



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104049346 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201410084346.4

(22)申请日 2014.03.10

(30)优先权数据

2013-050184 2013.03.13 JP

(73)专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72)发明人 篠原健志

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 魏小微

(51)Int.Cl.

G02B 15/173(2006.01)

(56)对比文件

CN 101363955 A, 2009.02.11, 说明书第四
实施例以及附图10.

CN 102096179 A, 2011.06.05, 全文.

CN 101794012 A, 2010.08.04, 全文.

US 2011/0080652 A2, 2011.04.07, 全文.

US 2011/0115946 A1, 2011.05.19, 全文.

审查员 罗文全

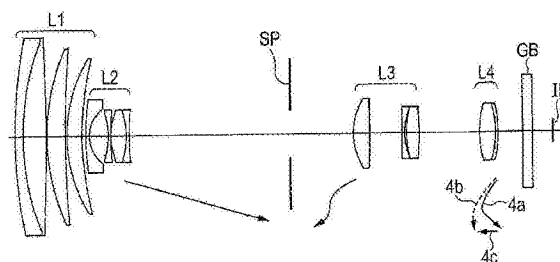
权利要求书1页 说明书24页 附图15页

(54)发明名称

变焦透镜及包括该变焦透镜的图像拾取设备

(57)摘要

一种变焦透镜及包括该变焦透镜的图像拾取设备,该变焦透镜从物侧到像侧依次包括:第一透镜单元,具有正折光力,第二透镜单元,具有负折光力,第三透镜单元,具有正折光力;及第四透镜单元,具有正折光力;并且被配置为:在变焦操作期间移动所述第二透镜单元、所述第三透镜单元和所述第四透镜单元,以改变各相邻透镜单元之间的间隔。适当地单独设置所述第二透镜单元在从广角端到望远端的变焦操作期间的移动量、所述第二透镜单元的焦距、及所述第三透镜单元在所述广角端和所述望远端的横向倍率。



1. 一种变焦透镜,从物侧到像侧依次包括:

第一透镜单元,具有正折光力;

第二透镜单元,具有负折光力;

第三透镜单元,具有正折光力;以及

第四透镜单元,具有正折光力,

所述变焦透镜被配置为:在变焦操作期间移动所述第二透镜单元、所述第三透镜单元和所述第四透镜单元,以改变各相邻透镜单元之间的间隔,其中,

满足以下条件表达式:

$$4.6 < M2 / |f2| < 7.5$$

$$0.4 < \beta_{3t} / \beta_{3w} < 4.5$$

其中, $M2$ 表示所述第二透镜单元在从广角端到望远端的变焦操作期间的移动量, $f2$ 表示所述第二透镜单元的焦距,以及 β_{3w} 和 β_{3t} 分别表示所述第三透镜单元在所述广角端和所述望远端处的横向倍率。

2. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,满足以下条件表达式:

$$25 < \beta_{2t} / \beta_{2w} < 80$$

其中, β_{2w} 表示所述第二透镜单元在所述广角端处的横向倍率, β_{2t} 表示所述第二透镜单元在所述望远端处的横向倍率。

3. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,满足以下条件表达式:

$$6.8 < f3 / f_w < 11.0$$

其中, $f3$ 表示所述第三透镜单元的焦距, f_w 表示整个变焦透镜在所述广角端处的焦距。

4. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,满足以下条件表达式:

$$-9.5 < f1 / f2 < -6.5$$

其中, $f1$ 表示所述第一透镜单元的焦距。

5. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,满足以下条件表达式:

$$N_{2nd} > 1.85$$

其中, N_{2nd} 表示所述第二透镜单元中所包括的透镜的材料平均折射率。

6. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,所述第三透镜单元的整个部分或一部分在具有相对于光轴的垂直分量的方向上在图像抖动校正期间移动。

7. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,所述第一透镜单元在变焦操作期间移动。

8. 如权利要求1所述的变焦透镜,其中,有效图像圆直径在所述广角端比在所述望远端更小。

9. 一种图像拾取设备,包括:

如权利要求1至8中的任一项所述的变焦透镜;及

图像拾取元件,被配置为接收由所述变焦透镜形成的光学图像。

变焦透镜及包括该变焦透镜的图像拾取设备

技术领域

[0001] 本发明涉及一种变焦透镜,更具体地说,涉及一种适合于在图像拾取设备(如摄像机、监控相机、数字静态相机、广播相机以及卤化银摄影相机)中所使用的摄影光学系统的变焦透镜。

背景技术

[0002] 要求在图像拾取设备中使用的摄影光学系统是具有广视角、小像差、高变焦比等的紧凑变焦透镜。已经知道示例性变焦透镜,其按从物侧到像侧的顺序包括:第一透镜单元,具有正折光力;第二透镜单元,具有负折光力;第三透镜单元,具有正折光力;以及第四透镜单元,具有正折光力。

[0003] 日本专利申请公开No.H08-82743和美国专利No.8284498公开了一种后焦点类型四单元变焦透镜,被配置为:在执行聚焦操作的同时,通过移动第二透镜单元和第三透镜单元来改变倍率,并且通过移动第四透镜单元来校正与所述可变倍率关联的图像平面变化。美国专利No.7477457公开了一种变焦透镜,被配置为:通过移动四个透镜单元来执行变焦操作,并且第四透镜单元执行聚焦操作。

[0004] 在上述正导向类型(positive-lead-type)四单元变焦透镜中,减少整个变焦透镜的尺寸并且获得高变焦比是相对容易的。为了在试图获得广视角和高变焦比的同时在整个变焦范围上实现高光学性能,适当地单独设置透镜单元的变焦类型、折光力、配置等变得重要。例如,在上述变焦类型的后焦点类型四单元变焦透镜中,适当地设置对于可变倍率所使用的第二透镜单元的折光力、与变焦操作关联的移动间隔(移动量)、在广角端和望远端处的图像形成倍率将是重要的。

[0005] 此外,适当地设置第三透镜单元的折光力、在广角端和望远端处的图像形成倍率也变得重要。在未适当地设置这些配置的情况下,将难以在减少整个变焦透镜的尺寸的同时在整个可变倍率范围上实现高光学性能并且获得广视角和高变焦比。

发明内容

[0006] 根据本发明的一方面,一种变焦透镜,从物侧到像侧依次包括:第一透镜单元,具有正折光力;第二透镜单元,具有负折光力;第三透镜单元,具有正折光力;以及第四透镜单元,具有正折光力。所述变焦透镜被配置为:在变焦操作期间移动所述第二透镜单元、所述第三透镜单元和所述第四透镜单元,以改变各相邻透镜单元之间的间隔。在所述变焦透镜中,满足以下条件表达式:

[0007] $4.6 < M2/|f2| < 7.5$

[0008] $0.4 < \beta3t/\beta3w < 4.5$

[0009] 其中, $M2$ 表示所述第二透镜单元在从广角端到望远端的变焦操作期间的移动量, $f2$ 表示所述第二透镜单元的焦距,以及 $\beta3t$ 和 $\beta3w$ 分别表示所述第三透镜单元在所述广角端和所述望远端的横向倍率。

[0010] 从参照附图的示例性实施例的以下描述,本发明的其它特征将变得清楚。

附图说明

[0011] 图1是在广角端处的根据第一实施例的变焦透镜的截面图。

[0012] 图2A、图2B和图2C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第一实施例的变焦透镜的像差示图。

[0013] 图3是在广角端处的根据第二实施例的变焦透镜的截面图。

[0014] 图4A、图4B和图4C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第二实施例的变焦透镜的像差示图。

[0015] 图5是在广角端处的根据第三实施例的变焦透镜的截面图。

[0016] 图6A、图6B和图6C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第三实施例的变焦透镜的像差示图。

[0017] 图7是在广角端处的根据第四实施例的变焦透镜的截面图。

[0018] 图8A、图8B和图8C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第四实施例的变焦透镜的像差示图。

[0019] 图9是在广角端处的根据第五实施例的变焦透镜的截面图。

[0020] 图10A、图10B和图10C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第五实施例的变焦透镜的像差示图。

[0021] 图11是在广角端处的根据第六实施例的变焦透镜的截面图。

[0022] 图12A、图12B和图12C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第六实施例的变焦透镜的像差示图。

[0023] 图13是在广角端处的根据第七实施例的变焦透镜的截面图。

[0024] 图14A、图14B和图14C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的根据第七实施例的变焦透镜的像差示图。

[0025] 图15是示出其上安装有根据本发明实施例的变焦透镜的摄像机(图像拾取设备)的主要部件的示意图。

具体实施方式

[0026] 以下将参照附图来描述本发明的变焦透镜以及包括所述变焦透镜的图像拾取设备的实施例。根据本发明实施例的变焦透镜按从物侧到像侧的顺序包括:第一透镜单元,具有正折光力;第二透镜单元,具有负折光力;第三透镜单元,具有正折光力;第四透镜单元,具有正折光力。第二透镜单元到第四透镜单元在变焦操作期间移动,以改变各相邻透镜单元之间的间隔。

[0027] 图1是在广角端(短焦距端)处根据本发明第一实施例的变焦透镜的截面图。图2A、图2B和图2C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端(长焦距端)处的第一实施例的变焦透镜的像差示图。图3是在广角端处的根据本发明第二实施例的变焦透镜的截面图。图4A、图4B和图4C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的第二实施例的变焦透镜的像差示图。

[0028] 图5是在广角端处的根据本发明第三实施例的变焦透镜的截面图。图6A、图6B和图

6C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的第三实施例的变焦透镜的像差示图。图7是在广角端处的根据本发明第四实施例的变焦透镜的截面图。图8A、图8B和图8C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的第四实施例的变焦透镜的像差示图。

[0029] 图9是在广角端处的根据本发明第五实施例的变焦透镜的截面图。图10A、图10B和图10C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的第五实施例的变焦透镜的像差示图。图11是在广角端处的根据本发明第六实施例的变焦透镜的截面图。图12A、图12B和图12C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的第六实施例的变焦透镜的像差示图。

[0030] 图13是在广角端处的根据本发明第七实施例的变焦透镜的截面图。图14A、图14B和图14C分别是在广角端、中间变焦位置和望远端处的第七实施例的变焦透镜的像差示图。图15是示出其上安装有本发明的变焦透镜的摄像机(图像拾取设备)的主要部分的示意图。

[0031] 在实施例中,变焦透镜提供作为用于在图像拾取设备中使用的照相光学系统。在图中,待捕获的被摄体侧(物侧)和像侧分别是透镜的截面图的左边和右边。透镜的截面图包括:第一透镜单元L1,具有正折光力;第二透镜单元L2,具有负折光力;第三透镜单元L3,具有正折光力;以及第四透镜单元L4,具有正折光力。孔径光阑SP位于第三透镜单元L3的物侧上。图中的箭头表示透镜在变焦操作期间从广角端到望远端的移动轨迹。

[0032] 在实施例中,变焦透镜的孔径光阑SP在变焦操作期间可以移动或可以保持不移动。光学块GB等同于例如光学滤波器或面板。还提供图像平面IP。当变焦透镜用作摄像机或数字静态相机的照相光学系统时,图像平面是固态图像传感器(如CCD传感器或CMOS传感器)的图像拾取表面。当变焦透镜用作卤化银胶片相机的照相光学系统时,图像平面也可以是胶片表面。

[0033] 在像差示图中,对于d线和g线指示球面像差。在像散示图中, ΔM 和 ΔS 分别表示子午图像平面和弧矢图像平面。对于g线指示横向色差。 F_{no} 表示F数, ω 表示半视角(度)。在下述实施例中,广角端和望远端指代其中可变倍率透镜单元位于在光轴的方向上可机械移动的范围的末端处的两个变焦位置。

[0034] 在实施例中,第二透镜单元L2在从广角端到望远端的变焦操作期间如图中箭头所指示的那样朝向像侧单调移动。第三透镜单元L3朝向物侧单调移动或在朝向物侧凸起的轨迹上移动到物侧的位置,以允许在望远端处而不是在广角端处的可变倍率。

[0035] 在实施例的变焦透镜中,第四透镜单元L4在朝向物侧凸起的轨迹上移动,以校正与可变倍率相关联的图像平面变化。在实施例中使用后聚焦方法,其中,通过在光轴上移动第四透镜单元L4来执行聚焦操作。与第四透镜单元L4相关联的实线曲线4a和虚线曲线4b分别表示当透镜在无穷远处以及在近距离处聚焦以校正与变焦操作相关联的图像平面变化时的移动轨迹。在实施例的变焦透镜中,第四透镜单元L4在朝向物侧凸起的轨迹上移动,以便有效地使用第三透镜单元L3与第四透镜单元L4之间的空间,从而缩短总透镜长度。

[0036] 在实施例中,当在望远端处从无穷远到近距离聚焦时,第四透镜单元L4向前移动,如箭头4c所指示的那样。虽然在实施例中为了聚焦的目的,第一透镜单元L1并不沿着光轴移动,但可以根据需要移动第一透镜单元L1,以用于校正像差。在摄影操作期间,通过在具有相对于光轴的垂直分量的方向上移动第三透镜单元L3的全部或一部分,在相对于光轴的垂直方向上改变所拍摄的图像,由此校正当变焦透镜抖动时可能出现的图像抖动。也就是说,执行图像抖动校正。

[0037] 根据本发明实施例的变焦透镜具有这样的特征：整个变焦透镜是紧凑的，并且具有广视角和高变焦比。为了实现广视角，其中具有负折光力的透镜单元被布置为最接近于物侧的负导向类型(negative-lead-type)变焦透镜是有利的。然而，在很多负导向类型变焦透镜中，F数随着变焦比上升而增大。即，F数尤其在望远端处增大，使得透镜系统更暗。因此，将难以实现高变焦比。

[0038] 与之对照，在其中具有正折光力的透镜单元被布置在最接近于物侧的位置处的正导向类型变焦透镜中，F数仅在变焦操作期间稍微下降。因此，在本发明中采用正导向类型变焦透镜。具体地说，四单元变焦透镜包括按从物侧到像侧的顺序布置的第一透镜单元至第四透镜单元。第一透镜单元至第四透镜单元分别具有正折光力、负折光力、正折光力和正折光力。为了实现高变焦比，在限制可变倍率透镜单元的变焦中的移动量(行程)以及像差变化的同时减小整个变焦透镜的尺寸是重要的。

[0039] 在上述四单元变焦透镜中，如果第三透镜单元在变焦操作期间保持未移动，则第三透镜单元的可变倍率负载变得更小。因此，为了实现高变焦比，必须增加第二透镜单元和第四透镜单元的可变倍率负载。然而，在此情况下，第二透镜单元和第四透镜单元在变焦操作期间的移动量增大，整个变焦透镜的尺寸变得更大。

[0040] 因此，在本发明中，在从广角端到望远端的变焦操作期间通过将第三透镜单元L3向前移动到物侧来增加它的可变倍率负载。在变焦操作期间，在允许整个变焦透镜的尺寸减小的同时，第二透镜单元和第四透镜单元的移动量减小并且像差的改变减小。

[0041] 同时，当尝试加宽透镜的视角时，进入前透镜(第一透镜单元)的光线的入射角增大，入射光瞳位置对于减小整个变焦透镜的尺寸变得重要。在上述的后焦点类型四单元变焦透镜中，特别地，常常在比距广角端稍微更靠近望远端的变焦位置处确定前透镜的有效直径。因此，必须在变焦位置处将入射光瞳位置移动得更靠近第一透镜单元，以便减小前透镜的有效直径。

[0042] 在本发明中，通过在从广角端到望远端的变焦操作期间把第三透镜单元L3向前移动到物侧，第三透镜单元L3具有可变倍率效果。因此，与第三透镜单元L3未移动的情况相比，第三透镜单元L3的焦距在中间变焦位置处更长。此外，通过降低第二透镜单元的可变倍率负载，第二透镜单元的移动量在变焦操作期间受限。因此，允许在通过将入射光瞳位置移动得更靠近第一透镜单元而在相同焦距处加宽视角的同时减小前透镜的有效直径。

[0043] 如上所述，在根据本发明实施例的变焦透镜中，第三透镜单元L3在从广角端到望远端的变焦操作期间朝向物侧移动，以使得第三透镜单元L3具有更大的可变倍率负载，这便于在减小整个变焦透镜的尺寸的同时实现广视角和高变焦比。在下述实施例中，提供具有至少70°的宽拍摄视角和至少40的高变焦比的完全紧凑的变焦透镜。

[0044] 在实施例中，假设M2表示第二透镜单元L2在从广角端到望远端的变焦操作期间的移动量，f2表示第二透镜单元L2的焦距，β3w和β3t分别表示第三透镜单元L3在广角端和望远端处的横向倍率。在此情况下，满足以下条件表达式：

[0045] $4.6 < M2/|f2| < 7.5 \cdots (1)$

[0046] $0.4 < \beta3t/\beta3w < 4.5 \cdots (2)$

[0047] 其中，在望远端处而不是在广角端处，第二透镜单元L2的移动量M2当第二透镜单元L2位于物侧上时具有负号，以及当第二透镜单元L2位于像侧上时具有正号。

[0048] 条件表达式(1)与第二透镜单元L2的折光力有关。当该值落入条件表达式(1)的下限之下时,第二透镜单元L2在变焦操作期间的移动量(行程)变短,这在减少前透镜的有效直径方面是有利的。然而,在此情况下,第三透镜单元L3必须具有可变倍率负载。相应地,第三透镜单元L3的行程变得更长,以增加整个透镜长度。与之对照,当该值超过条件表达式(1)的上限时,第二透镜单元L2在变焦操作期间的行程变长,使得难以减小整个透镜长度和前透镜的有效直径。

[0049] 条件表达式(2)与第三透镜单元L3的可变倍率负载有关。当该值落入条件表达式(2)的下限之下时,第三透镜单元L3的可变倍率负载减小,使得必须增大第二透镜单元L2的可变倍率负载。于是,必须增大第二透镜单元L2在变焦操作期间的行程,并且前透镜的有效直径增大。与之对照,当该值超过条件表达式(2)的上限时,第三透镜单元L3的可变倍率负载增大,并且前透镜的有效直径减小。然而,第三透镜单元L3在变焦操作期间的行程增大,由此增加整个透镜长度。

[0050] 为了在减小整个变焦透镜的尺寸的同时实现广视角和高变焦比,必须加强充当主可变倍率透镜单元的第二透镜单元L2的折光力。在此情况下,广角侧上的像场弯曲、中间图像高度的彗形像差等增加,同时横向色差的变化在变焦操作期间也增大。因此,在实施例中,第三透镜单元L3在从广角端到望远端的变焦操作期间朝向物侧向前移动,以共享可变倍率效果,由此加强第二透镜单元L2的折光力。以此方式,允许在通过限制产生各种类型的像差(如像场弯曲和彗形像差)来保持良好光学性能的同时减小整个变焦透镜的尺寸。

[0051] 更优选地,在实施例中满足以下条件中的至少一个。假设 β_{2w} 和 β_{2t} 分别表示第二透镜单元L2在广角端和望远端处的横向倍率。 f_3 表示第三透镜单元L3的焦距, f_w 表示整个变焦透镜在广角端处的焦距, f_1 表示第一透镜单元L1的焦距。 N_{2nd} 表示构成第二透镜单元L2的透镜的材料的平均折射率。在此情况下,优选的是,满足以下条件表达式中的至少一个。

[0052] $25 < \beta_{2t} / \beta_{2w} < 80 \cdots (3)$

[0053] $6.8 < f_3 / f_w < 11.0 \cdots (4)$

[0054] $-9.5 < f_1 / f_2 < -6.5 \cdots (5)$

[0055] $N_{2nd} > 1.85 \cdots (6)$

[0056] 条件表达式(3)与第二透镜单元L2的可变倍率负载有关,其主要允许在较好地校正像场弯曲的像差、横向色差等的同时减小整个变焦透镜的尺寸。当该值超过条件表达式(3)的上限时,第二透镜单元L2的可变倍率负载增大。因此,第二透镜单元L2的移动量在变焦操作期间变得更长并且前透镜的有效直径增大。由于第二透镜单元L2的折光力变得更强,所以变焦操作所伴随的像场弯曲、横向色差等的改变也增大,并且校正这种像差变得困难。

[0057] 同时,当该值落入条件表达式(3)的下限之下时,第二透镜单元L2的可变倍率负载减小。在此情况下,可以在广角侧上容易地执行像场弯曲和横向色差的校正。然而,第三透镜单元L3的可变倍率负载增大以达到预定可变倍率比率。这种情况并不是优选的,这是因为第三透镜单元L3的移动量在变焦操作期间过量地增加并且整个透镜长度变得更长。

[0058] 条件表达式(4)与第三透镜单元L3的折光力的分布(光焦度分布)有关。条件表达式(4)主要对于充分校正轴向色差、球面像差等起作用。当该值落入条件表达式(4)的下限

之下时,第三透镜单元L3的折光力增大并且难以校正广角侧上的球面像差。也难以具有足够长的后焦点。与之对照,当该值超过条件表达式(4)的上限时,第三透镜单元L3的折光力减小并且难以校正轴向色差。这种情况并不是优选的,这是因为第三透镜单元L3的移动量在变焦操作期间增大并且整个透镜长度变得更长。

[0059] 条件表达式(5)分别与第一透镜单元L1和第二透镜单元L2的折光力有关。条件表达式(5)主要对于改进在望远端处的光学性能起作用。当该值落入条件表达式(5)的下限之下时,第二透镜单元L2的折光力增大并且透镜单元在变焦操作期间的行程更短。因此,易于减小整个变焦透镜的尺寸,但像场弯曲的改变在变焦操作期间增大。与之对照,当该值超过条件表达式(5)的上限时,第一透镜单元L1的折光力增大,使得难以校正在望远端处的球面像差和轴向色差。

[0060] 条件表达式(6)与第二透镜单元L2中所包括的透镜的材料有关。条件表达式(6)主要对于充分校正像场弯曲起作用。当该值落入条件表达式(6)的下限之下时,Petzval和负向地增大,以及所得的像场弯曲的变化在变焦操作期间增大。在实施例中,在校正像差方面还优选的是,如下设置条件表达式(1)至(6)的数值范围:

[0061] $4.7 < M2/|f2| < 7.3 \cdots (1a)$

[0062] $0.42 < \beta3t/\beta3w < 4.30 \cdots (2a)$

[0063] $26 < \beta2t/\beta2w < 78 \cdots (3a)$

[0064] $7.0 < f3/fw < 10.8 \cdots (4a)$

[0065] $-9.3 < f1/f2 < -6.6 \cdots (5a)$

[0066] $2.4 > N2nd > 1.85 \cdots (6a)$

[0067] 更优选的是,如下设置条件表达式(1a)至(6a)的数值范围:

[0068] $4.8 < M2/|f2| < 7.0 \cdots (1b)$

[0069] $0.44 < \beta3t/\beta3w < 4.00 \cdots (2b)$

[0070] $28 < \beta2t/\beta2w < 75 \cdots (3b)$

[0071] $7.3 < f3/fw < 10.5 \cdots (4b)$

[0072] $-9.1 < f1/f2 < -6.7 \cdots (5b)$

[0073] $2.4 > N2nd > 1.88 \cdots (6b)$

[0074] 在实施例中,利用上述透镜结构,提供具有至少70°的广拍摄视角以及至少40的高变焦比的完全紧凑的变焦透镜。

[0075] 接下来,将描述各个透镜单元的透镜结构。第一透镜单元L1从物侧到像侧依次包括:接合透镜,其中,负透镜和正透镜接合在一起;以及一个或更多个正弯月形透镜,其在物侧上具有凸面。在实施例的变焦透镜中,第一透镜单元L1的折光力在适当范围内得以加强,以便提供完全紧凑的变焦透镜。

[0076] 当第一透镜单元L1的折光力增大时,各种类型的像差发生在第一透镜单元L1中,尤其是球面像差可能在望远侧上频繁发生。因此,接合透镜以及一个或两个正透镜共享第一透镜单元L1的正折光力,以减少这样的像差的发生。第二透镜单元L2包括四个透镜。按从物侧到像侧的顺序,第二透镜单元L2包括:负透镜,在像侧上具有比在物侧上更大的折光力的绝对值,并且具有在像侧上的凹形透镜表面;双凹负透镜;双凸正透镜;双凹负透镜。后两个透镜接合在一起。

[0077] 在各实施例的变焦透镜中,第二透镜单元L2的折光力在适当范围内增大,以在减小第一透镜单元L1的有效直径的同时获得在广角端处的广视角。当第二透镜单元L2的折光力增大时,各种类型的像差发生在第二透镜单元L2中,并且尤其是像场弯曲以及横向色差可能在广角侧上频繁发生。在实施例中,两个负透镜共享第二透镜单元L2的负折光力,以减小像场弯曲的发生。横向色差的发生被接合透镜减少。使用这种透镜结构,可以在允许透镜单元的更广视角并且减小前透镜的有效直径的同时获得高光学性能。

[0078] 为了将透镜的折光力减小(这对于消色差的目的是必要的)到最小可能值,对于构成第二透镜单元L2的正透镜使用具有小于20的阿贝数的高色散材料。以此方式,在减小整个变焦透镜的尺寸的同时,限制了像差(如像场弯曲和横向色差)的发生。第三透镜单元L3从物侧到像侧依次包括:正透镜,在物侧上具有凸形透镜表面;负透镜,在像侧上具有凹形透镜表面;以及正透镜,在物侧上具有凸形透镜表面。

[0079] 在实施例的变焦透镜中,在变焦操作期间减小透镜单元的移动量的同时,第三透镜单元L3的折光力在适当范围内增大,以减小在广角端处的整个透镜长度。当第三透镜单元L3的折光力增大时,各种类型的像差发生在第三透镜单元L3中,尤其是轴向色差和彗形像差可能因为第三透镜单元L3而频繁发生。因此,为了消色差的目的是使得第三透镜单元L3共享两个正透镜和一个负透镜带来的折光力,以允许减少彗形像差的发生。

[0080] 作为构成第三透镜单元L3的负透镜的材料,使用具有大于1.95的折射率的高折射率材料,以减小透镜表面的曲率半径,并且减少像差(如彗形像差和像场弯曲)的发生。第四透镜单元L4包括其中把正透镜和负透镜接合在一起的接合透镜。在该实施例中,第四透镜单元L4由接合透镜形成,以减少在变焦操作期间横向色差或像场弯曲的变化。

[0081] 在第一实施例、第二实施例、第四实施例和第五实施例中,变焦透镜的孔径光阑SP的位置在变焦操作期间是未移动的。通过使得孔径光阑SP保持未移动,易于提供简单的图像拾取设备。在第三实施例、第六实施例和第七实施例中,变焦透镜的孔径光阑SP在广角端与中间变焦位置之间朝向物侧移动,并且还在中间变焦位置与望远端之间朝向像侧移动。通过以此方式移动孔径光阑SP,可以有效地使用第二透镜单元L2与第三透镜单元L3之间的空间,以由此减小整个透镜长度和前透镜的有效直径。

[0082] 在实施例中,在从广角端到望远端的变焦操作期间,第二透镜单元L2朝向像侧移动并且第三透镜单元L3朝向物侧移动,如图中箭头所指示的那样。第四透镜单元L4在朝向物侧凸出的轨迹上移动,以校正与可变倍率相关联的图像平面变化。在第一实施例、第二实施例以及第四实施例至第七实施例的变焦透镜中,第一透镜单元L1在变焦操作期间是未移动的。在第三实施例的变焦透镜中,第一透镜单元L1在从广角端到望远端的变焦操作中朝向物侧移动。

[0083] 假设 a_1 和 b_1 分别表示第一透镜单元L1的一阶移动系数和二阶移动系数(移动参数)。还假设 a_3 、 b_3 、 c_3 、 d_3 、 e_3 、 f_3 、 g_3 和 h_3 分别表示第三透镜单元L3的一阶移动系数至八阶移动系数。在此情况下,与变焦操作相关联的第一透镜单元L1的移动量 M_1 和第三透镜单元L3的移动量 M_3 由以下表达式表示。

$$[0084] \quad M_1 = a_1 x + b_1 x^2$$

$$[0085] \quad M_3 = a_3 x + b_3 x^2 + c_3 x^3 + d_3 x^4 + e_3 x^5 + f_3 x^6 + g_3 x^7 + h_3 x^8$$

[0086] 其中, M_1 和 M_3 的负号表示朝向物侧的移动,其正号表示朝向像侧的移动。 x 是移动

参数,其中, $x=0$ 表示广角端, $x=1$ 表示望远端。

[0087] 在实施例中,当透镜单元结构如上所述时,提供具有广视角和高变焦比的完全紧凑的变焦透镜。当在图像拾取设备中使用实施例的变焦透镜时,可以通过图像处理来校正失真像差。在此情况下,可以通过与在望远端处的图像圆的有效直径相比减小在广角侧处的图像圆的有效直径来减小前透镜的有效直径。

[0088] 接下来,将通过参照图15来描述把根据本发明实施例的变焦透镜用作照相光学系统的图像拾取设备(摄像机)的实施例。在图15中,摄像机包括相机主体10、照相光学系统11、固态图像传感器12、存储器设备13以及电子取景器14。通过根据第一实施例至第七实施例中任一个的变焦透镜来形成照相光学系统11。固态图像传感器12(如CCD或CMOS)被包括在相机主体中,以便接收照相光学系统11所形成的光学被摄体图像。在固态图像传感器12进行的光电转换之后,存储器设备13存储与被摄体图像相对应的信息。提供电子取景器14以观看固态图像传感器12进行的光电转换之后的被摄体图像。

[0089] 接下来,以下将给出与本发明第一实施例至第七实施例对应的数值示例1至7。在数值示例中, i 表示从物侧计数的透镜表面的顺序号, r_i 表示从物侧起的第 i 透镜表面(第 i 表面)的曲率半径, d_i 表示第 i 透镜表面与第 $i+1$ 透镜表面之间的间隔,以及 n_{di} 和 v_{di} 分别表示用于 d 线的第 i 透镜的光学材料的折射率和阿贝数。在数值示例中还提供与第一透镜单元和第三透镜单元的移动有关的移动系数(移动参数)。位于最靠近像侧的两个表面在数值示例1至7中是充当光学块的平面。BF表示后焦点,其为最后透镜表面与图像平面之间的空气转换距离(air-converted distance)。

[0090] 非球形表面形状由 X 给定, X 表示以表面的顶点为基准在距光轴高度 H 处在光轴的方向上的位移。假设光行进方向为正, R 表示近轴曲率半径, k 表示圆锥常数, A_4 、 A_6 和 A_8 表示非球面系数。在此情况下, X 由以下表达式给出:

[0091] 表达式1

$$[0092] \quad X = \frac{H^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(H/R)^2}} + A_4 H^4 + A_6 H^6 + A_8 H^8$$

[0093] 其中,非球面透镜表面的表面号以“*”来标记并且“ $e-x$ ”表示“ 10^{-x} ”。以下表1示出在各数值示例中的各值与上述条件表达式之间的关系。

[0094] 数值示例1

[0095] 表面数据

	表面号	r	d	nd	vd
[0096]	1	94.524	1.50	1.84666	23.9
	2	48.908	4.39	1.49700	81.5
	3	-357.106		0.15	
	4	41.215	3.54	1.49700	81.5
	5	257.187	0.15		
	6	28.002	2.90	1.59522	67.7
	7	57.135	(可变)		
	8	79.932	0.60	2.00100	29.1
	9	6.394	3.54		
	10	-16.816	0.50	1.83481	42.7
	11	47.565	0.10		
	12	14.678	2.85	1.95906	17.5
	13	-14.973	0.50	2.00100	29.1
	14	47.008	(可变)		
[0097]	15 (光阑)	∞	(可变)		
	16*	13.493	3.05	1.58313	59.4
	17*	-69.098	6.00		
	18	76.136	0.60	2.00100	29.1
	19	12.453	0.30		
	20	17.421	2.48	1.59522	67.7
	21	-40.852	(可变)		
	22*	17.199	3.10	1.59201	67.0
	23	-16.587	0.50	1.92286	18.9
	24	-22.296	(可变)		
	25	∞	1.85	1.51633	64.1
	26	∞	3.91		
[0098]	像平面	∞			
	非球形表面数据				

- [0099] 第十六表面
 [0100] $K=1.35188e+000$ $A4=-5.15017e-005$ $A6=-1.73679e-006$
 [0101] $A8=3.45999e-008$
 [0102] 第十七表面
 [0103] $K=6.71594e+001$ $A4=1.17238e-004$ $A6=-1.34987e-006$
 [0104] $A8=6.01414e-008$
 [0105] 第二十二表面
 [0106] $K=-4.85795e+000$ $A4=8.64064e-005$ $A6=-5.69670e-007$
 [0107] 各种数据
 [0108] 变焦比 59.29

	广角端	中间	望远端
焦距	3.04	44.63	180.50
F 数	1.85	5.50	6.00
半视角 (度)			
	36.4	2.89	0.74
总透镜长度	100.37	100.37	100.37
[0109] BF	9.68	19.79	6.37
d7	0.75	26.15	29.61
d14	30.12	4.72	1.26
d15	12.00	1.72	1.50
d21	11.07	11.24	24.88
d24	4.55	14.66	1.24

[0110] 变焦透镜单元数据

单元号	开始表面	焦距
1	1	41.30
[0111] 2	8	-5.38
3	16	25.42
4	22	18.43

[0112] 移动参数

[0113] $a3=-49.40525$ $b3=115.46284$ $c3=-138.42544$ $d3=72.72449e3=-8.85927$ $f3=-0.66625$ $g3=-0.66625$ $h3=-0.66625$

[0114] 数值示例2

[0115] 表面数据

表面号	r	d	nd	vd
1	85.255	1.50	2.00069	25.5
2	45.274	4.72	1.49700	81.5
3	-211.332	0.15		
4	40.707	2.82	1.49700	81.5
5	199.920	0.15		
6	25.419	2.89	1.59522	67.7
7	59.842	(可变)		
8	60.407	0.60	1.91082	35.3
9	5.254	3.05		
10	-21.068	0.50	1.91082	35.3
11	20.670	0.10		
12	11.126	1.65	1.95906	17.5
13	-65.729	0.50	1.88300	40.8
14	37.254	(可变)		
15 (光阑)	∞	(可变)		
16*	9.954	4.63	1.69350	53.2
17*	-49.599	0.15		
18	17.538	0.60	2.00069	25.5
19	9.021	(可变)		
20*	14.395	3.39	1.59201	67.0
21	-14.564	0.50	1.95906	17.5
22	-21.653	(可变)		
23	∞	1.85	1.51633	64.1
24	∞	3.91		
图像平面	∞			

[0117] 非球形表面数据

[0118] 第十六表面

[0119] K=-6.79225e-001 A4=-7.55038e-008 A6=2.57124e-007

- [0120] A8=3.13755e-009
 [0121] 第十七表面
 [0122] K=-1.91606e+001 A4=8.21049e-005
 [0123] 第二十表面
 [0124] K=2.51180e-002 A4=-5.07213e-005 A6=-5.77834e-007
 [0125] 各种数据
 [0126] 变焦比 44.64

	广角端	中间	望远端
焦距	3.04	41.82	135.60
F 数	1.44	4.57	5.00
半视角 (度)	36.5	3.10	1.00
总透镜长度	82.67	82.67	82.67
[0127] BF	10.52	16.55	6.15
d 7	0.62	24.37	27.61
d14	28.24	4.50	1.26
d15	5.32	4.75	1.50
d19	10.07	4.61	18.26
d22	5.39	11.42	1.02

- [0128] 变焦透镜单元数据

单元号	开始表面	焦距
[0129] 1	1	38.08
2	8	-5.17
[0130] 3	16	23.67
4	20	17.14

- [0131] 移动参数

[0132] a3=-16.16197 b3=5.44101 c3=22.58835 d3=14.58061

[0133] e3=-10.90692 f3=-18.76465 g3=-0.29823 h3=-0.29823

- [0134] 数值示例3

- [0135] 表面数据

表面号	r	d	nd	vd
1	98.884	1.50	1.84666	23.9
2	47.617	5.23	1.49700	81.5
3	1093.952	0.15		
4	47.934	4.17	1.49700	81.5
5	430.541	0.15		
6	42.351	2.31	1.83481	42.7
7	79.392	(可变)		
8	72.341	0.60	2.00100	29.1
[0136] 9	7.229	3.91		
10	-21.513	0.50	1.88300	40.8
11	31.807	0.34		
12	17.136	2.00	2.10205	16.8
13	-48.770	0.50	2.00100	29.1
14	58.817	(可变)		
15 (光阑)	∞	(可变)		
16*	12.491	2.91	1.58313	59.4
17*	4585.482	5.47		
18	39.759	0.60	2.00100	29.1
19	12.083	0.35		
20	17.757	2.70	1.59522	67.7
21	-61.519	(可变)		
22*	16.120	3.12	1.59201	67.0
[0137] 23	-19.039	0.50	1.92286	18.9
24	-28.276	(可变)		
25	∞	1.85	1.51633	64.1
26	∞	3.91		
像平面	∞			

[0138] 非球形表面数据

- [0139] 第十六表面
 [0140] $K=-6.99625e-001$ $A4=3.89767e-006$ $A6=3.50418e-007$
 [0141] $A8=-9.73835e-009$
 [0142] 第十七表面
 [0143] $K=-7.45750e+006$ $A4=2.74544e-005$ $A6=3.27957e-009$
 [0144] $A8=-7.76768e-009$
 [0145] 第二十二表面
 [0146] $K=-8.54658e-001$ $A4=-2.48572e-006$ $A6=6.34107e-008$
 [0147] 各种数据
 [0148] 变焦比 49.80

	广角端	中间	望远端
焦距	2.57	45.55	128.00
[0149] F 数	1.85	4.62	5.00
半视角 (度)	38.2	2.83	1.02
总透镜长度	106.53	107.02	107.15
BF	10.21	19.45	11.65
d 7	0.60	34.56	39.25
[0150] d14	38.40	2.53	1.26
d15	14.63	5.28	1.50
d21	5.66	8.18	16.46
d24	5.09	14.32	6.52

[0151] 变焦透镜单元数据

单元号	开始表面	焦距
1	1	52.25
[0152] 2	8	-6.66
3	16	26.95
4	22	19.72

[0153] 移动参数

[0154] $a1=-0.13158$ $b1=-0.48147$

[0155] $a3=-46.40507$ $b3=86.55814$ $c3=-60.84279$ $d3=-122.15130$

[0156] $e3=239.95710$

[0157] $f3=-94.54944$ $g3=-12.88179$ $h3=-1.91488$

[0158] 数值示例4

[0159] 表面数据

表面号		r	d	nd	vd
[0160]	1	94.821	1.50	1.84666	23.9
	2	49.889	4.75	1.49700	81.5
	3	-368.278	0.15		
	4	42.147	3.92	1.49700	81.5

	5	298.499	0.15		
	6	27.321	3.24	1.59282	68.6
	7	52.988	(可变)		
	8	75.612	0.60	2.00100	29.1
	9	6.608	3.18		
	10	-17.640	0.50	1.90826	38.7
	11	77.849	0.10		
	12	14.745	3.89	1.95906	17.5
	13	-8.334	0.50	2.01819	25.0
	14	32.494	(可变)		
	15 (光阑)	∞	(可变)		
[0161]	16*	13.428	3.61	1.58313	59.4
	17*	-44.842	5.90		
	18	284.356	0.60	2.00100	29.1
	19	10.068	0.02		
	20	10.228	2.83	1.48067	43.9
	21	-49.252	(可变)		
	22*	18.591	3.16	1.59201	67.0
	23	-14.943	0.50	1.84666	23.9
	24	-20.669	(可变)		
	25	∞	1.85	1.51633	64.1
	26	∞	3.90		
	图像平面	∞			
[0162]	非球形表面数据				
[0163]	第十六表面				
[0164]	K=-3.69536e-002 A4=-2.65283e-005 A6=-4.94023e-008				
[0165]	A8=4.71186e-009				
[0166]	第十七表面				
[0167]	K=2.25732e+001 A4=7.04630e-005 A6=1.64565e-007				
[0168]	A8=7.84111e-009				
[0169]	第二十二表面				

[0170] $K=6.29556e-002$ $A4=-4.38688e-005$ $A6=-1.13944e-007$

[0171] 各种数据

[0172] 变焦比 98.52

	广角端	中间	望远端
焦距	3.07	53.41	302.40
F 数	1.85	8.14	9.00
半视角 (度)	36.2	2.40	0.50
总透镜长度	110.05	110.05	110.05
BF	12.67	27.40	5.19
d 7	0.69	26.22	29.71
d14	30.27	4.74	1.26
d15	15.80	1.73	1.49
d21	11.50	10.85	33.29
d24	7.55	22.27	0.07

[0174] 变焦透镜单元数据

单元号	开始表面	焦距
1	1	41.57
2	8	-5.01
3	16	30.47
4	22	18.49

[0176] 移动参数

[0177] $a3=-54.92810$ $b3=115.77754$ $c3=-132.55364$ $d3=73.04905$

[0178] $e3=-15.03488$

[0179] $a3=-8.56323$ $g3=3.78741$ $h3=4.15824$

[0180] 数值示例5

[0181] 表面数据

表面号	r	d	nd	vd
1	58.468	1.20	1.90366	31.3
2	30.466	5.61	1.49700	81.6
3	-116.688	0.18		
4	25.809	3.16	1.60311	60.6
5	86.046	(可变)		
6	294.306	0.60	2.00100	29.1
7	7.111	2.97		
8	-16.769	0.50	1.80400	46.6
9	50.788	0.20		
[0182] 10	16.345	2.09	1.95906	17.5
11	-30.678	0.50	1.91082	35.3
12	84.161	(可变)		
13 (光阑)	∞	(可变)		
14*	11.176	3.29	1.59201	67.0
15*	-74.189	5.08		
16	84.456	0.60	2.00100	29.1
17	11.772	0.83		
18	34.923	1.91	1.56384	60.7
19	-24.522	(可变)		
20*	14.233	3.00	1.59201	67.0
21	-20.763	0.50	1.84666	23.9
22	-36.873	(可变)		
[0183] 23	∞	1.85	1.51633	64.1
24	∞	3.91		
像平面	∞			

[0184] 非球形表面数据

[0185] 第十四表面

[0186] $K=-6.95166e-001$ $A4=2.06563e-005$ $A6=-8.34262e-007$

[0187] $A8=1.48032e-008$

- [0188] 第十五表面
 [0189] $K=-2.66721e+002$ $A4=-1.59735e-005$ $A6=3.40464e-008$
 [0190] $A8=7.65555e-009$
 [0191] 第二十表面
 [0192] $K=-3.55331e+000$ $A4=1.40433e-004$ $A6=-6.21548e-007$
 [0193] 各种数据
 [0194] 变焦比 49.60

	广角端	中间	望远端
焦距	3.04	51.30	150.80
F 数	1.85	5.50	6.00
半视角 (度)	36.5	2.50	0.90
总透镜长度	94.27	94.27	94.27
[0195] BF	9.93	19.60	6.56
d 5	0.74	28.63	32.44
d12	32.96	5.06	1.26
d13	12.75	1.50	1.50
d19	5.68	7.25	20.28
[0196] d22	4.80	14.47	1.43
[0197] 变焦透镜单元数据			
单元号	开始表面	焦距	
1	1	43.73	
[0198] 2	6	-6.45	
3	14	25.20	
4	20	19.51	

- [0199] 移动参数
 [0200] $a3=-48.47560$ $b3=104.71731$ $c3=-138.06876$ $d3=77.73838$
 [0201] $e3=6.28302$
 [0202] $f3=-6.21165$ $g3=-0.84651$ $h3=-6.38279$
 [0203] 数值示例6
 [0204] 表面数据

	表面号	r	d	nd	vd
	1	75.648	1.50	1.84666	23.9
	2	47.788	5.05	1.49700	81.5
	3	381.334	0.15		
	4	54.854	3.75	1.49700	81.5
	5	346.470	0.15		
[0205]	6	37.264	3.10	1.59522	67.7
	7	78.936	(可变)		
	8	48.965	0.60	2.00100	29.1
	9	6.866	4.18		
	10	-17.927	0.50	1.85560	42.8
	11	41.143	0.28		
	12	17.198	2.10	2.10205	16.8
	13	-37.337	0.50	2.00100	29.1
	14	40.238	(可变)		
	15 (光阑)	∞	(可变)		
	16*	12.940	2.97	1.58313	59.4
	17*	-508.515	5.08		
	18	37.614	0.60	2.00100	29.1
	19	12.225	0.41		
[0206]	20	20.097	2.38	1.59522	67.7
	21	-38.044	(可变)		
	22*	17.155	2.79	1.59201	67.0
	23	-17.047	0.50	1.92286	18.9
	24	-25.255	(可变)		
	25	∞	1.85	1.51633	64.1
	26	∞	3.91		
	像平面	∞			

[0207] 非球形表面数据

- [0208] 第十六表面
 [0209] $K=3.30618e-001$ $A4=-3.67355e-005$ $A6=-4.67114e-007$
 [0210] $A8=-1.38530e-009$
 [0211] 第十七表面
 [0212] $K=-3.38528e+003$ $A4=4.24040e-005$ $A6=-5.15400e-007$
 [0213] $A8=3.27807e-009$
 [0214] 第二十二表面
 [0215] $K=1.61917e+000$ $A4=-5.38223e-005$ $A6=-3.66735e-007$
 [0216] 各种数据
 [0217] 变焦比 49.42

	广角端	中间	望远端
焦距	2.63	44.43	130.00
F 数	1.85	4.62	5.00
半视角 (度)	40.5	2.90	1.00
总透镜长度	108.14	108.14	108.14
[0218] BF	9.16	19.62	12.62
d 7	0.55	35.20	39.93
d14	38.24	2.77	1.26
d15	13.12	4.81	1.50
d21	10.46	9.15	16.24
d24	4.03	14.49	7.49

[0219] 变焦透镜单元数据

单元号	开始表面	焦距
1	1	54.01
[0220] 2	8	-6.08
3	16	25.56
4	22	19.82

[0221] 移动参数

[0222] $a3=-44.82932$ $b3=105.13897$ $c3=-126.96392$ $d3=64.35475$

[0223] $e3=-1.97798$

[0224] $f3=-2.86549$ $g3=-1.26339$ $h3=-0.82994$

[0225] 数值示例7

[0226] 表面数据

[0227]	表面	r	d	nd	vd
	1	105.193	1.50	1.84666	23.9
	2	47.145	5.01	1.49700	81.5
	3	466.519	0.15		
	4	55.476	3.76	1.49700	81.5
	5	459.470	0.15		
	6	41.653	3.07	1.83481	42.7
	7	96.217	(可变)		
	8	84.395	0.60	2.00100	29.1
	9	7.023	4.45		
	10	-21.404	0.50	1.88300	40.8
	11	33.648	0.10		
	12	15.831	2.20	2.10205	16.8
	13	-37.876	0.50	2.00100	29.1
[0228]	14	35.177	(可变)		
	15 (光阑)	∞	(可变)		
	16*	11.403	3.27	1.58313	59.4
	17*	-226.293	3.74		
	18	36.772	0.60	2.00100	29.1
	19	10.850	0.31		
	20	14.438	2.60	1.51823	58.9
	21	-53.321	(可变)		
	22*	16.791	2.69	1.59201	67.0
	23	-18.601	0.50	1.92286	18.9
	24	-28.368	(可变)		
	25	∞	1.85	1.51633	64.1
	26	∞	3.91		
	像平面	∞			

- [0229] 非球形表面数据
 [0230] 第十六表面
 [0231] $K=-2.42653e-001$ $A4=6.79112e-006$ $A6=-7.29594e-007$
 [0232] $A8=4.29583e-008$
 [0233] 第十七表面
 [0234] $K=1.25526e+003$ $A4=8.88002e-005$ $A6=-8.15432e-007$
 [0235] $A8=6.31836e-008$
 [0236] 第二十二表面
 [0237] $K=1.87751e+000$ $A4=-7.18742e-005$ $A6=-4.58043e-007$
 [0238] 各种数据
 [0239] 变焦比 55.76

	广角端	中间	望远端
焦距	2.39	46.91	133.15
F 数	1.85	4.62	5.00
半视角 (度)	43.3	2.74	0.98
总透镜长度	108.96	108.96	108.96
[0240] BF	9.02	21.36	13.85
d 7	0.65	35.77	40.55
d14	39.13	5.00	1.26
d15	15.00	2.70	1.50
d21	9.45	8.44	16.09
d24	3.89	16.23	8.72

- [0241] 变焦透镜单元数据

单元号	开始表面	焦距
[0242] 1	1	53.03
2	8	-5.89
[0243] 3	16	24.84
4	22	20.42

- [0244] 移动参数

- [0245] $a3=-48.65443$ $b3=90.29858$ $c3=-54.31032$ $d3=-130.69916$
 [0246] $e3=236.91640$
 [0247] $f3=-92.96865$ $g3=-11.38933$ $h3=-0.66399$

[0248] 表1

[0249]

条件表达式		数值示例 1	数值示例 2	数值示例 3	数值示例 4	数值示例 5	数值示例 6	数值示例 7
(1)	$M2/ f2 $	5.36	5.21	5.71	5.79	4.91	6.47	6.77
(2)	β_{3t}/β_{3w}	0.99	0.45	2.09	0.54	1.01	2.71	3.81
(3)	β_{2t}/β_{2w}	41.43	53.45	29.05	69.26	34.44	28.84	28.10
(4)	$f3/fw$	8.35	7.79	10.48	9.93	8.29	9.72	10.40
(5)	$f1/f2$	-7.67	-7.36	-7.85	-8.30	-6.78	-8.88	-9.00
(6)	N_{2nd}	1.95	1.90	1.96	1.98	1.91	1.95	1.96

[0250] 虽然已经参照示例性实施例描述了本发明,但应理解,本发明不限于公开的示例性实施例。所附权利要求的范围将被赋予最宽泛的解释,以便包括所有这样的修改以及等效结构的功能。

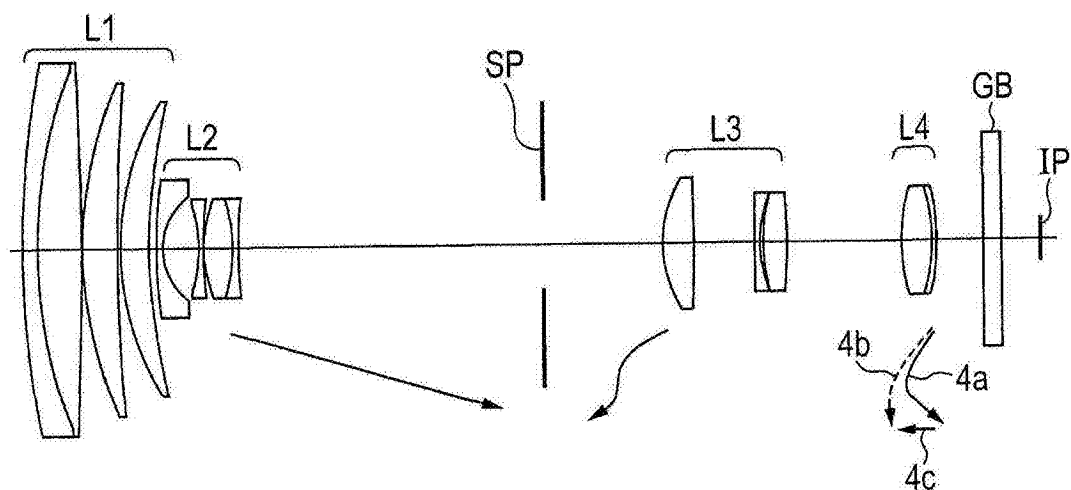


图1

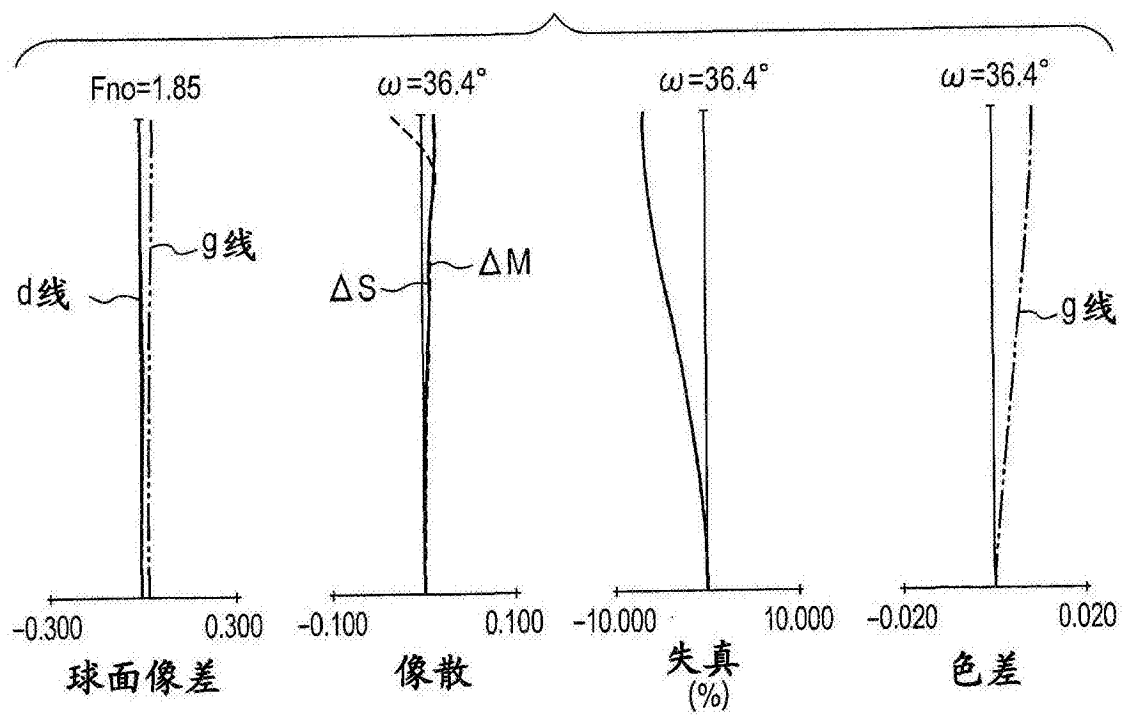


图2A

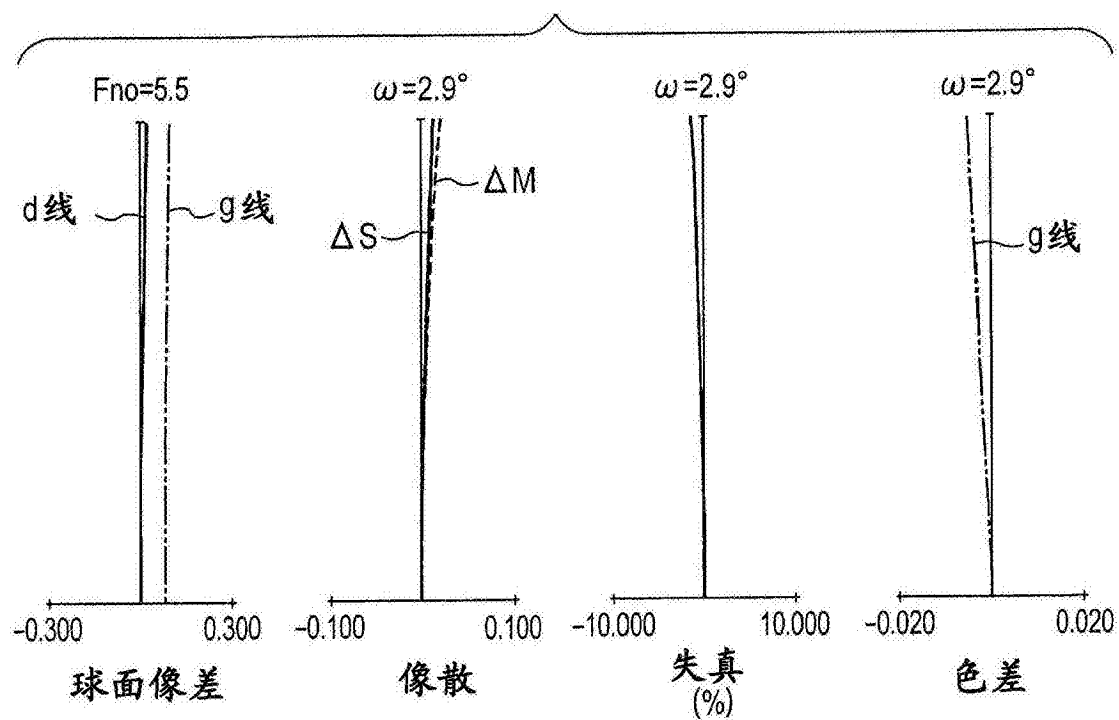


图2B

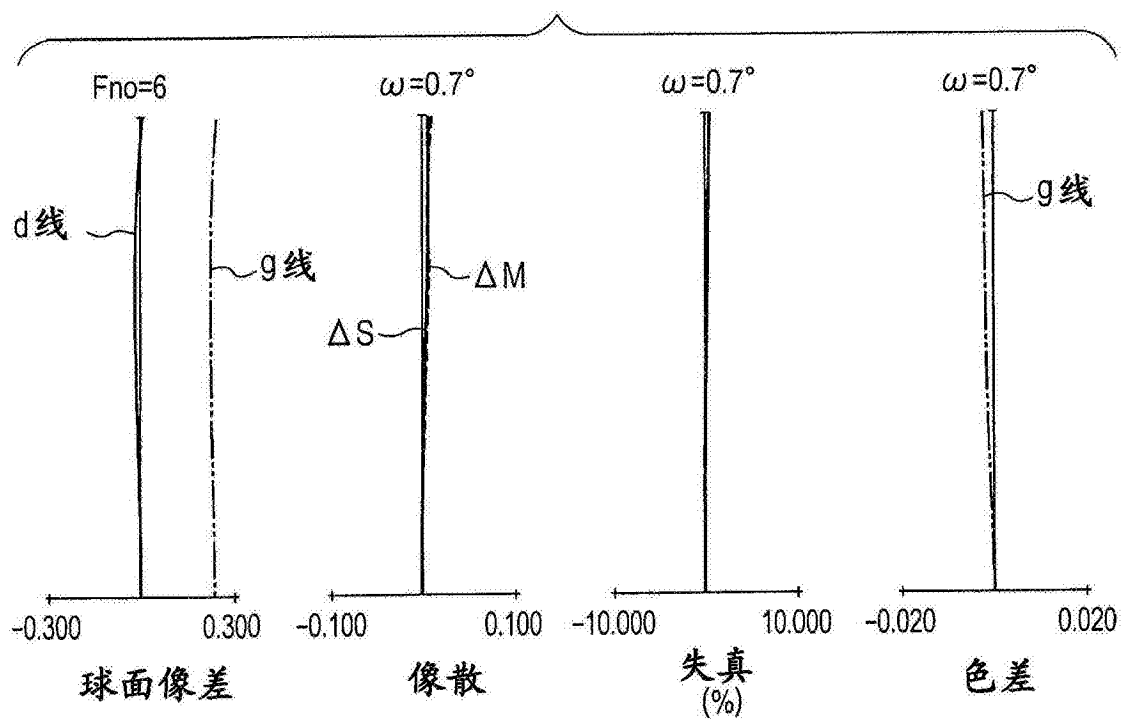


图2C

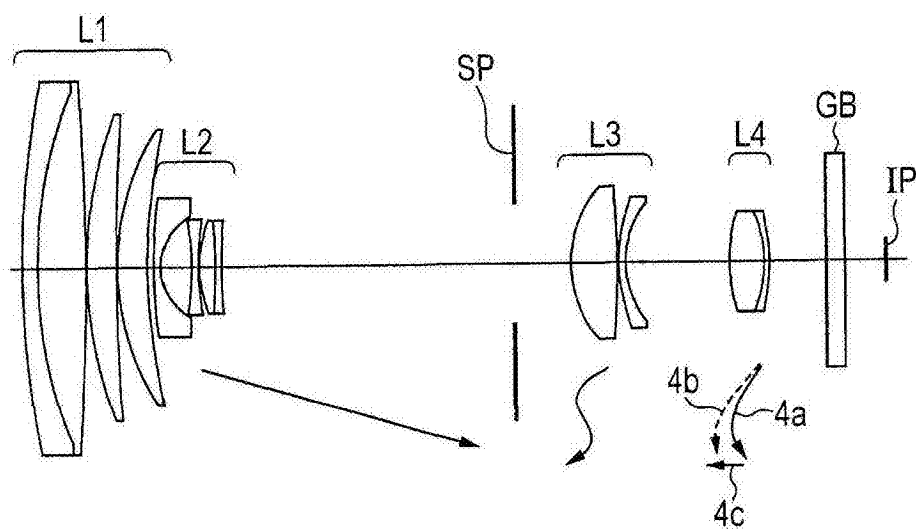


图3

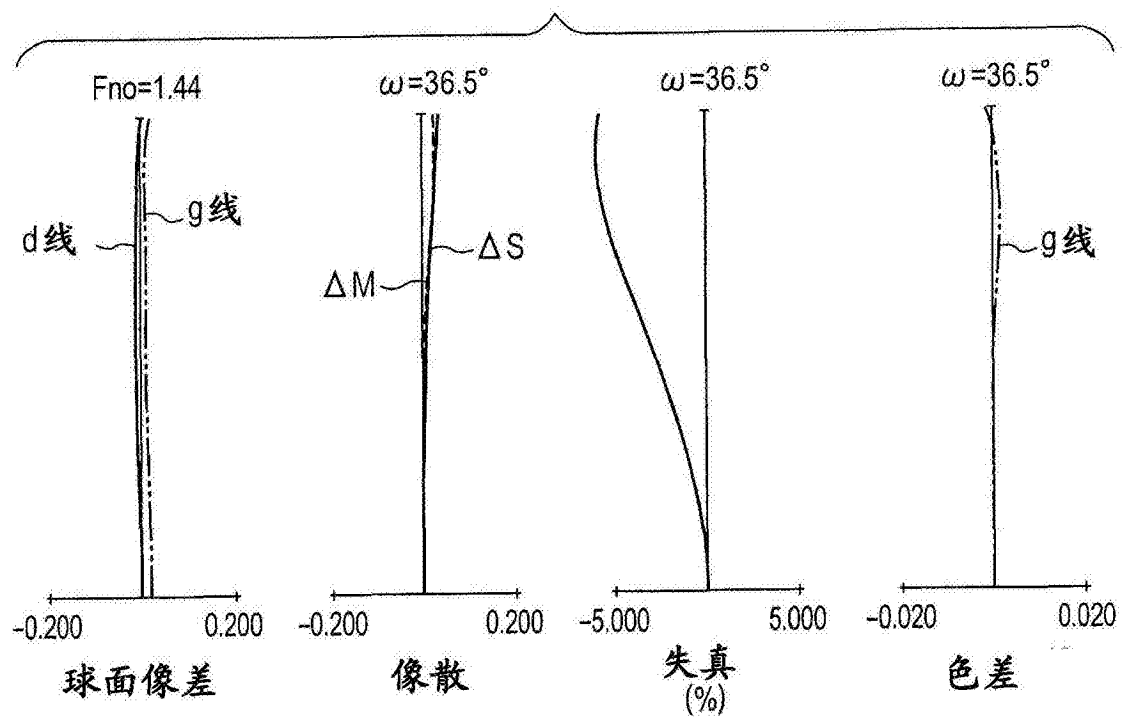


图4A

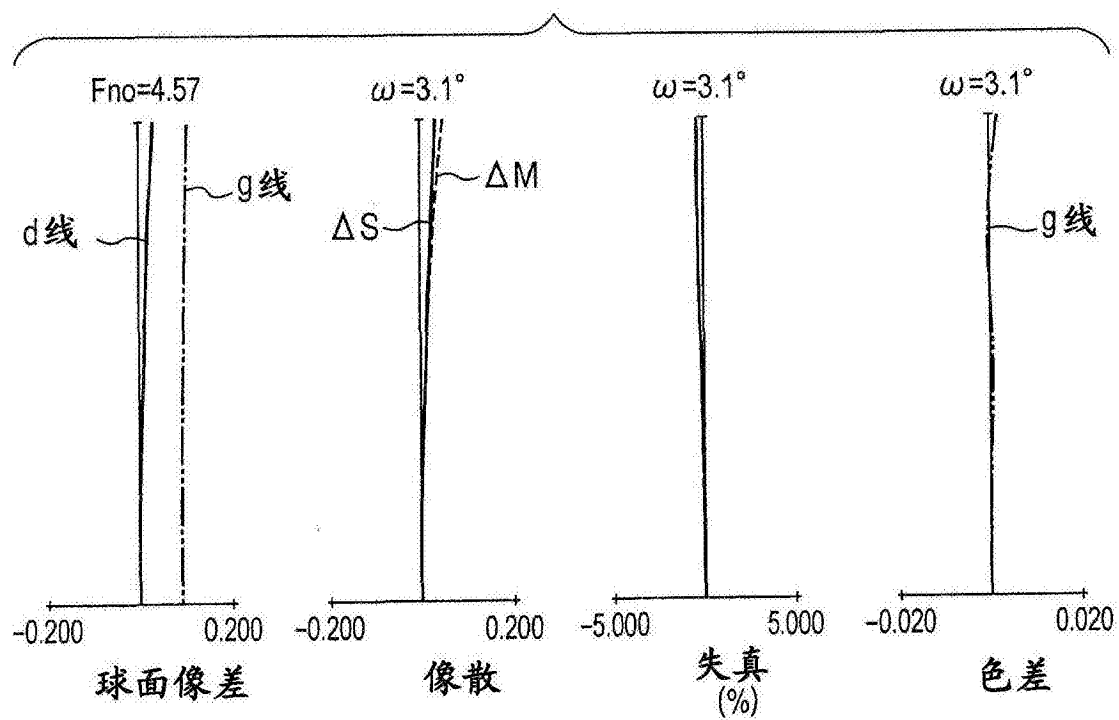


图4B

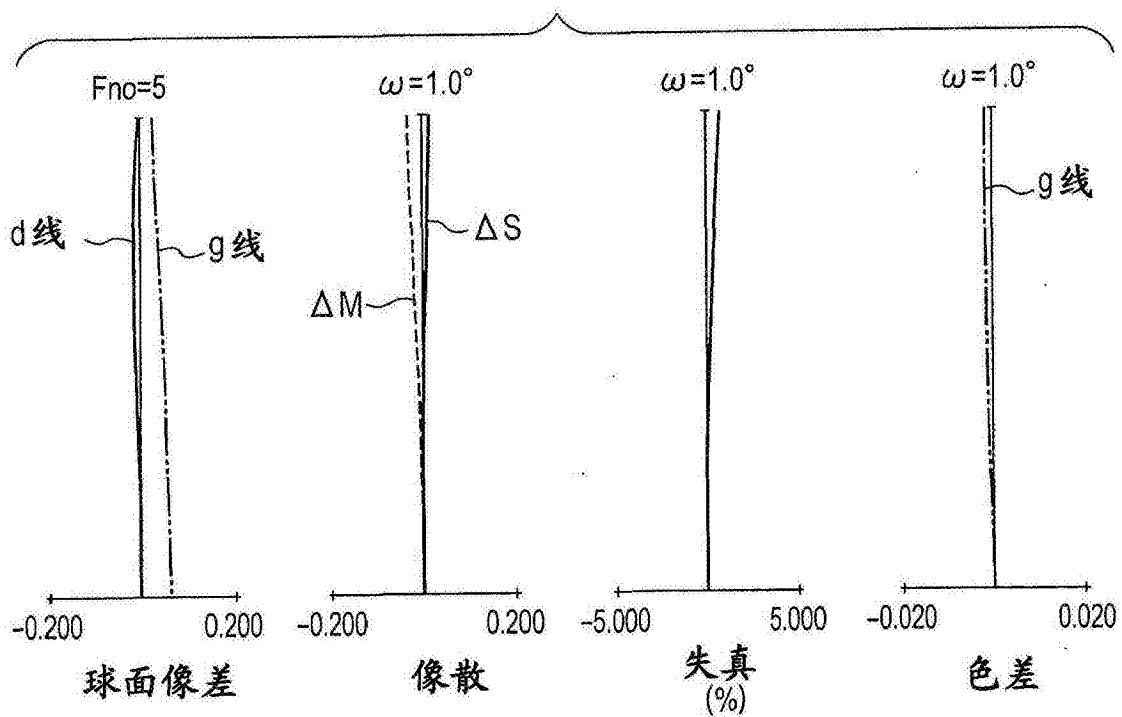


图4C

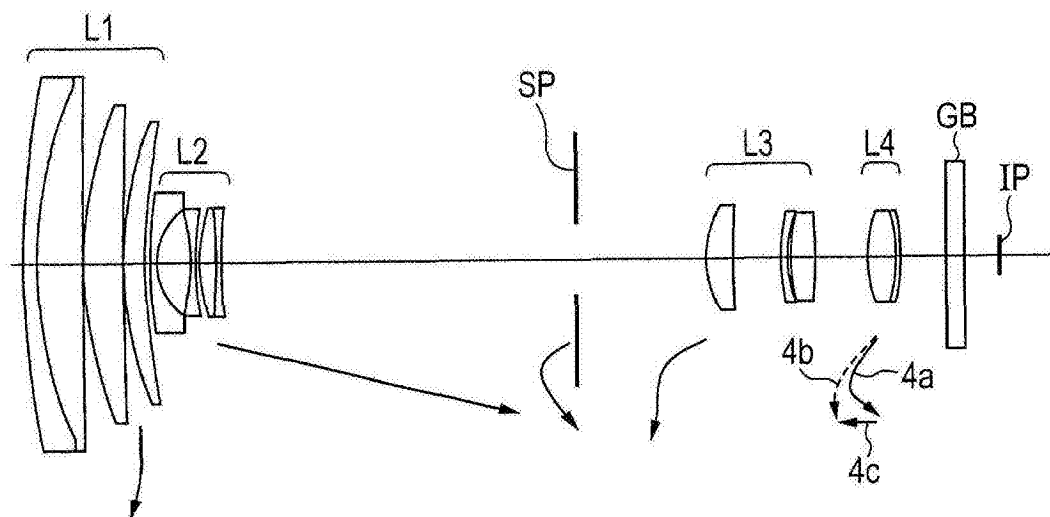


图5

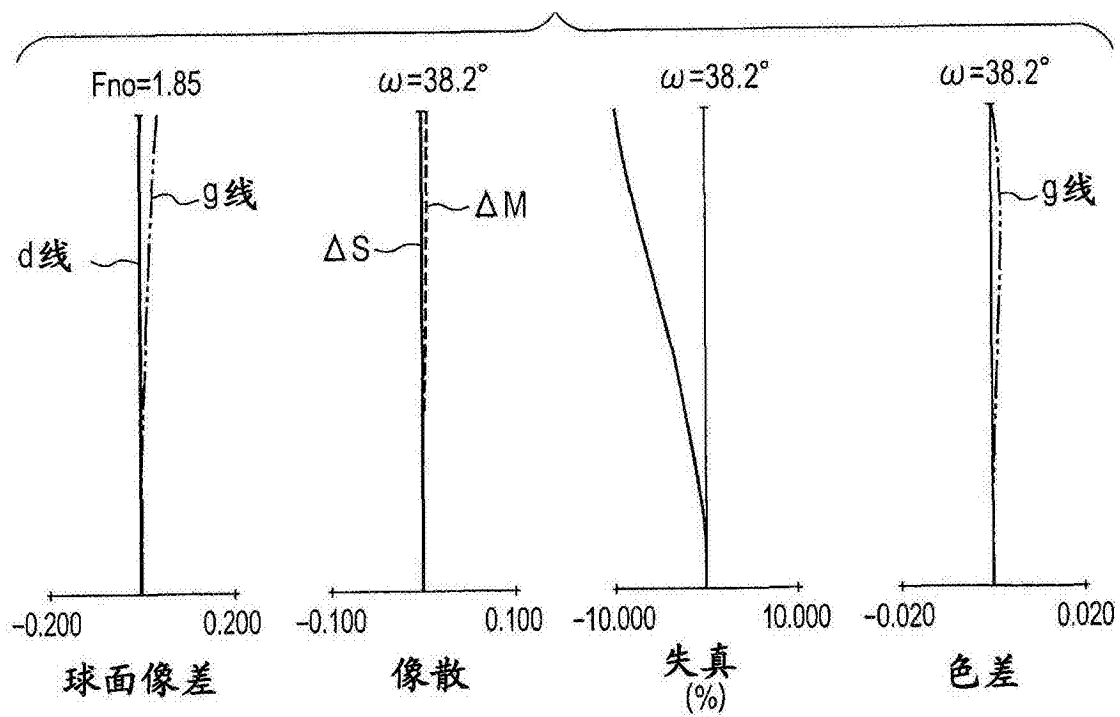


图6A

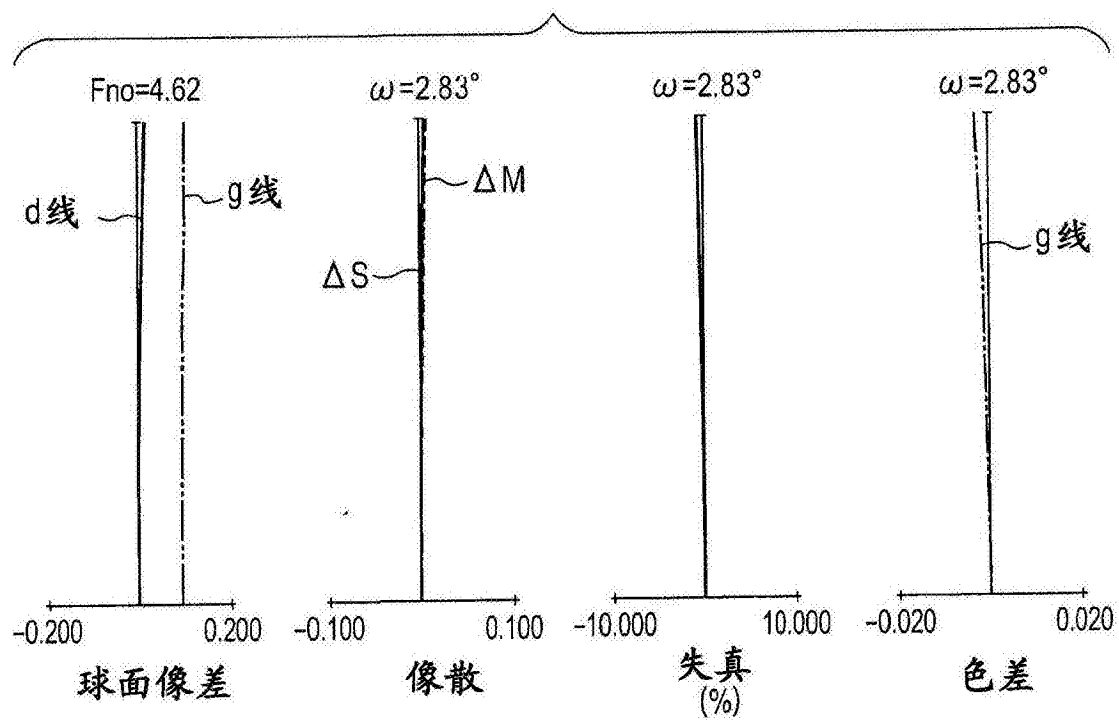


图6B

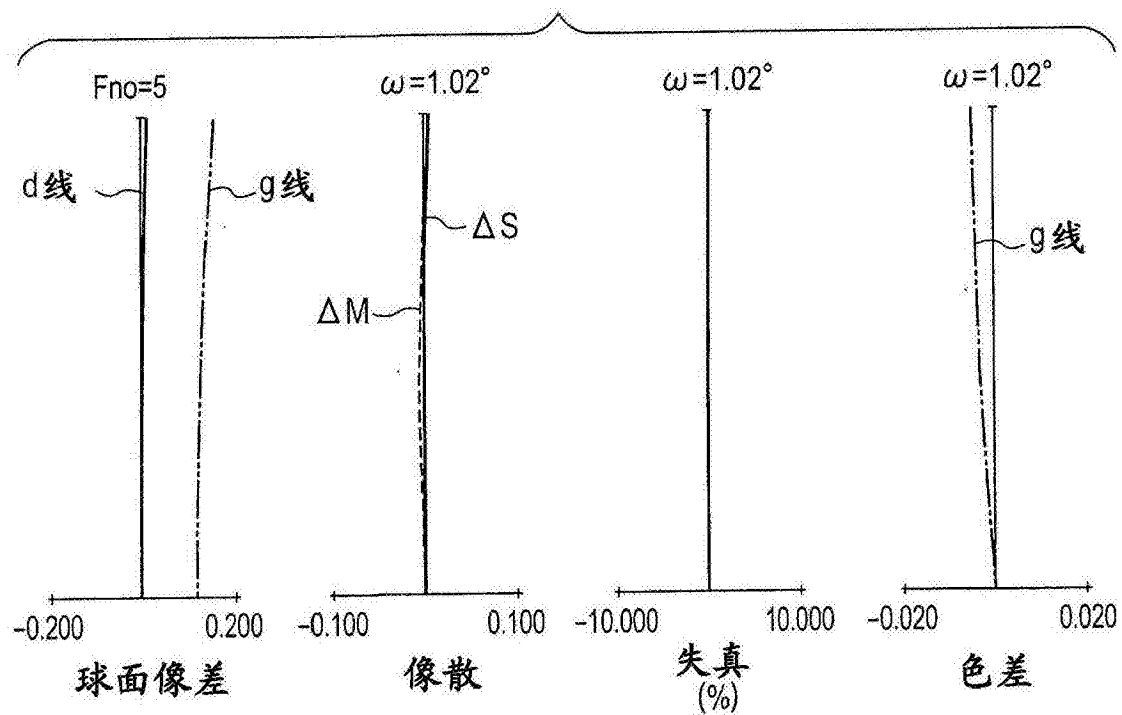


图6C

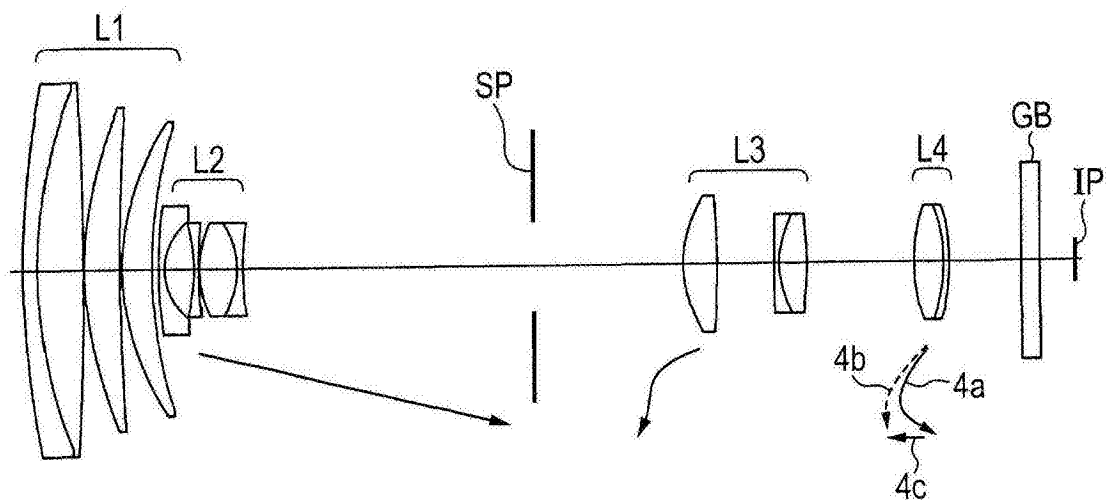


图7

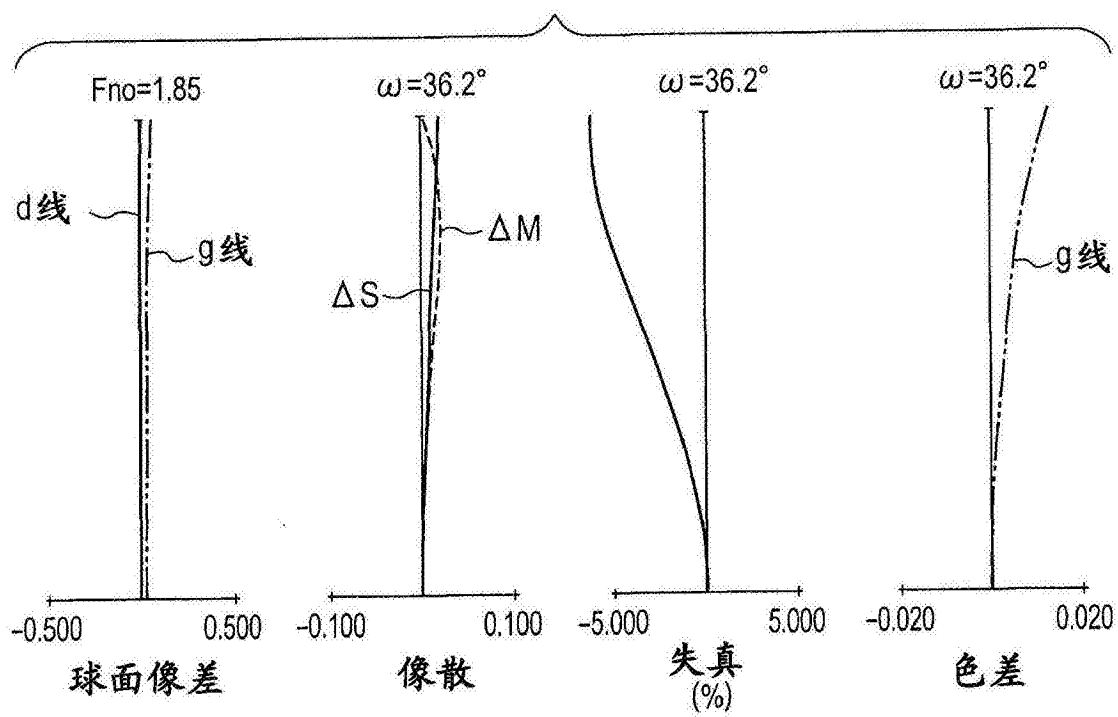


图8A

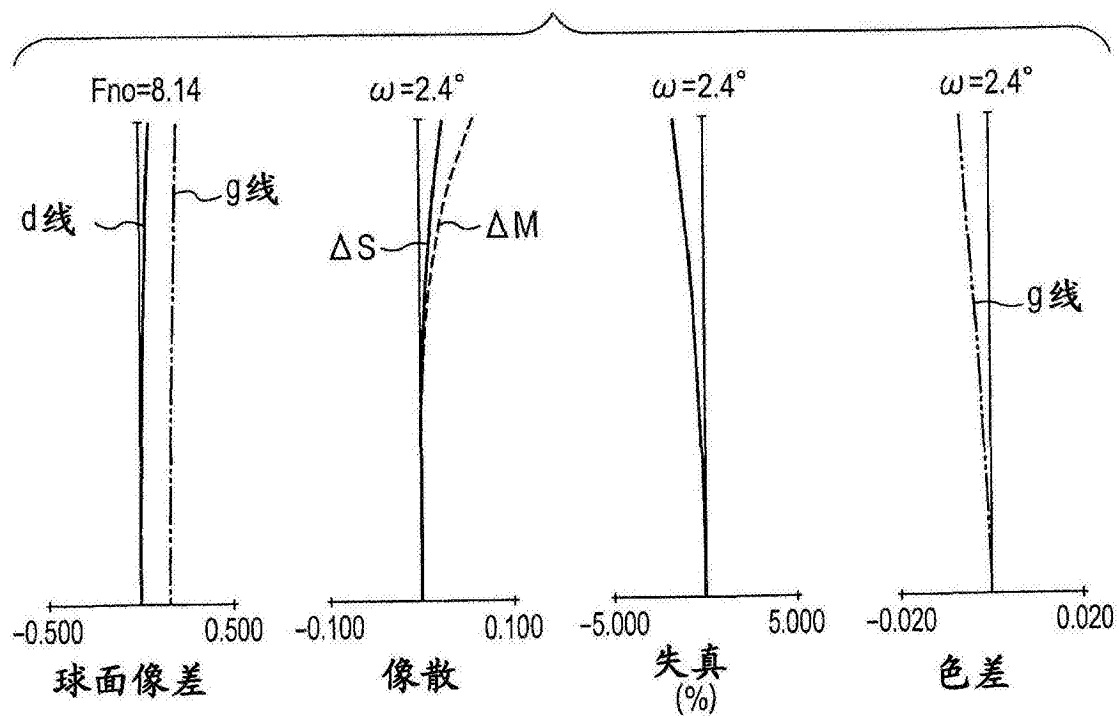


图8B

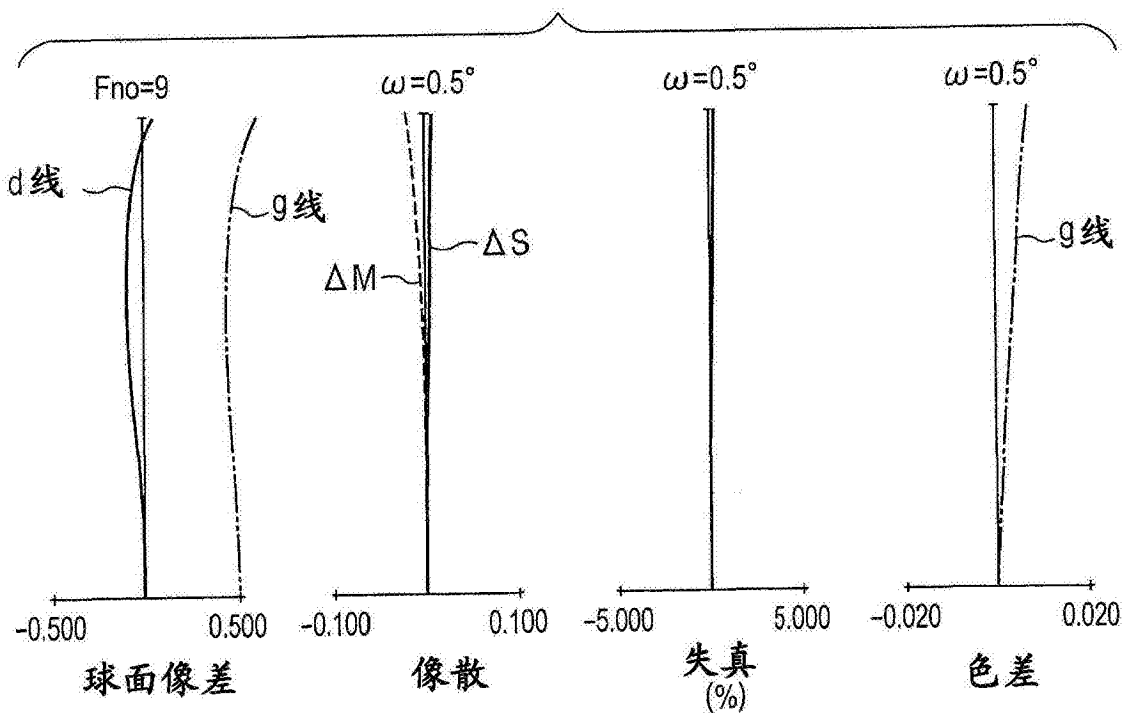


图8C

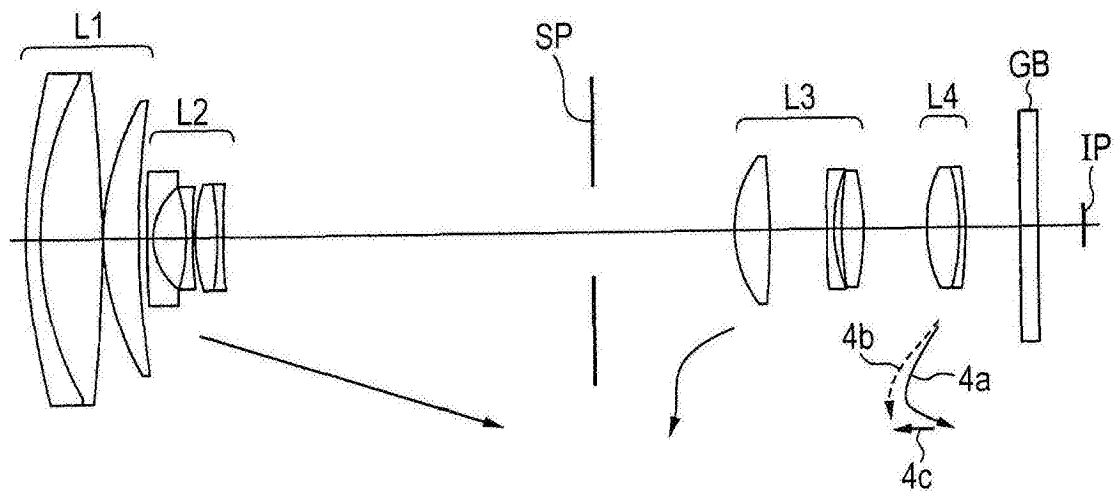


图9

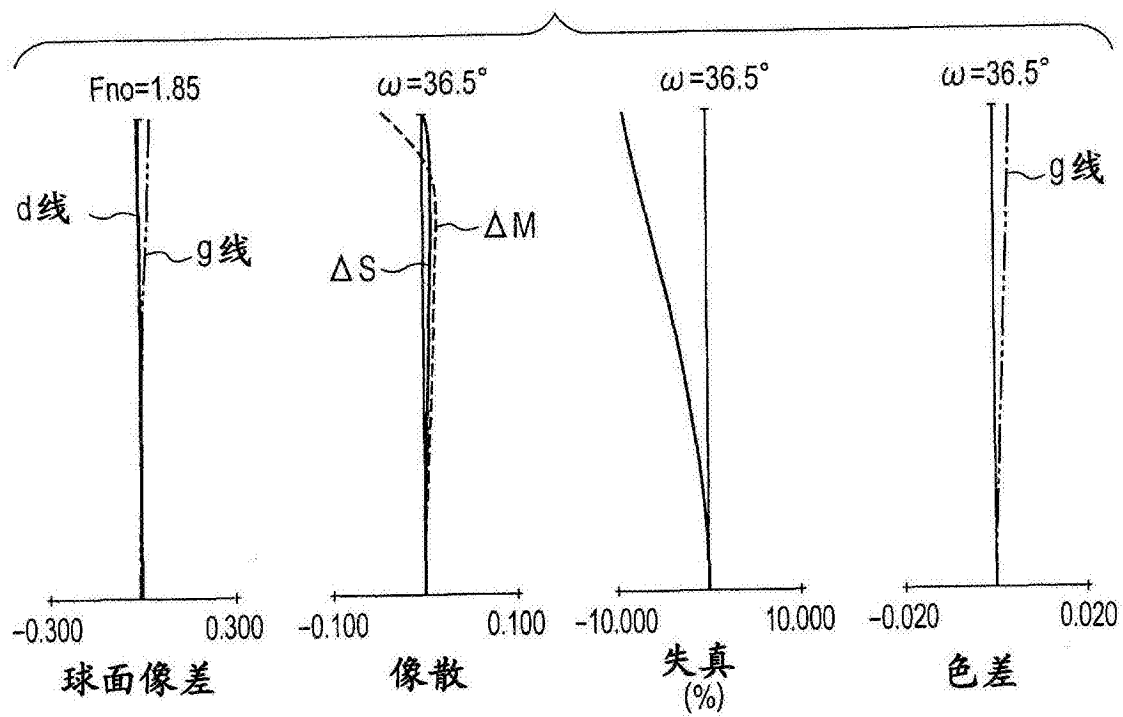


图10A

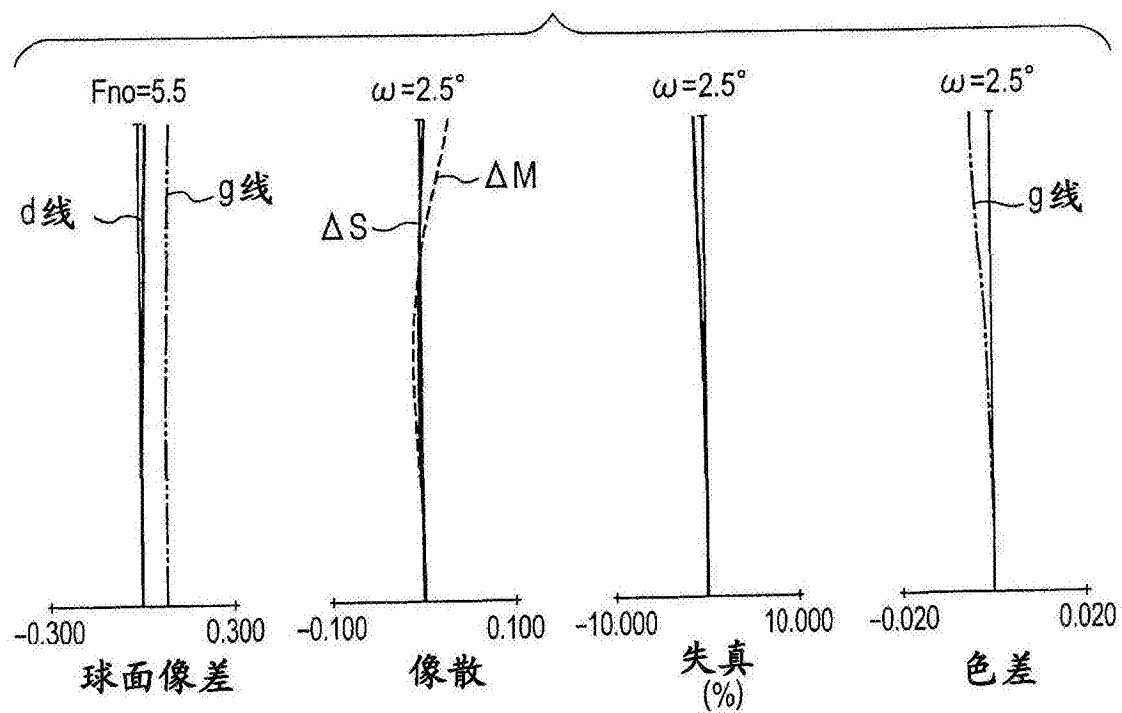


图10B

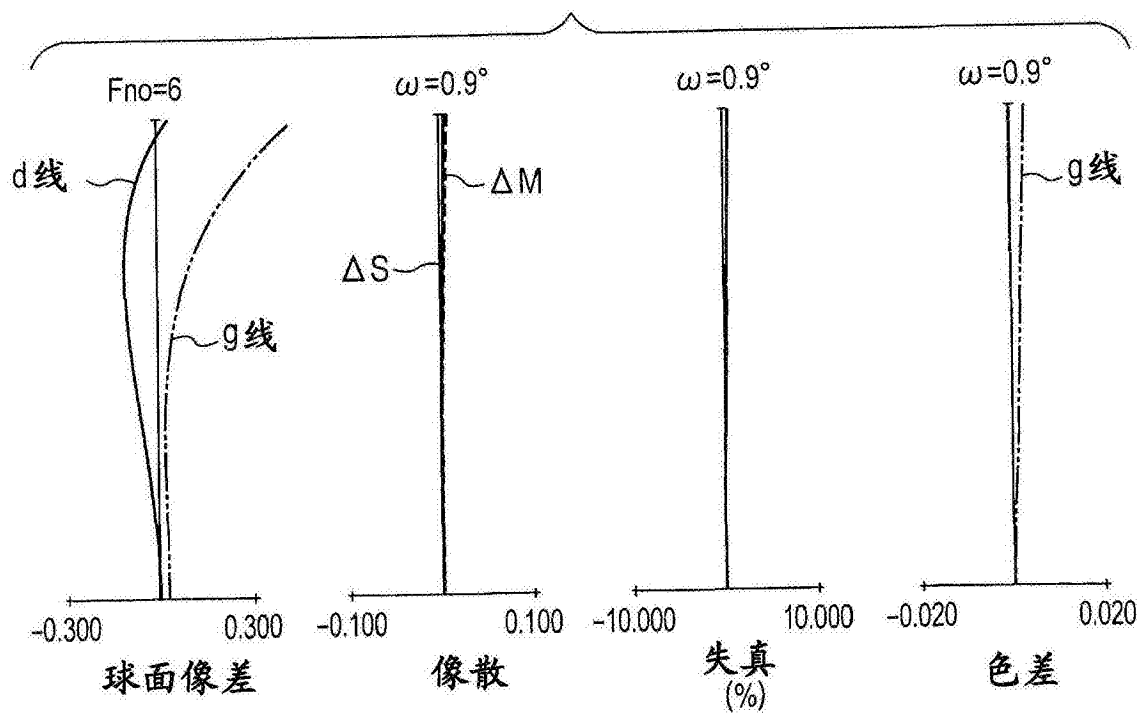


图10C

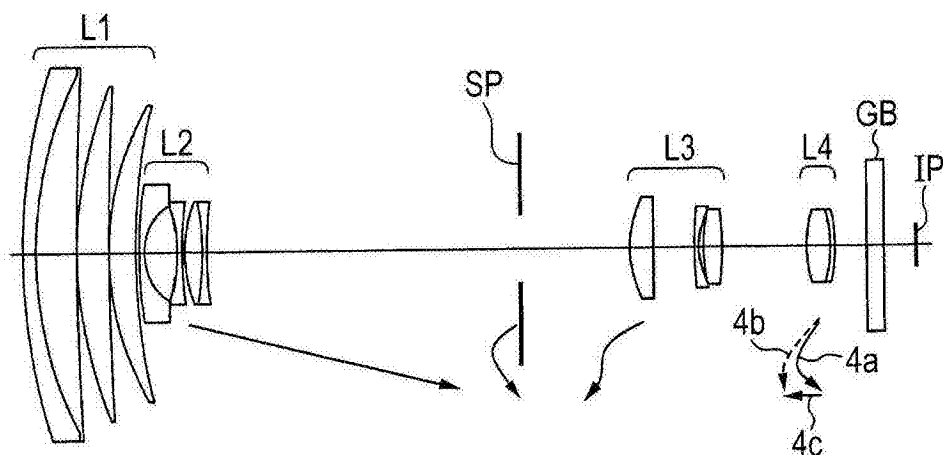


图11

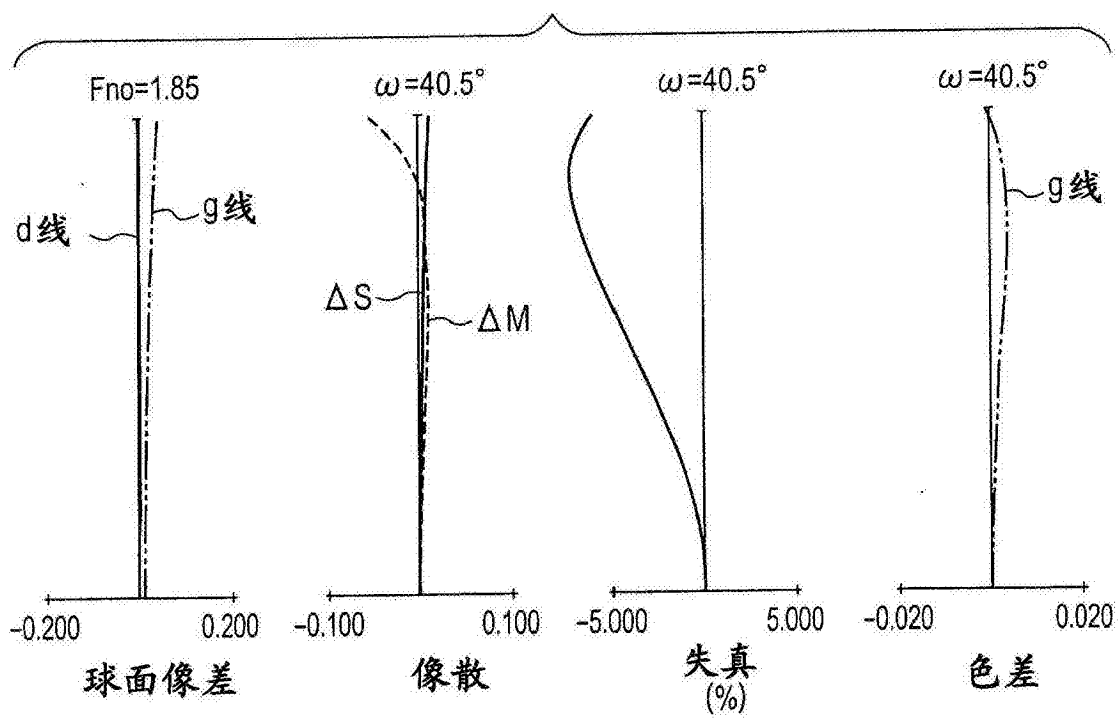


图12A

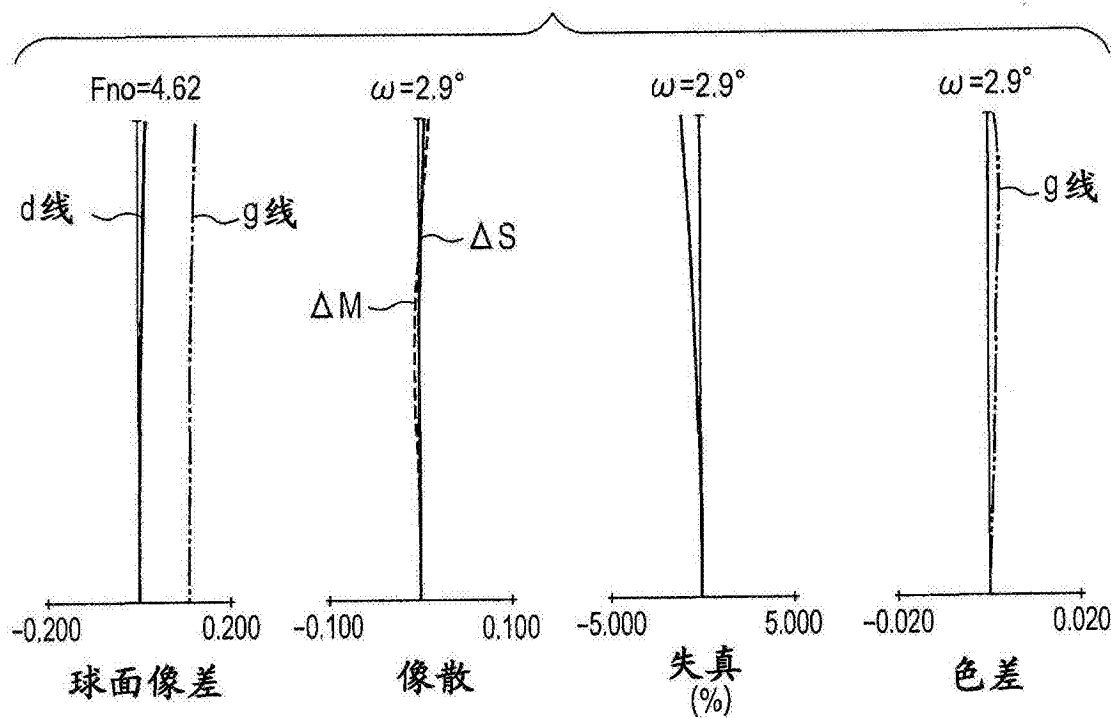


图12B

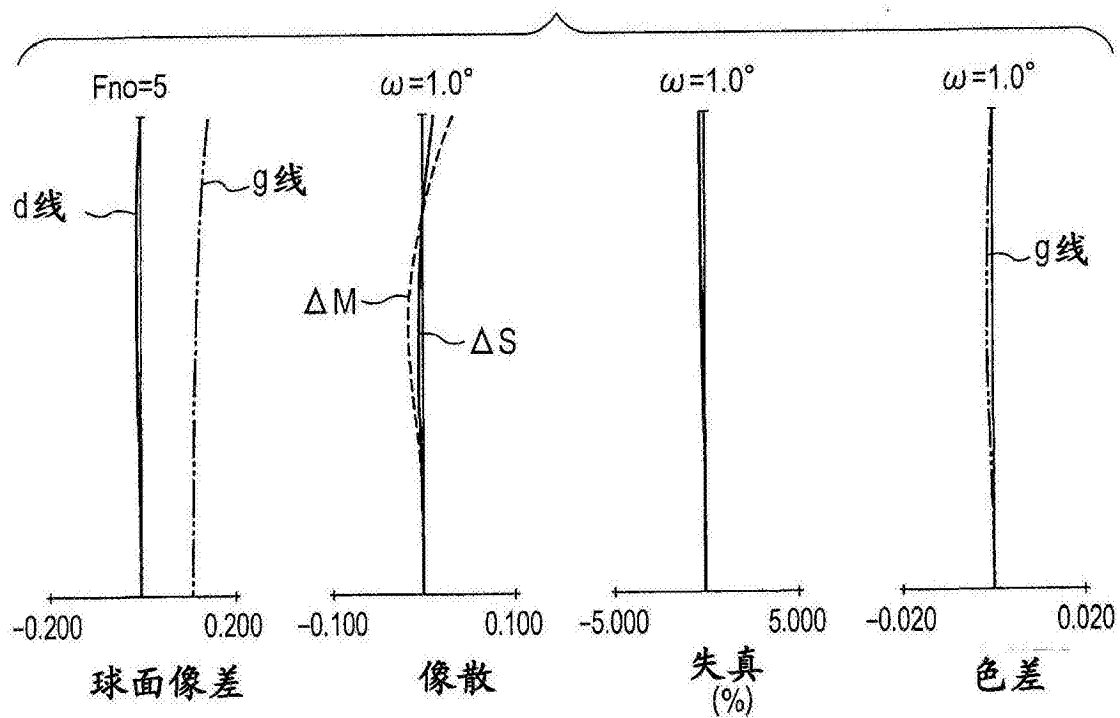


图12C

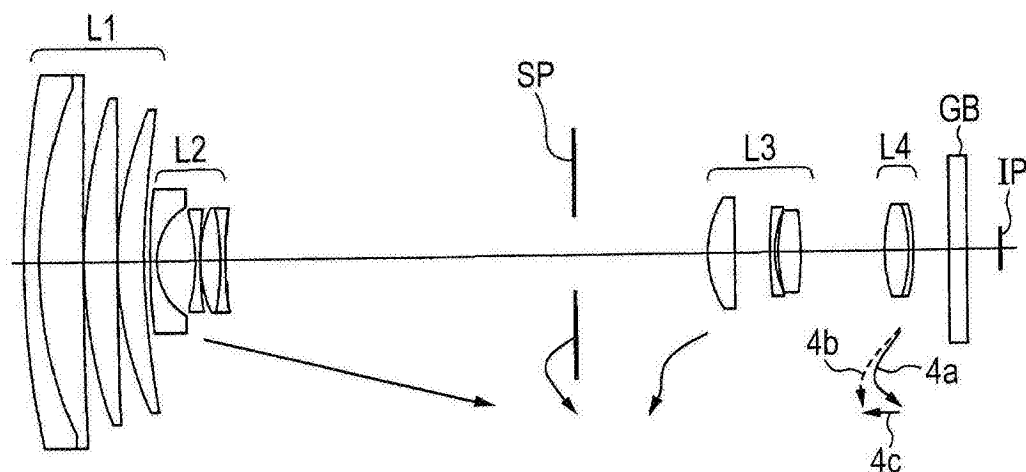


图13

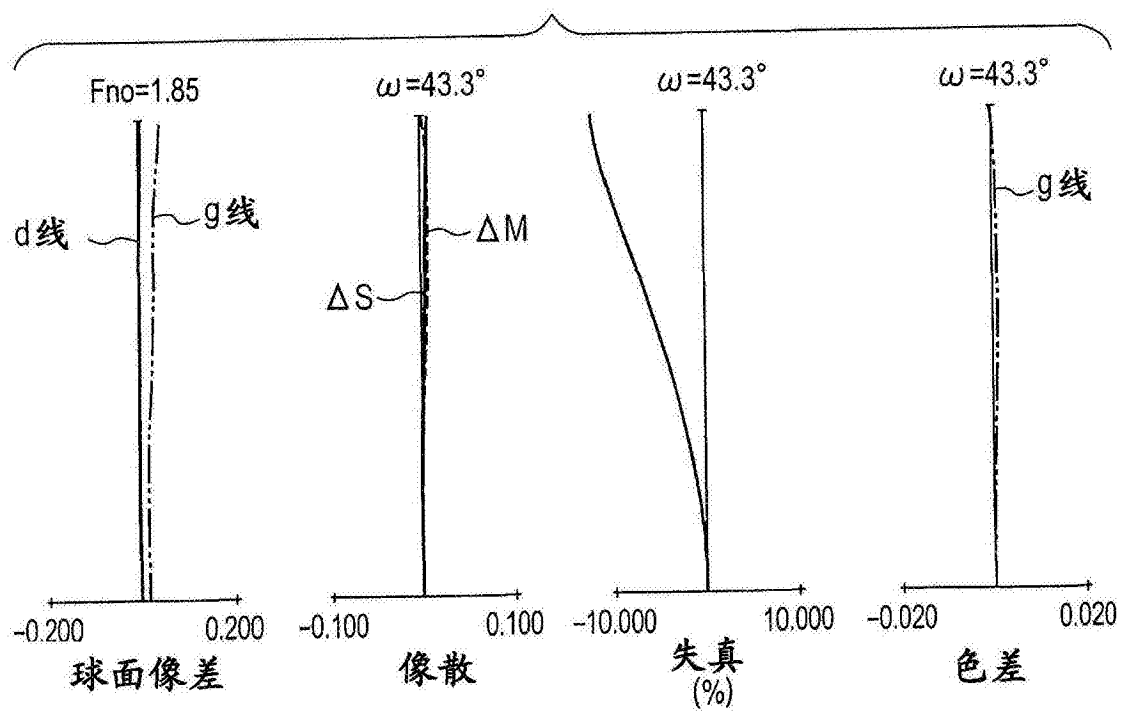


图14A

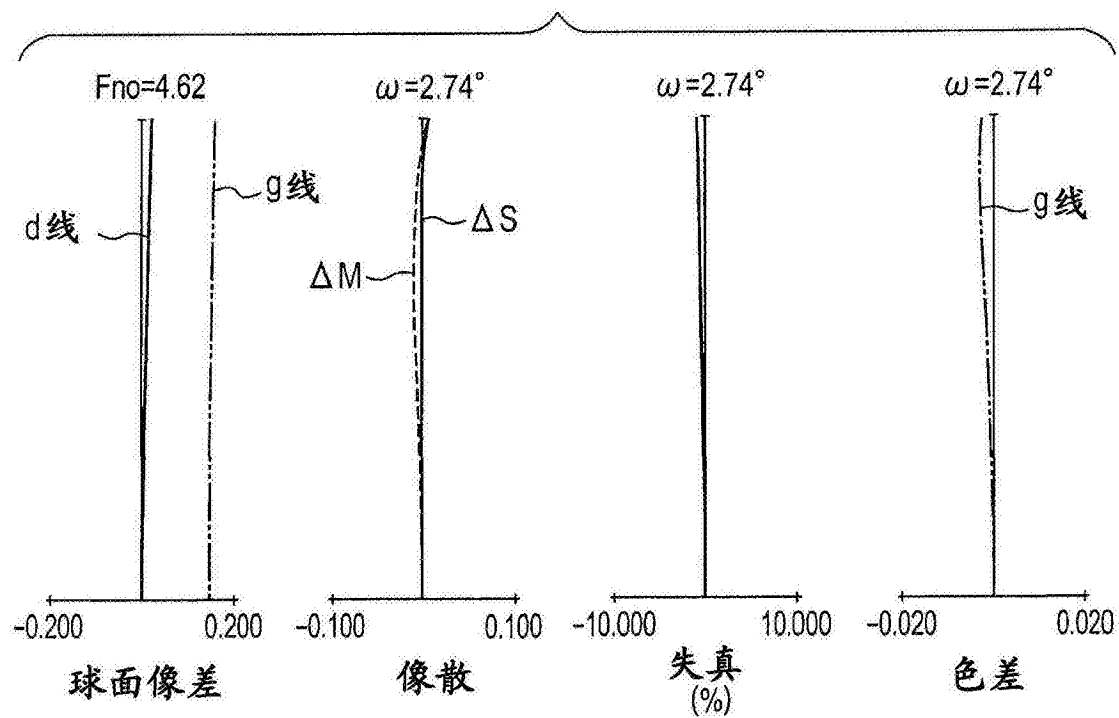


图14B

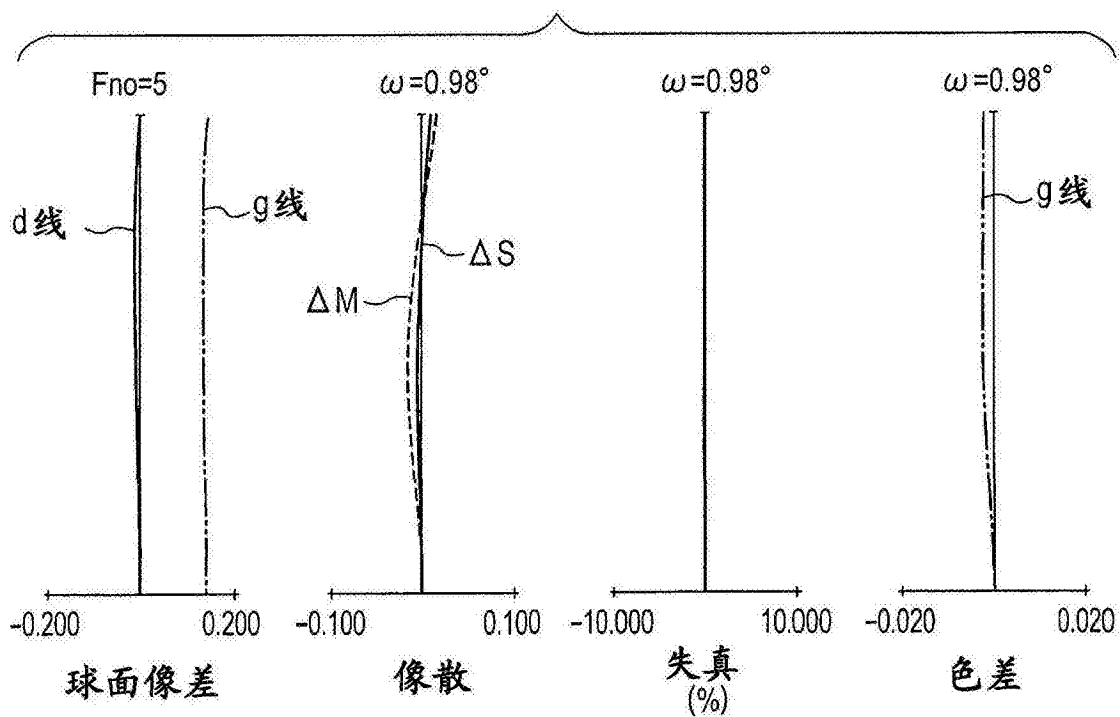


图14C

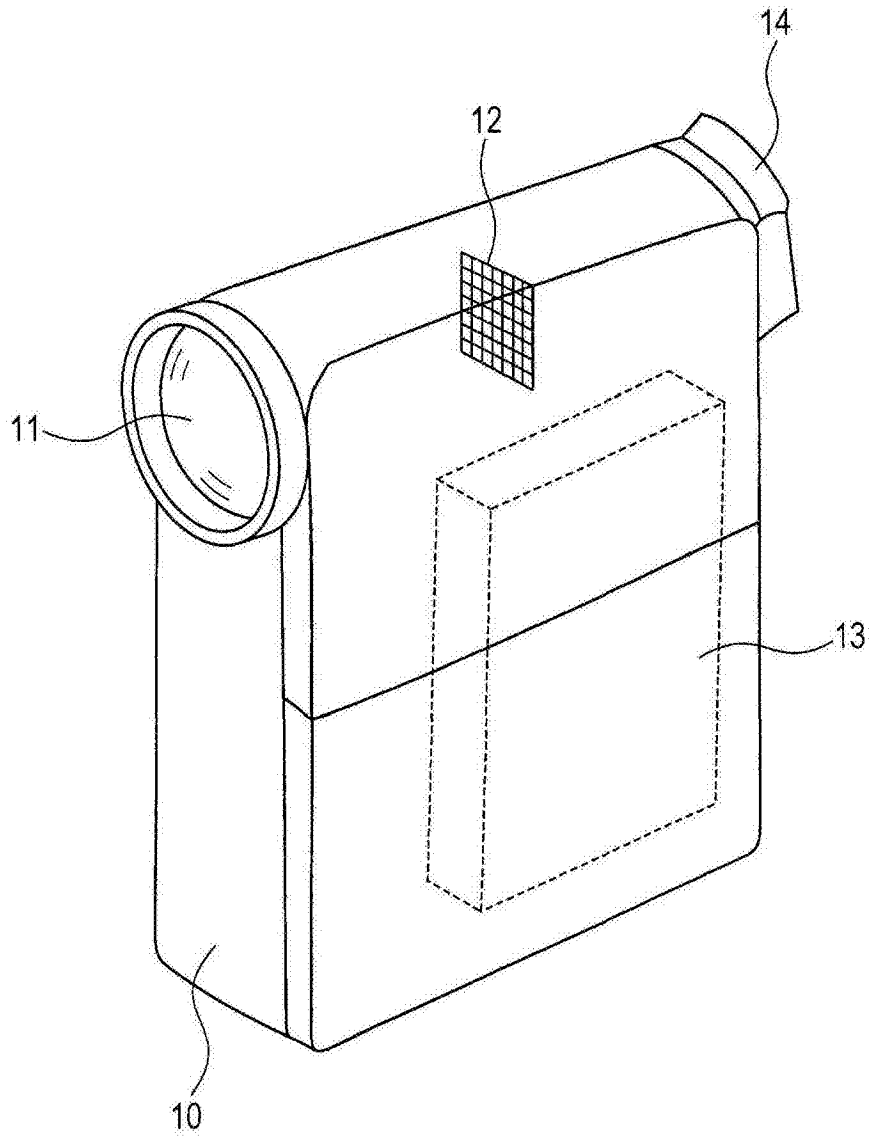


图15