

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 1/04

C08L 39/04 C08K 7/00



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03155702.3

[43] 公开日 2004 年 5 月 12 日

[11] 公开号 CN 1495440A

[22] 申请日 2003.8.29 [21] 申请号 03155702.3

[30] 优先权

[32] 2002.8.30 [33] JP [31] 254712/2002

[32] 2003.8.17 [33] JP [31] 198460/2003

[71] 申请人 佳能株式会社

地址 日本东京

[72] 发明人 宇久田秀雄

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

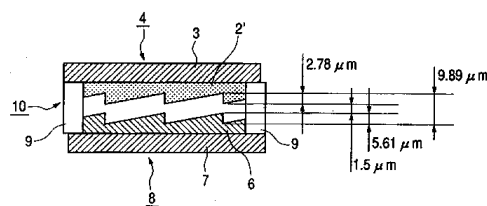
代理人 李德山

权利要求书 3 页 说明书 25 页 附图 34 页

[54] 发明名称 光学材料、光学元件、光学系统、
层叠型衍射光学元件

[57] 摘要

本发明能够通过用 d 线的折射率 n_d 与阿贝数 v_d 的关系为 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 和阿贝数 v_d 为 $v_d \leq 16$ 的光学材料, 提供在全部可见区域中各使用波长区域的衍射效率高, 在使用波长的全部区域中集中特定级数(设计级数)的光线的光学元件。



ISSN 1008-4274

1. 一种光学材料，其特征在于满足下列条件：

当令对 d 线的折射率为 n_d 、对 d 线的阿贝数为 v_d 时，具有 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ ； $v_d \leq 16$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的光学材料，其特征在于：由 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 Cr_2O_3 、 $BaTiO_3$ 中的至少一种无机物质构成的。

3. 根据权利要求 1 所述的光学材料，其特征在于：含有无机微粒的聚合物。

4. 根据权利要求 3 所述的光学材料，其特征在于：

上述无机微粒的粒子直径为 2~100nm。

5. 根据权利要求 4 所述的光学材料，其特征在于：

上述聚合物是聚乙烯吡唑，上述无机微粒是 TiO_2 微粒、 Nb_2O_5 微粒、 Cr_2O_3 微粒、 $BaTiO_3$ 微粒中的至少一种。

6. 一种光学元件，由权利要求 1 所述的光学材料构成，其特征在于：

该光学元件通过硬化反应成形为预定的形状。

7. 根据权利要求 6 所述的光学元件，其特征在于：

一方的表面是具有衍射形状的衍射面。

8. 一种层叠型衍射光学元件，其特征在于由下列元件构成：

第 1 衍射光学元件，其一方的表面是具有衍射形状的衍射面，且由当令对 d 线的折射率为 n_d 、对 d 线的阿贝数为 v_d 时， $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ ， $v_d \leq 16$ 的光学材料形成，

第 2 衍射光学元件，它的阿贝数比第 1 衍射光学元件大，且其一方的表面是具有衍射形状的衍射面，该衍射面配置成与第 1 衍射光学元件的衍射面相互对峙。

9. 根据权利要求 8 所述的层叠型衍射光学元件，其特征在于：形成上述第 1 层的光学材料是由 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 Cr_2O_3 、 $BaTiO_3$ 中的至少一种无机物质构成的。

10. 根据权利要求 8 所述的层叠型衍射光学元件, 其特征在于:
形成上述第 1 层的光学材料是含有无机微粒的聚合物。

11. 根据权利要求 10 所述的层叠型衍射光学元件, 其特征在于:

上述无机微粒的粒子直径为 2~100nm。

12. 根据权利要求 11 所述的层叠型衍射光学元件, 其特征在于:

上述聚合物是聚乙烯吡唑, 上述无机微粒是 TiO_2 微粒、 Nb_2O_5 微粒、 Cr_2O_3 微粒、 BaTiO_3 微粒中的一种。

13. 一种摄象光学系统, 其特征在于: 由权利要求 8 所述的层叠型衍射光学元件来拍摄预定的物体。

14. 一种投影光学系统, 其特征在于: 由权利要求 8 所述的层叠型衍射光学元件来将光投射到预定物体上。

15. 一种层叠型衍射光学元件, 至少由 2 层构成, 各层由不同的光学材料形成, 其特征在于由下列的层构成:

第 1 层, 其一方的表面是具有衍射形状的衍射面, 且由当令对 d 线的折射率为 n_d 、对 d 线的阿贝数为 v_d 时, $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$, $v_d \leq 16$ 的第 1 光学材料形成;

第 2 层, 其层叠在第 1 层的上层或下层而配置, 且其一方的表面是具有衍射形状的衍射面, 并由阿贝数比形成第 1 层的光学元件大的光学材料形成。

16. 根据权利要求 15 所述的层叠型衍射光学元件, 其特征在于: 形成上述第 1 层的光学材料是由 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 Cr_2O_3 、 BaTiO_3 中的至少一种无机物质构成的。

17. 根据权利要求 15 所述的层叠型衍射光学元件, 其特征在于: 形成上述第 1 层的光学材料是含有无机微粒的聚合物。

18. 根据权利要求 17 所述的层叠型衍射光学元件, 其特征在于:

上述无机微粒的粒子直径为 2~100nm。

19. 根据权利要求 18 所述的层叠型衍射光学元件，其特征在于：

上述聚合物是聚乙烯吡唑，上述无机微粒是 TiO_2 微粒、 Nb_2O_5 微粒、 Cr_2O_3 微粒、 BaTiO_3 微粒中的一种。

20. 一种摄象光学系统，其特征在于：由权利要求 15 所述的层叠型衍射光学元件来拍摄预定的物体。

21. 一种投影光学系统，其特征在于：由权利要求 15 所述的层叠型衍射光学元件来将光投射到预定物体上。

光学材料、光学元件、 光学系统、层叠型衍射光学元件

发明领域

本发明涉及用作透镜、滤光器、镜子的光学元件，特别是涉及由折射率色散高的光学材料构成的衍射光学元件和折射光学元件。

背景技术

至今在只由光的折射构成的折射光学系统中，通过组合色散特性不同的玻璃材料来减少色差。例如，在望远镜等的物镜中用色散小的玻璃制成正透镜，用色散大的玻璃制成负透镜，将它们组合起来使用而对在轴上出现的色差进行校正。为此，在透镜的构成、个数受到限制的情形和使用的玻璃受到限制的情形等中，要充分校正色差是非常困难的。

又，在 SPIE Vol.1354 International Lens Design Conference (1990) 中，揭示了在透镜面和/或光学系统的一部分中，通过用具有衍射光栅的衍射光学元件减少色差的方法。这是利用在作为光学元件的折射面和衍射面中，对某个基准波长的光线的发生色差的方向是相反这样的物理现象的方法。进一步，这种衍射光学元件，通过改变它的衍射光栅的周期构造中的周期，能够具有与非球面透镜同等的效果。因此，对于减少色差具有非常大的效果。

这里，我们说明光线的衍射作用。一般地说，入射到作为折射系统的光学元件的球面和非球面透镜的 1 条光线，由该球面和非球面折射后还成为 1 条光线。与此相反，入射到作为衍射系统的光学元件的衍射光学元件的 1 条光线，由于衍射作用被分成各级的多条光线。

因此，为了充分发挥用作光学系统的衍射光学元件的特长，必须将使用波长区域的光束集中在特定的级数（以后也称为设计级数）中。当将使用波长区域的光束集中在设计级数中时，在此以外的衍射级数的衍射光的强度变得非常低。因此，设计级数以外的光线不能成为在与设计级数的光线不同的地方成象的光斑光。

在特开平 09-127321 号（专利文献 1）、特开平 09-127322 号（专利文献 2）、特开平 11-044808 号（专利文献 3）、特开平 11-044810 号（专利文献 4）中揭示了为了将使用波长区域的光束集中在设计级数中，预先决定衍射光栅的光栅构造，充分提高衍射效率的构成。它们是通过将多个光学元件组合起来形成层叠型光学元件，最适合地选择各光学元件的折射率色散和在光学元件的境界面上形成的光栅的形状，在广波长范围内具有高衍射效率的构成。具体地说，通过在基片上层叠多种光学材料，在它的境界面的至少一个面上形成立体图案、阶段形状、开诺形状等，形成所要的衍射光学元件。

[专利文献 1] 特开平 09-127321 号

[专利文献 2] 特开平 09-127322 号

[专利文献 3] 特开平 11-044808 号

[专利文献 4] 特开平 11-044810 号

在这些现有的专利中，为了得到在广波长范围内具有高衍射效率的构成，将相对地折射率色散低的材料和折射率色散高的材料组合起来。具体地说，在特开平 09-127321 号的情形中，作为折射率色散低的材料用 BMS81 ($n_d=1.64$, $v_d=60.1$: 才ハラ制造)，作为折射率色散高的材料用塑料光学材料 PC ($n_d=1.58$, $v_d=30.5$: 帝人化成制造)。同样地，在特开平 09-127322 号的情形中，作为折射率色散低的材料用 LaL14 ($n_d=1.698$, $v_d=55.5$: 才ハラ制造)、丙烯酸树脂 ($n_d=1.49$, $v_d=57.7$)、Cytop ($n_d=1.34149$, $v_d=93.8$: 旭硝子制造)，作为折射率色散高的材料用塑料光学材料 PC ($n_d=1.58$, $v_d=30.5$: 帝人化成制造)。在特开平 11-044808 号和特开平 11-

044810 号的情形中，作为折射率色散低的材料用 C001 ($n_d=1.525$, $v_d=50.8$: 大日本インキ制造)、PMMA ($n_d=1.4917$, $v_d=57.4$)、BMS81 ($n_d=1.64$, $v_d=60.1$: オハラ制造)，作为折射率色散高的材料用塑料光学材料 PC ($n_d=1.58$, $v_d=30.5$: 帝人化成制造)、PS ($n_d=1.5918$, $v_d=31.1$) 等。

图 1 是表示作为光学材料正在市场中出售的材料的阿贝数和折射率的曲线图。在图 1 中，纵轴为折射率 (n_d)，横轴为阿贝数 (v_d)。上述的特开平 09-127321 号、特开平 09-127322 号、特开平 11-044808 号、特开平 11-044810 号中记载的光学材料都包含在图 1 中。如从图 1 可以看到的那样，一般光学材料的折射率满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 。又，图中所示的直线为 $n_d = -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 。

在多层衍射光学元件的构成中，折射率色散高的材料和折射率色散低的材料中的折射率色散的差越大，构成的光学元件的衍射效率越高，光学元件的画面视角越广。又因此，为了达到进一步提高衍射光学元件的功能的目的，需要使用折射率色散更高（阿贝数小）的材料，从而能够更正确地校正色差。在图 1 所示的有机高分子光学材料中阿贝数最小的材料是阿贝数为 17.3 的聚乙烯吡唑 (PVCZ)。

但是近年来，对光学元件提出了更严格的特性要求。因此，为了在衍射光学元件中，将使用波长区域的光束集中在设计级数中，提高衍射效率，不仅需要只使用折射率色散高的材料和折射率色散低的材料，将使用波长区域 (400nm~700nm) 中的衍射效率提高到 95%以上，而且需要表示出入射角 10° 的光损失率在 3.40% 以下的光学特性。阿贝数为 17.3 的聚乙烯吡唑 (PVCZ)，如后述的比较例 1 所示的那样，在使用波长区域 (400nm~700nm) 中的衍射效率在 95%以上，但是不能够满足在入射角 10° 的光损失率在 3.40% 以下的条件。即，不能达到将使用波长区域的光束集中在特定级数中，得到所要的高衍射效率的目的。

发明内容

本发明的目的是提供通过使用由折射率 n_d 为 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$, 阿贝数 v_d 为 $v_d \leq 16$ 的光学材料构成的光学元件, 提高在全部可见区域中的衍射效率, 并且在各入射角度中的一级衍射光强度的光损失率小, 将使用波长区域的光束集中在特定级数中的光学元件。

因此, 在本发明中, 为了达到上述目的, 提供 d 线的折射率 (n_d) 与阿贝数 (v_d) 的关系为 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$, 阿贝数 (v_d) 为 $v_d \leq 16$ 的光学材料和由该光学材料形成的光学元件。

又本发明提供由 d 线的折射率 (n_d) 与阿贝数 (v_d) 的关系为 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$, 阿贝数 (v_d) 为 $v_d \leq 16$ 的光学材料形成的, 具有一方的表面是具有衍射形状的衍射面的第 1 衍射光学元件、和由阿贝数比该第 1 衍射光学元件大, 一方的表面是具有衍射形状的衍射面的第 2 衍射光学元件, 该第 1 衍射光学元件和第 2 衍射光学元件的衍射面相互对置地进行配置的层叠型衍射光学元件。

又本发明提供在至少由 2 层构成, 各层由不同的光学材料形成的层叠型衍射光学元件中, 由 d 线的折射率 (n_d) 与阿贝数 (v_d) 的关系为 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$, 阿贝数 (v_d) 为 $v_d \leq 16$ 的第 1 光学材料形成的, 具有一方的表面是具有衍射形状的衍射面的第 1 层、和由阿贝数比该第 1 光学材料大, 一方的表面是具有衍射形状的衍射面的第 2 层的层叠型衍射光学元件。

又本发明提供由 TiO_2 、 Nb_2O_5 、 Cr_2O_3 、 $BaTiO_3$ 中的至少一种无机物质构成的光学材料和层叠型衍射光学元件。

又本发明提供含无机微粒的聚合物的光学材料和层叠型衍射光学元件。

又本发明提供上述聚合物是聚乙烯吡唑, 上述无机微粒是 TiO_2 微粒、 Nb_2O_5 微粒、 Cr_2O_3 微粒、 $BaTiO_3$ 微粒中的至少一种的光学材料和层叠型衍射光学元件。

又本发明提供上述无机微粒的粒子直径为 $2 \sim 100nm$ 的光学材料

和层叠型衍射光学元件。

又本发明提供上述光学元件的表面是形成衍射形状的衍射面的衍射光学元件。

又本发明提供包含上述层叠型衍射光学元件的光学系统。

又本发明提供的上述光学系统是投影光学系统或摄影光学系统的光学系统。

从下面的结合附图所作的说明，本发明的上述和其它的目的将变得更加清楚。

附图说明

图 1 是表示一般光学材料中的折射率和阿贝数的分布的曲线图。

图 2A、2B 和 2C 是表示实施例 1 中的光学材料的成形过程的截面图。

图 3A、3B 和 3C 是表示实施例 1 中的光学材料的成形过程的截面图。

图 4 是表示实施例 1 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 5 是表示实施例 1 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 6 是表示实施例 1 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 7A、7B 和 7C 是表示比较例 1 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 8 是表示比较例 1 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 9 是表示实施例 1 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 10 是表示比较例 1 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 11A、11B 和 11C 是表示实施例 2 中的光学元件的成形过程的

截面图。

图 12 是表示实施例 2 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 13 是表示实施例 2 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 14 是表示实施例 2 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 15A、15B 和 15C 是表示实施例 3 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 16 是表示实施例 3 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 17 是表示实施例 3 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 18 是表示实施例 3 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 19A、19B 和 19C 是表示实施例 4 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 20 是表示实施例 4 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 21 是表示实施例 4 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 22 是表示实施例 4 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 23A、23B、23C、23D、23E、23F、23G、23H 和 23I 是表示实施例 5 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 24 是表示实施例 5 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 25 是表示实施例 5 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 26 是表示实施例 5 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 27A、27B、27C、27D、27E、27F、27G、27H 和 27I 是表示实施例 6 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 28 是表示实施例 6 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 29 是表示实施例 6 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 30 是表示实施例 6 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 31A、31B、31C、31D、31E、31F、31G、31H 和 31I 是表示实施例 7 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 32 是表示实施例 7 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 33 是表示实施例 7 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 34 是表示实施例 7 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 35A、35B、35C、35D、35E、35F、35G、35H 和 35I 是表示实施例 8 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 36 是表示实施例 8 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 37 是表示实施例 8 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 38 是表示实施例 8 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 39A、39B、39C、39D、39E 是表示比较例 2 中的光学元件的成形过程的截面图。

图 40 是表示比较例 2 中的多层衍射光学元件的构造的截面图。

图 41 是表示比较例 2 中的多层衍射光学元件的一级衍射光强度的曲线图。

图 42 是表示比较例 2 中的多层衍射光学元件的光损失率的曲线图。

图 43 是表示 3 层的多层衍射光学元件的截面图。

图 44 是第 2 实施形态中的投影光学系统的模式图。

图 45 是第 3 实施形态中的摄影光学系统的模式图。

具体实施方式

(第1实施形态)

本发明者研讨了通过在聚合物等的光学材料中包含在通常光学材料中不使用的阿贝数小的无机氧化物的微粒，从而能否制成阿贝数小的光学材料。作为阿贝数小的无机氧化物，可以考虑 TiO_2 ($n_d=2.2652$, $v_d=11.8$)、 Nb_2O_5 ($n_d=2.367$, $v_d=14.0$)、 ITO ($n_d=1.8581$, $v_d=5.53$)、 Cr_2O_3 ($n_d=2.2178$, $v_d=13.4$)、 BaTiO_3 ($n_d=2.4362$, $v_d=11.3$) 等。

可是这些无机氧化物是通常构成防止反射膜的材料，多数情形是它们的厚度在 50~500nm 范围内使用。但是，通过真空成膜调整形状可能用在 50nm 以下厚度的衍射光学元件中。又，通过与作为基质聚合物在市场中出售的 UV 硬化树脂的组合，能够非常容易地制造成光学材料。又也可以容易地调整形状，容易适用于折射光学元件和衍射光学元件。

又，当用无机氧化物时，希望它的粒子直径为 2~100nm。粒子直径比 100nm 大时混合物的光散射变大，不能用作光学元件。又，粒子直径在 2nm 以下时表面的量子效果增大，不能表示出无机氧化物的特性。

又，作为包含无机氧化物的聚合物，能够均匀地混合并色散微粒的聚乙烯吡唑是最适合的。包含无机氧化物的聚乙烯吡唑物是通过在 N-乙烯基吡唑中添加无机氧化物微粒，并使它硬化得到的。但是，包含无机氧化物的聚合物不限于聚乙烯吡唑，作为光学材料最好满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 和 $v_d \leq 16$ 的条件。又，通过使阿贝数 v_d 为 $v_d \leq 16$ ，能够提高光学元件的数值孔径，也可以使光学元件的厚度进一步变薄。因此，能够更容易地使用上述无机氧化物作为光学材料。

(实施例1)

我们参照图 2A~2C、图 3A~3C、图 4、图 5 和图 6，说明实施例 1 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先，在 100g 以 10w% 色散平均粒子直径 10nm 的 TiO_2 微粒的三氯甲烷溶液中添加 12g 聚乙烯吡唑（东京化成工业公司制造）和 0.15g 光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮后，通过减压除去三氯甲烷制成光学原料 2。

其次，如图 2A 所示，将光学原料 2 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 1。其次，如图 2B 所示，将玻璃（BK7）平板 3 放在光学原料 2 上，在使每个模具保持在 70°C 的状态中用 UV 曝光机（EX250：HOYA-SCHOTT 公司制造）以 $20000\text{mJ}/\text{cm}^2$ （ $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，200 秒）进行照射。此后，如图 2C 所示，使硬化了的光学元件 2' 脱离金属模具 1 制成衍射光学元件 4。该光学原料 2 通过 UV 曝光硬化进行聚合，形成聚乙烯吡唑和 TiO_2 微粒的光学材料。又，形成该光学元件 2' 的光学材料的光学特性为（ $n_d=1.824$ ， $v_d=15.1$ ）。该光学特性同时满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 、 $v_d \leq 16$ 的条件。

另一方面，为了形成另一个光学元件，准备光学特性为（ $n_d=1.513$ ， $v_d=51.0$ ）的光硬化树脂 6 作为光学材料。如图 3A 所示，使光硬化树脂 6 流入加工成衍射光栅形状的金属模具 5。将玻璃（BK7）平板 7 放在它的上面，如图 3B 所示进行加压。此后，用图中未画出的 UV 曝光机（EX250：HOYA-SCHOTT 公司制造）以 $3000\text{mJ}/\text{cm}^2$ （ $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，30 秒）进行照射后，如图 3C 所示，使硬化了的光硬化树脂 6 脱离金属模具 5 制成衍射光学元件 8。

其次，在衍射光学元件 4 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后，如图 4 所示，使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 10。9 是决定衍射光学元件 4 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 4 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 4 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $9.89\mu\text{m}$ ，峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 4 的峰的高度为 $2.78\mu\text{m}$ ，衍射光学元件 8 的峰的高度为 $5.61\mu\text{m}$ 。

图 5 是表示在制造的层叠型衍射光学元件 10 中，入射角度 0°

的一级衍射光的各波长（400 nm ~700nm）的强度的曲线图。横轴表示波长，纵轴表示衍射效率。在图 5 中，层叠型衍射光学元件 10 的衍射效率在使用波长的全部区域的 400 nm ~700nm 的范围内达到 95% 以上，可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又，图 6 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 10 的入射角度时，在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角，纵轴表示光的损失率。在图 6 中，入射角越大损失率越高，但是在入射角 10° 的光损失率为 3.27%，在 3.40% 以下。因此该值表示了非常良好的特性，我们能够说层叠型衍射光学元件 10 使光线充分集中在特定级数上。

（比较例 1）

下面，我们参照图 7A~7C、图 3A~3C、图 8、图 9、图 10，说明比较例 1 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。作为比较例 1，用添加 1% 的光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮的 N-乙烯基吡唑（东京化成工业公司制造）制造光学原料 202。

其次，如图 7A 所示，将光学原料 202 供给金属模具 201。其次，如图 7B 所示，用玻璃（BK7）平板 203 压在光学原料 202 上，在使每个模具保持在 70°C 的状态中用图中未画出的 UV 曝光机（EX250：HOYA-SCHOTT 公司制造）以 $20000\text{mJ}/\text{cm}^2$ （ $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，200 秒）进行照射。此后，如图 7C 所示，使光硬化树脂 202 脱离金属模具 201 制成衍射光学元件 204。通过 UV 曝光硬化该光硬化树脂 202 进行聚合形成由聚乙烯吡唑构成的光学材料。该光学材料的光学特性为（ $n_d=1.702$ ， $v_d=17.4$ ）。该光学特性满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 的条件，但是不满足 $v_d \leq 16$ 的条件。

另一方面，作为用于形成另一个光学元件的光学材料，与实施例 1 同样地准备光学特性为（ $n_d=1.513$ ， $v_d=51.0$ ）的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次，在衍射光学元件 204 和衍射光学元件 8 上形成防止反射

膜后,如图8所示,使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件210。209是决定衍射光学元件204和衍射光学元件8的间隔的隔片。衍射光学元件204和衍射光学元件8的各光栅间距是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件204和衍射光学元件8的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $11.87\mu\text{m}$,峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件204的峰的高度为 $3.92\mu\text{m}$,衍射光学元件8的峰的高度为 $6.45\mu\text{m}$ 。

图9是表示在制造的层叠型衍射光学元件210中,入射角度 0° 的一级衍射光的各波长($400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$)的强度的曲线图。横轴表示波长,纵轴表示衍射效率。在图9中,层叠型衍射光学元件210的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ 的范围内达到95%以上,可以说表示了非常好的强度的波长分布。

但是,图10是表示当改变到层叠型衍射光学元件210的入射角度时,在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角,纵轴表示光的损失率。又为了进行比较在图10中也一起显示了实施例1的图6的值。在图10中,入射角越大损失率越高,在入射角 10° 的光损失率为3.52%。这个值在要求的光损失率的值3.40%以上。因此我们不能说层叠型衍射光学元件210作为层叠型衍射光学元件使光线充分集中在特定级数上。

(实施例2)

下面,我们参照图11A~11C、图3A~3C、图12、图13、图14,说明实施例2中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先,在100g以10w%色散平均粒子直径10nm的 Nb_2O_3 微粒的三氯甲烷溶液中添加12gN-聚乙烯吡啶(东京化成工业公司制造)和0.15g光开始剂1-羟基-环己-苯-酮后,通过减压除去三氯甲烷制成光学原料12。

其次,如图11A所示,将光学原料12供给加工成衍射光栅形状的金属模具11。其次,如图11B所示,将玻璃(BK7)平板13放在光学原料12上,在使每个模具保持在 70°C 的状态中用UV曝光机

(EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造) 以 $20000\text{mJ}/\text{cm}^2$ ($100\text{mW}/\text{cm}^2$, 200 秒) 进行照射。此后, 如图 11C 所示, 使硬化了的光学元件 12' 脱离金属模具 11 制成衍射光学元件 14。该光学原料 12 通过 UV 曝光硬化进行聚合, 形成聚乙烯吡唑和 Nb_2O_3 微粒的光学材料。又, 形成该光学元件 12' 的光学材料的光学特性为 ($n_d=1.850$, $v_d=16.0$)。该光学特性同时满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 、 $v_d \leq 16$ 的条件。

另一方面, 作为用于形成另一个光学元件的光学材料, 与实施例 1 同样地准备光学特性为 ($n_d=1.513$, $v_d=51.0$) 的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次, 在衍射光学元件 14 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后, 如图 12 所示, 使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 20。19 是决定衍射光学元件 14 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 14 和衍射光学元件 8 的各光栅间距是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 4 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $10.41\mu\text{m}$, 峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 14 的峰的高度为 $2.92\mu\text{m}$, 衍射光学元件 8 的峰的高度为 $5.99\mu\text{m}$ 。

图 13 是表示在制造的层叠型衍射光学元件 20 中, 入射角度 0° 的一级衍射光的各波长 ($400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$) 的强度的曲线图。横轴表示波长, 纵轴表示衍射效率。在图 13 中, 层叠型衍射光学元件 20 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$ 的范围内达到 95% 以上, 可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又, 图 14 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 20 的入射角度时, 在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角, 纵轴表示光的损失率。在图 14 中, 入射角越大损失率越高, 但是在入射角 10° 的光损失率为 3.40%。因此这个值表示非常良好的特性, 我们能够说层叠型衍射光学元件 20 使光线充分集中在特定级数上。

(实施例 3)

下面,我们参照图 15A~15C、图 3A~3C、图 16、图 17、图 18,说明实施例 3 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先,在 130g 以 10w%色散平均粒子直径 10nm 的 Cr_2O_3 微粒的三氯甲烷溶液中添加 12gN-聚乙烯吡唑(东京化成工业公司制造)和 0.15g 光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮后,通过减压除去三氯甲烷制成光学原料 22。

其次,如图 15A 所示,将光学原料 22 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 21。其次,如图 15B 所示,将玻璃(BK7)平板 23 放在光学原料 22 上,在使每个模具保持在 70°C 的状态中用 UV 曝光机(EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造)以 $20000\text{mJ}/\text{cm}^2$ ($100\text{mW}/\text{cm}^2$, 200 秒)进行照射。此后,如图 15C 所示,使硬化了的光学元件 22'脱离金属模具 21 制成衍射光学元件 24。该光学原料 22 通过 UV 曝光硬化进行聚合,形成聚乙烯吡唑和 Cr_2O_3 微粒的光学材料。又,形成该光学元件 22'的光学材料的光学特性为($n_d=1.824$, $v_d=15.9$)。该光学特性同时满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 、 $v_d \leq 16$ 的条件。

另一方面,作为用于形成另一个光学元件的光学材料,与实施例 1 同样地准备光学特性为($n_d=1.513$, $v_d=51.0$)的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次,在衍射光学元件 24 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后,如图 16 所示,使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 30。29 是决定衍射光学元件 24 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 24 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 24 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $10.50\mu\text{m}$,峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 24 的峰的高度为 $2.94\mu\text{m}$,衍射光学元件 8 的峰的高度为 $6.06\mu\text{m}$ 。

图 17 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 30 中,入射角度 0° 的一级衍射光的各波长(400 nm ~700nm)的强度的曲线图。横轴表示波长,纵轴表示衍射效率。在图 17 中,层叠型衍射光学元件 30 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 400 nm ~700nm 的范围内

达到 95%以上,可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又,图 18 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 30 的入射角度时,在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角,纵轴表示光的损失率。在图 18 中,入射角越大损失率越高,但是在入射角 10° 的光损失率为 3.40%。因此这个值表示非常良好的特性,我们能够说层叠型衍射光学元件 30 使光线充分集中在特定级数上。

(实施例 4)

下面,我们参照图 19A~19C、图 3A~3C、图 20、图 21、图 22,说明实施例 4 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先,在 100g 以 10w%色散平均粒子直径 10nm 的 BaTiO_3 微粒的三氯甲烷溶液中添加 12gN-聚乙烯吡唑(东京化成工业公司制造)和 0.15g 光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮后,通过减压除去三氯甲烷制成光学原料 32。

其次,如图 19A 所示,将光学原料 32 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 31。其次,如图 19B 所示,将玻璃(BK7)平板 33 放在光学原料 32 上,在使每个模具保持在 70°C 的状态中用 UV 曝光机(EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造)以 $20000\text{mJ}/\text{cm}^2$ ($100\text{mW}/\text{cm}^2$, 200 秒)进行照射。此后,如图 19C 所示,使硬化了的光学元件 32'脱离金属模具 31 制成衍射光学元件 34。该光学原料 32 通过 UV 曝光硬化进行聚合,形成聚乙烯吡唑和 BaTiO_3 微粒的光学材料。又,形成该光学元件 32'的光学材料的光学特性为($n_d=1.867$, $v_d=14.7$)。该光学特性同时满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 、 $v_d \leq 16$ 的条件。

另一方面,作为用于形成另一个光学元件的光学材料,与实施例 1 同样地准备光学特性为($n_d=1.513$, $v_d=51.0$)的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次,在衍射光学元件 34 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后,如图 20 所示,使衍射光栅相互对置地进行组合制成层

叠型衍射光学元件 40。39 是决定衍射光学元件 34 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 34 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 34 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $9.60\mu\text{m}$ ，峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 34 的峰的高度为 $2.64\mu\text{m}$ ，衍射光学元件 8 的峰的高度为 $5.46\mu\text{m}$ 。

图 21 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 40 中，入射角度 0° 的一级衍射光的各波长（ $400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$ ）的强度的曲线图。横轴表示波长，纵轴表示衍射效率。在图 21 中，层叠型衍射光学元件 40 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$ 的范围内达到 95%以上，可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又，图 22 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 40 的入射角度时，在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角，纵轴表示光的损失率。在图 22 中，入射角越大损失率越高，但是在入射角 10° 的光损失率为 3.24%，在 3.40%以下。因此这个值表示非常良好的特性，我们能够说层叠型衍射光学元件 40 使光线充分集中在特定级数上。

（实施例 5）

下面，我们参照图 23A~23C、图 3A~3C、图 24、图 25、图 26，说明实施例 5 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先，加入添加了 1%光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮的甲基丙烯酸甲基制成光学原料 42。其次，如图 23A 所示，将光学原料 42 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 41。其次，如图 23B 所示，将玻璃（BK7）平板 43 放在光学原料 42 上，用 UV 曝光机（EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造）以 $3000\text{mJ}/\text{cm}^2$ （ $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，30 秒）进行照射。此后，如图 23C 所示，使硬化了的光学元件 42'脱离金属模具 41 制成图 23D 所示的衍射光学元件 44。此后，如图 23E 所示，在真空度 $2 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 中在光学元件 42'上作为光学材料形成 $4\mu\text{m}$ 的 TiO_2 膜 45。其次如图 23F 所示，通过研磨 TiO_2 膜 45 的表面，形成 1 条牛顿线以下的平

面。此后，如图 23G 所示，将涂敷了硅烷粘合剂的玻璃平板 46 粘合在 TiO_2 膜 45 上。此后，如图 23H 所示，通过加入甲基·异丁基甲酮溶媒使硬化的 PMMA 溶解，制成如图 23I 所示的由 TiO_2 构成的衍射光栅形状 47。作为这时的光学材料的 TiO_2 的光学特性为 ($n_d=2.226$, $v_d=12.6$)。

另一方面，作为用于形成另一个光学元件的光学材料，与实施例 1 同样地准备光学特性为 ($n_d=1.513$, $v_d=51.0$) 的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次，在衍射光学元件 47 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后，如图 24 所示，使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 50。49 是决定衍射光学元件 47 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 47 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 47 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $7.80\mu\text{m}$ ，峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 47 的峰的高度为 $1.48\mu\text{m}$ ，衍射光学元件 8 的峰的高度为 $4.82\mu\text{m}$ 。

图 25 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 50 中，入射角度 0° 的一级衍射光的各波长 ($400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$) 的强度的曲线图。横轴表示波长，纵轴表示衍射效率。在图 25 中，层叠型衍射光学元件 50 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ 的范围内达到 95% 以上，可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又，图 26 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 50 的入射角度时，在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角，纵轴表示光的损失率。在图 26 中，入射角越大损失率越高，但是在入射角 10° 的光损失率为 3.06%，在 3.40% 以下。因此这个值表示非常良好的特性，我们能够说层叠型衍射光学元件 50 使光线充分集中在特定级数上。

(实施例 6)

下面，我们参照图 27A~27C、图 3A~3C、图 28、图 29、图 30，

说明实施例 6 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先,加入添加了 1%光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮的甲基丙烯酸甲基制成光学原料 52。其次,如图 27A 所示,将光学原料 52 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 51。其次,如图 27B 所示,将玻璃(BK7)平板 53 放在光学原料 52 上,用 UV 曝光机(EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造)以 $3000\text{mJ}/\text{cm}^2$ ($100\text{mW}/\text{cm}^2$, 30 秒)进行照射。此后,如图 27C 所示,使硬化了的光学元件 52'脱离金属模具 51 制成图 27D 所示的衍射光学元件 54。此后,如图 27E 所示,在真空度 $2\times 10^{-4}\text{Pa}$ 中在光学元件 52'上作为光学材料形成 $4\mu\text{m}$ 的 TiO_2 膜 55。其次如图 27F 所示,通过研磨 Nb_2O_3 膜 55 的表面,形成 1 条牛顿线以下的平面。此后,如图 27G 所示,将涂敷了硅烷粘合剂的玻璃平板 56 粘合在 Nb_2O_3 膜 55 上。此后,如图 27H 所示,通过加入甲基·异丁基甲酮溶媒使硬化的 PMMA 溶解,制成如图 27I 所示的由 Nb_2O_3 构成的衍射光栅形状 57。作为这时的光学材料的 Nb_2O_3 的光学特性为 ($n_d=2.367$, $v_d=14.6$)。

另一方面,作为用于形成另一个光学元件的光学材料,与实施例 1 同样地准备光学特性为 ($n_d=1.513$, $v_d=51.0$) 的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次,在衍射光学元件 57 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后,如图 28 所示,使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 60。59 是决定衍射光学元件 57 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 57 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 57 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $8.81\mu\text{m}$, 峰间间隔为 $1.5\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 57 的峰的高度为 $1.68\mu\text{m}$, 衍射光学元件 8 的峰的高度为 $5.63\mu\text{m}$ 。

图 29 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 60 中,入射角度 0° 的一级衍射光的各波长 ($400\text{nm} \sim 700\text{nm}$) 的强度的曲线图。横轴表示波长,纵轴表示衍射效率。在图 29 中,层叠型衍射光学元件 60 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{nm} \sim 700\text{nm}$ 的范围内

达到 95%以上,可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又,图 30 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 60 的入射角度时,在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角,纵轴表示光的损失率。在图 30 中,入射角越大损失率越高,但是在入射角 10° 的光损失率为 3.15%,在 3.40%以下。因此这个值表示非常良好的特性,我们能够说层叠型衍射光学元件 60 使光线充分集中在特定级数上。

(实施例 7)

下面,我们参照图 31A~31C、图 3A~3C、图 32、图 33、图 34,说明实施例 7 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先,加入添加了 1%光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮的甲基丙烯酸甲基制成光学原料 62。其次,如图 31A 所示,将光学原料 62 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 61。其次,如图 31B 所示,将玻璃(BK7)平板 63 放在光学原料 62 上,用 UV 曝光机(EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造)以 $3000\text{mJ}/\text{cm}^2$ ($100\text{mW}/\text{cm}^2$, 30 秒)进行照射。此后,如图 31C 所示,使硬化了的光学元件 62'脱离金属模具 61 制成图 31D 所示的衍射光学元件 64。此后,如图 31E 所示,在真空度 $2 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 中在光学元件 62'上作为光学材料形成 $4\mu\text{m}$ 的 Cr_2O_3 膜 65。其次如图 31F 所示,通过研磨 Cr_2O_3 膜 65 的表面,形成 1 条牛顿线以下的平面。此后,如图 31G 所示,将涂敷了硅烷粘合剂的玻璃平板 66 粘合在 Cr_2O_3 膜 65 上。此后,如图 31H 所示,通过加入甲基·异丁基甲酮溶剂使硬化的 PMMA 溶解,制成如图 31I 所示的由 Cr_2O_3 构成的衍射光栅形状 67。作为这时的光学材料的 Cr_2O_3 的光学特性为 ($n_d=2.218$, $v_d=14.2$)。

另一方面,作为用于形成另一个光学元件的光学材料,与实施例 1 同样地准备光学特性为 ($n_d=1.513$, $v_d=51.0$) 的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次,在衍射光学元件 67 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防

止反射膜后,如图 32 所示,使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 70。69 是决定衍射光学元件 67 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 67 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 67 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $8.80\mu\text{m}$,峰间间隔为 $1.5\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 67 的峰的高度为 $1.70\mu\text{m}$,衍射光学元件 8 的峰的高度为 $5.60\mu\text{m}$ 。

图 33 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 70 中,入射角度 0° 的一级衍射光的各波长 ($400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$) 的强度的曲线图。横轴表示波长,纵轴表示衍射效率。在图 33 中,层叠型衍射光学元件 70 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$ 的范围内达到 95%以上,可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又,图 34 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 70 的入射角度时,在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角,纵轴表示光的损失率。在图 34 中,入射角越大损失率越高,但是在入射角 10° 的光损失率为 3.15%,在 3.40 以下%。因此这个值表示非常良好的特性,我们能够说层叠型衍射光学元件 70 使光线充分集中在特定级数上。

(实施例 8)

下面,我们参照图 35A~35C、图 3A~3C、图 36、图 37、图 38,说明实施例 8 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。首先,加入添加了 1%光开始剂 1-羟基-环己-苯-酮的甲基丙烯酸甲基制成光学原料 72。其次,如图 35A 所示,将光学原料 72 供给加工成衍射光栅形状的金属模具 71。其次,如图 35B 所示,将玻璃 (BK7) 平板 73 放在光学原料 72 上,用 UV 曝光机 (EX250: HOYA-SCHOTT 公司制造) 以 $3000\text{mJ}/\text{cm}^2$ ($100\text{mW}/\text{cm}^2$, 30 秒) 进行照射。此后,如图 35C 所示,使硬化了的光学元件 72'脱离金属模具 71 制成图 35D 所示的衍射光学元件 74。此后,如图 35E 所示,在真空度 $2 \times 10^{-4}\text{Pa}$ 中在光学元件 72'上作为光学材料形成 $4\mu\text{m}$ 的 BaTiO_3 膜 75。其次如图 35F

所示,通过研磨 BaTiO_3 膜 75 的表面,形成 1 条牛顿线以下的平面。此后,如图 35G 所示,将涂敷了硅烷粘合剂的玻璃平板 76 粘合在 BaTiO_3 膜 75 上。此后,如图 35H 所示,通过加入甲基·异丁基甲酮溶媒使硬化的 PMMA 溶解,制成如图 35I 所示的由 BaTiO_3 膜 75 构成的衍射光栅形状 77。作为这时的光学材料的 BaTiO_3 的光学特性为 ($n_d=2.436$, $v_d=12.4$)。

另一方面,作为用于形成另一个光学元件的光学材料,与实施例 1 同样地准备光学特性为 ($n_d=1.513$, $v_d=51.0$) 的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次,在衍射光学元件 77 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后,如图 36 所示,使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 80。79 是决定衍射光学元件 77 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 77 和衍射光学元件 8 的各光栅间距都是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 77 和衍射光学元件 8 的相互的衍射光栅的谷间间隔为 $6.33\mu\text{m}$,峰间间隔为 $1.5\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 77 的峰的高度为 $0.97\mu\text{m}$,衍射光学元件 8 的峰的高度为 $3.86\mu\text{m}$ 。

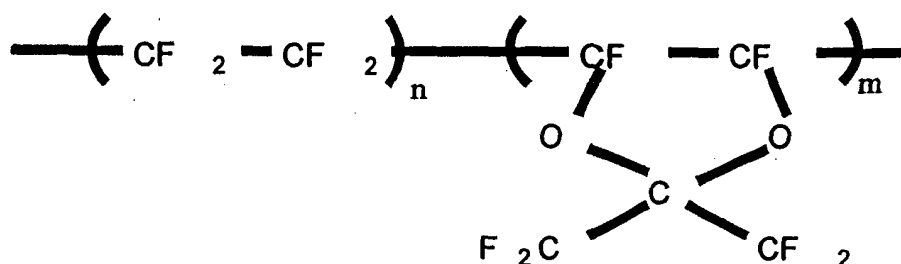
图 37 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 80 中,入射角度 0° 的一级衍射光的各波长 ($400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$) 的强度的曲线图。横轴表示波长,纵轴表示衍射效率。在图 37 中,层叠型衍射光学元件 80 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ 的范围内达到 95%以上,可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

又,图 38 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 80 的入射角度时,在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角,纵轴表示光的损失率。在图 38 中,入射角越大损失率越高,但是在入射角 10° 的光损失率为 3.00%,在 3.40 以下%。因此这个值表示非常良好的特性,我们能够说层叠型衍射光学元件 80 使光线充分集中在特定级数上。

(比较例 2)

下面, 我们参照图 39A~39C、图 3A~3C、图 40、图 41、图 42, 说明比较例 2 中的层叠型衍射光学元件的构成及其制造方法。作为比较例 2, 在 100g 以 10w% 色散平均粒子直径 10nm 的 TiO_2 微粒的氟系溶剂中, 添加 13.8g 由下列一般式 (1) 表示的化合物构造的非晶氟树脂制成光学原料 212。

一般式 (1)



其次, 如图 39A 所示, 使光学原料 212 流入加工成衍射光栅形状的金属模具 211。其次, 如图 39B 所示, 通过在 70°C 加热光学原料 212 的溶剂成分使它的约 70% 蒸发。此后, 如图 39C 所示, 将玻璃 (BK7) 平板 213 放在光学原料 212 上, 如图 39D 所示, 配置在真空室 215 中, 将每个金属模具 211 保持在 70°C 的状态在 2hPa 的真空状态保持 48 小时。此后, 如图 39E 所示, 使硬化了的光学元件 212' 脱离金属模具 211 制成衍射光学元件 214。又, 形成该光学元件 212' 的光学材料的光学特性为 ($n_d=1.589$, $v_d=15.0$)。该光学特性满足 $v_d \leq 16$, 但是不满足 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 。

另一方面, 作为用于形成另一个光学元件的光学材料, 与实施例 1 同样地准备光学特性为 ($n_d=1.513$, $v_d=51.0$) 的光硬化树脂 6。用与图 3A~3C 所示的实施例 1 同样的方法制造衍射光学元件 8。

其次, 在衍射光学元件 214 和衍射光学元件 8 的衍射面上形成防止反射膜后, 如图 40 所示, 使衍射光栅相互对置地进行组合制成层叠型衍射光学元件 220。219 是决定衍射光学元件 214 和衍射光学元件 8 的间隔的隔片。衍射光学元件 214 和衍射光学元件 8 的各光栅间距是 $80.00\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 214 和衍射光学元件 8 的相互的衍

射光栅的谷间间隔为 $11.49\mu\text{m}$ ，峰间间隔为 $1.50\mu\text{m}$ 。衍射光学元件 214 的峰的高度为 $4.11\mu\text{m}$ ，衍射光学元件 8 的峰的高度为 $5.87\mu\text{m}$ 。

图 41 是表示在制成的层叠型衍射光学元件 220 中，入射角度 0° 的一级衍射光的各波长（ $400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$ ）的强度的曲线图。横轴表示波长，纵轴表示衍射效率。在图 41 中，层叠型衍射光学元件 220 的衍射效率在使用波长的全部区域的波长 $400\text{ nm} \sim 700\text{nm}$ 的范围内达到 95%以上，可以说表示了非常良好的强度的波长分布。

但是，图 42 是表示当改变到层叠型衍射光学元件 220 的入射角度时，在各入射角度上的次级衍射光的强度降低比例的曲线图。横轴表示入射角，纵轴表示光的损失率。又为了进行比较也一起显示出实施例 1 的图 6 的值。在图 42 中，入射角越大损失率越高，但是在入射角 10° 的光损失率为 3.48%。这个值在要求的光损失率值 3.40%以上。因此我们不能说层叠型衍射光学元件 220 作为层叠型衍射光学元件使光线充分集中在特定级数上。

其次，表 1 表示上述的实施例 1~8 和比较例 1~2 的入射角 10° 的光损失率。在表 1 中条件 1 是 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ ，条件 2 是 $v_d \leq 16$ 。因为对层叠型衍射光学元件提出的要求是在入射角 10° 的光损失率在 3.40%以下，所以对是否优良的判定由是否在 3.40%以下决定。

表 1

	条件 1	条件 2	入射角 10° 的光损失率	是否优良
实施例 1	0	0	3.27 %	0
实施例 2	0	0	3.40 %	0
实施例 3	0	0	3.40 %	0
实施例 4	0	0	3.24 %	0
实施例 5	0	0	3.06 %	0
实施例 6	0	0	3.15 %	0
实施例 7	0	0	3.15 %	0
实施例 8	0	0	3.00 %	0
比较例 1	0	×	3.52 %	×
比较例 2	×	0	3.48 %	×

如从表 1 可以看到的那样, 在实施例 1~8 的光学材料中, 与比较例 1~2 的光学元件比较, 入射角 10° 的光损失率小, 使光线充分集中在特定级数上。即, 当不满足作为条件 1 的 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 和作为条件 2 的是 $v_d \leq 16$ 中的至少一个时, 不能够达到所要的光损失率, 不能使光线充分集中在特定级数上。

又, 在本实施形态中我们述说了使它们的衍射面对置地配置 2 层型衍射光学元件的 2 层型衍射光学元件, 但是本发明不限于此, 也能够使用 3 个以上的衍射光学元件或层叠层地配置的层叠型衍射光学元件。图 43 是表示 3 层的层叠型衍射光学元件 90 的一个例子的截面图。在图 43 中, 7 是玻璃基片, 81 是第 1 层, 82 是第 2 层, 83 是第 3 层。第 1 层 81 是由满足上述的实施例 1~8 所示的 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 和 $v_d \leq 16$ 条件的光学材料形成的。形成第 2 层 82、第 3 层 83 的光学材料具有它的阿贝数比形成第 1 层 81 的光学材料的阿贝数大的值。通过增加衍射光学元件的层数, 能够制成具有更复杂功能的光学元件。

(第2实施形态)

第2实施形态是将上述第1实施形态中所示的衍射光学元件用于投影光学系统的情形。图44表示投影光学系统93。在图44中，91是光源，92是分光板，98是透镜镜筒，94是透镜，95是本发明的衍射光学元件，96是晶片，97是晶片台。

衍射光学元件95是为了校正透镜94的色差而设置的。由晶片台97使晶片96处于所要的位置上，通过图中未画出的聚焦检测装置，将晶片高度调整在聚焦位置上。这里，与情况相应，通过图中未画出的检测系统，使分光板92与晶片上已经曝光的下面的掩模对准。当聚焦和对准结束时，打开图中未画出的快门，用来自光源91的照明光照射分光板，通过投影光学系统98将分光板92上的电路图案透影在晶片96的抗蚀剂上。

经过这样曝光的晶片96经过众所周知所周知的显影处理工序和刻蚀工序形成多个器件。具有与本发明有关的光学元件的光学系统也同样能够应用于形成图象用的光学设备和照明用的照明装置等。又，作为本发明的光学元件，也能够使用衍射光学元件以外的具有所要形状的光学元件。

(第3实施形态)

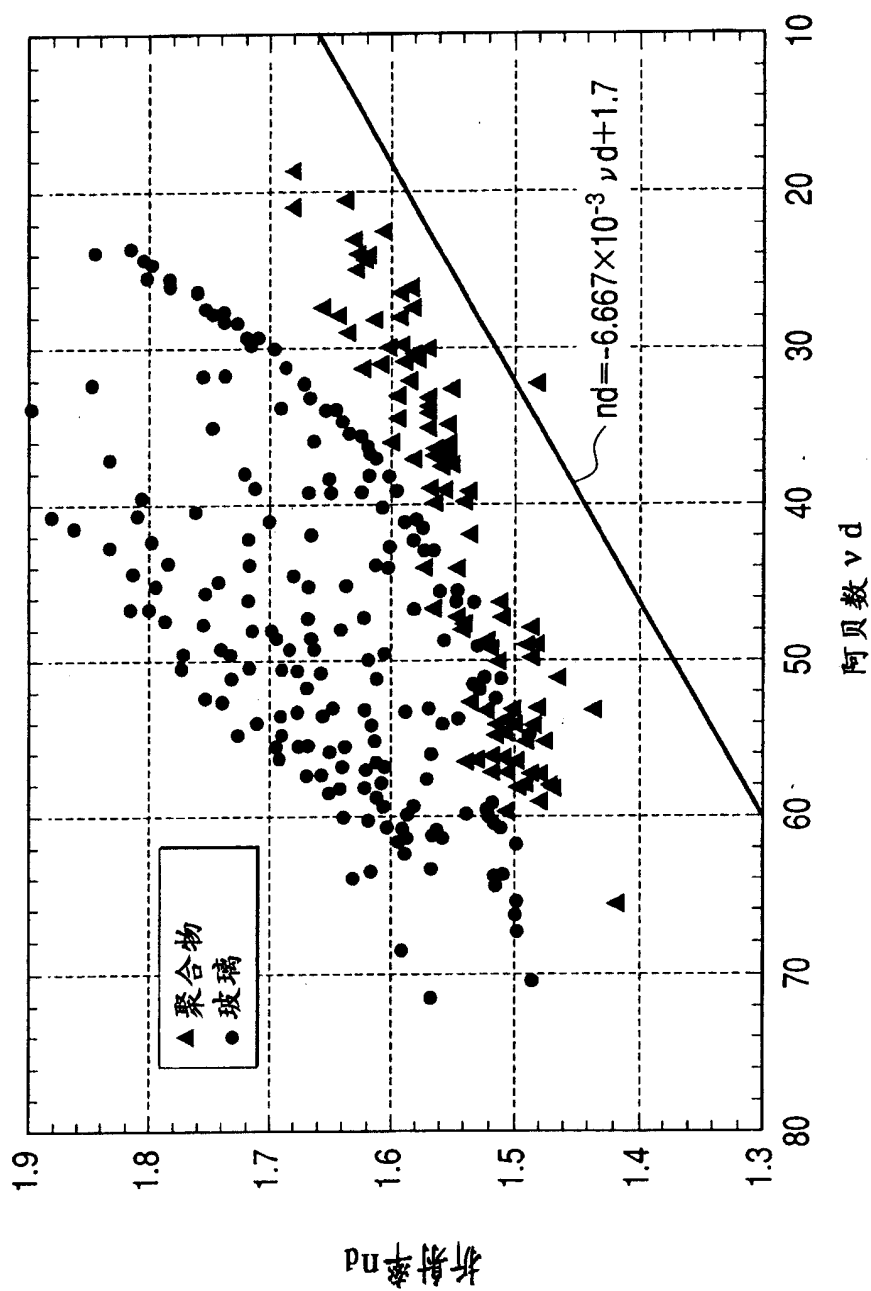
第3实施形态是将上述第1实施形态中所示的衍射光学元件用于摄影光学系统的情形。图45表示摄影光学系统。在图45中，摄影光学系统108具有至少1个以上的衍射光学元件105、折射光学元件103、光圈104的各个元件。图45表示使入射到摄影光学系统108的来自物体的光束成象在受光部分(摄象装置)106上的状态。

为了使衍射光学元件105的设计级数的衍射光与折射光学元件103合成在特定的波长区域得到良好的光学特性，对该衍射光进行象差校正。受光部分106由具有不同分光灵敏度的多个受光体构成，形成合成来自不同分光灵敏度的受光体的图象得到彩色图象的构成。又，作为受光部分106通常可以用CCD、银盐焦片感光体、以及

人的眼睛等。

如果根据本发明，则通过 d 线的折射率 (n_d) 与阿贝数 (v_d) 的关系为 $n_d > -6.667 \times 10^{-3} v_d + 1.70$ 和阿贝数 (v_d) 为 $v_d \leq 16$ 的光学元件，能够提供在全部可见区域中各使用波长区域的衍射效率高光学元件。又，能够使特定级数（设计级数）的光线充分集中在使用波长的全部区域中，提高衍射级数的衍射光的强度。又因此，能够防止设计级数以外的光线与设计级数的光线在不同地方成象发生光斑光。

图1



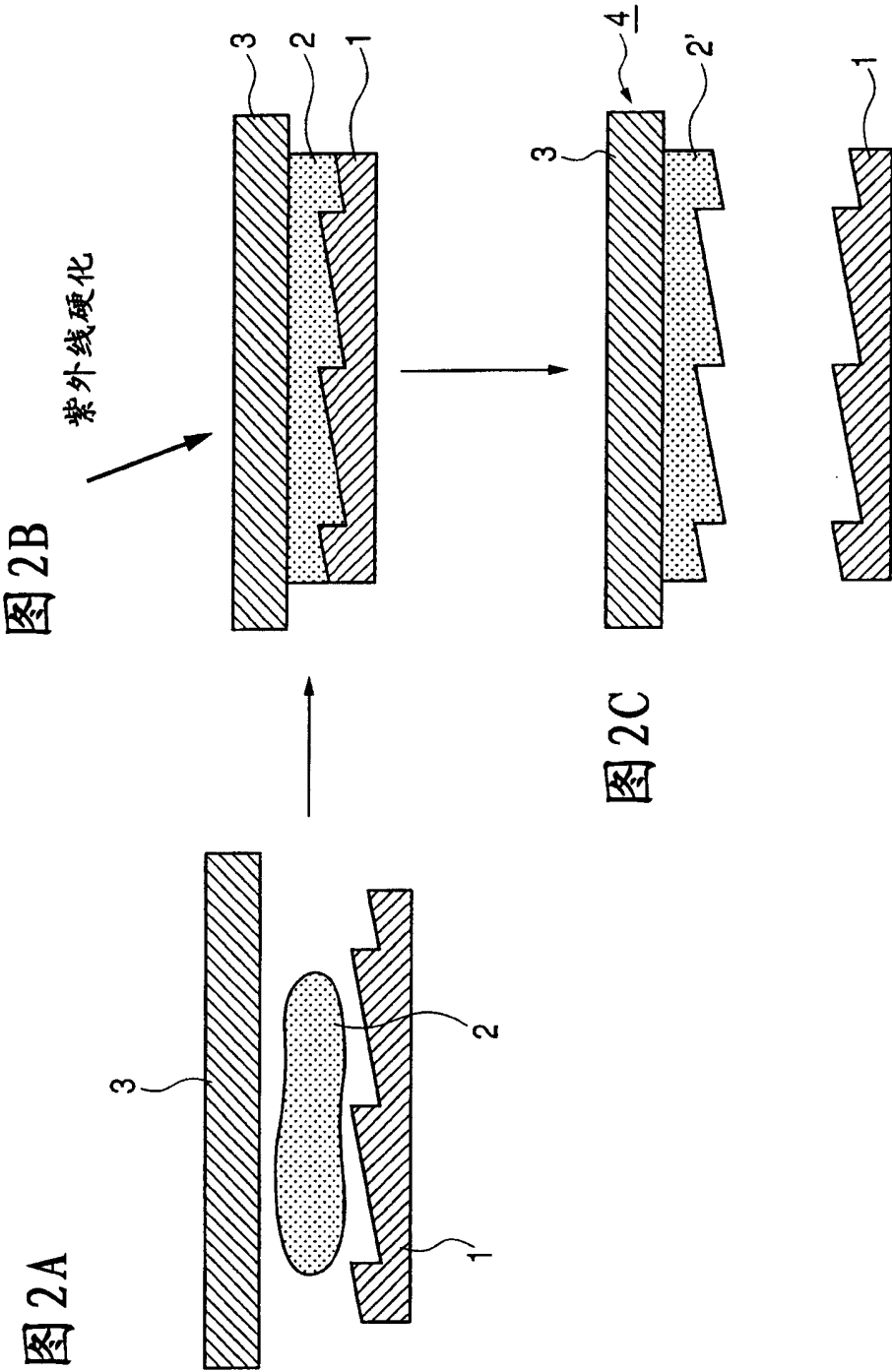


图 3A

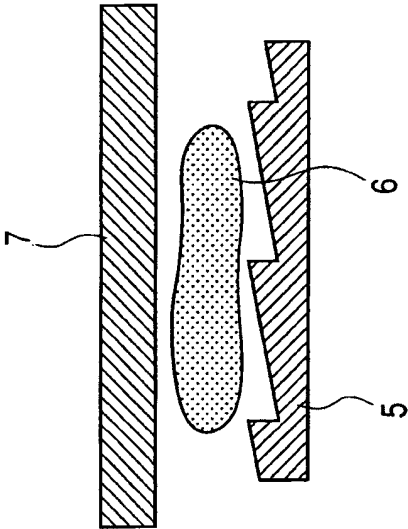


图 3B

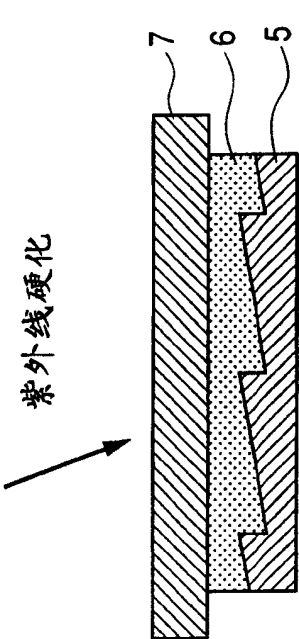


图 3C

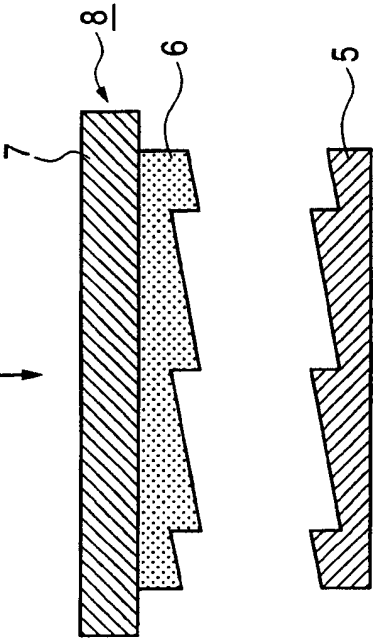


图 4

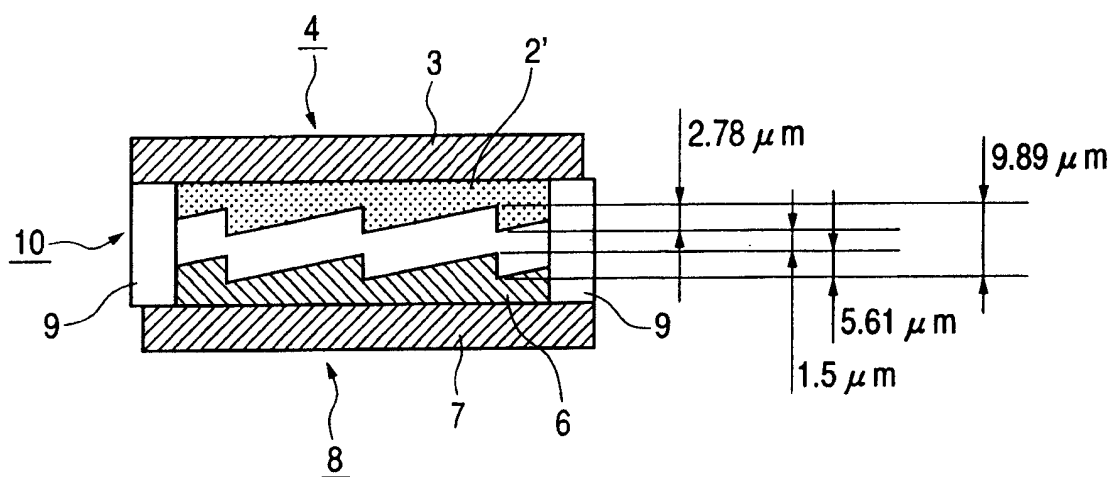


图 5

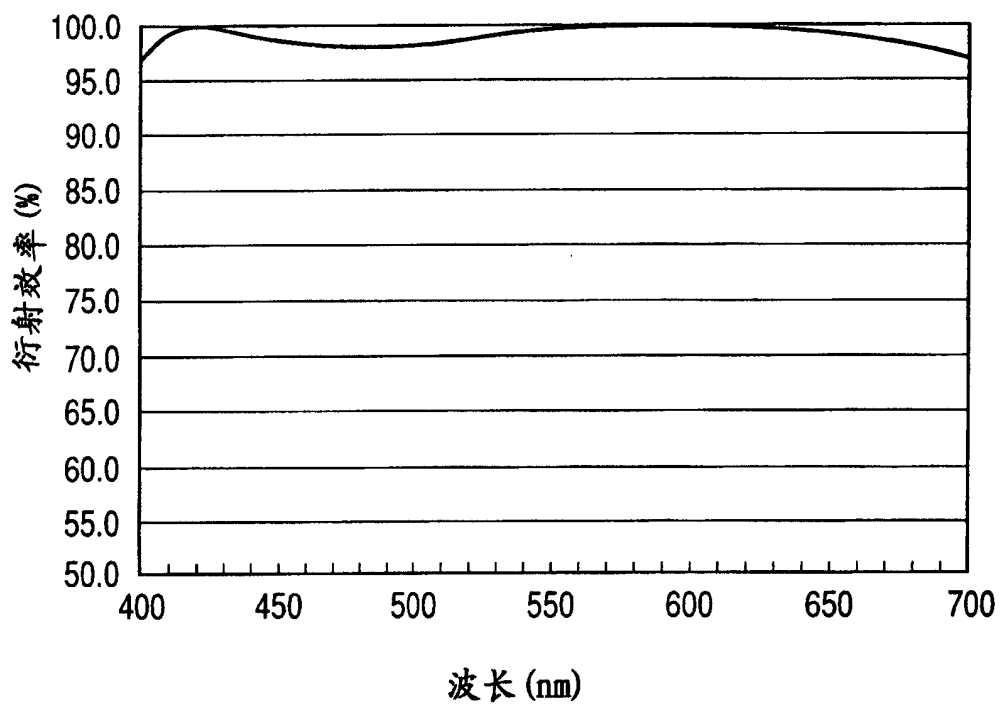
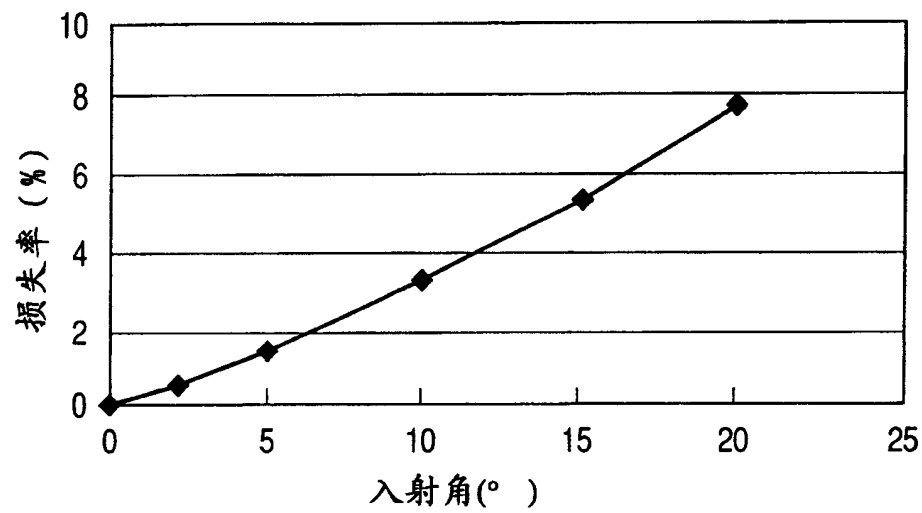


图6



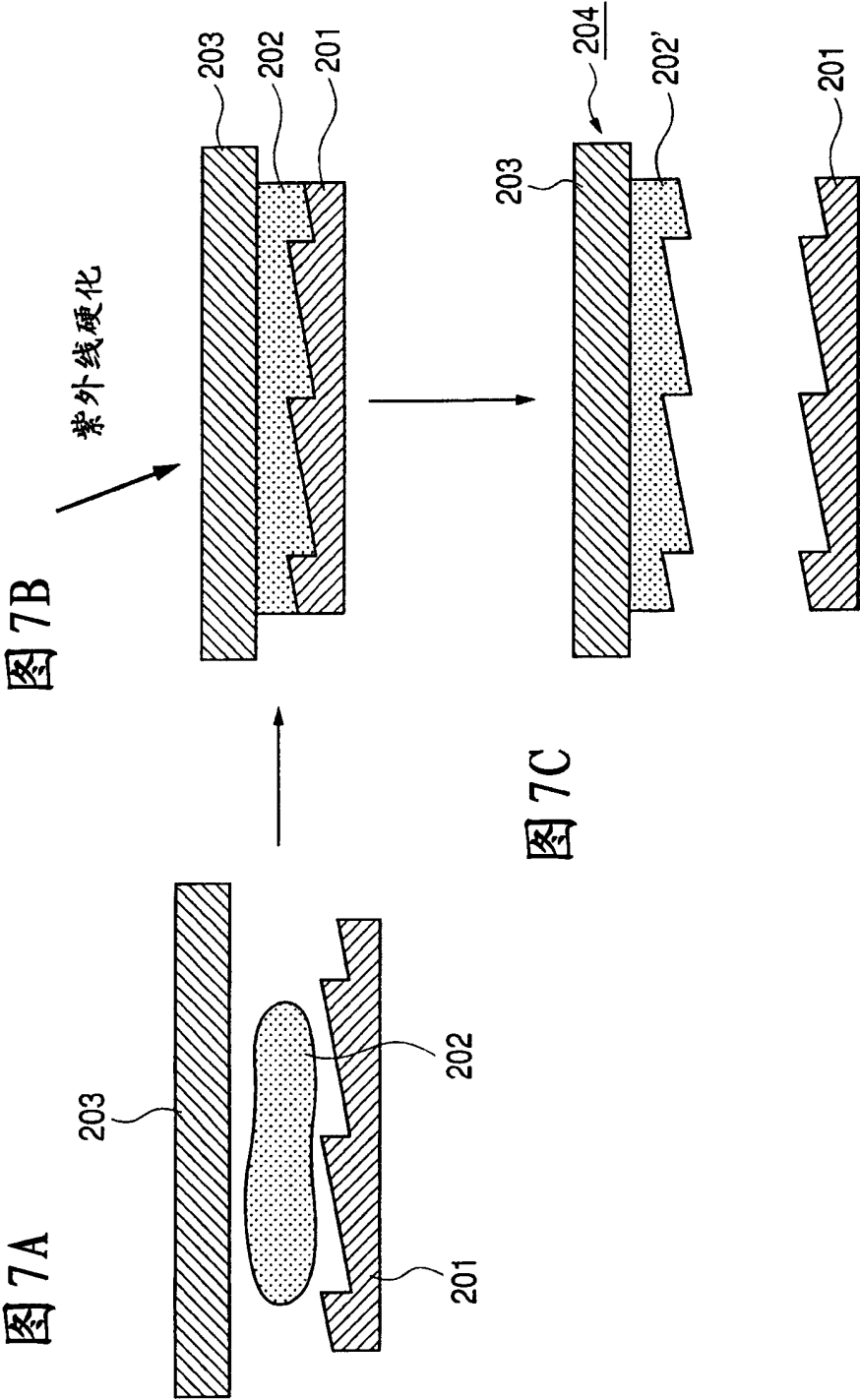


图 8

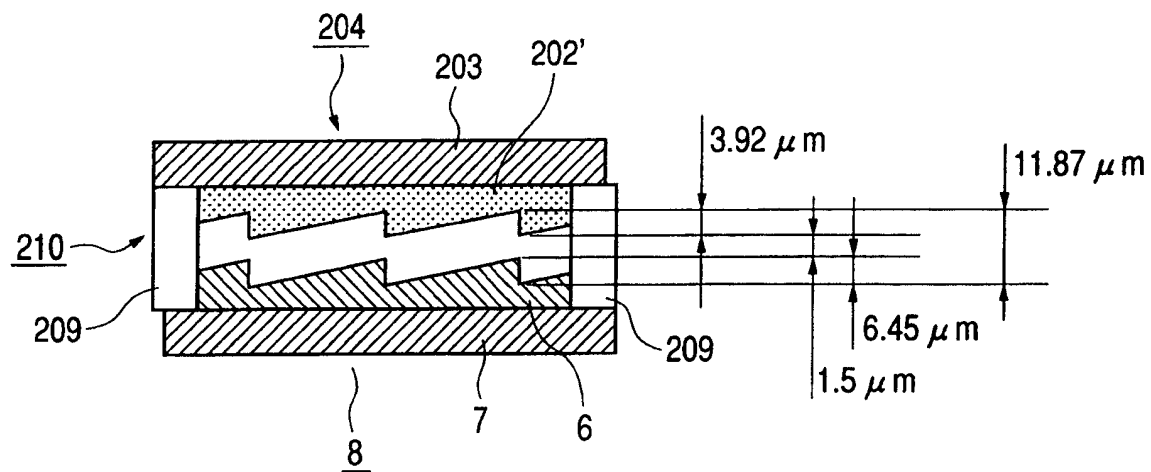


图 9

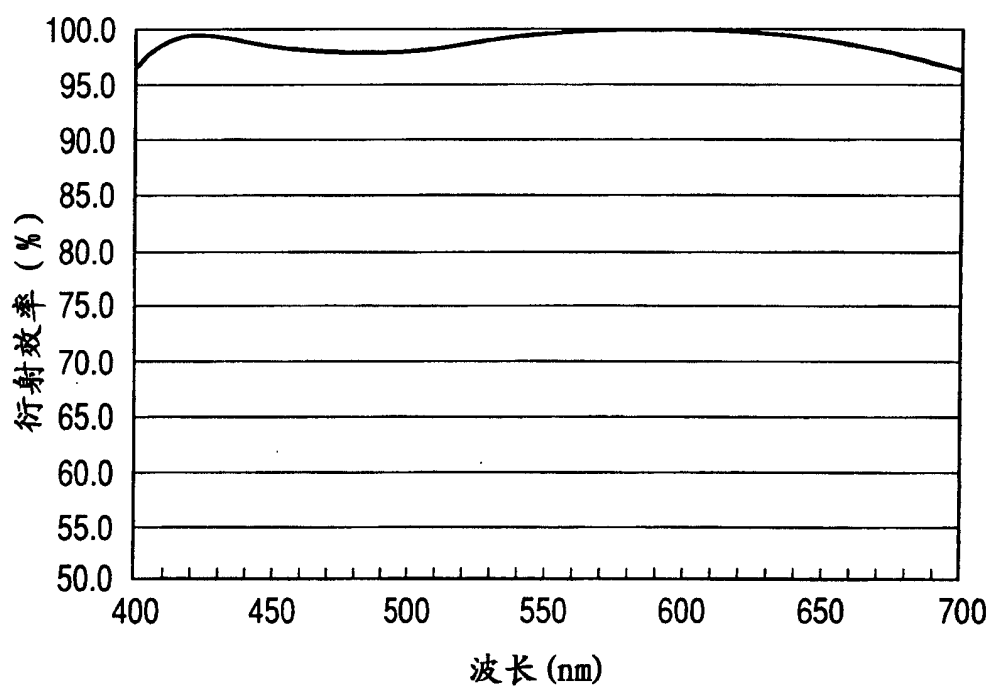


图10

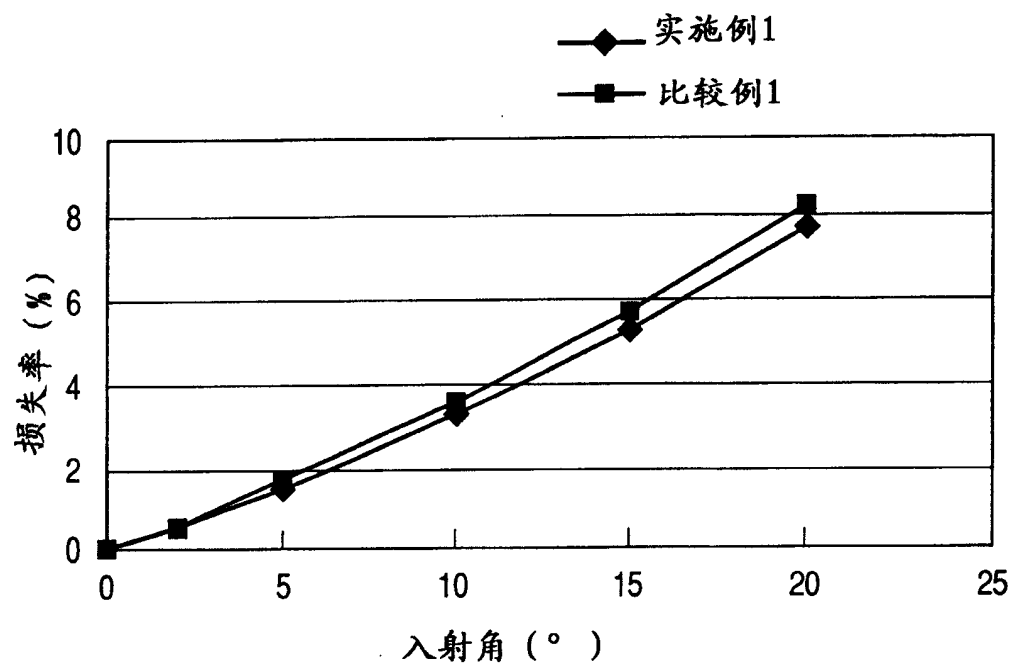


图11B

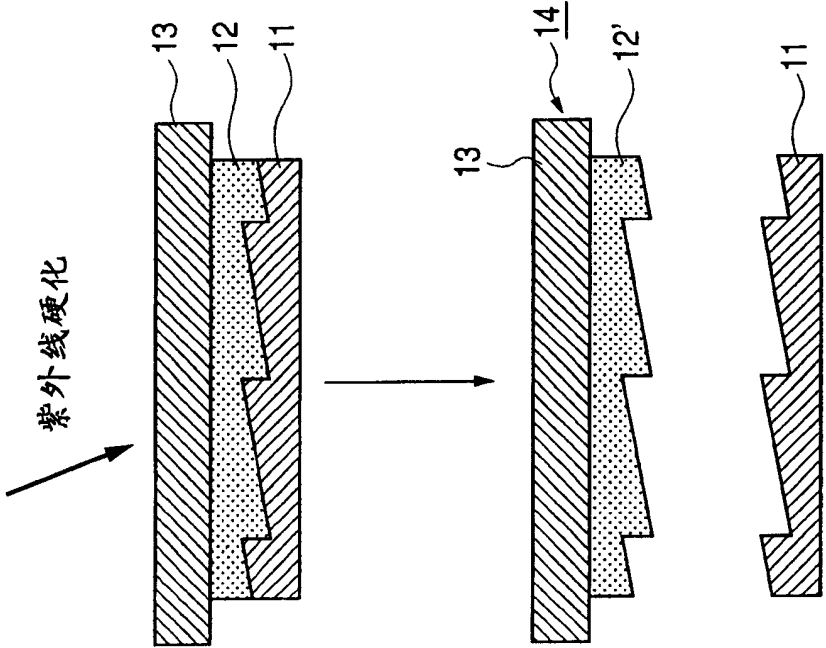


图11C

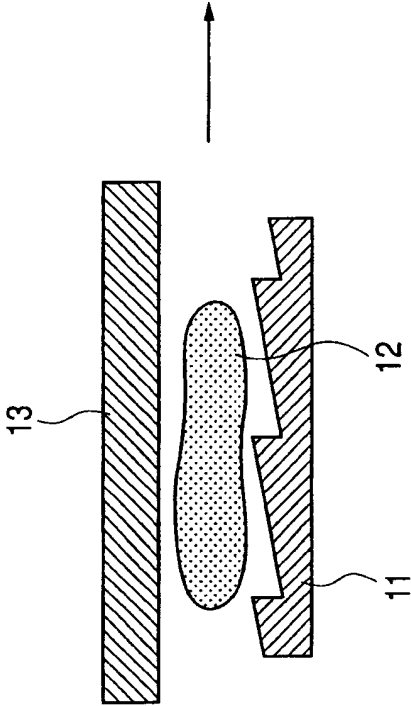


图11A

图 12

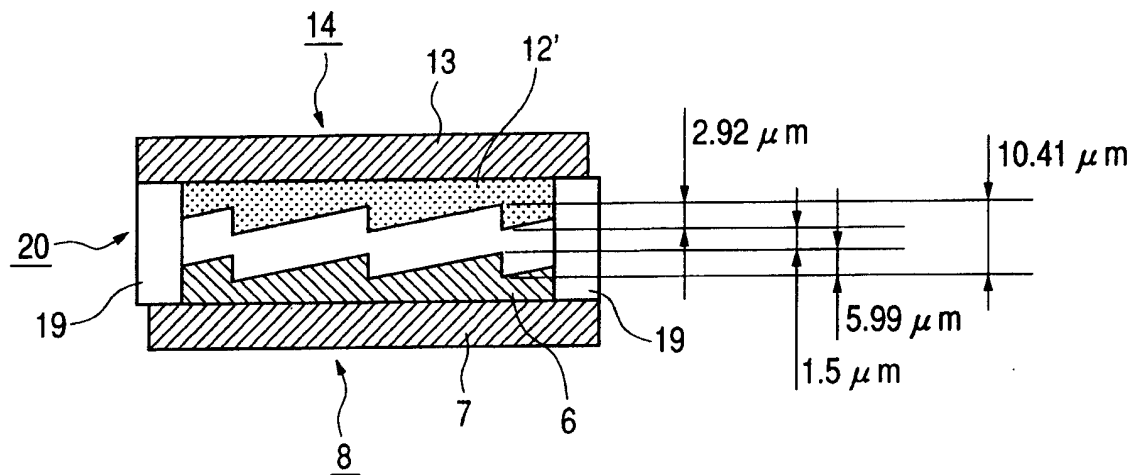


图 13

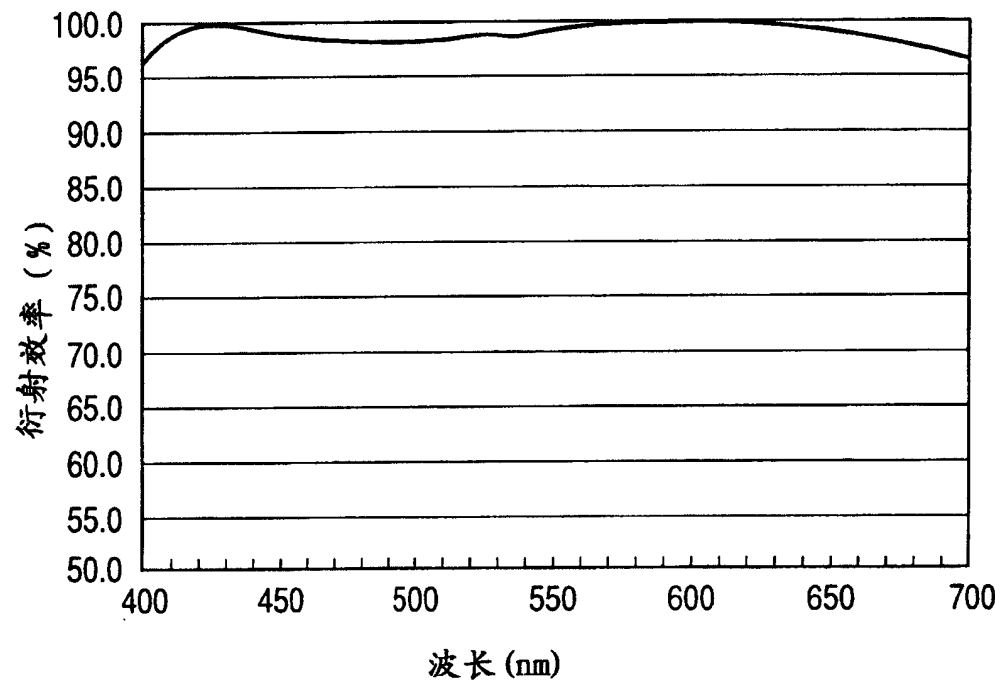


图 14

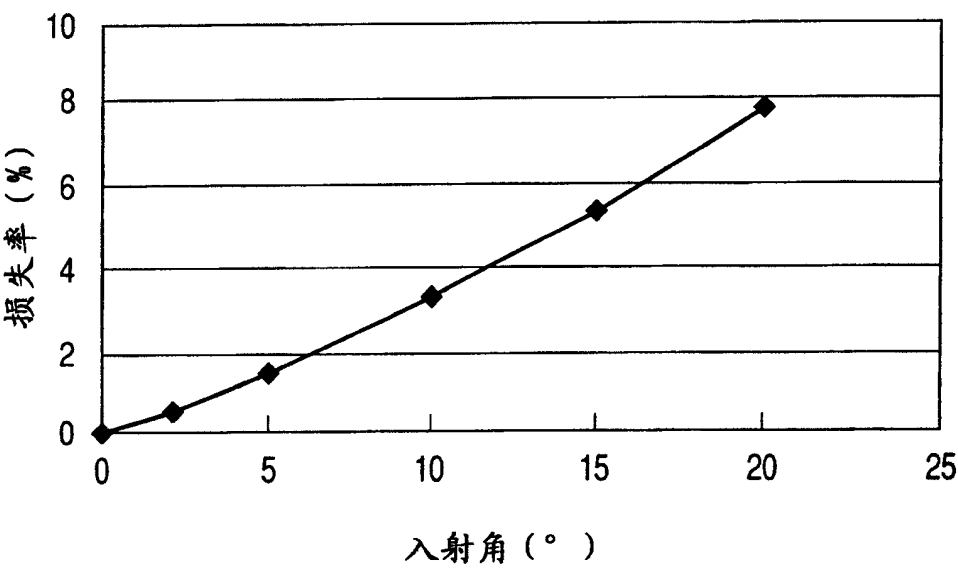


图15A

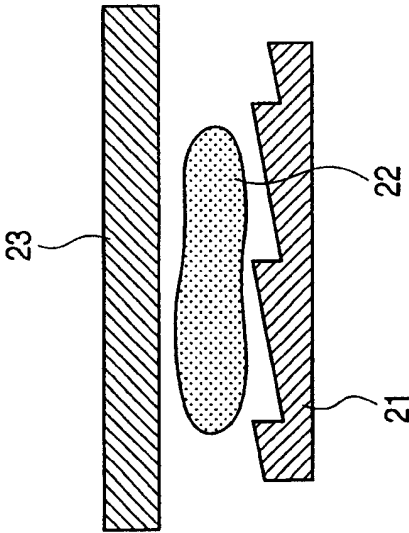


图15B

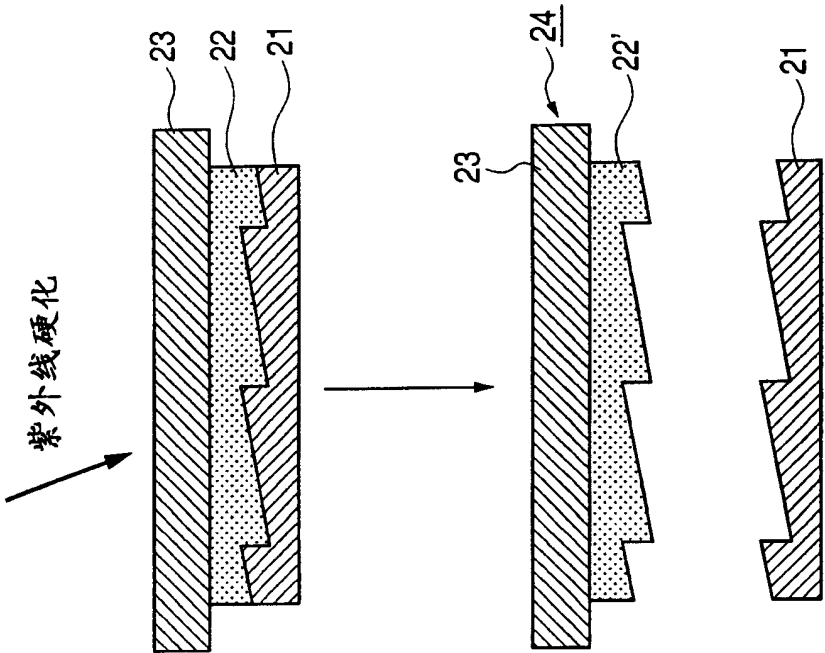


图15C

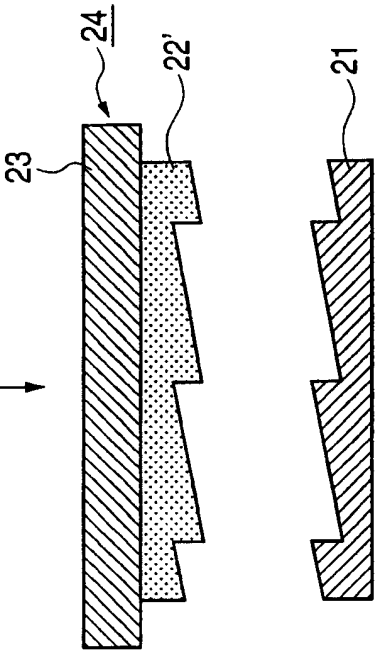


图16

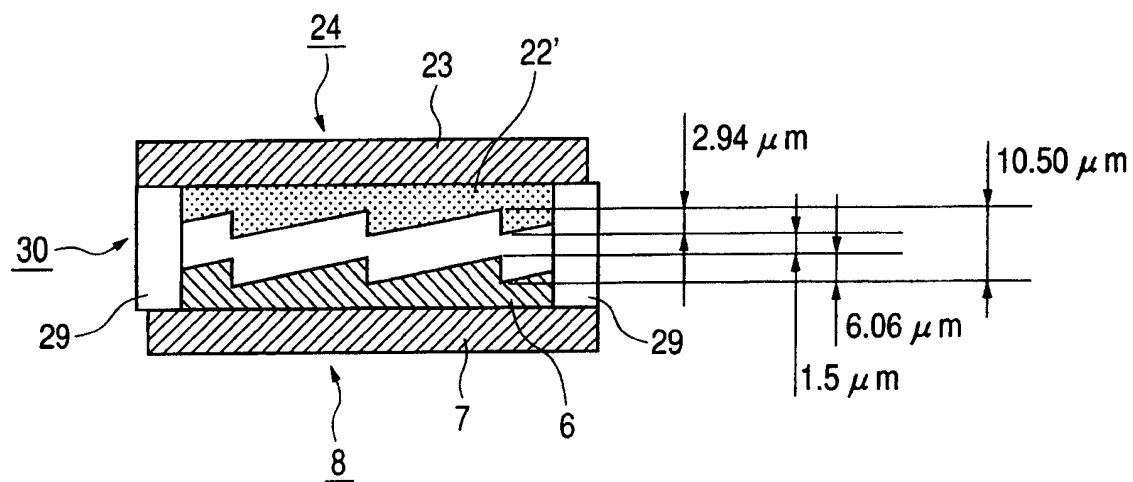


图17

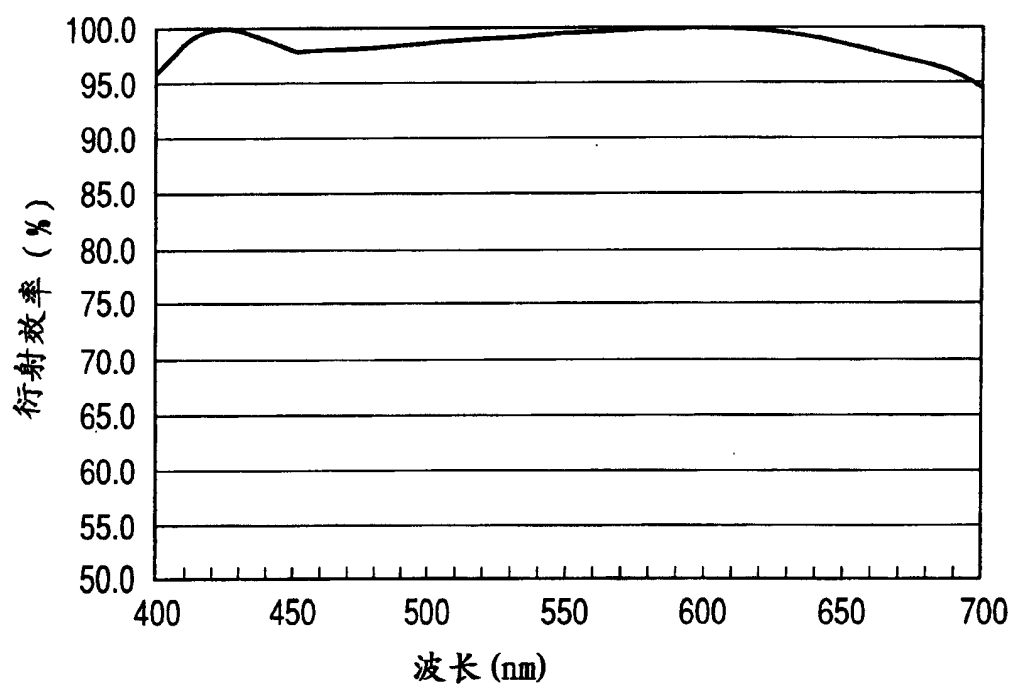
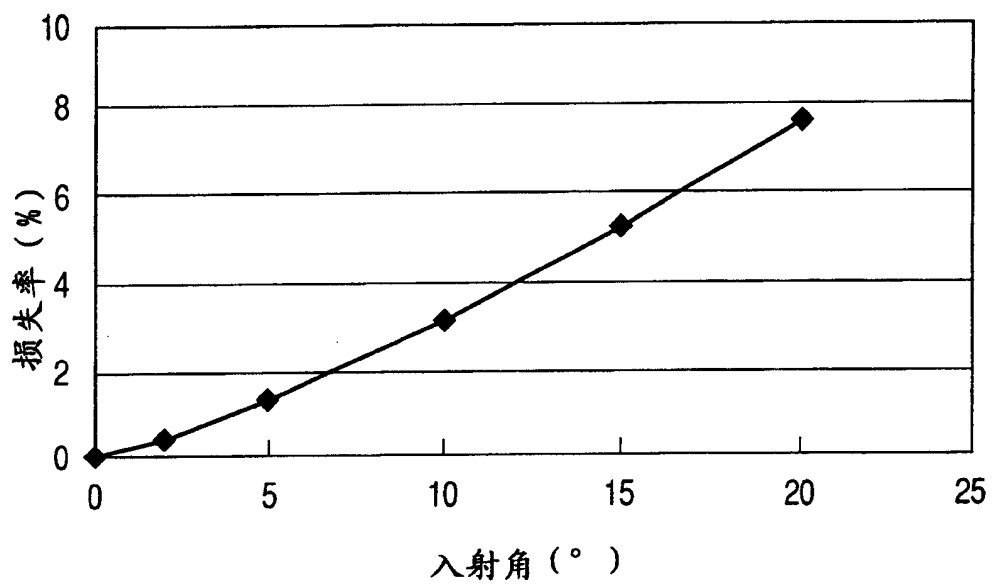


图18



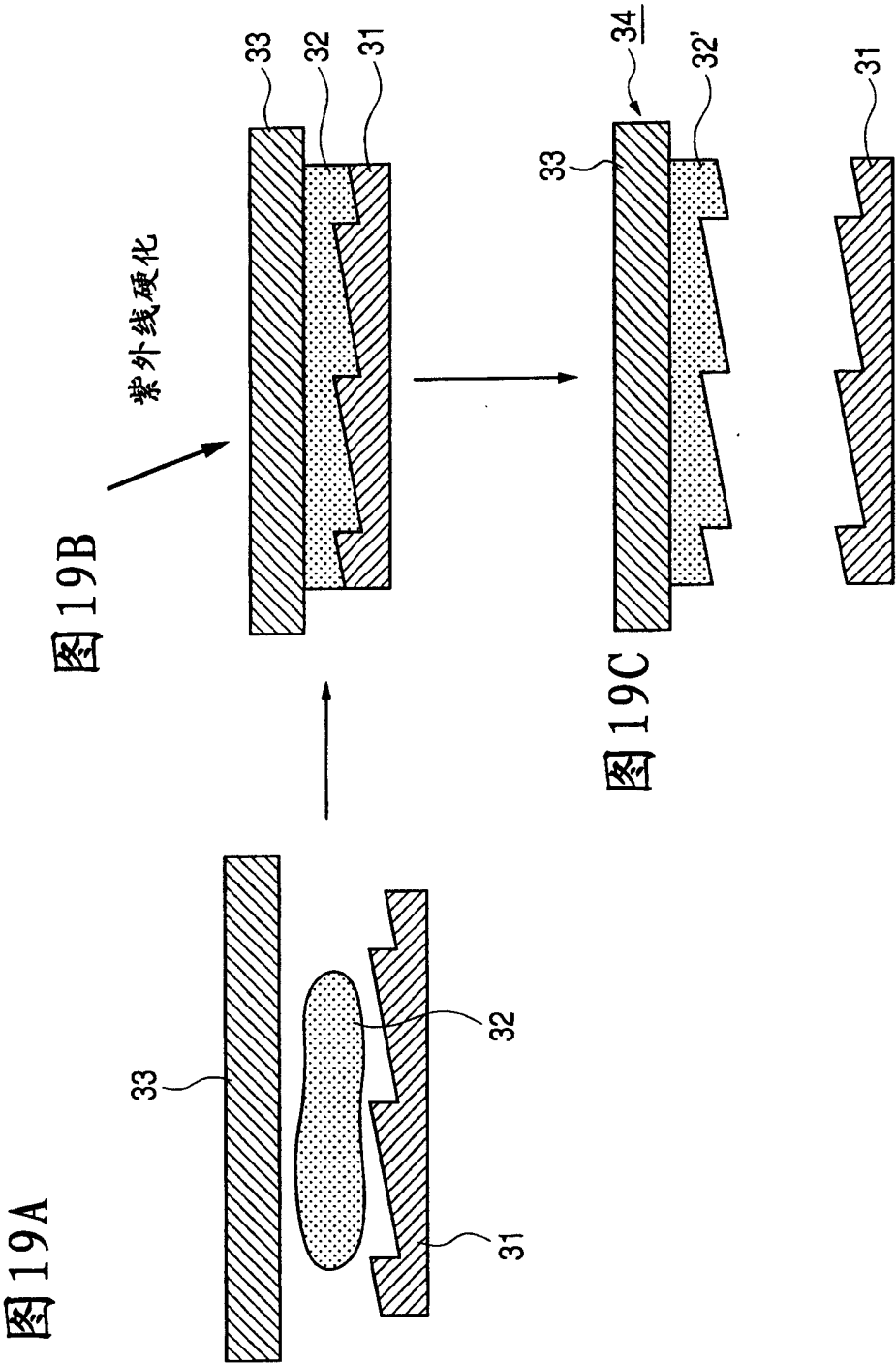


图 20

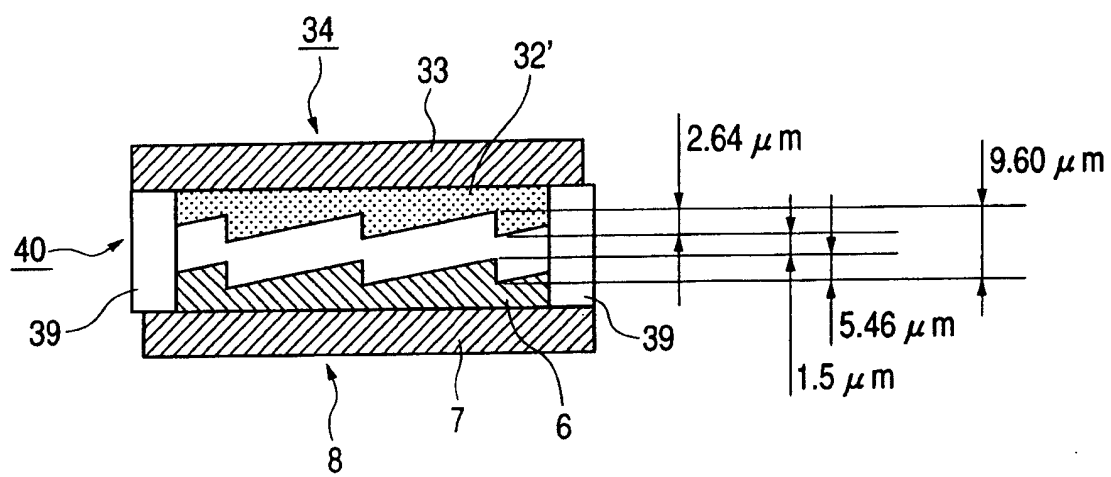


图 21

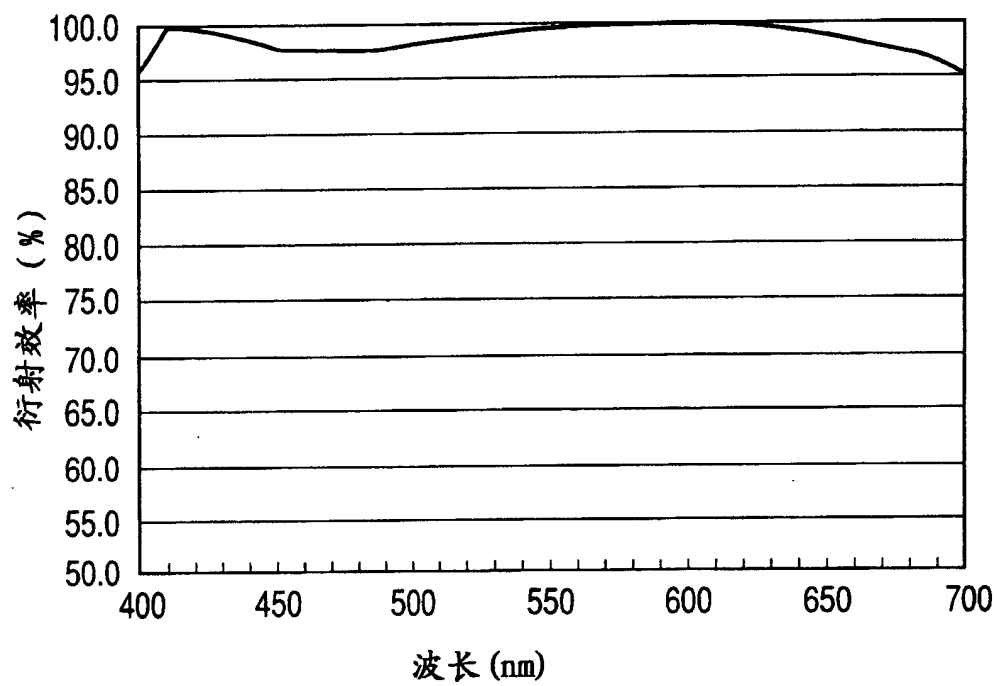
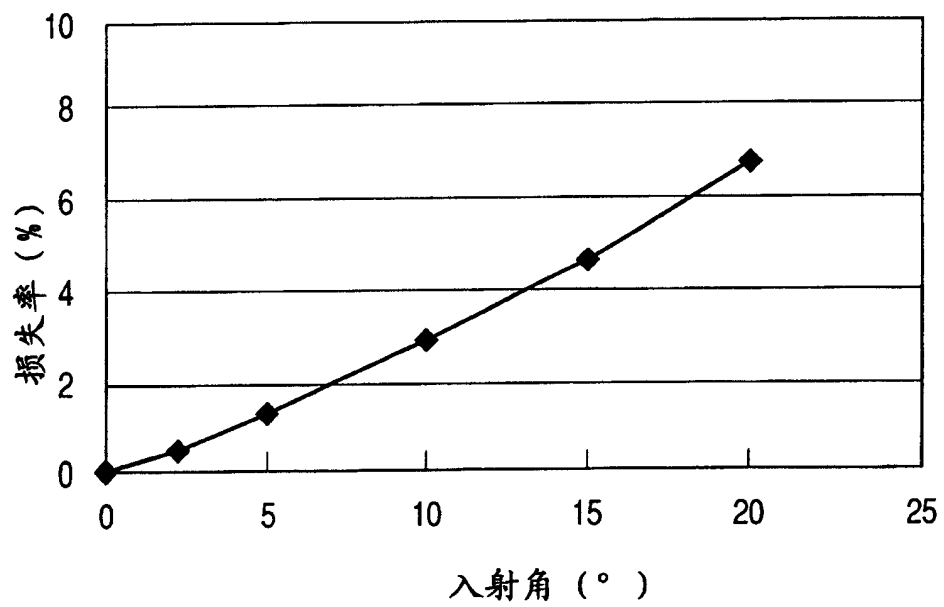


图 22



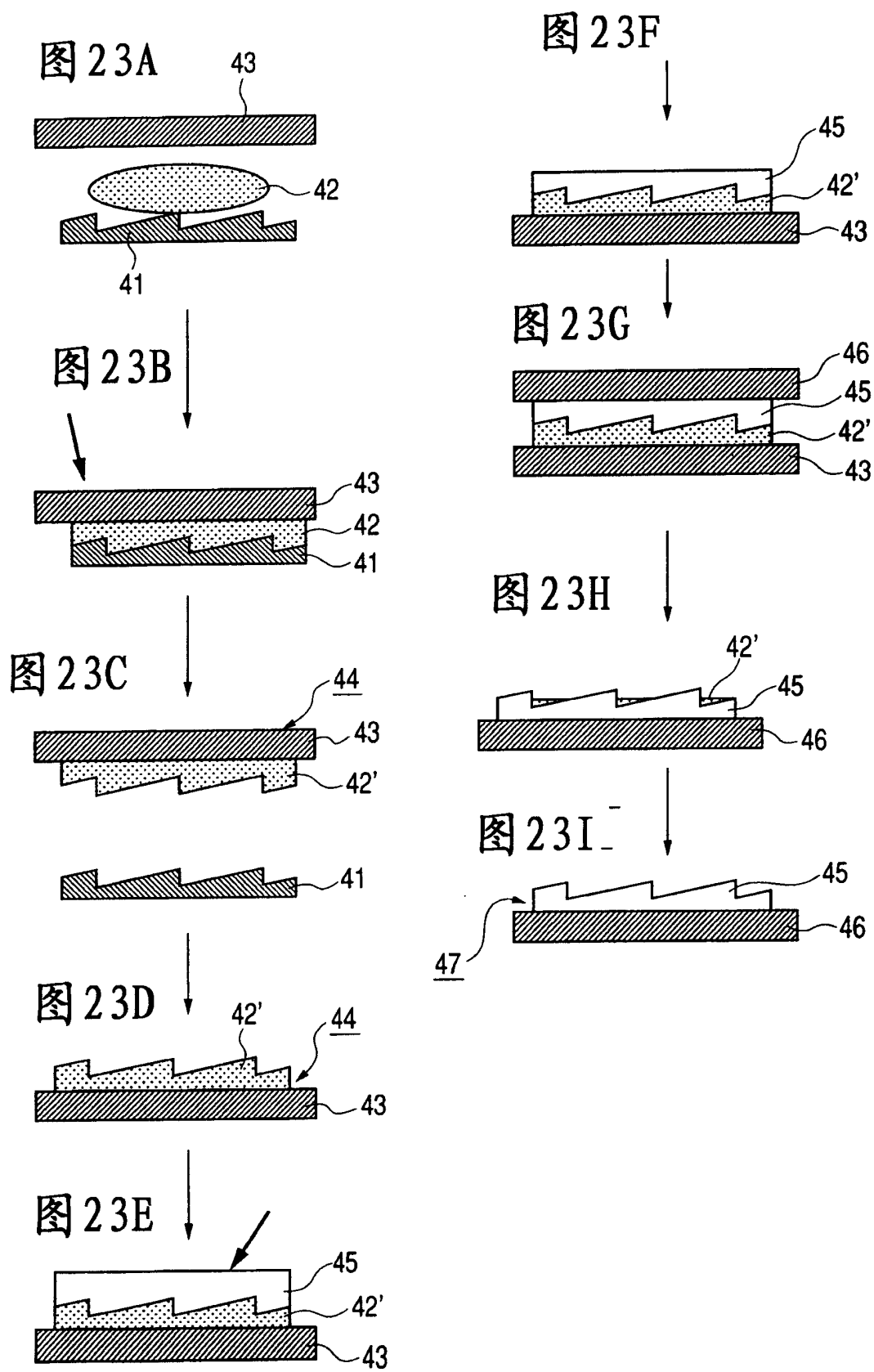


图 24

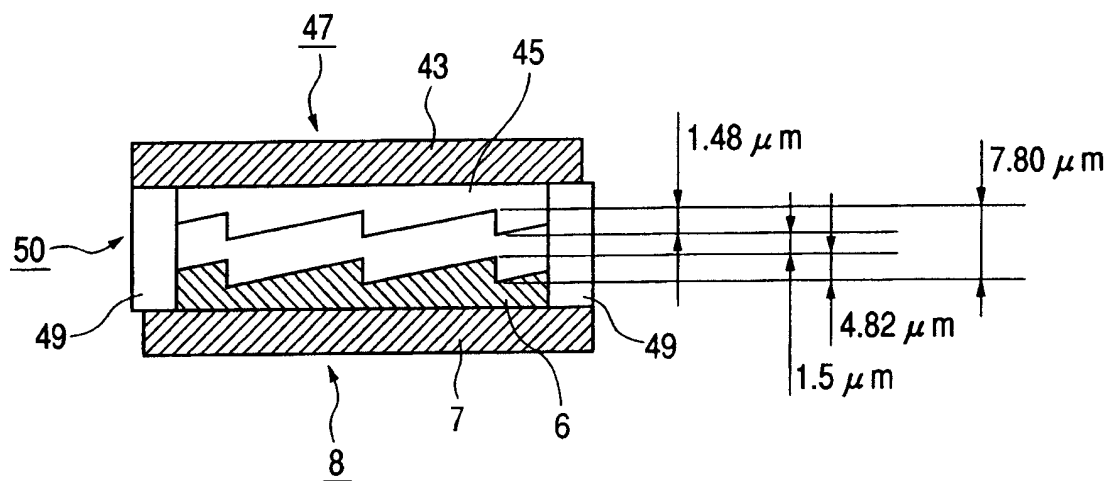


图 25

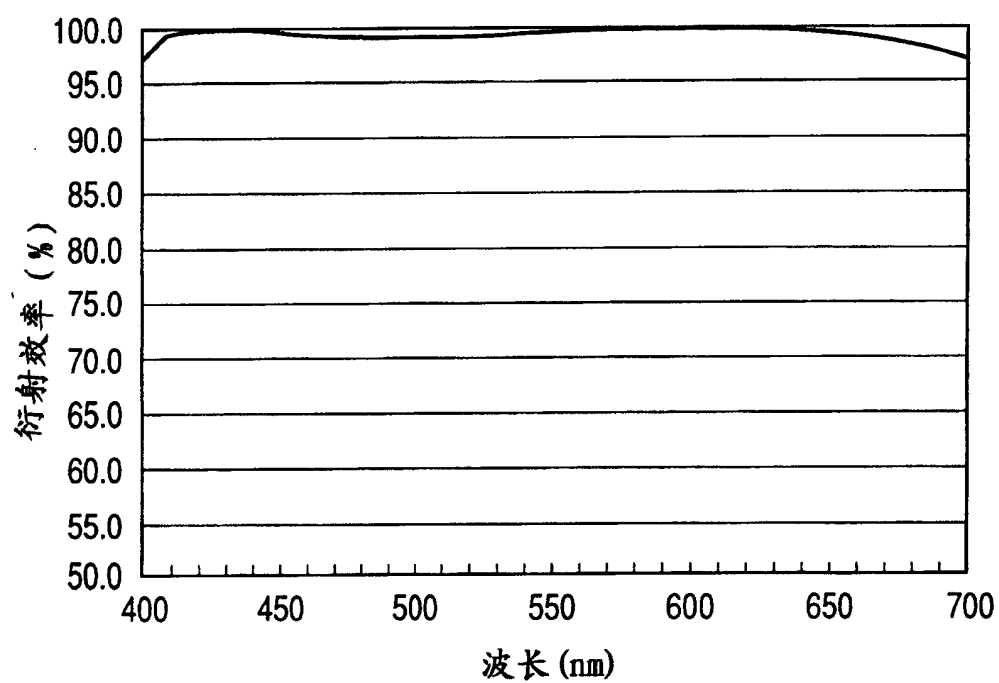


图 26

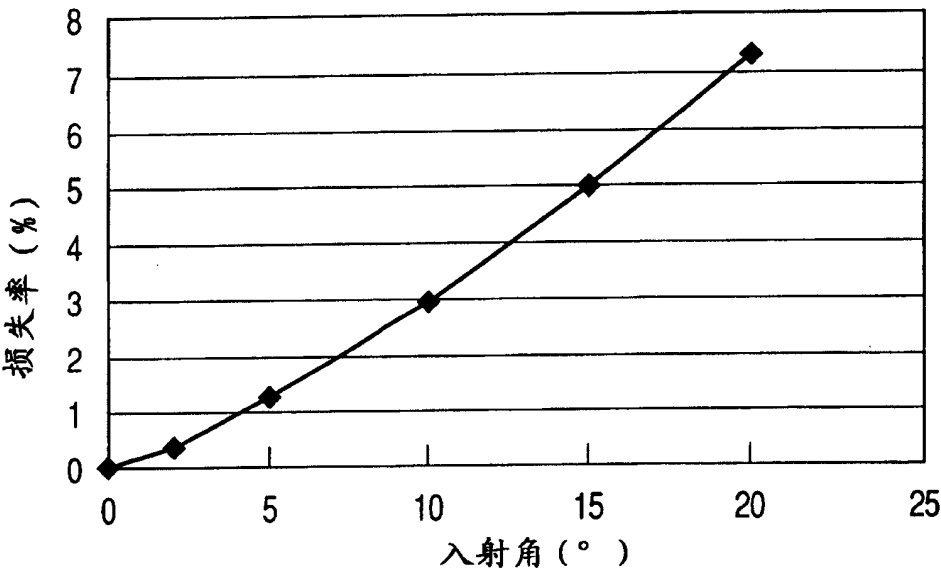


图 27A

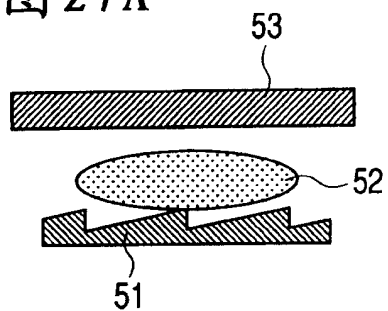


图 27B

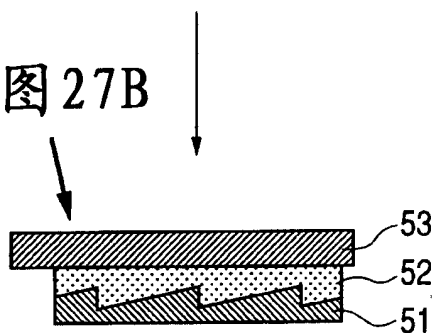


图 27C

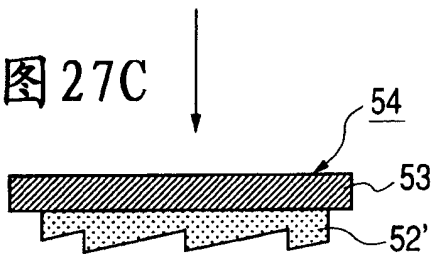


图 27D

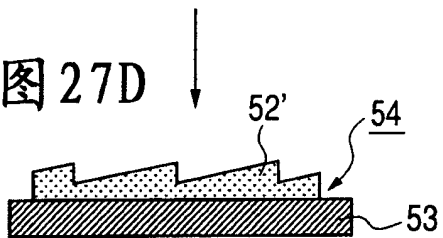


图 27E

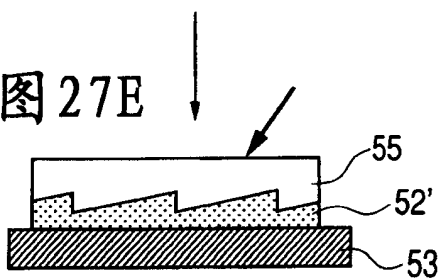


图 27F

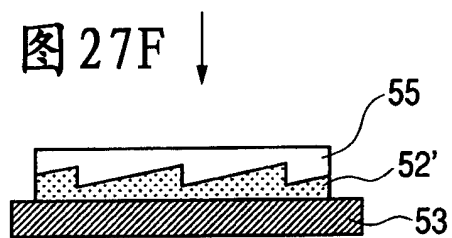


图 27G

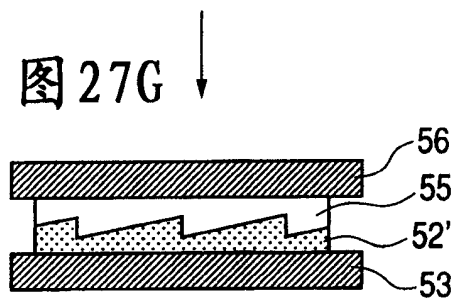


图 27H

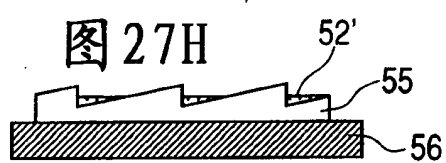


图 27I

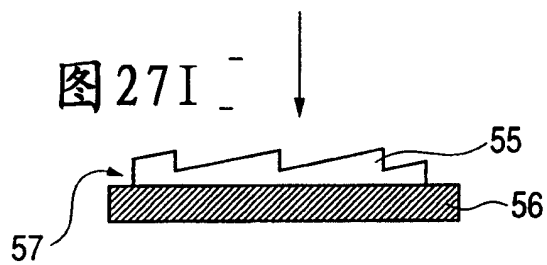


图 28

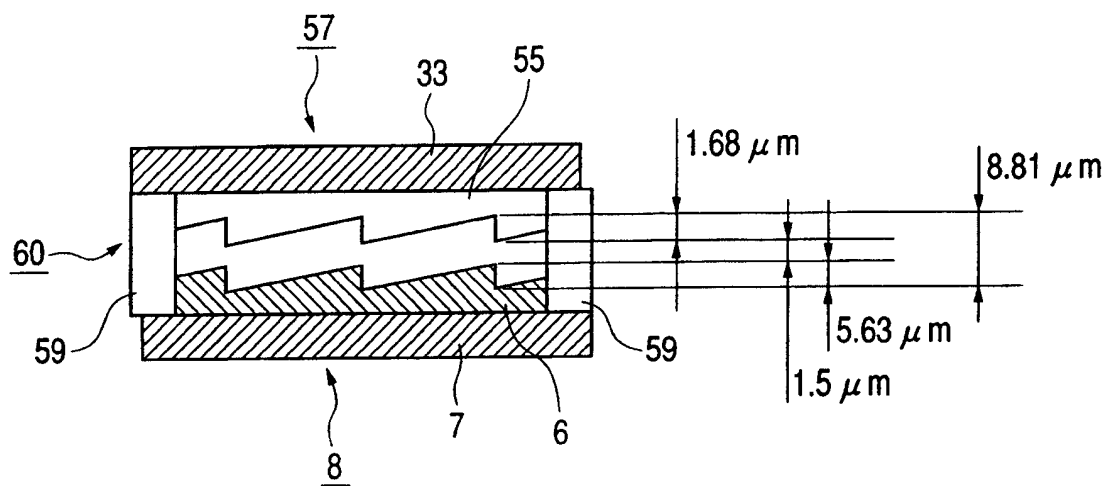


图 29

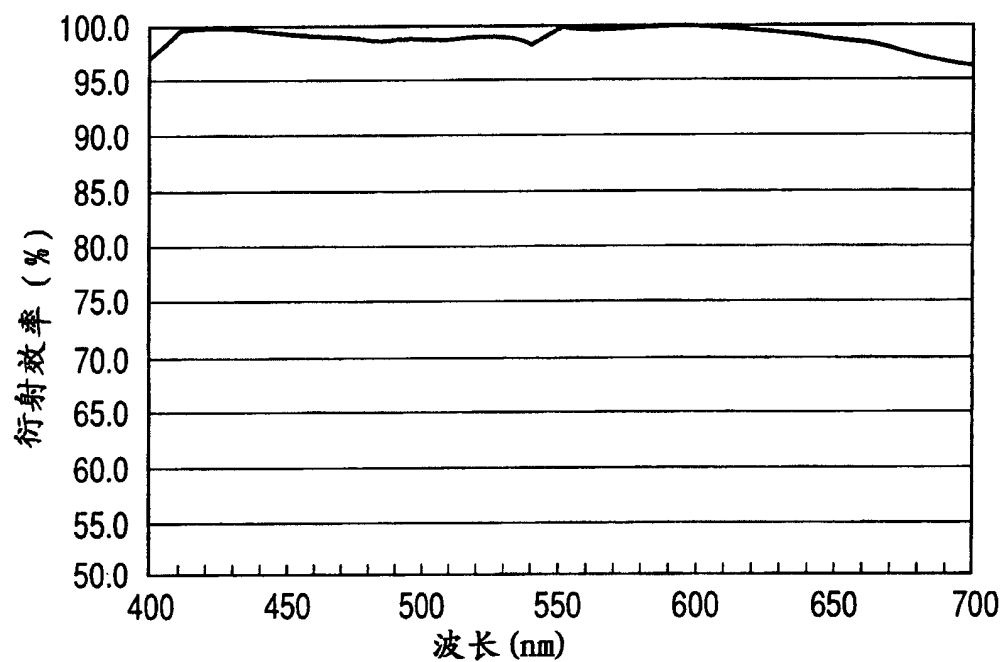


图 30

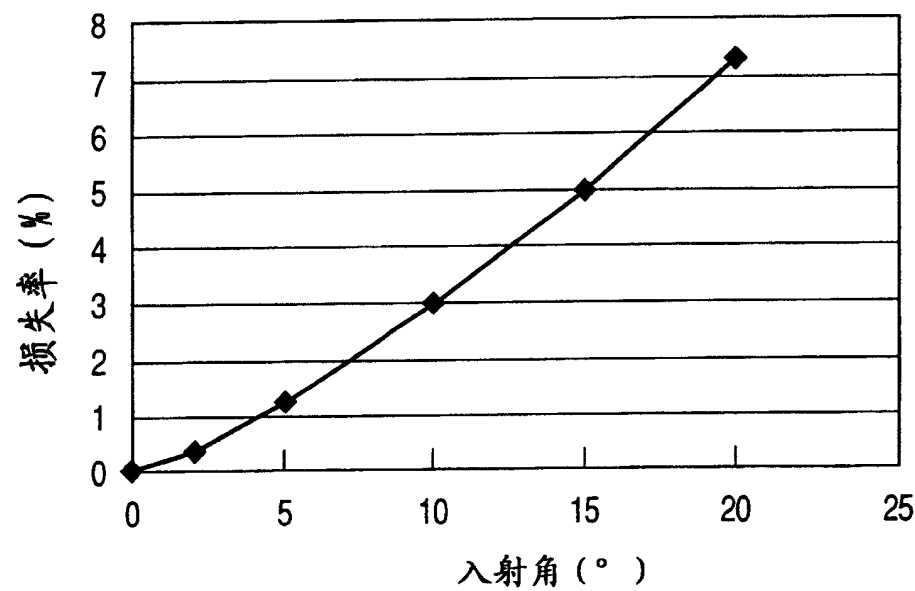


图 31A

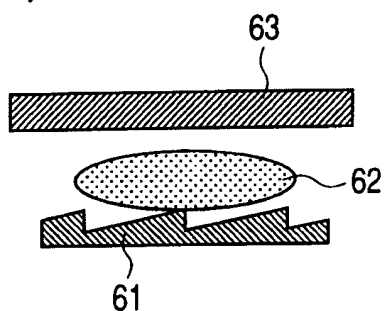


图 31B

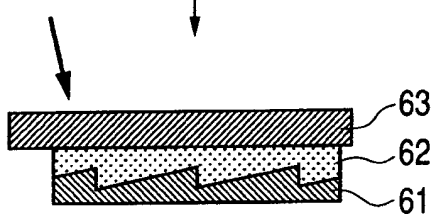


图 31C

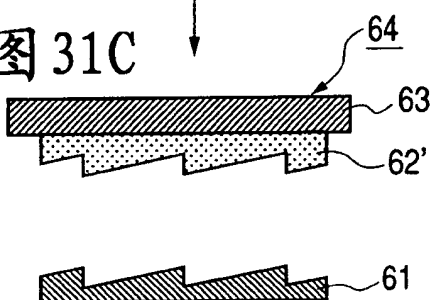


图 31D

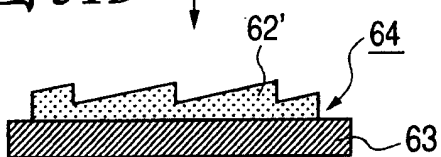


图 31E

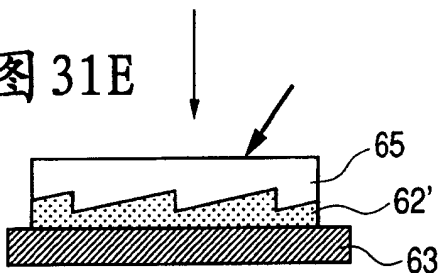


图 31F

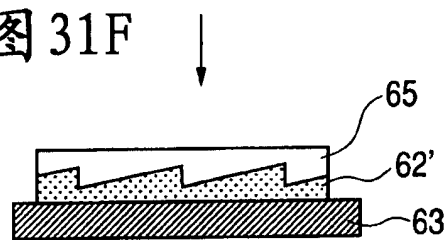


图 31G

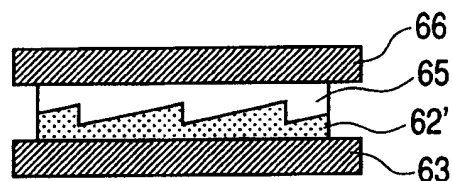


图 31H

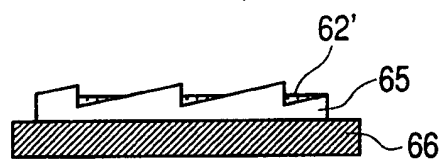


图 31I

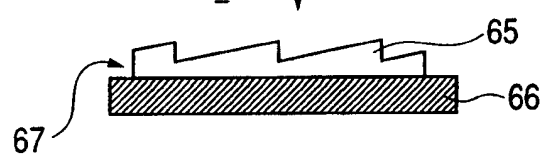


图 32

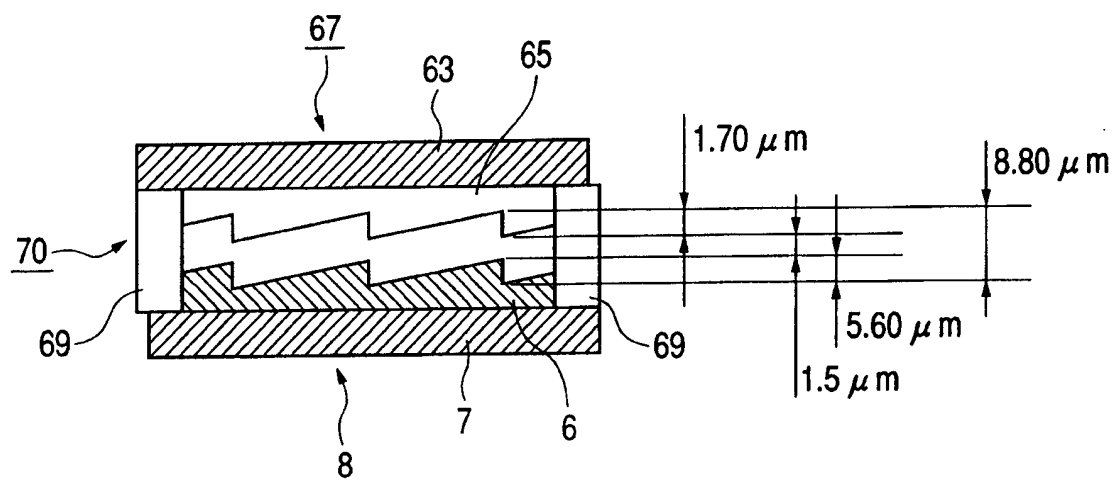


图 33

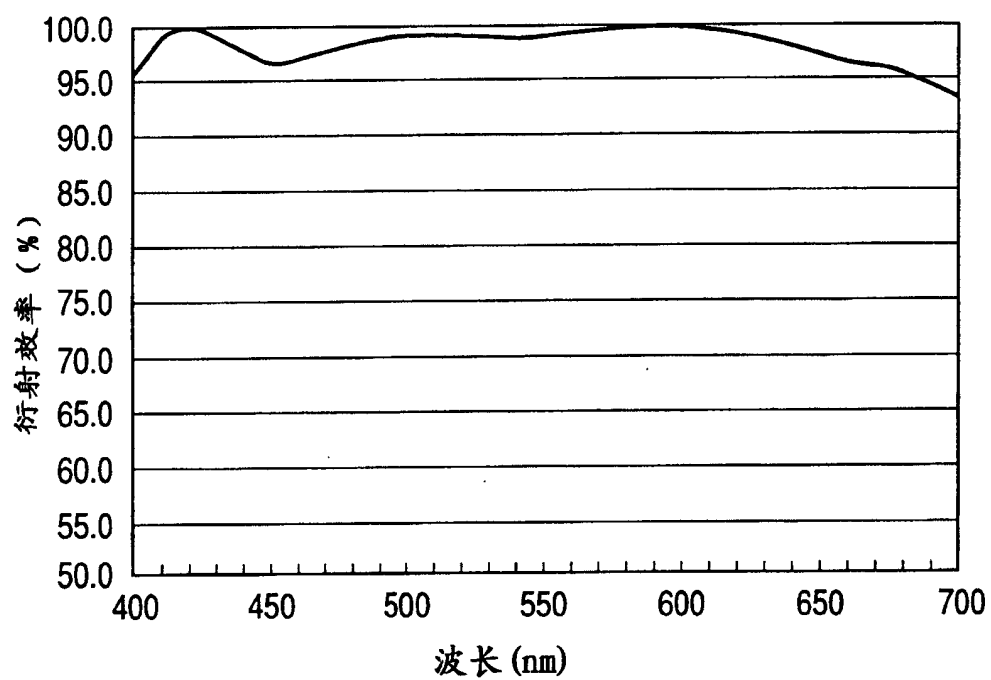


图 34

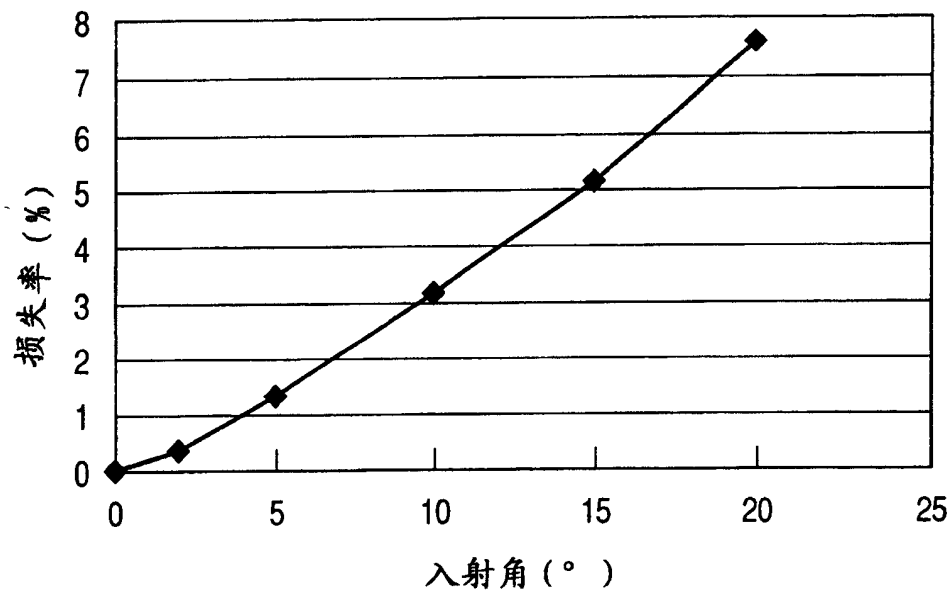


图 35A

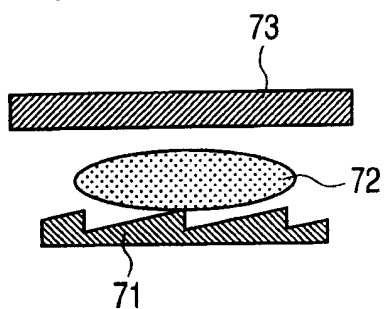


图 35B

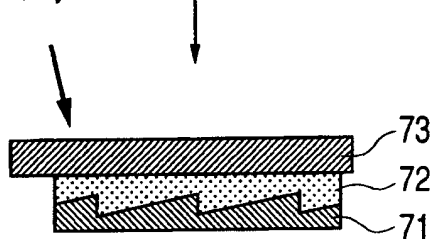


图 35C

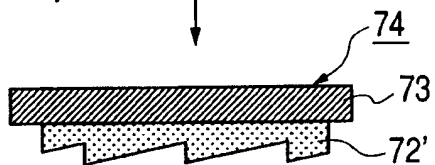


图 35D

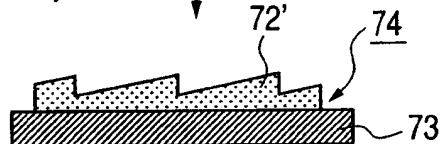


图 35E

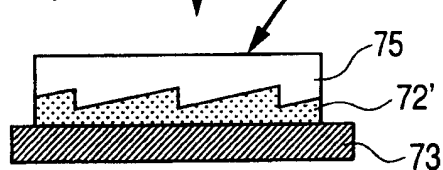


图 35F

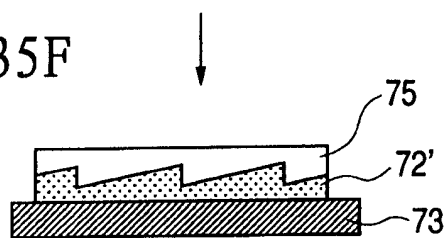


图 35G

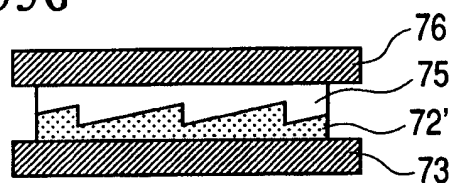


图 35H

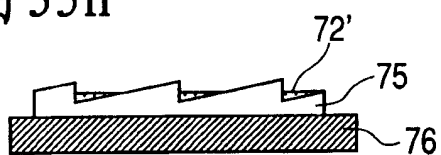


图 35I

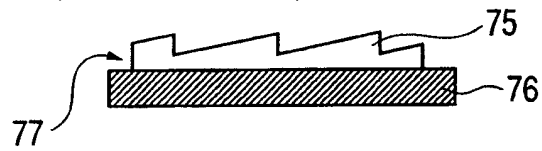


图 36

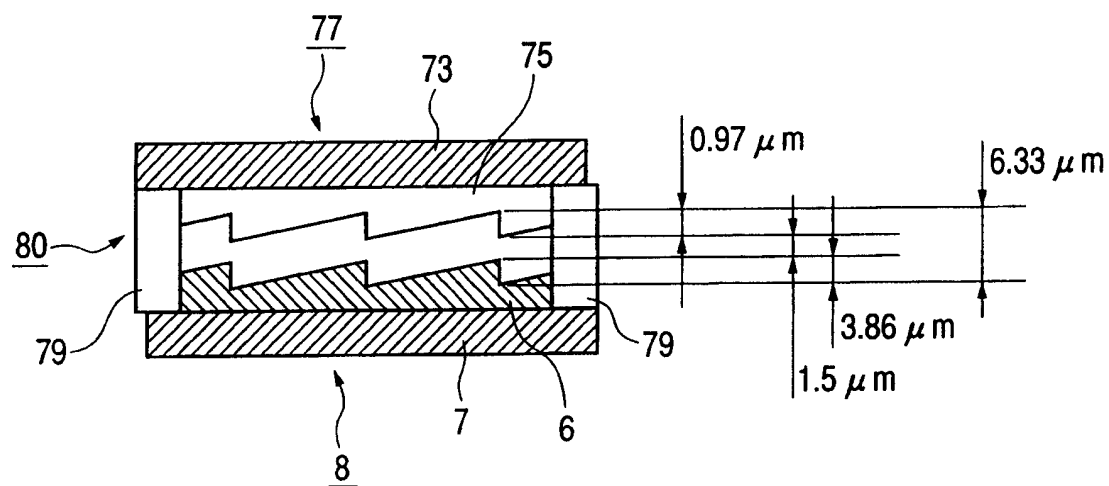


图 37

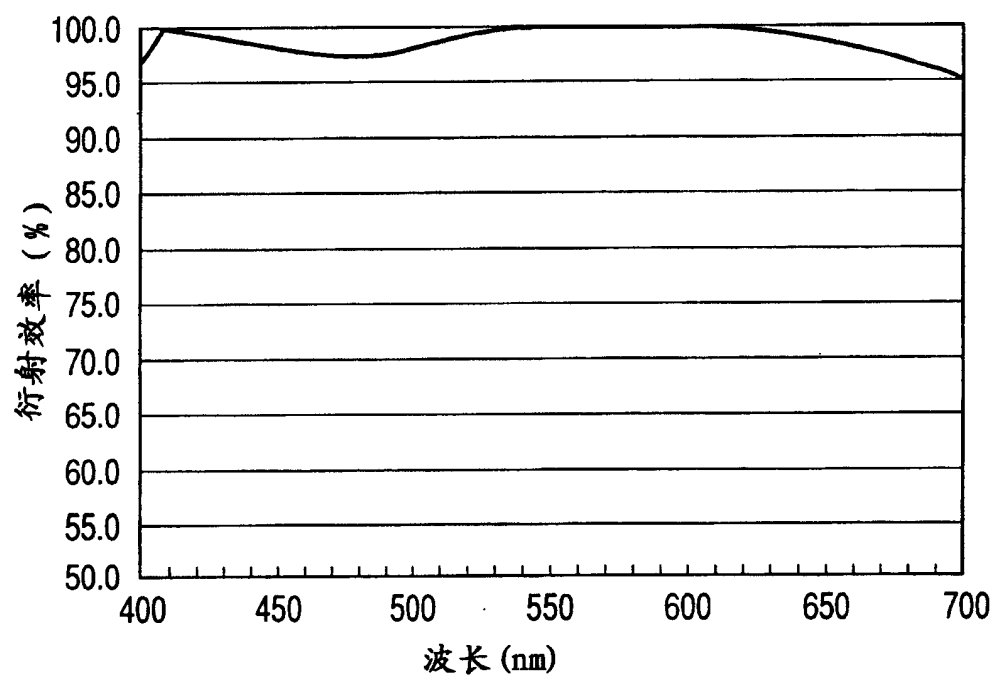


图 38

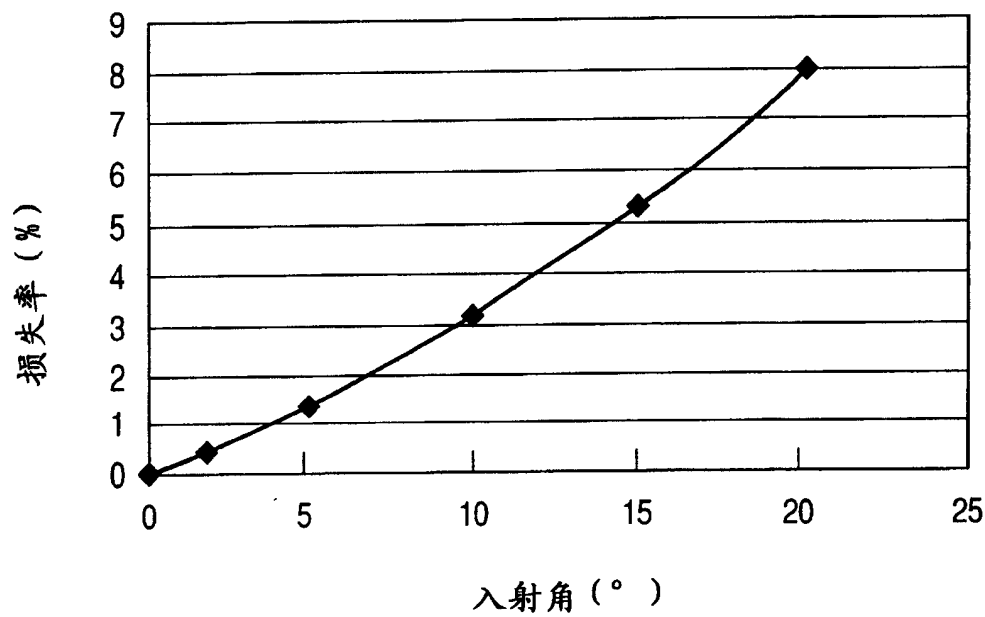


图 39A

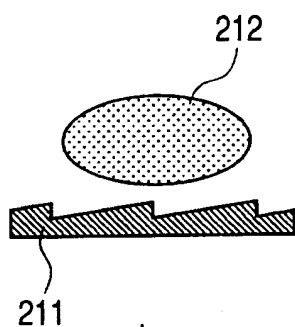


图 39B

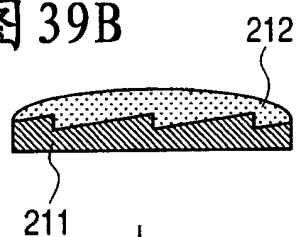


图 39C

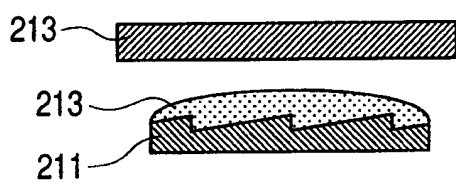


图 39D

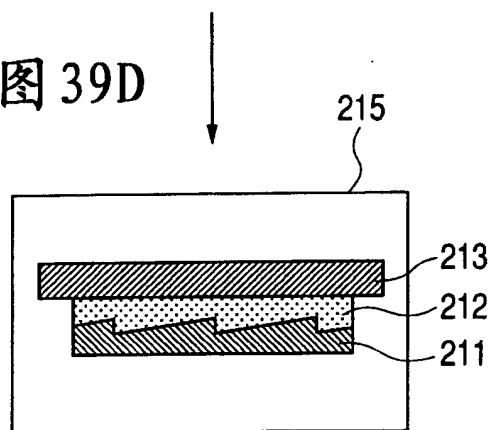


图 39E

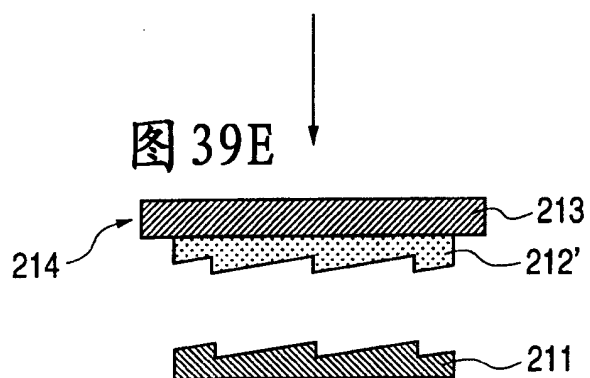


图 40

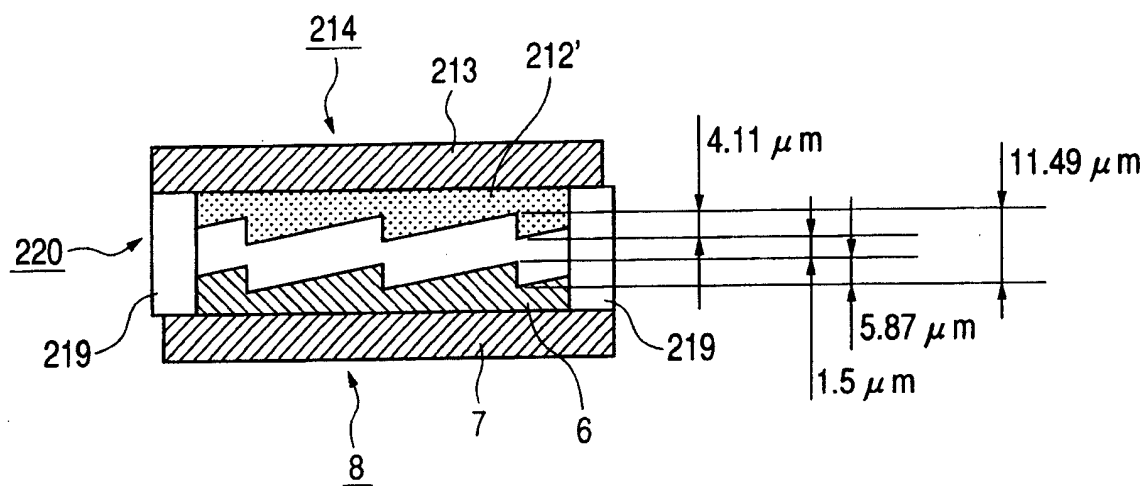


图 41

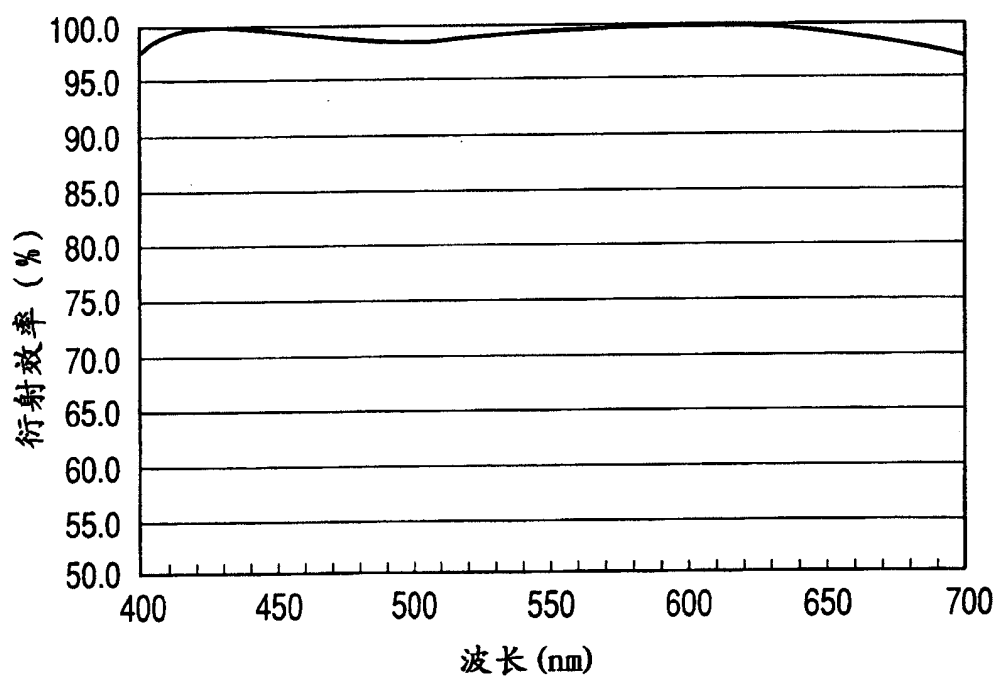


图 42

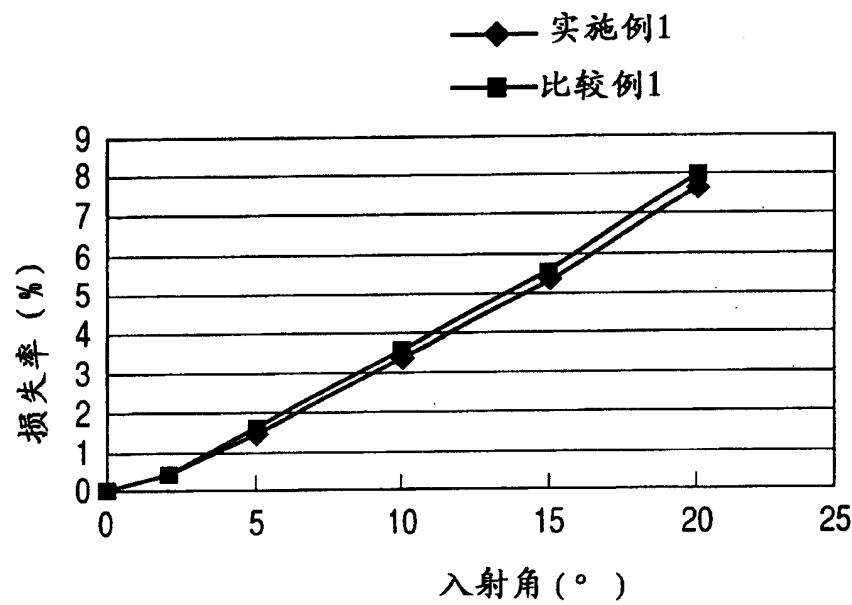


图 43

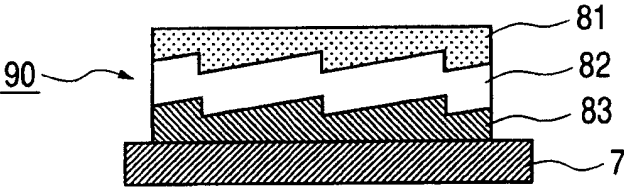


图 44

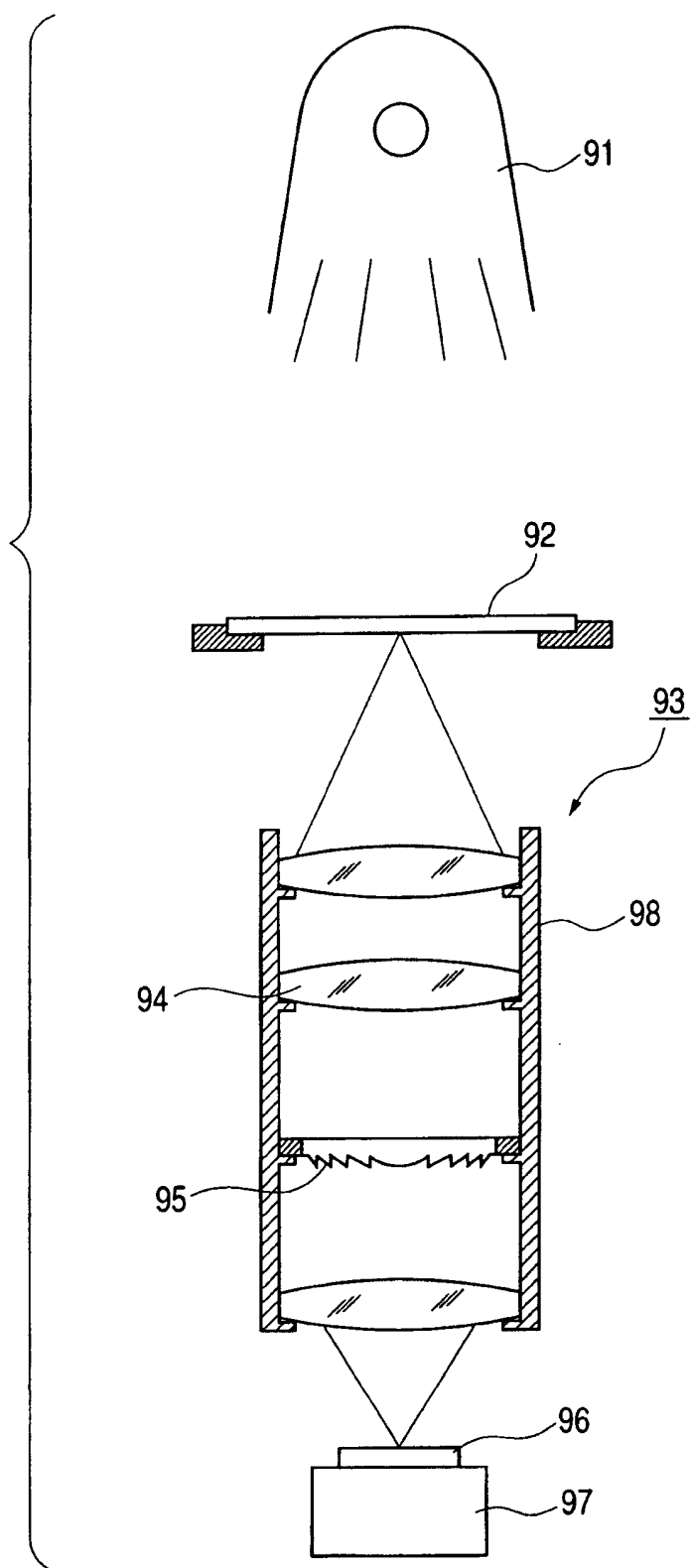


图 45

