



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103633207 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201310337540. 4

(22) 申请日 2013. 08. 05

(71) 申请人 圆融光电科技有限公司

地址 243000 安徽省马鞍山市经济开发区湖
西大道南路 259 号 1- 一层

(72) 发明人 黄小辉 蔡武 周德保 杨东
郑远志 陈向东 康建 梁旭东

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理
有限公司 11205

代理人 黄健

(51) Int. Cl.

H01L 33/06 (2010. 01)

权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

发光二极管的外延生长方法

(57) 摘要

本发明提供一种发光二极管的外延生长方法。该方法包括：在衬底上，依次生长缓冲层、非掺杂层、N型掺杂层、量子阱发光层和P型掺杂层，所述量子阱发光层包括铟镓氮 InGaN 量子阱层和铝镓氮 AlGaIn 量子垒层，所述量子阱发光层采用周期生长方式进行生长。本发明提供的发光二极管的外延生长方法，采用周期生长方式生长量子阱发光层，使得量子阱发光层的位错密度可以降低一个数量级至 10^6 cm^{-2} ，极大地降低载流子溢出效应，提高量子阱发光层中的辐射复合中心数量，大电流密度下 LED 的效率下降现象得到有效抑制，例如大尺寸下 (1 mm^2) 使用大电流测试，LED 的效率下降不超过 5%。

在衬底上，依次生长缓冲层、非掺杂层、N型掺杂层、量子阱发光层和P型掺杂层，量子阱发光层包括铟镓氮 InGaN 量子阱层和铝镓氮 AlGaIn 量子垒层，量子阱发光层采用周期生长方式进行生长

101

1. 一种发光二极管的外延生长方法,其特征在于,包括:

在衬底上,依次生长缓冲层、非掺杂层、N型掺杂层、量子阱发光层和P型掺杂层,所述量子阱发光层包括铟镓氮 InGaN 量子阱层和铝镓氮 AlGaN 量子垒层,所述量子阱发光层采用周期生长方式进行生长。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述衬底为蓝宝石、硅、碳化硅、玻璃、铜、镍或铬;

所述缓冲层包括以下材料中的一种或多种:氮化镓 GaN、氮化铟 InN 和氮化铝 AlN。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述铝镓氮 AlGaN 量子垒层为 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构,所述 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构包括:第一 GaN 量子垒层、Al_xGa_{1-x}N 量子垒层和第二 GaN 量子垒层;

其中,x 位于 0~1 之间,y 位于 0~1 之间。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述量子阱发光层采用第一周期生长方式进行生长,包括:

生长所述铟镓氮 InGaN 量子阱层;

生长所述第一 GaN 量子垒层;

生长所述 Al_xGa_{1-x}N 量子垒层;

生长所述第二 GaN 量子垒层。

5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述量子阱发光层采用 X 次所述第一周期生长方式进行生长;

其中,X 位于 2~20 之间。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述铝镓氮 AlGaN 量子垒层为 GaN/Al_mGa_{1-m}N 超晶格结构,所述 GaN/Al_mGa_{1-m}N 超晶格结构包括:第三 GaN 量子垒层和 Al_mGa_{1-m}N 层;

其中,m 位于 0~1 之间,n 位于 0~1 之间。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述量子阱发光层采用第二周期生长方式进行生长,包括:

生长所述铟镓氮 InGaN 量子阱层;

采用第三周期方式生长所述 AlGaN 量子垒层,包括:

生长所述第三 GaN 量子垒层;

生长所述 Al_mGa_{1-m}N 量子垒层。

8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,所述 AlGaN 量子垒层采用 Y 次所述第三周期生长方式进行生长;

其中,Y 位于 2~20 之间。

9. 根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述量子阱发光层采用 Z 次所述第二周期生长方式进行生长;

其中,Z 位于 2~20 之间。

10. 根据权利要求1-9任一项所述的方法,其特征在于,所述 AlGaN 量子垒层的能带图呈锯齿形分布。

发光二极管的外延生长方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体技术领域,尤其涉及一种发光二极管的外延生长方法。

背景技术

[0002] 以氮化镓 GaN 为代表的宽禁带材料,是继硅 Si 和砷化镓 GaAs 之后的第三代半导体材料,用来制作发光二极管、激光器、探测器、高频高功率晶体管等电子器件。

[0003] GaN 作为新一代光源制备材料,在发光领域具有特殊而不可取代的地位。GaN 体系材料能够制备从紫外到紫光、蓝光、绿光等可见光发光区域,并且铟镓氮 InGaN 的引入使得 GaN 体系材料在绿光段表现突出,填补了绿光的带隙空白,促使 GaN 基 LED 得到广泛的应用,在照明领域一路坚挺,并有望近年取代荧光灯成为传统照明光源。

[0004] 两步法生长低温缓冲层技术是通入源反应物低温生长一薄层之后,进行高温退火,使得低温缓冲层变成低密度的晶核。两步法生长低温缓冲层技术能够有效降低成核密度,其成核密度可以达到 $2.0 \times 10^8 \text{cm}^{-2}$ 。当成核岛合并时,位错会从合并的界面产生,并延伸至整个体材料。

[0005] 对于量子阱发光层采用传统的 InGaN/GaN 量子阱结构的 LED 来说,缓冲层的位错在 InGaN/GaN 量子阱区得到放大,损害有源区的发光性能。除此之外,由于量子阱势垒高度较低的问题,导致电子从 N 型区注入量子阱后容易产生载流子溢出现象。载流子溢出的后果是电子和空穴在有源区之外复合,为非辐射复合,极大地影响了量子阱内的辐射复合效率,引起 LED 的效率下降问题,而效率下降问题在大电流密度下尤为明显。由于照明用 LED 大部分是在大电流密度下使用,因而效率下降问题极大地限制了 LED 在照明领域的延伸和发展。

发明内容

[0006] 本发明提供一种发光二极管的外延生长方法,目的在于克服上述已有方法的缺陷,解决传统量子阱结构中存在的位错密度大、在大电流密度下容易产生载流子溢出,非辐射复合数量多以及 LED 效率下降的问题。

[0007] 本发明通过以下方式实现:

[0008] 本发明提供了一种发光二极管的外延生长方法,包括:

[0009] 在衬底上,依次生长缓冲层、非掺杂层、N 型掺杂层、量子阱发光层和 P 型掺杂层,所述量子阱发光层包括铟镓氮 InGaN 量子阱层和铝镓氮 AlGaIn 量子垒层,所述量子阱发光层采用周期生长方式进行生长。

[0010] 如上所述的方法中,所述衬底为蓝宝石、硅、碳化硅、玻璃、铜、镍或铬;

[0011] 所述缓冲层包括以下材料中的一种或多种:氮化镓 GaN、氮化铟 InN 和氮化铝 AlN。

[0012] 如上所述的方法中,所述铝镓氮 AlGaIn 量子垒层为 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构,所述 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构包括:第一 GaN 量子垒层、Al_xGa_{1-x}N 量子垒层和第二 GaN 量子垒层;

- [0013] 其中, x 位于 $0 \sim 1$ 之间, y 位于 $0 \sim 1$ 之间。
- [0014] 如上所述的方法中, 所述量子阱发光层采用第一周期生长方式进行生长, 包括:
- [0015] 生长所述镓氮 InGaN 量子阱层;
- [0016] 生长所述第一 GaN 量子垒层;
- [0017] 生长所述 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ 量子垒层;
- [0018] 生长所述第二 GaN 量子垒层。
- [0019] 如上所述的方法中, 所述量子阱发光层采用 X 次所述第一周期生长方式进行生长;
- [0020] 其中, X 位于 $2 \sim 20$ 之间。
- [0021] 如上所述的方法中, 所述铝镓氮 AlGaInN 量子垒层为 GaN/AlmGanN 超晶格结构, 所述 GaN/AlmGanN 超晶格结构包括: 第三 GaN 量子垒层和 AlmGanN 层;
- [0022] 其中, m 位于 $0 \sim 1$ 之间, n 位于 $0 \sim 1$ 之间。
- [0023] 如上所述的方法中, 所述量子阱发光层采用第二周期生长方式进行生长, 包括:
- [0024] 生长所述镓氮 InGaN 量子阱层;
- [0025] 采用第三周期方式生长所述 AlGaIn 量子垒层, 包括:
- [0026] 生长所述第三 GaN 量子垒层;
- [0027] 生长所述 AlmGanN 量子垒层。
- [0028] 如上所述的方法中, 所述 AlGaIn 量子垒层采用 Y 次所述第三周期生长方式进行生长;
- [0029] 其中, Y 位于 $2 \sim 20$ 之间。
- [0030] 如上所述的方法中, 所述量子阱发光层采用 Z 次所述第二周期生长方式进行生长;
- [0031] 其中, Z 位于 $2 \sim 20$ 之间。
- [0032] 如上所述的方法中, 所述 AlGaIn 量子垒层的能带图呈锯齿形分布。
- [0033] 本发明具有以下突出优点:
- [0034] 本发明提供的发光二极管的外延生长方法, 采用周期生长方式生长量子阱发光层, 使得量子阱发光层的位错密度可以降低一个数量级至 10^6cm^{-2} , 极大地降低载流子溢出效应, 提高量子阱发光层中的辐射复合中心数量, 大电流密度下 LED 的效率下降现象得到有效抑制, 例如大尺寸下 (1mm^2) 使用大电流测试, LED 的效率下降不超过 5%。

附图说明

- [0035] 图 1 为本发明提供的发光二极管的外延生长方法一个实施例的流程示意图;
- [0036] 图 2 为采用 GaN/ $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ /GaN 层状结构的量子阱发光层的结构示意图;
- [0037] 图 3 为图 2 所示采用 GaN/ $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{N}$ /GaN 层状结构的量子阱发光层的能带图;
- [0038] 图 4 为采用 GaN/AlmGanN 超晶格结构的量子阱发光层的结构示意图;
- [0039] 图 5 为图 4 所示采用 GaN/AlmGanN 超晶格结构的量子阱发光层的能带图。

具体实施方式

- [0040] 下面通过具体的实施例及附图, 对本发明的技术方案做进一步的详细描述。

[0041] 图1为本发明提供的发光二极管的外延生长方法一个实施例的流程示意图。如图1所示,该方法具体可以包括:

[0042] S101,在衬底上,依次生长缓冲层、非掺杂层、N型掺杂层、量子阱发光层和P型掺杂层,量子阱发光层包括铟镓氮 InGaN 量子阱层和铝镓氮 AlGaN 量子垒层,量子阱发光层采用周期生长方式进行生长。

[0043] 具体的,本实施例中衬底具体可以为蓝宝石、硅、碳化硅、玻璃、铜、镍或铬等,缓冲层具体可以包括以下材料中的一种或多种:氮化镓 GaN、氮化铟 InN 和氮化铝 AlN。可以采用现有的各种方法,例如金属有机化学气相沉积(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition,简称MOCVD)、分子束外延(Molecular beam epitaxy,简称MBE)、氢化物气相外延(Hydride Vapor Phase Epitaxy,简称HVPE),在衬底上生长缓冲层、非掺杂层、N型掺杂层和P型掺杂层,而量子阱发光层则采用周期生长方式进行生长,使得AlGaN量子垒层的能带图呈锯齿形分布。

[0044] 作为一种可行的实施方式,AlGaN量子垒层具体可以为GaN/Al_xGa_yN/GaN层状结构,该GaN/Al_xGa_yN/GaN层状结构包括:第一GaN量子垒层、Al_xGa_yN量子垒层和第二GaN量子垒层;其中,x位于0~1之间,y位于0~1之间。

[0045] 采用GaN/Al_xGa_yN/GaN层状结构的量子阱发光层,可以采用一次第一周期生长方式进行生长,生成的量子阱发光层包括一个周期,该过程具体为:

[0046] S1011,生长铟镓氮 InGaN 量子阱层;

[0047] S1012,生长第一GaN量子垒层;

[0048] S1013,生长Al_xGa_yN量子垒层;

[0049] S1014,生长第二GaN量子垒层。

[0050] 其中,Al_xGa_yN量子垒层的厚度可以为0~50nm,第一GaN量子垒层的厚度可以为0~50nm,第二GaN量子垒层的厚度可以为0~50nm,第一GaN量子垒层的厚度和第二GaN量子垒层的厚度可以相同,也可以不相同。

[0051] 采用GaN/Al_xGa_yN/GaN层状结构的量子阱发光层,还可以采用X(X位于2~20之间)次如上所述的第一周期生长方式进行生长,即在步骤S1014之后,重复执行步骤S1011-S1014(X-1)次,生成的量子阱发光层包括X个周期。

[0052] 作为另外一种可行的实施方式,AlGaN量子垒层具体可以为GaN/Al_mGa_nN超晶格结构,该GaN/Al_mGa_nN超晶格结构包括:第三GaN量子垒层和Al_mGa_nN层;其中,m位于0~1之间,n位于0~1之间。

[0053] 采用GaN/Al_mGa_nN超晶格结构的量子阱发光层,可以采用一次第二周期生长方式进行生长,生成的量子阱发光层包括一个周期,该过程具体为:

[0054] S201,生长铟镓氮 InGaN 量子阱层;

[0055] S202,采用第三周期方式生长AlGaN量子垒层。

[0056] 其中,步骤S202中,AlGaN量子垒层可以采用一次第三周期方式进行生长,生成的AlGaN量子垒层包括一个周期,该过程具体为:

[0057] S2021,生长第三GaN量子垒层;

[0058] S2022,生长Al_mGa_nN量子垒层。

[0059] 其中,第三GaN量子垒层的厚度可以为0~10nm,Al_mGa_nN量子垒层的厚度可以为

0 ~ 10nm。

[0060] 步骤 S202 中, AlGa_N 量子垒层还可以采用 Y (Y 位于 2 ~ 20 之间) 次如上所述的第三周期方式进行生长, 即在步骤 S2022 之后, 重复执行步骤 S2021-S2022 (Y-1) 次, 生成的 AlGa_N 量子垒层包括 Y 个周期。

[0061] 采用 GaN/AlmGa_NN 超晶格结构的量子阱发光层, 还可以采用 Z (Z 位于 2 ~ 20 之间) 次如上所述的第二周期生长方式进行生长, 即在步骤 S202 之后, 重复执行步骤 S201-S202 (Z-1) 次, 生成的量子阱发光层包括 Z 个周期。

[0062] 本实施例提供的发光二极管的外延生长方法, 采用周期生长方式生长量子阱发光层, 使得量子阱发光层的位错密度可以降低一个数量级至 10^6cm^{-2} , 极大地降低载流子溢出效应, 提高量子阱发光层中的辐射复合中心数量, 大电流密度下 LED 的效率下降现象得到有效抑制, 例如大尺寸下 (1mm^2) 使用大电流测试, LED 的效率下降不超过 5%。

[0063] 下面通过两个具体实施例, 分别对采用 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构和 GaN/AlmGa_NN 超晶格结构的 LED 外延生长过程进行详细描述。

[0064] 具体实施例一:

[0065] 图 2 为采用 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构的量子阱发光层的结构示意图示意图。图 3 为图 2 所示采用 GaN/Al_xGa_{1-x}N/GaN 层状结构的量子阱发光层的能带图。下面结合图 2 和图 3 对本实施例提供的发光二极管的外延生长方法进行详细说明, 该方法包括:

[0066] 1、MOCVD 反应室温度升至 520℃, 压力为 600 毫巴 mbar, 同时通入三甲基镓 (150ml/min) 和氨气 NH₃ 3 分钟, 在图形化蓝宝石 (Patterned Sapphire Substrate, 简称 PSS) 衬底上发生反应, 形成 25nm 的 GaN 缓冲层;

[0067] 2、经过 10 分钟将温度升高到 1030℃, 压力降至 500mbar, GaN 缓冲层发生分解反应, GaN 缓冲层分解后在衬底表面扩散迁移, 并形成密度为 $2.3 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 左右的 GaN 的成核小岛;

[0068] 3、将温度维持在 1030℃, 压力保持 500mbar, 通入氢气、三甲基镓 (200ml/min) 和 NH₃ 40 分钟, 氮化镓晶核在金颗粒底部形成并长大, GaN 纵向生长, 形成三维的 GaN 岛状结构;

[0069] 4、反应室温度升高至 1050℃, 通入氢气、三甲基镓 (280ml/min) 和氨气 30 分钟, 压力保持 200mbar, 氮化镓晶核由纵向长大变成横向生长模式, 生长一层 1200nm 厚的非掺杂 GaN 层;

[0070] 5、温度维持在 1050℃, 压力维持在 200mbar, 通入氢气、三甲基镓 (300ml/min) 和氨气 40 分钟, 并掺入硅烷。其中 V/III 比为 1350, 生长一层厚度为 1500nm 的 N 型 GaN 层, N 型 GaN 层的掺杂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$;

[0071] 6、将反应室温度降至 800℃, 通入氮气、三乙基镓 (120ml/min)、三乙基铟 (400ml/min) 和氨气, 在氮气气氛下生长 InGa_N 量子阱层 21, 对应势阱 31, 生长时间为 1 分 30 秒, 厚度为 3nm;

[0072] 7、将反应室温度降至 880℃, 通入氮气、三乙基镓 (400ml/min) 和氨气, 在氮气气氛下生长第一 GaN 量子垒层 22, 对应势垒 32, 生长时间为 30 秒, 厚度为 4nm; 随后同时通入三甲基铝 (50ml/min), 时间为 1 分钟, 生长厚度为 8nm 的 Al_xGa_{1-x}N 量子垒层 23, 对应势垒 33; 最后把三甲基铝关闭, 继续生长 30 秒, 得到厚度为 4nm 的第二 GaN 量子垒层 24, 对应势

垒 34,, 此三层结构形成 GaN/Al_xGaN/GaN 层状结构的 AlGaN 量子垒层, 其中 Al_xGaN 中的 Al 含量为 15%;

[0073] 8、再循环重复第 6 步和第 7 步 X-1 次, 即生成与 21-24 相同结构的量子阱层和量子垒层, 如 25-28, 形成 X 个周期的 InGaN/ (GaN/Al_xGaN/GaN) 量子阱发光层结构, ;

[0074] 9、在此基础上将反应室的温度升高至 1000℃, 通入氢气、三甲基镓(180ml/min)和氨气 20 分钟, 并掺入镁杂质, 使用二茂镁金属有机源; 此层的厚度为 400nm, Mg 的掺杂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$, 形成此结构的 P 型掺杂层;

[0075] 以上所有结构一起形成了 InGaN/ (GaN/Al_xGaN/GaN) 量子阱发光层结构的 LED, 该结构形成如图 3 所示的锯齿形的能带。

[0076] 本实施例提供的发光二极管的外延生长方法, 采用周期生长方式生长量子阱发光层, 使得量子阱发光层的位错密度可以降低一个数量级至 10^6cm^{-2} , 极大地降低载流子溢出效应, 提高量子阱发光层中的辐射复合中心数量, 大电流密度下 LED 的效率下降现象得到有效抑制, 例如大尺寸下 (1mm^2) 使用大电流测试, LED 的效率下降不超过 5%。

[0077] 具体实施例二:

[0078] 图 4 为采用 GaN/AlmGaN 超晶格结构的量子阱发光层的结构示意图示意图。图 5 为图 4 所示采用 GaN/AlmGaN 超晶格结构的量子阱发光层的能带图。下面结合图 4 和图 5 对本实施例提供的发光二极管的外延生长方法进行详细说明, 该方法包括:

[0079] 1、MOCVD 反应室温度升至 520℃, 压力为 600mbar, 同时通入三甲基镓(150ml/min)和 NH₃ 3 分钟, 在图形化蓝宝石 PSS 衬底上发生反应, 形成 25nm 的 GaN 缓冲层;

[0080] 2、经过 10 分钟将温度升高到 1030℃, 压力降至 500mbar, GaN 缓冲层发生分解反应, GaN 缓冲层分解后在衬底表面扩散迁移, 并形成密度为 $2.3 \times 10^6 \text{cm}^{-2}$ 左右的 GaN 的成核小岛;

[0081] 3、将温度维持在 1030℃, 压力保持 500mbar, 通入氢气、三甲基镓(200ml/min)和 NH₃ 40 分钟, 氮化镓晶核在金颗粒底部形成并长大, GaN 纵向生长, 形成三维的 GaN 岛状结构;

[0082] 4、反应室温度升高至 1050℃, 通入氢气、三甲基镓(280ml/min)和氨气 30 分钟, 压力保持 200mbar, 氮化镓晶核由纵向长大变成横向生长模式, 生长一层 1200nm 厚的非掺杂 GaN 层;

[0083] 5、温度维持在 1050℃, 压力维持在 200mbar, 通入氢气、三甲基镓(300ml/min)和氨气 40 分钟, 并掺入硅烷。其中 V/III 比为 1350, 生长一层厚度为 1500nm 的 N 型 GaN 层, N 型 GaN 层的掺杂浓度为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$;

[0084] 6、将反应室温度降至 800℃, 通入氮气、三乙基镓(120ml/min)、三乙基铟(400ml/min)和氨气, 在氮气气氛下生长 InGaN 量子阱层 41, 对应势阱 51, 生长时间为 1 分 30 秒, 厚度为 3nm;

[0085] 7、将反应室温度降至 880℃, 通入氮气、三乙基镓(400ml/min)和氨气, 在氮气气氛下生长第三 GaN 量子垒层 42, 对应势垒 52, 生长时间为 8 秒, 厚度为 1nm; 随后同时通入三甲基铝(50ml/min), 时间为 15 秒, 生长厚度为 2nm 的 AlmGaN 量子垒层 43, 对应势垒 53, 其中, AlmGaN 中 Al 含量为 15%;

[0086] 8、再循环重复第 7 步 Y-1 次, 即生成与 42 和 43 相同结构的超晶格量子垒层, 如 44

和 45；

[0087] 9、再循环重复第 6 步、第 7 步和第 8 步 $Z-1$ 次,即生成与 41/(42/43……44/45)相同结构的量子阱层和量子垒层,如 46/(47/48……49/50),形成 Z 个周期的 InGaN/(GaN/AlmGaN)量子阱发光层结构；

[0088] 10、在此基础上将反应室的温度升高至 1000°C ,通入氢气、三甲基镓(180ml/min)和氨气 20 分钟,并掺入镁杂质,使用二茂镁金属有机源;此层的厚度为 400nm, Mg 的掺杂浓度为 $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$,形成此结构的 P 型掺杂层；

[0089] 以上所有结构一起形成了 InGaN/(GaN/AlmGaN 超晶格)量子阱发光层结构的 LED,该结构形成如图 5 所示的锯齿形的能带。

[0090] 本实施例提供的发光二极管的外延生长方法,采用周期生长方式生长量子阱发光层,使得量子阱发光层的位错密度可以降低一个数量级至 10^6cm^{-2} ,极大地降低载流子溢出效应,提高量子阱发光层中的辐射复合中心数量,大电流密度下 LED 的效率下降现象得到有效抑制,例如大尺寸下(1mm^2)使用大电流测试,LED 的效率下降不超过 5%。

[0091] 最后应说明的是:以上各实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的范围。

在衬底上，依次生长缓冲层、非掺杂层、N型掺杂层、量子阱发光层和P型掺杂层，量子阱发光层包括铟镓氮InGaN量子阱层和铝镓氮AlGaN量子垒层，量子阱发光层采用周期生长方式进行生长

101

图 1

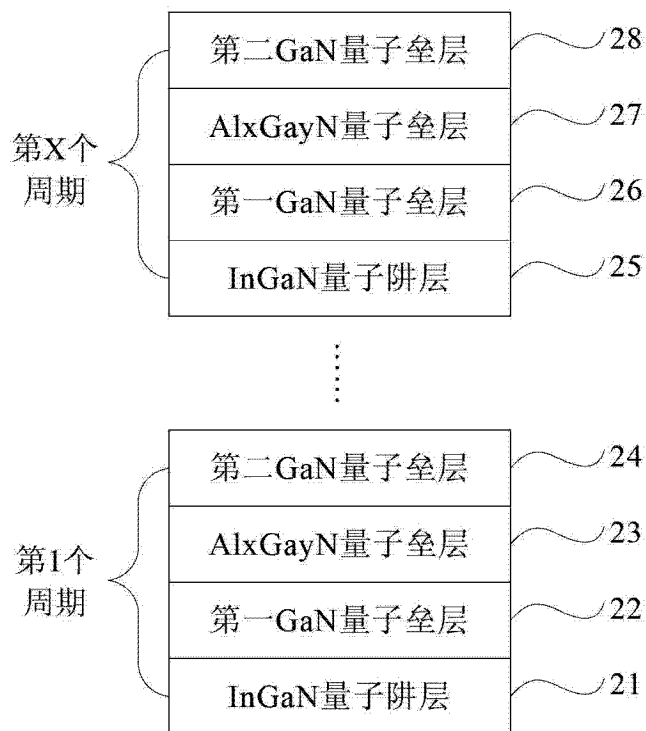


图 2

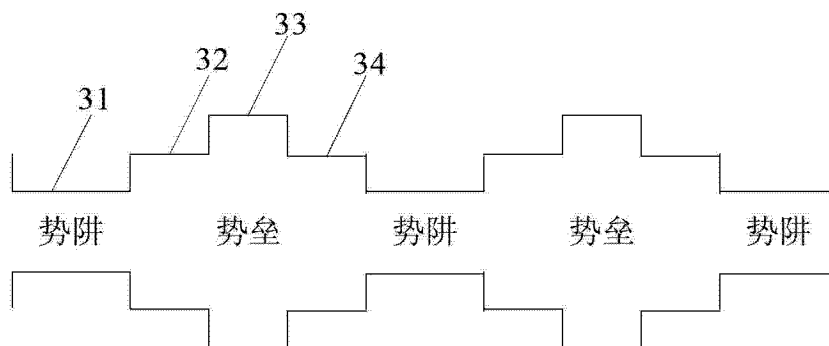


图 3

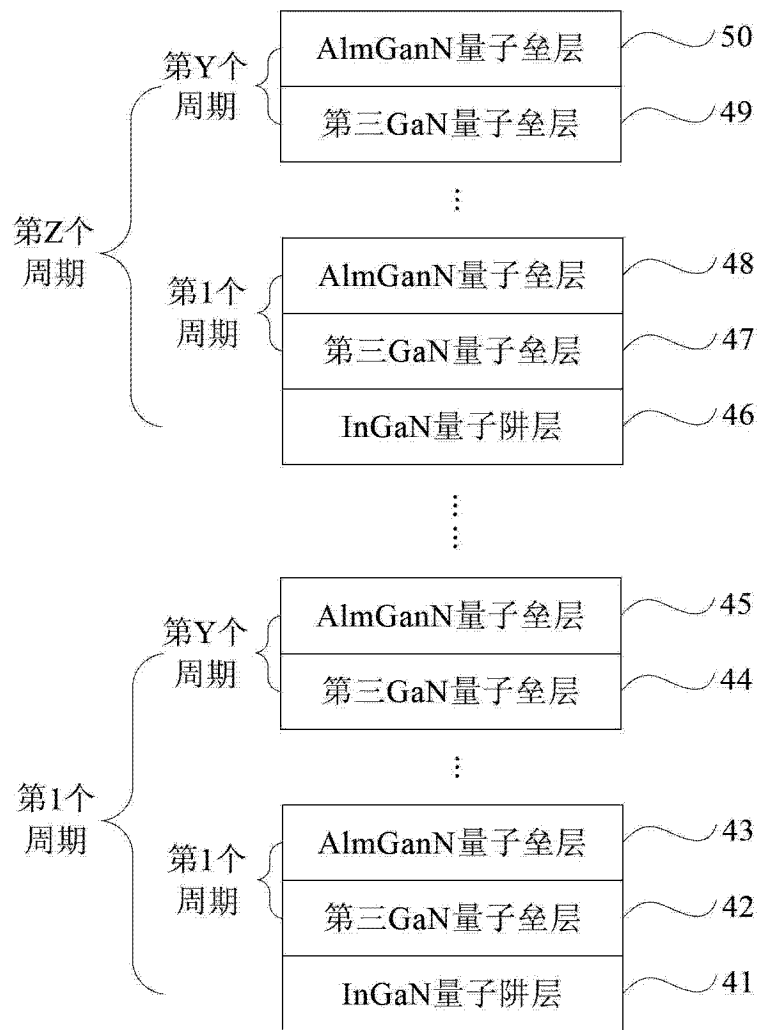


图 4

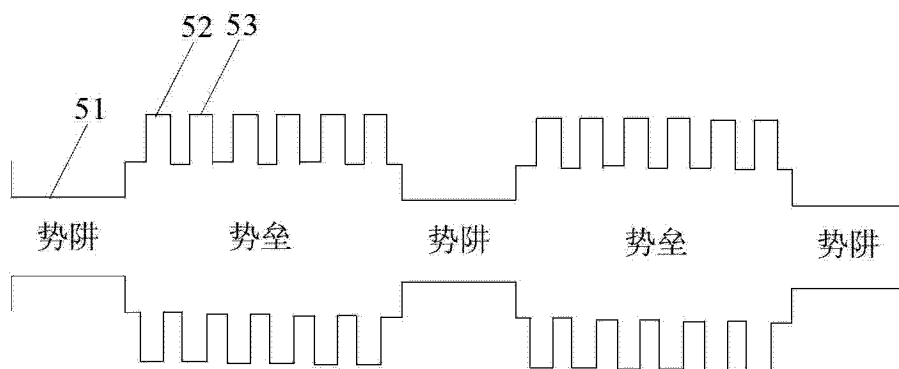


图 5