



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104040405 B

(45)授权公告日 2017.05.03

(21)申请号 201380005147.3

(22)申请日 2013.02.21

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104040405 A

(43)申请公布日 2014.09.10

(30)优先权数据

2012-043926 2012.02.29 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2014.07.10

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2013/000984 2013.02.21

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/128856 JA 2013.09.06

(73)专利权人 株式会社尼康

地址 日本东京

(72)发明人 平山义一 松本实保

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限公司 11219

代理人 权太白 谢丽娜

(51)Int.Cl.

G02B 15/20(2006.01)

G02B 5/18(2006.01)

G02B 13/18(2006.01)

审查员 张凯华

权利要求书2页 说明书21页 附图12页

(54)发明名称

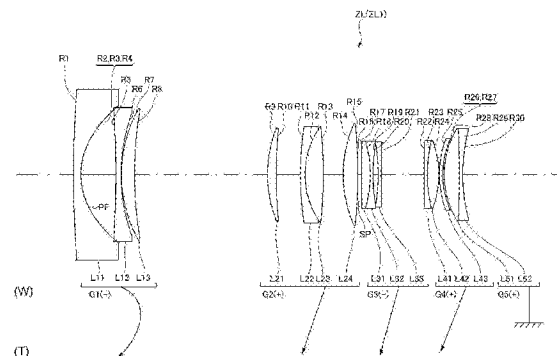
变焦光学系统

(57)摘要

本发明提供一种变焦光学系统,其由从物体侧依次排列的具有负的光焦度的第一透镜组和其他透镜组构成,变倍时各透镜组的相互间隔变化。该变焦光学系统中,第一透镜组具备:第一负透镜,配置于最靠物体侧,且在像侧透镜面具有衍射光学元件;正透镜,相比第一负透镜配置在像侧,正透镜所采用的玻璃材料满足以下的条件式: $v_{1p} \leq 35$, $\Delta(\theta_g, F) \geq 0.007$,其中, v_{1p} :第一透镜组的正透镜所采用的玻璃材料的以d线为基准的阿贝数, $\Delta(\theta_g, F)$:在将以d线为基准的阿贝数 v_d 作为横轴、将部分色散比 $(\theta_g, F) = (ng - n_F)/(n_F - n_C)$ 作为纵轴的图表中,将连结玻璃种类A和玻璃种类B的直线作为标准线时,所述正透镜所采用的玻璃材料的部分色散比相对于该标准线的偏差。另外,玻璃种类A和玻璃种类B的所述阿贝数 v_d 和部分色散比 (θ_g, F) 是以下的值:玻璃种类A: $v_d = 60.49$, $(\theta_g, F) = 0.5436$;玻璃种类B: $v_d = 36.26$, $(\theta_g, F) =$

0.5828。

(第1实施例)



1. 一种变焦光学系统,其特征在于,

具备从物体侧依次排列的具有负的光焦度并在变倍时移动的第一透镜组、在变倍时移动并具有正的光焦度的第二透镜组、在变倍时移动并具有负的光焦度的第三透镜组、在变倍时移动并具有正的光焦度的第四透镜组及在变倍时不移动并具有正的光焦度的第五透镜组,

所述第一透镜组具备从物体侧依次排列的第一负透镜、第二负透镜及正透镜,

所述第一负透镜是凸面朝向物体侧的弯月形形状,且在像侧透镜面具有衍射光学元件,

所述第二负透镜是双凹透镜形状,

所述正透镜是凸面朝向物体侧的弯月形形状,

所述正透镜所采用的玻璃材料满足以下的条件式:

$$v_{1p} \leq 35$$

$$\Delta(\theta_g, F) \geq 0.007$$

其中,

v_{1p} :所述第一透镜组的所述正透镜所采用的玻璃材料的以d线为基准的阿贝数,

$\Delta(\theta_g, F)$:在将以d线为基准的阿贝数 v_d 作为横轴、将部分色散比 $(\theta_g, F) = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$ 作为纵轴的图表中,将连结玻璃种类A和玻璃种类B的直线作为标准线时,所述正透镜所采用的玻璃材料的部分色散比相对于该标准线的偏差,

另外,所述玻璃种类A和所述玻璃种类B的所述阿贝数 v_d 和部分色散比 (θ_g, F) 是以下的值:

玻璃种类A: $v_d = 60.49$, $(\theta_g, F) = 0.5436$

玻璃种类B: $v_d = 36.26$, $(\theta_g, F) = 0.5828$ 。

2. 根据权利要求1所述的变焦光学系统,其特征在于,

满足以下的条件式:

$$40.0 \leq v_{1dave} \leq 55.0$$

其中,

v_{1dave} :构成所述第一透镜组的透镜中除了所述衍射光学元件、由光焦度的绝对值为 $1/5000$ 以下的玻璃材料构成的透镜以及由阿贝数大于70的反常色散玻璃构成的透镜以外的所有透镜的玻璃材料的以d线为基准的阿贝数的平均值。

3. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,

所述第一透镜组~所述第五透镜组中,仅所述第三透镜组构成为包含相对于d线的折射率大于1.8的高折射率玻璃制的透镜。

4. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,构成所述第一透镜组的所述第一负透镜中,设置所述衍射光学元件的所述像侧透镜面是非球面。

5. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,

满足以下的条件式:

$$f_{DOE} < -7000$$

其中,

f_{DOE} :所述衍射光学元件的焦距,单位为毫米。

6. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,满足以下的条件式:

$$0.001 \leq |\phi_{doi}/\phi_i| \leq 0.010$$

其中,

ϕ_i :包含所述衍射光学元件的所述第一透镜组整体的光焦度,

ϕ_{doi} :所述衍射光学元件的光焦度。

7. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,满足以下的条件式:

$$3.0 \leq |TK/f_w| \leq 4.0$$

其中,

TK:因变焦而变化的光学系统的从出瞳到像面的距离的最小值,

f_w :广角端状态下的整个系统的焦距。

8. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,所述第五透镜组具有至少各一个正透镜和负透镜。

9. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,满足以下的条件式:

$$0.040 \leq P_{min} \leq 0.500$$

其中,

P_{min} :所述衍射光学元件的最小间距,单位为毫米。

10. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,所述第一透镜组所具备的正透镜使用正常色散玻璃作为其玻璃材料。

11. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,所述第二透镜组具有至少一个非球面。

12. 根据权利要求1或2所述的变焦光学系统,其特征在于,所述第四透镜组具有至少一个非球面。

变焦光学系统

技术领域

[0001] 本发明涉及使用衍射光学元件的变焦光学系统。

背景技术

[0002] 在变焦光学系统中,若使用衍射光学元件,则色像差的校正变得容易,能够得到较高的光学性能(例如,参照专利文献1)。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:特开2004-117826号公报

发明内容

[0006] 发明所要解决的课题

[0007] 通常,数码相机、摄像机等光学系统中,希望镜头全长(光学全长,即从最靠物体侧的透镜面(第一面)到像面的长度)较短,光学系统整体小型。然而,越缩短镜头全长,越存在以色像差为代表的各像差增大、光学性能降低的倾向。即使在这种光学系统中仅设置衍射光学元件,若不对配置位置、光焦度适当地进行设定,则难以在整个变焦区域中对色像差良好地进行校正。若衍射光学元件使用不当,则色像差校正不足。另外,若衍射光学元件的光焦度变大,则衍射光学元件的栅格间距变窄,制造变得困难,生产率变差。

[0008] 本发明鉴于这种问题而提出,目的在于通过有效地使用衍射光学元件,提供一种变焦光学系统,小型且能够在整个变焦范围良好地校正以色像差为代表的各像差,并具有较高的光学性能。

[0009] 用于解决课题的手段

[0010] 为了达成这种目的,根据对本发明进行例示的方式,提供一种变焦光学系统,其由从物体侧依次排列的第一透镜组和其他透镜组构成,变倍时各透镜组的相互间隔变化,所述第一透镜组具有负的光焦度。该变焦光学系统中,所述第一透镜组具备:第一负透镜,配置于最靠物体侧,且在像侧透镜面具有衍射光学元件;和正透镜,相比所述第一负透镜配置在像侧,所述正透镜所采用的玻璃材料满足以下的条件式:

[0011] $v_{1p} \leq 35$

[0012] $\Delta(\theta_g, F) \geq 0.007$

[0013] 其中,

[0014] v_{1p} :所述第一透镜组的所述正透镜所采用的玻璃材料的以d线为基准的阿贝数,

[0015] $\Delta(\theta_g, F)$:在将以d线为基准的阿贝数 v_d 作为横轴、将部分色散比 $(\theta_g, F) = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$ 作为纵轴的图表中,将连结玻璃种类A和玻璃种类B的直线作为标准线时,所述正透镜所采用的玻璃材料的部分色散比相对于该标准线的偏差,另外,所述玻璃种类A和所述玻璃种类B的所述阿贝数 v_d 和部分色散比 (θ_g, F) 是以下的值:

[0016] 玻璃种类A: $v_d = 60.49$, $(\theta_g, F) = 0.5436$

[0017] 玻璃种类B: $v_d = 36.26$, $(\theta_g, F) = 0.5828$ 。

[0018] 发明效果

[0019] 根据本发明,通过有效地使用衍射光学元件,能够提供一种变焦光学系统,小型且在整个变焦范围对以色像差为代表的各像差良好地进行校正,并具有较高的光学性能。

附图说明

[0020] 图1是表示本实施方式的衍射光学元件的示意图。

[0021] 图2是第一实施例的变焦光学系统的广角端状态下的结构剖视图以及表示从广角端状态(W)到望远端状态(T)的变焦轨道的图。

[0022] 图3是第一实施例的变焦光学系统的广角端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。

[0023] 图4是第一实施例的变焦光学系统的望远端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。

[0024] 图5是第二实施例的变焦光学系统的广角端状态下的结构剖视图以及表示从广角端状态(W)到望远端状态(T)的变焦轨道的图。

[0025] 图6是第二实施例的变焦光学系统的广角端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。

[0026] 图7是第二实施例的变焦光学系统的望远端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。

[0027] 图8是第三实施例的变焦光学系统的广角端状态下的结构剖视图以及表示从广角端状态(W)到望远端状态(T)的变焦轨道的图。

[0028] 图9是第三实施例的变焦光学系统的广角端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。

[0029] 图10是第三实施例的变焦光学系统的望远端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。

[0030] 图11是用于说明反常色散玻璃的定义的图表,横轴表示以d线为基准的阿贝数 v_d ,纵轴表示部分色散比 (θ_g, F) 。

[0031] 图12是表示使用本实施方式的变焦光学系统的数字单反相机(摄像装置)的结构概略剖视图。

具体实施方式

[0032] 以下,针对实施方式,参照附图进行说明。如图1所示,本实施方式的变焦光学系统中所使用的衍射光学元件PF使用如下所谓的密合多层型衍射光学元件PF:具备由不同光学材料构成的两个衍射元件要素,具体来说,具备具有形成有多个栅格槽的第一衍射光学面的第一衍射光学元件PF1和具有形成有多个栅格槽的第二衍射光学面的第二衍射光学元件PF2,第一衍射光学元件PF1和第二衍射光学元件PF2以第一衍射光学面和第二衍射光学面彼此相对的方式配置,且上述第一衍射光学面和第二衍射光学面在衍射光学面C相互密合地相接。

[0033] 本实施方式的变焦光学系统ZL如图2所示那样,由从物体侧依次排列的具有负的

光焦度的第一透镜组G1、具有正的光焦度的第二透镜组G2、具有负的光焦度的第三透镜组G3、具有正的光焦度的第四透镜组G4、具有正的光焦度的第五透镜组G5构成,从广角端状态向望远端状态变倍时各透镜组的相互间隔变化,第一透镜组G1成为具有至少一个的密合多层型衍射光学元件PF的结构。

[0034] 如此从广角端状态向望远端状态变倍时,通过使各透镜组G1~G5的相互间隔变化,而实现变焦光学系统ZL的小型化。另外,在较大地产生轴上色像差的第一透镜组G1配置密合多层型衍射光学元件PF,从而有效地进行色像差的校正。

[0035] 在后述的第一实施例中,在第一透镜组G1配置密合多层型衍射光学元件PF,从而在整个变焦区域对色像差良好地进行校正。第二实施例/第三实施例也同样。

[0036] 第一透镜组G1具有从物体侧依次排列的第一负透镜L11、第二负透镜L12及正透镜L13,第一负透镜L11是凸面朝向物体侧的弯月形形状,第二负透镜L12是双凹透镜形状,正透镜L13是凸面朝向物体侧的弯月形形状。另外,密合多层型衍射光学元件PF设置于第一负透镜L11的像侧透镜面(第二面),优选该面是非球面。根据该结构,能够在整个变焦区域进行良好的像差校正。

[0037] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选满足以下条件式(1)、(2)。

[0038] $v_{1p} \leq 35 \quad \cdots (1)$

[0039] $\Delta(\theta_g, F) \geq 0.007 \quad \cdots (2)$

[0040] 其中,

[0041] v_{1p} :第一透镜组G1的正透镜L13所采用的玻璃材料的以d线为基准的阿贝数,

[0042] $\Delta(\theta_g, F)$:将以d线为基准的阿贝数 v_d 作为横轴、将部分色散比 $(\theta_g, F) = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$ 作为纵轴的图表中,当以连结玻璃种类A(株式会社小原(オハラ)玻璃种类名NSL7)和玻璃种类B(株式会社小原玻璃种类名PBM2)的直线作为标准线时,第一透镜组G1的正透镜L13所采用的玻璃材料的部分色散比相对于该标准线的偏差(参照图11)。另外, v_d 是以d线为基准的阿贝数, n_g 、 n_F 、 n_C 分别是夫琅和费线(Fraunhofer lines)相对于g线、F线、C线的折射率。

[0043] 通过将满足这样的条件式(1)、(2)的玻璃材料用于构成第一透镜组G1的正透镜L13,能够对轴上色像差以及倍率色像差良好地进行校正。

[0044] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选满足以下的条件式(3)。

[0045] $40.0 \leq v_{1dave} \leq 55.0 \quad \cdots (3)$

[0046] 其中,

[0047] v_{1dave} :构成第一透镜组G1的透镜中,除了衍射光学元件PF、由光焦度的绝对值为1/5000以下的玻璃材料构成的透镜、以及由阿贝数大于70的反常色散玻璃构成的透镜以外的所有透镜的以玻璃材料的d线为基准的阿贝数的平均值。

[0048] 条件式(3)是对第一透镜组G1中除了衍射光学元件PF、由光焦度的绝对值为1/5000以下的玻璃材料构成的透镜、以及由阿贝数大于70的反常色散玻璃构成的透镜以外的折射型透镜所采用的玻璃材料的阿贝数的平均值进行规定的条件式。

[0049] 衍射光学元件PF具备衍射光学面C,该衍射光学面C以同心圆状形成有每1mm数根到数百根的细槽状或狭缝状的栅格构造(参照图1),并具有将入射到该衍射光学面C的光向由栅格间距(栅格槽的间隔)和入射光的波长所决定的方向衍射的性质。这种衍射光学元件

PF例如用于将特定级数的衍射光聚光到一点的透镜等。

[0050] 在由通常的光学玻璃作成的折射型透镜中,波长变得越短则光焦度特性的变化变得越大,但是,相反地在衍射光学元件PF中,基于波长的光焦度特性呈线性地变化。另外,折射型透镜的折射率特性因玻璃材料的不同而变化,但是衍射光学元件PF的折射率特性不因玻璃材料的不同而变化。因此,将多个折射型透镜组合而使得基于波长的光焦度变化为线性,再将该组合而成的元件与衍射光学元件PF组合,从而能够得到较大的消色效果,能够对色像差良好地进行校正。

[0051] 条件式(3)是作为光焦度因波长而线性地变化的多个折射型透镜的玻璃材料的选择方法,对阿贝数的平均值进行规定的式子。若低于条件式(3)的下限值,则所述折射型透镜的波长变得越短,光焦度特性的变化变得越大,若在这种透镜中组合衍射光学元件PF,则像差的残存量变大。另外,组合的衍射光学元件PF的光焦度变得较大,间距变得较窄,因此制造变得困难,量产率变差。

[0052] 相反,若超过条件式(3)的上限值,则由于在所述折射型透镜中使用反常色散性较高的玻璃材料,因此需要比重较大的玻璃材料,重量增加。另外,这些玻璃材料通常是折射率较低的玻璃材料,因此球面像差等的校正变得困难。其中,针对球面像差的校正可以通过使用非球面来消除,但是若非球面处的校正量变大,则凹陷(sag)量(从非球面的球面的偏离量)变大,制造变得困难,量产率变差。

[0053] 为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(3)的下限值为43.0。另外,为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(3)的上限值为51.0。

[0054] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选的是,第一透镜组G1~第五透镜组G5中仅第三透镜组G3包含相对于d线的折射率比1.8大的高折射率玻璃制的透镜(比重较重的透镜)。根据该结构,除了第三透镜组G3外的其他透镜组,即第一透镜组G1、第二透镜组G2、第四透镜组G4以及第五透镜组G5均由比重较轻的透镜构成,因此能够在不使轴上色像差以及倍率色像差变差的情况下,使整个光学系统轻量化。

[0055] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,以衍射光学元件PF的设置面(即构成第一透镜组G1的第一负透镜L11的像侧透镜面)是非球面为前提,优选满足以下的条件式(4)。

$$[0056] \quad f \text{ DOE} < -7000 \quad \cdots (4)$$

[0057] 其中,

[0058] $f \text{ DOE}$: 衍射光学元件PF的焦距(mm)。

[0059] 条件式(4)是对衍射光学元件PF的光焦度进行规定的式子。通过将非球面和满足条件式(4)的衍射光学元件PF组合,能够缓和该元件的光焦度,因此能够确保适当的栅格间距,进而能够防止反射光斑。若低于条件式(4)的下限值,则衍射光学元件PF的光焦度变强,该元件的栅格间距变窄,因此制造变得困难,量产率变差。

[0060] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选满足以下的条件式(5)。

$$[0061] \quad 0.001 \leq |\phi_{\text{doei}}/\phi_i| \leq 0.010 \quad \cdots (5)$$

[0062] 其中,

[0063] ϕ_i : 包含衍射光学元件PF的第一透镜组G1整体的光焦度,

[0064] ϕ_{doei} : 衍射光学元件PF的光焦度。

[0065] 条件式(5)是对衍射光学元件PF的光焦度与包含该衍射光学元件PF的透镜组即第一透镜组G1的光焦度的比进行规定的式子。若低于条件式(5)的下限值,则衍射光学元件PF的光焦度变小,色像差校正不足。相反,若超过条件式(5)的上限值,则衍射光学元件PF的光焦度变强,衍射光学元件PF的栅格间距变窄,制造变得困难,量产率变差。

[0066] 为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(5)的下限值为0.004。另外,为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(5)的上限值为0.006。

[0067] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选满足以下的条件式(6)。

$$[0068] \quad 3.0 \leq |TK/fw| \leq 4.0 \quad \cdots (6)$$

[0069] 其中,

[0070] TK:因发生变焦而变化的、光学系统的从出瞳到像面的距离的最小值,

[0071] fw:广角端状态下的整个系统的焦距。

[0072] 条件式(6)是对因为发生变焦而变化的、光学系统的从出瞳到像面的距离的最小值与广角端状态下的整个系统的焦距的比进行规定的式子。若低于条件式(6)的下限值,则难以确保作为单反相机的可换镜头使用时的反射镜工作空间,在视场角周边因入射到摄像元件的光线倾斜而产生阴影。相反,若超过条件式(6)的上限值,则小型化变得不充分。

[0073] 为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(6)的下限值为3.5。为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(6)的下限值为3.6。

[0074] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,第五透镜组G5能够由至少一个正透镜构成,但是更优选,在其中添加至少一个负透镜。如果如此地构成为正透镜和负透镜各具有至少一个,则能够抑制球面像差、彗差、像散、场曲等,同时能够抑制轴上色像差的产生。

[0075] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选满足以下的条件式(7)。

$$[0076] \quad 0.040 \leq Pmin \leq 0.500 \quad \cdots (7)$$

[0077] 其中,

[0078] Pmin:衍射光学元件PF的最小间距(mm)。

[0079] 条件式(7)是规定衍射光学元件PF的栅格的最小间距的式子。若低于条件式(7)的下限值,则栅格间距变窄,制造变得困难,量产率变差。相反,若超过条件式(7)的上限值,则衍射光学元件PF的光焦度变小,色像差校正不足。

[0080] 为了更切实地实现本实施方式的效果,优选使条件式(7)的下限值为0.05。

[0081] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,第一透镜组G1具有至少一个正透镜,优选使用正常色散玻璃作为其玻璃材料。通过这种正透镜和衍射光学元件PF的组合,能够抑制轴上色像差以及倍率色像差的产生。

[0082] 通常,若在纵轴作为部分色散比采用(θ_g, F)、在横轴作为以d线为基准的阿贝数采用 v_d ,则如图11所示,大部分光学玻璃在部分色散比和阿贝数之间大致成立直线关系,将这种玻璃种类成为正常色散玻璃。另一方面,将从该直线关系偏离的位置处的玻璃种类成为反常色散玻璃。更具体地说,在将连结成为正常色散玻璃的基准的NSL7和PBM2(均为株式会社小原玻璃种类名)而得到的直线作为标准线、且将部分色散比相对于该标准线的偏差表示为 $\Delta(\theta_g, F)$ 的情况下,能够将满足以下的条件式(8)或(9)的玻璃定义为反常色散玻璃。另外,权利要求书中所限定的玻璃种类A与NSL7对应,玻璃种类B与PBM2对应。

$$[0083] \quad \Delta(\theta_g, F) < -0.012 \quad \cdots (8)$$

[0084] $\Delta(\theta_g, F) > 0.012 \dots (9)$

[0085] 另外,在将透镜的材质的相对于g线(波长 $\lambda=435.835\text{nm}$)的折射率设为 n_g 、相对于F线(波长 $\lambda=486.133\text{nm}$)的折射率设为 n_F 、相对于C线(波长 $\lambda=656.273\text{nm}$)的折射率设为 n_C 时,由 $(\theta_g, F) = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$ 定义部分色散比 (θ_g, F) 。另外,成为正常色散玻璃的基准的NSL7的部分色散比为0.5436、阿贝数为60.49, PBM2的部分色散比是0.5828、阿贝数是36.26。

[0086] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选第二透镜组G2具有至少一个非球面。根据该结构,能够对球面像差、彗差良好地进行校正。

[0087] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,优选第四透镜组G4具有至少一个非球面。根据该结构,能够对球面像差、彗差良好地进行校正。

[0088] 本实施方式的衍射光学元件PF如上述那样,属于所谓的多层型(或层叠型)的衍射光学元件,因此能够在从g线(波长 $\lambda=435.835\text{nm}$)起包含C线(波长 $\lambda=656.273\text{nm}$)的较宽的波长区域中提高衍射效率,其中所述多层型(或层叠型)的衍射光学元件具备由不同的光学材料构成的具有第一衍射光学面的第一衍射光学元件PF1、和第二衍射光学元件PF2,并将上述第一衍射光学元件PF1和第二衍射光学元件PF2以使第一衍射光学面和第二衍射光学面彼此相对的方式配置。因此,使用这种衍射光学元件PF的本实施方式的变焦光学系统ZL能够在较宽的波长区域中利用。

[0089] 在本实施方式中,在透射型的衍射光学元件PF中利用一级衍射光的情况下,衍射效率表示入射强度 I_0 和一级衍射光的强度 I_1 的比例 $\eta (= I_1 / I_0 \times 100 [\%])$ 。

[0090] 至于用于本实施方式的变焦光学系统ZL的衍射光学元件PF,也可以如上所述地构成成为相对配置的第一衍射光学面和第二衍射光学面彼此相接。即,也可以将分别形成于两个衍射元件要素的栅格槽相互紧贴而作为密合多层型衍射光学元件构成。这种密合多层型衍射光学元件与将形成有栅格槽的两个衍射元件要素以该栅格槽彼此相对的方式靠近地配置的所谓分离多层型衍射光学元件相比,具备如下优点:能够使制造工序简化,因此量产效率优化,并且相对于光线的入射角的衍射效率优良(在从g线起包含C线的较宽的波长区域中为90%以上)。因此,在利用这种密合多层型衍射光学元件的本实施方式的变焦光学系统ZL中,制造变得容易,另外衍射效率也变得良好。

[0091] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,构成衍射光学元件PF的第一衍射光学元件PF1以及第二衍射光学元件PF2的至少一方也可以构成成为由紫外线固化型树脂形成。根据该结构,能够提高衍射光学元件PF的量产率、生产率。因此,能够提高利用这种衍射光学元件PF的本实施方式的变焦光学系统ZL的量产率、生产率。

[0092] 详细来说,作为两个衍射元件要素的材料,能够一方使用通常的玻璃或者能够进行注塑成型等的热可塑性树脂或热固性树脂,而另一方使用紫外线固化型树脂来制造衍射光学元件PF。例如,在作为一方的材料使用玻璃的情况下,通过切削研磨使衍射光学面C成型。之后,能够采用在该衍射光学面C上滴下紫外线固化型树脂并照射紫外线来使其固化的制造方法。另外,在作为一方的材料使用热可塑性树脂或热固性树脂的情况下,通过使用形成有栅格槽的金属模进行注塑成型等,使衍射光学面C成型。之后,能够采用在该衍射光学面C滴下紫外线固化型树脂并照射紫外线来使其固化的制造方法。由于能够采用这种制造方法,不需要针对两个衍射元件要素分别制作衍射光学面C再进行它们的位置对准的作业,

因此能够提高衍射光学元件PF的生产率、量产率。

[0093] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,构成衍射光学元件PF的第一衍射光学元件PF1以及第二衍射光学元件PF2也可以构成为由具有彼此不同的光学特性的紫外线固化型树脂形成。根据该结构,能够提高衍射光学元件PF的量产率、生产率。因此,能够提高利用该衍射光学元件PF的本实施方式的变焦光学系统ZL的量产率、生产率。

[0094] 在该情况下,首先,针对滴到基板上的一方的紫外线固化型树脂模压形成有栅格槽的金属模,并从该金属模的相反方向照射紫外线而使具有衍射光学面C的一方的衍射元件要素成型。接下来,卸下金属模,在利用该紫外线照射而固化的衍射光学面C滴下另一方的紫外线固化型树脂。接下来,向该滴下的另一方的紫外线固化型树脂照射紫外线,从而也使另一方的紫外线固化型树脂固化,形成另一方的衍射元件要素。通过采用这种制造方法,仅利用一个金属模就能够进行栅格槽的成型,并且不需要针对两个衍射元件要素分别形成衍射光学面C再进行它们的位置对准的作业,能够仅通过两次实施滴下紫外线固化型树脂而使得固化的作业进行制造。因此,能够进一步提高衍射光学元件PF的量产率、生产率。

[0095] 在本实施方式的变焦光学系统ZL中,将构成衍射光学元件PF的两个衍射元件要素中较低折射率高色散的一方的衍射元件要素的材质的相对于d线(波长587.562nm)、F线(波长486.133nm)以及C线(波长656.273nm)的折射率设为 n_{d1} 、 n_{F1} 以及 n_{C1} ,并将较高折射率低色散的一方的衍射元件要素的材质的相对于d线、F线以及C线的折射率设为 n_{d2} 、 n_{F2} 以及 n_{C2} 时,优选满足以下的条件式(10)~(13)。

$$[0096] \quad n_{d1} \leq 1.54 \quad \cdots (10)$$

$$[0097] \quad 0.0145 \leq n_{F1} - n_{C1} \quad \cdots (11)$$

$$[0098] \quad 1.55 \leq n_{d2} \quad \cdots (12)$$

$$[0099] \quad n_{F2} - n_{C2} \leq 0.013 \quad \cdots (13)$$

[0100] 条件式(10)~(13)分别对构成变焦光学系统ZL的衍射光学元件PF的不同的两个的衍射元件要素中所用的光学材料即两种不同的树脂的相对于d线的折射率、以及相对于F线和C线的折射率差($n_F - n_C$)进行规定。若再稍微进行说明,则条件式(10)~(13)是对用于衍射光学元件PF的不同的两种树脂,具体来说是对具有较低折射率高色散的光学特性的树脂和具有较高折射率低色散的光学特性的树脂中,为了制造衍射光学元件PF而固化后应当满足的树脂的光学特性进行规定的式子。

[0101] 通过满足这种条件式(10)~(13),能够以较好的性能使不同的两个衍射元件要素紧贴接合而形成衍射光学面C。其结果为,能够在g线~C线的较宽的波长区域实现90%以上的衍射效率。然而,若超过条件式(10)~(13)的上限值或低于下限值,则难以在较宽的波长区域得到90%以上的衍射效率,难以维持密合多层型衍射光学元件PF的优点。另外,这里所说的衍射效率如上所述是入射光的强度和一级衍射光的强度的比例。

[0102] 为明确起见,对求算衍射效率的式子进行记载。在设衍射级数为 m ,设 m 级衍射光的衍射效率为 η ,设形成衍射光学面C的一方的衍射元件要素的衍射栅格高度为 d_1 ,设形成衍射光学面C的另一方的衍射元件要素的衍射栅格高度为 d_2 ,设形成衍射光学面C的一方的衍射元件要素的材料的折射率为 n_1 ,设形成衍射光学面C的另一方的衍射元件要素的材料的折射率为 n_2 ,设波长为 λ 时,衍射效率由以下的式(14)、(15)表达。

$$[0103] \quad \eta_m = \{\sin(a-m)\pi / (a-m)\pi\}^2 \quad \cdots (14)$$

[0104] $a = \{(n_1 - 1)d_1 - (n_2 - 1)d_2\} / \lambda \cdots (15)$

[0105] 另外,关于满足上述条件的树脂、以及使用这些树脂的密合多层型衍射光学元件PF的制造方法,例如在欧洲专利公开第1830204号公报以及欧洲专利公开第1830205号公报中有所记载。

[0106] 本实施方式中,在后述的各实施例中,使用两个由不同的紫外线固化树脂构成的密合多层型衍射光学元件PF,衍射栅格高度是 $20.05\mu\text{m}$,一级衍射效率对于g线(波长 $\lambda = 435.835\text{nm}$)是98%,对于F线(波长 $\lambda = 486.133\text{nm}$)是98%,对于d线(波长 $\lambda = 587.562\text{nm}$)是100%,对于C线(波长 $\lambda = 656.273\text{nm}$)是98%。

[0107] 接下来,图12中示出了具备上述变焦光学系统ZL作为摄影镜头1的数字单反相机CAM(摄像装置)的概略剖视图。相机CAM中,来自未图示的物体(被拍摄体)的光被摄影镜头1聚光,经由快速复原反光镜3而在焦点板4上成像。并且,在焦点板4上成像的光在五棱镜5中被多次反射而被导向目镜6。由此,摄影者能够经由目镜6将物体(被拍摄体)像作为正立像而进行观察。

[0108] 另外,若由摄影者按下了未图示的释放按钮,则快速复原反光镜3向光路外退离,由摄影镜头1聚光的未图示的物体(被拍摄体)的光在摄像元件7上形成被拍摄体像。由此,来自物体(被拍摄体)的光由该摄像元件7所摄像,并作为物体(被拍摄体)图像而被记录在未图示的存储器中。如此,摄影者能够进行基于相机CAM的物体(被拍摄体)的摄影。

[0109] 相机CAM可以是可拆装地保持摄影镜头1的相机,也可以是与摄影镜头1一体地成型的相机。另外,相机CAM可以是所谓的单反相机,也可以是不具有快速复原反光镜等的小型相机。

[0110] 从后述的各实施例可知,在相机CAM上作为摄影镜头1而搭载的本实施方式的变焦光学系统ZL根据其特征性的镜头结构,小型且在整个变焦范围对以色像差为代表的各像差良好地进行校正,并具有较高的光学性能。因此,能够实现一种相机CAM小型且在整个变焦范围地对以色像差为代表的各像差良好地进行校正并具有高较的光学性能的摄像装置。

[0111] 实施例

[0112] 以下,针对本实施方式的变焦光学系统的各实施例,基于附图进行说明。以下示出了表1~表3,这些是第一实施例~第三实施例中的各透镜的各种参数的表。

[0113] 在表中的[整体各种参数]中,f表示变焦光学系统ZL的d线中的广角端状态以及望远端状态下的焦距(mm),FNo表示广角端状态以及望远端状态下的F值,Y表示像高, Σd 表示变焦光学系统ZL的从最靠物体侧的透镜面(第一面)到最靠像侧的透镜面的光轴上的距离。

[0114] 在表中的[透镜数据]中,面编号表示沿光线的行进的方向的从物体侧起的透镜面的顺序,R表示各透镜面的曲率半径,d表示从各光学面到下一个光学面(或像面)的光轴上的距离即面间隔,nd表示透镜所采用的玻璃材料的相对于d线(波长 587.562nm)折射率,vd表示透镜所采用的玻璃材料的以d线为基准的阿贝数,Di(可变)表示第i面的可变的面间隔,*a表示非球面,*d表示衍射光学面,*s表示光圈,曲率半径R一栏的“ ∞ ”表示平面。表中,省略空气的折射率(d线)“1.000000”的记载。

[0115] 在表中的[非球面数据]中,对于在[透镜数据]中附加了*a的非球面,由下式(a)表示其形状。这里,h表示与光轴垂直的方向的高度,Z(h)表示高度h的光轴方向的变位量(凹陷量),c表示基准球面的曲率半径(近轴曲率半径), κ 表示圆锥系数,Ai表示第i级的非球面

系数。另外,“E-n”表示“ $\times 10^{-n}$ ”,例如“1.234E-05”表示“ 1.234×10^{-5} ”。

[0116] $Z(h) = ch^2 / [1 + \{1 - (1 + \kappa) c^2 h^2\}^{1/2}]$

[0117] $+A4 \times y^4 + A6 \times y^6 + A8 \times y^8 + A10 \times y^{10} + A12 \times y^{12} \dots (a)$

[0118] 在表中的[衍射光学面数据]中,对于由[透镜数据]所示的衍射光学面,由下式(b)表示其形状。这里,h表示与光轴垂直的方向的高度, $\Phi(h)$ 表示衍射光学元件的相位函数, λ 表示入射光的波长,Ci表示第i级的相位差系数。

[0119] $\Phi(h) = (2\pi/\lambda) \cdot (C2h^2 + C4h^4 + C6h^6 + C8h^8 + C10h^{10}) \dots (b)$

[0120] 在表中的[各组间隔数据]中,示出广角端状态以及望远端状态下的第i面的可变间隔Di(其中,i是整数)。

[0121] 表中的[变焦光学系统组数据]中,G表示组编号,组第一面表示各透镜组的最靠物体侧的面编号,组焦距表示各透镜组的焦距。

[0122] 在表中的[条件式]中,示出与上述条件式(1)~(7)对应的值。

[0123] 表中的焦距f、曲率半径R、面间隔d以及其他长度的单位是“mm”。但是,即使将光学系统比例放大或比例缩小也能够得到同等的光学性能,因此单位不限定于“mm”,可以使用其他适当的单位。

[0124] (第一实施例)

[0125] 针对第一实施例,使用图2~图4以及表1进行说明。图2表示第一实施例的变焦光学系统ZL(ZL1)的结构剖视图以及从广角端状态(W)到望远端状态(T)的变焦轨道。在图2的结构剖视图中,为了避免图示的繁杂,省略构成衍射光学元件PF的衍射光学元件要素的标号PF1、PF2和衍射光学面的标号C的记载以及栅格槽的形状的记载,仅记载衍射光学元件PF的标号。

[0126] 如图2所示,第一实施例的变焦光学系统ZL1由沿光轴从物体侧依次排列的具有负的光焦度的第一透镜组G1、具有正的光焦度的第二透镜组G2、具有负的光焦度的第三透镜组G3、具有正的光焦度的第四透镜组G4及具有正的光焦度的第五透镜组G5构成。

[0127] 变倍时,从广角端状态到望远端状态,以第一透镜组G1和第二透镜组G2的间隔变化、第二透镜组G2和第三透镜组G3的间隔增加、第三透镜组G3和第四透镜组G4的间隔减小、第四透镜组G4和第五透镜组G5的间隔增加的方式,第一透镜组G1向物体侧以凸状的轨迹移动,第二透镜组向物体侧移动,第三透镜组G3向物体侧移动,第四透镜组G4向物体侧移动。第五透镜组G5被固定,在发生变焦时不移动。

[0128] 第一透镜组G1由沿光轴从物体侧依次排列的凸面朝向物体侧的弯月形形状的第一负透镜L11、双凹透镜形状的第二负透镜L12、凸面朝向物体侧的弯月形形状的正透镜L13构成。在第一负透镜L11的像侧透镜面设置密合多层型衍射光学元件PF,另外,该面是非球面。

[0129] 衍射光学元件PF是由不同的两种紫外线固化型树脂构成的衍射光学元件要素PF1和PF2各自紧贴接合而构成的元件,其接合面成为形成有衍射栅格槽的衍射光学面C(参照图1)。在本实施例中,作为衍射光学元件要素PF1和PF2的构成材料,使用具有以下表中的[树脂折射率]所示的折射率的树脂。另外,树脂折射率表示树脂固化后的折射率。

[0130] 第二透镜组G2由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L21、负透镜L22和正透镜L23的接合透镜、以及正透镜L24构成。

[0131] 第三透镜组G3由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L31和负透镜L32的接合透镜、以及负透镜L33构成。

[0132] 第四透镜组G4由沿光轴从物体侧依次排列的负透镜L41和正透镜L42的接合透镜、以及负透镜L43构成。负透镜L41的物体侧透镜面是非球面。

[0133] 第五透镜组G5由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L51和负透镜L52的接合透镜构成。

[0134] 在本实施例中,在第三透镜组G3的物体侧配置光圈SP。光圈SP在变倍时从广角端状态到望远端状态下与第三透镜组G3一起移动。

[0135] 在以下的表1中,示出了第一实施例的变焦光学系统ZL1的各种参数值。表1中的面编号1~30与图2所示的曲率半径R1~R30的各光学面对应。

[0136] (表1)

[0137] [整体各种参数]

		广角端	望远端		
	f	= 24.8	~ 67.8		
[0138]	F N o	= 2.9	~ 2.9		
	Y	= 21.6	~ 21.6		
	Σ d	= 156.3	~ 141.5		
[0139]	[透镜数据]				
	面编号	r	d	n d	ν d
	1	449.276	2.88	1.65844	50.84
	2 *a	26.646	0.01	1.52780	33.41
	3 *a*d	26.646	0.01	1.55710	49.74
[0140]	4 *a	26.646	14.06		
	5	-407.787	2.10	1.60311	60.69
	6	70.826	0.15		
	7	53.361	5.27	1.75520	27.57
	8	150.738	D8(可变)		

	9	49.742	3.58	1.66672	48.33
	10	*a	220.067	9.68	
	11		131.177	1.80	1.71736
	12		32.690	7.36	1.49782
	13		-179.945	8.00	
	14	*a	47.836	5.93	1.58913
	15		-186.821	D15(可变)	
	16	*s	∞	1.30	
	17		878.033	3.50	1.86074
	18		-46.301	1.15	1.74400
[0141]	19		75.737	2.06	
	20		-69.602	1.20	1.74400
	21		614.114	D21(可变)	
	22	*a	53560.956	1.30	1.74077
	23		56.392	4.60	1.49782
	24		-37.848	0.20	
	25		39.729	1.40	1.76200
	26		35.201	0.08	1.55389
	27	*a	43.244	D27(可变)	
	28		35.707	6.00	1.58267
	29		-435.607	1.40	1.75520
	30		68.740	41.70	

[0142] [非球面数据]

[0143] 第2,3,4面

[0144] $\kappa = -1.2845$ [0145] $A4 = 0.322160E-05, A6 = 0.139792E-08, A8 = -0.270408E-11, A10 = 0.291265E-14$

- [0146] $A_{12} = -0.105112E-17$
- [0147] 第10面
- [0148] $\kappa = 73.5073$
- [0149] $A_4 = 0.252669E-06, A_6 = -0.106583E-08, A_8 = 0.272800E-11, A_{10} = -0.693172E-14$
- [0150] 第14面
- [0151] $\kappa = -0.3667$
- [0152] $A_4 = -0.598146E-06, A_6 = -0.228182E-09, A_8 = 0.519056E-13, A_{10} = -0.809169E-15$
- [0153] 第22面
- [0154] $\kappa = -8.0661e+019$
- [0155] $A_4 = 0.104993E-04, A_6 = -0.463141E-07, A_8 = 0.163623E-0g, A_{10} = -0.311875E-12$
- [0156] 第27面
- [0157] $\kappa = 4.1806$
- [0158] $A_4 = 0.984974E-05, A_6 = -0.381469E-07, A_8 = 0.609092E-11, A_{10} = 0.292963E-1$
- [0159] $A_{12} = -0.120149E-14$
- [0160] [衍射光学面数据]
- [0161] 第3面
- [0162] $C_2 = 6.8348E-05, C_4 = 1.2529E-07, C_6 = -8.5928E-11$
- [0163] [衍射光学元件 光学数据]
- | | nC | nd | nF | ng |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| [0164] 低折射率 | 1.523300 | 1.527800 | 1.539100 | 1.549100 |
| 高折射率 | 1.553800 | 1.557100 | 1.565000 | 1.571300 |
- [0165] [各组间隔数据]
- | | 广角端 | 望远端 |
|------------|-------|-------|
| D8 | 53.42 | 1.08 |
| [0166] D15 | 0.15 | 24.41 |
| D21 | 17.19 | 1.00 |
| D27 | 0.50 | 25.94 |
- [0167] [变焦光学系统 组数据]

	组编号	组第一面	组焦距
	G1	1	-40.58
	G2	9	44.42
[0168]	G3	17	-54.63
	G4	22	100.66
	G5	28	173.02

[0169] [条件式]

[0170] 条件式 (1) $v1p=27.57$ (正透镜L13)

[0171] 条件式 (2) $\Delta(\theta_g, F)=0.0112$ (正透镜L13)

[0172] 条件式 (3) $v1dave=46.4$

[0173] 条件式 (4) $fDOE=-7315.48$

[0174] 条件式 (5) $|\phi_{doi}/\phi_i|=0.0056$

[0175] 条件式 (6) $|TK/fw|=3.63$

[0176] 条件式 (7) $pmin=0.094$

[0177] 根据表1,可知第一实施例的变焦光学系统ZL1满足条件式 (1) ~ (7)。

[0178] 图3、图4是第一实施例的变焦透镜系统ZL的各像差图。图3是广角端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图,图4是望远端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。在纵向像差图中,从各图中的左侧起记载有(纵向的)球面像差、像散、以及畸变。各像差图均是从物体侧对第一实施例的变焦光学系统ZL1进行光线追踪的图。

[0179] 在球面像差图中,d表示d线(波长587.562nm)的像差,C表示C线(波长656.273nm)的像差,F表示F线(波长486.133nm)的像差,g表示g线(波长435.835nm)的像差。另外,在球面像差图中,纵轴表示将入瞳半径的最大值标准化为1而示出的值,横轴表示各线的像差的值(mm)。像散图示出d线的像差,实线S表示弧矢像面,虚线T表示子午像面。另外,在像散图中,纵轴表示像高(mm),横轴表示像差的值(mm)。畸变图示出d线的像差。另外,在畸变图中,纵轴表示像高(mm),横轴表示像差的比例(百分率(%值))。

[0180] 以上的像差图的说明在其他实施例中也同样,省略其说明。

[0181] 如从各像差图所明了的那样,可知:第一实施例的变焦光学系统ZL1在从广角端状态到望远端状态各焦距状态下,对包含球面像差、像散、畸变等各像差良好地进行了校正。

[0182] (第二实施例)

[0183] 针对第二实施例,使用图5~图7以及表2进行说明。图5表示第二实施例的变焦光学系统ZL(ZL2)的结构剖视图以及从广角端状态(W)到望远端状态(T)的变焦轨道。在图5的结构剖视图中,为了避免图示的繁杂,省略构成衍射光学元件PF的衍射光学元件要素的标号PF1、PF2和衍射光学面的标号C的记载以及栅格槽的形状的记载,仅记载衍射光学元件PF的标号。

[0184] 如图5所示,第二实施例的变焦光学系统ZL2由沿光轴从物体侧依次排列的具有负的光焦度的第一透镜组G1、具有正的光焦度的第二透镜组G2、具有负的光焦度的第三透镜组G3、具有正的光焦度的第四透镜组G4、以及具有正的光焦度的第五透镜组G5而构成。

[0185] 在变倍时,从广角端状态到望远端状态,以第一透镜组G1和第二透镜组G2的间隔变化、第二透镜组G2和第三透镜组G3的间隔增加、第三透镜组G3和第四透镜组G4的间隔减小、第四透镜组G4和第五透镜组G5的间隔增加的方式,第一透镜组G1向物体侧以凸状的轨迹移动,第二透镜组向物体侧移动,第三透镜组G3向物体侧移动,第四透镜组G4向物体侧移动。第五透镜组G5被固定,发生变焦时不移动。

[0186] 第一透镜组G1由沿光轴从物体侧依次排列的凸面朝向物体侧的弯月形形状的第一负透镜L11、双凹透镜形状的第二负透镜L12、凸面朝向物体侧的弯月形形状的正透镜L13而构成。在第一负透镜L11的像侧透镜面设置密合多层型衍射光学元件PF,另外,该面是非球面。

[0187] 衍射光学元件PF是由不同的两种紫外线固化型树脂构成的衍射光学元件要素PF1和PF2各自紧贴接合而构成的元件,其接合面成为形成有衍射栅格槽的衍射光学面C(参照图1)。在本实施例中,作为衍射光学元件要素PF1和PF2的构成材料,使用具有以下表中的[树脂折射率]所示的折射率的树脂。另外,树脂折射率表示树脂固化后的折射率。

[0188] 第二透镜组G2由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L21、负透镜L22和正透镜L23的接合透镜、以及正透镜L24构成。

[0189] 第三透镜组G3由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L31和负透镜L32的接合透镜、以及负透镜L33构成。

[0190] 第四透镜组G4由沿光轴从物体侧依次排列的负透镜L41和正透镜L42的接合透镜、以及负透镜L43构成。负透镜L41的物体侧透镜面是非球面。

[0191] 第五透镜组G5由正透镜L51构成。

[0192] 本实施例中,在第三透镜组G3的物体侧配置光圈SP。光圈SP在变倍时从广角端状态到望远端状态下与第三透镜组G3一起移动。

[0193] 在以下的表2中,表示第二实施例的变焦光学系统ZL2的各种参数值。表2中的面编号1~29与图5所示的曲率半径R1~R29的各光学面对应。

[0194] (表2)

[0195] [整体各种参数]

		广角端	望远端
f	=	24.8	~ 67.8
FN _o	=	2.9	~ 2.9
Y	=	21.6	~ 21.6
Σ d	=	154.6	~ 156.2

[0197] [透镜数据]

面编号	r	d	nd	vd
1	1373.856	2.88	1.65844	50.84
2 *a	26.403	0.01	1.52780	33.41
[0198] 3 *a*d	26.403	0.01	1.55710	49.74
4 *a	26.403	14.04		
5	-339.817	2.10	1.51742	52.20
6	75.213	0.15		
7	58.908	7.00	1.75520	27.57
8	181.498	D8(可变)		
9	45.700	4.46	1.67000	57.35
10 *a	149.654	10.23		
11	120.621	1.80	1.72342	38.03
12	31.386	7.76	1.49782	82.57
13	-156.090	8.07		
14	65.708	5.13	1.62041	60.25
15	-147.316	D15(可变)		
16 *s	∞	1.30		
17	498.394	3.50	1.86074	23.08
[0199] 18	-41.091	1.15	1.64769	33.73
19	68.531	2.82		
20	-41.212	1.20	1.58267	46.48
21	277.500	D21(可变)		
22 *a	39.968	1.40	1.72825	28.38
23	33.184	5.49	1.49782	82.57
24	-37.638	0.20		
25	-156.917	2.13	1.67270	32.19
26	41.520	0.08	1.55389	39.22
27 *a	59.020	D27(可变)		
28	47.383	7.00	1.48749	70.31
29	-2567.589	41.80		

[0200]	[非球面数据]			
[0201]	第2,3,4面			
[0202]	$\kappa = -1.1680$			
[0203]	$A4 = 0.182938E-05, A6 = -0.243771E-08, A8 = 0.736133E-11, A10 = -0.765274E-14$			
[0204]	$A12 = 0.237652E-17$			
[0205]	第10面			
[0206]	$\kappa = -10.9723$			
[0207]	$A4 = 0.226737E-05, A6 = -0.481488E-09, A8 = 0.133671E-11, A10 = -0.194355E-14$			
[0208]	第22面			
[0209]	$\kappa = 0.5896$			
[0210]	$A4 = 0.305972E-05, A6 = -0.407149E-08, A8 = -0.641264E-10, A10 = 0.108717E-12$			
[0211]	第27面			
[0212]	$\kappa = 3.1944$			
[0213]	$A4 = 0.139947E-04, A6 = 0.385271E-07, A8 = -0.411716E-09, A10 = 0.198530E-11$			
[0214]	$A12 = -0.440321E-14$			
[0215]	[衍射光学面数据]			
[0216]	第3面			
[0217]	$C2 = 4.9111E-05, C4 = 5.4082E-08, C6 = 8.3034E-10$			
[0218]	$C8 = -2.2413E-12, C10 = 1.6777E-15$			
[0219]	[衍射光学元件 光学数据]			
		nC	nd	nF
				ng
[0220]	低折射率	1.523300	1.527800	1.539100
	高折射率	1.553800	1.557100	1.565000
[0221]	[各组间隔数据]			
		广角端	望远端	
	D8	49.96	2.39	
[0222]	D15	0.15	31.29	
	D21	14.07	1.00	
	D27	0.50	31.62	
[0223]	[变焦光学系统组数据]			

	组编号	组第一面	组焦距
	G1	1	-41.01
	G2	9	47.18
[0224]	G3	17	-53.40
	G4	22	115.53
	G5	28	95.52

[0225] [条件式]

[0226] 条件式 (1) $v_{lp}=27.57$ (正透镜L13)

[0227] 条件式 (2) $\Delta(\theta_g, F)=0.0112$ (正透镜L13)

[0228] 条件式 (3) $v_{ldave}=43.5$

[0229] 条件式 (4) $f_{DOE}=-10181.00$

[0230] 条件式 (5) $|\phi_{doi}/\phi_i|=0.0040$

[0231] 条件式 (6) $|TK/fw|=3.60$

[0232] 条件式 (7) $P_{min}=0.055$

[0233] 根据表2,可知第二实施例的变焦光学系统ZL2满足条件式 (1) ~ (7)。

[0234] 图6、图7是第二实施例的变焦透镜系ZL的各像差图。图6是广角端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图,图7是望远端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。在纵向像差图中,从各图中的左侧起记载了(纵向的)球面像差、像散、以及畸变。各像差图均是从物体侧对第二实施例的变焦光学系统ZL2进行光线追踪的图。

[0235] 如从各像差图所明了的那样,可知:第二实施例的变焦光学系统ZL2在从广角端状态到望远端状态各焦距状态下,对包含球面像差、像散、畸变等的各像差良好地进行了校正。

[0236] (第三实施例)

[0237] 针对第三实施例,使用图8~图10以及表3进行说明。图8表示第三实施例的变焦光学系统ZL(ZL3)的结构剖视图以及从广角端状态(W)到望远端状态(T)的变焦轨道。在图8的结构剖视图中,为了避免图示的繁杂,省略构成衍射光学元件PF的衍射光学元件要素的标号PF1、PF2和衍射光学面的标号C的记载以及栅格槽的形状的记载,仅记载衍射光学元件PF的标号。

[0238] 如图8所示,第三实施例的变焦光学系统ZL3由沿光轴从物体侧依次排列的具有负的光焦度的第一透镜组G1、具有正的光焦度的第二透镜组G2、具有负的光焦度的第三透镜组G3、具有正的光焦度的第四透镜组G4、和具有正的光焦度的第五透镜组G5而构成。

[0239] 在变倍时,从广角端状态到望远端状态,以第一透镜组G1和第二透镜组G2的间隔变化、第二透镜组G2和第三透镜组G3的间隔增加、第三透镜组G3和第四透镜组G4的间隔减小、第四透镜组G4和第五透镜组G5的间隔增加的方式,第一透镜组G1向物体侧以凸状的轨迹移动,第二透镜组向物体侧移动,第三透镜组G3向物体侧移动,第四透镜组G4向物体侧移动。第五透镜组G5被固定,发生变焦时不移动。

[0240] 第一透镜组G1由沿光轴从物体侧依次排列的凸面朝向物体侧的弯月形形状的第一负透镜L11、双凹透镜形状的第二负透镜L12、以及凸面朝向物体侧的弯月形形状的正透镜L13构成。在第一负透镜L11的像侧透镜面设置密合多层型衍射光学元件PF,另外,该面是非球面。

[0241] 衍射光学元件PF是由不同的两种紫外线固化型树脂构成的衍射光学元件要素PF1和PF2各自紧贴接合而构成的元件,其接合面成为形成有衍射栅格槽的衍射光学面C(参照图1)。本实施例中,作为衍射光学元件要素PF1和PF2的构成材料,使用具有以下表中的[树脂折射率]所示的折射率的树脂。另外,树脂折射率表示树脂固化后的折射率。

[0242] 第二透镜组G2由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L21、负透镜L22和正透镜L23的接合透镜、以及正透镜L24构成。

[0243] 第三透镜组G3由沿光轴从物体侧依次排列的正透镜L31和负透镜L32的接合透镜、以及负透镜L33构成。

[0244] 第四透镜组G4由沿光轴从物体侧依次排列的负透镜L41和正透镜L42的接合透镜、以及负透镜L43构成。负透镜L41的物体侧透镜面是非球面。

[0245] 第五透镜组G5由正透镜L51构成。

[0246] 本实施例中,在第三透镜组G3的物体侧配置孔径光圈SP。孔径光圈SP在变倍时从广角端状态到望远端状态下与第三透镜组G3一起移动。

[0247] 在以下的表3中示出了第三实施例的变焦光学系统ZL3的各种参数值。表3中的面编号1~29与图8所示的曲率半径R1~R29的各光学面对应。

[0248] (表3)

[0249] [整体各种参数]

		广角端		望远端
	f	$=$	24.8	$\sim$ 67.6
[0250]	FNo	$=$	2.9	$\sim$ 2.9
	Y	$=$	21.6	$\sim$ 21.6
	Σd	$=$	146.4	$\sim$ 157.1

[0251] [透镜数据]

面编号	r	d	nd	vd
1	541.278	2.88	1.62041	60.25
2 *a	24.918	0.01	1.52780	33.41
3 *a*d	24.918	0.01	1.55710	49.74
4 *a	24.918	13.66		
5	-1884.105	2.10	1.56384	60.71
6	82.335	0.15		
7	52.740	4.44	1.68893	31.16
8	111.258	D8(可变)		
9	42.908	5.90	1.74000	44.81
10 *a	78.686	8.56		
11	78.465	1.80	1.74950	35.25
12	29.201	8.42	1.49782	82.57
13	-145.003	7.87		
[0252] 14	56.224	5.44	1.65100	56.24
15	-185.363	D15(可变)		
16 *s	∞	1.30		
17	-833.557	3.50	1.86074	23.08
18	-37.536	1.15	1.64769	33.73
19	60.171	3.77		
20	-30.999	1.20	1.54814	45.51
21	-247.421	D21(可变)		
22 *a	52.989	1.30	1.54814	45.51
23	31.203	6.33	1.49782	82.57
24	-33.095	0.20		
25	-870.002	3.38	1.71736	29.57
26	46.113	0.08	1.55389	39.22
27 *a	57.706	D27(可变)		
28	57.488	5.72	1.62041	60.25
29	-2567.589	41.80		
[0253] [非球面数据]				
[0254] 第2,3,4面				

- [0255] $\kappa = -1.0548$
- [0256] $A4 = 0.196198E-05, A6 = -0.337901E-09, A8 = 0.506747E-11, A10 = -0.672772E-14$
- [0257] $A12 = 0.318737E-17$
- [0258] 第10面
- [0259] $\kappa = -6.4009$
- [0260] $A4 = 0.316676E-05, A6 = -0.809020E-09, A8 = 0.101113E-11, A10 = -0.159292E-148$
- [0261] 第22面
- [0262] $\kappa = 0.4590$
- [0263] $A4 = 0.134892E-06, A6 = -0.142020E-07, A8 = -0.182191E-10, A10 = 0.617701E-13$
- [0264] 第27面
- [0265] $\kappa = 1.4571$
- [0266] $A4 = 0.981089E-05, A6 = 0.110465E-07, A8 = -0.220627E-09, A10 = 0.120511E-11$
- [0267] $A12 = -0.275363E-14$
- [0268] [衍射光学面数据]
- [0269] 第3面
- [0270] $C2 = 5.6215E-05, C4 = 1.6670E-07, C6 = 1.6313E-10$
- [0271] $C8 = -9.4388E-13, C10 = 8.2737E-16$
- [0272] [衍射光学元件 光学数据]

	nC	nd	nF	ng
[0273] 低折射率	1.523300	1.527800	1.539100	1.549100
高折射率	1.553800	1.557100	1.565000	1.571300

- [0274] [各组间隔数据]

	广角端	望远端
D8	45.72	2.51
[0275] D15	0.15	23.61
D21	10.65	0.10
D27	0.67	41.64
[0276] [变焦光学系统 组数据]		
组编号	组第一面	组焦距
G1	1	-40.98
G2	9	44.40
[0277] G3	17	-45.75
G4	22	95.94
G5	28	90.71

[0278] [条件式]

[0279] 条件式 (1) $v_{lp}=31.16$ (正透镜L13)

[0280] 条件式 (2) $\Delta(\theta_g, F)=0.0072$ (正透镜13)

[0281] 条件式 (3) $v_{ldave}=50.7$

[0282] 条件式 (4) $f_{DOE}=-8894.42$

[0283] 条件式 (5) $|\phi_{doi}/\phi_i|=0.0046$

[0284] 条件式 (6) $|TK/f_w|3.55$

[0285] 条件式 (7) $P_{min}=0.076$

[0286] 根据表3,可知:第三实施例的变焦光学系统ZL3满足条件式 (1) ~ (7)。

[0287] 图9、图10是第三实施例的变焦透镜系ZL的各像差图。图9是广角端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图,图10是望远端状态下的摄影距离无限远处的纵向像差图。在纵向像差图中,从各图中的左侧起记载(纵向的)球面像差、像散、以及畸变。各像差图均是从物体侧对第三实施例的变焦光学系统ZL3进行光线追踪的图。

[0288] 如从各像差图所明了的那样,可知:第三实施例的变焦光学系统ZL3在从广角端状态到望远端状态的各焦距状态下,对包含球面像差、像散、以及畸变等的各像差良好地进行了校正。

[0289] 如以上所说明的那样,根据本发明,通过有效地使用衍射光学元件,能够提供一种变焦光学系统,小型且在整个变焦范围对以色像差为代表的各像差良好地进行校正,并具有较高的光学性能。

[0290] 另外,为了使本发明易于理解,附加实施方式的结构要件而进行了说明,但是本发明当然不限于此。

[0291] 标号说明:

[0292] ZL (ZL1~ZL3) 变焦光学系统

[0293] G1 第一透镜组

[0294] G2 第二透镜组

[0295] G3 第三透镜组

[0296] G4 第四透镜组

[0297] G5 第五透镜组

[0298] PF 衍射光学元件

[0299] SP 光圈

[0300] CAM 数字单反相机(摄像装置)

[0301] 1 摄影镜头(变焦光学系统)

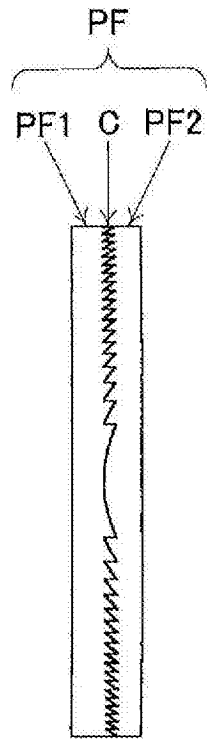


图1

(第一实施例)

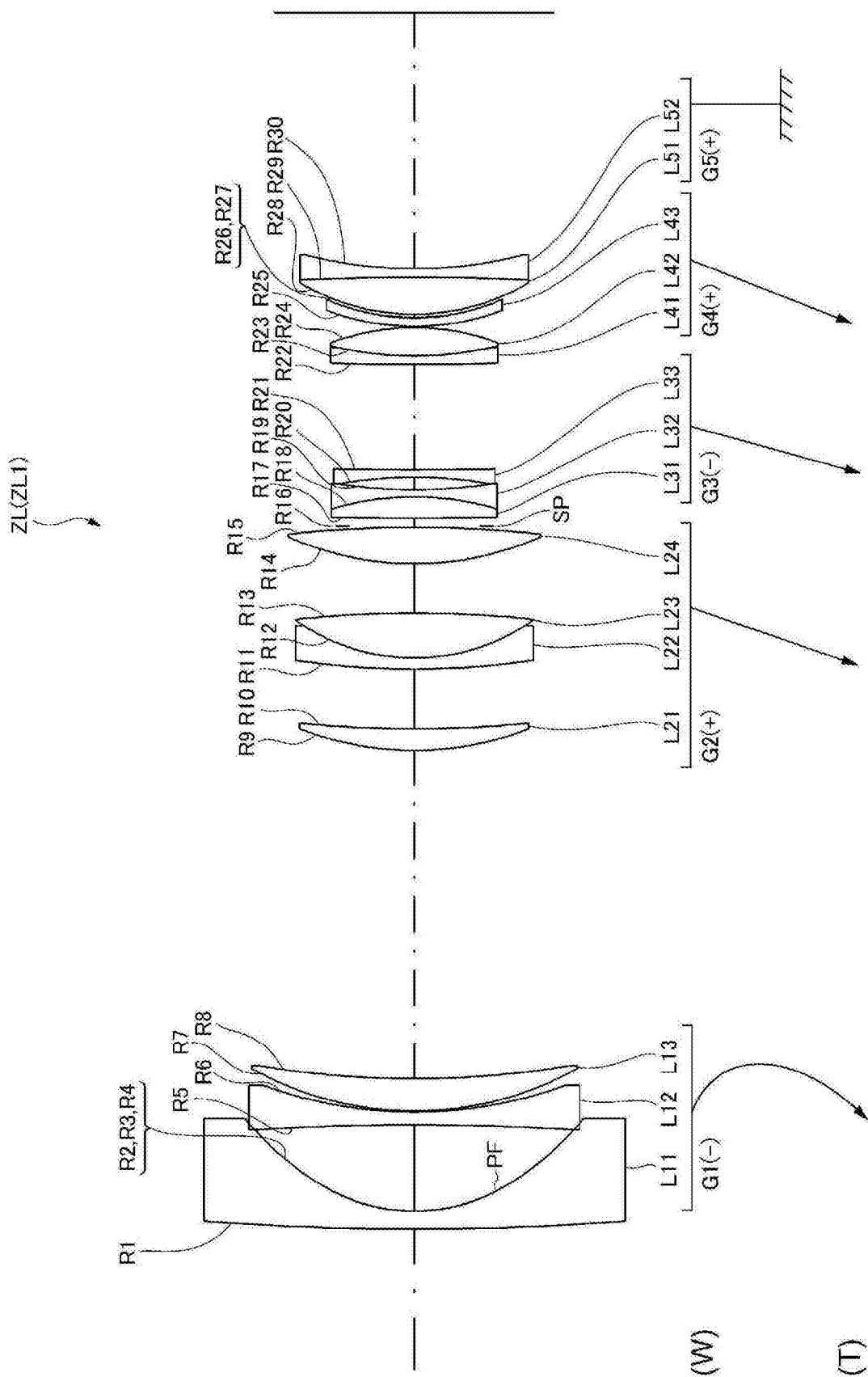


图2

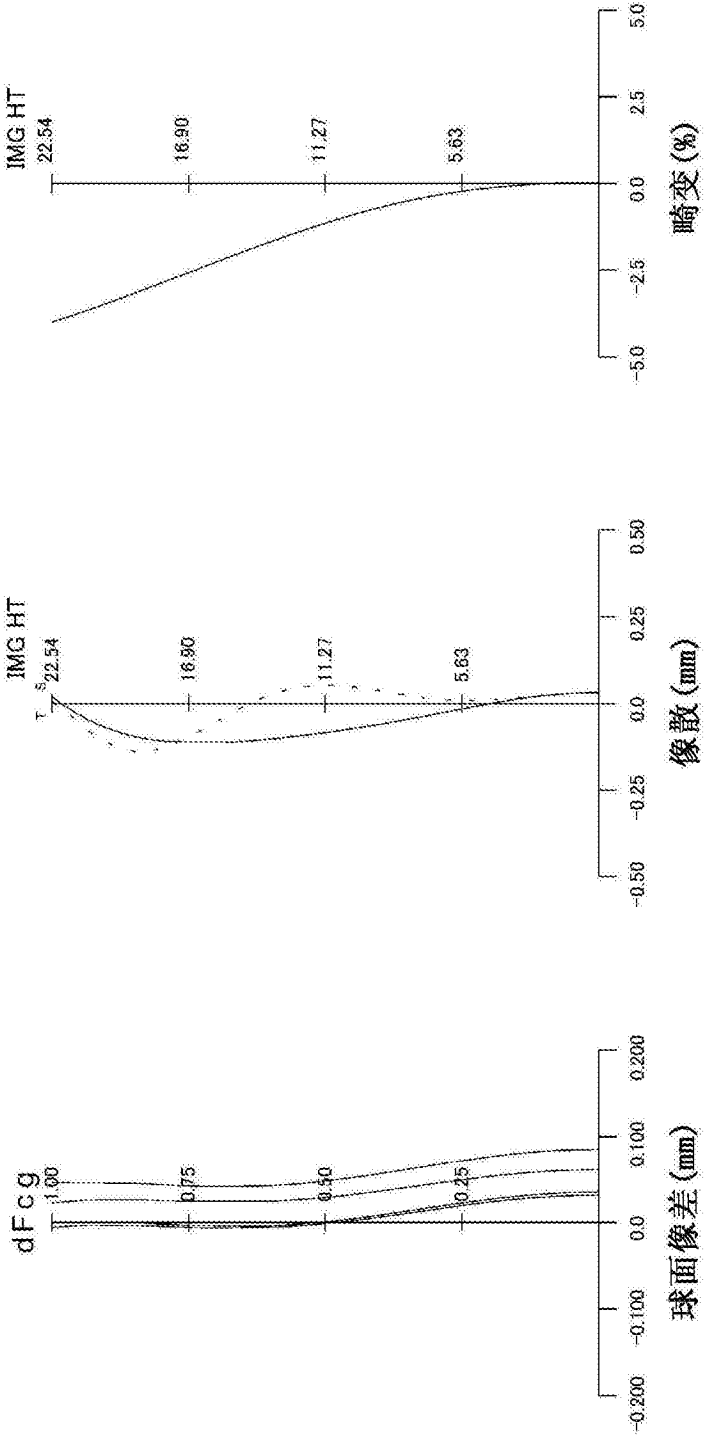


图3

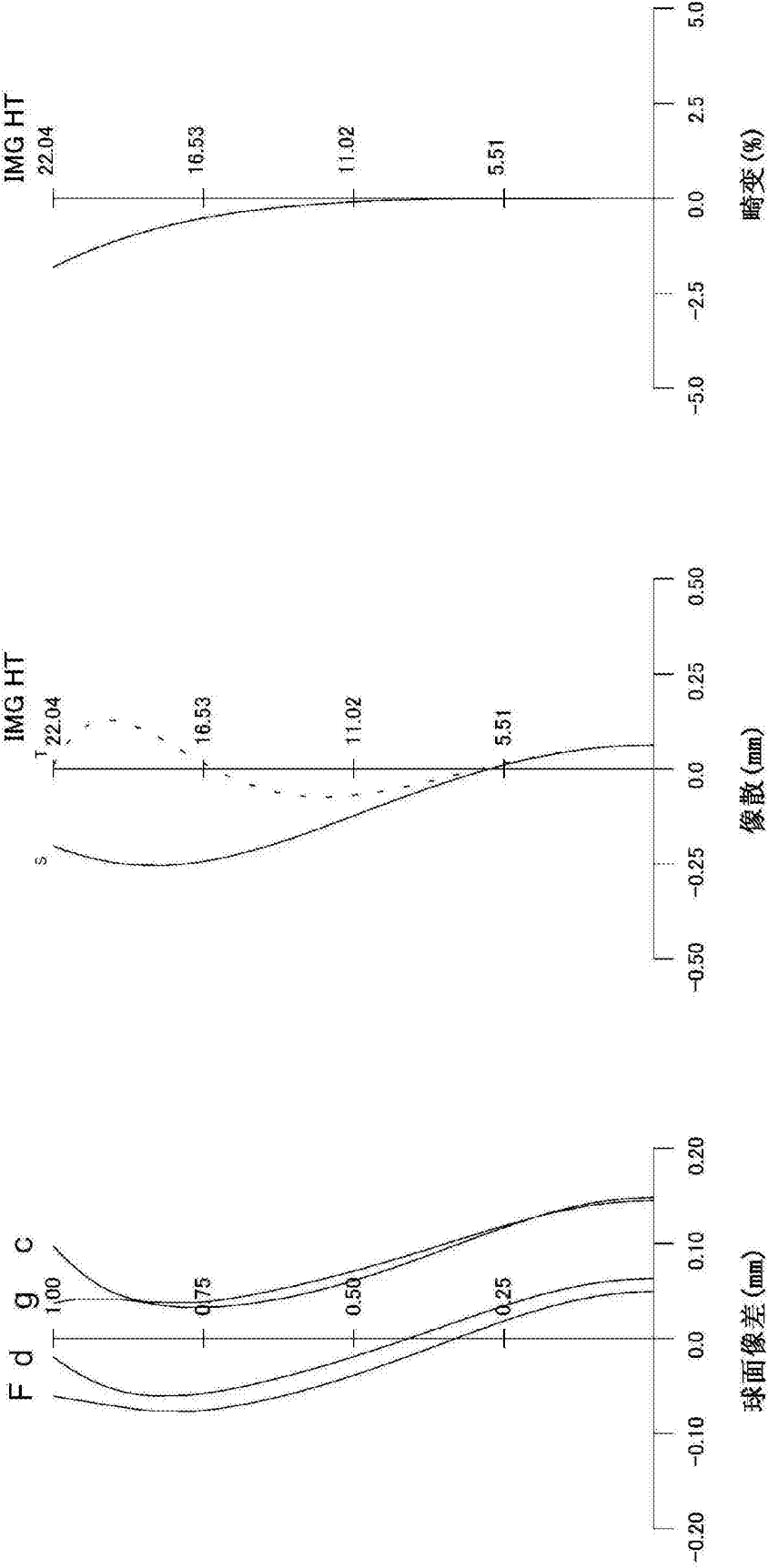


图4

(第二实施例)

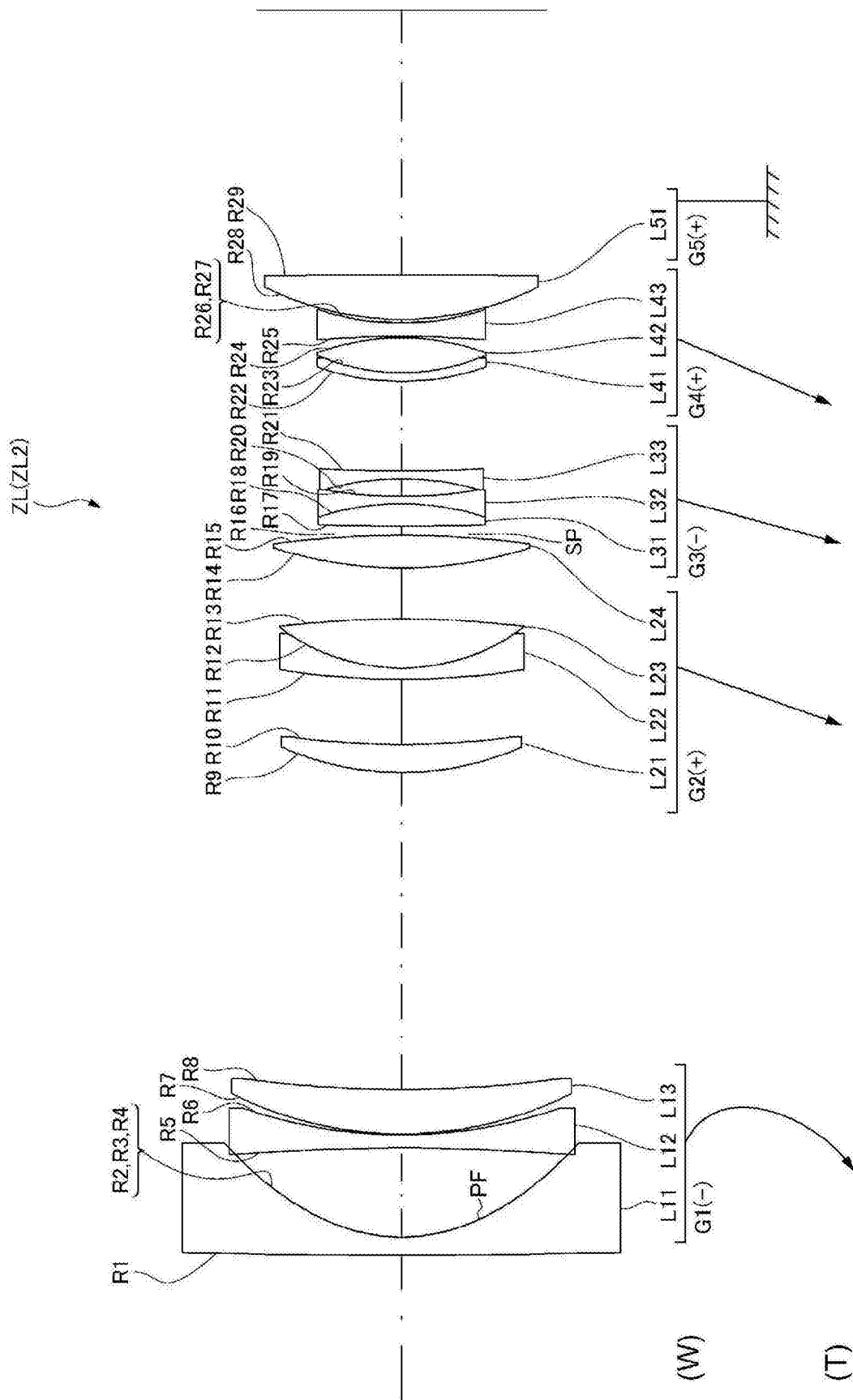


图5

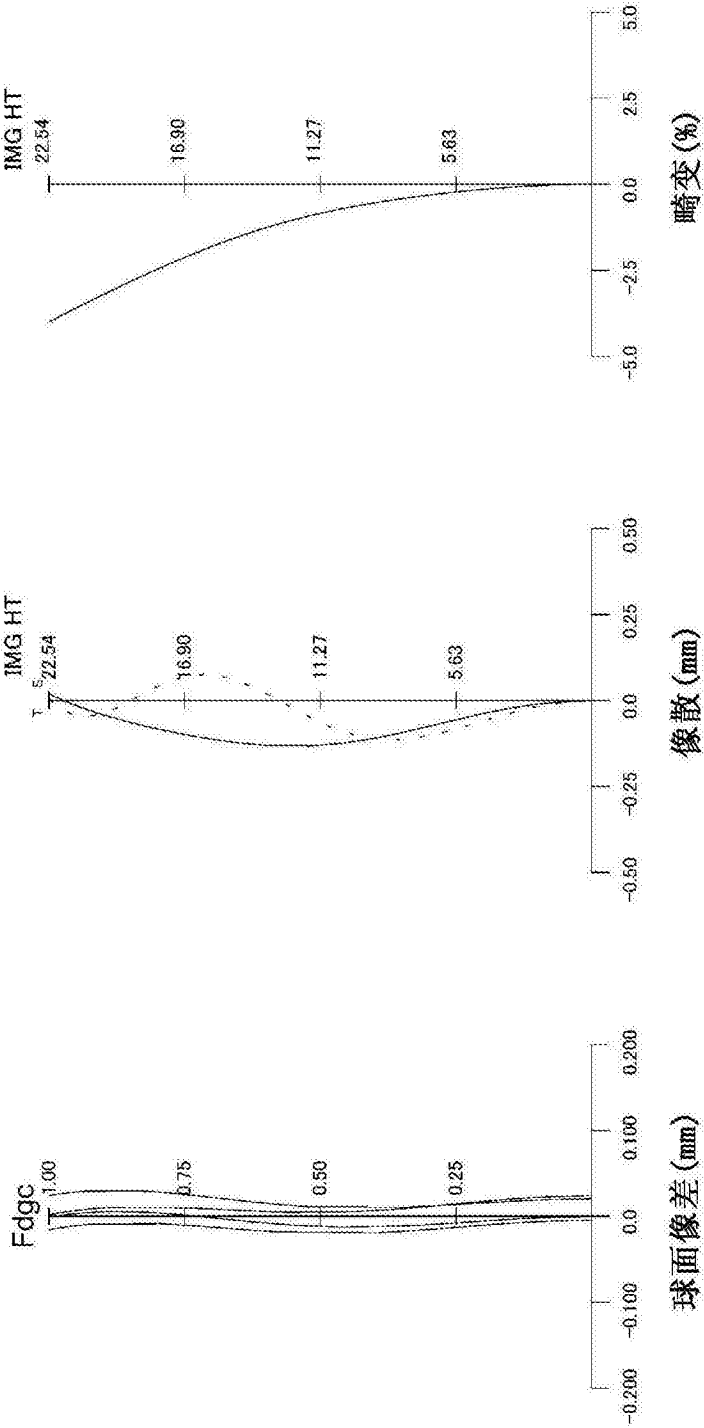


图6

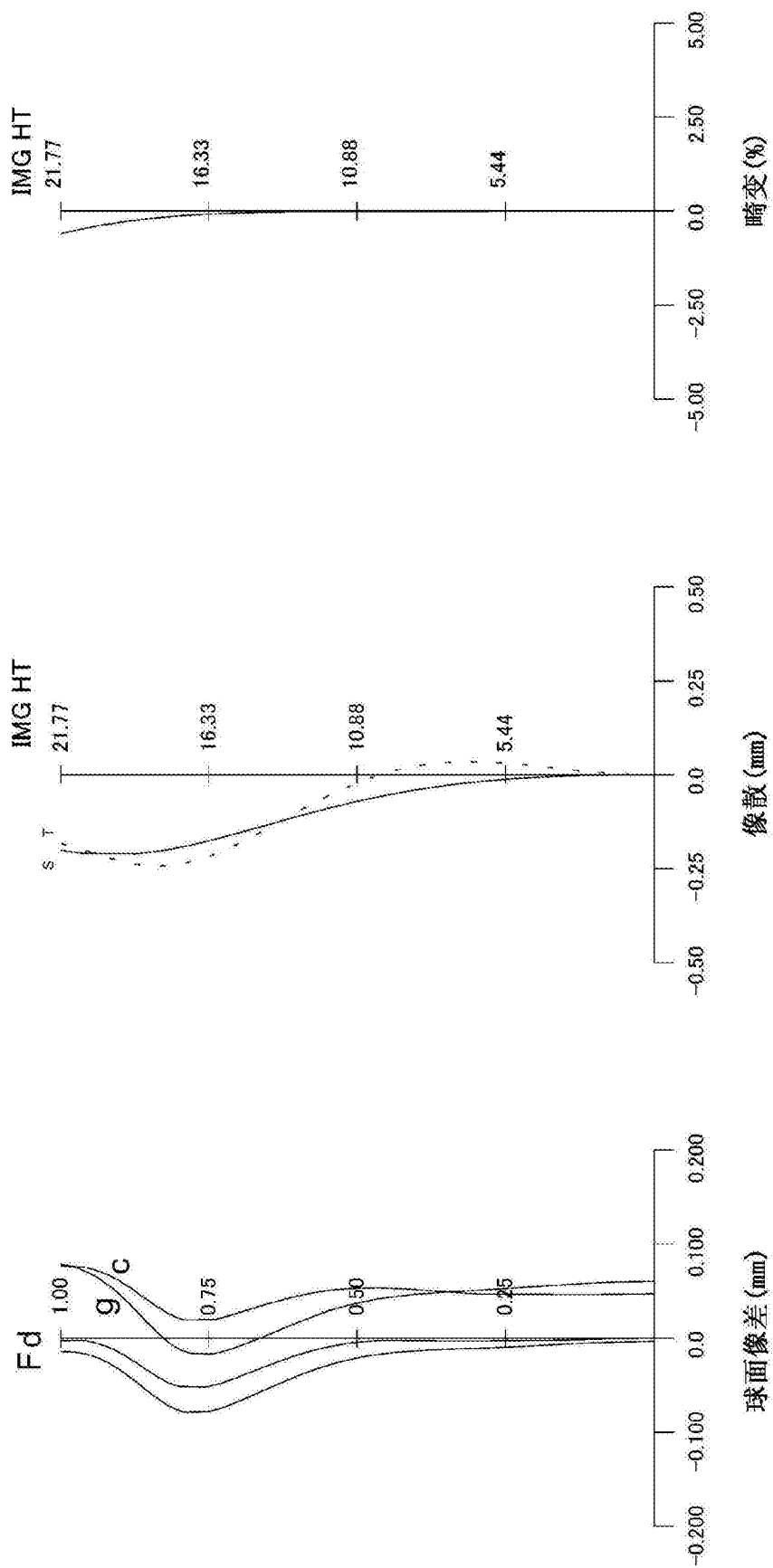


图7

(第三实施例)

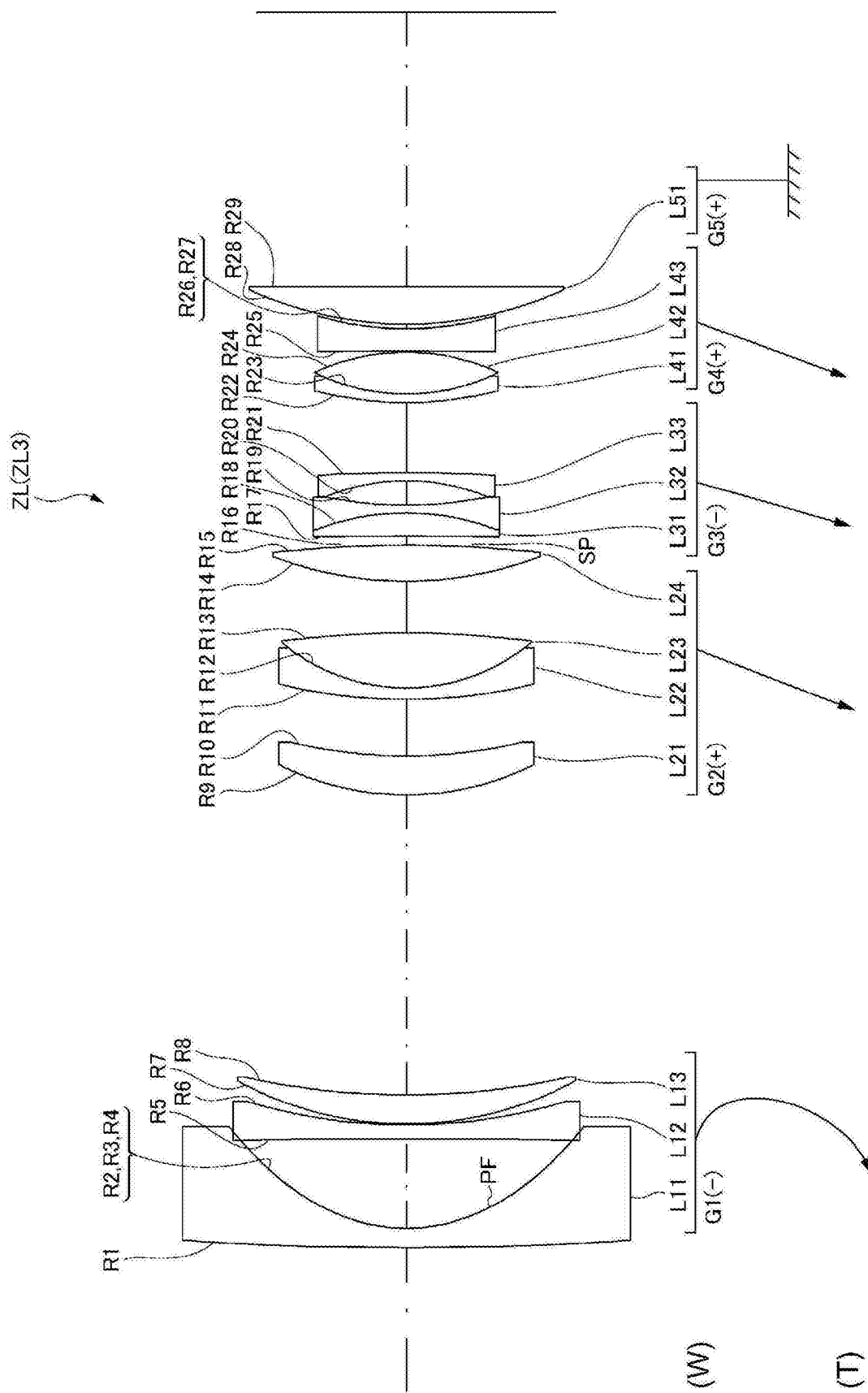


图8

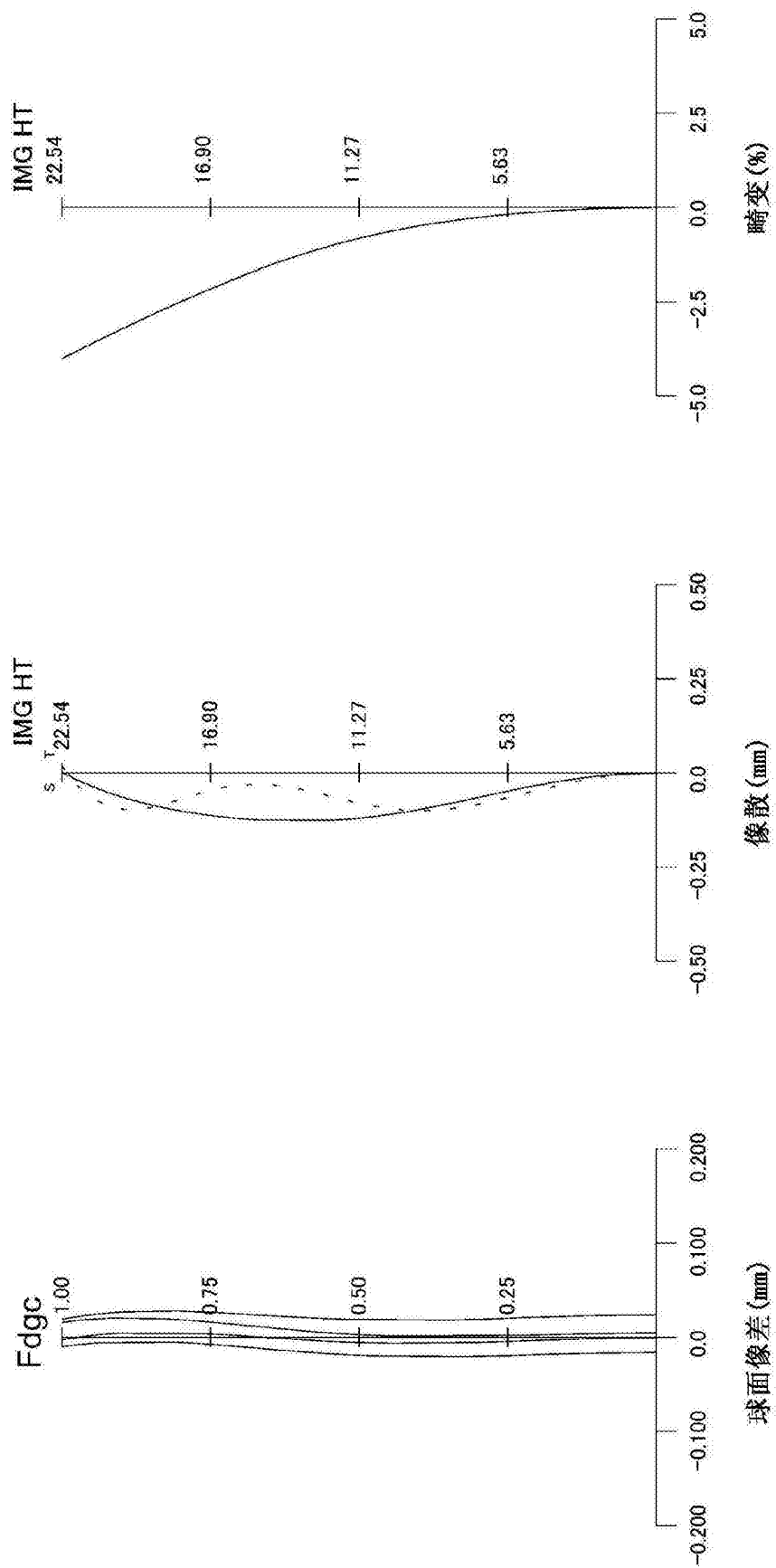


图9

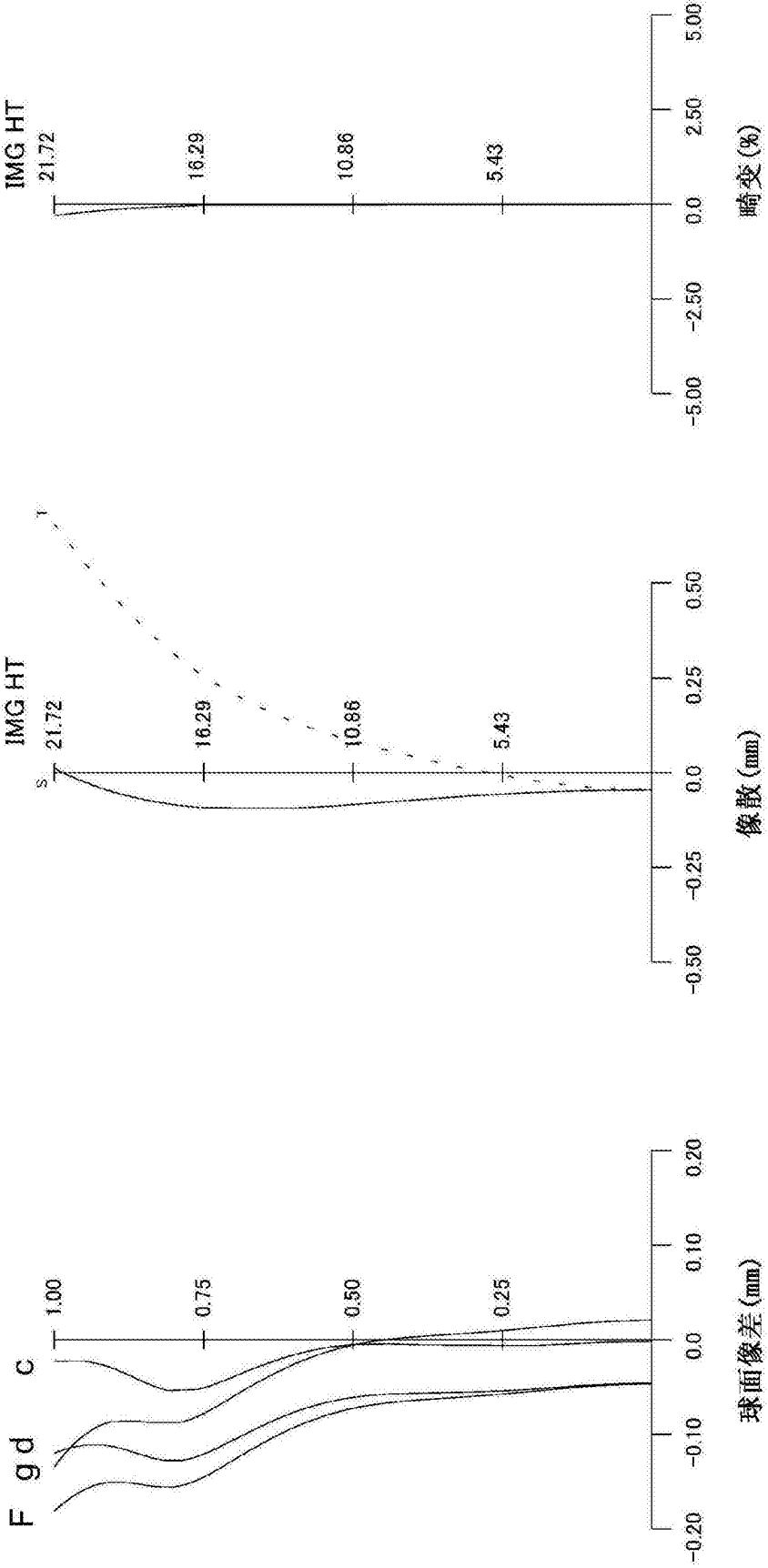


图10

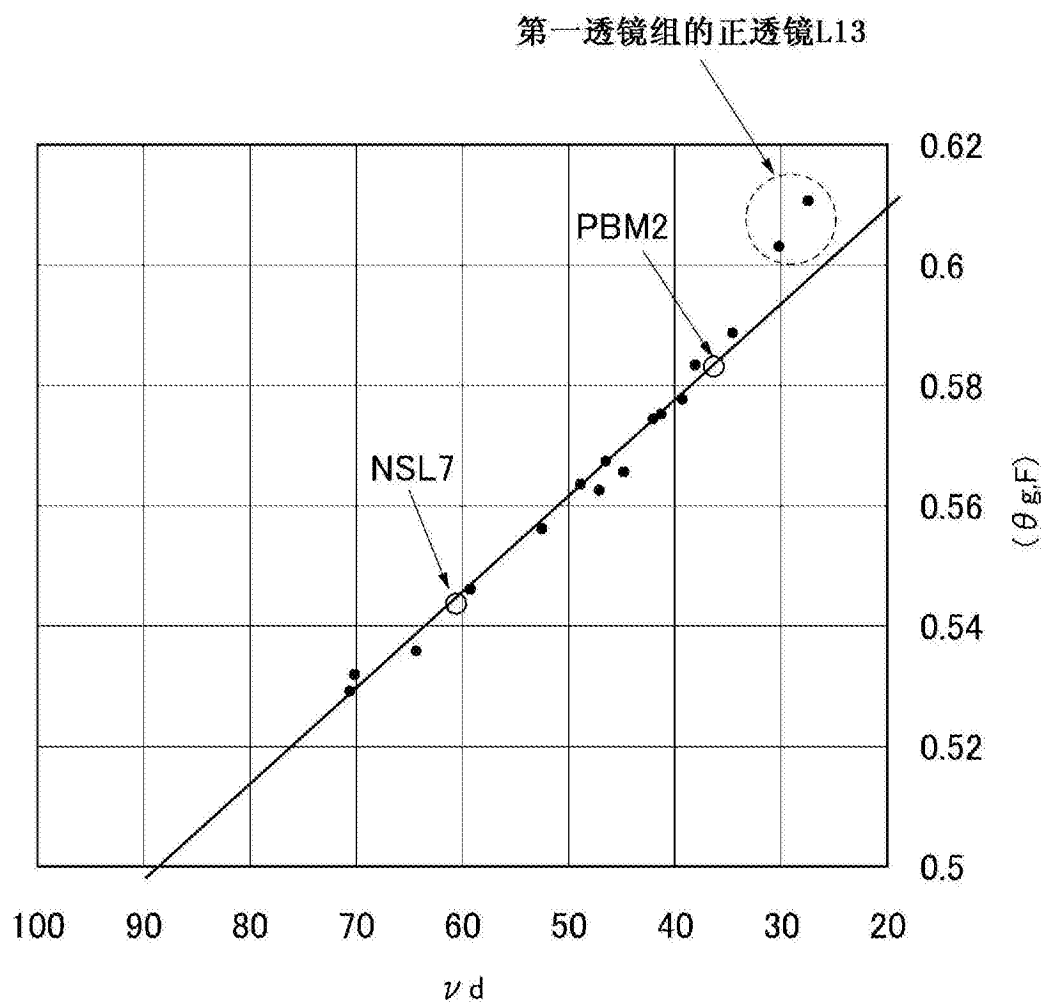


图11

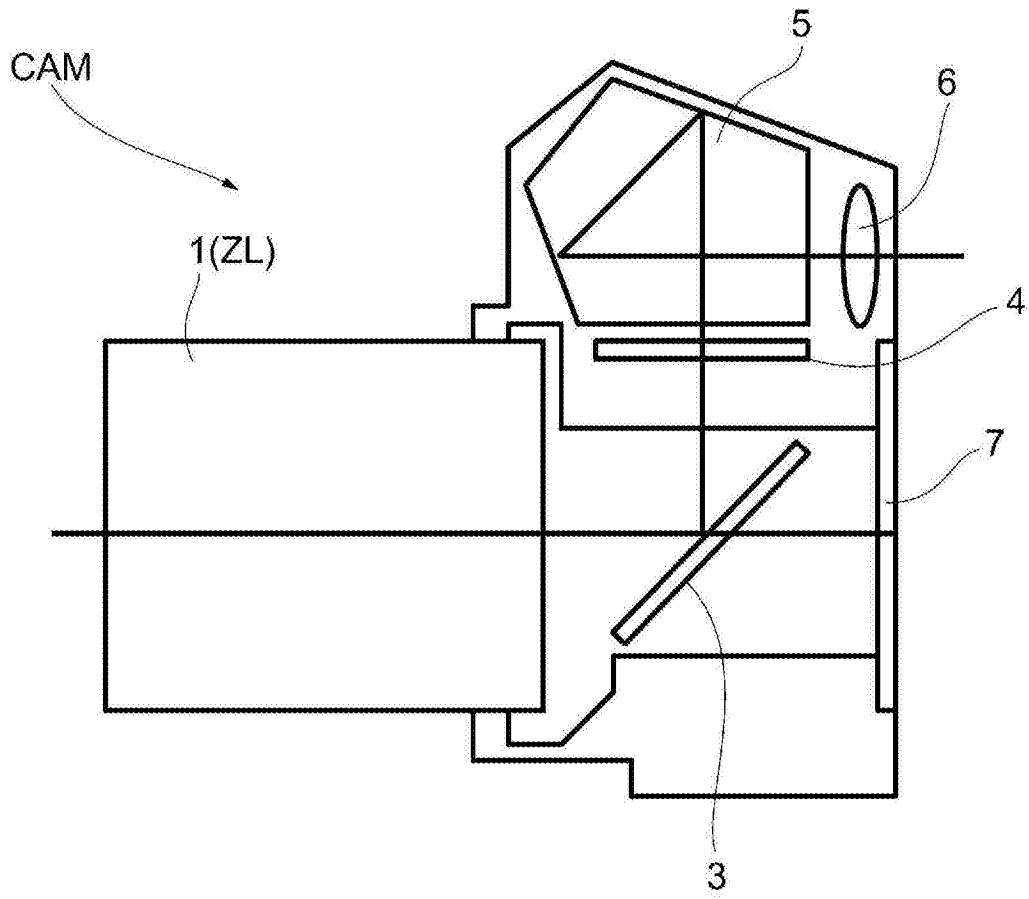


图12