(19) DANMARK

Patentdirektoratet
TAASTRUP

(12) PATENTSKRIFT (11) 172417 B1

(21) Patentansøgning nr.: 6694/87 (51) Int.Cl.6 G 02 C 7/06

(22) Indleveringsdag: 18 dec 1987

(41) Alm. tilgængelig: 20 jun 1988

(45) Patentets meddelelse bkg. den: 25 maj 1998

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: 19 dec 1986 US 944702

(73) Patenthaver: *Sola International Inc.; 2420 Sand Hill Road; Suite 200; Menlo Park; California 94025, US

(72) Opfinder: John T. *Winthrop; US

(74) Fuldmægtig: Internationalt Patent-Bureau

(54) Øjenlinse med tiltagende styrke

(56) Fremdragne publikationer

US pat. nr. 2878721, 4514061

(57) Sammendrag:

6694-87

I de i beskrivelsen beskrevne udførelsesformer for den bipolære øjenlinse med tiltagende styrke er afstandsdelen (OP) med konstant styrke og læseområderne (RP) af overfladen med tiltagende styrke reduceret til matematiske punkter (F, henholdvis N); og den overfladeastigmatiske aberration er reduceret til et minimumsniveau ved at sprede den over et maksimalt stort område af linsen. Punkterne (F og N) er polerne i et bipolært system af isostyrkehøjdekurver, og hele den progressive overflade er overstreget af skæringskurven, der dannes mellem en kugle med variabel radius og en tilsvarende cirkulær cylinder med variabel radius med dimensionerne af de relative placeringer af den skærende kugle og cylinderen valgt således, at der frembringes en blidt krummende overflade til tilvejebringelse af en jævn optisk virkning.

6694-87

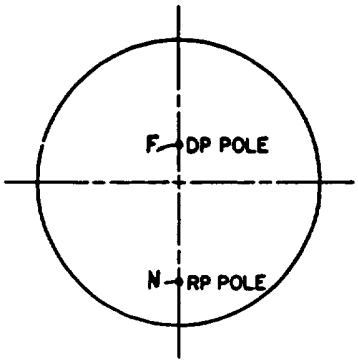


FIG. 6

DK 172417 B1

Opfindelsen angår øjenlinser med tiltagende styrke ifølge den indledende del af krav 1.

En linse af denne art kendes fra US-A-2 878 721. I denne kendte linse holdes astigmatismen på et minimum ved at fordele den over hele linsens areal.

US-A-4 514 061 beskriver linser med tiltagende styrke, hvor overfladestyrken af linsen har et lokalt maximum i nærsyns-området. Styrkeoverfladerne i disse kendte linser omfatter skæringskurven mellem en kugle med variabel diameter og en cylinder med cirkulært tværsnit.

Det er et mål med den foreliggende opfindelse, at tilvejebringe en øjenlinse med tiltagende styrke med en progressiv overflade indrettet til at sikre den glattest mulige fordeling, lavest mulige niveauer for astigmatisme med ortoskopi i det mindste tilnærmelsesvis bevaret ved linsens sidekanter og uden stigning i aberration andetsteds i linsen.

Det er endnu et mål med opfindelsen at tilvejebringe en linse med tiltagende styrke med en naturligt ikke-brat fordeling af optisk linsestyrke, som let kan accepteres af både begyndende og fremskredent langsynede.

Nærmere bestemt kan det følgende anses at være de hovedmål, som i det mindste som kompromis skal nås, ved tilvejebringelsen af en linse med tiltagende styrke.

1. Optisk stabile og aberrationsfri lang- og nærsynsområder.
2. Progressiv korridor af brugbar bredde og bekvem længde.
3. Minimeret overfladeastigmatisme.
4. Minimeret sideværts styrkefejl.
5. Minimeret skråforvrængning.
6. Minimeret binokular styrke- og astigmatisk ubalance.

7. Minimeret binokular lodret prismatisk ubalance.

8. Synskontinuitet, dvs. glat og kontinuerlig optisk virkning.

Ovenstående og andre mål nås med linser med tiltagende styrke ifølge det selvstændige krav. Andre fordelagtige træk ved denne linse fremgår af de uselvstændige krav.

I den foreliggende opfindelse "indskrænkes" DP-området (afstandsdelen) og RP-området (læsedelen) hver til et matematisk punkt ved at udvide det område, der er tildelt til fordeling af den astigmatiske overfladeaberration.

Opfindelsen tilvejebringer således et brilleglas med progressivt voksende styrke med den glattest mulige fordeling af dioptristyrken og det lavest mulige niveau for uønsket astigmatisme, med ortoskopi i det mindste tilnærmelsesvis bevaret i glassenes sidekanter, og som i alle styrkezoner tilfredsstiller realistiske krav til styrkestabilitet og binokulær kompatibilitet.

Dette og andre formål opfyldes ifølge opfindelsen ved i et progressivt glas at kombinere følgende træk:

(A) Lang- og nærsyns-"områderne" er i virkeligheden slet ikke områder, men omfatter to matematiske punkter. På denne måde reduceres styrken af den uønskede overfladeastigmatisme til et minimumniveau ved at fordele den over et større område end sædvanligt, nemlig hele glassets område,

(B) lang- og nærstyrkepunkterne er forbundet med en central linie med progressiv dioptristyrke. Den almindelige form af styrkeprogressionen langs centrallinien er bestemt af (1) de optiske stabilitetskrav i den umiddelbare omegn af lang- og nærstyrkepunkterne, og (2) kravet om, at progressionen skal være glat. Glathedsegenskaberne sikres ved at forlange, at middelkvadratgradienten af progressionen eller af dens hø-

jere afledede er minimal.

(C) Lang- og nærdelsstyrkepunkterne omfatter polerne i et bipolært system af overfladestyrkehøjdekurver. Højdekurverne vælges på en sådan måde, at man opnår en glat og behagelig fordeling af overfladestyrke og astigmatisme. Glathedsegenskaberne opnås ved at kræve, at middelkvadratgradienten af en vis hjælpefunktion, en funktion der står i nært forhold til middeloverfladestyrken, er minimal.

Geometrisk kan hele den progressive overflade betragtes som frembragt af en frembringerkurve C, der er skæringskurven, der dannes mellem en kugle med variabel radius og en tilsvarende cirkulær cylinder med variabel diameter. Dimensionerne og de relative placeringer af den skærende kugle og cylinder vælges således, at der frembringes en svagt buet overflade, der sikrer glat optisk virkning.

Ved opfindelsen har man ikke i udformningsprocessen beskæftiget sig eksplicit med opretholdelsen af ortoskopi og binokulær kompatibilitet. Disse ønskelige træk ved opfindelsen udspringer snarere som en automatisk følge af de minimerede aberrations- og styrkegradientegenskaber. Endvidere opnås acceptabel binokulær ydelse, uden at man tager tilflugt til usymmetrisk opbygning.

Opfindelsen forklares i det følgende nærmere under henvisning til tegningen, på hvilken

fig. 1A og 1B, henholdsvis forfra og i snit, viser en repræsentativ øjenlinse med tiltagende styrke af en fra den kendte teknik kendt type,

fig. 2 en grafisk afbildning, der viser evolutten for den i fig. 1A og 1B viste linses meridionale line,

fig. 3 en grafisk afbildning af opbygningen af den i fig. 1A og 1B viste linses progressive overflade,

fig. 4 øjenlinsen med tiltagende styrke ifølge den kendte teknik med forskellige betragtningszoner og en grafisk repræsentation af den tilhørende styrkelov,

fig. 5A, 5B og 5C henholdsvis højdekurver for konstant middeloverfladestyrke, højdekurver for konstant overfladeastigmatisme og en isometrisk udtegning af overfladeastigmatisme svarende til linsen i fig. 4 ifølge den kendte teknik,

fig. 6 en linse ifølge opfindelsen set forfra til illustrering af placeringen af polerne for de bipolære optiske styrkesystem, der karakteriserer en repræsentativ linse,

fig. 7A og 7B højdekurvetegninger, der viser en geometrisk transformation fra en progressiv linse ifølge den kendte teknik til en linse, der er repræsentativ for opfindelsen,

fig. 8 en grafisk repræsentation, der skematisk viser en udvikling af cylindrisk overflade til tilfredsstillelse af opfindelsens mål,

fig. 9 en grafisk repræsentation, der viser udformningen af en typisk linse konstrueret i henhold til opfindelsen og følgende en meridional styrkelov af ottende orden,

fig. 10A, 10B og 10C viser henholdsvis kurver for konstant middeloverfladestyrke, kurver for konstant overfladeastigmatisme og en isometrisk udtegning af overfladeastigmatismen svarende til den typiske udformning ifølge fig. 9,

fig. 11 en grafisk afbildning, der viser layoutet for en typisk linse opbygget i henhold til opfindelsens principper og følgende en lineær meridional styrkelov, og

fig. 12A, 12B og 12C henholdsvis kurver for konstant middeloverfladestyrke, kurver for konstant overfladeastigmatisme og en isometrisk udtegning af overfladeastigmatismen svarende til den typiske udformning i fig. 11.

Bipolære linser med tiltagende styrke ifølge opfindelsen kan fremstilles af glas eller plastmateriale, der har et ensartet brydningsindeks. I de herefter beskrevne udførelsesformer er de skiftende kurveformer, der kræves for progressiv styrkevariation, begrænset til den konvekse side af linsen, idet den konkave side er reserveret til receptmæssig slibning på sædvanlig måde, og der vil herefter blive henvist til den konvekse side af linsen, som den "progressive overflade". Opfindelsen er imidlertid ikke begrænset til linser, der har konveks progressiv overflade, og den er lige vel anvendelig ved linser, der har konkave, progressive overflader.

Linseudformningen, der omfatter nærværende opfindelse, er en forbedring i forhold til tidligere udformninger, og for bedre at forstå den foreliggende udformning henvises der til den kendte teknik, på hvilken canadisk patent nr. 583 087 er et eksempel.

I tegningens fig. 1A og 1B har en linse 10 ifølge den kendte teknik en progressiv overflade 12, der tangerer et lodret plan 14 ved det geometriske centrum 0, og et andet lodret plan 16 går igennem centret 0 vinkelret på det første lodrette plan og deler linsen i to symmetriske halvdele. Det andet plan 16 kaldes den principale, lodrette meridian, og dets skæringskurve betegnes MM' i fig. 2, hvori den progressive overflade er repræsenteret af meridianlinien 18.

De funktionelle krav til en progressiv linse dikterer, at overfladen langs meridianlinien og dens partielle afledede, i det mindste af anden orden og fortrinsvis af tredje orden, skal være kontinuerlige. For at sørge for progressiv styrkevariation tiltager meridianliniens krumning kontinuerligt på forud bestemt måde fra en minimumsværdi i den øvre halvdel af linsen til en maksimumsværdi i den nedre halvdel. Denne

ændring af krumningen langs den lodrette meridian kaldes den meridionale styrkelov.

Det geometriske sted for den i fig. 2 viste meridianlinie 18's krumningscentre omfatter en kontinuert plan kurve MM', der kaldes meridianliniens evolut. For hvert punkt Q af meridianlinien eksisterer der et tilsvarende punkt q på evolutten. Radiusvektor qQ, der forbinder to korresponderende punkter (Q, q) er vinkelret på meridianlinien 18 ved Q og tangent til evolutten mm' ved q.

Fig. 3 viser opbygningen af en repræsentativ linse med tiltagende styrke. Den progressive overflade frembringes af en cirkelbue C, der har vandret orientering og en variabel radius, der passerer successivt gennem hvert punkt Q af meridianlinien 18. Specielt er frembringeren C gennem et givet punkt Q defineret som skæringslinien, der dannes mellem en kugle med radius Qq centreret i q og et vandret plan gennem Q. Således kan hele den progressive overflade betragtes som frembragt eller udstrøget af skæringslinien C mellem en kugle med variabel radius og et tilsvarende vandret plan med variabel højde. Som følge af denne opbygning er hovedkrumningerne i hvert punkt Q af meridianlinien ens med det resultat, at overfladen er fri for astigmatisme ved meridianlinien.

Den progressive overflade 12 af denne linse ifølge den kendte teknik beskrives let i algebraiske termer. Der defineres et retvinklet koordinatsystem, som vist i fig. 1, hvis begyndelsespunkt falder sammen med O, hvis x-y-plan falder sammen med tangentplanet i O. X-aksen peger nedad i retning mod voksende optisk styrke. I dette system er z-aksen normal til overfladen i O, og overfladen 12's ligning kan skrives på formen $z = f(x,y)$.

Lader man u betegne x-koordinaten for et punkt Q på meridianlinien, kan koordinaterne (ξ,η,ζ)

for det tilsvarende punkt q på evolutten udtrykkes som en funktion af parameteren u:

$$\xi = u - r \sin\theta$$
$$\eta = 0 \qquad (1)$$
$$\zeta = r\cos\theta + \int_0^u \tan\theta\, du$$

hvor

$$\sin\theta = \int_0^u \frac{du}{r} \qquad (2)$$

og $r = r(u) = qQ$. Det bemærkes, at $\sin\theta = 0$, når $u = 0$, så den progressive overflade er tangent til x-y-planet i begyndelsespunktet 0.

Ligningen for kuglen med radius $r(u)$ med centrum i Q udtrykt som et lodret billede i forhold til x-y-planet kan skrives:

$$z = \zeta(u) - \{r(u)^2 - [x - \xi(u)]^2 - y^2\}^{1/2} \qquad (3)$$

Ligningen for et vandret plan gennem Q er:

$$x = u \qquad (4)$$

Ligningen (3) repræsenterer en skare af kugler, og ligningen (4) en skare af parallelle planer. Elementerne i hver skare frembringes af den enkelte parameter u. For hver værdi af u eksisterer der en enestående kugle og et plan, der skærer den. Skæringskurven mellem kuglefladen og planet betegnes C og er vist i fig. 3. Når u ændres mellem sin maksimums- og minimumsværdi, bringes kurven C til at overstryge hele den progressive overflade. Ved at eliminere u i ligningerne (3) og (4) frembringes en enkelt, ikke parametrisk, algebraisk ligning for overfladen $z = f(x,y)$,

hvor

$$f(x\ y) = \zeta(x)-\{r(x)^2-[x-\xi(x)]^2-y^2\}^{1/2} \qquad (5)$$

Hvis den meridionale styrkelov for linsen har den konventionelle i fig. 4 viste form, er udformningens DP- og RP-områder sfæriske og strækker sig over linsens fulde bredde. En sådan udformning giver fuld afstands- og læseanvendelighed, men som det er velkendt, er astigmatismen i mellemområdet uacceptabel kraftig. Overfladestyrke- og astigmatismekarakteristikkerne for denne linse ifølge den kendte teknik er vist i fig. 5A, 5B og 5C.

Mange andre udformningsvariationer i grænserne mellem de sfæriske DP- og RP-zoner er vist i de tidligere nævnte skrifter, men i hver af disse er de modificerede, sfæriske DP- og RP-zoner af begrænst størrelse, og sådanne linser reducerer ikke den uønskede astigmatisme i det størst mulige omfang.

Ifølge nærværende opfindelse opnås et brilleglas med tiltagende styrke med den glattest mulige fordeling af dioptristyrke og det lavest mulige niveau for uønsket astigmatisme ved reducering af områderne, der optages af de sfæriske DP- og RP-zoner, til nul. Med andre ord er DP- og RP-zonerne ifølge nærværende opfindelsen strengt taget matematiske punkter og ikke områder. Denne opbygning er skematisk vist i fig. 6, hvor punkterne F og N omfatter poler for et bipolært optisk styrkesystem.

Når DP- og RP-zonerne er reduceret til matematiske punkter, må den rette form af den progressive overflade, der omgiver dem, bestemmes. Dette opnås begrebsmæssigt ved at anvende en geometrisk transformation fra den kendte teknik, hvis natur er vist i fig. 7A og 7B. I fig. 7A er der vist en linse ifølge den kendte teknik, hvor skæringerne mellem medlemmerne af

skaren af planer x = u med x-y-planet er vist. Disse skæringslinier danner en skare af parallelle, lige linier, der atter er parallelle med de retliniede DP- og RP-grænser. Som fig. 7B viser, transformeres skaren af parallelle, rette linier til en skare af cirkulære buer med varierende radier, når man går over til en udførelsesform for opfindelsen, hvori DP og RP er punkter. De cirkulære buer i linsen, der er vist i fig. 7B, repræsenterer skæringerne for en enparameterskare af cirkulære cylindre med x-y-planet. For hvert medlem af den oprindelige skare af planer eksisterer der et tilsvarende medlem af skaren af cylindre. Til hinanden svarende medlemmer af skarerne af skærende kugler og cylindre skærer hinanden i en frembringerkurve C. Endvidere identificeres disse til hinanden svarende medlemmer ved samme parameter u, hvor u er x-koordinaten for et punkt Q på hver linses meridianlinie. Ved at variere parameteren u mellem dens maksimale og minimale værdi bringes kurven C til at overstryge hele den progressive overflade ifølge opfindelsen.

En algebraisk ligning for den ny overflade analog med ligningen (5) opnås let. Ligningen for ethvert medlem af skaren af cylindriske overflader kan skrives på formen:

$$x = g(y,u) \qquad (6)$$

Denne ligning kan løses for parameteren u, hvilket giver en ligning på formen:

$$u = h(x,y) \qquad (7)$$

der reduceres til ligning (4) ved linsen ifølge den kendte teknik. Ligningen for den nye linses progressive overflade fås ved at eliminere parameteren u i ligningerne (7) og (3). Eksplicit fås:

$$f(x,y) = \zeta[h(x,y)] - (\{r[h(x,y)]\}^2 - \{x-\xi[h(x,y)]\}^2 - y^2)^{1/2} \quad (8)$$

Den detaljerede form af den resulterende progressive overflade vil naturligvis afhænge af formen af progression for styrken langs den kugleformede meridianlinie og af afstanden mellem de cirkulære cylindre, der er repræsenteret ved ligningen (6). For at tilfredsstille opfindelsens mål, må den meridionale styrkeprogression og de cylindriske overfladers afstand vælges således, at der frembringes en svagt buende overflade og derved sikres en glat optisk virkning.

Som ovenfor nævnt er formen af progressionen af styrken langs kurven FN bestemt af to faktorer: (1) de optiske stabilitetskrav nær punkterne F og N, og (2) kravet om, at progressionen k(u) = 1/r(u) er en glat funktion af parameteren u.

(1) Et område med optisk stabilitet er et, hvori dioptristyrken ikke ændrer sig væsentligt. Den krævede størrelse af det stabilie område, der omgiver F eller N, vil naturligvis afhænge af den tilsigtede anvendelse af brillerne. F.eks. vil et brilleglas, der er beregnet til almindelig brug, kræve et større stabilit langsynsområde og et mindre, stabilt nærsynsområde end et arbejdsglas, der er specielt udformet til arbejde tæt på.

Størrelsen af det stabile område, der omgiver F ifølge opfindelsen, afhænger i hovedsagen af den grad, hvormed krumningen k(u) vokser som funktion af afstanden fra F. Jo langsommere voksehastighed, desto større stabilt langsynsområde. Tilsvarende med jo mindre hastighed k(u) vokser som funktion af afstanden fra N, desto større stabilt nærsynsområde.

Lad k(u) have afledede af alle ordner. Da kan voksehastigheden for k(u) ved F og N sættes i forhold til ordnerne af de første ikke-forsvindende afle-

dede i disse punkter. (I rækken $au^4 + bu^5$ er den første ikke forsvindende afledede for $u = 0$ den afledede af fjerde orden). Af jo højere orden den første ikke forsvindende afledede er, desto langsommere er voksehastigheden. F.eks. en funktion $k(u)$, hvis første ikke-forsvindende afledede ved F er d^8k/du^8, vil udvise en langsommere voksehastighed end en, hvis første ikke-forsvindende afledede er d^2k/du^2. Ved behørigt valg af ordnerne for de første ikke-forsvindende afledede ved F og N styrer man størrelserne af de stabile lang- og nærsynsområder.

(2) For at tilfredsstille opfindelsens mål er funktionen $k(u)$ den glatteste funktion af u, der er forenelig med funktionens opførsel og dens afledede i F og N. Som et kriterium for glathed kan man med rimelighed forlange, at middelkvadratgradienten af $k(u)$ er minimal, eller med andre ord, at $k(u)$ minimerer Dirichlet-integralet:

$$I = \int_F^N \left| k' \right|^2 du \qquad (9)$$

hvor $k' = dk(u)/du$, under betingelserne $k(F) = k_1$ og $k(N) = k_2$. Dette integral er af formen:

$$I = \int_F^N f(u,k,k')\, du \qquad (10)$$

der gøres minimal ved en funktion $k(u)$, der tilfredsstiller Euler-Lagrange-ligningen,

$$\partial f/\partial k - (d/du)(\partial f/\partial k') = 0 \qquad (11)$$

der, eftersom $f = |k'|^2$ reduceres til

$$k'' = 0 \qquad (12)$$

Følgelig

$$k(u) = c_0 + c_1 u \qquad (13)$$

hvor c_0 og c_1 er konstanter, der er bestemt af værdierne af k i F og N. Funktionen, der svarer til glathedskriteriet (9) er således en lineær funktion af u. Kriteriet (9) kan ikke anvendes på funktioner, hvis første, ikke-forsvindende afledede i F og N er af ordenen 2 eller højere. Et mere generelt glathedskriterium er påkrævet.

Lad m og n betegne ordenen af de første, ikke-forsvindende afledede af k i henholdsvis F og N. Lad der gælde $p = m + n$. Man kræver da i stedet for (9), at k minimerer integralet:

$$I = \int_F^N |d^{p-1}k/du^{p-1}|^2 du \qquad (14)$$

Den funktion k, der gør (14) til minimum, er givet ved Euler-Lagrange-ligningen:

$$d^p k/du^p = 0 \qquad (15)$$

hvis løsning er polynomiet af p-1'te orden:

$$k(u) = \sum_{n=0}^{p-1} c_n u^n \qquad (16)$$

hvori p-koefficienterne bestemmes af de p endepunktsforhold. Hvis k_F og k_N betegner krumningerne i henholdsvis F og N, og hvis F er placeret ved u = L som vist i fig. 9, kan ligningen (16) genskrives på formen:

$$k(u) = k_F + (k_N - k_F) \sum_{n=1}^{p-1} c_n(u + L)^n \qquad (17)$$

[c_n i denne ligning er ikke de samme som i ligning (16)]. Ligning (17) bestemmer den glatteste kurvefunktion k(u), der er forenelig med de givne endepunktsbetingelser.

Efter at have defineret lang- og nærsyns-"områderne" ved punkterne F og N, og efter at have specificeret formen af styrkeloven k(u) mellem disse punkter, står det tilbage at specificere formen af den progressive overflade over resten af linsen. For at tilfredsstille opfindelsens mål fordeles styrke og astigmatisme så glat som muligt over linsens område. For at opnå dette synes at det først rimeligt at identificere skæringskurverne C mellem tilsvarende medlemmer af de skærende kugler og cylindre med kurver med konstant middeloverfladekrumning, $\bar{k}(x,y)$ og fiksere deres afstand ved, som i tilfældet med den meridionale styrkelov at kræve, at $\bar{k}$ minimerer Dirichlet-integralet:

$$I = \int \left| \bar{k}_x^2 + \bar{k}_y^2 \right| dxdy \qquad (18)$$

hvor indekserne x og y betegner partielle afledede med hensyn til disse variable. Denne tilnærmelse er imidlertid ikke matematisk gennemførlig. I stedet er

det bekvemt at arbejde ikke med middelkrumning $\bar{k}$, men med hjælpefunktionen $\phi(x,y)$.

Som vist i fig. 8 er hjælpefunktionen $\phi(x,y)$ defineret i x-y-planet. Funktionen ϕ repræsenterer ikke selve den progressive overflade, men anvendes til at definere afstanden mellem de cylindriske overflader. Denne funktion har følgende grænseværdier:

$\phi(x,y) = c_1$, når (x,y) = DP-polen,
$F = c_2$, når (x,y) = RP-polen,
$N = 0$ ved uendeligt,

hvor c_1 og c_2 er konstanter. Den glatteste funktion $\phi(x,y)$, der er forenelig med disse grænsebetingelser, findes ud fra følgende betragtninger:

Hvis problemet var endimensionalt snarere end todimensionalt, ville det være klart, at dersom $\phi(x)$ har grænseværdierne $\phi(0) = c_1$ og $\phi(1) = c_2$, ville den glatteste funktion $\phi(x)$ mellem $x = 0$ og $x = 1$ være den lineære funktion $\phi(x) = c_1 + (c_2 - c_1)x$. Denne funktion tilfredsstiller differentiallinien:

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = 0 \qquad (20)$$

Den krævede funktion $\phi(x,y)$ tilfredsstiller således i det todimensionale tilfælde den todimensionale Laplace-ligning:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \phi(x,y) = 0 \qquad (21)$$

Der løses på grænsebetingelserne (19). Funktioner, der tilfredsstiller ligningen (21) kaldes harmoniske funktioner.

Ovenstående resultat kan sluttes på mere rigoristisk måde. Et kriterium for glathed er at kræve, at

gennemsnitsværdierne af modulerne af de afledede $\partial\phi/\partial x$ og $\partial\phi/\partial y$ har et minimum. Alternativt, hvis gennemsnitssummen af kvadraterne på disse størrelser betragtes, dvs. Dirichlet-integralet

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\int \left[\left(\frac{\partial\phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\phi}{\partial y}\right)^2\right] dx\, dy \qquad (22)$$

minimeres ligningen (22) ifølge Euler-Lagrange-variationsregningen, når $\phi(x,y)$ tilfredsstiller Laplace's ligning, ligning (21). Det faktum, at ligning (22) minimeres med en funktion, der tilfredsstiller Laplace's ligning, er kendt som Dirichlet-princip eller den minimale potentielle energis princip. Dirichlet-princippet gør rede for fordelingen af elektrisk potential omkring en ladet elektrisk leder samt for temperaturfordelingen i stabil tilstand i en termisk leder. Sådanne naturligt optrædende fordelinger er glatte i den forstand, at felterne, der bestemmer dem, minimerer Dirichlet-integralet. Som det skal demonstreres, udviser en progressiv linse, hvis overflade udledes af Dirichlet-princippet, ligeledes glathedsegenskaberne.

For at gøre brug af hjælpefunktionen $\phi(x,y)$ dannes de såkaldte niveaukurver,

$$\phi(x,y) = c = \text{konstant} \qquad (23)$$

der er kurver med konstant ϕ-værdi. Disse kurver kan udtrykkes på formen angivet i ligning (6) eller (7) og kan derfor tages som repræsentanter for den påkrævede skare af cylindre.

For den i fig. 6 og 9 viste bipolære udformning er løsningen af Laplace's ligning under betingelserne (19) særlig enkel. Kurverne for konstant ϕ falder nøjagtigt sammen med de cirkulære koordinatlinier for et cylindrisk bipolært koordinatsystem. Lad koordinat-

systemets poler være adskilt ved afstanden h, med DP-polen forskudt et stykke L over begyndelsespunktet O, som vist i fig. 9. Hvis niveaukurven gennem et vilkårligt punkt (x,y) skærer x-aksen i punktet u(x,y), finder man efter beregning, at

$$u = \frac{h}{2} - L + g - (\text{sgn } p)\ (g^2 - \frac{h^2}{4})^{1/2} \qquad (24)$$

hvor

$$g = (1/2)\ (p + \frac{y^2 + h^2/4}{p}) \qquad (25)$$

og

$$p = x - \frac{h}{2} + L \qquad (26)$$

Dette udtryk for u(x,y), giver, når det indsættes i ligningen (3), en komplet agebraisk specifikation af den progressive overflade af en bipolær linse ifølge opfindelsen. Forskellige udførelsesformer frembringes ved at variere formen af den meridionale styrkelov r = r(u).

Sammenfattende er den bipolære progressive overflade f(x,y) specificeret ved følgende sæt ligninger:

$$z = f(x,y)$$
$$= \zeta(u) - \{r(u)^2 - [x - \xi(u)]^2 - y^2\}^{1/2}$$

hvor

$$\xi(u) = u - r(u) \sin \theta(u),$$

$$\zeta(u) = r(u) \cos \theta(u) + \int_0^u \tan \theta(u)\, du$$

$$\sin\theta(u) = \int_0^u \frac{du}{r(u)}$$

$$u = \frac{h}{2} - L + g - (\text{sgn } p)\ (g^2 - h^2/4)^{1/2}$$

$$g = (1/2)\ (p + \frac{y^2 + h^2/4}{p})$$

$$p = x - \frac{h}{2} + L$$

h = lodret afstand mellem DP- og RP-polerne,

L = lodret forskydning af DP-polen over begyndelsespunktet 0,

og den meridionale styrkelov er et polynomium af N'te grad

$$\frac{1}{r(u)} = \frac{1}{r_D} + (\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D}) \sum_{n=1}^{N} c_n\ (u + L)^n$$

r_D = krumningsradius for den progressive overflade ved DP-polen,

r_R = krumningsradius for den progressive overflade ved RP-polen, og

c_n = konstante koefficienter.

FØRSTE NUMERISKE EKSEMPEL.

Et typisk eksempel på en linse opbygget ifølge ovenstående principper og egnet til almindeligt brug skal nu gives.

Linsen er kendetegnet ved en ottendeordens polynomium-styrkelov, der er vist i fig. 9 og bestemt ved

ligningen:

$$\frac{1}{r(u)} = \frac{1}{r_D} + \left(\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D}\right) \sum_{n=1}^{8} c_n (u + L)^n \qquad (27)$$

hvor

$$\begin{aligned} c_1 &= c_2 = c_3 = c_4 = 0 \\ c_5 &= 56/h^5, \\ c_6 &= -140/h^6 \\ c_7 &= 120/h^7 \\ c_8 &= -35/h^8 \end{aligned} \qquad (28)$$

Bemærk at $1/r = 1/r_D$, når $u = -L$ (DP-polen), og $1/r = 1/r_R$, når $u = -L + h$ (RP-polen). Størrelsen

$$A = (n-1)\left(\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D}\right) \qquad (29)$$

hvor n er linsematerialets brydningsindeks, repræsenterer "tillægsstyrken" for den multifokale linse. Den særlige styrkelov tilvejebringer gradvis varierende overfladestyrke i nærheden af DP- og RP-polerne. Linsen tilvejebringer således rimelig fokal stabilitet for lang- og nærsynsfelterne.

Den progressive overflade, der er bestemt ved styrkeloven i ligning (27) skal nu vurderes for en linse, der har en læsetilvækst på 2,00 dioptrier. Linsen antages at have et brydningsindeks på 1,498, og følgende værdier for parametrene antages:

$$\begin{aligned} h &= 37{,}71 \text{ mm} \\ L &= 10{,}65 \text{ mm} \\ r_D &= 83{,}00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$r_R = 62,25 \text{ mm} \qquad (30)$$

Figurerne 10A, 10B og 10C viser resultaterne af en elektronisk computervurdering af ligningerne under anvendelse af de givne parameterværdier. Fig. 10A viser højdekurverne for konstant middeloverfladestyrke, fig. 10B viser højdekurverne for konstant overfladeastigmatisme, og fig. 10C viser et tredimensionalt billede af fordelingen af overfladeastigmatisme. Inspektion af disse diagrammer viser, at linsens styrke- og astigmatismeegenskaber ændrer sig glat og langsomt. Den midste progressive korridorbredde, som målt mellem linier med 1,0 dioptriastigmatisme er ca. 9 mm. Desuden når overfladeastigmatismen en maksimumværdi på netop 1,51 dioptrier; dette er ca. 0,4 dioptrier mindre astigmatisme end for en hvilken som helst anden i øjeblikket opnåelig progressiv linse med to diptriers tilvækst. Dette eksempel imødekommer således opfindelsens formål.

ANDET NUMERISKE EKSEMPEL.

Det næste eksempel gælder en linse, der har, hvad der må være det laveste niveau for astigmatisme, der er muligt i en progressiv linse med kugleformet, lodret meridian. På grund af at astigmatisme frembringes af styrkegradienter, må sådanne linser udvise den mindst mulige styrkegradient mellem den bipolære konstruktions poler. Dette tilvejebringes ved en lineær styrkelov, der er vist i fig. 11 og bestemt ved ligningen

$$\frac{1}{r(u)} = \frac{1}{r_D} + \left(\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D}\right)(u + L)/h \qquad (31)$$

Overfladen, der bestemmes ved den lineære styrkelov, skal nu vurderes under anvendelse af de værdier

af parametrene, der er givet i ligningen (30). Fig. 12A viser højdekurverne for en konstant middeloverfladestyrke, fig. 12B højdekurverne for en konstant overfladeastigmatisme og fig. 12C en tredimensional repræsentation af overfladeastigmatismen. Den maksimale overfladeastigmatisme er netop 0,66 dioptrier eller en tredjedel af tillægsstyrken. Dette kan vel repræsentere minimumsværdien, der er mulig i en progressiv linse med kugleformet, lodret meridian, selv om der ikke findes noget bevis for denne gisning. Fig. 10A viser, at styrkefordelingen i nærheden af DP- og RP-polerne er forholdsvis ustabil. Af denne grund er linsen til trods for sit lave astigmatismeniveau ikke ønskelig til generelt brug. Den er i virkeligheden bedst egnet til synsopgaver, der kun kræver et smalt synsfelt, f.eks. computerarbejdsstationen, der omfatter et tastatur og en videodisplay-terminal.

For lettelse af redegørelsen er såvel linserne ifølge den generelle opfindelse og ifølge de to eksempler beskrevet som havende en lodret symmetrilinie. Denne linie løber ned gennem midten af den progressive korridor og deler linsen i to symmetriske halvdele. I virkelig brug må linsens symmetrilinie imidlertid drejes ca. 9° fra lodret for at give en effektiv indsætning af nærsynsdelen. Denne 9° drejning, der naturligvis påføres begge en brilles glas, sikrer, at synslinierne kan passere langs den progressive korridor til klart syn ved alle afstande.

En vigtig konsekvens af den lave astigmatisme, der karakteriserer opfindelsen, er, at binokulært syn ikke forringes ved den 9° drejning. Ved de fleste linser ifølge den kendte teknik er astigmatismeniveauerne så høje, at drejningen påvirker den binokulære funktion uheldigt og i nogle tilfælde nødvendiggør indførelse af en usymmetrisk udformning. Ved nærværende opfindelse er astigmatismeniveauerne imidlertid så lave, og astigma-

tismen så jævnt fordelt, at indførelse af usymmetri for at modvirke virkningerne af den 9° drejning er fuldstændig unødvendig.

Det må forstås, at betegnelsen "linse", som den her er brugt, er tænkt omfattende det oftalmiske produkt i enhver og alle former, der er almindelige inden for teknikken, dvs. omfattende rålinser, der kræver færdigbehandling af den anden side, konkav eller konveks, såvel som linser, der er færdigbehandlet på begge sider og "uskåret" eller "skåret" til en størrelse og form, der kræves for at sætte glas i et brillestel. Nærværende linser kan være fremstillet af glas eller et vilkårligt andet af de forskellige kendte og anvendte oftalmiske plasticer. Hvis den anden side er behandlet, dvs. den anden side af den, der har overfladen med den progressive styrke, kan den anden side påføres receptmæssige overfladekrumninger med linsens RP decentreret på sædvanlig måde.

Fagfolk inden for området vil let bemærke, at der er mange former for tilpasning af opfindelsen, der ikke er beskrevet her, men som kan foretages for at tilfredsstille særlige krav. Følgelig er alle sådanne former og tilpasninger omfattet inden for opfindelsens område som bestemt ved de efterfølgende krav.

PATENTKRAV

1. Øjenlinse med tiltagende styrke, omfattende et linselegeme med en overflade med tiltagende styrke på hvilken styrken vokser fra et afstandsbetragtningsområde med forholdsvis ringe styrke til et læseområde med forholdsvis større styrke, og på hvilken astigmatismen er fordelt over en betydelig del af linseoverfladen, k e n d e t e g n e t ved, at

a) afstandsbetragtningsområdet og læseområdet henholdsvis er reduceret til et sfærisk afstandsstyrkepunkt (DP) og et sfærisk læsestyrkepunkt (RP),

b) overfladeastigmatismen er glat og uafbrudt fordelt over i det væsentlige hele linsens overflade bortset fra afstandsstyrkepunktet og læsestyrkepunktet, og

c) afstandsstyrkepunktet (DP) og læsestyrkepunktet (RP) omgives af et område med optisk stabilitet i hvilket dioptristyrken ikke ændres mærkbart.

2. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at afstandsstyrkepunktet (DP) og læsestyrkepunktet (RP) på overfladen med den tiltagende styrke er forbundet af en central linie (18) med progressiv dioptristyrke.

3. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 2, k e n d e t e g n e t ved, at styrkeprogressionen langs den centrale linie (18) er glat.

4. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 3, k e n d e t e g n e t ved, at styrkens middelværdigradient eller en af dens højere afledede er et minimum.

5. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge ét af de foregående krav, k e n d e t e g n e t ved, at Dirichlet-princippet kan anvendes for de styrkeprogressionslinierne.

6. Linse med tiltagende styrke ifølge ét af de foregående krav, k e n d e t e g n e t ved, at afstandsstyrkepunktet og læsestyrkepunktet er poler i et bipolært system, der grundlæggende er sammenfaldende med isostyrkekonturerne, på linsens overflade med progressiv styrke.

7. Linse med tiltagende styrke ifølge krav 1 eller 6, k e n d e t e g n e t ved, at overfladen med progressiv styrke omfatter skæringskurven mellem en kugle med variabel radius og et cylindertværsnit med variabel diameter.

8. Linse med tiltagende styrke ifølge et hvilket som helst af de foregående krav, k e n d e t e g - n e t ved, at den progressive overflade frembringes af en frembringerkurve C, som parametermæssigt er defineret som skæringslinien mellem den cylinder, der er givet ved $x = g(y,u)$ og en sfærisk overflade med radius $r(u)$ og centrum $\xi(u),0,\zeta(u)$, hvor

$$\xi(u)=u-r(u)\sin\theta(u)$$

$$\zeta(u)=r(u)\cos\theta(u) + \int_0^u \tan\theta(u)\ du$$

$$\sin\theta(u)= \int_0^u \frac{du}{r(u)}$$

9. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge ét af de foregående krav, k e n d e t e g n e t ved, at den progressive overflade defineres af ligningen

$$z = f(x,y) =\zeta(u) - \{r(u)^2 - [x - \xi(u)]^2 - y^2\}^{1/2}$$

hvor

$$\xi(u)=u-r(u)\sin\theta(u)$$

$$\zeta(u)=r(u)\cos\theta(u) + \int_0^u \tan\theta(u)\ du$$

$$\sin\theta(u) = \int_0^u \frac{du}{r(u)}$$

$$u = \frac{h}{2} - L + g - (\text{sng } p)\ (g^2 - \frac{h^2}{4})^{1/2}$$

$$g = (\frac{1}{2})\ (p + \frac{y^2 + h^2/4}{p})$$

$$p = x - \frac{h}{2} + L$$

og h angiver den lodrette afstand mellem afstandsstyrkepunktet DP og læsestyrkepunktet RD og L den lodrette forskydning af afstandsstyrkepunktet over begyndelsespunktet O og den meridionale styrkelov r(u) er valgt i overensstemmelse med linsens specifikke formål.

10. Øjenlinse ifølge krav 9, k e n d e t e g n e t ved, at den meridionale styrkelov er defineret ved:

$$\frac{1}{r(u)} = k(u) = \frac{1}{r_D} + (\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D}) \sum_{n=0}^{N} c_n (u + L)^n$$

hvor c_n er konstante koefficienter af det N'te ordens polynomie, som er valgt således at der opnås stabilitet nær punkterne DP og RP og at k(u) er en glat funktion af parameteren u og hvor r_D og r_R henholdsvis er krumningsradierne for den progressive overflade ved punkterne DP og RP.

11. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 10, k e n d e t e g n e t ved, at den progressisve styrkelov er valgt således at middelkvadratgradienten af k(u) er et minimum.

12. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 10, k e n d e t e g n e t ved, at

$$\frac{1}{r(u)} = k(u) = k_{DP} + (k_{RP} - k_{DP}) \sum_{n=0}^{p-1} c_n^* (u + L)^n$$

hvor p = m + n, og m og n henholdsvis angiver ordenerne for de første ikke-forsvindende afledede af k i punkterne DP og RP, der svarer til krumningens vækstrate k(u) som funktion af afstanden fra disse punkter, hvor

$$k_{DP} = \frac{1}{r_D} \text{ og } k_{RP} = \frac{1}{r_R}$$

og r_D og r_R henholdsvis er krumningsradierne for den den progressive overflade ved punkterne DP or RP.

13. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 9 eller 10, k e n d e t e g n e t ved en styrkelov med den følgende ligning:

$$\frac{1}{r(u)} = k(u) = k_{DP} + (k_{RP} - k_0) \sum_{n=1}^{8} c_n (u + L)^n$$

hvor $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 0$.

14. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 12, k e n d e t e g n e t ved, at

$c_5 = 56/h^2$,
$c_6 = -140/h^6$,
$c_7 = 120/h^7$,
$c_8 = -35/h^8$.

15. Øjenlinse med tiltagende styrke ifølge krav 9 eller 10, k e n d e t e g n e t ved en lineær styrkelov.

16. Øjenlinse ifølge krav 14, k e n d e t e g n e t ved ligningen:

$$\frac{1}{r(u)} = k(u) = \frac{1}{r_D} + (\frac{1}{r_R} - \frac{1}{r_D})\ c_n(u + L)/h$$

hvor r_D og r_R henholdsvis er krumningsradierne for den den progressive overflade ved punkterne DP or RP.

17. Øjenlinse ifølge ét af de forgående krav, k e n d e t e g n e t ved, at afstandsdelens og læsedelens regioner med konstant styrke hver i det væsentlige omfatter et sfærisk punkt i de tilsvarende regioner og hvor den progressive dels overflade omfattter skæringskurven mellem en kugle med variabel radius og en tilsvarende cylinder med variabel diameter.

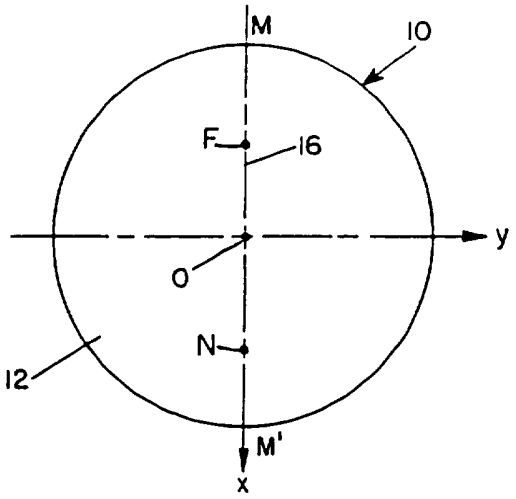


FIG. 1A (KENDT TEKNIK)

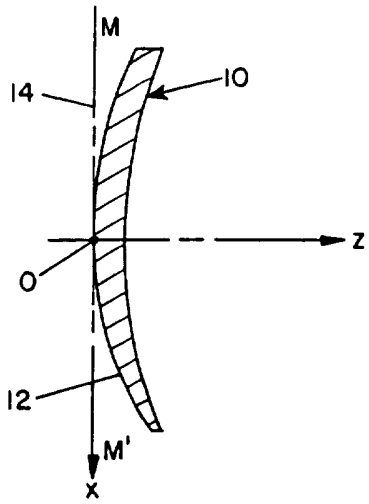


FIG. 1B (KENDT TEKNIK)

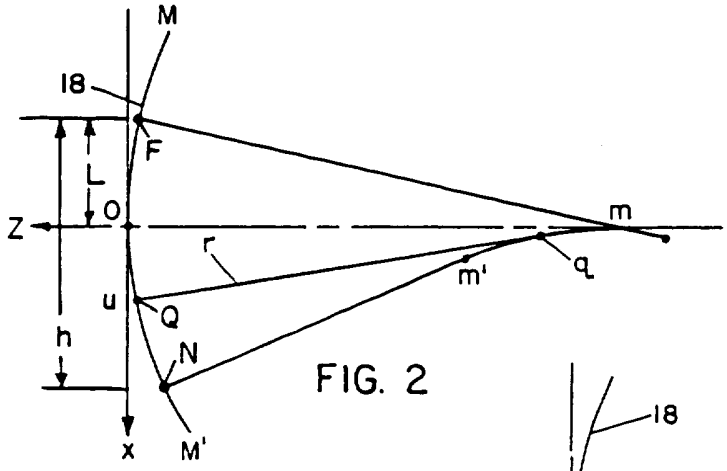


FIG. 2

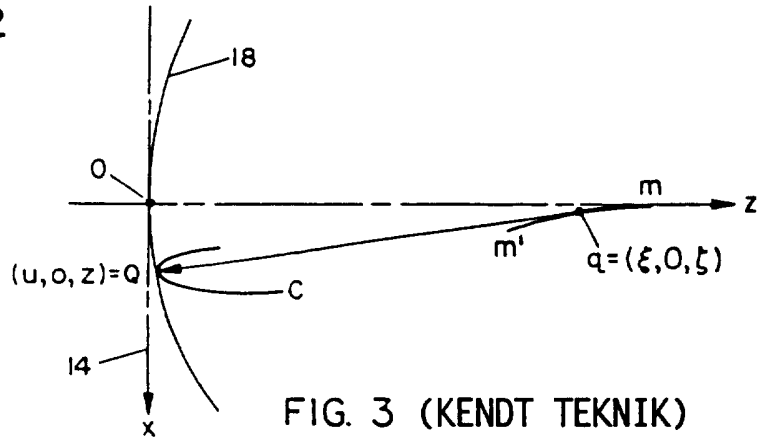


FIG. 3 (KENDT TEKNIK)

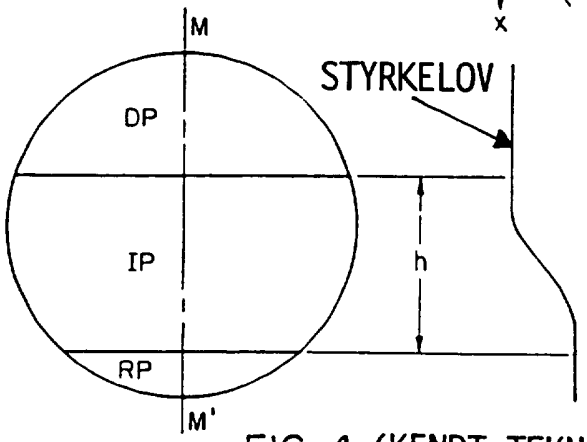


FIG. 4 (KENDT TEKNIK)

FIG. 5A

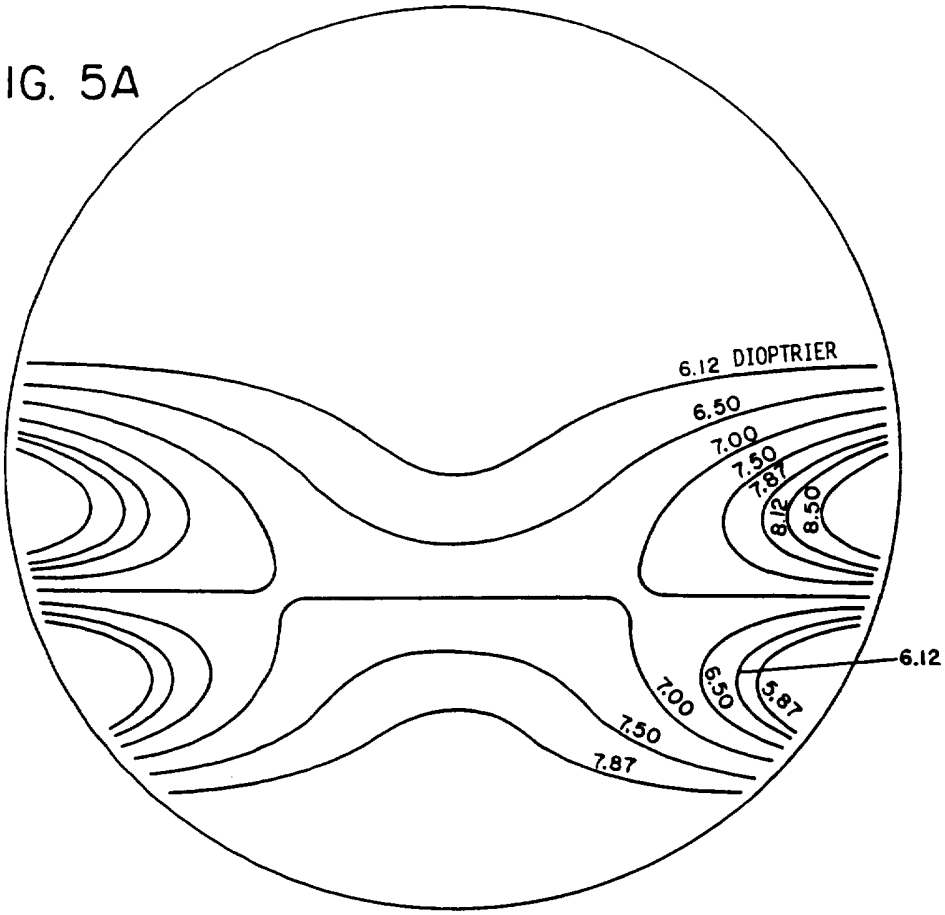
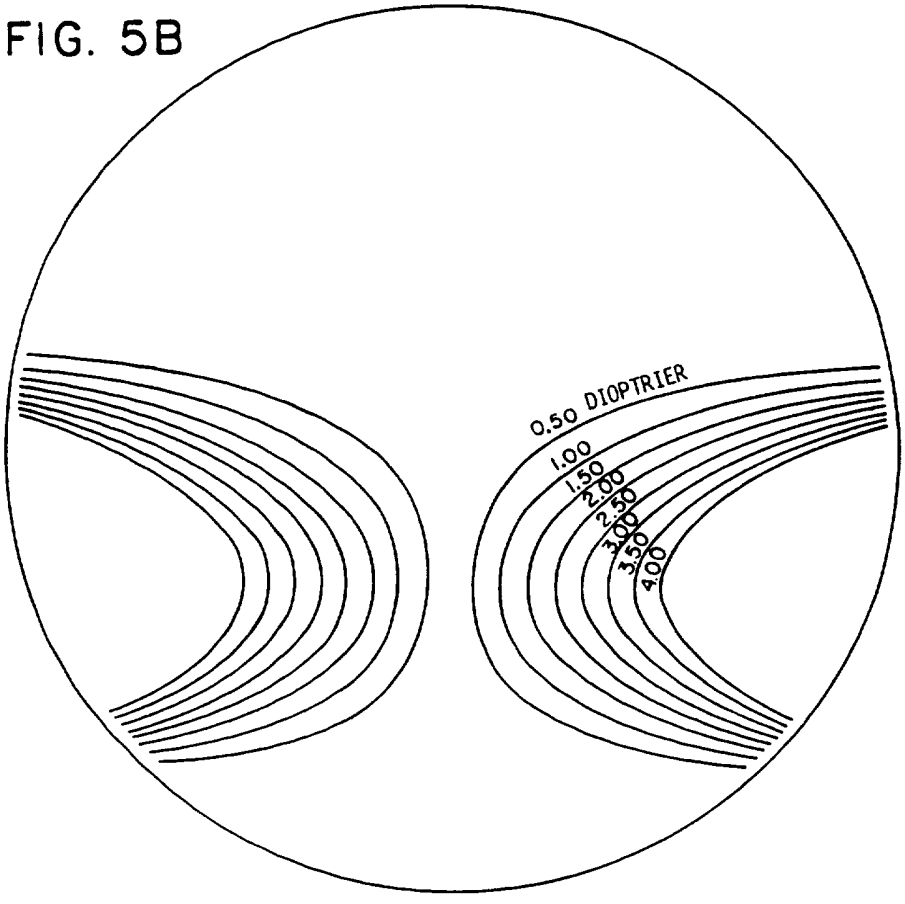

6.12 DIOPTRIER
6.50
7.00
7.50
7.87
8.12
8.50
6.12
6.50
7.00
5.87
7.50
7.87

FIG. 5B


0.50 DIOPTRIER
1.00
1.50
2.00
2.50
3.00
3.50
4.00

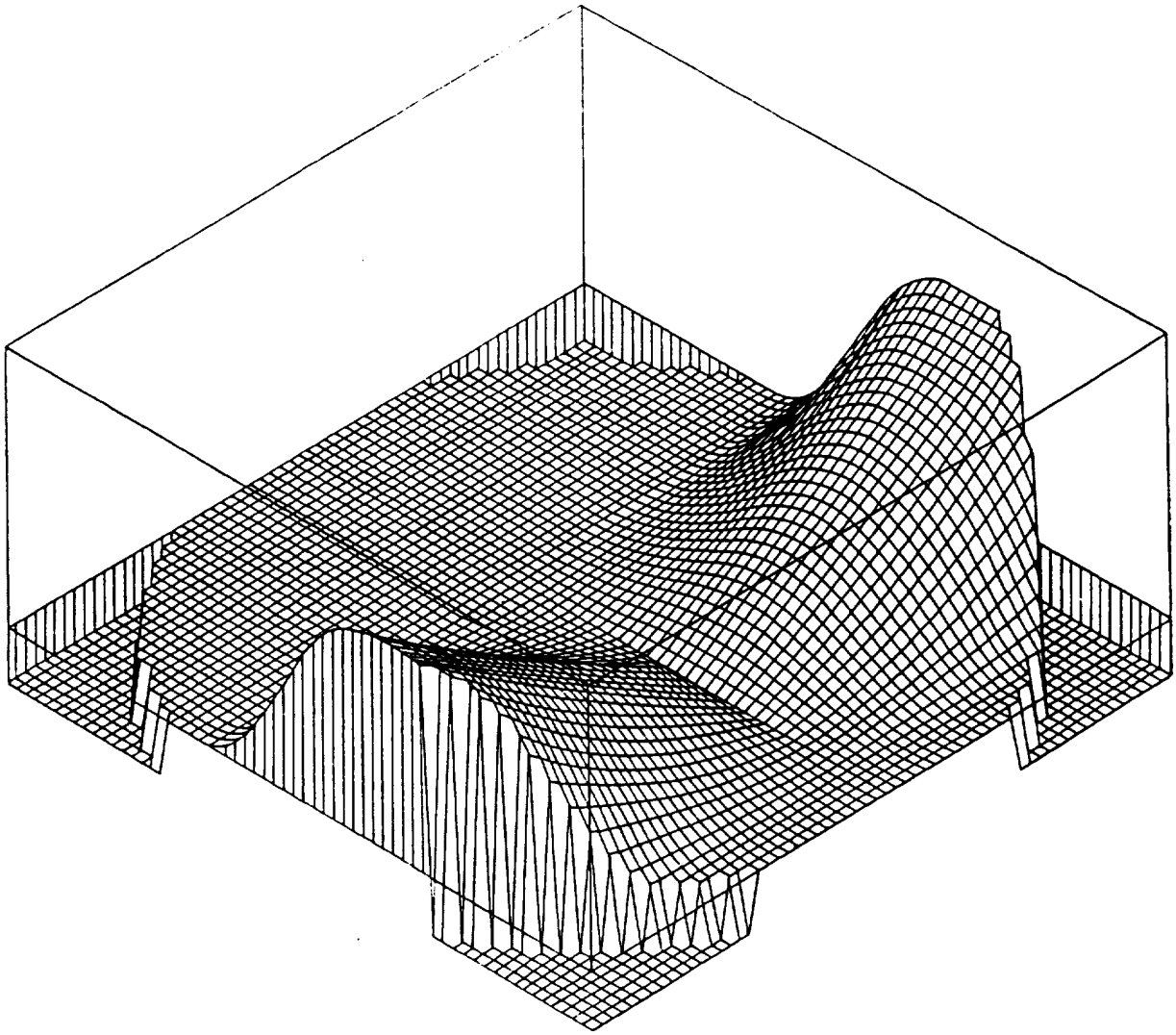


FIG. 5C

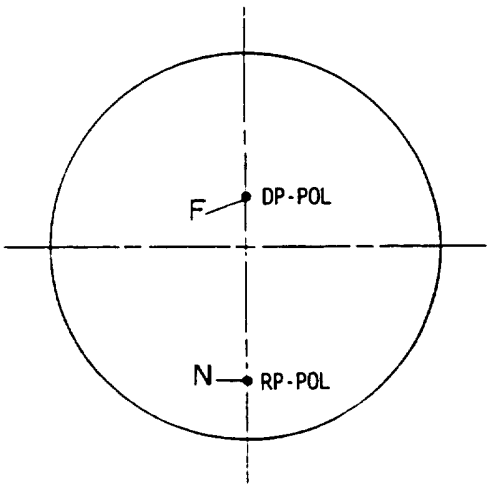


FIG. 6

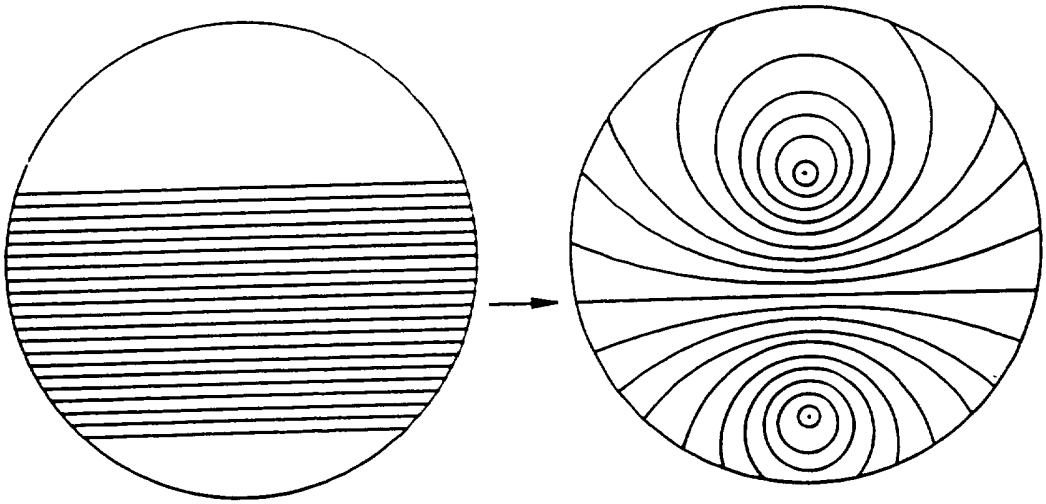


FIG. 7A

FIG. 7B

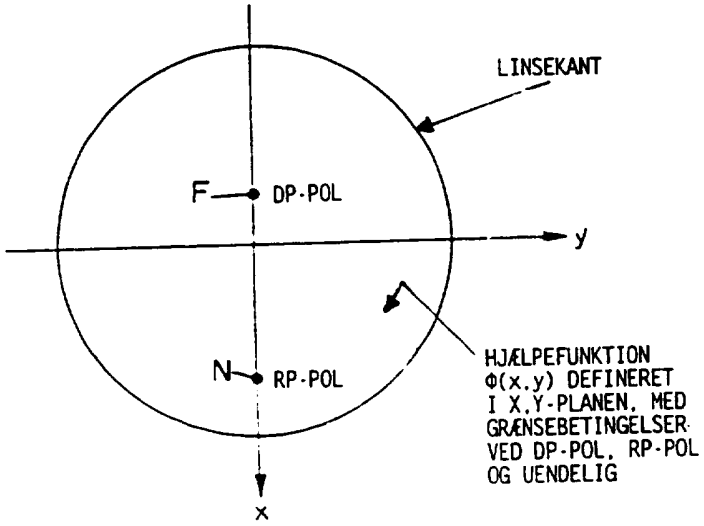


FIG. 8

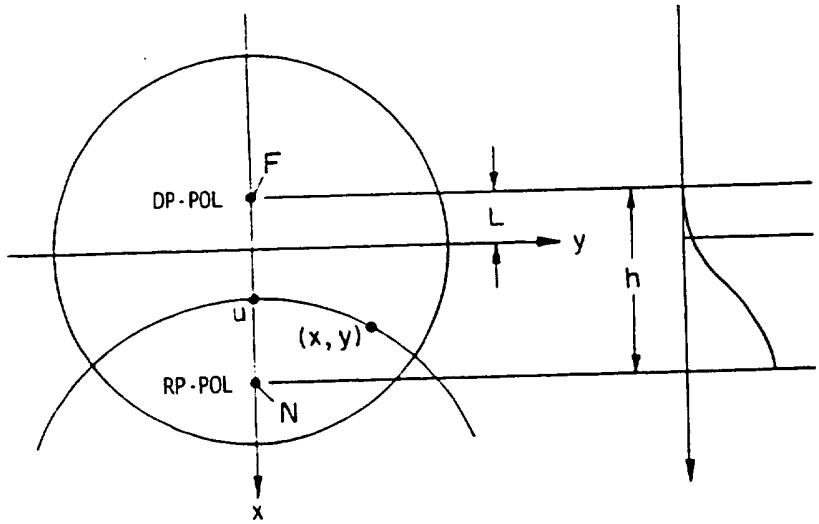


FIG. 9

FIG. 10A

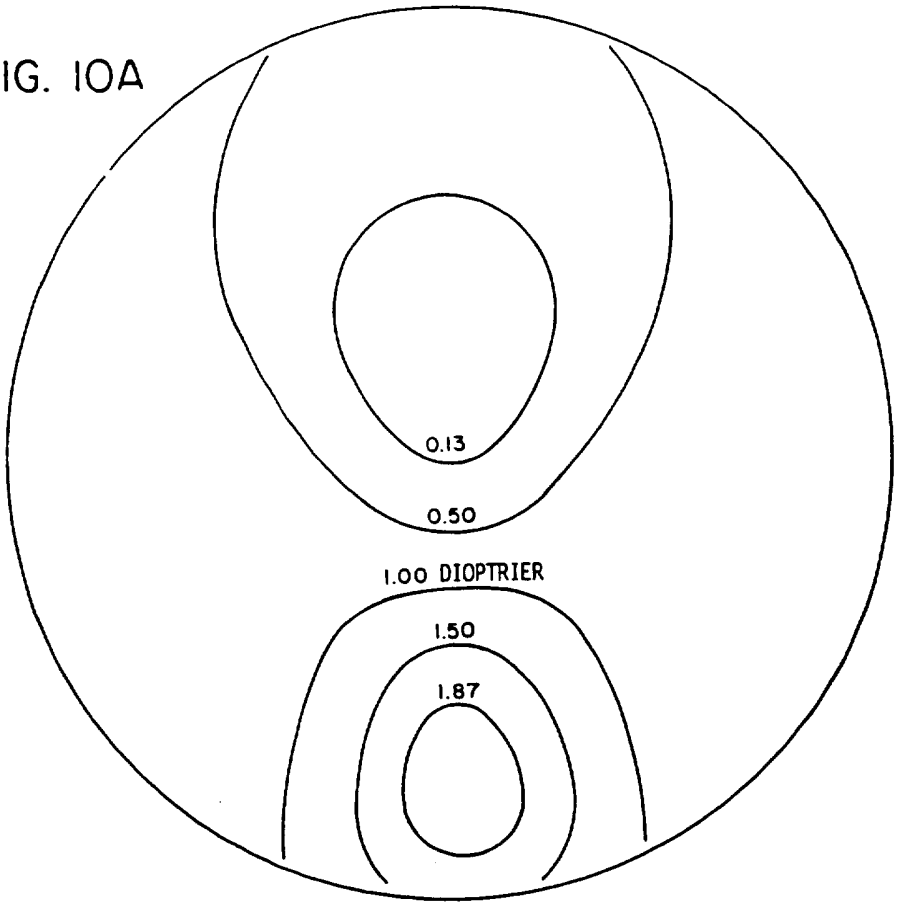
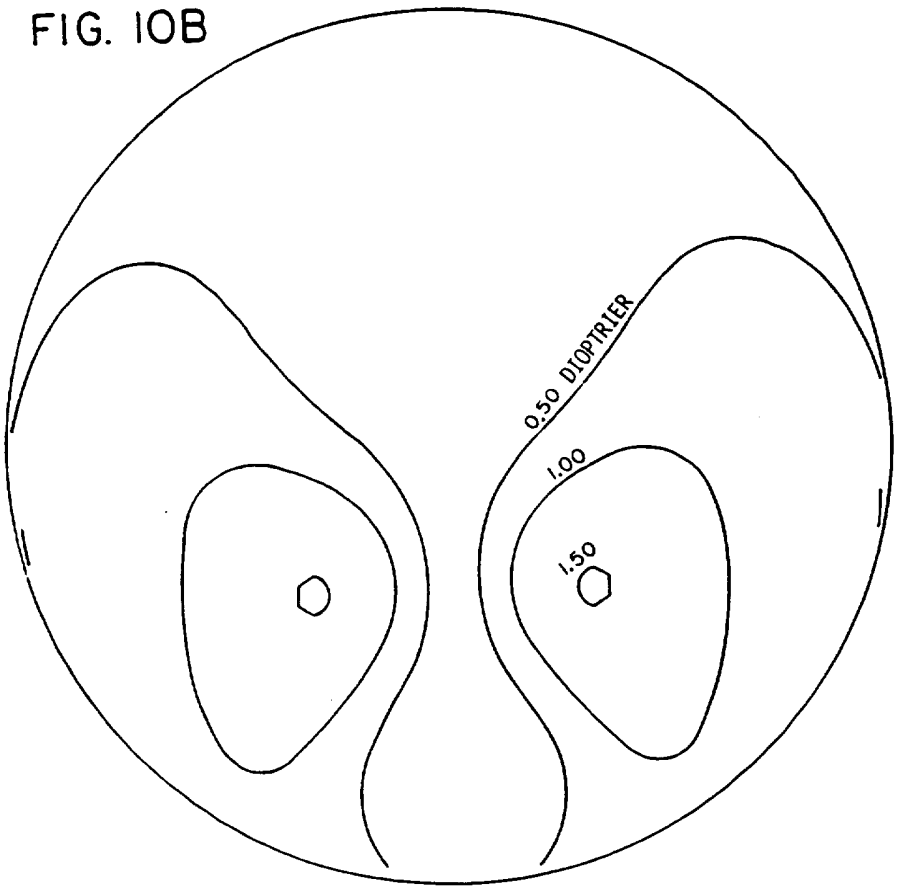


FIG. 10B



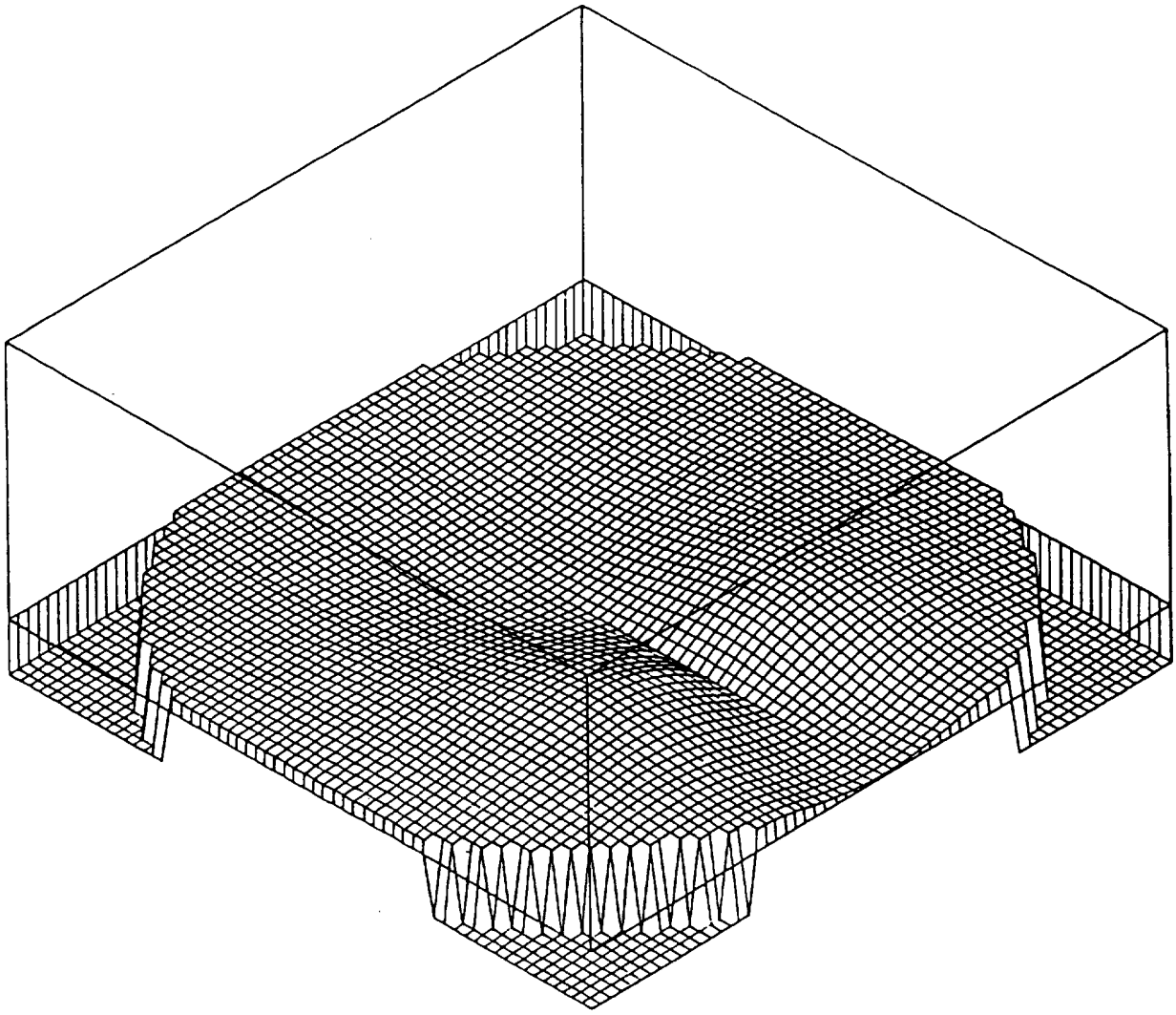


FIG. IOC

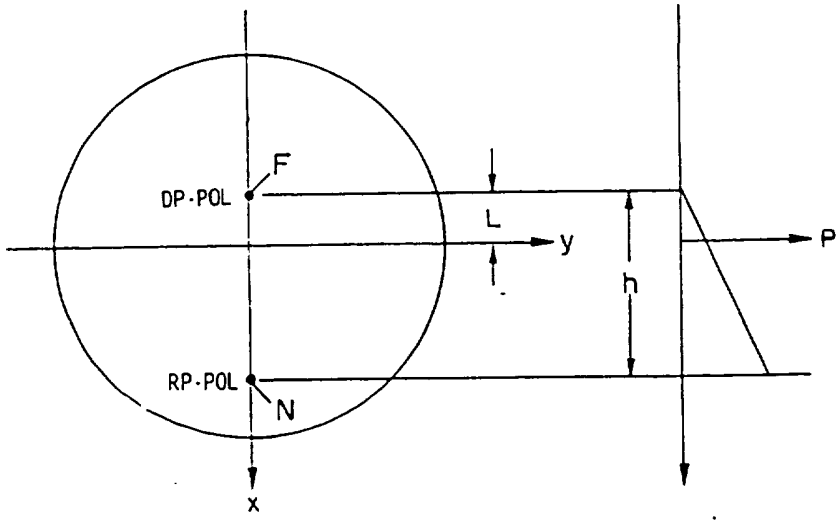


FIG. II

FIG. 12A

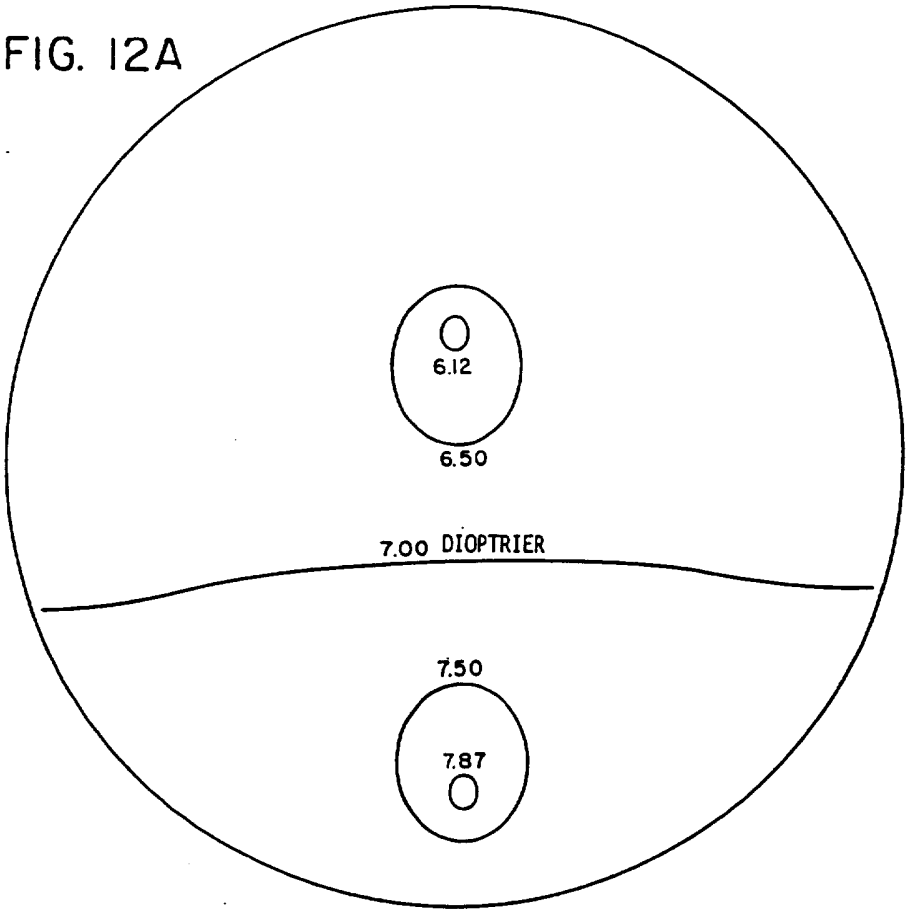
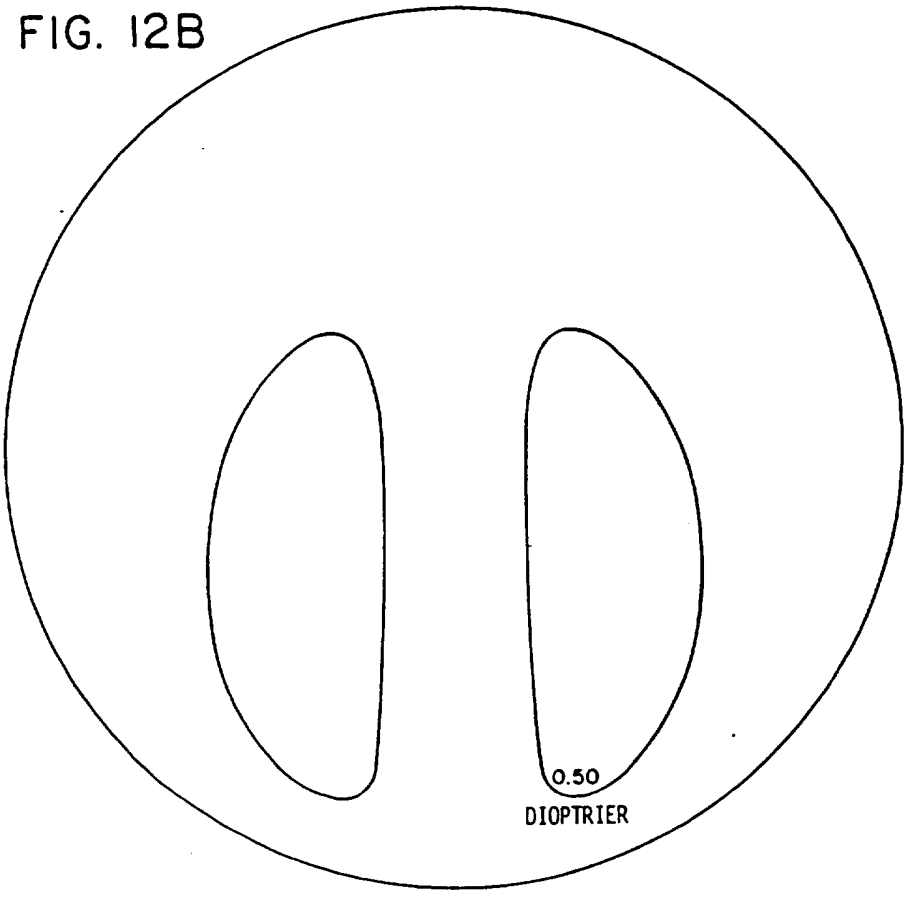


FIG. 12B



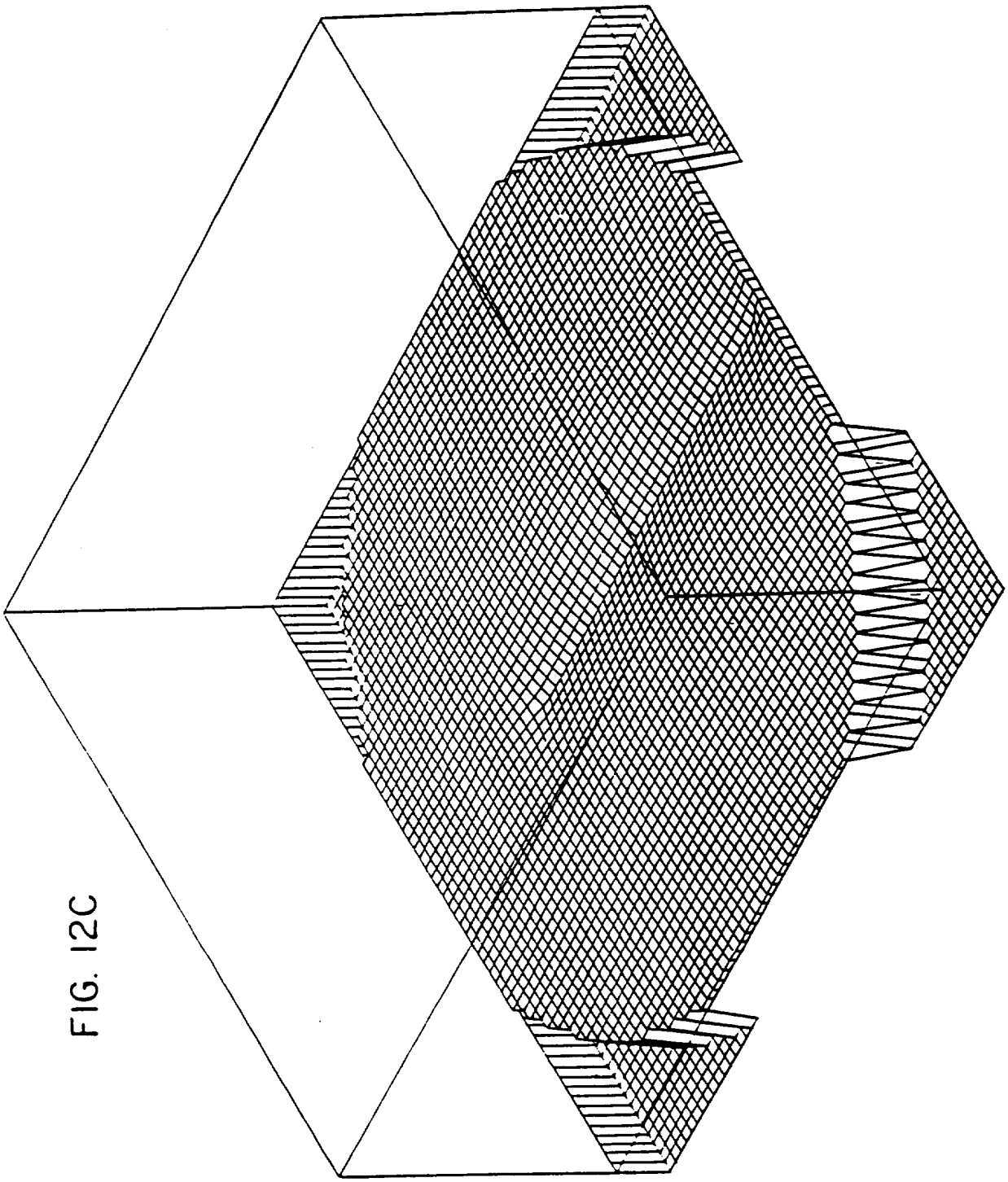


FIG. 12C