



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1585144 B

(45) 授权公告日 2011.08.03

(21) 申请号 200410057832.3

US 6549552 B1, 2003.04.15, 说明书第4页

(22) 申请日 2004.08.18

第54段、附图2.

(30) 优先权数据

2003-296474 2003.08.20 JP

JP 特开 2001-237455 A, 2001.08.31, 说明书第3栏第10段.

2004-193809 2004.06.30 JP

US 6468882 B2, 2002.10.22, 摘要、说明书第26栏第4行至第19行.

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

审查员 陈敏

地址 日本大阪府

专利权人 独立行政法人理化学研究所

(72) 发明人 平山秀树 秋田胜史 中村孝夫

(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 朱丹

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006.01)

(56) 对比文件

US 5798537 A, 1998.08.25, 说明书第3栏第16行至第19行, 第4栏第9行至第17行, 第7栏第25行至第8栏第14行、附图2.

US 2003/0006418 A1, 2003.01.09, 说明书第3栏第10段.

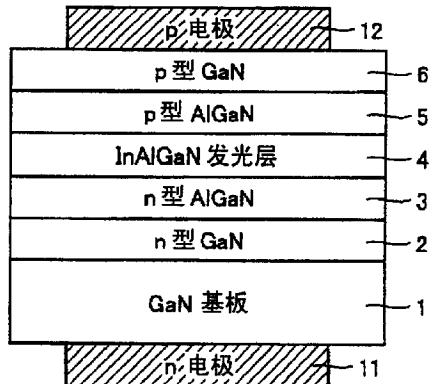
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

紫外发光元件

(57) 摘要

本发明提供一种通过高效率发光能够实现高输出发光的使用了氮化物半导体的发光元件及其制造方法, 为达到该目的, 所述发光元件具备GaN基板(1), 以及在该GaN基板(1)的第一主表面侧含有InAlGaN4元混晶的发光层。



1. 一种紫外发光元件,其特征在于,具备:

氮化物半导体基板,其贯通位错密度是 $1E7\text{cm}^{-2}$ 以下;

紫外发光层,其用于发出紫外线,并作为含有 InAlGaN 元混晶的单一层形成在所述氮化物半导体基板的第一主表面侧;

第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层,其形成在所述氮化物半导体基板的第一主表面侧,其中 $0 \leq x_1 \leq 1$;

第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层,其从所述氮化物半导体基板侧观察、与第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层相比位于更远的位置,其中 $0 \leq x_2 \leq 1$;

第一导电型的第一 GaN 层和第二导电型的第二 GaN 层,在该第一导电型的第一 GaN 层和第二导电型的第二 GaN 层之间设置所述第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层,

其中,所述紫外发光层的 InAlGaN 元混晶配置在所述第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层之间,

所述氮化物半导体基板是 GaN 基板(1),

所述第一 GaN 层与 GaN 基板接触,形成于所述 GaN 基板上,

所述的发光层具有以下量子阱构造的结构,该量子阱构造包含表示为 $\text{In}_{x_4}\text{Al}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ 的阱层(4b)和表示为 $\text{In}_{x_5}\text{Al}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ 的阻挡层(4a),其中, $0 < x_4 < 0.2, 0 < y_4 < 0.5$,
 $0 \leq x_5 < 0.2, 0 < y_5 < 0.5$ 。

2. 一种紫外发光元件,其特征在于,具备:

氮化物半导体基板,其贯通位错密度是 $1E7\text{cm}^{-2}$ 以下;

紫外发光层,其用于发出紫外线,并作为含有 InAlGaN 元混晶的单一层形成在所述氮化物半导体基板的第一主表面侧;

第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层,其形成在所述氮化物半导体基板的第一主表面侧,其中 $0 \leq x_1 \leq 1$;

第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层,其从所述氮化物半导体基板侧观察、与第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层相比位于更远的位置,其中 $0 \leq x_2 \leq 1$;

其中,所述紫外发光层的 InAlGaN 元混晶配置在所述第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层之间,

在所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层上,具有厚度 $1\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 的第二导电型的 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ 层(26),其中 $0 \leq x_3 < 1, x_3 < x_2$,

所述氮化物半导体基板是 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板(21),其中 $0 < x \leq 1$,

所述的发光层具有以下量子阱构造的结构,该量子阱构造包含表示为 $\text{In}_{x_4}\text{Al}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ 的阱层(4b)和表示为 $\text{In}_{x_5}\text{Al}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ 的阻挡层(4a),其中, $0 < x_4 < 0.2, 0 < y_4 < 0.5$,
 $0 \leq x_5 < 0.2, 0 < y_5 < 0.5$ 。

3. 如权利要求 1 所述的紫外发光元件,其特征在于:

在与所述第一主表面相反侧的第二主表面上形成第一电极(11),且在所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层上形成与所述第一电极构成一对的第二电极(12)。

4. 如权利要求 1 所述的紫外发光元件,其特征在于:

所述的第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层的厚度总计在 $0.4\mu\text{m}$

以下。

5. 如权利要求 1 所述的紫外发光元件, 其特征在于 :

通过所述发光层上的发光, 发出波长 $330\text{nm} \sim 370\text{nm}$ 范围的光。

6. 如权利要求 1 所述的紫外发光元件, 其特征在于 :

在所述发光层和所述氮化物半导体基板之间, 具有厚度 $10\text{nm} \sim 200\text{nm}$ 的 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 层 (17), 其中, $0 < x < 0.2$, $0 < y < 0.5$ 。

紫外发光元件

技术领域

[0001] 本发明涉及紫外发光元件，特别涉及使用发出紫外光的氮化物半导体的紫外发光元件。

背景技术

[0002] GaN 系化合物半导体由于其带隙大，作为蓝色 LED (Light Emitting Diode) 或者紫外光 LED 发挥功能，并多用于白色 LED 的激发光源。对于发出这些短波长的紫外光的 GaN 系 LED，为了提高其性能，例如，提出了以下方案。

[0003] (d1) 使用 SiC 基板，将 InAlGaN 层作为发光层，通过调整该 InAlGaN 层的 In 等的组成比，在波长 360nm 以下的紫外域进行高效率化的发光（特开 2001-237455 号公报）。

[0004] (d2) 将形成于 GaN 基板上的由 Al_{0.1}Ga_{0.9}N 层 / Al_{0.4}Ga_{0.6}N 层构成的单层量子阱结构作为发光层，求得高亮度化 (T. Nishida, H. Saito, N. Kobayashi ; Appl. Phys. Lett. , Vol. 79 (2001) 711)。

[0005] 然而，所述的紫外发光元件，发光效率低，且具有如果为了照明等目的流通大电流则由于发热从而发光效率变得低下等问题。作为所述紫外发光元件的发光效率低的理由，可以举出由于基板或者发光层等的位错密度高，这些错位作为非发光中心起作用的情况。特别是在使用蓝宝石基板的情况下，散热性差，且具有发光效率不随输入成比例线性上升而中途饱和的强烈倾向。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于，提供能实现高效率发光和高输出发光的发光元件。

[0007] 一种紫外发光元件，其具备：氮化物半导体基板，其贯通位错密度是 1E7cm⁻² 以下；紫外发光层，其用于发出紫外线，并作为含有 InAlGaN 元混晶的单一层形成在所述氮化物半导体基板的第一主表面侧；第一导电型的 Al_{x1}Ga_{1-x1}N 层，其形成在所述氮化物半导体基板的第一主表面侧，其中 0 ≤ x1 ≤ 1；第二导电型的 Al_{x2}Ga_{1-x2}N 层，其从所述氮化物半导体基板侧观察、与第一导电型的 Al_{x1}Ga_{1-x1}N 层相比位于更远的位置，其中 0 ≤ x2 ≤ 1；第一导电型的第一 GaN 层和第二导电型的第二 GaN 层，在该第一导电型的第一 GaN 层和第二导电型的第二 GaN 层之间设置所述第一导电型的 Al_{x1}Ga_{1-x1}N 层和所述第二导电型的 Al_{x2}Ga_{1-x2}N 层，其中，所述紫外发光层的 InAlGaN 元混晶配置在所述第一导电型的 Al_{x1}Ga_{1-x1}N 层和所述第二导电型的 Al_{x2}Ga_{1-x2}N 层之间，所述氮化物半导体基板是 GaN 基板 (1)，所述第一 GaN 层与 GaN 基板接触，形成于所述 GaN 基板上，所述的发光层具有以下量子阱构造的结构，该量子阱构造包含表示为 In_{x4}Al_{y4}Ga_{1-x4-y4}N 的阱层 (4b) 和表示为 In_{x5}Al_{y5}Ga_{1-x5-y5}N 的阻挡层 (4a)，其中，0 < x4 < 0.2, 0 < y4 < 0.5, 0 ≤ x5 < 0.2, 0 < y5 < 0.5。

[0008] 一种紫外发光元件，其具备：氮化物半导体基板，其贯通位错密度是 1E7cm⁻² 以下；第一导电型的 Al_{x1}Ga_{1-x1}N 层，其形成在所述氮化物半导体基板上，其中 0 ≤ x1 ≤ 1；第二导电型的 Al_{x2}Ga_{1-x2}N 层，其形成在第一导电型的 Al_{x1}Ga_{1-x1}N 层上，其中 0 ≤ x2 ≤ 1；紫外发

光层，其用于发出紫外线，被配置在所述第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层之间，并作为含有 InAlGaN 元混晶的单一层形成；第一导电型的第一 GaN 层和第二导电型的第二 GaN 层，在该第一导电型的第一 GaN 层和第二导电型的第二 GaN 层之间设置所述第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层，其中，所述氮化物半导体基板被蚀刻或研磨而形成残留厚度 $100 \mu\text{m}$ 以下，从所述紫外发光层侧观察、与所述第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层相比位于更远的位置，所述氮化物半导体基板是 GaN 基板（1），在所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层上，具有厚度 $1\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 的第二导电型的 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ 层（26），其中 $0 \leq x_3 < 1$, $x_3 < x_2$ ，所述的发光层具有以下量子阱构造的结构，该量子阱构造包含表示为 $\text{In}_{x_4}\text{Al}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ 的阱层（4b）和表示为 $\text{In}_{x_5}\text{Al}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ 的阻挡层（4a），其中， $0 < x_4 < 0.2$, $0 < y_4 < 0.5$, $0 \leq x_5 < 0.2$, $0 < y_5 < 0.5$ 。

[0009] 本发明的发光元件在氮化物半导体基板的第一主表面的侧具备包含 InAlGaN_4 元混晶的发光层，所述氮化物半导体基板的贯通位错密度是 $1\text{E}7\text{cm}^{-2}$ 以下。

[0010] 根据所述的结构，通过使用低位错密度的氮化物半导体基板，可以抑制发光元件内作为非发光中心起作用的贯通位错密度，提高发光效率。另外，通过由包含在 InAlGaN_4 元混晶中的 In 起组成调制效果，可进一步提高发光效率。另外，氮化物半导体基板可以是， GaN 基板、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板 ($0 < x \leq 1$)、包含于该 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板的 AlN 基板等，具有第一导电型导电性的任何氮化物半导体。

[0011] 本发明的另一个发光元件，具有第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_1 \leq 1$)，和位于第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层上的第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_2 \leq 1$)，和位于第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层与第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层之间且包含 InAlGaN_4 元混晶的发光层，并且还具有从发光层看比第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层更远的厚度为 $100 \mu\text{m}$ 以下的氮化物半导体层，所述氮化物半导体基板的贯通位错密度是 $1\text{E}7\text{cm}^{-2}$ 以下。

[0012] 所述的厚度为 $100 \mu\text{m}$ 以下的氮化物半导体层，是由所述本发明中氮化物半导体基板通过蚀刻或是剥离而成的。根据所述的结构，抑制发光元件内作为非发光中心起作用的贯通位错密度，且基于 InAlGaN_4 元混晶中的 In 的组成调制效果，结果能够防止由氮化物半导体基板的吸收。

[0013] 本发明的发光元件的制造方法，具备在氮化物半导体基板的第一主表面侧，形成第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_1 \leq 1$) 的工序，和在第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_1 \leq 1$) 上形成包含 InAlGaN_4 元混晶的发光层的工序，和在发光层上形成第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_2 \leq 1$) 的工序，和形成第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_2 \leq 1$) 之后去除氮化物半导体基板以提高光输出的工序。

[0014] 例如，由于 GaN 吸收波长在 360nm 以下的紫外光，因此根据所述的方法，通过去除或是剥离 GaN 基板，可提高光输出。其结果，可以进一步大幅度提高光输出。另外，对于其他的氮化物半导体，也会有吸收想要取出的波长域的光的情况，这种情况下，也可以通过去除其氮化物半导体基板，提高光输出。

[0015] 另外，所谓 B 层位于 A 层上，是指从氮化物半导体基板侧观察，B 层位于比 A 层更远的位置，A 层可以与 B 层接触也可以不接触。

[0016] 附图说明

[0017] 图 1 是表示本发明实施例 1 的紫外 LED 的图。

- [0018] 图 2 是表示图 1 的紫外 LED 的发光光谱的图。
- [0019] 图 3 是表示图 1 的紫外 LED 的外加电流和光输出之间的关系的图。
- [0020] 图 4 是表示本发明的实施例 2 的紫外 LED 的图。
- [0021] 图 5 是表示图 4 的发光层的放大图。
- [0022] 图 6 是表示图 4 的紫外 LED 的外加电流和光输出之间的关系的图。
- [0023] 图 7 是表示图 4 的紫外 LED 的发光光谱的图。
- [0024] 图 8 是表示本发明实施例 3 的本发明例的紫外 LED, 和比较例的紫外 LED 的外加电流和光输出之间的关系的图。
- [0025] 图 9 是表示本发明的实施例 4 的紫外 LED 的层叠结构的图。

具体实施方式

- [0026] 下面,说明本发明的实施例。
 - [0027] (实施例 1)
 - [0028] 图 1 是表示本发明实施例 1 的 LED 的图。图 1 中,在 GaN 基板 1 上,形成了 (n 型 GaN 层 2/n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 3/InAlGaN 发光层 4/p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 5/p 型 GaN 层 6) 的层叠结构。GaN 基板 1 的作为第二主平面的反面配置有 n 电极 11, 另外, p 型 GaN 层 6 上配置有 p 电极 12。通过对这一对 n 电极 11 和 p 电极 12 之间外加电流,从 InAlGaN 发光层发出紫外光。InAlGaN 发光层具有 $\text{In}_{x_a}\text{Al}_{y_a}\text{Ga}_{1-x_a-y_a}\text{N}$ 组成。
 - [0029] 图 1 表示的 GaN 系 LED 通过下面的处理工序制造。将厚度 $400 \mu\text{m}$ 、位错密度 $5\text{E}6\text{cm}^{-2}$ 、比电阻 $1\text{E}-2 \Omega\text{ cm}$ 的 GaN 基板,配置于 MOCVD(有机金属气相生长法 :Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 成膜装置内的基座上,保持成膜装置内减压状态,并通过下述的 MOCVD 法形成层叠结构,制作紫外发光二极管。
 - [0030] MOCVD 原料使用了三甲基镓、三甲基铝、三甲基铟加合物、氨、四乙基硅烷、双乙基环戊二烯镁。首先,在生长温度 1050°C 下,在 GaN 基板 1 上作为基底层形成厚度 $0.1 \mu\text{m}$ 的 n 型 GaN 层 2,接着在其之上成膜形成厚度 $0.2 \mu\text{m}$ 的 n 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 层 3。
 - [0031] 之后,将生长温度降低至 830°C ,生长了 60nm 的 InAlGaN 发光层 4。此时的原料气体的流量是氨为 $21/\text{min}$ 、三甲基镓为 $3 \mu\text{mol}/\text{min}$ 、三甲基铝 $0.5 \mu\text{mol}/\text{min}$ 、三甲基铟加合物 $60 \mu\text{mol}/\text{min}$ 。之后,再次将生长温度升高至 1050°C ,形成厚度 $0.2 \mu\text{m}$ 的 p 型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 层 5。然后,在其之上作为接触层生长形成了厚度 30nm 的 p 型 GaN 层。
 - [0032] 对由此生长的 LED 外延结构,使用合适的金属材料在 p 型 GaN 层 6 上形成 p 电极 12,在 GaN 基板的作为第二面的主平面且处于外延层的相反侧的面(反面)上,形成 n 电极 11。由此制作的紫外光发光二极管具有图 1 所示的结构。
 - [0033] 对所述的紫外发光二极管外加连续电流的结果,如图 2 所示,得到了波长 360nm 的 InAlGaN 发光层的带端发光。即使将外加电流值提高至 300mA ,如图 3 所示,也不会产生光输出的饱和,线性增加。由此证实了 GaN 基板的高散热性。另外,本实施例中, GaN 基板由于使用了位错密度低的基板,因此贯通位错密度低,能提高发光效率。
 - [0034] (实施例 2)
 - [0035] 图 4 表示本发明的实施例 2 的紫外发光二极管。该紫外发光二极管与图 1 所示的紫外 LED 的层叠结构相比,其特征是,在与发光层 4 邻接的接近 GaN 基板 1 的侧,配置了缓

冲层 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 层 17。另外,发光层也设置为多层量子阱结构,而对于发光层之后进行说明。

[0036] 本实施例的紫外 LED 的制造方法如以下所述。作为 GaN 基板 1, 使用了厚度 400 μm 、贯通位错密度 $5E6/cm^2$ 的基板。应用与实施例 1 同样的方法,在 GaN 基板上,按顺序形成了 n 型 GaN 层 2 和 n 型 $Al_xGa_{1-x}N$ 层 3。接着,邻接着 n 型 $Al_xGa_{1-x}N$ 层 3, 在生长温度 830°C 下生长了厚度 50nm 的 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 缓冲层 17。

[0037] 之后,如图 5 所示,在该 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 缓冲层 17 上,将 ($In_{x5}Al_{y5}Ga_{1-x5-y5}N$ 阻挡层 4a/ $In_{x4}Al_{y4}Ga_{1-x4-y4}N$ 阵层 4b) 的 2 层结构进行 3 周期层叠,形成多重量子阱结构。实施例 2 中,该多重量子阱结构构成了发光层 4。

[0038] 对缓冲层 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 层生长时,以及对 $In_{x5}Al_{y5}Ga_{1-x5-y5}N$ 阻挡层 4a 生长时的原料气体的流量是氨为 21/min、三甲基镓为 1.5 $\mu mol/min$ 、三甲基铝 0.65 $\mu mol/min$ 、三甲基铟加合物 30 $\mu mol/min$ 。

[0039] 对 $In_{x4}Al_{y4}Ga_{1-x4-y4}N$ 阵层生长时的原料气体的流量是氨为 21/min、三甲基镓为 1.5 $\mu mol/min$ 、三甲基铝 0.52 $\mu mol/min$ 、三甲基铟加合物 53 $\mu mol/min$ 。

[0040] 本实施例和实施例 1 的不同之处在于,配置了缓冲层 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 层,以及将发光层形成为 $InAlGaN$ 层的多层量子阱结构这两点。

[0041] 通过所述两点改良,如图 6 所示,发光输出得到了飞跃式的提升。例如,在图 3 中相对于 100mA 外加电流的光输出是 0.01mW 左右,而在图 6 中相对于 100mA 外加电流的光输出则是 1.7mW 左右,即获得了强 150 倍的大幅度提高。另外,如图 7 所示,发光光谱的半辐值变小为 12nm。这是由于,通过将发光层形成为多重量子阱结构,量子能级间的发光可以被支配的缘故。

[0042] (实施例 3)

[0043] 本发明的实施例 3,对形成于 GaN 基板上的紫外 LED(本发明例),和形成于 GaN 样板(在蓝宝石基板上夹持低温生长 GaN 缓冲层生长了 3 μm 的 n 型 GaN 的基板)上的紫外 LED(比较例)之间的光输出,进行了比较。使用的 GaN 样板是预先制作的。对所述本发明例和比较例,都形成了图 4 和图 5 所述的层叠结构。但是,GaN 样板形成于反面侧是绝缘体且预先露出 n 电极的 n 型 GaN 层上。

[0044] 首先,在制造时,将 GaN 基板和 GaN 样板都配置于 MOCVD 成膜装置内的基座上。接着,在 GaN 基板和 GaN 样板上成膜形成了 n 型 GaN 层、n 型 $Al_{x1}Ga_{1-x1}N$ 层和缓冲层 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ 层。之后,同实施例 2 中一样,将 ($In_{x4}Al_{y4}Ga_{1-x4-y4}N$ 阻挡层/ $In_{x3}Al_{y3}Ga_{1-x3-y3}N$ 阵层) 的 2 层结构进行 3 周期层叠,制作多重量子阱结构。之后,形成 p 型 $Al_{x2}Ga_{1-x2}N$ 层/p 型 GaN 层,形成 p 电极和 n 电极。所述的成膜处理的整个期间,生长温度、原料气体的流量与实施例 2 同样。但是,如上所述,GaN 样板的 n 电极形成于 n 型 GaN 层上。

[0045] 对由所述方法制作的本发明例和比较例,都外加了电流并测定了光输出。其结果的比较如图 8 所示。图 8 中,使用了 GaN 样板的比较例,用实际光输出的 5 倍值表示。

[0046] 根据图 8,电流 50mA 下,用 GaN 基板上的 LED 获得了 GaN 样板上的约 10 倍的输出。另外,使用 GaN 样板的 LED 在电流 100mA 下显示了输出的饱和倾向,而相对于此,GaN 基板上输出以线性增加。由此,对使用了 $InAlGaN$ 发光层的紫外 LED 的高效化、基于高电流注入的 LED 的高输出化,低错位 GaN 基板是有效的。本发明例的 LED 通过以下两点,即,由于使

用了热传导良好的GaN基板从而抑制了由发热引起的高温化,以及由于贯通位错密度低从而非发光中心被抑制,获得了所述的高输出。

[0047] (实施例4)

[0048] 图9表示有关本发明的实施例4的发光元件的层叠结构。首先,说明制造方法。将 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板($x = 0.18$)配置于基座上,对有机金属气相生长法的成膜装置内保持减压状态,并制作层叠结构,获得紫外发光二极管结构。原料使用了三甲基镓、三甲基铝、三甲基铟加合物、氨、四乙基硅烷、双乙基环戊二烯镁。首先,在生长温度1050℃下,生长了厚度0.5μm的n型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 缓冲层22。

[0049] 之后,将生长温度降低至830℃,然后与所述实施例2一样,形成将InAlGaN阻挡层24a和InAlGaN阱层24b重复3周期的多重量子阱结构。之后,再次将生长温度升高至1050℃,生长厚度20nm的p型 $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ 层25和厚度50nm的p型 $\text{Al}_{0.18}\text{Ga}_{0.82}\text{N}$ 层26。

[0050] 在通过上述方式形成的LED外延结构的p型A1GaN层26上,用金属材料形成半透明p电极12,另外在A1GaN基板21的反面侧形成n型电极11。

[0051] 对通过上述方式形成的紫外发光二极管外加连续电流的结果,获得了波长351nm的InAlGaN发光层的带端发光。作为该带端发光的光输出,电流100mA时得到了8mW。

[0052] 以上,说明了本发明的实施例,下面,包括所述实施例,对本发明的具体实施方式罗列着进行说明。

[0053] 可以将所述氮化物半导体基板作为GaN基板。由于可以用大型且廉价的GaN基板,因此适于批量生产。最好使用贯通位错密度在 $1\text{E}7\text{cm}^{-2}$ 以下的GaN基板。由此,可以减小本发明的发光元件的贯通位错密度,并降低非发光中心密度。

[0054] 另外,也可以将所述氮化物半导体基板设为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板($0 < x \leq 1$)。通过使用 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板,可以提高InAlGaN发光层的结晶性。即,可以减小发光层和氮化物半导体基板之间的晶格的差异,并抑制产生于发光层的晶格不规则。

[0055] 所述 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板($0 < x \leq 1$)的贯通位错密度最好在 $1\text{E}7\text{cm}^{-2}$ 以下。根据该结构,可以减小本发明的发光元件中的贯通位错密度,并可以降低非发光中心密度。

[0056] 可以使所述 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板($0 < x \leq 1$)的带隙能,在包含InAlGaN4元混晶的发光层发出的光的波长所对应的能量以下。通过 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 基板具有所述带隙能,可以使从发光层发出的光不被氮化物半导体基板吸收,从而能有效利用。

[0057] 所述氮化物半导体基板的第一主表面侧,具备有第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层($0 \leq x_1 \leq 1$),和从氮化物半导体基板侧观察、与第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层相比位于更远的位置的第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层($0 \leq x_2 \leq 1$),且在第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层之间,包含所述的InAlGaN4元混晶。

[0058] 根据所述结构,通过从p导电型层和n导电型层,将电流注入至夹在它们之间的InAlGaN4元混晶,可以获得高效率的发光。

[0059] 另外,也可以是以下结构,即,在所述氮化物半导体基板和第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层之间,具有第一导电型的与氮化物半导体基板同类的氮化物半导体层。

[0060] 该结构与将第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层邻接氮化物半导体基板形成的结构相比,可以通过使第一导电型的与氮化物半导体基板同类的氮化物半导体层起缓冲层功能,提高第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层的结晶性。

[0061] 也可以是以下结构,即,在所述第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层上,具有厚度 $1\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 的第二导电型的 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_3 < 1$, $x_3 < x_2$)。

[0062] 根据所述结构,与邻接第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层并形成电极的结构相比,可以降低接触电阻,提高电力 - 光变换效率。如果第二导电型的 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ 层的厚度不足 1nm ,则越降低接触电阻越得不到良好的层,而厚度超过 500nm ,则增加波长 360nm 以下的紫外光的吸收量。因此,第二导电型的 $\text{Al}_{x_3}\text{Ga}_{1-x_3}\text{N}$ 层的厚度取 $1\text{nm} \sim 500\text{nm}$ 的范围。

[0063] 也可以是以下结构,即,在位于所述第一主表面的相反侧的第二主表面形成第一电极,且在第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层上形成与第一电极构成一对的第二电极。

[0064] 根据所述的结构,由于可以在氮化物半导体基板的作为第二主表面的反面配置第一电极,可以减小串联电阻。因此,由于可以提高电压效率且减小发热,可以提高发光效率。另外,氮化物半导体的热传导率良好从而几乎不受发热的影响,而这也使其性能更加良好。

[0065] 所述的第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_1 \leq 1$) 和第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层 ($0 \leq x_2 \leq 1$) 的厚度总计,可以是 $0.4\mu\text{m}$ 以下。

[0066] 如果第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层和第二导电型的 $\text{Al}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}\text{N}$ 层的厚度总计超过 $0.4\mu\text{m}$,则会产生裂纹,且只从与这些层的一部分所对应的部分发光,因此所述厚度总计最好是 $0.4\mu\text{m}$ 以下。

[0067] 所述的发光元件,通过发光层上的发光,可以发出波长 $330\text{nm} \sim 370\text{nm}$ 范围的光。

[0068] 通过将发光层调整成能放射出所述范围波长的光,可以获得发光效率优良的紫外线区域的发光元件。

[0069] 所述的发光层也可以是具有以下量子阱构造的结构,该量子阱构造包含表示为 $\text{In}_{x_4}\text{Al}_{y_4}\text{Ga}_{1-x_4-y_4}\text{N}$ ($0 < x_4 < 0.2$, $0 < y_4 < 0.5$) 的阱层和表示为 $\text{In}_{x_5}\text{Al}_{y_5}\text{Ga}_{1-x_5-y_5}\text{N}$ ($0 \leq x_5 < 0.2$, $0 < y_5 < 0.5$) 的阻挡层。

[0070] 如上所述,通过使发光层具有量子阱构造,可大幅提高发光效率。另外,通过使阱层和阻挡层都使用 InAlGaN 结晶,可以减小应变,提高发光效率。

[0071] 也可以具有以下结构,即,在所述发光层和氮化物半导体基板之间,具有厚度 $10\text{nm} \sim 200\text{nm}$ 的 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 0.2$, $0 < y < 0.5$) 层。

[0072] 根据所述的结构,可以减小发光层的应变,防止由压电效应引起的电子和空穴的在空间上的分离,提高发光效率。

[0073] 所述另一个本发明的发光元件可以具有以下结构,即,氮化物半导体基板被蚀刻或是被剥离,从而从发光层观察,在比第一导电型的 $\text{Al}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}\text{N}$ 层更远处,不具有氮化物半导体层。

[0074] 根据该结构,可以消除由氮化物半导体基板(氮化物半导体层)引起的短波长区域的吸收。

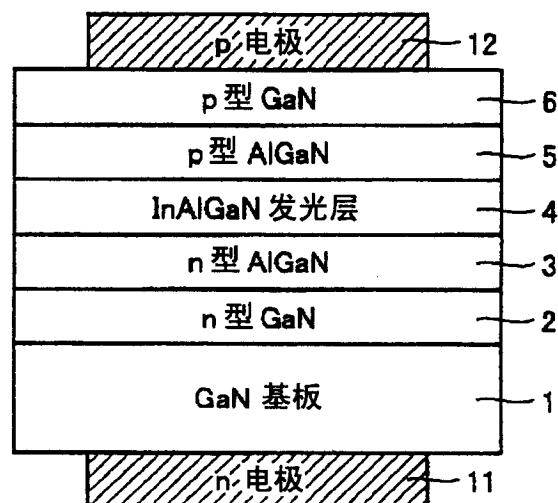


图 1

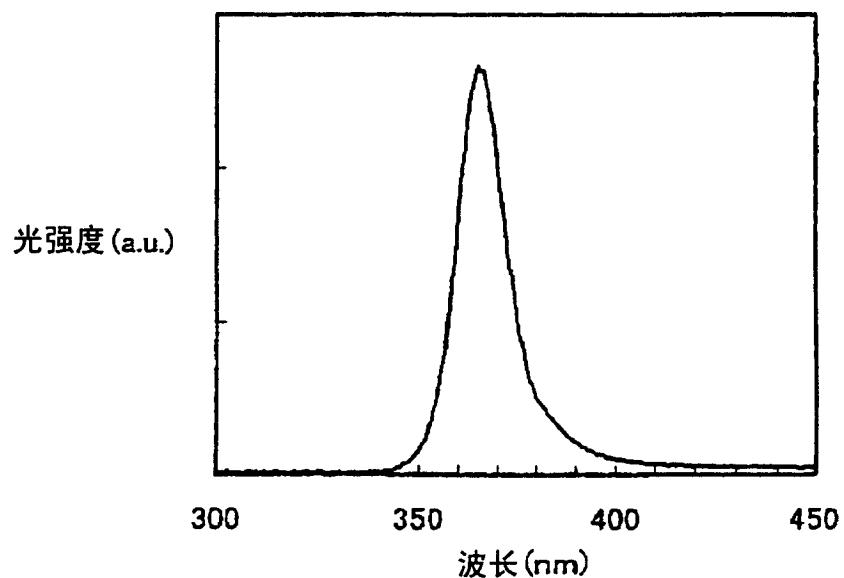


图 2

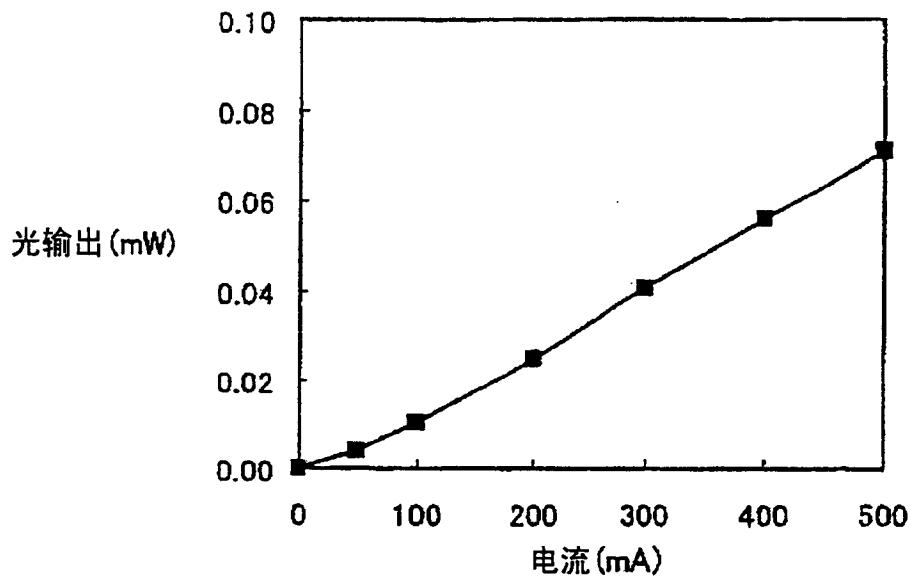


图 3

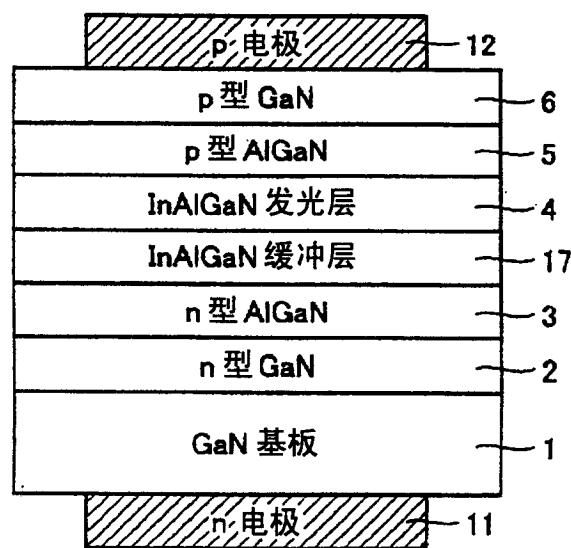


图 4

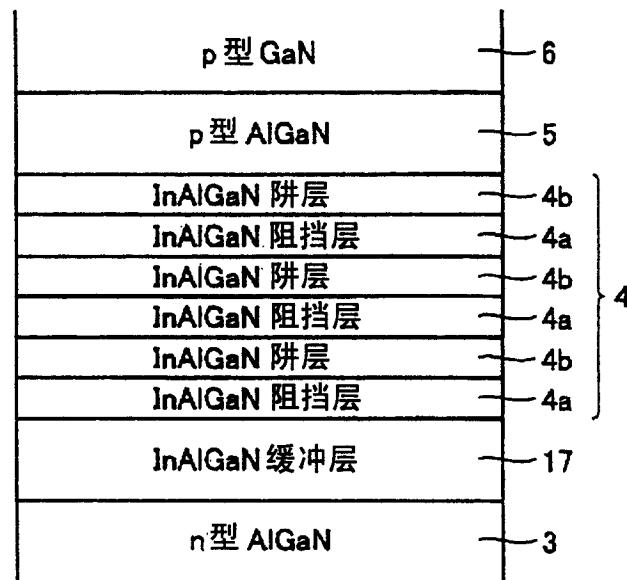


图 5

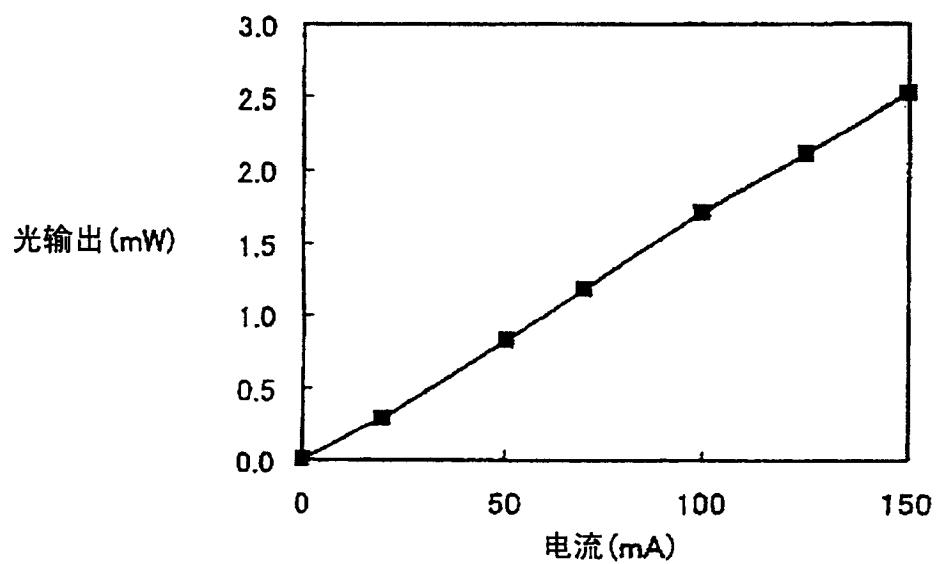


图 6

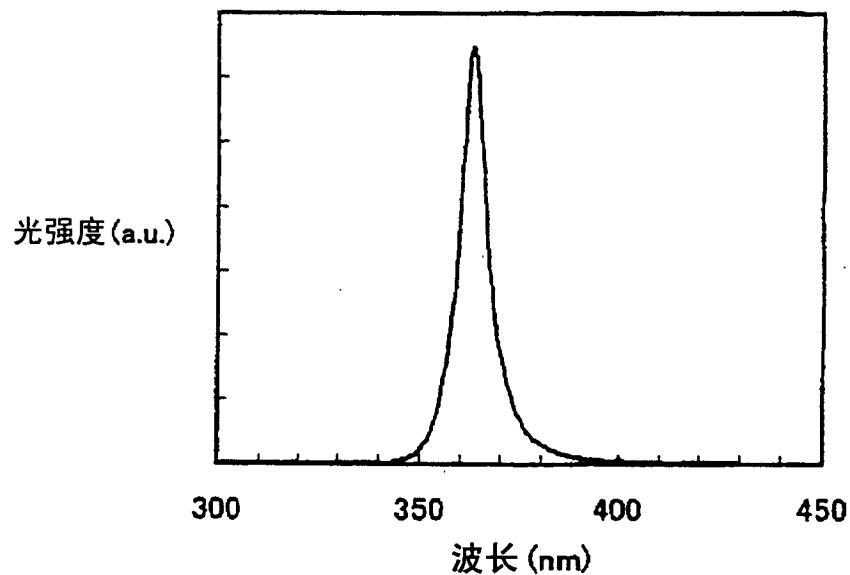


图 7

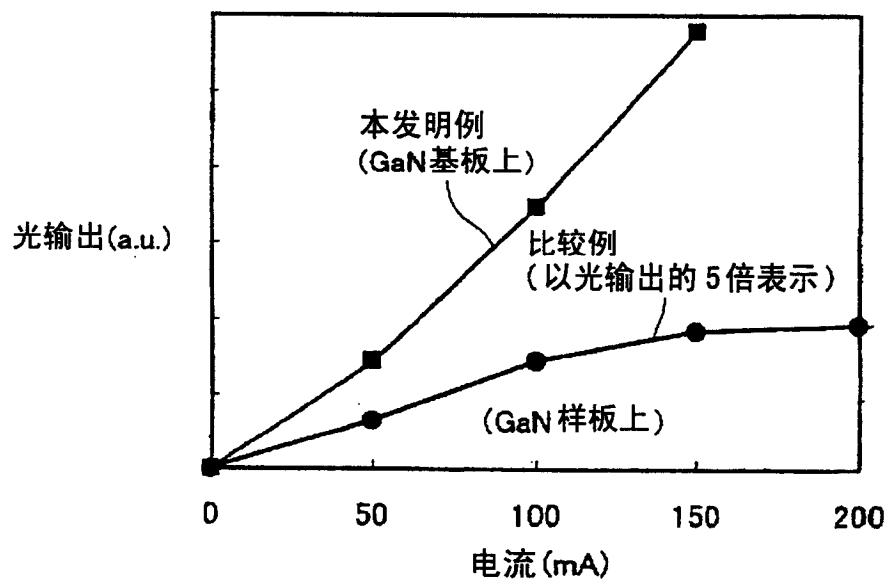


图 8

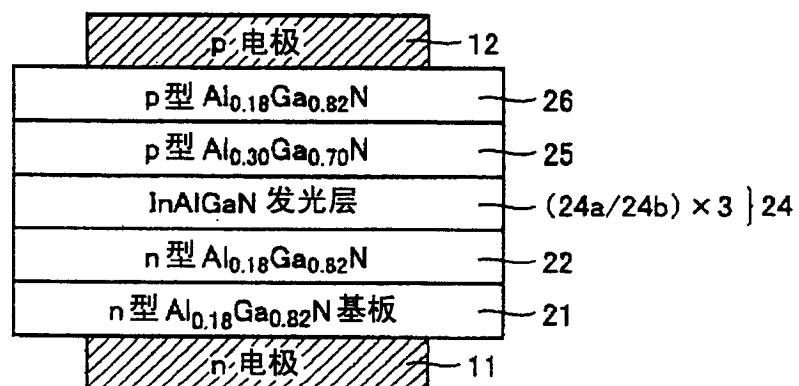


图 9