



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101330123 B

(45) 授权公告日 2010.06.09

(21) 申请号 200810128693.7

CN 1741296 A, 2006.03.01, 说明书第7页第

(22) 申请日 2008.06.23

4行至第9页第18行、说明书附图1.

(30) 优先权数据

审查员 周忠堂

2007-164060 2007.06.21 JP

(73) 专利权人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府大阪市

(72) 发明人 上野昌纪 京野孝史 善积祐介

(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 樊卫民 郭国清

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1190491 A, 1998.08.12, 全文.

WO 2007/034971 A1, 2007.03.29, 说明书第
31页第31行至第32页第27行.

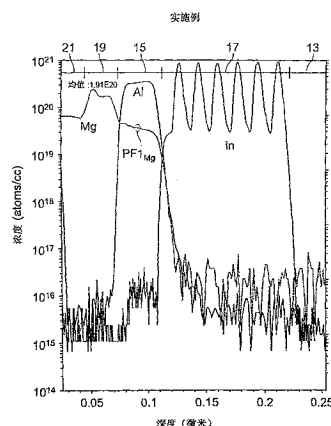
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 6 页

(54) 发明名称

III族氮化物系半导体发光元件

(57) 摘要

本发明提供一种 III 族氮化物系半导体发光元件 (11), 其中, p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 (19) 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 比 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 (15) 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p15} 大, 因此, p 型掺杂剂从 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 (19) 向 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 (15) 扩散, 且到达 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 (15) 和活性层 (17) 的界面附近。p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 (15) 和活性层 (17) 的界面附近的 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 (15) 中, p 型掺杂剂的浓度分布曲线 PF1_{Mg} 变得陡峭。另外, p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 (21) 的 p 型掺杂剂浓度与 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 (19) 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 被独立地规定。



1. 一种 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,该 III 族氮化物系半导体发光元件具备:

n 型氮化镓系半导体层;

第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) 层;

设于所述 n 型氮化镓系半导体层和所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层之间,且包含 InGaN 层的发光层;

设于所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层上的第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq x < 1$) 层;

设于所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 ($0 \leq z \leq y \leq x < 1$);

与所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层接触的 p 电极,其中,

所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度比所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层及所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度大,

所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度大于 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$,

并且,通过所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂向所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层扩散,使得所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和所述发光层的界面附近的第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层中, p 型掺杂剂浓度的分布曲线变得陡峭,降低漏电,提高发光效率。

2. 如权利要求 1 所述的 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,

所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上, $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,

所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,

所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层由 GaN 组成。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,

所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层由 GaN 组成。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,

所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层由 GaN 组成。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的 III 族氮化物系半导体发光元件,其特征在于,

所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂为 Be、Mg、Zn 中的至少之一,

所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂为 Be、Mg、Zn 中的至少之一,

所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂为 Be、Mg、Zn 中的至少之一。

III 族氮化物系半导体发光元件

技术领域

[0001] 本发明涉及一种 III 族氮化物系半导体发光元件。

背景技术

[0002] 专利文献 1(日本特开平 8-330629 号公报)中记载有一种氮化物半导体发光元件。阳极与第一 p 型氮化物半导体层接触。在活性层上,第二 p 型氮化物半导体层位于 p 型包覆层和第一 p 型氮化物半导体层之间。即,在活性层上依次设置有 p 型包覆层、第二 p 型氮化物半导体层和第一 p 型氮化物半导体层。第二 p 型氮化物型半导体层的受主杂质浓度比阳极接触的第一 p 型氮化物半导体层的受主杂质浓度低。

[0003] 专利文献 2(日本特开平 10-4210 号公报)中记载有一种 III 族氮化物化合物半导体发光元件。在发光层上依次设置有 p 型 $\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 包覆层、p 型第一 GaN 接触层以及 p^+ 型第二 GaN 接触层,且电极与 p^+ 型第二 GaN 接触层接触。

[0004] 对比文献 1 及 2 中记载的发光元件中,在活性层上设置有由 p 型 AlGaIn 电子包覆层 /p 型 GaN 接触层构成的层压层。p 型 GaN 接触层包含通常 Mg 浓度的 p 型 GaN 层和高 Mg 浓度的 p 型 GaN 层。

[0005] 期望提高该结构的发光二极管的光输出功率。根据发明人对发光二极管的特性解析,在 p 型半导体层和量子阱结构活性层的界面附近观察了施主能级。另外,低温中的发光光谱中观察了由与活性层不同的 p 型半导体层引起的发光和推测峰值。该发光的原因,在量子阱结构的活性层和 p 型半导体层的界面附近形成有施主缺陷,该缺陷使电子包覆层的势垒高度下降。认为由于该下降,电子从活性层向 p 型半导体区域漏泄,由此,发光效率降低。

发明内容

[0006] 于是,本发明是鉴于上述事项而完成的,目的在于提供一种能够降低从活性层向 p 型半导体区域的电子漏泄的 III 族氮化物系半导体发光元件。

[0007] 根据本发明的一方面,III 族氮化物系半导体发光元件包括:(a)n 型氮化镓系半导体层、(b) 第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) 层、(c) 设于所述 n 型氮化镓系半导体层和所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层之间且含有 InGaIn 层的发光层、(d) 设于所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层上的第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq x < 1$) 层、(e) 设于所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层上的第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 ($0 \leq z \leq y \leq x < 1$) 层、和 (f) 与所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层接触的 p 电极。所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度比所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层及所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度大。

[0008] 根据该 III 族氮化物系半导体发光元件,第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度比第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度大,因此来自第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂依靠制造该元件中的热向第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层扩散,并到达第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和活性层的界面附近。由此,第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和活性层的界面附近的第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层中,p

型掺杂剂的浓度分布曲线变得陡峭。由此,降低电子漏泄,提高发光效率。而且,第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度可以设定为用于得到适合的接触电阻的值。

[0009] 本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上。p 型掺杂剂浓度达到 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上时会提高促进掺杂剂扩散的效果。

[0010] 本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度优选为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上。该掺杂剂浓度可减小第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层与电极之间的接触电阻。另外,所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。超过限度的 p 型掺杂剂浓度使顺向电压 (Vf) 增加。

[0011] 本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂浓度优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0012] 过量的掺杂剂浓度会使活性化率降低,因此,p 型掺杂剂浓度优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的作用是向活性层提供空穴,因此,优选第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的载流子浓度高。

[0013] 本发明涉及的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层优选由 GaN 组成。而且,本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层优选由 GaN 组成。GaN 的成长速度能比 AlGaIn 的成长速度快,因此可以缩短成长时间,降低成本。

[0014] 此外,本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层优选由 GaN 组成。按照活性层中的发光波长,GaN 也可以作为电子势垒使用。另外,GaN 的成长速度能比 AlGaIn 的成长速度快,因此可以缩短成长时间,降低成本。

[0015] 本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件中,所述第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂可以为 Be、Mg、Zn 中的至少一个。所述第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂可以为 Be、Mg、Zn 中的至少一个。所述第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层的 p 型掺杂剂可以为 Be、Mg、Zn 中的至少一个。该 III 族氮化物系半导体发光元件中,通过用于 p 型掺杂剂的所述元素可以提供良好的效果。

[0016] 从以下参考附图而进行的对本发明的优选实施方式的详细记述中,更容易了解本发明的上述目的及其他目的、特征以及优点。

附图说明

[0017] 图 1 是概略表示本实施方式所涉及的 III 族氮化物系半导体发光元件的图。

[0018] 图 2 是表示用于外延片 A 的二次离子质量分析 (SIMS) 结果的图。

[0019] 图 3 是表示用于外延片 R 的 SIMS 结果的图。

[0020] 图 4 是表示实施例及比较例 1 中的 EL 光谱的图。

[0021] 图 5 是通过实施例及比较例 1 中的活性层表示发光强度和环境温度的关系的图。

[0022] 图 6 是表示活性层及 p 型半导体层的手绘草图的图。

具体实施方式

[0023] 通过参考作为例示表示的附图考虑以下的详细记述,可以容易地理解本发明的想

法。下面,参考附图,说明本发明的 III 族氮化物系半导体发光元件的实施方式。在可能的情况下,同一部分使用同一标号。

[0024] (实施方式)

[0025] 图 1 是概略表示本实施方式的 III 族氮化物系半导体发光元件的图。作为 III 族氮化物系半导体发光元件 11,例如有面发光的发光二极管。III 族氮化物系半导体发光元件 11 包括 n 型氮化镓系半导体层 13、第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) 层 15、含有 InGaN 层的活性层 17、第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq x < 1$) 层 19、第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z \leq y \leq x < 1$) 层 21、和电极 23。第一 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 (以下记作 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层) 15 设于 InGaN 活性层 17 上。第二 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq x < 1$) 层 (以下记作 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层) 19 设于 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 上。第三 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 (以下记作 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层) 21 设于 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 上。电极 23 与 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 接触、例如为阳极。优选该接触为良好的欧姆接触。p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 比 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p15} 大。另外, p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 比 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p21} 大。p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 可由 GaN 或者 AlGaN 组成。p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 可由 GaN 或者 AlGaN 组成。p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 可由 GaN 或者 AlGaN 组成。p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 与 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 接触。p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 与 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 接触。

[0026] 根据该 III 族氮化物系半导体发光元件 11, p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 比 p 型掺杂剂浓度 N_{p15} 大,因此,来自 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 的 p 型掺杂剂在半导体发光元件 11 的制造工序中向 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 热扩散,并到达 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 和活性层 17 的界面附近。由此, p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 和活性层 17 的界面附近的 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 中, p 型掺杂剂的浓度分布曲线变得陡峭。由此,降低来自活性层 17 的电子漏泄,提高发光效率。另外, p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p21} 与 p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 是独立地规定的,因此,可以给电极 23 与 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 的接触提供适合的接触电阻。

[0027] III 族氮化物系半导体发光元件 11 还包括基板 25。基板 25 在本实施例中,例如可以为导电性的 GaN 基板这样的 III 族氮化物基板。或者,作为基板 25 也可以使用蓝宝石基板。在 n 型 GaN 基板的主表面 (与主表面 25a 相对应) 上,例如设有 n 型 AlGaN 层 27,另外,在 n 型 GaN 基板的背面 (与背面 25b 相对应) 上,有电极 29 与之接触。电极 29 例如为阴极。

[0028] 活性层 17 例如可以有量子阱结构,包含 InGaN 阱层 17a 及势垒层 17b。势垒层 17b 由氮化镓系半导体组成,例如可由铟组成比阱层 17a 的 InGaN 的少的 InGaN 组成。作为势垒层 17b 的材料,必要时也可以为 GaN。活性层 17 的结构不限于单或多量子阱结构,也可由单一的 InGaN 层组成。来自活性层 17 的光 L 通过电极 23 射出。

[0029] III 族氮化物系半导体发光元件 11 中,用于 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 的 p 型掺杂剂可为 Be、Mg、Zn 中的至少一个。将上述的元素作为 p 型掺杂剂使用,能够提供良好的特性。用于 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 的 p 型掺杂剂可为 Be、Mg、Zn 中的至少一个。可以实现低接触电阻。掺杂剂浓度的调整通过例如改变成长速度等来实现。另外,用于 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 的 p 型掺杂剂可为 Be、Mg、Zn 中的至少一个。

[0030] 实施例

[0031] 制造发光二极管 (LED)。准备 n 型 GaN 基板。接着,在结晶成长中,例如使用有

机金属气相成长 (OMVPE) 法。作为 OMVPE 的原料,作为镓原料使用三甲基镓 (TMGa)、作为铟原料使用三甲基铟 (TMIn)、作为铝原料使用三甲基铝 (TMAI),作为氮原料使用氨。作为载气使用氢和氮。作为 p 型掺杂剂使用二茂镁 (Cp_2Mg)、作为 n 型掺杂物使用甲基矽甲烷 (CH_3SiH_3)。

[0032] 在 n 型 GaN 基板上,依次成长 n 型 $\text{Al}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ 层 (例如,厚度 50nm)、n 型 GaN 层 (例如,厚度 $2\text{ }\mu\text{m}$)、 $\text{In}_{0.14}\text{Ga}_{0.86}\text{N}$ 阱层 (例如,厚度 3nm)/ $\text{In}_{0.003}\text{Ga}_{0.997}\text{N}$ 势垒层 (例如,厚度 15nm) 的活性层 (6 个阱层)、p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ (例如,厚度 20nm、Mg 浓度 $3.0\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)、Mg 高添加 GaN 层 (例如,厚度 20nm、Mg 浓度 $1.8\times 10^{20}\text{cm}^{-3}$)、Mg 通常添加 GaN 层 (例如,厚度 30nm、Mg 浓度 $7.6\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)。形成外延片 A。

[0033] 为了进行参考,不成长 Mg 高添加 GaN 层,而是依次成长 Mg 通常添加 GaN 层 (例如,厚度 50nm),形成外延片 R1 (比较例 1)。另外,不成长 Mg 通常添加 GaN 层,而是依次成长 Mg 高添加 GaN 层 (例如,厚度 50nm),形成外延片 R2 (比较例 2)。

[0034] 图 2 是表示用于外延片的 A 二次离子质量分析 (SIMS) 结果的图。图 3 是表示用于外延片 R 的 SIMS 结果的图。参考图 2, Mg 高添加 GaN 层 (图 2 中参考标号 19) 设于 p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ 层 (图 2 中参考标号 15) 和 Mg 通常添加 GaN 层 (图 2 中参考标号 21) 之间,因此, p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ 层上的 Mg (p 型掺杂剂) 的分布曲线 $\text{PF}_{1\text{Mg}}$ 显示 Mg 浓度 $3\sim 4\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$,另外,在 p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ 层和活性层 (图 2 中参考标号 17) 的界面附近,分布曲线 $\text{PF}_{1\text{Mg}}$ 的变化的陡峭性增大。参考图 3, p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ 层 (图 3 中参考标号 45) 设于活性层 (图 3 中参考标号 17) 和 Mg 通常添加 GaN 层 (图 3 中参考标号 49) 之间。p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ 层中的 Mg (p 型掺杂剂) 的分布曲线 $\text{PF}_{2\text{Mg}}$ 显示 Mg 浓度 $2\sim 3\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$,另外,关于 p 型 $\text{Al}_{0.085}\text{Ga}_{0.915}\text{N}$ 层 (图 3 中参考标号 45) 和活性层 (图 3 中参考标号 17) 的界面附近的分布曲线 $\text{PF}_{2\text{Mg}}$ 的变化,与图 2 的分布曲线 $\text{PF}_{1\text{Mg}}$ 相比,分布曲线 $\text{PF}_{2\text{Mg}}$ 的陡峭性差。比较表示 Al 浓度的分布曲线和分布曲线 $\text{PF}_{1\text{Mg}}$ 、分布曲线 $\text{PF}_{2\text{Mg}}$,可以很好地表示陡峭性的差别。

[0035] 从成长炉取出外延片 A、R1、R2 后,使用真空蒸镀法和光刻法 (lithography) 在 GaN 基板的背面形成 n 电极 (例如 Ti/Au 电极),同时在外延片的表面形成 p 电极 (例如 Ni/Au 电极)。p 电极的尺寸例如为 $400\text{ }\mu\text{m}$ 方形。

[0036] 此外,形成用于 p 电极及 n 电极的焊盘电极 (pad electrode) 后,使 20mA 的电流流向晶片元件而测定发光波长和输出功率。另外,通过 TLM 法 (Transmission Line Method) 测定接触电阻。从 SIMS 的结果估计 Mg 浓度。

[0037]	p-GaN 层的结构	光输出功率	发光波长	驱动电压	接触电阻
[0038]	A 通常 Mg 浓度 / 高 Mg 浓度 2 层	5mW	468nm	3.3V	$7\text{E}-3\text{ }\Omega\text{ cm}^2$
[0039]	R1 通常 Mg 浓度 1 层	4mW	470nm	3.3V	$7\text{E}-3\text{ }\Omega\text{ cm}^2$
[0040]	R2 高 Mg 浓度 1 层	4.8mW	465nm	3.7V	$8\text{E}-2\text{ }\Omega\text{ cm}^2$
[0041]	驱动电压作为通 20mA 直流电流时的值测定。				

[0042] 该结果显示,实施例的 LED 相对于两个比较例的 LED 具有高光输出功率和低驱动电压及低接触电阻这两方面。虽然比较例 1 的 LED 中,接触电阻和驱动电压低,但是比较例 1 的光输出功率比实施例的 LED 的光输出功率低 20%。比较例 2 的 LED 的光输出功率与实

实施例的 LED 的光输出功率大致相等,但是比较例 2 的 LED 的接触电阻和驱动电压比实施例的 LED 的高。

[0043] Mg 浓度过高或过低,LED 的 p 电极的接触电阻都有变差的倾向,优选为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上,并且优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。另一方面,根据 SIMS 分布曲线,p 型 AlGaIn 层和活性层的界面上 Mg 分布曲线的上升有与 p 型 AlGaIn 层相接的 p 型 GaN 层的 Mg 浓度越高就越陡峭的倾向。根据该理由,认为是因为当 p 型 GaN 层的 Mg 浓度变高时,镁原子通过 p 型 AlGaIn 层向活性层的扩散变得容易。

[0044] 关于比较例 1、2 及实施例,在使用低温恒温器向 LED 通电的同时,在 10 绝对温度 $10\text{K} \sim 420\text{K}$ 的范围内测定 LED 的发光光谱。图 4(a) 是表示实施例中 EL 光谱的图。图 4(b) 是表示比较例 1 中 EL 光谱的图。图 5 是通过实施例及比较例 1 中的活性层表示发光强度和环境温度的关系的图。实施例的测定值用“△”表示,比较例 1 的测定值用“□”表示。比较例 1 中,低温下 380nm 附近出现 p 型半导体层的由施主-受主对引起的发光峰。因此,普遍认为由于低温下 p 型半导体层的施主-受主对发光效率提高,所以从活性层向 p 型半导体层漏泄的电子引起前述发光。另一方面,普遍认为实施例中,即使在低温下也只能观测到来自活性层的 460nm 附近的发光,因此,电子从活性层向 p 型半导体层的漏泄量小到可以忽略不计。

[0045] 如图 6(a) 所示,比较例 1 的 LED 结构中, p 型 AlGaIn 和活性层的界面上形成有施主性缺陷 D,该缺陷使 p 型 AlGaIn 层的势垒高度降低。认为由于该势垒高度的降低而产生电子漏泄。

[0046] 比较例 2 的 LED 结构中,结果是,虽然发光效率高,但是驱动电压大,该结构不优选。

[0047] 实施例的 LED 结构中,通过来自高浓度 MgGaIn 层的 Mg 扩散来控制 p 型 AlGaIn 层中的 Mg 浓度,如图 6(b) 所示,实现 Mg 分布曲线的陡峭性及施主缺陷的补偿 C。其结果得到高发光效率。另外,Mg 分布曲线的控制是独立的,提供用于与电极的良好接触电阻的 p 型 GaN 层。根据实施例的 LED,与 p 型电极的良好接触电阻及施主性缺陷的补偿这两者可以并存。

[0048] 根据上述说明,III 族氮化物系半导体发光元件 11 中, p 型掺杂剂浓度达到 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上时提高促进掺杂剂扩散的效果,因此, p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 优选在 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以上。另外, p 型掺杂剂浓度 N_{p19} 优选在 $1.0 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0049] III 族氮化物系半导体发光元件 11 中,为了减小与 p 型电极的接触电阻, p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p21} 优选为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上。另外,为了抑制顺向电压 (Vf) 的增加,避免 p 型掺杂剂的过度添加,且 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p21} 优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。

[0050] III 族氮化物系半导体发光元件 11 中,过量的掺杂剂浓度使活性化率降低,因此,向活性层供给空穴的 p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 的 p 型掺杂剂浓度 N_{p15} 优选为 $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 以下。另外, p 型掺杂剂浓度 N_{p15} 优选为 $1.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上。

[0051] III 族氮化物系半导体发光元件 11 中,作为 p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19,可以使用 AlGaIn 或 GaN。作为 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21,可以使用 AlGaIn 或 GaN。

[0052] p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 及 p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 都优选由 GaN 组成。GaN 可以加速成长速度,所以可以缩短成长时间,且能够降低成本。另外,由于受主的活性化率提高,所以可以

降低接触电阻和比电阻。

[0053] III 族氮化物系半导体发光元件 11 中, p 型 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 层 19 优选由 AlGaIn 组成, 另外, p 型 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 层 21 优选由 GaN 构成。为 AlGaIn 时需要减缓成长速度, 所以可以容易地提高供给原料中 Mg 的比率, 且能够提高 AlGaIn 中的 Mg 浓度。

[0054] 此外, III 族氮化物系半导体发光元件 11 中, p 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 15 的材料不限于 AlGaIn, 也可以用 GaN。根据活性层中的发光波长, GaN 也可作为电子块层来使用。

[0055] 优选的实施方式中对本发明的原理进行了图解和说明, 但本领域技术人员认为, 本发明在不脱离该原理情况下, 配置及详细情况可以变化。本发明不限于本实施方式中公开的特定结构。因此, 申请保护源于权利要求的范围及其主旨范围的所有修改及变更的权利。

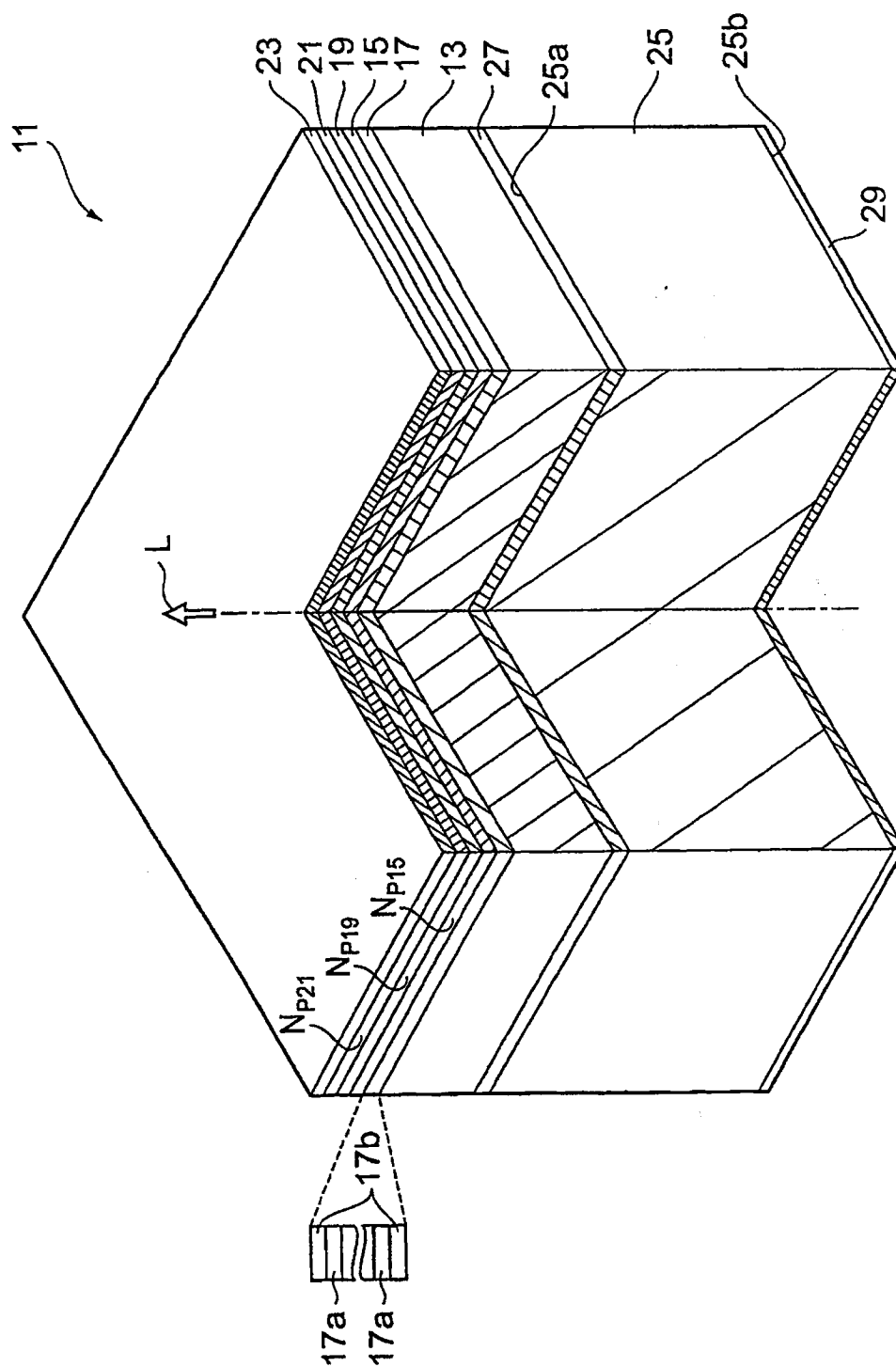


图 1

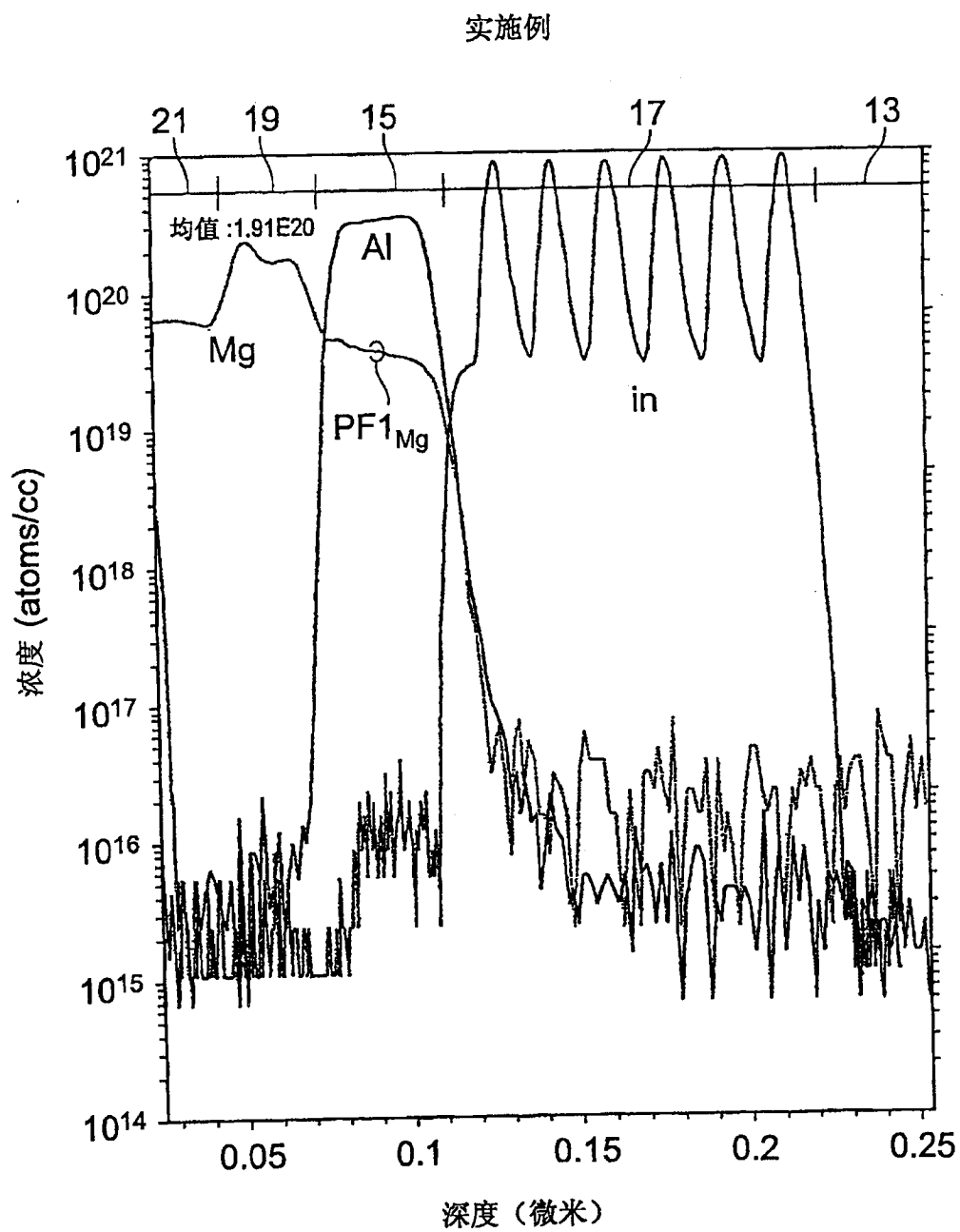


图 2

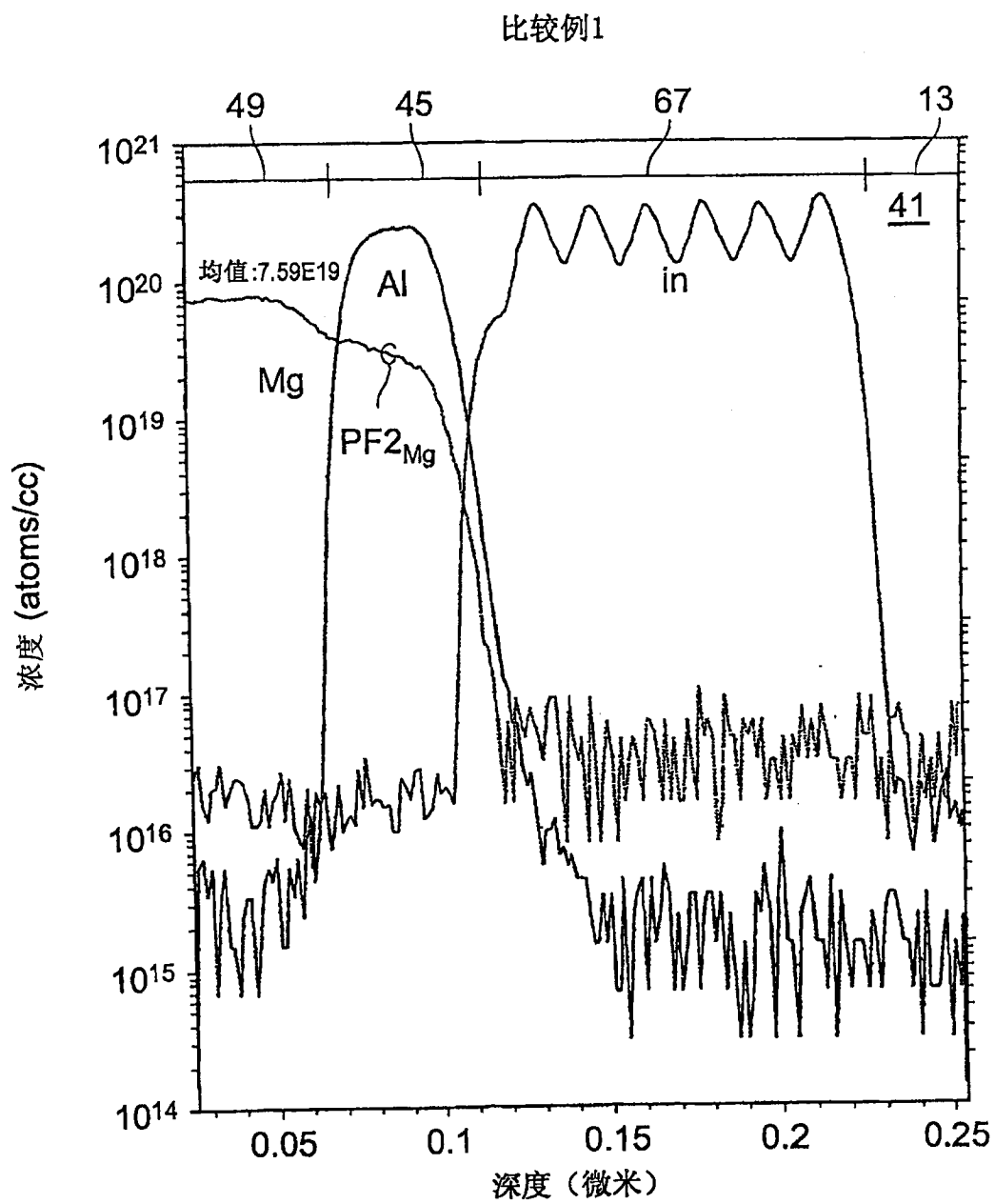


图 3

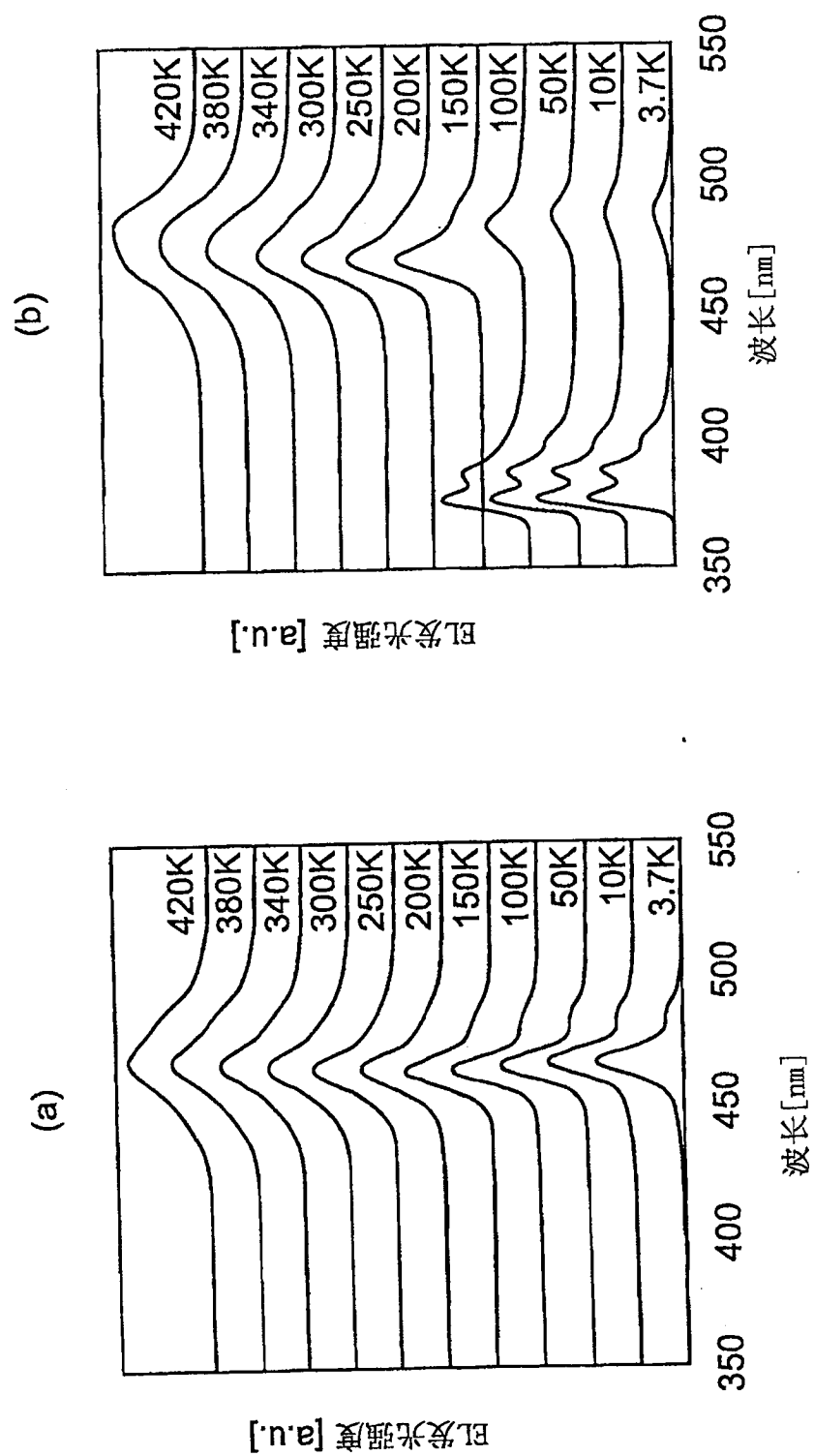


图 4

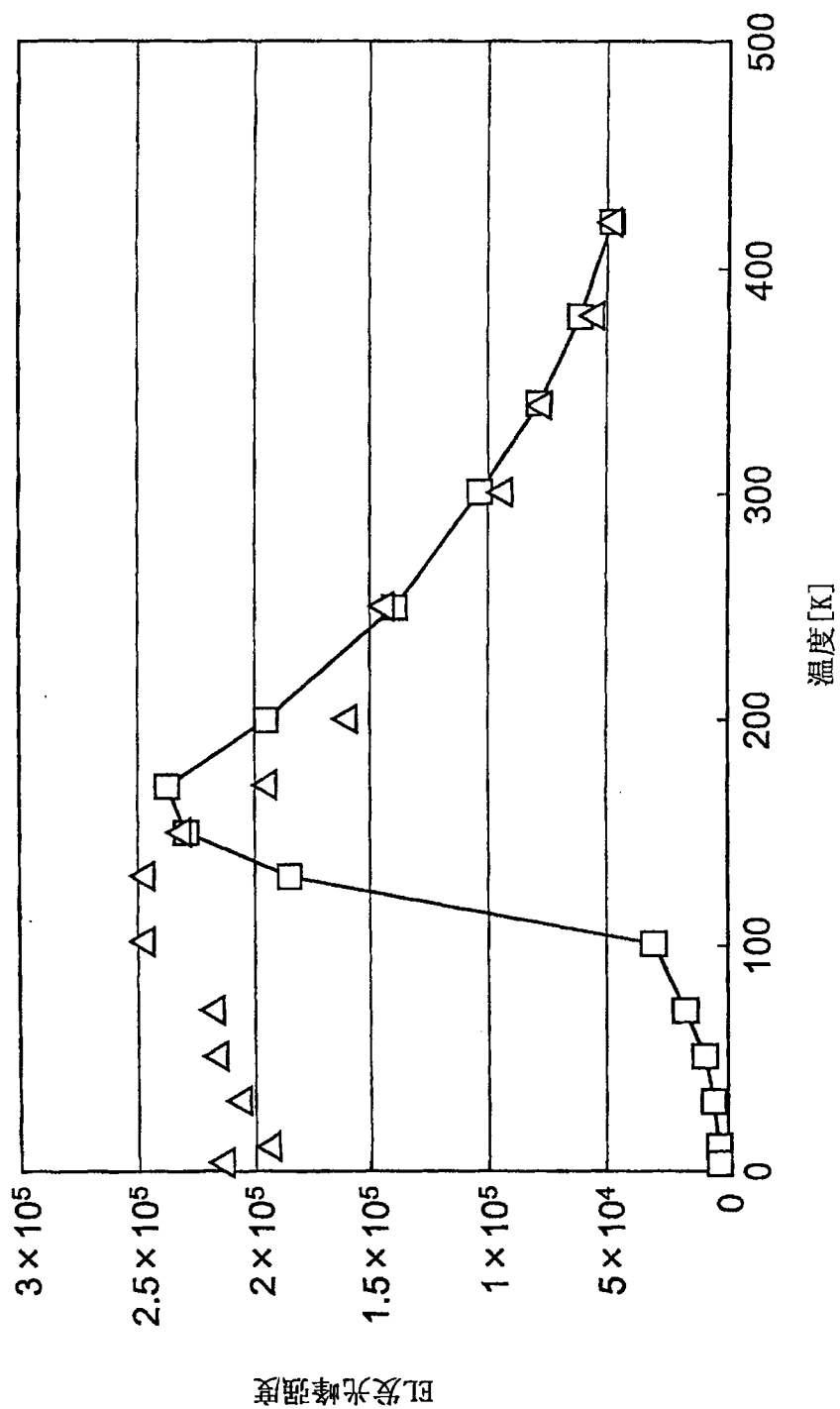


图 5

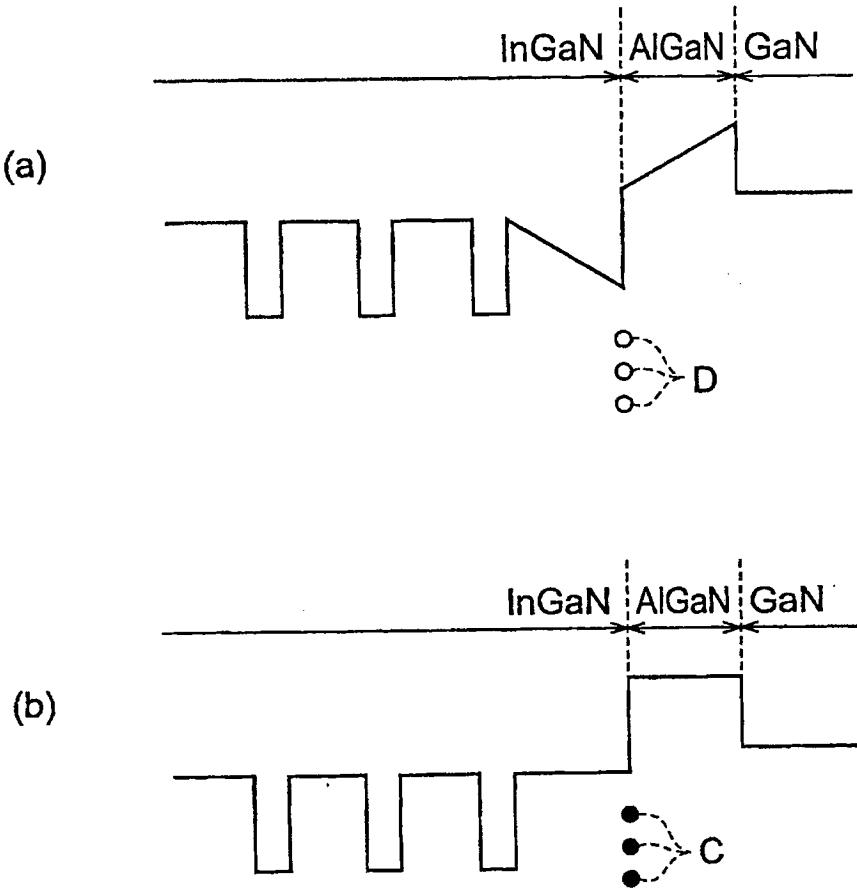


图 6