



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102138227 A

(43) 申请公布日 2011. 07. 27

(21) 申请号 200980133403. 0

(22) 申请日 2009. 08. 31

(30) 优先权数据

221471/2008 2008. 08. 29 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 02. 28

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2009/065195 2009. 08. 31

(87) PCT申请的公布数据

W02010/024436 JA 2010. 03. 04

(71) 申请人 株式会社东芝

地址 日本东京都

(72) 发明人 名古肇 橘浩一 斋藤真司

原田佳幸 布上真也

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 陈海红 段承恩

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006. 01)

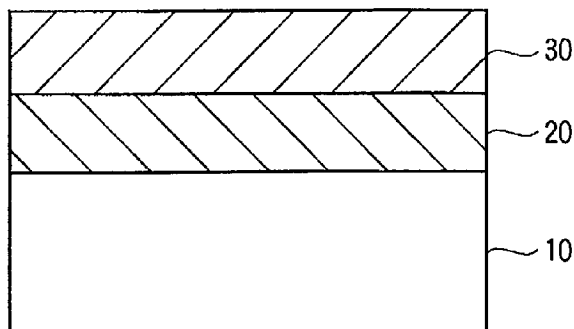
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54) 发明名称

半导体装置

(57) 摘要

本发明提供一种半导体装置,其具备:基底层(20);以及发光层(30),其形成于基底层(20)上,并交替地层叠有由InAlGaN形成的势垒层和由InGaN形成的量子阱层。



1. 一种半导体装置,其特征在于,具备:
基底层;以及
发光层,其形成于前述基底层上,并交替地层叠有由 InAlGa_{1-u-v}N 形成的势垒层和由 InGa_{1-u-v}N 形成的量子阱层。
2. 根据权利要求 1 所述的半导体装置,其特征在于:
前述势垒层,具有比前述量子阱层低的 In 组成。
3. 根据权利要求 2 所述的半导体装置,其特征在于,还具备:
中间层,其设置于相互相邻的前述势垒层与前述量子阱层之间,由 InGa_{1-u-v}N 形成并且具有比前述量子阱层低的 In 组成。
4. 根据权利要求 3 所述的半导体装置,其特征在于,还具备:
溢流防止层,其形成于前述发光层上,具有比前述势垒层高的 Al 组成。
5. 根据权利要求 3 所述的半导体装置,其特征在于,还具备:
p-In_uAl_vGa_{1-u-v}N ($0 \leq u < 1, 0 < v < 1$) 层,其形成于前述发光层上。
6. 根据权利要求 2 所述的半导体装置,其特征在于:
前述基底层由 GaN 形成。
7. 根据权利要求 6 所述的半导体装置,其特征在于:
前述基底层,形成于基板的实质性的 (0001) 面上。

半导体装置

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体装置。

背景技术

[0002] 近年来,使用了 InGaN 系的半导体的发光二极管(LED)的研究开发正在推进(参照专利文献 1)。但是,在使用了 InGaN 系的半导体的发光二极管中,存在难以获得发光效率高的高亮度的绿色的问题。

[0003] 专利文献 1:特开 2002-43618 号公报。

发明内容

[0004] 本发明的目的提供可以获得发光效率高的发光二极管的半导体装置。

[0005] 本发明的一方面的半导体装置,具备:基底层;以及发光层,其形成于前述基底层上,并交替地层叠有由 InAlGa_N 形成的势垒层和由 InGa_N 形成的量子阱层。

[0006] 根据本发明,能够提供可以获得发光效率高的发光二极管的半导体装置。

附图说明

[0007] 图 1 是示意地表示本发明的第 1 实施方式的半导体装置的基本的结构的剖面图。

[0008] 图 2 是关于本发明的第 1 实施方式、示意地表示发光层的详细的结构的剖面图。

[0009] 图 3 是表示晶格常数与带隙的关系的图。

[0010] 图 4 是表示本发明的第 1 实施方式的半导体装置的测定结果的图。

[0011] 图 5 是表示本发明的第 1 实施方式的第 1 比较例的半导体装置的测定结果的图。

[0012] 图 6 是表示本发明的第 1 实施方式的第 2 比较例的半导体装置的测定结果的图。

[0013] 图 7 是示意地表示本发明的第 2 实施方式的半导体装置的结构剖面图。

具体实施方式

[0014] 以下,参照附图对本发明的实施方式进行说明。

[0015] (实施方式 1)

[0016] 图 1 是示意地表示本发明的第 1 实施方式的半导体装置(发光二极管)的基本的结构的剖面图。图 1 所示的半导体装置包括基板 10、形成于基板 10 上的基底层 20、形成于基底层 20 上的发光层 30。

[0017] 基板 10 使用蓝宝石基板,蓝宝石基板 10 的上面(元件形成面)成为蓝宝石晶体的(0001)面即 C 面。在蓝宝石基板 10 的上面(C 面)上,作为基底层 20 而形成有 GaN 层。在 GaN 层 20 上,形成有具有多重量子阱结构的发光层 30。

[0018] 图 2 是示意地表示图 1 所示的发光层 30 的详细的结构的剖面图。另外,在图 2 中,为了方便,仅示出了发光层 30 的 1 周期,但是实际上图 2 所示的发光层 30 层叠有 2 周期或 2 周期以上。如图 2 所示,发光层 30 包括势垒层(barrier 层)31、中间层 32、量子阱层 33、

中间层 34 以及势垒层 (barrier 层) 35 的层叠结构。

[0019] 势垒层 31 由 InAlGa_yN (一般地, 表示为 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$)) 形成, 厚度为 12.5nm。具体地, 势垒层 31 由 $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 形成。

[0020] 中间层 32 由 InGa_xN (一般地, 表示为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)) 形成, 厚度为 0.5nm。具体地, 中间层 32 由 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 形成。

[0021] 量子阱层 33 由 InGa_xN (一般地, 表示为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)) 形成, 厚度为 2.5nm。具体地, 量子阱层 33 由 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 形成。

[0022] 中间层 34 由 InGa_xN (一般地, 表示为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x < 1$)) 形成, 厚度为 0.5nm。具体地, 中间层 34 由 $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ 形成。

[0023] 势垒层 35 由 InAlGa_yN (一般地, 表示为 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$)) 形成, 厚度为 11.5nm。具体地, 势垒层 35 由 $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 形成。

[0024] 在本实施方式中, 形成有 5 周期的图 2 的层叠结构。并且, 在最上层, 作为盖层, 形成有厚度 15nm 的 InAlGa_yN (一般地, 表示为 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 < x < 1, 0 < y < 1$))。具体地, 盖层由 $\text{In}_{0.02}\text{Al}_{0.33}\text{Ga}_{0.65}\text{N}$ 形成。

[0025] 另外, 上述的结构, 在蓝宝石基板 10 的实质性的 (0001) 面 (即 C 面) 上, 通过使基底层 20 及发光层 30 外延生长而形成。具体地, 作为外延生长法, 可以使用有机金属汽相生长 (MOCVD) 法和 / 或分子束外延 (MBE) 法等。

[0026] 在上述的本实施方式的半导体装置中, 可以获得发光效率高的高亮度的发光二极管。以下, 关于其理由进行说明。

[0027] 图 3 是表示化合物半导体的晶格常数与带隙 (禁止带宽) 的关系的图。从图 3 可知, 与 GaN 相比, InGa_xN 这一方其晶格常数大, 随着使 InGa_xN 的 In 组成增加而 InGa_xN 的晶格常数增大。因此, 当在 GaN 层上使 In 组成高的 InGa_xN 层生长为量子阱层的情况下, 在面方向 (a 轴方向) 会产生压缩变形, 在生长方向 (c 轴方向) 会产生拉伸变形。在该情况下, 通过设置 In 组成低的 InGa_xN 层或 In 组成低的 InAlGa_yN 层作为势垒层, 可以缓和面方向 (a 轴方向) 的压缩变形。

[0028] 但是, 在使用了 In 组成低的 InGa_xN 层作为势垒层的情况下, 不能大幅地缓和生长方向 (c 轴方向) 的拉伸变形。若 c 轴方向的拉伸变形大, 则因压电极化产生的压电电场会变大。因此, 电子和空穴的再结合概率会下降, 发光效率下降。因 c 轴方向的拉伸变形引起的压电电场, 随 In 组成的增加而增加。进而, 在压电电场大的情况下, 若检查量子效率的注入电流密度依赖性, 则高注入电流密度区域的量子效率的下降显著, 不适合于以高注入电流密度进行使用的发光二极管。因此, 若使量子阱层的 In 组成增加, 则发光效率会下降。另一方面, 从图 3 可知, 为了使发光波长长波长化 (使带隙减小), 需要使量子阱层的 In 组成增加。因此, 在使用了 In 组成低的 InGa_xN 层作为势垒层的情况下, 难以不使发光效率大幅降低而使发光波长长波长化。

[0029] 相对于此, 在使用了 In 组成低的 InAlGa_yN 层作为势垒层的情况下, 能够大幅地缓和生长方向 (c 轴方向) 的拉伸变形。因此, 即使为了使发光波长长波长化而使量子阱层的 In 组成增加, 也能够抑制发光效率的大幅的下降。因此, 通过如本实施方式那样, 使用 InAlGa_yN 层作为势垒层, 可以不使发光效率大幅下降地使发光波长长波长化。此外, 本实施方式由于能够减小压电电场, 所以能够抑制高注入电流密度区域的量子效率的下降, 可以

提供高注入电流密度且高效率的发光二极管。进而,通过使用 InAlGa_N 层作为势垒层,势垒层的带隙能量变大,能够抑制载流子、特别是电子的溢流 (overflow)。因此,最适合于以高注入电流密度进行使用的发光二极管。例如,可以获得具有大于等于 100A/cm² 左右的电流密度的高功率的发光二极管。

[0030] 此外,根据本申请发明人的实验结果,确认了:即使与量子阱层的 In 组成相同,在使用了 InAlGa_N 层作为势垒层的情况下,与使用了 InGa_N 层作为势垒层的情况比较,也能够使发光波长长波长化。从这样的观点也可以看出,本实施方式中,可以不使发光效率大幅下降地使发光波长长波长化。若以相反的观点而言,则在制作相同发光波长的发光二极管的情况下,用本实施方式可以使量子阱层的 In 组成降低。以下,加以说明。原本,若 InGa_N 量子阱层的 In 组成相同,则发光波长不应该变化。尽管如此,之所以通过使用 InAlGa_N 层作为势垒层能够使发光波长长波长化,认为可能是因为以下的理由。从图 3 可知,AlN 与 InN 之间的带隙差及晶格常数差,比 GaN 与 InN 之间的带隙差及晶格常数差大。因此,在使用了 InAlGa_N 层作为势垒层的情况下,容易产生热力学的组成改变。因此,认为可能局部地形成 In 组成高的 InGa_N 层,能够使发光波长长波长化。由于能够使量子阱层的 In 组成降低,所以可抑制热力学的组成改变,成为在热力学上也稳定了的晶体,所以可以提供高可靠性的半导体装置。此外,由于能够使量子阱层的 In 组成降低,所以可以使量子阱层的膜厚变厚,可以使量子阱层每 1 层的电流密度降低。

[0031] 以上,在本实施方式中,通过使用 InAlGa_N 层作为势垒层,可以不使发光效率大幅下降地使发光波长长波长化。其结果,可以获得以往困难的发光效率高的绿色光。

[0032] 此外,在本实施方式中,如图 2 所示,在势垒层 31 与量子阱层 33 之间设置有中间层 32,在势垒层 35 与量子阱层 33 之间设置有中间层 34。这样,通过使中间层介于势垒层与量子阱层之间,能够抑制势垒层与量子阱层之间的晶格不匹配。其结果,能够抑制相分离和 / 或缺陷的发生,使发光层的发光效率提高。以下,关于该点进行说明。

[0033] 如图 3 所示,AlN 与 InN 的晶格常数差大。此外,InAlGa_N 势垒层的 Al 组成在某种程度上高,InGa_N 量子阱层的 In 组成在某种程度上高。因此,若没有中间层地层叠 InAlGa_N 势垒层和 InGa_N 量子阱层,则容易产生势垒层的 AlN 与量子阱层的 InN 直接接触的状况。其结果,会发生急剧的晶格不匹配,在势垒层与量子阱层的界面附近容易发生相分离和 / 或结晶缺陷。在本实施方式中,在势垒层与量子阱层之间,在对带结构不会产生影响程度上使 In 组成低的 InGa_N 中间层介于其间。即,在 InGa_N 中间层中,与 In 组成相比,Ga 组成这一方格外地高,GaN 为支配性的。如从图 3 可知,GaN 具有 AlN 的晶格常数与 InN 的晶格常数的中间的晶格常数。因此,通过使 InGa_N 中间层介于 InAlGa_N 势垒层与 InGa_N 量子阱层之间,能够抑制势垒层与量子阱层之间的急剧的晶格不匹配。其结果,能够抑制相分离和 / 或缺陷的发生,可以使发光效率提高。

[0034] 图 4 是表示本实施方式的半导体装置 (发光二极管) 的测定结果的图。具体地,是表示由显微光致发光 (PL) 得到的测定结果的图。如图 4 所示,得到了中心波长为 495nm 的发光强度非常强的绿色的发光光谱。

[0035] 图 5 是表示本实施方式的第一比较例的半导体装置 (发光二极管) 的测定结果的图。在第一比较例中,由 InGa_N 形成势垒层,并且为了使发光波长长波长化,使量子阱层的 In 组成增高为 0.35。与本实施方式比较,在比较例中,发光强度大幅地下降。在比较例

中,认为由于为了实现长波长化而使量子阱层的 In 组成增高,所以由于已经描述的理由发光效率大幅地下降。

[0036] 图 6 是表示本实施方式的第 2 比较例的半导体装置(发光二极管)的测定结果的图。在第 2 比较例中,不设置中间层而层叠了势垒层和量子阱层。与本实施方式比较,在比较例中,发光强度大幅地下降。在比较例中,认为由于不存在中间层而直接层叠势垒层和量子阱层,所以由于已经描述的理由发光效率大幅地下降。

[0037] 另外,一般地,势垒层的 Al 组成优选处于 0.2 ~ 0.4 的范围,势垒层的 In 组成优选处于 0.01 ~ 0.05 的范围。势垒层的膜厚优选处于 4 ~ 20nm 的范围。此外,中间层,优选具有与势垒层相同或比势垒层高的 In 组成。特别地,中间层的 In 组成优选处于与势垒层的 In 组成同等的 0.01 ~ 0.05 的范围。通过这样,能够有效地抑制急剧的晶格不匹配,抑制相分离和/或缺陷的发生。此外,量子阱层的 In 组成优选处于 0.1 ~ 0.3 的范围。这是因为,若量子阱层的 In 组成高于 0.3,则压电电场的影响会变得显著,有可能发光效率大幅地下降。优选将量子阱层的 In 组成设为小于等于 0.3,通过调整势垒层的 Al 组成来控制发光波长。此外,中间层的厚度优选处于 0.5 ~ 1.5nm 的范围。

[0038] (实施方式 2)

[0039] 接着,关于本发明的第 2 实施方式进行说明。而且,基本的结构与第 1 实施方式相同,关于在第 1 实施方式中已说明了的事项省略说明。

[0040] 图 7 是示意地表示本实施方式的半导体装置(发光二极管)的结构的剖面图。

[0041] 基板 10 使用蓝宝石基板,蓝宝石基板 10 的上面(元件形成面)成为蓝宝石晶体的(0001)面即 C 面。在蓝宝石基板 10 的上面(C 面),层叠有 n 型 GaN 接触层 21、n 型 GaN 引导层 22、具有多重量子阱结构的发光层 30、p 型 AlGaIn 溢流防止层 41、p 型 GaN 层 42 及 p 型 GaN 接触层 43。此外,在 n 型 GaN 接触层 21 的露出面上,形成有包含 Ti/Pt/Au 的 n 侧电极 50。进而,在 p 型 GaN 接触层 43 的表面,形成有包含 Ni/Au 的 p 侧电极 60。发光层 30 的结构与在第 1 实施方式中所说明的结构相同。

[0042] 溢流防止层,特别地,例如在具有大于等于 $100\text{A}/\text{cm}^2$ 左右的电流密度的高功率的发光二极管中有效。作为溢流防止层,除了上述的例子之外,例如举出具有 $\text{p-In}_u\text{Al}_v\text{Ga}_{1-u-v}\text{N}$ ($0 \leq u < 1, 0 < v < 1$) 的组成的层。此时,期望溢流防止层为了其目的而具有比势垒层高的 Al 组成。

[0043] 在本实施方式中,由于发光层 30 的结构也与在第 1 实施方式中说明的结构相同,所以能够获得与在第 1 实施方式中所说明的效果同样的效果。

[0044] 以下,关于本实施方式的半导体装置(发光二极管)的制造方法进行说明。

[0045] 本半导体装置的各层,通过有机金属汽相生长(MOCVD)法形成。原料能够使用三甲基镓(TMG)、三甲基铝(TMA)、三甲基镉(TMI)、二茂镁(Cp_2Mg)。作为气体原料,能够使用氨(NH_3)、硅烷(SiH_4)。作为气体载体,能够使用氢气及氮气。

[0046] 首先,将通过有机清洗及酸清洗进行了处理的蓝宝石基板导入至 MOCVD 装置的反应室内,设置于通过高频进行加热的基座上。接着,在常压的氮气/氢气氛围下,以约 12 分钟升温至温度 1100°C 。在升温过程中,对基板表面实施汽相蚀刻,除去基板表面的自然氧化膜。

[0047] 接着,使用氮气/氢气作为载体气体,以氨气 6L/分钟、TMG 50cc/分钟、 SiH_4 10cc/

分钟的流量供给 60 分钟,形成 n 型 GaN 接触层 21。接着,使温度下降到 1060℃,并且使 SiH₄ 下降到 3cc/ 分钟,在约 3 分钟期间形成 n 型 GaN 引导层 22。

[0048] 接着,停止 TMG 及 SiH₄ 的供给,使基板温度下降到 800℃。将载体气体变换为仅氮气,以氮气 12L/ 分钟、TMG 3cc/ 分钟的流量进行供给。其中,在以 TMI 5cc/ 分钟、SiH₄1cc/ 分钟的流量供给 2 分钟期间之后,进而以 16cc/ 分钟的流量增加 TMA,供给 12 分钟。此后,停止 TMA 的供给,以 TMG 及 SiH₄ 的供给原样进行 2 分钟的生长。此后,使 TMI 的供给量增加为 80cc/ 分钟,进行 40 秒的生长。反复进行 5 次这一系列的处理,最后通过以 TMG 3cc/ 分钟、TMI 5cc/ 分钟的流量供给约 14 分钟,形成具有多重量子阱结构的发光层 30。另外,除了在同一结构中重复 5 次之外,还可以使 TMG、TMA 或 TMI 的流量变化,在势垒层 31 和 / 或中间层 32 中使 Al 组成和 / 或 In 组成倾斜。此外,多重量子阱结构的周期也不限定于 5 次,而可以在 2 ~ 10 的范围内进行选择。

[0049] 接着,停止 TMG 及 TMI 的供给,以氮气和氢气原样升温到 1030℃。在使温度保持为 1030℃的状态下,在氮气 / 氢气氛围下将氢气变换为 4L/ 分钟的流量。其中,以 TMG 25cc/ 分钟、TMI 约 30cc/ 分钟、Cp₂Mg 6cc/ 分钟的流量供给约 1 分钟,形成 p 型 AlGaIn 溢流防止层 41。另外,虽然 p 型 AlGaIn 的 Al 组成只要是大于等于 0.2 即可,但是期望其比 InAlGaIn 势垒层 31 的 Al 组成高。由此,能够显著地抑制电子的溢流,特别适合于以高电流密度进行使用的半导体装置。

[0050] 接着,通过从上述的状态仅停止 TMA 的供给,使 Cp₂Mg 变换为 8cc/ 分钟的流量并供给 6 分钟,而形成 p 型 GaN 层 42。

[0051] 接着,从上述的状态以 50cc/ 分钟的流量供给 Cp₂Mg 约 3 分钟,形成 p 型 GaN 接触层 43。接着,停止有机金属原料的供给,仅继续供给载体气体,使基板温度自然降温。但是,氮气的供给在基板温度达到 500℃时停止。

[0052] 接着,通过干法蚀刻将上述那样获得的多层结构的一部分除去直至达到 n 型 GaN 接触层 21 为止,在露出的接触层 21 形成包含 Ti/Pt/Au 的 n 侧电极 50。此外,在 p 型 GaN 接触层 43 上,形成包含 Ni/Au 的 p 侧电极 60。

[0053] 接着,在对于安装有上述那样获得的结构的半导体装置(发光二极管),测定 I-V 特性时,获得了良好的特性。该发光二极管的工作电压在 20mA 时为 3.5 ~ 4V,光输出为 10mW。此外,在进行波长测定时,获得了波长中心为 500nm 的峰值。

[0054] 另外,在上述的第 1 及第 2 实施方式中,虽然使用了蓝宝石基板作为基板,但是也可以使用 GaN 基板、SiC 基板、ZnO 基板等。此外,元件形成面不限于 C 面,而也可以在非极性面上形成各层。此外,也可以应用在晶片的背面侧设置有电极的结构。进而,不仅是发光效率高的绿色发光二极管,也可以获得发光效率高的蓝色发光二极管。

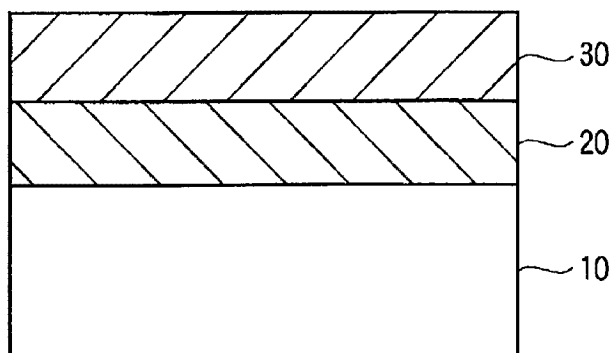


图 1

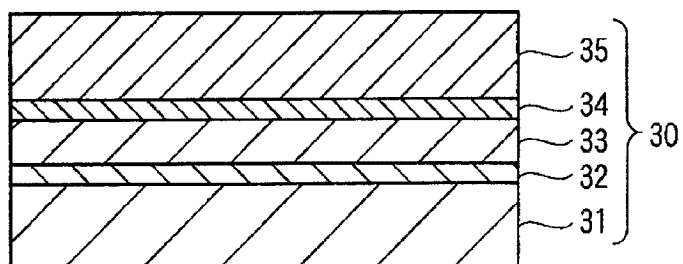


图 2

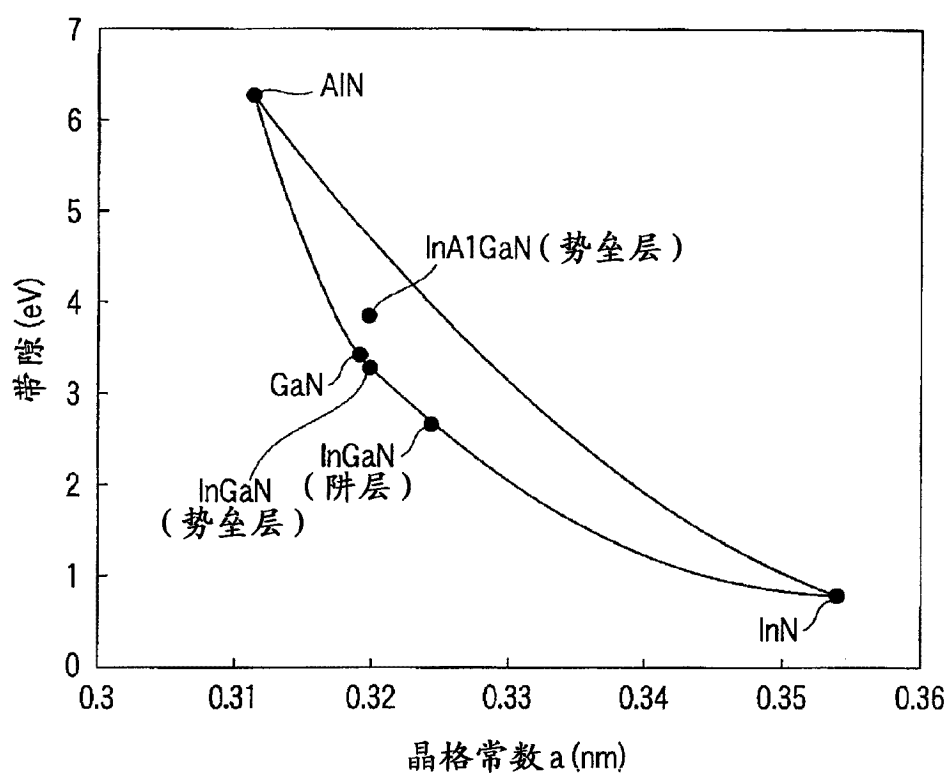


图 3

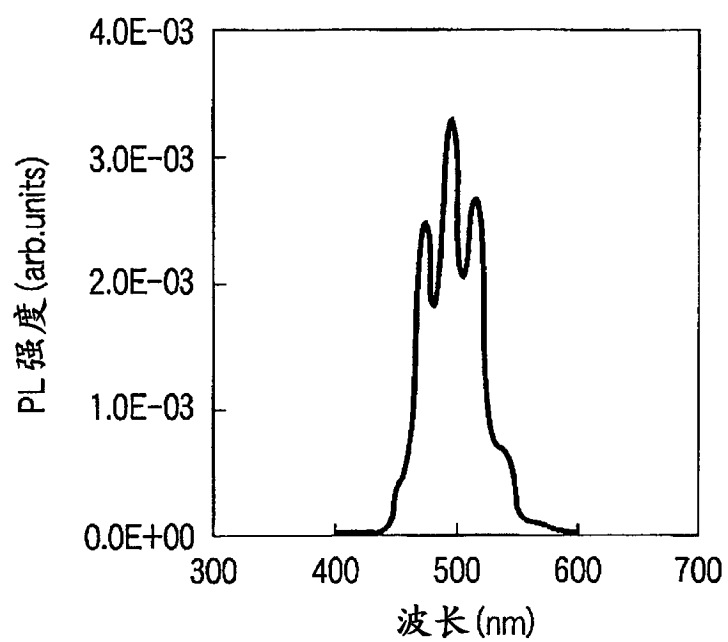


图 4

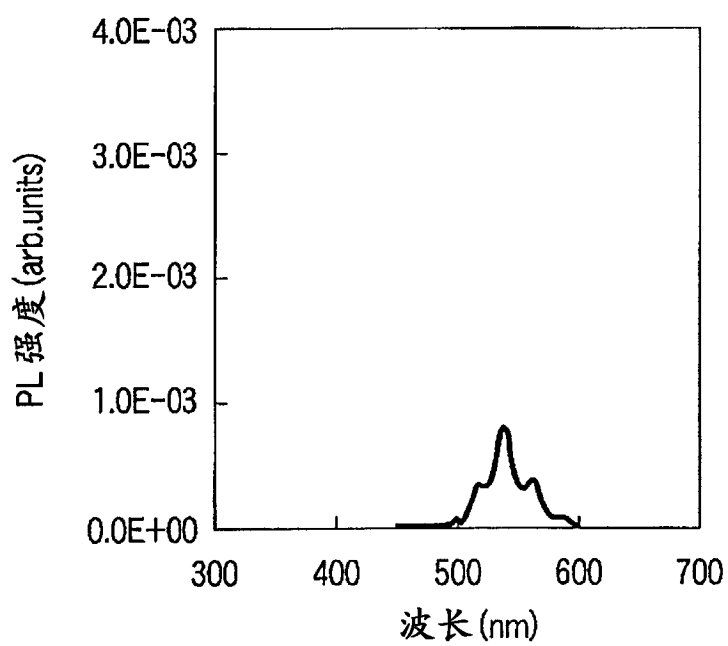


图 5

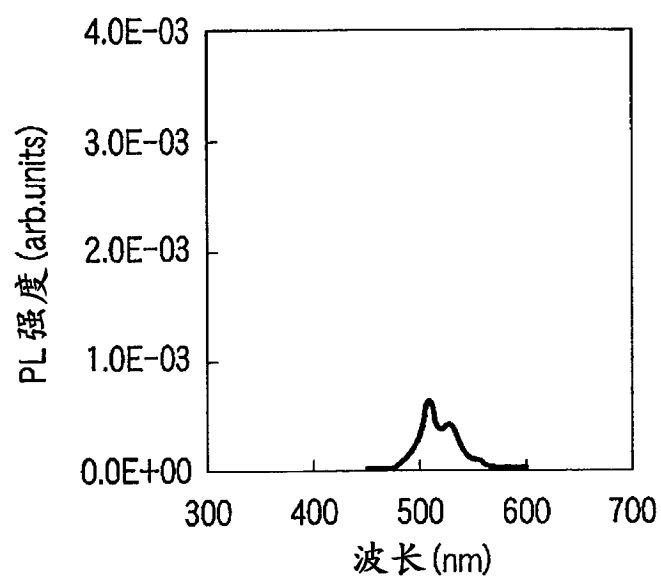


图 6

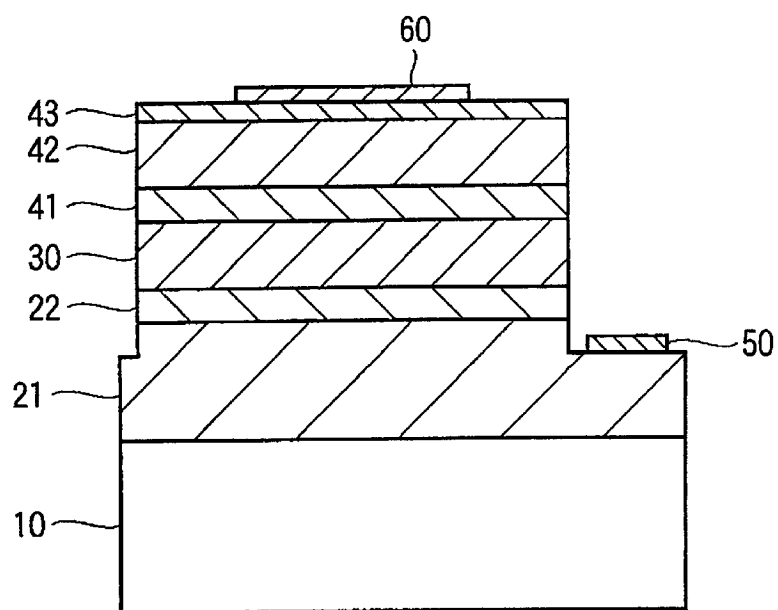


图 7