

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410082101.4

G02B 13/02 (2006.01)

G02B 1/00 (2006.01)

G02B 15/00 (2006.01)

H04N 5/225 (2006.01)

[45] 授权公告日 2007 年 1 月 24 日

[11] 授权公告号 CN 1296745C

[22] 申请日 2004.12.15

[21] 申请号 200410082101.4

[30] 优先权

[32] 2003.12.16 [33] JP [31] 417974/2003

[73] 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 小川秀树

[56] 参考文献

US4915721A 1990.4.10 G03B19/02

US4435049A 1984.3.6 G02B13/02

US6381079B1 2002.4.30 G02B13/02

US6268969B1 2001.7.31 G02B13/02

审查员 韩黎敏

[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
代理人 许海兰

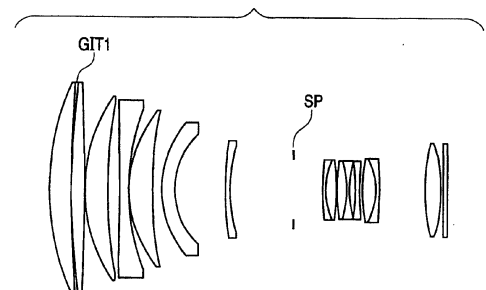
权利要求书 1 页 说明书 16 页 附图 8 页

[54] 发明名称

光学系

[57] 摘要

在光学系中，光入射侧和光射出侧都为折射面，当色散系数为 v_d ，部分色散比为 θ_{gd} 、 θ_{gF} 时，通过设置满足： $v_d < 30$ ； $\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot v_d + 1.40$ ； $\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot v_d + 0.67$ 的条件的固体材料 GIT1，从而可实现能够良好地校正色差等诸像差并且容易制造、耐环境性优良的光学系。



1. 一种光学系，其特征在于：

具有光入射侧和光射出侧都为折射面的固体材料，当设该固体材料的色散系数为 v_d 、部分色散比为 θ_{gd} 、 θ_{gF} 时，满足以下条件：

$$v_d < 30$$

$$\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot v_d + 1.40$$

$$\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot v_d + 0.67。$$

2. 根据权利要求 1 所述的光学系，其特征在于：上述固体材料为使无机微粒子分散于透明介质中的混合物。

3. 根据权利要求 2 所述的光学系，其特征在于：上述无机微粒子为铟锡氧化物微粒子。

4. 根据权利要求 1 所述的光学系，其特征在于：上述固体材料使用成型模进行光聚合成形或热聚合成形。

5. 根据权利要求 1 所述的光学系，其特征在于：上述固体材料的 2 个折射面中的至少一方的折射面为非球面。

6. 根据权利要求 1 所述的光学系，其特征在于：上述固体材料的 2 个折射面中的至少一方的折射面面对着空气。

7. 根据权利要求 1 所述的光学系，其特征在于：上述光学系在光电变换元件上成像。

8. 一种摄像装置，具有：

权利要求 1 所述的光学系和

对由该光学系形成的像进行受光的光电变换元件。

光学系

技术领域

本发明涉及一种使用具有异常部分色散的光学材料的的光学系，例如涉及适合于银盐胶片用照相机、数字静像照相机、摄像机等的光学系。

背景技术

一般在光学系中，全长越短，则轴上色差和倍率色差等色差恶化，存在光学性能下降的倾向。特别是在远距型的光学系中，焦距越长，则色差越大，全长缩短导致的色差的恶化显著。

作为降低这样的色差的发生的方法，使用异常部分色散材料的消色差和使用衍射光栅的消色差一般为人们所熟知。

在远距型的光学系中，一般在近轴轴上光线和光瞳近轴光线的距光轴的通过位置较高的前方透镜群，使用由萤石等具有异常部分色散的低色散材料构成的正透镜和由高色散材料构成的负透镜降低色差，这样的望远透镜提出有多种。（日本特公昭 60-49883 号公报（对应：美国 US4241983）、日本特公昭 60-55805 号公报（对应：美国 4348084）、日本特开平 11-119092 号公报（对应：美国 US6115188））

另外，还提出有不使用异常部分色散材料而是使用衍射光学元件进行望远透镜的色差校正的方案。在（日本特开平 6-324262 号公报（对应：US5790321）和日本特开平 6-331887 号公报（对应：美国 US5629799））公开了通过组合衍射型光学元件和折射型光学元件较好地校正色差的光圈数（F 数）F2.8 左右的望远透镜。

衍射光学元件的特征在于，与色散系数相当的数值的绝对值为 3.45，较小，仅是使衍射产生的光焦度（焦距的倒数）稍变化，基本上不会对球差、慧差、像散等产生影响，可使色差变化较大。另外，

由于为衍射光，所以，光焦度相对入射光的波长的变化产生线性变化，色差系数的波长特性为完全的直线。因此，当全长缩短时，只要主要对球差、慧差、像散的校正特殊化地进行像差校正即可。由于关于色差由衍射光学元件进行校正，所以，不用注意由全长缩短恶化了的色差的绝对量，只要能够获得色差系数的波长特性的线性地将构成透镜的玻璃材料和光焦度最佳化地进行设计即可。结果，可获得全长缩短了的望远透镜。

另外，作为具有近似于衍射光学元件的色差校正作用的材料，已知表现出较高色散而且较异常部分色散的特性的液体材料，提出有使用其的消色差光学系（美国专利第 4913535 号）。

在公开于日本特公昭 60-49883 号公报（对应：美国 US4241983）、日本特公昭 60-55805 号公报（对应：美国 US4348084）、日本特开平 11-119092 号公报（对应：美国 US6115188）的那样的使用萤石等的望远透镜中，当将光学全长设得较长时，可较良好地校正色差，但难以校正由全长缩短带来的色差的恶化。这是因为，该手法仅是利用萤石等材料具有的低色散和异常部分色散降低前透镜自身发生的色差。要想校正由于全长缩短而恶化了的色差，例如在使用萤石那样的色散系数大的低色散玻璃的透镜中，如不使透镜面的光焦度变化较大，则色差不变化，所以，难以同时满足色差的校正与球差、慧差、像散等诸像差的校正。

另一方面，衍射光学元件虽然具有充分的色差校正作用，但实际使用的设计衍射次数的衍射光以外的不需要的衍射次数的衍射光成为带颜色的闪耀光，存在使成像性能恶化的问题。由使多个闪耀型衍射光栅在光轴方向叠层的所谓叠层型衍射光学元件，使能量朝设计衍射次数集中，大幅度减少不需要的衍射光，但依然余留下当对高辉度的景物进行摄影时发生衍射闪耀的问题。

另外，作为衍射光学元件的制造方法，已知有用金属模成型紫外线硬化树脂等的方法，但衍射光学元件的衍射效率的制造敏感度极高，需要非常高的金属模精度和成型精度，也存在制造成本高的问题。

公开于美国专利第 4913535 号的材料由于为液体，所以，需要对其进行密封的构造，制造不能说容易。另外，还存在温度导致的折射率、色散特性等的特性变化的问题，不能说耐环境性充分。另外，色散系数较大，异常部分色散性也较小，而且，不能获得与空气的界面，所以，还存在难以获得充分的色差校正作用。

发明内容

本发明就是鉴于这些已有技术例的问题点而作出的，其目的在于提供一种可良好地校正色差等诸像差并且容易制造、耐环境性优良的光学系。

为了达到上述目的，本发明例示的光学系的特征在于：具有光入射侧和光射出侧都为折射面的固体材料，当设该固体材料的色散系数为 ν_d 、部分色散比为 θ_{gd} 、 θ_{gF} 时，满足以下条件：

$$\nu_d < 30$$

$$\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot \nu_d + 1.40$$

$$\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot \nu_d + 0.67$$

在本发明中，色散系数 ν_d 、部分色散比 θ_{gd} 、 θ_{gF} 的定义与一般使用的定义相同，当设相对 g 线、F 线、d 线、C 线的折射率分别为 N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C 时，分别由下式表示。

$$\nu_d = (N_d - 1) / (N_F - N_C)$$

$$\theta_{gd} = (N_g - N_d) / (N_F - N_C)$$

$$\theta_{gF} = (N_g - N_F) / (N_F - N_C)$$

另外，在本发明中，固体材料指在使用光学系的状态下为固体的材料，但并未提及在制造时等使用光学系之前的状态。例如，在制造时即使为液体材料，只要使其硬化形成为固体材料，也与在本发明中所说的固体材料相当。

附图说明

图 1 为数值实施例 1 的望远透镜的光学系截面图。

图 2 为数值实施例 1 的望远透镜的无限远对焦状态下的像差图。

图 3 为数值实施例 2 的望远透镜的光学系截面图。

图 4 为数值实施例 2 的望远透镜的无限远对焦状态下的像差图。

图 5 为数值实施例 3 的变焦透镜的光学系截面图。

图 6 为数值实施例 3 的变焦透镜的广角端的无限远对焦状态下的像差图。

图 7 为数值实施例 3 的变焦透镜的中间焦距的无限远对焦状态下的像差图。

图 8 为数值实施例 3 的变焦透镜的望远端的无限远对焦状态下的像差图。

图 9 为数值实施例 4 的变焦透镜的光学系截面图。

图 10 为数值实施例 4 的变焦透镜的广角端的无限远对焦状态下的像差图。

图 11 为数值实施例 4 的变焦透镜的中间焦距的无限远对焦状态下的像差图。

图 12 为数值实施例 4 的变焦透镜的望远端的无限远对焦状态下的像差图。

图 13A、13B、13C 为说明 ITO 的色散特性的特征的示意图。

图 14 为示出作为摄影光学系使用本发明的光学系的数字静像照相机的例子的示意图。

具体实施方式

下面说明本发明的光学系的实施形式。本发明的光学系的特征在于，使高色散、部分色散比低的固体材料具有折射作用。

首先，说明高色散光学材料对光学系的像差校正产生的作用。

如设折射透镜的面的光焦度变化为 $\Delta\psi$ ，色散系数为 ν ，近轴轴上光线（将光学系全系的焦距归一化为 1，在光学系中与光轴平行、距光轴的高度为 1 地入射的近轴光线。物体处于光学系的左侧，从物体侧进入到光学系的光线从左朝右前进。）和光瞳近轴光线（将光学系全系的焦距归一化为 1，相对光轴按 -45° 入射的光线中的通过光学系

的入射光瞳与光轴的交点的近轴光线。相对光学系的入射角度从光轴测量时，顺时针方向为正，逆时针方向为负。另外，物体处于光学系的左侧，从物体侧入射到光学系的光线从左朝右前进。)通过透镜面的距光轴的高度分别为 h 、 H ，则在该透镜面的轴上色差系数的变化 ΔL 和倍率色差系数的变化 ΔT 如以下那样表示。

$$\Delta L = h^2 \cdot \Delta \psi / \nu \quad \dots (a)$$

$$\Delta T = h \cdot H \cdot \Delta \psi / \nu \quad \dots (b)$$

从式 (a) 和式 (b) 可知，各像差系数相对透镜面的光焦度变化产生的变化随着色散系数的绝对值的减小（即色散增大）而增大。因此，如使用色散系数的绝对值小的高色散材料，则用于获得所需要的色差的光焦度变化量可较小。这在像差理论上意味着不对球差、慧差、像散等产生大的影响即可控制色差，色差校正的独立性提高。相反，当使用低色散材料时，用于获得必要的色差的光焦度变化量增大，与此相随，球差等诸像差产生大的变化，色差校正的独立性减弱。因此，构成光学系的透镜内的至少 1 个透镜面为由高色散材料形成的折射透镜面对像差校正很重要。

下面，在为高色散这一状态的基础上，说明低部分色散比的光学材料对光学系的像差校正产生的作用。

如公知的那样，在光学材料的折射率的波长依存特性（色散特性）中，色散系数表示色散特性曲线整体的倾斜，部分色散比表示色散特性曲线的弯曲情况。

一般光学材料的短波长侧的折射率比长波长侧的折射率高（色散系数为正的），色散特性曲线朝下凸（部分色散比为正的），越往短波长侧，则折射率相对波长的变化所产生的变化越大。另外，越是色散系数小的高色散的光学材料则部分色散比越大，色散特性曲线具有朝下更凸的倾向。

在部分色散比大的光学材料中，使用该材料的透镜面的色差系数的波长依存特性曲线与使用部分色散比小的光学材料的场合相比在短波长侧示出更大的弯曲。此时，为了控制色差，当使透镜面的光焦度变化时，色差系数波长特性曲线以设计基准波长的位置为回转中心使

整体的倾斜变化。关于该变化，对于部分色散比大的材料，与部分色散比小的材料相比，特别是短波长侧的移动增大，一边较大地使弯曲量变化一边使整体的倾斜变化。为此，即使改变其它折射系部分的玻璃，也难以形成在色差系数波长依存特性曲线消除整体的倾斜和弯曲双方的构成，在波长区整体不能校正色差。

下面以由使用高色散材料的折射光学系部分 GIT 和此外的折射光学系部分 G 构成的超望远透镜的消色差为例进行说明。

在使用高色散光学材料的消色差的场合，在部分 GIT 与部分 G 之间可消除相互的较大的色差系数，获得全系的色差。为此，首先，从部分 G 作为部分系受到某种程度的校正的状态偏往较高色散地选择构成部分 G 的正透镜，同时，偏往较低色散地选择负透镜。这样，部分 G 的色差系数波长依存性曲线比原来的状态增大线性，同时，整体的倾斜变化。

在该状态下，使部分 GIT 具有适当的光焦距，消除部分 G 的色差波长依存特性曲线整体的倾斜。可是，在由部分色散比大的光学材料构成部分 GIT 的场合，部分 GIT 比部分 G 的像差系数波长依存特性曲线的弯曲朝相反方向具有更大的弯曲，所以，整体的倾斜成分即使可消除，也不能消除弯曲成分。

在由部分色散比小的光学材料构成部分 GIT 的场合，部分 GIT 的色差系数波长依存特性曲线示出相对较高的直线性，所以，即使为了控制色差而使光焦距变化，也可在维持相对较高的直线性的状态下以设计波长的位置为回转中心改变倾斜。因此，在部分 GIT 与部分 B，可较为容易地同时消除色差系数波长依存特性曲线的倾斜成分和弯曲成分。

即，作为部分 GIT，为高色散并且部分色散比较小的光学材料也很重要，在本发明中，特定的以下所示条件式 (1)、(2) 及 (3) 表示根据以上说明的原理良好地校正色差的色散系数与部分色散比的关系。

$$\nu d < 30 \quad \dots (1)$$

$$\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 1.40 \quad \dots (2)$$

$$\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 0.67 \quad \dots (3)$$

其中， νd 为折射光学系部分（透镜或层）GIT 的色散系数，当分别设相对 d 线、F 线、及 C 线的折射率为 N_d 、 N_F 、 N_C 时，用下式表示。

$$\nu d = (N_d - 1) / (N_F - N_C)$$

另外， θ_{gd} 、 θ_{gF} 为折射光学系部分（透镜或层）GIT 的部分色散比，相对 g 线、F 线、d 线、C 线的折射率分别为 N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C 时，分别由下式表示。

$$\theta_{gd} = (N_g - N_d) / (N_F - N_C)$$

$$\theta_{gF} = (N_g - N_F) / (N_F - N_C)$$

即使偏离上述 (1) ~ (3) 所示任一条件式，也由于难以良好地修正色差，所以不理想。

条件式 (1) 的数值范围处于以下所示范围时，色差的独立校正效果提高，可获得良好的光学性能。

$$\nu d < 20 \quad \dots (1a)$$

如为以下所示范围，则更理想。

$$\nu d < 18 \quad \dots (1b)$$

如为以下所示范围，则更理想。

$$\nu d < 16 \quad \dots (1c)$$

如为以下所示范围，则更理想。

$$\nu d < 14 \quad \dots (1d)$$

条件式 (2) 和 (3) 的数值范围满足条件式 (1)、(1a)、(1b)、(1c) 或 (1d) 后，如在以下所示范围，则可获得更良好的光学性能。

即，

$$\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 1.30 \quad \dots (2a)$$

$$\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 0.59 \quad \dots (3a)$$

如为以下所示范围，则更理想。

$$\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 1.25 \quad \dots (2b)$$

$$\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 0.56 \quad \dots (3b)$$

如为以下所示范围，则更理想。

$$\theta_{gd} < -3.333 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 1.2375 \quad \dots (2c)$$

$$\theta_{gF} < -2.615 \times 10^{-3} \cdot \nu d + 0.55 \quad \dots (3c)$$

如为以下所示范围，则更理想。

$$\theta_{gd} < 1.1137 \quad \dots (2d)$$

$$\theta_{gF} < 0.47 \quad \dots (3d)$$

另外，作为满足上述条件式(1)~(3)的固体的光学材料的具体例，具有使下述无机氧化物微粒子分散到合成树脂中的混合物。即， TiO_2 ($\text{nd}=2.2652$, $\text{vd}=11.8$)， Nb_2O_5 ($\text{nd}=2.367$, $\text{vd}=14.0$)， ITO ($\text{nd}=1.8581$, $\text{vd}=5.53$)， Cr_2O_3 ($\text{nd}=2.2178$, $\text{vd}=13.4$)， BaTiO_3 ($\text{nd}=2.4362$, $\text{vd}=11.3$)等。

其中， ITO (铟锡氧化物)与其它物质相比，具有特别小的色散系数，所以较理想。 ITO 与通常的物质不同，由导电性获得的自由载流子对折射率产生影响。 ITO 的色散特性(图13C)在由通常的电子跃迁产生的短波长区的折射率的变化(图13A)加上由自由载流子产生的红外区域的折射率色散(图13B)而形成。这样，示出具有色散系数为5.53这样的异常大的倾斜的色散特性波长依存性。

另外，电子跃迁产生的折射率色散(图13A)在可见区域在短波长侧急剧变化，而由自由载流子产生的折射率色散(图13B)在变化可见区域中的长波长侧急剧变化。通过组合该2个影响，部分色散相比于通常情况要小。

作为透明、预想到自由载流子的影响的材料，可列举出 SnO_2 和 ATO (锑掺杂后获得的 SnO_2)和 ZnO 等也列举为其候补。

ITO 已知为构成透明电极的材料，通常用于液晶显示元件、EL (电致发光)元件等。另外，作为其它用途，用于红外线遮蔽元件、紫外线遮蔽元件。在过去已知的 ITO 的用途中，厚度限于50~500nm的范围，作为微粒子的混合物，不存在用于光学系的色差校正的例子。

ITO 的微粒子的平均直径在考虑散射等的影响时，为2nm~

50nm 左右较好，为了抑制凝集，也可添加分散剂等。

作为使 ITO 分散的介质材料，单体较好，通过使用成型模等进行光聚合成形或热聚合成形，从而可获得较高的批量生产率。

另外，作为单体的光学常数的特性，色散系数较小的单体或部分色散比较小的单体或满足两者的单体较好，可列举出 N-聚乙烯吡啶、苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯等。在后述的实施例中，作为使 ITO 微粒子分散的介质材料使用聚甲基丙烯酸甲酯，但不限于此。

使纳米微粒子分散的混合体的色散特性 ($N\lambda$) 可根据为人们所熟知的 Drude 的式子导出的下式简单地计算。即，

$$N(\lambda) = [1 + V \{N_{ITO}^2(\lambda) - 1\} + (1 - V) \{N_p^2(\lambda) - 1\}]^{1/2} \quad \dots (c)$$

其中， λ 为任意的波长， N_{ITO} 为 ITO 的折射率， N_p 为聚合物的折射率， V 为 ITO 微粒子的总体积相对聚合物体积的比例。

在本实施例中，提出将满足条件式 (1) ~ (3) 的材料适用于光学系中的透镜和设于透镜表面的层的方案。如使由该材料构成的折射面为非球面，则可校正颜色的球差等色差闪耀。另外，如在该材料与空气等气氛形成界面，或由较低折射率的材料形成界面，则可由界面的很小的曲率变化使色差产生较大的变化，所以，较为理想。

(实施例)

下面说明将满足条件式 (1) ~ (3) 的材料应用于具体的光学系的实施例。在这里，作为满足条件式 (1) ~ (3) 的材料，使用 ITO 微粒子分散材料。

图 1 为数值实施例 1 的光学系的截面图，为在焦距 400mm 的超望远透镜中使用 ITO 微粒子的混合体的例子。在图 1 中，由 GIT1 示出由 ITO 形成的透镜 (层)，SP 为孔径光阑。图 2 为数值实施例 1 的光学系的无限远对焦状态下的像差图。在图 1 中，左侧为物体侧 (前方)，右侧为像侧 (后方)，这与其它数值实施例也同样。

在数值实施例 1 的光学系中，将 ITO 导入到从近轴轴上光线的距光轴的通过位置变得较高的物体侧。使由 ITO 形成的透镜 (层)

GIT1 具有负的光焦度，主要通过校正轴上色差，获得望远比 0.595 的非常紧凑的超望远透镜。

图 3 为数值实施例 2 的望远透镜的光学系截面图，为在焦距 400mm 的超望远透镜使用 ITO 微粒子的混合体的例子。在图 3 中，由 GIT1、GIT2 示出由 ITO 形成的透镜（层），SP 为孔径光阑。图 4 为数值实施例 2 的光学系的无限远对焦状态下的像差图。

在数值实施例 2 的光学系中，将 ITO 导入至从近轴轴上光线的距光轴的通过位置较高的物体侧（GIT1）与近轴轴上的光线的通过位置较低而且光瞳近轴光线的通过位置较高的光阑的像侧（GIT2）。分别将负的光焦度与正的光焦度提供给由 ITO 形成的透镜（层）GIT1、GIT2，强力地修正轴上色差和倍率色差，从而获得望远比 0.573 的非常紧凑的超望远透镜。

图 5 为数值实施例 3 的变焦透镜的光学系截面图，为在由正的光焦度的第 1 透镜群 L1、负的光焦度的第 2 透镜群 L2、正的光焦度的第 3 透镜群 L3、正的光焦度的第 4 透镜群 L4 构成的变焦比 4 的 4 群构成的变焦透镜使用 ITO 微粒子的混合体的例子。在图 5 中，由 GIT1 ~ GIT4 示出由 ITO 形成的透镜（层），SP 为孔径光阑。图 6 ~ 图 8 分别为数值实施例 3 的光学系（变焦透镜）的广角端、中间焦距、望远端的无限对焦状态下的像差图。

在数值实施例 3 的光学系中，将 ITO 各 1 个地引入至构成变焦透镜的各透镜群 L1 ~ L4。然后，将与各透镜群的光焦度的符号相反的符号的光焦度提供给由 ITO 形成的透镜（层），降低各透镜群内的色差，从而实现紧凑化。

图 9 为数值实施例 4 的光学系的截面图，为在正的光焦度第 1 透镜群 L1、负的光焦度的第 2 透镜群 L2、正的光焦度的第 3 透镜群 L3、正的光焦度的第 4 透镜群 L4 构成的变焦比 6 倍的 4 群构成的变焦透镜使用 ITO 微粒子的混合体的例子。在图 9 中，由 GIT1 ~ GIT4 示出由 ITO 形成的透镜（层），SP 为孔径光阑。图 10 ~ 图 12 分别为数值实施例 4 的光学系（变焦透镜）的广角端、中间焦距、望远端的无限

对焦状态下的像差图。

在数值实施例 4 的光学系中，将 ITO 各 1 个地导入至构成变焦透镜的各透镜群 L1~L4。然后，将与各透镜群的光焦度的信号相反的符号的光焦度提供给由 ITO 形成的透镜（层），降低各透镜群内的色差，从而实现紧凑化。

以下，示出数值实施例 1~4 的具体的数值数据。在各数值实施例中，i 示出从物体侧计数的顺序，R_i 为第 i 个光学面（第 i 面）的曲率半径，D_i 为第 i 面与第 (i+1) 面间的轴上间隔，N_i、v_i 分别为第 i 个（由 ITO 微粒子色散材料以外的材料形成的透镜（层）除外）的光学构件的材料相对 d 线的折射率、色散系数。由 ITO 形成的透镜 GIT_j 相对 d 线的折射率、色散系数另行由 NGIT_j、vGIT_j (j=1、2、...) 示出。f 为焦距，Fno 为光圈数，ω 为半视场角。

另外，非球面形状在 X 为从光轴方向的面顶点的位移量，h 为与光轴垂直的方向的距光轴的高度，r 为近轴曲率半径，k 为圆锥常数，B、C、D、E... 为各次数的非球面系数时，由

$$x(h) = \frac{(1/r) h^2}{1 + \sqrt{\{1 - (1+k) (h/r)^2\}}} + B h^4 + C h^6 + D h^8 + E h^{10} \dots$$

表示。各非球面系数中的“E±XX”意味着“×10^{±XX}”。

各数值实施例的最像侧的平面（曲率半径∞的面）相当于插入滤色器、光的低通滤色器、红外滤色器等。

在各数值实施例中，ITO 都是在体积比例 20% 分散于聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）中的状态下使用。ITO 与聚甲基丙烯酸甲酯的混合体的折射率使用按上述 (c) 式计算获得的值计算，表 1 示出 ITO 单体与聚甲基丙烯酸甲酯单体和 ITO 微粒子相对聚甲基丙烯酸甲酯的体积混合比例 20% 的混合体相对 d 线、g 线、C 线、及 F 线的折射率和色散系数、部分色散比。

(数值实施例 1)

$f = 391.93$	$Fno = 4.12$	$2\omega = 6.32^\circ$			
R1= 122.617		D1= 9.71	N1= 1.86723	$\nu 1 = 42.2$	
R2= 661.755		D2= 0.20	NGIT1= 1.57159	$\nu GIT1 = 13.5$	
R3= 406.479 (非球面)		D3= 6.11	N2= 1.48700	$\nu 2 = 70.4$	
R4= -661.862		D4= 0.15			
R5= 79.912		D5= 10.07	N3= 1.48700	$\nu 3 = 70.4$	
R6= 249.946		D6= 5.36			
R7= -3949.515		D7= 4.00	N4= 1.86922	$\nu 4 = 30.5$	
R8= 111.753		D8= 0.15			
R9= 62.093		D9= 10.24	N5= 1.48700	$\nu 5 = 70.4$	
R10= 226.801		D10= 3.77			
R11= 52.863		D11= 5.30	N6= 1.88015	$\nu 6 = 37.1$	
R12= 37.793		D12= 22.65			
R13= 219.518		D13= 1.80	N7= 1.43384	$\nu 7 = 95.1$	
R14= 73.014		D14= 27.79			
R15= ∞ (孔径光阑)		D15= 12.78			
R16= 91.128		D16= 1.30	N8= 1.85000	$\nu 8 = 23.0$	
R17= 28.601		D17= 4.87	N9= 1.56522	$\nu 9 = 42.2$	
R18= -374.421		D18= 0.30			
R19= 74.227		D19= 4.34	N10= 1.80488	$\nu 10 = 24.2$	
R20= -53.740		D20= 1.30	N11= 1.88500	$\nu 11 = 41.0$	
R21= 37.108		D21= 3.12			
R22= -85.901		D22= 1.30	N12= 1.85887	$\nu 12 = 42.7$	
R23= 115.410		D23= 1.60			
R24= 85.205		D24= 5.77	N13= 1.68713	$\nu 13 = 29.3$	
R25= -31.635		D25= 1.40	N14= 1.88500	$\nu 14 = 41.0$	
R26= -168.381		D26= 20.24			
R27= 108.004		D27= 6.92	N15= 1.50200	$\nu 15 = 61.5$	
R28= -72.782		D28= 1.00			
R29= ∞		D29= 2.00	N16= 1.51633	$\nu 16 = 64.1$	
R30= ∞					

非球面系数

第3面	k	B	C	D	E
	-2.717293E+00	-6.524983E-09	-6.404411E-13	6.251491E-17	1.220879E-19

(数值实施例 2)

	$f = 392.03$	$Fno = 4.12$	$2\omega = 6.32^\circ$		
	R1= 140.958		D1= 11.87	N1= 1.82075	$\nu 1 = 45.8$
	R2= -623.682		D2= 0.20	NGIT1= 1.57159	$\nu GIT1 = 13.5$
*	R3= -1545.484 (非球面)		D3= 0.15		
	R4= 83.759		D4= 10.44	N2= 1.50885	$\nu 2 = 68.1$
	R5= 290.960		D5= 7.10		
	R6= -1470.450		D6= 4.00	N3= 1.84356	$\nu 3 = 30.5$
	R7= 113.299		D7= 0.15		
	R8= 67.327		D8= 10.53	N4= 1.48700	$\nu 4 = 70.4$
	R9= 354.463		D9= 7.58		
	R10= 46.347		D10= 5.30	N5= 1.77373	$\nu 5 = 26.6$
	R11= 35.325		D11= 11.12		
	R12= 260.807		D12= 1.80	N6= 1.43384	$\nu 6 = 95.1$
	R13= 79.819		D13= 19.88		
	R14= ∞ (孔径光阑)		D14= 25.15		
	R15= 135.083		D15= 1.30	N7= 1.87172	$\nu 7 = 31.8$
	R16= 38.159		D16= 5.15	N8= 1.48700	$\nu 8 = 70.4$
	R17= -139.571		D17= 0.30		
	R18= 213.465		D18= 4.57	N9= 1.84915	$\nu 9 = 23.0$
	R19= -41.466		D19= 1.30	N10= 1.88500	$\nu 10 = 41.0$
	R20= 44.790		D20= 8.44		
	R21= -190.156		D21= 1.30	N11= 1.88500	$\nu 11 = 41.0$
	R22= 80.293		D22= 1.60		
	R23= 86.901		D23= 7.91	N12= 1.63906	$\nu 12 = 32.8$
	R24= -27.409		D24= 1.40	N13= 1.88500	$\nu 13 = 41.0$
	R25= -392.954		D25= 5.18		
*	R26= 67.383 (非球面)		D26= 0.05	NGIT2= 1.57159	$\nu GIT2 = 13.5$
	R27= 76.988		D27= 8.73	N14= 1.51515	$\nu 14 = 55.7$
	R28= -52.893		D28= 1.00		
	R29= ∞		D29= 2.00	N15= 1.51633	$\nu 15 = 64.1$
	R30= ∞				

非球面系数

	k	B	C	D	E
第3面	1.961825E+02	-9.401161E-09	1.032022E-13	6.250657E-17	5.916707E-21
第26面	-2.484499E+00	-4.752855E-07	-1.185466E-10	3.450231E-13	-2.731250E-16

(数值实施例3)

$f = 7.22 \sim 17.49 \sim 27.06$ $F_{no} = 2.91 \sim 3.73 \sim 3.92$ $2\omega = 63.9^\circ \sim 28.8^\circ \sim 18.9^\circ$

R1=	18.850	D1=	3.32	N1=	1.84150	ν 1=	58.3
R2=	-139.734	D2=	0.05	NGIT1=	1.57159	ν GIT1=	13.5
* R3=	-3211.428 (非球面)	D3=	可变				
R4=	16.808	D4=	0.75	N2=	1.88500	ν 2=	41.0
R5=	5.119	D5=	2.73				
R6=	-10.066	D6=	0.70	N3=	1.82087	ν 3=	45.8
R7=	25.401	D7=	0.17				
R8=	9.912	D8=	1.59	N4=	1.85715	ν 4=	25.3
R9=	33.511	D9=	0.05	NGIT2=	1.57159	ν GIT2=	13.5
* R10=	1216.901 (非球面)	D10=	可变				
R11=	∞ (孔径光阑)	D11=	0.24				
* R12=	7.838 (非球面)	D12=	1.47	N5=	1.84511	ν 5=	43.8
R13=	68.783	D13=	3.10				
* R14=	24.968 (非球面)	D14=	0.05	NGIT3=	1.57159	ν GIT3=	13.5
R15=	18.887	D15=	1.83	N6=	1.77824	ν 6=	50.0
R16=	-7.824	D16=	0.75	N7=	1.85000	ν 7=	23.0
R17=	14.349	D17=	可变				
* R18=	18.358 (非球面)	D18=	0.05	NGIT4=	1.57159	ν GIT4=	13.5
* R19=	14.145 (非球面)	D19=	1.74	N8=	1.85388	ν 8=	24.2
R20=	-199.785	D20=	可变				
R21=	∞	D21=	1.20	N9=	1.51633	ν 9=	64.2
R22=	∞	D22=	0.72	N10=	1.55232	ν 10=	63.5
R23=	∞	D23=	0.80				
R24=	∞	D24=	0.50	N11=	1.50378	ν 11=	66.9
R25=	∞						

可变间隔 \ 焦距	焦距		
	7.22	17.49	27.06
D3	0.60	4.96	8.87
D10	10.23	2.67	1.34
D17	3.86	5.21	10.10
D20	4.70	10.12	9.08

非球面系数

	k	B	C	D	E
第3面	-2.024392E+22	1.118695E-05	3.503961E-08	-5.252088E-10	2.483281E-12
第10面	-1.60922E+15	3.92987E-04	-5.70929E-07	7.62621E-07	-2.32104E-08
第12面	-2.40973E+00	6.43096E-04	-3.00634E-06	4.12803E-07	-1.64138E-08
第14面	-2.67342E+01	-7.63833E-04	-3.48992E-05	4.82542E-07	-1.12429E-07
第18面	2.29377E+00	1.58598E-04	-1.68138E-05	4.41247E-07	-3.03243E-09
第19面	-7.49797E+00	-2.60615E-04	3.27338E-05	-8.99287E-07	5.88968E-09

(数值实施例 4)

$f = 7.22 \sim 24.5 \sim 40.66$		$F \# = 2.91 \sim 4.20 \sim 4.41$		$2\omega = 63.9^\circ \sim 20.8^\circ \sim 12.6^\circ$	
R1=	23.228	D1=	3.33	N1=	1.63733 $\nu 1= 58.7$
R2=	-115.750	D2=	0.05	NGIT1=	1.57159 $\nu \text{GIT1}= 13.5$
* R3=	-4474.963 (非球面)	D3=	可変		
R4=	18.941	D4=	0.75	N2=	1.88500 $\nu 2= 41.0$
R5=	6.140	D5=	3.55		
R6=	-11.777	D6=	0.70	N3=	1.77430 $\nu 3= 50.2$
R7=	61.767	D7=	0.12		
R8=	13.648	D8=	1.68	N4=	1.85000 $\nu 4= 23.0$
R9=	46.001	D9=	0.05	NGIT2=	1.57159 $\nu \text{GIT2}= 13.5$
* R10=	1925.768 (非球面)	D10=	可変		
R11=	∞ (孔径光阑)	D11=	0.24		
* R12=	8.071 (非球面)	D12=	1.89	N5=	1.59758 $\nu 5= 37.2$
R13=	-28.398	D13=	1.22		
* R14=	9.347 (非球面)	D14=	0.05	NGIT3=	1.57159 $\nu \text{GIT3}= 13.5$
R15=	9.107	D15=	1.63	N6=	1.78000 $\nu 6= 50.0$
R16=	-26.410	D16=	0.75	N7=	1.85000 $\nu 7= 23.0$
R17=	5.751	D17=	可変		
* R18=	20.828 (非球面)	D18=	0.05	NGIT4=	1.57159 $\nu \text{GIT4}= 13.5$
* R19=	13.441 (非球面)	D19=	1.85	N8=	1.71986 $\nu 8= 27.5$
R20=	-157.047	D20=	可変		
R21=	∞	D21=	1.20	N9=	1.51633 $\nu 9= 64.2$
R22=	∞	D22=	0.72	N10=	1.55232 $\nu 10= 63.5$
R23=	∞	D23=	0.80		
R24=	∞	D24=	0.50	N11=	1.50378 $\nu 11= 66.9$
R25=	∞				

可变间隔 \ 焦距	焦距		
	7.22	25.40	40.66
D3	0.60	8.19	14.58
D10	16.90	2.85	1.33
D17	6.48	7.42	16.43
D20	4.70	14.30	11.34

非球面系数

	k	B	C	D	E
第3面	-2.024392E+22	2.943412E-06	3.453754E-08	-3.601493E-10	1.430522E-12
第10面	-1.60922E+15	1.25915E-04	-1.22993E-06	1.90144E-07	-3.11426E-09
第12面	-2.98160E+00	5.56832E-04	-1.10254E-05	4.20852E-07	-1.10624E-08
第14面	-5.41148E-01	-1.76849E-04	3.88219E-06	-7.81247E-07	3.20961E-08
第18面	-7.22712E-01	4.52890E-05	-4.39659E-06	1.40067E-07	-1.29251E-09
第19面	-2.38712E+01	7.49915E-04	-1.82994E-05	3.91744E-07	-6.07532E-09

表 1

	ITO	PMMA	ITO 20%混合物
d 线折射率	1.85710	1.49171	1.57159
g 线折射率	1.99250	1.50279	1.61267
C 线折射率	1.79800	1.48917	1.55583
F 线折射率	1.94870	1.49774	1.59815
vd	5.7	57.4	13.5
θ_{gd}	0.898	1.293	0.971
θ_{gF}	0.291	0.589	0.343

这样按照由本实施例说明的光学系，可提供制造容易、环境特性优良的具有高光学性能的光学系。

下面，使用图 14 说明作为摄影光学系使用本发明的光学系的数字静像照相机的实施形式。

在图 14 中，符号 20 为照相机主体，符号 21 为由本发明的光学系构成的摄像光学系，符号 22 为内装于照相机主体、对由摄像光学系 21 形成的景物像受光的 CCD 传感器和 CMOS 传感器等固体摄像元件（光学变换元件），符号 23 为记录与由照相机主体 22 进行了光电变换的景物对应的信息的存储器，符号 24 为由液晶显示板等构成的、用于观察形成于照相机主体 22 上的景物像的取景器。

通过这样将本发明的光学系适用于数字静像照相机等摄像装置，可实现小型、具有高光学性能的摄像装置。

图1

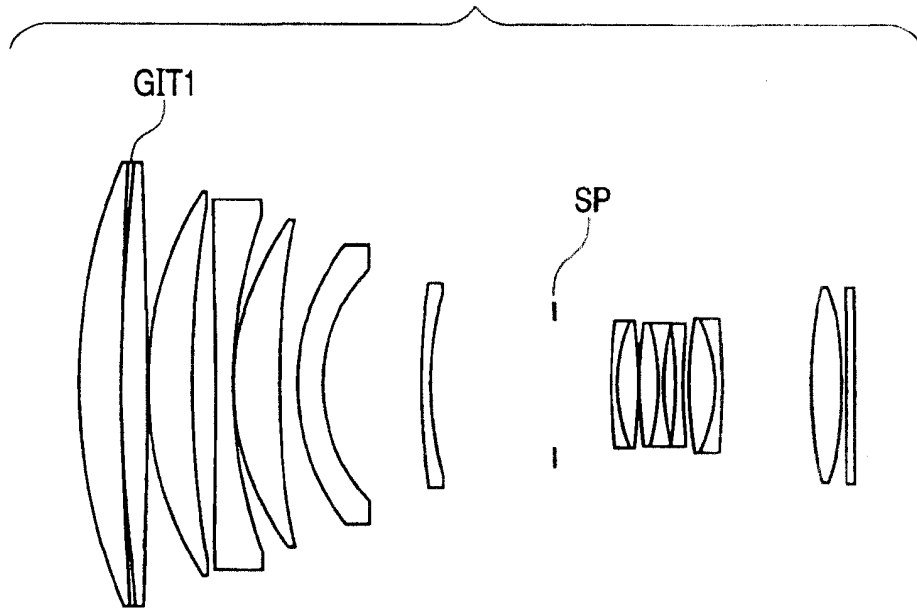


图2

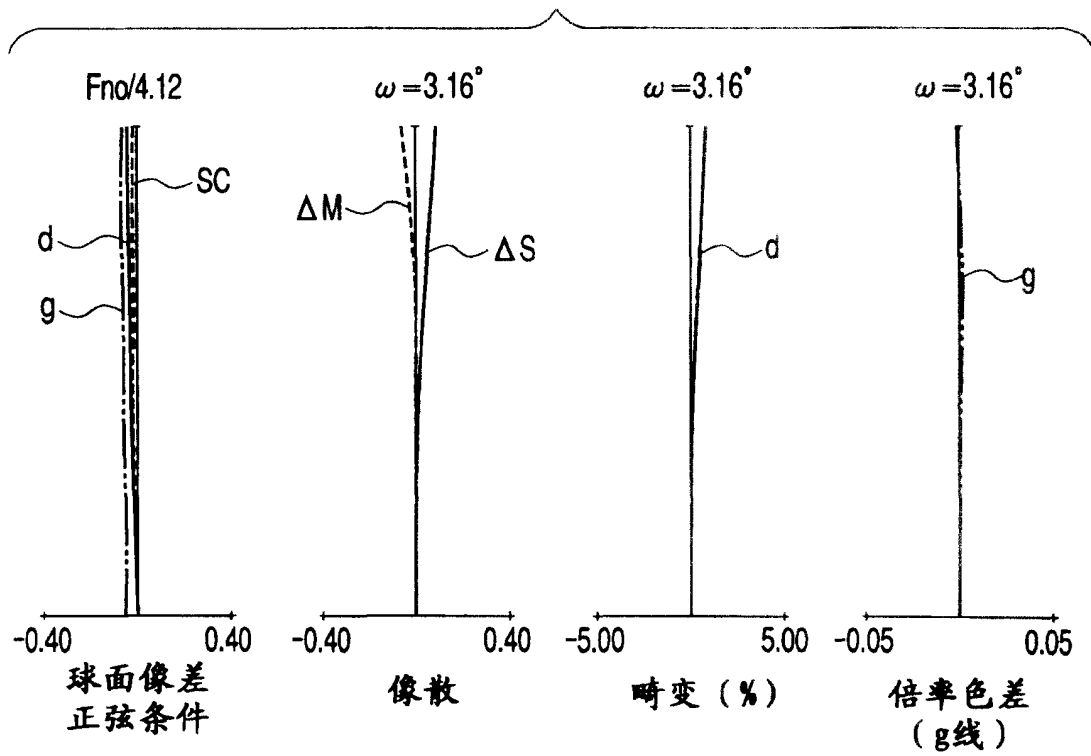


图3

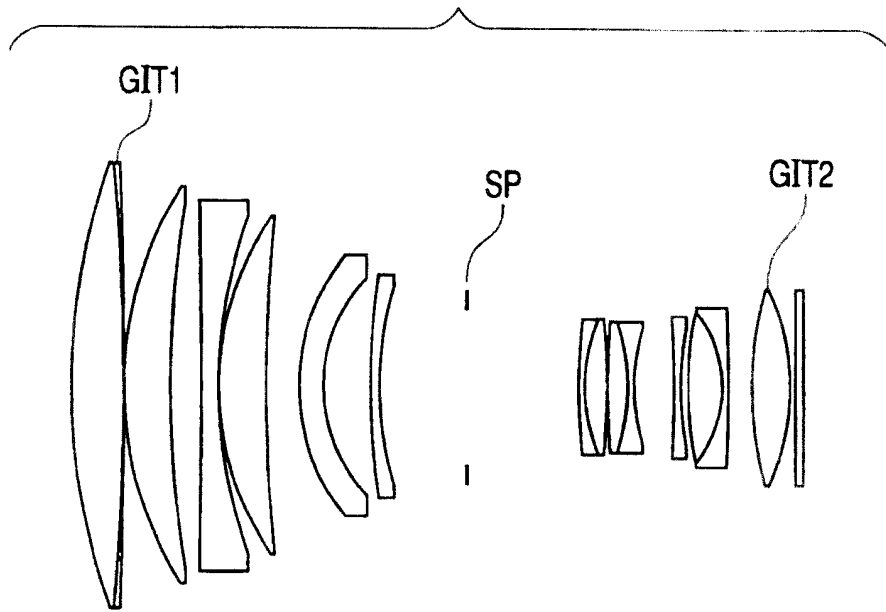


图4

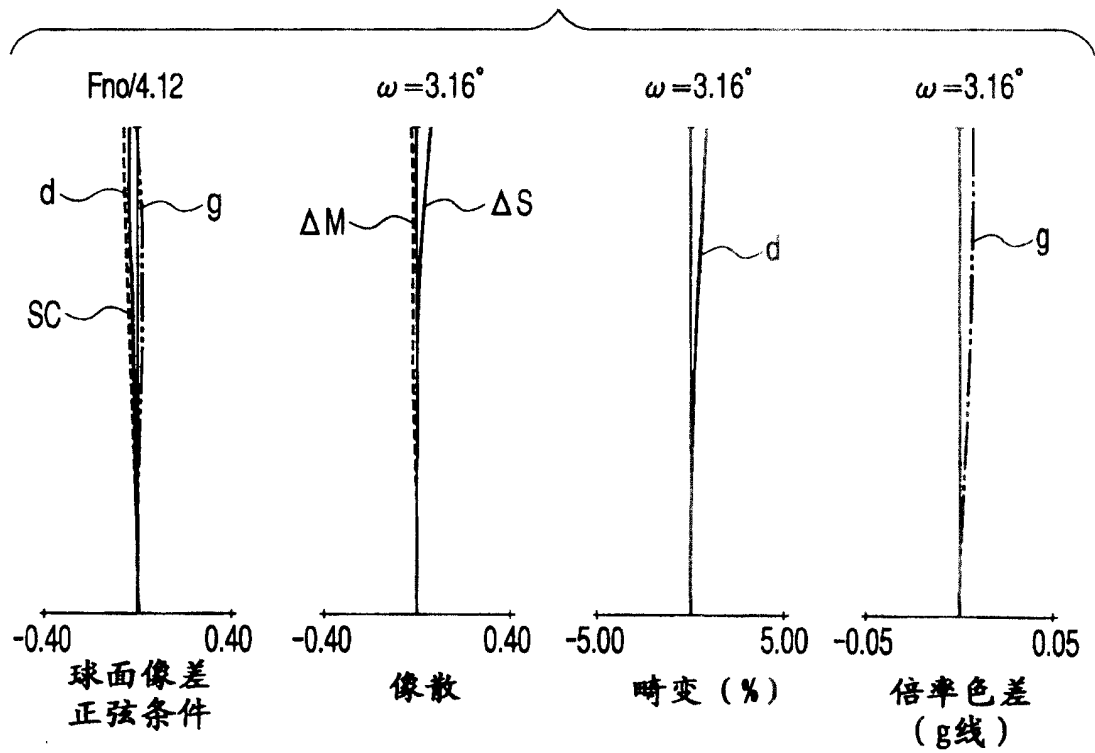


图5

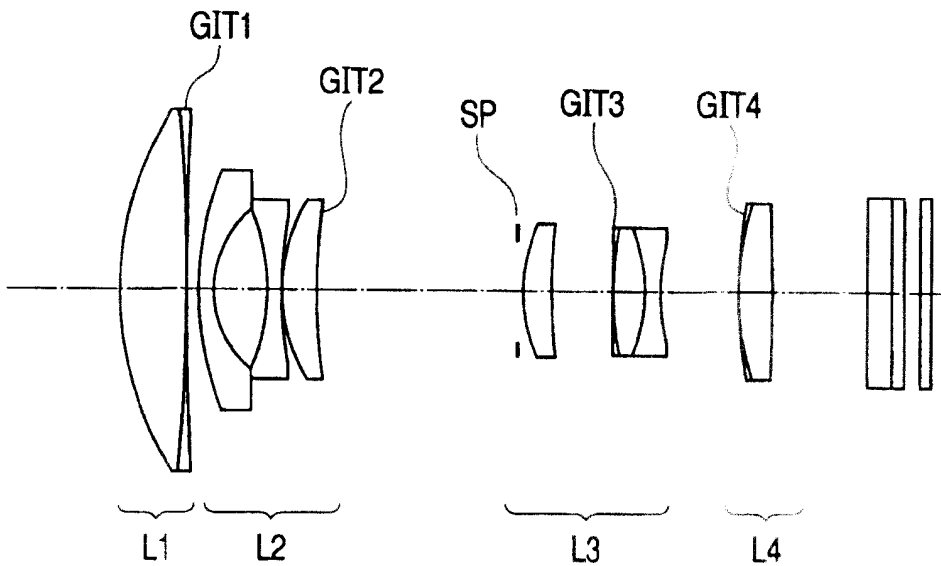


图6

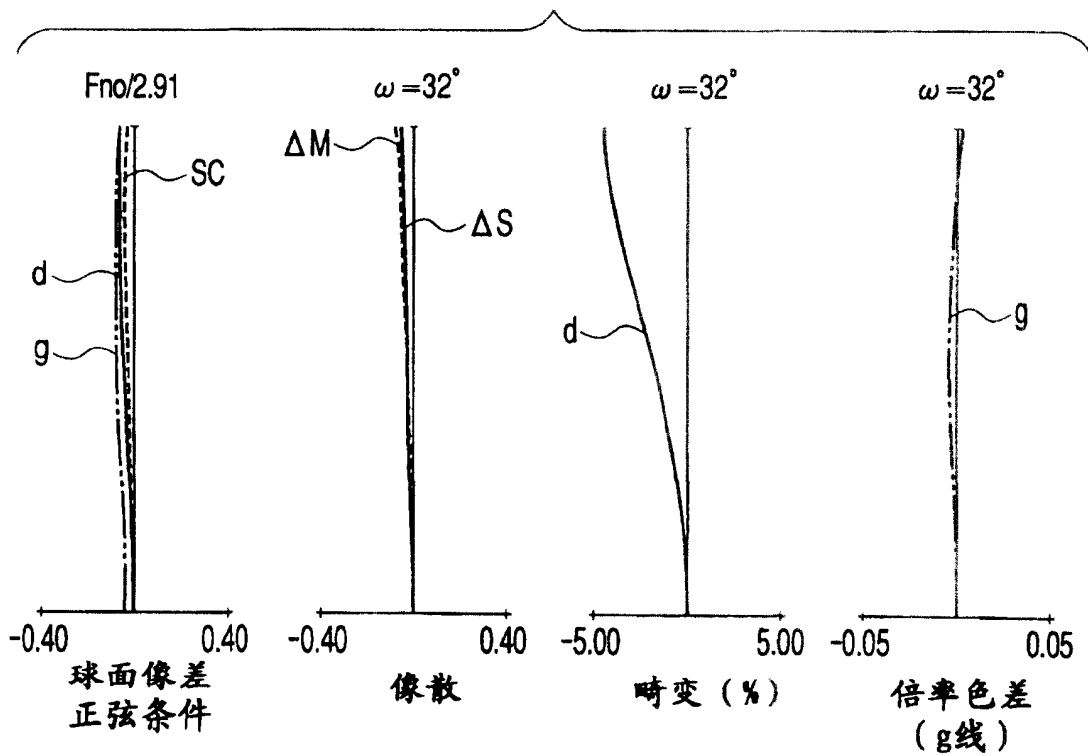


图7

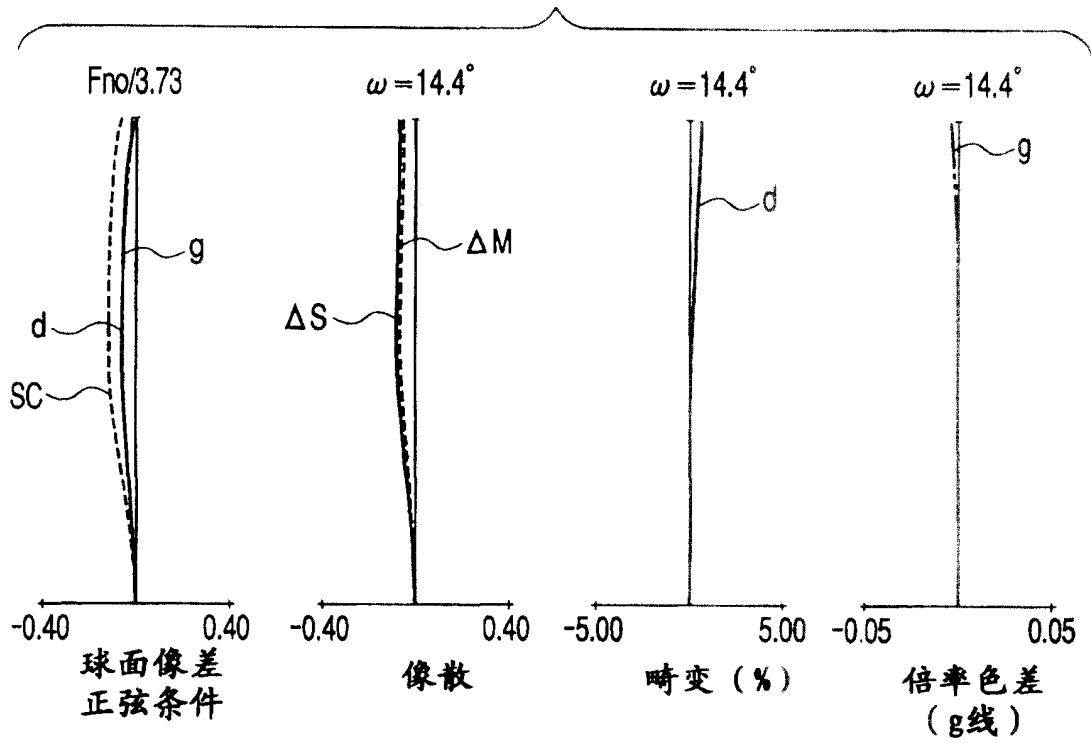


图8

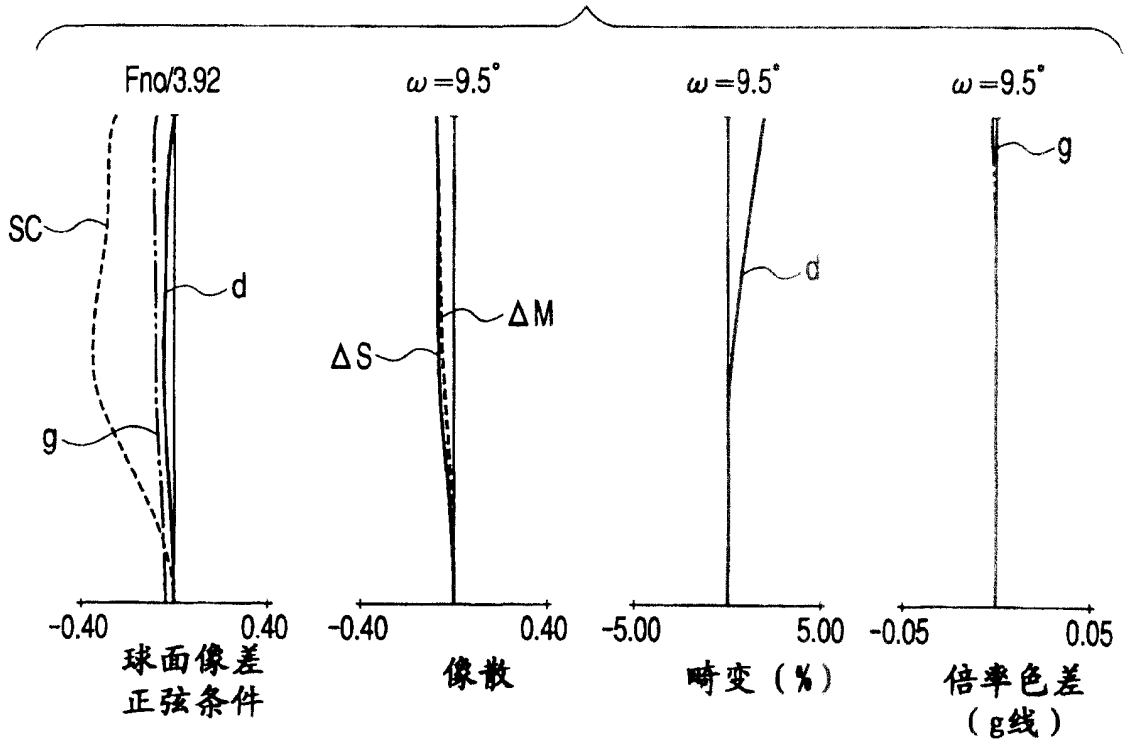


图9

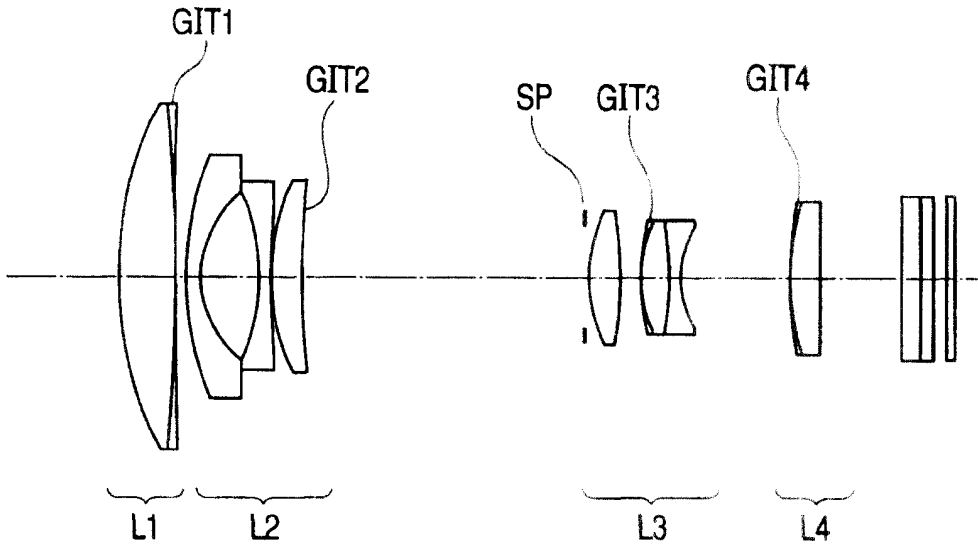


图10

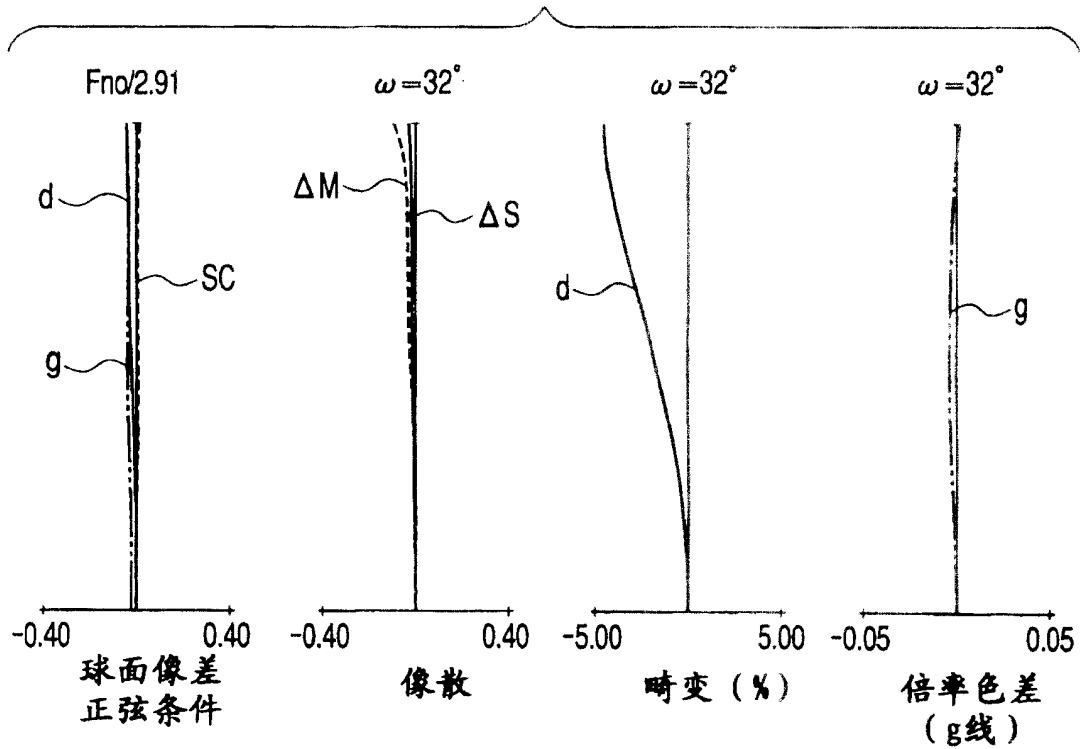


图 11

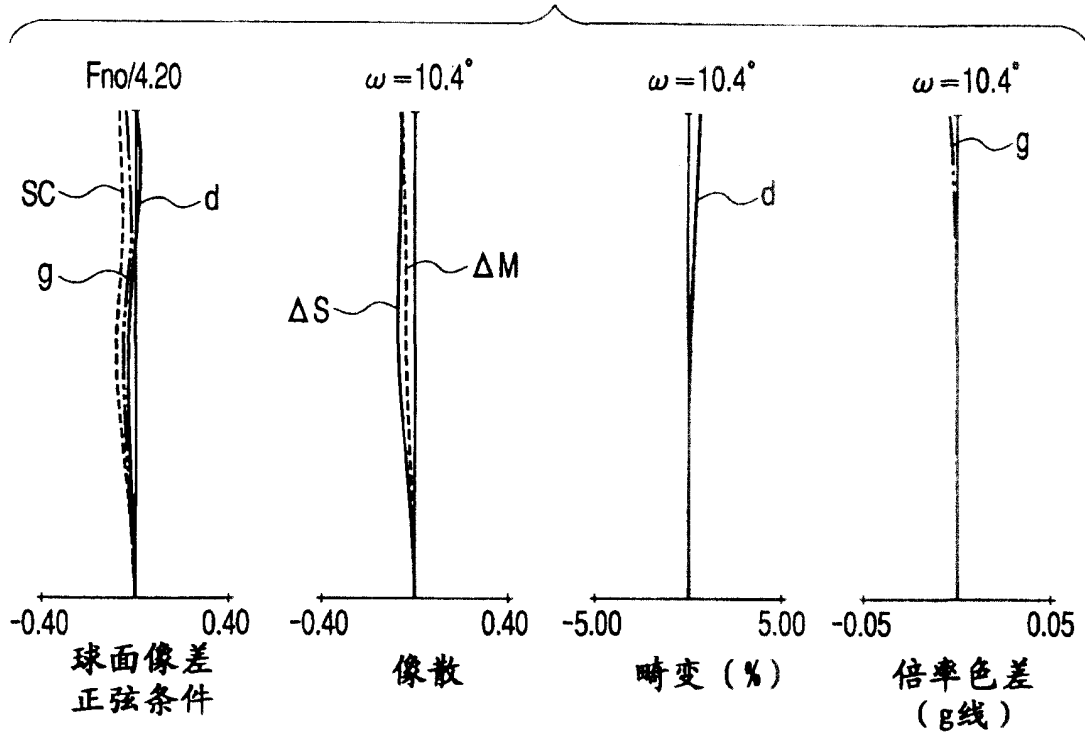


图 12

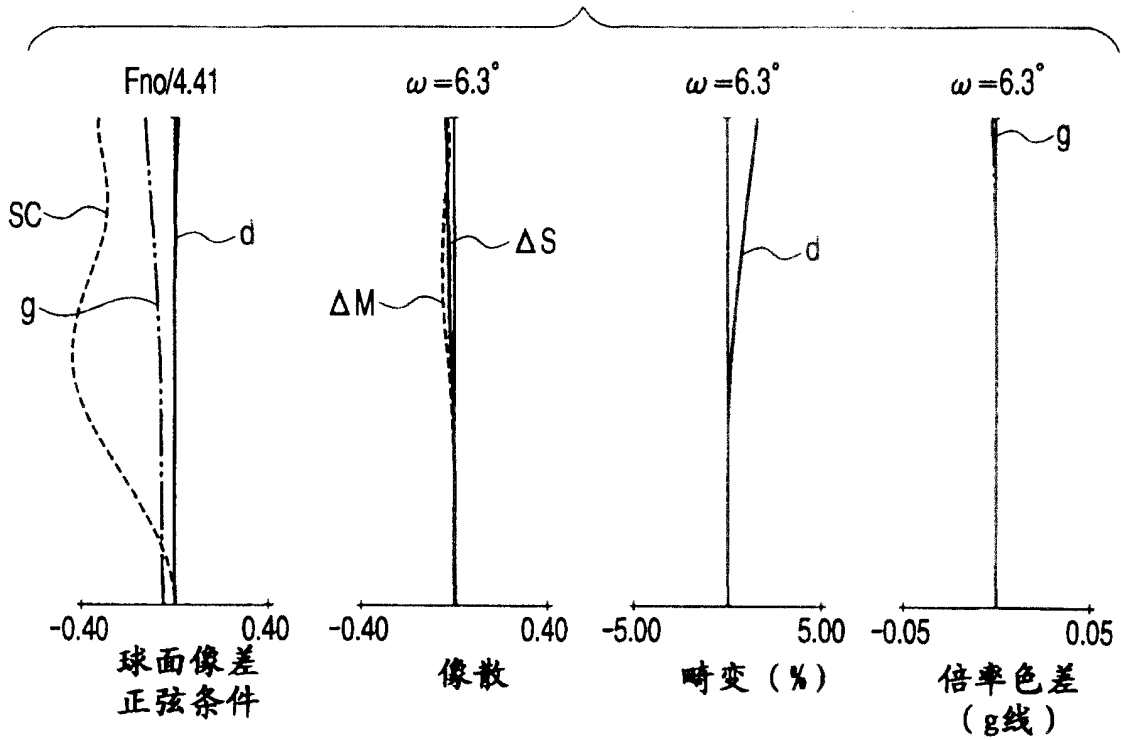


图 13A

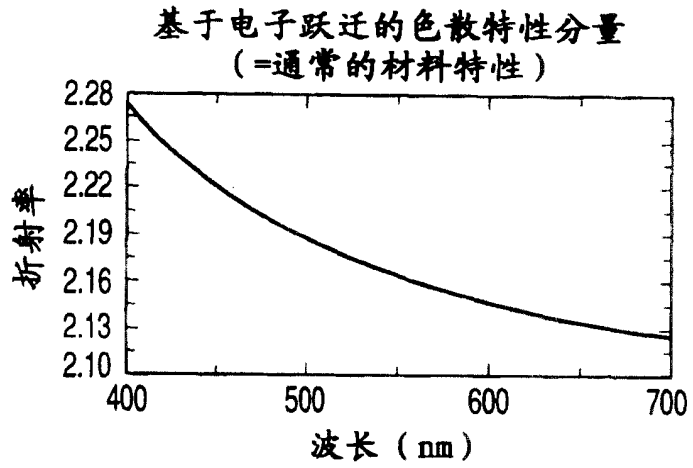


图 13B

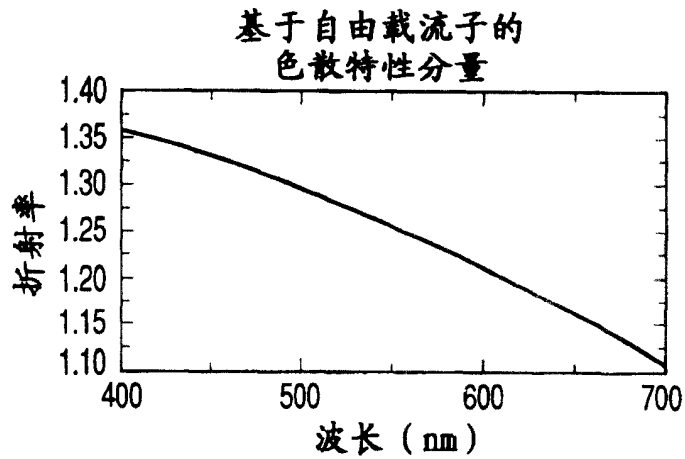


图 13C

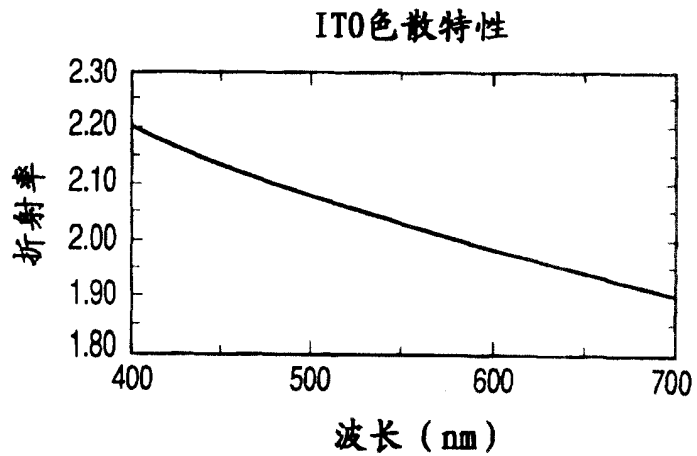


图14

