



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1918500 B

(45) 授权公告日 2010. 10. 13

(21) 申请号 200480041888. 8

(22) 申请日 2004. 02. 19

(85) PCT申请进入国家阶段日  
2006. 08. 18

(86) PCT申请的申请数据  
PCT/US2004/004801 2004. 02. 19

(87) PCT申请的公布数据  
W02005/083488 EN 2005. 09. 09

(73) 专利权人 汤姆逊许可证公司  
地址 法国布洛尼 - 比扬古市

(72) 发明人 艾斯特尔·索恩·小霍尔

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理  
有限责任公司 11258

代理人 李瑞海

(51) Int. Cl.  
G02B 13/16 (2006. 01)  
G02B 13/18 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 4989961 A, 1991. 02. 05, 全文.  
US 5212597 A, 1993. 05. 18, 全文.  
US 5367405 A, 1994. 11. 22, 全文.  
US 4924244 A, 1990. 05. 08, 全文.

审查员 孙孟辉

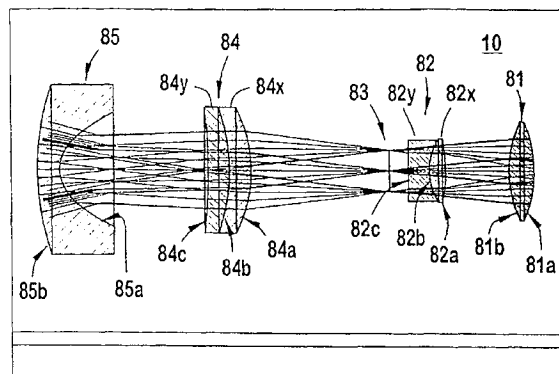
权利要求书 1 页 说明书 23 页 附图 10 页

(54) 发明名称

适应性强的微显示投影透镜族

(57) 摘要

本发明提供了一种投影透镜系统,它包括双高斯式结构,在透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件,在非球面透镜元件之间设有系统光阑,每个非球面透镜与系统光阑之间具有消色差透镜元件对。本发明还提供了一种投影透镜族,它包括多个透镜系统,每个透镜系统具有双高斯式基础结构,所述基础结构在透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件,在非球面透镜元件之间设有系统光阑,每个非球面透镜与系统光阑之间具有消色差透镜元件对。每个透镜系统都得到了优化以提供不同的成本/性能选择。



1. 一种投影透镜族,包括多个透镜系统,每个所述透镜系统具有双高斯式基础结构,所述基础结构在所述透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件,在所述非球面透镜元件之间设有系统光阑,每个非球面透镜元件与所述系统光阑之间具有消色差透镜元件对,

其中,通过将一个或多个透镜元件加入所述透镜系统开始处和末端处的非球面透镜元件之间的基础结构,对所述透镜系统中至少一个进行优化。

2. 根据权利要求 1 所述的投影透镜族,其中,在所述投影透镜族中,所述透镜元件的厚度不同。

3. 根据权利要求 2 所述的投影透镜族,其中,所述透镜系统中至少一个针对小于 1050 毫米的系统长度进行了优化。

4. 根据权利要求 1 所述的投影透镜族,其中,对所述透镜系统进行优化,使最大失真在 0.55% 到 0.30% 之间变化,模量传递函数在 0.48 到 0.69 之间变化。

5. 根据权利要求 4 所述的投影透镜族,其中,所述透镜系统采用 6 到 9 个透镜元件。

6. 根据权利要求 1 所述的投影透镜族,其中,至少一个透镜系统所用的所述消色差透镜元件对由便宜的玻璃材料组合形成,所述玻璃材料选自由 SF14、SF15、BAK1 和 BALF4 组成的组中。

7. 一种投影透镜系统,包括双高斯结构,所述双高斯结构在所述透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件,在所述非球面透镜元件之间设有系统光阑,每个非球面透镜元件与所述系统光阑之间具有消色差透镜元件对,

其中,所述透镜系统所用的所述消色差透镜元件对由便宜的玻璃材料组合形成,所述玻璃材料选自由 SF14、SF15、BAK1 和 BALF4 组成的组中。

8. 根据权利要求 7 所述的投影透镜系统,其中,所述透镜系统能够提供小于 0.55% 的最大失真和至少 0.48 的模量传递函数。

9. 根据权利要求 8 所述的投影透镜系统,其中,所述透镜系统具有至少六个透镜元件,但不超过九个透镜元件。

10. 根据权利要求 7 所述的投影透镜系统,还包括附加的非球面透镜,所述附加的非球面透镜设于在所述透镜系统开始处的非球面透镜元件与位于在所述透镜系统开始处的非球面透镜元件与所述系统光阑之间的消色差透镜之间。

11. 根据权利要求 7 所述的投影透镜系统,还包括附加的消色差透镜对,所述附加的消色差透镜对设于在所述透镜系统开始处的非球面透镜元件与位于所述透镜系统开始处的非球面透镜元件与所述系统光阑之间的消色差透镜之间。

12. 根据权利要求 11 所述的投影透镜系统,还包括附加的非球面透镜和附加的消色差透镜,所述附加的非球面透镜设在所述透镜系统末端处的非球面透镜元件与所述系统光阑之间,所述附加的消色差透镜设在所述透镜系统开始处的非球面透镜元件与所述系统光阑之间。

13. 根据权利要求 7 所述的投影透镜系统,其中,所述透镜系统针对系统长度小于 1050 毫米的镜头进行了优化。

## 适应性强的微显示投影透镜族

### 技术领域

[0001] 本发明涉及投影镜头,更具体地说,涉及对于多种优化参数都具有良好性能的透镜族。

### 背景技术

[0002] 在微显示系统中,从成像器输出的调制过的光由投影透镜系统投影到屏幕上以形成可视图象。用于现有微显示系统的投影透镜系统通常包括 11 到 13 个透镜元件。为了产生可视图象,投影透镜系统必须具有较高性能。为满足性能要求所需的透镜元件的数目和质量可能导致透镜系统成本很高。此外,现有的投影镜头通常是具体应用场合定制的,导致透镜系统设计成本高昂,且灵活性有限。

### 发明内容

[0003] 本发明提供了一种投影透镜系统,它包括双高斯式结构,在透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件,在非球面透镜元件之间设有系统光阑,每个非球面透镜元件与系统光阑之间具有消色差透镜元件对。

[0004] 本发明还提供了一种投影透镜族,它包括多个透镜系统,每个所述透镜系统具有双高斯式基础结构,所述基础结构在透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件,在非球面透镜元件之间设有系统光阑,每个非球面透镜元件与系统光阑之间具有消色差透镜元件对,其中,通过将一或多个透镜元件加入所述透镜系统开始处和末端处的非球面透镜元件之间的基础结构,对所述透镜系统中至少一个进行优化。每个透镜系统都得到了优化以提供不同的成本/性能选择。

### 附图说明

[0005] 本发明将参考下列附图进行说明,其中:

[0006] 图 1 示出了根据本发明一种实施例的一种示例性投影透镜系统,它包括用于透镜系统族的基础结构;

[0007] 图 2 示出了图 1 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线;

[0008] 图 3 示出了根据本发明一种实施例,采用长镜头的可替换示例性投影透镜系统;

[0009] 图 4 示出了图 3 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线;

[0010] 图 5 示出了图 3 中的示例性投影透镜系统场曲失真的一组计算曲线;

[0011] 图 6 示出了根据本发明的一种实施例,采用了基础结构和附加非球面透镜的可替换示例性投影透镜系统;

[0012] 图 7 示出了图 6 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线;

[0013] 图 8 示出了图 6 中的示例性投影透镜系统场曲失真的一组计算曲线;

[0014] 图 9 示出了根据本发明的一种实施例,采用了长镜头和附加非球面透镜的可替换示例性投影透镜系统;

- [0015] 图 10 示出了图 9 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线；
- [0016] 图 11 示出了图 9 中的示例性投影透镜系统场曲失真的一组计算曲线；
- [0017] 图 12 示出了根据本发明的一种实施例，采用基础结构和附加消色差透镜的可替换示例性投影透镜系统；
- [0018] 图 13 示出了图 12 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线；
- [0019] 图 14 示出了图 12 中的示例性投影透镜系统场曲失真的一组计算曲线；
- [0020] 图 15 示出了根据本发明的一种实施例，采用了长镜头和附加消色差透镜的可替换示例性投影透镜系统；
- [0021] 图 16 示出了图 15 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线；
- [0022] 图 17 示出了图 15 中的示例性投影透镜系统场曲失真的一组计算曲线；
- [0023] 图 18 示出了根据本发明的一种实施例，采用附加非球面透镜和附加消色差透镜，并且附加的消色差透镜上具有非球面的可替换示例性投影透镜系统；
- [0024] 图 19 示出了图 18 中的示例性投影透镜系统光学传递函数的一组计算曲线；
- [0025] 图 20 示出了图 18 中的示例性投影透镜系统场曲失真的一组计算曲线。

### 具体实施方式

[0026] 本发明采用 6 到 9 个透镜元件提供了具有良好性能的投影透镜系统，还提供了透镜系统族，所述透镜系统族给具体应用提供了在性能 / 成本之间进行平衡的机会，以便以对于该应用最低的成本获得所需性能而无需定制设计。如图 1、3、6、9、12、15 和 18 所示的投影透镜系统族，是根据本发明的一种示例性实施例提供的。对于该示例性透镜族中的透镜系统，计算所得性能如图 2、4、5、7、8、10、11、13、14、16、17、19 和 20 所示。这族示例性的透镜系统提供了适应性强的基础结构，该结构具有各种性能增强变体以允许在成本 / 性能之间进行平衡来满足特定应用的需要而无需定制设计。示例性透镜族中的透镜系统从成像器（未示出）接收光经过调制的像素的输出矩阵，并将其投影到屏幕（未示出）上以提供可视图像。透镜系统族提供了多个带有 6 到 9 个透镜元件的高性能投影透镜系统，与 11 到 13 个透镜元件的透镜系统相比，降低了成本。

[0027] 图示的透镜系统族中每个透镜系统都具有图 1 所示的基本结构 10。基本结构 10 包括 6 个透镜元件。两个丙烯酸非球面透镜（即非球面）81、85（分别是最前面和最后面的透镜）设在透镜系统 10 的相反端，各形成一个非球面透镜元件。两个玻璃消色差镜头（即消色差透镜）82、84（由便宜的玻璃型号制成）设置在非球面 81、85 之间，光阑 83 设在消色差透镜 82、84 之间。每个消色差透镜 82、84 包括两个球面透镜元件（即具有均匀球面几何形状的透镜元件）。第二非球面透镜 85 的两个表面都具有前向曲率（即正半径）。第一非球面透镜 81 中，第一表面 81a 具有后向曲率（即负半径），而第二表面 81b 具有前向曲率。第一消色差透镜 82 具有限定了两个透镜元件 82x、82y 的三个表面 82a、82b 和 82c。第一表面 82a 具有负方向的曲率，第二表面 82b 和第三表面 82c 具有正方向的曲率。第二消色差透镜 84 也有限定了两个透镜元件 84x、84y 的三个表面 83a、83b 和 83c。第二消色差透镜 84 的每个表面 84a、84b 和 84c 都具有负方向的曲率。消色差透镜元件由便宜的玻璃制成，例如 SF14、SF15、BAK1 和 BALF4。

[0028] 表 1 中提供了示例性基础结构中透镜 81、82、84、85 的表面数据，表 2 中提供了非

球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离（即对于透镜元件后表面的厚度，是指该透镜元件的厚度，对于透镜前表面的厚度，是指该透镜前面的空气间隙）。

[0029] 表 1（单位为毫米）

[0030]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic(二次曲面系数)
物	Tiltsurf(斜面)	-	800		1100.002	-
85b	Evenasph (均匀非球面)	38.5088	5.001653	丙烯酸	40.47387	-5.355956
85a	Evenasph	10.98371	34.25946		27.51437	-0.6193395
84c	Std(标准)	-167.0716	5.002426	SF14	29.42735	0
84b	Std	-41.46908	5.000513	BALF4	29.81779	0
84a	Std	-33.66583	32.2888		30.03875	0
83	Std	无限大	4.524869		9.9	0
82c	Std	6286.945	5.000679	SF15	12.47376	0
82b	Std	13.6423	3.930006	BAK1	14.60009	0
82a	Std	-35.71084	14.37816		15.10232	0
81b	Evenasph	33.99418	5.519493	丙烯酸	23.29553	-1.845361
81a	Evenasph	-35.49287	5		23.07195	1.13975
PBS	Std	无限大	22	SF2	28	0

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic (二次曲面系数)
PBS	Std	无限大	3.811		28	0
像	Std	无限大			14.2852	0

[0031] 表 2

[0032]

系数项	表面 85b :Evenasph	表面 85a :Evenasph	表面 81b :Evenasph	表面 81a :Evenasph
$r^2$	-0.00054791663	0.012988301	0.00079396543	-0.0038806981
$r^4$	-3.0838499e-006	1.6236881e-005	-9.4095275e-006	-7.3020075e-006
$r^6$	-5.466657e-009	-5.324113e-008	3.6388924e-008	4.0675206e-008
$r^8$	-4.1061329e-012	-2.1673046e-010	2.9292307e-010	5.0587954e-010
$r^{10}$	-2.0256015e-015	-1.0691285e-012	2.714626e-012	9.4224509e-013
$r^{12}$	1.5717007e-017	-7.1470969e-015	1.0054958e-014	-8.6991601e-015
$r^{14}$	2.0937221e-020	-9.9506912e-018	-6.1253376e-017	1.1004082e-015
$r^{16}$	-1.9681768e-023	1.2826798e-019	1.9231635e-018	2.2021662e-018

[0033] 投影透镜系统设在成像器（未示出）与观察屏幕（未示出）之间。成像器提供光象素的矩阵，象素的强度根据供给成像器的信号进行了调制。在使用 LCOS 成像器的微显示情况下，来自成像器的输出穿过偏振分束器，即 PBS（未示出），并进入包括单个非球面透镜元件的第一非球面 81，第一非球面 81 将被调制的光矩阵导入第一消色差透镜 82。第一消色差透镜 82 包括由例如胶连接的两个球透镜元件 82x、82y。第一消色差透镜 82 对光进行聚焦，使其在透镜系统的光阑 83 处会聚并倒转。在经过系统光阑 83 之后，光矩阵是发散的，直到进入第二消色差透镜 84。第二消色差透镜 84 使光矩阵会聚并将光矩阵导入第二非球面透镜 85。第二非球面透镜 85 以发散方式将光矩阵投影到观察屏幕上，使光象素分布在整个观察屏幕上。

[0034] 图 2 示出了对于上述基础结构 10，计算得到的光学传递函数的模 (MTF)。这些值是用 ZEMAX™ 软件计算得到的。如图 2 所示，对于每毫米 36 周的空间频率，MTF 在最差位置处大于约 0.48。对于基础结构 10，用 ZEMAX™ 软件确定的失真，也称为网格畸变，约为 0.55%，这表明在最差位置，来自宽度 200 象素矩阵的成像器的特定象素的光会投影到观察屏幕上距离预计位置或最佳位置约半个象素宽度的位置处。

[0035] 表 1 的厚度值之和表明，基础结构提供的系统长度小于 1050 毫米。

[0036] 图 3 示出示例性透镜系统族中的第一优化透镜系统 110。第一优化透镜系统 110 类似于上述基础结构 10，顺序地包括：具有两个表面 181a、181b 的第一非球面透镜 181；具有三个表面 182a、182b 和 182c 的第一消色差透镜 182；系统光阑 183；具有三个表面 184a、184b 和 184c 的第二消色差透镜 184 以及具有两个表面 185a、185b 的第二非球面透镜 185。

[0037] 表 3 给出了示例性第一优化透镜系统的透镜 181、182、184、185 的表面数据，表 4 给出了非球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离（即对于透镜元件后表面的厚度，是指该透镜元件的厚度，对于透镜前表面的厚度，是指该透镜前面的空气间隙）。

[0038] 表 3 中半径的符号表明，第一优化透镜系统 110 的表面曲率方向与基础结构的相



应表面相同。第一优化透镜系统 110 与基础结构 10 的不同之处在于第一优化透镜系统 110 的透镜元件具有比基础结构 10 的相应表面更大的厚度。

[0039] 第一优化透镜系统 110 与基础结构 10 的不同,在于第一优化透镜系统 110 的透镜元件厚度没有短系统的约束条件,因此大于基础结构 10 中相应透镜元件的厚度。第一优化透镜系统 110 的表面数据是对于新的约束条件(即系统长度)进行优化的。虽然增大透镜元件厚度提高了第一优化透镜系统 110 的性能,但是也由于与更厚的透镜元件相关的材料消耗而提高了成本。此外,由于表 3 中厚度值的总和表明,第一优化透镜系统 100 的总长度大于基础结构 10 的长度,所以由于需要更大的管子来容纳更大的系统长度,也会导致成本增加。因此,第一优化透镜系统 110 通过以成本为代价提供了更好的性能,相对于基础结构,它在性能/成本之间进行了一种平衡。

[0040] 表 3

[0041]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
物	Tilt surf	-	800		1100.002	-
185b	Evenasph	54.78206	40.00075	丙烯酸	85.74986	0.1130913
185a	Evenasph	11.42802	20.84229		30.85192	-0.5945571
184c	Std	-71.65233	29.22574	SF14	29.84802	0
184b	Std	-36.85354	29.23238	BALF4	28.49685	0
184a	Std	-57.87299	24.82571		23.68083	0
183	Std	无限大	0.9972328		9.9	0
182c	Std	103.1884	13.63148	SF15	10.74886	0
182b	Std	15.17237	3.546629	BAK1	15.13164	0
182a	Std	-58.00841	12.15952		15.58684	0
181b	Evenasph	28.28869	5.805668	丙烯酸	23.36139	-1.162881
181a	Evenasph	-42.64965	5		23.25989	1.734617
PBS	Std	无限大	22	SF2	28	0
PBS	Std	无限大	3.811		28	0
像	Std	无限大			14.2852	0

[0042] 表 4

[0043]

系数项	表面 185b :Evenasph	表面 185a :Evenasph	表面 181b :Evenasph	表面 181a :Evenasph
$r^2$	0.0020389207	0.0062811063	0.0018799078	-0.0042941479
$r^4$	2.6003985e-007	2.3788631e-005	-9.888127e-006	-5.7601154e-006
$r^6$	-1.9606803e-010	5.4924326e-009	3.0062322e-008	2.0584827e-008
$r^8$	-1.1920011e-014	4.9318997e-010	5.7871364e-011	3.9588222e-010
$r^{10}$	1.116435e-017	-7.198808e-013	1.3442822e-012	1.0669472e-013
$r^{12}$	1.1069762e-021	-6.9313273e-015	2.2052094e-015	-4.1422007e-015
$r^{14}$	-3.1732857e-024	4.7437457e-017	-5.7310433e-017	-6.3755255e-017
$r^{16}$	-2.2129836e-027	-2.3397811e-020	1.138824e-018	1.5422089e-018

[0044] 图 4 和图 5 示出了对于第一优化透镜系统 110,用 ZEMAX™ 软件计算得到的性能数据。如图 4 所示,第一优化透镜系统 110 的 MTF 在每毫米 36 周时大于 0.6。如图 5 所示,由于场曲引起的失真小于 0.5%,得到的网格畸变小于约 0.21%。

[0045] 图 6 示出第二优化透镜系统 210。第二优化透镜系统 210 顺序地设有与基础结构 10 中的透镜 81、82、84、85 和系统光阑 83 相应的第一非球面透镜 281、第一消色差透镜 282、系统光阑 283、第二消色差透镜 284 以及第二非球面透镜 285。另外,第一非球面透镜 281 与第一消色差透镜 282 之间设有第三非球面透镜 286。第二优化透镜系统 210 的表面数据是为新的约束条件(即增加了非球面透镜)优化的。

[0046] 表 5 给出了示例性第二优化透镜系统的透镜 281、282、284、285、286 的表面数据,表 6 给出了非球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离(即对于透镜元件后表面的厚度,是指该透镜元件的厚度,对于透镜前表面的厚度,是指该透镜前面的空气间隙)。表 5 中半径的符号表明,第二优化透镜系统 210 的表面曲率方向与基础结构的相应表面相同。

[0047] 虽然增加的非球面透镜 286 增强了第二优化透镜系统 210 的性能,但是由于与所加透镜有关的材料和处理成本,所以也增加了系统成本。因此,第二优化透镜系统 210 相对于基础结构和第一优化透镜系统 110,在性能/成本之间进行了一种平衡。

[0048] 表 5

[0049]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
物体	Tilt surf	-	800		1100.002	-
285b	Evenasph	42.33706	5.009098	丙烯酸	50.8006	-0.2496601
285a	Evenasph	11.73176	39.99988		33.09326	-0.5871293

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
284c	Std	-45.47577	5.009518	SF14	31.55416	0.2966581
284b	Std	-21.79507	5.003933	BALF4	32.17351	-1.136171
284a	Std	-35.98523	40.00842		33.16309	1.072578
283	Std	无限大	0.6661559		9.9	0
282c	Std	-78.48861	11.66798	SF15	10.38941	0.3613896
282b	Std	21.28694	3.422033	BAK1	15.55666	-0.8286225
282a	Std	-34.04379	0.4893632		16.08972	2.828436
286b	Evenasph	30.89964	2.028189	丙烯酸	17.24871	-12.41025
286a	Evenasph	66.73687	15.89613		17.51868	-83.78206
281b	Evenasph	27.9639	5.234023	丙烯酸	23.35015	-0.01637275
281a	Evenasph	-57.30318	5		23.13918	-13.82488
14	Std	无限大	22	SF2	28	0
15	Std	无限大	3.811		28	0
像	Std	无限大			14.2852	0

[0050] 表 6

[0051]

系数项	表面 285b :Evenasph	表面 285a :Evenasph	表面 286b :Evenasph
$r^2$	0.0027100894	0.0019914503	0.00043090224
$r^4$	-5.1112521e-007	8.3007272e-006	-2.8023224e-007
$r^6$	-2.5607057e-010	1.8279143e-009	4.1510071e-008
$r^8$	-1.0925963e-013	6.2142562e-011	-1.1103848e-010
$r^{10}$	-6.2408044e-017	-3.1627387e-014	-6.8364266e-012

系数项	表面 285b :Evenasph	表面 285a :Evenasph	表面 286b :Evenasph
$r^{12}$	7.004429e-021	-2.9261793e-016	-6.6230528e-014
$r^{14}$	1.5783037e-022	6.22289888e-019	-6.5560265e-016
$r^{16}$	4.4943073e-025	7.142994e-021	-2.1516978e-018

[0052] 表 6(续)

[0053]

系数项	表面 286a :Evenasph	表面 281b :Evenasph	表面 281a :Evenasph
$r^2$	-0.00045906677	0.00037744287	-0.0015616809
$r^4$	-1.3342011e-006	1.3960712e-007	-1.0286283e-006
$r^6$	-4.2077288e-008	6.5386877e-009	3.784572e-009
$r^8$	2.838692e-011	1.1070467e-011	4.7923626e-011
$r^{10}$	4.1598305e-012	1.4603271e-013	2.4550356e-013
$r^{12}$	6.9339179e-015	2.8832649e-015	2.113483e-016
$r^{14}$	-7.8305764e-016	2.3424706e-017	3.0507855e-018
$r^{16}$	-1.7844867e-017	1.3935341e-020	2.4791819exxx

[0054] 图 7 和图 8 示出了对于第二优化透镜系统 210,用 ZEMAX™ 软件计算得到的性能数据。如图 7 所示,第二优化透镜系统 210 的 MTF 在每毫米 36 周时大于 0.5。如图 8 所示,由于场曲引起的失真小于 0.5%,得到的网格畸变小于约 0.37%。

[0055] 图 9 示出第三优化透镜系统 310。第三优化透镜系统 310 顺序地设有与第二优化透镜系统 210 中的透镜 281、286、282、284、285 和系统光阑 283 相应的第一非球面透镜 381、第三非球面透镜 386、第一消色差透镜 382、系统光阑 383、第二消色差透镜 384 以及第二非球面透镜 385。第三优化透镜系统 310 与第二优化透镜系统 210 的不同之处在于第三优化透镜系统 310 的透镜元件厚度没有短系统的约束条件,因此大于第二优化透镜系统 210 中相应透镜元件的厚度。第三优化透镜系统 310 的表面数据对新的约束条件(即系统长度)进行了优化。虽然增大透镜元件厚度提高了第三优化透镜系统 310 的性能,但是也由于与更厚的透镜元件相关的材料消耗而提高了成本。第三优化透镜系统 310 的表面数据对新的约束条件(即厚度约束)进行了优化。

[0056] 表 7 给出了示例性第三优化透镜系统的透镜 381、382、384、385、386 的表面数据，表 8 给出了非球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离（即对于透镜元件后表面的厚度，是指该透镜元件的厚度，对于透镜前表面的厚度，是指该透镜前面的空气间隙）。表 7 中半径的符号表明，第三优化透镜系统 310 的表面曲率方向与第二优化透镜系统 210 的相应表面相同。

[0057] 表 7

[0058]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
物	Tiltsurf	-	800		1100.002	-
385b	Evenasph	53.74491	40.0002	丙烯酸	89.44526	-0.09230615
385a	Evenasph	11.69796	20.70959		33.24061	-0.5627834
384c	Std	-45.38095	30.45469	SF14	32.09242	2.34988
384b	Std	-30.03267	40.00116	BALF4	34.82094	-2.042391
384a	Std	-41.05816	38.09771		34.12486	-0.8457163
383	Std	无限大	0.6779337		9.9	0
382c	Std	-76.10447	0.9981489	SF15	10.36971	18.63513
382b	Std	19.71153	12.28832	BAK1	11.06497	-3.325162
382a	Std	-35.71194	6.340118		15.93804	1.121737
386b	Evenasph	39.66016	1.662293	丙烯酸	19.64652	-11.01615
386a	Evenasph	100.0334	11.05696		19.74318	-97.89724
381b	Evenasph	25.85814	4.947632	丙烯酸	23.83121	-0.03805032
381a	Evenasph	-76.29306	5		23.61417	-4.170386
PBS	Std	无限大	22	SF2	28	0
PBS	Std	无限大	3.811		28	0
像	Std	无限大			14.2852	0

[0059] 表 8

[0060]

系数项	表面 385b :Evenasph	表面 385a :Evenasph	表面 386b :Evenasph
$r^2$	0.00013745476	-4.5742211e-005	-9.7142182e-006
$r^4$	-1.8947137e-007	-4.5816404e-006	-2.0375572e-007
$r^6$	1.5316435e-011	-1.3632584e-008	4.1362962e-009
$r^8$	2.5011478e-014	-1.7748662e-011	3.5786839e-011
$r^{10}$	1.4695096e-017	1.3783896e-014	-9.597553e-013
$r^{12}$	5.6077275e-021	3.0462773e-017	-1.3442987e-014
$r^{14}$	7.3400845e-025	4.4486303e-019	7.7620488e-017
$r^{16}$	-1.0674011e-027	1.9433666e-021	1.0104074e-017

[0061] 表 8(续)

[0062]

系数项	表面 286a :Evenasph	表面 281b :Evenasph	表面 281a :Evenasph
$r^2$	-1.2478864e-005	0.00019301254	-0.00070944959
$r^4$	4.9548789e-007	5.0169408e-007	-2.6371676e-006
$r^6$	-9.2066884e-009	-8.5198025e-009	1.6488689e-008
$r^8$	-1.4196881e-010	4.8404039e-011	4.3322983e-011
$r^{10}$	9.7281749e-013	6.6358371e-013	-2.4425644e-014
$r^{12}$	3.2768312e-014	3.3460999e-015	3.0418029e-016
$r^{14}$	4.2596697e-016	5.2938933e-018	1.4238737e-017
$r^{16}$	2.1440729e-018	-1.883677e-020	1.3828764e-019

[0063] 图 10 和图 11 示出了对于第三优化透镜系统 310, 用 ZEMAX™ 软件计算得到的性能数据。如图 10 所示, 第三优化透镜系统 310 的 MTF 在每毫米 36 周时大于 0.7。如图 11 所

示,由于场曲引起的失真小于 0.6%,得到的网格畸变小于约 0.53%。

[0064] 图 12 示出第四优化透镜系统 410。第四优化透镜系统 410 顺序地设有与基础结构 10 中的透镜 81、82、84、85 和系统光阑 83 相应的第一非球面透镜 481、第一消色差透镜 482、系统光阑 483、第二消色差透镜 484 以及第二非球面透镜 485。另外,第三消色差透镜 486 设在第一非球面透镜 481 与第一消色差透镜 482 之间。第四优化透镜系统 410 的表面数据对新的约束(即增加的消色差透镜)进行了优化。

[0065] 表 9 给出了示例性第四优化透镜系统的透镜 481、482、484、485、486 的表面数据,表 10 给出了非球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离(即对于透镜元件后表面的厚度,是指该透镜元件的厚度,对于透镜前表面的厚度,是指该透镜前面的空气间隙)。表 9 中半径的符号表明,第四优化透镜系统 410 的表面曲率方向与基础结构的相应表面相同。

[0066] 虽然增加的消色差透镜 486 增强了第四优化透镜系统 410 的性能,但是由于与所加透镜有关的材料和处理成本,所以也增加了系统成本。因此,第四优化透镜系统 410 相对于基础结构和其他优化透镜系统,在性能/成本之间进行了一种平衡。

[0067] 表 9

[0068]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
物	Tilt surf	-	800		1100.002	-
485b	Evenasph	50.52135	5.003641	丙烯酸	40.96973	-4.86756
485a	Evenasph	11.12721	34.20341		28.15665	-0.6342569
484c	Std	-130.4465	5.001792	SF14	27.79878	0
484b	Std	-34.10937	5.003132	BALF4	28.05397	0
484a	Std	-36.92015	29.99528		27.99226	0
483	Std	无限大	1.992378		9.9	0
482c	Std	-72.30641	13.21982	SF15	11.04937	0
482b	Std	20.41885	3.87008	BAK1	16.69782	0
482a	Std	-34.7897	1.840644		17.24212	0
486c	Std	37.24344	0.9965786	BALF4	19.1847	0
486b	Std	21.15049	2.993515	SK5	19.36948	0

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
486a	Std	133.8268	12.025		19.45986	0
481b	Evenasph	37.33862	4.130968	丙烯酸	22.52699	-2.084634
481a	Evenasph	-46.17849	5		22.31879	1.494469
PBS	Std	无限大	22	SF2	28	0
PBS	Std	无限大	3.811		28	0
像	Std	无限大			14.2852	0

[0069] 表 10

[0070]

系数项	表面 485b :Evenasph	表面 485a :Evenasph	表面 481b :Evenasph	表面 481a :Evenasph
$r^2$	-0.0006802717	0.0063602141	-0.00035947982	-0.0015029175
$r^4$	-2.2821441e-006	8.9985456e-006	-8.6992168e-006	-5.9041406e-006
$r^6$	-2.7493838e-009	-3.4769735e-008	1.9828167e-008	4.5020148e-008
$r^8$	-1.6711363e-012	-1.2967929e-010	4.1732414e-010	3.8122183e-010
$r^{10}$	1.295024e-015	-4.9536866e-013	3.0507042e-012	1.9946915e-012
$r^{12}$	6.1830123e-018	-1.2709455e-015	1.2132215e-014	1.4047941e-014
$r^{14}$	5.1712412e-021	-2.7673541e-018	1.0531052e-017	1.3054332e-016
$r^{16}$	-3.9274165e-023	-1.6373353e-020	8.5057059e-019	3.5823289e-019

[0071] 图 13 和图 14 示出了对于第四优化透镜系统 410, 用 ZEMAX™ 软件计算得到的性能数据。如图 13 所示, 第四优化透镜系统 410 的 MTF 在每毫米 36 周时大于约 0.45。如图 14 所示, 由于场曲引起的失真小于 0.3%, 得到的网格畸变小于约 0.11%。

[0072] 图 15 示出第五优化透镜系统 510。第五优化透镜系统 510 顺序地设有与第四优化透镜系统 410 的透镜 481、486、482、484、485 和系统光阑 483 相应的第一非球面透镜 581、第三消色差透镜 586、第一消色差透镜 582、系统光阑 583、第二消色差透镜 584 以及第二非球面透镜 585。第五优化透镜系统 510 与第四优化系统 410 的不同之处在于第五优化透镜系统 510 的透镜元件厚度没有短系统的约束条件, 因此大于第四优化透镜系统 410 中相应透镜元件的厚度。第五优化透镜系统 510 的表面数据对新的约束条件进行了优化。

[0073] 表 11 给出了示例性第五优化透镜系统的透镜 581、582、584、585、586 的表面数据, 表 12 给出了非球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定



的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离（即对于透镜元件后表面的厚度，是指该透镜元件的厚度，对于透镜前表面的厚度，是指该透镜前面的空气间隙）。表 11 中半径的符号表明，第五优化透镜系统 510 的表面曲率方向与基础结构的相应表面相同。

[0074] 虽然增加的消色差透镜 586 和更长的镜头增强了第五优化透镜系统 510 的性能，但是由于与所加透镜有关的材料和处理成本，所以也增加了系统成本。因此，第五优化透镜系统 510 相对于基础结构和其他优化透镜系统，在性能 / 成本之间进行了一种平衡。

[0075] 表 11

[0076]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
物	Tiltsurf	-	800		1100.002	-
585b	Evenasph	52.46843	36.57252	丙烯酸	83.0954	-0.07632012
585a	Evenasph	11.48722	19.69203		31.91051	-0.5605351
584c	Std	-44.18267	28.66346	SF14	29.69464	3.131137
584b	Std	-23.99357	38.91836	BALF4	30.97805	-1.411727
584a	Std	-41.35651	26.94158		27.01915	-1.100738
583	Std	无限大	0.7921657		9.9	0
582c	Std	-71.63282	0.9983615	SF15	10.41914	26.86226
582b	Std	17.34479	13.27932	BAK1	11.15969	-3.885082
582a	Std	-35.74189	5.444396		16.50451	2.348688
586c	Std	37.74798	1.744352	BALF4	19.80114	-10.18096
586b	Std	50.87134	0.9907064	SK5	19.91557	-377.24
586a	Std	88.68739	11.36788		20.02958	-107.9219
581b	Evenasph	24.81805	4.714736	丙烯酸	23.7275	-0.07298942
581a	Evenasph	-99.91444	5		23.57781	-25.18281
PBS	Std	无限大	22	SF2	28	0
PBS	Std	无限大	3.811		28	0

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
像	Std	无限大			14.2852	0

[0077] 表 12

[0078]

系数项	表面 585b :Evenasph	表面 585a :Evenasph	表面 581b :Evenasph	表面 581a :Evenasph
$r^2$	0.00019757201	-0.00013318065	0.00017331201	-0.00033683048
$r^4$	-2.854617e-007	-5.41484e-006	-2.9489628e-007	-4.0915462e-007
$r^6$	3.7241704e-012	-3.0833359e-008	4.8781627e-009	1.5949421e-008
$r^8$	2.1486926e-014	-4.1643355e-001	1.0063569e-010	2.7558306e-011
$r^{10}$	1.366143e-017	-3.2145382e-014	4.0524009e-013	-1.9916595e-013
$r^{12}$	7.0829051e-021	-5.7362975e-017	-2.7724227e-015	-1.6865348e-015
$r^{14}$	3.595454e-024	-3.1434602e-019	-5.0138802e-017	-2.3480087e-017
$r^{16}$	1.4309008e-027	-1.9434248e-021	-3.7121969e-019	-4.9279117e-019

[0079] 图 16 和图 17 示出了对于第五优化透镜系统 510, 用 ZEMAX™ 软件计算得到的性能数据。如图 16 所示, 第五优化透镜系统 510 的 MTF 在每毫米 36 周时大于 0.55。如图 17 所示, 由于场曲引起的失真小于 0.4%, 得到的网格畸变小于约 0.16%。

[0080] 图 18 示出第六优化透镜系统 610。第六优化透镜系统 610 顺序地设有与基础结构 10 中的透镜 81、82、84、85 和系统光阑 83 相应的第一非球面透镜 681、第一消色差透镜 682、系统光阑 683、第二消色差透镜 684 以及第二非球面透镜 685。另外, 第三消色差透镜 686 设在第一非球面透镜 681 与第一消色差透镜 682 之间, 第三非球面透镜 687 设在第二消色差透镜 684 与第二非球面透镜 685 之间。而且, 消色差透镜 683、684 和 686 不限于球面形状, 而可以采用非球面形状来进行优化。第六优化透镜系统 610 的表面数据对新的约束 (即增加的消色差透镜) 进行了优化。

[0081] 表 13 给出了示例性第六优化透镜系统的透镜 681、682、684、685、686、687 的表面数据, 表 14 给出了非球面系数。这些示例性透镜表面是发明人采用 ZEMAX™ 软件结合发明人确定的新颖特性来开发的。厚度值是到前一表面的距离 (即对于透镜元件后表面的厚度, 是指该透镜元件的厚度, 对于透镜前表面的厚度, 是指该透镜前面的空气间隙)。表 13 中半径的符号表明, 第六优化透镜系统 610 的表面曲率方向与基础结构的相应表面相同。

[0082] 虽然增加的消色差透镜 686 和增加的球面透镜 687 以及消色差透镜 682、684、686 上的非球表面增强了第六优化透镜系统 610 的性能, 但是由于与所加透镜和复杂几何形状有关的材料和处理成本, 所以也增加了系统成本。因此, 第六优化透镜系统 610 相对于基础结构和其他优化透镜系统, 在性能 / 成本之间进行了一种平衡。

[0083] 表 13

[0084]

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
物	Tiltsurf	-	800		1100.002	-
685b	Evenasph	49.87182	32.75977	SK4	76.07578	-0.02849491
685a	Evenasph	11.67315	17.28823		30.17249	-0.564595
687b	Evenasph	-40.31007	27.84111	SF56A	27.79537	3.353251
687a	Evenasph	-25.10491	27.80613	BALF4	30.21244	-1.443872
684c	Evenasph	-42.25773	4.810219		28.91246	-0.1407201
684b	Evenasph	2355.193	4.978408	Bafn10	24.83306	-31204.17
684a	Evenasph	-23004.79	22.87709		23.34838	-180916.1
683	Std	无限大	2.690734		9.9	0
682c	Evenasph	-72.34824	1.044008	SF15	11.44603	36.57998
682b	Evenasph	16.70623	8.229727	BAK1	12.34496	-3.589178
682a	Evenasph	-35.63195	1.226665		15.48337	4.1348
686c	Evenasph	37.90074	1.893348	KZFSN2	16.88955	-11.46645
686b	Evenasph	104.6051	1.031464	SK5	17.05181	-482.2851
686a	Evenasph	88.96748	15.5136		17.26505	-106.0739
681b	Evenasph	25.37949	4.27419	SSKN8	23.44068	-0.02902742
681a	Evenasph	-125.0166	5		23.27411	-106.8518
PBS	Std	无限大	22	SF2	28	0
PBS	Std	无限大	3.811		28	0

表面	类型	半径	厚度	玻璃	直径	Conic
像	Std	无限大			14.2852	0

[0085] 表 14

[0086]

系数项	表面 685b : Evenasph	表面 685a : Evenasph	表面 687b : Evenasph	表面 687a : Evenasph	表面 684c : Evenasph
$r^2$	-0.00031915088	-0.0019417785	0.00010110516	9.67702e-005	-8.4635127e-006
$r^4$	-1.2508272e-007	-3.1862992e-006	1.0803524e-007	-6.4869382e-007	-6.9999911e-008
$r^6$	5.0178624e-011	-7.2456201e-009	2.436738e-010	1.0532888e-009	2.1286803e-010
$r^8$	2.3932501e-014	-7.1751929e-011	-3.652601e-012	4.932869e-012	-1.873703e-012
$r^{10}$	1.7004439e-018	2.6250229e-013	-1.4870201e-014	5.2534478e-014	-7.9776443e-015
$r^{12}$	4.3939537e-021	-2.5387742e-016	-1.8066141e-016	3.9891434e-017	-8.4404691e-017
$r^{14}$	9.1471997e-024	5.0293592e-019	4.0259878e-020	-5.2313982e-020	-6.3421687e-019
$r^{16}$	8.0596278e-027	-1.4977939e-021	-1.2192114e-022	3.7723499e-022	5.1995304e-022

[0087] 表 14(续)

[0088]

系数项	表面 684b :	表面 684a :	表面 682c :	表面 682b :	表面 682a :
$r^2$	Evenasph 6. 9143051e-005	Evenasph -8. 6685086e-005	Evenasph 6. 2678369e-006	Evenasph -8. 9469132e-005	Evenasph 7. 2965802e-006
$r^4$	-5. 876305e-008	-2. 2405419e-007	-7. 7071353e-007	4. 0176046e-006	-3. 5222977e-007
$r^6$	1. 8117458e-009	-2. 7813291e-009	2. 1425583e-009	7. 8147839e-008	-2. 0967656e-008
$r^8$	-1. 2807627e-012	-8. 5373119e-012	2. 089153e-010	3. 54669e-009	-2. 2824791e-010
$r^{10}$	-1. 3992345e-013	1. 7062768e-014	1. 3878922e-011	1. 0684318e-010	-8. 0603132e-013
$r^{12}$	-8. 2318992e-016	5. 2914049e-016	4. 2932736e-013	1. 9016302e-012	5. 4326353e-015
$r^{14}$	-7. 5665237e-018	-9. 4705217e-018	8. 3869892e-015	-1. 7444341e-014	-3. 6956311e-016
$r^{16}$	-1. 1519362e-020	-1. 9767094e-019	-8. 6467765e-016	-2. 6814459e-015	-1. 8250833e-017

[0089] 表 14(续)

[0090]

系数项	表面 686c :	表面 686b :	表面 686a :	表面 681b :	表面 681a :
$r^2$	Evenasph -8. 3748084e-006	Evenasph 0. 00048534982	Evenasph 4. 4252302e-006	Evenasph -0. 000215125	Evenasph -0. 0001583804
$r^4$	2. 8500309e-007	2. 9789635e-006	-3. 3888479e-008	4. 2706663e-007	1. 357591e-006
$r^6$	1. 1861727e-008	3. 6887118e-009	-5. 290479e-009	-5. 9029867e-009	1. 2917107e-008
$r^8$	1. 0160175e-010	-1. 9526486e-009	-2. 194889e-011	3. 5529916e-012	-1. 3824995e-011
$r^{10}$	6. 7976404e-013	-4. 2079675e-011	3. 1146539e-013	2. 8855109e-014	-4. 2297077e-013
$r^{12}$	1. 2292238e-014	-6. 4038601e-013	6. 1559528e-015	-9. 3445599e-016	-4. 1352109e-015
$r^{14}$	2. 0811845e-016	-5. 4301539e-015	8. 6245664e-017	-2. 0086384e-017	-2. 4456213e-017
$r^{16}$	4. 4764823e-018	-3. 3015284e-017	2. 0785149e-018	-2. 5158437e-019	-6. 6044664e-020



[0091] 图 19 和图 20 示出了对于第六优化透镜系统 610, 用 ZEMAX™ 软件计算得到的性能数据。如图 19 所示, 第六优化透镜系统 610 的 MTF 在每毫米 36 周时大于 0.65。如图 20 所示, 由于场曲引起的失真小于 0.35%, 得到的网格畸变小于约 0.30%。

[0092] 上述示例性投影透镜系统族提供了多个透镜系统, 每个透镜系统包括双高斯式基础结构, 透镜系统的开始处和末端处具有非球面透镜元件, 它们之间设有系统光阑, 每个非球面透镜与系统光阑之间设有消色差透镜元件对。对每个透镜系统进行了优化, 提供了不同的成本 / 性能选择。因此, 可以对透镜系统族中的元件进行选择以获得所需的性能, 免去了为获得更好性能而设计透镜系统导致的成本, 也不必为特定应用而对透镜系统进行定制设计。由于双高斯式基础结构的适应性, 根据本发明的每种示例性透镜系统还用比现有投影透镜系统更少的透镜元件提供了良好的性能。

[0093] 整个透镜族中每个元件的曲率方向并不因为用添加的元件和 / 或更长的透镜长度对透镜系统进行优化而改变。透镜系统在 0.48% 的 MTF (最差位置) 和 0.55% 的失真 (6 个元件的短结构) 到 0.69 的 MTF (最差位置) 和 0.30% 的失真 (9 个元件) 之间提供了多种性能选择。

[0094] 上文对本发明的某些可能实施方式进行了说明。在本发明的范围和精神之内, 可以有许多其他的实施方式。因此, 上文的说明应当理解为示例性而不是限制性的, 本发明的范围由权利要求及其所有的等同物一起限定。例如, 上文的说明和附图示出了单一成像器的 LCOS 系统中透镜的情况, 所述系统在 LCOS 成像器与第一透镜元件之间具有 22mm 厚的 SF2PBS。但透镜族也可以适用于其他尺寸的 LCOS 系统, 以及用 TIR 棱镜代替 PBS 的 DLP™ 系统。

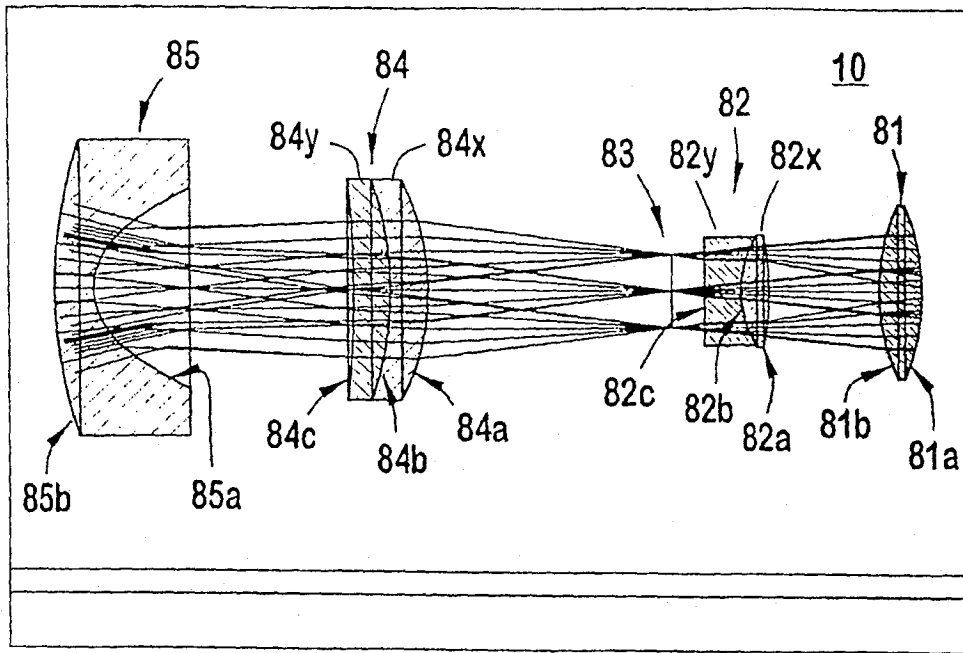


图 1

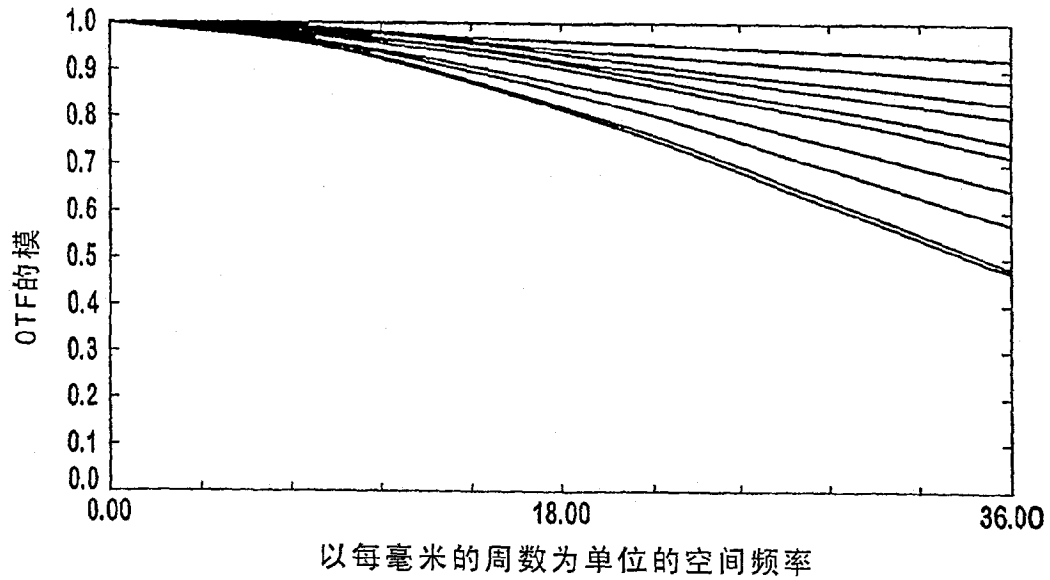


图 2

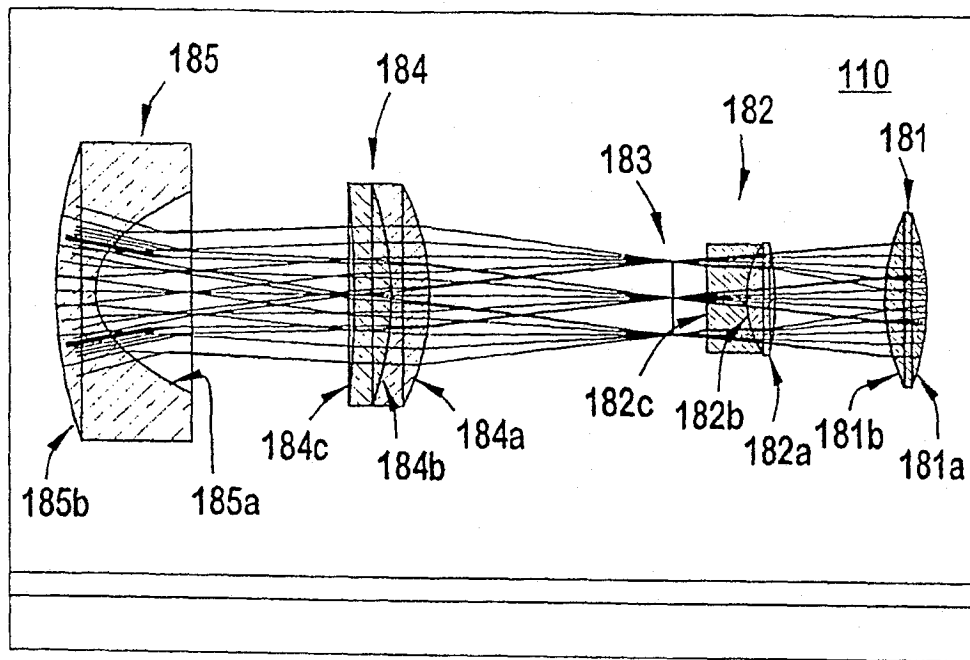


图 3

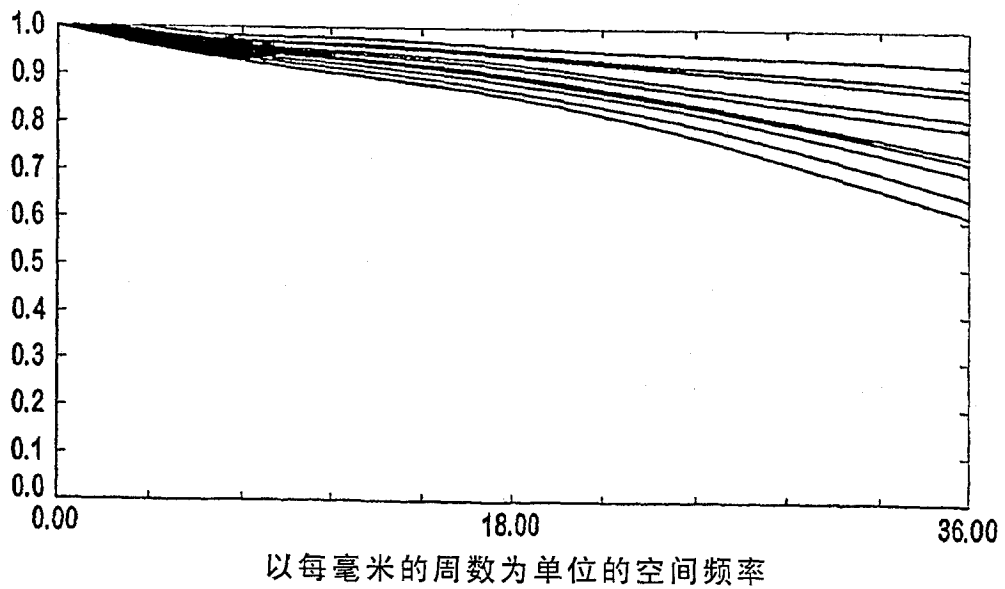
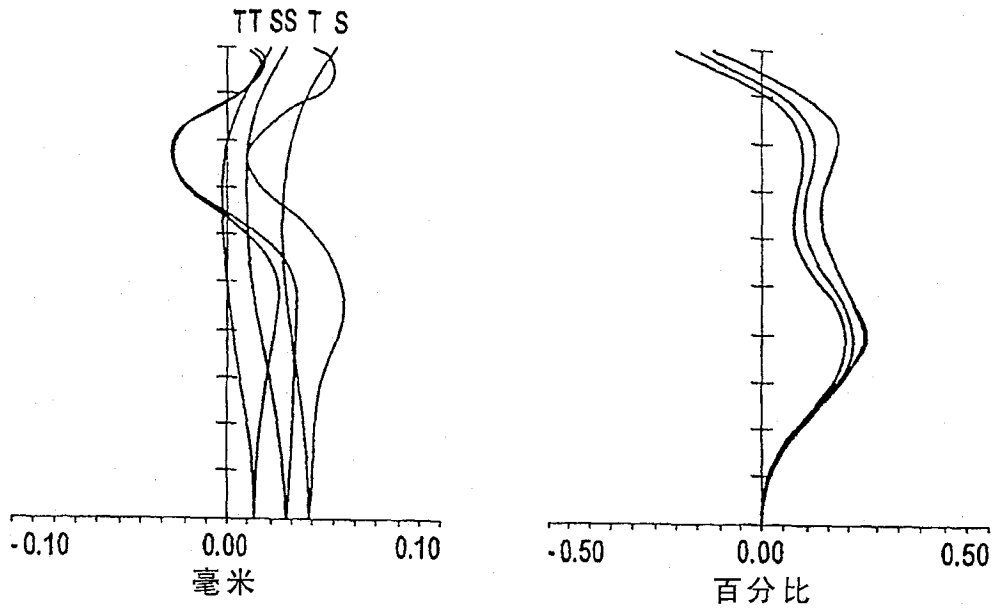


图 4



场曲/畸变

图 5

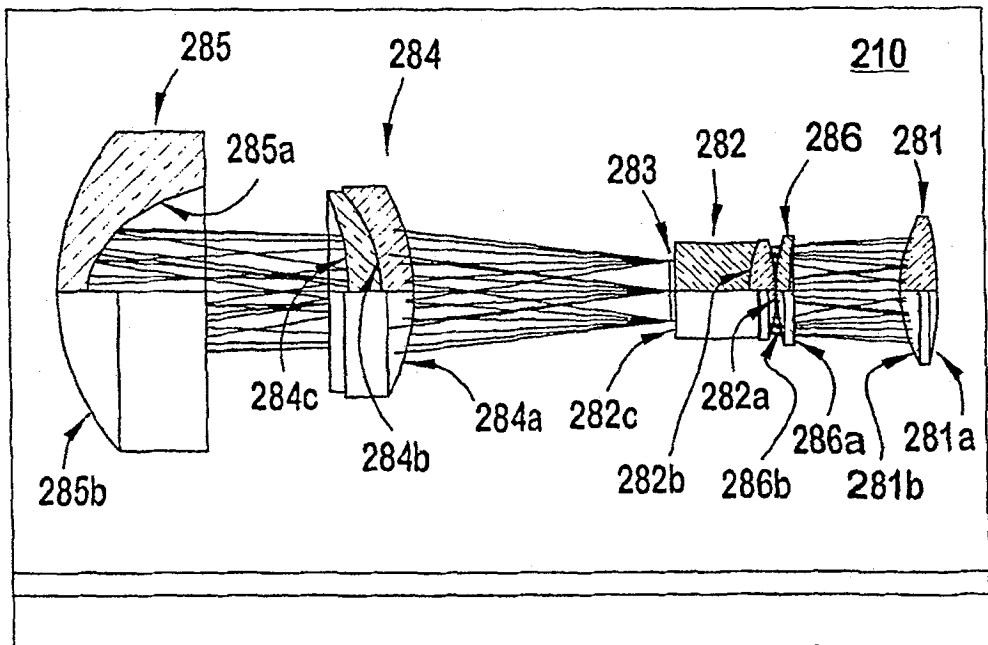


图 6

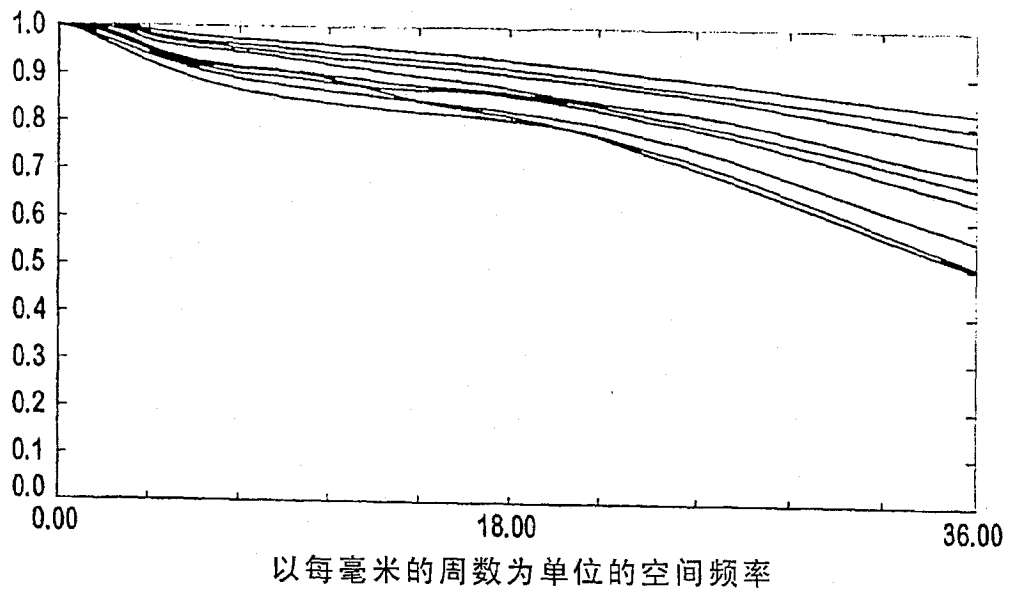
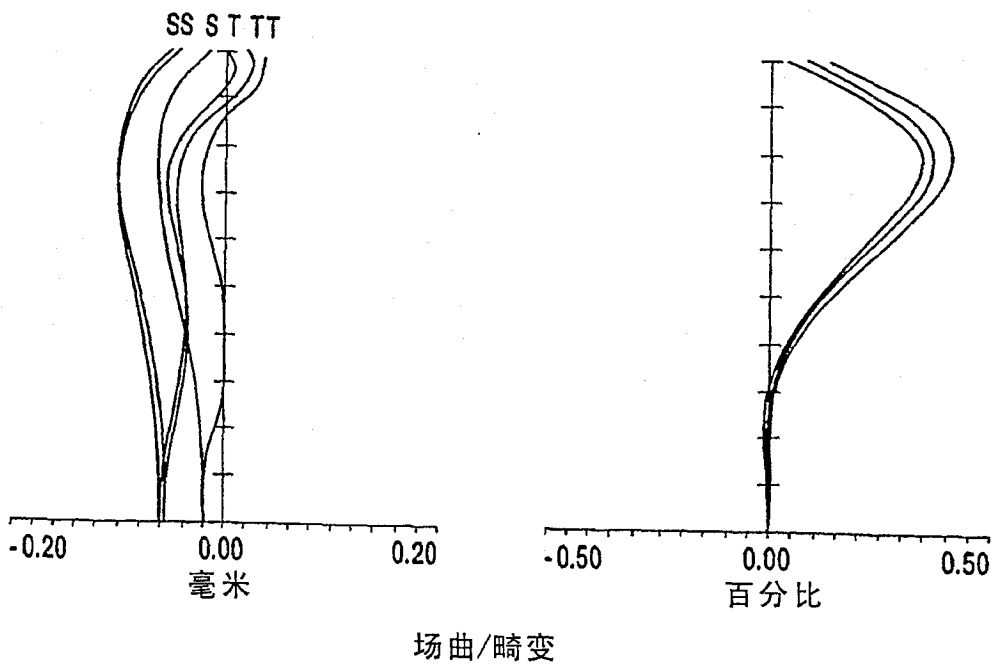


图 7



场曲/畸变

图 8

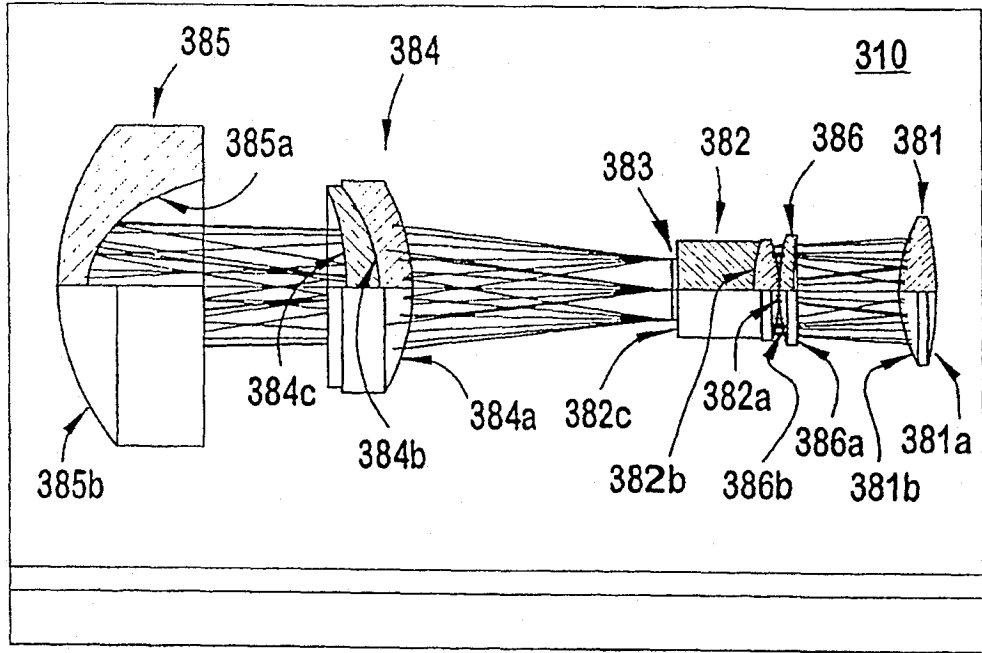


图 9

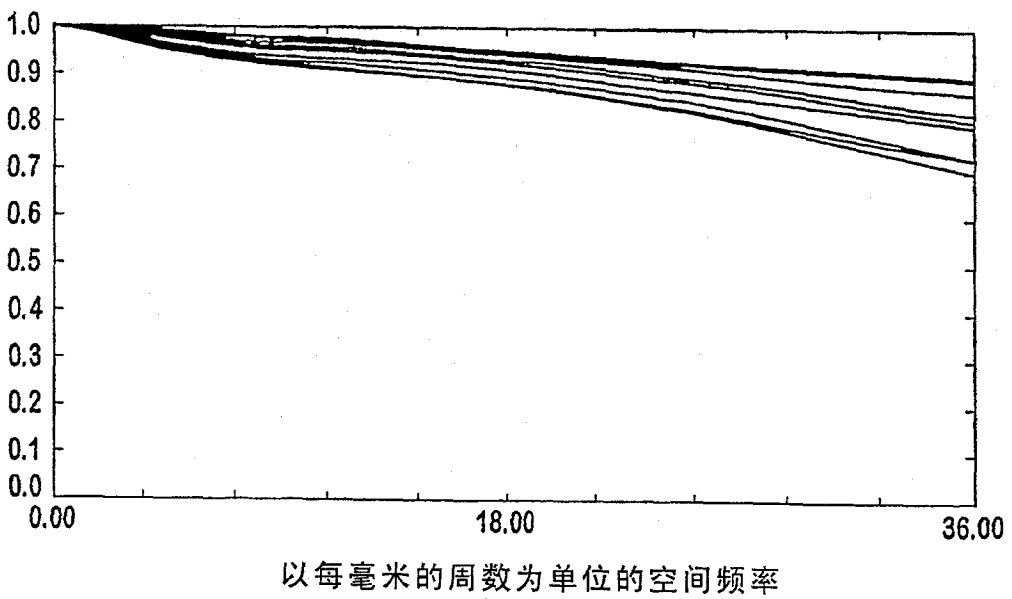


图 10

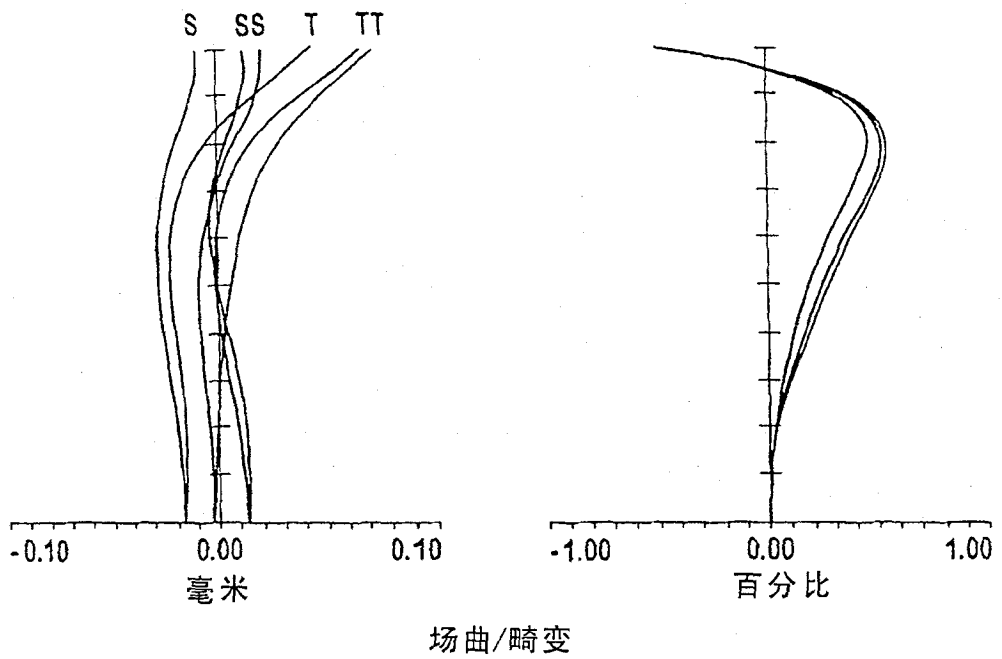


图 11

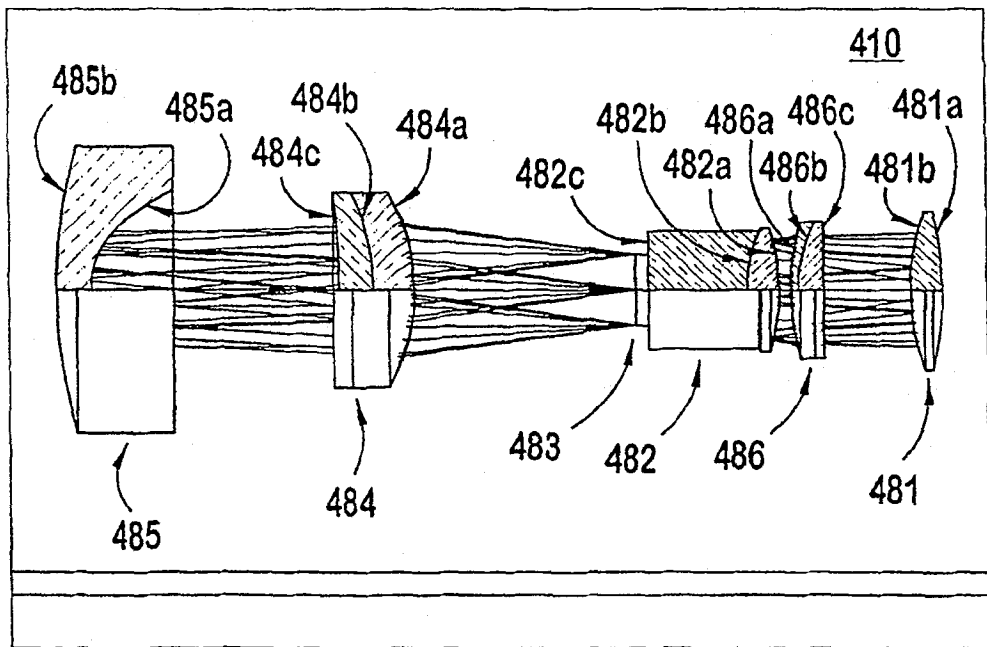


图 12

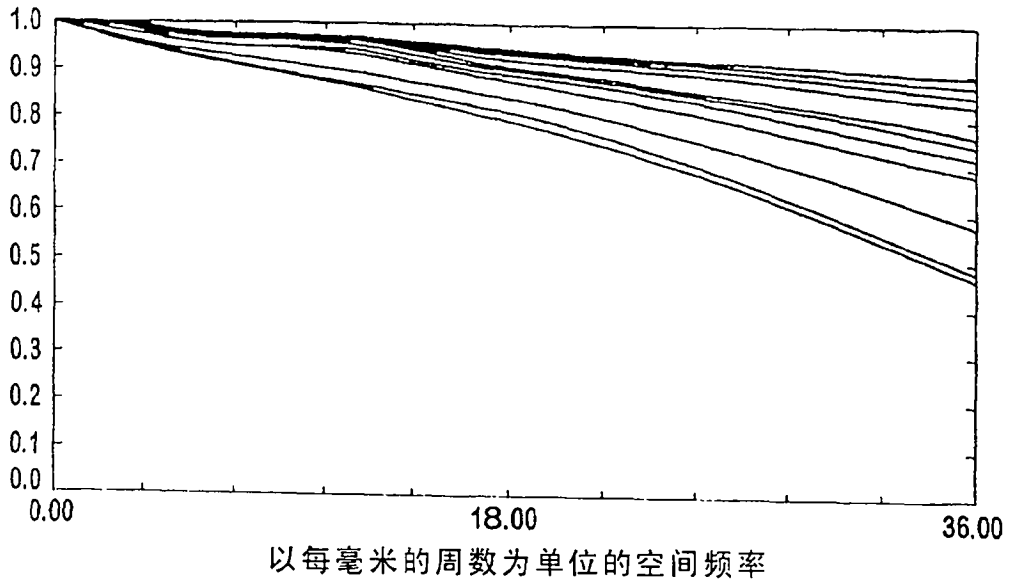
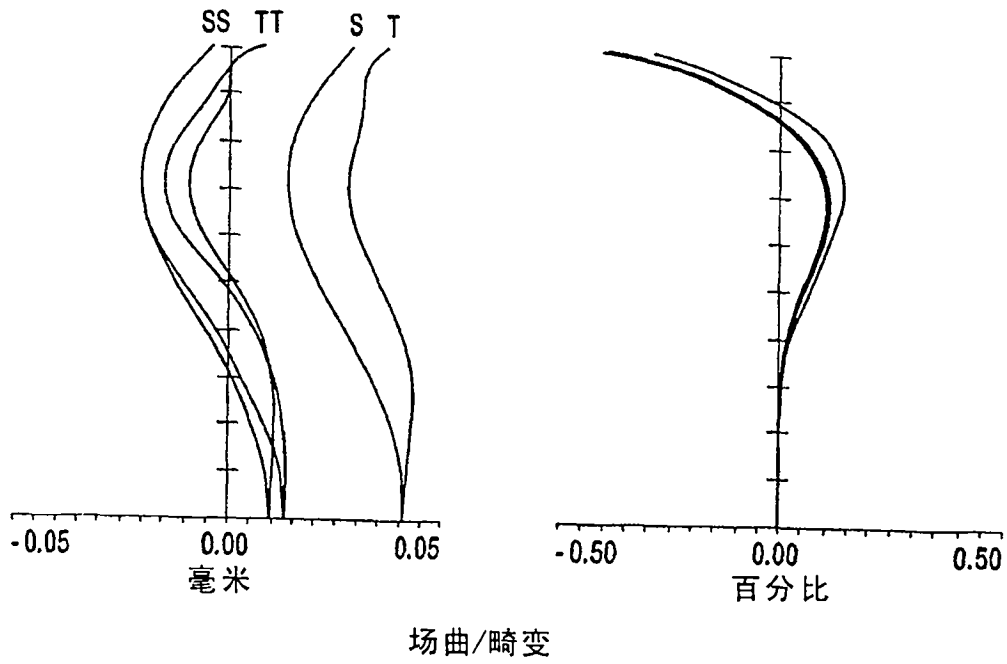


图 13



场曲/畸变

图 14



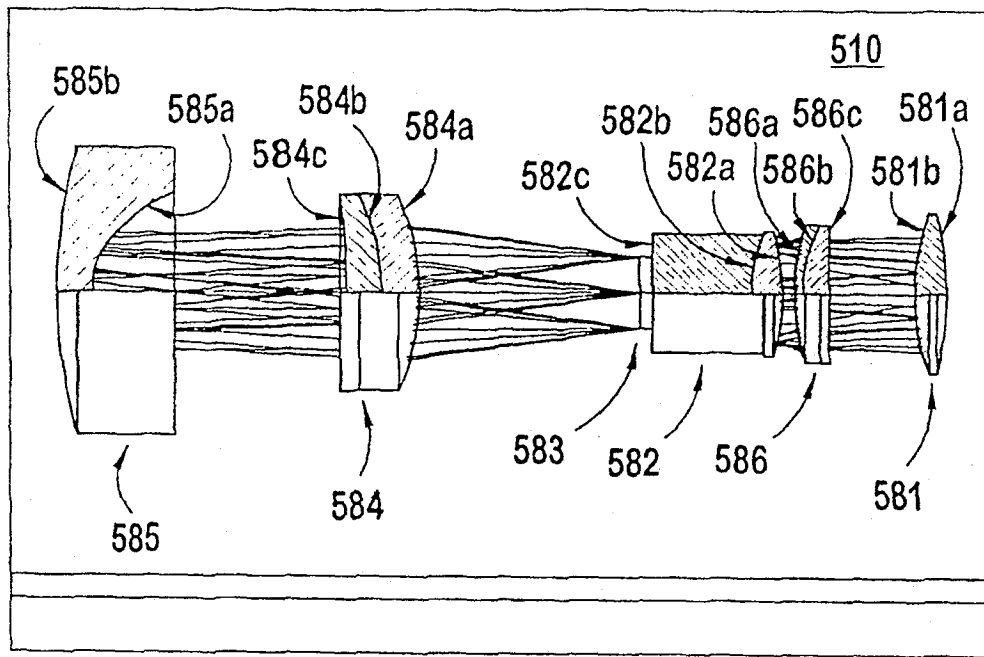


图 15

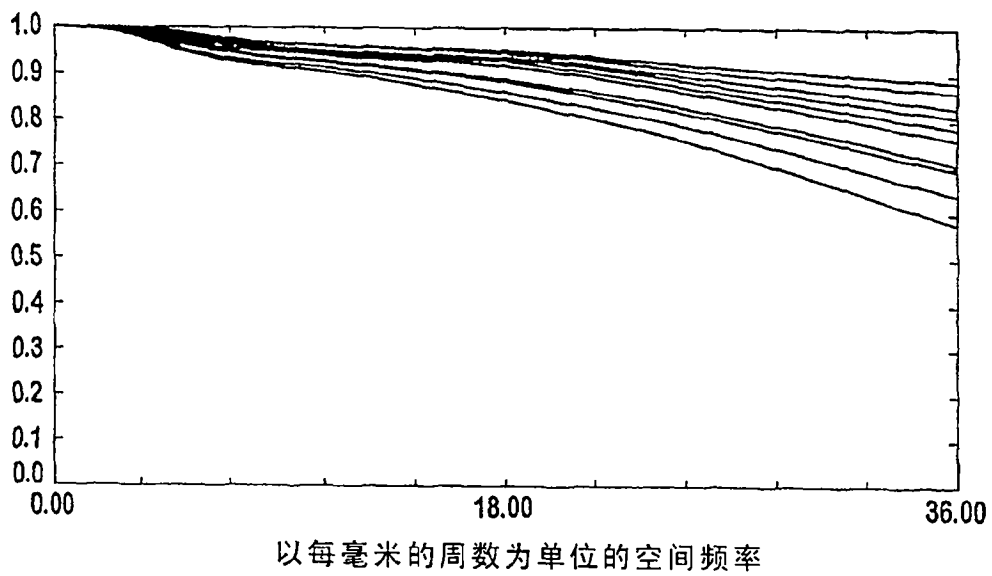
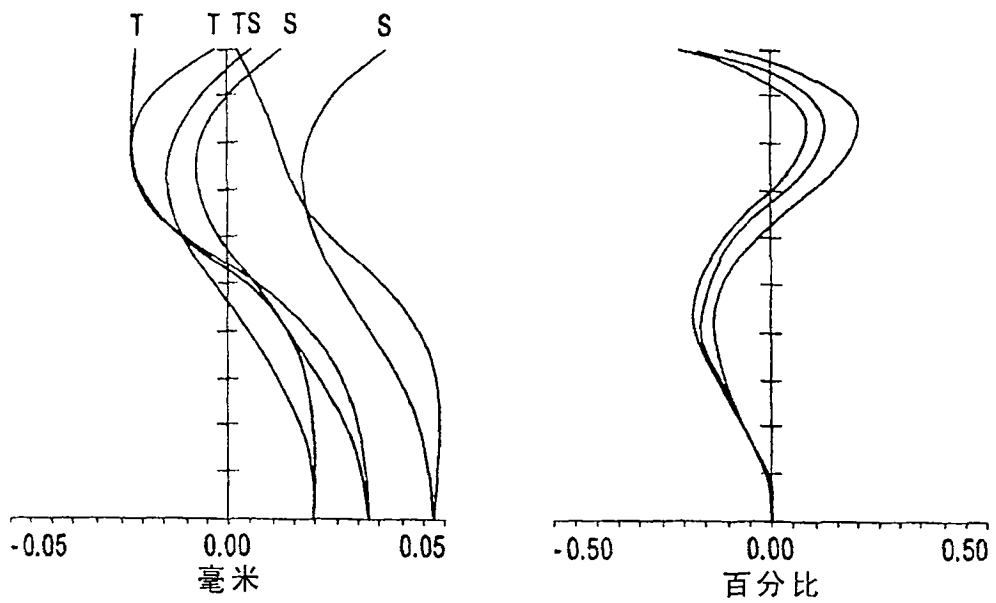


图 16



场曲/畸变

图 17

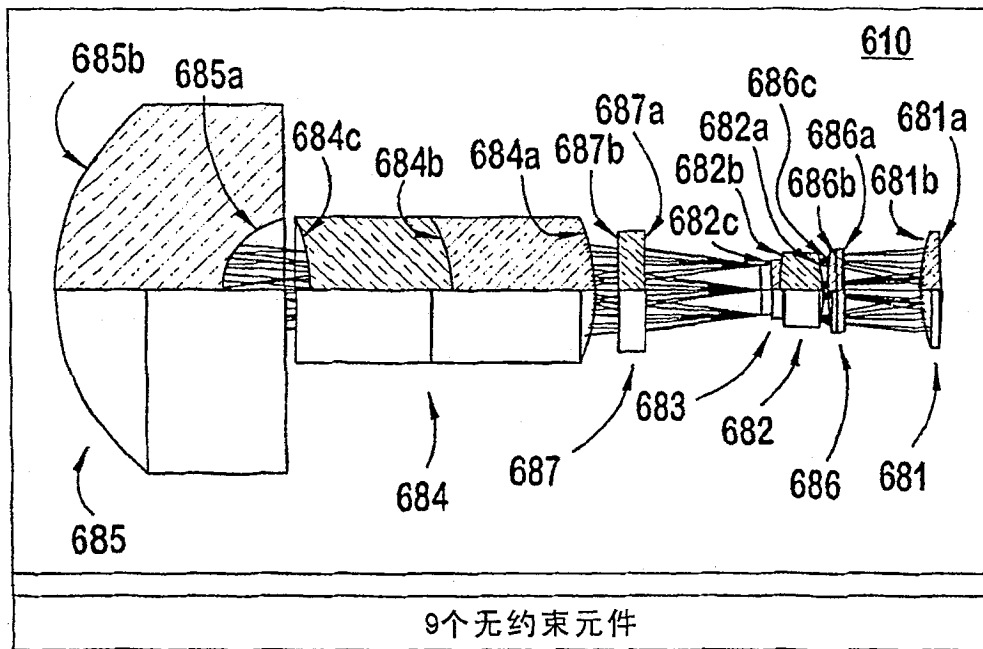


图 18

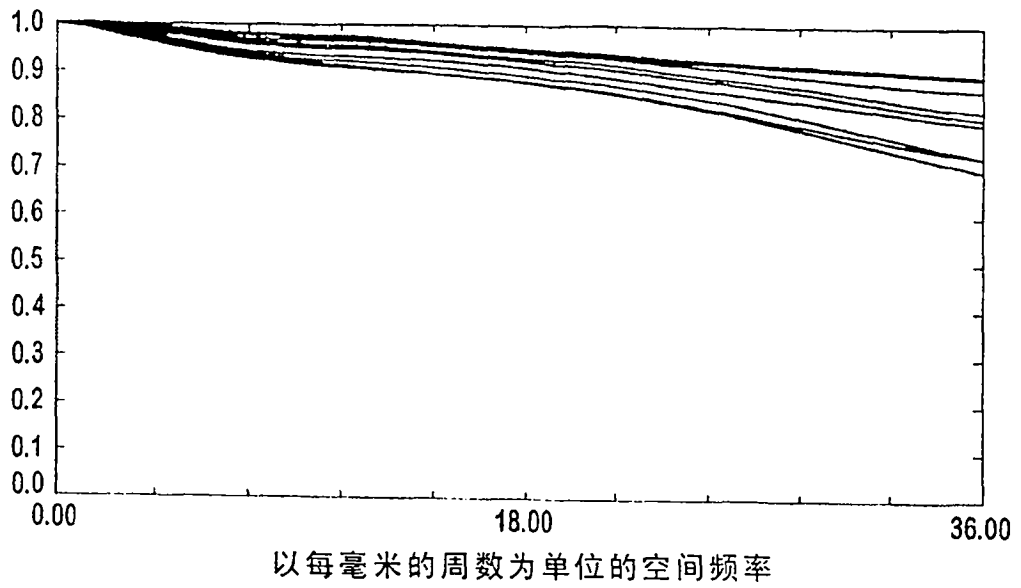
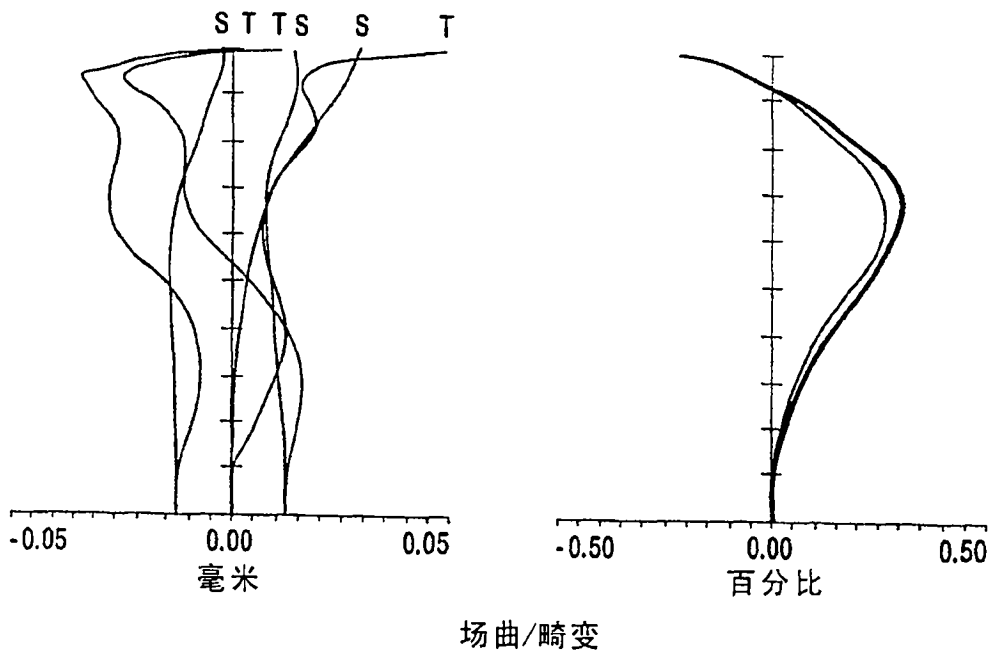


图 19



场曲/畸变

图 20