

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int.Cl⁷

G02B 3/00

G02B 15/14

[12]发明专利申请公开说明书

[21]申请号 98807972.0

[43]公开日 2000年9月6日

[11]公开号 CN 1265743A

[22]申请日 1998.7.30 [21]申请号 98807972.0

[30]优先权

[32]1997.8.5 [33]US [31]60/054,762

[86]国际申请 PCT/US98/15934 1998.7.30

[87]国际公布 WO99/08138 英 1999.2.18

[85]进入国家阶段日期 2000.2.3

[71]申请人 美国精密镜片股份有限公司

地址 美国俄亥俄州

[72]发明人 J·莫斯可维奇

[74]专利代理机构 上海专利商标事务所

代理人 钱慰民

权利要求书2页 说明书21页 附图页数6页

[54]发明名称 具有透镜校正单元的变焦投影透镜

[57]摘要

本发明提供了与LCD或DMD面板一起使用的变焦投影透镜。透镜具有两个单元U1和U2，两者相对移动，进行变焦。还有一个校正单元(CR)，离开LCD或DMD面板(PP)一段固定的距离。校正单元可以是色修正双合透镜，它位于透镜的物方(面板)，并且光焦度较小。该单元对畸变和横向色的校正性能较好，而且没有不适当当地增加透镜的复杂性或成本。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

权 利 要 求 书

1. 一种用于物体成像的投影透镜，所述透镜的变焦范围在最小有效焦距 f_{\min} 和最大有效焦距 f_{\max} 之间，其特征在于，所述透镜从其象方到其物方按顺序包括：

(A) 第一透镜单元；

(B) 第二透镜单元，它与第一透镜单元相距一段轴向间隔，在透镜变焦和/或聚焦期间，所述第一和第二透镜单元相对物体移动；和

(C) 校正透镜单元，它至少有一个非球面和满足下述关系的焦距 f_{CR} ：

$$|f_{CR}/f_{\min}| \geq 5;$$

所述校正透镜单元与物体相隔一段固定的轴向距离 D_{CR-OB} ，并且与第二透镜单元相隔一段可变的轴向距离 D_{CR-U2} ，对于透镜在 f_{\min} 和 f_{\max} 之间的所有有效焦距，都有：

$$D_{CR-OB} \geq D_{CR-U2}.$$

2. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，

$$|f_{CR}/f_{\min}| \geq 10.$$

3. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，透镜满足下述关系：

$$D_{CR-OB}/(f_{\min} \cdot \tan\omega) \geq 2$$

其中 ω 是当透镜有效焦距等于 f_{\min} 时，投影透镜沿图像方向的半视场。

4. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第一透镜单元具有负光焦度。

5. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第二透镜单元具有正光焦度。

6. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，第一透镜单元具有负光焦度，且第二透镜单元具有正光焦度。

7. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，校正透镜单元包括色修正装置。

8. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，还包括第三透镜单元，它位于第一透镜单元的象方。

9. 如权利要求 8 所述的投影透镜，其特征在于，第三透镜单元与物体

00·02·03

相隔一段固定的轴向距离。

10. 如权利要求 8 所述的投影透镜，其特征在于，第三透镜单元具有正光焦度。

11. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，投影透镜在变焦范围内的畸变小于或等于 2.5%。

12. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，物体是一像素化面板，并且对于在 465 纳米到 608 纳米范围内的波长，透镜在整个变焦范围内的横向色斑点小于一个象素。

13. 如权利要求 1 所述的投影透镜，其特征在于，当透镜从室温加热到其工作温度时，透镜的后焦距改变小于 0.2%。

14. 一种用于物体成像的投影透镜系统，其特征在于，所述系统包括：

- (A) 照射系统，它包括光源和用于形成光源的象的照射光学装置；
- (B) 像素化面板，它构成所述物体；
- (C) 权利要求 1 所述的投影透镜。

15. 如权利要求 14 所述的投影透镜系统，其特征在于，所述投影透镜具有入射光瞳，其位置基本上对应照射系统输出的位置。

说 明 书

具有透镜校正单元的变焦投影透镜

发明领域

本发明涉及投影透镜，尤其涉及用来对物体成象的变焦投影透镜，其中所述物体由诸如液晶显示器（LCD）或数字反光镜器件（DMD）等象素组成。

发明背景

投影透镜系统（这里也称为“投影系统”）用于在一观察屏上形成物体的象。这种系统的基本结构示于图 6，其中 10 是光源（例如，卤钨灯），12 是照射光学装置，该装置形成光源的象（下面称为照射系统的“输出”），14 是要投影的物体（例如，由接通和断开象素组成的矩阵），以及 13 是由多个透镜元件构成的投影透镜，它在观察屏 16 上形成物体 14 的经放大的象。图 6 画出了 LCD 面板的情况，在该情况下，照射系统的输出射到面板的背面，并透过这些透明的象素。另一方面，DMD 则利用反射进行工作，通过一个棱镜或类似器件将照射系统的输出射到面板的正面。

物体是象素化面板的投影透镜系统有许多应用，包括数据显示系统。这类投影透镜系统最好用单个投影透镜形成单个面板的象或者三个独立面板的象，其中所述单个面板例如具有红色、绿色和蓝色象素，而所述三个面板的每个面板带一种颜色。某些情况下，使用两个面板，一个面板带两种颜色（例如，红色和绿色），另一个面板带一种颜色（例如，蓝色）。旋转滤光轮或类似器件与带两种颜色的面板关联，并且同步于滤光器，交替地向该面板提供有关两种颜色的信息。

本领域需要一种与象素化面板一起使用的投影透镜，它至少同时具有以下性能：（1）能够在最大有效焦距和最小有效焦距之间变焦；（2）后焦距（工作距离）长；（3）色修正水平高；（4）畸变小；和（5）对温度变化的灵敏度低。

希望有一种能够在一焦距范围内有效工作的投影透镜，因为它无需改变投影系统中的任何元件就能使投影系统与尺寸不同的屏幕和大小不同的大

厅一起使用。当然，要求在整个焦距工作范围内保持高水平的象差校正，且不使透镜设计过度复杂。

特别当使用多个面板时，需要较长的后焦距（即，从最后的透镜表面到象素化面板的距离），以容纳诸如滤光镜、二向色分光镜、分束棱镜等光学元件，这些光学元件用来合并透镜系统投向观察屏的、来自不同颜色光路的光。另外，后焦距较长允许照射系统的输出位于投影透镜的附近，用以获得相对大的输出距离。希望有相对大的输出距离，因为它们在象素化面板上提供相对小的光入射角，这在 LCD 面板情况下特别重要。

由于在象素化面板的象中很容易观察到色差，它们看上去象象素的斑点，或者在极端情况下，看上去象整个象素从图像上落下，因此，高水平的色修正 是重要的。一般，这些问题在视场的边缘最为严重。

系统的所有色差都需要解决，其中横向色、彗差的色变化和象散色差一般是最困难的。横向色是放大率随颜色的变化，由于它表现为反差的减少，尤其在视场边缘，所以特别麻烦。在极端情况下，在全视场范围内可以看到彩虹现象。

在使用阴极射线管 (CRT) 的投影系统中，可以用电子学方法补偿少量的（剩余）横向色，例如其方法是相对于蓝色 CRT 上产生的象的大小，缩小红色 CRT 表面上产生的像的大小。但是，对于象素化面板，由于图像被数字化，不可能对整个视场进行平滑的尺寸调节，所以不能实现这种适应性调节。因此，投影透镜需要高水平的横向色修正。

用象素化面板显示数据对畸变校正提出了严格的要求。这是因为当观察数据时，即使在透镜视场的边缘各点处，也要求有良好的图像质量。显然，被显示的数字或字母在视场边缘具有非畸变图像与在中心同样重要。另外，投影透镜通常与偏移板一起使用，例 1—5 的透镜就是设计作此用途的。在这种情况下，观察屏上的畸变对经过屏幕中心的水平线的变化不对称，而是例如从屏幕底部到顶部单调上升。这种现象使观察者很容易观察到即使是小的畸变。

当关于 WINDOWS 类型计算机界面的经放大的图象投影到观察屏上时，畸变小以及色修正水平高就显得特别重要。这类界面具有平行线，带边界的命令框和对话框，以及复杂的着色，它们实质上是畸变和颜色的测试模式。对于这类界面的象，用户很容易认识并反对即使是最小的畸变或色差。

为了产生足够亮的像，必须有相当多的光线通过投影透镜。结果，通常在室温和透镜工作温度之间存在明显的温差。另外，透镜要能够在各种环境条件下工作。例如，通常将投影透镜系统固定在房间的天花板上，它可以是环境温度基本在 40°C 以上的屋顶。为了解决这些影响，需要光学性能对温度变化相当不灵敏的投影透镜。

解决温度灵敏性问题的一种办法是使用由玻璃制成的透镜元件。与塑料相比，玻璃元件之曲率半径和折射率的变化一般比塑料元件的小。但是，玻璃元件一般比塑料元件贵，特别是需要对非球面进行象差控制时。它们还较重。如下所述，只要适当选择塑料元件的光焦度和位置，就可以使用塑料元件，并且仍可以获得对温度不灵敏性。

下述投影透镜满足上述所有要求，并且可以成功地用于制造成本相当低的投影透镜系统，该系统能够在观察屏上形成象素化面板的高质量彩色图像。

现有技术的描述

有许多专利描述了与象素化面板一起使用的投影透镜，这些专利包括授于 Taylor 的美国专利第 4,189,211 号；授于 Tanaka 等人的美国专利第 5,042,929 号；授于 Yano 等人的美国专利第 5,179,473 号；授于 Moskovich 的美国专利第 5,200,861 号；授于 Moskovich 的美国专利第 5,218,480 号；授于 Moskovich 的美国专利第 5,625,495 号；授于 Iizuka 的美国专利第 5,278,698；授于 Betensky 的美国专利第 5,313,330 号；以及授于 Yano 的美国专利第 5,331,462 号；

以下专利对 LCD 系统作了讨论：授于 Gagnon 等人的美国专利第 4,425,028 号；授于 Gagnon 的美国专利第 4,461,542 号；授于 Ledebuhr 的美国专利第 4,826,311 号；以及 EPO 专利公报第 311,116 号。

发明内容

基于以上叙述，本发明的一个目的是提供一种与象素化面板一起使用的改进型投影透镜，该投影透镜同时具有上述五项性能。此目的可以通过一种变焦投影透镜来实现，所述透镜具有最小有效焦距 (f_{\min}) 和最大有效焦距 (f_{\max})，并且所述透镜从象方到物方（即，从其长共轭一侧到其短共轭

一侧) 按顺序包括:

- (A) 第一透镜单元 (U1) ;
- (B) 第二透镜单元 (U2) , 它与第一透镜单元相隔一段轴向距离, 在透镜变焦和/或聚焦期间, 所述第一和第二透镜单元相对象素化面板 (物体) 移动; 和
- (C) 校正透镜单元 (CR) , 它至少有一个非球面和满足下述关系的焦距 f_{CR} :

$$|f_{CR}/f_{min}| \geq 5; \quad (1)$$

所述校正透镜单元与象素化面板相隔一段固定的轴向距离 D_{CR-OB} , 并且与第二透镜单元相隔一段可变的轴向距离 D_{CR-U2} , 对于透镜在 f_{min} 和 f_{max} 之间的所有有效焦距, 都有:

$$D_{CR-OB} \geq D_{CR-U2}. \quad (2)$$

如关系式 (2) 中所使用的, D_{CR-OB} 是从物体到距物体最近的校正透镜单元表面的距离, 而 D_{CR-U2} 是从 CR 象方表面到 U2 物方表面的距离。

在某些较佳实施例中, 投影透镜还满足下述关系:

$$D_{CR-OB}/(f_{min} \cdot \tan\omega) \geq 2$$

其中 ω 是当透镜的有效焦距等于 f_{min} 时投影透镜沿图像方向的半视场。当透镜满足该关系时, 其后焦距的长度足以容纳用来形成象素化面板之彩色图像的光学元件, 例如放在校正透镜单元和象素化面板之间的滤光镜、二向色分光镜和分束棱镜等。

应该注意, 本发明校正透镜单元的性能和功能与 Iizuka 等人的美国专利第 5,278,698 号中的聚光透镜不同。'698 专利的聚光透镜靠近象素化面板, 具体地说, 相比'698 专利的正透镜单元, 聚光透镜更靠近象素化面板, 并且聚光透镜具有足够的光焦度, 可将来自照射系统的光射到投影透镜上。相反, 本发明的校正透镜单元具有最小的光焦度(参见上述关系式 (1)), 位置远离象素化面板, 具体地说, 其离开象素化面板的距离大于离开透镜的第二透镜单元的距离(参见上述关系式 (2)), 并且可以校正剩余畸变。具体地说, 由于校正透镜单元离开象素化面板的距离足够大, 所以校正透镜单元表面上的轴向光束大小不重要。因此, 此单元对校正剩余球差有贡献, 并且在进行校正时, 该单元允许在透镜的前部分完成对畸变的较佳校正。

在本发明的某些实施例中, 校正透镜单元包括色修正装置, 例如色修

正双合透镜，或者更一般的是具有低色散的正透镜单元和具有高色散的负透镜单元。在其余实施例中，第一透镜单元具有负光焦度，而第二透镜单元具有正光焦度，致使第一和第二透镜单元具有反焦透镜的基本结构。在又一些实施例中，透镜系统包括正的第三透镜单元（U3），它位于第一透镜单元的象方，所述第三透镜单元在透镜系统变焦和聚焦期间保持固定。

最好将本发明的投影透镜设计成基本上绝热。如以下全面讨论的，这可以通过使用玻璃和塑料透镜元件以及平衡具有足够大光焦度的塑料透镜元件的光焦度来做到。通过这种方式，可以用负透镜元件光焦度的变化来补偿因温度变化引起的正透镜元件光焦度的变化，从而当温度变化时，可以使投影透镜的所有光学性能基本上恒定。

本发明的投影透镜可以具有传统的孔径阑，或者对它们进行设计，将照射系统输出的位置用作投影透镜的伪孔径阑/入射光瞳（参见 Betensky 的美国专利第 5,313,330 号，该专利的相关部分通过引用包括在此。）。利用这种方法，可以在照射系统的光输出和投影透镜之间获得有效耦合。

当使用伪孔径阑/入射光瞳方法时，本发明提供了一种用于对物体成象的投影透镜系统，所述系统包括：

(A) 照射系统，它包括光源和用于形成光源的象的照射光学装置，所述象是照射系统的输出；

(B) 象素化面板，它构成所述物体；和

(C) 上述类型的投影透镜，所述投影透镜有一入射光瞳，其位置基本上对应于照射系统输出的位置。

附图概述

图 1-5 是侧视示意图，示出了依照本发明构造的投影透镜。在这些图中，用标志“PP”表示与透镜一起使用的象素化面板。

图 6 是一示意图，示出了可以使用本发明投影透镜的整个的投影透镜系统。

上述附图包含在说明书中，并且构成说明书的一部分。这些附图图示了本发明的较佳实施例，它们与说明书一起解释本发明的原理。当然应该理解，附图和说明书都只对本发明作说明，而非限制。

较佳实施例的描述

本发明的投影透镜主要用于这样的投影系统，这些系统用三个数字器件（三个象素化面板）产生三原色（红、绿和蓝）的输入图像。用物体和透镜之间的二向色分光镜或分束棱镜合并这些图像，从而在屏幕上提供彩色的象。为了容纳这些元件，投影透镜要具有较长的工作距离。为了做到这点，一般使用反焦类型的变焦透镜。这种变焦透镜的特征是在长共轭一侧有负光焦度组，而短共轭一侧有正光焦度组。两组相对移动，使放大率变化。

一般来说，如果在透镜中用足够多的元件来提供足够大的自由度，那么就可以控制色差。偶然用非球面的塑料元件来减少元件数量并使透镜的总成本最低。但是，当视场对于宽角度变焦（例如，30°左右半视场）变得相当宽时，畸变和横向色的校正难度变得更大。如上所述，LCD 和 DMD 投影仪中所用数字器件的特性以及一般用这类器件显示的信息类型使得必须将畸变和横向色校正到非常高的水平。由于投影系统的应用对分辨率提出越来越多的要求，所以数字器件的象素大小变得更小，象差校正要求也变得更为严格。

依照本发明，通过增加上述反焦变焦透镜，在透镜的短共轭一侧附加一个具有低光焦度的非球面固定校正器，来达到所要求的较高的象差校正水平，并且没有明显增加透镜的复杂程度和成本。特别是，已经发现单个弱的非球面元件可以极佳地校正各种象差的剩余量，尤其是校正畸变的剩余量。最好，在整个透镜变焦范围内，畸变校正能高出约 2.5%。如上所述，校正器通过校正球面象差的剩余量（这允许在透镜的正面部分更好地校正畸变），使整个透镜的畸变校正达到上述水平。

当校正单元包含色修正装置时，还可以提高对横向色的校正。色修正装置可以包括由高色散材料制成的负透镜元件和由低色散材料制成的正透镜元件（参见例 4）。如果需要，正负透镜元件可以是一个粘合在一起的双合透镜。高色散材料和低色散材料可以是玻璃或塑料。

一般来说，高色散材料的色散象氧化铅玻璃，而低色散材料的色散象冕牌玻璃。具体地说，对于折射率范围为 1.85—1.5 的情况，高色散材料的 V 值在 20—50 的范围内，而低色散材料的 V 值在 35—75 的范围内。

对于塑料透镜元件，高和低色散材料分别可以是苯乙烯和丙烯酸。当然如果需要，也可以使用其它塑料。例如，可以用聚碳酸酯以及聚苯乙烯和丙烯酸的共聚物（例如 NAS）来代替苯乙烯，它们具有火石般的色散。参见

Ohio 州 Cincinnati 市美国精密镜片股份有限公司于 1983 年出版的“塑料光学装置手册”第 17—29 页。

通过移动第一和第二透镜单元可以改变本发明投影透镜的焦距。同样，通过移动这些单元可以聚焦。可以使用本领域常规的装置实现上述移动。

如上所述，使本发明的投影透镜绝热，由此当投影透镜从室温加热到其工作温度时，系统的光学性能基本不变。具体地说，系统后焦距的热致变化最好小于大约 0.2%。通过选择和放置塑料透镜元件中的透镜，可以实现所需的热稳定性。

一般来说，使用塑料透镜元件有以下缺点，即塑料光学材料的折射率随温度明显变化。另一影响是塑料光学材料的形状随温度改变，即膨胀或收缩。后一影响通常没有折射率的改变来得明显。

如果透镜中只使用光焦度较低的塑料透镜元件，那么可以在塑料光学装置的热变化和系统之塑料或铝制元件的热变化（例如，透镜镜筒，它通常是热致焦距变化的主要机械源。）之间达到一种平衡。在设计中无限制使用光学塑料元件（即，能够使用具有相当高光焦度的塑料透镜元件）的优点在于：因为塑料透镜元件容易注模，所以可以用非球面的光学表面（非球面）使特殊透镜的设计性能最强。使用相当高光焦度元件还可以使透镜的整个成本较低，重量减轻，尤其当透镜设计包括较大的透镜元件时。

如果设计中净塑料光焦度很重要，那么需要进行绝热处理，否则当透镜温度从室温变为其工作温度时，透镜焦距会发生明显的变化。当投影仪必须向观察屏投射大量光线，致使工作温度明显高于室温时，尤其如此。

对于本发明的投影透镜，通过平衡正负塑料光焦度来实现绝热，同时还要考虑塑料透镜元件的位置以及在这些元件处的边缘光线高度。

对于元件将经历的温度变化量乃至元件折射率将产生的变化量而言，塑料透镜元件的位置是很重要的。一般来说，靠近光源或光源象的元件会受到较大的温度变化。实践中，在光源及其相关的照射光学装置工作时，测量投影透镜放置区中的温度分布，并且将这些测量值用到投影透镜的设计中。

对于一给定的热变化，特定塑料透镜元件上的边缘光线高度决定了元件折射率的变化对于透镜的总体热稳定性是否重要。边缘光线高度较低的元件（例如，系统焦点附近的元件）对系统总体热稳定性的影响一般比边缘光线高度较高的元件小。

基于上述考虑，可以通过以下方式来实现绝热，即通过平衡塑料透镜元件的正负光焦度，并且根据期望元件经受的温度变化以及元件的边缘光线高度，调节特定元件的贡献。实践中，绝热过程包含在下述计算机化的透镜设计程序中。首先，在第一温度分布下完成一条光迹(ray trace)，并且计算后焦距。该光迹可以是对边缘光线的近轴光迹。其次，在第二温度分布下完成相同的光迹，并且再次计算后焦距。第一和第二温度分布对整个透镜都不必为常数，但可以且在一般情况下确实是随透镜元件的不同而变化。然后，当用透镜设计程序优化系统设计时，将计算得到的后焦距限制为常数。

应该注意，上述方法假设：当系统温度变化时，投影透镜和象素化面板的机械支架基本上保持最后透镜表面与面板之间的距离恒定。如果该假设是不到保证，那么可以实行其他规定来实现绝热，例如在过程中包括机械支架相对移动的测量值，或者假设另一距离是机械固定的，例如透镜正面与面板之间的距离。

图 1-5 示出了依照本发明构造的各种投影透镜。相应的规定和光学性能分别列在表 1-5 中。对于透镜系统中使用的玻璃，使用 HOYA 或 SCHOTT 标记。在实施本发明时，还可以使用由其它制造商制造的等价玻璃。工业上可接受的材料用于塑料元件。

诸表所列的非球面系数可用于以下等式：

$$z = \frac{CY^2}{1 + \left[1 - (1+k)C^2 Y^2\right]^{1/2}} + D Y^4 + E Y^6 + F Y^8 + G Y^{10} + H Y^{12} + I Y^{14}$$

这里， z 是在离系统光轴的距离为 y 处的表面弛垂度； c 是透镜在光轴处的曲率；而 k 是圆锥常数，对于表 1-5 中的透镜系统， k 为零。

在表中，与各个表面相关的标记“a”代表非球面，即，在上述公式中的 D、E、F、G、H 或 I 中至少有一个不为零的表面。表 3-5 中的表面 1 是可选择的光晕表面 (vignetting surface)。表 1 中的表面 20-22 以及表 2 中的表面 21-23 对应于诸如反光镜、棱镜等光学元件，它们用于形成象素化面板的彩色的象。尽管表 3-5 中没有列出，但也可以将类似的光学元件与这些表中的透镜系统一起使用。

在制作这些表时，假设光线在图中从左至右行进。在实践中，观察屏将在左方，而象素化面板将在右方，光线将从右向左行进。具体地说，表中

物和象的标号与说明书其余部分和权利要求书中使用的相反。表中给出的所有尺寸都以毫米为单位。

表 6 列出了表 1—5 的各种元件和透镜表面与上述“第一透镜单元”、“第二透镜单元”、“第三透镜单元”（可选择）和“校正透镜单元”等术语之间的对应关系。具体地说，U1 是第一透镜单元，U2 是第二透镜单元，U3 是第三透镜单元，而 CR 是校正透镜单元。

例 1—4 的透镜是用传统孔径阑设计的。这种传统孔径阑一般会在某些变焦位置造成光的损失，但其好处是照射系统的输出不必完全特征化或全面控制。例 5 的投影透镜是用 Betensky 的美国专利第 5,313,330 号的伪孔径阑/入射光瞳技术设计的。根据该方法，用照射系统确定投影透镜的入射光瞳，对于所有透镜焦距和共轭，入射光瞳相对象素化面板的位置恒定。

表 5 中标有“孔径阑”的表面构成上述 Betensky 专利的伪孔径阑。其位置对应于照射系统输出的位置。该规定下的表面 22 是一虚拟表面，它使孔径阑位于透镜的正透镜表面和后透镜表面所限定的间距内。由标有“可变间隔”的子表可见，对于例 5 中投影透镜的所有变焦位置，从伪孔径阑到象素化面板的距离基本不变（参见，标有“象距”的列）。

表 6 概括了表 1—5 中透镜的各种性能。如该表所示，例示的透镜满足上述关系式（1），即它们的 $|f_{CR}/f_{min}|$ 比值都大于 5。如最好的那样，这些例子的 $|f_{CR}/f_{min}|$ 比值还都大于 10。

至于关系式（2），由表 1—5 可见，校正单元的位置更靠近透镜，而远离物体。因此保持了较长的工作距离（透镜与 LCD/DMD 器件之间的距离）。在数量上，对于透镜的所有变焦位置， D_{CR-OB} 与 S_{CR-U2} 的比值都大于 1.2。

如表 7 所示，对于例 1—5 的透镜，还满足关系式（3）。

关于象差校正，对表 1—5 列出的变焦范围，透镜获得的畸变小于 2.5%，并且对于 470 纳米和 630 纳米之间的波长，色修正优于一个象素。

虽然已经描述了本发明的一些特定实施例，但应明白，根据上面的揭示，不背离本发明范围和精神的种种变更对于本领域内的一般技术人员而言将是显而易见的。

表 1

表面 编 号	类型	半径	厚度	玻璃	净通光 孔径直径
1	a	72.2998	4.00000	丙烯酸	49.42
2	a	24.4899	27.09795		38.58
3		-85.0790	3.00000	LAK8	29.71
4		55.3261	0.50000		28.45
5		47.0661	5.00000	SF6	28.48
6		201.3419	间隔 1		27.61
7		孔径圈	1.99828		21.15
8		211.5049	6.00000	LF6	21.74
9		-22.4657	2.00000	SK18	22.22
10		-56.6906	28.90509		23.16
11		-29.6643	2.00000	SF6	28.85
12		-374.7046	7.00000	FK5	32.26
13		-42.3814	0.50000		35.10
14		152.2023	9.00000	SK5	39.53
15		-43.8850	0.50000		40.55
16		-258.2722	6.00000	丙烯酸	40.50
17	a	-72.1510	间隔 2		40.70
18	a	-975.9416	4.00000	丙烯酸	37.99
19		-165.2441	1.00000		37.79
20		-	70.67000	BK7	37.36
21		-	3.00000	ZK7	27.73
22		-	象距		27.32

标记说明

a - 多项式非球面

偶次幂多项式非球面

表面 编 号	D	E	F	G	H	I
1	2.5042E-05	-4.6111E-08	2.8946E-12	1.5904E-13	-2.3985E-16	1.1367E-19
2	2.7558E-05	-5.3311E-09	-2.9095E-10	9.0640E-13	-7.1726E-16	1.7276E-19
17	2.2010E-06	9.2620E-10	-1.0191E-13	5.8030E-16	-2.6548E-19	5.8635E-22
18	-7.1025E-07	-6.9015E-12	1.3363E-12	-1.4732E-15	-2.1087E-18	9.5727E-22

可变间隔

可变焦 距位置	间隔 1 T(6)	间隔 2 T(17)	焦点位移	象距
1	53.901	2.000	0.000	10.500
2	20.228	18.917	-0.086	10.500
3	3.000	35.978	-0.053	10.500

00-002-003

表 1 (续)

一阶数据

f /数	2.85	2.90	3.00
放大率	-0.0050	-0.0050	-0.0050
物高	-2500.0	-2500.0	-2500.0
物距	-4160.6	-6167.2	-8173.2
有效焦距	21.000	31.000	41.000
象距	10.500	10.500	10.500
总长度	4409.1	6399.0	8404.8
前镜顶距离	248.57	231.82	231.65
镜筒长度	238.07	221.32	221.15
孔径阑表面编号	7	7	7
至孔径阑的距离	0.00	0.00	0.00
孔径阑直径	20.156	20.748	20.983
入射光瞳距离	39.704	33.283	27.383
出射光瞳距离	-1614.0	-2123.6	-2999.3

元件的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度	f
1	1 2	-0.12964E-01	-77.136
2	3 4	-0.21552E-01	-46.399
3	5 6	0.13422E-01	74.504
4	8 9	0.27828E-01	35.935
5	9 10	-0.16839E-01	-59.384
6	11 12	-0.25160E-01	-39.745
7	12 13	0.10307E-01	97.023
8	14 15	0.17066E-01	58.595
9	16 17	0.49844E-02	200.63
10	18 19	0.24863E-02	402.21

双合透镜的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度
4 5	8 10	0.10776E-01
6 7	11 13	-0.13177E-01

00-02-03

表 2

表面 编号	类型	半径	厚度	玻璃	净通光 孔径直径
1 a		97.9903	4.00000	丙烯酸	47.22
2 a		23.9903	20.98199		37.28
3		-80.1623	3.00000	TAF1	31.50
4		56.3974	5.00000	SF57	30.71
5		-725.7978	间隔 1		30.49
6	孔径圈	3.02983			21.78
7		68.8076	2.00000	SSK5	22.87
8		33.5003	6.00000	LF5	23.08
9		-125.9711	26.49730		23.45
10		-27.8264	2.00000	SF11	25.18
11		-1505.6150	7.00000	FK5	28.37
12		-40.8821	0.50000		31.48
13		-528.5488	6.00000	BAK4	34.11
14		-55.4622	0.20000		35.77
15		-528.5488	6.00000	BAK4	36.91
16		-55.4622	0.50000		37.74
17 a		-120.0000	5.00000	丙烯酸	37.81
18 a		-69.2027	间隔 2		38.36
19 a	"	4.00000		丙烯酸	37.11
20 a	-144.0249	1.00000			36.86
21	"	70.67000		BK7	36.45
22	"	3.00000		ZK7	27.44
23	"	象距			27.05

标记说明

a - 多项式非球面

偶次幂多项式非球面

表面 编号	D	E	F	G	H	I
1	1.4196E-05	-3.1124E-08	7.2170E-12	1.4060E-13	-2.5612E-16	1.3642E-19
2	1.1526E-05	9.3457E-10	-2.7899E-10	9.4564E-13	-4.6984E-16	-1.0955E-16
17	-7.0619E-07	1.5712E-11	-2.0515E-13	2.1405E-15	6.4550E-18	-3.2905E-20
18	2.0465E-07	-5.1086E-10	2.0254E-12	3.0081E-15	-1.0258E-17	-6.5138E-21
19	-1.2834E-06	-3.3184E-10	3.1373E-12	5.1744E-16	1.4226E-17	7.0676E-20
20	-1.9866E-07	9.8049E-10	-2.7704E-13	2.2504E-15	1.6525E-17	8.5178E-20

可变间隔

可变焦 距位置	间隔 1	间隔 2	焦点位移	象距
	T(5)	T(18)		
1	53.893	2.000	0.003	10.500
2	22.123	21.249	-0.205	10.501
3	6.488	40.981	-0.028	10.500

00·02·03

表 2 (续)

一阶数据

f /数	2.70	2.85	3.00
放大率	-0.0050	-0.0050	-0.0200
物高	-2500.0	-2500.0	-625.00
物距	-4179.1	-6171.7	-2002.6
有效焦距	21.071	31.005	40.544
象距	10.500	10.501	10.500
总长度	4421.9	6402.0	2237.0
前镜顶距离	242.77	230.25	234.35
镜筒长度	232.27	219.75	223.85
孔径阑表面编号	6	6	6
至孔径阑的距离	0.00	0.00	0.00
孔径阑直径	21.466	21.493	21.492
入射光瞳距离	35.172	29.257	24.222
出射光瞳距离	-4000.1	-1.0530E+06	4737.3

元件的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度	r
1	2	-0.15266E-01	-65.507
2	3	-0.23671E-01	-42.245
3	4	0.16291E-01	61.384
4	5	-0.99041E-02	-100.97
5	6	0.21793E-01	45.887
6	7	-0.27916E-01	-35.822
7	8	0.11658E-01	85.777
8	9	0.92614E-02	107.97
9	10	0.92614E-02	107.97
10	11	0.31187E-02	320.65
11	12	0.34284E-02	291.68

双合透镜的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度	r
2	3	-0.70388E-02	-142.07
4	5	0.11810E-01	84.671
6	7	-0.14317E-01	-69.845

00-02-03

表 3

表面 编号	类型	半径	厚度	玻璃	净通光 孔径直径
1		-	0.00000		149.44
2	a	-2758.9689	10.00000	丙烯酸	121.89
3	a	162.7148	32.41289		97.02
4		1317.9611	6.00000	LAK8	94.74
5		71.7345	5.58533		88.03
6		106.5479	10.50000	SF6	88.04
7		285.6476	0.20000		87.95
8	a	140.6917	10.50000	丙烯酸	88.88
9	a	226.6795	间隔 1		88.38
10		孔径圈	10.00000		59.29
11		-115.7482	4.00000	LAK8	60.96
12		372.6067	0.20000		65.49
13		115.6547	14.00000	SF2	69.87
14		-160.1106	1.00000		71.15
15	a	-353.2545	6.00000	丙烯酸	71.40
16	a	-206.8843	5.68170		73.56
17		-257.8060	11.00000	BK7	75.56
18		-80.6332	0.50000		76.93
19		-96.1449	5.00000	SF6	76.87
20		795.2449	6.88605		82.05
21		-6516.3498	22.00000	BK7	86.61
22		-67.0669	间隔 2		89.24
23	a	-90.0000	6.00000	丙烯酸	88.35
24	a	-66.0735	象距		89.82

标记说明

a - 多项式非球面

偶次幂多项式非球面

表面 编号	D	E	F	G	H	I
2	3.0424E-06	-8.1984E-10	1.4501E-13	5.7852E-18	-2.4707E-21	-9.0217E-26
3	3.4492E-06	-1.7946E-10	-3.3006E-13	2.9306E-16	-7.8431E-20	1.8517E-23
8	-4.7800E-07	1.0095E-10	7.9308E-14	4.2610E-17	-3.4798E-21	-7.6237E-24
9	-9.8746E-07	7.2987E-11	4.3678E-14	1.2424E-17	3.7489E-24	-6.9653E-24
15	-7.6932E-07	-1.4655E-10	-5.4268E-14	7.2357E-18	5.3795E-21	-5.3761E-26
16	4.4139E-07	-4.9168E-11	9.3095E-15	1.1944E-18	-5.2487E-21	3.9426E-24
23	7.6092E-08	2.5927E-11	4.1204E-15	1.8260E-18	2.8035E-21	1.5980E-25
24	1.3565E-07	2.0958E-11	1.1490E-14	-7.6191E-18	7.3884E-21	-8.4099E-25

可变间隔

可变焦 距位置	间隔 1 T(9)	间隔 2 T(22)	焦点位移	象距
1	148.330	1.856	0.603	280.004
2	68.874	63.419	0.256	279.998
3	29.152	125.088	-0.226	279.986

000-02-003

表 3 (续)

一阶数据

f /数	3.82	4.41	5.00
放大率	-0.0100	-0.0125	-0.0150
物高	-5800.0	-4640.0	-3866.7
物距	-9919.6	-11963.	-13338.
有效焦距	100.00	150.00	200.00
象距	280.00	280.00	279.99
总长度	10517.	12543.	13939.
前镜顶距离	597.66	579.76	601.69
镜筒长度	317.65	299.76	321.71
孔径阑表面编号	10	10	10
至孔径阑的距离	0.00	0.00	0.00
孔径阑直径	58.448	58.404	58.419
入射光瞳距离	105.35	84.275	68.015
出射光瞳距离	-126.58	-198.81	-274.96

元件的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度	r
1	2 3	-0.32172E-02	-310.83
2	4 5	-0.94211E-02	-106.14
3	6 7	0.49078E-02	203.76
4	8 9	0.13851E-02	721.99
5	11 12	-0.81369E-02	-122.90
6	13 14	0.95152E-02	105.06
7	15 16	0.10023E-02	997.67
8	17 18	0.45149E-02	221.49
9	19 20	-0.94980E-02	-105.29
10	21 22	0.76637E-02	130.49
11	23 24	0.37670E-03	2654.7

表 4

表面 编号	类型	半径	厚度	玻璃	净通光 孔径直径
1		-	17.00229		276.02
2 a		237.1932	15.00000	丙烯酸	212.50
3 a		90.8590	82.32077		168.71
4 a		-247.2009	10.00000	丙烯酸	160.28
5		529.5923	0.50000		158.89
6		187.5174	13.00000	SF6	159.93
7		348.1046	间隔 1		158.38
8 a		221.8899	12.00000	丙烯酸	115.07
9 a		1611.4189	63.03422		113.28
10		-272.3091	7.00000	SF4	123.18
11		2233.7061	0.50000		129.22
12		388.2929	29.00000	BK7	133.52
13		-117.0573	0.50000		134.27
14 a		-534.1219	12.00000	丙烯酸	131.82
15 a		-489.5588	间隔 2		132.53
16 a		-193.4819	14.00000	丙烯酸	146.65
17 a		-124.8392	0.50000		147.01
18		-168.3820	8.00000	F2	146.95
19		-286.9523	象距		151.88

标记说明

a - 多项式非球面

偶次幂多项式非球面

表面 编号	D	E	F	G	H	I
2	3.5251E-08	3.2290E-12	-4.3225E-17	2.0451E-20	-4.9581E-24	2.7651E-28
3	-4.1104E-08	-7.3823E-13	9.6994E-17	6.1436E-20	-9.4222E-24	-3.0426E-27
4	-3.8044E-08	-1.9972E-12	1.1467E-15	-1.8033E-19	-7.7360E-24	1.8761E-27
8	-7.9932E-08	1.6493E-13	-8.3436E-15	3.5499E-18	-5.8447E-22	3.8050E-26
9	8.5788E-09	-6.5729E-12	1.6655E-15	4.1854E-19	-2.6205E-23	8.6648E-28
14	-1.1719E-07	1.0781E-11	-2.3805E-16	3.9958E-19	-1.1846E-22	9.4444E-27
15	-4.6160E-08	9.1968E-12	1.8379E-15	-2.1439E-19	-2.0830E-23	3.5330E-27
16	2.7832E-08	6.0546E-12	2.1169E-15	2.8769E-19	1.4529E-24	-1.8868E-28
17	6.0329E-08	9.0569E-12	9.7519E-16	3.0046E-19	4.1042E-23	-2.7867E-27

可变间隔

可变焦 距位置	间隔 1		间隔 2		焦点位移	象距
	T(7)	T(15)				
1	196.719	60.449		-0.102	316.956	
2	94.237	138.001		0.452	316.993	
3	35.717	224.093		0.744	317.058	

000-012-003

表 4 (续)

一阶数据

f /数	3.70	4.35	5.05
放大率	-0.0100	-0.0150	-0.0200
物高	-10890.	-7260.0	-5445.0
物距	-16973.	-16413.	-16578.
有效焦距	170.95	246.95	330.97
象距	316.96	316.99	317.06
总长度	17832.	17247.	17439.
前镜顶距离	858.48	833.59	861.23
镜筒长度	541.52	516.60	544.17
孔径阑表面编号	9	9	9
至孔径阑的距离	31.52	31.52	31.52
孔径阑直径	103.695	103.446	103.870
入射光瞳距离	182.32	159.29	140.50
出射光瞳距离	-165.15	-246.68	-336.51

元件的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度	f
1	2 3	-0.32392E-02	-308.72
2	4 5	-0.29423E-02	-339.67
3	6 7	0.20718E-02	462.68
4	8 9	0.19244E-02	519.65
5	10 11	-0.31418E-02	-318.29
6	12 13	0.56542E-02	176.86
7	14 15	0.91642E-04	10912.
8	16 17	0.14978E-02	667.62
9	18 19	-0.14918E-02	-670.35

表 5

表面 编号	类型	半径	厚度	玻璃	净通光 孔径直径
1		-	6.09264		215.77
2		469.1296	12.00000	F2	206.04
3		176.4976	0.50000		193.30
4	a	152.1949	42.83528	丙烯酸	193.71
5		-1177.0830	间隔 1		191.60
6	a	881.8484	15.00000	丙烯酸	147.24
7		112.3877	32.37052		126.10
8	a	-176.4906	14.00000	丙烯酸	125.93
9	a	-34734.4229	1.00000		128.58
10		234.1772	13.00000	SF14	130.17
11		867.4759	间隔 2		129.18
12		141.0650	23.00000	FK5	121.51
13		-467.6623	0.50000		120.70
14		161.7719	14.00000	LAK13	118.35
15		500.3741	10.45864		115.95
16		-465.6965	7.00000	F2	114.16
17		113.0470	11.91093		109.21
18		716.9085	15.00000	FK5	109.18
19		-261.1313	间隔 3		110.58
20		-131.9850	16.00000	丙烯酸	121.32
21	a	-135.9592	1.00000		127.94
22		-	-150.00000		131.76
23		孔径阑	象距		110.43

标记说明

a - 多项式非球面

偶次幕多项式非球面

表面 编号	D	E	F	G	H	I
4	-1.1309E-08	-2.1131E-13	-7.7869E-17	1.0282E-20	-8.6300E-25	2.3371E-29
6	3.2299E-08	9.2468E-13	2.3854E-16	2.9361E-20	-3.8454E-24	9.6267E-28
8	2.8793E-09	-1.1965E-11	9.0379E-17	-1.6077E-19	-9.5758E-23	1.7893E-26
9	3.7715E-08	-5.1432E-12	-2.6470E-16	6.8702E-21	-2.0528E-23	7.7139E-27
21	1.3255E-08	3.4416E-12	-8.6612E-16	1.0710E-19	-5.6243E-24	8.4682E-29

可变间隔

可变焦 距位置	间隔 1	间隔 2	间隔 3	焦点位移	象距
	T(5)	T(11)	T(19)		
1	42.651	193.998	40.683	-1.131	490.000
2	104.114	86.943	86.275	-1.416	490.003
3	99.122	12.000	166.210	0.690	490.011

00·02·03

表 5 (续)

一阶数据

f/数	4.50	4.50	5.13
放大率	-0.0200	-0.0200	-0.0200
物高	-5500.0	-5500.0	-5500.0
物距	-16047.	-24147.	-32148.
有效焦距	322.41	480.94	634.64
象距	490.00	490.00	490.01
总长度	16900.	25000.	33001.
前镜顶距离	853.00	853.00	853.01
镜筒长度	363.00	363.00	363.00
孔径阑表面编号	23	23	23
至孔径阑的距离	0.00	0.00	0.00
孔径阑直径	109.917	109.944	95.866
入射光瞳距离	287.75	379.76	429.26

元件的一阶性质

元件 编号	表面 编号	光焦度	r
1	2 3	-0.21709E-02	-460.65
2	4 5	0.36248E-02	275.88
3	6 7	-0.38089E-02	-262.55
4	8 9	-0.27832E-02	-359.30
5	10 11	0.24174E-02	413.66
6	12 13	0.44574E-02	224.35
7	14 15	0.29634E-02	337.45
8	16 17	-0.68925E-02	-145.09
9	18 19	0.25426E-02	393.30
10	20 21	0.36176E-04	27643.

00 · 002 · 00 ·
 * f_1 、 f_2 、 f_{CR} 和 f_3 是相应透镜单元的焦距，而 f_{min} 和 f_{max} 分别是透镜作为一个整体在变焦范围的最短端和最长端的焦距。

表 6*

例子	表面编号	U1		U2		CR		U3		f_{max}
		f_1	表面编号	f_2	表面编号	f_{CR}	f_3	f_{min}		
1	1-6	-42.17	7-17	60.97	18-19	402.21	-	-	21.00	41.00
2	1-5	-41.07	6-18	63.93	19-20	291.68	-	-	21.07	40.54
3	1-9	-152.48	10-22	170.53	23-24	2654.70	-	-	100.00	200.00
4	1-7	-228.67	8-15	237.36	16-19	-22457.00	-	-	170.95	330.97
5	6-11	-244.60	12-19	260.03	20-21	27643.00	1-5	690.42	322.41	634.64

00·002·03

表 7

例子	D_{CR-OB}/f_{min}	f_{min} 处的 1/2 视场	$D_{CR-OB}/(f_{min} \cdot \tan\omega)$
1	2.86	30.8°	4.80
2	2.86	30.7°	4.82
3	2.80	30.1°	4.83
4	1.86	32.4°	2.93
5	1.07	18.6°	3.18

000-002-003
说 明 书 附 图

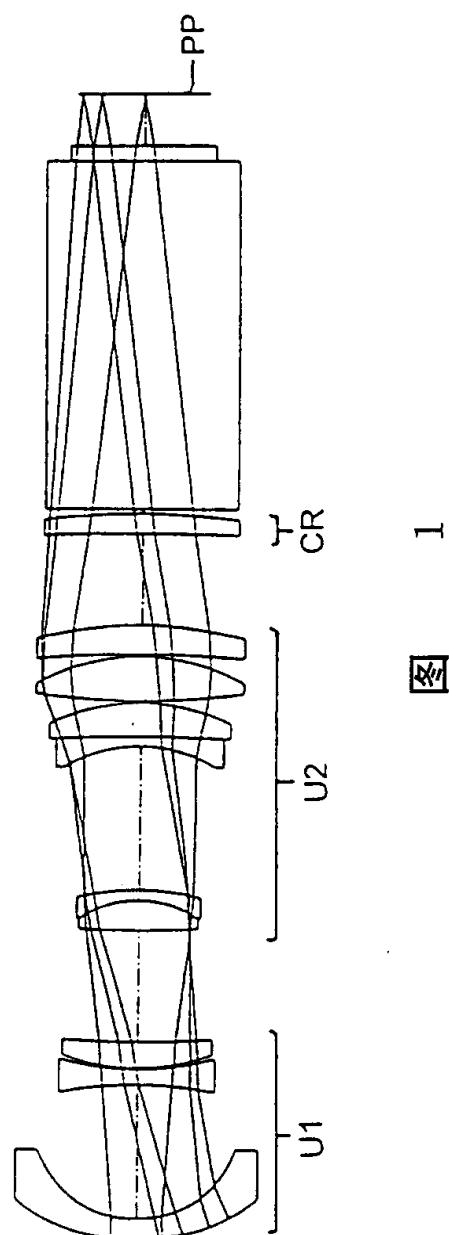
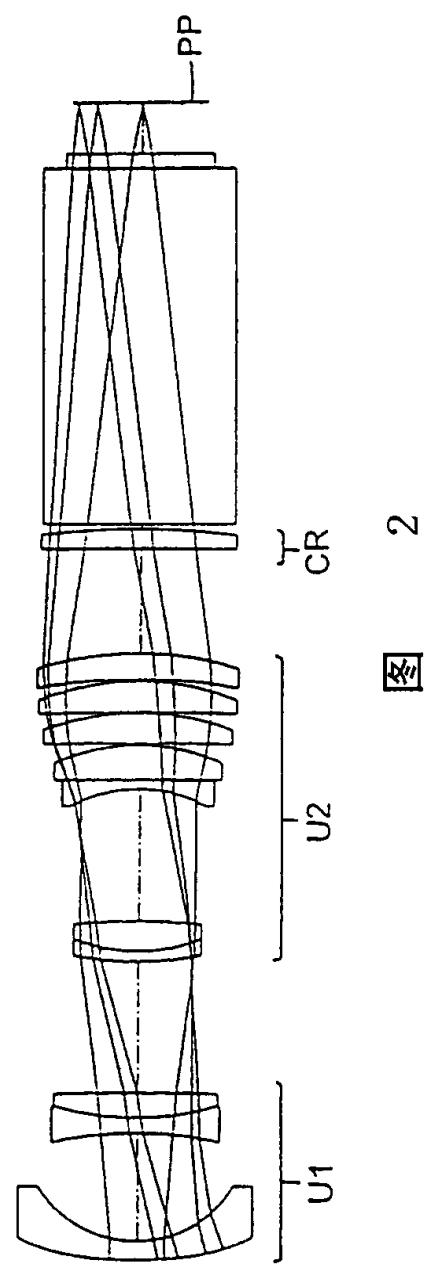


图 1

000-000-00



00-002-00

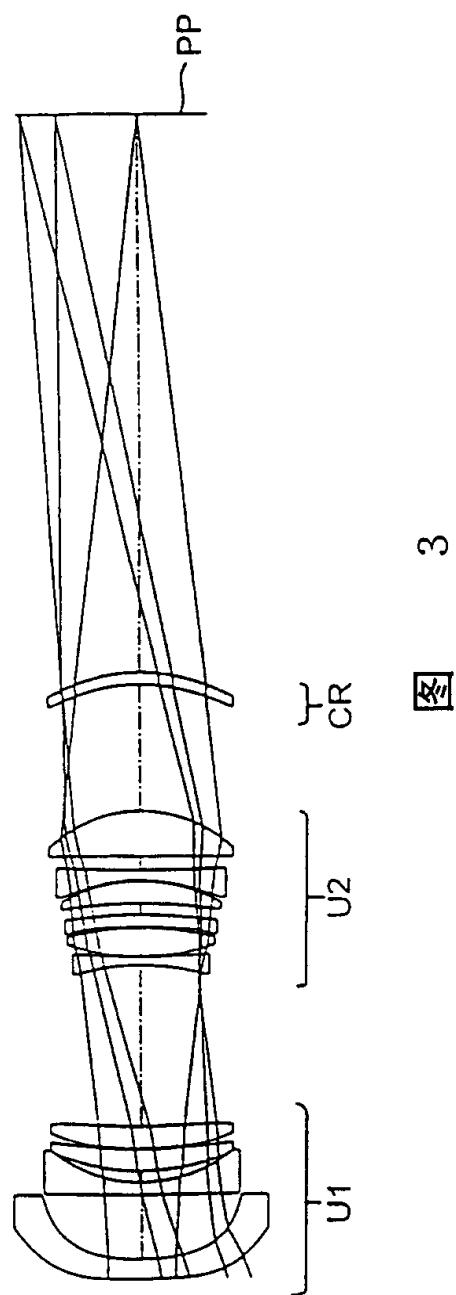
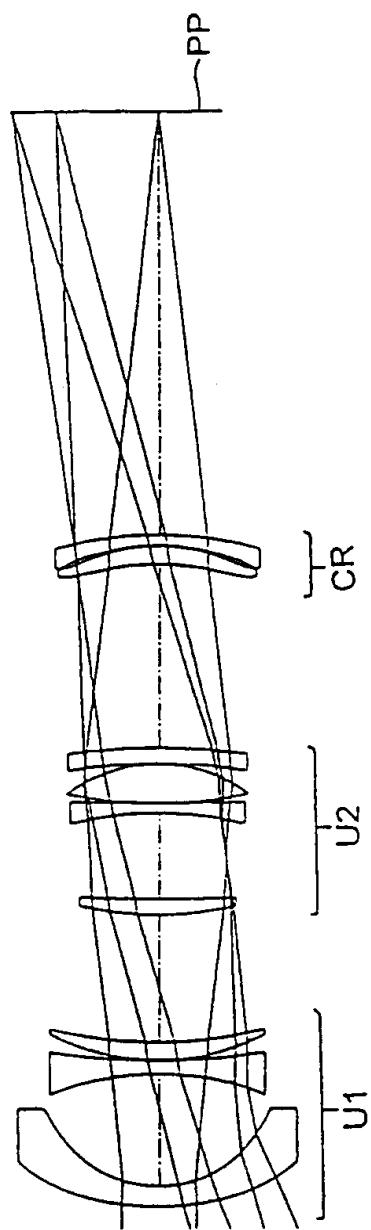


图 4



000-002-00

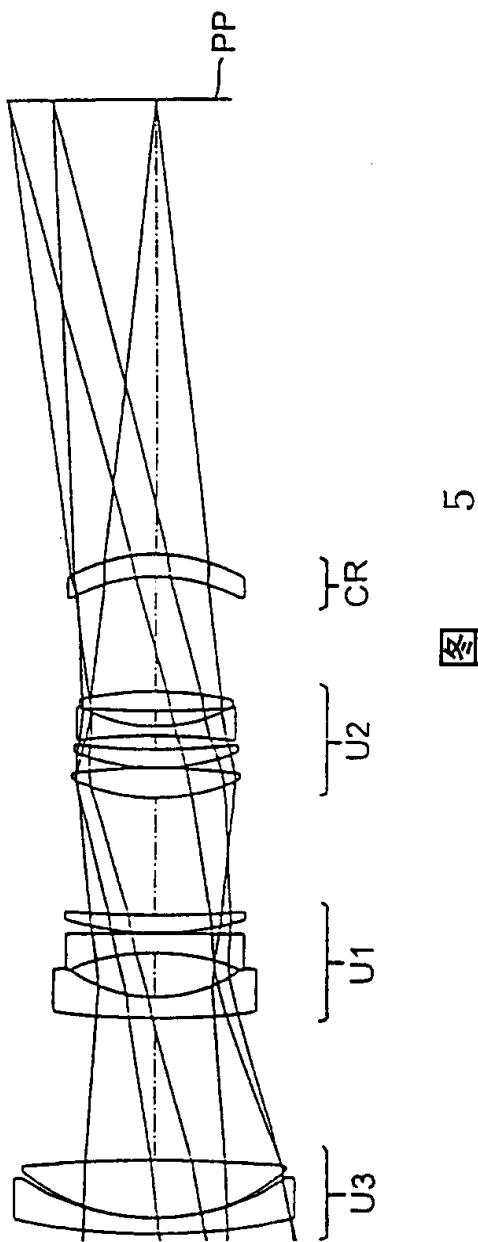


图 5

000-000-000

