



(45) 授权公告日 2013.06.05

权利要求书3页 说明书12页 附图11页

1. 一种 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,

包括:半导体衬底,包含六方晶系的 III 族氮化物半导体,且具有相对于与该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向的基准轴正交的基准面以 50 度以上且 70 度以下的范围的倾斜角向该 III 族氮化物半导体的 a 轴方向和 m 轴方向中的任意一个方向倾斜的主面;

第一覆层,设置在所述半导体衬底的所述主面上、并且包含第一导电型氮化镓基半导体;

第二覆层,设置在所述半导体衬底的所述主面上、并且包含第二导电型氮化镓基半导体;和

有源层,设置在所述第一覆层与所述第二覆层之间,

还包括设置在所述第一覆层与所述有源层之间的 InGaN 层,

所述第一覆层与所述 InGaN 层的界面上存在失配位错,

所述有源层中的波导方向朝向 a 轴方向和 m 轴方向中的另一方向,

在包含朝向所述波导方向的 X1 轴、与该 X1 轴正交的 X2 轴以及与所述 X1 轴和 X2 轴正交的 X3 轴的正交坐标系中,所述第一覆层、所述有源层和所述第二覆层沿所述 X3 轴的方向排列,

所述有源层具有多量子阱结构,所述多量子阱结构包含沿所述 X3 轴的方向交替排列的阱层和势垒层,所述阱层包含 InGaN,所述势垒层包含 GaN 或 InGaN,

所述多量子阱结构以通过所述阱层与所述势垒层的带隙能量差和所述阱层的厚度的至少任意一者使该 III 族氮化物半导体激光器的 LED 模式下的偏振度 P 为 -1 以上且 0.1 以下的方式进行设置,

所述偏振度 P 使用所述 LED 模式下的光的该 X1 方向的电场分量 I1 与该 X2 方向的电场分量 I2,由

$$P = (I1 - I2) / (I1 + I2)$$

进行规定。

2. 如权利要求 1 所述的 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,所述有源层的所述多量子阱结构的振荡波长为 450nm 以上且 550nm 以下。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,所述阱层的厚度为 2nm 以上且 10nm 以下。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,所述失配位错的密度为 $5 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$ 以上且 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ 以下。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,

所述 InGaN 层的铟含量为 0.01 以上,且

所述 InGaN 层的铟含量为 0.1 以下,

所述 InGaN 层与所述第一覆层的主面接触,

所述第一覆层的晶格常数与所述 InGaN 层的晶格常数不同。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,

所述 InGaN 层的厚度为 20nm 以上,且

所述 InGaN 层的厚度为 150nm 以下。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器,其特征在于,

所述 InGa_N 层为第一光导层，

该 III 族氮化物半导体激光器还包括设置在所述第二覆层与所述有源层之间的第二光导层，

所述第二光导层包含 InGa_N。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器，其特征在于，所述偏振度 P 为负值。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器，其特征在于，所述半导体衬底包含 Ga_N。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器，其特征在于，

所述倾斜的方向为 a 轴的方向，

该 III 族氮化物半导体激光器还包括由该六方晶系 III 族氮化物的 m 面解理面构成的一对端面。

11. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器，其特征在于，所述半导体衬底的所述主面为 (11-22) 面和 (11-2-2) 面中的任意一个面。

12. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器，其特征在于，

所述倾斜的方向为 m 轴的方向，

该 III 族氮化物半导体激光器还包括由该六方晶系 III 族氮化物的 a 面解理面构成的一对端面。

13. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体激光器，其特征在于，所述半导体衬底的所述主面为 (10-11) 面和 (10-1-1) 面中的任意一个面。

14. 一种 III 族氮化物半导体激光器的制作方法，其特征在于，包括如下步骤：

准备半导体晶片，所述半导体晶片包含六方晶系的 III 族氮化物半导体，且具有相对于与该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向的基准轴正交的基准面以 50 度以上且 70 度以下的范围的倾斜角向该 III 族氮化物半导体的 a 轴方向和 m 轴方向中的任意一个方向倾斜的主面；

在所述半导体晶片的所述主面上生长包含第一导电型氮化镓基半导体的第一覆层；

在所述第一覆层上生长 InGa_N 层；

在所述 InGa_N 层上生长有源层；和

在所述有源层上生长包含第二导电型氮化镓基半导体的第二覆层，

所述第一覆层与所述 InGa_N 层的界面上存在失配位错，

所述有源层中的波导方向朝向 a 轴方向和 m 轴方向中的另一方向，

在包含朝向所述波导方向的 X1 轴、与该 X1 轴正交的 X2 轴以及与所述 X1 轴和 X2 轴正交的 X3 轴的正交坐标系中，n 型氮化镓基半导体区域、所述有源层和 p 型氮化镓基半导体区域沿所述 X3 轴的方向排列，

所述有源层具有多量子阱结构，所述多量子阱结构包含沿所述 X3 轴的方向交替排列的阱层和势垒层，所述阱层包含 InGa_N，所述势垒层包含 Ga_N 或 InGa_N，

所述多量子阱结构以通过所述阱层与所述势垒层的带隙能量差和所述阱层的厚度中的至少任意一者使该 III 族氮化物半导体激光器的 LED 模式下的偏振度 P 为 -1 以上且 0.1 以下的方式进行设置，

所述偏振度 P 使用所述 LED 模式下的光的该 X1 方向的电场分量 I1 与该 X2 方向的电场分量 I2, 由

$$P = (I1 - I2) / (I1 + I2)$$

进行规定。

15. 如权利要求 14 所述的 III 族氮化物半导体激光器的制作方法, 其特征在于, 所述第一覆层与所述 InGaN 层的界面上存在失配位错, 且

所述失配位错的密度为 $5 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$ 以上且 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ 以下。

16. 如权利要求 14 或 15 所述的 III 族氮化物半导体激光器的制作方法, 其特征在于, 所述 InGaN 层的镓含量为 0.01 以上, 且

所述 InGaN 层的镓含量为 0.1 以下,

所述 InGaN 层与所述第一覆层的主面接触,

所述第一覆层的晶格常数与所述 InGaN 层的晶格常数不同。

17. 如权利要求 14 或 15 所述的 III 族氮化物半导体激光器的制作方法, 其特征在于, 所述 InGaN 层的厚度为 20nm 以上, 且所述 InGaN 层的厚度为 150nm 以下。

III 族氮化物半导体激光器及 III 族氮化物半导体激光器的制作方法

技术领域

[0001] 本发明涉及 III 族氮化物半导体激光器及 III 族氮化物半导体激光器的制作方法。

背景技术

[0002] 非专利文献 1 中,公开了在 GaN(11-22) 衬底上制作的 InGaN/GaN 量子阱结构。GaN 衬底的偏角在 a 轴方向为 58 度。由于上述的结晶面无法形成谐振器结构,因此通过光泵浦使量子阱结构发光。泵浦光沿着由 c 轴和 a 轴规定的平面的方向波导。该量子阱结构由 GaN 光导层夹持。沿 $[-1-123]$ 方向测定的发光与沿 $[1-100]$ 方向测定的发光相比,以更低的能量且更低的泵浦阈值产生。

[0003] 非专利文献 2 中,公开了在 m 面上制作的激光二极管。该激光二极管具有 InGaN/GaN 量子阱结构,发光波长为 400nm。该量子阱结构设置在 GaN 光导层之间。与 a 轴和 c 轴平行的条纹为 TE(Transverse-Electric,横电)模式动作,这些激光二极管中 c 轴条纹的激光二极管显示出较低的阈值电流密度。非专利文献 3 中,关于偏振度公开了理论上的计算。

[0004] 现有技术文献

[0005] 非专利文献

[0006] 非专利文献 1 :Applied Physics Letters, vol. 91, pp. 251197

[0007] 非专利文献 2 :Japanese Journal of Applied Physics, vol. 46, No. 9, 2007, pp. L187-L189

[0008] 非专利文献 3 :Japanese Journal of Applied Physics, vol. 46, No. 33, 2007, pp. L789-L791

发明内容

[0009] 在 c 面 GaN 晶片上制作半导体激光器。由于压电电场实质上可为零,因此对在非极性面(a 面、m 面)GaN 晶片上制作半导体激光器的技术进行了研究。另外,虽然会残留压电电场的影响,但着眼于在半极性面 GaN 晶片上制作半导体激光器。

[0010] 与使用 c 面 GaN 晶片的半导体激光器不同,使用非极性面和半极性面的半导体激光器表现出光学各向异性,另外,为获得较低阈值的半导体激光器,解理端面的朝向是很重要的。如非专利文献 2 所示,m 面 GaN 衬底上的半导体激光器向 a 轴方向偏振,因此通过在 c 面上进行解理,可以将迁移概率高的成分作为 TE 模式利用。但是,在将非专利文献 2 的激光器结构应用于自非极性面倾斜的半极性面时,解理的 c 面向波导方向倾斜而无法获得谐振器。另一方面,非专利文献 1 和 2 中的偏振度为约 0.7 或其以上。

[0011] III 族氮化物半导体激光器中,偏振度与阈值电流相关。根据本发明人的发现,可认为当偏振度为负值或接近零的值时,III 族氮化物半导体激光器的阈值电流变低。

[0012] 本发明的目的在于提供一种通过使用半极性面可提供低阈值的 III 族氮化物半

导体激光器,另外,本发明的目的在于提供该 III 族氮化物半导体激光器的制作方法。

[0013] 本发明的一个方面为 III 族氮化物半导体激光器。该 III 族氮化物半导体激光器包括:(a) 半导体衬底,包含六方晶系的 III 族氮化物半导体,且具有相对于与该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向的基准轴正交的基准面以 50 度以上且 70 度以下的范围的倾斜角向该 III 族氮化物半导体的 a 轴方向和 m 轴方向中的任意一个方向倾斜的主面;(b) 第一覆层,设置在上述半导体衬底上、且包含第一导电型氮化镓基半导体;(c) 第二覆层,设置在上述半导体衬底上、且包含第二导电型氮化镓基半导体;和(d) 有源层,设置在上述第一覆层与上述第二覆层之间。上述有源层中的波导方向朝向 a 轴方向和 m 轴方向中的任意另一方向。在包含朝向上述波导方向的 X1 轴、与该 X1 轴正交的 X2 轴以及与上述 X1 轴和 X2 轴正交的 X3 轴的正交坐标系中,上述 n 型氮化镓基半导体区域、上述有源层和上述 p 型氮化镓基半导体区域沿上述 X3 轴的方向排列。上述有源层具有多量子阱结构,上述多量子阱结构包括沿上述 X3 轴的方向交替地排列的阱层和势垒层,上述阱层包含 InGaN,上述势垒层包含 GaN 或 InGaN。上述多量子阱结构以通过上述阱层与上述势垒层的带隙能量差和上述阱层的厚度中的至少任意一者使该 III 族氮化物半导体激光器的 LED(light emitting diode,发光二极管)模式下的偏振度 P 为 -1 以上且 0.1 以下的方式进行设置。上述偏振度 P 使用上述 LED 模式下的光的该 X1 方向的电场分量 I1 与该 X2 方向的电场分量 I2,由

$$[0014] \quad P = (I1 - I2) / (I1 + I2)$$

[0015] 进行规定。

[0016] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,使用 c 面的光学元件的发光表现出随机偏振,但使用自 c 面倾斜的面的光学元件的发光表现出光学各向异性,在上述的 50 度以上且 70 度以下的角度范围的倾斜面中,可使该半导体激光器的 LED 模式下的光的偏振度减小至接近零的值或为负值。此时,可增大与半导体激光器的 TE 模式一致的光的偏振成分,从而可降低半导体激光器的阈值。即,上述的半极性面上的多量子阱结构中,与压缩应变的作用相比增强了量子封闭性的作用,由此可减小 LED 模式下的偏振度,使其成为接近零的值或负值。

[0017] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述有源层的上述多量子阱结构的振荡波长可为 450nm 以上且 550nm 以下。

[0018] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,偏振度表现出波长依赖性,若为该范围,则可实现 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围的偏振度。

[0019] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述阱层的厚度可为 2nm 以上且 10nm 以下。

[0020] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,通过较窄的阱宽,可容易地提供接近零或负的偏振度。另一方面,在上述的倾斜角的范围内,使用厚度为 2nm 以上且 10nm 以下的阱层,可实现 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围的偏振度。

[0021] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述倾斜的方向为 a 轴的方向。该 III 族氮化物半导体激光器可还包括由该六方晶系 III 族氮化物的 m 解理面构成的一对端面。

[0022] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,使用 m 解理面可构成 III 族氮化物半导体激光器的谐振器。

[0023] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述半导体衬底的上述主面为例如

(11-22) 面和 (11-2-2) 面中的任意一个面。根据该 III 族氮化物半导体激光器,可朝向 a 轴方向倾斜。

[0024] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述倾斜的方向为 m 轴的方向。该 III 族氮化物半导体激光器可还包括由该六方晶系 III 族氮化物的 a 解理面构成的一对端面。

[0025] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,使用 a 解理面可构成 III 族氮化物半导体激光器的谐振器。

[0026] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述半导体衬底的上述主面为 (10-11) 面和 (10-1-1) 面中的任意一个面。根据该 III 族氮化物半导体激光器,可朝向 m 轴方向倾斜。

[0027] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述半导体衬底包含 GaN。根据该 III 族氮化物半导体激光器,可获得良好结晶质量的外延膜。另外,可制作带偏角的 GaN 晶片。

[0028] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,可还包括设置在上述第一覆层与上述有源层之间的 InGaN 层。

[0029] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,InGaN 层作为对施加于有源层的应力进行调节的缓冲层起作用。

[0030] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器,在上述第一覆层与上述 InGaN 层的界面上内含有失配位错。

[0031] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,通过失配位错使 InGaN 层松弛,由此使应变的各向异性产生变化。通过该应变的变化,可使偏振度为 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围。认为失配位错是因 InGaN 层的 c 面成为滑动面而导入的。该失配位错通过使用半导体衬底而导入。

[0032] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述 InGaN 层的镓含量为 0.01 以上,且上述 InGaN 层的镓含量为 0.1 以下,上述 InGaN 层与上述第一覆层的主面接触,上述第一覆层的晶格常数与上述 InGaN 层的晶格常数不同。

[0033] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,为了导入失配位错,需要一定程度的 In 含量。另一方面,过高的 In 含量可能会导致有源层的结晶质量降低。

[0034] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述 InGaN 层的厚度为 20nm 以上,且上述 InGaN 层的厚度为 150nm 以下。

[0035] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,为了导入失配位错,需要一定程度的膜厚。另一方面,过厚的膜厚可能会导致有源层的结晶质量降低。

[0036] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述 InGaN 层为第一光导层,该 III 族氮化物半导体激光器可还包括设置在上述第二覆层与上述有源层之间的第二光导层。上述第二光导层包含 InGaN。

[0037] 根据该 III 族氮化物半导体激光器,第一和第二光导层包含 InGaN。调整激光的波束图形的同时,可导入失配位错。

[0038] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述偏振度 P 为负值。根据该 III 族氮化物半导体激光器,可实现较低的阈值。

[0039] 本发明的 III 族氮化物半导体激光器中,上述倾斜角为 58 度以上且 62 度以下。该 III 族氮化物半导体激光器在该角度范围内,偏振度 P 为负值。

[0040] 本发明的另一方面为 III 族氮化物半导体激光器的制作方法。该方法包括如下步

骤:(a) 准备半导体晶片,该半导体晶片包含六方晶系的 III 族氮化物半导体,且具有相对于与该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向的基准轴正交的基准面以 50 度以上且 70 度以下的范围的倾斜角向该 III 族氮化物半导体的 a 轴方向和 m 轴方向中的任意一个方向倾斜的主面;(b) 在上述半导体晶片上生长包含第一导电型氮化镓基半导体的第一覆层;(c) 在上述 InGa_N 层上生长有源层;和(d) 在上述有源层上生长包含第二导电型氮化镓基半导体的第二覆层。上述有源层中的波导方向朝向 a 轴方向和 m 轴方向中的任意另一方向。在包含朝向上述波导方向的 X1 轴、与该 X1 轴正交的 X2 轴以及与上述 X1 轴和 X2 轴正交的 X3 轴的正交坐标系中,上述 n 型氮化镓基半导体区域、上述有源层和上述 p 型氮化镓基半导体区域沿上述 X3 轴的方向排列,上述有源层具有多量子阱结构,上述多量子阱结构包括沿上述 X3 轴的方向交替排列的阱层和势垒层,上述阱层包含 InGa_N,上述势垒层包含氮化镓基半导体,上述多量子阱结构以通过上述阱层与上述势垒层的带隙能量差和上述阱层的厚度中的至少任意一者使该 III 族氮化物半导体激光器的 LED 模式下的偏振度 P 为 -1 以上且 0.1 以下的方式进行设置,上述偏振度 P 使用上述 LED 模式下的光的该 X1 方向的电场分量 I1 与该 X2 方向的电场分量 I2,由

$$[0041] \quad P = (I1 - I2) / (I1 + I2)$$

[0042] 进行规定。

[0043] 根据该方法,使用 c 面的光学元件的发光表现出随机偏振,但使用自 c 面倾斜的面的光学元件的发光表现出光学各向异性,在上述的 50 度以上且 70 度以下的角度的倾斜面中,可使该半导体激光器的 LED 模式下的光的偏振度减小至接近零的值或为负值。此时,可增大与半导体激光器的 TE 模式一致的光的偏振成分,从而可降低半导体激光器的阈值。即,上述的半极性面上的多量子阱结构中,与压缩应变的作用相比增强了量子封闭性的作用,由此可减小 LED 模式下的偏振度直至成为负值。

[0044] 本发明的方法可在生长上述有源层之前,还包括在上述第一覆层上生长 InGa_N 层的步骤。根据该方法,InGa_N 层作为对施加于有源层的应力进行调节的缓冲层起作用。

[0045] 本发明的方法中,上述 InGa_N 层的铟含量可为 0.01 以上,且上述 InGa_N 层的铟含量可为 0.1 以下。上述 InGa_N 层与上述第一覆层的主面接触,上述第一覆层的晶格常数与上述 InGa_N 层的晶格常数不同。

[0046] 根据该方法,为了导入失配位错,需要一定程度的 In 含量,另一方面,过高的 In 含量可能会导致有源层的结晶质量降低。

[0047] 本发明的方法中,上述 InGa_N 层的厚度为 20nm 以上,且上述 InGa_N 层的厚度为 150nm 以下。

[0048] 根据该方法,为了导入失配位错,需要一定程度的膜厚,另一方面,过厚的膜厚可能会导致有源层的结晶质量降低。

[0049] 本发明的方法中,在上述第一覆层与上述 InGa_N 层的界面上形成有失配位错,上述失配位错的密度可为 $5 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ 以上且 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 以下。

[0050] 本发明的上述目的及其它目的、特征和优点,根据参考附图而进行的本发明的优选实施方式的以下详细描述,可以更容易地明白。

[0051] 发明效果

[0052] 如上所说明,根据本发明,提供一种通过使用半极性面可提供低阈值的 III 族氮

化物半导体激光器。另外,根据本发明,提供该 III 族氮化物半导体激光器的制作方法。

附图说明

- [0053] 图 1 是概略地表示本实施方式的 III 族氮化物半导体激光器的图；
 [0054] 图 2 是表示实施例 1 的发光二极管的结构图；
 [0055] 图 3 是表示偏角与偏振度的关系的图；
 [0056] 图 4 是表示在代表性的倾斜角 A_{OFF} (a 轴方向上 58 度的倾斜和 m 轴方向上 62 度倾斜) 时, LED 模式下的峰值发光波长与偏振度的关系的图；
 [0057] 图 5 是表示 LED 结构的阴极发光像的图；
 [0058] 图 6 是说明施密特因子的图；
 [0059] 图 7 是表示偏角与施密特因子的关系的图；
 [0060] 图 8 是表示实施例 2 的外延晶片和半导体激光器的结构的图；
 [0061] 图 9 是表示实施例 2 的外延晶片和半导体激光器的制作方法中的主要步骤的图；
 [0062] 图 10 是表示实施例 2 的外延晶片和半导体激光器的制作方法中的主要步骤的图；
 和

[0063] 图 11 是表示半导体激光器 D_M 和 D_C 的特性的图。

[0064] 标号说明

- | | | |
|--------|---------|----------------|
| [0065] | 11 | III 族氮化物半导体激光器 |
| [0066] | 13 | 半导体衬底 |
| [0067] | 15 | 第一覆层 |
| [0068] | 17 | 有源层 |
| [0069] | 19 | 第二覆层 |
| [0070] | 13a | 半导体衬底主面 |
| [0071] | 13b | 半导体衬底背面 |
| [0072] | 22 | 多量子阱结构 |
| [0073] | 23a | 阱层 |
| [0074] | 23b | 势垒层 |
| [0075] | P | 偏振度 |
| [0076] | 27 | InGaN 层 |
| [0077] | 29 | 界面 |
| [0078] | 31 | 光导层 |
| [0079] | 33 | 电子阻挡层 |
| [0080] | 35 | 接触层 |
| [0081] | 37a、37b | 端面 |
| [0082] | 39a | p 型氮化镓半导体区域 |
| [0083] | 41a | 接触窗 |
| [0084] | 43a、43b | 电极 |
| [0085] | LED | 发光二极管结构 |
| [0086] | ELED | 外延晶片 |

[0087]	51	GaN 晶片
[0088]	52	n 型 GaN 半导体层
[0089]	53	n 型 InGaN 层
[0090]	54	有源层
[0091]	55	p 型电子阻挡层
[0092]	56	p 型接触层
[0093]	54a	势垒层
[0094]	54b	阱层
[0095]	61	GaN 晶片
[0096]	62	Si 掺杂 AlGaN 层
[0097]	63a	InGaN 层
[0098]	63b	InGaN 层
[0099]	64	有源层
[0100]	65a	非掺杂 GaN 势垒层
[0101]	65b	非掺杂 InGaN 阱层
[0102]	66	p 型 GaN 基半导体区域
[0103]	66a	p 型 AlGaN 电子阻挡层
[0104]	66b	p 型 AlGaN 覆层
[0105]	66c	p 型 GaN 接触层
[0106]	E _{LD}	外延晶片
[0107]	68	绝缘膜
[0108]	69a	p 侧电极
[0109]	69b	n 侧电极

具体实施方式

[0110] 本发明的见解通过参考作为例示给出的附图来考虑以下的详细描述可以容易地理解。接着,参考附图对本发明的 III 族氮化物半导体激光器、外延晶片以及外延晶片和 III 族氮化物半导体激光器的制作方法的实施方式进行说明。可能的情况下,对同一部分标注同一符号。

[0111] 图 1 是概略地表示本实施方式的 III 族氮化物半导体激光器的图。图 1 中显示出具有 X1 轴、X2 轴和 X3 轴的正交坐标系 S 以及用于表示 a 轴、m 轴和 c 轴取向的结晶坐标系 CR。在随后的说明中,以 (000-1) 面的记法表示氮化镓基半导体的例如 (0001) 面的相反面。

[0112] III 族氮化物半导体激光器 11 包括半导体衬底 13、第一覆层 15、有源层 17 和第二覆层 19。半导体衬底 13 具有主面 13a 和背面 13b。半导体衬底 13 包含六方晶系的 III 族氮化物半导体,该 III 族氮化物半导体为例如 GaN 等。半导体衬底 13 的主面 13a 相对于与该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向的基准轴 Cx 正交的基准面,以 50 度以上且 70 度以下的范围的倾斜角 A_{OFF} 向该 III 族氮化物半导体的 a 轴方向和 m 轴方向中的任意一个方向倾斜。在本实施例中,该角度 A_{OFF} 等于向量 VC 与向量 VN 所成的角的余角。图 1 中,显示出代

表性的 c 面 S_c 和 c 轴向量 VC , 也显示出朝向主面 13a 的法线向量 VN 。第一覆层 15 设置在半导体衬底 13 的主面 13a 上, 且包含第一导电型的氮化镓基半导体。第一覆层 15 的氮化镓基半导体包含例如 GaN、AlGaIn、InAlGaIn 等。有源层 17 的光的波导方向为 a 轴方向和 m 轴方向中的任意另一方向, 图 1 中, 轴 A_x 表示波导方向。经波导的光成为自端面出射的激光 L_0 。第二覆层 19 设置在半导体衬底 13 的主面 13a 上, 且包含第二导电型的氮化镓基半导体。第二覆层 19 的氮化镓基半导体包含例如 GaN、AlGaIn、InAlGaIn 等。有源层 17 设置在第一覆层 15 与第二覆层 19 之间。有源层 17 具有多量子阱结构 22。多量子阱结构 22 包括沿 X3 轴的方向交替排列的阱层 23a 和势垒层 23b, 阱层 23a 包含 InGaIn, 势垒层 23b 包含 GaN 或 InGaIn。本实施例中, III 族氮化物半导体激光器 11 具有在 X1 轴的方向上具有波导方向 (图 1 中为 m 轴方向) 的增益波导型。III 族氮化物半导体激光器 11 中, 在半导体衬底 13 上, n 型氮化镓基半导体区域、有源层和 p 型氮化镓基半导体区域沿 X3 轴的方向排列。多量子阱结构以通过阱层 23a 与势垒层 23b 的带隙能量差和阱层 23 的厚度 D_w 的至少任意一者使该 III 族氮化物半导体激光器的 LED 模式下的偏振度 P 为 -1 以上且 0.1 以下的方式设置。III 族氮化物半导体激光器的 LED 模式下的光是该半导体激光器达到激光振荡之前自有源层出射的光。偏振度 P 使用该 LED 模式下的光的该 X1 方向的电场分量 I_1 与该 X2 方向的电场分量 I_2 , 由 $P = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ 进行规定。

[0113] 根据该 III 族氮化物半导体激光器 11, 利用 c 面的发光中表现出随机偏振, 但自 c 面倾斜的面的发光中表现出光学各向异性, 在上述 50 度以上且 70 度以下的角度范围的 GaIn 倾斜面 (即半极性面) 中, 可使该半导体激光器 11 的 LED 模式下的光的偏振度 P 减小至接近零的值或为负值。此时, 可增大与半导体激光器 11 的 TE 模式一致的光的偏振成分, 使半导体激光器 11 的阈值减小。即, 在上述半极性面上的多量子阱结构 22 中, 可减小 LED 模式下的偏振度直至成为负值。关于偏振度, 在压缩应变强的多量子阱结构中, 偏振度增加而接近“1”。另一方面, 认为本实施方式的上述范围 (-1 以上且 0.1 以下) 的偏振度 P 不是由压缩应变的作用, 而是由量子封闭性的作用而提供的。为了相对地增强量子封闭性, 例如可增大阱层与势垒层的带隙能量差, 可减小阱层的厚度。为了获得长波长的发光, 增加 InGaIn 阱层的 In 含量可强化量子封闭性。

[0114] III 族氮化物半导体激光器 11 中, 多量子阱结构 22 的振荡波长为 450nm 以上。另外, 振荡波长可为 550nm 以下。偏振度 P 显示出波长依赖性, 若为该范围, 则可实现 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围的偏振度 P 。多量子阱结构 22 中, 阱层 23a 的厚度 D_w 可为 2nm 以上。另外, 厚度 D_w 可为 10nm 以下。通过较窄的阱宽, 可容易地提供接近零或负的偏振度。另一方面, 在上述的倾斜角的范围内, 使用厚度为 2nm 以上且 10nm 以下的阱层, 可实现 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围的偏振度。

[0115] III 族氮化物半导体激光器 11 可还包括 InGaIn 层 27。InGaIn 层 27 设置在第一覆层 15 与有源层 17 之间。InGaIn 层 27 作为用于调节施加于有源层 17 的应力的缓冲层起作用。例如, InGaIn 层 27 与第一覆层 15 的主面接触, 第一覆层 15 的晶格常数与 InGaIn 层 27 的晶格常数不同。另外, InGaIn 层 27 与有源层 17 接触, 有源层 17 的阱层 23a 的晶格常数与 InGaIn 层 27 的晶格常数不同。

[0116] 第一覆层 15 与 InGaIn 层 27 的界面 29 上存在失配位错。通过导入失配位错使 InGaIn 层 27 松弛, 由此使有源层 17 的应变的各向异性产生变化。认为通过该应变的变化可

实现 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围的偏振度 P 。认为失配位错是因 InGaN 层的 c 面作为滑动面发挥作用而导入的。该失配位错通过使用半导体衬底而导入。为了使应变的各向异性产生变化,需要一定程度的位错密度,因此失配位错的密度可为 $5 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$ 以上。另外,过高的位错密度可能会导致结晶质量变差,因此失配位错的密度可为 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ 以下。

[0117] InGaN($\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$) 层 27 的铟含量 x 可为 0.01 以上。为了导入失配位错,需要一定程度的 In 含量。铟含量 x 可为 0.1 以下。过高的 In 含量可能会导致有源层 17 的结晶质量降低。

[0118] 另外,InGaN 层 27 的厚度 D_{27} 可为 20nm 以上。为了导入失配位错,需要一定程度的膜厚。该厚度 D_{27} 可为 150nm 以下。过厚的膜厚 D 可能会导致有源层 17 的结晶质量降低。

[0119] III 族氮化物半导体激光器 11 中可还包括光导层 31。光导层 31 设置在第二覆层 19 与有源层 17 之间。光导层 31 包含 InGaN。当光导层 31 作为所谓的上侧光导层发挥作用时,InGaN 层 27 作为下侧光导层发挥作用。这些光导层 27、31 调节激光的光束图形,并且光导层 27 可导入失配位错。光导层 31 的 In 含量可例如 0.01 以上且 0.1 以下。光导层 27 可包含非掺杂 InGaN,光导层 31 可包含非掺杂 InGaN。

[0120] III 族氮化物半导体激光器 11 还包括设置在第二覆层 19 与有源层 17 之间的电子阻挡层 33。电子阻挡层 33 的带隙大于光导层 31 的带隙,且大于第二覆层 19 的带隙。电子阻挡层 33 包含例如 AlGaN。

[0121] 在必要的情况下,III 族氮化物半导体激光器 11 还包括设置在第二覆层 19 上的接触层 35。接触层 35 的掺杂剂浓度大于第二覆层 19 的掺杂剂浓度。接触层 35 可包含例如 p 型 GaN 等。

[0122] III 族氮化物半导体激光器 11 可还包括由解理面构成的一对端面 37a、37b。倾斜的方向为 a 轴方向时,可在 m 面形成解理面。III 族氮化物半导体激光器 11 的端面 37a、37b 为 m 面解理面。使用 m 面解理面可构成 III 族氮化物半导体激光器 11 的谐振器。另外,倾斜的方向为 m 轴方向时,可在 a 面形成解理面。III 族氮化物半导体激光器 11 的端面 37a、37b 为 a 面解理面。使用 a 面解理面可构成 III 族氮化物半导体激光器 11 的谐振器。端面 37a、37b 与表示波导方向的轴 Ax 所成的角度可在 -1 度以上且 $+1$ 度以下的范围内。

[0123] 半导体衬底 13 的主面 13a 为例如 (11-22) 面 (偏角 58 度, a 轴方向) 和 (11-2-2) 面中的任意一个面时,可朝向 a 轴方向倾斜。另外,半导体衬底 13 的主面 13a 为 (10-11) 面 (偏角 62 度, m 轴方向) 和 (10-1-1) 面中的任意一个面时,可朝向 m 轴方向倾斜。

[0124] III 族氮化物半导体激光器中还包括覆盖 p 型氮化镓半导体区域 39a 的表面的保护膜 41。保护膜 41 上设有沿波导方向延伸的接触窗 41a。电极 (例如阳极) 43a 经由接触窗 41a 与氮化镓半导体区域 39a 形成接触。另一方面,电极 (例如阴极) 43b 与半导体衬底 13b 的背面 13b 形成接触。阳极和阴极之间连接有电源时,电流自阳极经由导电性的半导体衬底流至阴极。半导体衬底 13 可包含例如导电性 GaN。GaN 可对衬底赋予导电性,并且可提供良好结晶质量的外延膜的生长。另外,可制作带偏角的 GaN 晶片。

[0125] (实施例 1)

[0126] 准备具有各种偏角的半极性 GaN 晶片。 c 面与晶片主面所成的角度 (偏角) 为例如 m 轴方向 43 度、 a 轴方向 58 度、 m 轴方向 62 度、 m 轴方向 75 度。在 GaN 晶片上制作图 2 所示的发光二极管 (LED) 结构。外延生长通过有机金属气相生长法进行,作为用于外延生

长的原料,使用三甲基镓 (TMG)、三甲基镓 (TMI)、三甲基铝 (TMA)、氨 (NH_3)、硅烷 (SiH_4)、双环戊二烯基镁 (Cp_2Mg)。进行以下的步骤,制作图 2 所示的外延晶片。

[0127] 按以下的条件在 GaN 晶片上进行外延生长。GaN 晶片的边缘上的两点间的间隔的最大值为例如 45mm 以上。首先,为了进行预处理步骤,将 GaN 晶片配置于生长炉的晶座上。一面向生长炉供给 NH_3 和 H_2 ,一面进行作为预处理的摄氏 1050 度的温度下的热处理。热处理时间为例如 10 分钟。该热处理之后,为了进行 n 型半导体生长步骤,将衬底温度变更为例如摄氏 1150 度的温度。在摄氏 1150 度的衬底温度下将 TMG、 NH_3 、 SiH_4 供给至生长炉,生长出 Si 掺杂 GaN 层。GaN 层的厚度为例如 2 微米。

[0128] 下一步骤中,为了根据偏角而调节镓含量,利用摄氏 650 度以上且摄氏 880 度以下的范围的衬底温度,进行以下的半导体层的生长。将 TMG、TMI、 NH_3 、 SiH_4 供给至生长炉,生长出 Si 掺杂 InGaN 层。InGaN 层的厚度为例如 100nm。InGaN 层的 In 含量为例如 0.04。

[0129] 进行生长有源层的步骤。首先,在势垒层生长步骤中,在势垒层的生长温度 (T_b) 下将 TMG、 NH_3 供给至生长炉,生长出非掺杂 GaN 势垒层。该 GaN 层的厚度为 15nm。在 GaN 势垒层的生长后中断生长,将衬底温度自生长温度 (T_b) 变更为阱层的生长温度 (T_w)。变更之后,在阱层生长步骤中,将 TMG、TMI、 NH_3 供给至生长炉,生长出非掺杂 InGaN 阱层。InGaN 阱层的厚度为 3nm。该 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的 In 含量 X 为例如 0.2。InGaN 阱层的生长后,停止 TMI 的供给。接着,一面将 NH_3 供给至生长炉,一面将衬底温度自生长温度 (T_w) 变更为生长温度 (T_b)。变更之后,进行势垒层生长步骤,生长出非掺杂 GaN 势垒层。GaN 势垒层的厚度为 15nm。在重复步骤中,重复进行阱层的生长、温度变更、势垒层的生长,形成 InGaN 阱层和 GaN 势垒层。

[0130] p 型半导体生长步骤中,在有源层上生长出 p 型 GaN 基半导体区域。例如,在 GaN 势垒层的生长之后,停止 TMG 的供给,将衬底温度上升至摄氏 1000 度。在该温度下将 TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg 供给至生长炉,生长出 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 电子阻挡层。该电子阻挡层为例如 20nm。之后,停止 TMA 的供给,生长出 p 型 GaN 接触层。p 型 GaN 接触层为例如 50nm。成膜之后,将生长炉的温度降温至室温,制作外延晶片 E_{LED} 。

[0131] 电极形成步骤中,在外延晶片 E_{LED} 上形成电极。首先,在 p 型 GaN 接触层上形成 p 侧电极 (透明电极 Ni/Au)。之后,形成 p 衬垫电极 (Ti/Au)。在 GaN 晶片的背面形成 n 侧电极 (Ti/Al)。之后,进行电极退火 (例如在摄氏 550 度下进行 1 分钟)。通过该步骤,获得半导体发光元件的衬底产品。

[0132] 图 2 是表示发光二极管结构 LED 及其所用的外延晶片 E_{LED} 的结构图。发光二极管结构 LED 和外延晶片 E_{LED} 包括依次生长于 GaN 晶片 51 的主面 51a 上的 n 型 GaN 半导体层 52、n 型 InGaN 层 53、有源层 54、p 型电子阻挡层 55 和 p 型接触层 56。有源层 54 包括势垒层 54a 和阱层 54b。另外,外延晶片 E_{LED} 的接触层 56 上形成有阳极 57a,并且 GaN 晶片的背面 51b 上形成有阴极 57b。

[0133] 在这些 LED 结构的阳极 57a 和阴极 57b 上连接电源 59,经由接触层 56 测定来自 LED 结构的上表面的光 L_{LED} 的偏振度。图 3 是表示偏角与偏振度的关系的图。参考图 3,显示有例如 m 轴方向 43 度 (箭头 A_{43})、a 轴方向 58 度 (箭头 A_{58})、m 轴方向 62 度 (箭头 A_{62})、m 轴方向 75 度 (箭头 A_{75})。偏振度特性曲线 P0 在角度 A_{D0} 、 A_{U0} 时显示零偏振。根据图 3,角度 A_{D0} 为约 50 度,角度 A_{U0} 为约 68 度。另外,偏振度特性曲线 P0 在角度 A_D 、 A_U 时显示 0.1

的偏振度。根据图 3, 角度 A_D 为约 49 度, 角度 A_U 为约 73 度。如图 3 所示, 偏振度特性曲线 P0 随着自 c 面的倾斜角 A_{OFF} 的增加在正偏振度的区域内先是增加。但是, 若倾斜角超过 30 度, 则偏振度特性曲线 P0 随着倾斜角 A_{OFF} 的增加而减小, 在角度 A_D 附近偏振度成为 0.1 以下, 进而在角度 A_{D0} 附近成为负值。并且, 在 60 度附近的倾斜角时达到最小值, 随着倾斜角 A_{OFF} 的增加而增加, 在角度 A_{U0} 附近成为正值, 在角度 A_U 附近偏振度超过 0.1, 并进一步增加。

[0134] 图 4 是表示在代表性的 58 度 (a 轴方向倾斜) 和 62 度 (m 轴方向倾斜) 的倾斜角 A_{OFF} 时, LED 模式下的峰值发光波长与偏振度的关系的图。参考图 4, 偏振度在波长 450nm 附近的波长 λ_L 处显示为 0.1。另外, 在 460nm 附近的波长 λ_0 处, 偏振度成为零。波长 λ_{S1} 为 450nm。

[0135] 该 LED 结构中, 偏振度 P 显示出波长依赖性。除了该实验以外, 根据本发明人的其它实验, 在 450nm 以上且 550nm 以下的峰值振荡波长的范围内, 可实现 $-1 \leq P \leq 0.1$ 的范围的偏振度 P。

[0136] 另外, 为了获得负值的偏振度, 多量子阱结构的峰值振荡波长可为 460nm 以上且 550nm 以下。根据该半导体激光器, 可实现较低的阈值。在例如 58 度以上且 62 度以下的范围的倾斜角时, 偏振度 P 为负值。

[0137] 图 5 是表示 LED 结构的阴极发光 (CL) 像的图。图 5(a) ~ 图 5(d) 分别表示 m 轴方向 43 度偏离 (偏振度: 0.52)、a 轴方向 58 度偏离 (偏振度: -0.29)、m 轴方向 62 度偏离 (偏振度: -0.06)、m 轴方向 75 度偏离 (偏振度: 0.24) 的 LED 结构的 CL 像。CL 像测定中的加速电压以加速电子可到达 InGaN 层的方式设定。在显示负值的偏振度的 a 轴方向 58 度偏离和 m 轴方向 62 度偏离的 CL 像中, 观测到以垂直于偏离方向的方向进入的暗线。由暗线的朝向判断, 认为 c 面成为滑动面而导入了失配位错。在半极性 GaN 衬底中, 通过在相对于半极性面而倾斜的面 (滑动面) 上扩大位错的半环, 在滑动面与界面 (上述 LED 结构中, 为 InGaN 层与 n 型 GaN 层的界面) 交叉的位置处导入失配位错。

[0138] 如图 4 所示, 发光峰值波长增加时, 偏振度 P 减小。该偏振度 P 的行为可通过阱层的 In 含量的增加如下进行说明。认为 In 含量高的阱层中, 量子封闭效果强。另外, 图 5 的结果也可通过阱层的 In 含量的增加而进行说明。认为 In 含量高的阱层对 InGaN 层与 n 型 GaN 层的界面施加较大的应力, 因此容易于该界面上产生失配位错。

[0139] 根据图 3 ~ 图 5 的结果, 认为在 50 度至 70 度的范围的偏角时, 剪切应力较大地作用于 c 面, 从而在 InGaN 层与基底 GaN 层的界面上导入失配位错。认为通过失配位错的导入, 阱层的应变的面内各向异性产生变化, 从而对偏振度产生影响。

[0140] 当 c 面为滑动面时, 估算 c 面的施密特因子。该施密特因子表示 c 面上发生滑动的程度。参考图 6 说明施密特因子。图 6 中显示有作为圆柱形状物体的 InGaN 层的一部分。c 面滑动面 S_{slip} 相对于轴 Ax 向法线向量 N_{slip} 所示的方向倾斜。c 面滑动面 S_{slip} 向滑动向量 D_{slip} 所示的方向 (c 轴的方向) 滑动。对截面积 A 施加拉伸张力 F 时, 滑动方向的剪切应力 τ 以

$$[0141] \quad \tau = (F \times \cos \lambda) / (A / \cos \phi) = \sigma \times \cos \lambda \times \cos \phi \quad (1)$$

[0142] 表示。当应力 σ ($= F/A$) 为临界值以上时, 滑动面上产生变形。将式 (1) 中的 “ $\cos \lambda \cdot \cos \phi$ ” 称为施密特因子 (以下以 “ F_s ” 表示)。

[0143] 图 7 是表示偏角与施密特因子的关系的图。施密特因子的大小为以下的顺序。

[0144] $F_{\text{Sa}58} > F_{\text{Sm}62} > F_{\text{Sm}43} > F_{\text{Sm}75}$ (2)

[0145] 式 (2) 所示的顺序定性地支持了 CL 像中暗线的产生与偏离角度的关系。CL 像中, 在 a 轴方向 58 度的 GaN 衬底上的 LED 结构、m 轴方向 62 度的 GaN 衬底上的 LED 结构中观测到失配位错。失配位错产生的边界为 50 度以下且 50 度附近的角度, 另外, 为 70 度以上且 70 度附近的角度。

[0146] (实施例 2)

[0147] 实施例 1 中, 通过观测来自 LED 结构的发光, 发现了偏振度与角度的关系。实施例 2 中, 在 a 轴方向 58 度倾斜的 GaN 晶片上制作半导体激光器结构。外延生长通过有机金属气相生长法进行, 作为用于外延生长的原料, 使用三甲基镓 (TMG)、三甲基铟 (TMI)、三甲基铝 (TMA)、氨 (NH_3)、硅烷 (SiH_4)、双环戊二烯基镁 (Cp_2Mg)。进行以下的步骤, 参考图 9 和图 10 说明图 8 所示的外延晶片和半导体激光器的制作。

[0148] 在步骤 S101 中, 准备具有 50 度以上且 70 度以下的范围内的倾斜角的半极性 GaN 晶片。实施例 2 中, 准备 a 轴方向 58 度倾斜的 GaN 晶片 61。

[0149] 按以下的条件在 GaN 晶片 61 上进行外延生长。首先, 在步骤 S102 中, 将 GaN 晶片 61 配置于生长炉的晶座上。在步骤 S103 中, 为了进行预处理, 一面将 NH_3 及 H_2 供给至生长炉, 一面在摄氏 1050 度的温度下进行热处理。热处理时间为例如 10 分钟。该热处理之后, 在步骤 S104 中, 为了进行 n 型半导体的生长, 将衬底温度变更为例如摄氏 1150 度的温度。在摄氏 1150 度的衬底温度下将 TMG、TMA、 NH_3 、 SiH_4 供给至生长炉, 在 GaN 晶片 61 的主面 61a 上生长出 Si 掺杂 AlGaIn 层 62。该 AlGaIn 层 62 的厚度为例如 2 微米。AlGaIn 层 62 的 Al 含量为例如 0.04。

[0150] 下一步骤 S105 中, 在摄氏 840 度的衬底温度下将 TMG、TMI、 NH_3 供给至生长炉, 在 AlGaIn 层 62 上生长出 InGaIn 层 63a。InGaIn 层 63a 的厚度为例如 100nm, In 含量为例如 0.04。该 InGaIn 层 63a 也作为光导层发挥作用。

[0151] 进行生长有源层 64 的步骤 S106。首先, 在势垒层生长步骤 S107 中, 在摄氏 860 度的生长温度 (T_b) 下将 TMG、 NH_3 供给至生长炉, 生长出非掺杂 GaN 势垒层 65a。该 GaN 层 65a 的厚度为例如 15nm。温度变更之后, 在阱层生长步骤 S108 中, 在摄氏 790 度的生长温度 (T_w) 下将 TMG、TMI、 NH_3 供给至生长炉, 在 GaN 势垒层 65a 上生长出非掺杂 InGaIn 阱层 65b。InGaIn 阱层 65b 的厚度为例如 3nm。该 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的 In 含量 X 为例如 0.18。In 含量 X 可为例如 0.10 以上且 0.40 以下的范围。生长 InGaIn 阱层 65b 之后, 将衬底温度自生长温度 (T_w) 变更为生长温度 (T_b)。变更后, 进行势垒层生长步骤 S107, 生长出非掺杂 GaN 势垒层 65a。GaN 势垒层 65a 的厚度为例如 15nm。在重复步骤 S109 中, 重复进行阱层 65b 的生长、温度变更、势垒层 65a 的生长, 形成包含交替排列的 GaN 势垒层 65a 和 InGaIn 阱层 65b 的多量子阱结构。

[0152] 下一步骤 S110 中, 在摄氏 840 度的衬底温度下将 TMG、TMI、 NH_3 供给至生长炉, 在有源层 64 上生长出 InGaIn 层 63b。InGaIn 层的厚度为例如 100nm, In 含量为例如 0.04。

[0153] p 型半导体生长步骤 S111 中, 在 InGaIn 层 63b 上生长 p 型 GaN 基半导体区域 66。例如, 在生长 InGaIn 光导层 63b 之后, 停止 TMG 的供给, 将衬底温度上升至摄氏 1000 度。在该温度下将 TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg 供给至生长炉, 在 InGaIn 光导层 63b 上生长出 p 型 AlGaIn 电子阻挡层 66a。该电子阻挡层 66a 为例如 20nm。电子阻挡层 66a 的 Al 含量为例如 0.18。

接着,在不变更温度的条件下将 TMG、TMA、 NH_3 、 Cp_2Mg 供给至生长炉,在电子阻挡层 66a 上生长出 p 型 AlGaIn 覆层 66b。该 p 型覆层 66b 为例如 400nm。p 型覆层 66b 的 Al 含量为例如 0.04。之后,停止 TMA 的供给,在 p 型覆层 66b 上生长出 p 型 GaN 接触层 66c。p 型 GaN 接触层 66c 为例如 50nm。成膜后,将生长炉的温度降温至室温,制作外延晶片 E_{LD} 。

[0154] 电极形成步骤 S112 中,在外延晶片 E_{LD} 上形成具有接触窗的绝缘膜 68,然后在外延晶片 E_{LD} 上形成 p 侧电极 69a 和 n 侧电极 69b。在 p 型 GaN 接触层 66c 上形成 p 侧透明电极 (Ni/Au)。之后,形成阳极衬垫电极 (Ti/Au)。绝缘膜为例如氧化硅膜。接触窗形成为例如宽度 $10\mu\text{m}$ 的条形。在 GaN 晶片 61 的背面 61b 上形成阴极电极 (Ti/Al)。之后,进行电极退火 (例如在摄氏 550 度下进行 1 分钟)。通过该步骤,获得半导体发光元件的衬底产品。

[0155] 在解理步骤 S113 中,以规定的间隔对衬底产品进行解理,作成激光谐振器。通过解理,例如使激光谐振器包含一对 m 面解理面。通过上述步骤,制作出半导体激光器 D_{M} 。

[0156] 为了进行比较,在 c 面 GaN 晶片上也通过外延生长制作相同的激光器结构。制作出半导体激光器 D_{C} 。

[0157] 图 11 是表示半导体激光器 D_{M} 和 D_{C} 的特性的图。参考图 11(a),显示出注入电流密度与 LED 模式下的发光光谱的峰值波长的关系。参考图 11(b),显示出注入电流密度与 LED 模式下的发光光谱的半峰宽的关系。

[0158] 由于半导体激光器 D_{M} 制作于半极性面 (a 轴方向上 58 度的倾斜面) 上,因此半导体激光器 D_{M} 的蓝移小于半导体激光器 D_{C} 。另外,半导体激光器 D_{M} 的半峰宽也小于半导体激光器 D_{C} 。半峰宽的行为可以如下理解。由于半导体激光器 D_{C} 显示出较大的压电效应,因此根据有源层中的注入电流密度,有源层的各阱层在载流子密度方面产生差异。因载流子密度的差异而导致各阱层的压电筛选 (ピエゾスクリーニング) 的程度产生差异。因此,在 LED 模式的发光光谱中,半峰宽变大。另一方面,半导体激光器 D_{M} 的压电极化小于半导体激光器 D_{C} ,因此各阱层中的压电筛选程度的差较小。此外,半导体激光器 D_{M} 的阱层中,In 含量的不均匀性小于半导体激光器 D_{C} 。该 In 含量的均匀性也有助于缩小 LED 模式的发光光谱中的半峰宽。

[0159] 半导体激光器 D_{M} 中,在 5mA 的注入电流下测定的偏振度为 +0.02。该偏振度小于目前为止的报告例。当增加半导体激光器 D_{M} 和 D_{C} 中的施加电流时,半导体激光器 D_{M} 在 850mA 的电流下产生激光振荡。另一方面,半导体激光器 D_{C} 在 900mA 的电流下产生激光振荡。

[0160] 如以上所说明,获得了偏振度非常小 (0.1 以下且 -1 以上) 的半导体激光器。认为使用由 m 面解理形成的端面镜,可获得低于比较例的阈值。

[0161] 在优选的实施方式中对本发明的原理进行了图示说明,但本领域技术人员应当认识到,本发明可在不脱离其原理的范围内对配置及细节加以变更。本发明并不限于本实施方式中所公开的特定构成。因此,请求保护权利要求书请求的范围及根据其精神范围得到的所有修正及变更。

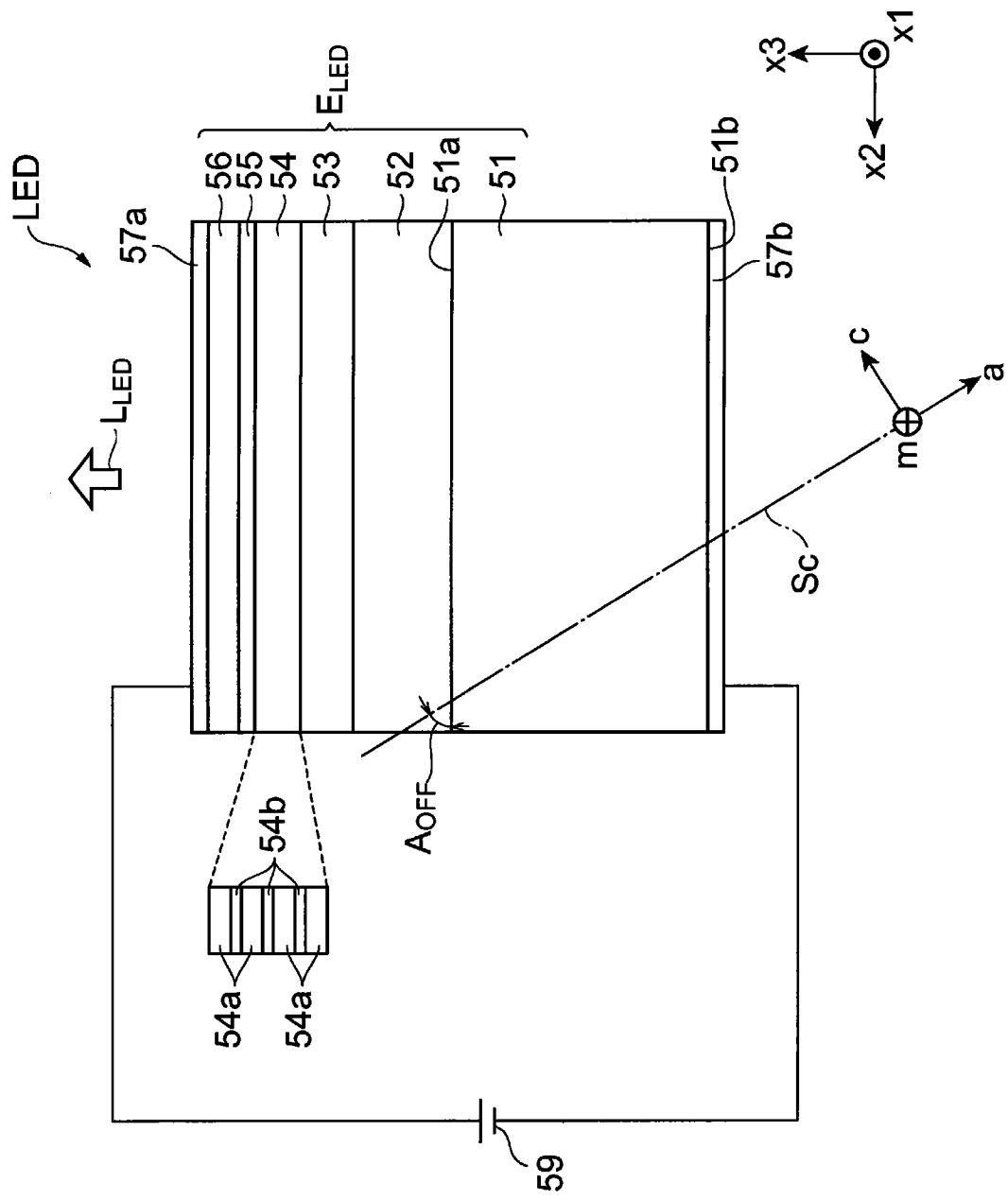


图 2

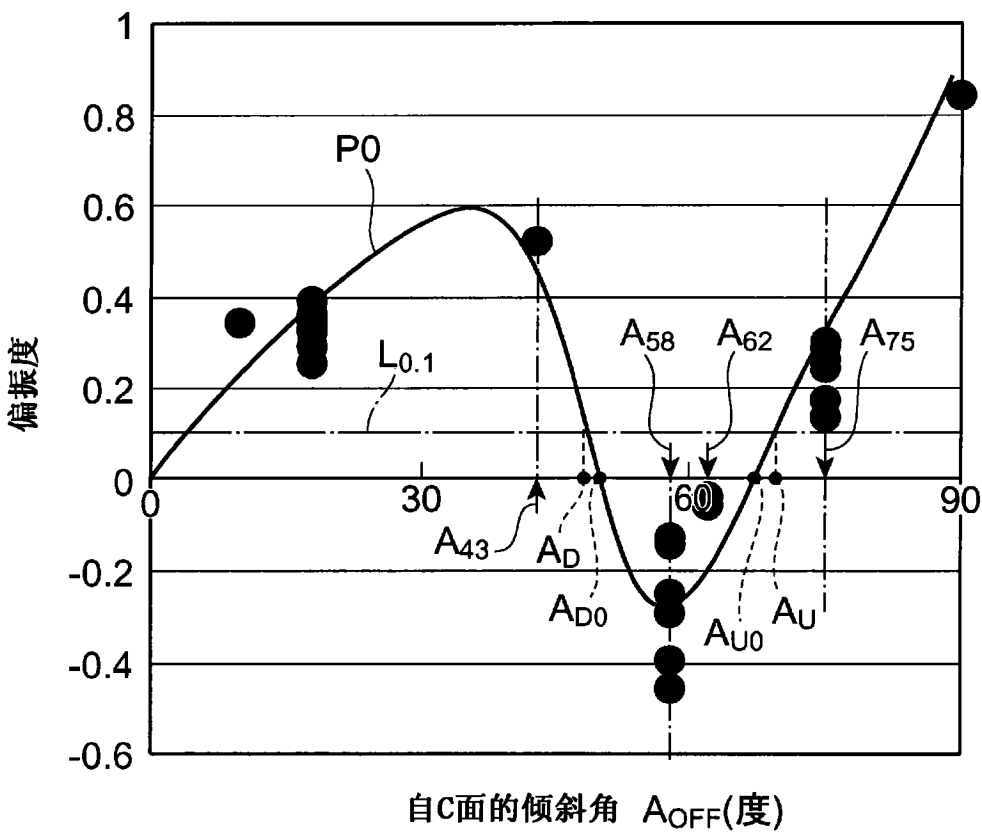


图 3

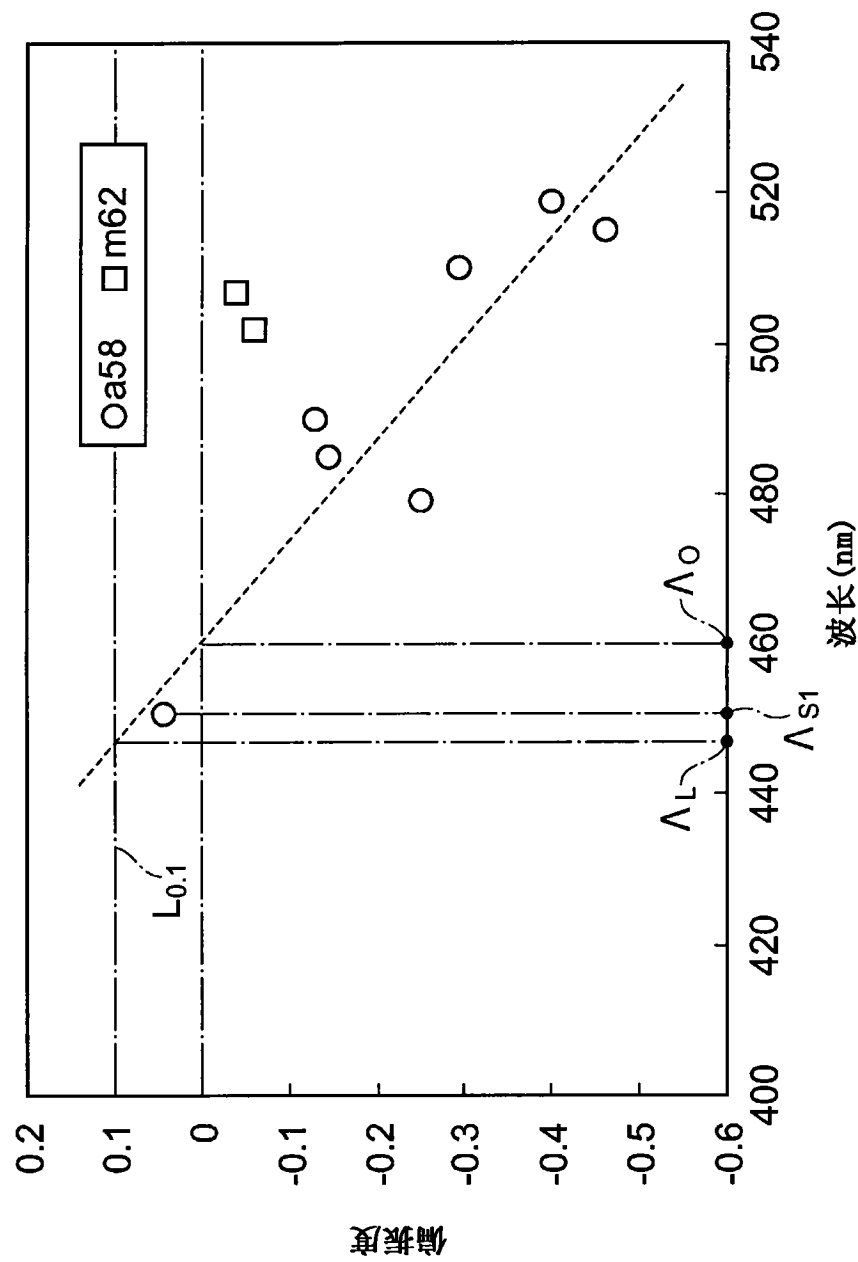


图 4

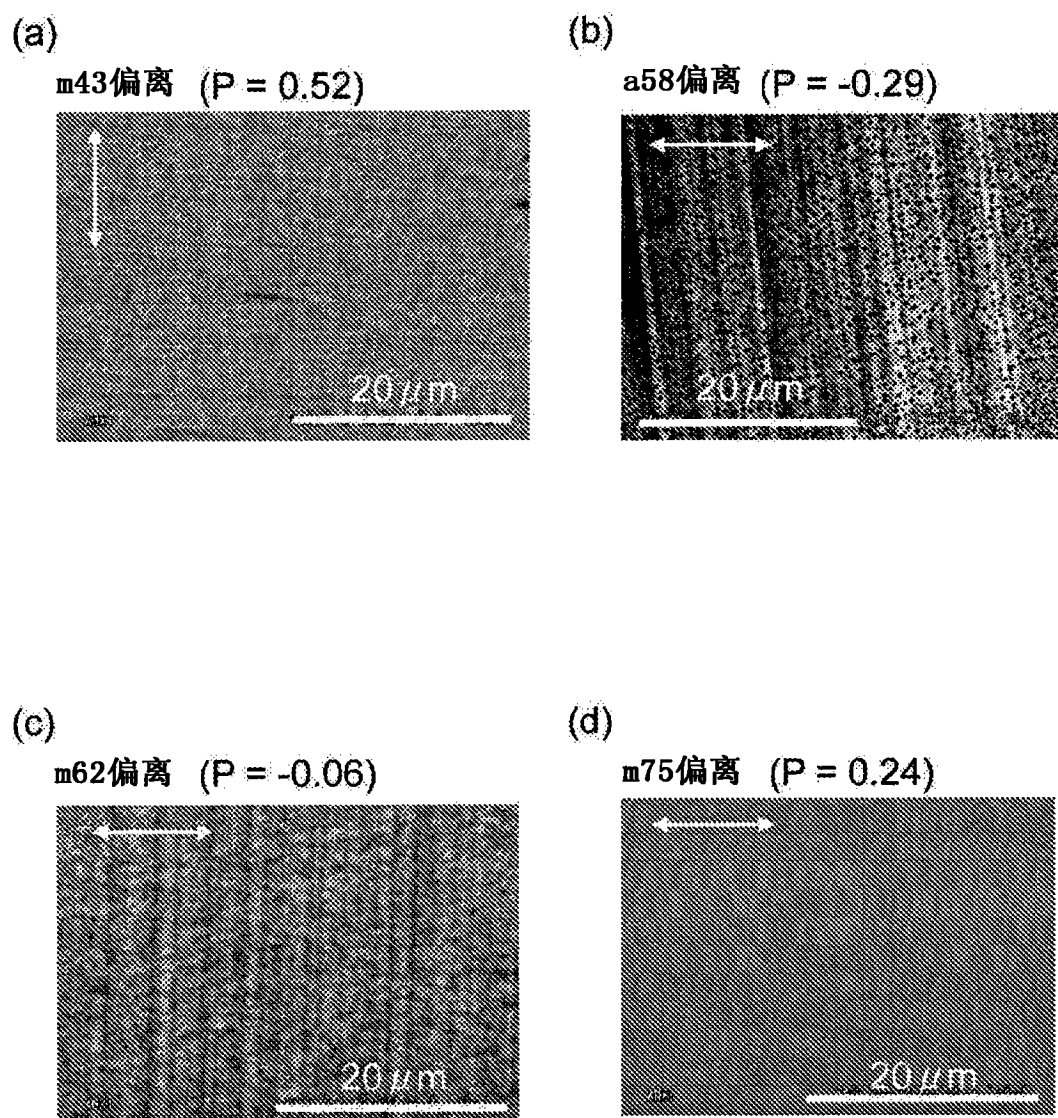


图 5

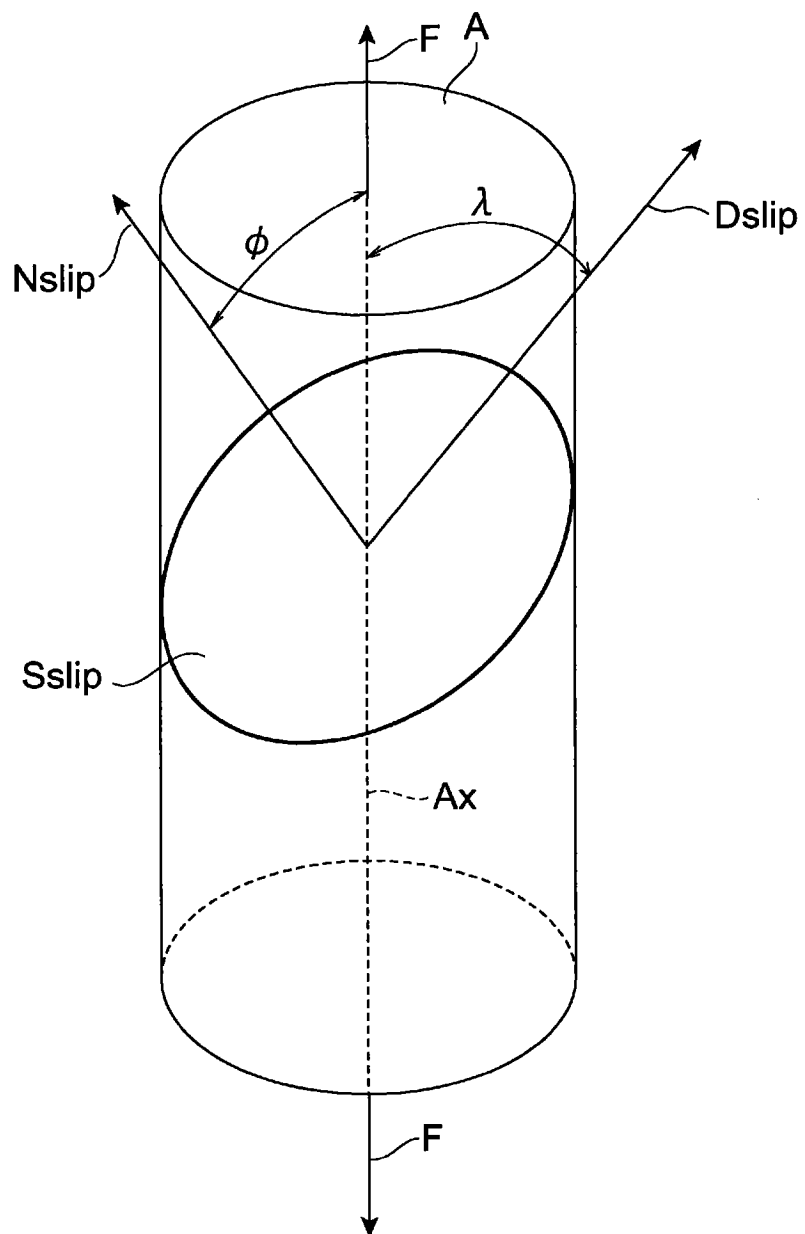


图 6

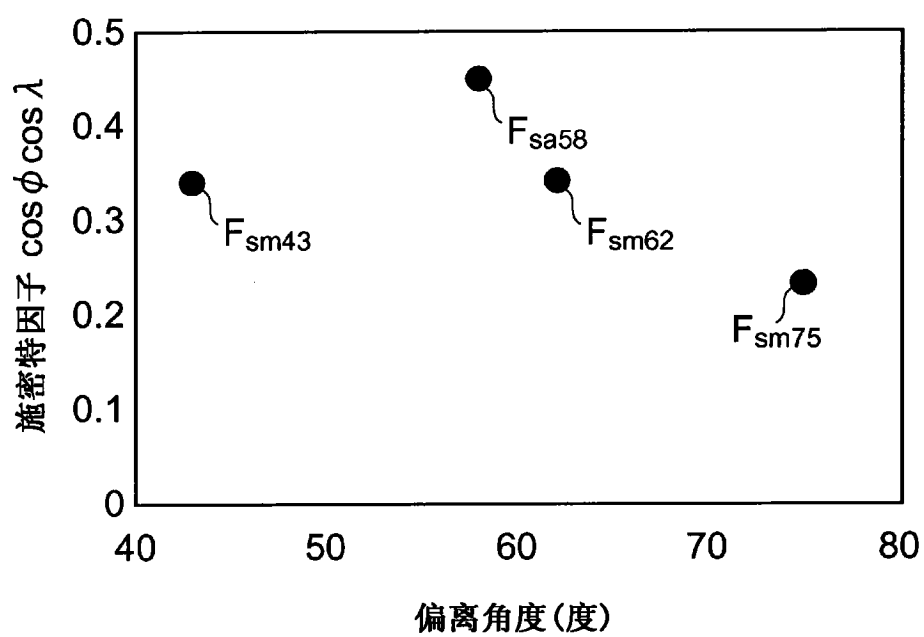


图 7

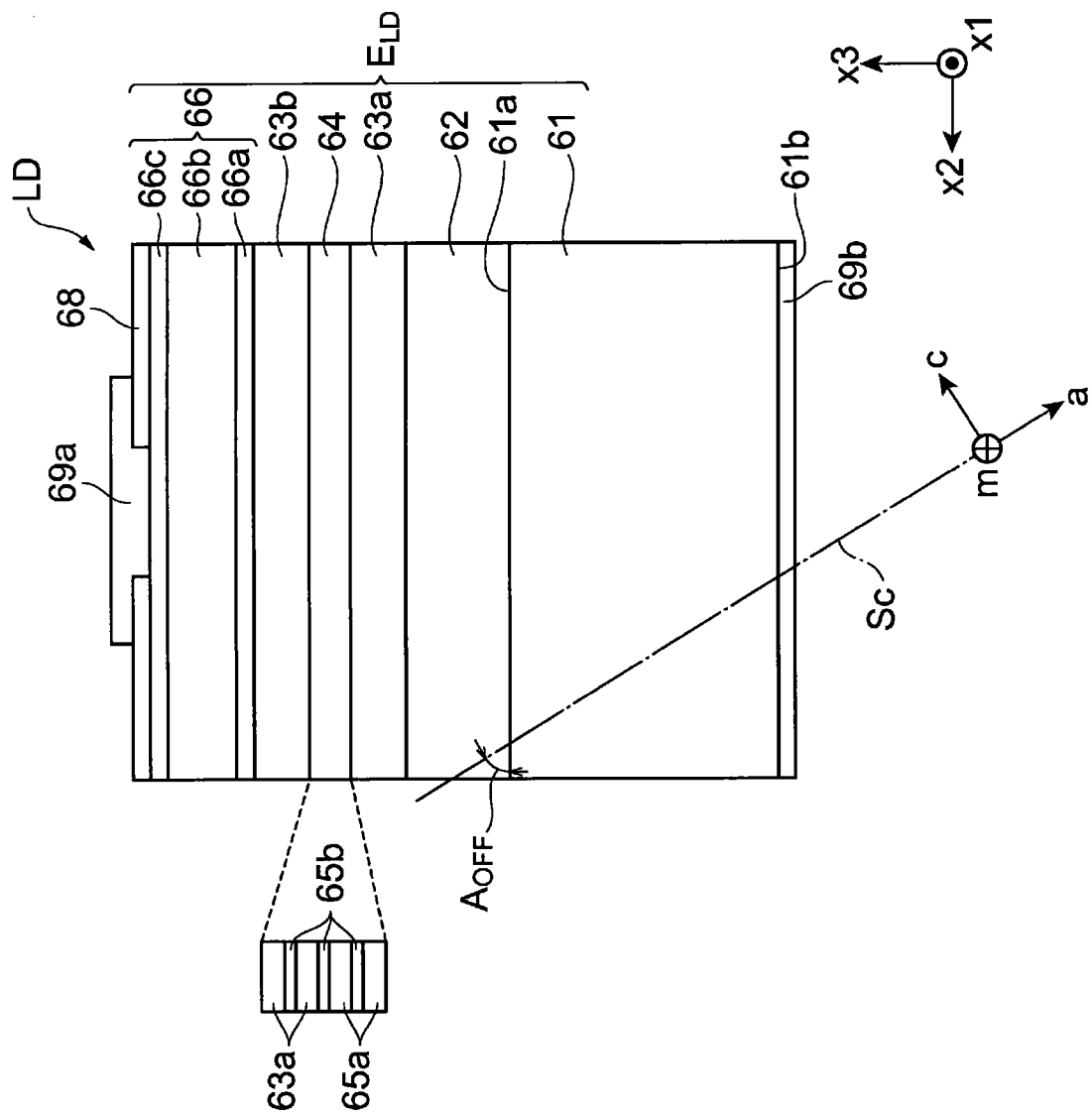


图 8

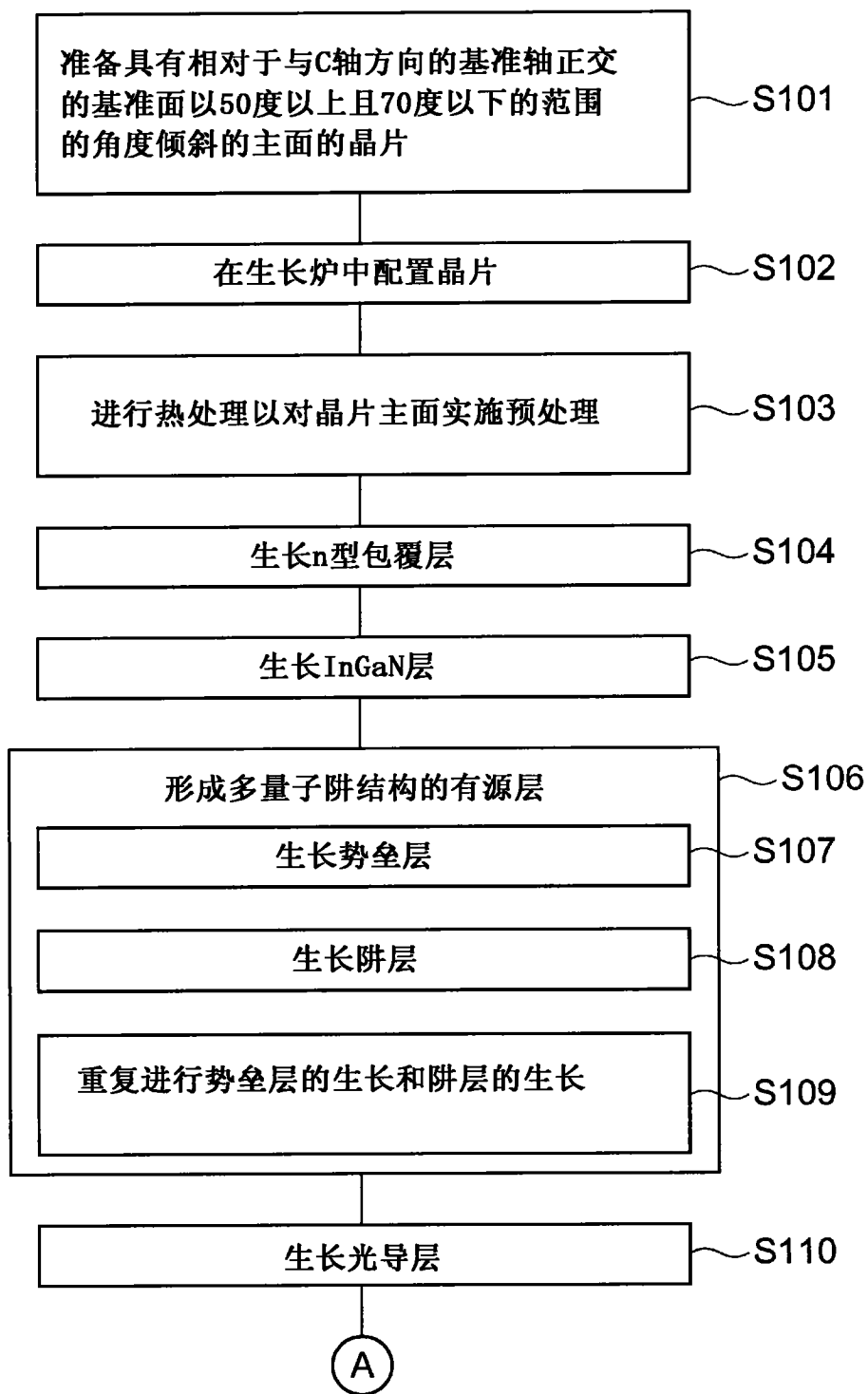


图9

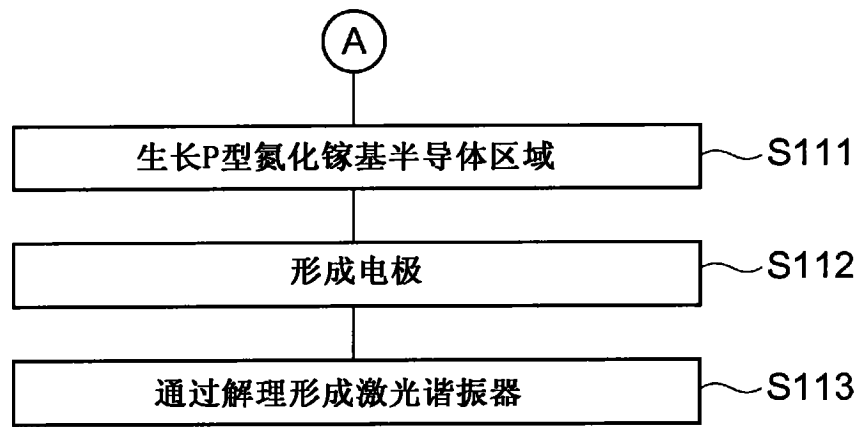
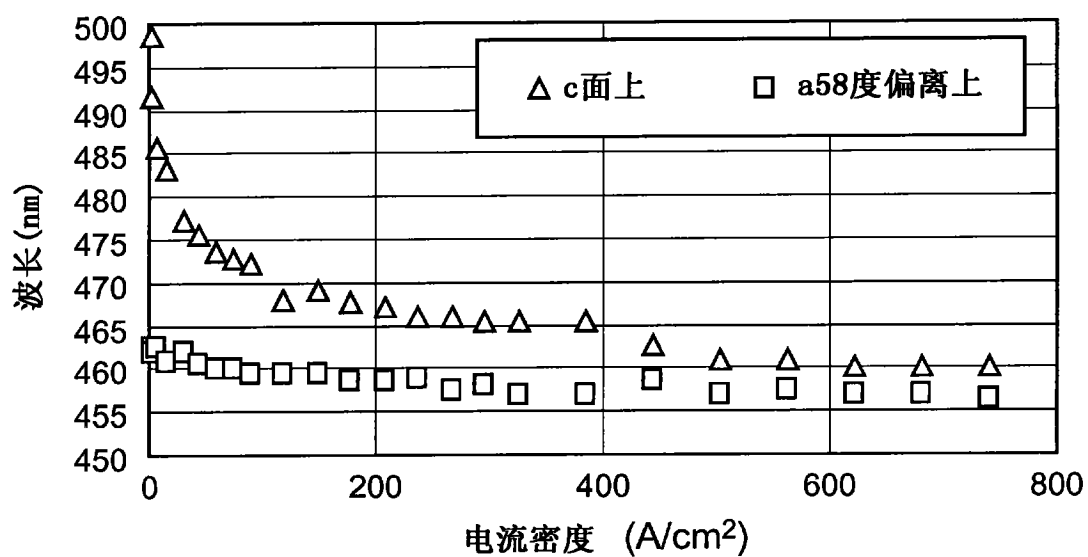


图 10

(a)



(b)

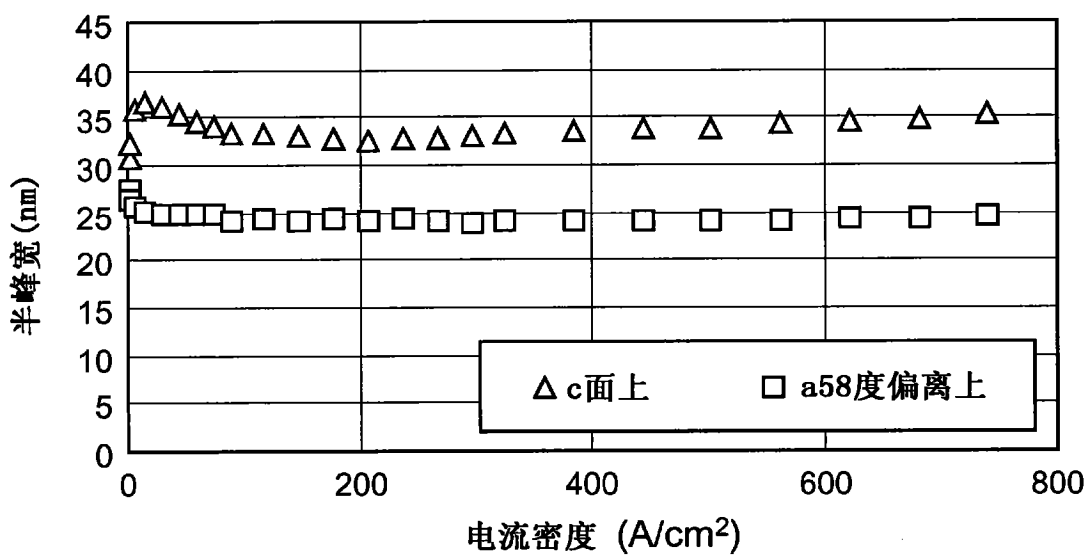


图 11