

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 464 497

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 80 11034**

(54) Lentille ophthalmique à puissance progressive, et son procédé de fabrication.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). G 02 C 7/06.

(22) Date de dépôt..... 16 mai 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : EUA, 18 mai 1979, n° 40,235.

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 10 du 6-3-1981.

(71) Déposant : Société dite : YOUNGER MANUFACTURING COMPANY, résidant aux EUA.

(72) Invention de : Lawrence J. Davenport.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Beau de Loménié,
55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

La présente invention se rapporte d'une façon générale aux lentilles ophtalmiques, et concerne plus particulièrement une lentille ophtalmique à puissance variable progressivement, et son procédé de fabrication.

5 L'oeil humain est un organe remarquable et sensible. Il comporte à sa surface extérieure un cristallin qui reçoit la lumière provenant d'objets dans son champ de vision. Il comporte également une rétine positionnée derrière le cristallin, remplissant la fonction d'un écran de vision pour 10 des objets focalisés correctement par le cristallin. Quand l'oeil normal voit des objets relativement éloignés, le cristallin est en position relaxée et, dans cette position, la courbure propre de sa surface focalise l'objet sur la rétine.

15 Mais à l'observation d'objets à courte distance, un muscle ciliaire entourant le cristallin agit sur ce dernier en augmentant sa courbure et en réduisant la distance focale, juste suffisamment pour focaliser l'image de l'objet proche sur la rétine. La possibilité de l'oeil de se régler 20 lui-même pour des distances variables d'objet est connue sous le nom de "accommodation". Lorsqu'un sujet vieillit, son pouvoir d'accommodation diminue. Cela résulte du fait que son muscle ciliaire se raidit et s'affaiblit. Par exemple, un enfant peut normalement changer la puissance de son 25 œil de plus de 14 dioptries. A l'âge moyen, le pouvoir d'accommodation est réduit à environ 3 dioptries et, au troisième âge, la puissance d'accommodation peut disparaître entièrement.

Des lentilles multifocales, par exemple des lentilles 30 bifocales et trifocales ont été créées pour faciliter la vision de personnes qui souffrent d'une réduction de la puissance d'accommodation. Par exemple, la lentille bifocale est constituée par deux segments séparés de puissances différentes. La puissance d'un segment est telle qu'elle 35 le permet la focalisation sur des objets proches, par exemple pour la lecture. L'autre segment corrige la vision des objets distants.

Les lentilles trifocales sont constituées par trois segments séparés dont les puissances sont différentes. Ces

lentilles sont similaires aux lentilles bifocales mais elles comportent en outre un segment intermédiaire de vision.

Un inconvénient sérieux des lentilles multifocales antérieures réside dans le fait qu'elles produisent de brusques différences optiques entre les parties de vision. Cela donne lieu à une confusion quand la ligne de vision passe par une ligne de démarcation optique divisant les segments. Cette confusion est non seulement ennuyeuse pour l'usager mais peut aussi être très dangereuse, produisant à l'occasion des blessures sérieuses, par exemple par une chute dans des escaliers.

Différentes tentatives ont été faites dans le passé pour éliminer les lignes de démarcation optiques dans les lentilles bifocales ou trifocales. Une solution à ce problème consiste à prévoir une région intermédiaire entre les segments de vision proche et éloignée, possédant des propriétés qui varient progressivement avec la distance sur la surface, de manière à introduire une transition progressive entre les parties de vision proche et distante de la lentille. Ces lentilles sont fréquemment appelées des lentilles "progressives".

Une lentille progressive de la technique antérieure comporte deux surfaces réfringentes sur les faces opposées d'un bloc de matière réfringente. La première de ces deux surfaces (ou surface intérieure) est généralement une surface sphérique ou torique et la seconde surface (ou surface extérieure convexe) est la surface progressive.

Cette surface progressive est généralement conçue et réalisée de manière à présenter une surface sphérique supérieure à un seul foyer constituant une partie ou une zone de vision éloignée. Cette partie a une première puissance et son centre optique est le centre optique de l'ensemble de la lentille progressive.

Une surface sphérique inférieure à un seul foyer est également prévue, constituant la zone ou la partie de vision proche ou de lecture. Cette partie a une seconde puissance plus élevée et elle est située autour d'un point appelé centre de vision proche.

Enfin, une surface progressive intermédiaire est prévue

dont la courbe méridienne allant du centre optique de la lentille au centre de vision proche est appelée le méridien de progression. La sphéricité de la lentille varie le long de ce méridien de progression, à partir de sa valeur au 5 centre optique de la lentille jusqu'à sa valeur au-dessus du centre de vision proche, selon une loi prédéterminée.

Les brevets des Etats-Unis d'Amérique n° 2 869 422, 2 878 721, 3 785 724, 4 055 379 et 4 056 311 illustrent la technique antérieure des lentilles dites progressives et 10 représentent la partie la plus connue de cette technique.

De plus, des articles de A.G. Bennette dans les numéros d'octobre et de novembre 1970 et de février et mars 1971 de la revue "The Optician" décrivent différentes tentatives pour réaliser des lentilles progressives.

15 Toutes les lentilles progressives antérieures présentent au moins un inconvénient commun. En raison de la surface non sphérique de ces lentilles antérieures, il existe une certaine valeur d'astigmatisme et de déformation. Cette déformation tend à être particulièrement prononcée dans les 20 parties périphériques de la zone de vision intermédiaire ou de transition de la lentille. Un résultat indésirable de cette déformation est une sensation de vertige que perçoit l'utilisateur lorsqu'il tourne la tête d'une façon normale. Cet effet, ajouté à un flou de la vision dans les 25 régions périphériques de la lentille, est largement responsable du manque d'acceptation de ces lentilles progressives.

30 Comme cela apparaîtra ci-après, les inconvénients des lentilles progressives antérieures sont pratiquement éliminés par la lentille selon l'invention et, d'une manière entièrement nouvelle, les régions de la lentille produisant normalement des déformations prononcées ont été repositionnées dans des parties qui ne sont que très peu utilisées par l'utilisateur.

35 L'invention a donc pour objet de proposer une nouvelle lentille ophtalmique à puissance progressive réduisant nettement l'astigmatisme et les déformations dans les régions périphériques de cette lentille, couramment utilisée pour la vision normale.

Un autre objet de l'invention est de proposer une lentille à puissance progressive du type mentionné ci-dessus dans laquelle les parties de la zone intermédiaire entre la zone de vision à distance et la zone de vision proche 5 les plus fréquemment utilisées sont configurées et positionnées de manière à réduire sérieusement le flou ou les déformations lorsque l'utilisateur regarde les objets à une distance intermédiaire.

Un autre objet de l'invention est de proposer une nouvelle lentille multifocale dans laquelle les lignes de démarcation entre les zones de vision à grande distance, de transition et à courte distance sont rendues invisibles. 10

Un autre objet encore de l'invention est de proposer une lentille progressive du type mentionné ci-dessus qui 15 peut être réalisée de façon relativement facile et peu coûteuse, sur une base reproductible, et susceptible d'une fabrication en grande série.

Un autre objet encore de l'invention est de proposer un procédé de fabrication d'une lentille progressive comportant une partie intermédiaire de nouvelle configuration, 20 produisant un minimum de flou et de déformation dans les parties les plus utilisées par le porteur.

Ces résultats, ainsi que d'autres, sont obtenus grâce à une lentille selon l'invention qui peut être décrite 25 rapidement comme comprenant une matière réfringente avec deux surfaces réfringentes, dont une première est divisée en des première, seconde et troisième zones de configuration déterminée, destinées respectivement à la vision distante, la vision intermédiaire et la vision proche, cette 30 première surface comportant une ligne méridienne verticale dans un plan x, y, et passant par le centre optique de la lentille en traversant lesdites zones, la courbure de cette ligne méridienne étant représentée par l'expression

$$35 \quad \frac{1}{R} = \frac{d^2 x}{dy^2} \left[1 + \left(\frac{dx}{dy} \right)^2 \right]^{-3/2}$$

Comme le montre la figure 1, la première zone de la lentille occupe la moitié supérieure de la première surface

et en plus des parties périphériques incurvées vers le bas, au-dessous de l'axe horizontal de la lentille, avec une courbure constante assurant une distance focale constante pour la vision à distance. La troisième zone de la lentille 5 occupe une partie inférieure de la première surface, avec une courbure constante assurant une distance focale constante pour la vision proche. La seconde zone se situe entre les première et seconde zone, avec une courbure variable produisant une distance focale variable, la courbure 10 de la seconde zone en des points successifs le long de la ligne méridienne variant progressivement à partir de la courbure constante de la première zone jusqu'à la courbure constante de la troisième zone.

La première surface de cette lentille est engendrée par 15 des parties d'une famille de cercles produite en faisant passer un plan incliné par un grand nombre de sphères de rayons connus, chacune de ces sphères passant par une série de points définissant la courbe méridienne.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention 20 seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre d'un exemple de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

la figure 1 est une vue en perspective d'une forme de lentille ophtalmique à puissance progressive selon l'invention 25 et montre la configuration et la position des zones de vision à distance, de vision intermédiaire et de vision proche,

la figure 2 est un diagramme illustrant la forme de la courbe méridienne en fonction de l'inverse du rayon, par 30 rapport à l'axe y de la lentille,

la figure 3 est un diagramme illustrant la manière de déterminer la courbure de la courbe méridienne dans le plan x-y de la lentille,

la figure 4 est un autre diagramme illustrant la manière 35 dont la surface de la lentille est définie mathématiquement par le passage de plans inclinés par des sphères de rayons connus, ces sphères passant par un grand nombre de points définissant la courbe méridienne de la lentille,

la figure 5 est un diagramme similaire à celui de la

figure 4, illustrant la position des trois parties de vision de la lentille,

la figure 6 est un diagramme qui doit être examiné conjointement avec celui de la figure 5 et illustrant la configuration et la position de la partie de vision proche de la lentille,

la figure 7 est un diagramme définissant mathématiquement la géométrie de la lentille dans le plan x-y,

la figure 8 est un autre diagramme montrant la configuration de l'une des ellipses engendrées en faisant passer le plan incliné par une sphère donnée, passant elle-même par un point particulier de la courbe méridienne,

la figure 9 montre l'image d'une grille carrée vue à travers une lentille progressive de la technique antérieure,

la figure 10 est similaire à la figure 9 et montre l'image d'une grille carrée vue à travers un mode de réalisation de la lentille progressive selon l'invention, et

la figure 11 est un diagramme indiquant les coordonnées de puissance en dioptries d'une lentille complémentaire de deux dioptries, définissant la surface d'une forme de lentille progressive selon l'invention.

Les figures 1 et 3 représentent donc une forme de lentille ophtalmique 10 à puissance progressive selon l'invention. La lentille 10 comporte deux surfaces réfringentes sur les faces opposées d'une masse de matière réfringente, la surface arrière 11 étant une surface simple et la surface avant 12 étant une surface dite progressive. La surface simple et la surface progressive délimitent entre elles une partie de lentille supérieure à simple foyer, ou première zone de vision 14 pour la vision à distance, d'une première puissance, et dont le centre optique coïncide avec le centre optique de la lentille globale, une partie de lentille inférieure à simple foyer ou troisième zone de vision 16, pour la vision proche, d'une seconde puissance plus élevée, située autour d'un point appelé centre de vision proche, et une partie de lentille intermédiaire à puissance progressive, ou seconde zone de vision 18 entre le centre optique de la lentille et le centre de vision proche, et sur un côté du plan méridien de la lentille qui contient

le centre de vision proche.

Comme le montre la figure 1, la seconde zone de vision ou zone intermédiaire 18 a une forme nouvelle et elle est située entre les première et troisième zones de vision 5 pour former une transition appropriée avec une déformation ou un flou minimal quand l'oeil de l'utilisateur se déplace par rapport à la lentille pour focaliser des objets disposés à une distance intermédiaire. Comme le montre la figure 10 3, la puissance de la lentille dans la zone de vision intermédiaire augmente progressivement à partir d'une première valeur au centre optique de la lentille jusqu'à une seconde valeur plus élevée au centre de vision proche, selon une loi de progression pré-déterminée, le long du plan méridien qui contient le centre de vision proche et le plan méridien 15 de progression. La manière dont la surface définissant cette troisième zone de vision est engendrée sera décrite en détails dans les paragraphes qui suivent.

La lentille 10 peut être réalisée en une matière optique dont l'indice de réfraction est uniforme, par exemple un 20 verre de qualité optique, ou elle peut être faite en matière plastique bien connue de qualité optique, telle que CR-39 (allyl-diglycol carbonate), en Lexan (polycarbonate) ou en méthyl-methacrylate.

Comme le montrent particulièrement les figures 1 et 3, 25 les zones 14, 16 et 18 sont incurvées vers l'intérieur dans la direction de l'oeil, avec l'augmentation progressive de distance vers le haut, le long de la lentille à puissance progressive. Cela apparaît sur la figure 3 par la courbe 20 qui représente la courbe méridienne de la lentille. L'expression "courbe méridienne" concerne la courbe formée par la lentille le long d'une ligne 22 sur la figure 1 qui divise en fait la lentille en deux moitiés égales. A chaque position d'une moitié correspond une position de propriétés similaires de courbures et de puissance dans l'autre moitié.

30 35 La courbe méridienne 20 est une courbe régulière en toute position et ne comporte aucune discontinuité ni rupture. Bien que cette courbe soit régulière, comme cela a été indiqué ci-dessus, elle peut avoir des rayons de courbure différents en chaque position. Les rayons de courbure dans

les différentes positions de la courbe méridienne 20 sont représentés en 24, 26 et 28 sur la figure 3. Le lieu des centres de courbure "C" de la courbe méridienne constitue une courbe plane continue connue sous le nom de "développante" de la courbe donnée. Une développante est représentée en 30 sur la figure 3. Pour que la lentille fonctionne correctement, la développante doit être régulière et ne comporter aucune discontinuité.

La figure 2 est une courbe de l'inverse du rayon de courbure "R" en différentes positions de la courbe méridienne, par rapport à l'axe y de la lentille, tel qu'il est défini sur la figure 1. Il faut noter que dans la zone de vision à distance 14 et dans la zone de vision proche ou de lecture 16, le rayon de courbure le long de la courbe méridienne est constant. Mais dans la zone intermédiaire ou de transition 18, le rayon de courbure varie comme l'indique la courbe du plan de progression désignée par 32 sur la figure 2. La forme voulue de la courbe 32 peut être déterminée par des lois de progression bien connues, 20 la formule ci-après étant exprimée en fonction du rayon R et des coordonnées x et y de la lentille 10 (figure 1) :

$$\frac{1}{R} = \frac{\frac{d^2x}{dy^2}}{2} \left[1 + \left(\frac{dx}{dy} \right)^2 \right]^{-3/2}$$

25 Une caractéristique de l'invention réside dans la manière dont la surface de la lentille est engendrée dans la zone intermédiaire 18 de la figure 1. Dans les paragraphes qui vont suivre, les calculs mathématiques définissant cette surface de lentille seront expliqués en détails.

30 Mais essentiellement, la surface est engendrée par des parties d'une famille de cercles développés en faisant passer un plan incliné par un grand nombre de sphères de rayons connus, chacune de ces sphères passant par la série des points qui définissent la courbe méridienne.

35 La figure 4 montre la courbe méridienne 20 dans le plan xy du système de coordonnées rectangulaires tr dimensionnelles xyz, apparaissant sur la figure 1. La courbe 20 est tangente à l'axe y positif, à l'origine (0,0,0).

La courbe méridienne 20 peut être définie sous forme d'un tableau, par une série de points P_M qui peuvent être calculés pour une lentille donnée en fonction des lois de progression utilisant la formule ci-dessus. En chaque point P_M , il existe 5 un rayon donné de courbure R_M et un angle donné θ_M qui, comme le montre la figure 4, est l'angle entre la tangente à la courbe 20 et l'axe x positif. Il est possible d'associer à chaque point P_M de la courbe méridienne cinq nombres réels

$$(x_M, y_M, 0, R_M, \theta_M)$$

10 dont les trois premiers $(x_M, y_M, 0)$ représentent les coordonnées rectangulaires du point P_M . Les coordonnées du centre C_M du cercle de courbure en P_M sont :

$$(x_M + R_M \sin \theta_M, y_M - R_M \cos \theta_M, 0)$$

15 Il y a lieu maintenant de faire passer une sphère Σ_M de rayon R_M par le point P_M , dont le centre est en C_M et de couper cette sphère par un plan Π_M par P_M , perpendiculaire au plan xy . Ce plan Π_M coupe le plan $x-y$ suivant une droite parallèle à l'axe z et le plan xy suivant une droite 20 passant par le point P_M . L'angle ϕ dont cette dernière ligne d'intersection est inclinée par rapport à l'axe x positif est supposé indépendant du point P_M et d'une constante donnée.

Il apparaît clairement que le plan Π_M passant par P_M 25 coupe la sphère Σ_M suivant un cercle S_M passant par P_M et de rayon $R_M \sin (\phi + \theta_M)$. Ainsi, quand le point P_M se déplace le long de la courbe méridienne, la famille des cercles S_M engendre une surface. La partie de la surface faisant face au plan yz est la surface voulue L de la lentille. 30

La description mathématique ci-après de la surface L de la lentille, faite en regard des figures 5 à 8, permet le calcul des coordonnées des points de cette surface.

Les coordonnées rectangulaires de chaque point P de 35 la surface L de la lentille engendrée par les points P_M sur la courbe méridienne 20 sont les suivantes :

$$\begin{aligned}
 x &= x_M + R_M \sin(\phi+\theta_M) \cos \phi (1-\cos t) \\
 y &= y_M - R_M \sin(\phi+\theta_M) \sin \phi (1-\cos t) \\
 z &= R_M \sin(\phi+\theta_M) \sin t
 \end{aligned} \tag{1}$$

5 où $(x_M, y_M, 0, R_M, \theta_M)$ est le quintuplé associé avec le point P_M correspondant et t est un paramètre réel compris dans l'intervalle $0 \leq t \leq 2\pi$

10 L'établissement des équations (1) utilise le fait que S_M d'intersection de la sphère \mathcal{O}_M par le plan Σ_M passant par le point P_M est centré au point D_M dont les coordonnées sont :

$$(2) \quad (x_M + R_M \sin(\phi+\theta_M) \cos \phi, y_M - R_M \sin(\phi+\theta_M) \sin \phi, 0)$$

15 Ce cercle S_M a pour rayon $R_M \sin(\phi+\theta_M)$ et il passe par le point P_M , comme cela a été indiqué ci-dessus. Ainsi, les coordonnées de tout point P sur ce cercle S_M sont données par l'équation (1) où t désigne l'angle, dans le plan d'intersection Σ_M , entre le plan xy et la droite qui relie le point P au centre D_M dont les coordonnées sont données par l'équation (2). L'angle t peut être mesuré avec une 20 valeur positive dans le sens inverse des aiguilles d'une montre sur l'axe z positif.

Il est bien entendu que tous les calculs ci-dessus ont été exécutés en tenant compte des suppositions particulières ci-après :

25 (a) la partie de la courbe méridienne 20 "au-dessus" du plan xz , c'est à dire la partie de la courbe 20 dont les points ont les coordonnées $(x_M, y_M, 0)$ avec $y_M > 0$, est un arc circulaire de rayon $R_0 > 0$ défini par l'équation

$$30 \quad x_M = R_0 - (R_0^2 - y_M^2)^{1/2}$$

(b) la partie de la courbe méridienne 20 "au-dessous" du plan xz , c'est à dire la partie de la courbe 20 dont les points ont les coordonnées $(x_M, y_M, 0)$ avec $y_M < 0$, contient un arc circulaire de rayon $R > 0$ engendrant la partie de 35 lecture de la lentille. Le point "le plus haut" P_M^- de cet arc circulaire de la courbe 20 a pour coordonnées $(x_M^-, y_M^-, 0)$ avec $x_M^- > 0$, $y_M^- < 0$, et les coordonnées de son point milieu ("centre") P_C^- sont $(x_C^-, y_C^-, 0)$ où $x_C^- > x_M^-$ et

$y_C^- < y_M^-$.

(c) l'angle ϕ dont les plans d'intersection π_M sont inclinés au-dessous du plan xz et l'angle θ_C^- de la tangente à l'arc circulaire de la courbe 20 en P_C^- sont liés par la relation

$$5 \quad \phi + \theta_C^- = \pi$$

Ainsi, le point "le plus bas" de l'arc circulaire de la courbe 20 engendrant la zone de lecture est le point d'intersection de cet arc avec le plan π_M^- passant par le point "le plus élevé" P_M^- .

10 Il résulte de ces suppositions que l'ensemble de la surface L de la lentille est naturellement divisée en les trois zones de vision mutuellement exclusives, mentionnées ci-dessus, c'est à dire (voir les figures 1, 2 et 5) :

15 la première zone 14 ou zone de vision éloignée, disposée au-dessus du plan d'intersection π_0 passant par l'origine $(0,0,0)$, avec une surface sphérique de rayon R_0 .

La seconde zone 18 ou zone de transition, disposée au-dessous du plan d'intersection π_0 et le plan d'intersection π_M^- passant par le point P_M^- "le plus haut" de la zone 20 de lecture.

La troisième zone 16 de vision proche qui est une calotte sphérique disposée au-dessous du plan d'intersection π_M^- passant par P_M^- , chacune des zones 14, 16 et 18 admettant une simple description analytique exprimée en coordonnées de leurs points.

Tous les points de la première zone 14 de la lentille ont pour coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ satisfaisant à la fois l'inégalité :

$$30 \quad (1E1) \quad \left(1 + \frac{\bar{y}}{R_0 \cos \phi \sin \theta}\right)^2 + \left(\frac{\bar{z}}{R_0 \cos \phi}\right)^2 \leq 1$$

et l'équation

$$\bar{x} = R_0 - (R_0^2 - \bar{y}^2 - \bar{z}^2)^{1/2}$$

D'une manière similaire, tous les points de la troisième zone 16 engendrant la zone de lecture ont pour coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ satisfaisant à la fois l'inégalité :

12

$$(IE2) \quad \left(1 + \frac{\bar{y} - y_M}{R \sin(\theta + \theta_M) \sin \theta} \right)^2 + \left(\frac{\bar{z}}{R \sin(\theta + \theta_M)} \right)^2 \leq 1$$

et l'équation

$$5 \quad \bar{x} = \hat{x} - (R^2 - (\bar{y} - \hat{y})^2 - \bar{z}^2)^{1/2}$$

où

$$\hat{x} = x_M + R \sin \theta_M, \quad \hat{y} = y_M - R \cos \theta_M$$

Les coordonnées de tous les points de la zone intermédiaire 18 ou de transition disposés entre les plans d'intersection π_0 et π_M doivent satisfaire le groupe initial d'équations à savoir :

$$(E3) \quad \begin{aligned} \bar{x} &= x_M + R_M \sin(\theta + \theta_M) \cos \theta (1 - \cos t) \\ \bar{y} &= y_M - R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin \theta (1 - \cos t) \end{aligned}$$

$$15 \quad \bar{z} = R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin t$$

Plus précisément, en tout point de coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$, pour lesquels \bar{y}, \bar{z} ne satisfont pas les inégalités (IE1) et (IE2), le quintuplé $(x_M, y_M, 0, R_M, \theta_M)$ et le paramètre t doivent être déterminés pour un point P_M de la courbe méridienne 20 (au-dessous du plan xz) pour lequel les trois équations (E3) sont satisfaites simultanément.

Le mode opératoire de calcul des coordonnées des points de la surface L de la lentille est basé entièrement sur 25 la représentation analytique des limites des régions de transition, en fonction des inégalités quadratiques (IE1) et (IE2) données ci-dessus.

Pour la fabrication réelle de la lentille selon l'invention, une machine, telle qu'une machine de surfaçage, 30 à commande numérique, est programmée soit pour produire la lentille à partir d'une ébauche de matière appropriée, soit pour produire un moule dans lequel la lentille peut être moulée en verre de qualité optique ou en matière polymérisable. Les techniques de programmation et de commande des machines numériques ainsi que le moulage de précision des lentilles en utilisant des moules appropriés sont décrits dans la littérature et sont bien connus. Par conséquent, les détails précis de la technique de calcul selon l'invention, de programmation de la machine de surfaçage et de

moulage de la lentille ne seront pas décrits.

La nouvelle lentille selon l'invention, lorsqu'elle est réalisée selon les modes opératoires et les calculs mathématiques ci-dessus se caractérise par le fait qu'elle comporte des première, seconde et troisième zone de vision de forme et de position appropriée, comme le montre la figure 1. La forme de ces zones de vision, qui est optimisée pour permettre une vision normale au porteur de la lentille, réside du fait que la surface dans la zone de vision intermédiaire est engendrée par des parties d'une famille de cercles développés en faisant passer le plan incliné π des figures 4 et 5 par un grand nombre de sphères de rayons connus chacune de ces sphères passant par la série des points définissant la courbe méridienne 20.

15 Comme le montre particulièrement la figure 10, qui est un exemple d'une image à travers une lentille selon l'invention, la déformation est maintenue à un minimum absolu dans la majorité des parties utilisées de la lentille. La comparaison de cette image avec celle d'une lentille progressive antérieure, représentée sur la figure 9 montre l'importante amélioration par rapport à la technique antérieure. Il faut noter particulièrement l'amélioration marquée des caractéristiques de déformation de la lentille dans les zones périphériques, immédiatement au-dessous de l'axe z 25 et dans toutes les parties les plus fréquemment utilisées de la zone de vision intermédiaire 18.

Dans le but de mieux comprendre les coordonnées de puissance d'une lentille selon l'invention, par exemple celles formant l'image de la figure 10, la figure 11 montre 30 les résultats obtenus avec une lentille dont la surface arrière est réalisée en accord avec la description ci-dessus.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme de l'art au mode de réalisation décrit et illustré à titre d'exemple nullement limitatif 35 sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1 Lentille ophtalmique à longueur focale variable progressivement, caractérisée en ce qu'elle comporte deux surfaces réfringentes, dont l'une est divisée en des premières, (14), seconde (18) et troisième (16) zones de vision destinées respectivement à la vision à distance, à la vision intermédiaire et à la vision proche, ladite surface contenant une courbe méridienne (22) passant par le centre optique de la lentille et traversant lesdites zones, 10 ladite courbe méridienne (22) étant définie par une série de points de ladite surface et des parties périphériques de la moitié inférieure de ladite surface, et possédant une courbure constante avec une distance focale constante pour la vision à distance, ladite troisième zone de vision (16) occupant une partie inférieure de ladite surface avec une distance focale constante pour la vision proche, et ladite seconde zone de vision (18) se situant entre lesdites première et troisième zones de vision pour la vision intermédiaire, ladite seconde zone de vision (18) comportant 20 en outre, de chaque côté de la courbe méridienne, des zones symétriques d'aberrations astigmatiques, ladite surface de ladite seconde zone de vision (18) étant engendrée par des parties d'une famille de cercles développés en faisant passer un plan incliné par un grand nombre de sphères de 25 rayons pré-déterminés, chacune desdites sphères étant tangentes à ladite série de points définissant ladite courbe méridienne (22).

2 - Lentille selon la revendication 1, caractérisée en ce que chaque point de la surface de la lentille engendrée par ladite série de points définissant ladite courbe méridienne (22) a pour coordonnées rectangulaires :

$$x = x_M + R_M \sin(\theta + \theta_M) \cos \theta (1 - \cos t)$$

$$y = y_M - R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin \theta (1 - \cos t)$$

$$z = R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin t$$

35 où $(x_M, y_M, R_M, \theta_M)$, est le quintuplé associé avec un point correspondant de ladite série de points, et t est un paramètre réel situé dans l'intervalle $0 \leq t \leq 2\pi$.

3 - Lentille selon la revendication 2, caractérisée en ce que la partie de ladite courbe méridienne (22) se trouvant dans ladite première zone de vision (14) est un arc circulaire de rayon $R_0 > 0$ défini par l'équation :

5

$$x_M = R_0 - (R_0^2 - y_M^2)^{1/2},$$

et tous les points dans ladite première zone de vision (14) ont des coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ satisfaisant l'inégalité

$$(1 + \frac{\bar{v}}{R_0 \cos\theta \sin\phi})^2 + (\frac{\bar{z}}{R_0 \cos\theta})^2 \geq 1$$

10

et l'équation

$$\bar{x} = R_0 - (R_0^2 - \bar{y}^2 - \bar{z}^2)^{1/2}$$

4 - Lentille selon la revendication 2, caractérisée en ce que tous les points de ladite troisième zone de vision (16) ont pour coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ satisfaisant à la fois l'inégalité

$$(1 + \frac{\bar{y} - y_M}{R \sin(\theta + \theta_M) \sin\phi})^2 + (\frac{\bar{z}}{R \sin(\theta + \theta_M)})^2 \leq 1$$

et l'équation

20

$$\bar{x} = \hat{x} - (R^2 - (\bar{y} - \hat{y})^2 - \bar{z}^2)^{1/2}$$

où

$$\hat{x} = x_M + R \sin\theta_M, \hat{y} = + y_M - R \cos\theta_M$$

25

5 - Lentille selon la revendication 4, caractérisée en ce que tous les points de ladite seconde zone (18) ont pour coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ satisfaisant les équations suivantes

$$\bar{x} = x_M + R_M \sin(\theta + \theta_M) \cos\phi (1 - \cos t)$$

$$\bar{y} = y_M - R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin\phi (1 - \cos t)$$

30

$$\bar{z} = R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin t$$

6 - Procédé de réalisation d'une lentille ophthalmique comportant des axes x, y et z, avec une distance focale variable progressivement, comprenant deux surfaces réfringentes dont l'une est divisée en des première (14), seconde (18) et troisième (16) zones de vision destinées respectivement à la vision à distance, à la vision intermédiaire et à la vision proche, ladite surface contenant une courbe méridienne (22) passant par le centre optique de la lentille

et traversant lesdites zones, ladite courbe méridienne (22) étant définie par une série de points sur ladite surface, ladite première zone (14) occupant la moitié supérieure de ladite surface et des parties périphériques de la moitié inférieure de ladite surface, avec une courbure constante déterminant une distance focale constante pour la vision à distance, ladite troisième zone de vision (16) occupant une partie inférieure de ladite surface avec une distance focale constante pour la vision proche, et ladite seconde zone de vision (18) se situant entre lesdites première et troisième zones de vision pour la vision intermédiaire, ladite seconde zone de vision (18) comportant en outre de chaque côté de la courbe méridienne (22) des zones symétriques d'aberrations astigmatiques, procédé caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à engendrer la surface de ladite seconde zone de vision (18) en combinant ensemble, pour former ladite surface, un grand nombre de cercles développés en faisant passer un plan incliné faisant un angle prédéterminé par rapport audit axe de la lentille, par un grand nombre de sphères de rayons prédéterminés, chacune desdites sphères passant par ladite séries de points définissant ladite courbe méridienne (22), le rayon desdites sphères et l'angle du dit plan incliné étant choisi de manière que chaque point de ladite surface possède les coordonnées rectangulaires suivantes :

$$x = x_M + R_M \sin(\theta + \theta_M) \cos\phi \quad (1-\text{cost})$$

$$y = y_M - R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin\phi \quad (1-\text{cost})$$

$$z = R_M \sin(\theta + \theta_M) \sin t$$

où $(x_M, y_M, 0, R_M, \theta_M)$ est le quintuplé associé avec un point correspondant de ladite série de points, et t est un paramètre réel se situant dans l'intervalle $0 \leq t \leq 2\pi$.

7 - Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite surface de ladite première zone de vision (14) est engendrée en combinant ensemble pour former ladite surface, un grand nombre de cercles développés en faisant passer un plan incliné disposé sous un angle prédéterminé par rapport audit axe de la lentille par un grand nombre de sphères de rayons prédéterminés, chacune desdites sphères passant

par ladite série de points définissant ladite courbe méridienne (22), le rayon desdites sphères et l'angle dudit plan étant choisis de manière que la partie de ladite courbe méridienne (22) se trouvant dans ladite première zone de 5 vision (14) soit un arc circulaire de rayon $R_0 > 0$ défini par l'équation

$$x_M = R_0 - (R_0^2 - y_M^2)^{1/2} \quad \text{et}$$

10 tous les points de ladite première zone de vision (14) ont des coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ satisfaisant à la fois l'inégalité

$$(1 + \frac{\bar{y}}{R_0 \cos \theta \sin \theta})^2 + (\frac{\bar{z}}{R_0 \cos \theta})^2 \geq 1$$

et l'équation

$$15 \quad \bar{x} = R_0 - (R_0^2 - \bar{y}^2 - \bar{z}^2)^{1/2}$$

8 - Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la surface de ladite troisième zone de vision (16) est engendrée en combinant ensemble, pour former ladite surface, un grand nombre de cercles développés en faisant passer un 20 plan incliné faisant un angle prédéterminé avec ledit axe x de la lentille par un grand nombre de sphères d'un rayon prédéterminé, chacune desdites sphères passant par ladite série de points définissant ladite courbe méridienne (22), le rayon desdites sphères et ledit angle dudit plan étant 25 choisis de manière que tous les points de ladite seconde zone de vision (18) aient pour coordonnées $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$, satisfaisant à la fois l'inégalité

$$\bar{y} - y_M \quad (1 + \frac{\bar{y} - y_M}{R \sin(\theta + \theta_M) \sin \theta})^2 + (\frac{\bar{z}}{R \sin(\theta + \theta_M)})^2 \leq 1$$

30 et l'équation

$$\bar{x} = \hat{x} - (R^2 - (\bar{y} - \hat{y})^2 - \bar{z}^2)^{1/2}$$

où

$$\hat{x} = x_M + R \sin \theta_M, \quad \hat{y} = y_M - R \cos \theta_M$$

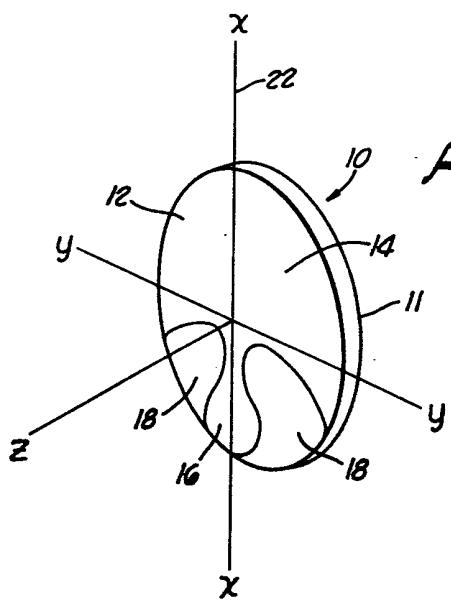


FIG. 1.

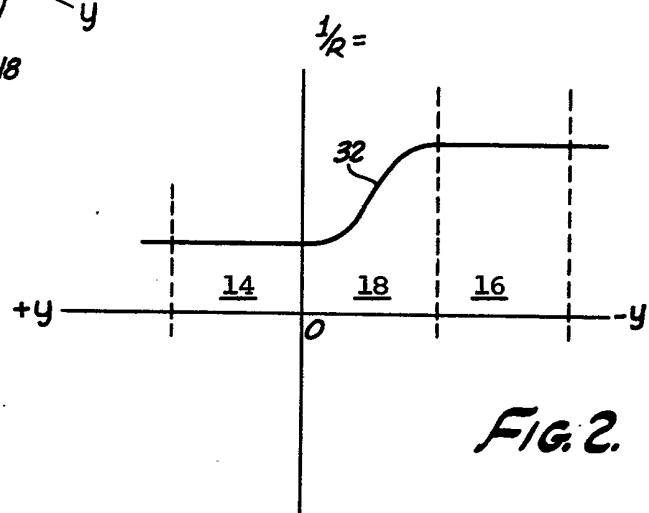


FIG. 2.

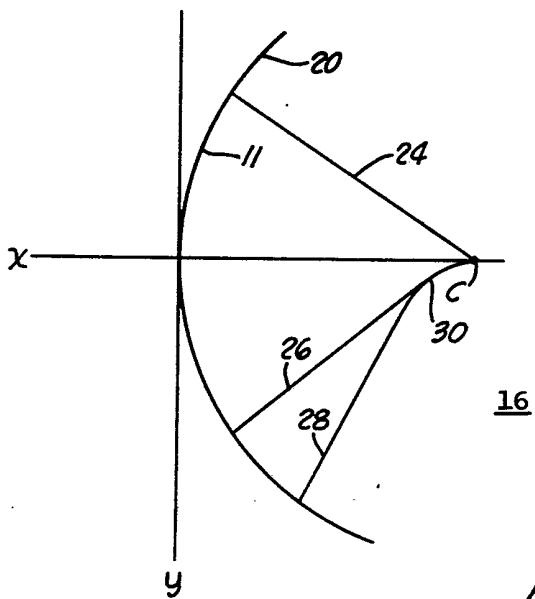
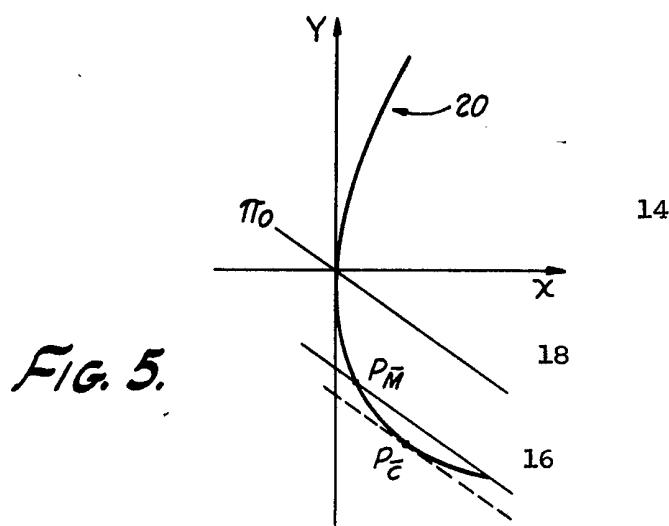
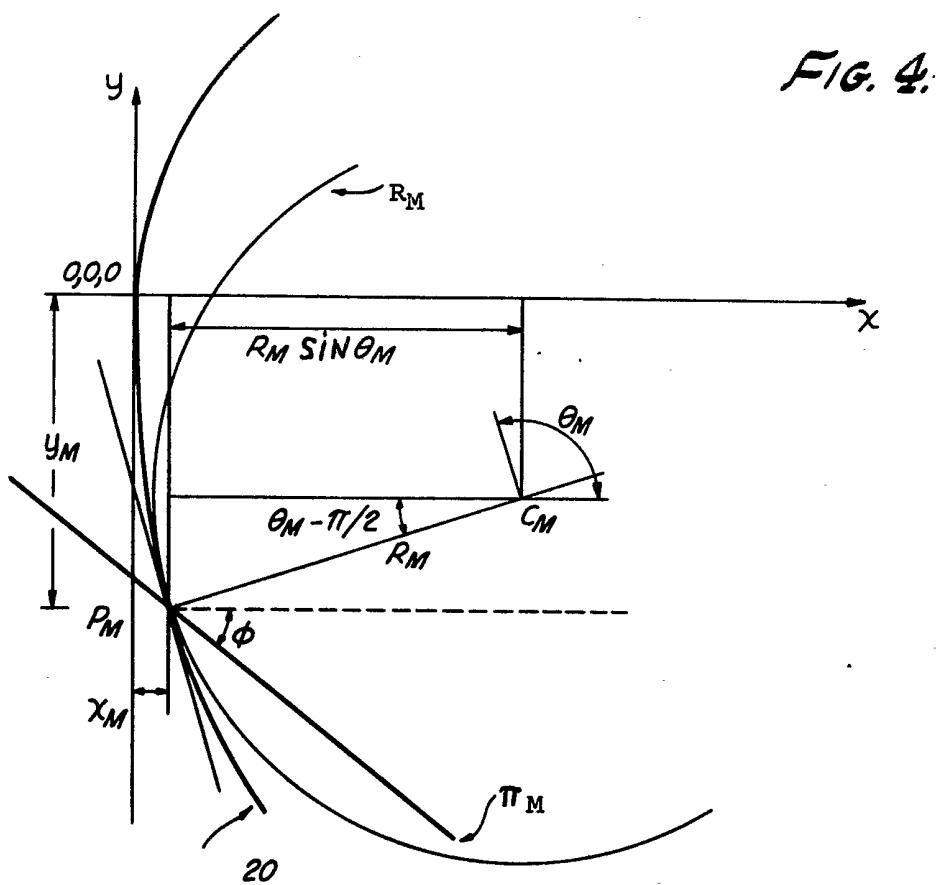


FIG. 3.



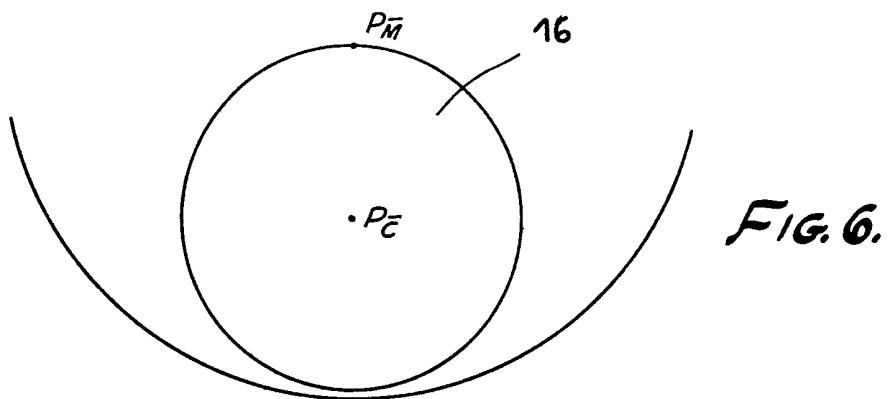


FIG. 6.

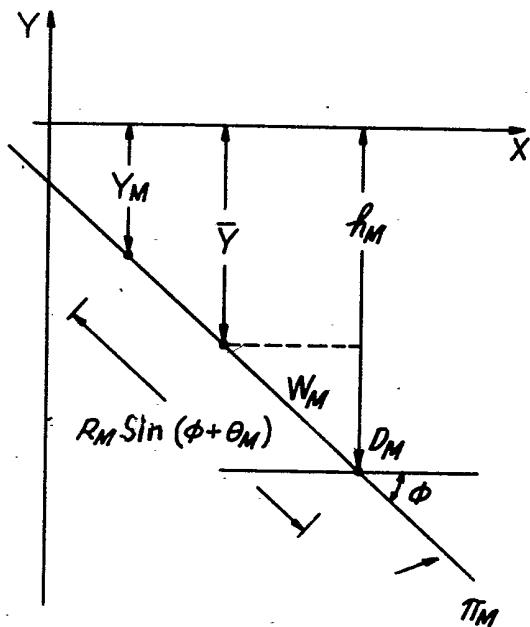


FIG. 7.

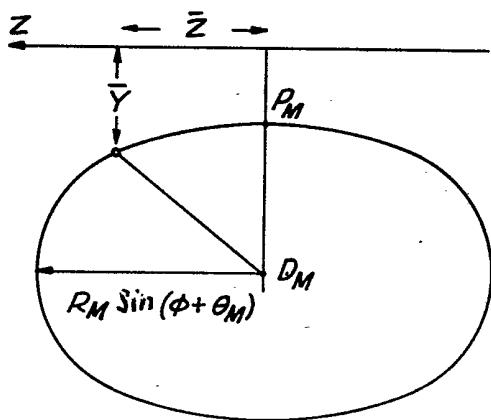


FIG. 8.

FIG. 9.

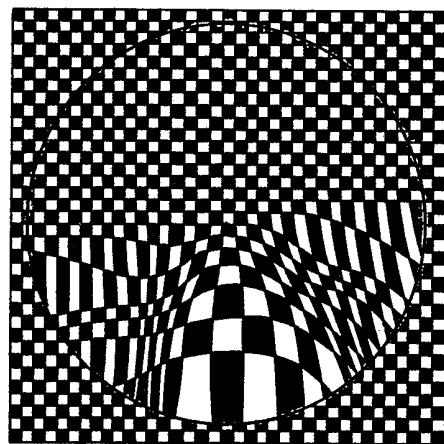
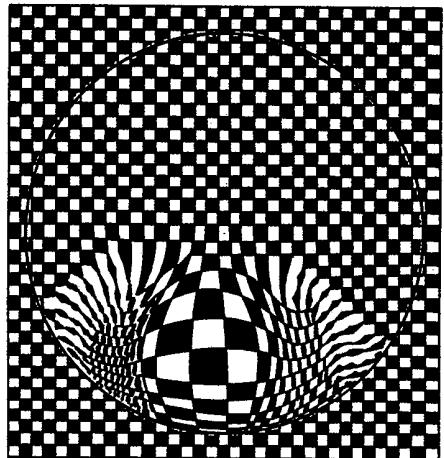


FIG. 10.



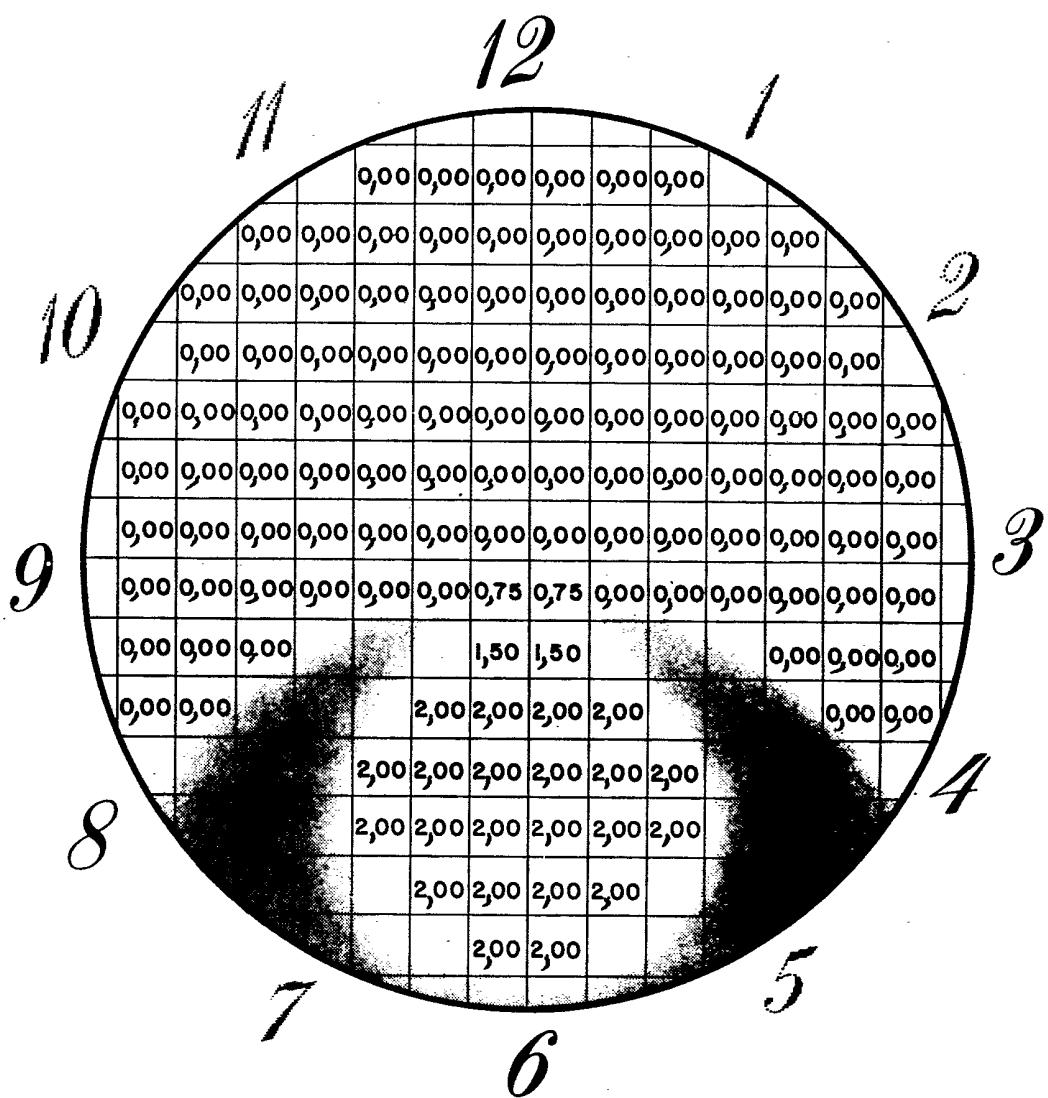


FIG. 11.