



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102474076 B

(45) 授权公告日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201080031731. 2

H01L 21/28(2006. 01)

(22) 申请日 2010. 07. 13

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

2009-167177 2009. 07. 15 JP

JP 特开 2008-258503 A, 2008. 10. 23,

JP 特开 2009-21361 A, 2009. 01. 29,

CN 1316123 A, 2001. 10. 03,

Kuniyoshi OKAMOTO et al..

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 01. 13

Continuous-Wave Operation of m-Plane

InGaN Multiple Quantum Well Laser Diodes.

《Japanese Journal of Applied Physics》. 2007,

第 46 卷 (第 9 期),

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/061839 2010. 07. 13

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/007777 JA 2011. 01. 20

Samantha C. Cruz et al.. Crystallographic

orientation dependence of dopant and

impurity incorporation in GaN films grown

by metalorganic chemical vapor deposition.

《Journal of Crystal Growth》. 2009, 第 311 卷

(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

审查员 郭万红

(72) 发明人 善积祐介 盐谷阳平 秋田胜史

上野昌纪 京野孝史 中村孝夫

(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 王海川 穆德骏

(51) Int. Cl.

H01S 5/343(2006. 01)

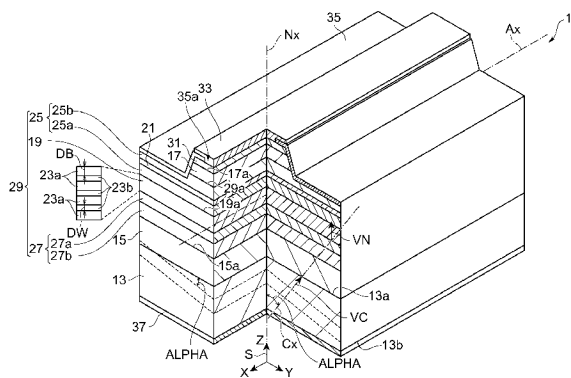
权利要求书3页 说明书16页 附图12页

(54) 发明名称

III 族氮化物半导体光元件、外延衬底

(57) 摘要

本发明提供包含低电阻化的 p 型氮化镓基半导体层的 III 族氮化物半导体光元件。支撑体 13 的主面 13a 相对于基准平面 Sc 形成 40 度以上且 140 度以下的角度 ALPHA, 基准平面 Sc 正交于在该 III 族氮化物半导体的 c 轴的方向上延伸的基准轴 Cx。主面 13a 显示出半极性 & 无极性中的任一种。n 型 GaN 基半导体层 15 设置在支撑体 13 的主面 13a 上。n 型 GaN 基半导体层 15、有源层 19 及 p 型 GaN 基半导体层 17 排列在法线轴 Nx 的方向上。p 型 GaN 基半导体层 17 中添加有镁作为 p 型掺杂剂, p 型 GaN 基半导体层 17 含有碳作为 p 型掺杂剂。p 型 GaN 基半导体层 17 的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上且 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。



1. 一种 III 族氮化物半导体光元件, 其中,
包括:
支撑体, 其包含 III 族氮化物半导体, 且具有相对于与基准轴正交的基准平面形成有限角度的主面, 所述基准轴在该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向上延伸,
n 型氮化镓基半导体层, 其设置在所述支撑体的所述主面上,
p 型氮化镓基半导体层, 其设置在所述支撑体的所述主面上, 且添加有镁, 和有源层, 其在所述支撑体的所述主面上, 设置在所述 n 型氮化镓基半导体层与所述 p 型氮化镓基半导体层之间; 且
所述有限角度在 40 度以上且 80 度以下或者 100 度以上且 140 度以下的范围内,
所述主面显示出半极性及无极性中的任一种,
所述 p 型氮化镓基半导体层含有碳作为 p 型掺杂剂,
所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,
所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。
2. 如权利要求 1 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中,
所述有源层包含在所述支撑体的所述主面的法线轴方向上交替排列的阱层及势垒层,
所述势垒层包含氮化镓基半导体,
所述势垒层的厚度大于所述阱层的厚度,
所述阱层包含含有铟作为构成元素的氮化镓基半导体,
所述阱层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中,
所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度小于所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度,
所述 n 型氮化镓基半导体层含有 n 型掺杂剂,
所述 n 型氮化镓基半导体层的 n 型掺杂剂浓度大于所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度。
4. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下。
5. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述 n 型氮化镓基半导体层包含 InAlGa_nN 或 AlGa_nN。
6. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述 p 型氮化镓基半导体层中的所述碳浓度大于所述 p 型氮化镓基半导体层中的镁浓度。
7. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中,
还包括:
第一光导层, 其设置在所述 p 型氮化镓基半导体层与所述有源层之间, 且包含氮化镓基半导体, 和
第二光导层, 其设置在所述 n 型氮化镓基半导体层与所述有源层之间, 且包含氮化镓基半导体; 且
所述第一光导层的至少一部分含有镁作为 p 型掺杂剂,
所述第一光导层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,
所述第一光导层中的镁浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,

所述第二光导层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。

8. 如权利要求 7 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述有源层包含以产生波长 430nm 以上且 600nm 以下的光的方式设置的量子阱结构, 该 III 族氮化物半导体光元件还包括设置在所述有源层与所述 p 型氮化镓基半导体层之间的电子阻挡层,

所述第一光导层包含设置在所述电子阻挡层与所述有源层之间的第一 InGaN 层, 所述第二光导层包含设置在所述有源层与所述 n 型氮化镓基半导体层之间的第二 InGaN 层。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 还包括: 接触层, 其设置在所述 p 型氮化镓基半导体层的主面上, 且包含 p 型氮化镓基半导体, 和

第一电极, 其与所述接触层形成接触; 且 所述接触层含有镁作为 p 型掺杂剂, 所述接触层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上, 所述接触层的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 在所述 c 轴方向上延伸的基准轴以所述支撑体的 III 族氮化物半导体的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向为基准, 以 -15 度以上且 $+15$ 度以下的范围的方向倾斜, 所述支撑体的主面与正交于在 c 轴方向上延伸的基准轴的基准平面所成的所述有限角度在 59 度以上且 80 度以下或者 100 度以上且 121 度以下的范围内。

11. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 在所述 c 轴方向上延伸的基准轴以所述支撑体的 III 族氮化物半导体的 $\langle 1-100 \rangle$ 方向为基准, 以 -15 度以上且 $+15$ 度以下的范围的方向倾斜, 所述支撑体的主面与正交于在 c 轴方向上延伸的基准轴的基准平面所成的所述有限角度在 63 度以上且 80 度以下或者 100 度以上且 117 度以下的范围内。

12. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述支撑体的所述主面相对于 $\{11-22\}$ 、 $\{11-21\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{11-2-1\}$ 及 $\{11-2-2\}$ 中的任一面在 -4 度 $\sim +4$ 度的范围内。

13. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述支撑体的所述主面的晶面指数为 $\{11-22\}$ 、 $\{11-21\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{11-2-1\}$ 及 $\{11-2-2\}$ 中的任一个。

14. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述支撑体的所述主面相对于 $\{10-11\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{20-2-1\}$ 及 $\{10-1-1\}$ 中的任一面在 -4 度 $\sim +4$ 度的范围内。

15. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述支撑体的所述主面的晶面指数为 $\{10-11\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{20-2-1\}$ 及 $\{10-1-1\}$ 中的任一个。

16. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件, 其中, 所述支撑体的穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下, 所述支撑体包含 GaN、InGaN、AlGaIn 及 InAlGaIn 中的任一种。

17. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件,其中,还包括与所述支撑体的背面形成接触的第二电极,且所述支撑体显示出导电性。

18. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件,其中,所述 p 型氮化镓基半导体层包含 InAlGa_N 及 AlGa_N 中的至少任一种。

19. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物半导体光元件,其中,所述 p 型氮化镓基半导体层包含 InAlGa_N。

20. 一种外延衬底,用于 III 族氮化物半导体光元件,其中,包括:

III 族氮化物半导体衬底,其包含 III 族氮化物半导体,且具有相对于与基准轴正交的基准平面形成有限角度的主面,所述基准轴在该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向上延伸,

n 型氮化镓基半导体层,其设置在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面上,

p 型氮化镓基半导体层,其设置在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面上,且添加有镁,和

有源层,其在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面上,设置在所述 n 型氮化镓基半导体层与所述 p 型氮化镓基半导体层之间;且

所述有限角度在 40 度以上且 80 度以下或者 100 度以上且 140 度以下的范围内,

所述主面显示出半极性及无极性中的任一种,

所述 p 型氮化镓基半导体层含有碳作为 p 型掺杂剂,

所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,

所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。

21. 如权利要求 20 所述的外延衬底,其中,

所述有源层包含在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面的法线轴方向上交替排列的阱层及势垒层,

所述势垒层包含氮化镓基半导体,

所述势垒层的厚度大于所述阱层的厚度,

所述阱层包含含有 In 作为构成元素的氮化镓基半导体,

所述阱层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,

所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度小于所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度,

所述 n 型氮化镓基半导体层含有 n 型掺杂剂,

所述 n 型氮化镓基半导体层的 n 型掺杂剂浓度大于所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度。

III 族氮化物半导体光元件、外延衬底

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 III 族氮化物半导体光元件、及用于 III 族氮化物半导体光元件的外延衬底。

背景技术

[0002] 在非专利文献 1 中,记载了在硅衬底上均匀地生长 (1-101) 面 GaN 的技术方案。该 GaN 生长在条纹状 GaN 的聚结物上,该聚结物隔着 AlN 中间层以选择有机金属气相生长法生长在 7 度偏离的 (001) 面硅衬底上。制作 3 种样品 (A)、(B)、(C)。样品 (A) 包含生长在 LT-AlN 中间层上的 GaN。样品 (B) 包含 30nm 的 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ 上层。样品 (C) 包含无 LT-AlN 中间层而生长的 GaN。进行 3 种样品 (A)、(B)、(C) 的霍尔测量。样品 (A) 显示出 p 型导电性,样品 (B) 显示出 n 型导电性。样品 (C) 的导电性在低温至高温的 3 个温度区域 (80K 以下、80K ~ 200K、200K 以上) 中分别显示出 n 型、p 型及 n 型导电性。在非专利文献 1 中有如下记载:样品 (A) 及 (B) 包含 GaN/AlN/Si 异质结,且推测异质结中的传导是样品 (A) 及 (B) 中的主要传导性。

[0003] 在非专利文献 2 中,记载了在硅衬底上均匀地生长 (1-101) 面 GaN 的技术方案。该 GaN 生长在条纹状 GaN 的聚结物上,该聚结物隔着 AlN 中间层以选择有机金属气相生长法生长在 7 度偏离的 (001) 面硅衬底上。在 (1-101) 面 GaN 中添加有镁。为了添加镁而使用了掺杂剂气体 $EtCp_2Mg$ 。在掺杂剂气体 / 镓原料的摩尔比 ($EtCp_2Mg/TMG$) 小于 2×10^{-3} 的添加区域中,随着掺杂剂气体的添加量增加, GaN 膜中的空穴浓度下降。另一方面,在摩尔比超过 2×10^{-3} 的添加区域中,随着掺杂剂气体的添加量增加,空穴浓度增加,在 $1 \times 10^{18} cm^{-3}$ 左右达到饱和。c 面 GaN 的生长中,在摩尔比小于 2×10^{-3} 的添加区域中生长的 GaN 显示出 n 型导电性,而在摩尔比超过 2×10^{-3} 的添加区域中则显示出 p 型导电性。在非专利文献 2 中,对于该现象,是通过 (1-101) 面 GaN 包含氮面、而 c 面 GaN 包含 Ga 面的情况来加以说明的。

[0004] 在非专利文献 3 中,记载了在硅衬底上均匀地生长 (1-101) 面及 (11-22) 面 GaN 的技术方案。使用掺杂剂气体 C_2H_2 ,在 GaN 的生长中添加碳。向 (11-22) 面 GaN 中添加碳可赋予与向 (1-101) 面 GaN 中添加碳不同的效果。

[0005] 非专利文献 1 ~ 3 的部分作者是相同的。

[0006] 在专利文献 1 中,记载了通过提高碳浓度来增加 GaN 膜的电阻的技术方案。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献 1:日本特开 2009-21279 号公报

[0010] 非专利文献

[0011] 非专利文献 1:T.Hikosaka et al., Applied Physics Letters Vol.84, No.23, (2004), pp.4717-4719。

[0012] 非专利文献 2:Nobuhiro Sawaki et al., Journal of Crystal Growth 298, 2007,

pp. 207-210。

[0013] 非专利文献3:Nobuhiro Sawaki et al., Journal of Crystal Growth 311, 2009, pp. 2867-2874。

发明内容

[0014] 如非专利文献 1 ~ 3 所述,在隔着 AlN 中间层以选择有机金属气相生长法生长于 7 度偏离的 (001) 面硅衬底上的条纹状 GaN 的聚结物中,除了含有异质结以外, GaN 中以高密度含有穿透位错的可能性也很高。因此,非专利文献 1 ~ 3 中所记载的 GaN 聚结物的结晶学结构导致其导电性较为复杂。

[0015] 另一方面,在专利文献 1 中,通过向 GaN 膜中添加碳而实现高电阻。如非专利文献 1 ~ 3 及专利文献 1 所示,氮化镓基半导体中碳的行为较为复杂。然而,根据本发明人的研究,在氮化镓基半导体中,可将碳作为 p 型掺杂剂而稳定地加以利用。

[0016] 本发明的目的在于提供包含低电阻化的 p 型氮化镓基半导体层的 III 族氮化物半导体光元件,此外,本发明的目的在于提供用于该 III 族氮化物半导体光元件的外延衬底。

[0017] 本发明的一个方面的 III 族氮化物半导体光元件包括:(a) 支撑体,其包含 III 族氮化物半导体,且具有相对于与基准轴正交的基准平面形成大于零的角度的主面,所述基准轴在该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向上延伸;(b) n 型氮化镓基半导体层,其设置在所述支撑体的所述主面上;(c) p 型氮化镓基半导体层,其设置在所述支撑体的所述主面上,且添加有镁;和 (d) 有源层,其在所述支撑体的所述主面上,设置在所述 n 型氮化镓基半导体层与所述 p 型氮化镓基半导体层之间。所述角度在 40 度以上且 140 度以下的范围内,所述主面显示出半极性 & 无极性中的任一种,所述 p 型氮化镓基半导体层含有碳作为 p 型掺杂剂,所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,且所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0018] 本发明的另一方面的用于 III 族氮化物半导体光元件的外延衬底包括:(a) III 族氮化物半导体衬底,其包含 III 族氮化物半导体,且具有相对于与基准轴正交的基准平面形成大于零的角度的主面,所述基准轴在该 III 族氮化物半导体的 c 轴方向上延伸;(b) n 型氮化镓基半导体层,其设置在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面上;(c) p 型氮化镓基半导体层,其设置在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面上,且添加有镁;和 (d) 有源层,其在所述 III 族氮化物半导体衬底的所述主面上,设置在所述 n 型氮化镓基半导体层与所述 p 型氮化镓基半导体层之间。所述角度在 40 度以上且 140 度以下的范围内,所述主面显示出半极性 & 无极性中的任一种,所述 p 型氮化镓基半导体层含有碳作为 p 型掺杂剂,所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,且所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0019] 根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底, p 型氮化镓基半导体层设置在支撑体或衬底的主面上,且该主面以 40 度以上且 140 度以下的范围的角度与 c 面形成角度。在该角度范围内时,添加至 p 型氮化镓基半导体层中的碳稳定地作为 p 型掺杂剂而发挥作用。此外,由于 p 型氮化镓基半导体层同时含有作为 p 型掺杂剂而发挥作用的碳和镁,因此,可由碳和镁两者提供空穴。此外,可减少为获得所期望的空穴浓度而需要的镁的添加量,因此可避免因添加镁而引起的结晶性下降。而且,可减少为获得所期望的空穴浓度而需要的

碳的添加量,因此可抑制因添加碳而引起的形态下降,且可避免因形态劣化而引起的结晶质量下降。

[0020] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述有源层可包含在所述支撑体的所述主面的法线轴方向上交替排列的阱层及势垒层,所述势垒层包含氮化镓基半导体,所述势垒层的厚度大于所述阱层的厚度,所述阱层包含含有 In 作为构成元素的氮化镓基半导体,且所述阱层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,阱层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,因此,作为 p 型掺杂剂的碳实质上不会对有源层的发光特性造成影响。

[0021] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度小于所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度,所述 n 型氮化镓基半导体层含有 n 型掺杂剂,且所述 n 型氮化镓基半导体层的 n 型掺杂剂浓度大于所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度。

[0022] 根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底, n 型氮化镓基半导体层的 n 型掺杂剂浓度大于 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度。虽然碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用,但作为 p 型掺杂剂的碳实质上不会对 n 型氮化镓基半导体层的 n 导电型造成影响。

[0023] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度优选为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下。该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,在通常的 n 型掺杂剂的添加浓度下, n 型氮化镓基半导体层的电子浓度足够大。

[0024] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 n 型氮化镓基半导体层可包含 InAlGa_N 及 AlGa_N 中的至少任一种。根据本 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,对于这些氮化镓基半导体的 n 导电型,作为 p 型掺杂剂的碳实质上不会造成影响。

[0025] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 n 型氮化镓基半导体层优选包含 InAlGa_N。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可向 n 型氮化镓基半导体层提供适当的导电性和所期望的应变。

[0026] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 p 型氮化镓基半导体层中的所述碳浓度可大于所述 p 型氮化镓基半导体层中的镁浓度。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,由于碳的活化能量小于镁的活化能量,因此,为提供所期望的空穴浓度而需要的镁的添加量不会增加。

[0027] 本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底还包括:第一光导层,其设置在所述 p 型氮化镓基半导体层与所述有源层之间,且包含氮化镓基半导体;和第二光导层,其设置在所述 n 型氮化镓基半导体层与所述有源层之间,且包含氮化镓基半导体。所述第一光导层的至少一部分含有镁作为 p 型掺杂剂,所述第一光导层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,所述第一光导层中的镁浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,所述第二光导层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0028] 根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可减少因碳引起的载流子生成,因此可减少因自由载流子引起的光吸收。

[0029] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述有源层包含以产生波长 430nm 以上且 600nm 以下的光的方式设置的量子阱结构。该 III 族氮化物半

导体光元件可还包括设置在所述有源层与所述 p 型氮化镓基半导体层之间的电子阻挡层。所述第一光导层包含设置在所述电子阻挡层与所述有源层之间的第一 InGaN 层,所述第二光导层包含设置在所述有源层与所述 n 型氮化镓基半导体层之间的第二 InGaN 层。

[0030] 根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可向生成较长波长的光的发光元件提供适当的波导结构。

[0031] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 n 型氮化镓基半导体层、所述有源层及所述 p 型氮化镓基半导体层排列在所述支撑体的所述主面的法线方向上,所述 p 型氮化镓基半导体层设置在所述有源层的主面上,所述有源层的所述主面相对于所述基准平面处于 40 度以上且 140 度以下的范围内,且所述有源层设置在所述 n 型氮化镓基半导体层的主面上。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可获得作为 p 型掺杂剂的碳的技术性贡献。

[0032] 本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底可还包括接触层,该接触层设置在所述 p 型氮化镓基半导体层的主面上,且包含 p 型氮化镓基半导体。所述接触层的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,且所述接触层的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,在接触层中也可获得作为 p 型掺杂剂的碳的技术性贡献。

[0033] 本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件可还包括与所述接触层形成接触的第一电极。根据该 III 族氮化物半导体光元件,接触层同时包含碳和镁两者作为 p 型掺杂剂,因此,接触层可与电极形成良好的电接触。

[0034] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,在所述 c 轴方向上延伸的基准轴优选以所述支撑体的 III 族氮化物半导体的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向为基准,以 -15 度以上且 +15 度以下的范围的方向倾斜,且所述支撑体的主面与正交于在 c 轴方向上延伸的基准轴的基准平面所成的所述角度在 59 度以上且 121 度以下的范围内。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可进一步提高碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0035] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,在所述 c 轴方向上延伸的基准轴优选以所述支撑体的 III 族氮化物半导体的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向为基准,以 -15 度以上且 +15 度以下的范围的方向倾斜,且所述支撑体的主面与正交于在 c 轴方向上延伸的基准轴的基准平面所成的所述角度在 70 度以上且 80 度以下或 100 度以上且 110 度以下的范围内。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可进一步提高碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0036] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,在所述 c 轴方向上延伸的基准轴优选以所述支撑体的 III 族氮化物半导体的 $\langle 1-100 \rangle$ 方向为基准,以 -15 度以上且 +15 度以下的范围的方向倾斜,且所述支撑体的主面与正交于在 c 轴方向上延伸的基准轴的基准平面所成的所述角度在 63 度以上且 117 度以下的范围内。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可进一步提高碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0037] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,在所述 c 轴方向上延伸的基准轴优选以所述支撑体的 III 族氮化物半导体的 $\langle 1-100 \rangle$ 方向为基准,以 -15 度以上且 +15 度以下的范围的方向倾斜,且所述支撑体的主面与正交于在 c 轴方向上延伸的基准轴的基准平面所成的所述有限角度在 70 度以上且 80 度以下或 100 度以上且 110 度

以下的范围内。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可进一步提高碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0038] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述支撑体的所述主面优选相对于 {11-22}、{11-21}、{11-20}、{11-2-1} 及 {11-2-2} 中的任一面在 -4 度~+4 度的范围内。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可进一步提高碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0039] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述支撑体的所述主面的晶面指数优选为 {11-22}、{11-21}、{11-20}、{11-2-1} 及 {11-2-2} 中的任一个。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,这些晶面指数可进一步提高碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0040] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述支撑体的所述主面可相对于 {10-11}、{20-21}、{10-10}、{20-2-1} 及 {10-1-1} 中的任一面在 -4 度~+4 度的范围内。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,在这些角度范围内,碳可作为 p 型掺杂剂而发挥作用。

[0041] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述支撑体的所述主面的晶面指数优选为 {10-11}、{20-21}、{10-10}、{20-2-1} 及 {10-1-1} 中的任一个。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,认为在这些晶面指数下,具有适于碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用的构成原子的排列。

[0042] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件中,所述支撑体的穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下,且所述支撑体可包含 GaN、InGa_N、AlGa_N 及 InAlGa_N 中的任一种。在本发明的另一方面的外延衬底中,所述支撑体的穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下,且所述支撑体可包含 GaN、InGa_N、AlGa_N 及 InAlGa_N 中的任一种。

[0043] 根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,在生长于穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下的区域上的氮化镓基半导体层中,可减小穿透位错对 p 型掺杂剂活化的影响。

[0044] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件中,所述支撑体优选包含 GaN。此外,在本发明的另一方面的外延衬底中,所述衬底优选包含 GaN。可获得低位错的 GaN 衬底。

[0045] 本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件可还包括与所述支撑体的背面形成接触的第二电极。所述支撑体显示出导电性。根据该 III 族氮化物半导体光元件,支撑体可提供碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的区域,并且可提供良好的电接触。

[0046] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 p 型氮化镓基半导体层可包含 InAlGa_N 及 AlGa_N 中的至少任一种。根据 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,对于这些氮化镓基半导体的 p 导电型,作为 p 型掺杂剂的碳有效地发挥作用。

[0047] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述 p 型氮化镓基半导体层优选包含 InAlGa_N。根据该 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底,可提供适当的导电性与所期望的应变。

[0048] 在本发明的上述方面的 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底中,所述有源层包含在所述支撑体的所述主面的法线轴方向上交替排列的阱层及势垒层,所述势垒层包含氮

化镓基半导体,所述势垒层的厚度大于所述阱层的厚度,所述阱层包含含有 In 作为构成元素的氮化镓基半导体,所述阱层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下,所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度小于所述 p 型氮化镓基半导体层的碳浓度,所述 n 型氮化镓基半导体层含有 n 型掺杂剂,所述 n 型氮化镓基半导体层的 n 型掺杂剂浓度大于所述 n 型氮化镓基半导体层的碳浓度。

[0049] 根据该外延衬底,可获得作为 p 型掺杂剂的碳的技术性贡献,并且在 n 型氮化镓基半导体层及有源层中,可降低碳的影响。

[0050] 本发明的上述目的及其他目的、特征以及优点,根据参照附图而进行的本发明的优选实施方式的以下详细叙述,可以更容易地明白。

[0051] 发明效果

[0052] 如上所述,根据本发明,提供包含低电阻化的 p 型氮化镓基半导体层的 III 族氮化物半导体光元件。此外,根据本发明,提供用于该 III 族氮化物半导体光元件的外延衬底。

附图说明

[0053] 图 1 是表示本发明实施方式的 III 族氮化物半导体光元件的图。

[0054] 图 2 是表示采用二次离子质谱分析法考察使用有机金属气相生长法在各种生长条件下生长在半极性面 GaN 上的氮化镓的碳浓度所得的碳分布的图。

[0055] 图 3 是表示图 2 中的氮化镓的生长条件 (1) ~ (10) 中所使用的生长条件与氮化镓中的碳浓度的关系的图。

[0056] 图 4 是表示生长出的 GaN 膜中的碳浓度与生长温度及 V/III 的关系的图。

[0057] 图 5 是示意性地表示制作 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底的方法中的主要步骤的图。

[0058] 图 6 是示意性地表示制作 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底的方法中的主要步骤的图。

[0059] 图 7 是示意性地表示制作 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底的方法中的主要步骤的图。

[0060] 图 8 是表示本实施方式的激光二极管结构 (LD1) 及其外延衬底的图。

[0061] 图 9 是表示外延衬底 EP 中的镉、碳、铝及镁元素的 SIMS 分布的图。

[0062] 图 10 是表示另一外延衬底中的镉、碳、铝及镁元素的 SIMS 分布的图。

[0063] 图 11 是示意性地表示 {10-11} 面中的原子排列的图。

[0064] 图 12 是示意性地表示 {20-21} 面中的原子排列的图。

[0065] 图 13 是示意性地表示 {10-14} 面中的原子排列的图。

[0066] 标号说明

[0067] 11 III 族氮化物半导体光元件

[0068] 13 支撑体

[0069] 13a 支撑体主面

[0070] 13b 支撑体背面

[0071] 15 n 型氮化镓基半导体层

[0072] 17 p 型氮化镓基半导体层

- [0073] 19 有源层
- [0074] 19a 有源层主面
- [0075] 21 电子阻挡层
- [0076] NV 法线向量
- [0077] Nx 法线轴
- [0078] ALPHA 角度
- [0079] VC c 轴向量
- [0080] Cx 基准轴
- [0081] 23a 势垒层
- [0082] 23b 阱层
- [0083] 25、27 光导层
- [0084] 25a InGaN 层
- [0085] 25b GaN 层
- [0086] 27a InGaN 层
- [0087] 27b GaN 层
- [0088] 29 发光层
- [0089] 29a 发光层主面
- [0090] Sc 基准平面
- [0091] 31 接触层
- [0092] Ax 延伸轴
- [0093] 33、37 电极
- [0094] 35 绝缘膜

具体实施方式

[0095] 本发明的发现通过参考作为例示给出的附图来考虑以下的详细叙述可以容易地理解。接下来,参考附图对 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底、以及制作 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底的方法的本发明实施方式进行说明。可能的情况下,对同一部分标注同一标号。

[0096] 图 1 是表示本发明实施方式的 III 族氮化物半导体光元件的图。III 族氮化物半导体光元件例如可为半导体激光器或发光二极管等半导体发光元件。图 1 所示的半导体层叠表示用于半导体发光元件的外延衬底的结构。参考图 1,示出正交坐标系 S。

[0097] III 族氮化物半导体光元件 11 包括支撑体 13、n 型氮化镓基半导体层 15、p 型氮化镓基半导体层 17 和有源层 19。支撑体 13 包含 III 族氮化物半导体。III 族氮化物半导体包含 $\text{In}_s\text{Al}_t\text{Ga}_{1-s-t}\text{N}$ ($0 \leq s \leq 1, 0 \leq t \leq 1, s+t \neq 1$), 且可为例如 GaN、InGaN、AlGaN、InAlGaN 等。支撑体 13 具有主面 13a 和背面 13b,主面 13a 的法线方向(以法线向量 NV 表示的方向)的法线轴 Nx 朝向 z 轴的正方向。主面 13a 相对于基准平面 Sc 形成大于零的有限角度 ALPHA,基准平面 Sc 正交于在该 III 族氮化物半导体的 c 轴的方向(以 c 轴向量 VC 表示的方向)上延伸的基准轴 Cx。角度 ALPHA 为 40 度以上且 140 度以下。主面 13a 显示出半极性 & 无极性中的任一种。n 型氮化镓基半导体层 15 设置在支撑体 13 的主面 13a 上,

且覆盖主面 13a。p 型氮化镓基半导体层 17 设置在主面 13a 上。在支撑体 13 的主面 13a 上，n 型氮化镓基半导体层 15、有源层 19 及 p 型氮化镓基半导体层 17 在法线轴 N_x 的方向上排列。有源层 19 设置在 n 型氮化镓基半导体层 15 与 p 型氮化镓基半导体层 17 之间。

[0098] p 型氮化镓基半导体层 17 中添加有 p 型掺杂剂例如镁，n 型氮化镓基半导体层 15 中添加有 n 型掺杂剂例如硅。p 型氮化镓基半导体层 17 含有碳作为 p 型掺杂剂。p 型氮化镓基半导体层 17 的碳浓度为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上，通过该浓度范围可提供空穴。而且，碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下，通过该浓度范围，可减少含有碳作为 p 型掺杂剂的半导体的表面形态的下降。

[0099] 根据该 III 族氮化物半导体光元件 11，p 型氮化镓基半导体层 17 设置在支撑体 13 的主面 13a 上，且该主面 13a 以 40 度以上且 140 度以下的范围的角度相对于 c 面而倾斜。在该倾斜角的范围内，当主面 13a 上的 p 型氮化镓基半导体层 17 含有碳时，所添加的碳稳定地作为 p 型掺杂剂而发挥作用。而且，p 型氮化镓基半导体层 17 同时含有作为 p 型掺杂剂而发挥作用的碳和镁。因此，可由碳和镁两者提供空穴。此外，可减少为提供所期望的空穴浓度而需要的镁的添加量，因此可避免因添加镁而引起的结晶性下降。

[0100] p 型氮化镓基半导体层 17 可包含 InAlGa_N 层及 AlGa_N 层中的至少任一种。对于这些氮化镓基半导体的 p 导电型，作为 p 型掺杂剂的碳有效地发挥作用。p 型氮化镓基半导体层 17 优选包含 InAlGa_N。通过 InAlGa_N 可提供适当的导电性和所期望的应变。

[0101] 在 III 族氮化物半导体光元件 11 中，有源层 19 可具有单量子阱结构或多量子阱结构，但并不限于这些结构。有源层 19 包含势垒层 23a 及阱层 23b。势垒层 23a 及阱层 23b 交替地排列在支撑体 13 的主面 13a 的法线轴 N_x 的方向上。势垒层 23a 包含氮化镓基半导体，例如包含 Ga_N 或 InGa_N 等。此外，阱层 23b 包含含有 In 作为构成元素的氮化镓基半导体，例如包含 InGa_N。势垒层 23a 的厚度 D_B 大于阱层 23b 的厚度 D_W 。阱层 23b 的碳浓度可为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。由于阱层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下，因此，作为 p 型掺杂剂的碳实质上不会对有源层 19 的发光特性造成影响。在 n 型氮化镓基半导体层 15 及有源层 19 中，可减少碳的影响。

[0102] 此外，n 型氮化镓基半导体层 15 的碳浓度小于 p 型氮化镓基半导体层 17 的碳浓度。n 型氮化镓基半导体层 15 含有 n 型掺杂剂，且 n 型氮化镓基半导体层 15 的 n 型掺杂剂浓度大于 n 型氮化镓基半导体层 15 的碳浓度。因此，虽然 n 型氮化镓基半导体层中的碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用，但作为 p 型掺杂剂的碳实质上不会对 n 型氮化镓基半导体层 15 的 n 导电型造成影响。而且，n 型氮化镓基半导体层 15 的碳浓度优选为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下。在通常的 n 型掺杂剂的添加浓度下，n 型氮化镓基半导体层具有足够大的电子浓度。

[0103] n 型氮化镓基半导体层 15 可包含 InAlGa_N 层及 AlGa_N 层中的至少任一种。作为 p 型掺杂剂的碳实质上不会对这些氮化镓基半导体的 n 导电型造成影响。当 n 型氮化镓基半导体层 15 包含 InAlGa_N 时，可向 n 型氮化镓基半导体层 15 提供适当的导电性和所期望的应变。

[0104] p 型氮化镓基半导体层 17 中的碳浓度可大于 p 型氮化镓基半导体层 17 中的镁浓度。在 Ga_N、InAlGa_N 或 AlGa_N 等氮化镓基半导体中，由于碳的活化能量小于镁的活化能量，因此在 p 型氮化镓基半导体层 17 中，为提供所期望的空穴浓度而需要的镁的添加量不会增加。

[0105] 当 III 族氮化物半导体光元件 11 为半导体激光器时, p 型氮化镓基半导体层 17 作为覆层而发挥作用, 且 n 型氮化镓基半导体层 15 作为覆层而发挥作用。

[0106] 当 III 族氮化物半导体光元件 11 为半导体激光器时, III 族氮化物半导体光元件 11 包含第一光导层 25, 该光导层 25 包含 GaN、InGaN 等氮化镓基半导体。第一光导层 25 设置在 p 型氮化镓基半导体层 17 与有源层 19 之间。第一光导层 25 的碳浓度可为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。通过该光导层 25, 可减少由碳引起的载流子生成, 因此可减少由自由载流子引起的光吸收。在必要的情况下, 可向第一光导层 25 的至少一部分中进一步添加镁, 该镁浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。需要说明的是, 在第一光导层 25 中也可不添加镁。

[0107] 第一光导层 25 可包含一层或多层氮化镓基半导体层。在一个实施例中, 第一光导层 25 可包含 InGaN 层 25a 及 GaN 层 25b。InGaN 层 25a 位于 GaN 层 25b 与有源层 19 之间。此外, 电子阻挡层 21 设置在 p 型氮化镓基半导体层 17 与有源层 19 之间, 图 1 中, 电子阻挡层 21 位于 InGaN 层 25a 与 GaN 层 25b 之间。电子阻挡层 21 的材料具有比 InGaN 层 25a 及 GaN 层 25b 的带隙更大的带隙, 电子阻挡层 21 的厚度小于 InGaN 层 25a 的厚度及 GaN 层 25b 的厚度。电子阻挡层 21 可包含例如 AlGaIn 等。

[0108] 当 III 族氮化物半导体光元件 11 为半导体激光器时, III 族氮化物半导体光元件 11 包含第二光导层 27, 该光导层 27 包含 GaN、InGaN 等氮化镓基半导体。第二光导层 27 设置在 n 型氮化镓基半导体层 15 与有源层 19 之间。第二光导层 27 的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。由于可减少由碳引起的载流子生成, 因此可减少由自由载流子引起的光吸收。

[0109] 第二光导层 27 可包含一层或多层氮化镓基半导体层。在一个实施例中, 第二光导层 27 可包含 InGaN 层 27a 及 GaN 层 27b。InGaN 层 27a 位于 GaN 层 27b 与有源层 19 之间。

[0110] 在 III 族氮化物半导体光元件 11 中, 有源层 19 以产生波长 430nm 以上且 600nm 以下的光的方式设置。第一光导层 25 包含 InGaN 层, 同时第二光导层 27 包含 InGaN 层。有源层 19 与第一光导层 25 的 InGaN 层和第二光导层 27 的 InGaN 层相接触。第一光导层 25 的 InGaN 层、有源层 19 及第二光导层 27 的 InGaN 层的层叠可向产生较长波长的光的发光元件提供适当的波导核心结构。

[0111] n 型氮化镓基半导体层 15、发光层 29 及 p 型氮化镓基半导体层 17 排列在支撑体 13 的主面 13a 的法线轴 N_x 的方向上。发光层 29 包含有源层 19, 且在必要的情况下, 可进一步包含光导层 25、27。

[0112] p 型氮化镓基半导体层 17 (或半导体层 21) 设置在有源层 19 的主面 19a 上, 该 p 型氮化镓基半导体层接触于发光层 29 的主面 29a 上。发光层 29 的主面 29a (同样地, 有源层 19 的主面 19a) 相对于基准平面 Sc 以 40 度以上且 140 度以下的范围的角度倾斜。由于 p 型氮化镓基半导体层 17 是外延生长于显示出半极性或无极性的半导体区域上的外延膜, 因此, 碳的行为与其在外延生长于显示出极性的 c 面半导体区域上的外延膜中的行为不同。在 p 型氮化镓基半导体层 17 中, 可获得作为 p 型掺杂剂的碳的技术性贡献。此外, 在整个 p 型氮化镓基半导体层 17 中, 碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用。

[0113] n 型氮化镓基半导体层 15 的主面 15a 相对于基准平面 Sc 可处于 40 度以上且 140 度以下的范围内。由于发光层 29 及有源层 19 设置在 n 型氮化镓基半导体层 15 的主面 15a 上, 因此, 发光层 29 及有源层 19 中的压电场的强度因基底的面取向的半极性及无极性而较小。此外, n 型氮化镓基半导体层 15 的主面 15a 的倾斜可提供在 p 型氮化镓基半导体层 17

中使碳能够作为 p 型掺杂剂提供技术性贡献的基底层。

[0114] III 族氮化物半导体光元件 11 可还包括接触层 31。接触层 31 设置在 p 型氮化镓基半导体层 17 的主面 17a 上,且包含 p 型氮化镓基半导体。接触层 31 的碳浓度可为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上。在接触层 31 中也可获得作为 p 型掺杂剂的碳的技术性贡献。此外,接触层 31 的碳浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。碳的添加会产生结晶质量的下降。

[0115] 必要的情况下,可在接触层 31、p 型氮化镓基半导体层 17 及第一光导层 25 上设置脊形结构。脊形结构在激光条的延伸方向的轴 Ax 的方向上延伸。

[0116] III 族氮化物半导体光元件 11 可还包括设置在接触层 31 上的第一电极 33。第一电极 33 通过覆盖外延层叠的表面的绝缘膜 35 的开口 35a 而与接触层 31 形成接触。根据该 III 族氮化物半导体光元件 11,由于接触层 31 同时含有碳和镁两者作为 p 型掺杂剂,因此,接触层 31 可与电极 33 形成良好的电接触。

[0117] 当 III 族氮化物半导体光元件 11 具有脊形结构时,绝缘膜 35 的开口 35a 位于脊形结构的上表面,绝缘膜 35 覆盖脊形结构的整个侧面。

[0118] 在上述说明中,发光层 29 的主面 29a(同样地,有源层 19 的主面 19a)相对于基准平面 Sc 以 40 度以上且 140 度以下的范围的角度倾斜。可使支撑体 13 的主面 13a 朝向晶向 $\langle 11-20 \rangle$ 所示的 a 轴方向倾斜。该倾斜角优选为 59 度以上且 121 度以下的范围。进而,倾斜角特别优选为 70 度以上且 80 度以下,或倾斜角特别优选为 100 度以上且 110 度以下。在这些角度范围内,碳可作为 p 型掺杂剂而发挥作用。此外,在 c 轴方向上延伸的基准轴可以支撑体 13 的 III 族氮化物半导体的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向为基准,以 -15 度以上且 +15 度以下的范围的方向倾斜。此时,倾斜角优选为 59 度以上且 121 度以下的范围内。根据这些角度范围,可进一步提高碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。进而,倾斜角优选为 70 度以上且 80 度以下的范围。根据这些角度范围,可进一步提高碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。

[0119] 在上述说明中,发光层 29 的主面 29a(同样地,有源层 19 的主面 19a)相对于基准平面 Sc 以 40 度以上且 140 度以下的范围的角度倾斜。可使支撑体 13 的主面 13a 朝向晶向 $\langle 1-100 \rangle$ 所示的 m 轴方向倾斜。该倾斜角优选为 63 度以上且 117 度以下的范围。进而,倾斜角特别优选为 70 度以上且 80 度以下,或倾斜角特别优选为 100 度以上且 110 度以下。在这些角度范围内,碳可作为 p 型掺杂剂而发挥作用。此外,在 c 轴方向上延伸的基准轴优选以支撑体 13 的 III 族氮化物半导体的 $\langle 1-100 \rangle$ 方向为基准,以 -15 度以上且 +15 度以下的范围的方向倾斜。此时,上述倾斜角优选为 63 度以上且 117 度以下的范围。根据这些角度范围,可进一步提高碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用的概率。进而,上述倾斜角特别优选为 70 度以上且 80 度以下,或倾斜角特别优选为 100 度以上且 110 度以下。在这些角度范围内,碳可作为 p 型掺杂剂而发挥作用。

[0120] 可使支撑体 13 的主面 13a 朝向晶向 $\langle 11-20 \rangle$ 所示的 a 轴方向倾斜。当向 a 轴方向倾斜时,支撑体 13 的主面 13a 优选相对于 $\{11-22\}$ 、 $\{11-21\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{11-2-1\}$ 及 $\{11-2-2\}$ 中的任一面向 -4 度 ~ +4 度的范围内。在这些角度范围内,碳可作为 p 型掺杂剂而发挥作用。此外,支撑体 13 的主面 13a 的晶面指数优选为 $\{11-22\}$ 、 $\{11-21\}$ 、 $\{11-20\}$ 、 $\{11-2-1\}$ 及 $\{11-2-2\}$ 中的任一个。认为这些晶面指数具有适于碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用的构成原子的排列。

[0121] 或者,可使支撑体 13 的主面 13a 朝向晶向 $\langle 1-100 \rangle$ 所示的 m 轴方向倾斜。当向 m 轴方向倾斜时,支撑体 13 的主面 13a 可相对于 $\{10-11\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{20-2-1\}$ 及 $\{10-1-1\}$ 中的任一面向 -4 度 $\sim +4$ 度的范围内。在这些角度范围内,碳可作为 p 型掺杂剂而发挥作用。此外,支撑体 13 的主面 13a 的晶面指数优选为 $\{10-11\}$ 、 $\{20-21\}$ 、 $\{10-10\}$ 、 $\{20-2-1\}$ 及 $\{10-1-1\}$ 中的任一个。认为这些晶面指数具有适于碳作为 p 型掺杂剂而发挥作用的构成原子的排列。

[0122] 支撑体 13 的穿透位错密度可为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下。在生长于穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下的区域上的氮化镓基半导体层中,可减少穿透位错对 p 型掺杂剂活化的影响。支撑体 13 可包含 GaN、InGaN、AlGaIn 及 InAlGaIn 中的任一种。

[0123] 穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下的区域可在支撑体 13 的一部分中提供。在该低位错区域中,可减少对 p 型掺杂剂活化的影响。因此,该低穿透位错密度的区域可应用于半导体激光器。此外,生长在穿透位错密度为 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ 以下的区域上的氮化镓基半导体层可进一步减小穿透位错对 p 型掺杂剂活化的影响。该穿透位错密度的区域可提供实质上无位错的激光条。由于可获得低位错的 GaN,因此,支撑体 13 优选包含 GaN。

[0124] 该支撑体 13 可显示出导电性。III 族氮化物半导体光元件 11 可还包括与支撑体 13 的背面 13b 形成接触的第二电极 37。支撑体 13 可提供碳能够作为 p 型掺杂剂而发挥作用的外延区域,并且可提供与 n 型的良好的电接触。

[0125] 图 2 是表示采用二次离子质谱分析法考察使用有机金属气相生长法在各种生长条件下生长于半极性面 GaN 上的氮化镓的碳浓度所得的碳分布的图。在图 2 中,特性线 C、A 分别表示碳浓度的分布及铝浓度。以 0.1% 以下的组成添加铝作为标记物,以显示生长条件的变更位置。图 3 是表示图 2 中的氮化镓的生长条件 (1) \sim (10) 中所使用的生长条件与氮化镓中的碳浓度的关系的图。需要说明的是,在氮化镓的生长中,使用三甲基镓 (TMG) 作为有机镓原料。在图 3 中,温度的单位为“摄氏”,生长速率 GR 的单位为“ $\mu\text{m}/\text{小时}$ ”,氨气 (NH_3) 的流量单位为“slm (标准状态下每分钟的以升为单位的流量)”,碳浓度的单位为“ cm^{-3} ”。图 3 中示出 V/III (摩尔流量比) 及碳浓度“C”。关于碳浓度的表示,例如“0.85E16”表示 0.85×10^{16} 。

[0126] 图 4 是表示生长出的 GaN 膜中的碳浓度与生长温度及 V/III 的关系的图。参考图 4 的 (a) 部分,在生长速率为 $0.21 \mu\text{m}/\text{小时}$ 的条件下,在生长温度 (摄氏 740 度 \sim 780 度 \sim 820 度) 的范围内,碳浓度伴随温度的上升而单调减少。参考图 4 的 (b) 部分,在摄氏 780 度的生长温度的条件下,碳浓度随着 V/III 比的上升而单调减少。

[0127] 由图 2 \sim 图 4 所示的实验可知,在氮化镓基半导体的半极性面 (无极性面也同样) 上的氮化镓基半导体的生长中,即使在 III 族原料及 V 族原料以外不供给碳掺杂剂,也可控制 p 型掺杂剂的碳的浓度。另外,必要的情况下,可在原料之外另行供给碳掺杂剂。例如,通过在生长中供给由化学式 CH_4 所示的甲烷,可容易地实现 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上的较高浓度的碳浓度。

[0128] 参考图 5 \sim 图 7,对制作 III 族氮化物半导体光元件及外延衬底的方法加以说明。此外,图 8 是概略性地表示本实施例中的半导体激光器的图。在该制作方法中,例如在具有半极性或无极性主面的 GaN 衬底上制作图 8 所示的激光二极管结构 (LD1) 的外延衬底。作为用于外延生长的原料,使用三甲基镓 (TMG)、三甲基镉 (TMI)、三甲基铝 (TMA)、氨气

(NH₃)、硅烷 (SiH₄)、双环戊二烯镁 (Cp₂Mg)。

[0129] 准备倾斜角处于例如 63 度至小于 80 度的倾斜角范围内的 GaN 衬底。在图 5 的 (a) 部分所示的结晶坐标系 CR 中,所准备的 GaN 衬底 51 具有例如自与六方晶系 GaN 的 c 轴正交的平面起朝向 m 轴方向以 75 度的角度倾斜的主面,该倾斜主面 51a 表示为 {20-21} 面。该主面经镜面研磨。在 GaN 衬底 51 上在以下条件下进行外延生长。

[0130] 首先,将 GaN 衬底 51 设置在生长炉 10 内。在步骤 S101 中,在例如摄氏 1050 度的温度及 27kPa 的炉内压力下,如图 5 的 (a) 部分所示,通入 包含氨气与氢气 (H₂) 的热处理气体 G0,进行 10 分钟热处理。通过该热处理所引起的表面改性,在 GaN 衬底 51 的表面形成由偏角规定的台阶和平台 (ステップ・アンド・テラス) 结构。

[0131] 在该热处理之后,生长 GaN 基半导体区域。例如,在步骤 S102 中,在例如摄氏 1100 度下,将包含 TMG、TMA、TMI、氨气、硅烷的原料气体 G1 供给至生长炉 10,如图 5 的 (b) 部分所示,生长 n 型覆层 53。n 型覆层 53 例如为 Si 掺杂 InAlGaN 层。InAlGaN 层的厚度例如为 1.2 微米。生长温度例如为摄氏 900 度,其 Al 组成例如为 0.14,其 In 组成例如为 0.03。

[0132] 接着,如图 5 的 (c) 部分所示,在步骤 S103 中,在 n 型覆层 53 上生长光导层 55。光导层 55 包含例如 Si 掺杂 GaN 层 55a 及非掺杂 InGaN 层 55b,其 Al 组成可为 0.02。首先,将 TMG、氨气、硅烷供给至生长炉 10,在 n 型覆层 53 上在摄氏 840 度的生长温度下生长 Si 掺杂 GaN 层 55a。接着,将 TMG、TMI、氨气供给至生长炉 10,在 Si 掺杂 GaN 层 55a 上在摄氏 840 度的生长温度下生长非掺杂 InGaN 层 55b。Si 掺杂 GaN 层 55a 的厚度例如为 200nm,非掺杂 InGaN 层 55b 的厚度例如为 65nm。

[0133] 接着,如图 6 的 (a) 部分所示,在步骤 S104 中,生长有源层 57。在摄氏 870 度的衬底温度下,将 TMG、氨气供给至生长炉,并在此衬底温度下生长 GaN 基半导体势垒层。势垒层例如为非掺杂 GaN,其厚度为 15nm。在势垒层生长之后,中断生长,将衬底温度自摄氏 870 度改变为摄氏 830 度。在改变后的衬底温度 T2 下,将 TMG、TMI、氨气供给至生长炉,生长非掺杂 InGaN 阱层。该非掺杂 InGaN 阱层的厚度为 3nm。在阱层生长之后,停止供给 TMI,并且将 TMG、氨气供给至生长炉,同时将衬底温度自摄氏 830 度改变为摄氏 870 度。在此改变过程中,生长非掺杂 GaN 势垒层的一部分。在温度的改变结束后,生长非掺杂 GaN 势垒层的剩余部分。GaN 势垒层的厚度为 15nm。接着,重复进行势垒层的衬底温度改变、阱层的生长,形成 InGaN 阱层及 GaN 势垒层。在必要的情况下,势垒层可包含 InGaN。

[0134] 在有源层 57 上生长光导层。为形成光导层,首先,在步骤 S105 中,将 TMG、TMI、氨气供给至生长炉 10,如图 6 的 (b) 部分所示,在摄氏 840 度的衬底温度下在有源层 57 上生长非掺杂 InGaN 层 59。其 In 组成为 0.02。接着,在本实施例中,在光导层的 InGaN 层 59 的生长之后,在步骤 S 106 中,停止供给 TMG 及 TMI,使衬底温度上升至摄氏 1100 度。在此温度下,将 TMG、TMA、氨气、双环戊二烯镁供给至生长炉 10,如图 6 的 (c) 部分所示,生长电子阻挡层 61。电子阻挡层 61 例如为 AlGaIn。电子阻挡层 61 的 Al 组成为 0.12。降低衬底温度,在摄氏 840 度的衬底温度下,将 TMG、TMI、氨气、双环戊二烯镁供给至生长炉,如图 7 的 (a) 部分所示,在步骤 S107 中,在电子阻挡层 61 上生长光导层的 p 型 GaN 层 63。衬底温度例如为摄氏 1000 度。在该 p 型 GaN 层 63 的生长中,例如与 n 型 GaN 层 55a 的生长相比,可使用使碳的掺入增加的成膜条件。此外,在电子阻挡层 61 的生长中,例如与 n 型 GaN 层 55a 的生长相比,也可使用使碳的掺入增加的成膜条件。另外,电子阻挡层 61 的碳浓度优选小

于随后生长的 p 型覆层的碳浓度。非掺杂 InGaN 层 59 的厚度例如为 65nm, 掺杂 Mg 及 C 的电子阻挡层 61 的厚度例如为 20nm, 掺杂 Mg 及 C 的 GaN 层 63 的厚度例如为 200nm。

[0135] 接着, 在光导层 63 上生长 GaN 基半导体区域。在光导层 63 的生长之后, 停止供给 TMG, 将包含 TMG、TMA、TMI、氨气、双环戊二烯镁的气体供给至生长炉, 在步骤 S108 中生长 p 型覆层 65。p 型覆层 65 的衬底温度例如为 900 度, 其厚度例如为 400nm。p 型覆层 65 例如为掺杂 Mg 及 C 的 InAlGa_N, 其 Al 组成例如为 0.14, 其 In 组成为 0.03。在 p 型覆层 65 的生长中, 例如与 n 型覆层 53 的生长相比, 可使用使碳的掺入增加的成膜条件。

[0136] 之后, 停止供给 TMA, 在步骤 S109 中生长 p 型接触层 67。p 型接触层 67 包含例如掺杂 Mg 及 C 的 GaN、InGa_N 等, 其厚度例如为 50nm。在该 p 型接触层 67 的生长中, 例如与 n 型 GaN 层 55a 的生长相比, 可使用使碳的掺入增加的成膜条件。成膜后, 将生长炉的温度下降至室温, 制作外延衬底 EP。

[0137] 在电极形成步骤中, 在外延衬底 EP 上形成电极。首先, 形成利用光刻及蚀刻形成有接触窗的二氧化硅膜等绝缘膜 69 (图 8 所示)。接触窗 69a 例如为条形, 其宽度例如为 10 微米。接着, 在 p 型 GaN 接触层 67 上形成 p 电极 (Ni/Au) 71a。之后, 形成 p 衬垫电极 (Ti/Au)。必要的情况下, 将 GaN 衬底 51 的背面研磨至所期望的厚度后, 在外延衬底 EP 的背面形成 n 电极 (Ti/Al) 71b。在退火步骤中, 按照电极退火 (例如, 摄氏 550 度) 的步骤进行, 制作衬底产物。

[0138] (实施例 1)

[0139] 在该外延衬底 EP 的形成中, 通过在 p 型氮化镓基半导体的生长中提高 V/III 比的生长, 使碳浓度增加。另一方面, 在该外延衬底 EP 之外, 另行制作通过在 p 型氮化镓基半导体的生长中降低 V/III 比的生长而制作出的另一外延衬底。该另一外延衬底的 p 型覆层的碳浓度低于外延衬底 EP 的 p 型覆层的碳浓度。

[0140] 按照如下方式制作图 8 所示的半导体激光器。从以 (0001) 方向生长的 GaN 锭上以 75 度的角度切下 GaN 片, 准备具有 {20-21} 面的 GaN 衬底。在该 GaN 衬底的 GaN 半导体区域的主面 ({20-21} 面) 上外延生长以下的半导体层。

[0141] 75 度偏离的 GaN 衬底。

[0142] n 型覆层 : Si 掺杂 InAlGa_N、衬底温度 900 度、厚度 2 μm、Al 组成 0.14、In 组成 0.03。

[0143] 光导层 : 非掺杂 GaN、衬底温度 840 度、厚度 250nm。

[0144] 光导层 : 非掺杂 InGa_N、衬底温度 840 度、厚度 100nm、In 组成 0.02。

[0145] 有源层。

[0146] 势垒层 : 非掺杂 GaN、衬底温度 730 度、厚度 15nm。

[0147] 阱层 : 非掺杂 InGa_N、衬底温度 730 度、厚度 3nm、In 组成 0.30。

[0148] 光导层 : 非掺杂 InGa_N、衬底温度 840 度、厚度 50nm、In 组成 0.03。

[0149] 光导层 : 非掺杂 GaN、衬底温度 840 度、厚度 250nm。

[0150] 电子阻挡层 : Mg 掺杂 AlGa_N、衬底温度 1000 度、厚度 20nm、Al 组成 0.12。

[0151] p 型覆层 : Mg 掺杂 InAlGa_N、衬底温度 900 度、厚度 400nm、Al 组成 0.14、In 组成 0.03。

[0152] p 型接触层 : Mg 掺杂 GaN、衬底温度 900 度、厚度 50nm。

[0153] 图 9 是表示外延衬底 EP 中的钢、碳、铝及镁元素的 SIMS 分布的图。图 10 是表示另一外延衬底中的钢、碳、铝及镁元素的 SIMS 分布的图。图 9 及图 10 中示出了通过二次离子质谱分析测定的分布 P1 ~ P4 及 Q1 ~ Q4。在 SIMS 测定中,使用磁场型 SIMS 装置。

[0154] P1、Q1 :钢的分布。

[0155] P2、Q2 :碳的分布。

[0156] P3、Q3 :铝的分布。

[0157] P4、Q4 :镁的分布。

[0158] 根据 SIMS 分布,根据通过二次离子质谱分析所求得的碳浓度,外延衬底 EP 的 p 型 InAlGa_N 层的碳浓度为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, p 型 InAlGa_N 层的镁浓度为 $4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。此外,另一外延衬底的 p 型 InAlGa_N 层的碳浓度为 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, p 型 InAlGa_N 层的镁浓度为 $6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[0159] (实施例 2)

[0160] 使用外延衬底(高碳浓度)EP 及另一外延衬底(低碳浓度),制作激光二极管(LD)。在这些外延衬底的表面形成 SiO₂ 绝缘膜后,在该绝缘膜上利用湿式蚀刻形成宽度 10 μm 的条形窗。蒸镀包含 Ni/Au 的 p 侧电极与包含 Ti/Al 的衬垫电极。对各外延衬底的背面进行研磨而使其厚度为 100 μm。在经研磨的背面上蒸镀包含 Ti/Al/Ti/Au 的 n 侧电极。利用以此方式制成的衬底产物来制作激光棒。每个激光棒包含共振镜。在激光棒的端面利用真空蒸镀法涂布电介质多层膜。电介质多层膜通过将 SiO₂ 与 TiO₂ 交替层叠而构成。膜厚分别在 50 ~ 100nm 的范围内进行调整,反射率的中心波长设计为 500 ~ 530nm 的范围。将一侧的反射面设定为 10 个周期,反射率的设计值设定为约 95%,将另一侧的反射面设定为 6 个周期,反射率的设计值设定为约 80%。接着,在室温下通过通电而进行评价。电源使用脉冲宽度 500ns、占空比 0.1% 的脉冲电源,使针落在表面电极上而通电。在测定光输出时,利用光电二极管检测来自激光棒端面的发光,考察光输出 - 电流特性(L-I 特性),求出阈值电流密度。在测定发光波长时,使来自激光棒端面的发光通过光纤,使用光谱分析仪作为检测器而进行光谱测定,求出振荡波长。电压 - 电流特性(V-I 特性)的测定使用四探针法进行。将各晶片中特性良好的 10 个 LD 的平均值示于以下。

[0161] 样品名、 阈值、阈值电压、振荡波长、元件电阻。

[0162] 高 C 浓度的 LD :5kA/cm²、5.2V、521nm、2 Ω。

[0163] 低 C 浓度的 LD :15kA/cm²、7.2V、520nm、6 Ω。

[0164] 在高 C 浓度的 LD 中,在整个 p 型半导体区域中为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上。另一方面,在低 C 浓度的 LD 中,在整个 p 型半导体区域中小于 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 。

[0165] 由这些结果可知,通过在半极性 & 无极性 p 型氮化镓基半导体中掺入规定浓度范围的碳,可提高 p 型半导体层的电特性,结果可提高元件特性。

[0166] 接下来,说明 GaN 衬底的位错密度对 p 型碳掺杂剂的影响。目前,在 Si 衬底、蓝宝石衬底、SiC 衬底等上的半极性面上的 GaN 的异质外延生长中,外延膜的结晶质量不高。具体而言,在使用上述异质衬底的异质外延生长膜中,其穿透位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以上。在具有发出紫色或蓝色等发光波长的光的 InGa_N 有源层的发光元件中,由于载流子的扩散长度较小,为 0.2 μm 以下,因此,在高位错密度的 InGa_N 有源层中也可观测到高效率的发光。然而,在发出绿色光的 InGa_N 有源层中,载流子的扩散长度达到 0.2 μm 以上,形成该有源层的 InGa_N 有源层的位错密度需要为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下。当发光元件为激光二极管时,对

于位错密度要求更高的质量,期望其值为 $1 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 以下。为了使激光二极管条完全不含位错,需要使位错密度为 $1 \times 10^5 \text{cm}^{-2}$ 以下。

[0167] 进而,当外延半导体区域中存在位错时,生长中的表面形态在局部产生变化。具体而言,以位错为中心而形成凹陷。因此,与外延半导体区域不存在位错、半极性 GaN 面均匀且平坦地生长的半导体区域相比,在位错附近由于凹陷的影响而在局部使杂质的掺入量与其周围不同。因此,虽期望低位错密度,但可生长具有均匀的杂质分布的半导体层。具体而言,位错密度为 $1 \times 10^7 \text{cm}^{-2}$ 以下的穿透位错密度时,可减小局部的杂质分布的影响。因此,氮化镓基半导体衬底优选具有上述位错密度以下的值。

[0168] 实施例中所使用的 {20-21} 面与现有技术中所使用的氮面不同,认为本发明的 {20-21} 面的 GaN 基生长机制与面取向 {10-11} 面的 GaN 基生长机制不同。

[0169] 根据非专利文献,已说明了在 {10-11} 面 GaN 中碳作为受体而发挥作用的依据在于 (1-101) 为氮终端面。图 11 是示意性地表示该半极性 {10-11} 面中的原子排列的图。图 12 是示意性地表示半极性 {20-21} 面中的原子排列的图。图 13 是示意性地表示同样为半极性面的 {10-14} 面中的原子排列的图。如图 12 所示,

[0170] {20-21} 面的原子排列不是完全的氮终端面。

[0171] {10-11} 面:最表面的原子全部为氮,为氮终端面。

[0172] {20-21} 面:最表面的 2/3 为 Ga 原子,不是氮终端面。

[0173] {10-14} 面:最表面的 3/5 为 Ga 原子,不是氮终端面。

[0174] 如图 12 所示,{20-21} 面不是氮终端面,根据本发明人的实验,在 {20-21} 面、{10-10} 面的氮化镓中,碳作为浅受体而发挥作用。由此可知,本实施方式的浅碳受体的技术性贡献不是由于氮终端面而产生的。

[0175] 为了参考而参照 {10-14} 面的原子排列,{10-14} 面中的 Ga/N 的比率接近 {20-21} 的 Ga/N 的比率。然而,在 {10-14} 面附近的角度的范围内,碳不会成为浅受体。

[0176] 根据本发明人的研究,认为 {20-21} 面与 {10-14} 面的不同是由于掺入碳时最表面的键的方向不同。在 {10-14} 面中出现了自 c 面 {0001} 向 {10-11} 面微倾斜时所出现的台阶。相对于此,在 {20-21} 面中出现了自 {10-11} 面向 {10-10} 面微倾斜时所出现的台阶。由于该台阶的性质的差异,通过碳与最表面的键的结合可有效且优先地掺入碳,所掺入的碳形成浅受体。因此,在可提供与 {20-21} 面中的台阶相同或类似的台阶的面取向及倾斜角的范围内,可获得本实施方式的技术性利益。

[0177] 在本实施方式中的 p 型氮化镓基半导体中,优选碳浓度的下限为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,且其上限为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下。在本实施方式中的非掺杂氮化镓基半导体中,优选碳浓度的上限为 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下。在本实施方式中的 n 型氮化镓基半导体中,优选碳浓度的下限为 $2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 以上,且其上限为 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0178] 在优选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进行变更。本发明并不限于本实施方式所公开的特定构成。因此,请求保护权利要求书请求的范围及根据其精神范围而得到的所有修正及变更。

[0179] 产业实用性

[0180] 如上所述,根据本实施方式,提供包含低电阻化的 p 型氮化镓基半导体层的 III 族

氮化物半导体光元件。此外,根据本实施方式,提供用于该 III 族氮化物半导体光元件的外延衬底。

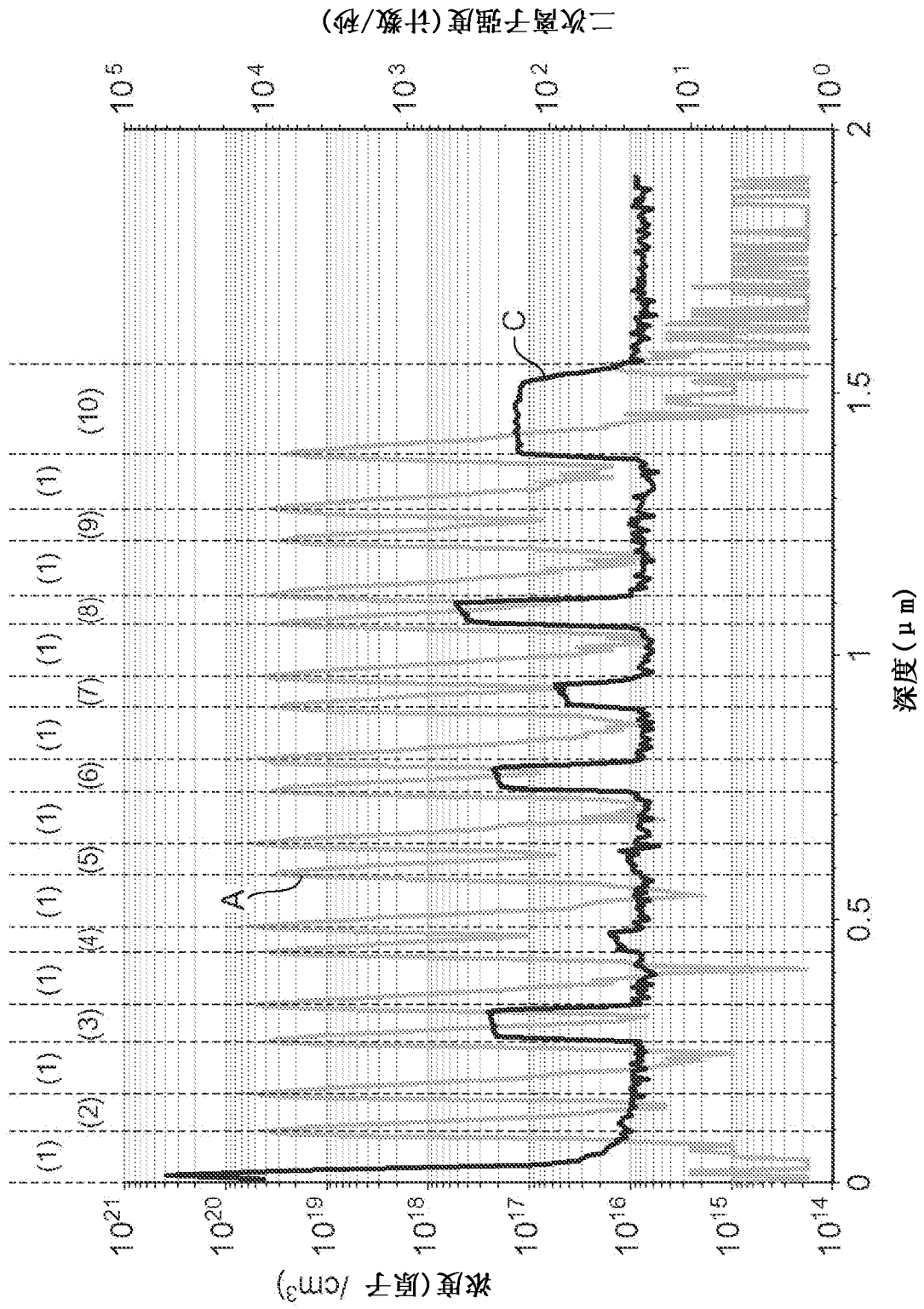


图 2

条件	温度℃	GR	NH3	V/III	C
(1)	1140	3.49	5	2261	0.85E16
(2)	870	0.4	6	10969	1.1E16
(3)	780	0.255	6	17185	25E16
(4)	780	0.174	10	28641	1.6E16
(5)	780	0.109	8	45826	11E16
(6)	780	0.34		14625	24E16
(7)	780	0.217		22913	5.2E16
(8)	740	0.217			51E16
(9)	820	0.217			0.89E16
(10)	950	7.77	7.5	1373	15E16

图 3

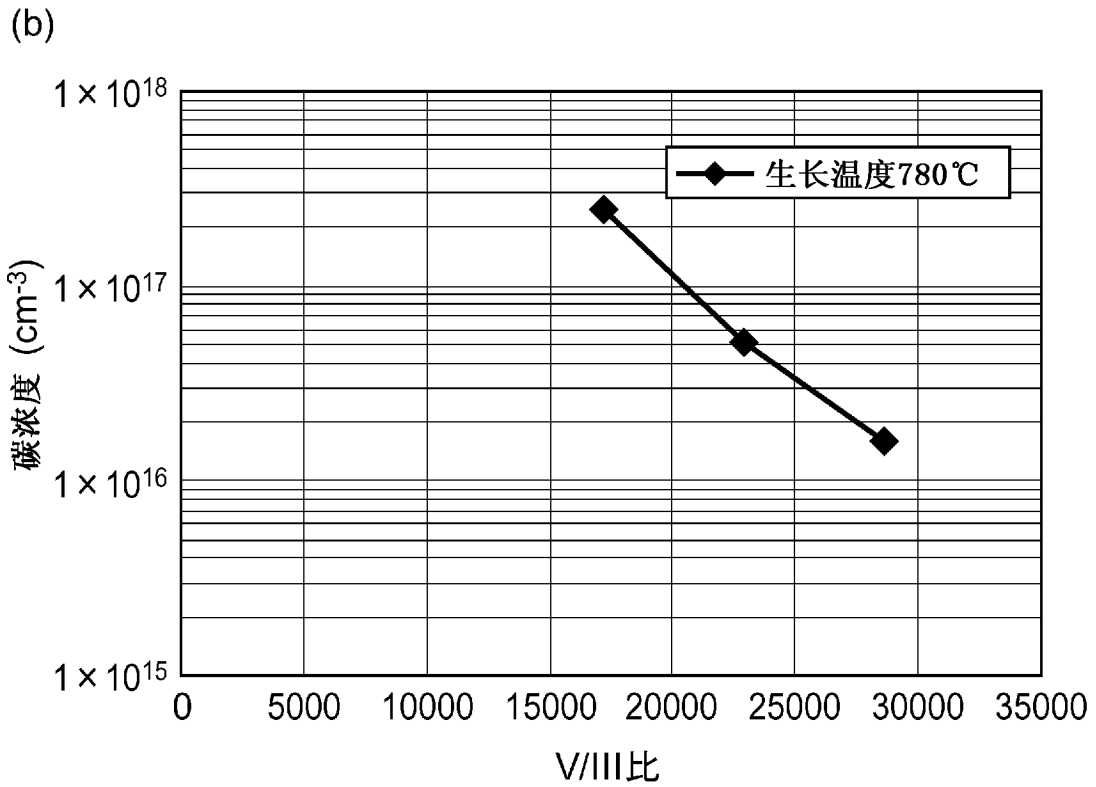
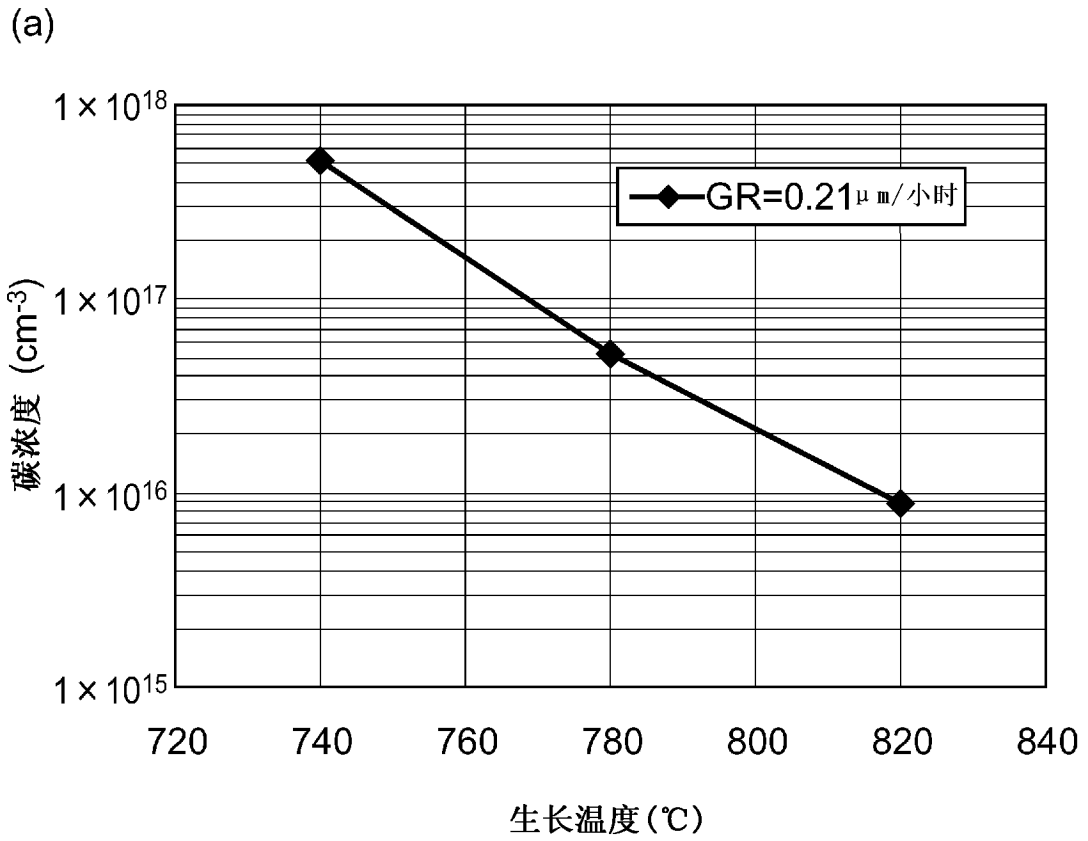


图 4

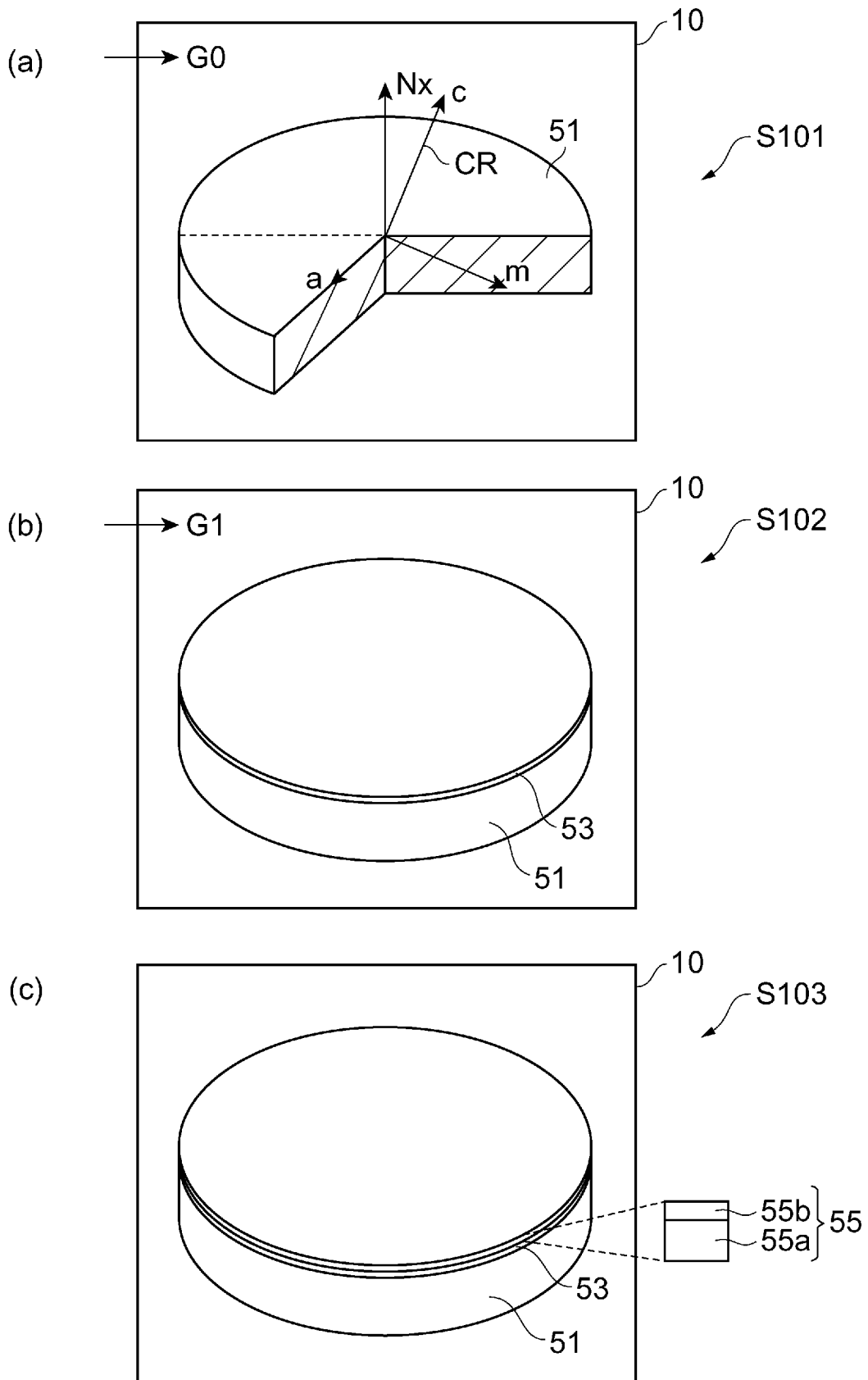


图 5

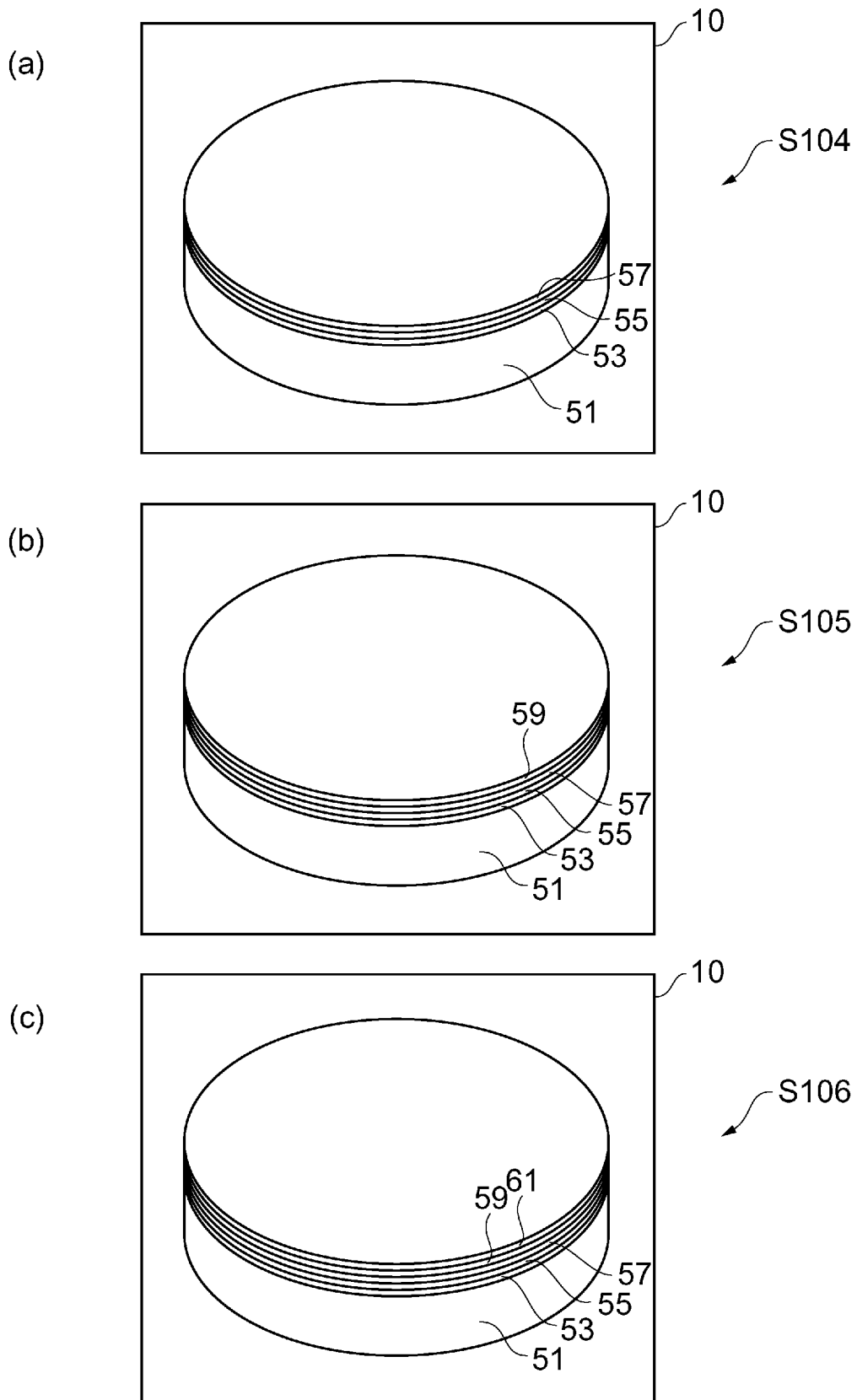


图 6

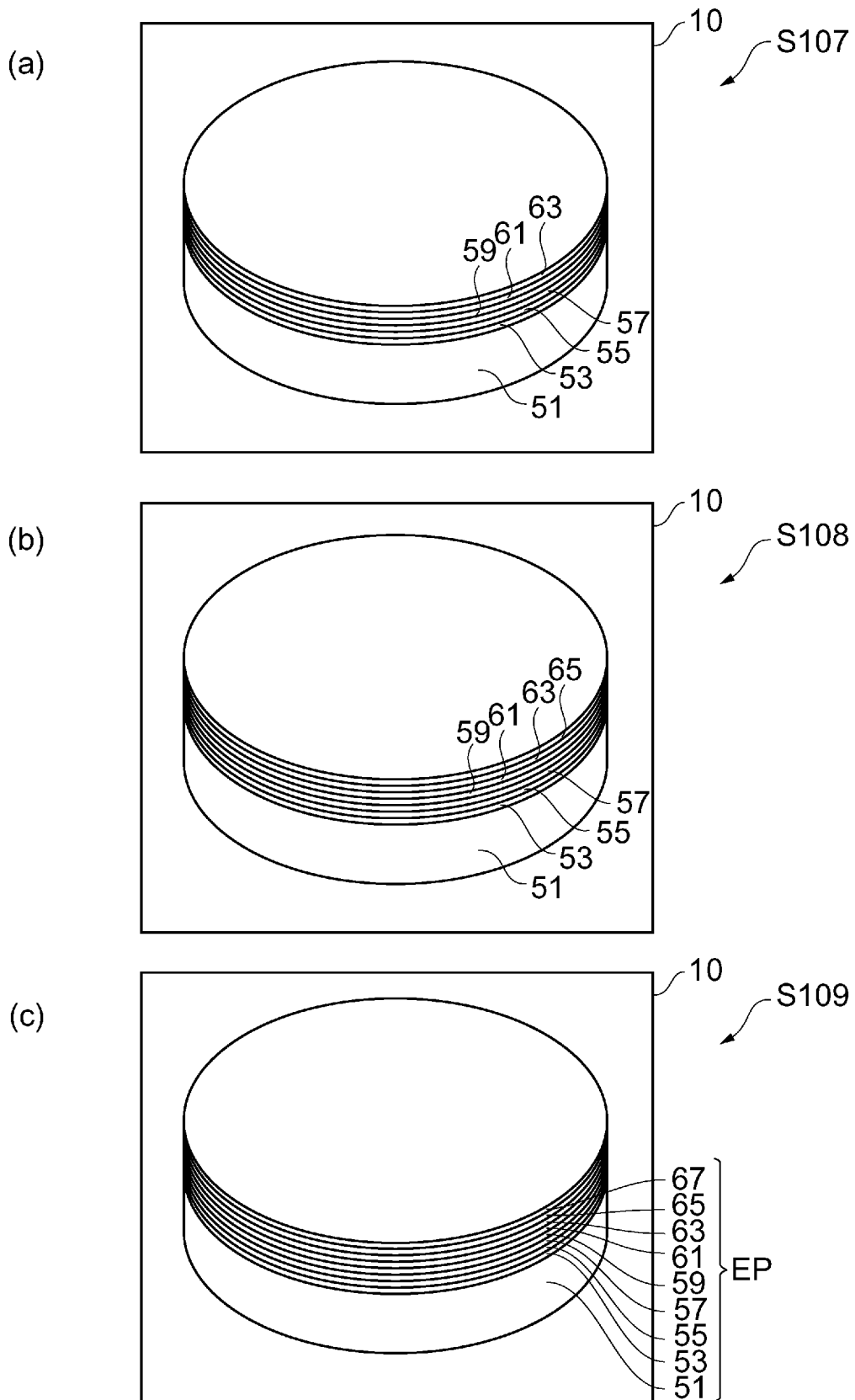


图 7

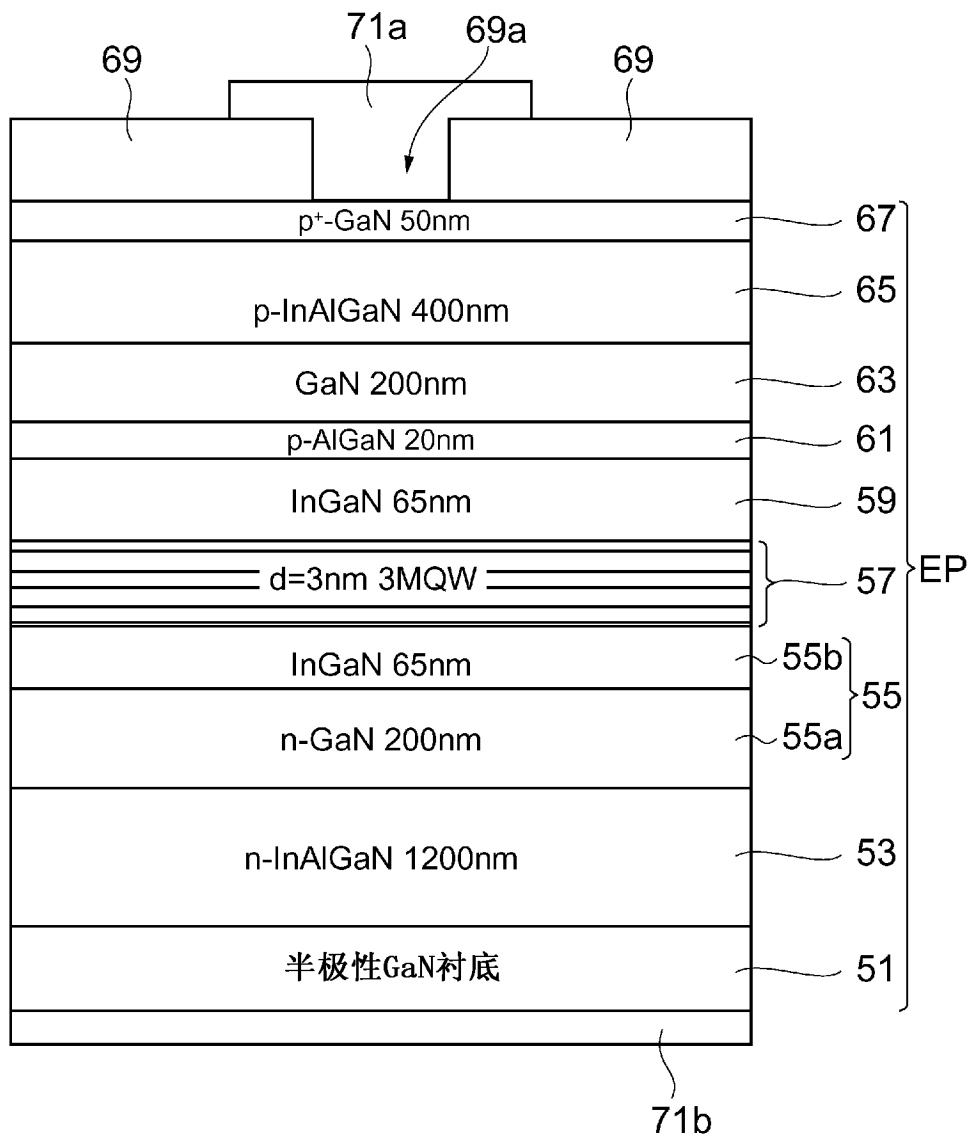


图 8

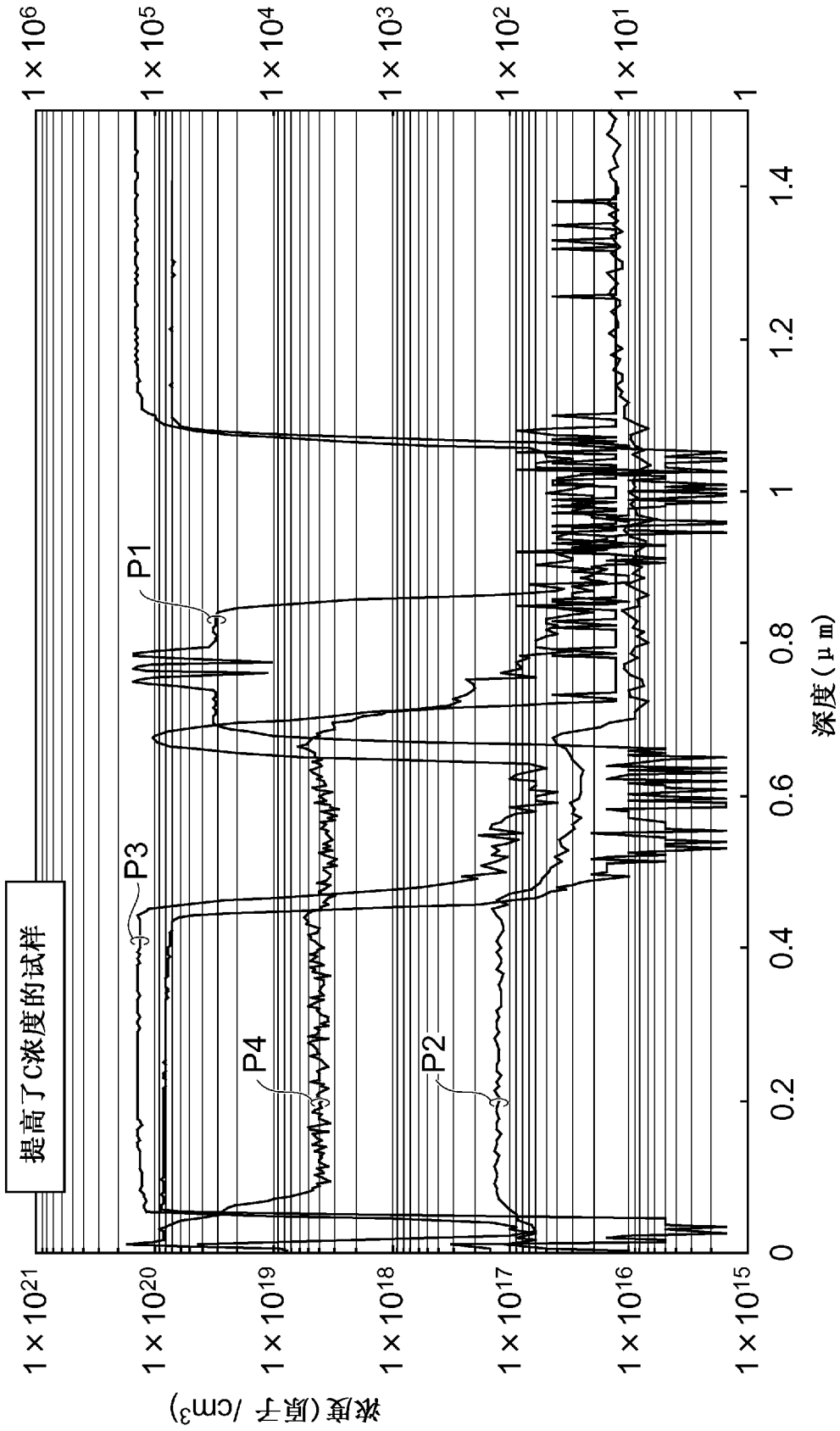


图 9

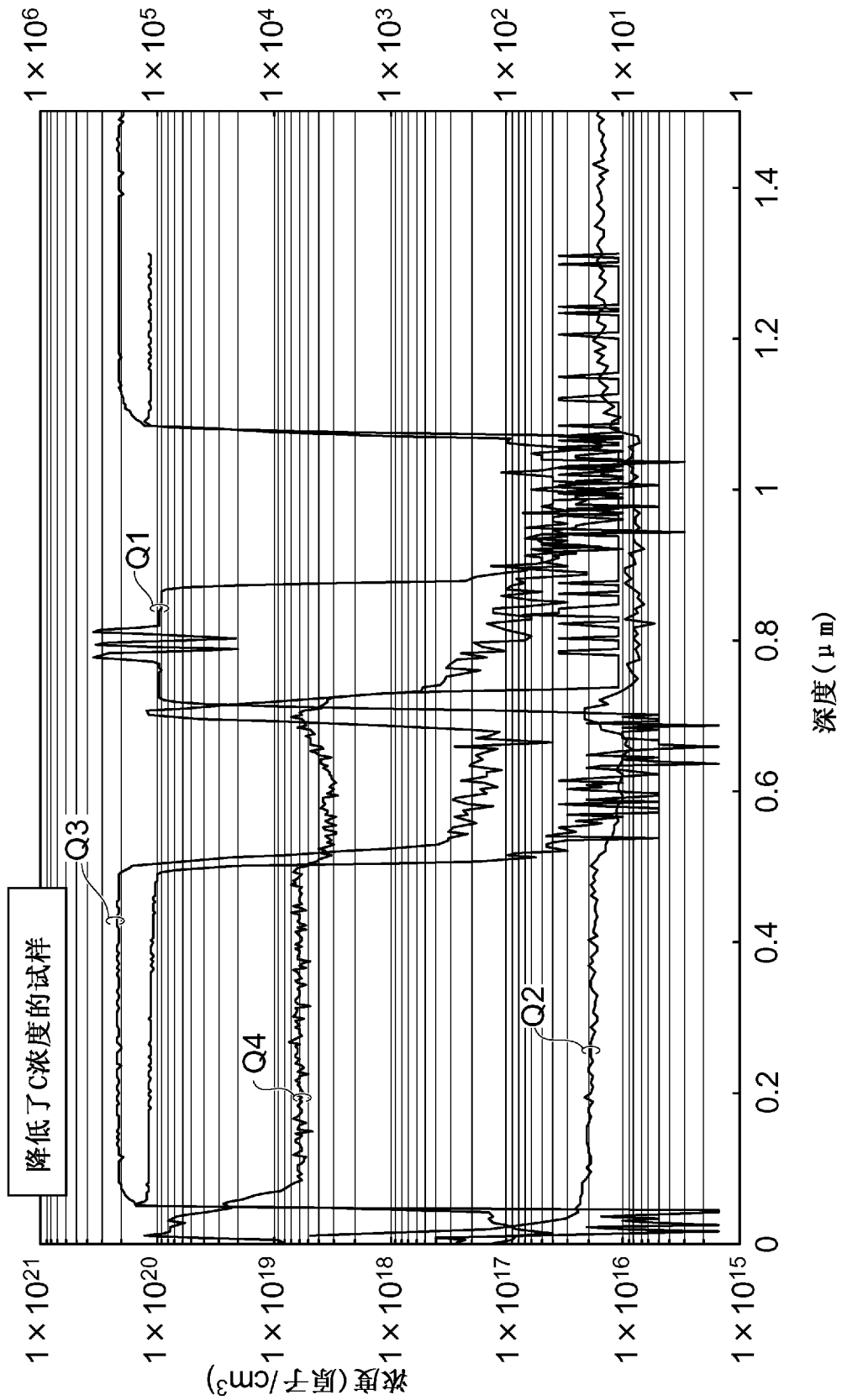


图 10

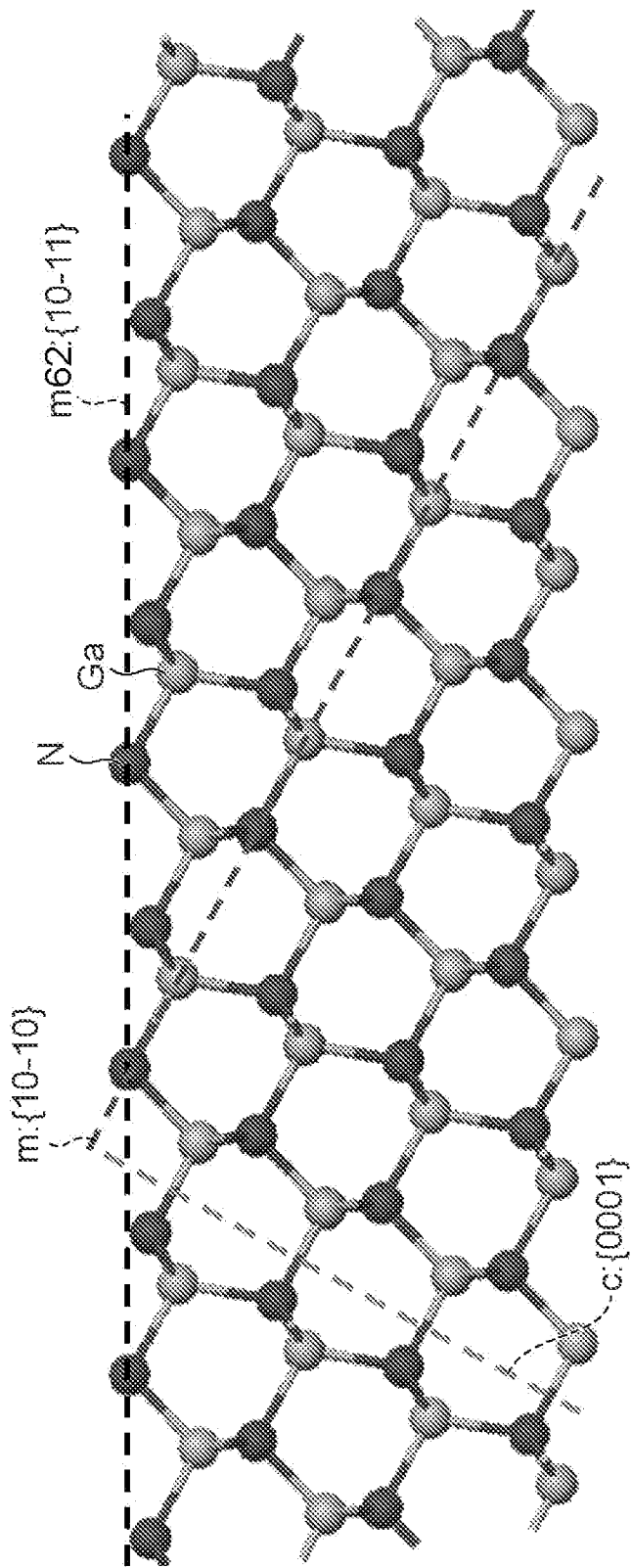


图 11

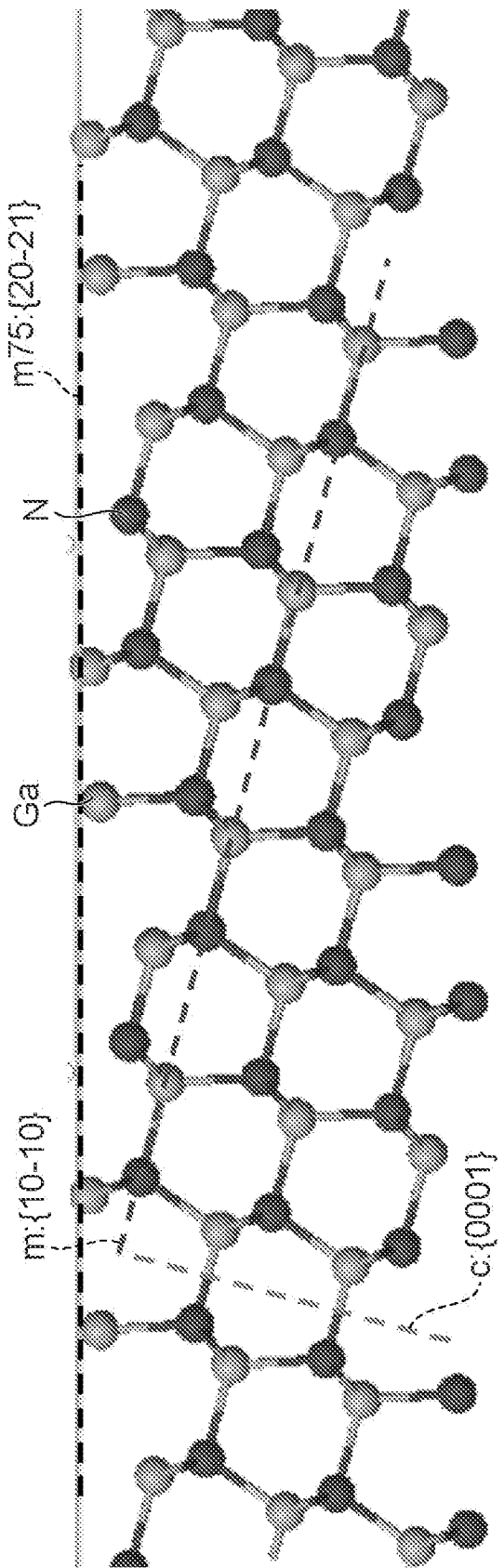


图 12

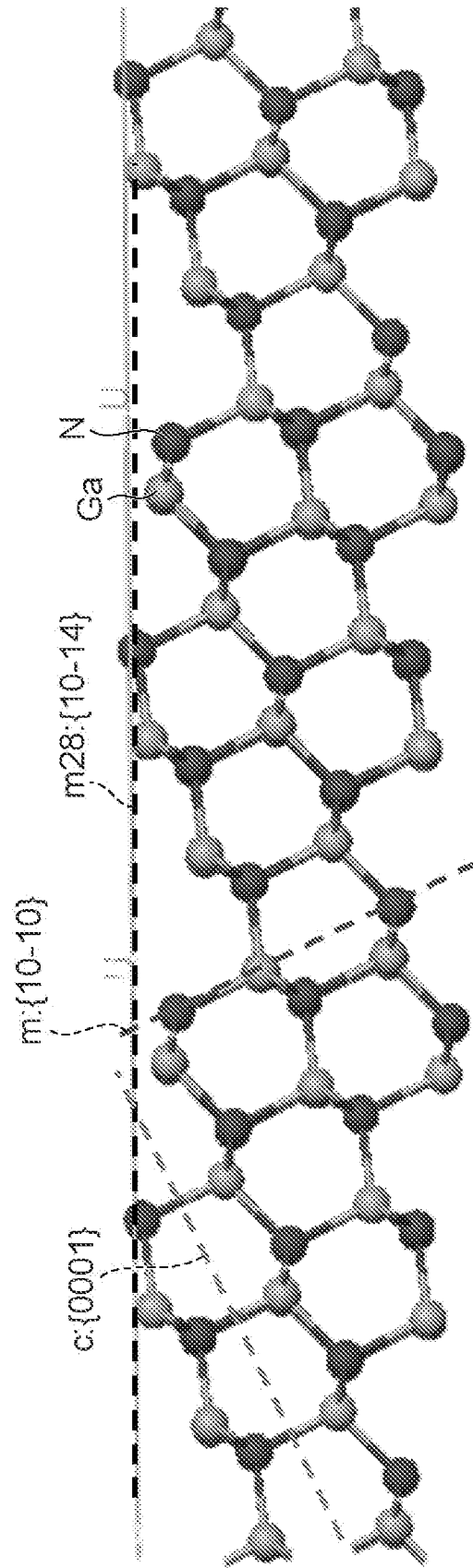


图 13