



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104956248 B

(45)授权公告日 2018.04.24

(21)申请号 201480006342.2

(22)申请日 2014.01.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104956248 A

(43)申请公布日 2015.09.30

(30)优先权数据
2013-012752 2013.01.28 JP
2013-012753 2013.01.28 JP
2013-012754 2013.01.28 JP
2013-012755 2013.01.28 JP
2013-012756 2013.01.28 JP
2013-012757 2013.01.28 JP
2013-012758 2013.01.28 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.07.28

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2014/000396 2014.01.27

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/115565 JA 2014.07.31

(73)专利权人 株式会社尼康
地址 日本东京

(72)发明人 伊藤智希

(54)发明名称
变倍光学系统、光学装置和变倍光学系统的
制造方法

(57)摘要

本发明中,一种变倍光学系统按从物体的顺序包括第一透镜组、第二透镜组、第三透镜组、第四透镜组,和第五透镜组,第一透镜组具有正屈光力,第二透镜组具有负屈光力;第三透镜组具有正屈光力;第四透镜组具有负屈光力,并且第五透镜组具有正屈光力。在变焦时,该变倍光学系统沿光轴移动第一透镜组,移动第二透镜组至第五透镜组的至少一部分,使得包括正交于光轴的分量,该变倍光学系统使得: $4.41 < f_1 / (-f_2) <$

(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 鲁山 孙志湧

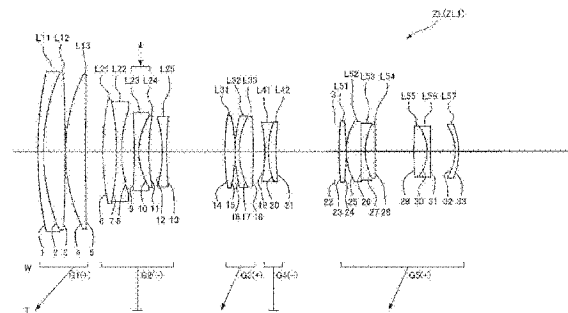
(51)Int.Cl.
G02B 15/20(2006.01)
G03B 5/00(2006.01)

(56)对比文件
JP 特开2012-88518 A,2012.05.10,全文。
JP 特开平11-316342 A,1999.11.16,说明书[0014]-[0069]段、附图1-12。
JP 特开2012-42549 A,2012.03.01,说明书[0006]-[0086]段、附图1-10。
JP 昭64-10207 A,1989.01.13,说明书第2页第1栏第21行-第6页第2栏第12行、附图1-8C。
JP 昭64-10207 A,1989.01.13,说明书第2页第1栏第21行-第6页第2栏第12行、附图1-8C。
JP 特开2012-42549 A,2012.03.01,说明书[0006]-[0086]段、附图1-10。
CN 1700049 A,2005.11.23,说明书第3页第3段-第97页第1段、附图1-64B。
US 2012/0050603 A1,2012.03.01,说明书[0011]-[0329]段、附图1-57。

审查员 胡雅婷

权利要求书3页 说明书45页 附图30页

5.33 和 $2.15 < f_1 / f_3 < 4.95$,其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距,以及 f_3 表示第三透镜组的焦距。



1. 一种变倍光学系统,按从物体的顺序,包括:
具有正屈光力的第一透镜组;
具有负屈光力的第二透镜组;
具有正屈光力的第三透镜组;
具有负屈光力的第四透镜组;以及
具有正屈光力的第五透镜组,
在变焦时,相邻的各透镜组之间的间隔改变,所述第一透镜组沿光轴移动,
所述第二透镜组至所述第五透镜组的至少一部分移动,使得包括正交于光轴的分量,
以及

满足下述条件式:

$$4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.30$$

$$2.52 \leq f_1 / f_3 < 4.95$$

$$1.16 \leq (-f_4) / f_5 \leq 1.30$$

其中

f_1 表示所述第一透镜组的焦距,

f_2 表示所述第二透镜组的焦距,

f_3 表示所述第三透镜组的焦距,

f_4 表示所述第四透镜组的焦距,以及

f_5 表示所述第五透镜组的焦距。

2. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中,满足下述条件式:

$$0.18 < f_3 / (-f_4) < 0.92。$$

3. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,在与所述第二透镜组相比更接近像的位置中包括孔径光阑。

4. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,在所述第三透镜组和所述第五透镜组之间的位置中包括孔径光阑。

5. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,在所述第三透镜组和所述第四透镜组之间的位置中包括孔径光阑。

6. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中
在聚焦时,所述第三透镜组的至少一部分沿光轴移动。

7. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中
在变焦时,所述第二透镜组相对于像平面固定。

8. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中
所述第二透镜组的至少一部分移动,使得包括正交于光轴的分量。

9. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中
所有透镜表面均是球面。

10. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中
满足下述条件式:

$$0.10 < f_3 / f_5 < 1.06。$$

11. 根据权利要求1所述的变倍光学系统,其中

满足下述条件式：

$$0.70 < f_1 / (-f_4) < 2.55。$$

12. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$0.11 < f_2 / f_4 < 0.62。$$

13. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$9.6 < f_t / (-f_2) < 20.0$$

其中

f_t 表示远摄端状态中, 所述变倍光学系统的焦距。

14. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$3.9 < f_t / (-f_4) < 8.8$$

其中

f_t 表示远摄端状态中, 所述变倍光学系统的焦距。

15. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$0.3 < (-f_2) / f_5 < 0.8。$$

16. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$1.3 < f_1 / (-f_4) < 3.0。$$

17. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$1.9 < f_1 / f_5 < 3.2。$$

18. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$0.74 < f_1 / (-f_4) < 2.82。$$

19. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$0.44 < (-f_2) / f_3 < 0.86。$$

20. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中满足下述条件式：

$$0.29 < f_3 / (-f_4) < 0.87。$$

21. 根据权利要求1所述的变倍光学系统, 其中防反射膜形成在光学表面的至少一个表面上, 所述防反射膜包括通过湿法工艺形成的至少一层。

22. 根据权利要求21所述的变倍光学系统, 其中所述防反射膜是多层膜, 以及所述多层膜的最外层是通过湿法工艺形成的层。

23. 根据权利要求21所述的变倍光学系统,其中,当 n_d 表示在通过湿法工艺形成的层在d线处的折射率时,满足下述条件式:

$$n_d \leq 1.30。$$

24. 一种光学装置,包括根据权利要求1所述的变倍光学系统,用于在预定像平面上形成物体像。

25. 一种变倍光学系统,按从物体的顺序,包括:

具有正屈光力的第一透镜组;

具有负屈光力的第二透镜组;

具有正屈光力的第三透镜组;

具有负屈光力的第四透镜组;以及

具有正屈光力的第五透镜组,

在变焦时,相邻的各透镜组之间的间隔改变,所述第一透镜组沿光轴移动,

所述第二透镜组至所述第五透镜组的至少一部分移动,使得包括正交于光轴的分量,

以及

满足下述条件式:

$$4.74 \leq f_1 / (-f_2) \leq 5.10$$

$$0.74 \leq f_3 / f_5 < 1.06$$

$$0.39 \leq f_2 / f_4 < 0.62$$

其中

f_1 表示所述第一透镜组的焦距,

f_2 表示所述第二透镜组的焦距,

f_3 表示所述第三透镜组的焦距,

f_4 表示所述第四透镜组的焦距,以及

f_5 表示所述第五透镜组的焦距。

26. 根据权利要求25所述的变倍光学系统,其中

满足下述条件式:

$$0.70 < f_1 / (-f_4) < 2.55。$$

27. 一种光学装置,包括根据权利要求25所述的变倍光学系统,用于在预定像平面上形成物体像。

变倍光学系统、光学装置和变倍光学系统的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及变倍光学系统、光学装置和变倍光学系统的制造方法。

背景技术

[0002] 已经提出了一种适合于摄影相机、电子静态摄像机、视频摄像机等等的变倍光学系统(例如专利文献1)。近年来,对适合于摄影相机、电子静态摄像机、视频摄像机等等的变倍光学系统来说,防止会损害光学性能的耀斑和幻像的需求正变得日益严格,因此,对在透镜表面上形成的防反射膜,要求更高性能,为满足该需求,多层膜设计技术和多层膜沉积技术正不断进步(例如见专利文献2)。

[0003] 现有技术列表

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本公开专利公开号:No.2009-180844 (A)

[0006] 专利文献2:日本公开专利公开号:No.2000-356704 (A)

发明内容

[0007] 常见变倍光学系统的问题在于变焦时,像差波动相当大。此外,在常见变倍光学系统的情况下,易于从光学表面产生导致耀斑和幻像的反射光,影响光学性能。

[0008] 鉴于上文,本发明的目的是提供在变焦时理想地抑制像差波动的变倍光学系统和光学装置,以及变倍光学系统的制造方法。

[0009] 本发明的另一目的是提供具有高光学性能以进一步减少耀斑和幻像,同时理想地抑制变焦时的像差波动的变倍光学系统和光学装置,以及变倍光学系统的制造方法。

[0010] 为解决上述问题,根据本发明的第一方面的变倍光学系统按从物体的顺序,由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组,和具有正屈光力的第五透镜组构成,并且在该变倍光学系统中,在变焦时,第一透镜组沿光轴移动,第二透镜组至第五透镜组的至少一部分移动使得包括正交于光轴的分量,以及满足下述条件式:

[0011] $4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33$

[0012] $2.15 < f_1 / f_3 < 4.95$

[0013] 其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距,以及 f_3 表示第三透镜组的焦距。

[0014] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0015] $0.18 < f_3 / (-f_4) < 0.92$

[0016] 其中, f_4 表示第四透镜组的焦距。

[0017] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0018] $0.82 < (-f_4) / f_5 < 1.58$

[0019] 其中, f_4 表示第四透镜组的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

- [0020] 在该变倍光学系统中,优选孔径光阑设置在在第二透镜组相比,更接近像的位置中。
- [0021] 在该变倍光学系统中,优选孔径光阑设置在第三透镜组和第五透镜组之间的位置中。
- [0022] 在该变倍光学系统中,优选孔径光阑设置在第三透镜组和第四透镜组之间的位置中。
- [0023] 在该变倍光学系统中,优选在聚焦时,第三透镜组的至少一部分沿光轴移动。
- [0024] 在该变倍光学系统中,优选在变焦时,第二透镜组相对于像平面固定。
- [0025] 在该变倍光学系统中,优选第二透镜组的至少一部分移动,使得包括正交于光轴的分量。
- [0026] 在该变倍光学系统中,优选所有透镜表面均是球面。
- [0027] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0028] $0.10 < f_3/f_5 < 1.06$
- [0029] 其中, f_5 是第五透镜组的焦距。
- [0030] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0031] $0.70 < f_1/(-f_4) < 2.55$
- [0032] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距。
- [0033] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0034] $0.11 < f_2/f_4 < 0.62$
- [0035] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距。
- [0036] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0037] $9.6 < f_t/(-f_2) < 20.0$
- [0038] 其中, f_t 是远摄端状态中,变倍光学系统的焦距。
- [0039] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0040] $3.9 < f_t/(-f_4) < 8.8$
- [0041] 其中, f_t 是远摄端状态中,变倍光学系统的焦距,以及 f_4 是第四透镜组的焦距。
- [0042] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0043] $0.8 < (-f_4)/f_5 < 1.8$
- [0044] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距,以及 f_5 是第五透镜组的焦距。
- [0045] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0046] $0.3 < (-f_2)/f_5 < 0.8$
- [0047] 其中, f_5 是第五透镜组的焦距。
- [0048] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0049] $1.3 < f_1/(-f_4) < 3.0$
- [0050] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距。
- [0051] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:
- [0052] $1.9 < f_1/f_5 < 3.2$
- [0053] 其中, f_5 是第五透镜组的焦距。
- [0054] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0055] $0.32 < (-f_4) / f_5 < 1.93$

[0056] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距,以及 f_5 是第五透镜组的焦距。

[0057] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0058] $0.74 < f_1 / (-f_4) < 2.82$

[0059] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距。

[0060] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0061] $0.44 < (-f_2) / f_3 < 0.86$ 。

[0062] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0063] $0.32 < (-f_4) / f_5 < 2.07$

[0064] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距,以及 f_5 是第五透镜组的焦距。

[0065] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0066] $0.29 < f_3 / (-f_4) < 0.87$

[0067] 其中, f_4 是第四透镜组的焦距。

[0068] 在该变倍光学系统中,优选防反射膜形成在光学表面的至少一个表面上,该防反射膜包括通过湿法工艺形成的至少一层。

[0069] 在该变倍光学系统中,优选防反射膜是多层膜,以及多层膜的最外层是通过湿法工艺形成的层。

[0070] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0071] $nd \leq 1.30$

[0072] 其中, nd 表示在通过湿法工艺形成的层在 d 线处的折射率。

[0073] 根据本发明的第一方面的光学装置包括该变倍光学系统,用于在预定像平面上形成物体像。

[0074] 根据本发明的第二方面的变倍光学系统,按从物体的顺序,由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组,和具有正屈光力的第五透镜组构成,并且在该变倍光学系统中,在变焦时,第一透镜组沿光轴移动,第二透镜组至第五透镜组的至少一部分移动使得包括正交于光轴的分量,以及满足下述条件式:

[0075] $4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33$

[0076] $0.10 < f_3 / f_5 < 1.06$

[0077] 其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距, f_3 表示第三透镜组的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0078] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式: $0.70 < f_1 / (-f_4) < 2.55$, 其中, f_4 表示第四透镜组的焦距。

[0079] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0080] $0.11 < f_2 / f_4 < 0.62$

[0081] 其中, f_4 表示第四透镜组的焦距。

[0082] 根据本发明的第二方面的光学装置包括根据本发明的第二方面的变倍光学系统,用于在预定像平面上形成物体像。

[0083] 根据本发明的第三方面的变倍光学系统,按从物体的顺序,由具有正屈光力的第

一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组,和具有正屈光力的第五透镜组构成,并且在该变倍光学系统中,在变焦时,第二透镜组相对于像平面固定,以及满足下述条件式:

$$[0084] \quad 9.6 < f_t / (-f_2) < 20.0$$

$$[0085] \quad 3.9 < f_t / (-f_4) < 8.8$$

[0086] 其中, f_t 是远摄端状态中,变倍光学系统的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组的焦距。

[0087] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

$$[0088] \quad 0.8 < (-f_4) / f_5 < 1.8$$

[0089] 其中, f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0090] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

$$[0091] \quad 0.3 < (-f_2) / f_5 < 0.8$$

[0092] 其中, f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0093] 根据本发明的第三方面的光学装置包括根据本发明的第三方面的变倍光学系统,用于在预定像平面上形成物体像。

[0094] 根据本发明的第四方面的变倍光学系统,按从物体的顺序,由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组,和具有正屈光力的第五透镜组构成,并且在该变倍光学系统中,在变焦时,第二透镜组相对于像平面固定,以及满足下述条件式:

$$[0095] \quad 2.0 < f_1 / (-f_2) < 6.1$$

$$[0096] \quad 1.3 < f_1 / (-f_4) < 3.0$$

$$[0097] \quad 1.9 < f_1 / f_5 < 3.2$$

[0098] 其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距, f_4 表示第四透镜组的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0099] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

$$[0100] \quad 0.8 < (-f_4) / f_5 < 1.8。$$

[0101] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

$$[0102] \quad 0.3 < (-f_2) / f_5 < 0.8。$$

[0103] 根据本发明的第四方面的光学装置包括根据本发明的第四方面的变倍光学系统,用于在预定像平面上形成物体像。

[0104] 根据本发明的第五方面的变倍光学系统,按从物体的顺序,由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组,和具有正屈光力的第五透镜组构成,并且在该变倍光学系统中,在变焦时,第二透镜组和第四透镜组相对于像平面固定,以及满足下述条件式:

$$[0105] \quad 1.05 < f_1 / (-f_2) < 6.10$$

$$[0106] \quad 0.32 < (-f_4) / f_5 < 1.93$$

[0107] 其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距, f_4 表示第四透镜组的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0108] 在该变倍光学系统中,优选满足下述条件式:

[0109] $0.74 < f_1 / (-f_4) < 2.82$ 。

[0110] 根据本发明的第五方面的光学装置包括根据本发明的第五方面的变倍光学系统，用于在预定像平面上形成物体像。

[0111] 根据本发明的第六方面的变倍光学系统，按从物体的顺序，由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组，和具有正屈光力的第五透镜组构成，并且在该变倍光学系统中，在变焦时，第二透镜组和第四透镜组相对于像平面固定，以及满足下述条件式：

[0112] $0.44 < (-f_2) / f_3 < 0.86$

[0113] $0.32 < (-f_4) / f_5 < 2.07$

[0114] 其中， f_2 表示第二透镜组的焦距， f_3 表示第三透镜组的焦距， f_4 表示第四透镜组的焦距，以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0115] 在该变倍光学系统中，优选满足下述条件式：

[0116] $0.29 < f_3 / (-f_4) < 0.87$ 。

[0117] 根据本发明的第六方面的光学装置包括根据本发明的第六方面的变倍光学系统，用于在预定像平面上形成物体像。

[0118] 根据本发明的第一方面的变倍光学系统的制造方法是下述变倍光学系统的制造方法，该变倍光学系统按从物体的顺序，由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组和具有正屈光力的第五透镜组构成，方法包括：设置第一透镜组，以在变焦时沿光轴移动；设置第二透镜组至第五透镜组，使得第二透镜组至第五透镜组的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量，以及满足下述条件式：

[0119] $4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33$

[0120] $2.15 < f_1 / f_3 < 4.95$

[0121] 其中， f_1 表示第一透镜组的焦距， f_2 表示第二透镜组的焦距，以及 f_3 表示第三透镜组的焦距。

[0122] 根据本发明的第二方面的变倍光学系统的制造方法是下述变倍光学系统的制造方法，该变倍光学系统按从物体的顺序，由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组和具有正屈光力的第五透镜组构成，方法包括：设置第一透镜组，以在变焦时沿光轴移动；设置第二透镜组至第五透镜组，使得第二透镜组至第五透镜组的至少一部分移动，以包括正交于光轴的分量，以及满足下述条件式：

[0123] $4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33$

[0124] $0.10 < f_3 / f_5 < 1.06$

[0125] 其中， f_1 表示第一透镜组的焦距， f_2 表示第二透镜组的焦距， f_3 表示第三透镜组的焦距，以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0126] 根据本发明的第三方面的变倍光学系统的制造方法是下述变倍光学系统的制造方法，该变倍光学系统按从物体的顺序，由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组和具有正屈光力的第五透镜组构成，方法包括：设置在变焦时，相对于像平面固定的第二透镜组，以及满足下述

条件式：

$$[0127] \quad 9.6 < f_t / (-f_2) < 20.0$$

$$[0128] \quad 3.9 < f_t / (-f_4) < 8.8$$

[0129] 其中, f_t 是远摄端状态中, 变倍光学系统的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距, 以及 f_4 表示第四透镜组的焦距。

[0130] 根据本发明的第四方面的变倍光学系统的制造方法是下述变倍光学系统的制造方法, 该变倍光学系统按从物体的顺序, 由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组和具有正屈光力的第五透镜组构成, 方法包括: 设置第二透镜组, 以在变焦时相对于像平面固定, 以及满足下述条件式:

$$[0131] \quad 2.0 < f_1 / (-f_2) < 6.1$$

$$[0132] \quad 1.3 < f_1 / (-f_4) < 3.0$$

$$[0133] \quad 1.9 < f_1 / f_5 < 3.2$$

[0134] 其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距, f_4 表示第四透镜组的焦距, 以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0135] 根据本发明的第五方面的变倍光学系统的制造方法是下述变倍光学系统的制造方法, 该变倍光学系统按从物体的顺序, 由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组和具有正屈光力的第五透镜组构成, 方法包括: 设置第二透镜组和第四透镜组, 以在变焦时相对于像平面固定, 以及满足下述条件式:

$$[0136] \quad 1.05 < f_1 / (-f_2) < 6.10$$

$$[0137] \quad 0.32 < (-f_4) / f_5 < 1.93$$

[0138] 其中, f_1 表示第一透镜组的焦距, f_2 表示第二透镜组的焦距, f_4 表示第四透镜组的焦距, 以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0139] 根据本发明的第六方面的变倍光学系统的制造方法是下述变倍光学系统的制造方法, 该变倍光学系统按从物体的顺序, 由具有正屈光力的第一透镜组、具有负屈光力的第二透镜组、具有正屈光力的第三透镜组、具有负屈光力的第四透镜组和具有正屈光力的第五透镜组构成, 方法包括: 设置第二透镜组和第四透镜组, 以在变焦时相对于像平面固定, 以及满足下述条件式:

$$[0140] \quad 0.44 < (-f_2) / f_3 < 0.86$$

$$[0141] \quad 0.32 < (-f_4) / f_5 < 2.07$$

[0142] 其中, f_2 表示第二透镜组的焦距, f_3 表示第三透镜组的焦距, f_4 表示第四透镜组的焦距, 以及 f_5 表示第五透镜组的焦距。

[0143] 有益效果

[0144] 根据本发明, 能提供在变焦时理想地抑制像差波动的变倍光学系统和光学装置, 以及变倍光学系统的制造方法。

[0145] 根据本发明的另一方面, 能提供具有高光学性能来进一步减少耀斑和幻像, 同时在变焦时理想地抑制像差波动的变倍光学系统和光学装置, 以及变倍光学系统的制造方法。

附图说明

[0146] 图1是图示根据实例1的变倍光学系统的镜头构造的截面图；

[0147] 图2是示出广角端状态中,根据实例1的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图2A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图2B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0148] 图3是示出中间焦距状态中,根据实例1的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图3A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图3B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0149] 图4是示出远摄端状态中,根据实例1的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图4A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图4B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0150] 图5是图示根据实例1的变倍光学系统中,在第一幻像生成面和第二幻像生成面上反射的入射光的状态的图；

[0151] 图6是图示根据实例2的变倍光学系统的镜头构造的截面图；

[0152] 图7是示出广角端状态中,根据实例2的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图7A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图7B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0153] 图8是示出中间焦距状态中,根据实例2的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图8A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图8B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0154] 图9是示出远摄端状态中,根据实例2的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图9A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图9B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0155] 图10是图示根据实例3的变倍光学系统的镜头构造的截面图；

[0156] 图11是示出广角端状态中,根据实例3的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图11A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图11B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0157] 图12是示出中间焦距状态中,根据实例3的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图12A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图12B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0158] 图13是示出远摄端状态中,根据实例3的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图13A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图13B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0159] 图14是图示根据实例4的变倍光学系统的镜头构造的截面图；

[0160] 图15是示出广角端状态中,根据实例4的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图15A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图15B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差；

[0161] 图16是示出中间焦距状态中,根据实例4的变倍光学系统的各种像差的一组图,其

中,图16A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图16B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差;

[0162] 图17是示出远摄端状态中,根据实例4的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图17A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图17B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差;

[0163] 图18是图示根据实例5的变倍光学系统的镜头构造的截面图;

[0164] 图19是示出广角端状态中,根据实例5的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图19A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图19B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差;

[0165] 图20是示出中间焦距状态中,根据实例5的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图20A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图20B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差;

[0166] 图21是示出远摄端状态中,根据实例5的变倍光学系统的各种像差的一组图,其中,图21A示出无限远聚焦状态中的各种像差,以及图21B示出当在无限远聚焦状态中校正像模糊时的彗差;

[0167] 图22是安装有变倍光学系统的相机的截面图;

[0168] 图23是图示变倍光学系统的制造方法的流程图;

[0169] 图24是图示变倍光学系统的另一制造方法的流程图;

[0170] 图25是图示变倍光学系统的又一制造方法的流程图;

[0171] 图26是图示根据实例的防反射膜的结构图;

[0172] 图27是图示根据实例的防反射膜的光谱特性的图;

[0173] 图28是图示根据变型的防反射膜的光谱特性的图;

[0174] 图29是图示根据变型的防反射膜的光谱特性的图;

[0175] 图30是图示由现有技术形成的防反射膜的光谱特性的图;以及

[0176] 图31是图示由现有技术形成的防反射膜的光谱特性的图。

具体实施方式

[0177] 现在,将参考附图,描述本发明的优选实施例。如图1所示,根据本发明的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选在变焦时,使第一透镜组G1沿光轴,移向像平面I。通过该构造,减小变焦期间的像差波动。此外,能削弱第一透镜组G1的屈光力,因此,当由于制造误差产生偏心时,能控制像差恶化。

[0178] 在变倍光学系统ZL中,优选第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分(多个透镜组,透镜组中的一个,或构成透镜组的任何一个的一部分透镜)移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下,更优选第二透镜组G2的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造,通过具有小直径的透镜,能校正相机抖动,因此,能使镜筒的尺寸更小。

[0179] 现在,将描述构成该变倍光学系统ZL的条件。优选,变倍光学系统ZL满足下述条件式(1)。

[0180] $4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33$ (1)

[0181] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_2 表示第二透镜组G2的焦距。

[0182] 条件式(1)规定相对于第二透镜组G2的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(1),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(1)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(1)的下限值为4.45,能确保本申请的效果。如果超出条件式(1)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长(total length)增加,这是不期望的。如果条件式(1)上限值为5.30,能确保本申请的效果。

[0183] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(2)。

[0184] $2.15 < f_1 / f_3 < 4.95$ (2)

[0185] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_3 表示第三透镜组G3的焦距。

[0186] 条件式(2)规定相对于第三透镜组G3的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(2),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(2)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(2)的下限值为2.20,能确保本申请的效果。如果超出条件式(2)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的,如果条件式(2)的上限值为4.35,能确保本申请的效果。

[0187] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(3)。

[0188] $0.18 < f_3 / (-f_4) < 0.92$ (3)

[0189] 其中, f_3 是第三透镜组G3的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组G4的焦距。

[0190] 条件式(3)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第三透镜组G3的适当焦距。通过满足条件式(3),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(3)的下限值,第三透镜组G3的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(3)的下限值为0.22,能确保本申请的效果。如果超出条件式(3)的上限值,第三透镜组G3的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(3)的上限值为0.85,能确保本申请的效果。

[0191] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(4)。

[0192] $0.82 < (-f_4) / f_5 < 1.58$ (4)

[0193] 其中, f_4 是第四透镜组G4的焦距,以及 f_5 是第五透镜组G5的焦距。

[0194] 条件式(4)规定相对于第五透镜组G5的焦距,第四透镜组G4的适当焦距。通过满足条件式(4),能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式(4)的下限值,第四透镜组G4的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的色差,这是不期望的。如果条件式(4)的下限值为0.88,能确保本申请的效果。如果超出条件式(4)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的,如果条件式(4)的上限值为1.52,能确保本申请的效果。

[0195] 在变倍光学系统ZL中,优选与第二透镜组G2相比,孔径光阑S设置在更接近像的位置。在这种情况下,优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间。更优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第四透镜组G4之间。通过该构造,能良好地校正彗差和场曲。

[0196] 在变倍光学系统ZL中,优选在聚焦时,第三透镜组G3的至少一部分沿光轴移动。通

过该构造,实现快速聚焦,并且能减小聚焦期间视角的波动和球面像差的波动。

[0197] 在变倍光学系统ZL中,优选在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面I固定。通过该构造,能简化变焦期间的镜筒结构,并且能使镜筒的尺寸更小。此外,能控制由于制造误差而导致的光学性能的劣化。

[0198] 在变倍光学系统ZL中,优选所有透镜表面是球面。通过该构造,透镜的加工、组装和调整变得更容易,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能劣化。即使像平面偏移,也并不太影响绘图性能,这是期望的。

[0199] 现在,将参考图23,描述根据本实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第一透镜组G1沿光轴移动(步骤S200)。此外,设置每一透镜组,使得第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量(步骤S300)。此外,设置每一透镜组G1至G5,使得每一透镜组G1至G5满足上述条件式(1)和(2)(步骤S400)。

[0200] 具体来说,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由此,制造变倍光学系统ZL。

[0201] 现在,将参考附图,描述本发明的第二优选实施例。如图1所示,根据第二优选实施例的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选在变焦时,第一透镜组G1沿光轴移向像平面I。通过该构造,能减小变焦期间的像差波动。此外,能削弱第一透镜组G1的屈光力,因此,能控制当由于制造误差而产生偏心时的像差的恶化。

[0202] 在变倍光学系统ZL中,优选第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分(多个透镜组,透镜组中的一个,或构成透镜组的任何一个的一部分透镜)移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下,更优选第二透镜组G2的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造,能通过具有小直径的透镜,校正相机抖动,因此,能使镜筒的尺寸更小。

[0203] 现在,将描述构成根据第二优选实施例的变倍光学系统ZL的条件。优选,变倍光学系统ZL满足下述条件式(5)。

$$[0204] \quad 4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33 \quad (5)$$

[0205] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_2 表示第二透镜组G2的焦距。

[0206] 条件式(5)规定相对于第二透镜组G2的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足

条件式(5),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(5)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(5)的下限值为4.45,能确保本申请的效果。如果超出条件式(5)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(5)上限值为5.30,能确保本申请的效果。

[0207] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(6)。

$$[0208] \quad 0.10 < f_3/f_5 < 1.06 \quad (6)$$

[0209] 其中, f_3 表示第三透镜组G3的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组G5的焦距。

[0210] 条件式(6)规定相对于第五透镜组G5的焦距,第三透镜组G3的适当焦距。通过满足条件式(6),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(6)的下限值,第三透镜组G3的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(6)的下限值为0.24,能确保本申请的效果。如果超出条件式(6)的上限值,第三透镜组G3的屈光力减小,变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(6)的上限值为1.00,能确保本申请的效果。

[0211] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(7)。

$$[0212] \quad 0.70 < f_1/(-f_4) < 2.55 \quad (7)$$

[0213] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组G4的焦距。

[0214] 条件式(7)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(7),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(7)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(7)的下限值为0.77,能确保本申请的效果。如果超出条件式(7)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(7)的上限值为2.45,能确保本申请的效果。

[0215] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(8)。

$$[0216] \quad 0.11 < f_2/f_4 < 0.62 \quad (8)$$

[0217] 其中, f_2 表示第二透镜组G2的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组G4的焦距。

[0218] 条件式(8)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第二透镜组G2的适当焦距。通过满足条件式(8),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(8)的下限值,第二透镜组G2的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的彗差,这是不期望的。如果条件式(8)的下限值为0.14,能确保本申请的效果。如果超出条件式(8)的上限值,第四透镜组G4的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的色差,这是不期望的。如果条件式(8)的上限值为0.55,能确保本申请的效果。

[0219] 在变倍光学系统ZL中,优选与第二透镜组G2相比,孔径光阑S设置在更接近像的位置。在这种情况下,优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间。更优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第四透镜组G4之间。通过该构造,能良好地校正彗差和场曲。

[0220] 在变倍光学系统ZL中,优选在聚焦时,第三透镜组G3的至少一部分沿光轴移动。通过该构造,实现快速聚焦,并且能减小聚焦期间视角的波动和球面像差的波动。

[0221] 在变倍光学系统ZL中,优选在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面I固定。通过该构造,能简化变焦期间的镜筒结构,并且能使镜筒的尺寸更小。此外,能控制由于制造误差

而导致的光学性能的劣化。

[0222] 在变倍光学系统ZL中,优选所有透镜表面是球面。通过该构造,透镜的加工、组装和调整变得更容易,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能的劣化。即使像平面偏移,也不太影响制图性能,这是期望的。

[0223] 现在,将参考图23,描述根据第二实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第一透镜组G1沿光轴移动(步骤S200)。此外,设置每一透镜组G1至G5,使得第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量(步骤S300)。此外,设置每一透镜组,使得每一透镜组G1至G5满足上述条件式(5)和(6)(步骤S400)。

[0224] 具体来说,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由此,制造变倍光学系统ZL。

[0225] 现在,将参考附图,描述本发明的第三优选实施例。如图1所示,根据第三优选实施例的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面固定。通过该构造,能减小当变焦时,每一透镜组的移动距离。固定第二透镜组G2还能最小化由于制造误差而导致的偏心的影响。

[0226] 现在,将描述构成根据第三优选实施例的变倍光学系统ZL的条件。优选,变倍光学系统ZL满足下述条件式(9)。

$$[0227] \quad 9.6 < f_t / (-f_2) < 20.0 \quad (9)$$

[0228] 其中, f_t 表示远摄端状态中,变倍光学系统的焦距,以及 f_2 表示第二透镜组G2的焦距。

[0229] 条件式(9)规定相对于远摄端状态中的变倍光学系统ZL的整个系统的焦距,第二透镜组G2的适当焦距。通过满足条件式(9),能良好地校正广角端状态中的彗差。如果未达到条件式(9)的下限值,第二透镜组G2的屈光力增加,并且变得难以校正广角端状态中的彗差,这是不期望的。如果条件式(9)的下限值为10.0,能确保本申请的效果。如果超出条件式(9)的上限值,第二透镜组G2的屈光力减小,并且第一透镜组G1的直径增加,变得难以减小镜筒的尺寸,这是不期望的。如果条件式(9)的上限值为18.0,能确保本申请的效果。

[0230] 在变倍光学系统ZL中,优选,满足下述条件式(10)。

[0231] $3.9 < f_t / (-f_4) < 8.8$ (10)

[0232] 其中, f_t 是远摄端状态中的变倍光学系统的焦距, 以及 f_4 是第四透镜组 G_4 的焦距。

[0233] 条件式 (10) 规定相对于远摄端状态中的变倍光学系统 ZL 的整个系统的焦距, 第四透镜组 G_4 的适当焦距。通过满足条件式 (10), 能良好地校正远摄端状态中的球面像差和彗差。如果未达到条件式 (10) 的下限值, 第四透镜组 G_4 的屈光力增加, 变得难以校正远摄端状态中的彗差, 这是不优选的。如果条件式 (10) 的下限值为 4.0, 能确保本申请的效果。如果超出条件式 (10) 的上限值, 第四透镜组 G_4 的屈光力减小, 变得难以缩短变倍光学系统 ZL 的全长, 这是不期望的。如果条件式 (10) 的上限值为 8.0, 能确保本申请的效果。

[0234] 在变倍光学系统 ZL 中, 优选满足下述条件式 (11)。

[0235] $0.8 < (-f_4) / f_5 < 1.8$ (11)

[0236] 其中, f_4 表示第四透镜组 G_4 的焦距, 以及 f_5 表示第五透镜组 G_5 的焦距。

[0237] 条件式 (11) 规定相对于第五透镜组 G_5 的焦距, 第四透镜组 G_4 的适当焦距。通过满足条件式 (11), 能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式 (11) 的下限值, 第四透镜组 G_4 的屈光力增加, 变得难以校正远摄端状态中的彗差, 这是不期望的。如果条件式 (11) 的下限值为 0.9, 能确保本申请的效果。如果超出条件式 (11) 的上限值, 第五透镜组 G_5 的屈光力增加, 变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变, 这是不期望的。如果条件式 (11) 的上限值为 1.6, 能确保本申请的效果。

[0238] 在变倍光学系统 ZL 中, 优选满足下述条件式 (12)。

[0239] $0.3 < (-f_2) / f_5 < 0.8$ (12)

[0240] 其中, f_2 表示第二透镜组 G_2 的焦距, 以及 f_5 表示第五透镜组 G_5 的焦距。

[0241] 条件式 (12) 规定相对于第五透镜组 G_5 的焦距, 第二透镜组 G_2 的适当焦距。通过满足条件式 (12), 能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式 (12) 的下限值, 第二透镜组 G_2 的屈光力增加, 变得难以校正广角端状态中的彗差, 这是不期望的。如果条件式 (12) 的下限值为 0.4, 能确保本申请的效果。如果超出条件式 (12) 的上限值, 第五透镜组 G_5 的屈光力增加, 变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变, 这是不期望的。如果条件式 (12) 的上限值为 0.7, 能确保本申请的效果。如果条件式 (12) 的上限值为 0.6, 能最大程度地确保本申请的效果。

[0242] 在变倍光学系统 ZL 中, 优选与第二透镜组 G_2 相比, 孔径光阑 S 设置在更接近像的位置。在这种情况下, 优选孔径光阑 S 设置在第三透镜组 G_3 和第五透镜组 G_5 之间。更优选孔径光阑 S 设置在第三透镜组 G_3 和第四透镜组 G_4 之间。通过该构造, 能良好地校正彗差和场曲。

[0243] 在变倍光学系统 ZL 中, 优选在聚焦时, 第三透镜组 G_3 的至少一部分沿光轴移动。通过该构造, 实现快速聚焦, 并且能减小聚焦期间视角的波动和球面像差的波动。

[0244] 在变倍光学系统 ZL 中, 优选第二透镜组 G_2 至第五透镜组 G_5 的至少一部分 (多个透镜组, 透镜组中的一个, 或构成透镜组的任何一个的一部分透镜) 移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下, 更优选第二透镜组 G_2 的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造, 通过具有小直径的透镜, 能校正相机抖动, 因此, 能使镜筒的尺寸更小。

[0245] 在变倍光学系统 ZL 中, 优选所有透镜表面是球面。通过该构造, 透镜的加工、组装和调整变得更容易, 并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能劣化。即使像平面偏移, 也并不太影响绘图性能, 这是期望的。

[0246] 现在,将参考图24,描述根据第三实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面I固定(步骤S200)。此外,设置每一透镜组G1至G5,使得满足条件式(9)和(10)。

[0247] 具体来说,在本实施例中,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由此,制造变倍光学系统ZL。

[0248] 现在,将参考附图,描述本发明的第四优选实施例。如图1所示,根据第四优选实施例的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选,在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面固定。通过该构造,能减小变焦时,每一透镜组的移动距离。固定第二透镜组G2还能最小化由于制造误差而导致的偏心的影响。

[0249] 现在,将描述构成根据第四优选实施例的变倍光学系统ZL的条件。优选,变倍光学系统ZL满足下述条件式(13)。

$$[0250] \quad 2.0 < f1 / (-f2) < 6.1 \quad (13)$$

[0251] 其中,f1表示第一透镜组G1的焦距,以及f2表示第二透镜组G2的焦距。

[0252] 条件式(13)规定相对于第二透镜组G2的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(13),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(13)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(13)的下限值为3.0,能确保本申请的效果。如果超出条件式(13)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(13)上限值为6.0,能确保本申请的效果。

[0253] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(14)。

$$[0254] \quad 1.3 < f1 / (-f4) < 3.0 \quad (14)$$

[0255] 其中,f1表示第一透镜组G1的焦距,以及f4表示第四透镜组G4的焦距。

[0256] 条件式(14)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(14),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(14)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(14)的下限值为1.4,能确保本申请的效果。如果超出条件式(14)的

上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(14)的上限值为2.8,能确保本申请的效果。

[0257] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(15)。

$$[0258] \quad 1.9 < f_1 / f_5 < 3.2 \quad (15)$$

[0259] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组G5的焦距。

[0260] 条件式(15)规定相对于第五透镜组G5的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(15),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(15)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(15)的下限值为2.0,能确保本申请的效果。如果超出条件式(15)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的。如果条件式(15)的上限值为3.0,能确保本申请的效果。

[0261] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(16)。

$$[0262] \quad 0.8 < (-f_4) / f_5 < 1.8 \quad (16)$$

[0263] 其中, f_4 表示第四透镜组G4的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组G5的焦距。

[0264] 条件式(16)规定相对于第五透镜组的焦距,第四透镜组G4的适当焦距。通过满足条件式(16),能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式(16)的下限值,第四透镜组G4的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的色差,这是不期望的。如果条件式(16)的下限值为0.9,能确保本申请的效果。如果超出条件式(16)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的。如果条件式(16)的上限值为1.6,能确保本申请的效果。

[0265] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(17)。

$$[0266] \quad 0.3 < (-f_2) / f_5 < 0.8 \quad (17)$$

[0267] 其中, f_2 表示第二透镜组G2的焦距,以及 f_5 表示第五透镜组G5的焦距。

[0268] 条件式(17)规定相对于第五透镜组的焦距,第二透镜组G2的适当焦距。通过满足条件式(17),能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式(17)的下限值,第二透镜组G2的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的彗差,这是不期望的。如果条件式(17)的下限值为0.4,能确保本申请的效果。如果超出条件式(17)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的。如果条件式(17)的上限值为0.7,能确保本申请的效果。如果条件式(17)的上限值为0.6,能最大程度地确保本申请的效果。

[0269] 在变倍光学系统ZL中,优选与第二透镜组G2相比,孔径光阑S设置在更接近像的位置。在这种情况下,优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间。更优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第四透镜组G4之间。通过该构造,能良好地校正彗差和场曲。

[0270] 在变倍光学系统ZL中,优选在聚焦时,第三透镜组G3的至少一部分沿光轴移动。通过该构造,实现快速聚焦,并且能减小聚焦期间视角的波动和球面像差的波动。

[0271] 在变倍光学系统ZL中,优选第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分(多个透镜组,透镜组中的一个,或构成透镜组的任何一个的一部分透镜)移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下,更优选第二透镜组G2的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造,通过具有小直径的透镜,能校正相机抖动,因此,能使镜筒的尺寸更小。

[0272] 在变倍光学系统ZL中,优选所有透镜表面是球面。通过该构造,透镜的加工、组装和调整变得更容易,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能劣化。即使像平面偏移,也并不太影响绘图性能,这是期望的。

[0273] 现在,将参考图24,描述根据第四实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备每一透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面I固定(步骤S200)。此外,设置每一透镜组G1至G5,使得满足条件式(13)和(14)。

[0274] 具体来说,在本实施例中,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由此,制造变倍光学系统ZL。

[0275] 现在,将参考附图,描述本发明的第五优选实施例。如图1所示,根据第五优选实施例的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选,当变焦时,第二透镜组G2和第四透镜组G4相对于像平面固定。通过该构造,能简化变焦时的镜筒结构,并且能使镜筒的尺寸更小。此外,能控制由于制造误差而导致的光学性能的劣化。

[0276] 现在,将描述构成根据第五优选实施例的变倍光学系统ZL的条件。优选,变倍光学系统ZL满足下述条件式(18)。

$$[0277] \quad 1.05 < f_1 / (-f_2) < 6.10 \quad (18)$$

[0278] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_2 表示第二透镜组G2的焦距。

[0279] 条件式(18)规定相对于第二透镜组G2的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(18),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(18)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(18)的下限值为2.25,能确保本申请的效果。如果超出条件式(18)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(18)上限值为5.87,能确保本申请的效果。

[0280] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(19)。

$$[0281] \quad 0.32 < (-f_4) / f_5 < 1.93 \quad (19)$$

[0282] 其中, f_4 是第四透镜组G4的焦距,以及 f_5 是第五透镜组G5的焦距。

[0283] 条件式(19)规定相对于第五透镜组G5的焦距,第四透镜组G4的适当焦距。通过满

足条件式(19),能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式(19)的下限值,第四透镜组G4的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的色差,这是不期望的。如果条件式(19)的下限值为0.44,能确保本申请的效果。如果超出条件式(19)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的,如果条件式(19)的上限值为1.63,能确保本申请的效果。

[0284] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(20)。

$$[0285] \quad 0.74 < f_1 / (-f_4) < 2.82 \quad (20)$$

[0286] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组G4的焦距。

[0287] 条件式(20)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(20),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(20)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(20)的下限值为0.79,能确保本申请的效果。如果超出条件式(20)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(20)的上限值为2.71,能确保本申请的效果。

[0288] 在变倍光学系统ZL中,优选与第二透镜组G2相比,孔径光阑S设置在更接近像的位置。在这种情况下,优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间。更优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第四透镜组G4之间。通过该构造,能良好地校正彗差和场曲。

[0289] 在变倍光学系统ZL中,优选在聚焦时,第三透镜组G3的至少一部分沿光轴移动。通过该构造,实现快速聚焦,并且能减小聚焦期间,视角的波动和球面像差的波动。

[0290] 在变倍光学系统ZL中,优选第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分(多个透镜组,透镜组中的一个,或构成透镜组的任何一个的一部分透镜)移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下,更优选第二透镜组G2的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造,通过具有小直径的透镜,能校正相机抖动,因此,能使镜筒的尺寸更小。

[0291] 在变倍光学系统ZL中,优选所有透镜表面是球面。通过该构造,透镜的加工、组装和调整变得更容易,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能劣化。即使像平面偏移,也并不太影响绘图性能,这是期望的。

[0292] 现在,将参考图25,描述根据第五实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备每一透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第二透镜组G2和第四透镜组G4相对于像平面I固定(步骤S200)。此外,设置每一透镜组G1至G5,使得满足条件式(18)和(19)。

[0293] 具体来说,在本实施例中,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其

中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由此,制造变倍光学系统ZL。

[0294] 现在,将参考附图,描述本发明的第六优选实施例。如图1所示,根据第六优选实施例的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选,当变焦时,第二透镜组G2和第四透镜组G4相对于像平面固定。通过该构造,能简化变焦时的镜筒结构,并且能使镜筒的尺寸更小。此外,能控制由于制造误差而导致的光学性能的劣化。

[0295] 在根据第六优选实施例的变倍光学系统ZL中,首先,优选,对该变倍光学系统ZL,满足下述条件式(21)。

$$[0296] \quad 0.44 < (-f_2) / f_3 < 0.86 \quad (21)$$

[0297] 其中, f_2 表示第二透镜组G2的焦距,以及 f_3 表示第三透镜组G3的焦距。

[0298] 条件式(21)规定相对于第三透镜组G3,第二透镜组G2的适当焦距。通过满足条件式(21),能良好地校正广角端状态中的彗差以及远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(21)的下限值,第二透镜组G2的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的彗差,这是不期望的。如果条件式(21)的下限值为0.47,能确保本申请的效果。如果超出条件式(21)的上限值,第三透镜组G3的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(21)的上限值为0.76,能确保本申请的效果。

[0299] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(22)。

$$[0300] \quad 0.32 < (-f_4) / f_5 < 2.07 \quad (22)$$

[0301] 其中, f_4 是第四透镜组G4的焦距,以及 f_5 是第五透镜组G5的焦距。

[0302] 条件式(22)规定相对于第五透镜组G5的焦距,第四透镜组G4的适当焦距。通过满足条件式(22),能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式(22)的下限值,第四透镜组G4的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的色差,这是不期望的。如果条件式(22)的下限值为0.44,能确保本申请的效果。如果超出条件式(22)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的,如果条件式(22)的上限值为1.63,能确保本申请的效果。

[0303] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(23)。

$$[0304] \quad 0.29 < f_3 / (-f_4) < 0.87 \quad (23)$$

[0305] 其中, f_3 表示第三透镜组G3的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组G4的焦距。

[0306] 条件式(23)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第三透镜组G3的适当焦距。通过满足条件式(23),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(23)的下限值,第三透镜组G3的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(23)的下限值为0.31,能确保本申请的效果。如果超出条件式(23)的上限值,第三透镜组G3的屈光力减小,变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(23)的上限值为0.83,能确保本申请的效果。

[0307] 在变倍光学系统ZL中,优选与第二透镜组G2相比,孔径光阑S设置在更接近像的位置。在这种情况下,优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间。更优选孔径

光阑S设置在第三透镜组G3和第四透镜组G4之间。通过该构造,能良好地校正彗差和场曲。

[0308] 在变倍光学系统ZL中,优选在聚焦时,第三透镜组G3的至少一部分沿光轴移动。通过该构造,实现快速聚焦,并且能减小聚焦期间,视角的波动和球面像差的波动。

[0309] 在变倍光学系统ZL中,优选第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分(多个透镜组,透镜组中的一个,或构成透镜组的任何一个的一部分透镜)移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下,更优选第二透镜组G2的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造,通过具有小直径的透镜,能校正相机抖动,因此,能使镜筒的尺寸更小。

[0310] 在变倍光学系统ZL中,优选所有透镜表面是球面。通过该构造,透镜的加工、组装和调整变得更容易,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能劣化。即使像平面偏移,也并不太影响绘图性能,这是期望的。

[0311] 现在,将参考图25,描述根据第六实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备每一透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第二透镜组G2和第四透镜组G4相对于像平面I固定(步骤S200)。此外,设置每一透镜组G1至G5,使得满足条件式(21)和(22)。

[0312] 具体来说,在本实施例中,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由此,制造变倍光学系统ZL。

[0313] 现在,将参考附图,描述本发明的第七优选实施例。如图1所示,根据第七优选实施例的变倍光学系统ZL按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4,以及具有正屈光力的第五透镜组G5构成。在该变倍光学系统ZL中,优选,在变焦时,第一透镜组G1沿光轴移向像平面。通过该构造,能减小变焦期间的像差波动。此外,能削弱第一透镜组G1的屈光力,由此,能控制当由于制造误差而产生偏心时的像差的恶化。

[0314] 在变倍光学系统ZL中,优选第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分(多个透镜组,透镜组中的一个,或构成透镜组的任何一个的一部分透镜)移动以包括与光轴正交的分量。在这种情况下,更优选第二透镜组G2的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量。通过该构造,通过具有小直径的透镜,能校正相机抖动,因此,能使镜筒的尺寸更小。

[0315] 现在,将描述构成根据第七优选实施例的变倍光学系统ZL的条件。优选,变倍光学系统ZL满足下述条件式(24)。

[0316] $4.41 < f_1 / (-f_2) < 5.33$ (24)

[0317] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_2 表示第二透镜组G2的焦距。

[0318] 条件式(24)规定相对于第二透镜组G2的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(24),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(24)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(24)的下限值为4.45,能确保本申请的效果。如果超出条件式(24)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(24)上限值为5.30,能确保本申请的效果。

[0319] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(25)。

$$[0320] \quad 2.15 < f_1/f_3 < 4.95 \quad (25)$$

[0321] 其中, f_1 表示第一透镜组G1的焦距,以及 f_3 表示第三透镜组G3的焦距。

[0322] 条件式(25)规定相对于第三透镜组G3的焦距,第一透镜组G1的适当焦距。通过满足条件式(25),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(25)的下限值,第一透镜组G1的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(25)的下限值为2.20,能确保本申请的效果。如果超出条件式(25)的上限值,第一透镜组G1的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的,如果条件式(25)的上限值为4.35,能确保本申请的效果。

[0323] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(26)。

$$[0324] \quad 0.18 < f_3/(-f_4) < 0.92 \quad (26)$$

[0325] 其中, f_3 是第三透镜组G3的焦距,以及 f_4 表示第四透镜组G4的焦距。

[0326] 条件式(26)规定相对于第四透镜组G4的焦距,第三透镜组G3的适当焦距。通过满足条件式(26),能良好地校正远摄端状态中的球面像差和色差。如果未达到条件式(26)的下限值,第三透镜组G3的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的球面像差和色差,这是不期望的。如果条件式(26)的下限值为0.22,能确保本申请的效果。如果超出条件式(26)的上限值,第三透镜组G3的屈光力减小,并且变倍光学系统的全长增加,这是不期望的。如果条件式(26)的上限值为0.85,能确保本申请的效果。

[0327] 在变倍光学系统ZL中,优选满足下述条件式(27)。

$$[0328] \quad 0.82 < (-f_4)/f_5 < 1.58 \quad (27)$$

[0329] 其中, f_4 是第四透镜组G4的焦距,以及 f_5 是第五透镜组G5的焦距。

[0330] 条件式(27)规定相对于第五透镜组G5的焦距,第四透镜组G4的适当焦距。通过满足条件式(27),能良好地校正广角端状态中的场曲和畸变。如果未达到条件式(27)的下限值,第四透镜组G4的屈光力增加,变得难以校正远摄端状态中的色差,这是不期望的。如果条件式(27)的下限值为0.88,能确保本申请的效果。如果超出条件式(27)的上限值,第五透镜组G5的屈光力增加,变得难以校正广角端状态中的场曲和畸变,这是不期望的,如果条件式(27)的上限值为1.52,能确保本申请的效果。

[0331] 在变倍光学系统ZL中,优选与第二透镜组G2相比,孔径光阑S设置在更接近像的位置。在这种情况下,优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间。更优选孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第四透镜组G4之间。通过该构造,能良好地校正彗差和场曲。

[0332] 在变倍光学系统ZL中,优选在聚焦时,第三透镜组G3的至少一部分沿光轴移动。通过该构造,实现快速聚焦,并且能减小聚焦期间,视角的波动和球面像差的波动。

[0333] 在变倍光学系统ZL中,优选在变焦时,第二透镜组G2相对于像平面I固定。通过该构造,能简化变焦期间的镜筒结构,并且能使镜筒的尺寸更小。此外,能控制由于制造误差而导致的光学性能的劣化。

[0334] 在变倍光学系统ZL中,优选所有透镜表面是球面。通过该构造,透镜的加工、组装和调整变得更容易,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而导致的光学性能劣化。即使像平面偏移,也并不太影响绘图性能,这是期望的。

[0335] 在变倍光学系统ZL中,在第n个透镜组Gn(在本实施例中,为第五透镜组G5)的光学表面的至少一个表面上,形成包括通过湿法工艺形成的至少一层的防反射膜。在变倍光学系统ZL中形成的防反射膜是多层膜,并且该多层膜的最外层优选是通过湿法工艺形成的层。通过该构造,能减小与空气的折射率差,因此,能减少光反射,并且能进一步减少幻像和耀斑。

[0336] 在变倍光学系统ZL中,满足下述条件式(28),其中, n_d 表示在d线的折射率(波长:587.6nm)。通过满足该条件式,能减小与空气的折射率差,因此,能减少光反射,并且进一步减少幻像和耀斑。

$$[0337] \quad n_d \leq 1.30 \quad (28)$$

[0338] 防反射膜可以包括不使用湿法工艺(使用干法工艺等等)形成的、折射率为1.30或更小的至少一层。通过该构造,能确保与使用湿法工艺的情形的相同效果。在这种情况下,优选,其折射率为1.30或更小的层为构成多层膜的层中的最外层。

[0339] 如图5所示,当来自物体侧的光线BM进入变倍光学系统ZL1时,光线在双凸透镜L15的物体侧透镜表面(第一幻像生成面,对应于表面编号29)上反射,并且所反射的光线在平凸透镜L15的像侧透镜表面(第二幻像生成面,对应于表面编号28)上再次反射,到达像平面I并且生成幻像。尽管稍后将描述详情,但根据每一例子的防反射膜具有多层结构(七层),最外层(第七层)通过湿法工艺形成,并且d线的折射率为1.26(见下表16)。

[0340] 现在,将参考图23,描述根据第七实施例的变倍光学系统ZL的制造方法的概述。首先,通过设置每一透镜,制备透镜组G1至G5(步骤S100)。设置每一透镜组,使得在变焦时,第一透镜组G1沿光轴移动(步骤S200)。此外,设置每一透镜组,使得第二透镜组G2至第五透镜组G5的至少一部分移动以包括正交于光轴的分量(步骤S300)。此外,设置每一透镜组,使得每一透镜组G1至G5满足上述条件式(24)和(25)(步骤S400)。

[0341] 具体来说,在本实施例中,如图1所示,例如,通过按从物体的顺序,设置:胶合透镜(胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12),和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13产生第一透镜组G1;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22)、胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)和双凹透镜L25产生第二透镜组G2;通过设置双凸透镜L31和胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33)产生第三透镜组G3;通过设置胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42)产生第四透镜组G4,以及通过设置双凸透镜L51、胶合透镜(其中,胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53,和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54)、胶合透镜(其中,胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56),和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57产生第五透镜组G5。根据上述过程,设置与此类似制备的每一透镜组,由

此,制造变倍光学系统ZL。

[0342] 现在,将参考图22,描述作为包括根据实施例的变倍光学系统ZL的光学装置的相机。该相机1是将根据实施例的变倍光学系统ZL包括为像捕捉镜头2的透镜互换型的无反光镜相机。在该相机1中,来自物体(未示出)的光由像捕捉镜头2采集,并且经OLPF(光学低通滤波器)(未示出),在成像单元3的成像平面上形成物体像。该物体像由设置在成像单元3中的光电转换元件进行光电转换,由此产生物体的图像。该图像显示在设置在相机1上的EVF(电子取景器)4上。由此,用户能经EVF 4观看该物体。

[0343] 如果用户按下快门按钮(未示出),将通过成像单元3光电转换的图像存储在存储器(未示出)中。由此,用户能使用该相机1捕捉物体的图像。在该实施例中,描述了无反光镜的例子,但即使将根据实施例的变倍光学系统ZL安装在包括快速返回反光镜并且通过取景器光学系统查看物体的单镜头反射型相机的相机主体中,也能确保与相机1的情形类似的效果。

[0344] 在不损害光学性能的范围,采用下述内容。

[0345] 在该实施例中,示出了由五个透镜组或六个透镜组构成的变倍光学系统ZL,但能将上述构造等等的条件应用于不同多个透镜组,诸如七个透镜组。可以将透镜或透镜组添加到最接近物体的一侧,或可以将透镜或透镜组添加到最接近像的一侧。“透镜组”是指由当变焦时改变的空气间隔隔离的具有至少一个透镜的部分。

[0346] 单一透镜组、多个透镜组或部分透镜组可以设计成通过在光轴方向中移动,执行将无限远物体聚焦到近距离物体的聚焦透镜组。该聚焦透镜组能应用于自动聚焦,并且还适合于驱动用于自动聚焦的马达(例如使用超声波马达等等驱动)。优选,将第三透镜组的至少一部分设计成聚焦透镜组,如上所述。

[0347] 透镜组或部分透镜组可以设计成减振透镜组,其通过在具有正交于光轴的分量的方向中移动透镜组或部分透镜组,或通过在包括光轴的面内方向中旋转透镜组,校正由相机抖动产生的像模糊。尤其优选将第二透镜组G2的至少一部分设计成减振透镜组,如上所述。

[0348] 透镜表面可以形成为球面表面或平面,或非球面表面。如果透镜表面为球面表面或平面,透镜加工、组装和调整容易,如上所述,并且能防止由于加工、组装和调整的误差而引起的光学性能的劣化。即使像平面偏移,也不太影响制图性能,这是期望的。如果透镜表面是非球面,非球面表面能是通过研磨产生的非球面表面、使用模具按非球面形状形成玻璃产生的玻璃模制非球面表面,以及通过在玻璃表面上将树脂形成非球面形状而产生的复合非球面表面中的任一非球面表面。透镜表面可以是衍射表面,以及透镜可以是渐变折射率型透镜(GRIN)或塑料透镜。

[0349] 优选,孔径光阑S设置在第三透镜组G3和第五透镜组G5之间,如上所述,但孔径光阑的作用可以由透镜框代替,而不将单独元件设置为孔径光阑。

[0350] 每一透镜表面可以涂以在宽波长区中具有高透射比的防反射膜以便减小耀斑和幻像,并且实现高光学性能和高对比度。

[0351] 每一实施例的变倍光学系统ZL的变倍比为3.0至7.0。

[0352] 实例

[0353] 现在,将参考图1,描述本发明的每一实例。图1、图6、图10、图14和图18是图示根据

每一实例的每一变倍光学系统ZL (ZL1至ZL5) 的构造和屈光力的分配的截面图。在变倍光学系统ZL1至ZL5的截面图的下部中, 由箭头标记示出在从广角端状态(W) 变焦到远摄端状态(T) 时, 每一透镜组G1至G5或G6沿光轴的移动方向。在所有例子中, 在变焦时, 第一透镜组G1相对于像平面沿光轴移动。

[0354] [实例1]

[0355] 图1示出根据实例1的变倍光学系统ZL1的构造。图1所示的变倍光学系统ZL1按从物体的顺序, 由: 具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4和具有正屈光力的第五透镜组G5构成。第一透镜组G1按从物体的顺序, 包括: 胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12的胶合透镜; 以及具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13。第二透镜组G2按从物体的顺序, 包括: 胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22的胶合透镜; 胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24的胶合透镜, 以及双凹透镜L25。第三透镜组G3按从物体的顺序, 包括: 双凸透镜L31; 以及胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33的胶合透镜。第四透镜组G4按从物体的顺序, 包括按从物体的顺序, 胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42的胶合透镜。第五透镜组G5按从物体的顺序, 包括: 双凸透镜L51; 胶合具有面向物体的凸表面的平凸透镜L52、具有面向像的凹表面的平凹透镜L53, 和具有面向物体的凸表面的平凸透镜L54的胶合透镜; 胶合双凸透镜L55和具有面向物体的凹表面的平凹透镜L56的胶合透镜, 和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L57。

[0356] 在根据实例1的变倍光学系统ZL1中, 在从广角端状态变焦到远摄端状态时, 第一透镜组G1、第三透镜组G3和第五透镜组G5在光轴上移向物体, 并且第二透镜组G2和第四透镜组G4在光轴方向中相对于像平面I固定。孔径光阑S设置在第五透镜组G5的物体侧, 并且在变焦时, 与第五透镜组G5一起移动。

[0357] 通过使第三透镜组G3移向像, 执行从无限远到近距离的物体的聚焦。

[0358] 为了像模糊校正(减振), 将第二透镜组G2的胶合透镜(其中, 胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24) 设计成减振透镜组, 该减振透镜组移动, 使得包括正交于光轴的分量。为使用其变倍光学系统的焦距为 f 并且减振系数(在像模糊校正中, 成像面上的像移动距离与减振透镜组VL的移动距离的比) 为 K 的镜头, 校正其角度为 θ 的旋转模糊, 在正交于光轴的方向中, 使用于模糊校正的减振透镜组移动 $(f \cdot \tan\theta) / K$ (这对下述实例同样成立)。在实例1的广角端状态中, 减振系数为 -0.767 并且焦距为 81.6 (mm), 因此, 用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.371 (mm)。在实例1的中间焦距状态中, 减振系数为 -1.348 并且焦距为 200.0 (mm), 因此, 用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.518 (mm)。在实例1的远摄端状态中, 减振系数为 -2.103 并且焦距为 392.0 (mm), 因此, 用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.651 (mm)。

[0359] 下表1列出实例1的每一数据。在表1的[整体数据]中, β 是变倍比, f 是变倍光学系统的焦距, FNO 是F数, 2ω 是视角, Y 是像高, 以及 TL 是全长。在此, 全长是指在无限远聚焦状态中, 在光轴上, 从透镜表面的表面1到像平面I的距离。在[透镜数据]中, 第一列中的 m 是在光传播方向中, 从物体计数的透镜表面的顺序(表面编号), 第二列中的 r 是每一透镜表面的曲率半径, 第三列中的 d 是光轴上, 从每一光学表面到下一光学表面的距离(表面距离), 第

四列中的vd和第五列中的nd分别是d线($\lambda=587.6\text{nm}$)的阿贝数和折射率。曲率半径0.000表示平面,以及忽略空气的折射率1.00000。表1中的表面编号1至33对应于图1中的编号1至33。[透镜组的焦距]分别表示第一至第五透镜组G1至G5的第一表面和焦距。在所有数据值中,“mm”通常用作焦距f、曲率半径r、表面距离d和其他长度的单位,但单位不限于“mm”,因为即使成比例地扩大或成比例地缩小光学系统,也能获得等效的光学性能。有关符号的描述和有关数据表的描述对其他后续实例是相同的。

[0360] (表1)

[0361] [整体数据]

[0362] $\beta=4.8$

		广角端状态		中间焦距状态		远摄端状态
	f	=	81.6	~	200.0	~ 392.0
[0363]	FNO	=	4.56	~	5.38	~ 5.85
	2ω	=	29.6	~	12.1	~ 6.2
	Y	=	21.6	~	21.6	~ 21.6
	TL	=	246.4	~	283.4	~ 302.5

[0364] [透镜数据]

	m	r	d	vd	nd
	1	182.816	2.500	35.7	1.90265
	2	92.566	10.000	82.6	1.49782
	3	-707.416	0.100		
	4	83.365	9.200	95.0	1.43700
	5	1420.361	D1		
	6	117.082	6.400	34.9	1.80100
	7	-117.044	2.200	82.6	1.49782
	8	61.183	5.810		
	9	-265.081	2.000	46.6	1.81600
[0365]	10	30.785	4.600	25.5	1.80518
	11	92.264	6.200		
	12	-56.342	2.000	42.7	1.83481
	13	158.965	D2		
	14	112.252	4.600	67.9	1.59319
	15	-78.685	0.100		
	16	67.612	1.800	31.3	1.90366
	17	35.499	6.400	67.9	1.59319
	18	-238.177	D3		
	19	-58.467	1.600	54.6	1.72916

	20	38.999	3.600	35.7	1.90265	
	21	146.900	D4			
	22	0.000	2.000			孔径光阑 S
	23	124.142	3.400	44.8	1.74400	
	24	-124.142	0.100			
	25	26.615	6.800	70.3	1.48749	
[0366]	26	0.000	2.000	29.4	1.95000	
	27	26.437	4.800	52.2	1.51742	
	28	0.000	17.600			
	29	176.178	6.000	33.7	1.64769	
	30	-19.703	1.600	65.4	1.60300	
	31	0.000	11.270			
	32	-22.131	1.600	42.7	1.83481	
	33	-33.748	BF			

[0367] [透镜组的焦距]

	透镜组	第一表面	焦距
	第一透镜组	1	161.714
[0368]	第二透镜组	6	-32.531
	第三透镜组	14	50.816
	第四透镜组	19	-70.030
	第五透镜组	23	59.673

[0369] 在实例1中,第一透镜组G1和第二透镜组G2之间的轴向空气间隔D1、第二透镜组G2与第三透镜组G3之间的轴向空气间隔D2、第三透镜组G3和第四透镜组G4之间的轴向空气间隔D3、第四透镜组G4和与第五透镜组G5一起移动的孔径光阑S之间的轴向空气间隔D4,以及后焦长度BF在变焦时改变。表2示出在聚焦无限远时,在广角端状态、中间焦距状态和远摄端状态中,可变距离D1至D4和在每一焦距的后焦长度BF的值。后焦长度BF表示在光轴上,从离像最近的透镜表面(图1中的表面33)到像平面I的距离。该描述对其他后续例子相同。

[0370] (表2)

[0371] [可变距离数据]

	广角端状态	~	中间焦距状态	~	远摄端状态	
	f	81.6	~	200.0	~	392.0
	D1	8.225	~	45.191	~	64.292
[0372]	D2	27.059	~	15.341	~	3.056
	D3	5.388	~	17.106	~	29.391
	D4	26.684	~	11.153	~	2.382
	BF	52.8	~	68.3	~	77.1

[0373] 表3示出对应于实例1中的每一条件式的值。在表3中, f_1 是第一透镜组G1的焦距, f_2 是第二透镜组G2的焦距, f_4 是第四透镜组G4的焦距, 以及 f_5 是第五透镜组G4的焦距。符号的描述对其他后续实例相同。

[0374] (表3)

[0375] (1) $f_1/(-f_2) = 4.97$

[0376] (2) $f_1/f_3 = 3.18$

[0377] (3) $f_3/(-f_4) = 0.73$

[0378] (4) $(-f_4)/f_5 = 1.17$

[0379] (5) $f_1/(-f_2) = 4.97$

[0380] (6) $f_3/f_5 = 0.85$

[0381] (7) $f_1/(-f_4) = 2.31$

[0382] (8) $f_2/f_4 = 0.46$

[0383] (9) $f_t/(-f_2) = 12.1$

[0384] (10) $f_t/(-f_4) = 5.6$

[0385] (11) $(-f_4)/f_5 = 1.2$

[0386] (12) $(-f_2)/f_5 = 0.6$

[0387] (13) $f_1/(-f_2) = 5.0$

[0388] (14) $f_1/(-f_4) = 2.3$

[0389] (15) $f_1/f_5 = 2.7$

[0390] (16) $(-f_4)/f_5 = 1.2$

[0391] (17) $(-f_2)/f_5 = 0.6$

[0392] (18) $f_1/(-f_2) = 4.97$

[0393] (19) $(-f_4)/f_5 = 1.17$

[0394] (20) $f_1/(-f_4) = 2.31$

[0395] (21) $(-f_2)/f_3 = 0.64$

[0396] (22) $(-f_4)/f_5 = 1.17$

[0397] (23) $f_3/(-f_4) = 0.73$

[0398] (24) $f_1/(-f_2) = 4.97$

[0399] (25) $f_1/f_3 = 3.18$

[0400] (26) $f_3/(-f_4) = 0.73$

[0401] (27) $(-f_4)/f_5 = 1.17$

[0402] 因此,实例1的变倍光学系统ZL1满足所有条件式(1)至(27)。

[0403] 图2A是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,实例1的各种像差的一组图,图3A是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,实例1的各种像差的一组图,以及图4A是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,实例1的各种像差的一组图。图2B是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例1的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.371$),图3B是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例1的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.518$),以及图4B是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例1的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.651$)。在示出像差的每一图中,

FNO是F数,A是半视角,d是d线($\lambda=587.6\text{nm}$)时的各个像差,以及g是g线($\lambda=435.6\text{nm}$)时的各个像差。示出像散的每一图中的实线示出矢状像平面,以及虚线示出子午像平面。有关示出像差的图的描述对其他后续实例是相同的。如示出像差的每一图表明,在实例1中,变倍光学系统具有良好成像性能,其中,在从广角端状态到远摄端状态的每一焦距状态中,良好地校正各种像差。

[0404] 图5是根据实例1的变倍光学系统,图示入射光线在第一幻像生成面和第二幻像生成面上反射,在像平面I上产生幻像和耀斑的状态的例子。

[0405] [实例2]

[0406] 图6示出根据实例2的变倍光学系统ZL2的构造。图6所示的变倍光学系统ZL2按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4、具有正屈光力的第五透镜组G5和具有负屈光力的第六透镜组G6构成。第一透镜组G1按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12的胶合透镜;和双凸透镜L13。第二透镜组G2按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凹表面的正弯月透镜L21和双凹透镜L22的胶合透镜;胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24的胶合透镜,和双凹透镜L25。第三透镜组G3按从物体的顺序,包括:双凸透镜L31;和胶合双凸透镜L32和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L33的胶合透镜。第四透镜组G4按从物体的顺序,包括胶合双凹透镜L41和双凸透镜L42的胶合透镜。第五透镜组G5按从物体的顺序,包括:双凸透镜L51;和胶合双凸透镜L52和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L53的胶合透镜。第六透镜组G6按从物体的顺序,包括:胶合双凸透镜L61和双凹透镜L62的胶合透镜。

[0407] 在根据实例2的变倍光学系统ZL2中,在从广角端状态变焦到远摄端状态时,第一透镜组G1、第三透镜组G3、第五透镜组G5和第六透镜组G6在光轴上移向物体,并且第二透镜组G2和第四透镜组G4在光轴方向中相对于像平面I固定。孔径光阑S设置在第五透镜组G5的物体侧,并且在变焦时,与第五透镜组G5一起移动。

[0408] 通过使第三透镜组G3移向像,执行从无限远到近距离的物体的聚焦。

[0409] 为了像模糊校正(减振),将第二透镜组G2的胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)设计成减振透镜组,该减振透镜组移动,使得包括正交于光轴的分量。在实例2的广角端状态中,减振系数为 -0.637 并且焦距为 $72.0(\text{mm})$,因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 $-0.395(\text{mm})$ 。在实例2的中间焦距状态中,减振系数为 -1.158 并且焦距为 $200.0(\text{mm})$,因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 $-0.603(\text{mm})$ 。在实例2的远摄端状态中,减振系数为 -1.763 并且焦距为 $390.0(\text{mm})$,因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 $-0.772(\text{mm})$ 。

[0410] 下表4列出实例2的每一数据。表4中的表面编号1至30对应于图6中的编号1至30。[透镜组的焦距]分别示出第一至第六透镜组G1至G6的第一表面和焦距。

[0411] (表4)

[0412] [整体数据]

[0413] $\beta=5.4$

		广角端状态	~	中间焦距状态	~	远摄端状态
[0414]	f =	72.0	~	200.0	~	390.0
	FNO =	4.54	~	5.44	~	5.88
	2 ω =	33.7	~	12.0	~	6.2
	Y =	21.6	~	21.6	~	21.6
	TL =	244.3	~	290.3	~	309.3
[0415]	[透镜数据]					
	m	r	d	vd	nd	
	1	218.093	1.800	40.7	1.88300	
	2	94.341	10.098	82.6	1.49782	
	3	-579.376	0.100			
	4	90.320	9.392	82.6	1.49782	
[0416]	5	-1839.350	D1			
	6	-1407.394	4.344	25.5	1.80518	
	7	-80.390	2.000	67.9	1.59319	
	8	128.565	4.528			
	9	-287.557	1.900	42.7	1.83481	
	10	40.640	3.951	23.8	1.84666	

	11	116.253	5.759		
	12	-69.042	1.800	42.7	1.83481
	13	177.936	D2		
	14	102.836	4.827	60.2	1.64000
	15	-70.986	0.100		
	16	85.954	5.583	61.2	1.58913
	17	-58.889	2.000	23.8	1.84666
	18	-910.681	D3		
	19	-57.570	1.800	47.4	1.78800
[0417]	20	50.018	3.583	23.8	1.84666
	21	-2308.874	D4		
	22	0.000	2.000		孔径光阑 S
	23	1105.472	3.337	50.3	1.71999
	24	-60.251	0.100		
	25	53.693	5.265	70.3	1.48749
	26	-61.018	2.000	23.8	1.84666
	27	-839.528	D5		
	28	43.363	5.139	28.4	1.72825
	29	-106.243	1.500	40.7	1.88300
	30	33.800	BF		
[0418]	[透镜组的焦距]				
	透镜组	第一表面	焦距		
	第一透镜组	1	151.809		
	第二透镜组	6	-32.015		
[0419]	第三透镜组	14	53.583		
	第四透镜组	19	-82.521		
	第五透镜组	23	58.368		
	第六透镜组	28	-110.027		

[0420] 在实例2中,第一透镜组G1和第二透镜组G2之间的轴向空气间隔D1、第二透镜组G2与第三透镜组G3之间的轴向空气间隔D2、第三透镜组G3和第四透镜组G4之间的轴向空气间隔D3、第四透镜组G4和与第五透镜组G5一起移动的孔径光阑S之间的轴向空气间隔D4、第五透镜组G5和第六透镜组G6之间的轴向空气间隔D5以及后焦长度BF在变焦时改变。表5示出在聚焦无限远时,在广角端状态、中间焦距状态和远摄端状态中,可变距离D1至D5和在每一焦距的后焦长度BF的值。

[0421] (表5)

[0422]	[可变距离数据]					
	广角端状态			中间焦距状态		远摄端状态
	f	72.0	~	200.0	~	390.0
	D1	2.000	~	47.946	~	67.000
	D2	28.700	~	17.520	~	3.000
[0423]	D3	15.940	~	29.759	~	42.880
	D4	29.040	~	8.875	~	2.000
	D5	30.005	~	22.265	~	23.642
	BF	55.7	~	81.0	~	87.9

[0424] 表6示出对应于根据实例2的每一条件式的值。

[0425] (表6)

[0426] (1) $f1/(-f2) = 4.74$

[0427] (2) $f1/f3 = 2.83$

[0428] (3) $f3/(-f4) = 0.65$

[0429] (4) $(-f4)/f5 = 1.41$

[0430] (5) $f1/(-f2) = 4.74$

[0431] (6) $f3/f5 = 0.92$

[0432] (7) $f1/(-f4) = 1.84$

[0433] (8) $f2/f4 = 0.39$

[0434] (9) $ft/(-f2) = 12.2$

[0435] (10) $ft/(-f4) = 4.7$

[0436] (11) $(-f4)/f5 = 1.4$

[0437] (12) $(-f2)/f5 = 0.6$

[0438] (13) $f1/(-f2) = 4.7$

[0439] (14) $f1/(-f4) = 1.8$

[0440] (15) $f1/f5 = 2.6$

[0441] (16) $(-f4)/f5 = 1.4$

[0442] (17) $(-f2)/f5 = 0.6$

[0443] (18) $f1/(-f2) = 4.74$

[0444] (19) $(-f4)/f5 = 1.41$

[0445] (20) $f1/(-f4) = 1.84$

[0446] (21) $(-f2)/f3 = 0.60$

[0447] (22) $(-f4)/f5 = 1.41$

[0448] (23) $f3/(-f4) = 0.65$

[0449] (24) $f1/(-f2) = 4.74$

[0450] (25) $f1/f3 = 2.83$

[0451] (26) $f3/(-f4) = 0.65$

[0452] (27) $(-f4)/f5 = 1.41$

[0453] 因此,实例2的变倍光学系统ZL2满足所有条件式(1)至(27)。

[0454] 图7A是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,实例2的各种像差的一组图,图8A是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,实例2的各种像差的一组图,以及图9A是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,实例2的各种像差的一组图。图7B是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例2的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.395$),图8B是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例2的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.603$),以及图9B是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例2的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.772$)。如示出像差的每一图表明,在实例2中,变倍光学系统具有良好成像性能,其中,在从广角端状态到远摄端状态的每一焦距状态中,良好地校正各种像差。

[0455] [实例3]

[0456] 图10示出根据实例3的变倍光学系统ZL3的构造。图10所示的变倍光学系统ZL3按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4、具有正屈光力的第五透镜组G5和具有负屈光力的第六透镜组G6构成。第一透镜组G1按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12的胶合透镜;和双凸透镜L13。第二透镜组G2按从物体的顺序,包括:胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22的胶合透镜;胶合具有面向物体的凹表面的正弯月透镜L23和双凹透镜L24的胶合透镜,和双凹透镜L25。第三透镜组G3按从物体的顺序,包括:双凸透镜L31;和胶合双凸透镜L32和双凹透镜L33的胶合透镜。第四透镜组G4包括按从物体的顺序,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42的胶合透镜。第五透镜组G5按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L51和双凸透镜L52的胶合透镜,和胶合双凸透镜L53和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L54的胶合透镜。第六透镜组G6按从物体的顺序,包括:胶合双凸透镜L61和双凹透镜L62的胶合透镜。

[0457] 在根据实例3的变倍光学系统ZL3中,在从广角端状态变焦到远摄端状态时,第一透镜组G1、第三透镜组G3、第五透镜组G5和第六透镜组G6在光轴上移向物体,并且第二透镜组G2和第四透镜组G4在光轴方向中相对于像平面I固定。孔径光阑S设置在第五透镜组G5的物体侧,并且在变焦时,与第五透镜组G5一起移动。

[0458] 通过使第三透镜组G3移向像,执行从无限远到近距离的物体的聚焦。

[0459] 为了像模糊校正(减振),将整个第二透镜组G2设计成减振透镜组,该减振透镜组移动,使得包括正交于光轴的分量。在实例3的广角端状态中,减振系数为 -1.972 并且焦距为 72.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.127 (mm)。在实例3的中间焦距状态中,减振系数为 -3.534 并且焦距为 200.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.198 (mm)。在实例3的远摄端状态中,减振系数为 -5.379 并且焦距为 390.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.253 (mm)。

[0460] 下表7列出实例3的每一数据。表7中的表面编号1至31对应于图10中的编号1至31。

[透镜组的焦距]分别示出第一至第六透镜组G1至G6的第一表面和焦距。

[0461] (表7)

[0462] [整体数据]

[0463] $\beta=5.4$

		广角端状态		中间焦距状态		远摄端状态
	f	=	72.0	~	200.0	~ 390.0
[0464]	FNO	=	4.52	~	5.34	~ 5.78
	2 ω	=	34.0	~	12.1	~ 6.2
	Y	=	21.6	~	21.6	~ 21.6
	TL	=	239.3	~	285.8	~ 304.3

[0465] [透镜数据]

	m	r	d	vd	nd
	1	235.129	2.000	40.7	1.88300
	2	85.937	10.435	82.6	1.49782
	3	-492.987	0.100		
	4	81.734	9.789	82.6	1.49782
	5	-2477.191	D1		
[0466]	6	94.480	3.279	28.7	1.79504
	7	-1045.056	2.000	67.9	1.59319
	8	57.468	3.373		
	9	-137.861	3.251	28.7	1.79504
	10	-48.070	2.000	67.9	1.59319
	11	69.776	3.889		
	12	-56.313	1.800	49.6	1.77250
	13	135.256	D2		

	14	220.803	5.100	67.9	1.59319	
	15	-51.295	0.100			
	16	48.045	5.380	67.9	1.59319	
	17	-156.768	2.000	31.3	1.90366	
	18	209.257	D3			
	19	-51.770	1.500	54.6	1.72916	
	20	41.489	3.613	34.9	1.80100	
	21	331.492	D4			
[0467]	22	0.000	2.000			孔径光阑 S
	23	86.564	2.000	40.7	1.88300	
	24	47.702	5.771	52.2	1.51742	
	25	-52.610	0.100			
	26	60.874	4.753	82.6	1.49782	
	27	-65.980	2.000	23.8	1.84666	
	28	-423.943	D5			
	29	43.795	3.743	27.6	1.75520	
	30	-80.630	1.500	40.7	1.88300	
	31	36.787	BF			
[0468]	[透镜组的焦距]					
	透镜组	第一表面	焦距			
	第一透镜组	1	151.723			
	第二透镜组	6	-31.512			
[0469]	第三透镜组	14	48.052			
	第四透镜组	19	-67.397			
	第五透镜组	23	58.111			
	第六透镜组	29	-140.788			

[0470] 在实例3中,第一透镜组G1和第二透镜组G2之间的轴向空气间隔D1、第二透镜组G2与第三透镜组G3之间的轴向空气间隔D2、第三透镜组G3和第四透镜组G4之间的轴向空气间隔D3、第四透镜组G4和与第五透镜组G5一起移动的孔径光阑S之间的轴向空气间隔D4、第五透镜组G5和第六透镜组G6之间的轴向空气间隔D5以及后焦长度BF在变焦时改变。表8示出在聚焦无限远时,在广角端状态、中间焦距状态和远摄端状态中,可变距离D1至D5和在每一焦距的后焦长度BF的值。

[0471] (表8)

[0472] [可变距离数据]

	广角端状态		中间焦距状态		远摄端状态
	f	72.0	~	200.0	~ 390.0
	D1	2.000	~	48.459	~ 67.000
[0473]	D2	25.107	~	13.069	~ 2.000
	D3	6.466	~	18.504	~ 29.573
	D4	29.312	~	12.120	~ 2.428
	D5	32.947	~	32.202	~ 30.353
	BF	55.1	~	73.0	~ 84.5

[0474] 表9示出对应于根据实例3的每一条件式的值。

[0475] (表9)

[0476] (1) $f1/(-f2) = 4.81$

[0477] (2) $f1/f3 = 3.16$

[0478] (3) $f3/(-f4) = 0.71$

[0479] (4) $(-f4)/f5 = 1.16$

[0480] (5) $f1/(-f2) = 4.81$

[0481] (6) $f3/f5 = 0.83$

[0482] (7) $f1/(-f4) = 2.25$

[0483] (8) $f2/f4 = 0.47$

[0484] (9) $ft/(-f2) = 12.4$

[0485] (10) $ft/(-f4) = 5.8$

[0486] (11) $(-f4)/f5 = 1.2$

[0487] (12) $(-f2)/f5 = 0.5$

[0488] (13) $f1/(-f2) = 4.8$

[0489] (14) $f1/(-f4) = 2.3$

[0490] (15) $f1/f5 = 2.6$

[0491] (16) $(-f4)/f5 = 1.2$

[0492] (17) $(-f2)/f5 = 0.5$

[0493] (18) $f1/(-f2) = 4.81$

[0494] (19) $(-f4)/f5 = 1.16$

[0495] (20) $f1/(-f4) = 2.25$

[0496] (21) $(-f2)/f3 = 0.66$

[0497] (22) $(-f4)/f5 = 1.16$

[0498] (23) $f3/(-f4) = 0.71$

[0499] (24) $f1/(-f2) = 4.81$

[0500] (25) $f1/f3 = 3.16$

[0501] (26) $f3/(-f4) = 0.71$

[0502] (27) $(-f4)/f5 = 1.16$

[0503] 因此,实例3的变倍光学系统ZL3满足所有条件式(1)至(27)。

[0504] 图11A是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,实例3的各种像差的一组图,图12A是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,实例3的各种像差的一组图,以及图13A是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,实例3的各种像差的一组图。图11B是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例3的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.127$),图12B是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例3的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.198$),以及图13B是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例3的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.253$)。如示出像差的每一图表明,在实例3中,变倍光学系统具有良好成像性能,其中,在从广角端状态到远摄端状态的每一焦距状态中,良好地校正各种像差。

[0505] [实例4]

[0506] 图14示出根据实例4的变倍光学系统ZL4的构造。图14所示的变倍光学系统ZL4按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4、具有正屈光力的第五透镜组G5和具有负屈光力的第六透镜组G6构成。第一透镜组G1按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12的胶合透镜;和双凸透镜L13。第二透镜组G2按从物体的顺序,包括:胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22的胶合透镜;胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24的胶合透镜,和双凹透镜L25。第三透镜组G3按从物体的顺序,包括:双凸透镜L31;和胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33的胶合透镜。第四透镜组G4包括按从物体的顺序,胶合双凹透镜L41和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L42的胶合透镜。第五透镜组G5按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L51和双凸透镜L52的胶合透镜;和胶合双凸透镜L53和具有面向物体的凹表面的负弯月透镜L54的胶合透镜。第六透镜组G6按从物体的顺序,包括:胶合双凸透镜L61和双凹透镜L62的胶合透镜。

[0507] 在根据实例4的变倍光学系统ZL4中,在从广角端状态变焦到远摄端状态时,第一透镜组G1、第三透镜组G3、第五透镜组G5和第六透镜组G6在光轴上移向物体,并且第二透镜组G2和第四透镜组G4在光轴方向中相对于像平面I固定。孔径光阑S设置在第五透镜组G5的物体侧,并且在变焦时,与第五透镜组G5一起移动。

[0508] 通过使第三透镜组G3移向像,执行从无限远到近距离的物体的聚焦。

[0509] 为了像模糊校正(减振),将第二透镜组G2的胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)设计成减振透镜组,该减振透镜组移动,使得包括正交于光轴的分量。在实例4的广角端状态中,减振系数为 -0.888 并且焦距为 82.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.322 (mm)。在实例4的中间焦距状态中,减振系数为 -1.454 并且焦距为 200.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.480 (mm)。在实例4的远摄端状态中,减振系数为 -2.176 并且焦距为 390.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.626 (mm)。

[0510] 下表10列出实例4的每一数据。表4中的表面编号1至31对应于图14中的编号1至31。[透镜组的焦距]分别示出第一至第六透镜组G1至G6的第一表面和焦距。

[0511] (表10)

[0512] [整体数据]

[0513] $\beta=4.8$

		广角端状态	~	中间焦距状态	~	远摄端状态
	f =	82.0	~	200.0	~	390.0
[0514]	FNO =	5.05	~	5.61	~	5.82
	2ω =	29.7	~	12.0	~	6.2
	Y =	21.6	~	21.6	~	21.6
	TL =	241.3	~	283.3	~	303.3

[0515] [透镜数据]

	m	r	d	vd	nd
	1	227.795	2.000	40.7	1.88300
	2	84.747	10.413	82.6	1.49782
	3	-538.594	0.100		
	4	82.998	9.958	82.6	1.49782
	5	-1048.042	D1		
	6	170.969	6.158	34.9	1.80100
[0516]	7	-66.891	2.000	65.4	1.60300
	8	82.527	5.163		
	9	-168.234	2.000	47.4	1.78800
	10	41.763	3.001	23.8	1.84666
	11	88.369	6.493		
	12	-43.051	1.800	46.6	1.81600
	13	411.913	D2		
	14	137.043	4.617	63.3	1.61800

	15	-72.111	0.100		
	16	62.009	2.000	31.3	1.90366
	17	34.150	6.473	63.3	1.61800
	18	-167.969	D3		
	19	-50.276	1.500	50.3	1.71999
	20	34.293	4.000	28.7	1.79504
	21	221.433	D4		
	22	0.000	2.000		孔径光阑 S
[0517]	23	178.755	2.000	23.8	1.84666
	24	75.314	5.063	63.9	1.51680
	25	-50.146	0.107		
	26	72.928	4.620	58.8	1.51823
	27	-62.568	2.000	23.8	1.84666
	28	-197.918	D5		
	29	42.990	4.937	29.6	1.71736
	30	-55.338	1.500	42.7	1.83481
	31	37.334	BF		
[0518]	[透镜组的焦距]				
	透镜组	第一表面	焦距		
	第一透镜组	1	148.584		
	第二透镜组	6	-29.113		
[0519]	第三透镜组	14	44.313		
	第四透镜组	19	-63.143		
	第五透镜组	23	59.877		
	第六透镜组	29	-157.384		

[0520] 在实例4中,第一透镜组G1和第二透镜组G2之间的轴向空气间隔D1、第二透镜组G2与第三透镜组G3之间的轴向空气间隔D2、第三透镜组G3和第四透镜组G4之间的轴向空气间隔D3、第四透镜组G4和与第五透镜组G5一起移动的孔径光阑S之间的轴向空气间隔D4、第五透镜组G5和第六透镜组G6之间的轴向空气间隔D5以及后焦长度BF在变焦时改变。表11示出在聚焦无限远时,在广角端状态、中间焦距状态和远摄端状态中,可变距离D1至D5和在每一焦距的后焦长度BF的值。

[0521] (表11)

[0522] [可变距离数据]

	广角端状态		中间焦距状态		远摄端状态
	f	82.0	~	200.0	~ 390.0
	D1	2.299	~	44.305	~ 64.299
[0523]	D2	24.152	~	13.739	~ 2.000
	D3	7.126	~	17.538	~ 29.278
	D4	17.672	~	6.713	~ 2.399
	D5	32.546	~	31.055	~ 23.798
	BF	58.1	~	70.5	~ 82.1

[0524] 表12示出对应于根据实例4的每一条件式的值。

[0525] (表12)

[0526] (1) $f1/(-f2) = 5.10$

[0527] (2) $f1/f3 = 3.35$

[0528] (3) $f3/(-f4) = 0.70$

[0529] (4) $(-f4)/f5 = 1.05$

[0530] (5) $f1/(-f2) = 5.10$

[0531] (6) $f3/f5 = 0.74$

[0532] (7) $f1/(-f4) = 2.35$

[0533] (8) $f2/f4 = 0.46$

[0534] (9) $ft/(-f2) = 13.4$

[0535] (10) $ft/(-f4) = 6.2$

[0536] (11) $(-f4)/f5 = 1.1$

[0537] (12) $(-f2)/f5 = 0.5$

[0538] (13) $f1/(-f2) = 5.1$

[0539] (14) $f1/(-f4) = 2.4$

[0540] (15) $f1/f5 = 2.5$

[0541] (16) $(-f4)/f5 = 1.1$

[0542] (17) $(-f2)/f5 = 0.5$

[0543] (18) $f1/(-f2) = 5.10$

[0544] (19) $(-f4)/f5 = 1.05$

[0545] (20) $f1/(-f4) = 2.35$

[0546] (21) $(-f2)/f3 = 0.66$

[0547] (22) $(-f4)/f5 = 1.05$

[0548] (23) $f3/(-f4) = 0.70$

[0549] (24) $f1/(-f2) = 5.10$

[0550] (25) $f1/f3 = 3.35$

[0551] (26) $f3/(-f4) = 0.70$

[0552] (27) $(-f4)/f5 = 1.05$

[0553] 因此,实例4的变倍光学系统ZL4满足所有条件式(1)至(27)。

[0554] 图15A是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,实例4的各种像差的一组图,图16A是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,实例4的各种像差的一组图,以及图17A是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,实例4的各种像差的一组图。图15B是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例4的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.322$),图16B是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.480$),以及图17B是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.626$)。如示出像差的每一图表明,在实例4中,变倍光学系统具有良好成像性能,其中,在从广角端状态到远摄端状态的每一焦距状态中,良好地校正各种像差。

[0555] [实例5]

[0556] 图18示出根据实例5的变倍光学系统ZL5的构造。图18所示的变倍光学系统ZL5按从物体的顺序,由:具有正屈光力的第一透镜组G1、具有负屈光力的第二透镜组G2、具有正屈光力的第三透镜组G3、具有负屈光力的第四透镜组G4和具有正屈光力的第五透镜组G5构成。第一透镜组G1按从物体的顺序,包括:胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L11和双凸透镜L12的胶合透镜;和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L13。第二透镜组G2按从物体的顺序,包括:胶合双凸透镜L21和双凹透镜L22的胶合透镜;胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24的胶合透镜,和双凹透镜L25。第三透镜组G3按从物体的顺序,包括:双凸透镜L31;和胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L32和双凸透镜L33的胶合透镜。第四透镜组G4包括按从物体的顺序,胶合双凹透镜L41和双凸透镜L42的胶合透镜。第五透镜组G5按从物体的顺序,包括:双凸透镜L51;胶合具有面向物体的凸表面的负弯月透镜L52和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L53的胶合透镜,以及胶合双凸透镜L54和双凹透镜L55的胶合透镜。

[0557] 在根据实例5的变倍光学系统ZL中,在从广角端状态变焦到远摄端状态时,第一透镜组G1、第三透镜组G3、第四透镜组G4和第五透镜组G5在光轴上移向物体,并且第二透镜组G2在光轴方向中相对于像平面I固定。孔径光阑S设置在第四透镜组G4的物体侧,并且在变焦时,与第四透镜组G4一起移动。

[0558] 通过使第三透镜组G3移向像,执行从无限远到近距离的物体的聚焦。

[0559] 为了像模糊校正(减振),将第二透镜组G2的胶合透镜(其中,胶合双凹透镜L23和具有面向物体的凸表面的正弯月透镜L24)设计成减振透镜组,该减振透镜组移动,使得包括正交于光轴的分量。在实例5的广角端状态中,减振系数为 -0.858 并且焦距为 103.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.419 (mm)。在实例5的中间焦距状态中,减振系数为 -1.297 并且焦距为 200.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.538 (mm)。在实例5的远摄端状态中,减振系数为 -1.987 并且焦距为 388.0 (mm),因此,用于校正 0.2° 旋转模糊的减振透镜组的移动距离为 -0.682 (mm)。

[0560] 下表13列出实例5的每一数据。表13中的表面编号1至30对应于图18中的编号1至30。[透镜组的焦距]分别示出第一至第五透镜组G1至G5的第一表面和焦距。

[0561] (表13)

[0562] [整体数据]

[0563] $\beta=3.8$

		广角端状态	~	中间焦距状态	~	远摄端状态
	f =	103.0	~	200.0	~	388.0
[0564]	FNO =	4.84	~	5.30	~	5.86
	2 ω =	23.4	~	12.0	~	6.2
	Y =	21.6	~	21.6	~	21.6
	TL =	257.1	~	280.3	~	297.4
[0565]	[透镜数据]					
	m	r	d	vd	nd	
	1	257.902	2.000	35.7	1.90265	
	2	97.659	11.000	82.6	1.49782	
	3	-314.680	0.100			
	4	79.130	10.000	82.6	1.49782	
	5	2088.342	D1			
	6	123.691	5.763	33.3	1.80610	
	7	-77.164	2.000	65.4	1.60300	
	8	69.162	5.674			
[0566]	9	-187.746	2.000	42.7	1.83481	
	10	35.095	4.370	23.8	1.84666	
	11	112.202	6.514			
	12	-44.561	1.800	42.7	1.83481	
	13	581.099	D2			
	14	97.574	4.250	60.3	1.62041	
	15	-88.827	0.100			
	16	84.452	2.000	31.3	1.90366	
	17	32.485	5.655	60.3	1.62041	
	18	-240.662	D3			

	19	0.000	3.000		孔径光阑 S
	20	-57.650	1.500	50.3	1.71999
	21	62.520	3.298	42.7	1.83481
	22	-209.983	D4		
	23	91.072	5.000	70.3	1.48749
[0567]	24	-99.387	2.087		
	25	62.240	2.000	32.4	1.85026
	26	35.334	5.183	82.6	1.49782
	27	602.097	17.041		
	28	42.594	4.263	27.6	1.75520
	29	-76.745	1.500	40.7	1.88300
	30	33.248	BF		

[0568] [透镜组的焦距]

	透镜组	第一表面	焦距
	第一透镜组	1	142.392
[0569]	第二透镜组	6	-31.449
	第三透镜组	14	56.441
	第四透镜组	20	-152.964
	第五透镜组	23	117.618

[0570] 在实例5中,第一透镜组G1和第二透镜组G2之间的轴向空气间隔D1、第二透镜组G2与第三透镜组G3之间的轴向空气间隔D2、第三透镜组G3和与第四透镜组G4一起移动的孔径光阑S之间的轴向空气间隔D3、第四透镜组G4和与第五透镜组G5之间的轴向空气间隔D4以及后焦长度BF在变焦时改变。表14示出在聚焦无限远时,在广角端状态、中间焦距状态和远摄端状态中,可变距离D1至D4和在每一焦距的后焦长度BF的值。

[0571] (表14)

[0572] [可变距离数据]

	广角端状态		中间焦距状态		远摄端状态
	f	103.0	~	200.0	~ 388.0
	D1	17.898	~	41.055	~ 58.209
[0573]	D2	34.045	~	20.108	~ 2.000
	D3	6.078	~	21.988	~ 29.609
	D4	20.042	~	8.963	~ 8.026
	BF	71.0	~	80.1	~ 91.5

[0574] 表15示出对应于根据实例5的每一条件式的值。

[0575] (表15)

[0576] (1) $f1/(-f2) = 4.53$

[0577] (2) $f1/f3=2.52$

[0578] (3) $f3/(-f4)=0.37$

[0579] (4) $(-f4)/f5=1.30$

[0580] (5) $f1/(-f2)=4.53$

[0581] (6) $f3/f5=0.48$

[0582] (7) $f1/(-f4)=0.93$

[0583] (8) $f2/f4=0.21$

[0584] (24) $f1/(-f2)=4.53$

[0585] (25) $f1/f3=2.52$

[0586] (26) $f3/(-f4)=0.37$

[0587] (27) $(-f4)/f5=1.30$

[0588] 因此,实例5的变倍光学系统ZL5满足所有条件式(1)至(8)以及(24)至(27)。

[0589] 图19A是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,实例5的各种像差的一组图,图20A是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,实例5的各种像差的一组图,以及图21A是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,实例5的各种像差的一组图。图19B是示出在广角端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的实例3的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.419$),图20B是示出在中间焦距状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.538$),以及图21B是示出在远摄端状态中,聚焦无限远时,当校正像模糊时的彗差的一组图(减振透镜组的偏移量 $=-0.682$)。如示出像差的每一图表明,在实例5中,变倍光学系统具有良好成像性能,其中,在从广角端状态到远摄端状态的每一焦距状态中,良好地校正各种像差。

[0590] 现在,将描述用于根据实例1至实例5的变倍光学系统ZL(ZL1至ZL5)的防反射膜。如图26所示,根据每一实例的防反射膜101由七层(第一层101a至第七层101g)构成,并且形成在变倍光学系统ZL的光学构件102的光学表面上。

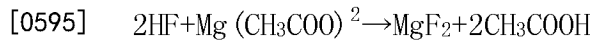
[0591] 通过真空沉积法,沉积由氧化铝构成的第一层101a。通过真空沉积法,在第一层101a上沉积由氧化钛和氧化锆的混合物构成的第二层101b。然后,通过真空沉积法,在第二层101b上沉积由氧化铝构成的第三层101c,以及通过真空沉积法,在第三层101c上沉积由氧化钛和氧化锆的混合物构成的第四层101d。然后,通过真空沉积法,在第四层101d上沉积由氧化铝构成的第五层101e,以及通过真空沉积法,在第五层101e上沉积由氧化钛和氧化锆的混合物构成的第六层101f。然后,通过湿法工艺,在第六层101f上沉积二氧化硅和氟化镁的混合物构成的第七层101g。因此,形成每一实例的防反射膜101。

[0592] 为形成第七层101g,使用一种湿法工艺的溶胶-凝胶法。溶胶-凝胶法是通过在光学构件的光学表面上,涂以作为光学薄膜材料的溶胶,在其上沉积凝胶,将光学表面渍在液体中,并且使液体的温度和压力增加到或高于临界状态,使得汽化和干燥液体来产生膜的方法。湿法工艺不限于溶胶-凝胶法,而是可以是绕过凝胶状态,获得固体膜的方法。

[0593] 如上所述,通过作为干法工艺的的电子束沉积,形成防反射膜101的第一层101a至第六层101f,并且使用通过氢氟酸/醋酸镁方法制备的溶胶溶液,通过湿法工艺形成作为最上层(顶层)的第七层101g。

[0594] 现在,将描述形成具有该构造的防反射膜101的过程。首先,使用真空沉积装置,在

透镜的膜沉积面(光学构件102的光学表面)上,顺序地形成作为第一层101a的氧化铝层、作为第二层101b的氧化钛-氧化锆混合层、作为第三层101c的氧化铝层、作为第四层101d的氧化钛-氧化锆混合层、作为第五层101e的氧化铝层以及作为第六层101f的氧化钛-氧化锆混合层。在从真空沉积装置中去除光学构件102后,通过旋涂法,在光学表面上涂以通过氢氟酸/醋酸镁方法制备的添加粘合剂成分的溶胶溶液,由此,形成作为第七层101g的二氧化硅和氟化镁的混合物构成的层。下面示出在通过氢氟酸/醋酸镁方法执行的制备中的反应公式。



[0596] 对用于膜沉积的溶胶溶液,首先混合原材料,并且在用于膜沉积前,在高压釜中,以140℃,对混合物执行高温加热和老化处理达24小时。在完成第七层101g的沉积后,在空气中,以160℃加热光学构件102达1小时,并且完成加工。具体来说,通过溶胶-凝胶法,形成几nm或几十nm大小的MgF₂,并且分别收集若干这些颗粒并且形成二次颗粒,通过沉积这些二次颗粒,形成第七层101g。

[0597] 将参考图27所示的光谱特性,描述类似形成的防反射膜101的光学性能。图27示出当光垂直地入射在下表16中所示的条件下设计的防反射膜101时的光谱特性(参考波长λ为550nm)。在表16中,Al₂O₃表示氧化铝,ZrO₂+TiO₂表示氧化钛-氧化锆混合物,并且SiO₂+MgF₂表示二氧化硅和氟化镁的混合物,并且示出当基板的折射率为1.46、1.62、1.74和1.85时的各个设计值(参考波长λ为550nm)。

[0598] (表16)

[0599]

	物质	折射率	光学膜厚度	光学膜厚度	光学膜厚度	光学膜厚度
媒介	空气	1.00				
第七层	SiO ₂ +MgF ₂	1.26	0.275λ	0.268λ	0.271λ	0.269λ
第六层	ZrO ₂ +TiO ₂	2.12	0.045λ	0.057λ	0.054λ	0.059λ
第五层	Al ₂ O ₃	1.65	0.212λ	0.171λ	0.178λ	0.162λ
第四层	ZrO ₂ +TiO ₂	2.12	0.077λ	0.127λ	0.130λ	0.158λ
第三层	Al ₂ O ₃	1.65	0.288λ	0.122λ	0.107λ	0.080λ
第二层	ZrO ₂ +TiO ₂	2.12	0	0.059λ	0.075λ	0.105λ
第一层	Al ₂ O ₃	1.65	0	0.257λ	0.030λ	0.030λ
基板的折射率			1.46	1.62	1.74	1.85

[0600] 如图27所示,在波长420nm至720nm的整个区域中,将反射率控制到0.2%或更小。

[0601] 在实例1的变倍光学系统ZL1中,平凸透镜L54的折射率为1.51742,因此,对应于基板的折射率1.46的防反射膜能用于平凸透镜L54的像侧透镜表面。双凸透镜L55的折射率为1.64769,因此,对应于基板的折射率1.62的防反射膜能用于双凸透镜L55的物体侧透镜表面。

[0602] 在实例2的变倍光学系统ZL2中,负弯月透镜L53的折射率为1.84666,因此,对应于基板的折射率1.85的防反射膜能用于负弯月透镜L53的像侧透镜表面。双凸透镜L61的折射率为1.72825,因此,对应于基板的折射率1.74的防反射膜能用于双凸透镜L61的物体侧透

镜表面。

[0603] 在实例3的变倍光学系统ZL3中,负弯月透镜L54的折射率为1.84666,因此,对应于基板的折射率1.85的防反射膜能用于负弯月透镜L54的像侧透镜表面。双凸透镜L61的折射率为1.75520,因此,对应于基板的折射率1.74的防反射膜能用于双凸透镜L61的物体侧透镜表面。

[0604] 在实例4的变倍光学系统ZL4中,负弯月透镜L54的折射率为1.84666,因此,对应于基板的折射率1.85的防反射膜能用于负弯月透镜L54的像侧透镜表面。双凸透镜L61的折射率为1.71736,因此,对应于基板的折射率1.74的防反射膜能用于双凸透镜L61的物体侧透镜表面。

[0605] 在实例5的变倍光学系统ZL5中,正弯月透镜L53的折射率为1.49782,因此,对应于基板的折射率1.46的防反射膜能用于正弯月透镜L53的像侧透镜表面。双凸透镜L54的折射率为1.75520,因此,对应于基板的折射率1.74的防反射膜能用于双凸透镜L54的物体侧透镜表面。

[0606] 通过将每一实例的防反射膜101分别用于根据实例1至5的变倍光学系统ZL (ZL1至ZL5),能提供进一步减少幻像和耀斑的具有高光学性能的变倍光学系统、包括该变倍光学系统的光学装置和该变倍光学系统的变焦方法。

[0607] 防反射膜101可以用作设置在平面平行板的光学表面上的光学元件,或可以设置在以弯曲形状形成的透镜的光学表面上。

[0608] 接着,将描述防反射膜101的变型。根据该变型的防反射膜由五层构成,并且在表17中的下述条件下构成。使用上述溶胶-凝胶法来形成第五层。表17示出当参考波长 λ 为550nm以及基板的折射率为1.52时的设计值。

[0609] (表17)

	物质	折射率	光学膜厚度
媒介	空气	1.00	
第五层	二氧化硅和氟化镁的混合物	1.26	0.269 λ
[0610] 第四层	氧化钛-氧化锆混合物	2.12	0.043 λ
第三层	氧化铝	1.65	0.217 λ
第二层	氧化钛-氧化锆混合物	2.12	0.066 λ
第一层	氧化铝	1.65	0.290 λ
基板	BK7	1.52	

[0611] 图28示出当光垂直地入射该变型的防反射膜时的光谱特性。如图28所示,在波长420nm至720nm的整个区域中,将反射率控制到0.2%或更小。图29示出当入射角为30°、45°或60°时的情况下的光谱特性。

[0612] 为了比较,图30示出当光垂直地入射仅通过干法工艺,诸如常规真空沉积法形成,并且在表18的下述条件下构成的多层宽带防反射膜时的光谱特性。图31示出在当入射角为30°、45°或60°时的情况下的光谱特性。

[0613] (表18)

	物质	折射率	光学膜厚度
媒介	空气	1.00	
第七层	MgF ₂	1.39	0.243λ
第六层	氧化钛-氧化铅混合物	2.12	0.119λ
[0614] 第五层	氧化铝	1.65	0.057λ
第四层	氧化钛-氧化铅混合物	2.12	0.220λ
第三层	氧化铝	1.65	0.064λ
第二层	氧化钛-氧化铅混合物	2.12	0.057λ
第一层	氧化铝	1.65	0.193λ
基板	BK7	1.52	

[0615] 图28和图29所示的变型的光谱特性与图30和图31所示的现有技术的光谱特性的比较清楚地表明根据该变型的防反射膜的反射率低。

[0616] 如上所述,根据这些实例,能提供具有相机抖动校正机制并且能进一步减少幻像和耀斑的高性能光学系统、包括该变倍光学系统的光学装置和用于变倍光学系统的变焦方法。

[0617] 数字和符号的说明

[0618]	ZL (ZL1至ZL5)	变倍光学系统
[0619]	G1	第一透镜组
[0620]	G2	第二透镜组
[0621]	G3	第三透镜组
[0622]	G4	第四透镜组
[0623]	G5	第五透镜组
[0624]	S1	孔径光阑
[0625]	1	相机(光学装置)

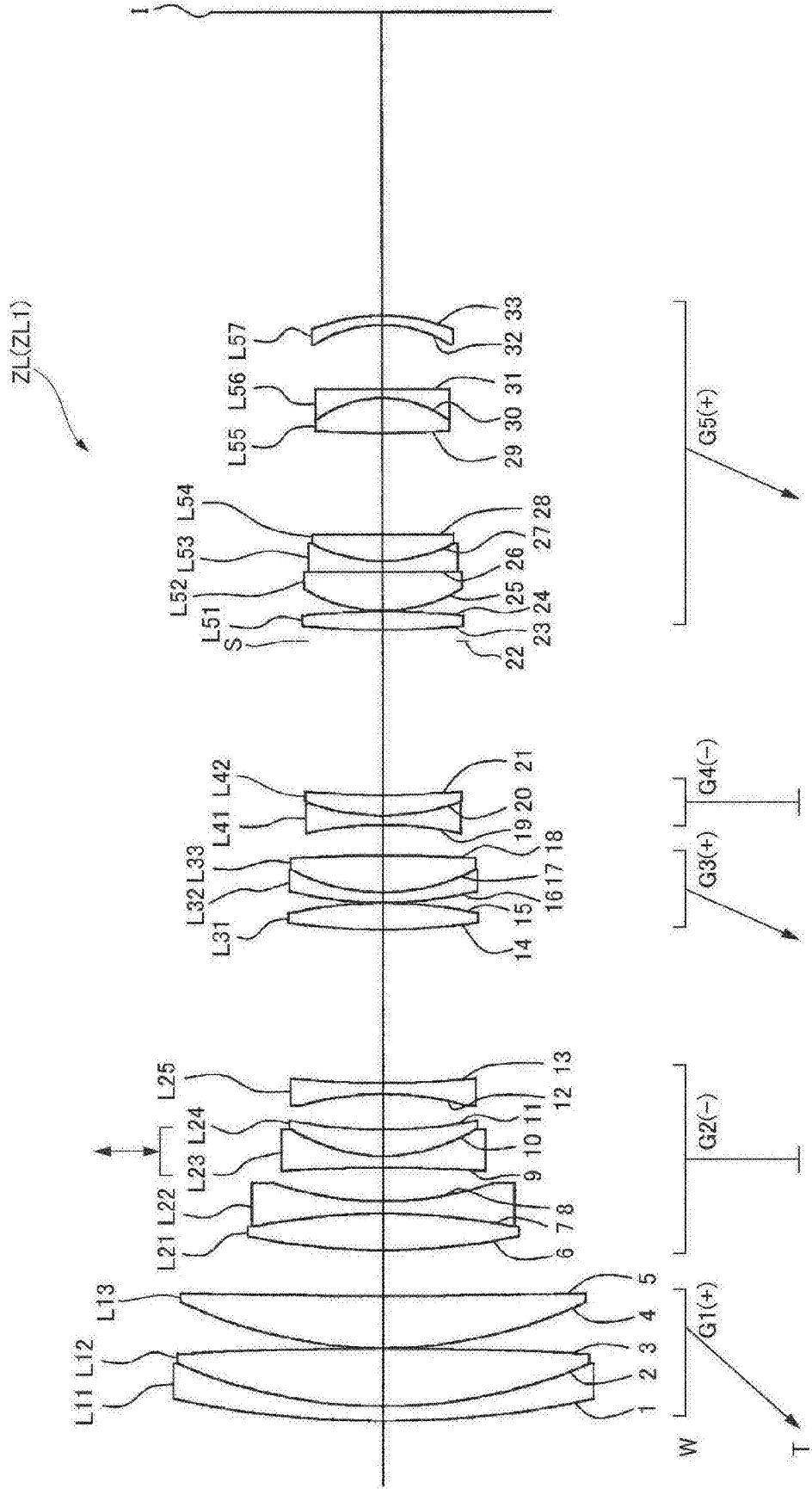


图1

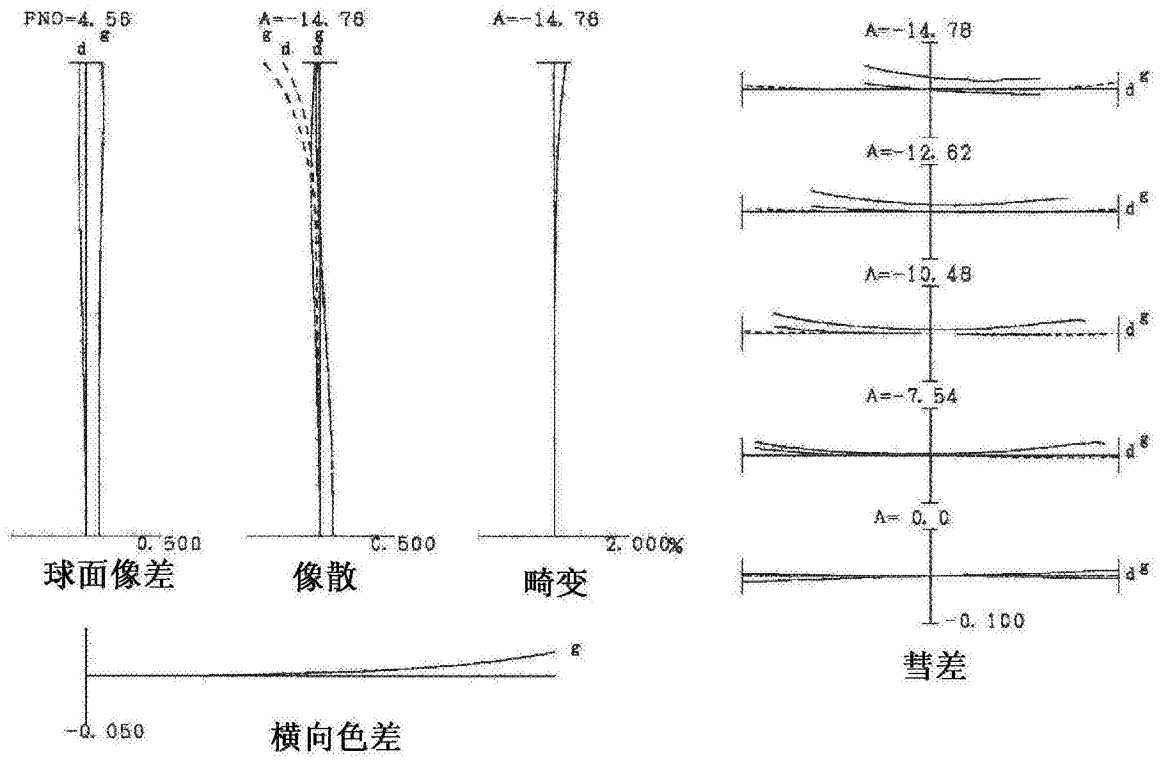


图2A

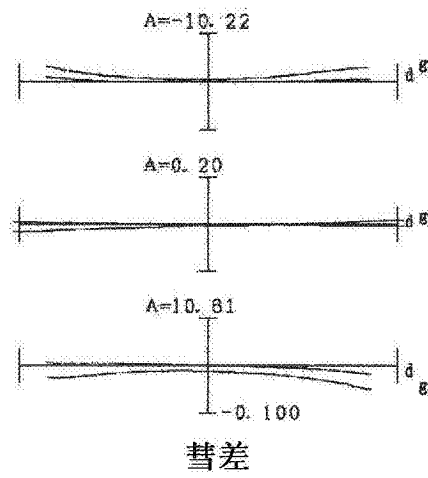


图2B

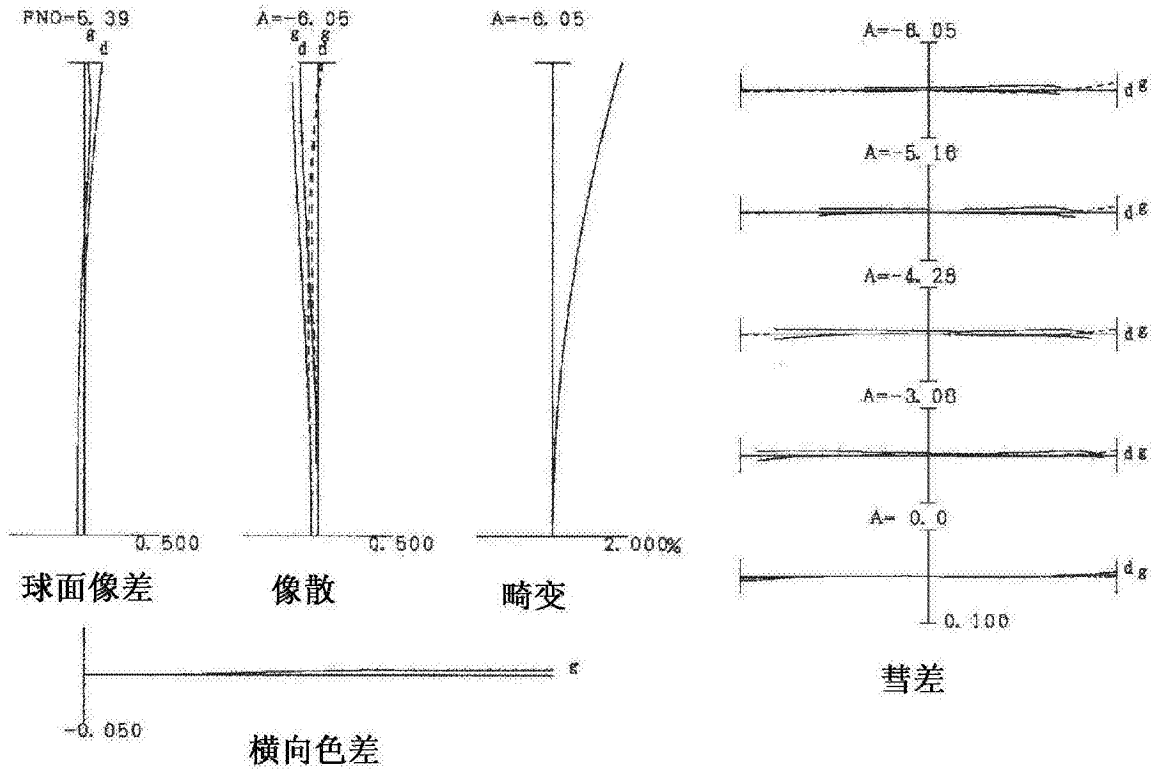


图3A

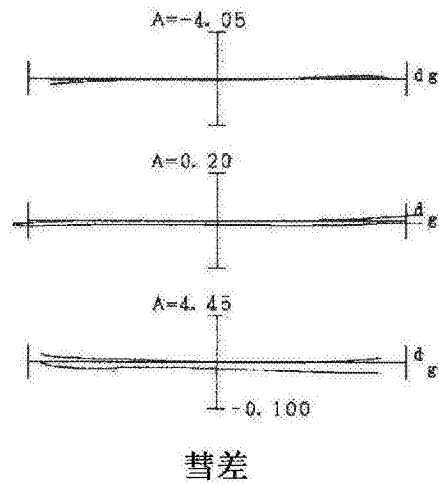


图3B

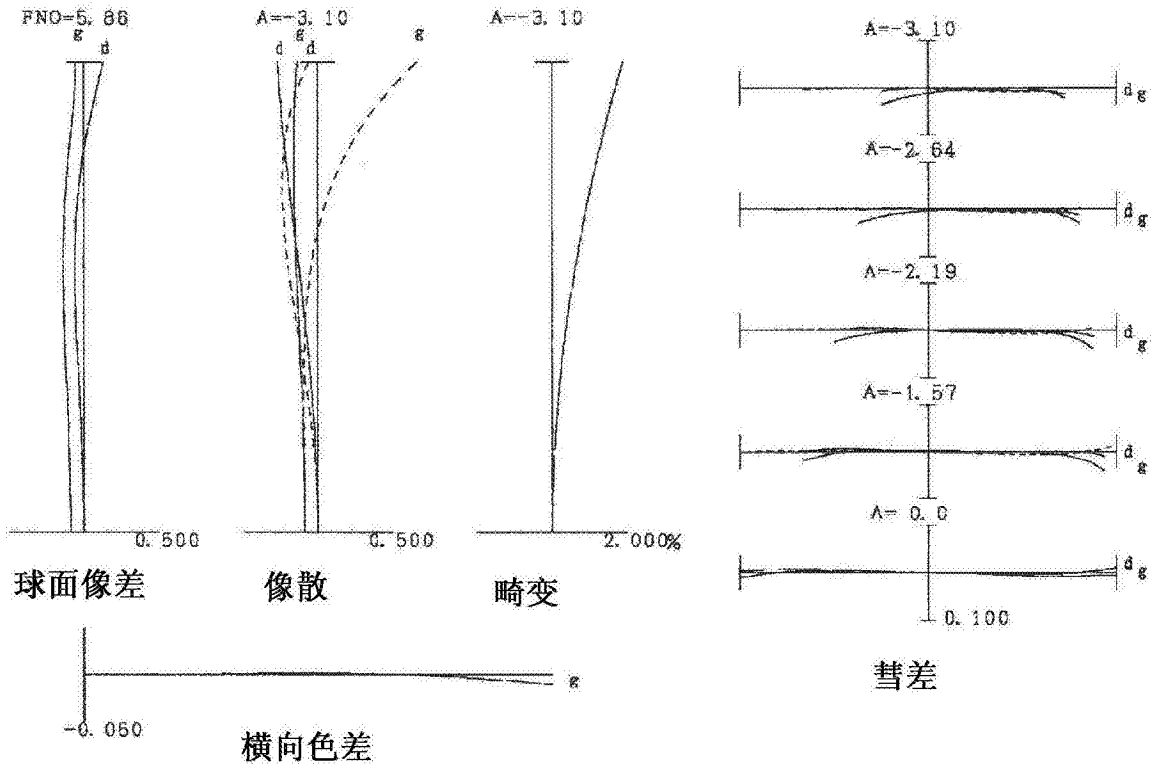


图4A

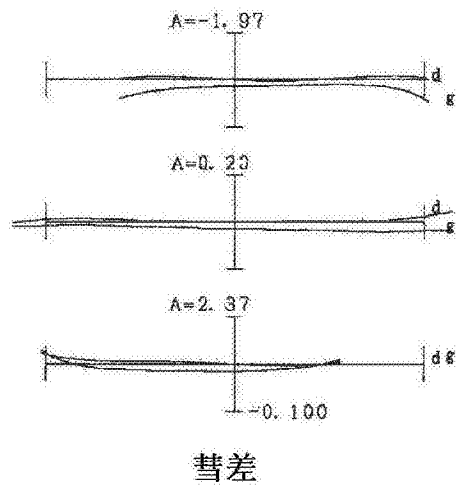


图4B

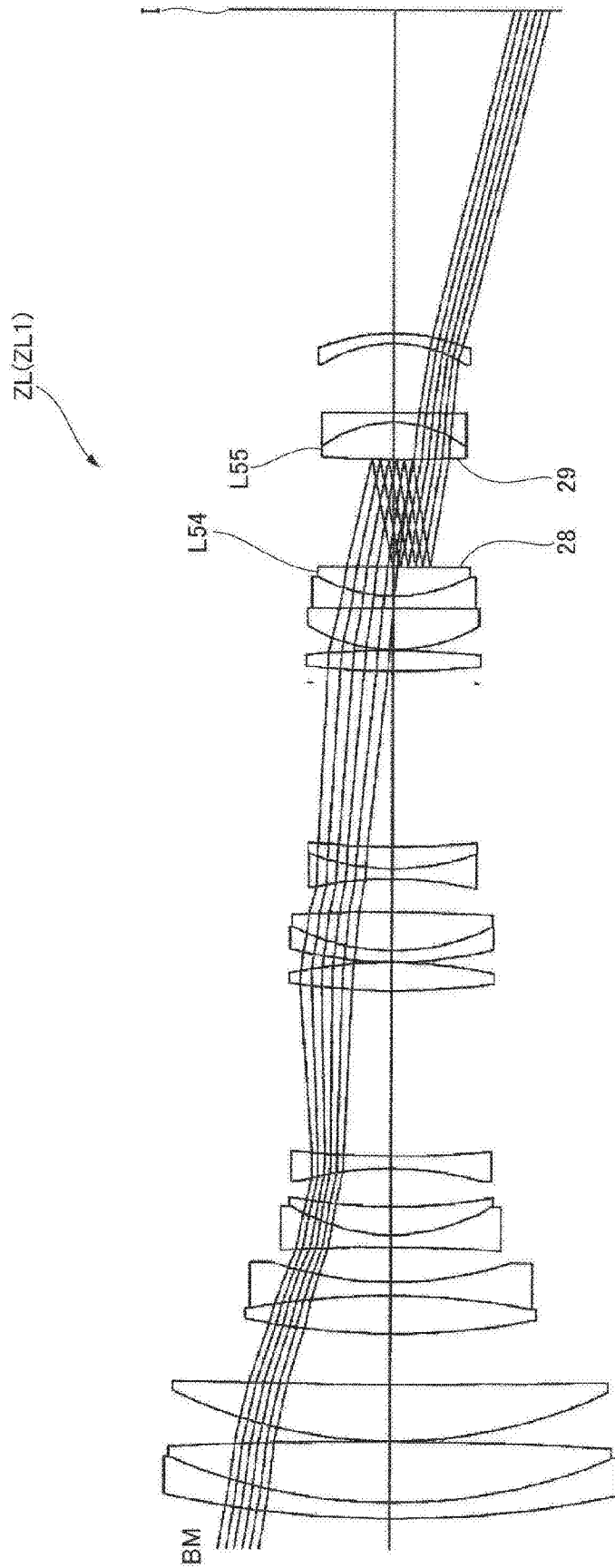


图5

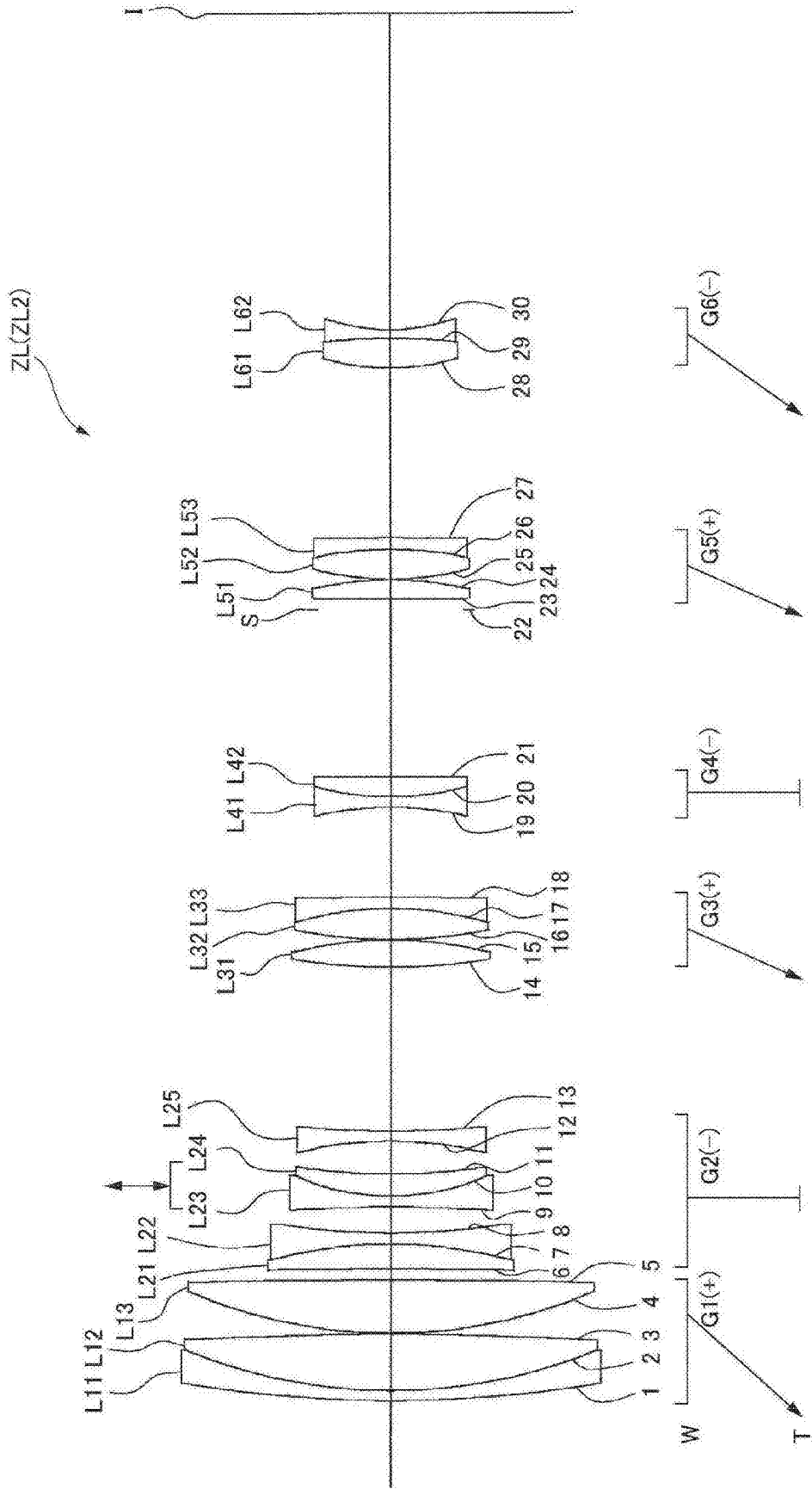


图6

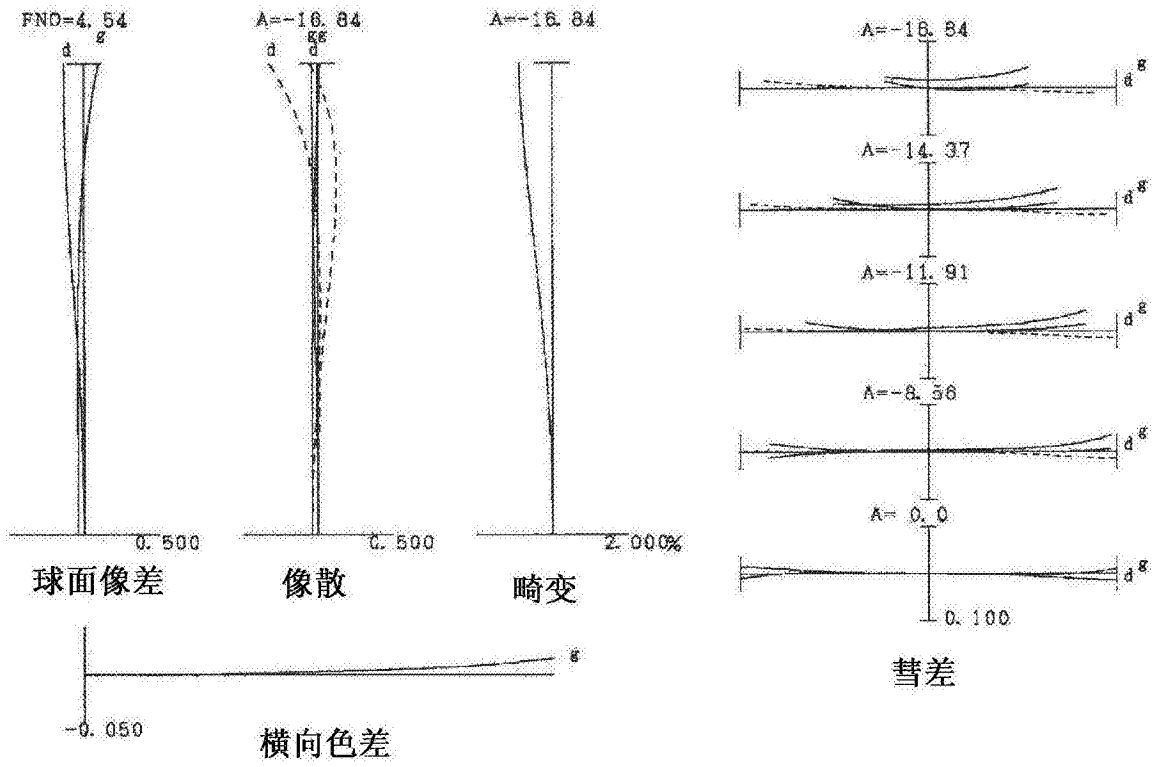


图7A

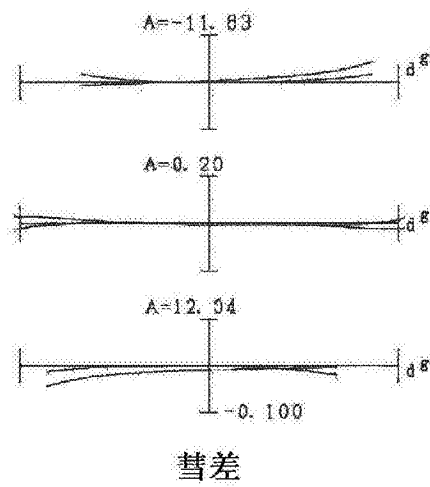


图7B

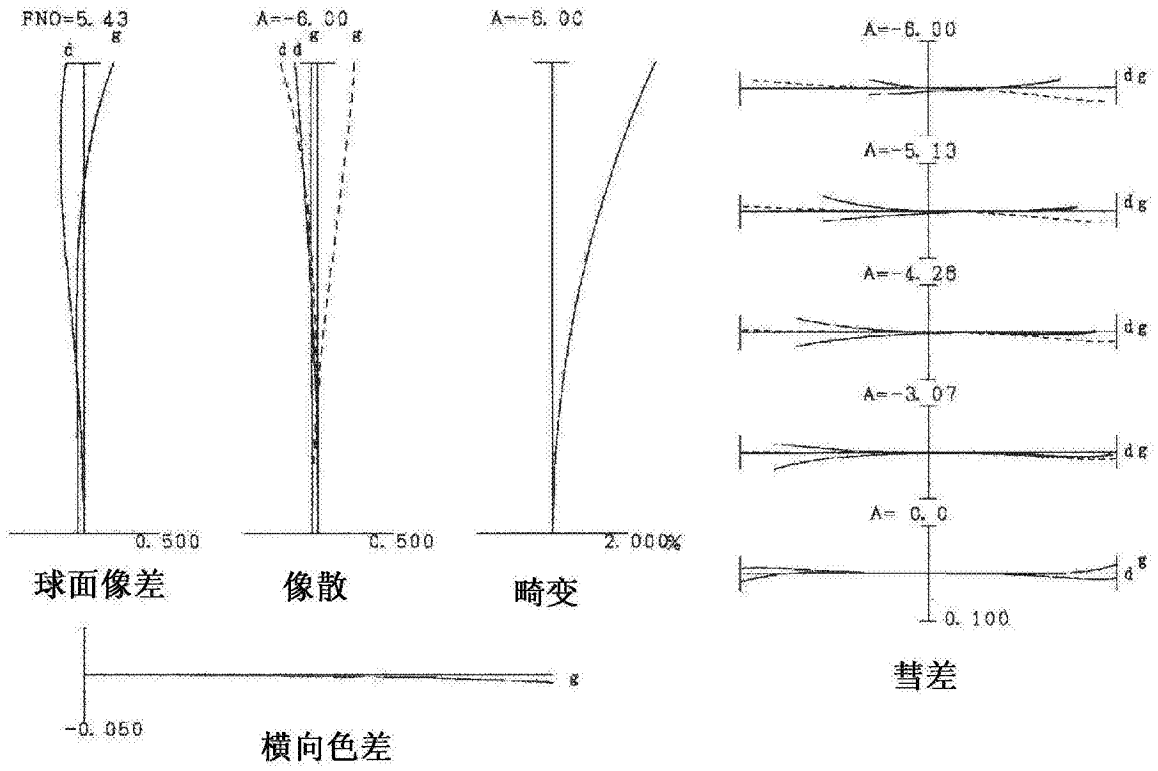


图8A

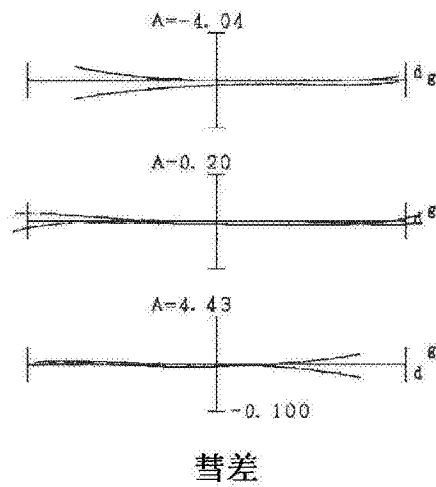


图8B

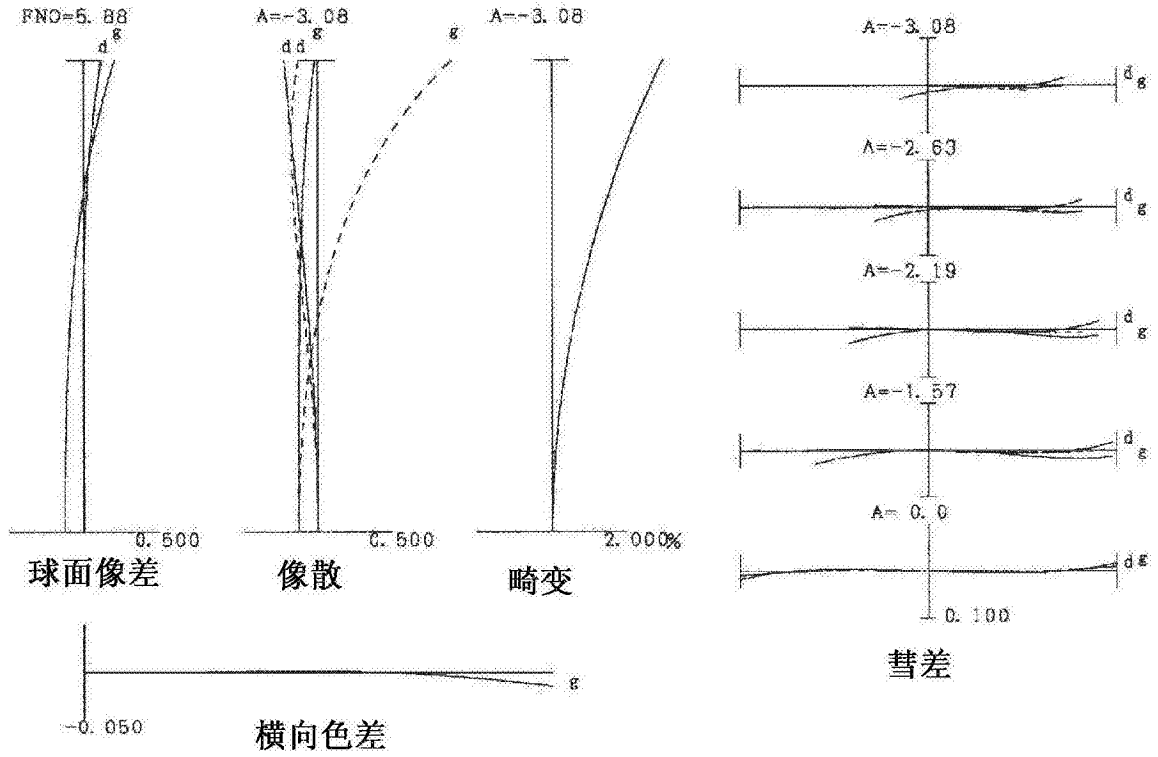


图9A

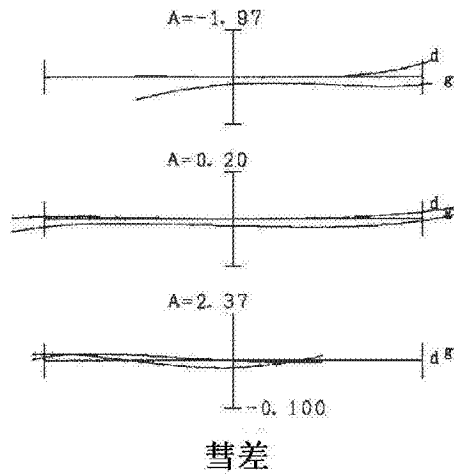


图9B

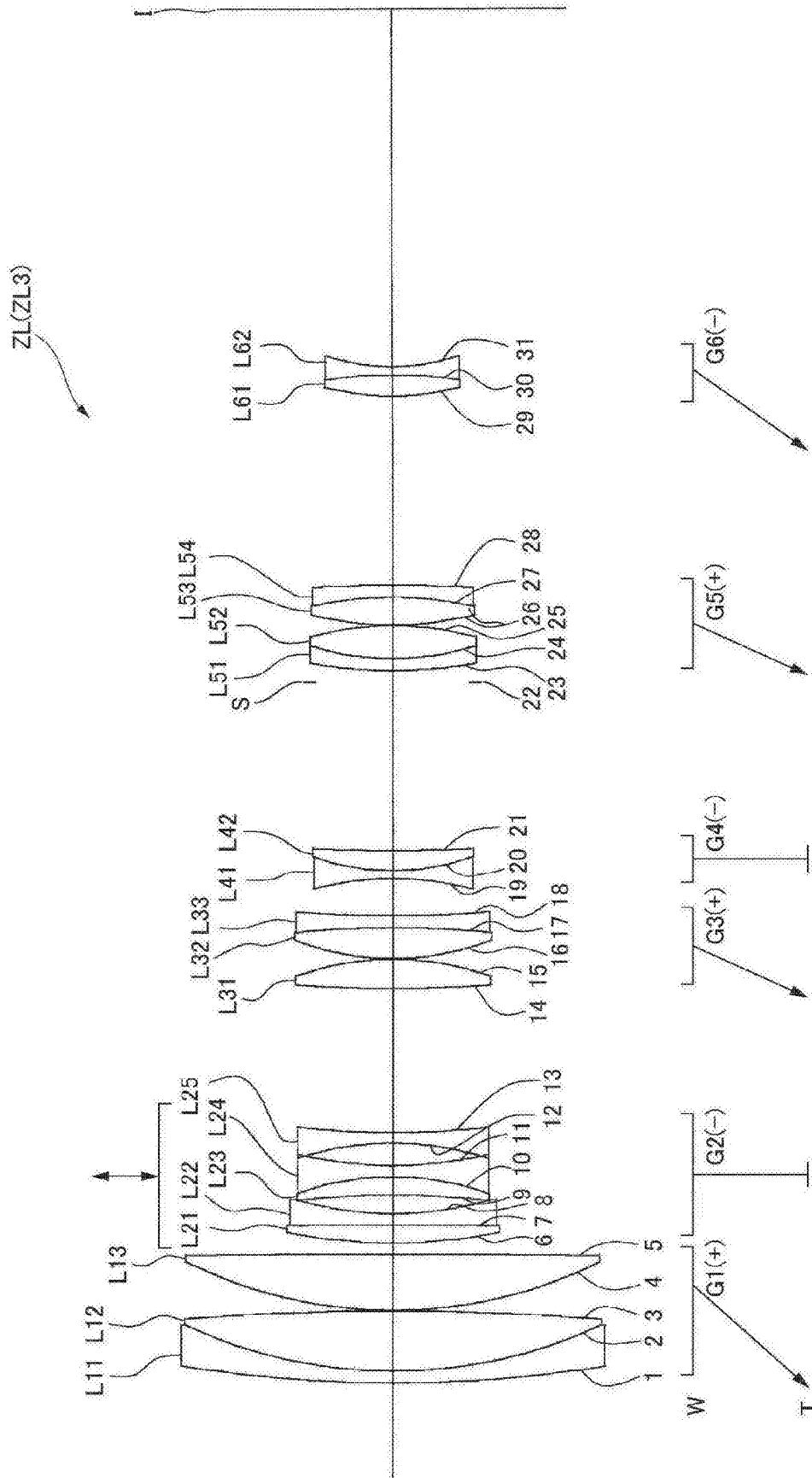


图10

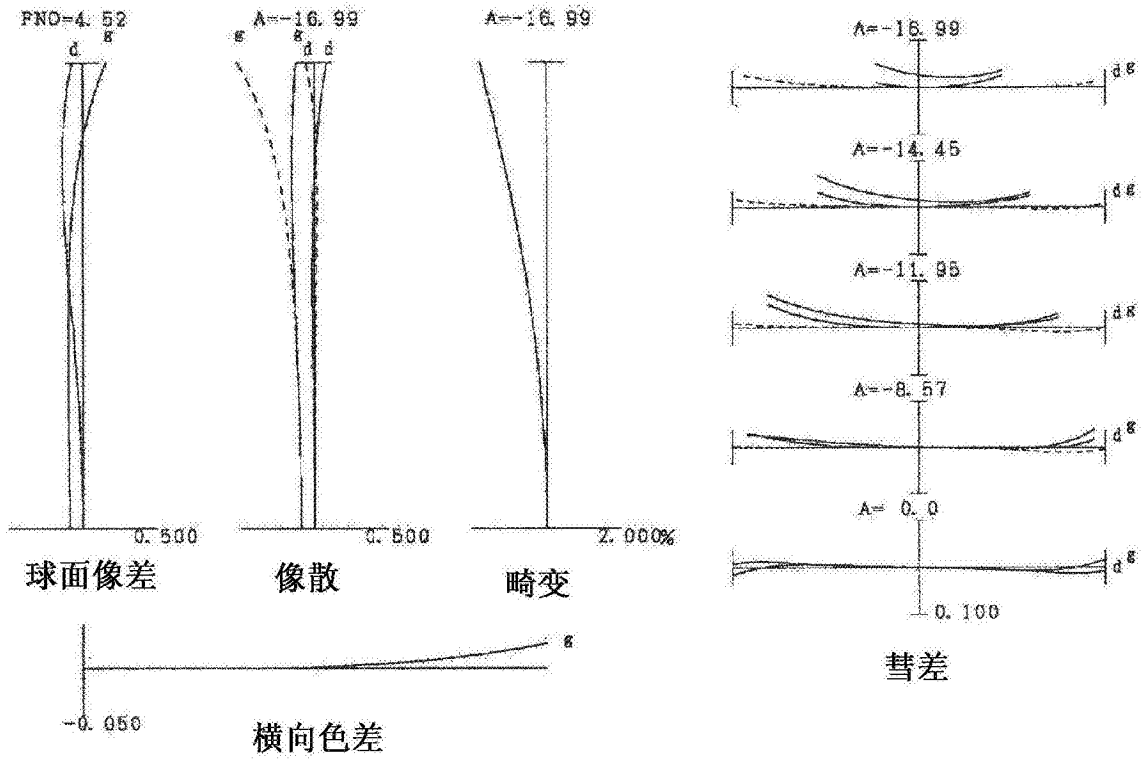


图11A

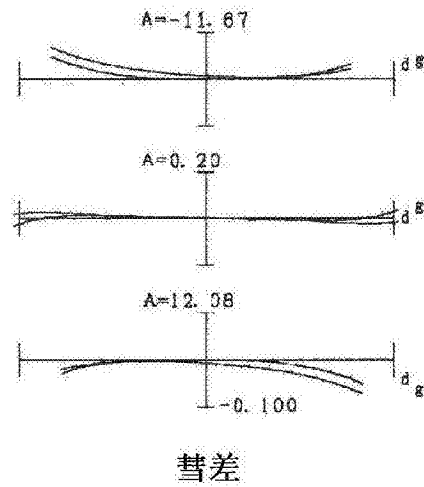


图11B

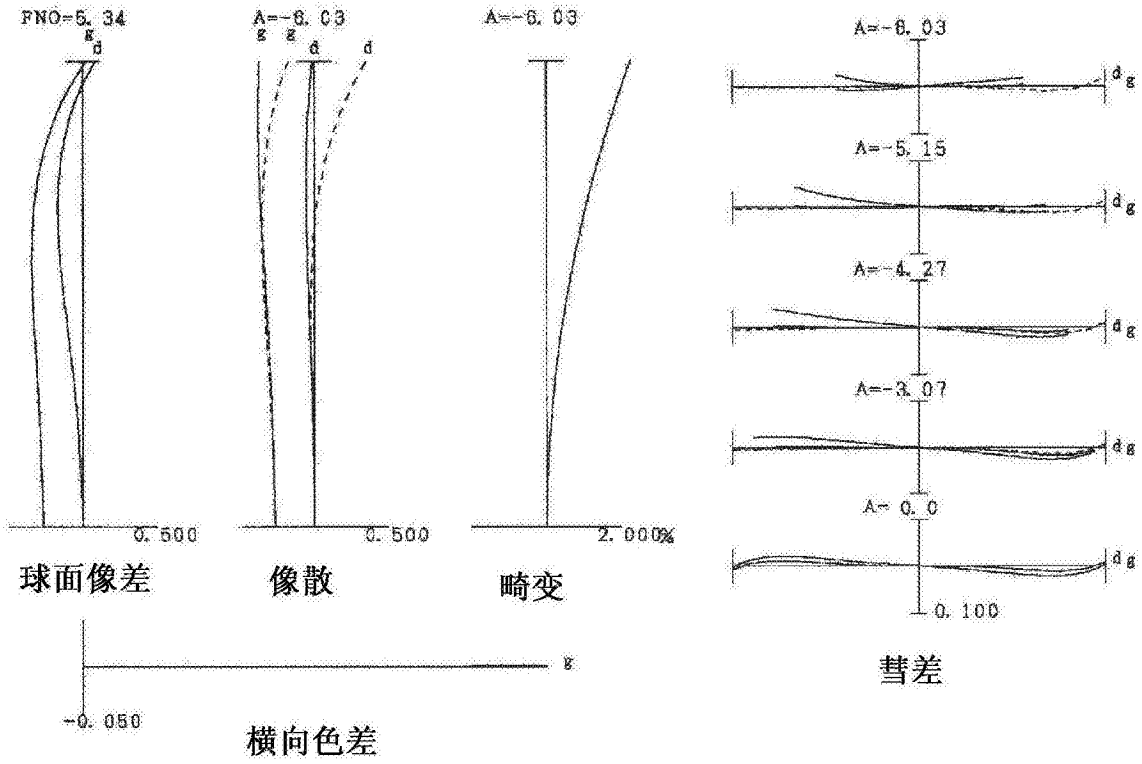


图12A

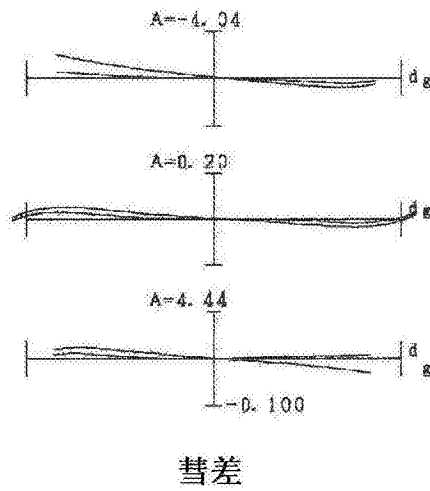


图12B

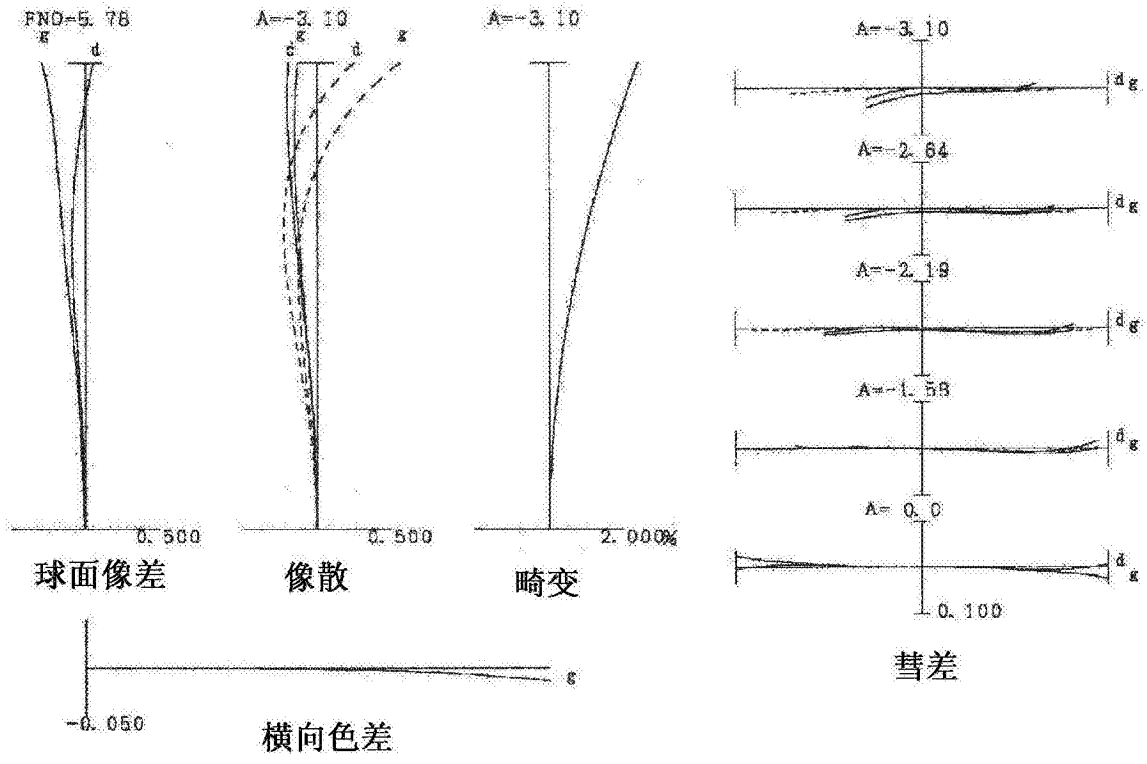


图13A

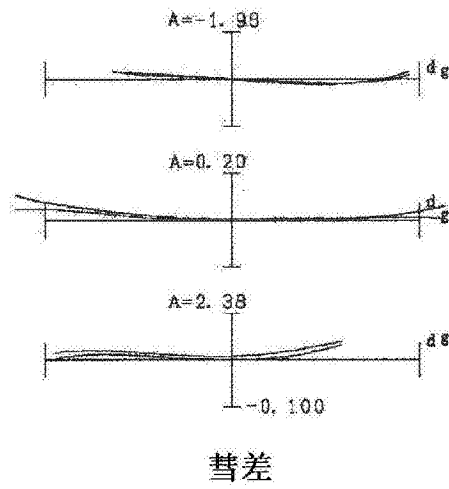


图13B

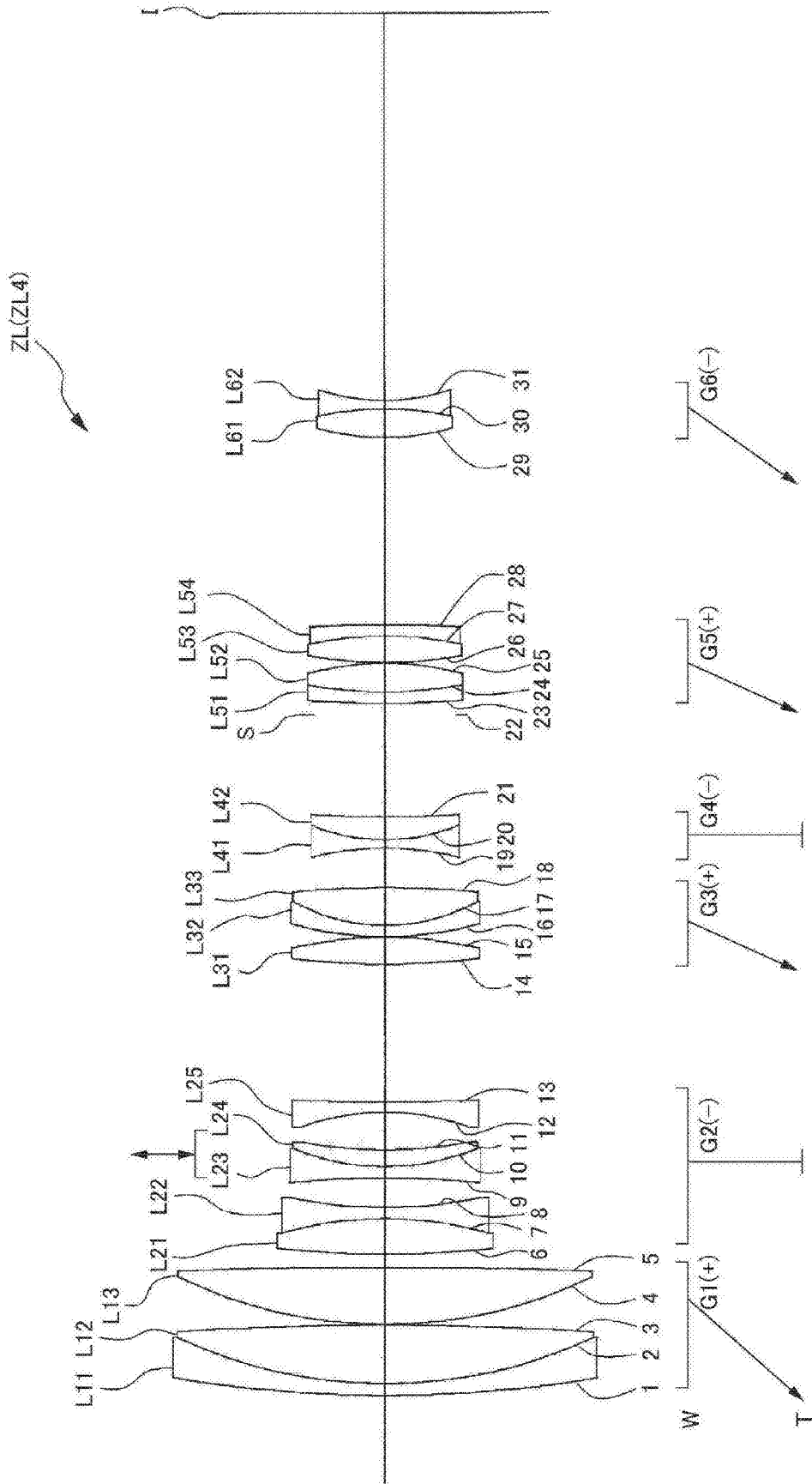


图14

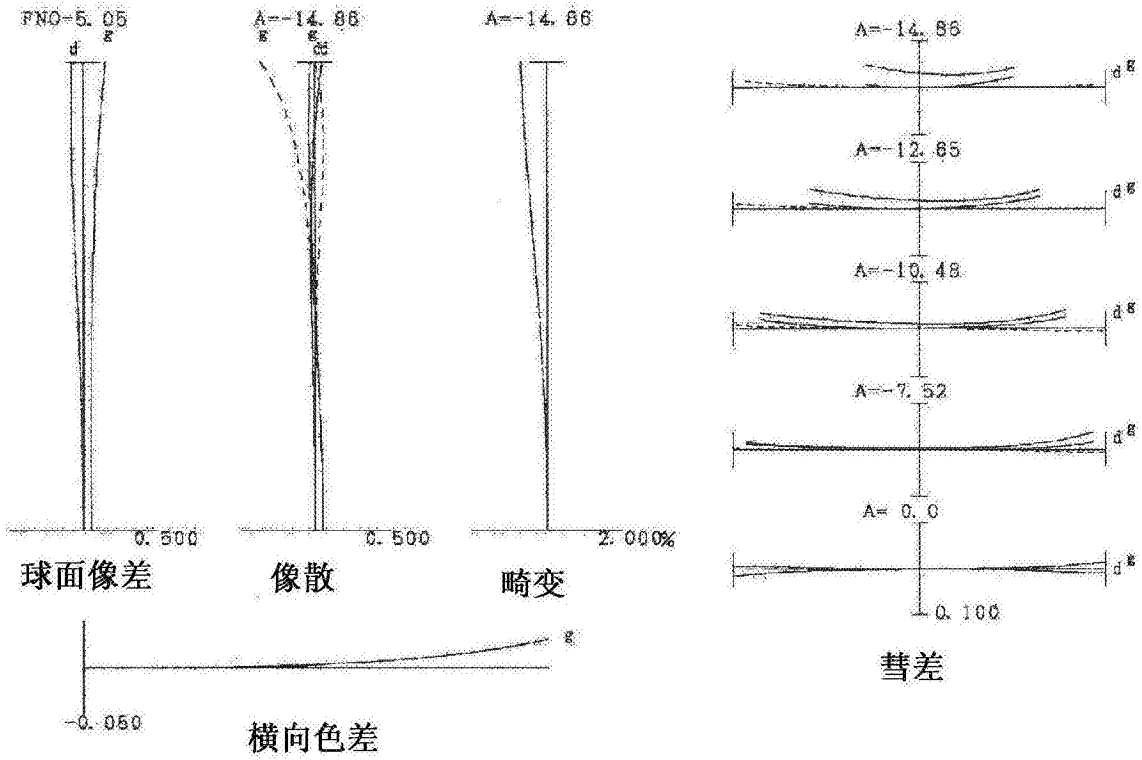


图15A

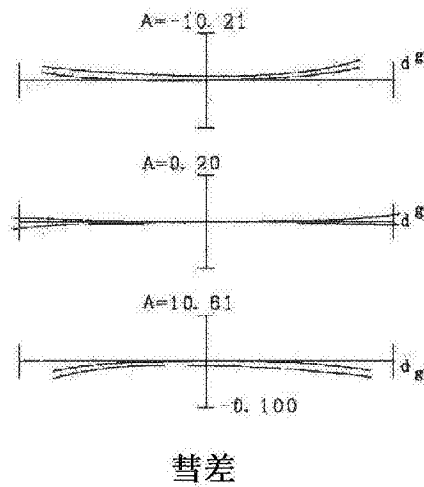


图15B

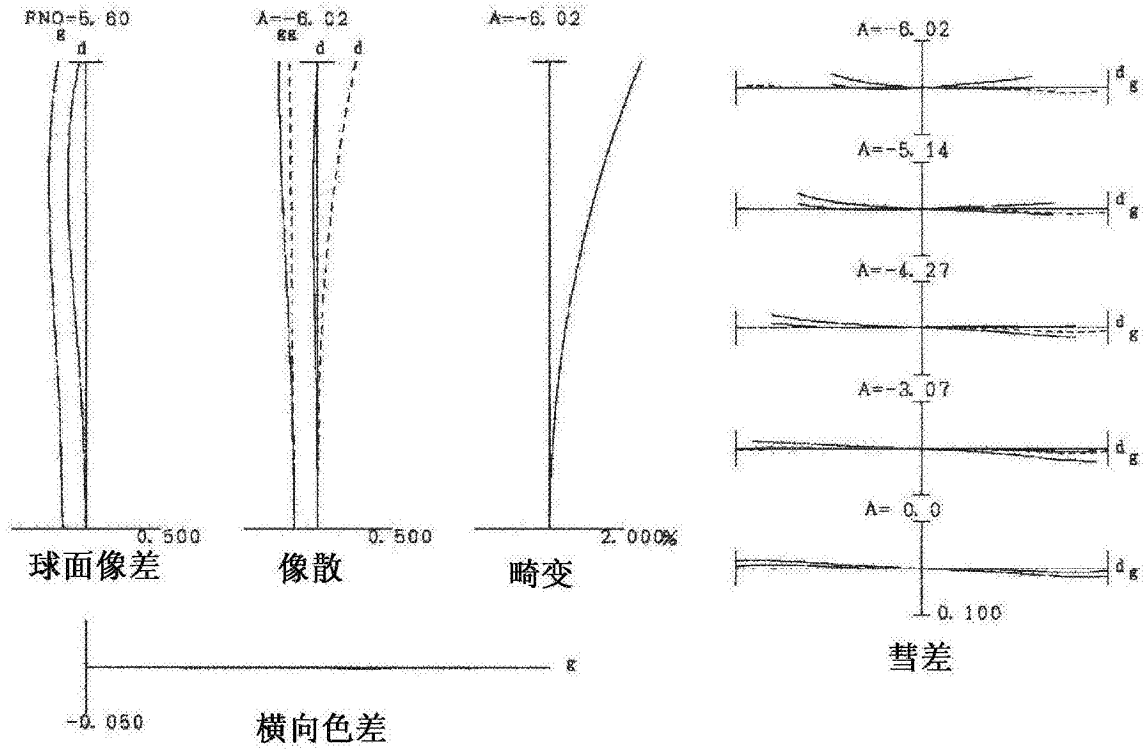


图16A

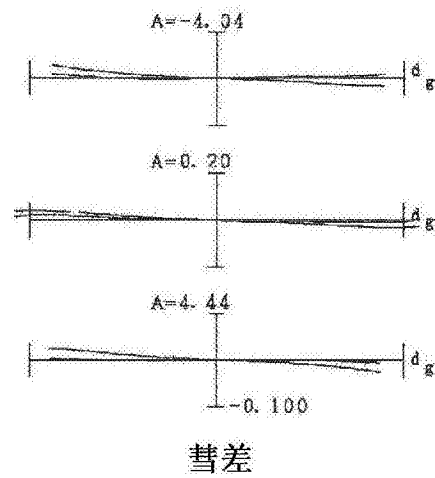


图16B

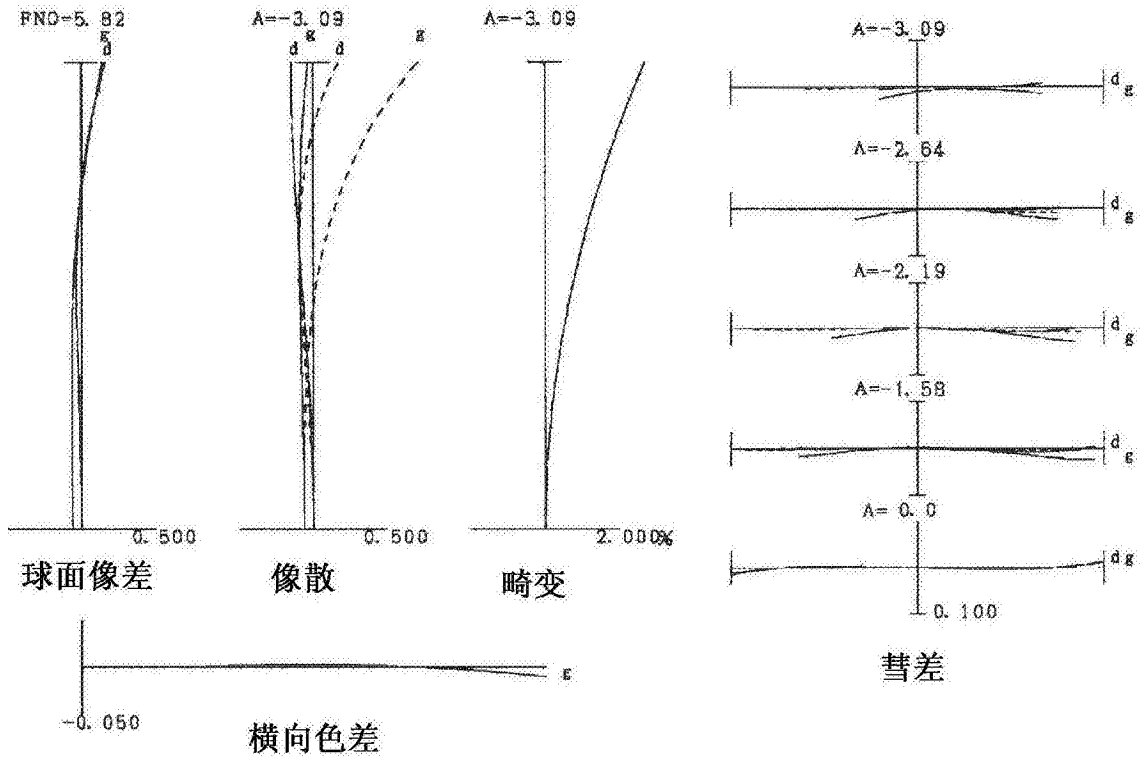


图17A

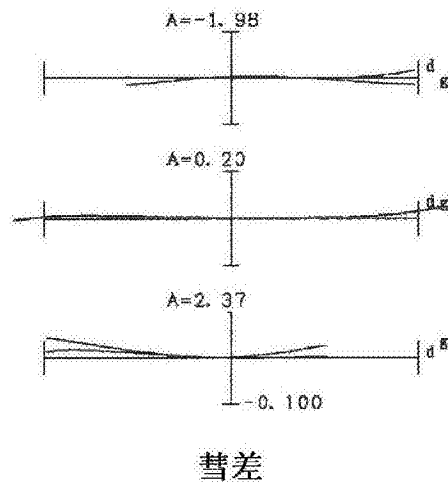


图17B

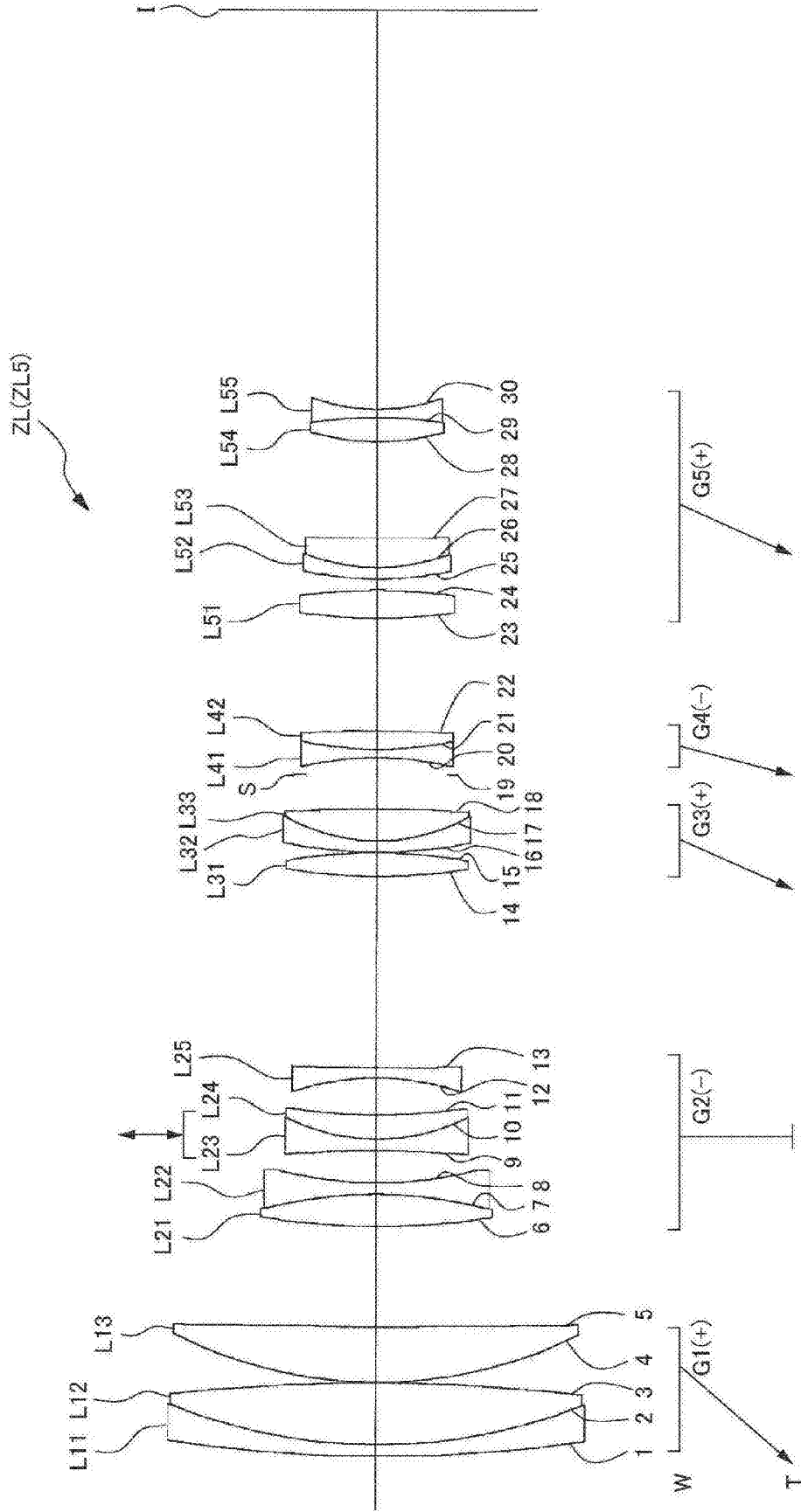


图18

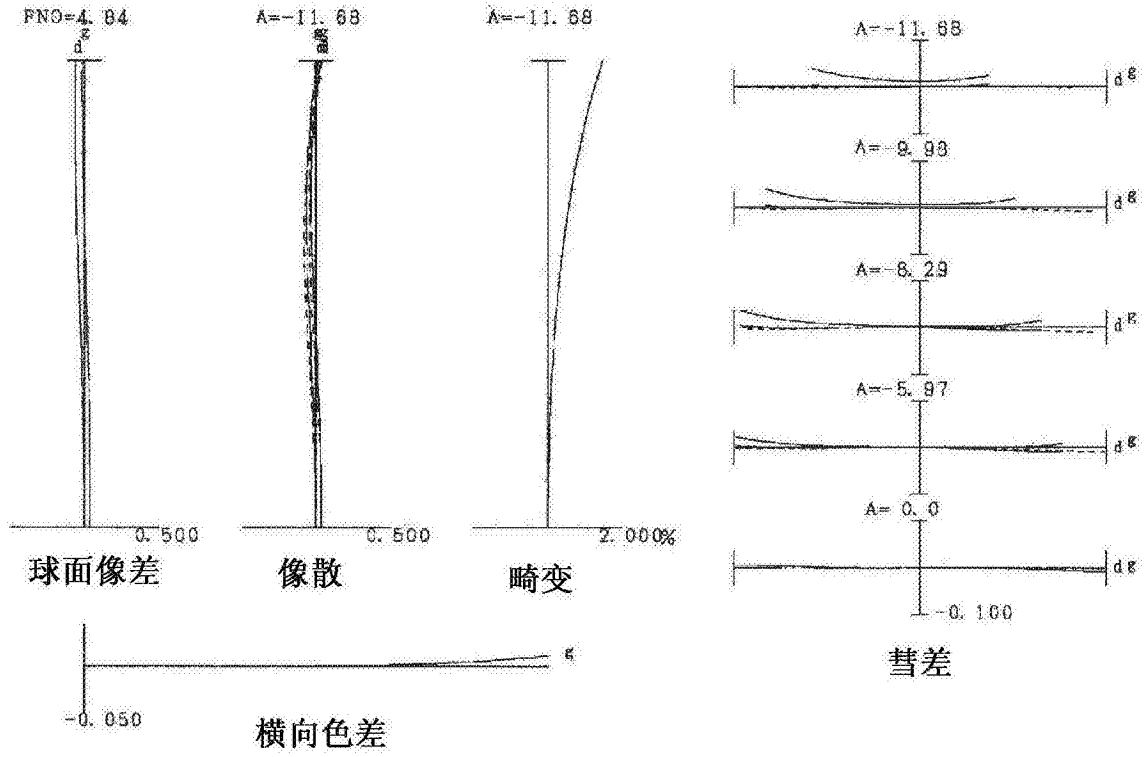


图19A

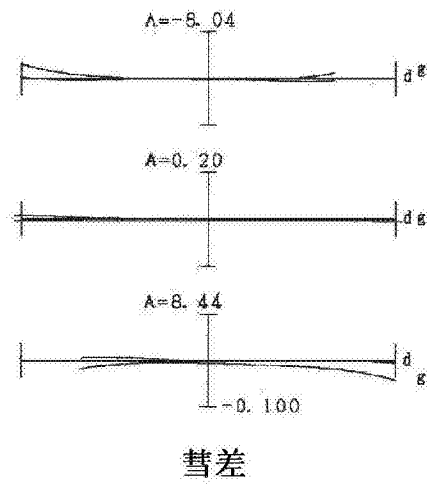


图19B

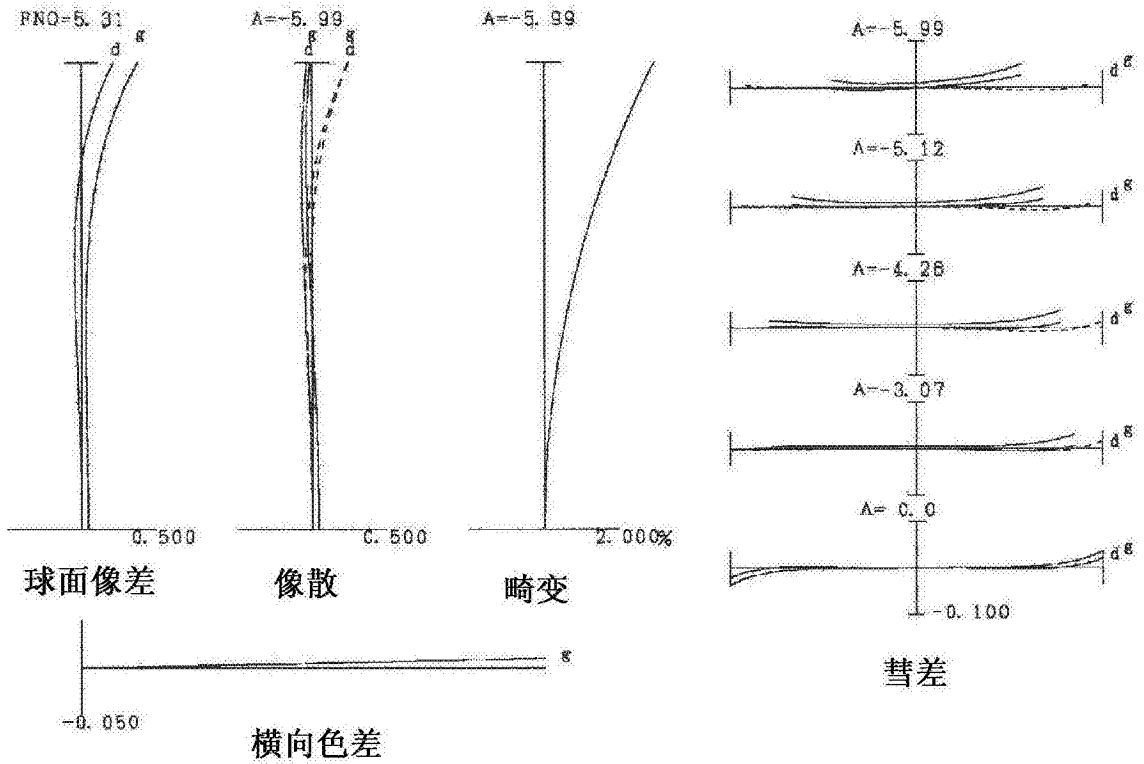


图20A

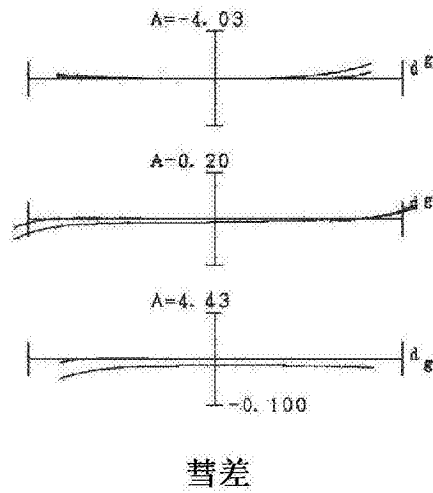


图20B

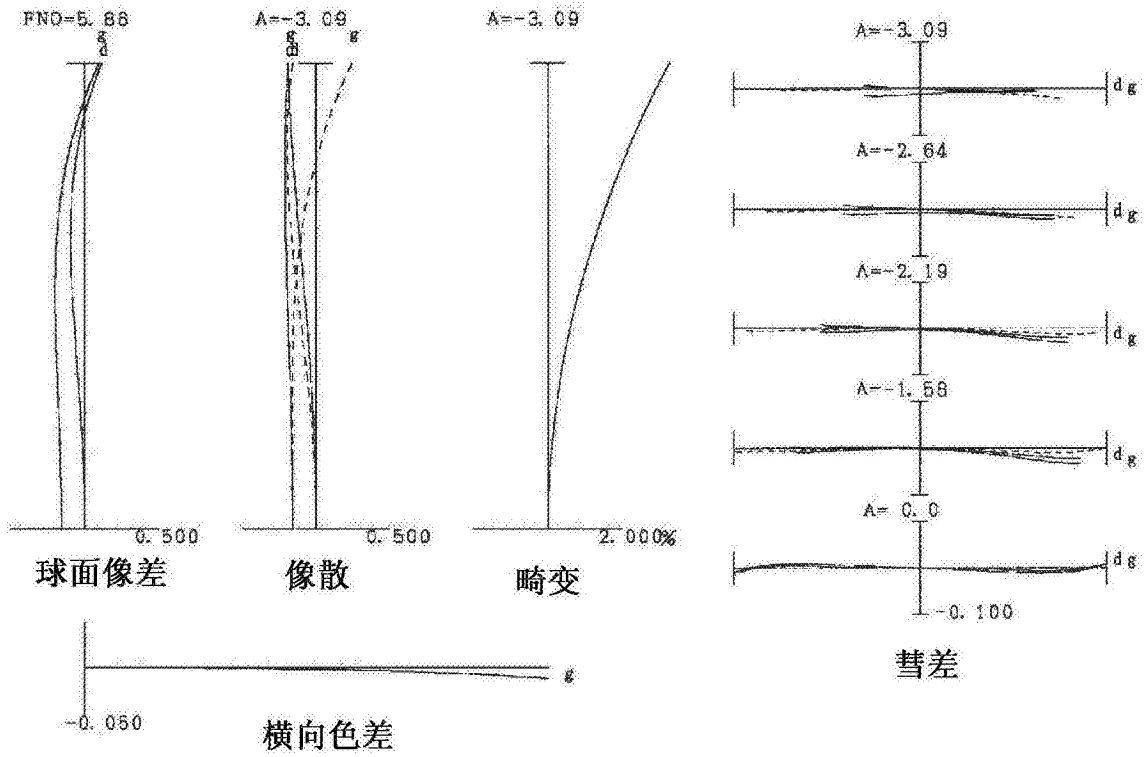


图21A

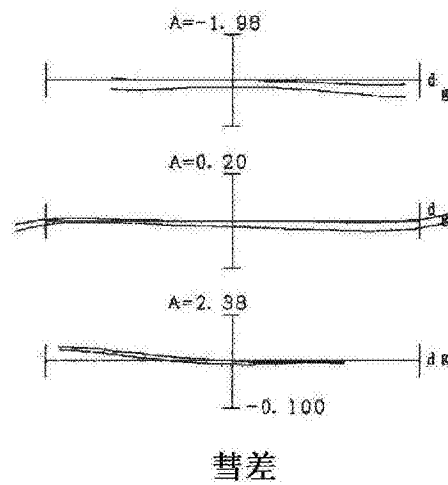


图21B

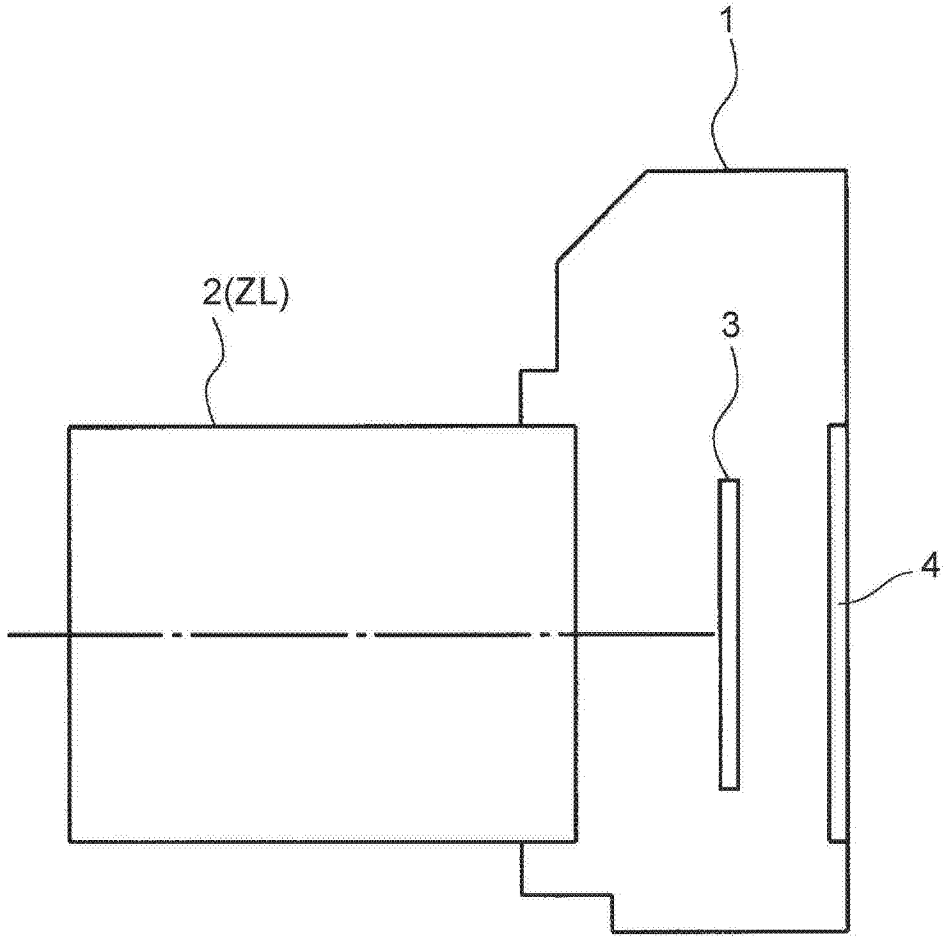


图22

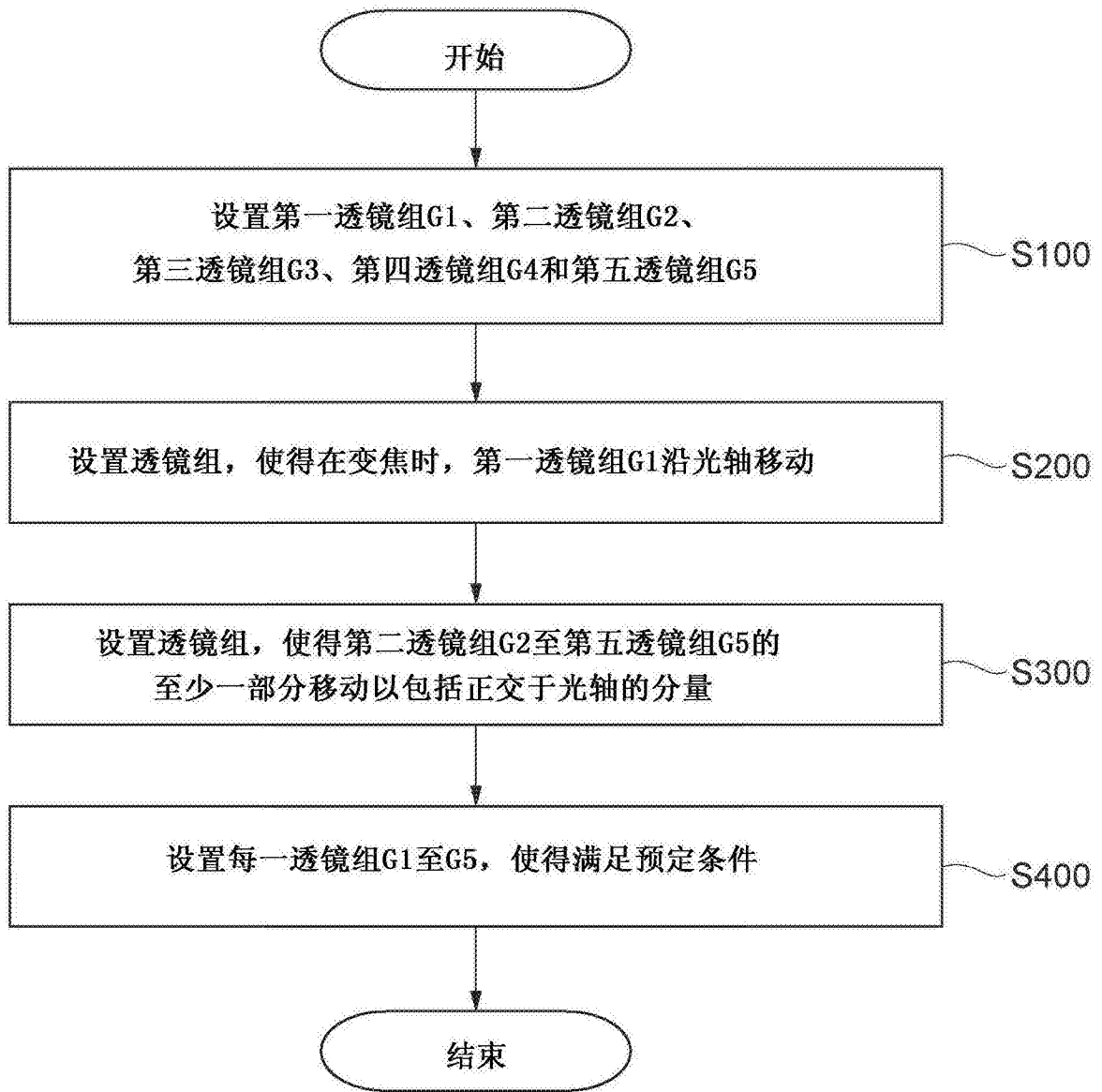


图23

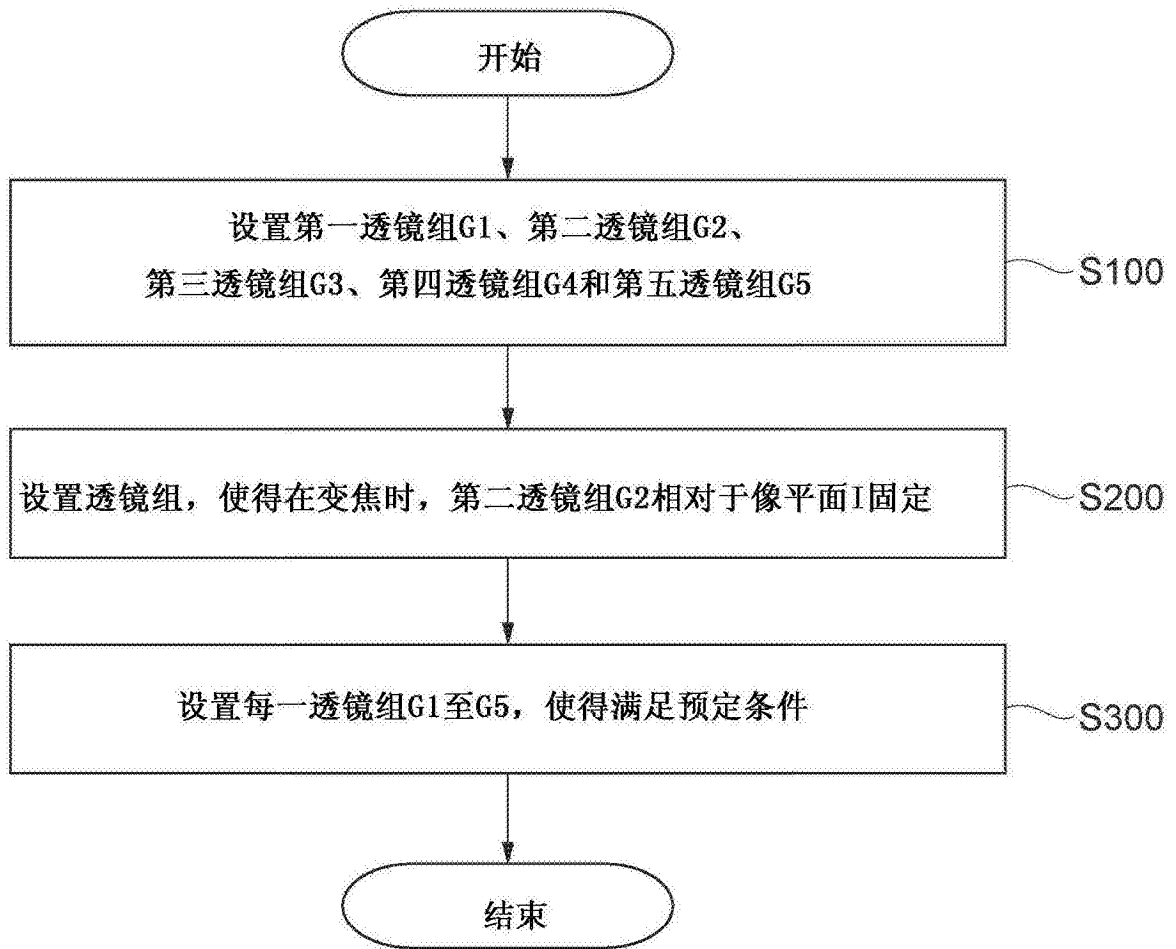


图24

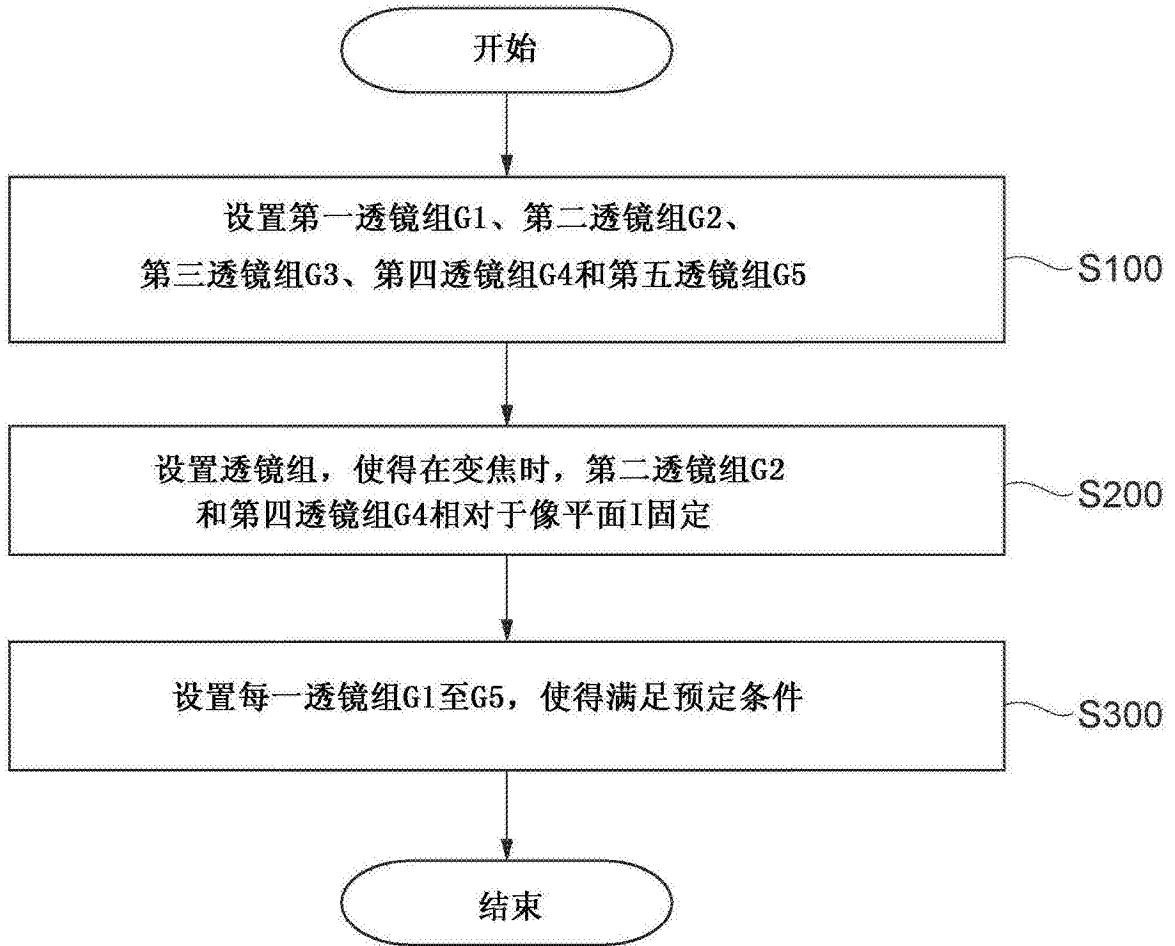


图25

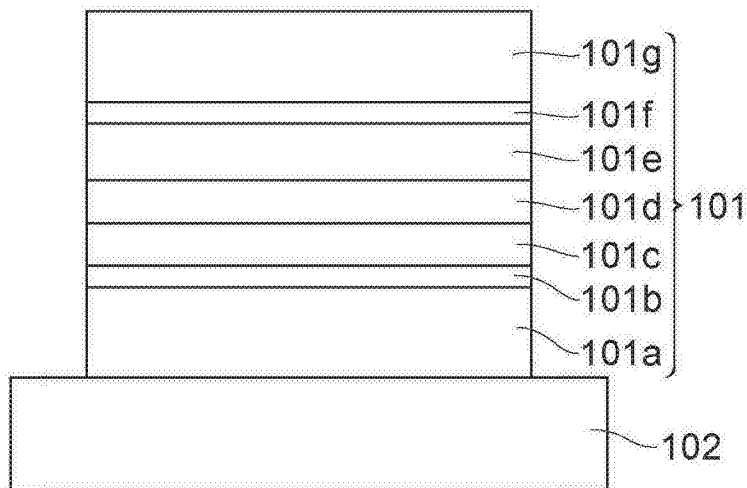


图26

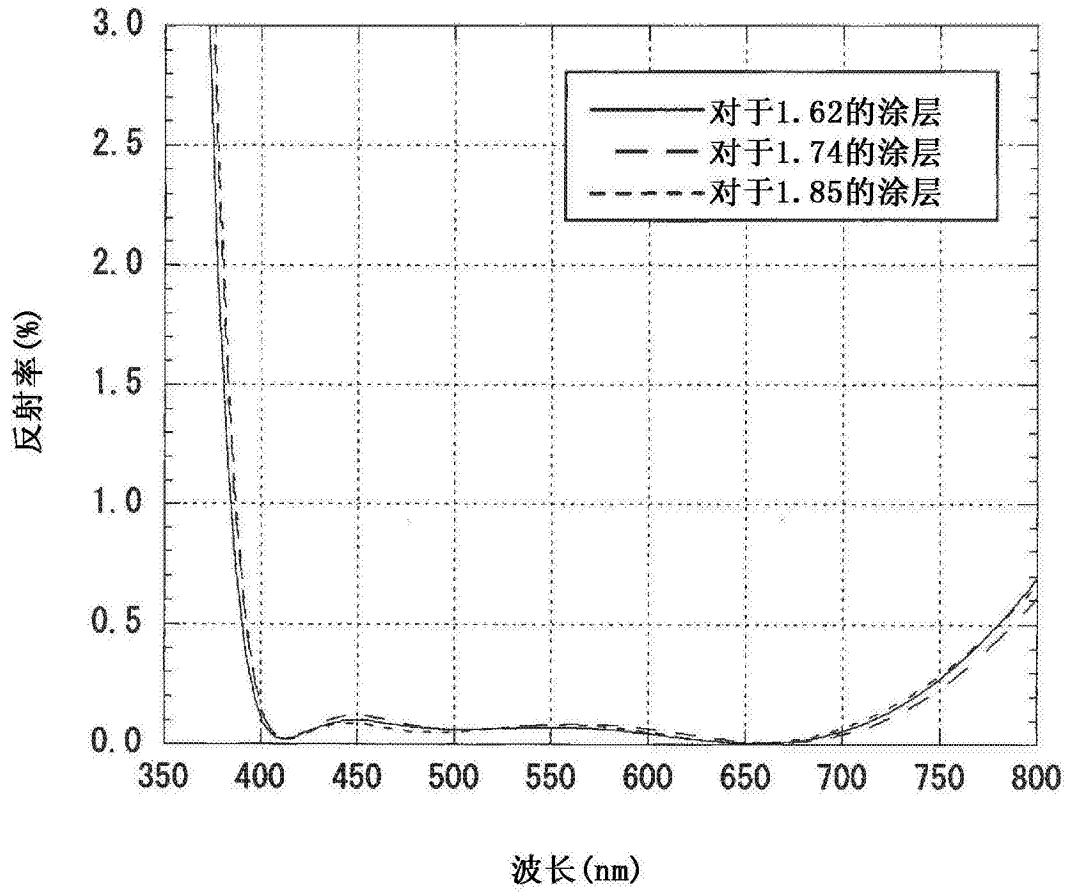


图27

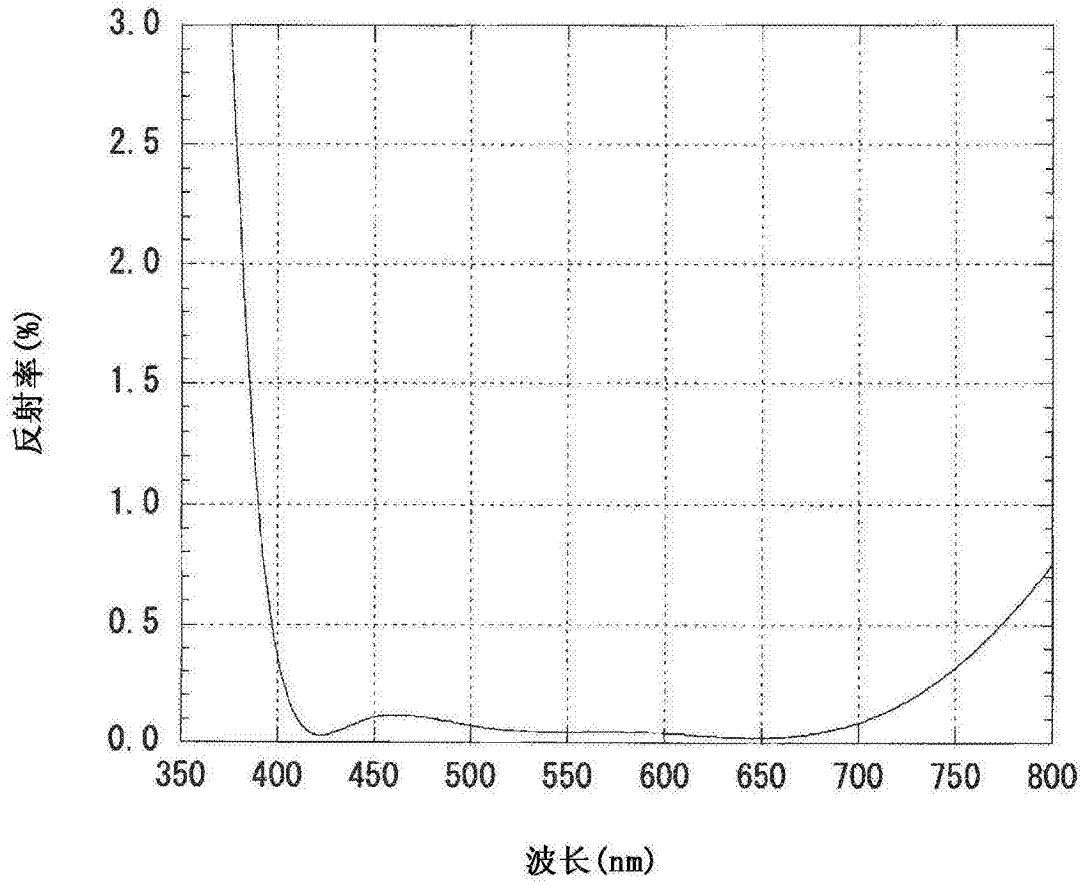


图28

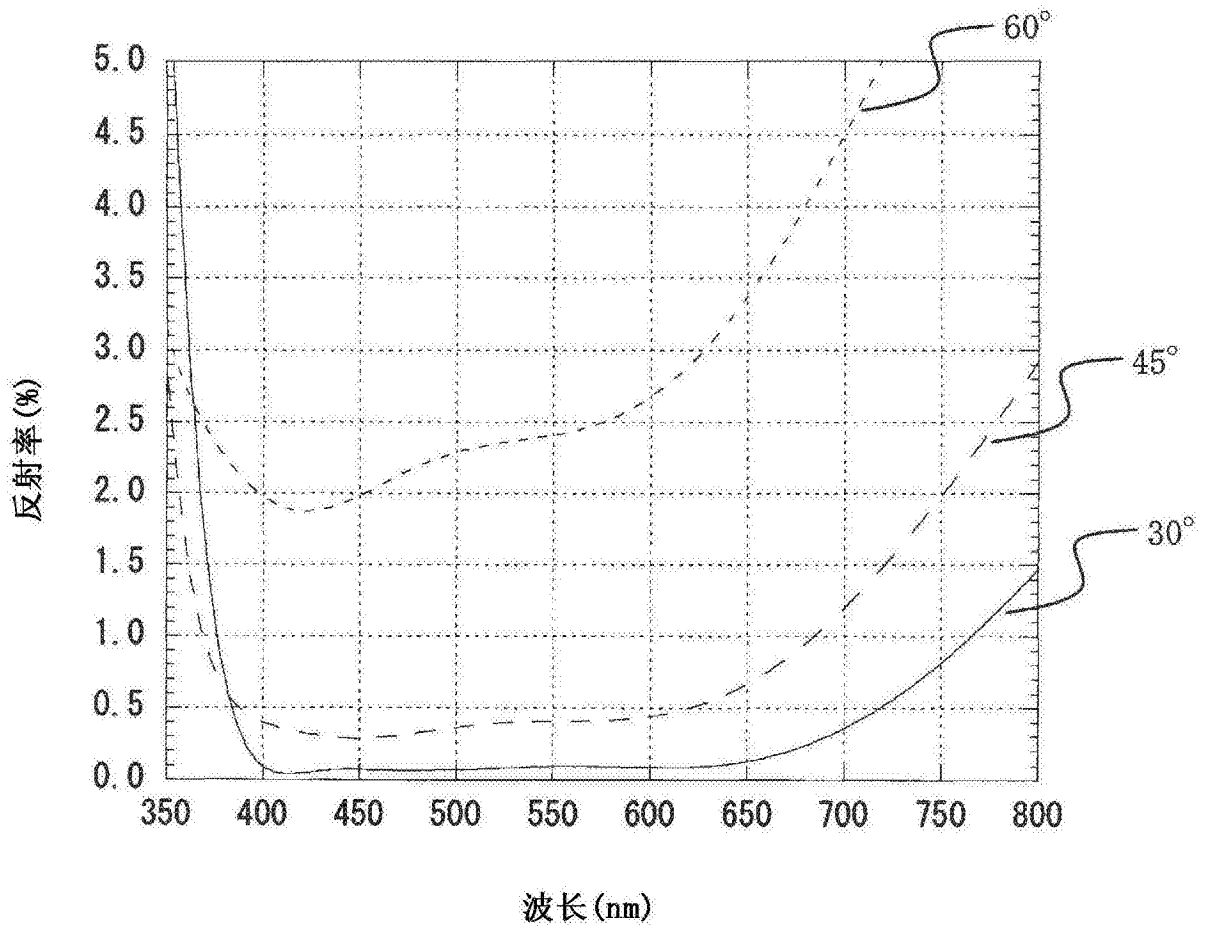


图29

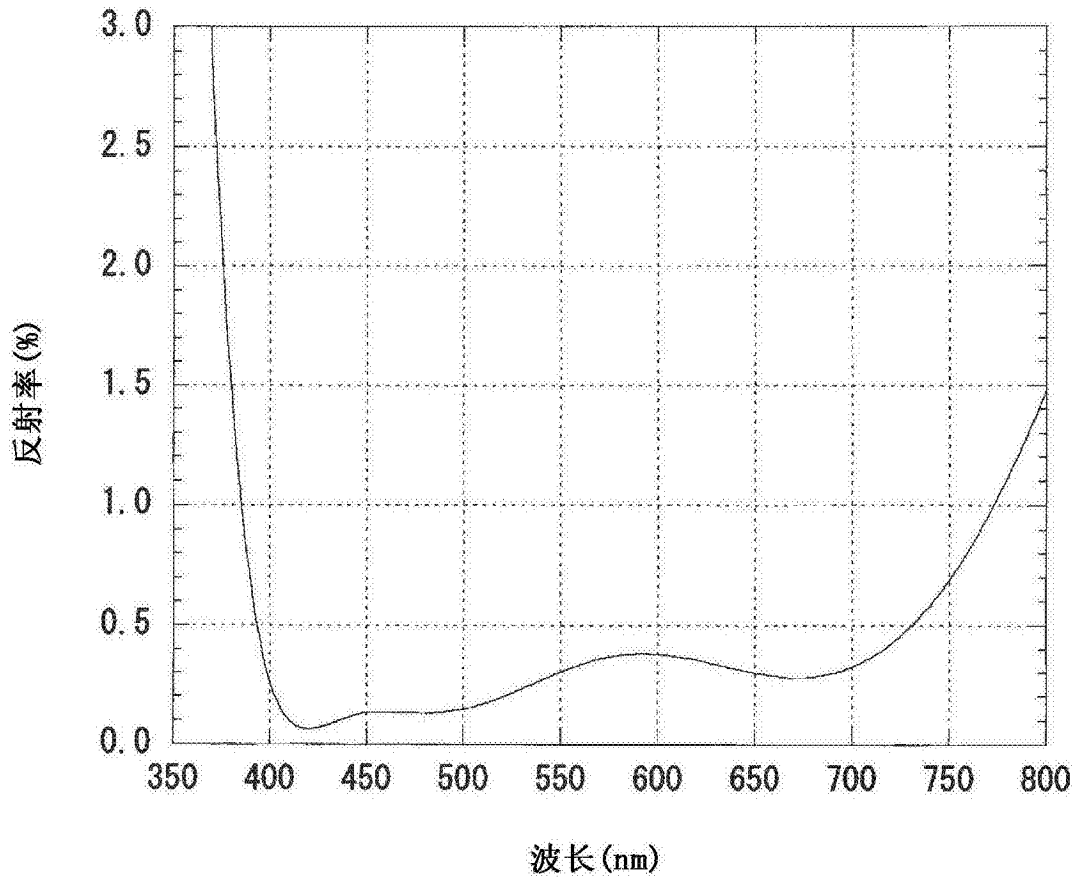


图30

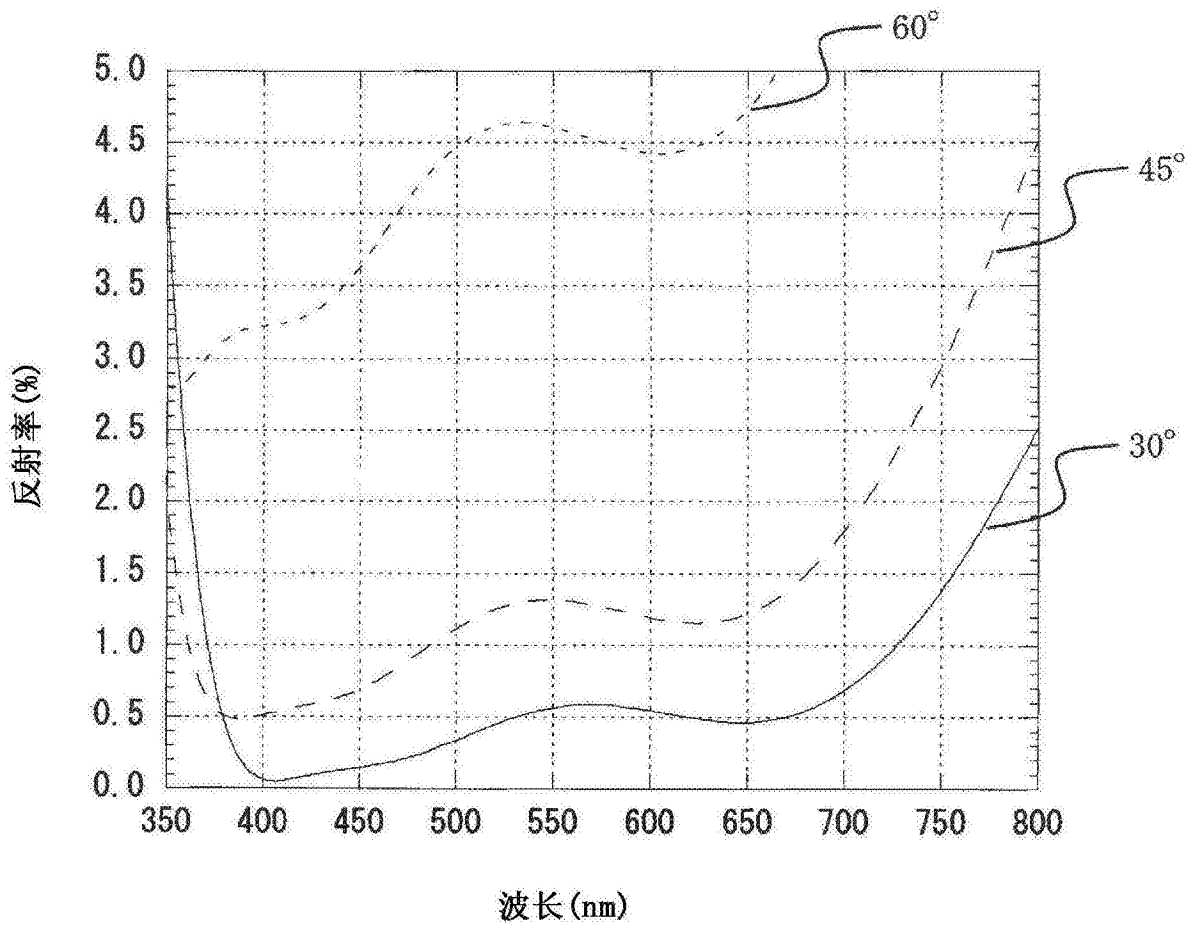


图31