



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107369744 A

(43)申请公布日 2017. 11. 21

(21)申请号 201710704820.2

(22)申请日 2017.08.17

(71)申请人 合肥彩虹蓝光科技有限公司
地址 230011 安徽省合肥市合肥新站区工业园内

(72)发明人 吴礼清 程斌

(74)专利代理机构 上海光华专利事务所(普通合伙) 31219
代理人 王华英

(51) Int. Cl.
H01L 33/00(2010.01)
H01L 33/14(2010.01)
H01L 33/32(2010.01)

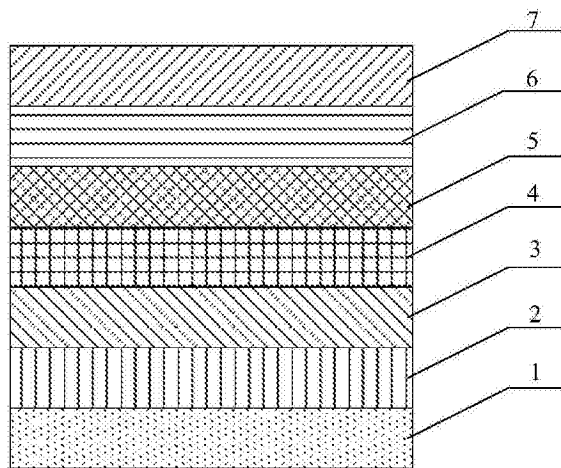
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

提高紫光LED发光效率的外延结构及其生长方法

(57)摘要

本发明提供一种提高紫光LED发光效率的外延结构,外延结构从下向上依次包括:AlN衬底、高温UGaN层、N型GaN层、多量子阱结构MQW、有源区多量子阱结构MQW、In/Mg掺EBL层和P型GaN层;所述In/Mg掺EBL层包括一个[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n多周期结构,[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n多周期结构包括交替层叠的GaN层和Al_xGa_{1-x}N层,其中,所述x的取值范围在0.02-0.2之间,所述n为整数,取值范围为6-12;[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n多周期结构中每周期的Al_xGa_{1-x}N层与GaN层的总厚度在50-100nm之间;GaN层中掺杂Mg浓度在1.0E+19到8.0E+19之间,Al_xGa_{1-x}N层中掺杂In浓度在2.0E+18到9.0E+18之间。本发明的外延结构能够有效提高紫光二极管电子与空穴复合效率进而提高其发光效率。



1. 一种提高紫光LED发光效率的外延结构,其特征在于,所述外延结构从下向上依次包括:

AlN衬底;

位于所述AlN衬底上的高温UGaN层;

位于所述高温UGaN层上的N型GaN层;

位于所述N型GaN层上的多量子阱结构MQW;

位于所述多量子阱结构MQW上的有源区多量子阱结构MQW;

位于所述有源区多量子阱结构MQW上的In/Mg掺EBL层;

位于所述In/Mg掺EBL层上的P型GaN层;

所述In/Mg掺EBL层包括一个 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构,所述 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构包括交替层叠的GaN层和 $Al_xGa_{1-x}N$ 层,其中,所述x的取值范围在0.02-0.2之间,所述n为整数,取值范围为6-12;所述 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构中,每周期的 $Al_xGa_{1-x}N$ 层与GaN层的总厚度在50-100nm之间;所述GaN层中掺杂Mg,掺杂浓度在 $1.0E+19$ 到 $8.0E+19$ 之间,所述 $Al_xGa_{1-x}N$ 层中掺杂In,掺杂浓度在 $2.0E+18$ 到 $9.0E+18$ 之间。

2. 根据权利要求1所述的提高紫光LED发光效率的外延结构,其特征在于,所述多量子阱MQW由1-20层 $In_xGa_{1-x}N/GaN$ 多量子阱组成,单个所述 $In_xGa_{1-x}N/GaN$ 多量子阱的厚度在0.5-5nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

3. 根据权利要求1所述的提高紫光LED发光效率的外延结构,其特征在于,所述有源区多量子阱MQW由5-10个周期的 $In_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 多量子阱组成,单个所述 $In_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N$ 多量子阱的厚度在1-20nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

4. 一种提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

步骤一,提供一AlN衬底;

步骤二,将温度调节至1000-1200°C之间,通入TMGa,生长高温UGaN层;

步骤三,生长一层N型GaN层;

步骤四,将温度调节至600-1000°C之间,生长多量子阱结构MQW;

步骤五,将温度调节至750-920°C之间,生长有源区多量子阱MQW;

步骤六,生长In/Mg掺EBL层,所述In/Mg掺EBL层是由GaN和 $Al_xGa_{1-x}N$ 交替循环生长,Al采用渐变方式由少到多通入,其中,所述x的取值范围在0.02-0.2之间,循环周期个数为6-12,且每周期内生长GaN和 $Al_xGa_{1-x}N$ 的总厚度控制在50-100nm之间,温度控制在800-1000°C之间,压力控制在100-500Torr之间,其中,GaN中掺杂Mg浓度控制在 $1.0E+19$ 到 $8.0E+19$ 之间且掺杂浓度保持不变, $Al_xGa_{1-x}N$ 中掺杂In浓度控制在 $2.0E+18$ 到 $9.0E+18$ 之间且掺杂浓度保持不变;

步骤七,将温度调节至700-1100°C之间,以 N_2 作为载气,生长p型GaN层;

步骤八,将反应室的温度降至650-800°C之间,采用纯氮气氛围进行退火处理2-20min,然后降至室温,获得外延结构。

5. 根据权利要求4所述的提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,在所述步骤二中,生长高温UGaN层的厚度控制在0.5-2.5 μm 之间,生长压力控制在100-500Torr之间,V/III摩尔比控制在300-2500之间。

6. 根据权利要求4所述的提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,在所述步骤三中,生长N型GaN层的厚度控制在1.5-4.5 μm 之间,掺杂浓度维持在 $1\text{E}+18$ 到 $1\text{E}+19$,生长压力控制在100-600Torr之间,V/III摩尔比控制在50-2000之间。

7. 根据权利要求4所述的提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,在所述步骤四中,生长多量子阱结构MQW的生长压力控制在400-600Torr之间,V/III摩尔比控制在200-5000之间,所述多量子阱MQW由1-20层 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱组成,所述单个多量子阱的厚度在0.5-5nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

8. 根据权利要求4所述的提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,在所述步骤五中,生长有源区多量子阱MQW的生长压力控制在400-600Torr之间,V/III摩尔比控制在300-8000之间,所述有源区多量子阱由5-10个周期的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 多量子阱组成,所述单个有源区多量子阱MQW的厚度在1-20nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

9. 根据权利要求4所述的提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,在所述步骤七中,生长p型GaN层的厚度控制在50-200nm之间,生长时间控制在5-30min之间,生长压力控制在200-600Torr之间,V/III摩尔比控制在200-6000之间。

10. 根据权利要求4-9任一项所述的提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,其特征在于,使用高纯氢气或氮气作为载气,以三甲基镓、三乙基镓、三甲基铝、三甲基铟和氨气分别作为Ga、Al、In和N源,使用硅烷和二茂镁分别作为N、P型掺杂剂。

提高紫光LED发光效率的外延结构及其生长方法

技术领域

[0001] 本发明涉及III族氮化物材料制备技术领域,特别是涉及一种In/Mg掺EBL层结构,具体是能够有效提高紫光二极管电子与空穴复合效率进而提高发光效率的外延结构及生长方法。

背景技术

[0002] 发光二极管(LED,Light Emitting Diode)是一种半导体固体发光器件,其利用半导体PN结作为发光材料,可以直接将电转换为光。紫外LED,简称UV-LED,是指发光波长在100nm-400nm的LED,目前广泛应用的紫外线主要利用灯管内封装的汞加热激发发射出紫外光。由于含有有毒的物质汞,使得利用汞灯作为紫外光源不适合绿色发展的需要。而紫外LED相对于汞灯而言,具有体积小、寿命长、环保和低电压供电等诸多优点,成为了替代汞灯作为新一代紫外光源更好的选择。

[0003] 对于LED的外延生长和异质结构设计,重要的是提升内量子效率IQE(internal quantum efficiency),另外一个重要概念是载流子注入效率,它是指电子空穴由N,P区注入到发光区MQW的比例。通常存在电子从MQW溢出到P区,由于P区不属于发光区,电子在此主要以非辐射复合形式复合。因此需要提高载流子的注入效率,减少载流子从发光区溢出而转化为非辐射复合。要提高紫光LED的发光效率比较低的问题,在于提高空穴的注入效率和抑制有源层电子的溢出,减少漏电流,进而促进GaN基LED的光效得到有效提升。

[0004] 对于紫光LED,电子阻挡层的设计比较重要,这是由于量子阱中In组分比较低,GaN量子垒的势垒限制比较小,因此需要通过特殊设计的电子阻挡层来减少载流子泄露显得尤为重要。而传统的电子阻挡层普遍为AlGaN,或者AlGaN超晶格等,GaN/AlGaN之间存在自发极化和压电极化,界面存在束缚的正电荷,它吸引自由电子降低电子阻挡层的势垒作用,同时界面束缚的正电荷对空穴有排斥作用,导致空穴注入不足,发光效率下降。

[0005] 鉴于此,有必要提供一种能够克服上述缺点的新型In/Mg掺EBL层结构外延生长方法。

发明内容

[0006] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种提高紫光LED发光效率的外延结构及其生长方法,用于解决现有技术中紫光二极管发光效率低的问题。

[0007] 为实现上述目的,本发明采用以下方案:一种提高紫光LED发光效率的外延结构,所述外延结构从下向上依次包括:AlN衬底;位于所述AlN衬底上的高温UGaN层;位于所述高温UGaN层上的N型GaN层;位于所述N型GaN层上的多量子阱结构MQW;位于所述多量子阱结构MQW上的有源区多量子阱结构MQW;位于所述有源区多量子阱结构MQW上的In/Mg掺EBL层;位于所述In/Mg掺EBL层上的P型GaN层;所述In/Mg掺EBL层包括一个 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构,所述 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构包括交替层叠的GaN层和 $Al_xGa_{1-x}N$ 层,其中,所述x的取值范围在0.02-0.2之间,所述n为整数,取值范围为6-12;所述 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构

中,每周期的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层与GaN层的总厚度在50-100nm之间;所述GaN层中掺杂Mg,掺杂浓度在 $1.0\text{E}+19$ 到 $8.0\text{E}+19$ 之间,所述 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层中掺杂In,掺杂浓度在 $2.0\text{E}+18$ 到 $9.0\text{E}+18$ 之间。

[0008] 于本发明的一实施方式中,所述多量子阱MQW由1-20层 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱组成,单个所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱的厚度在0.5-5nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0009] 于本发明的一实施方式中,所述有源区多量子阱MQW由5-10个周期的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 多量子阱组成,单个所述 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 多量子阱的厚度在1-20nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0010] 本发明还提供一种提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,该方法包括以下步骤:步骤一,提供一AlN衬底;步骤二,将温度调节至1000-1200°C之间,通入TMGa,生长高温UGaN层;步骤三,生长一层N型GaN层;步骤四,将温度调节至600-1000°C之间,生长多量子阱结构MQW;步骤五,将温度调节至750-920°C之间,生长有源区多量子阱MQW;步骤六,生长In/Mg掺EBL层,所述In/Mg掺EBL层是由GaN和 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 交替循环生长,Al采用渐变方式由少到多通入,其中,所述x的取值范围在0.02-0.2之间,循环周期个数为6-12,且每周期内生长GaN和 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 的总厚度控制在50-100nm之间,温度控制在800-1000°C之间,压力控制在100-500Torr之间,其中,GaN中掺杂Mg浓度控制在 $1.0\text{E}+19$ 到 $8.0\text{E}+19$ 之间且掺杂浓度保持不变, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 中掺杂In浓度控制在 $2.0\text{E}+18$ 到 $9.0\text{E}+18$ 之间且掺杂浓度保持不变;步骤七,将温度调节至700-1100°C之间,以 N_2 作为载气,生长p型GaN层;步骤八,将反应室的温度降至650-800°C之间,采用纯氮气氛围进行退火处理2-20min,然后降至室温,获得外延结构。

[0011] 于本发明的一实施方式中,在所述步骤二中,生长高温UGaN层的厚度控制在0.5-2.5 μm 之间,生长压力控制在100-500Torr之间,V/III摩尔比控制在300-2500之间。

[0012] 于本发明的一实施方式中,在所述步骤三中,生长N型GaN层的厚度控制在1.5-4.5 μm 之间,掺杂浓度维持在 $1\text{E}+18$ 到 $1\text{E}+19$,生长压力控制在100-600Torr之间,V/III摩尔比控制在50-2000之间。

[0013] 于本发明的一实施方式中,在所述步骤四中,生长多量子阱结构MQW的生长压力控制在400-600Torr之间,V/III摩尔比控制在200-5000之间,所述多量子阱MQW由1-20层 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多量子阱组成,所述单个多量子阱的厚度在0.5-5nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0014] 于本发明的一实施方式中,在所述步骤五中,生长有源区多量子阱MQW的生长压力控制在400-600Torr之间,V/III摩尔比控制在300-8000之间,所述有源区多量子阱由5-10个周期的 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 多量子阱组成,所述单个有源区多量子阱MQW5的厚度在1-20nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0015] 于本发明的一实施方式中,在所述步骤七中,生长p型GaN层的厚度控制在50-200nm之间,生长时间控制在5-30min之间,生长压力控制在200-600Torr之间,V/III摩尔比控制在200-6000之间。

[0016] 于本发明的一实施方式中,使用高纯氢气或氮气作为载气,以三甲基镓、三甲基铝、三甲基铟和氨气分别作为Ga、Al、In和N源,使用硅烷和二茂镁分别作为N、P型掺杂剂。

[0017] 如上所述,本发明的一种提高紫光LED发光效率的外延结构及其生长方法,具有以下有益效果:

[0018] 1、新型In/Mg掺EBL层结构中,GaN/InGaN之间界面极性不同于GaN/AlGaN,在GaN中掺入Mg可以就近增加空穴浓度;在AlGaN中适当增加In组分可以降低界面束缚电荷,有利于空穴的注入,增加电子阻挡层的有效势垒;

[0019] 2、Al原子的扩散长度比较小,Mg掺杂迁移使得外延层表面粗糙,不容易实现二维生长,而表面的轻微粗糙程度有利于量子阱出光效率的提升;因此,增强电子阻挡层的有效势垒、增加空穴的注入效率、有效改善量子阱的出光从而提高了GaN基紫光LED发光效率。

附图说明

[0020] 图1为本发明的提高紫光LED发光效率的外延结构的示意图。

[0021] 图2为本发明的提高紫光LED发光效率的外延结构中In/Mg掺EBL层结构示意图。

[0022] 图3为本发明的外延结构生长方法中生长In/Mg掺EBL层时四种源的通入方式示意图。

[0023] 元件标号说明

[0024]	1	AlN衬底
[0025]	2	高温UGaN层
[0026]	3	N型GaN层
[0027]	4	多量子阱结构MQW
[0028]	5	有源区多量子阱结构MQW
[0029]	6	In/Mg掺EBL层
[0030]	61	$Al_xGa_{1-x}N$ 层
[0031]	62	GaN层
[0032]	7	P型GaN层

具体实施方式

[0033] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式,本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用,本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用,在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。需说明的是,在不冲突的情况下,以下实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0034] 需要说明的是,以下实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想,虽图示中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数目、形状及尺寸绘制,其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变,且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0035] 请参阅图1,本发明提供一种提高紫光LED发光效率的外延结构,所述外延结构从下向上依次包括:AlN衬底1;位于所述AlN衬底1上的高温UGaN层2;位于所述高温UGaN层2上的N型GaN层3;位于所述N型GaN层3上的多量子阱结构MQW4;位于所述多量子阱结构MQW4上的有源区多量子阱结构MQW5多量子阱结构MQW4;位于所述有源区多量子阱结构MQW5多量子阱结构MQW4上的In/Mg掺EBL层6;位于所述In/Mg掺EBL层6上的P型GaN层7。

[0036] 所述In/Mg掺EBL层6包括一个 $[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n$ 多周期结构,如图2所示,所述

[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n多周期结构包括交替层叠的GaN层62和Al_xGa_{1-x}N层61,其中,所述x的取值范围在0.02-0.2之间,所述n为整数,取值范围为6-12,n1表示第一层,nn表示第n层;所述[Al_xGa_{1-x}N/GaN]_n多周期结构中,每周期的Al_xGa_{1-x}N层61与GaN层62的总厚度在50-100nm之间;所述GaN层62中掺杂Mg,掺杂浓度在1.0E+19到8.0E+19之间,所述Al_xGa_{1-x}N层61中掺杂In,掺杂浓度在2.0E+18到9.0E+18之间。

[0037] 需要说明的是,本说明书中的浓度单位均为个/cm³,例如,1.0E+19表示为1.0×10¹⁹cm⁻³。

[0038] 作为示例,所述多量子阱MQW由1-20层In_xGa_{1-x}N/GaN多量子阱组成,单个所述In_xGa_{1-x}N/GaN多量子阱的厚度在0.5-5nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0039] 作为示例,所述有源区多量子阱MQW由5-10个周期的In_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N多量子阱组成,单个所述In_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N多量子阱的厚度在1-20nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0040] 本发明还提供一种提高紫光LED发光效率的外延结构的生长方法,该方法包括以下步骤:

[0041] 步骤一,提供一AlN衬底,并对其进行预处理。

[0042] 步骤二,在AlN衬底上,将温度调节至1000-1200℃之间,生长压力控制在100-500Torr之间,通入TMGa,生长厚度为0.5-2.5um之间的高温UGaN层,V/III摩尔比控制在300-2500之间。

[0043] 步骤三,所述高温UGaN层生长结束后,生长一层掺杂浓度稳定的N型GaN层,掺杂浓度维持在1E+18-1E+19;生长温度控制在1000-1200℃之间,生长压力控制在100-600Torr之间,生长厚度控制在1.5-4.5um之间,V/III摩尔比控制在50-2000之间。

[0044] 步骤四,所述N型GaN层生长结束后,生长多量子阱结构MQW,生长温度控制在600-1000℃之间,生长压力控制在400-600Torr之间,V/III摩尔比控制在200-5000之间,所述多量子阱MQW由1-20层In_xGa_{1-x}N/GaN多量子阱组成,所述单个多量子阱的厚度在0.5-5nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0045] 步骤五,所述多量子阱MQW生长结束后,生长有源区多量子阱MQW,生长温度控制在750-920℃之间,压力控制在400-600Torr之间,V/III摩尔比控制在300-8000之间,所述有源区多量子阱由5-10个周期的In_xGa_{1-x}N/Al_yGa_{1-y}N多量子阱组成,所述单个有源区多量子阱MQW的厚度在1-20nm之间,垒的厚度在1-10nm之间。

[0046] 步骤六,所述有源区多量子阱MQW生长结束后,生长In/Mg掺EBL层。请参阅图3,是在生长In/Mg掺EBL层时四种源的通入方式,GaN和Al_xGa_{1-x}N交替循环生长,Al采用渐变方式由少到多斜坡(Ramp)通入,其中,0.02<x<0.2,循环周期在6-12个之间,且每周期内GaN和Al_xGa_{1-x}N总厚度在50-100nm之间,温度在800-1000℃之间,压力在100-500Torr之间,其中,GaN中掺杂Mg浓度在1.0E+19到8.0E+19之间且掺杂浓度保持不变,Al_xGa_{1-x}N中掺杂In浓度在2.0E+18到9.0E+18之间且掺杂浓度保持不变。须知,图3中所通入源仅代表浓度高低,不代表流量的绝对关系,ON代表开,OFF代表关闭。

[0047] 步骤七,所述In/Mg掺EBL层生长结束后,以N₂作为载气生长厚度在50-200nm之间的p型GaN层,生长温度在700-1100℃之间,生长时间在5-30min之间,压力在200-600Torr之间,V/III摩尔比在200-6000之间。

[0048] 步骤八,外延生长结束后,将反应室的温度降至650-800℃之间,采用纯氮气氛围

进行退火处理2~20min,然后降至室温,即得LED外延结构。

[0049] 随后,经过清洗、沉积、光刻和刻蚀等后续加工工艺制成单颗小尺寸芯片。

[0050] 需要注意的是,本实施例中,以高纯氢气(H₂)或氮气(N₂)作为载气,以三甲基镓(TMGa)、三乙基镓(TEGa)、三甲基铝(TMA1)、三甲基铟(TMIn)和氨气(NH₃)分别作为Ga、Al、In和N源,用硅烷(SiH₄)和二茂镁(CP₂Mg)分别作为N、P型掺杂剂。

[0051] 综上所述,本发明的一种提高紫光LED发光效率的外延结构及其生长方法,具有以下有益效果:新型In/Mg掺EBL层结构一方面GaN/InGaN之间界面极性不同于GaN/AlGaN,在GaN中掺入Mg可以就近增加空穴浓度;在AlGaN中适当增加In组分可以降低界面束缚电荷,有利于空穴的注入,增加电子阻挡层的有效势垒;另一方面Al原子的扩散长度比较小,Mg掺杂迁移使得外延层表面粗糙,不容易实现二维生长,而表面的轻微粗糙程度有利于量子阱出光效率的提升;因此,增强电子阻挡层的有效势垒、增加空穴的注入效率、有效改善量子阱的出光从而提高了GaN基紫光LED发光效率。

[0052] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效,而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下,对上述实施例进行修饰或改变。因此,举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变,仍应由本发明的权利要求所涵盖。

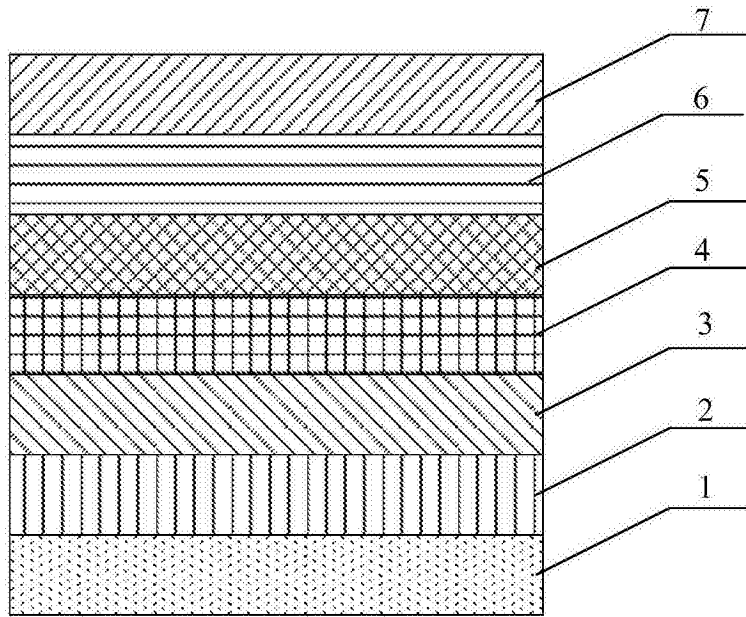


图1

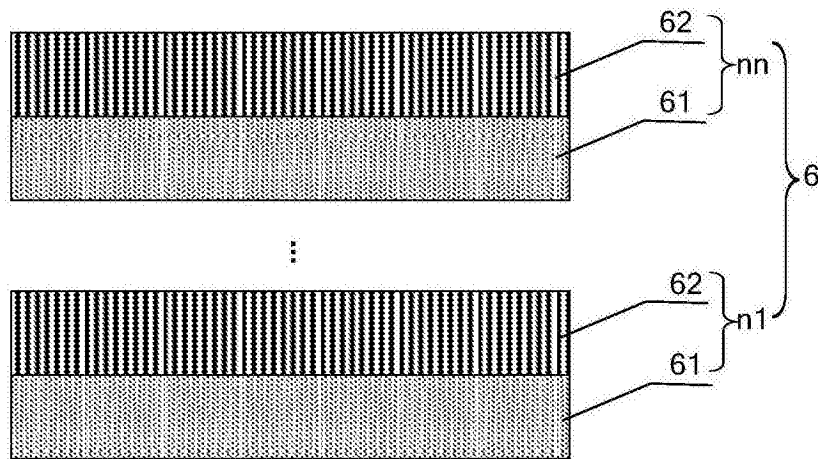


图2

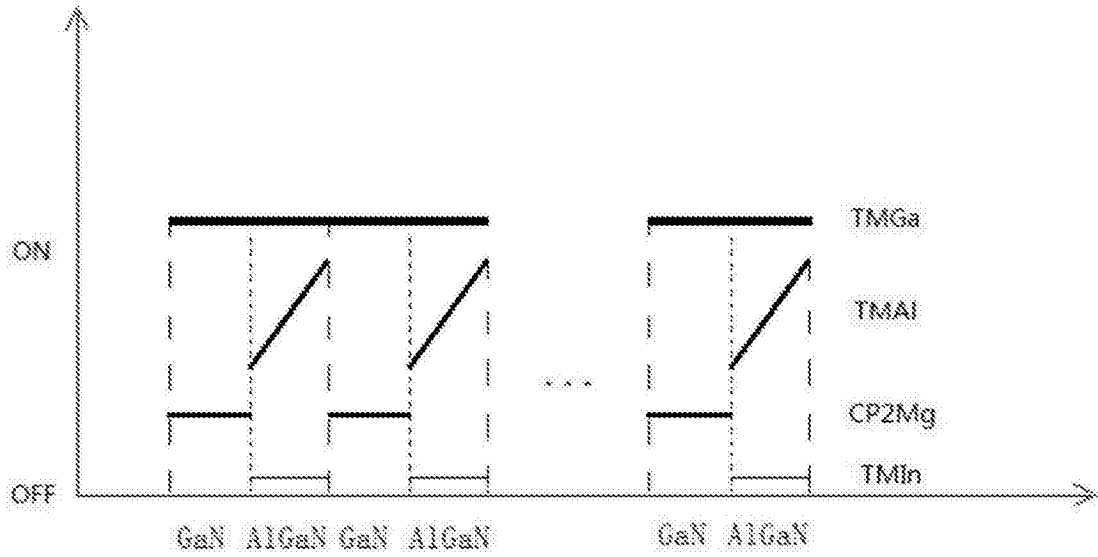


图3