



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102736231 B

(45) 授权公告日 2015. 02. 11

(21) 申请号 201210088502. 5

US 2003/0189767 A1, 2003. 10. 09, 全文.

(22) 申请日 2012. 03. 29

US 2008/0239507 A1, 2008. 10. 02, 全文.

(30) 优先权数据

审查员 杨钊

2011-082795 2011. 04. 04 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 江口薰 日浅法人

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 欧阳帆

(51) Int. Cl.

G02B 15/177(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101840060 A, 2010. 09. 22, 全文.

CN 101276048 A, 2008. 10. 01, 全文.

JP 特开 2002-131640 A, 2002. 05. 09, 全文.

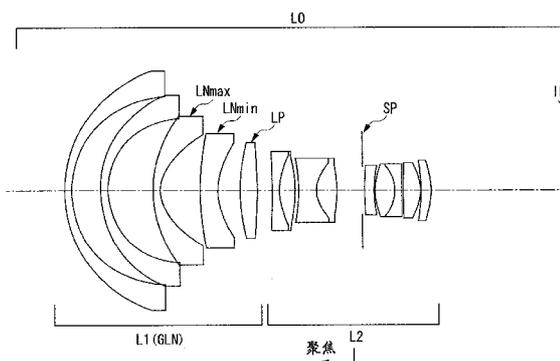
权利要求书3页 说明书29页 附图13页

(54) 发明名称

光学系统和具有该光学系统的光学设备

(57) 摘要

本发明涉及光学系统和具有该光学系统的光学设备。该光学系统包括：布置为比孔径部分更接近于物侧的至少一个具有负折光力的透镜单元。具有负折光力的透镜单元包括至少一个正透镜和一个负透镜。包括在具有负折光力的透镜单元内的正透镜和负透镜的数量之间的比例被适当地设定。具有负折光力的透镜单元包括多个负透镜以及具有适当的阿贝数的正透镜，所述多个负透镜中的每个负透镜具有适当的阿贝数和部分色散比。在负透镜之中具有最高色散的负透镜位于适当的位置。



1. 一种包括透镜单元 GLN 的光学系统,所述透镜单元 GLN 包括被布置为比孔径部分 SP 更接近于物侧的至少一个具有负折光力的透镜单元,

其中,当透镜单元 GLN 中包括的负透镜的材料的部分色散比、部分色散比差和阿贝数分别由 θ_{LN} 、 $\Delta \theta_{LN}$ 和 ν_{LN} 表示时,其中 $\Delta \theta_{LN} = \theta_{LN} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times \nu_{LN} + 0.64146)$, 满足以下的条件式的负透镜由负透镜 LN_{low} 表示:

$$0.006 < \Delta \theta_{LN} \text{ 以及}$$

$$60 < \nu_{LN},$$

负透镜 LN_{low} 的数量由 SUM(LN_{low}) 表示,满足以下的条件式的负透镜由负透镜 LN_{high} 表示:

$$0.006 < \Delta \theta_{LN} \text{ 以及}$$

$$\nu_{LN} < 25,$$

负透镜 LN_{high} 的数量由 SUM(LN_{high}) 表示,透镜单元 GLN 中包括的透镜的数量由 SUM(L) 表示,透镜单元 GLN 中包括的负透镜的数量由 SUM(LN) 表示,透镜单元 GLN 中包括的负透镜的材料的部分色散比差的和由 SUM($\Delta \theta_{LN}$) 表示,在透镜单元 GLN 中包括的负透镜之中具有最小阿贝数的负透镜由负透镜 LN_{min} 表示,所述负透镜 LN_{min} 的阿贝数由 ν_{LNmin} 表示,在透镜单元 GLN 中包括的负透镜之中具有最大阿贝数的负透镜由负透镜 LN_{max} 表示,所述负透镜 LN_{max} 的阿贝数由 ν_{LNmax} 表示,在负透镜 LN_{high} 的物侧表面顶点与孔径部分 SP 之间的距离由 d_{NS} 表示,并且在最接近物侧的透镜表面顶点与孔径部分 SP 之间的距离由 d_{1S} 表示,满足以下的条件式:

$$0.60 < \text{SUM}(\text{LN})/\text{SUM}(\text{L}) < 1.00,$$

$$0.70 < (\text{SUM}(\text{LN}_{\text{low}}) + \text{SUM}(\text{LN}_{\text{high}}))/\text{SUM}(\text{LN}),$$

$$3.50 < \nu_{LNmax}/\nu_{LNmin} < 6.50,$$

$$0.30 < d_{NS}/d_{1S} \leq 1.00, \text{ 以及}$$

$$0.065 < \text{SUM}(\Delta \theta_{LN}) < 0.250, \text{ 并且}$$

其中,当所述光学系统是变焦透镜时,孔径部分 SP 的位置是在所述变焦透镜处于广角端时定义的位置。

2. 根据权利要求 1 所述的光学系统,

其中透镜单元 GLN 包括正透镜 LP, 并且

其中,当正透镜 LP 的材料阿贝数由 ν_{LP} 表示时,满足以下的条件式:

$$\nu_{LNmin} < \nu_{LP} < \nu_{LNmax}.$$

3. 根据权利要求 1 所述的光学系统,

其中,当负透镜 LN_{min} 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmin}$ 表示,负透镜 LN_{min} 的焦度由 ϕ_{LNmin} 表示,并且所述光学系统的焦度由 Φ 表示时,对于至少一个负透镜 LN_{min} 满足以下的条件式:

$$-5.0 \times 10^{-3} < \Delta \theta_{LNmin} \times (\phi_{LNmin} / (\nu_{LNmin} \times \Phi)) < -5.0 \times 10^{-5}, \text{ 并且}$$

其中,当所述光学系统是变焦透镜时,在所述变焦透镜处于广角端时定义所述光学系统的焦度 Φ ;

其中部分色散比差 $\Delta \theta_{LNmin}$ 由以下定义：

$$\Delta \theta_{LNmin} = \theta_{LNmin} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times v_{LNmin} + 0.64146),$$

其中 θ_{LNmin} 为负透镜 LNmin 的材料的部分色散比。

4. 根据权利要求 1 所述的光学系统，

其中，当负透镜 LNmax 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmax}$ 表示，负透镜 LNmax 的焦度由 ϕ_{LNmax} 表示，并且所述光学系统的焦度由 Φ 表示时，对于至少一个负透镜 LNmax 满足以下的条件式：

$$-5.0 \times 10^{-4} < \Delta \theta_{LNmax} \times (\phi_{LNmax} / (v_{LNmax} \times \phi)) < -5.0 \times 10^{-5}, \text{ 并且}$$

其中，当所述光学系统是变焦透镜时，在所述变焦透镜处于广角端时定义所述光学系统的焦度 Φ ；

其中部分色散比差 $\Delta \theta_{LNmax}$ 由以下定义：

$$\Delta \theta_{LNmax} = \theta_{LNmax} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times v_{LNmax} + 0.64146),$$

其中 θ_{LNmax} 为负透镜 LNmax 的材料的部分色散比。

5. 根据权利要求 2 所述的光学系统，其中，当正透镜 LP 的材料的部分色散比差的和由 $SUM(\Delta \theta_{LP})$ 表示时，满足以下的条件式：

$$-0.050 < SUM(\Delta \theta_{LP}) < 0.040, \text{ 并且}$$

其中，当透镜单元 GLN 中包括的正透镜 LP 的数量为仅仅 1 个时，正透镜 LP 的材料的部分色散比差由 $SUM(\Delta \theta_{LP})$ 表示；

其中正透镜 LP 的材料的部分色散比差 $\Delta \theta_{LP}$ 由以下定义：

$$\Delta \theta_{LP} = \theta_{LP} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times v_{LP} + 0.64146),$$

其中 θ_{LP} 为相应正透镜 LP 的材料的部分色散比。

6. 根据权利要求 1 所述的光学系统，其中，当负透镜 LNmin 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmin}$ 表示，负透镜 LNmax 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmax}$ 表示，负透镜 LNmin 的焦度的和由 $SUM(\phi_{LNmin})$ 表示，并且负透镜 LNmax 的焦度的和由 $SUM(\phi_{LNmax})$ 表示时，满足以下的条件式：

$$-1.00 \times 10^{-2} < \left\{ \frac{\Delta \theta_{LNmax}}{v_{LNmax}} \times SUM(\phi_{LNmax}) + \frac{\Delta \theta_{LNmin}}{v_{LNmin}} \times SUM(\phi_{LNmin}) \right\} \times \frac{v_{LNmax}}{v_{LNmin}} \times \frac{1}{\phi} < -3.00 \times 10^{-4},$$

并且

其中，当在透镜单元 GLN 中仅仅包括一个负透镜 LNmin 时，负透镜 LNmin 的焦度由 $SUM(\phi_{LNmin})$ 表示，并且当在透镜单元 GLN 中仅仅包括一个负透镜 LNmax 时，负透镜 LNmax 的焦度由 $SUM(\phi_{LNmax})$ 表示；

其中部分色散比差 $\Delta \theta_{LNmin}$ 由以下定义：

$$\Delta \theta_{LNmin} = \theta_{LNmin} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times v_{LNmin} + 0.64146),$$

其中 θ_{LNmin} 为负透镜 LNmin 的材料的部分色散比；

其中部分色散比差 $\Delta \theta_{LNmax}$ 由以下定义：

$$\Delta \theta_{LNmax} = \theta_{LNmax} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times v_{LNmax} + 0.64146),$$

其中 θ 为负透镜 LNmax 的材料的部分色散比。

7. 根据权利要求 2 所述的光学系统,其中正透镜 LP 与负透镜 LNlow 或负透镜 LNhigh 一起被包括在同一个透镜单元中。

8. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中所述光学系统从物侧到像侧依次包括具有负折光力的第一透镜单元和在聚焦期间移动的具有正折光力的第二透镜单元。

9. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中所述光学系统从物侧到像侧依次包括:具有正折光力的第一透镜单元、具有负折光力的第二透镜单元、具有负折光力的第三透镜单元和具有正折光力的第四透镜单元,并且其中第二到第四透镜单元在变焦期间被独立地移动。

10. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中所述光学系统从物侧到像侧依次包括:具有负折光力的第一透镜单元、具有正折光力的第二透镜单元、具有正折光力的第三透镜单元、具有正折光力的第四透镜单元和具有正折光力的第五透镜单元,并且其中第二到第四透镜单元在变焦期间被独立地移动。

11. 根据权利要求 1 所述的光学系统,其中所述光学系统从物侧到像侧依次包括具有负折光力的第一透镜单元、在聚焦期间移动的具有正折光力的第二透镜单元、和具有正折光力的第三透镜单元。

12. 一种光学设备,包括根据权利要求 1 所述的光学系统。

光学系统和具有该光学系统的光学设备

技术领域

[0001] 本发明涉及光学系统和具有该光学系统的光学设备,并且更特别地涉及能够被应用于例如静物照相机、视频照相机、投影仪、用于广播的 TV 照相机、监视照相机等的光学系统以及具有该光学系统的光学设备。

背景技术

[0002] 近来,在用于图像拾取设备(诸如视频照相机)的照相光学系统和用于图像投影设备(诸如投影仪)的投影光学系统中,随着像素的数量增大(实现大量的像素),或者随着像素的密度增大(实现高密度的像素),需要对应的具有高质量的图像和高性能的光学系统。

[0003] 为了应付大量的像素和高密度的像素,重要的是在光学系统的各种像差之中特别地使得能够较好地校正倍率色差。

[0004] 日本专利申请公开 No. 2004-020765 讨论了,总共包括五个透镜单元(其中具有负折光力的透镜单元被布置在最接近物侧处)的负先导(lead)型变焦透镜作为用于投影仪的光学系统。该变焦透镜从物侧到像侧依次包括:具有负折光力的第一透镜单元、被移动以用于改变倍率和用于校正由倍率变化所引起的像平面的变化的具有正折光力的第二到第四透镜单元以及在倍率变化期间不动的具有正折光力的第五透镜单元。在该变焦透镜中,为了允许在整个变焦范围之上较好地校正倍率色差,具有相对高的部分色散比的玻璃材料被用于第一透镜单元的负透镜。

[0005] 日本专利申请公开 No. 2002-131640 讨论了,应付大量像素和高密度像素的正先导型的变焦透镜作为用于图像拾取设备的光学系统,该变焦透镜从物侧到像侧依次包括具有正折光力的第一透镜单元、具有负折光力的第二透镜单元以及具有正折光力的第三透镜单元。在该变焦透镜中,为了允许在整个范围之上校正倍率色差,具有相对高的部分色散比的玻璃材料被用于第二透镜单元的负透镜。

[0006] 另外,日本专利申请公开 No. 2008-129403 和 2003-307672 讨论了反焦(retro-focus)类型单焦点透镜,其中为了允许在整个物距范围之上较好地校正倍率色差,与阿贝数相比其部分色散比 θ_{gF} 相对较高的玻璃材料被用于比孔径光阑更接近物侧的负透镜。

[0007] 随着像素的数量进一步增大和像素的密度高度地增大,在用于要求例如 8000×4000 像素作为像素的数量的超高清的光学系统中,对于各种像差,要求非常小量的像差。

[0008] 特别地,对于倍率色差,要求相对于作为基准的 d 线在 C 线和 F 线之间的倍率色差的量以及在 g 线和 F 线之间的倍率色差的量非常小。为了减小 g 线和 F 线之间的倍率色差的量,需要考虑使用的玻璃材料的异常色散特性(阿贝数与部分色散比(θ_{gF} 值)之间的关系)。

[0009] 在上述光学系统中,为了校正倍率色差,具有负折光力的透镜单元被布置为比确

定最大轴向光束直径的孔径部分 SP 更接近于物侧,并且校正透镜单元中的倍率色差。在这里,“确定最大轴向光束直径的孔径部分”表示确定在物距处于无穷远距离时轴向光束(其主光线沿着光轴传播的光束)中的 F 数的孔径部分。

[0010] 通常,在很多情况下,孔径光阑用作孔径部分 SP。然而,在变焦透镜没有机械的孔径光阑的情况下,最大轴向光束直径可以由透镜镜筒的一部分或者特定的透镜的外直径确定。在该情况下,透镜镜筒的该部分或者透镜的外直径用作确定最大轴向光束直径的孔径部分 SP。

[0011] 然而,上述的文献没有讨论使用的玻璃材料的部分色散比(θ gF)。因此,如果对应于折射率和阿贝数的材料被应用于一般的玻璃材料,可以推导下面的结果。

[0012] 在日本专利申请公开 No. 2004-020765 中,具有负折光力的第一透镜单元的负透镜的材料通过使用具有低色散的玻璃材料和具有高色散的材料来构成,使得可以在校正 C 线和 F 线之间的倍率色差的同时减小具有高色散特性的 g 线和 F 线之间的倍率色差。虽然没有讨论使用的玻璃材料的部分色散比,但是就折射率和阿贝数而言,与由 OHARA, INC. 制造的 S-FPL51(商品名)对应的玻璃材料可以被用于示例 3 中的第一透镜单元的第一负透镜,并且与由 OHARA, INC. 制造的 S-NPH1(商品名)对应的玻璃材料可以被用于第二负透镜。

[0013] 这些材料与其它玻璃材料相比具有大的异常色散特性。根据该配置,倍率色差不一定被充分地校正。

[0014] 在日本专利申请公开 No. 2002-131640 中,具有负折光力的第二透镜单元的负透镜的材料通过使用具有低色散的玻璃材料和具有高色散的材料来构成,使得可以在校正 C 线和 F 线之间的倍率色差的同时减小具有高色散特性的 g 线和 F 线之间的倍率色差。虽然没有讨论使用的玻璃材料的部分色散比,但是就折射率和阿贝数而言,与由 HOYA CO., LTD. 制造的 E-FDS1(商品名)对应的玻璃材料可以被用于示例 1 中的第二透镜单元的第一负透镜,并且与由 OHARA, INC. 制造的 S-FSL5(商品名)对应的玻璃材料可以被用于其第二负透镜。

[0015] 虽然 E-FDS1(商品名)是与其它玻璃材料相比具有较大的异常色散特性的玻璃材料,但是 S-FSL5(商品名)是具有较低的异常色散特性的玻璃材料。因此,倍率色差的校正的问题不一定被充分地解决。

[0016] 在日本专利申请公开 No. 2008-129403 中,具有负折光力的第一透镜单元的负透镜的材料通过主要使用具有低色散和正方向上的大的部分色散比差 $\Delta \theta$ gF 的玻璃材料来构成。因此,可以在校正 C 线和 F 线之间的倍率色差的同时减小 g 线和 F 线之间的倍率色差。虽然没有讨论使用的玻璃材料的部分色散比,但是就折射率和阿贝数而言,与由 OHARA, INC. 制造的 S-FPL53(商品名)对应的玻璃材料可以被用于示例 5 中的第一透镜单元的第一到第四负透镜,并且与由 OHARA, INC. 制造的 S-NPH2 对应的玻璃材料可以被用于其第五负透镜。

[0017] 这些玻璃材料与其它玻璃材料相比具有高的部分色散比和异常色散特性。通过使用具有高色散的材料形成的负透镜被布置为邻近孔径部分 SP,使得 g 线和 F 线之间的倍率色差残留。因此,倍率色差不一定被充分地校正。

[0018] 在日本专利申请公开 No. 2003-307672 中,具有低色散的材料和具有高色散的材料

料被用于比孔径光阑更接近于物侧的负透镜。然而,倍率色差不一定被充分地校正。

发明内容

[0019] 根据本发明的一个方面,一种光学系统包括:透镜单元 GLN,该透镜单元 GLN 包括被布置为比孔径部分 SP 更接近于物侧的至少一个具有负折光力的透镜单元,其中,当透镜单元 GLN 中包括的负透镜的材料的部分色散比差和阿贝数分别由 $\Delta \theta_{LN}$ 和 v_{LN} 表示时,满足以下的条件式的负透镜由负透镜 LN_{low} 表示:

$$[0020] \quad 0.006 < \Delta \theta_{LN}$$

$$[0021] \quad 60 < v_{LN},$$

[0022] 负透镜 LN_{low} 的数量由 SUM(LN_{low}) 表示,满足以下的条件式的负透镜由负透镜 LN_{high} 表示:

$$[0023] \quad 0.006 < \Delta \theta_{LN}$$

$$[0024] \quad v_{LN} < 25,$$

[0025] 负透镜 LN_{high} 的数量由 SUM(LN_{high}) 表示,透镜单元 GLN 中包括的透镜的数量由 SUM(L) 表示,透镜单元 GLN 中包括的负透镜的数量由 SUM(LN) 表示,透镜单元 GLN 中包括的负透镜的材料的部分色散比差的和由 SUM($\Delta \theta_{LN}$) 表示,在透镜单元 GLN 中包括的负透镜之中具有最小阿贝数的负透镜由负透镜 LN_{min} 表示,所述负透镜 LN_{min} 的阿贝数由 v_{LNmin} 表示,在透镜单元 GLN 中包括的负透镜之中具有最大阿贝数的负透镜由负透镜 LN_{max} 表示,所述负透镜 LN_{max} 的阿贝数由 v_{LNmax} 表示,在负透镜 LN_{high} 的物侧表面顶点与孔径部分 SP 之间的距离由 d_{NS} 表示,并且在最物侧的透镜表面顶点与孔径部分 SP 之间的距离由 d_{1S} 表示,满足以下的条件式:

$$[0026] \quad 0.60 < \text{SUM}(\text{LN})/\text{SUM}(\text{L}) < 1.00$$

$$[0027] \quad 0.70 < (\text{SUM}(\text{LN}_{\text{low}}) + \text{SUM}(\text{LN}_{\text{high}}))/\text{SUM}(\text{LN})$$

$$[0028] \quad 3.50 < v_{LNmax}/v_{LNmin} < 6.50$$

$$[0029] \quad 0.30 < d_{NS}/d_{1S} \leq 1.00$$

$$[0030] \quad 0.065 < \text{SUM}(\Delta \theta_{LN}) < 0.250, \text{ 并且}$$

[0031] 其中,当该光学系统是变焦透镜时,孔径部分 SP 的位置是在该变焦透镜处于广角端时定义的位置。

[0032] 根据以下参考附图的示例性实施例的详细描述,本发明更多的特征和方面将变得清晰。

附图说明

[0033] 被加入说明书且构成说明书一部分的附图示出了本发明的示例性实施例、特征和方面,并且与描述一起用来解释本发明的原理。

[0034] 图 1 是根据本发明的第一示例性实施例的光学系统的透镜截面图。

[0035] 图 2 是根据第一示例性实施例的光学系统的像差图。

[0036] 图 3 是根据本发明的第二示例性实施例的光学系统在广角端处的透镜截面图。

[0037] 图 4A 是根据第二示例性实施例的光学系统在广角端处的像差图。

[0038] 图 4B 是根据第二示例性实施例的光学系统在望远端处的像差图。

- [0039] 图 5 是根据本发明的第三示例性实施例的光学系统在广角端处的透镜截面图。
- [0040] 图 6A 是根据第三示例性实施例的光学系统在广角端处的像差图。
- [0041] 图 6B 是根据第三示例性实施例的光学系统在望远端处的像差图。
- [0042] 图 7 是根据本发明的第四示例性实施例的光学系统的透镜截面图。
- [0043] 图 8 是根据第四示例性实施例的光学系统的像差图。
- [0044] 图 9 是示出了根据各个波长的以 d 线作为基准的一般的玻璃材料的折射率变化的示图。
- [0045] 图 10 是示出了以 v_d 为横轴且 θ_{gF} 为纵轴而绘制的曲线图中的标准线和玻璃图 (glass map) 的示图。
- [0046] 图 11 是示出了根据本发明示例性实施例的光学设备的主要组件的示意图。

具体实施方式

- [0047] 下面将参考附图来详细描述本发明的各个示例性实施例、特征以及方面。
- [0048] 根据本发明示例性实施例的光学系统是具有至少一个具有负折光力的透镜单元 GLN 的单一焦距透镜、变焦透镜等, 该透镜单元 GLN 被布置为比确定最大轴向光束直径的孔径部分 SP (在光学系统是变焦透镜时在广角端处的变焦位置处) 更接近于物侧。
- [0049] 通过适当地设定包括在透镜单元 GNL 内的所有透镜的数量、负透镜的数量、负透镜的材料 (阿贝数、部分色散比差和折射率差) 等, 较好地校正了倍率色差。
- [0050] 在各个透镜截面图中, 附图标记 “L0” 代表光学系统。附图标记 “SP” 代表孔径光阑。附图标记 “L1”、“L2”、“L3”、“L4” 和 “L5” 分别代表第一透镜单元、第二透镜单元、第三透镜单元、第四透镜单元和第五透镜单元。附图标记 “G” 代表棱镜。
- [0051] 附图标记 “SP” 代表确定最大轴向光束直径的孔径部分 (孔径光阑) 并且对应于确定 F 数的孔径光阑。附图标记 “GNL” 代表被布置为比孔径光阑 SP 更接近于物侧的具有负折光力的透镜单元。
- [0052] 附图标记 “IP” 代表像平面。当使变焦透镜适用于视频照相机或数字照相机时, 像平面对应于接收光的固态图像传感器 (光电转换元件) (诸如 CCD 传感器或 CMOS 传感器) 的成像表面。如果使变焦透镜适用于卤化银胶片照相机, 则像平面对应于胶片表面。另外, 如果使变焦透镜适用于图像投影设备 (诸如投影仪), 像平面对应于图像显示器件 (诸如液晶面板)。
- [0053] 在各个像差图中, 附图标记 “d”、“g”、“C” 和 “F” 分别代表 d 线、g 线、C 线和 F 线。附图标记 “M” 和 “S” 分别代表子午像平面和弧矢像平面。附图标记 “Fno” 代表 F 数, 并且 “ ω ” 代表半视角。
- [0054] 图 2 的第一示例性实施例的像差图和图 8 的第四示例性实施例的像差图以其中球面像差为 0.03mm, 像散为 0.03mm, 畸变为 2% 和倍率色差为 0.004mm 的刻度 (scale) 被绘制。
- [0055] 另外, 图 4A 和图 4B 的第二示例性实施例的像差图以其中球面像差为 0.02mm, 像散为 0.02mm, 畸变为 5% 和倍率色差为 0.004mm 的刻度被绘制。
- [0056] 另外, 图 6A 和图 6B 的第三示例性实施例的像差图以其中球面像差为 0.02mm, 像散为 0.02mm, 畸变为 2% 和倍率色差为 0.002mm 的刻度被绘制。

[0057] 在下文中,在根据各个示例性实施例的光学系统中,在光学系统是变焦透镜时,广角端和望远端表示在移动的透镜单元被机械地放置在沿着光轴的可移动范围的两端处时的变焦位置。

[0058] 在现有技术中,存在用于照相或者图像投影的许多已知类型的光学系统。在大多数光学系统中,至少一个具有负折光力的透镜单元被布置为比确定最大轴向光束直径的孔径部分 SP 更接近物侧。在具有这种透镜配置的光学系统中,为了获得高质量的图像,重要的是允许较好地校正倍率色差。

[0059] 在现有技术中,在倍率色差的校正中,虽然以 d 线作为基准地校正了 C 线和 F 线之间的倍率色差,但是在具有高像高的位置(具有大视角的位置)处 g 线和 F 线之间的倍率色差残留。为此,例如,在考虑超高清质量的图像时,难以维持整个像平面之上的分辨率高达高空间频率。

[0060] 作为 g 线和 F 线之间的倍率色差残留的主要原因,考虑下面的机制。

[0061] 通常,对于用于透镜的光学材料,在以 d 线作为基准观察波长处的折射率变化时,与 d 线相比,更短波长侧的折射率变化大于更长波长处的折射率变化。在图 9 的示例中,示出的玻璃材料 S-NPH1、S-LAH59、S-FSL5 和 S-FPL53 由 OHARA INC. 制造,并且可以从 OHARA INC. 买到。

[0062] 如果材料是具有高色散的材料(具有小的阿贝数 ν 的材料),则折射率变化的比率变得显著增大。根据该光学特性,虽然以 d 线作为基准地简单地校正 C 线和 F 线之间的倍率色差,但是 g 线和 F 线之间的倍率色差残留。特别地,随着像高变为较高的位置, g 线和 F 线之间的倍率色差的差距增大。为此,在现有技术中的反焦类型光学系统中或者变焦透镜的广角端的变焦位置处,从光轴附近位置到最高的像高, g 线的倍率色差被朝向正方向弯曲。

[0063] 为了减小 g 线和 F 线之间的倍率色差的量(短波长处的倍率色差的弯曲量),可以考虑玻璃材料的异常色散特性(异常部分色散比)(材料之间的阿贝数与部分色散比(θ_{gF} 值)之间的关系)。

[0064] 在这里,材料的阿贝数 ν 如下。材料对于 F 线(486.1nm)、d 线(587.6nm)和 C 线(656.3nm)的折射率分别由 NF、Nd 和 NC 表示。在该情况下,阿贝数 ν 由以下公式表示:

$$[0065] \quad \nu = (Nd-1)/(NF-NC)$$

[0066] 另外,异常色散特性指的是材料的部分色散比 θ_{gF} 的值与图 10 中示出的玻璃图上绘制的“标准线”的 θ_{gF} 值之间的差。异常色散特性由 $\Delta \theta_{gF}$ (被称为部分色散比差)表示。如果部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的绝对值大,它代表“材料的异常色散特性大”。“标准线”是由下面的公式 (a) 定义的直线,并且部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 是由下面的公式 (b) 定义的值:

$$[0067] \quad \theta_{gF} = -1.61783 \times 10^{-3} \times \nu + 0.64146 \quad (a)$$

$$[0068] \quad \Delta \theta_{gF} = \theta_{gF} - (-1.61783 \times 10^{-3} \times \nu + 0.64146) \quad (b)$$

[0069] 例如,在其中随着像高增大 g 线的倍率色差朝向正方向弯曲的光学系统中,下面的方法可以被用来减小 g 线和 F 线之间的倍率色差的差距。

[0070] 在光学系统中,在正方向上具有大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的材料可以被用于包括在具有负折光力的透镜单元(其被布置为比确定最大轴向光束直径的孔径部分 SP(在变

焦透镜的情况下在广角端处的变焦位置处)更接近于物侧)内的负透镜。根据该配置,与位于标准线附近的一般的玻璃材料相比,g线可以在像平面的中心(光轴)方向上被极大地曲折,使得可以校正由其它透镜引起的短波长侧的倍率色差。

[0071] 在上文中,已经描述了通过对于负透镜使用在正方向上具有大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的材料来减小 g 线和 F 线之间的倍率色差的差距的机制。

[0072] 然而,即使在部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 为相同值时,也存在在阿贝数方面具有高色散的材料和具有低色散的材料。因此,考虑在使用具有高色散的材料的情况与使用具有低色散的材料的情况之间的差别。

[0073] 例如,考虑其中仅仅将具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 和具有高色散的材料用于负透镜的情况。如果仅仅将具有高色散的材料用于负透镜,则由于高色散特性,通过使用相对弱的光焦度可以减小 g 线和 F 线之间的倍率色差的差距。然而,C 线和 F 线之间的倍率色差的校正被不利地影响,使得不能执行校正。另外,如上所述,由于利用相对弱的光焦度校正 g 线和 F 线之间的倍率色差而完成了校正,因此要求大量的透镜来满足由透镜规格(specification)限定的光焦度。

[0074] 因此,具有高色散和在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的玻璃材料被用于在比孔径部分 SP 更接近于物侧的具有负折光力的透镜单元中的负透镜中的一些。另外,具有低色散和在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的玻璃材料可以被用于一些透镜(或者所有剩余的透镜)。

[0075] 根据该配置,由于由具有高色散的材料制成的负透镜以及由具有低色散的材料制成的负透镜具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$,因此可以减小 g 线和 F 线之间的倍率色差的差距。另外,可以通过使用由具有低色散的材料制成的负透镜来校正 C 线和 F 线之间的倍率色差。

[0076] 然而,在各种类型的光学系统中,为了校正在具有高像高的位置处的倍率色差,具有在正方向上更大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的材料被用于其中轴外主光束通过透镜的边缘部分的负透镜。例如,在邻近孔径部分 SP 的透镜中,轴外主光束也通过透镜的中心部分。为此,虽然布置了通过使用具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的材料构成的负透镜,但是难以允许较好地校正倍率色差。即使可以执行校正,相对于轴向色差的平衡也失去,使得可分辨的空间频率被降低。因此,难以获得在整个像平面之上高分辨率的光学系统。

[0077] 因此,在与孔径部分 SP 分开某一距离的位置处,具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的负透镜被布置在使得轴外主光束通过透镜的边缘部分的位置处。

[0078] 另外,与由具有低色散的材料制成的负透镜相比,由具有高色散的材料制成的负透镜可以有效地校正 g 线和 F 线之间的倍率色差的差距。为此,为了有效地校正 g 线和 F 线之间的倍率色差,特别地由具有高色散的材料制成的负透镜被布置在远离孔径部分 SP 的位置处。

[0079] 虽然为校正倍率色差所需的异常色散特性的大小的精确值根据透镜的类型而不同,但是为了达到目的需要非常大的异常色散特性。为此,虽然包括在被布置为比孔径部分 SP 更接近于物侧的具有负折光力的透镜单元内的负透镜的 20%到 30%用上述的具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的负透镜代替,但是该目的不能被实现。

[0080] 在根据示例性实施例的光学系统中,为了通过使用当前状态中的材料实现该目

的,可以理解,有用的是包括在被布置为比孔径部分 SP 更接近于物侧的具有负折光力的透镜单元内的负透镜的 70%或更多用具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的负透镜代替。根据该配置,整个具有负折光力的透镜单元的异常色散特性增大,使得可以校正由其它透镜单元引起的倍率色差。

[0081] 因此,在根据示例性实施例的光学系统中,通过适当地设定被布置为比孔径部分 SP 更接近物侧的具有负折光力的透镜单元的负透镜的位置和数量及其色散特性,可以允许在相对于其它像差维持平衡的同时较好地校正倍率色差。

[0082] 接下来,将描述根据示例性实施例的光学系统的配置。

[0083] 根据各个示例性实施例的光学系统 L0 包括至少一个具有负折光力的透镜单元 GLN,该透镜单元 GLN 比孔径部分 SP(当光学系统为变焦透镜时在广角端的变焦位置处)更接近于物侧,该孔径部分 SP 确定最大轴向光束直径。

[0084] 透镜单元 GLN 中包括的负透镜的材料的部分色散比差和阿贝数分别由 $\Delta \theta_{LN}$ 和 ν_{LN} 表示。在该情况下,满足以下的条件式的负透镜由负透镜 LN_{low} 表示:

$$[0085] \quad 0.006 < \Delta \theta_{LN}$$

$$[0086] \quad 60 < \nu_{LN}$$

[0087] 负透镜 LN_{low} 的数量由 SUM(LN_{low}) 表示。满足以下的条件式的负透镜由负透镜 LN_{high} 表示。

$$[0088] \quad 0.006 < \Delta \theta_{LN}$$

$$[0089] \quad \nu_{LN} < 25$$

[0090] 负透镜 LN_{high} 的数量由 SUM(LN_{high}) 表示。

[0091] 透镜单元 GLN 中包括的透镜的数量由 SUM(L) 表示。

[0092] 透镜单元 GLN 中包括的负透镜的数量由 SUM(LN) 表示。

[0093] 透镜单元 GLN 中包括的负透镜的材料的部分色散比差的和由 SUM($\Delta \theta_{LN}$) 表示。

[0094] 在透镜单元 GLN 中包括的负透镜之中具有最小阿贝数的负透镜由负透镜 LN_{min} 表示,并且其阿贝数由 ν_{LNmin} 表示。

[0095] 在透镜单元 GLN 中包括的负透镜之中具有最大阿贝数的负透镜由负透镜 LN_{max} 表示,并且其阿贝数由 ν_{LNmax} 表示。

[0096] 在负透镜 LN_{high} 的物侧表面顶点与孔径部分 SP 之间的距离由 d_{NS} 表示。

[0097] 在最物侧的透镜表面顶点与孔径部分 SP 之间的距离由 d_{1S} 表示。

[0098] 在该情况下,满足以下的条件式。

$$[0099] \quad 0.60 < \text{SUM}(\text{LN})/\text{SUM}(\text{L}) < 1.00 \quad (1)$$

$$[0100] \quad 0.70 < (\text{SUM}(\text{LN}_{\text{low}}) + \text{SUM}(\text{LN}_{\text{high}}))/\text{SUM}(\text{LN}) \quad (2)$$

$$[0101] \quad 3.50 < \nu_{\text{LNmax}}/\nu_{\text{LNmin}} < 6.50 \quad (3)$$

$$[0102] \quad 0.30 < d_{\text{NS}}/d_{\text{1S}} \leq 1.00 \quad (4)$$

$$[0103] \quad 0.065 < \text{SUM}(\Delta \theta_{\text{LN}}) < 0.250 \quad (5)$$

[0104] 因此,可以在允许较好地校正 g 线和 F 线之间的倍率色差以及 C 线和 F 线之间的倍率色差的同时在整个像平面之上获得良好的光学性能。

[0105] 接下来,将描述上述条件式中的每一个的技术意义。

[0106] 条件式 (1) 涉及在被布置为比孔径部分 SP 更接近于物侧的具有负折光力的透镜

单元 GLN 中的负透镜的数量与透镜的数量的比例。如上所述,至少一个正透镜被包括在整个具有负折光力的透镜单元内,以便在透镜单元中形成像差抵消关系。然而,随着正透镜的数量的比例增大,维持像差抵消关系的解决方案中的灵活性增大。然而,与灵活性成比例地,需要加强负透镜的焦距。短语“加强负透镜的焦距”意味着与该加强成比例地出现像差的附加量。为了防止这个问题,在正透镜与负透镜之间适当地维持焦距平衡和像差平衡。因此,整个具有负折光力的透镜单元中的负透镜的数量具有一定的比例或更多。

[0107] 如果负透镜的数量的比例比条件式 (1) 的下限值小,则正透镜的数量的比例增大。为此,需要加强负透镜的焦距,使得像差量的绝对值也增大。因此,难以校正透镜单元中的像差。因此,执行透镜单元之间的像差的校正。因此,难以作为整个透镜获得用于实现目的的像差量,这不是期望的。

[0108] 否则,具有弱的焦距的多个正透镜被用来防止负透镜的焦距被加强。在该情况下,整个透镜的长度增大,这不是有用的。

[0109] 另一方面,如果条件式 (1) 的值变为 1,则具有负折光力的透镜单元中的所有透镜变为负透镜。因此,不能产生透镜单元中的像差的校正的关系,这不是有用的。

[0110] 更有用地,条件式 (1) 可以被设定如下:

$$[0111] \quad 0.62 < \text{SUM}(\text{LN})/\text{SUM}(\text{L}) < 1.00 \quad (1a)$$

[0112] 条件式 (2) 涉及在具有负折光力的透镜单元 GLN 中的负透镜之中的具有在正方向上大的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的负透镜的比例。如上所述,虽然为校正倍率色差所需的异常色散特性的大小的精确值根据透镜的类型而不同,但是为了实现目的需要非常大的异常色散特性。

[0113] 因此,如果值比条件式 (2) 的下限值小,则整个具有负折光力的透镜单元的异常色散特性变得不足,使得难以实现目的。

[0114] 更有用地,条件式 (2) 可以被设定如下:

$$[0115] \quad 0.75 < (\text{SUM}(\text{LN}_{\text{low}}) + \text{SUM}(\text{LN}_{\text{high}}))/\text{SUM}(\text{LN}) \quad (2a)$$

[0116] 条件式 (3) 涉及在具有负折光力的透镜单元 GLN 中的负透镜的材料的最大阿贝数和最小阿贝数的阿贝数比例。

[0117] 如果负透镜的材料的阿贝数比例大于条件式 (3) 的上限值,则为通过使用低色散侧处的负透镜有效地执行 g 线和 F 线之间的倍率色差所需的焦距变得过度地加强。另外,在高色散侧处的焦距也被减弱。因此,难以兼容地校正色差和除色差以外的球面像差等。

[0118] 另一方面,如果值比条件式 (3) 的下限值小,则在负透镜的低色散侧和高色散侧中的任何一个处的负透镜的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 降低。在该情况下,为了有效地校正 g 线和 F 线之间的倍率色差,需要加强具有较小的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的负透镜的焦距,使得难以校正除色差以外的球面像差等。

[0119] 更有用地,条件式 (3) 可以被设定如下:

$$[0120] \quad 3.75 < v_{\text{LNmax}}/v_{\text{LNmin}} < 6.50 \quad (3a)$$

[0121] 另外,更有用地,条件式 (3a) 可以被设定如下。

$$[0122] \quad 4.00 < v_{\text{LNmax}}/v_{\text{LNmin}} < 6.50 \quad (3b)$$

[0123] 条件式 (4) 涉及在具有负折光力的透镜单元 GLN 中具有最小阿贝数的负透镜的布置位置。

[0124] 如上所述,为了有效地校正 g 线和 F 线之间的倍率色差,在具有负折光力的透镜单元中的具有高色散和作为正值的大的一部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的负透镜可以被布置在使得轴外主光束通过透镜的边缘位置的位置处。

[0125] 因此,如果值比条件式 (4) 的下限值小,则由具有高色散的材料制成的负透镜被布置为邻近孔径部分 SP,并且轴外主光束几乎不通过透镜的边缘位置。如果透镜被布置在该位置处,为了校正 g 线和 F 线之间的倍率色差,通过由具有高色散的材料制成的负透镜提供强大的焦度,使得难以校正球面像差。

[0126] 由于条件式 (4) 的上限值表示由具有高色散的材料制成的负透镜被布置在最接近物侧处,因此不存在超过上限值的情况。

[0127] 另外,在作为根据本发明的光学系统的变焦透镜的示例中,用于“表 1”中的计算的 dNS 值代表广角端处的数值,以便有效地校正广角端处的倍率色差。

[0128] 更有用地,条件式 (4) 可以被设定如下:

$$[0129] \quad 0.35 < dNS/dIS \leq 1.00 \quad (4a)$$

[0130] 条件式 (5) 涉及在具有负折光力的透镜单元 GLN 中的负透镜的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的值。

[0131] 如果负透镜的部分色散比差 $\Delta \theta_{gF}$ 的总和大于条件式 (5) 的上限值,则可以通过使用较弱的焦度来校正 g 线和 F 线之间的倍率色差,但是具有负折光力的透镜单元的总焦度也被减弱。因此,需要较大量的透镜来获得良好的光学性能,使得光学系统本身的尺寸增大,这不是有用的。

[0132] 另一方面,如果值比条件式 (5) 的下限值小,则需要负透镜的强大的焦度来有效地校正 g 线和 F 线之间的倍率色差。在该情况下,难以校正彗形像差或者像场弯曲。

[0133] 更有用地,条件式 (5) 可以被设定如下:

$$[0134] \quad 0.075 < \text{SUM}(\Delta \theta_{LN}) < 0.250 \quad (5a)$$

[0135] 更有用地,条件式 (5a) 可以被设定如下:

$$[0136] \quad 0.080 < \text{SUM}(\Delta \theta_{LN}) < 0.200 \quad (5b)$$

[0137] 另外,更有用地,条件式 (5b) 可以被设定如下:

$$[0138] \quad 0.090 < \text{SUM}(\Delta \theta_{LN}) < 0.200 \quad (5c)$$

[0139] 根据该配置,实现了根据示例性实施例的光学系统,并且更有用地,可以满足下面描述的条件式中的至少一个。因此,可以获得更高的光学性能。

[0140] 有用的是,在具有负折光力的透镜单元中包括至少一个正透镜 LP 以及负透镜。由于包括正透镜,因此可以通过使用正透镜和负透镜的组合来校正具有负折光力的透镜单元中的像差。在这里提及的像差的校正包括诸如球面像差或彗形像差之类的其它基本像差的校正以及上述的倍率色差的校正。在具有负折光力的透镜单元中的透镜配置中,在焦度关系方面占主导地位地配置负透镜。然而,如果通过仅仅使用负透镜来形成具有负折光力的透镜单元中的透镜配置,则由其它透镜单元完全地执行抵消由负透镜引起的像差的功能。虽然可以通过透镜单元之间的抵消功能最终减小像平面上的像差,但是有用的是,为了获得具有更高质量的图像,如果可能的话执行透镜单元内的像差的校正。

[0141] 因此,为了校正透镜单元中的像差,有用的是,在具有负折光力的透镜单元中包括至少一个正透镜 LP 以及负透镜。

[0142] 正透镜 LP 的材料的阿贝数由 v_{LP} 表示。

[0143] 负透镜 LNmin 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmin}$ 表示, 并且负透镜 LNmin 的焦度由 ϕ_{LNmin} 表示。

[0144] 负透镜 LNmax 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmax}$ 表示, 并且负透镜 LNmax 的焦度由 ϕ_{LNmax} 表示。

[0145] 正透镜 LP 的材料的部分色散比差的和由 $SUM(\Delta \theta_{LP})$ 表示 (然而, 在存在一个正透镜 LP 时, 其为正透镜 LP 的材料的部分色散比差)。

[0146] 负透镜 LNmin 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmin}$ 表示。负透镜 LNmax 的材料的部分色散比差由 $\Delta \theta_{LNmax}$ 表示。当存在多个负透镜 LNmin 时, 其焦度的和由 $SUM(\phi_{LNmin})$ 表示, 而当存在一个负透镜 LNmin 时, 其焦度由 $SUM(\phi_{LNmin})$ 表示。当存在多个负透镜 LNmax 时, 其焦度的和由 $SUM(\phi_{LNmax})$ 表示, 而当存在一个负透镜 LNmax 时, 其焦度由 $SUM(\phi_{LNmax})$ 表示。在该情况下, 有用的是, 满足以下条件式中的至少一个:

$$[0147] \quad v_{LNmin} < v_{LP} < v_{LNmax} \quad (6)$$

$$[0148] \quad -5.0 \times 10^{-3} < \Delta \theta_{LNmin} \times (\phi_{LNmin} / (v_{LNmin} \times \phi)) < -5.0 \times 10^{-5}$$

$$[0149] \quad (7)$$

$$[0150] \quad -5.0 \times 10^{-4} < \Delta \theta_{LNmax} \times (\phi_{LNmax} / (v_{LNmax} \times \phi)) < -5.0 \times 10^{-5}$$

$$[0151] \quad (8)$$

$$[0152] \quad -0.050 < SUM(\Delta \theta_{LP}) < 0.040 \quad (9)$$

[0153]

$$-1.00 \times 10^{-2} < \left\{ \frac{\Delta \theta_{LNmax}}{v_{LNmax}} \times SUM(\phi_{LNmax}) + \frac{\Delta \theta_{LNmin}}{v_{LNmin}} \times SUM(\phi_{LNmin}) \right\} \times \frac{v_{LNmax}}{v_{LNmin}} \times \frac{1}{\phi} < -3.00 \times 10^{-4}$$

$$[0154] \quad (10)$$

[0155] 条件式 (6) 涉及在具有负折光力的透镜单元 GLN 中包括的正透镜 LP 的材料的阿贝数。

[0156] 正透镜 LP 具有根据由具有低色散的材料制成的负透镜与由具有高色散的材料制成的负透镜之间的关系校正透镜单元中的 C 线和 F 线之间的倍率色差的功能。

[0157] 如果正透镜 LP 的材料的阿贝数超过条件式 (6) 的上限值或下限值, 则具有负折光力的透镜单元中的正透镜的材料具有过高的色散或过低的色散。因此, 对于当前状态中可获得的玻璃材料, 难以在校正具有负折光力的透镜单元中的 C 线和 F 线之间的倍率色差的同时结合校正 g 线和 F 线之间的倍率色差的正透镜和负透镜, 这不是有用的。

[0158] 条件式 (7) 涉及用于负透镜 LNmin 的材料的色差的校正能力。如果值大于条件式 (7) 的上限值, 则高色散侧的负透镜 LNmin 的色差的校正能力减弱, 主要残留 g 线和 F 线之间的倍率色差。

[0159] 另一方面, 如果值小于条件式 (7) 的下限值, 则高色散侧的负透镜 LNmin 的色差的校正能力太过加强。因此, g 线和 F 线之间的倍率色差被过校正, 并且 C 线和 F 线之间的倍率色差被不足地校正, 这不是有用的。

[0160] 更有用地, 条件式 (7) 可以被设定如下:

$$[0161] \quad -2.5 \times 10^{-3} < \Delta \theta_{LNmin} \times (\phi_{LNmin} / (v_{LNmin} \times \phi)) < -5.5 \times 10^{-5}$$

[0162] (7a)

[0163] 条件式 (8) 涉及用于负透镜 LNmax 的色差的校正能力。如果值大于条件式 (8) 的上限值, 则低色散侧的负透镜 LNmax 的色差的校正能力减弱, 使得主要残留 C 线和 F 线之间的倍率色差。

[0164] 另一方面, 如果值小于条件式 (8) 的下限值, 则低色散侧的负透镜 LNmax 的色差的校正能力太过加强, 使得 C 线和 F 线之间的倍率色差被过校正, 这不是有用的。

[0165] 更有用地, 条件式 (8) 可以被设定如下:

$$[0166] \quad -3.0 \times 10^{-4} < \Delta \theta_{LNmax} \times (\phi_{LNmax} / (v_{LNmax} \times \phi)) < -6.5 \times 10^{-5}$$

[0167] (8a)

[0168] 条件式 (9) 涉及在具有负折光力的透镜单元 GLN 中的正透镜 LP 的材料的部分色散比差的和。在一个正透镜 LP 的情况下, 条件式 (9) 是一个正透镜 LP 的材料的部分色散比差。

[0169] 如果值大于条件式 (9) 的上限值, 则正透镜 LP 的部分色散比 θ_{gF} 的值增大。因此, 由负透镜 LNlow 或负透镜 LNhigh 校正的 g 线和 F 线之间的倍率色差被校正到相反一侧。结果, 倍率色差被不足地校正, 这不是有用的。

[0170] 另一方面, 如果值小于条件式 (9) 的下限值, 则 g 线和 F 线之间的倍率色差被过校正, 这不是有用的。

[0171] 更有用地, 条件式 (9) 可以被设定如下:

$$[0172] \quad -0.040 < \text{SUM}(\Delta \theta_{LP}) < 0.030 \quad (9a)$$

[0173] 条件式 (10) 涉及在用于具有负折光力的透镜单元 GLN 中的负透镜的色差的校正能力与基于其阿贝数比例的倍率色差的校正之间的平衡。

[0174] 如果值大于条件式 (10) 的上限值, 则负透镜的焦距太过加强, 或者负透镜的材料的部分色散比 θ_{gF} 的值太过增大。因此, 难以在其之间具有较好平衡的情况下执行色差的校正与像场弯曲或彗形像差的校正。

[0175] 另一方面, 如果值小于条件式 (10) 的下限值, 则用于负透镜的色差的校正能力被减弱, 并且主要残留 g 线和 F 线之间的倍率色差, 这不是有用的。

[0176] 更有用地, 条件式 (10) 可以被设定如下:

[0177]

$$-6.00 \times 10^{-3} < \left\{ \frac{\Delta \theta_{LNmax}}{v_{LNmax}} \times \text{SUM}(\phi_{LNmax}) + \frac{\Delta \theta_{LNmin}}{v_{LNmin}} \times \text{SUM}(\phi_{LNmin}) \right\} \times \frac{v_{LNmax}}{v_{LNmin}} \times \frac{1}{\phi} < -5.00 \times 10^{-4}$$

[0178] (10a)

[0179] 另外, 有用的是, 正透镜 LP 与负透镜 LNlow 或负透镜 LNhigh 一起被包括在同一个透镜单元中。如上所述, 正透镜 LP 通过维持负透镜 LNlow 的材料与负透镜 LNhigh 的材料之间的阿贝数的平衡来校正色差。因此, 如果正透镜 LP 在光学方向上在位置关系中与负透镜 LNlow 或负透镜 LNhigh 分开太多, 则难以维持色差与基本像差之间的平衡, 这不是有用的。

[0180] 根据上面描述的示例性实施例, 在整个像平面之上校正了倍率色差, 使得可以获得具有高光学性能的光学系统。

[0181] 接下来,将描述根据示例性实施例的光学系统的配置。根据图 1 的第一示例性实施例的光学系统 L0 是包括具有负折光力的第一透镜单元 L1 和用于聚焦的具有正折光力的第二透镜单元 L2 的单焦点透镜。通过将第二透镜单元 L2 朝向物侧移动来执行从无穷远物体朝向有限距离物体的聚焦。第一透镜单元 L1 与透镜单元 GLN 对应。

[0182] 孔径光阑 SP 被安装在第二透镜单元 L2 中。在聚焦期间,孔径光阑 SP 与第二透镜单元 L2 一起移动。确定最大轴向光束直径的孔径部分与孔径光阑 SP 一致。从第一透镜单元 L1 的最物侧的负透镜开始数起的第三负透镜的像侧表面以及第二透镜单元 L2 的最接近像侧的透镜的物侧表面是非球面的。

[0183] 根据图 3 的第二示例性实施例的光学系统 L0 包括:具有正折光力的第一透镜单元 L1、具有负折光力的第二透镜单元 L2 和具有负折光力的第三透镜单元 L3。光学系统 L0 还包括在第三透镜单元 L3 的像侧的具有正折光力的第四透镜单元 L4,因此用作四单元变焦透镜。如箭头所指示的,在从广角端到望远端的变焦期间,第二到第四透镜单元 L2 到 L4 被独立地移动。

[0184] 更具体地说,第二透镜单元 L2 沿着光轴朝向像侧移动,并且第三透镜单元 L3 沿着其中透镜单元向物侧移动一次之后透镜单元回到像侧的轨迹移动。另外,第四透镜单元 L4 被独立地移动以使得从第三透镜单元 L3 到第四透镜单元 L4 的距离改变。第二透镜单元 L2 和第三透镜单元 L3 与透镜单元 GLN 对应。孔径光阑 SP 被安装在第三透镜单元 L3 与第四透镜单元 L4 之间。在聚焦期间,孔径 SP 与第四透镜单元 L4 一起移动。孔径部分与孔径光阑 SP 一致。

[0185] 第二透镜单元 L2 的最物侧的负透镜的物侧表面、第二负透镜的物侧表面、第二正透镜的物侧表面以及第四透镜单元 L4 的最物侧的透镜的物侧表面是非球面的。另外,通过将第一透镜单元 L1 的一些透镜单元(从最接近物侧开始的第五到第七透镜)朝向像侧移动来执行从无穷远物体到有限距离物体的聚焦。

[0186] 根据图 5 的第三示例性实施例的光学系统 L0 包括:具有负折光力的第一透镜单元 L1、具有正折光力的第二透镜单元 L2 和具有正折光力的第三透镜单元 L3。光学系统 L0 在第三透镜单元 L3 的像侧还包括具有正折光力的第四透镜单元 L4 和具有正折光力的第五透镜单元 L5,用作五单元变焦透镜。如箭头所指示的,在从广角端到望远端的变焦期间,第二到第四透镜单元 L2 到 L4 被独立地移动。更具体地说,第二到第四透镜单元 L2 到 L4 全部沿着光轴朝向物侧移动,使得透镜单元之间的距离改变。第一透镜单元 L1 与负透镜 GLN 对应。

[0187] 孔径光阑 SP 被布置在第三透镜单元 L3 与第四透镜单元 L4 之间。在变焦期间,孔径光阑 SP 与第四透镜单元 L4 一起一体地移动。孔径部分与孔径光阑 SP 一致。

[0188] 从第一透镜单元 L1 的最物侧的负透镜开始数起的第二负透镜的物侧表面以及第三透镜单元 L3 的最像侧的透镜的像侧表面是非球面的。另外,通过将第一透镜单元中的透镜(从最接近物侧开始的第四透镜和第五透镜)朝向像侧移动来执行从无穷远物体到有限距离物体的聚焦。

[0189] 根据图 7 的第四示例性实施例的光学系统 L0 是包括具有负折光力的第一透镜单元 L1、用于聚焦的具有正折光力的第二透镜单元 L2 和具有正折光力的第三透镜单元 L3 的单焦点透镜。通过将第二透镜单元 L2 向像侧移动来执行从无穷远物体到有限距离物体的

聚焦。第一透镜单元 L1 与负透镜 GLN 对应。

[0190] 在第四示例性实施例中,确定最大轴向光束直径的孔径部分是第三透镜单元 L3 的最物侧的透镜的物侧表面的有效部分。孔径部分指该表面。

[0191] 从第一透镜单元 L1 的最物侧的负透镜开始数起的第三负透镜的像侧表面以及第三透镜单元 L3 的最像侧的透镜的物侧表面是非球面的。

[0192] 在下文中,将描述与第一到第四示例性实施例对应的数值示例 1 到 4。在每个数值示例中,由 i 表示从物侧开始的表面的序号。从物侧开始的第 i 个表面的曲率半径由 r_i 表示。在从物侧开始的第 i 个表面与第 $(i+1)$ 个表面之间的距离由 d_i 表示。第 i 个光学部件的折射率和阿贝数分别由 nd_i 和 $v d_i$ 表示。部分色散比由 θgF 表示,并且部分色散比差由 $\Delta \theta gF$ 表示。当对无穷远物体执行聚焦时,整个光学系统的焦距、F 数和视角(度)分别由 f 、 Fno 和 2ω 表示。

[0193] 当光轴的方向被设定为 X 轴,与光轴垂直的方向被设定为 H 轴,光的传播方向被设定为正的,旁轴的曲率半径由 R 表示,圆锥常数由 k 表示,并且非球面系数分别由 $A4$ 、 $A6$ 、 $A8$ 和 $A10$ 表示时,可以由下面的公式来表示非球面形状:

$$[0194] \quad X = \frac{\left(\frac{H^2}{R}\right)}{\left\{1 + \sqrt{1 - (1 + K) \cdot \left(\frac{H}{R}\right)^2}\right\}} + A4 \cdot H^4 + A6 \cdot H^6 + A8 \cdot H^8 + A10 \cdot H^{10}$$

[0195] 另外,例如,表述“ $e-Z$ ”表示“ $\times 10^{-Z}$ ”。

[0196] 在上述条件式与数值示例中的数值之间的关系被列出在表 1 中。

[0197] (数值示例 1)

[0198] $f = 1.00\text{mm}$ $Fno = 2.90$ $2\omega = 113.44$

[0199]

表面序号	r	d	nd	v d	有效直径	θgF	$\Delta \theta gF$
1	2.480	0.14	1.59282	68.6	4.66	0.54461	0.01428
							LNlow
2	1.865	0.58			3.72		
3	2.041	0.14	1.497	81.5	3.70	0.53859	0.02916
							LNlow
4	1.436	0.92			2.87		
5	2.369	0.14	1.43875	94.9	2.84	0.53463	0.04681
							LNlow
6(非球面)	0.752	0.77			2.25		

7	4.710	0.35	1.92286	18.9	2.19	0.64947	0.03858
							LNhigh
8	1.540	0.45			1.83		
9	3.352	0.35	1.91082	35.3	1.82	0.58243	-0.00201
							LP
10	-7.811	0.28			1.76		
11	-84.07	0.14	1.80100	35.0	1.49		
12	1.446	0.33	1.72047	34.7	1.35		
13	-2.619	0.07			1.32		
14	-2.765	0.35	1.61800	63.3	1.20		
15	0.749	0.40	1.65412	39.7	1.01		
16	-2.906	0.51			1.01		
17(光阑)	∞	0.04			0.94		
18	6.257	0.17	1.83400	37.2	0.93		
19	1.500	0.03			0.90		
20	1.250	0.40	1.49700	81.5	0.92		
21	-0.682	0.14	1.83400	37.2	0.90		
22	-52.074	0.01			0.98		
23	5.967	0.36	1.49700	81.5	1.00		
24	-0.921	0.01			1.04		
25(非球面)	-2.299	0.19	1.71736	29.5	1.00		
26	-1.883	2.82			1.11		
像平面	∞						

[0200] 非球面数据

[0201] 第6表面

[0202] $K = -6.69359e-001$ $A4 = -2.60000e-002$ $A6 = -3.48578e-002$

[0203] $A8 = 6.37046e-003$ $A10 = -5.45424e-002$

[0204] 第 25 表面

[0205] $K = 5.48470e+000$ $A4 = -1.89495e-002$ $A6 = 4.81412e-003$ [0206] $A8 = -9.22734e-003$ $A10 = -1.01663e-001$

[0207] 各种数据

[0208] 变焦比 1.00

[0209]

焦距	1.00
F 数	2.90
视角	56.72
像高	1.52
总透镜长度	10.11
BF	2.82
入射光瞳的位置	2.46
出射光瞳的位置	-1.51
前主点位置	3.23
后主点位置	1.82

[0210] 透镜单元的数据

单元	起始表面	焦距	透镜结构长度	前主点位置	后主点位置
1	1	-2.39	3.85	0.83	-3.42
2	11	2.41	3.16	2.06	-0.60

[0212] 单透镜的数据

[0213]

透镜	起始表面	焦距
1	1	-13.85
2	3	-10.57
3	5	-2.58

4	7	-2.62
5	9	2.61
6	11	-1.77
7	12	1.34
8	14	-0.92
9	15	0.95
10	18	-2.40
11	20	0.95
12	21	-0.83
13	23	1.63
14	25	12.18

[0214] (数值示例 2)

[0215] $f = 1.00 \sim 11.48\text{mm}$ $F_{no} = 1.84 \sim 2.05$ $2\omega = 75.9 \sim 7.76$

[0216]

表面序号	r	d	nd	vd	有效直径	θ_{gF}	$\Delta\theta_{gF}$
1	11.177	0.37	1.73400	51.5	13.32	0.54839	-0.00980
2	7.192	3.11			11.59		
3	204.281	0.32	1.69680	55.5	11.34	0.54343	-0.00821
4	18.784	1.98			10.76		
5	-15.507	0.31	1.65160	58.5	10.62	0.54178	-0.00497
6	25.511	0.02			10.59		
7	17.953	1.24	1.80518	25.4	10.66	0.61655	0.01623
8	-113.389	0.94			10.62		
9	-20.727	0.54	1.49700	81.5	10.50	0.53859	0.02916
10	-15.889	0.19			10.48		
11	-76.473	2.06	1.49700	81.5	10.10	0.53859	0.02916
12	-8.971	0.35	1.73800	32.3	9.92	0.59029	0.00104
13	-13.382	1.61			10.04		
14	61.275	0.37	1.72342	38.0	9.97	0.58342	0.00336
15	10.539	1.94	1.49700	81.5	9.86	0.53859	0.02916
16	-54.892	0.02			9.89		
17	16.340	1.91	1.43387	95.1	10.17	0.53728	0.04975
18	-18.618	0.02			10.17		
19	14.086	0.75	1.59282	68.6	9.75	0.54461	0.01428
20	37.477	(可变)			9.66		
21 (非球面)	-22.295	0.29	1.43875	94.9	4.56	0.53463	0.04681
							LNlow
22	3.022	1.07			3.69		
23 (非球面)	3995.497	0.19	1.43875	94.9	3.48	0.53463	0.04681
							LNlow
24	3.931	0.43			3.31		
25	13.951	0.86	1.6398	34.5	3.32	0.59213	0.00644
							LP
26	-3.451	0.19	1.59282	68.6	3.30	0.54461	0.01428
							LNlow

[0217]

27	-28.532	0.08			3.25		
28 (非球面)	-9.967	0.37	1.48749	70.2	3.24	0.53026	0.00244
							LP
29	-8.111	0.24	1.80809	22.8	3.19	0.63070	0.02607
							LNhigh
30	18.461	(可变)			3.18		
31	-8.436	0.17	1.77250	49.6	3.49	0.55234	-0.00885
32	40.422	0.28	1.84666	23.9	3.60	0.62172	0.01890
							LP
33	34.593	(可变)			3.65		
34 (光阑)	∞	0.15			3.79		
35 (非球面)	7.235	0.70	1.67003	47.2	3.96		
36	-8.150	0.19	1.497	81.5	3.97		
37	4.469	0.10			3.94		
38	4.565	0.85	1.48749	70.2	3.99		
39	-11.928	0.18	1.90200	25.1	3.99		
40	-25.432	4.27			4.00		
41	84.223	0.55	1.80809	22.8	3.98		
42	-6.705	0.02			4.00		
43	-8.889	0.19	1.90200	25.1	3.96		
44	4.814	0.87	1.49700	81.5	3.98		
45	-16.281	0.02			4.07		
46	19.030	0.29	1.80809	22.8	4.15		
47	-65.680	0.17			4.16		
48	6.568	1.07	1.49700	81.5	4.20		
49	-5.253	0.18	1.90200	25.1	4.15		
50	17.112	0.02			4.19		
51	10.778	0.65	1.80809	22.8	4.22		
52	-9.011	(可变)			4.22		
53	∞	4.87	1.69680	55.5	3.64		
54	∞	1.85	1.51633	64.1	2.46		
55	∞	0.96			1.96		
像平面	∞						

[0218] 非球面数据

[0219] 第 21 表面

- [0220] $K = -1.07833e+002$ $A4 = 3.89165e-003$ $A6 = -7.96461e-005$
 [0221] $A8 = -1.70228e-005$ $A10 = 3.25679e-006$ $A12 = -1.30597e-007$
 [0222] 第 23 表面
 [0223] $K = -1.16441e+012$ $A4 = -1.34932e-002$ $A6 = -1.17875e-003$
 [0224] $A8 = 1.20580e-004$ $A10 = 3.80923e-006$
 [0225] 第 28 表面
 [0226] $K = -1.37233e+001$ $A4 = 7.05637e-003$ $A6 = 6.58471e-004$
 [0227] $A8 = -2.84426e-005$ $A10 = -1.08753e-005$ $A12 = 1.02944e-006$
 [0228] 第 35 表面
 [0229] $K = -9.25857e+000$ $A4 = 2.01826e-003$ $A6 = -1.81310e-004$
 [0230] $A8 = 5.41586e-006$ $A10 = 1.07780e-006$ $A12 = -1.27891e-007$
 [0231] 各种数据
 [0232] 变焦比 11.48
 [0233]

焦距	1.00	3.16	5.75	8.71	11.48
F 数	1.84	1.84	1.84	1.84	2.05
视角	37.95	13.86	7.73	5.12	3.88
像高	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
总透镜长度	55.02	55.02	55.02	55.02	55.02
BF	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
d20	0.38	8.21	10.66	11.92	12.57
d30	12.80	3.07	0.55	0.19	0.68
d33	0.31	2.15	2.20	1.32	0.20
d52	1.13	1.19	1.20	1.19	1.18
入射光瞳的位置	10.10	18.52	25.60	32.00	36.70
出射光瞳的位置	89.75	89.69	89.68	89.69	89.70
前主点位置	11.11	21.80	31.71	41.56	49.67
后主点位置	-0.04	-2.20	-4.79	-7.75	-10.53

[0234] 变焦透镜单元的数据

单元	起始表面	焦距	透镜结构长度	前主点位置	后主点位置
1	1	10.63	18.04	12.74	7.56
2	21	-3.96	3.74	0.49	-2.41
3	31	-15.46	0.45	-0.10	-0.34
4	34	7.32	10.48	7.89	-6.51
G	53	∞	6.73	2.05	-2.05

[0236] 单透镜的数据

[0237]

透镜	起始表面	焦距
1	1	-28.61
2	3	-29.71
3	5	-14.76
4	7	19.33
5	9	132.06
6	11	20.25
7	12	-38.17
8	14	-17.65
9	15	17.97
10	17	20.39
11	19	37.62
12	21	-6.05
13	23	-8.97
14	25	4.41
15	26	-6.64

16	28	83.83
17	29	-18.09
18	31	-9.02
19	32	22.05
20	35	5.83
21	36	-5.78
22	38	6.89
23	39	-25.06
24	41	7.71
25	43	-3.44
26	44	7.58
27	46	18.29
28	48	6.06
29	49	-4.44
30	51	6.16
G	53	0.00
G	54	0.00

[0238] (数值示例 3)

[0239] $f = 1.00 \sim 1.35\text{mm}$ $F_{no} = 3.06 \sim 3.10$ $2\omega = 71.96 \sim 56.68^\circ$

[0240]

表面序号	r	d	nd	v d	有效直径	θ gF	$\Delta \theta$ gF
1	1.929	0.07	1.49700	81.5	2.21	0.53859	0.02916
							LNlow
2	1.198	0.25			1.92		
3(非球面)	2.131	0.10	1.49700	81.5	1.88	0.53859	0.02916

							LNlow
4	1.081	0.51			1.64		
5	-4.132	0.07	1.92286	18.9	1.60	0.64947	0.03858
							LNhigh
6	2.947	0.63			1.57		
7	3.707	0.33	1.80100	35.0	1.82	0.58621	0.00131
							LP
8	-3.757	0.01			1.81		
9	10.689	0.07	1.56907	71.3	1.74	0.54511	0.01902
							LNlow
10	2.058	(可变)			1.68		
11	3.079	0.15	1.84666	23.9	1.68		
12	6.118	(可变)			1.66		
13	4.171	0.15	1.84666	23.9	1.64		
14	42.539	0.75			1.62		
15	-1.755	0.07	1.73800	32.3	1.29		
16	2.184	0.25	1.48749	70.2	1.30		
17	-3.408	0.01			1.32		
18	8.468	0.21	1.67790	54.9	1.32		
19(非球面)	-1.910	(可变)			1.32		
20(光阑)	∞	0.49			0.92		
21	1.849	0.24	1.75520	27.5	0.88		
22	-1.129	0.10	1.83400	37.2	0.89		
23	1.226	0.80			0.90		

24	-5.445	0.38	1.49700	81.5	1.50		
25	-1.046	0.01			1.56		
26	-1.222	0.07	1.80440	39.6	1.56		
27	-1.891	0.07			1.67		

[0241]

28	2.319	0.38	1.49700	81.5	1.90		
29	-6.164	(可变)			1.90		
30	6.269	0.07	1.85026	32.3	1.86		
31	1.435	0.48	1.56907	71.3	1.79		
32	-6.007	0.18			1.79		
33	∞	1.80	1.51633	64.1	1.75		
34	∞	0.00			1.58		
35	∞	1.29	1.69680	55.5	1.58		
36	∞	0.10			1.47		
像平面	∞						

[0242] 非球面数据

[0243] 第 3 表面

[0244] $K = 4.74760e-001$ $A4 = 4.57093e-002$ $A6 = 2.12410e-002$ [0245] $A8 = -1.28841e-002$ $A10 = 1.47164e-002$

[0246] 第 19 表面

[0247] $K = -1.21961e-002$ $A4 = -2.34158e-003$ $A6 = 5.87571e-003$ [0248] $A8 = -1.98211e-002$ $A10 = 1.82450e-002$

[0249] 各种数据

[0250] 变焦比 1.35

[0251]

	广角	中间角度	望远
焦距	1.00	1.18	1.35

F 数	3.06	3.08	3.10
视角	35.98	31.62	28.34
像高	0.73	0.73	0.73
总透镜长度	11.55	11.55	11.55
BF	0.10	0.10	0.10
d10	0.28	0.12	0.12
d12	1.11	0.60	0.04
d19	0.04	0.61	1.11
d29	0.04	0.13	0.19
入射光瞳的位置	1.58	1.61	1.65
出射光瞳的位置	-16.56	-16.78	-16.94
前主点位置	2.52	2.70	2.89
后主点位置	-0.90	-1.07	-1.24

[0252] 变焦透镜单元的数据

单元	起始表面	焦距	透镜结构 长度	前主点位置	后主点位置
1	1	-1.53	2.03	0.35	-1.55
2	11	7.16	0.15	-0.08	-0.16
3	13	3.96	1.44	1.02	-0.37
4	20	3.37	2.55	2.50	0.79
5	30	27.25	3.82	0.69	-1.77

[0254] 单透镜的数据

[0255]

透镜	起始表面	焦距
1	1	-6.57
2	3	-4.56

3	5	-1.85
4	7	2.38
5	9	-4.49
6	11	7.16
7	13	5.45
8	15	-1.31
9	16	2.77
10	18	2.32
11	21	0.96
12	22	-0.69
13	24	2.53
14	26	-4.51
15	28	3.44
16	30	-2.20
17	31	2.08
G	33	0.00
G	35	0.00

[0256] (数值示例 4)

[0257] $f = 1.00\text{mm}$ $F_{no} = 2.90$ $2\omega = 113.44$

[0258]

表面序号	r	d	nd	v d	有效直径	θ gF	$\Delta \theta$ gF
1	2.589	0.14	1.59282	68.6	4.67	0.54461	0.01428
							LNlow
2	1.836	0.63			3.65		
3	2.053	0.14	1.49700	81.5	3.56	0.53859	0.02916

							LNlow
4	1.444	0.85			2.84		
5	2.497	0.14	1.43875	94.9	2.76	0.53463	0.04681
							LNlow
6(非球面)	0.705	0.92			2.13		
7	-13.566	0.35	1.92286	18.9	2.05	0.64947	0.03858
							LNhigh

[0259]

8	3.318	0.28			1.86		
9	4.072	0.35	1.91082	35.3	1.81	0.58243	-0.00201
							LP
10	-19.119	0.07			1.74		
11	2.580	0.14	1.80100	35.0	1.59		
12	0.919	0.44	1.72047	34.7	1.37		
13	-3.910	0.05			1.33		
14	-2.255	0.35	1.61800	63.3	1.31		
15	0.748	0.36	1.65412	39.7	0.98		
16	-3.186	0.55			0.98		
17(SP)	3.859	0.17	1.83400	37.2	0.90		
18	1.185	0.01			0.86		
19	1.206	0.34	1.49700	81.5	0.87		
20	-0.617	0.14	1.83400	37.2	0.87		
21	-66.074	0.01			0.96		
22	5.536	0.36	1.49700	81.5	1		

23	-0.885	0.01			1.13		
24(非球面)	-2.103	0.19	1.71736	29.5	1.21		
25	-1.534	2.84			1.31		
像平面	∞						

[0260] 非球面数据

[0261] 第 6 表面

[0262] $K = -6.91642e-001$ $A4 = -4.64563e-002$ $A6 = -6.07658e-002$

[0263] $A8 = 7.97044e-003$ $A10 = -6.22218e-002$

[0264] 第 24 表面

[0265] $K = 3.01727e+000$ $A4 = -2.55570e-002$ $A6 = 7.40902e-003$

[0266] $A8 = -1.58247e-003$ $A10 = -7.77952e-002$

[0267]

焦距	1.00
F 数	2.90
视角	56.72
像高	1.52
总透镜长度	9.85
BF	2.84
入射光瞳的位置	2.35
出射光瞳的位置	-1.38
前主点位置	3.11
后主点位置	1.84

[0268] 透镜单元的数据

	单元	起始表面	焦距	透镜结构长度	前主点位置	后主点位置
[0269]	1	1	-1.36	3.81	1.32	-2.09
	2	11	2.79	1.34	0.42	-0.49
	3	17	3.17	1.24	1.23	0.64

[0270] 单透镜的数据

[0271]

透镜	起始表面	焦距
1	1	-11.45
2	3	-10.61
3	5	-2.29
4	7	-2.86
5	9	3.71
6	11	-1.85
7	12	1.07
8	14	-0.87
9	15	0.96
10	17	-2.11
11	19	0.88
12	20	-0.75
13	22	1.56
14	24	6.93

[0272] 表 1

[0273]

		示例 1	示例 2	示例 3	示例 4
条件式(1)		0.80	0.63	0.8	0.8
条件式(2)		1.00	0.80	1.00	1.00
条件式(3)		5.02	4.16	4.31	5.02
条件式(4)		0.55	0.39	0.82	0.51
条件式(5)		0.1288	0.1251	0.1159	0.1288
条件式 (6)	vLNmin	18.9	22.8	18.9	18.9
	vLP	35.3	34.5	35.0	35.3
		--	70.2	--	--
	--	23.9	--	--	
	vLNmax	94.9	94.9	81.5	94.9
条件式(7)		-7.79E-04	-6.32E-05	-1.10E-03	-7.14E-04
条件式(8)		-1.91E-04	-8.16E-05	-5.45E-05	-2.15E-04
		--	-5.50E-05	-7.85E-05	--
条件式(9)		-0.0020	0.0278	0.0013	-0.0020
条件式(10)		-4.87E-03	-8.32E-04	-5.32E-03	-4.66E-03

[0274] 接下来,将参考图 11 描述其中根据第一到第四示例性实施例的光学系统中的每一个被应用于光学设备(诸如数字单镜头反射式照相机)的示例。

[0275] 图 11 是示出了单镜头反射式照相机的主要组件的示意图。在图 11 中,附图标记“10”代表包括根据第一到第四示例性实施例中的每一个的光学系统的照相镜头。

[0276] 光学系统 1 由作为保持部件的透镜镜筒 2 保持。附图标记“20”代表照相机主体,其包括将来自照相镜头 10 的光束向上反射的快速返回反射镜 3 以及布置在照相镜头 10 的图像形成位置处的聚焦屏 4。另外,照相机主体 20 还包括将在聚焦屏 4 上形成的倒像转换成正像的五边形的屋脊棱镜 5、形成放大的正像的目镜透镜 6、等等。

[0277] 附图标记“7”代表其上布置有固态图像传感器(光电转换元件)(诸如 CCD 传感器或 CMOS 传感器)或卤化银胶片的感光表面。在照相期间,快速返回反射镜 3 被从光路收回,并且由照相镜头 10 将图像形成在感光表面 7 上。

[0278] 根据各个示例性实施例的光学系统也可以适用于投影仪、TV 照相机等。

[0279] 虽然已经参考示例性实施例描述了本发明,但是应当理解,本发明不限于所公开的示例性实施例。以下权利要求的范围将被给予最宽的解释从而包括所有的修改、等同结构与功能。

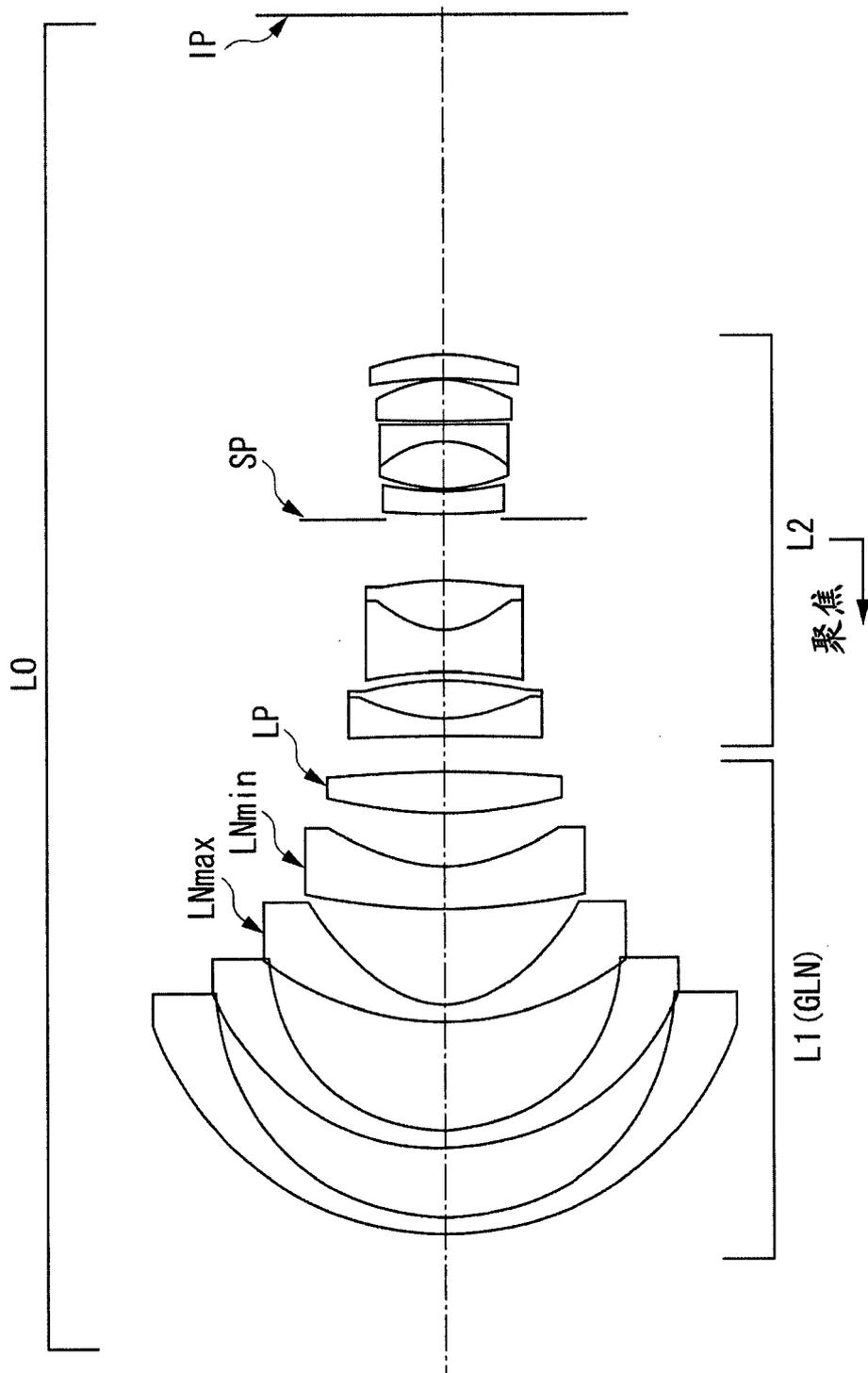


图 1

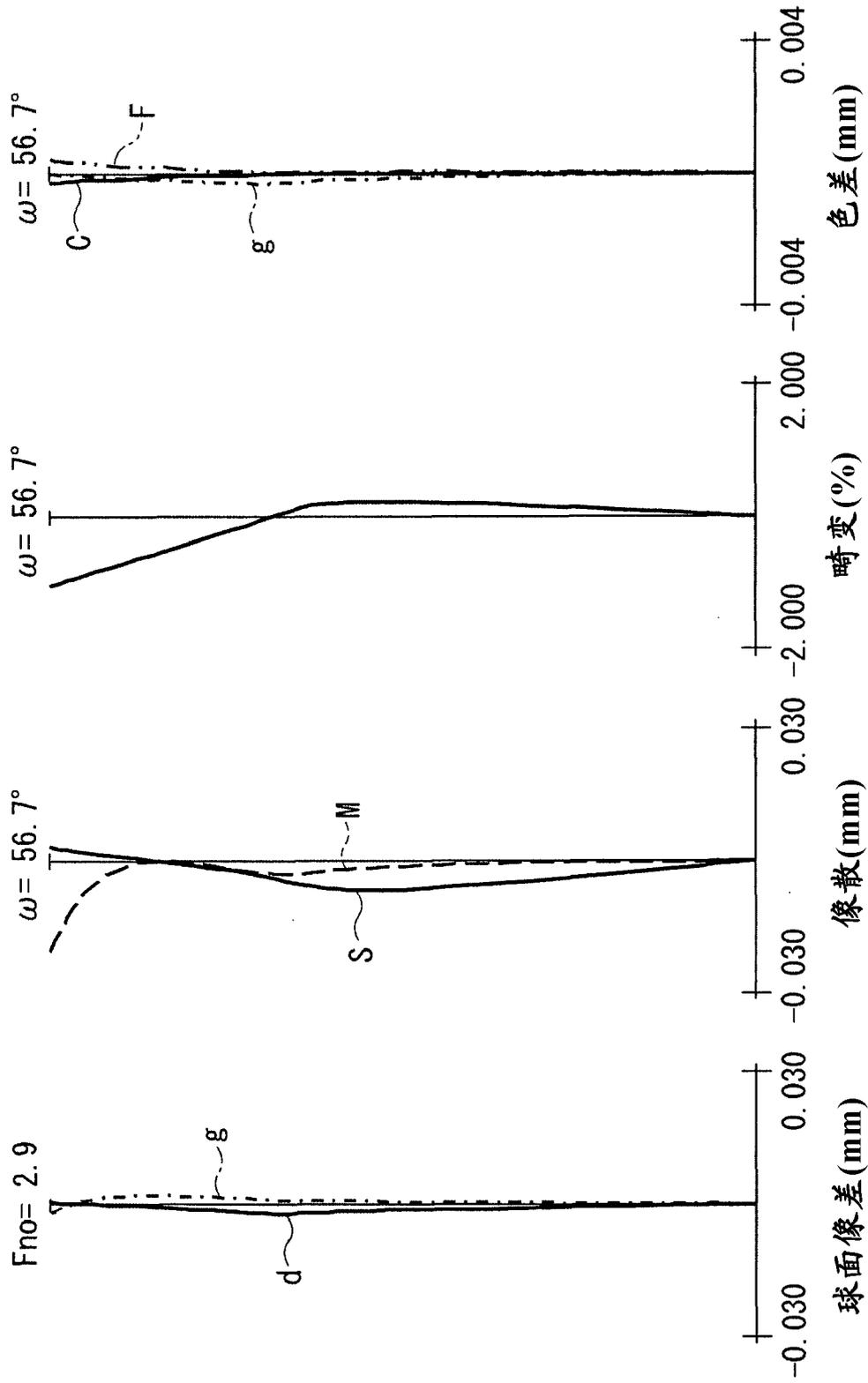


图 2

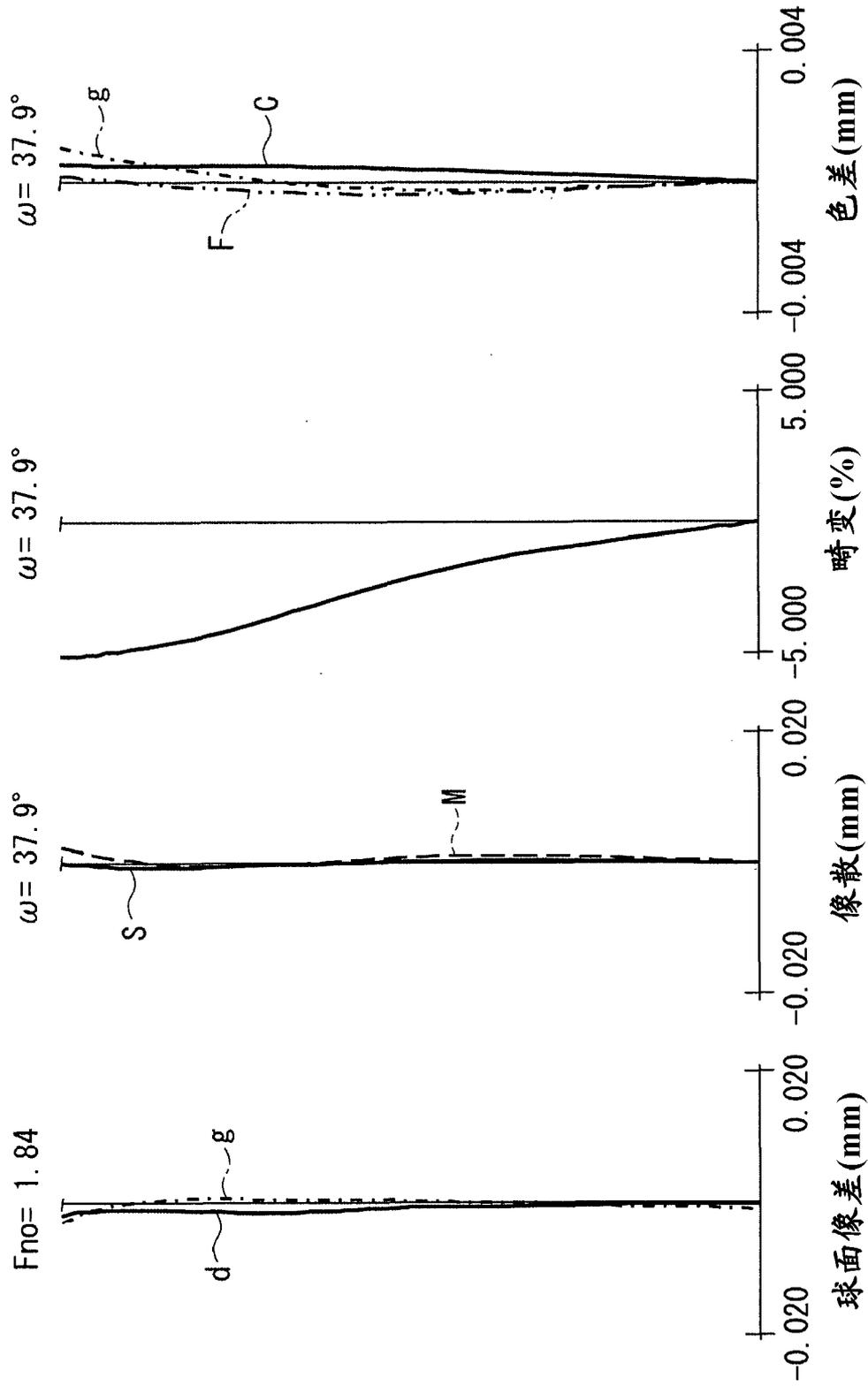


图 4A

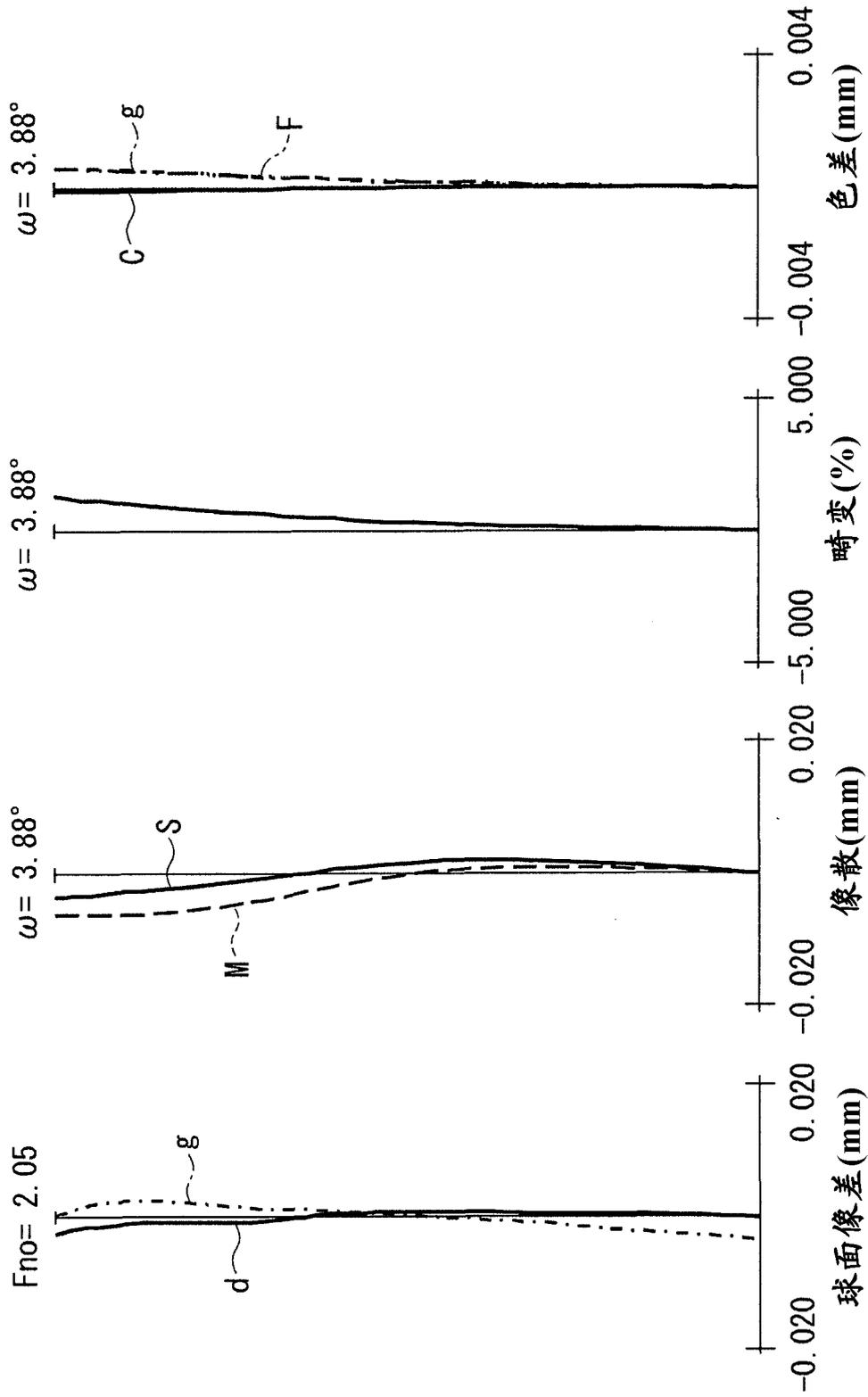


图 4B

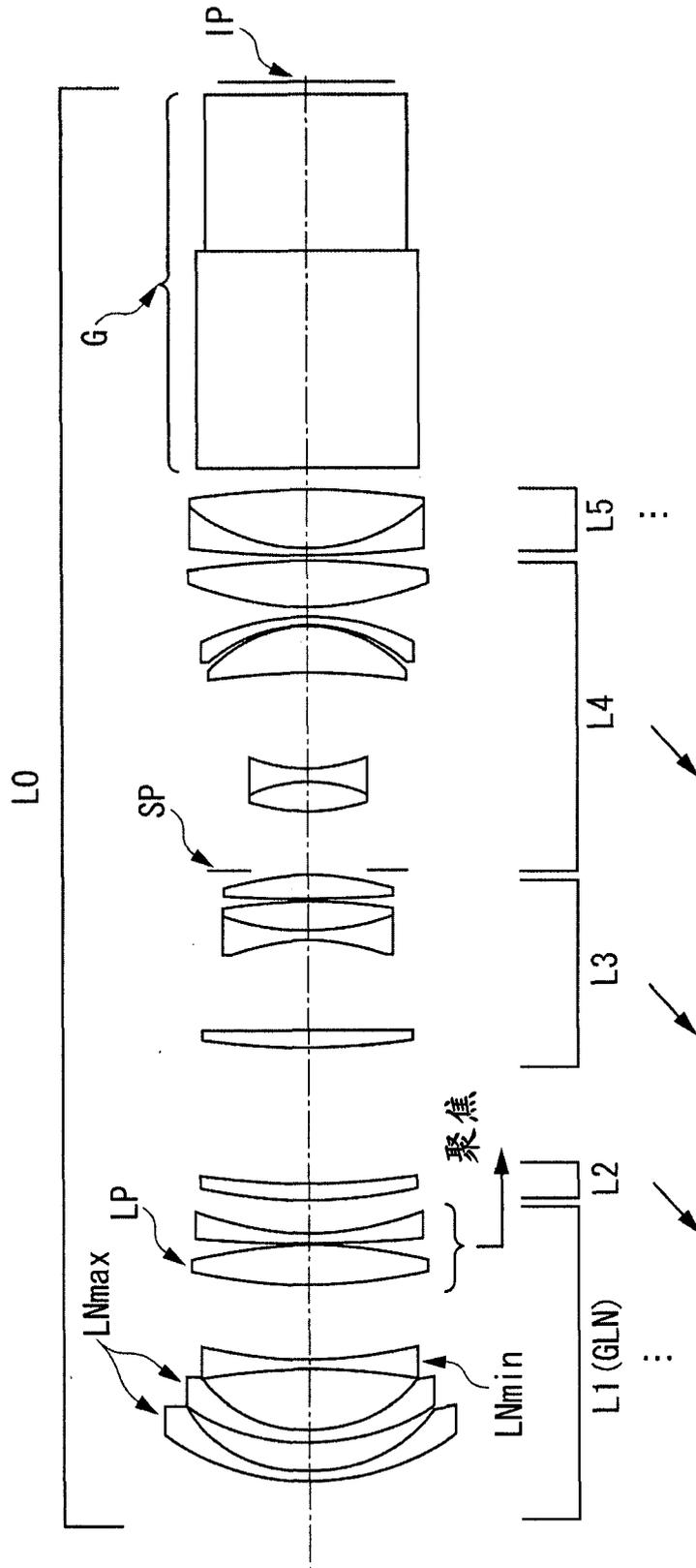


图 5

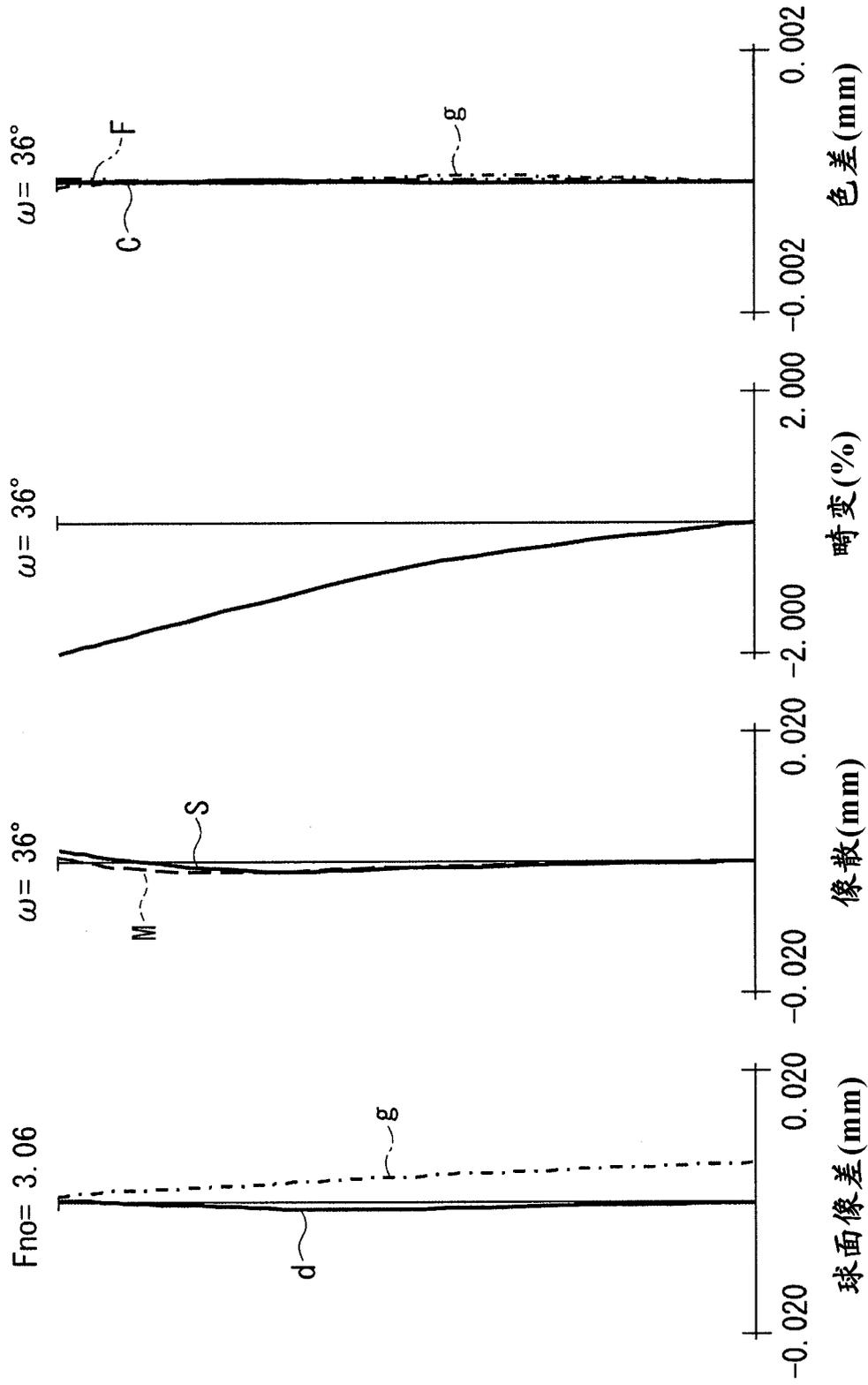


图 6A

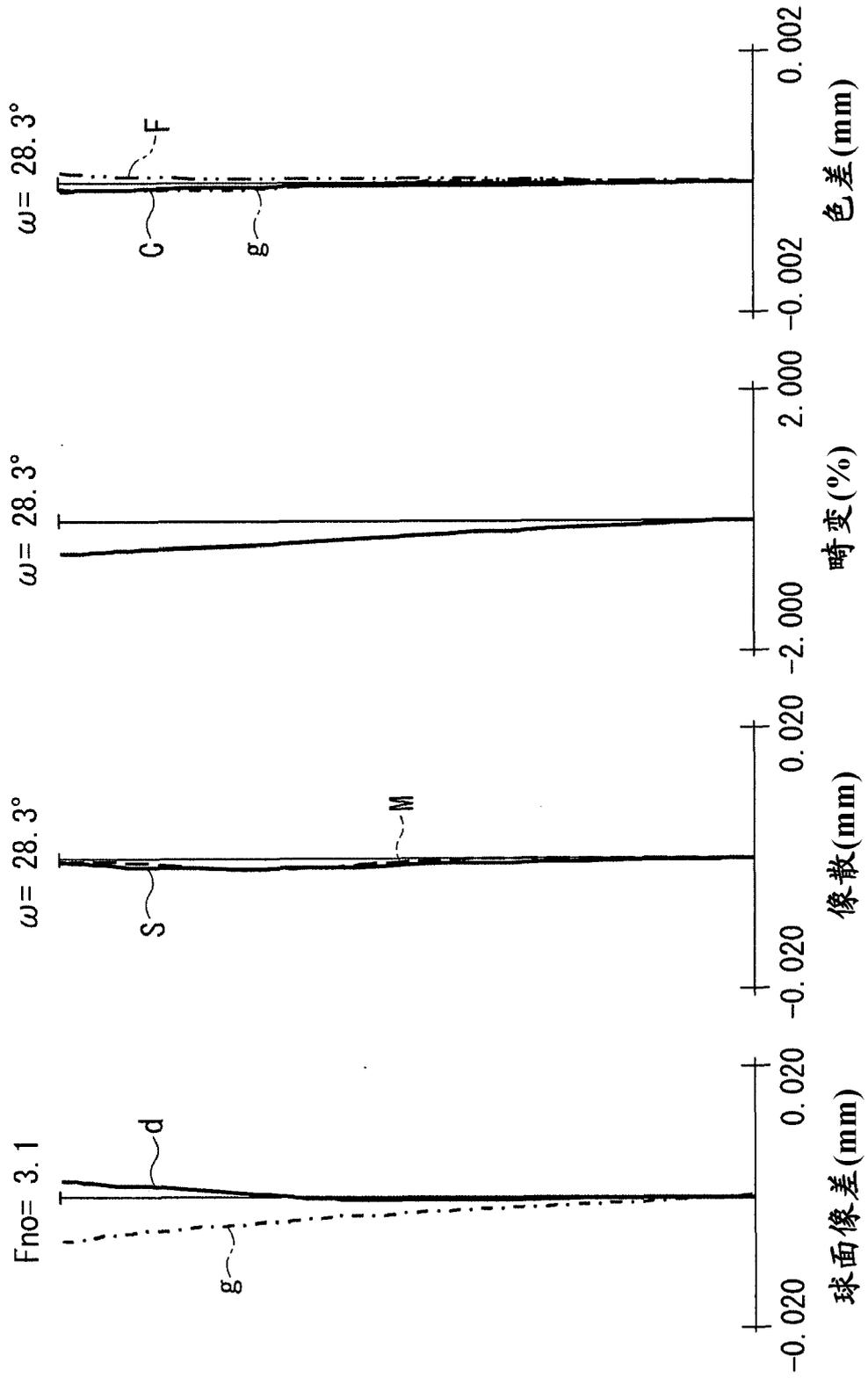


图 6B

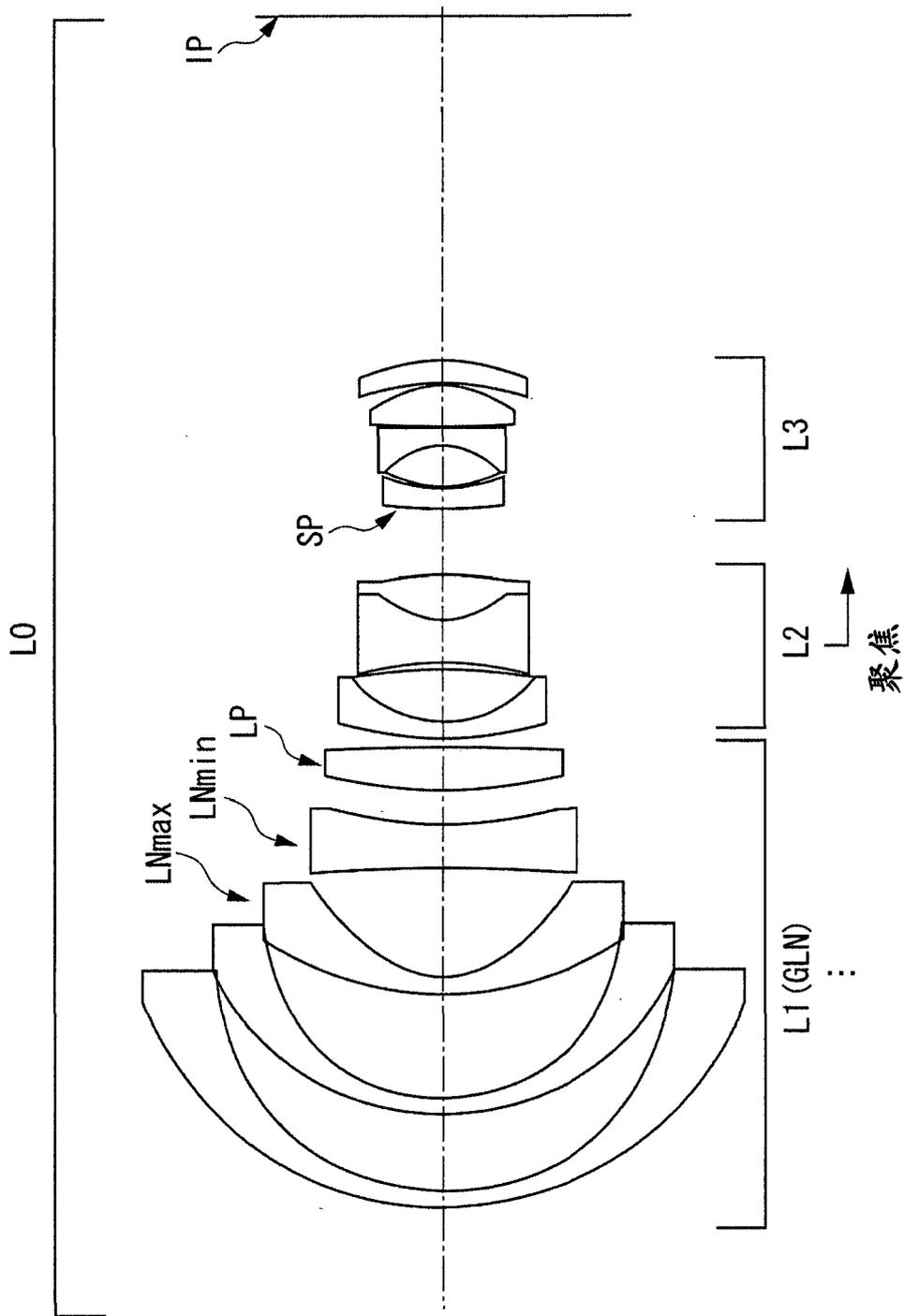


图 7

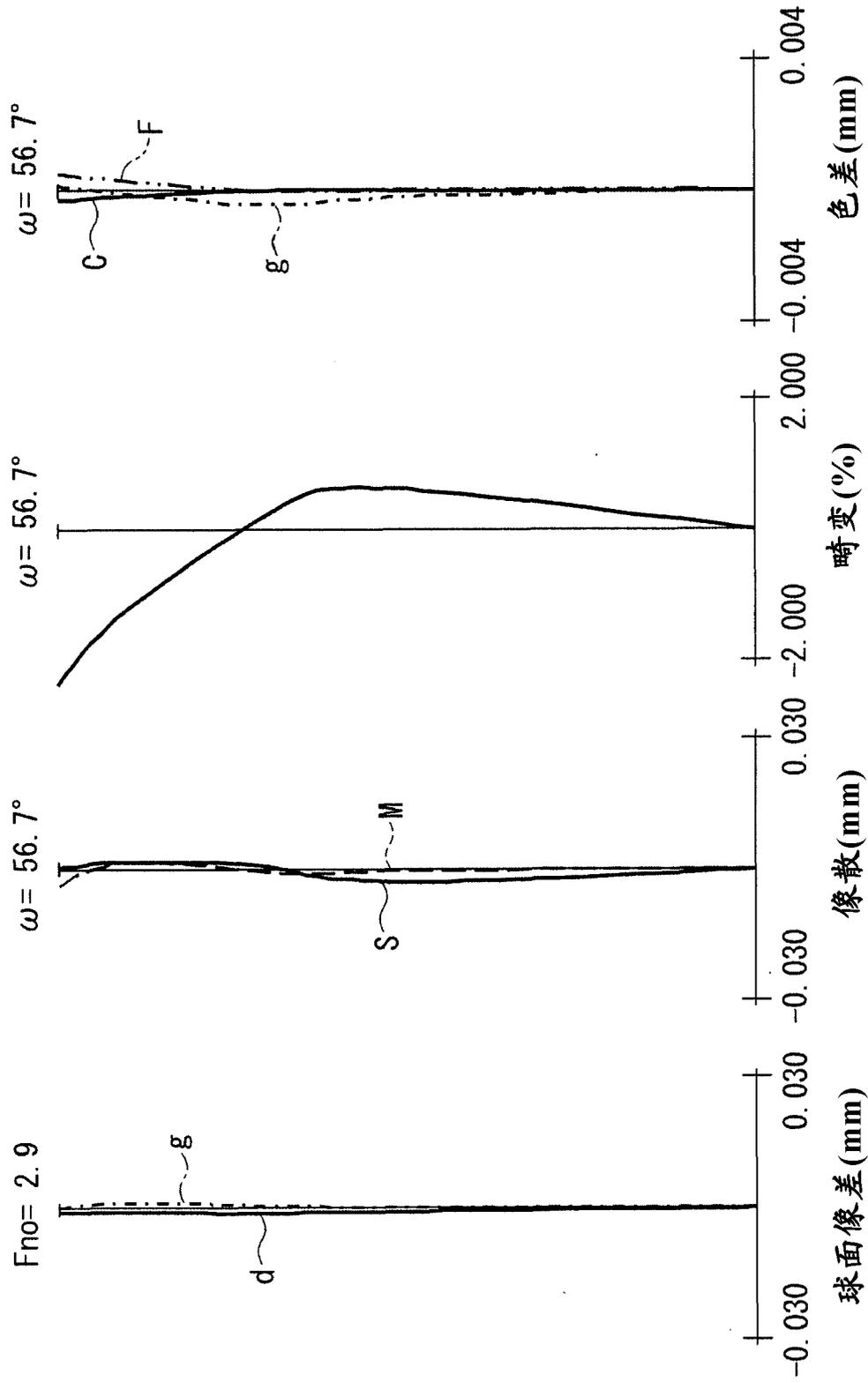


图 8

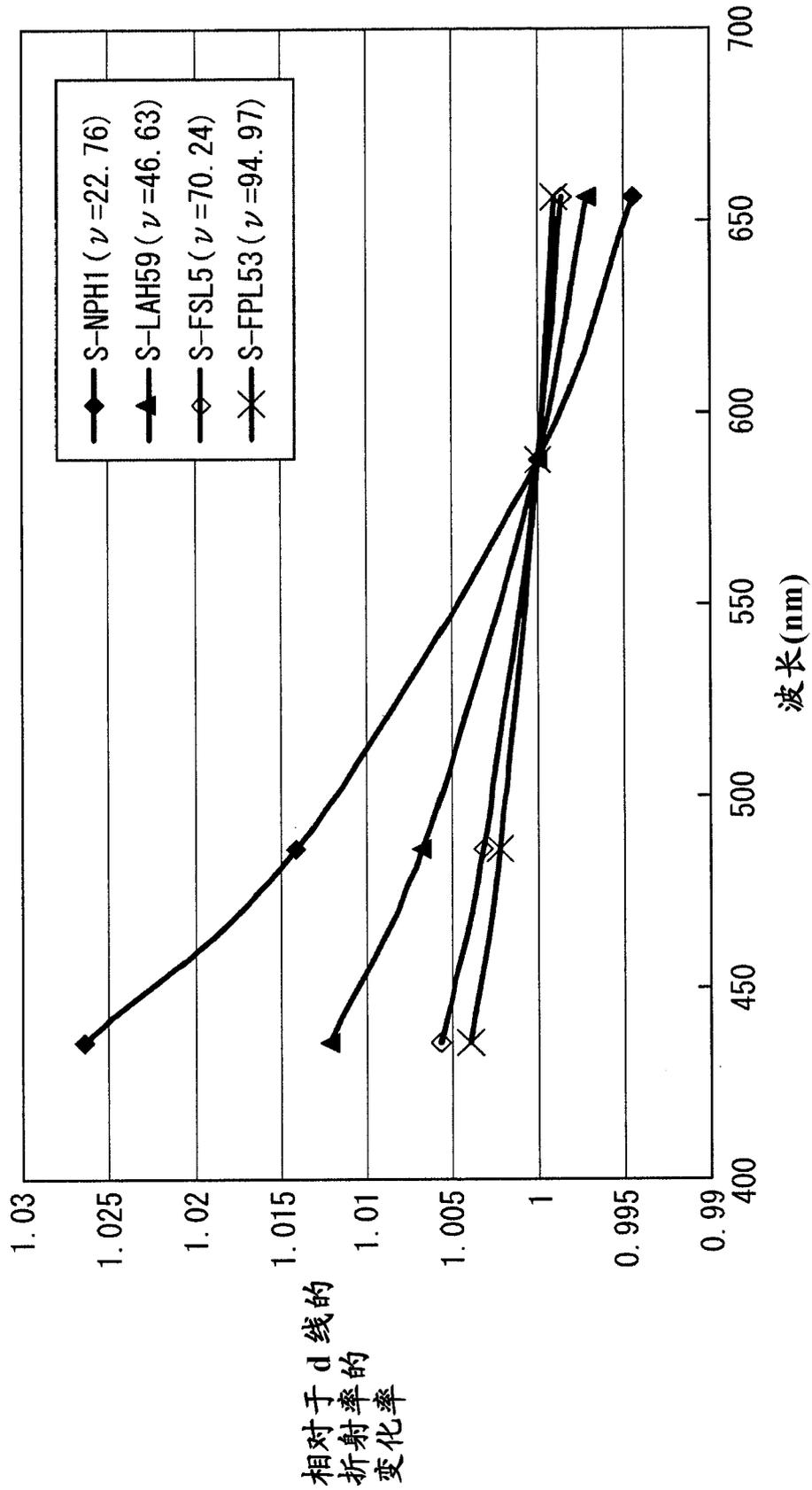


图 9

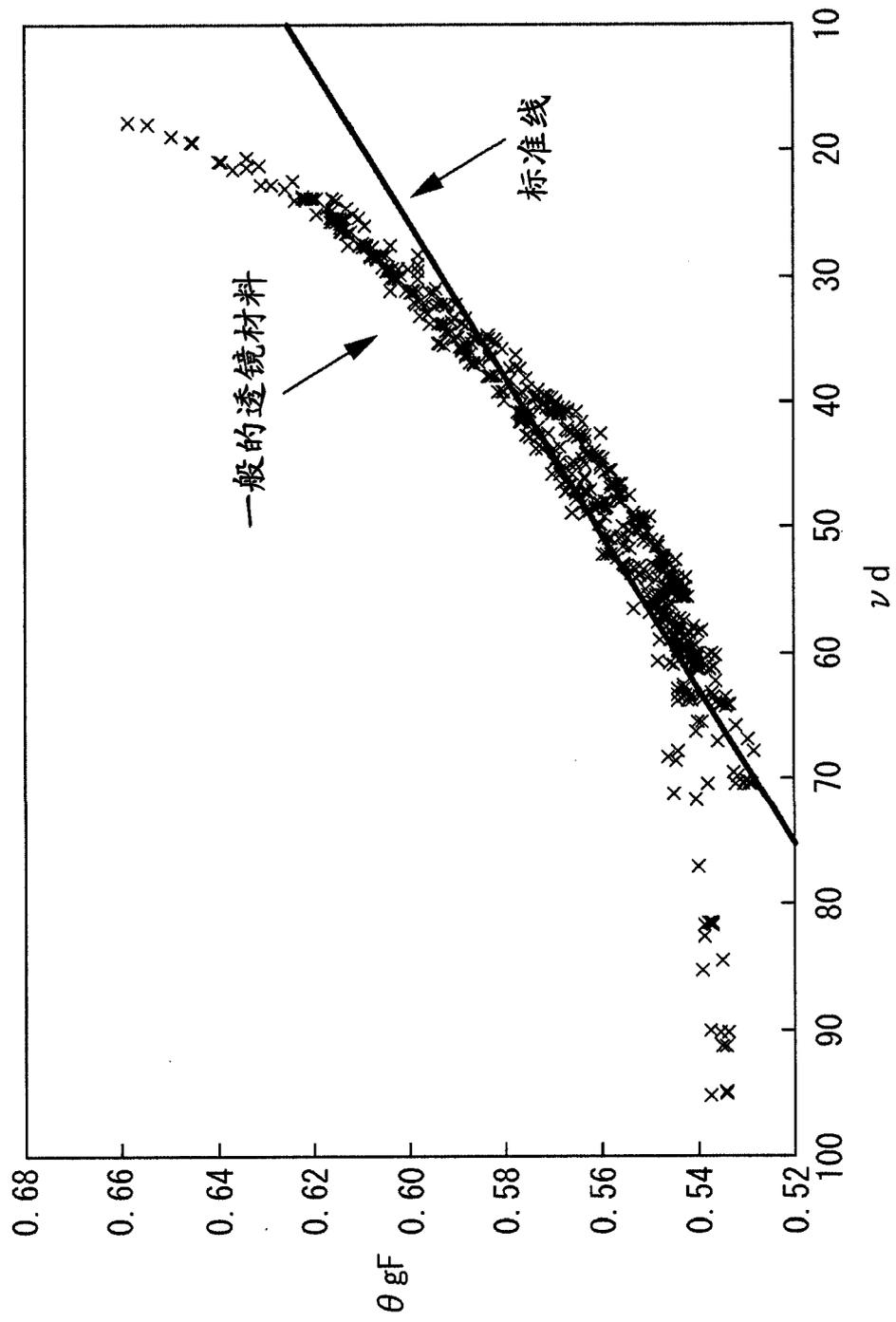


图 10

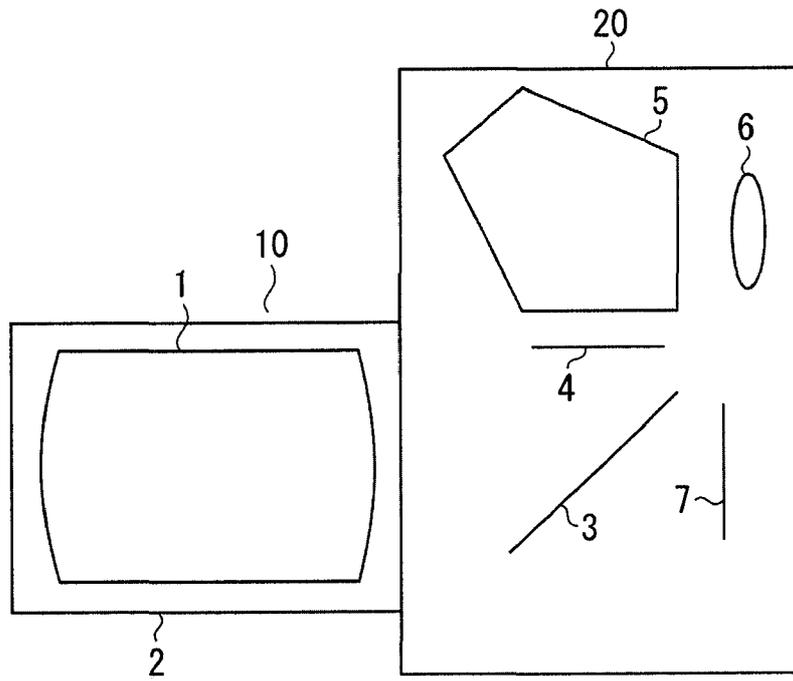


图 11