



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103137808 A

(43) 申请公布日 2013.06.05

(21) 申请号 201310061427.8

(22) 申请日 2013.02.27

(71) 申请人 中国科学院半导体研究所

地址 100083 北京市海淀区清华东路甲 35 号

(72) 发明人 马平 王军喜 王国宏 曾一平 李晋闽

(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 宋焰琴

(51) Int. Cl.

H01L 33/12(2010.01)

H01L 33/00(2010.01)

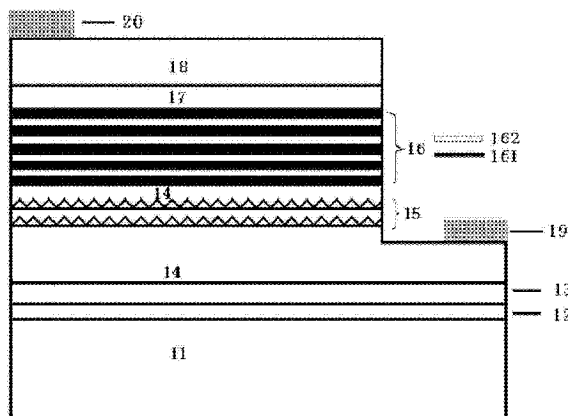
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

具有低温 n 型插入层的氮化镓系发光二极管及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种氮化镓系发光二极管,该发光二极管包括至少一层低温插入层。所述插入层是 Al_xGa_{1-x}N, 其中 0 ≤ x ≤ 1 或者 In_yAl_{1-y}N, 其中 0 ≤ y ≤ 1 或者 Al_aIn_bGa_{1-a-b}N, 其中 0 ≤ a < 1, 0 ≤ b < 1。所述插入层的生长温度是 500-1000℃。该发光二极管可以降低 InGaN/GaN 多量子阱中的应力,增加发光强度并显著改善大电流注入下的效率下降问题。



1. 一种氮化镓系发光二极管,其包括:
 - 衬底;
 - 氮化镓成核层,该氮化镓成核层制作在衬底上;
 - 缓冲层,该缓冲层制作在所述氮化镓成核层上;
 - n型接触层,该n型接触层制作在该缓冲层上,该n型接触层由n型氮化镓构成;
 - n型插入层,该n型插入层制作在n型接触层内部,其上下均为n型接触层;
 - 活性发光层,该活性发光层制作在n型接触层上并覆盖所述n型接触层的部分表面;
 - 负电极,该负电极制作在n型接触层未被所述活性发光层覆盖的表面上,且其位于n型插入层的下方;
 - p型电子阻挡层,该p型电子阻挡层制作在活性发光层上;
 - p型接触层,该p型接触层制作在p型电子阻挡层上,该p型接触层由p型氮化镓构成;
 - 正电极,该正电极制作在p型接触层上。
2. 如权利要求1所述的氮化镓系发光二极管,其特征在于:所述n型插入层为 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{N}$ 和 $\text{Al}_a\text{In}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ 其中之一,其中 $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq a < 1, 0 \leq b < 1$ 。
3. 如权利要求1所述的氮化镓系发光二极管,其特征在于:所述n型插入层的生长温度为 500°C - 1000°C ,其厚度为50-100nm。
4. 如权利要求1所述的氮化镓系发光二极管,其特征在于:所述n型插入层可以为一层或多层结构。
5. 如权利要求1所述的氮化镓系发光二极管,其特征在于:所述活性发光层由镓氮薄层和氮化镓薄层交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。
6. 如权利要求5所述的氮化镓系发光二极管,其特征在于:所述P型电子阻挡层的下表面为所述活性发光层的氮化镓薄层,且其由铝镓氮构成。
7. 如权利要求1所述的氮化镓系发光二极管,其特征在在于,衬底6H-SiC、4H-SiC或晶格常数接近于氮化物半导体的单晶氧化物所制成。
8. 如权利要求1所述的氮化镓系发光二极管,其特征在在于,所述n型插入层为低温插入层。
9. 一种氮化镓系发光二极管的制作方法,其包括:
 - 步骤1、在衬底上制作氮化镓成核层;
 - 步骤2、在所述氮化镓成核层上制作缓冲层;
 - 步骤3、在缓冲层上制作n型接触层;
 - 步骤4、在n型接触层内部制作n型插入层,;
 - 步骤5、在n型接触层14上制作活性发光层并覆盖所述n型接触层的部分表面;
 - 步骤6、在活性发光层上制作铝镓氮p型电子阻挡层;
 - 步骤7、在p型电子阻挡层上制作氮化镓p型接触层;
 - 步骤8、在n型接触层未被所述活性发光层覆盖的表面上制作负电极,且所述负电极位于所述n型插入层的下方;
 - 步骤9、在p型接触层上制作正电极,完成氮化镓系发光二极管的制作。
10. 如权利要求9所述的方法,其特征在于,所述n型插入层为一层或多层,且每层

之间由 n 型接触层隔开 ; 所述 n 型插入层的生长温度为 500℃ -1000℃ 800, 其厚度为 50-10080nm。

具有低温 n 型插入层的氮化镓系发光二极管及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体领域,特别是涉及一种具有低温 n 型插入层的氮化镓系发光二极管及其制备方法。

背景技术

[0002] 目前 III-V 族半导体光电材料被誉为第三代半导体材料。而 GaN 系发光二极管,由于可以通过控制材料的组成来制作出各种色光(尤其是需要高能隙的蓝光或紫光)的发光二极管(简称为“LED”),而成为业界研究的重点。

[0003] 以 GaN 为基础的半导体材料或器件的外延生长目前主要采用 MOCVD 技术。在利用 MOCVD 技术生长氮化物半导体(GaN、AlN、InN 及它们的合金氮化物)的工艺中,由于没有与 GaN 晶格匹配的衬底材料,故通常采用蓝宝石作为衬底进行异质外延。然而,在蓝宝石与氮化物半导体之间存在较大的晶格失配(-13.8%)和热膨胀系数的差异,于是生长没有龟裂、表面平整的高质量氮化物半导体非常困难。目前最有效的外延生长方法通常采用两步外延生长法(参见 H. Amano, N. Sawaki 和 Y. Toyoda 等,“使用 AlN 缓冲层的高质量 GaN 薄膜的金属有机气相外延生长”, Appl. Phys. Lett. 48(5), 353(1986); S. Nakanura 等,“具有 GaN 缓冲层的高质量的 p 型 GaN : Mg 薄膜的生长”, Jpn. J. Appl. Phys. 30, L1708(1991); 以及中国发明专利申请 CN1508284A),该方法主要包括如下步骤:先在低温下(如 500°C)生长一层很薄的成核层;然后升温退火,在该成核层上直接生长未掺杂的 GaN 缓冲层;接着在该缓冲层上,生长 n 型 GaN 欧姆接触层;然后在 700°C 至 850°C 的温度下生长 InGaN/GaN 多量子阱(MQWs)有源层;在 GaN 量子垒生长结束后接着在 1000°C 左右的高温下,生长 p 型 AlGaIn 电子阻挡层;最后生长 p 型 GaN 欧姆接触层,制作 p 型欧姆接触透明电极和 n 型欧姆接触电极。

[0004] 然而,上述 LED 生长技术存在正向工作电压高以及发光强度没有显著增强的缺陷。造成上述问题的根本原因在于 GaN 外延层以及 InGaIn/GaN 多量子阱有源区内存在具有很高的应力,这些应力的存在一方面降低了载流子的辐射复合几率;另一方面,由于应力的存在,造成 n 区载流子大量溢出直接进入 p 区,从而引起大电流注入时辐射复合效率显著降低(参见 Appl. Phys. Lett, 94, 231123(2009))。因此,有效地降低外延层中的应力对大功率发光器件尤为重要。

发明内容

[0005] 为解决上述问题,本发明提供了一种氮化镓系发光二极管。本发明提供的所述氮化镓系发光二极管,其包括:

[0006] 衬底;

[0007] 氮化镓成核层,该氮化镓成核层制作在衬底上;

[0008] 缓冲层,该缓冲层制作在所述氮化镓成核层上;

[0009] n 型接触层,该 n 型接触层制作在该缓冲层上,该 n 型接触层由 n 型氮化镓构成;

- [0010] n 型插入层,该 n 型插入层制作在 n 型接触层内部,其上下均为 n 型接触层;
- [0011] 活性发光层,该活性发光层制作在 n 型接触层上并覆盖所述 n 型接触层的部分表面;
- [0012] 负电极,该负电极制作在 n 型接触层未被所述活性发光层覆盖的表面上,且其位于 n 型插入层的下方;
- [0013] p 型电子阻挡层,该 p 型电子阻挡层制作在活性发光层上;
- [0014] p 型接触层,该 p 型接触层制作在 p 型电子阻挡层上,该 p 型接触层由 p 型氮化镓构成;
- [0015] 正电极,该正电极制作在 p 型接触层上。
- [0016] 本发明还公开了一种氮化镓系发光二极管的制作方法,其包括:
- [0017] 步骤 1、在衬底上制作氮化镓成核层;
- [0018] 步骤 2、在所述氮化镓成核层上制作缓冲层;
- [0019] 步骤 3、在缓冲层上制作 n 型接触层;
- [0020] 步骤 4、在 n 型接触层内部制作 n 型插入层,;
- [0021] 步骤 5、在 n 型接触层 14 上制作活性发光层并覆盖所述 n 型接触层的部分表面;
- [0022] 步骤 6、在活性发光层上制作铝镓氮 p 型电子阻挡层;
- [0023] 步骤 7、在 p 型电子阻挡层上制作氮化镓 p 型接触层;
- [0024] 步骤 8、在 n 型接触层未被所述活性发光层覆盖的表面上制作负电极,且所述负电极位于所述 n 型插入层的下方;
- [0025] 步骤 9、在 p 型接触层上制作正电极,完成氮化镓系发光二极管的制作。
- [0026] 本发明提出了在 n 型 GaN 接触层中插入一层或多层低温插入层来降低外延层中的应力。本发明提供的氮化镓系发光二极管可以调节外延层中的应力分布,同时又可以降低外延层中的位错密度,使得发光二极管的发光强度增加。

附图说明

- [0027] 图 1 是本发明中具有氮化镓系发光二极管的结构示意图;
- [0028] 图 2 是本发明中氮化镓系发光二极管制作方法的流程图;
- [0029] 图 3 是现有技术以及本发明中氮化镓系发光二极管的正向注入电流与发光强度 I-L 曲线比较图;
- [0030] 图 4 是现有技术以及本发明中氮化镓系发光二极管在大电流注入下的发光效率比较图。

具体实施方式

[0031] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明。

[0032] 请参阅图 1 所示,本发明提供一种氮化镓系发光二极管,其包括:

[0033] 衬底 11,以 (0001) 晶向蓝宝石 (Al₂O₃) 为衬底 11,其他可用于衬底 11 的材质还包括 R- 面或 A- 面的氧化铝单晶、6H-SiC、4H-SiC、或晶格常数接近于氮化物半导体的单晶氧化物。该衬底的制备中采用高纯 NH₃ 作 N 源,高纯 H₂ 和 N₂ 的混合气体作载气;三甲基镓

或三乙基镓作 Ga 源,三甲基铟作 In 源,三甲基铝作 Al 源;n 型掺杂剂为硅烷,p 型掺杂剂为二茂镁。

[0034] 氮化镓成核层 12,该氮化镓成核层 12 制作在衬底 11 上。生长参数包括:反应温度 500℃至 900℃,反应腔压力 200 至 500Torr,载气流量 10-30 升/分钟,三甲基镓流量 20-250 微摩尔/分钟,氨气流量 20-80 摩尔/分钟,生长时间 1-10 分钟;

[0035] 缓冲层 13,该缓冲层 13 制作在成核层 12 上。该缓冲层为氮化镓。生长参数包括:反应温度 950-1180℃,反应腔压力 76-250Torr,载气流量 5-20 升/分钟,三甲基镓流量为 80-400 微摩尔/分钟,氨气流量为 200-800 摩尔/分钟,生长时间 20-60 分钟;

[0036] n 型接触层 14,该 n 型接触层 14 制作在缓冲层 13 上,该 n 型接触层 14 由 n 型氮化镓构成。生长参数包括:反应温度 950-1150℃,反应腔压力 76-250Torr,载气流量 5-20 升/分钟,三甲基镓流量 80-400 微摩尔/分钟,氨气流量 200-800 摩尔/分钟,硅烷流量 0.2-2.0 纳摩尔/分钟,生长时间 10-40 分钟;

[0037] n 插入层 15,该 n 型插入层 15 制作在 n 型接触层 14 内部,其上仍为 n 型接触层 14;该 n 型插入层 15 可以是以下材料: $Al_xGa_{1-x}N$,其中 $0 \leq x \leq 1$ 或者 $In_yAl_{1-y}N$,其中 $0 \leq y \leq 1$ 或者 $Al_aIn_bGa_{1-a-b}N$,其中 $0 \leq a < 1, 0 \leq b < 1$ 。该 n 型插入层 15 的生长参数包括:反应温度 500-1000℃,反应腔压力 76-600Torr,载气流量 5-20 升/分钟,三甲基镓流量 80-400 微摩尔/分钟,三甲基铟流量 10-50 微摩尔/分钟,三甲基铝流量 20-100 微摩尔/分钟,氨气流量 200-800 摩尔/分钟,硅烷流量 0.2-2.0 纳摩尔/分钟,生长时间 10-40 分钟;

[0038] 其中 n 型低温插入层 15 可以是一层也可以是多层同时插入 n 型接触层 14 当中;

[0039] 其中位于 n 型低温插入层 15 上部的 n 型接触层 14 生长条件与位于 n 型低温插入层 15 下部的 n 型接触层 14 的生长条件一致,且位于 n 型低温插入层 15 上部的 n 型接触层 14 的厚度为 10-1000nm;

[0040] 本发明通过在 n 型接触层 14 内部插入一层或多层 n 型低温插入层 15,获得了发光强度和出光效率得到较大提高的 GaN 系发光二极管。主要原因在于如下两个方面:

[0041] 首先,在 n 型接触层 14 内部插入一层或多层低温插入层 15,由于该层的生长温度比较低,原子的表面迁移非常弱,因此该层倾向于三维岛状生长。由于岛状生长颗粒较大,结构疏松,而且靠近 InGaN/GaN 多量子阱有源区,因此外延层中特别是量子阱有源区中的应力在该层得以释放。

[0042] 其次,在 n 型低温插入层 15 之后继续高温生长 n 型接触层 14,由于该层的生长温度较高,表面原子迁移距离较大,倾向于二维层状生长。即出现由 n 型低温插入层 15 的三维岛状生长向 n 型接触层 14 的二维层状生长的转变过程。在这一转变过程中,那些原本平行于外延层生长方向的穿透位错,由于随着生长方式的转变发生弯曲,并且相互作用导致最终湮灭,从而使得外延层中的位错密度大为降低。这也是造成本发明的发光二极管发光强度得以增加的另一根本原因。

[0043] 活性发光层 16,该活性发光层 16 制作在 n 型接触层 14 上并覆盖所述 n 型接触层 14 的部分表面,所述活性发光层 16 由铟镓氮薄层 161 和氮化镓薄层 162 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。生长参数包括:GaN 薄层(即垒层 162):反应温度 700-900℃,反应腔压力 100-500Torr,载气流量 5-20 升/分钟,氨气流量 200-800 摩尔/分钟,三甲基镓

流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0-2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; InGa_N 薄层 (即阱层 161): 反应温度 700-850°C, 反应腔压力 100-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1-1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 10-50 微摩尔 / 分钟, 时间 0.1-5 分钟; 多量子阱周期数为 1 至 20;

[0044] p 型电子阻挡层 17, 该 p 型电子阻挡层 17 制作在活性发光层 16 上, 该 p 型电子阻挡层 17 由铝镓氮构成。所述 p 型电子阻挡层 17 的厚度为 10-50nm, 并且所述 p 型电子阻挡层 17 的下表面与所述活性发光层 16 中的镓氮薄层 162 接触。生长参数包括: 反应温度 700-1000°C, 反应腔压力 50-200Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 100-400 摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20-100 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 80-200 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 150-400 纳摩尔 / 分钟, 时间 1-10 分钟。

[0045] p 型接触层 18, 该 p 型接触层 18 制作在 p 型电子阻挡层 17 上, 该 p 型接触层 18 由 p 型氮化镓构成。生长参数包括: 反应温度 950-1100°C, 反应腔压力 200-500Torr, 载气流量 5-20 升 / 分钟, 氨气流量 200-800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 80-400 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 0.5-5 微摩尔 / 分钟, 时间 10-50 分钟。

[0046] 负电极 19, 该负电极 19 制作在 n 型接触层 14 未被所述活性发光层 16 覆盖的表面上, 且位于 n 型低温插入层 15 的下方, 由铬铂金或钛铝钛金组成。

[0047] 正电极 20, 该正电极 20 制作在 p 型接触层 18 上, 由铬铂金组成。完成氮化镓系发光二极管的制作。

[0048] 图 2 示出了本发明中氮化镓系发光二极管的制作方法。如图 2 所示, 本发明还公开了一种氮化镓系发光二极管的制作方法。本发明一优选实施例所公开的氮化镓系发光二极管的制作方法包括:

[0049] 1) 采用高纯 NH₃ 作 N 源, 高纯 H₂ 和 N₂ 的混合气体作载气, 三甲基镓或三乙基镓作 Ga 源, 三甲基铟作 In 源, 三甲基铝作 Al 源, n 型掺杂剂为硅烷, p 型掺杂剂为二茂镁, 制作 (0001) 晶向蓝宝石 (Al₂O₃) 衬底 11;

[0050] 2) 在衬底 11 上制作氮化镓成核层 12, 其反应温度为 500°C, 反应腔压力 200Torr, 载气流量 10 升 / 分钟, 三甲基镓流量 20 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 20 摩尔 / 分钟, 生长时间 1 分钟;

[0051] 3) 在成核层 12 上制作缓冲层 13, 反应温度 950°C, 反应腔压力 76Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 三甲基镓流量为 80 微摩尔 / 分钟, 氨气流量为 200 摩尔 / 分钟, 生长时间 20 分钟;

[0052] 4) 在缓冲层 13 上制作 n 型接触层 14, 反应温度 950°C, 反应腔压力 76Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 三甲基镓流量 80 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 200 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0.2 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 10 分钟;

[0053] 5) 在 n 型接触层 14 内部制作材料为 Al_xGa_{1-x}N 的 n 型插入层 15, 其中 $0 \leq x \leq 1$, 反应温度 500°C, 反应腔压力 76Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 三甲基镓流量 80 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 200 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0.2 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 10 分钟, 其厚度为 50nm; 制作 n 型插入层 15 的具体过程为, 先在 n 型接触层表面制作一层 n 型插入层, 再在该 n 型插入层上面覆盖一层 n 型接触层, 以此可以制作多层 n 型插入层;

[0054] 6) 在 n 型接触层 14 上制作活性发光层 16 并覆盖所述 n 型接触层 14 的部分表面, 所述活性发光层 16 是由镓氮薄层 161 和氮化镓薄层 162 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。制作 GaN 薄层 (即垒层 162) 时, 反应温度 700℃, 反应腔压力 100Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 氨气流量 200 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 0 纳摩尔 / 分钟, 时间 0.1 分钟; 制作 InGaN 薄层 (即阱层 161) 时, 反应温度 700℃, 反应腔压力 100Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 氨气流量 200 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 0.1 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 10 微摩尔 / 分钟, 时间 0.1 分钟; 多量子阱周期数为 1;

[0055] 7) 在活性发光层 16 上制作铝镓氮 p 型电子阻挡层 17, 其厚度为 10nm, 并且所述 p 型电子阻挡层 17 的下表面与所述活性发光层 16 中的镓氮薄层 162 接触, 反应温度 700℃, 反应腔压力 50Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 氨气流量 100 摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 20 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 80 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 150 纳摩尔 / 分钟, 时间 1 分钟;

[0056] 8) 在 p 型电子阻挡层 17 上制作氮化镓 p 型接触层 18, 反应温度 950℃, 反应腔压力 200Torr, 载气流量 5 升 / 分钟, 氨气流量 200 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 80 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 0.5 微摩尔 / 分钟, 时间 10 分钟;

[0057] 9) 在 n 型接触层 14 未被所述活性发光层 16 覆盖的表面上制作由铬铂金或钛铝钛金组成的负电极 19; 所述负电极 19 可以通过深度刻蚀的方式, 在内部制作有 n 型插入层 15 的 n 型接触层 14 上进行刻蚀, 直到没有 n 型插入层后, 在其上制作负电极, 其目的是为了能够使得从正电极 20 流出的电流经由各个层包括 n 型插入层进入负电极 19;

[0058] 10) 在 p 型接触层 18 上制作由铬铂金组成的正电极 20, 完成氮化镓系发光二极管的制作。

[0059] 本发明另一优选实施例所公开的氮化镓系发光二极管的制作方法包括:

[0060] 1) 采用高纯 NH₃ 作 N 源, 高纯 H₂ 和 N₂ 的混合气体作载气, 三甲基镓或三乙基镓作 Ga 源, 三甲基镓作 In 源, 三甲基铝作 Al 源, n 型掺杂剂为硅烷, p 型掺杂剂为二茂镁, 制作 (0001) 晶向蓝宝石 (Al₂O₃) 衬底 11;

[0061] 2) 在衬底 11 上制作氮化镓成核层 12, 其反应温度为 800℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 30 升 / 分钟, 三甲基镓流量 250 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 80 摩尔 / 分钟, 生长时间 10 分钟;

[0062] 3) 在成核层 12 上制作缓冲层 13, 反应温度 1180℃, 反应腔压力 250Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 三甲基镓流量为 400 微摩尔 / 分钟, 氨气流量为 800 摩尔 / 分钟, 生长时间 60 分钟;

[0063] 4) 在缓冲层 13 上制作 n 型接触层 14, 反应温度 1150℃, 反应腔压力 250Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 三甲基镓流量 400 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 2.0 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 40 分钟;

[0064] 5) 在 n 型接触层 14 内部制作材料为 In_yAl_{1-y}N 的 n 型插入层 15, 其中 $0 \leq y \leq 1$, 反应温度 1000℃, 反应腔压力 200Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 三甲基镓流量 50 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 100 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 2.0 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 40 分钟, 其厚度为 100nm; 制作 n 型插入层 15 的具体过程为, 先在 n 型接触层表面制作一层 n 型插入层, 再在该 n 型插入层上面覆盖一层 n 型接触层, 以此可以制作多层 n 型插入层;

[0065] 6) 在 n 型接触层 14 上制作活性发光层 16 并覆盖所述 n 型接触层 14 的部分表面, 所述活性发光层 16 是由镓氮薄层 161 和氮化镓薄层 162 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。制作 GaN 薄层 (即垒层 162) 时, 反应温度 900℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 1.0 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 5 分钟; 制作 InGaN 薄层 (即阱层 161) 时, 反应温度 850℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 50 微摩尔 / 分钟, 时间 5 分钟; 多量子阱周期数为 20;

[0066] 7) 在活性发光层 16 上制作铝镓氮 p 型电子阻挡层 17, 其厚度为 50nm, 并且所述 p 型电子阻挡层 17 的下表面与所述活性发光层 16 中的镓氮薄层 162 接触, 反应温度 1000℃, 反应腔压力 200Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 400 摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 100 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 200 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 400 纳摩尔 / 分钟, 时间 10 分钟;

[0067] 8) 在 p 型电子阻挡层 17 上制作氮化镓 p 型接触层 18, 反应温度 1100℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 400 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 5 微摩尔 / 分钟, 时间 50 分钟;

[0068] 9) 在 n 型接触层 14 未被所述活性发光层 16 覆盖的表面上制作由铬铂金或钛铝钛金组成的负电极 19; 所述负电极 19 可以通过深度刻蚀的方式, 在内部制作有 n 型插入层 15 的 n 型接触层 14 上进行刻蚀, 直到没有 n 型插入层后, 在其上制作负电极, 其目的是为了能够使得从正电极 20 流出的电流经由各个层包括 n 型插入层进入负电极 19。

[0069] 10) 在 p 型接触层 18 上制作由铬铂金组成的正电极 20, 完成氮化镓系发光二极管的制作。

[0070] 本发明另一优选实施例所公开的氮化镓系发光二极管的制作方法包括:

[0071] 1) 采用高纯 NH₃ 作 N 源, 高纯 H₂ 和 N₂ 的混合气体作载气, 三甲基镓或三乙基镓作 Ga 源, 三甲基铟作 In 源, 三甲基铝作 Al 源, n 型掺杂剂为硅烷, p 型掺杂剂为二茂镁, 制作 (0001) 晶向蓝宝石 (Al₂O₃) 衬底 11;

[0072] 2) 在衬底 11 上制作氮化镓成核层 12, 其反应温度为 800℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 30 升 / 分钟, 三甲基镓流量 250 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 80 摩尔 / 分钟, 生长时间 10 分钟;

[0073] 3) 在成核层 12 上制作缓冲层 13, 反应温度 1180℃, 反应腔压力 250Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 三甲基镓流量为 400 微摩尔 / 分钟, 氨气流量为 800 摩尔 / 分钟, 生长时间 60 分钟;

[0074] 4) 在缓冲层 13 上制作 n 型接触层 14, 反应温度 1150℃, 反应腔压力 250Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 三甲基镓流量 400 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 2.0 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 40 分钟;

[0075] 5) 在 n 型接触层 14 内部制作材料为 Al_aIn_bGa_{1-a-b}N, 的 n 型插入层 15, 其中 $0 \leq a < 1, 0 \leq b < 1$, 反应温度 800℃, 反应腔压力 200Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 三甲基镓流量 400 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 50 微摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 100 微摩尔 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 硅烷流量 2.0 纳摩尔 / 分钟, 生长时间 40 分钟, 其生长厚度为 80nm; 制作 n 型插入层 15 的具体过程为, 先在 n 型接触层表面制作一层 n 型插入层, 再在该 n 型

插入层上面覆盖一层 n 型接触层, 以此可以制作多层 n 型插入层;

[0076] 6) 在 n 型接触层 14 上制作活性发光层 16 并覆盖所述 n 型接触层 14 的部分表面, 所述活性发光层 16 是由铟镓氮薄层 161 和氮化镓薄层 162 交互层叠形成的多周期的量子阱结构构成。制作 GaN 薄层 (即垒层 162) 时, 反应温度 900℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 1.0 微摩尔 / 分钟, 硅烷流量 2.0 纳摩尔 / 分钟, 时间 5 分钟; 制作 InGaN 薄层 (即阱层 161) 时, 反应温度 850℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 1.0 微摩尔 / 分钟, 三甲基铟流量 50 微摩尔 / 分钟, 时间 5 分钟; 多量子阱周期数为 20;

[0077] 7) 在活性发光层 16 上制作铝镓氮 p 型电子阻挡层 17, 其厚度为 50nm, 并且所述 p 型电子阻挡层 17 的下表面与所述活性发光层 16 中的镓氮薄层 162 接触, 反应温度 1000℃, 反应腔压力 200Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 400 摩尔 / 分钟, 三甲基铝流量 100 微摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 200 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 400 纳摩尔 / 分钟, 时间 10 分钟;

[0078] 8) 在 p 型电子阻挡层 17 上制作氮化镓 p 型接触层 18, 反应温度 1100℃, 反应腔压力 500Torr, 载气流量 20 升 / 分钟, 氨气流量 800 摩尔 / 分钟, 三甲基镓流量 400 微摩尔 / 分钟, 二茂镁流量为 5 微摩尔 / 分钟, 时间 50 分钟;

[0079] 9) 在 n 型接触层 14 未被所述活性发光层 16 覆盖的表面上制作由铬铂金或钛铝钛金组成的负电极 19; 所述负电极 19 可以通过深度刻蚀的方式, 在内部制作有 n 型插入层 15 的 n 型接触层 14 上进行刻蚀, 直到没有 n 型插入层后, 在其上制作负电极, 其目的是为了能够使得从正电极 20 流出的电流经由各个层包括 n 型插入层进入负电极 19。

[0080] 10) 在 p 型接触层 18 上制作由铬铂金组成的正电极 20, 完成氮化镓系发光二极管的制作。

[0081] 图 3 所示为现有技术以及本发明中氮化镓系发光二极管的正向注入电流与发光强度 I-L 曲线比较图。其中, 横坐标为电流, 而竖坐标为发光强度, 方块线条为本发明的具有 n 型低温插入层 15 的氮化镓系 LED; 三角线条为现有的没有 n 型低温插入层 15 的氮化镓系 LED。由图 3 中可以看出, 与传统结构的 LED 相比, 在同样的注入电流条件下, 本发明的 LED 结构具有发光强度大, 饱和电流高等特点。在保证器件工艺相同的情况下, 发光强度的增强, 说明发光二极管的内量子效率得到了有效的提高。

[0082] 图 4 所示为现有技术以及本发明中氮化镓系发光二极管在大电流注入下的发光效率比较图。其中, 横坐标为注入的载流子密度, 纵坐标为归一化的外量子效率。圆点代表的是根据本发明的具有 n 型低温插入层的 GaN 系发光二极管; 方块是现有技术中采用 InGaN/GaN 超晶格作为插入层的发光二极管; 三角代表的是没有任何插入层的 GaN 系发光二极管。与传统的 InGaN/GaN 超晶格作为插入层以及没有 n 型低温插入层 15 的发光二极管相对比, 结果表明具有低温插入层 15 的发光二极管在大电流注入下的发光效率要远高于另外两种结构的 LED。这一方面得益于低温插入层 15 有效地降低了外延层中的应力分布, 另一方面又与该插入层 15 可以降低外延层中的穿透位错密度有关。

[0083] 以上所述的具体实施例, 对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明, 所应理解的是, 以上所述仅为本发明的具体实施例而已, 并不用于限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 所做的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保

护范围之内。

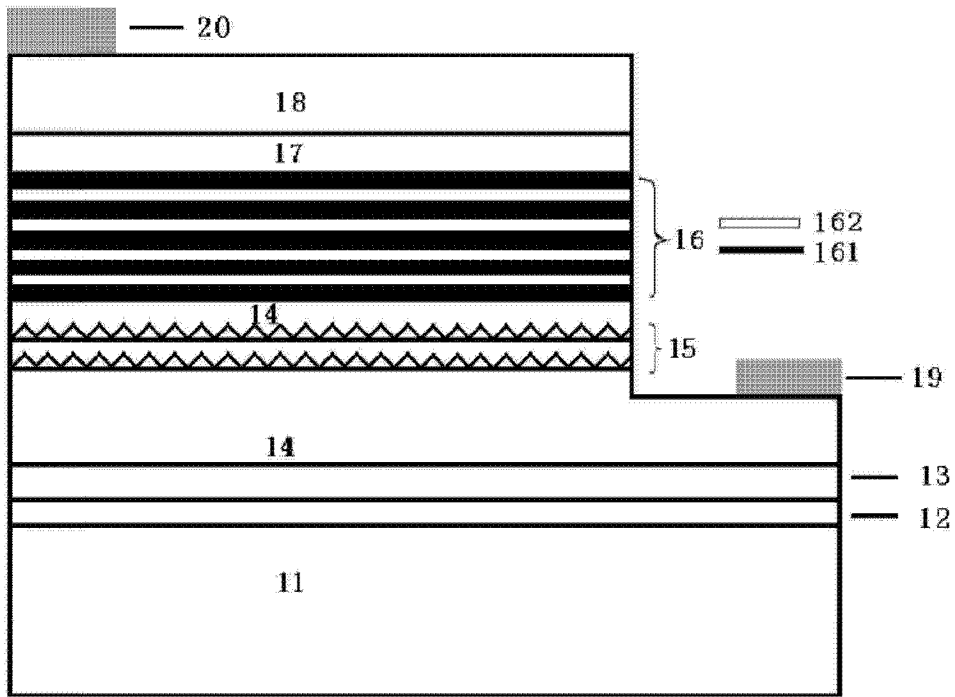


图 1

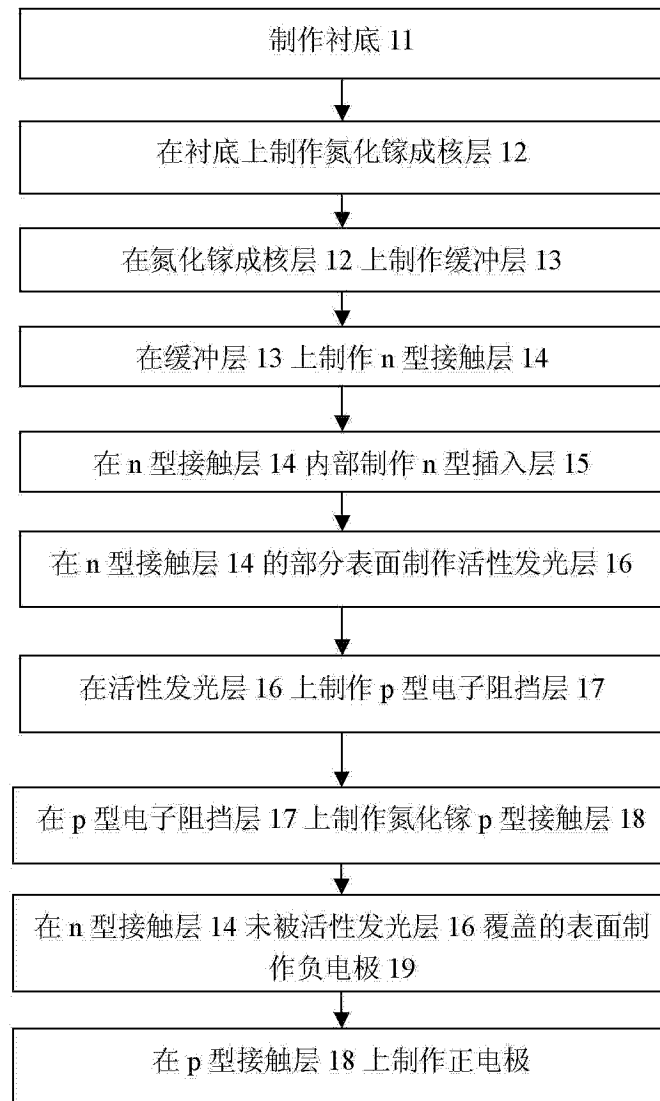


图 2

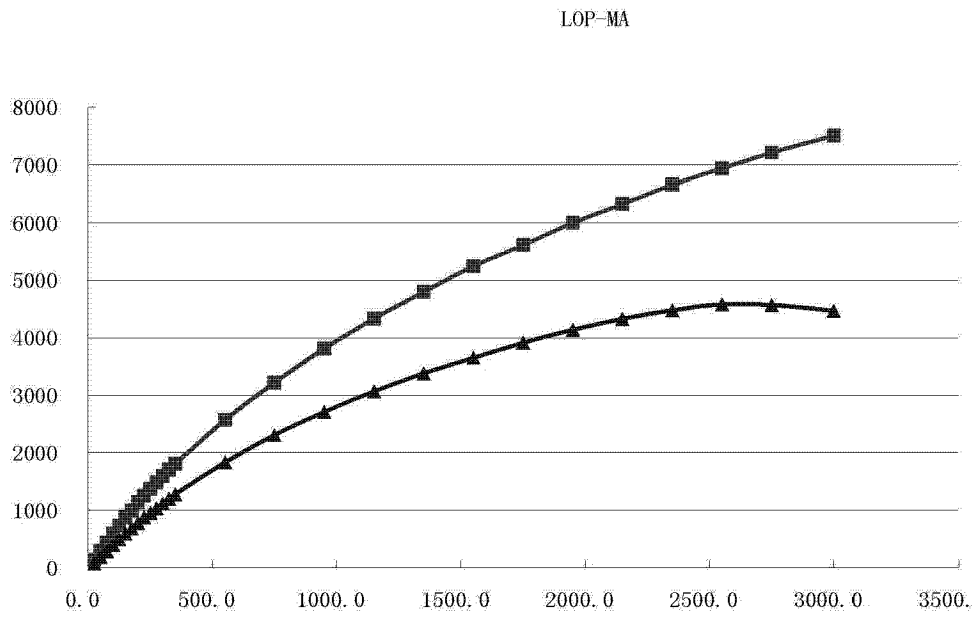


图 3

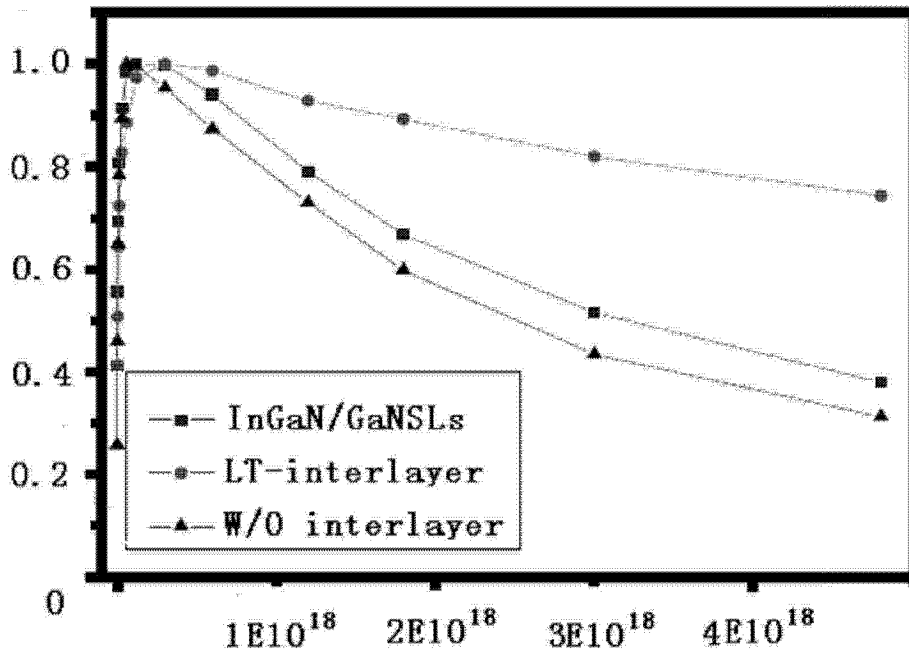


图 4