



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116978992 A

(43) 申请公布日 2023. 10. 31

(21) 申请号 202310942650.7

(22) 申请日 2023.07.28

(71) 申请人 华灿光电(浙江)有限公司  
地址 322000 浙江省金华市义乌市苏溪镇  
苏福路233号

(72) 发明人 杨兰 胡任浩 张奕 陆香花  
梅劲

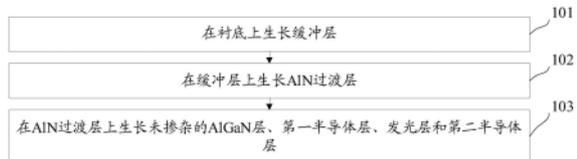
(74) 专利代理机构 北京三高永信知识产权代理  
有限责任公司 11138  
专利代理师 吕耀萍

(51) Int. Cl.  
H01L 33/04 (2010.01)  
H01L 33/18 (2010.01)  
H01L 33/00 (2010.01)

权利要求书1页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称  
发光二极管及其制备方法

(57) 摘要  
本公开提供了一种发光二极管及其制备方法,属于半导体技术领域。所述制备方法包括:在衬底上生长缓冲层;在所述缓冲层上生长AlN过渡层,所述AlN过渡层包括多个过渡子层,所述多个过渡子层在生长过程中生长温度变化,至少一个所述过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源;在所述AlN过渡层上生长未掺杂的AlGaIn层、第一半导体层、发光层和第二半导体层。



1. 一种发光二极管的制备方法,其特征在于,所述制备方法包括:  
在衬底上生长缓冲层;  
在所述缓冲层上生长AlN过渡层,所述AlN过渡层包括多个过渡子层,所述多个过渡子层在生长过程中生长温度变化,至少一个所述过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源;  
在所述AlN过渡层上生长未掺杂的AlGaN层、第一半导体层、发光层和第二半导体层。
2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,所述AlN过渡层包括多个周期的超晶格结构,每个周期的所述超晶格结构包括层叠的第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层,所述第三过渡子层的生长温度大于所述第二过渡子层的生长温度,所述第二过渡子层的生长温度大于所述第一过渡子层的生长温度。
3. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在于,在每个所述过渡子层中,生长温度线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。
4. 根据权利要求2所述的制备方法,其特征在于,所述第二过渡子层和所述第三过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源。
5. 根据权利要求2至4任一项所述的制备方法,其特征在于,所述第三过渡子层生长时Al源的流量大于所述第二过渡子层生长时Al源的流量,所述第二过渡子层生长时Al源的流量大于或等于所述第一过渡子层生长时Al源的流量。
6. 根据权利要求5所述的制备方法,其特征在于,在每个所述过渡子层中,Al源的流量线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。
7. 根据权利要求2至4任一项所述的制备方法,其特征在于,在相邻2个所述过渡子层生长时Al源的流量不变时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化;  
在相邻2个所述过渡子层生长时Al源的流量增大时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化。
8. 根据权利要求7所述的制备方法,其特征在于,所述第三过渡子层生长时N源的流量大于所述第二过渡子层生长时N源的流量,所述第二过渡子层生长时N源的流量大于所述第一过渡子层生长时N源的流量。
9. 根据权利要求1至4任一项所述的制备方法,其特征在于,所述第一时间的长度与所述过渡子层的厚度正相关。
10. 一种发光二极管,其特征在于,所述发光二极管采用如权利要求1至9任一项所述的方法制备。

## 发光二极管及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及半导体技术领域,特别涉及一种发光二极管及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 基于AlGaIn材料的短波长紫外发光二极管应用领域非常广泛,是氮化物半导体研究领域的一个重要研究内容。

[0003] 紫外发光二极管包括衬底、以及层叠在衬底上的缓冲层、未掺杂的AlGaIn层、第一半导体层、有源层和第二半导体层。其中,衬底为蓝宝石衬底。

[0004] 由于蓝宝石衬底与AlGaIn层之间的晶格失配与热失配较大,使AlGaIn材料在外延生长过程中容易产生大量的位错。又因与Ga原子相比,Al原子表面迁移率能力低,使AlGaIn层在外延生长过程中产生不同的成核点,每个成核点进一步形成岛屿并相互合并,导致材料产生大量的缺陷。同时,当生长的AlGaIn层较厚时,蓝宝石衬底对厚膜AlGaIn层的张应力会导致AlGaIn层破裂而产生大量裂纹缺陷。以上因素使得AlGaIn层晶体质量差,位错密度高,影响载流子的辐射复合效率,从而降低了发光二极管的量子效率。

### 发明内容

[0005] 本公开实施例提供了一种发光二极管及其制备方法,可以提高AlGaIn层晶体质量,从而提高发光二极管的量子效率。所述技术方案如下:

[0006] 一方面,提供了一种发光二极管的制备方法,所述制备方法包括:

[0007] 在衬底上生长缓冲层;

[0008] 在所述缓冲层上生长AlN过渡层,所述AlN过渡层包括多个过渡子层,所述多个过渡子层在生长过程中生长温度变化,至少一个所述过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源;

[0009] 在所述AlN过渡层上生长未掺杂的AlGaIn层、第一半导体层、发光层和第二半导体层。

[0010] 可选地,所述AlN过渡层包括多个周期的超晶格结构,每个周期的所述超晶格结构包括层叠的第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层,所述第三过渡子层的生长温度大于所述第二过渡子层的生长温度,所述第二过渡子层的生长温度大于所述第一过渡子层的生长温度。

[0011] 可选地,在每个所述过渡子层中,生长温度线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。

[0012] 可选地,所述第二过渡子层和所述第三过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源。

[0013] 可选地,所述第三过渡子层生长时Al源的流量大于所述第二过渡子层生长时Al源的流量,所述第二过渡子层生长时Al源的流量大于或等于所述第一过渡子层生长时Al源的流量。

[0014] 可选地,在每个所述过渡子层中,A1源的流量线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。

[0015] 可选地,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量不变时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化;

[0016] 在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量增大时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化。

[0017] 可选地,所述第三过渡子层生长时N源的流量大于所述第二过渡子层生长时N源的流量,所述第二过渡子层生长时N源的流量大于所述第一过渡子层生长时N源的流量。

[0018] 可选地,所述第一时间的长度与所述过渡子层的厚度正相关。

[0019] 另一方面,提供了一种发光二极管,所述发光二极管采用如前一项所述的方法制备。

[0020] 本公开实施例利用多个AlN过渡子层生长改变AlGaIn层生长产生的线性缺陷延伸的方向。利用多个AlN过渡子层生长过渡层,可以起到类似超晶格调节应力的作用,其原理是利用多层过渡子层中各子层的晶格失配在过渡子层结构的界面上尽可能多的中断沿生长方向的位错。利用多个AlN过渡子层生长过渡层在一定程度上使得位错终止在过渡子层之间或者过渡子层内部,至多有少部分的位错能够穿过渡层。

[0021] 生长过程中,不同AlN过渡子层生长温度变化,能够提高Al原子的迁移率能力。由于GaIn结合能(2.2eV)小于AlN的结合能(2.88eV),所以Al原子的迁移能较高而迁移率较低,Al原子表面的扩散长度小于Ga原子,在外延生长过程中,Al原子不易实现横向扩散,即不易实现二维生长,它们倾向于占据起初衬底吸附的位置,将不再移动至能量最低的格点处;升温提高Al原子的迁移速率,增加Al原子表面的扩散长度,增加Al原子的二维生长,减少Al原子寄生反应而形成的岛状成核,减少成核点从而减少线性缺陷。

[0022] 在生长过程中暂停Al源而预通N源,减少Al原子寄生反应形成的成核点。在通入反应源时,Al源容易发生预反应,即通入气体后,Al原子会与N原子在抵达生长面之前就发生反应,从而形成AlN颗粒,AlN颗粒使得外延晶体薄膜在生长时产生大量缺陷。预通N源,暂停Al源能够减少Al原子与N原子的预反应而减少缺陷。

[0023] 通过上述手段减少位错和缺陷密度,提高外延层生长的晶体质量,从而提高了发光二极管的量子效率。

## 附图说明

[0024] 为了更清楚地说明本公开实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本公开的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0025] 图1是本公开实施例提供的一种发光二极管的制备方法流程图;

[0026] 图2是本公开实施例提供的另一种发光二极管的制备方法流程图;

[0027] 图3至图6是本公开实施例提供的一种变化曲线示意图;

[0028] 图7是本公开实施例提供的一种发光二极管的结构示意图。

## 具体实施方式

[0029] 为使本公开的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合附图对本公开实施方式作进一步地详细描述。

[0030] 图1是本公开实施例提供的一种发光二极管的制备方法流程图，如图1所示，该制备方法包括：

[0031] 步骤101、在衬底上生长缓冲层。

[0032] 示例性地，衬底为蓝宝石衬底，缓冲层为AlN层。

[0033] 步骤102、在缓冲层上生长AlN过渡层。

[0034] 其中，所述AlN过渡层包括多个过渡子层，所述多个过渡子层在生长过程中生长温度变化，至少一个所述过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源。

[0035] 步骤103、在AlN过渡层上生长未掺杂的AlGa<sub>1-x</sub>N层、第一半导体层、发光层和第二半导体层。

[0036] 其中，第一半导体层为N型半导体层，发光层为有源层，第二半导体层为P型半导体层。

[0037] 示例性地，第一半导体层为N型接触层，例如掺Si的AlGa<sub>1-x</sub>N层。有源层包括多个周期交替生长的量子阱层和量子垒层，量子阱层为Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N层，0 < x < 1，量子垒层为Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N层，0 < y < 1。第二半导体层可以包括P型电子阻挡层、P型Ga<sub>1-z</sub>N层和P型Ga<sub>1-z</sub>N接触层。其中，P型Ga<sub>1-z</sub>N为掺Mg的Ga<sub>1-z</sub>N。P型电子阻挡层为P型电子阻挡层为Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N层，0.1 < z < 0.5。

[0038] 本公开实施例利用多个AlN过渡子层生长改变AlGa<sub>1-x</sub>N层生长产生的线性缺陷延伸的方向。利用多个AlN过渡子层生长过渡层，可以起到类似超晶格调节应力的作用，其原理是利用多层过渡子层中各子层的晶格失配在过渡子层结构的界面上尽可能多的中断沿生长方向的位错。利用多个AlN过渡子层生长过渡层在一定程度上使得位错终止在过渡子层之间或者过渡子层内部，至多有少部分的位错能够穿过渡层。

[0039] 生长过程中，不同AlN过渡子层生长温度变化，能够提高Al原子的迁移率能力。由于Ga<sub>1-x</sub>N结合能(2.2eV)小于AlN的结合能(2.88eV)，所以Al原子的迁移能较高而迁移率较低，Al原子表面的扩散长度小于Ga原子，在外延生长过程中，Al原子不易实现横向扩散，即不易实现二维生长，它们倾向于占据起初衬底吸附的位置，将不再移动至能量最低的格点处；升温提高Al原子的迁移速率，增加Al原子表面的扩散长度，增加Al原子的二维生长，减少Al原子寄生反应而形成的岛状成核，减少成核点从而减少线性缺陷。

[0040] 在生长过程中暂停Al源而预通N源，减少Al原子寄生反应形成的成核点。在通入反应源时，Al源容易发生预反应，即通入气体后，Al原子会与N原子在抵达生长面之前就发生反应，从而形成AlN颗粒，AlN颗粒使得外延晶体薄膜在生长时产生大量缺陷。预通N源，暂停Al源能够减少Al原子与N原子的预反应而减少缺陷。

[0041] 通过上述手段减少位错和缺陷密度，提高外延层生长的晶体质量，从而提高了发光二极管的量子效率。

[0042] 图2是本公开实施例提供的另一种发光二极管的制备方法流程图，如图2所示，该制备方法包括：

[0043] 步骤201、提供一衬底。

[0044] 其中，衬底可以为蓝宝石衬底，或者其他衬底。

[0045] 可选地,该方法还可以包括:在1030℃纯氢的气氛中稳定5min,以清洁衬底表面,其中升温 and 稳定的时间可以根据需要设定。

[0046] 在本实施例中,采用Veeco K465i or C4 or RB MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition,金属有机化合物化学气相沉淀)设备实现的制备方法。采用高纯H<sub>2</sub>(氢气)或高纯N<sub>2</sub>(氮气)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,三甲基镓(TMGa)及三乙基镓(TEGa)作为镓源,硅烷(SiH<sub>4</sub>)作为N型掺杂剂,三甲基铝(TMA1)作为铝源,二茂镁(CP<sub>2</sub>Mg)作为P型掺杂剂。

[0047] 步骤202、在衬底上生长缓冲层。

[0048] 其中,缓冲层为AlN层。

[0049] 在本公开实施例中,可以将衬底放在MOCVD反应腔中,向反应腔内通入TMA1和NH<sub>3</sub>,通过化学气相沉积法制备AlN薄膜。

[0050] 示例性地,控制反应腔内的温度为1010℃,在蓝宝石衬底上沉积厚度为30nm的AlN薄膜。

[0051] 可选地,也可以采用其他方式制备缓冲层,例如在PVD(Physical Vapour Deposition,物理气相沉积)反应腔中制备缓冲层。

[0052] 步骤203、在缓冲层上生长AlN过渡层。

[0053] 其中,所述AlN过渡层包括多个过渡子层,所述多个过渡子层在生长过程中生长温度变化,至少一个所述过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源。

[0054] 在一种可能的实现方式中,AlN过渡层包括层叠的第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层。

[0055] 在另一种可能的实现方式中,所述AlN过渡层包括多个周期的超晶格结构,每个周期的所述超晶格结构包括层叠的第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层。在这种实现方式中,通过设计多个周期的超晶格结构,能够实现AlN生长条件更复杂的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0056] 在其他可能的实现方式中,AlN过渡层可以包括四层及以上过渡子层,或者超晶格结构中每个周期的所述超晶格结构包括四层及以上过渡子层。

[0057] 在上述任一种可能的实现方式中,第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层间的位置关系可以是:第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层依次层叠在缓冲层上。当然,这仅是本公开的一种示例,三个子层的排列方式也可以采用其他顺序,本公开为了方便描述,后续以第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层依次层叠的顺序进行说明。

[0058] 在一种可能的实现方式中,不同层之间的生长温度具有如下关系:

[0059] 所述第三过渡子层的生长温度大于所述第二过渡子层的生长温度,所述第二过渡子层的生长温度大于所述第一过渡子层的生长温度。在这种实现方式中,三个子层的温度依次升高,一方面可以实现不同温度生长AlN过渡层,提升Al原子的迁移率能力的效果,另一方面,温度依次升高可以提高Al原子的迁移能,增加Al原子的二维生长,减少Al原子的寄生反应三维生长成岛状而增加线性缺陷。

[0060] 在其他可能的实现方式中,不同层之间的生长温度还可以具有其他关系:

[0061] 例如,所述第三过渡子层的生长温度大于所述第二过渡子层的生长温度,所述第一过渡子层的生长温度大于所述第三过渡子层的生长温度。或者,所述第二过渡子层的生

长温度大于所述第三过渡子层的生长温度,所述第三过渡子层的生长温度大于所述第一过渡子层的生长温度,等。

[0062] 这里,一个子层的生长温度可以是指平均温度、开始温度、中间温度、结束温度等,比较时采用相同的维度比较即可。

[0063] 在一些示例中,每个所述过渡子层中生长温度保持不变。

[0064] 在另一些示例,每个所述过渡子层中生长温度变化,变化方式为如下一种:

[0065] 线性增大、线性减小、梯度增大(如图3所示)、梯度减小或者呈锯齿状变化(也即包括增大的部分和减小的部分,如图4至6任一幅所示)。

[0066] 在该实现方式中,通过控制每个子层中AlN生长温度的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。通过控制生长温度的持续变化,实现不同温度生长AlN过渡层,提升Al原子的迁移率能力的效果。

[0067] 本公开实施例通过在合适温度范围内利用温度变化,温较低度相对于温度高时材料生长的晶体质量缺陷会增多,通过高温可以减少缺陷。

[0068] 在一种可能的实现方式中,所述第二过渡子层和所述第三过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源。

[0069] 在生长过程中暂停III族MO源(Al源)而预通V族源NH<sub>3</sub>(N源),减少Al原子寄生反应形成的成核点,减少位错和缺陷密度,提高外延层生长的晶体质量。

[0070] 在其他可能的实现方式中,也可以在第一过渡子层、第二过渡子层和所述第三过渡子层在生长前均暂停通入Al源并预通第一时间的N源。或者,仅在第二过渡子层或第三过渡子层在生长前均暂停通入Al源并预通第一时间的N源。

[0071] 在本公开的实现方式中,所述第一时间的长度与所述过渡子层的厚度正相关。根据厚度控制上述时间,能够使得暂停Al源通入和预通入N源的过程与过渡子层匹配,最大程度减少位错和缺陷密度,提高外延层生长的晶体质量。

[0072] 示例性地,第一时间的长度大于0,且小于100秒。

[0073] 在一种可能的实现方式中,所述第三过渡子层生长时Al源的流量大于所述第二过渡子层生长时Al源的流量,所述第二过渡子层生长时Al源的流量大于或等于所述第一过渡子层生长时Al源的流量。

[0074] 在其他可能的实现方式中,三个子层生长的Al源的流量可以有其他关系,例如,所述第三过渡子层生长时Al源的流量等于所述第二过渡子层生长时Al源的流量,所述第二过渡子层生长时Al源的流量等于所述第一过渡子层生长时Al源的流量。

[0075] 本公开实施例利用变化的Al组分起到了一定作用的应力调制作用。在Al组分变化的过程中,随着Al组分含量的降低或增大,也会改变Al原子并入的方式,减少Al原子的寄生反应,而减少缺陷密度。

[0076] 在一些示例中,每个所述过渡子层中Al源的流量保持不变。

[0077] 在另一些示例,每个所述过渡子层中Al源的流量变化,变化方式为如下一种:

[0078] 线性增大、线性减小、梯度增大(如图3所示)、梯度减小或者呈锯齿状变化(也即包括增大的部分和减小的部分,如图4至6任一幅所示)。

[0079] 在该实现方式中,通过控制每个子层中AlN生长时Al源流量的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0080] 在一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量不变时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化,例如增大。

[0081] 在该实现方式中,通过控制每个子层中A1N生长条件的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0082] 在另一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量不变时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量不变。

[0083] 在一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量增大时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化,例如增大。

[0084] 在另一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量增大时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量不变。

[0085] 在该实现方式中,通过控制不同子层中A1N生长时A1源流量的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0086] 示例性地,所述第三过渡子层生长时N源的流量大于所述第二过渡子层生长时N源的流量,所述第二过渡子层生长时N源的流量大于所述第一过渡子层生长时N源的流量。

[0087] 在一些示例中,每个所述过渡子层中N源的流量保持不变。

[0088] 在另一些示例,每个所述过渡子层中N源的流量变化,变化方式为如下一种:

[0089] 线性增大、线性减小、梯度增大(如图3所示)、梯度减小或者呈锯齿状变化(也即包括增大的部分和减小的部分,如图4至6任一幅所示)。

[0090] 在该实现方式中,通过控制每个子层中A1N生长时N源流量的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0091] 本公开实施例通过控制A1N生长温度、A1流量变化及N流量变化,三者的变化都是为了更好将A1原子掺杂到材料中,形成更好的A1N薄膜,减少A1原子的寄生反应而形成的缺陷,而提高整个材料的晶体质量,提高辐射复合。

[0092] 在本公开的实现方式中,单个过渡子层的厚度大于0,且小于400nm。

[0093] 示例性地,沉积缓冲层后,升温至1200~1300℃(例如1235℃),在压力为90~110mbar(例如100mbar)条件下,通入13000~15000sccm(例如14000sccm)NH<sub>3</sub>和600~700sccm(例如650sccm)TMA1,生长180~220秒(例如200秒),生长厚度为40~60nm(例如50nm)的第一过渡子层;

[0094] 第一过渡子层生长完成后,关掉TMA1继续通入NH<sub>3</sub> 10~20秒(例如15秒),然后降低压力至40~60mbar(例如50mbar),控制NH<sub>3</sub>增加量到16000~20000sccm(例如18000sccm),TMA1流量不变,温度升高至1250~1350℃(例如1285℃),生长180~220秒(例如200秒),生长厚度为40~60nm(例如50nm)的第二过渡子层;

[0095] 第二过渡子层生长完成后,再次关掉TMA1继续通入NH<sub>3</sub> 10~20秒(例如15秒),压力不变,然后温度升高至1300~1400℃(例如1320℃),分别控制NH<sub>3</sub>和TMA1流量随生长的时间线性渐变增加到20000~24000sccm(例如22000sccm)和900~1000sccm(例如960sccm),生长360~440秒(例如400秒),生长厚度为250~350nm(例如300nm)的第三过渡子层。

[0096] 按照上述方式生长3~10(例如5)个周期的超晶格结构的A1N过渡层。

[0097] 步骤204、在A1N过渡层上生长高温A1N层。

[0098] 示例性地,A1N过渡层生长完成后,压力不变,NH<sub>3</sub>和TMA1流量不变,升高温度至

1350~1450°C (例如1355°C) 沉积0.8~1.2 $\mu\text{m}$  (例如1.0 $\mu\text{m}$ ) 厚的非掺杂层高温AlN层。

[0099] 步骤205、在高温AlN层上生长未掺杂的AlGaN层。

[0100] 在采用普通的生长方式加工AlGaN层时,会出现裂纹。因此在本实施例中,在低压高温的环境下,采用NH<sub>3</sub>脉冲通入的方式制备未掺杂的AlGaN层。即持续通入MO源(TMAI源和TMGa源),采用脉冲的方式断续地通入NH<sub>3</sub>至反应腔,这样可以得到晶体质量较优的AlGaN层。

[0101] 其中,NH<sub>3</sub>以开30s关10s的方式断续通入反应腔。

[0102] 示例性地,控制反应腔内的温度降低至1300~1350°C (例如1330°C),在高温AlN层上生长厚度为1~2 $\mu\text{m}$  (例如1.5 $\mu\text{m}$ ) 的未掺杂的AlGaN层,生长压力为65~75mbar (例如70mbar)。

[0103] 步骤206、在未掺杂的AlGaN层上生长N型接触层。

[0104] 其中,N型接触层为掺Si的AlGaN层,Si的掺杂浓度为 $5*10^{18} \sim 1*10^{20} \text{cm}^{-3}$ 。

[0105] 示例性地,控制反应腔内的温度为1200~1300°C,压力为50~100mbar,在未掺杂的AlGaN层上生长厚度为1~2 $\mu\text{m}$  (例如2 $\mu\text{m}$ ) 的N型接触层,生长压力为65~75mbar (例如70mbar)。

[0106] 步骤207、在N型接触层上生长有源层。

[0107] 其中,有源层包括多个周期交替生长的量子阱层和量子垒层。量子阱层为Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N层,0<x<1,量子垒层为Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N层,0<y<1。

[0108] 可选地,有源层包括5~12个周期交替生长的量子阱层和量子垒层。

[0109] 可选地,量子阱层的厚度为2~4nm (例如2nm),量子垒层的厚度为8~12nm (例如12nm)。

[0110] 示例性地,量子阱层的生长温度为1200°C,量子垒层的生长温度为1215°C,生长压力为90~110mbar (例如100mbar)。

[0111] 步骤208、在有源层上生长P型电子阻挡层。

[0112] 示例性地,P型电子阻挡层为掺Mg的Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N层,0.1<z<0.5,Mg的掺杂浓度为 $1*10^{18} \sim 1*10^{20} \text{cm}^{-3}$ 。

[0113] 示例性地,P型电子阻挡层的生长温度为1235°C,厚度为50nm,生长压力为90~110mbar (例如100mbar)。

[0114] 步骤209、在P型电子阻挡层上生长P型GaN层。

[0115] 示例性地,P型GaN层的生长温度为1225°C,厚度为200nm,生长压力为90~110mbar (例如100mbar)。

[0116] 步骤210、在P型GaN层上生长P型GaN接触层。

[0117] 示例性地,P型GaN接触层的生长温度为1120°C,厚度为50nm,生长压力为180~220mbar (例如200mbar)。

[0118] 在上述步骤完成之后,将反应室的温度降至650~850°C,在氮气气氛进行退火处理5~15min,而后逐渐降至室温,结束发光二极管的外延生长。

[0119] 发光二极管还包括电极、钝化层等结构的制作,本公开对这些结构的制作方法不做限制。

[0120] 本公开实施例通过改变过渡层生长的生长方式,改善外延层生长时蓝宝石衬底与

AlGaIn之间的晶格失配与热失配,降低AlGaIn材料在外延生长过程中因掺杂高Al组分而产生大量的位错,降低外延层的位错及缺陷密度,改善外延片晶体质量,从而提高空穴的注入效率和器件的发光效率。

[0121] 图7是本公开实施例提供的一种发光二极管的结构示意图,该发光二极管采用如图1或图2所示的方法制成。如图7所示,该发光二极管包括衬底1、以及依次层叠在衬底1上的缓冲层2、AlN过渡层3、未掺杂的AlGaIn层4、第一半导体层5、发光层6和第二半导体层7。

[0122] 其中,所述AlN过渡层3包括多个过渡子层,所述多个过渡子层在生长过程中生长温度变化,至少一个所述过渡子层在生长前暂停通入Al源并预通第一时间的N源。

[0123] 在一种可能的实现方式中,AlN过渡层3包括层叠的第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层。

[0124] 在另一种可能的实现方式中,AlN过渡层3包括多个周期的超晶格结构,每个周期的所述超晶格结构包括层叠的第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层。在这种实现方式中,通过设计多个周期的超晶格结构,能够实现AlN生长条件更复杂的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0125] 在其他可能的实现方式中,AlN过渡层3可以包括四层及以上过渡子层,或者超晶格结构中每个周期的所述超晶格结构包括四层及以上过渡子层。

[0126] 在上述任一种可能的实现方式中,第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层间的位置关系可以是:第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层依次层叠在缓冲层上。当然,这仅是本公开的一种示例,三个子层的排列方式也可以采用其他顺序,本公开为了方便描述,后续以第一过渡子层、第二过渡子层和第三过渡子层依次层叠的顺序进行说明。

[0127] 在一种可能的实现方式中,不同层之间的生长温度具有如下关系:

[0128] 所述第三过渡子层的生长温度大于所述第二过渡子层的生长温度,所述第二过渡子层的生长温度大于所述第一过渡子层的生长温度。在这种实现方式中,三个子层的温度依次升高,一方面可以实现不同温度生长AlN过渡层,提升Al原子的迁移率能力的效果,另一方面,温度依次升高可以。

[0129] 在其他可能的实现方式中,不同层之间的生长温度还可以具有其他关系:

[0130] 例如,所述第三过渡子层的生长温度大于所述第二过渡子层的生长温度,所述第一过渡子层的生长温度大于所述第三过渡子层的生长温度。或者,所述第二过渡子层的生长温度大于所述第三过渡子层的生长温度,所述第三过渡子层的生长温度大于所述第一过渡子层的生长温度,等。

[0131] 这里,一个子层的生长温度可以是指平均温度、开始温度、中间温度、结束温度等,比较时采用相同的维度比较即可。

[0132] 在一些示例中,每个所述过渡子层中生长温度保持不变。

[0133] 在另一些示例,每个所述过渡子层中生长温度变化,变化方式为如下一种:

[0134] 线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。

[0135] 在该实现方式中,通过控制每个子层中AlN生长温度的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。通过控制生长温度的持续变化,实现不同温度生长AlN过渡层,提升Al原子的迁移率能力的效果。

[0136] 在一种可能的实现方式中,所述第二过渡子层和所述第三过渡子层在生长前暂停

通入A1源并预通第一时间的N源。

[0137] 在生长过程中暂停Ⅲ族M0源(A1源)而预通V族源NH<sub>3</sub>(N源),减少A1原子寄生反应形成的成核点,减少位错和缺陷密度,提高外延层生长的晶体质量。

[0138] 在其他可能的实现方式中,也可以在第一过渡子层、第二过渡子层和所述第三过渡子层在生长前均暂停通入A1源并预通第一时间的N源。或者,仅在第二过渡子层或第三过渡子层在生长前均暂停通入A1源并预通第一时间的N源。

[0139] 在本公开的实现方式中,所述第一时间的长度与所述过渡子层的厚度正相关。根据厚度控制上述时间,能够使得暂停A1源通入和预通入N源的过程与过渡子层匹配,最大程度减少位错和缺陷密度,提高外延层生长的晶体质量。

[0140] 示例性地,第一时间的长度大于0,且小于100秒。

[0141] 在一种可能的实现方式中,所述第三过渡子层生长时A1源的流量大于所述第二过渡子层生长时A1源的流量,所述第二过渡子层生长时A1源的流量大于或等于所述第一过渡子层生长时A1源的流量。

[0142] 在其他可能的实现方式中,三个子层生长的A1源的流量可以有其他关系,例如,所述第三过渡子层生长时A1源的流量等于所述第二过渡子层生长时A1源的流量,所述第二过渡子层生长时A1源的流量等于所述第一过渡子层生长时A1源的流量。

[0143] 在一些示例中,每个所述过渡子层中A1源的流量保持不变。

[0144] 在另一些示例,每个所述过渡子层中A1源的流量变化,变化方式为如下一种:

[0145] 线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。

[0146] 在该实现方式中,通过控制每个子层中A1N生长时A1源流量的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0147] 在一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量不变时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化,例如增大。

[0148] 在该实现方式中,通过控制每个子层中A1N生长条件的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0149] 在另一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量不变时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量不变。

[0150] 在一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量增大时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量变化,例如增大。

[0151] 在另一种可能的实现方式中,在相邻2个所述过渡子层生长时A1源的流量增大时,相邻2个所述过渡子层生长时N源的流量不变。

[0152] 在该实现方式中,通过控制不同子层中A1N生长时A1源流量的变化,最大程度的避免线性缺陷的延伸。

[0153] 示例性地,所述第三过渡子层生长时N源的流量大于所述第二过渡子层生长时N源的流量,所述第二过渡子层生长时N源的流量大于所述第一过渡子层生长时N源的流量。

[0154] 在一些示例中,每个所述过渡子层中N源的流量保持不变。

[0155] 在另一些示例,每个所述过渡子层中N源的流量变化,变化方式为如下一种:

[0156] 线性增大、线性减小、梯度增大、梯度减小或者呈锯齿状变化。

[0157] 在该实现方式中,通过控制每个子层中A1N生长时N源流量的变化,最大程度的避

免线性缺陷的延伸。

[0158] 在本公开的实现方式中,单个过渡子层的厚度大于0,且小于400nm。

[0159] 例如,A1N过渡层3包括3~10(例如5)个周期的超晶格结构,每个周期中的第一过渡子层、第二过渡子层、第三过渡子层的厚度分别为40~60nm(例如50nm)、40~60nm(例如50nm)、250~350nm(例如300nm)。

[0160] 在本公开的实现方式中,第一半导体层5为N型半导体层,发光层6为有源层,第二半导体层7为P型半导体层。

[0161] 示例性地,衬底1为蓝宝石衬底。缓冲层2为AlN层,厚度为30nm。

[0162] 示例性地,未掺杂的AlGa<sub>N</sub>层4的厚度为1~2μm(例如1.5μm)。

[0163] 示例性地,第一半导体层5为N型接触层,例如掺Si的AlGa<sub>N</sub>层,厚度为1~2μm(例如2μm)。

[0164] 有源层包括多个周期交替生长的量子阱层和量子垒层,量子阱层为Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N层,0 < x < 1,量子垒层为Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N层,0 < y < 1。有源层包括5~12个周期交替生长的量子阱层和量子垒层。量子阱层的厚度为2~4nm(例如2nm),量子垒层的厚度为8~12nm(例如12nm)。

[0165] 第二半导体层7可以包括依次层叠在发光层6上的P型电子阻挡层、P型Ga<sub>N</sub>层和P型Ga<sub>N</sub>接触层。其中,P型Ga<sub>N</sub>为掺Mg的Ga<sub>N</sub>,厚度为200nm。P型电子阻挡层为P型电子阻挡层为Al<sub>z</sub>Ga<sub>1-z</sub>N层,0.1 < z < 0.5,厚度为50nm。

[0166] 可选地,该发光二极管还包括高温AlN层8,高温AlN层8位于AlN过渡层3和未掺杂的AlGa<sub>N</sub>层4之间。

[0167] 示例性地,高温AlN层8的厚度为0.8~1.2μm(例如1.0μm)。

[0168] 本公开实施例提供的发光二极管可以为紫光发光二极管,例如短波紫外(UVC, 200nm-280nm)发光二极管。本公开实施例提供的发光二极管也可以为其他颜色发光二极管。

[0169] 以上所述仅为本公开的可选实施例,并不用以限制本公开,凡在本公开的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。



图1



图2



图3

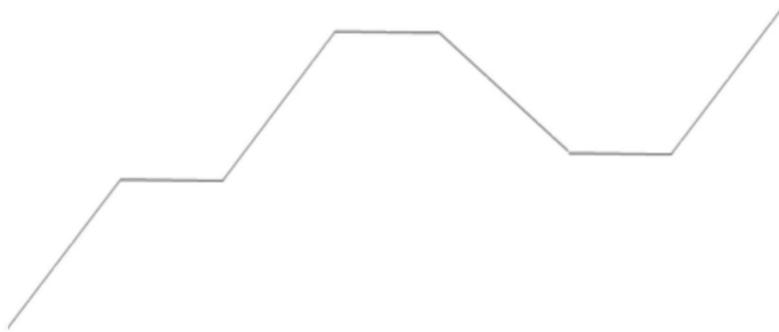


图4



图5

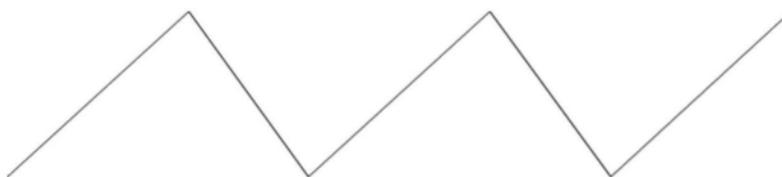


图6

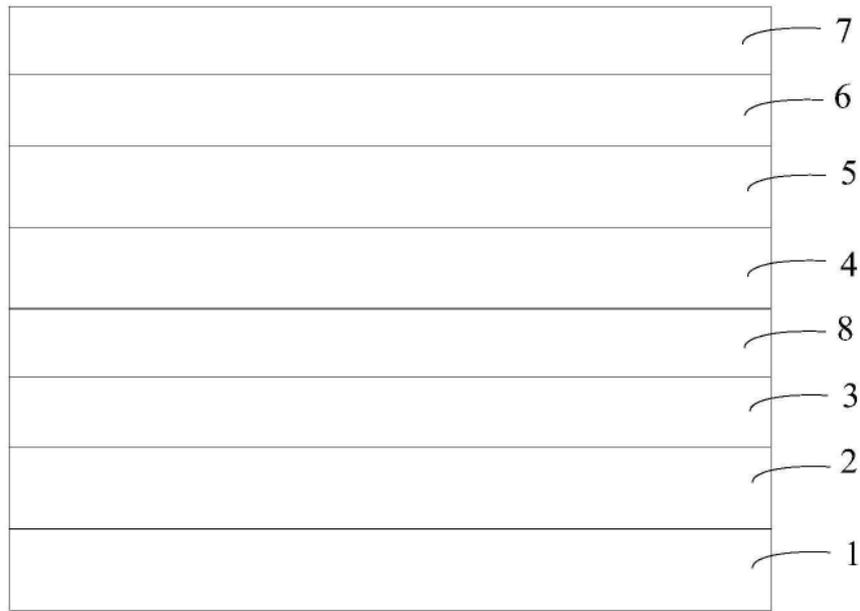


图7