



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102511086 A

(43) 申请公布日 2012.06.20

(21) 申请号 201180003898.2

代理人 汪惠民

(22) 申请日 2011.03.25

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H01L 33/40(2006.01)

2010-085983 2010.04.02 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012.03.20

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2011/001764 2011.03.25

(87) PCT申请的公布数据

W02011/125301 JA 2011.10.13

(71) 申请人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 横川俊哉 大屋满明 山田笃志

矶崎瑛宏

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

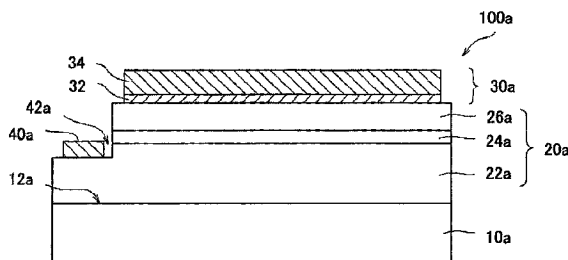
权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图 18 页

(54) 发明名称

氮化物系半导体元件及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种氮化物系半导体元件及其制造方法。本发明的氮化物系半导体元件具备：半导体叠层构造(20)，其具有表面(12)相对于m面倾斜了1°以上5°以下角度的p型半导体区域；和电极(30)，其设置在p型半导体区域上。p型半导体区域由Al_xIn_yGa_zN(x+y+z=1, x≥0, y≥0, z≥0)层(26)形成。电极(30)包含Zn层(32)和形成在Zn层(32)上的Ag层(34)，Zn层(32)与半导体叠层构造(20)中的p型半导体区域的表面(12)接触。



1. 一种氮化物系半导体元件,其具备:
氮化物系半导体叠层构造,其具有 p 型 GaN 系半导体区域;和
电极,其形成在所述 p 型 GaN 系半导体区域的主面上,
所述 p 型 GaN 系半导体区域中的所述主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下,
所述电极包括与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的 Zn 层、和形成在所述 Zn 层上的 Ag 层。
2. 根据权利要求 1 所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 半导体形成,其中 $x+y+z = 1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$ 。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Ag 层被由与 Ag 不同的金属构成的保护电极覆盖。
4. 根据权利要求 1 至 3 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Ag 层被由电介质构成的保护层覆盖。
5. 根据权利要求 1 至 4 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述氮化物系半导体叠层构造具有包括 $\text{Al}_a\text{In}_b\text{Ga}_c\text{N}$ 层在内的活性层,所述活性层发光,其中 $a+b+c = 1, a \geq 0, b \geq 0, c \geq 0$ 。
6. 根据权利要求 1 至 5 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 p 型 GaN 系半导体区域是 p 型接触层。
7. 根据权利要求 1 至 6 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Zn 层的厚度为所述 Ag 层的厚度以下。
8. 根据权利要求 1 至 7 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述氮化物系半导体元件具有支承所述氮化物系半导体叠层构造的半导体基板。
9. 根据权利要求 1 至 8 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Zn 层中的 N 浓度比 Ga 浓度低。
10. 根据权利要求 1 至 9 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 p 型 GaN 系半导体区域是 GaN。
11. 根据权利要求 1 至 10 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Zn 层及所述 Ag 层的至少一部分合金化。
12. 根据权利要求 1 至 11 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Zn 层是岛状。
13. 根据权利要求 1 至 12 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,
所述 Zn 层由 Zn-Ag 合金形成。
14. 一种光源,其具备:
氮化物系半导体发光元件;和
波长变换部,其包含荧光物质,该荧光物质对从所述氮化物系半导体发光元件放射出的光的波长进行变换,
所述氮化物系半导体发光元件具备:
氮化物系半导体叠层构造,其具有 p 型 GaN 系半导体区域;和

电极,其形成在所述 p 型 GaN 系半导体区域的主面上,
所述 p 型 GaN 系半导体区域中的所述主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下,

所述电极包括与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的 Zn 层、和形成在所述 Zn 层上的 Ag 层。

15. 根据权利要求 14 所述的光源,其中,

所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 半导体构成,其中 $x+y+z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$ 。

16. 根据权利要求 14 或 15 所述的光源,其中,

所述 p 型 GaN 系半导体区域是 GaN。

17. 根据权利要求 14 至 16 任一项所述的光源,其中,

所述 Zn 层及所述 Ag 层的至少一部分合金化。

18. 一种氮化物系半导体元件的制造方法,其包括:

工序 (a),准备基板;

工序 (b),在所述基板上形成氮化物系半导体叠层构造,该氮化物系半导体叠层构造具有主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下的 p 型 GaN 系半导体区域;和

工序 (c),在所述氮化物系半导体叠层构造的所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面上形成电极,

所述工序 (c) 包括:在所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面上形成 Zn 层的工序、和在所述 Zn 层上形成 Ag 层的工序。

19. 根据权利要求 18 所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,

所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 半导体构成,其中 $x+y+z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$ 。

20. 根据权利要求 18 或 19 所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,

在所述工序 (c) 中,执行对所述 Zn 层进行加热处理的工序。

21. 根据权利要求 20 所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,

所述加热处理在 400°C 以上 700°C 以下的温度下执行。

22. 根据权利要求 21 所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,

所述加热处理在 500°C 以上 600°C 以下的温度下执行。

23. 根据权利要求 18 至 22 任一项所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,该制造方法包括:在执行了所述工序 (b) 之后除去所述基板的工序。

24. 根据权利要求 18 至 23 任一项所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,所述 p 型 GaN 系半导体区域是 GaN。

25. 根据权利要求 18 至 24 任一项所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,所述 Zn 层中的 N 浓度比 Ga 浓度低。

26. 根据权利要求 18 至 25 任一项所述的氮化物系半导体元件的制造方法,其中,所述 Zn 层及所述 Ag 层的至少一部分合金化。

27. 一种氮化物系半导体元件,其具备:

氮化物系半导体叠层构造,其具有 p 型 GaN 系半导体区域;和

电极,其设置在所述 p 型 GaN 系半导体区域上,
所述 p 型 GaN 系半导体区域中的主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下,

所述电极仅由与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的合金层构成,
所述合金层由 Zn 及 Ag 形成。

28. 根据权利要求 27 所述的氮化物系半导体元件,其中,

所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 半导体形成,其中 $x+y+z = 1$, $x \geq 0$, $y \geq 0$, $z \geq 0$ 。

29. 根据权利要求 27 或 28 所述的氮化物系半导体元件,其中,

所述合金层是通过在形成了与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的 Zn 层、和位于所述 Zn 层上的 Ag 层之后进行热处理从而形成的层。

30. 根据权利要求 27 至 29 任一项所述的氮化物系半导体元件,其中,

所述合金层是通过在将 Zn 与 Ag 的混合物或化合物蒸镀于所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面上之后进行加热处理从而形成的层。

氮化物系半导体元件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及氮化物系半导体元件及其制造方法。特别是,本发明涉及从紫外光到蓝色、绿色、橙色以及白色等的可见光域整个波段中的发光二极管、激光二极管等的 GaN 系半导体发光元件。这种发光元件被期待应用于显示、照明及光信息处理领域等。此外,本发明还涉及氮化物系半导体元件中使用的电极的制造方法。

背景技术

[0002] 作为 V 族元素而具有氮 (N) 的氮化物半导体由于其带隙的大小,有望将其作为短波长发光元件的材料。其中,氮化镓系化合物半导体 (GaN 系半导体: $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z = 1$)) 的研究尤为盛行,蓝色发光二极管 (LED)、绿色 LED、以及以 GaN 系半导体为材料的半导体激光器也正在被实用化。

[0003] GaN 系半导体具有纤锌矿型结晶构造。图 1 示意性表示 GaN 的单位晶格。在 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z = 1$) 半导体的结晶中,图 1 所示的 Ga 的一部分可被置换为 Al 及 / 或 In。

[0004] 图 2 表示为了以 4 指数标记 (六方晶指数) 来表现纤锌矿型结晶构造的面而一般采用的四个基本向量 a_1, a_2, a_3, c 。基本向量 c 在 [0001] 方向上延伸,该方向被称为“c 轴”。与 c 轴垂直的面 (plane) 被称为“c 面”或“(0001) 面”。此外,“c 轴”及“c 面”有时也分别标记为“C 轴”及“C 面”。

[0005] 在使用 GaN 系半导体来制作半导体元件时,作为使 GaN 系半导体结晶生长的基板,使用 c 面基板、即在表面具有 (0001) 面的基板。然而,由于在 c 面中 Ga 的原子层和氮的原子层的位置在 c 轴方向上略有偏离,因此形成极化 (Electrical Polarization)。因而,“c 面”也被称为“极性面”。极化的结果会在活性层的 InGaN 的量子阱中沿着 c 轴方向产生压电电场。当在活性层中产生这种的压电电场时,由于活性层内的电子及空穴的分布中出现位置偏离,因此基于载流子的量子限制斯塔克效应,内部量子效率下降。因而,如果是半导体激光器,则引起阈值电流的增大。如果是 LED,则引起耗电的增大、发光效率的下降。此外,随着注入载流子密度的上升会引起压电电场的屏蔽,也会引起发光波长的变化。

[0006] 因此,为了解决这些课题,正在研究使用在表面具有非极性面、例如与 [10-10] 方向垂直的被称为 m 面的 (10-10) 面的基板 (m 面 GaN 系基板)。在此,在表示密勒指数的括号内的数字左侧赋予的“-”意味着横杠。图 2 所示那样,m 面是与 c 轴 (基本向量 c) 平行的面,且与 c 面正交。由于在 m 面中 Ga 原子和氮原子存在于同一原子面上,因此在与 m 面垂直的方向上不会产生极化。其结果,如果在与 m 面垂直的方向上形成氮化物系半导体叠层构造,则在活性层中也不会产生压电电场,因此能够解决上述课题。m 面是 (10-10) 面、(-1010) 面、(1-100) 面、(-1100) 面、(01-10) 面、(0-110) 面的总称。

[0007] 此外,在本说明书中,“X 面生长”是指在与六方晶纤维锌矿构造的 X 面 ($X = c, m$) 垂直的方向上产生外延生长。在 X 面生长中,将 X 面称为“生长面”,将通过 X 面生长所形成的半导体的层称为“X 面半导体层”。

- [0008] 现有技术文献
[0009] 专利文献
[0010] 专利文献 1 :日本特开 2006-24750 号公报
[0011] 专利文献 2 :日本发明专利第 3821128 号公报

发明内容

[0012] (发明要解决的课题)

[0013] 如上述,尽管在 m 面基板上生长的 GaN 系半导体元件与在 c 面基板上生长的 GaN 系半导体元件相比具有显著的效果,但存在如下的问题。即,与在 c 面基板上生长的 GaN 系半导体元件相比,在 m 面基板上生长的 GaN 系半导体元件的 p 型电极的接触电阻较高,这在使用在 m 面基板上生长的 GaN 系半导体元件方面会成为很大的技术障碍。

[0014] 再者,特别在发光元件的电极中,除了要求降低接触电阻以外,还要求通过降低电极部的光吸收损耗来提高外部量子效率。作为 GaN 系半导体发光元件的 p 型电极通常所使用的功函数大的金属 (Pd、Au、Pt 等) 其光吸收非常大,将这些金属用作电极将无法实现高的外部量子效率。其中,所谓外部量子效率是向发光元件外部放射的放射光子数相对于向发光元件注入的注入载流子数的比例。

[0015] 在这种状况下,本申请发明者为了同时解决在作为非极性面的 m 面上生长的 GaN 系半导体元件所具有的接触电阻较高的这种问题、以及电极部的光吸收损耗较高的这种问题,进行刻苦研究,其结果发现了随着降低接触电阻能够实现较高的外部量子效率的方法。

[0016] 本发明是鉴于这一点而完成的,其主要目的在于提供一种 p 型电极的构造及制造方法,能够降低在 m 面基板上进行结晶生长而得到的 GaN 系半导体元件中的接触电阻,进而还能够通过降低电极部的光吸收损耗来实现高的外部量子效率。

[0017] (为解决课题的方法)

[0018] 本发明的氮化物系半导体元件具备:氮化物系半导体叠层构造,其具有 p 型 GaN 系半导体区域;和电极,其形成在所述 p 型 GaN 系半导体区域的主面上,所述 p 型 GaN 系半导体区域中的所述主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下,所述电极包括与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的 Zn 层、和形成在所述 Zn 层上的 Ag 层。

[0019] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_z\text{N}$ ($x+y+z = 1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$) 半导体形成。

[0020] 在某个实施方式中,所述 Ag 层被由与 Ag 不同的金属构成的保护电极覆盖。

[0021] 在某个实施方式中,所述 Ag 层被由电介质构成的保护层覆盖。

[0022] 在某个实施方式中,所述氮化物系半导体叠层构造具有包含 $\text{Al}_a\text{In}_b\text{Ga}_c\text{N}$ 层 ($a+b+c = 1, a \geq 0, b \geq 0, c \geq 0$) 在内的活性层,所述活性层发光。

[0023] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域是 p 型接触层。

[0024] 在某个实施方式中,所述 Zn 层的厚度为所述 Ag 层的厚度以下。

[0025] 在某个实施方式中,具有支承所述氮化物系半导体叠层构造的半导体基板。

[0026] 在某个实施方式中,所述 Zn 层中的 N 浓度比 Ga 浓度低。

[0027] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域是 GaN。

[0028] 在某个实施方式中,所述 Zn 层及所述 Ag 层的至少一部分合金化。

- [0029] 在某个实施方式中,所述 Zn 层是岛状。
- [0030] 在某个实施方式中,所述 Zn 层由 Zn-Ag 合金形成。
- [0031] 本发明的光源具备:氮化物系半导体发光元件;和波长变换部,其包含荧光物质,该荧光物质对从所述氮化物系半导体发光元件放射出的光的波长进行变换,其中,所述氮化物系半导体发光元件具备:氮化物系半导体叠层构造,其具有 p 型 GaN 系半导体区域;和电极,其形成在所述 p 型 GaN 系半导体区域的主面上,所述 p 型 GaN 系半导体区域中的所述主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下,所述电极包括与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的 Zn 层、和形成在所述 Zn 层上的 Ag 层。
- [0032] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $Al_xIn_yGa_zN(x+y+z = 1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$ 半导体构成。
- [0033] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域是 GaN。
- [0034] 在某个实施方式中,所述 Zn 层及所述 Ag 层的至少一部分合金化。
- [0035] 本发明的氮化物系半导体元件的制造方法包括:工序 (a),准备基板;工序 (b),在所述基板上形成氮化物系半导体叠层构造,该氮化物系半导体叠层构造具有主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下的 p 型 GaN 系半导体区域;和工序 (c),在所述氮化物系半导体叠层构造的所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面上形成电极,所述工序 (c) 包括:在所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面上形成 Zn 层的工序、和在所述 Zn 层上形成 Ag 层的工序。
- [0036] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $Al_xIn_yGa_zN(x+y+z = 1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$ 半导体构成。
- [0037] 在某个实施方式的所述工序 (c) 中,执行对所述 Zn 层进行加热处理的工序。
- [0038] 在某个实施方式中,所述加热处理在 400°C 以上 700°C 以下的温度下执行。
- [0039] 所述加热处理在 500°C 以上 600°C 以下的温度下执行。
- [0040] 某个实施方式包括在执行了所述工序 (b) 之后除去所述基板的工序。
- [0041] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域是 GaN。
- [0042] 在某个实施方式中,所述 Zn 层中的 N 浓度比 Ga 浓度低。
- [0043] 在某个实施方式中,所述 Zn 层及所述 Ag 层的至少一部分合金化。
- [0044] 本发明的其他的氮化物系半导体元件具备:氮化物系半导体叠层构造,其具有 p 型 GaN 系半导体区域;和电极,其设置在所述 p 型 GaN 系半导体区域上,所述 p 型 GaN 系半导体区域中的主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上 5° 以下,所述电极仅由与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的合金层构成,所述合金层由 Zn 及 Ag 形成。
- [0045] 在某个实施方式中,所述 p 型 GaN 系半导体区域由 $Al_xIn_yGa_zN(x+y+z = 1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0)$ 半导体形成。
- [0046] 在某个实施方式中,所述合金层是通过在形成了与所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面接触的 Zn 层、和位于所述 Zn 层上的 Ag 层之后进行热处理从而形成的层。
- [0047] 在某个实施方式中,所述合金层是通过在将 Zn 与 Ag 的混合物或化合物蒸镀于所述 p 型 GaN 系半导体区域的所述主面上之后进行加热处理从而形成的层。
- [0048] (发明效果)
- [0049] 根据本发明的氮化物系半导体发光元件,氮化物系半导体叠层构造上的电极包括

Zn 层,该 Zn 层与 p 型 GaN 系半导体区域的表面 (m 面) 接触,由此能够降低其接触电阻。再有,由在 Zn 层上设置的 Ag 层反射光,由此能够实现较高的光外部量子效率。在本发明中,在使用以相对于 m 面倾斜了 1° 以上 5° 以下角度的面为主面的 p 型 GaN 系半导体区域的情况下,也可获得与使用 m 面 p 型 GaN 系半导体区域 (以相对于 m 面的倾斜小于 1° 的面作为主面的 p 型 GaN 系半导体区域) 的情况同样的效果。

附图说明

[0050] 图 1 是示意性表示 GaN 的单位晶格的立体图。

[0051] 图 2 是表示纤锌矿型结晶构造的基本向量 a_1 、 a_2 、 a_3 、c 的立体图。

[0052] 图 3(a) 是本发明的实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件 100 的剖面示意图, (b) 是表示 m 面的结晶构造的图, (c) 是表示 c 面的结晶构造的图。

[0053] 图 4(a) 至 (c) 是示意性表示电极中的 Zn 及 Ag 的分布的图。

[0054] 图 5A 是表示使两个 Pd/Pt 电极与 p 型 GaN 层接触并以最佳温度进行热处理的情况下的电流 - 电压特性的曲线图。

[0055] 图 5B 是表示使两个 Zn/Ag 电极与 p 型 GaN 层接触并以最佳温度进行热处理的情况下的电流 - 电压特性的曲线图。

[0056] 图 5C 是表示由 Pd/Pt 层构成的电极以及由 Zn/Ag 层构成的电极的、在各自以最佳温度进行热处理的情况下的固有接触电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$) 的值的曲线图。

[0057] 图 5D 是表示在半导体层中与电极接触的面 (接触面) 为 m 面的半导体元件的接触电阻 (测量值)、和接触面为 c 面的半导体元件的接触电阻 (测量值) 的曲线图。

[0058] 图 5E 是表示由 Pd/Pt 层构成的电极以及由 Zn/Ag 层构成的电极的固有接触电阻值的热处理温度依赖性的曲线图。

[0059] 图 5F 是 TLM 电极的图案的图。

[0060] 图 6 是表示以各温度进行热处理之后的电极的表面状态的光学显微镜的代替附图的照片。

[0061] 图 7A 是表示使用 SIMS (Secondary Ion-microprobe Mass Spectrometer) 针对在 m 面 GaN 上配置了 Zn/Ag 电极的构造中的 Ga 原子在深度方向上的分布进行测量之后的结果的曲线图。

[0062] 图 7B 是表示使用 SIMS 针对在 m 面 GaN 上配置了 Zn/Ag 电极的构造中的氮原子在深度方向上的分布进行测量之后的结果的曲线图。

[0063] 图 8 是表示使用由 Zn/Ag 层构成的电极的发光二极管的电流 - 电压特性的曲线图、以及使用以往的由 Pd/Pt 层构成的电极的发光二极管的电流 - 电压特性的曲线图。

[0064] 图 9(a) 是表示在本发明的实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件 100 的电极 30 的表面形成了保护电极 50 的结构剖面图, (b) 是表示在本发明的实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件 100 的电极 30 上形成了保护层 51 的结构剖面图。

[0065] 图 10 是表示白色光源的实施方式的剖面图。

[0066] 图 11 是表示本发明的其他的实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件 100a 的剖面图。

[0067] 图 12(a) 是示意性表示 GaN 系化合物半导体的结晶构造 (纤锌矿型结晶构造) 的

图, (b) 是表示 m 面的法线和 +c 轴方向及 a 轴方向之间关系的立体图。

[0068] 图 13(a) 及 (b) 分别是表示 GaN 系化合物半导体层的主面与 m 面之间的配置关系的剖面图。

[0069] 图 14(a) 及 (b) 分别是示意性表示 p 型 GaN 系化合物半导体层的主面及其附近区域的剖面图。

[0070] 图 15 是从 m 面向 -c 轴方向倾斜了 1° 的 p 型半导体区域的剖面 TEM 照片。

[0071] 图 16 是表示在从 m 面向 -c 轴方向倾斜了 0° 、 2° 、或 5° 的 p 型半导体区域上形成 Mg/Pt 层的电极并测量其接触电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$) 的结果的曲线图。

具体实施方式

[0072] 以下, 参照附图说明本发明的实施方式。在以下的附图中, 为了简化说明, 以相同的参照符号表示实质上具有同一功能的构成要素。此外, 本发明并不限定于以下的实施方式。

[0073] 图 3(a) 示意性表示本发明的实施方式所涉及的氮化物系半导体发光元件 100 的剖面结构。图 3(a) 所示的氮化物系半导体发光元件 100 是由 GaN 系半导体构成的半导体器件, 并具有氮化物系半导体叠层构造。

[0074] 本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100 具备: 将 m 面作为表面 12 的 GaN 系基板 10、在 GaN 系基板 10 上所形成的半导体叠层构造 20、以及在半导体叠层构造 20 上所形成的电极 30。在本实施方式中, 半导体叠层构造 20 是通过 m 面生长而形成的 m 面半导体叠层构造, 其表面是 m 面。不过, 由于还有在 r 面蓝宝石基板上生长 a 面 GaN 的这种情况, 因此根据生长条件不同, GaN 系基板 10 的表面也未必是 m 面。在本发明的结构中, 只要至少半导体叠层构造 20 之中的、与电极接触的半导体区域的表面是 m 面即可。

[0075] 本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100 具备支承半导体叠层构造 20 的 GaN 系基板 10, 但也可以代替 GaN 系基板 10 而具备其他的基板, 还能够在卸下基板的状态下使用。

[0076] 图 3(b) 示意性表示表面为 m 面的氮化物系半导体的剖面 (与基板表面垂直的剖面) 处的结晶构造。由于 Ga 原子和氮原子存在于与 m 面平行的同一原子面上, 因此在与 m 面垂直的方向上不会产生极化。即, m 面是非极性面, 在垂直于 m 面的方向上生长出的活性层内没有产生压电电场。此外, 所添加的 In 及 Al 位于 Ga 的位上, 并置换 Ga。即便 Ga 的至少一部分被 In、Al 置换, 在与 m 面垂直的方向上也不会产生极化。

[0077] 在表面具有 m 面的 GaN 系基板在本说明书中被称为“m 面 GaN 系基板”。为了得到在与 m 面垂直的方向上生长的氮化物系半导体叠层构造, 典型的是使用 m 面 GaN 基板并在其基板的 m 面上生长半导体即可。但是, 如上述那样, 基板的表面也未必是 m 面, 此外在最终的器件中也不需要残留基板。

[0078] 为了参考, 图 3(c) 中示意性表示表面为 c 面的氮化物系半导体的剖面 (与基板表面垂直的剖面) 处的结晶构造。Ga 原子和氮原子并没有存在于与 c 面平行的同一原子面上。其结果, 在与 c 面垂直的方向上产生极化。在本说明书中将表面具有 c 面的 GaN 系基板称为“c 面 GaN 系基板”。

[0079] c 面 GaN 系基板是用于使 GaN 系半导体结晶生长的一般的基板。由于与 c 面平行

的 Ga (或 In) 的原子层和氮的原子层的位置在 c 轴方向上略有偏离,因此沿着 c 轴方向形成极化。

[0080] 再次参照图 3(a)。在 GaN 系基板 10 的表面 (m 面)12 之上形成半导体叠层构造 20。半导体叠层构造 20 包括:含有 $Al_aIn_bGa_cN$ 层 ($a+b+c = 1, a \geq 0, b \geq 0, c \geq 0$) 的活性层 24、和 Al_dGa_eN 层 ($d+e = 1, d \geq 0, e \geq 0$)26。 Al_dGa_eN 层 26 以活性层 24 为基准位于与表面 (m 面)12 相反的一侧。在此,活性层 24 是氮化物系半导体发光元件 100 中的电子注入区域。

[0081] 在本实施方式的半导体叠层构造 20 中还包含其他层,在活性层 24 与 GaN 系基板 10 之间,形成 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 ($u+v+w = 1, u \geq 0, v \geq 0, w \geq 0$)22。本实施方式的 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 是第 1 导电型 (n 型) 的 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22。此外,也可以在活性层 24 与 Al_dGa_eN 层 26 之间设置未掺杂的 GaN 层。

[0082] 在 Al_dGa_eN 层 26 中,Al 的组成比率 d 不需要在厚度方向上是一样的。在 Al_dGa_eN 层 26 中,Al 的组成比率 d 在厚度方向上可以是连续或者阶段性地变化。即, Al_dGa_eN 层 26 既可以具有层叠了 Al 的组成比率 d 不同的多个层的多层构造,也可以是掺杂物的浓度在厚度方向上变化。此外,从降低接触电阻的观点出发,优选 Al_dGa_eN 层 26 的最上部 (半导体叠层构造 20 的上表面部分) 由 Al 的组成比率 d 为零的层 (GaN 层) 构成。

[0083] 在半导体叠层构造 20 上形成电极 30。本实施方式的电极 30 包括 Zn 层 32、在 Zn 层 32 上形成的 Ag 层 34。Zn 层 32 及 Ag 层 34 的至少一部分也可以合金化。即,既可以仅 Zn 层 32 和 Ag 层 34 的边界部分被合金化,也可以电极 30 的整体被合金化。

[0084] 图 4(a) 至 (c) 是用于说明 Zn 层 32 与 Ag 层 34 之间的合金化的图。图 4(a) 表示 Zn 层 32 及 Ag 层 34 的一部分合金化了的状态。在该情况下,如图 4(a) 所示,电极 30A 由与 Al_dGa_eN 层 26 接触的 Zn 层 32、在 Zn 层 32 上存在的 Zn-Ag 合金层 61A、以及在 Zn-Ag 合金层 61A 上存在的 Ag 层 34 构成。

[0085] 图 4(b) 表示 Zn 与 Ag 之间的合金化进行至与 Al_dGa_eN 层 26 接触的部分为止的状态。在图 4(b) 所示的状态中,电极 30B 中的 Zn 层 32 (电极 30B 之中的与 Al_dGa_eN 层 26 接触的部分) 由 Zn-Ag 合金形成。

[0086] 在图 4(b) 所示的电极 30B 的例子中,在 Zn 层 32 上存在 Ag 层 34。

[0087] 图 4(c) 表示 Zn 层及 Ag 层的整体被合金化了的状态的电极 30C。在该情况下,电极 30C 仅由 Zn-Ag 合金层 61C 构成。

[0088] 图 4(a) 至 (c) 所示的 Zn-Ag 合金由 Zn 及 Ag 构成 (主成分是 Zn 及 Ag)。图 4(a) 至 (c) 所示的构造能够在 Zn 层 32 上形成了 Ag 层 34 之后通过进行热处理来形成。此外,图 4(c) 所示的构造可以通过将 Zn 与 Ag 的混合物或化合物作为蒸镀源进行蒸镀之后进行热处理来形成。

[0089] Ag 层 34 可以是以 Ag 为主成分添加一种以上的微量的其他金属 (例如, Cu、Au、Pd、Nd、Sm、Sn、In、Bi 等) 来合金化。由这些金属合金化之后的 Ag 层 34 与 Ag 相比在耐热性和可靠性等方面较为出色。

[0090] Ag 层对光具有高的反射率。例如以蓝色光的反射率进行比较的情况下,Ag 约为 97%,Pt 约为 55%,Au 约为 40%。

[0091] 电极 30 中的 Zn 层 32 与半导体叠层构造 20 的 p 型半导体区域接触,作为 p 型电

极的一部分发挥作用。在本实施方式中,Zn 层 32 与掺杂了第 2 导电型 (p 型) 的掺杂物之后的 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 接触。在 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 中,例如作为掺杂物而掺杂了 Mg。作为 Mg 以外的 p 型掺杂物,例如也可以掺杂 Zn、Be 等。

[0092] 此外,Zn 层 32 的至少一部分可以通过叠层后的热处理凝集成岛状 (island),在 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 的表面上彼此空出间隔来形成。此时,构成 Ag 层 34 的 Ag 进入各岛状 Zn 之间。Ag 层 34 的至少一部分也可以凝集成岛状。

[0093] 本实施方式的电极 30 的厚度例如为 10nm 以上 200nm 以下。电极 30 中的 Zn 层 32 是比 Ag 层 34 的厚度还薄的层,Zn 层 32 的合适的厚度例如为 0.5nm 以上 10nm 以下。此外,这里的 Zn 层 32 的厚度是指热处理后的 Zn 层的厚度。

[0094] 如果 Zn 层 32 的厚度为 10nm 以下,则从半导体叠层构造 20 的活性层 24 放射出的光几乎没被 Zn 层 32 吸收而到达 Ag 层 34。因此,更多的光在 Ag 层 34 进行反射。优选 Zn 层 32 的厚度较小,例如 1nm 以上 2nm 以下。如果并不期待由 Ag 层 34 引起的光反射,则 Zn 层 32 的厚度也没有必要在 10nm 以下。由于 Zn 层 32 的厚度为 45nm 以上时的接触电阻与使用现有的 Pd 系电极的情况相比几乎没有变化,还会产生电极剥离的问题,因此优选 Zn 层 32 的厚度为 45nm 以下。

[0095] Ag 层 34 的厚度例如为 10nm 以上 200nm 以下。由于 Ag 层 34 中的光 (例如蓝色区域的波长的光) 的侵入长度约为 10nm,因此只要 Ag 层的厚度为侵入长度的 10nm 以上,就能够充分地反射光。此外,之所以 Zn 层 32 是比 Ag 层 34 的厚度还薄的层,是为了不会因 Zn 层 32 与 Ag 层 34 之间的应变平衡被打破而在 Zn 层 32 与 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 之间发生剥离。

[0096] 此外,具有 m 面的表面 12 的 GaN 系基板 10 的厚度例如为 100 ~ 400 μm 。这是因为如果是大致 100 μm 以上的基板厚度则在晶片的处理 (handling) 中不会发生障碍。此外,本实施方式的 GaN 系基板 10 如果具有由 GaN 系材料构成的 m 面的表面 12,则也可以具有叠层构造。即,本实施方式的 GaN 系基板 10 还包含至少在表面 12 存在 m 面的基板,因此,基板整体既可以是 GaN 系,也可以是与其他材料的组合。

[0097] 在本实施方式的结构中,在位于 GaN 系基板 10 之上的 n 型的 $\text{Al}_d\text{Ga}_v\text{In}_w\text{N}$ 层 (例如厚度 0.2 ~ 2 μm) 22 的一部分,形成电极 40 (n 型电极)。在图示的例子中,对于半导体叠层构造 20 之中形成电极 40 的区域,按照 n 型 $\text{Al}_d\text{Ga}_v\text{In}_w\text{N}$ 层 22 的一部分露出的方式形成凹部 42。在该凹部 42 处露出的 n 型 $\text{Al}_d\text{Ga}_v\text{In}_w\text{N}$ 层 22 的表面设置电极 40。电极 40 例如由 Ti 层、Al 层、Pt 层的叠层构造所构成,电极 40 的厚度例如为 100 ~ 200nm。

[0098] 此外,本实施方式的活性层 24 具有 $\text{Ga}_{0.9}\text{In}_{0.1}\text{N}$ 阱层 (例如厚度为 9nm) 和 GaN 阻挡层 (例如厚度为 9nm) 交替层叠的 GaInN/GaN 多重量子阱 (MQW) 构造 (例如厚度为 81nm)。

[0099] 在活性层 24 上设置 p 型的 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26。p 型的 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 的厚度例如为 0.2 ~ 2 μm 。此外,如上述那样,也可以在活性层 24 与 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 之间设置未掺杂的 GaN 层。

[0100] 此外,还可以在 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 上形成第 2 导电型 (例如 p 型) 的 GaN 层。然后,也可以在该 GaN 层上形成由 $\text{p}^+\text{-GaN}$ 构成的接触层,进而在由 $\text{p}^+\text{-GaN}$ 构成的接触层上形成 Zn 层 32。此外,代替将由 GaN 构成的接触层认为是与 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 独立的层,也可以将其认为是 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层 26 的一部分。

[0101] 接下来,参照图 5A 至图 6 详细说明本实施方式的特征或特异性。

[0102] 图 5A 表示使两个 Pd/Pt 电极与 p 型 GaN 层接触时的电流 - 电压特性,图 5B 表示

使两个 Zn/Ag 电极与 p 型 GaN 层接触时的电流 - 电压特性。作为 Pd/Pt 电极,使用在 p 型 m 面 GaN 层上堆积了厚度 40nm 的 Pd 层和厚度 35nm 的 Pt 层之后、在氮氛围气中以 500℃ 进行 10 分钟的热处理而形成的电极 (m 面 GaN(Pd/Pt))。作为 Zn/Ag 电极,使用在 p 型 m 面 GaN 层上堆积厚度 7nm 的 Zn 层和厚度 75nm 的 Ag 层之后、在氮氛围气中以 600℃ 进行 10 分钟的热处理而形成的电极 (m 面 GaN(Zn/Ag))。在本申请公开的所有的实验例中,通过通常的电子束蒸镀法来堆积 Zn 层及 Ag 层。

[0103] Zn/Ag 电极及 Pd/Pt 电极与掺杂了 Mg 的 m 面 GaN 层接触。在这些电极所接触的 m 面 GaN 层中,在距表面深度为 20nm 的区域 (厚度 20nm 的最表面区域) 掺杂了 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg。此外,在距 m 面 GaN 层的表面的深度超过 20nm 的区域,掺杂了 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg。这样,当在 p 型电极所接触的 GaN 层的最表面区域局部地提高 p 型杂质的浓度时,能够格外降低接触电阻。此外,通过进行这种杂质掺杂,由于还降低电流 - 电压特性的面内偏差,因此还可获得能够降低驱动电压的芯片间偏差的这一优点。因此,在本申请公开的实验例中,都是在距电极所接触的 p 型 GaN 层的表面深度为 20nm 的区域中掺杂了 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg,在比该区域还深的区域中掺杂了 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg。

[0104] 图 5A、图 5B 所示的电流 - 电压特性的各曲线图对应于图 5F 所示的 TLM(Transmission Line Method) 电极图案的电极间距离。图 5F 表示 $100 \mu\text{m} \times 200 \mu\text{m}$ 的多个电极按照 $8 \mu\text{m}$ 、 $12 \mu\text{m}$ 、 $16 \mu\text{m}$ 、 $20 \mu\text{m}$ 空出间隔来进行配置的状态。

[0105] Pd 是作为 p 型电极以往一直使用的功函数大的金属。在 Pd/Pt 电极中 Pd 层与 p 型 GaN 层接触。图 5A 的曲线图 (Pd/Pt 电极的电流 - 电压特性) 表示肖特基型的非欧姆特性 (肖特基电压:约 2V)。另一方面,图 5B 的曲线图 (Zn/Ag 电极的电流 - 电压特性) 中没有表现出肖特基电压,可知该 Zn/Ag 电极与 p 型 GaN 层大致形成欧姆接触。肖特基电压的消失,在降低发光二极管、激光二极管等的器件工作电压方面是非常重要的。

[0106] 图 5C 是表示上述 Pd/Pt 电极及 Zn/Ag 电极的固有接触电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$) 的曲线图。Pd/Pt 电极以 500℃ 进行热处理,Zn/Ag 电极以 600℃ 进行热处理。关于测量出图 5C 的固有接触电阻的试料的热处理前的各层的厚度,Zn/Ag 电极中的 Zn 层为 7nm,Ag 层为 75nm,Pd/Pt 电极中的 Pd 层为 40nm,Pt 层为 35nm。

[0107] 利用 TLM 法对接触电阻进行评价。其中,纵轴所示的“ $1.0\text{E}-01$ ”表示“ 1.0×10^{-1} ”,“ $1.0\text{E}-02$ ”表示“ 1.0×10^{-2} ”,即“ $1.0\text{E}+X$ ”表示“ 1.0×10^X ”。

[0108] 接触电阻 R 一般与接触面积 S (cm^2) 成反比例。在此,当将接触电阻设为 R (Ω) 时, $R = R_c/S$ 的关系成立。比例常数 R_c 被称为固有接触电阻,相当于接触面积 S 为 1cm^2 时的接触电阻 R。即,固有接触电阻的大小并不依赖于接触面积 S,成为用于评价接触特性的指标。以下,有时将“固有接触电阻”简记为“接触电阻”。

[0109] 如图 5C 所示,表示与 Pd/Pt 电极相比 Zn/Ag 电极具有低了将近一个量级的固有接触电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)。

[0110] 图 5D 是表示在半导体层中与电极接触的面 (接触面) 为 m 面的半导体元件的接触电阻 (测量值)、和接触面为 c 面的半导体元件的接触电阻 (测量值) 的曲线图。在该测量中,采用使 Zn/Ag 电极及 Pd/Pt 电极的任意一个与 p 型 GaN 层接触的样品。在所有的样品中,在从电极所接触的 p 型 GaN 层的表面起深度为 20nm 的区域中掺杂了 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg,在比它还深的区域中掺杂了 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg。

[0111] 根据图 5D 可知,在接触面为 c 面的情况下,表示与 Pd/Pt 电极相比 Zn/Ag 电极具有略高的接触电阻。但是,在接触面为 m 面的情况下,Zn/Ag 电极的接触电阻是比 Pd/Pt 电极的接触电阻显著低的值。

[0112] 接下来,说明接触电阻的热处理温度依赖性。分别叙述现有的 Pd/Pt 电极和本实施方式的 Zn/Ag 电极。图 5E 是表示 Pd/Pt 电极及 Zn/Ag 电极的固有接触电阻值的热处理温度依赖性的曲线图。关于测量出图 5E 的固有接触电阻的试料的热处理前的各层的厚度,Zn/Ag 电极中的 Zn 层为 7nm,Ag 层为 75nm,Pd/Pt 电极中的 Pd 层为 40nm,Pt 层为 35nm。

[0113] 如图 5E 所示,在 m 面 GaN(Pd/Pt) 电极的情况下,m 面 GaN 的接触电阻在 500°C 的热处理前后几乎没有变化。进而在超过 500°C 的热处理温度下,发现接触电阻的上升。

[0114] 另一方面,在 m 面 GaN(Zn/Ag) 电极的情况下,在 400°C 处接触电阻下降。在热处理温度为 600°C 时,接触电阻进一步下降。进而在 700°C 的温度时,尽管接触电阻与 600°C 的温度时相比有所上升,但是还是比现有的 m 面 GaN(Pd/Pt) 电极的接触电阻小。

[0115] 因此,作为 m 面 GaN(Zn/Ag) 电极的热处理温度,例如优选 400°C 以上。当超过 700°C 处于规定温度(例如 800°C)以上时,由于会促使电极、GaN 层的膜质的劣化,因此优选上限为 700°C 以下。

[0116] 接下来,图 6 表示以各温度进行热处理之后的电极的表面状态的照片。在图 6 中,表示 as-depo(没有进行热处理的情况)、热处理温度为 400°C、500°C、600°C、700°C 的结果。

[0117] 根据图 6 可知,在 p 型的 m 面 GaN 层上形成了 Pd 层及 Pt 层(m 面 GaN(Pd/Pt) 电极)时,在 600°C、700°C 的热处理中发现金属表面出现粗糙,并确认出现了劣化。此外,本申请发明者通过实验发现:在 c 面 GaN 层上形成 Pd/Pt 电极即便在 600°C 至 700°C 的温度下进行热处理也没有发现金属表面的粗糙。根据这些结果可知,因热处理而引起的电极劣化是 m 面 GaN 的电极中特有的课题。

[0118] 另一方面,在 p 型的 m 面 GaN 层上形成了 Zn 层及 Ag 层(作为本实施方式的结构 m 面 GaN(Zn/Ag) 电极)时,尽管在 700°C 的热处理温度下发现了些许的凹凸,但是可以确认在 400°C、600°C、700°C 的全部热处理温度下电极没有出现大幅的劣化。

[0119] 根据图 5E 所示的接触电阻的测量结果可知,在 m 面 GaN(Zn/Ag) 电极的情况下,热处理温度接近 600°C 时接触电阻最低。另一方面,根据图 6 所示的结果可知,在 m 面 GaN(Zn/Ag) 电极中,尽管热处理温度即便升高至 700°C 表面的劣化也很少,但是热处理温度低时电极表面可保持在更加良好的状态。由于如果 Ag 层的表面劣化则光反射率下降,因此优选电极的表面保持在良好的状态。如果兼顾接触电阻的值和电极表面的状态的话,考虑在 500°C 以上 600°C 以下的温度下进行热处理是特别合适的。

[0120] 一般,为了制作相对 c 面 GaN 而言接触电阻较低的良好 p 型电极,采用功函数大的金属、例如 Pd(功函数 = 5.1eV) 或 Pt(功函数 = 5.6eV) 是技术常识。Zn 的功函数(4.3eV) 比其他的接触电极材料的功函数小,故认为 Zn 层不优选作为 p 型接触电极的材料。

[0121] 本申请发明者,为了进行比较,在 p 型的 c 面 GaN 层上作为 p 型电极形成了 Zn 层,并利用 TLM 法评价了接触电阻。作为评价对象的 Zn 层,使用对以厚度 200nm 堆积成的 Zn 层在氮氛围气中以 500°C 进行 10 分钟的热处理之后的 Zn 层。其结果,在 c 面 GaN 层上形成的 Zn 层的接触电阻成为约 $3.0 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 这一非常高的值。

[0122] 尽管接触电阻减少的详细原因不清楚,但是如后述那样推测是因 m 面 GaN 的表面

附近处的 Ga 原子及 N 原子的特异的举动引起的。

[0123] 此外,本申请发明者作为 m 面 GaN 的电极材料使用 Al、Ni、Au、Pd、Pt 等的功函数不同的各种金属来测量接触电阻。其结果以实验方式示出了在 m 面 GaN 的情况下也是功函数越大的金属 (Pd 或 Pt) 则接触电阻越低 (国际公开第 2010/052810)。

[0124] 在将本实施方式中的电极构造 (Zn/Ag) 配置在 m 面 GaN 上的情况下之所以接触电阻会飞跃式下降,推测是因为通过热处理从而仅 Ga 原子扩散至电极侧而 N 原子没有扩散至电极侧。由于 GaN 之中仅 Ga 扩散至电极侧,因此在 Zn 层中 N 浓度变得低于 Ga 浓度。

[0125] 当在 p 型 GaN 中 Ga 扩散至电极侧时,在 p 型 GaN 的最表面出现 Ga 原子不足的状态,也就是形成 Ga 空位。由于 Ga 空位具有受主的性质,因此在电极与 p 型 GaN 之间的界面附近 Ga 空位增加时,空穴容易通过隧道通过该界面的肖特基势垒。由此,认为在按照与以 m 面为表面的 p 型 GaN 层接触的方式来形成 Zn 层的情况下可降低接触电阻。

[0126] 相对于此,如果与 Ga 原子一起 N 原子也扩散至电极侧时,在 p 型 GaN 的最表面会出现 N 不足的状态,即也会形成 N 空位。由于 N 空位具有施主的性质,因此在 p 型 GaN 的最表面,在 Ga 空位与 N 空位之间引起电荷补偿。此外,考虑到因 N 原子脱离从而 GaN 结晶的结晶性会恶化。因此,在与 Ga 原子一起 N 原子也扩散至电极侧的情况下,p 型 GaN 层与电极之间的接触电阻较高。

[0127] 图 7A 表示利用 SIMS 针对在 m 面 GaN 上配置了 Zn/Ag 电极的构造中的 Ga 原子在深度方向上的分布进行测量之后的结果。图 7A 中表示热处理前 (as-depo) 的分布、和热处理后 (600°C 热处理后) 的分布。曲线图的纵轴表示强度 (相当于 Ga 浓度),横轴表示深度方向的距离。纵轴的 1×10^1 的强度相当于 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Ga 浓度。关于横轴的数值,“-”的区域是电极侧,“+”的区域是 p 型 GaN 侧。横轴的原点 ($0 \mu\text{m}$) 是 Zn 的峰值位置,大致相当于 p 型 GaN 层与 Zn 层的界面的位置。

[0128] 测量中使用的试料的热处理是在 600°C 的温度下进行 10 分钟。热处理前的 Zn 层的厚度为 7nm,Ag 层的厚度为 75nm。在所有的试料中,在热处理前,都是在从电极所接触的 p 型 GaN 层的表面起深度为 20nm 的区域中掺杂了 $7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg,在比它还深的区域中掺杂了 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 Mg。

[0129] 如图 7A 所示,在 as-depo 的状态中,随着靠近表面侧 (- 侧),Ga 浓度单调减少。虽然在图 7A 中没有表现出,但是在横轴的值为 $-0.05 \mu\text{m}$ 附近时 as-depo 状态的 Ga 浓度处于检测界限以下。根据该结果可知,在 as-depo 状态中,Ga 几乎没有扩散至金属侧。另一方面,在进行了热处理之后,与热处理前相比,在 $0.01 \mu\text{m}$ 至 $0 \mu\text{m}$ 、以及 $-0.01 \mu\text{m}$ 至 $-0.04 \mu\text{m}$ 的区域中 Ga 浓度变高。该结果表示在热处理后的状态中与热处理前相比 Ga 扩散到了电极中。

[0130] 接下来,说明氮的举动。图 7B 表示利用 SIMS 针对在 m 面 GaN 上配置了 Zn/Ag 电极的构造中的氮原子在深度方向上的分布进行测量之后的结果的曲线图。曲线图的纵轴是强度 (相当于 N 浓度),横轴是深度方向上的距离。纵轴的 1×10^1 的强度大致相当于 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 的 N 浓度。关于横轴的数值,“-”的区域是电极侧,“+”的区域是 p 型 GaN 侧。横轴的原点 ($0 \mu\text{m}$) 是 Zn 的峰值位置,大致相当于 p 型 GaN 层与 Zn 层的界面的位置。

[0131] 测量中使用的试料的热处理是在 600°C 的温度下进行 10 分钟。热处理前的 Zn 层的厚度为 7nm,Ag 层的厚度为 75nm。电极的构造及 p 型 GaN 的掺杂条件与得到图 7A 所示

的测量结果的样品相同。

[0132] 如图 7B 所示,如果用相同的横轴的值 (0 至 -0.02) 来比较热处理前 (as-depo) 和热处理后 (600°C 热处理后),则发现与热处理前相比热处理后的电极内的氮浓度下降。但是,考虑这是因两个分布的深度方向的位置出现偏差进行观测之后的测量误差而引起的。热处理前 (as-depo) 及热处理后 (600°C 热处理后) 的分布图中都具有氮浓度大致恒定的区域 (p 型 GaN 侧)、和随着接近电极的表面侧氮浓度单调下降的区域 (电极侧),表示类似的举动。根据该结果可知,通过热处理氮几乎没有扩散。

[0133] 根据图 7A、7B 所示的结果可知,在 m 面 GaN 中仅 Ga 原子扩散至电极侧,氮原子没有扩散。

[0134] 此外,推测这种的各元素 (Ga、N) 的举动即便在 Zn 层所接触的 GaN 层中以 Al 或 In 来置换一部分的 Ga 也同样会发生。此外,推测在 Zn 层所接触的 GaN 系半导体层中即便作为掺杂物掺杂了 Mg 以外的元素时也是同样的。

[0135] 接下来,再次参照图 3(a) 进一步详细叙述本实施方式的结构。

[0136] 如图 3(a) 所示,在本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100 中,形成了在表面具有 m 面的 GaN 系基板 10、和在 GaN 系基板 10 上形成的 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 ($u+v+w = 1, u \geq 0, v \geq 0, w \geq 0$) 22。在该例子中, GaN 系基板 10 是 n 型 GaN 基板 (例如厚度为 100 μm), $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 是 n 型 GaN 层 (例如厚度为 2 μm)。在 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 上形成活性层 24。换言之,在 GaN 系基板 10 上形成至少包含活性层 24 的半导体叠层构造 20。

[0137] 在半导体叠层构造 20 中,在 $Al_xGa_yIn_zN$ 层 22 上形成包含 $Al_aIn_bGa_cN$ 层 ($a+b+c = 1, a \geq 0, b \geq 0, c \geq 0$) 的活性层 24。活性层 24 例如由 In 组成比约为 25% 的 InGaN 阱层和 GaN 阻挡层构成,阱层的厚度为 9nm,阻挡层的厚度为 9nm,阱层周期为 3 周期。在活性层 24 上形成第 2 导电型 (p 型) 的 Al_dGa_eN 层 ($d+e = 1, d \geq 0, e \geq 0$) 26。第 2 导电型 (p 型) 的 Al_dGa_eN 层 ($d+e = 1, d \geq 0, e \geq 0$) 26 例如是 Al 组成比为 10% 的 AlGaN 层,厚度是 0.2 μm 。在本实施方式的 Al_dGa_eN 层 26 中,作为 p 型掺杂物掺杂了 Mg。在此针对 Al_dGa_eN 层 26,例如掺杂了 $10^{18}cm^{-3}$ 左右的 Mg。此外,在该例中,在活性层 24 与 Al_dGa_eN 层 26 之间形成未掺杂的 GaN 层 (未图示)。

[0138] 再者,在该例中,在 Al_dGa_eN 层 26 上形成第 2 导电型 (例如 p 型) 的 GaN 层 (未图示)。进而在由 p^+ -GaN 构成的接触层上形成 Zn 层 32,在其上形成 Ag 层 34。该 Zn 层 32 和 Ag 层 34 的叠层构造成为电极 (p 型电极) 30。

[0139] 此外,在半导体叠层构造 20 中,形成使 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 的表面露出的凹部 (recess) 42,在位于凹部 42 的底面处的 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 上,形成电极 (n 型电极) 40。对于凹部 42 的大小而言,例如宽度 (或直径) 为 20 μm ,深度为 1 μm 。电极 40 例如是由 Ti 层、Al 层、Pt 层 (例如厚度分别为 5nm、100nm、10nm) 的叠层构造构成的电极。

[0140] 根据本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100 可知,与使用现有的 Pd/Pt 电极的 m 面 LED 相比,能够将工作电压 (V_{op}) 降低约 2.0V,其结果能够减少耗电。

[0141] 再有确认出:因 Ag 层 34 的光反射效果,与使用现有的 Pd/Pt 电极的 m 面 LED 的情况相比,可大幅提高外部量子效率。

[0142] 接下来,继续参照图 3(a) 说明本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100 的制造方法。

[0143] 首先,准备 GaN 系基板 10。在本实施方式中,作为 GaN 系基板 10 采用 GaN 基板。本实施方式的 GaN 基板利用 HVPE (Hydride Vapor Phase Epitaxy) 法而得到。

[0144] 例如,首先在 c 面蓝宝石基板上生长几 mm 等级的厚膜 GaN。然后,在与 c 面垂直的方向上即 m 面对厚膜 GaN 进行切取,由此得到 m 面 GaN 基板。GaN 基板的制作方法并不限于上述情况,例如也可以是如下方法,采用钠熔剂法 (Na-flux method) 等液相生长或氨热法 (ammonothermal growth) 等溶液生长方法来制作大块 GaN 的结晶块 (ingot),并在 m 面对其进行切取。

[0145] 作为 GaN 系基板 10,除了 GaN 基板以外,例如也可以使用氧化镓、SiC 基板、Si 基板、蓝宝石基板等。为了在基板上外延生长由 m 面构成的 GaN 系半导体,SiC 或蓝宝石基板的 m 面方位也最好是 m 面。不过,由于也有在 r 面蓝宝石基板上生长 a 面 GaN 的情况,因此由于生长条件不同从而生长用表面也未必是 m 面。只要至少半导体叠层构造 20 的表面是 m 面即可。在本实施方式中,在 GaN 系基板 10 上,通过 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法依次形成结晶层。

[0146] 接下来,在 GaN 系基板 10 上形成 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22。作为 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22,例如形成厚度 $3\mu m$ 的 AlGaIn。在形成 GaN 时,在 GaN 系基板 10 上以 $1100^\circ C$ 提供 TMG ($Ga(CH_3)_3$)、TMA ($Al(CH_3)_3$) 及 NH_3 来堆积 GaN 层。

[0147] 接着,在 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 上形成活性层 24。在该例中,活性层 24 具有厚度 9nm 的 $Ga_{0.9}In_{0.1}N$ 阱层和厚度 9nm 的 GaN 阻挡层交替层叠而得到的厚度为 81nm 的 GaInN/GaN 多重量子阱 (MQW) 构造。在形成 $Ga_{0.9}In_{0.1}N$ 阱层时,为了进行 In 的捕获,优选将生长温度降至 $800^\circ C$ 。

[0148] 其次,在活性层 24 上堆积例如厚度为 30nm 的未掺杂 GaN 层。然后,在未掺杂 GaN 层上形成 Al_dGa_eN 层 26。作为 Al_dGa_eN 层 26,例如通过提供 TMG、 NH_3 、TMA、TMI 以及作为 p 型杂质的 Cp_2Mg (二茂镁),由此形成厚度 70nm 的 $p-Al_{0.14}Ga_{0.86}N$ 。

[0149] 然后,在 Al_dGa_eN 层 26 上堆积例如厚度 $0.5\mu m$ 的 p-GaN 接触层。在形成 p-GaN 接触层时,作为 p 型杂质提供 Cp_2Mg 。

[0150] 之后,通过氯系干式蚀刻,除去 p-GaN 接触层、 Al_dGa_eN 层 26、未掺杂 GaN 层及活性层 24 的一部分来形成凹部 42,使 $Al_xGa_yIn_zN$ 层 22 的 n 型电极形成区域露出。接着,在位于凹部 42 的底部的 n 型电极形成区域上,作为电极 40 形成 Ti/Al/Pt 层。

[0151] 进而,在 p-GaN 接触层上形成 Zn 层 32,之后在 Zn 层 32 上形成 Ag 层 34。然后进行热处理。由此,形成电极 (p 型电极) 30。Zn 层 32 及 Ag 层 34 都能够通过通常的真空蒸镀法 (电阻加热法、电子束蒸镀法等) 来形成。作为形成 Zn 层 32 的方法,除了真空蒸镀法以外,还可以进行溅射法、热 CVD 法和分子束外延生长法 (MBE)。

[0152] 此外,然后还可以采用激光剥离、蚀刻、研磨等方法,除去 GaN 系基板 10、 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 的一部分。此时,既可以仅除去 GaN 系基板 10,也可以选择性地除去 GaN 系基板 10 及 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 的一部分。当然,也可以不除去 GaN 系基板 10、 $Al_uGa_vIn_wN$ 层 22 而将其保留。通过以上的工序形成本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100。

[0153] 在本实施方式的氮化物系半导体发光元件 100 中,若在电极 40 与电极 30 之间施加电压,则空穴从电极 30 向活性层 24 注入,电子从电极 40 向活性层 24 注入,产生例如 450nm 波长的发光。

[0154] 在此,图 8 表示使用由 Zn/Ag 层构成的电极(在 500°C、550°C、575°C、及 600°C 中进行 10 分钟热处理之后的电极)的发光二极管的电流-电压特性。为了进行比较,还表示发光二极管的氮化物系半导体的构造相同、且使用由 Pd/Pt 层构成的电极的发光二极管的特性。对于热处理前的各层的厚度而言,Zn/Ag 电极中的 Zn 层为 7nm,Ag 层为 75nm,Pd/Pt 电极中的 Pd 层为 40nm,Pt 层为 35nm。

[0155] 该发光二极管的结构是在 m 面 GaN 基板上层叠了 n 型 GaN 层、InGaIn 阱层(3 层)和 GaN 阻挡层(2 层)交替层叠而得到的活性层、p 型 GaN 层。进而在 p 型 GaN 层上作为 p 型电极设置 Zn/Ag 电极或 Pd/Pt 电极。对 p 型 GaN 层、活性层进行蚀刻,使 n 型 GaN 层露出,而在 n 型 GaN 层上形成 n 型电极。

[0156] 使用了由 Pd/Pt 层构成的电极的发光二极管的启动电压约为 3.8V。相对于此,使用了由 Zn/Ag 层构成的电极的发光二极管的启动电压约为 2.8V,发现启动电压大幅下降。另一方面,如果以电流值 20mA 下的工作电压进行比较,则可知与使用了由 Pd/Pt 层构成的电极的发光二极管相比,使用由 Zn/Ag 层构成的电极的发光二极管降低了 2.0V 以上。

[0157] 在本实施方式中,如图 9(a)所示,也可以由 Ag 以外的金属(例如 Ti、Pt、Mo、Pd、Au、W 等)构成的保护电极 50 来覆盖由 Zn 层 32 及 Ag 层 34 构成的电极 30 的表面。不过,由于这些金属的光吸收损耗比 Ag 的光吸收损耗大,因此优选将 Ag 层 34 的厚度设定为光的侵入长度即 10nm 以上,从而能够在 Ag 层 34 反射所有的光而不会透过至保护电极 50。在将光吸收损耗较小的金属用作保护电极 50 的情况下,由于该保护电极 50 兼具反射膜的效果,因此 Ag 层 34 的厚度也可以不是 10nm 以上。

[0158] 保护电极 50 既可以覆盖电极 30 的整体,也可以仅覆盖一部分。由于保护电极 50 是金属,因此即便由保护电极 50 覆盖电极 30 的整体的情况下,如果在保护电极 50 上焊接引线(未图示),则也可使电极 30 与引线导通。其中,在构成保护电极 50 的金属的电阻较大的情况下,优选在保护电极 50 的一部分设置开口,将引线直接焊接在电极 30 的 Ag 层 34 上。

[0159] 此外,如图 9(b)所示,为了对电极 30 进行保护,也可以形成由电介质(例如 SiO₂ 或 SiN 等)构成的保护层 51。此时,当由保护层 51 来覆盖电极 30 的整体时,由于无法使电极 30 与外部导通,因此需要在保护层 51 的一部分设置开口 52,将引线(未图示)直接焊接在电极 30 的 Ag 层 34 上。由于 SiO₂ 或 SiN 等的电介质具有折射率低的性质,因此在形成了保护层 51 的情况下,能够进一步提高光的反射率。

[0160] 通过形成图 9(a)所示的保护电极 50 或图 9(b)所示的保护层 51,能够防止具有容易移动的性质 Ag 进行扩散。此外,通过保护 Ag 层 34 的表面,使得 Ag 层 34 难以与大气中的硫或氧接触,因此能够防止 Ag 层 34 的硫化 and 氧化。此外,在图 9(a)、(b)中,省略了图 3(a)所示的氮化物系半导体发光元件 100 之中的 Al_{0.4}Ga_{0.6}N 层 26、Zn 层 32 及 Ag 层 34 以外的构成要素的图示。

[0161] 此外,还可以在上述的保护电极 50 或保护层 51 上形成布线用的金属(Au、AuSn 等)。

[0162] 在本实施方式中,作为 p 型电极的材料,使用了在地球上比 Pd 丰富得多的 Zn。与 Mg 相比,Zn 具有难以被氧化的性质,还具有 Zn 层通过通常的蒸镀法就能够形成的这一优点。此外,可确认 m 面 GaN 层与 Zn 层之间的密接性良好。

[0163] 以上,通过合适的实施方式说明了本发明,但是这种叙述并不是限定事项,当然可以进行各种改变。

[0164] 此外,在专利文献 1、2 中公开了本质上与本发明的实施方式不同但有所关联的构造。然而,专利文献 1 及 2 都完全没有记载氮化镓系半导体层的结晶面是 m 面,因此,认为这些文献的公开仅涉及在 c 面的氮化镓系半导体层上形成电极的技术。特别是专利文献 1 中虽然公开了在 p 型 GaN 层上堆积薄膜金属层之后堆积 Ag 合金层的结构,但是作为薄膜金属层中使用的金属仅公开了 Pt、Co、Ni、Pd。这些是功函数大的金属,认为在专利文献 1 中是基于优选将功函数大的金属用作 p 型电极的这一技术常识而使用这些金属的。由本申请发明者进行了确认,在 m 面 GaN 的 p 型电极的情况下,即便如上述那样仅使用功函数大的金属 (Pd、Ni、Pt 等),这些电极与 m 面 GaN 也不会形成欧姆接触。另一方面,专利文献 2 公开了由 Ag、Ag-Ni 合金、Ag-Pd 合金、Ag-Rh 合金、Ag-Pt 合金构成的电极构造。在专利文献 2 的电极构造中,形成了功函数大的金属和 Ag 的合金,该想法也是基于技术常识而得到的。

[0165] 本发明涉及的上述发光元件可以直接作为光源使用。但是,如果本发明涉及的发光元件与具备用于波长变换的荧光物质的树脂等组合,则可恰当地用作波段扩大的光源(例如白色光源)。

[0166] 图 10 是表示这种白色光源的一例的示意图。图 10 的光源包括:具有图 3(a) 所示的结构的氮化物系半导体发光元件 100、分散了将从该氮化物系半导体发光元件 100 放射的光的波长变换为更长的波长的荧光体(例如 YAG:Yttrium Aluminum Garnet)的树脂层 200。氮化物系半导体发光元件 100 搭载于在表面形成了布线图案的支承部件 220 上,在支承部件 220 上以环绕氮化物系半导体发光元件 100 的方式配置反射部件 240。树脂层 200 以覆盖氮化物系半导体发光元件 100 的方式形成。

[0167] 在图 10 所示的氮化物系半导体发光元件 100 中,作为 Zn/Ag 电极的电极 30 与半导体叠层构造 20 相比配置在支承部件 220 一侧。在半导体叠层构造 20 的活性层 24 中产生的光,从活性层 24 以放射状射出。从活性层 24 射出的光之中的通过光取出面 11 之后的光或被反射部件 240 反射之后的光,进入树脂层 200 中从而被取出至氮化物系半导体发光元件 100 的外部。此时,一部分的光被树脂层 200 中包含的荧光体变换为波长更长的光。另一方面,从活性层 24 射出的光之中的向电极 30 行进的光,被电极 30 中的 Ag 层进行反射。此时,由于 Ag 对光具有较高的反射率,因此入射至 Ag 层的大部分光不会被 Ag 层吸收而是被反射。被 Ag 层反射之后的光进入半导体叠层构造 20 及树脂层 200 中从而被取出至外部。其结果,从白色光源取出的光增加。这样,在本实施方式中,能够提高外部量子效率。

[0168] 此外,对于本发明中的接触构造而言,在与 Zn 层接触的 p 型半导体区域由 GaN 系半导体即 $Al_xIn_yGa_zN$ ($x+y+z=1, x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0$) 半导体构成的情况下,将发挥出上述的优异效果。当然在 LED 以外的发光元件(半导体激光器)、发光元件以外的器件(例如晶体管、受光元件)中也能获得这种接触电阻降低的效果。即便不利用 Ag 层的光反射效果,通过使用 Zn/Ag 电极,相对于 m 面 GaN 也能够大幅降低接触电阻。

[0169] 实际的 m 面半导体层的表面(主面)不需要相对于 m 面是完全平行的面,也可以是以少许的角度(大于 0 度且小于 $\pm 1^\circ$)从 m 面倾斜。从制造技术的观点出发,难以形成具有表面相对于 m 面完全平行的表面的基板或半导体层。因此,通过现在的制造技术形成 m 面基板或 m 面半导体层的情况下,实际的表面相对于理想的 m 面会出现倾斜。由于因

制造工艺的不同倾斜的角度及方位也会出现偏差,因此难以正确地控制表面的倾斜角度及倾斜方位。此外,有时会有意识地使基板或半导体的表面(主面)相对于m面倾斜 1° 以上的角度。以下所说明的实施方式中的氮化镓系化合物半导体发光元件,具备将相对于m面倾斜 1° 以上角度的面作为主面的p型半导体区域。

[0170] [其他实施方式]

[0171] 图11是表示本实施方式的氮化物系半导体发光元件100a的剖视图。为了形成以相对于m面倾斜 1° 以上角度的面作为主面的p型半导体区域,本实施方式涉及的氮化物系半导体发光元件100a使用以相对于m面倾斜 1° 以上角度的面作为主面的GaN系基板10a。主面相对于m面倾斜 1° 以上角度的基板一般被称为“倾斜基板(off substrate)”。倾斜基板以如下方式制作,从单结晶块切取基板,通过对基板表面进行研磨的工序,有意识地将相对于m面向特定方位倾斜的面作为主面。在该GaN系基板10a上,形成半导体叠层构造20a。图11所示的 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 层22a、活性层24a及 $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层26a的主面相对于m面倾斜 1° 以上的角度。这是因为当在倾斜了的基板的主面上层叠各种半导体层时,这些半导体层的表面(主面)也相对于m面出现倾斜。代替GaN系基板10a,例如也可以使用以相对于m面向特定方向倾斜的面作为表面的蓝宝石基板或SiC基板。此外,在本实施方式的结构中,只要半导体叠层构造20a之中的、至少与电极30a接触的p型半导体区域的表面相对于m面倾斜 1° 以上角度即可。

[0172] 接下来,参照图12~图16详细说明本实施方式中的p型半导体区域的倾斜。

[0173] 图12(a)是示意地表示GaN系化合物半导体的结晶构造(纤锌矿型结晶构造)的图,表示将图2的结晶构造的朝向旋转了 90° 之后的构造。在GaN结晶的c面存在+c面及-c面。+c面是Ga原子出现在表面的(0001)面,被称为“Ga面”。另一方面,-c面是N(氮)原子出现在表面的(000-1)面,被称为“N面”。+c面和-c面处于平行的关系,都垂直于m面。由于c面具有极性,因此可以像这样将c面分为+c面和-c面,但是将非极性面的面区分为+a面和-a面是没有意义的。

[0174] 图12(a)所示的+c轴方向是从-c面向+c面垂直延伸的方向。另一方面,a轴方向对应于图2的单位向量 a_2 ,朝向平行于m面的 $[-12-10]$ 方向。图12(b)是表示m面的法线、+c轴方向及a轴方向的相互关系的立体图。m面的法线平行于 $[10-10]$ 方向,如图12(b)所示,与+c轴方向及a轴方向的双方垂直。

[0175] 所谓的GaN系化合物半导体层的主面相对于m面倾斜 1° 以上的角度,是指该半导体层的主面的法线相对于m面的法线倾斜 1° 以上的角度。

[0176] 接下来参照图13。图13(a)及(b)分别是表示GaN系化合物半导体层的主面及m面的关系的剖视图。该图是与m面及c面的双方垂直的剖视图。图13示出了表示+c轴方向的箭头。如图13所示,m面平行于+c轴方向。因此,m面的法线向量垂直于+c轴方向。

[0177] 在图13(a)及(b)所示的例子中,GaN系化合物半导体层中的主面的法线向量相对于m面的法线向量向c轴方向倾斜。更为具体而言,在图13(a)的例子中,主面的法线向量向+c面一侧倾斜,但在图13(b)的例子中,主面的法线向量向-c面一侧倾斜。在本说明书中,在前者的情况下将主面的法线向量相对于m面的法线向量的倾斜角度(倾斜角度 θ)设定为正值,在后者的情况下将倾斜角度 θ 设定为负值。在这两种情况下,都可以说“主面向c轴方向倾斜”。

[0178] 在本实施方式中,由于 p 型半导体区域的倾斜角度处于 1° 以上 5° 以下的范围、以及倾斜角度处于 -5° 以上 -1° 以下的范围,因此能够与 p 型半导体区域的倾斜角度大于 0° 且小于 $\pm 1^\circ$ 的情况同样地达到本发明的效果。以下,参照图 14 说明其原因。图 14(a) 及 (b) 分别是对应于图 13(a) 及 (b) 的剖视图,表示相对于 m 面向 c 轴方向倾斜的 p 型半导体区域中的主面附近区域。在倾斜角度 θ 为 5° 以下的情况下,如图 14(a) 及 (b) 所示,在 p 型半导体区域的主面上形成多个台阶。各台阶具有与单原子层相应的高度(2.7\AA),大致等间隔地(30\AA 以上)平行排列。通过这种的台阶排列,虽然作为整体形成了相对于 m 面倾斜的主面,但是在微观上露出了多个 m 面区域。

[0179] 图 15 是从 m 面向 $-c$ 轴方向倾斜了 1° 的 p 型半导体区域的剖面 TEM 照片。可以确认在 p 型半导体区域的表面,m 面明确地表现出,倾斜是由原子台阶而形成的。之所以主面相对于 m 面倾斜的 GaN 系化合物半导体层的表面成为这种构造,是因为 m 面原本作为结晶面就非常稳定。即便主面的法线向量的倾斜方向朝向 $+c$ 面及 $-c$ 面以外的面方位,也会出现同样的现象。即便主面的法线向量例如向 a 轴方向倾斜,只要倾斜角度在 1° 以上 5° 以下的范围内也是同样的。

[0180] 如以上,即便在 p 型氮化镓系化合物半导体层的表面(主面)相对于 m 面倾斜 1° 以上角度的情况下,由于与 p 型电极接触的面露出了多个 m 面区域,因此接触电阻也不会依赖于倾斜角。

[0181] 图 16 是表示在从 m 面向 $-c$ 轴方向倾斜了 0° 、 2° 或者 5° 的 p 型半导体区域上形成 Mg/Pt 层的电极、并测量其接触电阻($\Omega \cdot \text{cm}^2$)之后的结果的曲线图。曲线图的纵轴是固有接触电阻,横轴是倾斜角度(m 面的法线与 p 型半导体区域的表面的法线所形成的角度) θ 。此外,该固有接触电阻是形成了电极并进行了热处理之后的固有接触电阻的值。根据图 16 的结果可知,如果倾斜角度 θ 在 5° 以下,则接触电阻大致为恒定值。认为在使用 Zn/Ag 层的电极的情况下,只要相对于 m 面的倾斜角度 θ 在 5° 以下,则接触电阻也大致为恒定值。

[0182] 据此,认为只要 p 型半导体区域的表面的倾斜角度 θ 在 5° 以下,那么根据本发明的结构可降低接触电阻。

[0183] 此外,如果倾斜角度 θ 的绝对值大于 5° ,则由于压电电场从而内部量子效率会下降。因此,如果显著地产生了压电电场,那么通过 m 面生长来实现半导体发光元件的意义将变小。因此,在本发明中,将倾斜角度 θ 的绝对值限制在 5° 以下。但是,在将倾斜角度 θ 设定为例如 5° 的情况下,由于制造偏差,实际的倾斜角度 θ 有可能从 5° 偏离 $\pm 1^\circ$ 左右。完全排除这种制造上的偏差是较为困难的,此外,这种程度的微小角度偏差不会妨碍本发明的效果。

[0184] (产业上的可利用性)

[0185] 根据本发明,能够降低主面的法线与 m 面的法线所形成的角度在 1° 以上 5° 以下的 p 型半导体区域和 p 型电极之间的接触电阻,且能够减少 p 型电极中的光吸收损耗,因此特别适合用作发光二极管(LED)。

[0186] 符号说明:

[0187] 10、10a 基板(GaN 系基板)

[0188] 11 光取出面

- [0189] 12、12a 基板的表面 (m 面)
- [0190] 20、20a 半导体叠层构造
- [0191] 22、22a $\text{Al}_u\text{Ga}_v\text{In}_w\text{N}$ 层
- [0192] 24、24a 活性层
- [0193] 26、26a $\text{Al}_d\text{Ga}_e\text{N}$ 层
- [0194] 30、30A、30B、30C p 型电极
- [0195] 32 Zn 层
- [0196] 34 Ag 层
- [0197] 40、40a n 型电极
- [0198] 42、42a 凹部
- [0199] 50 保护电极
- [0200] 51 保护层
- [0201] 52 开口
- [0202] 61A、61C Zn-Ag 合金层
- [0203] 100、100a 氮化物系半导体发光元件
- [0204] 200 分散使波长变换的荧光体的树脂层
- [0205] 220 支承部件
- [0206] 240 反射部件

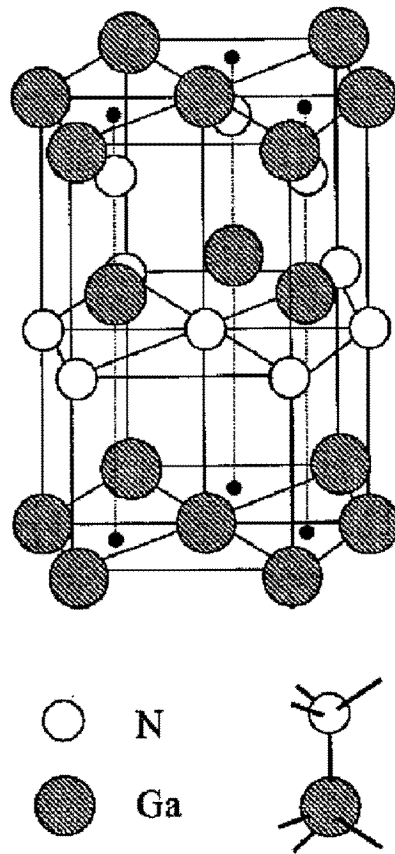


图 1

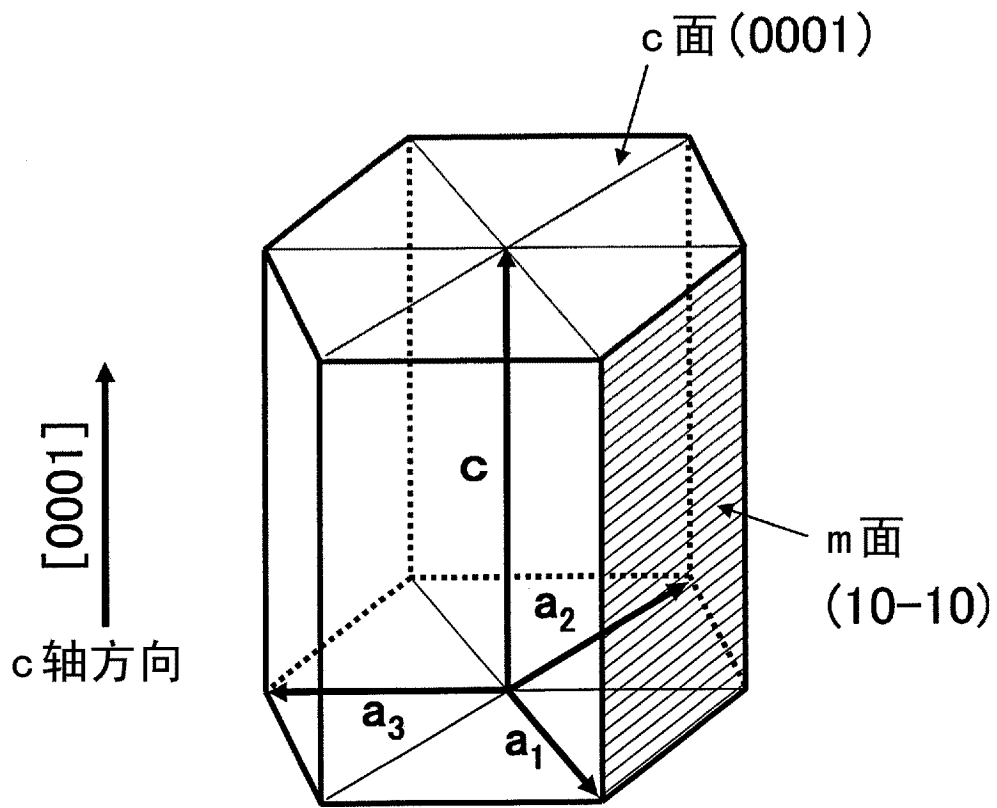


图 2

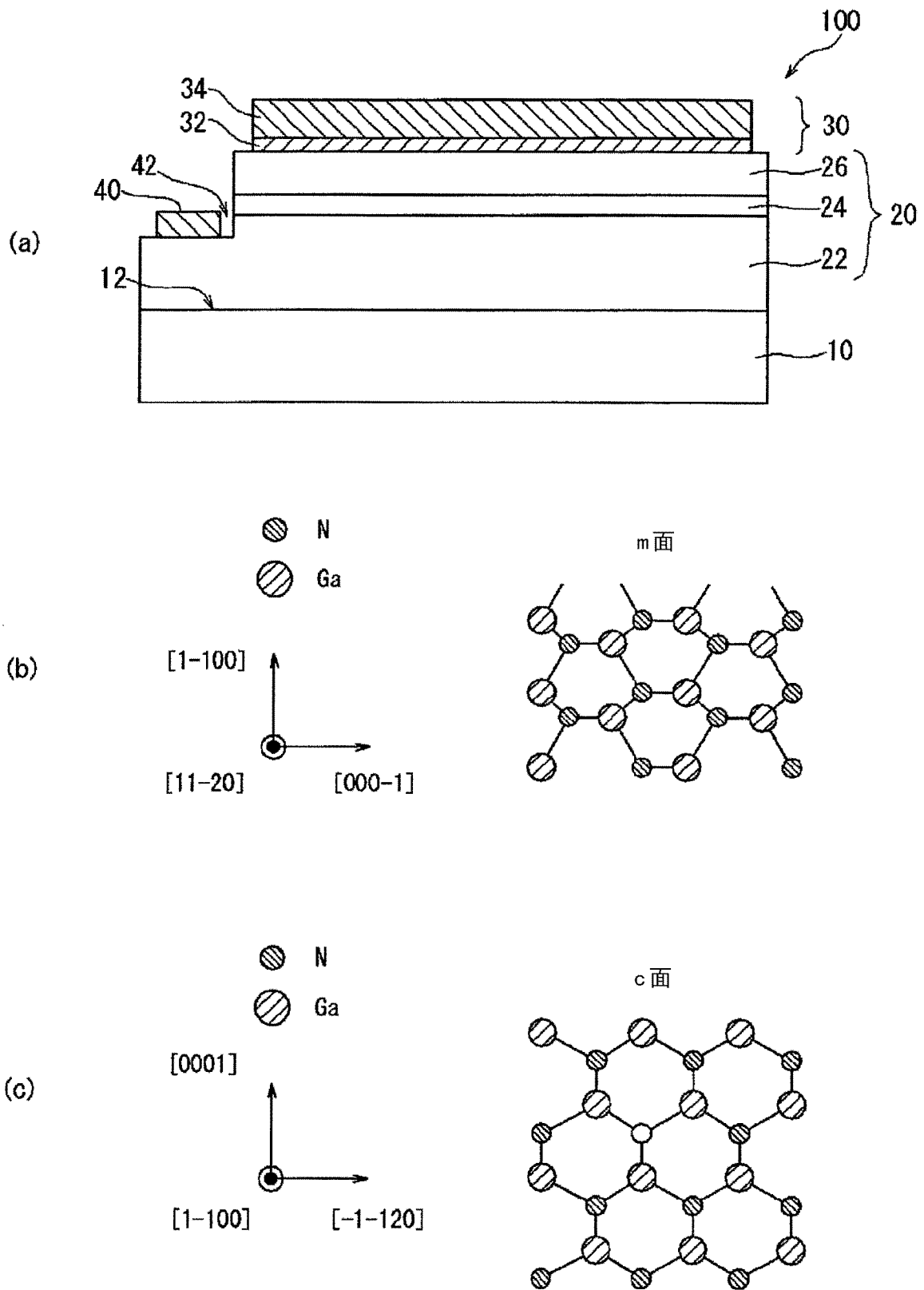


图 3

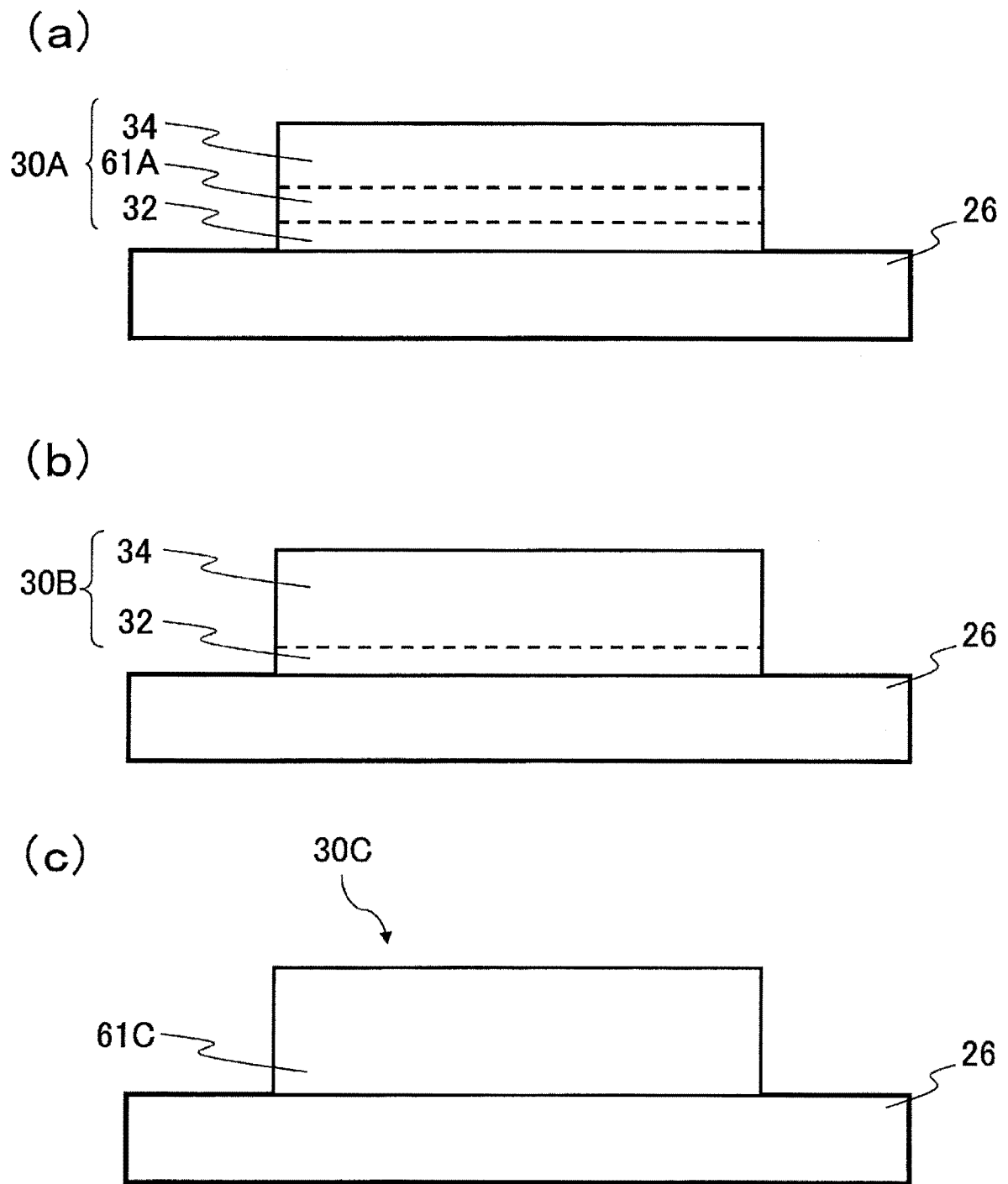


图 4

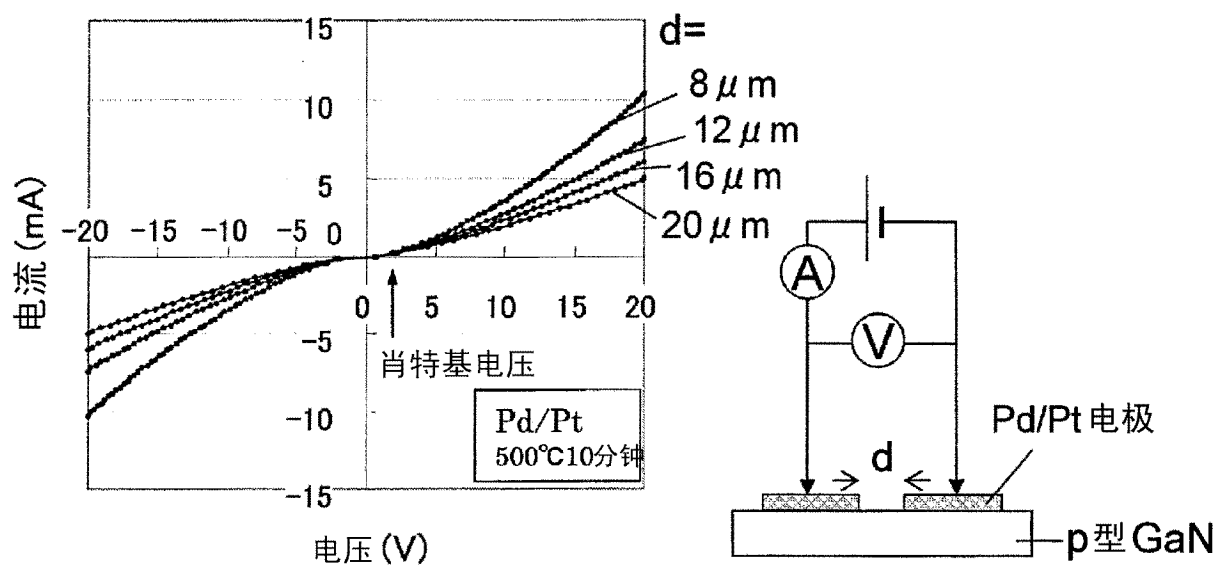


图 5A

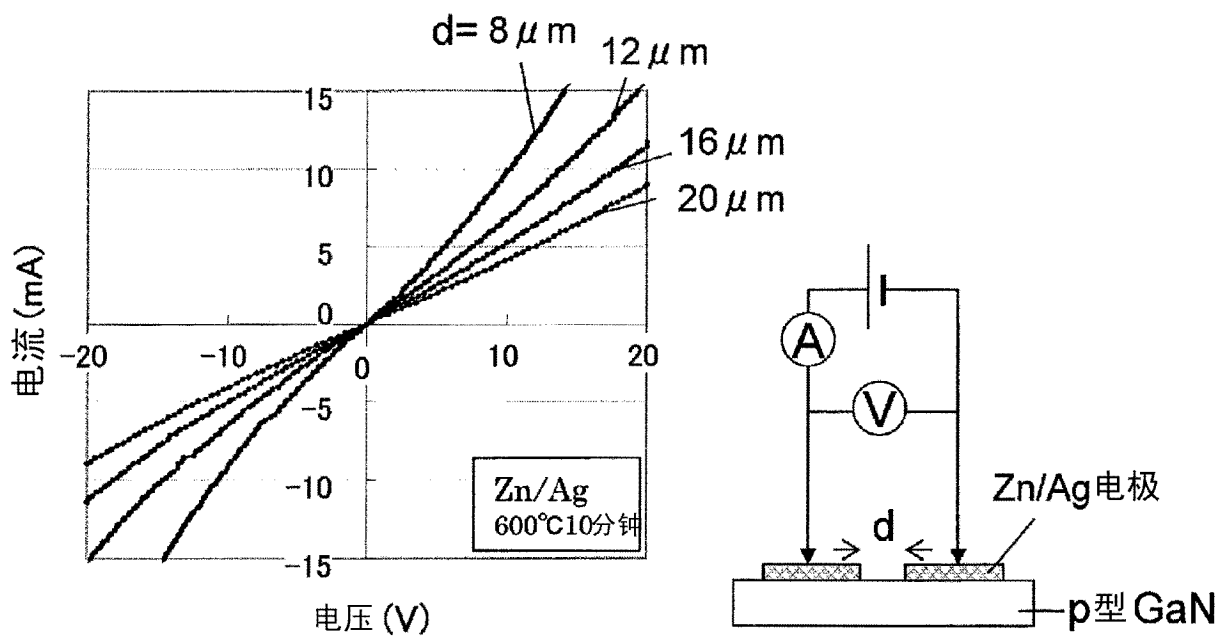


图 5B

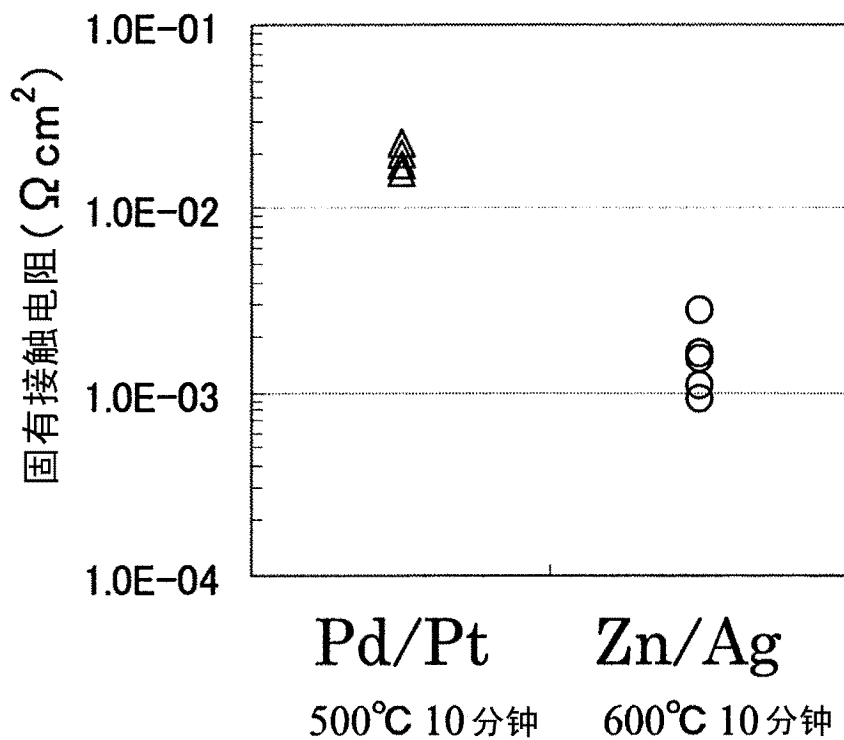


图 5C

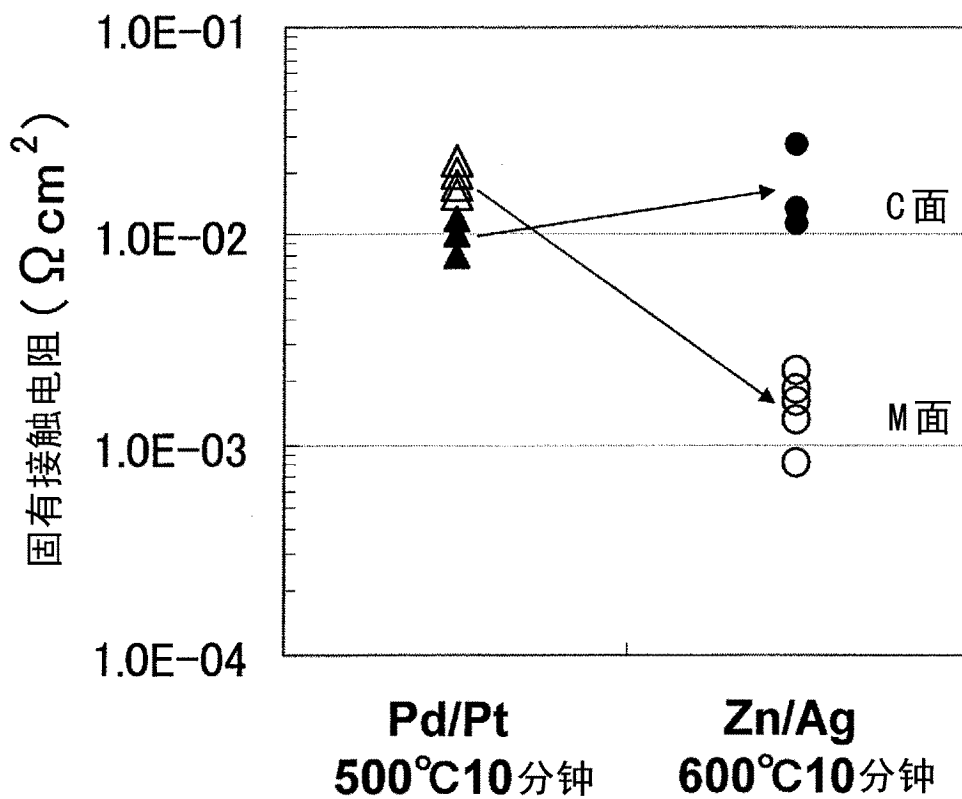


图 5D

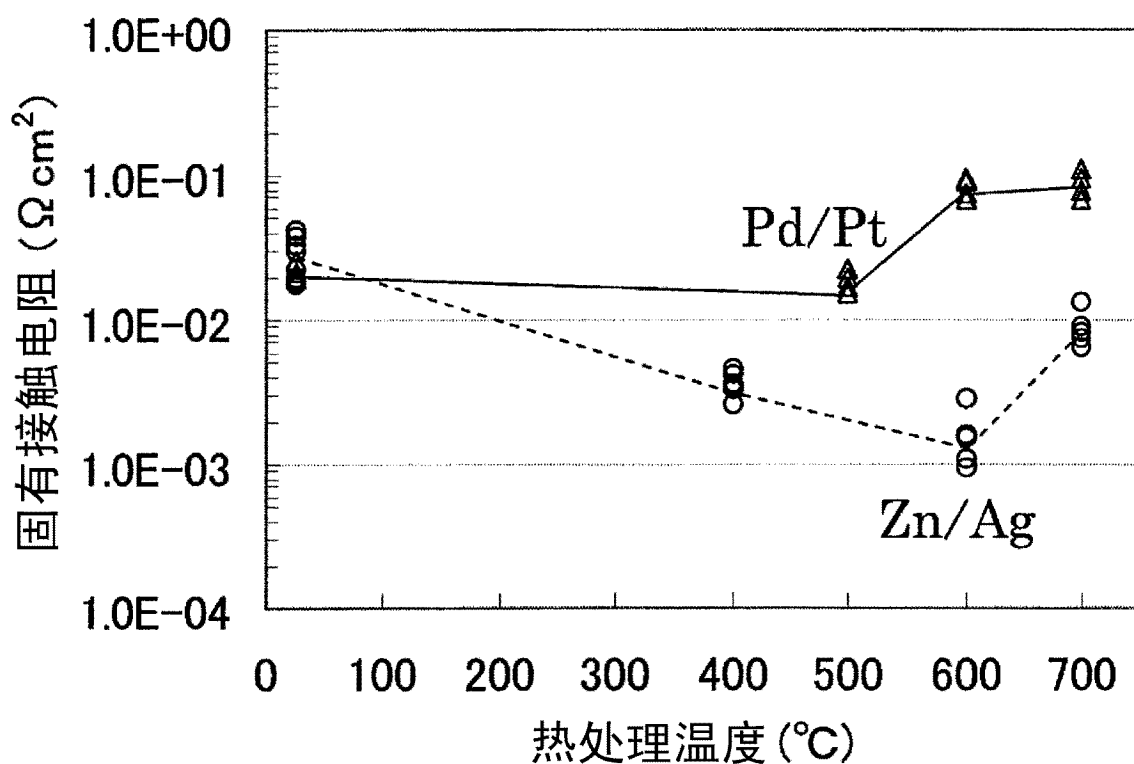


图 5E

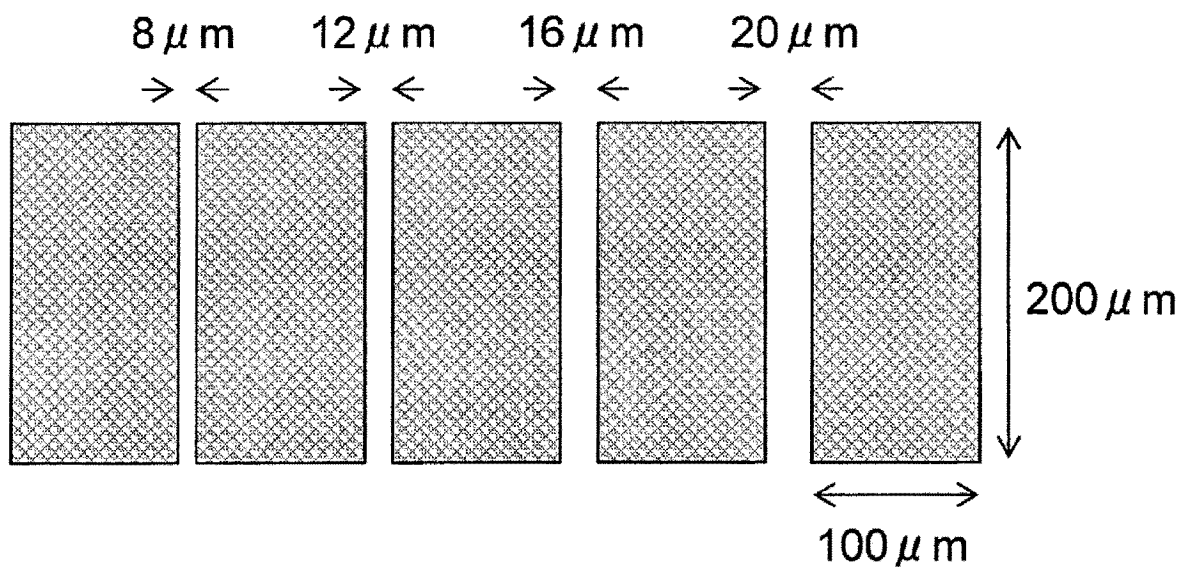


图 5F

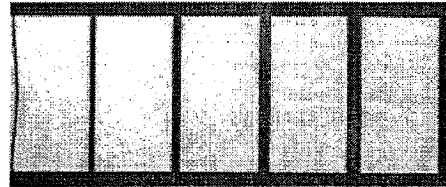

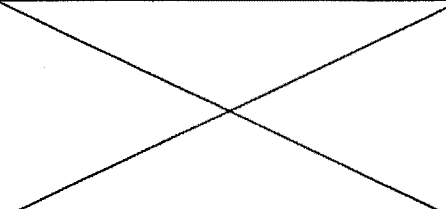
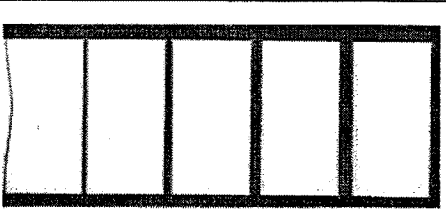
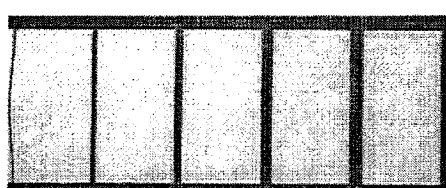
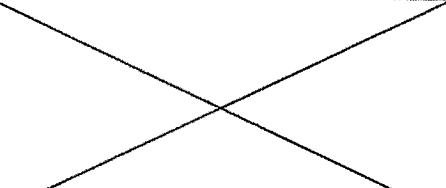
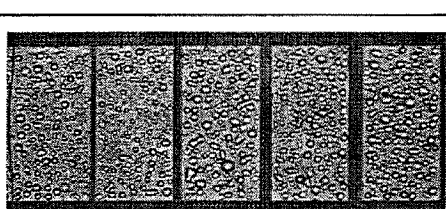
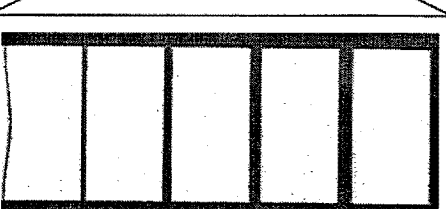
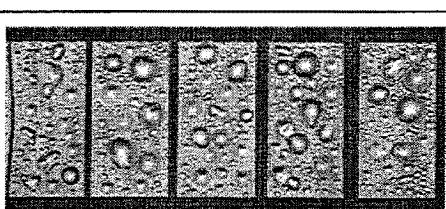
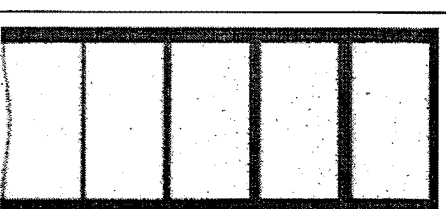
	m面GaN (Pd/Pt)	m面GaN (Zn/Ag)
as-depo		
400°C		
500°C		
600°C		
700°C		

图 6

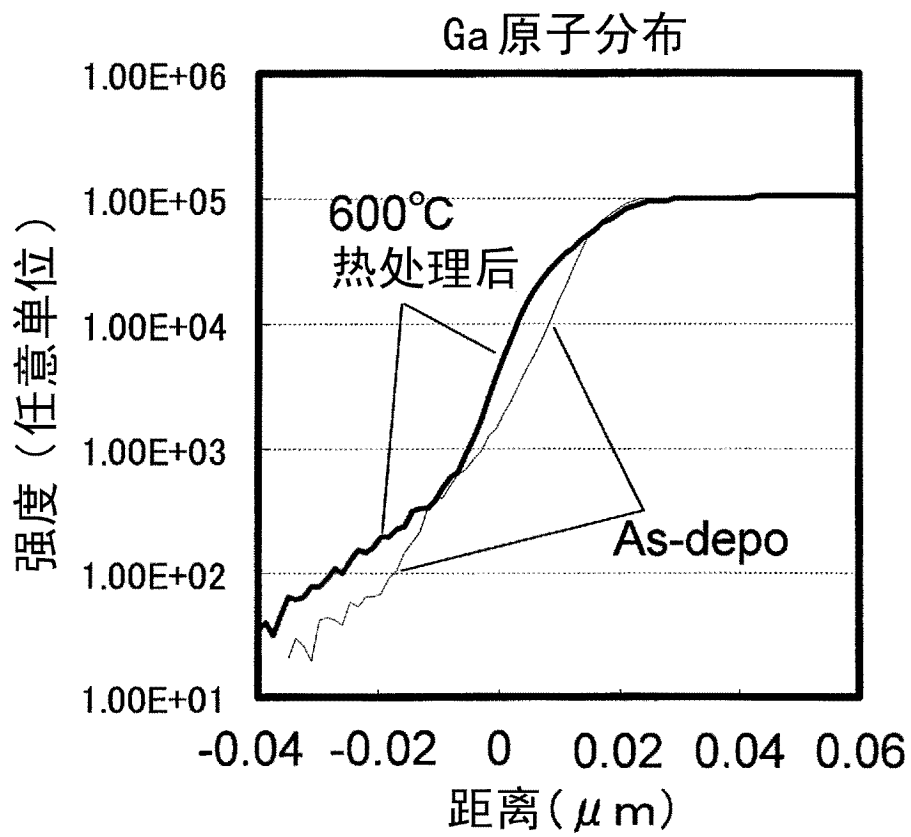


图 7A

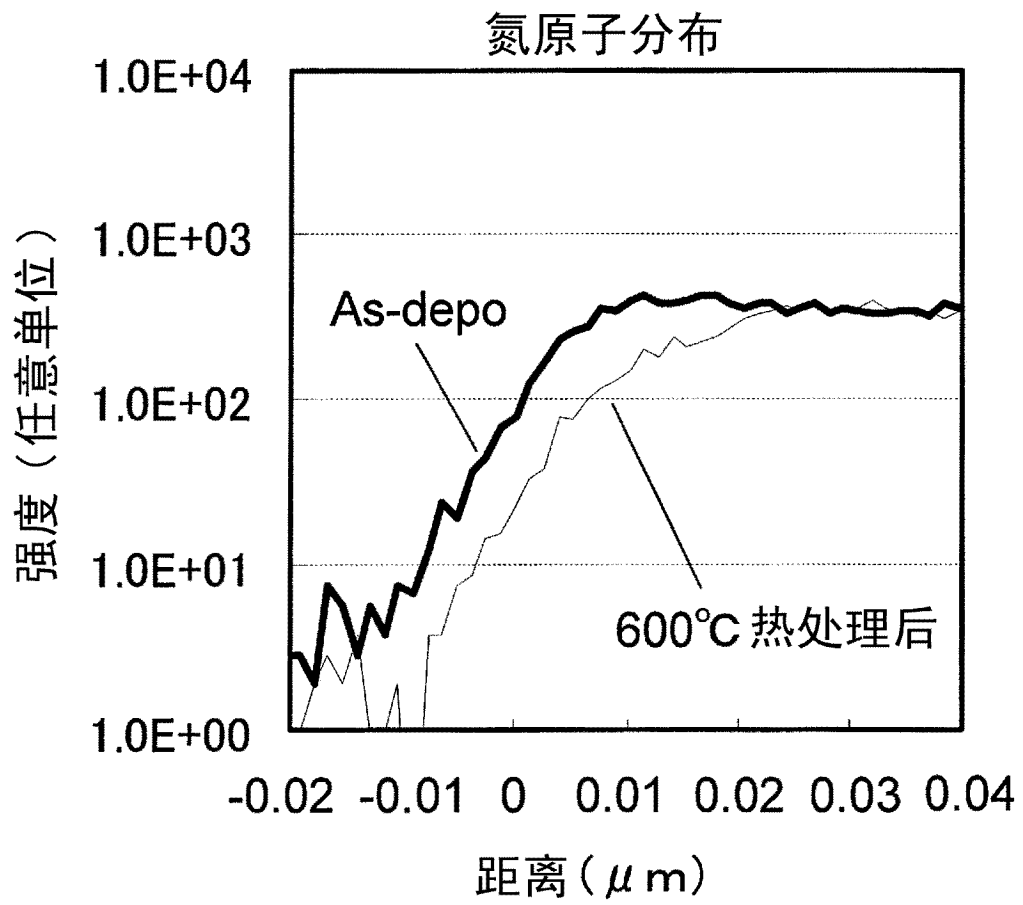


图 7B

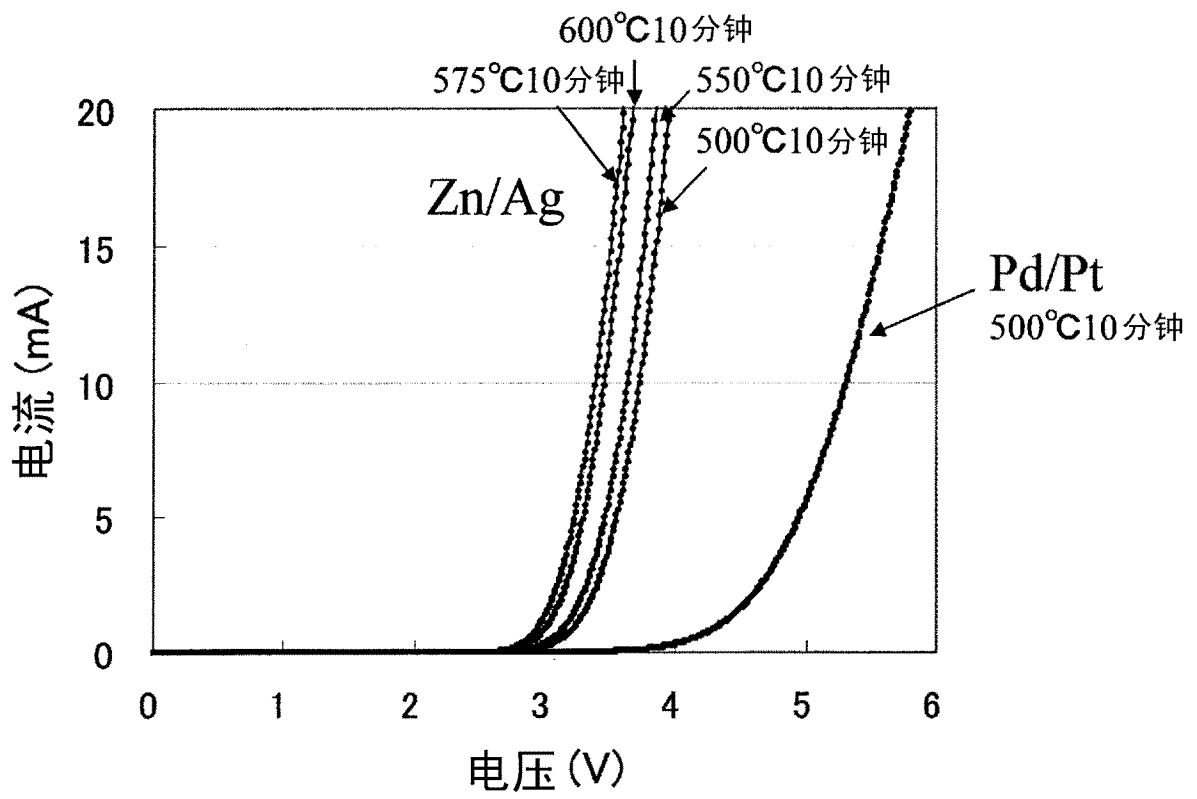
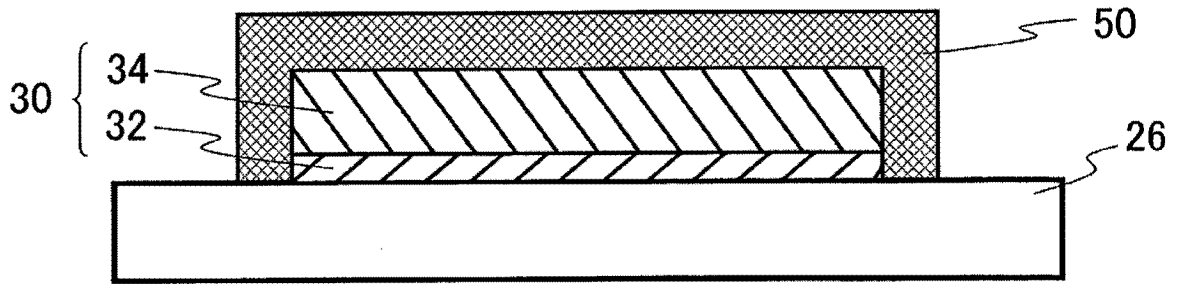


图 8

(a)



(b)

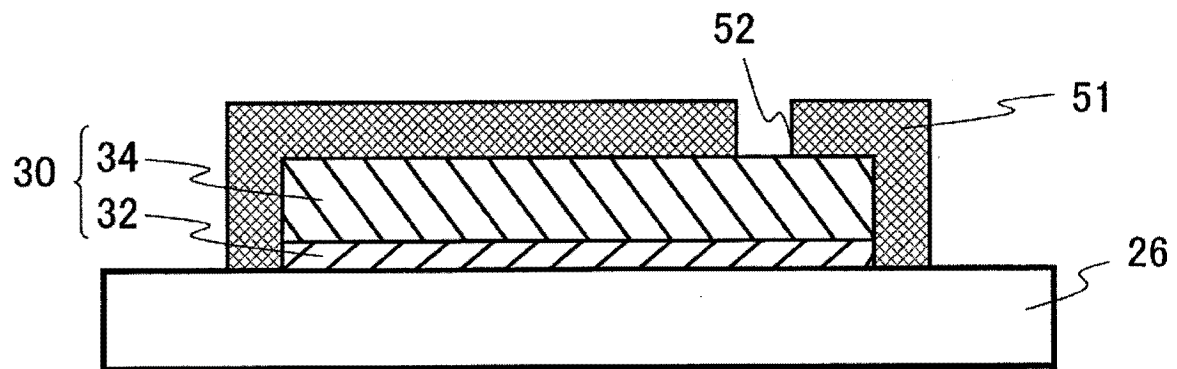


图 9

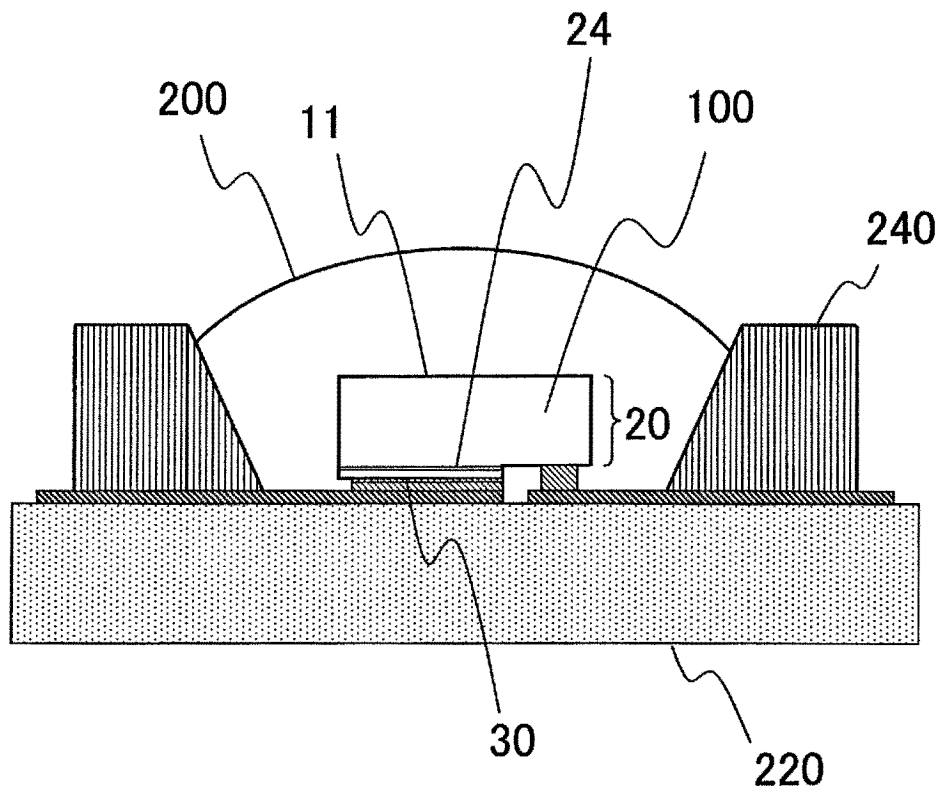


图 10

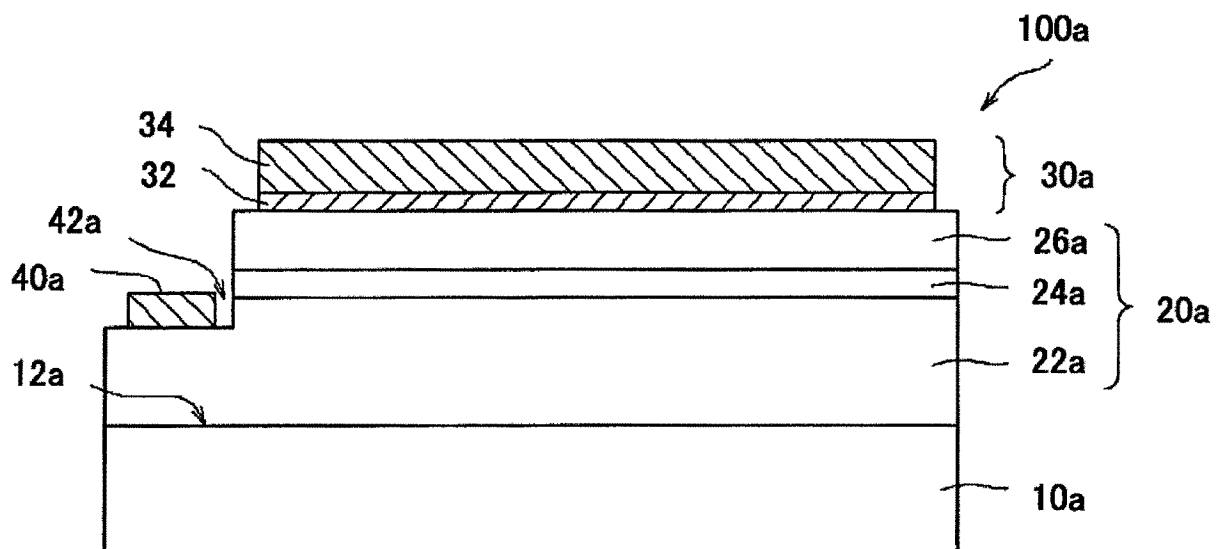


图 11

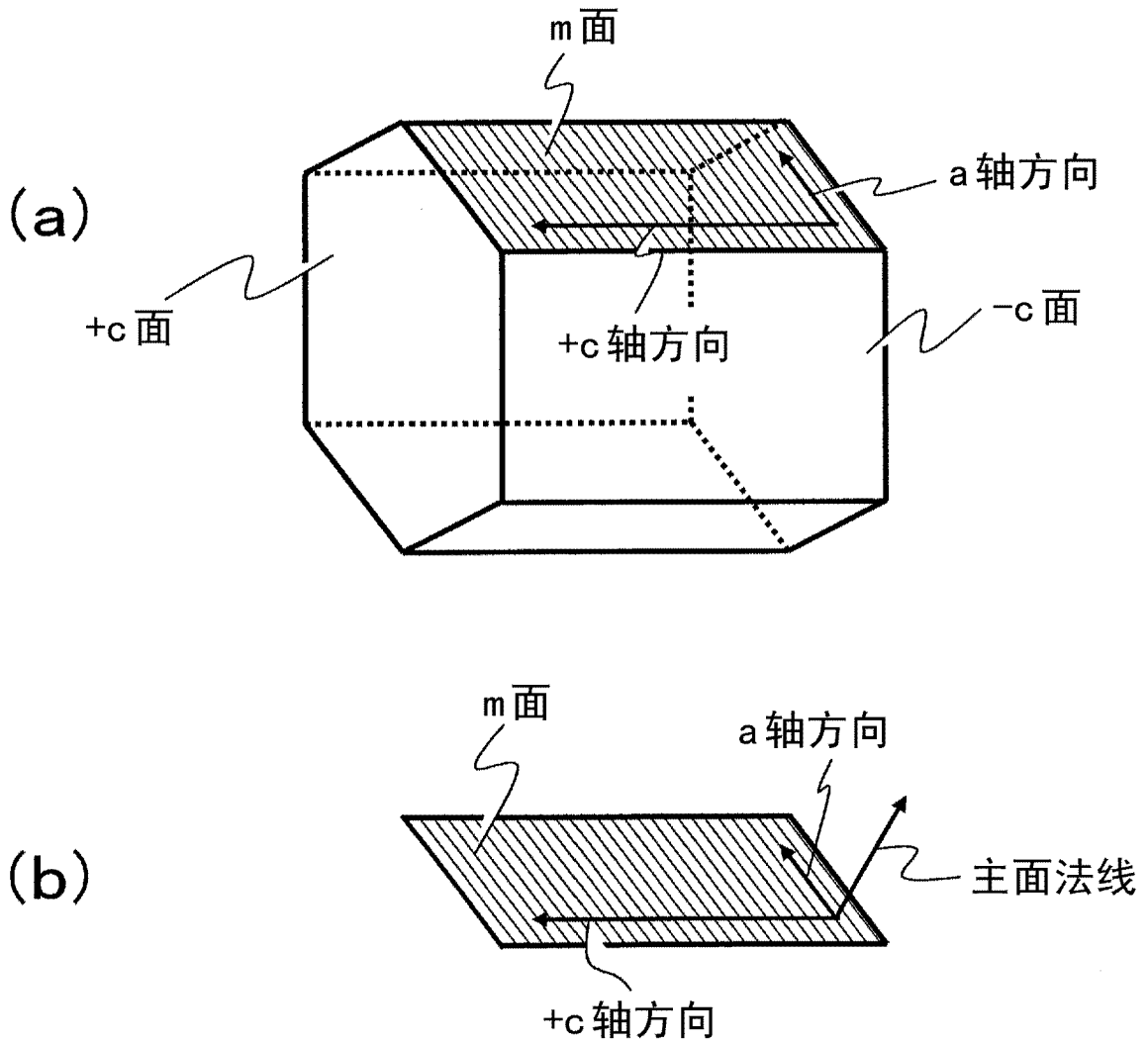


图 12

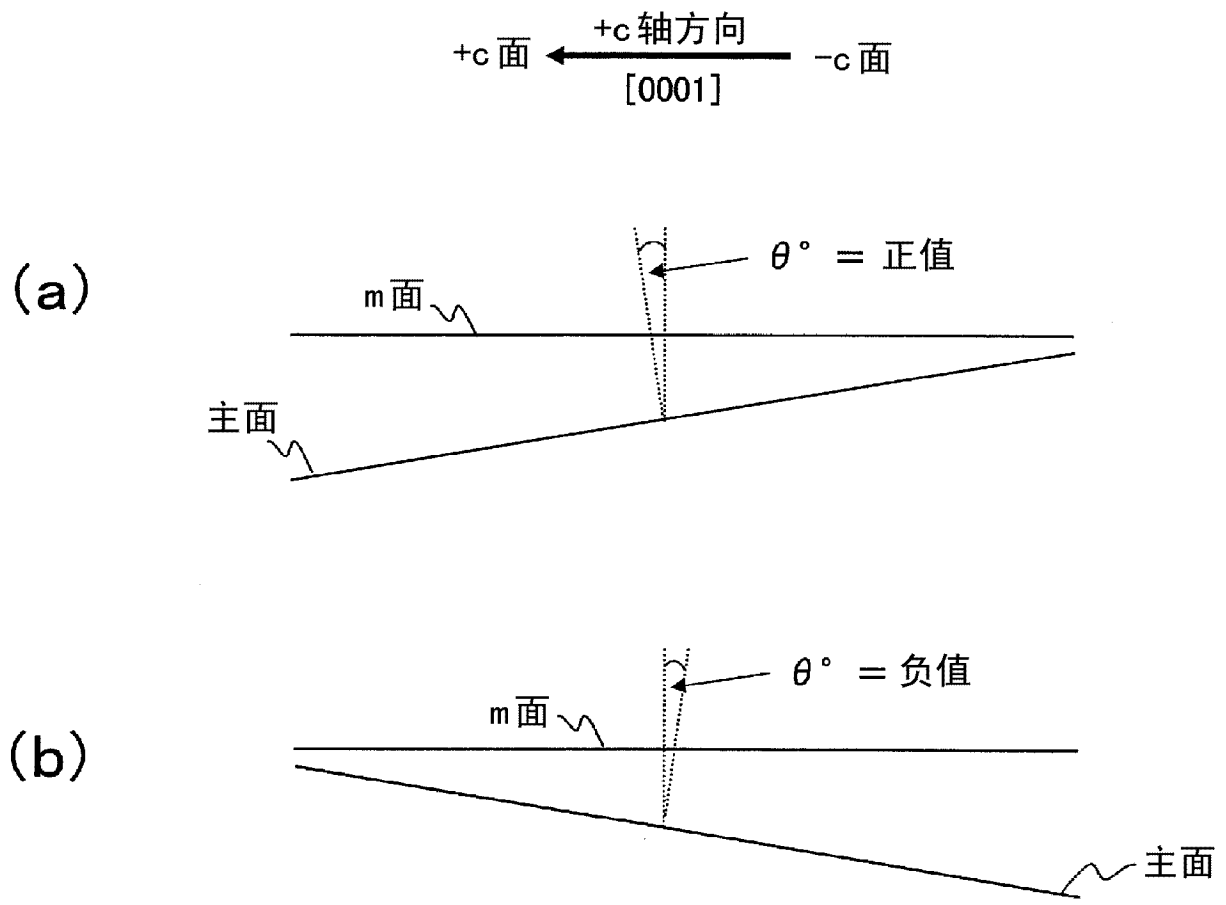


图 13

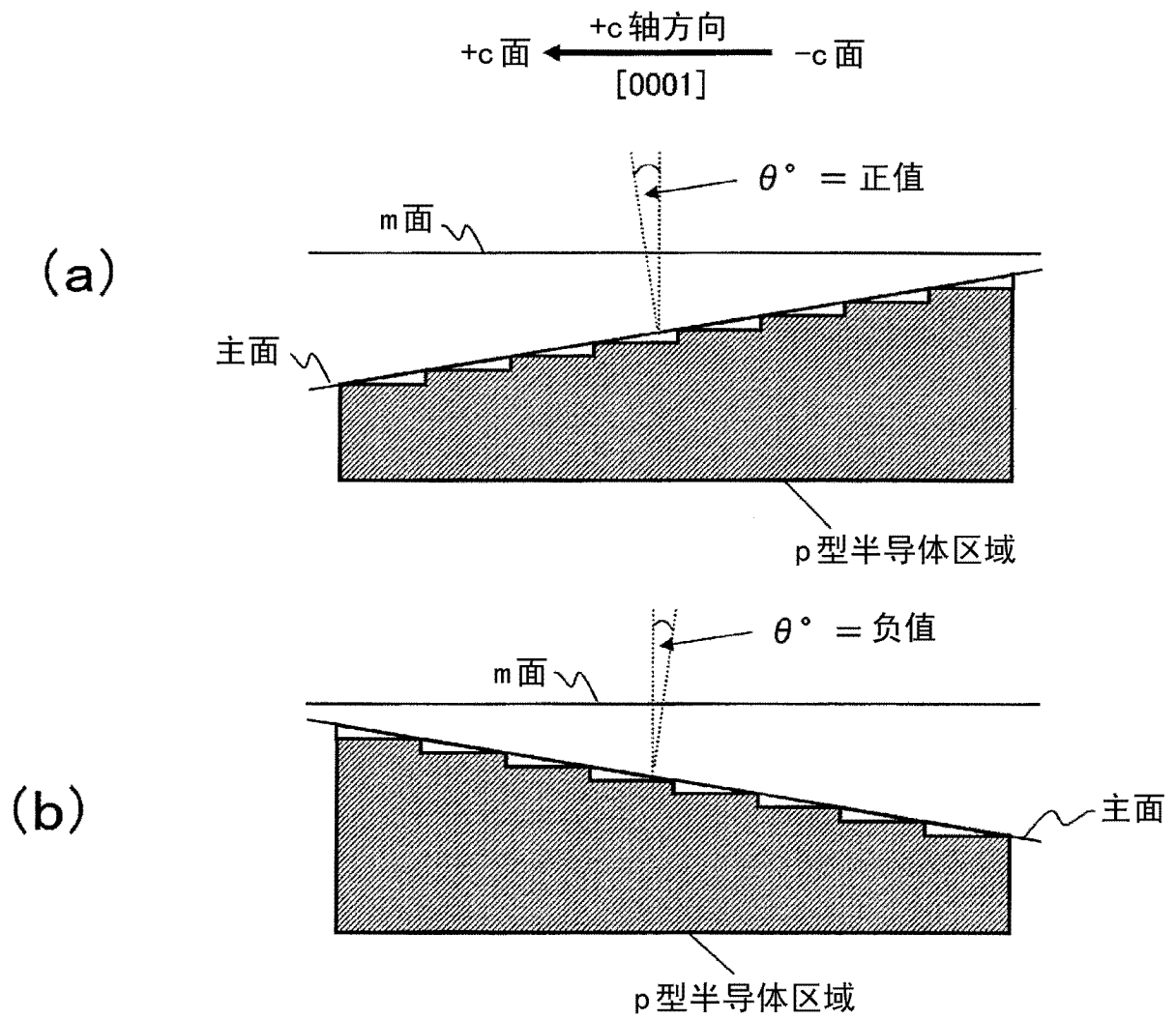


图 14

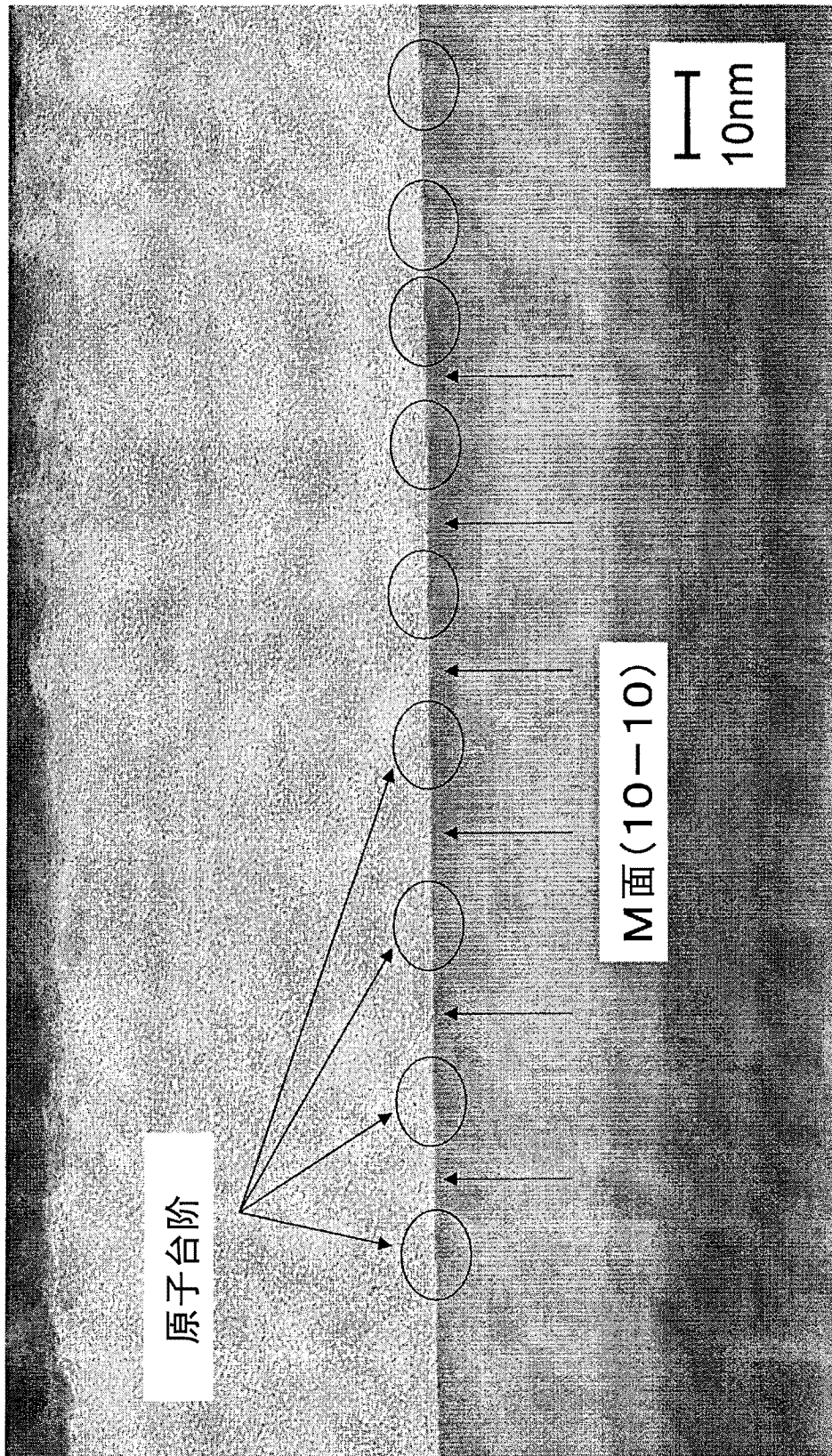


图 15

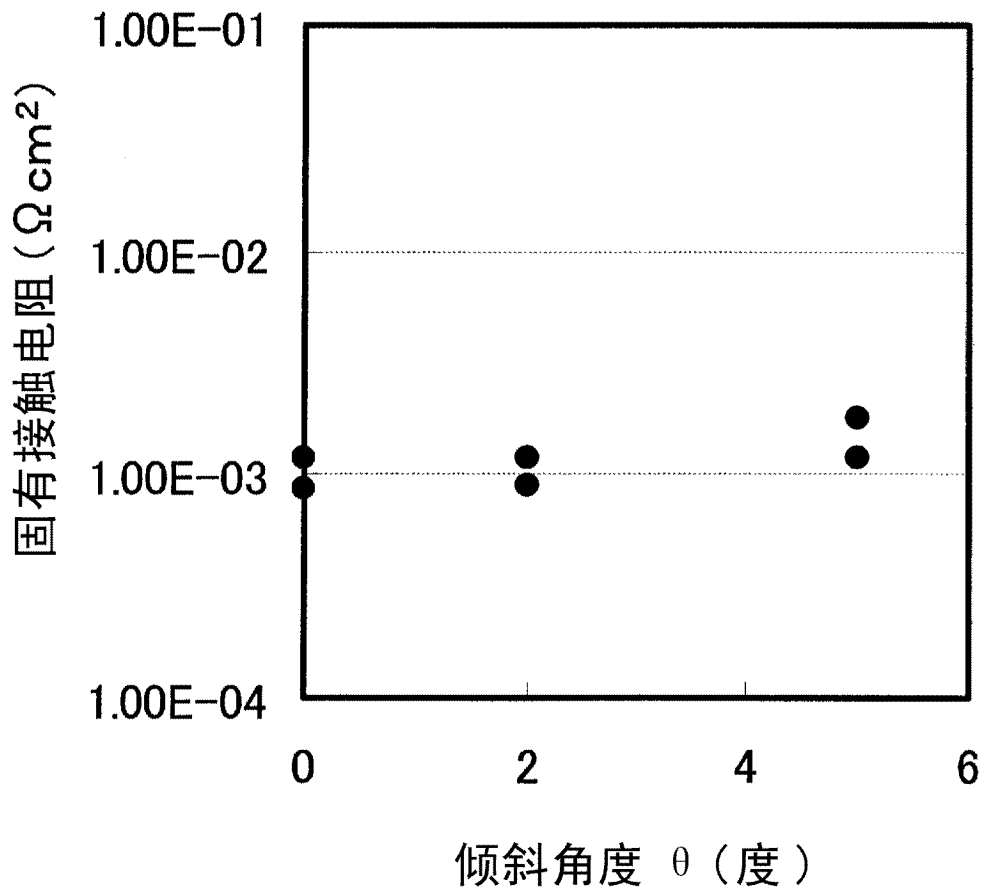


图 16