República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0821543-0 B1

(22) Data do Depósito: 19/12/2008

(45) Data de Concessão: 24/04/2019

(54) Título: LENTE INTRAOCULAR, E, LENTE OFTÁLMICA DIFRATIVA

(51) Int.Cl.: A61F 2/16; G02C 7/04; G02B 5/18.

(73) Titular(es): ALCON, INC..

(72) Inventor(es): XIN HONG; DREW MORGAN.

(86) Pedido PCT: PCT US2008087602 de 19/12/2008

(87) Publicação PCT: WO 2009/086057 de 09/07/2009

(85) Data do Início da Fase Nacional: 21/06/2010

(57) Resumo: LENTE INTRAOCULAR, E, LENTE OFTÁLMICA DIFRATIV A Em um aspecto, a presente invenção provê uma lente intraocular (IOL) que inclui uma óptica compreendendo uma superficie anterior, uma superficie posterior e uma pluralidade de zonas difrativas dispostas em uma daquelas superficies. A superficie tendo as zonas difrativas tem um perfil distinguido por uma combinação de componentes asféricos e tóricos.

"LENTE INTRAOCULAR, E, LENTE OFTÁLMICA DIFRATIVA"

FUNDAMENTOS

A presente invenção é dirigida genericamente a lentes oftálmicas e, mais tipicamente, a lentes oftálmicas difrativas, que proveem compensação por múltiplas aberrações.

As lentes intraoculares (IOLs) são rotineiramente implantadas nos olhos dos pacientes durante cirurgia de catarata, para substituir a lente cristalina natural. Em alguns casos, uma IOL pode incluir estruturas difrativas, a fim de terem-se não somente um grau de foco para longe, mas também um grau do foco para perto, desse modo provendo-se um grau de pseudoacomodação. Uma variedade de aberrações, tais como aberrações asféricas e astigmáticas, pode adversamente afetar o desempenho óptico de tais lentes. Por exemplo, as aberrações esféricas podem degradar o contraste da visão, especialmente para grandes tamanhos de pupila.

As IOLs que fornecem compensação para múltiplas aberrações são conhecidas. Entretanto, a fabricação de tais IOLs pode ser demorada e cara.

Por conseguinte, há necessidade de melhoradas lentes oftálmicas e particularmente para IOLs difrativas aperfeiçoadas, que possam ser mais prontamente fabricadas.

SUMÁRIO

A presente invenção refere-se genericamente a lentes oftálmicas difrativas, tais como lentes intraoculares (IOLs), que fornecem compensação para aberrações asféricas e astigmáticas. Em algumas formas de realização, uma única superfície da lente é conformada para incluir não somente uma pluralidade de estruturas difrativas, mas também um perfil base que exiba uma combinação de asfericidade e toricidade.

Em um aspecto, uma lente intraocular (IOL) é descrita, que inclui uma óptica compreendendo uma superfície anterior e uma superfície

posterior e uma pluralidade de zonas difrativas dispostas em uma de ditas superfícies (p. ex., a superfície anterior). A superfície tendo as zonas difrativas exibe um perfil base distinguido por uma combinação de asfericidade e toricidade.

Um aspecto relacionado, a óptica provê um grau de foco para longe, p. ex., em uma faixa de cerca de 16 a cerca de 32 diópteros (D), bem como um grau de foco para perto caracterizada, p. ex., por um grau de adição em uma faixa de cerca de 1 D a cerca de 6 D.

Em outro aspecto, um perfil da superfície tendo as zonas difrativas pode ser definido de acordo com a seguinte relação:

$$sag(R_{média}, r, \theta) = difrativa\ (R_{média}, r) + tórica(R_{média}, r, \theta) + asf(R_{média}, r)$$

em que *sag* indica a deflexão da superfície ao longo do eixo geométrico óptico (p. ex., eixo geométrico-z) em uma distância radial r do centro da superfície (interseção do eixo geométrico óptico com a superfície) e em um ângulo meridiano θ, em que $R_{média}$ representa o raio de base de curvatura do meridiano médio (isto é, 45°) e $difrativa\ (R_{média}, r)$, $tórica(R_{média}, r, \theta)$ e $asf(R_{média}, r)$ representam, respectivamente, os componentes difrativo, tórico e asférico do perfil de superfície.

Em um aspecto relacionado, o componente difrativo, isto é, $difrativa\ (R_{média}, r)$ do perfil da superfície pode ser definido como segue:

$$difrativa\ (R_{média}, r) = \quad z = z_{rad} - \sqrt{R_{rad}^2 - r^2}$$

em que

$R_{média}$ e r são definidos como acima e R_{rad} e Z_{rad} indicam, respectivamente, o raio de curvatura de uma zona difrativa estendendo-se através da distância radial r e um local axial (isto é, ao longo do eixo geométrico-z) do centro de curvatura daquela zona. Como exemplo, Z_{rad} e $R_{média}$ podem ser definidos de acordo com a seguintes relações:

$$z_{rad} = \frac{x_{in}^2 + z_{in}^2 - x_{out}^2 - z_{out}^2}{2(z_{in} - z_{out})},$$

$$R_{rad} = \sqrt{(z_{in} - z_{rad})^2 + x_{in}^2},$$

em que x_{in} e z_{in} representam, respectivamente, as coordenadas x e z do limite interno (mais próximo do eixo geométrico óptico) da zona difrativa e x_{out} e z_{out} indicam, respectivamente, as coordenadas x e z do limite externo da zona difrativa.

Em outro aspecto, o componente asférico tórico do perfil de superfície pode ser definido de acordo com a seguinte relação:

$$tórica(R_{média}, r, \theta) = \frac{(c_x \cos^2\theta + c_y \operatorname{sen}^2\theta)r^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k_x)c_x^2 r^2 \cos^2\theta - (1+k_y)c_y r^2 \operatorname{sen}^2\theta}}$$

em que

$R_{média}$, r e θ são definidos como acima, c_x e c_y representam curvaturas tóricas ao longo de dois meridianos principais e k_x e k_y representam constantes cônicas tóricas ao longo dos dois meridianos principais.

Em outro aspecto, o componente asférico do perfil de superfície pode ser definido de acordo com a seguinte relação:

$$asf(R_{média}, r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2 r^2}}$$

em que

$$c = \frac{1}{R_{média}}$$

em que $R_{média}$ e r são definidos como acima e k representa uma constante cônica esférica.

Em um aspecto relacionado, no IOL acima, a magnitude de $R_{média}$ é em uma faixa de cerca de 12 mm a cerca de 120 mm (sinais tanto positivo como negativo são possíveis para $R_{média}$). Em algumas formas de realização, a magnitude de c_x pode ser em uma faixa de cerca de 0,008 mm^{-1} a cerca de 0,08 mm^{-1} (sinais tanto positivo e negativo são possíveis para c_x), a magnitude de c_y pode ser em uma faixa de cerca de 0,008 mm^{-1} a cerca de 0,08 mm^{-1} (sinais tanto positivo como negativo são possíveis para c_y), k_x pode ser em uma faixa de cerca de –3000 (menos 3000) a cerca de –12 (menos 12)

e k_y pode ser em uma faixa de cerca de –3000 (menos 3000) a cerca de –12 (menos 12). Além disso, em algumas formas de realização, a constante cônica asférica (k) pode ser em uma faixa de cerca de –3000 (menos) a cerca de –12 (menos 12).

Em outro aspecto, as zonas difrativas são formadas por uma pluralidade de alturas de etapa. Em muitas formas de realização, cada altura de etapa é constante para diferentes meridianos.

Em outro aspecto, na IOL acima, o raio de curvatura de uma zona difrativa ao longo de um meridiano caracterizado por um ângulo θ (R^{θ}_{d}) e o raio de curvatura de um perfil base associado com a zona difrativa (R^{θ}_{d}) são relacionados de acordo com a seguinte relação:

$$(n_1 - n_2)\left(\frac{1}{R_a^{\theta}} - \frac{1}{R_b^{\theta}}\right) = \text{ constante}$$

em que n_1 indica o índice refrativo de um meio circundando aquela óptica, e Constante indica um valor constante. Como exemplo, a Constante pode ser em uma faixa de cerca de 0 (zero) Diópteros a cerca de 4 Diópteros (p. ex., +2 D).

Em ainda outros aspectos, a óptica pode ser formada de um material biocompatível. Alguns materiais adequados incluem, sem limitação, polímeros acrílicos flexíveis, hidrogel, polimetilmetacrilato, polissulfona, poliestireno, celulose, butirato de acetato ou outros materiais biocompatíveis. Como exemplo, em alguma forma de realização, a óptica é formada de um polímero acrílico flexível (copolímero reticulado de 2-feniletil acrilato e 2-feniletil metacrilato) comumente conhecidos como Acrysof.

Em outro aspecto, uma lente oftálmica difrativa é descrita que inclui uma óptica tendo uma superfície anterior e uma superfície posterior. Pelo menos uma dessas superfícies exibe um perfil de superfície caracterizado por uma combinação de um componente difrativo, um asférico e um tórico.

Mais entendimento da invenção pode ser obtido por referência

à seguinte descrição detalhada, em conjunto com os desenhos associados, que são descritos brevemente abaixo.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A Figura 1 é uma vista em sulco transversal de a IOL de acordo com uma forma de realização da invenção.

A Figura 2 é uma vista de topo de uma superfície anterior da IOL da FIGURA 1 e

A Figura 3 é representa esquematicamente um perfil de sulco transversal da superfície anterior e

A Figura 4 representa esquematicamente uma lâmina losango de um sistema FTS cortando um perfil desejado da superfície anterior em um substrato (p. ex., uma peça bruta óptica).

DESCRIÇÃO DETALHADA

A presente invenção é genericamente dirigida a lentes oftálmicas difrativas que podem prover compensação para aberrações tanto esféricas como astigmáticas, enquanto provendo um grau de foco para longe e um grau de foco para perto. Nas formas de realização que seguem, os vários aspectos da invenção são discutidos com relação a lentes intraoculares (IOLs). Entretanto, deve ser observado que os ensinamentos da invenção são também aplicáveis a outras lentes oftálmicas, tais como lentes de contato. Além disso, a expressão lente intraocular e sua abreviação "IOL" são usadas intercambiavelmente para descrever lentes que podem ser implantadas dentro do interior de um olho para substituir a lente cristalina natural do olho ou por outro lado aumentar a visão independente de se ou não a lente natural é removida.

Com referência à Figura 1, uma IOL 10 de acordo com uma forma de realização da invenção inclui uma óptica 12 tendo uma superfície óptica anterior 14 e uma superfície óptica posterior 16. A IOL inclui ainda uma pluralidade de membros de fixação ou háptica 18, que facilitam sua

colocação no olho do paciente. As superfícies 14 e 16 são dispostas em torno de um eixo geométrico óptico 20 (que é aqui também referido como o eixo geométrico-z). Embora a superfície posterior seja disposta simetricamente em torno do eixo geométrico óptico, a superfície anterior exibe assimetria em torno deste eixo geométrico de uma maneira discutida abaixo.

A óptica 12 pode ser formada de uma variedade de materiais biocompatíveis. Alguns exemplos de tais materiais incluem, sem limitação, polímero sacrílicos flexíveis, hidrogel, polimetilmetacrilato, polissulfona, poliestireno, celulose, butirato de acetato ou outros materiais biocompatíveis. Como exemplo, em uma forma de realização, a óptica é formada de um material acrílico flexível (copolímero reticulado de 2-feniletil acrilato e 2-feniletil metacrilato) comumente conhecido como Acrysof.

Em muitas formas de realização, as curvaturas das superfícies anterior e posterior, junto com o índice refrativo do material formando a óptica, são selecionadas de modo que a óptica provê um grau de foco para longe em uma faixa de cerca de –5 D a cerca de 40 D e, preferivelmente, em uma faixa de cerca de 16 D a cerca de 32 D. A superfície anterior 14 inclui ainda uma pluralidade de zonas difrativas 22 dispostas em uma parte dela para prover uma força próxima de foco. A ordem de difração zero^{o} das zonas difrativas 22 dirige a luz incidente principalmente para o foco para longe da óptica, enquanto a primeira ordem de difração das zonas dirige a luz incidente principalmente para um foco para perto. O foco para perto pode ser caracterizado, p. ex., por um grau de adição em uma faixa de 1 D a cerca de 6 D e, preferivelmente, em uma faixa de 3 D a cerca de 4 D. Como mais ilustração, a Figura 2 apresenta uma vista de topo da superfície anterior representando que as zonas difrativas são formadas como estruturas difrativas anulares separadas de uma outra por uma pluralidade de etapas.

Com referência à Figura 1, bem como Figura 3, a superfície anterior 14 inclui um perfil base que se desvia de um perfil esférico putativo,

particularmente em grandes distâncias radiais a partir do eixo geométrico óptico da óptica (eixo geométrico-z), a fim de exibir uma esfericidade e toricidade combinadas. Além disso, como indicado acima, uma pluralidade de zonas difrativas são dispostas naquele perfil base. Como tal, o perfil da superfície anterior 14 pode ser definido como formado de três componentes: um componente difrativo, um asférico e um tórico. Por exemplo, nesta forma de realização, a superfície anterior pode ser definida de acordo com a seguinte relação:

$$sag(R_{média}, r, \theta) = difrativa\ (R_{média}, r) + tórica(R_{média}, r, \theta) + asf(R_{média}, r) \qquad \text{Eq. (1)}$$

em que,

sag indica uma deflexão da superfície ao longo do eixo geométrico-z (distância da origem do eixo geométrico-z) em uma distância radial r do centro da superfície (interseção do eixo geométrico óptico com a superfície) e um ângulo meridiano θ em que $R_{média}$ representa o raio de base de curvatura do meridiano médio (isto é, 45°) e

em que,

$$difrativa\ (R_{média}, r) = \quad z = z_{rad} - \sqrt{R_{rad}^2 - r^2} \qquad \text{Eq. (2)}$$

em que $R_{média}$ e r são definidos acima e R_{rad} indica o raio de curvatura de uma zona difrativa estendendo-se através da distância radial r, e Z_{rad} indica um local axial (isto é, ao longo do eixo geométrico-z) do centro de curvatura daquela zona. Mais especificamente, Z_{rad} e $R_{média}$ podem ser definidos de acordo com as seguintes relações:

$$z_{rad} = \frac{x_{in}^2 + z_{in}^2 - x_{out}^2 - z_{out}^2}{2(z_{in} - z_{out})}, \qquad \text{Eq. (3)}$$

$$R_{rad} = \sqrt{(z_{in} - z_{rad})^2 + x_{in}^2}, \qquad \text{Eq. (4)}$$

em que x_{in} e Z_{in} representam, respectivamente, as coordenadas x e z do limite interno (mais próximo do eixo geométrico óptico) da zona difrativa e x_{out} e z_{out} indicam, respectivamente, as coordenadas x *e* z do limite externo da zona difrativa. Além disso, os componentes tóricos e asféricos do perfil de

superfície podem ser definidos de acordo com as seguintes relações:

$$tórica(R_{média}, r, \theta) = \frac{(c_x \cos^2\theta + c_y \operatorname{sen}^2\theta)r^2}{1+\sqrt{1-(1+k_x)c_x^2 r^2\cos^2\theta-(1+k_y)c_y r^2 \operatorname{sen}^2\theta}} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$asf(R_{média}, r) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$c = \frac{1}{R_{média}} \quad \text{Eq. (7)}$$

em que c e k representam, respectivamente, constantes de curvatura e cônica, c_x e c_y representam curvaturas tóricas ao longo de dois meridianos principais e k e k_y representam constantes tóricas ao longo dos dois meridianos principais.

Quando raios de luz incidentes são paralelos à superfície anterior 14, as diferenças de trajeto físico associadas com diferentes partes da superfície anterior são iguais aos valores de deflexão em diferentes locais da pupila, como definido pelas equações acima. Uma respectiva diferença de trajeto óptico para um raio passando através de uma parte da lente pode ser calculada como o produto da diferença do trajeto físico ao longo de uma direção do raio e da diferença do índice refrativo entre o material da lente e o meio circundante. Além disso, em muitos casos em que os raios incidentes na IOL não são paralelos, as equações acima, contudo, proveem uma boa aproximação para as diferenças de trajeto físico correspondendo aos diferentes locais da pupila. Por exemplo, uma IOL é tipicamente localizada em torno de 27 – 28 mm em frente do plano focal córneo e um raio de luz na margem da pupila exibe um ângulo de cerca de 6° em relação ao eixo geométrico óptico, que introduz somente um erro de cálculo de 0,6%, como resultado da assunção de que o raio é paralelo ao eixo geométrico óptico.

A descrição do perfil de superfície anterior pelas Equações acima (1)-(7) Vantajosamente preserva a precisão óptica. Com referência novamente à Figura 3, tomando-se a primeira zona difrativa como exemplo, em qualquer dado meridiano (θ), o raio de curvatura da primeira zona

difrativa (R^{θ}_{d}) e a respectiva curvatura de base (R^{θ}_{b}) são relacionados com a altura da primeira etapa (a altura de etapa entre as primeira e segunda zonas difrativas) de acordo com a seguinte relação:

$$\left(\frac{1}{2R_d^{\theta}} - \frac{1}{2R_b^{\theta}}\right) r_0^2 = \text{Altura da Etapa} \qquad \text{Eq. (8)}$$

em que r_0 é o raio da primeira zona difrativa, como ilustrado na Figura 3.

Em algumas formas de realização, a superfície anterior pode ser segmentada através de uma faixa de grau, p. ex., de uma maneira discutida acima, de modo que os perfis de superfície são fixados dentro de segmentos individuais. A modulação de grau relativa ao meridiano médio pode ser caracterizada por uma amplitude constante, p. ex., em termos de dioptrias. Como a altura da etapa pode ser idêntica para diferentes meridianos e a diferença dióptrica é fixada (p. ex., +2 D) no meridiano médio, o raio de curvatura de uma zona difrativa e o respectivo raio de curvatura de base podem ser designados para criar uma diferença dióptrica constante para qualquer ângulo θ, como indicado na seguinte relação:

$$(n_1 - n_2)\left(\frac{1}{R_d^{\theta}} - \frac{1}{R_b^{\theta}}\right) = \text{Dióptero Constante (p.e., +2D} \qquad \text{Eq. (9)}$$

Com referência à Figura 1, nesta forma de realização exemplar, a superfície posterior 16 é esférica com um raio de curvatura selecionado de modo que a lente forneça um grau óptico do foco longínquo desejada (p. ex., uma em uma faixa de 0 a cerca de 84 D, e preferivelmente em uma faixa de cerca de 0 a cerca de 4 D).

Uma variedade de técnicas de fabricação pode ser empregada para formar a IOL 10. Por exemplo, em algumas formas de realização, um método conhecido como Fast Tool Servo (FTS) pode ser empregado para dar um desejado perfil, tal como um definido pela Equação (1) acima, a uma superfície de uma peça bruta óptica formada, p. ex., de um material biocompatível adequado. Como mostrado esquematicamente na Figura 4, o

método de usinagem FTS utiliza uma lâmina de diamante 24, que pode ser feita mover-se ao longo de três eixos geométricos (p. ex., eixos geométricos 'X' e "Y", bem como eixo geométrico 'W', que é ortogonal ao plano X-Y). Mais particularmente, a lâmina de diamante pode ser feita mover-se – sob o controle de um programa de corte – ao longo da direção W de um modo controlado e tipicamente em uma taxa rápida, enquanto concomitantemente conduzindo um movimento de dois-eixos geométricos (ao longo do eixo geométrico X e Y) em um plano perpendicular à direção W. Os movimentos combinados da lâmina podem resultar no corte de um perfil desejado em uma superfície da peça bruta óptica. Em formas de realização alternativas, o método FTS pode ser empregado para formar pinos ópticos, que podem, por sua vez, ser utilizados para formar a IOL de um material desejado.

Em outra técnica de fabricação, a geração de componentes rotacionalmente simétricos (isto é, componentes difrativos e asféricos) pode ser controlada por um torno de alta precisão convencional (p. ex., um torno comercializado por Precitech, Inc. of Keene, New Hamphshire, U.S.A.), enquanto um FTS controla a geração do componente rotacionalmente assimétrico (isto é, o componente tórico). Ambos os módulos podem operar independentemente sem interferir entre si e as entradas de ambos os módulos podem ser combinadas para determinar os locais da cabeça de corte-diamante. Por exemplo, o torno Precitech pode gerar as coordenadas de localização do corte-diamante de acordo com *difrativa*($R_{média}$, r) + asf ($R_{média}$, r), que são rotacionalmente simétricas, enquanto o FTS pode gerar coordenadas de localização *tórica*($R_{média}$,r, θ), que são rotacionalmente assimétricas.

Como exemplo, em uma forma de realização, um sistema FTS pode ser programado para pré-cortar uma geometria tórica em uma superfície de pino óptico. Subseqüentemente, um controlador de torno Precitech pode controlar o corte dos componentes difrativos e asféricos na superfície de pino tórico. Subseqüentemente, se necessário, uma ferramenta de corte de

diamante menor pode ser empregada para prover a superfície de pino óptico acabada.

Combinando-se os componentes difrativo, asférico e tórico em uma única superfície (p.ex., a superfície anterior) da IOL provê-se numerosas vantagens. Por exemplo, isso pode facilitar a fabricação da lente visto que a outra superfície (p. ex., a superfície posterior) pode ser variada para obterem-se diferentes graus ópticos. Isto pode, por sua vez, tornar a fabricação sob medida de tais IOLs para pacientes individuais economicamente exeqüíveis, p. ex., reduzindo drasticamente o número de pinos ópticos necessários.

Aqueles tendo habilidade comum na técnica apreciarão que várias mudanças podem ser feitas naquelas formas de realização acima, sem desvio do escopo da invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Lente intraocular (IOL), caracterizada pelo fato de que compreende

uma óptica compreendendo uma superfície anterior e uma superfície posterior,

uma pluralidade de zonas difrativas dispostas em uma de ditas superfícies,

em que dita superfície tendo as zonas difrativas exibem um perfil base distinguido por uma combinação de asfericidade e toricidade torneadas, sendo a asfericidade radialmente simétrica, e

em que o perfil de dita superfície é dado pela seguinte relação:

$$sag(R_{média}, r, \theta) = difrativa\ (R_{média}, r) + tórica(R_{média}, r, \theta) + asf(R_{média}, r)$$

em que *sag* representa uma deflexão da superfície ao longo de um eixo óptico da óptica em uma distância radial r de um centro da superfície em um ângulo meridiano θ, em que $R_{média}$ representa um raio de base de curvatura do meridiano médio e

em que

$$difrativa\ (R_{média}, r) = \quad z = z_{rad} - \sqrt{R_{rad}^2 - r^2}$$

em que

Z_{rad} e R_{rad} indicam, respectivamente, um raio de curvatura de uma zona difrativa estendendo-se através da distância radial r e um local axial de um centro de curvatura daquela zona, e

em que,

$$tórica(R_{média}, r, \theta) = \frac{(c_x \cos^2\theta + c_y \operatorname{sen}^2\theta) r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_x) c_x^2 r^2 \cos^2\theta - (1 + k_y) c_y r^2 \operatorname{sen}^2\theta}}$$

em que,

c_x e c_y representam curvaturas tóricas ao longo de dois meridianos principais da superfície e k_x e k_y representam constantes cônicas ao longo dos dois meridianos principais, e

em que

$$asf(R_{média},\ r) = \frac{cr^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2r^2}}$$

e em que

$$c = \frac{1}{R_{média}}$$

e em que k representa uma constante cônica esférica.

2. IOL de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de dita óptica prover um foco afastado e um foco para perto.

3. IOL de acordo com a reivindicação 2, caracterizada pelo fato de dito foco afastado provê um grau óptico em uma faixa de 16 D a 32 D.

4. IOL de acordo com a reivindicação 3, caracterizada pelo fato de dito foco para perto prover um grau adicional em uma faixa de 1 D a 6 D.

5. IOL de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de dita superfície anterior compreender ditas estruturas difrativas e dita asfericidade e toricidade.

6. IOL de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de z_{rad} ser definido em uma coordenada Cartesiana (x,y,z), em que z é ao longo do eixo geométrico óptico, de acordo com a seguinte relação:

$$z_{rad} = \frac{x_{in}^2 + z_{in}^2 - x_{out}^2 - z_{out}^2}{2(z_{in} - z_{out})},$$

em que x_{in} e z_{in} representarem, respectivamente, as coordenadas x e z de um limite interno da zona difrativa e x_{out} e z_{out} representarem, respectivamente, as coordenadas x e z de um limite externo da zona difrativa.

7. IOL de acordo com a reivindicação 6, caracterizada pelo fato de R_{rad} ser definido nas coordenadas Cartesianas de acordo com a seguinte relação:

$$R_{rad} = \sqrt{(z_{in} - z_{rad})^2 + x_{in}^2},$$

8. IOL de acordo com a reivindicação 7, caracterizada pelo fato de uma magnitude de $R_{média}$ ser em uma faixa de 12 mm a 120 mm.

9. IOL de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de uma magnitude de c_x ser em uma faixa de 0,008 mm^{-1} a 0,08 mm^{-1} e uma magnitude de c_y ser em uma faixa de 0,008 mm^{-1} a 0,08 mm^{-1}.

10. IOL de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de kx ser em uma faixa de –3000 a –12 e k_y ser em uma faixa de–3000 a–12.

11. IOL de acordo com a reivindicação 10, caracterizada pelo fato de k ser em uma faixa de–3000 a–12.

12. IOL de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de ditas zonas difrativas compreenderem uma pluralidade de estruturas difrativas separadas entre si por uma pluralidade de alturas de etapa.

13. IOL de acordo com a reivindicação 12, caracterizada pelo fato de um raio de curvatura de uma zona difrativa ao longo de um meridiano distinguido por um ângulo θ (R^{θ}_{d}) e um raio de curvatura de um perfil base associado com aquela zona difrativa (R^{θ}_{b}) serem relacionados de acordo com a seguinte relação:

$$(n_1 - n_2)\left(\frac{1}{R^{\theta}_{d}} - \frac{1}{R^{\theta}_{b}}\right) = \text{Constante},$$

em que n_1 denota o índice refrativo do material formando a óptica e n_2 denota o índice refrativo de um meio envolvendo aquela óptica, e Constante denota o valor constante.

14. IOL de acordo com a reivindicação 13, caracterizada pelo fato de dita Constante ser em uma faixa de 0 D a 4 D.

15. IOL de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de dita superfície anterior incluir ditas zonas difrativas.

16. IOL de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de dita superfície posterior exibir um perfil esférico.

17. Lente oftálmica difrativa, caracterizada pelo fato de compreender:

uma óptica tendo uma superfície anterior e uma superfície posterior,

em que pelo menos uma de ditas superfícies exibe um perfil distinguido por uma combinação de componentes difrativos, asféricos e tóricos torneados, sendo o componente esférico radialmente simétrico, e

em que o perfil de dita superfície é dado pela seguinte relação:

$$sag(R_{média}, r, \theta) = difrativa\ (R_{média}, r) + tórica(R_{média}, r, \theta) + asf(R_{média}, r)$$

em que *sag* representa uma deflexão da superfície ao longo de um eixo óptico da óptica em uma distância radial r de um centro da superfície em um ângulo meridiano θ, em que $R_{média}$ representa um raio de base de curvatura do meridiano médio e

em que

$$difrativa\ (R_{média}, r) = \quad z = z_{rad} - \sqrt{R_{rad}^2 - r^2}$$

em que

Z_{rad} e R_{rad} indicam, respectivamente, um raio de curvatura de uma zona difrativa estendendo-se através da distância radial r e um local axial de um centro de curvatura daquela zona, e

em que,

$$tórica(R_{média}, r, \theta) = \frac{(c_x \cos^2\theta + c_y \operatorname{sen}^2\theta) r^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k_x) c_x^2 r^2 \cos^2\theta - (1 + k_y) c_y r^2 \operatorname{sen}^2\theta}}$$

em que,

c_x e c_y representam curvaturas tóricas ao longo de dois meridianos principais da superfície e k_x e k_y representam constantes cônicas ao longo dos dois meridianos principais, e

em que

$$asf(R_{média}, r) = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 r^2}}$$

e em que

$$c = \frac{1}{R_{média}}$$

e em que *k* representa uma constante cônica esférica..

18. Lente oftálmica de acordo com a reivindicação 17, caracterizada pelo fato de dita lente prover um grau óptico de foco para longe em uma faixa de 16 D a 32 D.

19. Lente oftálmica de acordo com a reivindicação 18, caracterizada pelo fato de prover um grau de foco para perto, distinguido por um grau de adição em uma faixa de 1 D a 6 D.

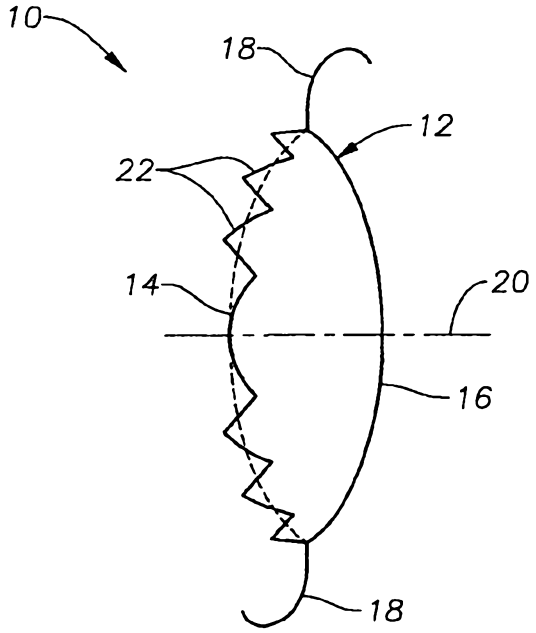


Fig. 1

Fig. 2

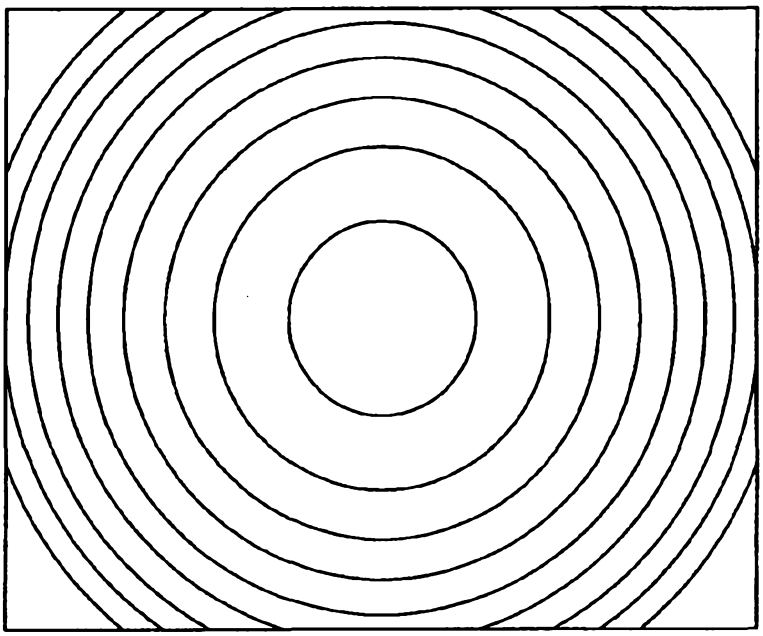
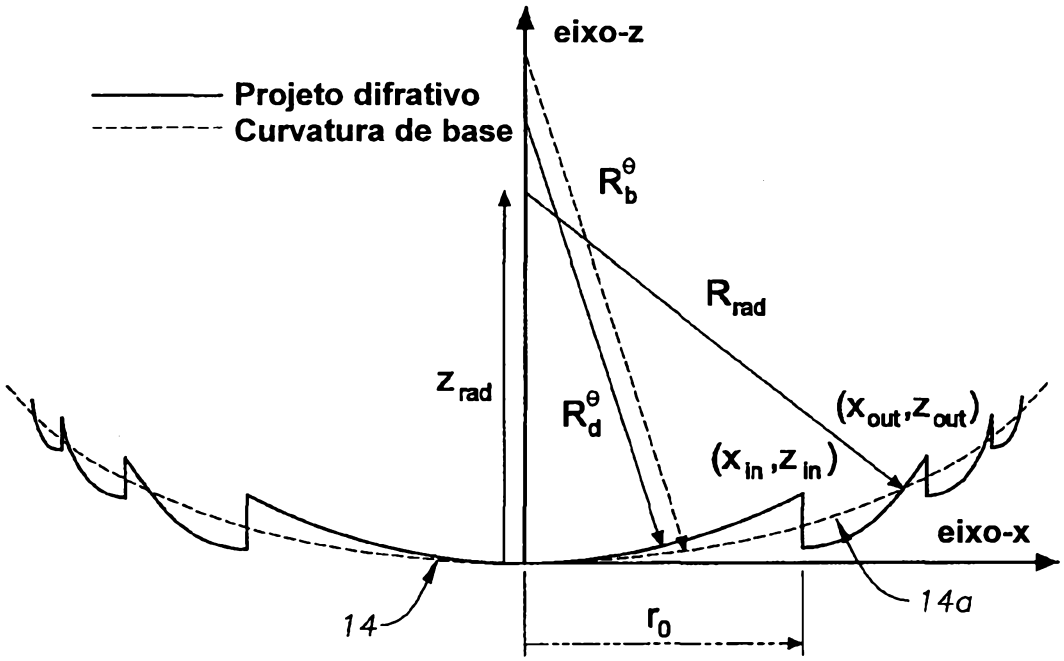


Fig. 3


eixo-z
Projeto difrativo
Curvatura de base
R_b^θ
R_{rad}
z_{rad}
R_d^θ
(x_{out}, z_{out})
(x_{in}, z_{in})
eixo-x
14
14a
r_0

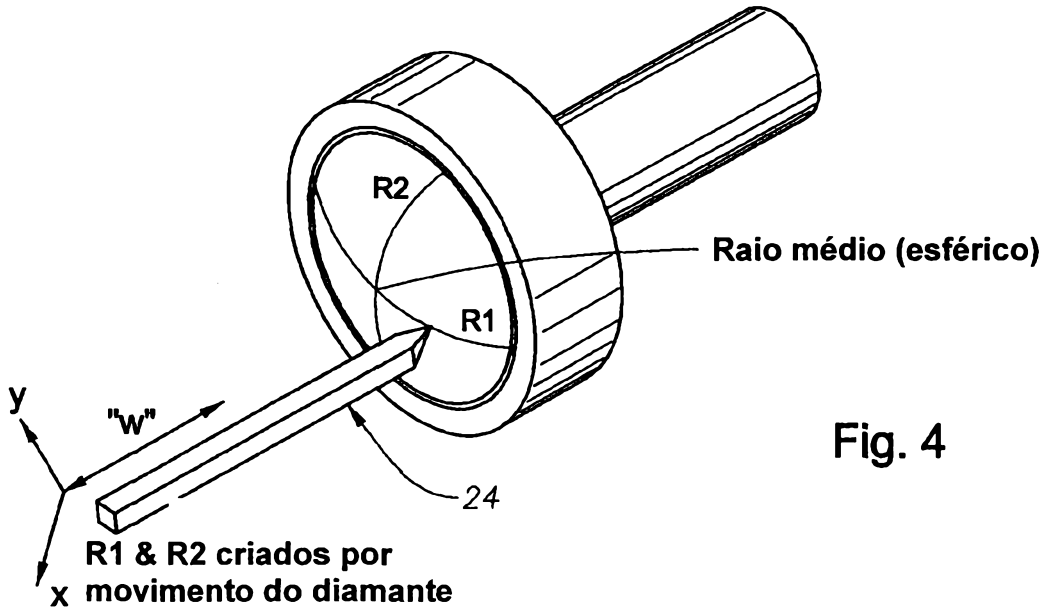

R2
Raio médio (esférico)
R1
y
"w"
24
R1 & R2 criados por
x movimento do diamante

Fig. 4