



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101271168 B

(45) 授权公告日 2010.09.08

(21) 申请号 200710162474.6

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2007.10.15

G02B 5/18(2006.01)

(30) 优先权数据

审查员 房元锋

2007-077600 2007.03.23 JP

2007-086843 2007.03.29 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 安井裕人

(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 康建忠

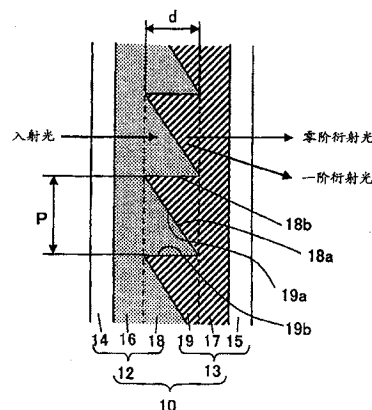
权利要求书 2 页 说明书 28 页 附图 32 页

(54) 发明名称

衍射光学元件、光学系统和光学装置

(57) 摘要

一种衍射光学元件包含两个衍射光栅,这两个衍射光栅由不同的材料制成并在它们的光栅表面上相互接触。这些材料满足以下条件,并且第二材料是通过将树脂材料与满足以下条件的微粒材料混合获得的材料: $nd1 \geq 1.48, vd1 \geq 40, (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.675) \leq \theta_g, F1 \leq -1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.825, (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.400) \leq \theta_g, d1 \leq (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.580), nd2 \leq 1.6, vd2 \leq 30, \theta_g, F2 \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.675), \theta_g, d2 \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.400), nd1 - nd2 > 0, ndb2 \geq 1.70, vdb2 \leq 20$ 。元件在较宽的波长范围上实现特定衍射阶次上的较高的衍射效率。



1. 一种衍射光学元件, 包含:

分别由第一材料和第二材料制成的两个衍射光栅, 这两个衍射光栅分别具有光栅表面并在光栅表面上相互接触,

其中, 第一和第二材料满足以下所有的条件, 并且第二材料是通过将树脂材料与满足以下所有的条件的微粒材料混合获得的材料:

$$nd1 \geq 1.48$$

$$vd1 \geq 40$$

$$(-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.675) \leq \theta_g, F1 \leq (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.825)$$

$$(-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.400) \leq \theta_g, d1 \leq (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.580)$$

$$nd2 \leq 1.6$$

$$vd2 \leq 30$$

$$\theta_g, F2 \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.675)$$

$$\theta_g, d2 \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.400)$$

$$nd1 - nd2 > 0$$

$$ndb2 \geq 1.70$$

$$vdb2 \leq 20$$

这里, $ng1$ 、 $nF1$ 、 $nd1$ 和 $nC1$ 分别是第一材料对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率, $ng2$ 、 $nF2$ 、 $nd2$ 和 $nC2$ 分别是第二材料对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率, 并且, $nFb2$ 、 $ndb2$ 和 $nCb2$ 分别是微粒材料对于 F 线、d 线和 C 线的折射率, 并且,

$$vd1 = (nd1 - 1) / (nF1 - nC1)$$

$$vd2 = (nd2 - 1) / (nF2 - nC2)$$

$$\theta_g, F1 = (ng1 - nF1) / (nF1 - nC1)$$

$$\theta_g, d1 = (ng1 - nd1) / (nF1 - nC1)$$

$$\theta_g, F2 = (ng2 - nF2) / (nF2 - nC2)$$

$$\theta_g, d2 = (ng2 - nd2) / (nF2 - nC2)$$

$$vdb2 = (ndb2 - 1) / (nFb2 - nCb2)。$$

2. 根据权利要求 1 的衍射光学元件,

其中, 第一和第二材料还满足以下所有的条件:

$$m(\lambda F) = \{d \times (nF1 - nF2)\} / \lambda F$$

$$m(\lambda d) = \{d \times (nd1 - nd2)\} / \lambda d$$

$$m(\lambda C) = \{d \times (nC1 - nC2)\} / \lambda C$$

$$d \leq 20 \mu m$$

$$0.92 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda C)\} / 3 \leq 1.08$$

这里, λF 、 λd 和 λC 分别是 F 线、d 线和 C 线的波长,

$m(\lambda F)$ 是通过将对于 F 线的波长的作为设计阶次衍射光的 m 阶衍射光的各衍射光栅的凸部和凹部之间的光路长度差除以 F 线的波长获得的值,

$m(\lambda d)$ 是通过将对于 d 线的波长的 m 阶衍射光的各衍射光栅的凸部和凹部之间的光路

长度差除以 d 线的波长获得的值，

$m(\lambda C)$ 是通过将对于 C 线的波长的 m 阶衍射光的各衍射光栅的凸部和凹部之间的光路长度差除以 C 线的波长获得的值，并且，

d 是衍射光栅的光栅厚度。

3. 根据权利要求 1 的衍射光学元件，

其中，第一材料是通过将树脂材料与满足以下所有的条件的微粒材料混合获得的材料：

$$n_{db1} \geq 1.65$$

$$v_{db1} \geq 35$$

这里， n_{db1} 是微粒材料对于 d 线的折射率，并且，

$$v_{db1} = (n_{db1} - 1) / (n_{Fb1} - n_{Cb1})$$

这里， n_{Fb1} 和 n_{Cb1} 分别是微粒材料对于 F 线和 C 线的折射率。

4. 根据权利要求 3 的衍射光学元件，

其中，微粒材料的平均粒子直径等于或小于入射到衍射光学元件上的光的波长的 1/4。

5. 根据权利要求 1 的衍射光学元件，

其中，第一材料是其中没有混合微粒材料的树脂材料。

6. 根据权利要求 1 的衍射光学元件，

其中，第一材料是玻璃材料。

7. 根据权利要求 6 的衍射光学元件，

其中，玻璃材料具有等于或低于 600°C 的变形点。

8. 根据权利要求 7 的衍射光学元件，

其中，元件还满足以下条件：

$$(T1(\lambda 1) \times T2(\lambda 1) \times \eta(\lambda 1) + T1(\lambda 2) \times T2(\lambda 2) \times \eta(\lambda 2) + T1(\lambda 3) \times T2(\lambda 3) \times \eta(\lambda 3)) / 3 \geq 0.70$$

这里， $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 分别是 450nm、550nm 和 650nm 的波长，

$\eta(\lambda 1)$ 、 $\eta(\lambda 2)$ 和 $\eta(\lambda 3)$ 分别是在波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的衍射效率，

$T1(\lambda 1)$ 、 $T1(\lambda 2)$ 和 $T1(\lambda 3)$ 分别是第一材料的在波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的内部透射率，并且，

$T2(\lambda 1)$ 、 $T2(\lambda 2)$ 和 $T2(\lambda 3)$ 分别是第二材料的在波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的内部透射率。

9. 根据权利要求 1 的衍射光学元件，

其中，元件还满足以下条件：

$$d/P < 1/7$$

这里，P 和 d 分别是衍射光栅的光栅间距和光栅厚度。

10. 一种包含根据权利要求 1 的衍射光学元件的光学系统。

11. 一种包括包含根据权利要求 1 的衍射光学元件的光学系统的光学装置。

衍射光学元件、光学系统和光学装置

技术领域

[0001] 本发明涉及用于光学系统和光学装置中的衍射光学元件,更特别地,涉及被配置为使得由两种材料制成的衍射光栅相互接触的衍射光学元件。

背景技术

[0002] 存在通过玻璃材料的组合减少色差的方法。另一方面,在 SPIE Vol. 1354 International Lens Design Conference(1990)、日本专利申请公开公报 No. 4(1992)-213421、日本专利申请公开公报 No. 6(1994)-324626 和美国专利 No. 5044706 中公开了通过在透镜表面上或作为光学系统的一部分设置具有衍射功能的衍射光学元件(以下可被称为衍射光栅)减少色差的其它方法。这种方法利用对于某一基准波长的光线,在光学系统中的折射表面和衍射表面之间沿相反方向出现色差的物理现象。

[0003] 还能够通过改变这种衍射光学元件的周期结构的周期使其用作非球面,由此,偏差(aberration)可被大大减少。

[0004] 在包含衍射光学元件的光学系统中,如果使用波长范围中的大部分的光被转换成一个特定的衍射阶次(以下称为设计衍射阶次或设计阶次)的衍射光,那么其它衍射阶次的衍射光的强度将较低。例如,强度为 0 意味着没有相应的衍射光。但是,在设计衍射阶次以外的衍射阶次的衍射光以某一程度的强度存在的情况下,图像将在与设计衍射阶次的位置不同的位置上形成,从而导致在光学系统中产生的炫光(flare light)。

[0005] 因此,为了利用衍射光学元件的色差减少功能,设计衍射阶次的衍射光的衍射效率必须在整个使用波长范围上足够高。为此,充分考虑该设计衍射阶次中的衍射阶次的光谱分布以及设计衍射阶次以外的衍射阶次的衍射光的行为是十分重要的。

[0006] 这里,某一衍射阶次的衍射光的衍射效率指的是该衍射阶次的衍射光的量与透过衍射光学元件的整个光通量的量的比率(也可称为透射率)。

[0007] 图 25 表示由基板 109 和在基板 109 上形成的衍射光栅 108 制成的衍射光学元件(以下称为单层 DOE)。D1 是衍射光栅 108 的光栅厚度。图 26 表示在某一表面上形成该单层 DOE 时的特定和其它衍射阶次的衍射效率特性曲线。

[0008] 在图 26 中,横轴代表入射光的波长,纵轴代表衍射效率。如上所述,衍射效率的值代表各衍射阶次的衍射光的量与透过衍射光学元件的整个光通量的量的比率。这里,为了简单,被光栅界面反射的光不被考虑。

[0009] 如图 26 所示,图 25 的单层 DOE 被设计为使得作为设计衍射阶次的第一衍射阶次的衍射效率(图中的粗实线)在使用波长范围中是最高的。在该设计衍射阶次中衍射效率在某一波长(以下称为设计波长)上变为是最高的,并且在其它的波长逐渐降低。与该设计衍射阶次中的减少量对应的光变为其它衍射阶次的衍射光,这形成炫光。图 26 表示也作为其它衍射阶次的设计衍射阶次近旁的衍射阶次(零阶和二阶)中的衍射效率。

[0010] 已提出各种结构用于减少由此产生的炫光的影响。

[0011] 如图 27 所示,日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322 公开了一种衍射光学元

件,在该衍射光学元件中,三种不同的光栅材料 110 ~ 112 和两种不同的光栅厚度 d1 和 d2 被最优性选择,并且相互紧密接触的多个衍射光栅以相同的间距分布被配置。以下,具有这种结构的衍射光学元件将被称为接触三层 DOE。由此,如图 28 所示,在整个可见波长范围上,可以在设计衍射阶次上实现较高的衍射效率。

[0012] 在日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的图 29 的衍射光学元件 113 被配置为使得分别包含衍射光栅的元件部分 114 和 115 相互接近,空气层 116 介于其间。以下,具有这种结构的衍射光学元件将被称为叠层(多层)DOE。如图 30A 所示,通过优化构成各衍射光栅的材料的折射率、其分散特性和各层的光栅厚度,可以在整个可见波长范围上实现较高的衍射效率。另外,如图 30B 所示,作为不必要的衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率可一般被抑制(减少)。

[0013] 在日本专利申请公开公报 No. 2004-78166 中公开的衍射光学元件是与在上述日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的衍射光学元件类似的叠层 DOE。但是,微粒材料和树脂材料的混合材料被使用,并且各层的光栅厚度被优化,由此,如图 31A 所示,可以实现比上述日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中的衍射光学元件的衍射效率还要高的衍射效率。另外,如图 31B 所示,作为不必要阶次的衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率也可被充分抑制。

[0014] 在日本专利申请公开公报 No. 2005-107298 和日本专利申请公开公报 No. 2003-227913 中公开的图 32 的衍射光学元件 119 被配置为使得分别由两种不同的树脂材料制成的衍射光栅 117 和 118 在它们的光栅表面上相互紧密接触。以下,具有这种结构的衍射光学元件将被称为接触二层 DOE。使用这种结构,可以实现可很容易地制造的低成本的衍射光学元件。

[0015] 根据在上述日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322 公开的接触三层 DOE 和日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的叠层 DOE,设计衍射阶次的衍射效率在整个使用波长范围上为 94%或更高,这与单层 DOE 相比得到大大提高。导致炫光的不必要的衍射光也可被有利地抑制到 2%或更低。

[0016] 但是,在光学系统被安装到诸如静态照相机或摄像机的光学装置上的情况下,当在图像拾取区中存在高强度的光源时,即使少量的剩余的炫光也可成为问题。

[0017] 在由微粒材料和树脂材料的混合材料制成的在上述日本专利申请公开公报 No. 2004-78166 中公开的叠层 DOE 中,在整个使用波长范围上,设计衍射阶次的衍射效率为 99.5%或更高,并且不必要的衍射光为 0.05%或更低,由此实现比上述日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322 公开的三层 DOE 和日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的叠层 DOE 更高的性能。因此,炫光可望在某种程度上更加不明显。

[0018] 但是,仍然需要比在上述日本专利申请公开公报 No. 2004-78166 中公开的包含空气层的叠层 DOE 更加容易制造的衍射光学元件。

[0019] 同时,在上述日本专利申请公开公报 No. 2005-107298 和日本专利申请公开公报 No. 2003-227913 中公开的接触二层 DOE 的情况下,这种衍射光学元件本身的性能、特别是作为设计衍射阶次光的一阶衍射光的衍射效率在整个使用波长范围上为约 95 ~ 97%,这是不足够高的。换句话说,由于不必要的衍射光导致的炫光可导致问题。并且,由于在上述日本专利申请公开公报 No. 2005-107298 中公开的接触二层 DOE 包含厚达约 20 μm 或更

厚的厚光栅,因此,存在由倾斜入射光线的渐晕导致的衍射效率劣化的另一问题。

发明内容

[0020] 本发明提供在较宽的波长范围上实现特定衍射阶次(设计衍射阶次)中的较高的衍射效率、能够充分地抑制不必要衍射光并进一步有利于其制造的衍射光学元件。

[0021] 根据一个方面,本发明提供一种衍射光学元件,该衍射光学元件包含:分别由第一材料和第二材料制成的两个衍射光栅,这两个衍射光栅分别具有光栅表面并在光栅表面上相互接触。第一和第二材料满足以下所有的条件,并且第二材料是通过将树脂材料与满足以下所有的条件的微粒材料混合获得的材料:

[0022] $nd1 \geq 1.48$

[0023] $vd1 \geq 40$

[0024] $(-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.675) \leq \theta_g, F1 \leq (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.825)$

[0025] $(-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.400) \leq \theta_g, d1 \leq (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.580)$

[0026] $nd2 \leq 1.6$

[0027] $vd2 \leq 30$

[0028] $\theta_g, F2 \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.675)$

[0029] $\theta_g, d2 \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.400)$

[0030] $nd1 - nd2 > 0$

[0031] $ndb2 \geq 1.70$

[0032] $vdb2 \leq 20$

[0033] 这里, $ng1$ 、 $nF1$ 、 $nd1$ 和 $nC1$ 分别是材料 1 对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率,

[0034] $ng2$ 、 $nF2$ 、 $nd2$ 和 $nC2$ 分别是材料 2 对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率,并且,

[0035] $nFb2$ 、 $ndb2$ 和 $nCb2$ 分别是微粒材料对于 F 线、d 线和 C 线的折射率,并且,

[0036] $vd1 = (nd1 - 1) / (nF1 - nC1)$

[0037] $vd2 = (nd2 - 1) / (nF2 - nC2)$

[0038] $\theta_g, F1 = (ng1 - nF1) / (nF1 - nC1)$

[0039] $\theta_g, d1 = (ng1 - nd1) / (nF1 - nC1)$

[0040] $\theta_g, F2 = (ng2 - nF2) / (nF2 - nC2)$

[0041] $\theta_g, d2 = (ng2 - nd2) / (nF2 - nC2)$

[0042] $vdb2 = (ndb2 - 1) / (nFb2 - nCb2)$ 。

[0043] 根据另一方面,本发明提供包含上述衍射光学元件的光学系统和光学装置。

[0044] 通过参照附图阅读以下的说明,本发明的其它方面将变得十分明显。

附图说明

[0045] 图 1 是表示作为本发明的实施例(实施例 1 ~ 5)的衍射光学元件的前视图以及侧视图;

[0046] 图 2 是表示实施例 1 ~ 5 的衍射光学元件的部分断面图;

- [0047] 图 3A 是表示实施例 1 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0048] 图 3B 是表示实施例 1 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0049] 图 4 是构成实施例 1 的衍射光学元件的材料的折射率特性 ($n-\lambda$ 特性) 的示图；
- [0050] 图 5A 是表示实施例 2 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0051] 图 5B 是表示实施例 2 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0052] 图 6A 是表示实施例 3 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0053] 图 6B 是表示实施例 3 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0054] 图 7A 是表示实施例 4 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0055] 图 7B 是表示实施例 4 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0056] 图 8A 是表示实施例 5 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0057] 图 8B 是表示实施例 5 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0058] 图 9A 表示使用实施例 1 ~ 9 的衍射光学元件的图像拾取光学系统和具有该图像拾取光学系统的图像拾取装置的配置；
- [0059] 图 9B 表示使用实施例 1 ~ 9 的衍射光学元件的观察光学系统和具有该观察光学系统的观察装置的配置；
- [0060] 图 10 是表示构成实施例 1 ~ 5 的衍射光学元件的材料的折射率特性 ($nd-vd$ 特性) 的示图；
- [0061] 图 11 是表示构成实施例 1 ~ 5 的衍射光学元件的材料的折射率特性 ($\theta_g, F-vd$ 特性) 的示图；
- [0062] 图 12 是表示构成实施例 1 ~ 5 的衍射光学元件的材料的折射率特性 ($\theta_g, d-vd$ 特性) 的示图；
- [0063] 图 13 是作为本发明的实施例 (实施例 6 ~ 9) 的衍射光学元件的前视图；
- [0064] 图 14 是表示实施例 6 ~ 9 的衍射光学元件的部分断面图；
- [0065] 图 15A 是表示实施例 6 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0066] 图 15B 是表示实施例 6 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0067] 图 16 是表示构成实施例 6 的衍射光学元件的材料的折射率特性 ($n-\lambda$ 特性) 的示图；
- [0068] 图 17 是表示实施例 6 的衍射光学元件的内部透射率特性的示图；
- [0069] 图 18A 是表示实施例 7 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0070] 图 18B 是表示实施例 7 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示图；
- [0071] 图 19 是表示实施例 7 的衍射光学元件的内部透射率特性的示图；
- [0072] 图 20A 是表示实施例 8 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示图；

[0073] 图 20B 是表示实施例 8 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0074] 图 21 是表示实施例 8 的衍射光学元件的内部透射率特性的示意图；

[0075] 图 22 是表示构成实施例 6 ~ 9 的衍射光学元件的材料的折射率特性 (n_d - v_d 特性) 的示意图；

[0076] 图 23 是表示构成实施例 6 ~ 9 的衍射光学元件的材料的折射率特性 (θ_g , F - v_d 特性) 的示意图；

[0077] 图 24 是表示构成实施例 6 ~ 9 的衍射光学元件的材料的折射率特性 (θ_g , d - v_d 特性) 的示意图；

[0078] 图 25 是表示常规的单层衍射光学元件的部分断面图；

[0079] 图 26 是表示常规的单层衍射光学元件的设计衍射阶次以及设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0080] 图 27 是表示常规的接触三层衍射光学元件的部分断面图；

[0081] 图 28 是表示常规的接触三层衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0082] 图 29 是表示常规的叠层衍射光学元件的部分断面图；

[0083] 图 30A 是表示常规的叠层衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0084] 图 30B 是表示常规的叠层衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0085] 图 31A 是表示常规的叠层衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0086] 图 31B 是表示常规的叠层衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0087] 图 32 是常规的接触二层衍射光学元件的部分断面图；

[0088] 图 33A 是表示实施例 9 的衍射光学元件的设计衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0089] 图 33B 是表示实施例 9 的衍射光学元件的设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射效率特性的示意图；

[0090] 图 34 是表示图 9 的衍射光学元件的内部透射率特性的示意图。

具体实施方式

[0091] 以下参照附图说明本发明的示例性实施例。

[0092] [实施例 1]

[0093] 图 1 是作为本发明的实施例 (实施例 1) 的衍射光学元件的前视图 (左图) 以及侧视图 (右图) 。在图 1 中, 字符 0 代表衍射光学元件的中心轴。图 2 是在沿图 1 的线 A-A' 切取的断面中表示图 1 的衍射光学元件的部分放大图。这里应当注意, 图 2 沿光栅深度方向没有按比例绘制。

[0094] 如这些附图所示, 衍射光学元件 10 包含第一元件部分 12 和第二元件部分 13。第一元件部分 12 包含第一透明基板 14 以及由设置在第一透明基板 14 上的光栅基部 16 和与光栅基部 16 一体化形成的第一衍射光栅 18 构成的第一光栅形成层。第二元件部分 13 包含第二透明基板 15 以及由设置在第二透明基板 15 上的光栅基部 17 和与光栅基部 17 一体

化形成的第二衍射光栅 19 构成的第二光栅形成层。

[0095] 第一和第二衍射光栅 18 和 19 具有相同的光栅形状（周期性结构），这意味着它们具有相同的光栅厚度 d 和相同的光栅间距 p 的分布。换句话说，它们的光栅形状具有相同的图案。光栅形状指的是凸部（以下称为峰）和凹部（以下称为谷）被交替设置的形状。

[0096] 第一和第二元件部分 12 和 13 被配置为使得第一和第二衍射光栅 18 和 19 的光栅表面 18a 和 19a（与光栅的倾斜表面对应）与它们的光栅壁部分 18b 和 19b 接触，而在其间没有间隙即在其间没有介入的空气层。第一和第二元件部分 12 和 13 作为整体用作一个衍射光学元件。

[0097] 第一和第二衍射光栅 18 和 19 具有同心的光栅形状，由于它们的光栅间距沿径向变化，因此它们用作透镜。

[0098] 在本实施例中，入射到衍射光学元件 10 上的光的波长范围即使用波长范围是可见波长范围（例如，400 ~ 700nm）。第一和第二衍射光栅 18 和 19 的材料以及它们的光栅厚度被选择为使得在整个可见波长范围上作为设计衍射阶次光的一阶衍射光的衍射效率变得最高。

[0099] 以下说明本实施例的衍射光学元件 10 的衍射效率。在图 25 的常规的单层 DOE 的情况下，用于使某一衍射阶次的衍射光的衍射效率最大化的条件如下，这里， λ_0 是设计波长。

[0100] 在光通量垂直入射到衍射光学元件 10 上到达衍射光栅的基面（由图 25 的虚线表示）时，如果衍射光栅的峰和谷之间的光路长度差（即，穿过峰的光线和穿过谷的光线之间的光路长度差）变为波长的整数倍，那么衍射光的衍射效率将被最大化。这可由下式表示：

$$[0101] \quad (n_{01}-1) \times d = m \times \lambda_0 \dots (20)$$

[0102] 这里， n_{01} 是对于波长 λ_0 的光的衍射光栅的材料的折射率， d 是光栅厚度， m 是衍射阶次。

[0103] 由于式 (20) 包含波长的项，因此在给定的阶次上仅对于设计波长满足该式，并且衍射效率将在设计波长以外的波长从最大值减小。

[0104] 任意波长 λ 的衍射效率 $\eta(\lambda)$ 可由下式 (21) 表示：

$$[0105] \quad \eta(\lambda) = \text{sinc}^2[\pi \times \{m - (n_1(\lambda) - 1) \times d / \lambda\}] \dots (21)$$

[0106] 这里， m 是衍射阶次， $n_1(\lambda)$ 是对于波长 λ 的光的衍射光栅的材料的折射率， $\text{sinc}^2(a)$ 是由 $\{\sin(a)/a\}^2$ 表示的函数。

[0107] 基本上，具有两个或更多个层的叠层结构的衍射光学元件与本实施例相同，并且，为了使得各个层作为整体用作一个衍射光学元件，元件被配置如下。在构成各层的材料的边界上形成的衍射光栅的峰和谷之间的光路长度差被确定。这种光路长度差在整个衍射光栅上被相加。然后，光栅形状的尺寸被确定，使得通过相加光路长度差获得的值变为波长的整数倍。

[0108] 因此，在图 2 所示的衍射光学元件 10 中，用于使 m 阶衍射光的衍射效率最大化的条件可由下式表示，这里， λ_0 是设计波长：

$$[0109] \quad \pm(n_{01}-n_{02}) \times d = m \times \lambda_0 \dots (22)$$

[0110] 这里， n_{01} 是构成第一元件部分 12 的第一衍射光栅 18 的材料对于波长 λ_0 的光的折射率， n_{02} 是构成第二元件部分 13 的第二衍射光栅 19 的材料对于波长 λ_0 的光的折

射率, d 是与衍射光栅 18 和 19 共同的光栅厚度。

[0111] 相对于图 2 中的零阶衍射光斜向下衍射的光的衍射阶次被定义为正衍射阶次, 而相对于零阶衍射光斜向上衍射的光的衍射阶次被定义为负衍射阶次。在这种情况下, 式 (22) 中的符号 $\pm$ 将在衍射光栅具有图 2 中的厚度从上到下增加的光栅形状的情况下为正, 而将在衍射光栅具有图 2 中的厚度从上到下减小的光栅形状的情况下为负。

[0112] 在图 2 所示的结构中, 设计衍射阶次 λ_0 以外的 λ 的波长的衍射效率 $\eta(\lambda)$ 可由下式表示:

$$[0113] \quad \eta(\lambda) = \text{sinc}^2(\pi \times [m - \{\pm (n_1(\lambda) - n_2(\lambda)) \times d / \lambda\}])$$

$$[0114] \quad = \text{sinc}^2(\pi \times (m - \phi(\lambda) / \lambda)) \cdots (23)$$

$$[0115] \quad \phi(\lambda) = \pm (n_1(\lambda) - n_2(\lambda)) \times d \cdots (24)$$

[0116] 这里, m 是衍射阶次, $n_1(\lambda)$ 是构成第一衍射光栅 18 的材料的在波长 λ 的折射率, $n_2(\lambda)$ 是构成第二衍射光栅 19 的材料的在波长 λ 的折射率, d 是与衍射光栅 18 和 19 共同的光栅厚度, $\text{sinc}^2(a)$ 是由 $\{\sin(a)/a\}^2$ 表示的函数。

[0117] 以下解释用于在本实施例的衍射光学元件 10 中获得高衍射效率的条件。

[0118] 为了在整个使用波长范围上获得高衍射效率, 由式 (23) 限定的值 $\eta(\lambda)$ 应在整个使用波长范围上接近 1。换句话说, 为了提高设计衍射阶次 m 的衍射效率, 式 (23) 中的 $\phi(\lambda)/\lambda$ 应接近 m 。例如, 当设计衍射阶次 m 是一阶时, $\phi(\lambda)/\lambda$ 应接近 1。

[0119] 并且, 从以上关系可以看出, 基于光栅形状获得的光路长度差 $\phi(\lambda)$ 需要与波长 λ 成比例线性变化, 这意味着式 (24) 右边的值应具有线性。也就是说, 构成第二衍射光栅 19 的材料根据波长的折射率的变化与构成第一衍射光栅 18 的材料根据波长的折射率的变化比率需要在整个使用波长范围上恒定。

[0120] 以下说明具有满足上述关系的结构的更具体的实施例。

[0121] 在图 2 的衍射光学元件 10 中, 第一衍射光栅 18 由丙烯酸树脂和 Al_2O_3 粒子 (微粒材料) 的混合材料 ($n_d = 1.542$, $v_d = 53.2$) 制成。第二衍射光栅 19 由氟树脂和 ITO 粒子 (微粒材料) 的混合材料 ($n_d = 1.491$, $v_d = 19.8$) 制成。第一和第二衍射光栅 18 和 19 同样的光栅厚度 d 为 $11.4 \mu\text{m}$ 。

[0122] 图 3A 表示本实施例的衍射光学元件 10 中的一阶衍射光的衍射效率。衍射光学元件 10 的设计衍射阶次为一阶。图 3B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次 (零阶和二阶) 的衍射光的衍射效率。在这些附图中, 纵轴表示衍射效率 (%), 横轴表示波长 (nm)。以下实施例相同。

[0123] 从这些附图可以看出, 与在以上的日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322、日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 和日本专利申请公开公报 No. 2005-107298 中公开的衍射光学元件相比, 本实施例的衍射光学元件 10 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善。并且, 根据本实施例的衍射光学元件 10, 作为不必要阶次的衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率被进一步降低, 使得产生更少的炫光。

[0124] 本实施例的衍射光学元件 10 具有比在日本专利申请公开公报 No. 2004-78166 中公开的常规衍射光学元件小的总光栅厚度 (在叠层的 DOE 中, 为两个衍射光栅层和空气层的厚度的总和)。尽管如此, 对于设计阶次衍射光 (一阶衍射光) 和不必要阶次的衍射光 (零阶衍射光和二阶衍射光), 衍射光学元件 10 仍实现与常规的衍射光学元件相比相当或

更好的性能。并且,本实施例的衍射光学元件 10 在整个可见波长范围上实现 99.9%或更高的一阶衍射光的衍射效率,并充分地将不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率抑制到 0.02%或更低。

[0125] 在以上的说明中,仅对于作为设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光评价不必要的衍射光的衍射效率。这是因为,随着衍射阶次远离设计衍射阶次,对于炫光的贡献将减小。即,由于零阶和二阶衍射光导致的炫光的减少相应带来由于其它阶次衍射光导致的炫光的减少。原因如下。在被设计为使得设计衍射阶次的衍射光被主要衍射的衍射光学元件中,随着衍射阶次远离设计衍射阶次,光的衍射效率降低,并且由这种衍射阶次的光形成的图像在成像面上相当模糊,由此使得它作为炫光是不明显的。

[0126] 图 4 表示用于本实施例中的通过混合丙烯酸树脂和 Al_2O_3 粒子获得的材料(材料 1)和通过混合氟树脂和 ITO 粒子获得的材料(材料 2)以及在上述日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的材料可见波长范围中的折射率特性。在日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的材料是丙烯酸树脂 1($nd = 1.523, vd = 51.1$)和丙烯酸树脂 2($nd = 1.636, vd = 23.0$)。

[0127] 在图 4 中,在用于本实施例中的材料 1 和材料 2 之间,折射率特性图的斜率看起来是不同的。但是,这些材料的折射率相对于波长的变化基本上恒定地变化。另一方面,虽然日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的丙烯酸树脂 1 的折射率相对于波长的变化基本上恒定地变化,但丙烯酸树脂 2 的折射率的变化率在短波长侧较大。

[0128] 这是因为,日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 仅提到 $vd = (nd-1)/(nF-nC)$ 作为材料性能,这里, nF 、 nd 和 nC 分别是 F 线、d 线和 C 线的折射率, vd 是仅定义 d 线附近的折射率变化的平均斜率的值。在叠层衍射光学元件的情况下, vd 特性是适于在保持叠层衍射光学元件的小光栅厚度的同时与单层 DOE 相比提高衍射效率的评价量。

[0129] 但是,本实施例目的是与日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的衍射光学元件相比进一步提高衍射效率。因此,仅代表折射率的平均变化的 vd 特性作为评价量是不够的。

[0130] 相反,对于 g 线和 F 线的部分分散(dispersion)比 $\theta_{g,F}$ 以及对于 g 线和 d 线的部分分散比 $\theta_{g,d}$ 被用作新的评价量。当 nF 、 nC 和 ng 分别是对于 F 线、C 线和 g 线的折射率时,部分分散比 $\theta_{g,F}$ 可表示为 $\theta_{g,F} = (ng-nF)/(nF-nC)$ 。当 nF 、 nd 、 nC 和 ng 分别是对于 F 线、d 线、C 线和 g 线的折射率时,部分分散比 $\theta_{g,d}$ 可表示为 $\theta_{g,d} = (ng-nd)/(nF-nC)$ 。这些表达式代表短波长侧的折射率变化和长波长侧的折射率变化之间的比率。

[0131] 本实施例的材料 1 具有 $\theta_{g,F} = 0.55$ 和 $\theta_{g,d} = 1.25$ 。材料 2 具有 $\theta_{g,F} = 0.41$ 、 $\theta_{g,d} = 1.04$,它们小于材料 1 的值。同时,日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的丙烯酸树脂 1 具有 $\theta_{g,F} = 0.58$ 、 $\theta_{g,d} = 1.28$,并且丙烯酸树脂 2 具有 $\theta_{g,F} = 0.68$ 、 $\theta_{g,d} = 1.40$ 。虽然丙烯酸树脂 1 的 $\theta_{g,F}$ 和 $\theta_{g,d}$ 与本实施例的材料 1 差别不大,但丙烯酸树脂 2 的 $\theta_{g,F}$ 和 $\theta_{g,d}$ 比本实施例的材料 2 大。因此,可以看出,本实施例的材料组合在整个使用波长范围上相对于波长变化各材料的折射率变化更加恒定,并提供更高的衍射效率。

[0132] 与上述日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322、日本专利申请公开公报 No. 2000-98118、日本专利申请公开公报 No. 2004-78166 和日本专利申请公开公报

No. 2005-107298 不同, 本实施例使用上述材料 1 和 2, 并可在保持较高的衍射效率的同时实现具有相同的光栅图案的第一和第二衍射光栅 18 和 19 在它们的光栅表面上相互接触的接触二层 DOE。由此, 不需要以较高的精度对准这些衍射光栅 18 和 19, 由此有利于它们的制造。

[0133] 上述实施例说明了如图 1 和图 2 所示的在平板形式的透明基板 14 和 15 上具有衍射光栅 18 和 19 的衍射光学元件。但是, 作为平板透明基板的替代, 可以使用透镜, 并且, 衍射光栅可被设置在透镜的诸如凸面或凹面的曲面上, 从中可获得与本实施例类似的效果。

[0134] 虽然本实施例说明了设计衍射阶次是一阶的衍射光学元件, 但设计衍射阶次不限于一阶。即使在一阶以外的二阶或三阶等的衍射光的情况下, 也可通过设置衍射光栅的光路长度差的合成值以与希望的设计衍射阶次的希望的设计波长对应获得与本实施例类似的效果。

[0135] [实施例 2]

[0136] 以下说明本发明的实施例 2。本实施例的衍射光学元件具有与实施例 1 基本上相同的配置。即, 元件具有图 1 和图 2 所示的结构。因此, 相同的附图标记被分配给与实施例 1 共同的部件, 它们的详细解释将被省略, 并且以下的说明将针对不同之处。

[0137] 在本实施例的衍射光学元件 10 中, 图 2 所示的第一衍射光栅 18 由丙烯酸树脂和 ZrO_2 粒子的混合材料 ($n_d = 1.611$, $v_d = 45.5$) 制成。第二衍射光栅 19 由丙烯酸树脂和 ITO 粒子的混合材料 ($n_d = 1.567$, $v_d = 21.7$) 制成。第一和第二衍射光栅 18 和 19 同样的光栅厚度 d 为 $13.3 \mu\text{m}$ 。

[0138] 图 5A 表示本实施例的衍射光学元件 10 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次为一阶。图 5B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射光 (零阶衍射光和二阶衍射光) 的衍射效率。与实施例 1 的衍射光学元件 10 类似, 本实施例的衍射光学元件 10 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善, 并且, 作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率可被降低, 使得产生更少的炫光。

[0139] 更具体地, 一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.8% 或更高, 并且不必要阶次衍射光 (零阶衍射光和二阶衍射光) 的衍射效率被充分抑制到 0.04% 或更低。

[0140] [实施例 3]

[0141] 以下说明本发明的实施例 3。本实施例的衍射光学元件具有与实施例 1 基本上相同的配置。即, 元件具有图 1 和图 2 所示的结构。因此, 相同的附图标记被分配给与实施例 1 共同的部件, 它们的详细解释将被省略, 并且以下的说明将针对不同之处。

[0142] 在本实施例的衍射光学元件 10 中, 图 2 所示的第一衍射光栅 18 由丙烯酸树脂和 Al_2O_3 粒子的混合材料 ($n_d = 1.594$, $v_d = 58.0$) 制成。第二衍射光栅 19 由氟树脂和 ITO 粒子的混合材料 ($n_d = 1.519$, $v_d = 16.5$) 制成。第一和第二衍射光栅 18 和 19 同样的光栅厚度 d 为 $7.8 \mu\text{m}$ 。

[0143] 图 6A 表示本实施例的衍射光学元件 10 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次为一阶。图 6B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射光 (零阶衍射光和二阶衍射光) 的衍射效率。与实施例 1 和 2 的衍射光学元件 10 类似, 本实施例的衍射光学元件 10 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善, 并且, 作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率可被降低, 使得产生更少的炫光。

[0144] 更具体地,一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.8%或更高,并且不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率被充分抑制到 0.04%或更低。

[0145] [实施例 4]

[0146] 以下说明本发明的实施例 4。本实施例的衍射光学元件具有与实施例 1 基本上相同的配置。即,元件具有图 1 和图 2 所示的结构。因此,相同的附图标记被分配给与实施例 1 共同的部件,它们的详细解释将被省略,并且以下的说明将针对不同之处。

[0147] 在本实施例的衍射光学元件 10 中,图 2 所示的第一衍射光栅 18 由丙烯酸树脂和 Al_2O_3 粒子的混合材料($n_d = 1.556$, $v_d = 55.4$)制成。第二衍射光栅 19 由光学材料和 ITO 粒子的混合材料($n_d = 1.469$, $v_d = 12.1$)制成。第一和第二衍射光栅 18 和 19 同样的光栅厚度 d 为 $6.0\ \mu\text{m}$ 。

[0148] 图 7A 表示本实施例的衍射光学元件 10 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次为一阶。图 7B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率。与实施例 1~3 的衍射光学元件 10 类似,本实施例的衍射光学元件 10 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善,并且,作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率可被降低,使得产生更少的炫光。

[0149] 更具体地,一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.9%或更高,并且不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率被充分抑制到 0.02%或更低。

[0150] [实施例 5]

[0151] 以下说明本发明的实施例 5。本实施例的衍射光学元件具有与实施例 1 基本上相同的配置。即,元件具有图 1 和图 2 所示的结构。因此,相同的附图标记被分配给与实施例 1 共同的部件,它们的详细解释将被省略,并且以下的说明将针对不同之处。

[0152] 在本实施例的衍射光学元件 10 中,图 2 所示的第一衍射光栅 18 由丙烯酸树脂材料($n_d = 1.552$, $v_d = 51.3$)制成。注意,与实施例 1~4 不同,本实施例的第一衍射光栅的材料仅是其中没有混合微粒材料的丙烯酸树脂。另一方面,第二衍射光栅 19 由氟树脂和 ITO 粒子的混合材料($n_d = 1.480$, $v_d = 21.3$)制成。第一和第二衍射光栅 18 和 19 同样的光栅厚度 d 为 $13.9\ \mu\text{m}$ 。

[0153] 图 8A 表示本实施例的衍射光学元件 10 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次为一阶。图 8B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率。与实施例 1~4 的衍射光学元件 10 类似,本实施例的衍射光学元件 10 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善,并且,作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率可被降低,使得产生更少的炫光。

[0154] 更具体地,一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.9%或更高,并且不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率被充分抑制到 0.02%或更低。

[0155] 以下说明在上述实施例的第一和第二衍射光栅 18 和 19 中满足的条件。

[0156] 在实施例 1~5 的衍射光学元件 10 中,构成第一和第二衍射光栅的第一材料和第二材料(以下分别称为材料 1 和材料 2)满足以下条件。材料 2 是满足以下条件的树脂材料和微粒材料的混合材料。

[0157] 在以下的表达式中, n_{g1} 、 n_{F1} 、 n_{d1} 和 n_{C1} 分别是材料 1 对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率,并且 n_{g2} 、 n_{F2} 、 n_{d2} 和 n_{C2} 分别是材料 2 对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率。

n_{Fb2} 、 n_{db2} 和 n_{Cb2} 分别是微粒材料对于 F 线、d 线和 C 线的折射率。 $vd1$ 、 $vd2$ 、 $vdb2$ 分别是材料 1、材料 2 和微粒材料对于 d 线的 Abbe (阿贝) 数。“E-b”意味着“ $\times 10^{-b}$ ”。

[0158] 并且,它们具有以下关系:

$$[0159] \quad vd1 = (nd1-1)/(nF1-nC1)$$

$$[0160] \quad vd2 = (nd2-1)/(nF2-nC2)$$

$$[0161] \quad \theta_{g,F1} = (ng1-nF1)/(nF1-nC1)$$

$$[0162] \quad \theta_{g,d1} = (ng1-nd1)/(nF1-nC1)$$

$$[0163] \quad \theta_{g,F2} = (ng2-nF2)/(nF2-nC2)$$

$$[0164] \quad \theta_{g,d2} = (ng2-nd2)/(nF2-nC2)$$

$$[0165] \quad vdb2 = (ndb2-1)/(n_{Fb2}-n_{Cb2})。$$

[0166] 然后,以下的条件要被满足:

[0167] 材料 1:

[0168]

$$\mathbf{nd1 \geq \underline{1.48} \cdots (1)}$$

$$[0169] \quad vd1 \geq 40 \cdots (2)$$

$$[0170] \quad (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.675) \leq \theta_{g,F1} \leq (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.825)$$

$$[0171] \quad \cdots (3)$$

$$[0172] \quad (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.400) \leq \theta_{g,d1} \leq (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.580)$$

$$[0173] \quad \cdots (4)$$

[0174] 材料 2:

$$[0175] \quad nd2 \leq 1.6 \cdots (5)$$

$$[0176] \quad Vd2 \leq 30 \cdots (6)$$

$$[0177] \quad \theta_{g,F2} \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.675) \cdots (7)$$

$$[0178] \quad \theta_{g,d2} \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.400) \cdots (8)$$

[0179] 材料 1 和材料 2:

$$[0180] \quad nd1 - nd2 > 0 \cdots (9)$$

[0181] 微粒材料:

$$[0182] \quad ndb2 \geq 1.70 \cdots (10)$$

$$[0183] \quad vdb2 \leq 20 \cdots (11)。$$

[0184] 条件式 (1) ~ (4) 限定材料 1 的性能。即,材料 1 必须满足所有的条件式 (1) ~ (4)。现在,为了便于理解各条件之间的关系,将参照图 10 ~ 12。图 10 表示 nd 和 vd 之间的关系,图 11 表示 $\theta_{g,F}$ 和 vd 之间的关系,图 12 表示 $\theta_{g,d}$ 和 vd 之间的关系。在这些附图中,纵轴分别表示 nd 、 $\theta_{g,F}$ 和 $\theta_{g,d}$,横轴表示 vd 。注意,在图 10 ~ 12 中,条件式的号码由圆包围的数字表示。

[0185] 如图 10 所示,条件式 (1) 和 (2) 规定用于实现实施例的衍射光学元件的材料 1 的 $nd1$ 和 $vd1$ 的范围。如果 $nd1$ 和 $vd1$ 的值比条件式 (1) 和 (2) 的下限低,那么实现实施例的衍射光学元件 (接触二层型) 的材料 2 即满足条件式 (5) 和 (8) 的材料 2 将不存在。

[0186] 如图 11 所示,条件式 (3) 规定用于实现实施例的衍射光学元件的材料 1 的 θ_g , F1 和 $vd1$ 的范围。如上所述,该条件式 (3) 应基于条件式 (1) 和 (2) 的满足被满足。如果 θ_g , F1 的值比条件式 (3) 的下限低,那么实施例的衍射光学元件的光栅厚度将增加,因此,斜入射到衍射光学元件上的光线(以下称为斜入射光)的衍射效率将劣化。如果 θ_g , F1 的值比条件式 (3) 的上限高,那么用实施例的衍射光学元件的结构(接触二层结构)获得高衍射效率的材料 2 即满足条件式 (5) ~ (8) 的材料 2 将不存在。

[0187] 如图 12 所示,条件式 (4) 规定用于实现实施例的衍射光学元件的材料 1 的 θ_g , $d1$ 和 $vd1$ 的范围。在这种情况下,该条件式 (4) 也应基于条件式 (1) ~ (3) 的满足被满足。如果 θ_g , $d1$ 的值比条件式 (4) 的下限低,那么实施例的衍射光学元件的光栅厚度将增加,因此,斜入射光的衍射效率将劣化。如果 θ_g , $d1$ 的值比条件式 (4) 的上限高,那么用实施例的衍射光学元件的结构(接触二层结构型)获得高衍射效率的材料 2 即满足条件式 (5) ~ (8) 的材料 2 将不存在。

[0188] 为了在使得光栅变薄的同时实现较高的衍射效率,鉴于允许材料 2 存在的条件,优选材料 1 满足以下的条件式。被分配给以下的条件式的号码的字母‘a’表示具有‘a’的这种条件式优于原始条件式。字母‘b’表示具有‘b’的这种条件式优于具有‘a’的相应条件式。以下的其它条件式同样如此:

[0189]

$$\underline{1.48} \leq nd1 \leq 1.75 \dots (1a)$$

[0190]

$$\underline{1.48} \leq nd1 \leq 1.70 \dots (1b)$$

$$[0191] \quad 40 \leq vd1 \leq 80 \dots (2a)$$

$$[0192] \quad 40 \leq vd1 \leq 70 \dots (2b)$$

$$[0193] \quad (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.700) \leq \theta_g, F1 \leq (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.662)$$

$$[0194] \quad \dots (3a)$$

$$[0195] \quad (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.425) \leq \theta_g, d1 \leq (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.513)$$

$$[0196] \quad \dots (4a)$$

[0197] 条件式 (5) ~ (8) 规定材料 2 的性能。对于满足所有的条件式 (1) ~ (4) 的材料 1,材料 2 必须满足条件式 (5) ~ (8)。为了便于理解各条件之间的关系,再一次参照图 10 ~ 12。

[0198] 如图 10 所示,条件式 (5) 和 (6) 规定用于实现实施例的衍射光学元件的材料 2 的 $nd2$ 和 $vd2$ 的范围。如果 $nd2$ 和 $vd2$ 的值比条件式 (5) 和 (6) 的上限高,那么实现实施例的衍射光学元件(接触二层型)的材料 1 即满足条件式 (1) ~ (4) 的材料 1 将不存在。

[0199] 如图 11 所示,条件式 (7) 规定用于实现实施例的衍射光学元件的材料 2 的 θ_g , F2 和 $vd2$ 的范围。如上所述,该条件式 (7) 应基于条件式 (5) 和 (6) 的满足被满足。如果 θ_g , F2 的值比条件式 (7) 的上限高,那么用实施例的衍射光学元件的结构(接触二层结构)获得高衍射效率的材料 1 即满足条件式 (1) ~ (4) 的材料 1 将不存在。

[0200] 如图 12 所示,条件式 (8) 规定用于实现实施例的衍射光学元件的材料 2 的 θ_g ,

d2 和 vd2 的范围。在这种情况下,该条件式 (8) 也应基于条件式 (5) 和 (6) 的满足被满足。如果 θ_g , d2 的值比条件式 (8) 的上限高,那么用实施例的衍射光学元件的结构(接触二层结构)获得高衍射效率的材料 1 即满足条件式 (1) ~ (4) 的材料 1 将不存在。

[0201] 为了在使得光栅变薄的同时实现较高的衍射效率,鉴于允许材料 1 存在的条件,优选材料 2 满足以下的条件式:

$$[0202] \quad 1.4 \leq nd2 \leq 1.6 \cdots (5a)$$

$$[0203] \quad vd2 \leq 25 \cdots (6a)$$

$$[0204] \quad \theta_g, F2 \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.600) \cdots (7a)$$

$$[0205] \quad \theta_g, d2 \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.300) \cdots (8a)$$

[0206] 条件式 (9) 表示实施例的衍射光学元件中的材料 1 和材料 2 的折射率之间的大小关系。除非满足该条件式,否则不能获得希望的衍射效率。

[0207] 条件式 (10) 和 (11) 规定在上述实施例的衍射光学元件中允许材料 2 满足上述条件式 (5) ~ (8) 的微粒材料材料性能的范围。满足条件式 (10) 和 (11) 的微粒材料包含作为 IT0、Ti、Nr、Cr、它们的氧化物、它们的合成物和它们的混合物中的任一种的无机微粒材料。在实施例中,作为一个例子使用 IT0 ($ndb2 = 1.77$, $vdb2 = 6.8$)。如果 $ndb2$ 的值比条件式 (10) 的下限低或如果 $vdb2$ 的值比条件式 (11) 的上限高,那么材料 2 不能满足条件式 (5) ~ (8)。

[0208] 这里,只要满足条件式 (10) 和 (11),那么使用的微粒材料就不限于上述实施例中的那些。

[0209] 并且,微粒材料优选满足以下条件:

$$[0210] \quad ndb2 \geq 1.75 \cdots (10a)$$

$$[0211] \quad vdb2 \leq 18 \cdots (11a)$$

[0212] 除了上述条件式 (1) ~ (11) 以外,上述实施例的衍射光学元件 10 优选满足以下条件。 λ_F 、 λ_d 和 λ_C 分别是 F 线、d 线和 C 线的波长。

[0213] $m(\lambda_F)$ 是通过将对于 F 线的波长的 m 阶(设计阶次)衍射光的各衍射光栅的凸部(峰)和凹部(谷)之间的光路长度差除以该波长获得的值。 $m(\lambda_d)$ 是通过将对于 d 线的波长的 m 阶衍射光的各衍射光栅的凸部和凹部之间的光路长度差除以该波长获得的值。并且, $m(\lambda_C)$ 是通过将对于 C 线的波长的 m 阶衍射光的各衍射光栅的凸部和凹部之间的光路长度差除以该波长获得的值。

[0214] $d(\mu m)$ 是光栅厚度:

$$[0215] \quad m(\lambda_F) = \{d \times (nF1 - nF2)\} / \lambda_F \cdots (12)$$

$$[0216] \quad m(\lambda_d) = \{d \times (nd1 - nd2)\} / \lambda_d \cdots (13)$$

$$[0217] \quad m(\lambda_C) = \{d \times (nC1 - nC2)\} / \lambda_C \cdots (14)$$

$$[0218] \quad d \leq 20 \cdots (15)$$

$$[0219] \quad 0.92 \leq \{m(\lambda_F) + m(\lambda_d) + m(\lambda_C)\} / 3 \leq 1.08 \cdots (16)。$$

[0220] 这些条件式 (12) ~ (16) 规定根据实施例的用材料 1 和 2 形成的接触二层 DOE 的衍射效率。如果 d 的值比条件式 (15) 的上限高,那么斜入射光的衍射效率可能大大劣化。如果条件式 (16) 不被满足,那么不能获得希望的衍射效率。

[0221] 为了实现更高的衍射效率,优选满足以下的条件式。被分配给以下的条件式的号

码的字母 ‘c’ 表示具有 ‘c’ 的这种条件式优于具有 ‘b’ 的条件式：

$$[0222] \quad d \leq 15 \dots (15a)$$

$$[0223] \quad 0.93 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda C)\} / 3 \leq 1.07 \dots (16a)$$

$$[0224] \quad 0.94 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda C)\} / 3 \leq 1.06 \dots (16b)$$

$$[0225] \quad 0.96 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda C)\} / 3 \leq 1.04 \dots (16c)。$$

[0226] 在实施例 1 ~ 4 中, 材料 1 优选与满足所有的以下条件的微粒材料混合。这里, n_{Fb1} 、 n_{db1} 和 n_{Cb1} 分别是微粒材料对于 F 线、d 线和 C 线的折射率。并且, $v_{db1} = (n_{db1} - 1) / (n_{Fb1} - n_{Cb1})$:

$$[0227] \quad n_{db1} \geq 1.65 \dots (17)$$

$$[0228] \quad v_{db1} \geq 35 \dots (18)。$$

[0229] 条件式 (17) 和 (18) 规定混入材料 1 中的微粒材料的性能。满足条件式 (17) 和 (18) 的微粒材料包含作为 Al、Zr、Y、它们的氧化物、它们的合成物和它们的混合物中的任一种的无机微粒材料。在实施例中, 作为一个例子使用 Al_2O_3 ($n_{db1} = 1.71$, $vd = 68.0$) 或 ZrO_2 ($n_{db1} = 1.87$, $vd = 39.4$)。如果 n_{db1} 和 v_{db1} 的值比条件式 (17) 和 (18) 的下限低, 那么不能实现满足条件式 (1) ~ (4) 的材料 1。

[0230] 这里, 只要满足条件式 (17) 和 (18), 那么使用的微粒材料就不限于上述的例子。

[0231] 作为与粒子混合的材料替代, 例如可以使用一般的紫外线固化树脂。但是, 由于如实施例 1 ~ 4 所述的那样使用其中混合 (分散) 微粒材料作为材料 1 和材料 2 可降低光栅厚度, 因此这种材料优选被用作斜入射光的衍射效率劣化的对策。

[0232] 微粒材料优选满足以下条件：

$$[0233] \quad n_{db1} \geq 1.70 \dots (17a)$$

$$[0234] \quad v_{db1} \geq 38 \dots (18a)。$$

[0235] 微粒材料的平均粒子直径优选为入射到衍射光学元件上的光的波长 (使用波长或设计波长) 的 1/4 或更小。在粒子直径大于该范围的情况下, 当这种微粒材料被混入树脂材料中时, 光的散射可能较大。

[0236] 用于在其中混合上述微粒材料的树脂材料包含作为丙烯酸、氟、乙烯、环氧有机树脂中的任一种的紫外线固化树脂。在实施例中, 作为一个例子使用丙烯酸树脂或氟树脂。

[0237] 作为最终条件, 当图 2 的衍射光栅的光栅间距为 P 并且光栅厚度为 d 时, 实施例的衍射光学元件优选满足以下条件：

$$[0238] \quad d/P < 1/7 \dots (19)。$$

[0239] 条件式 (19) 规定构成衍射光学元件的衍射光栅的形状 (光栅间距和光栅厚度)。如果 d/P 的值比条件式 (19) 的上限高, 那么斜入射光的衍射效率可由于光栅间距变得太小而劣化。条件式 (19) 的满足导致有利于在用于形成 (树脂成形) 衍射光学元件的模具中加工光栅形状的优点。

[0240] 表 1 表示实施例 1 ~ 5 中说明的衍射光学元件的条件式 (1) ~ (19) 的数值。

[0241] 如上所述, 在上述实施例中, 材料 1 和材料 2 对于 g 线和 F 线的部分分散比 θ_g, F 以及对于 g 线和 d 线的部分分散比 θ_g, d 被适当地设定, 并且这种材料 1 和材料 2 被用于构成接触二层 DOE。由此, 能够在入射光的整个波长范围 (使用波长范围) 上保持特定衍射阶次 (设计衍射阶次) 的衍射光的较高的衍射效率同时能够充分地抑制导致炫光的不必要

衍射光的衍射光学元件可被实现。并且,由于被配置为接触二层 DOE,因此可以以较低的成本很容易地制造该元件。

[0242] 这里应当注意,图 1 和图 2 的衍射光学元件的形状,特别是光栅部分的形状仅是示例性的,其它的形状也可被使用。

[0243] [实施例 6]

[0244] 以下说明作为本发明的实施例(实施例 6)的衍射光学元件。

[0245] 本实施例的衍射光学元件被配置为使得由第一材料制成的第一衍射光栅和由第二材料制成的第二衍射光栅被层叠以在它们的光栅表面上相互接触。

[0246] 构成第一和第二衍射光栅的光栅部分的第一材料和第二材料(以下可分别称为材料 1 和材料 2)满足下述的条件式。特别地,材料 2 由树脂材料和微粒材料的混合材料制成。以下的实施例同样如此。

[0247] 图 13 是本实施例的衍射光学元件的主要部分的前视图。在图 13 中,附图标记 50 表示衍射光学元件,字符 O 表示衍射光学元件的中心轴。图 14 是在沿图 13 的线 A-A' 切取的断面中表示图 13 的衍射光学元件的部分放大图。这里应当注意,图 14 沿衍射光栅的光栅深度方向没有按比例绘制。

[0248] 如图 14 所示,衍射光学元件 50 包含第一元件部分 52 和第二元件部分 53。第一元件部分 52 包含由第一光栅基部 54 和与第一光栅基部 54 一体化形成的第一衍射光栅 56 构成的第一光栅形成层。第二元件部分 53 包含由第二光栅基部 55 和与第二光栅基部 55 一体化形成的第二衍射光栅 57 构成的第二光栅形成层。

[0249] 附图标记 56c 和 57c 分别表示构成第一衍射光栅 56 和第二衍射光栅 57 的光栅部分。第一和第二衍射光栅 56 和 57 具有有相同的光栅形状(周期性结构)的光栅部分,这意味着它们具有有相同的光栅厚度 d 和相同的光栅间距 p 的分布的多个光栅部分 56c 和 57c。换句话说,它们具有有相同图案的光栅部分。光栅部分 56c 和 57c 具有凸部(以下称为峰)和凹部(以下称为谷)被交替设置的光栅形状。第一和第二元件部分 52 和 53 的光栅基部 54 和 55 分别具有厚度 h_1 和 h_2 。

[0250] 第一和第二元件部分 52 和 53 被配置为使得在第一和第二衍射光栅 56 和 57 中光栅部分 56c 和 57c 的光栅表面 56a 和 57a(与光栅部分 56c 和 57c 的倾斜表面对应)与光栅壁部分 56b 和 57b 接触,而在其间没有间隙。

[0251] 即,光栅部分 56c 和 57c 的光栅表面相互紧密接触,而在其间没有介入的空气层。第一和第二元件部分 52 和 53 作为整体用作一个衍射光学元件 50。

[0252] 第一和第二衍射光栅 56 和 57 具有同心的光栅形状的光栅部分 56c 和 57c,由于光栅部分 56c 和 57c 的光栅间距沿径向变化,因此它们用作透镜。

[0253] 第一光栅基部 54 的光入射侧的表面 54a 和第二光栅基部 55 的光射出侧的表面 55b 被配置为平整表面或曲面。

[0254] 作为替代方案,可以在这些表面 54a 和 55b 中的至少一个上形成另一衍射光栅。

[0255] 在本实施例中,入射到衍射光学元件 50 上的光的波长范围即使用波长范围是可见波长范围(例如,400 ~ 700nm)。构成第一和第二衍射光栅 56 和 57 的光栅部分 56c 和 57c 的材料以及它们的光栅厚度被选择为使得在整个可见波长范围上作为设计衍射阶次的一阶衍射光的衍射效率变得最高。

[0256] 以与在实施例 1 中参照式 (20) ~ (24) 说明的方式相同的方式考虑本实施例和以下的实施例的衍射光学元件的衍射效率。

[0257] 以下说明本实施例和以下的实施例的衍射光学元件的特征。

[0258] 构成第一衍射光栅 56 的第一材料是玻璃材料。

[0259] 这里提到的玻璃材料是用于玻璃成形的玻璃材料。

[0260] 这里,用于玻璃成形的玻璃材料是指变形点为 600℃或更低的低熔点玻璃。

[0261] 构成第二衍射光栅 57 的第二材料是树脂材料和微粒材料的混合材料。

[0262] 第二材料包含包含无机粒子的树脂材料,这些无机粒子是 IT0、Ti、Nr 和 Cr 中的任一种或 IT0、Ti、Nr 和 Cr 中的至少一种的氧化物、合成物和混合物中的任一种。

[0263] 用于在其中混合无机粒子的作为第二材料的树脂材料包含作为丙烯酸、氟、乙烯、环氧有机树脂中的任一种的紫外线固化树脂。

[0264] 微粒材料的平均粒子直径优选为入射到衍射光学元件上的光的波长(使用波长或设计波长)的 1/4 或更小(200nm 或更小)。

[0265] 第一材料的对于 d 线的折射率、对于 d 线的 Abbe 数、对于 g 线和 F 线的部分分散比和对于 g 线和 d 线的部分分散比分别是 $nd1$ 、 $vd1$ 、 $\theta g, F1$ 和 $\theta g, d1$ 。

[0266] 第二材料的对于 d 线的折射率、对于 d 线的 Abbe 数、对于 g 线和 F 线的部分分散比和对于 g 线和 d 线的部分分散比分别是 $nd2$ 、 $vd2$ 、 $\theta g, F2$ 和 $\theta g, d2$ 。

[0267] 微粒材料的对于 d 线的折射率和 Abbe 数分别是 $ndb2$ 和 $vdb2$ 。然后,材料 1 和 2 和微粒材料满足以下条件:

[0268] $nd1 \geq 1.48 \cdots$ (31)

[0269] $vd1 \geq 40 \cdots$ (32)

[0270] $(-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.700) \leq \theta g, F1 \leq (-1.665E-07 \times vd1^3 + 5.213E-05 \times vd1^2 - 5.656E-03 \times vd1 + 0.662)$

[0271] $\cdots$ (33)

[0272] $(-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.425) \leq \theta g, d1 \leq (-1.687E-07 \times vd1^3 + 5.702E-05 \times vd1^2 - 6.603E-03 \times vd1 + 1.513)$

[0273] $\cdots$ (34)

[0274] $nd2 \leq 1.6 \cdots$ (35)

[0275] $vd2 \leq 30 \cdots$ (36)

[0276] $\theta g, F2 \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.675)$

[0277] $\cdots$ (37)

[0278] $\theta g, d2 \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.400)$

[0279] $\cdots$ (38)

[0280] $nd1 - nd2 > 0 \cdots$ (39)

[0281] $ndb2 \geq 1.70 \cdots$ (40)

[0282] $vdb2 \leq 20 \cdots$ (41)。

[0283] 第一材料的对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率分别是 $ng1$ 、 $nF1$ 、 $nd1$ 和 $nC1$ 。

[0284] 第二材料的对于 g 线、F 线、d 线和 C 线的折射率分别是 $ng2$ 、 $nF2$ 、 $nd2$ 和 $nC2$ 。

[0285] 包含于第二材料中的微粒材料的对于 F 线、d 线和 C 线的折射率分别是 $nFb2$ 、 $ndb2$

和 n_{Cb2} 。

[0286] 此时,第一材料的 Abbe 数 vd_1 和部分分散比 $\theta_{g,F1}$ 和 $\theta_{g,d1}$ 、第二材料的 Abbe 数 vd_2 和部分分散比 $\theta_{g,F2}$ 和 $\theta_{g,d2}$ 以及微粒材料的 Abbe 数 vdb_2 如下:

[0287] $vd_1 = (nd_1 - 1) / (n_{F1} - n_{C1})$

[0288] $vd_2 = (nd_2 - 1) / (n_{F2} - n_{C2})$

[0289] $\theta_{g,F1} = (ng_1 - n_{F1}) / (n_{F1} - n_{C1})$

[0290] $\theta_{g,d1} = (ng_1 - nd_1) / (n_{F1} - n_{C1})$

[0291] $\theta_{g,F2} = (ng_2 - n_{F2}) / (n_{F2} - n_{C2})$

[0292] $\theta_{g,d2} = (ng_2 - nd_2) / (n_{F2} - n_{C2})$

[0293] $vdb_2 = (ndb_2 - 1) / (n_{Fb2} - n_{Cb2})$ 。

[0294] 以下说明条件式 (31) ~ (41)。

[0295] 条件式 (31) ~ (34) 规定材料 1 (第一材料) 的性能。材料 1 优选同时满足所有的条件式 (31) ~ (34)。

[0296] 现在,为了便于理解各条件之间的关系,将参照图 22 ~ 24。图 22 表示折射率 nd 和 Abbe 数 vd 之间的关系。

[0297] 图 23 表示部分分散比 $\theta_{g,F}$ 和 Abbe 数 vd 之间的关系,图 24 表示部分分散比 $\theta_{g,d}$ 和 Abbe 数 vd 之间的关系。

[0298] 在这些附图中,纵轴分别表示折射率 nd 、部分分散比 $\theta_{g,F}$ 和 $\theta_{g,d}$,横轴表示 Abbe 数 vd 。

[0299] 注意,在图 22 ~ 24 中,条件式的号码由圆包围的数字表示。

[0300] 如图 22 所示,条件式 (31) 和 (32) 规定构成衍射光学元件的材料 1 的折射率 nd 和 Abbe 数 vd 的范围。

[0301] 如果 nd_1 和 vd_1 的值比条件式 (31) 和 (32) 的下限低,那么难以获得允许衍射光学元件的结构 (接触二层结构) 的材料 2 (第二材料) 即满足条件式 (35) ~ (38) 的材料 2。

[0302] 如图 23 所示,条件式 (33) 规定构成衍射光学元件的材料 1 的部分分散比 $\theta_{g,F}$ 和 Abbe 数 vd 的范围。如上所述,该条件式优选基于条件式 (31) 和 (32) 的满足被满足。

[0303] 如果 $\theta_{g,F1}$ 的值比条件式 (33) 的下限低,那么衍射光学元件的衍射光栅的光栅厚度将增加,因此,斜入射到衍射光学元件上的光线 (以下称为斜入射光) 的衍射效率将劣化。

[0304] 如果 $\theta_{g,F1}$ 的值比条件式 (33) 的上限高,那么难以获得在接触二层衍射光学元件中获得较高的衍射效率的材料 2 即满足条件式 (35) ~ (38) 的材料 2。

[0305] 如图 24 所示,条件式 (34) 规定构成衍射光学元件的材料 1 的部分分散比 $\theta_{g,d}$ 和 Abbe 数 vd 的范围。

[0306] 该条件式也优选基于条件式 (31) ~ (33) 的满足被满足。如果 $\theta_{g,d1}$ 的值比条件式 (34) 的下限低,那么衍射光学元件的光栅部分的光栅厚度将增加,因此,斜入射光的衍射效率将劣化。如果 $\theta_{g,d1}$ 的值比条件式 (34) 的上限高,那么难以获得在接触二层衍射光学元件中获得较高的衍射效率的材料 2 即满足条件式 (35) ~ (38) 的材料 2。

[0307] 为了在使得光栅变薄的同时实现较高的衍射效率,鉴于允许材料 2 存在的条件,

优选材料 1 满足以下的条件式。

[0308] 被分配给以下的条件式 (31) 和 (32) 的号码的字母 ‘a’ 表示具有 ‘a’ 的这种条件式优于原始条件式。

[0309] 字母 ‘b’ 表示具有 ‘b’ 的这种条件式优于具有 ‘a’ 的相应条件式。字母 ‘c’ 表示具有 ‘c’ 的这种条件式优于具有 ‘b’ 的相应条件式。以下的其它条件式同样如此：

$$[0310] \quad 1.50 \leq nd1 \leq 1.80 \quad \cdots (31a)$$

$$[0311] \quad 1.55 \leq nd1 \leq 1.75 \quad \cdots (31b)$$

$$[0312] \quad 1.58 \leq nd1 \leq 1.70 \quad \cdots (31c)$$

$$[0313] \quad 40 \leq vd1 \leq 80 \quad \cdots (32a)$$

$$[0314] \quad 40 \leq vd1 \leq 70 \quad \cdots (32b)$$

[0315] 条件式 (35) ~ (38) 规定材料 2 的性能。对于满足所有的条件式 (31) ~ (34) 的材料 1, 材料 2 优选满足所有的条件式 (35) ~ (38)。现在, 为了便于理解各条件之间的关系, 再一次参照图 22 ~ 24。

[0316] 如图 22 所示, 条件式 (35) 和 (36) 规定构成衍射光学元件的材料 2 的折射率 $nd2$ 和 Abbe 数 $vd2$ 的范围。

[0317] 如果 $nd2$ 和 $vd2$ 的值比条件式 (35) 和 (36) 的上限高, 那么难以获得允许衍射光学元件的结构 (接触二层结构) 的材料 1 即满足条件式 (31) ~ (34) 的材料 1。

[0318] 如图 23 所示, 条件式 (37) 规定构成衍射光学元件的材料 2 的部分分散比 $\theta g, F2$ 和 Abbe 数 $vd2$ 的范围。

[0319] 如上所述, 该条件式优选基于条件式 (35) 和 (36) 的满足被满足。

[0320] 如果 $\theta g, F2$ 的值比条件式 (37) 的上限高, 那么难以获得在接触二层衍射光学元件中获得较高的衍射效率的材料 1 即满足条件式 (31) ~ (34) 的材料 1。

[0321] 如图 24 所示, 条件式 (38) 规定构成衍射光学元件的材料 2 的部分分散比 $\theta g, d2$ 和 Abbe 数 $vd2$ 的范围。该关系也优选基于条件式 (31) ~ (34) 的满足被满足。

[0322] 如果 $\theta g, d2$ 的值比条件式 (38) 的上限高, 那么难以获得在接触二层衍射光学元件中获得较高的衍射效率的材料 1 即满足条件式 (31) ~ (34) 的材料 1。

[0323] 为了在使得光栅变薄的同时实现较高的衍射效率, 鉴于允许材料 1 存在的条件, 对于关于材料 2 的条件式 (35) ~ (38), 优选满足以下的条件式：

$$[0324] \quad 1.4 \leq nd2 \leq 1.6 \cdots (35a)$$

$$[0325] \quad 1.45 \leq nd2 \leq 1.6 \cdots (35b)$$

$$[0326] \quad vd2 \leq 25 \quad \cdots (36a)$$

$$[0327] \quad \theta gF2 \leq (-1.665E-07 \times vd2^3 + 5.213E-05 \times vd2^2 - 5.656E-03 \times vd2 + 0.600) \cdots (37a)$$

$$[0328] \quad \theta gd2 \leq (-1.687E-07 \times vd2^3 + 5.702E-05 \times vd2^2 - 6.603E-03 \times vd2 + 1.300) \cdots (38a)$$

[0329] 条件式 (39) 代表衍射光学元件中材料 1 和材料 2 的折射率之间的大小关系。除非满足该条件式, 否则难以获得希望的衍射效率。

[0330] 条件式 (40) 和 (41) 规定在衍射光学元件中允许材料 2 满足上述条件式 (35) ~ (38) 的微粒材料材料性能的范围。满足条件式 (40) 和 (41) 的微粒材料包含作为 IT0、Ti、Nr、Cr、它们的氧化物、它们的合成物和它们的混合物中的任一种的无机微粒材料。在本实施例, 作为一个例子使用 IT0 ($ndb2 = 1.77, vd = 6.8$)。

[0331] 如果 $ndb2$ 的值比条件式 (40) 的下限低或如果 $vdb2$ 的值比条件式 (41) 的上限高, 那么材料 2 难以满足条件式 (35) ~ (38)。

[0332] 这里, 只要满足条件式 (40) 和 (41), 那么使用的微粒材料就不限于上述的例子。

[0333] 并且, 关于微粒材料的条件式 (40) 和 (41) 的数值优选被设置如下:

[0334] $ndb2 \geq 1.75 \dots$ (40a)

[0335] $vdb2 \leq 18 \dots$ (41a)

[0336] 除了上述条件式 (31) ~ (41) 以外, 本实施例的衍射光学元件 50 优选满足以下条件。

[0337] λF 、 λd 和 λC 分别是 F 线、d 线和 C 线的波长。

[0338] $m(\lambda F)$ 是通过将对于 F 线的波长的 m 阶 (设计阶次) 衍射光的第一和第二衍射光栅中的每一个的凸部 (峰) 和凹部 (谷) 之间的光路长度差除以该波长获得的值。 $m(\lambda d)$ 是通过将对于 d 线的波长的 m 阶衍射光的第一和第二衍射光栅中的每一个的凸部和凹部之间的光路长度差除以该波长获得的值。并且, $m(\lambda C)$ 是通过将对于 C 线的波长的 m 阶衍射光的第一和第二衍射光栅中的每一个的凸部和凹部之间的光路长度差除以该波长获得的值。

[0339] $d(\mu m)$ 是衍射光栅的光栅部分的光栅厚度, 那么:

[0340] $d \leq 20(\mu m) \dots$ (42)

[0341] $0.92 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda C)\} / 3 \leq 1.08 \dots$ (43)。

[0342] 这里, $m(\lambda F)$ 、 $m(\lambda d)$ 和 $m(\lambda C)$ 如下:

[0343] $m(\lambda F) = \{d \times (nF1 - nF2)\} / \lambda F$

[0344] $m(\lambda d) = \{d \times (nd1 - nd2)\} / \lambda d$

[0345] $m(\lambda C) = \{d \times (nC1 - nC2)\} / \lambda C$

[0346] 在以上的表达式中, $nF1$ 、 $nd1$ 和 $nC1$ 分别是材料 1 的对于 F 线、d 线和 C 线的折射率, 并且 $nF2$ 、 $nd2$ 和 $nC2$ 分别是材料 2 的对于 F 线、d 线和 C 线的折射率。 d 是材料 1 和材料 2 同样的光栅厚度。

[0347] 条件式 (42) 和 (43) 用于在由材料 1 和材料 2 制成的接触二层 DOE 中提高衍射效率。

[0348] 当 d 的值比条件式 (42) 的上限高时, 斜入射光的衍射效率的劣化将增加。如果条件式 (43) 不被满足, 那么将不能在整个可见波长范围上获得希望的衍射效率。

[0349] 为了实现更高的衍射效率, 条件式 (42) 和 (43) 的数值优选被设定如下:

[0350] $d \leq 15(\mu m) \dots$ (42a)

[0351] $d \leq 12.5(\mu m) \dots$ (42b)

[0352] $d \leq 10(\mu m) \dots$ (42c)

[0353] $0.93 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda)\} / 3 \leq 1.07 \dots$ (43a)

[0354] $0.94 \leq \{m(\lambda F) + m(\lambda d) + m(\lambda)\} / 3 \leq 1.06 \dots$ (43b)

[0355] $0.96 \leq \{m(\lambda) + m(\lambda d) + m(\lambda C)\} / 3 \leq 1.04 \dots$ (43c)

[0356] 在衍射光学元件 50 中, 除了上述条件式 (31) ~ (43) 以外, 还优选满足以下条件。

[0357] $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 分别是 450nm、550nm 和 650nm 的波长。

[0358] $\eta(\lambda 1)$ 、 $\eta(\lambda 2)$ 和 $\eta(\lambda 3)$ 分别是在波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的衍射效率。

[0359] $T1(\lambda 1)$ 、 $T1(\lambda 2)$ 和 $T1(\lambda 3)$ 分别是第一材料的波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的内部透射率。

[0360] $T2(\lambda 1)$ 、 $T2(\lambda 2)$ 和 $T2(\lambda 3)$ 分别是第二材料的波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的内部透射率。

[0361] 那么，

[0362] $(T1(\lambda 1) \times T2(\lambda 1) \times \eta(\lambda 1) + T1(\lambda 2) \times T2(\lambda 2) \times \eta(\lambda 2) + T1(\lambda 3) \times T2(\lambda 3) \times \eta(\lambda 3)) / 3 \geq 0.70 \cdots (44)$ 。

[0363] 这里，第一材料和第二材料的波长 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ 和 $\lambda 3$ 的内部透射率 $T(\lambda)$ 如下。

[0364] $K1(\lambda 1)$ 和 $K2(\lambda 1)$ 分别是第一和第二材料在波长 $\lambda 1$ 的吸收系数。

[0365] $K1(\lambda 2)$ 和 $K2(\lambda 2)$ 分别是第一和第二材料在波长 $\lambda 2$ 的吸收系数。

[0366] $K1(\lambda 3)$ 和 $K2(\lambda 3)$ 分别是第一和第二材料在波长 $\lambda 3$ 的吸收系数。

[0367] $h1$ 和 $h2$ 分别是第一和第二衍射光栅的光栅基部的厚度。

[0368] 假定 d 是第一和第二衍射光栅的光栅部分的光栅厚度。那么，

[0369] $T1(\lambda 1) = \exp(-K1(\lambda 1) \times (d+h1))$

[0370] $T2(\lambda 1) = \exp(-K2(\lambda 1) \times (d+h2))$

[0371] $T1(\lambda 2) = \exp(-K1(\lambda 2) \times (d+h1))$

[0372] $T2(\lambda 2) = \exp(-K2(\lambda 2) \times (d+h2))$

[0373] $T1(\lambda 3) = \exp(-K1(\lambda 3) \times (d+h1))$

[0374] $T2(\lambda 3) = \exp(-K2(\lambda 3) \times (d+h2))$ 。

[0375] 条件式 (44) 规定材料 1 和材料 2 的内部透射率。如果内部透射率比条件式 (44) 的下限低，那么透射率将太低。那么，这种衍射光学元件不被有利地用于后述的光学系统和光学装置。

[0376] 为了实现更高的内部透射率，条件式 (44) 的数值范围优选被设置如下：

[0377] $(T1(\lambda 1) \times T2(\lambda 1) \times \eta(\lambda 1) + T1(\lambda 2) \times T2(\lambda 2) \times \eta(\lambda 2) + T1(\lambda 3) \times T2(\lambda 3) \times \eta(\lambda 3)) / 3 \geq 0.75 \cdots (44a)$

[0378] $(T1(\lambda 1) \times T2(\lambda 1) \times \eta(\lambda 1) + T1(\lambda 2) \times T2(\lambda 2) \times \eta(\lambda 2) + T1(\lambda 3) \times T2(\lambda 3) \times \eta(\lambda 3)) / 3 \geq 0.80 \cdots (44b)$

[0379] $(T1(\lambda 1) \times T2(\lambda 1) \times \eta(\lambda 1) + T1(\lambda 2) \times T2(\lambda 2) \times \eta(\lambda 2) + T1(\lambda 3) \times T2(\lambda 3) \times \eta(\lambda 3)) / 3 \geq 0.85 \cdots (44c)$ 。

[0380] 微粒材料的平均粒子直径优选为入射到衍射光学元件上的光的波长（使用波长或设计波长）的 $1/4$ 或更小（ 200nm 或更小）。在粒子直径大于该范围的情况下，当这种微粒材料被混入树脂材料中时，光的散射可较大。

[0381] 用于在其中混合上述微粒材料的树脂材料包含作为丙烯酸、氟、乙烯、环氧有机树脂中的任一种的紫外线固化树脂。

[0382] 在本实施例中，作为一个例子使用丙烯酸树脂或氟树脂。

[0383] 当图 14 的第一和第二衍射光栅的光栅部分的光栅间距为 P 并且它们的光栅厚度为 d 时，以下条件优选被满足：

[0384] $d/P < 1/7 \cdots (45)$ 。

[0385] 条件式 (45) 规定构成衍射光学元件的光栅部分的形状（光栅间距和光栅厚度）。

如果 d/P 的值比条件式 (45) 的上限高, 那么斜入射光的衍射效率可由于光栅间距变得太小而劣化。

[0386] 条件式 (45) 的满足导致便于在用于形成衍射光学元件的模具中加工光栅形状的优点。

[0387] 更具体地, d/P 满足以下条件:

[0388] $d/P < 1/15 \dots$ (45a)

[0389] 如上所述, 根据本实施例, 具有适当的光栅厚度的两个衍射光栅由粒子分散材料和玻璃材料制成, 由此可在较宽的波长范围上对于特定的衍射阶次 (设计衍射阶次) 的衍射光获得较高的衍射效率。并且, 能够充分地抑制不必要衍射光的衍射光学元件可被实现。

[0390] 与具有相同水平的性能和形状 (光栅厚度) 的衍射光学元件相比, 其内部透射率也可被提高。

[0391] 并且, 由于作为接触二层 DOE 的配置, 因此该元件可很容易地被制造。当这种衍射光学元件被使用时, 具有很少的炫光的具有良好的光学性能的光学系统或光学装置可被实现。

[0392] 以下说明具有满足上述关系的结构的衍射光学元件的更具体的实施例。

[0393] 在图 14 中所示的衍射光学元件 50 中, 第一衍射光栅 56 由用于玻璃成形的玻璃材料 (由 Sumita Optical Glass, Inc. 制造, K-VC79 ($n_d = 1.6097$, $v_d = 57.8$)) 制成。第二衍射光栅 57 由氟树脂和 ITO 粒子 (微粒材料) 的混合材料 ($n_d = 1.5215$, $v_d = 14.6$) 制成。第一和第二衍射光栅 56 和 57 的光栅部分的光栅厚度 d 是 $6.65 \mu\text{m}$ 。本例子被设计为使得图 14 的光栅部分 56c 和 57c 的光栅间距 P 为 $200 \mu\text{m}$ 并且光垂直入射到衍射光学元件 50 上到达第一光栅基部 54。

[0394] 图 15A 表示本实施例的衍射光学元件 50 中的一阶衍射光的衍射效率。衍射光学元件 50 的设计衍射阶次是一阶。图 15B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次 (零阶和二阶) 的衍射光的衍射效率。这里注意, 在图 15A 和图 15B 中, 纵轴代表衍射效率 (%), 横轴代表波长 (nm)。以下的实施例同样如此。

[0395] 从这些附图可以看出, 与在以上的日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322、日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 和日本专利申请公开公报 No. 2003-227913 中公开的衍射光学元件相比, 本实施例的衍射光学元件 50 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善。并且, 根据本实施例的衍射光学元件 50, 作为不必要阶次的衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率被进一步降低, 使得产生更少的炫光。

[0396] 本实施例的衍射光学元件 50 具有比在日本专利申请公开公报 No. 2004-78166 中公开的常规衍射光学元件小的总光栅厚度 (在叠层的 DOE 中, 为两个衍射光栅和空气层的厚度的总和)。

[0397] 尽管如此, 对于设计阶次衍射光 (一阶衍射光) 和不必要阶次的衍射光 (零阶衍射光和二阶衍射光), 衍射光学元件 50 仍实现与常规的衍射光学元件相比相当或更好的性能。并且, 本实施例的衍射光学元件 50 在整个可见波长范围上实现 99.8% 或更高的一阶衍射光的衍射效率, 并充分地将不必要阶次衍射光 (零阶衍射光和二阶衍射光) 的衍射效率抑制到 0.05% 或更低。

[0398] 以上仅对于作为设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次的衍射光的零阶衍射光和二阶衍射

光评价不必要的衍射光的衍射效率。这是因为,随着光的衍射阶次远离设计衍射阶次,光对于炫光的贡献将减小。即,由于零阶和二阶衍射光导致的炫光的减少因此带来由于其它阶次衍射光导致的炫光的减少。原因如下。

[0399] 在被设计为使得设计衍射阶次的衍射光被主要衍射的衍射光学元件中,随着光的衍射阶次远离设计衍射阶次,光的衍射效率降低,并且由这种衍射阶次的光形成的图像在成像面上相当模糊,由此使得它作为炫光是不明显的。

[0400] 下面,图 16 表示作为用于玻璃成形的玻璃材料(K-VC79,材料 1)和通过使氟树脂与 ITO 粒子混合获得的材料(材料 2)的用于本实施例中的材料以及在上述日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的材料的可见波长范围中的折射率特性。在日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 中公开的材料是丙烯酸树脂 1($n_d = 1.523$, $v_d = 51.1$)和丙烯酸树脂 2($n_d = 1.636$, $v_d = 23.0$)。

[0401] 在图 16 中,在用于本实施例中的材料 1 和材料 2 之间,折射率特性图的斜率看起来是不同的。但是,这些材料的折射率相对于波长的变化基本上恒定地变化。

[0402] 另一方面,虽然日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的丙烯酸树脂 1 的折射率相对于波长的变化基本上恒定地变化,但丙烯酸树脂 2 的变化率在短波长侧较大。

[0403] 这是因为,日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 仅提到 $v_d = (n_d - 1) / (n_F - n_C)$ 作为材料性能,这里, n_F 、 n_d 和 n_C 分别是对于 F 线、d 线和 C 线的折射率, Abbe 数 v_d 是仅定义 d 线附近的折射率变化的平均斜率的值。在叠层衍射光学元件的情况下, Abbe 数 (v_d) 特性是适于在保持叠层衍射光学元件的小光栅厚度的同时与单层 DOE 相比提高衍射效率的评价量。

[0404] 但是,本实施例目的是与日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的衍射光学元件相比进一步提高衍射效率。因此,仅代表折射率的平均变化的 Abbe 数 (v_d) 特性作为评价量是不够的。

[0405] 那么,在实施例中,对于 g 线和 F 线的部分分散比 $\theta_{g,F}$ 以及对于 g 线和 d 线的部分分散比 $\theta_{g,d}$ 被用作新的评价量。当 n_F 、 n_C 和 n_g 分别是对于 F 线、C 线和 g 线的折射率时,部分分散比 $\theta_{g,F}$ 可表示为 $\theta_{g,F} = (n_g - n_F) / (n_F - n_C)$ 。

[0406] 当 n_F 、 n_d 、 n_C 和 n_g 分别是对于 F 线、d 线、C 线和 g 线的折射率时,部分分散比 $\theta_{g,d}$ 可表示为 $\theta_{g,d} = (n_g - n_d) / (n_F - n_C)$ 。这些表达式代表短波长侧的折射率变化和长波长侧的折射率变化之间的比率。

[0407] 本实施例的材料 1 具有 $\theta_{g,F} = 0.54$ 和 $\theta_{g,d} = 1.24$ 。材料 2 具有 $\theta_{g,F} = 0.38$ 、 $\theta_{g,d} = 1.00$, 它们小于材料 1 的值。

[0408] 同时,日本专利申请公开公报 No. 2000-98118 的丙烯酸树脂 1 具有 $\theta_{g,F} = 0.58$ 、 $\theta_{g,d} = 1.28$, 并且丙烯酸树脂 2 具有 $\theta_{g,F} = 0.68$ 、 $\theta_{g,d} = 1.40$ 。虽然丙烯酸树脂 1 的 $\theta_{g,F}$ 和 $\theta_{g,d}$ 与本实施例的材料 1 差别不大,但丙烯酸树脂 2 的 $\theta_{g,F}$ 和 $\theta_{g,d}$ 比本实施例的材料 2 大。

[0409] 因此,可以说,本实施例的材料组合在整个使用波长范围上相对于波长变化各材料的折射率变化更加恒定,并提供更高的衍射效率。

[0410] 在在常规的衍射光学元件中提出的玻璃材料和树脂材料的一般组合的情况下,当衍射光栅具有约 $6.65 \mu m$ 的厚度时,难以在整个可见波长范围上实现 99.8% 或更高的较高

的衍射效率。

[0411] 以下说明第一和第二材料的内部透射率。

[0412] 图 17 表示本实施例中的内部透射率。这里的内部透射率是第一和第二材料（材料 1 和材料 2）的实际内部透射率和衍射效率的乘积的结果。对于以下的实施例同样如此。在图 17 中，纵轴代表内部透射率（%），横轴代表波长（nm）。

[0413] 在本实施例中，作为计算条件，光栅部分的光栅厚度 d 为 $6.65\ \mu\text{m}$ ，材料 1 的光栅基部的厚度 h_1 为 10mm ，材料 2 的光栅基部的厚度 h_2 为 $5\ \mu\text{m}$ 。

[0414] 从图 17 可以看出，可以在整个可见波长范围上实现约 75% 或更高的良好的透射率。这里注意，表达式 (44) 中的 450nm 、 550nm 和 650nm 的波长的平均内部透射率也示出约 86.6% 的有利的值。

[0415] 与上述的日本专利申请公开公报 No. 9(1997)-127322、日本专利申请公开公报 No. 2000-98118、日本专利申请公开公报 No. 2004-78166、日本专利申请公开公报 No. 2005-107298 和日本专利申请公开公报 No. 2003-227913 不同，本实施例使用上述材料 1 和 2，由此在保持较高的衍射效率的同时实现具有相同的光栅图案的第一和第二衍射光栅 56 和 57 的光栅部分在它们的光栅表面上相互接触的接触二层 DOE。

[0416] 由此，不需要以较高的精度对准第一和第二衍射光栅 56 和 57，由此有利于它们的制造。

[0417] 上述实施例说明了如图 13 和图 14 所示的包含设置在平板上的衍射光栅 56 和 57 的衍射光学元件。但是，作为平板的替代，衍射光栅可被设置在透镜的诸如凸面或凹面的曲面上，从中可获得与本实施例类似的效果。

[0418] 虽然本实施例说明了设计衍射阶次是一阶的衍射光学元件，但设计衍射阶次不限于一阶。即使在一阶以外的二阶或三阶等的衍射光的情况下，也可通过将衍射光栅的光路长度差的合成值设为希望的设计衍射阶次中的希望的设计波长获得与本实施例类似的效果。

[0419] [实施例 7]

[0420] 以下说明实施例 7。基本上，本实施例的衍射光学元件具有与实施例 6 相同的断面形状。

[0421] 即，本实施例的衍射光学元件具有图 13 和图 14 所示的结构。因此，相同的附图标记被分配给与实施例 6 共同的部件，它们的详细解释将被省略，并且以下的说明将针对不同之处。

[0422] 在本实施例的衍射光学元件 50 中，图 14 的第一衍射光栅 56 由用于玻璃成形的玻璃材料（由 Sumita Optical Glass, Inc. 制造，K-LaFK60 ($n_d = 1.6325$, $v_d = 63.8$)）制成。第二衍射光栅 57 由丙烯酸树脂和 ITO 粒子（微粒材料）的混合材料 ($n_d = 1.5652$, $v_d = 19.7$) 制成。第一和第二衍射光栅 56 和 57 的光栅部分 56c 和 57c 具有 $8.75\ \mu\text{m}$ 的相同的厚度 d 。本例子也被设计为使得图 14 的光栅部分 56c 和 57c 的光栅间距 P 为 $200\ \mu\text{m}$ 并且光垂直入射到衍射光学元件 50 上到达第一光栅基部 54。

[0423] 图 18A 表示本实施例的衍射光学元件 50 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次是一阶。图 18B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次（零阶和二阶）的衍射光的衍射效率。

[0424] 与实施例 6 的衍射光学元件 50 类似，本实施例的衍射光学元件 50 的作为设计阶

次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善,并且,作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率被降低,使得产生更少的炫光。

[0425] 更具体地,一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.7%或更高,并且,不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率被充分抑制到 0.09%或更低。当如在常规的衍射光学元件中那样使用玻璃材料和树脂材料的一般组合时,如果光栅部分具有约 $8.75\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度,那么难以在整个可见波长范围上实现 99.7%或更高的较高的衍射效率。

[0426] 图 19 表示本实施例中的内部透射率。在本实施例中,作为计算条件,光栅部分的光栅厚度 d 为 $8.75\text{ }\mu\text{m}$,材料 1 的光栅基部的厚度 h_1 为 10mm,材料 2 的光栅基部的厚度 h_2 为 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。从图 19 可以看出,可以在整个可见波长范围上实现约 75%或更高的良好的透射率。

[0427] 这里注意,表达式 (44) 中的 450nm、550nm 和 650nm 的波长的平均内部透射率也示出约 88.4%的有利的值,这优于实施例 6。

[0428] [实施例 8]

[0429] 以下说明实施例 8。基本上,本实施例的衍射光学元件具有与实施例 6 和 7 相同的断面形状。

[0430] 即,本实施例的衍射光学元件具有图 13 和图 14 所示的结构。因此,相同的附图标记被分配给与实施例 6 共同的部件,它们的详细解释将被省略,并且以下的说明将针对不同之处。

[0431] 在本实施例的衍射光学元件 50 中,图 14 的第一衍射光栅 56 由用于玻璃成形的玻璃材料(由 Sumita Optical Glass, Inc. 制造, K-VC78($n_d = 1.6691$, $v_d = 55.4$))制成。第二衍射光栅 57 由丙烯酸树脂和 ITO 粒子(微粒材料)的混合材料($n_d = 1.5836$, $v_d = 16.0$)制成。第一和第二衍射光栅 56 和 57 的光栅部分 56c 和 57c 具有 $6.86\text{ }\mu\text{m}$ 的相同的厚度 d 。本例子也被设计为使得图 14 的光栅部分 56c 和 57c 的光栅间距 P 为 $200\text{ }\mu\text{m}$ 并且光垂直入射到衍射光学元件 50 上到达第一光栅基部 54。

[0432] 图 20A 表示本实施例的衍射光学元件 50 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次是一阶。

[0433] 图 20B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次(零阶和二阶)的衍射光的衍射效率。与实施例 6 的衍射光学元件 50 类似,本实施例的衍射光学元件 50 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善,并且,作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率被降低,使得产生更少的炫光。

[0434] 更具体地,一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.8%或更高,并且,不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率被充分抑制到 0.04%或更低。顺便说一句,当如在常规的衍射光学元件中那样使用玻璃材料和树脂材料的一般组合时,如果光栅部分具有约 $6.86\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度,那么难以在整个可见波长范围上实现 99.8%或更高的较高的衍射效率。

[0435] 图 21 表示本实施例中的内部透射率。在本实施例中,作为计算条件,光栅部分的光栅厚度 d 为 $6.86\text{ }\mu\text{m}$,材料 1 的光栅基部的厚度 h_1 为 10mm,材料 2 的光栅基部的厚度 h_2 为 $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

[0436] 从图 21 可以看出,可以在整个可见波长范围上实现约 73%或更高的良好的透射率。这里注意,表达式 (44) 中的 450nm、550nm 和 650nm 的波长的平均内部透射率也示出约 85.3%的有利的值。

[0437] [实施例 9]

[0438] 以下说明实施例 9。基本上,本实施例的衍射光学元件具有与实施例 6 ~ 8 相同的断面形状。

[0439] 即,本实施例的衍射光学元件具有图 13 和图 14 所示的结构。因此,相同的附图标记被分配给与实施例 6 共同的部件,它们的详细解释将被省略,并且以下的说明将针对不同之处。

[0440] 在本实施例的衍射光学元件 50 中,图 14 的第一衍射光栅 56 由用于玻璃成形的玻璃材料(由 Sumita Optical Glass, Inc. 制造, K-PFK80 ($nd = 1.4970$, $vd = 81.5$)) 制成。第二衍射光栅 57 由丙烯酸树脂和 ITO 粒子(微粒材料)的混合材料($nd = 1.4591$, $vd = 28.2$) 制成。第一和第二衍射光栅 56 和 57 的光栅部分 56c 和 57c 具有 $15.6 \mu m$ 的相同的厚度 d 。本例子也被设计为使得图 14 的光栅部分 56c 和 57c 的光栅间距 P 为 $200 \mu m$ 并且光垂直入射到衍射光学元件 50 上到达第一光栅基部 54。

[0441] 图 33A 表示本实施例的衍射光学元件 50 中的一阶衍射光的衍射效率。设计衍射阶次是一阶。

[0442] 图 33B 表示设计衍射阶次 ± 1 衍射阶次(零阶和二阶)的衍射光的衍射效率。

[0443] 与实施例 6 的衍射光学元件 50 类似,本实施例的衍射光学元件 50 的作为设计阶次衍射光的一阶衍射光的衍射效率得到改善,并且,作为不必要衍射光的零阶衍射光和二阶衍射光的衍射效率被降低,使得产生更少的炫光。

[0444] 更具体地,一阶衍射光的衍射效率在整个可见波长范围上为 99.1%或更高,并且,不必要阶次衍射光(零阶衍射光和二阶衍射光)的衍射效率被充分抑制到 0.29%或更低。当如在常规的衍射光学元件中那样使用玻璃材料和树脂材料的一般组合时,如果光栅部分具有约 $15.6 \mu m$ 的厚度,那么难以在整个可见波长范围上实现 99.1%或更高的较高的衍射效率。

[0445] 图 34 表示本实施例中的内部透射率。在本实施例中,作为计算条件,光栅部分的光栅厚度 d 为 $15.9 \mu m$,材料 1 的光栅基部的厚度 h_1 为 10mm,材料 2 的光栅基部的厚度 h_2 为 $5 \mu m$ 。

[0446] 从图 34 可以看出,可以在整个可见波长范围上实现约 87%或更高的良好的透射率。这里注意,表达式 (44) 中的 450nm、550nm 和 650nm 的波长的平均内部透射率也示出约 93.5%的有利的值。

[0447] 表 2 表示关于实施例 6 ~ 9 中说明的衍射光学元件的上述条件式 (31) ~ (45) 的数值。

[0448] 如上所述,在实施例 6 ~ 9 中,材料 1 和材料 2 的对于 g 线和 F 线的部分分散比 θ_g, F 以及对于 g 线和 d 线的部分分散比 θ_g, d 被适当地设定,并且这种材料 1 和材料 2 被用于构成接触二层 DOE。

[0449] 由此,能够在入射光的整个波长范围(使用波长范围)上保持特定衍射阶次(设计衍射阶次)的衍射光的较高的衍射效率同时能够充分地抑制导致炫光的不必要衍射光

的衍射光学元件可被实现。

[0450] 与具有相同水平的性能和形状（光栅厚度）的衍射光学元件相比，其内部透射率也可被提高。并且，由于作为接触二层 DOE 的配置，因此可例如获得有利于其制造的优点。

[0451] 这里应当注意，衍射光学元件的形状、特别是图 13 和图 14 中所示的光栅部分的形状仅是示例性的，其它的形状也可被使用。

[0452] 衍射光栅不限于两层，并且可包含三个或更多个层。

[0453] 在这种情况下，衍射光栅可被设置在光栅基部中的至少一个上。

[0454] 在第一和第二元件部分中，由另一完全独立的衍射光栅制成的光栅部分可被设置。

[0455] 根据上述实施例，能够在较宽的波长范围上保持特定衍射阶次（设计衍射阶次）的衍射光的较高的衍射效率同时能够充分地抑制不必要衍射光的衍射光学元件可被实现。并且，由于作为接触二层 DOE 的配置，因此可以很容易地制造该元件。当这种衍射光学元件被使用时，具有很少的炫光的良好光学性能的光学系统和光学装置可被实现。

[0456] [实施例 10]

[0457] 实施例 1 ~ 9 中说明的衍射光学元件可被用于以下目的。

[0458] 图 9A 表示包含实施例 1 ~ 9 的衍射光学元件的在诸如静态照相机或摄像机的图像拾取装置（光学装置）200 中被用作图像拾取光学系统的光学系统的配置。

[0459] 在图 9A 中，附图标记 101 表示主要由折射光学元件（例如，普通的透镜元件）构成的图像拾取光学系统。在图像拾取光学系统 101 内具有孔径光阑 102 和在实施例 1 ~ 9 中说明的衍射光学元件 10（或 50）。附图标记 103 表示设置在图像拾取光学系统 101 的图像形成面上的诸如胶片或图像拾取元件的感光构件。使用的图像拾取元件包含诸如 CCD 传感器或 CMOS 传感器的光电转换元件。

[0460] 如上所述，衍射光学元件 10（50）用作透镜，并校正由图像拾取光学系统 101 中的折射光学元件导致的色差。如实施例 1 ~ 9 所述，衍射光学元件 10（50）与常规的元件相比具有大大提高的衍射效率特性。因此，具有炫光少并且低频上的分辨力高的良好的光学性能的图像拾取光学系统和图像拾取装置可被实现。

[0461] 由于实施例 1 ~ 9 中所述的衍射光学元件 10（50）是没有空气层的接触二层 DOE，因此它可很容易地被制造，并且图像拾取光学系统的生产率可被有效提高。

[0462] 应当注意，在图 9A 中，衍射光学元件 10（50）被设置在放置在孔径光阑 102 附近的平板玻璃面上，但是，可设置衍射光学元件 10（50）的位置不限于此。如前面解释的那样，还能够在透镜元件的凹面或凸面上设置衍射光学元件 10（50）。还能够在图像拾取光学系统内设置多个衍射光学元件 10（50）。

[0463] 图 9A 表示被用于图像拾取装置的图像拾取光学系统的实施例 1 ~ 9 的衍射光学元件 10（50）。但是，衍射光学元件 10（50）可被用于用于较宽的波长范围的图像形成光学系统，诸如办公机器（光学装置）的图像扫描仪或数字复印机的读取器透镜（reader lens）。在这种情况下，具有炫光少并且低频分辨力高的良好的光学性能的图像形成光学系统和办公机器可被实现。

[0464] [实施例 11]

[0465] 图 9B 表示包含实施例 1 ~ 9 所述的衍射光学元件的被安装在诸如双筒望远镜的

观察装置（光学装置）300 上的观察光学系统的结构。

[0466] 在图 9B 中，附图标记 104 表示物镜，105 表示用于使由物镜 104 形成的倒立图像正立的棱镜。附图标记 106 表示目镜，107 表示评价面 107（瞳孔面）。观察者可通过将他/她的眼睛放在评价面上通过目镜 106 观察物体。

[0467] 物镜 104 包含在实施例 1～9 中说明的衍射光学元件 10(50)。设置衍射光学元件 10 是出于校正物镜 104 的图像形成面 103 上的色差或其它偏差的目的。

[0468] 如已在实施例 1～9 中解释的那样，与常规的衍射光学元件相比，衍射光学元件 10(50) 的衍射效率特性被大大提高。因此，具有炫光少并且低频分辨力高的良好的光学性能的观察光学系统和观察装置可被实现。

[0469] 由于实施例 1～9 中所述的衍射光学元件 10(50) 是没有空气层的接触二层 DOE，因此它可很容易地被制造，并且观察光学系统的生产率可被有效提高。

[0470] 应当注意，在图 9B 中，衍射光学元件 10(50) 被设置在配置在构成物镜 104 的透镜元件附近的平板玻璃面上，但是，可设置衍射光学元件 10(50) 的位置不限于此。如前面解释的那样，还能够在透镜元件的凹面或凸面上设置衍射光学元件 10(50)。还能够在观察光学系统内设置多个衍射光学元件 10(50)。

[0471] 并且，图 9B 示出衍射光学元件 10(50) 被设置在物镜 104 内的情况，但是，它也可被设置在棱镜 105 的光学表面上或目镜 106 内，从中可获得与上述效果类似的效果。

[0472] 但是，将衍射光学元件 10(50) 设置在与图像形成面 103 相比更接近物体的位置上会提供减少在物镜 104 上产生的色差的效果。因此，在观察光学系统用于肉眼的情况下，希望衍射光学元件 10(50) 至少被设置在物镜 104 中。

[0473] 并且，除了用于图 9B 所示的双筒望远镜的观察光学系统中以外，实施例 1～9 所述的衍射光学元件 10(50) 也可被设置在诸如望远镜或照相机的光学取景器的观察光学系统中。在这种情况下，也可获得与上述效果类似的效果。

[0474] 并且，本发明不限于这些优选的实施例，在不背离本发明的范围的条件下，可以提出各种变化和变更方式。

[0475] [表 1]

条件式	实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4	实施例 5
①	1.5421	1.6110	1.5936	1.5661	1.5218
②	53.2	45.4	57.9	55.4	51.3
③	0.55	0.54	0.57	0.56	0.54
④	1.25	1.27	1.27	1.26	1.23
⑤	1.4909	1.5673	1.5188	1.4688	1.4797
⑥	19.8	21.7	16.5	12.1	21.3
⑦	0.41	0.42	0.40	0.36	0.40
⑧	1.04	1.07	1.02	0.97	1.03
⑨	1.93	1.77	1.93	1.77	1.77
⑩	7.7	6.8	7.7	6.8	6.8
⑪	0.05	0.04	0.07	0.10	0.04
⑫	1.005	1.003	1.006	0.999	1.000
⑬	0.996	0.999	0.997	0.994	0.995
⑭	0.999	1.001	0.999	1.001	1.002
⑮	11.4	13.3	7.8	6.0	13.8
⑯	1.000	0.998	1.001	0.998	0.999
⑰	1.71	1.87	1.71	1.71	1.77
⑱	68.0	39.4	68.0	68.0	6.8
⑲	0.06	0.07	0.04	0.03	0.07

[0476]

[0477] [表 2]

[0478]

条件式	实施例 6	实施例 7	实施例 8	实施例 9
(31)	1.6097	1.6325	1.6691	1.4970
(32)	57.8	63.e	55.4	81.5
(33)	0.54	0.54	0.55	0.54
(34)	1.24	1.24	1.24	1.23
(35)	1.5215	1.5652	1.5836	1.4591
(86)	14.6	19.7	16.0	28.2
(37)	0.38	0.41	0.39	0.43
(38)	1.00	1.04	1.01	1.08
(39)	0.09	0.07	0.09	0.04
(40)	1.77	1.77	1.77	1.77
(41)	6.8	6.8	6.8	6.8
(42)	6.65	8.75	6.86	15.56
(43)	1.001	1.002	1.001	1.004
(44)	0.866	0.884	0.853	0.935
(45)	0.03	0.04	0.03	0.08

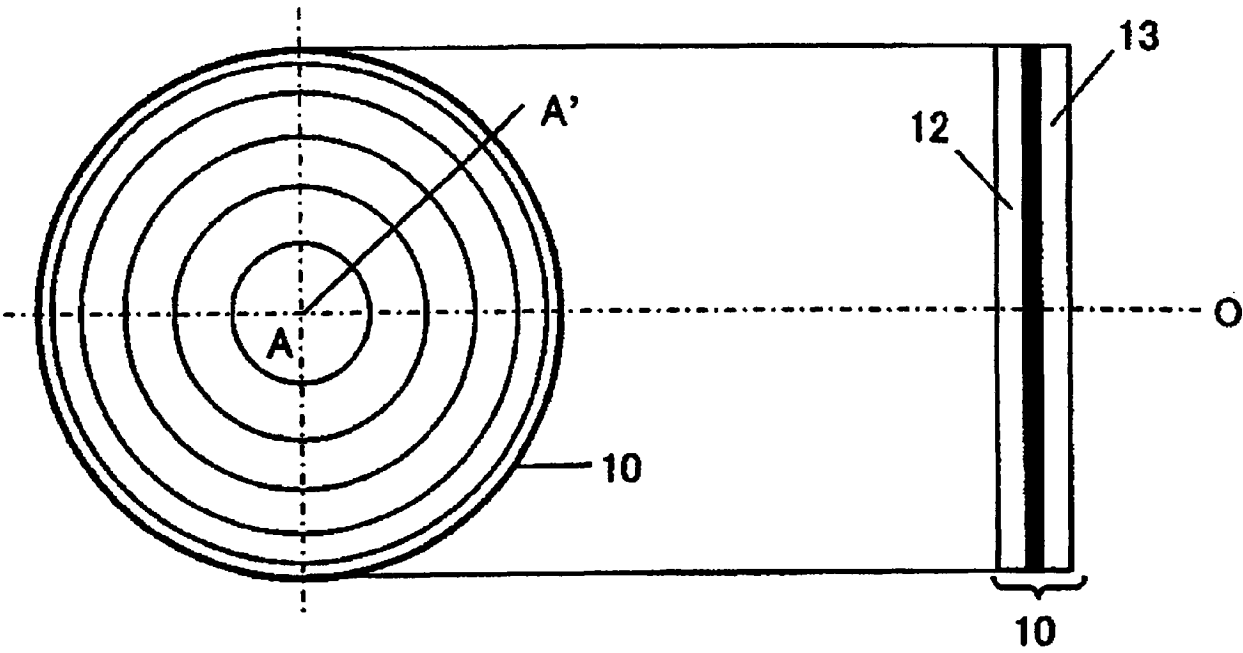


图1

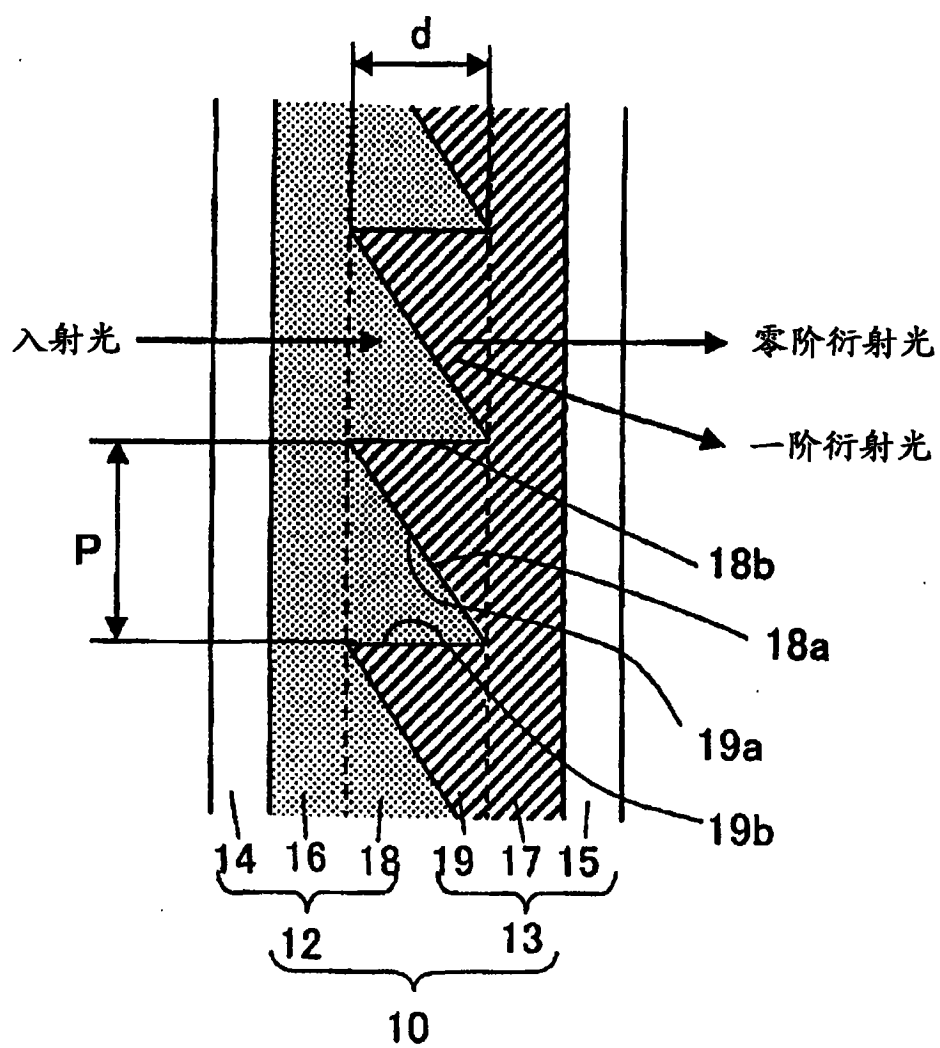


图2

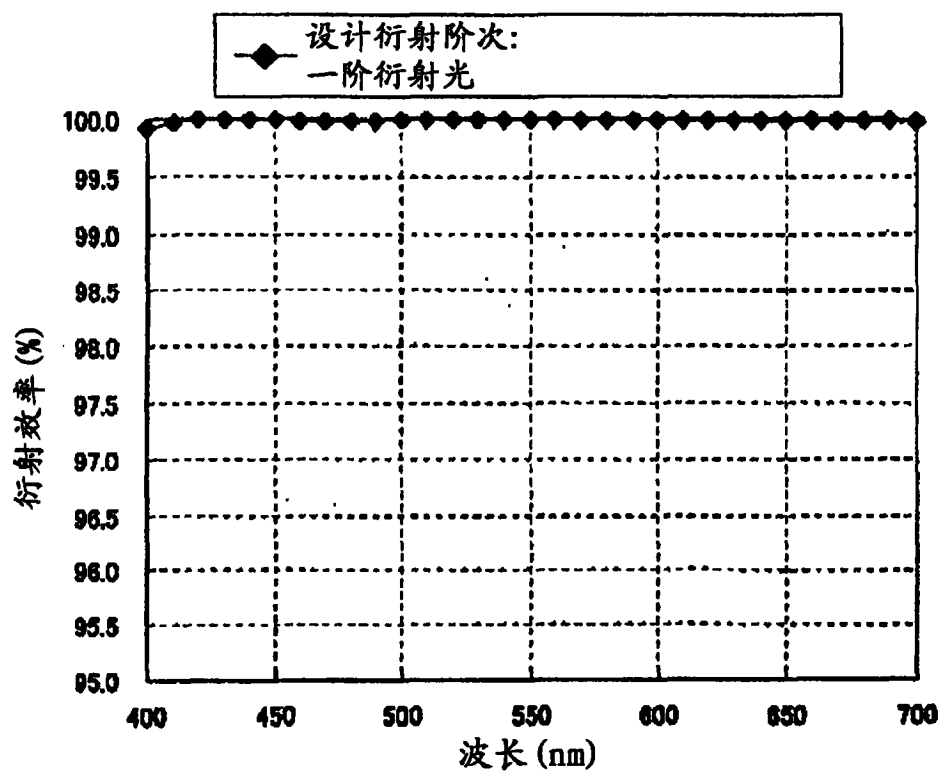


图 3A

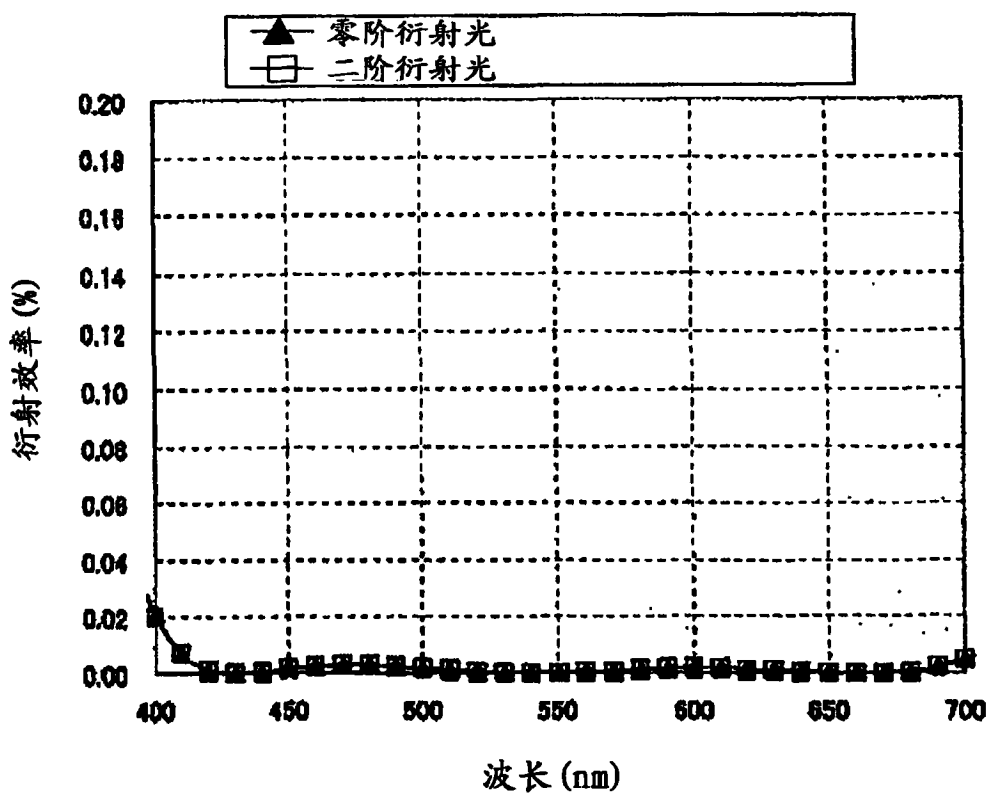


图 3B

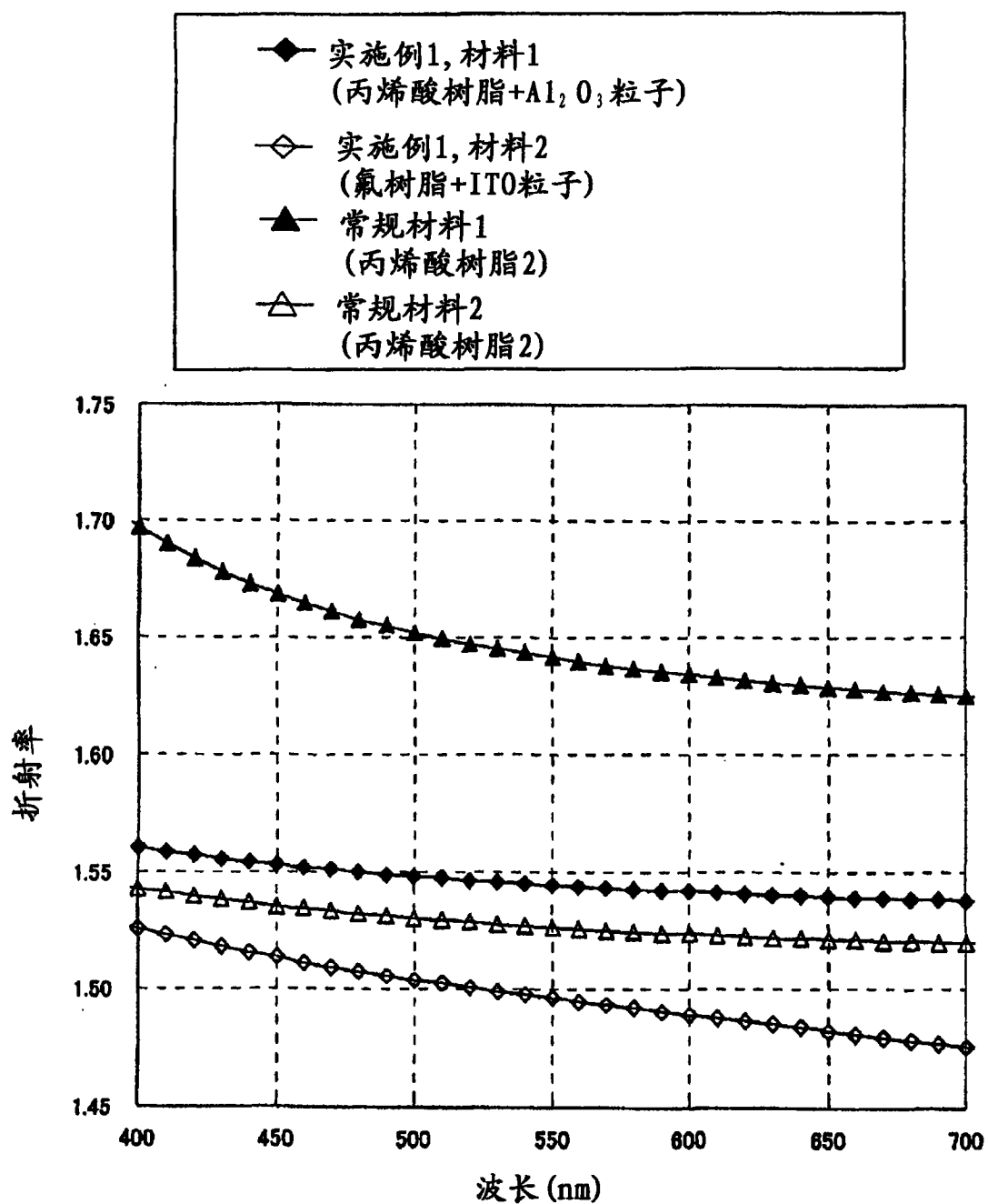


图4

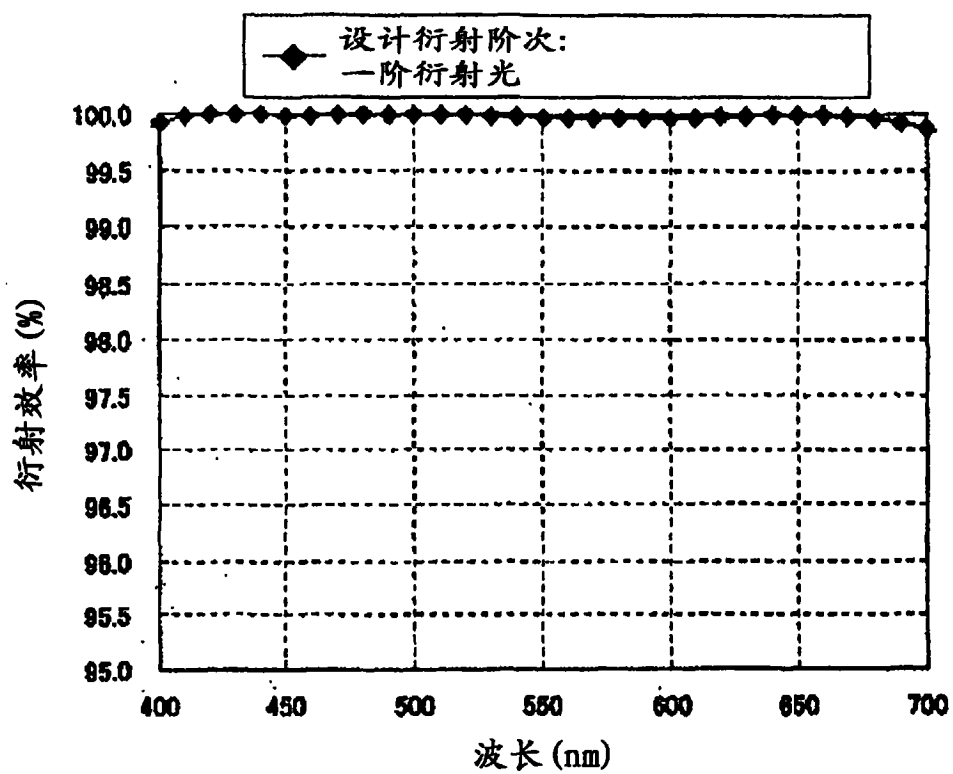


图 5A

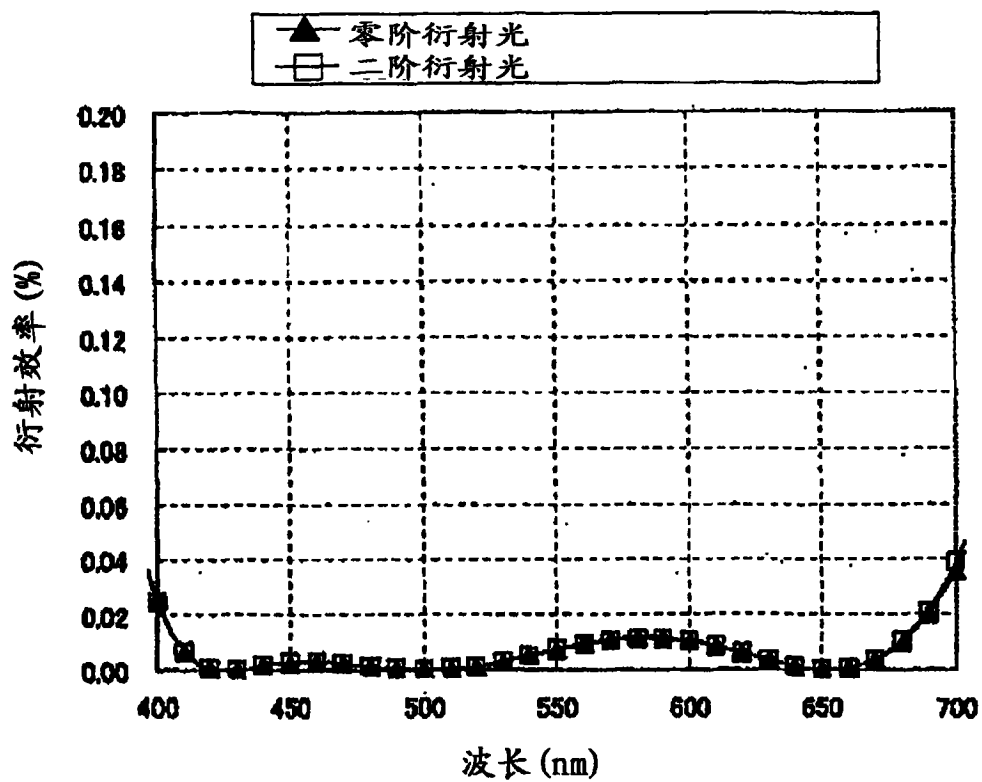


图 5B

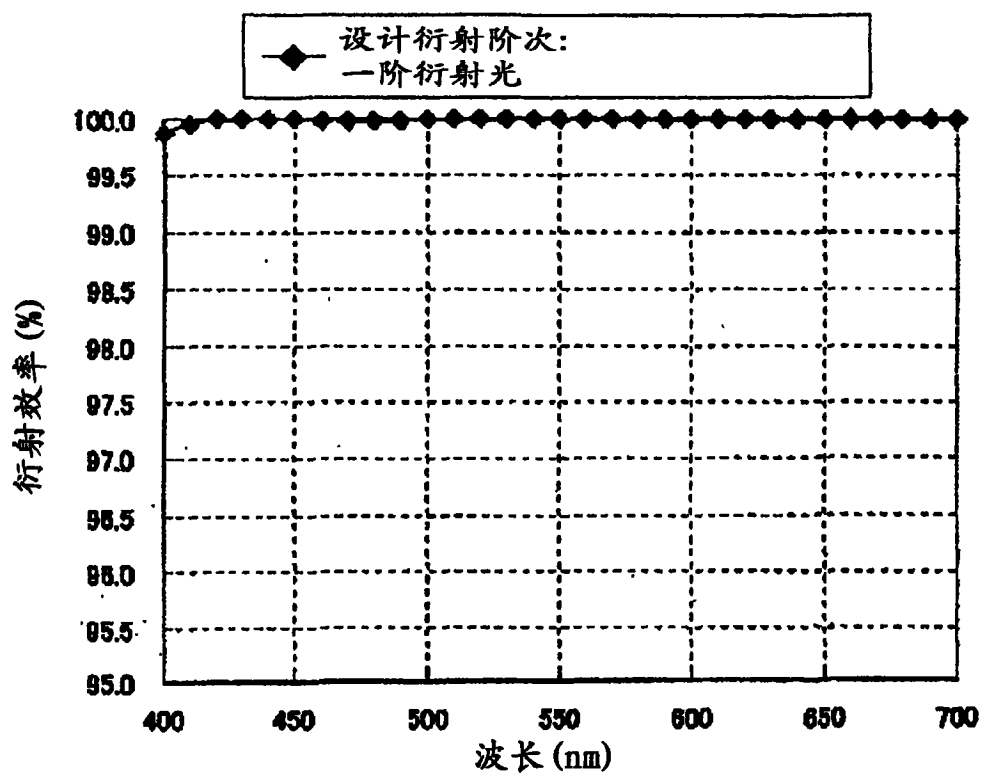


图 6A

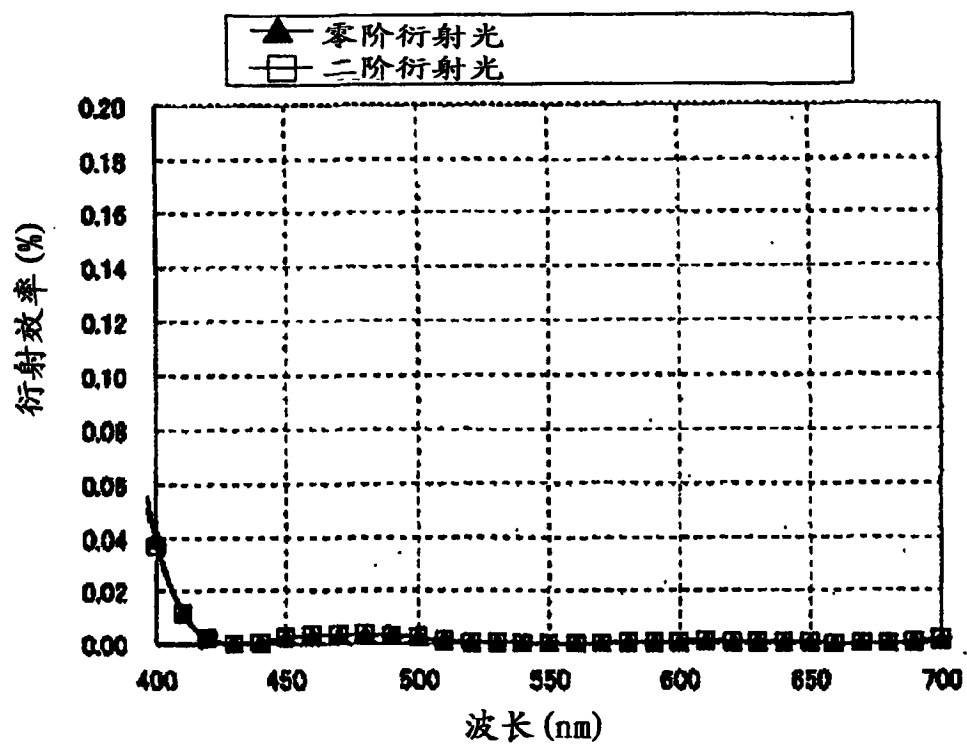


图 6B

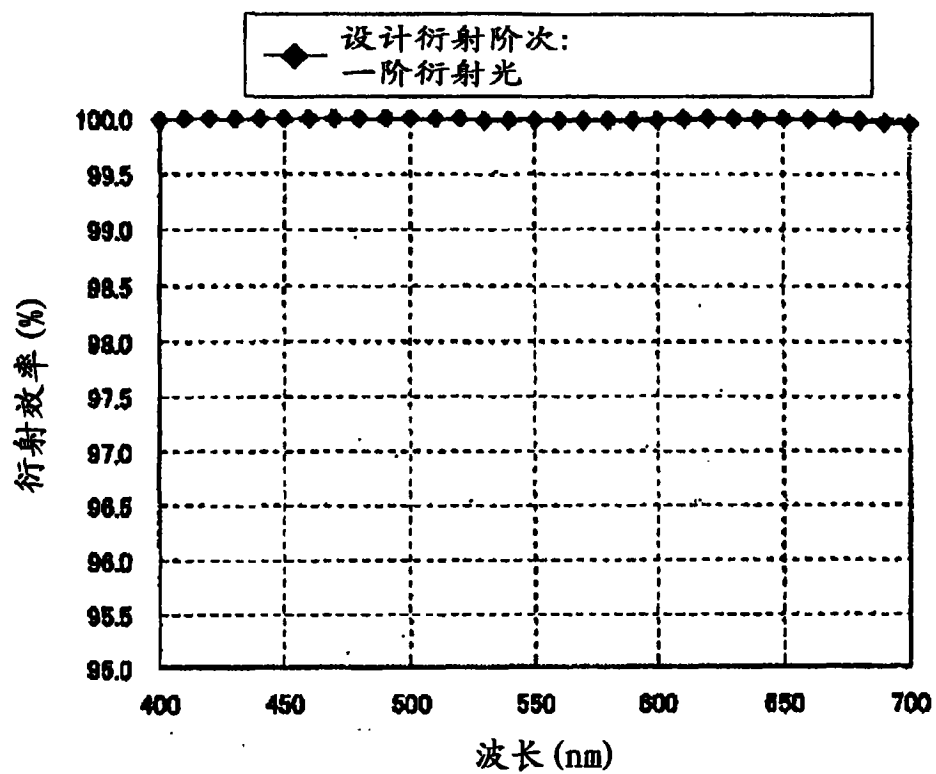


图 7A

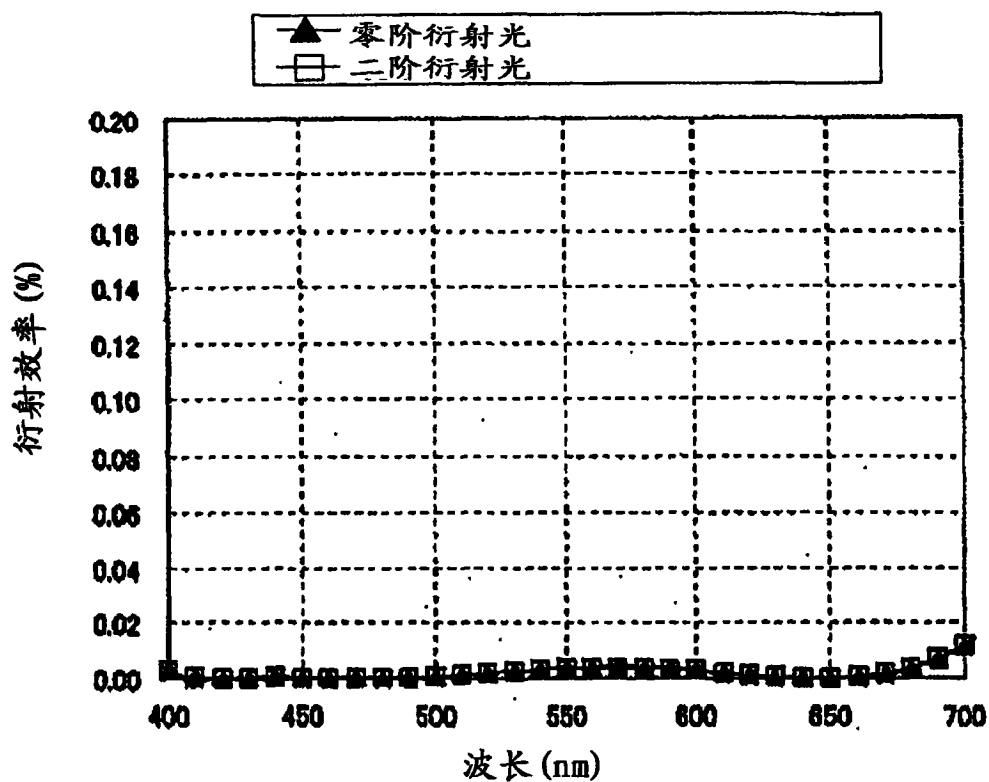


图 7B

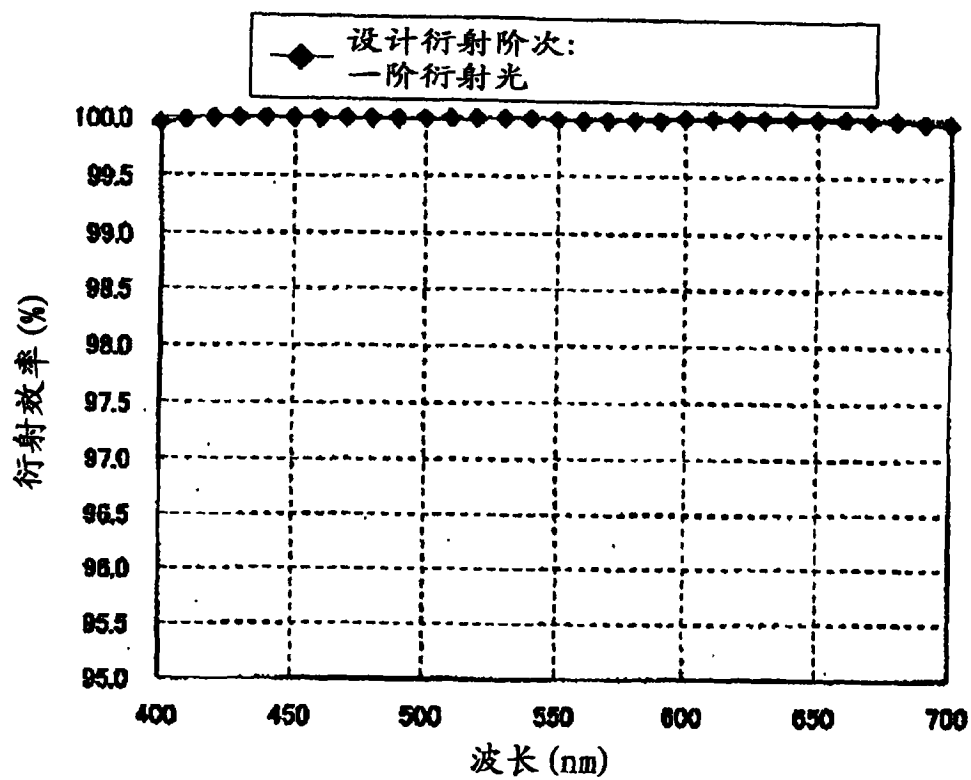


图 8A

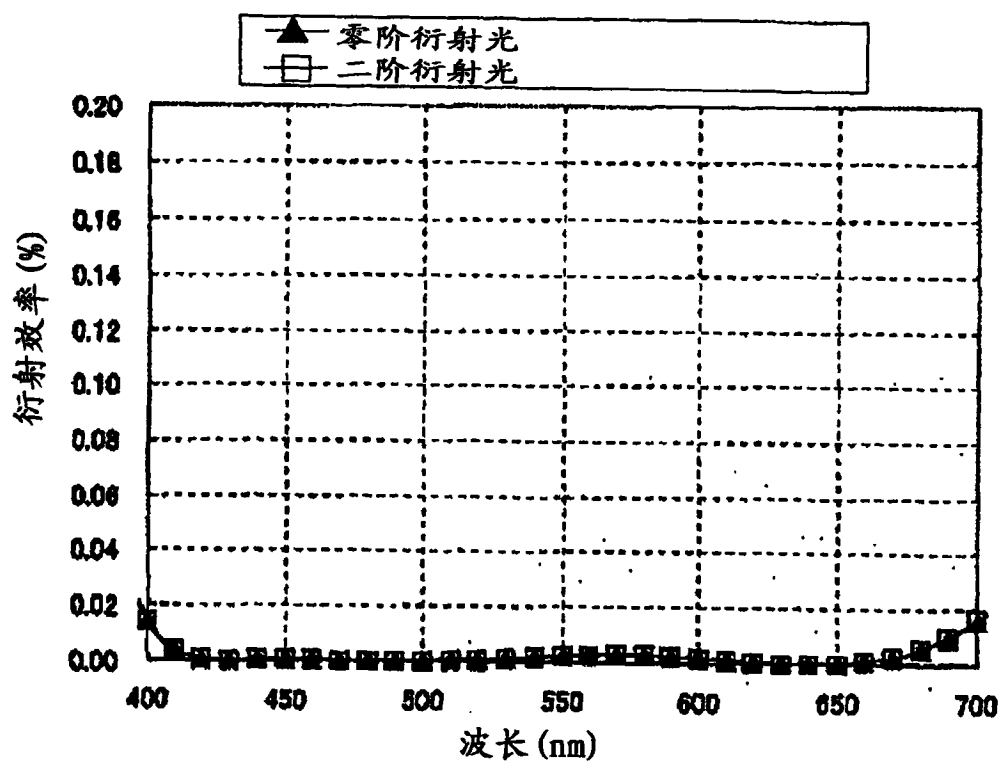


图 8B

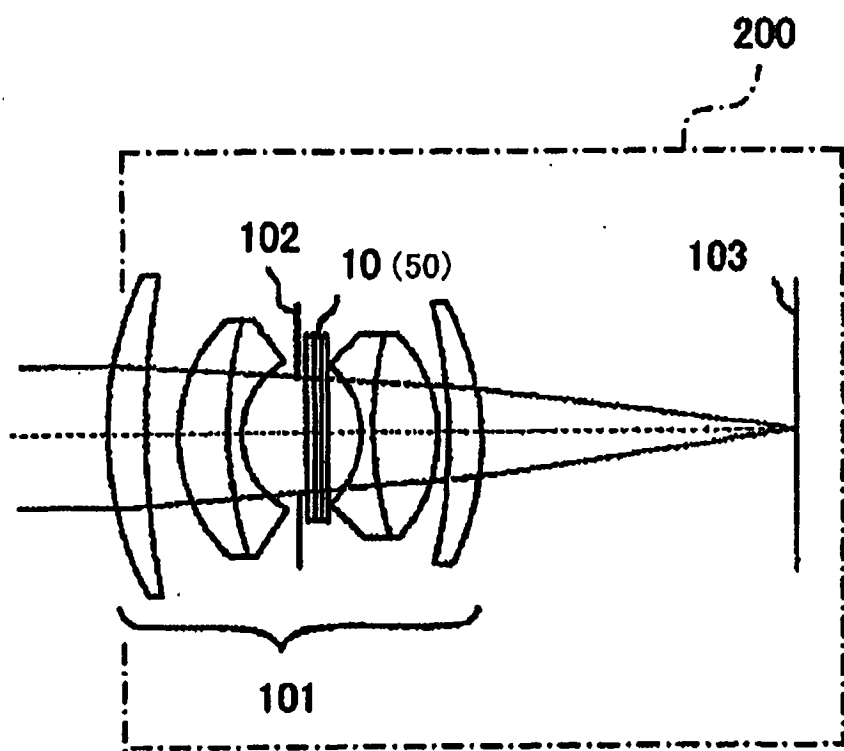


图 9A

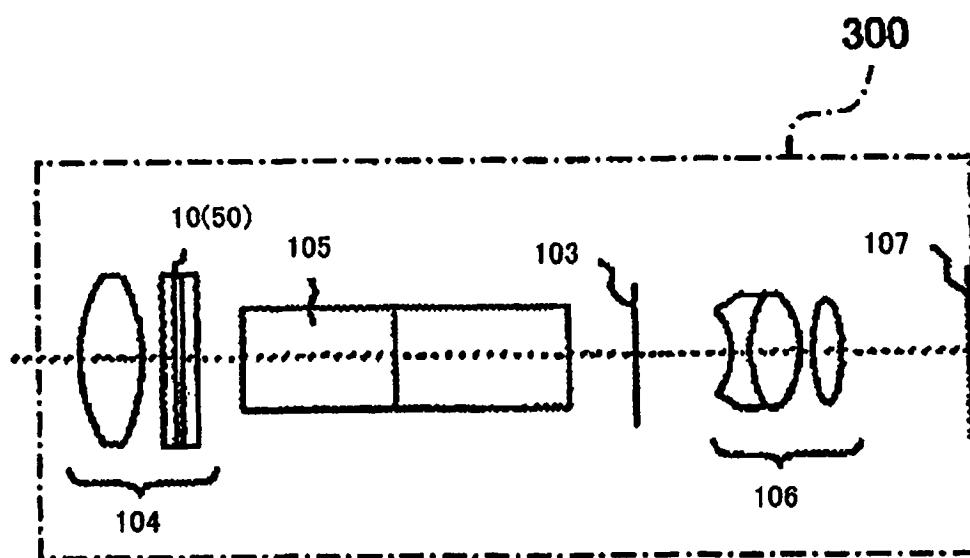


图 9B

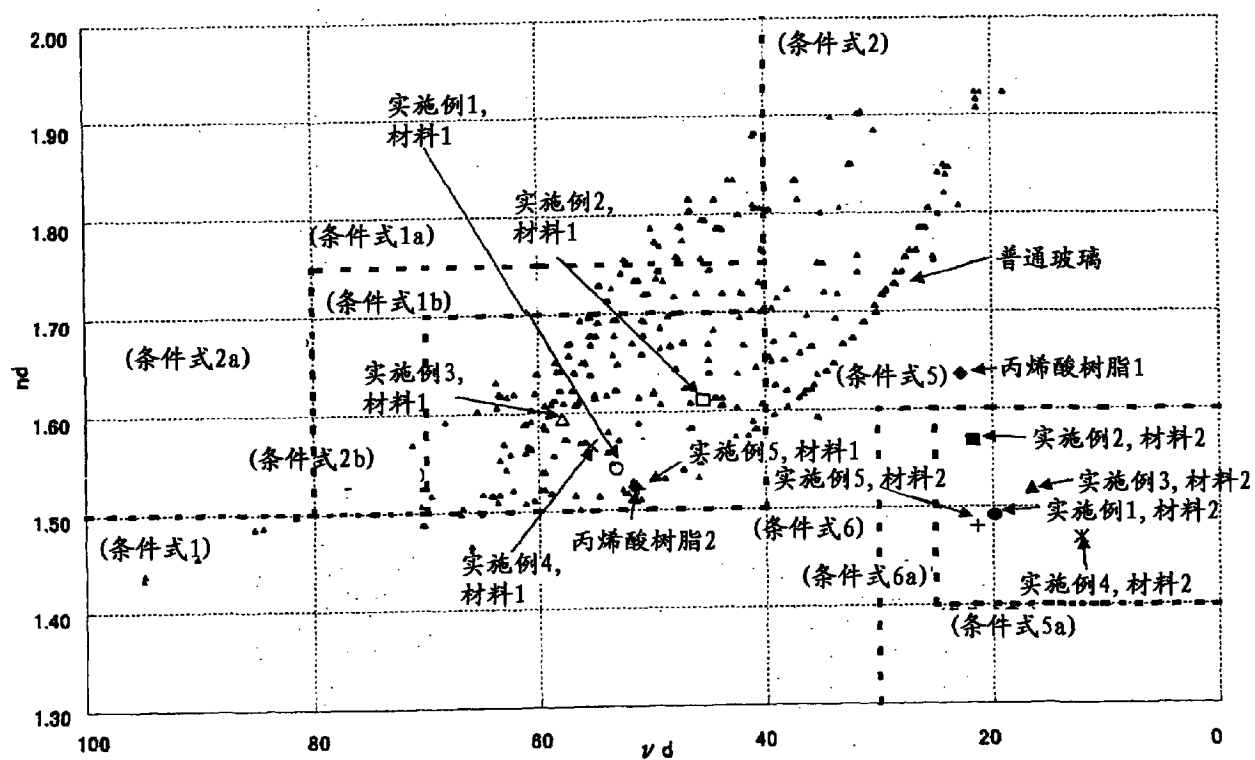


图10

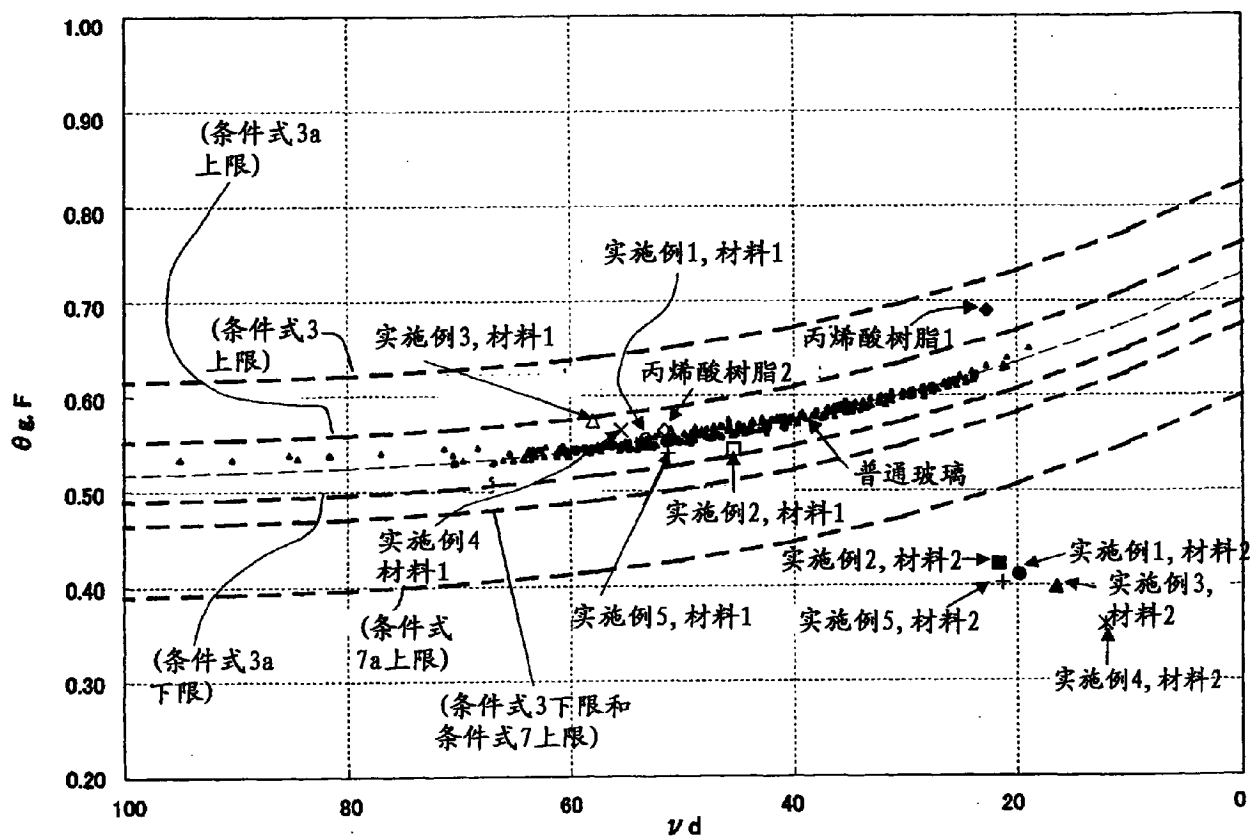


图 11

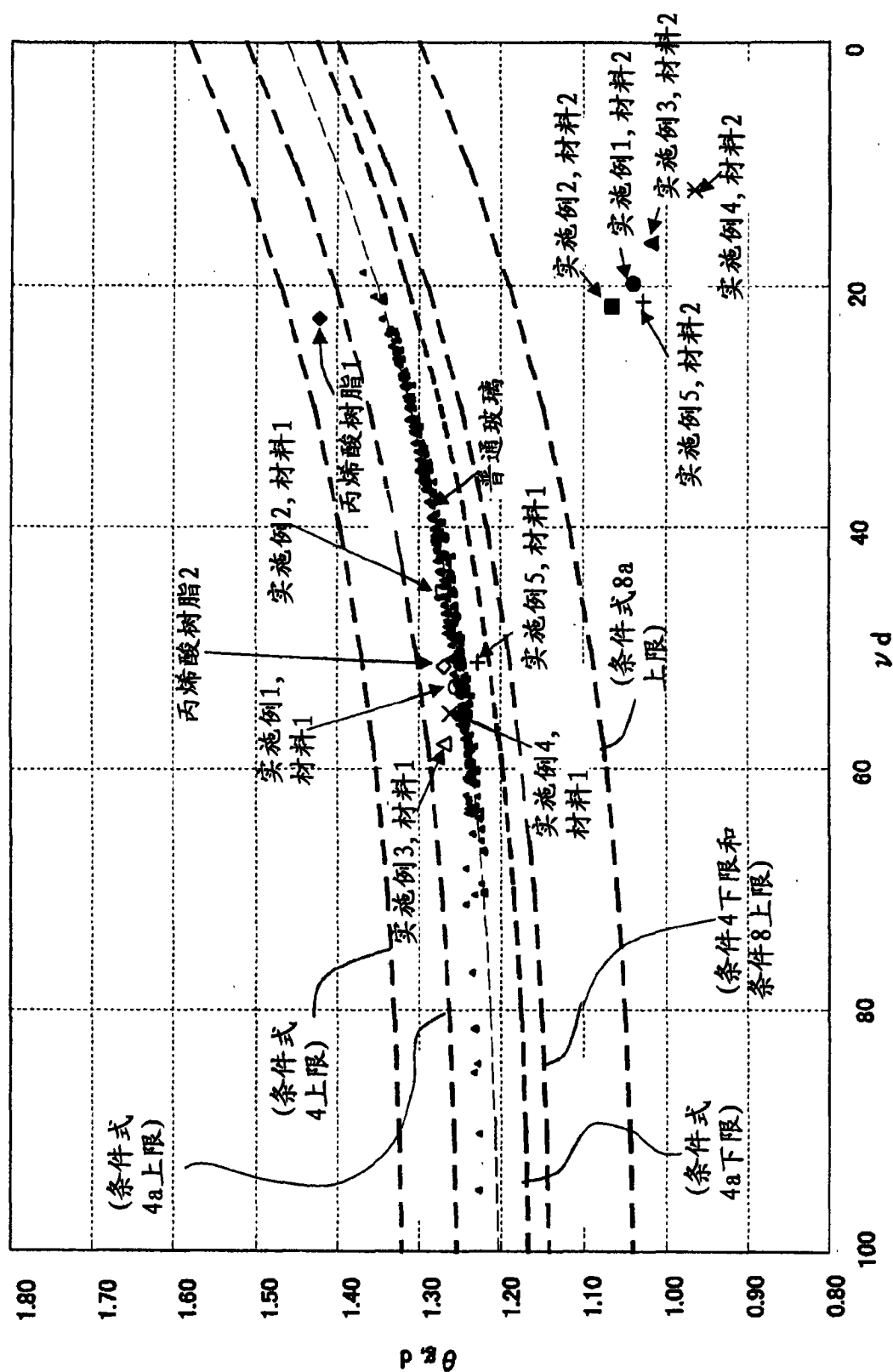


图12

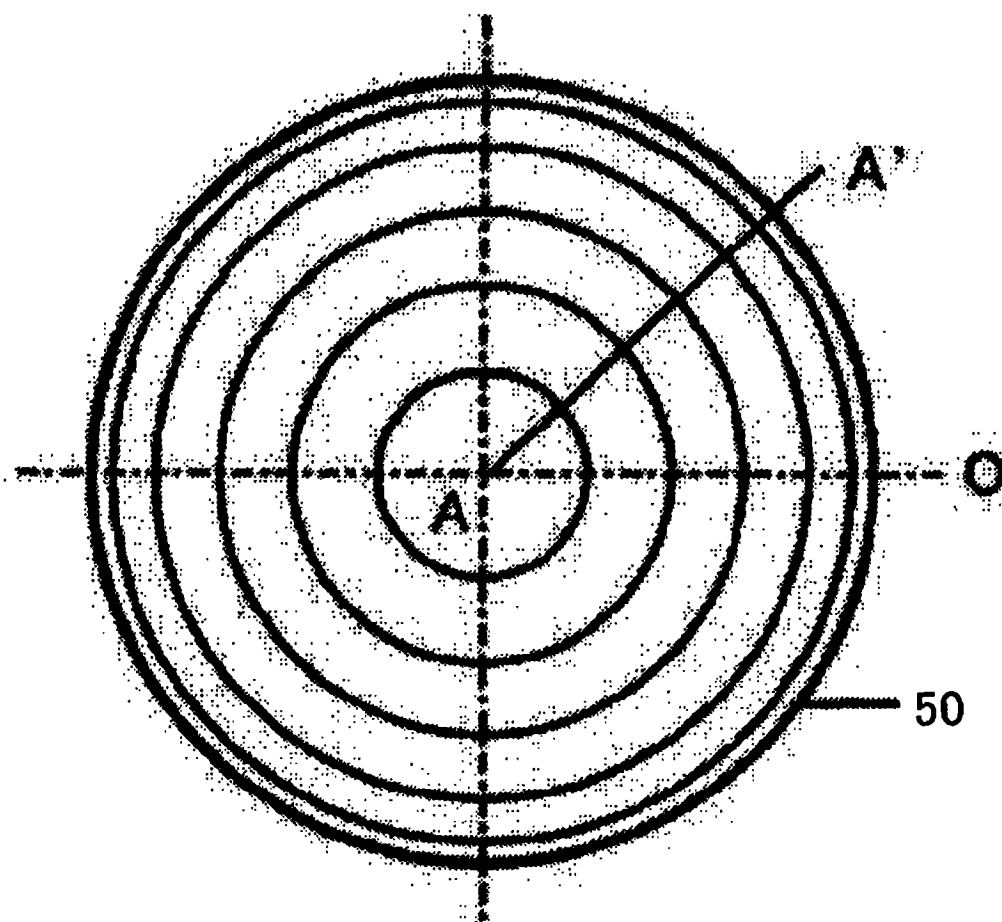


图13

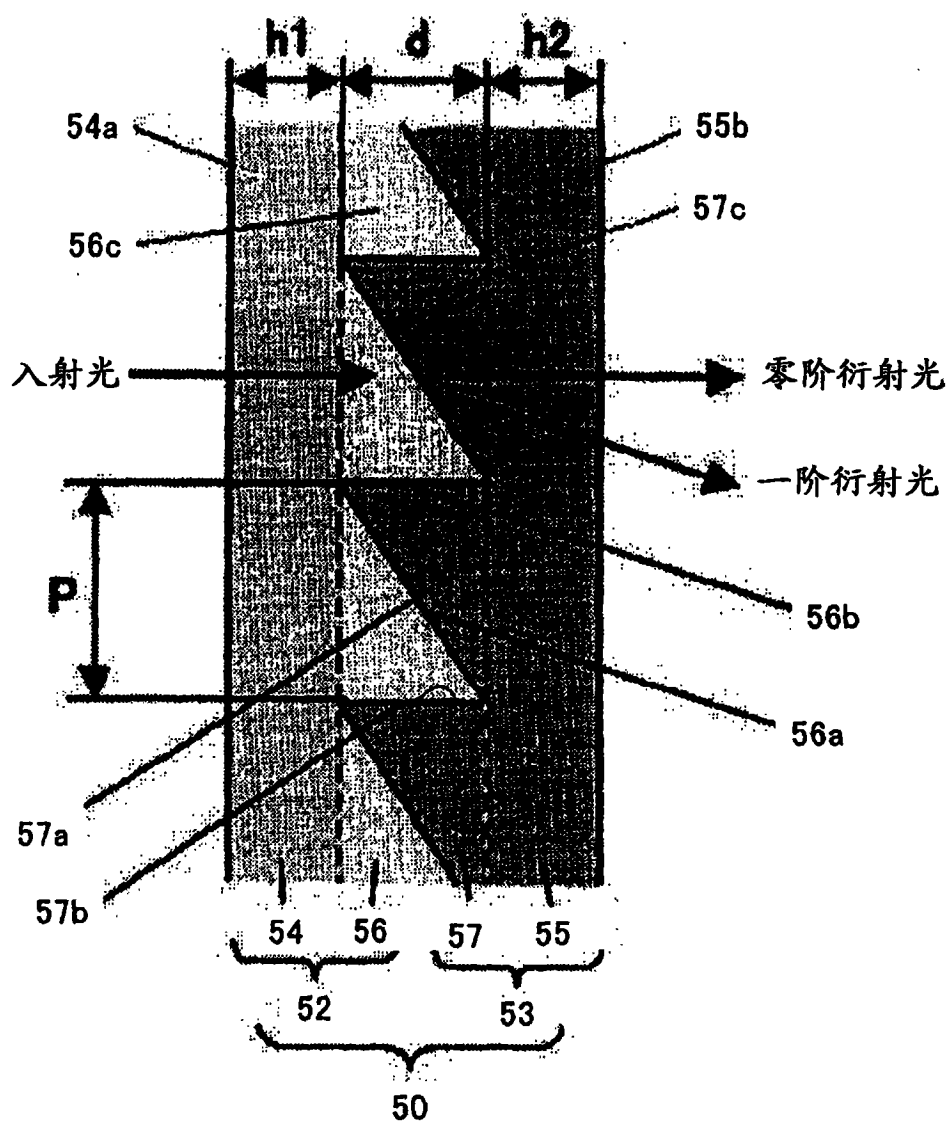


图 14

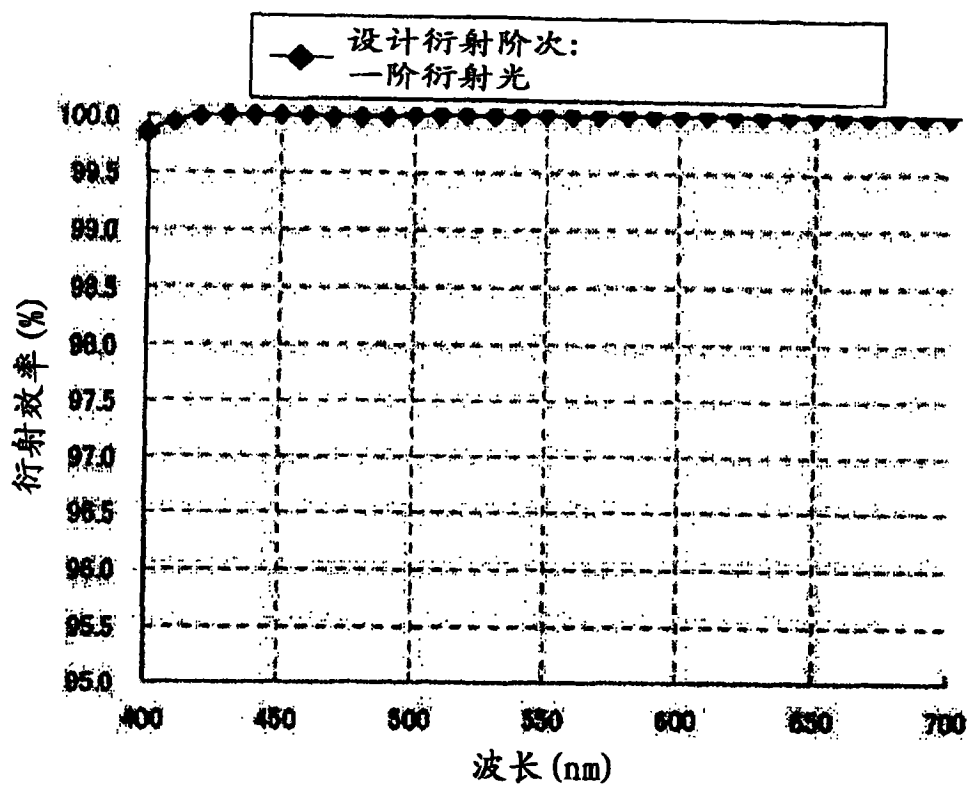


图 15A

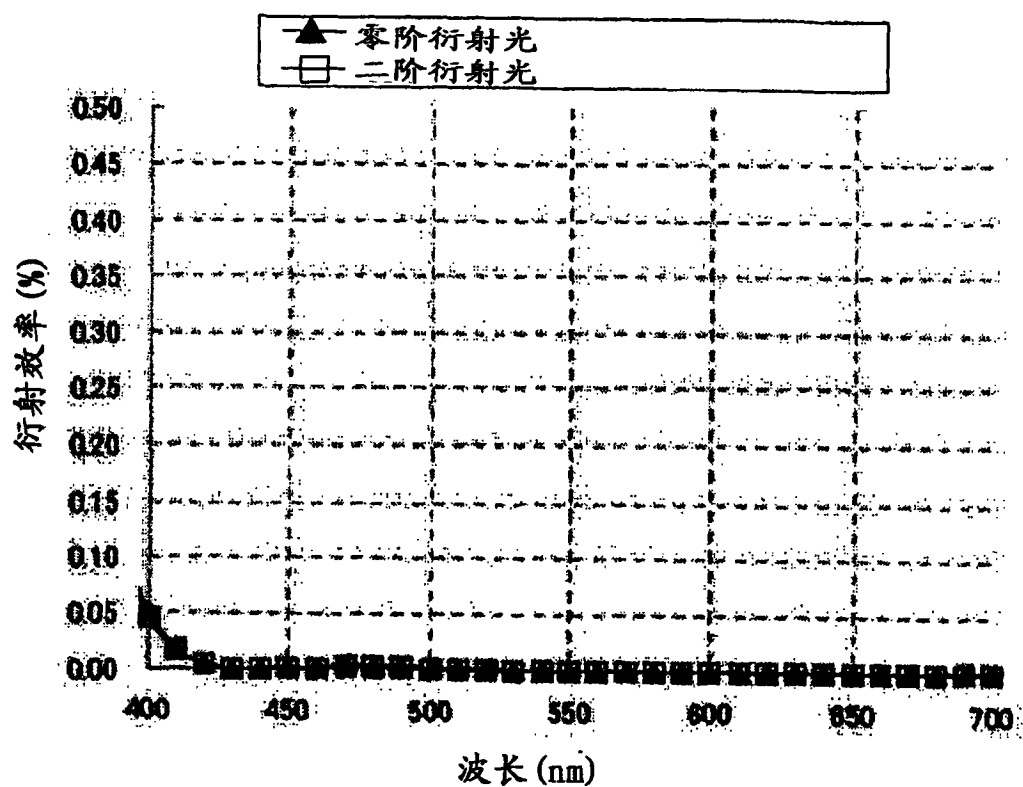


图 15B

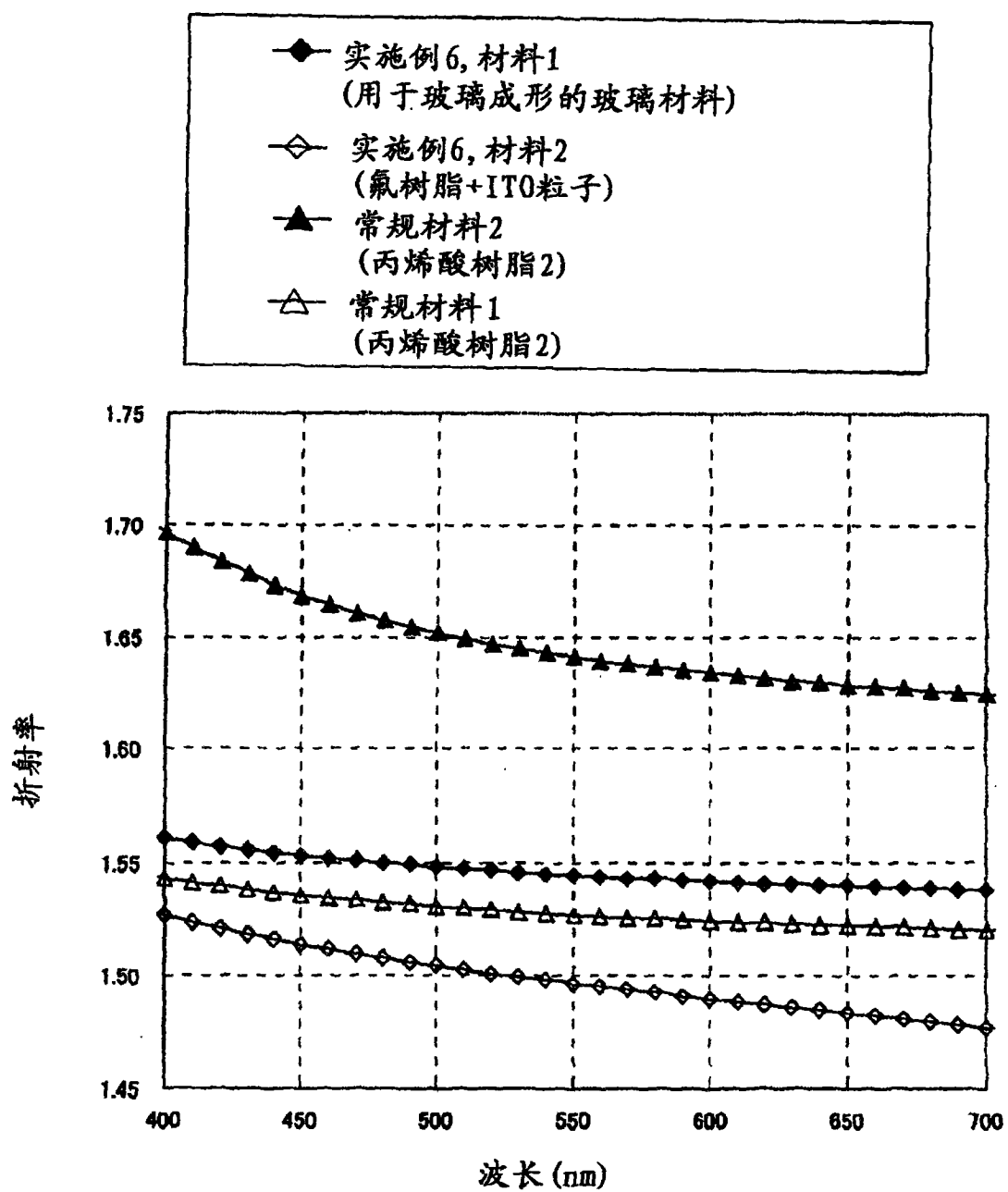


图16

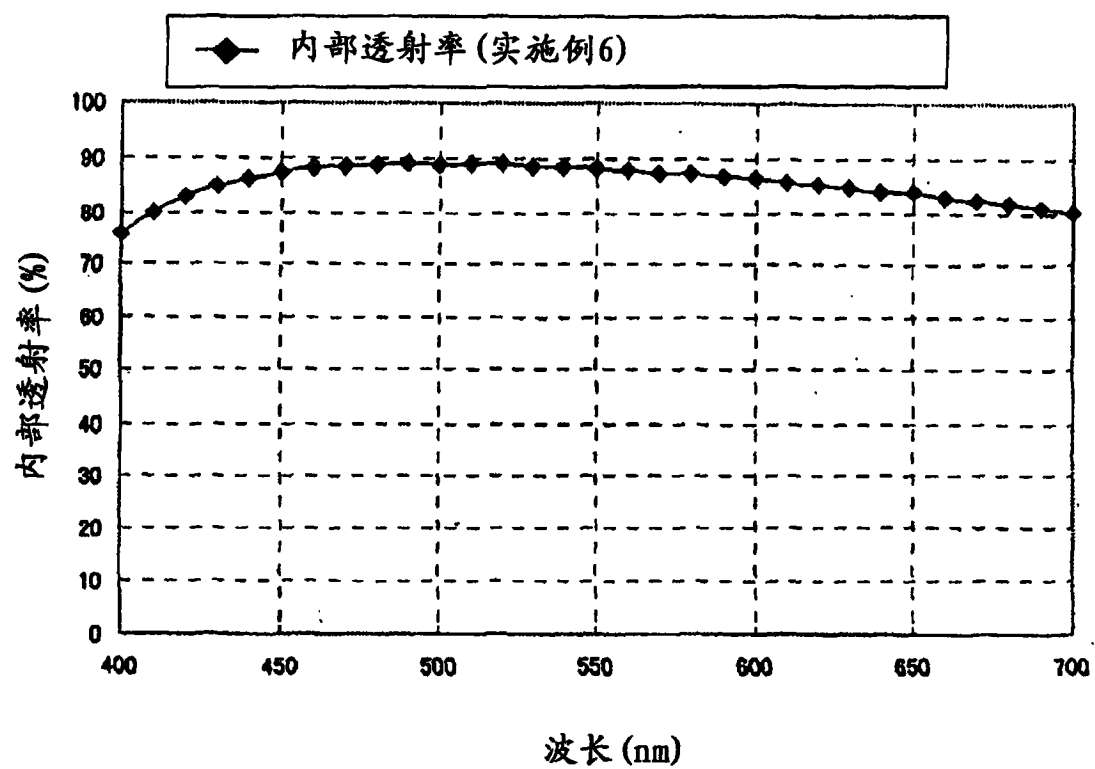


图 17

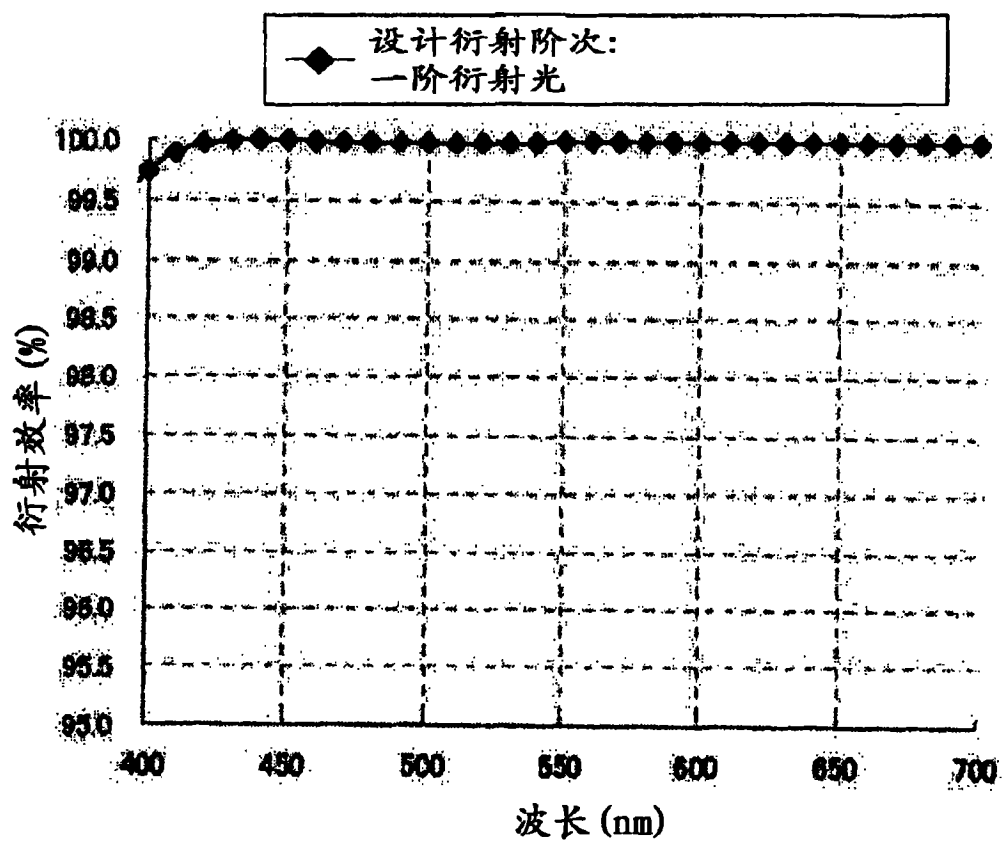


图18A

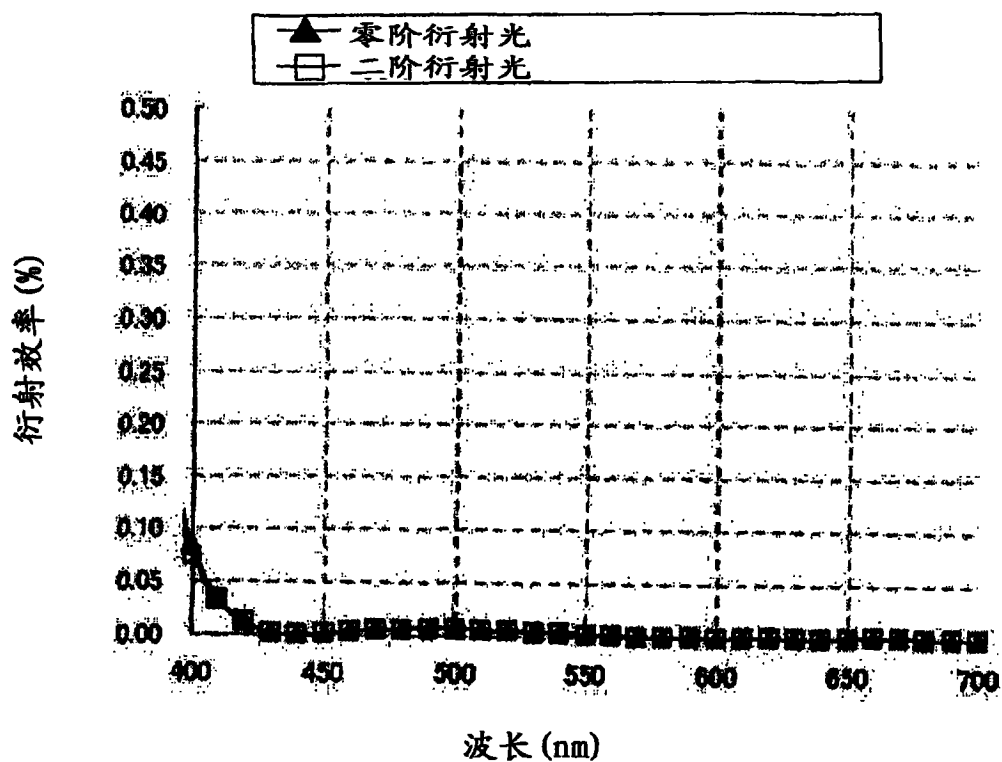


图18B

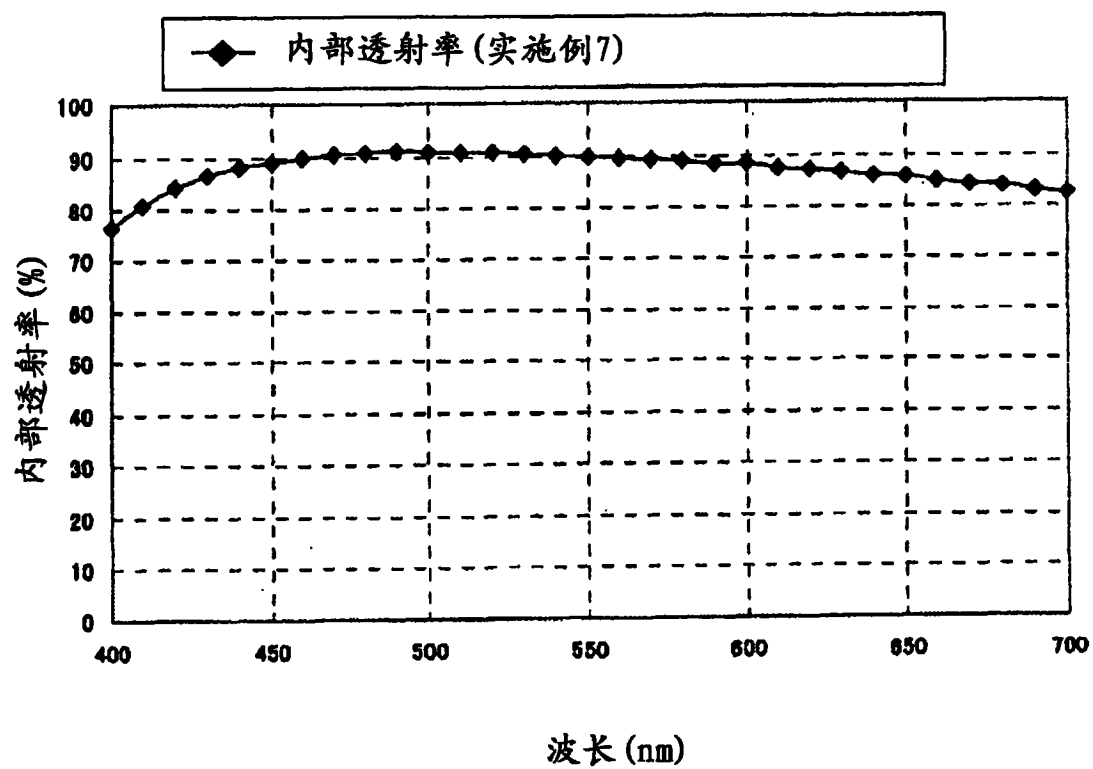


图19

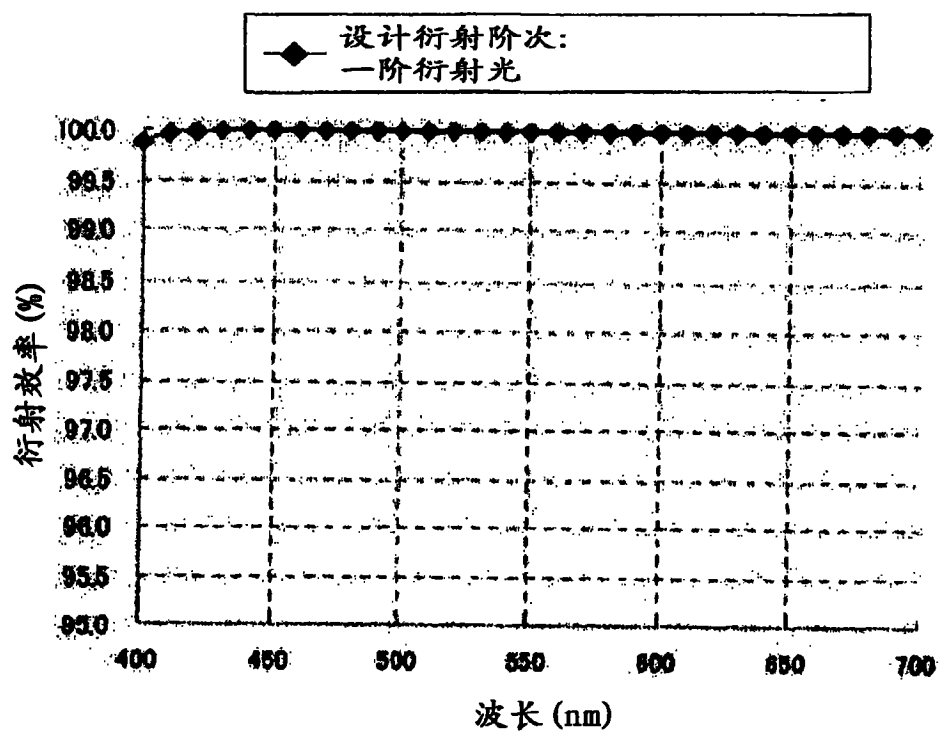


图 20A

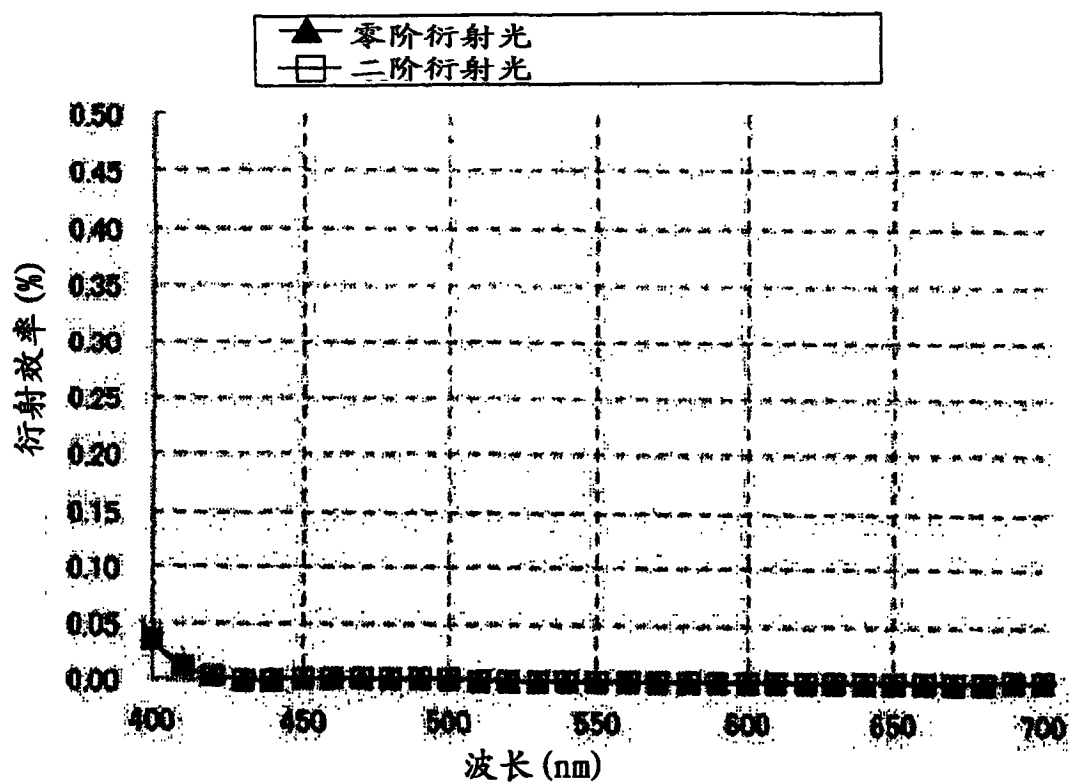


图 20B

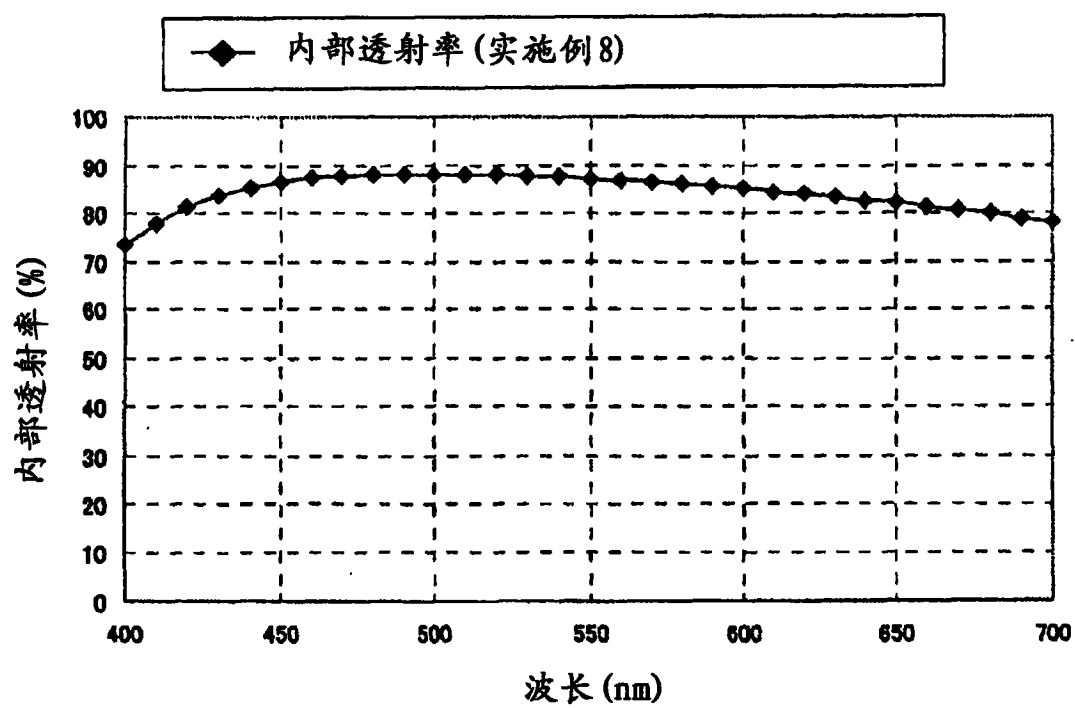


图 21

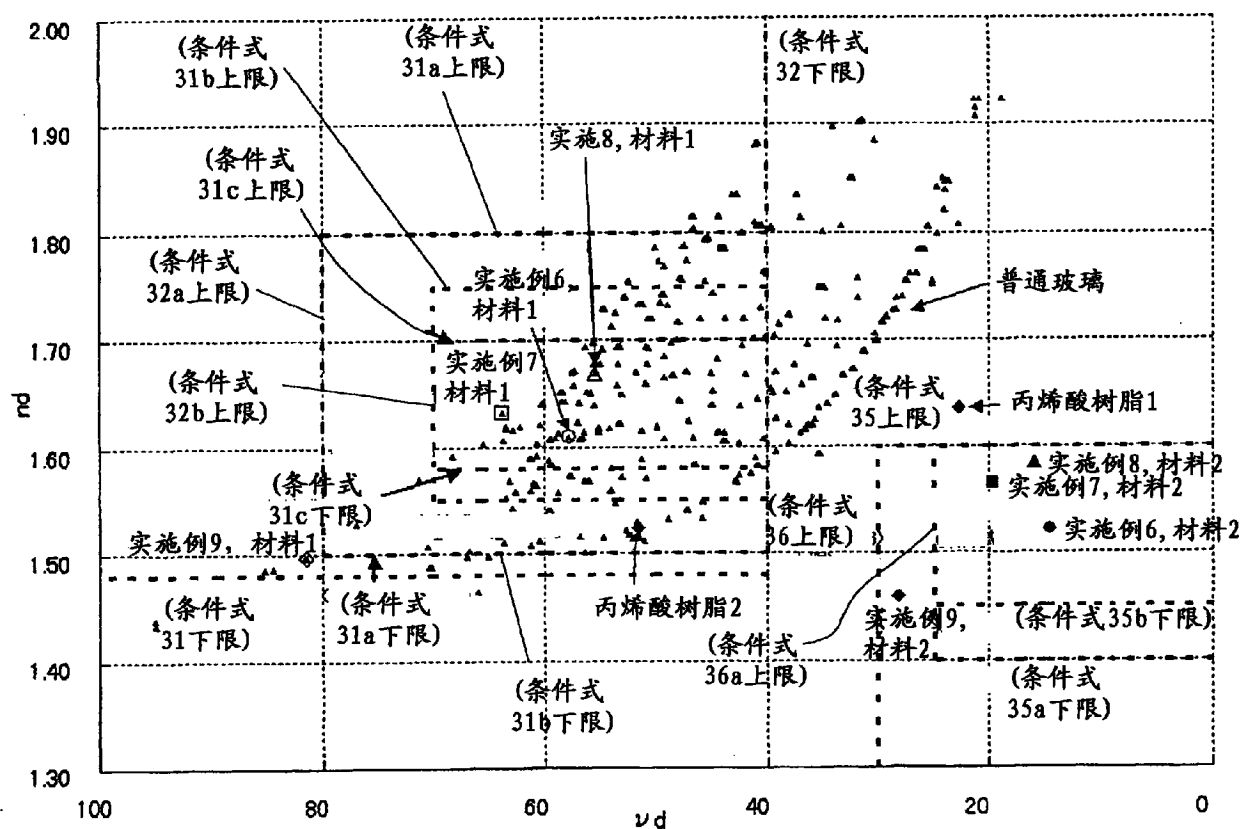


图22

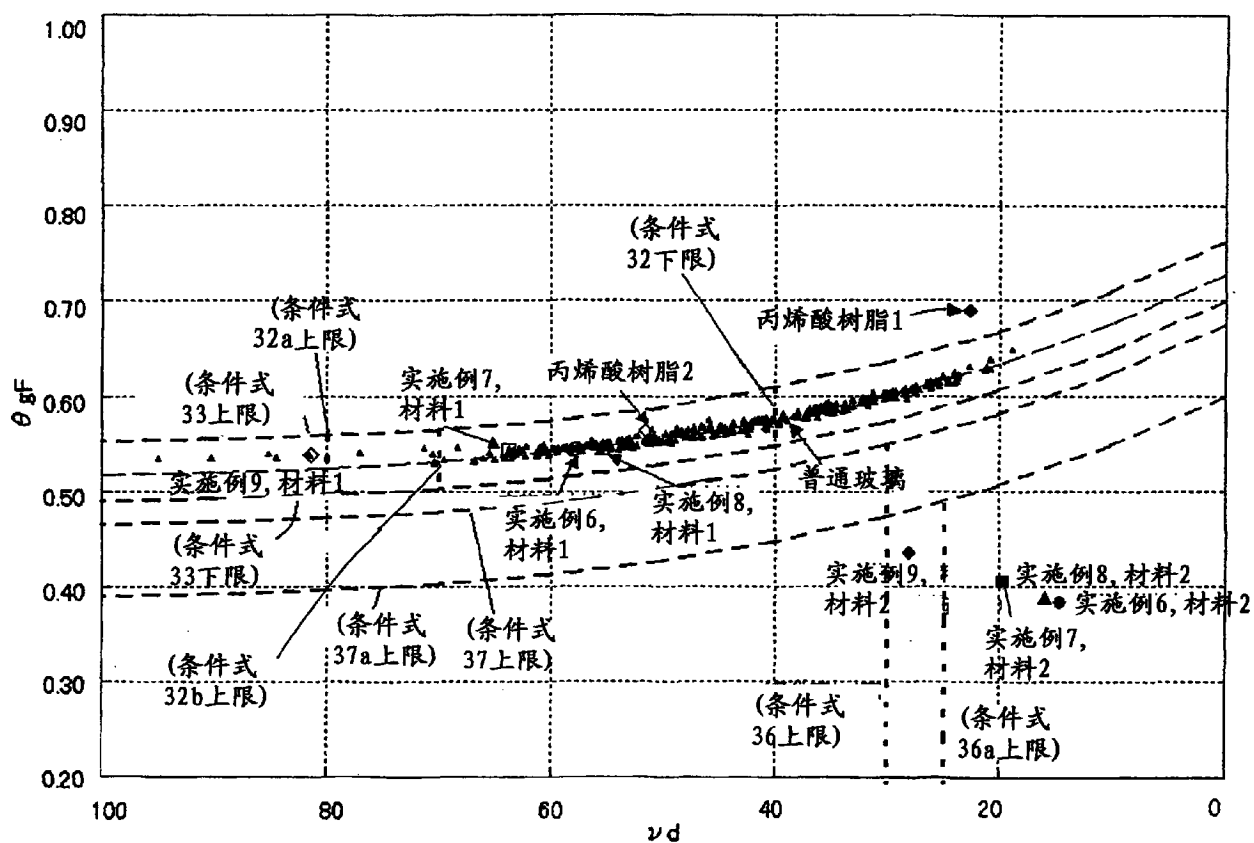


图 23

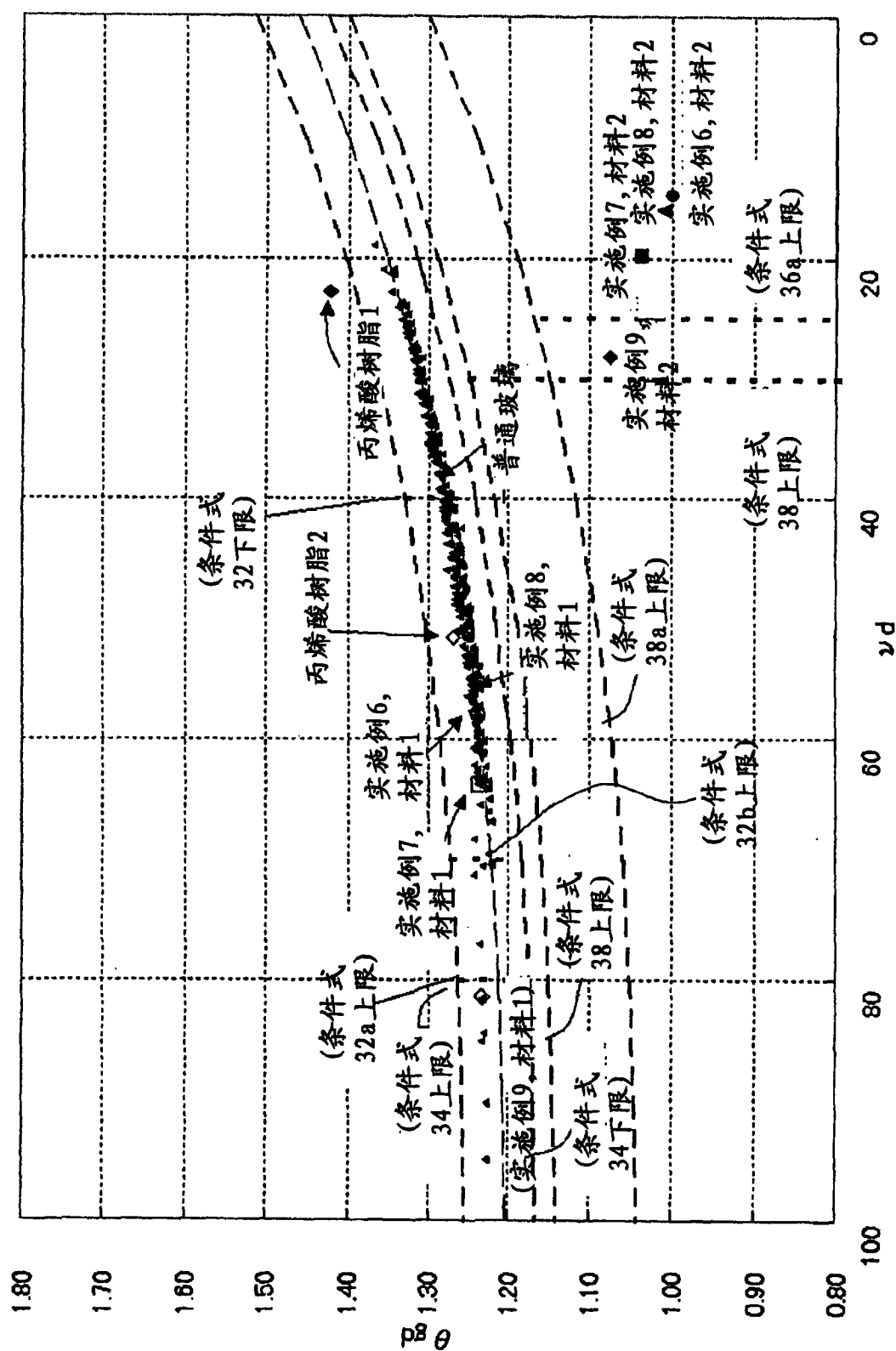


图24

现有技术

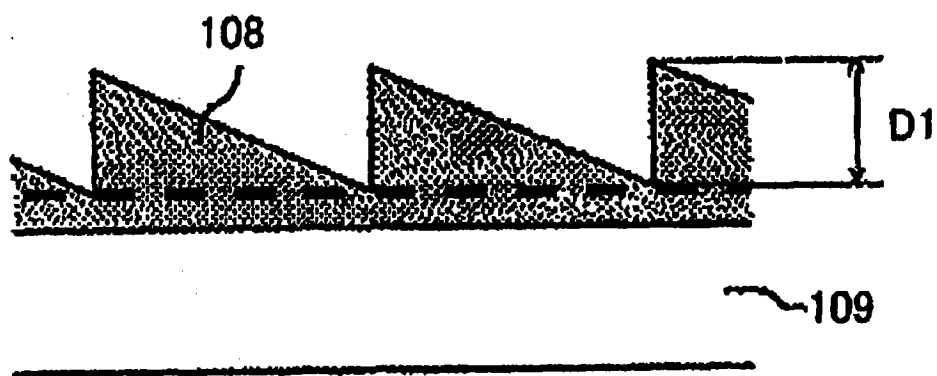


图 25

现有技术

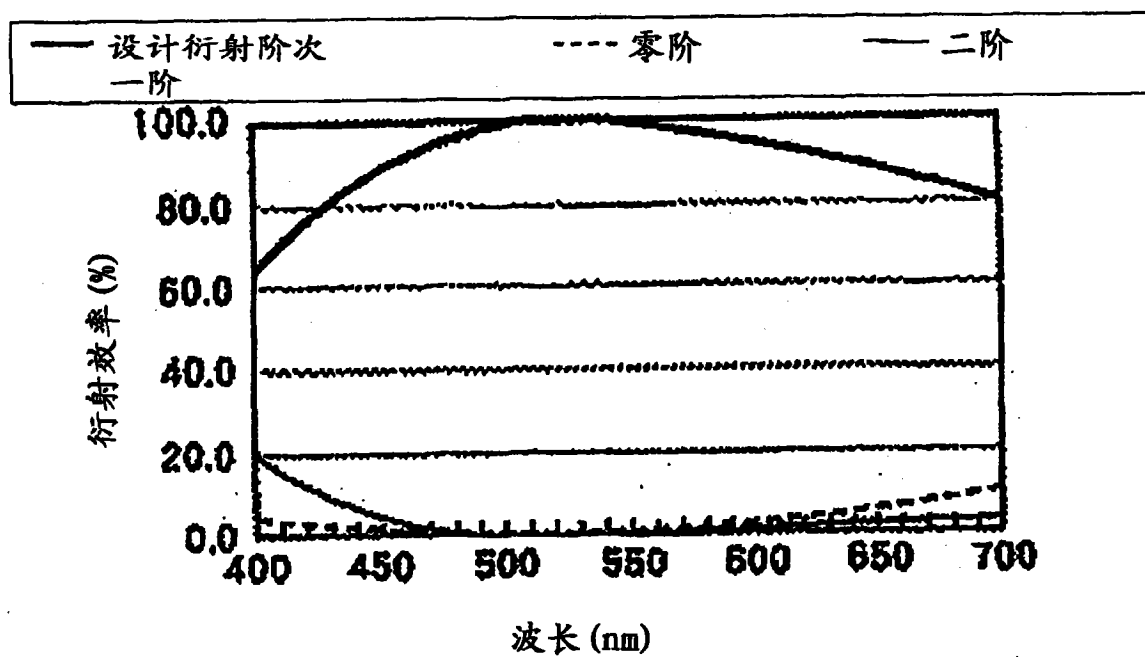


图 26

现有技术

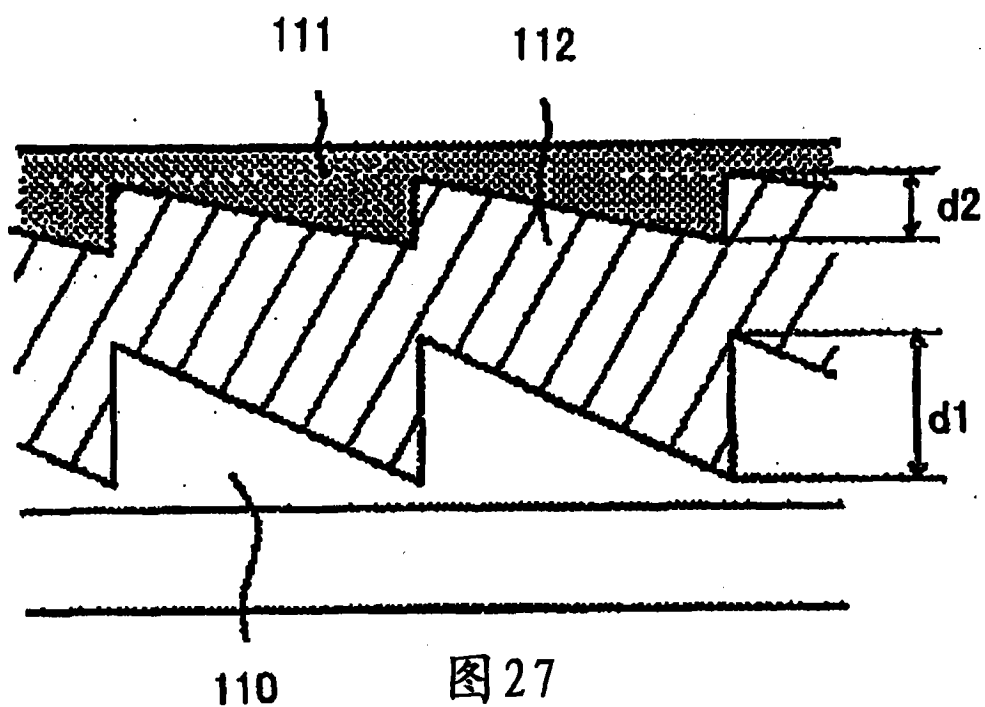


图 27

现有技术

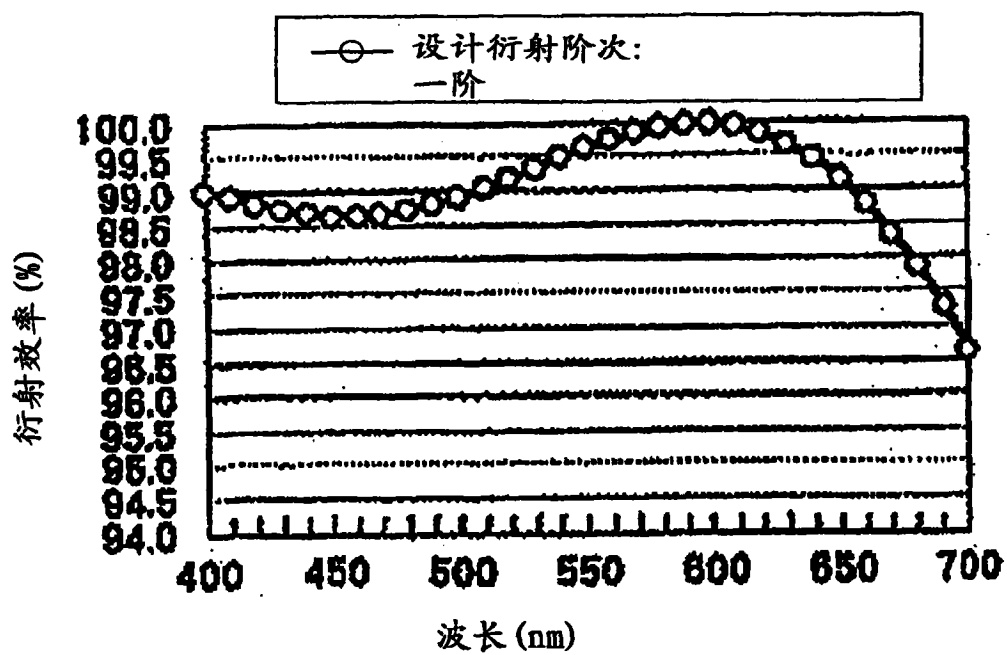


图 28

现有技术

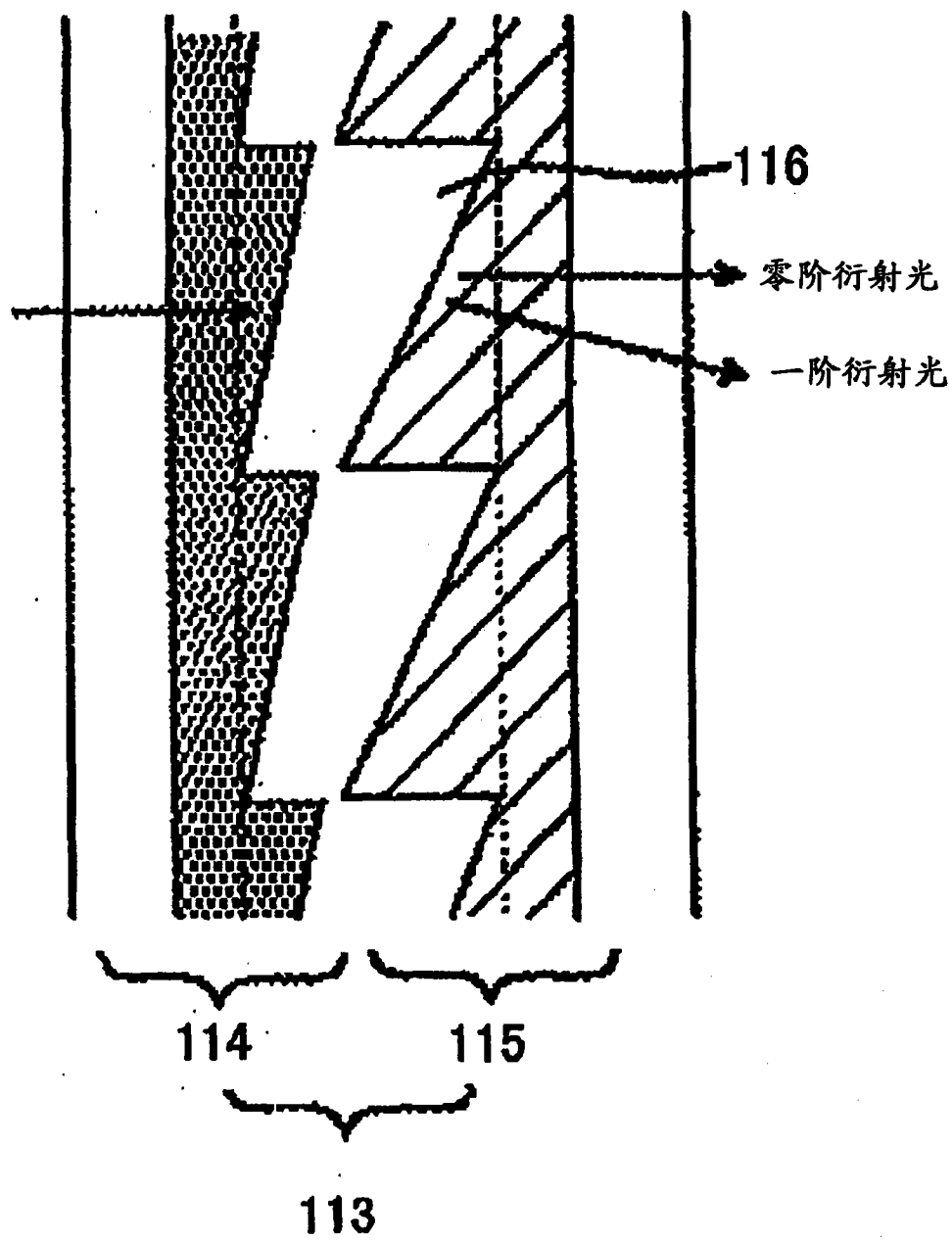


图29

现有技术

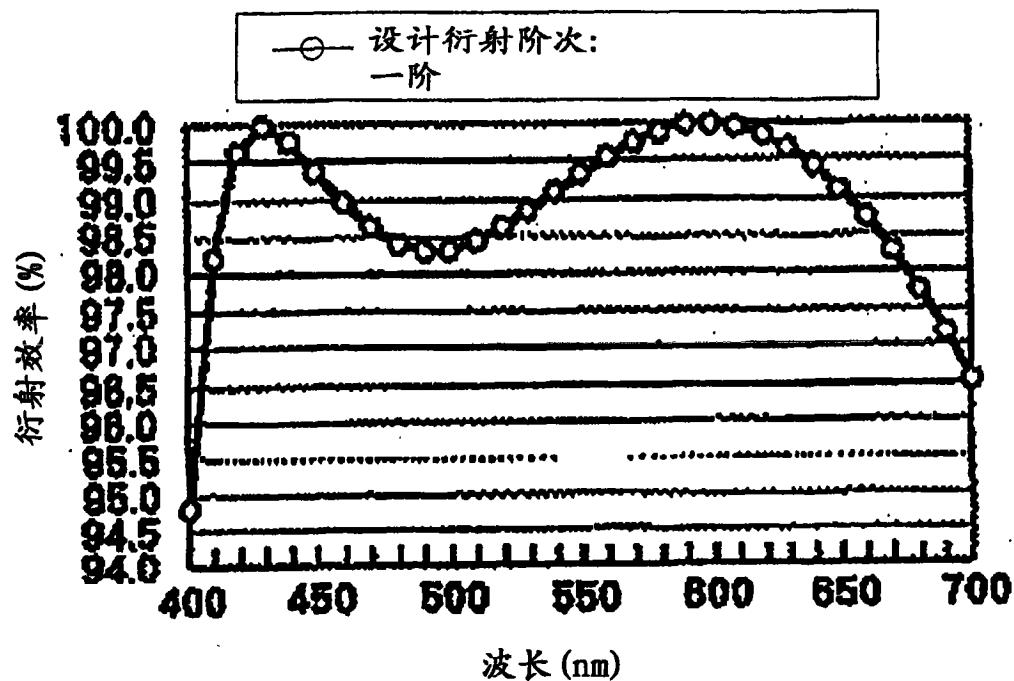


图 30A

现有技术

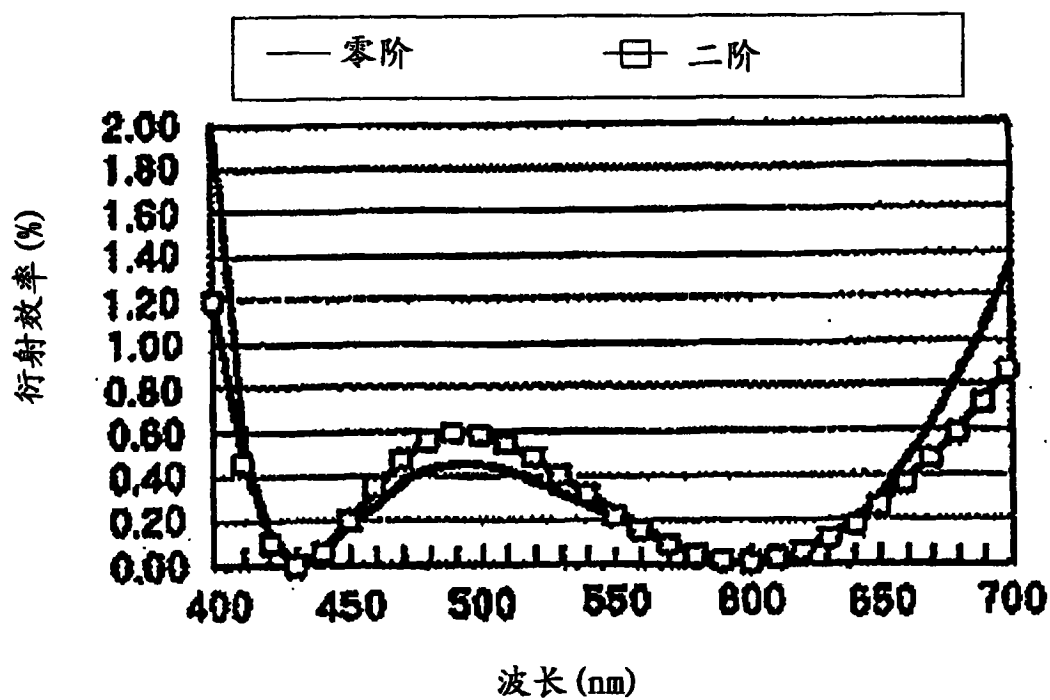


图 30B

现有技术

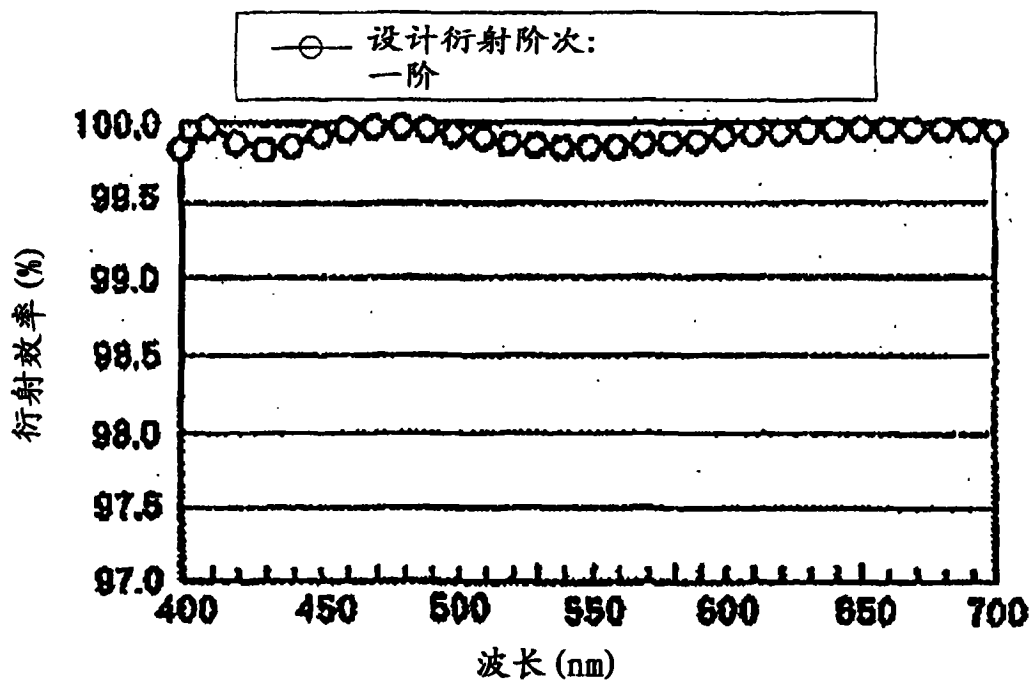


图 31A

现有技术

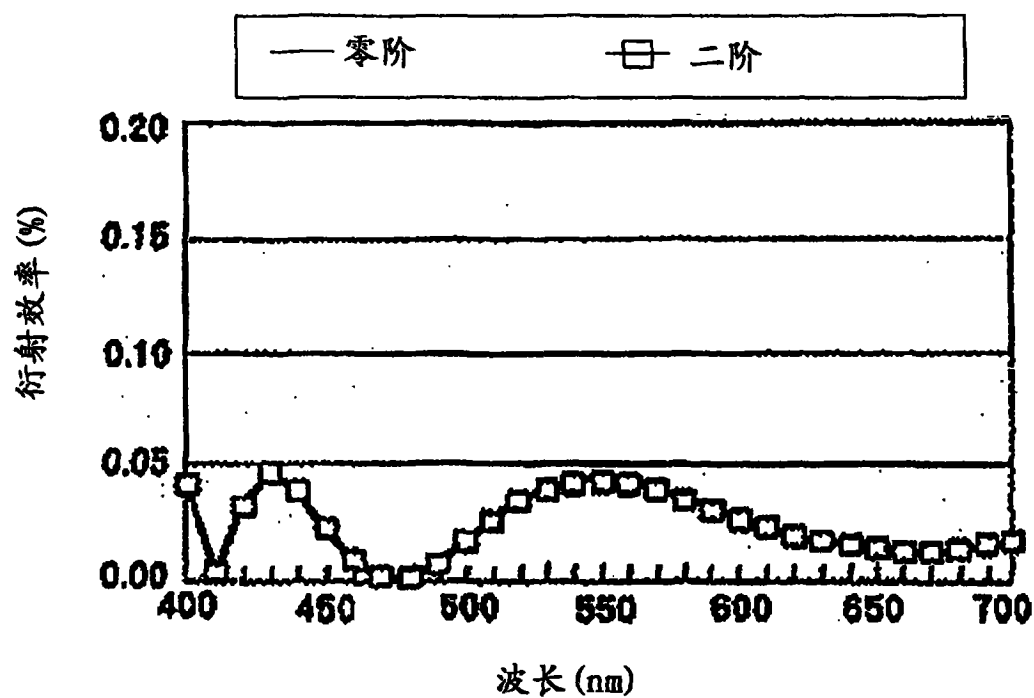


图 31B

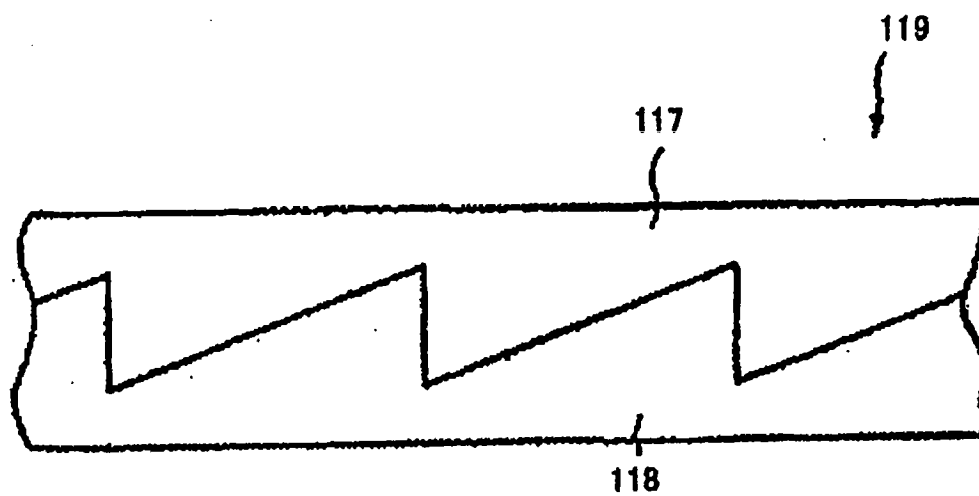


图 32

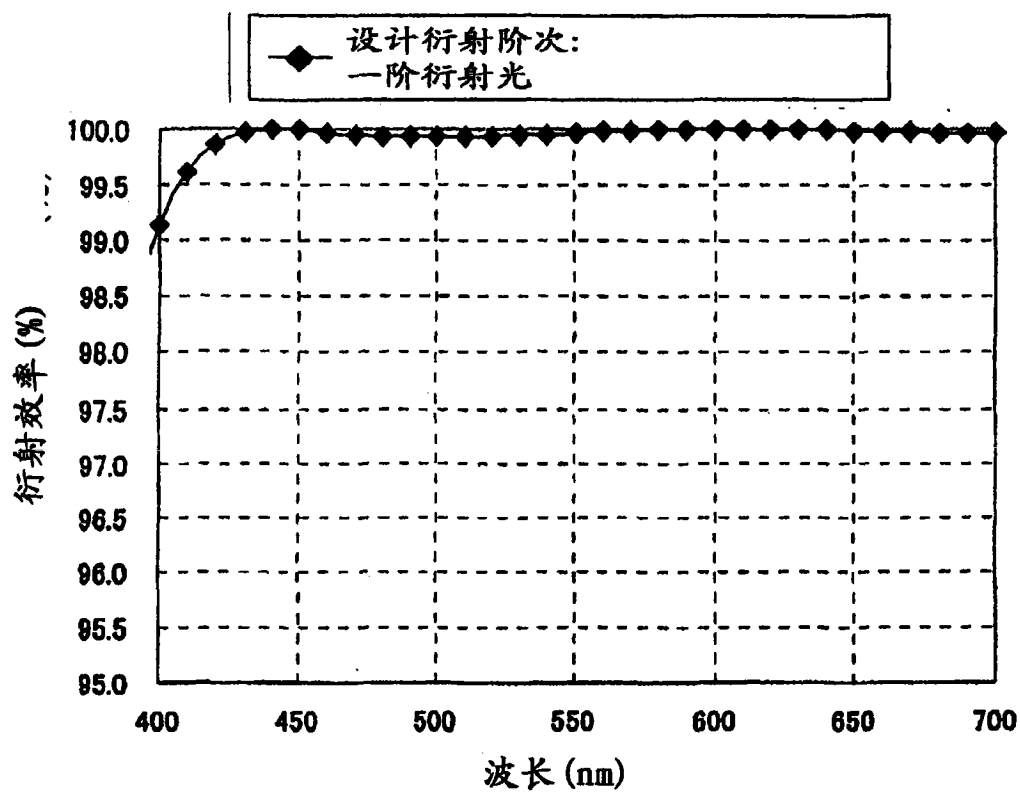


图 33A

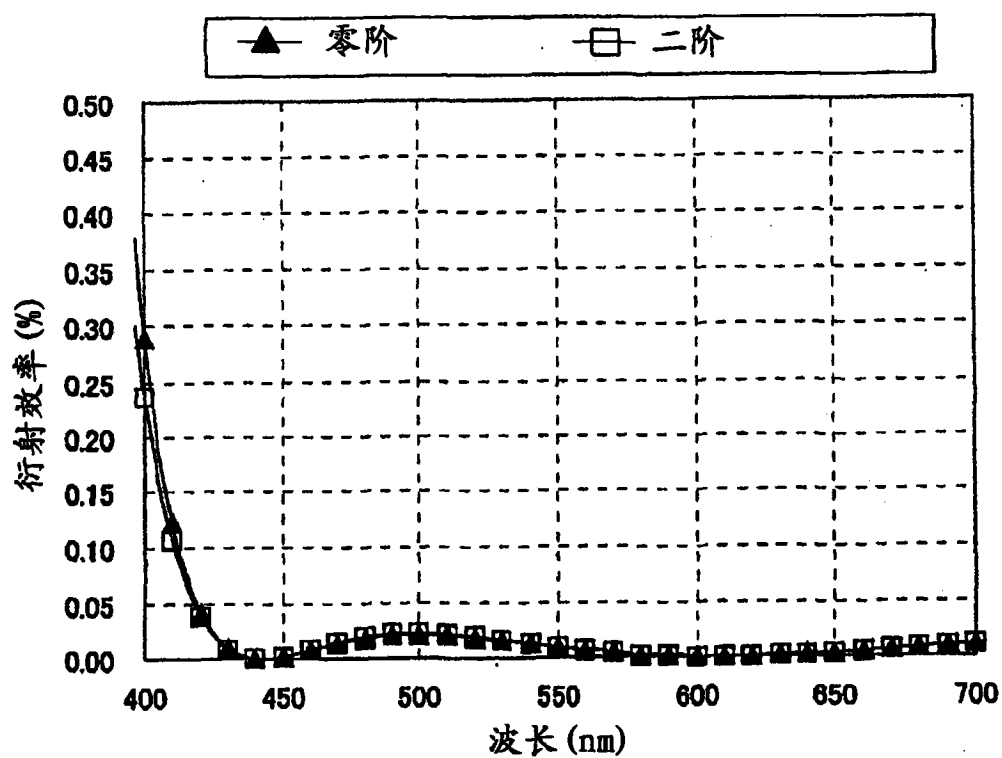


图 33B

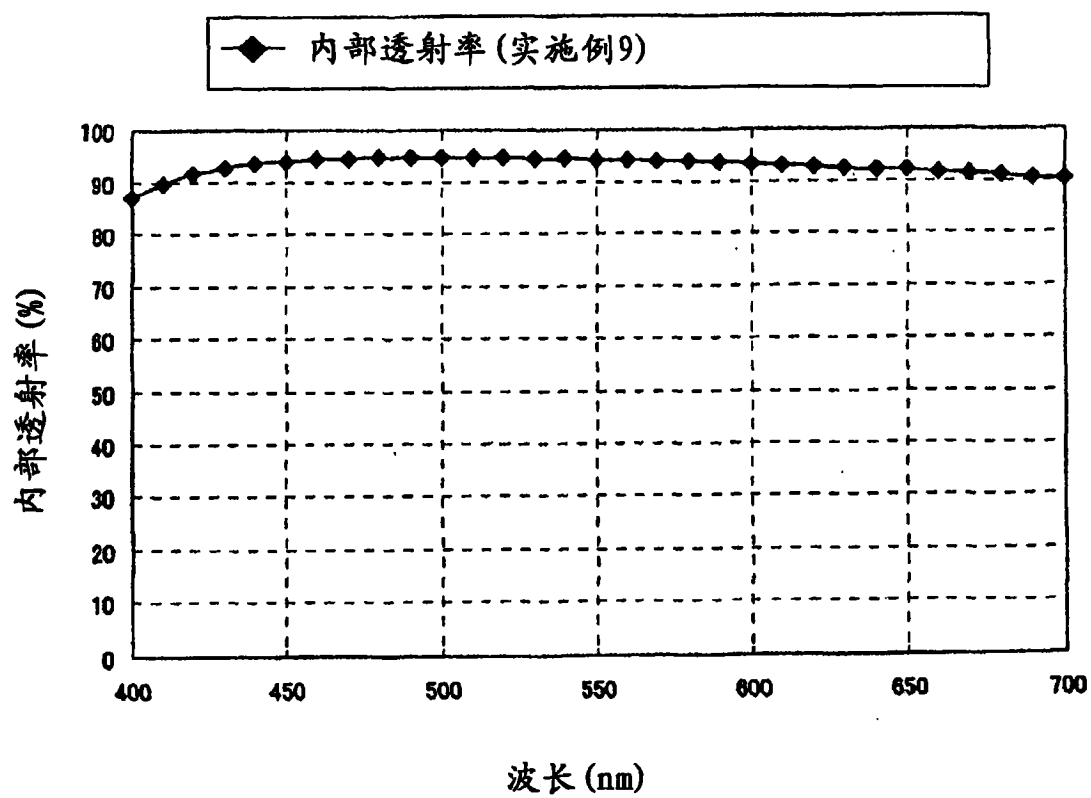


图 34