



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103117342 B

(45) 授权公告日 2016. 04. 27

(21) 申请号 201110364855. 9

(22) 申请日 2011. 11. 17

(73) 专利权人 广东量晶光电科技有限公司
地址 528251 广东省佛山市南海区平洲永安
北路 1 号金谷光电社区

(72) 发明人 方方

(74) 专利代理机构 北京瑞恒信达知识产权代理
事务所 (普通合伙) 11382
代理人 苗青盛 王凤华

(51) Int. Cl.
H01L 33/06(2010. 01)

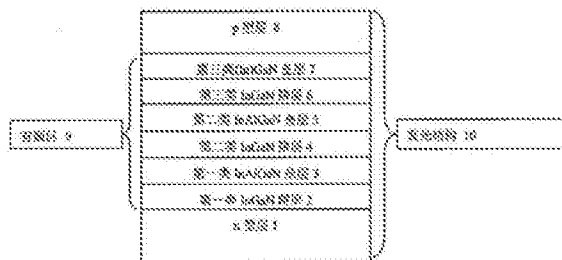
(56) 对比文件
JP 特开 2007-88270 A, 2007. 04. 05,
US 2005/0230693 A1, 2005. 10. 20,
CN 101488548 A, 2009. 07. 22,

审查员 韩增智

权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称
一种 LED 发光结构

(57) 摘要
本发明提供了一种 LED 发光结构,包括 :用于注入空穴的 p 型掺杂区域 ;位于底部、用于注入电子的 n 型掺杂区域 ;位于所述 n 型掺杂区域上的发光有源区,其特征在于,所述发光有源区包括 :至少一个第一类量子阱的 InGaIn 阱层和 InAlGaIn 垒层,至少一个第二类量子阱的 InGaIn 阱层和 InAlGaIn 垒层,和至少一个第三类量子阱的 InGaIn 阱层和垒层。



1. 一种 LED 发光结构,包括:
 - 用于提供空穴的 p 型掺杂区域;
 - 位于底部、用于提供电子的 n 型掺杂区域;
 - 位于所述 n 型掺杂区域和 p 型掺杂区域之间的发光有源区,其特征在于,所述发光有源区包括:
 - 至少一个第一类量子阱的 InGaN 阱层和 InAlGaN 垒层,
 - 至少一个第二类量子阱的 InGaN 阱层和 InAlGaN 垒层,和
 - 至少一个第三类量子阱的 InGaN 阱层和 In_mGaN 垒层, m 为 0 或者 1,
- 其中,第一类量子阱的 InGaN 阱层的铟的选择为使得第一类量子阱的 InGaN 阱层发射 UV 或者紫色光;第二类量子阱的 InGaN 阱层和 InAlGaN 垒层设置在第一类量子阱上,第二类量子阱的 InGaN 阱层的铟的选择为使得在蓝色光谱范围中进行发射;第三类量子阱的 InGaN 阱层和 In_mGaN 垒层设置在第二类量子阱上, m 为 0 或者 1;第三类量子阱的 InGaN 阱层的铟选择为使得在绿色光谱范围中进行发射。
2. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,所述发光有源区包括多个第一类量子阱的 InGaN 阱层,所述多个第一类量子阱的 InGaN 阱层彼此通过第一类的 InAlGaN 垒层分离。
3. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,所述发光有源区包括多个第二类量子阱的 InGaN 阱层,所述多个第二类量子阱的 InGaN 阱层彼此通过第二类的 InAlGaN 垒层分离;第二类量子阱的 InGaN 阱层具有比第一类量子阱的 InGaN 阱层更高的铟含量。
4. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,所述发光有源区包括多个第三类量子阱的 InGaN 阱层,所述多个第三类量子阱的 InGaN 阱层彼此通过第三类的 In_mGaN 垒层分离, m 为 0 或者 1;第三类量子阱的 InGaN 阱层含有比第二类量子阱的 InGaN 阱层更高的铟含量。
5. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,全部第二类量子阱的垒层位于第二类量子阱的阱层的一侧上;全部的第三类量子阱的垒层位于第三类量子阱的阱层的一侧上;第三类量子阱的最后垒层的上侧存在 p 型掺杂层。
6. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第一类量子阱的 InGaN 阱层的铟含量调节为使得发射在 340nm 到 410nm 之间波长范围中的辐射;第一类量子阱的 InGaN 阱层中铟含量在 0%到 10%之间调整。
7. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第一类量子阱的 InAlGaN 垒层包含 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, x、y 调整到使第一类量子阱的 InAlGaN 垒层与第一类量子阱的 InGaN 阱层晶格常数相匹配,其中 $0 \leq x < 0.10$, $0 \leq y < 0.10$ 。
8. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第一类、第二类或者第三类阱层的厚度为 2nm 到 7nm。
9. 根据权利要求 8 所述的发光结构,其中,第一类、第二类或者第三类阱层的厚度为 2nm 到 4nm。
10. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第一类、第二类或者第三类垒层的厚度为 3nm 到 15nm。
11. 根据权利要求 10 所述的发光结构,其中,第一类、第二类或者第三类垒层的厚度为 6nm 到 12nm。
12. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第二类量子阱的 InGaN 阱层的铟含量调整

为使得其发射在 410nm 到 490nm 之间的波长范围中的辐射。

13. 根据权利要求 12 所述的发光结构,其中,第二类量子阱的 InAlGa_N 阱层的镉含量在 10%到 20%之间。

14. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第二类量子阱的 InAlGa_N 垒层包含 In_xAl_yGa_{1-x-y}N, x、y 调整到使第二类量子阱的 InAlGa_N 垒层与第二类量子阱的 InGa_N 阱层晶格常数相匹配,其中 $0.10 \leq x < 0.20$, $0.10 \leq y < 0.20$ 。

15. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第三类量子阱的 InGa_N 阱层的镉含量调整为使得其发射在 490nm 到 580nm 之间的波长范围中的辐射;第三类量子阱的 InGa_N 阱层的镉含量在 20%到 30%之间。

16. 根据权利要求 15 所述的发光结构,其中,第三类量子阱的 InGa_N 阱层包含 In_xGa_{1-x}N,其中 $0.20 \leq x < 0.30$ 。

17. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第三类量子阱 InGa_N 垒层的镉含量不超过 15%,第三类垒层的镉含量小于第三类阱层,第三类垒层与第三类阱层中的镉含量之间的差应大于 50%。

18. 根据权利要求 17 所述的发光结构,其中,第三类垒层与第三类阱层中的镉含量之间的差大于 70%。

19. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第一类量子阱的 InGa_N 阱层的数目在 1 到 30 之间,第二类量子阱的 InGa_N 阱层的数目在 1 到 10 之间,第三类量子阱的 InGa_N 阱层的数目在 1 到 5 之间。

20. 根据权利要求 1 所述的发光结构,其中,第一类垒层用硅以不大于 $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 到 $4.0 \times 10^{19} \text{cm}^{-2}$ 之间的浓度掺杂,第二类垒层用硅以不大于 $9.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ 的浓度掺杂,第三类垒层用硅以不大于 $5.0 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ 之间的浓度掺杂。

一种 LED 发光结构

技术领域

[0001] 本发明涉及一种发光结构,其包括铟-铝-镓-氮化物量子阱的 LED 发光结构。

背景技术

[0002] 目前,含有铟-镓-氮化物量子阱的 InGaN 阱层的 LED 越来越受到业界的关注,但是该类型 LED 的 InGaN 基在获取高发光效率、长波长(绿光)和高铟组分等方面还没有完善的解决方案。在传统的发光结构中,通常都存在巨大的内应力问题。

[0003] InGaN 和 GaN 的晶格失配是高铟组分 InGaN 量子阱难长的原因。含有高铟组分的 InGaN 阱层与 GaN 垒层会产生大的内应力,从而在量子阱中产生位错。众所周知,位错是在发光结构中产生非辐射复合的主要原因。另外,较高的内应力也会导致铟很难掺杂到 InGaN 阱层中。因此,应力控制为生长长波长的 LED 结构的一个考虑因素。

[0004] 在申请号为 200910046837.9 的中国发明专利提供的技术方案中,同样存在着上述因素,并且,由于该申请使用三元的 InGaN/GaN 的量子阱结构,其第一类和第二类量子阱的 InGaN 阱层与 (In)GaN 垒层的晶格不匹配;另外,第一类和第二类量子阱的 InGaN 阱层与 (In)GaN 垒层产生的电子空穴二维限制较弱,载流子在量子阱中的复合效率较低。

发明内容

[0005] 为克服现有技术中的上述缺陷,本发明提出了一种 LED 发光结构。

[0006] 根据本申请的一个方面,提供一种 LED 发光结构,包括:用于注入空穴的 p 型掺杂区域,其位于顶部发光有源区的顶部,用于注入电子的 n 型掺杂区域,其位于发光有源区的底部。所述发光有源区包括:至少一个第一类量子阱的 InGaN 阱层和 InAlGaIn 垒层,至少一个第二类量子阱的 InGaN 阱层和 InAlGaIn 垒层,和至少一个第三类量子阱的 InGaN 阱层和 (In)GaN 垒层。

[0007] 本申请的发光结构通过三层量子阱,能够有效的降低内应力,并增大第一类和第二类量子阱的垒层能带的宽度,从而提高电子与空穴在二维电子度中的复合效率,提高第一类量子阱和第二类量子阱的阱层和垒层的晶格匹配率,减少位错的产生,从而提高器件的效率。

[0008] 此外,如图 5 所示,本申请所使用的四元 AlInGaIn 材料的带宽和晶格常数可以调整到与第一类和第二类量子阱的 InGaN 阱层匹配的程度,其能带的宽度比 InGaN 或 GaN 大很多,从而进一步提高电子与空穴在量子阱中的复合效率。四元 AlInGaIn 材料在的铝和铟成分的调节,可以通过 TMAI 和 TMGa 在 MOCVD 中流量来控制。

附图说明

[0009] 图 1 示出根据本申请的一种发光结构的横截面示意图;

[0010] 图 2 示出与波长相关的发光结构发射的理论图谱;

[0011] 图 3 示例性示出根据图 1 制作的发光二极管器件的横截面电镜图;

[0012] 图 4 示出根据图 3 的发光二极管的辐射光谱；

[0013] 图 5 示出三五族材料的晶格与能带图。

[0014] 如图所示,为了能明确实现本发明的实施例的结构,在图中标注了特定的结构和器件,但这仅为示意说明需要,并非意图将本发明限定在该特定结构、器件和环境中,根据具体需要和应用,本领域的普通技术人员可以将这些器件和环境进行调整或者修改,所进行的调整或者修改仍然包括在后附的权利要求的范围中。

具体实施方式

[0015] 下面结合附图和具体实施例对本发明提供一种 LED 发光结构进行详细描述。

[0016] 在以下的描述中,将描述本发明的多个不同的方面,然而,对于本领域内的普通技术人员而言,可以仅仅利用本发明的一些或者全部结构或者流程来实施本发明。为了解释的明确性而言,阐述了特定的数目、配置和顺序,但是很明显,在没有这些特定细节的情况下也可以实施本发明。在其他情况下,为了不混淆本发明,对于一些众所周知的特征将不再进行详细阐述。

[0017] 总的来说,本申请提供一种生长长波长的 LED 发光结构,这种发光结构采用三种含不同组分镉和 / 或铝的量子阱的形式。根据应用需要,可以设计出发射三种颜色、两种颜色或一种颜色的光。发射光的种类和数量可以通过在量子阱的阱层和垒层中掺杂如硅和镁来实现。

[0018] 图 1 示出了发光结构 10,该结构包括 p 型掺杂区域和 n 型掺杂区域,p 型掺杂区域用于向有源区 9 注入空穴,n 型掺杂区域用于向有源区注入电子。发光结构 10 具有相叠的层结构。

[0019] 在 n 型掺杂区域 1 上布置发光有源区 9,在所述区域之间设置至少一个第一类量子阱的 InGa_N 阱层 2 和 InAlGa_N 垒层 3、至少一个第二类量子阱的 InGa_N 阱层 4 和 InAlGa_N 垒层 5、以及至少一个第三类量子阱的 InGa_N 阱层 6 和 (In)Ga_N 垒层 7。

[0020] 优选地,在 n 型掺杂区域 1 上设置多个第一类量子阱的 InGa_N 阱层。第一类量子阱的 InGa_N 阱层彼此通过第一类的 InAlGa_N 垒层分离。

[0021] 第二类量子阱位于第一类量子阱的上部,第二类量子阱的 InGa_N 阱层彼此通过第二类的 InAlGa_N 垒层分离。第二类量子阱的 InGa_N 阱层具有比第一类量子阱的 InGa_N 阱层更高的镉含量。

[0022] 第三类量子阱位于第二类量子阱的上部,第三类量子阱的 InGa_N 阱层彼此通过第三类的 (In)Ga_N 垒层分离,这些垒层至少可以包含 Ga_N 并且必要时可以附加地包含镉。第三类量子阱的 InGa_N 阱层含有比第二类量子阱的 InGa_N 阱层更高的镉含量。

[0023] 第一类量子阱的阱层 2 包含 InGa_N,第一类量子阱的垒层 3 包含 InAlGa_N,其中第二类量子阱的 InGa_N 阱层 4 的镉选择使其在 UV 或者紫色光的范围中发射。第二类量子阱的 InGa_N 阱层 4 和 InAlGa_N 垒层 5 设置在第一类量子阱上,该量子阱的 InGa_N 阱层同样包含镉-镓-氮化物,其中第二类量子阱的 InGa_N 阱层 4 的镉选择为使其在蓝色光谱范围中发射。第二类量子阱的 InGa_N 阱层 4 彼此通过第二类 InAlGa_N 垒层 5 分离。优选地,全部的第二类量子阱的 InAlGa_N 垒层 5 位于第二类量子阱的阱层 InGa_N 4 的一侧上。

[0024] 第三类量子阱的 InGa_N 阱层 6 和 (In)Ga_N 垒层 7 设置在第二类量子阱上,该量子

阱的 InGaN 阱层同样包含镉 - 镓 - 氮化物, 其中第三类量子阱的 InGaN 阱层 6 的镉选择为使得在绿色光谱范围中发射。第三类量子阱的 InGaN 阱层 6 通过第三类 (In)GaN 垒层 7 彼此分离。优选地, 全部的第三类量子阱的 (In)GaN 垒层 7 位于第三类量子阱的 InGaN 阱层 6 的一侧上。

[0025] 在最后的第三类量子阱的 (In)GaN 垒层 7 的上侧存在 p 型掺杂区 8, 其用于将空穴注入有源区 9 中。进一步, 至少一个第一类量子阱的 InGaN 阱层与 n 型掺杂区域邻接, 至少一个第三量子阱的 (In)GaN 垒层与 p 型掺杂区域邻接地设置。也就是说, 第一类量子阱的 InGaN 阱层设置在有源区的 n 侧上, 而第三类量子阱的 (In)GaN 垒层与 p 型掺杂区域邻接设置。通过三层量子阱结构, 能够有效的降低内应力, 提高第一与第二垒层的能级带宽, 可以改进发光器件的效率。

[0026] 第一类 InGaN 阱层 2 具有在 2nm 到 7nm 之间范围中的厚度, 尤其是在 2nm 到 4nm 之间范围中的厚度。同样的适用于第二类 InGaN 阱层 4, 其具有在 2nm 到 7nm 之间范围中的厚度, 尤其是在 2nm 到 4nm 之间的范围中的厚度。同样的适用于第三类 InGaN 阱层 6, 其具有在 2nm 到 7nm 之间范围中的厚度, 尤其是在 2nm 到 4nm 之间范围中的厚度。

[0027] 第一类 InAlGaN 垒层 3, 其具有在 3nm 到 15nm 之间范围中的厚度, 尤其是在 6nm 到 12nm 之间范围中的厚度。同样的适用于第二类 InAlGaN 垒层 5, 其具有在 3nm 到 15nm 之间范围中的厚度, 尤其是在 6nm 到 12nm 之间范围中的厚度。同样的适用于第三类 (In)GaN 垒层 7, 其具有在 3nm 到 15nm 之间范围中的厚度, 尤其是在 6nm 到 12nm 之间范围中的厚度。

[0028] 在发光结构的一个实施形式中, 构建量子阱的 InGaN 量子阱, 使得第一类量子阱的 InGaN 阱层发射 UV 或者紫色光范围中的光, 第二类量子阱的 InGaN 阱层发射蓝色范围中的光, 并且第三类量子阱的 InGaN 阱层发射绿色范围中的光。

[0029] 在发光结构的另一个实施形式中, 第一类量子阱的 InGaN 阱层的镉含量调节为使得其发射在 340nm 到 410nm 之间波长范围中的辐射。第一类量子阱的 InGaN 阱层中镉含量优选在 0% 到 10% 之间调整。尤其是, 第一类量子阱的 InAlGaN 垒层包含 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, x、y 调整为使第一类 InAlGaN 垒层与第一类量子阱的 InGaN 阱层的晶格常数相匹配。

[0030] 在发光结构的又一个实施形式中, 第二类量子阱的 InGaN 阱层的镉含量调节为使得其发射在 410nm 到 490nm 之间的波长范围中的辐射。第二类量子阱的 InGaN 阱层的镉含量优选在 10% 到 20% 之间。尤其是, 第二类量子阱的 InAlGaN 垒层包含 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, x、y 调整使第二类 InAlGaN 垒层与第二类量子阱的 InGaN 阱层的晶格常数相匹配。

[0031] 在发光结构的一个实施形式中, 第三类量子阱的 InGaN 阱层的镉含量调节为使得其发射在 490nm 到 580nm 之间的波长范围中的辐射。第三类量子阱的 InGaN 阱层的镉含量优选在 20% 到 30% 之间。特别地, 第三类量子阱的 InGaN 阱层包含 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $0.20 \leq x < 0.30$ 。

[0032] 优选地, 第三类 (In)GaN 垒层的镉含量调节为使得其小于 15%。特别地, 第三类垒层包含 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, 其中 $x \leq 0.15$ 。在第三类垒层的镉含量应小于第三类阱层。在第三类垒层与第三类阱层中的镉含量之间的差应大于 50%。特别优选地, 该差应大于 70%。

[0033] 第一类量子阱的 InGaN 阱层的数目在 1 到 30 之间变化, 第二类量子阱的 InGaN 阱层的数目在 1 到 10 之间变化, 第三类量子阱的 InGaN 阱层的数目在 1 到 5 之间变化。

[0034] 此外, 为了适当地调整在长波辐射与短波辐射之间的强度比例, 第一类 InAlGaN

垒层用硅可以以不大于 $1 \times 10^{15} \text{1/cm}^3$ 到 $4.0 \times 10^{19} \text{1/cm}^3$ 之间的浓度掺杂, 第二类 InAlGaN 垒层用硅以不大于 $9.0 \times 10^{17} \text{1/cm}^3$ 的浓度掺杂, 第三类 (In)GaN 垒层用硅以不大于 $5.0 \times 10^{17} \text{1/cm}^3$ 之间的浓度掺杂。

[0035] 适当选择 InGaN 阱层的厚度可以控制发光波段及其强度比例。InGaN 阱层的厚度优选为 2nm 到 7nm 之间, 尤其是在 2nm 到 4nm 之间。在此, 第一类 InAlGaN 垒层的厚度、第二类 InAlGaN 垒层的厚度和第三层 (In)GaN 垒层的厚度可以相同地或者也可以不同地进行选择。

[0036] 用于控制不同发光波段的强度比例的另一参数在于适当地选择垒层的厚度。优选地, 垒层的厚度在 3nm 到 15nm 之间, 尤其是在 6nm 到 12nm 之间。在此, 第一类垒层的厚度、第二类垒层的厚度和第三层垒层的厚度可以相同地或者也可以不同地进行选择。

[0037] 在一个实施例中, 第一类量子阱的阱层和第一类垒层的数目相同, 第二类量子阱的阱层和第二类垒层的数目相同, 第三类量子阱的阱层和第三类垒层的数目相同。

[0038] 可以通过在 InGaN 阱层中掺如硅或镁的方式选择有源区发射的波长。其中第一类 InGaN 阱层可以选择以不大于 $1 \times 10^{20} \text{1/cm}^3$ 的浓度来掺杂硅, 第二类 InGaN 阱层可以选择以不大于 $1 \times 10^{20} \text{1/cm}^3$ 的浓度来掺杂硅, 第三类 InGaN 阱层可以选择以不大于 $1 \times 10^{20} \text{1/cm}^3$ 的浓度来掺杂镁。

[0039] 图 1 所示的整个结构可以是器件的一部分, 尤其是发光二极管 (LED) 的一部分。第一类量子阱的 InGaN 阱层发射的光具有在 340nm 到 410nm 之间的峰值波长 λ_1 , 第二类量子阱的 InGaN 阱层发射的光具有在 410nm 到 490nm 之间的峰值波长 λ_2 , 第三类量子阱的 InGaN 阱层发射的光具有在 490nm 到 580nm 之间的峰值波长 λ_3 。

[0040] 借助根据图 1 的实施形式, 图 2 为理论实现如图 1 所示的辐射光谱。在此, 通过使用不同的量子 InGaN 阱层发射不同的光波长。第一类量子阱在此发射具有峰值波长 λ_1 的光, 与波长相关的强度通过曲线 C1 给出。第二类量子阱发射具有具有峰值波长 λ_2 的光。第二类量子阱发射的光通过曲线 C2 示出。第三类量子阱发射具有具有峰值波长 λ_3 的光。第三类量子阱发射的光通过曲线 C3 示出。在总光谱 C4 中, 得到非常均衡的强度。图 2 中所示辐射光谱可以产生良好的色彩分布, 并且改善人眼所察觉到的色彩印象。

[0041] 图 3 为一个绿光发光二极管横截面电镜图。此发光二极管的发光有源区由三类量子阱构成, 如通过使用 3 层具有不大于 3% 的镉浓度的第一类 InAlGaN 垒层、具有 9% 的镉浓度的第一类量子阱的 InGaN 阱层, 3 层具有不大于 5% 的镉浓度的第二类 InAlGaN 垒层以及具有直到 14% 的镉浓度的第二类量子阱的 InGaN 阱层, 2 层具有不大于 10% 的镉浓度的第三类 InGaN 垒层以及 2 层具有直到 25% 的镉浓度的第三类量子阱的 InGaN 阱层来得到。图 3 中示出, A 部分为 3 个第一类 InGaN 量子阱和 InAlGaN 垒层, B 部分为 3 个第二类 InGaN 量子阱和 InAlGaN 垒层, C 部分为 2 个第三类 InGaN 量子阱和 (In)GaN 垒层。

[0042] (Al, Ga, In)N 材料系统包括 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$, $0 < x < 1$ 并且 $0 < y < 1$ 。在这里, AlGaInN 表示含有 (Al, Ga, In)N 的材料, InGaN 表示零 Al 含量、含有 (Ga, In)N 的材料。(Al, Ga, In)N 的材料可以发从紫外到可见光谱, 再到红外的光谱。

[0043] 在图 4 为以图 1 的结构制作的发光二极管的辐射光谱。图 5 为三五族材料晶格与能带图, 该发明背后的理论可以从图 1 可以理解。GaN 有晶格常数 3.18\AA , 以 InGaN 延伸的虚线上, 可以看到铝镉镓氮 ($\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 < x, y < 1, x+y < 1$) 具有和 InGaN 相同的晶

格常数,但是具有更宽的带宽。

[0044] 最后应说明的是,以上实施例仅用以描述本发明的技术方案而不是对本技术方法进行限制,本发明在应用上可以延伸为其他的修改、变化、应用和实施例,并且因此认为所有这样的修改、变化、应用、实施例都在本发明的精神和教导范围内。

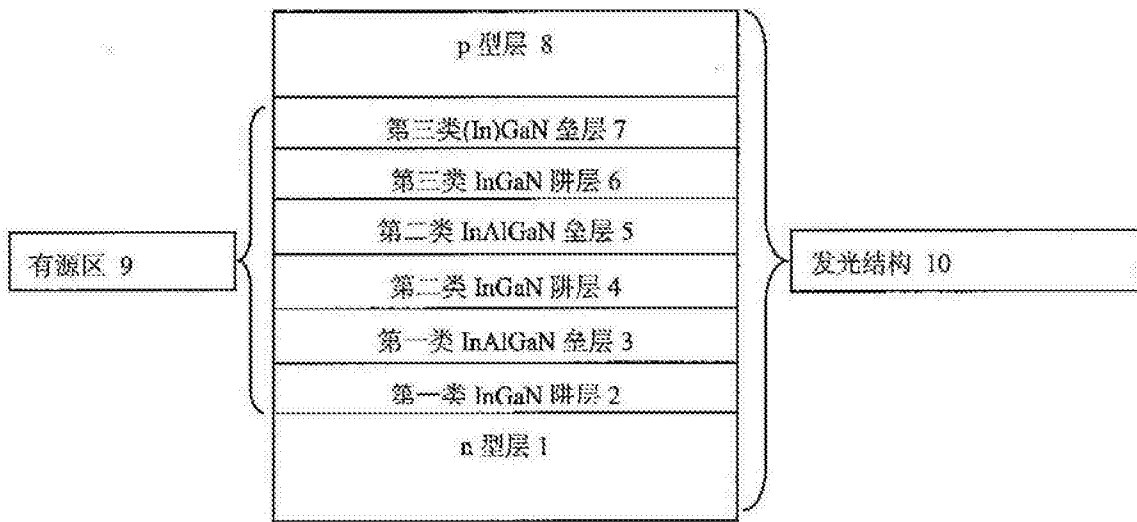


图 1

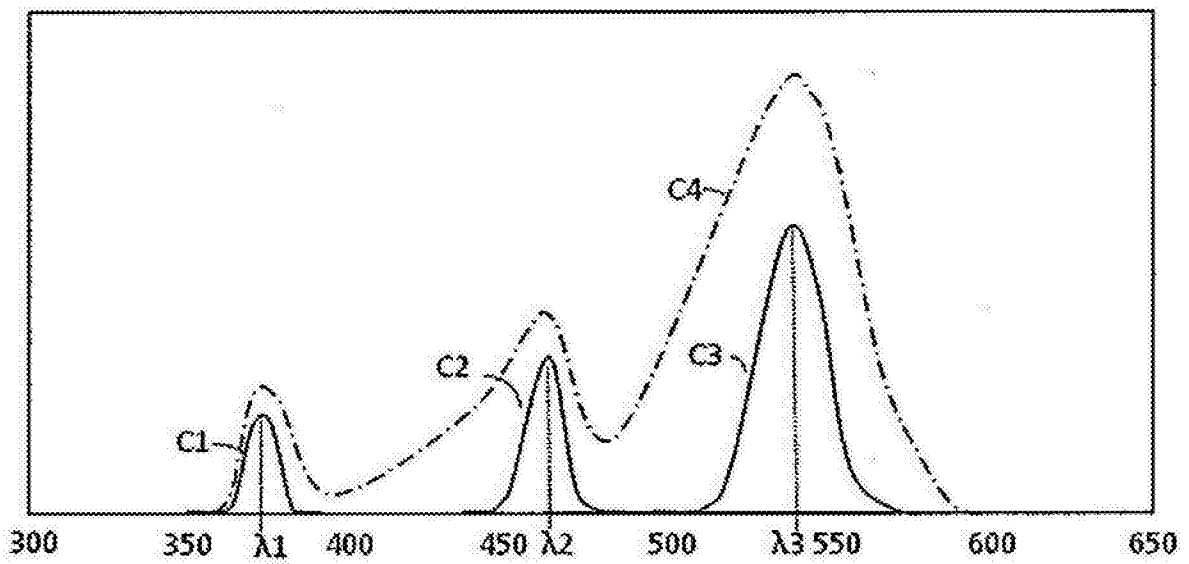


图 2

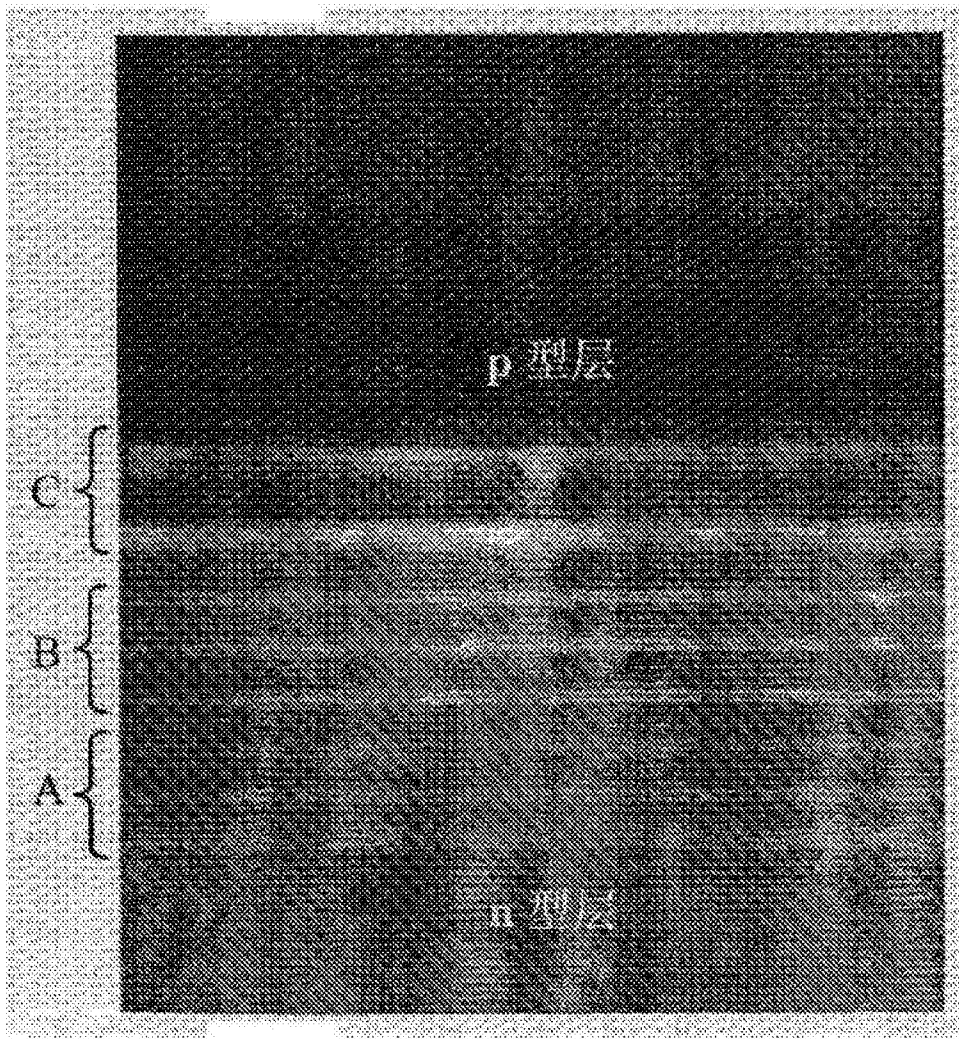


图 3

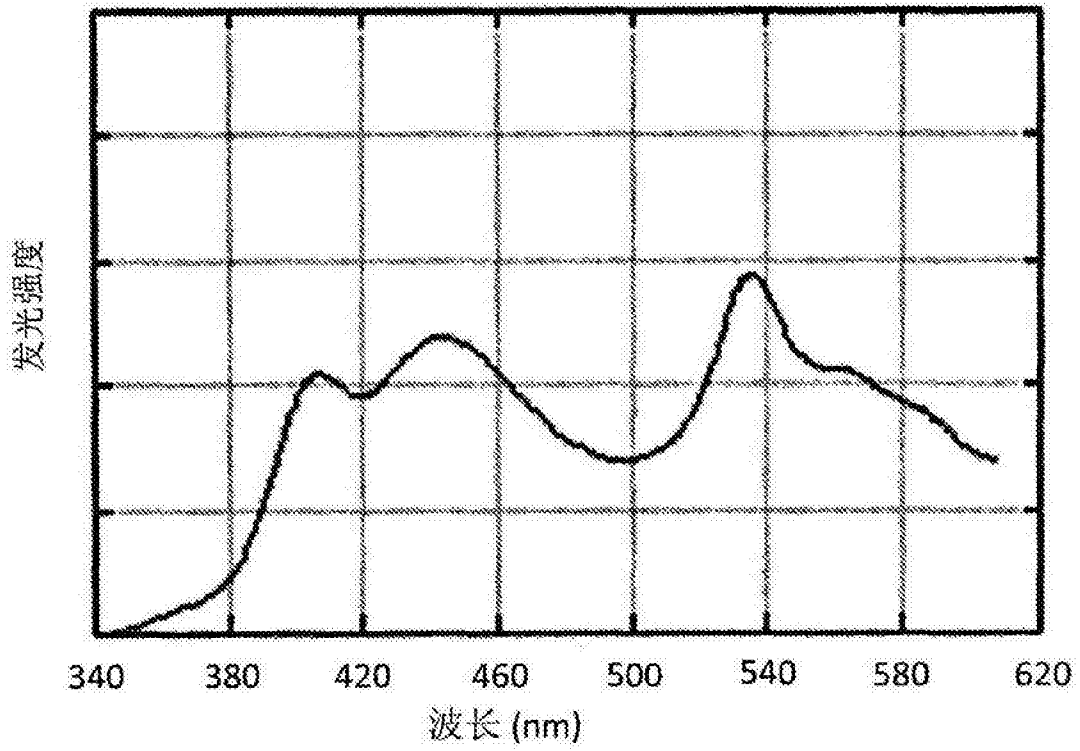


图 4

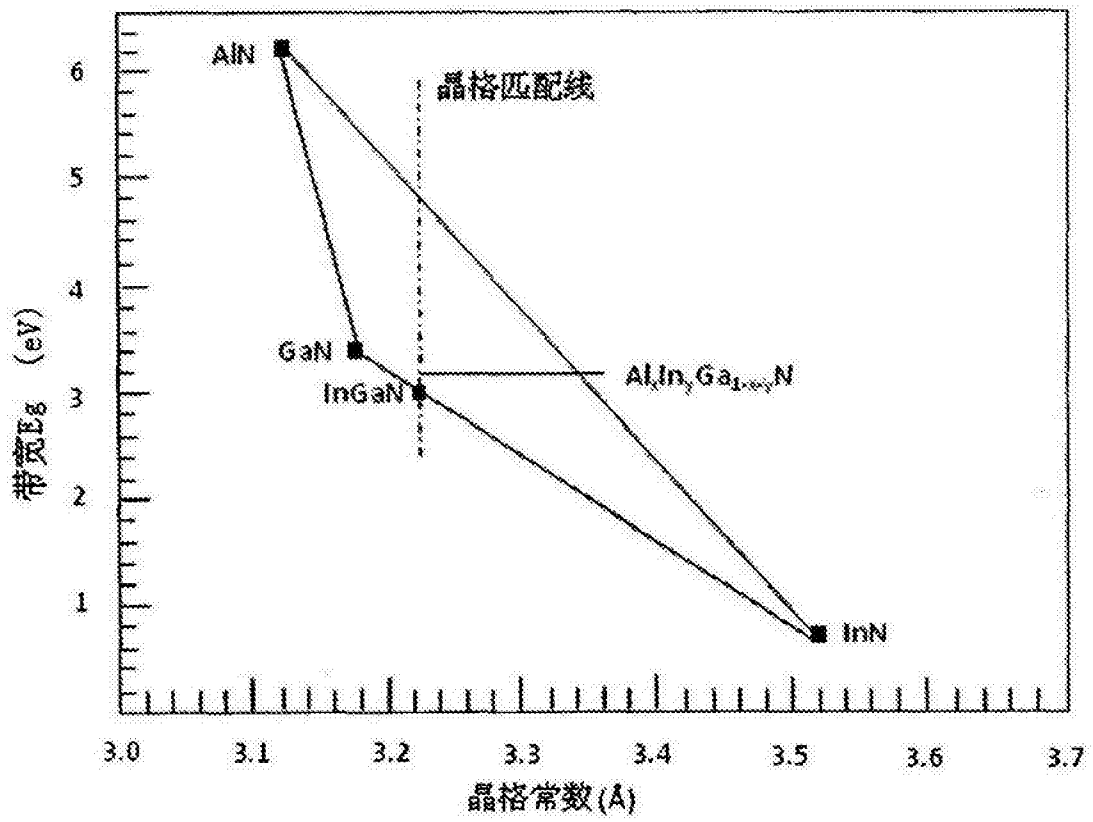


图 5