

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101515700 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 06

(21) 申请号 200910007584. 4

(22) 申请日 2009. 02. 23

(30) 优先权数据

2008-041745 2008. 02. 22 JP

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府大阪市

(72) 发明人 秋田胜史 笠井仁 京野孝史

元木健作

(74) 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限

责任公司 11219

代理人 孙志湧 穆德骏

(51) Int. Cl.

H01S 5/00 (2006. 01)

H01S 5/343 (2006. 01)

H01L 33/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 7186302 B2, 2007. 03. 06, 全文.

US 6835963 B2, 2004. 12. 28, 全文.

US 6670647 B1, 2003. 12. 30, 说明书第 5 栏第 39 行至第 6 栏第 20 行.

TW 200703464, 2007. 01. 16, 说明书第 8 页最后一段至第 21 页第 2 段、附图 1-13.

JP 2007-134507 A, 2007. 05. 31, 全文.

审查员 赵致民

权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 8 页

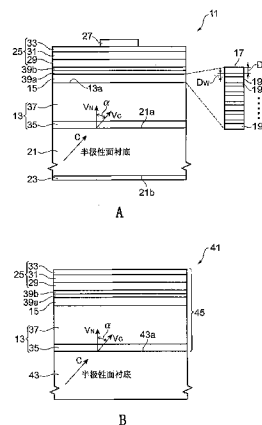
(54) 发明名称

III 族氮化物发光器件及制造 III 族氮化物基半导体发光器件的方法

(57) 摘要

本发明提供 III 族氮化物发光器件及制造 III 族氮化物基半导体发光器件的方法。在氮化镓基半导体区域的基面上生长具有量子阱结构的有源层。该量子阱结构以具有 410nm 以上的发射峰值波长的方式形成。阱层的厚度为 4nm 以上 10nm 以下。该阱层由 $In_xGa_{1-x}N$ ($0.15 \leq x < 1$, 其中 x 为应变组分) 组成。所述氮化镓基半导体区域的基面关于六方晶系 III 族氮化物的 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜。该范围中的基面是半极性面。

CN 101515700 B



1. 一种 III 族氮化物发光器件,包括:
III 族氮化物衬底;
在所述 III 族氮化物衬底上生长的氮化镓基半导体区域;以及
生长在所述氮化镓基半导体区域的基面上的发射峰值波长为 410nm 以上的有源层,
其中,所述有源层包括以交替的方式布置阱层和势垒层的量子阱结构,
所述阱层的厚度为 4nm 以上 10nm 以下,
所述阱层由 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 组成,其中 $0.15 \leq X < 1$, X 是应变组分,
所述势垒层由 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 组成,其中 $0 \leq Y \leq 0.05$, $Y < X$, Y 是应变组分,以及,
所述基面是相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜的半极性面,

其中,所述 III 族氮化物发光器件进一步包括:
在所述有源层上生长的 p 型氮化镓基半导体区域;以及
设置在所述 p 型氮化镓基半导体区域上的第二电极,
其中,
在所述 III 族氮化物衬底上生长的所述氮化镓基半导体区域具有 n 型导电性,
所述 III 族氮化物衬底的基面相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜,

从所述 III 族氮化物衬底开始,所述氮化镓基半导体区域、所述有源层以及所述 p 型氮化镓基半导体区域在所述 III 族氮化物衬底的基面上依序形成,以及,

所述 III 族氮化物衬底由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 组成,其中 $0 \leq S \leq 1$, $0 \leq T \leq 1$, 并且 $0 \leq S+T \leq 1$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件,其中,
所述基面相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的角度倾斜。
3. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件,其中,
所述基面相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的角度倾斜,
以及,

所述阱层的铟组分 X 小于 0.4,其中 $0.15 \leq X < 0.4$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件,其中,
所述有源层的量子阱结构生长在所述基面上且具有 550nm 以下的发射峰值波长。
5. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件,进一步包括设置在所述 III 族氮化物衬底的背面上的第一电极,其中,

所述 III 族氮化物衬底具有 n 型导电性。

6. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件,其中,
所述 III 族氮化物衬底的基面相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜,

在所述 III 族氮化物衬底的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 a 轴方向上指定所述倾斜角,以及,

所述倾斜角相对于 m 轴的偏角在 -1 度以上 +1 度以下的范围内。

7. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件,其中,
所述 III 族氮化物衬底进一步包括与 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 m 轴方向交叉的第一小平面和第

二小平面，

所述 III 族氮化物发光器件包括激光二极管，以及，
所述第一小平面和所述第二小平面对应解理面。

8. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件，其中，

所述 III 族氮化物衬底的基面相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜，

在所述 III 族氮化物衬底的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 m 轴方向上指定所述倾斜角，以及，
所述倾斜角相对于 a 轴的偏角在 -1 度以上 +1 度以下的范围内。

9. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件，进一步包括在所述有源层与所述 III 族氮化物衬底之间的 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层，其中 $0 < z < 0.1$ ，z 是应变组分。

10. 根据权利要求 1 所述的 III 族氮化物发光器件，其中，

所述 III 族氮化物衬底中的穿透位错沿着 c 轴延伸，

所述 III 族氮化物衬底包括第一区域和第二区域，所述第一区域具有高于或等于预定穿透位错密度的穿透位错密度，所述第二区域具有低于所述预定穿透位错密度的穿透位错密度，以及，

所述 III 族氮化物衬底的所述第一区域和所述第二区域出现在所述基面中。

11. 根据权利要求 10 所述的 III 族氮化物发光器件，其中，

所述第二区域的穿透位错密度小于 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 。

12. 一种用于制造 III 族氮化物基半导体发光器件的方法，所述方法包括以下步骤：

制备 III 族氮化物晶片，所述 III 族氮化物晶片具有相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜的基面，

在所述 III 族氮化物晶片的基面上形成第一导电类型氮化镓基半导体区域；

形成具有量子阱结构的并在所述第一导电类型氮化镓基半导体区域的基面上生长的有源层以使得具有 410nm 以上的发射峰值波长；以及，

在所述有源层上形成第二导电类型氮化镓基半导体区域，其中，

所述 III 族氮化物晶片由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 组成，其中 $0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1$ ，并且 $0 \leq s+t \leq 1$ ，

所述有源层的形成包括以下步骤：

以第一温度生长由 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 组成的第一半导体层，其中 $0.15 \leq x < 0.4$ ，x 是应变组分，以及

以第二温度生长由 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 组成的第二半导体层，其中 $0 \leq y \leq 0.05$ ， $y < x$ ，y 是应变组分，并且

所述第一温度低于所述第二温度，并且所述第一温度与所述第二温度之间的差为 95 摄氏度以上。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，其中，

通过切割在相对于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜的轴的方向上生长的六方晶系 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的晶体来形成所述 III 族氮化物晶片，其中 $0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1$ ，并且 $0 \leq s+t \leq 1$ ，以及

所述 III 族氮化物晶片的所述基面被实施抛光处理，并且沿着相对于 {0001} 面或

{000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜的基准面延伸。

14. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中,

所述 III 族氮化物晶片中的穿透位错沿着 c 轴延伸,

所述 III 族氮化物晶片包括第一区域和第二区域, 所述第一区域具有高于或等于预定穿透位错密度的穿透位错密度, 所述第二区域具有低于所述预定穿透位错密度的穿透位错密度, 并且所述 III 族氮化物晶片的所述第一区域和所述第二区域出现在所述基面处。

15. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中,

所述第二区域的穿透位错密度小于 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 。

16. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中,

在所述 III 族氮化物晶片的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 a 轴方向上指定所述倾斜角, 以及, 所述倾斜角相对于 m 轴的偏角在 -1 度以上 +1 度以下的范围内。

17. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中,

在所述 III 族氮化物晶片的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 m 轴方向上指定所述倾斜角, 以及所述倾斜角相对于 a 轴的偏角在 -1 度以上 +1 度以下的范围内。

18. 根据权利要求 12 所述的方法, 其中,

所述 III 族氮化物晶片在其边缘上的两个点之间具有 45mm 以上的最大距离值。

19. 根据权利要求 12 所述的方法, 进一步包括以下步骤:

在形成所述第一导电类型氮化镓基半导体区域之前, 在供应包含氮和氢的气体的同时对所述 III 族氮化物晶片的基面进行热处理。

III 族氮化物发光器件及制造 III 族氮化物基半导体发光器件的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 III 族氮化物发光器件和一种用于制造 III 族氮化物基半导体发光器件的方法。

背景技术

[0002] 日本 Journal of Applied Physics 2006 年第 45 卷 No. 26 第 L659-L662 页 (非专利文献 1) 描述了 InGaN 发光二极管。这些发光二极管在半极性 (11-22) 面 (在 a 轴方向上离开 c 面 58 度) GaN 衬底上形成。发光二极管具有由宽度为 3nm 的 InGaN 阱层组成的单量子阱结构。获得以下特性。关于蓝光发射 (波长 430nm), 光输出为 1.76mW, 且外量子效率为 3.0%。关于绿光发射 (波长 530nm), 光输出为 1.91mW, 且外量子效率为 4.1%。关于琥珀光发射 (波长 580nm), 光输出为 0.54mW, 且外量子效率为 1.3%。已确定, 发射光在 [1-100] 方向偏振。

[0003] 日本 Journal of Applied Physics 2007 年第 46 卷 No. 19 第 L444-L445 页 (非专利文献 2) 描述了一种激光二极管。该激光二极管在具有位错密度为 $5 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 以下的半极性 (10-1-1) 面 (在 m 轴方向离开 {000-1} 面 62 度) GaN 衬底上形成。该激光二极管具有有源层 (active layer), 该有源层具有由 5-nm InGaN 阱层和 8-nm GaN 势垒层组成的 5 周期多量子阱结构。发射波长为 405.9nm, 并在 18kA/cm^2 的阈值电流密度确定激射 (lasing)。

[0004] 日本 Journal of Applied Physics 2005 年第 44 卷 No. 30 第 L945-L947 页 (非专利文献 3) 描述了一种具有 5 周期多量子阱结构的发光二极管。这些发光二极管在半极性 (10-1-1) 面 GaN 模板和半极性 (10-1-3) 面 GaN 模板上形成。半极性 (10-1-1) 面在 m 轴方向以 62 度的角度从 {000-1} 面倾斜, 且半极性 (10-1-3) 面在 m 轴方向以 32 度的角度从 {000-1} 面倾斜。在 5 周期多量子阱结构中, InGaN 阱层的厚度为 4nm, 且铟的组分 (composition) 为 0.14。硅掺杂 GaN 势垒层的厚度为 15nm。半极性 (10-1-1) 面 GaN 模板上的发光二极管的发射波长为 439nm。在 20mA 的电流下, 晶片上光输出为 0.19mW, 且在 50mA 的电流下, 外量子效率为 0.41%。

[0005] Applied Physics Letter 2005 年第 87 卷第 231110 页 (非专利文献 4) 描述了一种具有 5 周期多量子阱结构的发光二极管。该发光二极管在半极性 (10-1-3) 面 GaN 模板上形成。该激光二极管包括厚度为 4nm 的 InGaN 阱层和厚度为 8nm 的 GaN 势垒层。在 20mA 的电流下发射波长为 527.1nm, 且在 250mA 的电流下为 520.4nm。在 20mA 的电流下, 晶片上光输出为 0.264mW, 且在 20mA 的电流下, 外量子效率是 0.052%。

[0006] 日本未审查专利申请公开 No. 10-135576 (专利文献 1) 描述了一种用于制造发光半导体器件的方法, 该发光半导体器件包括在非导电衬底上形成的 III 族氮化物量子阱层。该 III 族氮化物量子阱层以具有关于纤锌矿晶体结构的 {0001} 方向以 10 度以上的角度倾斜的小平面取向的方式生长。该倾斜角可以在 30 度 ~ 50 度的范围内、80 度 ~ 100 度的范围内、以及 130 度 ~ 150 度的范围内。

[0007] 日本未审查专利申请公开 No. 2003-158297(专利文献 2) 描述了一种在衬底上形成的半导体发光器件。该半导体发光器件在 {1-100} 面和以 -5 度~ +5 度范围内的偏角 (off-angle) 从该面倾斜的面上或 {11-20} 面和以 -5 度~ +5 度范围内的偏角从该面倾斜的面上形成。

[0008] 在非专利文献 3 和 4 中,使用 GaN 模板。在非专利文献 1 和 2 及日本 Applied Physics 2007 年第 46 卷 No. 7 第 L129-L131 页(非专利文献 5) 中,使用 GaN 衬底。在除了专利文献 3 之外的非专利文献中,未对阱层的镓组分作出描述。关于专利文献 1,使用在 a 轴方向倾斜的面,关于非专利文献 2~5,使用在 m 轴方向倾斜的面。非专利文献 1、2 和 5 中描述的发光器件包括小型 GaN 衬底,因此未涉及大直径 GaN 晶片的使用。

[0009] 在专利文献 1 中,仅关注压电极化的效果,而未关注压电极化的降低与期望波长和光发射特性之间的关系。在专利文献 2 中,未实现期望的发射波长。

[0010] 由于半极性面的压电极化小于 (0001) 面的压电极化,所以无法预期由于阱层的能带弯曲而引起的波长增加。因此,关于如非专利文献 1 和 5 中所述包括薄阱层的发光器件,需要增加镓组分以便形成具有例如 410nm 以上的长发射波长的发光器件。然而,具有高镓组分的阱层的晶体质量下降。结果,发射特性退化。在阱层的镓组分相对较高的情况下,阱层中包括的应变随着阱层厚度的增加而增加。因此,阱层的厚度与镓组分之间的关系对具有量子阱结构的有源层的发射特性有重要影响。

发明内容

[0011] 本发明的目的是提供一种包括有源层的 III 族氮化物发光器件,所述有源层具有 410nm 以上的发射峰值波长,在半极性面上生长,并具有量子阱结构。本发明的另一目的是提供一种用于制造上述 III 族氮化物基半导体发光器件的方法。

[0012] 根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件包括 (a) 具有基面的 III 族氮化物衬底, (b) 在上述 III 族氮化物衬底的上述基面上生长的氮化镓基半导体区域,以及 (c) 以具有 410nm 以上的发射峰值波长的方式在上述氮化镓基半导体区域的基面上生长的有源层。上述有源层包括阱层和垒层,并且它们交替地布置以便形成量子阱结构。上述阱层的厚度为 4nm 以上 10nm 以下。上述阱层由 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x < 1$, 其中 x 是应变组分 (strained composition)) 组成且上述垒层由 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05$, $y < x$, 其中 y 是应变组分) 组成。上述氮化镓基半导体区域的基面是关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜的半极性面。

[0013] 如果上述倾斜角小于 15 度,则未获得半极性面的效果,因此压电场不减小。因此,未获得提高量子效率的效果,且随着电流注入波长的蓝移变得显著。如果倾斜角超过 85 度,则 InGaN 阱层的生长变得困难。

[0014] 由于压电场相对于半极性面受到抑制,所以无法预期由于量子阱有源层的能带弯曲而引起的波长增加。因此,厚度小于 4nm 的阱层的镓组分变得非常高以便获得 410nm 以上的发射波长。结果,InGaN 阱层的晶体质量下降,且发射特性劣化。如果 InGaN 阱层的厚度超过 10nm,则晶体质量下降且发射特性劣化。在阱层的厚度被指定为在 4nm 以上 10nm 以下的范围内的情况下,可以将阱层的镓组分控制在 0.15 以上 0.4 以下的范围内。

[0015] 以上述倾斜角倾斜的半极性面上形成的有源层的阱层的膜厚度为 4nm 以上 10nm

以下,因此大于 c 面上形成的有源层的阱层的厚度。在这种情况下,压电场减小。由此,随着电流增大而产生的波长的显著蓝移和量子效率的下降减小。

[0016] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件中,优选地,上述氮化镓基半导体区域的基面关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的角度倾斜。

[0017] 在上述倾斜角为 45 度以下的情况下,容易地形成大直径的 III 族氮化物晶片。此外,在基面以上述范围内的倾斜角倾斜的情况下,相对容易地生长 InGaN 阱层。

[0018] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件中,优选地,上述氮化镓基半导体区域的基面关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的角度倾斜,且上述阱层的铟组分 X 小于 0.4。

[0019] 根据本实施例,在基面以该范围内的倾斜角倾斜的情况下,相对容易地生长 InGaN 阱层。此外,如果铟组分超过 0.4,则 InGaN 阱层的晶体质量下降,且发射特性劣化。

[0020] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件中,优选地,包括上述量子阱结构的上述有源层以具有 550nm 以下的发射峰值波长的方式在上述基面上生长。

[0021] 关于以 410nm 以上 550nm 以下的波长发光的氮化物基半导体发光器件,通常,应变被施加到 InGaN 阱层并感生压电场从而引起量子效率的下降和发射波长的蓝移的增加。根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件,在发射波长的上述范围,能够改善 InGaN 晶体质量,能够降低发射特性的劣化,另外,可以降低显著的蓝移。

[0022] 根据本发明另一实施例的 III 族氮化物发光器件还可以包括在上述有源层上生长的 p 型氮化镓基半导体区域和设置在上述 p 型氮化镓基半导体区域上的第二电极。在上述 III 族氮化物衬底的上述基面上生长的上述氮化镓基半导体区域具有 n 导电性。上述 III 族氮化物衬底的基面关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的角度倾斜。上述氮化镓基半导体区域、上述有源层、以及上述 p 型氮化镓基半导体区域按照从上述衬底开始的顺序位于上述 III 族氮化物衬底的上述基面上。上述 III 族氮化物衬底由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1, \text{且 } 0 \leq s+t \leq 1$) 组成。

[0023] 根据该 III 族氮化物发光器件,能够在不使用模板的情况下在具有倾斜基面的 III 族氮化物衬底上形成发光器件。

[0024] 根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件还可以包括设置在上述 III 族氮化物衬底的背面上的第一电极。优选地,上述 III 族氮化物衬底具有 n 导电性。

[0025] 根据该 III 族氮化物发光器件,由于 III 族氮化物衬底具有导电性,所以可以在衬底的背面上形成电极。因此,不必要在 III 族氮化物衬底的基面上生长的外延层上形成 p 型和 n 型电极,并可以简化 III 族氮化物发光器件的结构。

[0026] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件中,在上述 III 族氮化物衬底的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 a 轴方向中可以指定上述倾斜角,且上述倾斜角的偏角可以在关于 m 轴 -1 度以上 +1 度以下的范围内。

[0027] 根据该 III 族氮化物发光器件,由于由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 组成的 III 族氮化物衬底的基面在 a 轴方向上从 {0001} 面倾斜,所以与在 m 轴方向上倾斜的情况相比,增加铟原子到 InGaN 阱层中的引入。因此,能够在较高的生长温度下生长 InGaN 阱层。结果,可以改善发射特性。

[0028] 根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件还可以包括与上述 III 族氮化物衬底

的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 m 轴方向交叉的第一和第二小平面。上述 III 族氮化物发光器件包括激光二极管,且上述第一和第二小平面包括解理面。

[0029] 根据该 III 族氮化物发光器件,通过由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 组成的衬底的解理而形成用于激光二极管的谐振面。该谐振面是 m 面。

[0030] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件中,可以在上述 III 族氮化物衬底的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 m 轴方向中指定上述倾斜角。且上述倾斜角的偏角可以在关于 a 轴 -1 度以上 $+1$ 度以下的范围内。

[0031] 根据该 III 族氮化物发光器件,其中倾斜角被指定的方向的控制和调整变得容易。

[0032] 优选地,根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件还包括上述有源层与上述 III 族氮化物衬底之间的 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 < z < 0.1$, 其中 z 是应变组分) 层。根据本实施例, $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层设置在具有量子阱结构的层与 III 族氮化物晶片之间,从而,即使组成量子阱结构的阱层数目减少,也能够获得良好的发射特性。也可以增加量子阱结构中的阱层的数目以便改善发射特性。然而,由于在半极性面上形成有源层的阱层的镉组分高于在 c 面上形成的有源层的镉组分,所以有源层中的应变增加且 InGaN 阱层的晶体质量下降。如果 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的镉组分变为 0.1 以上,则 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的应变增加, InGaN 阱层的晶体质量下降,且发射特性劣化。

[0033] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件中,优选地,上述 III 族氮化物衬底中的穿透位错沿着 c 轴延伸,上述 III 族氮化物衬底包括具有高于或等于预定穿透位错密度的穿透位错密度的第一区域和具有低于上述预定穿透位错密度的穿透位错密度的第二区域,且 III 族氮化物衬底的上述第一和第二区域出现在上述基面中。

[0034] 根据该 III 族氮化物发光器件,可以通过在是衬底的低位错区域的第二区域中形成氮化物基半导体发光器件来改善发光器件的量子效率和可靠性。

[0035] 在根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件,上述第二区域的穿透位错密度小于 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 。根据 III 族氮化物发光器件的穿透位错密度,获得在实践中表现出充分可靠性的激光二极管。

[0036] 本发明的另一实施例涉及一种用于制造氮化物基半导体发光器件的方法。该方法包括以下步骤:(a) 制备 III 族氮化物晶片,其具有关于 $\{0001\}$ 面或 $\{000\bar{1}\}$ 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜的基面,(b) 在上述 III 族氮化物晶片的上述基面上形成第一导电类型氮化镓基半导体区域,(c) 以具有 410nm 以上的发射峰值波长的方式在所述第一导电类型氮化镓基半导体区域的基面上形成具有量子阱结构的有源层,以及 (d) 在上述有源层上形成第二导电类型氮化镓基半导体区域。上述 III 族氮化物晶片由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1, \text{且 } 0 \leq s+t \leq 1$) 组成,且上述有源层的上述形成包括以下步骤:在第一温度下生长由 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x < 1$, 其中 x 是应变组分) 组成的第一半导体层,和在第二温度下生长由 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0.05, y < x$, 其中 y 是应变组分) 组成的第二半导体层。上述第一温度低于上述第二温度,且上述第一温度与上述第二温度之间的差为 95 摄氏度以上。

[0037] 关于该方法,在半极性面上形成氮化物基半导体发光器件时,以差变为 95 摄氏度以上的方式使 InGaN 阱层的生长温度低于势垒层的生长温度,从而,能够增加镉原子到阱

层中的引入。因此,可以容易地形成具有 410nm 以上的发射峰值波长的有源层。此外,以差变为 95 摄氏度以上的方式使垒层的生长温度高于阱层的生长温度,从而,可以改善势垒层的晶体质量。由此,可以改善发光器件的量子效率。因此,可以改善整个量子阱结构的晶体质量。

[0038] 在根据本发明实施例的方法中,可以通过切割在关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜的轴的方向上生长的六方晶系 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1, \text{且 } 0 \leq s+t \leq 1$) 的晶体来形成上述 III 族氮化物晶片,且上述 III 族氮化物晶片的上述基面可以经受抛光处理并可以沿着关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜的基准面延伸。根据该方法,容易地形成具有以所述倾斜角倾斜的基面的 III 族氮化物晶片。

[0039] 在根据本发明实施例的方法中,优选地,上述 III 族氮化物晶体中的穿透位错沿着 c 轴延伸,上述 III 族氮化物晶片包括具有高于或等于预定穿透位错密度的穿透位错密度的第一区域和具有低于上述预定穿透位错密度的穿透位错密度的第二区域,且上述 III 族氮化物晶片的上述第一和第二区域出现在上述基面处。根据该方法,能够通过是在衬底的低位错区域的第二区域中形成氮化物基半导体发光器件来改善发光器件的量子效率和可靠性。

[0040] 在根据本发明实施例的方法中,上述第二区域的上述穿透位错密度可以小于 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 。根据该穿透位错密度,获得在实践中表现出充分可靠性的发光器件,例如激光二极管和发光二极管。

[0041] 在根据本发明实施例的方法中,优选地,在上述衬底的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 a 轴方向中指定上述倾斜角,且上述倾斜角的偏角在关于 m 轴 -1 度以上 +1 度以下的范围内。根据该方法,能够通过解理由 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 组成的衬底的步骤来形成用于激光二极管的谐振面。该谐振面是 m 面。

[0042] 在根据本发明实施例的方法中,在上述衬底的 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ 的 m 轴方向中可以指定上述倾斜角,且上述倾斜角的偏角可以是在关于 a 轴 -1 度以上 +1 度以下的范围内。根据该方法,指定了倾斜角的方向的控制变得容易。

[0043] 在根据本发明实施例的方法中,上述 III 族氮化物晶片的边缘上的 2 个点之间的距离最大值可以是 45mm 以上。根据该方法,能够在具有半极性面的大直径晶片上形成发光器件。

[0044] 根据本发明实施例的方法还可以包括这样的步骤:在上述第一导电类型氮化镓基半导体区域的形成之前,在供应包含氮和氢的气体的同时对上述 III 族氮化物晶片的上述基面进行热处理。

[0045] 根据该方法,能够通过是在形成之前在包含氮和氢的混合气体中对 III 族氮化物晶片进行热处理来获得平坦的半极性面。因此,能够获得具有更好发射特性的半导体发光器件。

[0046] 稍后将参照附图来详细地描述本发明的上述目的、特征、以及优点。

[0047] 根据本发明的氮化物基半导体发光器件在半极性面上形成并包括具有量子阱结构的有源层。能够通过该有源层提供 410nm 以上的发射峰值波长。此外,根据本发明,提供一种用于制造该氮化物基半导体发光器件的方法。

附图说明

- [0048] 图 1A 是示意地示出了根据实施例的 III 族氮化物发光器件的结构示例的图示。
- [0049] 图 1B 是示意地示出了根据实施例的 III 族氮化物发光器件的结构示例的图示。
- [0050] 图 2 是示出了包括衬底的外延晶片的图示, 该衬底具有在被示为示例的倾斜方向上倾斜的基面和外延膜。
- [0051] 图 3 是示出了根据实施例的 III 族氮化物发光器件的结构另一示例的图示。
- [0052] 图 4 是示出了用于形成发光器件的主要步骤的图示。
- [0053] 图 5A 是示出了实施例中发射波长与 LED 的电流之间的关系关系的图示。
- [0054] 图 5B 是示出了实施例中发射光谱的半峰全宽与电流之间的关系关系的图示。
- [0055] 图 6 是示出了用于形成激光二极管器件的主要步骤的图示。
- [0056] 图 7 是示出了激光二极管器件的外延晶片的图示。
- [0057] 图 8 是示出了晶片基面的倾斜角与峰值发射波长之间的关系关系的图示。

具体实施方式

[0058] 下面将参照附图来描述 III 族氮化物发光器件和用于制造本发明的氮化物基半导体发光器件的方法。在附图中, 在允许的情况下, 相同的元件由相同的附图标记来表示。

[0059] 图 1 是示意地示出了根据实施例的 III 族氮化物发光器件的示例的图示。III 族氮化物发光器件的示例包括激光二极管和发光二极管 (LED)。

[0060] 如图 1A 中所示, III 族氮化物发光器件 11 包括氮化镓基半导体区域 13 和有源层 15。有源层 15 在氮化镓基半导体区域 13 的基面 13a 上生长。有源层 15 具有例如量子阱结构 17, 且量子阱结构 17 包括交替地布置的阱层 19a 和垒层 19b。量子阱结构 17 以提供 410nm 以上的发射峰值波长的方式形成。阱层 19a 的厚度 D_w 为 4nm 以上。此外, 阱层 19a 的厚度 D_w 为 10nm 以下。阱层 19a 由 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0.15 \leq x$, 其中 x 是应变组分) 组成。氮化镓基半导体区域 13 的基面 13a 关于六方晶系 III 族氮化物的 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上的倾斜角倾斜。此外, 氮化镓基半导体区域 13 的基面 13a 关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 85 度以下的倾斜角 α 倾斜。基面 13a 是具有上述范围内的角度的半极性面。此外, 有源层 15 的基面是半极性面。阱层 19a 和垒层 19b 的基面也是半极性面。整个基面 13a 是半极性面。图 1A 进一步示出了沿着 c 轴延伸的矢量 (V_c), 和基面的法向矢量 (V_n)。氮化镓基半导体区域 13 的基面 13a 平行于 III 族氮化物衬底 21 的基面 21a。

[0061] 这里, 所述基面指的是基本垂直于半导体层的生长方向的面。

[0062] 关于该 III 族氮化物发光器件 11, 如果倾斜角小于 15 度, 则未获得半极性面的效果, 从而未减小压电场。因此, 未获得提高量子效率的效果, 且随着电流注入的波长蓝移变得显著。如果倾斜角超过 85 度, 则 InGaN 阱层 19a 的生长变得困难。

[0063] 由于压电场相对于半极性面受到抑制, 所以无法预期由于具有量子阱结构的有源层的能带弯曲而引起的波长增加。关于具有小于 4nm 的厚度的阱层, 阱层中的镓组分变得非常高以便获得 410nm 的发射波长。结果, InGaN 阱层的晶体质量下降, 且发射特性劣化。如果 InGaN 阱层的厚度超过 10nm, 则晶体质量下降且发射特性劣化。在阱层的厚度被指定为在 4nm 以上 10nm 以下的范围内的情况下, 能够将阱层的镓组分控制在 0.15 以上 0.4 以

下的范围内。

[0064] 在以上述倾斜角倾斜的半极性面上形成的发光器件的阱层的膜厚度为 4nm 以上 10nm 以下。该膜厚度大于 c 面上形成的发光器件的阱层的厚度。因此,由于压电场的减小,使得随着电流的增大的波长的显著蓝移和量子效率的降低被减小。

[0065] 势垒层 19b 由 $\text{In}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0 \leq Y \leq 0.05$, $Y < X$, 其中 Y 是应变组分) 组成。垒层 19b 可以由 GaN 或 InGaN 组成。另一方面,阱层 19a 由 InGaN 组成。优选地,垒层 19b 的厚度 D_b 为 7nm 以上。这是因为具有该厚度的垒层能够很好地限制载流子。此外,优选地,垒层 19b 的厚度为 20nm 以下。这是因为具有该厚度的垒层能够防止驱动电压增大并防止随着厚度增加的有源层的晶体质量的下降。

[0066] 此外,优选地,阱层 19a 的厚度为 5nm 以上。这是因为能够使阱层的铟组分为 0.35 以下,另外,获得更好的晶体质量。

[0067] 优选地,氮化镓基半导体区域 13 的基面 13a 关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 45 度以下的范围内的角度倾斜。在倾斜角 α 为 45 度以下的情况下,容易地形成大直径的 III 族氮化物晶体。在基面的倾斜角在上述范围内的情况下,InGaN 阱层的晶体生长变得相对容易。此外,优选地,在该基面 13a 上生长的阱层 19a 的铟组分 X 为 0.4 以下。在基面的倾斜角在上述范围内的情况下,InGaN 阱层的晶体生长变得相对容易。如果铟组分超过 0.4,则 InGaN 阱层的晶体质量下降,且发射特性劣化。此外,有源层 15(量子阱结构 17) 可以以能够提供 550nm 以下的发射峰值波长的方式在基面 13a 上生长。

[0068] 关于以 410nm 以上 550nm 以下的波长发光的氮化物基半导体发光器件 11,总的来说,应变被施加到 InGaN 阱层并感生压电场从而引起量子效率的下降和发射波长的蓝移的增加。根据本发明实施例的 III 族氮化物发光器件 11,在发射波长的上述范围内,抑制 InGaN 的晶体质量的下降,能够抑制发射特性的劣化,另外,能够抑制显著蓝移的发生。

[0069] III 族氮化物衬底 21 的基面 21a 可以关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜。因此,能够在不使用模板的情况下在具有倾斜基面的 III 族氮化物衬底上形成发光器件。

[0070] 可以在 III 族氮化物衬底 21 的基面 21a 上生长氮化镓基半导体区域 13。III 族氮化物衬底 21 可以由 $\text{In}_S\text{Al}_T\text{Ga}_{1-S-T}\text{N}$ ($0 \leq S \leq 1$, $0 \leq T \leq 1$, 且 $0 \leq S+T \leq 1$) 组成。用于 III 族氮化物衬底 21 的材料可以由氮化镓基半导体、AlN 等组成。上述氮化镓基半导体可以是例如 GaN、AlGaIn、InGaIn 等。用于 III 族氮化物发光器件 11 的衬底不限于 III 族氮化物衬底 21 的 III 族氮化物,并可以由蓝宝石、氧化镓等组成。

[0071] 氮化镓基半导体区域 13 具有例如第一导电类型(例如 n 型导电性)。III 族氮化物发光器件 11 还可以包括氮化镓基半导体区域 25。该氮化镓基半导体区域 25 生长在有源层 15 之上。氮化镓基半导体区域 25 的表面是半极性面。氮化镓基半导体区域 25 具有例如第二导电类型(例如 p 型导电性)。在氮化镓基半导体区域 25 中生长第二电极 27。

[0072] 在一个示例中,III 族氮化物衬底 21 可以具有 n 型导电性。III 族氮化物衬底 21 的整个背面 21b 可以是半极性面,且可以在背面 21b 上设置电极 23。因此,不必要在 III 族氮化物衬底 21 的基面 21a 上生长的外延层上形成 p 型和 n 型两种电极。此外,能够简化 III 族氮化物发光器件 11 的结构。第一电极 23 是与例如衬底 21 的背面 21b 欧姆接触的阴极并覆盖衬底 21 的整个背面 21b。此外,第二电极 27 是与例如氮化镓基半导体区域 25 欧

姆接触的阳极。

[0073] 可以包括在 III 族氮化物衬底 21 的整个基面 21a 上生长的缓冲层 35。在一个示例中,优选的是缓冲层 35 由 AlGa_{1-x}N 组成。这是因为能够抑制 GaN 衬底上的外延层的异常生长。此外,氮化镓基半导体区域 13 可以包括向有源层 15 提供异质垒的 n 导电氮化镓基半导体层 37(例如 n 型覆层)。在一个示例中,优选地,氮化镓基半导体层 37 由例如 n 型 GaN 或 n 型 AlGa_{1-x}N 组成。

[0074] 氮化镓基半导体区域 25 可以包括用于阻挡来自有源层 15 的电子的电子阻挡层 29。电子阻挡层 29 可以由例如 AlGa_{1-x}N 组成。该 AlGa_{1-x}N 可以具有例如 p 型导电性。此外,氮化镓基半导体区域 25 可以包括向有源层 15 提供 p 型载流子的氮化镓基半导体层 31(例如 p 型覆层)。氮化镓基半导体层 31 可以由例如 p 型 GaN 或 p 型 AlGa_{1-x}N 组成。此外,氮化镓基半导体区域 25 可以包括 p 型接触层 33。p 型接触层 33 可以由例如 p 型 GaN 组成。在 III 族氮化物发光器件 11 是 LED 的情况下,氮化镓基半导体区域 25 由用于不吸收来自有源层 15 的光的带隙的材料组成。

[0075] 如果必要,III 族氮化物发光器件 11 可以包括有源层 15 与氮化镓基半导体区域 25 之间的第一和第二氮化镓基半导体层 39a 和 39b。第一氮化镓基半导体层 39a 设置在有源层 15 与氮化镓基半导体区域 25 之间。第一氮化镓基半导体层 39a 由例如未掺杂的 InGa_{1-x}N 组成并被设置用于引导光。第二氮化镓基半导体层 39b 由例如未掺杂的 GaN 组成并被设置为用于改善氮化镓基半导体区域 25 的晶体质量。

[0076] 图 1B 示出了根据实施例的外延晶片 41。外延晶片 41 包括对应于 III 族氮化物衬底 21 的 III 族氮化物晶片 43 和在 III 族氮化物晶片 43 的基面 43a 上生长的外延膜 45。其基面 43a 可以关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 85 度以下的范围内的倾斜角倾斜,或者优选地关于 {0001} 面或 {000-1} 面以 15 度以上 45 度以下的范围内的倾斜角倾斜。III 族氮化物晶片 43 可以优选地具有其边缘上的 2 个点之间的最大值 45mm 以上的距离,例如,可以使用尺寸为 2 英寸的晶片。外延膜 45 可以包括对应于用于 III 族氮化物发光器件 11 的外延生长层的分层结构。用 III 族氮化物发光器件 11 的外延生长层的附图标记来指示该分层结构。

[0077] 图 1A 和图 1B 中所示的矢量 C 表示 III 族氮化物衬底 21 的 In_sAl_{1-s}Ga_{1-s-r}N 的 c 轴的方向。III 族氮化物衬底 21 中的穿透位错沿着 c 轴延伸。

[0078] III 族氮化物衬底 21 可以包括沿着 c 轴从基面 21a 延伸到背面 21b 的第一区域和沿着该第一区域延伸的第二区域。因此,III 族氮化物衬底 21 的第一和第二区域出现在基面 21a 中并分别形成第一和第二区 (area)。此外,III 族氮化物衬底 21 的第一和第二区域出现在背面 21b 中并分别形成第三和第四区 (area)。所述第一区域是具有高于或等于预定穿透位错密度的穿透位错密度的高位错区域,且所述第二区域是具有低于预定穿透位错密度的穿透位错密度的低位错区域。在 III 族氮化物晶片 43 中,交替地布置第一区域和第二区域。根据该 III 族氮化物发光器件 11,能够通过是在衬底 21 的低位错区域的第二区域中形成氮化物基半导体发光器件来改善发光器件的量子效率和可靠性。第一区域和第二区域能够以例如条形的形状延伸。在正交于 c 轴的面中,第二区域的穿透位错密度可以例如小于 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 。根据该穿透位错密度,获得在实践中表现出充分可靠性的激光二极管等。

[0079] 图 2 是示出了包括下述衬底的外延晶片的图示,所述衬底具有在被示为示例的倾

斜方向上倾斜的基面和外延膜。如图 2 所示,基准面 R_{C1} 沿着倾斜的 c 面延伸。六方晶系的晶轴 S 被示在基准面 R_{C1} 上。在基准面 R_{C1} 中指定轴 a_1 、 a_2 以及 a_3 ,且轴 a_1 、 a_2 以及 a_3 相互形成 120 度的角。轴 C 正交于基准面 R_{C1} 。虚线指示的箭头 N_1 是示出了衬底 43 的基面 43a 的法线的矢量。该法向矢量 N_1 关于轴 C 以角 α 倾斜。在本示例中,倾斜的方向是由矢量 A 指示的 a_1 轴的方向。即,在 III 族氮化物衬底 21 的 $In_sAl_rGa_{1-s-r}N$ 的 a 轴方向中指定倾斜角 α 。优选地,倾斜角 α 是在关于 m 轴 -1 度以上 $+1$ 度以下的范围内。图 2 中所示的面 47a 和 47b 是下述 m 面,沿着该 m 面能够发生解理。在通过由 $In_sAl_rGa_{1-s-r}N$ 组成的衬底的解理来形成 III 族氮化物发光器件 11 的情况下,III 族氮化物发光器件 11 具有与 III 族氮化物衬底 21 的 $In_sAl_rGa_{1-s-r}N$ 的 m 轴方向(由矢量 M 表示)交叉的第一和第二小平面(对应于上述面 47a 和 47b)。这些第一和第二小平面适合于形成用于激光二极管的谐振器。

[0080] 此外,在这种形式中,由于由 $In_sAl_rGa_{1-s-r}N$ 组成的 III 族氮化物衬底 21 的基面 21a 在 a 轴方向上从 $\{0001\}$ 面或 $\{000\bar{1}\}$ 面倾斜,所以与在 m 轴方向上的倾斜的情况相比,增加镓原子到 $InGaN$ 阱层中的引入。因此,能够在高于在 m 轴方向上倾斜的面上的生长温度(例如 $650^\circ C$ 以上 $750^\circ C$ 以下)的生长温度(例如 $650^\circ C$ 以上 $780^\circ C$ 以下)下在 a 轴方向上倾斜的面上生长 $InGaN$ 阱层。结果,能够改善发射特性。

[0081] 关于本示例的修改示例,可以采用 m 轴方向的倾斜代替 a 轴方向的倾斜。而且这时,倾斜角 α 可以在关于 a 轴 -1 度以上 $+1$ 度以下的范围内。根据该 III 族氮化物发光器件,在倾斜角被指定了的方向的控制变得容易。

[0082] 图 3 示出了根据本发明另一实施例的 III 族氮化物发光器件的结构。优选地,III 族氮化物发光器件 11a 还包括有源层 15a 与 III 族氮化物衬底 21 之间的 $In_zGa_{1-z}N$ ($0 < Z < 0.1$,其中 Z 是应变组分)层 49。 $In_zGa_{1-z}N$ 层 49 的镓组分小于阱层 19a 的镓组分。根据该 III 族氮化物发光器件 11a, $In_zGa_{1-z}N$ 层 49 设置在量子阱结构 17a 与 n 型氮化镓基半导体区域 13 之间。 $In_zGa_{1-z}N$ 层 49 的基面是半极性面。能够通过增加量子阱结构中的阱层的数目来增强发射强度。然而,由于半极性面上形成的有源层中的阱层 19a 的镓组分高于 c 面上形成的有源层的镓组分,所以有源层中的应变显著。因此,与 c 面上形成的有源层相比, $InGaN$ 阱层 19a 的晶体质量趋向于下降。量子阱结构 17a 中的阱层 19a 的数目小于量子阱结构 17 中的阱层 19a 的数目。然而, $In_zGa_{1-z}N$ 层 49 减小量子阱结构 17a 中的应变并提供良好的发射特性。因此,能够减少量子阱结构 17a 中的阱层 19a 的数目。或者,能够在保持阱层的数目的同时改善晶体质量。

[0083] 如果 $In_zGa_{1-z}N$ 层 49 的镓组分变为 0.1 以上,则 $In_zGa_{1-z}N$ 层的应变增加, $InGaN$ 阱层的晶体质量下降,且发射特性趋向于劣化。

示例 1

[0084] 下面将参照图 4 来描述用于制造发光器件的主要步骤的流程 100a。在步骤 S101 中,制备 GaN 晶片。所得的 GaN 晶片表现出 n 型导电性并具有在 m 轴的方向以 25 度的倾斜角从 c 面倾斜的基面。如下所述地制造 GaN 晶片。制备 2 英寸尺寸的 $GaAs$ 晶片。在具有在 (100) 方向偏离 25 度的 (111) 面的 $GaAs$ 晶片上形成由二氧化硅组成的条状绝缘掩膜。然后,通过 HVPE 法在所得的晶片上生长 GaN 厚膜。该 GaN 厚膜包括交替地布置的低缺陷密度区域和高缺陷密度区域。所述低缺陷密度区域和高缺陷密度区域中的每一个采取条形的

形状。低缺陷密度区域中的穿透位错在 c 轴的方向上延伸,在 c 面中其穿透位错密度小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 。切割该 GaN 厚膜以形成 GaN 片。另外,对该片的表面进行例如抛光的处理以便制造具有镜面加工面的 GaN 晶片。所得的 GaN 晶片具有在 m 轴方向上以 25 度的倾斜角从 c 面倾斜的基面。

[0085] 基于下述过程通过有机金属化学气相沉积方法在 GaN 晶片上形成蓝光发光器件。至于用于有机金属化学气相沉积的源材料,使用三甲基镓、三甲基铝、三甲基镉、氨、单硅烷、以及茂基镁。在步骤 S102 中,将 GaN 晶片放置在生长反应器中的承受器上,在将反应器中的压力控制在 30kPa 的同时将氨和氢引入到反应器中,并在 1050°C 的衬底温度下进行热净化 10 分钟。然后,暂停生长,并将衬底温度提高到 1100°C 。在步骤 S103 中,生长 n 型 GaN 基半导体区域。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铝 ($4.3 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.22\text{mol}/\text{min}$)、以及单硅烷供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 50nm 的 n 型 $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{N}$ 层。随后,暂停生长,并将衬底温度提高到 1150°C 。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 ($244 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.22\text{mol}/\text{min}$)、以及单硅烷供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 $2 \mu\text{m}$ 的 n 型 GaN 层。

[0086] 在步骤 S104 中,如下所述生长有源层。暂停生长,并将衬底温度降低至 850°C 。然后,将氮用作一次载气,并将三甲基镓 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基镉 ($1.6 \mu\text{mol}/\text{min}$)、以及氨 ($3.6\text{mol}/\text{min}$) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 15nm 的未掺杂的 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ 阻势垒层。随后,暂停生长,并将衬底温度降低至 720°C 。在步骤 S104-2 中,将氮用作一次载气,并将三甲基镓 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基镉 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、以及氨 ($0.36\text{mol}/\text{min}$) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 5nm 的 $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 阱层。在步骤 S104-3 中,重复这些步骤 S104-1 和步骤 S104-2,从而形成包括例如 6 个阱层的量子阱结构。

[0087] 优选地,适合于阱层生长的温度 T_w 低于适合于势垒层生长的温度 T_b ,且温度 T_w 与温度 T_b 之间的差为 95 摄氏度以上。关于这种方法,在半极性面上氮化物基半导体发光器件的制造中,以差变为 95 摄氏度以上的方式使 InGaN 阱层的生长温度 T_w 低于垒层的生长温度 T_b ,从而,能够在阱层的生长中增加镉原子的引入。因此,能够形成发射峰值波长为 410nm 以上的发光层。此外,以差变为 95 摄氏度以上的方式使势垒层的生长温度高于阱层的生长温度,从而能够改善垒层的晶体质量。由此,能够改善发光器件的量子效率。因此,能够改善整个量子阱结构的晶体质量。如果垒层的生长温度过低,则垒层的晶体质量下降。因此,优选的是温度 T_b 为 745°C 或更高。如果垒层的生长温度过高,则阱层的晶体质量在势垒层的生长期间下降。因此,优选的是温度 T_b 为 900°C 或更低。此外,如果阱层的生长温度过低,则阱层的晶体质量劣化。因此,优选的是温度 T_w 为 650°C 或更高。如果阱层的生长温度过高,则镉的组分减低。所以,优选的是温度 T_w 为 805°C 或更低。如果必要,在步骤 S105 中,可以将氮用作一次载气并可以在温度 T_b 下生长未掺杂的 GaN 层 (N2-GaN)。这样进行以防止在例如膜厚度为 3nm 时提高衬底温度的下面的步骤中有源层的质量下降。如果必要,在步骤 S106 中,可以将氢用作一次载气并可以在高于温度 T_b 的温度下生长未掺杂的 GaN 层 (HT-GaN)。这样进行以改善在例如膜厚度为 10nm 时下面的步骤中生长的 p 型 GaN 半导体的晶体质量。

[0088] 接下来,再次暂停生长,并将衬底温度提高到 1050°C 。在步骤 S107 中,生长 p 型 GaN 基半导体区域。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铝

($2.3 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.22\text{mol}/\text{min}$)、以及茂基镁供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 20nm 的 p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 电子阻挡层。其后,将氢用作一次载气,并将三甲基镓 ($99 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.22\text{mol}/\text{min}$)、以及茂基镁供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 25nm 的 p 型 GaN 层。随后,将氢用作一次载气,并供应三甲基镓 ($67 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.22\text{mol}/\text{min}$)、以及茂基镁,从而生长膜厚度为 25nm 的 p 型 GaN 接触层。以这种方式,制造具有 LED 外延结构的外延晶片。

[0089] 从反应器中取出所得的外延晶片,在步骤 S108,在该外延晶片的 p 型 GaN 层上形成半透明的 p 侧电极 (电极面积: $1.6 \times 10^{-3}\text{cm}^2$) 400 微米平方,另外,在 GaN 晶片的背面上形成 n 侧电极从而制造衬底产品。所得的衬底产品包括排成阵列的 LED 器件。

[0090] 测量 LED 器件的电特性,而这样制造的衬底产品以“原样 (as-is)”为基础。当在室温下施加脉冲电流时,发射峰值波长为 466nm 的纯蓝光。在 20mA 的电流值 (电流密度: $12.5\text{A}/\text{cm}^2$) 下,光输出为 1.0mW 且外量子效率为 1.6% 。在 200mA 的电流值 (电流密度: $125\text{A}/\text{cm}^2$) 下,光输出为 7.0mW 且外量子效率为 1.2% 。从衬底产品制造 LED 芯片,并用环氧树脂对芯片进行模塑封装以便制造 LED 灯。关于所得的 LED 灯,在 20mA 的电流值 (电流密度: $12.5\text{A}/\text{cm}^2$) 下,峰值发射波长为 466nm ,光输出为 3.0mW ,且外量子效率为 4.8% 。

[0091] 以与上述制造方法类似的方式,在具有以 32 度的倾斜角倾斜的半极性面的 GaN 晶片上形成 LED 结构,而且还形成电极。

[0092] 图 5A 是示出了本示例中的 LED 的电流与发射波长之间的关系的图示。图 5B 是示出了本示例中发射光谱的半峰全宽与电流之间的关系的图示。半极性面上的发光器件的阱层厚度为 5nm 。

[0093] 如图 5A 中所示,与极性面的 c 面上的发光器件相比,本示例中的半极性面上的发光器件的蓝移较小,虽然没有小到等于非极性面的 m 面上发光器件的蓝移的程度。在本示例中,由于在半极性面上压电场受到抑制,所以减小了随着电流的增加由压电场的屏蔽所引起的发射波长的蓝移。

[0094] 如图 5B 中所示,本示例中半极性面上的发光器件的半峰全宽较小,与非极性面的 m 面上的发光器件和极性面的 c 面上的发光器件的半峰全宽处于同一水平。因此,很明显,在半极性面上获得与 m 面和 c 面上相同的有源层质量。

示例 2

[0095] 将再次参照图 4 来描述用于制造发光器件的主要步骤。在本示例的制造方法中,在步骤 S103 之后步骤 S104 之前进行步骤 S109。

[0096] 在步骤 S109 中,在 n 型 GaN 层上生长 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 层。在步骤 S104 中,在 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 层上形成包括 3 个阱层的量子阱结构。有源层的阱层和垒层分别具有 5nm 和 15nm 的厚度。随后,通过使用与示例 1 中相同的步骤来生长 p 型 GaN 基半导体区域,从而制造包括 LED 外延结构的外延晶片。

[0097] 从反应器中取出所得的外延晶片,在步骤 S108,在该外延晶片的 p 型 GaN 层上形成半透明的 p 侧电极 400 微米平方,另外,在 GaN 晶片的背面上形成 n 侧电极以便于制造衬底产品。所得的衬底产品包括排成阵列的 LED 器件。

[0098] 测量 LED 器件的电特性,而这样制造的衬底产品以“原样 (as-is)”为基础。当在

室温下施加脉冲电流时,发射峰值波长为 466nm 的纯蓝光。在 20mA 的电流值(电流密度: $12.5\text{A}/\text{cm}^2$)下,光输出为 2.0mW 且外量子效率为 3.2%。在 200mA 的电流值(电流密度: $125\text{A}/\text{cm}^2$)下,光输出为 14.0mW 且外量子效率为 2.4%。从衬底产品制造 LED 芯片,并用环氧树脂对芯片进行模塑封装以便制造 LED 灯。关于所得的 LED 灯,在 20mA 的电流值(电流密度: $12.5\text{A}/\text{cm}^2$)下,峰值发射波长为 466nm,光输出为 6.0mW,且外量子效率为 9.6%。

示例 3

[0099] 将参照图 6 来描述用于制造激光二极管器件的主要步骤。制备如在示例 1 中那样制造的 GaN 晶片。所得的 GaN 晶片具有在 a 轴的方向上以 25 度的倾斜角从 c 面倾斜的基面。该 GaN 晶片包括交替地布置的低缺陷密度区域和高缺陷密度区域。所述低缺陷密度区域和高缺陷密度区域中的每一个采取条形的形状。低缺陷密度区域中的穿透位错在 c 轴的方向上延伸,且在 c 面中其穿透位错密度小于 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 。基于下述过程通过有机金属化学气相沉积方法在 GaN 晶片上形成激光二极管器件。在步骤 S102 中,将 GaN 晶片放置在生长反应器中的承受器上,在将反应器中的压力控制在 30kPa 的同时将氨和氢引入到反应器中,并在 1050°C 的衬底温度下进行热净化 10 分钟。

[0100] 其后,暂停生长,并将衬底温度提高到 1100°C。随后,在步骤 S110 中,生长 n 型 GaN 基半导体覆层。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 ($118 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铝 ($5.7 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.27\text{mol}/\text{min}$)、以及单硅烷供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 2300 的 n 型 $\text{Al}_{0.04}\text{Ga}_{0.96}\text{N}$ 层。

[0101] 在步骤 S111 中,生长 GaN 基半导体光导层。所得的光导层的基面是半极性面。暂停生长,将氢用作一次载气,并在将衬底温度保持在 1100°C 下的同时将三甲基镓 ($99 \mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 ($0.22\text{mol}/\text{min}$)、以及单硅烷供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 50nm 的 n 型 GaN 光导层。随后,暂停生长,并将衬底温度变为 800°C。其后,将氢用作一次载气,并将三甲基镓 ($16 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铟 ($0.87 \mu\text{mol}/\text{min}$)、以及氨 ($0.36\text{mol}/\text{min}$) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 50nm 的未掺杂的 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 光导层。

[0102] 在步骤 S104 中,生长有源层。在步骤 S104-1 中,暂停生长,并将衬底温度变为 870°C。其后,将氮用作一次载气,并将三甲基镓 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铟 ($1.6 \mu\text{mol}/\text{min}$)、以及氨 ($0.27\text{mol}/\text{min}$) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 15nm 的未掺杂的 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 垒层。随后,在 S104-2 中,暂停生长,并将衬底温度降低至 720°C。其后,将氮用作一次载气,并将三甲基镓 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铟 ($24 \mu\text{mol}/\text{min}$)、以及氨 ($0.36\text{mol}/\text{min}$) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 5nm 的 $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 阱层。在步骤 S104-3 中,重复这些步骤,从而形成包括 3 个阱层的量子阱结构。通过指定氮作为一次载气,能够提高铟到 InGaN 膜中的引入的效率。

[0103] 优选地,适合于阱层生长的温度 T_w 低于适合于势垒层生长的温度 T_b ,且温度 T_w 与温度 T_b 之间的差为 95 摄氏度以上。关于这种方法,在制造半极性面上的氮化物基半导体发光器件时,以差变为 95 摄氏度以上的方式使 InGaN 阱层的生长温度 T_w 低于垒层的生长温度 T_b ,从而,能够在阱层的生长中增加铟原子的引入。因此,能够形成发射峰值波长为 410nm 以上的发光层。此外,以差变为 95 摄氏度以上的方式使垒层的生长温度高于阱层的生长温度,从而,能够改善势垒层的晶体质量。由此,可以改善发光器件的量子效率。因此,能够改

善整个量子阱结构的晶体质量。

[0104] 接下来,再次暂停生长,并将衬底温度变为 800°C。其后,在步骤 S112 中,生长 GaN 基半导体光导层。所得的光导层的基面是半极性面。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 (15.6 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基镉 (0.87 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、以及氨 (0.36 mol/min) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 50nm 的未掺杂的 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 光导层。随后,暂停生长,并将衬底温度变为 1050°C。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 (99 $\mu\text{mol}/\text{min}$) 和氨 (0.22 mol/min) 供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 50nm 的未掺杂的 GaN 光导层。

[0105] 在步骤 S113 中,再次暂停生长,并在将衬底温度保持在 1050°C 的同时生长电子阻挡层。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 (24 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铝 (2.3 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 (0.22 mol/min)、以及茂基镁供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 20nm 的 p 型 $\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 电子阻挡层。

[0106] 随后,在步骤 S114 中,生长 p 型覆层。该 p 型覆层的表面是半极性面。将氢用作一次载气,并将三甲基镓 (49 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、三甲基铝 (4.0 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 (0.27 mol/min)、以及茂基镁供应给生长反应器,从而生长膜厚度为 400nm 的 p 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 覆层。

[0107] 然后,在步骤 S115 中,生长 p 型接触层。该 p 型接触层的表面是半极性面。将氢用作一次载气,并引入三甲基镓 (34 $\mu\text{mol}/\text{min}$)、氨 (0.22 mol/min)、以及茂基镁,从而生长膜厚度为 50nm 的 p 型 GaN 层。

[0108] 以这种方式,制造包括激光二极管外延结构的外延晶片 E1。图 7 是示出了用于激光二极管器件的外延晶片的结构的图示。外延晶片 E1 包括下面描述的生长在是半极性面的 GaN 晶片 51 上的外延多层膜 53。外延多层膜 53 包括 n 型覆层 55、n 侧光导层 57 (n 型 GaN 层 57a、未掺杂的 InGaN 层 57b)、有源层 59 (InGaN 阱层 59a、InGaN 垒层 59b)、p 侧光导层 61 (未掺杂的 InGaN 层 61a、未掺杂的 InGaN 层 61b)、电子阻挡层 63、p 型覆层 65、以及 p 型接触层 67。

[0109] 在用例如二氧化硅膜的绝缘膜覆盖 p 型接触层之后,在该绝缘膜中形成条状窗口。在 p 型接触层和绝缘膜上形成 p 侧电极 (例如 Ni/Au),另外,减小 GaN 晶片的厚度。其后,在具有减小的厚度的晶片背面上形成 n 侧电极 (例如 Ti/Al/Au) 以便制造衬底产品。所得的衬底产品包括排成阵列的激光二极管器件。在步骤 S117 中,通过解理从该衬底产品形成激光带以便形成用于谐振器的小平面镜。激光带的长度为例如 800 μm 。测量这样制造的激光带的电特性。当在室温下施加脉冲电流时,发生峰值波长为 490nm 的蓝绿激射。

[0110] 基于在由本发明人进行的各种实验进一步示出以下内容。图 8 是示出了晶片基面的倾斜角与关于晶片基面的峰值发射波长之间的关系的关系的图示。由测量点 P1 至 P4 表示的发光器件是在在 a 轴方向上倾斜的晶片基面上形成的,且 InGaN 阱层的生长温度是 720°C。由测量点 P5 和 P6 表示的发光器件是在在 m 轴方向上倾斜的晶片基面上形成的,且 InGaN 阱层的生长温度为 720°C。由测量点 P7 至 P11 表示的发光器件是在在 a 轴方向上倾斜的晶片基面上形成的,且 InGaN 层的生长温度为 750°C。

[0111] 如特性线 W_{a720} 和 W_{a750} 所示,峰值发射波长随着阱层的生长温度下降而移动到长波长侧。因此,通过降低阱层的生长温度增加镉的引入量。

[0112] 如特性线 W_{a720} 和 W_{m720} 所示,峰值发射波长由于在 a 轴方向上的倾斜而移动到长波长侧。与在 m 轴方向上的倾斜角相比,能够通过增加在 a 轴方向上的倾斜角而获

得较长的发射波长。具体数据如下所述。测量点 倾斜角 发射波长

P1 :	10	539P2 :	32	474P3 :	45
506P4 :	90	524P5 :	25	469P6 :	32
452P7 :	5	490P8 :	10	435P9 :	32
407P10 :	45	410P11 :	90	431	倾斜角用单位“度

(deg)”来表示,发射波长用单位“nm”来表示。

[0113] 倾斜角为 15 度以上且小于 45 度的 GaN 晶片基面上的发光器件的峰值发射波长小于倾斜角小于 15 度的 GaN 晶片基面上的发光器件的峰值发射波长。因此,相信,降低了压电场对倾斜角为 20 度以上且小于 45 度的 GaN 晶片基面上的发光器件的影响。

[0114] 此外,在以相同的温度生长 InGaN 阱层的情况下,其中基面在 a 轴方向上倾斜的 GaN 晶片上的发光器件的峰值发射波长大于其中基面在 m 轴方向上倾斜的 GaN 晶片上的发光器件的峰值发射波长。相信,基于在 a 轴方向上的倾斜程度有助于阱层的生长中的镓的引入。

[0115] 通过在 III 族氮化物晶片上、特别是低位错密度区域中形成发光器件,能够改善晶体质量并能够改善发光器件的量子效率和可靠性。

[0116] 与发射波长小于 410nm 的发光器件相比,在半极性面上的发射波长为 410nm 以上的发光器件的阱层的镓组分非常高。然而,能够通过将阱层的厚度指定为在 4nm 以上 10nm 以下的范围内而使阱层的镓组分在 0.15 以上 0.4 以下的范围内,从而能够抑制随着阱层的晶体质量的下降的发射特性的劣化。

[0117] 已基于优选实施例参照附图描述了本发明的原理。然而,在本发明中,可以在上述原理的范围内改变安排等。本发明不限于本实施例中公开的特定构造。因此,本发明涵盖包括在所附权利要求的范围内的各种变化和修改。

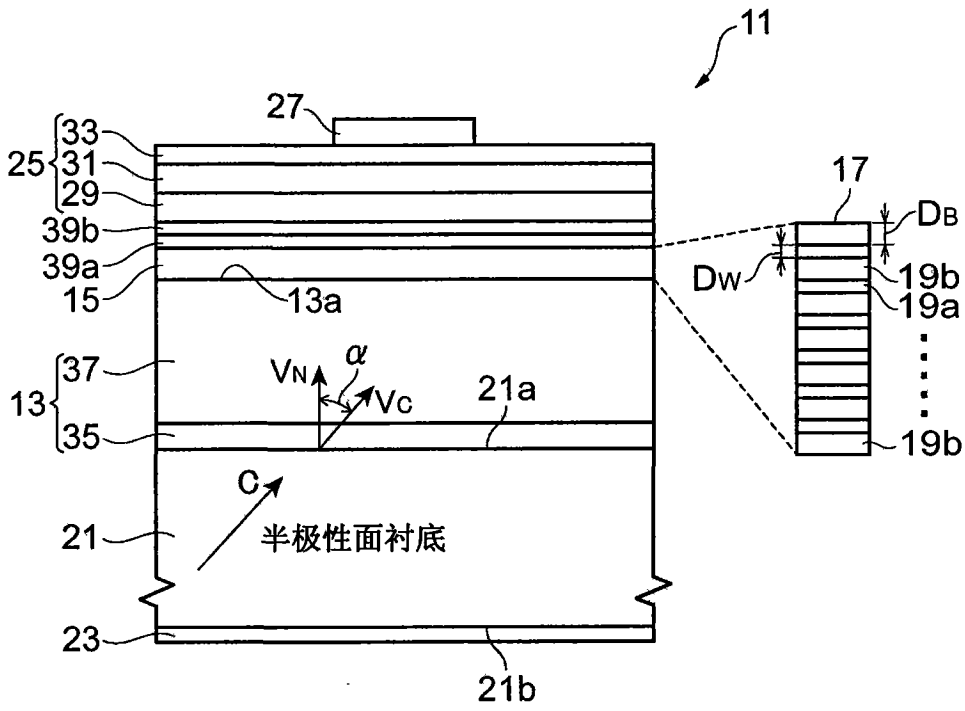


图 1A

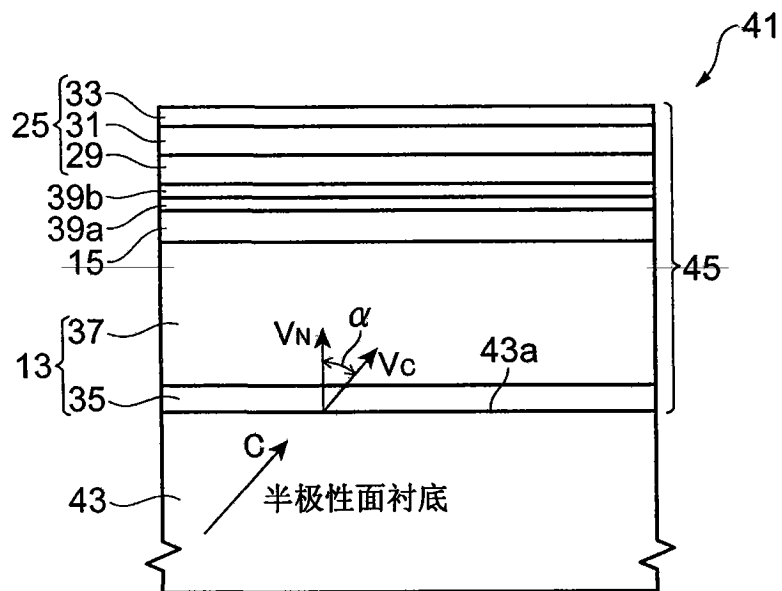


图 1B

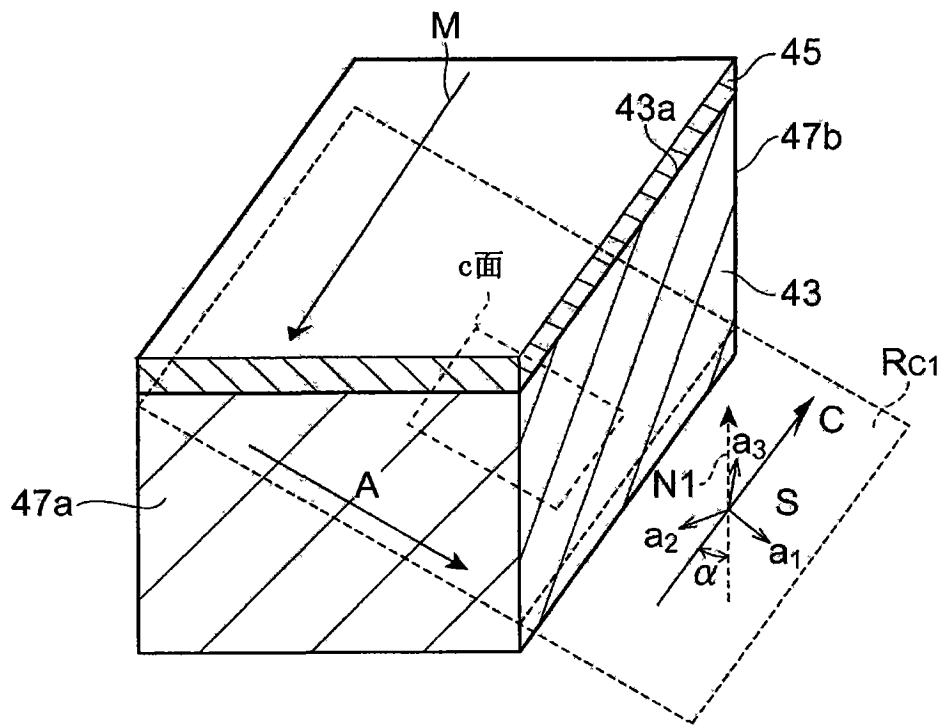


图 2

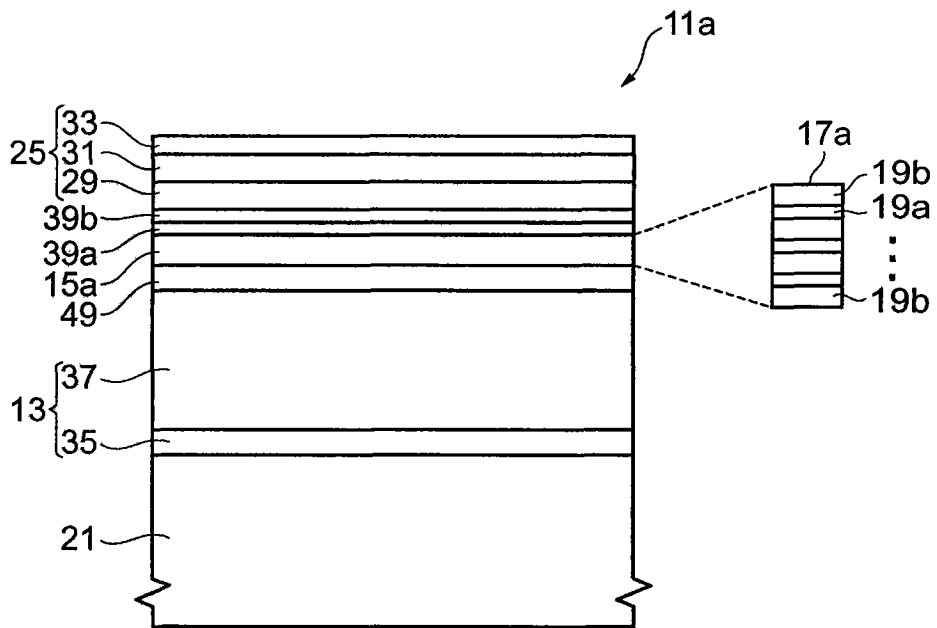


图 3

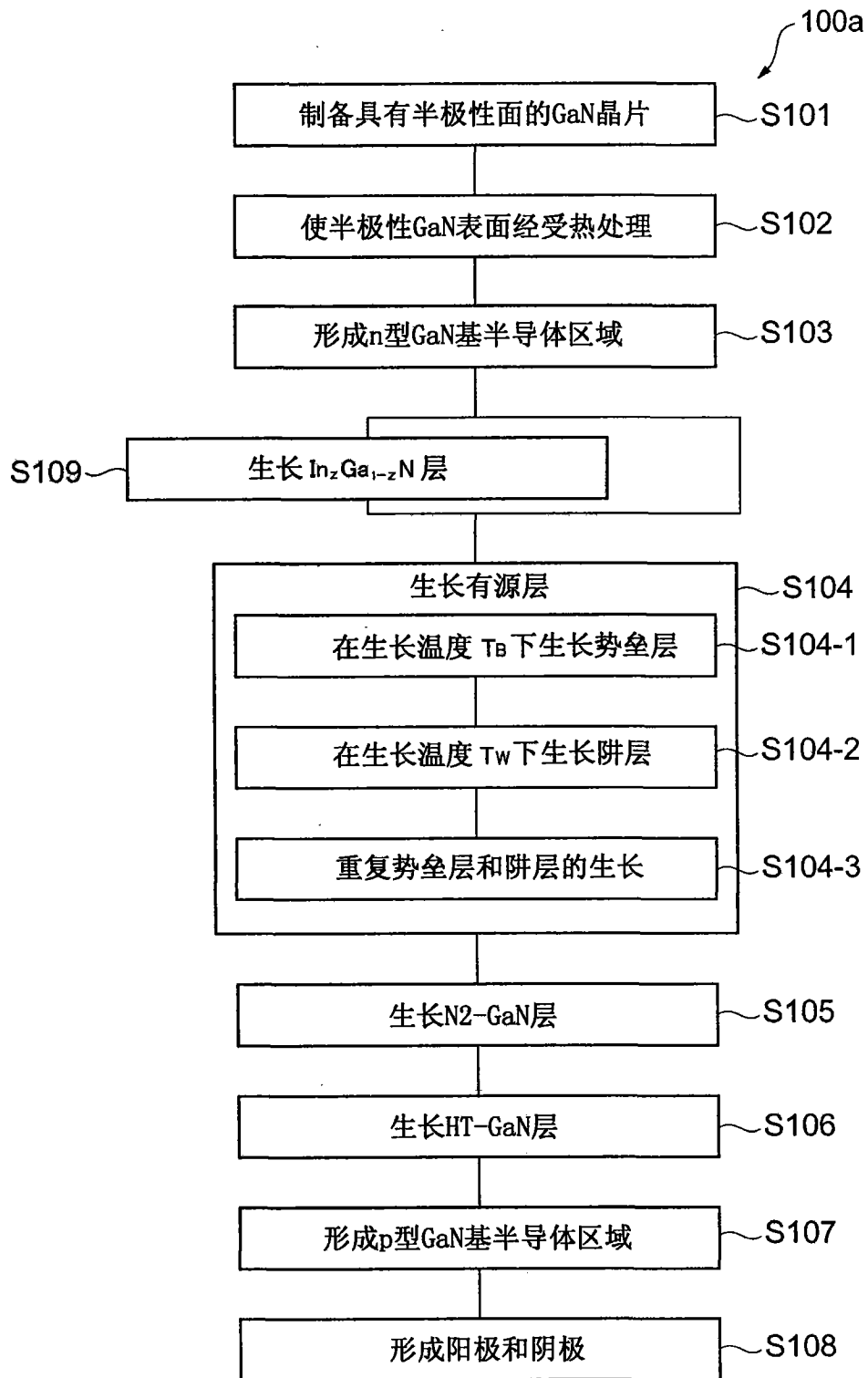


图 4

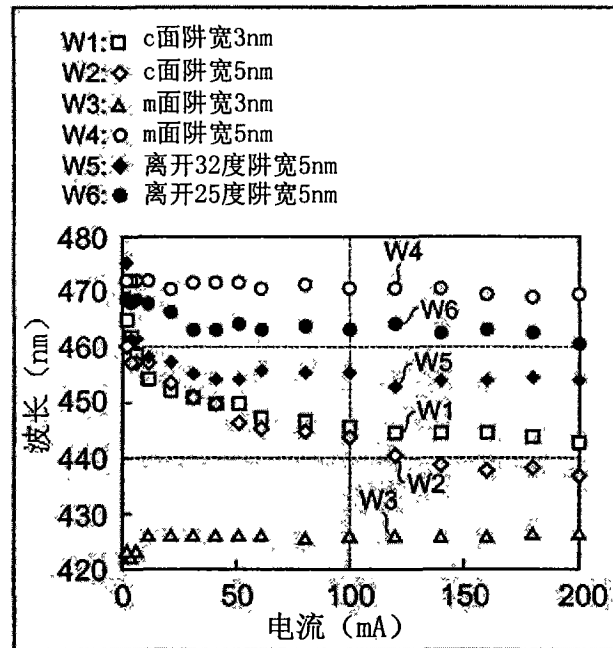


图 5A

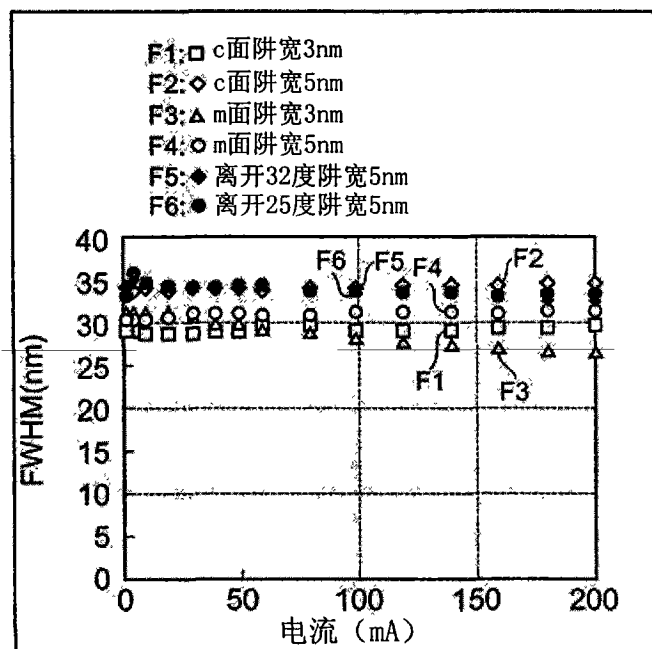


图 5B

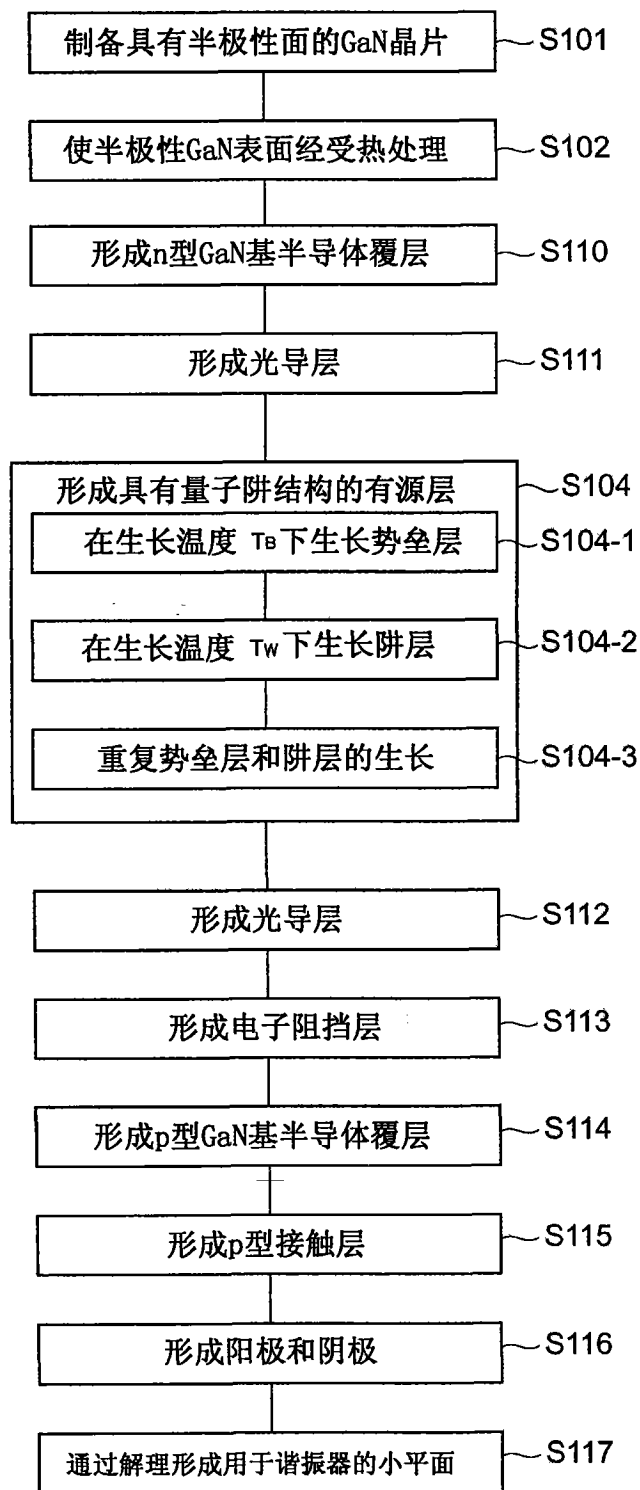


图 6

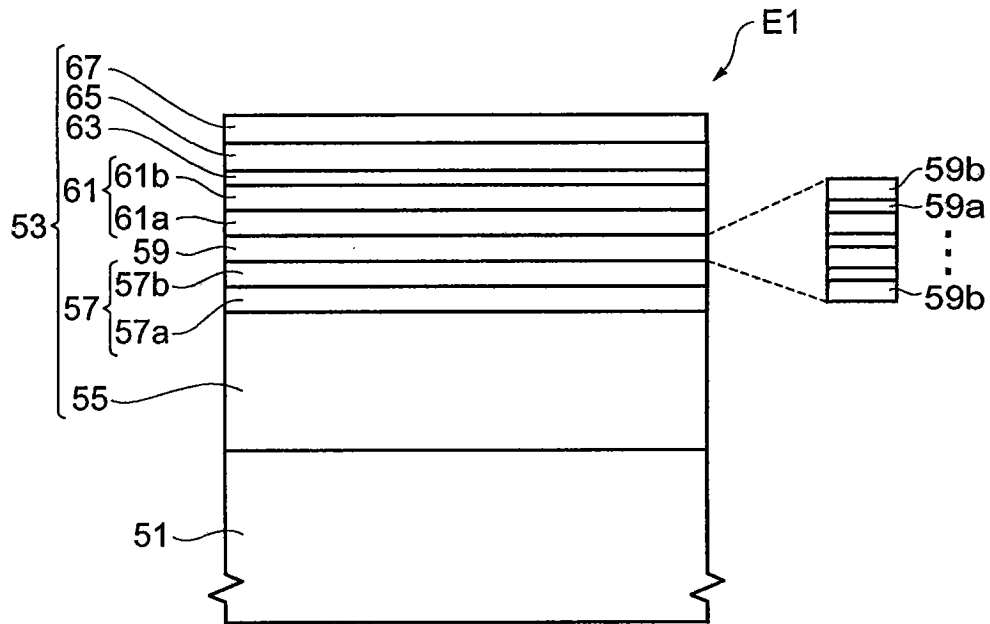


图 7

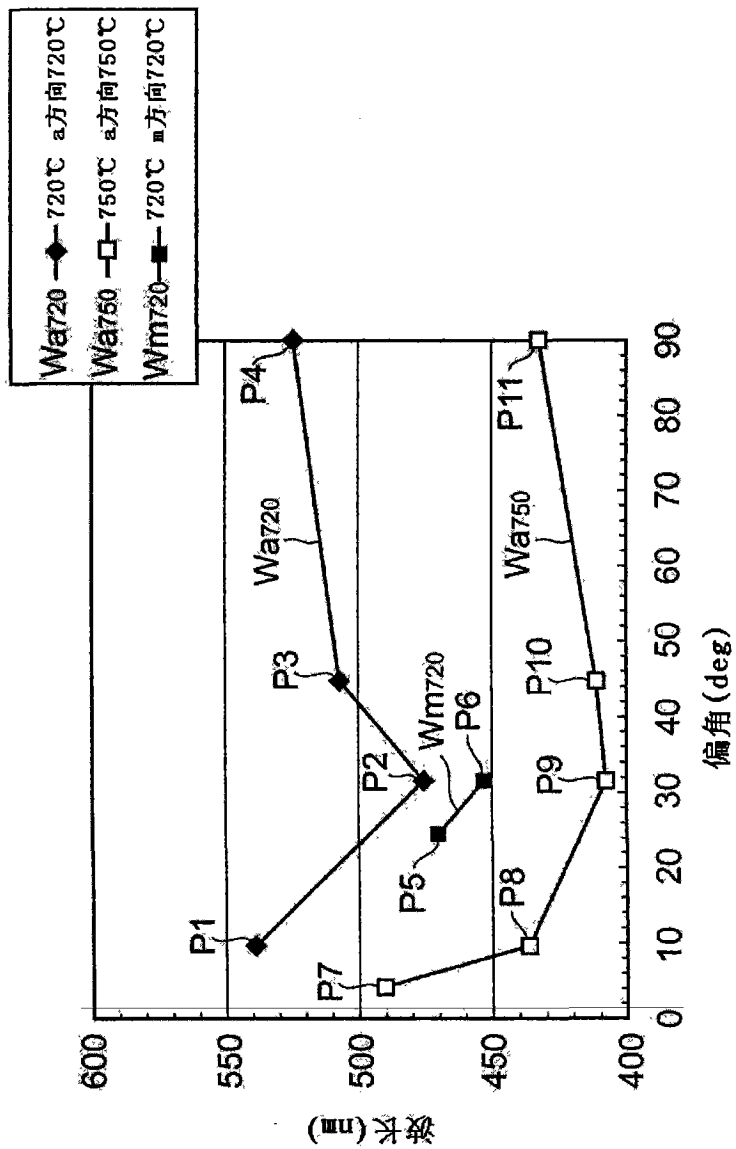


图8