



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 88107271.0

[51] Int.Cl⁺
G02B 9/12

[43] 公开日 1989年9月13日

[22] 申请日 88.9.24

[30] 优先权

[32] 87.9.24 [33] US [31] 100,773

[32] 88.8.1 [33] US [31] 226,669

[71] 申请人 阿勒根公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 沃纳·J·菲阿拉

[74] 专利代理机构 中国专利代理有限公司
代理人 吴增勇 叶凯东

G02B 3/10

说明书页数: 41 附图页数: 5

[54] 发明名称 多焦点双折射透镜系统

[57] 摘要

本发明叙述了一种多焦点双折射透镜系统,并同该透镜系统作为检眼透镜(包括眼内的、接触型和眼镜型),以及作为光学仪器和光学装置(其中包括摄影机,望远镜、显微镜、复印机、摄谱仪等)的应用结合在一起。

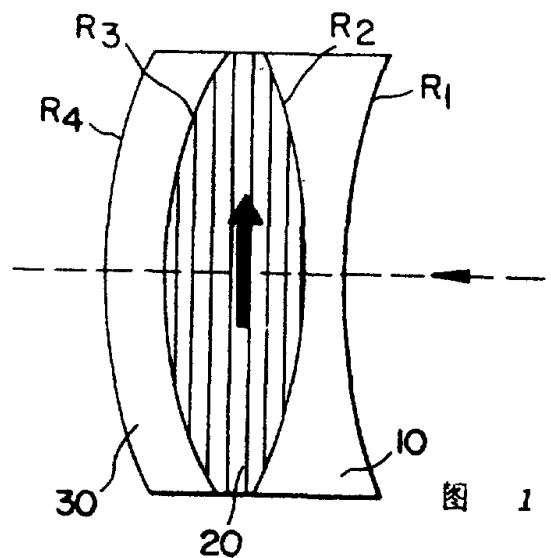


图 1

权 利 要 求 书

1. 一种非消色差的多焦点双折射透镜系统，其特征在于它包括：

a, 第一块双折射透镜元件，以及

b, 与上述第一块透镜元件邻接的第二块透镜元件，第一及第二块透镜元件两相对表面的曲率，实质上是相同的或者互补的，上述第二块透镜元件可以是：

(1) 一块光轴取向，不同于双折射透镜元件(a)的光轴取向的，双折射透镜元件，或者是，

(2) 一块双折射透镜元件，其中的两种折射率，不同于双折射透镜元件(a)的两种折射率，或者是，

(3) 一块双折射透镜元件，其中对通常光波的折射率，与双折射透镜元件(a)对通常光波的折射率相同，但其中对非寻常光波的折射率则与双折射透镜元件(a)对非寻常光波的折射率不一样，或者是，

(4) 一块双折射透镜元件，其中对非寻常光波的折射率与双折射透镜元件(a)，对非寻常光波的折射率相同，但其中对通常光波的折射率，则与双折射透镜元件(a)对通常光波的折射率不一样，或者是，

(5) 一块各向同性透镜元件，其所提供的是，对平行于透镜轴线入射的光来说，上述透镜系统至少同时具有两个焦点，其中每个焦点位于此透镜系统轴线上任意予选的正焦距或负焦距处，其更进一步提供的是，或者第一块或者第二块透镜元件的任意一个表面可以给定其曲率，而不受上述予选焦点的影响。

2. 如权利要求1所述的透镜系统，其特征在于它具有理想的几

何结构。

3. 如权利要求1所述的透镜系统,其特征在于它具有非理想的几何结构。

4. 如权利要求1所述的透镜系统,其特征在于它并不显现多余的焦点。

5. 如权利要求1所述的透镜系统,其特征在于所利用的一块或更多块双折射透镜元件,是由聚合的双折射材料制成的。

6. 如权利要求4所述的透镜系统,其特征在于它可以用作检眼镜。

7. 如权利要求6所述的透镜系统,其特征在于此检眼镜是一块接触透镜。

8. 如权利要求1所述的透镜系统,其特征在于,双折射透镜元件(a)至少是同双折射透镜元件(b)(1)、(2)、(3)和/或(4)相互组合的。

9. 如权利要求1所述透镜系统,其特征在于双折射透镜元件(a)至少是同一种各向同性透镜元件(b)(5)组合在一起的。

10. 如权利要求1所述的透镜系统,其特征在于更包括至少一块不同于双折射透镜的起振装置,和/或至少一块偏振滤光片。

11. 一种与权利要求1所述透镜系统结合的光学装置、仪器或设备。

12. 一种至少在一个焦点上消色差或显示予定量色差的多焦点双折射透镜系统,其特征在于,它包括:

a, 一块光轴与透镜轴线实质上垂直的第一块双折射透镜元件,以及

b, 与上述第一块双折射透镜元件邻接的第二块透镜元件, 上述第二块透镜元件可以是:

(1) 一块光轴取向不同于双折射透镜元件(a)的光轴取向的双折射透镜元件, 或者是

(2) 一块双折射透镜元件, 其中的两种折射率不同于双折射透镜元件(a)的两种折射率, 或者是

(3) 一块双折射透镜元件, 其中对通常光波的折射率, 与双折射透镜元件(a)对通常光波的折射率相同, 但其中对非寻常光波的折射率, 则与双折射透镜元件(a), 对非寻常光波的折射率不一样, 或者是

(4) 一块各双折射透镜元件, 其中对非寻常光波的折射率, 与双折射透镜元件(a)对非寻常光波的折射率相同, 但其中对通常光波的折射率, 则与双折射透镜元件(a)对通常光波的折射率不一样, 或者是

(5) 一块各向同性透镜元件, 其所提供的是, 对平行于透镜轴线入射的光来说, 上述透镜系统至少同时有两个焦点, 其中每个焦点位于此透镜系统轴线上任意予选的正焦距或负焦距处, 其更进一步提供的是, 至少两个焦点之一的焦距, 对聚焦光至少两种不同的波长是相等的。

13. 如权利要求12所述的透镜系统, 其特征在于它具有理想的几何结构。

14. 如权利要求12所述的透镜系统, 其特征在于它具有非理想的几何结构。

15. 如权利要求12所述的透镜系统, 其特征在于制做双折射

透镜元件 (a) 的双折射介质的双折射, 对两种不同的波长是一样的。

16. 如权利要求12所述的透镜系统, 其特征在于至少一块双折射透镜元件是和至少两块各向同性透镜元件组合的, 而且该透镜系统能够满足下列关系式:

$$\begin{pmatrix} 1 & \frac{n'_{2e,bl}}{n'_{2o,bl}} & 1 \\ \frac{n'_{1,r}}{n'_{1,bl}} & \frac{n'_{2e,r}}{n'_{2o,bl}} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} D_{1,bl} \\ D_{20,bl} \\ D_{3,bl} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{a,bl} \\ D_{a,r} \\ D_{b,bl} \end{pmatrix}$$

17. 如权利要求12所述的透镜系统, 其特征在于, 至少两块双折射透镜元件, 同至少两块各向同性透镜元件组合, 而且该透镜系统能够满足下列关系式:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & \frac{n'_{3e,bl}}{n'_{3o,bl}} & 1 \\ \frac{n'_{1,r}}{n'_{1,bl}} & \frac{n'_{2o,r}}{n'_{2o,bl}} & \frac{n'_{3e,r}}{n'_{3o,bl}} & \frac{n'_{4,r}}{n'_{4,bl}} \\ 1 & \frac{n'_{2e,bl}}{n'_{2o,bl}} & 1 & 1 \\ \frac{n'_{1,r}}{n'_{1,bl}} & \frac{n'_{2e,r}}{n'_{2o,bl}} & \frac{n'_{3o,r}}{n'_{3o,bl}} & \frac{n'_{4,r}}{n'_{4,bl}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} D_{1,bl} \\ D_{20,bl} \\ D_{30,bl} \\ D_{4,bl} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{a,bl} \\ D_{a,r} \\ D_{b,bl} \\ D_{b,r} \end{pmatrix}$$

18. 如权利要求12所述的透镜系统,其特征在于,它更进一步至少是由一块不同于双折射透镜的起偏振器装置和/或至少一块偏振滤光片组成的。

19. 一种与权利要求12所述透镜系统结合的光学装置、仪器或设备。

多 焦 点 双 折 射 透 镜 系 统

本专利申请属于尚未结案的1987年9月24日提出的美国专利申请，申请号为100,773的接续部分。

本发明涉及一种非消色差的或者消色差的多组元多焦点的光学透镜系统，更确切地说是属于系统中至少有一个透镜组元是双折射透镜。

双折射透镜早已公知了一段时间。联合王国专利231,848所描述的双折射透镜，是用作起偏振器的。由于双折射透镜能够产生两束不同聚散度的正交偏振光，所以为了提供一束仅为一种类型的偏振光，或者使用光栏，或者使用各向同性的透镜，就能将两束偏振光中的一束消除。美国专利2,317,809所描绘的特征是，一块平凸的双折射透镜，以其凸面胶合在一块平凹的各向同性透镜上。这种组合件的作用，即象是对于一种线性偏振光具有正光焦度的透镜，又象是对于另一种正交偏振光具有零光焦度的平行平板。此透镜组合件，结合成整体用于为摄影目的所用的取景器中。在联合王国专利865,361中，一种棱形的双折射透镜按一定方式与各向同性补偿透镜组合，使得组合后透镜的两种光焦度对目标的屈光度是等距离的。这种透镜系统结合在光学仪器中，用以检查人的眼睛。此仪器能将通常(o)光线和非寻常(e)光线形成的两个象分开，以使具有不同锐度的两个象能同时观察到，而且在检查眼时是并排在一起的。美国专利3,211,048提及一种由同一种双折射材料制作的平凸/平凹双合透镜组件。在此组合件中，两块双折射透镜中的一块，可以具有平表面的各向同性透镜来替代。这种组合件要同分光仪中

的色散装置（例如棱镜）以及起偏器协调一致工作。美国专利3432238还公开了一种为使入射的偏振光产生相移用的平凹/平凸双合的双折射透镜。最终得到的干涉图、应用在分光仪中。

由于双折射透镜所具有的一种光焦度是同一个线性偏振平面相关的，而其所具有的另外一种光焦度则同另一个正交的偏振平面相关，因此，如果入射光是线性偏振的，那么，能使偏振平面转动的装置，就可用来选择此两种光焦度的一种。美国专利3,410,624使用了一种与双折射透镜和双折射棱镜一起工作的电光控制装置（克尔盒）。在这份专利中所公开的由每一块透镜和电光盒组成的 m 个系统，能够产生出 2^m 个焦点。类似的具有 n 个电光盒及 n 个双折射透镜的组合件，已经在法国专利1,552,198、美国专利3,520,592以及“使用双折射透镜成多个象”（参见《应用光学》卷8, No10, 2117—2120页, 1969年10月）等英文文献中进行了公开，其中每份资料都公开了使用一块或者多块双折射透镜的光学聚焦系统，而且每一块双折射透镜都同一个控制光的偏振平面的装置相组合。美国专利3,563,632公开了一种数字式光学焦距调节器，其中每一个都拥有克尔盒及渐进曲率的双折射透镜的逐次排列成的组合体，是浸在共用的电解槽中的。双折射透镜的形状，应能使与电解质折射率相关的温度得到补偿。美国专利3,565,510公开了两种双折射透镜的应用，每个克尔盒在系统中都类似于前述美国专利3,563,632中指出的那样。奥斯波夫（Osipov）在“双偏振透镜”一文中（参见《Optical Technology》，Vol 40, No, 5, P P, 277—279, 1973. 5）描述了一种由平凸/平凹双折射透镜系统构成的双偏振透镜。这种透镜系统可以与各

向同性透镜组合，以产生平行的参考光束和聚焦的信号光束，而光束是正交偏振的可用在激光系统中。美国专利3 7 5 8 2 0 1公开了一种与各向同性的可变光焦度透镜系统组合的平凸/平凹双折射双合透镜。此系统应用在眼睛检查中。美国专利3, 9 9 0, 7 9 8公开了一种平凸/平凹双折射双合透镜，可以用作或用在显微镜目镜中，以便在单一象面上能够产生不同物平面内目标的象。由双折射材料制做的平凸/平凹双合透镜也已在美国专利4 5 6 6 7 6 2中作了公开，所描述的是一种双焦点系统，其中不同距离目标的象呈现出相同的放大倍数。美国专利4, 5 7 5, 8 4 9公开的平凸/平凹双折射透镜，可以在光学滤波器——偏振器组合中用作相板。

由前所述可以看出，双折射透镜首先使用的是平凸/平凹透镜组合件。这样的组合件在一种情况下，即在奥斯波夫所述的情况下，与各向同性透镜组合，以便产生一束平行的偏振光。在联合王国专利8 6 5, 3 6 1中，使用的棱形的双折射透镜与棱形的各向同性透镜的组合，是为了产生同一目标的并排在一起的两个象，以实现对人眼进行检验。而且，在各份专利中，提出了作为改变焦距系统的各种系统组合件，而每个系统是把双折射透镜与控制偏振面取向的装置组合在一起的。

在前面提到的已有技术中所公开的是无机晶体，诸如石英和方解石，是作为双折射透镜的材料。双折射也可以是某种有机聚合物所具有的性质。因此，譬如对于美国专利4, 3 8 4, 1 0 7, 4, 3 9 3, 1 9 4、4, 9 3 3, 1 9 6、4, 4 3 3, 1 3 2、4, 4 4 6, 3 0 5、4, 4 6 1, 8 8 6、4, 4 6 1, 8 8 7、4, 5 0 3, 2 4 8、4, 5 2 0, 1 8 9、4, 5 2 1, 5 8 8、4, 5 2 5, 4 1 3、

4, 575, 547、4, 608, 429以及4, 628, 125所描述的聚合物来说,就显示出很高的双折射,并能模拟出单轴晶体的光学性能。这样的双折射聚合物可以和各向同性的涂层一起,用在多层光传输及偏振装置中。

事实上已经知道的例如施加应力,许多聚合物都可以是双折射的。整个光测弹性学领域以及借助偏振光进行的应力分析,都是以此现象为基础的。人们也还知道,通过将聚合物延展到超出其弹性范围,施加给该聚合物的双折射就是不可逆的。例如美国专利3,522,985中提到的就是这样做的。具有多个焦点的检眼透镜,特别是具有此性能的接触透镜是公知的,例如美国专利3,794,414、4,162,122、4,210,391、4,340,283、4,338,005、4,637,697、4,641,934、4,642,112以及4,655,565。对于这些透镜来说,其共同点在于,制做它们所使用的光学介质是各向同性的。同时具有的多种光焦度特性,是靠提供具有适当的几何参量的透镜来达到的。

本发明的目的是要提供一种多焦点的例如双焦的、三焦的、四焦的等等非消色差或者消色差的双折射透镜系统,其中至少有两个焦点是按照总体上彼此独立选定的。

本发明的另一个目的是提供一种多焦点的非消色差或消色差的双折射透镜系统,表明不需要的焦点或光焦度能够做到最少。

本发明的再一个目的是要提供一种多焦点的非消色差或消色差的双折射透镜系统,与其它已知类型的多焦点透镜系统相比,这种系统的图象亮度,色性能以及选择光焦度的自由都是优越的。

本发明的特殊目的是提供一种非消色差或者消色差的双折射透镜

系统，其整体或者局部是由光学等级的聚合物制做的。

本发明的另一个特殊目的是把非消色差或者消色差的双折射透镜系统，与一个或者更多个光起偏的装置以及随意一个或多个偏振滤光片组合，使得有可能对光焦度或者从多种可得到的光焦度之中进行的光焦度组合作出选择。

本发明还有另外一个目的，就是要提供一种多焦点的非消色差或者消色差的双折射透镜系统，其中至少一个透镜表面的形状不受制造该透镜元件使用介质的物理参数的影响，而且也不受预选焦点的影响。

本发明进一步还有一个特殊的目的，就是要提供一种至少能在预选焦点中的一个焦点上，能够显示所要求的任何程度色差的双折射透镜系统。

本发明更还有另一个目的，就是要在此处的非消色差或者消色差的双折射透镜系统的基础上，提供一种检眼透镜，特别是眼镜片、接触透镜和眼内透镜。

本发明的其它目的，包括将此处的双折射透镜系统以及其它一些光学装置，同这样一些透镜系统结合在一起使用，例如眼科诊断仪，照相机，望远镜和轻便双筒望远镜、显微镜、复印机、光具座、摄谱仪等。

按照本发明提供的多焦点非消色差双折射透镜系统，它包括：

(a) 第一个透镜元件是一个双折射透镜元件；

(b) 第二个透镜元件是邻接在上述第一个透镜元件上的，第一及第二个透镜元件相对的表面曲率，实质上是一样的或者是互补的，上述的第二个透镜元件可以是：

(1) 一种双折射透镜元件，其所具有的光轴取向不同于双折射

透镜元件 (a) 的光轴取向, 或者是;

(2) 一种双折射透镜元件, 其中的两种折射率不同于双折射透镜元件 (a) 的两种折射率, 或者是;

(3) 一种双折射透镜元件, 其中通常光波的折射率与双折射透镜元件 (a) 对通常光波的折射率相同, 但其中对非寻常光波的折射率不同于双折射透镜元件 (a) 或者是;

(4) 一种双折射透镜元件, 其中对非寻常光波的折射率与双折射透镜元件 (a) 对非寻常光波的折射率相同, 但其中对通常光波的折射率则不同于双折射透镜元件 (a), 或者是;

(5) 一种各向同性的透镜元件, 其所提供的是, 对与透镜的光轴平行入射的光来说, 上述透镜系统至少同时具有两个焦点, 其中的每个焦点位于此透镜系统光轴上预先选定的正焦距处或负焦距处, 而且进一步所提供的是, 不是第一个就是第二个透镜元件任意一个表面的曲率不受上述预选焦点的影响。

进一步说来, 按照本发明还提供一种多焦点双折射透镜系统, 它至少在一个焦点上是消色差的, 或者至少在一个焦点上显示予定量的色差, 它包括;

(a) 第一个透镜元件, 这是一个光轴实质上与透镜光轴垂直的双折射透镜元件;

(b) 与上述第一个透镜元件邻接的第二个透镜元件, 此第二个透镜元件是;

(1) 一种光轴取向不同于双折射透镜元件 (a) 的光轴取向的双折射透镜元件, 或者是;

(2) 一种双折射透镜元件, 其中的两种折射率不同于双折射透

镜元件 (a) 的两种折射率, 或者是;

(3) 一种双折射透镜元件, 其中通常光波的折射率与双折射透镜元件 (a) 对通常光波的折射率相同, 但其中对非寻常光波的折射率不同于双折射透镜元件 (a), 或者是;

(4) 一种双折射透镜元件, 其中对非寻常光波的折射率与双折射透镜元件 (a) 对非寻常光波的折射率相同, 但其中对寻常光波的折射率则不同于双折射透镜元件 (a), 或者是;

(5) 一种各向同性的透镜元件, 其所提供的是, 对于透镜的光轴平行入射的光来说, 上述透镜系统至少同时具有两个焦点, 其中每个焦点位于此透镜系统光轴上预先选定的正焦距处或负焦距处; 而且其进一步所提供的是, 至少两个焦点之一的焦距, 对于至少两种不同波长的聚焦光所具有的焦距基本上是相等的。

“邻接”一词用在有关此双折射透镜系统的第一及第二个透镜元件的相对位置上, 此处所指包括这两个元件实质上以其整个相对的表面, 直接相互接触的情况 (即下文所称之“复合透镜”或“透镜组合”), 以及这两个相对的表面沿其共同光轴分开一段很短距离的情况, 典型状况下的距离只有几毫米或者更小一些。

“实质上是一样的或者是互补的”这一词组, 应用来说明此多焦点的非消色差双折射透镜系统的, 第一及第二透镜元件, 相对的表面曲率, 应当理解为这些表面相互接触地放置, 在沿其相互的分界面上的每一个点处, 它们都是相接的。因此, 例如, 在实质上是一样曲率的情况下, 这些曲率将是平的或者是平面的, 即这些表面具有无限大的曲率半径, 而且在曲率互补的情况下, 这些表面将是相当的, 例如通过凹凸表面的匹配。

“复合透镜”或者“透镜组合”一词，这里理解为所指透镜系统，至少是由两个透镜元件组成的，相邻接的透镜元件的两个相对的透镜表面，实质上是一样的或者是互补的，以致于两个透镜元件能够沿其相对的表面胶合在一起，例如在平凸/平凹透镜系统中。这些词也可应用于一种透镜系统，其中相对的透镜表面是分开一定距离的，为的是适应一种或多种不同于透镜的光学装置，例如偏振装置。

“接触透镜”一词，在这里理解为所指透镜系统至少是由两个透镜元件组成的，此透镜系统主要是满足其光焦度等于所有透镜元件光焦度之和的需要。

“非消色差”一词，应当理解为所指的透镜或透镜系统，显示一种或多种光焦度，而且这种光焦度还取决于，制造此透镜或透镜系统使用的，双折射和/或各向同性的光学介质色散特性所确定的聚焦（即使用的）光波长。

“消色差”一词，应理解为所指的透镜系统，可显示一种或多种光焦度，至少其中一种光焦度所显现的屈光值，对于聚焦（即所使用的）光至少两种不同的波长是固定的。

本发明所述的多焦点非消色差或者消色差双折射透镜系统，包括许多双折射透镜元件，同至少一种不同的双折射透镜元件以及/或者至少上述一种各向同性的透镜元件的排列组合。其所提供的条件是：在此系统中，至少所产生的焦点中的两个焦点（或者光焦度）是预先选定的；对于平行入射在透镜光轴上的光来说，此焦点是沿着同一条透镜光轴存在的；不是第一个就是第二个透镜元件的任意一个曲率的选择，可不受预先选定的焦点的影响。在这些要求限制之内，有可能提供任何具有广泛种类的多焦点光学设计，以便满足任何一些实际需

要。举例来说，在本发明所包括的透镜系统中：一块单个的双折射透镜元件同一块或者多块各向同性透镜元件组合，所提供的是复合透镜或者透镜系列；一块双折射透镜元件同至少一块不同的双折射透镜元件组合，不是复合透镜就是这些透镜的系列，随意地与一个或多个各向同性透镜元件组合，等等。此外正如以下阐明的那样，本发明所述的任何一种多焦点双折射透镜系统，都可以应用在同其它的偏振介质，或者同位于一个或多个邻接的双折射透镜元件对之间，和/或此透镜系统之前或之后的偏振滤光片相结合，从而能够由多种可以得到的光焦度中，选定一种或多种光焦度。

依靠本发明所述的多焦点双折射透镜系统，使得自由选择光焦度成为可能。可以将此优点在一些应用中发挥，特别是在设计检眼用的双焦镜时，甚至使用相对说来比较薄的透镜，很容易就能得到相对说来比较大的光焦度差异。还可以运用在各种类型的光学仪器和设备中，其中包括望远镜，双目镜，视频和摄影机透镜，显微镜，复印机，光具座，摄谱仪等。

图 1 是根据本发明显示“理想几何结构”的双折射透镜系统简图；

图 2 为并入在本发明所述透镜系统中的双折射透镜元件简图；

图 3 A、3 B、4、5 为根据本发明所述双折射透镜系统各种不同实施例的简图；

图 6 为与偏振装置组合的本发明所述双折射透镜系图简图；

图 7 为显示两个以上同时存在的光焦度的，由两块双折射透镜元件制成的，双折射透镜超便移式系统简图；

图 8 为图 7 所述透镜系统与偏振装置组合简图；

图 9 A，9 B 分别为根据本发明，眼镜片结合在双折射透镜系统

中的正视和侧视图。

本发明所提供的最佳实施例有两个，分别介绍如下：

A. 多焦点的非消色差双折射透镜系统

所有已知的双折射透镜系统，都具有一个光轴（即晶体双折射介质内部的轴），它与透镜的轴线垂直。因此，双折射透镜系统能够显现两种特殊的折射率 n_o 。（对于通常光波或光线来说）和 n_e 。（对于非寻常光波或光线来说），但这只是对于非寻常（ e ）光线在垂直（即相互垂直）于光轴的方向上通过双折射透镜的特殊情况而言。对于所有其他方向来说， e 光线所具有的有效折射率 $n_{e, eff}$ 值处在 n_o 和 n_e 之间。在这种情况下，对于 e 光线来说，就不可能预见双折射透镜系统任何准确的光学性能或特性。

由于这种原因，有希望使用双焦点透镜系统，来显现具有附加特点的独立选定的两种光焦度（或者焦点），以使 e 光线能在唯一与光轴垂直的方向上通过双折射透镜。所有的 e 光线在与光轴垂直的方向上通过双折射透镜的情况，在这里将称为双折射透镜系统的“理想几何结构”的实施例。

图1表示具有理想几何结构的双折射透镜系统的一种实施例。它装有各向同性透镜元件10和30以及双折射透镜元件20。各向同性透镜元件10有两个球面 R_1 和 R_2 ，各向同性透镜元件30有两个球面 R_3 和 R_4 ，它们分别位于双折射透镜元件20之前和之后。双折射透镜元件20有两个互补的球面 R_2 和 R_3 ，并以实心箭头指示其光轴（正如在所有随后的附图中一样）。令此透镜系统予先选定光焦度（也可以确定相应的焦点）为 D_a 和 D_b ，则下述限制条件适用于理想几何结构的双焦点透镜系统。

$$D_{34} + D_o + D_{12} = D_a \quad (1a)$$

$$D_{34} + D_e + D_{12} = D_b \quad (1b)$$

而“理想几何结构”的限制条件为：

$$(n_e - 1) \times \frac{1}{R_2} = -D_{12}$$

其中 D_{12} 及 D_{34} 分别为前一块和后一块各向同性透镜元件的光焦度； D_o 和 D_e 为双折射透镜元件对 o 光线和 e 光线的光焦度。

对于这种理想几何结构的实施例来说，下述关系式是适用的：

$$\frac{D_o}{n_o - 1} = \frac{D_e}{n_e - 1} \quad (3)$$

$$\text{或者写作 } D_e = m \cdot D_o \quad (4)$$

$$\text{其中 } m = \frac{n_e - 1}{n_o - 1} \quad (5)$$

由此，图 1 所示理想几何结构的双焦点透镜系统，可由下式进行描述：

$$D_o = \frac{D_a - D_b}{n_o - n_e} \times (n_o - 1) \quad (6a)$$

$$D_e = \frac{D_a - D_b}{n_o - n_e} \times (n_e - 1) \quad (6b)$$

$$D_{34} = D_a - D_o - D_{12} \quad (7)$$

举例来说，如果曲率半径 R_3 是预先选定的，那么 R_2 就可根据等式 (6a) 或 (6b) 计算出来。随后，根据计算出来的曲率半径 R_2 和等式 (2)，就可以确定半径 R_1 ；根据预先选定的半径 R_3 ，

和等式(7),就可以算出 R_4 。从原则上讲,四个曲率半径中的任何一个都可以预先选定。

对于非理想几何结构的双折射透镜系统,更为一般的实施例来说, e 光波是不需要垂直于光轴的方向上,通过双折射透镜的。因此 e 光线所具有的单独有效折射率值 $n_{e, eff}$ 处在 n_e 与 n_o 之间。由于予先知道的即不是有效折射率 $n_{e, eff}$,又不是 e 光线在双折射透镜内的光路,而光路和有效折射率 $n_{e, eff}$ 又是互相关的,所以与双折射透镜结合在一起的,透镜系统的实际性能,无法依据 n_e 值和透镜的几何结构直接进行判定。

双折射透镜性能的合理计算,是建立在对经过该透镜的光线,仔细进行光线追迹基础上的。这种光线追迹,包括要在各向同性介质和双折射介质之间的任意取向的界面之前和之后,确定光传播矢量的空间分量。对于光轴或其方向选定的双折射介质来说,上述确定,就要涉及惠更斯作图法,即在椭圆超环面上对切平面作图的一般情况。例如可参见斯创格(J. strong)所著“经典光学定则”(p 138, W. H. Freeman and Company, 1958)。当然,建立在这种光线追迹基础上的计算,也可以应用在 o 光线上,实际上所有感兴趣的透镜性能方面的数据,如光焦距、象的锐度、色差和球差,都可以计算出来。其中包括计算穿过两种光学介质之间界面光的,透射幅度的菲涅尔公式,也可供用来确定多焦点透镜的透射强度。

按照本发明所述的非理想几何结构的双折射透镜系统的实例,现在结合附图2—5一起给出。在这些实例中,采用以下定义:

值	定 义
D V O	从通常后顶点屈光度的计算得出来的 o 光线的后顶点屈光度
D V E	从通常后顶点屈光度的计算得出来的 e 光线的后顶点屈光度
D O	由光线追迹计算得出来的 o 光线的后顶点屈光度
D E	由光线追迹计算得出来的 e 光线的后顶点屈光度
A C M	“锐度测量”，即最小焦斑的面积与透镜的横截面积之比
P T R	与光焦度有关的透射强度与入射强度的百分比
n_o	双折射透镜对 o 光线的折射率
n_e	在 e 光线垂直于光轴的情况下，双折射透镜元件对 e 光线的折射率
n_{12}	具有曲率半径 R_1 和 R_2 的各向同性透镜元件的折射率
n_{34}	具有曲率半径 R_3 和 R_4 的各向同性透镜元件的折射率
γ	光轴与透镜轴线之间的夹角
α_r	入射光线与透镜轴线之间的夹角
α_p	入射光线和透镜轴线构成的平面与双折射透镜元件光轴和透镜轴线构成的平面之间夹角
$R_1, R_2,$ R_3 及 R_4	图 2-5 透镜系统中球面透镜表面的曲率半径
d	透镜系统的直径

C_{12}, C_{23} 及 C_{34}	图 2 - 5 透镜系统中透镜的中心厚度
D_F	焦斑与透镜系统后表面中心之间的反向距离 (以屈光度表示)
D_{pr}	以棱镜屈光度表示的棱镜光焦度 (1 棱镜屈光度 = 1 厘米 / 每米)

图 2 中双折射透镜元件 20 的设计结果, 说明如下:

前表面曲率半径: $R_2 = 7.5$ 毫米

后表面曲率半径: $R_3 = 7.8$ 毫米

中心厚度 : $C_{23} = 0.05$ 毫米

透镜系统的直径: $d = 6$ 毫米

光轴的取向 : $\gamma = 90^\circ$

折射率 : $n_o = 1.443$; $n_e = 1.8$

入射光方向 : $\alpha_r = 0^\circ$

图 2 所示双折射透镜元件对于 o 光线的计算结果, 见表 1 A
表 1 A

D V O	D O	A C M	P T R
2.39	2.84	4.8×10^{-8}	93%

图 2 所示双折射透镜元件, 对于 e 光线的计算结果, 见表 1 B

表 1 B

D V E	D E	A C M	P T R
4.42	5.11	2.85×10^{-3}	79%

上述数据表明，实际的后顶点屈光度 $D O$ 和 $D E$ ，要比相应的 $D V O$ 和 $D V E$ 值大。这是由于这束入射光线的孔径不是零的缘故。实际上，它还可以表明，对于孔径为零的入射光来说， $D O$ 和 $D V O$ 完全相同，而且 $D E$ 和 $D V E$ 接近相同。对于轴上入射光的情况来说，两个焦斑是准确地位于透镜轴线上。应该注意的是，与 o 光线象的锐度相比， e 光线象的锐度是极好的。对于 e 光线的传输损耗要比 o 光线高，这是由于 e 光线偏向程度比 o 光线大的原因。

在图 3 A 和 3 B 所示的双折射透镜系统中，图 2 所示的双折射透镜元件 2 0，是和各向同性透镜元件 1 0 和 3 0 组合在一起的。这两个透镜系统之间的差异，仅在于图 3 A 中双折射透镜元件 2 0 的光轴取向实质上是垂直于透镜轴线的，而在图 3 B 中，相对透镜轴线大约倾斜 60° 。对于这两个透镜系统来说，透镜参数的选择，应使该透镜系统对寻常光线是无焦点的（即显示为零光焦度），而且对 e 光线则显示正光焦度。这些参数如下：

曲率半径： $R_1 = 7.85$ 毫米

$R_2 = 7.5$ 毫米

$R_3 = 7.8$ 毫米

$R_4 = 7.8$ 毫米

中心厚度： $C_{12} = 0.04$ 毫米

$$C_{23} = 0.05 \text{ 毫米}$$

$$C_{34} = 0.03 \text{ 毫米}$$

透镜系统的直径: $n_{12} = 1.443$

$$n_o = 1.443; n_e = 1.8$$

$$n_{34} = 1.443$$

入射光的取向: $\gamma = 90^\circ$

入射光的方向: $\alpha_r = 0^\circ$

对图 3 A 所示双折射透镜元件 o 光线的计算结果见表 2 A

表 2 A

D V O	D O	A C M	P T R
-0.10	-0.10	0.75×10^{-8}	93%

对图 3 A 所示双折射透镜元件 e 光线的计算结果见表 2 B

表 2 B

D V E	D E	A C M	P T R
1.93	2.11	7.5×10^{-8}	85%

而且对与透镜平行的所有入射光线来说, 其两个焦斑都是准确地, 位于透镜轴线上的。与图 2 所示单块双折射透镜的情况相比, e 光线的透射强度是增加的, 但锐度略有降低。

还要提及图 3 A 所示的透镜系统, 对于离轴的入射光来说, 提供了该系统的性能。以下, 对于表 3 和表 4 中陈述的计算结果的讨论,

仅限制在 e 光线，因为 o 光线的工作方式，能从已知的各向同性透镜中确定。

首先，对于入射平面与双折射透镜元件光轴之间夹角为零的入射光线的情况，其数据在下述表 3 中给出。

表 3. 入射光的方向 $\alpha_r = 30^\circ$; $\alpha_p = 0^\circ$

D V E *	D F	A C M	P T R	D _{pr}
1.93	1.93	98×10^{-3}	89%	0.75

* 对同轴入射光的计算结果。

从这些数据中可以看到，本发明所提供的双折射透镜系统，所显现的有效光焦距 D_F，实际上是和同轴入射光的光焦距 D_{V E} 一样。从设计透镜的观点出发，这种特性可能是有利的，例如在检眼透镜的情况下，特别是在希望保持同样的有效光焦距，而不考虑入射光相对透镜轴线的角度，甚至可将象的锐度损失一些接触透镜的情况下。

其次，对于光轴与入射光平面垂直的离轴入射光线来说，代表该透镜系统性能的数据，在下述表 4 中给出。

表 4. 入射光的方向 $\alpha_r = 30^\circ$; $\alpha_p = 90^\circ$

D V E *	D F	A C M - e 光线	P T R	D _{pr}
1.93	2.24	35×10^{-3}	89%	0.74

* 对同轴入射光的计算结果

对这种类型的入射光所作的比较分析表明，本发明提供的双折射

透镜系统，非常象具有相同光焦度 DVE 的各向同性透镜系统一样使用。对于设计接触透镜这种说法的实际结论是，标准化了的的光学关系和光学性能，对这种类型入射光的双折射透镜系统而言，基本上是正确的。

将表 3 及表 4 的数据结合后表明，在双焦点接触透镜的情况下，阅读的增加，最好是由 e 光线提供，距离的增加最好是由 o 光线提供。这些相同的数据进一步表明，双焦点接触透镜的光轴，应该是沿着实质上为垂直的方向定向的，此处的视场被理解为水平的，例如从左到右，反过来说，这里的视场主要是在垂直方向上观察，而图 3 和图 4 的数据表明，双焦点接触透镜光轴的方向，实质上应是水平的。

正如上文所指出的那样，为了提供两种任意予选的光焦度，只需要有一个双折射透镜元件和一个各向同性透镜元件。然而对于特殊应用来说，提供三个或更多个透镜元件的系统是有利的。由本发明所予期并在图 3 A 中表示出来的透镜系统，它包括一块巩膜接触透镜，其中双折射透镜元件 20 的直径，相应于瞳孔的最大直径，并被植入包在各向同性透镜元件之内，而后者的直径相应于巩膜的直径。分别处在双折射透镜元件之前和之后的各向同性透镜元件 10 和 30，可被看作总透镜系统的两块各向同性透镜元件。各个元件都可以由同一种或不同种光学介质来制作。举例来说，象在上述已有专利中描述过的双折射聚合物，或者定向聚合物（例如延展的聚甲基丙烯酸甲酯），都可以同任何一种已知的各向同性接触透镜介质（如氢化甲基丙烯酸甲酯聚合，或者未延展的聚甲基丙烯酸甲酯）组合，以便提供本发明所述的双焦点接触透镜。

图 4 表示本发明提供的另一种双折射透镜系统，其所具有的双折

射透镜元件 2 0 和各向同性透镜元件 3 0 的设计参数如下:

曲率半径: $R_2 = 38$ 毫米

$R_3 = 50$ 毫米

$R_4 = -50$ 毫米

中心厚度: $C_{23} = 0.2$ 毫米

$C_{34} = 1.0$ 毫米

透镜系统的直径: $d = 6$ 毫米

透镜介质折射率: $n_o = 1.443$; $n_e = 1.8$

$n_{34} = 1.443$

光轴取向: $\gamma = 90^\circ$

入射光的方向: $\alpha_r = 0^\circ$

图 4 所示双折射透镜元件, 对 o 光线的计算结果见表 5 A

表 5 A

D V O	D O	A C M	P T R
20.63	20.77	0.007×10^{-3}	93%

图 4 所示双折射透镜元件对 e 光线的计算结果见表 5 B

表 5 B

D V E	D E	A C M	P T R
22.96	23.03	0.008×10^{-3}	88%

上述计算结果表明, 本发明提供的双折射透镜系统, 可以用作双

焦点眼内透镜。

如图 3 B 中表示的那样，本发明提供的光轴取向不与透镜轴线垂直的双折射透镜系统，是双焦点的。

图 3 B 所示双折射透镜元件对 o 光线的计算结果见表 6 A

表 6 A

D V O	D O	A C M	P T R
-0.10	-0.10	0.75×10^{-3}	93%

图 3 B 所示双折射透镜元件对 e 光线的计算结果见表 6 B

表 6 B

D V E**	D E	A C M	P T R
1.93	1.80	68×10^{-3}	85%

** 对于 $\gamma = 90^\circ$ 的计算结果

从上述计算结果可以看出，与 e 光线相联系的光焦度是减小的。这是由于有效折射率 $n_{e, \text{eff}}$ 比 n_e 小的事实决定的。对于 e 光线象的品质要比 $\gamma = 90^\circ$ 的情况差一些。为此，光轴与透镜轴线之间的夹角 γ 不等于 90° ，只适用在少数场合。

然而，对于 γ 至多和 90° 仅有很小偏差的情况，透镜的性能，可以令人满意。为此在本发明的范围之内，可将光轴位于聚合物薄板平面内的，双折射聚合物薄板加以弯曲，以使其呈现圆柱形表面，圆柱体的轴线则和这时的园形的光轴垂直。例如可以给出园柱体半径的值，使其与双折射透镜的半径之一相对应。对此种透镜所作的分析表

明，它差不多能和光轴垂直于透镜轴线的透镜一样使用。很明显，通过增加圆柱体的半径，近似得到闭合器。

在前面叙述的实施例中，双折射透镜元件是和一块或者两块各向同性透镜元件组合在一起的，是为了提供两种不同的光焦距，其大小可以按彼此相互完全独立的方式进行选择，甚至对复合透镜系统，是在保持其几何参数独立的条件下进行的。例如在接触透镜的情况下，这个独立的参数能被用来设计此透镜系统后表面曲率。一般说来，这种效果也可以通过将两块双折射透镜元件，进行组合达到。为了能够只产生两种光焦距，两块双折射透镜光轴之间的角度必需为 90° ，以使在一块双折射透镜中的 o 光线，在第二块双折射透镜中成了 e 光线，反过来也是一样。这种结构可称之为“交叉双折射透镜系统，表示在图 5 中。

图 5 所示由双折射透镜元件 20 和 21 组成的透镜系统，其设计参数如下：

前表面曲率半径：	7.9 毫米
中间表面的曲率半径：	7.5 毫米
后表面曲率半径：	7.8 毫米
第一透镜的中心厚度：	0.06 毫米
第二透镜的中心厚度：	0.06 毫米
透镜系统的直径：	6.0 毫米
第一块透镜的光学介质：	$n_o = 1.443$; $n_e = 1.8$
第二块透镜的光学介质：	$n_o = 1.443$; $n_e = 1.8$
光轴的取向：	$\gamma_1 = \gamma_2 = 90^\circ$
光轴之间的夹角：	90°

入射光的方向： $\alpha_r = 0^\circ$

在给出表 7 的计算结果时，先定义下述各值

值	定 义
D O E	首先是和 o 光线有关，其次是和 e 光线有关的透镜光焦度
D E O	首先是和 e 光线有关，其次是和 o 光线有关的透镜光焦度
D V O E 和 D V E O	由传统的后顶点屈光度计算得出来的对应的光焦度

图 5 所示双折射透镜系统的计算结果见表 7

表 7

D V O E	D O E	D V E O	D E O
1.60	1.84	-2.66	-2.82

由图 5 所示透镜系统提供象的锐度，与各向同性一双折射透镜系统（例如图 3 A）情况下的，同轴入射光具有同一个数量级。

交叉双折射结构，对于两束正交偏振出射的光波来说，能够产生更大的屈光差，甚至对于非常薄的透镜也一样。很自然，这样的结构可以用在接触透镜上。

上述实施例表明，本发明提供的双折射透镜系统，可以很方便地

用于检眼接触透镜或者用作至少具有两种不同光焦度的眼内透镜，至少对于一种远距离视觉和至少一种阅读是需要的。

本双折射透镜系统的实施例，也可以用作或者结合在检眼用的眼镜片中。这种透镜的最佳实施例表示在图 9 A 和 9 B 中，其中的 4 0 代表双焦点双折射透镜部分，例如具有阅读和远距离视觉的双折射一各向同性透镜系统；5 0 代表由传统的各向同性介质制做的，对于远距离视觉用的单焦距透镜部分。在图 9 A 和 9 B 所示的眼镜片中，与透镜部分 4 0 的 0 光线对应的光焦度，与透镜部分 5 0 的光焦度是一样的。比较有利的作法是，让透镜部分 4 0 和 5 0 中使用的各向同性介质是同样完整的，例如聚丙烯酸脂，而构成部分 4 0 的双折射透镜元件，用的是双折射介质，是延展的聚丙烯酸脂。为了进行阅读，主要使用的是同轴入射光，也就是说，将眼的运动保持在阅读的课本和瞳孔之间的直线上（具体说来是透镜的轴线）。这种眼睛的运动，通常并不包括头的运动。典型的阅读距离是在眼之前大约 4 0 厘米处，而且印刷的课本典型化地、从左到右伸展 2 0 厘米。因而，在阅读水平印刷的课本时，眼球晶状体的轴线要环视约 30° 角。典型的眼镜片透镜，是在角膜之前 1 2 毫米处。因此，能够提供阅读光焦度的眼镜片的区域，在水平方向大约不超过 1 厘米。在任何情况下阅读的附加区域，也不需要宽于 2 厘米。在垂直方向上，可以测量的阅读附加区只有 1 ~ 1.5 厘米。这种阅读附加区最好位于眼睛片的底部，如在实施例图 9 A 和 9 B 中表示的那样。

在这样的阅读附加区域内，使用双焦双折射透镜系统，较之传统的双区域双焦眼镜片呈现出明确的优点，在后一种情况下，双区域的每一个区域都是单聚焦的。尽管以上对阅读附加区域要求大小的考虑，

也可应用在传统的双焦眼睛片上，然而这种镜片通常显示相当大的阅读附加区。这主要是由于具有较高光焦度的，这种小区域的传统眼睛片，从美容的角度无法打动人的事实决定的。通过比较可知，双折射透镜系统具有单焦镜片的外观，这就意味着阅读附加区是无法同远距离视场分清的，特别是在，双折射透镜如果象先前指出过的显示的折射率 n_0 ，和用在远距视觉镜片的折射率相同的情况下，更是如此。通过对比可以发现，稍微小一些的阅读附加区，可以在镜片厚度适中的情况下，提供相当大的阅读光焦度，从而可以减轻此眼镜片的整个重量。最后应当指出，双折射透镜系统，在这里能够同时为阅读及远距离视力两者提供所要求的光焦度。因此其视场能够扩展到整个眼镜片的面积上，这在需要远距离视觉是在朝下的方向上，或者远处目标是由躺着的人，进行观察的情况是特别重要的。使用这种双焦眼镜，人们就能将头显著地朝前弯，以便能够看到整个阅读附加区。

正如上文所指出的，双折射透镜系统的两种光焦度，是由两个正交的偏振光波产生的。举例来说，假如远距离光焦度，是和垂直偏振面内的光波相关的，而且阅读光焦度是和水平偏振面内的光波相关的，那么与偏振滤光片组合的太阳镜，就能根据所注视的方向，有效地用来从两种可得到的光焦度中，单独地选择每一种光焦度。这样的太阳镜，会按照比例同一个对远距离视觉能在较大的区域内，产生垂直偏振光的偏振滤光片，和一个对于阅读能在较小的区域内产生水平偏振光的，偏振滤光片进行组合。远距离视觉和阅读区域的分布，将如图9 A中看到的分布相对应。使用这样的太阳镜，在同传统的偏光太阳镜，能够得到的光强相比没有光强的损失时，起源于阅读光焦度的离焦光，将在远距离视觉光焦度中清除，反之也是一样。也就是说，基本上是

入射光强的 50% 能在两个焦点中的每一个焦点上获得。这样设计的太阳镜的实际外观，在美容方面的优点，同传统的偏光太阳镜是没有区别的。

假如两块双折射透镜的光轴不是成 90° 的，那么一般说来，将会有四种不同的光焦度，因为是由第一块透镜的 o 和 e 两种光焦度同第二块透镜的 o 和 e 两种光焦度组合而成的。在图 5 所示的透镜系统中，两种额外的光焦度，会是 -0.51 和 -0.47 屈光度，即该透镜实际上是三焦的。

图 7 中表示的包括两块双折射透镜元件 20 和 21 的。双折射透镜系统，其光轴之间的夹角不是 90° 。一般说来，包括两块双折射透镜元件的透镜系统的四种光焦度，可由下式给出：

$$D_{1o} + D_{2o} = D_a \quad (8a)$$

$$D_{1o} + D_{2e} = D_b \quad (8b)$$

$$D_{1e} + D_{2e} = D_c \quad (8c)$$

$$D_{1e} + D_{2o} = D_d \quad (8d)$$

其中 D_{1o} 为第一块透镜对 o 光线的光焦度； D_{1e} 为第一块透镜对 e 光线的光焦度，如此等等。而且 D_a 、 D_b 、 D_c 和 D_d 为两块透镜以接触的形式组合后的最终光焦度。

透镜的光焦度，可以非常近似地由下式给出（参见 J. Strong, loc. cit., p. 319）：

$$D = (n - 1) \times S$$

其中 D 为光焦度， n 为折射率， S 为透镜的“形状指数”。等式 (9) 也可以应用在非理想几何结构的双折射透镜情况下（如图 3 A、4 和 5）。根据等式 (9)，第一块透镜对于 o 光线和 e 光线的光焦

度 D_{1o} 和 D_{1e} , 可以由下式给出:

$$D_{1o} = (n_{1o} - 1) \times S_1 \quad (10a)$$

$$D_{1e} = (n_{1e} - 1) \times S_1 \quad (10b)$$

$$\text{或写作 } D_{1e} = m_1 \times D_{1o} \quad (10c)$$

$$\text{其中 } m_1 = \frac{n_{1e} - 1}{n_{1o} - 1} \quad (5')$$

其中 n_{1e} 和 n_{1o} 分别为第一块透镜对于 e 光线和 o 光线的折射率。类似的关系式, 适用于第二块透镜。

作为一种具体实施例的透镜, 是由两块双折射透镜元件组成的, 而且是由前面讨论过的, 同一种双折射介质制做的。按照等式 (5'), (10) 和 (8), 属于这种实施例的透镜系统的四种光焦度, 可以由下式给出:

$$D_{10} + D_{20} = D_a \quad (11a)$$

$$D_{10} + m \times D_{20} = D_b \quad (11b)$$

$$m \times D_{10} + D_{20} = D_c \quad (11c)$$

$$m \times D_{10} + m \times D_{20} = D_d \quad (11d)$$

这一组等式是重复的。因此它不可能独立地、通过联立而予选出四种光焦度。而它只能予选出合成出来的四种光焦度中的两种。对于由不同双折射介质制做的两块双折射透镜而言, 这也是正确的。

假如图 7 所示的透镜系统是三焦点的, 那么四种光焦度中的两种必须是相等的。正如从等式 (11) 显见的那样, 只有下述两种可能性:

$$D_a = D_d \quad (12)$$

$$\text{或者 } D_b = D_c \quad (13)$$

在 $D_a = D_d$ 的情况下，则 $D_{10} = -D_{20}$ ，而且随之而来的是 $D_a = D_d = 0$ 。那么该透镜系统的三种光焦度就是：

$$D_b = D_{10} \times (1 - m) \quad (14)$$

$$D_a = D_d = 0 \quad (15)$$

$$D_d = -D_{20} \times (1 - m) \quad (16)$$

即它们是等间隔的，这三种光焦度之刻的固定间隔是可以随意挑选的，即三种光焦度的两种都可以预选。通过选择间隔，就可以确定 D_{10} 值。假如两块透镜具有公共的，或者互补的相对表面，那么随意选择一个透镜表面之后， D_{10} 就可用来确定另一个透镜表面。

$D_b = D_c$ 的情况最终可导致 $D_{10} = D_{20}$ ，而且三种光焦度将由下式给出：

$$D_a = 2 \times D_{10} \quad (17)$$

$$D_b = D_c = (m + 1) \times D_{10} \quad (18)$$

$$D_d = 2 \times m \times D_{10} \quad (19)$$

正如从等式 (17) — (19) 可以看出的那样，三种光焦度之一的值，也可以用来确定其它两种光焦度。因此，作为这种特殊情况，彼此独立地预选两种光焦度是不现实的。

虽然由前面的讨论可以看出，通过加进一块各向同性透镜，可以将一组光焦度变换为所需要的一组值，而不必改变单个光焦度之间的差额。

在包括两块双折射透镜的透镜系统中，如果为这些双折射透镜，提供的转动自由度是绕着透镜轴线的，那么该透镜系统的作用，在使用非偏振光时，不是作为四焦点透镜就是作为双焦透镜。图 8 就表示

这样一种透镜系统，它是将起偏器 60 和两块双折射透镜元件 20 和 21 结合在一起的。正如上文所指出的，假如将两块双折射透镜元件和非各向同性透镜元件结合在一个系统中，那么只有四种可以得到的光焦度中的两种光焦度，是可以独立地预先确定的。举例来说，如果两块双折射透镜元件之一，是同另一块各向同性的或者双折射的透镜元件进行组合，那么组合后的透镜元件，就能独立地显现出两种可供选择的光焦度 D_1 和 D_2 。随之而来的四种最后得到的光焦度，可由下式给出：

$$D_1 + D_{20} = D_a \quad (20a)$$

$$D_1 + m \times D_{20} = D_b \quad (20b)$$

$$D_2 + D_{20} = D_c \quad (20c)$$

$$D_2 + m \times D_{20} = D_d \quad (20d)$$

由这组等式 (20)，可以得出结论，四种光焦度中的任意三种，都可以予选定其值，剩下的第四种光焦度，可作为予选定的三种光焦度的函数。

归纳以上讨论的结果，可以得出如下结论：

(1) 给定介质的单块双折射透镜，能够同时显示出两种不同的光焦度，只有其中的一种光焦度是可以予定其值的，而另一种光焦度则作为此予定值的函数。

(2) 由双折射透镜元件和一块各向同性的或者另一块双折射的透镜元件组成的透镜系统，能够显示出两种光焦度，其中每一种光焦度都可按照彼此完全独立的方式予选定。

(3) 由两块双折射透镜组成的透镜系统，一般说来能够显示出

四种光焦度，其中的两种光焦度可以独立地予选定，而剩下的两种光焦度则作为前两种光焦度的函数。

(4) 假如将两块双折射透镜同一块各向同性的或另一块双折射透镜元件组合，那么四种可能得到的光焦度中的三种可以予选定，只有第四种可作为前三种予选定光焦度的函数。

(5) 可以看出，在包括三块双折射透镜的透镜系统中，总共八种最后得到的光焦度中只有三种可以独立地进行予选。

(6) 假如将三块双折射透镜同一块各向同性的或另一块双折射的透镜元件组合，那么八种最后得出的光焦度中的四种可以随意予选给定值。

一般说来，包括 M 个双折射透镜的透镜系统，最后得出的光焦度个数 N ，可由下式给出（例如可参见上文的，Eng. et al., loc. cit.）：

$$N = 2^M \quad (21)$$

可以完全独立选定的光焦度的个数 N_{free} 为

$$N_{\text{free}} = M \quad (22)$$

在由 M 个双折射透镜元件组成的系统中，如果至少有一个元件是同各向同性的或另一个双折射的透镜元件组合的话，那么最后得出的光焦度个数仍是 N ，只不过独立选定光焦度的个数 N_{free} ，由下式给出：

$$N_{\text{free}} = M + 1 \quad (23)$$

以上关系式适用于 M 个予先确定的双折射介质情况。如果选择是在所选定的 M 个双折射介质中进行，那么就可能给出比 N_{free} 个光焦度更多的所要求值的光焦度。

双折射透镜和透镜系统，提供一种可能性，认为不同的强度是由不同的光焦度引起的。在讨论强度关系时，首先应当指出的是，入射的自然光的振幅是按矢量划分的，即划分为同 o 光波和 e 光波相关的振幅 A_o 和 A_e ，每一个都显示一定的值。

$$A_o = A_e = \frac{A \times 2^{0.5}}{2} \quad (24)$$

式中 A 为入射光的振幅。由此可见，能够得到强度的 50% 是直射在两个焦点中的每一个焦点上的。因此，两个焦点中的每个焦点上的聚焦和离焦光强之间的关系是 1 : 1。这同其它已知同时观察的上述双焦透镜设计相比极为有利。

假如入射在至少包括一块双折射透镜的透镜系统上的是线性偏振光，那么这个比值可以给定所需要的任何值。图 6 表示一个双折射透镜系统，其中双折射透镜元件 20 的光轴，对入射的偏振光振动平面的相对取向，是用角度 β 来表征的。而偏振光是由偏振装置 80 产生的。分别同 o 光线和 e 光线相联系的光强 I_o 和 I_e ，可由下式给出：

$$I_o = I_p \sin^2 \beta \quad (25a)$$

$$I_e = I_p \cos^2 \beta \quad (25b)$$

其中 I_p 为入射偏振光的光强。由等式 (25) 可以清楚地看出， I_o 与 I_e 之比可以通过对 β 角的适当选择而给定任意值。假如用来产生偏振光的是共同的偏振光片，那么不难看出，要靠损失总光强来达到。但是在某些应用中，减小一种光焦度下的离焦光强度，并不比具有更高一些的，反而是相等的，与两种光焦度相关的光强更重要。此外，在某些应用中有可能使用高透射率的偏振光，例如在美国专利

3, 552, 985中所公开的那种, 这种情况下, 可能得到的总光强是不受影响的。

一般说来, 上述考虑可以用到双折射透镜系统上, 即用在例如包括两块交叉的双折射透镜元件的系统(图5), 或者用在将一块双折射及一块或者多块各向同性透镜元件相结合的透镜系统中(图3A、3B及4)。

与图7所述双折射透镜系统的四种光焦度相联系的光强, 可由下式给出:

$$I(OO) = (I/2) \times \cos^2 \beta_{12} \quad (26a)$$

$$I(OE) = (I/2) \times \sin^2 \beta_{12} \quad (26b)$$

$$I(EO) = (I/2) \times \sin^2 \beta_{12} \quad (26c)$$

$$I(EE) = (I/2) \times \cos^2 \beta_{12} \quad (26d)$$

其中 $I(OO)$ 为同前一块及第二块双折射透镜的 O 光线相联系的光强, 如此等等。 I 为入射的非偏振光的光强, β_{12} 为两块双折射透镜元件光轴之间的夹角。由等式(26)显然可以看出, 某些自由度存在于由不同的光焦度产生的光强之中。举例来说, 如果将透镜系统, 做成在所有三种光焦度上都是等强度的三焦的, 那么对于上述的那么 $D_{10} = -D_{20}$ 的情况来说 β_{12} 可由下式

$$I(OO) + I(EE) = I(OE) + I(EO) \quad (27)$$

$$\text{或者 } \cos^2 \beta_{12} = (\sin^2 \beta_{12}) / 2 \quad (27')$$

来确定。最终得到

$$\beta_{12} = 54.7^\circ \quad (28)$$

对于其他上文可能的情况来说, 两个光轴间的夹角必须是

$$\beta_{12} = 35.3^\circ \quad (29)$$

如果偏振滤光片是象图 8 中表示的那样，是在包括两块双折射透镜元件，以及随意一块或多块各向同性元件的之前使用的话，那么与四种最后得到的光焦度相联系的光强，可由下式给出：

$$I(OO) = (I/2) \times \sin^2 \beta \times \cos^2 \beta_{12} \quad (30a)$$

$$I(OE) = (I/2) \times \sin^2 \beta \times \sin^2 \beta_{12} \quad (30b)$$

$$I(EO) = (I/2) \times \cos^2 \beta \times \sin^2 \beta_{12} \quad (30c)$$

$$I(EE) = (I/2) \times \cos^2 \beta \times \cos^2 \beta_{12} \quad (30d)$$

等式 (30) 表明，如果双折射透镜的转动自由度是围绕透镜轴线提供的，则图 8 所示的透镜系统可以做成单焦的、双焦的或者四焦的。

B. 多焦点的消色差或者显示予定量色差的双折射透镜系统

按照本发明将一个或多个双折射透镜，同一个或多个各向同性透镜元件组合而构成的多焦点透镜系统，在不同程度上也可以是消色差的。以下对消色差透镜系统的考虑，是同诸如赫兹伯格 (M. Herzberger) 在“物理手册” (McGraw 出版社, 1967, p. 6-42) 中提出的形式相当的。赫兹伯格对消色差的论述，较之更通常应用的理论 (例如由 J. Strong 在 loc. cit. p. 319 或 M. Born 在“Optik”, Springer-Verlag, 1972, p. 82 中提出的) 略有不同。而且应当指出，下面对消色差双折射透镜系统的叙述，在此如前面所定义的要求单块元件是相互“邻接”的，只不过不象图 1、3A、3B 和图 4-9 中所描述的，非消色差透镜系统那样，它们并不需要具备，同样的或者互补曲率的相对透镜表面。

假如下面一组方程式能够有解 (讨论是在具有一块双折射透镜和

两块各向同性单透镜更为普遍的情况下进行，这种情况包括理想几何结构的实施例)，那么一块双折射透镜元件和至少一块各向同性的透镜元件组成的透镜系统，不是具有理想的几何结构，就是具有非理想的几何结构：

$$D_{1,bl} + D_{20,bl} + D_{3,bl} = D_{a,bl} \quad (31a)$$

$$D_{1,r} + D_{20,r} + D_{3,r} = D_{a,r} \quad (31b)$$

$$D_{1,bl} + D_{2e,bl} + D_{3,bl} = D_{b,bl} \quad (31c)$$

$$D_{1,r} + D_{2e,r} + D_{3,r} = D_{b,r} \quad (31d)$$

附带条件为

$$D_{a,bl} = D_{a,r} = D_a \quad (32)$$

以及

$$D_{b,bl} = D_{b,r} = D_b \quad (33)$$

在这组等式(31) - (33)中， $D_{1,bl}$ 称作各向同性透镜“1”对兰光(“bl”)的光焦度； $D_{20,bl}$ 称作双折射透镜“2”对o光线和兰光(“bl”)的光焦度； $D_{3,r}$ 称作各向同性透镜“3”对红光(“r”)的光焦度，如此等等。

应当指出，角标“bl”和“r”意指只是两种不同的波长，而且下面的叙述并不限定为与兰光和红光相应的两种特指波长。

目前以及随后采用符合事实的是，上述透镜形状因子，以逼近近似由下式给出：

$$S = \frac{D}{n-1} \quad (9')$$

其中D为透镜的光焦度；n为此光焦度相关的折射率。为简单起

见，随后将 $n - 1$ 值称之为 n' ，即 $n' = n - 1$

作为一个实例，光焦度 $D_{3, b1}$ 和 $D_{3, r}$ 可通过下式联系在一起：

$$D_{3, r} = D_{3, b1} \times \frac{n'_{3, r}}{n'_{3, b1}} \quad (34)$$

如果等式 (31) 表示的透镜系统，在两种光焦度上是消色差的，则下述条件必须能满足：

$$D_{20, b1} - D_{2e, b1} = D_{20, r} - D_{2e, r} \quad (35)$$

由此而得出以下限制：

$$n_{20, b1} - n_{2e, b1} = n_{20, r} - n_{2e, r} \quad (36)$$

对于 e 光波和对于 o 光波的折射率之差，视称之为介质的“双折射”。随之而来的是，假如双折射透镜元件在两种特指的波长（例如上面指出的兰光和红光）上的“双折射”是相同的，那么将一块双折射透镜元件，同至少一块各向同性透镜元件结合而成的透镜系统，可以作到在对于非理想几何结构及理想几何结构两种实施例的，两种予选光焦度下的消色差。

能够产生两种予选光焦度，而且将一块双折射透镜同两块各向同性透镜结合而成的透镜系统，一般说来，可以在两种予选光焦度之一上做到消色差。作为一个实例，假定在所述的透镜系统中与 e 光线相关的光焦度是消色差的，那么下面一组等式必须有解，

$$D_{1, b1} + D_{2e, b1} + D_{3, b1} = D_{a, b1} \quad (37a)$$

$$D_{1, r} + D_{2e, r} + D_{3, r} = D_{a, r} \quad (37b)$$

$$D_{1, b1} + D_{2o, b1} + D_{3, b1} = D_{b, b1} \quad (37c)$$

考虑等式(9')及(34), 这组等式可变换为

$$\begin{pmatrix} 1 & \frac{n'_{2e,bl}}{n'_{2o,bl}} & 1 \\ \frac{n'_{1,r}}{n'_{1,bl}} & \frac{n'_{2e,r}}{n'_{2o,bl}} & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} D_{1,be} \\ D_{2o,bl} \\ D_{3,bl} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{a,bl} \\ D_{a,r} \\ D_{b,bl} \end{pmatrix} \quad (38)$$

而且对于消色差透镜来说, 下述条件必须成立:

$$D_{a,bl} = D_{a,r} \quad (39)$$

假如透镜在此光焦度上能显示一定的色差, 那么 $D_{a,b}$ 和 $D_{a,r}$ 也要予选给定不同值。

一般说来, 等式(38)可以有解, 最终可得出 $D_{1,bl}$, $D_{2e,bl}$, $D_{3,bl}$ 并根据等式(34)可得出所有其它光焦度。

在透镜光焦度给定时, 对透镜几何结构的一个自由度就保留下来。随之而来的是对透镜系统的几何结构来说, 三块相接触的透镜, 能显示出三个自由度; 两块复合的透镜(即形成了公共表面的)与第三块透镜接触, 能显示两个自由度; 三块复合透镜, 仍然显示一个自由度。

假如希望等式(38)表示的透镜系统, 能够在予选的光焦度之一上消色差, 而且还具有理想的几何结构, 那么就可根据下列途径来达到:

(1) 可将双折射透镜元件放在前面, 以使光首先入射在它上面,

而且双折射透镜的第一个表面要做成平面。

(2) 透镜系统的几何结构, 可根据下述条件设计

$$D_1 = -D_{2e, fs} \quad (40)$$

式中 $D_{2e, fs}$ 为与第一块各向同性透镜邻接的, 双折射透镜的第一个表面的表面折光度; D_1 为第一块透镜的光焦度; D_1 及 $D_{2e, fs}$ 两者都对应于, 任何可见光波长

(3) 假如两块各向同性透镜元件, 是放在双折射透镜组合前面, 则下述条件必须满足

$$D_1 + D_3 = -D_{2e, fs} \quad (41)$$

其中 D_3 为剩下的各向同性透镜的光焦度。

严格说来, 只有根据 (1) 产生的几何结构, 对“蓝”、“红”两种波长, 具有理想几何结构性质, 而 (2) 和 (3) 仅对等式 (40) 和 (41) 中选择的波长, 产理想几何结构。但是由于通常适中的波长, 均与各向同性介质及双折射介质的折射率有关, 所以约束条件 (2) 和 (3) 得到的几何结构基本上是理想的。

现在可以对在两种预选光焦度下的, 消色差双折射透镜系统进行描述。

在透镜系统是由两块交叉的, 双折射透镜元件组成, 但无各向同性透镜元件的情况下, 下面一组方程式必须有解:

$$D_{1o, b1} + D_{2e, b1} = D_{a, b1} \quad (42a)$$

$$D_{1o, r} + D_{2e, r} = D_{a, r} \quad (42b)$$

$$D_{1e, b1} + D_{2o, b1} = D_{b, b1} \quad (42c)$$

$$D_{1e, r} + D_{2o, r} = D_{b, r} \quad (42d)$$

而且附加消色差条件

$$D_{a,bl} - D_{a,v} = D_{b,bl} - D_{b,r} = 0 \quad (43)$$

解方程(42)和(43),所提供的下列条件成立:

$$(n_{1o,r} - n_{1l,r}) - (n_{2o,r} - n_{2e,r}) = (n_{1o,bl} - n_{1e,bl}) - (n_{2o,bl} - n_{2e,bl}) \quad (44)$$

从而,两块透镜的双折射之差,对两种所需要的波长必需是相等的。这也就成为对双折射介质的限定。

最后介绍由两块定义的双折射透镜元件,同两块各向同性透镜元件组合的透镜系统。假如这种系统在两种予选的光焦度下是消色差的,那么下面一组方程式必须有解:

$$D_{1,bl} + D_{2o,bl} + D_{3e,bl} + D_{4,bl} = D_{a,bl} \quad (45a)$$

$$D_{1,r} + D_{2o,r} + D_{3e,r} + D_{4,r} = D_{a,r} \quad (45b)$$

$$D_{1,bl} + D_{2e,bl} + D_{3o,bl} + D_{4,bl} = D_{b,bl} \quad (45c)$$

$$D_{1,r} + D_{2e,r} + D_{3o,r} + D_{4,r} = D_{b,r} \quad (45d)$$

此方程组可变换为

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & \frac{n'_{3e,bl}}{n'_{3o,bl}} & 1 \\ \frac{n'_{1,r}}{n'_{1,bl}} & \frac{n'_{2o,r}}{n'_{2o,bl}} & \frac{n'_{3e,r}}{n'_{2o,bl}} & \frac{n'_{4,r}}{n'_{4,bl}} \\ 1 & \frac{n'_{2e,bl}}{n'_{2o,bl}} & 1 & 1 \\ \frac{n'_{1,r}}{n'_{1,bl}} & \frac{n'_{2e,r}}{n'_{2o,bl}} & \frac{n'_{3o,r}}{n'_{3o,bl}} & \frac{n'_{4,r}}{n'_{4,bl}} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} D_{1,bl} \\ D_{2o,bl} \\ D_{3o,bl} \\ D_{4,bl} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{a,bl} \\ D_{a,r} \\ D_{b,bl} \\ D_{b,r} \end{pmatrix} \quad (46)$$

如果两种预选的光焦度是消色差的，则公式(43)也必须成立。

一般来说，公式(46)是有解的，但只是对于两种不同的双折射介质的情况才行。

正如上文早已阐明的，对于一块给定光焦度的透镜，存在着一个几何结构方面的自由度。如果公式(46)的四块透镜是接触的，但不是复合的，那么为设计目的最多只能提供四个自由度。这些自由度可以用来产生理想几何结构的透镜系统。

举例来说，如果希望保证让所有的e光线，在第一块双折射透镜元件中，基本上与光轴成直角，那么此透镜元件必须位于各向同性透镜元件的后面，该各向同性透镜元件所具有的光焦度 D_1 ，满足以下条件：

$$D_1 = -D_{2e, fs} \quad (47)$$

式中 $D_{2e, fs}$ 为第一块双折射透镜元件，对可见光波长的前表面折光度。

如果在第一块双折射透镜元件中的e光线，象在第二块双折射透镜元件中的e光线一样，都与光轴垂直，那么这两块双折射透镜元件的前表面，必须设计成，除满足公式(47)之外，还必须满足条件

$$D_1 + D_{20} = -D_{3e, fs} \quad (48)$$

$D_{3e, fs}$ 为第二块双折射透镜元件，对于e光线以及对可见光波长的前表面折光度。由于只有两种自由度，能满足公式(47)，和(48)的要求，而且由于四种自由度是可以得到的，因此根据本发明提供的透镜系统，能够独立地显示两种预选的消色差光焦度，还能在两块双折射透镜元件中显示理想的几何结构。

需要指出的是，对于具有很高的双折射透镜元件来说，e光线的

折射率，对 e 光线在双折射透镜中方向的依赖关系，可能比该折射率对波长的依赖关系更重要。因此，对于消色差变焦双折射透镜系统结构来说，理想几何结构的实施例可能是基本的。

假如两块双折射透镜元件不是交叉的，也就是说，假如两个光轴之间的夹角不是 90° 或 0° ，那么一般说来，此透镜系统就会显示四种光焦度。由于双折射透镜中的 o 光线，是同各向同性透镜中的通常光线相当的，所以理想几何结构的概念不能用于 o 光线。因此，与 o 光线有关的光焦度，在第一和第二两块双折射透镜中是消色差的，而与此透镜系统对 e 光线能否满足，理想几何结构的限制无关。所以与 o 光线和 e 光线相关的光焦度，以及分别与第一块和第二块双折射透镜中的 o 光线和 e 光线，以及 e 光线和 o 光线相关的光焦度，能够满足严格的消色差，和/或理想几何结构的限制；只有 e 光线在第一块双折射透镜和 e 光线在第二块双折射透镜中光焦度的组合，是与理想几何结构的实施例无关的。由于四种最终得到的光焦度中的三种，是可以给出预选值的，比较有利的作法是预选出 $o^- o^-$ 、 $o^- e^-$ 和 $e^- o^-$ 三种光的光焦度。

在所有上述考虑中，都是假设入射光是由平行光线组成的。如果任何一个讨论的透镜系统是用于非零聚散度的光，那么可以将一个能够把非零聚散度的光，转换成零聚散度的光，的准直透镜放在该透镜系统的前面。这种准直透镜本身，可以是已知的或者是传统的消色透镜。对于将一个或多个附加的各向同性透镜元件组合在一起的系统，这种能够预选光焦度的计算，可以根据标准光学方法，基于对入射平行光所描述的结果进行。这样做，就能从总体上用两块光焦度为 D_x 和 D_y 的各向同性透镜元件，来代替 j 7 2 的后续的各向同性透镜元

件，即

$$D_{1, b1} + D_{2, b1} \times \dots + D_{j, b1} = D_{x, b1} + D_{y, b1} \quad (49a)$$

$$D_{1, r} + D_{2, r} + \dots + D_{j, r} = D_{x, r} + D_{y, r} \quad (49b)$$

可以根据 D_x 和 D_y 求解。

由前所述显然可以看出，增加偏振装置并保证偏振透镜元件，和这种偏振装置绕透镜轴线转动的自由度，就能将本发明所述的透镜系统，转换为可变光焦度的消色差透镜系统。

对上述非消色差透镜，以及透镜系统的所有考虑，也可以用于消色差透镜和透镜系统。

将本透镜系统同消色差的或者非消色差的透镜系统组合，就能提供高倍率的光学装置或仪器。由于消色差透镜之和也是消色差的，所以，如果消色差透镜是同其他消色差透镜系统结合在一起使用，那么这种可变光焦度的装置就能够提供消色差的单个或多种光焦度。不同的光焦度，可以通过适当地转动偏振装置和/或通过转动双折射透镜元件，或透镜系统来进行选择。

此外，两个或更多个消色差的或非消色差的透镜系统，可以组合成一个系统，其中的一个或更多个透镜系统，对沿该透镜系统轴线的平移还有一个自由度。这样的组合系统，正如从标准光学中知道的那样，可以用作可变焦度装置。对于双折射透镜元件和/或偏振装置转动增加的自由度，可以加在对所要选择的光焦度的附加自由度上。

这些评论只是作为表示本发明所述透镜系统可能应用的广阔领域来理解的。譬如这些应用包括摄影机、望远镜、复印机、光具座、遥控用光学装置等。

尽管表示本发明的实施例，在这里是参照附图说明的，但是应当

理解为本发明并不局限于这些明确的实施例，而且其它一些变化及变型，在此都可以由有技术的人实现，而不超出本发明的范围和精神实质。

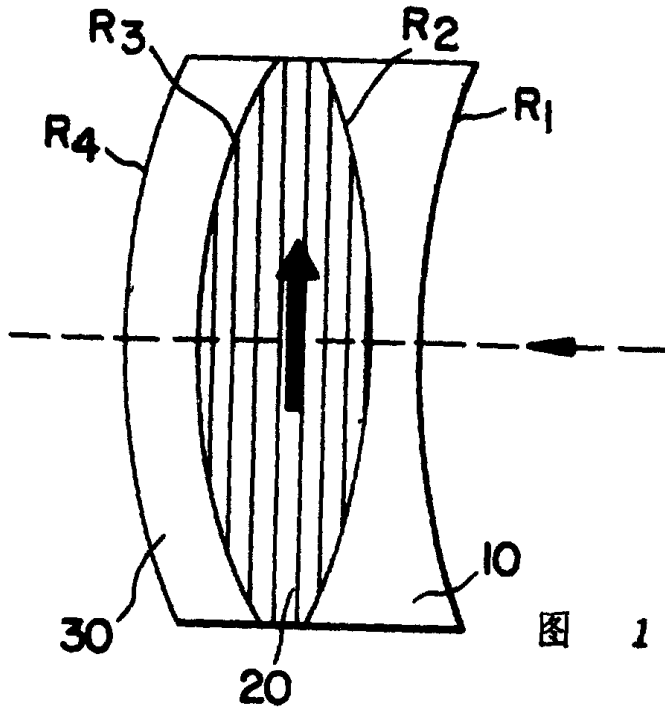


图 1

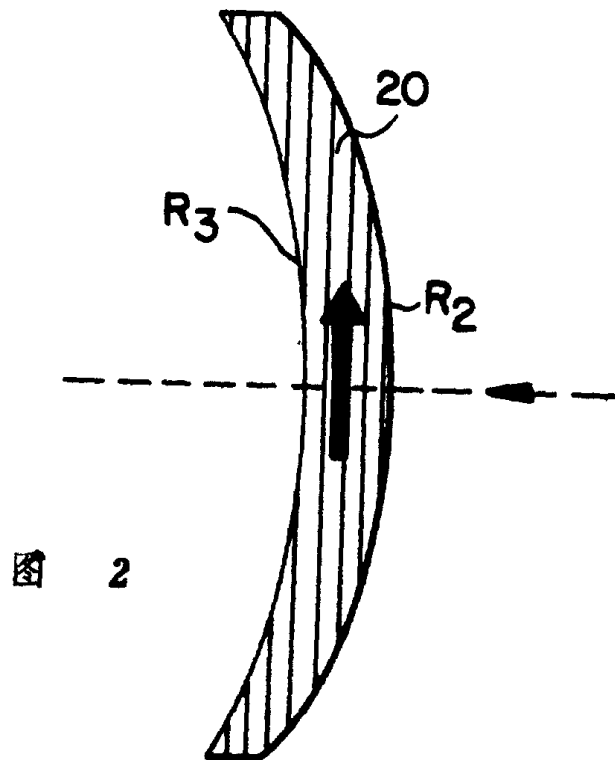


图 2

图 3 A

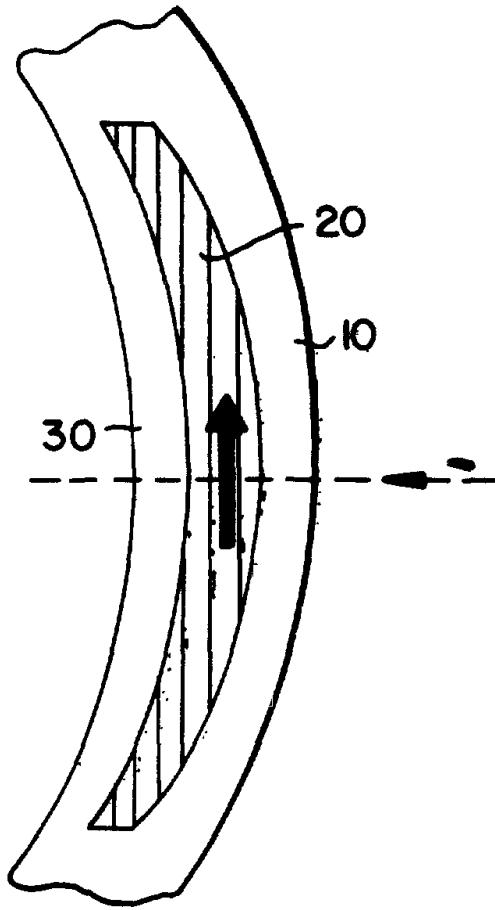


图 3 B

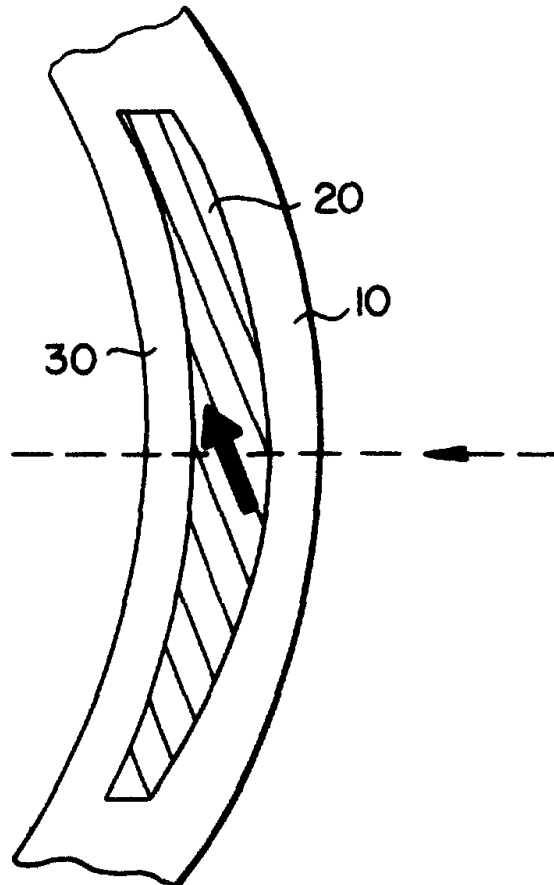


图 4

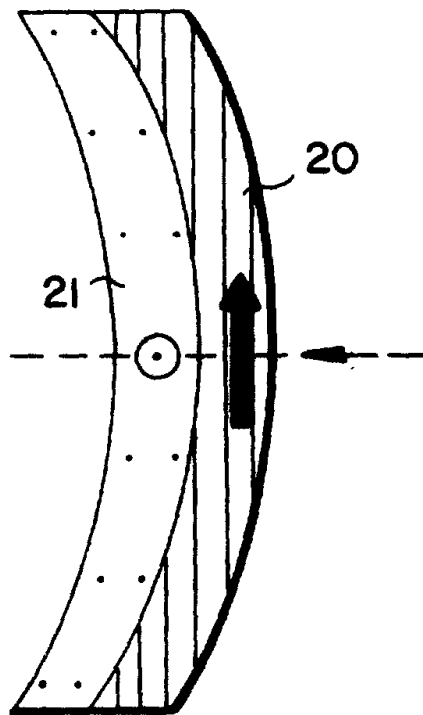
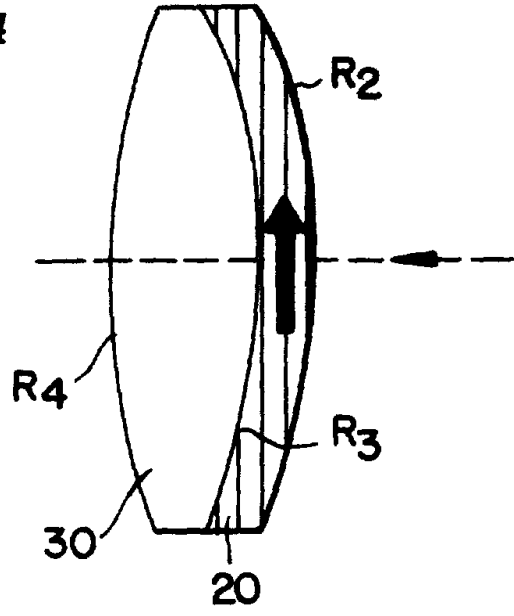


图 5

图 6

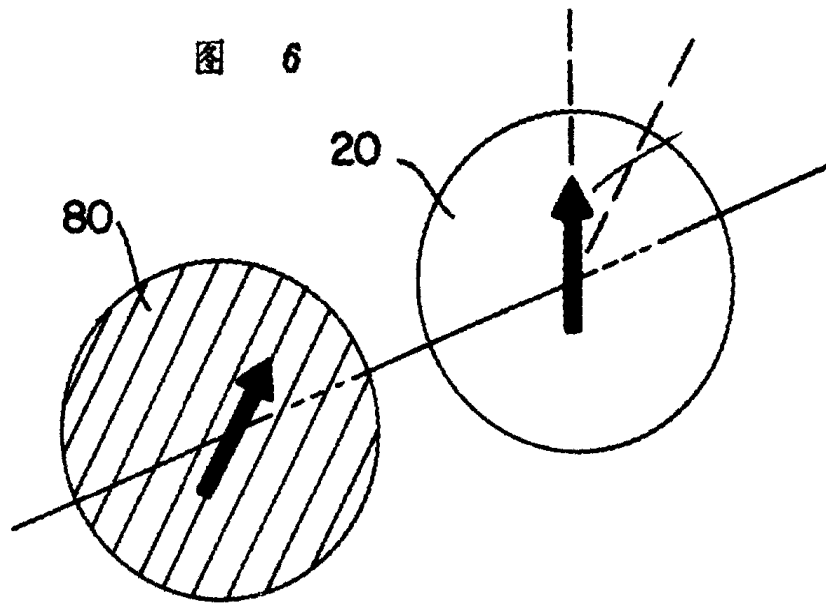
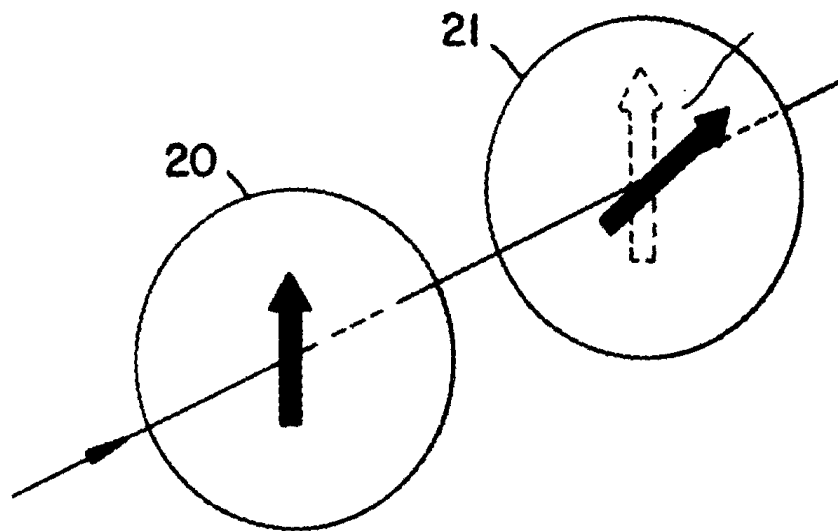


图 7



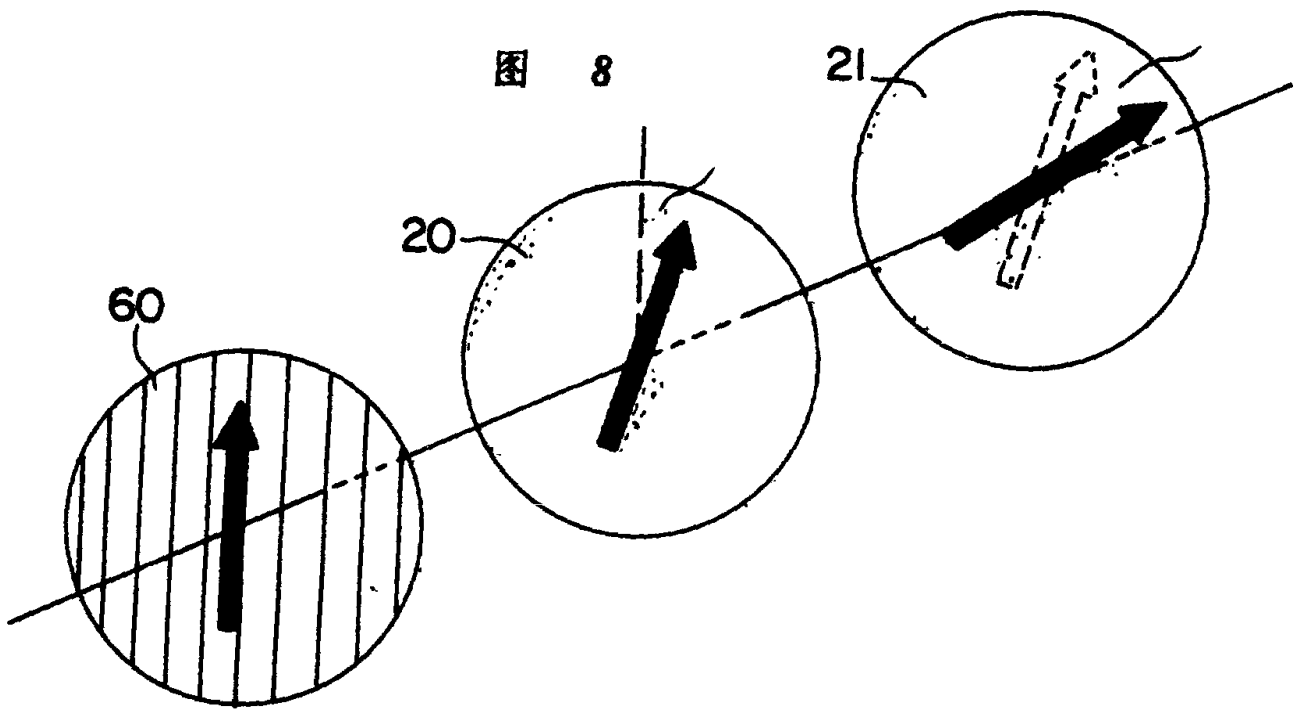


图 9 A

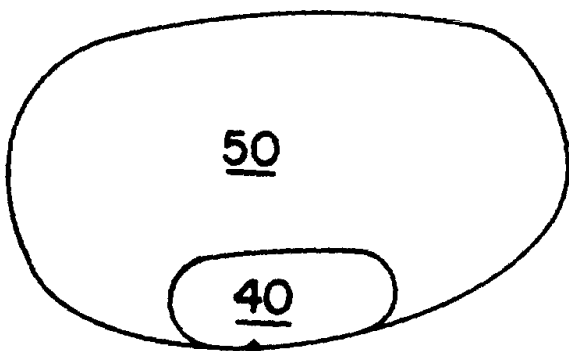


图 9 B

