

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101416096 B

(45) 授权公告日 2010. 11. 17

(21) 申请号 200780012530. 6

(22) 申请日 2007. 02. 09

(30) 优先权数据

11/350, 497 2006. 02. 09 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 10. 07

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/061906 2007. 02. 09

(87) PCT申请的公布数据

W02007/092949 EN 2007. 08. 16

(73) 专利权人 爱尔康研究有限公司

地址 美国得克萨斯

(72) 发明人 洪昕 S·J·万诺 张晓啸

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 李镇江

(51) Int. Cl.

G02C 7/06 (2006. 01)

A61F 2/16 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 5114220 A, 1992. 05. 19, 说明书第 4-11 栏, 附图 8-17.

WO 94/11765 A1, 1994. 05. 26, 说明书全文.

US 5805260 A, 1998. 09. 08, 说明书全文.

US 5699142 A, 1997. 12. 16, 说明书全文.

CN 1039487 A, 1990. 02. 07, 说明书全文.

US 2003/0043342 A1, 2003. 03. 06, 说明书全文.

EP 0367878 A1, 1990. 05. 16, 说明书全文.

审查员 刘杰

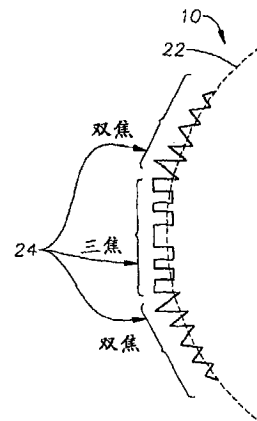
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 6 页

(54) 发明名称

具有面积不同的衍射区的伪调节眼内透镜

(57) 摘要

在本发明的一个方面, 公开了一种三焦眼镜片, 其包括具有至少一个光学表面的光学件, 以及关于光学件的光轴设置在表面的一部分上的多个衍射区。那些衍射区中的至少两个具有不同的面积, 从而使得衍射区的近和远焦点处的光能分布展宽用以产生中焦点。



1. 一种多焦眼镜片,包括:
具有至少一个光学表面的光学件,以及
关于所述光学件的光轴布置的多个衍射区,
至少两个所述衍射区具有不同的面积,从而使得所述衍射区的近和远焦点处的光能分布展宽用以生成中焦点,

其中所述衍射区表现出随着离光轴的距离增大而增大的宽度。

2. 权利要求 1 的多焦眼镜片,其中衍射区表现出随着离光轴的距离增大而增大的面积。

3. 权利要求 1 的多焦眼镜片,其中衍射区包括由离光轴的半径 (r_i) 表征的环形区,其中,环形区的半径的平方通过以下关系式确定:

$$r_i^2 = (2i+1)\lambda f + g(i),$$

其中 i 表示区编号, r_i^2 表示该环形区的半径平方,以及 f 表示近焦点的焦距, λ 表示设计波长,以及

其中 $g(i)$ 表示 i 的非常数函数,且由以下关系式定义:

$$g(i) = (ai^2+bi)f,$$

其中,

a 和 b 为两个可调整的参数, a 在大约 0.1λ 至大约 0.3λ 的范围内, b 在大约 1.5λ 至大约 2.5λ 的范围内。

4. 权利要求 1 的多焦眼镜片,其中所述光学件将至少约 25% 的入射光能导向所述近和远焦点的每一个。

5. 权利要求 4 的多焦眼镜片,其中所述光学件将至少约 10% 的入射光能导向所述中焦点。

6. 权利要求 4 的多焦眼镜片,其中所述光学件将至少约 28% 的入射光能导向所述近和远焦点的每一个。

7. 权利要求 1 的多焦眼镜片,其中所述光学表面由产生与所述远焦点对应的屈光力的基本曲线表征。

8. 权利要求 1 的多焦眼镜片,其中所述近焦点由相对于所述远焦点大约 3 至大约 9 屈光度的范围内的附加焦度表征。

9. 一种多焦眼镜片,包括:

具有由基本参考曲线表征的表面的光学件,

关于所述光学件的光轴叠在所述基本曲线的一部分上的多个环形衍射结构,

其中多个所述衍射结构表现出不同的宽度从而共同提供近距、中距和远距视力,

其中所述衍射结构表现出随着离光轴的距离增大而增大的宽度。

10. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中所述基本参考曲线提供与所述远距视力对应的屈光力。

11. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中两个环形衍射结构的宽度之间的最大百分比差在大约 75% 至大约 200% 的范围内。

12. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中所述远距视力和近距视力提供约 20/20 的视力,而

所述中距视力提供约 20/30 的视力。

13. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中近距视力提供在大约 3 至大约 9 屈光度范围内的附加焦距。

14. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中,中距视力提供在大约 1.5 至大约 4.5 屈光度范围内的附加焦距。

15. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中所述宽度作为离光轴距离的函数线性增大。

16. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中所述宽度作为离光轴距离的函数非线性增大。

17. 权利要求 9 的多焦眼镜片,其中所述基本曲线为非球面的。

18. 一种多焦眼镜片,包括

具有至少一个光学表面的光学件,以及

设置在所述表面上的至少两个衍射区,所述区中的一个具有比另一个区的面积大出约 75%至约 200%范围内的面积,使得衍射区共同提供近距、中距和远距视力,

其中所述衍射区表现出随着离光轴的距离增大而增大的宽度。

具有面积不同的衍射区的伪调节眼内透镜

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据 35U. S. C § 119 主张 2006 年 2 月 9 日提交的美国专利申请 No. 11/350, 497 的优先权, 其全部内容通过引用并入于此。

背景技术

[0003] 本发明总体上涉及多焦眼镜片, 更具体地, 涉及三焦眼镜片, 诸如三焦眼内透镜 (IOL)。

[0004] 可获得用于校正诸如白内障、近视、远视或散光的视觉障碍的多种眼镜片。例如, 可在近视手术期间将眼内透镜 (IOL) 植入患者眼中以补偿被去除的人眼晶体所失去的光焦度。尽管提供了必需的光焦度, 然而 IOL 不提供能通过人眼晶体获取的调节能力 (即, 聚焦位于不同距离处的物体的能力)。然而, 已知多焦 IOL 能提供某种程度的调节能力 (也称为伪调节)。例如, 可获得能够提供近距和远距聚焦的双焦衍射 IOL。

[0005] 而且已知三焦眼镜片用于提供近距和远距聚焦, 以及中距聚焦。然而, 这种传统的三焦镜片有许多缺点。例如, 它们以降低远距和 / 或近距视力为代价提供中距视力。

[0006] 因而, 需要一种增强的多焦眼镜片, 尤其是三焦眼镜片。还需要能植入患者眼中例如替代人眼晶体的眼内透镜 (IOL) 形式的这种多焦镜片。

发明内容

[0007] 本发明总体上针对衍射眼镜片, 诸如三焦眼内透镜 (IOL), 其提供近距和远距视力, 以及中距视力。本发明的眼镜片利用衍射结构将入射光导向对应于近距、中距和远距视力的三个聚焦区。例如, 眼镜片包括具有不同面积的多个衍射区, 从而使得由那些区生成的近和远焦点处的光能分布展宽, 由此产生中焦点。在某些情况下, 衍射区的面积之间的最大差值例如可在大约 75% 至大约 200% 的范围内。

[0008] 在本发明的一个方面, 公开了一种三焦眼镜片, 其包括具有至少一个光学表面的光学件, 以及关于所述光学件的光轴设置在该表面的一部分上的多个衍射区。那些衍射区中的至少两个具有不同的面积, 从而使得衍射区的近和远焦点处的光能分布展宽, 用于生成中焦点。通过举例的方式, 衍射区可将至少大约 25% 的入射光能, 或优选地, 至少大约 28% 的入射光能, 导向近和远焦点的每一个, 而将至少大约 10% 的入射光能导向中焦点。光学表面还可包括由基本曲线表征的参考轮廓, 用于生成对应于远焦点的屈光力。这里所用的“衍射区”一词是指包括一个或以上衍射结构的表面的区域, 所述衍射结构要么相同要么按照选择的变迹重复, 以生成设置在该表面上的衍射图案。

[0009] 在相关的方面, 衍射区表现出随着离光轴的距离增加而增大的面积。例如, 衍射区可由环形区构成, 其中区半径的平方通过以下关系式确定:

$$[0010] \quad r_i^2 = (2i+1)\lambda f + g(i),$$

[0011] 其中 i 表示区编号, r_i^2 表示该区的半径平方, 以及 f 表示近焦点相对于远焦点的附加焦度 (add power), λ 表示设计波长, 以及 $g(i)$ 表示 i 的非常数函数。

[0012] 通过举例的方式,函数 $g(i)$ 可如下定义:

[0013] $g(i) = (ai^2+bi)f$,

[0014] 其中

[0015] i 表示区编号,

[0016] a 和 b 为两个可调节的参数,以及

[0017] f 表示近焦点的焦距。通过举例的方式, a 可在大约 0.1λ 至大约 0.3λ 的范围内, b 可在大约 1.5λ 至大约 2.5λ 的范围内,其中 λ 表示设计波长。

[0018] 在另一方面,本发明提供一种三焦眼镜片,其包括:具有由基本参考曲线表征的表面的光学件,以及关于所述光学件的光轴叠在该基本曲线一部分上的多个环形衍射结构。衍射结构表现出不同的宽度从而共同提供近距、中距和远距视力。

[0019] 在相关的方面,衍射结构表现出随着离光轴的距离增加而增大的宽度。通过举例的方式,衍射结构的宽度可从光轴径向向外以线性或非线性的方式增大。通过举例的方式,在某些实施例中,宽度线性增大,从而结构的宽度之差的最大百分比在大约 75% 至大约 200% 的范围内。

[0020] 在另一方面,公开了一种多焦眼镜片,其包括具有至少一个光学表面的光学件以及设置在该表面上的至少两个衍射区。一个衍射区具有比另一个区大出大约 75% 至 200% 的范围内的面积,从而衍射区共同提供近距、中距和远距视力。

[0021] 可参照下面的详细说明并结合相关附图获得对本发明的进一步的理解,附图简述如下。

附图说明

[0022] 图 1A 为按照本发明一个实施例的三焦眼镜片的示意性横截面图;

[0023] 图 1B 为图 1A 的镜片包括叠在基本轮廓上的多个衍射结构的镜片前表面的示意性横截面图,

[0024] 图 2 为前图的衍射镜片的前视图,描绘了由衍射结构形成的多个环形区;

[0025] 图 3 示出按照本发明一个实施例的三焦眼镜片的近、中和远聚焦区的光焦度的示意性分布;

[0026] 图 4A 示意性地描绘了从近距、中距和远距的物体发射的光在其中植入了按照本发明实施例的三焦 IOL 的眼睛的视网膜上的聚焦;

[0027] 图 4B 为按照本发明另一实施例的三焦眼镜片的示意性前视图,该三焦眼镜片具有带有不同的选择附加焦度的内和外双焦衍射图案,从而图案共同地提供近距、中距、和远距视力;

[0028] 图 4C 示意性地描绘了图 4B 中示出的镜片的单个双焦图案的近和远焦点处的光能分布,以及由组合的图案共同提供的近、中和远焦点处的能量分布;

[0029] 图 5A 为按照本发明另一实施例的具有面积不等的衍射区的三焦眼镜片的示意性横截面图;

[0030] 图 5B 为图 5A 的眼镜片的前视图;

[0031] 图 6 呈现了对比两个衍射镜片的衍射区的半径平方之间的关系关系的两个示意曲线图,在一个衍射镜片中衍射区表现为一致的面积,而在另一个衍射镜片中衍射区表现为不

同的面积；

[0032] 图 7 呈现了说明由按照本发明一个实施例的三焦眼镜片提供的针对中距视力的视觉敏锐度增强的两个示意曲线图；以及

[0033] 图 8 示意性地描绘了与跨两个衍射级次的多焦衍射眼镜片的三个衍射级次关联的光学相位延迟 (OPD) 作为离镜片光轴的径向距离的平方的函数。

具体实施方式

[0034] 本发明总体上针对三焦眼镜片, 诸如提供近距、中距和远距视力的眼内透镜。本发明的三焦眼镜片有利地提供针对与由传统三焦镜片通常获得的中距视力相比增强的视觉性能, 同时保留并在许多情况下超越这种传统镜片的近距和远距视觉性能。在以下讨论的实施例中, 关于眼内透镜说明了本发明的三焦镜片的各个方面。然而, 应当理解本发明的原则类似地适用于制造其他眼镜片, 诸如隐形眼镜。

[0035] 参照图 1A 和 1B, 按照本发明一个实施例的三焦眼镜片 10 包括具有前光学表面 14 和后光学表面 16 的光学件 12。在本实施例中, 前和后光学表面关于镜片的光轴 18 对称地设置, 尽管也可使用非对称表面。示例的镜片 10 还包括径向延伸的固定件或接触件 20, 用于将其放置在患者眼中。光学件 12 可由任何适合的生物相容的材料制成。这些材料的一些例子包括但不限于, 软丙烯、硅胶、水凝胶或其他具有用于镜片的特定应用的必需折射率的生物相容的聚合物材料。固定件 20 也可由适合的聚合物材料制成, 诸如聚甲基丙烯酸甲酯、聚丙烯等。虽然将表面 14 和 16 描绘成整体为凸的, 然而任一表面可具有整体为凹的形状。另选地, 可选择表面 14 和 16 以提供平凸或平凹镜片。“眼内透镜”一词及其缩写“IOL”在这里可互换地使用, 以描述植入眼睛内部要么替代眼睛的人眼晶体要么无论人眼晶体去除与否都增强视力的透镜。

[0036] 前表面 14 由基本曲线 (虚线绘制) 22 表征, 其提供所选的屈光力, 并且其上叠有多个衍射结构 24。如图 2 中示意性示出的, 衍射结构 24 可表征为形成多个同心环衍射区 26, 这些衍射区通过以下更详细讨论的方式将入射光衍射到多个衍射级次。衍射区 26 限制在表面的由没有衍射结构的周边部分 28 包围的部分内。换言之, 截取衍射区使得前表面的周边部分提供由基本曲线表示的纯屈光力。在本实施例中, 衍射区由两个衍射图案表征, 一个在此称为三焦图案, 另一个称为双焦图案。更具体地, 形成三焦衍射图案的环形区 26a、26b 和 26c 合力将入射光主要导向三个衍射级次 (在此称为衍射级次“+1”、“0”和“-1”)。导向衍射级次“+1”的光会聚形成近焦点, 而导向衍射级次 0 和 -1 的光束分别会聚形成中和远 (远处) 焦点。应当理解形成三焦图案的衍射区也将光衍射到更高的级次。然而, 三焦图案将入射光的大部分, 例如大约 60% 或以上, 衍射到以上三个级次。

[0037] 在本示例性实施例中, 环形衍射区 26d、26e、26f、26g、26h 和 26i 形成双焦衍射图案, 其将入射光主要衍射到两个衍射级次 (例如“0”和“+1”级)。衍射到双焦图案的第 0 级次的光会聚到基本与以上由衍射到三焦图案的 -1 级次的光会聚形成的远焦点重合的焦点。而且衍射到双焦图案的 +1 衍射级次的光会聚到基本与以上由衍射到三焦图案的 +1 衍射级次的光会聚形成的近焦点重合的焦点。与三焦图案类似, 双焦图案也将光衍射到更高的级次。然而, 它将大部分入射光能, 例如大约 60% 或以上, 衍射到以上 0 和 -1 级次。

[0038] 此外, 由前表面的基本曲线提供的折射焦点基本上对应于由衍射图案产生的远焦

点。即，镜片的屈光力对镜片的远近视力的性能有贡献。

[0039] 如图 1B 中示意性所示，在本示例性实施例中，三焦衍射区由基本矩形的衍射结构（台阶）形成，这些衍射结构在它们的区边界处通过基本一致的台阶高度彼此分开。通过举例的方式，设计波长下的台阶高度可按照以下关系式定义：

[0040]

$$\text{台阶高度} = \frac{\lambda}{a(n_2 - n_1)} \quad \text{等式 (1)}$$

[0041] 其中

[0042] λ 为设计波长（例如 550nm），

[0043] a 表示能被调整以控制与各级次关联的衍射效率的参数。以举例的方式， a 可选为 2.5，

[0044] n_2 为光学件的折射率，以及

[0045] n_1 表示包围镜片的介质的折射率。在周围材料为具有折射率 1.336 的眼房水的实施例中，镜片的折射率 (n_2) 可选为 1.55。由以上等式给出的台阶高度仅为一个例子，还可使用其他的台阶高度。

[0046] 相反，本示例性实施例中的双焦衍射区由多个锯齿状衍射结构形成，这些衍射结构在它们各自的区边界处通过不一致的台阶高度彼此分开。更具体地，在双焦图案的区边界处的台阶高度随着它们与光轴距离的增加而逐渐减小。换言之，双焦衍射结构边界处的台阶高度“变迹”以修改衍射到近和远焦点的光能的比例作为孔径大小的函数（例如，随着孔径尺寸增大，更多的光能被衍射到远焦点）。通过举例的方式，双焦衍射图案的各区边界处的台阶高度可按照以下关系式定义：

[0047]

$$\text{台阶高度} = \frac{\lambda}{a(n_2 - n_1)} f_{\text{apodize}} \quad \text{等式 (2)}$$

[0048] 其中

[0049] λ 表示设计波长（例如 550nm），

[0050] a 表示能被调整以控制与各级次关联的衍射效率的参数，例如， a 可选为 2.5，

[0051] n_2 表示光学件的折射率，以及

[0052] n_1 表示其中放置镜片的介质的折射率，而且 f_{apodize} 代表缩放函数，其值随着离光轴与镜片前表面交点的径向距离增大而减小。通过举例的方式，缩放函数 f_{apodize} 可通过以下关系式定义：

$$f_{\text{apodize}} = 1 - \left(\frac{r_i}{r_{\text{out}}}\right)^3 \quad \text{等式 (3)}$$

[0054] 其中

[0055] r_i 表示第 i 个区的径向距离，

[0056] r_{out} 表示最后一个双焦衍射区的外半径。

[0057] 也可以利用其他变迹缩放函数，诸如 2004 年 12 月 1 日提交的序列号为 11/000770 的题为“Apodized Aspheric Diffractive Lenses”的共同未决专利申请中公开的那些，其通过引用并入于此。此外，衍射结构可具有与以上所描述的那些不同的几何形状。

[0058] 虽然以上分开讨论了三焦和双焦图案的衍射性质，然而这两个图案合力产生近、

中和远焦点,分别用于提供近距、中距和远距视力。如图 3 中示意性所示,在各焦点处,按照在焦点处呈现最大值并在该点两侧减小的分布分配光能。与各焦点关联的衍射能量曲线的宽度(例如半高宽)提供焦点相关深度的度量。在某些实施例中,导向近和远聚焦区每一个的入射光能(例如,基本平行的入射光线的形式)相对于导向中聚焦区的入射光能的比例可在大约 1.4 至大约 4 的范围内。通过举例的方式,与近和远焦点每一个关联的衍射效率可在大约 28% 至大约 38% 的范围内,而与中焦点关联的衍射效率位于大约 10% 至大约 28% 的范围内。

[0059] 再次参照图 2,在本实施例中,三焦衍射图案从光轴延伸到离该轴的距离(半径) R ,而双焦衍射图案从距离 R 延伸到更大的径向距离 R' (小于前表面的半径 R'')。因此,对于小的孔径(光瞳)尺寸,镜片的近距、中距和远距视力性质主要由三焦衍射图案决定。当孔径(光瞳)尺寸增大时,镜片的性质主要由双焦衍射图案决定。在本实施例中,随着孔径尺寸增大,导向近和远焦点的光能相对于导向中焦点的光能的比例增大。而且,如上所述,双焦衍射区的台阶高度的变迹导致了当孔径尺寸增大时导向远焦点的光能相对于导向近焦点的光能增大。通常,光学件的半径(R'')选在大约 2.5 至大约 3.5 毫米的范围内,三焦图案的半径(R)位于大约 1 至大约 1.5 毫米的范围内,双焦图案的半径(R')在大约 1.5 至大约 2 毫米的范围内——尽管也可以用其他的值。此外,虽然在此为了清楚仅绘制了几个环形区,然而三焦和双焦图案每一个中环形区的数目通常可在大约 3 至大约 30 的范围内,并且可基于附加焦度的增加而更多。

[0060] 与远焦点关联的光焦度可在例如大约 6 至大约 34 屈光度(Diopter)的范围内。中焦点可提供的附加焦度在大约 1.5 至大约 4.5 屈光度的范围内,而近焦点可提供的附加焦度在大约 3 至大约 9 屈光度的范围内。

[0061] 于是,以上三焦 IOL 镜片 10 提供远距视力用于观看距离在例如从大约无穷至大约 4 米(m)范围的物体,而近距视力用于观看距离小于例如大约 0.4 米处的物体。此外,IOL10 提供中距视力,用于观看距离在从例如大约 0.4 至大约 4 米范围(在某些实施例中在大约 0.4 至大约 1 米的范围内)的物体。换言之,以上三焦眼镜片有利地提供针对三个距离范围的一定程度的调节能力(通常称为伪调节)。通过进一步例示的方式,如图 4A 中示意性所示,当将三焦 IOL 植入患者眼中时,眼睛的角膜与 IOL 的近、中、和远光焦度的合成光焦度允许分别在离患者近、中和远距离范围内的物体 A、B、和 C 发射的光聚焦到视网膜上。

[0062] 在某些实施例中,本发明的三焦眼镜片包括两个双焦图案——提供不同的附加焦度——位于其表面上,从而它们共同地提供对应于远距、中距和近距视力的三个聚焦区。通过举例的方式,图 4B 示意性地示出多个衍射区 11,其由两个不同的双焦图案构成,位于按照本发明另一个实施例的三焦镜片 15 的前表面 13 的一部分上。与前一个实施例类似,前表面由提供对应于各图案的第 0 衍射级次的远焦点光焦度的基本轮廓(未示出)表征。更具体地,内衍射区 11a、11b、和 11c 形成提供一个选择附加焦度的双焦图案,例如大约 3 至大约 9 屈光度范围内的附加焦度,而衍射区 11d、11e、11f、和 11g 形成另一个提供不同附加焦度的双焦图案,例如在大约 1.5 至大约 4.5 屈光度的范围内的附加焦度(衍射区仅为说明的目的示出,并不一定按比例绘制)。虽然在本实施例中内双焦图案表现出比外双焦图案更高的附加焦度,然而在其他实施例中外图案提供较大的附加焦度。此外,虽然图示了仅仅几个衍射区,但是在许多实施例中,各图案中衍射区的数目可在从大约 3 到大约 30 的范围内,

或任何其他合适的数目。区边界处的台阶高度可为一致或者不一致,并且可通过例如以上讨论的方式选择。各区的附加焦度可通过按照以下关系式选择其区边界的位置(即,图案中各衍射区的径向距离)来设定:

$$[0063] \quad r_i^2 = (2i+1)\lambda f \quad \text{等式 (4)}$$

[0064] 其中

[0065] i 表示区编号 ($i = 0$ 表示中心区),

[0066] λ 表示设计波长,以及

[0067] f 表示附加焦度。

[0068] 在本示例性实施例中,外双焦图案表现出比内双焦图案更大的附加焦度。例如,外和内双焦图案可分别提供与它们的 +1 衍射级次对应的大约 4D 和大约 2D 的附加焦度。然而,两个图案的第 0 衍射级次基本重合,并将入射光导向由大约 6 至大约 34 屈光度的范围内的选择光焦度(基于光学件表面的曲率及其折射率)表征的远聚焦区。如图 4C 中示意性所示,外图案提供远焦点 A1 和近焦点 A2,而内图案提供远焦点 B1(基本与 A1 重合)以及近焦点 B2。由此,两个图案共同提供远、中和近焦点,其中内和外图案的近焦点分别提供近距和中距视力。

[0069] 图 5A 和 5B 示意性地绘出了按照本发明另一实施例的三焦眼镜片 30,例如 IOL,该三焦眼镜片 30 包括具有前表面 34 和后表面 36 的光学件 32。前表面 34 的参考轮廓由适合提供远焦点光焦度的基本曲线 38 表征。前表面 34 进一步包括多个环形衍射区 40,这些衍射区是由关于光学件的光轴 44 对称布置的多个显微衍射结构 42 构成。与前面的实施例类似,光学件可由生物相容的材料制成,并且镜片可进一步包括有助于其固定在眼中的接触件(未示出)。此外,虽然在本实施例中表面 14 和 16 整体为凹的,然而在其他实施例中,可选择表面曲率以提供平凸或平凹镜片。

[0070] 各环形衍射区通过台阶(例如将第二区与第三区分开的台阶 50)与邻区分开。这些台阶位于区的径向边界处。在本实施例中,台阶高度基本一致,尽管在其他实施例中它们可例如通过以上讨论的方式变迹。

[0071] 与其中衍射区具有基本一致的面积的传统衍射镜片不同,在本实施例中,衍射区的面积以可控制的方式变化——作为与光轴 44 的距离的函数。将这种变化设计为充分地展览由衍射区的两个衍射级次生成的近和远焦点处的光能分布,从而提供中距视力同时基本保持近和远焦点。例如,参照图 5B,在本实施例中,环形衍射区 40 的面积随着离光轴的距离增大而逐渐增大。例如,两个衍射区的面积之间的最大差值(例如最外区和最内区的面积之差)可为大约 75%或以上,例如,直到大约 200%。

[0072] 衍射区面积的变化可通过选择各区的半径平方作为该区编号的函数来实现,其中例如通过下述方式对区从光轴径向向外地连续编号。通过举例的方式,图 6 提供了对比区的半径平方(r_i^2 代表第 i 个区的半径平方)与区编号之间关系的曲线图(曲线图 A)——通常在传统衍射镜片中用的——与在本发明的三焦眼镜片的本实施例中用的不同关系(曲线图 B)。如曲线图中所示,在三焦镜片中,区的半径平方表现出作为区编号函数的所选非线性程度的变化,而具有一致衍射面积的镜片的区的半径平方作为各自区编号的函数线性变化。这修改了由镜片衍射的光的干涉图案,从而将更多的能量转向中聚焦区。

[0073] 更具体地,在本实施例中,区边界的径向位置可按照以下关系式确定:

[0074] $r_i^2 = (2i+1)\lambda f + g(i)$ 等式 (5)

[0075] 其中

[0076] i 表示区编号 ($i = 0$ 表示中心区),

[0077] λ 表示设计波长,

[0078] f 表示近焦点的焦距, 以及

[0079] $g(i)$ 表示非常数函数。

[0080] 在本实施例中, 函数 $g(i)$ 按照以下关系式定义:

[0081] $g(i) = (ai^2+bi)f$,

[0082] 其中

[0083] i 表示区编号,

[0084] a 和 b 为两个可调节的参数, 以及

[0085] f 表示近焦点的焦距。通过举例的方式, a 可在大约 0.1λ 至大约 0.3λ 的范围内, 而 b 可在大约 1.5λ 至大约 2.5λ 的范围内, 其中 λ 表示设计波长。

[0086] 如上所述, 衍射区面积的变化作为离光轴距离的函数导致某些被衍射的光转向中聚焦区用于提供中距视力。例如, 大约 10% 至大约 28% 范围内比例的被衍射光可被导向中聚焦区。

[0087] 通过举例的方式, 图 7 呈现了两曲线 (C 和 D), 它们示意性地示出由以上示例的三焦眼镜片提供的针对中距视力的视觉敏锐度的增强。更具体地, 曲线 C (虚线) 示出其中环形衍射区具有相等面积的传统衍射镜片的近和远焦点之间的光能分布。对比地, 曲线 D 示意性地示出按照本发明的实施例其中至少两个或以上衍射区具有不等的面积的眼镜片中的光能分布。曲线 D 与曲线 C 的对比显示具有不等面积的衍射区的本发明的眼镜片的实施例提供了显著的针对中距视力的视觉敏锐度的增强, 同时基本保持了近距和远距视力的视觉性能。通过举例的方式, 在许多实施例中, 在近和远焦点每一个的衍射效率可在大约 28% 至大约 38% 的范围内, 在中焦点处的衍射效率位于大约 10% 至大约 28% 的范围内。

[0088] 与前面的实施例类似, 与远焦点关联的光焦度可为, 例如, 在大约 6 至大约 34 屈光度的范围内, 近焦点提供大约 3 至大约 9 屈光度范围内的附加焦度。此外, 中焦点能提供, 例如相对于远焦点大约 1.5 至大约 4.5 屈光度范围内的附加焦度。

[0089] 通过考虑图 8 中所示的图也许能更好地理解以上三焦镜片的功能, 图 8 描绘了与跨两个衍射区的多焦衍射镜片的三个衍射级次 (即 +1、0、和 -1) 关联的光学相位延迟 (OPD), 作为离光轴的径向距离的平方的函数。与 +1 和 -1 关联的相位延迟基本线性变化——而与第 0 级次关联的相位延迟基本保持恒定——随着径向距离的平方从 0 变化到第一衍射区的边界与第二衍射区 (在此用 ZB12 表示) 对应的值。在区边界处, 与各级次关联的光学相位表现出非连续性。虽然未示出, 类似的相位不连续发生在第二区与第三区 (在 ZB23 处示出) 的边界等处。如果将区边界置于与跨各衍射区的 π 光学相位改变对应的半径平方位置, 则被衍射到第 0 级次的光能基本消失。换言之, 透镜有效地提供仅两个衍射级次 (近和远聚焦)。然而, 在本发明的许多实施例中, 如此选取一个或以上衍射区边界的半径平方位置, 即使得跨衍射区的光学相位变化小于 π (例如为 $\pi/4$)。这导致一些衍射光能转向第 0 级, 从而提供中距视力。

[0090] 在某些实施例中, 通过对大孔径 (例如, 孔径直径大于约 3mm, 虽然在某些实施例

中也可将像差校正用于较小尺寸的孔径)的像差校正来增强由三焦眼镜片提供的远处视力。这种像差校正例如可反平衡可作为中聚焦区域处光增加的结果出现在远焦点的未聚焦的光(如果有的话)。例如,可选择前表面的基本轮廓(曲线)以具有某种程度的非球性来降低球差效应,其对于大的孔径可能尤其明显。在之前提到的题为“Apodized aspheric diffractive lenses”的共同未决美国专利申请中也公开了适合用在本发明的实践中的这种非球轮廓的一些例子。

[0091] 通过举例的方式,前表面的非球轮廓作为离镜片光轴的径向距离(R)的函数可通过以下关系式表征:

[0092]

$$z = \frac{cR^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + cc)c^2 R^2}} + adR^4 + aeR^6 + \text{更高阶项},$$

[0093] 其中

[0094] z 表示平行于轴(例如光轴)的表面的垂线,垂直于该表面,

[0095] c 表示在表面顶点处的曲率,

[0096] cc 表示锥度系数,

[0097] R 表示表面的径向位置,

[0098] ad 表示第四阶形变系数,以及

[0099] ae 表示第六阶形变系数。

[0100] 本领域普通技术人员将理解可对以上实施例做出各种修改而不偏离本发明的范围。

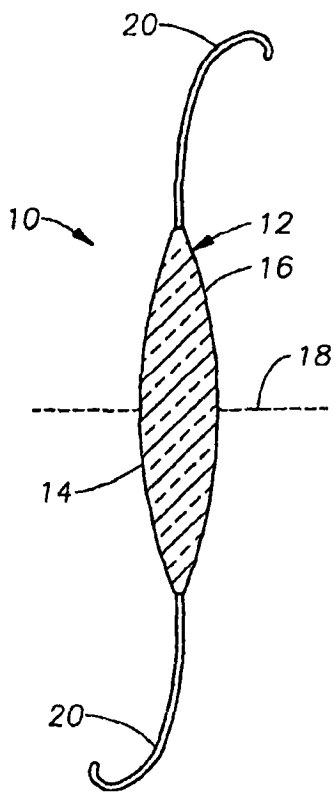


图 1A

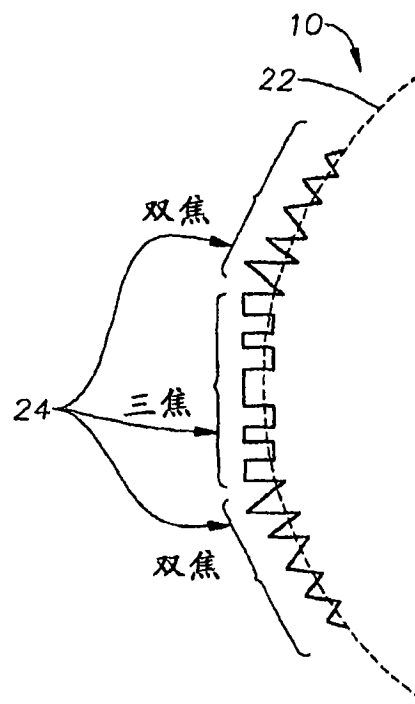


图 1B

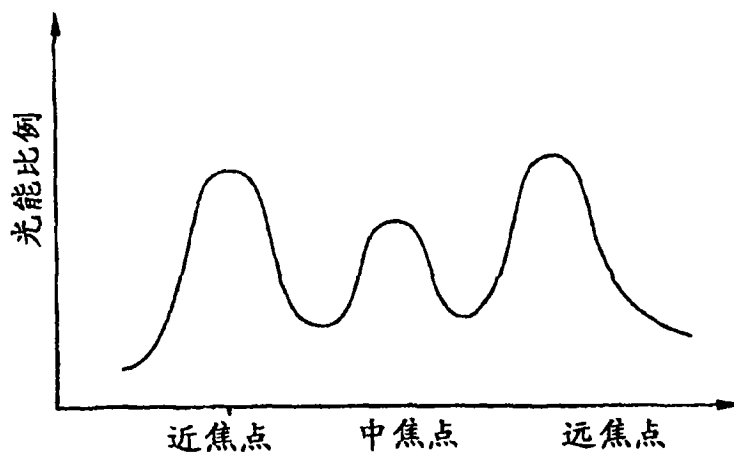
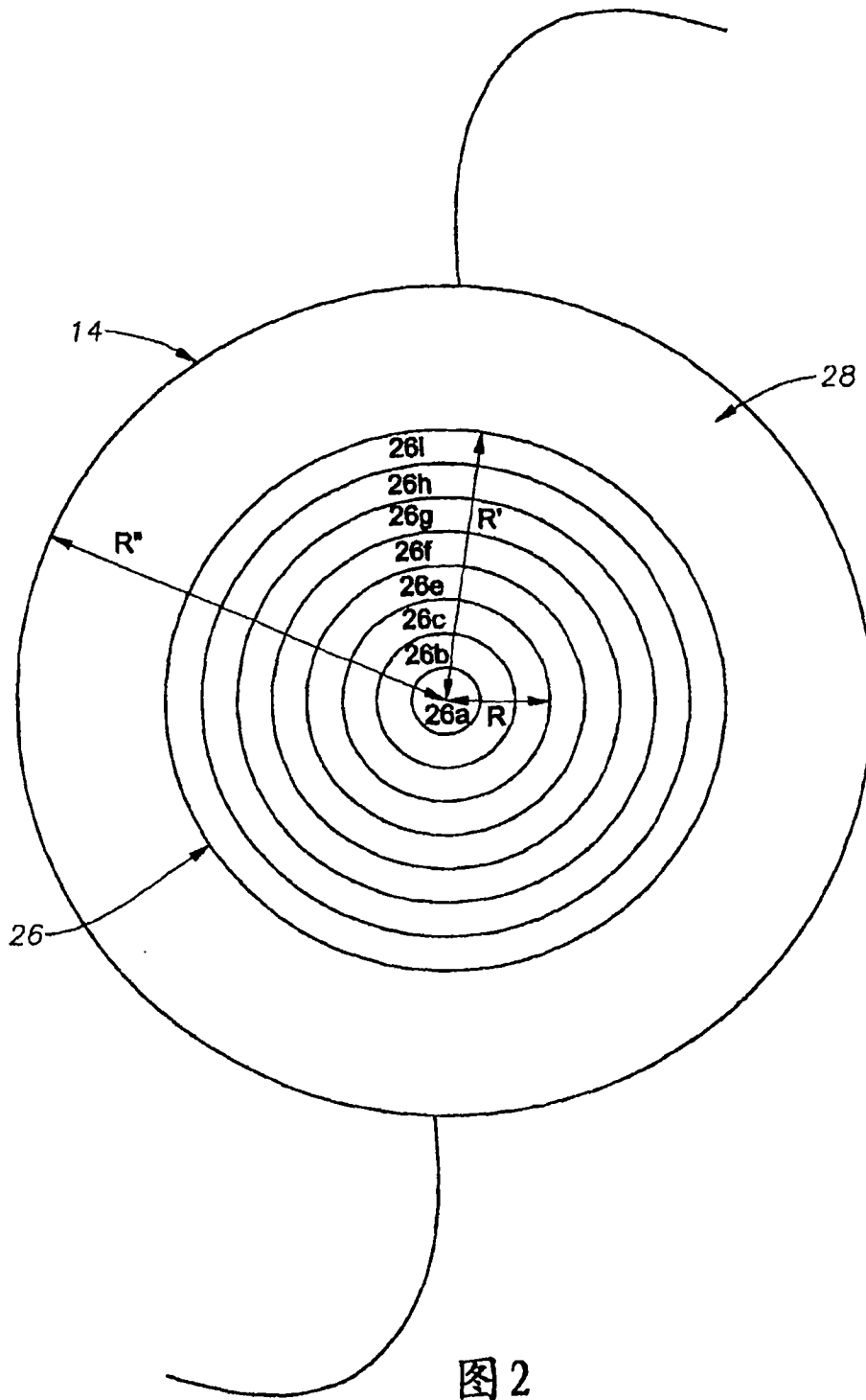


图 3



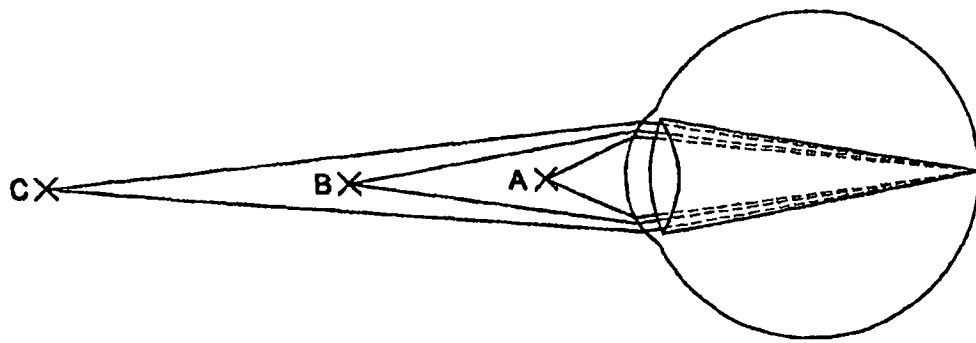


图 4A

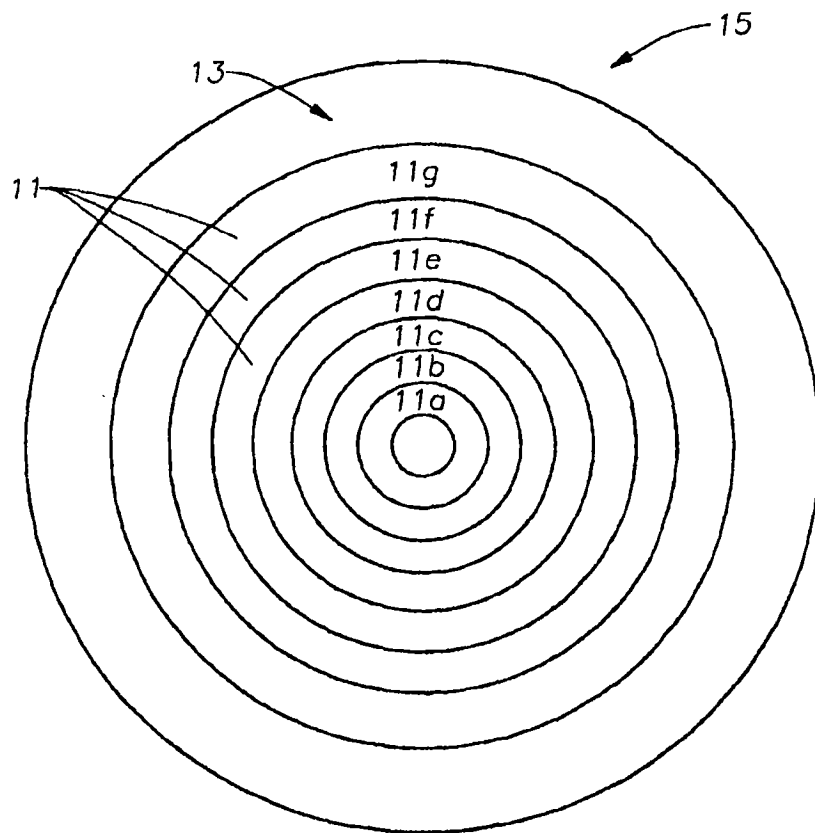
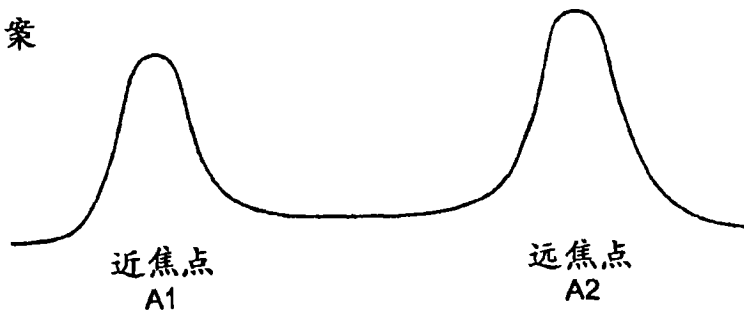
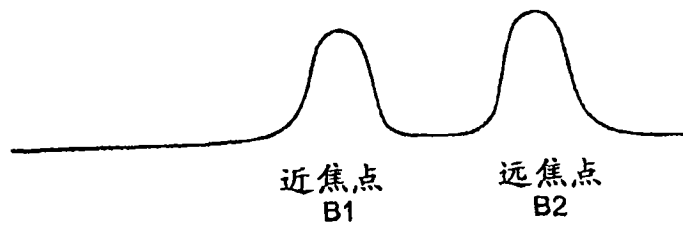


图 4B

外双焦图案



内双焦图案



组合图案

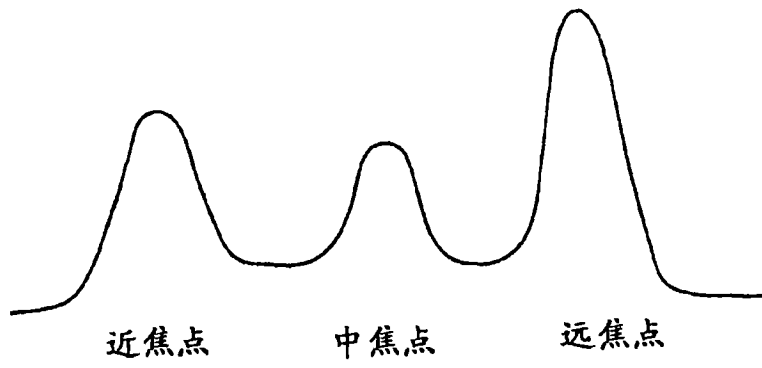


图 4C

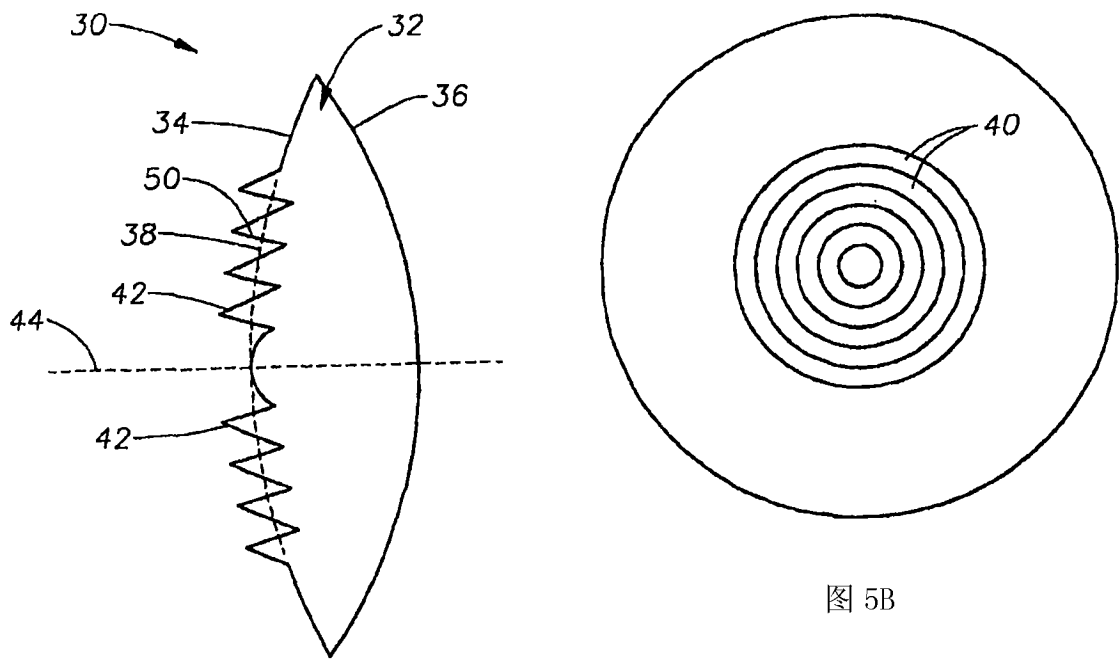


图 5A

图 5B

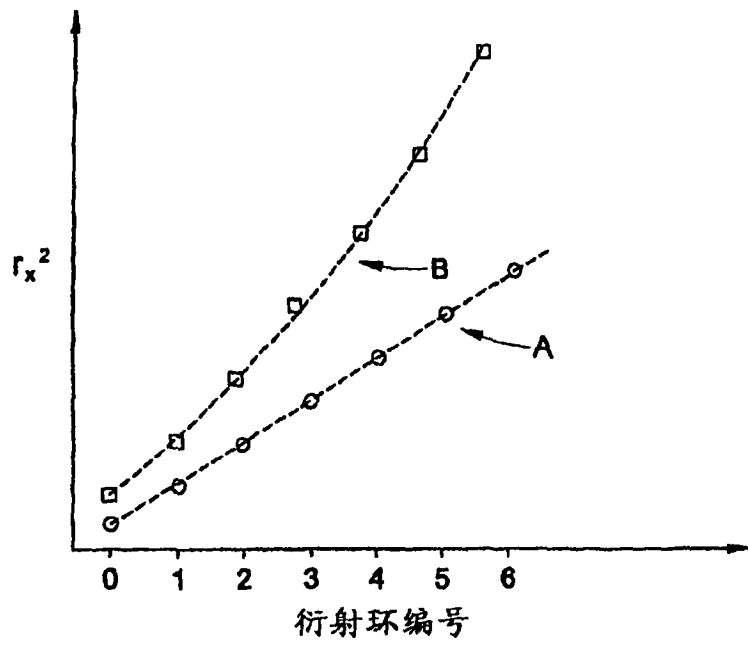


图 6

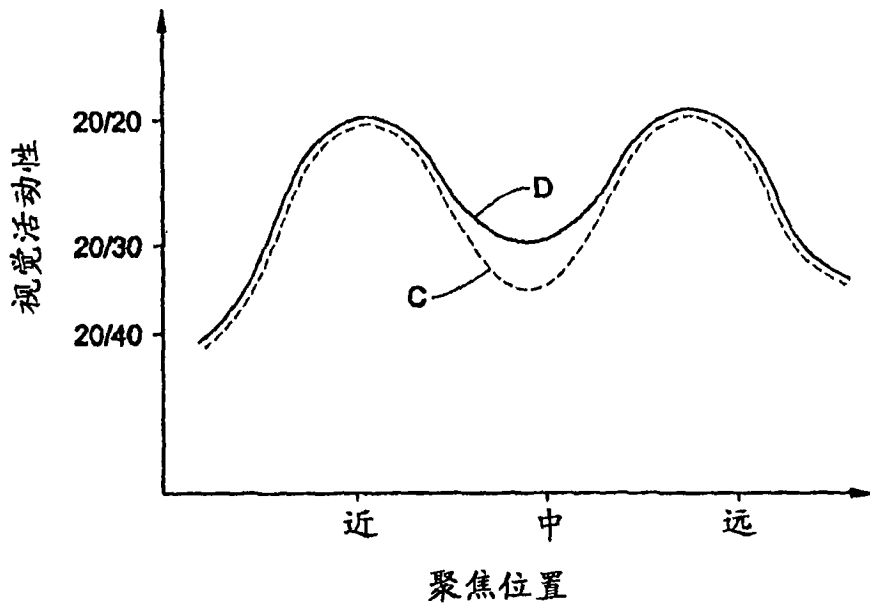


图 7

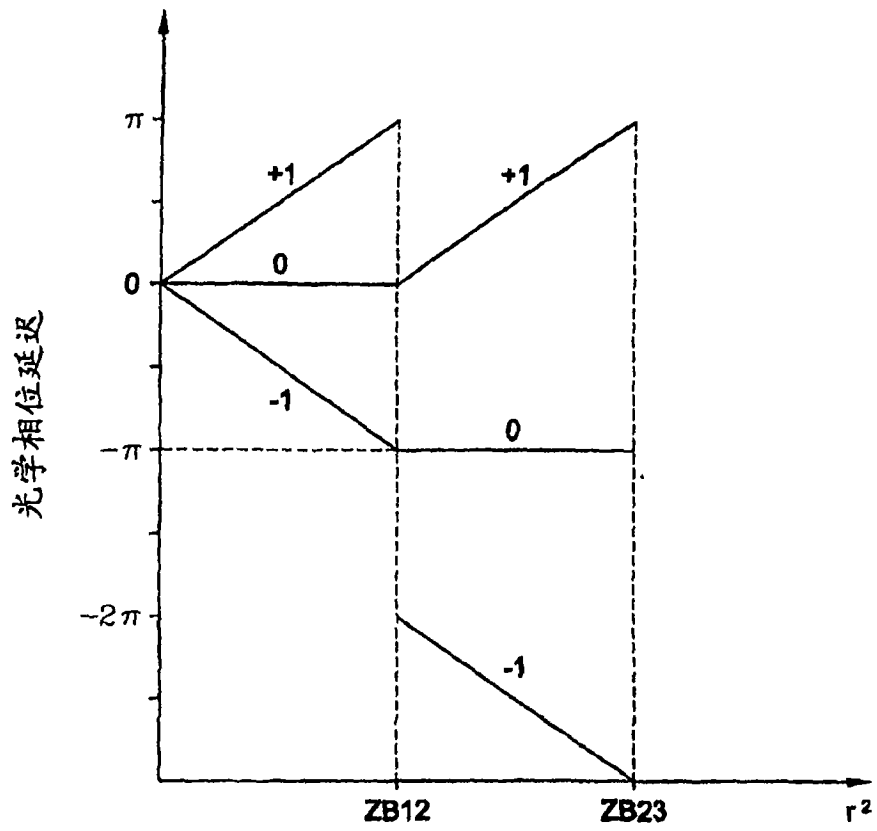


图 8