

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02805487.3

[51] Int. Cl.

G02B 9/60 (2006.01)

G02B 9/62 (2006.01)

G02B 13/04 (2006.01)

G02B 27/18 (2006.01)

[45] 授权公告日 2006 年 12 月 6 日

[11] 授权公告号 CN 1288472C

[22] 申请日 2002.2.25 [21] 申请号 02805487.3

[30] 优先权

[32] 2001.2.28 [33] US [31] 09/797,018

[86] 国际申请 PCT/US2002/005612 2002.2.25

[87] 国际公布 WO2002/069013 英 2002.9.6

[85] 进入国家阶段日期 2003.8.25

[73] 专利权人 3M 创新有限公司

地址 美国明尼苏达州

[72] 发明人 M·H·克赖特泽尔

审查员 孙苏晋

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司

代理人 李家麟

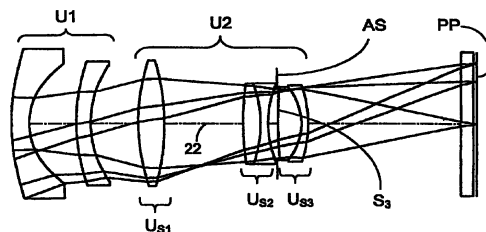
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 5 页

[54] 发明名称

用于反射像素平板的投影透镜

[57] 摘要

提供和像素化平板 (PP) 一同使用的投影透镜 (13)。所述投影透镜具有负的第一单元 (U1)，它具有至少一个非球形表面，以及正的第二单元 (U2)，它具有三个子单元 (U_{S1} , U_{S2} , U_{S3})，它们具有正/负/正的结构。所述透镜的孔径光阑 (AS) 置于透镜的短共轭端或者置于第三子单元 (U_{S3}) 内或者接近于该子单元。所述透镜特别适合在使用反射式像素化平板的侧照明的紧凑投影系统的制造中使用。



1. 一种具有孔径光阑、光轴、长共轭侧、短共轭侧、光焦度 Φ_0 和后焦距 BFL 的投影透镜，所述投影透镜用来形成像素化平板的像，从所述长共轭侧到所述短共轭侧依次包括：

(A) 第一透镜单元，它具有光焦度 Φ_{U1} 并包括至少一个非球形表面；以及

(B) 第二透镜单元，它具有光焦度 Φ_{U2} 并从所述长共轭侧到所述短共轭侧依次包括：

(i) 第一透镜子单元，它具有光焦度 Φ_{s1} ；

(ii) 第二透镜子单元，它具有光焦度 Φ_{s2} 以及具有整体向短共轭凹入的凹凸透镜的形状；以及，

(iii) 第三透镜子单元 U_{s3} ，具有光焦度 Φ_{s3} 以及在其长共轭侧的表面 S_3 ；

其中：

(a) $\Phi_{U1} < 0$ ；

(b) $\Phi_{U2} > 0$ ；

(c) $\Phi_{s1} > 0$ ；

(d) $\Phi_{s2} < 0$ ；

(e) $\Phi_{s3} > 0$ ；

(f) $BFL \cdot \Phi_0 \geq 1.0$ ；及

(g) 透镜的孔径光阑或者在第三透镜子单元内或者在长共轭方向上与表面 S_3 隔开距离 D ，它满足以下关系：

$$D \cdot \Phi_0 \leq 0.1。$$

2. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，

$$D \cdot \Phi_0 \leq 0.05。$$

3. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，

$$\text{BFL} \cdot \Phi_0 \geq 1.2。$$

4. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，

$$|\Phi_{U1}|/\Phi_0 \geq 0.7；\text{ 以及}$$

$$\Phi_{U2}/\Phi_0 \geq 0.8。$$

5. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，

$$|\Phi_{U1}|/\Phi_0 \geq 0.9；\text{ 以及}$$

$$\Phi_{U2}/\Phi_0 \geq 0.9。$$

6. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第二和第三透镜子单元具有组合的光光焦度 Φ_{S2+S3} ，其中：

$$\Phi_{S1}/\Phi_0 \geq 0.8；\text{ 以及}$$

$$\Phi_{S2+S3}/\Phi_0 \leq 0.6。$$

7. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第二和第三透镜子单元具有组合的光光焦度 Φ_{S2+S3} ，其中：

$$\Phi_{S1}/\Phi_0 \geq 0.9；\text{ 以及}$$

$$\Phi_{S2+S3}/\Phi_0 \leq 0.5。$$

8. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第一透镜单元包括至少一个整体呈弯月形、向长共轭侧凸出的负透镜元件。

9. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第一透镜单元由两个负透镜元件组成，每一个都具有整体呈弯月形、向长共轭侧凸出的形状。

10. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第一透镜子单元由两面凸的透镜元件组成。

11. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第二透镜子单元由双合透镜组成。

12. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第三透镜子单元由双合透镜组成。

13. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，投影透镜由 8 个或少于 8 个的透镜元件组成。

14. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，投影透镜由 7 个透镜元件组成。

15. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于：

(i) 投影透镜在透镜的长共轭侧的方向具有视场 θ ；以及

(ii) θ 满足关系：

$$\theta > 50^\circ。$$

16. 投影透镜系统，其特征在于，它包括：

(a) 像素化平板；以及

(b) 如权利要求 1 所述的投影透镜。

17. 如权利要求 16 所述的投影透镜，其特征在于，它还包括具有与投影透镜的光轴以锐角相交的光轴的照明系统。

用于反射像素平板的投影透镜

技术领域

本发明涉及投影透镜，尤其涉及用于由像素组成的小的反射物形成大的像，诸如反射型液晶显示器(LCD)，数字反射器装置(digital mirror device)(DMD)等的投影透镜。

技术背景

投影透镜系统(这里也称为“投影系统”)用于在显示屏上形成物像。这种系统可以是正射式投影(front projection)或背射式投影(rear projection)型的，这取决于观察者和物体是在屏的同一侧(正射式投影)或在屏的两侧(背射式投影)。本发明的投影透镜是为非常紧凑的正射式投影仪的使用而特制的，其中投影仪产生投影的图像并将之发送到外部的墙或屏上。

为了实现高紧凑性，用于这种正射式投影仪的照明最好从靠近投影透镜的物端(短共轭端)的一侧进入。在 DMD 的情况下，为了提供合适的照明几何结构并为了阻止暗场光到达透镜的光瞳，补偿像素化平板。该暗场光相当于 DMD 的像素的不工作状态。

这种系统的基本结构如图 5 所示，其中 10 是光源(例如，金属卤化物灯或高压汞灯)，12 是形成光源的像(照明系统的“输出”)的照明光学装置，14 是被投射的物(例如，开和关像素的德州仪器 DMD)，13 是由多个透镜元件组成的投影透镜，它在显示屏(未显示)上形成物 14 的放大的像。

如图 5 所示，照明光学装置可以包括多个透镜元件 15、16、17，光通道 18(例如，根据美国专利 No.5,625,738 构建的光通道)，以及用于折叠照明系统的光轴 20

并因此减少投影仪的整体尺寸的反射器 19。如图 5 所示，照明系统的光轴 20 与投影透镜 13 的光轴 22 相交成一锐角。

在许多应用中都采用了物是像素化平板的投影透镜系统。较佳地，这种系统使用单个投影透镜，它形成用于产生红、绿和蓝的像的单个平板的像或三个平板的像，其中一个用于红光，第二个用于绿光且第三个用于蓝光。在以上任一种情况中，用于这种系统的投影透镜通常需要具有相对长的后焦距，以便容纳通常和像素化平板一同使用的辅助光学系统，诸如彩色转盘、分光镜等等。

使用像素化平板的投影透镜系统的一种特别重要的应用在于微显示（microdisplay）的领域，例如，用于显示数据的正射式投影系统。近来在制造技术上的突破造成使用数字光阀器件的微显示，诸如 DMD、反射式 LCD 等的大量普及。

根据这种器件的投影显示具有尺寸小和重量轻的优点。结果，市场上出现了全新一类的工作于正射式投影模式并使用数字光阀的超轻便便携式投影仪。

为了显示具有高信息容量的图像，这些器件必须具有大量的像素。由于这些器件本身很小，因此单个像素很小，典型的像素尺寸范围从 DMD 显示的 $14\text{--}17\mu$ 到反射式 LCD 显示的约为 8μ 或更小。这意味着用于这些系统的投影透镜必须具有很高程度的象差矫正。色差和色畸变的矫正也特别的重要。

高程度的色差矫正很重要，因为在像素化平板上的像中色象差很容易看成像素的斑点或，在极端情况下，像素从图像上完全消失。这些问题通常在视场的边缘上最为严重。

需要解决的全部的系统象差有旁侧色(lateral color)、慧差的色畸变、像散和通常最具挑战的畸变。旁侧色，即，颜色的放大率的变化，是特别麻烦的，因为它随着对比度的下降而显现出，这尤其发生在视场的边缘上。在极端的情况中，在整个视场的区域中可以看见虹彩效应。

在使用阴极射线管(CRT)的投影系统中，少量的(残余)旁侧色可以通过，例如，

将相对于蓝的 CRT 产生的图像尺寸的红的 CRT 产生的图像的尺寸减少来补偿。但是使用像素化平板，不能进行这样的调节因为图像是数字化的，因此不可能平滑地调整贯穿整个视场的尺寸。因此，投影透镜需要包括二次旁侧色矫正的更高程度的旁侧色矫正。

用像素化平板来显示数据导致对畸变矫正的迫切需求。这是因为当观看数据时甚至在透镜的视场的极值点也需要好的图像质量。明显地，所显示的数字或文字的不畸变的图像无论在视场的中间还是边界上都同样重要。此外，投影透镜通常和补偿平板一同使用。在这种情况下，显示屏上的畸变不是对于通过屏幕中间的水平线对称地变化的，而是，例如从屏幕的底端向上，单调地增加。这种效应使即便是很小的畸变也会被观察者看见。

当 WINDOWS 类型的计算机界面的放大图像被投影到显示屏上时，低畸变和高程度的彩色矫正特别的重要。这种采用水平线、边界的命令和对话框以及复杂颜色的界面是畸变和颜色测试图案的基础部件。用户可以察觉并拒绝这种界面的图像中的甚至很小程度的畸变或色差。

上述的微显示，特别是采用 DMD 的微显示，通常要求来自照明系统的光束从接近投影透镜的短共轭侧的一侧进入(见以上图 5 的讨论)。这造成一种需求，即，投影透镜 13 的入射光瞳(entrance pupil)²⁴ 置于或者接近于透镜的短共轭侧的位置上或者，等效地，透镜的孔径光阑(aperture stop)置于接近短共轭的一侧。这种孔径光阑的位置加重了光学设计的问题。特别地，基本外部入射光瞳意味着基本不具有便于“奇”光学象差，诸如旁侧色和慧差的矫正的内部透镜对称。(注意到基本外部入射光瞳可以具有在工作期间减少透镜内部热量聚积的优点)。

除了前述的之外，还有一种对更紧凑的投影透镜系统的增长需求。在投影透镜方面，这转化为对透镜在图像(屏)的方向上具有宽视场的需求。该需求使得矫正透镜的旁侧色更加困难。同样地，对长后焦距的需求还使矫正旁侧色更加困难。

要实现短焦距(例如，约 30 毫米的焦距)，长后焦距(例如，至少和透镜的焦距

一样长的后焦距), 在透镜的长共轭方向上的宽视场(例如, 至少 50° 的视场), 以及接近透镜的短共轭侧的孔径光阑,同时由于这些各种要求趋于彼此作用, 可以使用像素化平板的投影透镜系统所要求的还保持高程度的象差矫正特别具有挑战性。更需要在这么作的同时将透镜中所用的透镜元件数量最少化以便控制透镜的成本和重量。如下讨论和说明的, 本发明提供满足这些冲突的标准的投影透镜。

发明内容

鉴于以上所述, 需要一种投影透镜与像素化平板联用, 这种透镜要具有某些或最好是全部以下特性:

- (1) 靠近透镜的短共轭侧的孔径光阑;
- (2) 高度的旁侧色矫正, 包括二次旁侧色矫正;
- (3) 低畸变;
- (4) 在图像的方向上大的视场;
- (5) 长后焦距(BFL);
- (6) 短焦距; 以及
- (7) 最少的透镜元件的数量;

为了满足这些需要, 本发明提供具备某些、较佳的为全部以上 7 个特性的投影透镜。

特别地, 本发明提供具有光焦度 Φ_0 的投影透镜, 它由以下单元以从透镜的长共轭侧到短共轭侧的顺序构成:

- (A) 第一透镜单元(U1), 具有光焦度 Φ_{U1} 并包括至少一个非球形表面; 以及
- (B) 第二透镜单元(U2), 具有光焦度 Φ_{U2} 并以从透镜的长共轭侧到短共轭侧的顺序由以下部分构成:
 - (i) 第一透镜子单元(U_{S1}), 具有光焦度 Φ_{S1} ;
 - (ii) 第二透镜子单元(U_{S2}), 具有光焦度 Φ_{S2} 以及具有整体向短共轭凹入的凹凸

透镜的形状;

(iii) 第三透镜子单元(U_{S3}), 具有光焦度 Φ_{S3} 以及在其长共轭侧的表面 S_3 ;

其中:

(a) $\Phi_{U1} < 0$;

(b) $\Phi_{U2} > 0$;

(c) $\Phi_{S1} > 0$;

(d) $\Phi_{S2} < 0$;

(e) $\Phi_{S3} > 0$;

(f) $BFL \cdot \Phi_0 \geq 1.0$; 以及

(g) 透镜的孔径光阑或者在第三透镜子单元内或在长共轭方向上与表面 S_3 隔开距离 D , 它满足以下关系:

$$D \cdot \Phi_0 \leq 0.1.$$

较佳地, $BFL \cdot \Phi_0$ 的乘积大于或等于 1.2, 而 $D \cdot \Phi_0$ 的乘积等于或小于 0.05。

除了以上的 $BFL \cdot \Phi_0$ 和 $D \cdot \Phi_0$ 的乘积, 本发明的投影透镜优选在至少 50° 且最好超过 55° 的长共轭的方向上具有视场 θ 。同时, 本发明的投影透镜优选具有 8 个或更少的透镜元件, 例如, 7 个透镜元件, 其中双合透镜视为两个透镜元件。如果将双合透镜视为单个部件, 则本发明的投影透镜优选具有 6 个或更少的部件, 例如, 5 个部件。

依照本发明的另一方面, 提供了一种投影透镜系统。该系统包括: (a) 像素化平板; 以及上述本发明的投影透镜。

本发明的投影透镜还可以包括具有与投影透镜的光轴以锐角相交的光轴的照明系统。

附图概述

图 1-4 是根据本发明构建的典型的投影透镜的侧视图。

图 5 是示出可以使用本发明的投影透镜的整个投影透镜系统的示意图。

上述根据说明书部分构建或组合的附图和描述一起用于说明本发明的较佳实施例，用作本发明原理的阐述。当然，应该理解，附图和描述都是解释性的而不限制本发明。

具体实施方式

本发明的投影透镜是负焦距的或颠倒的远摄类型(*inverted telephoto type*)并包括两个透镜单元，即，长共轭侧上的负单元(U1)和短共轭侧上的正单元(U2)。如以下的示例所示，整体透镜形式允许透镜在其长共轭方向上实现长后焦距和宽视场。

本发明的透镜通过在第一透镜单元上使用一个或多个非球形表面来实现高度的畸变矫正。较佳地，非球形表面形成于一个或多个塑料透镜元件上。

最佳地，透镜只包括一个塑料透镜元件，而其它的透镜元件由玻璃构成。参见美国专利 No.5,870,228。特别地，第二透镜单元的透镜元件传送全孔径光束并较佳地仅包括球形玻璃表面以便保持表面的高精密度和高热稳定性。

塑料透镜元件或第一透镜单元的元件由可塑的丙烯酸制成以便为了二次旁侧色的最小化而提供适当的色散。参见 PCT 专利公开 WO 00/67059 标题为“*Projection Lenses Having Reduced Lateral Color for Use with Pixelized Panels.*”。还可以参见美国专利 5,625,495。

如上所述，透镜的孔径光阑的位置靠近透镜的短共轭侧使它很难矫正透镜的“奇”象差。该问题的一个解决方法是在透镜的长共轭端使用大范围的渐晕。但是，这种方法导致输出光的巨大损耗并且不能用于实际的投影透镜系统中。

根据本发明，在构成透镜的各种单元和子单元中不用大范围的渐晕而是通过透镜的整体结构组合适当的光焦度分布来实现高畸变矫正的。特别地，发现透镜应该满足一个或较佳地满足所有以下关系：

$$|\Phi_{U1}|/\Phi_0 \geq 0.7 (\text{较佳地} \geq 0.9);$$

$$\Phi_{U2}/\Phi_0 \geq 0.8 (\text{较佳地} \geq 0.9);$$

$$\Phi_{S1}/\Phi_0 \geq 0.8 (\text{较佳地} \geq 0.9); \text{ 以及}$$

$$\Phi_{S2+S3}/\Phi_0 \leq 0.6 (\text{较佳地} \leq 0.5);$$

其中 Φ_{S2+S3} 是第二和第三透镜的子单元的光焦度的和。

将通过以下实例更完整地描述本发明，而无意对其进行任何方式的限制。

实例

图 1-4 和列表 1-4 说明根据本发明构建的典型的投影透镜。

OHARA 标号用于在透镜系统所用的各种玻璃。由其它的制造商(例如, HOYA 或 SCHOTT)制造的相同的玻璃也可以用于本发明的实施中。对于塑料元件可采用工业可接受的材料。

表中所列非球面系数可用于以下的等式中:

$$z = \frac{cy^2}{1 + [1 - (1+k)c^2y^2]^{1/2}} + Dy^4 + Ey^6 + Fy^8 + Gy^{10} + Hy^{12} + Iy^{14}$$

其中 z 是在离系统的光轴距离 y 的表面垂度(surface sag), c 是光轴上的透镜的曲率, 而 k 是二次曲线(conic)常数, 除了在列表 1-4 说明所指出的地方, 该二次曲线常数为 0。

与列表中的各种表面相关的符号“a”表示非球形表面, 即, 上式中的 D、E、F、G、H 或 I 中的至少一个不是 0; 以及符号“c”表示上式中 k 不是 0 的表面。

图和列表中位于 U2 的短共轭侧的各种平面结构表示使用了全部或部分像素化平板。但他们不构成投影透镜的一部分。用于列表 1 和 2 的平面结构的材料标号以 6 个数字表示, 其中材料的 N_e 值对应于通过将标号的前 3 个数字除以 1,000 并加上 1.000 得到, 而 V_e 值通过在最后的数字前放置小数点从后 3 个数字得到。在本领域中, N_e 是指 e-线 (546.1 nm) 处的折射率, V_e 是指将 e-线用作中心波长并且将 C'线 (643.8 nm) 和 F'线 (480.0 nm) 分别用作长波长和短波长时所获得

的色散（阿贝值）。

列表 1 和 2 各表中的表面 7，以及列表 4 中的表面 5 和 9 是渐晕表面。列表 1-4 中给出的单位是微米。列表 5 中给出的光焦度是微米的倒数。表 7 的距离以微米给出而角度以度给出。列表 7 中的实例 4 的 D 和 $D \cdot \Phi_0$ 的负值说明孔径光阑在第三透镜子单元内。应该注意到，列表 1-4 中的 EXP 值和列表 7 中的 BFL 值的大小基本相同，例如， $|\text{EXP}| = 1.1 \cdot \text{BFL}$ 。

规则表中所用的缩写如下：

EFL	有效焦距
FVD	前顶点距离
F/	f-数（有限共轭）（finite conjugates）
ENP	从长共轭看的入射光瞳
EXP	从长共轭看的出射光瞳
BRL	辊身长度
OBJ HT	物高度
MAG	放大率
STOP	孔径光阑位置
IMD	像距
OBD	物距
OVL	总长度。

根据假定图中光从左至右行进来构建说明列表。在实际的实施中，显示屏将位于左而像素化平板将位于右，光将从右向左行进。特别地，规则表中对物/象以及入射/出射光瞳的标记与本说明书其余部分是颠倒的。图 1-4 中由标号“PP”示出像素化平板而由标号“AS”示出孔径光阑。

构成列表 1-4 的投影透镜的各种透镜单元和子单元的光焦度在列表 5 中阐述而以上讨论的各种光焦度比在表 6 中列出。列表 7 阐述对应这些透镜的 D ， $D \cdot \Phi_0$ ，

BFL 和 $BFL \cdot \Phi_0$ 值。如可以从列表 6 和 7 看出, 实例 1 和 2 满足所有这些关系的较佳值。

除了列表 6 和 7 所示的性质, 较佳的是, 本发明的投影透镜还具有以下性质:

- (i) 对于波长在 460 纳米到 620 纳米范围内的全场旁侧色斑点, 它小于像素, 优选小于像素的四分之三 (注意: 旁侧色矫正度可以在物平面或象平面确定, 如果在象平面进行矫正确定则使用放大的像素); 以及
- (ii) 小于百分之 1.5, 优选小于或等于百分之 1.0 的畸变。

表 1-4 的投影透镜既实现上述较佳的旁侧色又控制较佳的畸变程度。特别地, 该透镜对于小于 15 微米的像素尺寸 (像素宽度), 实现较佳程度的旁侧色矫正。

虽然已经描述并说明了本发明的特殊实施例, 但应该理解不背离本发明的范围和精神的各种修改对于那些在本发明处所揭示的技术领域普通的技术人员将是明显的。所附权利要求意在包括此处阐述的特殊实施例以及这样的修改、变化和等效技术方案。

表 1

表面 No.	类型	半径	厚度	玻璃	透光孔径 的直径
1	a	55.2357	3.80000	丙烯酸	35.94
2	a	16.0691	10.00000		28.60
3		48.2900	3.00000	S-TIH6	27.61
4		25.5900	10.28000		25.86
5		49.1350	5.70000	S-LAH58	27.89
6		-59.5680	7.66000		27.56
7		孔径光阑	9.50000		20.33
8		72.5900	3.80000	S-LAH64	18.00
9		-28.3550	1.60000	S-FTM16	17.62
10		24.1760	1.94000		16.24
11			0.20000		16.19
12		102.9940	5.10000	S-LAL12	16.15
13		-13.9300	1.50000	LAH78	16.01
14		-28.2500	33.20446		16.50
15			2.74300	472630	32.00
16			0.73700		32.00

符号描述

a - 多项式非球面
平均多项式非球面

表面 No.	D	E	F	G	H	I
1	6.6347E-06	-6.4194E-08	1.5275E-10	1.5031E-13	-1.7083E-15	2.6184E-18
2	8.3317E-06	-1.6864E-07	4.9685E-10	-2.1025E-12	9.6817E-16	-1.5449E-17

系统第一级特性

OBJ. HT: -1762.8 $\pm$ 2.36 MAG: -0.0088
STOP: 0.00 表面之后 11. DIA: 16.190
EFL: 29.0945 FVD: 100.764 ENP: 29.6219
IMD: 0.737001 BRL: 100.027 EXP: -39.4727
OBD: -3295.47 OVL: 3396.23

表 2

表面 No.	类型	半径	厚度	玻璃	透光孔径 的直径
1	a	65.7461	3.80000	丙烯酸	36.16
2	a	17.5651	9.93713		28.68
3		49.1937	3.00000	S-FTM16	27.61
4		25.1336	10.16757		25.89
5		37.7823	6.80000	S-LAH58	26.81
6		-73.4555	7.19145		25.85
7		孔径光阑	4.50000		18.14
8		64.1712	4.70000	S-FPL51	16.45
9		-20.7804	1.40000	S-TIH10	15.76
10		31.8208	1.40000		15.33
11			1.20000		15.45
12		-35.6966	2.70000	S-YGH52	15.56
13		-25.8663	0.10000		16.72
14		111.3154	3.00000	S-LAH59	18.13
15		-43.2547	33.51852		18.71
16			2.74300	472630	32.00
17			0.73642		32.00

符号描述
a - 多项式非球面
平均多项式非球面

表面 No.	D	E	F	G	H	I
1	1.8998E-05	-7.1981E-08	5.2166E-11	3.5907E-13	-1.0814E-15	9.2754E-19
2	2.5992E-05	-8.1054E-08	-1.0307E-10	-1.9572E-13	5.0155E-15	-1.8970E-17

系统第一级特性
OBJ. HT: -1670.0 f/ 2.36 MAG: -0.0090
STOP: 0.00 表面之后 11. DIA: 15.412
EFL: 28.9428 FVD: 96.8941 ENP: 29.1422
IMD: 0.736418 BRL: 96.1577 EXP: -40.5808
OBD: -3207.07 OVL: 3303.97

表 3

表面 No.	类型	半径	厚度	玻璃	通光孔径 的直径
1	a	67.3287	3.50000	丙烯酸	34.06
2	ac	21.1411	9.69574	丙烯酸	27.68
3	ac	90.0000	3.00000		25.13
4		30.6606	13.50839		23.29
5		45.8740	4.30000	S-LAH58	21.34
6		-67.0558	9.24086		20.74
7		113.1872	3.70000	S-BAL35	16.85
8		-22.4396	1.80000	PBH1	16.44
9		30.9075	0.40000		15.86
10		孔径光阑	2.51527		15.73
11		-79.7792	3.00000	S-LAH58	16.32
12		-29.6325	0.20000		17.00
13		314.4573	3.50000	S-LAH58	17.29
14		-30.3488	1.50000	S-TIH23	17.57
15		-101.0404	33.00000		17.87
16			2.74000	SIO2	32.00
17			1.00032		32.00

符号描述

- a - 多项式非球面
- c - 二次曲线部分

平均多项式非球面

表面

No.	D	E	F	G	H	I
1	3.9278E-05	-8.4110E-08	-1.5235E-10	2.5697E-12	-8.1789E-15	8.1235E-18
2	5.5369E-05	-1.1560E-07	1.2888E-09	-1.5932E-11	1.1919E-13	-3.2312E-16
3	-1.0970E-05	-1.8534E-07	3.1771E-09	-3.3508E-11	1.8182E-13	-4.2458E-16

系统第一级特性

OBJ. HT: -1250.0 f/ 2.40 MAG: -0.0120
STOP: 0.00 表面之后10. DIA: 15.732
EFL: 29.0083 FVD: 96.6006 ENP: 28.1390
IMD: 1.00032 BRL: 95.6003 EXP: -43.0638
OBD: -2408.43 OVL: 2505.03

表 4

表面 No.	类型	半径	厚度	玻璃	透光孔径 的直径
1	a	88.4662	3.50000	丙烯酸	35.00
2	a	15.1048	19.04346		27.40
3		41.9522	5.90000	S-LAM66	27.00
4		-75.5701	6.35075		26.00
5			4.00000		18.33
6		32.6795	4.50000	S-PHM53	16.27
7		-33.0612	1.60000	S-TIH53	15.43
8		25.9957	0.90000		14.66
9		孔径光阑	1.00000		14.65
10		-32.5784	5.00000	S-LAH58	14.66
11		-25.9460	1.71927		16.12
12		164.8941	3.20000	S-LAH58	17.34
13		-51.4227	33.15000		18.00
14			2.75000	ZKN7	32.00
15			0.80338		32.00

符号描述

a - 多项式非球面

平均多项式非球面

表面 No.	D	E	F	G	H	I
1	2.4598E-05	-1.3986E-07	2.6745E-10	6.1203E-13	-3.8796E-15	5.2238E-18
2	2.5828E-05	-1.6619E-07	-4.2448E-10	7.0690E-13	1.6323E-14	-1.1161E-16

系统第一级特性

OBJ. HT: -1690.0 $\frac{f}{\lambda}$ 2.40 MAG: -0.0090
STOP: 1.50 表面之后 10. DIA: 15.293
EFL: 28.9889 FVD: 93.4169 ENP: 26.5146
IMD: 0.803376 BRL: 92.6135 EXP: -41.0095
OBD: -3214.65 OVL: 3308.06

表 5

实例	Φ_0	Φ_{U1}	Φ_{U2}	Φ_{S1}	Φ_{S2}	Φ_{S3}	Φ_{S2+S3}
1	.0343	-.0389	.0341	.0322	-.0060	.0224	.0162
2	.0346	-.0340	.0334	.0346	-.0259	.0361	.0149
3	.0345	-.0280	.0334	.0320	-.0240	.0328	-.0133
4	.0345	-.0267	.0313	.0292	-.0195	.0329	.0167

表 6

实例	$ \Phi_{U1} /\Phi_0$	Φ_{U2}/Φ_0	Φ_{S1}/Φ_0	Φ_{S2+S3}/Φ_0
1	1.134	.994	.939	.472
2	.982	.965	1.000	.431
3	.812	.968	.928	.386
4	.774	.907	.846	.484

表 7

实例	D	$D \cdot \Phi_0$	BFL	$BFL \cdot \Phi_0$	θ
1	0.20	0.01	36.7	1.26	56
2	1.20	0.04	37.0	1.28	56
3	2.52	0.09	36.7	1.27	56
4	-1.50	-0.05	36.7	1.27	56

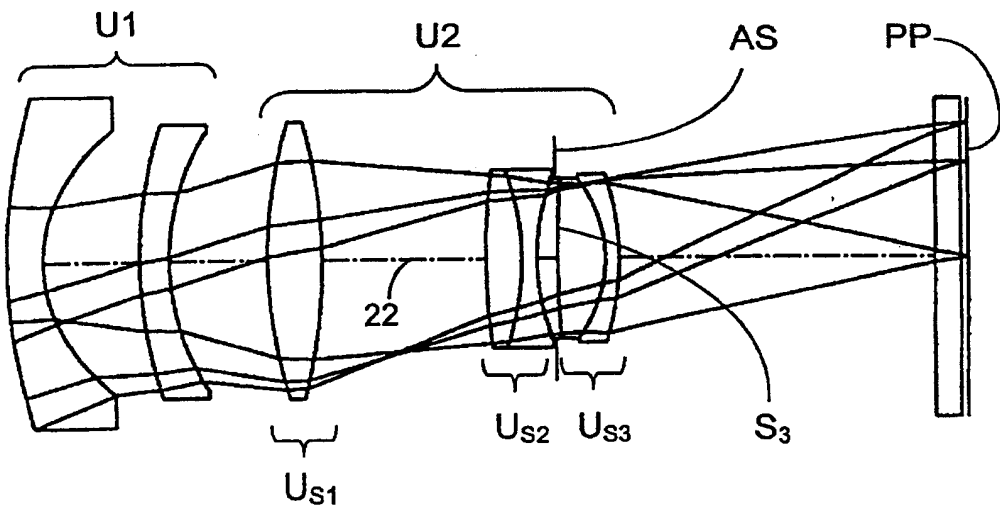


图 1

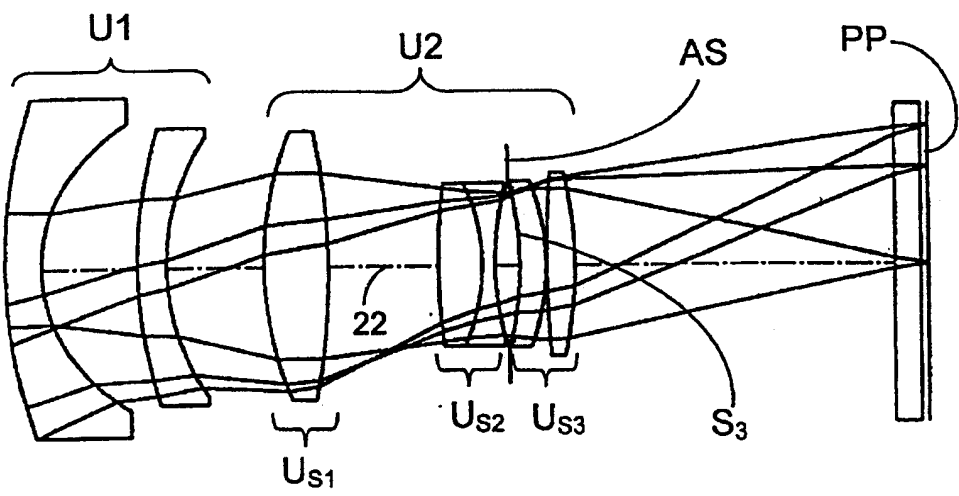


图 2

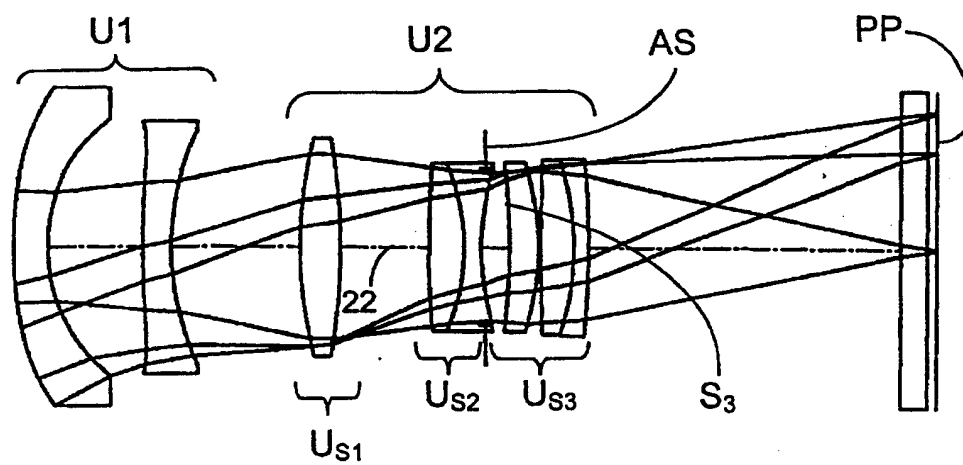


图 3

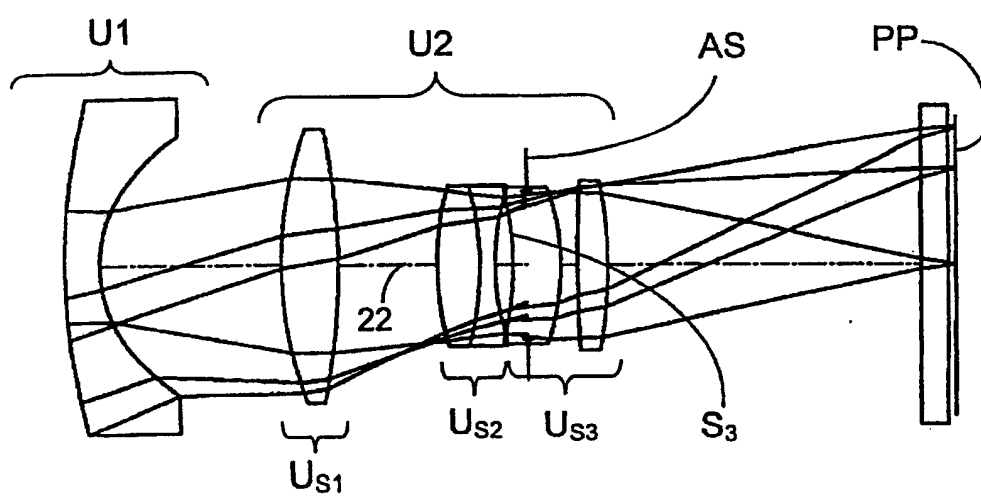


图 4

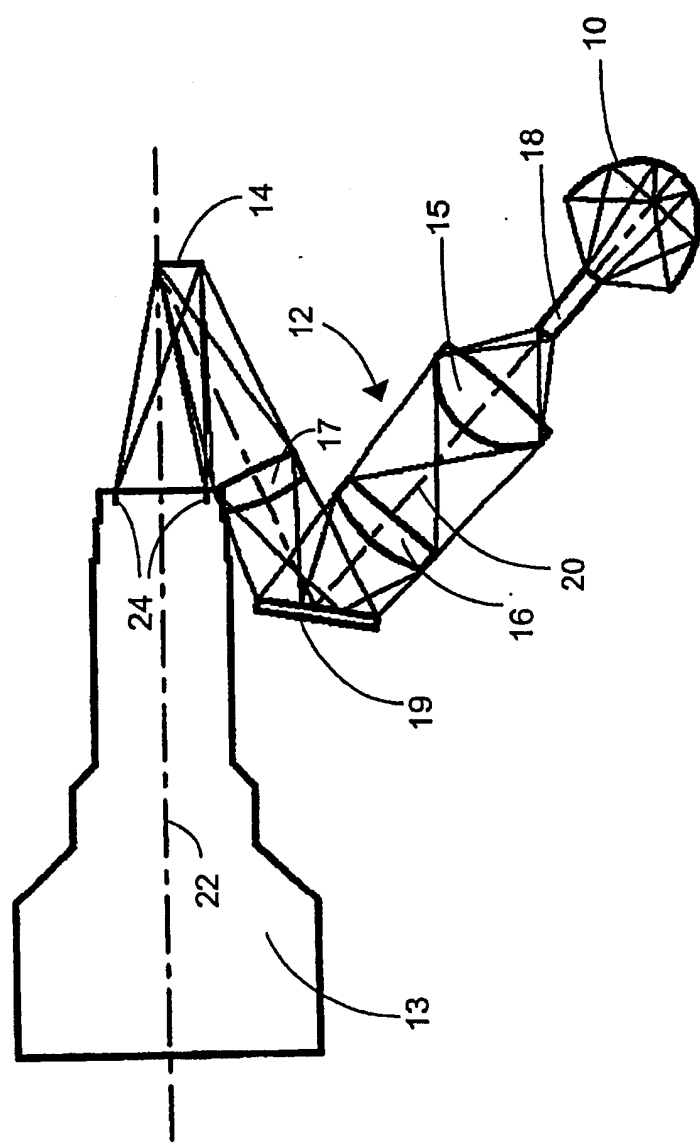


图 5