



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03817763.3

[43] 公开日 2005 年 9 月 21 日

[11] 公开号 CN 1672082A

[22] 申请日 2003.7.25 [21] 申请号 03817763.3

[30] 优先权

[32] 2002.7.26 [33] JP [31] 218184/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/009430 2003.7.25

[87] 国际公布 WO2004/011986 日 2004.2.5

[85] 进入国家阶段日期 2005.1.25

[71] 申请人 株式会社尼康

地址 日本东京

[72] 发明人 大内由美子

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任
公司

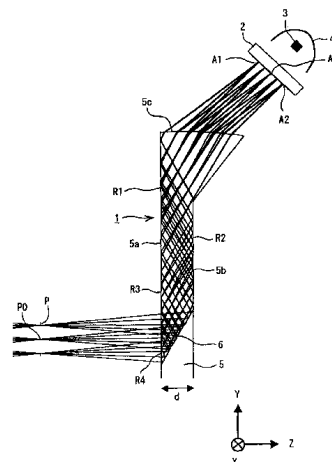
代理人 车文 顾红霞

权利要求书 3 页 说明书 40 页 附图 20 页

[54] 发明名称 图像合成器和图像显示装置

[57] 摘要

使用中把一个由光学材料构造并对应于眼用透镜的板式部分 5 定位在用户的眼睛前面，设置在图像合成器 1 的出射光瞳 P 附近。合成器 1 使得来自图像显示元件 2 的光叠加到透过板式部分 5 的光上，从而从板式部分 5 的前面穿过板式部分 5 的厚度，并且将此光束导入眼睛。来自图像显示元件 2 的光在被板式部分 5 内部的反射式 HOE6 衍射和反射之后到达用户的眼睛。从图像显示元件 2 的显示部分中心发出的主光线被反射式 HOE6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值的波长和从显示部分的周围部分的特定方向发出的主光线被反射式 HOE6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值的波长基本上不同。结果，可以改善在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器的出射光瞳中心的情况下获得的显示图像的图像质量。



1. 一种图像合成器，其中安装了反射式全息光学元件，来自外界的光叠加到来自图像显示部件的光上，该图像合成器的特征在于：

5 从图像显示部件发出的光具有分别延伸到一个或多个峰值波长前后的波长区域成分，并且

波长 λ_o 和波长 λ_y 不同，

其中 λ_o 为从图像显示部件的显示部分中心发出的主光线被反射式全息光学元件衍射之后衍射效率在一个或多个峰值波长中的单个峰值波长附近的波长区域中表现出最大值的波长，

10 λ_y 为从显示部分的周边部分发出的主光线被反射式全息光学元件衍射之后衍射效率在该单个峰值波长附近的波长区域中表现出最大值的波长。

15 2. 如权利要求 1 所述的图像合成器，其特征在于满足下列任一式 (6) 或 (7)：

$$1.013 < \lambda_y / \lambda_o \quad \cdots (6)$$

$$\lambda_y / \lambda_o < 0.98 \quad \cdots (7)$$

20 3. 如权利要求 1 或 2 所述的图像合成器，其特征在于满足下列式 (8)，其中 FWHM 是从图像显示部件发出的光的单个峰值波长的半峰全宽：

$$0.2 < |(\lambda_y - \lambda_o) / \text{FWHM}| \quad \cdots (8)$$

25 4. 如权利要求 1 至 3 任一所述的图像合成器，其特征在于满足下列式 (9)，其中 θ_1 是（制造该元件期间用于对反射式全息光学元件曝光的两个光源（对应于单个波长区域或单个其它波长区域）中）播放期间位于观察者眼睛一侧上的光源到反射式全息光学元件中心上的入射角（在空气中算出的角度）， θ_2 是从图像显示部件的显示部分中心发出并导入图像合成器出射光瞳的中心的

30 光线在反射式全息光学

元件处的反射角（在空气中算出的角度）：

$$0.8^{\circ} < |\theta_1 - \theta_2| \quad \cdots (9)$$

5 5. 一种包括权利要求 1 至 4 任一所述的图像合成器和图像显示
 部件的图像显示装置，其特征在于使用期间至少把包含图像合成器的
 部分安置在用户身上。

10 6. 一种包含图像显示部件和光导部分的图像显示装置，其中光
 导部分把来自图像显示部件的光导入用户的眼睛，该图像显示装置的
 特征在于：

 光导部分具有反射式全息光学元件，

 从图像显示部件发出的光具有分别延伸到一个或多个峰值波长之
 前或之后的波长区域成分，并且

 波长 λ_0 和波长 λ_y 不同，

15 其中， λ_0 为从图像显示部件的显示部分中心发出的主光线被反
 射式全息光学元件衍射之后衍射效率在一个或多个峰值波长中的单个
 峰值波长附近的波长区域中表现出最大值的波长，

λ_y 为从显示部分的周边部分发出的主光线被反射式全息光学元件
 衍射之后衍射效率在该单个峰值波长附近的波长区域中表现出最大值的
20 波长。

 7. 如权利要求 6 所述的图像显示装置，其特征在于满足下列任
 一式（6）或（7）：

$$1.013 < \lambda_y / \lambda_0 \quad \cdots (6)$$

25 $\lambda_y / \lambda_0 < 0.98 \quad \cdots (7)$

 8. 如权利要求 6 或 7 所述的图像显示装置，其特征在于满足下
 列式（8），其中 FWHM 是从图像显示部件发出的光的单个峰值波长
 的半峰全宽：

30 $0.2 < |(\lambda_y - \lambda_0) / \text{FWHM}| \quad \cdots (8)$

9. 如权利要求 6 至 8 任一所述的图像显示装置，其特征在于满足下列式 (9)，其中 $\theta 1$ 是（制造该元件期间用于对反射式全息光学元件曝光的两个光源（对应于单个波长区域或单个其它波长区域）中）
5 播放期间位于观察者眼睛一侧上的光源到反射式全息光学元件中心上的入射角（在空气中算出的角度）， $\theta 2$ 是从图像显示部件的显示部分中心发出并导入图像合成器出射光瞳的中心的光线在反射式全息光学元件处的反射角（在空气中算出的角度）：

$$0.8^{\circ} < |\theta 1 - \theta 2| \quad \cdots (9)$$

图像合成器和图像显示装置

5 技术领域

本发明涉及一种能够使得用户根据来自前方如外界的光线和叠加在第一图像上的显示图像的光来观看图像的图像合成器，以及利用该图像合成器的图像显示装置，如头戴式显示装置。

10 背景技术

在过去如日本专利申请公开 JP2000-352689 和日本专利申请公开 JP2001-264682 中揭示的图像显示装置已知的是所谓的透明式头置图像显示装置（头戴式显示器），允许用户在观察外界状态的同时观看叠置在外界视景上的显示图像。另外，日本专利申请公开 JP2001-264682
15 不仅揭示了透明式头置图像显示装置，而且还揭示了一种不用作透明式装置的图像显示装置（即只有来自图像显示元件的光导入用户的眼睛，来自外界等的其它光线不叠加到该来自图像显示元件的光线上），同时基本上具有与这种透明式装置相同的结构；还揭示了一个将该图像显示装置包含在便携式电话的悬挂部分的例子。

20

在这些图像显示装置中，通过利用反射式全息光学元件实现尺寸和重量的减小。这种反射式全息光学元件就波长选择性而言很优越，并且可以选择性地只衍射和反射极有限的波长区域中的光线。因此在构成透明式图像显示装置中的情况下，从外界透射入的光线等由于反
25 射式全息光学元件而损失的光量可以显著地减少。

25

另外，在这些图像显示装置中，形成图像合成器的出射光瞳使得该光瞳在使用状态下基本上与用户眼睛的瞳孔重合，并且制造的反射式全息光学元件，即使得用于在制造该元件期间曝光反射式全息光学
30 元件的两个光源中的一个光源（参考光源）的位置基本上与图像合成

30

器的出射光瞳的位置重合的反射式全息光学元件用作反射式全息光学元件（参见日本专利申请公开 JP2000-352689 中的第 25 段和日本专利申请公开 JP2001-264682 的第 37 段）。在这些专利申请中描述了下列效果：即通过利用这样制造的反射式全息光学元件，即制造中参考光源的位置设置在用户瞳孔的位置中，制造中的曝光光束与使用中的观察光束基本上重合，以至于使用中反射式全息光学元件的衍射效率可以提高到最大程度（日本专利申请公开 2000-352689 中的第 25 段和日本专利申请公开 JP2001-264682 的第 37 段）。

另外，在这些图像显示装置中，一般用液晶显示元件作为图像显示元件，以便实现尺寸和重量的减小，袖珍且价廉的光源 LED 用作对该图像显示元件照明的光源。

但是，在这些传统的图像显示装置中，虽然可以在用户眼睛的瞳孔中心与图像合成器的出射光瞳重合的情况下观看良好的显示图像，但随着用户眼睛的瞳孔中心离开该出射光瞳的中心向图像合成器出射光瞳的周围移动，显示屏逐渐变暗，以至于图像就图像质量而言并不总是足够好。另外，在实际使用中，会频繁地发生用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器出射光瞳的中心。

发明内容

考虑到这种情况而设计了本发明。本发明的目的在于提供一种可以在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器的出射光瞳中心的情况下提高显示图像的图像质量的图像显示装置，同时，利用反射式全息光学元件和可以用在这种图像显示装置中的图像合成器等实现尺寸和重量的减小。另外，在下面的描述中，还有把全息光学元件称作“HOE”的例子。

已知反射式 HOE、尤其是反射体型 HOE 的衍射特性具有灵敏的波长选择性和较宽的角特性。具体地说，可以在特定的方向上以最大

效率获得关于以一满足布拉格条件的角度和波长入射的再现光的衍射光；但是，也有这样的特点，即当关于入射波长存在与布拉格条件的背离时，衍射效率骤降，另一方面，还有这样的特点，即在入射角背离布拉格角入射的情况下衍射效率逐渐降低。

5

作为这些特点的结果，这种反射式 HOE 已公知为一种适于用在图像合成器中的元件，能够宽视角而不损失外界光亮度地进行图像显示。

10

但是，也有这样的争执，即在单一波长光照明的情况下由衍射效率值唯一地限定；在利用有带宽的照明光进行照明的情况下还没有就衍射光的波长特性进行研究。

15

本发明人研究了在入射角偏离布拉格入射角的情况下反射式 HOE 的衍射特性，并且发现当入射角变化时以最大效率衍射的波长改变了。另外，类似地，本发明人还发现当从不同的方向观察来自 HOE 的衍射光时，表现出最高值衍射效率处的波长改变。这一点下面将进行描述。

20

反射式 HOE 的衍射在符合布拉格条件式的方向上表现出最大的衍射强度。反射式 HOE 的布拉格条件式由下面所示的式（1）和式（2）表示。在同时满足下面式（1）和式（2）的方向上衍射的光的强度表现出最大值。

25

$$1/\lambda_R(\sin\theta_O - \sin\theta_R) = 1/\lambda_C(\sin\theta_I - \sin\theta_C) \quad \cdots (1)$$

$$1/\lambda_R(\cos\theta_O - \cos\theta_R) = 1/\lambda_C(\cos\theta_I - \cos\theta_C) \quad \cdots (2)$$

30

此处，式（1）和式（2）的左侧表示反射式 HOE 制造过程中的状态， λ_R 表示曝光波长， θ_O 表示曝光期间物体光相对于全息平面法线的入射角， θ_R 表示曝光期间参考光的入射角。另外，式（1）和式

(2) 的右侧表示反射式 HOE 使用期间的状态, λ_c 表示衍射的主导波长, θ_c 表示从全息平面的中心测量时视线相对于全息平面法线的角度, θ_i 表示全息平面上照明光 (对应于视线) 的入射角。

5 图 25 中展示了简化的模型。另外, 在图 25 (b) 中, P_c 表示用户眼睛的瞳孔中心的位置。当进行光线跟踪时, 从位置 P_c 跟踪光线; 因此, 图 25 (b) 中光线的取向表示为与光线跟踪的情形一致; 但是, 光线的实际取向是相反的取向。

10 此处如果由 HOE 制造期间的条件和根据式 (1) 和式 (2) 的视线的角度 θ_c 决定具有衍射强度的波长 λ_c 和照明光的入射角 θ_i , 则获得下面式 (3) 和式 (4) 所示的值。

$$\lambda_c = -[(\sin\theta_o - \sin\theta_R)\sin\theta_c + (\cos\theta_o - \cos\theta_R)\cos\theta_c] \times 2 / [(\sin\theta_o - \sin\theta_R)^2 + (\cos\theta_o - \cos\theta_R)^2] \times \lambda_R \quad \cdots (3)$$

15 $\theta_i = \arcsin\{\lambda_c / \lambda_R \times (\sin\theta_o - \sin\theta_R) + \sin\theta_c\} \quad \cdots (4)$

20 此处, 在与布拉格条件有偏差的情况下衍射光的强度不为零, 而是根据该偏差量而下降。该强度下降的方式按照相体积型全息材料的厚度和折射率的变化量而变化; 该强度随着厚度的增大而急剧下降, 或是随着折射率的变化量增大而急剧下降。换言之, 波长选择性变得更灵敏, 以至于由式 (2) 表示的衍射作用变大。

25 因此实际上式 (3) 中的波长 λ_c 是衍射强度表现出最大值的波长, 在该波长附近有带宽的波带中的光也被衍射为衍射光。因此, 式 (3) 中满足布拉格条件式的 λ_c 被称作主导衍射波长。

30 此处, 主导衍射波长 λ_c 的特性和对应于视线的照明光的入射角 θ_i 通过在下列条件下改变视线的 θ_c 角来研究: 曝光波长 $\lambda_R = 476\text{nm}$, 参考光的入射角 $\theta_R = 30^\circ$, 物体光的入射角 $\theta_o = 150^\circ$, 反射式 HOE 在空气中。从反射式 HOE 法线的正方向逆时针转动测量各个

角度。所得的结果示于下列表 1。从表 1 中可以看出，当视线的角度 θ_c 改变 $\pm 5^\circ$ 时，主导衍射波长 λ_c 移动大约 $\pm 9\text{nm}$ 。

(表 1)

视线角度 $\theta_c(\text{deg})$	主导衍射波长 $\lambda_c(\text{nm})$	照明光的入射角 $\theta_l(\text{deg})$
25	484.5	155
30	476.0	150
35	466.4	145

5

此处，当式 (3) 重写为主导衍射波长 λ_c 与曝光波长 λ_R 之比 λ_c/λ_R (相对主导衍射波长) 时，得到下列的式 (5)：

$$\lambda_c/\lambda_R = -[(\sin\theta_O - \sin\theta_R)\sin\theta_C + (\cos\theta_O - \cos\theta_R)\cos\theta_C] \\ \times 2/[(\sin\theta_O - \sin\theta_R)^2 + (\cos\theta_O - \cos\theta_R)^2] \quad \cdots (5)$$

10

图 26 表示式 (5) 中所示相对主导衍射波长 λ_c/λ_R 值的变化曲线，是在曝光期间视线的角度 θ_c 相对于参考光入射角 θ_R 之差 ($\theta_c - \theta_R$) 随作为参数的曝光角度而变化的情况下获得的。从图 26 中可以看出，相对主导衍射波长 λ_c/λ_R 的值也随着角度差值 ($\theta_c - \theta_R$) 背离 0 而背离 1。因此看到，随着曝光期间视线的角度 θ_c 和参考光的入射角 θ_R 之差 ($\theta_c - \theta_R$) 的增大，波长移动增加。另外，为了描述方便，该现象称作“波长移动现象”。

15

在上述传统的图像显示装置中，采用反射式全息光学元件，其通过使制造期间用于曝光的参考光源的位置与图像合成器出射光瞳的位置重合而制成。具体地说，曝光期间参考光的位置限定为播放系统光瞳的位置。因此，虽然曝光期间参考光的入射角与视线的角度之差在播放期间对主光线的所有视角基本上为零，但在视线角度 θ_c 和穿过偏离图像合成器出射光瞳中心的位置的光线（边缘光）的参考光入射角 θ_R 之间产生差值。因此，作为上述波长移动现象的结果，在播放

20

25

期间的边缘光中发生波长移动。

另外，在上述传统的图像显示装置中已经断定，显示屏随着用户眼睛的瞳孔中心从该出射光瞳的中心向图像合成器出射光瞳的周围移动而变暗的原因如下：即，因为波长移动朝着光瞳的周围增大，由入射照明光的带宽和衍射强度的波长特性的结合所得的强度随着接近光瞳周围而下降。而且已经断定，图像显得模糊的原因如下：即，因为衍射波长随着接近光瞳周围而改变，所以产生横向色差。

对于日本专利申请公开 JP2000-352689 和日本专利申请公开 JP2001-264682 中描述的几个实施例的图像显示装置，本发明人通过从观察者（用户）的瞳孔向图像显示元件（成像部件，如液晶显示元件）的光线跟踪，具体地确定了上述衍射波长的变化和最终的横向色差量。下面将描述获得的结果。

在日本专利申请公开 JP2000-352689 描述的实施例 3 的情形中，使用了反射式全息光学元件，制造该元件使得用于制造期间曝光的参考光源的位置与图像合成器的出射光瞳的位置重合。因此，对于主光线即从光瞳的中心指向像平面各点的光线满足布拉格条件。因此，与曝光波长相同波长（532nm）的光线被反射，并在整个视角范围上高衍射效率地衍射；但是，从光瞳坐标 $y=1.5$ （ y 轴取作纸平面中向上的方向）入射的光线的衍射效率在 527nm 处表现为最大值。相反，从光瞳坐标 $y=-1.5$ 的位置入射的光线的衍射效率在 537nm 处表现出最大值。换言之，可以看到当接近光瞳周围时衍射波长移动 $\pm 5\text{nm}$ 。此处，光瞳坐标称作光瞳平面内的位置坐标；光瞳的中心取作原点，单位设为毫米。

此处，在 532nm 附近具有发射峰的绿色 LED 用作照明光源的情况下，如果发射特性设在（例如）半峰全宽接近 20nm 处，则 527nm 处的发射强度为 0.5，537nm 处的发射强度为 0.5，532nm 处的发射强

度取作 1。

因此，在光瞳坐标 $y=\pm 1.5$ 的位置处，即使反射式 HOE 的衍射效率为 90% 或更大的高效率，与中心相比，照明光的强度为 0.5，因为衍射波长移动 $\pm 5\text{nm}$ ；结果，观察到的图像变暗。

另外，如果计算横向色差，则相对于以 532nm 波长从光瞳中心以 0° 视角入射的光线的像平面上的 y 坐标 $y=0.0$ ，以 527nm 波长从光瞳坐标 $y=1.5$ 入射的光线的像平面上的高度为 $y=-0.10$ ，并且以 537nm 波长从光瞳坐标 $y=-1.5$ 入射的光线的像平面上的高度为 $y=0.12$ ，以至于产生 0.1mm 或更大的横向色差。

假设把 1/4 英寸 ($4.8\times 3.6\text{mm}$) QVGA (320×240 像素) 的液晶显示装置放置在像平面即成像部件的表面上，则一个像素的大小为 0.015mm^2 ，并且上述放大率的色差具有对应于 7~8 个像素的较大值。

具体地说，作为由该波长移动造成的色差结果，当接近光瞳周围时图像显得模糊。

本发明人根据这种传统图像显示装置中所遇问题起因的解释所得的结果进行进一步的研究，并且研究反射式 HOE 的使用，其中反射式 HOE 制造成使得曝光期间参考光源的位置移向播放虚像的位置（该位置是与图像合成器的出射光瞳分开 1m~无限远的距离），而不是将反射式 HOE 制造成使得曝光期间参考光源的位置与播放系统的光瞳位置设置成相同的位置。

当使用制造成使得曝光期间参考光源的位置移向播放虚像的位置的反射式 HOE 时，只要光线具有相同的视角，视线的角度 θ_c 和参考光线入射角 θ_r 之差 ($\theta_c - \theta_r$) 小于传统装置中的情形，甚至对于穿过图像合成器出射光瞳中任何位置的光线也是如此，无论这些光线是主

光线还是边缘光线。因此，在视角中心光线的情形中，主光线和边缘光线对于所有的亮度值都是相同的，并且曝光波长基本上等于主导衍射波长。

5 因此，即使用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器出射光瞳的中心，也可以消除显示图像的变暗以及显示图像的外观模糊，以致于在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器出射光瞳中心的情形中，图像质量比上述传统图像显示装置的情形有很大的改进。因此，大大提高了用户使用装置的方便性。

10

 在[i]光线从图象显示部件的显示部分中心发出并被反射式全息光学元件衍射之后穿过特定位置的情况下的衍射效率在上述各个波长区域中表现出最大值的波长表示为 λ_0 ，[ii]光线从图象显示部件的显示部分周边发出并被反射式全息光学元件衍射之后穿过上述同样特定位置的情况下的衍射效率在各个波长区域中表现出最大值的波长表示为 λ_y ，并且[iii]光从图象显示部件的显示部分的周边部分发出并被反射式全息光学元件衍射之后在与特定位置不同的位置传播、并且视线相对于反射式全息光学元件的方向与光从显示部分的中心发射并被反射式全息光学元件衍射之后穿过特定位置的光传播方向相同的情况下的衍射效率在各个波长区域中表现出最大值的波长表示为 λ_z ，本发明的设计使得即使用户眼睛的瞳孔位置会在出射光瞳的平面内变化，通过将 λ_0 和 λ_z 设在基本上相同的波长，可以获得基本上相同的图像重量。因此，因为随后衍射的光线的发射角彼此不同，所以 λ_y 和 λ_0 表现出不同值。

25

 因此，在制造成使得曝光期间参考光源的位置移向从播放系统的光瞳位置向播放虚像的位置移动的位置的反射式 HOE 的情形中，如果设置波长 λ_0 和波长 λ_y 使得这些波长不同，则甚至在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器出射光瞳的中心的的情形下图像质量也没有衰减。

30

此处，如果希望在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器出射光瞳的中心的条件下实现图像质量一定程度的改善，最好满足下列式（6）或（7）：

$$1.013 < \lambda_y / \lambda_o \quad \cdots (6)$$

5 $\lambda_y / \lambda_o < 0.98 \quad \cdots (7)$

另外，如果视角造成的波长相对于照明光源发射谱宽度的移动量过大，则存在在位于屏幕内的部分中发生光量下降的危险。因此，为了防止这一点，希望考虑照明光源的发射谱宽和视角造成的波长移动，并且在发射谱宽变窄的情况下通过使参考光源从虚像附近接近光瞳附近来控制波长的移动量。具体而言，在图象显示部件发射的光仅具有单一波长区域成分或多个分散的波长区域成分的情况下，希望在单一波长区域的半峰全宽或多个波长区域之一的半峰全宽设置为FWHM时满足下列式（8）：

15 $0.2 < |(\lambda_y - \lambda_o) / \text{FWHM}| \quad \cdots (8)$

另外，作为考虑到衍射波长区域的光谱半宽以波长 λ_y 为中心并且衍射波长区域光谱的光谱半宽以波长 λ_o 为中心的结果，式（8）左侧的“0.2”是基于给定的考虑、使得各个波长区域的半宽的光谱也包含在光源光谱的半峰全宽内而获得。

以上是关于参考光源距离的研究。但是，本发明人还研究了参考光源的入射角度并获得下列结果。具体地说，通过适当设置参考光源的入射角，可以校正曝光光源和照明光源的波长偏差，使得亮度中心总是与屏幕中心重合。

还希望曝光光源的波长和照明光源的波长重合；但一般来说，因为将激光用作曝光光源而将LED用作照明光源，并且因为激光和LED的光产生装置不同，所以两个光源的波长并不总是重合。因此，在存在一些偏差的情况下，发现在视角端部处的光量减少可以通过调节参

考光源的角度进行中心分布而平衡，使得视角中心处的主导衍射波长与照明光源的主导波长重合。

5 关于采用的方法，可以正确地使用参考光和播放入射光之间的角度差造成波长移动的特性，并且参考光源的入射角可以如上所述地移动，使得在视角中心处光线的主导衍射波长与照明光源主导波长重合，而不是与曝光波长重合，由此从曝光波长移动播放系统视角中心处光线的主导衍射波长。反过来可以从上述式（3）和（4）中计算所述的量。具体地说，可以计算入射角之差，使得主导衍射波长与照明光源的主导波长重合。

10

具体而言，如果播放期间（制造期间用于对反射式全息光学元件曝光的两个光源中）位于观察者眼睛一侧上的光源到反射式全息光学元件中心上的入射角（在空气中算出的角度）表示为 θ_1 ，从图象显示部件的显示部分中心发出并导入图像合成器出射光瞳中心的光线在反射式全息光学元件处的反射角（空气中算出的角度）表示为 θ_2 ，如果满足下列式（9），则在接近中心分布的状态下可以平衡视角端部处光的减少：

15

$$0.8^\circ < |\theta_1 - \theta_2| \quad \dots (9)$$

20

如上所述，本发明可以提供一种图像显示装置，它能够在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器的出射光瞳中心的情况下实现显示图像的图像质量的改善，同时通过利用反射式全息光学元件实现尺寸和重量的减小，并且本发明还可以提供一种可以用在这种图像显示装置等中的图像合成器。

25

附图说明

图 1 是表示构成本发明第一工作结构的图像显示装置的结构简图，且（以示意图形式）表示该图像显示装置中的光线路径；

30 图 2 是表示限定全息光学元件的两个光源的坐标系统简图；

图 3 是本发明第一工作结构的具体实例的横向像差简图, 图 3 (a) 表示 $(X,Y) = (0^\circ,+5^\circ)$ 的视角, 图 3 (b) 表示 $(X,Y) = (0^\circ,0^\circ)$ 的视角, 图 3 (c) 表示 $(X,Y) = (0^\circ,-5^\circ)$ 的视角, 每个附图的左侧表示 Y 轴方向的横向像差, 每个附图的右侧表示 X 轴方向的横向像差。另外, 实线表示波长为 499.59nm 的光线, 虚线表示波长为 509.59nm 的光线, 点划线表示波长为 519.2nm 的光线;

图 4 是本发明第一工作结构的具体实例的另一横向像差简图。图 4 (a) 表示 $(X,Y) = (6.75^\circ,+5^\circ)$ 的视角, 图 4 (b) 表示 $(X,Y) = (6.75^\circ,0^\circ)$ 的视角, 图 4 (c) 表示 $(X,Y) = (6.75^\circ,-5^\circ)$ 的视角。每个附图的左侧表示 Y 轴方向的横向像差, 每个附图的右侧表示 X 轴方向的横向像差。另外, 实线表示波长为 499.59nm 的光线, 虚线表示波长为 509.59nm 的光线, 点划线表示波长为 519.2nm 的光线;

图 5 是在本发明第一工作结构的具体实例中对于各个视角的衍射效率与波长之间的关系曲线;

图 6 是在本发明第一工作结构的具体实例中对于各个光瞳坐标衍射效率与波长之间关系的曲线;

图 7 是表示本发明第一工作结构的具体实例中像平面内亮度的简图;

图 8 是表示本发明第一工作结构的具体实例中光瞳平面内亮度的简图;

图 9 是表示构成本发明第二工作结构的图像显示装置的结构简图, 且 (以示意图形式) 表示该图像显示装置中的光线路径;

图 10 是本发明第二工作结构的具体实例的横向像差简图, 图 10 (a) 表示 $(X,Y) = (0^\circ,+5^\circ)$ 的视角, 图 10 (b) 表示 $(X,Y) = (0^\circ,0^\circ)$ 的视角, 图 10 (c) 表示 $(X,Y) = (0^\circ,-5^\circ)$ 的视角, 每个附图的左侧表示 Y 轴方向的横向像差, 每个附图的右侧表示 X 轴方向的横向像差。另外, 实线表示波长为 453.38nm 的光线, 虚线表示波长为 463.38nm 的光线, 点划线表示波长为 443.38nm 的光线;

图 11 是本发明第二工作结构的具体实例的另一横向像差简图。图 11 (a) 表示 $(X,Y) = (6.75^\circ,+5^\circ)$ 的视角, 图 11 (b) 表示 (X,Y)

= (6.75°, 0°) 的视角, 图 11 (c) 表示 $(X, Y) = (6.75^\circ, -5^\circ)$ 的视角。每个附图的左侧表示 Y 轴方向的横向像差, 每个附图的右侧表示 X 轴方向的横向像差。另外, 实线表示波长为 453.38nm 的光线, 虚线表示波长为 463.38nm 的光线, 点划线表示波长为 443.38nm 的光线;

5 图 12 是在本发明第二工作结构的具体实例中对于各个视角的衍射效率与波长之间的关系曲线;

图 13 是在本发明第二工作结构的具体实例中对于各个光瞳坐标衍射效率与波长之间关系的曲线;

10 图 14 是表示本发明第二工作结构的具体实例中像平面内亮度的简图;

图 15 是表示本发明第二工作结构的具体实例中光瞳平面内亮度的简图;

图 16 是表示构成本发明第三工作结构的图像显示装置的结构简图, 且 (以示意图形式) 表示该图像显示装置中的光线路径;

15 图 17 是本发明第三工作结构的具体实例的横向像差简图, 图 17 (a) 表示 $(X, Y) = (0^\circ, +5^\circ)$ 的视角, 图 17 (b) 表示 $(X, Y) = (0^\circ, 0^\circ)$ 的视角, 图 17 (c) 表示 $(X, Y) = (0^\circ, -5^\circ)$ 的视角, 每个附图的左侧表示 Y 轴方向的横向像差, 每个附图的右侧表示 X 轴方向的横向像差。另外, 实线表示波长为 641.16nm 的光线, 虚线表示波长为 651.16nm 的光线, 点划线表示波长为 631.16nm 的光线;

20 图 18 是本发明第三工作结构的具体实例的另一横向像差简图。图 18 (a) 表示 $(X, Y) = (6.75^\circ, +5^\circ)$ 的视角, 图 18 (b) 表示 $(X, Y) = (6.75^\circ, 0^\circ)$ 的视角, 图 18 (c) 表示 $(X, Y) = (6.75^\circ, -5^\circ)$ 的视角。每个附图的左侧表示 Y 轴方向的横向像差, 每个附图的右侧表示 X 轴方向的横向像差。另外, 实线表示波长为 641.16nm 的光线, 虚线表示波长为 651.16nm 的光线, 点划线表示波长为 631.16nm 的光线;

25 图 19 是在本发明第三工作结构的具体实例中对于各个视角的衍射效率与波长之间的关系曲线;

30 图 20 是在本发明第三工作结构的具体实例中对于各个光瞳坐标衍射效率与波长之间关系的曲线;

图 21 是表示本发明第三工作结构的具体实例中像平面内亮度的简图；

图 22 是表示本发明第三工作结构的具体实例中光瞳平面内亮度的简图；

5 图 23 是表示构成本发明第四工作结构的图像显示装置对于各种颜色的像平面内亮度的简图；

图 24 是表示构成本发明第四工作结构的图像显示装置对于各种颜色的光瞳平面内亮度的简图；

10 图 25 是布拉格条件的释义图，图 25 (a) 表示全息图曝光期间的状态，图 25 (b) 表示利用全息图阶段的状态；

图 26 是表示主导衍射波长的变化（移动）与反射式全息光学元件上的入射角变化之间的关系简图；

图 27 是表示本发明第一至第四工作结构的图像显示装置中照明光源的波长特性简图。

15

具体实施方式

下面将参考附图描述构成本发明工作结构的图像合成器和图像显示装置。

20 [第一工作结构]

图 1 是构成本发明第一工作结构的图像显示装置的结构简图，且（以示意图形式）表示该图像显示装置中的光线（只是来自图像显示元件 2 的光线）路径。

25 此处，如图 1 所示地限定相互垂直的 X 轴、Y 轴和 Z 轴。具体地说，图 1 中纸平面内的左右方向取作 Z 轴，Z 坐标值增大的方向定义为“右”。图 1 中纸平面内的垂直方向取作 Y 轴，Y 坐标值增大的方向定义为“上”。图 1 中垂直于纸平面的方向取作 X 轴，系统为右手系统，即图 1 中从纸平面向内的方向定义为 X 坐标值增大的方向。

30 另外，也可以使 Y 轴方向与实际垂直方向重合，或者可以是其它某些

合适的方向。这些定义与后面描述的图 9 和 16 相同。

构成本工作配置的图像显示装置包括图像合成器 1 和图像显示元件 2。

5

在本工作结构中，透射式 LCD 用作图像显示元件 2。用来自 LED3 和反射镜 4 如抛物面镜组成的光源的光源光从后面对图像显示元件 2 照明。对光源光进行空间光调制，并且透射指示显示图像的光。另外，无庸赘述，也可以利用其它一些元件如反射式 LCD 或使用电致发光光发射元件作为图像显示元件 2。

10

在本工作结构中，用三色 LED 作为 LED3。图 27 表示 LED3 的发射光谱。在图 27 中，曲线 LR 表示 LED3 红光发射部分的发射光谱，曲线 LG 表示 LED3 绿光发射部分的发射光谱，曲线 LB 表示 LED3 蓝光发射部分的发射光谱。从图 27 看出，LED3 发射的光在 R（红光）波长区域、G（绿光）波长区域和 B（蓝光）波长区域分别具有峰值波长，并且在各个峰值波长延伸之前和之后的各个波长区域内具有各自的强度。在该 LED3 的 R 波长区域中峰值波长的光谱强度的半峰全宽 FWHMr 为 23nm，G 波长区域中峰值波长的半峰全宽 FWHMg 为 60.8nm，B 波长区域中峰值波长的半峰全宽 FWHMb 为 29nm。这些方面在后面描述的各个工作结构中也相同。

15

20

另外，在本工作结构中，该装置构造成使得反射式 HOE 6 选择性地衍射和只反射 G 波带成分；因此，图 27 中只发射 G 波长区域成分的 G 单色 LED 也可以用作 LED 3。

25

图像合成器 1 包括以平行平板形式构造的板式部分 5，其中平行平板为从光学材料如玻璃或塑料中去除了上部。当然，板式部分 5 也可以具有（例如）用于校正用户视觉敏锐度的光功率。在该情况下，例如 Z 轴方向板式部分 5 两个表面 5a 和 5b 中的至少一个表面构

30

造成曲面。这些方面在后面描述的各个工作结构中也相同。另外，在本工作结构中，板式部分 5 的上部在图中向右侧凸出，该上部的上表面 5c 形成为变形的非球面。而且板式部分 5 在图 1 中还向下延伸；但图中将此省去。

5

板式部分 5 通过支撑件如框架（图中未示出）以与眼镜片相同的方式安置在用户头上，并且位于用户眼睛（图中未示出）的前方。图 1 中，P 表示从图像合成器 1 的图像显示元件 2 发出的光的出射光瞳，P0 表示出射光瞳 P 的中心。图像合成器 1 安置在用户身上使得该出射光瞳 P 基本上与用户眼睛的瞳孔重合。在图 1 中，Z 轴方向与板式部分 5 的厚度方向相同。板式部分 5 的眼睛侧表面 5a 和反侧表面 5b 平行于 XY 平面。另外，虽然图中未示出，但 LED3、反射镜 4 和图像显示元件 2 也由上述支撑件支撑。结果，图像显示元件 2 设置在处于图中纸平面内板式部分 5 上方和右侧的位置，以至于不妨碍用户对外界的观察，并且使得图像显示元件在用户安装图像显示装置时不产生任何障碍。

当然，也可以在其他某些合适的位置设置图像显示元件 2，并且通过中继光学系统将显示图像导入图像显示元件 2 的位置；另外，也可以利用扫描光学系统在该位置形成图像。这些方面在后面描述的各个工作结构中也相同。

而且，在图 1 中，点 A1 和 A2 分别表示图中纸平面内图像显示元件 2 显示部分的两个端部的位置。另外，点 A0 表示该显示部分的中心。

图像合成器 1 构造成使得从图像显示元件 2 发出的光叠加到透射过板式部分 5 的光（以下称作“外界光”）上，从而从板式部分 5 的正面穿过板式部分 5 的厚度（即，从而从表面 5b 入射并从表面 5a 发出），并再导入用户眼睛。

在本工作结构中，反射式全息光学元件（反射式 HOE）6 设置在板式部分 5 之内面对用户眼睛的位置附近。在本工作结构中，反射式 HOE6 以特定的角度相对于图 1 中所示的表面 5a 和 5b 倾斜。

5

例如，反射式 HOE6 可以通过粘结到与板式部分 5 相同材质的小片上、再把该小片放置在形成板式部分 5 的模具框架中而制作，并且可以通过将熔融态的板式部分 5 的材料灌注到模具框架中并再将该材料固化而将反射式 HOE6 安装在板式部分 5 的内侧。

10

在本工作结构中，反射式 HOE6 只选择性地反射包含在图 27 中所示 G 波带中（来自图像显示元件 2 的光中）的成分的光。另一方面，反射式 HOE6 几乎不偏转地透射外界光（图中未示出）中所有波长区域的光。另外，希望把具有高波长选择性的 HOE 用作反射式 HOE6，使得与外界光的干涉最小化。

15

如图 1 所示，反射式 HOE 6 具有选择性地向观察者的瞳孔只反射包含在图 27 中所示 G 波带中（来自图像显示元件 2 中的光中）的成分的光的特性，并且还具有一定的光功率，使得该 HOE 具有特殊的图像聚焦作用。反射式 HOE6 可以具有平坦的表面，或者可以具有曲面。在把具有曲面的 HOE 用作反射式 HOE 6 的情况下，如果曲面的曲率中心设置在用户的眼睛一侧，则视角较大时由反射式 HOE6 产生的根据视角的像差涨落量减小，这正是希望的。

20

例如，光聚合物、光致抗蚀剂、光致变色材料、光致二向色材料、银盐乳胶、明胶重铬酸酯（gelatin bichromate）、明胶重铬酸酯（gelatin dichromate）、塑料、铁电材料、磁光材料、电光材料、非晶态半导体、光折射材料等可以用作用来构造反射式 HOE6 的全息光敏材料。另外，反射式 HOE6 可以通过利用光学系统用来自两个光源的光同时照射这些材料而制备，其中光学系统用于这种根据公知的方法制造 HOE6。

25

30

穿过图像显示元件 2 的显示部分上任意点的光从板式部分 5 上部的上表面 5c 进入板式部分 5 的内部，并再以大于临界角的入射角入射到板式部分 5 的表面 5a 的区域 R1 上，使得该光被区域 R1 全反射。然后，该光以大于临界角的入射角入射到板式部分 5 的表面 5b 的区域 R2，使得该光被区域 R2 全反射。另外，该光再以大于临界角的入射角入射到板式部分 5 的表面 5a 的区域 R3，使得该光被区域 R3 全反射。然后，该光入射到反射式 HOE 6 上。在该情况下，该光经受反射式 HOE 6 的具有波长选择性（在本工作结构中为 G 光的选择性）的反射和衍射效应和图像聚焦效应。随后，该光从板式部分 5 的表面 5a 的区域 R4 发射到板式部分 5 的外部。在该情况下，离开图像显示元件 2 相同位置的光入射到用户眼睛的瞳孔上，瞳孔处于出射光瞳 P 上，使得在离开出射光瞳 P 特定距离（在本工作结构的情况下为 1m；在后面描述的其它工作结构中该距离也相同，也可以设置为例如在无限远处）处形成放大的虚像。

根据 LED3 的发射光谱特性和反射式 HOE 6 的波长选择性，在从图像显示元件 2 发出并被反射式 HOE 6 衍射和反射之后到达用户眼睛的光只具有 G 光成分。此处，把从图像显示元件 2 上的任意点发出并到达出射光瞳 P 中心 P0 的光线（从图像显示元件 2 发出并被反射式 HOE 衍射和反射之后到达用户眼睛的 G 光中（即图 27 中 G 波长区域的光））称作关于 G 波长区域的主光线。

在本工作结构中，如果把相对于从图像显示元件 2 的显示部分中心发出的 G 波长区域的主光线被反射式 HOE 6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值处的波长表示为 λ_{og} ，并且如果当相对于从图 1 中 Y 方向上图像显示元件 2 的显示部分的周边部分发出的 G 波长区域的主光线被反射式 HOE 6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值处的波长表示为 λ_{yg} ，则满足下列的式（10）或（11）。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成

器的出射光瞳中心的情况下，图像质量可以提高：

$$1.013 < \lambda_{yg} / \lambda_{og} \quad \cdots (10)$$

$$\lambda_{yg} / \lambda_{og} < 0.98 \quad \cdots (11)$$

5 另外，在本工作结构中，下面所示的式（12）也得到满足。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，由视角造成的相对于LED 3 发射光谱的 G 波长区域的宽度的波长移动量得到抑制，使得在显示屏部分中将会发生的光量下降的危险被消除。

$$0.2 < |(\lambda_{yg} - \lambda_{og}) / \text{FWHM}_g| \quad \cdots (12)$$

10

另外，在本工作配置中，如果（制造期间用于曝光反射式 HOE 6 的两个光源（对应于 G 波长区域）中）播放期间从位于观察者眼睛一侧上的光源向反射式 HOE 6 中心的入射角（在空气中计算的角度）设定为 θ_{1g} ，并且如果从图像显示元件 2 显示部分中心发射并指向出射光瞳 P 的中心 P0 的光线的反射式全息光学元件处的反射角（在空气中计算的角度）表示为 θ_2 ，则下面给出的式（13）得到满足。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，视角端部处光线的减少可以在接近中心分布的状态下得到平衡。

15

$$0.8^\circ < |\theta_{1g} - \theta_2| \quad \cdots (13)$$

20

此处，将参考图 1 对第一工作结构的具体实例进行描述。在该具体实例的设计中，把本领域内公知的 U.S. firm of Optical Research Associates 制造的 Code V（商品名称）用作设计方案。在该情况下，从图像显示元件 2 显示部分的中心 A0 发出并穿过出射光瞳 P 的中心 P0 的光线的光路定义为整个光学装置的光轴。在该具体实例中，光轴不是单一的直线，而是具有连接互相倾斜的线段的形状。这些方面在后面描述的各种工作结构的具体实例中也一样。

25

下面描述该具体实例的各种光学量。

30

出射光瞳 P 的直径为 3mm。图中纸平面内向上方向的视场角为 5°。图中纸平面内向下方向的视场角为-5°。纸页深度方向上的视场角为 ±6.75°。图中纸平面内屏幕的大小（即，点 A1 和点 A2 之间的长度）为 3.6mm。纸页深度方向上屏幕的大小为 4.8mm。板式部分 5 的厚度 d 为 3.5mm。使用的波长处于大约 480nm~540nm 的波长范围内。板式部分 5 相对于 587.56nm 波长（d 线）的折射率 nd 为 1.596229，阿贝数 v d 为 40.4。

关于 HOE 6 的定义，全息图通过限定两束用于曝光的光束而明确地定义。两束光由各个光源的位置以及从各个光源发出的光束的会聚（VIR）或发散（REA）限定。第一个点光源（HV1）的坐标表示为（HX1,HY1,HZ1），第二光点光源的坐标表示为（HX2,HY2,HZ2）。在这些坐标的情况下，如图 2 所示，HOE 平面与光轴之间的交点取作原点，Z 轴取在光轴的方向上，HOE 平面内纸平面的向上方向取作 Y 轴，纸页的深度方向取作 X 轴，使得这些坐标与有关图 1 中所定义的坐标不同。

另外，把厚度为 20 μm、折射率为 1.493、折射率调幅为 0.03 的乳胶用作记录全息图的乳胶。曝光波长为 532nm，假设乳胶的收缩率为 3.3%。因为收缩造成的播放光束波长的涨落处于正比例关系，所以波长也被缩短 3.3%使得播放期间的中心波长为 512nm。HOE6 的平面为中心位于图 1 中沿 Z 轴右侧离表面 5a 有 1.7mm 的平面，其取向为从与 Y 轴相同方向在纸平面上顺时针旋转 30°。HOE 6 具有相位函数分量，以使图像聚焦性能最佳。

为了在此描述相位函数，相位函数是定义除由 HOE 6 的两个纯点光源限定之外的非球面相位转换量的函数；在光学设计方案 Code V 中，这可以利用 X 和 Y 轴分量等的多项式系数表示。

另外，用于在此具体实例中光线跟踪的各种量列于下表 2。光学

平面的顺序（平面号的顺序）是从用户眼睛的瞳孔平面（=图像合成器 1 的出射光瞳 P 的平面）到图像显示元件 2。另外，在表 2 中，图 1 中对应于各个平面号的参考标号表示为括号内的“标记”。这一点在后面描述的其他表中也是一样。

5

(表 2)

平面号(标记)	曲率半径	介质 nd	vd
1 (P)	无限远		
2 (5a:R4)	无限远	1.596229	40.4
3 (6)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
全息平面:			
两个光束的定义			
HV1: VIR		HV2: VIR	
HX1: $0.000000 \times 10^{+00}$	HY1: $0.214385 \times 10^{+08}$	HZ1: $0.155769 \times 10^{+08}$	
HX2: $0.000000 \times 10^{+00}$	HY2: $0.181933 \times 10^{+06}$	HZ2: $-.516363 \times 10^{+06}$	
相位系数			
C2: 4.7919×10^{-01}	C3: -1.5313×10^{-02}	C5: -8.5586×10^{-03}	
C7: 4.4199×10^{-04}	C9: 3.8390×10^{-04}	C10: 5.6408×10^{-06}	
C12: 1.2235×10^{-04}	C14: 4.7278×10^{-05}	C16: -1.3514×10^{-05}	
C18: 3.5083×10^{-05}	C20: 9.7776×10^{-06}	C21: 3.5859×10^{-07}	
C23: -3.8342×10^{-06}	C25: -7.3404×10^{-07}	C27: -3.3707×10^{-06}	
C29: 7.5311×10^{-07}	C31: -3.7364×10^{-06}	C33: -2.6324×10^{-06}	
C35: -1.0178×10^{-06}	C36: 6.7531×10^{-08}	C38: 4.8718×10^{-07}	
C40: 3.5228×10^{-07}	C42: 3.1571×10^{-08}	C44: 3.5833×10^{-07}	
C46: -2.8708×10^{-09}	C48: 1.8285×10^{-07}	C50: 2.1392×10^{-07}	
C52: 8.7363×10^{-08}	C54: 4.4404×10^{-08}	C55: 5.1216×10^{-10}	
C57: -5.0692×10^{-09}	C59: -2.8768×10^{-08}	C61: -1.8789×10^{-08}	
C63: 6.2577×10^{-09}	C65: -1.4146×10^{-08}		
4 (5a:R3)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
5 (5b:R2)	无限远	1.596229	40.4 反射平面

6 (5a:R1)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
7 (5c)	-40.57208		
变形的非球面			
KY:0.000000	KX:0.000000		
在 X 轴方向的曲率半径: -20.63634			
AR: 0.979301×10^{-05}	BR: $-.785589 \times 10^{-06}$	CR: $-.561534 \times 10^{-08}$	
DR: 0.690209×10^{-38}			
AP: $-.245366 \times 10^{+01}$	BP: $-.272167 \times 10^{+00}$	CP: $-.123202 \times 10^{+01}$	
DP: $0.211276 \times 10^{+06}$			
8 (2)	无限远		

表 2 中采用的相位函数的定义把光程差表示为被采用的波长归一化的值，其中入射到将 HOE 表示为 XY 坐标平面上的位置的点上的光线经历该光程差；如果假设 m 和 n 为整数，则可以通过指定下面所示的一般式 (14) 表示的多项式系数来确定，这些系数一直可以设到 65；依次为 C1, C2, C3, ..., C65，并当系数的顺序号用整数 j 表示时，建立对应项，使得如下所示式 (15) 表达的关系在表示 X 坐标和 Y 坐标的顺序号的整数 m 和 n 之间也成立。具体地说，在本实例中，相位函数由下面所示的式 (16) 的多项式限定。相位函数的这种定义在后面描述的表中也相同。

$$\sum_{m=0}^{10} \sum_{n=0}^{10} C_{mn} X^m Y^n, \text{ where } C_{mn} = 0 \quad \dots (14)$$

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} \quad \dots (15)$$

$$C1X + C2Y + C3X^2 + C4XY + \dots + C65Y^{10} \quad \dots (16)$$

关于此处采用的变形的非球面 5c 的定义，可以通过表示曲面 5c 上的点 (x,y) 的 Z 轴坐标值来定义，在该点，曲面 5c 的光轴取作 Z 坐标轴（即下垂量），如下式 (17) 所示：

$$\frac{CUXx^2 + CUYy^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + KX)CUX^2x^2 - (1 + KY)CUY^2y^2}} + AR\{(1 - AP)x^2 + (1 + AP)y^2\}^2 + BR\{(1 - BP)x^2 + (1 + BP)y^2\}^3 + CR\{(1 - CP)x^2 + (1 + CP)y^2\}^4 + DR\{(1 - DP)x^2 + (1 + DP)y^2\}^5 \quad \cdots \quad (17)$$

5

在式（17）中，CUX表示在X轴方向的曲率半径，CUY表示在Y轴方向的曲率半径，KX是X轴方向的锥面常数，KY是Y轴方向的锥面常数，AR是关于Z轴对称旋转的第四阶非球面系数，BR是关于Z轴对称旋转的第六阶非球面系数，CR是关于Z轴对称旋转的第八阶非球面系数，DR是关于Z轴对称旋转的第十阶非球面系数，AP是非对称旋转的第四阶非球面系数，BP是非对称旋转的第六阶非球面系数，CP是非对称旋转的第八阶非球面系数，DP是非对称旋转的第十阶非球面系数。

10

另外，关于本具体实例中各个光学平面的位置关系，在下列表3中示出了以第一平面（平面号1=图1中的标记P）的中心P0取作原点（X,Y,Z）=（0,0,0）的各个光学平面的中心的绝对位置，以及这些平面绕X轴的旋转量（以逆时针方向作为正方向测量得到的值）。

15

（表3）

平面号(标记)	X 坐标值	Y 坐标值	Z 坐标值	绕 X 轴的旋转角[°]
1 (P)	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000
2 (5a:R4)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
3 (6)	0.00000	0.00000	14.70000	-30.0000
4 (5a:R3)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
5 (5b:R2)	0.00000	0.00000	16.50000	0.0000
6 (5a:R1)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
7 (5c)	0.00000	22.80000	13.10522	93.1693
8 (2)	0.00000	29.16123	24.93254	45.4349

关于本具体实例中 HOE 6 的第一光源的位置, 从下面看出: HX1: 0, HY1: $0.214385 \times 10^{+0.8}$, HZ1: $0.155769 \times 10^{+0.8}$

5 这是图 2 中 yz 坐标的第一象限, 离开原点的距离为 $2.65 \times 10^7 \text{mm}$, 并且从 Z 轴负方向测得的角度为 54° 。但是, 因为 HV1 为 VIR, 所以是会聚光, 实际上从反方向入射。另外, 因为 HOE 6 的两个光源在空气中定义, 所以对折射率校正距离和角度, 并且比较播放期间 HOE 6 处于介质中的情形。

10 在此实例的情况下, 因为距离实际上是无限远, 所以不必转换。因为此光源的距离为接近在播放虚像和出射光瞳之间虚像的距离, 所以主导衍射波长在出射光瞳内的各个位置处恒定。作为代替, 主导衍射波长根据视角移动。

15 同时, 关于视角, 第一光源关于 HOE 法线的入射角在空气中为 54° 。此处, 因为播放期间光轴上的光以 30° 的入射角经折射率约为 1.6 的介质入射, 所以该角度在空气中算出为 53.1° 。因此, 曝光光束在 HOE 6 上的入射角 θ_{1g} 以及播放光在 HOE 6 上的入射角 θ_2 移动 0.9° 。结果, 0° 视角处的主导衍射波长从只考虑收缩时的播放中心波长 512nm 略微移动, 使得该波长接近光源绿色发射光谱的 516nm 的峰值波长。

20 当对本具体实例计算衍射效率时, 以视角 -5° 、 0° 和 $+5^\circ$ (Y 方向的视角; X 方向的视角为 0°) 穿过 -1.5mm、0mm 和 +1.5mm 的各个光瞳坐标 P_y 的光线的衍射效率的主导波长示于下列表 4。此处, 光瞳坐标 P_y 为图 1 纸平面中出射光瞳 P 内的 Y 轴方向的位置坐标; $P_y = 0 \text{mm}$ 的位置表示出射光瞳 P 的中心 P0。另外, 在光线穿过 $P_y = 0 \text{mm}$ 的光瞳坐标的情况下, 所有视角处的光线都是主光线。

25

(表 4)

视角 光瞳坐标 P_y	-5°	0°	$+5^\circ$
-1.5mm	529.2nm	516.04nm	499.56nm
0mm	529.2nm	516.04nm	499.56nm
+1.5mm	529.2nm	516.04nm	499.56nm

另外，用于表示本具体实例的光学系统图像聚焦性能的横向像差曲线示于图 3 和 4。在图 3 和 4 中，关于主导衍射波长 $\pm 10\text{nm}$ 的光线的横向像差对于每种视角的曲线同时示于一个附图中。从图 3 和 4 中可以看出，在视角之内的整个区域中几乎没有色差，以至于图像聚焦性能很优越。

另外，本具体实例的 HOE 6 的衍射效率的波长特性（对于绿光的特性）示于图 5 和 6。图 5 表示主光线（ $P_y=0\text{mm}$ ）在各个视角 -5° 、 0° 和 $+5^\circ$ （Y 方向的视角；X 方向的视角为 0° ）处的衍射效率的波长特性。图 6 表示以视角 $(X,Y)=(0^\circ,0^\circ)$ 穿过各个光瞳坐标 -1.5mm 、 0mm 和 $+1.5\text{mm}$ 的光线衍射效率的波长特性。在图 6 中，各个光瞳坐标的波长特性重合并重叠。在图 5 中示出了主导衍射波长如何根据视角移动，而图 6 示出了主导衍射波长如何不根据光瞳坐标移动。

在图 5 和 6 中，还叠加了（图 27 中所示 LED 3 的各种波长区域中）对应的 G 波长区域的发射光谱。实际上，到达观察者眼睛的光量（即，亮度）是这两类曲线之积（即 G 波长区域的衍射效率和发射光谱之积）。图 7 中示出了屏幕内的亮度分布，光瞳平面内的亮度分布示于图 8 中。图 7 中的各个标出点对应于图 5 中各个视角处的衍射效率峰值与对应峰值波长处 LED 3 发出的光强度之积。图 8 中的各个标出点对应于图 6 中各个光瞳坐标处衍射效率的峰值与对应峰值波长处 LED 3 发出的光强度之积。另外，图 7 和 8 中的竖轴表示以最大亮度取为 1 而归一化的亮度。

在本具体实例中，视角 -5° 和 $+5^{\circ}$ 处主导衍射波长 λ_{yg} 与视角中心处的主导衍射波长 λ_{og} 的相应比率 $\lambda_{yg}/\lambda_{og}$ 为 1.026 和 0.968，并且这样小于 0.98，大于 1.013，以至于上述的式（10）和式（11）的条件得以满足。结果如图 8 所示，光瞳平面内的强度是平坦的。

另外，视角中心和周围的主导衍射波长之差 $|\lambda_{yg}-\lambda_{og}|$ 分别为 13.16 和 16.48，并且用于本具体实例中的光源的半峰全宽 FWHM_g 为 60.8nm；因此，当计算式（12）右侧的值时，获得视角 -5° 和 $+5^{\circ}$ 处的各个值 0.22 和 0.27，使得式（12）的条件得以满足。结果，在光瞳平面内和屏幕内都获得平衡的亮度，如图 7 和 8 所示。

另外，参考光源的角度 θ_{1g} 和光线跟踪光轴的入射角 θ_2 之差为 0.9° ，使得式(13)的条件得以满足。

15

[第二工作结构]

图 9 是表示构成本发明第二工作结构的图像显示装置的结构简图，且表示该图像显示装置中的光线（仅来自图像显示元件 2 的光线）路径。在图 9 中，与图 1 中相同的元件或对应于图 1 中的元件采用相同的标号标注并省去赘述。另外，图 9 中省去了构成光源的 LED 3 和反射镜 4。

20

本工作结构与上述第一工作结构的根本区别在于下列方面：即，在上述第一工作结构中，装置构造成使得反射式 HOE 6 选择性地只衍射和反射 G 波带成分，而在本工作结构中，装置构造成使得反射式 HOE 6 选择性地只衍射和反射 B 波带成分。

25

另外，在本工作结构中，因为装置构造成使得反射式 HOE 6 选择性地只衍射和反射 B 波带成分，所以图 27 中只发射 B 波长区域成分的 B 单色 LED 可以用作 LED 3。

30

此处，（在从图像显示元件 2 中发出并被反射式 HOE 6 衍射和反射之后到达用户眼中的 B 光（即图 27 中 B 波长区域的光）中）从图像显示元件 2 上的任意点发出并到达出射光瞳 P 中心 P0 的光线称作关于 B 波长区域的主光线。

在本工作结构中，如果把相对于从图像显示元件 2 的显示部分中心发出的 B 波长区域的主光线被反射式 HOE 6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值处的波长表示为 λ_{ob} ，并且如果把相对于从图 9 所示 Y 方向上图像显示元件 2 的显示部分的周边部分发出的 B 波长区域的主光线被反射式 HOE 6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值处的波长表示为 λ_{yb} ，则满足下列的式（18）或式（19）。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合成器的出射光瞳中心的情况下，图像质量可以提高：

$$1.013 < \lambda_{yb} / \lambda_{ob} \quad \cdots (18)$$

$$\lambda_{yb} / \lambda_{ob} < 0.98 \quad \cdots (19)$$

另外，在本工作结构中，下面的式（20）也得到满足。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，由视角造成的相对于 LED 3 发射光谱的 B 波长区域宽度的波长移动量得到抑制，使得在显示屏部分中将会发生的光量下降的危险被消除。

$$0.2 < |(\lambda_{yb} - \lambda_{ob}) / \text{FWHMb}| \quad \cdots (20)$$

另外，在本工作结构中，如果（制造期间用于曝光反射式 HOE 6 的两个光源（对应于 B 波长区域）中）播放期间从位于观察者眼睛一侧上的光源向反射式 HOE 6 中心的入射角（在空气中计算得到的角度）设定为 θ_{1b} ，并且如果从图像显示元件 2 显示部分中心发射并指向出射光瞳 P 的中心 P0 的光线的反射式全息光学元件处的反射角（在空气中计算得到的角度）表示为 θ_2 ，则下面给出的式（21）得到满足。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，视角端部

处光线的减少可以在接近中心分布的状态下得到平衡。

$$0.8^{\circ} < |\theta_{1b} - \theta_2| \quad \cdots (21)$$

5 此处将参考图 9 描述本工作结构的具体实例。该具体实例的各种光学量描述如下。

10 在本具体实例中，HOE 6 的曝光波长设置在 476nm。出射光瞳 P 的直径为 3mm。图中纸平面内向上方向的视场角为 5° 。图中纸平面内向下方向的视场角为 -5° 。纸页深度方向上的视场角为 $\pm 6.75^{\circ}$ 。图中纸平面内屏幕的大小（即点 A1 和点 A2 之间的长度）为 3.6mm。纸页深度方向上屏幕的大小为 4.8mm。板式部分 5 的厚度 d 为 3.5mm。板式部分 5 采用与上述第一工作结构的具体实例中相同的材料。

15 另外，用于在该具体实例中光线跟踪的各种量列于下表 5。光学平面的顺序（平面号的顺序）是从用户眼睛的瞳孔平面（=图像合成器 1 的出射光瞳 P 的平面）到图像显示元件 2。

（表 5）

平面号(标记)	曲率半径	介质 nd	vd
1 (P)	无限远		
2 (5a:R4)	无限远	1.596229	40.4
3 (6)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
全息平面:			
两个光束的定义			
HV1: REA		HV2: VIR	
HX1: $0.000000 \times 10^{+00}$	HY1: $-.243820 \times 10^{+02}$	HZ1: $-.165512 \times 10^{+02}$	
HX2: $0.000000 \times 10^{+00}$	HY2: $-.605332 \times 10^{+02}$	HZ2: $-.289129 \times 10^{+02}$	
相位系数			
C2: $1.7337 \times 10^{+00}$	C3: 9.2796×10^{-03}	C5: -1.5977×10^{-03}	
C7: -7.1335×10^{-05}	C9: 2.8492×10^{-04}	C10: -9.2646×10^{-06}	

C12:	1.2395×10^{-04}	C14:	5.5187×10^{-05}	C16:	-2.4261×10^{-05}
C18:	1.0132×10^{-05}	C20:	-1.2885×10^{-06}	C21:	1.7830×10^{-06}
C23:	2.2457×10^{-06}	C25:	5.7068×10^{-07}	C27:	-4.5205×10^{-06}
C29:	1.7885×10^{-06}	C31:	2.7316×10^{-07}	C33:	3.8019×10^{-07}
C35:	-3.3623×10^{-08}	C36:	1.7243×10^{-08}	C38:	-3.1054×10^{-07}
C40:	-4.3523×10^{-07}	C42:	-1.3783×10^{-08}	C44:	4.5950×10^{-07}
C46:	-2.8238×10^{-08}	C48:	-1.5580×10^{-08}	C50:	-1.0661×10^{-08}
C52:	-2.8648×10^{-08}	C54:	1.1788×10^{-08}	C55:	-2.6416×10^{-10}
C57:	2.5009×10^{-08}	C59:	2.8852×10^{-08}	C61:	1.2417×10^{-08}
C63:	6.2577×10^{-09}	C65:	-1.4146×10^{-08}		
4 (5a:R3)	无限远	1.596229	40.4 反射平面		
5 (5b:R2)	无限远	1.596229	40.4 反射平面		
6 (5a:R1)	无限远	1.596229	40.4 反射平面		
7 (5c)	-40.57208				
变形的非球面					
KY:0.000000		KX:0.000000			
在 X 轴方向的曲率半径: -20.63634					
AR:	0.979301×10^{-05}	BR:	$-.785589 \times 10^{-06}$	CR:	$-.561534 \times 10^{-08}$
DR:	0.690209×10^{-38}				
AP:	$-.245366 \times 10^{+01}$	BP:	$-.272167 \times 10^{+00}$	CR:	$-.123202 \times 10^{+01}$
DP:	$0.211276 \times 10^{+06}$				
8 (2)	无限远				

另外，关于本具体实例的各个光学平面的位置关系，在下列表 6 中示出了以第一平面（平面号 1=图 9 中的标记 P）的中心取作原点（X,Y,Z）=（0,0,0）的各个光学平面的中心的绝对位置，这些平面绕 X 轴的旋转量（以逆时针方向为正方向测得的值）。

(表 6)

平面号(标记)	X 坐标值	Y 坐标值	Z 坐标值	绕 X 轴的旋转角[°]
1 (P)	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000
2 (5a:R4)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
3 (6)	0.00000	0.00000	14.70000	-30.0000
4 (5a:R3)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
5 (5b:R2)	0.00000	0.00000	16.50000	0.0000
6 (5a:R1)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
7 (5c)	0.00000	22.80000	13.10522	93.1693
8 (2)	0.00000	29.16123	24.93254	45.4349

关于该具体实例中 HOE 6 的第一光源的位置,从下面看出: HX1: 0, HY1: $-0.243820 \times 10^{+02}$, HZ1: $-0.165512 \times 10^{+02}$

这是图 2 中 yz 坐标的第三象限, 离开原点的距离为 26.469mm, 以及从 Z 轴负方向测得的角度为 55.8°。另外, 因为 HV1 为 REA, 所以是发散光。因为 HOE 6 的两个光源定义在空气中, 与第一工作结构一样, 所以对折射率校正距离和角度, 并且比较播放期间 HOE 6 处于介质中的情形。

HOE 6 的平面位于距离光瞳平面 14.7mm 处; 这个距离中的 1.7mm 处于折射率约为 1.6 的介质中。因此, 就空气而言算出的长度为 1.06mm, 从而就空气而言算出的 HOE 6 到光瞳平面的距离为 14.06mm。因此, 在该实例中光源的距离近似为虚像到光瞳之间光瞳距离的两倍。

同时, 关于角度, 在空气中第一光源关于 HOE 6 法线的入射角为 55.8°。此处, 因为播放期间光轴上的光以 30°的入射角经折射率约为 1.6 的介质入射, 所以此角度在空气中算出为 53.1°。因此, 曝光光束在 HOE 6 上的入射角 θ_{1b} 以及播放光在 HOE 6 上的入射角 θ_2 偏

移 2.7°。结果，由于乳胶的收缩（假设为 3.3%），0°视角处的主导衍射波长从曝光波长 476nm 移到 460.3nm；但是，作为第一光源角偏差的结果，该波长进一步轻微地移动，使得该波长接近光源蓝色发射光谱的 463nm 的峰值波长。

5

当对本具体实例计算衍射效率时，分别以视角-5°、0°和+5°（Y方向的视角；X方向的视角为 0°）穿过-1.5mm、0mm 和+1.5mm 的各个光瞳坐标 Py 的光线的衍射效率的主导波长示于下列表 7。此处，光瞳坐标 Py 为图 9 所示纸平面中出射光瞳 P 内的 Y 轴方向的位置坐标；Py=0mm 的位置表示出射光瞳 P 的中心 P0。另外，在光线穿过 Py=0mm 的光瞳坐标的情况下，所有视角的光线都是主光线。

10

（表 7）

视角 光瞳坐标 Py	-5°	0°	+5°
-1.5mm	486.38nm	469.88nm	453.38nm
0mm	479.78nm	466.58nm	450.08nm
+1.5mm	476.48nm	459.98nm	443.48nm

15

另外，用于表示本具体实例的光学系统图像聚焦性能的横向像差曲线示于图 10 和 11。在图 10 和 11 中，关于主导衍射波长±10nm 的光线的横向像差关于每种视角的曲线同时示于一个附图中。从图 10 和 11 中可以看出，在视角之内的整个区域中几乎没有色差，以至于图像聚焦性能很优越。

20

用在本具体实例中的有三个波长区域的 LED3（图 9 中未示出）与第一工作结构中使用的一样，并且具有图 27 所示的发射光谱。

25

另外，本具体实例的 HOE 6 的衍射效率的波长特性（对于蓝光的特性）示于图 12 和 13。图 12 表示主光线（Py=0mm）在各个视角

-5°、0°和+5°（Y 方向的视角;X 方向的视角为 0°）处的衍射效率的波长特性。图 13 表示以视角 $(X,Y)=(0°,0°)$ 穿过各个光瞳坐标-1.5mm、0mm 和+1.5mm 的光线衍射效率的波长特性。在图 12 中示出了主导衍射波长如何根据光瞳坐标移动，而在图 13 中示出了主导衍射波长如何根据光瞳坐标移动。在该具体实例中，因为光源比第一工作结构中更接近光瞳，所以也会发生在光瞳平面内的衍射波长移动。

在图 12 和 13 中，还叠加了（图 27 中所示 LED 3 的各种波长区域中）对应的 B 波长区域的发射光谱。实际上，到达观察者眼睛的光量（即亮度）是这两类曲线之积（即 B 波长区域的衍射效率和发射光谱之积）。图 14 中示出了屏幕内的亮度分布，光瞳平面内的亮度分布示于图 15 中。图 14 中的各个标出点对应于图 12 中各个视角处的衍射效率峰值与对应的峰值波长处 LED 3 发出的光强度之积。图 15 中的各个标出点对应于图 13 中各个光瞳坐标处衍射效率的峰值与对应峰值波长处 LED 3 发出的光强度之积。另外，图 14 和 15 中的竖轴表示以最大亮度取为 1 而归一化的亮度。

在本具体实例中，视角-5°和+5°处主导衍射波长 λ_{yb} 与视角中心处的主导衍射波长 λ_{ob} 的相应比率 $\lambda_{yb}/\lambda_{ob}$ 为 1.028 和 0.965，并且这样小于 0.98，大于 1.013，以至于上述的式（18）和式（19）的条件得以满足。结果如图 15 所示，光瞳平面内的强度接近平坦。

另外，视角中心和周围的主导衍射波长之差 $|\lambda_{yb}-\lambda_{ob}|$ 分别为 13.2 和 16.5，并且用于本具体实例中的光源的半峰全宽 FWHMb 为 29nm；因此，当计算式（20）右侧的值时，获得视角-5°和+5°处的各个值 0.46 和 0.57，使得式（20）的条件得以满足。结果，获得光瞳平面内和屏幕内平衡的亮度，如图 14 和 15 所示。

另外，参考光源的角度 θ_{1b} 和光线跟踪光轴的入射角 θ_2 之差为 2.7°，使得式(21)的条件得以满足。

[第三工作结构]

图 16 是表示构成本发明第三工作结构的图像显示装置的结构简图，以及该图像显示装置中的光线（只是来自图像显示元件 2 的光线）
5 路径。在图 16 中，与图 1 中相同的元件或对应于图 1 中的元件采用相同的标号标注并省去赘述。另外，图 16 中省去了构成光源的 LED 3 和反射镜 4。

本工作结构与上述第一工作结构的根本区别在于下列方面：即在
10 上述第一工作结构中，装置构造成使得反射式 HOE 6 选择性地只衍射和反射 G 波带成分，而在本工作结构中，装置构造成使得反射式 HOE 6 选择性地只衍射和反射 R 波带成分。

另外，在本工作结构中，因为装置构造成使得反射式 HOE 6 选
15 择性地只衍射和反射 R 波带成分，所以图 27 中只发射 R 波长区域成分的 R 单色 LED 可以用作 LED 3。

此处，（在从图像显示元件 2 中发出并被反射式 HOE 6 衍射和反
射之后到达用户眼中的 R 光（即图 27 中 R 波长区域的光）中）从图
20 像显示元件 2 上的任意点发出并到达出射光瞳 P 中心 P0 的光线称作关于 R 波长区域中的主光线。

在本工作结构中，如果把相对于从图像显示元件 2 的显示部分中
心发出的 R 波长区域的主光线被反射式 HOE 6 衍射和反射时衍射效
25 率表现出最大值处的波长表示为 λ_{or} ，并且如果把相对于从图 16 所示 Y 方向上图像显示元件 2 的显示部分的周边部分发出的 R 波长区域的主光线被反射式 HOE 6 衍射和反射时衍射效率表现出最大值处的波长表示为 λ_{yr} ，则满足下列的式（22）或（23）。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，在用户眼睛的瞳孔中心偏离图像合
30 成器的出射光瞳中心的情况下，图像质量可以提高：

$$1.013 < \lambda_{yr}/\lambda_{or} \quad \cdots (22)$$

$$\lambda_{yr}/\lambda_{or} < 0.98 \quad \cdots (23)$$

5 另外，在本工作结构中，下面的式（24）也得到满足。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，由视角造成的相对于 LED 3 发射光谱的 R 波长区域的宽度的波长移动量得到抑制，使得在显示屏部分中将会发生的光量下降的危险被消除。

$$0.2 < |(\lambda_{yr} - \lambda_{or})/\text{FWHM}_r| \quad \cdots (24)$$

10 另外，在本工作结构中，如果（制造期间用于曝光反射式 HOE 6 的两个光源（对应于 R 波长区域）中）播放期间从位于观察者眼睛一侧上的光源向反射式 HOE 6 中心的入射角（在空气中计算得到的角度）设定为 θ_{1r} ，并且如果从图像显示元件 2 显示部分中心发射并指向出射光瞳 P 的中心 P0 的光线的反射式全息光学元件处的反射角（在空气中计算得到的角度）表示为 θ_2 ，则下面给出的式（25）得到满足。因此，根据已经描述的内容将知道：在本工作结构中，视角端部处光线的减少可以在接近中心分布的状态下得到平衡。

$$0.8^\circ < |\theta_{1r} - \theta_2| \quad \cdots (25)$$

20 此处将参考图 16 描述本工作结构的具体实例。该具体实例的各种光学量描述如下。

25 在本具体实例中，HOE 6 的曝光波长设置在 647nm。出射光瞳 P 的直径为 3mm。图中纸平面内向上方向的视场角为 5° 。图中纸平面内向下方向的视场角为 -5° 。纸页深度方向上的视场角为 $\pm 6.75^\circ$ 。图中纸平面内屏幕的大小（即点 A1 和点 A2 之间的长度）为 3.6mm。纸页深度方向上屏幕的大小为 4.8mm。板式部分 5 的厚度 d 为 3.5mm。板式部分 5 采用与上述第一工作结构的具体实例中相同的材料。

30 另外，用于该具体实例中光线跟踪的各种量列于下表 8。光学平

面的顺序（平面号的顺序）是从用户眼睛的瞳孔平面（=图像合成器 1 的出射光瞳 P 的平面）到图像显示元件 2。

（表 8）

平面号(标记)	曲率半径	介质 nd	vd
1 (P)	无限远		
2 (5a:R4)	无限远	1.596229	40.4
3 (6)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
全息平面:			
两个光束的定义			
HV1: REA		HV2: VIR	
HX1: $0.000000 \times 10^{+00}$		HY1: $-.124597 \times 10^{+02}$	HZ1: $-.841764 \times 10^{+01}$
HX2: $0.000000 \times 10^{+00}$		HY2: $-.132998 \times 10^{+06}$	HZ2: $-.516363 \times 10^{+06}$
相位系数			
C2: $1.0778 \times 10^{+00}$	C3: 1.8026×10^{-02}	C5: 1.7958×10^{-03}	
C7: -1.3475×10^{-03}	C9: -1.2758×10^{-04}	C10: -3.8516×10^{-05}	
C12: 1.8068×10^{-04}	C14: 7.4199×10^{-05}	C16: -1.5243×10^{-05}	
C18: 6.8532×10^{-06}	C20: -3.9793×10^{-06}	C21: 1.5435×10^{-06}	
C23: 1.4019×10^{-06}	C25: 3.3772×10^{-07}	C27: -4.4250×10^{-06}	
C29: 1.5818×10^{-06}	C31: -1.4761×10^{-07}	C33: 4.2293×10^{-07}	
C35: 3.1500×10^{-08}	C36: 2.4298×10^{-08}	C38: -2.5636×10^{-07}	
C40: -3.8160×10^{-07}	C42: -4.2124×10^{-09}	C44: 4.6437×10^{-07}	
C46: -2.2460×10^{-08}	C48: -1.0668×10^{-08}	C50: 2.3493×10^{-08}	
C52: -3.3721×10^{-08}	C54: 1.1657×10^{-08}	C55: -3.7867×10^{-10}	
C57: 1.9619×10^{-08}	C59: 2.6564×10^{-08}	C61: 7.2079×10^{-09}	
C63: 6.8830×10^{-09}	C65: -1.7445×10^{-08}		
4 (5a:R3)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
5 (5b:R2)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
6 (5a:R1)	无限远	1.596229	40.4 反射平面
7 (5c)	-40.57208		

变形的非球面		
KY:0.000000	KX:0.000000	
在 X 轴方向的曲率半径:-20.63634		
AR: 0.979301×10^{-05}	BR: $-.785589 \times 10^{-06}$	CR: $-.561534 \times 10^{-08}$
DR: 0.690209×10^{-38}		
AP: $-.245366 \times 10^{+01}$	BP: $-.272167 \times 10^{+00}$	CP: $-.123202 \times 10^{+01}$
DP: $0.211276 \times 10^{+06}$		
8 (2)	无限远	

另外，关于该具体实例的各个光学平面的位置关系，在下列表 9 中示出了以第一平面（平面号 1=图 16 中的标记 P）的中心取作原点（X,Y,Z）=（0,0,0）的各个光学平面的中心的绝对位置，这些平面绕 X 轴的旋转量（以逆时针方向为正方向测得的值）。

（表 9）

平面号(标记)	X 坐标值	Y 坐标值	Z 坐标值	绕 X 轴的旋转角[°]
1 (P)	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000
2 (5a:R4)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
3 (6)	0.00000	0.00000	14.70000	-30.0000
4 (5a:R3)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
5 (5b:R2)	0.00000	0.00000	16.50000	0.0000
6 (5a:R1)	0.00000	0.00000	13.00000	0.0000
7 (5c)	0.00000	22.80000	13.10522	93.1693
8 (2)	0.00000	29.16123	24.93254	45.4349

关于该具体实例中 HOE 6 的第一光源的位置，从下面看出：HX1：0，HY1：-.124597×10⁺⁰²，HZ1：-.841764×10⁺⁰¹

这是图 2 中 yz 坐标的第三象限，离开原点的距离为 15.04mm，以及从 Z 轴负方向测得的角度为 56°。另外，因为 HV1 为 REA，所以

是发散光。因为 HOE 6 的两个光源定义在空气中，与第一工作结构一样，所以对折射率校正距离和角度，并且比较播放期间 HOE 6 处于介质中的情形。

5 HOE 6 的平面位于距离光瞳平面 14.7mm 处；这个距离中的 1.7mm 处于折射率约为 1.6 的介质中。因此，就空气而言算出的长度为 1.06mm，从而就空气而言算出的 HOE 6 到光瞳平面的距离为 14.06mm。因此，在该实例中光源距离为使得光源接近虚像到光瞳之间光瞳的距离。

10

同时，关于角度，在空气中第一光源关于 HOE6 法线的入射角为 56° 。此处，因为播放期间光轴上的光以 30° 的入射角经折射率约为 1.6 的介质入射，所以该角度在空气中算出为 53.1° 。因此，曝光光束在 HOE 6 上的入射角 θ_{1r} 以及播放光在 HOE 6 上的入射角 θ_2 移动 2.9°。结果，由于乳胶的收缩（假设为 3.3%）， 0° 视角处的主导衍射波长从曝光波长 647nm 移到 625.6nm；但是，作为第一光源角偏差的结果，该波长进一步轻微地移动。

15

20 当对本具体实例计算衍射效率时，分别以视角 -5° 、 0° 和 $+5^\circ$ （Y 方向的视角；X 方向的视角为 0° ）穿过 -1.5mm、0mm 和 +1.5mm 的各个光瞳坐标 P_y 的光线的衍射效率的主导波长示于下列表 10。此处，光瞳坐标 P_y 为图 16 所示纸平面中出射光瞳 P 内的 Y 轴方向的位置坐标； $P_y=0\text{mm}$ 的位置表示出射光瞳 P 的中心 P_0 。另外，在光线穿过 $P_y=0\text{mm}$ 的光瞳坐标的情况下，所有视角的光线都是主光线。

(表 10)

视角 光瞳坐标 Py	-5°	0°	+5°
-1.5mm	654.32nm	644.45nm	628.00nm
0mm	644.45nm	634.58nm	621.42nm
+1.5mm	631.29nm	621.42nm	608.26nm

另外，用于表示本具体实例的光学系统图像聚焦性能的横向像差曲线示于图 17 和 18。在图 17 和 18 中，关于主导衍射波长 $\pm 10\text{nm}$ 的光线的横向像差关于每种视角的曲线同时示于一个附图中。从图 17 和 18 中可以看出，在视角之内的整个区域中几乎没有色差，以至于图像聚焦性能很优越。

用在本具体实例中的有三个波长区域的 LED3（图 16 中未示出）与第一工作结构中使用的一样，并且具有图 27 所示的发射光谱。

另外，本具体实例的 HOE 6 的衍射效率的波长特性（对于红光的特性）示于图 19 和 20。图 19 表示主光线（ $P_y=0\text{mm}$ ）在各个视角 -5° 、 0° 和 $+5^\circ$ （Y 方向的视角；X 方向的视角为 0° ）处的衍射效率的波长特性。图 20 表示以视角 $(X,Y)=(0^\circ,0^\circ)$ 穿过各个光瞳坐标 -1.5mm 、 0mm 和 $+1.5\text{mm}$ 的光线衍射效率的波长特性。在图 19 中示出了主导衍射波长如何根据视角移动，而在图 20 中示出了主导衍射波长如何根据光瞳坐标移动。在该具体实例中，因为光源比第一工作结构中更接近光瞳，所以也会发生衍射波长在光瞳平面内移动。

在图 19 和 20 中，还叠加了（图 27 中所示 LED 3 的各种波长区域中）对应的 R 波长区域的发射光谱。实际上，到达观察者眼睛的光量（即亮度）是这两类曲线之积（即，R 波长区域的衍射效率和发射光谱之积）。图 21 中示出了屏幕内的亮度分布，光瞳平面内的亮度分布示于图 22 中。图 21 中的各个标出点对应于图 19 中各个视角处的

衍射效率峰值与对应峰值波长处 LED 3 发出的光强度之积。图 22 中的各个标出点对应于图 20 中各个光瞳坐标处衍射效率的峰值与对应峰值波长处 LED 3 发出的光强度之积。

5 在本具体实例中，视角 -5° 和 $+5^{\circ}$ 处主导衍射波长 λ_{yr} 与视角中心处的主导衍射波长 λ_{or} 的相应比率 $\lambda_{yr}/\lambda_{or}$ 为 1.016 和 0.979，并且这样小于 0.98，大于 1.013，以至于上述的式(22)和式(23)的条件得以满足。结果如图 22 所示，光瞳平面内的强度接近平坦。

10 另外，视角中心和周围的主导衍射波长之差 $|\lambda_{yr}-\lambda_{or}|$ 分别为 9.87 和 13.16，并且用于本具体实例中的光源的半峰全宽 FWHMr 为 23nm；因此，当计算式(24)右侧的值时，获得视角 -5° 和 $+5^{\circ}$ 处的各个值 0.43 和 0.57，使得式(24)的条件得以满足。结果，在光瞳平面内和屏幕内都获得平衡的亮度，如图 21 和 22 所示。

15 另外，参考光源的角度 θ_{1r} 和光线跟踪光轴的入射角 θ_2 之差为 2.9° ，使得式(25)的条件得以满足。

[第四工作结构]

20 虽然附图中未示出，但构成本发明的第四工作结构的图像显示装置是一种对构成上述第一工作结构的具体实例的图像显示装置作如下改进的装置。

25 本工作结构的图像显示装置与上述第一工作结构的具体实例的图像显示装置的不同之处仅在于反射式 HOE 6 的构成。在本工作结构中，反射式 HOE 6 是一种上述第一工作结构的具体实例中的反射式 HOE (G 反射式 HOE)、上述第二工作结构的具体实例中的反射式 HOE (B 反射式 HOE)和上述第三工作结构的具体实例中的反射式 HOE (R 反射式 HOE) 的三层叠加。另外，如同在上述第一工作结构中一样，
30 用在本工作结构中的 LED 3 也是有三个波长区域并具有图 27 所示发

射光谱的 LED。

当发自该 LED3 的三个波长区域的光束穿过图像显示元件 2 时，图像显示元件的单个显示单元可以空间分为三部分，从而形成分别对应于 R、G 和 B 的点，并且从而显示对应的图像，或者可以以时间为形式划分该显示单元，使得（例如）每 1/90 秒切换并显示分别对应于 R、G 和 B 的图像，并且使得 LED 的三个波长区域的光发射定时与此同步。另外，各个波长区域的图像信息经受 HOE 相应层的衍射作用和图像聚焦作用，在该光束导入观察者瞳孔中之后通过额外的颜色混合而获得全色图像。

用在本工作结构中的反射式 HOE 6，即具有其中叠加了第一至第三工作结构的具体实例中的反射式 HOE 的结构的反射式 HOE 的像平面的亮度特性和光瞳平面的亮度特性分别示于图 23 和 24。在图 23 和 24 中，竖轴表示亮度，其为衍射效率与 LED 的发光强度之积；这些值被取作 1 的最大亮度值归一化。

从图 23 中可以看出，因为在屏幕中三色的比例基本上相同，所以可以以良好的色平衡观看图像的整个区域。另外，从图 24 可以看出，关于光瞳平面，在光瞳坐标 P_y 为正的方向上看到红光减少；但蓝光和绿光基本上平直。因此，相对于观察者眼睛移动的颜色程度只有一些变化；亮度上没有突然的下降。

以上描述了本发明的各种工作结构以及这些工作结构的具体实例。但是，本发明不限于这些工作结构或具体实例。

例如，上述各种工作结构是其中利用本发明的图像合成器构造的头戴式图像显示装置的实例。但是，用在上述各种工作结构中的各种图像合成器 1 也可以构造成使得允许安置在相机取景器、显微镜和双目望远镜的目镜部分上，或者这些图像合成器也可以组合到相机、显

视镜、双目望远镜等中。

另外，上述各种工作结构是本发明应用到透明式头置图像显示装置中的实例；但本发明也可以应用到不是透明式的图像显示装置中。

5 在该情况下，上述各种工作结构的图像显示装置可以构造成使得来自外界的光不入射到图像合成器 1 上。在这种情况下，因为构成图像合成器 1 的部分不叠加两个图像，该部分不能称作图像合成器；相反，该部分构成把光从图像显示元件 2 导入用户眼睛的光导部分。在该情况下，图像合成器 1 中板式部分的下部（HOE6 以下的部分）可以去

10 除。例如，这种非透明式的图像显示装置可以以与日本专利申请公开 JP2001-264682 的情形相同的方式安装在便携式电话的滑动部分内。

图1

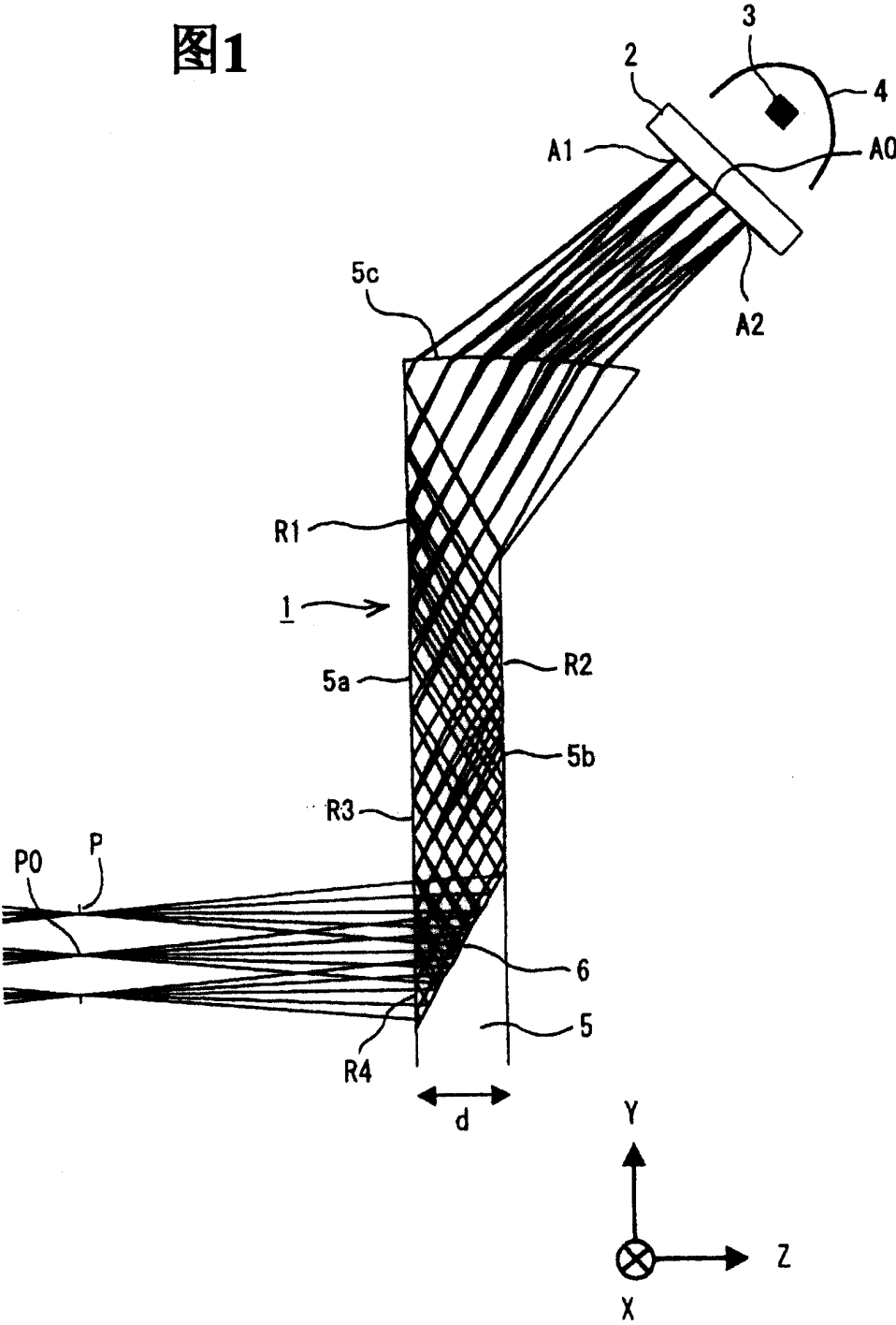


图2

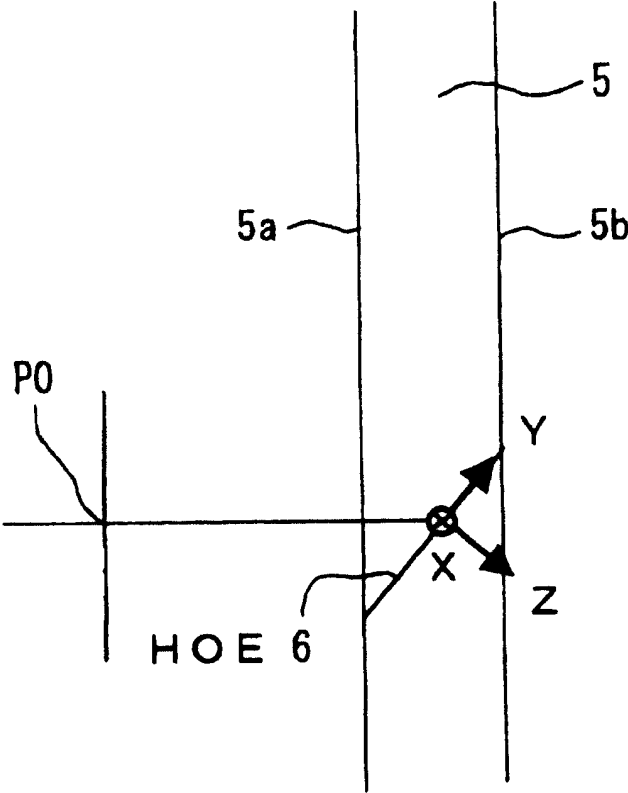


图3

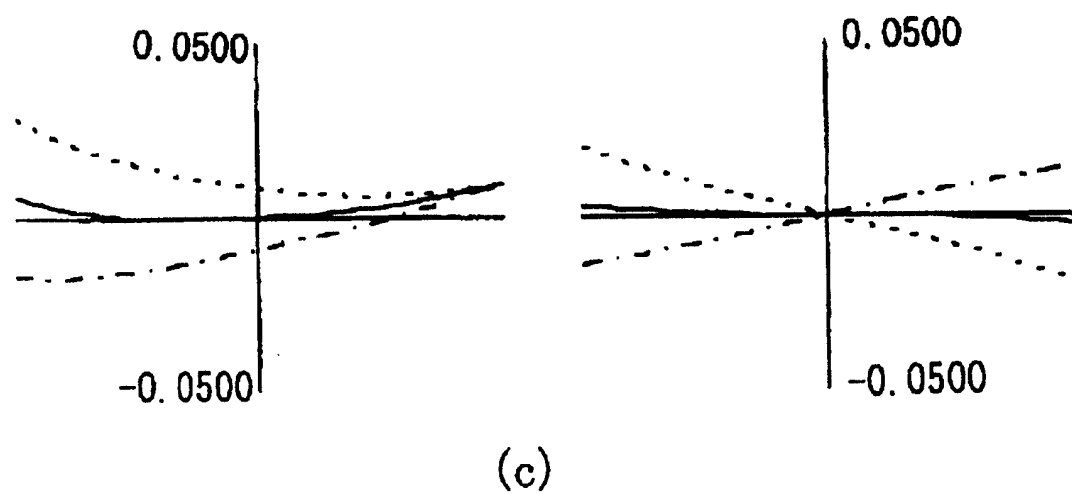
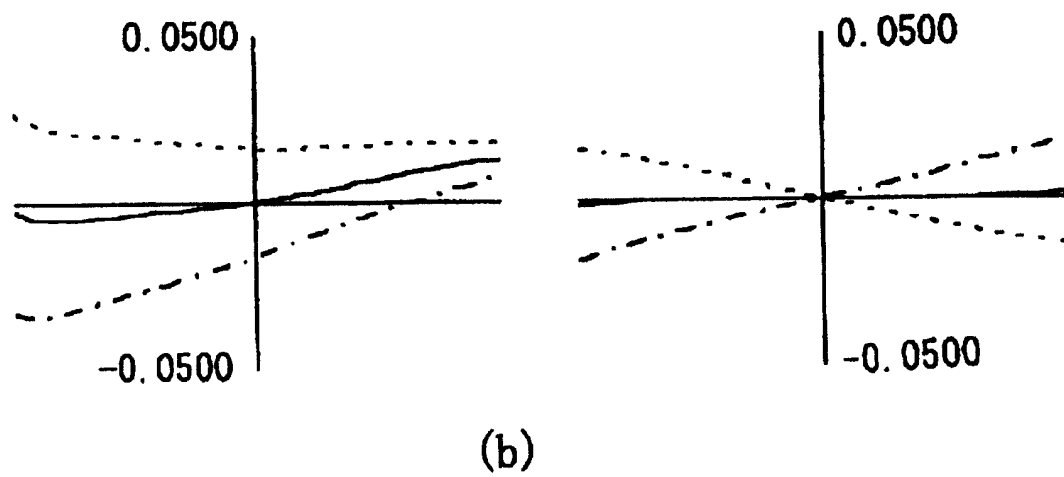
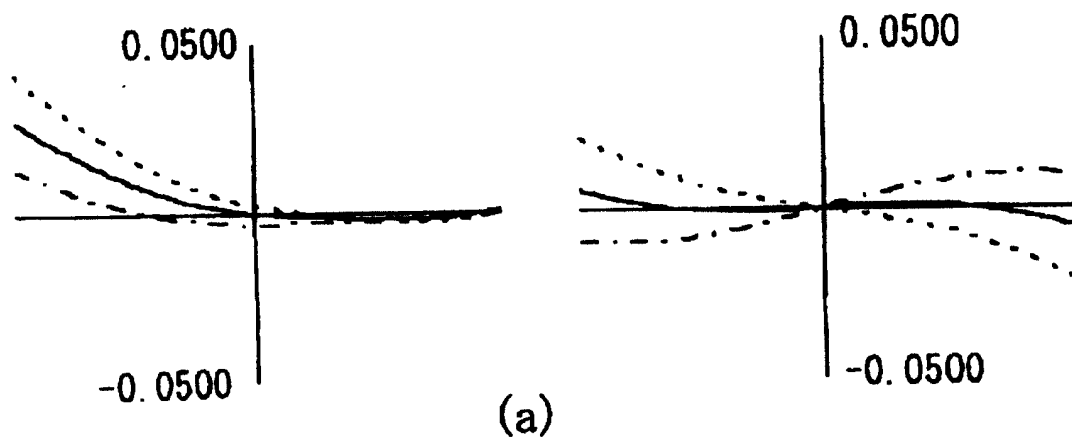


图4

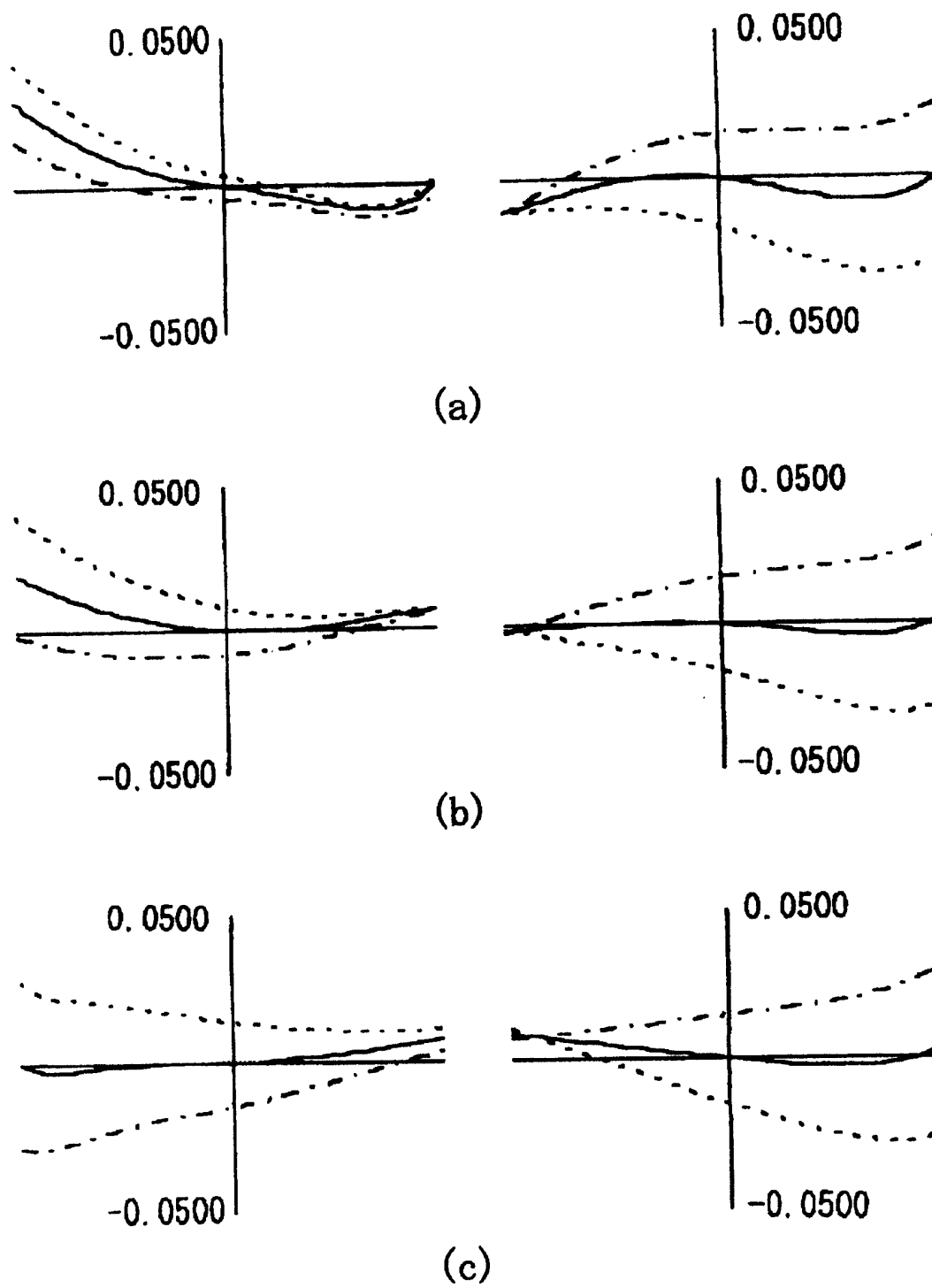


图5

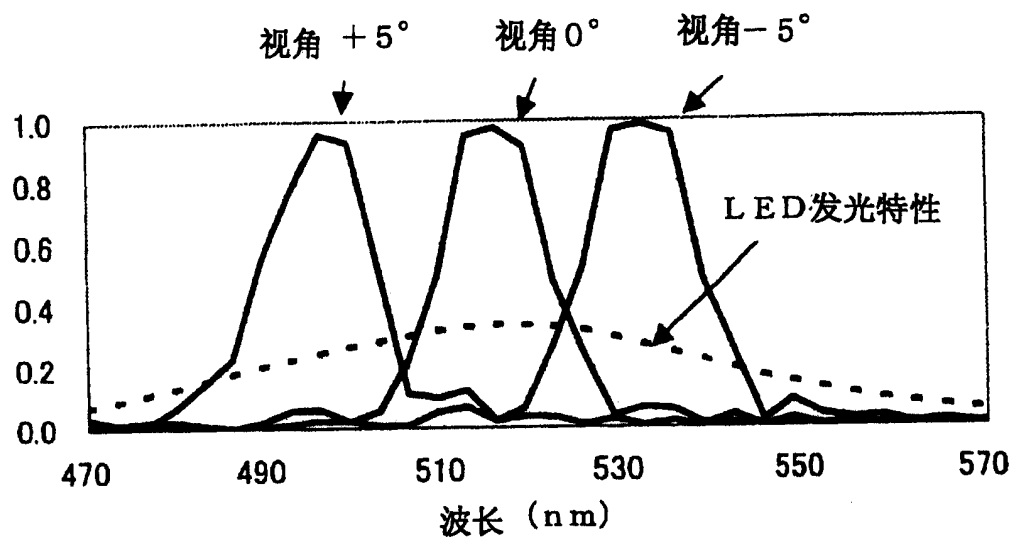


图6

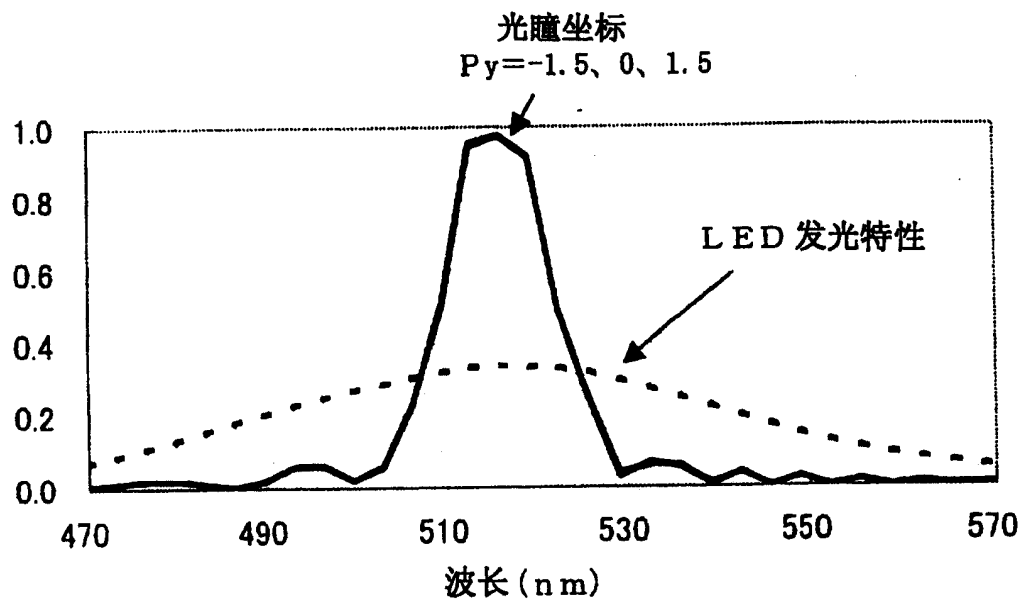


图7

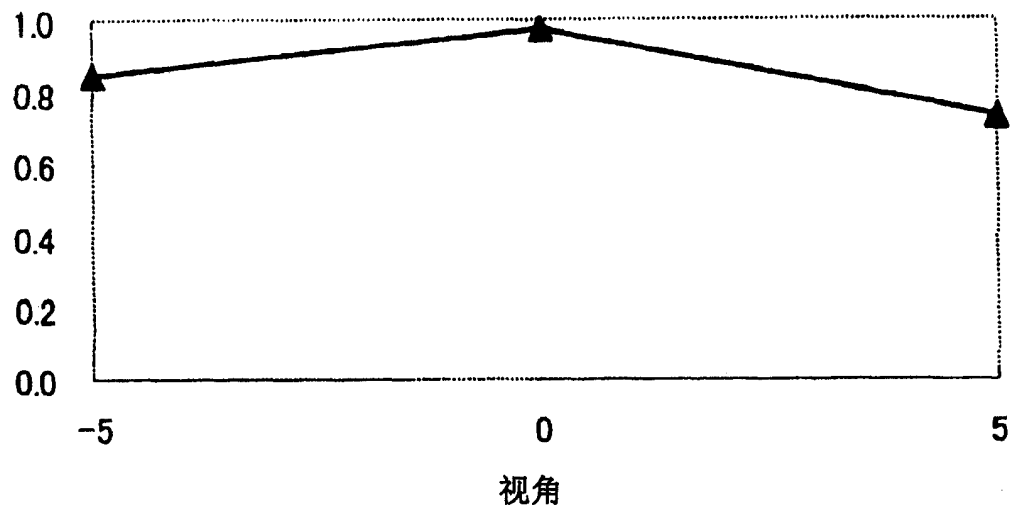


图8

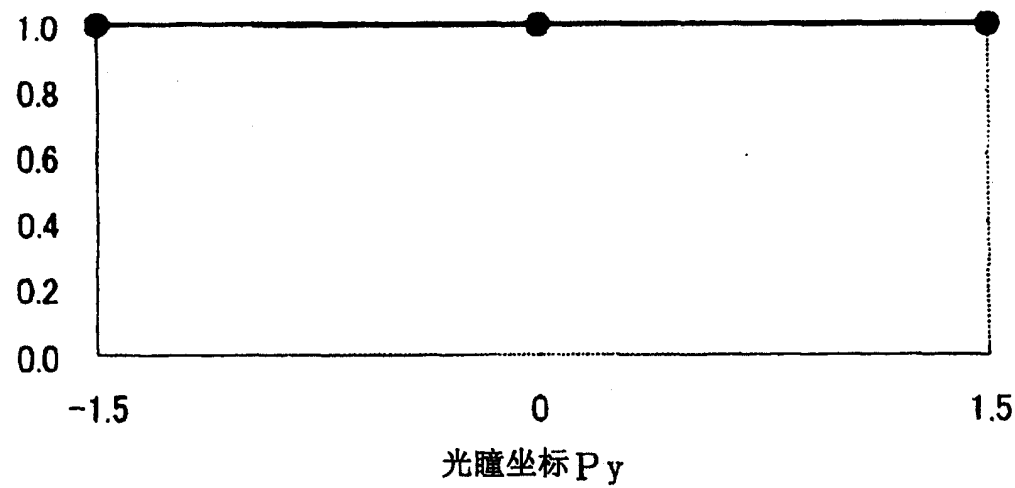


图9

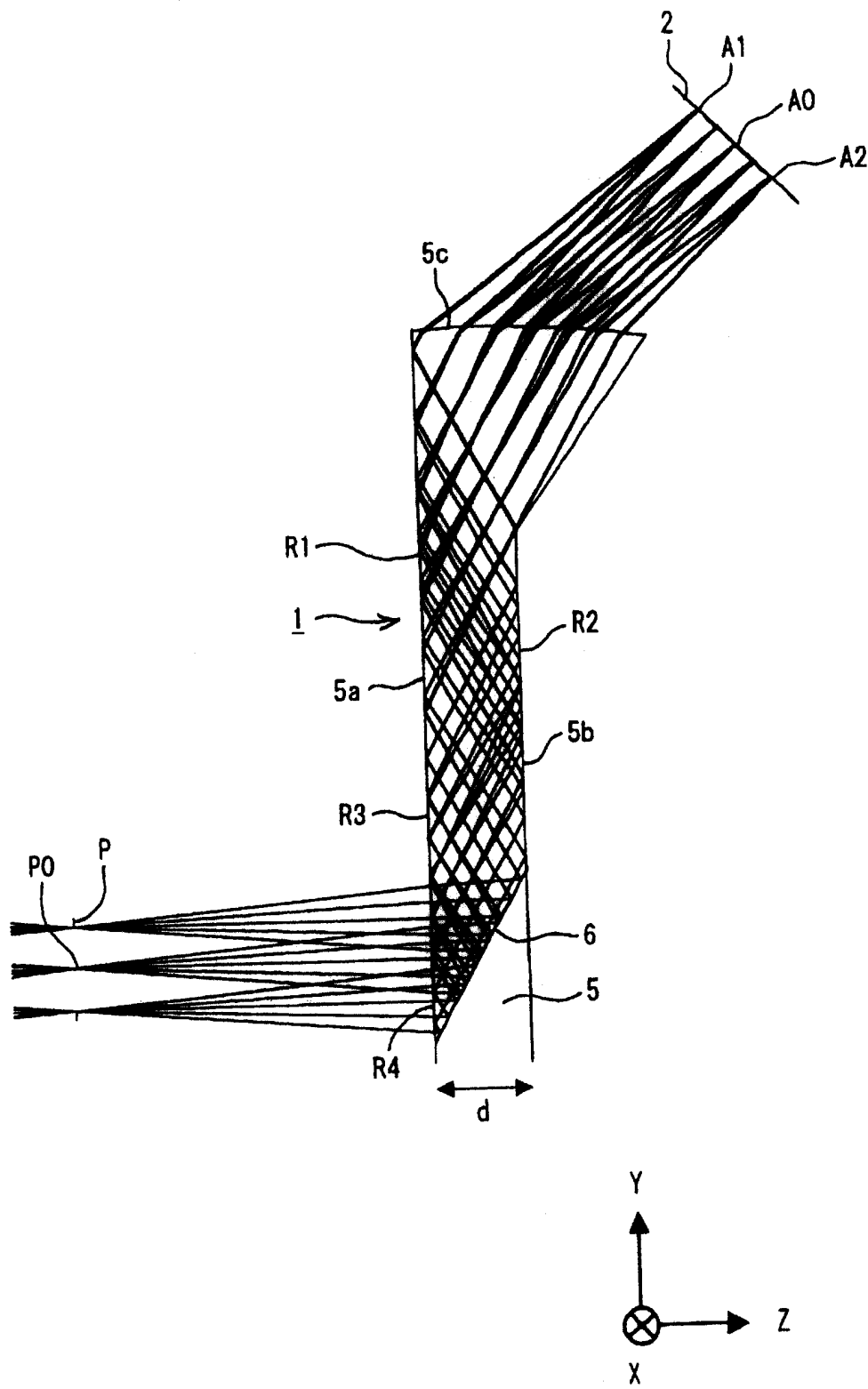


图10

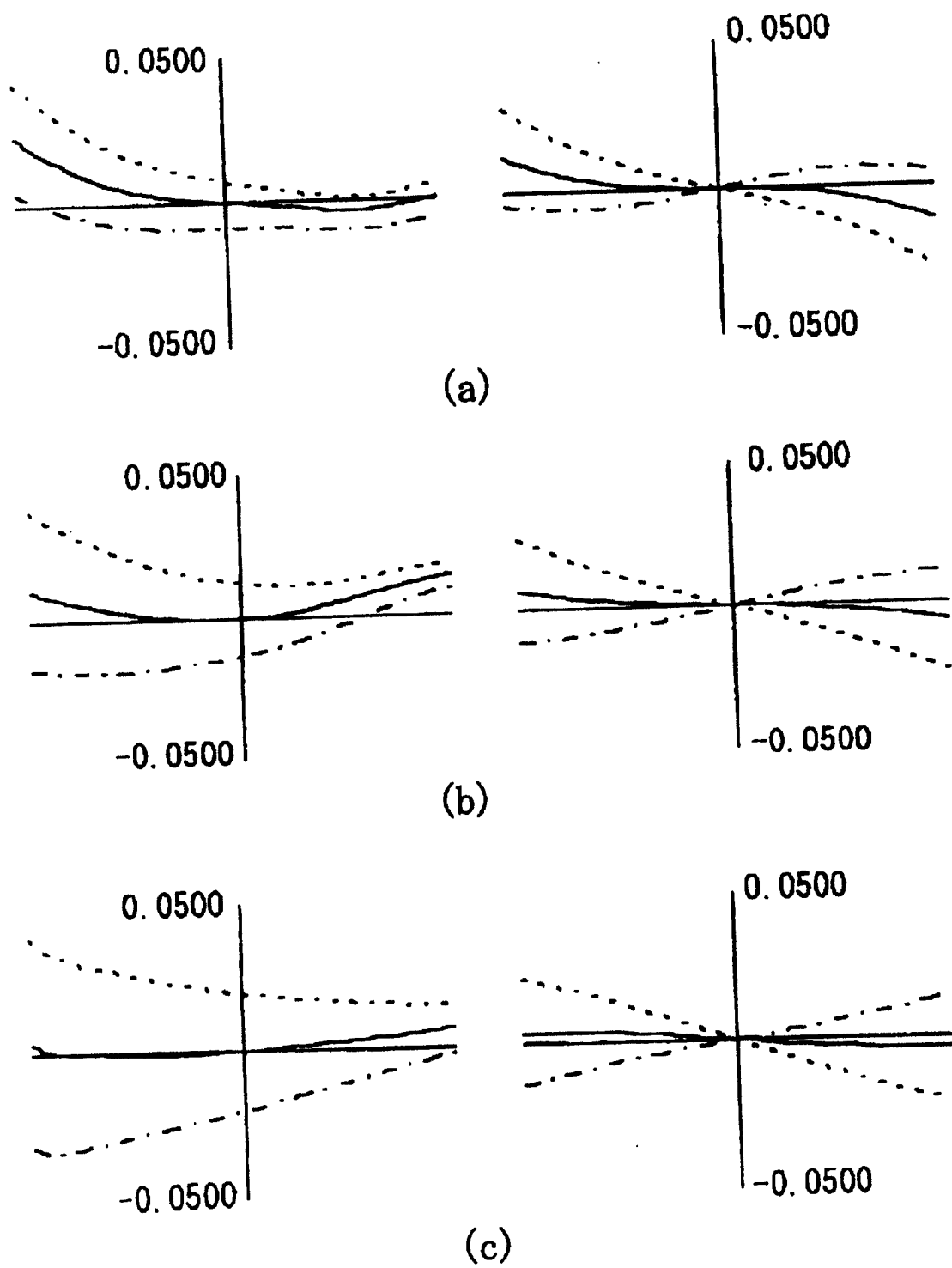


图11

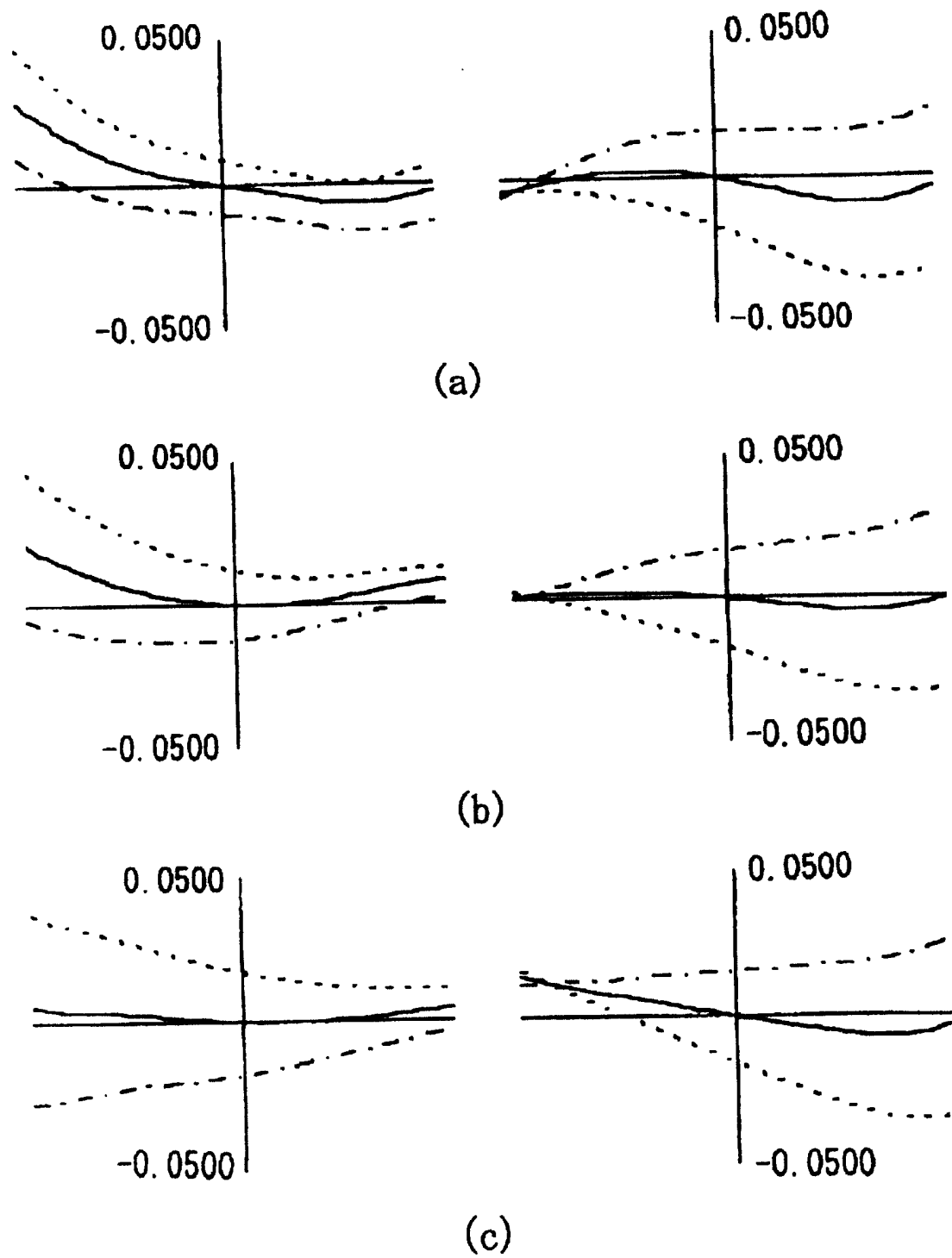


图12

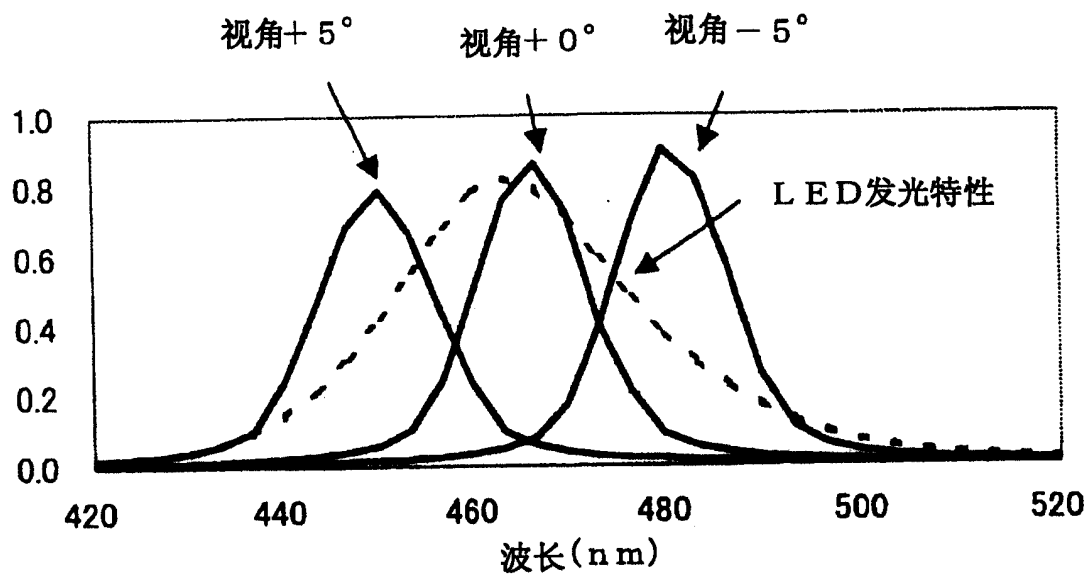


图13

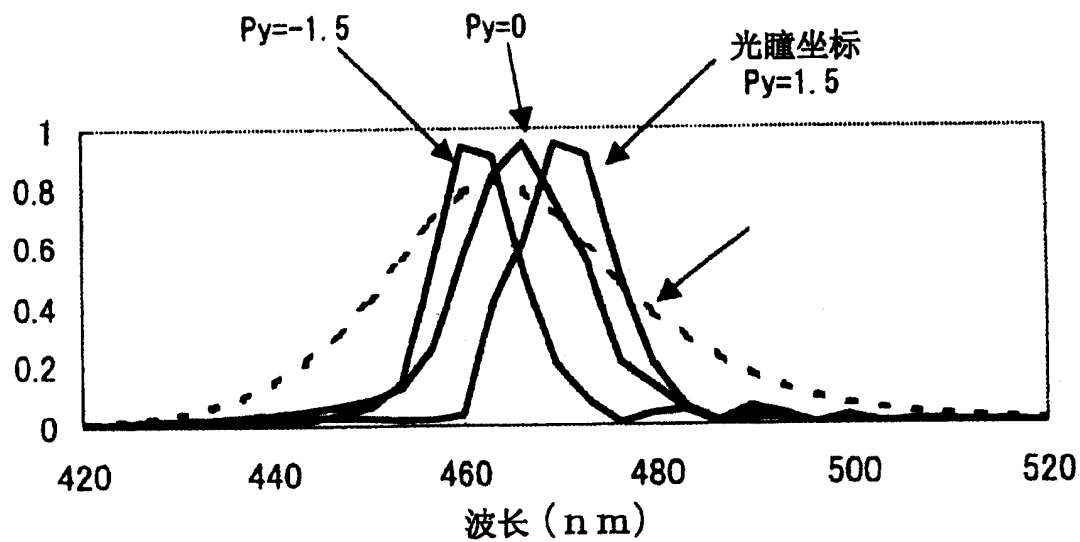


图14

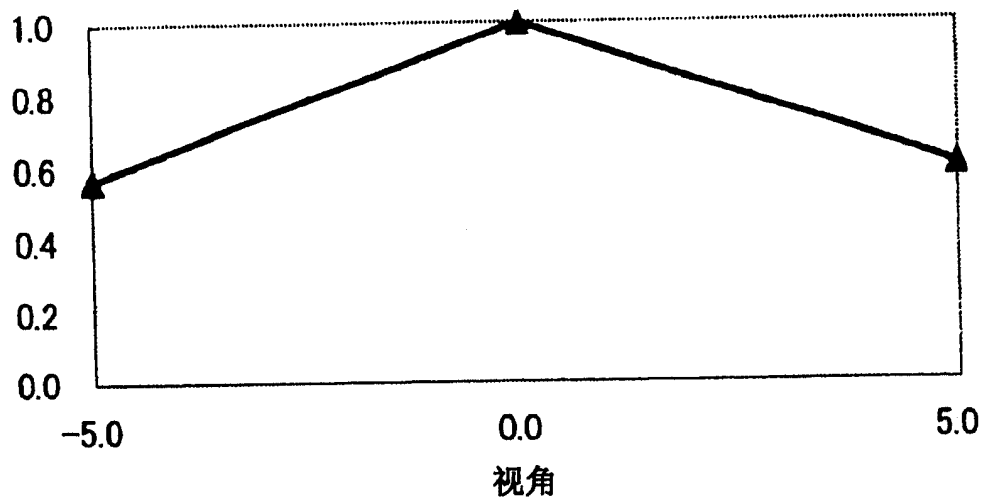


图15

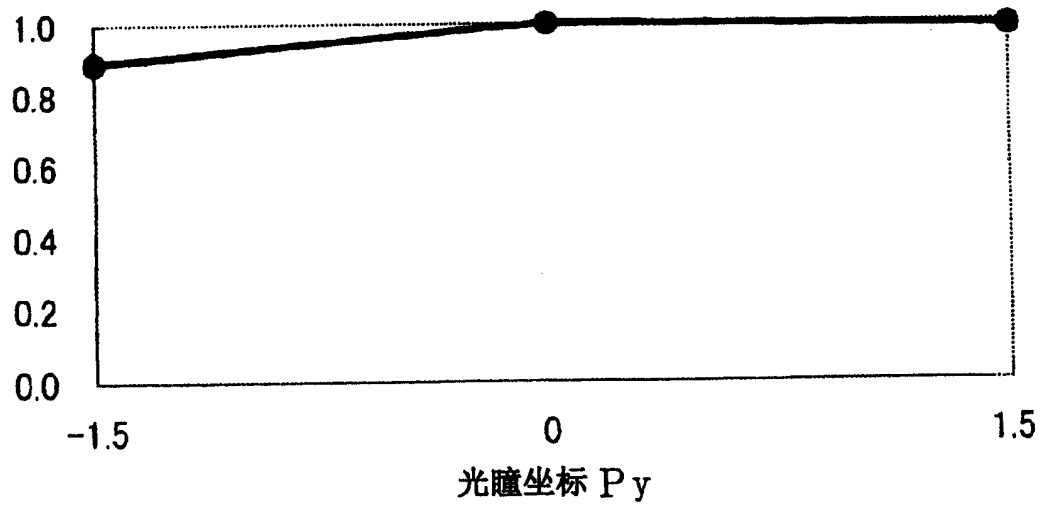


图16

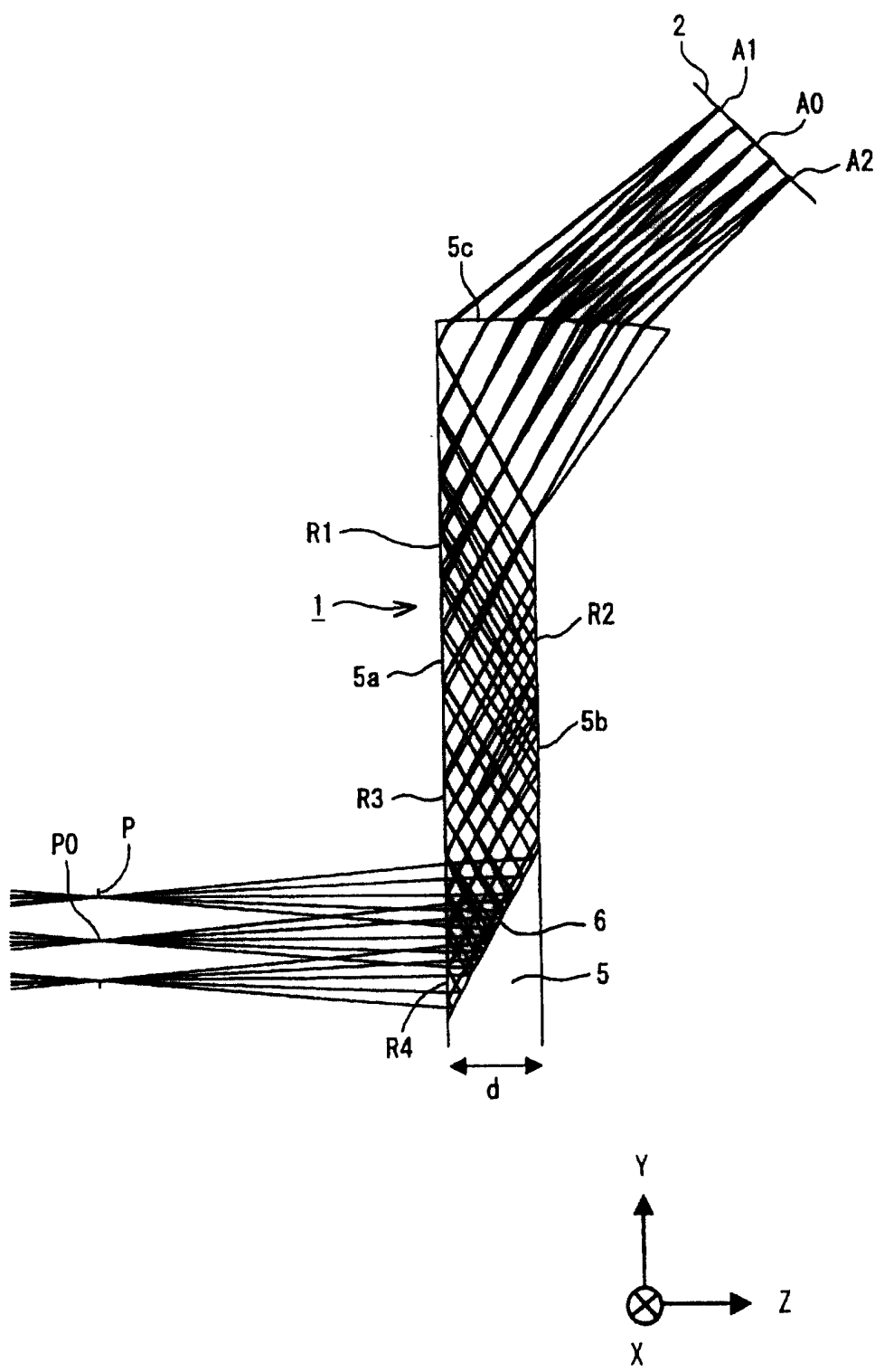
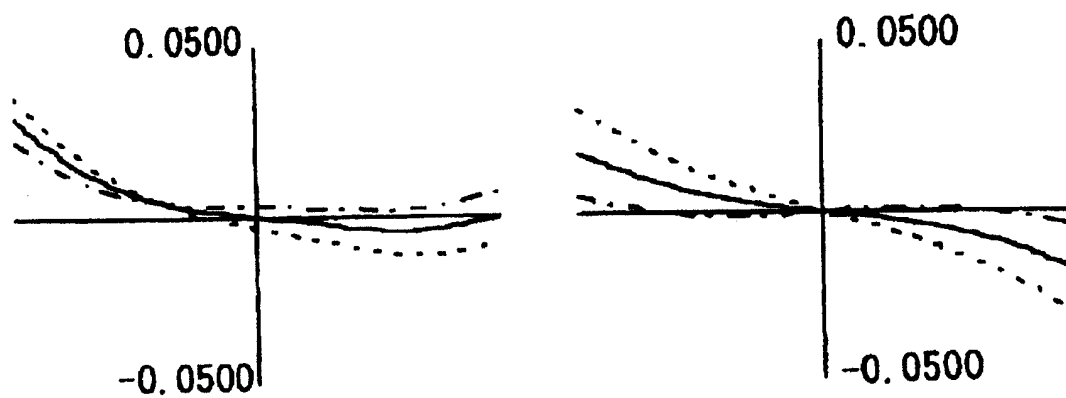
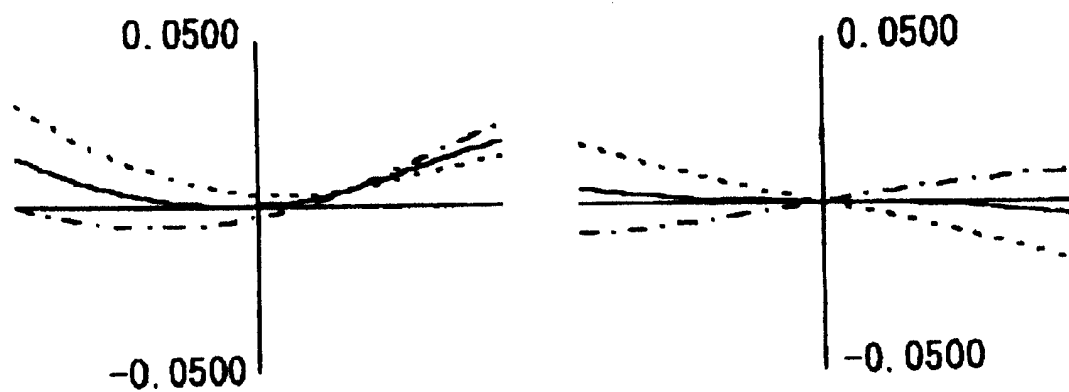


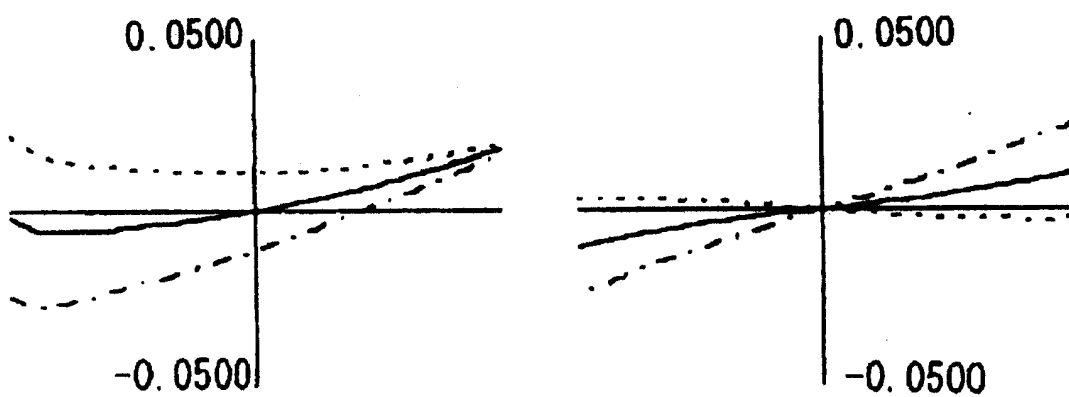
图17



(a)



(b)



(c)

图18

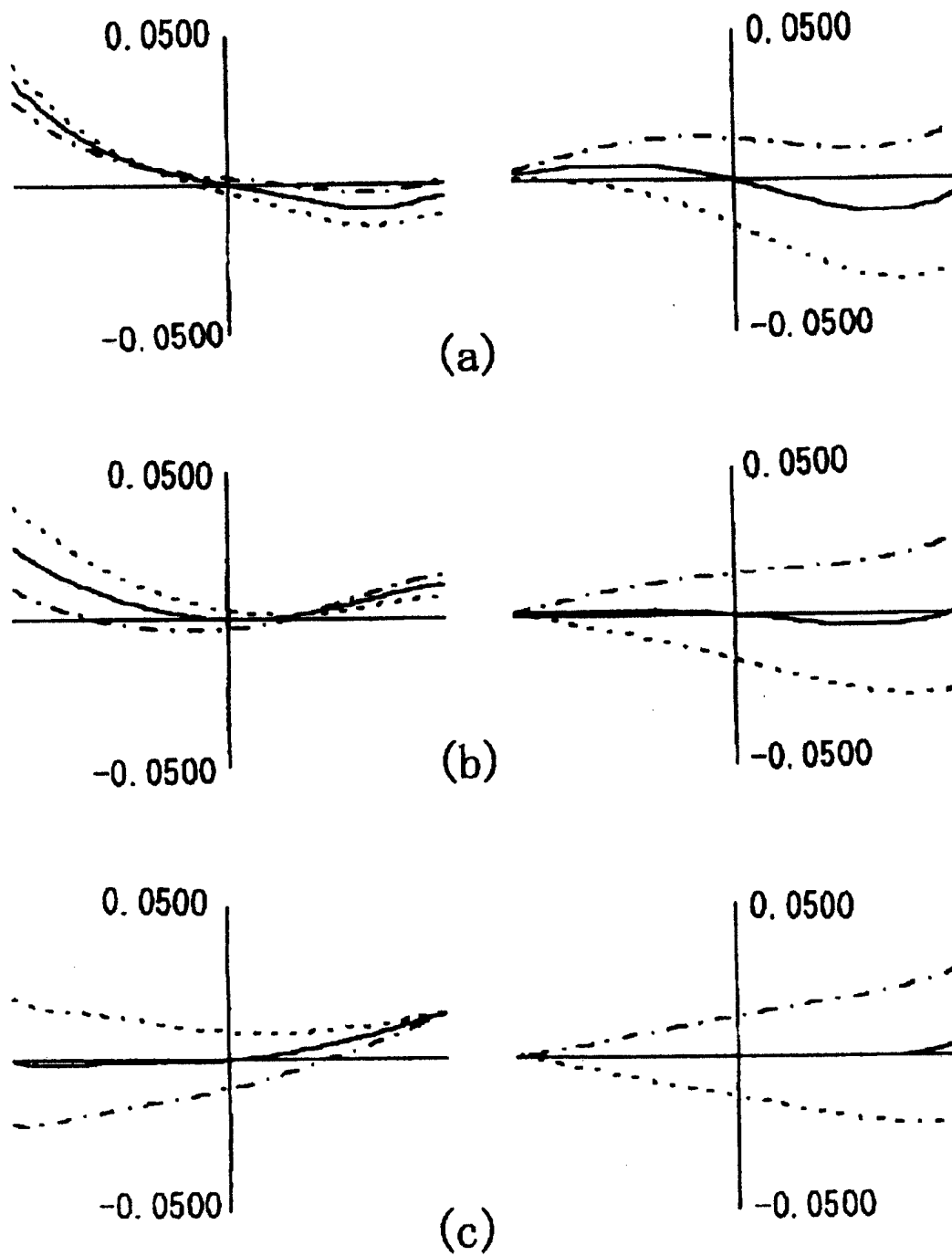


图19

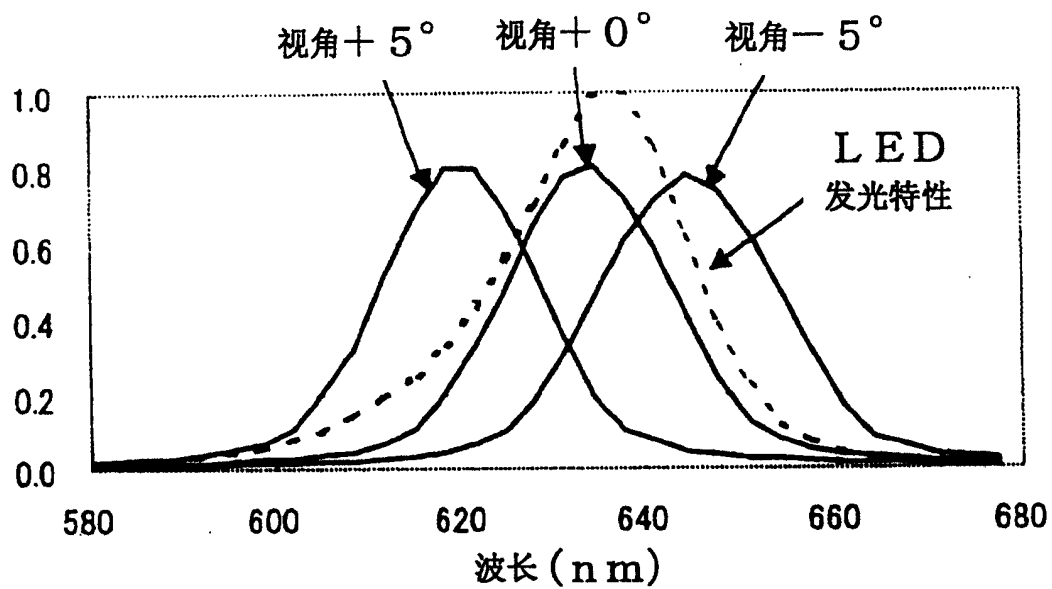


图20

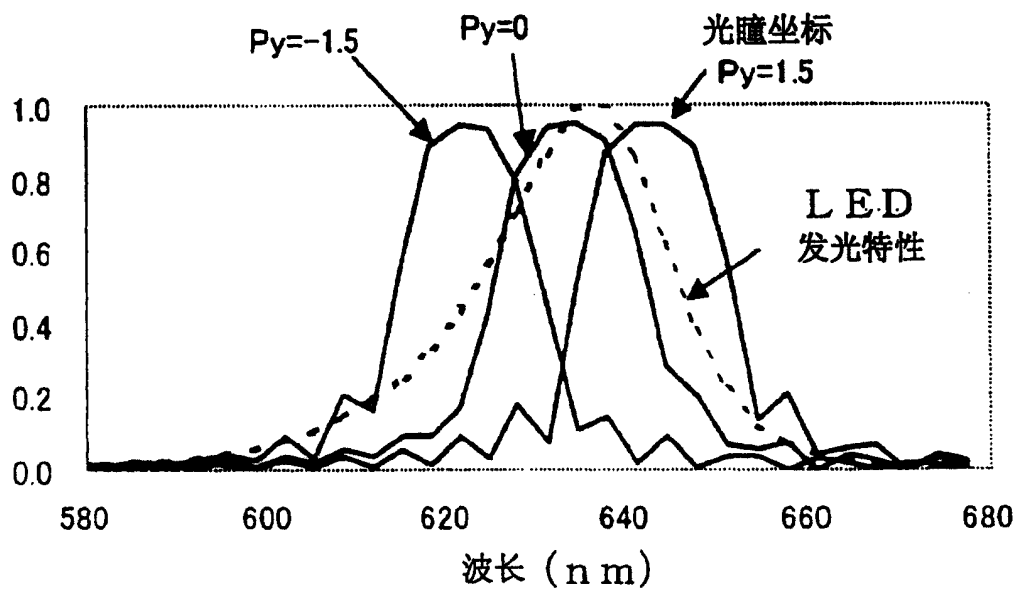


图21

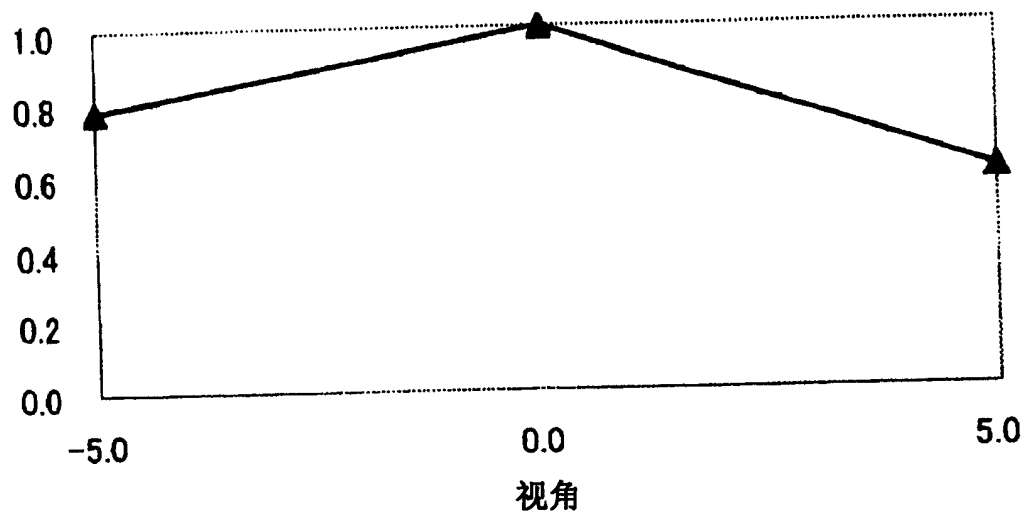


图22

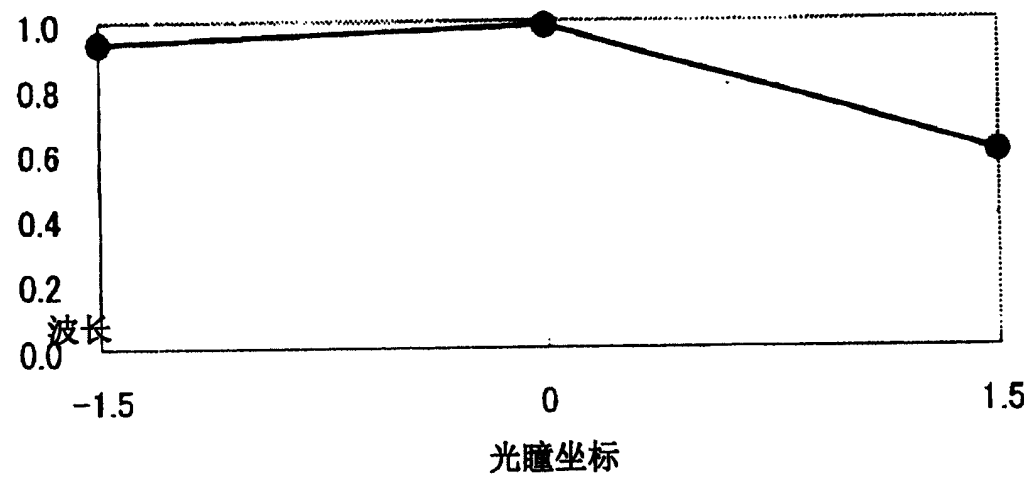


图23

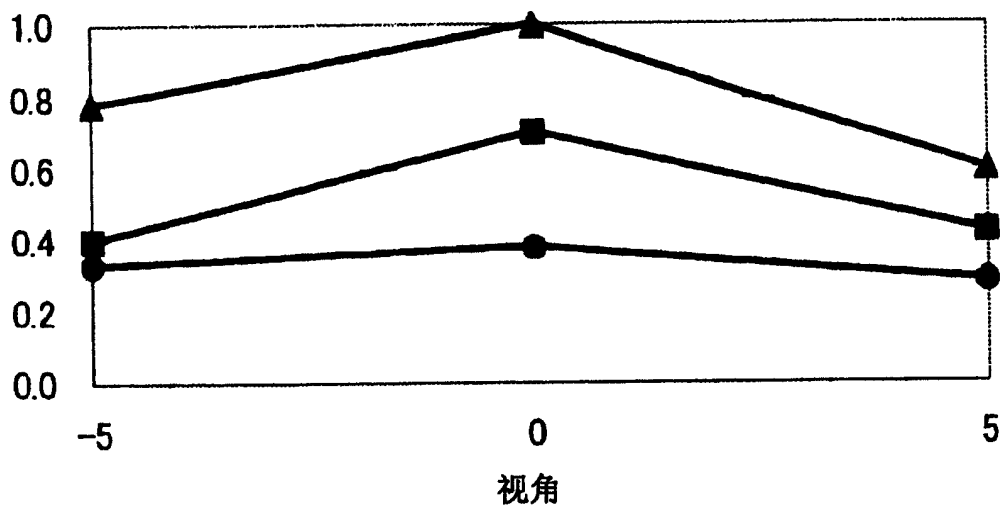


图24

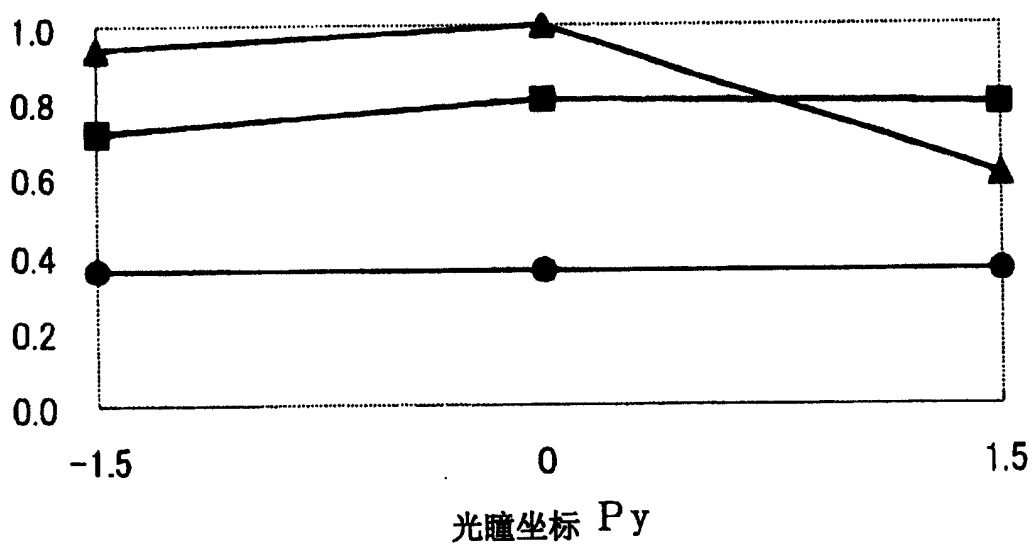
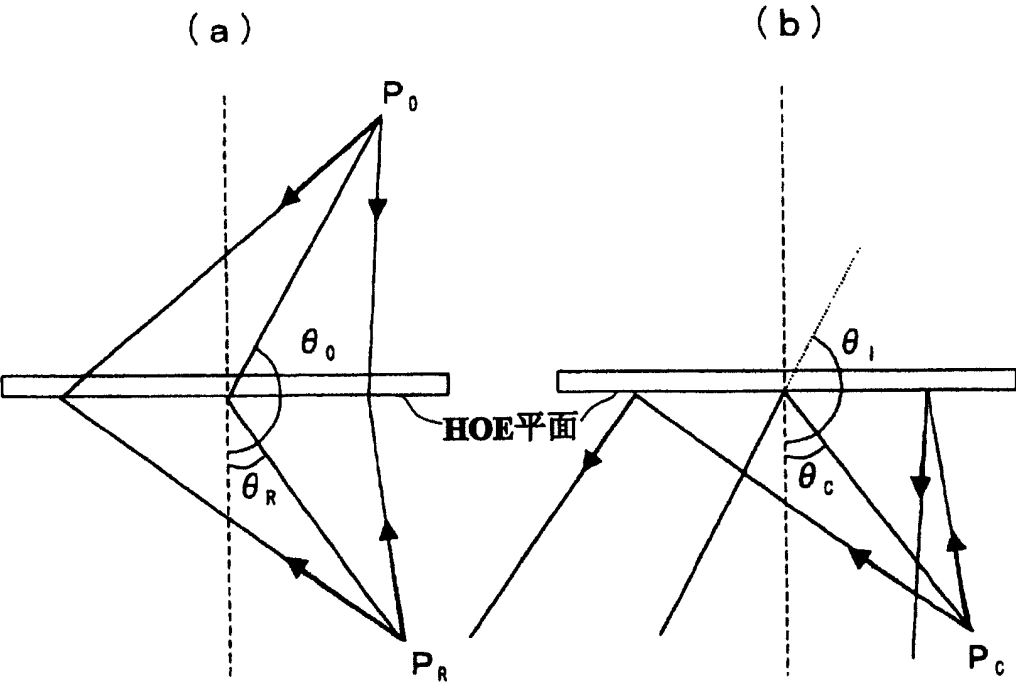


图25



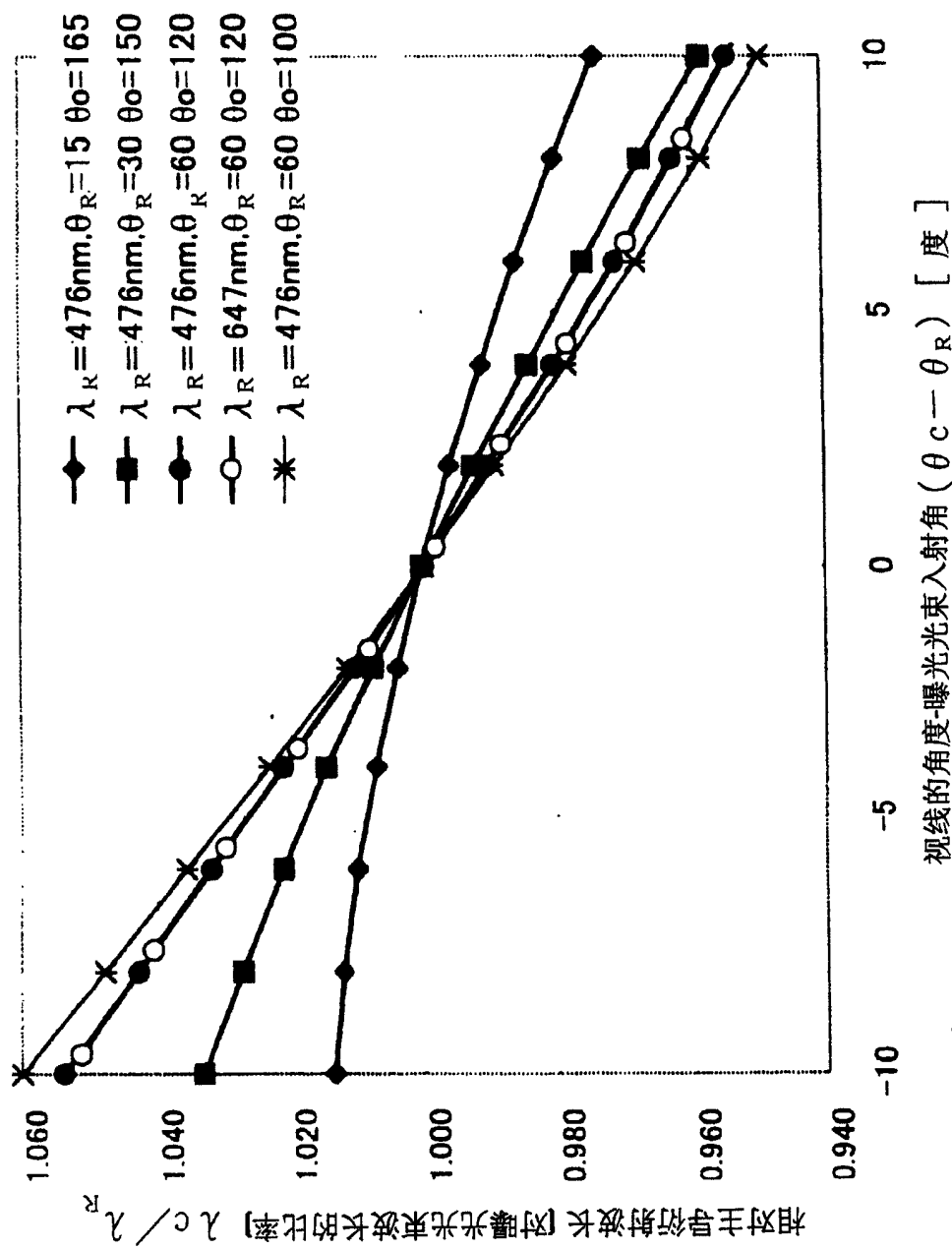


图26

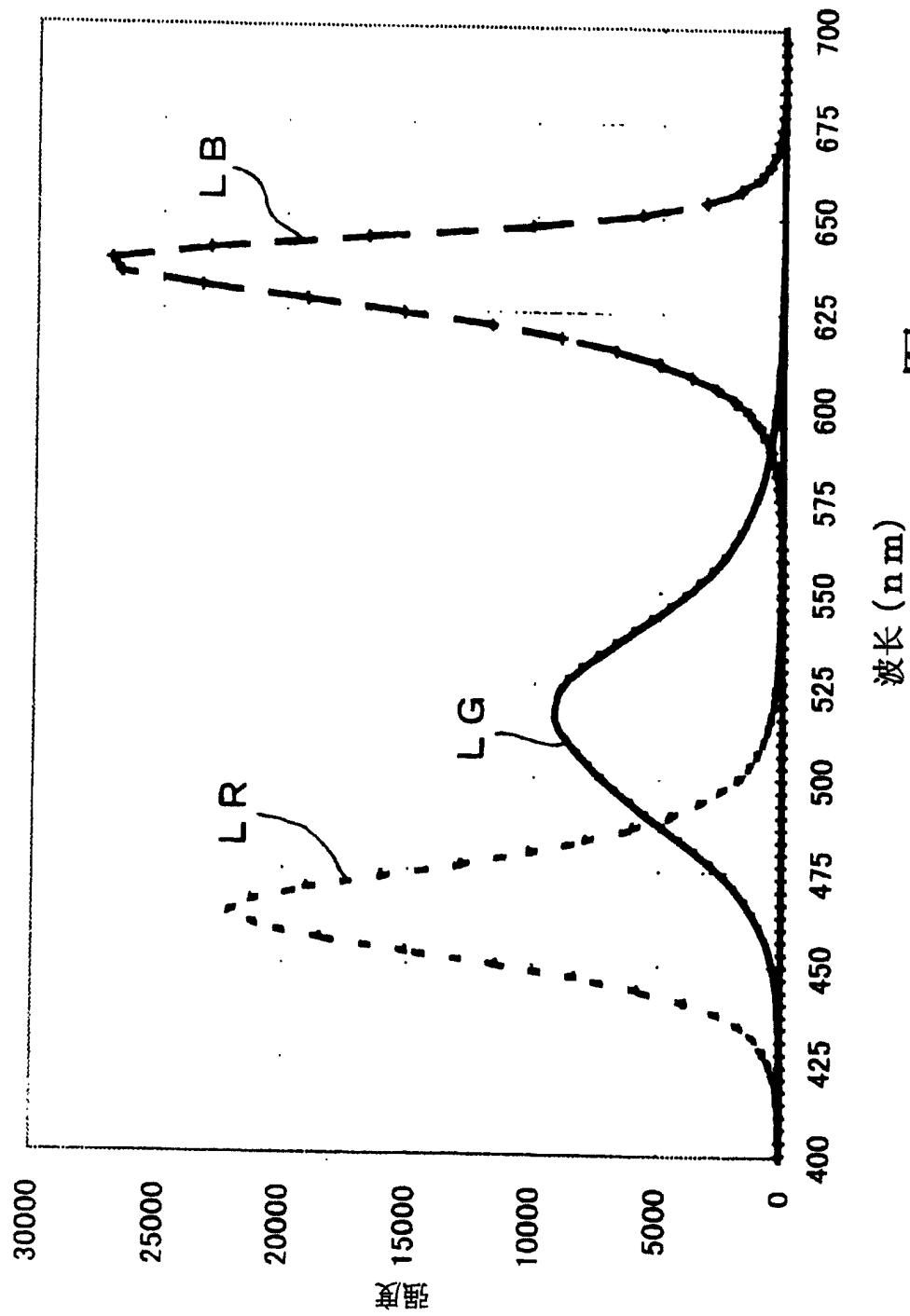


图27