



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1896343 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 04

(21) 申请号 200610093296. 1

H01L 21/18(2006. 01)

(22) 申请日 2006. 06. 23

H01L 21/20(2006. 01)

(30) 优先权数据

2005-183111 2005. 06. 23 JP

(56) 对比文件

CN 1610138 A, 2005. 04. 27,

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

审查员 孙玉静

(72) 发明人 石桥惠二 楫登纪子 中畑成二

西浦隆幸

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 陈平

(51) Int. Cl.

C30B 29/38(2006. 01)

H01L 21/08(2006. 01)

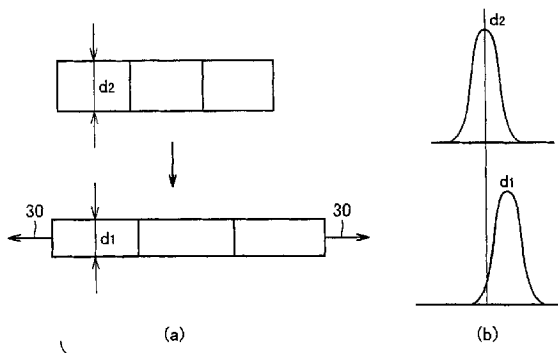
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 3 页

(54) 发明名称

氮化物晶体、氮化物晶体衬底、含有外延层的氮化物晶体衬底、半导体器件及其制备方法

(57) 摘要

一种氮化物晶体的特征在于,关于氮化物晶体(1)的任意特定平行晶格平面(1d)的平面间距,由|d1-d2|/d2的值表示的所述晶体的表面层(1a)上的均匀畸变等于或低于2.1×10⁻³,其中在满足所述特定平行晶格平面(1d)的X-射线衍射条件的同时通过改变X-射线从晶体表面的穿透深度来进行X-射线衍射测量而获得所述平面间距,由在0.3μm的X-射线穿透深度处的平面间距d1和在5μm的X-射线穿透深度处的平面间距d2获得所述|d1-d2|/d2的值。上述构造提供了具有晶体表面层的氮化物晶体,该晶体表面层在不破坏晶体的情况下直接和可靠地被评估,因此它可以以优选方式用作半导体器件的衬底以及上述构造还提供氮化物晶体衬底、含有外延层的氮化物晶体衬底、半导体器件以及制备它们的方法。



1. 一种氮化物晶体, 其中,

关于所述氮化物晶体 (1) 的任意特定平行晶格平面 (1d) 的平面间距, 由 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值表示的所述晶体的表面层 (1a) 上的均匀畸变等于或低于 2.1×10^{-3} , 其中在满足所述特定平行晶格平面 (1d) 的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线从所述晶体的表面 (1s) 的穿透深度来进行 X- 射线衍射测量而获得所述平面间距, 由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的所述平面间距 d_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的 X- 射线穿透深度处的所述平面间距 d_2 获得所述 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值, 并且所述氮化物晶体 (1) 是 GaN 晶体和 AlN 晶体中的任一种。

2. 一种氮化物晶体, 其中,

在所述氮化物晶体 (1) 的任意特定平行晶格平面 (1d) 的衍射强度分布图上, 由 $|v_1-v_2|$ 的值表示的所述晶体的表面层 (1a) 上的不规则畸变等于或低于 150arcsec , 其中在满足所述特定平行晶格平面 (1d) 的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线衍射从所述晶体的表面 (1s) 的穿透深度来进行 X- 射线衍射测量而获得所述衍射强度分布图, 由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_2 获得所述 $|v_1-v_2|$ 的值, 并且所述氮化物晶体 (1) 是 GaN 晶体和 AlN 晶体中的任一种。

3. 一种氮化物晶体, 其中,

关于所述晶体的任意特定平行晶格平面 (1d) 的 X- 射线衍射, 通过变化从所述氮化物晶体 (1) 的表面的 X- 射线穿透深度来测量的摇摆曲线上, 由 $|w_1-w_2|$ 的值表示的所述特定平行晶格平面 (1d) 的平面取向偏差等于或低于 400arcsec , 其中由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度的衍射强度峰的半值宽度 w_2 获得所述 $|w_1-w_2|$ 的值, 并且所述氮化物晶体 (1) 是 GaN 晶体和 AlN 晶体中的任一种。

4. 按照权利要求 1 的氮化物晶体, 其中

所述晶体的所述表面 (1s) 具有 30nm 或更低的表面粗糙度 R_y 。

5. 按照权利要求 1 的氮化物晶体, 其中

所述晶体的所述表面 (1s) 具有 3nm 或更低的表面粗糙度 R_a 。

6. 按照权利要求 1 的氮化物晶体, 其中

所述氮化物晶体的所述表面 (1s) 与纤锌矿型结构的 C- 平面平行。

7. 按照权利要求 1 的氮化物晶体, 其中

所述氮化物晶体的所述表面 (1s) 相对于纤锌矿型结构的 C- 平面具有 0.05° 至 15° 的斜角。

8. 一种氮化物晶体衬底, 其是按照权利要求 1 的氮化物晶体 (1) 形成的。

9. 一种含有外延层的氮化物晶体衬底, 其包含:

一个或多个半导体层, 该半导体层是通过在按照权利要求 8 的氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。

10. 一种半导体器件, 其包含作为衬底 (610) 的按照权利要求 8 的氮化物晶体衬底, 或含有外延层的氮化物晶体衬底, 该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层, 该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的, 其中

所述半导体器件还包含一个或多个半导体层 (650), 该半导体层 (650) 是通过在所述衬底 (610) 的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。

11. 一种半导体器件, 其包含作为衬底 (610) 的按照权利要求 8 的氮化物晶体衬底, 或含有外延层的氮化物晶体衬底, 该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层, 该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的, 其中

所述半导体器件还包含发光元件, 该发光元件包括三个或更多个通过所述衬底 (610) 的主表面侧之一上外延生长而形成的半导体层 (650), 在所述衬底 (610) 的另一个主表面侧上形成的第一电极 (661), 和在所述多个半导体层 (650) 之中最外面的半导体层之上形成的第二电极 (662), 和

还包含承载所述发光元件的导体 (682);

所述发光元件的衬底 (610) 侧是发光侧, 最外面的半导体层侧是安装侧, 而所述多个半导体层 (650) 包括 p- 型半导体层 (630), n- 型半导体层 (620) 和在这些导电半导体层之间形成的发光层 (640)。

12. 一种制备半导体器件的方法, 所述半导体器件包括作为衬底 (610) 的氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底, 该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层, 该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的, 该方法包括以下步骤:

选择作为所述氮化物晶体衬底的氮化物晶体 (1), 该氮化物晶体 (1) 被构造使得: 关于所述晶体 (1) 的任意特定平行晶格平面 (1d) 的平面间距, 由 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值表示的所述晶体的表面层 (1a) 上的均匀畸变等于或低于 2.1×10^{-3} , 其中在满足所述特定平行晶格平面 (1d) 的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线从所述晶体的表面 (1s) 的穿透深度来进行 X- 射线衍射测量而获得所述平面间距, 由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的所述平面间距 d_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的 X- 射线穿透深度处的所述平面间距 d_2 获得所述 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值, 并且所述氮化物晶体 (1) 是 GaN 晶体和 AlN 晶体中的任一种; 和

在所述衬底 (610) 的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层 (650)。

13. 一种制备半导体器件的方法, 所述半导体器件包括作为衬底 (610) 的氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底, 该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层, 该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的, 该方法包括以下步骤:

选择作为所述氮化物晶体衬底的氮化物晶体 (1), 该氮化物晶体 (1) 被构造使得: 在所述晶体的任意特定平行晶格平面 (1d) 的衍射强度分布图上, 由 $|v_1-v_2|$ 的值表示的所述晶体的表面层 (1a) 上的不规则畸变等于或低于 150arcsec , 其中在满足所述特定平行晶格平面 (1d) 的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线衍射从所述晶体的表面 (1s) 的穿透深度来进行 X- 射线衍射测量而获得所述衍射强度分布图, 由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_2 获得所述 $|v_1-v_2|$ 的值, 并且所述氮化物晶体 (1) 是 GaN 晶体和 AlN 晶体中的任一种, 和

在所述衬底 (610) 的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层 (650)。

14. 一种制备半导体器件的方法,所述半导体器件包括作为衬底(610)的氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层,该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的,该方法包括以下步骤:

选择作为所述氮化物晶体衬底的氮化物晶体(1),该氮化物晶体(1)被构造使得:关于所述晶体的任意特定平行晶格平面(1d)的X-射线衍射,通过变化从所述氮化物晶体(1)的表面(1s)的X-射线穿透深度来测量的摇摆曲线上,由 $|w_1-w_2|$ 的值表示的所述特定平行晶格平面(1d)的平面取向偏差等于或低于 400arcsec ,其中由在 $0.3\mu\text{m}$ 的所述X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_1 和在 $5\mu\text{m}$ 的所述X-射线穿透深度的衍射强度峰的半值宽度 w_2 获得所述 $|w_1-w_2|$ 的值,并且所述氮化物晶体(1)是GaN晶体和AlN晶体中的任一种,和

在所述衬底(610)的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层(650)。

氮化物晶体、氮化物晶体衬底、含有外延层的氮化物晶体衬底、半导体器件及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及氮化物晶体、氮化物晶体衬底、含有外延层的氮化物晶体衬底、半导体器件和制备它们的方法,特别是涉及可以优选用作衬底的氮化物晶体,该衬底在生产半导体器件时用于生长外延晶体。

背景技术

[0002] 众所周知,近年来已经生产各种使用氮化物半导体晶体的器件,作为这些半导体器件的典型实例,已经生产氮化物半导体发光器件。

[0003] 通常,在制备氮化物半导体器件的工艺中,将多个氮化物半导体层在衬底上外延生长。外延生长的氮化物半导体层的晶体质量受用于外延生长的衬底的表面层的状态影响,而这质量影响包括氮化物半导体层的半导体器件的性能。因此,在将氮化物半导体晶体用作上述种类的衬底的情况下,期望提供外延生长基底的衬底的至少一个主表面具有平滑形式而没有畸变。

[0004] 更特别地,用于外延生长的氮化物半导体衬底的主表面通常进行平滑处理和去畸变处理。在各种化合物半导体中,镓-氮化物-基半导体相对较硬,因此其表面平滑处理不容易,并且在平滑处理后的畸变去除处理不容易。

[0005] 日本专利公开号 2004-311575 公开了一种抛光法,该方法将软粒子和硬粒子用作抛光化合物,用于抛光氮化物镓衬底的表面。美国专利说明书号 6,596,079 公开了一种形成衬底表面的方法,其中从 (AlGaIn)N 大块 (bulk) 晶体生产衬底,该晶体是通过汽相外延在 (AlGaIn)N 晶种上生长的,更明确地公开了一种形成衬底表面的方法,该衬底表面具有 1nm 或更低的 RMS (均方根) 表面粗糙度,并且没有表面损伤,该表面损伤是由于在进行机械抛光的衬底表面上实施 CMP (化学-机械抛光) 或蚀刻导致的。美国专利说明书号 6,488,767 公开了具有通过 CMP 处理获得的 0.15nm 的 RMS 表面粗糙度的 $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 < y \leq 1, x+y+z = 1$) 衬底。用于该 CMP 的处理剂包含 Al_2O_3 粒子, SiO_2 粒子, pH 控制剂和氧化剂。按照日本专利公开号 2001-322899, 通过干法蚀刻去除加工影响层, 以在 GaN 衬底抛光后精加工 (finish) 衬底表面。

[0006] 如上所述,在现有技术中,在机械抛光 GaN 晶体后实施 CMP 处理或干法蚀刻,以便去除由机械抛光形成的加工影响层,并且形成具有精加工衬底表面的 GaN 衬底。然而, CMP 处理的处理速率低,并导致成本和生产率的问题。另外,干法蚀刻导致表面粗糙度的问题。

[0007] 使用 CMP 的 Si 衬底的精加工方法以及用于该方法的抛光剂不适合于硬的氮化物半导体衬底,并且降低了表面层的去除速度。特别是, GaN 在化学上适合并且相对耐受湿法蚀刻,因此 CMP 处理不容易。尽管干法蚀刻可以去除氮化物半导体表面,它对表面没有水平方向上的整平效果,因此不能实现该表面平滑作用。

[0008] 为了在衬底表面上外延生长具有良好晶体质量的化合物半导体层,需要使用具有良好晶体质量以及如上所述较小加工损伤和较小畸变的衬底表面。然而,在衬底表面上要

求的表面层的晶体质量不清楚。

[0009] 在现有技术中,晶体表面层的畸变是通过裂开晶体和用 TEM(透射电子显微镜)观察裂开平面来评估的,如公开例如在 S. S. Park 等, "Free-Standing GaN Substrate by Hydride Vapor Phase Epitaxy", Jpn, J. Appl. Phys., The Japan Society of Applied Physics, 卷 39, 2000 年 11 月, 第 L1141-L1142 页和 Yutaka TAKAHASHI 等, "Transmission Electron Microscopy of Surface Damages Resulting from Wet Polishing in a Polycrystalline Aluminum Nitride Substrate", The Academic Journal of the Ceramic Society of Japan, The Ceramic Society of Japan, 99, [7], (1991), 第 613-619 页中。因此,晶体表面层上的畸变常规上是通过破坏晶体的破坏试验来评估的,因此这些问题出现,即在评估后即使评估结果不充分也不能进行修正,和对于产品本身不能进行评估。在现有情形下,没有非破坏性地评估精加工衬底表面的表面层的结晶度的指标,因此难以定量确定表面层的晶体质量。

发明内容

[0010] 本发明的一个目的是提供氮化物晶体,具有晶体表面层的氮化物晶体衬底,该晶体表面层在不破坏晶体的情况下直接和可靠地被评估,因此它可以用于优选方式在生产半导体器件时用作外延晶体生长用的衬底,以及提供含有外延层的氮化物晶体衬底,半导体器件和制备它们的方法。

[0011] 按照本发明的一个方面,一种氮化物晶体的特征在于,关于氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的平面间距,由 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值表示的所述晶体的表面层上的均匀畸变等于或低于 2.1×10^{-3} ,其中在满足所述特定平行晶格平面的 X-射线衍射条件的同时通过改变 X-射线离晶体表面的穿透深度来进行 X-射线衍射测量而获得所述平面间距,由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_2 获得所述 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值。

[0012] 按照本发明的另一方面,一种氮化物晶体的特征在于,在所述氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的衍射强度分布图上,由 $|v_1-v_2|$ 的值表示的所述晶体的表面层上的不规则畸变等于或低于 150arcsec ,其中在满足所述特定平行晶格平面的 X-射线衍射条件的同时通过变化 X-射线衍射从所述晶体的表面的穿透深度来进行 X-射线衍射测量而获得所述衍射强度分布图,由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_2 获得所述 $|v_1-v_2|$ 的值。

[0013] 按照本发明的再一方面,一种氮化物晶体的特征在于,关于所述氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的 X-射线衍射,通过变化从所述晶体的表面的 X-射线穿透深度来测量的摇摆曲线上,由 $|w_1-w_2|$ 的值表示的所述特定平行晶格平面的平面取向偏差等于或低于 400arcsec ,其中由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度的衍射强度峰的半值宽度 w_2 获得所述 $|w_1-w_2|$ 的值。

[0014] 优选地,所述氮化物晶体的所述表面具有 30nm 或更低的表面粗糙度 R_y 。还优选所述氮化物晶体的所述表面具有 3nm 或更低的表面粗糙度 R_y 。

[0015] 优选地,所述氮化物晶体的所述表面与纤锌矿型结构的 C-平面平行。还优选所述氮化物晶体的所述表面相对于纤锌矿型结构的 C-平面具有 0.05° 至 15° 的斜角。

[0016] 由上述氮化物晶体形成的氮化物晶体衬底优选作为半导体器件的衬底。含有外延层的氮化物晶体衬底也优选作为半导体器件的衬底,所述含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层,该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。外延层是一个或多个通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的半导体层。

[0017] 按照本发明的再一方面,半导体器件是包括作为衬底的上述氮化物晶体衬底,或含有外延层的氮化物晶体衬底。这方面的半导体器件包括一个或多个通过在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的半导体层。

[0018] 按照本发明的又一方面,半导体器件是包括作为衬底的上述氮化物晶体衬底,或含有外延层的氮化物晶体衬底。这方面的半导体器件包括发光元件,该发光元件包括三个或更多个通过在所述衬底的主表面侧之一上外延生长而形成的半导体层,在所述氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底的另一个主表面侧上形成的第一电极,和在所述多个半导体层之中最外面的半导体层之上形成的第二电极,并且还包括承载所述发光元件的导体。另外,这方面的半导体器件被构造使得所述发光元件的衬底侧是发光侧,最外面的半导体层侧是安装 (mount) 侧,而所述多个半导体层包括 p- 型半导体层, n- 型半导体层和在这些导电半导体层之间形成的发光层。

[0019] 按照本发明的另一方面,一种制备半导体器件的方法是这样一种制备半导体器件的方法,所述半导体器件包括作为衬底的氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层,该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。该方法选择作为所述氮化物晶体衬底的氮化物晶体,该氮化物晶体被构造使得:关于所述晶体的任意特定平行晶格平面的平面间距,由 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值表示的所述晶体的表面层上的均匀畸变等于或低于 2.1×10^{-3} ,其中在满足所述特定平行晶格平面的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线从所述晶体的表面的穿透深度来进行 X- 射线衍射测量而获得所述平面间距,由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的所述平面间距 d_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的 X- 射线穿透深度处的所述平面间距 d_2 获得所述 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值。另外,这方面的半导体的制备方法包括在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层的步骤。

[0020] 按照本发明的另一方面,一种制备半导体器件的方法是这样一种制备半导体器件的方法,所述半导体器件包括作为衬底的氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层,该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。该方法选择作为所述氮化物晶体衬底的氮化物晶体,该氮化物晶体被构造使得:在所述氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的衍射强度分布图上,由 $|v_1-v_2|$ 的值表示的所述晶体的表面层上的不规则畸变等于或低于 150arcsec ,其中在满足所述特定平行晶格平面的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线衍射从所述晶体的表面的穿透深度来进行 X- 射线衍射测量而获得所述衍射强度分布图,由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X- 射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_2 获得所述 $|v_1-v_2|$ 的值。另外,这方面的半导体的制备方法包括在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层的步骤。

[0021] 按照本发明的另一方面,一种制备半导体器件的方法是这样一种制备半导体器件的方法,所述半导体器件包括作为衬底的氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,该含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个半导体层,该半导体层是通过在所述氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。该方法选择作为所述氮化物晶体衬底的氮化物晶体,该氮化物晶体被构造使得:关于所述氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的 X-射线衍射,通过变化从所述氮化物晶体的表面的 X-射线穿透深度来测量的摇摆曲线上,由 $|w_1-w_2|$ 的值表示的所述特定平行晶格平面的平面取向偏差等于或低于 400arcsec ,其中由在 $0.3\mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_1 和在 $5\mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度的衍射强度峰的半值宽度 w_2 获得所述 $|w_1-w_2|$ 的值。另外,这方面的半导体的制备方法包括在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层的步骤。

[0022] 本发明可以提供具有晶体表面层的氮化物晶体,该晶体表面层在不破坏晶体的情况下直接和可靠地被评估,因此它可以以优选方式在生产半导体器件时用作外延晶体生长的衬底,以及本发明可以提供氮化物晶体衬底,含有外延层的氮化物晶体衬底、半导体器件以及制备它们的方法。

[0023] 由本发明的下列结合附图的详细描述,本发明的上述和其它目的、特征、方面和优势将变得显而易见。

附图说明

[0024] 图 1 是剖面示意图,显示从晶体表面深度方向上的晶体的状态。

[0025] 图 2 是示意图,显示按照本发明的 X-射线衍射方法的测量轴和测量角。

[0026] 图 3 用示意图举例说明氮化物晶体的晶格的均匀畸变和特定平行晶格平面的平面间距之间的关系在 X-射线衍射方法的衍射分布图上显示。在 (a) 中,举例说明了晶格的均匀畸变。在 (b) 中,在衍射分布图上显示了特定平行晶格平面的平面间距。

[0027] 图 4 用示意图举例说明氮化物晶体的晶格的不规则畸变和 X-射线衍射方法中衍射分布图上的衍射峰的半值宽度之间的关系。在 (a) 中,举例说明了晶格的不规则畸变。在 (b) 中,举例说明了衍射分布图上衍射峰的半值宽度。

[0028] 图 5 用示意图举例说明氮化物晶体的特定平行晶格平面的平面取向畸变与 X-射线衍射方法中摇摆曲线上的半值宽度之间的关系。在 (a) 中,举例说明了特定平行晶格平面的平面取向偏差。在 (b) 中,举例说明了摇摆曲线上的衍射峰的半值宽度。

[0029] 图 6 是剖面示意图,显示按照本发明的半导体器件的一个实例。

具体实施方式

[0030] 本发明采用 X-射线衍射方法,由此可以在不破坏晶体的情况下进行氮化物晶体的表面层的晶体度的直接评估。晶体度的评估代表晶体畸变存在的程度或等级的评估或测定,更具体地表示存在晶格的畸变和晶格平面的平面取向偏差的程度或等级的评估。晶格的畸变可以特别地分类为由均匀畸变晶格导致的均匀畸变和由不规则畸变晶格导致的不规则畸变。晶格平面的平面取向偏差代表每个晶体区域的晶格平面的平面取向偏离整个晶格的晶格平面的平面取向的平均取向的大小。

[0031] 如图 1 所示,氮化物晶体 1 具有离晶体表面 1s 特定深度的晶体表面层 1a,该晶体表面层 1a 具有均匀畸变、不规则畸变和 / 或晶格的平面取向偏差,其是在晶体表面层 1a 中由于加工如切割、研磨或抛光导致的。晶格的均匀畸变、不规则畸变和 / 或平面取向偏差可能发生在与晶体表面层 1a 相邻的邻近表面层 1b。图 1 显示其中存在晶格的平面取向偏差的情形。另外,可以认为位于邻近表面层 1b 内侧的晶体内层 1c 具有晶体的原有晶体结构。晶体表面层 1a 和邻近表面层 1b 的状态和厚度取决于在表面加工处理中研磨或抛光的方式和程度。

[0032] 在上述结构中,在从晶体表面的深度方向上评估晶格的均匀畸变、不规则畸变和 / 或平面方向偏差,以便可以直接和可靠地评估晶体表面层的晶体度。

[0033] 在评估按照本发明的氮化物晶体表面层的晶体度的 X- 射线衍射测量中,改变从晶体表面的 X- 射线穿透深度,同时满足氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的 X- 射线衍射条件。

[0034] 任意特定平行晶格平面的衍射条件代表在其下任意指定的平行晶格平面衍射 X- 射线的条件。假如布拉格角是 θ , X- 射线的波长是 λ 和晶格平面的平面间距是 d , X- 射线通过满足布拉格条件 ($2d\sin\theta = n\lambda$, 其中 n 为整数) 的晶格平面而被衍射。

[0035] X- 射线穿透深度表示在垂直于晶体表面 1s 的深度方向上测量的距离,并且导致入射 X- 射线的强度等于 $1/e$, 其中 e 是自然对数的底数。参考图 2, 晶体 1 的 X- 射线的线性吸收系数 μ , 晶体表面 1s 的倾角 χ , 相对于晶体表面 1s 的 X- 射线入射角 ω 和晶体表面 1s 中的布拉格角 θ 决定 X- 射线穿透深度 T , X- 射线穿透深度 T 由等式 (1) 表示。 Φ 表示晶体表面的旋转角。 x 轴 21 存在于由入射 X- 射线 11 和出射 X- 射线 12 形成的平面上, ω 轴 (20 轴) 22 垂直于由入射 X- 射线 11 和出射 X- 射线 12 形成的平面, 并且 Φ 轴 23 垂直于晶体表面 1s。

$$[0036] \quad T = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\cos\chi \cdot \sin\omega \cdot \sin(2\theta - \omega)}{\sin\omega + \sin(2\theta - \omega)} \quad (1)$$

[0037] 因此, X- 射线穿透深度 T 可以通过调节 χ , ω 和 Φ 中至少一个来连续改变, 以满足用于上述特定晶格平面的衍射条件。

[0038] 为了连续改变 X- 射线穿透深度 T 以满足特定晶格平面 1d 的衍射条件, 必须的是特定晶格平面 1d 不与晶体表面 1s 平行。如果特定晶格平面 1d 与晶体表面 1s 平行, 晶格平面 1d 和入射 X- 射线 11 之间的角 θ 变得等于晶体表面 1s 和入射 X- 射线 11 之间的角 ω , 使得 X- 射线穿透深度不能够在特定晶格平面 1d 上变化。

[0039] 基于下列实施方案, 现在将提供关于评估的描述, 该评估以如此方式进行以便晶体的任意特定平行晶格平面被 X- 射线照射, 同时改变 X- 射线穿透深度, 晶格的均匀畸变由与该特定平行晶格平面相关的衍射分布图上平面间距的变化来评估, 该晶格的不规则畸变由衍射分布图上衍射峰的半值宽度的变化来评估, 而晶格的平面取向偏差由摇摆曲线上的半值宽度的变化来评估。

[0040] (第一实施方案)

[0041] 本实施方案的氮化物晶体的特征在于, 关于所述晶体的任意特定平行晶格平面的平面间距, 由 $|d_1 - d_2|/d_2$ 的值表示的所述晶体的表面层上的均匀畸变等于或低于 2.1×10^{-3} , 其中在满足所述特定平行晶格平面的 X- 射线衍射条件的同时通过变化 X- 射线

从所述晶体表面的穿透深度来进行 X-射线衍射测量而获得所述平面间距,由在 $0.3\ \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的所述平面间距 d_1 和在 $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的所述平面间距 d_2 获得所述 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值。

[0042] 参考图 1, $0.3\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度对应于从氮化物晶体的表面到晶体表面层 1a 内部的距离, $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度对应于从氮化物晶体的表面到晶体内层 1c 内部的距离。参考图 3(a), $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_2 可以认为是在最初状态下氮化物晶体的特定平行晶格平面的平面间距,而在 $0.3\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_1 反映了由于晶体表面加工影响而导致的晶体表面层的晶格均匀畸变(例如,指向晶格平面内部的张应力 30),因此采取与在 $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_2 不同的值。

[0043] 参考图 3(b), $0.3\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_1 和 $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的平面间距 d_2 显示在与上述情形中晶体的任意特定平行晶格平面相关的衍射分布图上。因此,晶体表面层的均匀畸变可以通过 d_1 和 d_2 的差相对于 d_2 的比率 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值来表示。

[0044] 在该实施方案的氮化物晶体中,由 $|d_1-d_2|/d_2$ 表示的表面层的均匀畸变等于或低于 2.1×10^{-3} 。由于氮化物晶体的表面层的均匀畸变满足 $|d_1-d_2|/d_2 \leq 2.1 \times 10^{-3}$ 的关系的事实,因此可以在氮化物晶体上外延生长良好晶体度的半导体层,并且可以生产良好特性的半导体器件。

[0045] (第二实施方案)

[0046] 本实施方案的氮化物晶体的特征在于,在所述晶体的任意特定平行晶格平面的衍射强度分布图上,由 $|v_1-v_2|$ 的值表示的所述晶体的表面层上的不规则畸变等于或低于 150arcsec ,其中在满足所述特定平行晶格平面的 X-射线衍射条件的同时通过变化 X-射线衍射从所述晶体的表面的穿透深度来进行 X-射线衍射测量而获得所述衍射强度分布图,由在 $0.3\ \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_1 和在 $5\ \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_2 获得所述 $|v_1-v_2|$ 的值。

[0047] 参考图 1, $0.3\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度对应于从氮化物晶体的表面到晶体表面层 1a 内部的距离, $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度对应于从氮化物晶体的表面到晶体内层 1c 内部的距离。参考图 4(a), $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 v_2 可以认为是在最初状态下氮化物晶体的半值宽度,而在 $0.3\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 v_1 反映了由于晶体表面加工影响导致的晶体表面层的晶格的不规则畸变(例如,各个晶格平面的不同平面间距 d_3, d_4-d_5, d_6),因此采取与 $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 v_2 不同的值。

[0048] 参考图 4(b), $0.3\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 v_1 和 $5\ \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 v_2 显示在与上述情形中晶体的任意特定平行晶格平面相关的衍射分布图上。因此,晶体表面层的不规则畸变可以由为 v_1 和 v_2 之间的差的 $|v_1-v_2|$ 的值来表示。

[0049] 在本实施方案的氮化物晶体中,由 $|v_1-v_2|$ 值表示的表面层的不规则畸变等于或低于 150arcsec 。由于氮化物晶体的表面层的不规则畸变满足 $|v_1-v_2| \leq 150(\text{arcsec})$ 的关系的事实,因此可以在氮化物晶体上外延生长良好晶体度的半导体层,并且可以生产良好特性的半导体器件。

[0050] (第三实施方案)

[0051] 本实施方案的氮化物晶体的特征在于,关于所述氮化物晶体的任意特定平行晶格平面的 X-射线衍射,通过变化从所述晶体的表面的 X-射线穿透深度来测量的摇摆曲线上,由 $|w_1-w_2|$ 的值表示的所述特定平行晶格平面的平面取向偏差等于或低于 400arcsec ,其中由在 $0.3\mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_1 和在 $5\mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度的衍射强度峰的半值宽度 w_2 获得所述 $|w_1-w_2|$ 的值。

[0052] 参考图 1, $0.3\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度对应于从氮化物晶体的表面到晶体表面层 1a 内部的距离, $5\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度对应于从氮化物晶体的表面到晶体内层 1c 内部的距离。参考图 5(a), $5\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的半值宽度 w_2 可以认为是最初状态下晶体的半值宽度,而 $0.3\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的半值宽度 w_1 反映了由于晶体表面加工影响而导致的晶体表面层的晶格平面取向偏差(例如,每个晶体区域的各个特定平行晶格平面 51d、52d 和 53d 的不同平面取向),因此采取与 $5\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 w_2 不同的值。

[0053] 参考图 5(b), $0.3\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的半值宽度 w_1 和 $5\mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的衍射峰的半值宽度 w_2 显示在与上述情形中晶体的任意特定平行晶格平面相关的摇摆曲线上。因此,晶体表面层的特定平行晶格平面的平面定向偏差可以由作为 w_1 和 w_2 之间的差的 $|w_1-w_2|$ 的值来表示。

[0054] 在本实施方案的氮化物晶体中,由 $|w_1-w_2|$ 值表示的表面层的特定平行晶格平面的平面取向偏差等于或低于 400arcsec 。由于氮化物晶体的表面层的特定平行晶格平面的平面取向偏差满足 $|w_2-w_2| \leq 400(\text{arcsec})$ 的关系的事实,因此可以在氮化物晶体上外延生长良好晶体度的半导体层,并且可以生产良好特性的半导体器件。

[0055] 通过上述第一至第三实施方案的晶体度评估方法评估的晶体度不限于已经描述的通过表面加工影响的那些,并且可以包括当晶体生长时出现的晶体畸变等。

[0056] 在已经描述的第一至第三实施方案的氮化物晶体中,晶体表面优选具有 30nm 或更低的表面粗糙度 R_y 。表面粗糙度 R_y 是从采样部分的平均平面到其最高峰的高度和平均平面到最低底部的深度的总和,该采样部分提取于粗糙度弯曲平面,作为参考区域在其平均平面方向上每边测量 $10\mu\text{m}$ (即, $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m} = 100\mu\text{m}^2$)。由于氮化物晶体具有 30nm 或更低的表面粗糙度 R_y 的事实,因此可以在氮化物晶体上外延生长良好晶体度的半导体层,并且可以生产良好特性的半导体器件。

[0057] 在已经描述的第一至第三实施方案的氮化物晶体中,晶体表面优选具有 3nm 或更低的表面粗糙度 R_a 。表面粗糙度 R_a 是通过使用参考区域,将采样部分的平均平面与测量弯曲表面的偏差的绝对值的总和平均获得的数值,该采样部分提取于粗糙度弯曲平面,作为参考区域在平均平面方向上每边测量 $10\mu\text{m}$ 。由于氮化物晶体具有 3nm 或更低的表面粗糙度 R_a 的事实,因此可以在氮化物晶体上外延生长良好晶体度的半导体层,并且可以生产良好特性的半导体器件。

[0058] 在已经描述的第一至第三实施方案的氮化物晶体中,优选晶体的表面与纤锌矿型结构的 C-平面平行。C-平面代表 $\{0001\}$ 平面和 $\{000-1\}$ 平面。族氮化物晶体的表面平行于纤锌矿型结构的上述平面的每一个,或者近似平行(例如,在氮化物晶体的表面和纤锌矿型结构的 C-平面之间斜角小于 0.05°),由此可以在氮化物晶体上外延生长良好晶体度

的半导体层,并且可以生产良好特性的半导体器件。

[0059] 在已经描述的第一至第三实施方案的氮化物晶体中,优选晶体的所述表面相对于纤锌矿型结构的C-平面形成 0.05° 至 15° 的斜角。提供 0.05° 或更大的斜角可以减小半导体层处的缺陷,该半导体层是在氮化物晶体上外延生长的。然而,当斜角超过 15° ,水平上的梯度或差异易于出现。从这个观点来看,优选的斜角是 0.1° 至 10° 。

[0060] (第四实施方案)

[0061] 本实施方案是由已经描述的第一至第三实施方案的氮化物晶体形成的氮化物晶体衬底。在本实施方案的氮化物晶体衬底的至少一个主表面上外延生长一个或多个半导体层,以提供包括所述一个或多个作为半导体层的含有外延层的氮化物晶体衬底,所述的一个或多个作为半导体层是外延层(epitaxial layer),也称为外延层(epilayer)。在该情形中,当氮化物晶体衬底的晶格常数 k_0 (即,在垂直于晶体生长平面的轴上的晶格常数(该解释对于本实施方案的下列描述也是正确的))和半导体层的晶格常数 k 满足 $(|k-k_0|/k) \leq 0.15$ 的关系时,可以在氮化物晶体衬底上外延生长半导体层。优选满足 $(|k-k_0|/k) \leq 0.05$ 的关系。从这个观点来看,半导体层优选是III族氮化物层。

[0062] (第五实施方案)

[0063] 本实施方案是半导体器件,其包括一个或多个半导体层,该半导体层是通过在上述第四实施方案的氮化物晶体衬底或上述含有外延层的氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的。在如此获得的半导体器件中,由于用作衬底的氮化物晶体表面层的均匀畸变、不规则畸变和平面取向偏差中的至少一个较小,因此在氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底的至少一个主表面上形成的半导体层具有良好的晶体度,并且可以获得良好的器件特性。

[0064] 上述与第四实施方案有关的半导体层有关的事实也可以应用于本实施方案的半导体层。更具体地,当氮化物晶体衬底的晶格常数 k_0 (即,在垂直于晶体生长平面的轴上的晶格常数(该解释对于本实施方案的下列描述也是正确的))和半导体层的晶格常数 k 满足 $(|k-k_0|/k) \leq 0.15$ 的关系时,可以在氮化物晶体衬底上外延生长半导体层。优选满足 $(|k-k_0|/k) \leq 0.05$ 的关系。从这个观点来看,半导体层优选是III族氮化物层。

[0065] 本实施方案的半导体器件可以是发光元件如发光二极管或激光二极管,电子元件如整流器,双极晶体管,场效应晶体管或HEMT(高电子迁移率晶体管),半导体传感器如温度传感器,压力传感器,辐射传感器或可见-紫外射线检测器,或SAW器件(表面声波器件)。

[0066] (第六实施方案)

[0067] 参考图6,本实施方案的半导体器件是包括上述氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底作为衬底610的半导体器件,并且包括发光元件,该发光元件包括多个(即,三个或更多个)通过在氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底(衬底610)的主表面侧之一上外延生长而形成的半导体层650、在所述氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底(衬底610)的另一个主表面侧上形成的第一电极661和在所述多个半导体层650的最外面的半导体层之上形成的第二电极662。该半导体器件还包含承载所述发光元件的导体682。通过衬底610确定的发光元件的侧是发光侧,通过所述最外面的半导体层侧确定的侧是安装侧。多个半导体层650包括p-型半导体层630,n-型半导体层620

和在这些导电半导体层之间形成的发光层 640。由于上述结构,可以形成其氮化物晶体衬底侧是发光侧的半导体器件。

[0068] 其与半导体层侧是发光侧的半导体器件相比,本实施方案的半导体器件具有良好的热量释放性能,该热量是由发光层产生的。因此,即使在高功率下工作时,也抑制了半导体器件的温度升高,可以获得高亮度下的光发射。绝缘衬底如蓝宝石衬底必须具有单侧电极结构,其中在半导体层上形成两种电极,即 n- 和 p- 电极。然而,本实施方案的半导体器件可以具有双侧电极结构,其中分别在半导体层和衬底上形成电极,并且半导体器件的主表面的主要部分可以用作发光表面。另外,例如,当安装半导体器件时,制备工艺可以简单,因为仅需要一次引线接合。该优势等也可以获得。

[0069] (第七实施方案)

[0070] 本实施方案是制备半导体器件的方法,该半导体器件包括氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,所述含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个通过在氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的半导体层。该制备半导体器件的方法包括以下步骤:选择第一实施方案的氮化物晶体作为氮化物晶体衬底,在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层。

[0071] 由于选作第七实施方案的半导体器件的氮化物晶体衬底的第一实施方案的氮化物晶体具有其均匀畸变小的表面层,因此在氮化物晶体上可以外延生长具有良好晶体度的半导体层,并且可以形成良好特性的半导体器件。上述涉及第四和第五实施方案的半导体层的事实可以应用于第七实施方案的半导体层。

[0072] (第八实施方案)

[0073] 该实施方案是制备半导体器件的方法,该半导体器件包括氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,所述含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个通过在氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的半导体层。该制备半导体器件的方法包括以下步骤:选择第二实施方案的氮化物晶体作为氮化物晶体衬底,在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层。

[0074] 由于选作第八实施方案的半导体器件的氮化物晶体衬底的第二实施方案的氮化物晶体具有其不规则畸变小的表面层,因此在氮化物晶体上可以外延生长具有良好晶体度的半导体层,并且可以形成良好特性的半导体器件。上述涉及第四和第五实施方案的半导体层的事实可以应用于第八实施方案的半导体层。

[0075] (第九实施方案)

[0076] 该实施方案是制备半导体器件的方法,该半导体器件包括氮化物晶体衬底或含有外延层的氮化物晶体衬底,所述含有外延层的氮化物晶体衬底包括一个或多个通过在氮化物晶体衬底的至少一个主表面侧上外延生长而形成的半导体层。该制备半导体器件的方法包括以下步骤:选择第三实施方案的氮化物晶体作为氮化物晶体衬底,在所述衬底的至少一个主表面侧上外延生长一个或多个半导体层。

[0077] 由于选作第九实施方案的半导体器件的氮化物晶体衬底的第三实施方案的氮化物晶体具有其特定平行晶格平面的平面取向偏差小的表面层,因此在氮化物晶体上可以外延生长具有良好晶体度的半导体层,并且可以形成良好特性的半导体器件。上述涉及第四和第五实施方案的半导体层的事实可以应用于第九实施方案的半导体层。

[0078] 氮化物晶体可以通过汽相生长方法如 HVPE (氮化物汽相外延) 方法或升华方法, 或液相生长方法如助熔剂法。

[0079] 将形成半导体器件的氮化物晶体衬底的氮化物晶体被从获自上述生长方法的氮化物晶体上切割下来, 进行表面加工如研磨和抛光以便将其表面平滑化。在包括在上述表面加工中的机械加工如研磨和机械抛光中, 将硬粒子切入晶体中以去除材料, 以便具有恶化晶体度的加工影响层 (损伤层) 被留在将要形成氮化物晶体衬底的氮化物晶体的表面上。因此, 必须减少加工影响层, 以便在通过机械加工而平滑化的衬底上生产 III 族氮化物半导体层。CMP 处理最适合于减少加工影响层, 因为它可以同时减小加工影响层和表面粗糙度。

[0080] 不必完全去除衬底表面上的加工影响层, 并且通过在外延生长之前的退火处理, 可以改善表面质量。生长之前的退火导致晶体表面处的重排, 并且允许具有良好晶体度的半导体层的外延生长。

[0081] 作为改善氮化物晶体表面层的晶体度的表面处理的一个优选实例, 现在将描述 CMP 表面处理方法。优选用于 CMP 的淤浆溶液中的 pH 值 x 和氧化 - 还原电势值 y (mV) 同时满足下式 (2) 和 (3) :

$$[0082] \quad y \geq -50x + 1000 \quad (2)$$

$$[0083] \quad y \leq -50x + 1900 \quad (3)$$

[0084] 如果 $y < -50x + 1000$, 抛光速率变低。如果 $y > -50x + 1900$, 抛光垫和抛光装置经受大的腐蚀作用, 因此稳定的抛光变得困难。

[0085] 从进一步提高抛光速度的角度来看, 进一步优选另外满足下式 (4) :

$$[0086] \quad y \geq -50x + 1300 \quad (4)$$

[0087] CMP 的淤浆通常含有加入其中的酸如盐酸, 硫酸或硝酸, 和 / 或碱如 KOH 或 NaOH。然而, 如果单独使用这样的酸和 / 或碱, 氧化化学上稳定的氮化镓的表面的效果小。因此, 优选通过加入氧化剂来提高氧化 - 还原电势, 以便可以满足上式 (2) 和 (3), 或上式 (3) 和 (4) 的关系。

[0088] 没有具体限制加入到 CMP 淤浆的氧化剂, 但是优选选自: 氯化异氰脲酸如三氯异氰脲酸, 氯化异氰脲酸盐如二氯异氰脲酸钠, 高锰酸盐如高锰酸钾, 重铬酸盐如重铬酸钾, 溴酸盐如溴酸钾, 硫代硫酸盐如硫代硫酸钠, 次氯酸, 硝酸盐, 过氧化氢溶液和臭氧。这些氧化剂中每一个可以单独使用, 或它们中的两个或多个可以组合使用。

[0089] 优选 CMP 淤浆的 pH 为 6 或更低, 或 8 或更高。将具有 6 或更低的 pH 的酸性淤浆, 或具有 8 或更高的 pH 的碱性淤浆与 III 族氮化物晶体接触以蚀刻和去除 III 族氮化物晶体的加工影响层, 以便可以提高抛光速度。从这个观点来看, 更优选淤浆的 pH 为 4 或更低, 或 10 或更高。

[0090] 不具体限制用于控制淤浆 pH 的酸和碱, 并且可以选自例如, 无机酸如盐酸, 硝酸, 硫酸和磷酸, 有机酸如甲酸, 乙酸, 柠檬酸, 苹果酸, 酒石酸, 琥珀酸, 邻苯二甲酸和富马酸, 碱如 KOH, NaOH 和 NH_4OH 和胺, 和盐如硫酸盐, 碳酸盐和磷酸盐。另外, pH 可以通过加入上述氧化剂来控制。

[0091] CMP 淤浆优选含有粒子。这些粒子可以提高抛光速度。不具体限制包含在淤浆中的粒子, 并且可以是具有比氮化物晶体硬度高的硬粒子, 比氮化物晶体硬度低的软粒子, 或

硬粒子和软粒子的粒子混合物。

[0092] (比较例 1)

[0093] 将通过 HVPE 方法生长的和用 Si 掺杂的、厚度为 500 μm 的 n- 型 AlN 晶体用作氮化物晶体,并且如下机械抛光。将具有 50mm 直径和 500 μm 厚度的 n- 型 GaN 晶体的 Ga- 侧 C- 平面 ((0001) 平面) 压磨光装置的划线台,同时将以分散方式含有金刚石粒子的淤浆供给划线台,由此将 n- 型 GaN 晶体机械抛光。划线台是铜或锡划线台。分别制备具有三种不同直径 (6 μm 、3 μm 和 1 μm) 的粒子,使用的粒子的粒子直径按照机械抛光的进展而逐级降低。然而,机械抛光中的抛光压力是 100gf/cm² 至 500gf/cm²,划线台的旋转速度是 30rpm 至 100rpm。

[0094] 然后,在经受机械抛光的 n- 型 GaN 晶体上进行测量操作,以测量从纤锌矿型结构的 (10-13) 平面的衍射 X- 射线,同时将 X- 射线穿透深度从 0.3 μm 改变为 5 μm ,由此获得 (10-13) 平面 (在该测量中的特定平行晶格平面) 的平面间距和衍射分布图上衍射强度峰的半值宽度以及摇摆曲线上衍射强度峰的半值宽度。将平行光学系统和 CuK _{α} 1 的 X- 射线波长用于 X- 射线衍射测量。X- 射线穿透深度通过改变对晶体表面的 X- 射线入射角 ω 、晶体表面的倾角 χ 和晶体表面内的旋转角 Φ 中的至少一个来控制。该 n- 型 GaN 晶体的表面粗糙度 Ry 和表面粗糙度 Ra 是使用 AFM (原子力显微镜: DIMENSION N3100, 由 VEECO Corp 生产) 测量的。结果在表 1 中显示。

[0095] 参考图 6,通过 MOCVD 方法,在 n- 型 GaN 晶体的衬底 610 的主表面侧之一上相继形成:形成 n- 型半导体层 620 的 1 μm 厚度的 n- 型 GaN 层 621 (掺杂物:Si),也形成 n- 型半导体层 620 的 150nm 厚度的 n- 型 Al_{0.1}Ga_{0.9}N 层 622 (掺杂物:Si),发光层 640,形成 p- 型半导体层 630 的 20nm 厚度的 p- 型 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 层 631 (掺杂物:Mg),和也形成 p- 型半导体层 630 的厚度为 150nm 的 p- 型 GaN 层 632 (掺杂物:Mg)。由此获得用于发光元件的外延生长层。发光层 640 具有多个量子井 (quantum well) 结构,其中将各自厚度为 10nm 的由 GaN 层形成的四个阻挡层和各自厚度为 3nm 的由 Ga_{0.85}In_{0.15}N 层形成的三个井层交替成层。

[0096] 将由厚度为 200nm 的 Ti 层,厚度为 1000nm 的 Al 层,厚度为 200nm 的 Ti 层和厚度为 2000nm 的 Au 层形成的层状结构作为第一电极 661 形成在 n- 型 GaN 晶体的衬底 610 的另一个主表面侧上,并在氮气气氛下加热以形成直径为 100 μm 的 n- 侧电极。此外,将由厚度为 4nm 的 Ni 层和厚度为 4nm 的 Au 层形成的层状结构作为第二电极 662 形成 p- 型 GaN 层 632 上,并且在惰性气体气氛下加热以形成 p- 侧电极。由上述层状结构制备每侧量为 400 μm 的芯片,然后将上述 p- 侧电极用由 AuSn 制成的焊料层 670 连接到导体 682。另外,将 n- 侧电极和导体 681 用导线 690 连接在一起,以便获得具有作为发光器件的结构 of 的半导体器件 600。将如此获得的半导体器件以积分球的方式排列。然后,将 20mA 的电流施加给半导体器件以发光,测量通过积分球聚集的光的输出。然而,证实没有来自该比较例的半导体器件的光发射。结果表示在表 1 中。

[0097] (实施例 1-7)

[0098] 在与比较例 1 相同的条件下生产半导体器件,不同之处在于在机械抛光后和在 X- 射线衍射前在表 1 所述的条件下进行 CMP。类似于比较例 1 测量生产的半导体器件的光输出。结果表示在表 1 中。

[0099]

[表 1]

	比较例 1	实施例 1	实施例 2	实施例 3	实施例 4	实施例 5	实施例 6	实施例 7
淤浆 pH		9.5	2.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.0
淤浆的氧化-还原电势(mV)		980	1420	1200	1200	1200	1200	1200
氧化剂		Na-DCIA	TCIA	TCIA	TCIA	TCIA	TCIA	TCIA
硬粒子		—	—	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
粒子直径(μm)		—	—	0.5	1.0	2.0	0.5	0.8
软粒子		SiO ₂	SiO ₂	—	—	—	SiO ₂	SiO ₂
混合物体积比((硬粒子):(软粒子))		—	—	—	—	—	10:90	10:90
抛光速率(μm/hr)		0.4	0.5	1.1	1.6	1.9	0.8	1.5
d ₁ - d ₂ / d ₂	2.3×10 ⁻³	0.3×10 ⁻³	0.3×10 ⁻³	1.0×10 ⁻³	1.7×10 ⁻³	2.1×10 ⁻³	0.6×10 ⁻³	1.4×10 ⁻³
v ₁ - v ₂ (arcsec)	290	60	50	90	130	150	80	110
w ₁ - w ₂ (arcsec)	500	130	120	220	340	400	190	300
表面粗糙度 Ry (nm)	>100	1.8	1.0	4.1	5.3	8.9	2.9	4.8
表面粗糙度 Ra (nm)	>10	0.15	0.09	0.42	0.51	0.85	0.26	0.45
光输出 (mW)	—	15.6	16.4	12.3	9.8	8.2	13.9	10.7

(注) NA-DCIA: 二氯异氰脲酸钠, TCIA: 三氯异氰脲酸

[0100] (比较例 2)

[0101] 将通过升华方法生长的厚度为 400 μm 并用 Si 掺杂的 n-型 AlN 晶体用作氮化物

晶体,并且类似于比较例 1 进行机械抛光。

[0102] 然后,在进行机械抛光的 n- 型 AlN 晶体上进行测量操作,以测量从纤锌矿型结构的 (11-22) 平面的衍射 X- 射线,同时将 X- 射线穿透深度从 $0.3\ \mu\text{m}$ 改变为 $5\ \mu\text{m}$,由此获得 (11-22) 平面(在该测量中的特定平行晶格平面)的平面间距和衍射分布图上衍射强度峰的半值宽度和摇摆曲线上衍射强度峰的半值宽度。将平行光学系统和 $\text{CuK}\alpha_1$ 的 X- 射线波长用于 X- 射线衍射测量。X- 射线穿透深度通过改变对晶体表面的 X- 射线入射角 ω 、晶体表面的倾角 α 和晶体表面内的旋转角 Φ 中的至少一个来控制。该 n- 型 AlN 晶体的表面粗糙度 R_y 和表面粗糙度 R_a 是使用 AFM 测量的。结果在表 2 中显示。

[0103] 在与比较例 1 相同的条件下生产使用上述 AlN 晶体作为衬底的半导体器件。类似于比较例 1 测量如此生产的半导体器件的光输出。证实没有光发射。结果表示在表 2 中。

[0104] (实施例 8-10)

[0105] 在与比较例 2 相同的条件下生产半导体器件,不同之处在于在机械抛光后和在 X- 射线衍射前在表 2 所述的条件下进行 CMP。结果表示在表 2 中。

[0106] [表 2]

[0107]

		比较例 2	实施例 8	实施例 9	实施例 10
CMP	淤浆的 pH	无 CMP	9.5	2.4	3.5
	淤浆的氧化-还原电势 (mV)		980	1420	1200
	氧化剂		Na-DCIA	TCIA	TCIA
	硬粒子		—	—	Al_2O_3
	粒子直径 (μm)		—	—	0.5
	软粒子		SiO_2	SiO_2	—
	混合体积比率 ((硬粒子):(软粒子))		—	—	—
	抛光速率($\mu\text{m/hr}$)		0.6	0.8	1.4
特性	$d_1 - d_2 \mid / d_2$	2.4×10^{-3}	0.5×10^{-3}	0.4×10^{-3}	1.4×10^{-3}
	$\mid v_1 - v_2 \mid$ (arcsec)	310	80	70	110
	$\mid w_1 - w_2 \mid$ (arcsec)	510	140	130	220
	表面粗糙度 R_y (nm)	>100	1.0	1.4	4.5
	表面粗糙度 R_a (nm)	>10	0.09	0.12	0.41
	光输出 (mW)	—	13.9	14.8	10.9

[0108] (注) NA-DCIA :二氯异氰脲酸钠

[0109] TCIA :三氯异氰脲酸

[0110] 如从上述表 1 和 2 显而易见的是,通过 LED 实现了高光输出,所述 LED 是作为氮化物晶体衬底各自选择性采用了满足下列条件的氮化物晶体的半导体器件:在满足晶体的任

意特定平行晶格平面的 X-射线衍射条件的同时,在变化从晶体表面的 X-射线穿透深度的条件下进行的 X-射线衍射测量中,表面层的均匀畸变 $|d_1-d_2|/d_2$ 等于或低于 2.1×10^{-3} ,其中由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的所述平面间距 d_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的 X-射线穿透深度处的所述平面间距 d_2 获得所述 $|d_1-d_2|/d_2$ 的值;晶体表面层的不规则畸变 $|v_1-v_2|$ 等于或低于 150arcsec ,其中由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 v_2 获得所述 $|v_1-v_2|$ 的值;或特定平行晶格平面的平面方向偏差 $|w_1-w_2|$ 等于或低于 400arcsec ,其中由在 $0.3 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_1 和在 $5 \mu\text{m}$ 的所述 X-射线穿透深度处的衍射强度峰的半值宽度 w_2 获得所述 $|w_1-w_2|$ 的值。

[0111] 尽管已经详细描述和举例说明了本发明,清楚地理解本发明仅仅是通过举例说明和实施例的方式描述的,不是以任何方式限制,本发明的精神和范围仅受后附权利要求的条款的限制。

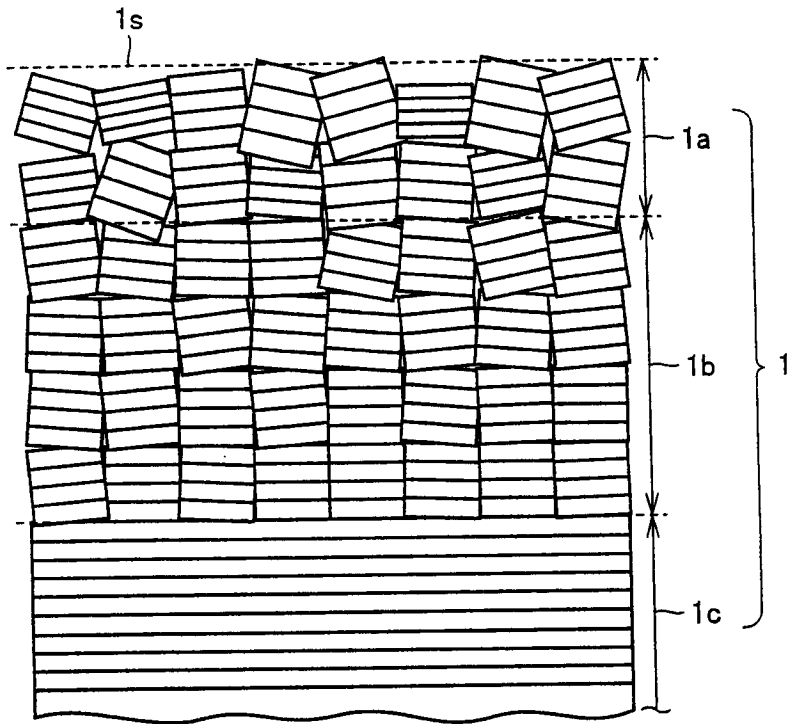


图 1

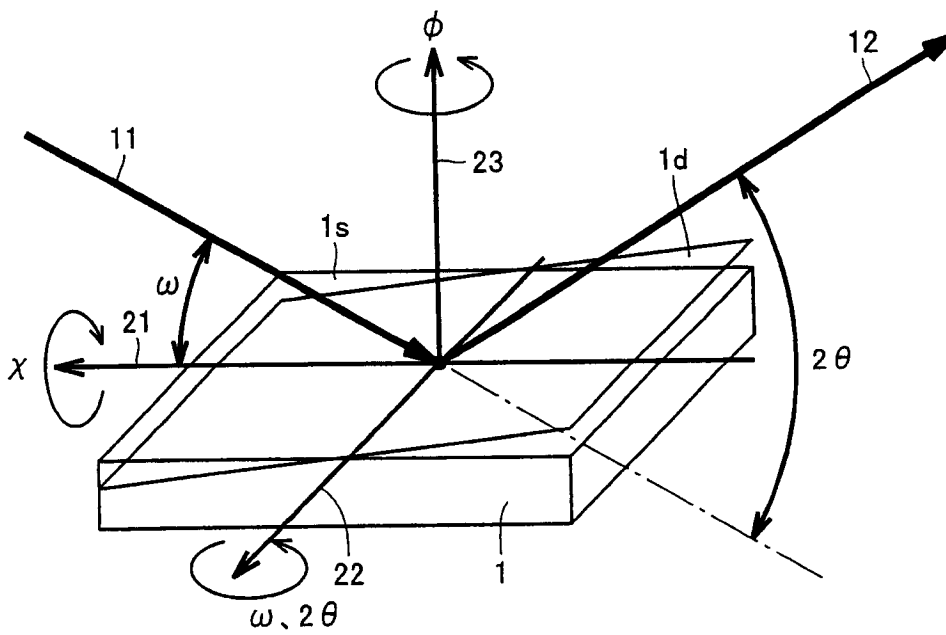


图 2

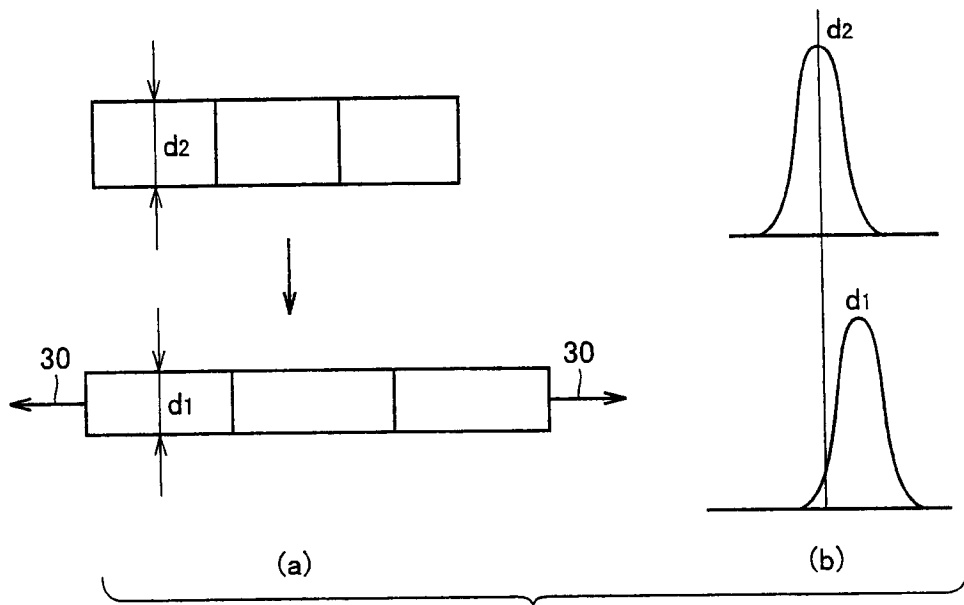


图 3

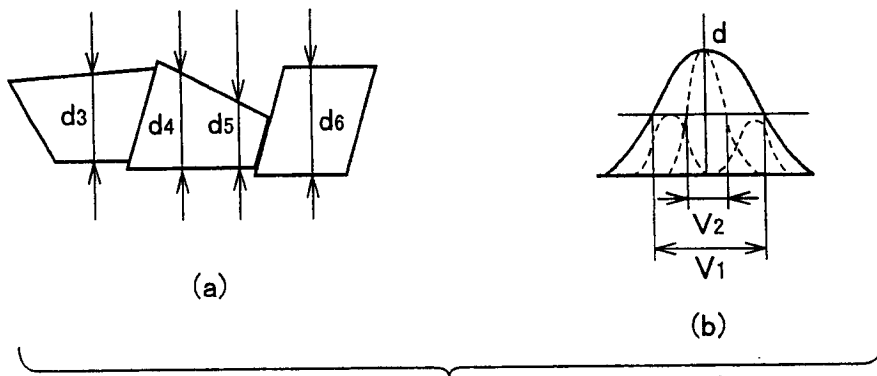


图 4

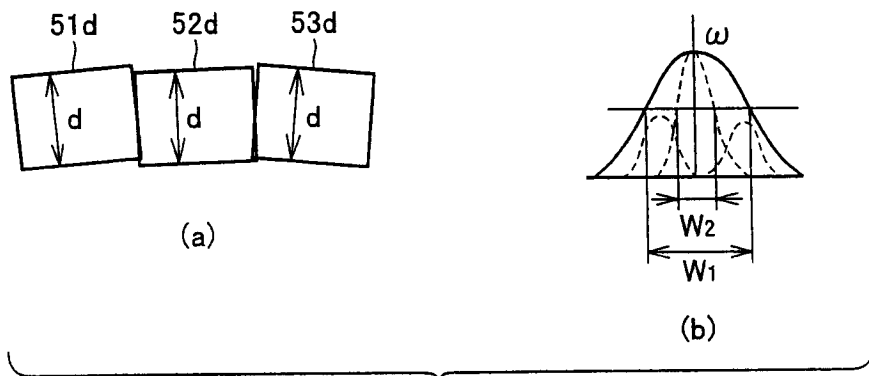


图 5

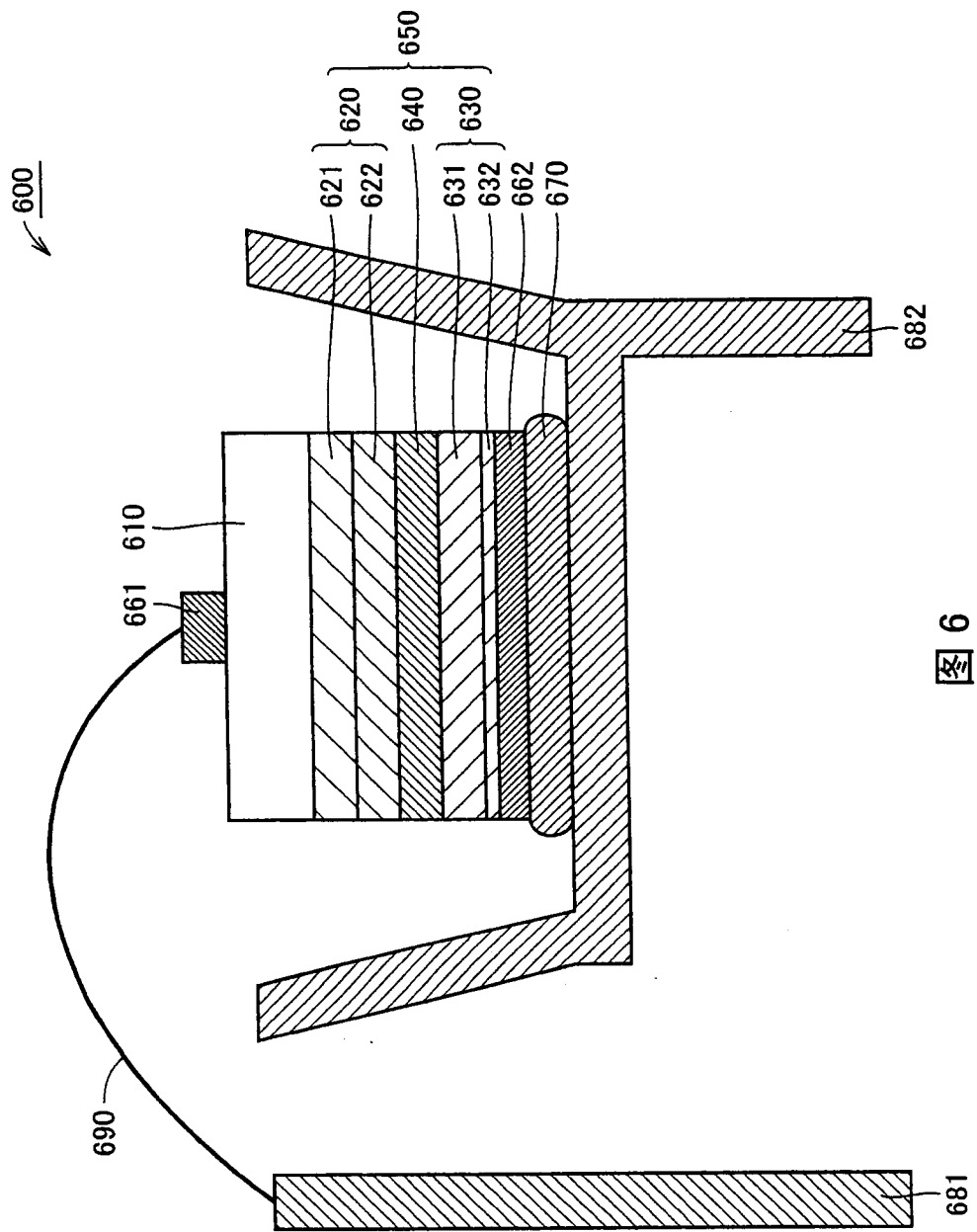


图 6