



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101965533 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 01

(21) 申请号 200980106293. 9

G02B 5/18(2006. 01)

(22) 申请日 2009. 02. 24

G02B 13/00(2006. 01)

(30) 优先权数据

2008-042763 2008. 02. 25 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 08. 25

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2009/053293 2009. 02. 24

(87) PCT申请的公布数据

W02009/107610 JA 2009. 09. 03

(73) 专利权人 株式会社尼康

地址 日本东京

(72) 发明人 吉田三环子 宫川晶子

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 孙志湧 安翔

(51) Int. Cl.

G02B 21/02(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开平 6-331898 A, 1994. 12. 02, 全文.

EP 1830204 A1, 2007. 09. 05, 说明书第

[0005-0020] 段, 第 [0054-0055] 段、权利要求书、附图 1.

US 5748372 A, 1998. 05. 05, 说明书第 1 栏第 30 行 - 第 12 栏第 60 行、附图 1-5, 8-10、权利要求书.

审查员 刘倩

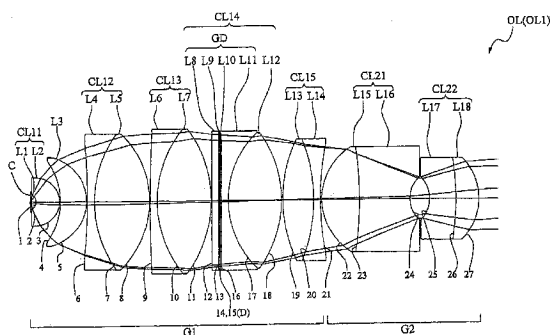
权利要求书 2 页 说明书 20 页 附图 15 页

(54) 发明名称

物镜

(57) 摘要

本发明涉及一种物镜 (OL), 包括: 整体上具有正折射光焦度并且具有正透镜 (平凸透镜 (L1)) 和至少一个胶合透镜 (胶合透镜 (CL12) 等) 的、置于物体侧上的第一透镜组 (G1), 该正透镜最靠近物体置放并且其最靠近物体的透镜表面是平面或者具有低曲率的表面; 整体上具有负折射光焦度并且具有彼此面对的、面对图像的凹形表面和面对物体的凹形表面的、置于图像侧上的第二透镜组 (G2); 和衍射光学元件 (GD), 其中胶合由不同的光学材料制成的两个衍射元件构件, 具有在胶合表面上形成有衍射光栅凹槽的衍射光学表面 (D), 并且比主光线穿过光轴的位置更加靠近物体置放。



1. 一种物镜,包括:

按照从物体的次序,整体上具有正折射光焦度的第一透镜组和整体上具有负折射光焦度的第二透镜组,其中

所述第一透镜组包括:正透镜,所述正透镜最靠近所述物体置放,并且所述正透镜的最靠近所述物体的透镜表面是平面或者凹形表面;衍射光学元件,在所述衍射光学元件中,胶合由不同的光学材料制成的两个衍射元件构件,并且所述衍射光学元件具有在胶合表面上形成有衍射光栅凹槽的衍射光学表面;和至少一个胶合透镜,

所述第二透镜组包括彼此面对的、面对图像的凹形表面和面对物体的凹形表面,

以下条件表达式得以满足:

$$3 \leq |f_2/f_a| \leq 30$$

其中 f_a 表示所述物镜的焦距,并且 f_2 表示所述第二透镜组的焦距,

透镜表面的光焦度 Φ 定义为

$$\Phi = (n' - n)/r$$

其中 r 表示所述透镜表面的曲率半径,并且 n 和 n' 是在所述透镜表面之前和之后的介质的在 d 线处的折射率,并且

以下条件表达式得以满足:

$$1.03 \leq |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| \leq 1.4$$

其中 Φ_{2-1} 表示在所述第二透镜组中所述面对图像的凹形表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 表示在所述第二透镜组中所述面对物体的凹形表面的光焦度,

其中

比主光线穿过光轴的位置更加靠近所述物体地置放所述衍射光学元件,

以下条件表达式得以满足:

$$|\theta_{\max}| \leq 10^\circ$$

其中 $\theta_{\max}$ 表示进入所述衍射光学元件的光线的最大入射角,并且

以下条件表达式得以满足:

$$|f_{\text{doe}}/f_a| \geq 100$$

其中 f_a 表示所述物镜的焦距,并且 f_{doe} 表示所述衍射光学元件的焦距。

2. 根据权利要求 1 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$2 \leq N/H \leq 10$$

其中 N 表示在所述衍射光学元件中的所述衍射光学表面上的衍射光栅凹槽的数目,并且 H 表示在所述衍射光学元件中的所述衍射光学表面的有效半径。

3. 根据权利要求 1 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$v_{\text{dmax}} \leq 85$$

其中 v_{dmax} 表示在所述物镜中包括的正透镜的阿贝数的最大数值。

4. 根据权利要求 1 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$n_{d1} \leq 1.54$$

$$0.0145 \leq n_{F1} - n_{C1}$$

$$1.55 \leq n_{d2}$$

$$n_{F2} - n_{C2} \leq 0.013$$

其中,在所述衍射光学元件的所述两个衍射元件构件中的、折射率较低并且阿贝数较小的衍射元件构件的材料,在 d 线处的折射率被表示为 nd_1 ,在 F 线处的折射率被表示为 nF_1 ,并且在 C 线处的折射率被表示为 nC_1 ;而在所述衍射光学元件的所述两个衍射元件构件中的、折射率较高并且阿贝数较大的衍射元件构件的材料,在 d 线处的折射率被表示为 nd_2 ,在 F 线处的折射率被表示为 nF_2 ,并且在 C 线处的折射率被表示为 nC_2 。

5. 根据权利要求 1 的物镜,其中所述第一透镜组具有至少一个正单透镜。

6. 根据权利要求 1 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$2 \leq N/H \leq 10$$

其中 N 表示在所述衍射光学元件中的所述衍射光学表面上的衍射光栅凹槽的数目,并且 H 表示在所述衍射光学元件中的所述衍射光学表面的有效半径。

7. 根据权利要求 2 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$vd_{\max} \leq 85$$

其中 $vd_{\max}$ 表示在所述物镜中包括的正透镜的阿贝数的最大数值。

8. 根据权利要求 2 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$nd_1 \leq 1.54$$

$$0.0145 \leq nF_1 - nC_1$$

$$1.55 \leq nd_2$$

$$nF_2 - nC_2 \leq 0.013$$

其中,在所述衍射光学元件的所述两个衍射元件构件中的、折射率较低并且阿贝数较小的衍射元件构件的材料,在 d 线处的折射率被表示为 nd_1 ,在 F 线处的折射率被表示为 nF_1 ,并且在 C 线处的折射率被表示为 nC_1 ;而在所述衍射光学元件的所述两个衍射元件构件中的、折射率较高并且阿贝数较大的衍射元件构件的材料,在 d 线处的折射率被表示为 nd_2 ,在 F 线处的折射率被表示为 nF_2 ,并且在 C 线处的折射率被表示为 nC_2 。

9. 根据权利要求 3 的物镜,其中以下条件表达式得以满足:

$$nd_1 \leq 1.54$$

$$0.0145 \leq nF_1 - nC_1$$

$$1.55 \leq nd_2$$

$$nF_2 - nC_2 \leq 0.013$$

其中,在所述衍射光学元件的所述两个衍射元件构件中的、折射率较低并且阿贝数较小的衍射元件构件的材料,在 d 线处的折射率被表示为 nd_1 ,在 F 线处的折射率被表示为 nF_1 ,并且在 C 线处的折射率被表示为 nC_1 ;而在所述衍射光学元件的所述两个衍射元件构件中的、折射率较高并且阿贝数较大的衍射元件构件的材料,在 d 线处的折射率被表示为 nd_2 ,在 F 线处的折射率被表示为 nF_2 ,并且在 C 线处的折射率被表示为 nC_2 。

10. 根据权利要求 2 的物镜,其中所述第一透镜组具有至少一个正单透镜。

11. 根据权利要求 3 的物镜,其中所述第一透镜组具有至少一个正单透镜。

12. 根据权利要求 4 的物镜,其中所述第一透镜组具有至少一个正单透镜。

物镜

技术领域

[0001] 本发明的各种实施例涉及物镜。

背景技术

[0002] 关于显微镜的物镜,总是要求高的数值孔径从而在荧光观察期间改进分辨率和亮度,并且还需要良好的色差校正。然而当数值孔径增加时,焦深降低并且色差(包括由于球面像差引起的色差)的校正变得困难,并且为了解决这个问题,必须使用很多反常色散玻璃,这是昂贵的并且难以加工。成像元件例如 CCD 及其周边技术近来也在进步,并且显微镜的目的变得更像图像输入装置而非用于使用目镜观察样本的传统显微镜。在此情形中,所获得的图像优选地在全部的整个视场中是平坦的和均匀的。在这种情况下,提出了当今的、使用衍射光学元件的各种物镜从而以先进的方式校正色差(例如见专利文献 1)。

[0003] 专利文献 1:日本公开专利公报 No. H06-331898

[0004] 然而,这个物镜的问题在于,在全部的整个视场中,各种像差不能被足够地校正以用于显微镜。

发明内容

[0005] 本发明的各种实施例提供一种物镜,其中没有使用很多反常色散玻璃、数值孔径是高的,并且在全部的整个视场中,各种像差、特别地色差被足够地校正。

[0006] 根据本发明的各种实施例的物镜包括,例如,按照从物体的次序,整体上具有正折射光焦度的第一透镜组,和整体上具有负折射光焦度的第二透镜组。第一透镜组包括:正透镜组,该正透镜组最靠近物体置放并且其面对物体的透镜表面是平面或者凹形表面;衍射光学元件,其中胶合由光学材料制成的两个衍射元件构件,并且在胶合表面上具有形成有衍射光栅凹槽的衍射光学表面;和至少一个胶合透镜,并且第二透镜组包括彼此面对的、面对图像的凹形表面和面对物体的凹形表面。比主光线穿过光轴的位置更加靠近物体地置放衍射光学元件。根据实施例,该物镜满足以下条件表达式:

[0007] $|\theta_{\max}| \leq 10^\circ$

[0008] 其中 $\theta_{\max}$ 表示进入衍射光学元件的光线的最大入射角,并且满足以下条件表达式:

[0009] $|f_{\text{doe}}/f_a| \geq 100$

[0010] 其中 f_a 表示物镜的焦距,并且 f_{doe} 表示衍射光学元件的焦距。

[0011] 在物镜的实施例中,以下条件表达式得以满足:

[0012] $3 \leq |f_2/f_a| \leq 30$

[0013] 其中 f_a 表示物镜的焦距,并且 f_2 表示第二透镜组的焦距,透镜表面的光焦度 Φ 由

[0014] $\Phi = (n' - n)/r$

[0015] 定义,其中 r 表示透镜表面的曲率半径,并且 n 和 n' 是在透镜表面之前和之后在

介质的 d 线处的折射率,并且以下条件表达式得以满足:

$$[0016] \quad 0.7 \leq |\Phi 2-1/\Phi 2-2| \leq 1.4$$

[0017] 其中 $\Phi 2-1$ 表示面对图像的凹形表面的光焦度,并且 $\Phi 2-2$ 表示在第二透镜组中面对物体的凹形表面的光焦度。

[0018] 在物镜的实施例中,以下条件表达式得以满足:

$$[0019] \quad 2 \leq N/H \leq 10$$

[0020] 其中 N 表示在衍射光学元件中的衍射光学表面上的衍射光栅凹槽的数目,并且 H 表示在衍射光学元件中的衍射光学表面的有效半径。

[0021] 在物镜的实施例中,以下条件表达式得以满足:

$$[0022] \quad v_{dmax} \leq 85$$

[0023] 其中 v_{dmax} 表示在物镜中包括的正透镜的阿贝数的最大数值。

[0024] 在物镜的实施例中,以下条件表达式得以满足:

$$[0025] \quad nd1 \leq 1.54$$

$$[0026] \quad 0.0145 \leq nF1-nC1$$

$$[0027] \quad 1.55 \leq nd2$$

$$[0028] \quad nF2-nC2 \leq 0.013$$

[0029] 其中 nd1 表示衍射光学元件的两个衍射元件构件中的、其折射率较低并且阿贝数较小的衍射元件构件的材料在 d 线 ($\lambda = 587.562\text{nm}$) 处的折射率, nF1 表示在 F 线 ($\lambda = 486.133\text{nm}$) 处的折射率,并 nC1 表示在 C 线 ($\lambda = 656.273\text{nm}$) 处的折射率,并且 nd2 表示在衍射光学元件的两个衍射元件构件中的、其折射率较高并且阿贝数较大的衍射元件构件的材料在 d 线处的折射率, nF2 表示在 F 线处的折射率,并且 nC2 表示在 C 线处的折射率。

[0030] 在物镜的实施例中,第一透镜组具有至少一个正单透镜。

[0031] 利用根据本发明的各种实施例的物镜,能够提供一种物镜,其中数值孔径是高的,并且在全部的整个视场中,各种像差、特别地色差能够被足够校正。

[0032] 附图简要说明

[0033] 图 1 是描绘根据本发明的实施例的实例 1 的物镜的透镜构造的图表;

[0034] 图 2 是示出根据实例 1 的物镜的各种像差的曲线图;

[0035] 图 3 是描绘根据本发明的实施例的实例 2 的物镜的透镜构造的图表;

[0036] 图 4 是示出根据实例 2 的物镜的各种像差的曲线图;

[0037] 图 5 是描绘根据本发明的实施例的实例 3 的物镜的透镜构造的图表;

[0038] 图 6 是示出根据实例 3 的物镜的各种像差的曲线图;

[0039] 图 7 是描绘根据本发明的实施例的实例 4 的物镜的透镜构造的图表;

[0040] 图 8 是示出根据实例 4 的物镜的各种像差的曲线图;

[0041] 图 9 是描绘根据本发明的实施例的实例 5 的物镜的透镜构造的图表;

[0042] 图 10 是示出根据实例 5 的物镜的各种像差的曲线图;

[0043] 图 11 是描绘根据本发明的实施例的实例 6 的物镜的透镜构造的图表;

[0044] 图 12 是示出根据实例 6 的物镜的各种像差的曲线图;

[0045] 图 13 是描绘根据本发明的实施例的实例 7 的物镜的透镜构造的图表;

[0046] 图 14 示出根据实例 7 的物镜的各种像差的曲线图;并且

- [0047] 图 15 是描绘由物镜使用的成像透镜的透镜构造的图表。
- [0048] 数字和字符的解释
- [0049] OL(OL1 到 7) 物镜
- [0050] G1 第一透镜组
- [0051] L1 平凸透镜(正透镜)
- [0052] L3 正弯月形透镜(正单透镜)
- [0053] CL12、CL13、CL14、CL15 胶合透镜
- [0054] G2 第二透镜组
- [0055] GD 衍射光学元件
- [0056] D 衍射光学表面

具体实施方式

[0057] 现在将参考附图描述本发明的实施例。首先,将使用图 1 描述根据本发明的实施例的物镜的构造。按照从物体的次序,物镜 OL 具有整体上具有正折射光焦度的第一透镜组 G1、和置于图像侧处并且整体上具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,衍射光学元件 GD 比主光线穿过光轴的位置更加靠近物体而被置放。

[0058] 在这个物镜 OL 中,第一透镜组 G1 是用于会聚从物体发射的发散光的透镜组,并且具有最靠近物体置放的、具有面对图像的锐利凸形表面的正透镜构件(例如在图 1 的情形中其中平凸透镜 L1 和正弯月形透镜 L2 被胶合的胶合透镜 CL11)。这里正透镜被置于最靠近物体置放的正透镜构件的物体侧,并且正透镜的这个物体侧表面被形成为平面或者具有低曲率的凹形表面,从而气泡并不在正透镜的物体侧表面(第 1 表面)上余留,并且当在物镜 OL 的顶端被浸入浸没液体中的情况下观察物体(样本)时不产生各种像差。在各种实施例中,至少一个单透镜(例如在图 1 的情形中的正弯月形透镜 L3)被置于第一透镜组 G1 中,因为如果最靠近物体置放的正透镜构件的图像侧凸形表面的曲率是高的,则产生球面像差和彗差。这里,正透镜构件由单透镜或者胶合透镜构成。

[0059] 在本实施例的物镜 OL 中,置放衍射光学元件 GD 以校正色差。衍射光学元件 GD 具有衍射光学表面 D,其中同心地形成每 1mm 由几行到几百行精细凹槽或者狭缝形成的光栅结构,并且具有如此性质,即,使得进入这个衍射光学表面 D 中的光被衍射到由光栅栅距(衍射光栅凹槽的间隔)和入射光的波长确定的方向。衍射光学元件 GD(衍射光学表面 D)具有负色散数值(在本实施例的情形中阿贝数 $= -3.453$),即,色散是严重的并且反常色散(在本实施例的情形中部分色散比率 $(n_g - n_F)/(n_F - n_C) = 0.2956$)是强的,因此衍射光学元件 GD 具有强的色差校正能力。光学玻璃的阿贝数通常为大约 30 到 80,但是衍射光学元件的阿贝数具有负的数值。换言之,不像普通玻璃(折射光学元件)那样,衍射光学元件 GD 的衍射光学表面 D 具有色散特征,其中当光的波长更短时折射率降低,并且当光的波长更长时光被更大地折射。因此如果这个衍射光学元件 GD 被与普通折射光学元件组合,则能够实现良好的消色差效果。结果,通过使用衍射光学元件 GD,色差能够被良好地校正。

[0060] 为了由衍射光学元件 GD 同时地校正纵向色差和横向色差,由于折射光焦度的布置,必须比主光线穿过光轴的位置更加靠近物体地置放衍射光学表面 D。这是因为,在主光线穿过光轴的位置的前侧(物体侧)中,能够由衍射光学元件 GD 以平衡的方式校正纵向色

差和横向色差,并且能够使用胶合透镜等在主光线穿过光轴的位置后面校正其余的横向色差。为了防止衍射光学元件 GD 的衍射光栅凹槽的最小节距降低,必须使用第一透镜组 G1 的折射透镜在特定的程度上执行一级的消色差。为此目的,至少一个胶合透镜(例如在图 1 的情形中胶合透镜 CL12)被置于第一透镜组 G1 中。

[0061] 其中通过胶合由不同光学材料制成的两个衍射元件构件(例如在图 1 的情形中光学部件 L9 和 L10)并且在胶合表面上形成衍射光栅凹槽而构造衍射光学表面 D 的、根据本实施例的衍射光学元件 GD,被称为“接触多层式衍射光学元件”。因此这个衍射光学元件能够在从 g 线($\lambda = 435.835\text{nm}$)到 C 线的、宽的波长范围中增加衍射频率。结果,根据本实施例的物镜 OL 能够被应用于宽的波长范围。当在透射式衍射光学元件中使用一级衍射光时,衍射频率示出入射强度 I0 和一级衍射光的强度 I1 的比率 $\eta (= I1/I0 \times 100[\%])$ 。

[0062] 与其中具有衍射光栅凹槽的两个衍射元件构件被紧密地置放从而衍射光栅凹槽彼此面对的、分离的多层式衍射光学元件相比,能够利用简单的制造步骤制造接触多层式衍射光学元件。因此大规模生产效率是高的并且相对于入射视角的衍射效率是良好的。因此在使用接触多层式衍射光学元件的、根据本实施例的物镜 OL 的情形中,制造是容易的并且衍射效率提高。

[0063] 第二透镜组 G2 是用于使得被第一透镜组 G1 会聚的光成为平行光束的透镜组。第二透镜组 G2 具有所谓的“高斯型构造”从而校正佩兹伐和 (petzval sum),并且具有如此负透镜,该负透镜具有面对图像的、带有高的曲率的凹形表面(图 1 中的双凹透镜 L16),和如此负透镜,该负透镜具有面对物体的、带有高的曲率的凹形表面(图 1 中的负弯月形透镜 L17),从而这些凹形表面(在图 1 中,透镜 L16 的、面对图像的凹形表面(第 24 表面)和透镜 L17 的、面对物体的凹形表面(第 25 表面))彼此面对。

[0064] 现在将描述用于构造根据本实施例的物镜 OL 的条件。如果进入衍射光学元件 GD 的光流的角度是大的,则衍射效率下降并且具有除了指定级之外的级的衍射光的效率增加并且耀斑产生。因此在这个物镜 OL 中,衍射光学元件 GD 应该被置于满足以下条件表达式 (1) 的位置中。

$$[0065] \quad |\theta_{\max}| \leq 10^\circ \quad (1)$$

[0066] 其中 $\theta_{\max}$ 表示进入衍射光学元件 GD 的光线的最大入射角。

[0067] 条件表达式 (1) 规定进入衍射光学元件 GD 的光线的最大入射角。通过满足这个条件表达式 (1),衍射效率提高,具有除了指定级之外的级的衍射光的效率的增加得以抑制,并且耀斑能够被充分地防止。

[0068] 根据本实施例的物镜 OL 满足以下条件表达式 (2),其中 fa 表示整个物镜 OL 的焦距,并且 fdoe 表示衍射光学元件 GD 的焦距。

$$[0069] \quad |f_{\text{doe}}/f_a| \geq 100 \quad (2)$$

[0070] 条件表达式 (2) 是用于限制衍射光学元件 GD 的衍射光学表面 D 的光焦度的条件表达式。如果未达到条件表达式 (2) 的下限,则衍射光学元件 GD 的衍射光学表面 D 的光焦度变得太高,并且产生了严重色差。如果在其它折射系统中校正了在衍射光学表面 D 上产生的这个色差,则折射系统的光焦度增加,并且产生了不能被校正的球面像差和彗差。周边衍射光栅凹槽的节距宽度也降低,并且制造变得困难。

[0071] 在各种实施例中,物镜 OL 满足以下条件表达式 (3),其中 f2 表示第二透镜组 G2 的

焦距。

$$[0072] \quad 3 \leq |f_2/f_a| \leq 30 \quad (3)$$

[0073] 条件表达式 (3) 是用于限制第二透镜组 G2 的光焦度的条件表达式。如果超过条件表达式 (3) 的上限,则佩兹伐和增加并且图像的平坦度受到影响。在另一方面,如果未达到条件表达式 (3) 的下限,则产生了具有高的级的球面像差和彗差。为了进一步改进性能,在各种实施例中,条件表达式 (3) 的下限是 4,并且其上限是 20。

[0074] 在各种实施例中,这个物镜 OL 满足以下条件表达式 (4),其中 Φ_{2-1} 表示第二透镜组 G2 的、面对图像的、具有高曲率的凹形表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 表示其面对物体的、具有高曲率的凹形表面的光焦度。这里透镜表面的光焦度 Φ 被定义如下,其中 r 表示曲率半径,并且 n 和 n' 表示在这个透镜表面之前和之后介质的在 d 线处的折射率。

$$[0075] \quad 0.7 \leq |\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| \leq 1.4 \quad (4)$$

$$[0076] \quad \text{其中 } \Phi = (n' - n)/r。$$

[0077] 条件表达式 (4) 是用于限制置于第二透镜组 G2 中的、彼此面对的凹形表面的光焦度的平衡的条件表达式,如果未满足条件表达式 (4) 的上限或者下限,则彼此面对的、具有高曲率的凹形表面的光焦度平衡变差,并且彗差变得加重。

[0078] 在各种实施例中,根据这个实例的物镜 OL 满足以下条件表达式 (5),其中 N 表示衍射光学元件 GD 的衍射光学表面 D 的衍射光栅凹槽的数目,并且 H 表示衍射光学表面 D 的有效半径。

$$[0079] \quad 2 \leq N/H \leq 10 \quad (5)$$

[0080] 条件表达式 (5) 是用于规定衍射光学表面 D 的有效半径和衍射光栅凹槽的数目的适当范围的条件表达式。如果超过条件表达式 (5) 的上限,则色差的校正变得过度。在另一方面,如果未达到条件表达式 (5) 的下限,则校正变得不足。

[0081] 根据本实施例的物镜 OL 满足以下条件表达式 (6),其中 v_{dmax} 表示在物镜 OL 中包括的正透镜的阿贝数的最大数值。

$$[0082] \quad v_{dmax} \leq 85 \quad (6)$$

[0083] 条件表达式 (6) 是用于规定在物镜 OL 中包括的正透镜的阿贝数的条件表达式。具有超过条件表达式 (6) 的上限的阿贝数的玻璃材料是具有反常色散特性的材料,例如萤石,并且如果除了使用衍射光学元件 GD,这种材料被用于正透镜,则色差的校正变得过度。

[0084] 根据本实施例的物镜 OL 满足以下条件表达式 (7) 到 (10),其中 n_{d1} 表示衍射光学元件 GD 的两个衍射元件构件中的、其折射率较低并且阿贝数较小的衍射元件构件的材料在 d 线处的折射率, n_{F1} 表示在 F 线处的折射率,并且 n_{C1} 表示在 C 线处的折射率,并且 n_{d2} 表示衍射光学元件的两个衍射元件构件中的、其折射率较高并且阿贝数较大的衍射元件构件的材料在 d 线处的折射率, n_{F2} 表示在 F 线处的折射率,并且 n_{C2} 表示在 C 线处的折射率。

$$[0085] \quad n_{d1} \leq 1.54 \quad (7)$$

$$[0086] \quad 0.0145 \leq n_{F1} - n_{C1} \quad (8)$$

$$[0087] \quad 1.55 \leq n_{d2} \quad (9)$$

$$[0088] \quad n_{F2} - n_{C2} \leq 0.013 \quad (10)$$

[0089] 条件表达式 (7) 到 (10) 分别地规定衍射光学元件 GD 的两个衍射元件构件的折射率和相对于 F 线和 C 线的色散 ($n_F - n_C$)。通过满足这些条件表达式,能够胶合两个不同的衍

射元件构件以形成具有更好性能的衍射光学表面 D, 并且结果能够在从 g 线到 C 线的、宽的波长范围中实现 90% 或者更高的衍射效率。在日本专利申请 No. 2004-367607 和日本专利申请 No. 2005-237573 中公开了被用于这种光学材料的树脂的实例。如果每一个条件表达式 (7) 到 (10) 的上限或者下限未被满足, 则根据本实施例的消色差透镜系统的衍射光学元件 GD 变得难以实现 90% 或者更高的衍射效率和维持接触多层式衍射光学元件的形状。

[0090] 当 η_m 是第 m 级的衍射光的衍射效率时, 能够由以下表达式确定衍射效率 η_m 。这里 m 表示衍射级, d 表示衍射光栅的高度, n_1 表示构成衍射光栅表面 (衍射光学表面 D) 的一种材料的折射率, n_2 表示构成衍射光栅表面 (衍射光学表面 D) 的另一材料的折射率, 并且 λ 表示波长。

$$[0091] \quad \eta_m = \{(\sin(a-m)\pi)/(a-m)\pi\}^2$$

$$[0092] \quad \text{其中 } a = \{(n_1-1)d - (n_2-1)d\} / \lambda。$$

[0093] 在被用于以下实例的树脂的组合的情形中, 能够实现具有极好数值的接触多层式衍射光学元件, 即, 光栅高度是 $20.05 \mu\text{m}$, 并且第一级衍射效率在宽的波长范围中是 98% 或者更高, 在 g 线处 98%, 在 F 线处 98%, 在 d 线处 100% 并且在 C 线处 98%。

[0094] 实例

[0095] 将在下面示出根据本实施例的物镜 OL 的七个实例, 并且在每一个实例中, 利用超高折射率方法计算在衍射光学元件 GD 上形成的衍射光学表面 D 的相差, 该方法使用普通折射率和以后述及的非球面表达式 (11)。超高折射率方法使用在非球面形状和衍射光学表面上的光栅栅距之间的预定等效关系, 并且在本实例中, 利用超高折射率方法的数据即利用以后述及的非球面表达式 (11) 及其系数示出衍射光学表面 D。在该实例中, d 线、C 线、F 线和 g 线被选择作为计算像差特性的目标。表格 1 示出被用于本实例的 d 线、C 线、F 线和 g 线的波长和为用于超高折射率方法的计算的每一条谱线设定的折射率数值。

[0096] (表格 1)

[0097] 波长 折射率

[0098] (基于超高折射率方法)

[0099] d 线 587.562nm 10001.0000

[0100] C 线 656.273nm 11170.4255

[0101] F 线 486.133nm 8274.7311

[0102] g 线 435.835nm 7418.6853

[0103] 在每一个实例中, 由以下表达式 (11) 给出非球面表面, 其中 y 是沿着垂直于光轴的方向的高度, $S(y)$ 是沿着光轴从在高度 y 处的、每一个非球面的顶点的切平面到每一个非球面表面的距离 (垂度), r 是基准球面的曲率半径 (近轴曲率半径), κ 是锥形系数, 并且 A_n 是第 n 阶的非球面系数。在以下实例中, “E-n” 意味着 “ $\times 10^{-n}$ ”。此时近轴曲率半径 R 由以下表达式 (12) 给出。

$$[0104] \quad S(y) = (y^2/r) / \{1 + (1 - \kappa \times y^2/r^2)^{1/2}\}$$

$$[0105] \quad + A_2 \times y^2 + A_4 \times y^4 + A_6 \times y^6 + A_8 \times y^8 \quad (11)$$

$$[0106] \quad R = 1 / (1/r + 2A_2) \quad (12)$$

[0107] 在每一个实例中, 如果在透镜表面上形成衍射光学表面, 则将 “*” 附于表面编号的右侧, 并且非球面表达式 (11) 表示衍射光学表面的性能数据。

[0108] 每一个实例的物镜 OL 是具有图 15 所示构造的无穷远校正式的,并且被与具有表格 2 所示数据的成像透镜 IL 一起地使用。在表格 2 中,第一列 m 示出从物体侧数起的、每一个光学表面的编号,第二列 r 示出每一个光学表面的曲率半径,第三列 d 示出在光轴上从每一个光学表面到下一个光学表面的距离,第四列 nd 示出在 d 线处的折射率,并且第五列 v d 示出阿贝数。在这里省略了空气的折射率 1.00000。对于数据表格的这个说明对于下文中的其它实例而言是相同的。

[0109] (表格 2)

[0110]	m	r	d	nd	v d
[0111]	1	75.043	5.1	1.62280	57.0
[0112]	2	-75.043	2.0	1.74950	35.2
[0113]	3	1600.580	7.5		
[0114]	4	50.256	5.1	1.66755	42.0
[0115]	5	-84.541	1.8	1.61266	44.4
[0116]	6	36.911			

[0117] 按照从物体的次序,这个成像透镜 IL 具有其中胶合双凸透镜 L21 和双凹透镜 L22 的胶合透镜,和其中胶合双凸透镜 L23 和双凹透镜 L24 的胶合透镜。

[0118] (实例 1)

[0119] 被用于以上说明的图 1 示出根据实例 1 的物镜 OL1。这个物镜 OL1 是被用于这样一种显微镜的物镜,在显微镜中样本(物体)被设置于盖板 C 下面,并且在顶端被浸入浸没液体中的状态下观察这个样本,并且包括,按照从物体的次序,即按照从盖板 C 的次序,具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括:其中胶合具有面对物体的平面的平凸透镜 L1 和具有面对图像的锐利凸形表面的正弯月形透镜 L2 的胶合透镜 CL11;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L3;其中胶合双凹透镜 L4 和双凸透镜 L5 的胶合透镜 CL12;其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L6 和双凸透镜 L7 的胶合透镜 CL13;包括衍射光学平面 D 并且胶合具有面对图像的凹形表面的平凹透镜 L11(衍射光学元件 GD)和双凸透镜 L12 的胶合透镜 CL14;和其中胶合双凸透镜 L13 和双凹透镜 L14 的胶合透镜 CL15。第二透镜组 G2 包括:其中胶合双凸透镜 L15 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L16 的胶合透镜 CL21 和其中胶合具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的负弯月形透镜 L17,和具有面对图像的凸形表面的正弯月形透镜 L18 的胶合透镜 CL22。

[0120] 如上所述,在衍射光学元件 GD 中,光学玻璃 L8、由不同树脂材料构成的两个光学部件 L9 和 L10 以及光学玻璃(平凹透镜)L11 被以这个次序胶合,并且在光学部件 L9 和 L10 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽(衍射光学表面 D)。换言之,这个衍射光学元件 GD 是接触多层式衍射光学元件。

[0121] 表格 3 示出根据图 1 中的实例 1 的物镜 OL1 的数据。在表格 3 中,fa 表示整个物镜 OL1 的焦距,NA 表示数值孔径,并且 β 表示放大率。在使用盖板 C 的实例 1 到实例 5 中,d0 表示排除盖板 C 的厚度在光轴上从样本到最靠近物体的第一透镜(透镜 L1)的、最靠近物体的透镜表面的顶点的距离,并且在并不使用盖板 C 的实例 6 和实例 7 中,d0 表示从样本到最靠近物体的第一透镜(透镜 L1)的、最靠近物体的透镜表面的顶点的距离。在第一

列 m 中示出的、每一个光学表面的编号（在右侧的“*”示意被形成为衍射光学表面的透镜表面）对应于图 1 所示的表面编号 1 到 27。在第二列 r 中，曲率半径 0.0000 示意平面。在衍射光学表面的情形中，第二列 r 示出是将成为基础的非球面的基准的球面的曲率半径，并且被用于超高折射率方法的数据在数据表格中示出作为非球面数据。在表格 3 中，还示出相应于条件表达式 (1) 到 (10) 的数值，即，条件对应数值。被用于实例 1 到实例 5 的盖板 C 具有厚度 0.17mm 和 1.522 的、在 d 线处的折射率，并且在数据表格中示出在浸没液体的在 d 线处的折射率 nd 和阿贝数 v_d 。这个说明对于将在以后描述的、随后的实例而言是相同的。

[0122] 在以下数据中，除非另外规定，“mm”通常被用作曲率半径 r、表面距离 d、物镜的焦距 fa 和其它长度的单位。然而，该单位不限于“mm”，而是能够替代地使用另一适当的单位，因为即便光学系统被成比例地扩大或者成比例地缩小，也实现了等价的光学性能。

[0123] （表格 3）

[0124] $f_a = 3.33$

[0125] $NA = 1.4$

[0126] $d_0 = 0.14$

[0127] $\beta = 60X$

[0128]	m	r	d	nd	v_d
[0129]	1	0.000	0.65	1.518	59.0
[0130]	2	-1.261	3.37	2.003	28.3
[0131]	3	-3.538	0.12		
[0132]	4	-10.382	3.71	1.652	58.5
[0133]	5	-6.752	0.12		
[0134]	6	-90.644	1.01	1.517	52.4
[0135]	7	17.410	8.00	1.498	82.5
[0136]	8	-13.988	0.10		
[0137]	9	269.060	1.00	1.720	34.7
[0138]	10	17.427	7.80	1.498	82.5
[0139]	11	-17.877	0.10		
[0140]	12	0.000	1.00	1.517	64.1
[0141]	13	0.000	0.20	1.557	50.2
[0142]	14	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0143]	15*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0144]	16	0.000	1.00	1.816	46.6
[0145]	17	14.028	7.71	1.498	82.5
[0146]	18	-17.313	0.20		
[0147]	19	20.928	4.51	1.498	82.5
[0148]	20	-24.737	1.00	1.816	46.6
[0149]	21	44.159	0.20		
[0150]	22	9.179	5.50	1.620	60.3

[0151]	23	-53.913	7.20	1.816	46.6
[0152]	24	4.373	2.83		
[0153]	25	-4.601	3.90	1.670	57.3
[0154]	26	-38.524	3.30	1.717	29.5
[0155]	27	-8.677			
[0156]	浸没液体				
[0157]	nd = 1.515				
[0158]	v d = 41.4				
[0159]	衍射光学表面数据				
[0160]	第十五表面 $\kappa = 1$ $A2 = -1.92301E-08$ $A4 = 1.01800E-10$				
[0161]	$A6 = -3.71803E-13$ $A8 = -4.33291E-15$				
[0162]	条件对应数值				
[0163]	(1) $ \theta_{\max} = 5.6^\circ$				
[0164]	(2) $ f_{\text{doe}}/f_a = 780.8$				
[0165]	(3) $ f_2/f_a = 10.7$				
[0166]	(4) $ \Phi_{2-1}/\Phi_{2-2} = 1.28$				
[0167]	(5) $N/H = 2.77$				
[0168]	(6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$				
[0169]	(7) $nd_1 = 1.528$				
[0170]	(8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$				
[0171]	(9) $nd_2 = 1.557$				
[0172]	(10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$				

[0173] 在表格 3 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 24 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 25 表面的光焦度。因此在实例 1 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 2 是示出在实例 1 中的相对于 d 线、C 线、F 线和 g 线的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。在这些曲线图中,示出球面像差的曲线图示意相对于数值孔径 NA 的像差量,示出像散的曲线图示意相对于图像高度 Y 的像差量,并且示出彗差的曲线图示意当图像高度 Y 是 12.5mm、9mm、6mm 和 0mm 时的像差量。在示出球面像差和彗差的曲线图中,实线示意 d 线、点线示意 C 线、短划线示意 F 线,并且两点链线示意 g 线。在示出像散的曲线图中,实线示意在每一个波长处的子午图像平面,并且虚线示意在每一个波长处的弧矢图像平面。关于示出各种像差的曲线图的说明对于随后的实例而言是相同的。如在图 2 中示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且在实例 1 中保证了优良的成像性能。

[0174] (实例 2)

[0175] 现在将作为实例 2 描述图 3 所示的物镜 OL2。图 3 所示的物镜 OL2 也是被用于这样一种显微镜的物镜,在显微镜中样本(物体)被设置于盖板 C 下面,并且在顶端被浸入浸没液体中的状态下观察这个样本,并且包括,按照从物体的次序,即,按照从盖板 C 的次序,具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括:具有面对物体的平面和面对图像

的锐利凸形表面的平凸透镜 L1 ;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L2 ;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L3 ;衍射光学元件 GD ;其中胶合双凸透镜 L8、双凹透镜 L9 和双凸透镜 L10 的胶合透镜 CL11,和其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L11、双凸透镜 L12 和双凹透镜 L13 的胶合透镜 CL12。第二透镜组 G2 包括 :其中胶合双凸透镜 L14 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L15 的胶合透镜 CL21 ;和其中胶合具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L 16 和双凸透镜 L17 的胶合透镜 CL22。

[0176] 在衍射光学元件 GD 中,光学玻璃 L4、由不同树脂材料构成的两个光学部件 L5 和 L6 以及光学玻璃 L7 被以这个次序胶合,并且在光学部件 L5 和 L6 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽(衍射光学表面 D)。

[0177] 表格 4 示出根据图 3 中的实例 2 的物镜 OL2 的数据。在表格 4 中的表面编号对应于图 3 所示的表面编号 1 到 26。

[0178] (表格 4)

[0179] $f_a = 2.0$

[0180] $NA = 1.3$

[0181] $d_0 = 0.22$

[0182] $\beta = 100X$

[0183]	m	r	d	nd	v d
[0184]	1	0.000	3.41	1.518	59.0
[0185]	2	-2.630	0.19		
[0186]	3	-9.283	3.46	1.603	65.4
[0187]	4	-5.640	0.22		
[0188]	5	-45.586	2.62	1.498	82.5
[0189]	6	-11.264	0.15		
[0190]	7	0.000	1.50	1.518	59.0
[0191]	8	0.000	0.20	1.557	50.2
[0192]	9	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0193]	10*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0194]	11	0.000	1.50	1.518	59.0
[0195]	12	0.000	0.20		
[0196]	13	95.573	3.62	1.498	82.5
[0197]	14	-11.434	1.03	1.613	44.3
[0198]	15	12.550	6.72	1.498	82.5
[0199]	16	-13.511	1.00		
[0200]	17	19.710	0.98	1.697	55.5
[0201]	18	8.505	6.05	1.498	82.5
[0202]	19	-18.386	1.50	1.624	47.0
[0203]	20	231.449	3.50		
[0204]	21	7.487	4.68	1.603	65.4

[0205]	22	-61.353	7.36	1.729	54.7
[0206]	23	3.041	2.86		
[0207]	24	-2.308	4.98	1.713	53.9
[0208]	25	60.987	3.99	1.786	44.2
[0209]	26	-8.232			
[0210]	浸没液体				
[0211]	$nd = 1.515$				
[0212]	$v d = 41.4$				
[0213]	衍射光学表面数据				
[0214]	第十表面 $\kappa = 1$ $A2 = -4.74734E-08$ $A4 = 2.57710E-10$				
[0215]	$A6 = -1.55521E-13$ $A8 = -4.49132E-14$				
[0216]	条件对应数值				
[0217]	(1) $ \theta_{\max} = 4.1^\circ$				
[0218]	(2) $ f_{\text{doe}}/f_a = 526.6$				
[0219]	(3) $ f_2/f_a = 11.9$				
[0220]	(4) $ \Phi_{2-1}/\Phi_{2-2} = 0.78$				
[0221]	(5) $N/H = 4.71$				
[0222]	(6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$				
[0223]	(7) $nd_1 = 1.528$				
[0224]	(8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$				
[0225]	(9) $nd_2 = 1.557$				
[0226]	(10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$				

[0227] 在表格 4 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 23 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 24 表面的光焦度。因此同样在实例 2 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 4 是示出根据实例 2 的物镜 OL2 的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。如示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且也在实例 2 中保证了优良的成像性能。

[0228] (实例 3)

[0229] 将作为实例 3 描述图 5 所示的物镜 OL3。图 5 所示的物镜 OL3 也是被用于这样一种显微镜的物镜,在显微镜中样本(物体)被设置于盖板 C 下面,并且在顶端被浸入浸没液体中的状态下观察这个样本,并且包括,按照从物体的次序,即,按照从盖板 C 的次序,具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括:具有面对物体的平面和面对图像的锐利凸形表面的平凸透镜 L1;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L2;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L3;衍射光学元件 GD;其中胶合双凸透镜 L8、双凹透镜 L9 和双凸透镜 L10 的胶合透镜 CL11,和其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L11、双凸透镜 L12 和双凹透镜 L13 的胶合透镜 CL12。第二透镜组 G2 包括:其中胶合双凸透镜 L14 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L15 的胶合透镜 CL21;具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的双凹负透镜 L16;和双凸透镜 L17。

[0230] 在衍射光学元件 GD 中, 光学玻璃 L4、由不同树脂材料构成的两个光学部件 L5 和 L6 以及光学玻璃 L7 被以这个次序胶合, 并且在光学部件 L5 和 L6 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽 (衍射光学表面 D)。

[0231] 表格 5 示出根据图 5 中的实例 3 的物镜 OL3 的数据。在表格 5 中的表面编号对应于图 5 所示的表面编号 1 到 27。

[0232] (表格 5)

[0233] $f_a = 2.0$

[0234] $NA = 1.3$

[0235] $d_0 = 0.22$

[0236] $\beta = 100X$

[0237]	m	r	d	nd	v d
[0238]	1	0.000	3.39	1.518	59.0
[0239]	2	-2.663	0.22		
[0240]	3	-9.109	3.48	1.603	65.4
[0241]	4	-5.654	0.24		
[0242]	5	-41.641	2.63	1.603	65.4
[0243]	6	-11.836	0.16		
[0244]	7	0.000	1.50	1.518	59.0
[0245]	8	0.000	0.20	1.557	50.2
[0246]	9	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0247]	10*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0248]	11	0.000	1.50	1.518	59.0
[0249]	12	0.000	0.20		
[0250]	13	194.205	3.63	1.498	82.5
[0251]	14	-11.489	1.03	1.606	43.7
[0252]	15	12.046	6.72	1.498	82.5
[0253]	16	-13.587	0.99		
[0254]	17	20.465	0.97	1.697	55.5
[0255]	18	8.573	6.04	1.498	82.5
[0256]	19	-18.094	1.50	1.618	49.8
[0257]	20	253.129	3.49		
[0258]	21	7.652	4.66	1.620	60.3
[0259]	22	-85.258	7.35	1.720	50.2
[0260]	23	3.106	2.84		
[0261]	24	-2.325	4.98	1.720	50.2
[0262]	25	151.126	0.98		
[0263]	26	-288.713	3.99	1.786	44.2
[0264]	27	-9.000			
[0265]	浸没液体				

[0266] $nd = 1.515$

[0267] $vd = 41.4$

[0268] 衍射光学表面数据

[0269] 第十表面 $\kappa = 1$ $A2 = -6.81197E-08$ $A4 = 3.08352E-10$

[0270] $A6 = -6.70196E-14$ $A8 = -6.32486E-14$

[0271] 条件对应数值

[0272] (1) $|\theta_{\max}| = 3.7^\circ$

[0273] (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 367.0$

[0274] (3) $|f_2/f_a| = 12.1$

[0275] (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 0.75$

[0276] (5) $N/H = 7.10$

[0277] (6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$

[0278] (7) $nd_1 = 1.528$

[0279] (8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$

[0280] (9) $nd_2 = 1.557$

[0281] (10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$

[0282] 在表格 5 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 23 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 24 表面的光焦度。因此同样在实例 3 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 6 是示出根据实例 3 的物镜 OL3 的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。如示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且也在实例 3 中保证了优良的成像性能。

[0283] (实例 4)

[0284] 现在将作为实例 4 描述图 7 所示的物镜 OL4。图 7 所示的物镜 OL4 也是被用于这样一种显微镜的物镜,在显微镜中样本(物体)被设置于盖板 C 下面,并且在顶端被浸入浸没液体中的状态下观察这个样本,并且包括,按照从物体的次序,即,按照从盖板 C 的次序,具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括:其中胶合具有面对物体的平面的平凸透镜 L1 和具有面对图像的锐利凸形表面的正弯月形透镜 L2 的胶合透镜 CL11;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L3;其中胶合双凹透镜 L4 和双凸透镜 L5 的胶合透镜 CL12;包括衍射光学表面 D 并且其中胶合具有面对图像的凹形表面的平凹透镜 L9(衍射光学元件 GD) 和双凸透镜 L10 的胶合透镜 CL13;其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L11 和双凸透镜 L12 的胶合透镜 CL14;和其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L13、双凸透镜 L14 和双凹透镜 L15 的胶合透镜 CL15。第二透镜组 G2 包括:其中胶合双凸透镜 L16 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L17 的胶合透镜 CL21;和其中胶合具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L18 和双凸透镜 L19 的胶合透镜 CL22。

[0285] 在衍射光学元件 GD 中,光学玻璃 L6、由不同树脂材料构成的两个光学部件 L7 和 L8 以及光学玻璃(平凹透镜)L9 被以这个次序胶合,并且在光学部件 L7 和 L8 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽(衍射光学表面 D)。

[0286] 表格 6 示出根据图 7 中的实例 4 的物镜 OL4 的数据。在表格 6 中的表面编号对应于图 7 所示的表面编号 1 到 28。

[0287] (表格 6)

[0288] $f_a = 3.33$

[0289] $NA = 1.25$

[0290] $d_0 = 0.25$

[0291] $\beta = 60^\circ$

[0292]	m	r	d	nd	v d
[0293]	1	-10.541	0.63	1.459	67.8
[0294]	2	-1.052	2.78	1.835	42.7
[0295]	3	-2.853	0.07		
[0296]	4	-11.763	3.10	1.640	60.1
[0297]	5	-7.499	0.16		
[0298]	6	-53.223	1.00	1.532	48.9
[0299]	7	15.092	8.29	1.498	82.5
[0300]	8	-11.321	0.19		
[0301]	9	0.000	1.00	1.517	64.1
[0302]	10	0.000	0.20	1.557	50.2
[0303]	11	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0304]	12*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0305]	13	0.000	0.99	1.816	46.6
[0306]	14	16.292	8.80	1.498	82.5
[0307]	15	-14.429	0.19		
[0308]	16	16.095	1.18	1.744	44.8
[0309]	17	10.516	6.30	1.498	82.5
[0310]	18	-119.471	0.58		
[0311]	19	30.083	1.09	1.816	46.6
[0312]	20	13.025	4.49	1.498	82.5
[0313]	21	-13.110	1.00	1.816	46.6
[0314]	22	37.709	0.18		
[0315]	23	8.701	5.90	1.603	60.7
[0316]	24	-27.147	4.61	1.618	63.3
[0317]	25	4.242	2.87		
[0318]	26	-4.919	4.42	1.603	65.4
[0319]	27	42.136	3.73	1.596	39.2
[0320]	28	-8.910			

[0321] 浸没液体

[0322] $nd = 1.333$

[0323] $v_d = 55.9$

[0324] 衍射光学表面数据

[0325] 第十二表面 $\kappa = 1$ $A2 = -2.20000E-08$ $A4 = -3.48972E-13$

[0326] $A6 = -6.90107E-15$ $A8 = 1.40411E-15$

[0327] 条件对应数值

[0328] (1) $|\theta_{\max}| = 4.0^\circ$

[0329] (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 682.5$

[0330] (3) $|f_2/f_a| = 19.4$

[0331] (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.19$

[0332] (5) $N/H = 3.39$

[0333] (6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$

[0334] (7) $n_{d1} = 1.528$

[0335] (8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$

[0336] (9) $n_{d2} = 1.557$

[0337] (10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$

[0338] 在表格 6 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 25 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 26 表面的光焦度。因此同样在实例 4 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 8 是示出根据实例 4 的物镜 OL4 的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。如示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且也在实例 4 中保证了优良的成像性能。

[0339] (实例 5)

[0340] 现在将作为实例 5 描述图 9 所示的物镜 OL5。图 9 所示的物镜 OL5 也是被用于这样一种显微镜的物镜,在显微镜中样本(物体)被设置于盖板 C 下面,并且在顶端被浸入浸没液体中的状态下观察这个样本,并且包括,按照从物体的次序,即,按照从盖板 C 的次序,具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括:其中胶合具有面对物体的平面的平凸透镜 L1 和具有面对图像的锐利凸形表面的正弯月形透镜 L2 的胶合透镜 CL11;具有面对物体的凹形表面的正弯月形透镜 L3;其中胶合双凹透镜 L4 和双凸透镜 L5 的胶合透镜 CL12;包括衍射光学表面 D 并且其中胶合具有面对图像的凹形表面的平凹透镜 L9(衍射光学元件 GD) 和双凸透镜 L10 的胶合透镜 CL13;其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L11 和双凸透镜 L12 的胶合透镜 CL14;和其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L13、双凸透镜 L14 和双凹透镜 L15 的胶合透镜 CL15。第二透镜组 G2 包括:其中胶合双凸透镜 L16 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L17 的胶合透镜 CL21;和其中胶合具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L18 和双凸透镜 L19 的胶合透镜 CL22。

[0341] 在衍射光学元件 GD 中,光学玻璃 L6、由不同树脂材料构成的两个光学部件 L7 和 L8 以及光学玻璃(平凹透镜)L9 被以这个次序胶合,并且在光学部件 L7 和 L8 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽(衍射光学表面 D)。

[0342] 表格 7 示出根据图 9 中的实例 5 的物镜 OL5 的数据。在表格 7 中的表面编号对应于图 9 所示的表面编号 1 到 28。

[0343] (表格 7)

[0344] $f_a = 3.33$

[0345] $NA = 1.25$

[0346] $d_0 = 0.25$

[0347] $\beta = 60^\circ$

[0348]	m	r	d	nd	v d
[0349]	1	-11.217	0.63	1.459	67.8
[0350]	2	-1.054	2.79	1.835	42.7
[0351]	3	-2.842	0.08		
[0352]	4	-11.932	3.09	1.640	60.1
[0353]	5	-7.858	0.16		
[0354]	6	-78.438	1.01	1.548	45.8
[0355]	7	16.224	8.30	1.498	82.5
[0356]	8	-11.409	0.19		
[0357]	9	0.000	1.00	1.517	64.1
[0358]	10	0.000	0.20	1.557	50.2
[0359]	11	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0360]	12*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0361]	13	0.000	1.00	1.816	46.6
[0362]	14	16.819	8.80	1.498	82.5
[0363]	15	-14.609	0.20		
[0364]	16	16.818	1.19	1.773	49.6
[0365]	17	10.584	6.30	1.498	82.5
[0366]	18	-61.560	0.59		
[0367]	19	30.611	1.09	1.816	46.6
[0368]	20	14.009	4.49	1.498	82.5
[0369]	21	-13.593	0.99	1.816	46.6
[0370]	22	37.430	0.18		
[0371]	23	8.472	5.89	1.603	65.4
[0372]	24	-25.872	4.59	1.652	58.5
[0373]	25	4.147	2.87		
[0374]	26	-4.779	4.42	1.603	65.4
[0375]	27	35.900	3.73	1.596	39.2
[0376]	28	-8.672			

[0377] 浸没液体

[0378] $nd = 1.333$

[0379] $v d = 55.9$

[0380] 衍射光学表面数据

[0381] 第十二表面 $\kappa = 1$ $A_2 = -1.83289E-08$ $A_4 = -8.47811E-13$

[0382] $A6 = -1.23765E-14$ $A8 = 2.60069E-15$

[0383] 条件对应数值

[0384] (1) $|\theta_{\max}| = 4.2^\circ$

[0385] (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 819.2$

[0386] (3) $|f_2/f_a| = 16.4$

[0387] (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.25$

[0388] (5) $N/H = 2.70$

[0389] (6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$

[0390] (7) $n_{d1} = 1.528$

[0391] (8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$

[0392] (9) $n_{d2} = 1.557$

[0393] (10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$

[0394] 在表格 7 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 25 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 26 表面的光焦度。因此同样在实例 5 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 10 是示出根据实例 5 的物镜 OL5 的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。如示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且也在实例 5 中保证了优良的成像性能。

[0395] (实例 6)

[0396] 现在将作为实例 6 描述图 11 所示的物镜 OL6。图 11 所示的物镜 OL6 是干式物镜,包括,按照从物体的次序,具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2,并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括:其中胶合具有面对物体的、带有低曲率的凹形表面的正弯月形透镜 L1 和具有面对图像的锐利凸形表面的正弯月形透镜 L2 的胶合透镜 CL11;双凸正透镜 L3、衍射光学元件 GD,和其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L8 和双凸透镜 L9 的胶合透镜 CL12。第二透镜组 G2 包括:其中胶合双凸透镜 L10 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L11 的胶合透镜 CL21;和其中胶合具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L12 和双凸透镜 L13 的胶合透镜 CL22。

[0397] 在衍射光学元件 GD 中,光学玻璃 L4、由不同树脂材料构成的两个光学部件 L5 和 L6 以及光学玻璃 L7 被以这个次序胶合,并且在光学部件 L5 和 L6 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽(衍射光学表面 D)。

[0398] 表格 8 示出根据图 11 中的实例 6 的物镜 OL6 的数据。在表格 8 中的表面编号对应于图 11 所示的表面编号 1 到 20。

[0399] (表格 8)

[0400] $f_a = 10.00$

[0401] $NA = 0.46$

[0402] $d_0 = 4.68$

[0403] $\beta = 20X$

[0404]	m	r	d	nd	v d
[0405]	1	-14.879	7.57	1.804	39.6

[0406]	2	-55.780	3.03	1.652	58.5
[0407]	3	-14.805	0.46		
[0408]	4	104.559	3.58	1.603	65.4
[0409]	5	-16.598	0.20		
[0410]	6	0.000	1.50	1.517	64.1
[0411]	7	0.000	0.20	1.557	50.2
[0412]	8	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0413]	9*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0414]	10	0.000	1.50	1.517	64.1
[0415]	11	0.000	0.20		
[0416]	12	21.497	1.46	1.795	28.7
[0417]	13	12.079	4.46	1.498	82.5
[0418]	14	-55.11	20.16		
[0419]	15	11.530	4.50	1.603	65.4
[0420]	16	-38.752	6.20	1.639	44.9
[0421]	17	5.779	2.61		
[0422]	18	-5.441	2.99	1.583	46.4
[0423]	19	555.043	2.99	1.723	38.0
[0424]	20	-10.034			
[0425]	衍射光学表面数据				
[0426]	第九表面 $\kappa = 1$ $A2 = -4.55967E-08$ $A4 = -3.98721E-11$				
[0427]	$A6 = 1.74410E-13$ $A8 = -3.52316E-15$				
[0428]	条件对应数值				
[0429]	(1) $ \theta_{\max} = 2.6^\circ$				
[0430]	(2) $ f_{\text{doe}}/f_a = 109.7$				
[0431]	(3) $ f_2/f_a = 4.9$				
[0432]	(4) $ \Phi_{2-1}/\Phi_{2-2} = 1.03$				
[0433]	(5) $N/H = 5.59$				
[0434]	(6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$				
[0435]	(7) $n_{d1} = 1.528$				
[0436]	(8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$				
[0437]	(9) $n_{d2} = 1.557$				
[0438]	(10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$				

[0439] 在表格 8 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 17 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 18 表面的光焦度。因此同样在实例 6 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 12 是示出根据实例 6 的物镜 OL6 的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。如示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且也在实例 6 中保证了优良的成像性能。

[0440] (实例 7)

[0441] 现在将作为实例 7 描述图 13 所示的物镜 OL7。图 13 所示的物镜 OL7 是干式物镜，包括，按照从物体的次序，具有正折射光焦度的第一透镜组 G1 和具有负折射光焦度的第二透镜组 G2，并且衍射光学元件 GD 被置于第一透镜组 G1 中。第一透镜组 G1 包括：其中胶合具有面对物体的、带有低曲率的凹形表面的双凹透镜 L1 和具有面对图像的锐利凸形表面的双凸透镜 L2 的胶合透镜 CL11；和包括衍射光学表面 D 并且胶合具有面对物体的凸形表面的平凸透镜 L3 和具有面对图像的凸形表面的平凸透镜 L4 的胶合透镜 L12（衍射光学元件 GD）；和其中胶合具有面对物体的凸形表面的负弯月形透镜 L7 和双凸透镜 L8 的胶合透镜 CL13。第二透镜组 G2 包括：其中胶合双凸透镜 L9 和具有面对图像的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L10 的胶合透镜 CL21；和其中胶合具有面对物体的、带有高曲率的凹形表面的双凹透镜 L11 和双凸透镜 L12 的胶合透镜 CL22。

[0442] 在衍射光学元件 GD 中，由不同树脂材料构成的两个光学部件 L4 和 L5 在透镜 L3 和 L6 之间被以这个次序胶合，并且在光学部件 L4 和 L5 的胶合表面上形成衍射光栅凹槽（衍射光学表面 D）。

[0443] 表格 9 示出根据图 13 中的实例 7 的物镜 OL7 的数据。在表格 9 中的表面编号对应于图 13 所示的表面编号 1 到 18。

[0444] （表格 9）

[0445] $f_a = 10.00$

[0446] $NA = 0.46$

[0447] $d_0 = 4.68$

[0448] $\beta = 20X$

[0449]	m	r	d	nd	v d
[0450]	1	-15.373	7.49	1.786	44.2
[0451]	2	1902.674	2.99	1.620	60.3
[0452]	3	-11.344	0.40		
[0453]	4	25.437	3.00	1.617	54.0
[0454]	5	0.000	0.20	1.557	50.2
[0455]	6	0.000	0.00	10001.000	-3.5
[0456]	7*	0.000	0.20	1.528	34.7
[0457]	8	0.000	3.50	1.617	54.0
[0458]	9	-25.335	0.21		
[0459]	10	46.511	1.41	1.804	39.6
[0460]	11	10.510	4.50	1.498	82.5
[0461]	12	-30.007	0.20		
[0462]	13	10.555	4.01	1.603	65.4
[0463]	14	-91.996	7.00	1.702	41.2
[0464]	15	6.007	2.70		
[0465]	16	-6.259	3.69	1.581	40.7
[0466]	17	38.618	2.54	1.749	35.3
[0467]	18	-11.756			

[0468] 衍射光学表面数据

[0469] 第七表面 $\kappa = 1$ $A2 = -4.61565E-08$ $A4 = -2.28998E-12$

[0470] $A6 = 8.36695E-13$ $A8 = -1.04070E-15$

[0471] 条件对应数值

[0472] (1) $|\theta_{\max}| = 4.8^\circ$

[0473] (2) $|f_{\text{doe}}/f_a| = 108.3$

[0474] (3) $|f_2/f_a| = 7.2$

[0475] (4) $|\Phi_{2-1}/\Phi_{2-2}| = 1.26$

[0476] (5) $N/H = 5.08$

[0477] (6) $v_{\text{dmax}} = 82.5$

[0478] (7) $n_{d1} = 1.528$

[0479] (8) $n_{F1}-n_{C1} = 0.0152$

[0480] (9) $n_{d2} = 1.557$

[0481] (10) $n_{F2}-n_{C2} = 0.011$

[0482] 在表格 9 所示的条件对应数值中,在条件表达式 (4) 中的 Φ_{2-1} 示意第 15 表面的光焦度,并且 Φ_{2-2} 示意第 16 表面的光焦度。因此同样在实例 7 中,全部的条件表达式 (1) 到 (10) 得以满足。图 14 是示出根据实例 7 的物镜 OL7 的球面像差、像散和彗差的各种像差的曲线图。如示出像差的每一个曲线图阐明地,各种像差被良好地校正,并且也在实例 7 中保证了优良的成像性能。

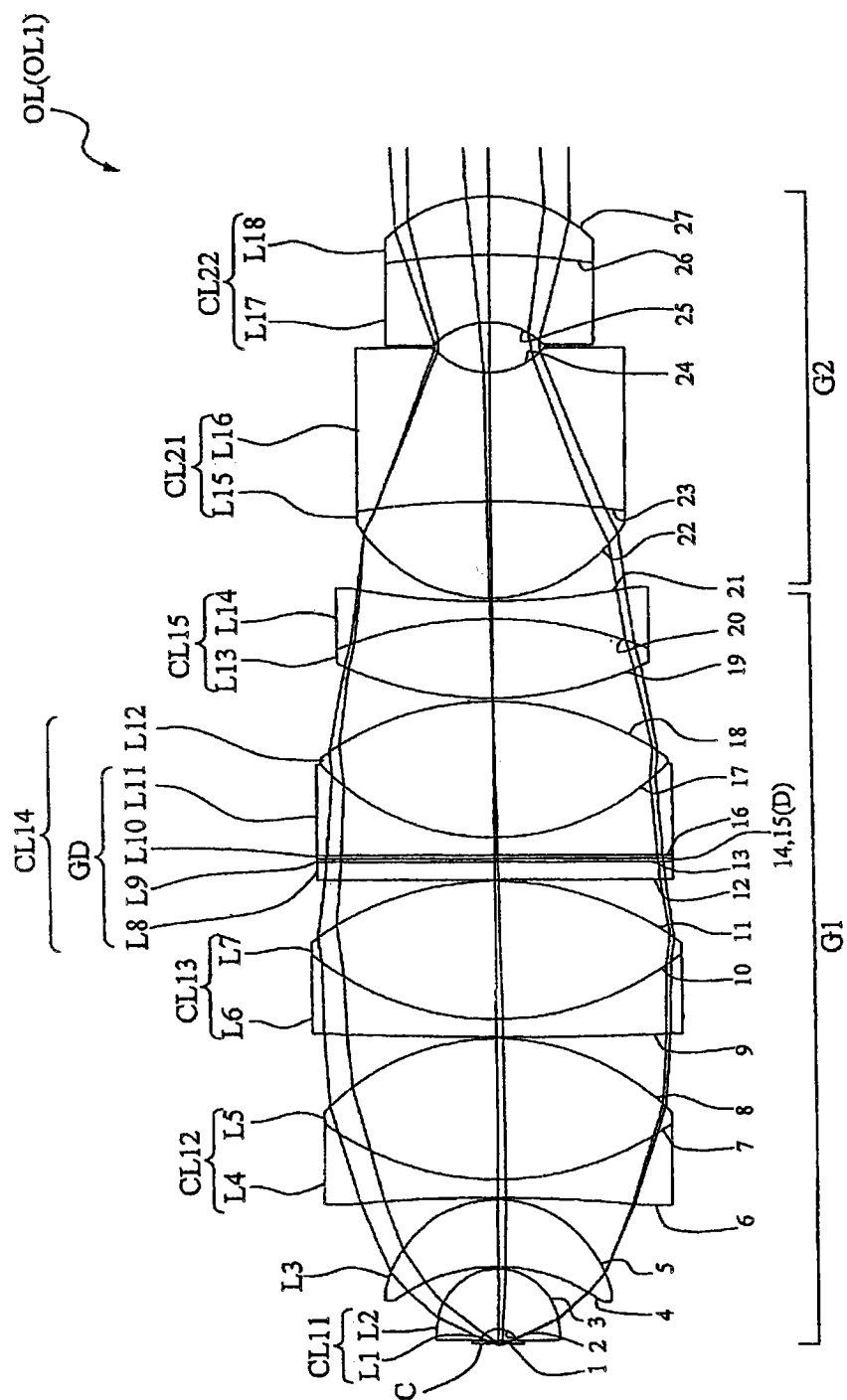


图 1

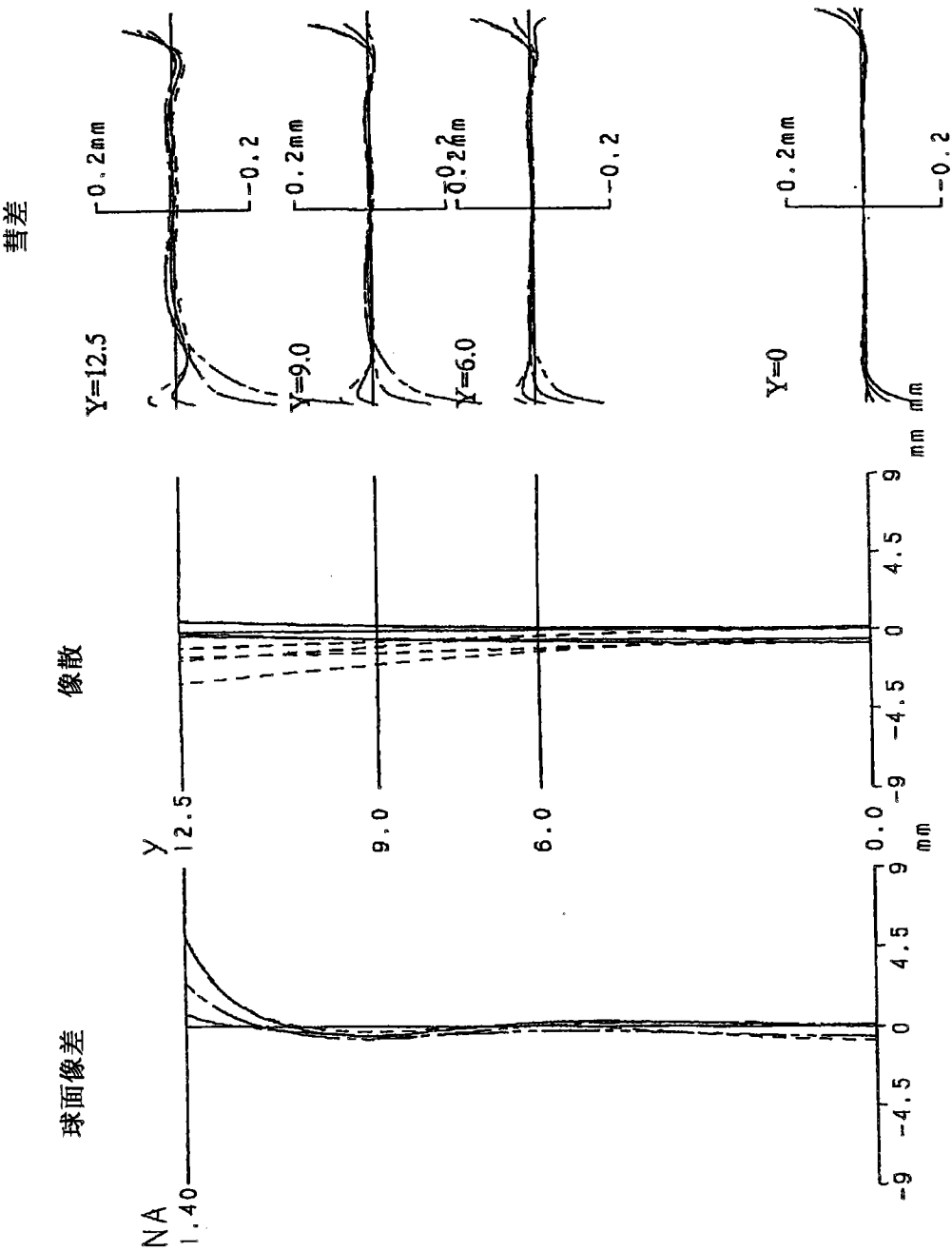


图 2

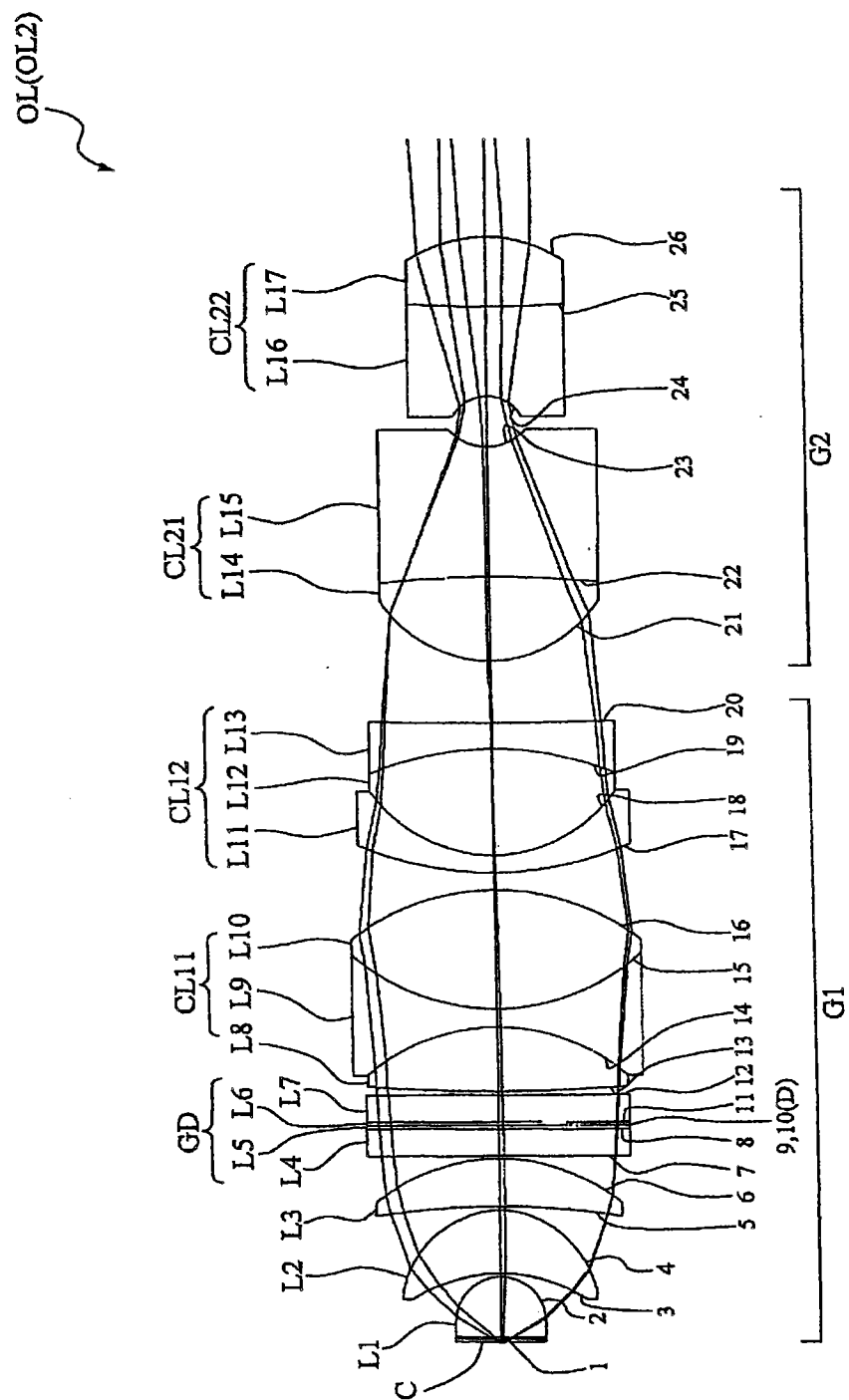


图 3

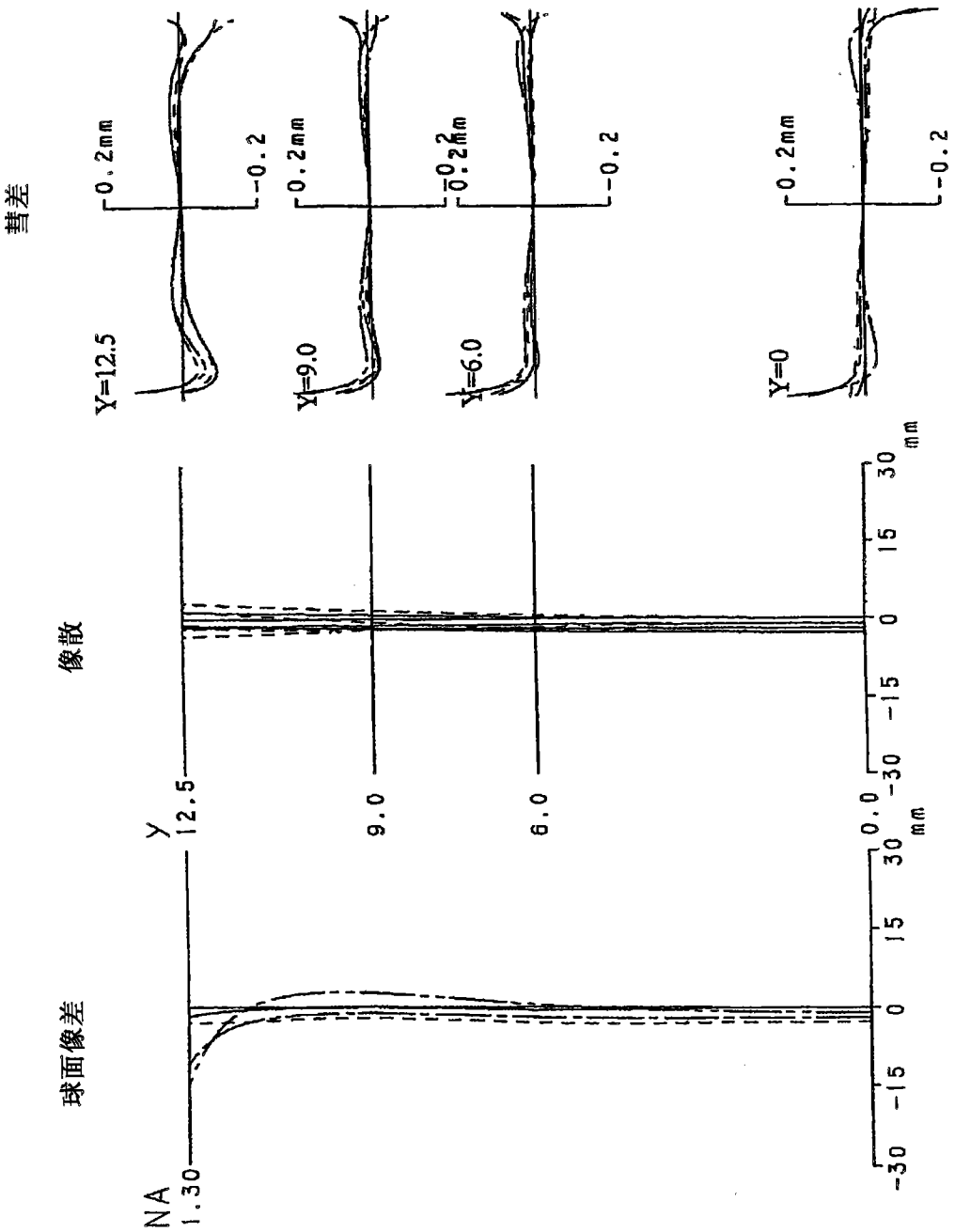


图 4

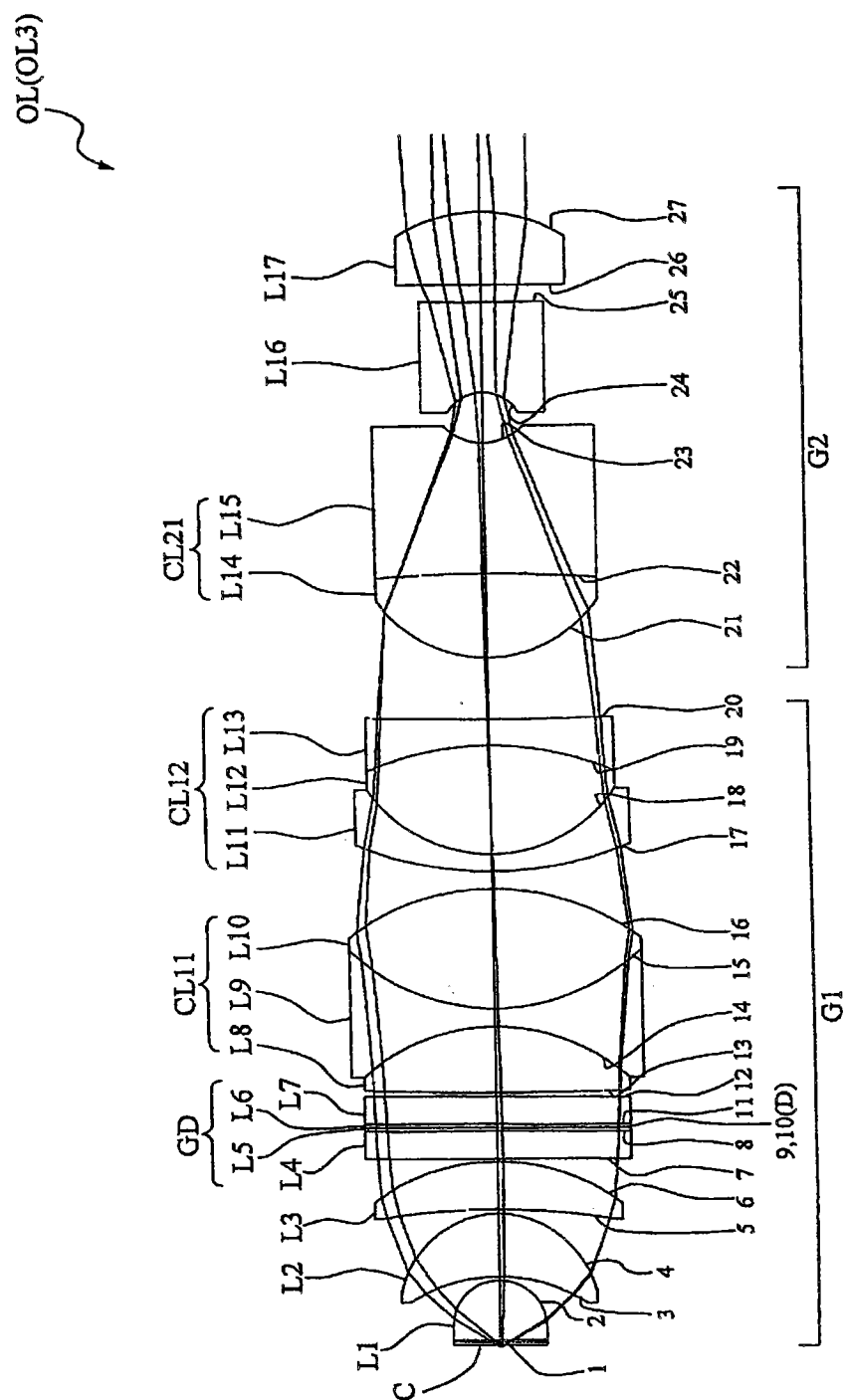


图 5

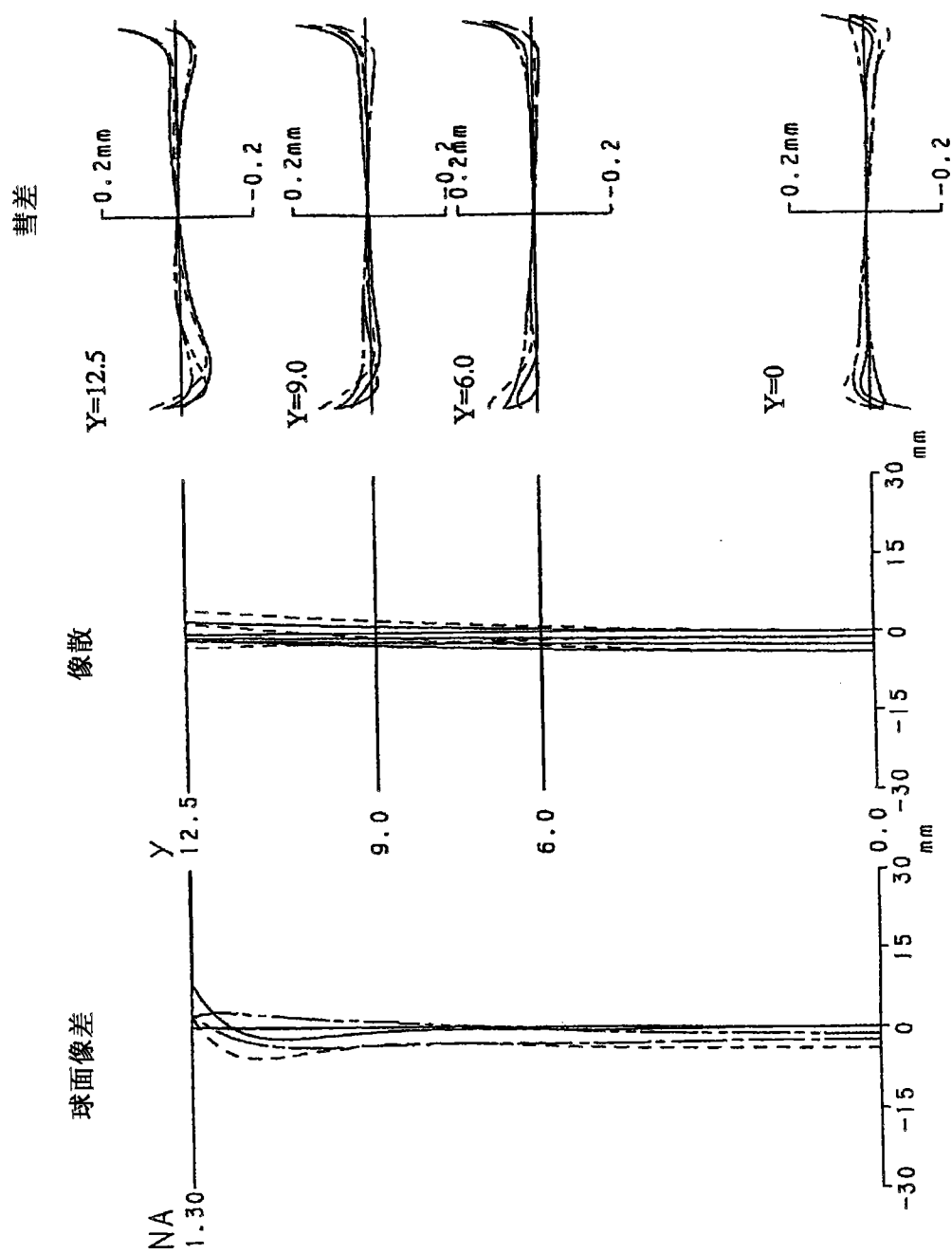


图 6

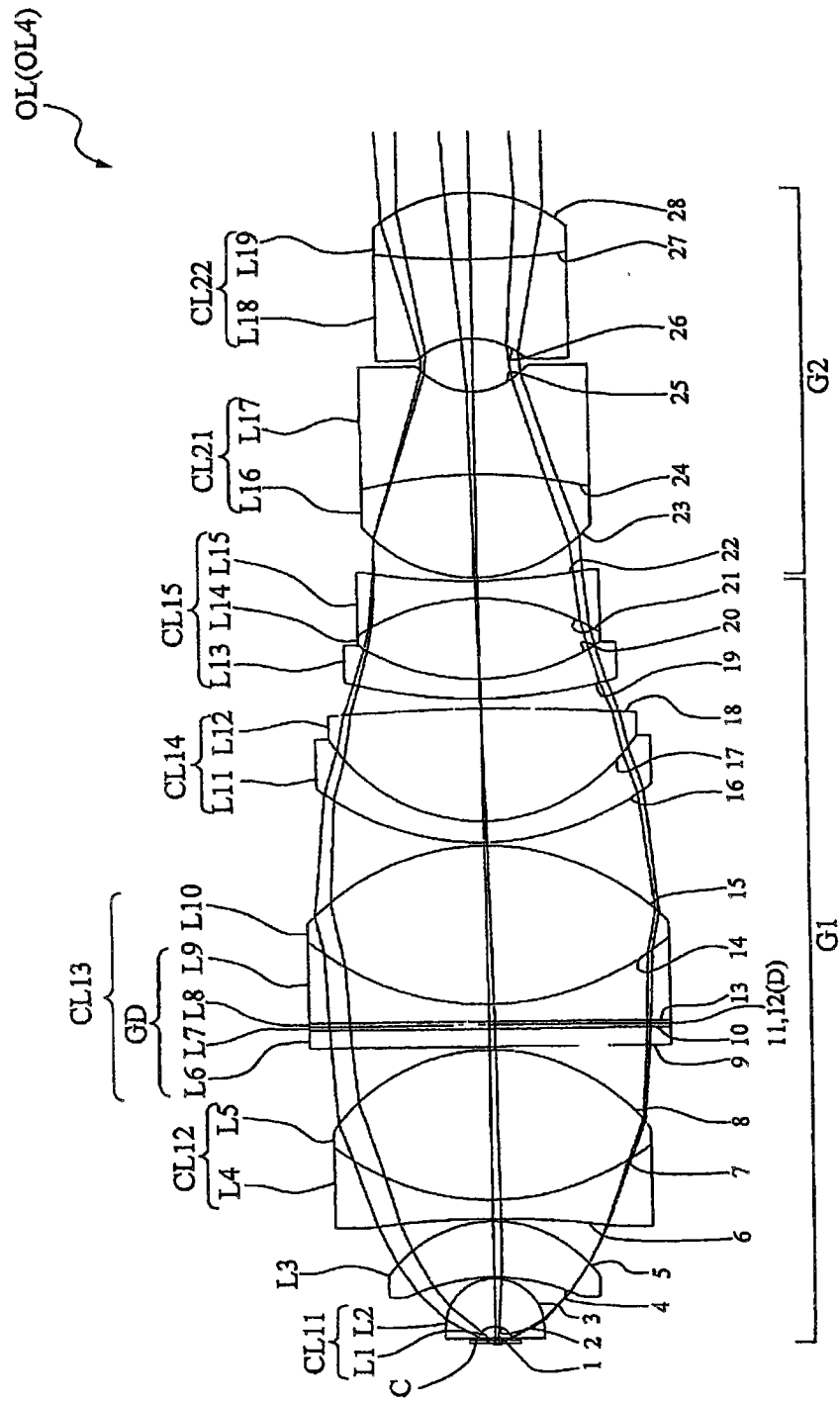


图 7

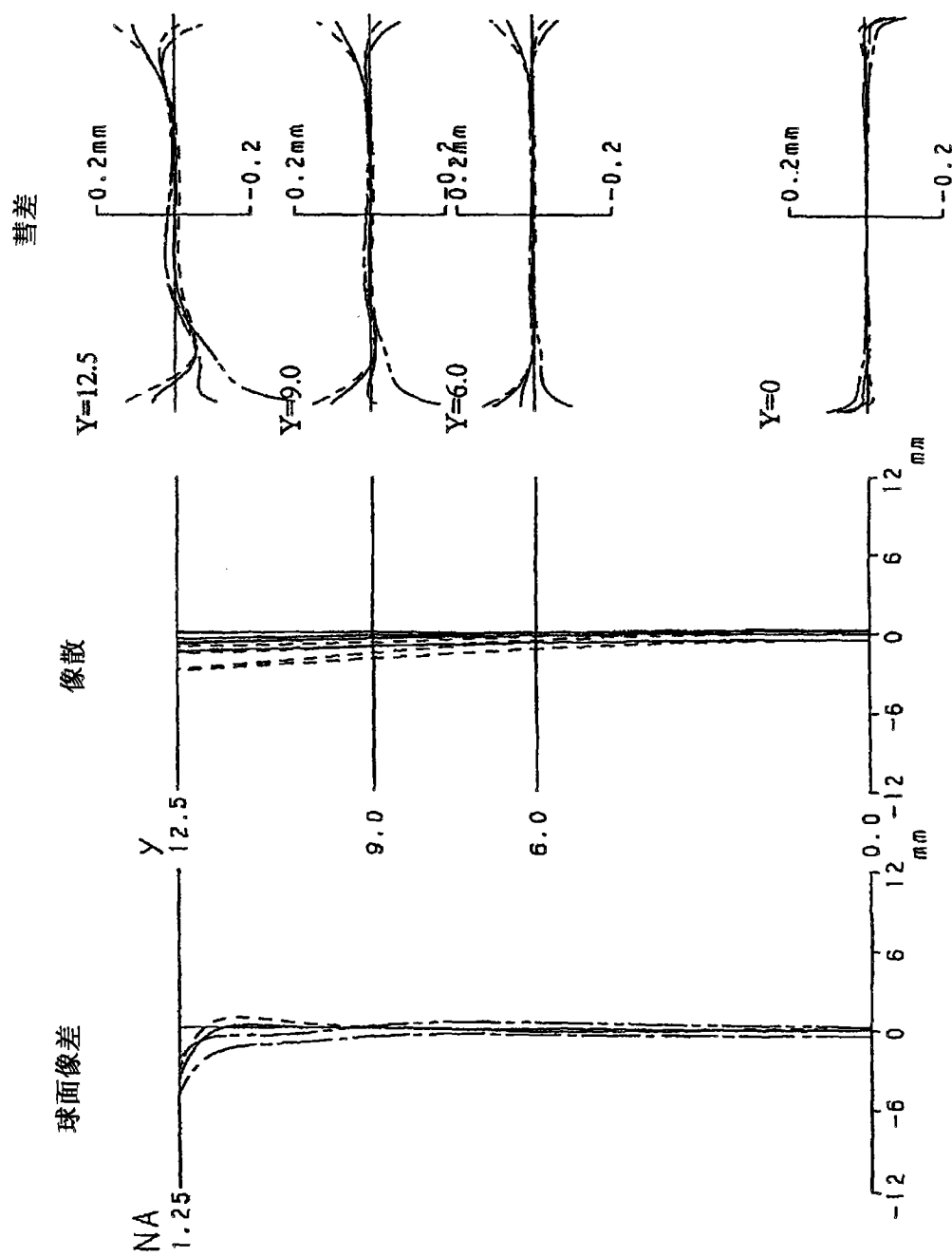


图 8

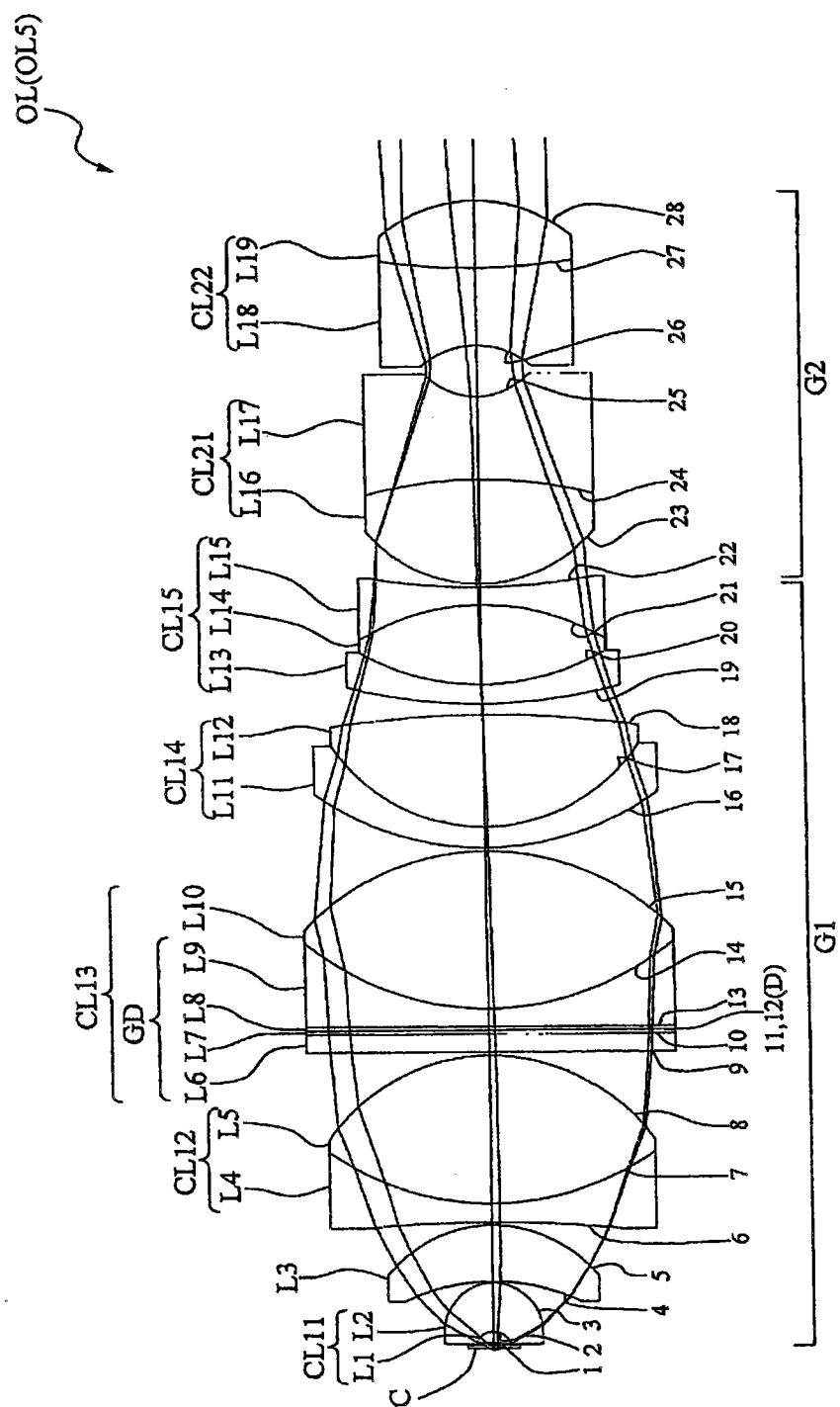


图 9

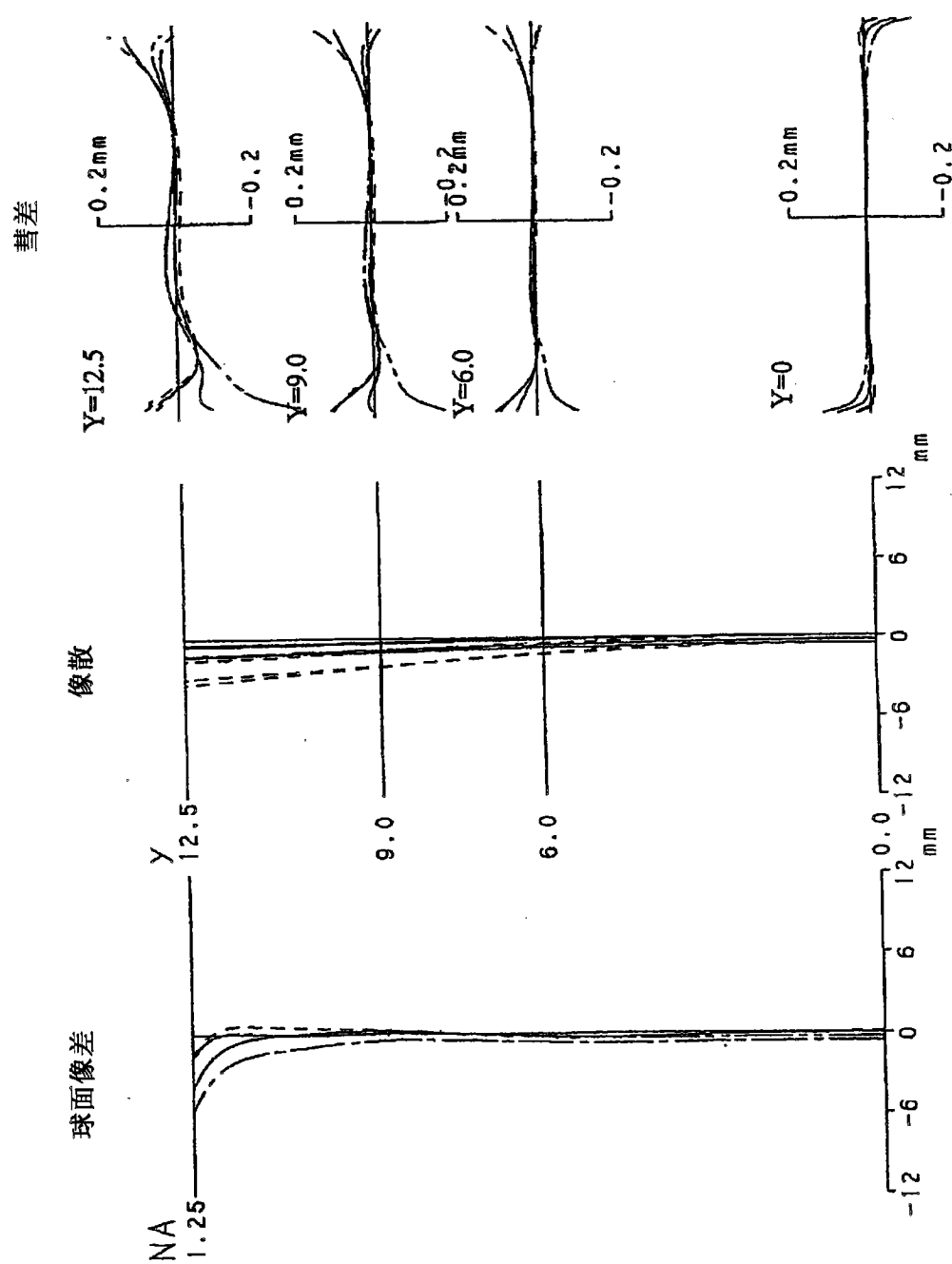


图 10

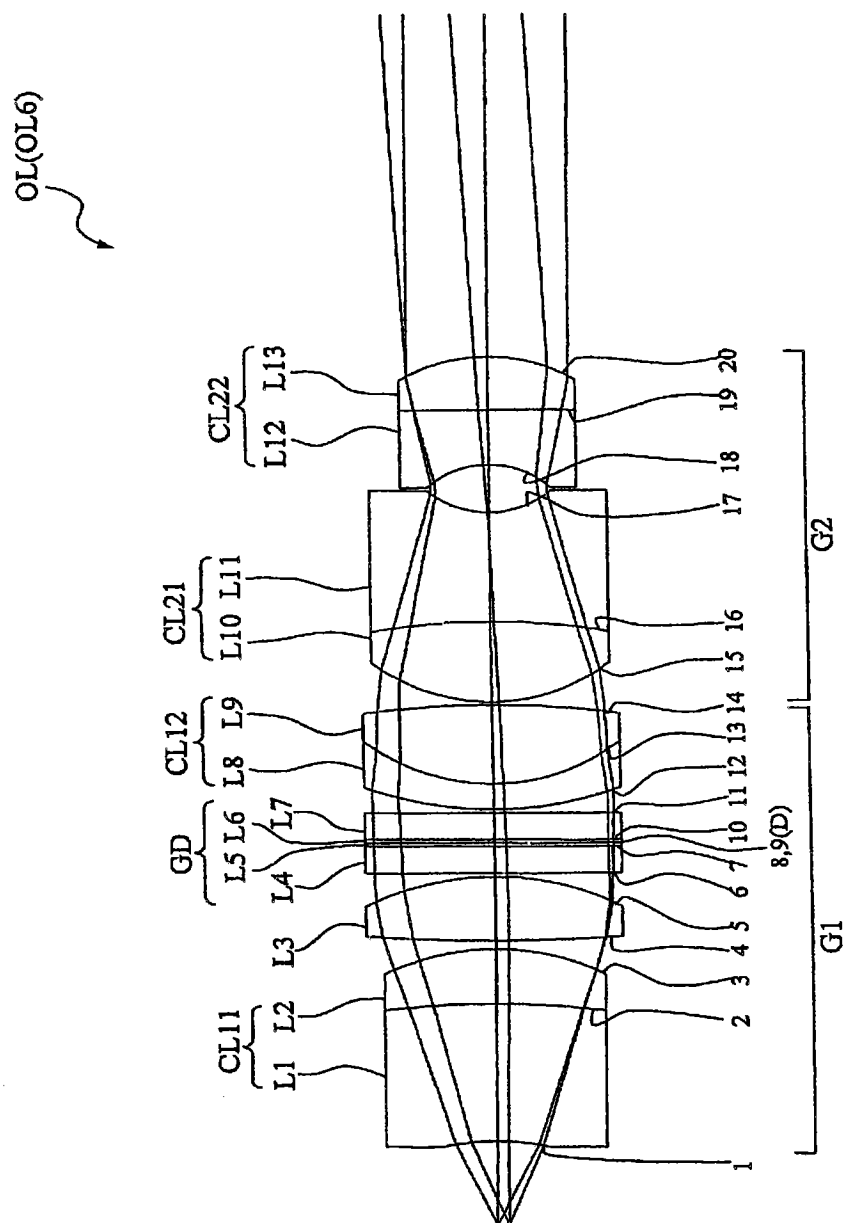


图 11

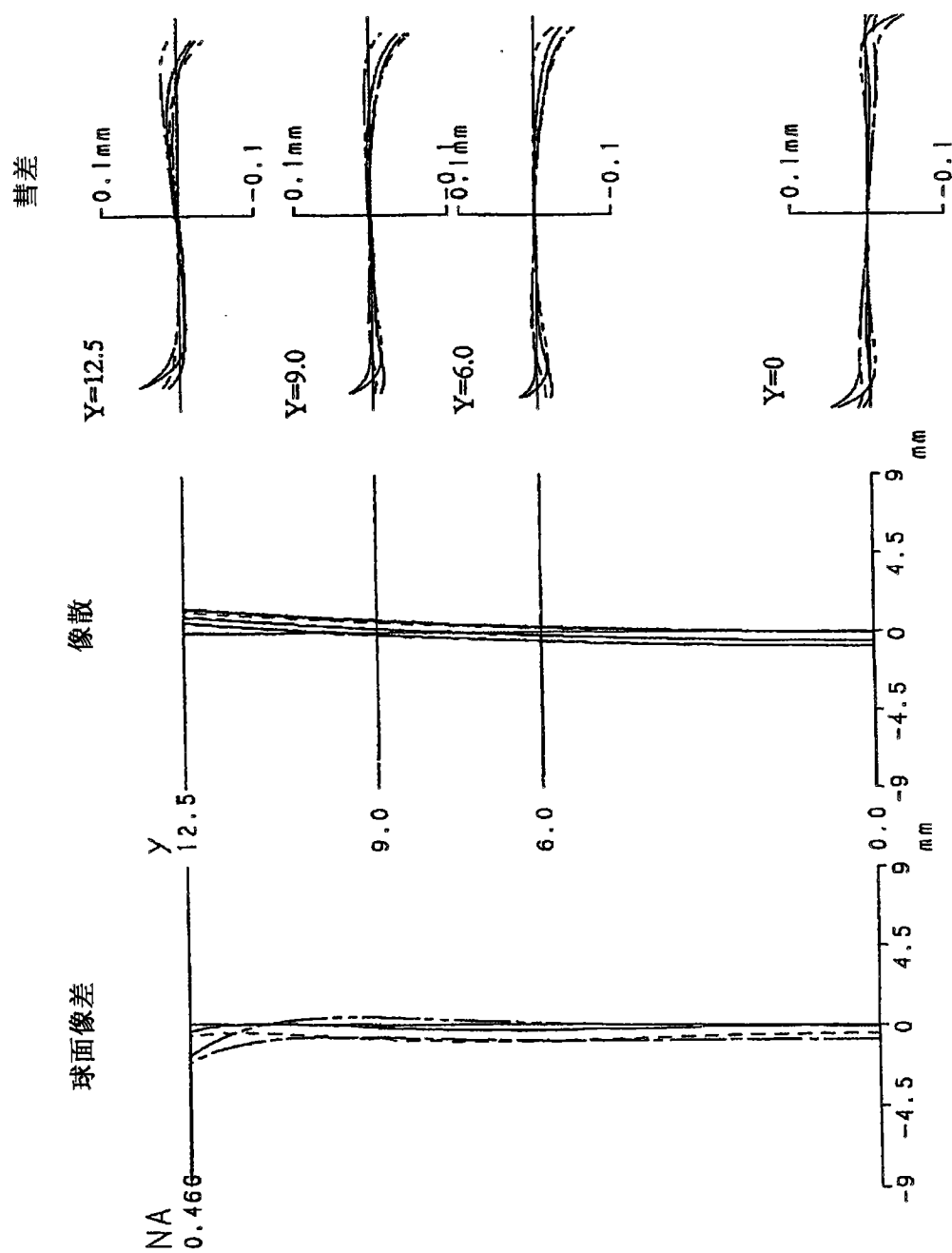


图 12

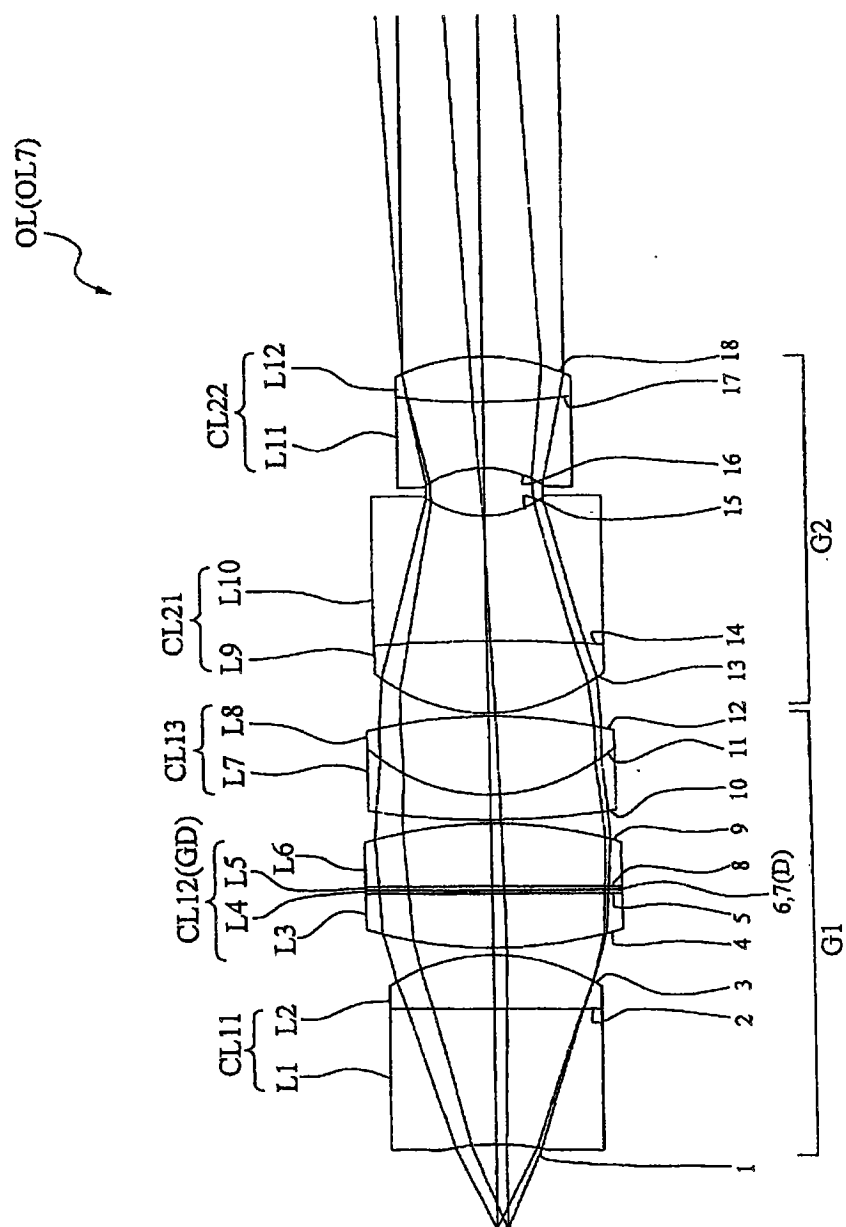


图 13

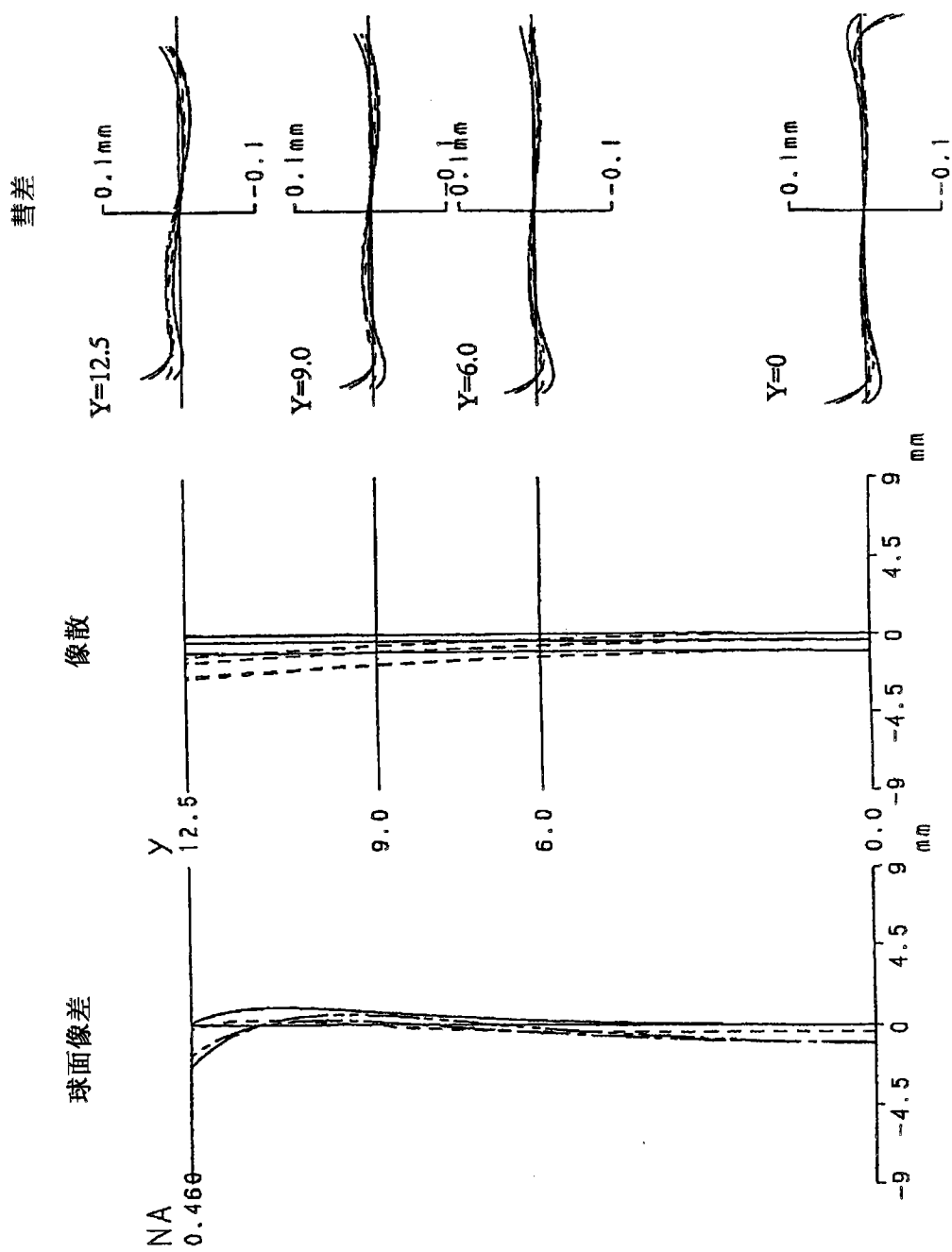


图 14

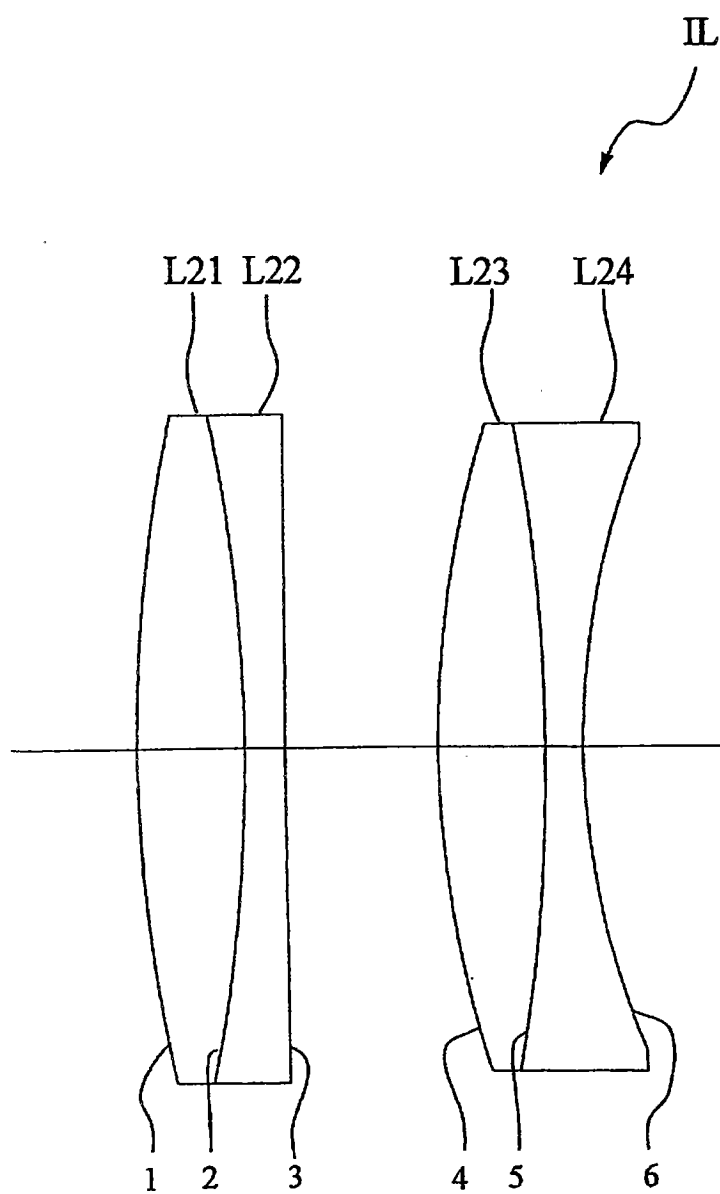


图 15