

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102792772 A

(43) 申请公布日 2012. 11. 21

(21) 申请号 201080065318. 8

(22) 申请日 2010. 10. 14

(30) 优先权数据

2010-053094 2010. 03. 10 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 09. 10

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2010/068013 2010. 10. 14

(87) PCT申请的公布数据

W02011/111256 JA 2011. 09. 15

(71) 申请人 日本电气株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 枣田昌尚 今井雅雄 铃木尚文

富永慎

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

代理人 柳春雷

(51) Int. Cl.

H05B 33/02(2006. 01)

H01L 33/36(2006. 01)

H01L 51/50(2006. 01)

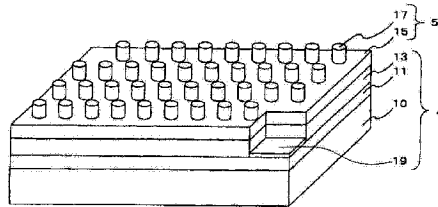
权利要求书 3 页 说明书 16 页 附图 11 页

(54) 发明名称

发光元件、光源装置和投影显示装置

(57) 摘要

装有光源层(4)和光从光源层(4)所入射到的方向控制层(5)。光源层(4)具有布置在衬底(10)上的一对空穴传输层(11)和电子传输层(13)。方向控制层(5)包括:等离子体激发层(15),堆叠到光源层(4)的非衬底(10)侧并具有比从光源层(4)发射的光的频率更高的等离子体频率;波数矢量转换层(17),把由等离子体激发层(15)产生的表面等离子体转换到预定出射角并发射。等离子体激发层(15)被夹在具有介电特性的两个层之间。入射侧部分的有效介电常数大于出射侧部分的有效介电常数,入射侧部分包括堆叠在等离子体激发层(15)的光源层(4)侧的整个结构,出射侧部分包括堆叠在等离子体激发层(15)的波数矢量转换层(17)上的整个结构及与波数矢量转换层(17)接触的介质。



1. 一种发光元件,包括:
光源层;以及
光学元件层,其被堆叠在所述光源层上方,来自所述光源层的光进入所述光学元件层;

其中,所述光源层具有衬底,以及形成在所述衬底上的一对空穴传输层和电子传输层,其中,所述光学元件层具有:

等离子体激发层,其被堆叠到所述光源层的非衬底侧上方,并具有比从所述光源层发射的光的频率更高的等离子体频率;以及

出射层,其被堆叠到所述等离子体激发层上方,把在所述等离子体激发层中产生的表面等离子体转换为具有预定出射角的光,并发射具有所述预定出射角的光,

其中,所述等离子体激发层被夹置在具有介电特性的两个层之间;并且

其中,入射侧部分的有效介电常数大于出射侧部分的有效介电常数,所述入射侧部分包括堆叠在所述等离子体激发层的所述光源层侧上方的整个结构,所述出射侧部分包括堆叠在所述等离子体激发层的所述出射层侧上方的整个结构以及与所述出射层接触的介质。

2. 根据权利要求 1 所述的发光元件,其中:

所述有效介电常数是复有效介电常数 ϵ_{eff} ,其满足

[公式 1]

$$\epsilon_{eff} = \frac{\iiint_D \epsilon(\omega, x, y, z) \exp(2jk_{spp,z}z)}{\iiint_D \exp(z)} \dots \dots \dots \text{公式(1)}$$

其中,与所述等离子体激发层的界面平行的方向由 x 轴和 y 轴表示;与所述等离子体激发层的界面垂直的方向由 z 轴表示;从所述光源层发射的光的角频率由 ω 表示;所述入射侧部分或所述出射侧部分的电介质的介电常数分布由 $\epsilon(\omega, x, y, z)$ 表示;积分范围由 D 表示并且是所述入射侧部分或所述出射侧部分的三维坐标的范围;表面等离子体的波数的 z 成分由 $k_{spp,z}$ 表示;虚数单位由 j 表示,并且

其中,所述表面等离子体的波数的 z 成分 $k_{spp,z}$ 以及 x 和 y 成分 k_{spp} 满足

[公式 2]

$$k_{spp,z} = \sqrt{\epsilon_{eff}k_0^2 - k_{spp}^2} \dots \dots \dots \text{公式(2)}$$

[公式 3]

$$k_{spp} = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_{eff}\epsilon_{metal}}{\epsilon_{eff} + \epsilon_{metal}}} \dots \dots \dots \text{公式(3)}$$

其中,所述等离子体激发层的介电常数的实部由 ϵ_{metal} 表示,真空中的光的波数由 k_0 表示。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的发光元件,还包括:

介电常数层,其形成为与下述二者中的至少一个层相邻:所述等离子体激发层的所述出射层侧、所述等离子体激发层的所述光源层侧。

4. 根据权利要求 3 所述的发光元件,

其中,所述等离子体激发层被夹置在一对所述介电常数层之间,并且与
与上述等离子体激发层的所述光源层侧相邻的所述介电常数层的介电常数比与上述
等离子体激发层的所述出射层侧相邻的所述介电常数层的介电常数更高。

5. 根据权利要求 3 或 4 所述的发光元件,

其中,被形成为与上述等离子体激发层的所述出射层侧相邻的所述介电常数层由具有
不同介电常数的多个介电常数层的层叠形成,并且

其中,所述多个介电常数层被布置成使得它们的介电常数沿着从上述等离子体激发层
侧向所述出射层侧的方向而降低。

6. 根据权利要求 3 或 4 所述的发光元件,

其中,被形成为与上述等离子体激发层的所述光源层侧相邻的所述介电常数层由具有
不同介电常数的多个介电常数层的层叠形成,并且

其中,所述多个介电常数层被布置成使得它们的介电常数沿着从上述光源层向上述等
离子体激发层侧的方向而增加。

7. 根据权利要求 3 或 4 所述的发光元件,

其中,被形成为与上述等离子体激发层的所述出射层侧相邻的所述介电常数层具有下
述介电常数分布:沿着从上述等离子体激发层侧向所述出射层侧的方向,介电常数逐渐降
低。

8. 根据权利要求 3 或 4 所述的发光元件,

其中,被形成为与上述等离子体激发层的所述光源层侧相邻的所述介电常数层具有下
述介电常数分布:沿着从上述光源层侧向上述等离子体激发层侧的方向,它们的介电常数
逐渐增加。

9. 根据权利要求 3 到 5 以及 7 中任意一项所述的发光元件,

其中,被形成为与上述等离子体激发层的所述出射层侧相邻的所述介电常数层是多孔
层。

10. 根据权利要求 3、4、6 和 8 中任意一项所述的发光元件,

其中,被形成为与上述等离子体激发层的所述光源层侧相邻的所述介电常数层具有导
电性。

11. 根据权利要求 1 到 10 中任意一项所述的发光元件,还包括:

有源层,其形成在上述空穴传输层与上述电子传输层之间并发射光。

12. 根据权利要求 1 到 11 中任意一项所述的发光元件,

其中,上述等离子体激发层由多个金属层的层叠构成,所述多个金属层由不同金属材
料制成。

13. 根据权利要求 1 到 12 中任意一项所述的发光元件,

其中,所述出射层具有表面周期结构。

14. 根据权利要求 1 到 13 中任意一项所述的发光元件,

其中,所述一对空穴传输层和电子传输层中形成在上述衬底侧的那个层在与厚度方向
正交的平面上具有暴露部分,所述暴露部分处形成有电极。

15. 根据权利要求 1 到 14 中任意一项所述的发光元件,还包括:

电极层,形成在上述衬底与上述一对空穴传输层和电子传输层中的任一个层之间。

16. 根据权利要求 1 到 15 中任意一项所述的发光元件，
其中，所述等离子体激发层的与所述厚度方向正交的平面的一部分被暴露，电流被提供到该部分。

17. 根据权利要求 1 到 16 中任意一项所述的发光元件，
其中，所述光源层具有层叠在非衬底侧的透明电极层；有源层被层叠到所述透明电极层上并利用在所述空穴传输层与所述电子传输层之间发射的光来生成电子和空穴，并且
其中，所述等离子体激发层具有比利用所述空穴传输层与所述电子传输层之间发射的光而在所述有源层中出射的所生成的光的频率更高的等离子体频率。

18. 根据权利要求 1 到 17 中任意一项所述的发光元件，
其中，所述等离子体激发层具有沿着所述厚度方向穿透的多个通孔，导电材料被埋入所述多个通孔中。

19. 根据权利要求 1 到 18 中任意一项所述的发光元件，
其中，所述等离子体激发层由 Ag、Au、Cu、Pt、Al 中的至少一种金属和含有这些金属中的至少一者的合金制成。

20. 一种光源装置，包括：

根据权利要求 1 到 19 中任意一项所述的发光元件；以及
偏振转换元件，其把从所述发光元件进入的轴对称偏振光配向到预定偏振状态。

21. 一种投影显示装置，包括：

根据权利要求 1 和 19 中任意一项所述的发光元件；
显示元件，其对从所述发光元件发射的光进行调制；以及
投影光学系统，其利用所述显示元件的出射光来投影图像。

22. 一种投影显示装置，包括：

根据权利要求 1 和 19 中任意一项所述的发光元件；
显示元件，其对从所述发光元件发射的光进行调制；
投影光学系统，其利用从所述发光元件发射的光来图像；以及
偏振转换元件，其被布置在所述发光元件与所述显示元件之间的光路上，并把从所述发光元件进入的轴对称偏振光配向到预定偏振状态。

发光元件、光源装置和投影显示装置

技术领域

[0001] 本发明涉及使用表面等离子体来发光的发光元件、光源装置和投影显示装置。

背景技术

[0002] 已经提出了一种使用发光二极管(LED)作为用于光源的发光元件的LED投影仪。这种类型的LED投影仪包括:照明光学系统(来自LED的光进入其中);具有液晶显示面板(来自照明光学系统的光进入其中)和DMD(数字微镜器件)的光阀;用于把来自光阀的光投影到投影平面上的投影光学系统。

[0003] 对于LED投影仪的要求是在从LED到光阀的光路上的光损耗最小,以改善投影图像的亮度。

[0004] 此外,如在非专利文献1中描述的,LED投影仪受到由光源装置的面积和发射角的乘积确定的集光率(étendue)的限制。换言之,从光源装置发射的光不被用作投影光,除非光源装置的发光面积和发射角的乘积等于或小于光阀的入射平面的面积和由光学系统的F数确定的接近角(立体角)的乘积。

[0005] 因此,存在减小从LED发射的光的集光率以减小前述光学损耗的需求。

[0006] 用于LED投影仪的光源需要发射具有数百流明数量级的光束。为了实现这种光源,具有高亮度和高方向性的LED很关键。

[0007] 作为具有高亮度和高方向性的发光元件的示例,专利文献1公开了具有图1中示出的结构的半导体发光元件,其中,在蓝宝石衬底101上顺序地堆叠了n型GaN层102、InGaN有源层103、p型GaN层104、ITO透明电极层105和二维周期结构层109。凹槽108由切割发光元件的一部分形成。发光元件也具有部分地形成在埋入凹槽108中的n型GaN层102中的n侧结合电极106以及形成在ITO透明电极层105上的p侧结合电极107。在该发光元件中,二维周期结构层109改善了从InGaN有源层103发射的光的方向性。因此,发光元件发射具有改善的方向性的光。

[0008] 作为具有高亮度和高方向性的发光元件的另一个示例,专利文献2公开了具有图2中示出的结构的有机EL元件110,其中阳极层112、空穴传输层113、发光层114、电子传输层115和具有精细周期凹凸构造栅格116a的阴极116被连续地堆叠在衬底111上。该发光元件使用阴极116的精细周期凹凸构造栅格116a以及在与外侧的界面上传播的表面等离子体的效果,来实现从发光元件发射的光的发射角小于 $\pm 15^\circ$ 的高方向性。

[0009] 专利文献

[0010] 专利文献1:JP 2005-005679A,公开文件

[0011] 专利文献2:JP 2006-313667A,公开文件

[0012] 非专利文献

[0013] 非专利文献1:PhlatLight™ Photonic Grating LEDs for RPTV Light Engines;Christian Hoepfner;SID Symposium Digest 37,1808(2006)

发明内容

[0014] 如上所述,从发光元件以超出预定角度的恒定角度(例如, $\pm 15^\circ$ 的发射角)发射的光不进入照明光学系统和光阀,并且成为光损耗。迄今为止,作为专利文献 1 中描述的结构,已经实现了发射具有数千流明量级的光束的 LED。虽然该结构可以实现高亮度,但是其不能够将从发光元件发射的光的发射角变窄到小于 $\pm 15^\circ$ 。换言之,在专利文献 1 中描述的发光元件具有其中出射光的方向性较低的缺陷。

[0015] 另一方面,专利文献 2 中描述的结构使用了表面等离子体来将出射光的发射角变窄到小于 $\pm 15^\circ$ 。然而,迄今为止,还不存在发射具有数千流明量级的光束的有机 EL 元件。因此,存在这样的问题,即使在专利文献 2 中描述的发光元件被应用到 LED 投影仪,也不能获得足够的亮度。

[0016] 换言之,专利文献 1 和 2 中描述的结构都不能实现满足 LED 投影仪所要求的亮度和方向性的发光元件。

[0017] 本发明的一个目的是提供能够解决上述工程问题的发光元件,以及提供装备有这种发光元件的光源装置和投影显示装置。

[0018] 为了实现以上目的,根据本发明的发光元件包括光源层以及光学元件层,光学元件层被堆叠在光源层上方并且来自光源层的光进入光学元件层。光源层具有衬底和形成在衬底上的一对空穴传输层和电子传输层。光学元件层具有:等离子体激发层,其被堆叠到光源层的非衬底侧上方并且具有比从光源层发射的光的频率更高的等离子体频率;出射层,其被堆叠到等离子体激发层上方并且将在等离子体激发层中产生的表面等离子体转换为具有预定出射角的光,并且发射具有预定出射角的光。等离子体激发层被夹置在具有介电特性的两个层之间。入射侧部分的有效介电常数大于出射侧部分的有效介电常数,入射侧部分包括堆叠在等离子体激发层的光源层侧上方的整个结构,出射侧部分包括堆叠在等离子体激发层的出射层侧上方的整个结构以及与出射层接触的介质。

[0019] 根据本发明的光源装置包括本发明的发光元件以及偏振转换元件,偏振转换元件将从发光元件进入的轴对称偏振光配向为预定偏振状态。

[0020] 根据本发明的投影显示装置包括本发明的发光元件;显示元件,其对从发光元件发射的光进行调制;投影光学系统,其利用从发光元件发射的光投影出投影图像;偏振转换元件,其被布置在发光元件与显示元件之间的光路上,并且将从发光元件进入的轴对称偏振光配向为预定偏振状态。

[0021] 根据本发明,因为可以改善亮度和方向性,所以可以实现具有高亮度和高方向性的发光元件。

附图说明

[0022] 图 1 是描述了专利文献 1 的结构的立体图。

[0023] 图 2 是描述了专利文献 2 的结构的截面图。

[0024] 图 3A 是示意性地示出了根据本发明的实施例的发光元件的结构的立体图。

[0025] 图 3B 是示意性地示出了根据实施例的发光元件的平面图。

[0026] 图 4A 是示意性地示出了根据第二实施例的发光元件的立体图。

[0027] 图 4B 是示意性地示出了根据第二实施例的发光元件的平面图。

- [0028] 图 5A 是描绘了根据第二实施例的发光元件的制造过程的截面图。
- [0029] 图 5B 是描绘了根据第二实施例的发光元件的制造过程的截面图。
- [0030] 图 5C 是描绘了根据第二实施例的发光元件的制造过程的截面图。
- [0031] 图 5D 是描绘了根据第二实施例的发光元件的制造过程的截面图。
- [0032] 图 5E 是描绘了根据第二实施例的发光元件的制造过程的截面图。
- [0033] 图 5F 是描绘了根据第二实施例的发光元件的制造过程的截面图。
- [0034] 图 6A 是示意性地示出了根据第三实施例的发光元件的结构的立体图。
- [0035] 图 6B 是示意性地示出了根据第三实施例的发光元件的平面图。
- [0036] 图 7A 是示意性地示出了根据第四实施例的发光元件的结构的立体图。
- [0037] 图 7B 是示意性地示出了根据第四实施例的发光元件的平面图。
- [0038] 图 8 是示意性地示出了根据第五实施例的发光元件的方向控制层的立体图。
- [0039] 图 9 是示意性地示出了根据第六实施例的发光元件的方向控制层的立体图。
- [0040] 图 10 是示意性地示出了根据第七实施例的发光元件的方向控制层的立体图。
- [0041] 图 11 是示意性地示出了根据第八实施例的发光元件的方向控制层的立体图。
- [0042] 图 12 是示意性地示出了根据第九实施例的发光元件的方向控制层的立体图。
- [0043] 图 13A 是示意性地示出了根据第十实施例的发光元件的结构的立体图。
- [0044] 图 13B 是示意性地示出了根据第十实施例的发光元件的平面图。
- [0045] 图 14 是示出了应用到根据本发明的实施例的发光元件的轴对称偏振半波片的立体图。
- [0046] 图 15 是示出了应用到根据实施例的发光元件的轴对称偏振半波片的横截面图。
- [0047] 图 16A 是描绘了应用到根据实施例的发光元件的轴对称偏振半波片的示意图。
- [0048] 图 16B 是描绘了应用到根据实施例的发光元件的轴对称偏振半波片的示意图。
- [0049] 图 17 是示出了在根据实施例的发光元件不具有轴对称偏振半波片的情况下出射光的远场图案和偏振方向的示意图。
- [0050] 图 18 是示出了在根据实施例的发光元件具有轴对称偏振半波片的情况下出射光的远场图案和偏振方向的示意图。
- [0051] 图 19 是示出了从根据第二实施例的发光元件发射的光的角分布的示意图。
- [0052] 图 20 是示出了从根据第五实施例的发光元件发射的光的角分布的示意图。
- [0053] 图 21 是相对于根据第五实施例的发光元件比较从有效介电常数获得的等离子体谐振角与通过多层膜反射计算获得的等离子体谐振角的示意图。
- [0054] 图 22 是示意性地示出了应用根据实施例的发光元件的 LED 投影仪的立体图。

具体实施方式

[0055] 下文中,将会参照附图描述本技术的实施例。

[0056] (第一实施例)

[0057] 图 3A 是示意性地示出了根据本发明的第一实施例的发光元件的构造的示意图。图 3B 是示意性地示出了根据本发明的第一实施例的发光元件的平面图。因为发光元件的各个层非常薄并且它们的厚度差异很大,所以难以画出各个层的精确比例。因此,在附图中,各个层没有以实际比例绘制,而是被示意性地示出的。

[0058] 如图 3A 所示,根据第一实施例的发光元件 1 具有光源层 4 和方向控制层 5,该方向控制层 5 堆叠在光源层 4 上并且作为光学元件层(来自光源层 4 的光进入其中)来进行工作。

[0059] 光源层 4 具有衬底 10 以及形成在衬底 10 上的一对空穴传输层 11 和电子传输层 13。空穴传输层 11 和电子传输层 13 顺序地堆叠在衬底 10 上。

[0060] 方向控制层 5 形成在光源层 4 的衬底 10 的相反侧。方向控制层 5 具有等离子体激发层 15 和作为出射层的波数矢量转换层 17,等离子体激发层 15 具有比从光源层 4 发射的光的频率更高的等离子体频率,波数矢量转换层 17 堆叠在等离子体激发层 15 上并且将等离子体激发层 15 的入射光转换为预定出射角度并且发射所得到的光。

[0061] 如图 3A 和图 3B 所示,空穴传输层 11 的上层被部分地切掉,使得与空穴传输层 11 的厚度方向正交的平面的一部分被暴露。阳极 19 形成在空穴传输层 11 的暴露部分处。类似地,形成在等离子体激发层 15 上的波数矢量转换层 17 的一部分被切掉,使得与等离子体激发层 15 的厚度方向正交的平面的一部分被暴露。等离子体激发层 15 的所暴露的部分作为阴极 18 发挥作用。因此,在本实施例的结构中,电子被从等离子体激发层 15 注入,而空穴(正的空穴)被从阳极 19 注入。

[0062] 可选择地,光源层 4 的电子传输层 13 和空穴传输层 11 的相对位置可以与根据本实施例的相对位置颠倒。由与等离子体激发层 15 不同的材料制成的阴极可以整体或部分地形成在暴露的等离子体激发层 15 上。阴极和阳极可以使构成 LED 或有机 EL 的那些。如果阴极完全形成在等离子体激发层 15 的暴露平面上,那么优选地阴极在光源层 4 的发光频率上是透明的。

[0063] 发光元件 1 的周围介质可以是固体、液体或气体。此外,衬底 10 上的环境介质可以与发光元件 1 的波数矢量转换层 17 侧不同。

[0064] 空穴传输层 11 可以例如由构成普通 LED 或半导体激光器的 p 型半导体形成,或者由作为用于有机 EL 的空穴传输层的芳香族胺化合物或四苯基二胺形成。

[0065] 电子传输层 13 可以由构成普通 LED 或半导体激光器的 n 型半导体构成,或者由作为用于有机 EL 的电子传输层的 Alq₃、噁二唑(oxadiazolium, PBD) 或三唑(TAZ) 构成。

[0066] 图 3A 也示出了根据本发明的发光元件 1 的光源层 4 的基本结构。形成在光源层 4 的每个层之间的层可以例如是缓冲层、另一个空穴传输层和另一个电子传输层。可选择地,光源层 4 可以具有已知的 LED 或有机 EL 的结构。

[0067] 形成在光源层 4 的空穴传输层 11 与衬底 10 之间的层可以使反射从光引导体 12 发射的光的反射层(未示出)。在该结构中,反射层例如可以由 Ag 或 Al 制成的金属膜或者多层电介质物质层。

[0068] 等离子体激发层 15 被夹置在具有介电性的两个层之间。根据本实施例,两个层对应于电子传输层 13 和波数矢量转换层 17。根据本实施例的发光元件 1 被构造为使得入射侧部分(包括在等离子体激发层 15 的光源层 4 那侧堆叠的整个结构,下文中简称作入射侧部分)的有效介电常数大于出射侧部分(包括在等离子体激发层 15 的波数矢量转换层 17 那侧堆叠的整个结构和与波数矢量转换层 17 接触的介质,下文中简称作出射侧部分)的有效介电常数。在等离子体激发层 15 的波数矢量转换层 17 侧堆叠的整个结构包括波数矢量转换层 17。

[0069] 换言之,根据第一实施例,相对于等离子体激发层 15 的入射侧部分(包括整个光源层 4)的有效介电常数高于相对于等离子体激发层 15 的出射侧部分(包括波数矢量转换层 17 和介质)的有效介电常数。

[0070] 具体地,等离子体激发层 15 的入射侧部分(光源层 4 侧)的复有效介电常数的实部被设置为比等离子体激发层 15 的出射侧部分(波数矢量转换层 17 侧)的复有效介电常数的实部更高。

[0071] 假设与等离子体激发层 15 的界面平行的方向由 x 轴和 y 轴表示,与等离子体激发层 15 的界面垂直的方向由 z 轴表示,光源层 4 的出射光的角频率由 ω 表示,在相对于等离子体激发层 15 的入射侧部分或出射侧部分中的电介质的介电常数分布由 $\epsilon(\omega, x, y, z)$ 表示,表面等离子体的波数由 $k_{spp,z}$ 表示,并且虚数单位由 j 表示,那么复有效介电常数 ϵ_{eff} 可以被表示为:

[0072] [公式 1]

$$[0073] \quad \epsilon_{eff} = \frac{\iiint_D \epsilon(\omega, x, y, z) \exp(2jk_{spp,z}z)}{\iiint_D \exp(z)} \dots \dots \dots \text{公式(1)}$$

[0074] 积分范围 D 是相对于等离子体激发层 15 的入射侧部分或出射侧部分的三维坐标的范围。换言之,在积分范围 D 中的 x 轴和 y 轴方向的范围是在入射侧部分或出射侧部分所包括的结构的外周平面上的介质,但是包括与等离子体激发层 15 的界面平行的平面的外边缘的范围。另一方面,在积分范围 D 中沿着 z 轴方向的范围是入射侧部分或出射侧部分(包括介质)的范围。假设在等离子体激发层 15 与具有电介质特性并与等离子体激发层 15 相邻的层之间的界面处于 z=0 的位置,在积分范围 D 中沿着 z 轴方向的范围是从界面到等离子体激发层 15 的上述相邻层侧上的无穷远的范围,并且离开界面的方向被称作为公式(1)中的(+)z 方向。

[0075] 另一方面,假设等离子体激发层 15 的介电常数的实部由 ϵ_{metal} 表示,并且真空中的光的波数由 k_0 表示,那么表面等离子体的波数的 z 成分 $k_{spp,z}$ 以及表面等离子体的波数的 x 和 y 成分 k_{spp} 由以下公式表示。

[0076] [公式 2]

$$[0077] \quad k_{spp,z} = \sqrt{\epsilon_{eff}k_0^2 - k_{spp}^2} \dots \dots \dots \text{公式(2)}$$

[0078] [公式 3]

$$[0079] \quad k_{spp} = k_0 \sqrt{\frac{\epsilon_{eff} \epsilon_{metal}}{\epsilon_{eff} + \epsilon_{metal}}} \dots \dots \dots \text{公式(3)}$$

[0080] 因此,通过将等离子体激发层 15 的入射侧部分的介电常数分布 $\epsilon_{in}(\omega, x, y, z)$ 以及等离子体激发层 15 的出射侧部分的介电常数分布 $\epsilon_{out}(\omega, x, y, z)$ 作为 $\epsilon(\omega, x, y, z)$ 代入公式(1)、公式(2)和公式(3)中,获得了相对于等离子体激发层 15 的出射侧部分的复有效介电常数 ϵ_{effin} 和相对于等离子体激发层 15 的出射侧部分的复有效介电常数 ϵ_{effout} 。实际上,通过对于复有效介电常数 ϵ_{eff} 提供合适的初始值并且通过重复地计算公式(1)、公式(2)和公式(3),容易获得复有效介电常数 ϵ_{eff} 。如果与等离子体激发层 15 接触的层

的介电常数的实部非常大时,在界面上的表面等离子体的波数的 z 成分 $k_{spp,z}$ 变为实数。这意味着在表面上不产生表面等离子体。因此,与等离子体激发层 15 接触的层的介电常数对应于这种情况中的有效介电常数。

[0081] 假设表面等离子体的有效相互作用距离是表面等离子体的强度变为 e^{-2} 的距离,那么有效相互作用距离 d_{eff} 可以由以下的公式计算。

[0082] [公式 4]

[0083]
$$d_{eff} = \text{Im} \left[\frac{1}{k_{spp,z}} \right] \dots \dots \dots \text{公式(4)}$$

[0084] 优选地,包括将等离子体激发层 15 排除在外的光源层 4 的任何层以及与波数矢量转换层 17 接触的介质的复介电常数的虚部尽可能小。当复介电常数的虚部被设置得尽可能小时,可以容易进行等离子体耦合,以减小光损耗。

[0085] 等离子体激发层 15 是微粒层或薄膜层,其由具有相比于由光源层 4 的发射的光的频率(发光频率)更高的等离子体频率的材料制成。换言之,等离子体激发层 15 在光源层 4 的发光频率下具有负的介电常数。

[0086] 等离子体激发层 15 的材料的示例包括是金、银、铜、铂、钯、铑、钇、铈、铁、锡、锌、钴、镍、铬、钛、钽、钨、铟和铝,或者它们的合金。其中,等离子体激发层 15 的材料优选的是金、银、铜、铂和铝以及含有这些材料作为主要成分的合金。等离子体激发层 15 的材料更优选的是金、银、铂、铝或者含有这些金属作为主要成分的合金。

[0087] 优选地,等离子体激发层 15 可以具有 200nm 以下的厚度。更优选地,等离子体激发层 15 具有范围从 10nm 到 100nm 的厚度。优选地,波数矢量转换层 17 与等离子体激发层 15 之间的界面到电子传输层 13 与空穴传输层 11 之间的界面的距离尽可能小。该距离的可允许的最大值对应于在电子传输层 13 与空穴传输层 11 的界面和等离子体激发层 15 之间发生等离子体耦合的距离。该距离的可允许的最大值可以使用公式(4)计算。

[0088] 波数矢量转换层 17 是发射层,在该层上对在等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 之间的界面上激发的表面等离子体的波矢量进行转换,并且从发光元件 1 发射光。换言之,波数矢量转换层 17 将表面等离子体转换为具有预定角度的光,使得发光元件 1 发射所得到的光。即,波数矢量转换层 17 使得发光元件 1 沿着与等离子体激发层 15 和波数矢量转换层 17 之间的界面几乎正交的方向发射光。

[0089] 波数矢量转换层 17 的示例包括表面浮雕光栅、由光子晶体代表的周期结构、准周期结构、准晶体结构、具有比从光源层 4 发射的光更长波长的材质结构、凹凸表面结构、全息图和微透镜阵列。准周期结构表示其中周期结构部分丢失的不完整周期结构。在它们之中,优选地使用由光子晶体代表的周期结构、准周期结构、准晶体结构和微透镜阵列。它们可以改善光取得效率并且控制方向性。当使用光子晶体时,优选地使用三角形光栅结构。波数矢量转换层 17 可以以这种方式形成:周期凸起结构或周期凹陷结构形成在平面衬底上。

[0090] 之后,将会描述具有上述结构的发光元件 1 的波数矢量转换层 17 的发光操作。

[0091] 电子被从作为阴极的等离子体激发层 15 的一部分注入,而空穴被从阳极 19 注入。从等离子体激发层 15 的一部分和阳极 19 注入的电子和空穴被分别通过电子传输层 13 和空穴传输层 11 注入到它们之间的界面中。注入到电子传输层 13 与空穴传输层 11 之间的

界面中的电子和空穴被与等离子体激发层 15 中的电子和空穴耦合,并且由此在等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 之间的界面上激发出表面等离子体。在该界面上激发出的表面等离子体由波数矢量转换层 17 折射。之后,经折射的表面等离子体作为具有预定出射角的光从波数矢量转换层 17 发射。

[0092] 如果在等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 的界面上的介电常数是空间均匀的,即,当界面是平面时,不能提取表面等离子体。因此,根据本发明,表面等离子体由波数矢量转换层 17,以被作为光来提取。假设所提取的光具有最大强度的出射角是中央出射角并且波数矢量转换层 17 的周期结构的节距由 Λ 表示,从波数矢量转换层 17 发射的光的中央出射角 θ_{rad} 由以下公式表示。

[0093] [公式 5]

$$[0094] \quad \theta_{rad} = \text{Sin}^{-1} \left(\frac{k_{spp} - i \frac{2\pi}{\Lambda}}{k_0} \right)$$

[0095] 公式(5)

[0096] 其中 i 是自然数。除了公式(5)变为“0”的情况之外,从波数矢量转换层 17 的一个点发射的光具有环形强度分布,强度随着光传播而同心地扩散。在公式(5)变为“0”的情况下,光强度在与正交于光学元件 1 的波数矢量转换层 17 的厚度方向的平面垂直的方向上最高。强度与光学元件 1 的发光方向和光学元件 1 的平面之间的角度成比例。因为等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 之间的波数是由公式(3)近似地获得的波数,所以由公式(5)获得的出射光的角分布也变窄。

[0097] 如上所述,因为根据第一实施例的光学元件 1 的光源层 4 的材料与普通 LED 相同,所以光学元件 1 可以发射具有与 LED 同样高亮度的光。此外,从波数矢量转换层 17 发射的光的出射角取决于等离子体激发层 15 的复介电常数、夹置等离子体激发层 15 的入射侧部分和出射侧部分的有效介电常数以及在光学元件 1 中发射的光的发射光谱。因此,从光学元件 1 发射的光的方向性不受到光源层 4 的方向性的限制。此外,因为根据本实施例的光学元件 1 使用等离子体耦合来发射光,所以从光学元件 1 发射的光的出射角可以变窄并由此可以改善出射光的方向性。

[0098] 因此,根据本实施例,可以同时改善出射光的亮度和方向性。此外,因为从光学元件 1 发射的光的方向性得到改善,所以可以减小出射光的集光率。

[0099] 因为根据第一实施例的光学元件 1 的制造过程与根据以下第二实施例的光学元件的制造过程类似,并且除了在第二实施例中形成有源层之外,第一实施例中的制造过程与第二实施例中的制造过程相同,所以将会省略根据第一实施例的光学元件 1 的制造过程的描述。

[0100] 之后,将会描述根据本发明的其他实施例的发光元件。根据其他实施例的发光元件与根据第一实施例的光学元件 1 的区别仅在于光源层 4 或方向控制层 5 的结构。因此,在本发明的其它实施例中,仅描述与第一实施例不同光源层或方向控制层。构成根据其他实施例的光源层和方向控制层的、与第一实施例类似的层由相似的附图标记表示,并且将不会被描述。

[0101] (第二实施例)

[0102] 图 4A 是示意性地示出了根据本发明的第二实施例的发光元件的立体图。图 4B 是示意性地示出了根据第二实施例的发光元件的平面图。

[0103] 如图 4A 和图 4B 所示,根据第二实施例的光学元件 2 具有光源层 24 和方向控制层 5,该方向控制层 5 堆叠在光源层 24 上并且来自光源层 24 的光进入其中。因为根据第二实施例的光学元件 2 的方向控制层 5 与第一实施例相同,所以将会省略方向控制层 5 的描述。根据第二实施例的光学元件 2 的光源层 24 与根据第一实施例的光源层 4 的区别仅在于有源层 12 形成在空穴传输层 11 与电子传输层 13 之间。

[0104] 光源层 24 的有源层 12 的材料与用于 LED 或有机 EL 的材料相同。有源层 12 的材料示例包括:InGa_N、AlGaAs、AlGaInP、Ga_N、ZnO、诸如金刚石(半导体)的无机材料、(噻吩/亚苯基)共低聚物、诸如 Alq₃(半导体材料)的无机材料。优选地,有源层 12 具有量子阱结构。此外,优选地有源层 12 的发光光谱的宽度尽可能窄。

[0105] 在根据第二实施例的光学元件 2 中,优选地从波数矢量转换层 17 与等离子体激发层 15 之间的界面到电子传输层 13 与有源层 12 之间的界面的距离尽可能小。该距离的可允许的最大值对应于在有源层 12 与等离子体激发层 15 之间发生等离子体耦合的距离。该距离的可允许的最大值可以使用公式(4)计算。

[0106] 此外,在根据第二实施例的光学元件 2 中,从等离子体激发层 15 的一部分和阳极 19 注入的电子和空穴分别通过电子传输层 13 和空穴传输层 11 注入到有源层 12 中。注入到有源层 12 中的电子和空穴与等离子体激发层 15 中的电子或空穴耦合,并由此在等离子体激发层 15 和波数矢量转换层 17 的界面上激发出表面等离子体。所激发出的表面等离子体由波数矢量转换层 17 折射并且从波数矢量转换层 17 发射。

[0107] 图 5A 到图 5F 示出了根据第二实施例的光学元件 2 的制造过程。图 5A 到图 5F 中示出的制造过程仅为示例。因此,本发明不局限于图 5A 到图 5F 中示出的制造过程。如图 5A 所示,因为在衬底 10 上堆叠空穴传输层 11、有源层 12 和电子传输层 13 的堆叠步骤是已知的,所以将会省略堆叠步骤的描述。如上所述,除了省略了形成有源层 12 的步骤之外,用于根据第一实施例的发光元件 1 的制造过程与第二实施例相同。

[0108] 之后,如图 5B 所述,等离子体激发层 15 和波数矢量转换层 17 按照例如物理气相沉积、电子束气相沉积或溅射气相沉积的技术顺序地堆叠到电子传输层 13 上。

[0109] 之后,如图 5C 所示,抗蚀剂膜 20 按照旋涂技术涂布到波数矢量转换层 17 上。之后,如图 5D 所示,光子晶体的负图案按照纳米压印技术、光刻技术或电子束光刻技术转移到抗蚀剂膜 20。之后,如图 5E 所示,波数矢量转换层 17 被干法蚀刻到期望深度。之后,如图 5F 所示,抗蚀剂膜 20 被从波数矢量转换层 17 剥离。最后,通过蚀刻部分地暴露等离子体激发层 15 和空穴传输层 11 的表面,并且由此阳极 19 部分地形成在空穴传输层 11 上。因此,获得了光学元件 2。

[0110] 根据本实施例,可以平坦地形成衬底 10、空穴传输层 11、有源层 12、电子传输层 13 和等离子体激发层 15。因为每个层没有受到结构限制,所以可以容易制造根据本实施例的发光元件。

[0111] (第三实施例)

[0112] 图 6A 是示意性地示出了根据本发明的第三实施例的发光元件的立体图。图 6B 是

示意性地示出了根据第三实施例的发光元件的平面图。

[0113] 如图 6A 和图 6B 所示,根据第三实施例的发光元件 3 具有光源层 34 和方向控制层 5,该方向控制层 5 堆叠在光源层 34 上并且来自光源层 34 的光进入其中。因为根据第三实施例的光学元件 3 的方向控制层 5 与第一实施例相同,所以将会省略方向控制层 5 的描述。根据第三实施例的光学元件 3 的光源层 34 与根据第二实施例的光源层 24 的区别仅在于阳极层 29 (其作为阳极) 完全形成在衬底 10 与空穴传输层 11 之间。

[0114] 根据第三实施例,阳极层 29 作为反射层进行工作,其反射从有源层 12 发射的光。因此,根据第三实施例,因为从有源层 12 向衬底 10 发射的光被反射到波数矢量转换层 17 侧,所以改善了从有源层 12 提取光的效率。阳极层 29 的材料示例包括 Ag、Au、Al、由这些金属作为主要材料制成的薄膜以及含有 Ag、Au 和 Al 中的一种元素的多层膜。或者,阳极层 29 的材料可以与 LED 或有机 EL 相同。

[0115] 根据第三实施例,阳极层 29 也作为散热板来工作。因此,阳极层 29 可以防止由于光源层 34 发光并产生热而使得内量子效率下降。

[0116] 此外,阳极层 29 增加空穴迁移率。在大部分情况中,空穴迁移率低于电子迁移率。因此,因为随着电子的注入而没有注入足够的空穴,所以内量子效率受到限制。换言之,阳极层 29 改善了光源层 34 的内量子效率。此外,因为阳极层 29 改善了朝向发光元件 3 的平面内的空穴迁移率,所以光源层 34 可以朝向平面的内部均匀地发射光。

[0117] 由与等离子体激发层 15 不同的材料制成的阴极可以部分地或全部形成在暴露的等离子体激发层 15 上。阴极和阳极的材料可以与 LED 或有机 EL 不同。当阴极完全形成在等离子体激发层 15 的暴露表面上时,优选地阴极可以在从光源层 4 发射的光的频率下透明。由于阳极层 29 不同的材料制成的阳极可以形成在阳极层 29 的暴露部分处。

[0118] (第四实施例)

[0119] 图 7A 是示意性地示出了根据本发明的第四实施例的发光元件的立体图。图 7B 是示意性地示出了根据第四实施例的发光元件的平面图。

[0120] 如图 7A 和图 7B 所示,根据第四实施例的发光元件 6 具有光源层 36 和方向控制层 8,该方向控制层 8 堆叠在光源层 36 上并且来自光源层 36 的光进入其中。

[0121] 根据第四实施例的光源层 36 具有衬底 10;形成在衬底 10 上的一对电子传输层 21 和空穴传输层 31;以及形成在电子传输层 21 与空穴传输层 31 之间的有源层 12。根据本实施例,电子传输层 21、有源层 12 和空穴传输层 31 顺序地堆叠在衬底 10 上。形成在电子传输层 21 上方的各个层被部分地切掉,以暴露与电子传输层 21 的厚度方向正交的平面的一部分。阳极 19 形成在电子传输层 21 的暴露部分处。

[0122] 根据第四实施例的方向控制层 8 具有在结构上与根据前述实施例的等离子体激发层 15 不同的等离子体激发层 39。

[0123] 如图 7B 所示,等离子体激发层 39 具有沿着等离子体激发层 39 的厚度方向穿透的多个通孔 39a。作为导电材料的电极材料被埋入通孔 39a 中。因此,多个电流注入部分 49 形成在等离子体激发层 39 中。电流注入部分 49 的电极材料与用于 LED 或有机 EL 的电极材料相同。

[0124] 根据本实施例,埋入等离子体激发层 39 的通孔 39a 中的电极材料具有比空穴传输层 31 略微更高的功函数。电子传输层 21 与空穴传输层 31 的相对位置可以与实施例中颠

倒。在这种情况下,需要将具有比电子传输层略微更低功函数的电极材料埋入通孔 39a 中。

[0125] 当形成在方向控制层 8 侧的空穴传输层 31 由 GaN 制成时,电子传输层 21 由 n 型 GaN 制成,并且等离子体激发层 39 由 Ag 制成,电流注入部分 49 的电极材料例如是作为电极材料的 Ni、Cr 或 ITO。

[0126] 根据本实施例,即使不能在等离子体激发层 39 与电子传输层 21 之间获得适当的欧姆接触或者等离子体激发层作为屏障来工作,等离子体激发层 39 的电流注入部分 49 可以有效地将空穴或电子注入有源层 12。

[0127] 即使电子传输层 21 和空穴传输层 31 的相对位置相比于本实施例颠倒,当使用合适的电极材料形成电流注入部分 49 时,可以实现与上述实施例相同的效果。可选择地,电流注入部分可以具有堆叠结构,在该结构中,多个材料沿着等离子体激发层 39 的厚度方向堆叠。

[0128] 在载流子注入式发光元件中,具有相比于空穴传输层 31 略微更高的功函数的材料需要被用作阳极 19 并且具有相比于电子传输层 21 略微更低功函数的材料需要被用作阴极,以有效地将空穴或电子注入有源层 12。

[0129] 根据第四实施例的具有上述结构的方向控制层 8 可以实现与第一实施例相同的效果。此外,等离子体激发层 39 允许电子或空穴被有效地注入到有源层 12 中。

[0130] (第五实施例)

[0131] 图 8 是示出了根据本发明的第五实施例的发光元件的方向控制层的立体图。如图 8 所示,根据第五实施例的方向控制层 25 具有堆叠到光源层 4 的电子传输层 13 上的等离子体激发层 15、堆叠到等离子体激发层 15 上的介电常数层 14 和堆叠到介电常数层 14 上的波数矢量转换层 17。

[0132] 因此,第五实施例与第一实施例的区别在于介电常数层 14 被独立地形成在等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 之间。因为介电常数层 14 被设置为比根据下文中描述的第六实施例的介电常数层 16 (高介电常数层 16) 更低的介电常数,因此被称作为低介电常数层 14。低介电常数层 14 的介电常数需要在相对于等离子体激发层 15 的出射侧部分的有效介电常数比入射侧部分的有效介电常数更低的范围内。换言之,低介电常数层 14 不需要具有比相对于等离子体激发层 15 的入射侧部分的有效介电常数更低的介电常数。

[0133] 低介电常数层 14 可以由与波数矢量转换层 17 不同的材料制成。因此,根据本实施例,可以增加对于波数矢量转换层 17 的材料的选择的自由度。

[0134] 优选地,低介电常数层 14 可以是例如由 SiO_2 、 AlF_3 、 MgF_2 、 Na_3AlF_6 、 NaF 、 LiF 、 CaF_2 、 BaF_2 和具有低介电常数的塑料制成的薄膜或多孔膜。低介电常数层 14 的厚度优选地尽可能薄。所允许的厚度最大值对应于表面等离子体在低介电常数层 14 的厚度方向上发生的透入深度。所允许的厚度最大值可以使用公式(4)来计算。因为等离子体强度以指数减弱,所以如果低介电常数层 14 的厚度超出使用公式(4)计算的,就不能够获得具有高效率的发光元件。换言之,波数矢量转换层 17 的在等离子体激发层 15 侧的平面与等离子体激发层 15 的在波数矢量转换层 17 侧的平面之间的距离等于或小于使用公式(4)计算的值是必要的。

[0135] 在根据第五实施例的方向控制层 25 中,包括整个光源层 4 的入射侧部分的有效介电常数被设置为比包括波数矢量转换层 17、低介电常数层 14 以及与波数矢量转换层 17 接

触的介质的出射侧部分更高,以使得等离子体激发层 15 引起等离子体耦合。

[0136] 根据第五实施例的具有上述构造的方向控制层 25 可以实现与第一实施例相同的效果。此外,独立地形成的低介电常数层 14 允许容易地调整等离子体激发层 15 的出射侧部分的有效介电常数。

[0137] (第六实施例)

[0138] 图 9 是示出了根据本发明的第六实施例的发光元件的方向控制层的立体图。如图 9 所示,根据第六实施例的方向控制层 35 具有堆叠到光源层 24 的电子传输层 13 上的高介电常数层 16、堆叠到高介电常数层 16 上的等离子体激发层 15、堆叠到等离子体激发层 15 上的波数矢量转换层 17。

[0139] 因此,第六实施例与第一实施例的区别在于介电常数层 16 被独立地布置在等离子体激发层 15 与电子传输层 13 之间。介电常数层 16 被设置为具有根据第五实施例的低介电常数层 14 更高的介电常数。下文中,高介电常数层 16 被称作为高介电常数层 16。高介电常数层 16 的介电常数需要在相对于等离子体激发层 15 的出射侧部分的有效介电常数比入射侧部分的有效介电常数更低的范围中。换言之,高介电常数层 16 的介电常数不需要比相对于等离子体激发层 15 的出射侧部分的有效介电常数更大。

[0140] 高介电常数层 16 可以由与电子传输层 13 的不同的材料制成。因此,根据本实施例,可以增加关于电子传输层 13 的材料选择的自由度。

[0141] 优选地,高介电常数层 16 可以由包括金刚石、 TiO_2 、 CeO_2 、 Ta_2O_5 、 ZrO_2 、 Sb_2O_3 、 HfO_2 、 La_2O_3 、 NdO_3 、 Y_2O_3 、 ZnO 和 Nb_2O_5 中一者的高介电常数材料制成的薄膜或多孔膜。此外,高介电常数层 16 优选地由具有导电性的材料制成。此外,高介电常数层 16 的厚度优选地尽可能小。所允许的厚度最大值对应于在电子传输层 13 与等离子体激发层 15 之间产生等离子体耦合的距离。所允许的厚度最大值可以使用公式(4)计算。

[0142] 在根据第六实施例的方向控制层 35 中,包括光源层 4 和高介电常数层 16 的入射侧部分的有效介电常数被设置为比包括波数矢量转换层 17 和与波数矢量转换层 17 接触的介质的出射侧部分更高,以使得等离子体激发层 15 引起等离子体耦合。

[0143] 根据第六实施例的具有上述构造的方向控制层 35 可以实现与第一实施例相同的效果。此外,独立地形成的高介电常数层 16 允许容易地调整等离子体激发层 15 的入射侧部分的有效介电常数。

[0144] (第七实施例)

[0145] 图 10 是示出了根据第七实施例的发光元件的方向控制层的立体图。如图 10 所示,方向控制层 45 包括夹置在等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 之间的低介电常数层 14,以及夹置在电子传输层 13 与等离子体激发层 15 之间并具有比低介电常数层 14 更高的介电常数的高介电常数层 16。

[0146] 在根据第七实施例的方向控制层 45 中,包括整个光源层 4 和高介电常数层 16 的入射侧部分的有效介电常数被设置为比包括波数矢量转换层 17、低介电常数层 14 和与波数矢量转换层 17 接触的介质的出射侧部分更高,以使得等离子体激发层 15 引起等离子体耦合。

[0147] 根据第七实施例的具有上述构造的方向控制层 45 可以实现与第一实施例相同的效果。此外,独立地形成的低介电常数层 14 和高介电常数层 16 允许容易地调整等离子体

激发层 15 的出射侧部分的有效介电常数和等离子体激发层 15 的入射侧部分的有效介电常数。

[0148] (第八实施例)

[0149] 图 11 是根据第八实施例的发光元件的方向控制层的立体图。如图 11 所示,除了根据第七实施例的低介电常数层 14 和高介电常数层 16 都通过堆叠多个电介质层来构造之外,根据第八实施例的方向控制层 55 与根据第一实施例的方向控制层 5 具有相同结构。

[0150] 换言之,根据第八实施例的方向控制层 55 具有由多个电介质层 23a 到 23c 的堆叠而构成的低介电常数层组 23 以及由多个电介质层 26a 到 26c 的堆叠而构成的高介电常数层组 26。

[0151] 低介电常数层组 23 被布置为使得多个电介质层 23a 到 23c 的介电常数沿着从等离子体激发层 15 向由光子晶体制成的波数矢量转换层 17 的方向单调降低。类似地,在高介电常数层组 26 中,多个电介质层 26a 到 26c 被布置为使得介电常数可以沿着从光源层 24 的电子传输层 13 向等离子体激发层 15 的方向单调增加。

[0152] 低介电常数层组 23 的整体厚度被设置为等于在方向控制层具有独立的低介电常数层的实施例中的低介电常数层的厚度。类似地,高介电常数层组 26 的整体厚度被设置为等于在方向控制层具有独立的高介电常数层的实施例中的高介电常数层的厚度。虽然低介电常数层组 23 和高介电常数层组 26 中每一者都被示出为具有三层结构,但是它们可以采用具有二到五层的层结构。在必要时,低介电常数层组的介电常数层的数目可以与高介电常数层组的介电常数层的数目不同。或者,低介电常数层组或高介电常数层组可以由多个介电常数层的构造。

[0153] 因为低介电常数层组 23 和高介电常数层组 26 分别由多个电介质层 23a 到 23c 以及多个电介质层 26a 到 26c 构成,所以可以良好地设置与等离子体激发层 15 的界面相邻的介电常数层 23c 和 26a 的介电常数。此外,可以适当地设置以下层的折射率以使得它们充分匹配:光源层 24 的电子传输层 13、波数矢量转换层 17 或者与波数矢量转换层 17 接触的诸如空气的介质、以及与其波数矢量转换层 17 或介质相邻的低介电常数层 23a 和 26c。换言之,高介电常数层组 26 可以减小在光源层 24 的电子传输层 13 与等离子体激发层 15 的界面上的折射率差异,而低介电常数层组 23 可以减小在波数矢量转换层 17 或诸如空气的介质与等离子体激发层 15 的界面上的折射率差异。

[0154] 根据第八实施例的具有上述结构的方向控制层 55 允许适当地设置与等离子体激发层 15 相邻的介电常数层 23c 和 26a 的介电常数。此外,方向控制层 55 减小在光源层 24 的电子传输层 13 与等离子体激发层 15 的界面上以及在波数矢量转换层 17 与等离子体激发层 15 的界面上的折射率差异。因此,方向控制层 55 可以进一步减小光损失并且可以改善从光源层 24 发射的光的使用效率。

[0155] 代替低介电常数层组 23 和高介电常数层组 26,可以使用其中具有单调改变的介电常数的单层膜。在这种情况下,高介电常数层具有其中介电常数沿着从光源层 24 的电子传输层 13 向等离子体激发层 15 的方向逐渐增加的介电常数分布。类似地,低介电常数层具有其中介电常数沿着从等离子体激发层 15 向波数矢量转换层 17 的方向逐渐减小的介电常数分布。

[0156] (第九实施例)

[0157] 图 12 是示出了根据本发明的第九实施例的发光元件的方向控制层的立体图。如图 12 所示,除了等离子体激发层组 33 包括多个金属层 33a 和 33b 的堆叠构成之外,根据第九实施例的方向控制层 65 的结构与根据第一实施例的方向控制层 5 相同。

[0158] 在根据第九实施例的方向控制层 65 的等离子体激发层组 33 中,金属层 33a 和 33b 由不同金属材料构成并被堆叠。因此,等离子体激发层组 33 能够调整等离子体频率。

[0159] 为了升高等离子体激发层组 33 的等离子体频率,金属层 33a 和 33b 分别由 Ag 和 Al 制成。为了降低等离子体激发层组 33 的等离子体频率,金属层 33a 和 33b 分别由 Ag 和 Au 制成。虽然等离子体激发层组 33 由例如双层结构构成,但是也可以明白在必要时等离子体激发层组 33 可以由三个以上金属层构成。等离子体激发层组 33 的厚度优选地为 200nm 以下。等离子体激发层组 33 的厚度更优选地在从约 10nm 到 100nm 的范围内。

[0160] 在根据第九实施例的具有上述结构的方向控制层 65 中,因为等离子体激发层组 33 由多个金属层 33a 和 33b 构成,所以等离子体激发层组 33 的有效等离子体频率可以被调整到接近有源层 12 的发光频率。因此,在等离子体激发层组 33 中激发的电子或空穴可以与有源层 12 中的空穴或电子适当地耦合。因此,可以改善发射光的效率。

[0161] (第十实施例)

[0162] 图 13A 是示意性地示出了根据本发明的第十实施例的发光元件的立体图。图 13B 是示意性地示出了根据第十实施例的发光元件的平面图。

[0163] 如图 13A 和图 13B 所示,根据第十实施例的发光元件 9 的光源层 44 具有普通 LED 的结构,其中透明电极层 40 堆叠到根据第二实施例的光源层 24 的电子传输层 13 上。换言之,光源层 44 具有堆叠到非衬底 10 侧上的透明电极层 40。此外,在光源层 44 中,与有源层 12 不同的有源层 22 堆叠到具有 LED 结构的透明电极层 40 上。

[0164] 与有源层 22 类似,根据第一实施例的光源层 4 可以具有有源层以及透明电极层,在有源层中,利用从空穴传输层 11 与电子传输层 13 的界面发射的光来产生电子和空穴。根据第十实施例的光源层 44 具有部分地形成在空穴传输层 11 上的阳极 19。或者,与第三实施例类似,阳极层 29 可以形成在衬底 10 与空穴传输层 11 之间。

[0165] 在根据第十实施例的发光元件 9 中,从有源层 12 利用注入到光源层 44 中的电流产生的光激发在有源层 22 中产生的电子和空穴。如上所述,当在有源层 22 中产生的电子和空穴与在等离子体激发层 15 中激发的电子或空穴等离子体耦合时,在等离子体激发层 15 与波数矢量转换层 17 之间的界面上激发出表面等离子体。所激发的表面等离子体由波数矢量转换层 17 折射并且由此以预定出射角发射具有预定波长的光。

[0166] 当从具有根据第十实施例的上述结构的发光元件 9 发射具有期望波长的光时,可以增加相对于用于有源层的发光材料的选择的自由度。虽然还不知道利用所注入的电流发射具有高发光效率的绿色光的无机材料,但是已经知道利用所注入的光发射具有高发光效率的光的无机材料。根据本实施例,当使用具有这种特性的发光材料时,如果形成了具有有源层 12 和有源层 22 的光源层 44,可以将利用注入到有源层 12 中的电流获得的光注入到有源层 22 中。因此,用作有源层 22 的发光材料的特性可以被有效地利用,以改善光源层 44 的发光效率。

[0167] (根据实施例的光源装置)

[0168] 之后,将会描述光源装置,其中轴对称偏振半波片被布置在根据第二实施例的光

学元件 2 的发射侧上。图 14 是示出了应用到发光元件 2 的轴对称偏振半波片的立体图。

[0169] 如图 14 所示,根据实施例的光源装置包括轴对称偏振半波片 50,作为用于将从发光元件 2 进入的轴对称偏振光配向为预定偏振状态的偏振转换元件。轴对称偏振半波片 50 将光学元件 2 的入射光线偏振化。轴对称偏振半波片 50 被配置在光学元件 2 的波数矢量转换层 17 侧。当轴对称偏振半波片 50 将从光学元件 2 发射的光线偏振化时,出射光的偏振状态被配向。或者,偏振转换元件可以将轴对称偏振光配向为处于圆偏振状态而非线偏振状态的预定偏振状态。应当理解,根据第一到第十实施例中任一者的发光元件可以被应用到具有轴对称偏振半波片 50 的光源装置。

[0170] 图 15 是示出了轴对称偏振半波片 50 的结构的纵截面图。轴对称偏振半波片 50 的结构仅为示例。因此,本发明不局限于这种结构。如图 15 所示,轴对称偏振半波片 50 具有一对玻璃衬底 56 和 57、液晶层 53 和位于玻璃衬底 56 与 57 之间的隔离物 52,在一对玻璃衬底 56 和 57 上分别形成配向膜 51 和 54,液晶层 53 形成在玻璃衬底 56 和 57 的配向膜 51 和 54 之间。

[0171] 假设液晶层 53 对于寻常光的折射率由 n_o 表示,并且液晶层 53 对于非常光的折射率由 n_e 表示,那么折射率 n_e 将会大于折射率 n_o 。液晶层 53 的厚度 d 满足 $(n_e - n_o) \times d = \lambda / 2$ 。在这种情况下, λ 是真空中入射光波长。

[0172] 图 16A 和图 16B 是描绘了轴对称偏振半波片 50 的示意图。图 16A 是示出了轴对称偏振半波片 50 的液晶层 53 被与玻璃衬底 56 和 57 的主平面平行地切割的状态的横截面图。图 16B 是描绘了液晶分子 58 的配向方向的示意图。

[0173] 如图 16A 所示,液晶分子 58 绕轴对称偏振半波片 50 同心地布置。如图 16B 所示,假设液晶分子 58 的主轴与主轴附近的坐标轴之间的角度由 Φ 表示,并且坐标轴与偏振方向之间的角度由 θ 表示,液晶分子 58 被配向为满足 $\theta = 2\Phi$ 或 $\theta = 2\Phi + 90$ 的方向。图 16A 和图 16B 示出了相同平面的内部。

[0174] 图 17 示出了当发光元件不具有轴对称偏振半波片的情况中出射光的远场图案 62。根据第一到第十实施例,从光学元件 2 发射的光的远场图案 62 变为绕光学元件 2 的出射光的光轴辐射的轴对称偏振光。

[0175] 图 18 示出了穿过轴对称偏振半波片 50 的出射光的远场图案 64。如图 18 所示,轴对称偏振半波片 50 使得从光学元件 2 发射的光的偏振方向 63 被配向为在平面内的一个方面。

[0176] (第一示例)

[0177] 图 19 示出了从根据第二实施例的光学元件 2 发射的光的角度分布。在图 19 中,横轴表示出射光的出射角,而纵轴表示出射光的强度。

[0178] 制作由 SiO_2 制成的衬底 10、由 GaN:Mg 制成的空穴传输层 11、由 InGaN 制成的有源层 12、由 GaN:Si 制成的电子传输层 13 以及由 Ag 制成的等离子体激发层 15,使得它们的厚度分别为 0.5 毫米、100nm、3nm、10nm 和 50nm。介质是空气。此外,光源层 24 的发光波长是 460nm。波数矢量转换层 17 的材料是 PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯)。周期结构的深度、节距和占空比分别被设置为 100nm、325nm 和 0.5。虽然在该条件下的出射光具有不是环形而是接近高斯函数的光分布,但是当节距改变 321nm 时,峰分裂,并且由此可以获得环形亮度强度分布。

[0179] 为了简单,二维地执行计算。把从光学元件 2 发射的光的强度减半的角度的全宽度定义为发射角,则具有 460nm 的波长的光的发射角为 ± 2.4 (度)。

[0180] 在该示例中,通过公式(1),等离子体激发层 15 的发射侧部分和入射侧部分的有效介电常数分别是 1.56 和 5.86。通过公式(2),在表面等离子体的出射侧和入射侧上的 z 方向波数的虚部分别是 9.53×10^6 和 9.50×10^7 。因为 $1/\text{Im}(k_{\text{spp},z})$,假设表面等离子体的有效相互作用距离是表面等离子体的强度变为 e^{-2} 的距离,在入射侧和出射侧上的表面等离子体的有效相互作用距离分别变为 105nm 和 10.5nm。

[0181] 因此,在根据第二实施例的光源装置 2,方向控制层 5 可以改善光学元件 2 的出射光的发射角的方向性。此外,当波数矢量转换层 17 的栅格结构被适当地调整时,发射角可以被变窄到 ± 5 度内,以进一步改善方向性。此外,在根据第二实施例的光学元件 2 中,因为与一般 LED 一样,构成光源层 24 的空穴传输层 11、有源层 12 和电子传输层 13 可以由 p 型半导体、由无机材料制成的有源层以及由无机半导体材料制成的 n 型半导体层构成,所以可以获得数千流明量级的光束。

[0182] (第二示例)

[0183] 图 20 示出了从根据第五实施例的光学元件发射的光的角度分布。在图 20 中,横轴表示出射光的出射角,并且纵轴表示出射光的强度。

[0184] 制作由 Al_2O_3 制成的衬底 10、由 GaN:Mg 制成的空穴传输层 11、由 InGaN 制成的有源层 12、由 GaN:Si 制成的电子传输层 13、由 Ag 制成的等离子体激发层 15 以及由 SiO_2 制成的介电常数层 14,使得它们的厚度分别为 0.5mm、100nm、3nm、10nm、50nm 和 10nm。介质是空气。此外,光源层 4 的发光波长是 460nm。波数矢量转换层 17 的材料是 PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯)。周期结构的深度、节距和占空比分别被设置为 100nm、321nm 和 0.5。虽然在该条件下的出射光具有不是环形而是接近高斯函数的光分布,但是当节距改变 321nm 时,峰分裂,并且由此可以获得环形亮度强度分布。

[0185] 为了简单,二次元地执行计算。当从光学元件 2 发射的光的强度减半的角度的全宽度被定义为发射角时,具有 460nm 的波长的光的发射角为 ± 1.9 (度)。

[0186] 在该示例中,通过公式(1),等离子体激发层 15 的发射侧部分和入射侧部分的有效介电常数分别是 1.48 和 5.86。通过公式(2),在表面等离子体的出射侧和入射侧上的 z 方向波数的虚部分别是 8.96×10^6 和 9.50×10^7 。因为 $1/\text{Im}(k_{\text{spp},z})$,假设表面等离子体的有效相互作用距离是表面等离子体的强度变为 e^{-2} 的距离,在入射侧和出射侧上的表面等离子体的有效相互作用距离分别变为 112nm 和 10.5nm。

[0187] 图 21 关于根据第五实施例的发光元件比较了从通过使用公式(1)计算的有效介电常数获得的等离子体谐振角(在附图中由□表示)与通过多层膜反射计算获得的等离子体谐振角(在附图中由△表示)的比较。除了低介电常数层 14 的厚度之外,计算条件与计算角分布时类似。在图 21 中,横轴表示低介电常数层 14 的厚度,而纵轴表示等离子体谐振角。如图 21 所示,有效介电常数的计算值与多层膜反射的计算值匹配。因此,很清楚可以由使用公式(1)的有效介电常数来限定等离子体谐振的条件。

[0188] 根据本实施例的发光元件可以适合于用作为图像显示装置的光源。此外,发光元件可以被用作于投影显示装置所具有的光源、用于液晶面板(LCD)的直下式光源、移动电话中的所谓的背光以及诸如 PDA (个人数字助手)的电子装置等中。

[0189] 最后,参照图 22,将会描述作为根据前述第一到第十实施例的发光元件应用到其中的投影显示装置的 LED 投影仪的构造示例。图 22 是示意性地示出了根据本发明的实施例的 LED 投影仪的立体图。

[0190] 如图 22 所示,根据实施例的 LED 投影仪包括:红色(R)发光元件 1r、绿色(G)发光元件 1g 和蓝色(B)发光元件 1b;照明光学系统 72r、72g 和 72b,来自发光元件 1r、1g 和 1b 的光进入其中;作为显示元件(透过照明光学系统 72r、72g 和 72b 的光进入其中)的光阀 73r、73g 和 73b。此外,LED 投影仪还包括十字二色(dichroic)棱镜 74 和投影光学系统 76,十字二色棱镜 74 将在由光阀 73r、73g 和 73b 调制之后进入的 R、G 和 B 光合成,投影光学系统 76 包括用于将从十字二色棱镜 74 输出的光投影到诸如屏幕的投影表面的投影透镜(未示出)。

[0191] LED 投影仪具有应用到所谓的三片式投影仪的结构。照明光学系统 72r、72g 和 72b 例如都具有用于使得亮度均匀的柱透镜。光阀 73r、73g 和 73b 例如都具有液晶显示板和 DMD。应当理解,根据上述实施例的发光元件可以被应用到单板投影仪。

[0192] 当根据上述本实施例的发光元件被应用到 LED 投影仪时,可以改善投影图像的亮度。

[0193] 在 LED 投影仪中,图 15 以及图 16A 和图 16B 中示出的轴对称偏振半波片 50 优选地位于从发光元件 1r、1g 和 1b 发射的光的光路上,以抑制在光阀 73r、73g 和 73b 处的偏振光损失。当照明光学系统都包括偏振器时,轴对称偏振半波片 50 优选地位于偏振器与发光元件 1 之间。

[0194] 已经参照实施例描述了本发明。然而,本发明不局限于实施例。可以对于本发明的构造和细节进行可以由本领域技术人员理解的各种改变。

[0195] 本申请要求 2010 年 3 月 10 日递交的日本专利申请 No. 2010-053094 的优先权,并且通过应用将其结合在这里。

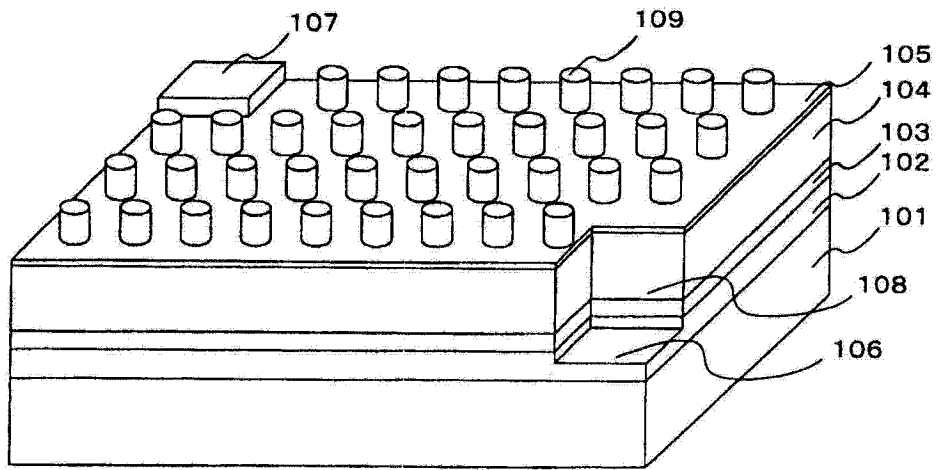


图 1

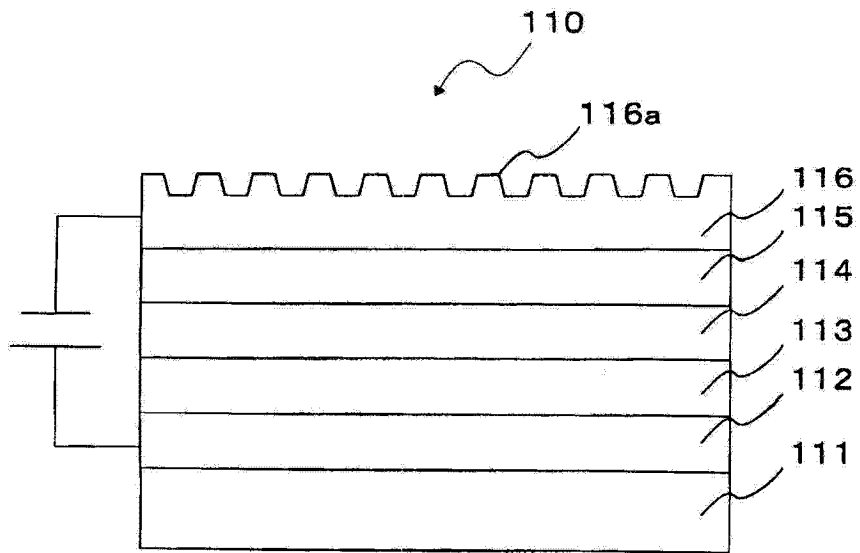


图 2

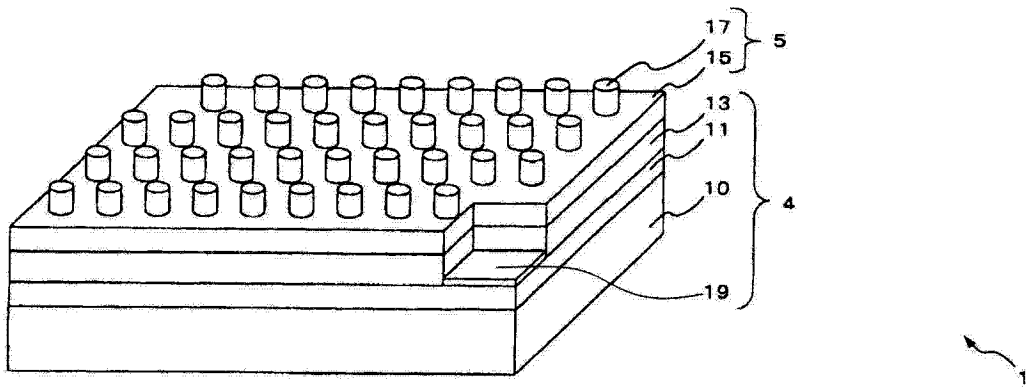


图 3A

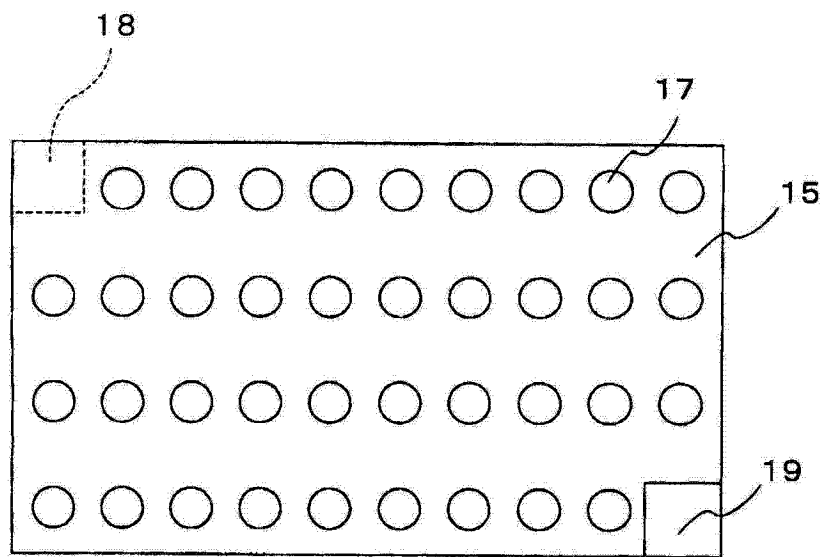


图 3B

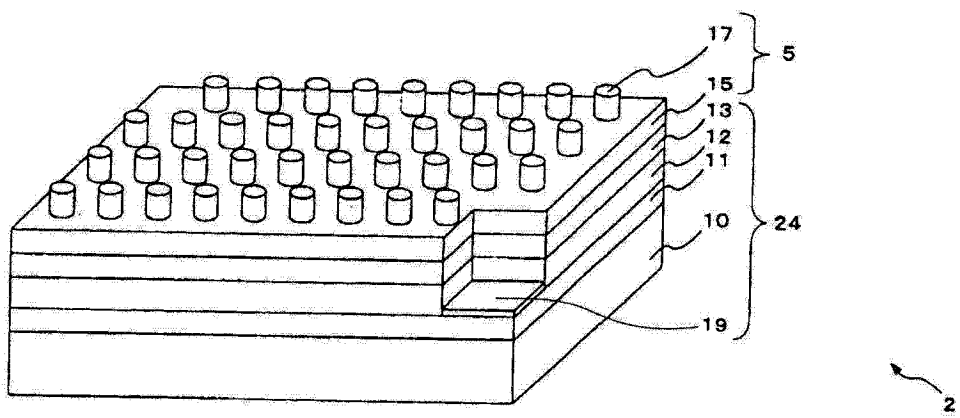


图 4A

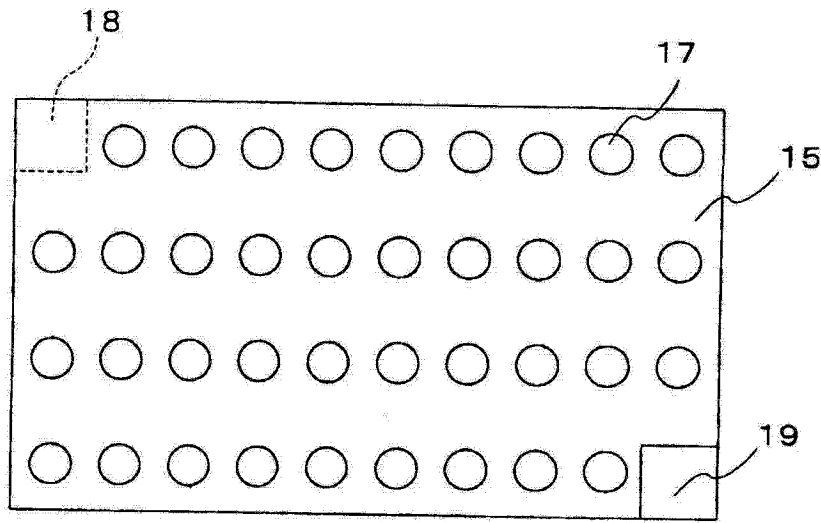


图 4B

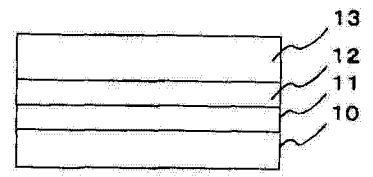


图 5A



图 5B

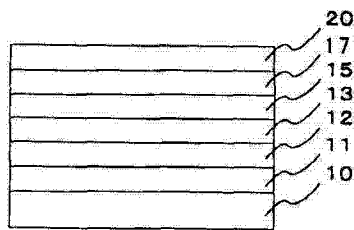


图 5C

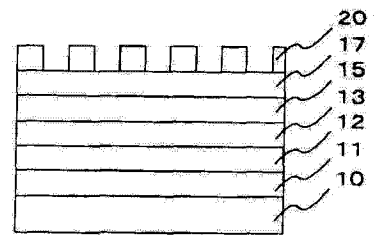


图 5D

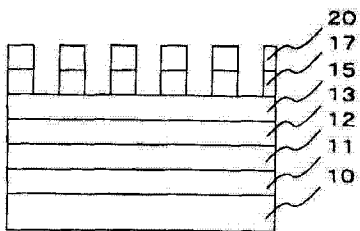


图 5E

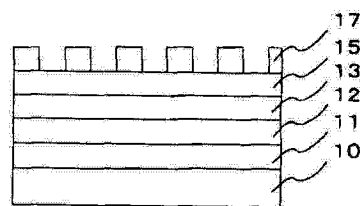


图 5F

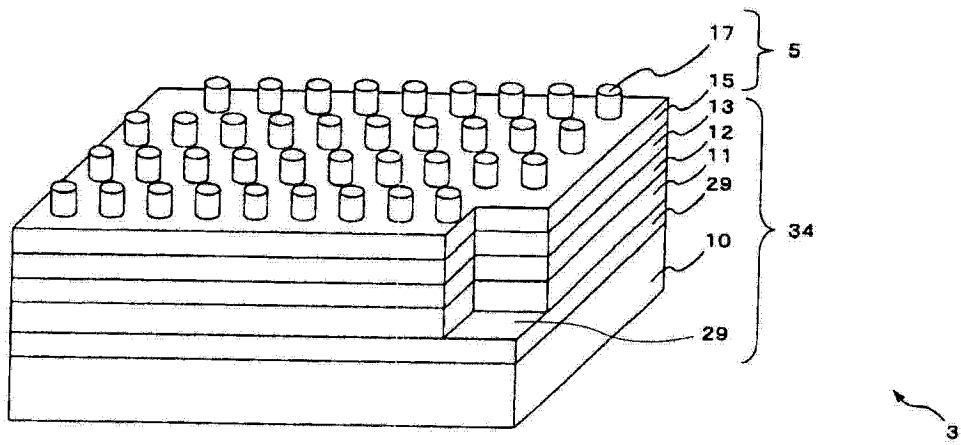


图 6A

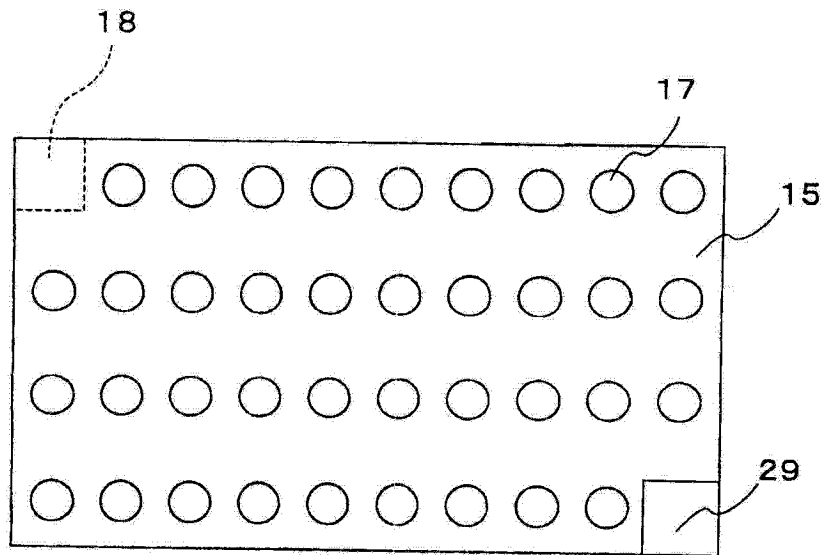


图 6B

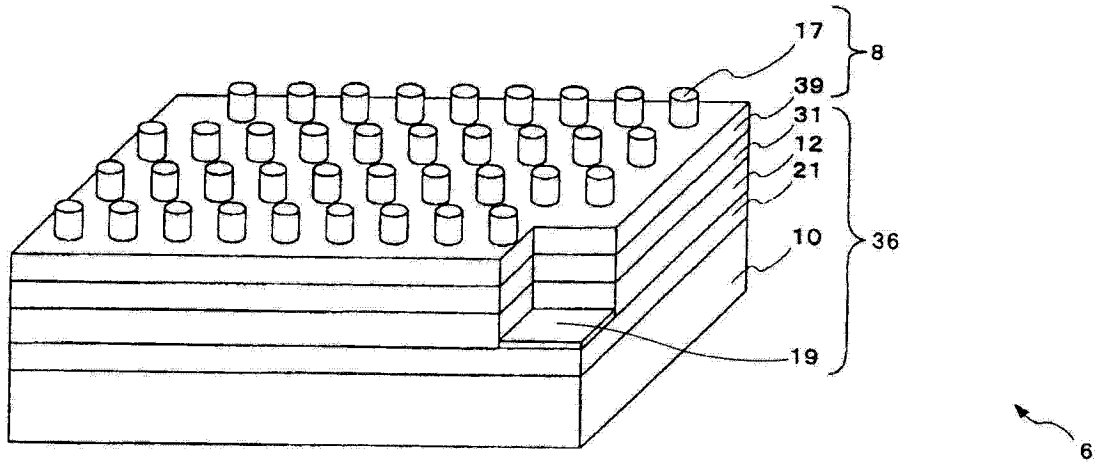


图 7A

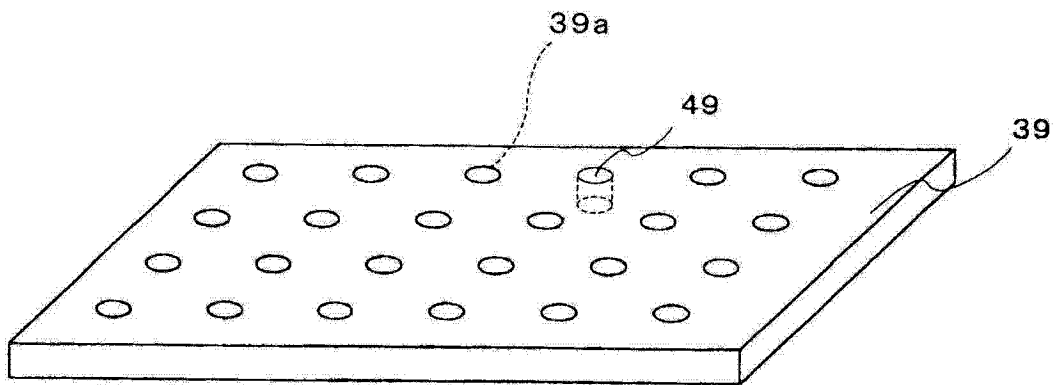


图 7B

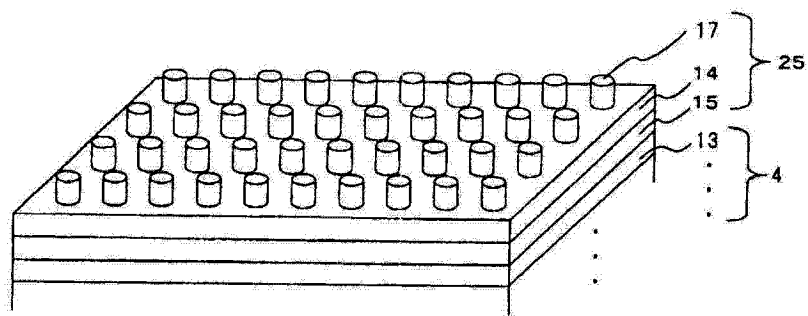


图 8

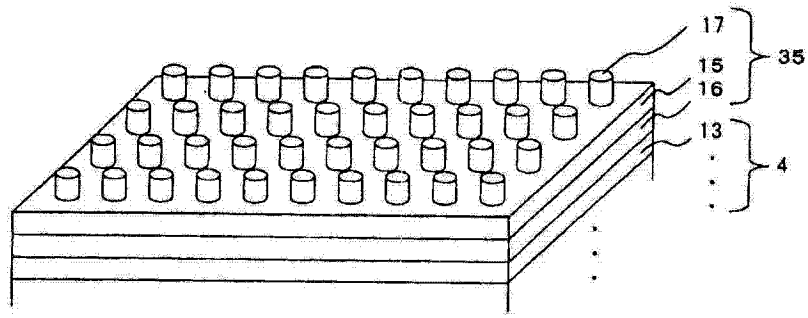


图 9

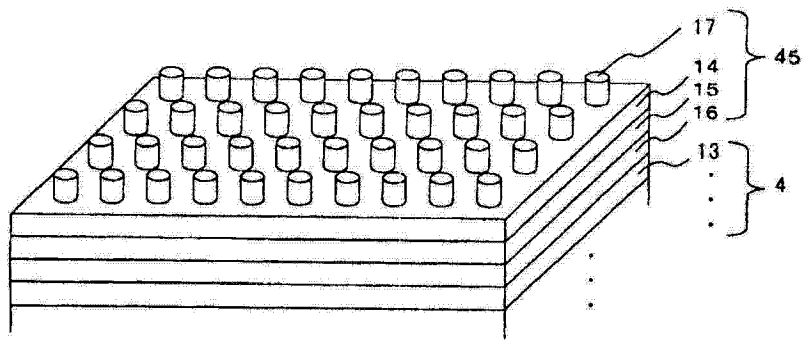


图 10

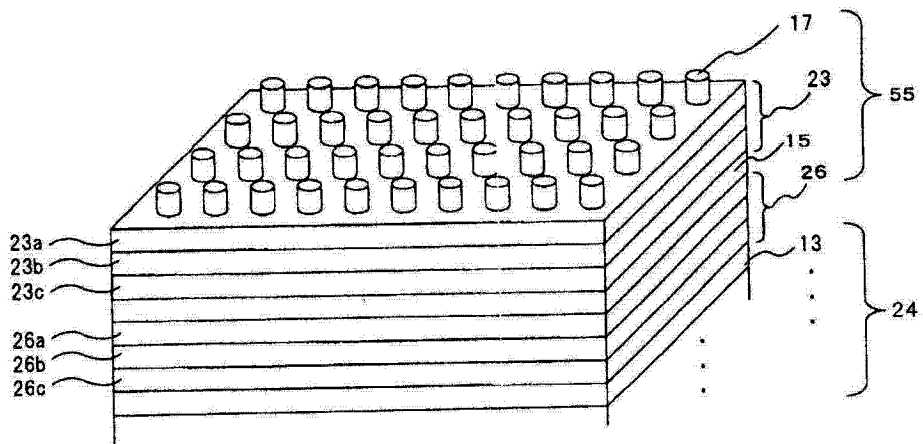


图 11

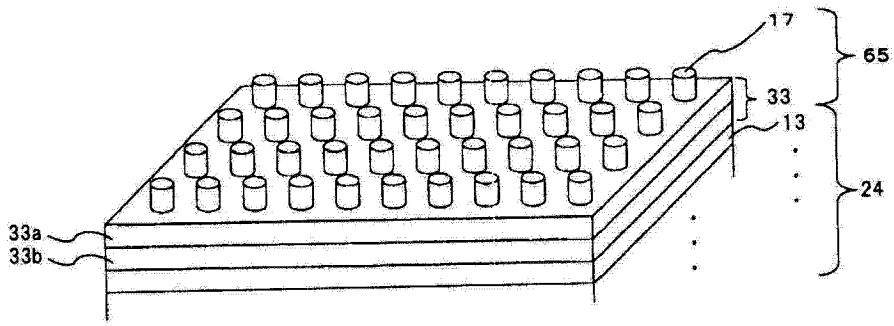


图 12

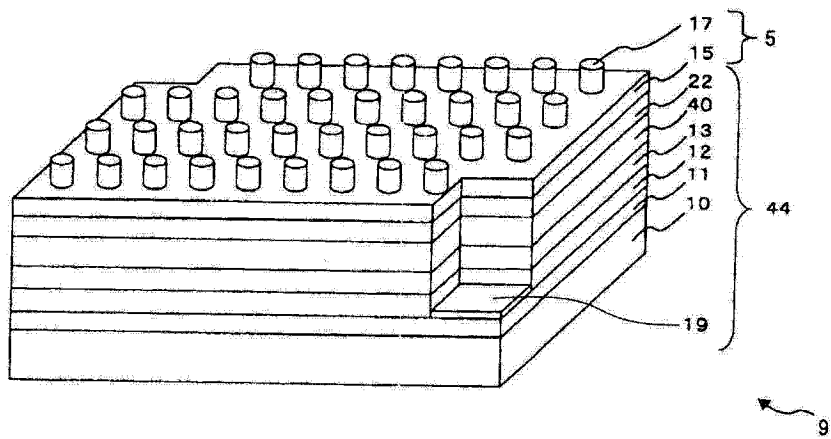


图 13A

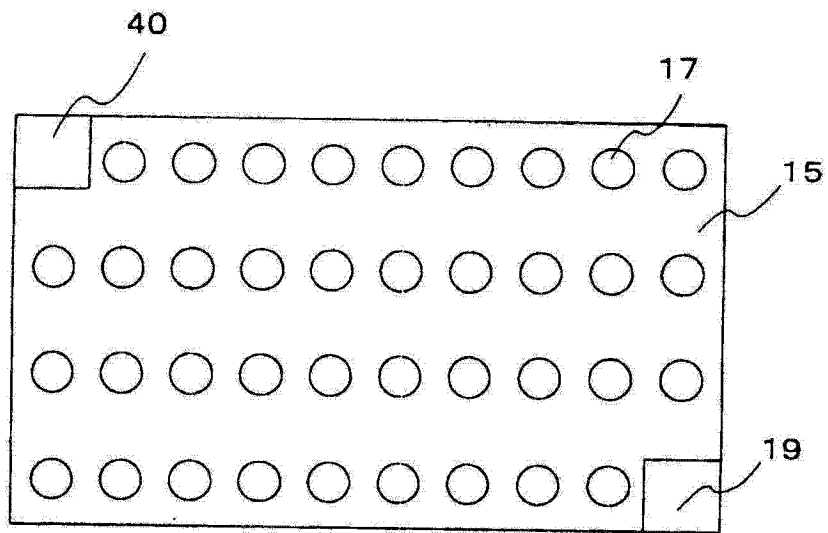


图 13B

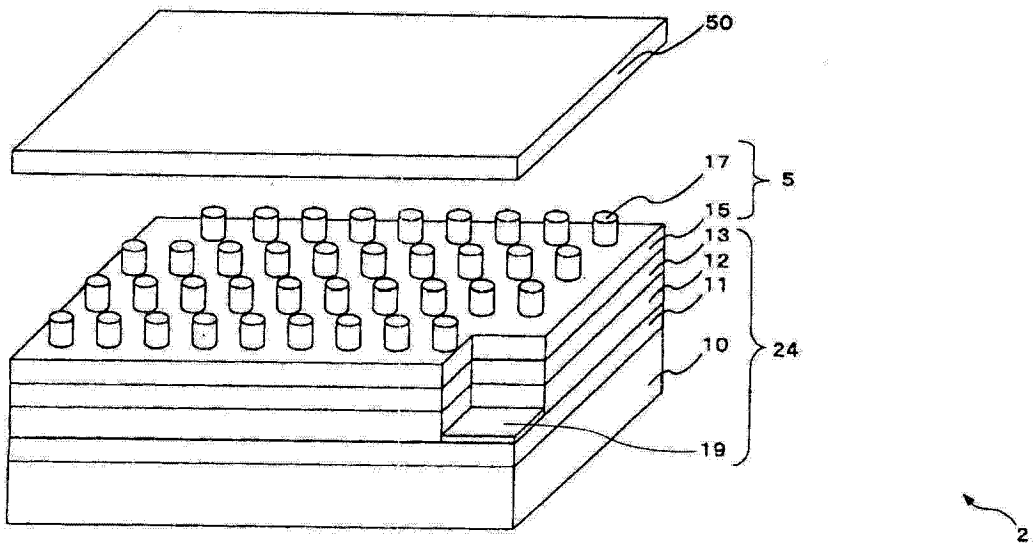


图 14

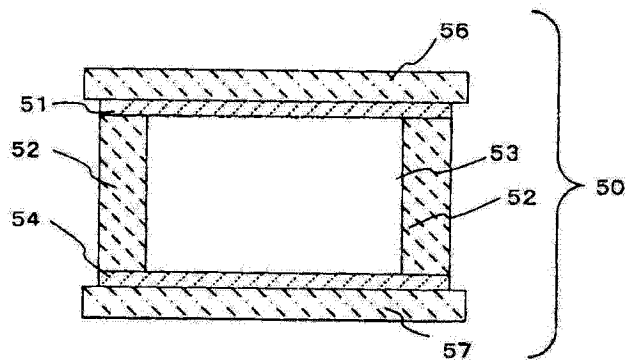


图 15

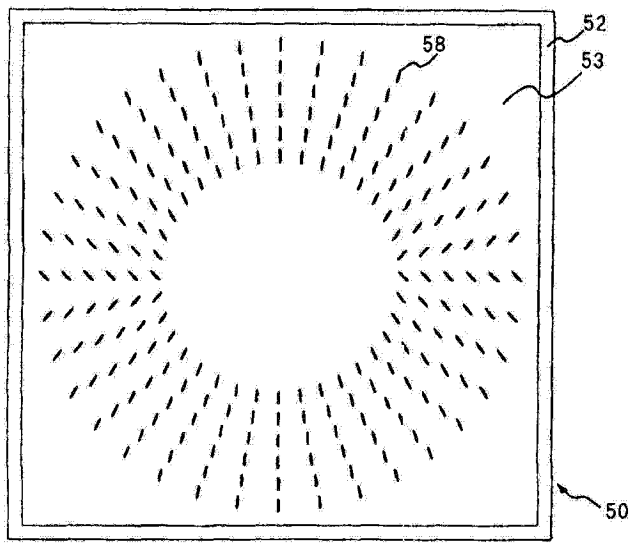


图 16A

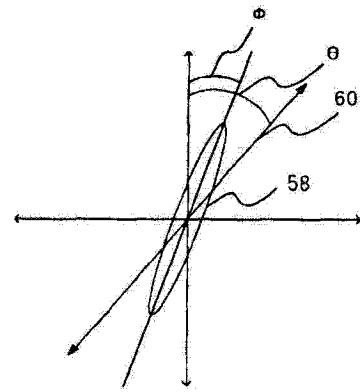


图 16B

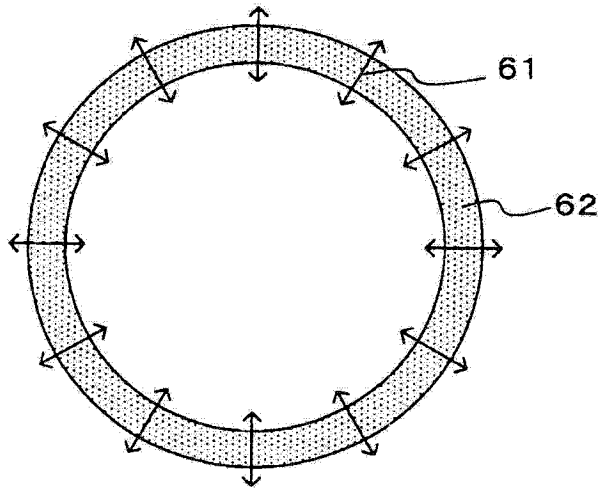


图 17

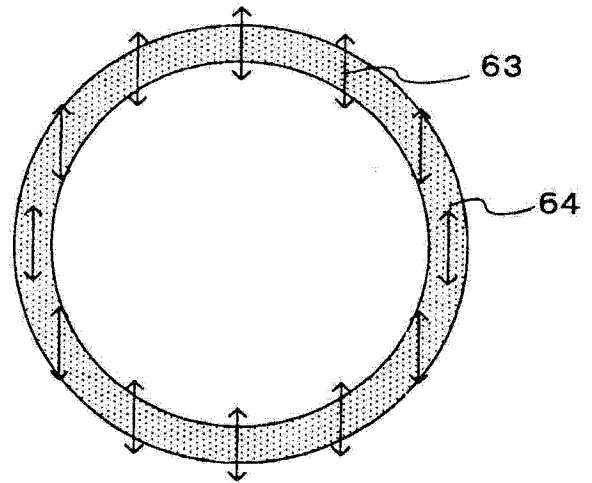


图 18

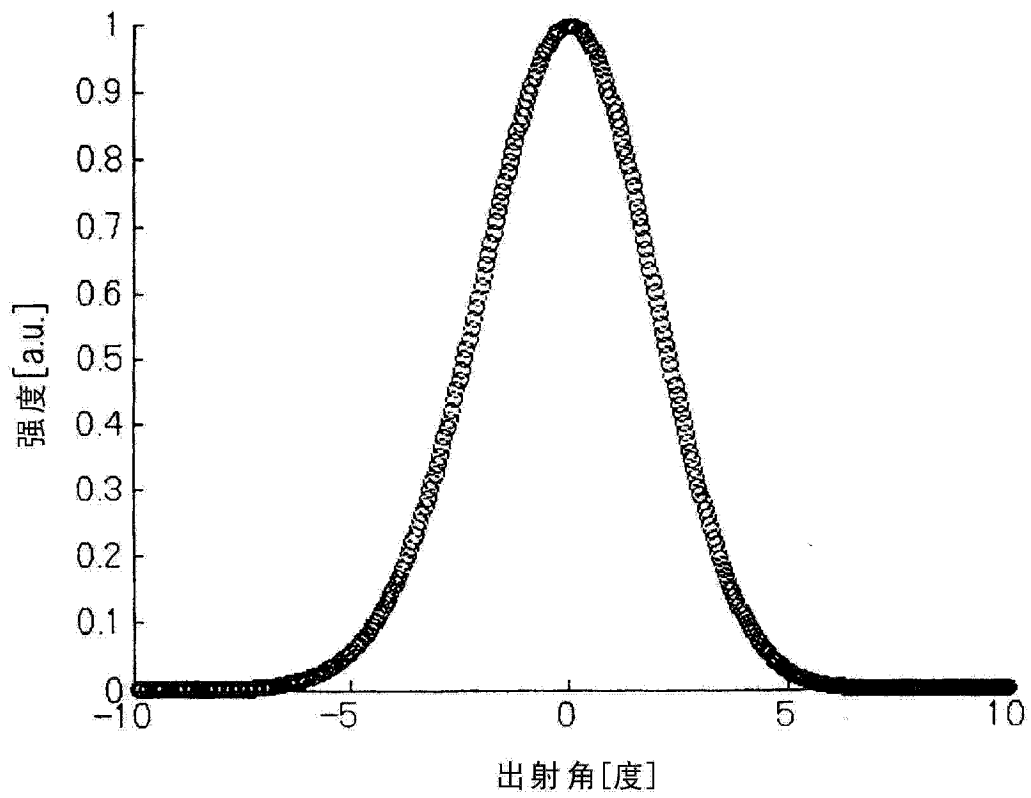


图 19

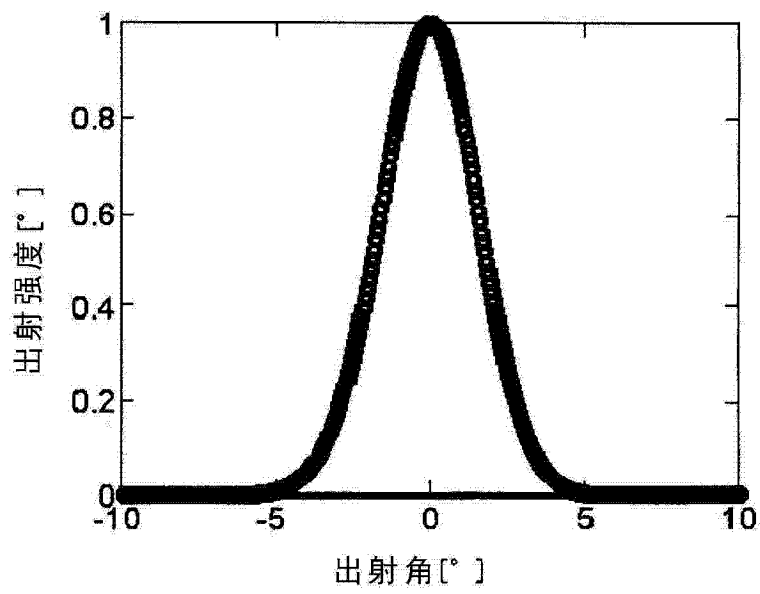


图 20

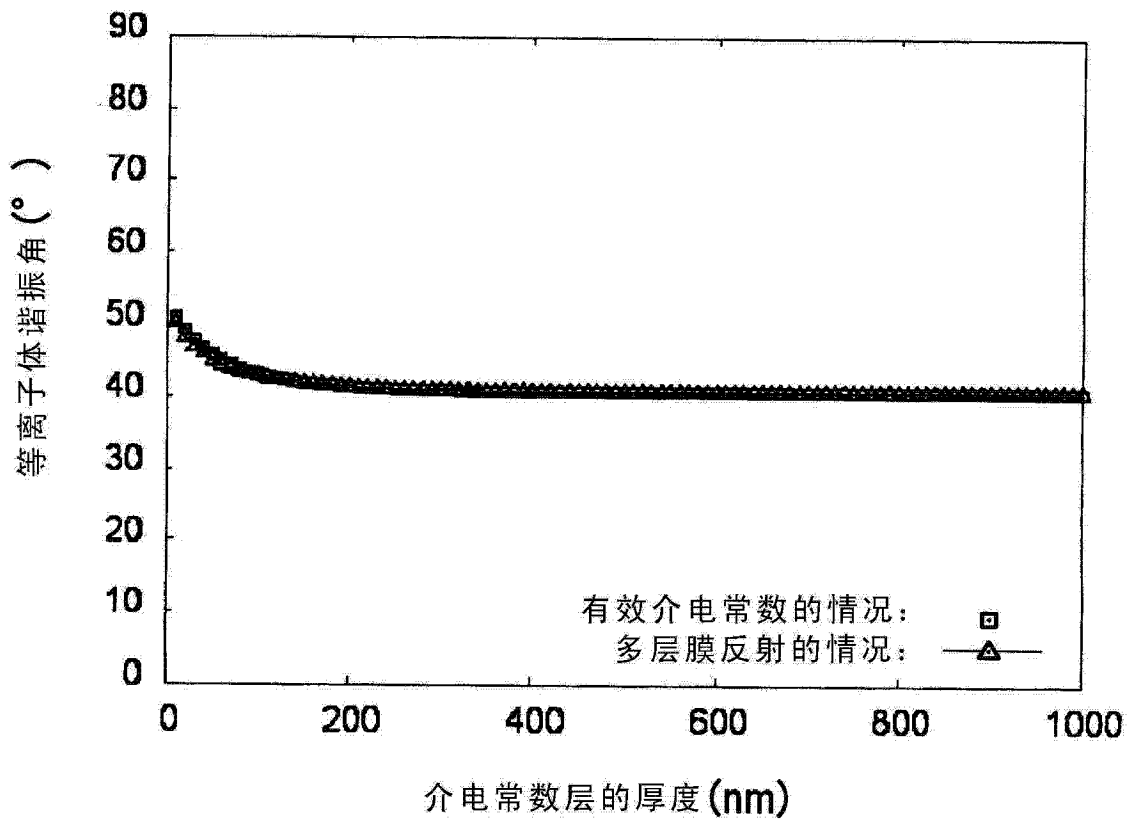


图 21

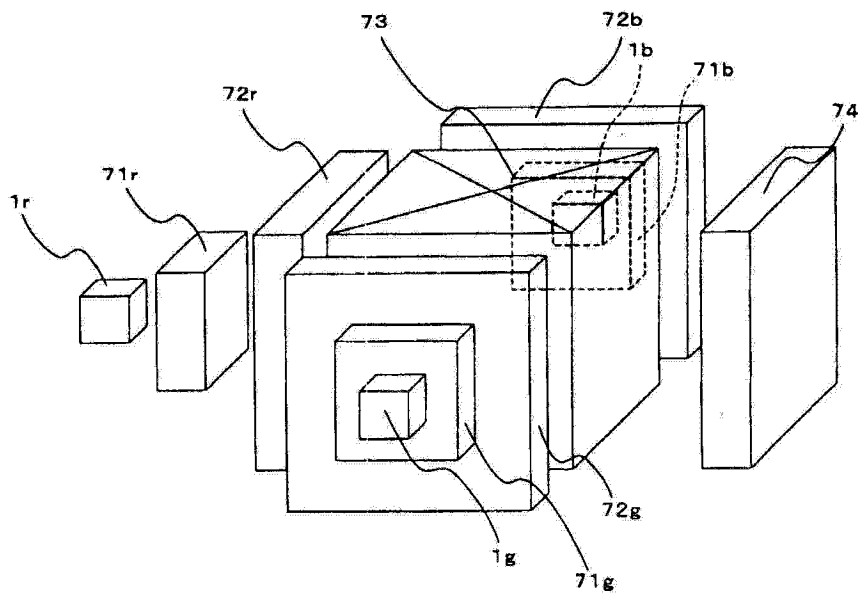


图 22