



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102334204 A

(43) 申请公布日 2012.01.25

(21) 申请号 201080009597.6

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

(22) 申请日 2010.12.27

公司 11021

(30) 优先权数据

2010-001438 2010.01.06 JP

代理人 汪惠民

(85) PCT申请进入国家阶段日

(51) Int. Cl.

H01L 33/32 (2006.01)

2011.08.29

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2010/007561 2010.12.27

(87) PCT申请的公布数据

W02011/083551 JA 2011.07.14

(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 井上彰 岩永顺子 加藤亮

藤金正树 横川俊哉

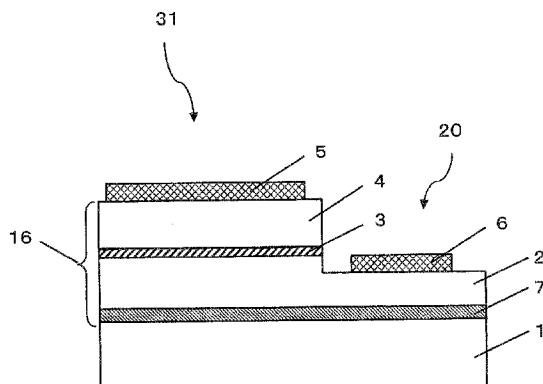
权利要求书 2 页 说明书 19 页 附图 15 页

(54) 发明名称

氮化物系半导体发光元件及其制造方法

(57) 摘要

一种氮化物系半导体发光元件(31)，具有如下：以m面为主面的n型GaN基板(1)；n型GaN基板(1)之上接触而形成的电流扩散层(7)；在电流扩散层(7)之上形成的n型氮化物半导体层(2)；在n型氮化物半导体层(2)之上形成的活性层(3)；在活性层(3)之上形成的p型氮化物半导体层(4)；与p型氮化物半导体层(4)接触而形成的p侧电极(5)；与n型GaN基板(1)或n型氮化物半导体层(2)接触而形成的n侧电极(6)，其中，n型氮化物半导体层(2)的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下，并且，电流扩散层(7)的施主杂质浓度是n型氮化物半导体层(2)的施主杂质浓度的10倍以上。



1. 一种氮化物系半导体发光元件，其中，具有：
以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板；
在所述 n 型 GaN 基板之上以接触的方式所形成的电流扩散层；
在所述电流扩散层之上形成的 n 型氮化物半导体层；
在所述 n 型氮化物半导体层之上形成的活性层；
在所述活性层之上形成的 p 型氮化物半导体层；
以与所述 p 型氮化物半导体层接触的方式形成的 p 侧电极；和
以与所述 n 型 GaN 基板或所述 n 型氮化物半导体层接触的方式所形成的 n 侧电极，
并且，所述 n 型氮化物半导体层的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下，
所述电流扩散层的施主杂质浓度是所述 n 型氮化物半导体层的施主杂质浓度的 10 倍以上。
2. 根据权利要求 1 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述电流扩散层的施主杂质浓度是 n 型 GaN 基板的施主杂质浓度的 10 倍以上。
3. 根据权利要求 1 或 2 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述电流扩散层的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。
4. 根据权利要求 2 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述 n 型 GaN 基板的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。
5. 根据权利要求 1 ~ 4 中任一项所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述电流扩散层的厚度为 25nm 以上、2 μm 以下。
6. 根据权利要求 1 ~ 5 中任一项所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述电流扩散层的施主杂质是硅。
7. 根据权利要求 1 ~ 6 中任一项所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
作为所述电流扩散层的施主杂质，还掺杂有氧。
8. 根据权利要求 1 ~ 7 中任一项所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述电流扩散层的施主杂质浓度为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上。
9. 根据权利要求 1 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
在由所述电流扩散层、所述 n 型氮化物半导体层、所述活性层、所述 p 型氮化物半导体层构成的半导体层叠结构的一部分，形成有凹部，
在所述凹部的侧面露出所述 p 型氮化物半导体层和所述活性层，在所述凹部的上面露出所述 n 型氮化物半导体层，在所述 n 型氮化物半导体层之上设有所述 n 侧电极。
10. 根据权利要求 2 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
在所述 n 型 GaN 基板中与所述电流扩散层接触的面相对向的面上，设有所述 n 侧电极。
11. 根据权利要求 5 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，
所述电流扩散层的厚度为 25nm 以上、400nm 以下。
12. 一种氮化物系半导体发光元件，其中，具有：
n 型 GaN 基板；
在所述 n 型 GaN 基板之上以接触的方式所形成的电流扩散层；
在所述电流扩散层之上所配置的 n 型氮化物半导体层；
所述 n 型氮化物半导体层上的活性层；

所述活性层上的 p 型氮化物半导体层；

以与所述 p 型氮化物半导体层接触的方式所形成的 p 侧电极；和

以与所述 n 型 GaN 基板或所述 n 型氮化物半导体层接触的方式所形成的 n 侧电极，

并且，所述 n 型氮化物半导体层的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下，

所述电流扩散层的施主杂质浓度是所述 n 型氮化物半导体层的施主杂质浓度的 10 倍以上，

且所述 n 型 GaN 基板的主面的法线与 m 面的法线所形成的角度为 1° 以上、5° 以下。

13. 根据权利要求 12 所述的氮化物系半导体发光元件，其中，

所述 n 型 GaN 基板是朝 c 轴方向或 a 轴方向倾斜的半导体层。

14. 根据权利要求 1 ~ 13 中任一项所述的氮化物系半导体发光元件，其中，

通过一边供给气源一边使基板温度上升而形成所述电流扩散层。

氮化物系半导体发光元件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及在以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）上所制作的氮化物系半导体发光元件及其制造方法。本发明特别是涉及从紫外到蓝色、绿色、橙色和白色等整个可视区域的波长范围的发光二极管、激光二极管等的 GaN 系半导体发光元件。

背景技术

[0002] 具有作为 V 族元素的氮 (N) 的氮化物半导体，根据其带隙的大小，有望作为短波长发光元件的材料。其中，含有作为 III 族元素的 Ga 的氮化镓系化合物半导体 (GaN 系半导体 : $Al_xGa_yIn_zN (0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z = 1)$) 的研究盛行，以蓝色发光二级管 (LED)、绿色 LED 和 GaN 系半导体为材料的半导体激光器也得到实用化。

[0003] GaN 系半导体具有纤锌矿型晶体结构。图 1 模式化地表示 GaN 的单位晶格。在 $Al_xGa_yIn_zN (0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z = 1)$ 半导体的结晶中，图 1 所示的 Ga 的一部分能够被置换成 Al 和 / 或 In。

[0004] 图 2 表示的是，为了以四指数表示法（六方晶指数）表示纤锌矿型晶体结构的面所通常使用的 4 个基本矢量 a_1, a_2, a_3 和 c 。基本矢量 c 在 [0001] 方向延长，该方向称为“c 轴”。与 c 轴垂直的面 (plane) 被称为“c 面”或“(0001) 面”。此外，由 Ga 等 III 族元素结尾的面被称为“+c 面”或“(0001) 面”，由氮等 V 族元素结尾的面称为“-c 面”或“(000-1) 面”而加以区别。还有，“c 轴”和“c 面”也有分别表述为“C 轴”和“C 面”的情况。

[0005] 在使用 GaN 系半导体制作半导体元件时，作为使 GaN 系半导体结晶生长的基板，使用的是 c 面基板，即在表面具有 (0001) 面的基板。但是，在 c 面中，因为 Ga 原子和氮原子不存在于同一原子面上，所以形成极化 (Electrical Polarization)。因此，“c 面”也称为“极性面”。极化的结果是，在活性层的 InGaN 的量子阱中，沿 c 轴向发生压电电场。若这样的压电电场在活性层发生，则活性层内的电子和空穴的分布发生位置偏移，因此在载流子的量子限制斯塔克效应下，内部的量子效率降低，如果是半导体激光器，则引起阈值电流的增大；如果是 LED，则引起消耗功率的增大和发光效率的降低。另外，随着注入载流子密度的上升，还发生压电电场的屏蔽，也会产生发光波长的变化。

[0006] 为了解决这样的课题，在表面具有作为非极性面、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) 的使用得到研究。在此，在表示密勒指数的括号内的数字的左侧附加的“-”意思是横线 (bar)。 m 面如图 2 所示，是与 c 轴 (基本矢量 c) 平行的面，与 c 面正交。在 m 面中，因为 Ga 原子和氮原子存在于同一原子面上，所以在与 m 面垂直的方向不发生自发极化。其结果是，如果在与 m 面垂直的方向上形成半导体层叠结构，则在活性层也不会发生压电电场，从而能够解决上述的课题。还有， m 面是 (10-10) 面、(-1010) 面、(1-100) 面、(-1100) 面、(01-10) 面、(0-110) 的统称。

[0007] 还有，在本说明书中，在与六方晶纤锌矿结构的 X 面 ($X = c, m$) 垂直的方向上发生外延生长的情形被表示为“X 面生长”。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] 使用了氮化物半导体的发光元件,无论在将c面和m面哪一面用于主面的情况下,都能够分成如下两类:在同一结晶生长面侧配置p侧电极和n侧电极的类型(扁平型);和嵌入氮化物半导体层而上下配置p侧电极和n侧电极的类型(狭长型)。扁平型还可进一步分类为:从p型氮化物半导体层侧引出光的偏平电极面朝上型,和从n型氮化物半导体层侧引出光的扁平电极面朝下型。

[0009] 扁平型的情况下,因为p侧电极和n侧电极在横向上有距离,所以电流在p侧电极和n侧电极最接近的部分集中,难以向活性层注入均匀的电流。由于该电场集中,发光元件的耐压降低这样的问题也存在。

[0010] 另一方面,狭长型也称为贴合型。在狭长型的氮化物系半导体发光元件中,p型氮化物半导体层侧被贴合在导电性基板上,在此状态下,光从n型氮化物半导体层侧被引出。狭长型的情况下,因为n侧电极成为光的遮蔽物,所以需要尽可能小地形成n侧电极。在n型氮化物半导体层中,与n侧电极接触的位置局部性地有电子注入,因此,如果在n型氮化物半导体层中电子未被充分地扩散,则难以向活性层注入均匀的电流。为了实现向活性层注入均匀的电流,作为n侧电极使用透明的电极的构造也被得到实用化。但是在此构造中产生了另一个课题,即由透明电极引起光的吸收。

[0011] 如上,无论是偏平型、狭长型的哪一种构造,如果在n型氮化物半导体层中电子未在横向充分地扩散,则电流电压特性劣化(工作电压变高)这样的课题存在。

[0012] 通常,为了使电子横向扩散,提高n型氮化物半导体层的施主杂质浓度即可。但是,在现有的形成于c面上的n型氮化物半导体层中,若使杂质浓度达到超过 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 这样的高值,则结晶性劣化的问题存在(例如参照专利文献1)。因此,在得到实用化的氮化物系半导体发光元件中,n型氮化物半导体层的杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下是普遍的。

[0013] 专利文献2提出一种构造,其为了实现低的正向电压(Vf)和高的发光输出功率,作为n型氮化物半导体层,含有杂质浓度不同的n型GaN的多层膜层。在专利文献2中,记述的是使用c面的蓝宝石基板,因此认为n型氮化物半导体层的主面也是c面。

[0014] 图3是表示专利文献2所公开的现有的氮化物系半导体发光元件的剖面图。在图3所示的氮化物系半导体发光元件中,在基板101上配置有缓冲层102、衬底n型GaN层103、n型接触层104、活性层105、p型包覆层106、p型接触层107。与n型接触层104接触而配置n侧焊盘电极109。与p型接触层107接触而配置透光性电极108,与透光性电极108接触而配置p侧焊盘电极110。在n型接触层104和活性层105之间,与活性层105接触而配置有多层膜氮化物半导体层111。多层膜氮化物半导体层111,是由第一氮化物半导体层111a和第二氮化物半导体层111b构成的层叠结构被重复两次以上的多层膜。第一氮化物半导体层111a是含有n型杂质的层,第二氮化物半导体层111b,是以比第一氮化物半导体层111a低的浓度含有n型杂质的层或本征层。在专利文献2中公开的是,既能够维持低的正向电压(Vf),又能够提高发光输出功率。在专利文献2中,发光输出功率提高的理由的详情不明,但推测是因为注入活性层的载流子的效率提高。

[0015] 专利文献3中,为了提供一种高的掺杂物浓度、且结晶性高的n型氮化物半导体层,提出了一种层叠结构,其含有多层具有超过 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的掺杂物浓度的n型GaN层和厚30nm以上的本征GaN层。在专利文献3中,完全没有提及关于n型氮化物半导体层的主面的面取向。

[0016] 图 4 是表示专利文献 3 所公开的现有的氮化物系半导体发光元件的剖面图。在图 4 所示的氮化物系半导体发光元件中，在基板 201 上，配置有缓冲层 202、n 型氮化物半导体层 203、活性层 204、p 型氮化物半导体层 205。与 n 型氮化物半导体层 203 接触而配置 n 侧电极 208，与 p 型氮化物半导体层 205 接触而配置 p 侧电极 206，在 p 侧电极 206 上配置 p 侧焊接区 207。N 型氮化物半导体层 203，含有配置有多层 n 型 GaN 层 203a 和 un-GaN 层 203b 的层叠结构。若根据专利文献 3 的构成，通过设置多层厚 30nm 以上的本征的 GaN 层，能够将由高的杂质浓度而劣化的 n 型半导体层的结晶性复原。

[0017] 另外，专利文献 4 虽然公开的是“高浓度的掺杂层”，但关于 n 型 GaN 基板并没有提及，关于在 n 型 GaN 基板之上接触而形成的电流扩散层、和在其上所形成的半导体层叠结构的结晶性也没有任何涉及。

[0018] 先行技术文献

[0019] 专利文献

[0020] 专利文献 1：美国专利第 5733796 号

[0021] 专利文献 2：特开 2007-221056 号

[0022] 专利文献 3：特开 2009-088506 号

[0023] 专利文献 4：特开 2005-217406 号

[0024] 专利文献 5：特开 2008-270805 号

[0025] 专利文献 6：专利第 4375497 号

[0026] 在采用了专利文献 2 和 3 所述的半导体层叠结构的构成中，需要准确地控制各层的厚度和杂质浓度，制造管理困难这样新的课题会产生。

[0027] 另外，与以 c 面为主面的 GaN 基板比较，以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板具有如下性质，即提高 n 型杂质浓度有困难。因此，使用以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板时，GaN 基板部分的横向的电子的扩散难以进一步发生，电流电压特性劣化这一课题更加深刻化。

发明内容

[0028] 本发明为了解决前述课题而做成的，其主要目的在于，提供一种半导体发光元件，其不会损害 n 型半导体层的结晶性，又能够实现向活性层的均匀的电流注入。

[0029] 本发明的氮化物系半导体发光元件，具有：以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板；在所述 n 型 GaN 基板之上以接触的方式所形成的电流扩散层；在所述电流扩散层之上形成的 n 型氮化物半导体层；在所述 n 型氮化物半导体层之上形成的活性层；在所述活性层之上形成的 p 型氮化物半导体层；以与所述 p 型氮化物半导体层接触的方式所形成的 p 侧电极；以与所述 n 型 GaN 基板或所述 n 型氮化物半导体层接触的方式所形成的 n 侧电极，其中，所述 n 型氮化物半导体层的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下，并且，所述电流扩散层的施主杂质浓度是所述 n 型氮化物半导体层的施主杂质浓度的 10 倍以上。

[0030] 在有的实施方式中，所述电流扩散层的施主杂质浓度是 n 型 GaN 基板的施主杂质浓度的 10 倍以上。

[0031] 在有的实施方式中，所述电流扩散层的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

[0032] 在有的实施方式中，所述 n 型 GaN 基板的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

- [0033] 在有的实施方式中,所述电流扩散层的厚度为25nm以上、2μm以下。
- [0034] 在有的实施方式中,所述电流扩散层的施主杂质是硅。
- [0035] 在有的实施方式中,作为所述电流扩散层的施主杂质,还掺杂有氧。
- [0036] 在有的实施方式中,所述电流扩散层的施主杂质浓度为 $1\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 以上。
- [0037] 在有的实施方式中,在由所述电流扩散层、所述n型氮化物半导体层、所述活性层、所述p型氮化物半导体层构成的半导体层叠结构的一部分,形成有凹部;并且,在所述凹部的侧面露出所述p型氮化物半导体层和所述活性层,在所述凹部的上面露出所述n型氮化物半导体层,在所述n型氮化物半导体层之上设有所述n侧电极。
- [0038] 在有的实施方式中,在所述n型GaN基板中与所述电流扩散层接触的面相对向的面上,设有所述n侧电极。
- [0039] 在有的实施方式中,所述电流扩散层的厚度为25nm以上、400nm以下。
- [0040] 本发明的另一氮化物系半导体发光元件,具有:n型GaN基板;在所述n型GaN基板之上以接触的方式所形成的电流扩散层;在所述电流扩散层之上所配置的n型氮化物半导体层;在所述n型氮化物半导体层上的活性层;所述活性层上的p型氮化物半导体层;以与所述p型氮化物半导体层接触的方式所形成的p侧电极;以与所述n型GaN基板或所述n型氮化物半导体层接触的方式所形成的n侧电极,其中,所述n型氮化物半导体层的施主杂质浓度为 $5\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下,并且,所述电流扩散层的施主杂质浓度是所述n型氮化物半导体层的施主杂质浓度的10倍以上,且所述n型GaN基板的主面的法线和m面的法线所形成的角度为1°以上、5°以下。
- [0041] 在有的实施方式中,所述n型GaN基板是朝c轴方向或a轴方向倾斜的半导体层。
- [0042] 在有的实施方式中,通过一边供给气源一边使基板温度上升而形成所述电流扩散层。
- [0043] 根据本发明,通过在以m面为主面的n型GaN基板和n型氮化物半导体层之间设置电流扩散层,可以横向扩散电流。由此,通过n型氮化物半导体层而电流向活性层被均匀地注入。因此,电流电压特性得到改善,能够实现即使在低电压下光输出功率也很大的电力转换效率高的氮化物系半导体发光元件。另外,能够实现均匀发光的氮化物系半导体发光元件。
- [0044] 此外,向p侧电极和n侧电极最接近的部分的电场集中变小,因此能够实现耐压特性优异的氮化物系半导体发光元件。
- [0045] 在本发明中,电流扩散层的施主杂质浓度示出为高达n型氮化物半导体层的施主杂质浓度的10倍以上的值。由于电流扩散层的表面为m面,由此与表面为c的情况相比较,即使电流扩散层的杂质浓度高,也难以产生电流扩散层的结晶性的劣化。因此,在电流扩散层之上所形成的n型氮化物半导体层等的半导体层的结晶性也保持得很高。
- [0046] 一般来说,m面半导体层中,与c面半导体层比较,提高n型杂质浓度有困难。但是在本发明中,通过简单的方法就能够提高电流扩散层的n型杂质浓度。
- [0047] 使用从m面以1°以上的角度倾斜的面作为主面的GaN基板也会起到同样的效果。

附图说明

- [0048] 图1是模式化地表示GaN的单位晶格的立体图。

- [0049] 图 2 是表示纤锌矿型晶体结构的基本矢量 a_1 、 a_2 、 a_3 、 c 的立体图。
- [0050] 图 3 是表示专利文献 2 所公开的氮化物系半导体发光元件的构造的剖面图。
- [0051] 图 4 是表示专利文献 3 所述的氮化物系半导体发光元件的构造的剖面图。
- [0052] 图 5 是表示本发明的实施方式的氮化物系半导体发光元件 31 的构造的剖面图。
- [0053] 图 6 是表示具有从 p 型氮化物半导体层 4 侧引出光的电极面朝上型的结构的半导体装置的构造的剖面图。
- [0054] 图 7 表示具有从 n 型氮化物半导体层 2 侧引出光的电极面朝下型的结构的半导体装置的剖面构造。
- [0055] 图 8 是表示作为本发明的实施方式的变形例的狭长型的半导体装置的剖面图。
- [0056] 图 9 表示用于模拟的氮化物系半导体元件的剖面构造。
- [0057] 图 10 是表示本发明的实施方式的氮化物系半导体发光元件的电流电压特性（模拟结果）的标绘图。
- [0058] 图 11 是表示本发明的实施方式的氮化物系半导体发光元件的光输出功率电压特性（模拟结果）的标绘图。
- [0059] 图 12 是表示本发明的实施方式的氮化物系半导体发光元件的电流扩散层的膜厚和正向电压的关系（模拟结果）的标绘图。
- [0060] 图 13 是表示本发明的实施方式的氮化物系半导体发光元件的电流扩散层的膜厚和电功率转换效率的关系（模拟结果）的标绘图。
- [0061] 图 14 是表示 c 面基板上所形成的 n 型 GaN 层、和 m 面 GaN 基板上所形成的 n 型 GaN 层的光致发光的测量结果的标绘图。
- [0062] 图 15(a) 是模式化地表示 GaN 基板的晶体结构（纤锌矿型晶体结构），(b) 是表示 m 面的法线与 +c 轴方向和 a 轴方向的关系的立体图。
- [0063] 图 16(a) 和 (b) 分别表示 GaN 基板的主面和 m 面的配置关系的剖面图。
- [0064] 图 17(a) 和 (b) 是模式化地表示 GaN 基板 1 的主面与其邻近区域的剖面图。
- [0065] 图 18 是表示通过 SIMS 分析测量实施例的氮化物系半导体发光元件的硅和氧的浓度的结果的标绘图。
- [0066] 图 19 是表示测量实施例和比较例的氮化物系半导体发光元件的正向电压 (V_f) 的结果的标绘图。
- [0067] 图 20 是表示在实施例和比较例中，测量氮化物系半导体发光元件的电功率转换效率 (WPE) 的结果的标绘图。

具体实施方式

- [0068] (实施方式)
- [0069] 以下，一边参照附图，一边说明本发明的氮化物系半导体发光元件的实施方式。
- [0070] 图 5 是表示本实施方式的氮化物系半导体发光元件 31 的构造的剖面图。氮化物系半导体发光元件 31，具有 p 侧电极 5 和 n 侧电极 6 在同一结晶生长面侧被形成的构造（表面电极型）。
- [0071] 如图 5 所示，本实施方式的氮化物系半导体发光元件 31 具有：以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1、和在 n 型 GaN 基板（或 n 型 GaN 层）1 之上所形成的半导体层叠

结构 16。半导体层叠结构 16 具有：电流扩散层 7；在电流扩散层 7 之上形成的 n 型氮化物半导体层 2；n 型氮化物半导体层 2 之上形成的活性区域 3；在活性区域 3 之上形成的 p 型氮化物半导体层 4。

[0072] p 型氮化物半导体层 4 与 p 侧电极 5 接触。另一方面，n 型氮化物半导体层 2 与 n 侧电极 6 接触。

[0073] 在本实施方式中，n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下。并且，电流扩散层 7 的施主杂质浓度是 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度的 10 倍以上。

[0074] 在本实施方式中，在以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1 和 n 型氮化物半导体层 2 之间设置电流扩散层 7，从而可以横向扩散电流。由此，通过 n 型氮化物半导体层 2，电流被均匀地注入活性层 3。因此，电流电压特性得到改善，即使在低电压下，也能够增大光输出功率，能够提高电功率转换效率。另外，能够实现均匀的发光。

[0075] 此外，向 p 侧电极和 n 侧电极最接近的部分的电场集中变小，因此能够提高耐压特性。

[0076] 还有，在本说明书中，所谓“施主杂质浓度”，是层整体的施主杂质的平均浓度。因此，在电流扩散层 7 中，即使局部有杂质的浓度低于 n 型氮化物半导体层 2 的浓度的 10 倍的部分，但只要电子扩散层 7 的平均浓度是 n 型氮化物半导体层 2 的平均浓度的 10 倍以上即可。

[0077] 在此，“电流扩散层 7 的平均浓度”，具体来说是通过如下方式计算：电流扩散层 7 整体所含的施主杂质量（单位：atom）的合计，除以电流扩散层 7 的体积。电流扩散层 7 整体所含的施主杂质量能够通过 SIMS 分析获得。电流扩散层 7 的体积，由电流扩散层的厚度乘以所溅射的面积而获得。在此，电流扩散层 7 的厚度由根据 SIMS 分析得到的杂质曲线的半值全宽（FWHM：full width at half-maximum）定义。在 SIMS 分析时，所溅射的面积由 SIMS 分析装置的设定决定。同样，“n 型氮化物半导体层 2 的平均浓度”通过如下方式计算：n 型氮化物半导体层 2 整体所含的施主杂质量（单位：atom）的合计除以 n 型氮化物半导体层 2 的体积。

[0078] 在本实施方式中，作为施主将硅导入 n 型 GaN 基板 1、电流扩散层 7、n 型氮化物半导体层 2。在本实施方式中，所谓“施主杂质浓度”是指硅的浓度。还有，作为施主也可以导入氧来替代硅。这时，所谓“施主杂质浓度”是指硅和氧的合计浓度。

[0079] 在图 5 中，半导体层叠结构 16 之中形成有 n 侧电极 6 的区域，以 n 型氮化物半导体层 2 的一部分露出的方式形成有凹部 20。在该凹部 20 的侧面，p 型氮化物半导体层 4 和活性层 3 露出。在凹部 20 的底面露出的 n 型氮化物半导体层 2 上，设有 n 侧电极 6。

[0080] 在本实施方式中，除了 n 型 GaN 基板 1 以外，也可以使用 m 面 SiC 基板、m 面蓝宝石基板、 γ -LiAlO₂ 基板等 GaN 基板以外的基板。另外，也可以使用形成于这些基板之上的 GaN 层等的半导体层来替代 n 型 GaN 基板 1。

[0081] 另外，作为半导体层叠结构 16，可以形成 GaN 层，也可以形成 GaN 层以外的 Al_xGa_yIn_zN 层 ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, x+y+z = 1$)。另外，半导体层叠结构 16 也没有必要具有单层结构，半导体层叠结构 16 也可以由组成不同的多层构成。

[0082] 为了使由以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1 所造成的光吸收减小，优选以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1 的施主杂质浓度在 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下，更优选在

$5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。以电极面朝上型装配偏平型的发光元件时(图6),光从p型氮化物半导体层4侧被引出。相对于此,以电极面朝下型装配偏平型的发光元件时(图7),光从n型GaN基板(或GaN层)1侧被引出。因此,降低n型GaN基板(或GaN层)1的施主杂质浓度的重要性,电极面朝下型比电极面朝上型的一方高。另外,在扁平型的发光元件中,电流不太在n型GaN基板(或GaN层)1上流通,但在狭长型的发光元件(图8)中,n型GaN基板(或GaN层)1上有大量的电流流通。因此,在狭长型的发光元件中,不仅从抑制光的吸收这一观点出发,而且从促进电流扩散这一观点出发,都需要降低n型GaN基板(或GaN层)1的施主杂质浓度。

[0083] 就n型氮化物半导体层2而言,其是作为主要的施主杂质而掺杂有硅的n型GaN层。施主杂质优选硅,但除了硅以外,也可以掺杂氧。n型氮化物半导体层2也可以是InGaN层、AlGaN层或其层叠结构。n型氮化物半导体层2也作为与n侧电极6接触的层发挥功能。为了使电子横向扩散,提高n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度即可。但是,若过度提高杂质浓度,则结晶性劣化的问题会发生。实际上,通过使施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下,更优选为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下,便能够维持结晶性。

[0084] 就电流扩散层7而言,其是施主杂质被高浓度地掺杂的、且以m面为主面的n型GaN层。电流扩散层7的施主杂质浓度,如采用模拟结果在之后说明的,优选设定在 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上,更优选设定为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

[0085] 在本实施方式中,重要的一点是,在电流扩散层7和n型氮化物半导体层2之间,存在充分大的施主杂质浓度差。电流扩散层7的施主杂质浓度是n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度的10倍以上时,电流扩散层7的电阻率充分降低至n型氮化物半导体层2的1/10以下。如果电流扩散层7的电阻率是n型氮化物半导体层2电阻率的1/10以下,则从n侧电极6注入的电子在电流扩散层7中充分扩展。因此,电流难以向p侧电极5和n侧电极6最接近的部分集中。

[0086] 作为电流扩散层7,也可以形成InGaN层、AlGaN层或其层叠结构。电流扩散层7按照覆盖以m面为主面的n型GaN基板(或GaN层)1的大体整体面的方式被形成,并且,优选以接触n型GaN基板(或GaN层)1的方式被形成。

[0087] 此外,电流扩散层7的厚度优选设定为25nm以上、 $2 \mu\text{m}$ 以下。详情采用模拟结果后述,但电流扩散层7的厚度处于该范围内,既能够避免结晶生长所需要的时间延长造成的制造成本的增大,又能够充分地扩散电流。还有,半导体层的厚度越大,因提高杂质浓度带来的结晶性的劣化就越显著。电流扩散层7的施主杂质浓度被提高至n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度的10倍以上,因此电流扩散层7的厚度优选设定为能够防止结晶性劣化的很薄的程度。具体来说,电流扩散层7的厚度更优选设定在25nm以上、400nm以下。

[0088] n型氮化物半导体层2的厚度优选为 $1 \mu\text{m}$ 以上、 $10 \mu\text{m}$ 以下。n型氮化物半导体层2的厚度优选为 $1 \mu\text{m}$ 以上是基于以下两个理由。

[0089] 首先,第一个理由是,能够充分确保制造时的加工余量这一点。即,偏平型的半导体元件的情况下,为了使n型电极6与n型氮化物半导体层2接触,而形成图5所示这样的凹部20。在形成凹部20的工序中,需要确实地除去p型氮化物半导体层4和活性区域3的一部分,使n型氮化物半导体层2的一部分露出。这时,一般使用干蚀刻法,但如果n型氮化物半导体层2过薄而低于 $1 \mu\text{m}$,则干蚀刻的条件的偏差会导致n型氮化物半导体层2整

体被除去,电流扩散层7有可能露出。

[0090] 第二个理由是能够确保良好的结晶性这一点。即,在结晶生长的初期阶段,结晶性不充分的半导体容易生长,因此为了使结晶性良好,需要确保一定程度的充分的膜厚(1μm以上)。如此,优选n型氮化物半导体层2的厚度设定在1μm以上。但是,将厚度设定在1μm以上时,从防止结晶性劣化这一观点出发,不能极端地提高施主杂质浓度。因此在本实施方式中,通过重新设计电流扩散层7,提高该施主杂质浓度,以实现向活性层注入均匀的电流。

[0091] 另外,n型氮化物半导体层2的厚度为10μm以下,由此能够抑制n型氮化物半导体层2的光吸收。另外,n型GaN基板(或GaN层)1和n型氮化物半导体层2的厚度的合计,优选为2μm以上、150μm以下。通过具有该厚度,能够抑制以m面为主面的n型GaN基板(或GaN层)1和n型氮化物半导体层2的光吸收,提高光引出。

[0092] 还有,为了确保n型氮化物半导体层2的传导性,并且降低n型电极6和n型氮化物半导体层2的接触电阻,作为优选,n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度为 $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上。同样,为了确保n型GaN基板(或GaN层)1的传导性,优选n型GaN基板(或GaN层)1的施主杂质浓度为 $1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以上。根据n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度的下限值($1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$)和电流扩散层7的施主杂质浓度的上限值($5\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$),可推导出电流扩散层7的施主杂质浓度是n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度的500倍以下。

[0093] 作为活性层3,能够使用以InGaN层为量子阱的单一量子阱或多量子阱。活性层3的阻挡层使用GaN层或InGaN层即可。InGaN层量子阱的厚度设定为15nm~30nm左右即可。阻挡层的厚度设定为5nm~50nm左右即可。

[0094] 就p型氮化物半导体层4而言,其是作为主要的受主杂质掺杂有镁的p型GaN层。p型氮化物半导体层4也可以是InGaN层、AlGaN层或其层叠结构。特别是虽然未图示,但是出于抑制电子外溢的目的,也可以在p型氮化物半导体层4中插入厚15nm~30nm左右的p型AlGaN层。

[0095] 就n侧电极6的电极材料而言,优选从能够与n型氮化物半导体层2形成良好的接触电阻的金属中选择。例如由Ti层和Al层和Pt层的层叠结构构成,厚度为100~200nm。

[0096] 就p侧电极5的电极材料而言,优选从能够与p型氮化物半导体层4形成良好的接触电阻的金属中选择,但需要考虑扁平型电极面朝上型、扁平型电极面朝下型、狭长型的各构造的差异来决定。以下对于各个类型时行说明。

[0097] (扁平电极面朝上型的情况)

[0098] 图6中表示具有从p型氮化物半导体层4侧引出光的电极面朝上型的结构的半导体装置的剖面构造。在图6中,对于与图5相同的构成要素使用相同符号,在此省略其详细的说明。

[0099] 在图6中,本实施方式的氮化物系半导体发光元件31中,使p型氮化物半导体层4朝上而装配在安装基板10上。作为安装基板10,优选使用例如氧化铝、氮化铝等热导率的高的材料。或者,也可以使用具有铜或铝和覆盖其表面的绝缘膜的构造。

[0100] 在以m面为主面的n型GaN基板(或GaN层)1和安装基板10之间,配置有反射膜13。作为反射膜13,优选使用Ag、Al、Ni、W、Ti、Au、Sn等或这些金属的层叠结构。这种情况下,将光的反射率高的Ag、Al、Ni等金属配置在与GaN基板(或GaN层)1接触的位置

即可。

[0101] 在 p 侧电极 5 和 n 侧电极 6 的表面,形成有由 Au 等构成的焊盘电极 9。在安装基板 10 上形成有配线 11,且按照使焊盘电极 9 和配线 11 电连接的方式形成 Au 引线 12。这样的电极面朝上型的情况下,需要通过 p 侧电极 5 引出光。因此,作为 p 侧电极 5,使用 ITO 等透明电极或 Ni 等的极薄膜即可。

[0102] (扁平电极面朝下型的情况)

[0103] 图 7 中表示具有从 n 型氮化物半导体层 2 侧引出光的电极面朝下型的结构的半导体装置的剖面构造。在图 7 中,对于与图 5 相同的构成要素使用相同符号,在此省略其详细的说明。

[0104] 在图 7 中,本实施方式的氮化物系半导体发光元件 31 中,使 p 型氮化物半导体层 4 朝下而装配在安装基板 10 上。作为安装基板 10,优选使用例如氧化铝、氮化铝等热导率的高的材料。或者,也可以使用具有铜或铝和覆盖其表面的绝缘膜的构造。

[0105] 在 p 侧电极 5 和 n 侧电极 6 的表面,形成有由 Au 等构成的焊盘电极 9。在安装基板 10 上形成有配线 11,且按照使焊盘电极 9 和配线 11 电连接的方式形成 Au 焊凸 14。这样的电极面朝下型的情况下,光从 GaN 基板(或 GaN 层)1 侧被引出,因此优选在 p 侧电极 5 使用反射率高的金属,例如 Ag 等。

[0106] (狭长型(贴合型)的情况)

[0107] 图 8 是表示作为本发明的实施方式的变形例的狭长型的半导体装置的剖面图。在图 8 中,对于与图 5 具有相同的功能的构成要素使用相同符号。

[0108] 图 8 所示的氮化物系半导体发光元件 32,与图 5、图 6、图 7 所示的氮化物系半导体发光元件 31 同样地,也具有配置有半导体层叠结构 16 的构造,该半导体层叠结构 16 由 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1、电流扩散层 7、n 型氮化物半导体层 2、活性层 3、p 型氮化物半导体层 4 构成。在氮化物系半导体发光元件 32 中,与氮化物系半导体发光元件 31 不同的一点是,n 侧电极 6 被设于 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 之中与半导体层叠结构 16 接触的面的相反侧。p 侧电极 5 其形成方式为,整体地覆盖 p 型氮化物半导体层 4 之中与半导体层叠结构 16 接触的面的相反侧的面。

[0109] 在图 8 的氮化物系半导体发光元件 32 中,光的引出方向在 n 型氮化物半导体层 2 侧。因此,作为 p 侧电极 5,优选使用反射率高的金属,例如 Ag。

[0110] 氮化物系半导体发光元件 32 中,使 p 型氮化物半导体层 4 朝下,贴合在传导性支承基板 15 上。传导性支承基板 15 使用具有导电性、并且热传导率高的材料即可。例如传导性支承基板 15 可以使用硅、锗、铜、铝等。

[0111] 狹长型的情况下,n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 无有导电性很重要。例如,使用在 m 面蓝宝石基板上形成的 m 面 GaN 层替代 n 型 GaN 基板 1 时,因为 m 面蓝宝石基板具有绝缘性,所以在具有 m 面蓝宝石基板原本的状态下,不能采用狭长型的构造。但是,如果剥离 m 面蓝宝石基板,成为只有 m 面 GaN 层的状态,则可以采用狭长型的构造。如此在狭长型中,在以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的导电性得到确保的状态下,在 m 面作为主面的 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的背面配置有 n 侧电极 6。

[0112] 在氮化物系半导体发光元件 32 中,从 n 侧电极 6 注入的电子,首先流至 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1,之后通过电流扩散层 7 和 n 型氮化物半导体层 2 向活性层 3 注入。因

此,为了使注入活性层 3 的电流均匀,除了电流扩散层 7 和 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度的关系以外,n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 和电流扩散层 7 的施主杂质浓度的关系也很重要。

[0113] 因此,在氮化物系半导体发光元件 32 中,优选使电流扩散层 7 的施主杂质浓度提高到 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的施主杂质浓度的 10 倍以上。这种情况下,能够使从 n 侧电极 6 注入的电子横向扩散。

[0114] 并且,优选以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下,更优选为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下。

[0115] 在狭长型的氮化物系半导体发光元件 32 中,n 型氮化物半导体层 2 和电流扩散层 7 的施主杂质浓度的关系,与图 5 所示的氮化物系半导体发光元件 31 中的关系相同。

[0116] <基于模拟结果的本发明的效果的说明>

[0117] 在本发明中,电流扩散层 7 的施主杂质浓度和膜厚,可基于模拟结果被计算出。以下,说明该模拟结果。

[0118] 在图 9 中表示用于模拟的氮化物系半导体元件的剖面构造。模拟是在扁平型的氮化物半导体元件下进行的。在图 9 中,对于与图 5 相同的构成要素使用同一符号,并省略详细的说明。以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的厚度为 $2.5 \mu \text{m}$,杂质浓度为 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。n 型氮化物半导体层 2,是厚度为 $2.5 \mu \text{m}$ 、杂质浓度为 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的 n 型 GaN 层。活性层 3 是由厚 15 nm 的 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 量子阱层和厚 30 nm 的 GaN 阻挡层构成的三量子阱。
p 型氮化物半导体层 4 是厚 150 nm 、杂质浓度为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的 p 型 GaN。在 p 型氮化物半导体层 4 中,出于抑制电子的外溢的目的,设有厚 150 nm 、杂质浓度为 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 的 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 层 8。p 侧电极 5 的大小为 $300 \mu \text{m}$,n 侧电极 6 的大小为 $90 \mu \text{m}$,p 侧电极 5 和 n 侧电极 6 的间隔为 $25 \mu \text{m}$ 。以电流扩散层 7 的施主杂质浓度和膜厚为参数,进行模拟实验。光引出假定为 100%。

[0119] 图 10 是表示通过模拟计算出厚度不同的电流扩散层 7 的电流 - 电压特性的结果的标绘图。图 10 的模拟,是使电流扩散层 7 的施主杂质浓度为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的恒定值、且使电流扩散层 7 的厚度从 2 nm 至 $1 \mu \text{m}$ 变化来进行的。如图 10 所示可知,电流扩散层 7 的厚度越大,电流越容易从更低的电压流通(工作电压降低)。根据该结果可知,电流扩散层 7 容易流通电流。

[0120] 图 11 是表示厚度不同的电流扩散层 7 的电压 - 光输出功率特性的模拟结果的标绘图。图 11 的模拟,是使电流扩散层 7 的施主杂质浓度作为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的恒定值、且使电流扩散层 7 的厚度从 2 nm 至 $1 \mu \text{m}$ 变化来进行的。如图 11 所示可知,电流扩散层 7 的厚度越大,光输出功率越高。这是由于,由图 10 可知,因为电流扩散层 7 越厚,工作电压越降低,即使外加相同的电压,电流值也增加。

[0121] 由图 10、图 11 的模拟结果可知,通过设置电流扩散层 7,电流值增大,光输出功率增加。

[0122] 图 12 是表示,在电流扩散层 7 的施主杂质浓度为 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的三个级别时的电流扩散层 7 的厚度和正向电压 Vf 的关系通过模拟所计算出的结果的标绘图。该模拟是将电流扩散层 7 的施主杂质浓度设定在 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 和 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度的 10 倍以上来进行的。在此,正向电压 Vf

为电流值到达 $100[\text{mA/mm}^2]$ 时的电压值。

[0123] 如图 12 所示,在任意的施主杂质浓度的情况下,正向电压 V_f 的降低均是从电流扩散层 7 的厚度为 25nm 左右开始变得显著,电流扩散层 7 的厚度从 $2\mu\text{m}$ 左右开始,正向电压 V_f 收敛于恒定的值。

[0124] 图 13 是表示电流扩散层 7 的施主杂质为 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 的三个级别时的电流扩散层 7 的厚膜与电功率转换效率 (WallPlug Efficiency :WPE) 的关系通过模拟所计算出的结果的标绘图。在模拟中, p 侧电极的接触电阻为 $2 \times 10^{-3}\Omega\text{cm}^2$, n 侧电极的接触电阻为 $1.2 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}^2$ 。光引出按 100% 计算。电功率转换效率以电流值达到 $100[\text{mA/mm}^2]$ 的值计算。与市场销售的氮化物系半导体发光元件的电功率转换效率相比,达到极高的模拟结果的理由,是因为以 100% 计算光引出。

[0125] 如图 13 所示,在任意一种施主杂质浓度的情况下,WPE 的增加都是从电流扩散层 7 的厚度为 25nm 左右开始变得显著,从电流扩散层 7 的厚度为 $2\mu\text{m}$ 左右开始,WPE 的值开始饱和。

[0126] 在图 12、13 所示的模拟结果中,电流扩散层 7 的施主杂质浓度在 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 的范围,可以实现正向电压 V_f 的降低和 WPE 的提高。根据这些结果推导,电流扩散层 7 的施主杂质浓度优选在 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 的范围内。

[0127] 根据图 12、13 所示的模拟结果,电流扩散层 7 的施主杂质浓度在 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3} \sim 5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 的范围,电流扩散层 7 的厚度为 25nm 以上时,与未设电流扩散层 7 的情况相比较,正向电压 V_f 的降低和 WPE 的提高变得显著。这一倾向一直持续到电流扩散层 7 达到 $2\mu\text{m}$ 以下。由这些结果可知,如果电流扩散层 7 的厚度在 25nm 以上,借助电流扩散层 7,能够充分在横向扩散电子。另外,考虑到电流扩散层 7 的厚度比 $2\mu\text{m}$ 大,所得到的效果也不再有很大变化,因此从结晶生长的时间缩短化的观点出发,优选电流扩散层 7 的厚度为 $2\mu\text{m}$ 以下。

[0128] 在图 10 ~ 图 13 的模拟中, n 型 GaN 基板 (或 GaN 层) 1 和 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度恒定在 $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。在施主杂质浓度是与该值不同的值时,如果电流扩散层 7 的施主杂质浓度相对于 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度而设定得充分地高,则借助电流扩散层 7,也能够充分扩散电流。

[0129] 图 10、图 11 的模拟,是将 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度设定为 $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 、且将电流扩散层 7 的施主杂质浓度设定为 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 而进行的。另一方面,图 12、图 13 的模拟,是将 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度设定为 $4 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$,且将电流扩散层 7 的施主杂质浓度设定为 $5 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 、 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 、 $5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 而进行的。在这些模拟中,电流扩散层 7 的施主杂质浓度全部设定为 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度的 10 倍以上。由这些结果可推导出,作为电流扩散层 7 的施主杂质浓度的标准,设定为 n 型氮化物半导体层 2 的施主杂质浓度的 10 倍以上即可。如此,在电流扩散层 7 和 n 型氮化物半导体层 2 之间存在 10 倍以上的杂质浓度差时,电流扩散层 7 的电阻率充分减小到 n 型氮化物半导体层 2 的 $1/10$ 以下。因此,从 n 侧电极 6 注入的电子主要在阻抗十分低的电流扩散层 7 流通。

[0130] 模拟在图 6 和图 7 所示的扁平型下实施,但在图 8 所示的狭长型的构造下,如果电流扩散层 7 的施主杂质的浓度和膜厚在前述范围,则也能够推测为充分地向横向扩散电

子。在狭长型中，电流也在 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1 流通。因此，电流扩散层 7 的施主杂质浓度相对于 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1 的施主杂质浓度，也优选为 10 倍以上。

[0131] 另外，在模拟中虽然表示的是电流扩散层 7 是 1 层时的计算结果，而电流扩散层 7 存在多层，也能够获得本发明的效果。电流扩散层为多层时，如果电流扩散层的合计厚度为 25nm 以上、2 μm 以下，则能够充分横向扩散电子，并且通过多层化还可以抑制结晶劣化，能够实现更高品质的电流扩散层。

[0132] 另外，在模拟中假定是边长 300 μm 的芯片尺寸，但若芯片尺寸变大，则认为本申请的效果会更加显著地呈现。

[0133] <关于半导体层的结晶性>

[0134] 图 14 是表示在 c 面基板上所形成的 n 型 GaN 层、和在 m 面 GaN 基板上所形成的 n 型 GaN 层的光致发光的测量结果的标绘图。无论哪种 n 型 GaN 层均使用有机金属化学气相沉积法使之生长，作为施主杂质使用硅。n 型 GaN 层的施主杂质浓度均为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，厚度均为 100nm。图 14 中的横轴表示波长，纵轴表示相对强度。纵轴的值是由 GaN 层带端邻域的发光强度进行了规格化的值。

[0135] 如图 14 所示，无论在 c 面基板上、还是 m 面基板上所形成的 n 型 GaN 层中，均观测到在发光波长 360nm 附近具有发光的顶点峰值的发光。这是与 GaN 的导带和价带的能带隙大致对应的峰值，在该峰值上未见在各个 n 型 GaN 层之间有很大的差别。

[0136] 另一方面，在 c 面 GaN 基板上形成的 n 型 GaN 层，从 450nm 至 700nm 的发光波长中，被观测到具有宽阔的波峰。该发光被称为“黄带发光 Yellow Luminescence (YL)”，被认为是由深杂质能级引起的发光。YL 被认为是由于 GaN 层中的 Ga 或 N 脱离而产生的，YL 的值越大，认为 GaN 层的结晶性越低。

[0137] 另一方面，在 m 面 GaN 基板上形成的 n 型 GaN 层中，尽管具有 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 这样高的杂质浓度，但 YL 的发光强度比 c 面 GaN 基板上所形成的 n 型 GaN 层的情况低得多。由该结果可知，在 m 面 GaN 基板上所形成的 n 型 GaN 层中添加有高浓度的杂质时，与在 c 面 GaN 基板上所形成的 n 型 GaN 层相比，也可确保更为良好的结晶性。

[0138] 在本实施方式中，电流扩散层 7 具有 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以下这样高的杂质浓度。由图 14 所示的结果可知，在含有这样高浓度的杂质的 c 面 GaN 层中，结晶性的劣化进展。但是，本实施方式的电流扩散层 7 因为在表面具有 m 面，所以即使含有高浓度的杂质，结晶性也保持得很高。

[0139] 在 c 面与 m 面产生这种差异的理由虽没有阐明，但本申请发明者认为，这是由于 c 面 GaN 和 m 面 GaN 这样的结晶的面取向的不同引起的。作为 n 型掺杂物使用的 IV 族元素的硅原子，占据与镓原子相同的晶格位置。因此会与氮原子结合。结晶生长时，在 c 面 GaN 表面在氮原子中上存在三个键，在 m 面 GaN 表面在氮原子中上存在两个键。这样的键被认为会对各个深能级的形成过程带来影响。一般来说，YL 发光被认为是 Ga 空穴和残留 C 等形成的深能级和浅施主能级之间的发光，深能级的状态的差异，被认为会产生出 m 面 GaN 基板上形成的 n 型 GaN 层和 c 面 GaN 基板上形成的 n 型 GaN 层的 YL 发光的差异。

[0140] 还有，图 14 所示的测量是使用厚 100nm 的 n 型 GaN 层而进行的。如果厚度为 100nm 左右，则即使含有 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 的杂质，如图 14 所示的结果表明的，m 面 n 型 GaN 层的结晶性仍保持得良好。另一方面，图 5 的 n 型氮化物半导体层 2 的厚度例如为 2.5 μm。半导体层

的厚度越大,由杂质浓度提高所造成的结晶性的劣化、和该半导体层造成的光吸收越容易发生。因此,n型氮化物半导体层2需要使杂质浓度为 $5\times10^{18}\text{cm}^{-3}$ 以下。

[0141] <半导体装置的制造方法>

[0142] 接下来,使用图5、图6、图7、图8对于实施方式的制造方法进行说明。

[0143] 作为氮化物半导体层的形成方法,已知有分子束外延法(MBE法)、氢化物气相外延法(HVPE)、有机金属化学气相沉积法(MOCVD法)。在此,对于使用了有机金属化学气相沉积法的制造方法进行说明。

[0144] (将n型GaN基板1配置在反应室内的工序(S1))

[0145] 清洗以m面为主面的n型GaN基板1的表面,使之配置在MOCVD装置内。在清洗中,进行使用有机溶剂的清洗,使用氢氟酸的清洗等。

[0146] (形成电流扩散层的工序(S2))

[0147] 在MOCVD装置内,将n型GaN基板1加热至n型氮化物半导体层2的结晶生长温度,即 $750^{\circ}\text{C}\sim1150^{\circ}\text{C}$ 。这时,优选一边供给氮气源、III族元素气源,施主杂质气体,一边使基板温度上升。通过如此一边供给气源一边使基板温度上升,能够形成电流扩散层7。

[0148] 如上述,以m面为主面的n型GaN基板1与以c面为主面的n型GaN基板相比较,提高n型杂质浓度困难。但是,在以m面为主面的氮化物半导体中,结晶生长温度越低,有杂质的引入越大的倾向。因此,在基板的温度到达适合氮化物半导体的结晶生长的 $900^{\circ}\text{C}\sim1150^{\circ}\text{C}$ 之前,例如从 700°C 开始,向基板表面供给流量 330mmol/min 的氮气源、流量 $73.5\mu\text{mol/min}$ 的III族元素气源、流量 1.78nmol/min 的施主杂质气体,由此,施主杂质以高浓度被引入氮化物半导体。根据该方法,能够实现具有高杂质浓度且结晶性良好的电流扩散层7。在形成电流扩散层7的工序(S2)中,不需要始终将氮气源、III族元素气源和施主杂质气体连续供给到反应室内,在反应室的气氛中含有氮气源、III族元素气源和施主杂质气体即可。因此,在形成电流扩散层7的工序(S2)中,即使氮气源、III族元素气源和施主杂质气体的供给周期性地或临时性地中断,只要在反应室的气氛中有充分量的氮气源、III族元素气源和施主杂质气体存在即可。本发明所使用的氮气源是具有代表性的氨。另外,III族元素气源是三甲基镓(TMГ)、三乙基镓(TEГ)、三甲基铟(TMI)、三甲基铝(TMA)等有机金属气体。有机金属气体优选以氮气或氢气作为载气,以混合的状态被供给到反应室。施主杂质气体在掺杂硅时是硅烷,在掺杂氧时是CO或水蒸气等。还有,在反应室中,除了这些气源以外,也可以另行供给氧气和氢气。

[0149] 形成电流扩散层的工序(S2)中的基板温度的上升速率(升温速度)能够设定在例如 $20^{\circ}\text{C}/\text{分}\sim100^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 的范围。升温速度不需要恒定,在升温工序中,基板温度可以临时性地保持在一定值,也可以临时性地降低。

[0150] 出于使结晶生长速度稳定化、以高成品率形成氮化物系半导体发光元件的这一理由,优选氮气源的供给率(供给量)在形成电流扩散层的工序(S2)和生长工序(S3)之间大体上维持恒定。

[0151] 形成电流扩散层的工序(S2)的V/III比,优选设定得比接下来说明的生长工序(S3)中的V/III比大。形成电流扩散层的工序(S2)的V/III比例如设定在4000以上。

[0152] 对于以m面作为主面的n型GaN基板(或GaN层)1的表面进行热清洗时,热清洗的温度设定在 $600^{\circ}\text{C}\sim900^{\circ}\text{C}$ 的范围。通过设定在这一温度范围,能够进行以m面作为主面

的 n 型 GaN 基板（或 GaN 层）1 的表面的洁净化。热清洗优选在氨、氢、氮或其混合气体气氛中进行。

[0153] 例如使热清洗为 700 °C，n 型氮化物半导体层 2 的生长温度为 1000 °C 时，使 700 °C ~ 1000 °C 的升温工序中的 MOCVD 装置内为 TMG 气源和氨气和硅烷气气氛，由此可以进行高浓度的 n 型 GaN 层（电流扩散层 7）的结晶生长。

[0154] （在电流扩散层上使氮化物半导体层生长的工序（S3））

[0155] 由 n 型氮化物半导体层 2、活性层 3 且 p 型氮化物半导体层 4 构成的半导体层叠结构 16 的结晶生长，在 750 °C ~ 1150 °C 的范围进行。这些氮化物半导体层为 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$ 层 ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1, x+y+z = 1$) 结晶即可，能够以 TMA、TMG、TMI 的各三族气源的供给比控制组成。

[0156] （电极形成）

[0157] 由此起，分成偏平电极面朝上型、偏平电极面朝下型、狭长型的各构造，说明制造方法。

[0158] （偏平电极面朝上型的情况）

[0159] 半导体层叠结构 16 的结晶生长后，通过使用了平版印刷术和氯气的干蚀刻，除去活性层 3 和 p 型氮化物半导体层 4 的一部分，形成使 n 型氮化物半导体层 2 的一部分露出的凹部 20（图 5 所示）。

[0160] 接着，在 n 型氮化物半导体层 2 露出的地方，形成使用 Ti 和 Al 等金属的 n 侧电极 6。n 侧电极 6 可以由蒸镀法和剥离法制作。

[0161] 接着，在 p 型氮化物半导体层 4 的上部，形成使用了 ITO 等透明电极或者 Ni 等极薄膜的 p 侧电极 5。ITO 能够通过溅射法等制作，Ni 极薄膜能够通过蒸镀法等制作。经过以上的工序，图 5 的构造完成。

[0162] 接着，进行用于得到图 6 所示的构造的装配。在 p 侧电极 5 和 n 侧电极 6 的表面，形成使用了 Au 等金属的焊盘电极 9。焊盘电极 9 能够由蒸镀法或镀敷法等制作。

[0163] 接着，在所述构造的背面侧，即基板侧，形成 Ag、Al、Ni、W、Ti、Au、Sn 等或作为这些金属的层叠结构的反射膜 13。反射膜 13 能够由蒸镀法制作。

[0164] 接着，使用芯片焊接机将所述结构装配到安装基板 10 上。所述构造和安装基板 10 的接合中，能够使用 Au-Au 接合或 Au-Sn 接合等。

[0165] 最后，使用引线接合器在焊盘电极 9 上形成 Au 引线，图 6 所示的偏平电极面朝上型的氮化物系半导体发光元件完成。

[0166] （扁平电极面朝下型的情况）

[0167] 半导体层叠结构 16 的结晶生长后，通过使用了平版印刷术和氯气的干蚀刻，除去活性层 3 和 p 型氮化物半导体层 4 的一部分，形成使 n 型氮化物半导体层 2 的一部分露出的凹部 20（图 5 所示）。

[0168] 接着，在 n 型氮化物半导体层 2 露出的地方，形成使用 Ti 和 Al 等金属的 n 侧电极 6。n 侧电极 6 可以由蒸镀法和剥离法制作。

[0169] 接着，在 p 型氮化物半导体层 4 的上部，形成使用了 Ag 的 p 侧电极 5。在 Ag 的表面，也可以还形成 W、Ti、Au、Sn 等金属或其层叠结构。p 侧电极能够由蒸镀法和剥离法制作。经过以上的工序，图 5 的构造完成。

[0170] 接着,进行用于得到图 7 所示的构造的装配。在 p 侧电极 5 和 n 侧电极 6 的表面,形成使用了 Au 等金属的焊盘电极 9。焊盘电极 9 能够由蒸镀法或镀敷法等制作。

[0171] 接着,使用 Au 凸点焊接机在焊盘电极 9 上形成 Au 焊凸 14。

[0172] 最后,使用倒装焊接机将前述的构造装配到安装基板 10 上,图 7 所示的偏平电极面朝下型的氮化物系半导体发光元件完成。

[0173] (狭长型的情况)

[0174] 半导体层叠结构 16 的结晶生长后,在 p 型氮化物半导体层 4 的表面,形成使用 Ag 的 p 侧电极 5。在 Ag 的表面,也可以还形成 W、Ti、Au、Sn 等金属或其层叠结构。p 侧电极 5 能够由蒸镀法制作。

[0175] 接着,将前述构造贴合在图 8 所示的传导性支承基板 15 上。在贴合中能够使用 Au-Au 接合和 Au-Sn 接合等。

[0176] 接着,在以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的背面,形成 n 侧电极 6。因为 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 具有导电性,所以与 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)1 的背面接触而形成 n 侧电极 6 即可。另一方面,使用蓝宝石基板等替代 n 型 GaN 基板 1 时,因为蓝宝石基板不具有导电性,所以例如使用激光剥离法等剥离 m 面蓝宝石基板后,与 n 型 GaN 层接触而形成 n 侧电极 6 即可。n 侧电极 6 使用 Ti 和 Al 等金属,能够通过蒸镀法和剥离法制作。经过以上的工序,图 8 所示的狭长型的氮化物系半导体发光元件完成。

[0177] 还有,现实的 m 面不需要是相对于 m 面完全平行的面,也可以从 m 面只倾斜很小的角度(比 0 度大,低于 ±1°)。形成具有表面相对于 m 面完全平行的表面的基板和半导体层,从制造技术的观点来说很困难。因此,通过现在的制造技术形成 m 面基板和 m 面半导体层时,现实的表面从理想的 m 面倾斜。倾斜的角度和方位,根据制造工序而有所偏差,因此难以准确地控制表面的倾斜角度和倾斜方位。

[0178] 还有一种情况是,有意识地进行使基板和半导体的表面(正面)从 m 面以 1° 以上的角度发生倾斜。在以下说明的实施方式中,无论是 GaN 基板,还是在其上形成的氮化物半导体层,都有意识地使其表面(正面)从 m 面以 1° 以上的角度发生倾斜。

[0179] (其他实施方式)

[0180] 在本实施方式中,除了 m 面 GaN 基板以外,还使用从 m 面以 1° 以上的角度使之倾斜的面作为主面的 GaN 基板(偏晶向基板(才フ基板))。在本实施方式中,除了图 5(或图 8)的 GaN 基板 1,使用其表面从 m 面以 1° 以上的角度发生倾斜的 GaN 基板。这样的 GaN 基板一般被称为偏晶向基板。偏晶向基板能够以如下方式制作:从单晶块上切下基板,经研磨基板的表面的工序,有意地使从 m 向特定方位倾斜的面作为主面。若在该 GaN 基板上,形成图 5 或图 8 所示的半导体层叠结构 16,则各自层的表面(正面)也从 m 面倾斜。

[0181] 接着,一边参照图 15,一边对于本实施方式的 GaN 基板的倾斜说明详情。

[0182] 图 15(a) 是模式化地表示 GaN 基板的晶体结构(纤锌矿型晶体结构)的图,表示使图 2 的晶体结构方向旋转 90° 的构造。

[0183] 在 GaN 结晶的 c 面,存在 +c 面和 -c 面。+c 面是 Ga 原子在表面显现的(0001)的面,称为“Ga 面”。另一方面,-c 面是 N(氮)原子在表面显现(000-1)的面,称为“N 面”。+c 面和 -c 面处于平行的关系,均相对于 m 面垂直。c 面具有极性,因此能够如此将 c 面分成 +c 面和 -c 面,但将作为非极性面的 a 面区分为 +a 面和 -a 面没有意义。

[0184] 图 15(a) 所示的 +c 轴方向是从 -c 面向着 +c 面垂直延伸的方向。另一方面, a 轴方向对应图 2 的单位矢量 a_2 , 朝向与 m 面平行的 [-12-10] 方向。图 15(b) 是表示 m 面的法线、+c 轴方向和 a 轴方向的相互关系的立体图。m 面的法线与 [10-10] 方向平行, 如图 15(b) 所示, 与 +c 轴方向和 a 轴方向的双方垂直。

[0185] GaN 基板的正面从 m 面以 1° 以上的角度倾斜, 意思是该 GaN 基板的正面的法线, 从 m 面的法线以 1° 以上的角度倾斜。

[0186] 接着, 参照图 16。图 16(a) 和 (b) 分别是表示 GaN 基板的正面和 m 面的关系的剖面图。该图是与 m 面和 c 面的双方垂直的剖面图。在图 16 中, 示出表示 +c 轴方向的箭头。如图 15 所示, m 面相对于 +c 轴方向平行。因此, m 面的法线矢量相对于 +c 轴方向垂直。

[0187] 在图 16(a) 和 (b) 所示的示例中, GaN 基板的正面的法线矢量从 m 面的法线矢量向 c 轴方向倾斜。如果更详细地阐述, 则在图 16(a) 的示例中, 正面的法线矢量向 +c 面一侧倾斜, 但在图 16(b) 的示例中, 正面的法线矢量向 -c 面的一侧倾斜。在本说明书中, 前者的情况下正面的法线矢量相对于 m 面的法线矢量的倾斜角度(倾斜角度 θ)取为正值, 后述的情况下倾斜角度 θ 取为负值。任意一种情况下, 都称为“正面朝 c 轴方向倾斜”。

[0188] 在本实施方式中, 倾斜角度处于 1° 以上、5° 以下的范围的情况, 和倾斜角度处于 -5° 以上、-1° 以下的范围, 因此能够与倾斜角度比 0° 大、低于 ±1° 的情况同样地起到本发明的效果。以下, 一边参照图 17, 一边说明其理由。图 17(a) 和 (b) 分别是对应图 16(a) 和 (b) 的剖面图, 示出从 m 面朝 c 轴方向倾斜的 GaN 基板 1 的正面的邻近区域。倾斜角度 θ 为 5° 以下时, 如图 17(a) 和 (b) 所示, 在 GaN 基板 1 的正面形成有多个梯级。各梯级具有单原子层量的高度(2.7Å), 以大致等间隔(30Å以上)平行排列。通过这样的梯级的排列, GaN 基板 1 的正面整体从 m 面倾斜, 但微观上认为有大量的 m 面区域露出。正面从 m 面倾斜的 GaN 基板 1 之所以成为这样的构造, 是由于 m 面原本作为晶面非常稳定。

[0189] 若在这样的 GaN 基板 1 之上形成 GaN 系化合物半导体层, 则在 GaN 系化合物半导体层的正面也呈现出与 GaN 基板 1 的正面同样的形状。即, GaN 系化合物半导体层的正面整体从 m 面倾斜。

[0190] 同样的现象, 被认为正面的法线矢量的倾斜方向朝向 +c 面和 -c 面以外的面取向也会发生。正面的法线矢量例如向 a 轴方向倾斜, 如果倾斜角度处于 1° 以上、5° 以下的范围, 则认为也是同样。

[0191] 图 10 ~ 图 13 中所示结果的模拟, 假定为使用 m 面 GaN 层(从 m 面的倾斜度低于 1°)的情况。但是, 如上述, 在从 m 面的倾斜角度为 1° 以上、5° 以下的面中, 微观上认为有大量的 m 面区域露出, 因此认为硅和氧等杂质的引入与 m 面同样。因此, 从 m 面的倾斜角度为 1 度以上、5 度以下的面作为正面而具有的 GaN 层, 推测也与 m 面 GaN 层同样, 能够通过电流扩散层 7 扩散电流。

[0192] 如上述, 在图 14 所示的光致发光的测量结果中, 与 c 面 GaN 层比较, 之所以 m 面 GaN 层的 YL 发光强度低, 被认为是在表面露出键的影响。从 m 面的倾斜角度为 1 度以上 5 度以下的面露出的键, 认为与从 m 面的倾斜角度低于 1 度的面露出的键没有太大差异。因此, 在本实施方式中, 也可推测电流扩散层 7 和其上所形成的半导体层叠结构 16 的结晶性高。

[0193] 还有, 若倾斜角度 θ 的绝对值比 5° 大, 则由于压电电场导致内部量子效率降低。

因此,如果压电电场显著发生,则通过m面生长实现半导体发光元件的意义变小。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,即使将倾斜角度θ设定在例如5°时,由于制造偏差,也有现实的倾斜角度θ从5°偏离±1°左右的可能性。完全排除这样的制造偏差很困难,另外,这种程度的微小的角度偏移也不妨碍本发明的效果。

[0194] (实施例)

[0195] 以下,说明使用本发明的方法在m面n型GaN基板上制作的氮化物系半导体发光元件。

[0196] 首先,将m面n型GaN基板配置在MOCVD装置内,在氨、氢、氮的混合气体气氛中,进行基板温度850°C、10分钟的热处理。m面GaN基板的施主杂质浓度为 $4 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 。

[0197] 其次,在氨、氢、氮、三甲基镓、硅烷的气氛中,使基板温度从850°C升温至1090°C,由此形成由高浓度的n型GaN层构成的电流扩散层。升温中的V族原料和III族原料的供给比(V/III)为4600左右。电流扩散层的厚度为100nm左右,施主杂质浓度为 $1.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 左右。基板温度达到1090°C后,使三甲基镓的供给率增加,在氨、氢、氮、三甲基镓、硅烷的混合气体气氛中,进行厚2.0μm的n型GaN层的结晶生长。n型氮化物半导体层的施主杂质浓度为 $1.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 左右。n型氮化物半导体层的结晶生长时的V/III为2300左右。

[0198] 接下来,使生长温度降至780°C,形成厚9nm的InGaN活性层,和由厚度15nm的GaN势垒层构成的活性层。降温时III族原料的供给停止。In原料使用三甲基铟。活性层的发光波长为470nm左右。

[0199] 接着,在在氨、氢、氮、三甲基镓的气氛中使生长温度升至995°C。升温中所结晶生长的本征GaN层的厚度在计算上为80nm左右。此外,再使厚5nm的p型GaN层、厚20nm的p型AlGaN层、厚500nm的p型GaN层作为p型氮化物半导体层顺序进行结晶生长。受主杂质使用Mg。p型AlGaN层的Al组成为15%左右。

[0200] 接着,由使用了氯气的干蚀刻装置使n型氮化物半导体层的一部分露出后,在n型氮化物半导体层露出的地方形成由Ti和Al构成的n侧电极,在p型氮化物半导体层的上部形成由Pd和Pt构成的p侧电极。

[0201] 接着,在n侧电极和p侧电极的表面形成厚1μm的Au焊盘电极。

[0202] 接着,将m面n型GaN基板从背面侧研磨而使厚度达到100μm后,切割成边长800μm的芯片。

[0203] 最后,在氧化铝制的陶瓷安装基板上进行倒装装配,制作氮化物系半导体发光元件。

[0204] 制作3个这样的氮化物系半导体发光元件(实施例),调查电特性。此外为了比较,采用同样的制造方法,制作3个没有电流扩散层的氮化物系半导体发光元件(比较例)。

[0205] 图18是表示实施例的氮化物系半导体发光元件的硅和氧的浓度通过SIMS分析所测量的结果的标绘图。在图18的标绘图中,深度比表示电流扩散层的峰值更浅的一侧是相当于n型氮化物半导体层的区域。在该标绘图中,n型氮化物半导体层的施主杂质浓度表示 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下的值。另一方面,电流扩散层的施主杂质浓度比 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 大。由此结果可知,电流扩散层的施主杂质浓度是n型氮化物半导体层2的施主杂质浓度的10倍。

[0206] 由该SIMS结果可知,电流扩散层与不是刻意形成于基板和氮化物半导体层界面的堆积层不同,是可以控制膜厚和杂质浓度的层。

[0207] 还有,在图 18 的标绘图中,相当于电子扩散层的区域的氧浓度也高。这是由于,在低温下形成 m 面 GaN 层时,杂质容易被引入。

[0208] 图 19 是表示实施例和比较例的氮化物系半导体发光元件的正向电压 (Vf) 的测量结果的标绘图。正向电压 (Vf) 为达到 10mA 的电压值。如图 19 所示,在设有电流扩散层的实施例中,与没有电流扩散层的比较例相比,Vf 降低 1V 左右。

[0209] 在图 12 所示的模拟结果中,在以实施例的氮化物半导体元件相同的条件(电流扩散层的厚度为 100nm,施主杂质浓度为 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)下,有电流扩散层时,与没有电流扩散层的情况相比,正向电压 (Vf) 降低 0.05V。相对于此,在本实施例中,有电流扩散层时,与没有电流扩散层的情况相比,Vf 降低 1V 左右。如此实施例的效果比模拟结果大的理由,被认为依存于元件的尺寸。模拟的元件边长 300 μm ,但实施例和比较例的元件边长 800 μm 。因此,元件尺寸为 2 倍以上,面积也大为 6 倍以上,与 300 μm 的尺寸的情况相比更容易发生电流的集中。因此,认为正向电压 (Vf) 的降低效果显著呈现。这意味着,元件尺寸越大(例如边长 800 μm 以上)的氮化物系半导体发光元件,本申请的效果呈现得越显著。

[0210] 图 20 是表示测量实施例和比较例的电功率转换效率 (WPE) 的结果的标绘图。电功率转换效率 (WPE) 是电流值为 10mA 时的值。图 20 所示的标绘图的 WPE 之所以与图 13 所示的模拟结果差异巨大,除了因为实施例和比较例的元件没有被树脂等被覆盖,所以光引出不充分以外,其原因还被认为是由于电极的反射率不充分。如图 20 所示,在设有电流扩散层的实施例中,与没有电流扩散层的比较例相比,WPE 提高 0.5% 左右。

[0211] 产业上的可利用性

[0212] 本发明作为期望低功率消耗的照明设备和液晶显示器的背光装置有用。

[0213] 符号说明

[0214] 1 以 m 面为主面的 n 型 GaN 基板(或 GaN 层)

[0215] 2 n 型氮化物半导体层

[0216] 3 活性层

[0217] 4 p 型氮化物半导体层

[0218] 5 p 侧电极

[0219] 6 n 侧电极

[0220] 7 电流扩散层

[0221] 8 AlGaN 层

[0222] 9 焊盘电极

[0223] 10 安装基板

[0224] 11 配线

[0225] 12 Au 引线

[0226] 13 反射膜

[0227] 14 Au 焊凸

[0228] 15 传导性支承基板

[0229] 16 氮化物半导体层

[0230] 31 氮化物系半导体发光元件

[0231] 32 氮化物系半导体发光元件

- [0232] 101 基板
- [0233] 102 缓冲层
- [0234] 103 衬底 n 型 GaN 层
- [0235] 104 n 型接触层
- [0236] 105 活性层
- [0237] 106 p 型包覆层
- [0238] 107 p 型接触层
- [0239] 108 透光性电极
- [0240] 109 n 侧焊盘电极
- [0241] 110 p 侧焊盘电极
- [0242] 111 多层膜氮化物半导体层
- [0243] 111 a 第一氮化物半导体层
- [0244] 111 b 第二氮化物半导体层
- [0245] 201 基板
- [0246] 202 缓冲层
- [0247] 203 n 型氮化物半导体层
- [0248] 203a n 型 GaN 层
- [0249] 203b un-GaN 层
- [0250] 204 活性层
- [0251] 205 p 型氮化物半导体层
- [0252] 206 p 侧电极
- [0253] 207 p 侧焊接区
- [0254] 208 n 侧电极

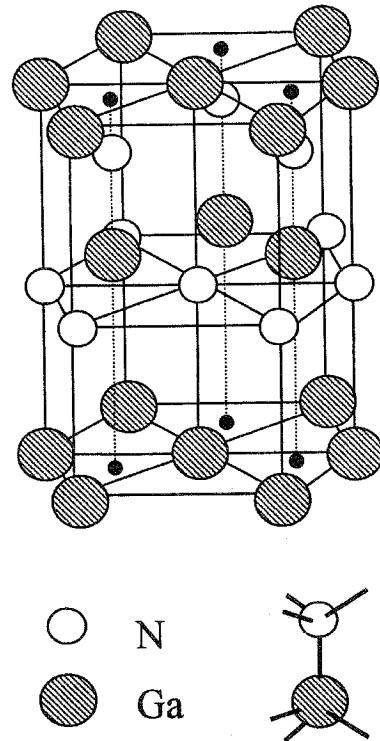


图 1

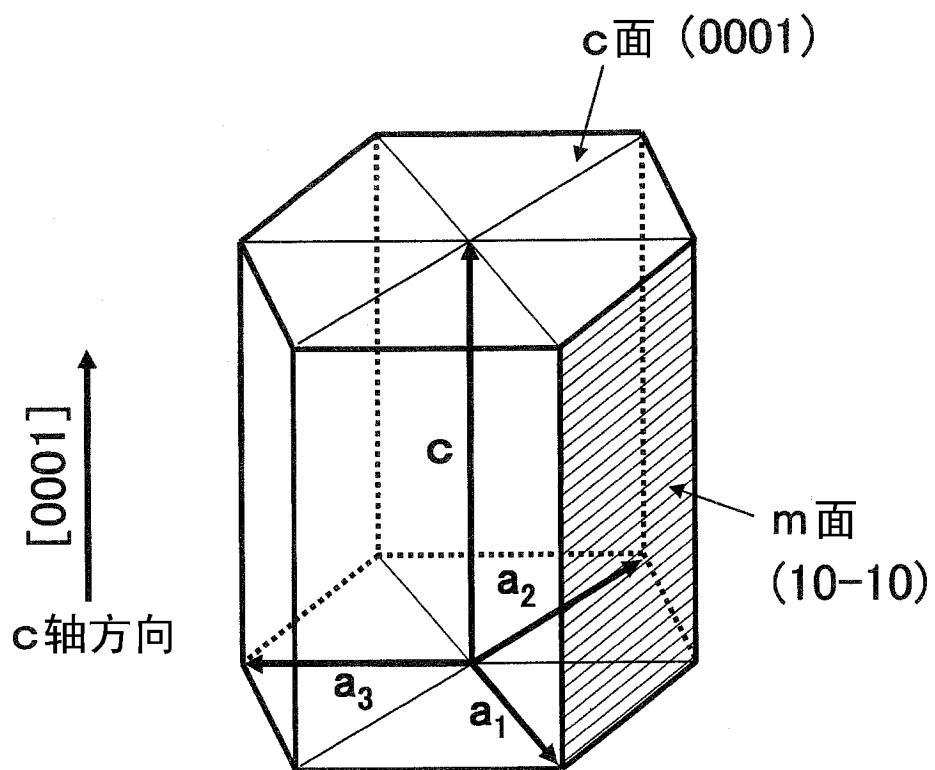


图 2

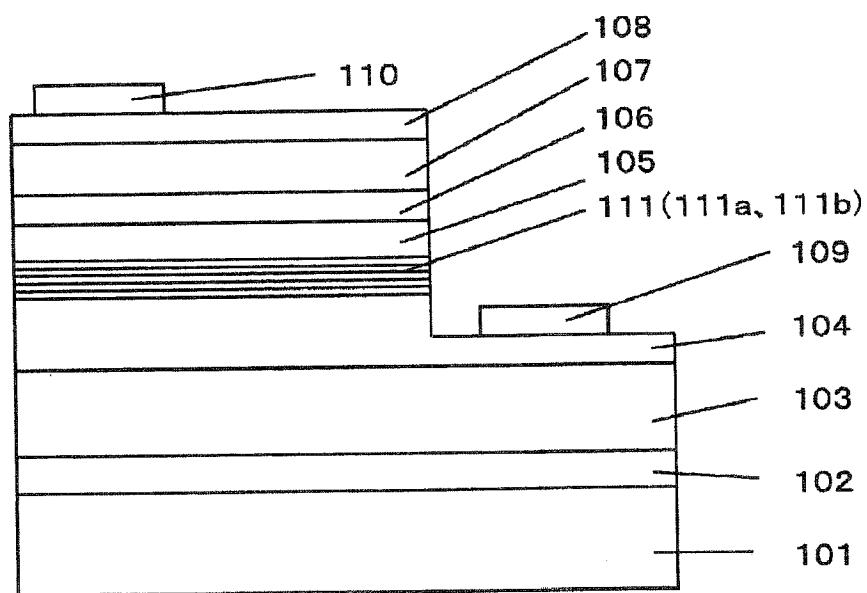


图 3

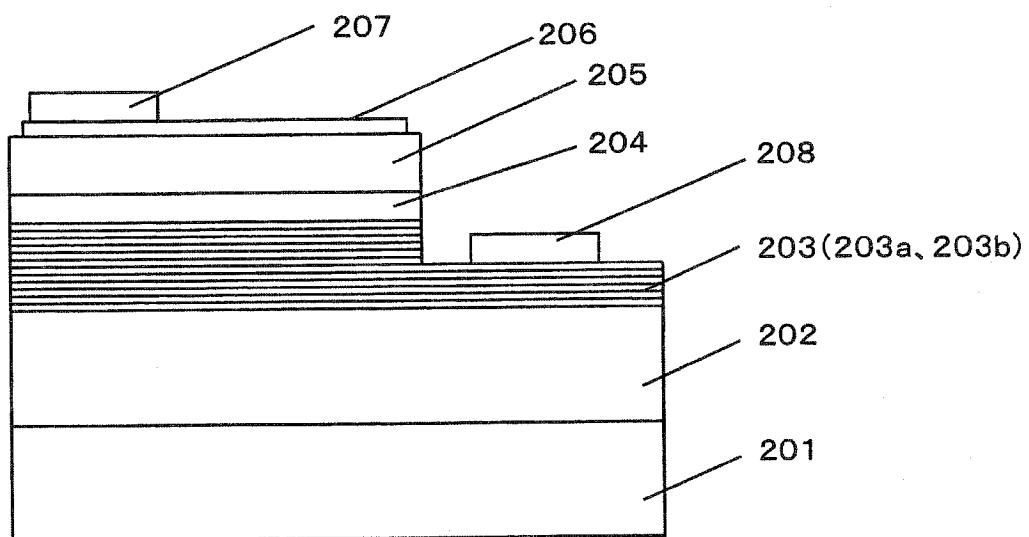


图 4

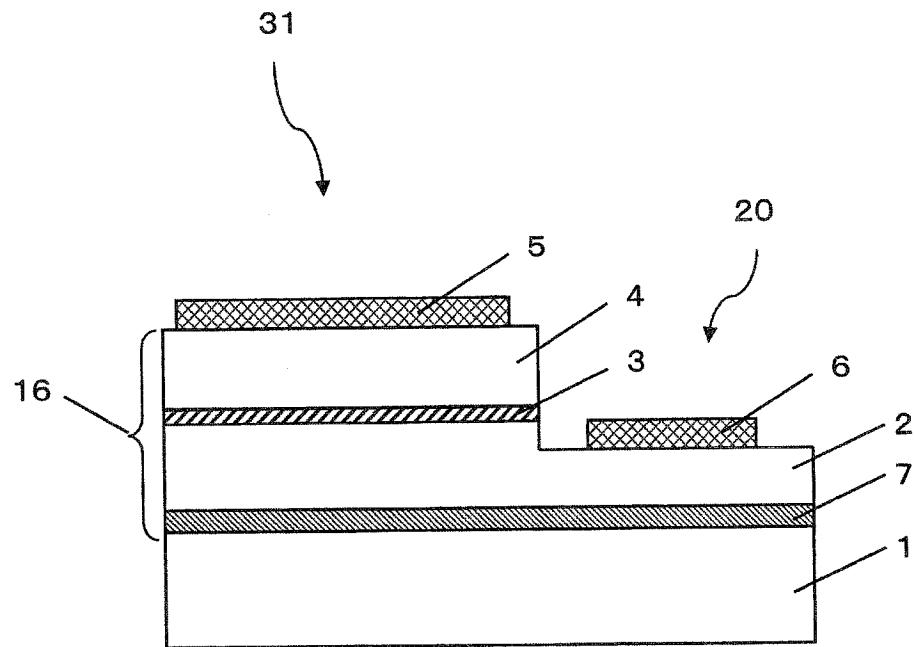


图 5

光引出的方向

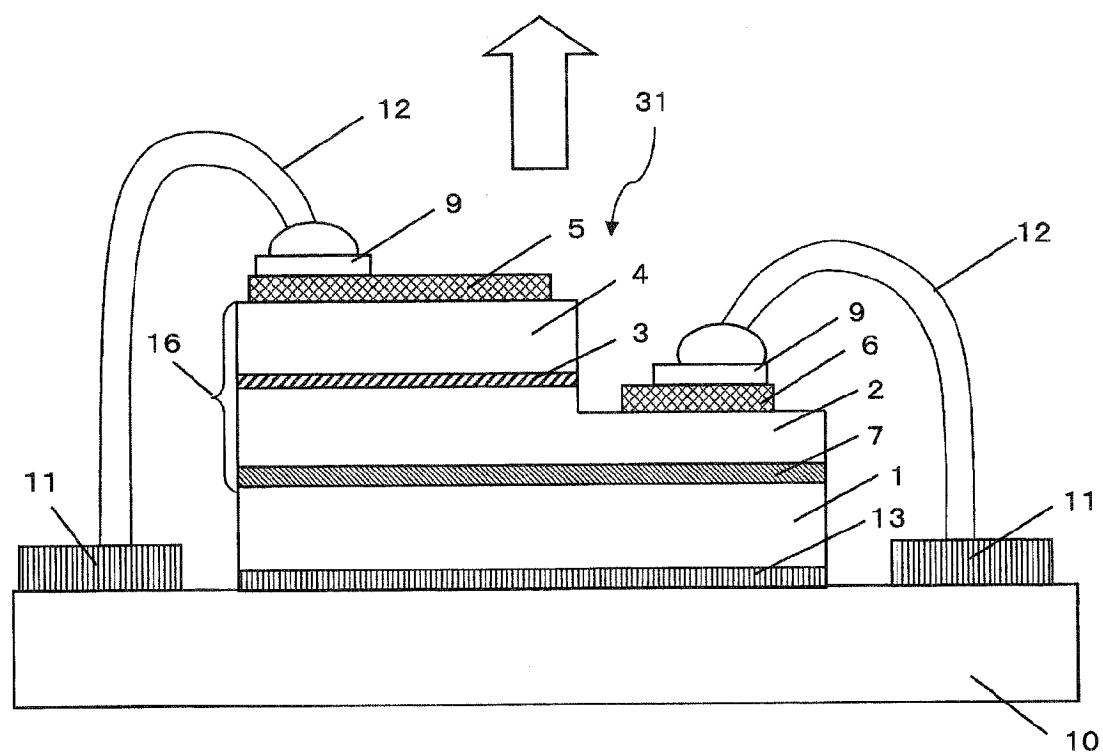


图 6

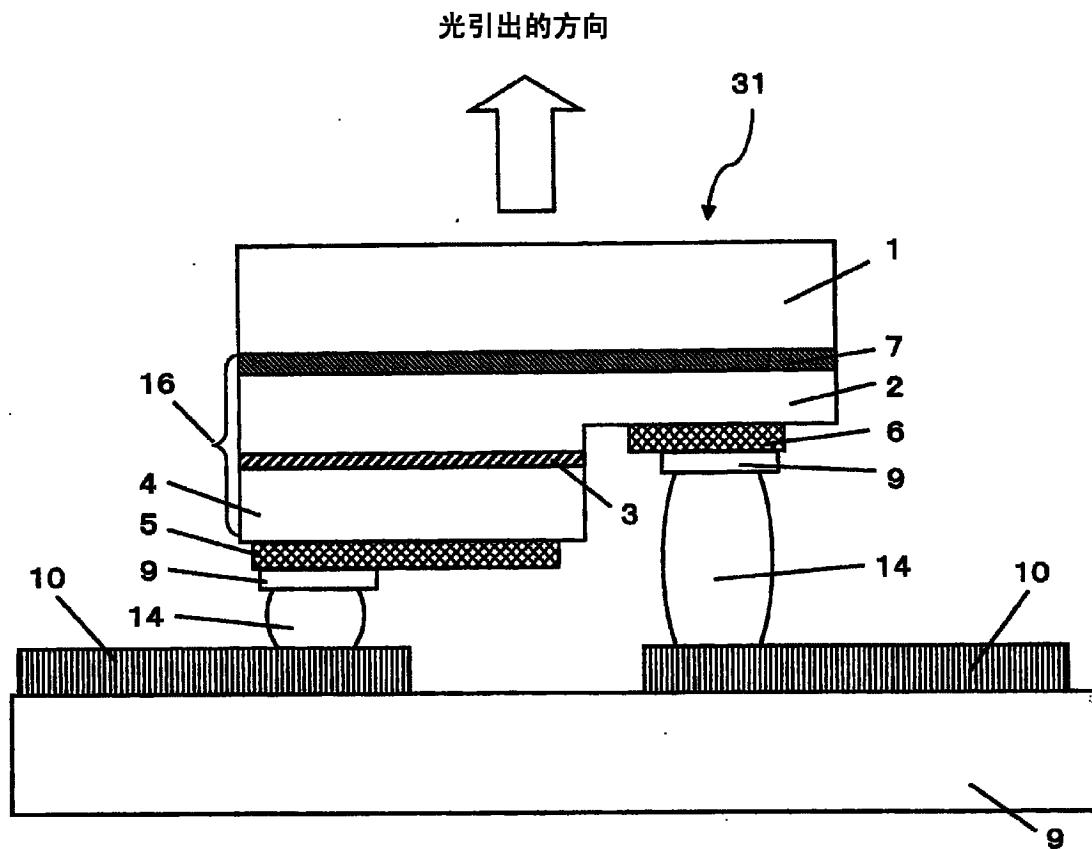


图 7

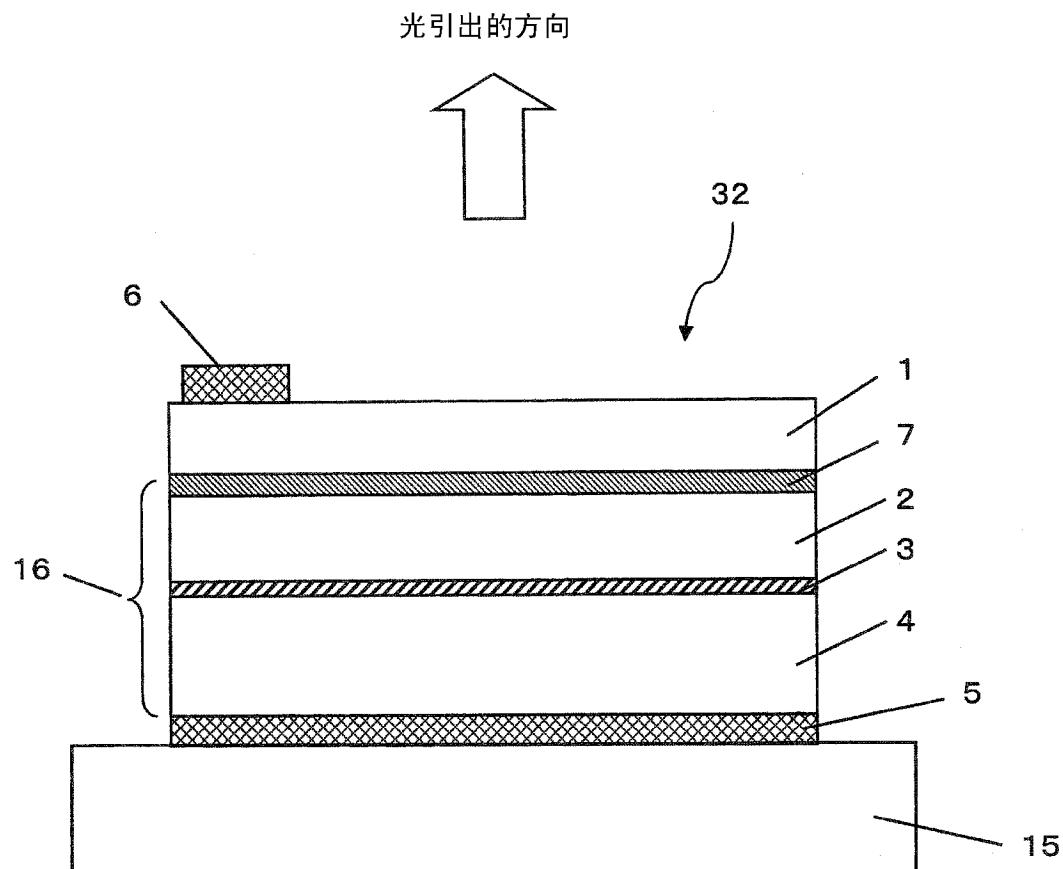


图 8

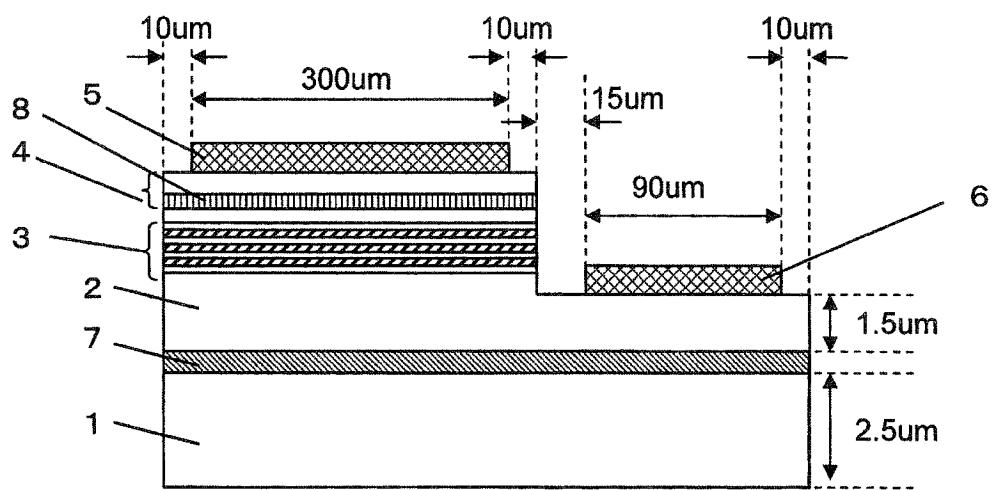


图 9

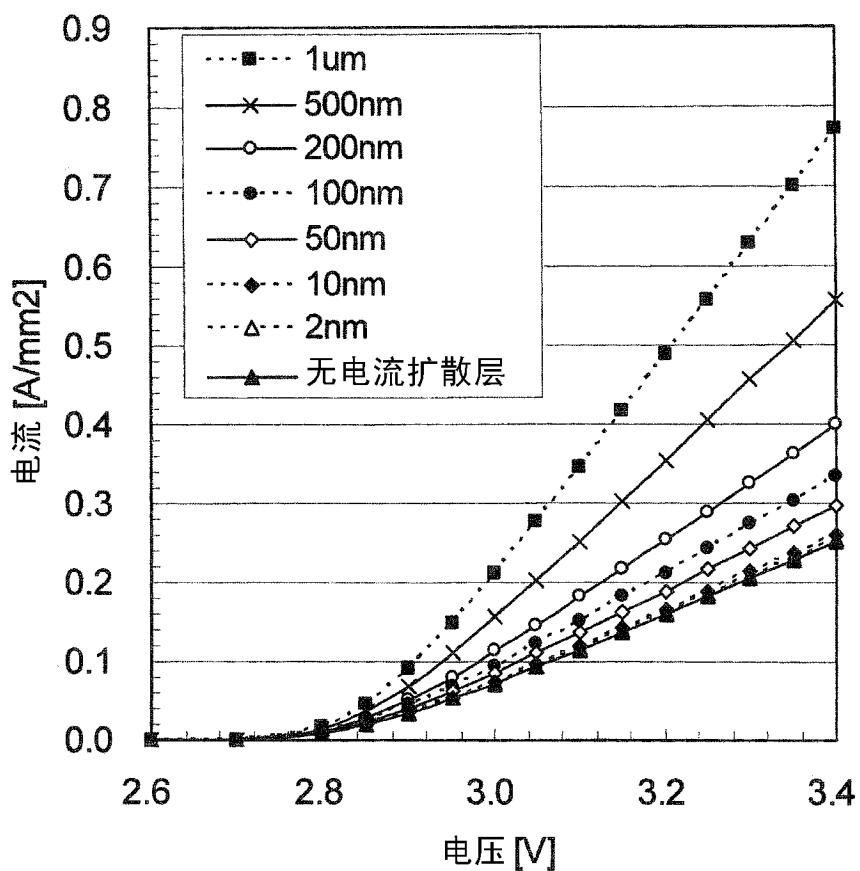


图 10

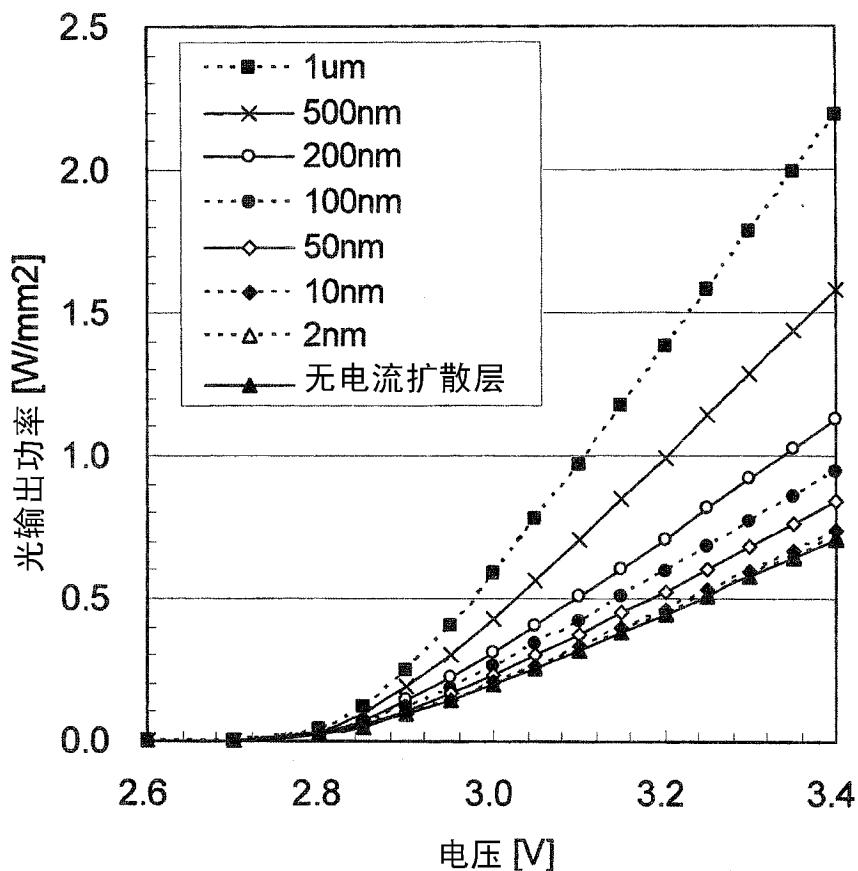


图 11

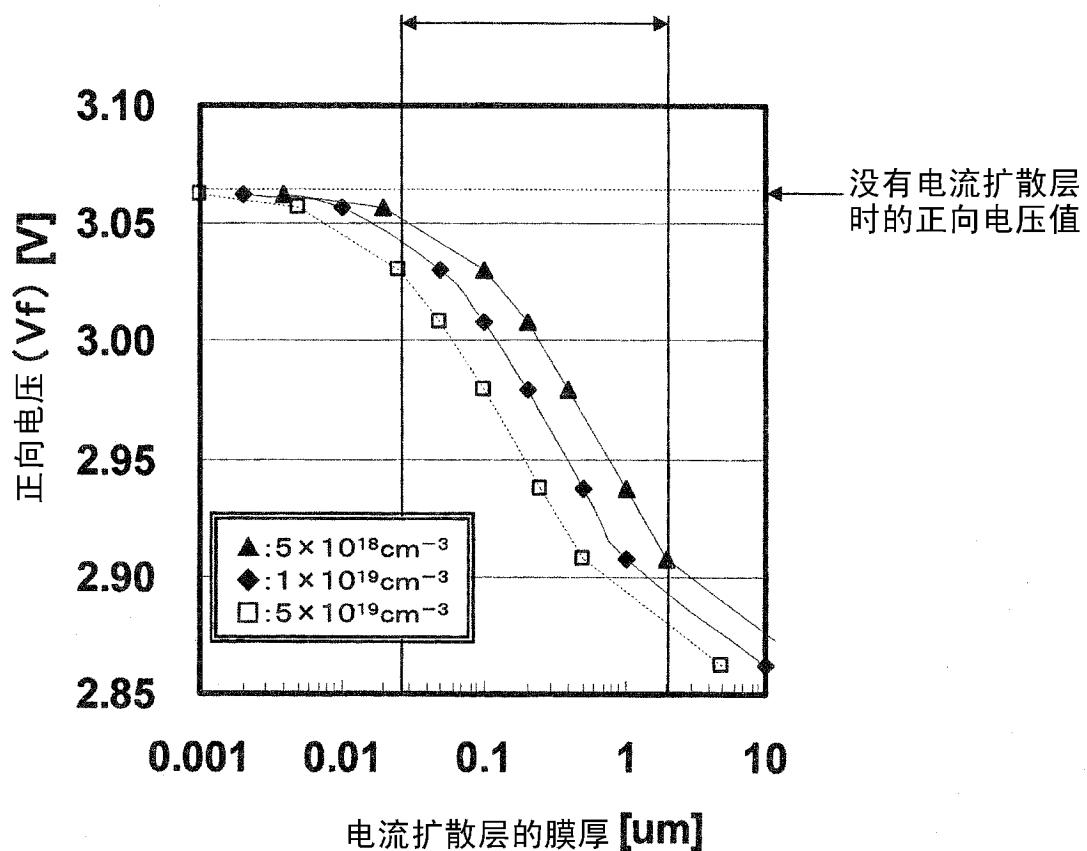


图 12

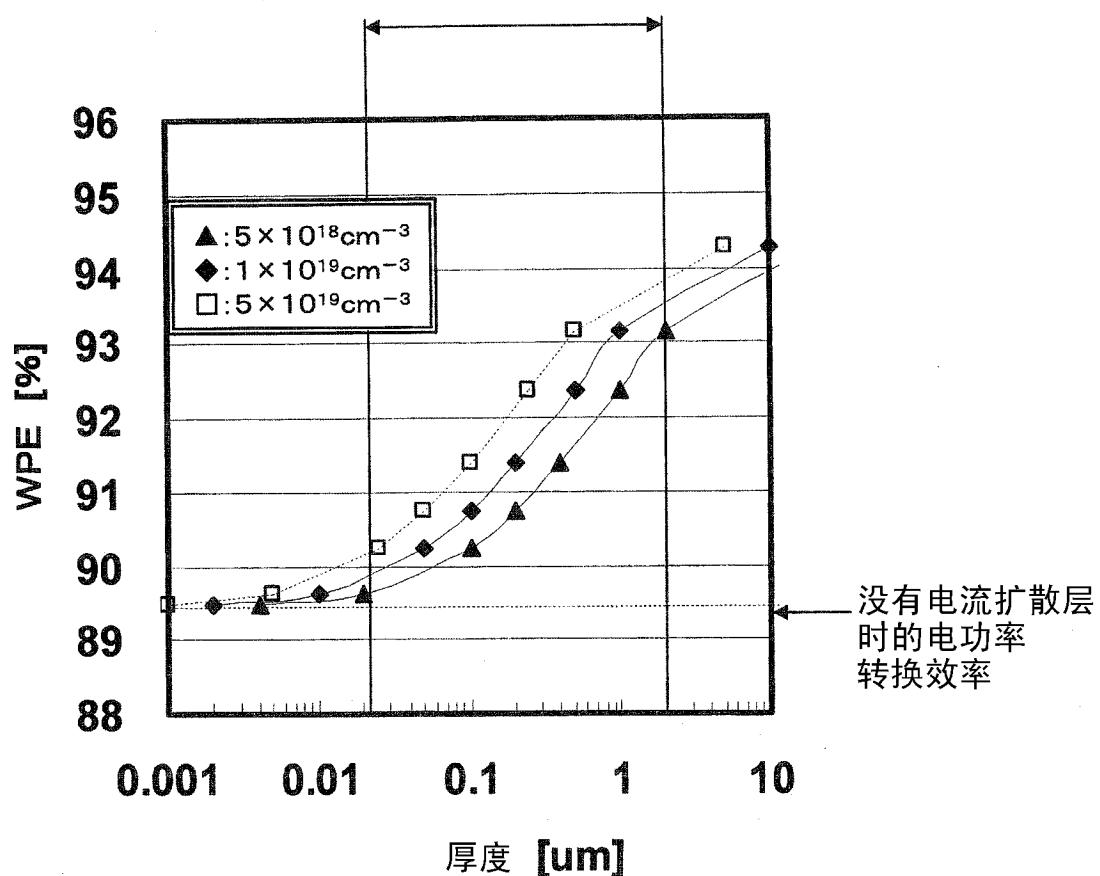


图 13

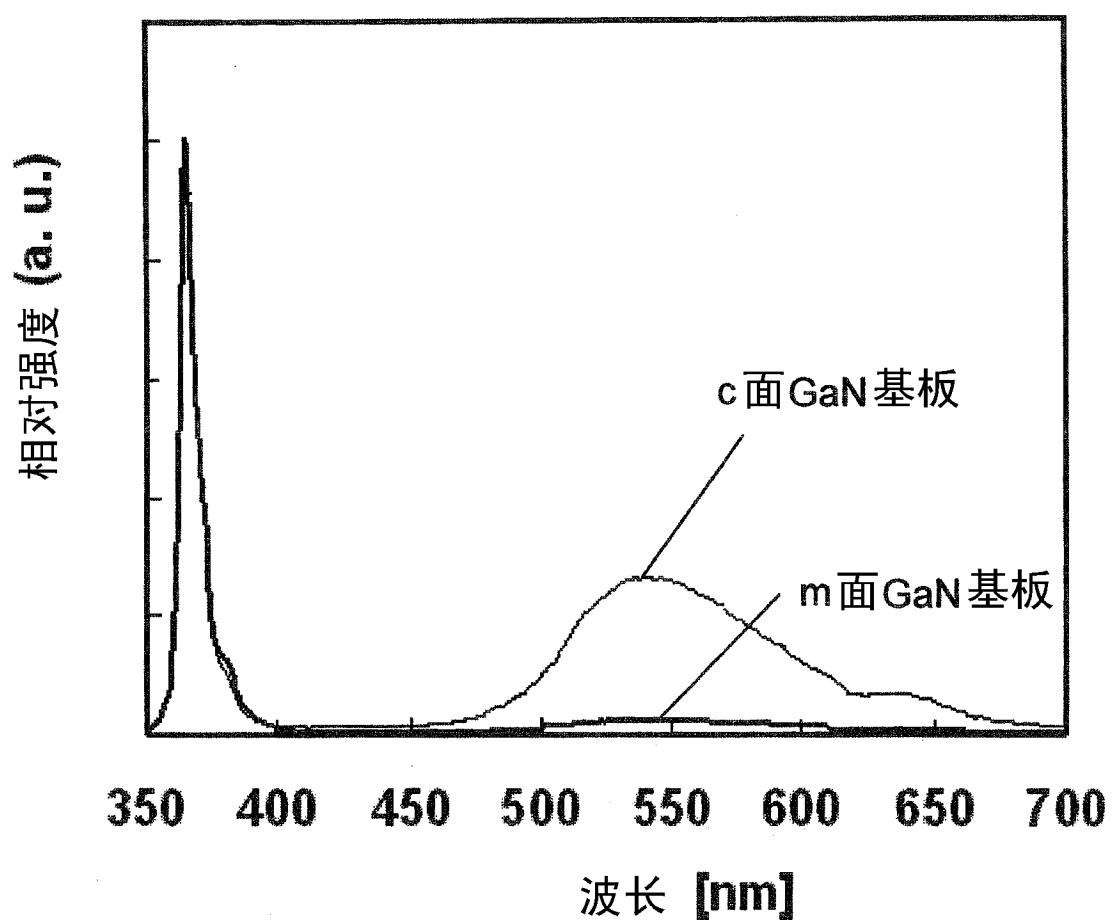


图 14

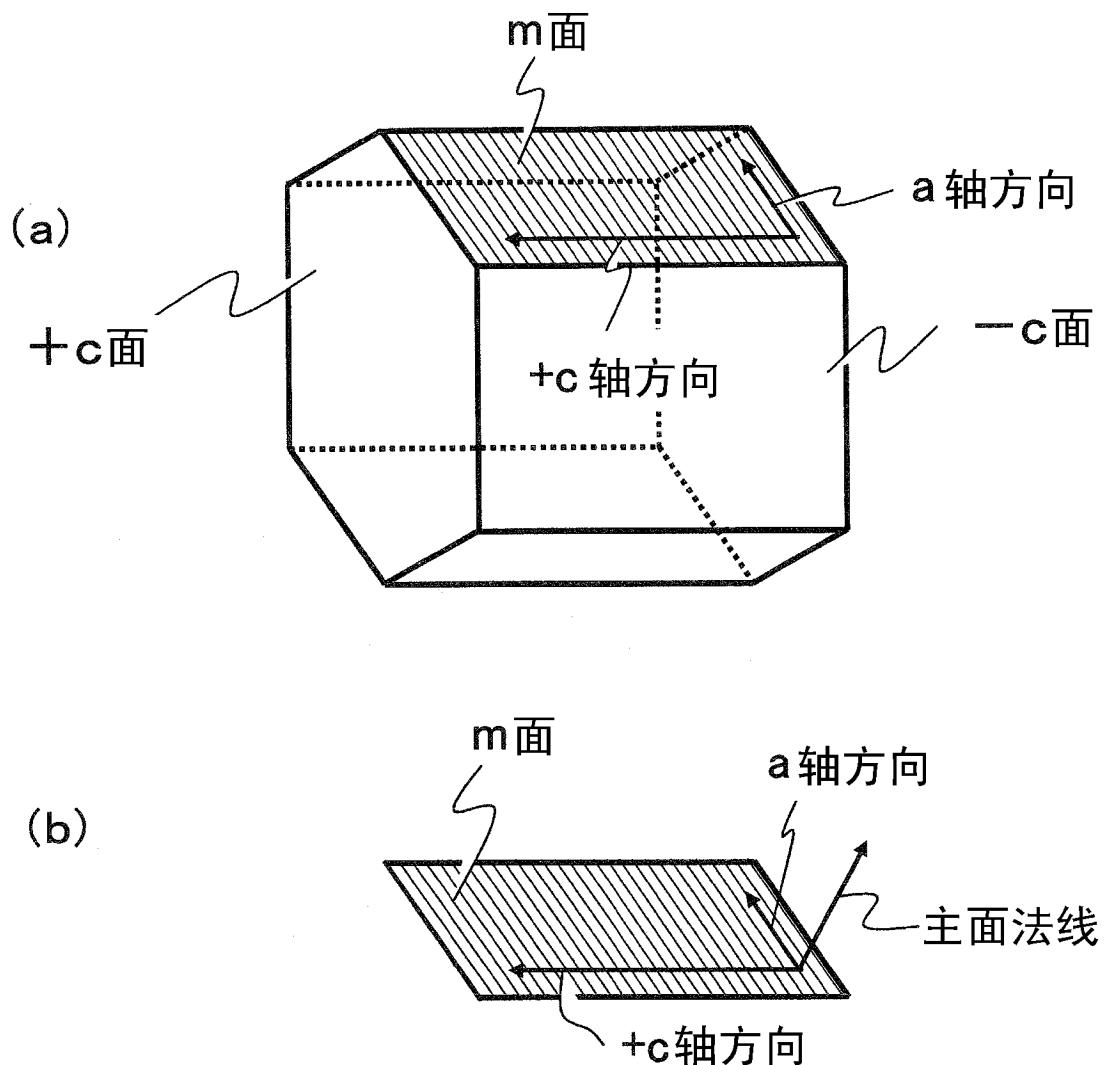
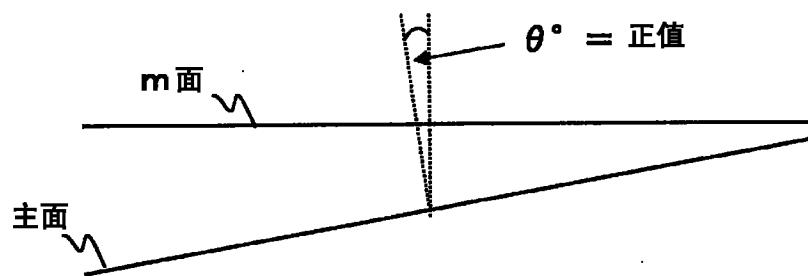


图 15

+c 面 ← +c 轴方向
[0001] -c 面

(a)



(b)

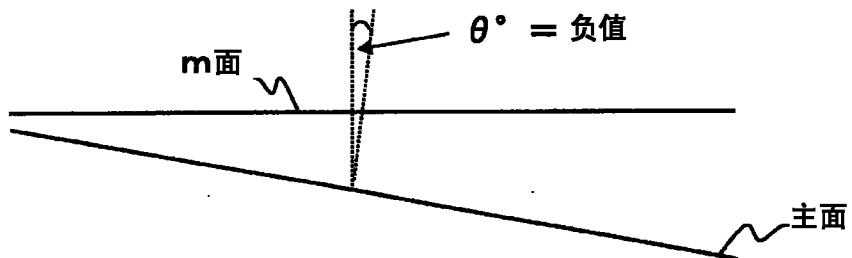


图 16

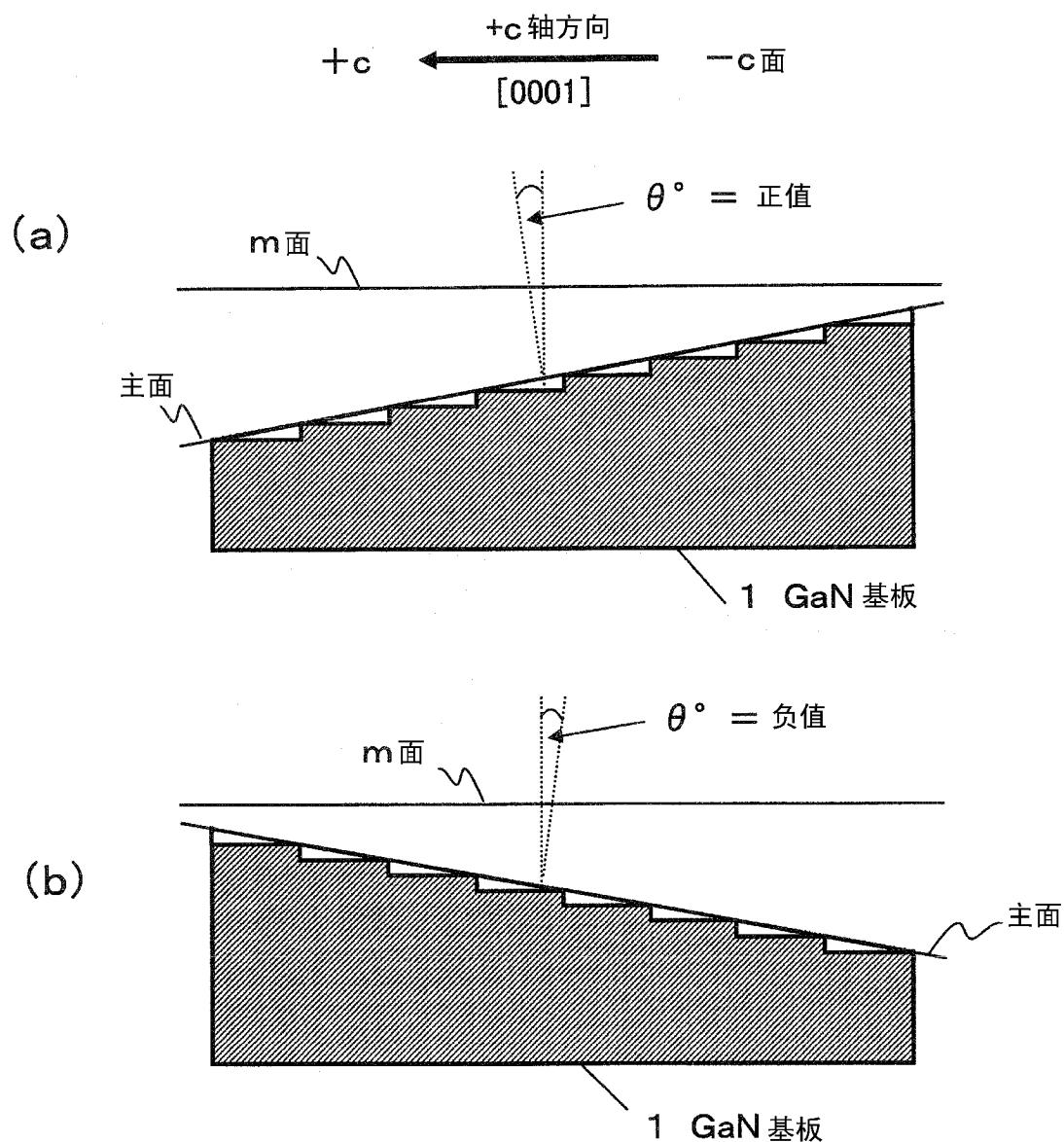


图 17

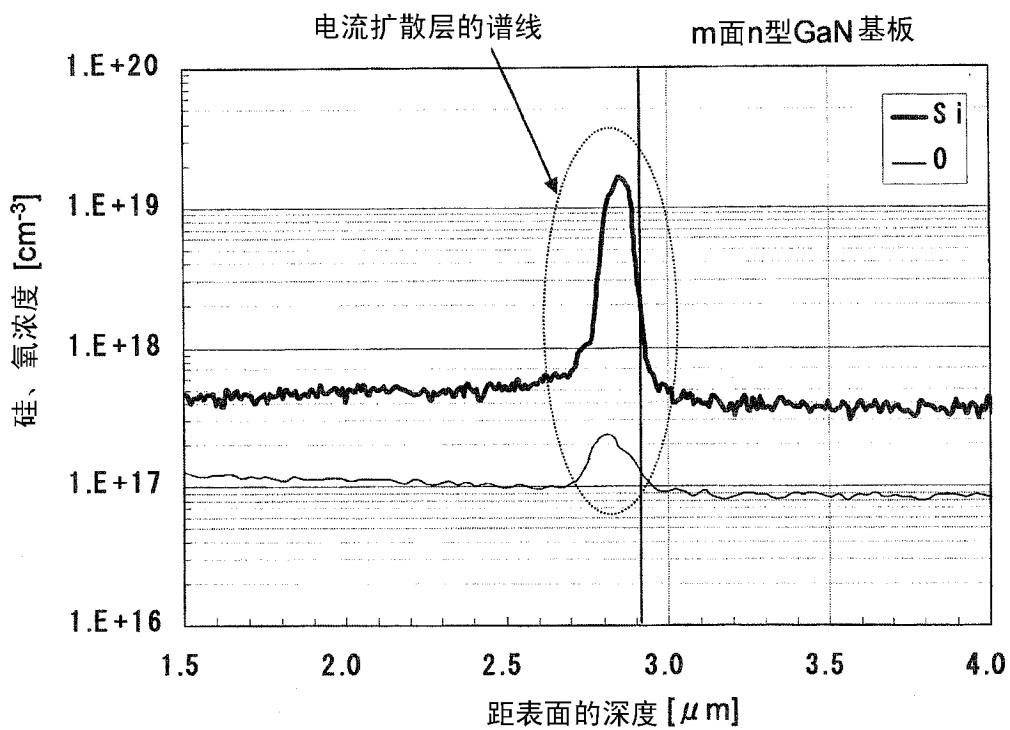


图 18

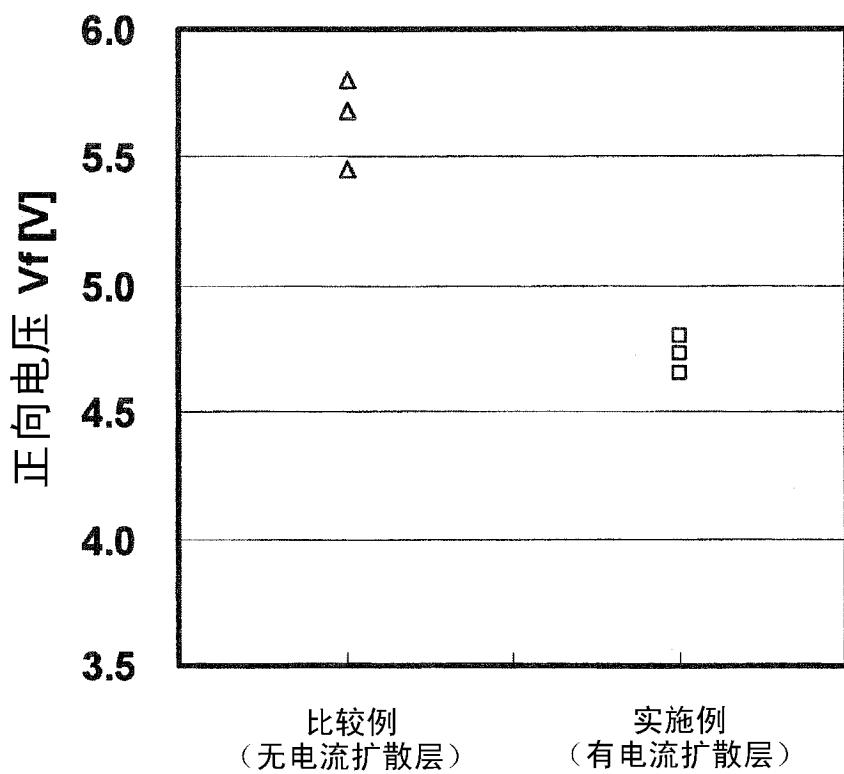


图 19

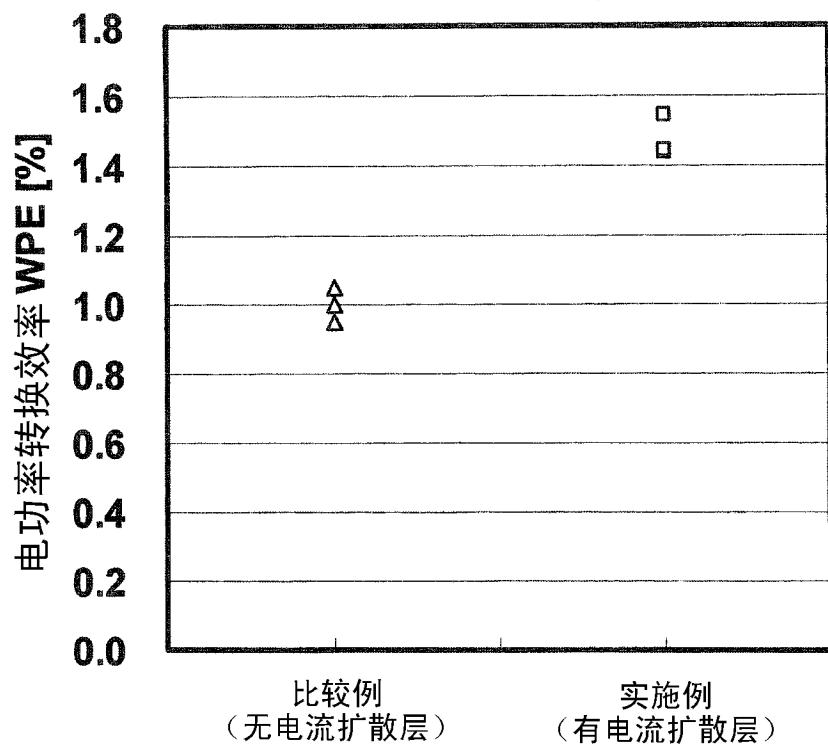


图 20