en cero en todos los puntos de evaluación, este caso ideal sería que el astigmatismo residual de la lente de gafas calculada fuera realmente cero en todos los puntos de evaluación. Sin embargo, dado que normalmente no será así, especialmente en el caso descrito, se lleva a cabo una cancelación del cálculo, por ejemplo, después de alcanzar uno o varios valores límite en las proximidades de la(s) propiedad(es) teórica(s) o después de alcanzar un número predeterminado de iteraciones.

Normalmente, la determinación de las propiedades teóricas y el cálculo de las propiedades reales se basan en cálculos de modelos que tienen en cuenta las condiciones de uso, en concreto, por ejemplo, el ajuste de las lentes de gafas delante del ojo y un modelo de distancia de objeto, así como parámetros fisiológicos del usuario de las gafas, en concreto, por ejemplo, la visión defectuosa, la capacidad de acomodación y la distancia pupilar. Los detalles ya se han descrito anteriormente.

El resultado de la aproximación de la al menos una propiedad(es) óptica(s) teórica(s) de la lente de gafas progresiva mediante la modificación del índice de refracción local y de la geometría de superficie local es generalmente que la

superficie anterior diseñada como superficie progresiva se configura como una superficie de forma libre y/o que la superficie posterior diseñada como superficie progresiva se configura como una superficie de forma libre.

El objetivo planteado al principio se resuelve en su totalidad mediante el procedimiento según la invención antes descrito.

- 5 En una realización ventajosa del procedimiento según la invención, la modificación de la superficie progresiva se lleva a cabo de manera que se cree una superficie de forma libre que no presente ni una simetría central ni una simetría axial. Además, la modificación del índice de refracción local se lleva a cabo de manera que

10 (a) el índice de refracción sólo varíe en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y permanezca constante en una tercera dimensión espacial, de manera que una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial no presente una simetría central ni una simetría axial, o

15 (b) el índice de refracción varíe en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial, de manera que una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial en todos los planos perpendicularmente a la tercera dimensión espacial no presente una simetría central ni una simetría axial, o

(c) el índice de refracción varíe en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial, de manera que una distribución del índice de refracción en la lente de gafas progresiva no presente en absoluto ninguna simetría central ni ninguna simetría axial.

20 El objetivo de la invención consiste en reducir los errores residuales astigmáticos y, en su caso, también los errores residuales esféricos próximos a la línea de visión principal (es decir, en la zona central de la parte intermedia). Partiendo de (i) un diseño de una lente de gafas progresiva convencional con un índice de refracción espacialmente constante o (ii) un diseño objetivo para una lente de gafas progresiva convencional con un índice de refracción espacialmente constante (es decir, el diseño objetivo utilizado para la optimización de la lente de gafas progresiva con un índice de refracción constante), puede generarse un nuevo diseño objetivo para una lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente variable que contiene la distribución anterior de los errores residuales esféricos y astigmáticos que, no obstante, se reducen especialmente en la parte intermedia central. Preferiblemente, los errores residuales astigmáticos en una zona alrededor de la línea de visión principal (por ejemplo, la zona a una distancia de 5, 10 a 20 mm de la línea de visión principal) se reducen, por ejemplo, multiplicándolos por un factor de 0,5 a 0,8, a fin de lograr un diseño de objetivo mejorado.

30 Una variante de realización de este procedimiento según la invención se caracteriza por que la modificación del diseño de la lente de gafas progresiva se lleva a cabo con vistas a una minimización de una función objetivo. En la literatura en lengua alemana, una función objetivo de este tipo también se denomina función de coste y en la literatura anglosajona función de mérito. En el diseño de lentes de gafas progresivas, el método de los errores cuadráticos mínimos se utiliza muy a menudo como procedimiento para minimizar una función objetivo, por ejemplo, en los documentos EP 0 857 993 B2, EP 2 115 527 B1, EP 2 878 989 A1 o también en Werner Köppen: Konzeption und Entwicklung von Progressivgläsern, en Deutsche Optiker Zeitung DOZ 10/95, páginas 42-46. La variante de realización según la invención aplica este método con la función objetivo que se describe a continuación

$$F = \sum_m P_m \sum_n W_n (T_n - A_n)^2$$

40 En esta función objetivo F, P_m es la ponderación en el punto de evaluación m, W_n es la ponderación de la propiedad óptica n, T_n es el valor teórico de la propiedad óptica n en el respectivo punto de evaluación m y A_n es el valor real de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m.

La aplicación de este método ha resultado satisfactoria para el diseño de lentes de gafas progresivas convencionales. La invención propone utilizar este método también para el diseño de lentes de gafas progresivas de índice de gradiente (GRIN) según la invención.

45 El diseño objetivo también puede determinarse, por ejemplo, mediante la especificación de errores residuales ópticos, especialmente esféricos y astigmáticos, en muchos puntos distribuidos por la superficie anterior de toda la lente.

Aquí puede haber especificaciones para las distancias de los objetos para los que se determinan los efectos o los errores residuales esféricos y astigmáticos para el usuario de gafas cuando éste mira a través de la lente de gafas.

50 Además pueden proporcionarse especificaciones para las curvaturas de superficie en otros puntos de la superficie progresiva, requisitos de grosor (especialmente en el centro geométrico y en el borde de la lente de gafas) y requisitos prismáticos en otros puntos.

55 A cada una de estas especificaciones ópticas y geométricas se le puede asignar una ponderación individual en cada uno de los puntos citados. Si los errores residuales, las curvaturas de superficie, los efectos prismáticos y los grosores para la especificación en el punto se determinan para una lente inicial (por ejemplo, la lente progresiva optimizada para el índice de refracción constante), se puede determinar un error global F de acuerdo con lo anteriormente indicado. Este valor funcional F, dependiente de las propiedades de lente ópticas y geométricas, puede minimizarse

mediante métodos matemáticos conocidos, modificándose simultáneamente la geometría de superficie y la distribución del índice de refracción. De este modo, se obtiene una lente progresiva con propiedades mejoradas con respecto a los requisitos previamente definidos.

- 5 Alternativamente, para la optimización de la lente progresiva con un material con un índice de refracción variable también puede utilizarse el diseño objetivo original, es decir, el diseño objetivo utilizado para la optimización de la lente con un índice de refracción constante.

En este caso, las ponderaciones utilizadas en la optimización con el diseño original pueden utilizarse o también modificarse. Especialmente, la ponderación para los errores residuales astigmático y esférico en el canal de progresión puede aumentarse, a fin de obtener unas propiedades mejoradas de la lente progresiva en el rango de progresión.

- 10 Sin embargo, un aumento de la ponderación en el canal de progresión sólo tiene sentido si los errores astigmáticos y esféricos de la lente optimizada con un material de índice de refracción constante no coinciden ya con las especificaciones del (nuevo) diseño objetivo. Si el diseño original ya ha sido aceptado por el usuario de gafas, este procedimiento da lugar en cualquier caso a un diseño más tolerable para el usuario de gafas, dado que los errores ópticos residuales se reducen con el nuevo diseño.

- 15 En conjunto, se consigue un nuevo diseño de objetivo mejorado que no puede lograrse con un material con un índice de refracción constante, siendo no obstante posible, con este diseño de objetivo y mediante la optimización simultánea de la forma de las superficies de forma libre y de la distribución del índice de refracción para un material con un índice de refracción no constante, conseguir un diseño de lente progresiva mejorado que presenta especialmente un canal de progresión más ancho, menores errores residuales astigmáticos máximos en la zona intermedia y, por consiguiente, también una menor distorsión en la zona intermedia.

Este nuevo diseño de lente progresiva puede realizarse teniendo en cuenta las condiciones de uso originales, las especificaciones de grosor, etc.

- 25 Una variante de realización especialmente ventajosa del procedimiento según la invención se caracteriza por que para al menos un punto de evaluación se preestablece un astigmatismo residual teórico, que es más pequeño que el astigmatismo residual más pequeño teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en una lente de gafas progresiva de comparación para una prescripción idéntica y en un modelo de distancia de objeto idéntico, no obstante con la misma distribución del equivalente esférico y la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de gafas progresivas, pero con un índice de refracción que no varía en el espacio, y por que la modificación de la representación de la geometría local de superficie de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual sólo se cancela mediante los puntos de evaluación si el astigmatismo residual alcanzado para la lente de gafas progresiva diseñada en el al menos un punto de evaluación es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en la lente de gafas progresiva de comparación.

- 35 Como ya se ha explicado antes, el astigmatismo residual teórico puede fijarse en cero en todos los puntos de evaluación. Para diseñar una lente de gafas progresiva que tenga en toda su superficie propiedades ópticas mejores que una lente de gafas progresiva de comparación convencional, el astigmatismo residual teórico en todos los puntos de evaluación se elige al menos en un porcentaje significativo, por ejemplo, un 10 - 50% más bajo que el que se utiliza habitualmente para el diseño de la lente de gafas progresiva de comparación. En general, en al menos los puntos de evaluación se preestablece un astigmatismo residual teórico que es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en los al menos puntos de evaluación correspondientes en la lente de gafas progresiva de comparación que debería encontrarse dentro del canal de progresión posterior. Un ensanchamiento del canal de progresión siempre resulta conveniente.

- 45 Adicional o alternativamente a la variante de realización ventajosa antes descrita, una variante de procedimiento consiste en modificar la representación de la geometría local de superficie de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual a través de los puntos de evaluación, con la condición de que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente de gafas progresiva de comparación para una prescripción idéntica con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de gafas progresivas, pero con un índice de refracción que no varía en el espacio. En principio, el valor máximo del astigmatismo residual en la lente de gafas progresiva diseñada según la invención no tiene que estar en el "mismo" lugar o en el "mismo" punto de evaluación que el valor máximo del astigmatismo residual en la lente de gafas progresiva de comparación. Sin embargo, este hecho también puede considerarse una condición adicional en la realización del procedimiento. Estas especificaciones mejoran aún más las propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva según la invención en comparación con una lente de gafas progresiva de comparación de fabricación convencional.

En una variante de realización, el procedimiento según la invención puede llevarse a cabo de manera que el diseño de la lente de gafas progresiva dé como resultado una lente de gafas progresiva correspondiente a un producto de los tipos anteriormente descritos. Las ventajas de estos productos ya se han descrito antes detalladamente.

- 60 En otra variante del procedimiento según la invención se prevé incluso que el diseño de la lente de gafas progresiva se realice precisamente con la condición de que se produzca una lente de gafas progresiva correspondiente a un

producto según uno de los tipos antes descritos. En esta otra variante, las propiedades teóricas y las condiciones de cancelación se eligen de manera que la lente de gafas progresiva correspondiente con las propiedades ópticas antes descritas se produzca durante el diseño forzosamente en la disposición preestablecida por la representación frente al ojo del futuro usuario de gafas.

- 5 La invención prevé además un programa informático con un código de programa para la realización de todos los pasos de procedimiento según uno de los procedimientos descritos anteriormente, si el programa informático se carga en un ordenador y/o se ejecuta en un ordenador. El programa informático puede almacenarse en cualquier medio legible por ordenador, especialmente en un disco duro de un ordenador, en una memoria USB o también en una nube. Como consecuencia, la invención también busca protección para un medio legible por ordenador con un programa informático del tipo antes descrito.

La invención también se refiere a un procedimiento para la fabricación de una lente de gafas progresiva de una lente de gafas progresiva diseñada mediante el uso de un procedimiento de las variantes antes descritas por medio de un procedimiento aditivo.

- 15 Los procedimientos aditivos son procedimientos en los que la lente de gafas progresiva se construye secuencialmente. Especialmente, en este sentido se sabe que en especial los así llamados fabricantes digitales ofrecen posibilidades de fabricación para prácticamente todas las estructuras que son difíciles o imposibles de realizar con los procedimientos abrasivos convencionales. Dentro de la clase de máquinas de los fabricantes digitales, las impresoras 3D representan la subclase más importante de los fabricantes de construcción aditiva, es decir, acumulativa. Las técnicas de impresión 3D más importantes son la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones para metales y la sinterización selectiva por láser (SLS) para polímeros, cerámica y metales, la estereolitografía (SLA) y el procesamiento digital de la luz para resinas sintéticas líquidas y el modelado multijet o polyjet (por ejemplo, la impresión por chorro de tinta), así como el modelado por deposición fundida (FDM) para plásticos y en parte resinas sintéticas. También se conoce una estructura con la ayuda de nanocapas, como se describe, por ejemplo, en <http://peaknano.com/wpcontent/uploads/PEAK-1510-GRINOptics-Overview.pdf>, descargado el 12-01-2017.

- 25 Los materiales de partida para la fabricación mediante impresión 3D y las posibilidades para el propio procedimiento de fabricación 3D pueden encontrarse, por ejemplo, en la solicitud de patente europea n° 16195139.7.

Una variante perfeccionada de la invención consiste en un procedimiento para la fabricación de una lente de gafas progresiva que comprende un procedimiento para el diseño de una lente de gafas progresiva como se ha descrito anteriormente y para la fabricación de la lente de gafas progresiva de acuerdo con el diseño.

- 30 Según la invención, la fabricación de la lente de gafas progresiva de acuerdo con el diseño puede realizarse de nuevo mediante un procedimiento aditivo.

Otra variante perfeccionada de la invención comprende un ordenador con un procesador diseñado para realizar un procedimiento para el diseño de una lente de gafas progresiva según uno de los tipos o variantes antes descritos.

La invención se describe a continuación más detalladamente a la vista de los dibujos. Se muestra en la:

- 35 **Figura 1** propiedades ópticas de una lente de gafas progresiva de comparación de diseño convencional a partir de un material con un índice de refracción de $n=1.600$ en relación con una lente de gafas progresiva GRIN con un plano vertical de simetría según un primer ejemplo de realización según la invención

a: efecto esférico medio de la lente de gafas progresiva de comparación

- 40 b: índice de refracción de superficie medio de la lente de gafas progresiva de comparación, superficie de forma libre por el lado del objeto

c: astigmatismo de superficie de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 1a.

- Figura 2** propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización

a: efecto esférico medio

- 45 b: índice de refracción de superficie medio calculado para un índice de refracción constante $n=1.600$ para la superficie de forma libre del lado del objeto

c: astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva GRIN de la figura 2a.

- 50 **Figura 3** la distribución del índice de refracción de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización

- Figura 4** comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación

a: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación

- b: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización
- 5 Figura 5 comparación de la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación a lo largo de una sección en $y=0$ según la figura 4
- a: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización
- 10 Figura 6 comparación del contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación
- a: alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización
- 15 Figura 7 propiedades ópticas de una lente de gafas progresiva de comparación de diseño convencional a partir de un material con un índice de refracción de $n=1.600$ en relación con una lente de gafas progresiva GRIN con un plano vertical de simetría según un segundo ejemplo de realización según la invención
- a: efecto esférico medio
- b: índice de refracción de superficie medio, superficie de forma libre por el lado del objeto
- 20 c: astigmatismo de superficie de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 7a.
- Figura 8: propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización
- a: efecto esférico medio
- 25 b: índice de refracción de superficie medio calculado para un índice de refracción $n=1.600$ para la superficie del lado del objeto
- c: astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva GRIN de la figura 8a
- Figura 9 la distribución del índice de refracción de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización
- 30 Figura 10 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- a: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- 35 b: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización
- Figura 11 comparación de la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación a lo largo de una sección con $y = -5$ mm según la figura 10
- a: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- 40 b: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización
- Figura 12 comparación del contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación; las alturas de flecha se indican en relación con un plano inclinado $-7,02^\circ$ con respecto al eje horizontal
- 45 a: alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización
- 50 Figura 13 propiedades ópticas de una lente de gafas progresiva de comparación de diseño convencional a partir de un material con un índice de refracción de $n=1.600$ con respecto a una lente de gafas progresiva GRIN sin ninguna simetría según un tercer ejemplo de realización según la invención

- a: efecto esférico medio de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: índice de refracción de superficie medio de la lente de gafas progresiva de comparación, superficie de forma libre por el lado del objeto
- 5 c: astigmatismo de superficie de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 13a
- Figura 14 propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización
- a: efecto esférico medio
- b: índice de refracción de superficie medio de la superficie de forma libre del lado del objeto calculado para un índice de refracción $n=1.600$
- 10 c: astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva GRIN de la figura 14a
- Figura 15 la distribución del índice de refracción de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización
- Figura 16 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- 15 a: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización
- 20 Figura 17 comparación de la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación a lo largo de una sección con $y = -5$ mm según la figura 16
- a: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización
- 25 Figura 18 comparación del contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación
- a: alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación
- 30 b: alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización
- Figura 19 propiedades ópticas de una lente de gafas progresiva de comparación de diseño convencional a partir de un material con un índice de refracción de $n=1.600$ con respecto a una lente de gafas progresiva GRIN sin ninguna simetría según un cuarto ejemplo de realización según la invención
- 35 a: efecto esférico medio de la lente de gafas progresiva de comparación
- b: índice de refracción de superficie medio de la lente de gafas progresiva de comparación, superficie de forma libre por el lado del ojo
- c: astigmatismo de superficie de la superficie de forma libre del lado del ojo de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 19a
- 40 Figura 20 propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización
- a: efecto esférico medio
- b: índice de refracción de superficie medio de la superficie de forma libre del lado del ojo calculado para un índice de refracción $n=1.600$
- 45 c: astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del ojo de la lente de gafas progresiva GRIN de la figura 20a
- Figura 21 la distribución del índice de refracción de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización
- Figura 22 comparación de la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización con la distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación
- 50

a: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación

b: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización

5 Figura 23 comparación de la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización con la curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación a lo largo de una sección con $y = -4$ mm según la figura 22

a: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva de comparación

b: curva de astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización

10 Figura 24 comparación del contorno de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización con el contorno de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva de comparación

a: alturas de flecha de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva de comparación

15 b: alturas de flecha de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización

Figura 25 propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva GRIN sin simetría según el quinto ejemplo de realización, diseñada para los valores de graduación esfera -4 dpt, cilindro 2 dpt, posición axial 90 grados

a: efecto esférico medio

20 b: índice de refracción de superficie medio de la superficie de forma libre por el lado del ojo calculado para un índice de refracción $n=1.600$

c: astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del ojo de la lente de gafas progresiva GRIN de la figura 25a

Figura 26 la distribución del índice de refracción de la lente de gafas progresiva GRIN según el quinto ejemplo de realización

25 Figura 27 astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el quinto ejemplo de realización

a: distribución del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva GRIN según el quinto ejemplo de realización

b: curva de astigmatismo residual a lo largo de una sección con $y = -4$ mm de la lente de gafas progresiva GRIN según el quinto ejemplo de realización

30 Figura 28 alturas de flecha de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el quinto ejemplo de realización

Los cinco primeros ejemplos de realización se refieren a lentes de gafas progresivas GRIN o a su representación en una memoria de un ordenador correspondiente a un producto del tipo según la invención. El sexto ejemplo de realización muestra a modo de ejemplo un procedimiento según la invención para el diseño de una lente de gafas progresiva GRIN.

35

Primer ejemplo de realización

En el primer ejemplo se elige una lente de gafas progresiva con una geometría de superficie especialmente sencilla. La misma está construida de forma simétrica a un plano situado perpendicularmente en el plano de trazado y se compone fundamentalmente de una zona dispuesta en la zona central que se desarrolla perpendicularmente de arriba abajo con un efecto que aumenta constantemente.

40

La figura 1a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria del haz para el usuario de gafas para una lente de gafas progresiva a partir de un material estándar (índice de refracción $n=1.600$) con una superficie de forma libre por el lado del objeto que se describe mediante los así llamados splines bicúbicos. Esta lente de gafas progresiva sirve como lente de gafas progresiva de comparación para una lente de gafas progresiva configurada según la invención que en adelante se denomina lente de gafas progresiva GRIN debido a su índice de refracción espacialmente variable.

45

La superficie posterior de la lente de gafas progresiva de comparación es una superficie esférica con un radio de 120 mm, estando el punto de giro del ojo situado detrás del centro geométrico de la lente a una distancia de 25,5 mm de la superficie posterior. La lente tiene un grosor central de 2,5 mm y un efecto prismático 0 en el centro geométrico. La superficie posterior no está inclinada, es decir, tanto la superficie anterior, como también la superficie posterior tienen en el centro geométrico una normal en la dirección de visión recta horizontal.

50

Los ejes de coordenadas x e y indicados sirven para la determinación de los puntos en esta superficie. En el eje central vertical de la lente, el efecto rebasa 0,00 dioptrías a una altura de aproximadamente $y = 25$ mm y se consigue un

efecto de 2,25 dpt (dioptrías) a aproximadamente $y = -25$ mm. Por lo tanto, el efecto de la lente aumenta en 2,25 dpt a lo largo de esta longitud de 50 mm. Por consiguiente, en la parte de visión lejana, la lente de gafas progresiva no tiene ningún efecto esférico (esfera = 0) ni ningún efecto astigmático (cilindro = 0) para el usuario de las gafas en la posición de uso prevista y un aumento de 2,25 dpt. De acuerdo con el apartado 11.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, una lente de gafas con efecto esférico es una lente de gafas que combina un haz de luz paraxial y paralelo en un único punto focal. Según el apartado 12.1 de la norma DIN EN ISO 13666:2013-10, una lente de gafas con efecto astigmático es una lente de gafas que combina un haz de luz paraxial y paralelo en dos líneas focales separadas y mutuamente perpendiculares y, por este motivo, solo presenta un valor de refracción en el vértice en las dos secciones principales. El apartado 14.2.1 de esta norma define la adición como la diferencia entre el valor de refracción en el vértice de la parte de visión cercana y el valor de refracción en el vértice de la parte de visión lejana.

La figura 1b muestra el índice de refracción de superficie medio para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 1a. La curvatura de superficie aumenta constantemente de arriba abajo, el índice de refracción medio de la superficie aumenta de aproximadamente 5,3 dpt con $y = 15$ mm a aproximadamente 7,0 dpt con $y = -25$ mm.

La figura 1c muestra el astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 1a.

Las figuras 2a, 2b y 2c muestran la reproducción de la lente de gafas progresiva de comparación utilizando un material GRIN. La figura 2a muestra a este respecto la distribución del efecto esférico medio. De la comparación de la figura 1a y la figura 2a se deduce que la distribución del efecto de las dos lentes de gafas progresivas es la misma. En la figura 2b se representa el desarrollo del índice de refracción de superficie medio y en la figura 2c se representa el desarrollo del astigmatismo de superficie de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN configurada según la invención. Para permitir una comparación de las curvaturas medias con la figura 1b y del astigmatismo de superficie con la figura 1c, en el cálculo del índice de refracción de superficie medio y del astigmatismo de superficie no se utilizó el material GRIN, sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n=1.600$.

Según Heinz Diepes, Ralf Blendowske: Optik und Technik der Brille; 2ª edición, Heidelberg 2005, página 256, se definen el índice de refracción de superficie medio y el astigmatismo de superficie.

La comparación de las figuras 2b y 2c con las figuras 1b y 1c muestra que la forma de la superficie de forma libre ha variado considerablemente: ahora, el índice de refracción de superficie medio (calculado con $n=1.600$) disminuye de arriba abajo, es decir, la curvatura media de la superficie disminuye de arriba abajo. El desarrollo del astigmatismo de superficie ya no muestra ningún canal de progresión típico.

La figura 3 muestra la distribución del índice de refracción en la lente de gafas progresiva GRIN según la invención. Aquí, el índice de refracción aumenta de arriba abajo desde aproximadamente $n = 1.48$ hasta aproximadamente $n = 1.75$ en la zona inferior.

La figura 4a y la figura 4b representan los efectos del uso del material GRIN con su distribución especial del índice de refracción, así como del diseño de la superficie de forma libre para esta lente de gafas progresiva GRIN sobre la anchura del canal de progresión en comparación con la lente estándar. Las figuras muestran la distribución de los errores residuales astigmáticos en la trayectoria del haz para el usuario de gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica.

En este ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 17 mm a 22 mm, es decir, en aproximadamente un 30 por ciento.

Las figuras 5a y 5b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 4a y de la figura 4b. Aquí, la relación convencional entre el aumento del efecto y el aumento lateral inducido del error astigmático (similar a la relación entre el índice de refracción de superficie medio y el astigmatismo de superficie según el teorema de Minkwitz) se vuelve especialmente clara. El aumento del astigmatismo en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = 0$) es considerablemente menor para la lente GRIN, a pesar de que se produce el mismo aumento del efecto que en la lente estándar. Es precisamente este aumento el que se explica en la teoría de la óptica de las lentes progresivas con el teorema de Minkwitz.

La figura 6 compara el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el primer ejemplo de realización con el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 6b muestra las alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención de acuerdo con el primer ejemplo de realización y, en comparación, la figura 6a muestra las alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación.

Segundo ejemplo de realización

Todas las figuras siguientes corresponden temáticamente y en orden a las del primer ejemplo de realización.

La figura 7a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria del haz para el usuario de gafas progresivas para una lente de gafas progresiva de comparación a partir de un material estándar (índice de refracción $n=1.600$) con una superficie de forma libre por el lado del objeto. La superficie posterior es de nuevo una superficie esférica con un radio de 120 mm y el punto de giro del ojo se encuentra 4 mm por encima del centro geométrico de la

lente de gafas progresiva de comparación con una distancia horizontal de 25,8 mm con respecto a la superficie posterior. La lente de gafas progresiva de comparación tiene un grosor central de 2,6 mm y un efecto prismático 1,0 cm/m base 270° 2 mm por debajo del centro geométrico. La superficie posterior está inclinada -8° sobre el eje horizontal.

5 Los ejes de coordenadas indicados sirven para la determinación de los puntos en esta superficie. En el eje central perpendicular de la lente de gafas progresiva de comparación, el efecto rebasa la línea de 0,00 dioptrías a una altura de aproximadamente $y = 6$ mm (es decir, el usuario de las gafas obtiene un efecto de casi 0 dioptrías cuando mira de frente horizontalmente), alcanzándose un efecto de 2,00 dioptrías aproximadamente con $y = -14$ mm. Por lo tanto, en esta longitud de 20 mm el efecto de la lente aumenta en 2,00 dioptrías.

10 La figura 7b muestra el índice de refracción de superficie medio para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 7a. La curvatura de superficie aumenta constantemente de arriba abajo y el índice de refracción de superficie medio aumenta de 5,00 dpt con $y = 2$ mm a 6,75 dpt con $y = -18$ mm.

15 La figura 7c muestra el astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 7a.

20 Las figuras 8a, 8b y 8c muestran la reproducción de la lente de gafas progresiva de comparación utilizando un material GRIN (lente de gafas progresiva según la invención). La figura 8a muestra para ello la distribución del efecto esférico medio. De la comparación de las figuras 7a y 8a se deduce que el aumento del efecto a lo largo de la línea central perpendicular de las dos lentes es el mismo. En la figura 8b se representa el desarrollo del índice de refracción de superficie medio y en la figura 8c se representa el desarrollo del astigmatismo de superficie de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención. Para poder comparar las curvaturas medias con la figura 7b y el astigmatismo de superficie con la figura 7c, en el cálculo no se ha utilizado el material GRIN sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n=1.600$.

25 La comparación de las figuras 8b y 8c con las figuras 7b y 7c muestra que la forma de la superficie de forma libre ha cambiado considerablemente: ahora, el índice de refracción de superficie medio (calculado con $n=1.600$) disminuye de forma desigual desde el centro de la lente hacia el borde. El desarrollo del astigmatismo de superficie ya no muestra ningún canal de progresión típico.

La figura 9 muestra la distribución del índice de refracción a través de la lente de gafas. Aquí, el índice de refracción aumenta desde aproximadamente 1.60 desde el centro de la lente hasta aproximadamente $n = 1.70$ en la zona inferior.

30 La figura 10a y la figura 10b representan los efectos del uso del material GRIN con su distribución especial del índice de refracción, así como el diseño de la superficie de forma libre para esta lente de gafas progresiva GRIN, por la anchura del canal de progresión en comparación con la lente de gafas progresiva de comparación. Las figuras muestran la distribución de los errores residuales astigmáticos en la trayectoria del haz para el usuario de gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica.

35 En este ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 8,5 mm a 12 mm, es decir, en aproximadamente un 41%.

40 La figura 11a y la figura 11b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 10a y de la figura 10b. Aquí, la relación convencional entre el aumento del efecto y el aumento lateral inducido del error astigmático (similar a la relación entre el índice de refracción de superficie medio y el astigmatismo de superficie según el teorema de Minkwitz) es especialmente clara. El aumento del astigmatismo en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = -5$ mm) es considerablemente menor para la lente de gafas progresiva GRIN según la invención, a pesar de que se produce el mismo aumento del efecto que en la lente de gafas progresiva de comparación. Análogamente al primer ejemplo de realización, resulta una clara desviación del gradiente de astigmatismo de la lente de gafas progresiva GRIN con respecto al comportamiento pronosticado por Minkwitz: el canal de progresión se ensancha significativamente.

45 La figura 12 compara el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el segundo ejemplo de realización con el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 12b muestra las alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención de acuerdo con el segundo ejemplo de realización y, en comparación, la figura 12a muestra las alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación con respecto a un sistema de coordenadas inclinado en -7,02 sobre un eje horizontal (es decir, el eje vertical Y de este sistema está inclinado -7,02° con respecto a la vertical espacial).

Tercer ejemplo de realización

Todas las figuras siguientes corresponden temáticamente y en orden a las del segundo ejemplo de realización.

55 El tercer ejemplo de realización muestra dos lentes progresivas en las que se tiene en cuenta el movimiento de convergencia del ojo al mirar, a distancias intermedias y a distancias cercanas, objetos situados en línea recta delante del ojo del usuario de las gafas. Este movimiento de convergencia provoca que los puntos de visión a través de la

superficie anterior de la lente de gafas al mirar estos puntos no se sitúen en una línea recta exactamente perpendicular, sino en una línea vertical girada hacia la nariz que se denomina línea de visión principal.

Por este motivo, en estos ejemplos el centro del campo de visión cercana también se desplaza horizontalmente en dirección nasal. Los ejemplos se calculan de manera que esta línea de visión principal en el rango de progresión se sitúe en el centro entre las líneas de la superficie anterior para las que el error astigmático residual es de 0,5 dpt (véanse las figuras 16a y 16b).

La figura 13a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria del haz para el usuario de gafas progresivas para una lente de gafas progresiva de comparación a partir de un material estándar (índice de refracción $n = 1.600$) con una superficie de forma libre por el lado del objeto. La superficie posterior es de nuevo una superficie esférica con un radio de 120 mm y el punto de giro del ojo se encuentra 4 mm por encima del centro geométrico de la lente de gafas progresiva de comparación con una distancia horizontal de 25,5 mm con respecto a la superficie posterior. La lente de gafas progresiva de comparación tiene un grosor central de 2,5 mm y un efecto prismático de 1,0 cm/m de base 270° 2 mm por debajo del centro geométrico. La superficie posterior está inclinada de manera que, al mirar horizontalmente en línea recta, el rayo del lado del ojo sea perpendicular a la superficie posterior.

Al mirar horizontalmente en línea recta (es decir, para un punto de visión a través de la lente situado 4 mm por encima del centro geométrico), el usuario de gafas obtiene un efecto medio de 0 dpt y al mirar a través del punto situado 13 mm por debajo del centro geométrico y -2,5 mm horizontalmente en dirección nasal, el usuario de gafas obtiene un efecto medio de 2,00 dpt. Es decir, en una longitud de 17 mm, el efecto de la lente aumenta, por lo tanto, 2,00 dpt aproximadamente.

La figura 13b muestra la distribución del índice de refracción de superficie medio para un índice de refracción $n=1.600$ de la superficie de forma libre por el lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación del tercer ejemplo de realización que provoca una distribución del efecto medio, como el que se representa en la figura 13a. La curvatura de superficie aumenta constantemente de arriba abajo y el índice de refracción de superficie medio aumenta de 5,00 dpt con $y =$ aproximadamente 2 mm a 6,50 dpt con $y = -12$ mm.

La figura 13c muestra el astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del objeto de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 13a.

Las figuras 14a, 14b y 14c muestran la reproducción de la lente de gafas progresiva de comparación utilizando un material GRIN (lente de gafas progresiva según la invención). La figura 14a muestra a este respecto la distribución del efecto esférico medio. De la comparación de las figuras 13a y 14a se deduce que el aumento del efecto a lo largo de la línea de visión principal es el mismo en el rango de progresión. En la figura 14b se representa el desarrollo del índice de refracción de superficie medio y en la figura 14c se representa el desarrollo del astigmatismo de superficie de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención. Para poder comparar las curvaturas medias con la figura 13b y el astigmatismo de superficie con la figura 13c, en el cálculo no se ha utilizado el material GRIN, sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n = 1.600$.

La comparación de las figuras 13b y 13c con las figuras 14b y 14c muestra que la forma de la superficie de forma libre ha variado considerablemente: ahora, el índice de refracción de superficie medio (calculado con $n = 1.600$) disminuye de forma desigual desde el centro de la lente hacia el borde, para volver a aumentar hacia la periferia. El desarrollo del astigmatismo de superficie ya no muestra ningún canal de progresión típico.

La figura 15 muestra la distribución del índice de refracción a través de la lente de gafas. Aquí, el índice de refracción aumenta desde aproximadamente 1,48 en la zona superior de la lente hasta aproximadamente 1,70 en altura $y = -13$ en la zona inferior.

Las figuras 16a y 16b representan los efectos del uso del material GRIN con su distribución especial del índice de refracción, así como del diseño de la superficie de forma libre para esta lente de gafas progresiva GRIN en la anchura del canal de progresión en comparación con la lente de gafas progresiva de comparación. Las figuras muestran la distribución de los errores residuales astigmáticos en la trayectoria del haz para el usuario de gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica.

En este tercer ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 6 mm a 9 mm, es decir, en aproximadamente un 50%.

La figura 17a y la figura 17b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 16a y de la figura 16b. Estas figuras ilustran de nuevo la relación convencional entre el aumento del efecto y el aumento lateral inducido del error astigmático (similar a la relación entre el índice de refracción de superficie medio y el astigmatismo de superficie según el teorema de Minkwitz). El aumento del error astigmático residual en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = -5$ mm) es de nuevo considerablemente menor para la lente de gafas progresiva GRIN según la invención, a pesar de que el mismo aumento del efecto esté presente como en la lente de gafas progresiva de comparación.

La figura 18 compara el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el tercer ejemplo de realización con el contorno de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 18b muestra las alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención de acuerdo con el tercer ejemplo de realización y, en comparación,

la figura 18a muestra las alturas de flecha de la superficie anterior de la lente de gafas progresiva de comparación con respecto a un plano que es perpendicular a la dirección de visión horizontalmente en línea recta.

Cuarto ejemplo de realización

Todas las figuras siguientes corresponden temáticamente y en orden a las del tercer ejemplo de realización.

5 El cuarto ejemplo de realización muestra dos lentes progresivas en las que se tiene en cuenta el movimiento de convergencia del ojo al mirar objetos situados en línea recta delante del ojo del usuario de gafas a distancias intermedias y a distancias cortas. Este movimiento de convergencia provoca que los puntos de visión a través de la superficie anterior de la lente de gafas al mirar estos puntos no se sitúen en una línea recta exactamente perpendicular, sino en una línea vertical que gira hacia la nariz y que se denomina línea de visión principal.

10 Por este motivo, en estos ejemplos el centro del campo de visión cercana también se desplaza horizontalmente en dirección nasal. Los ejemplos se calculan de manera que esta línea de visión principal en el rango de progresión se sitúe en el centro entre las líneas en la superficie anterior para las que el error astigmático residual es de 0,5 dpt (véanse a este respecto las figuras 22a y 22b).

15 La figura 19a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria del haz para el usuario de gafas progresivas para una lente de gafas progresiva de comparación a partir de un material estándar (índice de refracción $n = 1.600$) con una superficie de forma libre por el lado del ojo. El lado anterior es una superficie esférica con un radio de 109,49 mm y el punto de giro del ojo se encuentra 4 mm por encima del centro geométrico de la lente de gafas progresiva de comparación con una distancia horizontal de 25,1 mm con respecto a la superficie posterior. La lente de gafas progresiva de comparación tiene un grosor central de 2,55 mm y un efecto prismático de 1,5 cm/m de base 270°
20 2 mm por debajo del centro geométrico. La inclinación hacia delante es de 9° y el ángulo del disco de montura es de 5°.

Al mirar horizontalmente en línea recta (es decir, para un punto de visión a través de la lente situado 4 mm por encima del centro geométrico), el usuario de gafas obtiene un efecto medio de 0 dpt y al mirar a través del punto situado 11 mm por debajo del centro geométrico y -2,5 mm horizontalmente en dirección nasal, el usuario de gafas obtiene un
25 efecto medio de 2,50 dpt. Es decir, en una longitud de 15 mm, el efecto de la lente aumenta, por lo tanto, 2,50 dpt aproximadamente.

La figura 19b muestra la distribución del índice de refracción de superficie medio para un índice de refracción $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del ojo de la lente de gafas progresiva de comparación del cuarto ejemplo de realización que provoca una distribución del efecto medio, como el que se representa en la figura 19a. La curvatura
30 de superficie disminuye constantemente de arriba abajo y el índice de refracción de superficie medio aumenta de -5,50 dpt con $y =$ aproximadamente 2 mm a -3,50 dpt con $y = -15$ mm.

La figura 19c muestra el astigmatismo de superficie para $n=1.600$ de la superficie de forma libre del lado del ojo de la lente de gafas progresiva de comparación de la figura 19a.

35 Las figuras 20a, 20b y 20c muestran la reproducción de la lente de gafas progresiva de comparación utilizando un material GRIN (lente de gafas progresiva según la invención). La figura 20a muestra a este respecto la distribución del efecto esférico medio. De la comparación de las figuras 19a y 20a se deduce que el aumento del efecto a lo largo de la línea de visión principal es el mismo en el rango de progresión. En la figura 20b se representa el desarrollo del índice de refracción de superficie medio y en la figura 20c se representa el desarrollo del astigmatismo de superficie de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención. Para poder comparar las curvaturas
40 medias con la figura 19b y el astigmatismo de superficie con la figura 19c, en el cálculo no se ha utilizado el material GRIN, sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n = 1.600$.

La comparación de las figuras 19b y 19c con las figuras 20b y 20c muestra que la forma de la superficie de forma libre ha cambiado considerablemente: tanto la distribución del índice de refracción de superficie medio, como también la distribución del astigmatismo de superficie (calculado con $n = 1.600$) ya no muestran ningún canal de progresión típico.

45 La figura 21 muestra la distribución del índice de refracción a través de la lente de gafas. Aquí, el índice de refracción aumenta desde aproximadamente 1,55 en la zona lateral superior de la lente hasta aproximadamente 1,64 en la zona inferior.

Las figuras 22a y 22b representan los efectos del uso del material GRIN con su especial distribución del índice de refracción, así como del diseño de la superficie de forma libre para esta lente de gafas progresiva GRIN en la anchura
50 del canal de progresión en comparación con la lente de gafas progresiva de comparación. Las figuras muestran la distribución de los errores residuales astigmáticos en la trayectoria del haz para el usuario de gafas para un usuario de gafas con una prescripción puramente esférica. La línea de visión principal se muestra en ambas figuras.

La figura 23a y la figura 23b muestran secciones transversales a través de las distribuciones de astigmatismo residual de la figura 22a y de la figura 22b. Estas figuras ilustran de nuevo la relación convencional entre el aumento del efecto
55 y el aumento lateral inducido del error astigmático (similar a la relación entre el índice de refracción de superficie medio y el astigmatismo de superficie según el teorema de Minkwitz). El aumento del error astigmático residual en las proximidades del centro del canal de progresión ($y = -4$ mm) es de nuevo considerablemente menor para la lente de gafas progresiva GRIN según la invención, a pesar de que esté presente el mismo aumento del efecto que en la lente

de gafas progresiva de comparación. En este cuarto ejemplo resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 4,5 mm a 6 mm, es decir, en aproximadamente un 33 por ciento.

La figura 24 compara el contorno de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización con el contorno de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva de comparación con la ayuda de una representación de alturas de flecha. La figura 24b muestra las alturas de flecha de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según el cuarto ejemplo de realización y, en comparación, la figura 24a muestra las alturas de flecha de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva de comparación con respecto a un plano que es perpendicular a la dirección de visión horizontalmente en línea recta.

Quinto ejemplo de realización

Las siguientes figuras corresponden temáticamente a las del cuarto ejemplo de realización. El quinto ejemplo de realización muestra una lente diseñada para los valores de prescripción esfera -4 dpt, cilindro 2 dpt, posición axial 90 grados. Los valores de receta especificados en la prescripción sirven para corregir los defectos visuales del usuario de gafas.

Al igual que en el cuarto ejemplo de realización, en el quinto ejemplo de realización también se tiene en cuenta el movimiento de convergencia del ojo al mirar objetos situados en línea recta delante del ojo del usuario de las gafas a distancias intermedias y distancias cercanas. Este movimiento de convergencia provoca que los puntos de visión a través de la superficie anterior de la lente de gafas al mirar estos puntos no se encuentren en una línea recta exactamente perpendicular, sino en una línea vertical girada hacia la nariz y que se denomina línea de visión principal.

Por este motivo, en estos ejemplos el centro del rango de visión cercana también se desplaza horizontalmente en dirección nasal. Los ejemplos se calculan de manera que esta línea de visión principal en el rango de progresión se sitúe en el centro entre las líneas de la superficie anterior para las que el error astigmático residual es de 0,5 dpt (véase a este respecto la figura 27a).

La figura 25a muestra la distribución del efecto esférico medio en la trayectoria del haz para el usuario de gafas progresivas para una lente de gafas progresiva según la invención mediante el uso de un material GRIN con una superficie de forma libre por el lado del ojo. En el diseño se tienen en cuenta los valores de receta esfera -4 dpt, cilindro 2 dpt, posición axial 90 grados. El lado anterior es una superficie esférica con un radio de 109,49 mm y el punto de giro del ojo se encuentra 4 mm por encima del centro geométrico de la lente de gafas progresiva con una distancia horizontal de 25,5 mm con respecto a la superficie posterior. La lente de gafas progresiva según la invención tiene un grosor central de 2,00 mm y un efecto prismático de 1,5 cm/m de base 270° 2 mm por debajo del centro geométrico. La inclinación hacia delante es de 9° y el ángulo de disco de montura es de 5°.

Al mirar horizontalmente en línea recta (es decir, para un punto de visión a través de la lente situado 4 mm por encima del centro geométrico), el usuario de gafas obtiene un efecto medio de 0 dpt y al mirar a través del punto situado 11 mm por debajo del centro geométrico y -2,5 mm horizontalmente en dirección nasal, el usuario de gafas obtiene un efecto medio de 2,50 dpt. Es decir, en una longitud de 15 mm, el efecto de la lente aumenta, por consiguiente, 2,50 dpt aproximadamente.

En la figura 25b se representa el desarrollo del índice de refracción de superficie medio y en la figura 25c se representa el desarrollo del astigmatismo de superficie de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención del quinto ejemplo de realización. En el cálculo no se utilizó el material GRIN sino, al igual que antes, el material con el índice de refracción $n = 1.600$.

La figura 26 muestra la distribución del índice de refracción a través de la lente de gafas. Aquí, el índice de refracción aumenta desde aproximadamente 1,55 en la zona lateral superior de la lente hasta aproximadamente 1,64 en la zona inferior.

Las figuras 27a y 27b muestran la distribución de los errores residuales astigmáticos en la trayectoria del haz para el usuario de gafas para un usuario de gafas con la prescripción esfera -4 dpt, cilindro 2 dpt, posición axial 90 grados. La línea de visión principal se muestra en la figura 27a. En las figuras se puede ver que al utilizar el material GRIN con su distribución especial del índice de refracción, así como el diseño de la superficie de forma libre para esta lente de gafas progresiva GRIN, la anchura del canal de progresión también puede aumentarse para una prescripción astigmática en comparación con la lente de gafas progresiva de comparación.

La figura 27b muestra la sección transversal en el centro del canal de progresión ($y = -4$ mm) a través de la distribución de astigmatismo residual de la figura 27a. Con el mismo aumento del efecto, para la lente de gafas progresiva GRIN según la invención con una prescripción astigmática resulta un ensanchamiento del canal de progresión, definido aquí por la línea de isoastigmatismo 1 dpt, de 4,5 mm a 6 mm, es decir, en aproximadamente un 33 por ciento, en comparación con la lente de gafas progresiva de comparación con una prescripción puramente esférica.

La figura 28 muestra las alturas de flecha de la superficie posterior de la lente de gafas progresiva GRIN según la invención de acuerdo con el quinto ejemplo de realización con respecto a un plano que es perpendicular a la dirección de visión horizontalmente en línea recta.

Sexto ejemplo de realización

A continuación se describen los pasos fundamentales de un procedimiento según la invención para el diseño de una lente de gafas progresiva GRIN:

En un primer paso se registran los datos individuales del usuario o los datos de aplicación del usuario de gafas. Esto incluye el registro de los datos (fisiológicos) que pueden asignarse al usuario de gafas y el registro de las condiciones de uso en las que el usuario de gafas llevará las gafas progresivas a diseñar.

Forman parte de los datos fisiológicos del usuario de gafas, por ejemplo, el error de refracción y la capacidad de acomodación, que se determinan mediante una medición de la refracción y se incluyen regularmente en la prescripción en forma de valores de receta para esfera, cilindro, posición axial, prisma y base, así como la adición. También se determinan, por ejemplo, la distancia pupilar y el tamaño de la pupila en diferentes condiciones de iluminación. Se tiene en cuenta, por ejemplo, la edad del usuario de gafas que influye en la capacidad de acomodación prevista y en el tamaño de la pupila. El comportamiento de convergencia de los ojos resulta de la distancia pupilar para diferentes direcciones de visión y distancias de objetos.

Las condiciones de uso incluyen la posición de las lentes de gafas delante del ojo (normalmente en relación con el centro de giro del ojo) y las distancias de objeto para diferentes direcciones de visión en las que el usuario de gafas debe ver con claridad. La posición del usuario de gafas delante del ojo puede determinarse, por ejemplo, mediante el registro de la distancia del vértice corneal y la inclinación delantera y lateral. Estos datos se introducen en un modelo de distancia de objeto, para el que puede llevarse a cabo un procedimiento de cálculo del haz.

En un paso posterior se determina, sobre la base de estos datos registrados, un borrador de diseño para la lente de gafas con una pluralidad de puntos de evaluación. El borrador de diseño incluye propiedades ópticas teóricas para la lente de gafas progresiva en el punto de evaluación respectivo. Las propiedades teóricas incluyen, por ejemplo, la desviación admisible del efecto esférico y astigmático prescrito teniendo en cuenta la adición y, en concreto, repartida por toda la lente de gafas progresiva, tal como se preestablece mediante la disposición de la lente de gafas frente al ojo y mediante el modelo de distancia tomado como base.

Se define además un diseño de geometrías de superficie para las superficies anterior y posterior, así como un diseño para una distribución del índice de refracción por toda la lente de gafas. Por ejemplo, la superficie anterior puede elegirse como una superficie esférica y la superficie posterior como una superficie progresiva. En principio, ambas superficies también podrían elegirse como superficies esféricas. Por lo general, la elección de la geometría de superficie para el primer diseño sólo determina a continuación la convergencia (velocidad y éxito) del procedimiento de optimización utilizado. Por ejemplo, debe suponerse que la superficie anterior debe conservar la forma esférica y que la superficie posterior debe adoptar la forma de una superficie progresiva.

En un paso posterior, el desarrollo de los rayos principales se determina mediante la pluralidad de puntos de evaluación de acuerdo con la trayectoria del haz del usuario de gafas. En su caso, puede establecerse un frente de onda local para cada uno de los rayos principales en una zona próxima al respectivo rayo principal.

En un paso posterior, las propiedades ópticas antes mencionadas de la lente de gafas se fijan en los puntos de evaluación mediante la determinación de una influencia de la lente de gafas en la trayectoria del haz de los rayos principales y en los frentes de onda locales en una zona próxima al rayo principal a través del punto de evaluación respectivo.

En un paso posterior se evalúa el diseño de la lente de gafas en dependencia de las propiedades ópticas determinadas y de los datos individuales del usuario. La superficie posterior y la distribución del índice de refracción del diseño de la lente de gafas se modifican a continuación con vistas a minimizar una función objetivo

$$F = \sum_m \sum_n W_n^m (T_n^m - A_n^m)^2$$

modificada, representando W_n^m la ponderación de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m, T_n^m el valor teórico de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m y A_n^m el valor real de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m.

Dicho de otro modo, la geometría de superficie local de la superficie posterior y el índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la trayectoria visual respectiva se modifican mediante los puntos de evaluación hasta que se cumple un criterio de cancelación.

La lente de gafas progresiva GRIN diseñada de este modo según la invención puede fabricarse según este diseño.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento implementado por ordenador para el diseño de una lente de gafas progresiva con el fin de utilizar el diseño para la fabricación de una lente de gafas progresiva con una superficie anterior y con una superficie posterior, con un índice de refracción que varía en el espacio, configurándose la superficie anterior como una superficie progresiva y/o configurándose la superficie posterior como una superficie progresiva,

- calculándose las propiedades ópticas de la lente de gafas progresiva por medio de un procedimiento de cálculo de haz en una pluralidad de puntos de evaluación a través de los cuales los rayos visuales atraviesan la lente de gafas progresiva,

- determinándose al menos una propiedad óptica teórica de la lente de gafas progresiva en el punto de evaluación respectivo, caracterizado por que

- se determina un diseño para la lente de gafas progresiva, comprendiendo el diseño una representación de una geometría de superficie local de la superficie progresiva y un índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual a través de los puntos de evaluación,

- modificándose el diseño de la lente de gafas progresiva con vistas a una aproximación de la al menos una propiedad óptica teórica de la lente de gafas progresiva, comprendiendo la modificación una modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual a través de los puntos de evaluación, comprendiendo la al menos una propiedad óptica teórica un astigmatismo residual teórico de la lente de gafas progresiva, llevándose a cabo la modificación de la superficie progresiva libremente en una o en dos dimensiones espaciales y llevándose a cabo la modificación del índice de refracción local libremente en al menos dos dimensiones espaciales.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que

- la modificación de la superficie progresiva se lleva a cabo de manera que se forme una superficie de forma libre que no presente una simetría central ni una simetría axial, y por que

- la modificación del índice de refracción local se lleva a cabo de manera que

(a) el índice de refracción varíe únicamente en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y permanezca constante en una tercera dimensión espacial, de modo que una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial no presente una simetría central ni una simetría axial, o de manera que

(b) el índice de refracción varíe en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial, de modo que una distribución del índice de refracción en la primera dimensión espacial y en la segunda dimensión espacial en todos los planos perpendiculares a la tercera dimensión espacial no presente una simetría central ni una simetría axial, o de manera que

(c) el índice de refracción varíe en una primera dimensión espacial y en una segunda dimensión espacial y en una tercera dimensión espacial, de modo que una distribución del índice de refracción en la lente de gafas progresiva no presente ninguna simetría central ni ninguna simetría axial.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la al menos una propiedad óptica teórica de la lente de gafas progresiva se deduce

(i) de una propiedad óptica teórica correspondiente para una lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable y/o

(ii) de una propiedad óptica correspondiente de una lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable

o por que

el astigmatismo residual teórico de la lente de gafas progresiva se deduce

(i) de un astigmatismo residual teórico para una lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable y/o

(ii) de un astigmatismo residual de una lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que la al menos una propiedad óptica teórica de la lente de gafas progresiva en una parte intermedia central entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana se reduce con respecto

(i) a la propiedad óptica teórica correspondiente de la lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable o

(ii) a la propiedad óptica correspondiente de la lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable

o por que el astigmatismo residual teórico de la lente de gafas progresiva se reduce en una parte intermedia central entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana con respecto

(i) al astigmatismo residual teórico de la lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable o

(ii) al astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva con un índice de refracción espacialmente no variable.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado por que el astigmatismo residual teórico de la lente de gafas progresiva se reduce en una parte intermedia central entre la parte de visión lejana y la parte de visión cercana en una zona alrededor de la línea de visión principal, comprendiendo la zona una distancia horizontal a ambos lados del grupo de

- (a) 5 mm desde la línea de visión principal
- (b) 10 mm desde la línea de visión principal
- (c) 20 mm desde la línea de visión principal.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la modificación del diseño de la lente de gafas progresiva se lleva a cabo con vistas a una minimización de una función objetivo

$$F = \sum_m \sum_n W_n^m (T_n^m - A_n^m)^2$$

representando W_n^m la ponderación de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m, T_n^m el valor teórico de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m y A_n^m el valor real de la propiedad óptica n en el punto de evaluación m.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que para al menos un punto de evaluación se preestablece un astigmatismo residual teórico que es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en una lente de gafas progresiva de comparación con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable, y por que la modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual por los puntos de evaluación sólo se cancela cuando el astigmatismo residual alcanzado para la lente de gafas progresiva diseñada en el al menos un punto de evaluación es menor que el astigmatismo residual teóricamente alcanzable en el al menos un punto de evaluación correspondiente en la lente de gafas progresiva de comparación.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que la modificación de la representación de la geometría de superficie local de la superficie progresiva y del índice de refracción local de la lente de gafas progresiva en la respectiva trayectoria del haz visual por los puntos de evaluación se lleva a cabo con la condición de que el valor máximo del astigmatismo residual de la lente de gafas progresiva sea menor que el valor máximo del astigmatismo residual de una lente de gafas progresiva de comparación con la misma distribución del equivalente esférico y con la misma disposición de la lente de gafas progresiva de comparación frente al ojo del usuario de las gafas progresivas, pero con un índice de refracción espacialmente no variable.

9. Programa informático con un código de programa para la realización de todos los pasos del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, si el programa informático se carga en un ordenador y/o se ejecuta en un ordenador.

10. Medio legible por ordenador que comprende un programa informático según la reivindicación 9.

11. Procedimiento para la fabricación de una lente de gafas progresiva diseñada utilizando un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8 mediante un procedimiento aditivo.

12. Ordenador con un procesador y con una memoria en la que está almacenado un programa informático según la reivindicación 9 y que está diseñado para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8.

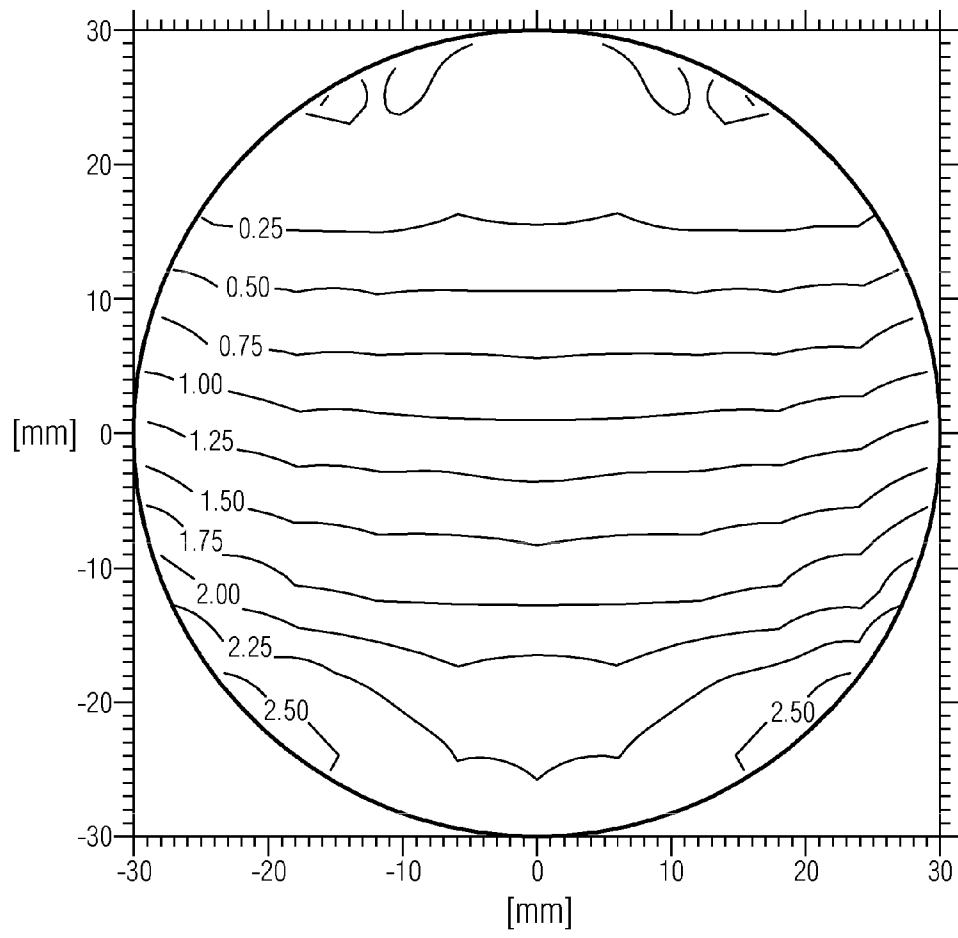


Fig. 1a

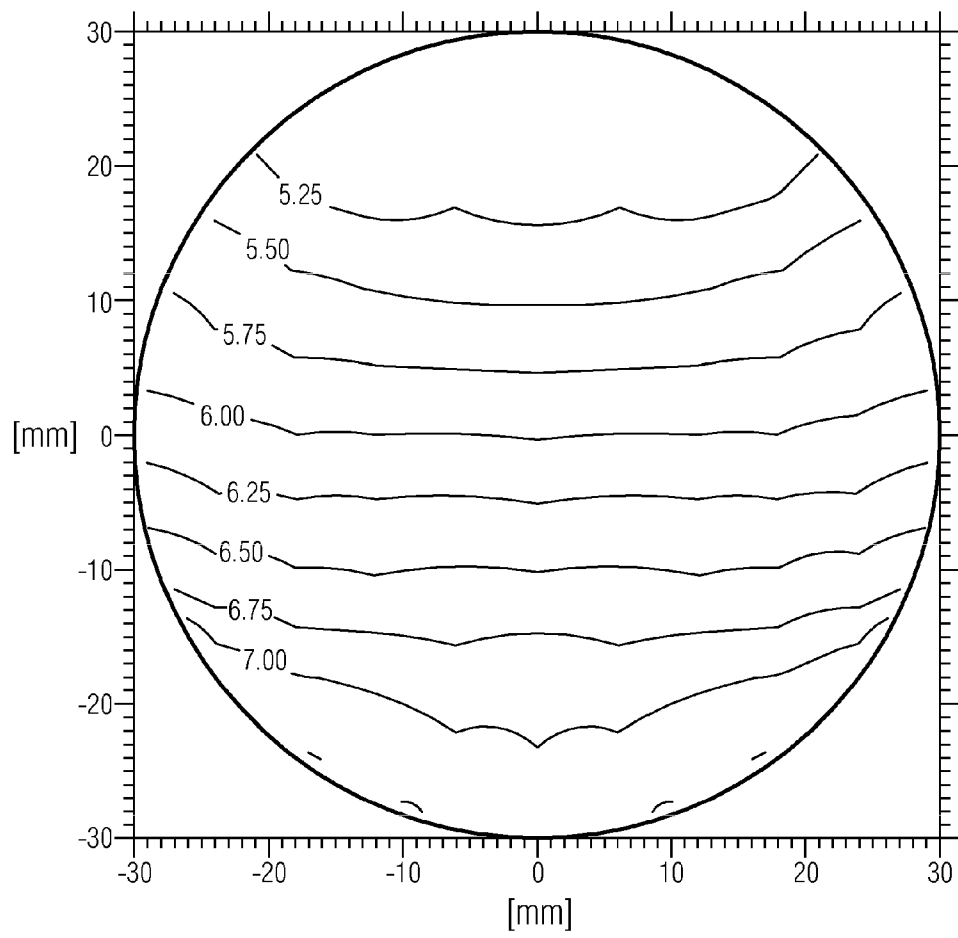


Fig. 1b

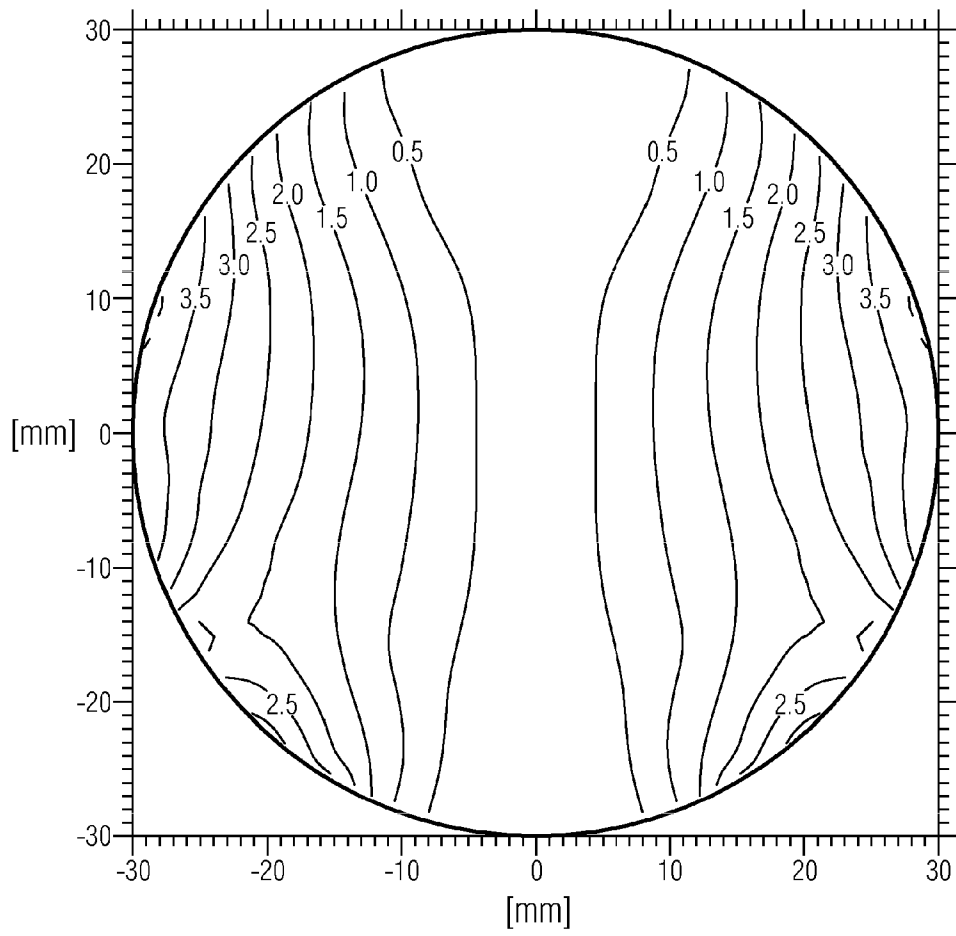


Fig. 1c

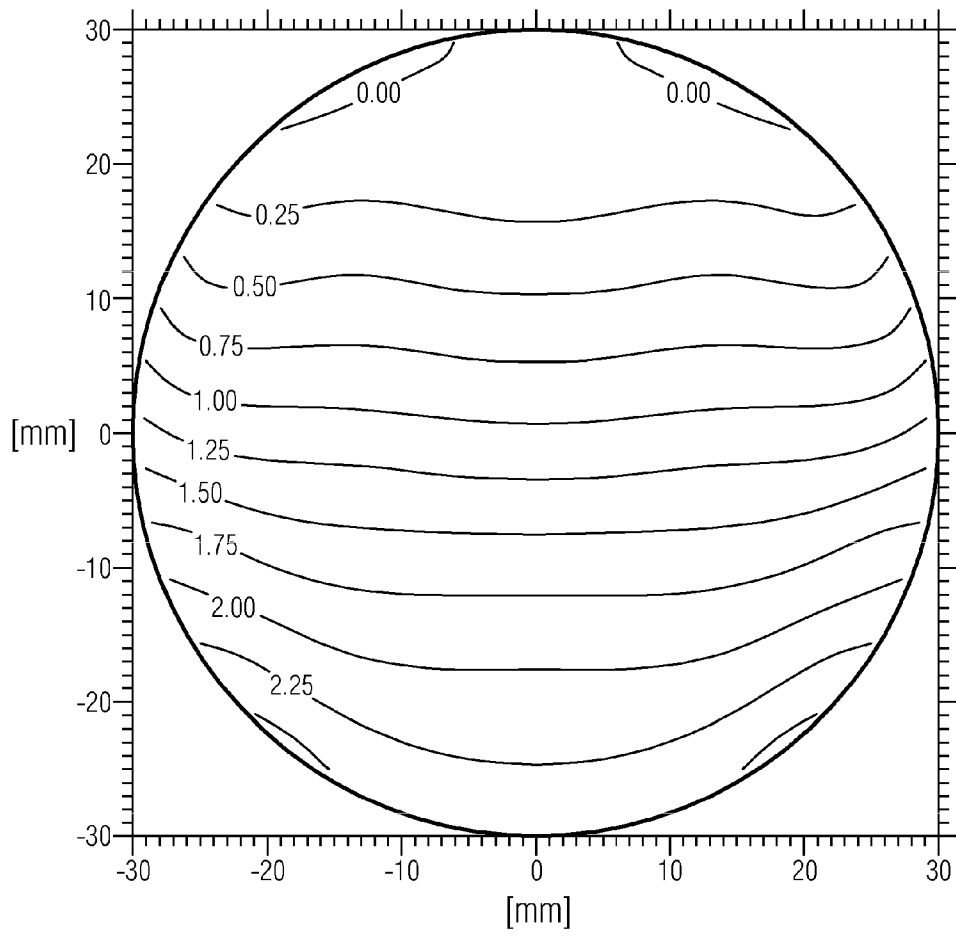


Fig. 2a

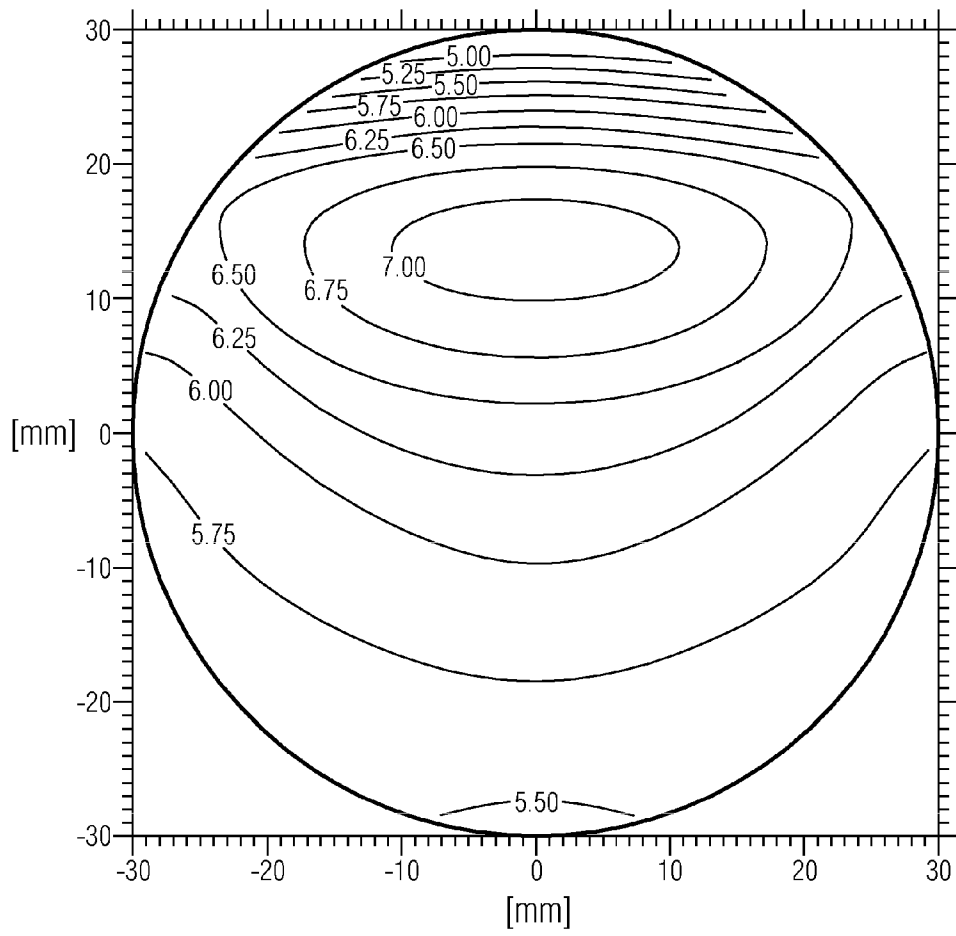


Fig. 2b

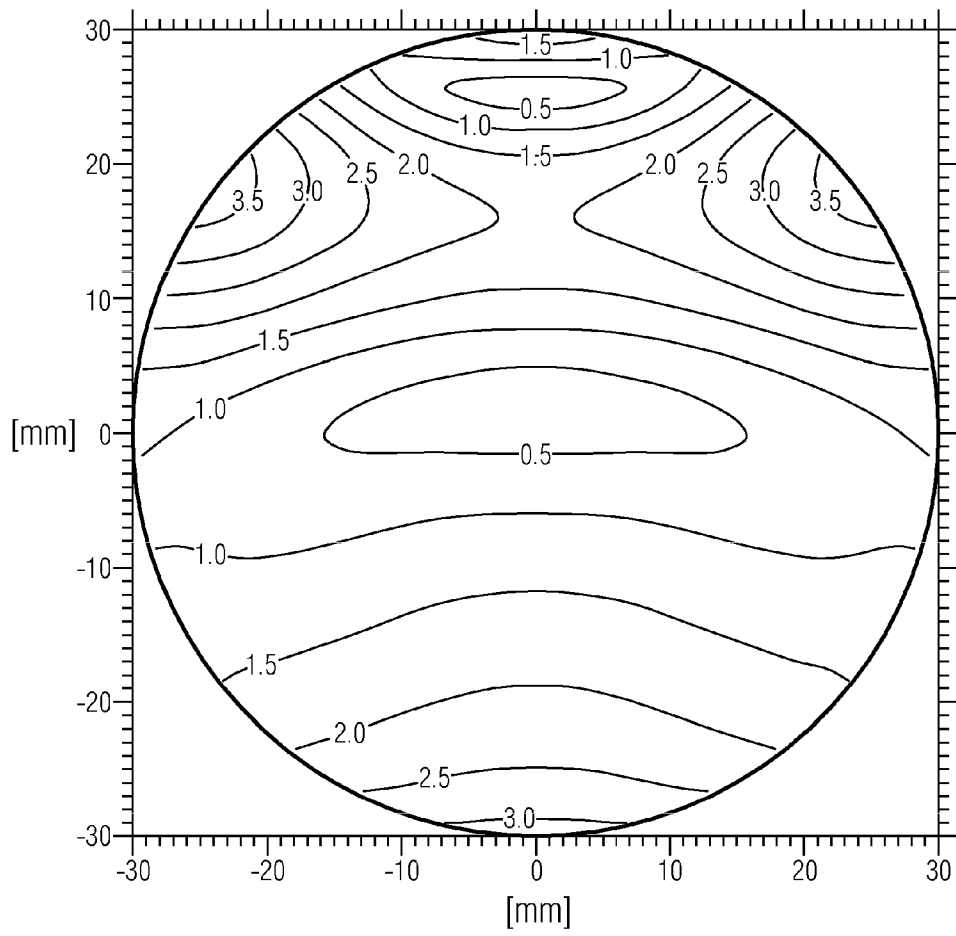


Fig. 2c

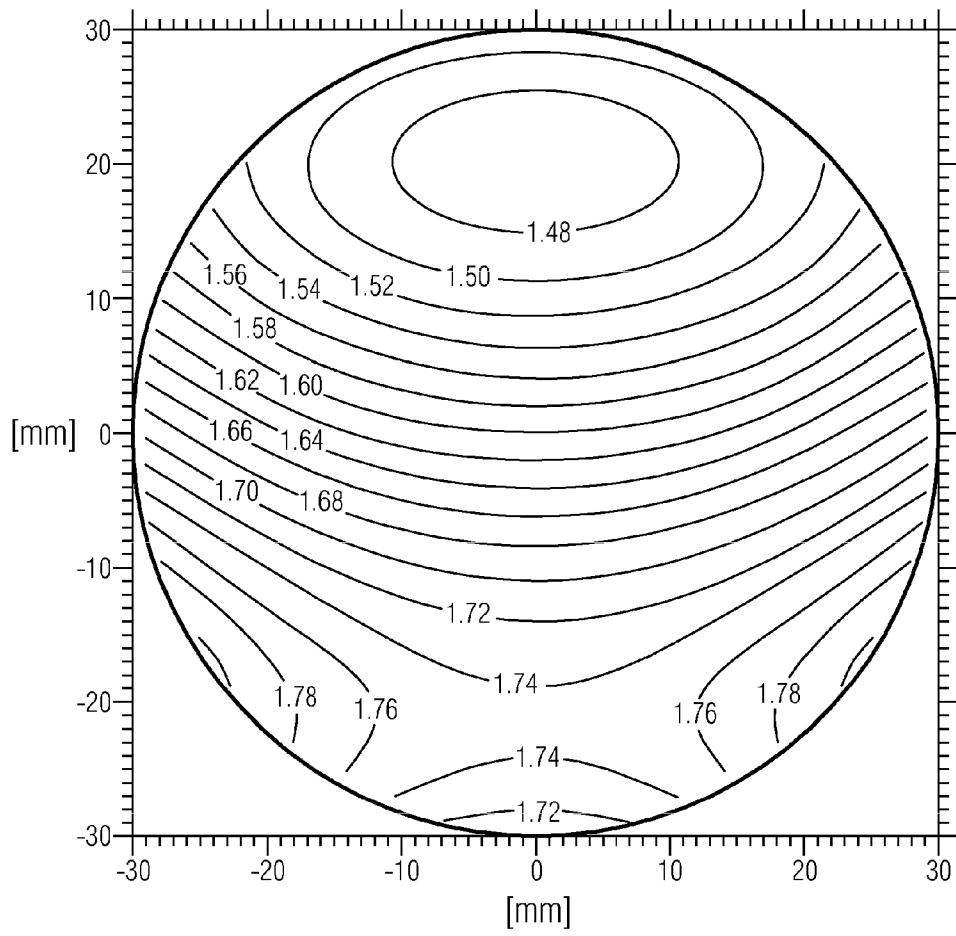


Fig. 3

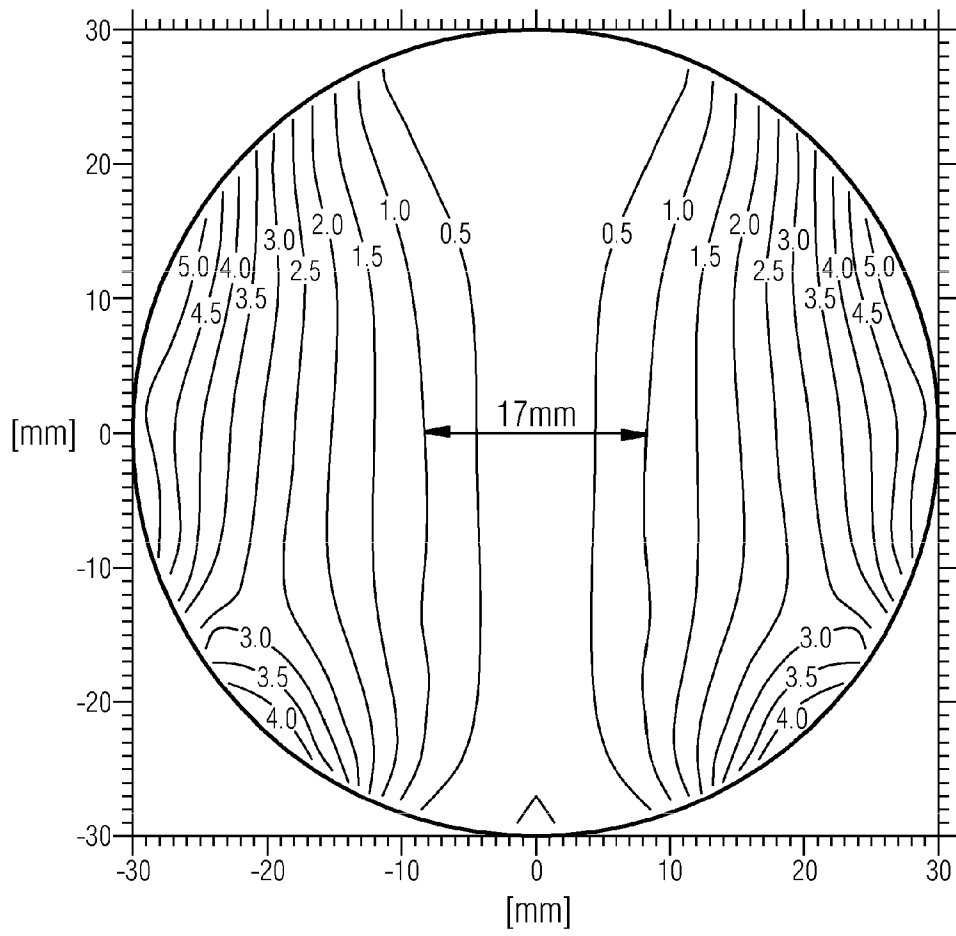


Fig. 4a

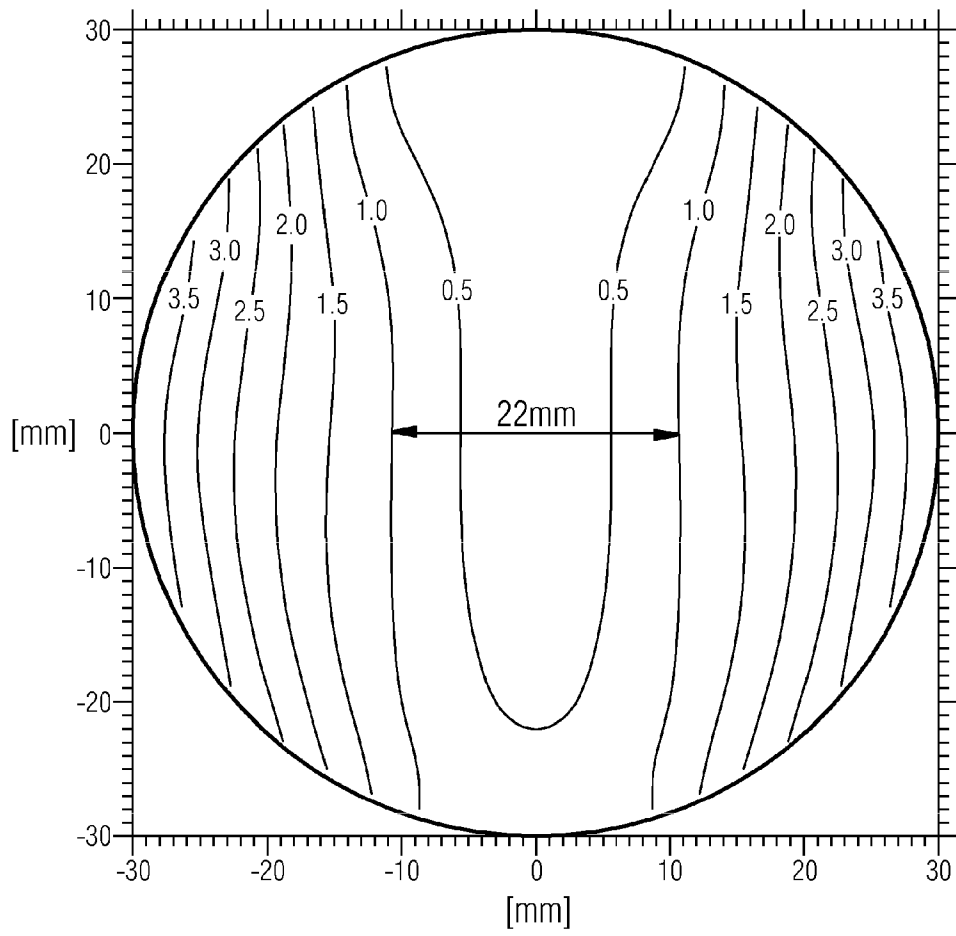


Fig. 4b

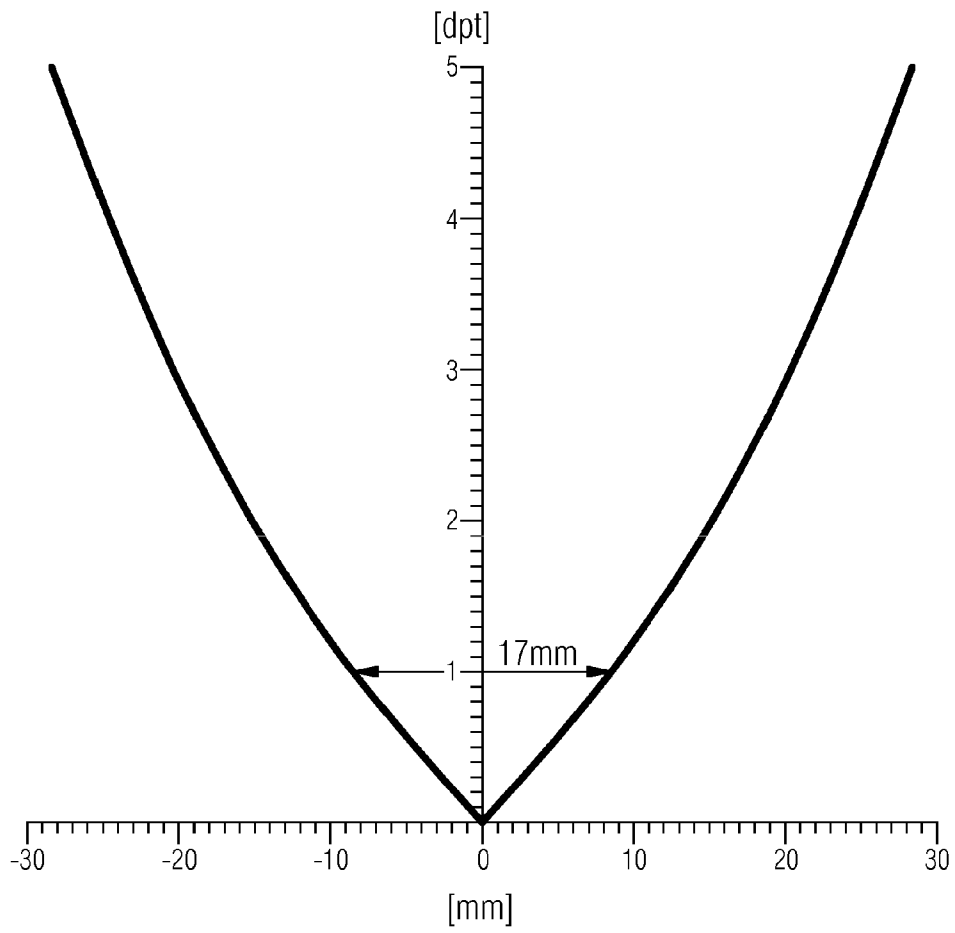


Fig. 5a

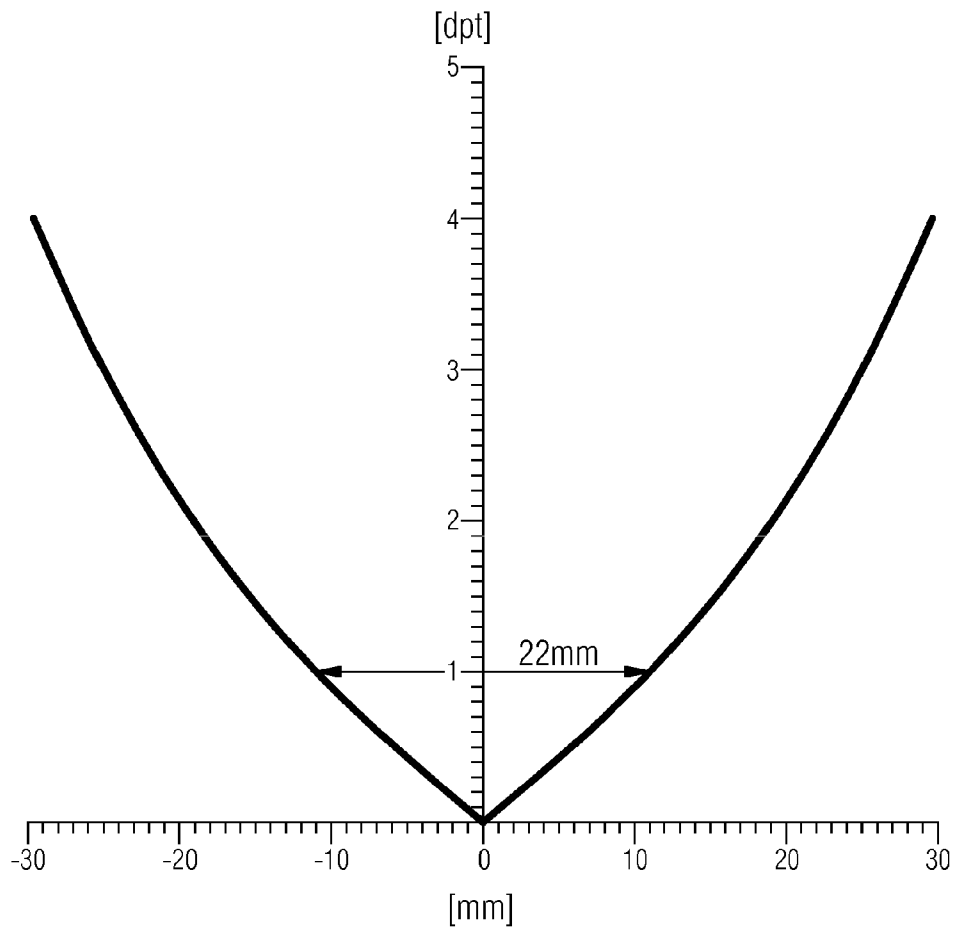


Fig. 5b

ES 2 978 455 T3

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y												
26		3,1912	3,2086	3,2609	3,3481	3,4702	3,6269	3,8176	4,0419	4,2982	4,5852	4,9013
24		2,7257	2,7430	2,7952	2,8822	3,0040	3,1602	3,3502	3,5732	3,8284	4,1145	4,4305
22		2,2971	2,3144	2,3665	2,4535	2,5754	2,7316	2,9216	3,1446	3,4000	3,6870	4,0048
20		1,9050	1,9223	1,9746	2,0618	2,1840	2,3408	2,5315	2,7555	3,0123	3,3015	3,6226
18		1,5490	1,5665	1,6190	1,7068	1,8297	1,9874	2,1794	2,4052	2,6646	2,9572	3,2829
16		1,2290	1,2467	1,2997	1,3881	1,5121	1,6712	1,8651	2,0935	2,3563	2,6533	2,9845
14		0,9451	0,9630	1,0166	1,1061	1,2313	1,3922	1,5886	1,8202	2,0871	2,3893	2,7269
12		0,6977	0,7158	0,7701	0,8608	0,9877	1,1508	1,3500	1,5854	1,8570	2,1649	2,5096
10		0,4869	0,5053	0,5605	0,6524	0,7813	0,9469	1,1495	1,3891	1,6658	1,9800	2,3320
8		0,3133	0,3320	0,3880	0,4815	0,6125	0,7810	0,9873	1,2314	1,5136	1,8343	2,1940
6		0,1773	0,1963	0,2533	0,3484	0,4817	0,6533	0,8635	1,1123	1,4003	1,7277	2,0952
4		0,0794	0,0987	0,1567	0,2535	0,3893	0,5641	0,7783	1,0321	1,3259	1,6602	2,0355
2		0,0201	0,0398	0,0988	0,1974	0,3357	0,5139	0,7322	0,9911	1,2908	1,6320	2,0152
0		0,0001	0,0201	0,0803	0,1807	0,3216	0,5031	0,7257	0,9896	1,2953	1,6434	2,0345
-2		0,0200	0,0404	0,1016	0,2039	0,3474	0,5324	0,7593	1,0282	1,3399	1,6948	2,0939
-4		0,0806	0,1013	0,1637	0,2678	0,4140	0,6025	0,8336	1,1076	1,4252	1,7870	2,1939
-6		0,1826	0,2037	0,2672	0,3732	0,5221	0,7140	0,9494	1,2284	1,5519	1,9206	2,3353
-8		0,3268	0,3483	0,4129	0,5209	0,6725	0,8679	1,1075	1,3916	1,7210	2,0965	2,5189
-10		0,5140	0,5359	0,6018	0,7117	0,8659	1,0648	1,3086	1,5979	1,9332	2,3155	2,7457
-12		0,7452	0,7675	0,8345	0,9464	1,1032	1,3055	1,5536	1,8481	2,1895	2,5788	3,0168
-14		1,0211	1,0438	1,1120	1,2258	1,3853	1,5909	1,8434	2,1431	2,4909	2,8875	3,3338
-16		1,3430	1,3661	1,4355	1,5512	1,7132	2,000	2,1792	2,4846	2,8391	3,2435	3,6986
-18		1,7122	1,7357	1,8062	1,9237	2,0884	2,3011	2,5627	2,8740	3,2358	3,6488	4,1138
-20		2,1301	2,1539	2,2253	2,3447	2,5122	2,7287	2,9952	3,3129	3,6825	4,1051	4,5814
-22		2,5976	2,6217	2,6941	2,8152	2,9854	3,2058	3,4775	3,8019	4,1801	4,6133	5,1027
-24		3,1159	3,1402	3,2136	3,3363	3,5091	3,7333	4,0103	4,3416	4,7290	5,1742	5,6786
-26		3,6862	3,7108	3,7850	3,9093	4,0844	4,3120	4,5940	4,9322	5,3295	5,7887	6,3117

Fig. 6a

ES 2 978 455 T3

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y												
26		4,4873	4,5072	4,5668	4,6660	4,8044	4,9815	5,1967	5,4492	5,7380	6,0623	6,4212
24		3,8230	3,8430	3,9031	4,0031	4,1426	4,3213	4,5387	4,7939	5,0863	5,4149	5,7790
22		3,2067	3,2269	3,2875	3,3883	3,5291	3,7096	3,9293	4,1877	4,4839	4,8173	5,1870
20		2,6430	2,6634	2,7245	2,8262	2,9684	3,1508	3,3730	3,6345	3,9348	4,2731	4,6488
18		2,1350	2,1555	2,2172	2,3198	2,4634	2,6477	2,8725	3,1372	3,4415	3,7847	4,1662
16		1,6841	1,7048	1,7670	1,8707	2,0156	2,2018	2,4290	2,6969	3,0050	3,3529	3,7400
14		1,2905	1,3114	1,3742	1,4787	1,6251	1,8131	2,0426	2,3134	2,6251	2,9773	3,3696
12		0,9533	0,9744	1,0376	1,1431	1,2907	1,4804	1,7121	1,9856	2,3006	2,6567	3,0537
10		0,6708	0,6920	0,7558	0,8621	1,0109	1,2022	1,4358	1,7117	2,0297	2,3893	2,7904
8		0,4408	0,4622	0,5265	0,6335	0,7834	0,9761	1,2115	1,4896	1,8101	2,1728	2,5775
6		0,2611	0,2827	0,3473	0,4550	0,6059	0,7999	1,0369	1,3168	1,6396	2,0050	2,4128
4		0,1292	0,1509	0,2159	0,3243	0,4760	0,6711	0,9095	1,1911	1,5158	1,8835	2,2941
2		0,0429	0,0646	0,1300	0,2389	0,3915	0,5876	0,8272	1,1103	1,4367	1,8065	2,2193
0		0,0000	0,0219	0,0876	0,1970	0,3503	0,5473	0,7880	1,0724	1,4004	1,7719	2,1869
-2		-0,0012	0,0208	0,0868	0,1967	0,3506	0,5485	0,7902	1,0758	1,4052	1,7783	2,1952
-4		0,0377	0,0598	0,1261	0,2365	0,3910	0,5896	0,8323	1,1190	1,4497	1,8244	2,2431
-6		0,1154	0,1376	0,2041	0,3149	0,4700	0,6694	0,9131	1,2009	1,5329	1,9091	2,3295
-8		0,2307	0,2530	0,3197	0,4310	0,5867	0,7868	1,0314	1,3203	1,6536	2,0314	2,4537
-10		0,3826	0,4049	0,4720	0,5836	0,7399	0,9409	1,1864	1,4765	1,8112	2,1906	2,6149
-12		0,5702	0,5926	0,6599	0,7720	0,9290	1,1307	1,3773	1,6686	2,0049	2,3861	2,8127
-14		0,7927	0,8153	0,8828	0,9954	1,1531	1,3557	1,6034	1,8962	2,2341	2,6175	3,0464
-16		1,0495	1,0721	1,1400	1,2532	1,4116	2,0000	1,8642	2,1586	2,4985	2,8842	3,3159
-18		1,3398	1,3626	1,4308	1,5446	1,7039	1,9088	2,1592	2,4555	2,7977	3,1861	3,6210
-20		1,6631	1,6860	1,7547	1,8692	2,0295	2,2358	2,4881	2,7865	3,1314	3,5230	3,9617
-22		2,0188	2,0419	2,1111	2,2264	2,3880	2,5959	2,8503	3,1514	3,4994	3,8948	4,3380
-24		2,4062	2,4295	2,4993	2,6157	2,7788	2,9887	3,2457	3,5499	3,9018	4,3018	4,7502
-26		2,8247	2,8482	2,9188	3,0364	3,2014	3,4137	3,6737	3,9818	4,3383	4,7437	5,1985

Fig. 6b

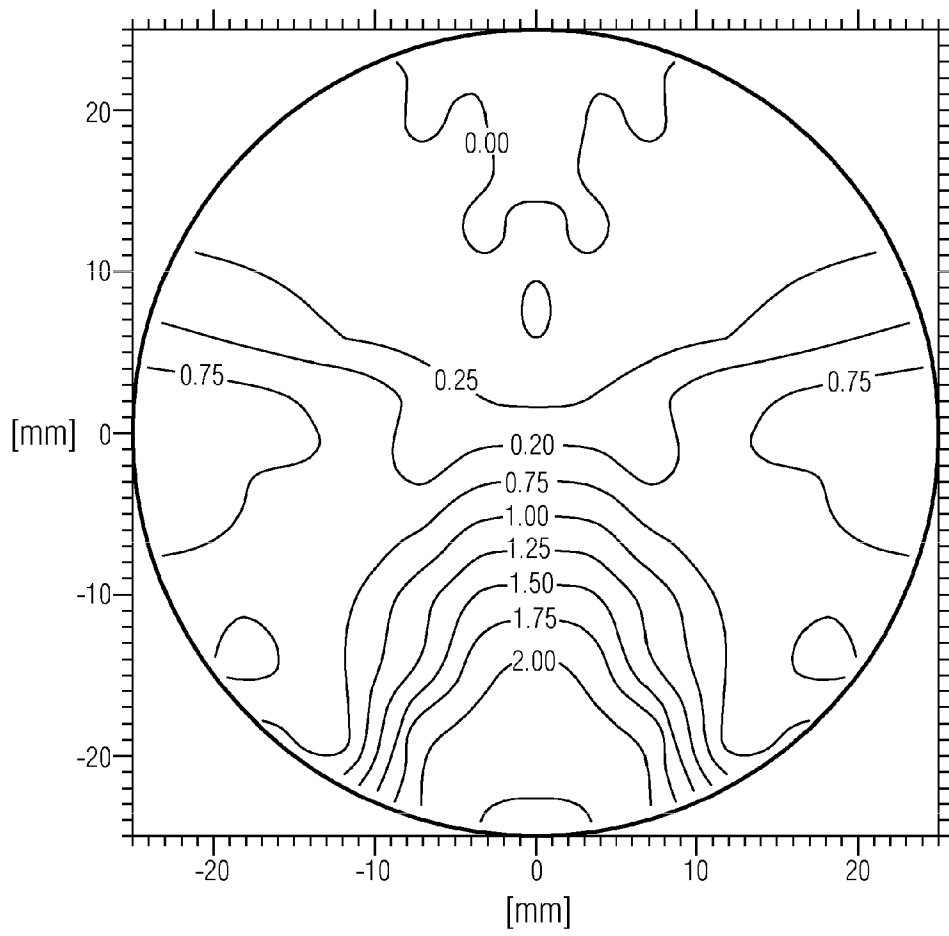


Fig. 7a

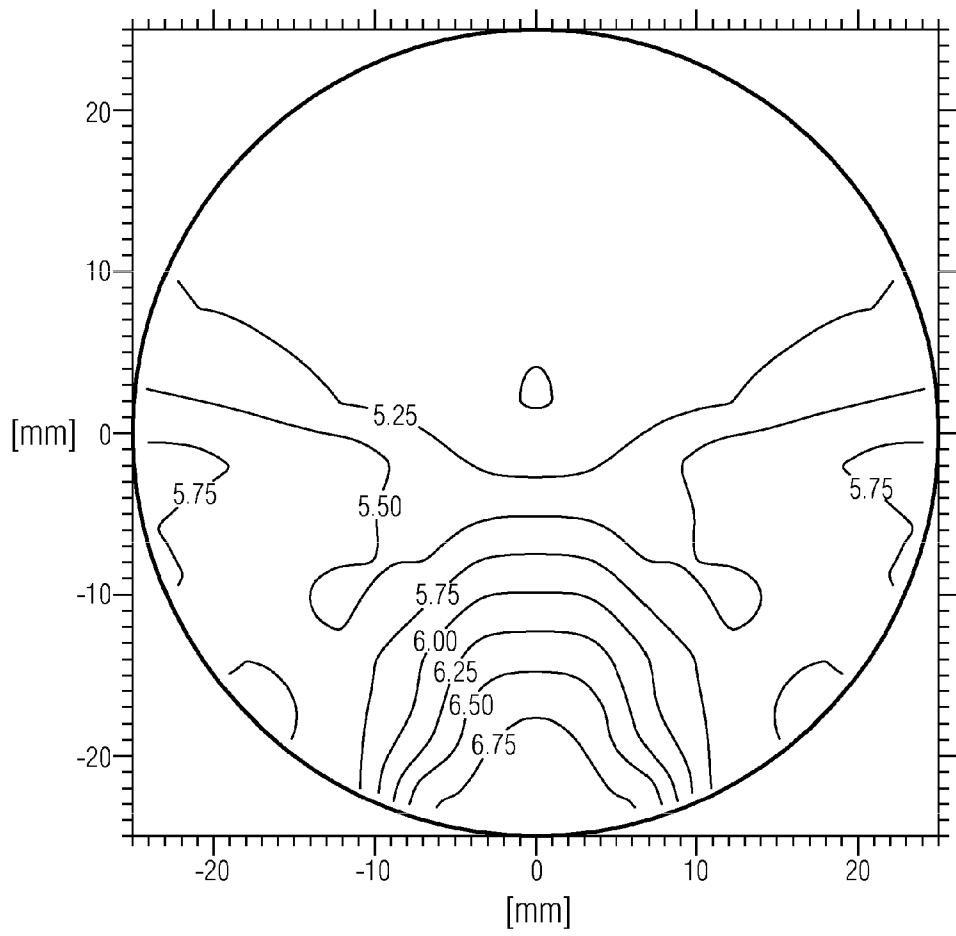


Fig. 7b

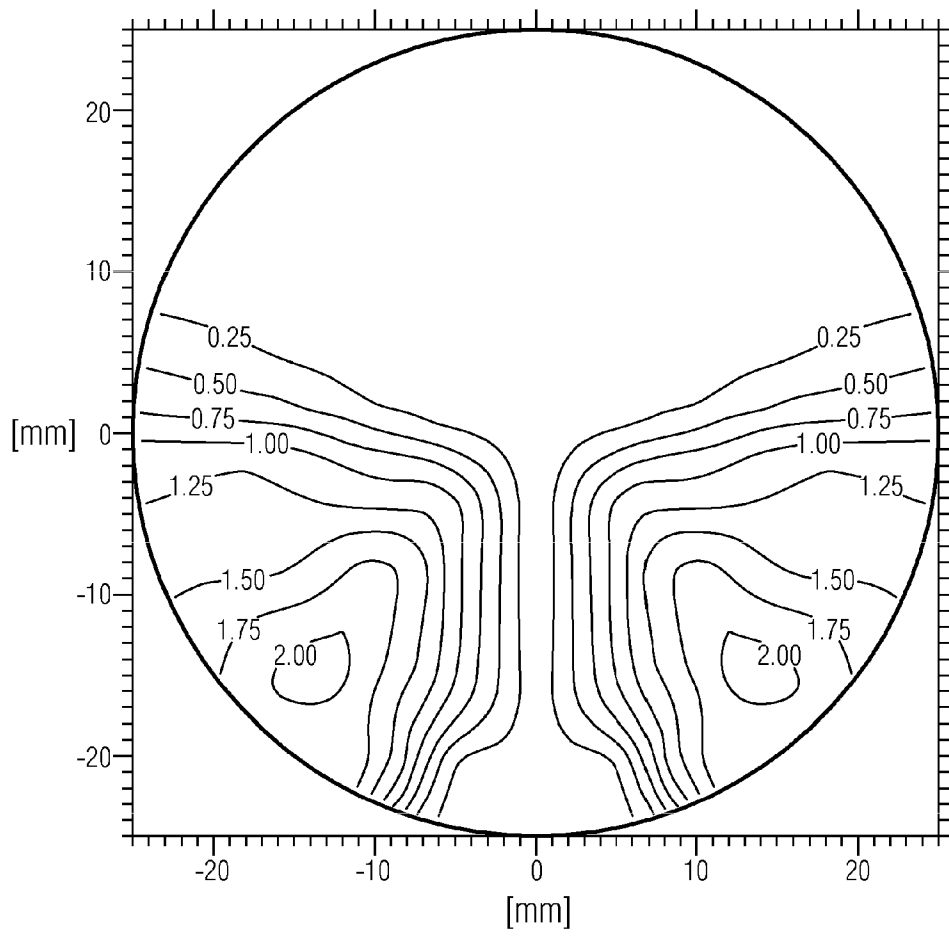


Fig. 7c

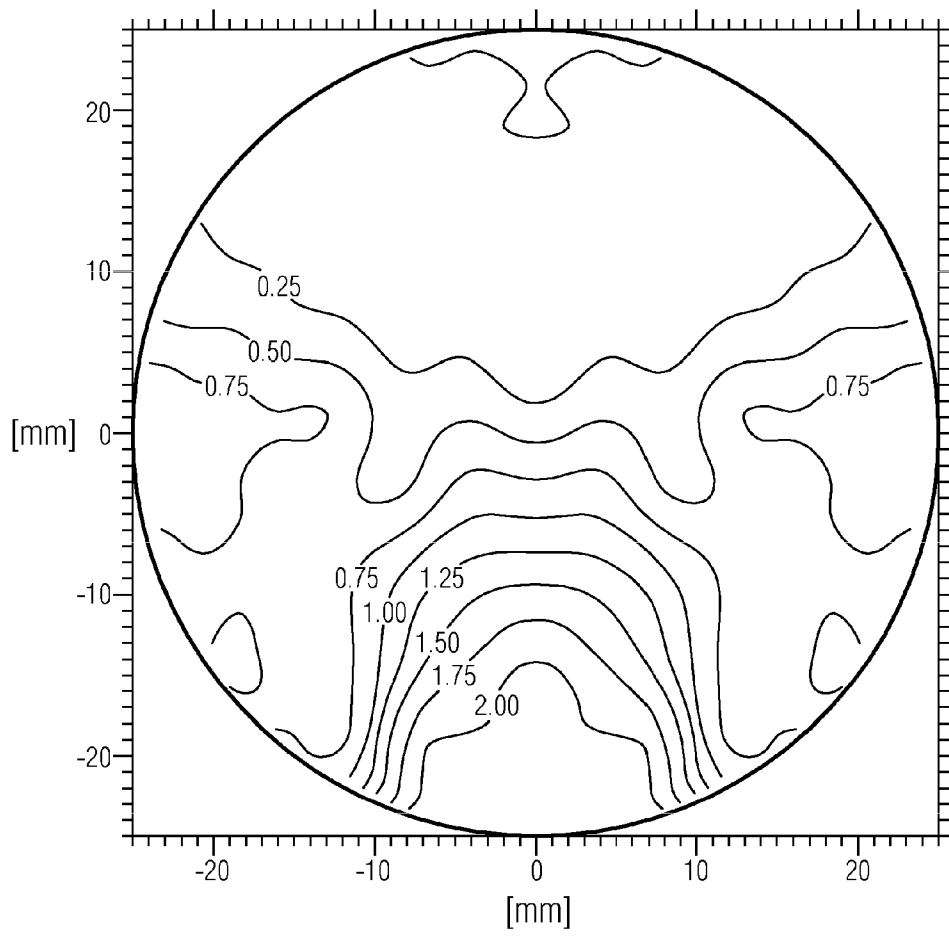


Fig. 8a

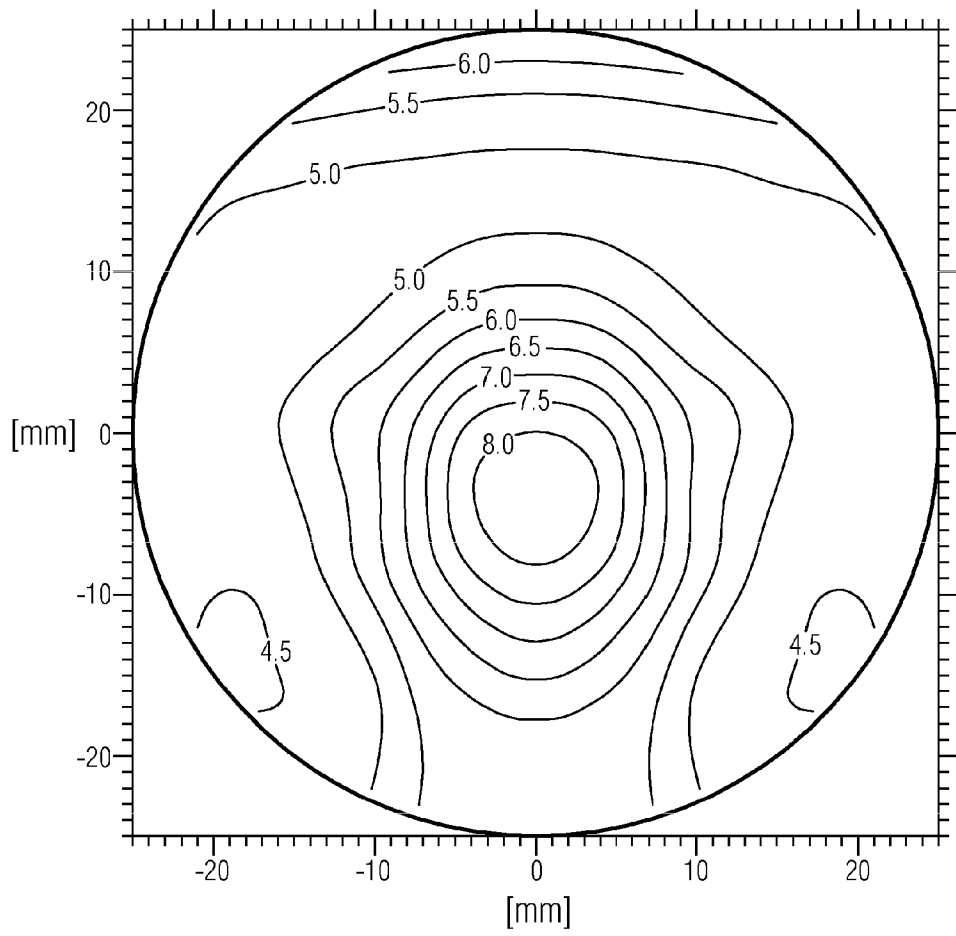


Fig. 8b

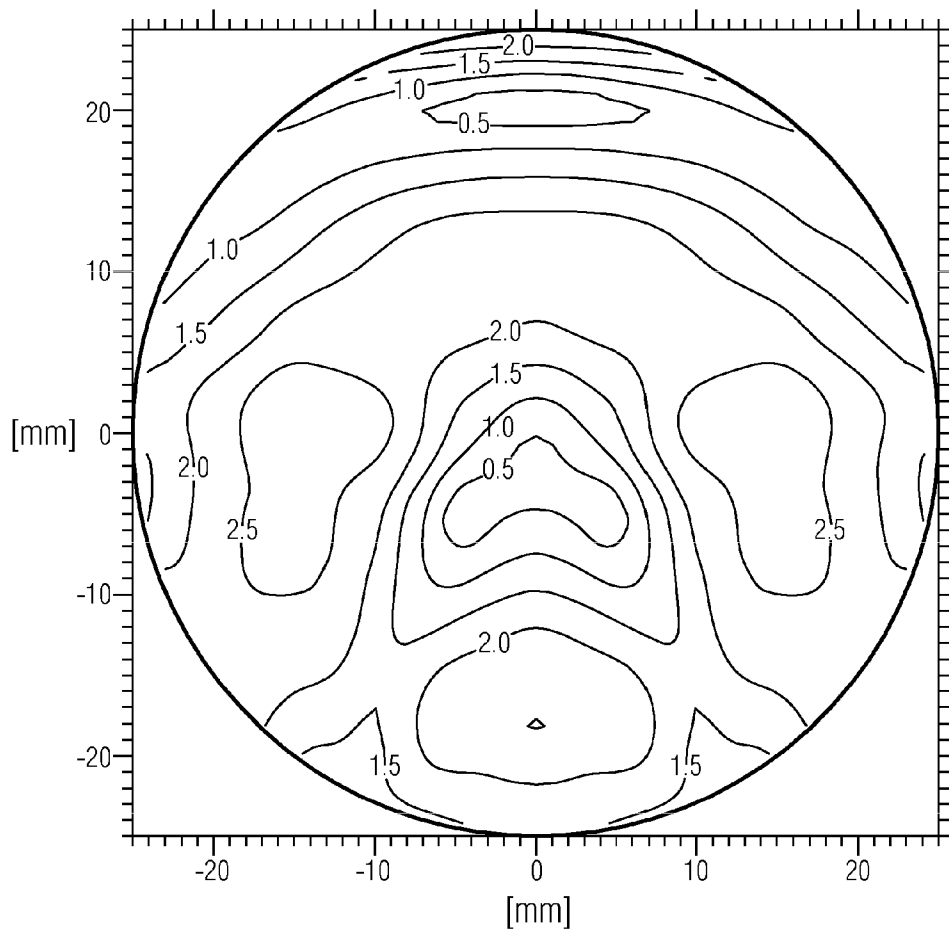


Fig. 8c

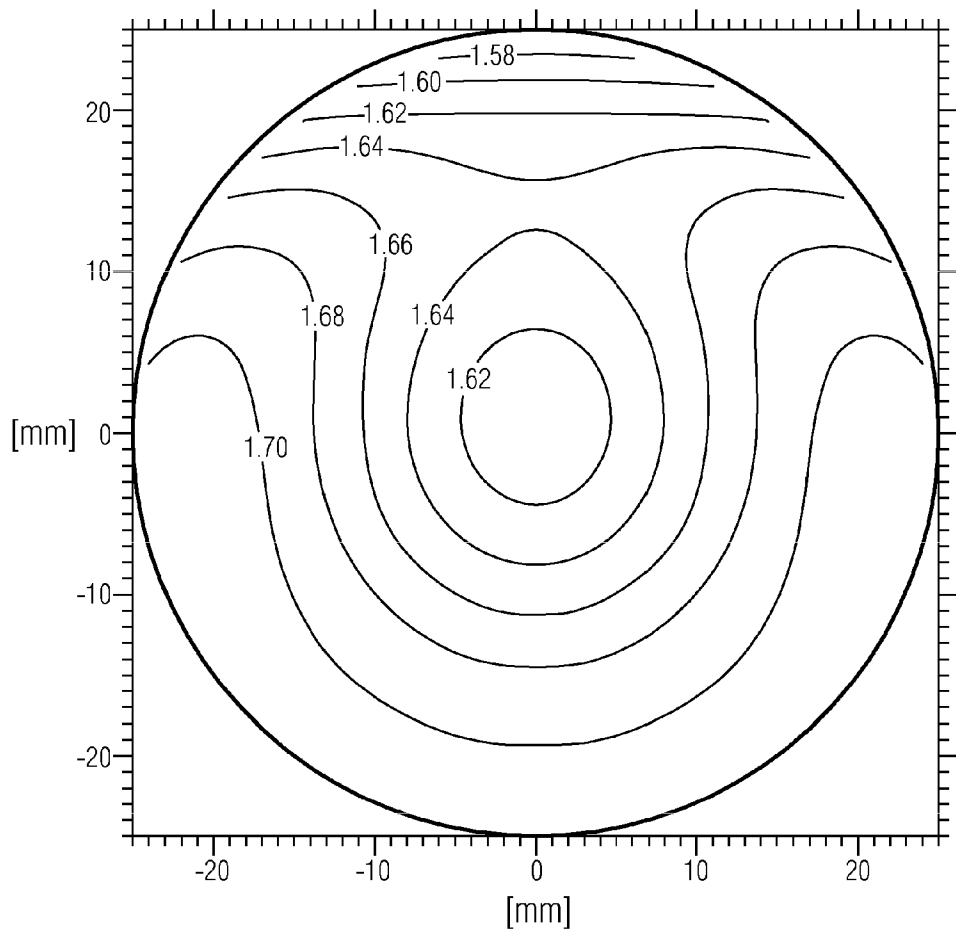


Fig. 9

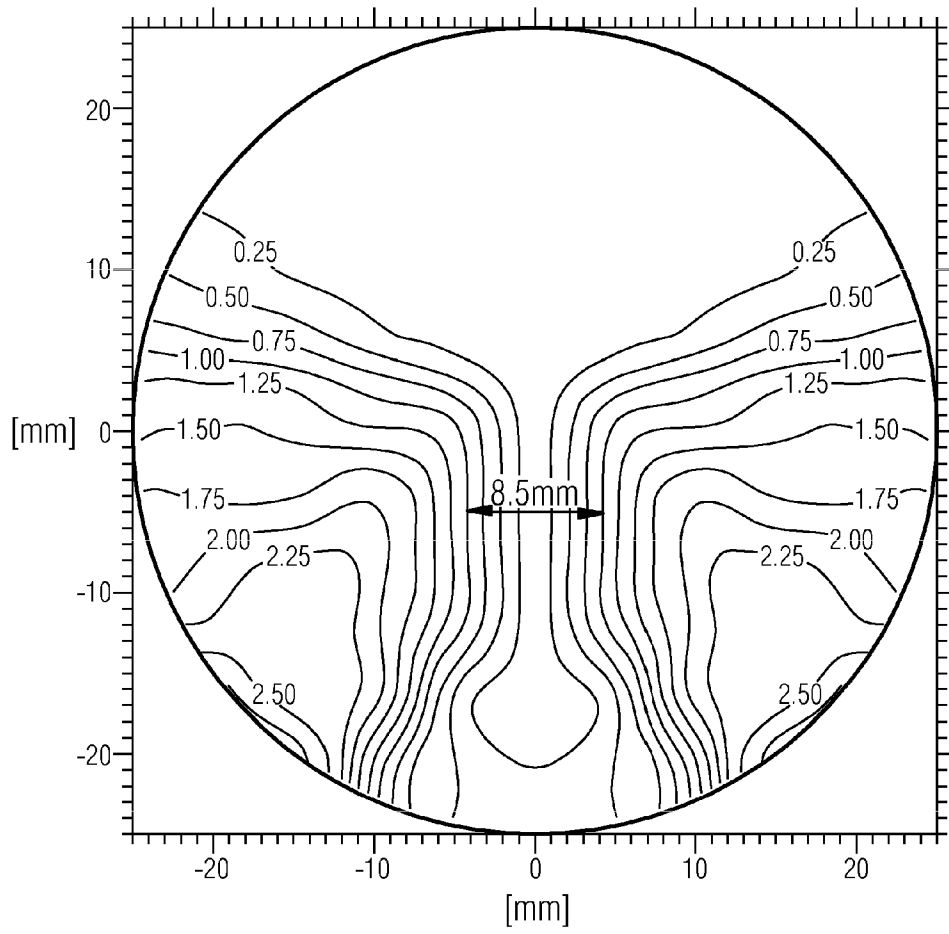


Fig. 10a

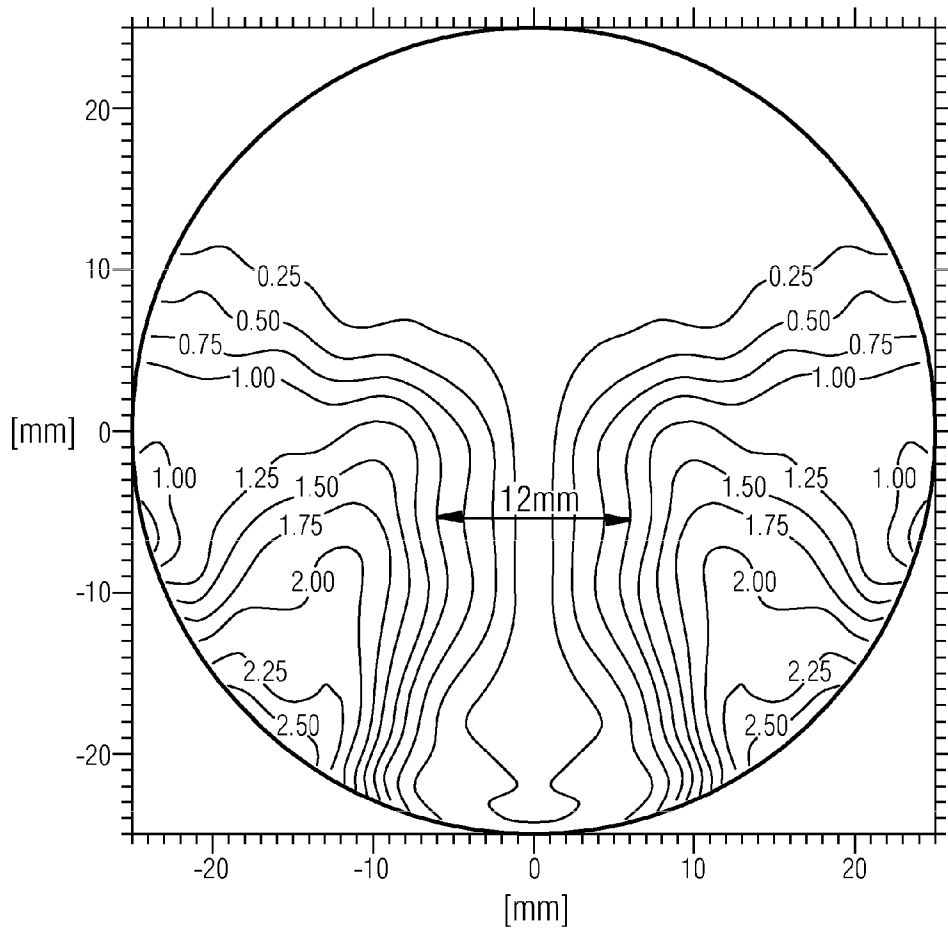


Fig. 10b

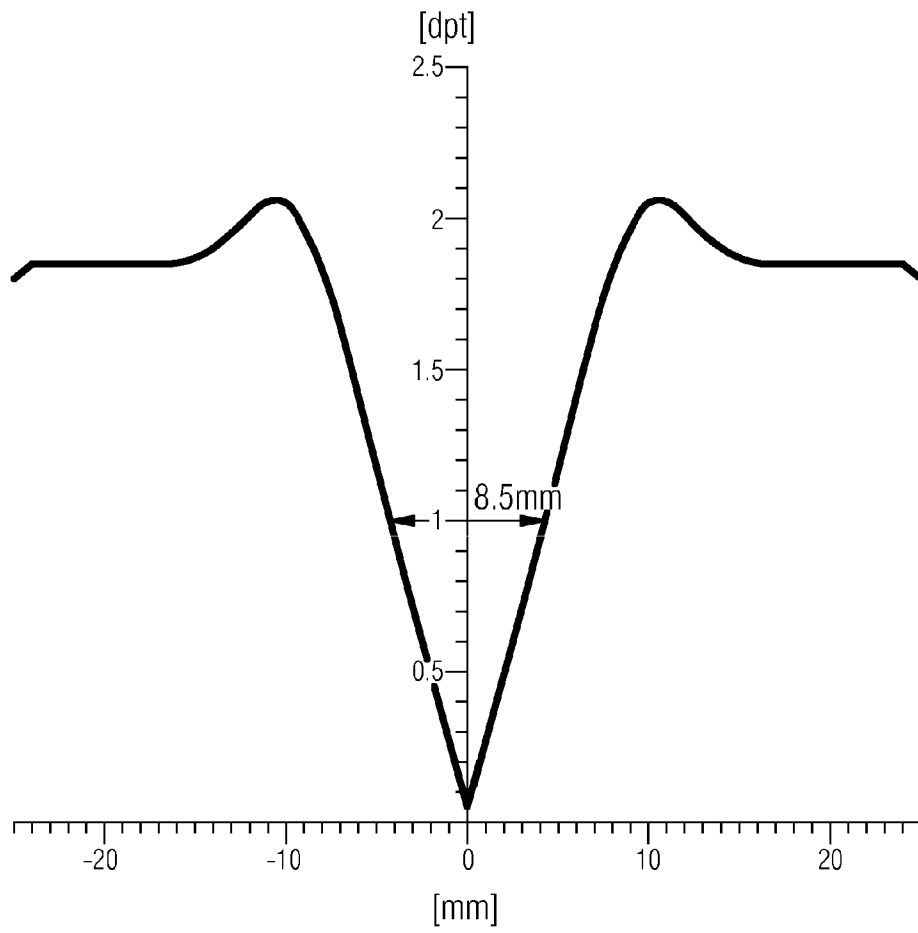


Fig. 11a

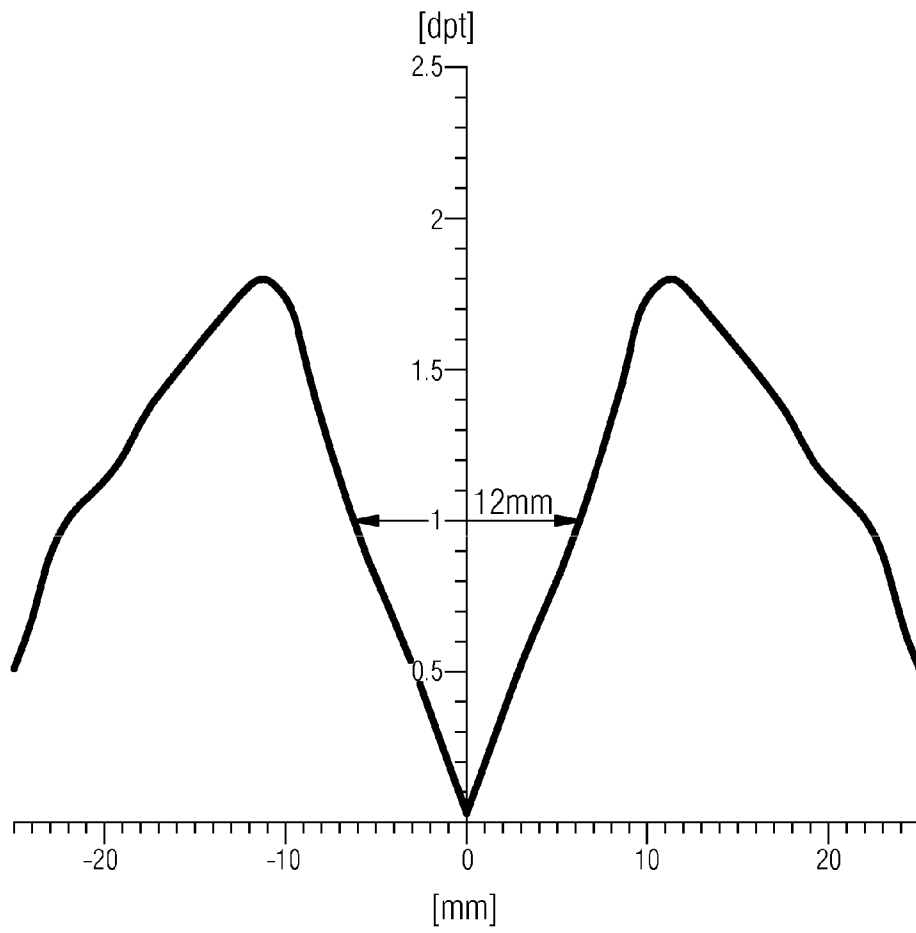


Fig. 11b

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y												
20		1,6118	1,6289	1,6802	1,7658	1,8860	2,0408	2,2305	2,4552	2,7153	3,0110	3,3427
18		1,2747	1,2916	1,3427	1,4280	1,5476	1,7018	1,8907	2,1145	2,3736	2,6683	2,9988
16		0,9732	0,9900	1,0409	1,1258	1,2450	1,3986	1,5868	1,8098	2,0681	2,3618	2,6914
14		0,7068	0,7236	0,7743	0,8590	0,9778	1,1308	1,3184	1,5407	1,7982	2,0911	2,4198
12		0,4753	0,4921	0,5426	0,6270	0,7455	0,8981	1,0852	1,3069	1,5636	1,8557	2,1837
10		0,2783	0,2951	0,3455	0,4297	0,5478	0,7001	0,8867	1,1079	1,3641	1,6556	1,9831
8		0,1155	0,1323	0,1826	0,2666	0,3845	0,5365	0,7228	0,9436	1,1994	1,4908	1,8182
6		-0,0132	0,0035	0,0537	0,1375	0,2552	0,4070	0,5931	0,8139	1,0697	1,3612	1,6889
4		-0,1082	-0,0916	-0,0414	0,0424	0,1601	0,3119	0,4982	0,7192	0,9754	1,2676	1,5960
2		-0,1697	-0,1530	-0,1028	-0,0187	0,0992	0,2515	0,4383	0,6602	0,9175	1,2109	1,5406
0		-0,1978	-0,1810	-0,1303	-0,0457	0,0731	0,2263	0,4144	0,6379	0,8971	1,1922	1,5238
-2		-0,1922	-0,1749	-0,1231	-0,0370	0,0835	0,2386	0,4288	0,6545	0,9162	1,2138	1,5477
-4		-0,1520	-0,1341	-0,0804	0,0086	0,1322	0,2901	0,4832	0,7120	0,9767	1,2773	1,6141
-6		-0,0759	-0,0572	-0,0013	0,0912	0,2189	0,3810	0,5782	0,8108	1,0790	1,3830	1,7229
-8		0,0375	0,0569	0,1151	0,2113	0,3437	0,5113	0,7137	0,9509	1,2231	1,5308	1,8743
-10		0,1896	0,2098	0,2703	0,3702	0,5077	0,6810	0,8894	1,1319	1,4091	1,7212	2,0688
-12		0,3821	0,4031	0,4658	0,5695	0,7118	0,8910	1,1054	1,3540	1,6368	1,9543	2,3068
-14		0,6165	0,6382	0,7033	0,8106	0,9578	1,1425	1,3630	1,6179	1,9070	2,2303	2,5881
-16		0,8944	0,9169	0,9842	1,0951	1,2468	1,4368	1,6633	1,9245	2,2200	2,5494	2,9128
-18		1,2174	1,2405	1,3096	1,4235	1,5794	1,7748	2,0071	2,2745	2,5761	2,9118	3,2814
-20		1,5870	1,6104	1,6805	1,7965	1,9562	2,1568	2,3952	2,6684	2,9759	3,3178	3,6942

Fig. 12a

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Y												
20		2,7057	2,7241	2,7791	2,8707	2,9986	3,1625	3,3620	3,5972	3,8676	4,1738	4,5159
18		2,2603	2,2790	2,3348	2,4277	2,5570	2,7221	2,9226	3,1579	3,4278	3,7324	4,0722
16		1,8478	1,8670	1,9243	2,0192	2,1511	2,3189	2,5217	2,7586	3,0295	3,3341	3,6728
14		1,4648	1,4847	1,5441	1,6421	1,7777	1,9495	2,1560	2,3960	2,6690	2,9748	3,3137
12		1,1096	1,1303	1,1923	1,2943	1,4348	1,6117	1,8232	2,0676	2,3440	2,6522	2,9922
10		0,7816	0,8034	0,8684	0,9753	1,1216	1,3047	1,5222	1,7721	2,0531	2,3648	2,7073
8		0,4826	0,5055	0,5740	0,6862	0,8391	1,0291	1,2533	1,5096	1,7961	2,1123	2,4581
6		0,2157	0,2399	0,3119	0,4298	0,5896	0,7868	1,0182	1,2813	1,5740	1,8951	2,2447
4		-0,0145	0,0108	0,0864	0,2098	0,3764	0,5809	0,8194	1,0893	1,3882	1,7145	2,0681
2		-0,2030	-0,1765	-0,0976	0,0311	0,2041	0,4155	0,6606	0,9367	1,2413	1,5725	1,9298
0		-0,3444	-0,3169	-0,2349	-0,1016	0,0772	0,2945	0,5454	0,8266	1,1357	1,4707	1,8310
-2		-0,4341	-0,4057	-0,3214	-0,1846	-0,0015	0,2204	0,4756	0,7605	1,0725	1,4098	1,7718
-4		-0,4691	-0,4403	-0,3548	-0,2163	-0,0310	0,1935	0,4512	0,7382	1,0516	1,3896	1,7520
-6		-0,4494	-0,4206	-0,3351	-0,1967	-0,0113	0,2136	0,4720	0,7593	1,0725	1,4099	1,7715
-8		-0,3768	-0,3482	-0,2638	-0,1269	0,0567	0,2802	0,5373	0,8232	1,1348	1,4704	1,8299
-10		-0,2544	-0,2263	-0,1435	-0,0092	0,1713	0,3919	0,6460	0,9288	1,2374	1,5703	1,9267
-12		-0,0859	-0,0586	0,0222	0,1531	0,3297	0,5460	0,7959	1,0744	1,3790	1,7083	2,0612
-14		0,1244	0,1508	0,2290	0,3560	0,5280	0,7396	0,9847	1,2583	1,5585	1,8838	2,2330
-16		0,3729	0,3983	0,4734	0,5960	0,7631	0,9699	1,2101	1,4791	1,7747	2,0961	2,4419
-18		0,6566	0,6808	0,7528	0,8709	1,0330	1,2350	1,4708	1,7355	2,0273	2,3452	2,6885
-20		0,9729	0,9962	1,0655	1,1796	1,3370	1,5344	1,7661	2,0274	2,3165	2,6323	2,9735

Fig. 12b

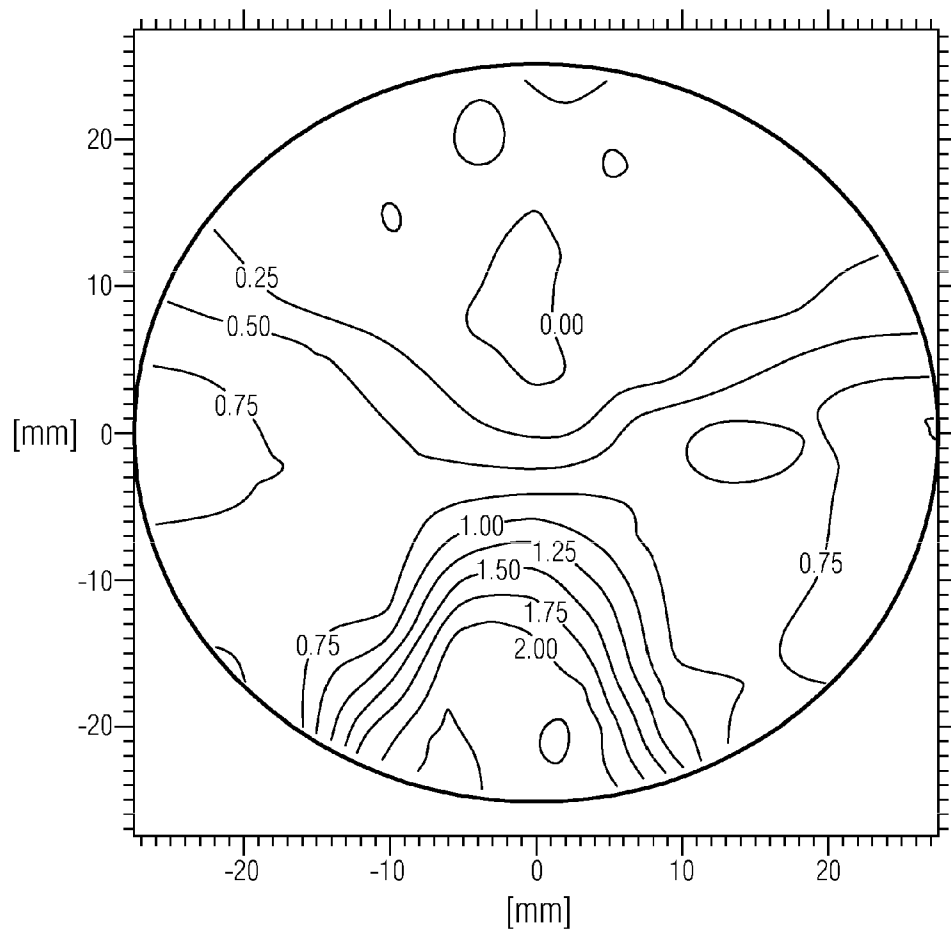


Fig. 13a

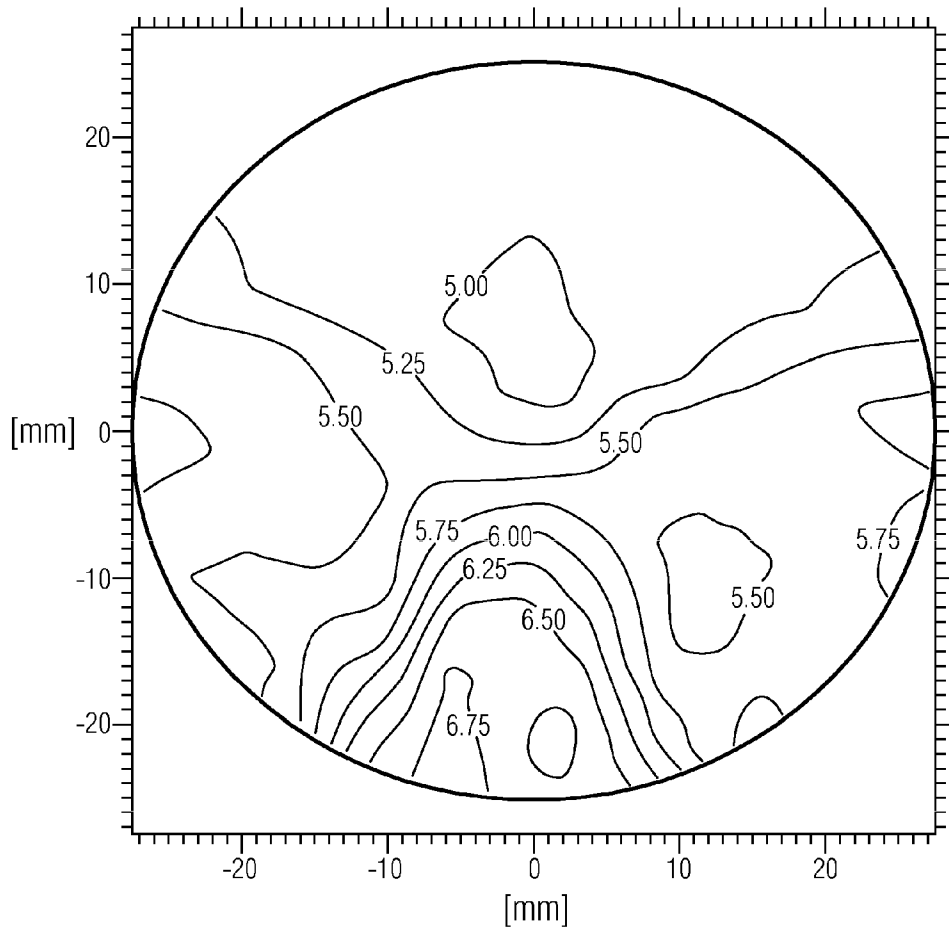


Fig. 13b

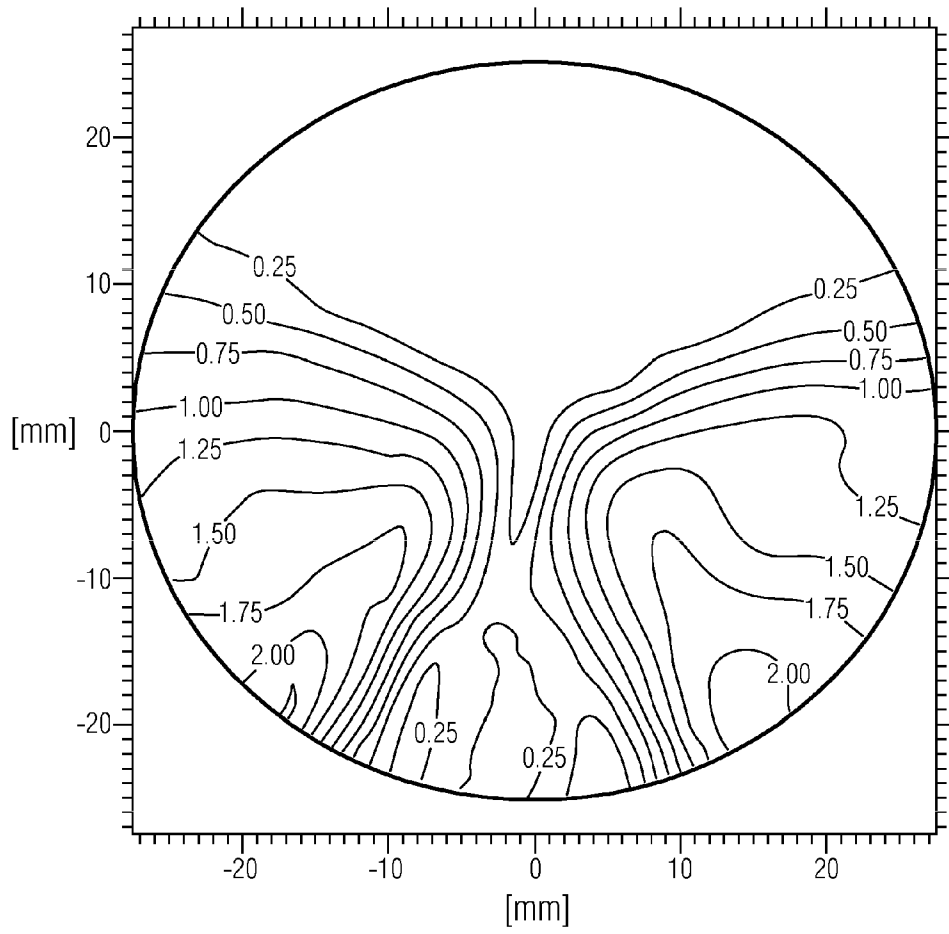


Fig. 13c

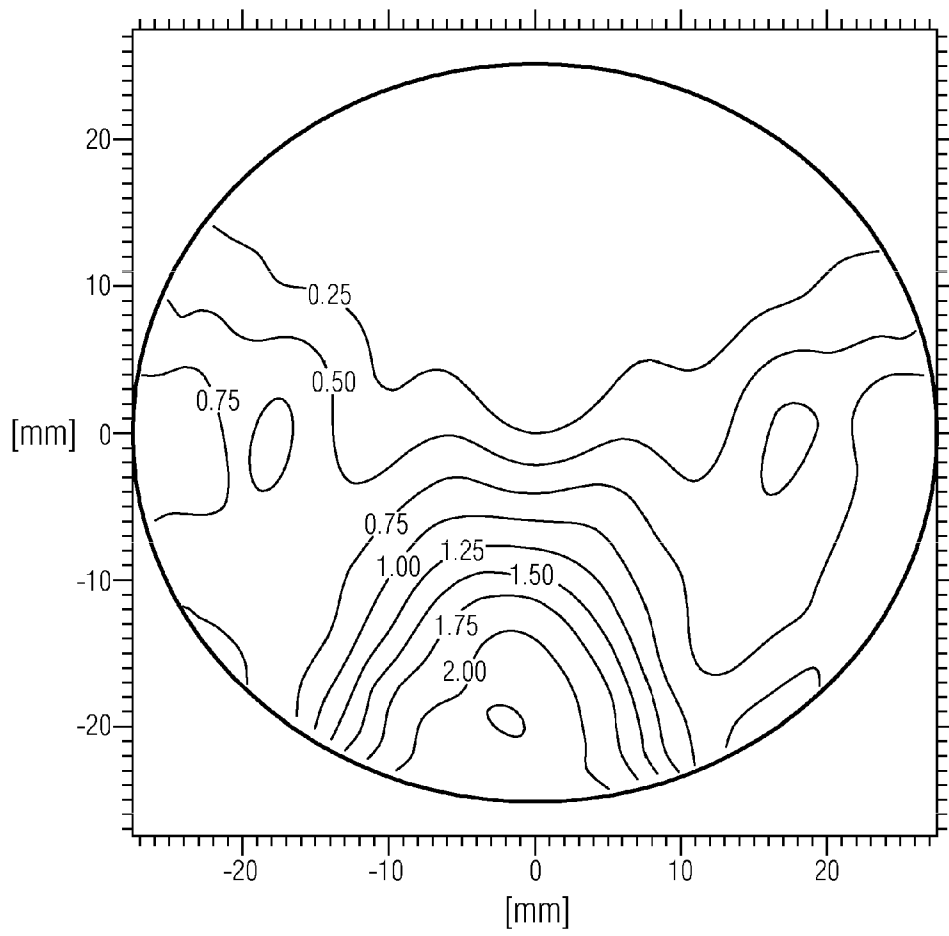


Fig. 14a

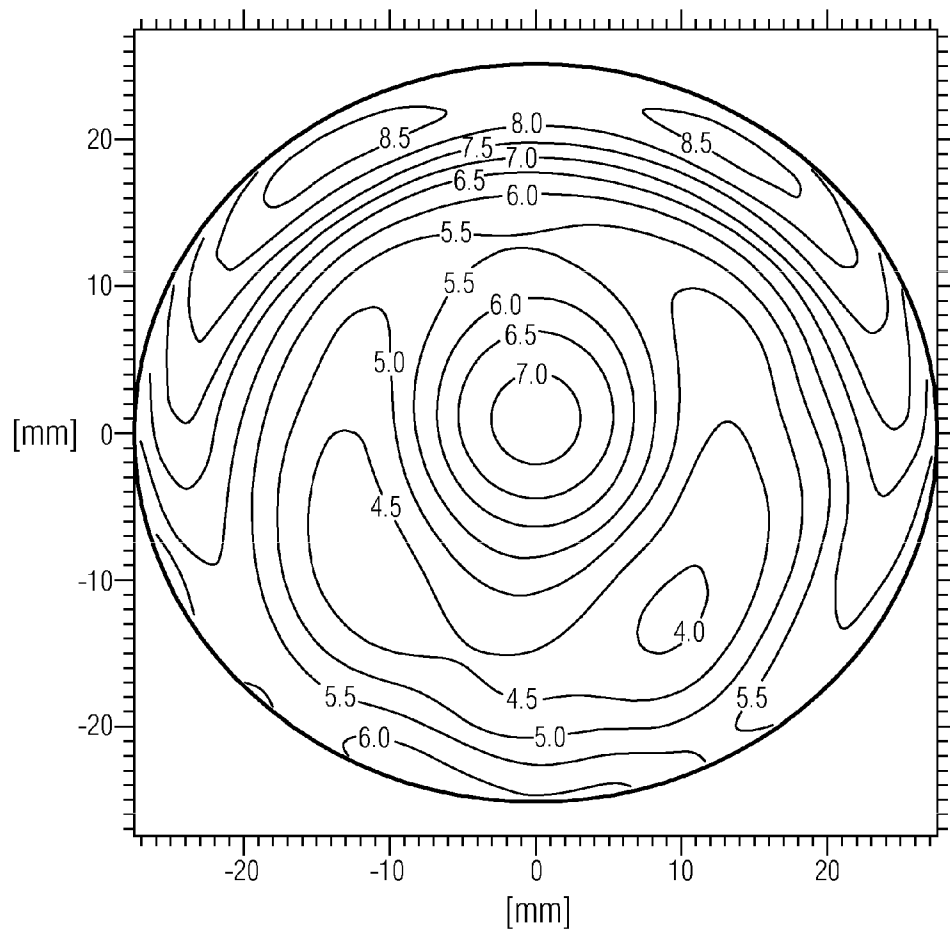


Fig. 14b

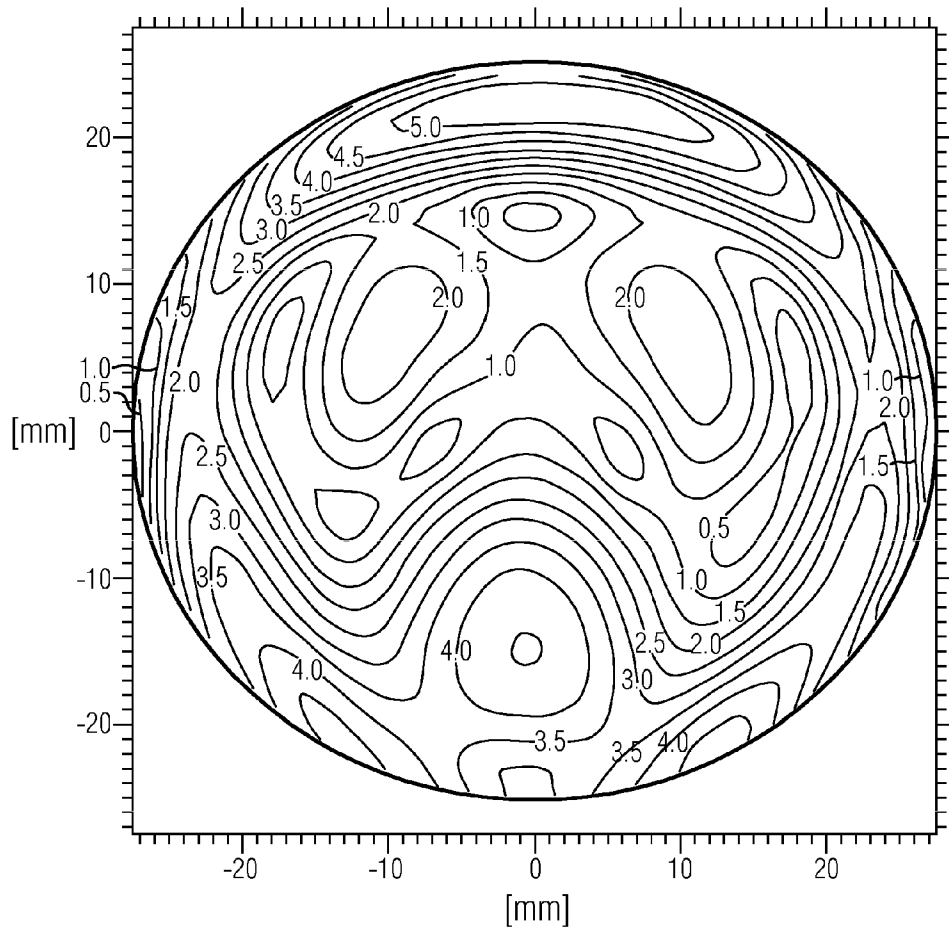


Fig. 14c

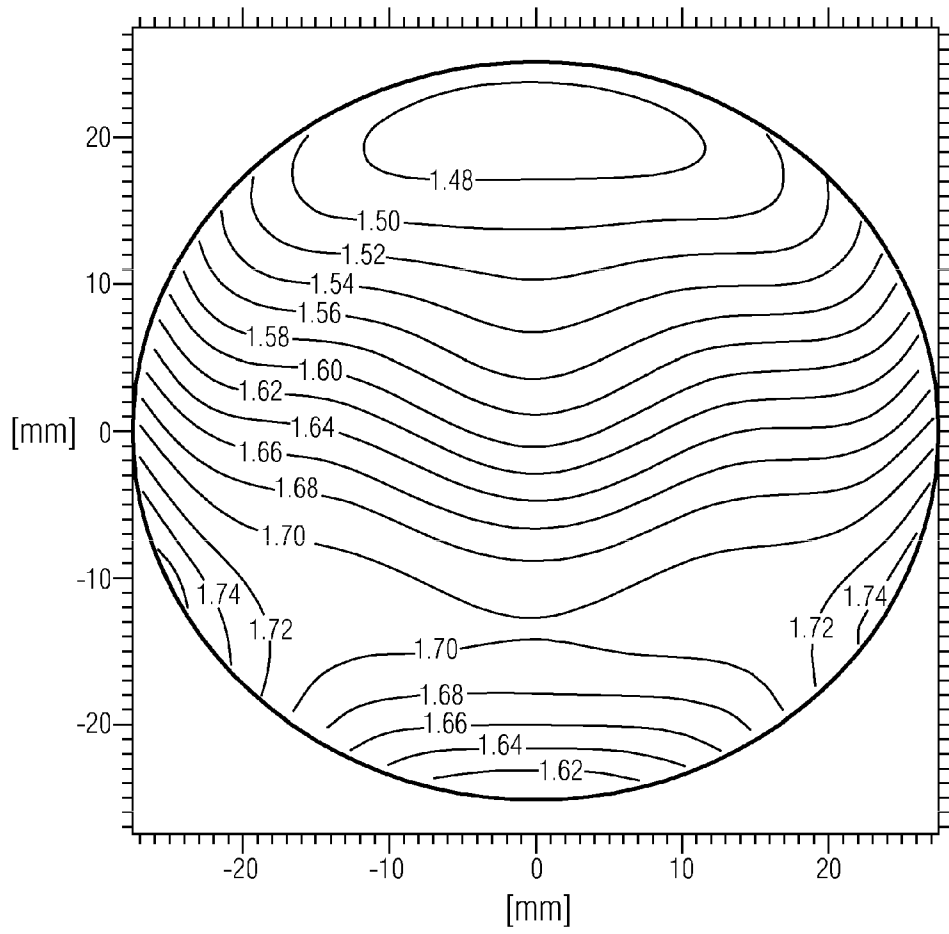


Fig. 15

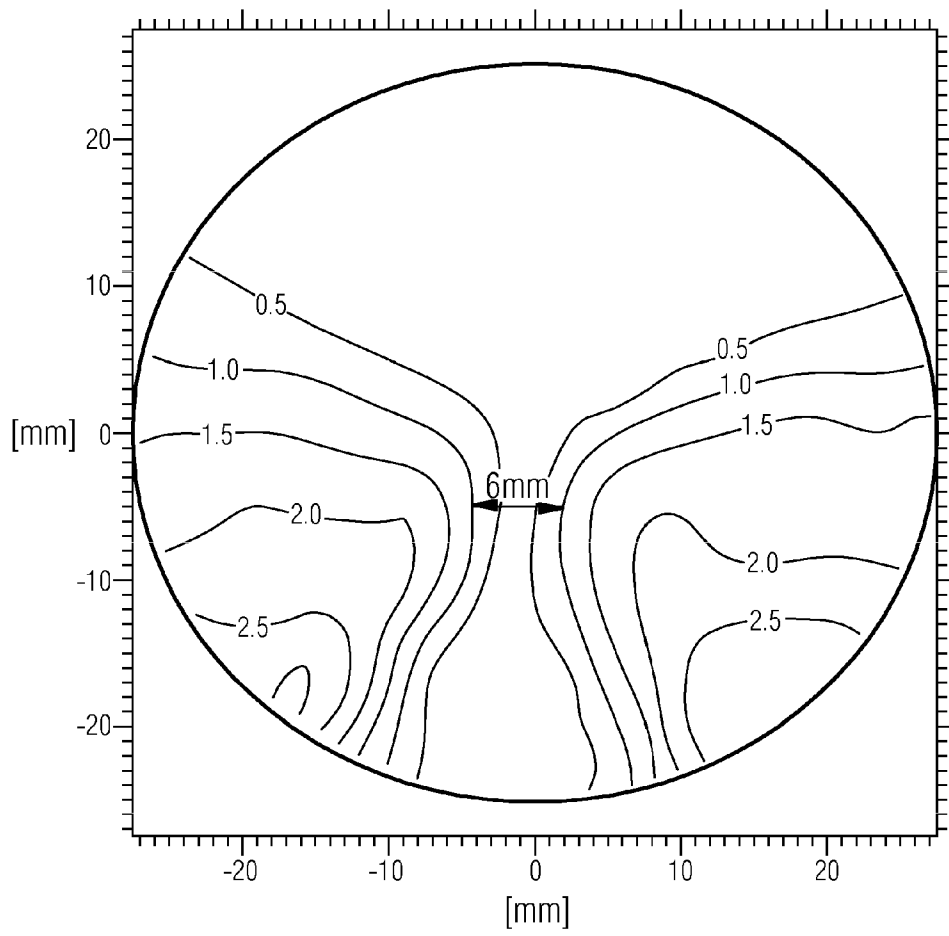


Fig. 16a

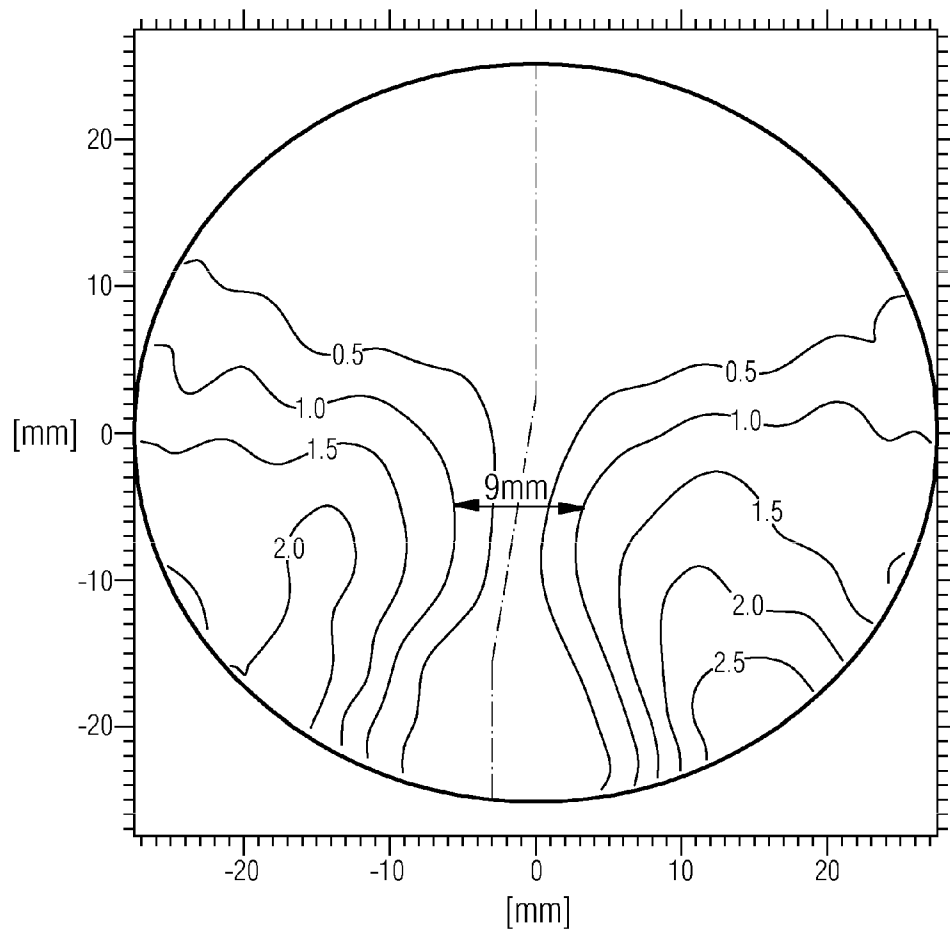


Fig. 16b

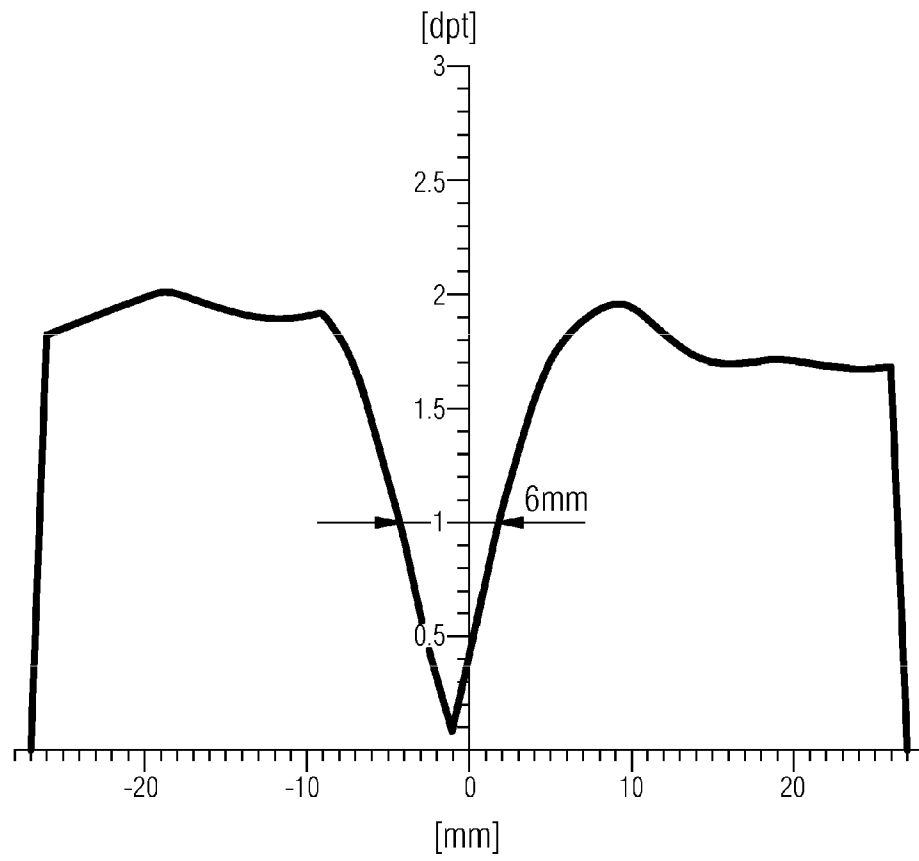


Fig. 17a

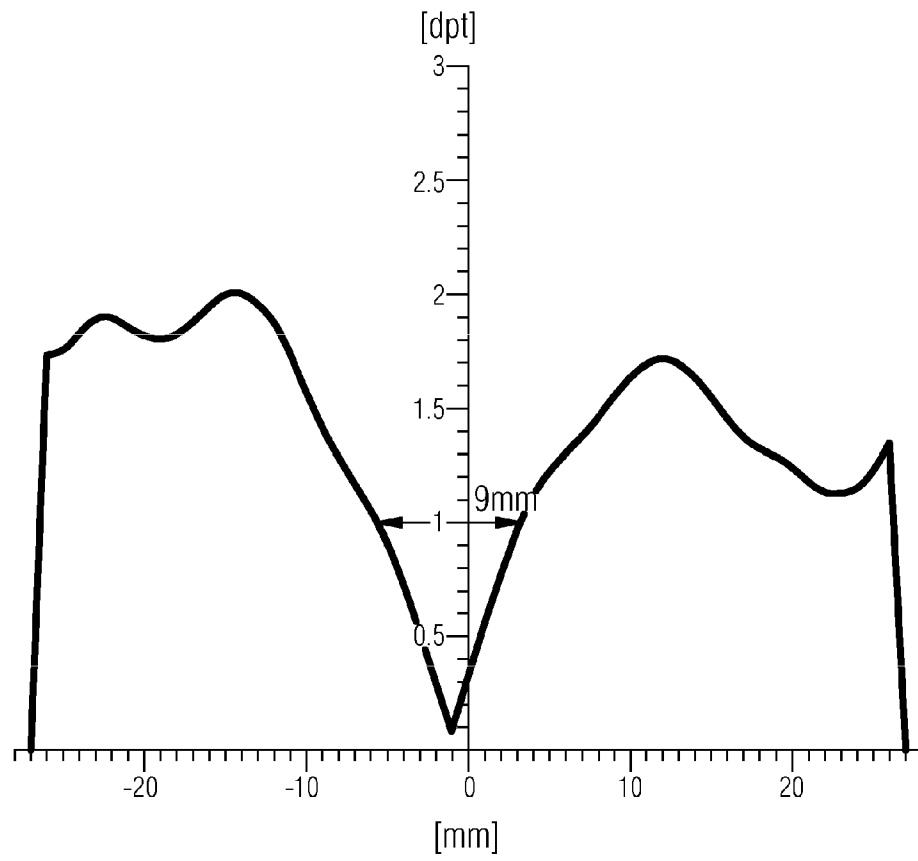


Fig. 17b

	X	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Y														
24														2,9314
22														2,4941
20														2,0933
18														1,7285
16														1,3995
14														1,1058
12														0,8459
10														0,6224
8														0,4321
6														0,2757
4														0,1528
2														0,0632
0														0,0067
-2														-0,0168
-4														-0,0070
-6														0,0373
-8														0,1174
-10														0,2348
-12														0,3908
-14														0,5872
-16														0,8256
-18														1,1078
-20														1,4353
-22														1,8089
-24														2,2290

Fig. 18a (1)

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Y														
24		2,9314												
22		2,4941	2,5030	2,5454	2,6243	2,7368								
20		2,0933	2,1022	2,1454	2,2229	2,3349	2,4814	2,6627						
18		1,7285	1,7375	1,7805	1,8577	1,9591	2,1150	2,2956	2,5110					
16		1,3995	1,4085	1,4513	1,5281	1,6390	1,7843	1,9641	2,1787	2,4283				
14		1,1058	1,1145	1,1572	1,2337	1,3442	1,4889	1,6680	1,8817	2,1305	2,4150			
12		0,8459	0,8555	0,8979	0,9740	1,0841	1,2282	1,4067	1,6198	1,8580	2,1518	2,4719		
10		0,6224	0,6309	0,6731	0,7489	0,8586	1,0022	1,1802	1,3928	1,6406	1,9242	2,2441		
8		0,4321	0,4405	0,4824	0,5580	0,6673	0,8105	0,9881	1,2005	1,4484	1,7322	2,0526	2,4101	
6		0,2757	0,2839	0,3256	0,4010	0,5100	0,6530	0,8305	1,0432	1,2916	1,5762	1,8976	2,2563	
4		0,1528	0,1609	0,2025	0,2777	0,3856	0,5297	0,7077	0,9123	1,1710	1,4572	1,7804	2,1410	
2		0,0632	0,0714	0,1128	0,1880	0,2972	0,4411	0,6204	0,8358	1,0878	1,3766	1,7024	2,0655	
0		0,0067	0,0150	0,0565	0,1318	0,2419	0,3876	0,5693	0,7877	1,0430	1,3354	1,6547	2,0312	2,4355
-2		-0,0168	-0,0083	0,0337	0,1103	0,2224	0,3710	0,5562	0,7785	1,0378	1,3342	1,6675	2,0377	
-4		-0,0070	0,0017	0,0452	0,1243	0,2400	0,3925	0,5823	0,8091	1,0727	1,3732	1,7105	2,0847	
-6		0,0373	0,0464	0,0919	0,1745	0,2947	0,4524	0,5473	0,8790	1,1473	1,4523	1,7939	2,1723	
-8		0,1174	0,1269	0,1748	0,2614	0,3867	0,5500	0,7507	0,9879	1,2613	1,5710	1,9174	2,3006	
-10		0,2348	0,2445	0,2947	0,3854	0,5159	0,6852	0,8920	1,1352	1,4141	1,7293	2,0810		
-12		0,3908	0,4007	0,4530	0,5474	0,6828	0,8580	1,0712	1,3205	1,6057	1,9269	2,2848		
-14		0,5872	0,5972	0,5512	0,7487	0,8887	1,0695	1,2889	1,5449	1,8367	2,1645			
-16		0,8256	0,8357	0,8910	0,9910	1,1348	1,3207	1,5452	1,8088	2,1076				
-18		1,1078	1,1179	1,1740	1,2757	1,4225	1,6127	1,8437	2,1129					
-20		1,4353	1,4453	1,5017	1,6043	1,7531	1,9467	2,1826						
-22		1,8089	1,8188	1,8753	1,9783	2,1283								
-24		2,2290												

Fig. 18a (2)

	X	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Y														
24														3,1026
22										2,8724	2,7320	2,6330	2,5738	2,5534
20								2,7827	2,5634	2,3882	2,2544	2,1599	2,1033	2,0839
18							2,6118	2,3574	2,1477	1,9794	1,8501	1,7581	1,7028	1,6838
16						2,5386	2,2475	2,0029	1,7995	1,6345	1,5053	1,4143	1,3585	1,3395
14					2,5589	2,2289	1,9474	1,7083	1,5071	1,3416	1,2111	1,1165	1,0590	1,0393
12				2,6704	2,2981	1,9774	1,7012	1,4537	1,2609	1,0914	0,9552	0,8573	0,7958	0,7762
10				2,4540	2,0905	1,7756	1,5013	1,2622	1,0551	0,8797	0,7381	0,6338	0,5698	0,5481
8				2,6982	2,2875	1,9300	1,6175	1,3426	1,1001	0,8874	0,7051	0,5566	0,4455	0,3787
6				2,5712	2,1661	1,8117	1,4996	1,2227	0,9760	0,7574	0,5683	0,4131	0,2985	0,2263
4				2,4881	2,0854	1,7331	1,4200	1,1405	0,8895	0,6656	0,4705	0,3096	0,1895	0,1154
2				2,4452	2,0457	1,6921	1,3775	1,0952	0,8406	0,6122	0,4125	0,2477	0,1244	0,0483
0		2,8981	2,4431	2,0421	1,6871	1,3705	1,0858	0,8284	0,5971	0,3948	0,2278	0,1030	0,0260	0,0000
-2			2,4768	2,0735	1,7162	1,3975	1,1107	0,8515	0,6189	0,4160	0,2489	0,1242	0,0475	0,0218
-4				2,5457	2,1385	1,7779	1,4565	1,1679	0,9078	0,6755	0,4738	0,3083	0,1853	0,1098
-6				2,6487	2,2358	1,8706	1,5459	1,2554	0,9950	0,7638	0,5646	0,4020	0,2816	0,2033
-8				2,7847	2,3644	1,9930	1,6640	1,3710	1,1103	0,8807	0,6842	0,5251	0,4081	0,3373
-10					2,5236	2,1444	1,8096	1,5131	1,2512	1,0227	0,8290	0,6733	0,5597	0,4917
-12					2,7138	2,3248	1,9821	1,6803	1,4159	1,1873	0,9955	0,8429	0,7325	0,6672
-14							2,5353	2,1822	1,8725	1,6032	1,3729	1,1818	1,0314	0,9238
-16								2,4118	2,0911	1,8140	1,5793	1,3870	1,2375	1,1317
-18									2,0000	2,0507	1,8086	1,6122	1,4514	1,3558
-20													1,2951	1,2788
-22													1,5978	1,5364
-24													1,8618	1,7820
														2,0697

Fig. 18b (1)

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Y														
24		3,1026												
22		2,5534	2,5715	2,6284	2,7245	2,8513								
20		2,0839	2,1013	2,1557	2,2475	2,3778	2,5486	2,7623						
18		1,6838	1,7010	1,7542	1,8436	1,9697	2,1337	2,3379	2,5866					
16		1,3395	1,3570	1,4107	1,5003	1,6254	1,7853	1,9843	2,2224	2,5050				
14		1,0393	1,0576	1,1134	1,2056	1,3329	1,4945	1,6904	1,9229	2,1960	2,5158			
12		0,7762	0,7958	0,8547	0,9513	1,0833	1,2487	1,4453	1,6771	1,9445	2,2548	2,6151		
10		0,5481	0,5590	0,6316	0,7336	0,8718	1,0431	1,2450	1,4772	1,7426	2,0468	2,3977		
8		0,3558	0,3781	0,4444	0,5521	0,6971	0,8751	1,0826	1,3182	1,5840	1,8854	2,2300	2,6266	
6		0,2021	0,2256	0,2954	0,4083	0,5598	0,7444	0,9576	1,1972	1,4649	1,7656	2,1058	2,4974	
4		0,0902	0,1147	0,1873	0,3047	0,4616	0,6518	0,8599	1,1134	1,3834	1,6848	2,0246	2,4114	
2		0,0225	0,0478	0,1225	0,2431	0,4039	0,5982	0,8199	1,0664	1,3387	1,6414	1,9812	2,3652	
0		0,0000	0,0258	0,1019	0,2244	0,3873	0,5837	0,8075	1,0559	1,3300	1,6343	1,9750	2,3559	2,7981
-2		0,0218	0,0481	0,1245	0,2475	0,4107	0,6073	0,8314	1,0805	1,3560	1,6618	2,0041	2,3905	
-4		0,0850	0,1116	0,1879	0,3099	0,4718	0,6668	0,8899	1,1388	1,4150	1,7224	2,0668	2,4559	
-6		0,1847	0,2116	0,2872	0,4074	0,5668	0,7592	0,9802	1,2284	1,5051	1,8142	2,1616	2,5549	
-8		0,3154	0,3426	0,4172	0,5353	0,6916	0,8810	1,0999	1,3472	1,6248	1,9364	2,2881	2,6872	
-10		0,4714	0,4990	0,5727	0,6886	0,8422	1,0291	1,2454	1,4937	1,7731	2,0888	2,4457		
-12		0,6484	0,6763	0,7490	0,8633	1,0151	1,2007	1,4178	1,6667	1,9499	2,2719	2,6382		
-14		0,8431	0,8710	0,9430	1,0554	1,2078	1,3940	1,6132	1,8562	2,1560	2,4872			
-16		1,0535	1,0814	1,1531	1,2668	1,4196	1,6088	1,8331	2,0935	2,3935				
-18		1,2788	1,3070	1,3794	1,4948	1,6513	1,8465	2,0796	2,3516					
-20		1,5204	1,5495	1,6238	1,7432	1,9060	2,1107	2,3553						
-22		1,7820	1,8128	1,8908	2,0161	2,1882								
-24		2,0697												

Fig. 18b (2)

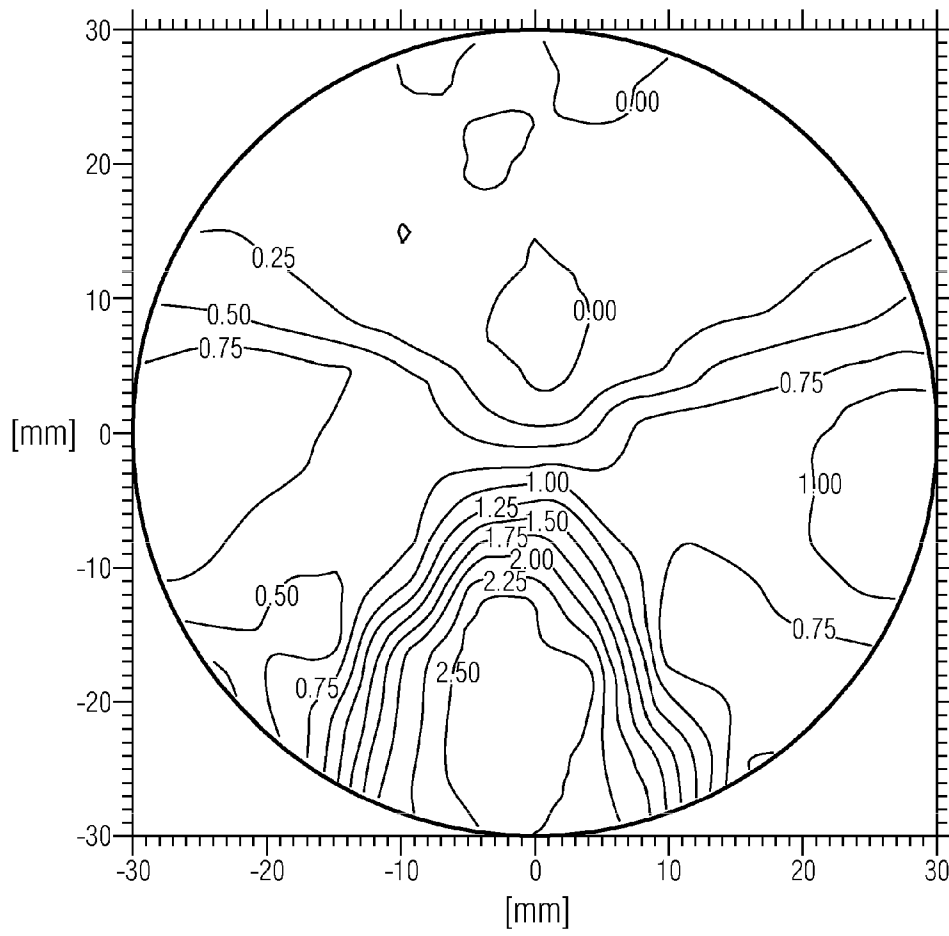


Fig. 19a

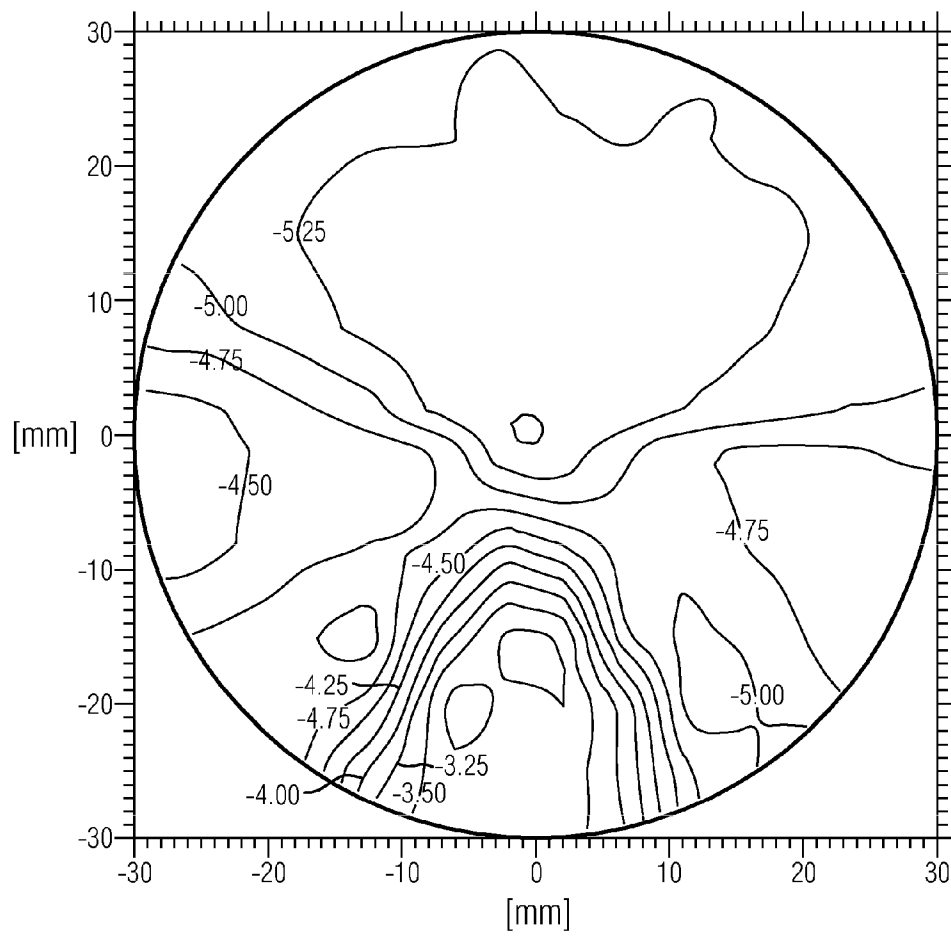


Fig. 19b

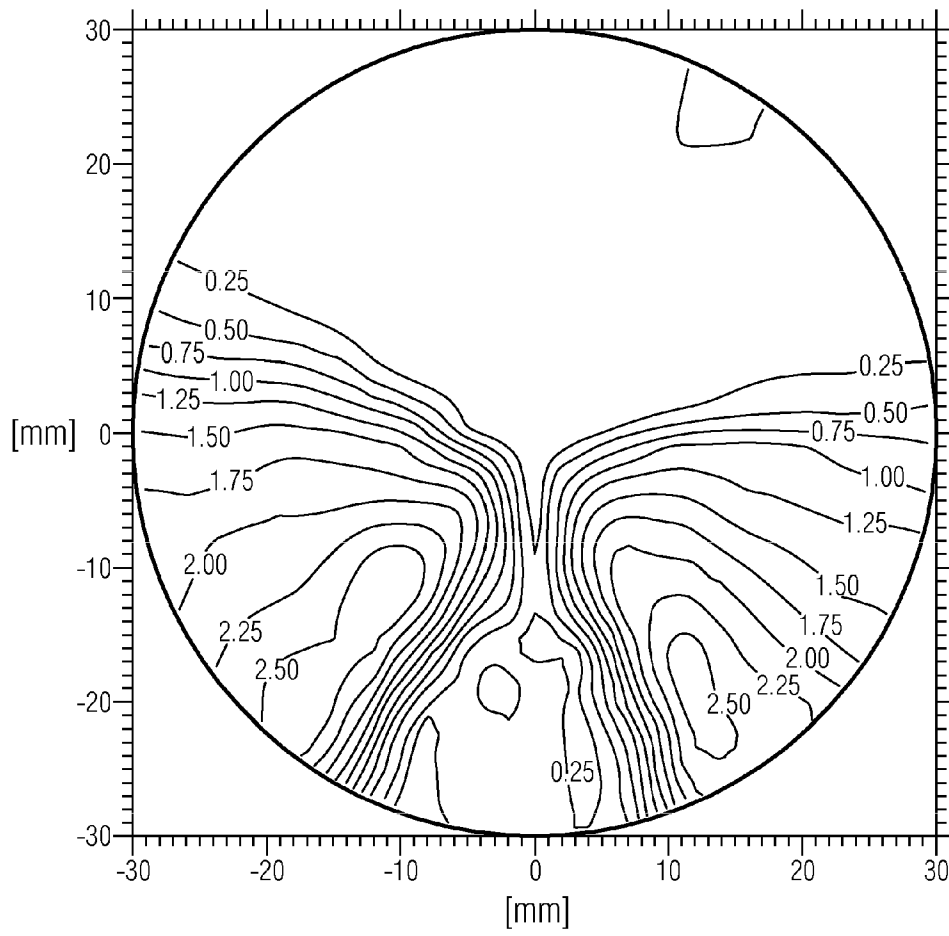


Fig. 19c

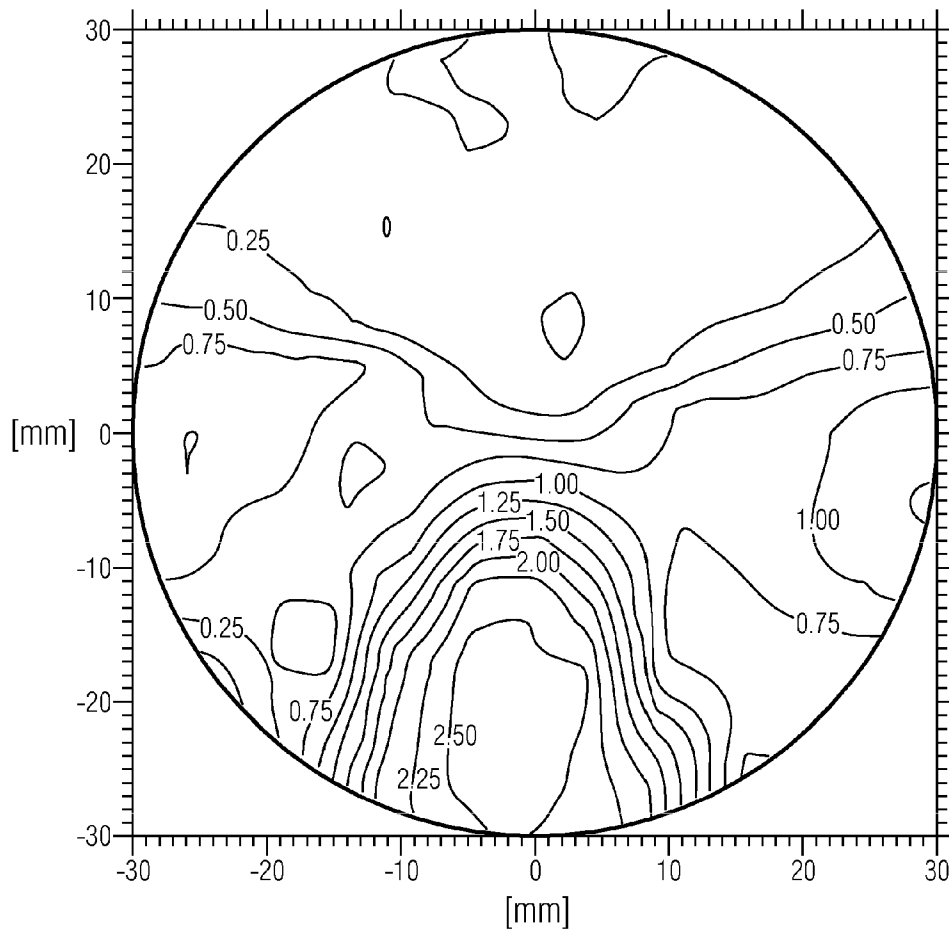


Fig. 20a

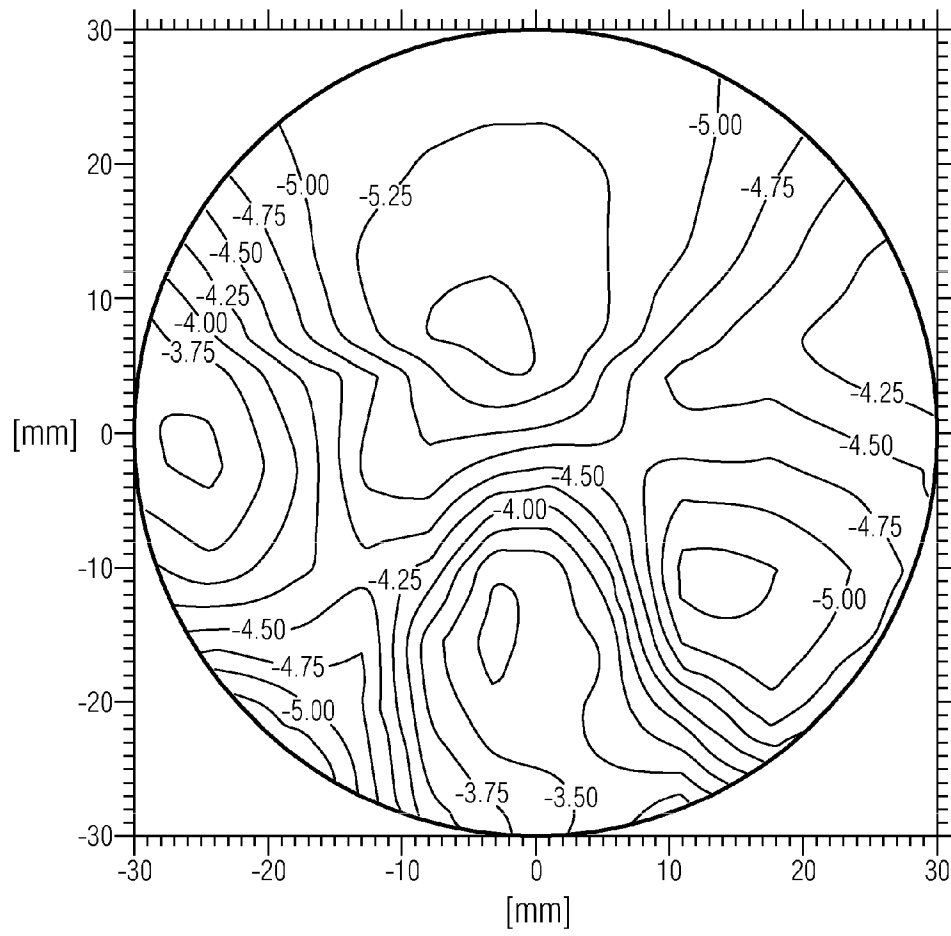


Fig. 20b

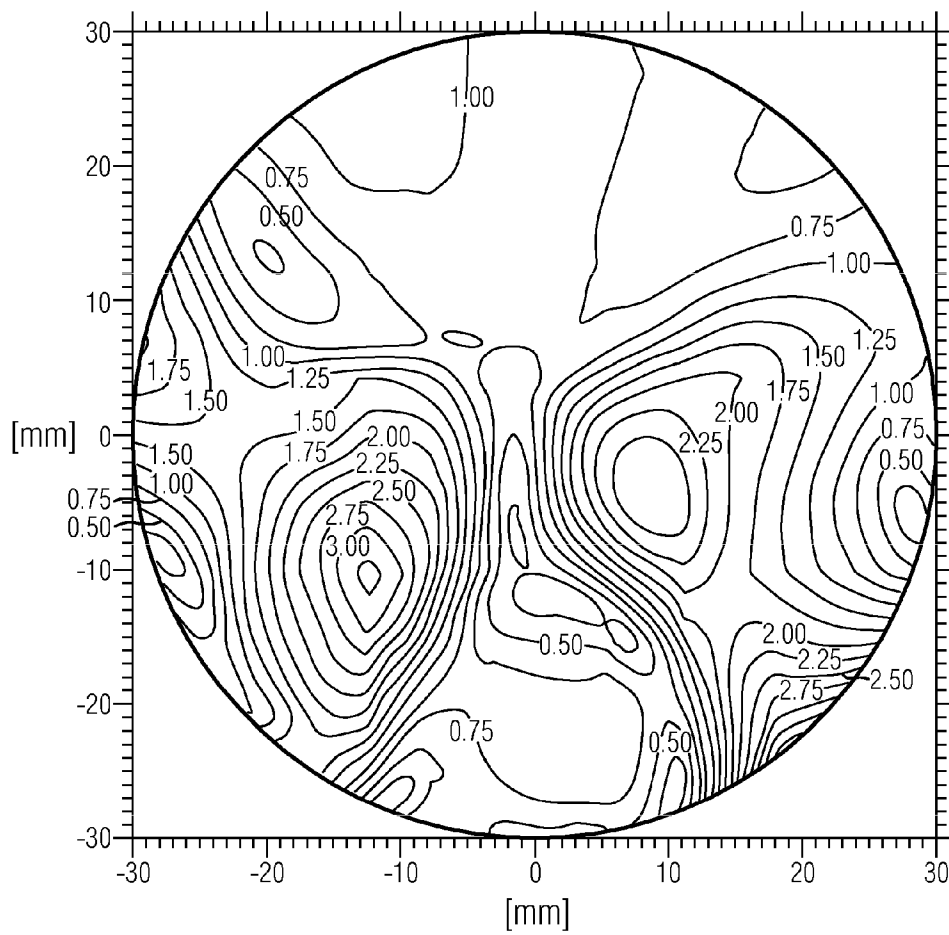


Fig. 20c

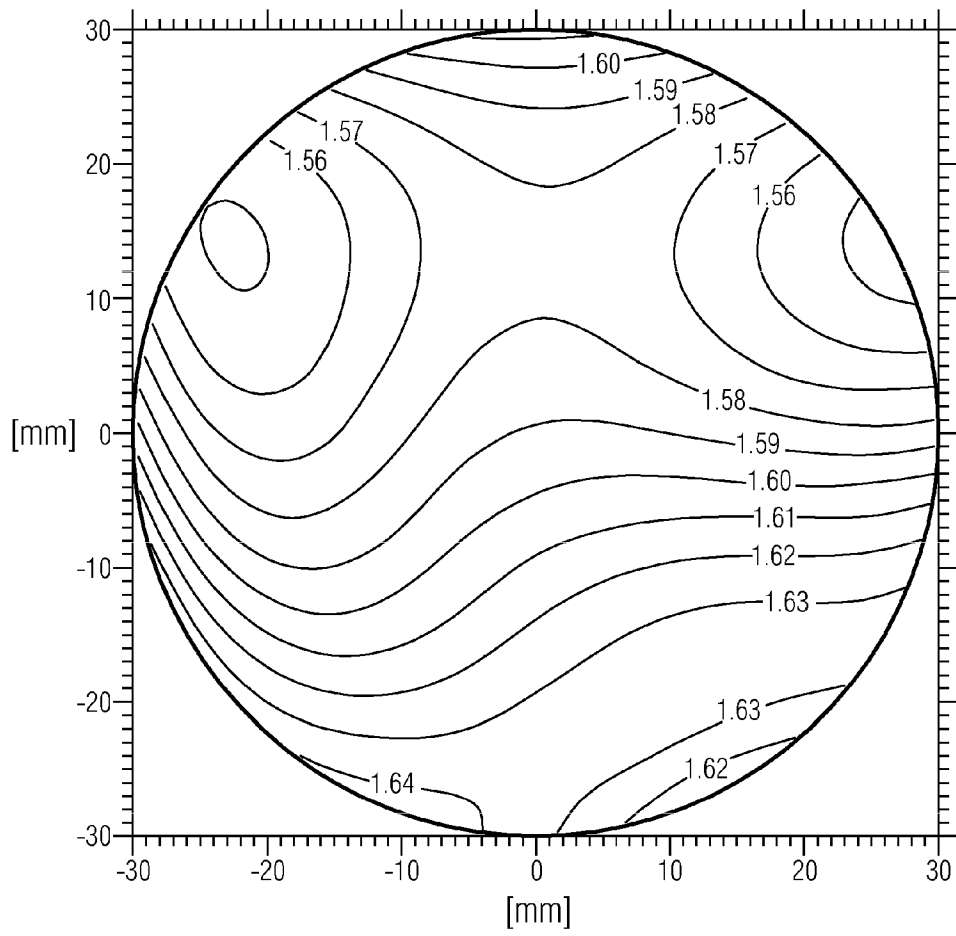


Fig. 21

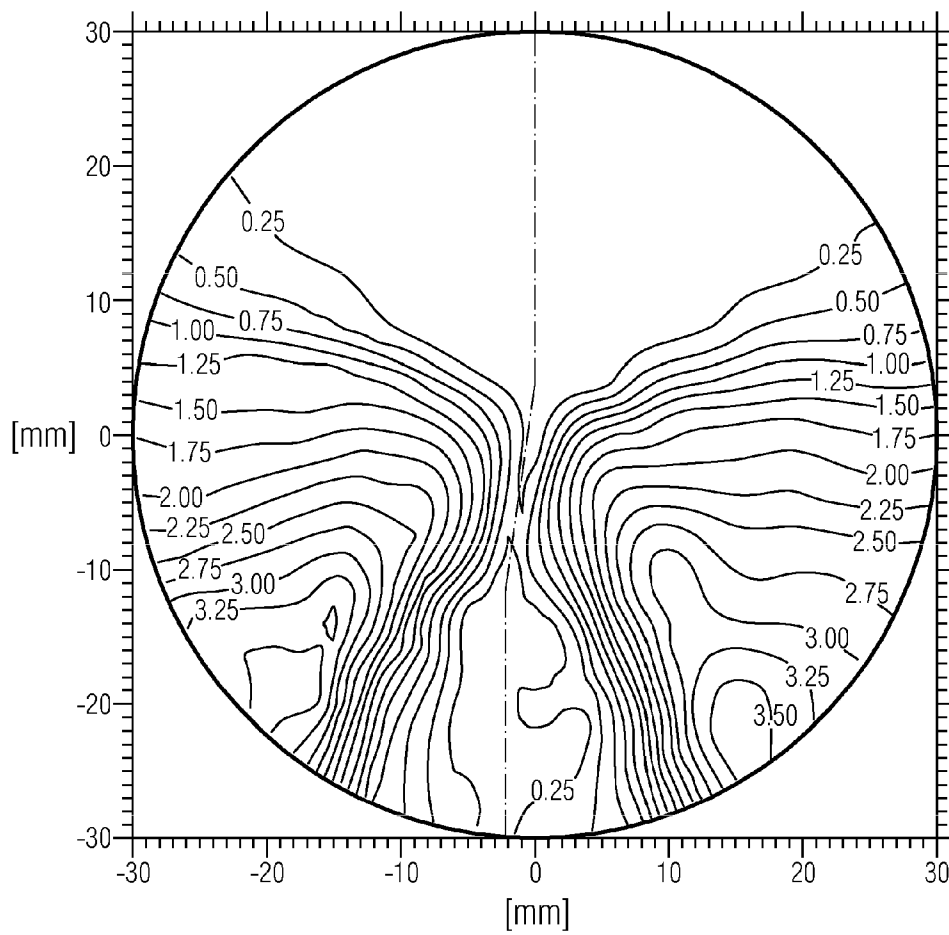


Fig. 22a

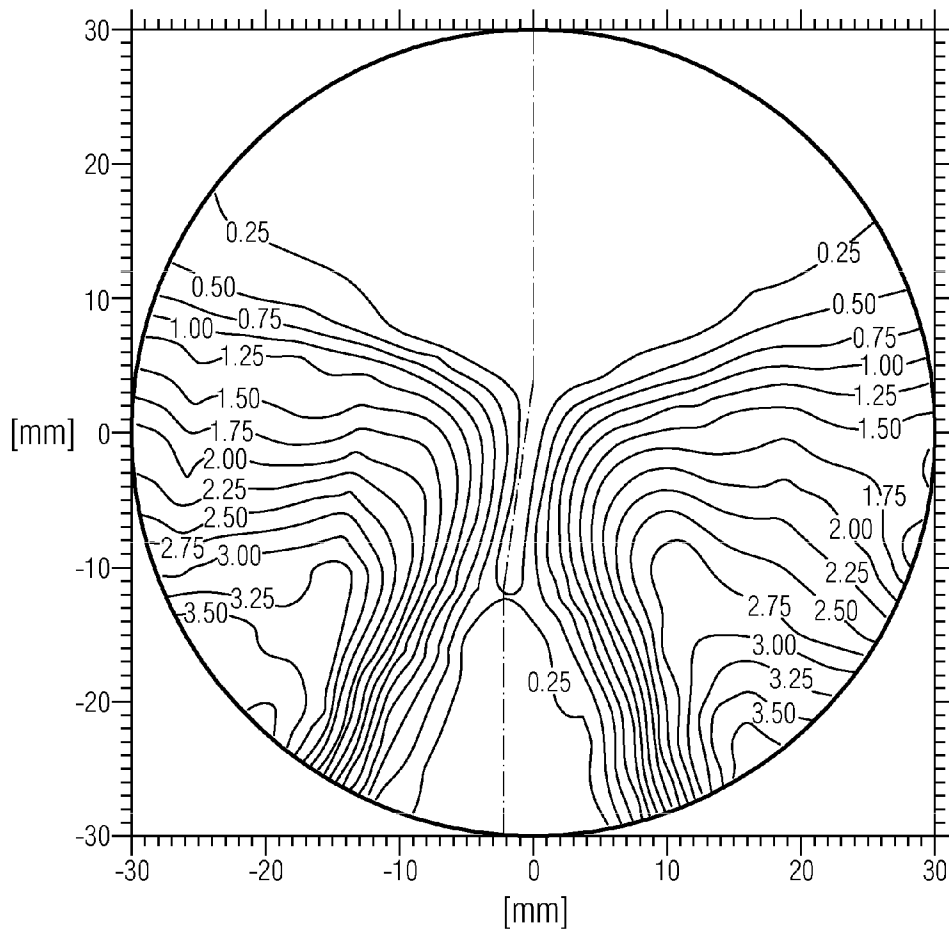


Fig. 22b

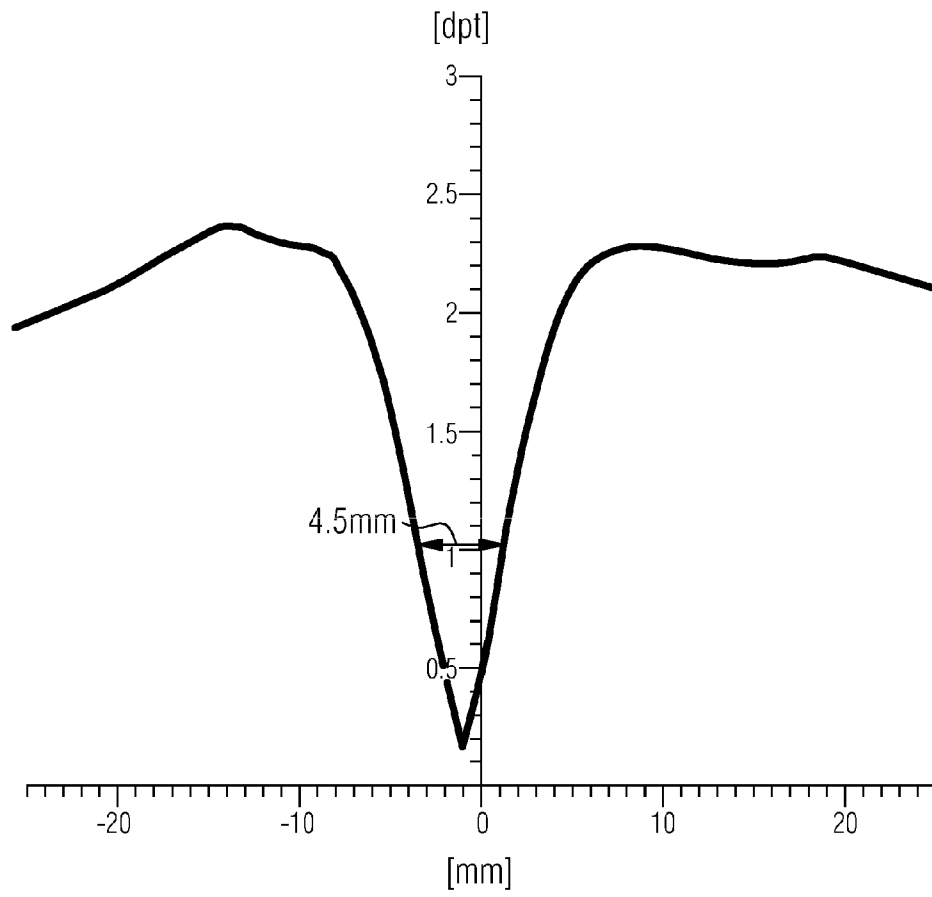


Fig. 23a

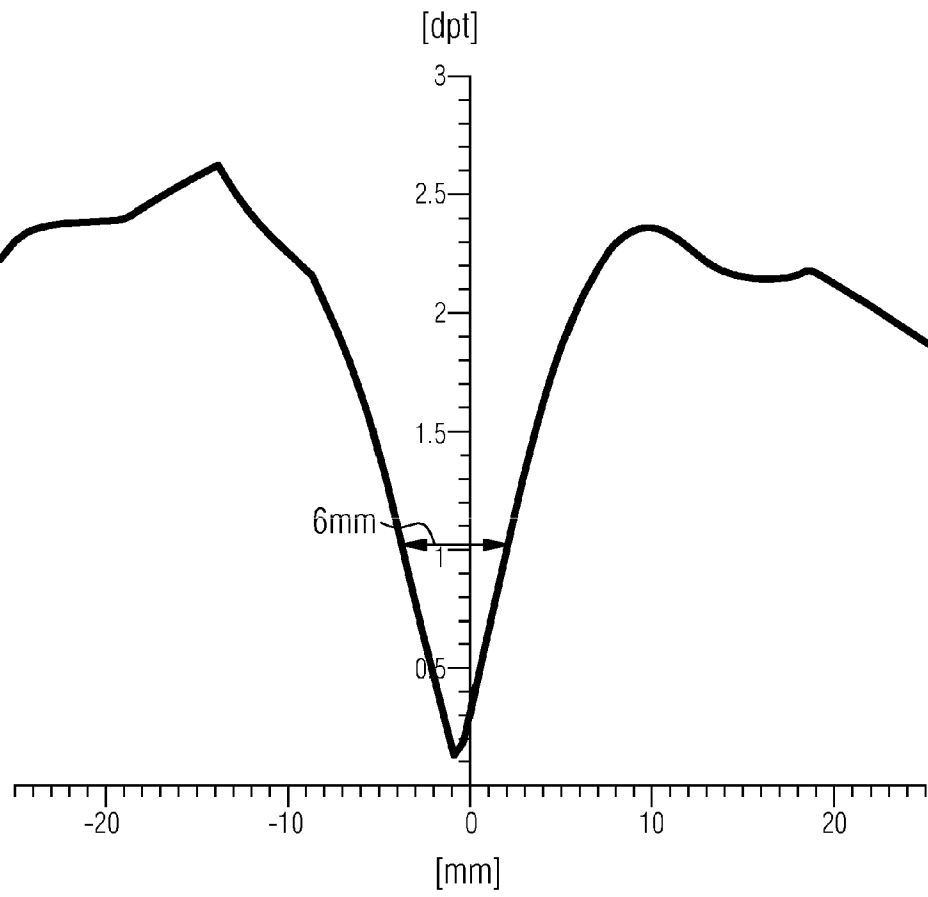


Fig. 23b

	X	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Y														
24														2,4507
22														2,0639
20														1,7146
18														1,4016
16														1,1244
14														0,8830
12														0,6774
10														0,5075
8														0,3732
6														0,2742
4														0,2138
2														0,1949
0														0,2133
-2														0,2633
-4														0,3399
-6														0,4401
-8														0,5624
-10														0,7054
-12														0,8676
-14														1,0481
-16														1,2464
-18														1,4625
-20														1,6978
-22														1,9536
-24														2,2315

Fig. 24a (1)

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Y														
24		2,9314												
22		2,4941	2,5030	2,5454	2,6243	2,7368								
20		2,0933	2,1022	2,1454	2,2229	2,3349	2,4814	2,6627						
18		1,7286	1,7375	1,7805	1,8577	1,9691	2,1150	2,2956	2,5110					
16		1,3996	1,4085	1,4513	1,5281	1,6390	1,7843	1,9641	2,1787	2,4283				
14		1,1058	1,1146	1,1572	1,2337	1,3442	1,4889	1,6680	1,8817	2,1306	2,4150			
12		0,4869	0,8555	0,8979	0,9740	1,0841	1,2282	1,4067	1,6198	1,8680	2,1518	2,4719		
10		0,6224	0,6309	0,6731	0,7489	0,8586	1,0022	1,1802	1,3928	1,6406	1,9242	2,2441		
8		0,4321	0,4405	0,4824	0,5580	0,6673	0,8105	0,9881	1,2006	1,4484	1,7322	2,0526	2,4101	
6		0,2757	0,2839	0,3256	0,4010	0,5100	0,6530	0,8305	1,0432	1,2916	1,5762	1,8976	2,2563	
4		0,1528	0,1609	0,2025	0,2777	0,3866	0,5297	0,7077	0,9213	1,1710	1,4572	1,7804	2,1410	
2		0,0632	0,0714	0,1128	0,1880	0,2972	0,4411	0,6204	0,8358	1,0878	1,3766	1,7024	2,0655	
0		0,0067	0,0150	0,0565	0,1318	0,2419	0,3876	0,5693	0,7877	1,0430	1,3354	1,6647	2,0312	2,4355
-2		-0,0168	-0,0083	0,0337	0,1103	0,2224	0,3710	0,5562	0,7785	1,0378	1,3342	1,6675	2,0377	
-4		-0,0070	0,0017	0,0452	0,1243	0,2400	0,3926	0,5823	0,8091	1,0727	1,3732	1,7105	2,0847	
-6		0,0373	0,0464	0,0919	0,1745	0,2947	0,4524	0,6473	0,8790	1,1473	1,4523	1,7939	2,1723	
-8		1,1174	0,1269	0,1748	0,2614	0,3867	0,5500	0,7507	0,9879	1,2613	1,5710	1,9174	2,3006	
-10		0,2348	0,2445	0,2947	0,3854	0,5159	0,6852	0,8920	1,1352	1,4141	1,7293	2,0810		
-12		0,3908	0,4007	0,4530	0,5474	0,6828	0,8580	1,0712	1,3206	1,6057	1,9269	2,2848		
-14		0,5872	0,5972	0,6512	0,7487	0,8887	1,0695	1,2889	1,5449	1,8367	2,1646			
-16		0,8256	0,8357	0,8910	0,9910	1,1348	1,3207	1,5462	1,8088	2,1076				
-18		1,1078	1,1179	1,1740	1,2757	1,4225	1,6127	1,8437	2,1129					
-20		1,4353	1,4453	1,5017	1,6043	1,7531	1,9467	2,1826						
-22		1,8089	1,8188	1,8753	1,9783	2,1283								
-24		2,2290												

Fig. 24a (2)

	X	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Y														
24														2,5418
22														2,1509
20														1,7929
18														1,4688
16														1,1786
14														0,9223
12														0,7000
10														0,5118
8														0,3578
6														0,2382
4														0,1533
2														0,1030
0														0,0858
-2														0,1002
-4														0,1445
-6														0,2168
-8														0,3150
-10														0,4370
-12														0,5810
-14														0,7471
-16														0,9358
-18														1,1475
-20														1,3829
-22														1,6424
-24														1,9266

Fig. 24b (1)

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Y														
24		2,5418												
22		2,1509	2,1324	2,1523	2,2104	2,3064								
20		1,7929	1,7743	1,7942	1,8524	1,9485	2,0821	2,2528						
18		1,4688	1,4501	1,4700	1,5282	1,6243	1,7578	1,9281	2,1348					
16		1,1786	1,1598	1,1796	1,2377	1,3336	1,4666	1,6364	1,8422	2,0834				
14		0,9223	0,9032	0,9229	0,9807	1,0761	1,2085	1,3772	1,5816	1,8210	2,0948			
12		0,7000	0,6805	0,6997	0,7570	0,8516	0,9829	1,1501	1,3525	1,5895	1,8604	2,1646		
10		0,5118	0,4915	0,5100	0,5663	0,6599	0,7896	0,9546	1,1542	1,3879	1,6552	1,9556		
8		0,3578	0,3366	0,3539	0,4088	0,5004	0,6277	0,7896	0,9854	1,2150	1,4780	1,7741	2,1029	
6		0,2382	0,2158	0,2314	0,2841	0,3728	0,4964	0,6539	0,8448	1,0693	1,3273	1,6188	1,9433	
4		0,1533	0,1290	0,1421	0,1913	0,2755	0,3940	0,5459	0,7311	0,9499	1,2026	1,4892	1,8094	
2		0,1030	0,0760	0,0848	0,1287	0,2068	0,3189	0,4645	0,6435	0,8565	1,1039	1,3859	1,7018	
0		0,0858	0,0554	0,0588	0,0960	0,1668	0,2714	0,4100	0,5827	0,7900	1,0322	1,3095	1,6213	1,9669
-2		0,1002	0,0661	0,0635	0,0931	0,1557	0,2521	0,3832	0,5494	0,7511	0,9883	1,2612	1,5692	
-4		0,1445	0,1067	0,0980	0,1198	0,1738	0,2617	0,3850	0,5446	0,7407	0,9732	1,2419	1,5464	
-6		0,2168	0,1756	0,1613	0,1758	0,2214	0,3006	0,4162	0,5693	0,7599	0,9877	1,2525	1,5537	
-8		0,3150	0,2711	0,2522	0,2603	0,2983	0,3696	0,4778	0,6245	0,8097	1,0329	1,2938	1,5919	
-10		0,4370	0,3913	0,3693	0,3727	0,4045	0,4690	0,5706	0,7114	0,8912	1,1098	1,3667		
-12		0,5810	0,5348	0,5115	0,5123	0,5400	0,5993	0,6954	0,8308	1,0054	1,2191	1,4717		
-14		0,7471	0,7015	0,6785	0,6786	0,7041	0,7601	0,8519	0,9823	1,1517	1,3603			
-16		0,9358	0,8917	0,8700	0,8708	0,8961	0,9507	1,0394	1,1653	1,3294				
-18		1,1475	1,1055	1,0858	1,0886	1,1154	1,1701	1,2570	1,3788					
-20		1,3829	1,3435	1,3264	1,3318	1,3612	1,4172	1,5029						
-22		1,6424	1,6060	1,5920	1,6006	1,6328								
-24		1,9266												

Fig. 24b (2)

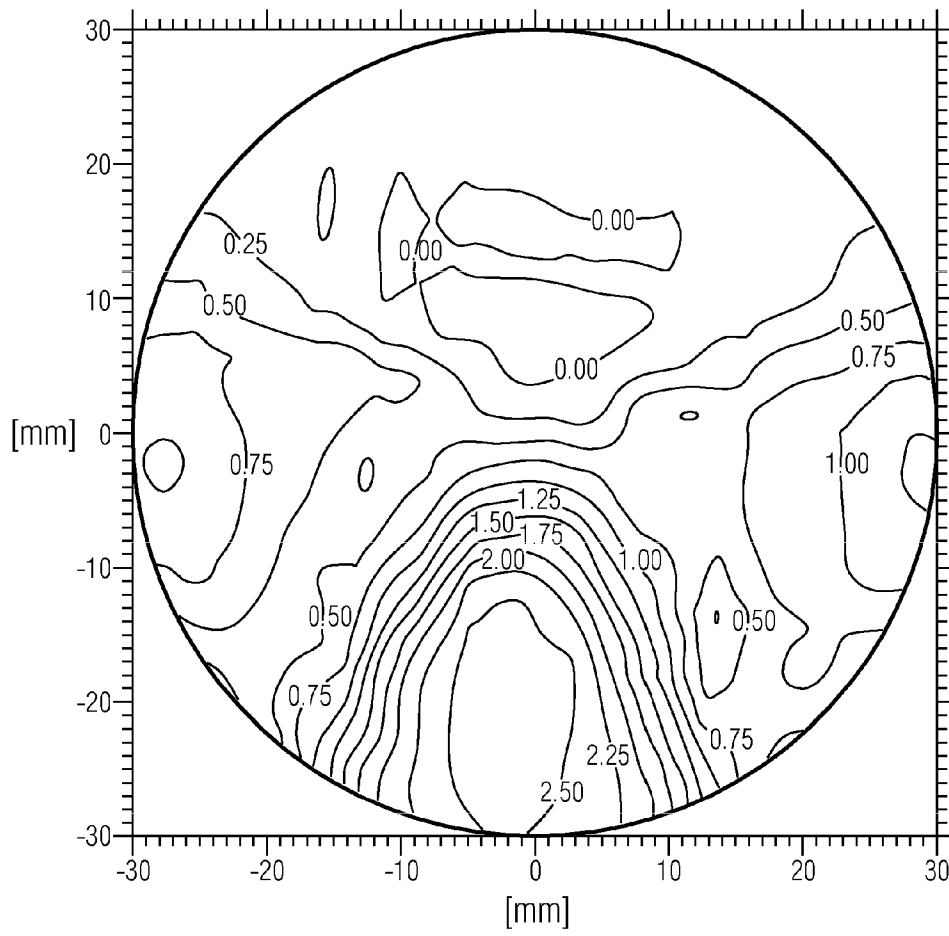


Fig. 25a

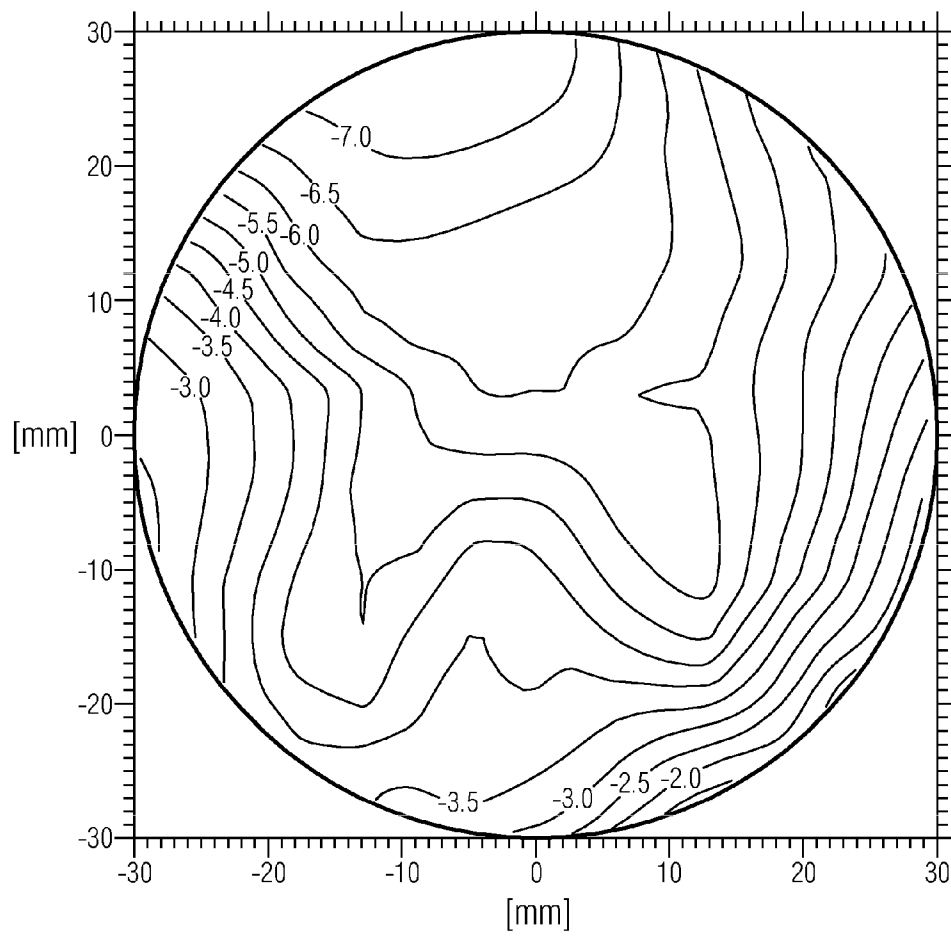


Fig. 25b

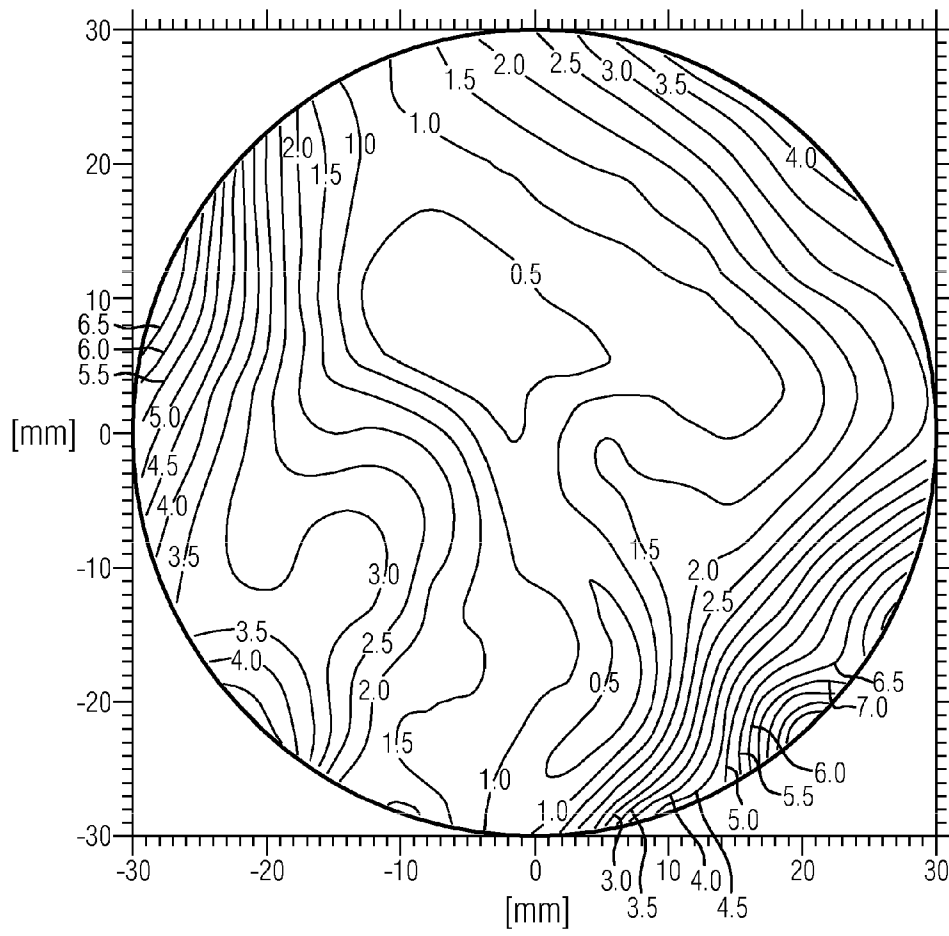


Fig. 25c

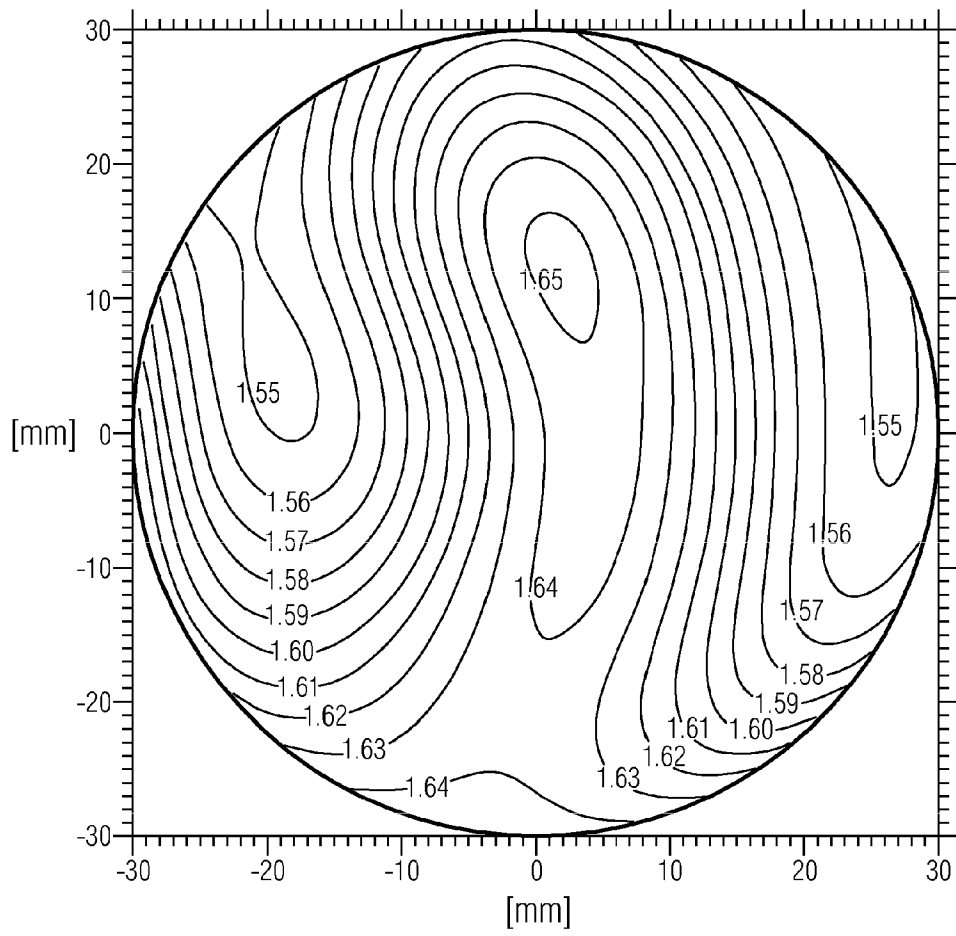


Fig. 26

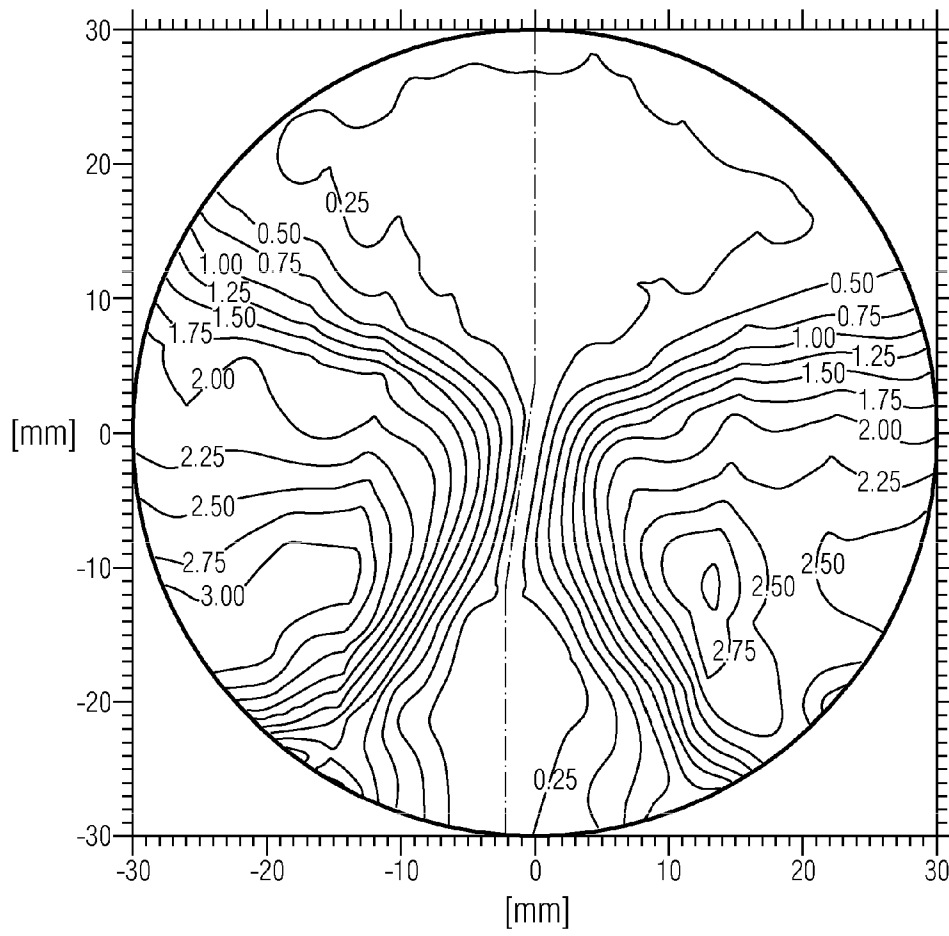


Fig. 27a

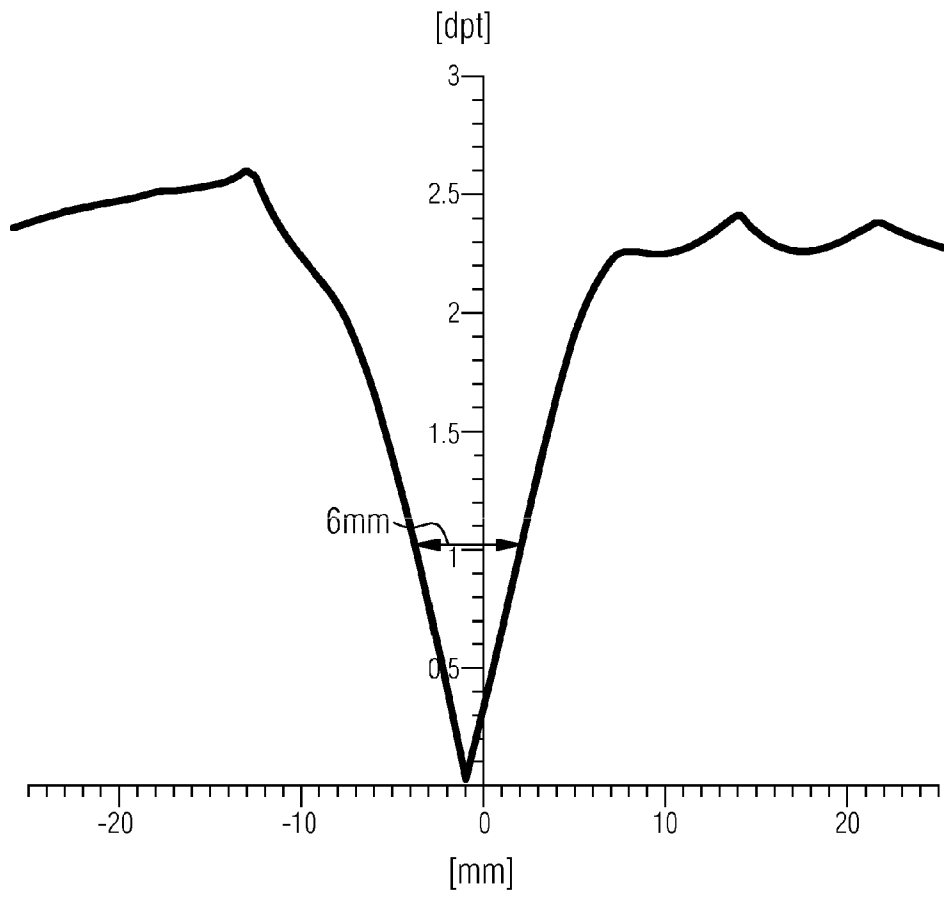


Fig. 27b

	X	-24	-22	-20	-18	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0
Y														
24										0,9735	0,9034	0,8778	0,8960	1,3906
22								0,8685	0,7095	0,5955	0,5260	0,5004	0,5178	0,9572
20								0,7390	0,5382	0,3814	0,2686	0,1997	0,1740	0,5776
18								0,6951	0,4551	0,2571	0,1022	-0,0093	-0,1039	0,2489
16								0,7298	0,4551	0,2187	0,0232	-0,1299	-0,3354	-0,0314
14								0,8340	0,5310	0,2612	0,0281	-0,1653	-0,5227	0,2653
12								0,6726	0,3763	0,1112	-0,1188	0,3103	-0,5090	-0,4550
10								0,8659	0,5525	0,2630	0,0029	-0,2237	-0,6675	-0,6019
8								0,7755	0,4708	0,1886	-0,0660	-0,2888	-0,7705	-0,7068
6								0,7202	0,4241	0,1493	-0,0993	-0,3174	-0,8322	-0,7701
4								0,6968	0,4088	0,1413	-0,1011	-0,3139	-0,8531	-0,7920
2								0,7042	0,4237	0,1632	-0,0725	-0,2791	-0,8335	-0,7723
0		1,0002						0,7420	0,4686	0,2154	-0,0132	-0,2126	-0,7612	-0,7119
-2								0,8100	0,5437	0,2980	0,0774	-0,1137	-0,5231	-0,4737
-4								0,9082	0,6490	0,4114	0,1998	0,0181	-0,3688	-0,2984
-6								1,0372	0,7854	0,5563	0,3543	0,1829	-0,1626	-0,0878
-8									0,9534	0,7332	0,5412	0,3805	0,0764	0,1566
-10									1,1536	0,9428	0,7611	0,6111	0,3467	0,4331
-12										1,1858	1,0145	0,8750	0,6476	0,7431
-14											1,3024	1,1173	1,0176	1,0809
-16												1,5052	1,3422	1,4518
-18													1,7356	1,8531
-20													2,1292	2,2842
-22														2,7441
-24														

Fig. 28 (1)

	X	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Y														
24		1,3906												
22		0,9572	1,0603	1,2044	1,3880	1,6097								
20		0,5776	0,6788	0,8206	1,0022	1,2222	1,4790	1,7702						
18		0,2489	0,3481	0,4877	0,6669	0,8850	1,1404	1,4313	1,7558					
16		-0,0314	0,0659	0,2032	0,3801	0,5960	0,8498	1,1400	1,4649	1,8223				
14		-0,2653	-0,1699	-0,0346	0,1401	0,3539	0,6060	0,8951	1,2201	1,5787	1,9678			
12		-0,4550	-0,3611	-0,2277	-0,0549	0,1571	0,4077	0,6958	1,0205	1,3796	1,7701	2,1889		
10		-0,6019	-0,5095	-0,3776	-0,2063	0,0043	0,2535	0,5406	0,8648	1,2239	1,6150	2,0352		
8		-0,7068	-0,6155	-0,4848	-0,3148	-0,1056	0,1421	0,4279	0,7510	1,1095	1,5005	1,9213	2,3689	
6		-0,7701	-0,6798	-0,5500	-0,3810	-0,1736	0,0720	0,3557	0,6769	1,0341	1,4244	1,8451	2,2930	
4		-0,7920	-0,7027	-0,5741	-0,4067	-0,2015	0,0413	0,3220	0,6408	0,9960	1,3849	1,8047	2,2522	
2		-0,7723	-0,6846	-0,5584	-0,3940	-0,1921	0,0475	0,3251	0,6411	0,9939	1,3808	1,7989	2,2452	
0		-0,7119	-0,6262	-0,5035	-0,3434	-0,1456	0,0903	0,3646	0,6776	1,0276	1,4118	1,8275	2,2714	2,7393
-2		-0,6119	-0,5284	-0,4097	-0,2545	-0,0613	0,1705	0,4410	0,7505	1,0971	1,4781	1,8903	2,3306	
-4		-0,4737	-0,3921	-0,2771	-0,1267	0,0616	0,2886	0,5548	0,8601	1,2028	1,5798	1,9876	2,4226	
-6		-0,2984	-0,2183	-0,1063	0,0400	0,2234	0,4452	0,7061	1,0067	1,3449	1,7169	2,1990	2,5471	
-8		-0,0878	-0,0082	0,1018	0,2448	0,4237	0,6402	0,8955	1,1906	1,5233	1,8893	2,2842	2,7034	
-10		0,1566	0,2368	0,3460	0,4868	0,6620	0,8734	1,1230	1,4120	1,7383	2,0969	2,4828		
-12		0,4331	0,5154	0,6254	0,7653	0,9377	1,1448	1,3887	1,6712	1,9999	2,3393	2,7141		
-14		0,7431	0,8268	0,9388	1,0790	1,2498	1,4533	1,6916	1,9668	2,2762	2,6144			
-16		1,0809	1,1701	1,2849	1,4264	1,5964	1,7969	2,0296	2,2961	2,5942				
-18		1,4518	1,5445	1,6623	1,8057	1,9756	2,1732	2,3998	2,6563					
-20		1,8531	1,9491	2,0696	2,2145	2,3841	2,5786	2,7983						
-22		2,2842	2,3827	2,5051	2,6507	2,8189								
-24		2,7441												

Fig. 28 (2)