



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103413877 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201310358645. 8

CN 102157648 A, 2011. 08. 17,

(22) 申请日 2013. 08. 16

US 2008/0054248 A1, 2008. 03. 06,

(73) 专利权人 湘能华磊光电股份有限公司

审查员 张春萍

地址 423038 湖南省郴州市白露塘有色金属  
产业园

(72) 发明人 农明涛

(74) 专利代理机构 长沙七合源专利代理事务所  
(普通合伙) 43214

代理人 欧颖

(51) Int. Cl.

H01L 33/12(2010. 01)

(56) 对比文件

US 5747827 A, 1998. 05. 05,

CN 103137807 A, 2013. 06. 05, 全文.

US 2009/0090901 A1, 2009. 04. 09,

CN 102136536 A, 2011. 07. 27,

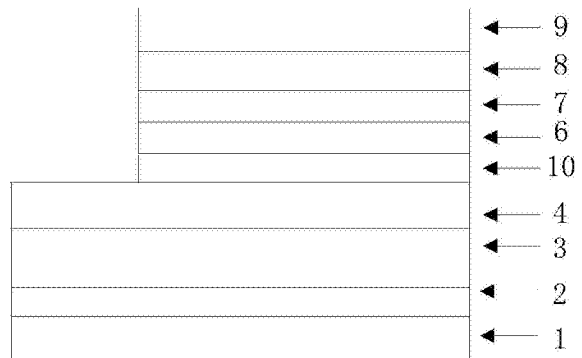
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

外延结构量子阱应力释放层的生长方法及其外延结构

(57) 摘要

本发明提供了外延结构量子阱应力释放层的生长方法及其外延结构,包括总厚度为 160nm 的量子阱应力释放层,所述量子阱应力释放层为掺 In 和 Al 的 HT MQW 层,包括 40nm 厚度的 GaN 层和 2nm 厚度的  $Al_yIn_xGa_{(1-x-y)}N$  层,其中  $x=0.05-0.08$ ,  $y=0.02-0.05$ 。本发明生长方法通过修改 HT MQW 的能带图,实现对进入发光区电子的阻挡作用,减少电子进入 p 层与空穴发生非辐射复合的几率;并且,在 HT MQW 被阻挡的电子经过二维扩散,更均匀的注入发光区,提高电子与空穴的复合效率,提升亮度。



1. 一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法,依次包括处理衬底、生长低温缓冲 GaN 层、生长不掺杂 GaN 层、生长掺 Si 的 GaN 层、生长有源层 MQW、生长 P 型 AlGaIn 层、生长 P 型 GaN 层、生长 InGaIn 层步骤,其特征在于,

在生长掺 Si 的 GaN 层步骤与生长有源层 MQW 步骤之间,包括生长量子阱应力释放层步骤 A:

在蓝宝石衬底上生长的 n 层 GaN 与发光层 MQW 之间插入高温量子阱层作为应力释放层,高温量子阱为 2~5 个周期的 GaN 和  $Al_yIn_xGa_{(1-x-y)}N$  异质结构层,其中 GaN 的厚度在 20~60nm,  $Al_yIn_xGa_{(1-x-y)}N$  的厚度在 1~5nm,  $x = 0.05-0.08$ ,  $y = 0.02-0.05$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法,其特征在于,所述步骤 A 之前包括步骤:

S1、处理衬底:在 1000-1100°C 的氢气气氛下,处理蓝宝石衬底 5-6 分钟;

S2、生长低温缓冲 GaN 层:降温至 500-550°C,在蓝宝石衬底上生长厚度为 30-40nm 的低温缓冲 GaN 层;

S3、生长不掺杂 GaN 层:升温至 1000-1100°C,持续生长厚度为 1-2.5  $\mu m$  的不掺杂 GaN 层;

S4、生长掺 Si 的 GaN 层:持续生长厚度为 2-4  $\mu m$  的 N 型掺 16~32sccm Si 的 GaN 层, Si 的掺杂浓度为  $5E18-2E19atom/cm^3$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法,其特征在于,所述步骤 A 之后包括步骤:

D1、周期性生长有源层 MQW:低温 750°C 生长掺杂 250~500sccm In 的厚度为 3nm 的  $In_xGa_{(1-x)}N$  层,其中  $x = 0.20-0.21$ ,高温 840°C 生长厚度为 12nm 的 GaN 层,  $In_xGa_{(1-x)}N/GaN$  层的周期数为 15;In 的掺杂浓度为  $1E19-1E20atom/cm^3$ ;

D2、生长 P 型 AlGaIn 层:升高温度到 930-950°C 持续生长厚度为 20-30nm 的 P 型 AlGaIn 层;

D3、生长 P 型 GaN 层:升高温度到 950-980°C 持续生长厚度为 0.15-0.20  $\mu m$  的掺 600~800sccm Mg 的 P 型 GaN 层;Mg 的掺杂浓度为  $1E19 \sim 1E20atom/cm^3$ ;

D4、生长 InGaIn 层:降低温度到 650-680°C 时生长厚度为 5-10nm 的掺 1200~1800sccm Mg 的 InGaIn 层;Mg 的掺杂浓度为  $1E20 \sim 1E21atom/cm^3$ ;

D5、降低温度到 700-750°C,在氮气气氛下活化 P 型 GaN 层,持续时间 20-30 分钟。

4. 一种外延结构,其特征在于,包括总厚度为 160nm 的量子阱应力释放层,所述量子阱应力释放层为掺 In 和 Al 的高温多层量子阱应力释放层,包括 40nm 厚度的 GaN 层和 2nm 厚度的  $Al_yIn_xGa_{(1-x-y)}N$  层,其中  $x = 0.05-0.08$ ,  $y = 0.02-0.05$ 。

5. 根据权利要求 4 所述的一种外延结构,其特征在于,所述量子阱应力释放层之下,从下到上依次包括:

GaN 成核层,厚度为 30-40nm;

非掺杂 GaN 缓冲层,厚度为 1-2.5  $\mu m$ ;

n 型 GaN 层,厚度为 2-4  $\mu m$ , Si 的掺杂浓度为  $5E18-2E19atom/cm^3$ 。

6. 根据权利要求 4 所述的一种外延结构,其特征在于,所述量子阱应力释放层之上,从下到上依次包括:

掺铟阱层,包括  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  层和 GaN 层,其中,  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  层的厚度为 3nm,掺杂 In, In 的掺杂浓度为  $1\text{E}19\text{--}1\text{E}20\text{atom}/\text{cm}^3$ ;GaN 层的厚度为 12nm;所述  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  层和所述 GaN 层重叠的周期数为 15;

P 型 AlGa<sub>N</sub> 层,厚度为 20-30nm;

P 型 GaN 层,厚度为 0.15-0.20  $\mu\text{m}$ , Mg 的掺杂浓度为  $1\text{E}19 \sim 1\text{E}20\text{atom}/\text{cm}^3$ ;

InGa<sub>N</sub> 层,厚度为 5-10nm, Mg 的掺杂浓度为  $1\text{E}20 \sim 1\text{E}21\text{atom}/\text{cm}^3$ 。

## 外延结构量子阱应力释放层的生长方法及其外延结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及 LED 外延设计技术领域,特别地,涉及一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法及其外延结构。

### 背景技术

[0002] 以 GaN 为基础的发光二极管 (LED) 作为一种高效、环保、绿色新型固态照明光源,具有低电压、低功耗、体积小、重量轻、寿命长、高可靠性灯优点,正在迅速被广泛地应用于交通信号灯、手机背光源、户外全彩显示屏、城市景观照明、汽车内外灯、隧道灯等。

[0003] 因此,LED 的各方面性能提升都被业界重点关注。

### 发明内容

[0004] 本发明目的在于提供一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法及其外延结构,以解决进一步提高 LED 亮度的技术问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法,依次包括处理衬底、生长低温缓冲 GaN 层、生长不掺杂 GaN 层、生长掺 Si 的 GaN 层、生长有源层 MQW、生长 P 型 AlGaIn 层、生长 P 型 GaN 层、生长 InGaIn 层步骤;

[0006] 在生长掺 SiGaIn 层步骤与生长有源层 MQW 步骤之间,包括生长量子阱应力释放层步骤 A:

[0007] 在温度为 750-800°C,300mbar 的反应室内,通入三甲基镓、三甲基铟、三乙基铟和三甲基铝,生成 40nm 厚度的 GaN 层和 2nm 厚度的  $Al_yIn_xGa_{(1-x-y)}N$  层,其中  $x = 0.05-0.08$ ,  $y = 0.02-0.05$ ,总厚度为 160nm。

[0008] 优选的,所述步骤 A 之前包括步骤:

[0009] S1、处理衬底:在 1000-1100°C 的的氢气气氛下,处理蓝宝石衬底 5-6 分钟;

[0010] S2、生长低温缓冲 GaN 层:降温至 500-550°C,在蓝宝石衬底上生长厚度为 30-40nm 的低温缓冲 GaN 层;

[0011] S3、生长不掺杂 GaN 层:升温至 1000-1100°C,持续生长厚度为 1-2.5  $\mu m$  的不掺杂 GaN 层;

[0012] S4、生长掺 Si 的 GaN 层:持续生长厚度为 2-4  $\mu m$  的 N 型掺 16 ~ 32sccm Si 的 GaN 层,Si 的掺杂浓度为  $5E18-2E19atom/cm^3$ 。

[0013] 优选的,所述步骤 A 之后包括步骤:

[0014] D1、周期性生长有源层 MQW:低温 750°C 生长掺杂 250 ~ 500sccm In 的厚度为 3nm 的  $In_xGa_{(1-x)}N$  层,其中  $x = 0.20-0.21$ ,高温 840°C 生长厚度为 12nm 的 GaN 层,  $In_xGa_{(1-x)}N/GaN$  层的周期数为 15;In 的掺杂浓度为  $1E19-1E20atom/cm^3$ 。

[0015] D2、生长 P 型 AlGaIn 层:升高温度到 930-950°C 持续生长厚度为 20-30nm 的 P 型 AlGaIn 层;

[0016] D3、生长 P 型 GaN 层:升高温度到 950-980°C 持续生长厚度为 0.15-0.20  $\mu m$  的掺

600 ~ 800sccm Mg 的 P 型 GaN 层 ;Mg 的掺杂浓度为  $1E19 \sim 1E20atom/cm^3$ ;

[0017] D4、生长 InGaN 层 :降低温度到 650-680 °C 时生长厚度为 5-10nm 的掺 1200 ~ 1800sccm Mg 的 InGaN 层 ;Mg 的掺杂浓度为  $1E20 \sim 1E21atom/cm^3$ ;

[0018] D5、降低温度到 700-750 °C,在氮气气氛下活化 P 型 GaN 层,持续时间 20-30 分钟。

[0019] 本发明还公开了一种外延结构,包括总厚度为 160nm 的量子阱应力释放层,所述量子阱应力释放层为掺 In 和 Al 的高温多层量子阱应力释放层,包括 40nm 厚度的 GaN 层和 2nm 厚度的  $Al_yIn_xGa_{(1-x-y)}N$  层,其中  $x = 0.05-0.08$ ,  $y = 0.02-0.05$ 。

[0020] 优选的,所述量子阱应力释放层之下,从下到上依次包括:

[0021] GaN 成核层,厚度为 30-40nm ;

[0022] 非掺杂 uGaN 缓冲层,厚度为 1-2.5  $\mu m$  ;

[0023] nGaN 层,厚度为 2-4  $\mu m$ , Si 的掺杂浓度为  $5E18-2E19atom/cm^3$ 。

[0024] 优选的,所述量子阱应力释放层之上,从下到上依次包括:

[0025] 掺铟阱层,包括  $InGa_{(1-x)}N$  层和 GaN 层,其中,  $In_xGa_{(1-x)}N$  层的厚度为 3nm,掺杂 In, In 的掺杂浓度为  $1E19-1E20atom/cm^3$ ;GaN 层的厚度为 12nm ;所述  $In_xGa_{(1-x)}N$  层和所述 GaN 层重叠的周期数为 15 ;

[0026] P 型 AlGaIn 层,厚度为 20-30nm ;

[0027] P 型 GaN 层,厚度为 0.15-0.20  $\mu m$ , Mg 的掺杂浓度为  $1E19 \sim 1E20atom/cm^3$ ;

[0028] InGaIn 层,厚度为 5-10nm, Mg 的掺杂浓度为  $1E20 \sim 1E21atom/cm^3$ 。

[0029] 本发明具有以下有益效果:

[0030] 1、提升亮度:本发明生长方法通过修改 HT MQW(high temperature multiple quantum well, 高温多层量子阱应力释放层)的能带图,实现对进入发光区电子的阻挡作用,减少电子进入 p 层与空穴发生非辐射复合的几率;并且,在 HT MQW 被阻挡的电子经过二维扩散,更均匀的注入发光区,提高电子与空穴的复合效率,提升亮度;

[0031] 2、提升方向电压:本发明量子阱应力释放层采用的 AlInGaIn 材料改变了 HT MQW 的能带,对进入有源层的电子起到一定的阻挡作用,有效抑制过多的电子进入 p 层与空穴发生非辐射复合,有效提升方向电压 VRD ;

[0032] 3、电子的均匀注入、能带的修复在一定程度上降低了器件的工作电压 VF。

[0033] 总体而言,该结构大幅度提升了大尺寸的芯片亮度和方向电压 VRD,同时大幅度提升降低了工作电压。从实施例提供的实验结论显示:在 28\*28 尺寸下,HT MQW 使用 AlInGaIn 材料取代 InGaIn 材料后,亮度从 185 ~ 200mw 提升到 200 ~ 210mw,VRD 从 20 ~ 25V 提升到 30 ~ 40V,电压从 3.4 ~ 3.5V 降低到 3.25 ~ 3.35V。

[0034] 除了上面所描述的目的、特征和优点之外,本发明还有其它的目的、特征和优点。下面将参照图,对本发明作进一步详细的说明。

## 附图说明

[0035] 构成本申请的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0036] 图 1 是本发明对比实施例的结构示意图;

[0037] 图 2 是本发明对比实施例的 HT MQW 能带图;

- [0038] 图 3 是本发明实施例的结构示意图；
- [0039] 图 4 是本发明实施例的 HT MQW 能带图；
- [0040] 图 5 是样品 1 与样品 2 的亮度对比图；
- [0041] 图 6 是样品 1 与样品 2 的 VRD 对比图；
- [0042] 图 7 是样品 1 与样品 2 的 VF 对比图；
- [0043] 其中,1、蓝宝石衬底,2、GaN 成核层,3、非掺杂 uGaN 缓冲层,4、nGaN 层,5、掺铟 HT-MQW 层,6、掺铟阱层,7、P 型 AlGaIn 层,8、P 型 GaN 层,9、InGaIn 层,10、掺 In 和 Al 的 HT MQW 层。

### 具体实施方式

[0044] 以下结合附图对本发明的实施例进行详细说明,但是本发明可以根据权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0045] 本发明提供了一种外延结构量子阱应力释放层的生长方法,依次包括处理衬底、生长低温缓冲 GaN 层、生长不掺杂 GaN 层、生长掺 Si 的 GaN 层、生长有源层 MQW、生长 P 型 AlGaIn 层、生长 P 型 GaN 层、生长 InGaIn 层步骤,在生长掺 SiGaIn 层步骤与生长有源层 MQW 步骤之间,包括生长量子阱应力释放层步骤 A:

[0046] 在温度为 750-800°C,300mbar 的反应室内,通入三甲基铟、三甲基镓、三乙基镓和三甲基铝,生成 40nm 厚度的 GaN 层和 2nm 厚度的  $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x-y)}\text{N}$  层,其中  $x = 0.05-0.08$ ,  $y = 0.02-0.05$ ,总厚度为 160nm。

[0047] 本发明生长的量子阱应力释放层采用了 AlInGaIn 材料,阻挡进入有源层的电子,减少电子进入 p 层与空穴发生非辐射复合的几率,使得大尺寸芯片亮度和方向电压得到提升。

[0048] 以下分别说明采用以现有传统方法制备样品 1 的对比实施例一,和采用本发明生长方法制备样品 2 的实施例一,再将两种方法得到样品 1 和样品 2 进行性能检测比较。

[0049] 对比实施例一、

[0050] 1、在 800-1000°C,300mbar 的反应室内,通入 33000sccm 的氢气,高温处理蓝宝石衬底 5-6 分钟；

[0051] 2、降温至 500-550°C 下,在蓝宝石衬底上生长厚度为 30-40nm 的低温缓冲层 GaN 层 (Nucleation)；

[0052] 3、升高温度到 1000-1100°C 下,持续生长厚度为 1-2.5  $\mu\text{m}$  的不掺杂 GaN 层 (uGaN)；

[0053] 4、再持续生长厚度为 2-4  $\mu\text{m}$  的 n 型掺 Si 的 GaN 层 (nGaN)；

[0054] 5、温度降到 800°C,通入 800sccm 的三甲基铟,100sccm 的三甲基镓,120sccm 的三乙基镓,持续生长厚度为 160nm 的掺 In 的 HT MQW (high temperature multiple quantum well, 高温多层量子阱),厚度为 40nm GaN/2nm  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  层,  $x = 0.05-0.08$ ,4 个周期交替生长；

[0055] 6、周期性生长有源层 MQW,低温 750°C 生长掺杂 In 的厚度为 3nm 的  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  ( $x = 0.20-0.21$ ) 层,高温 840°C 生长厚度为 12nm 的 GaN 层,  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}/\text{GaN}$  周期数为 15；

[0056] 7、再升高温度到 930-950°C 持续生长厚度为 20-30nm 的 P 型 AlGaIn 层；

[0057] 8、再升高温度到 950-980℃持续生长厚度为 0.15-0.20 μm 的掺镁的 P 型 GaN 层 (PGaN) ;

[0058] 9、再降低温度到 650-680℃时生长厚度为 5-10nm 的低温掺镁 InGaN 层 ;

[0059] 10、再降低温度到 700-750℃,在氮气气氛下,持续时间 20-30 分钟,活化 PGaN,得到样品 1。

[0060] 样品 1 的结构可参见图 1 所示,其能带图见图 2 所示。其中,上方曲线为导带,A 点表示 HT MQW 的导带能带差;下方曲线为价带,B 点表示 HT MQW 的价带能带差;横向箭头所指为 N 层注入的电子。后段起伏较大的曲线表示 MQW,前段起伏较小的曲线表示 HT MQW。

[0061] 实施例一、

[0062] 本发明运用 Aixtron Cruis I MOCVD 来生长高亮度 GaN 基 LED 外延片。采用高纯 H<sub>2</sub>或高纯 N<sub>2</sub>或高纯 H<sub>2</sub>和高纯 N<sub>2</sub>的混合气体作为载气,高纯 NH<sub>3</sub>作为 N 源,金属有机源三甲基镓 (TMGa)、三乙基镓作为镓 (TEGa) 源,三甲基镟 (TMIn) 作为镟源,N 型掺杂剂为硅烷 (SiH<sub>4</sub>),P 型掺杂剂为二茂镁 (CP<sub>2</sub>Mg),衬底为 (0001) 面蓝宝石,反应压力在 100mbar 到 800mbar 之间。具体生长方式如下:

[0063] 1、在 800-1000℃,300mbar 的反应室内,通入 33000sccm 氢气,高温处理蓝宝石衬底 5-6 分钟;

[0064] 2、降温至 500-550℃下,在蓝宝石衬底上生长厚度为 30-40nm 的低温缓冲层 GaN(Nucleation) ;

[0065] 3、升高温度到 1000-1100℃下,持续生长厚度为 1-2.5 μm 的不掺杂 GaN(uGaN) ;

[0066] 4、再持续生长厚度为 2-4 μm 的 n 型掺 Si 的 GaN(nGaN) ;

[0067] 5、温度降到 750-800℃,通入 800sccm 的三甲基镟,100sccm 的三甲基镓,120sccm 的三乙基镓和 10sccm 的三甲基铝,持续生长厚度为 160nm 的掺 In 和 Al 的 HT MQW,采用 40nm GaN/2nmAl<sub>y</sub>In<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x-y)</sub>N(x = 0.05-0.08, y = 0.02-0.05)4 个周期交替生长;

[0068] 6、周期性生长有源层 MQW,低温 750℃生长掺杂 In 的厚度为 3nm 的 In<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N(x ~ = 0.20-0.21) 层,高温 840℃生长厚度为 12nm 的 GaN 层,In<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>N/GaN 周期数为 15;

[0069] 7、再升高温度到 930-950℃持续生长厚度为 20-30nm 的 P 型 AlGaN 层;

[0070] 8、再升高温度到 950-980℃持续生长厚度为 0.15-0.20 μm 的掺镁的 P 型 GaN 层;

[0071] 9、再降低温度到 650-680℃时生长厚度为 5-10nm 的低温掺镁 InGaN 层;

[0072] 10、再降低温度到 700-750℃,在氮气气氛下,持续时间 20-30 分钟,活化 PGaN,得到样品 2。

[0073] 样品 2 的结构可参见图 3 所示,其能带图见图 4 所示。其中,上方曲线为导带,C 点表示 HT MQW 的导带能带差;下方曲线为价带,D 点表示 HT MQW 的价带能带差;横向箭头所指为 N 层注入的电子。后段起伏较大的曲线表示 MQW,前段起伏较小的曲线表示 HT MQW。

[0074] 样品 1 和样品 2 的性能比较可参见下表 1:

[0075] 表 1 两样品 HT MQW 的 chip 数据平均值对比

[0076]

ID	LOP1	VF1	WD1	VRD	HW	IR1	BS	ESD2K
样品 2	203.01	3.32	450.93	33.65	20.24	0.0101	1.89	84.84%

样品 1	193.29	3.44	451.07	22.59	19.24	0.0124	1.81	85.97%
------	--------	------	--------	-------	-------	--------	------	--------

[0077] 由表 1 中可以看到,样品 2 的亮度 (LOP1)、反向电压 (VRD)、主波长半波宽 (HW)、和蓝移 (BS) 均高于样品 1,主要性能优势突出;而电压 (VF1)、主波长 (WD1)、漏电值 (IR1)、2kv 抗静电能力 (ESD2K) 低于样品 1,其安全性能更高。

[0078] 并且,从图 5、图 6 和图 7 中可分别看出样品 2 与样品 1 的亮度、VRD、VF 差别,其中,粗线代表样品 2 数据,细线代表样品 1 数据。图 5 中,随着颗粒数增加,样品 2 数据曲线在 197-210mw 上升,而样品 1 数据曲线在 185-200mw 之间,样品 2 亮度远胜样品 1。图 6 中,随着颗粒数增加,样品 2 数据曲线在 30-40v 上升,而样品 1 数据曲线在 20-25v 之间,样品 2 的 VRD 远胜样品 1。图 7 中,随着颗粒数增加,样品 2 数据曲线在 3.25 ~ 3.35V,而样品 1 数据曲线在 3.4 ~ 3.5V,样品 2 的电压相比样品 1,降低不少。

[0079] 参见图 3,本发明还提供了一种外延结构,包括总厚度为 160nm 的量子阱应力释放层,所述量子阱应力释放层为掺 In 和 Al 的 HT MQW 层 10,包括 40nm 厚度的 GaN 层和 2nm 厚度的  $\text{Al}_y\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x-y)}\text{N}$  层,其中  $x = 0.05-0.08$ ,  $y = 0.02-0.05$ 。掺 In 和 Al 的 HT MQW 层 10 取代了现有技术中的掺铟 HT-MQW 层 5。

[0080] 优选的,在所述量子阱应力释放层 10 之下,从下到上依次可包括:

[0081] 蓝宝石衬底 1;

[0082] GaN 成核层 2,厚度为 30-40nm;

[0083] 非掺杂 uGaN 缓冲层 3,厚度为 1-2.5  $\mu\text{m}$ ;

[0084] nGaN 层 4,厚度为 2-4  $\mu\text{m}$ ,掺 Si, Si 的掺杂浓度为  $5\text{E}18-2\text{E}19\text{atom}/\text{cm}^3$ 。

[0085] 优选的,在所述量子阱应力释放层之上,从下到上依次可包括:

[0086] 掺铟阱层 6,包括  $\text{InGa}_{(1-x)}\text{N}$  层和 GaN 层,其中,  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  层的厚度为 3nm,掺杂 In; GaN 层的厚度为 12nm;所述  $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$  层和所述 GaN 层重叠的周期数为 15;

[0087] P 型 AlGaN 层 7,厚度为 20-30nm;

[0088] P 型 GaN 层 8,厚度为 0.15-0.20  $\mu\text{m}$ ,掺 Mg, Mg 的掺杂浓度为  $1\text{E}19 \sim 1\text{E}20\text{atom}/\text{cm}^3$ ;

[0089] InGaN 层 9,厚度为 5-10nm,掺 Mg, Mg 的掺杂浓度为  $1\text{E}20 \sim 1\text{E}21\text{atom}/\text{cm}^3$ 。

[0090] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



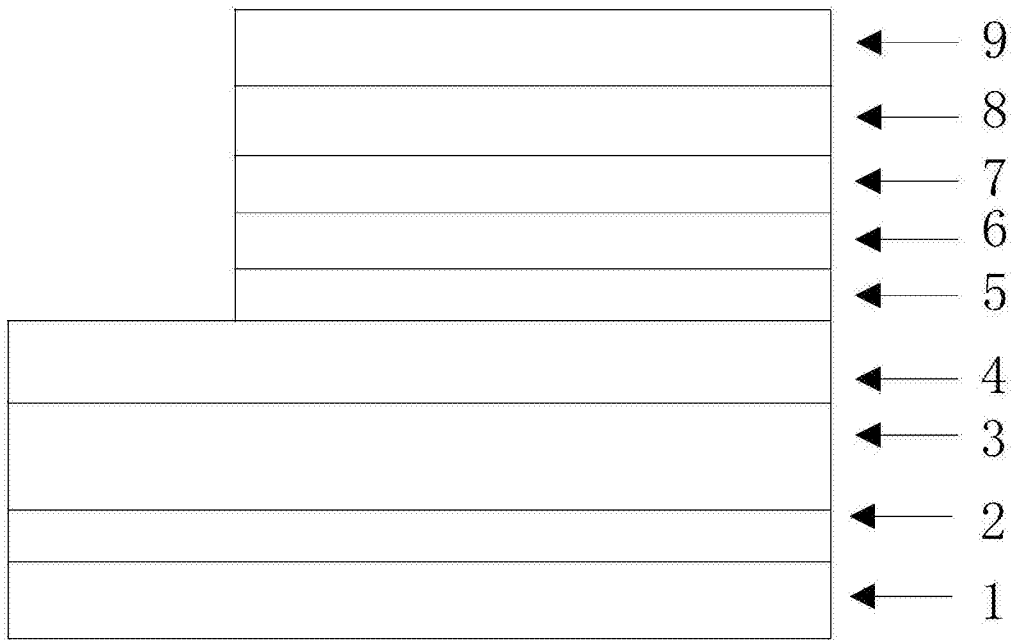


图 1

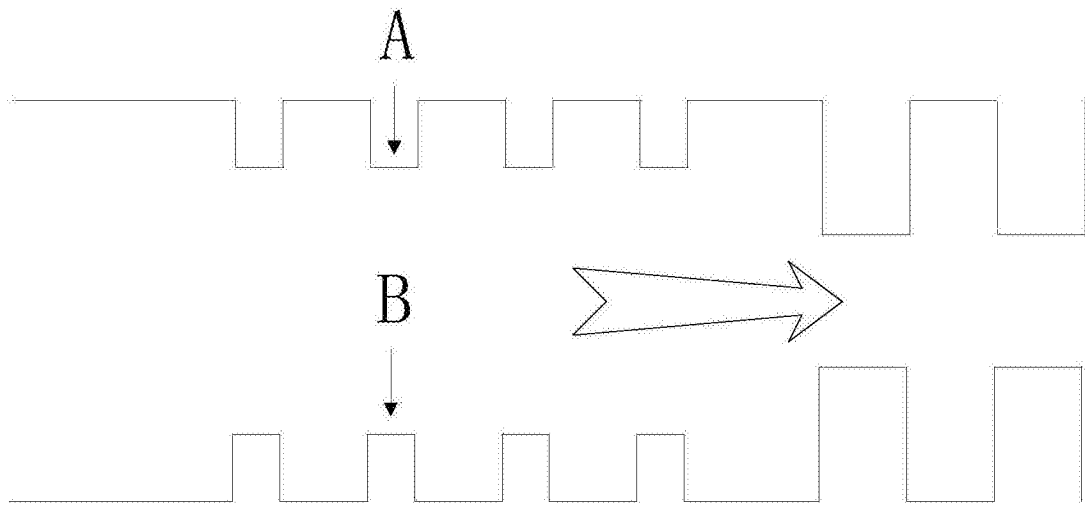


图 2

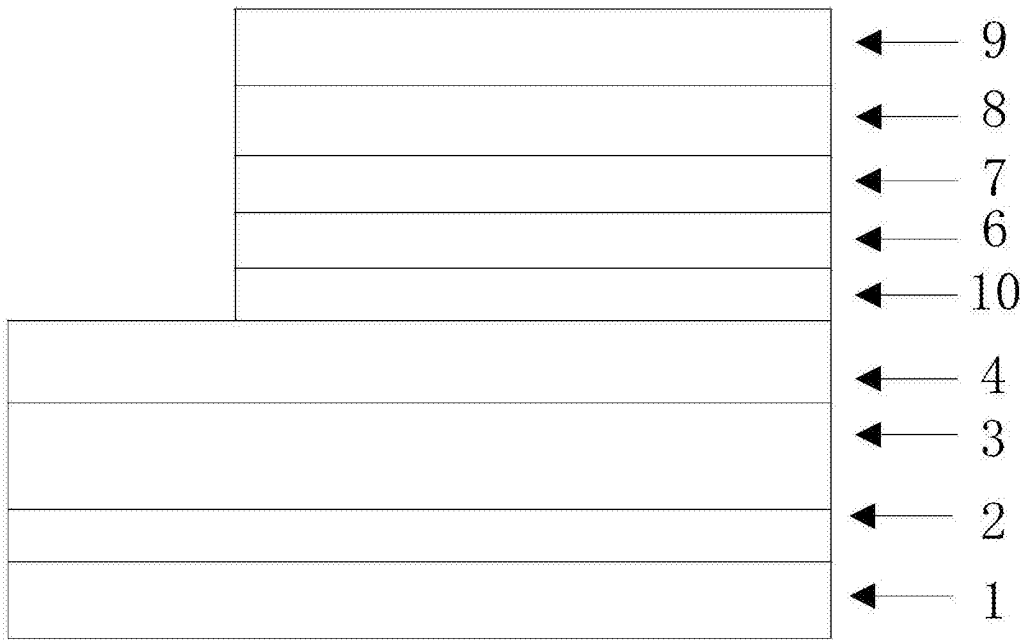


图 3

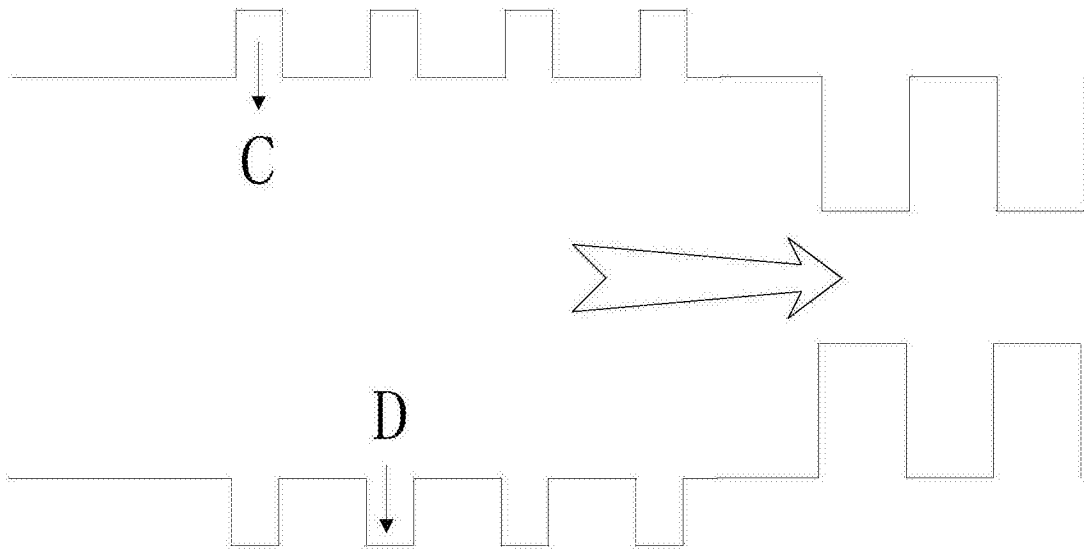


图 4

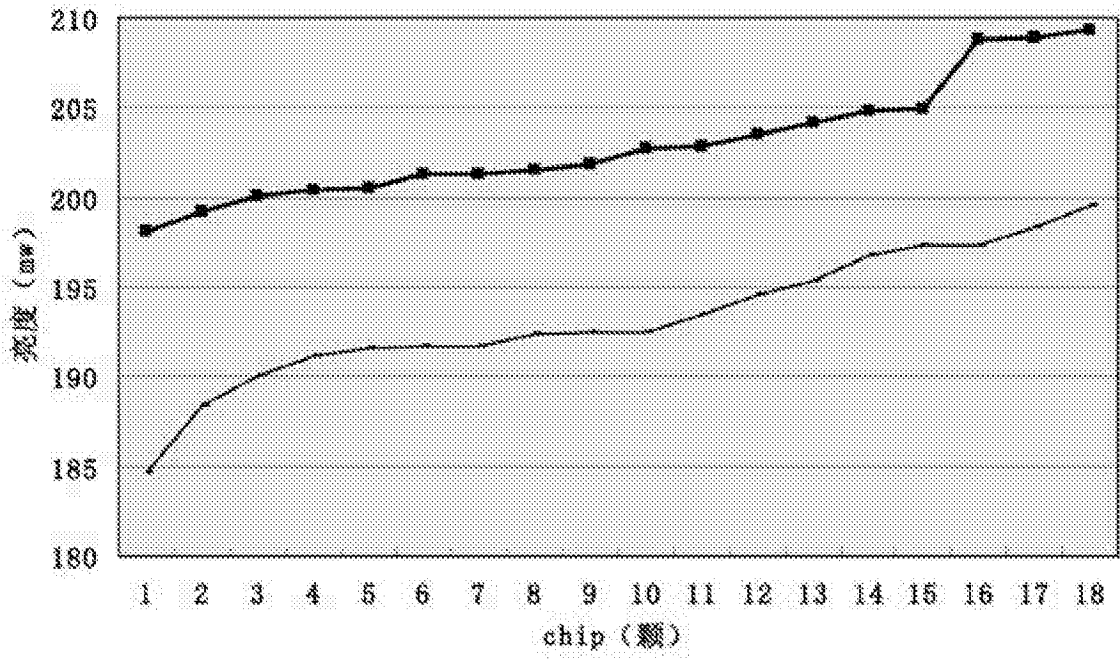


图 5

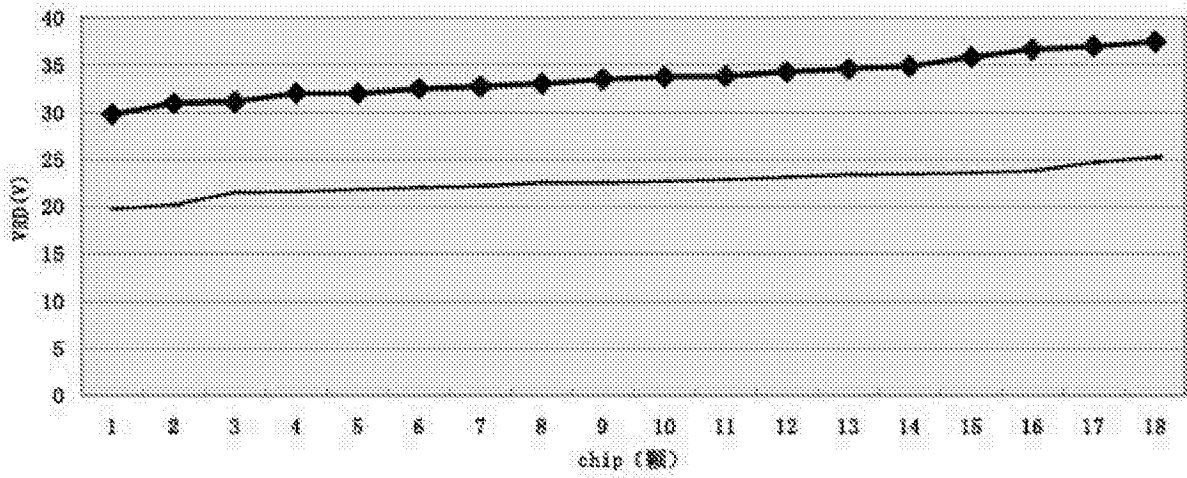


图 6

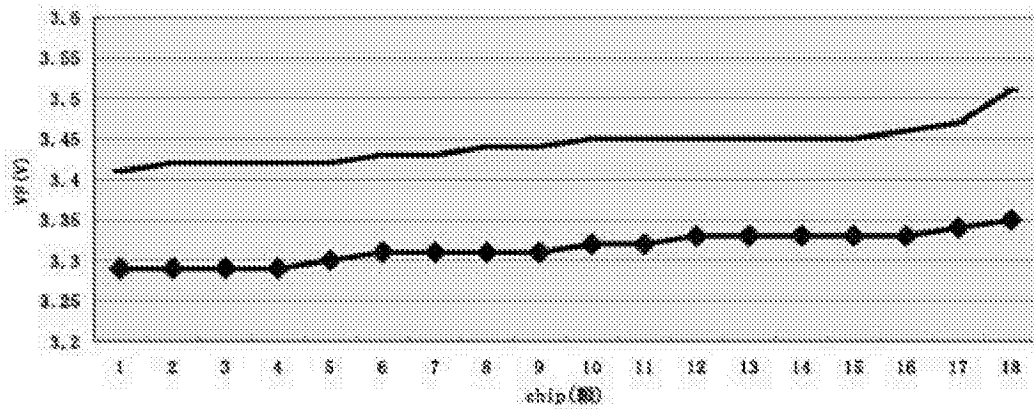


图 7