



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104051590 A

(43) 申请公布日 2014. 09. 17

(21) 申请号 201410085710. 9

(22) 申请日 2014. 03. 10

(30) 优先权数据

2013-049264 2013. 03. 12 JP

(71) 申请人 丰田合成株式会社

地址 日本爱知县

(72) 发明人 奥野浩司 佐村洋平

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司

11227

代理人 顾晋伟 吴鹏章

(51) Int. Cl.

H01L 33/32(2010. 01)

H01L 33/00(2010. 01)

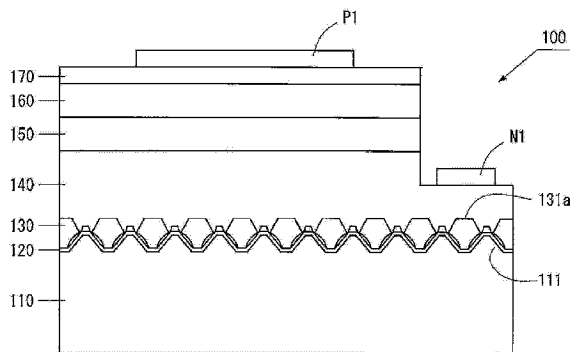
权利要求书2页 说明书11页 附图7页

(54) 发明名称

第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供了一种其中在设置有不平整形状的蓝宝石衬底上生长有平坦半导体层的第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法。当蓝宝石衬底的主表面上的平坦表面面积 S 与蓝宝石衬底的总面积 K 的面积比 R 为 0.1 以上至小于 0.5 时, 在其主表面上具有不平整形状的蓝宝石衬底上形成半导体层时, 供应包含第 III 族元素的原料气体和包含第 V 族元素的原料气体的至少两种气体使得满足公式 $1000 \leq Y/(2 \times R) \leq 1200$ 。在公式中, Y 为包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比。



1. 一种用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,所述方法包括:
制备在主表面上具有不平整的形状的蓝宝石衬底;
在所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状上形成低温缓冲层;和
在所述低温缓冲层上生长包含第 III 族氮化物半导体的半导体层,
其中生长所述半导体层包括通过供应至少两种类型的气体:包含第 III 族元素的原料气体和包含第 V 族元素的原料气体,以满足下列公式从而在所述低温缓冲层上形成第一半导体层:

$$1000 \leq Y/(2 \times R) \leq 1200$$

$$R=S/K$$

$$0.1 \leq R < 0.5$$

Y: 所述包含第 V 族元素的原料气体与所述包含第 III 族元素的原料气体的分压比

R: 所述蓝宝石衬底的平坦表面与所述蓝宝石衬底的总面积的面积比

S: 所述蓝宝石衬底的主表面一侧上的所述平坦表面的面积

K: 所述蓝宝石衬底的总面积。

2. 根据权利要求 1 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中,在形成所述第一半导体层时,形成至少部分地填充所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状的高度的填充层作为所述第一半导体层。

3. 根据权利要求 2 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中,所述第一半导体层部分地覆盖所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状的高度,并且未覆盖所述不平整的形状的高度中的剩余部分。

4. 根据权利要求 2 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述第一半导体层覆盖所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状的整个高度。

5. 根据权利要求 1 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述生长所述半导体层包括:

在所述第一半导体层上形成 n 型半导体层;

在所述 n 型半导体层上形成发光层;以及

在所述发光层上形成 p 型半导体层。

6. 根据权利要求 5 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述第一半导体层的生长温度比除所述第一半导体层之外的所述 n 型半导体层的生长温度低 20°C 至 80°C 范围内的任意温度。

7. 根据权利要求 6 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中除所述第一半导体层之外的所述 n 型半导体层的生长温度为 1000°C 至 1200°C。

8. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状具有 0.5 μm 至 3.0 μm 的高度。

9. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状的底表面与所述不平整的形状的倾斜最大的表面之间的角度为 40° 至 60°。

10. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的

方法,其中,在所述第一半导体层的形成中,所述第一半导体层的生长速率为**200 Å** / 分钟至**2000 Å** / 分钟。

11. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中,所述蓝宝石衬底的所述不平整的形状具有多个台面,所述台面以蜂窝结构布置在所述不平整的整个表面之上。

12. 根据权利要求 11 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述台面具有选自截顶圆锥形、截顶六棱锥形、圆锥形以及六棱锥形中的至少一种形状。

13. 根据权利要求 11 所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中连接相邻台面的线为沿 a 轴方向。

14. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中所述蓝宝石衬底具有 c 面主表面。

15. 根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法,其中使用氨作为所述包含第 III 族元素的原料气体并且使用至少三甲基镓作为所述包含第 V 族元素的原料气体。

16. 一种第 III 族氮化物半导体发光器件,包括:

在主表面上设置有不平整的形状的蓝宝石衬底,所述不平整的表面具有至少一个倾斜表面;

在所述蓝宝石衬底上沿着所述不平整的形状形成的低温缓冲层;

形成在所述低温缓冲层上并且至少部分地填充所述不平整的形状的高度的第一半导体层;

形成在所述第一半导体层上的 n 型半导体层;

形成在所述 n 型半导体层上的发光层;以及

形成在所述发光层上的 p 型半导体层,

其中所述主表面一侧上的平坦表面面积 S 与所述蓝宝石衬底的总面积 K 的面积比 R 为 10% 以上至小于 50%。

所述第一半导体层具有生长在所述不平整的形状的所述倾斜表面上的倾斜表面生长层;并且

所述倾斜表面生长层具有 0.05 μm 至 0.5 μm 的厚度。

17. 根据权利要求 16 所述的第 III 族氮化物半导体发光器件,其中,形成与所述 n 型半导体层接触的 n 电极,并且所述 n 型半导体层包括与所述 n 电极接触的 n 型接触层。

18. 根据权利要求 16 所述的第 III 族氮化物半导体发光器件,其中,形成与所述 n 型半导体层接触的 n 电极,并且所述第一半导体层包括与所述 n 电极接触的 n 型接触层。

第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法。更具体地,本发明涉及其中在具有不平整形状的蓝宝石衬底上形成有平坦半导体层的第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法。

背景技术

[0002] 在第 III 族氮化物半导体发光器件中,光可以反射到半导体层与大气层之间的界面处的半导体层一侧。GaN 的折射率为 2.3 (蓝光 LED),而空气的折射率为 1,存在大的差距。为了提高光提取效率,可以将主表面上具有不平整形状的蓝宝石衬底用于第 III 族氮化物半导体发光器件。在这样的半导体发光器件中,光通过不平整形状散射,并且光提取效率高。

[0003] 日本公开特许公报(特开)第 2011-129718 号公开了衬底设置有凸起的第 III 族氮化物半导体发光器件。在衬底与 n 型半导体层之间的界面或 p 电极与大气层之间的界面处全反射并且横向传播的光通过凸起散射,从而提高了光提取效率。

[0004] 本发明人发现当半导体层通过气相外延例如金属有机化学气相沉积(MOCVD)形成时,可能引起以下问题。

[0005] 当蓝宝石衬底不具有不平整形状时,如图 1 所示,原料气体几乎均匀地喷到蓝宝石衬底的整个表面。相反,当蓝宝石衬底具有不平整形状时,如图 2 所示,原料气体进入不平整形状的凹部中。因此,在每个凹部的区域 R1 中,原料气体的浓度比蓝宝石衬底不具有不平整形状时更高。

[0006] 当原料气体的浓度高时,半导体层容易倾斜地生长在不平整形状的倾斜表面上的缓冲层上。特别地当倾向于蓝宝石的 a 面 $\{1, 1, -2, x\}$ 出现在倾斜表面上时,半导体层容易生长在该倾斜表面上。这是因为 GaN 容易生长在 $\{1, 1, -2, 0\}$ 面上。半导体在衬底的倾斜表面上的生长程度有时高于在衬底的主表面上的生长程度。特别地当蓝宝石衬底上的底面积较小时,半导体在倾斜表面上的生长程度非常高。生长在倾斜表面上的半导体层的晶体取向不同于生长在底表面上的半导体层的晶体取向。当具有不同生长模式的这些半导体层融合(merge)时,融合之后的生长层的表面难以处于平坦状态。此外,融合之后的生长层的结晶度劣化。

[0007] 当不平整形状高密度地形成时(就是说,相邻台面的顶部的间距宽度小),光提取效率提高。然而,间距宽度越小,基底层的表面越难以处于平坦状态。

发明内容

[0008] 已实现本发明用于解决本发明人自己发现的上述问题。因此,本发明的目的是提供一种其中在设置有不平整形状的衬底上生长平坦半导体层的第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法。

[0009] 在本发明的第一方面中,提供了一种用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的

方法,包括:

[0010] 制备在主表面上具有不平整形状的蓝宝石衬底的蓝宝石衬底制备步骤;

[0011] 在蓝宝石衬底的不平整形状上形成低温缓冲层的缓冲层形成步骤;以及

[0012] 在低温缓冲层上生长由第 III 族氮化物半导体形成的半导体层的半导体层形成步骤。半导体层形成步骤包括通过供应至少两种类型的气体:包含第 III 族元素的原料气体和包含第 V 族元素的原料气体,以满足下列公式从而在低温缓冲层上形成第一半导体层:

[0013] $1000 \leq Y/(2 \times R) \leq 1200$

[0014] $R=S/K$

[0015] $0.1 \leq R < 0.5$

[0016] Y: 包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比

[0017] R: 蓝宝石衬底的平坦表面与蓝宝石衬底的总面积的面积比

[0018] S: 蓝宝石衬底的主表面一侧上的平坦表面的面积

[0019] K: 蓝宝石衬底的总面积。

[0020] 在用于制造第 III 族氮化物半导体发光器件的方法中,抑制供应到蓝宝石衬底的不平整形状的包含第 V 族元素的原料气体的供应量。因而,可以抑制在形成在蓝宝石衬底的倾斜表面上的低温缓冲层上的半导体层的生长。因此,可以在具有不平整形状的蓝宝石衬底上形成平坦半导体层。

[0021] 本发明的第二方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中,在形成第一半导体层时,形成至少部分地填充蓝宝石衬底的不平整形状的高度的层作为第一半导体层。

[0022] 本发明的第三方面涉及用于第 III 族半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中,第一半导体层部分地覆盖蓝宝石衬底的不平整形状的高度,并且未覆盖不平整形状的高度的剩余部分。

[0023] 本发明的第四方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中第一半导体层覆盖蓝宝石衬底的不平整形状的整个高度。

[0024] 本发明的第五方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中半导体层形成步骤包括:在第一半导体层上形成 n 型半导体层,在 n 型半导体层上形成发光层;以及在发光层上形成 p 型半导体层。

[0025] 本发明的第六方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中,在形成第一半导体层时,第一半导体层的生长温度比 n 型半导体层的生长温度低 20°C 至 80°C 的范围内。

[0026] 本发明的第七方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中在形成 n 型半导体层时,n 型半导体层的生长温度为 1000°C 至 1200°C。

[0027] 本发明的第八方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中蓝宝石衬底的不平整形状具有 0.5 μm 至 3.0 μm 的高度。

[0028] 本发明的第九方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中蓝宝石的不平整形状的底表面与不平整形状的倾斜最大的表面之间的角度为 40° 至 60°。

[0029] 本发明的第十方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中在第一半导体层的形成中,第一半导体层的生长速率为 $200 \text{ \AA} / \text{分钟}$ 至 $2000 \text{ \AA} / \text{分钟}$ 。

[0030] 本发明的第十一方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中蓝宝石衬底的不平整形状具有多个台面,台面以蜂窝结构布置在不平整形状的整个表面之上。

[0031] 本发明的第十二方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中台面具有选自截顶圆锥形、截顶六棱锥形、圆锥形以及六棱锥形中的至少一种形状。

[0032] 本发明的第十三方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中连接相邻台面的线为沿 a 轴方向。

[0033] 本发明的第十四方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中蓝宝石衬底具有 c 面主表面。

[0034] 本发明的第十五方面涉及用于第 III 族氮化物半导体发光器件的制造方法的具体实施方案,其中使用氨作为包含第 III 族元素的原料气体并且使用至少三甲基镓作为包含第 V 族元素的原料气体。

[0035] 在本发明的第十六方面中,提供了一种第 III 族氮化物半导体发光器件,包括:设置有具有至少一个倾斜表面的不平整形状的蓝宝石衬底;在蓝宝石衬底上沿着不平整形状形成的低温缓冲层;形成在低温缓冲层上并且至少部分地填充不平整形状的高度的第一半导体层;形成在第一半导体层上的 n 型半导体层;形成在 n 型半导体层上的发光层;以及形成在发光层上的 p 型半导体层,其中蓝宝石衬底的主表面一侧上的平坦表面面积 S 与蓝宝石衬底的总面积 K 的面积比 R 为 10% 以上至小于 50%。第一半导体层具有生长在不平整形状的倾斜表面上的倾斜表面生长层。倾斜表面生长层具有 $0.05 \mu\text{m}$ 至 $0.5 \mu\text{m}$ 的厚度。

[0036] 第 III 族氮化物半导体发光器件包括具有较好的不平整形状的蓝宝石衬底以及第一半导体层。光通过不平整形状的台面和凹部良好地散射,并且光提取效率高。半导体层的生长速率在蓝宝石衬底的不平整形状的倾斜表面上是缓慢的。因此,半导体层在蓝宝石衬底的主表面上的生长不受半导体层在蓝宝石衬底的不平整形状的倾斜表面上的生长抑制。半导体层在第一半导体层之上的生长模式是稳定的。因而,在第一半导体层之上的半导体层具有良好的晶体质量。

[0037] 本发明的第十七方面涉及第 III 族氮化物半导体发光器件的具体实施方案,其中,形成与 n 型半导体层接触的 n 电极,并且 n 型半导体层包括与 n 电极接触的 n 型接触层。

[0038] 本发明的第十八方面涉及第 III 族氮化物半导体发光器件的具体实施方案,其中,形成与 n 型半导体层接触的 n 电极,并且第一半导体层包括与 n 电极接触的 n 型接触层。

[0039] 本发明能够提供一种第 III 族氮化物半导体发光器件及其制造方法,在第 III 族氮化物半导体发光器件中具有不平整形状的蓝宝石衬底上生长有平坦的半导体层。

附图说明

[0040] 由于在结合附图考虑时参照优选实施方案的以下详细描述,本发明的各种其他目

的、特征以及许多附带优点变得更好理解,所以将容易领会本发明的各种其他目的、特征以及许多附带优点,其中:

- [0041] 图 1 为示出将原料气体喷在不具有不平整形状的平坦蓝宝石衬底上的情况的简图;
- [0042] 图 2 为示出将原料气体喷在具有不平整形状的蓝宝石衬底上的情况的简图;
- [0043] 图 3 示出根据实施方案的半导体发光器件的示意性结构;
- [0044] 图 4 示出根据实施方案的半导体发光器件的蓝宝石衬底;
- [0045] 图 5 为根据实施方案的半导体发光器件的基底层周围的示意性横截面图;
- [0046] 图 6 为示出用于制造根据实施方案的发光器件的过程的简图(部分 1);
- [0047] 图 7 为示出用于制造根据实施方案的发光器件的过程的简图(部分 2);
- [0048] 图 8 为示出用于制造根据实施方案的发光器件的过程的简图(部分 3);
- [0049] 图 9 为示出用于制造根据实施方案的发光器件的过程的简图(部分 4);
- [0050] 图 10 为示出用于制造根据实施方案的发光器件的过程的简图(部分 5);
- [0051] 图 11 为示出根据实施例的在蓝宝石衬底上的半导体层的生长的显微照片;
- [0052] 图 12 为示出根据对比例的在蓝宝石衬底上的半导体层的生长的显微照片;
- [0053] 图 13 示出根据变形例的半导体发光器件的示意性结构(部分 1);
- [0054] 图 14 示出根据变形例的半导体发光器件的示意性结构(部分 2)。

具体实施方式

[0055] 接下来将通过选取制造半导体发光器件的情况作为实施例参照附图描述本发明的具体实施方案。然而,本发明不限于实施方案。

[0056] 不必说,形成下述发光器件的层和电极的结构仅为示例,并且层和电极的结构可以与下述实施方案中例示的那些不同。在附图中示意性示出的各层的厚度不对应于其实际值。

[0057] 1. 半导体发光器件

[0058] 图 3 示出根据本实施方案的发光器件 100 的示意性结构。发光器件 100 为面朝上型半导体发光器件。发光器件 100 包括由第 III 族氮化物半导体形成的多个半导体层。如图 3 所示,发光器件 100 包括蓝宝石衬底 110、低温缓冲层 120、基底层 130、n 型半导体层 140、发光层 150、p 型半导体层 160、透明电极 170、n 焊盘电极 N1 以及 p 焊盘电极 P1。

[0059] 蓝宝石衬底 110 为用于通过 MOCVD 在其主表面上形成半导体层的生长衬底。在蓝宝石衬底 110 的主表面上形成不平整形状 111。不平整形状 111 将稍后描述。

[0060] 低温缓冲层 120 形成在蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 上。低温缓冲层 120 沿着不平整形状 111 形成在不平整形状中。应用低温缓冲层 120 以在蓝宝石衬底 110 中高密度地形成结晶核。低温缓冲层 120 由例如 AlN 或 GaN 的材料制成。低温缓冲层 120 具有 **10 Å 至 1000 Å** 的厚度。

[0061] 基底层 130 形成在低温缓冲层 120 上。基底层 130 为部分地填充蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 的高度的第一半导体层。因此,基底层 130 覆盖不平整形状 111 的倾斜表面的一部分和底表面。基底层 130 未覆盖不平整形状 111 的倾斜表面的剩余部分以及不平整形状 111 的顶部。实际上,在基底层 130 与蓝宝石衬底 110 之间存在低温缓冲层 120。

基底层 130 的 n 型半导体层 140 一侧上的与蓝宝石衬底 110 相对的表面 131a 的至少一部分是平坦的。基底层 130 为 GaN 层。

[0062] n 型半导体层 140 形成在基底层 130 上。n 型半导体层 140 包括依次形成在基底层 130 上的 n 型接触层、n 型 ESD 层和 n 型超晶格层。n 型半导体层 140 的蓝宝石衬底 110 侧上的表面具有一定程度的不平整形状。就是说，n 型半导体层 140 在一定程度上填充基底层 130 的表面上的不平整形状。相反，n 型半导体层 140 的与蓝宝石衬底 110 侧相对的表面，即，在发光层 150 侧上的表面是平坦的。n 型接触层与 n 电极 N1 接触。这些仅为示例，并且可以应用其他沉积结构。

[0063] 发光层 150 形成在 n 型半导体层上。发光层 150 通过电子和空穴的复合来发射光。发光层 150 形成在 n 型半导体层 140 上。发光层包括阱层和势垒层。

[0064] p 型半导体层 160 形成在发光层 150 上。p 型半导体层 160 包括依次沉积在发光层 150 上的 p 型盖层和 p 型接触层。这些仅为示例，并且可以使用其他沉积结构。

[0065] 透明电极 170 形成在 p 型半导体层 160 上。透明电极 170 与 p 型半导体层 160 的 p 型接触层欧姆接触。透明电极 170 由 ITO 制成。可以使用除 ITO 之外的透明导电氧化物例如 ICO、IZO、ZnO、TiO₂、NbTiO₂ 和 TaTiO₂。

[0066] p 电极 P1 为形成在透明电极 170 上的 p 焊盘电极。p 电极 P1 通过在透明电极 170 上依次形成 V 膜和 Al 膜来形成。可替代地，p 电极 P1 可以通过依次形成 Ti 膜和 Al 膜或者 Ti 膜和 Au 膜来形成。

[0067] n 电极 N1 为形成在 n 型半导体层 140 的 n 型接触层上的 n 焊盘电极。n 电极 N1 与 n 型接触层欧姆接触。n 电极 N1 通过在 n 型接触层上依次形成 V 膜和 Al 膜来形成。可替代地，n 电极 N1 可以通过依次形成 Ti 膜和 Al 膜或者 Ti 膜和 Au 膜来形成。

[0068] 2. 蓝宝石衬底上的不平整形状

[0069] 图 4 示出蓝宝石衬底 110 的放大的横截面图。如图 4 所示，蓝宝石衬底 110 的主表面具有不平整形状 111。蓝宝石衬底 110 具有底表面 111a 和台面 112。每个台面 112 具有包括顶表面 112a 和倾斜表面 112b 的截顶圆锥形状。台面 112 以蜂窝结构布置在蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 的整个表面之上。

[0070] 台面 112 的高度 h(即底表面 111a 与顶表面 112a 之间的距离)为 0.5 μm 至 3.0 μm。倾斜表面 112b 与底表面 111a 之间的角度 θ 为 40° 至 60°。相邻台面 112 的中心间的距离(即，间距宽度 W1)为 1.0 μm 至 3.0 μm。台面 112 在底表面 111a 的水平面处的宽度 W2 为 2 μm 至 4 μm。相邻台面 112 在底表面 111a 的水平面处的间隔 W3 为 0.1 μm 至 1 μm。

[0071] 形成在蓝宝石衬底 110 上的低温缓冲层 120 覆盖底表面 111a、顶表面 112a 以及倾斜表面 112b。基底层 130 在形成在底表面 111a、顶表面 112a 以及倾斜表面 112b 上的低温缓冲层 120 上生长。因而，在形成在底表面 111a 和顶表面 112a 上的低温缓冲层 120 上形成平坦半导体层。相反，在形成在倾斜表面 112b 上的低温缓冲层 120 上倾斜地生长有半导体层。因而，生长在倾斜表面 112b 上的半导体层是不平坦的。

[0072] 因此，优选的是，抑制在倾斜表面 112b 上的半导体层的生长并且促进在底表面 111a 和顶表面 112a 上的半导体层的生长。

[0073] 3. 原料气体的分压

[0074] 本实施方案特征在于根据蓝宝石衬底 110 的平坦部分的面积比对所供应的原料

气体的分压进行调整。可以例如通过使用质量流量控制器来调整原料气体的供应量。气体分压可以通过气体的供应量容易地计算。在描述本实施方案中的原料气体的分压之前,描述用于不具有不平整形状的常规衬底的原料气体的分压。

[0075] 3-1. 不具有不平整形状的衬底(常规的)

[0076] 首先,描述使用不具有不平整形状的衬底的情况。在该情况中,以满足下列公式的分压比 Y 将原料气体供应到 MOCVD 炉。

[0077] $1000 \leq Y \leq 1200 \cdots \cdots (1)$

[0078] $Y = PR1/PR2$

[0079] Y : 包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比

[0080] $PR1$: 氨气(包含第 V 族元素的原料气体)的分压

[0081] $PR2$: 三甲基镓(包含第 III 族元素的原料气体)的分压

[0082] 分压比通过在将气体供应到 MOCVD 炉的供应阀处的气体供应量的测量值来计算。

[0083] 在半导体层形成在不具有不平整形状的衬底上时可以使用公式(1)的条件。公式(1)也可以用于具有不平整形状并且具有大的蓝宝石衬底的底表面和顶表面的总和与蓝宝石衬底的总面积的面积比($R > 0.5$)的衬底。

[0084] 3-2. 具有不平整形状的衬底(本实施方案)

[0085] 在本实施方案中,以满足下列公式的分压比 Y 将原料气体供应到 MOCVD 炉。

[0086] $1000 \leq Y/(2 \times R) \leq 1200 \cdots \cdots (2)$

[0087] $Y = PR1/PR2$

[0088] $0.1 \leq R < 0.5$

[0089] $R = S/K$

[0090] Y : 包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比

[0091] R : 蓝宝石衬底的平坦表面与总面积的面积比

[0092] S : 蓝宝石衬底的主表面一侧上的平坦表面的面积

[0093] K : 蓝宝石衬底的总面积

[0094] $PR1$: 氨气(包含第 V 族元素的原料气体)的分压

[0095] $PR2$: 三甲基镓(包含第 III 族元素的原料气体)的分压

[0096] 在此,面积 K 为蓝宝石衬底 110 的总表面面积,就是说,面积 K 与不具有不平整形状的蓝宝石衬底 110 的主表面面积相同。面积 S 为蓝宝石衬底 110 的平坦表面的面积。在此,平坦表面包括蓝宝石衬底 110 的主表面以及与主表面具有 10° 或更小的角度的表面。就是说,面积 S 为主表面、与主表面平行的表面和与主表面轻微倾斜的表面的总面积。因而,如图 4 所示,蓝宝石衬底 110 的平坦表面面积 S 为底表面 111a 的面积和顶表面 112a 的面积之和。面积比 R 为蓝宝石衬底 110 的底表面 111a 和顶表面 112a 的总面积与蓝宝石衬底 110 的总面积 K 的面积比。

[0097] 当在公式(2)中 R 为 0.5 时,公式(2)与公式(1)一致。例如,当 R 为 0.25 时,公式(2)如下:

[0098] $500 \leq Y \leq 600$

[0099] 氨气与三甲基镓的分压比 Y 为通常条件中的公式(1)的氨气与三甲基镓的分压比 Y 的约一半,就是说,氨气的供应量相对小。

[0100] 4. 基层层

[0101] 4-1. 基层层的平坦度

[0102] 在本实施方案中,当在低温缓冲层 120 上形成基层层 130 时包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比 Y 根据蓝宝石衬底 110 的平坦表面(底表面 111a 和顶表面 112a)与蓝宝石衬底 110 的总面积的面积比下降。因而,如稍后所述,基层层 130 可以主要形成在蓝宝石衬底 110 的底表面 111a 上。

[0103] 4-2. 横截面形状

[0104] 图 5 为根据实施方案的半导体发光器件 100 的蓝宝石衬底 110 和基层层 130 周围的示意性横截面图。这样的横截面可以例如通过透射电子显微镜(TEM)以及在某些情况下通过扫描电子显微镜(SEM)来观察。

[0105] 如图 5 所示,基层层 130 包括平坦表面生长层 131 和 132 和倾斜表面生长层 133。平坦表面生长层 131 为生长在低温缓冲层 120 的平坦表面 121 上的半导体层。平坦表面生长层 132 为生长在低温缓冲层 120 的顶表面 122 上的半导体层。倾斜表面生长层 133 为生长在低温缓冲层 120 的倾斜表面 123 上的半导体层。生长在平坦表面 121 上的平坦表面生长层 131 与生长在顶表面 122 上的平坦表面生长层 132 具有相同的晶体取向。因此,当在这些半导体层上形成 n 型半导体层时,半导体层容易融合为平坦层。当不存在顶表面 122 时,不必说,在顶表面上没有生长半导体层。

[0106] 如图 5 所示,平坦表面生长层 131 的生长占优势,并且倾斜表面生长层 133 的厚度被抑制。在本实施方案中,倾斜表面生长层 133 的厚度 t1 十分薄。在此,倾斜表面生长层 133 的厚度 t1 为倾斜表面生长层 133 的最厚部分的厚度。如图 5 所示,厚度 t1 沿垂直于倾斜表面 112b 的方向测量。倾斜表面生长层 133 的厚度 t1 为 0.05 μm 至 0.5 μm 。

[0107] 4-3. 在倾斜表面上的半导体层的生长

[0108] 在本实施方案中,平坦表面生长层 131 的生长占优势,并且倾斜表面生长层 133 的厚度被抑制。这是因为原料气体供应满足上述公式(2)的条件。

[0109] 当使用公式(1)代替公式(2)时,如图 2 所示,达到包含 N 原子(第 V 族元素)的氮大量供应的过饱和状态。氮的这样的过供应促进了低温缓冲层 120 的倾斜表面 123 上的 AlN 和蓝宝石的氮化。因而,在倾斜表面 123 上形成用于使半导体层容易生长的生长核。当氮的分压高时,就是说,当包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比 Y 高时,促进了原料的迁移。因此,在倾斜表面 123 上容易生长半导体。因此,认为通过抑制氮的供应量可以抑制在倾斜表面 123 上的半导体层的生长。

[0110] 5. 用于制造半导体发光器件的方法

[0111] 将描述用于制造根据本实施方案的发光器件 100 的方法。上述各半导体层经由通过金属有机化学气相沉积(MOCVD)的外延晶体生长形成。用于制造发光器件 100 的方法包括以下步骤:形成 n 型半导体层;在 n 型半导体层上形成发光层;和在发光层上形成 p 型半导体层。

[0112] 5-1. 蓝宝石衬底制备步骤

[0113] 首先,处理蓝宝石衬底的 c 面以形成不平整形状 111。具体地,形成光刻胶作为掩模。然后,执行干法刻蚀以制备在其主表面上具有不平整形状 111 的蓝宝石衬底 110。可以购买其上已经形成有不平整形状 111 的蓝宝石衬底 110。

[0114] 5-2. 低温缓冲层形成步骤

[0115] 随后,将蓝宝石衬底 110 放入 MOCVD 炉内部。此后,通过 MOCVD 形成半导体层。在用 H_2 清洗之后,低温缓冲层 120 形成在蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 上。因而,如图 6 所示,低温缓冲层 120 形成在蓝宝石衬底 110 的底表面 111a、顶表面 112a 和倾斜表面 112b 上。低温缓冲层 120 足够薄以不填充蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111。

[0116] 在 MOCVD 中使用的载气为氢气(H_2)、氮气(N_2)、或者氢气和氮气的气体混合物(H_2+N_2)。氨气(NH_3)用作氮源。三甲基镓($Ga(CH_3)_3$:在下文中称为“TMG”)用作 Ga 源。三甲基铟($In(CH_3)_3$:在下文中称为“TMI”)用作 In 源。三甲基铝($Al(CH_3)_3$:在下文中称为“TMA”)用作 Al 源。硅烷(SiH_4)用作 n 型掺杂剂气体。环戊二烯基镁($Mg(C_5H_5)_2$)用作 p 型掺杂剂气体。

[0117] 5-3. 基底层形成步骤(第一半导体层形成步骤)

[0118] 随后,如图 7 所示,在低温缓冲层 120 上形成基底层 130。气体供应为使得包含第 V 族元素的原料气体与包含第 III 族元素的原料气体的分压比 Y 满足上述公式(2)。基底层形成步骤中的生长温度比在 n 型半导体层形成步骤中的生长温度低 $20^\circ C$ 至 $80^\circ C$ 范围内的任何温度。基底层的生长速率为 $200 \text{ \AA} / \text{分钟}$ 至 $2000 \text{ \AA} / \text{分钟}$ 。因而,蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 被部分地填充,由此形成具有表面 131a 的基底层 130。

[0119] 5-4. n 型半导体层形成步骤

[0120] 接下来,在平坦基底层 130 上形成 n 型半导体层 140,并且然后形成 n 型接触层。在该步骤中的衬底温度为 $1000^\circ C$ 至 $1200^\circ C$ 。Si 浓度为 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 或更高。如上所述,n 型半导体层 140 的生长温度高于基底层 130 的生长温度。在该步骤中横向生长速率较高。因此,由基底层 130 部分地填充的不平整形状的剩余部分容易由 n 型半导体层 140 填充。这样,基底层 130 中部分剩余的不平整形状被填满。因此,n 型半导体层 140 的顶表面是平坦的。可以在 n 型接触层上形成 n 型 ESD 层或 n 侧超晶格层。即使在该步骤之后的半导体层形成步骤中,也使用公式(2)。

[0121] 5-5. 发光层形成步骤

[0122] 然后,在 n 型半导体层 140 上形成发光层 150。衬底温度调整到 $700^\circ C$ 至 $950^\circ C$ 。

[0123] 5-6. p 型半导体层形成步骤

[0124] 然后,在发光层 150 上形成 p 型半导体层 160。例如,在发光层 150 上形成 p 侧超晶格层,并且在 p 侧超晶格层上形成 p 型接触层。在形成 p 型接触层时将衬底温度调整到 $900^\circ C$ 至 $1050^\circ C$ 。因而,如图 8 所示将上述半导体层沉积在蓝宝石衬底 110 上。如图 9 所示,形成凹槽 141 以形成 n 电极 N1。

[0125] 5-7. 透明电极形成步骤

[0126] 如图 10 所示,在 p 型半导体层 160 的 p 型接触层上形成透明电极 170。

[0127] 5-8. 电极形成步骤

[0128] 然后,在透明电极 170 上形成 p 电极 P1。通过激光辐射或蚀刻从 p 型接触层部分地移除半导体层沉积结构,以由此露出 n 型接触层。在 n 型接触层的露出区域上形成 n 电极 N1。可以以任意次序执行 p 电极 P1 的形成和 n 电极 N1 的形成。当电极材料相同时,p 电极 P1 的形成和 n 电极 N1 的形成可以同时执行。

[0129] 5-9. 其他步骤

[0130] 除上述步骤之外,可以执行用于覆盖器件的绝缘膜形成、热处理和其他步骤。通过执行这些步骤,完成图 3 中所示的发光器件 100 的制造。

[0131] 从基底层形成步骤到 p 型半导体层形成步骤的过程为在低温缓冲层 120 上形成由第 III 族氮化物半导体制成的半导体层的半导体层形成步骤。

[0132] 6. 实验

[0133] 6-1. 实验条件

[0134] 在实验中,使用以下蓝宝石衬底:

[0135] 间距宽度(W1) 4.0 μm

[0136] 顶表面(112a)宽度 0.0 μm

[0137] 深度(h) 2.1 μm

[0138] 角度(θ) 48°

[0139] 台面的宽度(W2) 3.9 μm

[0140] 间隔(W3) 0.1 μm

[0141] 台面的布置 蜂窝结构

[0142] 台面形状 截顶圆锥

[0143] 蓝宝石衬底的平坦表面与总面积的面积比(R)为 14%。

[0144] 低温缓冲层的材料为 AlN。厚度为 **100 Å**。分压 Y 在实施例 1 中为 400 并且在对比例 1 中为 1200。

[0145] 6-2. 实施例

[0146] 图 11 为示出根据本实施方案的实施例 1 的显微照片。

[0147] 在图 11 中,抑制了在台面或凹部的侧表面(即,形成在倾斜表面 112b 上的低温缓冲层 120)上的半导体层的生长。促进了在形成在底表面 111a 上的低温缓冲层 120 上的半导体层的生长。换言之,在平坦表面上的半导体层生长占优势,并且抑制了在台面或凹部的侧表面上的半导体层的生长。

[0148] 如上所述,例如在通过透射电子显微镜(TEM)所拍摄的横截面照片中可以观察到生长在底表面 111a 上的半导体层与生长在倾斜表面 112b 上的半导体层之间的界面。

[0149] 因而,在形成在倾斜表面 112b 上的低温缓冲层 120 上未太多地生长半导体层。这意味着通过降低包含第 V 族元素的原料气体的供应量可以抑制在倾斜表面 112b 上半导体层的生长。

[0150] 6-3. 对比例

[0151] 图 12 为示出对比例 1 的显微照片。在图 12 中,半导体层在台面 112 的倾斜表面 112b (即,形成在倾斜表面 112b 上的低温缓冲层 120)上生长良好。因为在台面 112 的侧表面上的半导体层的生长占优势,所以生长在台面 112 的侧表面上的半导体层(即,基底层 130 之上的层)(即,在与蓝宝石衬底 110 相对的一侧上的半导体层)难于具有平坦表面。没有实现平坦基底层 130,并且难以在基底层上形成在结晶度上优异的半导体层。

[0152] 7. 修改

[0153] 7-1. 基底层

[0154] 7-1-1. 基底层的材料

[0155] 基底层 130 可以由 n 型 GaN 代替 GaN 来形成。可替代地,其可以由 AlGaIn 或 InGaIn

代替 GaN 形成。其可以由 $Al_xIn_yGa_{(1-x-y)}N$ ($0 \leq X, 0 \leq Y, X+Y < 1$) 形成。然而,在该情况下, Al 组成比为 0.2 或更小,并且 In 组成比为 0.2 或更小。

[0156] 7-1-2. 用于基底层的原料气体

[0157] 三甲基镓或三甲基铝供应为原料气体。在公式(1)或(2)中的包含第 III 族元素的原料气体的分压为这些 TMI 气体、TMA 气体和 TMG 气体的总分压。

[0158] 7-2. 在半导体层形成步骤中的原料气体的分压

[0159] 公式(1)的条件可以用作在 n 型半导体层 140、发光层 150 和 p 型半导体层 160 的形成步骤中的原料气体的分压。在形成基底层 130 之后,在倾斜表面上几乎没有生长半导体层。

[0160] 7-3. 倒装芯片型

[0161] 本实施方案应用于面朝上型半导体发光器件。不必说,其可以应用于其他类型的半导体发光器件,例如,如图 13 所示的在衬底上具有光提取表面的倒装芯片型半导体发光器件 200。因此,光提取表面 201 在蓝宝石衬底 210 上。其它结构与图 3 中相同。

[0162] 7-4. 台面形状

[0163] 在本实施方案中,台面 112 具有截顶圆锥形状。其可以具有圆锥形状、六棱锥形状或截顶六棱锥形状。不必说,其可以具有其他锥体形状或其他截顶锥体形状。即使在该情况下,倾斜最大的表面与底表面之间的角度为 40° 至 60° 。

[0164] 7-5. 台面的布置

[0165] 连接台面 112 的顶部的线优选地为沿基底层 130 的 a 轴方向。台面合适地生长在底表面 111a 上。

[0166] 7-6. 填充层

[0167] 如图 14 所示,在半导体发光器件 300 中,形成在低温缓冲层 120 上的基底层可以填充不平整形状 111 的整个高度。在该情况下,填充层 330 形成在低温缓冲层 120 上。填充层 330 可以为 n 型 GaN 层。在该情况下,填充层 330 为第一 n 型半导体层,并且 n 型半导体层 340 为第二 n 型半导体层。这样,基底层 130 和填充层 330 为至少部分地填充蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 的高度的第一半导体层。填充层 330 为对抑制在倾斜表面 123 上的半导体层的生长发挥作用的层。其他结构与图 3 中相同。

[0168] 7-7. 衬底中平坦表面的面积比

[0169] 在公式(2)中,面积比 R 为 10% 以上至小于 50%。如图 2 所示,面积比 R 越小,供应气体越容易在区 R1 中积累。因此,面积比 R 越小,本实施方案的效果越好。通过改变所供应的气体的分压比而产生的效果较大,就是说,当面积比 R 满足下列公式时,得到更好的效果。

[0170] $0.1 \leq R \leq 0.3$

[0171] R:蓝宝石衬底的平坦表面与总面积的面积比

[0172] 这为面积比为 10% 至 30% 的情况。

[0173] 7-8. 凹部的形成

[0174] 在本实施方案中,使用其中台面 112 以蜂窝结构布置在不平整形状 111 中的蓝宝石衬底 110。然而,可以使用具有以蜂窝结构布置在不平整形状中的凹部的蓝宝石衬底。

[0175] 7-9. 蓝宝石衬底

[0176] 在本实施方案中,不平整形状形成在具有 c 面主表面的蓝宝石衬底上。然而,可以使用除具有 c 面主表面的蓝宝石衬底之外的蓝宝石衬底,例如,具有 a 面主表面的蓝宝石衬底。

[0177] 8. 本实施方案的总结

[0178] 如在上文中所述,在本实施方案的发光器件 100 中,对供应到蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111 的氨和三甲基镓的分压进行调整。就是说,当蓝宝石衬底 110 的底表面或与底表面平行的表面的面积十分小时降低向不平整形状 111 的氨的供应量。这抑制了在蓝宝石衬底 110 的倾斜表面上的半导体层的生长,填充了蓝宝石衬底 110 的不平整形状 111,由此形成平坦的基底层。因而,实现了具有优异晶体质量以及高光提取效率的发光器件 100。

[0179] 因为上述实施方案仅为示例,所以应理解,在未脱离本发明的范围的情况下,本领域技术人员可以进行各种变化和修改。沉积的体的沉积结构不一定限于所示出的那些。可以确定沉积结构等。层形成方法不限于金属有机化学气相沉积(MOCVD)。可以使用任何其他方法,例如,氢化物气相外延,只要半导体晶体生长通过使用载气执行即可。

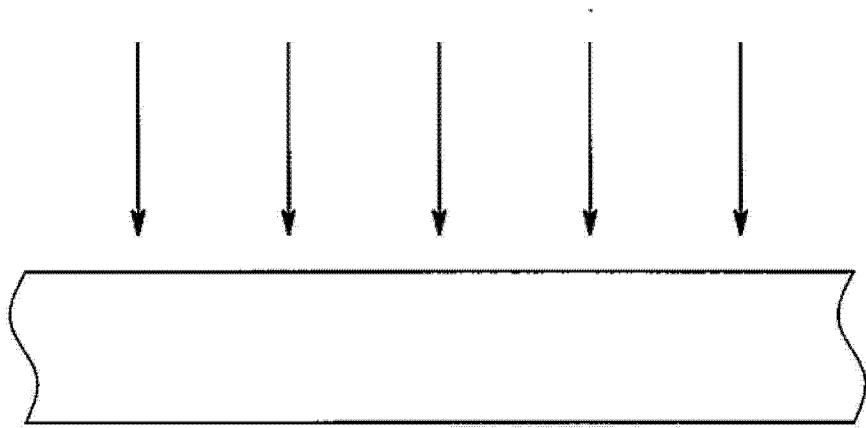


图 1

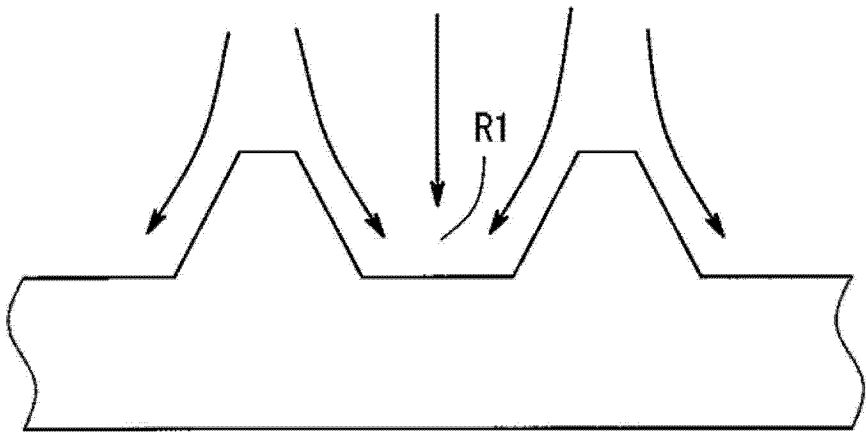


图 2

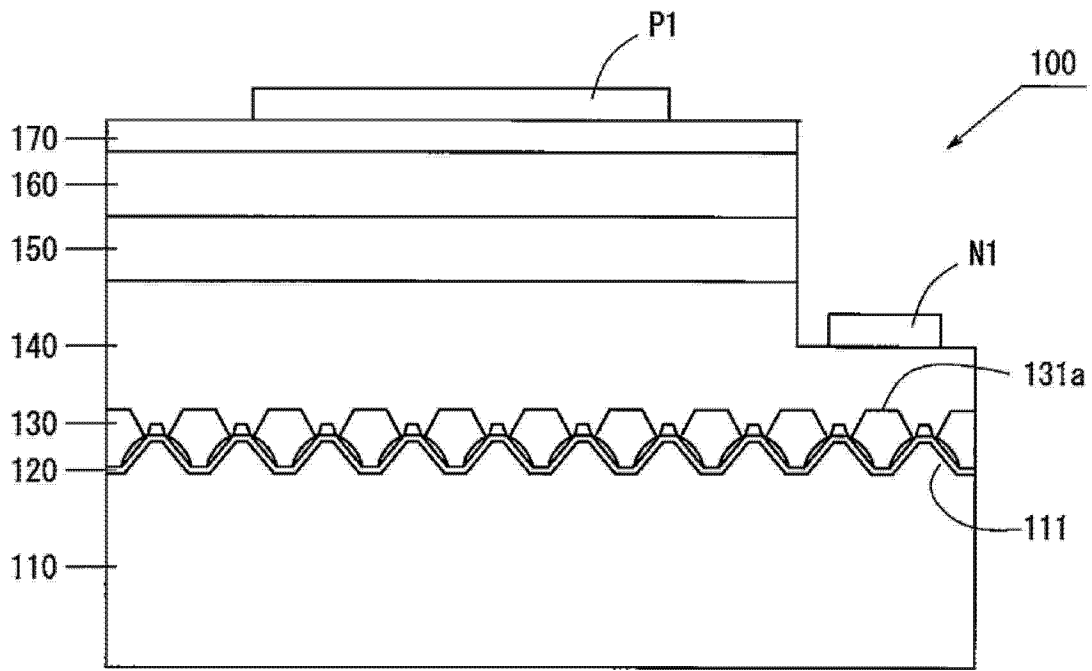


图 3

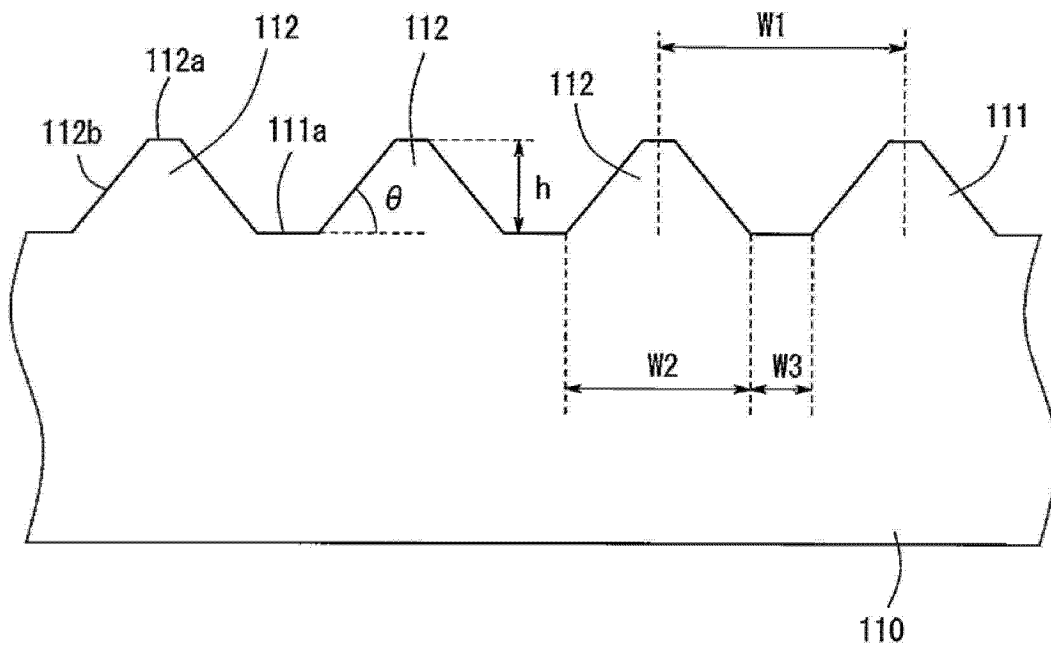


图 4

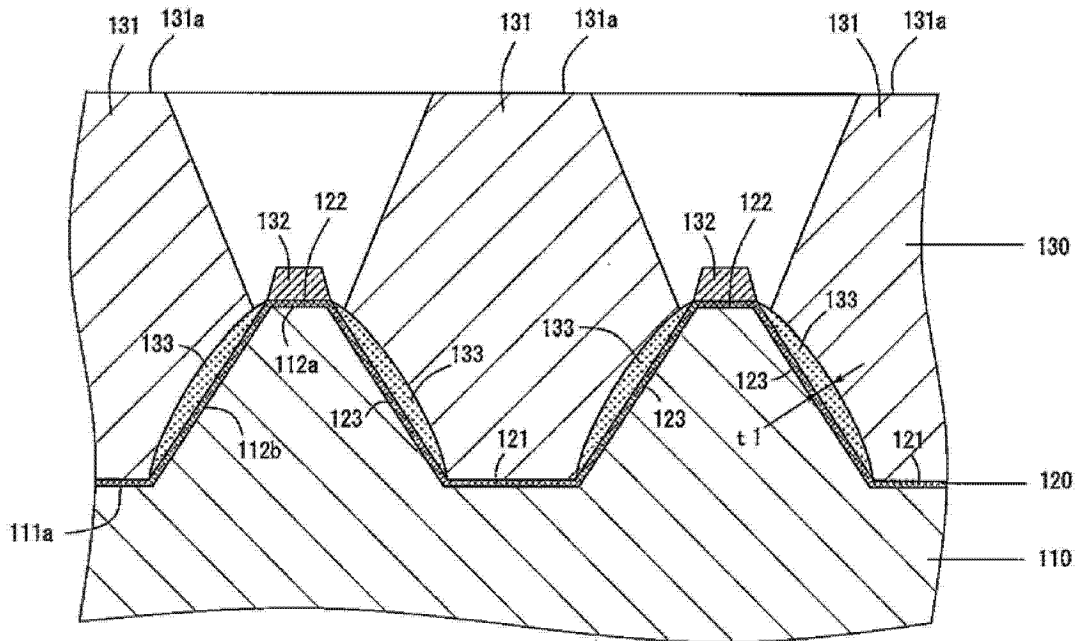


图 5

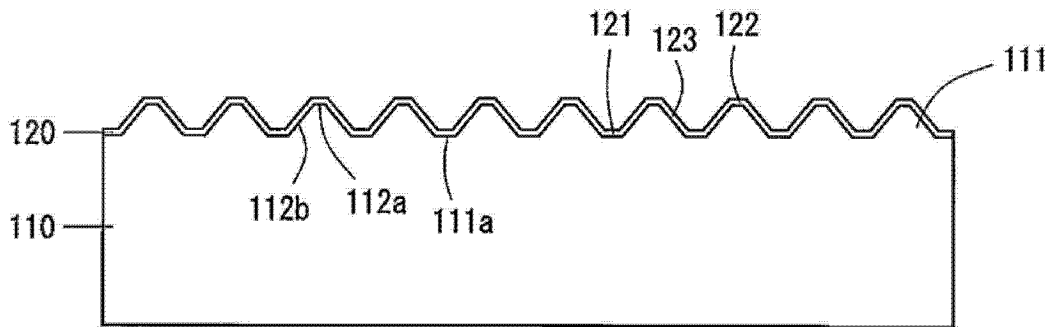


图 6

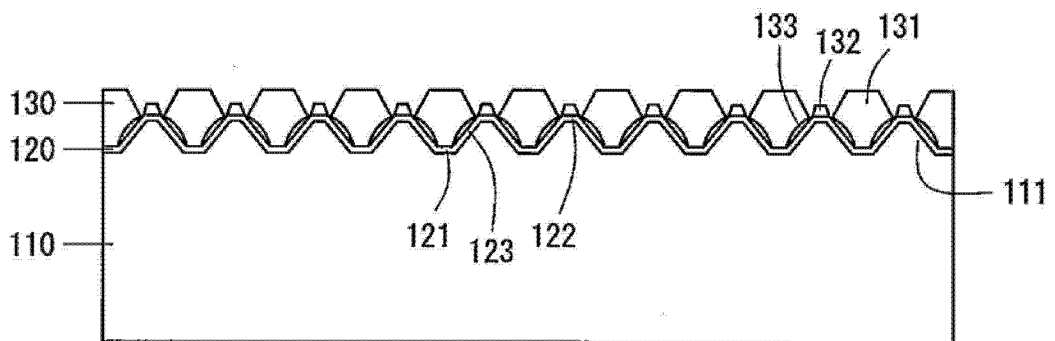


图 7

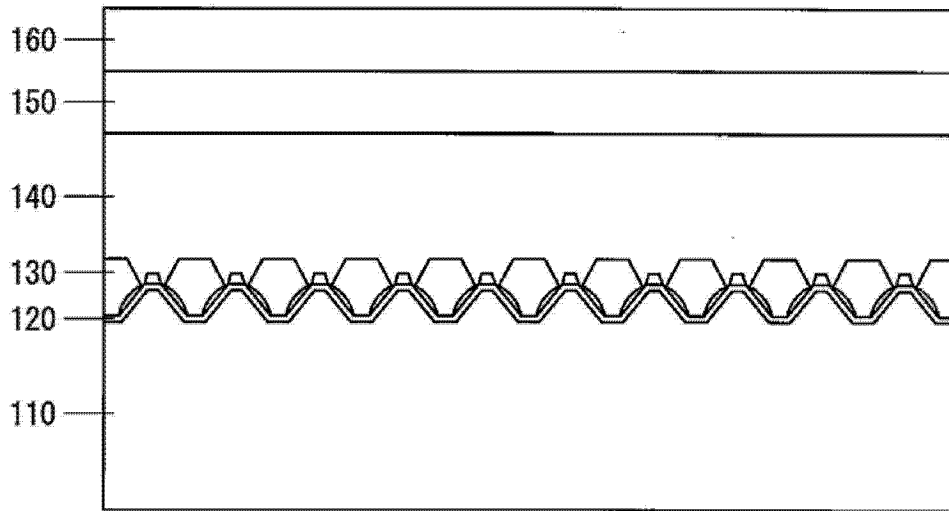


图 8

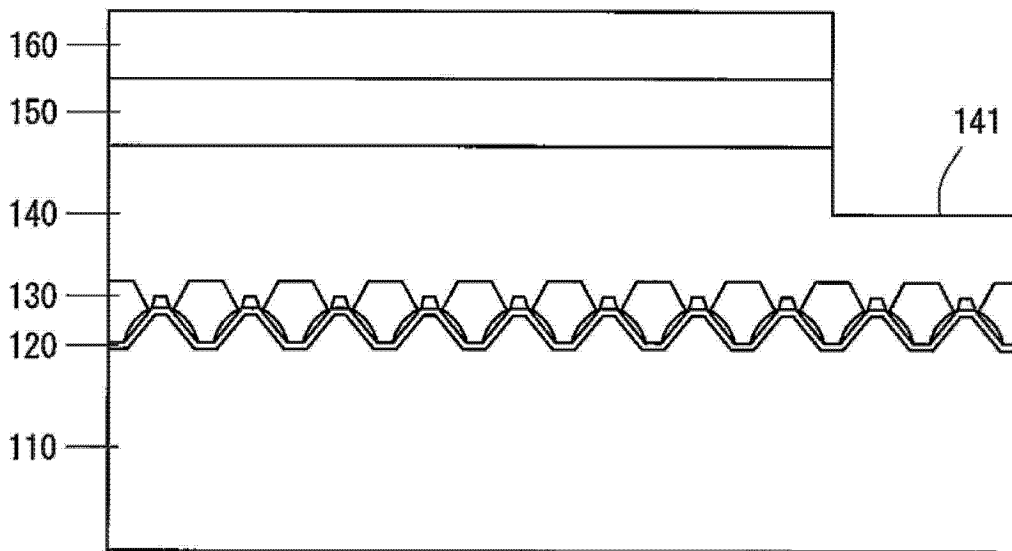


图 9

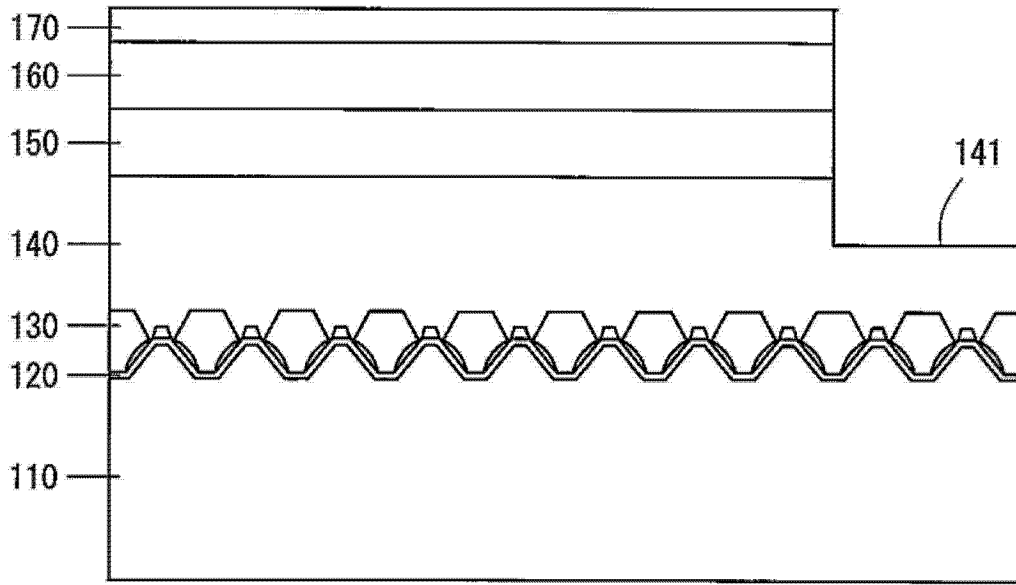


图 10

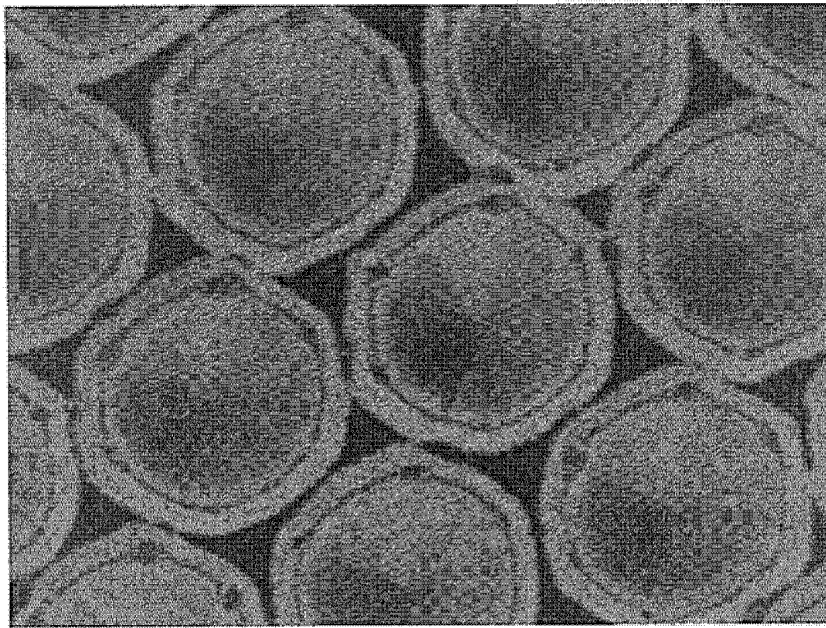


图 11

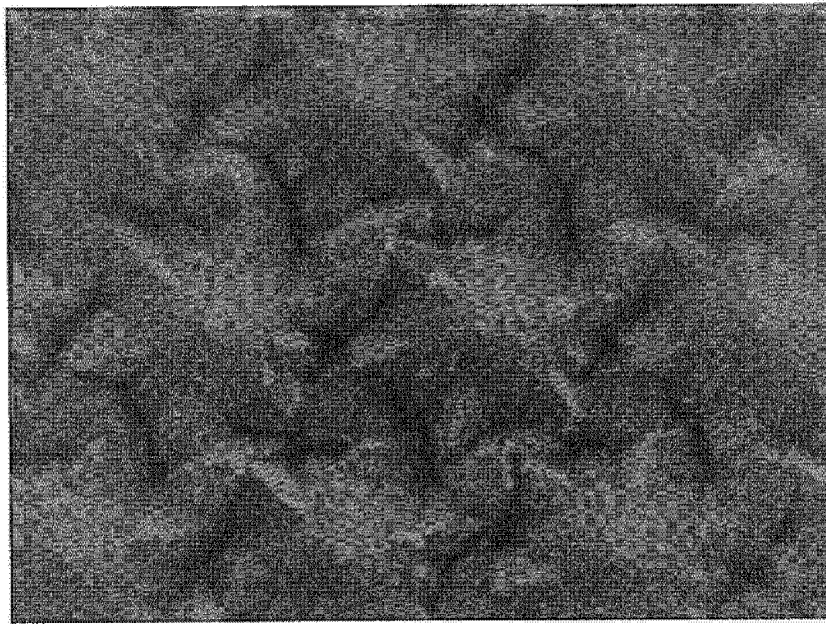


图 12

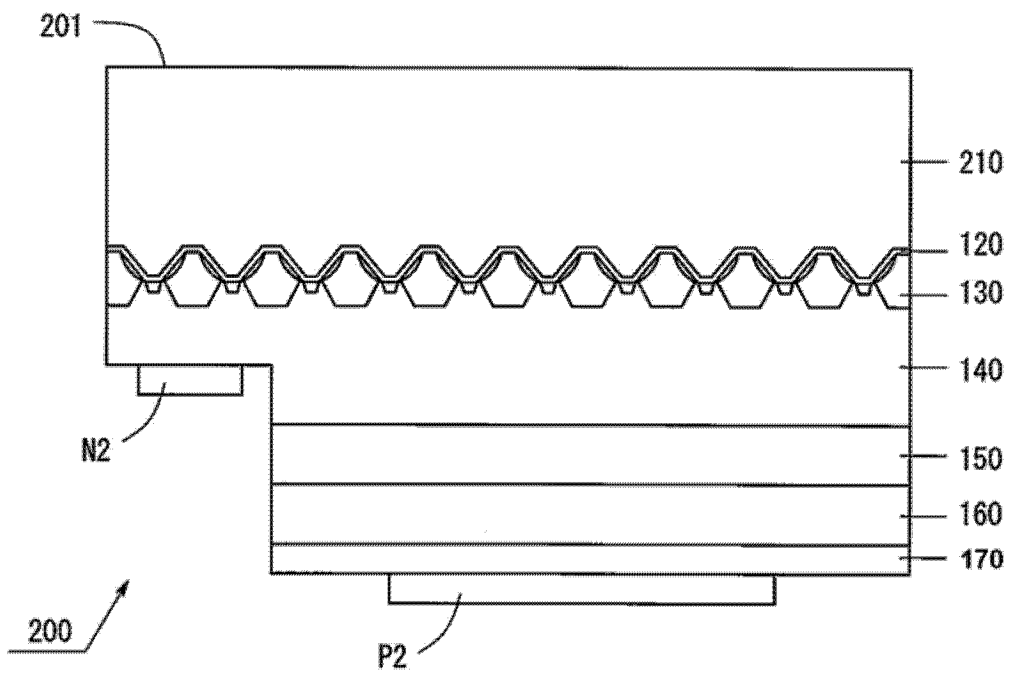


图 13

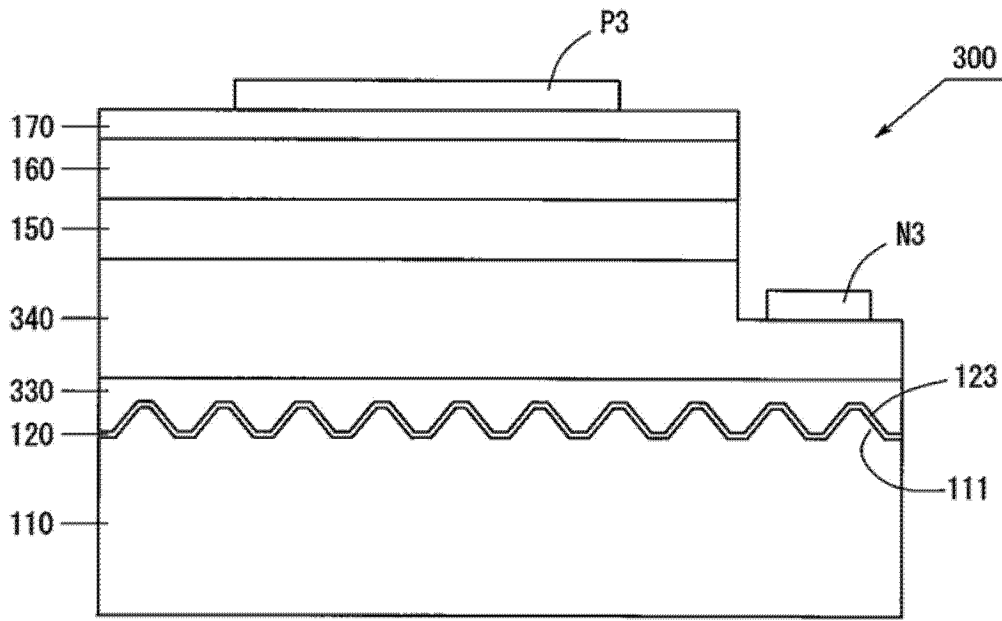


图 14