

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101755230 A

(43) 申请公布日 2010.06.23

(21) 申请号 200880025502.2

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

(22) 申请日 2008.08.28

代理人 黄纶伟

(30) 优先权数据

61/064,047 2008.02.13 US

(51) Int. Cl.

G02B 13/00(2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.01.20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2008/065433 2008.08.28

(87) PCT申请的公布数据

W02009/101721 JA 2009.08.20

(71) 申请人 纳卢克斯株式会社

地址 日本大阪

(72) 发明人 坂上典久

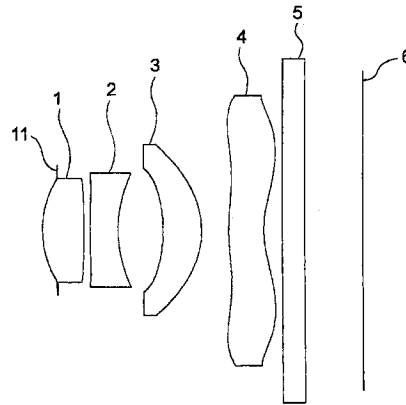
权利要求书 2 页 说明书 27 页 附图 14 页

(54) 发明名称

成像光学系统

(57) 摘要

本发明提供一种小型的成像光学系统,其针对固体摄像元件的像面的入射角度小,且降低了色差、像散、像面弯曲以及畸变像差。本发明的第一方式的成像光学系统从物体侧到像面侧具有:作为双凸透镜的第1透镜;作为双凹透镜的第2透镜;作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第3透镜;作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第4透镜。光圈相对于第1透镜的像侧的面被配置在物体侧。设 f_i 是第 i 透镜的焦距的绝对值、 f 是光学系统整体的焦距的绝对值、 v_{di} 是第 i 透镜的阿贝数、TTL 是从第1透镜的物体侧的面和光圈面之中的位于物体侧的面到像面的距离,则本发明的第一方式的成像光学系统满足: $0.425 < f_1/f_4 < 0.7(1)$; $25 < v_{d2} < 28(2)$; $50 < v_{d1}, v_{d3}, v_{d4} < 57(3)$; $0.595 < f_2/f_4 < 1.05(4)$; $1.5 < f/f_1 < 2.2(5)$; $f_1 < f_3(6)$; $1.05 < TTL/f < 1.18(7)$ 。



CN 101755230 A

1. 一种成像光学系统,该成像光学系统从物体侧到像面侧具有:作为双凸透镜的第 1 透镜;作为双凹透镜的第 2 透镜;作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜;以及作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜,

在该成像光学系统中,

光圈相对于第 1 透镜的像侧的面,被配置在物体侧,

设 f_i 是第 i 透镜的焦距的绝对值、 f 是光学系统整体的焦距的绝对值、 v_{di} 是第 i 透镜的阿贝数、TTL 是从第 1 透镜的物体侧的面和光圈面之中的位于物体侧的面到像面的距离,则该成像光学系统满足以下各式:

$$0.425 < f_1/f_4 < 0.7 \quad (1)$$

$$25 < v_{d2} < 28 \quad (2)$$

$$50 < v_{d1}, v_{d3}, v_{d4} < 57 \quad (3)$$

$$0.595 < f_2/f_4 < 1.05 \quad (4)$$

$$1.5 < f/f_1 < 2.2 \quad (5)$$

$$f_1 < f_3 \quad (6)$$

$$1.05 < TTL/f < 1.18 \quad (7)。$$

2. 一种成像光学系统,该成像光学系统从物体侧到像面侧具有:作为双凸透镜的第 1 透镜;作为双凹透镜的第 2 透镜;作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜;以及作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜,

在该成像光学系统中,

光圈相对于第 1 透镜的像侧的面,被配置在物体侧,

在第 1 透镜的像侧的面上具有衍射光栅,

设 f_i 是第 i 透镜的焦距的绝对值、 f_{DOE} 是衍射光栅的焦距、 f 是光学系统整体的焦距的绝对值、TTL 是从第 1 透镜的物体侧的面和光圈面之中的位于物体侧的面到像面的距离,则该成像光学系统满足以下各式:

$$0.425 < f_1/f_4 < 0.7 \quad (1)$$

$$1.5 < f/f_1 < 2.2 \quad (5)$$

$$f_1 < f_3 \quad (6)$$

$$1.05 < TTL/f < 1.18 \quad (7)$$

$$15 < f_{DOE}/f < 100 \quad (8)。$$

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的成像光学系统,其中,

光圈相对于第 1 透镜的物体侧的面的顶点,位于像侧。

4. 根据权利要求 1 ~ 3 中任意一项所述的成像光学系统,其中,

设 n_{di} 为第 i 透镜针对波长为 587.6 纳米的光的折射率,则该成像光学系统还满足下式:

$$1.6 < n_{d2} < 1.62 \quad (9)。$$

5. 根据权利要求 1 ~ 4 中任意一项所述的成像光学系统,其中,

设 n_{di} 为第 i 透镜针对波长为 587.6 纳米的光的折射率,则该成像光学系统还满足以下各式:

$$n_{d1} < 1.515 \quad (10)$$

$$n_{d3} < 1.515 \quad (11)$$

$$n_{d4} < 1.515 \quad (12)。$$

6. 根据权利要求 1 ~ 5 中任意一项所述的成像光学系统, 其中, 设 $F_{no.}$ 为表示光学系统整体的亮度的 F 数, 则该成像光学系统还满足下式:

$$2.75 < F_{no.} < 3.0 \quad (13)。$$

7. 根据权利要求 1 ~ 6 中任意一项所述的成像光学系统, 其中, 透镜均由塑料形成。

成像光学系统

技术领域

[0001] 本发明涉及数字照相机、带摄像功能的移动电话、扫描仪等固体摄像元件中使用的成像光学系统。

背景技术

[0002] 近年来,对数字照相机或带摄像功能的移动电话等的小型化的要求日益强烈,其结果,也强烈希望实现这些设备中使用的成像光学系统的小型化。专利文献 1 以及专利文献 2 等公开了在数字照相机、带摄像功能的移动电话、扫描仪等固体摄像元件中使用的成像光学系统。为了使成像光学系统小型化,有减小透镜到像面的距离的方法以及实施广角化的方法。但是,采用这些方法将产生如下问题:针对固体摄像元件的像面的入射角度变大,并且,色差、像散、像面弯曲以及畸变等变大。如果针对固体摄像元件的像面的入射角度大,则无法使固体摄像元件高效地成像。而当色差、像散、像面弯曲以及畸变等变大时,摄像装置的分辨率以及画质降低。

[0003] 专利文献 1:日本特开 2007-286153 号公报

[0004] 专利文献 2:日本特开 2007-219079 号公报

[0005] 因此,存在对如下的小型成像光学系统的需求:该成像光学系统的针对固体摄像元件的像面的入射角度小,且降低了色差、像散、像面弯曲以及畸变像差。

发明内容

[0006] 本发明的第一方式的成像光学系统从物体侧到像面侧具有:作为双凸透镜的第 1 透镜;作为双凹透镜的第 2 透镜;作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜;以及作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜。光圈相对于第 1 透镜的像侧的面,被配置在物体侧。设 f_i 是第 i 透镜的焦距的绝对值、 f 是光学系统整体的焦距的绝对值、 v_{di} 是第 i 透镜的阿贝数、TTL 是从第 1 透镜的物体侧的面和光圈面之中的位于物体侧的面到像面的距离,则本发明的第一方式的成像光学系统满足以下各式:

$$[0007] \quad 0.425 < f_1/f_4 < 0.7 \quad (1)$$

$$[0008] \quad 25 < v_{d2} < 28 \quad (2)$$

$$[0009] \quad 50 < v_{d1}, v_{d3}, v_{d4} < 57 \quad (3)$$

$$[0010] \quad 0.595 < f_2/f_4 < 1.05 \quad (4)$$

$$[0011] \quad 1.5 < f/f_1 < 2.2 \quad (5)$$

$$[0012] \quad f_1 < f_3 \quad (6)$$

$$[0013] \quad 1.05 < \text{TTL}/f < 1.18 \quad (7)。$$

[0014] 在本发明的第一方式的成像光学系统中,通过组合正屈光度、负屈光度、正屈光度、负屈光度这 4 个透镜,有利于降低成像光学系统的球面像差,因此分辨率提高。另外,通过组合作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜和作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜,能够减小像面弯曲。另外,由于光圈相对于第 1 透镜的像侧的面被配置在物体侧,因

此能够使光学系统小型化。

[0015] 利用满足上述式 (1) 至 (7) 的结构,能够实现这样的小型成像光学系统:其针对固体摄像元件的像面的入射角度小,且降低了色差、像散、像面弯曲以及畸变像差。

[0016] 本发明的第二方式的成像光学系统从物体侧到像面侧具有:作为双凸透镜的第 1 透镜;作为双凹透镜的第 2 透镜;作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜;以及作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜。光圈相对于第 1 透镜的像侧的面,被配置在物体侧。设 f_i 是第 i 透镜的焦距的绝对值、 f_{DOE} 是衍射光栅的焦距的绝对值、 f 是光学系统整体的焦距的绝对值、TTL 是从第 1 透镜的物体侧的面和光圈面之中的位于物体侧的面到像面的距离,则本发明的第二方式的成像光学系统满足以下各式:

$$[0017] \quad 0.425 < f_1/f_4 < 0.7 \quad (1)$$

$$[0018] \quad 1.5 < f/f_1 < 2.2 \quad (5)$$

$$[0019] \quad f_1 < f_3 \quad (6)$$

$$[0020] \quad 1.05 < \text{TTL}/f < 1.18 \quad (7)$$

$$[0021] \quad 15 < f_{\text{DOE}}/f < 100 \quad (8)。$$

[0022] 在本发明的第二方式的成像光学系统中,通过组合正屈光度、负屈光度、正屈光度、负屈光度这 4 个透镜,有利于降低成像光学系统的球面像差,因此分辨率提高。另外,通过组合作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜和作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜,能够减小像面弯曲。另外,由于光圈相对于第 1 透镜的像侧的面被配置在物体侧,因此能够使光学系统小型化。

[0023] 利用满足上述式 (1) 以及 (5) 至 (8) 的结构,能够实现这样的小型成像光学系统:其针对固体摄像元件的像面的入射角度小,且降低了色差、像散、像面弯曲以及畸变像差。

附图说明

[0024] 图 1 是示出实施例 1 的成像光学系统的结构的图。

[0025] 图 2 是示出实施例 1 的成像光学系统的像差的图。

[0026] 图 3 是示出实施例 2 的成像光学系统的结构的图。

[0027] 图 4 是示出实施例 2 的成像光学系统的像差的图。

[0028] 图 5 是示出实施例 3 的成像光学系统的结构的图。

[0029] 图 6 是示出实施例 3 的成像光学系统的像差的图。

[0030] 图 7 是示出实施例 4 的成像光学系统的结构的图。

[0031] 图 8 是示出实施例 4 的成像光学系统的像差的图。

[0032] 图 9 是示出实施例 5 的成像光学系统的结构的图。

[0033] 图 10 是示出实施例 5 的成像光学系统的结构的图。

[0034] 图 11 是示出实施例 6 的成像光学系统的结构的图。

[0035] 图 12 是示出实施例 6 的成像光学系统的像差的图。

[0036] 图 13 是示出实施例 7 的成像光学系统的结构的图。

[0037] 图 14 是示出实施例 7 的成像光学系统的像差的图。

具体实施方式

[0038] 图 1 是示出本发明的一个实施方式的成像光学系统的结构的图。本实施方式的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 1、第 2 透镜 2、第 3 透镜 3 以及第 4 透镜 4。光圈相对于第 1 透镜的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 1、第 2 透镜 2、第 3 透镜 3 以及第 4 透镜 4 之后的光透过玻璃板 5 而到达像面 6。

[0039] 下面，对本发明的成像光学系统的特征进行说明。

[0040] 4 个透镜的种类

[0041] 本发明的实施方式的成像光学系统从物体侧到像面侧具有：作为双凸透镜的第 1 透镜；作为双凹透镜的第 2 透镜；作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜；以及作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜。通过组合正屈光度、负屈光度、正屈光度、负屈光度这 4 个透镜，能够降低成像光学系统的球面像差，因此分辨率提高。通过在物体侧使用作为双凸透镜的第 1 透镜以及作为双凹透镜的第 2 透镜，能够用比使用一组弯月透镜的情况更小的垂度来确定透镜的形状，能够降低制造成本。另外，通过组合作为朝像侧凸出的正弯月透镜的第 3 透镜以及作为朝物体侧凸出的负弯月透镜的第 4 透镜，能够减小像面弯曲。

[0042] 在以下说明中，将第 i 透镜 (i 为 1 ~ 4 的整数) 的焦距的绝对值设为 f_i ，将光学系统整体的焦距的绝对值设为 f 。

[0043] 第 1 透镜的焦距与第 4 透镜的焦距的绝对值之比

[0044] 本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式：

$$[0045] \quad 0.425 < f_1/f_4 < 0.7 \quad (1)。$$

[0046] 如果减小 f_1/f_4 的值，则能够维持成像光学系统的总长和背焦，同时能够减小针对像面上的像素元件的入射角度。对于 f_1/f_4 的值为 0.425 以下的成像光学系统而言，成像光学系统的彗形像差大，因此不理想。而对于 f_1/f_4 的值为 0.7 以上的成像光学系统，由于光相对于像面上的像素元件的入射角度大，因此也不理想。

[0047] 光学系统整体的焦距的绝对值与第 1 透镜的焦距之比

[0048] 本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式：

$$[0049] \quad 1.5 < f/f_1 < 2.2 \quad (5)。$$

[0050] 对于 f/f_1 的值为 1.5 以下的成像光学系统，难以实现小型化。而对于 f/f_1 的值为 2.2 以上的成像光学系统，其第 1 透镜的加工的容限误差小，因此不容易制造。

[0051] 第 1 透镜的焦距与第 3 透镜的焦距的比较

[0052] 本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式：

$$[0053] \quad f_1 < f_3 \quad (6)。$$

[0054] 通过使第 1 透镜具有正的最大屈光度，使得主点位置向物体侧移动，因此容易使成像光学系统小型化。

[0055] 总长与整体焦距之比

[0056] 将从第 1 透镜的物体侧的面和光圈面之中的位于物体侧的面到像面的距离（成像光学系统的总长）设为 TTL，则本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式：

$$[0057] \quad 1.05 < TTL/f < 1.18 \quad (7)。$$

[0058] 对于 TTL/f 的值为 1.05 以下的成像光学系统，光相对于像面上的像素元件的入射角度变大，因此不理想。而 TTL/f 的值为 1.18 以上的成像光学系统则难以实现小型化。

[0059] 阿贝数

[0060] 将第 i 透镜的阿贝数设为 v_{di} , 则本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式:

$$[0061] \quad 25 < v_{d2} < 28 \quad (2)$$

$$[0062] \quad 50 < v_{d1}, v_{d3}, v_{d4} < 57 \quad (3)$$

[0063] 光圈被配置为, 相对于具有正屈光度的第 1 透镜的像侧的面, 位于物体侧, 因此, 当具有负屈光度的第 2 透镜使用高折射率高分散透镜时, 能够有效地降低色差。

[0064] 第 2 透镜的焦距的绝对值与第 4 透镜的焦距的绝对值之比

[0065] 本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式:

$$[0066] \quad 0.595 < f_2/f_4 < 1.05 \quad (4)$$

[0067] f_2/f_4 的值为 0.595 以下的成像光学系统的色差校正过度。而 f_2/f_4 的值为 1.05 以上的成像光学系统则由于色差校正不足而无法实现高分辨率。

[0068] 衍射光栅

[0069] 可以不使用高折射率高分散透镜进行色差消除, 而是使用衍射光栅来进行色差消除。设衍射光栅的焦距为 f_{DOE} , 则本发明的实施方式的成像光学系统构成为满足下式:

$$[0070] \quad 15 < f_{DOE}/f < 100 \quad (8)$$

[0071] 在衍射光栅的光路差函数 ϕ 为 $\phi = C2 \times h^2 + C4 \times h^4 + \dots$ 的情况下, 用 $f_{DOE} = 1/(2C2)$ 来定义衍射光栅的焦距 f_{DOE} 。其中, 光路差函数是针对归一化波长 587.56nm 的衍射次数一次函数。在光路差函数的表达式中, h 表示距光轴的距离, $C2$ 以及 $C4$ 表示常数。

[0072] 对于 f_{DOE} 的值为 15 以下的成像光学系统, 其色差消除不充分, 因此无法充分提高分辨率。而 f_{DOE} 的值为 100 以上的成像光学系统的色差消除过度。另外, 衍射光栅的光栅周期短, 不容易制造。

[0073] 下面, 对本发明的实施例 1 至 7 进行说明。

[0074] 实施例的成像光学系统的规格

[0075] 表 1 及表 2 是示出实施例 1 至 7 的成像光学系统的规格的表。表 1 中表示焦距的数值的单位为“毫米”。其它数值为无量纲数。表 2 中表示 CRA 的数值的单位为“度”。其它数值的单位为“毫米”。在表 1 中, n_{di} 表示第 i 透镜针对波长为 587.6 纳米的光的折射率。另外, $Fno.$ 为表示光学系统整体的亮度的 F 数。在表 2 中, EFL 表示光学系统整体的有效焦距。另外, CRA 表示主光线相对于像面上的像素元件的最大入射角度。入射角度在像的周边部为最大。BF 表示背焦。

[0076] 【表 1】

[0077]

项目	实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7
f_1/f_4	0.43	0.5	0.66	0.53	0.48	0.53	0.54
v_{d2}	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6
v_{d1}	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1

项目	实施例1	实施例2	实施例3	实施例4	实施例5	实施例6	实施例7
v_{d3}	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
v_{d4}	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1	56.1
f_2/f_4	0.6	0.78	1	0.77	0.67	0.75	0.81
f/f_1	1.6	1.82	1.68	1.79	1.77	1.68	1.61
f_1	2.36	2.05	2.25	2.09	2.15	2.22	2.32
f_3	4.38	5.83	3.78	4.5	4.22	4.03	4.16
TTL/f	1.16	1.07	1.14	1.11	1.14	1.15	1.15
f_{DOE}/f	-	-	-	-	-	-	66.8
n_{d2}	1.605	1.605	1.605	1.605	1.605	1.605	1.605
n_{d1}	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
n_{d3}	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
n_{d4}	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
Fno.	2.81	2.8	2.8	2.81	2.81	2.8	2.82

[0078] 【表 2】

[0079]

项目	实施例1	实施例2	实施例3	实施例4	实施例5	实施例6	实施例7
EFL	3.78	3.73	3.78	3.74	3.81	3.74	3.74
TTL	4.4	4	4.3	4.15	4.35	4.29	4.29
CRA	22.6	25	24.5	24.2	23.4	25	25
BF	1.1	0.87	1	1.04	1.16	1.395	1388

[0080] 实施例 1

[0081] 图 1 是示出实施例 1 的成像光学系统的结构的图。实施例 1 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 1、第 2 透镜 2、第 3 透镜 3 以及第 4 透镜 4。光圈 11 相对于第 1 透镜 1 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 1 的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 1、第 2 透镜 2、第 3 透镜 3 以及第 4 透镜 4 之后的光透过玻璃板 5 而到达像面

6。

[0082] 图 2 是示出实施例 1 的成像光学系统的像差的图。图 2(a) 是示出轴上色差的图。图 2(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 2(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 2(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 2(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 2(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 2(c) 是示出畸变像差的图。图 2(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变: distortion)。图 2(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0083] 表 3 是示出实施例 1 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 3 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正 (plus) 时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0084] 表 4 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中,k 是决定二次曲线的形状的常数,c 是中心曲率。另外,A 为校正系数。

[0085] 【式 1】

$$[0086] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0087] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0088] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0089] 【表 3】

[0090]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.173	1		
2	第一透镜	0.560	1.51	56.1	非球面
3	第一透镜	0.090	1		非球面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.620	1		非球面
6	第三透镜	0.540	1.51	56.1	非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
7	第三透镜	0.381	1		非球面
8	第四透镜	0.480	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.253	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.796	1		平面
像面		0			

[0091] 【表 4】

[0092]

非球面 系数	第 2 面	第 3 面	第 4 面	第 5 面	第 6 面	第 7 面	第 8 面	第 9 面
R	1421	-6.816	16.969	1.768	-2.045	-1.163	2.816	1.323
K	0.000	0.000	0.000	-2.371	4.415	-0.284	-31.433	-7.835
A4	8.74E-03	1.43E-01	7.93E-02	6.95E-02	7.54E-02	7.12E-02	-1.34E-01	-9.82E-02
A6	8.98E-03	-3.52E-01	-4.05E-01	-1.57E-01	-2.01E-01	-8.88E-02	5.44E-02	2.77E-02
A8	-1.98E-02	3.44E-01	3.63E-01	1.52E-01	3.17E-01	1.01E-01	-6.87E-03	-8.33E-03
A10	-1.25E-03	-1.45E-01	-5.89E-02	-4.75E-02	-1.45E-01	-2.24E-02	2.70E-04	1.30E-03

[0093] 实施例 2

[0094] 图 3 是示出实施例 2 的成像光学系统的结构的图。实施例 2 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 201、第 2 透镜 202、第 3 透镜 203 以及第 4 透镜 204。光圈 2011 相对于第 1 透镜 201 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 201 的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 201、第 2 透镜 202、第 3 透镜 203 以及第 4 透镜 204 之后的光透

过玻璃板 205 而到达像面 206。

[0095] 图 4 是示出实施例 2 的成像光学系统的像差的图。图 4(a) 是示出轴上色差的图。图 4(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 4(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 4(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 4(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 4(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 4(c) 是示出畸变像差的图。图 4(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变)。图 4(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0096] 表 5 是示出实施例 2 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 5 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0097] 表 6 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中,k 是确定二次曲线形状的常数,c 是中心曲率。另外,A 为校正系数。

[0098] 【式 2】

$$[0099] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0100] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0101] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0102] 【表 5】

[0103]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.204	1		
2	第一透镜	0.570	1.51	56.1	非球面
3	第一透镜	0.090	1		非球面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.540	1		非球面
6	第三透镜	0.580	1.51	56.1	非球面
7	第三透镜	0.284	1		非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
8	第四透镜	0.460	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.230	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.569	1		平面
像面		0			

[0104] 【表 6】

[0105]

非球面 系数	第2面	第3面	第4面	第5面	第6面	第7面	第8面	第9面
R	1.171	-8.160	-31.771	2.088	-2.032	-1.323	4.739	1.399
K	0.000	0.000	0.000	-0.446	5.924	-0.129	-31.433	-8.792
A4	2.96E-03	7.24E-02	3.43E-02	5.65E-02	1.32E-01	2.61E-01	-8.15E-02	-8.33E-02
A6	0.00E+00	-8.12E-02	-1.28E-01	-4.01E-02	-2.40E-01	-1.94E-01	4.97E-02	2.45E-02
A8	0.00E+00	0.00E+00	9.49E-02	1.23E-01	2.79E-01	1.48E-01	-1.19E-02	-7.47E-03
A10	0.00E+00	0.00E+00	-6.64E-02	0.00E+00	-1.94E-01	-5.20E-02	1.12E-03	1.01E-03

[0106] 实施例 3

[0107] 图 5 是示出实施例 3 的成像光学系统的结构的图。实施例 3 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 301、第 2 透镜 302、第 3 透镜 303 以及第 4 透镜 304。光圈 3011 相对于第 1 透镜 301 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 301 的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 301、第 2 透镜 302、第 3 透镜 303 以及第 4 透镜 304 之后的光透

过玻璃板 305 而到达像面 306。

[0108] 图 6 是示出实施例 3 的成像光学系统的像差的图。图 6(a) 是示出轴上色差的图。图 6(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 6(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 6(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 6(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 6(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 6(c) 是示出畸变像差的图。图 6(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变)。图 6(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0109] 表 7 是示出实施例 3 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 7 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0110] 表 8 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中,k 是确定二次曲线形状的常数,c 是中心曲率。另外,A 为校正系数。

[0111] 【式 3】

$$[0112] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0113] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0114] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0115] 【表 7】

[0116]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.169	1		
2	第一透镜	0.560	1.51	56.1	非球面
3	第一透镜	0.090	1		非球面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.748	1		非球面
6	第三透镜	0.540	1.51	56.1	非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
7	第三透镜	0.278	1		非球面
8	第四透镜	0.480	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.230	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.694	1		平面
像面		0			

[0117] 【表 8】

[0118]

非球面 系数	第 2 面	第 3 面	第 4 面	第 5 面	第 6 面	第 7 面	第 8 面	第 9 面
R	1.421	-5.199	-11.618	2.533	-2.468	-1.162	3.319	1.087
K	0.000	0.000	0.000	-1.103	5.696	-0.348	-31.433	-6.188
A4	1.12E-03	1.55E-01	1.49E-01	8.14E-02	1.22E-01	2.01E-01	-1.53E-01	-9.87E-02
A6	1.67E-02	-3.30E-01	-4.53E-01	-1.75E-01	-2.28E-01	-1.78E-01	5.77E-02	2.84E-02
A8	-5.05E-02	2.60E-01	4.30E-01	1.71E-01	2.77E-01	1.53E-01	-6.94E-03	-8.47E-03
A10	1.82E-02	-8.72E-02	-1.24E-01	-4.09E-02	-1.38E-01	-4.16E-02	1.01E-04	1.02E-03

[0119] 实施例 4

[0120] 图 7 是示出实施例 4 的成像光学系统的结构的图。实施例 4 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 401、第 2 透镜 402、第 3 透镜 403 以及第 4 透镜 404。光圈 4011 相对于第 1 透镜 401 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 401 的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 401、第 2 透镜 402、第 3 透镜 403 以及第 4 透镜 404 之后的光透

过玻璃板 405 而到达像面 406。

[0121] 图 8 是示出实施例 4 的成像光学系统的像差的图。图 8(a) 是示出轴上色差的图。图 8(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 8(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 8(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 8(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 8(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 8(c) 是示出畸变像差的图。图 8(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变)。图 8(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0122] 表 9 是示出实施例 4 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 9 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0123] 表 10 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中, k 是确定二次曲线形状的常数, c 是中心曲率。另外, A 为校正系数。

[0124] 【式 4】

$$[0125] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0126] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0127] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0128] 【表 9】

[0129]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.170	1		
2	第一透镜	0.560	1.51	56.1	非球面
3	第一透镜	0.090	1		非球面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.623	1		非球面
6	第三透镜	0.540	1.51	56.1	非球面
7	第三透镜	0.214	1		非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
8	第四透镜	0.480	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.230	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.735	1		平面
像面		0			

[0130] 【表 10】

[0131]

非球面 系数	第2面	第3面	第4面	第5面	第6面	第7面	第8面	第9面
R	1.343	-4.393	-11.529	2.238	-2.279	-1.235	2.945	1.132
K	0.000	0.000	0.000	-1.328	5.622	-0.283	-31.433	-7.330
A4	-6.97E-03	1.44E-01	1.50E-01	8.88E-02	1.51E-01	2.03E-01	-1.63E-01	-1.16E-01
A6	3.26E-03	-3.44E-01	-4.62E-01	-1.54E-01	-2.36E-01	-1.66E-01	6.00E-02	3.16E-02
A8	-5.87E-02	2.31E-01	4.78E-01	1.69E-01	2.80E-01	1.56E-01	-6.50E-03	-9.70E-03
A10	-3.83E-02	-7.83E-02	-8.62E-02	2.59E-02	-1.50E-01	-4.66E-02	-1.98E-04	1.06E-03

[0132] 实施例 5

[0133] 图 9 是示出实施例 5 的成像光学系统的结构的图。实施例 5 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 501、第 2 透镜 502、第 3 透镜 503 以及第 4 透镜 504。光圈 5011 相对于第 1 透镜 501 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 501 的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 501、第 2 透镜 502、第 3 透镜 503 以及第 4 透镜 504 之后的光透

过玻璃板 505 而到达像面 506。

[0134] 图 10 是示出实施例 5 的成像光学系统的像差的图。图 10(a) 是示出轴上色差的图。图 10(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 10(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 10(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 10(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 10(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 10(c) 是示出畸变像差的图。图 10(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变)。图 10(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0135] 表 11 是示出实施例 5 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 11 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0136] 表 12 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中, k 是确定二次曲线形状的常数, c 是中心曲率。另外, A 为校正系数。

[0137] 【式 5】

$$[0138] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0139] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0140] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0141] 【表 11】

[0142]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.173	1		
2	第一透镜	0.560	1.51	56.1	非球面
3	第一透镜	0.090	1		非球面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.687	1		非球面
6	第三透镜	0.540	1.51	56.1	非球面
7	第三透镜	0.217	1		非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
8	第四透镜	0.480	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.230	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.865	1		平面
像面		0			

[0143] 【表 12】

[0144]

非球面 系数	第 2 面	第 3 面	第 4 面	第 5 面	第 6 面	第 7 面	第 8 面	第 9 面
R	1.408	-4.306	-10.014	2.246	-2.423	-1.225	2.875	1.205
K	0.000	0.000	0.000	-1.525	5.673	-0.267	-31.433	-7.466
A4	-4.16E-03	1.58E-01	1.50E-01	7.75E-02	1.30E-01	1.68E-01	-1.56E-01	-1.08E-01
A6	1.85E-02	-3.24E-01	-4.58E-01	-1.60E-01	-2.42E-01	-1.57E-01	5.86E-02	2.80E-02
A8	-6.15E-02	2.32E-01	4.86E-01	1.73E-01	3.06E-01	1.62E-01	-6.66E-03	-7.88E-03
A10	6.14E-03	-4.91E-02	-1.27E-01	-1.66E-02	-1.48E-01	-4.61E-02	-8.30E-05	8.64E-04

[0145] 实施例 6

[0146] 图 11 是示出实施例 6 的成像光学系统的结构的图。实施例 6 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 601、第 2 透镜 602、第 3 透镜 603 以及第 4 透镜 604。光圈 6011 相对于第 1 透镜 601 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 601 的物体侧的面的顶点，位于像侧。透过第 1 透镜 601、第 2 透镜 602、第 3 透镜 603 以及第 4 透镜 604 之后的光透

过玻璃板 605 而到达像面 606。

[0147] 图 12 是示出实施例 6 的成像光学系统的像差的图。图 12(a) 是示出轴上色差的图。图 12(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 12(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 12(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 12(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 12(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 12(c) 是示出畸变像差的图。图 12(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变)。图 12(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0148] 表 13 是示出实施例 6 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 13 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0149] 表 14 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中, k 是确定二次曲线形状的常数, c 是中心曲率。另外, A 为校正系数。

[0150] 【式 6】

$$[0151] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0152] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0153] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0154] 【表 13】

[0155]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.166	1		
2	第一透镜	0.544	1.51	56.1	非球面
3	第一透镜	0.090	1		非球面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.645	1		非球面
6	第三透镜	0.517	1.51	56.1	非球面
7	第三透镜	0.269	1		非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
8	第四透镜	0.448	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.276	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.819	1		平面
像面		0			

[0156] 【表 14】

[0157]

非球面 系数	第 2 面	第 3 面	第 4 面	第 5 面	第 6 面	第 7 面	第 8 面	第 9 面
R	1.429	-4.790	-11.266	2.322	-2.606	-1.226	2.292	1.037
K	0.000	0.000	0.000	-0.700	5.242	-0.265	-31.433	-7.282
A4	-3.01E-03	1.48E-01	1.51E-01	8.63E-02	1.73E-01	1.94E-01	-1.61E-01	-1.08E-01
A6	1.87E-02	-3.07E-01	-4.57E-01	-1.69E-01	-2.62E-01	-1.55E-01	5.97E-02	2.83E-02
A8	-6.37E-02	2.29E-01	5.10E-01	1.81E-01	2.98E-01	1.67E-01	-6.60E-03	-6.93E-03
A10	1.69E-02	-3.15E-02	-1.34E-01	1.45E-02	-1.28E-01	-4.58E-02	-6.70E-05	6.51E-04

[0158] 实施例 7

[0159] 图 13 是示出实施例 7 的成像光学系统的结构的图。实施例 7 的成像光学系统从物体侧到像侧具有：第 1 透镜 701、第 2 透镜 702、第 3 透镜 703 以及第 4 透镜 704。光圈 7011 相对于第 1 透镜 701 的像侧的面，位于物体侧，且相对于第 1 透镜 701 的物体侧的面的顶点，

位于像侧。透过第 1 透镜 701、第 2 透镜 702、第 3 透镜 703 以及第 4 透镜 704 之后的光透过玻璃板 705 而到达像面 706。

[0160] 图 14 是示出实施例 7 的成像光学系统的像差的图。图 14(a) 是示出轴上色差的图。图 14(a) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 14(a) 的纵轴表示光线在光圈中的通过位置。纵轴的“0”表示光线通过光圈中心,纵轴的“1”表示光线通过光圈边缘。图 14(b) 是示出像散以及像面弯曲的图。图 14(b) 的横轴表示光轴方向的焦点位置 (单位是毫米)。图 14(b) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。虚线表示子午像面的位置,实线表示弧矢像面的位置。图 14(c) 是示出畸变像差的图。图 14(c) 的横轴表示畸变像差 (畸变)。图 14(c) 的纵轴表示像高 (单位是毫米)。

[0161] 表 15 是示出实施例 7 的成像光学系统的透镜数据的表。在表 15 中,光圈的面间隔是指以光圈位置为基准、以像侧为正时的第 2 面的位置。关于其它面,例如,第 2 面 (第 1 透镜的物体侧的面) 的面间隔是指第 2 面与第 3 面 (第 2 透镜的像侧的面) 之间的间隔。

[0162] 表 16 是示出表示第 2 面至第 9 面的非球面形状的式子的系数及常数的表。在将成像光学系统的光轴设为 z 轴、将与光轴垂直的面上的坐标设为 x、y 的正交坐标系中,非球面形状是通过使下式表示的二次曲线绕光轴即 z 轴旋转而得到的光轴对称旋转面。其中, k 是确定二次曲线形状的常数, c 是中心曲率。另外, A 为校正系数。

[0163] 【式 7】

$$[0164] \quad h = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$[0165] \quad c = \frac{1}{R}$$

$$[0166] \quad Z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2h^2}} + \sum_{i=1}^m A_i h^i$$

[0167] 第 1 透镜 701 在像侧的面上具备衍射光栅。衍射光栅的光路差函数 ϕ 表示为:

[0168]

$$\phi = C2 \times h^2 + C4 \times h^4 + \dots$$

[0169] 其中,光路差函数是针对归一化波长 587.56nm 的衍射次数一次的函数。在光路差函数式中, h 表示距光轴的距离, C2 及 C4 表示常数。

[0170] 表 17 是示出光路差函数中的常数的表。

[0171] 【表 15】

[0172]

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
光圈		-0.166	1		
2	第一透镜	0.536	1.51	56.1	非球面

面编号	注释	面间隔 (mm)	折射率	阿贝数	面形状
3	第一透镜	0.090	1		DOE 面
4	第二透镜	0.380	1.605	26.6	非球面
5	第二透镜	0.658	1		非球面
6	第三透镜	0.513	1.51	56.1	非球面
7	第三透镜	0.273	1		非球面
8	第四透镜	0.452	1.51	56.1	非球面
9	第四透镜	0.269	1		非球面
10		0.300	1.517	64.2	平面
11		0.819	1		平面
像面		0			

[0173] 【表 16】

[0174]

非球面 系数	第 2 面	第 3 面	第 4 面	第 5 面	第 6 面	第 7 面	第 8 面	第 9 面
R	1.426	-6.366	-18.164	2.397	-2.523	-1.232	2.320	1.053
K	0.000	0.000	0.000	-1.463	5.241	-0.261	-31.433	-7.373
A4	3.28E-03	1.38E-01	1.34E-01	8.39E-02	1.73E-01	1.90E-01	-1.62E-01	-1.08E-01
A6	2.27E-02	-2.70E-01	-4.33E-01	-1.63E-01	-2.61E-01	-1.55E-01	5.97E-02	2.83E-02
A8	-6.49E-02	2.35E-01	5.45E-01	1.77E-01	3.01E-01	1.68E-01	-6.50E-03	-6.91E-03
A10	7.00E-02	4.12E-02	-1.62E-01	5.78E-04	-1.26E-01	-4.62E-02	-8.00E-05	6.46E-04

[0175] 【表 17】

[0176]

光路差函数系数	第 3 面
C2	-0.002
C4	0.0008

[0177] 下面,对本发明的实施方式的特征进行说明。

[0178] 光圈的位置

[0179] 本发明的实施方式的成像光学系统的光圈相对于第 1 透镜的像侧的面位于物体侧,且相对于第 1 透镜的物体侧的面的顶点位于像侧。

[0180] 通过使光圈相对于第 1 透镜的像侧的面位于物体侧、且相对于第 1 透镜的物体侧的面的顶点位于像侧,能够减小成像光学系统整体的尺寸(从第 1 透镜的物体侧的面以及光圈面中位于物体侧的面到像面的距离)。

[0181] 第 2 透镜的折射率

[0182] 在本发明的实施方式的成像光学系统中, n_{di} 为第 i 透镜针对波长为 587.6 纳米的光的折射率,且满足下式:

$$[0183] \quad 1.6 < n_{d2} < 1.62 \quad (9).$$

[0184] 通过增大第 2 透镜的折射率,能够增大透镜的屈光度,能够扩大光束的中心光线的范围。其结果,能够减小像面周边部的中心光线的入射角度。此外,式 (9) 的下限值以及上限值是指可用于透镜的塑料材料中、全烯烃 (full olefin) 聚酯的折射率范围。该材料的折射率高,吸水性低且容易形成薄壁,因此优选将其作为本发明的成像光学系统的透镜材料。

[0185] 第 1、第 3 以及第 4 透镜的折射率

[0186] 在本发明的实施方式的成像光学系统中, n_{di} 为第 i 透镜针对波长为 587.6 纳米的光的折射率,且满足下式:

$$[0187] \quad n_{d1} < 1.515 \quad (10)$$

$$[0188] \quad n_{d3} < 1.515 \quad (11)$$

$$[0189] \quad n_{d4} < 1.515 \quad (12).$$

[0190] 当减小透镜的折射率时,透镜加工的容限误差增大。因此,优选第 1、第 3 以及第 4 透镜的折射率比第 2 透镜的折射率小。

[0191] F 数

[0192] 在本发明的实施方式的成像光学系统中, $F_{no.}$ 为表示光学系统整体的亮度的 F 数,且满足下式:

$$[0193] \quad 2.75 < F_{no.} < 3.0 \quad (13).$$

[0194] 对于 $F_{no.}$ 为 2.75 以下的成像光学系统,透镜加工的容限误差以及组装的容限误差小,因此不容易制造。对于 $F_{no.}$ 为 3.0 以上的成像光学系统,由于其光量不足而容易发生手抖等。而且,其数值孔径 (NA) 小,分辨率低。

[0195] 透镜的材料

[0196] 本发明的实施方式的成像光学系统中的透镜均由塑料形成。因此,透镜均可通过铸模成型来制作,适合于批量生产。

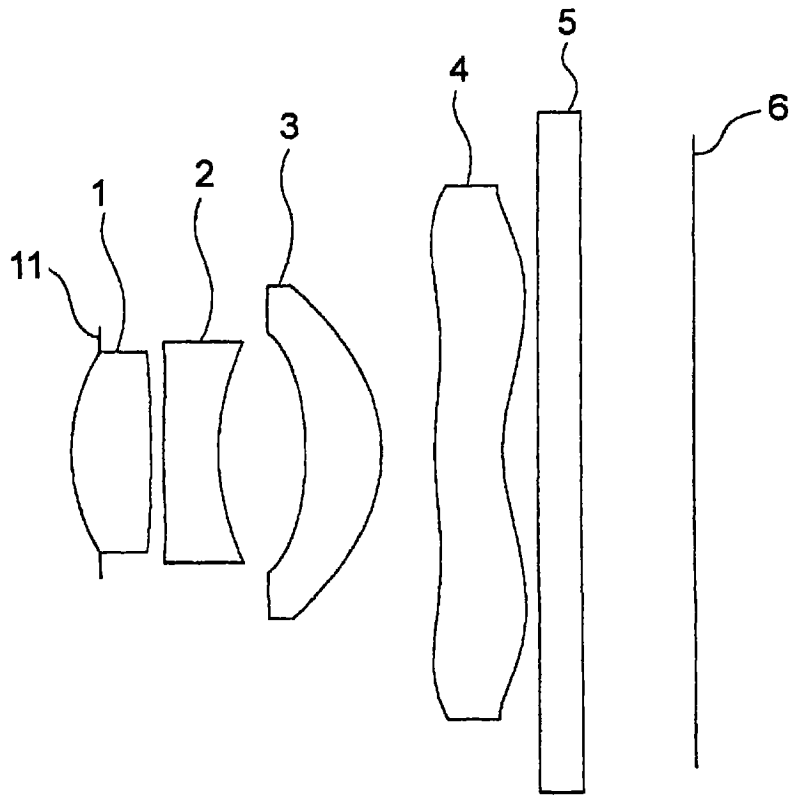


图 1

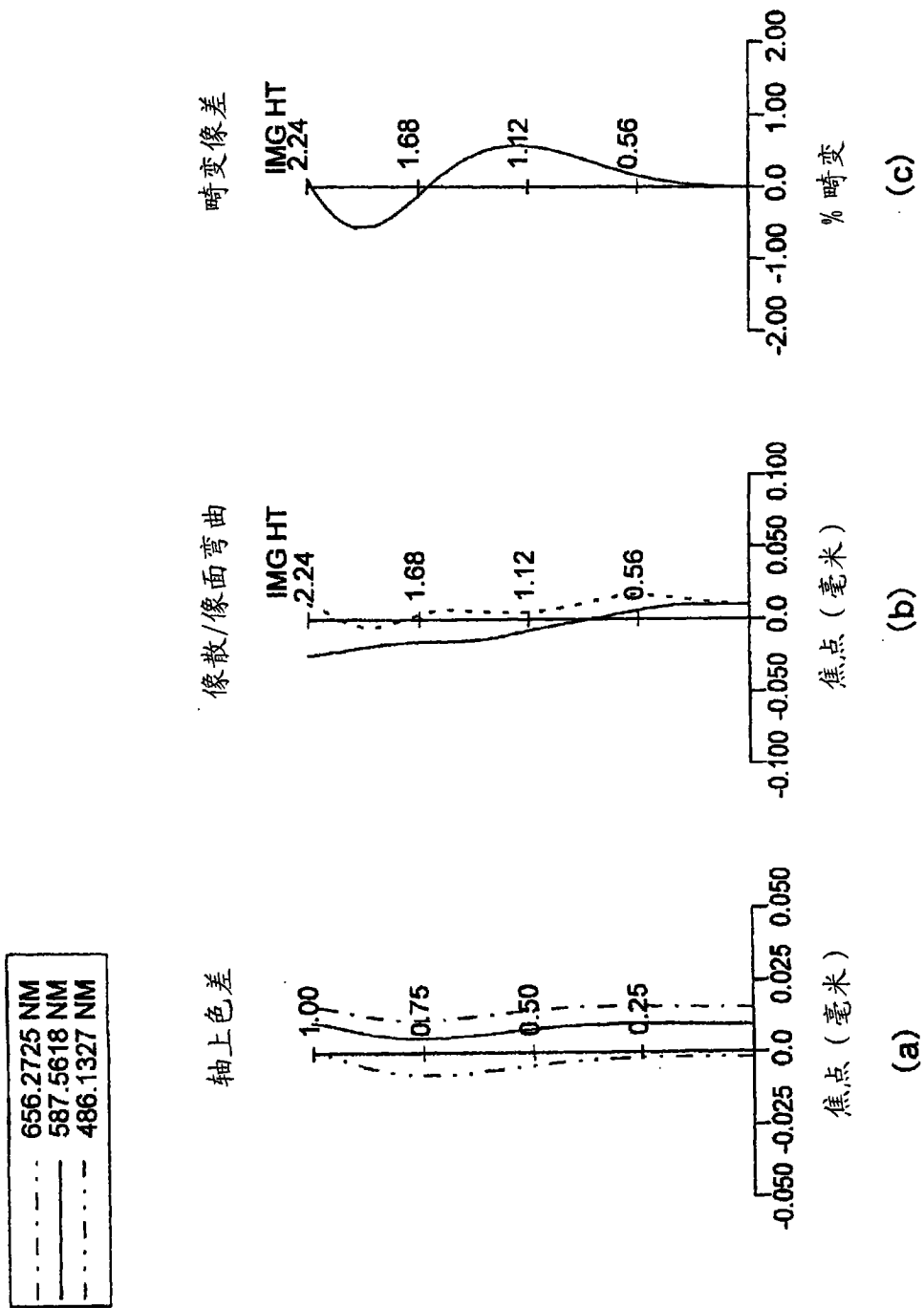


图 2

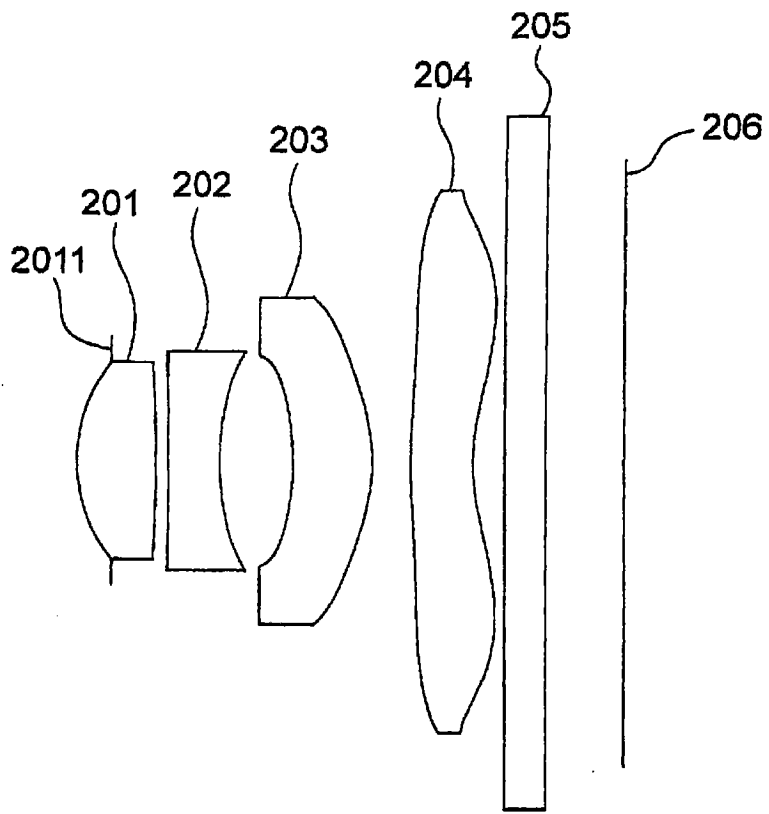


图 3

---	656.2725 NM
---	587.5618 NM
---	486.1327 NM

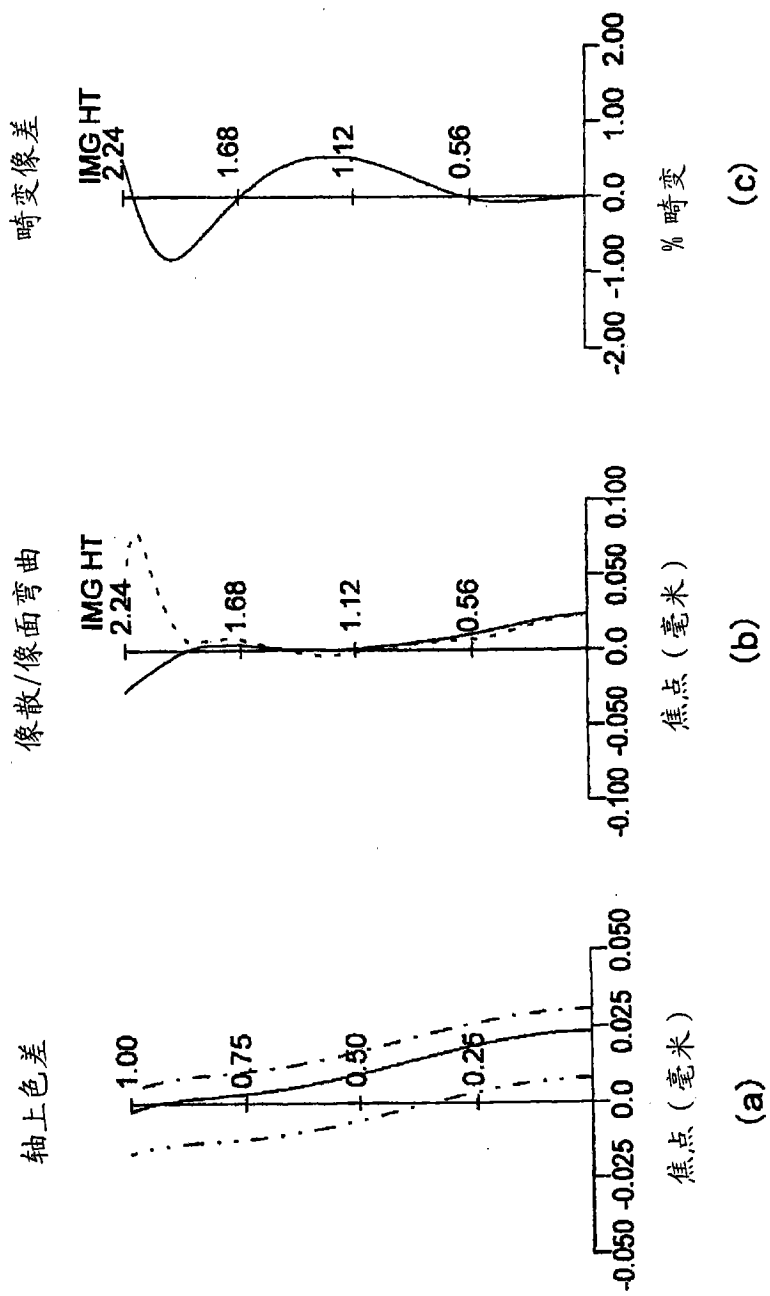


图 4

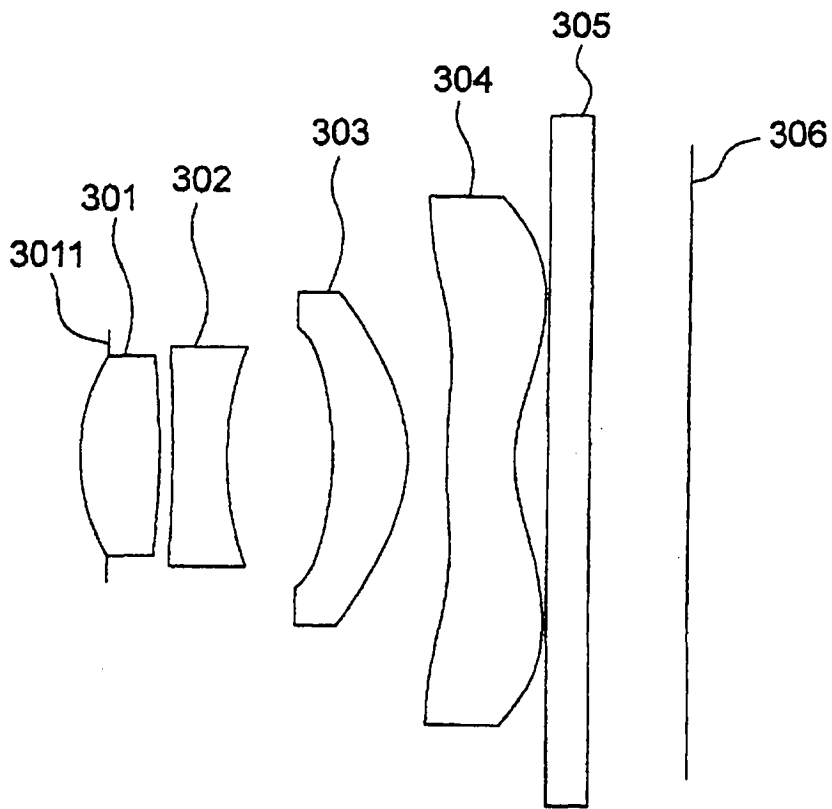


图 5

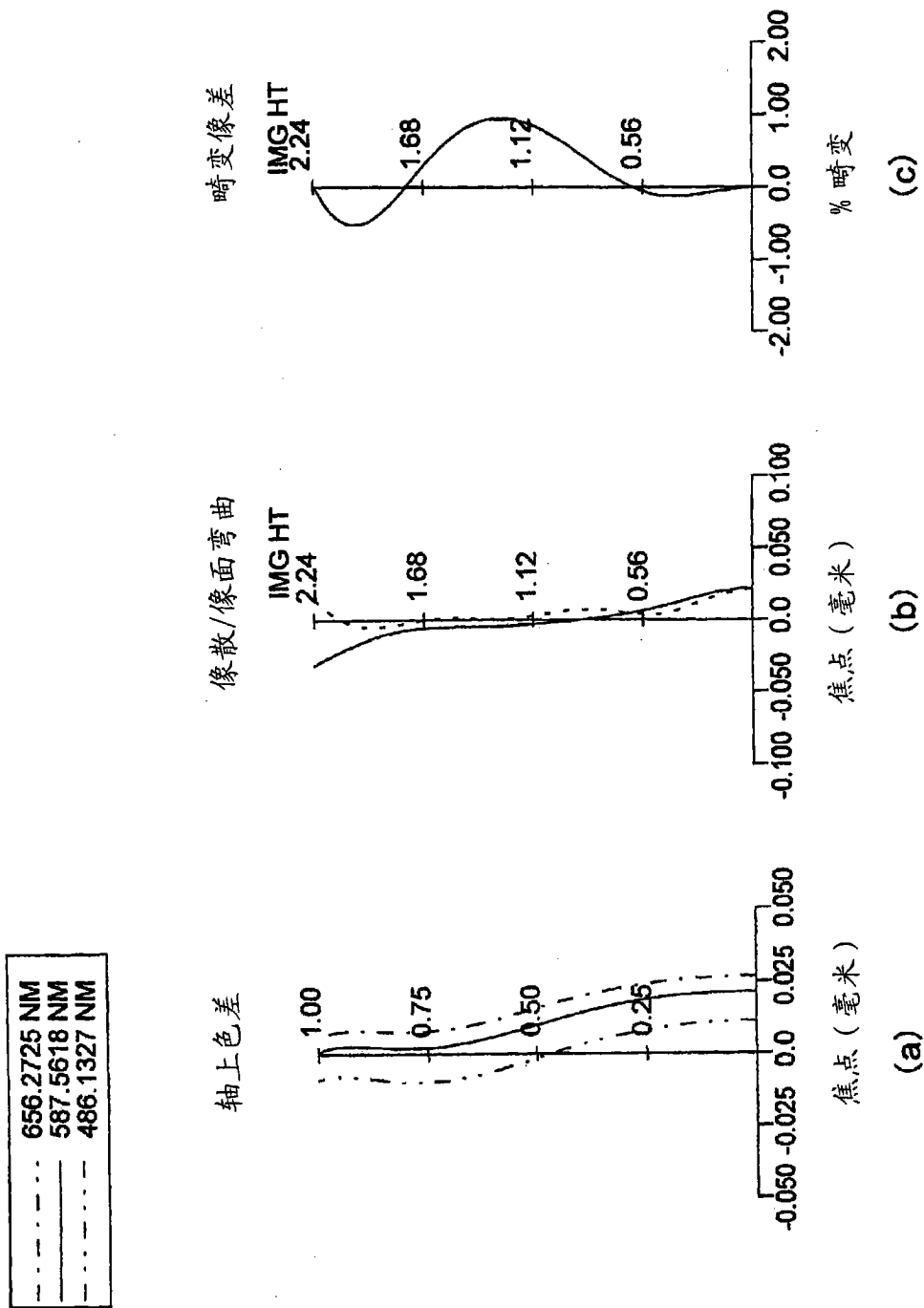


图 6

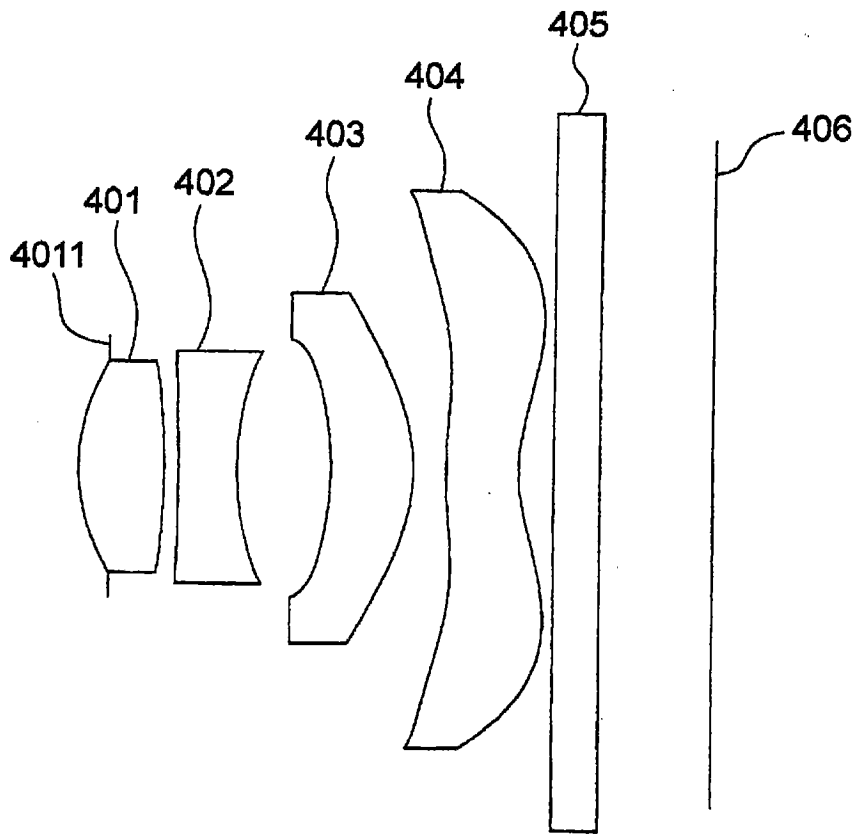


图 7

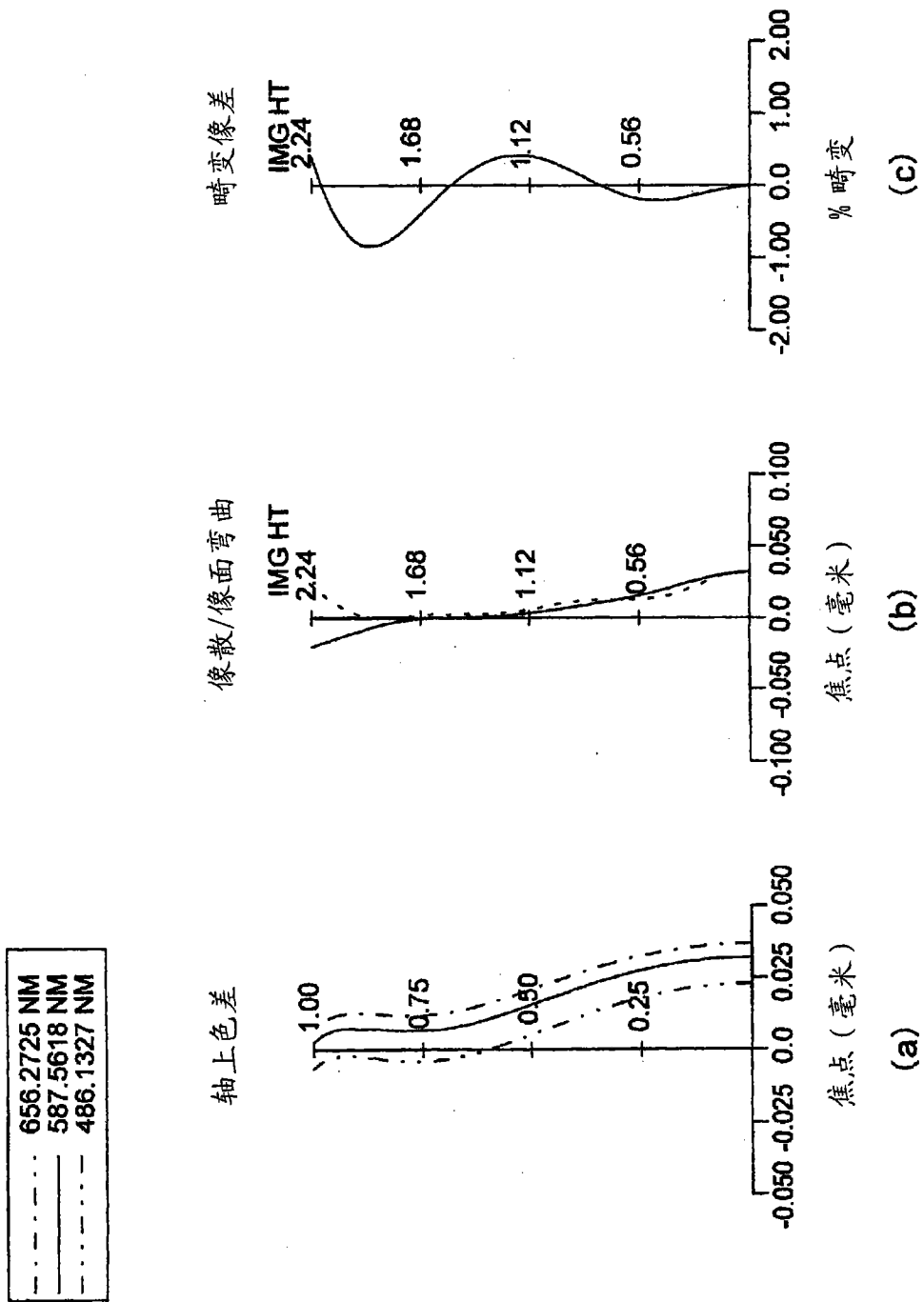


图 8

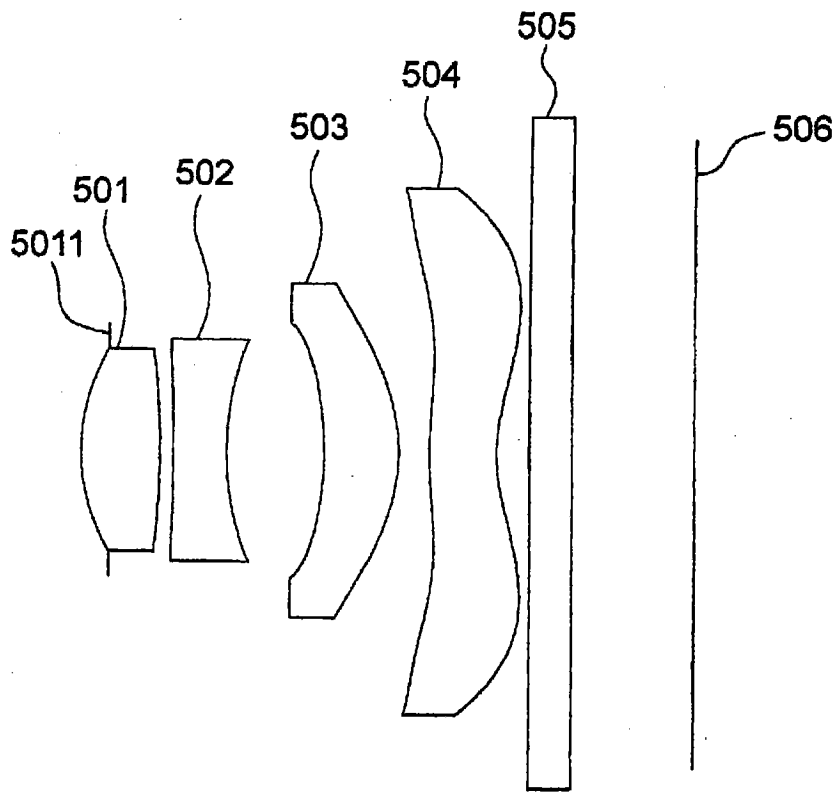


图 9

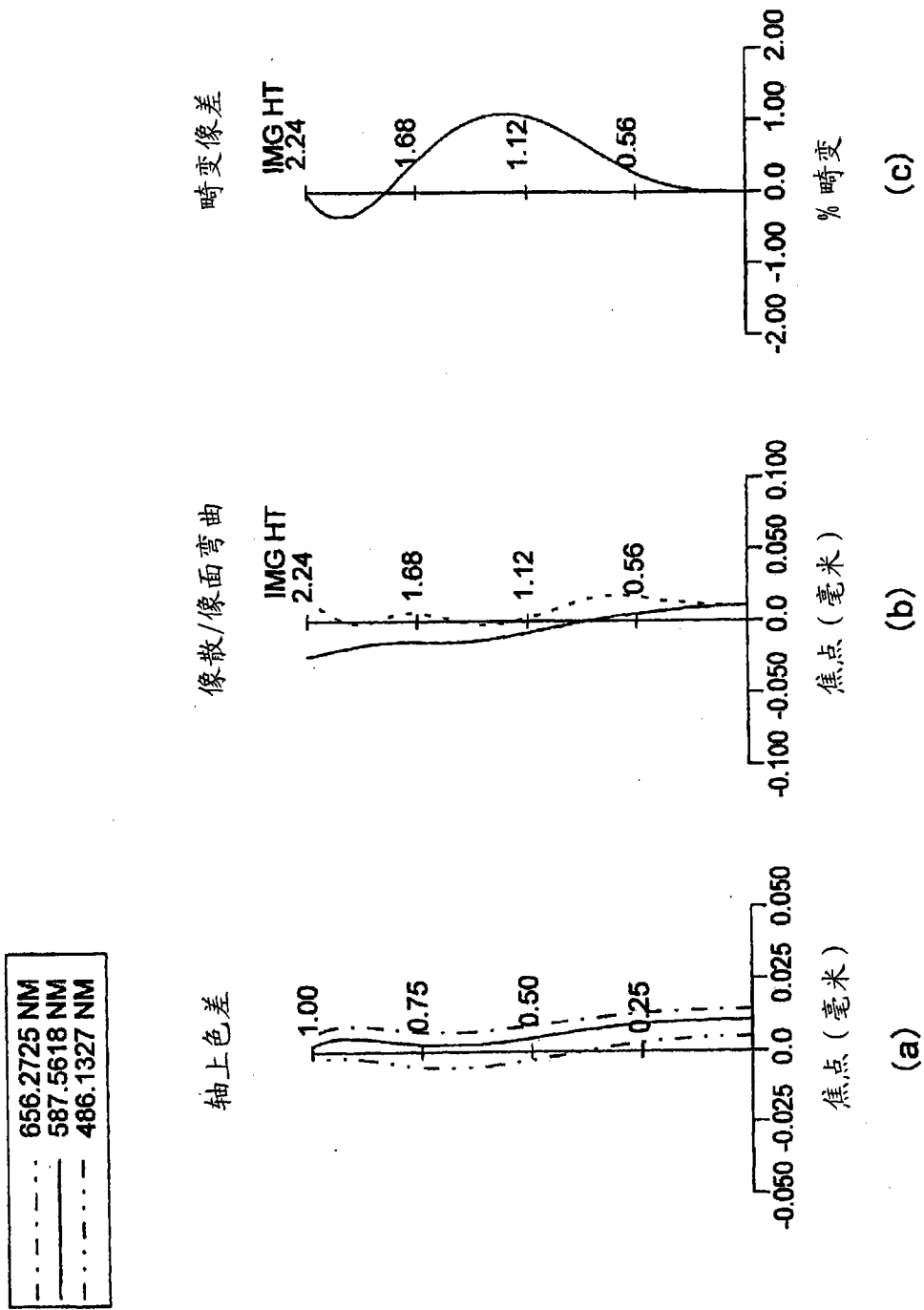


图 10

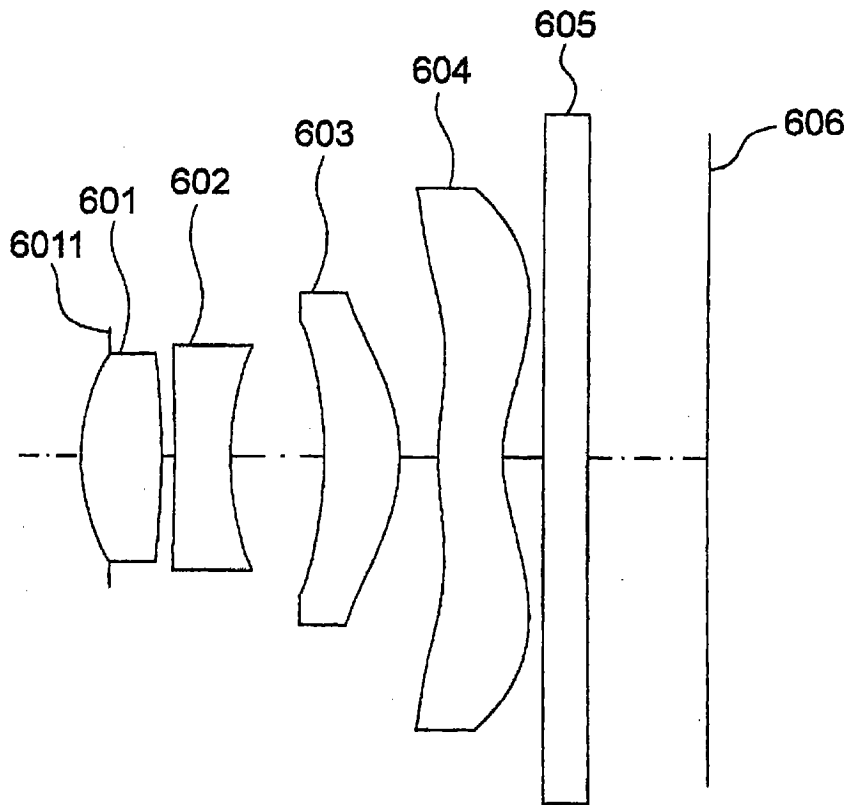


图 11

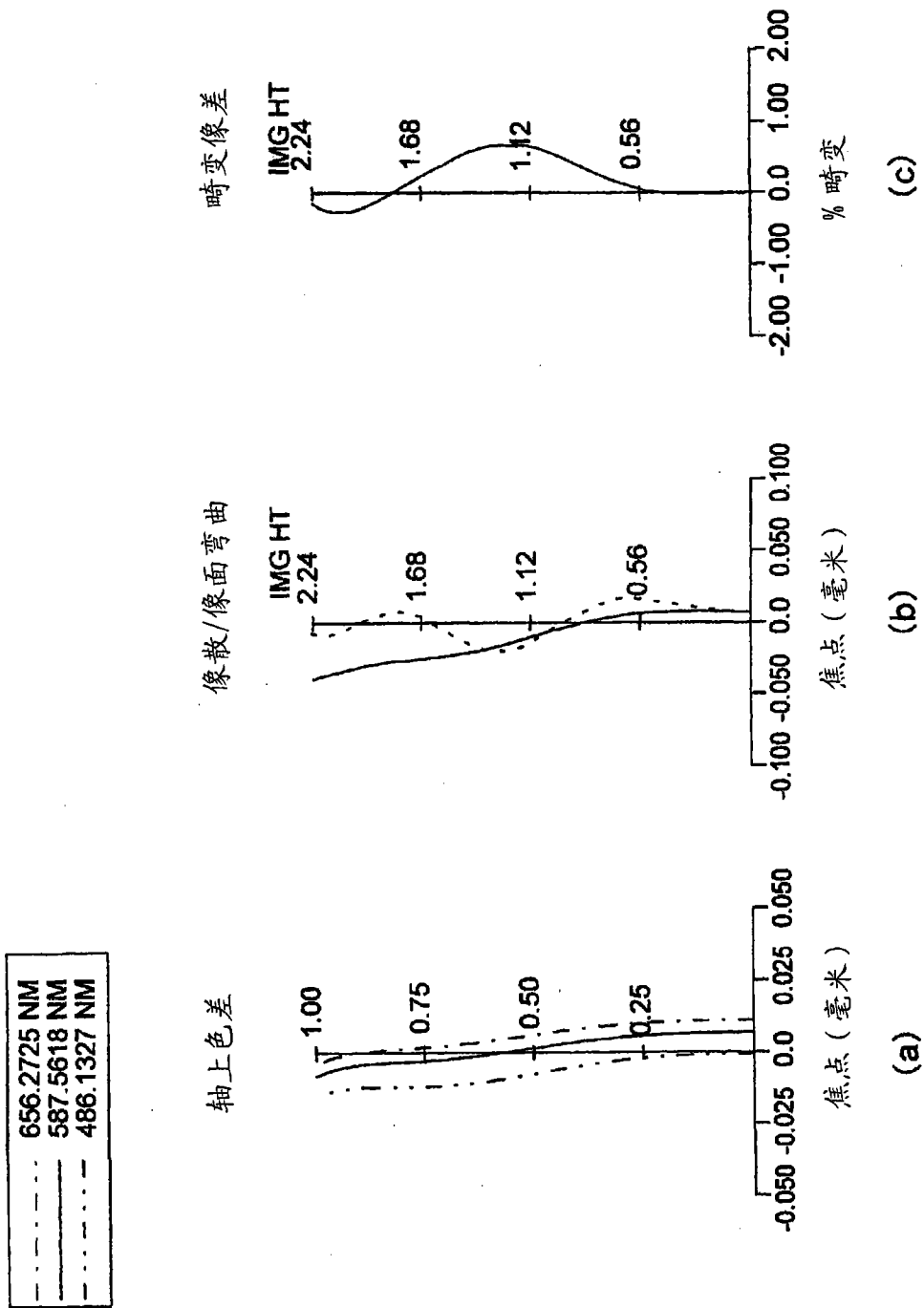


图 12

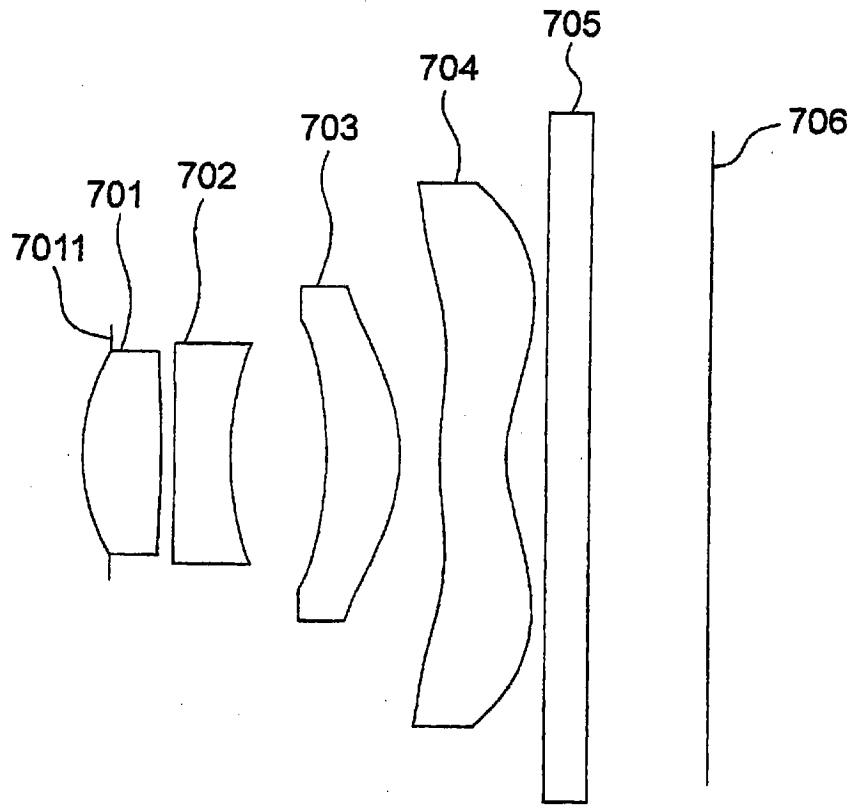


图 13

.....	656.2725 NM
——	587.5618 NM
-----	486.1327 NM

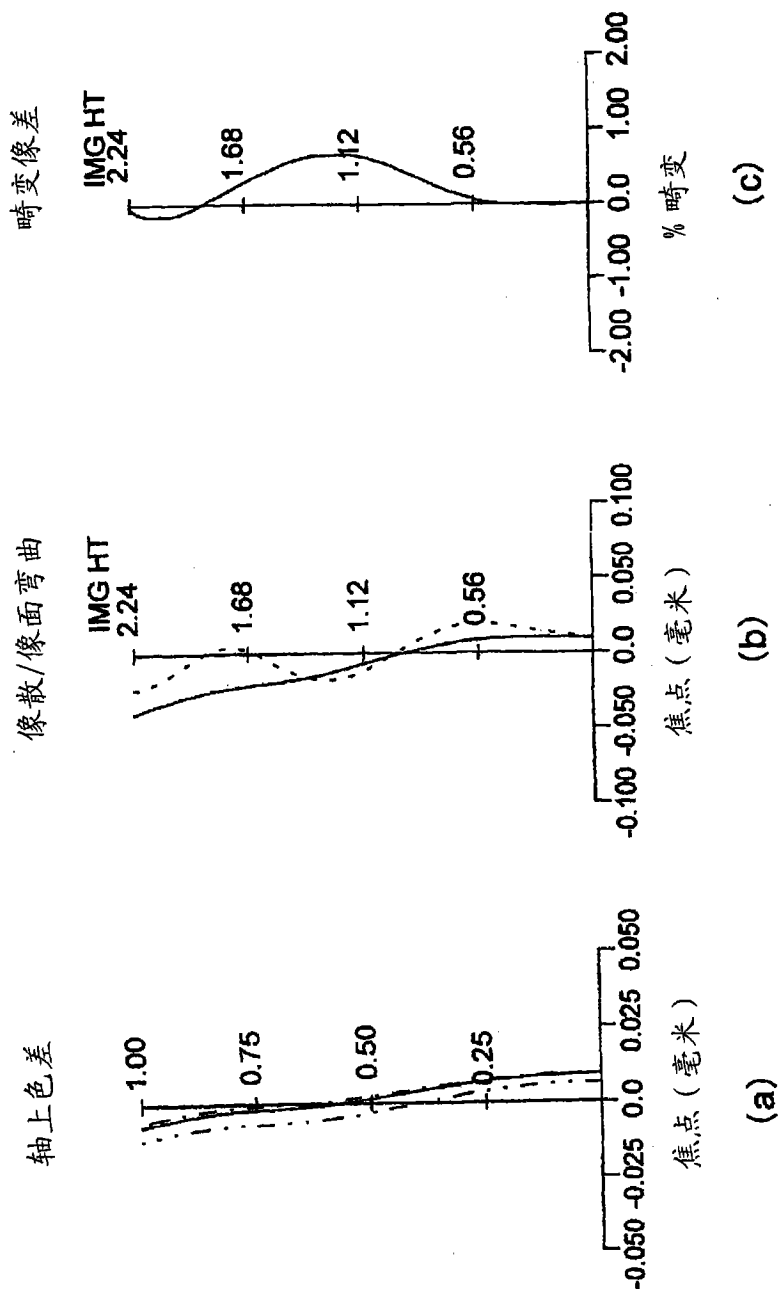


图 14