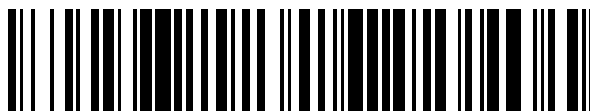


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 478 295**

51 Int. Cl.:

G02C 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.01.2008** **E 08707297 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.04.2014** **EP 2115527**

54 Título: **Método para optimizar un cristal para gafas**

30 Prioridad:

25.01.2007 DE 102007003857

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

21.07.2014

73 Titular/es:

**RODENSTOCK GMBH (100.0%)
Elsenheimerstrasse 33
80687 München, DE**

72 Inventor/es:

**ESSER, GREGOR;
BECKEN, WOLFGANG;
ALTHEIMER, HELMUT;
SEIDEMANN, ANNE;
UTTENWEILER, DIETMAR;
MÜLLER, WERNER y
WEHNER, EDDA**

74 Agente/Representante:

AYMAT ESCALADA, Carlos Jesús

ES 2 478 295 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

La presente invención se refiere a un método, a un sistema y un producto de programa informático para optimizar y en particular para fabricar un cristal para gafas.

Para poder calcular y optimizar un cristal para gafa, particularmente online, en función de un pedido, es deseable utilizar un método de optimización muy rápido. En la óptica de anteojería el trazado por haz (Ray – Tracing) constituye un método que requiere mucho tiempo. Esto ocurre en particular si las superficies del cristal para gafa no son superficies esféricas simples sino superficies asféricas o progresivas. En este caso, el trazado por haz consiste de preferencia en un método de iteración bidimensional. Para calcular y valorar las propiedades de la imagen de un cristal para gafa, el tiempo de cálculo no es tan importante. No obstante, si se quiere optimizar el cristal para gafa en particular con la ayuda de una función de objetivo, el tiempo de cálculo constituye un factor decisivo. Esto se aplica en particular a cristales individuales para gafa en los cuales se tiene que optimizar y calcular la superficie esférica de preferencia online, en función de un pedido.

El documento WO 01/92948 A1 describe un método para proyectar y optimizar cristales para gafas. Para ello se calcula repetidas veces los puntos de intersección de los rayos principales a través de las superficies de un cristal para gafa. Las propiedades ópticas del cristal para gafa en los puntos de intersección de los rayos principales se calculan a partir de la influencia de las superficies del cristal para gafa en frentes de ondas localizados alrededor de los puntos de intersección. Los frentes de ondas localizados se representan en particular mediante desarrollo Taylor hasta términos cuadráticos para poder averiguar de este modo el efecto esférico y astigmático del cristal para gafa.

El documento DE 103 13 275 A1 describe un método para calcular un cristal progresivo para gafa, individual. Aquí se describe la superficie progresiva particularmente mediante B-Spines. La optimización del cristal para gafa se realiza en particular minimizando una función de rendimiento en la zona de evaluación. En cada zona de evaluación se calculan mediante rayos y cálculo local de frente de ondas las propiedades ópticas del cristal para gafa.

El documento WO 01/84213 A2 describe un cristal progresivo para gafa que para minimizar el cambio de las propiedades binoculares de la imagen en los movimientos horizontales de la vista, la elevación de propiedades binoculares de la imagen al seguir un objeto que se mueve, se sitúa por debajo de un límite fisiológico dado.

Lo que se pretende con la invención es ofrecer un diseño y una fabricación sencillos de cristales para gafa individualmente optimizados para un usuario de gafa con una calidad óptica mejorada de la sensación de visión para el usuario de la gafa teniendo en cuenta los requisitos individuales.

Este problema se resuelve con un método con las características indicadas en la reivindicación 1, un producto de programa informático con las características de la reivindicación 11 y un sistema con las características de la reivindicación 12. En las reivindicaciones se muestran formas de realización preferidas.

Si bien las distintas fases del método se caracterizan, para mayor sencillez, indicándolas en orden alfabético, la invención no se limita a una sola sucesión de las etapas del método, en particular a una sucesión que sigue el orden alfabético.

Un diseño de cristal para gafa comprende de preferencia la distribución de los valores teóricos para una o varias distorsiones de la imagen, que entran de preferencia en la optimización del cristal para gafa como valores objetivo o en la determinación de los valores-objetivo. En particular un diseño de cristal para gafa se caracteriza por la distribución del defecto de refracción (es decir la diferencia entre el poder refringente del cristal para gafa, y el poder refringente que se obtiene al determinar la refracción) y/o la distribución del defecto o la desviación astigmática (es decir la diferencia entre el astigmatismo del cristal para gafa y el astigmatismo que se obtiene al determinar la refracción). Un diseño de cristal para gafa puede comprender además también la distribución de los valores teóricos para la posición de ampliación, distorsión u otra aberración. Puede tratarse aquí de valores zonales o de preferencias de valores de uso, es decir valores en posición de uso del cristal para gafa.

La determinación y/o cálculo y/u optimización de un diseño de cristal para gafa comprende de preferencia la determinación de la posición espacial (en particular de la posición vertical y/o horizontal) así como eventualmente la magnitud de los campos visuales del cristal para gafa (es decir la zona de cerca, de lejos, intermedia o de progresión). La posición espacial de los campos visuales viene dada en particular por la posición espacial de los puntos de referencia de lejos y de cerca. La magnitud de los campos visuales se calcula de preferencia de forma automática a partir de las especificaciones para la posición espacial del punto de referencia de lejos y de cerca.

Un rayo principal designa en particular un rayo de luz que partiendo de un punto-objeto pasa por el centro de rotación del ojo y en particular por el centro de la pupila. Se desarrolla de este modo para el diseño de cristal para gafa de preferencia un sistema modélico con los puntos de referencia ópticos relevantes, de preferencia en función de los datos registrados del usuario.

En este sentido, la invención se refiere, en un aspecto, a un método para la fabricación de un cristal para gafa. El método comprende en particular la especificación de proyectos de diseño de cristal para gafa mediante una representación superficial en la que los coeficientes sólo tienen una repercusión local. Además se utiliza un método

de Ray-Tracing (Trazado por Haz) para la determinación de una multiplicidad de rayos principales por una multiplicidad de zonas de valoración. Para calcular los frentes de onda locales en la multiplicidad de zonas de valoración se utiliza un método de trazado de frente de ondas y/o un método de trazado por haz. Además se procede a una determinación de los efectos ópticos del cristal para gafa en la multiplicidad de la zona de valoración a partir de los frentes de onda locales. De preferencia se utiliza aquí una rutina de optimización que tiene en cuenta la matriz dispersa de Jacobi. En particular se utiliza una rutina de optimización según NG-Peyton.

El método comprende de preferencia

- modificación del proyecto de diseño en función de las propiedades ópticas calculadas y de los datos individuales del usuario; y
- repetición de las etapas c) a f) sobre la base del proyecto de diseño modificado.

Estas etapas se repiten de preferencia hasta que una función de rendimiento ha alcanzado un valor deseado. De preferencia, en el caso de una valoración positiva o considerada como adecuada del proyecto de diseño se define éste como diseño del cristal para gafa.

De preferencia, los datos individuales del usuario o los datos de aplicación del usuario de la gafa comprenden los datos de corrección de una ametropía del usuario de la gafa y datos de uso relativos a un posicionado individual del cristal de gafa para el usuario y/o a un cometido visual individual del usuario. De preferencia, los datos individuales de uso comprenden datos de la montura, en particular con respecto a una dimensión de la caja del cristal de la montura y/o de un ancho de puente y/o de un ángulo de inclinación de la montura y/o de una inclinación longitudinal, etc. En una forma de realización preferida, los datos individuales de uso respecto de un cometido visual individual comprenden una especificación de las zonas del ángulo visual principalmente utilizadas y/o distancias del objeto principalmente utilizadas. De preferencia, los datos individuales del usuario comprenden una distancia córnea-vértice y/o una inclinación longitudinal y/o una posición de centrado y/o una distancia pupilar, etc...

Los datos de corrección óptica comprenden de preferencia valores para un efecto dióptrico a corregir (esfera) y/o cilindro y/o posición axial y/o adición y/o prisma y/o base, etc., así como datos individuales de posición de uso.

De preferencia, la definición de un proyecto de diseño para el cristal de gafa comprende una definición de un sistema de coordenadas y una descripción de por lo menos una superficie inicial del cristal de gafa en el sistema de coordenadas por lo menos mediante coeficientes, de los cuales depende por lo menos una superficie inicial, sólo local, es decir en un terreno superficial limitado que comprende por lo menos un punto de valoración. Esta zona superficial limitada comprende de preferencia únicamente una proporción relativamente pequeña de una superficie total de cristal para gafa.

De preferencia, la definición de un proyecto de diseño comprende una descripción de por lo menos una superficie inicial del cristal de gafa mediante funciones B-Spline.

De preferencia, la multiplicidad de puntos de valoración comprende por lo menos 1.000, de preferencia por lo menos 2.000, todavía mejor por lo menos 5.000 y muchísimo mejor por lo menos 10.000, preferentemente por lo menos 20.000 puntos de valoración.

De preferencia, la determinación del recorrido de los rayos principales comprende la definición de un sistema individual de modelo, teniendo en cuenta los datos registrados del usuario. El sistema individual de modelo comprende de preferencia un modelo de cristal de gafa según el proyecto de diseño, un modelo de ojo y/o un modelo de objeto según los datos del usuario.

De preferencia a cada rayo principal se le asigna una distancia al objeto en función de los datos registrados del usuario, en particular de un cometido visual y/o una situación de aplicación incluida en los datos registrados del usuario, donde el frente de ondas local se define en función de la distancia al objeto asignada a cada rayo principal.

De preferencia la determinación de propiedades ópticas del cristal de gafa en los puntos de valoración comprende una determinación de un efecto esférico y/o de un astigmatismo y/o de una coma y/o de una aberración esférica y/o de un defecto de tres hojas (trefoil).

De preferencia la determinación del recorrido de la multiplicidad de rayos principales comprende una

Determinación de puntos y ángulos de intersección de los rayos principales por las superficies del cristal para gafa, donde la determinación de la influencia del cristal de gafa en los frentes de onda locales comprende:

- determinación del grosor de inclinación del cristal a lo largo de los rayos principales correspondientes en el cristal para gafa;
- determinación de las curvaturas de los frentes de ondas del lado del objeto, es decir de llegada o incidentes y/o las curvaturas o curvaturas y direcciones principales de los frentes de onda saliente; y
- determinación de las curvaturas y direcciones principales de las superficies del cristal para gafa en los puntos de intersección.

De preferencia, la valoración del proyecto de diseño comprende la valoración de una función objeto que depende de las propiedades ópticas determinadas y el proyecto de diseño que modifica de preferencia teniendo en cuenta una minimización de la función objeto.

- 5 Las propiedades ópticas determinadas comprenden un astigmatismo $A_{\text{glas}}(i)$ del cristal para gafa en el punto de valoración i , que difiere un astigmatismo residual $A_{\text{ist}}(i)$ del efecto astigmático exigido en los datos del usuario para una corrección total, y un efecto esférico $D_{\text{glas}}(i)$ del cristal para gafa en el punto de valoración i , que difiere un efecto residual $D_{\text{ist}}(i)$ del efecto esférico exigido en el caso del usuario para una corrección completa, donde para cada punto de valoración se especifica un valor $A_{\text{soll}}(i)$ de una mala corrección del astigmatismo y un valor $D_{\text{soll}}(i)$ de una mala corrección del efecto dióptrico, y
- 10 donde el proyecto de diseño del cristal para gafa se modifica con el fin de minimizar una función objetivo.

$$F = \sum_i A_{\text{ist}}(i) - A_{\text{soll}}(i)^2 + D_{\text{ist}}(i) - D_{\text{soll}}(i)^2$$

De preferencia, para cada punto de valoración se calcula el astigmatismo residual a partir del astigmatismo del cristal para gafa y el astigmatismo de un ojo del usuario, comprendido en los datos individuales del usuario, mediante el método cilindros cruzadas.

- 15 En un aspecto, la invención presenta un método para diseñar o fabricar un cristal para gafa para un usuario de gafa, que comprende:

- registro de por lo menos una distorsión de la imagen de orden superior para por lo menos un ojo del usuario de la gafa; y
- diseño de un cristal para gafa teniendo en cuenta la aberración de orden superior registrada.

- 20 Por aberración de orden superior en el sentido de la invención se entiende una aberración que comprende no solamente los componentes prismáticos, esféricos y astigmáticos. Las aberraciones de orden superior comprenden en particular la coma y/o la aberración esférica. En una forma de realización preferida las aberraciones de orden superior comprenden en particular "defectos de imagen de SEIDEL", como por ejemplo defectos de apertura coma, astigmatismo, curvatura del campo de la imagen, de tres hojas y/o distorsión.

- 25 De preferencia, la etapa a) de registro de datos individuales del usuario comprende el registro de por lo menos una aberración de orden superior, donde el diseño del cristal para gafa, teniendo en cuenta la aberración de orden superior registrada comprende las etapas b) a f). De preferencia el registro de aberraciones de orden superior incluye la determinación de una función de aberración, en particular de una función de aberración $W_A(r)$ que depende sólo de la distancia radial r al centro de la pupila, para por lo menos un ojo del usuario de la gafa.

- 30 De preferencia, el registro de aberraciones de orden superior comprende la definición de un sistema de coordenadas cartesianas x - y - z y una determinación de una función de aberración $W(x, y)$ para por lo menos un ojo del usuario de la gafa, en particular en coordenadas de este sistema. De preferencia, la función de aberración $W(r)$ para por lo menos un ojo se desarrolla según

$$W_A(r) = \sum_i \frac{S_i}{i!} r^i = S_1 * r + \frac{S_2}{2} * r^2 + \frac{S_3}{6} * r^3 + \frac{S_4}{24} * r^4 \dots$$

según potencias de la distancia r respecto del centro de la pupila.

- 35 De preferencia el diseño de un cristal para gafa comprende la definición de una función de aberración del cristal para la gafa sobre la base o dependiendo de la función de aberración del ojo.

- De preferencia, la definición de la función de aberración $W_G(R)$ del cristal para gafa como función de una distancia R respecto de un punto de centrado del cristal para gafa con escalado de la función de aberración $W_A(r)$ del ojo por medio de la sustitución de la distancia r por una distancia $R \cdot \frac{R_p}{R_t}$, es decir $W_G(R) = W_A(R \cdot \frac{R_p}{R_t})$, con un radio pupilar R_p para por lo menos un ojo del usuario de la gafa y un radio de transformación R_t que es mayor que el radio pupilar R_p y no mayor que el radio $R_{G, \text{max}}$ del círculo máximo alrededor del punto de centrado del cristal para gafa que comprende por lo menos un punto del cristal para gafa, particularmente dentro de la montura de la gafa. De preferencia el radio de transformación R_t no es mayor que el radio $R_{G, \text{min}}$ del círculo máximo alrededor del punto de centrado situado todavía completamente dentro del cristal de la montura.
- 40

- De preferencia, las propiedades ópticas obtenidas comprenden un astigmatismo $A_{\text{glas}}(i)$ del cristal de la gafa en el punto de valoración i , que difiere un astigmatismo residual $A_{\text{ist}}(i)$ del efecto astigmático requerido en los datos del usuario para una corrección completa, un efecto dióptrico $D_{\text{glas}}(i)$ del cristal para gafa en el punto de valoración i que difiere un efecto residual $D_{\text{ist}}(i)$ del efecto dióptrico requerido en los datos del usuario para una corrección completa, y por lo menos un valor $Z_{\text{glas}}(i)$ de un efecto óptico de orden superior, en particular de una medida de aberración de orden superior del cristal para gafa en el punto de valoración i , que difiere una dispersión residual $Z_{\text{ist}}(i)$ del efecto de corrección requerido en los datos del usuario para una corrección completa, donde para cada punto de valoración se
- 45
- 50

especifica un valor $A_{Soll}(i)$ de una corrección defectuosa del astigmatismo, un valor $D_{Soll}(i)$ de una mala corrección del efecto dióptrico y un valor $Z_{Soll}(i)$ de una mala corrección para por lo menos una de las aberraciones de orden superior, y donde el diseño del cristal para gafa se modifica con vistas a minimizar una función de objetivo

$$F = \sum_i g_A i \cdot A_{Ist} i - A_{Soll}(i)^2 + g_D i \cdot D_{Ist} i - D_{Soll}(i)^2 + g_Z i \cdot Z_{Ist} i - Z_{Soll}(i)^2$$

donde se han previsto funciones de ponderación.

- 5 En otro ejemplo se podría utilizar del siguiente modo una función objetivo:

$$F = \sum_i A_{Ist} i - A_{Soll}(i)^2 + D_{Ist} i - D_{Soll}(i)^2 + R(i)$$

donde la función objetivo depende de una función residual $R(i)$, en la que se tienen en cuenta aberraciones de orden superior. Otra función de objetivo preferida podría ser:

$$F = \sum_i g_A i \cdot A_{Ist} i - A_{Soll}(i)^2 + g_D i \cdot D_{Ist} i - D_{Soll}(i)^2 + R_Z(i)$$

De preferencia se aplica de forma análoga a lo indicado anteriormente:

$$R_Z(i) = \sum_k g_k i \cdot Z_{k,Ist} i - Z_{k,Soll}(i)^2$$

- 10 De preferencia, los frentes de onda locales se representan o desarrollan con polinomios de Zernike y/o una serie de Taylor.

De preferencia, el método comprende la definición de una función sensorial de pupila para describir una ponderación sensorial decreciente hacia el borde de la pupila, en particular para describir el efecto Stiles-Crawford, y una definición de un teorema de funciones ortogonales para la representación de los

frentes de onda locales teniendo en cuenta la función sensorial de pupila.

- 15 En una forma de realización preferida la magnitud es $Z_{glas}(i)$ para una aberración individual en el punto de valoración i según Zernike. En otra forma de realización preferida comprende una suma ponderada a partir de la aberración en el punto de valoración i según Zernike, para una medida de las aberraciones basada en la aberración del frente de ondas $W(x, y)$ de la pupila como función de las coordenadas pupilares x, y que viene dada en particular por una de las posibilidades siguientes:

- 20 a) RMS_w (media cuadrática) $RMS_w = \frac{1}{A_{pupil}} \int \int W(x, y) - W^2 dx dy$, donde A es la superficie pupilar y W significa valor medio.

b) Elevación máxima de la aberración del frente de onda, $PV = \max(W(x, y) - \min(W(x, y)))$.

c) RMS_s (media cuadrática pendiente frente de onda)

$$RMS_s = \frac{1}{A_{pupil}} \int \int W_x(x, y)^2 + W_y(x, y)^2 dx dy, \text{ donde A es la superficie pupilar y } M_x = \partial W / \partial x, W_y = \partial W / \partial y \text{ son las derivadas parciales del frente de onda.}$$

- 25 d) R (D50), diámetro del campo en torno al máximo de la función de dispersión de punto (PSF), que llega a la mitad de la intensidad: $0,5 = \int_0^{2\pi(D50)} \int_0^{\infty} psf(r, \vartheta) r dr d\vartheta$, donde $psf(r, \vartheta)$ es la PSF en coordenadas polares r, ϑ del plano de la imagen.

$$e) \text{ Ancho } EW = 4 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf(x, y) dx dy / (\pi \cdot psf(x_0, y_0)), \text{ donde } x_0, y_0 \text{ son las coordenadas del máximo de la PSF.}$$

- 30 f) Raíz SM del segundo momento de distribución de la luz.

$$SM = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x^2 + y^2) psf(x, y) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf(x, y) dx dy}$$

g) Mitad del ancho sobre mitad de altura, $HWHH, HWHH = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} q_H(x, y) dx dy$, donde $q_H(x, y) = 1$ para $psf(x, y) > \max(psf)/2$ y $q_H(x, y) = 0$.

h) Ancho de correlación CW de la distribución de la luz $CW = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} q_A(x, y) dx dy$, donde $q_A(x, y) = 1$ para $PSF \cdot PSF > \max(PSF \cdot PSF)/2$ y $q_A(x, y) = 0$, y $PSF \cdot PSF > \max(PSF \cdot PSF)/2$ autocorrelación de PSF.

5 i) Relación de Strehl SRX, $SRX = \frac{\max(psf)}{\max(psf_{DL})}$, donde PSF_{DL} es la PSF limitada por la difracción.

j) Fracción LIB de la energía, que cae en la zona del núcleo de difracción, $LIB = \int_{DLcore} psf_N(x, y) dx dy$, donde psf_N es PSF normalizada a 1.

k) Desviación estándar STD de la distribución de la luz, referida a la distribución de la luz limitada por difracción,

10 $STD = \sqrt{\int_{PSF} psf(x, y)^2 dx dy / \int_{PSF} psf_{DL}(x, y)^2 dx dy}$, donde es una zona alrededor del centro de la PSF que abarca la parte esencial de la intensidad.

l) Entropía ENT de la PSF, $ENT = - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf(x, y) \ln psf(x, y) dx dy$

m) Agudeza NS del sistema visual,

$$NS = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf(x, y) g_N(x, y) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf_{DL}(x, y) g_N(x, y) dx dy}$$

donde g_N es una función de ponderación del sistema visual.

n) Relación visual Strehl VSX,

$$NS = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf(x, y) N_{csf}(x, y) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} psf_{DL}(x, y) N_{csf}(x, y) dx dy}$$

15 donde N_{csf} es una función de ponderación del sistema visual, igual a la transformada de Fourier de la función de sensibilidad al contraste del sistema visual.

o) Frecuencia de corte de la función de transferencia de modulación radial, SF cMTF = frecuencia máxima (local) para la cual rMTF > umbral del sistema visual, donde

$$rMTF(f) = \int_0^{2\pi} abs(OTF(f, \varphi)) d\varphi$$

y OTF es la función de transferencia óptica.

20 p) Frecuencia de corte de la función de transferencia óptica radial, SF cOTF = máxima frecuencia (local) para la cual rOTF > umbral del sistema visual, donde

$$rOTF(f) = \int_0^{2\pi} OTF(f, \varphi) d\varphi$$

y OTF es la función de transferencia óptica.

q) Zona de visibilidad de rMTF,

$$AreaMTF = \int_0^{cutoff} rMTF(f) df - \int_0^{cutoff} T_N(f) df \quad \int_0^{cutoff} rMTF_{DL}(f) df - \int_0^{cutoff} T_N(f) df$$

25 donde $T_N(f)$ es la función umbral de contraste del sistema visual, que es igual a la inversa de la función de sensibilidad al contraste del sistema visual.

r) Campo de visibilidad de rOTF,

$$AreaOTF = \int_0^{cutoff} rOTF f df - \int_0^{cutoff} T_N f df = \int_0^{cutoff} rOTF_{DL} f df - \int_0^{cutoff} T_N f df$$

s) Relación de Strehl, calculada en el espacio de frecuencia, método MTF,

$$SRMTF = \frac{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} MTF f_x f_y df_x df_y}{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} MTF_{DL} f_x f_y df_x df_y}$$

t) Relación de Strehl, calculada en el espacio de frecuencia, método OTF,

$$SROTf = \frac{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} OTF f_x f_y df_x df_y}{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} OTF_{DL} f_x f_y df_x df_y}$$

u) Relación visual Strehl, calculada en el espacio de frecuencia, método MTF,

$$SRMTF = \frac{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} CSF_N(f_x, f_y) MTF f_x f_y df_x df_y}{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} CSF_N(f_x, f_y) MTF_{DL} f_x f_y df_x df_y}$$

donde $CSF_N(f_x, f_y)$ es la función de sensibilidad y contraste del sistema visual.

5 v) Relación de Strehl calculada en el espacio de frecuencia, método OTF,

$$SROTf = \frac{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} CSF_N(f_x, f_y) OTF f_x f_y df_x df_y}{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} CSF_N(f_x, f_y) OTF_{DL} f_x f_y df_x df_y}$$

w) Volumen debajo de OTF, normalizado al volumen debajo de MTF,

$$VOTF = \frac{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} OTF f_x f_y df_x df_y}{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} MTF f_x f_y df_x df_y}$$

x) Volumen ponderado debajo de OTF, normalizado al volumen debajo de MTF,

$$VNOTF = \frac{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} CSF_N(f_x, f_y) OTF f_x f_y df_x df_y}{\int_{-\infty-\infty}^{\infty\infty} CSF_N(f_x, f_y) MTF f_x f_y df_x df_y}$$

10 En un aspecto, la invención se refiere a un método para la fabricación de un cristal para gafa, que comprende un método para diseñar un cristal para gafa para un usuario de gafa según la presente invención o una forma de realización preferida y una fabricación del cristal para gafa según el diseño obtenido.

En un aspecto, la invención presenta un producto de programa informático que comprende un código de programación que cuando está cargado se ejecuta en un sistema informático que está concebido para realizar un método según la presente invención o una forma de realización preferida

15 En un aspecto, la invención presenta un sistema para diseñar un cristal para gafas, sistema concebido para ejecutar las etapas del método según la presente invención o según una forma preferida de realización.

La invención se describe a continuación con referencia a las figuras adjuntas de formas de realización preferidas. Éstas muestran:

Fig. 1: un ejemplo de camino óptico, un ejemplo de ojo y un cristal para gafa para representar la rotación de la pupila de entrada del ojo en los movimientos de la vista;

20 Fig. 2: un cristal para gafa que cuenta con todos los puntos de recorrido de la vista una aberración esférica relativamente pequeña de 0,025 micrómetros;

Fig. 3: un defecto esférico del cristal para gafa de la figura 2 para $|x|, |y| \leq 10$ mm en unidades de dpt;

Fig. 4: el astigmatismo de un cristal para gafa preferido en el que la aberración esférica de $c = 0,5$ micrómetros se corrigió para un diámetro de cristal para gafa de 40 mm (cristal de gafa = 20 mm);

25 Fig. 5: una representación esquemática de la imagen de un punto del objeto en un punto de imagen de una lente con dos superficies con los poderes refringentes D_1 , D_2 y el grosor central d ;

Fig. 6: ley de refracción según Snellius;

Fig. 7: refracción de un frente de onda esférico en una superficie esférica;

Fig. 8: transición a la incidencia oblicua y abandono de la simetría de rotación. Un frente de onda esférico incide oblicuamente sobre una superficie esférica o una superficie astigmática en la que el sentido de la curvatura principal coincide con el plano de refracción;

5 Fig. 9 sistema de coordenadas locales de la superficie, del frente de onda incidente y caliente;

Fig. 10: relación entre las coordenadas y el frente de onda incidente, y_s de la superficie de refracción y' del frente de ondas caliente cuando se utilizan tres sistemas de coordenadas locales;

Fig. 11: relación entre las coordenadas y del frente de onda incidente, y_s de la superficie de refracción e y' del frente de onda caliente cuando se utiliza un sistema de coordenadas global; y

10 Fig. 12: una representación esquemática del modelo fisiológico y físico de un cristal para gafa en una posición de uso especificada.

En un método según una forma de realización preferida de la presente invención se calcula solamente el rayo principal central con la ayuda de un método de Ray-Tracing. Posteriormente se calculan las propiedades de reproducción a partir de las características de frentes de ondas locales con la ayuda de un método de Tracing de fuentes de onda. En particular, según una forma de realización preferida para por lo menos una dirección de la mirada, en particular para cualquier dirección de la mirada, se calculan las propiedades de reproducción (poder refringente y astigmatismo) de preferencia de forma directa a partir de los datos del rayo principal central para cada dirección de la mirada con sus ángulos de incidencia y de salida en las superficies del cristal para gafa, el grosor oblicuo, las curvaturas o las curvaturas y direcciones principales del frente de onda que llega y las curvaturas y direcciones principales de las superficies del cristal de gafa en el punto de intersección.

De forma particularmente preferida se realiza para cada dirección de la mirada, una sola vez una iteración del rayo. De este modo se puede reducir en gran medida el tiempo de cálculo debido a las iteraciones de los rayos. De preferencia se optimiza el cristal para gafa con la ayuda de una función objetivo. Como ejemplo de función de objetivo preferida se puede señalar

25 (1)

$$\min F = \sum_i A_{ist} \ i - A_{soll} \ (i)^2 + D_{ist} \ i - D_{soll} \ (i)^2$$

con

$A_{ist} \ (i)$ = Astigmatismo real en i-avo punto de valoración;

$A_{soll} \ (i)$ = Astigmatismo requerido en el i-avo punto de valoración;

$D_{ist} \ (i)$ = Poder refringente real en el i-avo punto de valoración; y

30 $D_{soll} \ (i)$ = Poder refringente requerido en el i-avo punto de valoración.

La ventaja particular del significado de las magnitudes teóricas (Soll), reside en el hecho de que son válidas independientemente de la prescripción. Indican en particular el valor en que difiere la magnitud correspondiente del valor cero de la corrección completa. El astigmatismo real es en particular el astigmatismo residual de la combinación de cristal para gafa y ojo que se calcula de preferencia con la ayuda del método de cilindro cruzado. Es en particular la esfera de la combinación así calculada de cristal y ojo.

35

De preferencia se calculan del siguiente modo el poder refringente y el astigmatismo:

De preferencia se determinan las dos magnitudes a partir de la combinación de la matriz de refracción S_R y la matriz de vergencia S_{SK} , que describe el frente de onda incidente en posición de uso después de atravesar el cristal el globo cenital vértice. Para el cálculo preferido de S_{SK} se remite de preferencia a la ecuación (7). La matriz de refracción se determina de preferencia mediante

40

(2)

$$S_R = \begin{pmatrix} Sph_R - \frac{Zyl_R}{2} \cos 2 \psi_R & -\frac{Zyl_R}{2} \sin 2 \psi_R \\ -\frac{Zyl_R}{2} \sin 2 \psi_R & Sph_R + \frac{Zyl_R}{2} \cos 2 \psi_R \end{pmatrix}$$

donde Sph_R es el equivalente esférico de la determinación de la refracción, Zyl_R el cilindro refractado y ψ_R su posición axial. La combinación de S_R y S_{SK} se determina de preferencia mediante la matriz de diferencia

(3)
$$S_\Delta = S_{SK} - S_R$$

en el caso de una corrección completa se cumple $S_{\Delta} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$, lo cual en la práctica sólo se puede conseguir por lo general en unos pocos puntos del cristal. En el caso general la matriz $S_{\Delta} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{12} & S_{22} \end{pmatrix}$ es distinta de cero pero simétrica. De preferencia se parametriza del siguiente modo:

(4)

$$S_{\Delta} = \begin{pmatrix} Sph_{\Delta} - \frac{Zyl_{\Delta}}{2} \cos 2\psi_{\Delta} & -\frac{Zyl_{\Delta}}{2} \sin 2\psi_{\Delta} \\ -\frac{Zyl_{\Delta}}{2} \sin 2\psi_{\Delta} & Sph_{\Delta} + \frac{Zyl_{\Delta}}{2} \cos 2\psi_{\Delta} \end{pmatrix}$$

5 Sph_{Δ} es el equivalente esférico de la desviación de refracción, Zyl_{Δ} el cilindro defectuoso y ψ_{Δ} su posición axial. De preferencia para una matriz dada, se determinan las magnitudes Sph_{Δ} y Zyl_{Δ} a partir de los valores propios de S_{Δ} , en particular mediante:

(5)

$$Sph_{\Delta} = \frac{S_{11} + S_{22}}{2}$$

$$Zyl_{\Delta} = \sqrt{4S_{12}^2 + S_{11} - S_{22}^2}$$

10 De preferencia estas magnitudes calculadas se utilizan como valores reales de la optimización de los puntos de intersección respectivos, es decir

(6)

$$D_{ist \ i} = Sph_{\Delta}(i)$$

$$A_{ist \ i} = Zyl_{\Delta}(i)$$

La matriz de vergencia S_{SK} en el globo cenital vértice se determina de preferencia mediante

(7)

$$S_{SK} = R_2 S'_2 \cdot 1 - e - \frac{1}{kS} S'_2^{-1} R_{12}^{-1}$$

15 a partir de la matriz de vergencia S'_2 en el punto de intersección de la superficie posterior. S'_2 se obtiene a su vez de preferencia utilizando un método para calcular un frente de onda a través de los dos cristales, descrito por las dependencias de la Tabla 1. Los factores individuales significan aquí lo siguiente (valorar principalmente en los puntos de intersección del rayo principal a través de las superficies):

Tabla 1: Juego de fórmulas para valorar los resultados de ecuación (7)

Índice 1, 2	Referido a la superficie delantera o superficie trasera
Magnitudes con trazo / sin trazo	Valorado del lado del objeto/de la imagen de la superficie correspondiente
$S'_i = T_i S_i T_i + D_i, i = 1, 2$	Matrices de curvatura de los frentes de onda después de la refracción en la i-ava superficie según la ley de refracción teniendo en cuenta la incidencia oblicua
$S_2 = R_{12}^{-1} N_e S'_1 R_{12}$	Matriz de curvatura del frente de onda incidente en la superficie trasera, a calcular después de la transferencia de la superficie delantera
$S_1 = \frac{1}{S'_1} 1$	Matriz de curvatura del frente de onda incidente (esférico) en la superficie delantera (1 corresponde a la matriz unitaria 2x2)
$N_e^{-1} = 1 - \frac{d}{n} S'_1$	Matriz inversa de "ampliación propia"
$D_i = v_i C_i'^{-1} D_i C_i'^{-1}, i = 1, 2$	Teniendo en cuenta la incidencia oblicua, expresión corregida para la matriz del poder refringente de la i-ava superficie
$T_i = C_i C_i'^{-1}, i = 1, 2$ $C_i = \begin{pmatrix} \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, i = 1, 2$ $C'_i = \begin{pmatrix} \cos \alpha'_i & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, i = 1, 2$	Matrices de inclinación 2x2 para tener en cuenta la influencia de la incidencia oblicua en la i-ava superficie sobre el frente de onda refractado

(continuación)

$R_2 = R(\varphi_{12})$	Matriz de rotación 2x2 (dentro del plano vertical al rayo principal del lado del objeto) del sistema de la superficie trasera (definido por el vector vertical al plano de refracción) sobre la dirección correspondiente de referencia, a la que se tiene que referir también la posición axial del ojo, tras haber tenido en cuenta de forma correcta la regla de Listing
$R_{12} = R(\varphi_{12})$	Matriz de rotación 2x2 dentro de la superficie vertical al eje principal entre las superficies que convierte el vector vertical al plano de refracción en la superficie delantera en el vector correspondiente a una superficie trasera
$R_{\varphi} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix}$	Forma de la matriz de rotación 2x2
$D_i = \begin{pmatrix} Sph_i - \frac{Zyl_i}{2} \cos 2\psi & -\frac{Zyl_i}{2} \sin 2\psi_i \\ -\frac{Zyl_i}{2} \sin 2\psi_i & Sph_i - \frac{Zyl_i}{2} \cos 2\psi \end{pmatrix}$	Matriz de poder refringente de la i-ava superficie
α_i, α'_i	Ángulo de incidencia/incidencia en la superficie i-ava
$Sph_1 = n - 1 \frac{1}{2} \frac{1}{r_1^a} + \frac{1}{r_1^b}$	Equivalente esférico de la superficie delantera
$Zyl_1 = n - 1 \frac{1}{2} \frac{1}{r_1^a} - \frac{1}{r_1^b}$	Cilindro de la superficie delantera
$Sph_2 = 1 - n \frac{1}{2} \frac{1}{r_2^a} - \frac{1}{r_2^b}$	Equivalente esférico de la superficie trasera
$Zyl_2 = 1 - n \frac{1}{2} \frac{1}{r_2^a} - \frac{1}{r_2^b}$	Cilindro de la superficie trasera
r_i^a, r_i^b	Radios de curvatura principales en la i-ava superficie
ψ_i	Ángulo entre el vector normal s del plano de refracción en la i-ava superficie y la dirección s, que sale en la sección principal más curvada
$v_1 = \frac{n \cos \alpha'_1 - \cos \alpha_1}{n - 1}$	Factor de corrección para tener en cuenta la incidencia oblicua en las superficies delanteras (proporciona consistencia con las ecuaciones de Coddington, Diepes, página 125)
$v_2 = \frac{\cos \alpha'_2 - n \cos \alpha_2}{1 - n}$	Factor de corrección para tener en cuenta la incidencia oblicua en la superficie trasera
s_1	Distancia focal escalar de entrada
D	Grosor oblicuo
E	Distancia oblicua de la córnea al punto de intersección en la superficie trasera
kS	Curvatura del globo cenital vértice

Con este método se calcula o determina según una de las formas de realización preferida el poder refringente y/o el astigmatismo local. Para determinar las propiedades de la imagen en un punto de valoración se calculan de preferencia sólo las derivadas primeras y segundas de la superficie en esta zona local.

De preferencia se utiliza una descripción de superficie para la superficie esférica en la cual una modificación de un coeficiente que describe la superficie sólo tiene repercusión local. Se utiliza aquí de preferencia una representación B-Spline. Los elementos de la matriz Jacobi son las derivadas de las características de la imagen en cada punto de valoración i según cada coeficiente j de la representación superficial. Utilizando una representación superficial B-Spline y frentes de onda locales se obtiene ventajosamente una determinada estructura de matriz de Jacobi en la cual la mayoría de los elementos de la matriz de Jacobi presentan el valor cero, ya que los coeficientes sólo tienen repercusión local y las características de la imagen se determinan también a partir de las características superficiales locales. De este modo se puede utilizar también una gran cantidad de puntos de valoración, es decir elevada resolución local al proyectar un cristal para gafa, lo cual permite mejorar la exactitud. De preferencia se utilizan más de 5.000 puntos de valoración y 2.000 coeficientes en la optimización de un cristal progresivo para gafa.

Como método de optimización se utiliza de preferencia un método que aprovecha la estructura dispersa de la matriz de Jacobi. De preferencia se utiliza particularmente el método según NG-Peyton.

Con un método rápido para calcular aberraciones de orden superior resulta posible construir un cristal para gafa que tiene en cuenta de forma adecuada las aberraciones del ojo.

- 5 Es importante para la visión una corrección de aberraciones de orden superior. En la valoración de cristales para gafa tiene también gran importancia el hecho de tener en cuenta aberraciones de orden superior, en particular coma y aberración esférica; en particular se tiene en cuenta que la performance visual, debido a la corrección de aberraciones incrementa por ejemplo la calidad de la imagen hasta quinto orden inclusive. En particular se tiene en cuenta que las aberraciones de orden superior fluctúan mucho de un individuo a otro, es decir de un usuario a otro, por lo cual se realiza de preferencia una corrección individual. De preferencia se tiene en cuenta que el término de simetría de rotación de la aberración esférica distingue por término medio de la población de 0. En una forma de realización preferida procede y/o tiene en cuenta una corrección media por lo menos parcial.

- 10 Para personas con aberración normal se puede esperar una mejora decisiva de la calidad óptica no sólo corrigiendo la esfera, el cilindro y la aberración esférica sino también corrigiendo adicionalmente aberraciones de orden superior. De preferencia se calcula cuántas personas de un colectivo grande se benefician de la corrección de determinadas aberraciones, y en qué medida, expresándolo en particular en la denominada aberración de Strehl.

- 15 En particular se tiene en cuenta que en un cristal para gafa, contrariamente a lo que ocurre con lentes de contacto, lentes intraoculares o sistemas ópticos no se da un diafragma fijo. Por consiguiente un cristal para gafa se diferencia fundamentalmente de instrumentos ópticos como por ejemplo objetivos, en que el diafragma de apertura (pupila de entrada del ojo, EP) no es fijo. En los movimientos de la vista la pupila de entrada del ojo gira en torno al centro de rotación del ojo Z', mientras que el cristal para gafa permanece fijo (véase figura 1). En las lentes de contacto y particularmente en las lentes intraoculares en cambio la lente gira de la misma forma que la pupila de entrada.

- 20 Además, la distancia entre el cristal de gafa y el centro de rotación del ojo es mayor que la distancia entre la lente (KL o IOL) y EP. Un cambio del ángulo de campo (inclinación del rayo principal respecto del eje óptico o de la dirección cero de la mirada) produce en el cristal para gafa, debido a la gran distancia, también directamente una gran distancia radial del punto de intersección del rayo principal por el cristal para gafa hasta el centro de la misma. En IOL o KL en cambio la repercusión sobre la distancia radial del punto de intersección es relativamente pequeña. Cuando el ojo está mirando se da el nombre de ángulo de mirada al ángulo de campo y cuando está estático recibe el nombre de ángulo visual.

- 25 Se tiene en cuenta en particular una influencia de la corrección de orden superior sobre los órdenes inferiores. En particular no es posible una corrección completa para todos los ángulos de mirada. La corrección de las aberraciones de orden superior para la mirada central recta conduce en particular a defecto de segundo orden (poder refringente y astigmatismo) para el ojo de mirada periférica.

- 30 La coma constituye una función de tercera potencia del componente radial r. De este modo coincide esencialmente con la primera derivada del poder refringente. Es por consiguiente evidente que una corrección de la coma conduce implícitamente y de forma directa a un cambio del poder refringente con aumento de la distancia r. La aberración esférica constituye una función de cuarta potencia de la distancia r y corresponde por lo tanto esencialmente a la segunda derivada del poder refringente.

- 35 Si se desprecia la dependencia del ángulo y se considera solamente la dependencia de la distancia radial r, la función de aberración W como serie de potencias presenta de preferencia el aspecto siguiente:

$$W(r) = \sum_i \frac{S_i}{i!} r^i = S_1 * r + \frac{S_2}{2} * r^2 + \frac{S_3}{6} * r^3 + \frac{S_4}{24} * r^4 \dots$$

S1 corresponde aquí esencialmente al prisma P₀.

S2 corresponde aquí esencialmente al poder refringente D₀.

S3 corresponde aquí esencialmente a la coma K₀.

S4 corresponde aquí esencialmente a la aberración esférica SA₀.

- 40 Pero si el ojo realiza ahora un movimiento de mirada detrás del cristal para gafa y mira al punto r distinto de 0 a través del cristal para gafa se obtiene de preferencia esencialmente los siguientes cambios respecto del ojo de mirada central:

Prisma:

$$\begin{aligned} P(r) &= W'(r) - P_0 \\ &= S_2 * r + S_3 * r^2 / 2 + S_4 * r^3 / 6 \dots \\ &= D_0 * r + K_0 * r^2 / 2 + SA_0 * r^3 / 6 \dots \end{aligned}$$

- 50

Para un cristal para gafa esférico (coma y aberración esférica = 0) se obtiene entonces la conocida fórmula de Prentice $P = r \cdot D_0$ y por consiguiente la relación lineal conocida entre el efecto prismático y la distancia radial r . En particular cuando se especifica un poder refringente constante se modifica linealmente el efecto prismático. De forma equivalente se tiene al especificar una coma, un cambio lineal del poder refringente con el radio.

5 Poder refringente:

$$\begin{aligned} D(r) &= W''(r) - D_0 \\ &= S_3 \cdot r + S_4 \cdot r^2 / 2 \dots \\ &= K_0 \cdot r + SA_0 \cdot r^2 / 2 \dots \end{aligned}$$

10 Al especificar una corrección de coma se modifica linealmente el poder refringente y al especificar una corrección de la aberración esférica se modifica el poder refringente de forma cuadrática como función de la distancia radial r .

En particular, muchas veces no es posible corregir coma y aberración esférica para una dirección de la mirada recta y mantener constante el poder refringente para la visión periférica. Este problema no se tiene en las lentes intraoculares IOL y lentes de contacto KL. En IOL y KL el ojo que mira no tiene prácticamente ninguna repercusión en la imagen. Una modificación en el ángulo del campo del rostro, como se ha descrito más arriba, en KL o IOL poca influencia sobre el punto de intersección. A esto hay que añadir la fuerte reducción de agudeza visual del ojo fuera de la Fovea. Ya con ángulos visuales pequeños se reduce la agudeza visual además de la Fovea de forma rápida, con lo cual no se perciben las aberraciones del poder refringente.

20 En el caso de movimientos de la vista en el cristal para gafa los defectos de poder refringente introducidos por la corrección de orden superior tienen una repercusión periférica sobre la vista ya que la imagen se produce en la Fovea. Cuando el ojo está estático la modificación del poder refringente y el astigmatismo al aumentar el ángulo de campo del rostro es mayor que en IOL y KL, pero aquí también es reducida la influencia de estas aberraciones debido a la fuerte reducción de agudeza visual fuera de la Fovea.

25 En la figura 2 se representa un cristal para gafa que presenta una aberración esférica relativamente baja de 0,025 micrómetros en todos los puntos de recorrido de la vista. De este modo se consigue de preferencia una corrección completa de una aberración correspondiente. Las figuras 2 y 3 muestran una zona del cristal para gafa de $|x|, |y| \leq 10$ mm. En la figura 3 se representa el defecto esférico de este cristal para gafa. Hasta $|x|, |y| = 10$ mm se tiene ya un defecto esférico de 3 dpt. De esta forma el cristal para gafa no se puede utilizar en la periferia. Incluso la corrección de una aberración esférica débil da como resultado un cristal para gafa inutilizable. Por consiguiente no conviene una corrección completa de las aberraciones ya que de este modo empeoran de forma desproporcionada las aberraciones de orden inferior.

30 Para no empeorar de forma desproporcionada las aberraciones de orden inferior sólo se procede de preferencia a una corrección parcial de las aberraciones de orden superior. En una forma de realización preferida de la presente invención se transforma la función de aberración de la pupila sobre el cristal para gafa sustituyendo el radio de la pupila por el radio del cristal para gafa. De este modo se lleva el coeficiente de aberración c de cada aberración en el sentido decreciente de la escala. La ventaja de este método es que en cada punto del cristal para gafa $r/r_{\text{Brillenglas}}$ (cristal para gafa) la función de aberración tiene el mismo valor que en la pupila r/r_{Pupille} .

$$\begin{aligned} \Delta z_{r,\vartheta} &= c_i Z_i \frac{r}{r_{\text{Pupille}}}, \vartheta \\ \Delta z_{r,\vartheta} &= c_i Z_i \frac{r}{r_{\text{Brillenglas}}}, \vartheta \end{aligned}$$

35 Con este método, como se puede apreciar en la figura 4, no se empeora de forma desproporcionada la corrección de los órdenes inferiores debido a la corrección de los órdenes superiores. En la figura 4 se representa el astigmatismo de un cristal para gafa en el cual se corrigió la aberración esférica de $c = 0,5$ para un diámetro de cristal para gafa de 40 mm ($r_{\text{Brillenglas}} = 0,20$ mm). Se puede ver que incluso en el borde con $r = 30$ mm el defecto astigmático es inferior a 0,5 dpt.

40 Pero de este modo no se corrigen completamente las aberraciones de orden superior. Si se elige para la función de corrección, como radio de normalización el radio de la pupila se obtiene la corrección completa. De preferencia se elige para la transformación a escala el valor adecuado o deseado (radio de normalización) que se encuentra entre el radio de la pupila y el radio del cristal para gafa. De este modo se puede ajustar en la forma deseada la adaptación a la escala. De este modo se elige por lo tanto una solución de compromiso respecto de la corrección de las aberraciones de órdenes diferentes. De preferencia la solución de compromiso reside en que para cada dirección de la vista se valora o pondera en una función objetivo las aberraciones individuales. En una forma de realización preferida se utiliza una función objetivo F de la siguiente forma:

$$F = \min_i \left(g_A(i) * A_{Ist}(i) - A_{Soll}(i) \right)^2 + g_D(i) * D_{Ist}(i) - D_{Soll}(i) \right)^2$$

donde

$g_A(i)$ = techo local del astigmatismo i-avo punto de valoración;
 $A_{Ist}(i)$ = astigmatismo local real en el i-avo punto de valoración;
 $A_{Soll}(i)$ = astigmatismo local requerido en el i-avo punto de valoración;

- 5 $g_D(i)$ = techo local del poder refringente en el i-avo punto de valoración;
 $D_{Ist}(i)$ = poder refringente local real en el i-avo punto de valoración; y
 $D_{Soll}(i)$ = poder refringente local requerido en el i-avo punto de valoración.

10 Como posibilidad de corrección de las aberraciones de orden superior se propone en particular la realización de la optimización por medio de una función objetivo, donde se tienen en cuenta en dicha función objetivo las aberraciones de orden superior de forma adecuada. Como se ha descrito anteriormente, un cristal para gafa se distingue de otras soluciones de la técnica óptica por el hecho de que el diafragma de apertura no es fijo comparado con el sistema óptico. De preferencia se calculan y valoran por lo tanto frentes de onda para muchas direcciones de la mirada.

15 De preferencia se tienen en cuenta las aberraciones de orden superior en la función objetivo o se incorporan en la misma.

En una forma de realización preferida, las aberraciones de orden superior (por ejemplo coma, Trefoil, aberración esférica) se admiten y ponderan actualmente, además del astigmatismo y del poder refringente (equivalente a astigmatismo y poder refringente).

20 En otra forma de realización preferida se toman valores de RMS (media cuadrática) de la función de aberración de la onda, la función de dispersión de punto (PSF), la función de transferencia de modulación (MTF) o criterios equivalentes además del astigmatismo y el poder refringente en la función objetivo.

En una forma de realización preferida la optimización del cristal para gafa comprende un método de Wavetracing. En particular se determinan frentes de onda locales y se calculan las aberraciones de orden superior sobre la base de derivadas locales del frente de onda entrante y de la superficie de refracción.

25 De preferencia se optimiza cada cristal para gafa individualmente online. El método para calcular las aberraciones de orden superior según el estado de la técnica, como se describe por ejemplo en el documento DE 102 50 093 se basa en el Raytracing. La desventaja del Raytracing reside en que necesita mucho tiempo de cálculo. Para optimizar un cristal para gafa utilizando una función objetivo online es ventajoso disponer de un método de cálculo rápido.

30 Para ello se determina de preferencia además del poder refringente y del astigmatismo a partir de las características locales del frente de onda también las aberraciones de orden superior. De preferencia se desarrolla o representa el frente de onda saliente con polinomios de Zernike y/o una serie de Taylor y/u otro juego de funciones adecuado. De preferencia se obtiene la característica local de un frente de onda saliente, directa o indirectamente de las características locales del frente de onda incidente y de la superficie de refracción.

35 Con la ayuda de este método sólo es necesario calcular un rayo, es decir el rayo principal, para cada dirección de la mirada. A ello se debe que el Raytracing requiera tanto tiempo ya que se trata de un método iterativo en el cual es preciso determinar el punto de intersección con la superficie trasera, la superficie delantera y el plano de la pupila. Si por ejemplo se desea calcular las aberraciones de tercer y cuarto orden, se necesitan por lo menos 12 rayos.

40 Otra de las ventajas del Wavetracing local reside en la limitación local del cálculo. Como las características se calculan a partir de las derivadas locales, entra en Limes también un sector infinitamente pequeño del cristal para gafa que se utiliza para el cálculo. De este modo se consigue que la matriz de Jacobi sea muy dispersa con lo cual se reduce el problema de la optimización y se puede resolver de forma mucho más rápida.

45 Esto es particularmente ventajoso cuando se utilizan B-Splines para la representación superficial, ya que en estos Splines los coeficientes sólo influyen localmente en la superficie. Una consecuencia en la utilización del Wavetracing es que en principio se calcula el poder refringente de Gauss, es decir la zona "filiforme" en torno al rayo principal. Apenas es posible deducir de este poder refringente central el poder refringente medio en toda la pupila. Ocurre más o menos lo mismo con las aberraciones de orden superior. La ventaja aquí es que la pupila del ojo humano es pequeña y que se superpone además una pupila sensorial (función de ponderación) del diafragma corporal. Este fenómeno recibe el nombre de Efecto Stiles-Crawford y describe la sensibilidad en función del ángulo de apertura.

50 En una forma de realización sencilla de la presente invención se realiza una adaptación no ponderada de por ejemplo polinomios de Zernike a la función de aberración. En una forma de realización preferida se tiene también en cuenta el diafragma sensorial. Aquí se introduce también de preferencia para tener en cuenta el Efecto Stiles-Crawford una función de ponderación que contiene la sobrevaloración del borde de la pupila. Si se incluye esta

función de ponderación en el esquema de ortogonalización para polinomios de Zernike se obtiene entonces un nuevo conjunto de polinomios que representan mejor la realidad fisiológica.

De preferencia se obtiene y/o corrigen las aberraciones teniendo en cuenta un tamaño de pupila individual particular o en función de un tamaño individual de pupila. En particular se tiene en cuenta que la extensión total de las aberraciones de orden superior aumenta al ser mayor el tamaño de la pupila. Por consiguiente la dimensión total de la aberración medible depende del tamaño actual de la pupila durante el proceso de medición. Además la corrección de aberraciones con pupila grande aporta más mejoras de la impresión óptica que la corrección de las aberraciones en el caso de pupila pequeña. En una forma de realización preferida se tienen en cuenta los tamaños de la pupila en los que se repercuten las aberraciones así como aquellos que aparecen con frecuencia. El tamaño de la pupila depende de muchos factores (por ejemplo claridad ambiente, sistema nervioso vegetativo y edad, véase figura) y difiere de un individuo a otro. Por lo general el tamaño de la pupila depende de la edad. La variación interindividual es de aproximadamente 4 mm independientemente de la edad.

La interacción y/o la correlación de acomodación, convergencia y miosis de cerca (triada de cerca) dependen de los avatares fisiológicos (por ejemplo alteración de la triada de cerca por la edad). Por lo tanto, la convergencia y la acomodación influyen también en el tamaño de la pupila debido a la interacción de acomodación, convergencia y miosis de cerca. Por lo tanto se obtiene y elige de preferencia de forma individual para la corrección de las aberraciones de orden superior un diámetro de pupila adecuado y se tiene en cuenta al proyectar y/u optimizar el cristal para gafa. De preferencia al calcular y/o elegir el diámetro de pupila adecuado se tiene en cuenta uno o varios de los criterios siguientes:

- i. la edad;
- ii. varios resultados de medidas del tamaño de la pupila con diferente luminosidad;
- iii. varios resultados de medidas del tamaño de la pupila con estados de ánimo diferentes (influencia del sistema nervioso vegetativo);
- iv. iluminación típica en la que se tiene que utilizar las gafas, por ejemplo al conducir de noche;
- v. distancia típica a la cual se tienen que utilizar las gafas (triada de cerca, teniendo en cuenta además magnitudes que alteran la triada de cerca).

De preferencia en la corrección, particularmente en la aplicación preferida de la corrección de cerca se tiene en cuenta la influencia y/o la alteración de la aberración debido a la acomodación. De preferencia se tiene en cuenta una alteración de las aberraciones para ángulos visuales especiales en los puntos de recorrido de la vista.

Cierta medida de aberraciones monocromáticas puede resultar ventajosa para la vista (por ejemplo para controlar la acomodación o en el caso de astigmatismo para la agudeza visual), no se corrigen de preferencia totalmente todas las aberraciones calculadas con un aparato de medida. Se tiene más bien en cuenta de preferencia la compatibilidad que se puede esperar, es decir las aberraciones que se pueden corregir totalmente y en qué medida y cómo interactúan aberraciones diferentes con otras. De preferencia, teniendo en cuenta las interacciones o reacciones mencionadas se obtiene la máxima ganancia individual de performance visual.

De preferencia esto se consigue, por lo menos parcialmente, mediante

- simulación de la corrección de aberraciones de orden superior; y/o
- valoración subjetiva de la corrección de aberraciones de orden superior, cuya cuantía se corrige total o parcialmente; y/o
- la valoración subjetiva de la interacción de correcciones de diversas aberraciones; y/o
- la valoración individual de la calidad de visión, el confort de visión en la simulación de corrección de aberraciones.

De preferencia se valora subjetivamente la corrección de las aberraciones de orden superior de forma espontánea y/o tras la adaptación. Los datos fisiológicos sobre la compatibilidad a esperar/ventajas debidas a la corrección de las aberraciones de orden superior se recogen de preferencia en un banco de datos, con cuya ayuda es posible hacer predicciones sobre la compatibilidad espontánea así como sobre la posterior a la adaptación.

La óptica geométrica se refiere en particular al ámbito de la óptica que se caracteriza por el hecho de que se desprecia la longitud de onda (paso de límite $\lambda \rightarrow 0$). Se supone que la luz está formada por rayos. Un rayo de luz es por consiguiente en particular un haz luminoso infinitamente pequeño, cuya dirección queda determinada por la normal de la onda o del frente de onda. El Teorema de Malus-Dupin dice que un rayo de luz sigue vertical sobre la superficie de igual longitud de onda óptica tras muchas refracciones o reflexiones. Esta superficie de longitud de onda óptica igual recibe el nombre de frente de onda. El Principio de Fermat del camino óptico más corto dice que la longitud del camino óptico $\int_{P_0}^P n ds$ de un rayo entre dos puntos P_0, P_1 es más corta que cualquier otra curva de unión. A partir de allí se puede derivar de preferencia la ley de refracción y de reflexión y la relación de que, con una imagen perfecta, como se muestra esquemáticamente en particular en la figura 5, la longitud del camino óptico del punto del objeto al punto de la imagen es igual para todos los rayos. La figura 5 muestra la propagación de frentes de onda de un punto del objeto a un punto de la imagen a través de la lente óptica, en particular un cristal para gafa

preferido. En particular, la figura 5 muestra una imagen de un punto del objeto en un punto de la imagen en una lente con dos superficies con los poderes refringentes D1, D2 y el grosor central d. Las líneas circulares representan frentes de onda individuales.

- 5 La ley de refracción de Snellius dice que $n' \sin \epsilon' = n \sin \epsilon$ y se muestra claramente en la figura 6. De preferencia esto se formula del siguiente modo:

$$n' N_x N_s = n N_x N_s.$$

De preferencia se realiza una transformación para la representación vectorial de la ley de refracción, del siguiente modo:

$$\begin{aligned} N' N_s &= \mu N + \gamma N_s \\ \gamma N_s &= -\mu N + \sqrt{1 - \mu^2 (1 - N_s^2)} \\ \mu &= \frac{n}{n'} \end{aligned}$$

- 10 Esta representación describe en particular el vector de dirección del rayo emergente como función de la dirección del rayo incidente y de la superficie normal de la superficie refringente. De preferencia la determinación o definición de una función de aberración, en particular la función de aberración de por lo menos un ojo del usuario de la gafa y/o de la función de aberración del cristal de la gafa comprende el desarrollo de la función de aberración en una serie de potencias en función de los parámetros h' , r y θ de tal forma que se tiene:

$$W(h', r, \theta) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n a_{2l+m,n,m} h'^{2l+m} r^n \cos^m \theta$$

- 15 donde h' representa la distancia al eje óptico en el plano de la imagen, r la distancia al eje óptico en el plano de la pupila y θ el ángulo entre el eje x , y el recorrido r en el plano de la pupila.

El orden de una aberración se designa de preferencia del siguiente modo: $i = 2l + m + n$ y es en particular recta. Los defectos con $i = 4$ se designan de preferencia como aberraciones primarias o de Seidel.

l	n	m	$2l + m$	Término de Aberración	Aberración
0	4	0	0	$4 a_{0,4,0} r^4$	Aberración esférica
0	3	1	1	$a_{1,3,1} h' r^3 \cos \theta$	Coma
0	2	2	2	$a_{2,2,2} h'^2 r^2 \cos \theta$	Astigmatismo
1	2	0	2	$a_{2,2,0} h'^2 r^2$	Curvatura del campo de la imagen
1	1	1	3	$a_{3,1,1} h'^3 r \cos \theta$	Distorsión

Las aberraciones con $i = 6$ reciben el nombre de aberraciones secundarias o de Schwarzschild.

l	n	m	$2l + m$	Término de Aberración	Aberración
0	6	0	0	$a_{0,6,0} r^6$	Aberración esférica secundaria
0	5	1	1	$a_{1,5,1} h' r^5 \cos \theta$	Coma secundaria
0	4	2	2	$a_{2,4,2} h'^2 r^4 \cos \theta$	Astigmatismo secundario
0	3	3	3	$a_{3,3,3} h'^3 r^3 \cos \theta$	Defecto de arco
1	4	0	2	$a_{2,4,0} h'^2 r^4$	Aberración esférica lateral
1	3	1	3	$a_{3,3,1} h'^3 r^3 \cos \theta$	Coma lateral
1	2	2	4	$a_{4,2,2} h'^4 r^2 \cos^2 \theta$	Astigmatismo lateral
2	2	0	4	$a_{4,2,0} h'^4 r^2$	Curvatura lateral del campo de la imagen
2	1	1	5	$a_{5,1,1} h'^5 r \cos \theta$	Distorsión lateral

Las aberraciones con $i = 8$ reciben el nombre de aberraciones terciarias.

En una forma de realización preferida una aberración de orden superior tenida en cuenta en un método para proyectar y/o fabricar un cristal para gafa comprende una o varias de las aberraciones primarias y/o secundarias y/o terciarias mencionadas anteriormente. Para la reproducción de un punto individual del objeto la serie potencial se representa sin dependencia explícita de h' mediante

5

$$W(r, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n a_{n,m} r^n \cos^m \theta$$

y constituye particularmente una parametrización del frente de onda.

Las aberraciones primarias y secundarias correspondientes hasta de orden sexto n se reproducen en la siguiente tabla:

N	m	Término de Aberración	Aberración
1	1	$a_{1,1} r \cos \theta$	Distorsión
2	0	$2 a_{2,0} r^2$	Poder refringente
2	2	$a_{2,2} r^2 \cos^2 \theta$	Astigmatismo
3	1	$a_{3,1} r^3 \cos \theta$	Coma
3	3	$a_{3,3} r^3 \cos^3 \theta$	Defecto de arco
4	0	$a_{4,0} r^4$	Aberración esférica
4	2	$a_{4,2} r^4 \cos^2 \theta$	Astigmatismo secundario
5	1	$a_{5,1} r^5 \cos \theta$	Coma secundaria
6	0	$a_{6,0} r^6$	Aberración esférica secundaria

Considerando sólo un campo infinitesimal alrededor del eje óptico ($r > 0$) se llega a la óptica de Gauss (u óptica paraxial). Se obtiene para la aberración de segundo orden (poder refringente) en la refracción de un frente de onda esférico en una superficie esférica la ecuación de distancia focal o de vergencia (figura 7). La figura 7 muestra la refracción de un frente de onda esférico en una superficie esférica. Aquí un frente de onda esférico en particular vertical incide de preferencia sobre una superficie esférica por lo menos local (D). De preferencia se tiene aquí como ecuación de distancia focal:

10

$$S' = S + D$$

$$\text{con } S = \frac{n}{s}$$

$$D = \frac{n' - n}{r} = n' - n K$$

$$S' = \frac{n'}{s'}$$

15

Aquí s es en particular la distancia focal del lado del objeto (distancia del punto del objeto hasta la superficie refringente) y corresponde al radio de curvatura del frente de onda incidente, s' es en particular la distancia focal del lado de la imagen (distancia del punto de la imagen hasta la superficie refringente) y corresponde al radio de curvatura del frente de onda emergente. r es el radio de curvatura de la superficie refringente (distancia del punto central de la superficie refringente hasta la superficie refringente). n es el índice de refracción del medio del lado del objeto. n' es el índice de refracción del medio en el lado de la imagen.

20

De preferencia esta representación se amplía al caso de una incidencia oblicua del frente de onda sobre una superficie astigmática. Un frente de onda esférico incide de forma oblicua sobre una superficie esférica o una superficie astigmática en la cual la dirección de la curvatura principal coincide con el plano de refracción. De preferencia se obtienen las ecuaciones:

25

$$S'_x = S + D_x \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$S'_x \cos^2 \epsilon' = S \cos^2 \epsilon + D_y \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

con ε = ángulo de incidencia, ε' = ángulo emergente

Estas ecuaciones reciben también el nombre de "Ecuación de Coddington". S'_y, D_y corresponden de preferencia de forma análoga a la ecuación de la distancia focal, a los inversos de las distancias en el plano de refracción y S'_x, D_x de forma correspondiente verticalmente al plano de refracción.

- 5 El caso más complejo de segundo orden es aquel en el que un frente de onda coincide en las direcciones de curvatura principal de la superficie del frente de onda incidente, ni coinciden con el plano de refracción. Este caso se representa en la figura 8. La figura 8 muestra en particular una transición a la incidencia oblicua y el abandono de la simetría de rotación. Esto lleva en particular a la ecuación general de Coddington:

$$C'S'C' = CSC + \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n} D$$

$$S = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{xy} & S_{yy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S + \frac{z}{2} - \frac{z}{2} \cos 2\alpha & -\frac{z}{2} \sin 2\alpha \\ -\frac{z}{2} \sin 2\alpha & S + \frac{z}{2} + \frac{z}{2} \cos 2\alpha \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon \end{pmatrix} \quad C' = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon' \end{pmatrix}$$

y S' en consonancia.

- 10 Las características locales son exactas para el territorio diferencial local y una buena aproximación para un territorio pequeño, en particular cuando las derivadas superiores son pequeñas. De preferencia se utilizan vectores de potencia para describir un efecto esfero-cilíndrico de una superficie refringente, en particular la superficie delantera y/o la posterior del cristal para gafa o del frente de onda. Para la representación de vectores de potencia se remite en particular a Harris W. "Power Vectors Versus Power Matrices, and the Mathematical Nature of Dioptric Power", OWS 11/2007.
- 15

Como componentes básicos del vector se utilizan de preferencia la curvatura normal en sentido x k_N , curva geodésica en sentido x τ y la curvatura normal en el sentido y k_N . El vector con los componentes esfero-cilíndricos correspondientes se representa entonces de preferencia mediante:

$$\begin{pmatrix} S_{xx} \\ S_{xy} \\ S_{yy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S + \frac{z}{2} - \frac{z}{2} \cos 2\alpha \\ -\frac{z}{2} \sin 2\alpha \\ S + \frac{z}{2} - \frac{z}{2} \cos 2\alpha \end{pmatrix}$$

Con esta escritura resulta muy sencillo escribir la ecuación de Coddington:

$$C'S' = CS + D \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$S' = \begin{pmatrix} S'_{xx} \\ S'_{xy} \\ S'_{yy} \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} S_{xx} \\ S_{xy} \\ S_{yy} \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} D_{xx} \\ D_{xy} \\ D_{yy} \end{pmatrix}$$

$$C' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon' & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \varepsilon' \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \varepsilon \end{pmatrix}$$

- 20 A continuación se describen dos métodos preferidos, diferentes para la descripción y/o el cálculo de un frente de onda en particular procedente de un punto del objeto, una superficie refringente, en particular la superficie delantera y/o trasera del cristal para gafa y el frente de onda emergente. De preferencia, el método según la invención para proyectar y/o para fabricar un cristal para gafa en una forma de realización preferida comprende uno o varios de estos métodos preferidos para describir y/o calcular un frente de onda o por lo menos una superficie del cristal para gafa.
- 25

Una de las primeras formas de realización preferida comprende la definición de tres sistemas de coordenadas cartesianas locales. Aquí se asigna un primer sistema de coordenadas (x, y, z) a un frente de onda incidente, un segundo sistema de coordenadas (x_s, y_s, z_s) a la superficie refringente y un tercer sistema de coordenadas (x', y', z') al frente de onda emergente y/o saliente. La figura 9 muestra los tres sistemas de coordenadas locales de la superficie, del frente de onda incidente y del emergente según una forma de realización preferida. El eje z (y/o el eje z_s , y/o el eje z') corresponde cada uno a la dirección de la normal del frente de onda incidente y/o emergente (y/o el rayo principal incidente y emergente) de la superficie refringente. El eje x (y/o x_s , y/o x') está siempre vertical sobre el plano de refracción (plano de dibujo en la figura 9) y es por lo tanto idéntico en todos los sistemas de coordenadas.

30

El eje y (y/o y_s , y/o y') está vertical sobre el eje x y el z (y/o eje x_s y z_s , y/o x' y z') y se encuentra por lo tanto en el plano de refracción.

De preferencia se realiza una transformación de coordenadas para pasar de uno de estos sistemas de coordenadas preferidos a otro, y viceversa. La transformación de coordenadas constituye de preferencia una rotación alrededor del eje x en torno al ángulo incidente y/o emergente.

$$\text{Rot } \epsilon = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon & -\sin \epsilon \\ 0 & \sin \epsilon & \cos \epsilon \end{pmatrix} \quad \text{Rot } \epsilon' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon' & -\sin \epsilon' \\ 0 & \sin \epsilon' & \cos \epsilon' \end{pmatrix}$$

Además existe entre las coordenadas del frente de onda incidente, la coordenada y_s de la superficie refringente y la coordenada y' del frente de onda emergente, en particular la siguiente relación:

$$y(y_s) = y_s \cos \epsilon$$

$$y'(y_s) = y_s \cos \epsilon'$$

La relación de los sistemas de coordenadas locales se representa nuevamente en la figura 10 para los frentes de ondas (WF_{in}) incidentes pertenecientes a un rayo principal (HS) y los frentes de ondas emergentes (WF_{out}).

En otra forma de realización preferida, el método para proyectar y/o fabricar un cristal para gafa comprende la definición de un sistema de coordenadas global. De preferencia el sistema de coordenadas global corresponde al sistema de coordenadas local de la superficie. El eje z es aquí idéntico a la normal de la superficie refringente, en particular la superficie delantera y/o la trasera del cristal para gafa. No se precisa por lo tanto ninguna transformación de coordenadas.

En este caso de un sistema de coordenadas global existe la siguiente relación entre la coordenada y del frente de onda incidente, la coordenada y_s de la superficie refringente y la coordenada y' del frente de onda emergente como se representa en la figura 11 para los frentes de onda incidentes (WF_{in}) y emergentes (WF_{out}) que pertenecen a un rayo principal (HS).

$$y(y_s) = y_s \cos^2 \epsilon$$

$$y'(y_s) = y_s \cos^2 \epsilon'$$

Como se ha mostrado anteriormente, los frentes de onda y/o las superficies, en particular la superficie delantera y/o la trasera del cristal para gafa se describen o representan de preferencia mediante series potenciales. La función de aberración o frente de onda para un punto del objeto fijo con los parámetros r y θ descrito anteriormente:

$$W(r, \theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n a_{n,m} r^n \cos^m \theta$$

se representa de preferencia de forma similar en coordenadas cartesianas del siguiente modo:

$$W(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{a_{n,n-m}}{n!} x^m y^{n-m}$$

donde en particular el término constante que no se necesita preferentemente en la siguiente consideración se desprecia y se produce además una normalización a través de la facultad de n. En la siguiente tabla se ofrece una relación conforme con esta representación preferida de las aberraciones primarias hasta cuarto orden, donde de preferencia se tiene en cuenta uno o varios de estos términos de aberración al proyectar o fabricar el cristal para gafa.

N	m	n-m	Término de aberración	Aberración
1	1	0	$a_{1,0}x$	Prisma _x
1	0	1	$a_{0,1}y$	Prisma _y
2	2	0	$\frac{a_{2,0}}{2}x^2$	Sph _{xx}
2	1	1	$\frac{a_{1,1}}{2}xy$	Sph _{xy}
2	0	2	$\frac{a_{0,2}}{2}y^2$	Sph _{yy}
3	3	0	$\frac{a_{3,0}}{3}x^3$	Coma _{xxx}
3	2	1	$\frac{a_{2,1}}{3}x^2y$	Coma _{xyx}
3	1	2	$\frac{a_{1,2}}{3}xy^2$	Coma _{xyy}

3	0	3	$\frac{a_{0,3}}{3} y^3$	Coma _{yyy}
4	4	0	$\frac{a_{4,0}}{4} x^4$	Aberración específica _{xxx}
4	3	1	$\frac{a_{3,1}}{4} x^3 y$	Aberración específica _{xxxy}
4	2	2	$\frac{a_{2,2}}{4} x^2 y^2$	Aberración específica _{xyyy}
4	1	3	$\frac{a_{1,3}}{4} x y^3$	Aberración específica _{xyyy}
4	0	4	$\frac{a_{0,4}}{4} y^4$	Aberración específica _{yyyy}

Si se utilizan tres sistemas de coordenadas locales, se suprime también el término de primer orden.

$$W_{x,y} = \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{a_{m,n-m}}{n!} x^m y^{n-m}$$

Para el frente de onda incidente hasta sexto orden se tiene:

$$WF_{in} x,y = (x,y, \sum_{n=2}^6 \sum_{m=0}^n \frac{a_{m,n-m}}{n!} x^m y^{n-m})$$

Las aberraciones locales correspondientes del frente de onda incidente se obtienen multiplicando el coeficiente por el índice de refracción n:

5 $Sph_{xx} = na_{2,0}; Sph_{xy} = na_{1,1}; Sph_{yy} = na_{0,2}; Coma_{xxx} = na_{3,0}, \text{ etc.}$

Equivalente para la superficie refringente:

$$S_{x_s,y_s} = (x_s,y_s, \sum_{n=2}^6 \sum_{m=0}^n \frac{a_{m,n-m}}{n!} x_s^m y_s^{n-m})$$

Las aberraciones locales correspondientes de la superficie refringente se obtienen multiplicando el coeficiente por la diferencia de índices de refracción n'-n:

$Sph_{Sxx} = (n'-n) a_{2,0}; Sph_{Sxy} = (n'-n) a_{1,1}; Sph_{Syy} = (n'-n) a_{0,2}; Coma_{Sxxx} = (n'-n) a_{3,0}, \text{ etc.}$

10 y equivalente para el frente emergente:

$$WF_{out} x',y' = (x',y', \sum_{n=2}^6 \sum_{m=0}^n \frac{a_{m,n-m}}{n!} x'^m y'^{n-m})$$

Las aberraciones locales correspondientes del frente de onda emergente se obtienen multiplicando el coeficiente por el índice de refracción n':

$Sph'_{xx} = n'a_{2,0}; Sph'_{xy} = n'a_{1,1}; Sph'_{yy} = n'a_{0,2}; Coma'_{xxx} = n'a_{3,0}, \text{ etc.}$

15 De preferencia el proyecto y/o la fabricación del cristal para gafa comprende el cálculo de la aberración del frente de onda saliente o emergente del lado del ojo. Esta depende en particular de la aberración del frente de onda incidente y de la aberración de la superficie refringente, en particular de la primera y/o de la segunda superficie del cristal para gafa. Se procede preferentemente del siguiente modo:

De preferencia el cálculo de la aberración del frente de onda emergente comprende uno o varios de los pasos preferidos, en particular en la sucesión indicada:

- 20 - Obtención y/o cálculo de la normal del frente de onda incidente de la superficie refringente a partir de las derivadas primeras de dirección

$$N_{x,y} = \frac{\frac{\partial WF_{in}}{\partial x} \times \frac{\partial WF_{in}}{\partial y}}{\frac{\partial WF_{in}}{\partial x} \times \frac{\partial WF_{in}}{\partial y}} \quad N_{x_s,y_s} = \frac{\frac{\partial S}{\partial x_s} \times \frac{\partial S}{\partial y_s}}{\frac{\partial S}{\partial x_s} \times \frac{\partial S}{\partial y_s}}$$

- Obtención y cálculo de la normal del frente de onda emergente con la ley de refracción

$$N' N, N_S = \mu N + \gamma N, N_S N_S$$

$$\gamma N, N_S = \mu N \cdot N_S + \frac{1 - \mu^2 N \cdot N_S^2}{2}$$

$$\mu = \frac{n}{n'}$$

- Diferenciación de la normal del frente de la onda emergente con la ley de refracción

$$\frac{\partial}{\partial y} N' N, N_S = \frac{\partial}{\partial y'^2} N' N, N_S \text{ etc.}$$

- Obtención y/o cálculo de la normal de la descripción (serie potencial) del frente de onda emergente y derivada correspondiente de la normal

$$N x, y = \frac{\frac{\partial W F_{out}}{\partial x'} \times \frac{\partial W F_{out}}{\partial y'}}{\frac{\partial W F_{out}}{\partial x'} \times \frac{\partial W F_{out}}{\partial y'}} \frac{\partial}{\partial y'} N_{WF} x', y' \text{ etc.}$$

- 5
- Determinación de los coeficientes a_k del frente de onda emergente y/o saliente en particular igualando las derivadas

$$\frac{\partial}{\partial y'} N' N, N_S = \frac{\partial}{\partial y'} N_{WF} x', y' \text{ etc.}$$

y/o

- Obtención y/o cálculo de las aberraciones a partir de los coeficientes a_k .

$$z y = \sum_k \frac{a_k}{k!} y^k = \frac{a_2}{2} y^2 + \frac{a_3}{3} y^3 + \frac{a_4}{4} y^4 + \frac{a_5}{5} y^5 + \frac{a_6}{6} y^6 \dots$$

$$\text{con Sph} = n \cdot a_2 \quad \text{Coma} = n \cdot a_3 \quad \text{Sph.Aber.} = n \cdot a_4$$

$$\text{Sec.Coma} = n \cdot a_5 \quad \text{Sec.Cph.Aber.} = n \cdot a_6$$

- 10
- A continuación se resumen las relaciones de las distintas magnitudes para aberraciones de orden diferente en la consideración del número distinto de dimensiones también para diversos grados de simetría para formas de realización preferidas de la presente invención.

El poder refringente y el astigmatismo se pueden representar y/o calcular de forma unidimensional mediante las características de la imagen en el plano de refracción y:

- 15
- Con incidencia vertical del frente de onda incidente sobre la superficie:

$$S' = S + D$$

- Con incidencia oblicua del frente de onda incidente:

$$S' \cos^2 \varepsilon^2 = S \cos^2$$

- 20
- En dos dimensiones se tiene para una incidencia vertical del frente de onda para la ecuación de distancia focal (ecuación de vergencia)

- Frente de onda de simetría de rotación y superficie:

$$S' = S + D;$$

- En el caso de frente de onda astigmático y superficie con ejes paralelos:

$$S'_x = S_x + D_x$$

$$S'_y = S_y + D_y$$

25

y

- En el caso de frente de onda astigmático y superficie con ejes oblicuos (cilindros cruzados inclinados):

$$S'_{xx} = S_{xx} + D_{xx}$$

$$S'_{xy} = S_{xy} + D_{xy}$$

$$S'_{yy} = S_{yy} + D_{yy}$$

En dos dimensiones con incidencia oblicua del frente de onda se obtiene de preferencia

- En el caso de frente de onda esférico y superficie:

$$S'_x = S + D \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$S'_y \cos^2 \epsilon' = S \cos^2 \epsilon + D \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

5

- En el caso de frente de onda esférico y superficie astigmática pero con una dirección de corte principal paralela al plano de refracción:

Ecuación de Coddington:

$$S'_z = S + D_z \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$S'_y \cos^2 \epsilon' = S \cos^2 \epsilon + D_y \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

- En el caso de frente de onda astigmático y superficie astigmática con posiciones axiales oblicuas, que no coinciden con el plano de refracción:

Ecuación general de Coddington:

$$CS'C = CSC + \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n} D$$

$$S = \begin{pmatrix} S_{xx} & S_{xy} \\ S_{xy} & S_{yy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S + \frac{z}{2} & -\frac{z}{2} \cos 2\alpha \\ -\frac{z}{2} \sin 2\alpha & S + \frac{z}{2} + \frac{z}{2} \cos 2\alpha \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon \end{pmatrix} \quad C' = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon' \end{pmatrix}$$

10

Teniendo en cuenta aberraciones de orden superior se calcula de preferencia en la forma indicada a continuación, en una dimensión, características de la imagen en el plano de refracción con sólo un defecto individual de un orden de la superficie y el frente de onda:

- En el caso de incidencia vertical del frente de onda incidente sobre la superficie: poder refringente: $S' = S + D$ (ecuación de la distancia focal)

15

Coma:	$\text{Coma}' = \text{Coma} + \text{Coma}_S$
Aberración Esférica:	$\text{Aberración Esférica}' = \text{Aberración Esférica} + \text{Aberración Esférica}_S$
Coma Secundaria:	$\text{Coma Secundaria}' = \text{Coma Secundaria} + \text{Coma Secundaria}_S$
Aberración Esférica Secundaria:	$\text{Aberración Esférica Secundaria}' = \text{Aberración Esférica Secundaria} + \text{Aberración Esférica Secundaria}_S$

20

Aquí se generaliza de preferencia la ecuación de la distancia focal mediante:

$$\text{Error}' = \text{Error} + \text{Error}_S$$

- Con una incidencia oblicua del frente de onda incidente:

Poder refringente: $S'_y \cos^2 \epsilon' = S \cos^2 \epsilon + D \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$

Coma: $\text{Coma}' \cos^3 \epsilon' = \text{Coma} \cos^3 \epsilon + D \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$

Aberración esférica:

$$\text{Sph. Aber.}' \cos^4 \epsilon' = \text{Sph. Aber.} \cos^4 \epsilon + \text{Sph. Aber.}_S \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

Coma secundaria:

$$\text{Sec. Coma}' \cos^5 \epsilon' = \text{Sec. Coma} \cos^5 \epsilon + \text{Sec. Coma}_S \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

25

Aberración esférica secundaria:

$$Sec. Sph. Aber.' \cos^6 \varepsilon' = Sec. Sph. Aber. \cos^6 \varepsilon + Sec. Sph. Aber._s \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

Aquí se generaliza de preferencia la ecuación de la distancia focal del siguiente modo:

$$Error \ k \ \cos^k \varepsilon' = Error \ k \ \cos^k \varepsilon + Sph. Error_s(k) \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

Teniendo en cuenta aberraciones de orden superior se obtienen del siguiente modo en dos dimensiones características de la imagen con un solo ejemplo de un orden de la superficie y del frente de onda:

Poder refringente:

$$S'_{xx} = S_{xx} + D_{xx} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$S'_{xy} \cos \varepsilon' = S_{xy} \cos \varepsilon + D_{xy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$S'_{yy} \cos^2 \varepsilon' = S_{yy} \cos^2 \varepsilon + D_{yy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

5 Coma:

$$Coma'_{xxx} = Coma_{xxx} + Coma_{s \ xxx} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$Coma'_{xxy} \cos \varepsilon' = Coma_{xxy} \cos \varepsilon + Coma_{s \ xxy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$Coma'_{xyy} \cos^2 \varepsilon' = Coma_{xyy} \cos^2 \varepsilon + Coma_{s \ xyy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$Coma'_{yyy} \cos^3 \varepsilon' = Coma_{yyy} \cos^3 \varepsilon + Coma_{s \ yyy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

Aberración esférica:

$$SphAber_{xxx}' = SphAber_{xxx} + SphAber_{s \ xxx} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$SphAber_{xxy}' \cos \varepsilon' = SphAber_{xxy} \cos \varepsilon + SphAber_{s \ xxy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$SphAber_{xyy}' \cos^2 \varepsilon' = SphAber_{xyy} \cos^2 \varepsilon + SphAber_{s \ xyy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$SphAber_{yyy}' \cos^3 \varepsilon' = SphAber_{yyy} \cos^3 \varepsilon + SphAber_{s \ yyy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$SphAber_{yyy}' \cos^4 \varepsilon' = SphAber_{yyy} \cos^4 \varepsilon + SphAber_{s \ yyy} \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

Coma secundaria:

$$Sec. Coma_{xxxx}' = Sec. Coma_{xxxx} + Sec. Coma_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. Coma_{xxxx}' \cos \epsilon' = Sec. Coma_{xxxx} \cos \epsilon + Sec. Coma_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. Coma_{xxxx}' \cos^2 \epsilon' = Sec. Coma_{xxxx} \cos^2 \epsilon + Sec. Coma_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. Coma_{xxxx}' \cos^3 \epsilon' = Sec. Coma_{xxxx} \cos^3 \epsilon + Sec. Coma_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. Coma_{xxxx}' \cos^4 \epsilon' = Sec. Coma_{xxxx} \cos^4 \epsilon + Sec. Coma_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. Coma_{xxxx}' \cos^5 \epsilon' = Sec. Coma_{xxxx} \cos^5 \epsilon + Sec. Coma_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

Aberración esférica secundaria:

$$Sec. SphAber_{xxxx}' = Sec. SphAber_{xxxx} + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. SphAber_{xxxx}' \cos \epsilon' = Sec. SphAber_{xxxx} \cos \epsilon + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. SphAber_{xxxx}' \cos^2 \epsilon' = Sec. SphAber_{xxxx} \cos^2 \epsilon + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. SphAber_{xxxx}' \cos^3 \epsilon' = Sec. SphAber_{xxxx} \cos^3 \epsilon + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. SphAber_{xxxx}' \cos^4 \epsilon' = Sec. SphAber_{xxxx} \cos^4 \epsilon + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. SphAber_{xxxx}' \cos^5 \epsilon' = Sec. SphAber_{xxxx} \cos^5 \epsilon + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$Sec. SphAber_{xxxx}' \cos^6 \epsilon' = Sec. SphAber_{xxxx} \cos^6 \epsilon + Sec. SphAber_{s,xxxx} \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

La forma de escritura preferida del vector potencial es, en particular:

- 5 Poder refringente:

$$C'\bar{S}' = C\bar{S} + \bar{D} \frac{n'\cos \varepsilon' - n\cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$\bar{S}' = \begin{pmatrix} S'_{xx} \\ S'_{xy} \\ S'_{yy} \end{pmatrix} \quad \bar{S} = \begin{pmatrix} S_{xx} \\ S_{xy} \\ S_{yy} \end{pmatrix} \quad \bar{D} = \begin{pmatrix} D_{xx} \\ D_{xy} \\ D_{yy} \end{pmatrix}$$

$$C' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon' & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \varepsilon' \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \varepsilon \end{pmatrix}$$

Coma:

$$C'\bar{K}' = C\bar{K} + \bar{K}_s \frac{n'\cos \varepsilon' - n\cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$\bar{K}' = \begin{pmatrix} K'_{xxx} \\ K'_{xxy} \\ K'_{xyy} \\ K'_{yyy} \end{pmatrix} \quad \bar{K} = \begin{pmatrix} K_{xxx} \\ K_{xxy} \\ K_{xyy} \\ K_{yyy} \end{pmatrix} \quad \bar{K}_s = \begin{pmatrix} K_{sxxx} \\ K_{sxxy} \\ K_{sxyy} \\ K_{sy yy} \end{pmatrix}$$

$$C' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \varepsilon' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos^3 \varepsilon' \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos^3 \varepsilon \end{pmatrix}$$

- 5 Para una generalización preferida de la ecuación de Coddington se obtiene:

$$C' \bar{E}(k)' = C \bar{E}(k) + \lambda \bar{E}(k)_s$$

$$\lambda = \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

$$\bar{E}' = \begin{pmatrix} E'_{kx} \\ E'_{(k-1)x,y} \\ \dots \\ E'_{ky} \end{pmatrix} \quad \bar{E} = \begin{pmatrix} E_{kx} \\ E_{(k-1)x,y} \\ \dots \\ E_{ky} \end{pmatrix} \quad \bar{E}_s = \begin{pmatrix} E_{skx} \\ E_{s(k-1)x,y} \\ \dots \\ E_{sky} \end{pmatrix}$$

$$C' = \begin{pmatrix} c'_{1,1} & \dots & c'_{1,k+1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c'_{k+1,1} & \dots & c'_{k+1,k+1} \end{pmatrix} \quad c'_{i,j} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ \cos^{i-1} \varepsilon' \text{ für } & i = j \end{cases}$$

$$C = c_{i,j} = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ \cos^{i-1} \varepsilon \text{ für } & i = j \end{cases}$$

Teniendo en cuenta aberraciones de orden superior se obtiene de preferencia del siguiente modo, en características de la imagen de dos dimensiones con varios defectos:

$$C' \bar{E}(k)' = C \bar{E}(k) + \lambda \bar{E}(k)_s + \bar{Z}$$

$$\lambda = \frac{n' \cos \varepsilon' - n \cos \varepsilon}{n' - n}$$

5

Por ejemplo para Coma

$$C'\bar{K}' = C\bar{K} + \lambda\bar{K}_s + \bar{Z}$$

$$\lambda = \frac{n' \cos \epsilon' - n \cos \epsilon}{n' - n}$$

$$\bar{K}' = \begin{pmatrix} K'_{xx} \\ K'_{xy} \\ K'_{yy} \\ K'_{yy} \\ K'_{yy} \end{pmatrix} \quad \bar{K} = \begin{pmatrix} K_{xx} \\ K_{xy} \\ K_{yy} \\ K_{yy} \\ K_{yy} \end{pmatrix} \quad \bar{K}_s = \begin{pmatrix} K_{sxx} \\ K_{sxy} \\ K_{syy} \\ K_{syy} \\ K_{syy} \end{pmatrix}$$

$$C' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon' & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \epsilon' & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos^3 \epsilon' \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \epsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos^2 \epsilon & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos^3 \epsilon \end{pmatrix}$$

$$\bar{Z} = \begin{pmatrix} Z_{xx} \\ Z_{xy} \\ Z_{yy} \\ Z_{yy} \\ Z_{yy} \end{pmatrix}$$

$$Z_{xx} = 2 \tan \epsilon' \lambda D_{xx} \left(\frac{D_{yy}}{n' - n} - \frac{S_{yy}}{n} \right)$$

$$Z_{xy} = 3 \frac{\sin \epsilon'}{n'} \left(\left(\frac{n'}{n} S_{xx} \right)^2 - (\lambda D_{xx} + S_{xx})^2 + \frac{n'^2 \cos^2 \epsilon' - n^2 \cos^2 \epsilon}{\cos^2 \epsilon'} \left(\frac{D_{yy}}{n' - n} - \frac{S_{yy}}{n} \right)^2 \right)$$

$$Z_{yy} = 6 \tan \epsilon' \lambda D_{yy} \left(\frac{D_{yy}}{n' - n} - \cos \epsilon \frac{S_{yy}}{n} \right)$$

$$Z_{yy} = \frac{\sin \epsilon'}{n'} \left(\frac{n'^2 \cos^2 \epsilon' - n^2 \cos^2 \epsilon}{\cos^2 \epsilon'} \left(\cos \epsilon \frac{S_{yy}}{n} - \frac{D_{yy}}{n' - n} \right)^2 + \cos^2 \epsilon \frac{n'^2}{n^2} S_{yy}^2 - (\cos \epsilon S_{yy} + \lambda D_{yy})^2 \right)$$

En una forma de realización preferida las aberraciones individuales presentan ciertas dependencias. En lo que sigue se presenta una panorámica de las relaciones entre las características del frente de onda saliente o emergente en función de características del frente de onda entrante o incidente o de la superficie refringente o de superficies en el/los planos refringentes hasta sexto orden (aberración esférica secundaria). En las tablas siguientes se recogen, para una característica del frente de onda emergente, combinaciones preferidas de aberraciones del frente de onda incidente o de la superficie refringente. Cada línea de la tabla constituye una posible combinación. Un cero significa que la superficie incidente o refringente no tiene esta característica, un Más (+) significa que la superficie incidente o refringente tiene esta propiedad y dicha propiedad influye también en la propiedad representada del frente de onda emergente y un Más ((+)), significa que la superficie incidente o refringente tiene esta propiedad pero la misma no influye de preferencia en la característica representada del frente de onda emergente. En la columna izquierda

figuran nuevamente las características del frente de onda incidente o de la superficie refringente que influye en la propiedad representada del frente de onda emergente.

Poder refringente:

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente	
Poder refringente	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D
D	(+)	0
D	0	+
e, D	+	+

- 5 El poder refringente del frente de onda incidente y/o de la superficie refringente influye siempre en el poder refringente del frente de onda emergente.

Coma:

Frente de onda saliente	Frente de onda incidente/superficie refringente		
Coma	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K
0	(+)	0	0
D	0	(+)	0
K	0	0	+
e, D	+	+	0
e, K	+	0	+
K	0	(+)	+
e, D, K	+	+	+

La coma del frente de onda incidente y/o la superficie refringente influye siempre en la coma del frente de onda saliente. El poder refringente sólo influye en la coma del frente de onda saliente cuando dicho frente de onda incide oblicuamente.

10

Aberración esférica:

Frente de onda saliente	Frente de onda incidente/superficie refringente			
Aberración esférica	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA
0	(+)	0	0	0

(continuación)

Frente de onda saliente	Frente de onda incidente/superficie refringente			
Aberración esférica	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA
D	0	+	0	0
0	0	0	(+)	0
SA	0	0	0	+
e, D	+	+	0	0
0	(+)	0	(+)	0

e, SA	+	0	0	+
D	0	+	(+)	0
D, SA	0	+	0	+
SA	0	0	(+)	+
e, D, K	+	+	+	0
e, D, SA	+	+	0	+
e, SA	+	0	(+)	+
D, SA	0	+	(+)	+
e, D, K, SA	+	+	+	+

La aberración esférica del frente de onda incidente y/o la superficie refringente influye siempre en la aberración esférica del frente de onda saliente. La coma del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la aberración esférica del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente y la incidencia oblicua. El poder refringente del frente de onda incidente y/o la superficie refringente influye siempre en la aberración esférica del frente de onda emergente.

5

Coma secundaria:

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente				
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma sec. Seck
0	(+)	0	0	0	0
0	0	(+)	0	0	0
0	0	0	(+)	0	0

(continuación)

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente				
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma sec. Seck
0	0	0	0	(+)	0
Seck	0	0	0	0	+
e, D	+	+	0	0	0
e, K	+	0	+	0	0
0	(+)	0	0	(+)	0
e, Seck	+	0	0	0	+
D, K	0	+	+	0	0
0	0	(+)	0	(+)	0
Seck	0	(+)	0	0	+
0	0	0	(+)	(+)	0
Seck	0	0	(+)	0	+
Seck	0	0	0	(+)	+
e, D, K	+	+	+	0	0

e, D, SA	+	+	0	+	0
e, D, Seck	+	+	0	0	+
e, K	+	0	+	(+)	0
e, K, Seck	+	0	+	0	+
e, Seck	+	0	0	(+)	+
D, K	0	+	+	(+)	0
D, K, Seck	0	+	+	0	+
Seck	0	(+)	0	(+)	+
Seck	0	0	(+)	(+)	+
e, D, K, SA	+	+	+	+	0
e, D, K, Seck	+	+	+	0	+
e, D, SA, Seck	+	+	0	+	+
e, K, Seck	+	0	+	(+)	+

(continuación)

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente				
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma sec. Seck
D, K, Seck	0	+	+	(+)	+
e, D, K, SA, Seck	+	+	+	+	+

La coma secundaria del frente de onda incidente y/o la superficie refringente influye siempre en la coma secundaria del frente de onda emergente. La aberración esférica del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la coma secundaria del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente y la incidencia oblicua. La coma del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la coma secundaria del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente y/o la incidencia oblicua. El poder refringente del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la coma secundaria del frente de onda emergente en combinación con la coma y/o la incidencia oblicua.

10 Aberración esférica secundaria

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente					
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma secundaria Seck	Aberración esférica secundaria SecSA
0	(+)	0	0	0	0	0
D	0	+	0	0	0	0
0	0	0	(+)	0	0	0
0	0	0	0	(+)	0	0
0	0	0	0	0	(+)	0
SecSA	0	0	0	0	0	+

e, D	+	+	0	0	0	0
0	(+)	0	(+)	0	0	0
0	(+)	0	0	(+)	0	0
0	(+)	0	0	0	(+)	0
e, SecSA	+	0	0	0	0	+
D, K	0	+	+	0	0	0

(continuación)

Frete de onda emergente	Frete de onda incidente/superficie refringente					
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma secundaria Seck	Aberración esférica secundaria SecSA
D, SA	0	+	0	+	0	0
D	0	+	0	0	(+)	0
D, SecSA	0	+	0	0	0	+
0	0	0	(+)	(+)	0	0
0	0	0	(+)	0	(+)	0
SecSA	0	0	(+)	0	0	+
0	0	0	0	(+)	(+)	0
SecSA	0	0	0	(+)	0	+
SecSA	0	0	0	0	(+)	+
e, D, K	+	+	+	0	0	0
e, D, SA	+	+	0	+	0	0
e, D, Seck	+	+	0	0	+	0
e, D, SecSA	+	+	0	0	0	+
e, K, SA	+	0	+	+	0	0
0	(+)	0	(+)	0	(+)	0
e, SecSA	+	0	(+)	0	0	+
D, K, SA	0	+	+	+	0	0
D, K	0	+	+	0	(+)	0
D, K, SecSA	0	+	+	0	0	+
D, SA	0	+	0	+	(+)	0
D, SA, SecSA	0	+	0	+	0	+
D, SecSA	0	+	0	0	(+)	+
0	0	0	(+)	(+)	(+)	0
SecSA	0	0	(+)	(+)	0	+

(continuación)

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente					
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma secundaria Seck	Aberración esférica secundaria SecSA
SecSA	0	0	(+)	0	(+)	+
SecSA	0	0	0	(+)	(+)	+
e, D, K, SA	+	+	+	+	0	0
e, D, K, Seck	+	+	+	0	+	0
e, D, K, SecSA	+	+	+	0	0	+
e, D, SA, Seck	+	+	0	+	+	0
e, D, SA, SecSA	+	+	0	+	0	+
e, D, Seck, SecSA	+	+	0	0	+	+
e, K, SA	+	0	+	+	(+)	0
e, K, SA, SecSA	+	0	+	+	0	+
e, SecSA	+	0	(+)	0	(+)	+
e, SecSA	+	0	0	(+)	(+)	+
D, K, SA	0	+	+	+	(+)	0
D, K, SA, SecSA	0	+	+	+	0	+
D, K, SecSA	0	+	+	0	(+)	+
D, SA, SecSA	0	+	0	+	(+)	+
SecSA	0	0	(+)	(+)	(+)	+
e, D, K, SA, Seck	+	+	+	+	+	0

(continuación)

Frente de onda emergente	Frente de onda incidente/superficie refringente					
Coma Secundaria	Ángulo de incidencia e	Poder refringente D	Coma K	Aberración esférica SA	Coma secundaria Seck	Aberración esférica secundaria SecSA
e, D, K, SA, SecSA	+	+	+	+	0	+
e, D, K, Seck, SecSA	+	+	+	0	+	+
e, D, SA,	+	+	0	+	+	+

Seck, SecSA						
e, K, SA, SecSA	+	0	+	+	(+)	+
D, K, SA, SecSA	0	+	+	+	(+)	+
e, D, K, SA, Seck, SecSA	+	+	+	+	+	+

La aberración esférica secundaria del frente de onda incidente y/o la superficie refringente influye siempre en la aberración esférica secundaria del frente de onda emergente. La coma secundaria del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la aberración esférica secundaria del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente y la incidencia oblicua. La aberración esférica del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la aberración esférica secundaria del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente y/o (coma e incidencia oblicua).

La coma del frente de onda incidente y/o la superficie refringente sólo influye en la aberración esférica secundaria del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente y/o la incidencia oblicua. El poder refringente del frente de onda incidente y/o la superficie refringente siempre influye en la aberración esférica secundaria del frente de onda.

Las aberraciones de orden superior del frente de onda incidente o superficie no influyen en los órdenes inferiores del frente de onda emergente. Por ejemplo, la aberración esférica del frente de onda incidente o superficie no influye en el efecto esférico del frente de onda emergente.

Las aberraciones de orden inferior del frente de onda incidente o superficie influyen por lo general en los órdenes superiores del frente de onda emergente (por ejemplo el poder refringente en la aberración esférica). El poder refringente de la superficie o frentes de onda incidente influye en todas las aberraciones rectas/pares del frente de onda emergente (por ejemplo en la aberración esférica y la aberración esférica secundaria). El poder refringente de la superficie o frente de onda incidente sólo influye en las aberraciones no rectas/impares del frente de onda emergente en combinación con una aberración impar de orden inferior. En particular el poder refringente de la superficie o frente de onda incidente sólo influye en la coma del frente de onda emergente en combinación con la incidencia oblicua del frente de onda, o en la coma secundaria únicamente en combinación con la incidencia oblicua del frente de onda o coma.

La (k-1)-avo orden de la superficie o frente de onda incidente sólo influye en combinación con la incidencia oblicua del frente de onda y poder refringente de la superficie o el frente de onda incidente sobre el k-avo orden del frente de onda emergente. En particular la coma (k-1 = 3) de la superficie o el frente de onda incidente sólo influye en la aberración esférica (k = 4) del frente de onda emergente en combinación con el poder refringente e incidencia oblicua o equivalente aberración esférica (k-1) en coma secundaria (k).

Otras características, ventajas y propiedades de formas de realización preferidas de la invención se podrán observar en los siguientes ejemplos no limitativos.

La figura 12 muestra una representación esquemática del modelo fisiológico y físico de un cristal para gafa en una posición de uso especificada basado en el cálculo o la optimización del cristal para gafa individual. En la figura 12 se puede ver que los rayos desde un objeto 84 situado a distancia infinita son paralelos, lo cual se refleja en un frente de onda plano 86. Por el contrario, los rayos que salen desde un objeto 88 cercano son divergentes. El frente de onda 90 está por lo tanto curvado. El cristal para gafa que presenta una superficie delantera 92 esférica de preferencia y una superficie trasera 94 progresiva-atórica, calculada individualmente, tiene que procurar que cada frente de onda 96, 98 sobre el lado del ojo esté preferentemente curvado de forma que el objeto correspondiente 84, 88 se represente nítidamente sobre la retina del ojo 100. De forma ideal, estos frentes de onda del lado del ojo deben tener una curvatura de igual magnitud para todas las direcciones de la mirada.

Para calcular el cristal para gafa se utiliza de preferencia una configuración superficial flexible que la superficie progresiva que se va a calcular individualmente con una gran cantidad de puntos de valoración (de preferencia más de 7.000 puntos de valoración), de modo que a cada uno de estos puntos de valoración le corresponda un cálculo local del frente de onda. La superficie progresiva individual se optimiza de preferencia minimizando una función de objetivo que se analiza en los puntos de valoración y teniendo en cuenta el modelo fisiológico de visión. De este modo es posible, mediante unos cálculos individuales del frente de onda realizar de forma muy rápida y por lo tanto online tras haber recibido el pedido, la optimización de un cristal para gafa según la función de objetivo variable.

El cálculo del cristal para gafa comprende de preferencia una optimización con más de 2.000 parámetros de optimización en un espacio multidimensional. Para esta optimización online en tiempo real se pueden utilizar grandes ordenadores multiprocesadores.

5 De preferencia, en la optimización individual de la lente se reducen al mínimo, no sólo las aberraciones de bajo orden (esfera, cilindro, prisma), sino también aberraciones de orden superior (por ejemplo coma y aberración esférica). Se remite por ejemplo al respecto al documento US 7.063.421 B1. La fabricación del cristal para gafa calculado individualmente se realiza por ejemplo con máquinas de precisión, de preferencia esmeriladoras y pulidoras de control numérico que pueden convertir los datos de superficie calculados con una precisión de μm .

De preferencia, en la optimización de los cristales individuales para gafa se tiene en cuenta la Regla de Listing.

Reivindicaciones

1. Método para la fabricación de un cristal para gafa para un usuario de gafa, que comprende:

a) la adquisición de datos individuales del usuario o datos de aplicación del usuario de la gafa, que comprende la obtención de por lo menos una aberración óptica de orden superior para por lo menos un ojo del usuario de la gafa; y concepción de un cristal para gafa teniendo en cuenta la aberración óptica obtenida de orden superior, que comprende:

b) la puesta a punto de un proyecto de concepción para el cristal de gafa con la ayuda de un gran número de puntos de evaluación;

c) la determinación de una trayectoria de los rayos principales con una pluralidad de datos de evaluación;

d) la definición de un frente de onda local para cada uno de los rayos principales en un entorno del rayo principal correspondiente;

e) la determinación de las propiedades ópticas del cristal para gafa en los puntos de evaluación mediante la determinación de una influencia del cristal de gafa sobre los frentes de onda locales en un entorno del punto de evaluación correspondiente, donde las propiedades ópticas determinadas incluyen un astigmatismo $A_{\text{glas (cristal)}}$

(i) del cristal de la gafa en el punto de evaluación i, que difiere en un astigmatismo residual $A_{\text{ist(real)}}$ (i) del efecto astigmático requerido en los datos del usuario para una corrección completa, que comprende una influencia dióptrica $D_{\text{glas (cristal)}}$ (i) del cristal para gafa en el punto de valoración i que difiere del efecto residual $D_{\text{ist (real)}}$ (i) del efecto dióptrico requerido en los datos del usuario para una corrección completa y por lo menos un valor $Z_{\text{glas (cristal)}}$ (i) de la medida de una aberración de orden superior del cristal para gafa en el punto de valoración i, que difiere en un efecto residual $Z_{\text{ist (real)}}$ (i) del efecto de corrección requerido en los datos del usuario para una corrección completa;

f) valoración del proyecto de diseño en función de las propiedades ópticas calculadas y de los datos individuales del usuario,

donde para cada punto de valoración se especifica un valor $A_{\text{soll(teórico)}}$ (i) de mala corrección del astigmatismo, un valor $D_{\text{soll (teórico)}}$ (i) de una mala corrección del efecto dióptrico y un valor $Z_{\text{soll (i)}}$ de una mala corrección para por lo menos una aberración óptica de orden superior, y

donde el proyecto del cristal para gafa se modifica con vistas a una minimización de una función objetivo

$$F = \sum_i g_A i \cdot A_{\text{ist } i} - A_{\text{soll}(i)}^2 + g_D i \cdot D_{\text{ist } i} - D_{\text{soll}(i)}^2 + g_Z i \cdot Z_{\text{ist } i} - Z_{\text{soll}(i)}^2$$

donde se prevén funciones de ponderación g; y

g) fabricación del cristal para gafa según el diseño obtenido.

2. Método según la reivindicación 1, donde los datos individuales del usuario o los datos de aplicación del usuario de la gafa comprenden datos de corrección óptica de un defecto de visión del usuario de la gafa y datos de uso respecto de un posicionado individual del cristal de la gafa para el usuario y/o de una tarea individual de visión del usuario.

3. Método según una de las reivindicaciones anteriores donde la definición de un proyecto de diseño para el cristal de gafa comprende el establecimiento de un sistema de coordenadas y la representación de por lo menos una superficie de partida del cristal para gafa en el sistema de coordenadas por medio parcialmente de coeficientes de los que sólo depende localmente por lo menos una superficie de partida.

4. Método según una de las reivindicaciones anteriores donde a cada rayo principal le corresponde una distancia del objeto que depende de los datos obtenidos del usuario y donde el frente de onda local se determina en función de la distancia al objeto asignada a cada rayo principal.

5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, donde el cálculo de la trayectoria de los múltiples rayos principales comprende un cálculo de puntos y de ángulos de intersección de los rayos principales a través de las superficies del cristal para gafa y donde la determinación de la influencia del cristal para gafa sobre los frentes locales de ondas comprende:

- determinación del grosor oblicuo del cristal a lo largo de los rayos principales en el cristal para gafa;
- determinación de las curvaturas de los frentes de onda del lado del objeto; y
- determinación de las curvaturas y direcciones principales de las superficies del cristal para gafa en los puntos de intersección.

6. Método según una de las reivindicaciones anteriores donde la obtención de aberraciones ópticas de orden superior comprende la determinación de una función de aberración, en particular una función de aberración $W_A(r)$ que depende sólo de la distancia radial al centro de la pupila para un ojo por lo menos del usuario de la gafa.

7. Método según la reivindicación 6, donde la función de aberración $W(r)$ para por lo menos un ojo según

$$W_A r = \sum_i \frac{S_i}{i!} r^i = S_1 * r + \frac{S_2}{2} * r^2 + \frac{S_3}{6} * r^3 + \frac{S_4}{24} * r^4 \dots$$

se desarrolla según potencias de la distancia r respecto del centro de la pupila.

8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, donde la concepción de un cristal para gafa comprende la definición de una función de aberración del cristal para gafa sobre la base de la función de aberración del ojo.
- 5 9. Método según la reivindicación 8, donde la determinación de la función de aberración $W_G(R)$ del cristal para gafa como función de una distancia R al punto de centrado del cristal para gafa comprende una puesta en escala de la función de aberración $W_A(r)$ del ojo sustituyendo la distancia r por una distancia $R \cdot \frac{R_P}{R_t}$, con un radio pupilar R_P para por lo menos un ojo del usuario de la gafa y un radio de transformación R_t que es mayor que el radio pupilar R_P y no mayor que el radio $R_{G,max}$ del círculo máximo en torno al punto de centrado del cristal para gafa que comprende por lo menos un punto del cristal para gafa.
- 10 10. Método según una de las reivindicaciones anteriores que comprende además el establecimiento de una función sensorial de la pupila para describir una ponderación sensorial decreciente hacia el borde de la pupila y el establecimiento de un conjunto de funciones ortogonales para la representación de los frentes de onda locales teniendo en cuenta la función sensorial de la pupila.
- 15 11. Un producto de programa informático que comprende un código de programa, que, una vez cargado y ejecutado en un sistema informático está diseñado para llevar a cabo un método según una de las reivindicaciones anteriores.
12. Sistema para diseñar un cristal para gafa concebido para ejecutar un método según una de las reivindicaciones 1 a 10.

Fig. 1

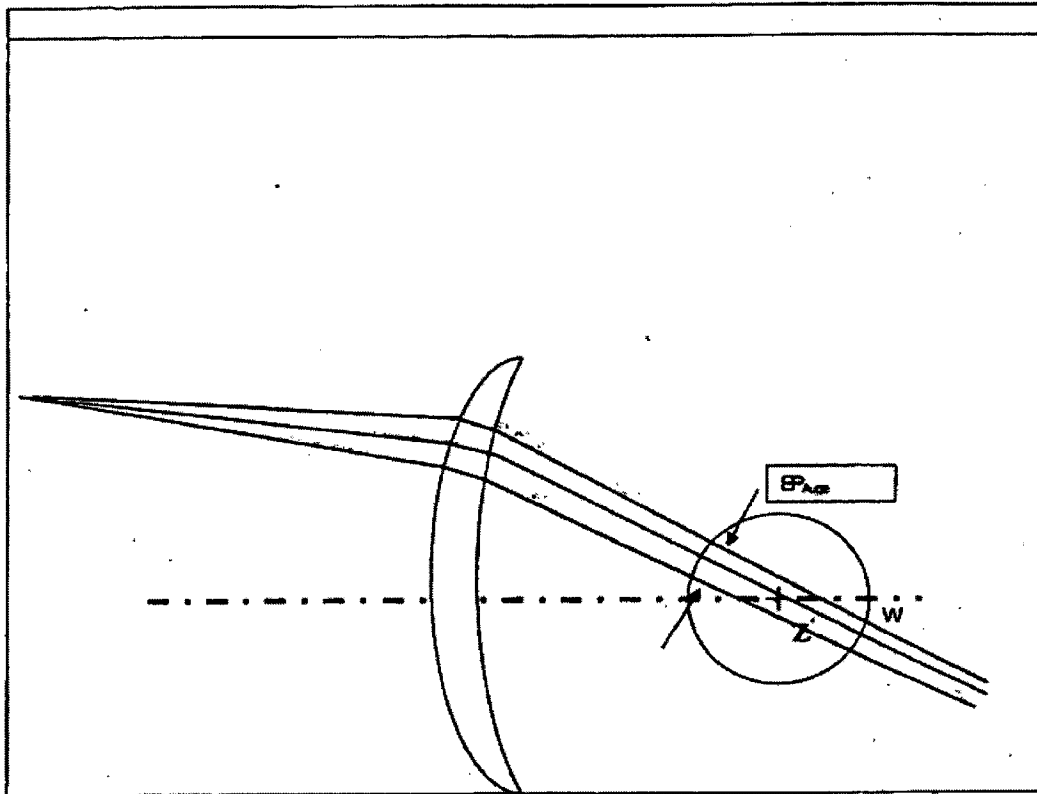


Fig. 2

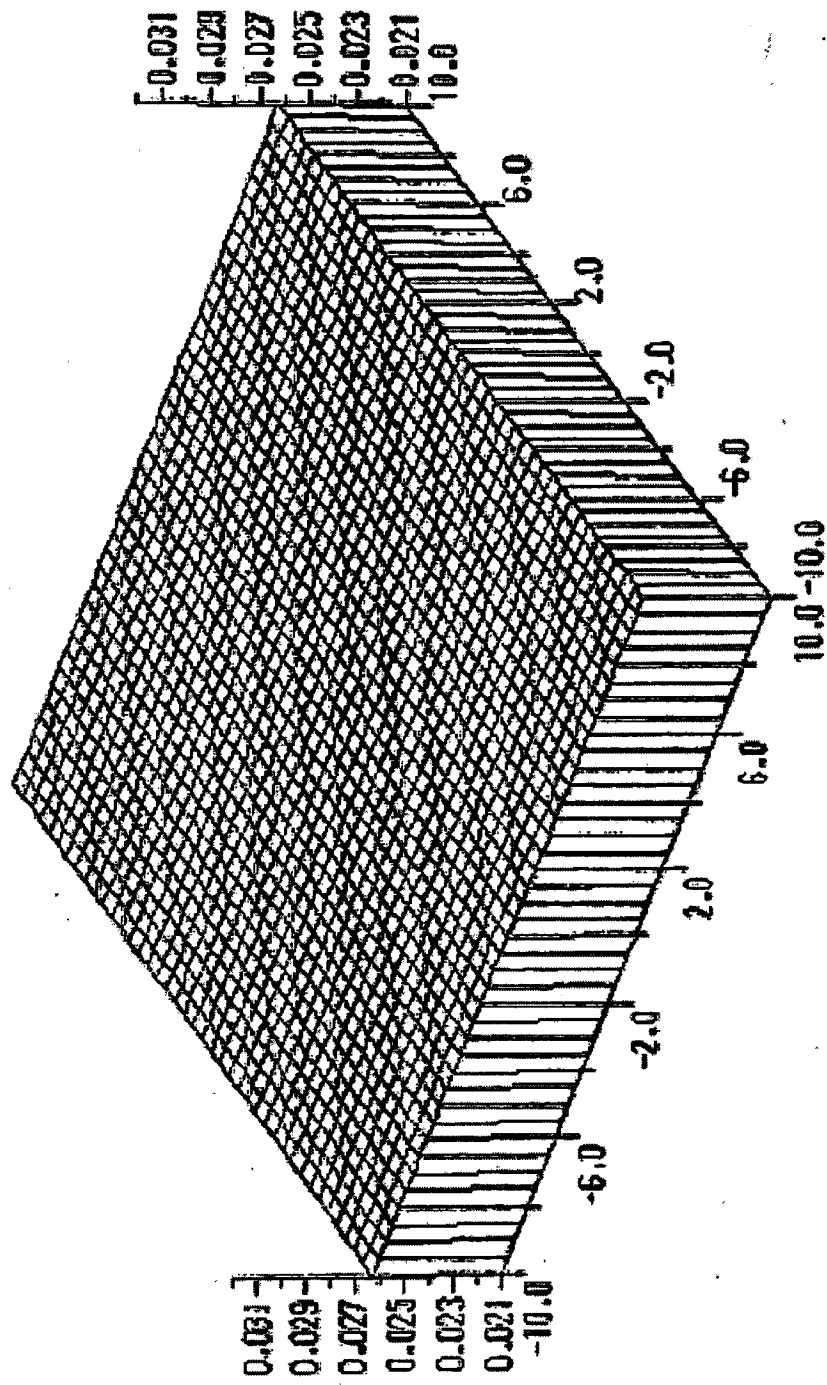


Fig. 3

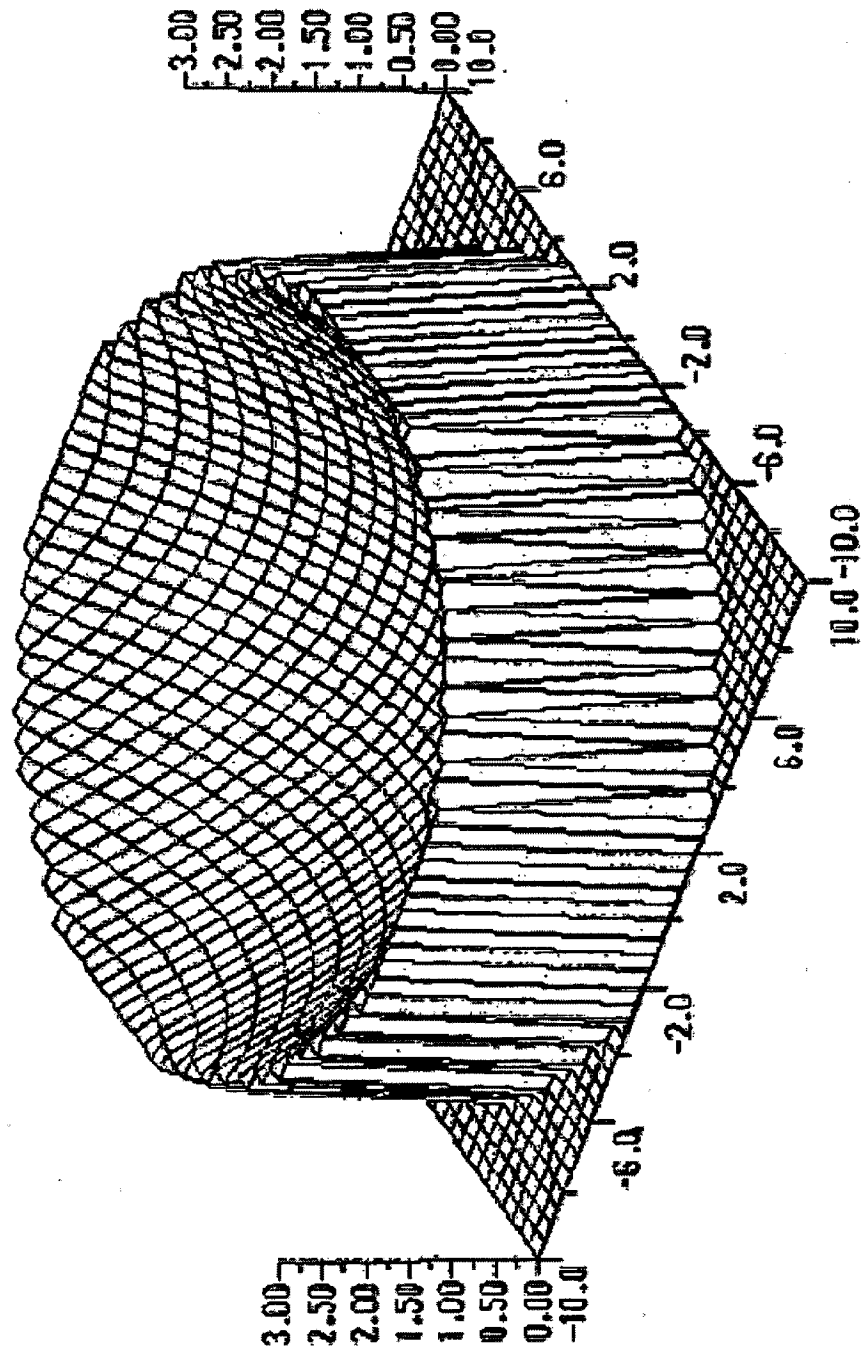
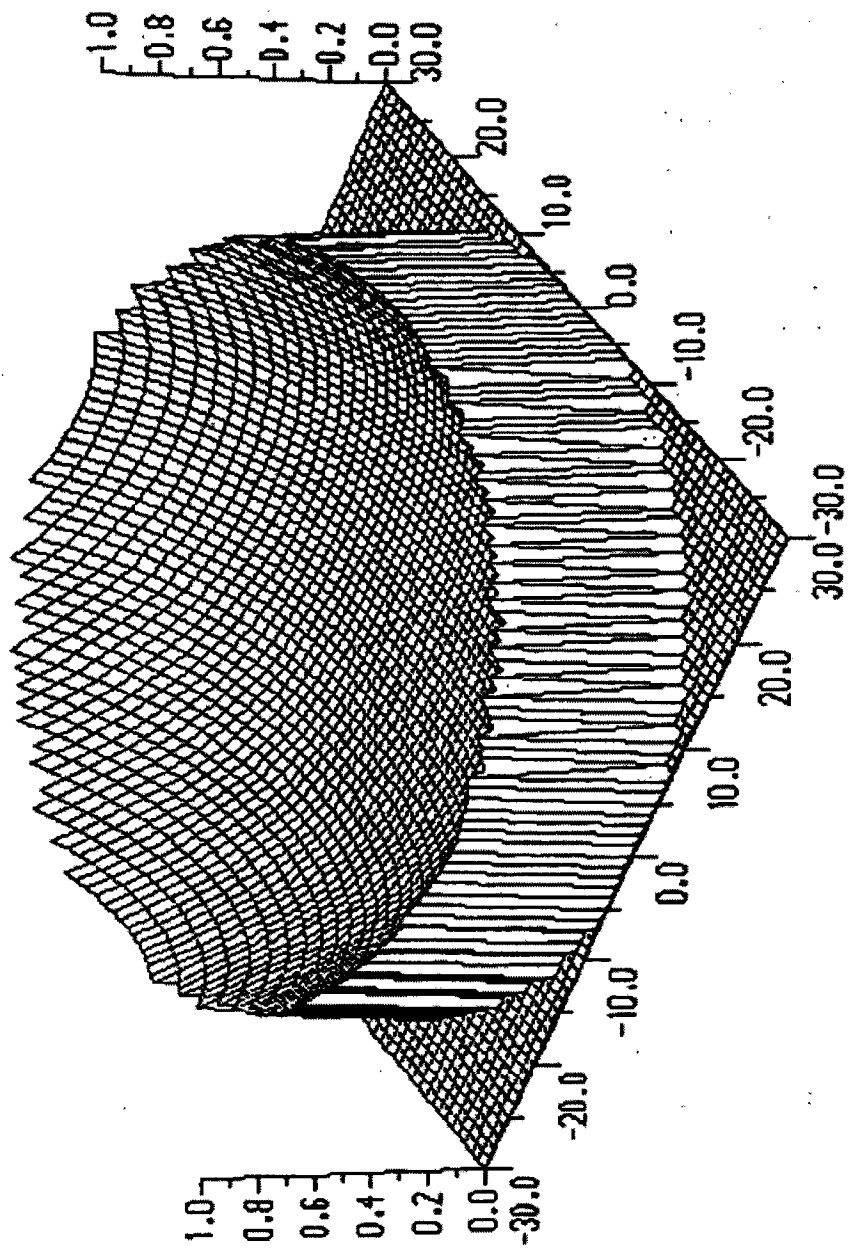


Fig. 4



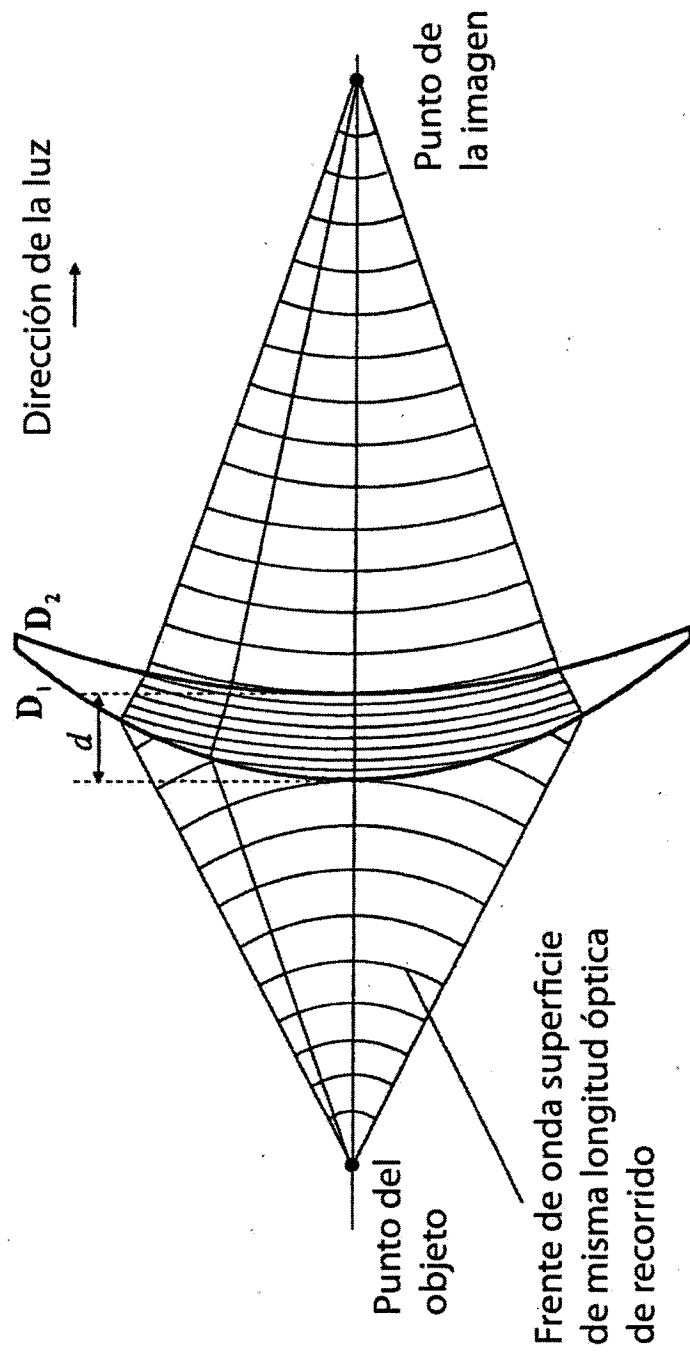


Fig. 5

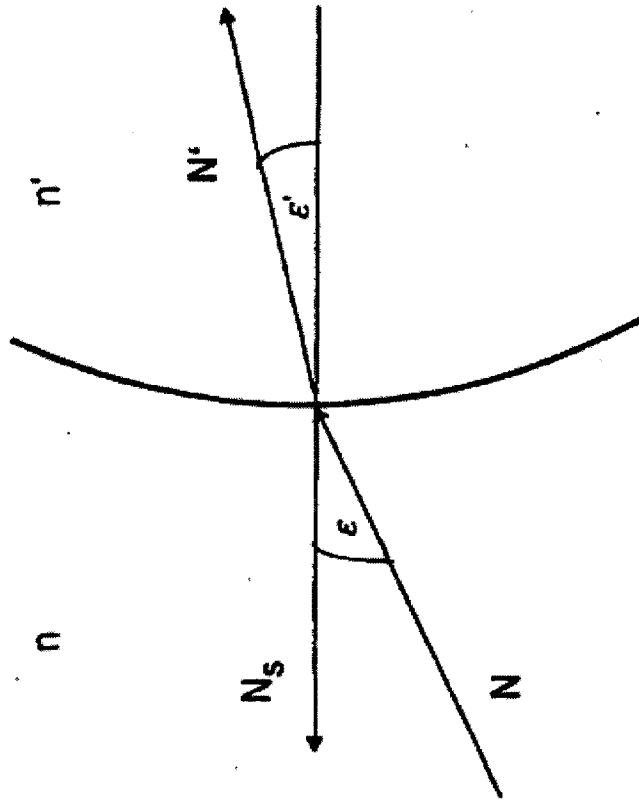


Fig. 6

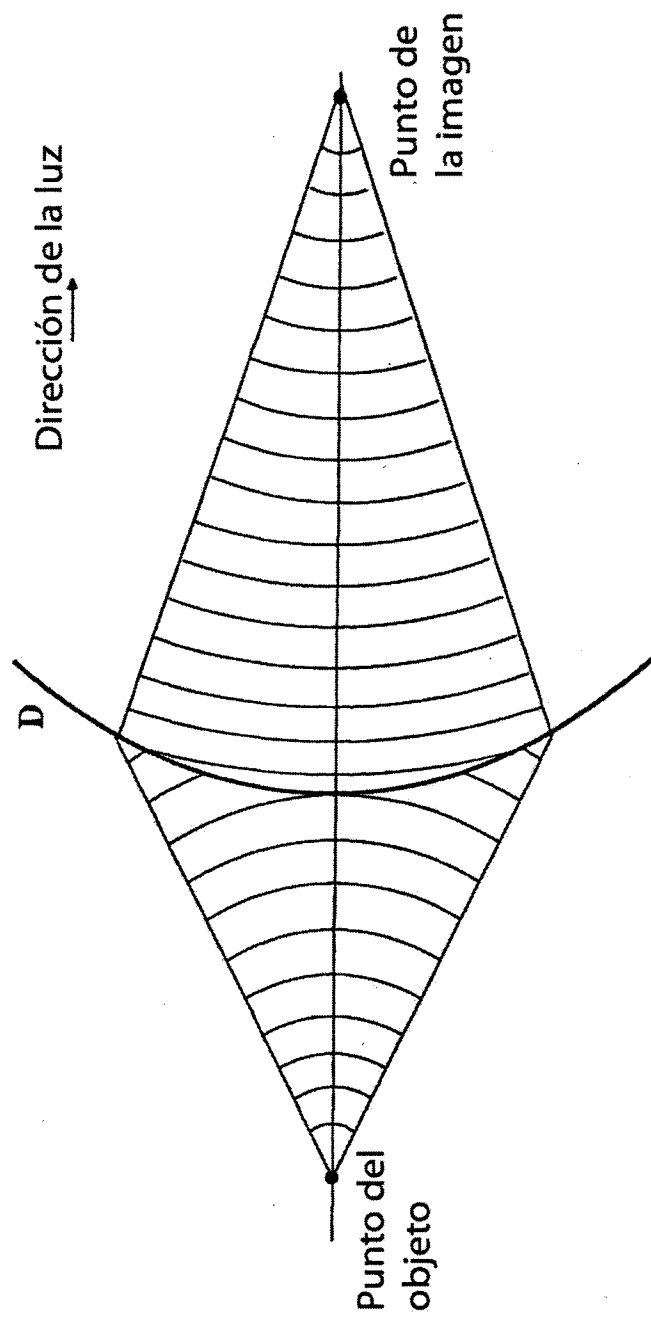


Fig. 7

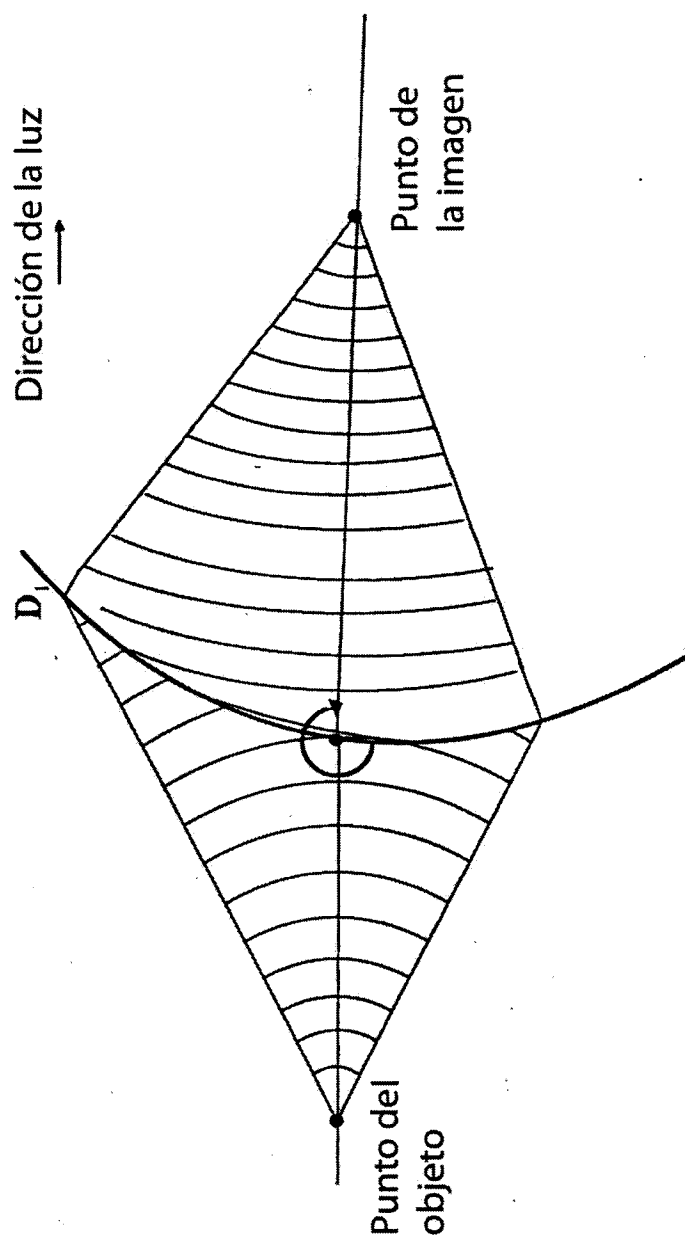


Fig. 8

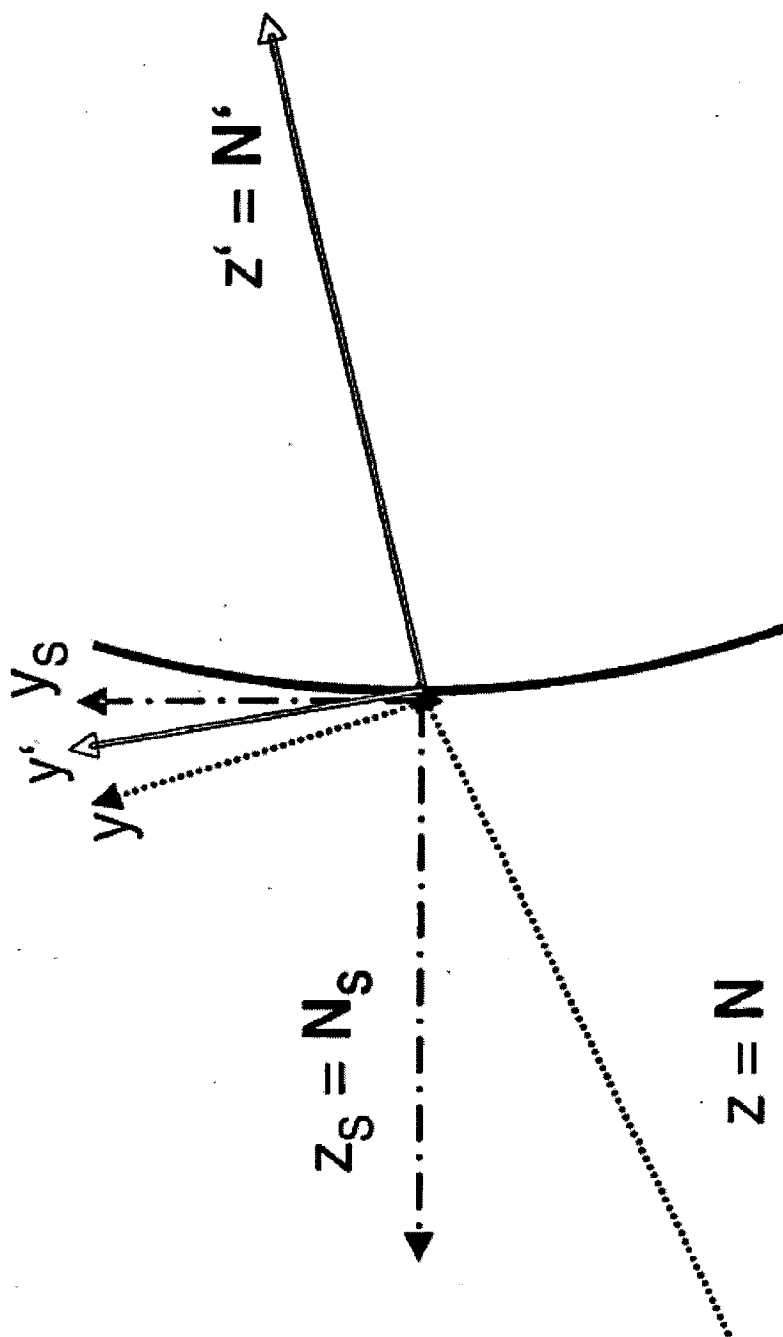


Fig. 9

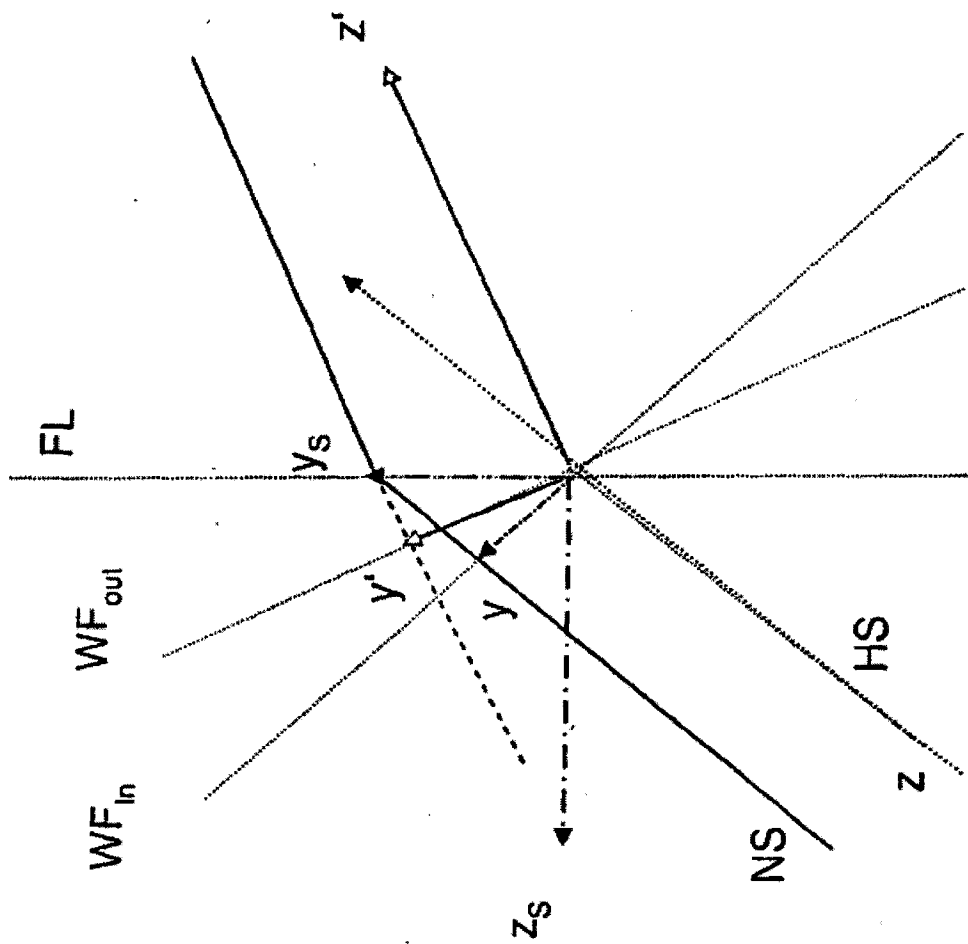


Fig. 10

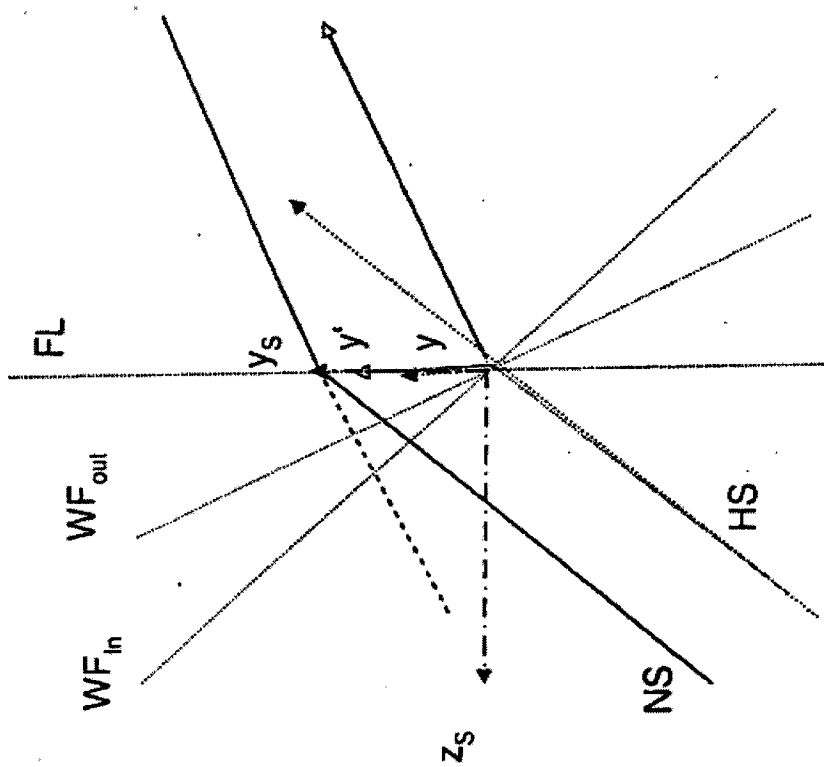


Fig. 11

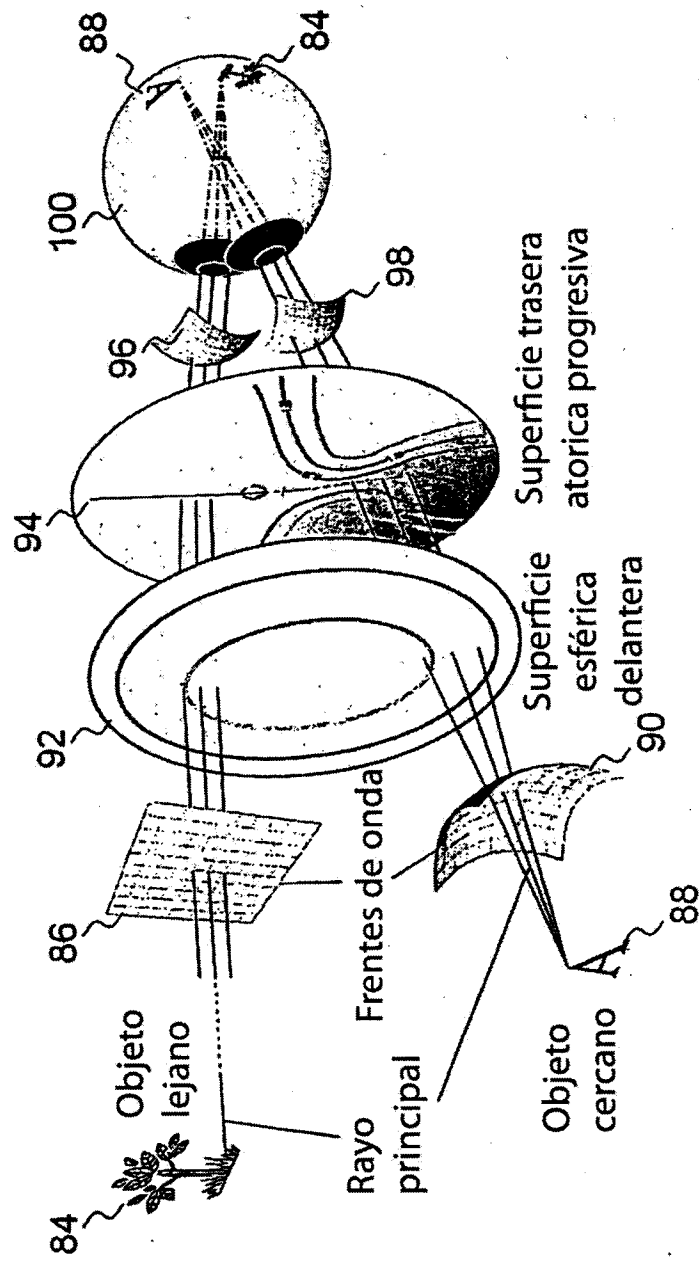


Fig. 12