



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101179106 B

(45) 授权公告日 2013. 01. 23

(21) 申请号 200710196586. 3

3,6-10 栏及附图 1.

(22) 申请日 2004. 06. 21

审查员 林昭春

(30) 优先权数据

10-2003-0041409 2003. 06. 25 KR

(62) 分案原申请数据

200480000328. 8 2004. 06. 21

(73) 专利权人 LG 伊诺特有限公司

地址 韩国首尔

(72) 发明人 李昔宪

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限

公司 11227

代理人 顾晋伟 王春伟

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2000-150957 A, 2000. 05. 30, 全文 .

JP 10-242512 A, 1998. 09. 11, 全文 .

JP 2002-111133 A, 2002. 04. 12, 说明书第

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

使用氮化物半导体的发光器件和其制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件,其包含:第一 GaN 型层;所述第一 GaN 型层上的有源层;和所述有源层上的第二 GaN 型层,其中所述第一 GaN 型层或所述第二 GaN 型层包含至少一个 $In_xGa_{1-x}N/In_yGa_{1-y}N$ 超晶格结构。本发明能够减少基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的晶体缺陷,提高 GaN、GaN 基单晶层的结晶性,以改善发光器件的性能,确保其可靠性。



1. 一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件, 包含:
衬底;
所述衬底上的缓冲层;
所述缓冲层上的第一 In 掺杂的 GaN 层;
所述第一 In 掺杂的 GaN 层上的第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层;
所述第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层上的第一电极接触层;
所述第一电极接触层上的有源层;
所述有源层上的 GaN 层, 和
所述 GaN 层上的第二电极接触层。
2. 根据权利要求 1 的器件, 其中所述缓冲层包含选自 InGaN/GaN 超晶格结构、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 结构、和 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 结构的其中之一。
3. 根据权利要求 1 的器件, 其中所述第一电极接触层包含 Si/In 共掺杂的 GaN 层。
4. 根据权利要求 1 的器件, 其中所述第一 In 掺杂的 GaN 层和其上形成的所述第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层两次重复层叠。
5. 根据权利要求 1 的器件, 还包含在所述第一 In 掺杂的 GaN 层和所述第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层之间的未掺杂 GaN 层。
6. 根据权利要求 1 的器件, 其中所述有源层包含单或多量子阱结构。
7. 根据权利要求 6 的器件, 其中所述有源层包含低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层。
8. 根据权利要求 7 的器件, 其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层具有小于所述 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层的 In 含量。
9. 根据权利要求 8 的器件, 其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层具有的 In 含量分别为: $0 < x < 0.05$, $0 < y < 0.3$ 和 $0 < z < 0.1$ 。
10. 根据权利要求 7 的器件, 其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层具有以螺旋模式生长的表面构形。
11. 根据权利要求 7 的器件, 其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层具有以螺旋模式生长的表面构形, 并且其中所述螺旋模式延伸至所述 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层的表面。
12. 根据权利要求 1 的器件, 其中所述第二电极接触层由第二 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层形成。
13. 一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的制造方法, 包括:
在衬底上形成缓冲层;
在所述缓冲层上形成第一 In 掺杂的 GaN 层;
在所述第一 In 掺杂的 GaN 层上形成第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层;
在所述第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层上形成第一电极接触层;
在所述第一电极接触层上形成有源层;
在所述有源层上形成 GaN 层; 和
在所述 GaN 层上形成第二电极接触层。
14. 根据权利要求 13 的方法, 其中所述缓冲层包含选自 InGaN/GaN 超晶格结构、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 结构、和 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 结构的其中之一。

15. 根据权利要求 13 的方法,其中所述第一电极接触层包含 Si/In 共掺杂的 GaN 层。
16. 根据权利要求 14 的方法,其中所述第一 In 掺杂的 GaN 层和其上形成的所述第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层两次重复层叠。
17. 根据权利要求 13 的方法,还包括在所述第一 In 掺杂的 GaN 层和所述第一 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层之间形成未掺杂 GaN 层。
18. 根据权利要求 13 的方法,其中所述有源层包含单或多量子阱结构。
19. 根据权利要求 18 的方法,其中所述有源层包含低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层的其中之一。
20. 根据权利要求 19 的方法,其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层具有小于所述 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层的 In 含量。
21. 根据权利要求 19 的方法,其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层和 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层具有的 In 含量分别表示为: $0 < x < 0.05$ 、 $0 < y < 0.3$ 和 $0 < z < 0.1$ 。
22. 根据权利要求 19 的方法,其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层具有以螺旋模式生长的表面构形。
23. 根据权利要求 19 的方法,其中所述低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层具有以螺旋模式生长的表面构形,并且其中所述螺旋模式延伸至所述 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层的表面。
24. 根据权利要求 13 的方法,其中所述第二电极接触层由第二 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层形成。
25. 根据权利要求 24 的方法,其中所述第二 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层包含 n 型电极接触层。

使用氮化物半导体的发光器件和其制造方法

[0001] 本申请是 2004 年 6 月 21 日提交的、标题为“使用氮化物半导体的发光器件和其制造方法”的中国专利申请 200480000328.8 的分案申请。

技术领域

[0002] 本发明涉及基于氮化物的 3-5 族 (group) 化合物半导体。更具体地说,本发明涉及基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件和其制造方法,所述半导体发光器件能够减少由衬底和在其上生长的 GaN 基单晶层之间的热膨胀系数失配和晶格常数失配所致的晶体缺陷,提高 GaN 基单晶层的结晶性,以改善发光器件的性能,确保其可靠性。

背景技术

[0003] GaN 基半导体通常应用于光学器件,如蓝/绿 LED 和高速开关和诸如金属半导体场效应晶体管 (MESFET) 和高电子迁移晶体管 (HEMT) 的高功率电子器件。具体地说,蓝/绿 LED 最近已经大规模生产,并且其在全世界的需求正急剧增加。

[0004] GaN 基半导体发光器件典型地生长在蓝宝石或 SiC 衬底上。然后,低生长温度下 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 多晶层作为缓冲层生长于蓝宝石或 SiC 衬底上。在高温下,在缓冲层上生长未掺杂的 GaN 层和 Si 掺杂的 n 型 GaN 层或其混合结构,以提供 n 型 GaN 层作为第一电极接触层。然后,在其上形成 Mg 掺杂的 p 型层作为第二电极接触层,以生成基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件。另外,(多量子阱结构的)有源层位于 n 型第一电极接触层和 p 型第二电极接触层之间。

[0005] 在这种结构的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件中,衬底和缓冲层之间界面中的晶体缺陷具有非常高的约 $10^8/\text{cm}^3$ 的值。结果,这降低了基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的电学性质,更具体地说,增加反偏置条件下的漏电流,从而对发光器件的可靠性产生重大影响。

[0006] 另外,在衬底和缓冲层之间界面中产生的晶体缺陷降低有源层的结晶性,从而不利地降低基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的发光效率。

[0007] 其间,为了改善 GaN 基半导体发光器件的性能和可靠性,已经研究了新的缓冲层,并研究了 GaN 基半导体的各种制造方法。

发明内容

[0008] 本发明旨在解决现有技术中的上述问题,因此本发明的一个目的是提供一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件和其制造方法,所述的发光器件能够减少 GaN 基单晶层的晶体缺陷,并提高其结晶性,以改善其性能和可靠性。

[0009] 本发明的另一个目的是提供一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件和其制造方法,所述的发光器件能够在实践中实现来自仅有单量子阱结构的有源层的高亮度性能。

[0010] 根据本发明的实现上述目的的一个方面,提供了一种基于氮化物的 3-5 族化合物

半导体发光器件,其包括:衬底;在衬底上形成的缓冲层;在缓冲层上形成的第一 In 掺杂的 GaN 层;在第一 In 掺杂的 GaN 层上形成的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层;在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层上形成的第一电极接触层;在第一电极接触层上形成的、起发光作用的有源层;第二 In 掺杂的 GaN 层;在第二 In 掺杂的 GaN 层上形成的 GaN 层;和在 GaN 层上形成的第二电极接触层。

[0011] 根据本发明实现上述目的的另一个方面,提供了一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件,其包括:衬底;在衬底上形成的缓冲层;在缓冲层上形成的第一 In 掺杂的 GaN 层;在第一 In 掺杂的 GaN 层上形成的第一电极接触层;在第一电极接触层上形成的、起发光作用的有源层;在有源层上形成的 GaN 层;和在 GaN 层上形成的第二电极接触层。

[0012] 根据本发明的实现上述目的的另一个方面,提供了一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件,其包括:衬底;在衬底上形成的缓冲层;在 GaN 缓冲层上形成的第一电极接触层;在第一电极接触层上形成的有源层,包括低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层;在有源层上形成的 GaN 层;和在 GaN 层上形成的第二电极接触层。

[0013] 根据本发明的实现上述目的的另一个方面,提供了一种基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的制造方法,该方法包括:在衬底上形成缓冲层;在缓冲层上形成第一 In 掺杂的 GaN 层;在第一 In 掺杂的 GaN 层上形成第一电极接触层;在第一电极接触层上形成发光的有源层;在有源层上形成 GaN 层;并且在 GaN 层上形成第二电极接触层。

[0014] 本发明的优点是减少 GaN 基单晶层的晶体缺陷,并提高其结晶性,从而改善其性能和可靠性。

[0015] 作为另一个优点,本发明可以在实践中实现来自仅有单量子阱结构的有源层的高亮度性能。

附图说明

[0016] 图 1 说明了根据本发明第一实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

[0017] 图 2 说明了根据本发明第二实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

[0018] 图 3 说明了根据本发明第三实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

[0019] 图 4 说明了根据本发明第四实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

具体实施方式

[0020] 下面将参考附图详细说明本发明的优选实施方案。

[0021] 当本发明的优选实施方案在参考附图加以描述的同时,本领域技术人员可以看出:本发明的原理不但不受所公开的实施方案的限制,还可以通过增加、改变和省略一些部分而修改为各种替换方式。

[0022] 第一实施方案

[0023] 图 1 说明了根据本发明第一实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器

件的结构。

[0024] 如图 1 所示,基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件具有包括下述的横截面结构:在衬底 102 上生长的缓冲层 104、由 n 型 GaN 层(共掺杂有 Si 和 In)组成的第一电极接触层 108 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构的第二电极接触层 120。这里,第一和第二电极接触层 108 和 120 在下面的加工步骤中分别提供有电极(未示出),以便可以通过电极向其施加外部电压。

[0025] 本发明的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件还具有量子阱结构的有源层 116,其置于第一电极接触层 108 和第二电极接触层 120 之间,形成异质结构。有源层 116 包括低摩尔 In 掺杂的 GaN 层 110、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 112 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 势垒层 114。

[0026] 另外,基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件还具有形成于缓冲层 104 和第一电极接触层 108 之间的 In 掺杂的 GaN 层 106,和形成于 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 势垒层 114 和第二电极接触层 120 之间的 p 型 GaN 层 118。

[0027] 本发明的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的制造方法如下所述:

[0028] 首先,低生长温度下在蓝宝石衬底 102 上形成 GaN 缓冲层 104。然后,低生长温度下 GaN 基半导体的缓冲层 104 可以生长成 InGaN/GaN 超晶格结构和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 与 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 结构。

[0029] 如上所述在衬底 102 上形成的缓冲层 104 可以有效地限制由衬底 102 和在衬底 102 上生长的 GaN 基单晶层之间的热膨胀系数失配和晶格常数失配所致的晶体缺陷,从而生成高质量的 GaN 基半导体。

[0030] 更具体地说,在生长 GaN 缓冲层 104 的加工步骤中,在约 500-700°C 的温度下供给 H_2 与 N_2 载气;TMGa、TMIn 与 TMAI 源和 NH_3 气体,以生长 GaN 缓冲层 104。

[0031] 然后,高的生长温度下在缓冲层 104 上生长 In 掺杂的 GaN 层 106 和其中包含 Si 和 In 共掺杂的 GaN 层 108。这里 Si/In 共掺杂的 GaN 层 108 用作第一电极接触层。

[0032] 更具体地说,在生长 GaN 基半导体的 GaN 基单晶层的加工步骤中,通过在约 900-1100°C 的温度下供给 MOCVD 设备 TMGa、TMIn 和 TMAI 源来生长 GaN 基单晶层,其中 SiH_4 气体可以用作 Si 掺杂源, TMIn 可以用作 In 掺杂源。

[0033] 发射所需波长范围内的光的有源层 116 包括单量子阱。更具体地说,有源层 116 的低摩尔 In 掺杂的 GaN 层 110 生长在 10-500 Å 的范围内。更优选的,低摩尔 In 掺杂的 GaN 层 110 生长至 50-300 Å 范围的厚度。低摩尔 In 掺杂的 GaN 层的含量可以表示为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 0.2$)。然后, $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 112 的量子阱层和不同 In 含量的 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 114 在低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 110 上生长形成有源层。

[0034] 在生长有源层 116 的单量子阱结构的加工步骤中,通过在 NH_3 气氛中在 N_2 或 H_2+N_2 载气上流动 TMGa、TMIn 和 TMAI 源,生长低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 110、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 112 ($0 < y \leq 0.35$) 和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 114 ($0 < z \leq 0.2$)。在这种情况下,低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 110 具有约 10-500 Å 的厚度,并且其表面以螺旋模式均匀生长。另外,在约 700-800°C 的表面生长温度下,发光的 InGaN 阱层 112 生长至 5-30 Å 的厚度, InGaN 势垒层 114 生长至 50-500 Å 的厚度。

[0035] 另外,为了实现高亮度发光器件性能,有必要从低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 110

表面到 InGaN 势垒层 114 维持均匀的螺旋模式。如果满足上述生长条件,可以通过形成具有单量子阱结构以及具有多量子阱结构的有源层来制造实用的高亮度发光器件。当然,在其他部分相同的情况下可以采用多量子阱结构。

[0036] 其间,低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 110、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 112 和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 114 中掺杂物的含量分布可以调整如下:低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 110 的 In 含量调整至低于 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 114 的 In 含量。掺杂的 In 含量 x 、 y 和 z 可以表示为 $0 < x < 0.05$ 、 $0 < y < 0.3$ 和 $0 < z < 0.1$ 。

[0037] 根据所述加工步骤生长发光的有源层之后,升高温度,在 H_2 、 N_2 和 H_2+N_2 气体中、 NH_3 气氛下生长 Mg 掺杂的 p 型 GaN 基单晶层 118。在约 900–1020°C 的生长温度下 p 型 GaN 层 118 生长至厚度约 500–5000 Å。

[0038] 在生长 p 型 GaN 层 118 时, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构 ($0 < x \leq 0.2$ 和 $0 < y \leq 0.2$) 的第二电极接触层 120 在 p 型 GaN 层 118 上生长。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构赋予传播到第二电极接触层 120 的有效电流。第二电极接触层的电极可以从与第一电极接触层 108 相同的电极金属有利地获得。

[0039] 根据该实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件,第一电极接触层 108 由 n 型电极接触层形成,并且第二电极接触层 120 由 n-型电极接触层形成。由于在具有 n 型和 p 型电极接触层形式的第一和第二电极接触层的常规基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件中,高接触阻抗缘于用作第二电极接触层的 p 型 GaN 层的低 Mg 掺杂效率,因此该实施方案可以克服高接触阻抗,除去所产生的电流传播层。

[0040] 至于和 p 型 GaN 层 118 的关系,可以表示为第一电极接触层 108、p 型 GaN 层 118 和第二电极接触层 120 具有 n-p-n 连接。

[0041] 这里,第二电极接触层 120 在 2–50 Å 的厚度下彼此交替,并且第二电极接触层 120 具有小于 200 Å 的最大厚度。另外,在 700–850°C 的生长温度范围内,通过供给 N_2 、 N_2+H_2 与 NH_3 气体和 TMGa 与 TMIIn 源,以生长具有异质结构的高亮度发光器件,其在内部量子效率和工作电压性质方面是优异的。

[0042] 第二实施方案

[0043] 图 2 说明了根据本发明的第二实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

[0044] 本发明的如图 2 所示的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构与第一实施方案的基本相同,除了在第一电极接触层 212 之下还置有 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 210 以形成异质结构,以便使由衬底 202 和 Si/In 掺杂的 GaN 基单晶层 212 之间的晶格常数失配和热膨胀系数失配所致的晶体缺陷最小。

[0045] 该结构可以减小从衬底 202 和低温缓冲层 204 传播的位错密度,以提高发光器件的反击穿电压 V_{br} ,从而提高其可靠性。

[0046] 根据本发明的第二个实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构将简要描述如下:

[0047] 缓冲层 204 在衬底 202 上生长,第一电极接触层 212 由 n 型 GaN (共掺杂有 Si 和 In) 组成,第二电极接触层 224 生长成具有 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构。在下面的加工

步骤中第一和第二电极接触层 212、224 分别提供有电极（未示出），以便可以通过电极向其施加外部电压。

[0048] 本发明的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件还具有单量子阱结构的有源层 220，其位于第一电极接触层 212 和第二电极接触层 224 之间，以形成异质结构。有源层 220 包括低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 214、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 216 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 势垒层 218。

[0049] 另外，基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件还具有 In 掺杂的 GaN 层 206 和未掺杂的 GaN 层 208，位于缓冲层 204 和第一电极接触层 212 之间。在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 势垒层 218 和第二电极接触层 224 之间还形成 p 型 GaN 层 222。

[0050] 具有上述结构的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的制造方法和第一实施方案类似，因此将不再进一步描述。

[0051] 这种结构的第二实施方案可以减小从衬底 202 和缓冲层 204 传播的位错密度，以提高发光器件的反击穿电压 V_{br} ，从而提高其可靠性。

[0052] 第三实施方案

[0053] 图 3 说明了根据本发明的第三实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

[0054] 如图 3 所示，该实施方案与第一实施方案基本类似，除了在 p 型 GaN 层 320 和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 314 之间还置有 In 掺杂的 GaN 层 318，以形成异质结构。

[0055] 额外的 In 掺杂的 GaN 层 318 可以限制在 p 型 GaN 层 320 中用作掺杂物的 Mg 原子的向内扩散 (in-diffusion)，从而改善其特征。In 掺杂的 GaN 层 318 生长至 100 \AA 或更小的厚度。

[0056] 下面将描述第三实施方案的半导体发光器件的制造方法。在衬底 302 上生长缓冲层 304，第一电极接触层 308 由 n 型 GaN（共掺杂有 Si 和 In）制成，第二电极接触层 322 由 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构形成。这里，在下面的加工步骤中第一和第二电极接触层 308、322 分别提供有电极（未示出），以便可以通过电极向其施加外部电压。

[0057] 本发明的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件还具有单量子阱结构的有源层 316，其位于第一电极接触层 308 和第二电极接触层 322 之间，以形成异质结构。有源层 316 包括低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 310、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 312 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 势垒层 314。

[0058] 另外，基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件还具有位于缓冲层 304 和第一电极接触层 308 之间的 In 掺杂的 GaN 层 306，并且 p 型 GaN 层 320 和 In 掺杂的 GaN 层 318 置于 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 314 与第二电极接触层 322 之间。

[0059] 如上所述，该实施方案的额外 GaN 层 318 可以限制在 p 型 GaN 层 320 中用作掺杂物的 Mg 原子的向内扩散。该实施方案可以改善发光器件的特征。

[0060] 第四实施方案

[0061] 图 4 说明了根据本发明的第四实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的结构。

[0062] 第四实施方案的许多部分都和第三实施方案相同，除了额外提供 In 掺杂的 GaN 层 406、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 408、In 掺杂的 GaN 层 412 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 414。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 408、In 掺杂的 GaN 层 412 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 414 的作用是使来自衬底 402 的晶格常数失配和热膨胀系数失配的

晶体缺陷最小化。另外, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 408 还可以减小从衬底 402 和低温缓冲层 404 传播的位错密度, 从而提高发光器件的反击穿电压 V_{br} 。

[0063] 下面将参照图 4 来详细描述该实施方案的半导体发光器件的制造方法。

[0064] 低的生长温度下在蓝宝石衬底 402 上生长 GaN 基半导体缓冲层 404。在低的生长温度下, GaN 基半导体的缓冲层 404 可以由 InGaN/GaN 超晶格结构和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 与 $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}/\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 的结构形成。

[0065] 如上所述在衬底 402 上形成的缓冲层 404 可以有效地限制由衬底 402 和在衬底 402 上生长的 GaN 基单晶层之间的热膨胀系数失配和晶格常数失配所致的晶体缺陷, 从而生成高质量的 GaN 基半导体。

[0066] 然后, 高的生长温度下在缓冲层 404 上生长 In 掺杂的 GaN 层 406, 在 In 掺杂的 GaN 层 406 上还形成 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 408, 从而使来自衬底 402 的晶格常数失配和热膨胀系数失配的晶体缺陷最小化。

[0067] 该结构可以减小从衬底 402 和低温缓冲层 404 传播的位错密度, 以提高发光器件的反击穿电压 V_{br} , 从而提高其可靠性。

[0068] 另外, 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 408 上还形成 In 掺杂的 GaN 层 412 和 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 414, 以进一步减小晶体缺陷。

[0069] 然后, 在 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构层 414 上生长 Si/In 共掺杂的 GaN 层 416。Si/In 共掺杂的 GaN 层 416 用作第一电极接触层。

[0070] 随后, 在有源层 424 中形成单量子阱层, 用于发射所需波长范围的光。更具体地说, 低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 418 ($0 < x \leq 0.2$) 首先在在有源层 424 中生长, 以提高有源层 424 的内部量子效率。在低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 418 上生长包括 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 420 和不同 In 含量的 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 422 的量子阱结构, 即得有源层。

[0071] 在生长步骤中, 通过在 NH_3 气氛中供给 N_2 与 H_2+N_2 气体和 TMGa、TMIn 与 TMAI 源, 生长单量子阱结构的有源层 424, 其包括低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 418、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 阱层 420 ($0 < y \leq 0.35$) 和 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 422 ($0 < z \leq 0.2$)。低摩尔 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 418 具有约 $10\text{--}500 \text{ \AA}$ 的厚度, 其表面以螺旋模式均匀生长。

[0072] 在约 $700\text{--}800^\circ\text{C}$ 的生长温度下, 发光的 InGaN 阱层 420 生长至厚度为 $10\text{--}40 \text{ \AA}$, InGaN 势垒层 422 生长至厚度为 $50\text{--}500 \text{ \AA}$ 。另外, 为了实现高亮度发光器件性能, 有必要维持从低摩尔 In 掺杂的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层 418 表面到 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 势垒层 422 的均匀螺旋模式。如果满足上述生长条件, 可以通过形成具有单量子阱结构和具有多量子阱结构的有源层来制造实用的高亮度发光器件。

[0073] 生长发光有源层后, 生长 In 掺杂的 GaN 层 426 和 Mg 掺杂的 p 型 GaN GaN 基单晶层 428。在约 $900\text{--}1020^\circ\text{C}$ 的生长温度下, p 型 GaN 层 428 生长至厚度约为 $500\text{--}5000 \text{ \AA}$ 。

[0074] 然后, 生长 p 型 GaN 层 428 后, 在 p 型 GaN 层 428 上生长 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构 ($0 < x \leq 0.2$, 且 $0 < y \leq 0.2$) 的第二电极接触层 430。有利的是, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 超晶格结构可以完成第二电极接触层 430 的电流传播, 第二电极接触层的电极可以从与第一电极接触层 416 相同的电极金属获得。

[0075] 根据该实施方案的基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件, 第一电极接触层

416 由 n 型电极接触层形成, 并且第二电极接触层 430 由 n 型电极接触层形成。由于在具有 n 型和 p 型电极接触层形式的第一和第二电极接触层的常规基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件中, 高接触阻抗缘于用作第二电极接触层的 p 型 GaN 层的低 Mg 掺杂效率, 因此该实施方案可以克服高接触阻抗, 除去所产生的电流传播层。

[0076] 至于和 p 型 GaN 层 428 的关系, 可以表示为第一电极接触层 416、p 型 GaN 层 428 和第二电极接触层 430 具有 n-p-n 连接。第二电极接触层 430 的超晶格结构层在 2-50 Å 的厚度下彼此交替, 并且第二电极接触层 430 具有小于 200 Å 的最大厚度。另外, 在 700-850°C 的生长温度范围内, 通过供给 N_2 、 N_2+H_2 与 NH_3 气体和 TMGa 与 TMIn 源进行生长步骤, 以生长具有异质结构的高亮度发光器件, 其在内部量子效率和工作电压性质方面是优异的。

[0077] 工业应用性

[0078] 根据本发明的上述基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件及其制造方法, 可以有效地限制由衬底如蓝宝石和在其上生长的 GaN GaN 基单晶层之间的热膨胀系数失配与晶格常数失配所致的晶体缺陷, 从而生长高质量的 GaN 基半导体。具体是, $In_xGa_{1-x}N/In_yGa_{1-y}N$ 超晶格结构置于 Si-In 共掺杂的 GaN 层之下用作第一电极接触层, 从而进一步限制晶体缺陷。

[0079] 另外, 加入了低摩尔 In 掺杂的 $In_xGa_{1-x}N$, 以提高有源层的内部量子效率, 从而均匀地控制量子阱的生长模式。由于 $In_xGa_{1-x}N/In_yGa_{1-y}N$ 超晶格结构用作第二电极接触层, 可以减小工作电压。结果, 本发明可以有利地减小基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的晶体缺陷, 并提高 GaN GaN 基单晶层的结晶性, 从而提高基于氮化物的 3-5 族化合物半导体发光器件的性能和可靠性。

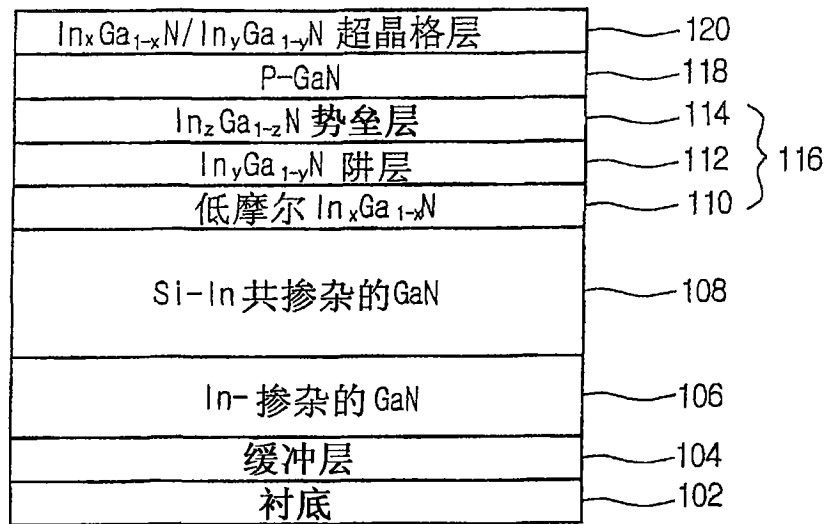


图1

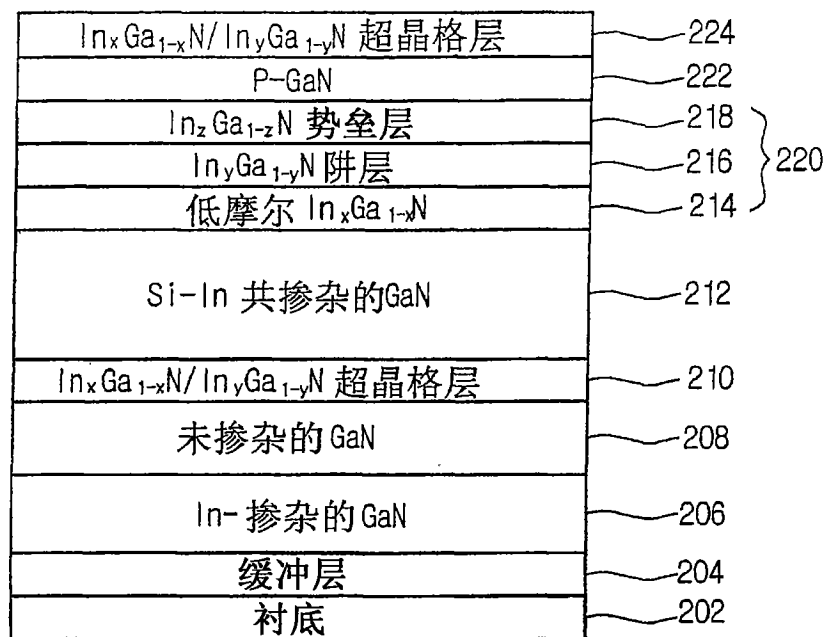


图2



图3

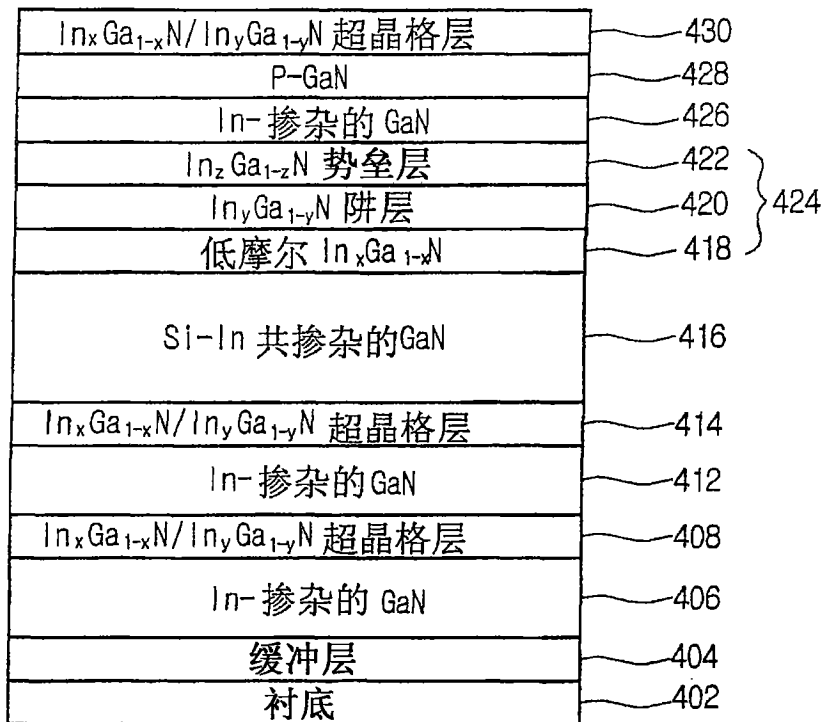


图4