

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102280370 A

(43) 申请公布日 2011. 12. 14

(21) 申请号 201110212298. 9

H01L 33/00(2010. 01)

(22) 申请日 2011. 07. 27

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路  
3888 号

(72) 发明人 黎大兵 孙晓娟 宋航 李志明  
陈一仁 缪国庆 蒋红

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

H01L 21/02(2006. 01)

H01L 21/205(2006. 01)

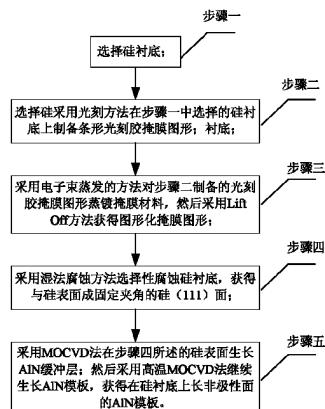
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法

(57) 摘要

一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法，涉及半导体技术领域。它解决了现有在硅衬底上生长的非极性面 GaN 模板不能用于生长非极性面 AlGaN，尤其是在 GaN 模板上生长高 Al 组分 AlGaN 时模板表面存在裂纹且表面不平整的问题，其方法为：选择硅衬底；采用光刻、电子束蒸发以及 Lift Off 技术获得适合 AlN 外延生长的图形化掩膜窗口；采用湿法腐蚀技术选择性腐蚀硅衬底，获得与硅表面成一定夹角的硅 (111) 面；采用金属有机化合物气相沉积法 (MOCVD) 生长 AlN 缓冲层；利用高温 MOCVD 法生长 AlN 模板。本发明所述方法提高了 AlGaN 光电子器件的效率提供了途径。



1. 一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征是, 该方法由以下步骤实现:

步骤一、选择硅衬底;

步骤二、采用光刻方法在步骤一中选择的硅衬底上制备条形光刻胶掩膜图形;

步骤三、采用电子束蒸发的方法对步骤二制备的光刻胶掩膜图形蒸镀掩膜材料, 然后采用 Lift Off 方法获得图形化掩膜图形;

步骤四、采用湿法腐蚀方法选择性腐蚀硅衬底, 获得与硅表面成固定夹角的硅 (111) 面;

步骤五、采用 MOCVD 法在步骤四所述的硅表面生长 AlN 缓冲层; 然后采用高温 MOCVD 法继续生长 AlN 模板, 获得在硅衬底上长非极性面的 AlN 模板。

2. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤一所选择的硅衬底为硅 (110)、硅 (001) 或者硅 (113) 衬底。

3. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤二所述的在硅衬底上制备的条形光刻胶掩膜图形的窗口尺寸为  $3 \sim 10 \mu\text{m}$ , 窗口间距为  $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤三所述的掩膜材料为钨金属, 蒸镀掩膜材料的厚度为  $30 \sim 100\text{nm}$ 。

5. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤三所述的 Lift Off 方法所用的溶液为丙酮。

6. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤四所述的湿法腐蚀硅衬底所用的腐蚀溶液为 KOH 腐蚀液, 所述溶液的浓度为  $30 \sim 60\%$ , 腐蚀温度为  $20 \sim 80^\circ\text{C}$ 。

7. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤五所述的采用 MOCVD 法生长 AlN 缓冲层的温度为  $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ , 生长 AlN 缓冲层的室压力为  $100\text{mbar}$ , AlN 缓冲层厚度为  $30 \sim 50\text{nm}$ 。

8. 根据权利要求 1 所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法, 其特征在于, 步骤五所述的采用高温 MOCVD 法生长 AlN 模板的温度为  $1300^\circ\text{C}$ , 生长的室压力为  $50\text{mbar}$ , 生长的 AlN 模板的厚度为  $500\text{nm} \sim 2 \mu\text{m}$ 。

## 一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及半导体技术领域，具体涉及一种在硅衬底上为获得高质量的 AlGaN 材料生长非极性面 AlN 模板的生长方法。

### 背景技术

[0002] GaN 基三元合金材料 AlGaN 由于其直接宽带隙且连续可调 ( $3.4\text{eV} \sim 6.2\text{eV}$ )，以及优异的热稳定性和化学稳定性，是制作紫外光电器件的理想材料，在环境，医疗，信息通讯以及国防安全等领域具有巨大的应用前景。

[0003] 由于缺乏同质衬底，严重影响了 AlGaN 基光电子材料与器件的效率。蓝宝石是目前生长 AlGaN 基光电子材料与器件的最常用衬底，但是蓝宝石所固有的缺陷，如异常坚硬、不导电、导热性能差、成本高昂等，制约了蓝宝石衬底的 GaN 基光电子器件的发展。与蓝宝石相比，Si 衬底具有尺寸大，价格低，容易解理，导电性好等优点，而且更重要的是能够实现 GaN 基光电子器件的集成。

[0004] 但是，与蓝宝石衬底相比，硅和 AlGaN 之间存在更大的晶格失配和热失配，这使得在硅衬底上直接生长 AlGaN 基本没有可能。利用两步生长法可以有效解决该问题。传统的两步生长法利用 GaN 作为缓冲层，但是在此基础上生长 AlGaN，尤其是高 Al 组分的 AlGaN 的时候，由于 AlGaN 在 GaN 模板上受到张应力的作用，这使得生长在 GaN 模板上的 AlGaN 外延材料极易龟裂，而利用 AlN 作为外延生长 AlGaN 的模板，由于 AlGaN 受到压应力的作用则能有效解决该问题。因此，为获得高质量的 AlGaN 材料，必须采用 AlN 作为模板。

[0005] 影响 AlGaN 基光电子材料与器件效率低下的原因除了缺乏同质衬底材料之外，极化电场的存在也是降低其效率的重要原因。生长在 (0001) 面上的氮化物内部存在很强的压电极化和自极化电场，从而影响载流子的有效注入，由此产生的 Stark 效应降低了发光器件的效率。非极性氮化物的制备是解决这一问题的有效途径。

[0006] 毋庸置疑，在 Si 衬底上外延生长非极性面 AlN 模板将面临很大的挑战，主要是以下几点：首先 Al 原子在生长表面的迁移能力较差，这使得样品表面容易出现岛状生长，粗糙度较大，而且 AlN 在选择性外延生长时难以合并成表面平整均匀的薄膜，容易出现裂纹等问题。其次在外延生长非极性面 AlN 的过程中，Al 极性方向和 N 极性方向与生长方向存在一定夹角，而且不同极性面的生长特性也存在巨大差异，容易形成高密度贯穿位错；最后常规的掩膜材料如  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiN}_x$  等由于 Al 能与之反应故不能用于非极性面 AlN 的选择性外延生长的掩模材料，所以适于非极性面 AlN 掩膜材料种类及制备方法的研究是必须要首先解决的问题。

[0007] 到目前为止，利用选择性外延的方法已经成功在 Si 衬底上外延生长非极性面 GaN。但是此非极性 GaN 模板不能用于生长非极性面 AlGaN，因为在此模板上外延 AlGaN，尤其是高 Al 组分的 AlGaN 会带来裂纹，表面不平整等问题。

### 发明内容

[0008] 本发明为解决现有在硅衬底上生长的非极性面 GaN 模板不能用于生长非极性面 AlGaN，尤其是在 GaN 模板上生长高 Al 组分 AlGaN 时模板表面存在裂纹且表面不平整的问题，提供一种在硅衬底上外延生长非极性面 AlN 模板的方法。

[0009] 一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法，该方法由以下步骤实现：

[0010] 步骤一、选择硅衬底；

[0011] 步骤二、采用光刻方法在步骤一中选择的硅衬底上制备条形光刻胶掩膜图形；

[0012] 步骤三、采用电子束蒸发的方法对步骤二制备的光刻胶掩膜图形蒸镀掩膜材料，然后采用 Lift Off 方法获得图形化掩膜图形；

[0013] 步骤四、采用湿法腐蚀方法选择性腐蚀硅衬底，获得与硅表面成固定夹角的硅(111)面；

[0014] 步骤五、采用 MOCVD 法在步骤四所述的硅表面生长 AlN 缓冲层；然后采用高温 MOCVD 法继续生长 AlN 模板，获得在硅衬底上长非极性面的 AlN 模板。

[0015] 本发明的有益效果：本发明所述的方法通过在硅衬底上选择性外延生长 AlN 的方法，获得非极性面 AlN 模板，其中高温 MOCVD 法的采用，解决了 Al 原子迁移率低的问题，钨掩膜材料的选取解决了 SiO<sub>2</sub>、SiN 等材料不能用于非极性面 AlN 的选择性外延生长的问题。在硅衬底上非极性面 AlN 模板的制备为生长低位错密度、表面无裂纹的非极性 AlGaN，尤其是高 Al 组分 AlGaN 提供了解决方案，为提高 AlGaN 光电子器件的效率提供了途径。本发明方法简单，经济效益显著，应用前景广阔的优点。

## 附图说明

[0016] 图 1 为本发明所述一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法流程图；

[0017] 图 2 为本发明所述一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法中在硅(110)衬底上生长非极性面 AlN(11~20)的结构示意图；

[0018] 图 3 为本发明所述一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法中在硅(001)衬底上生长非极性面 AlN(1~101)的结构示意图；

[0019] 图 4 为本发明所述一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法中在硅(113)衬底上生长非极性面 AlN(11~22)的结构示意图。

## 具体实施方式

[0020] 具体实施方式一、结合图 1 说明本实施方式，一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法，该方法由以下步骤实现：

[0021] 步骤一、选择硅衬底；

[0022] 步骤二、采用光刻方法在步骤一中选择的硅衬底上制备条形光刻胶掩膜图形；

[0023] 步骤三、采用电子束蒸发的方法对步骤二制备的光刻胶掩膜图形蒸镀掩膜然后采用 Lift Off 技术获得图形化掩膜图形；

[0024] 步骤四、采用湿法腐蚀技术选择性腐蚀不同晶面的硅衬底，获得与硅表面成固定夹角的硅(111)面；

[0025] 步骤五、采用 MOCVD 法在步骤四所述的硅面生长 AlN 缓冲层，然后采用高温 MOCVD 法继续生长 AlN 模板，获得在硅衬底上生长非极性面的 AlN 模板。

- [0026] 本实施方式中步骤一所选择的硅衬底为硅(110)、硅(001)或者硅(113)衬底。
- [0027] 本实施方式中步骤二所述的在硅衬底上制备的条形光刻胶掩膜图形的窗口尺寸为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ , 窗口间距为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 。
- [0028] 本实施方式中步骤三所述的采用电子束蒸发的方法对步骤二制备的光刻胶掩膜图形蒸镀掩膜材料, 所述的掩膜材料为钨金属, 蒸镀掩膜材料的厚度为 $30 \sim 100\text{nm}$ 。采用 Lift Off 方法所用的溶液为丙酮。
- [0029] 本实施方式中步骤四所述的湿法腐蚀硅衬底所用的腐蚀溶液为 KOH 腐蚀液, 所述溶液的浓度为 $30 \sim 60\%$ , 腐蚀温度为 $20 \sim 80^\circ\text{C}$ 。
- [0030] 本实施方式中步骤五所述的采用 MOCVD 法生长 AlN 缓冲层的温度为 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ , 生长 AlN 缓冲层的室压力为 $100\text{mbar}$ , AlN 缓冲层厚度为 $30 \sim 50\text{nm}$ 。采用高温 MOCVD 法生长 AlN 模板的温度为 $1200 \sim 1300^\circ\text{C}$ , 生长的室压力为 $50\text{mbar}$ , 生长的 AlN 模板的厚度为 $500\text{nm} \sim 2 \mu\text{m}$ 。
- [0031] 具体实施方式二、结合图 2、图 3 和图 4 说明本实施方式, 本实施方式为具体实施方式一所述的一种在硅衬底上生长非极性面 AlN 模板的方法的实施例:
- [0032] 结合图 2, 选择硅衬底, 该硅衬底为硅(110)衬底。
- [0033] 利用光刻技术, 在硅(110)面衬底上制备光刻胶掩膜图形, 掩膜图形为条形, 其窗口尺寸宽度为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ , 相邻窗口间距为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 。
- [0034] 然后利用电子束蒸发技术在具有光刻掩膜图形的样品表面蒸发 $30 \sim 50\text{nm}$ 钨, 使得光刻胶掩膜图形中没有光刻胶的窗口处, 钨直接沉积在硅(110)衬底 13 上; 光刻胶掩膜图形中光刻胶存留处, 钨沉积在光刻胶上。
- [0035] 利用 Lift Off 技术溶解光刻胶, 采用丙酮作为溶解溶液, 使得光刻胶与光刻胶上面覆盖的钨金属掩膜材料脱落, 得到的条形掩膜图形, 掩膜窗口的宽度为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ , 相邻窗口间掩膜材料钨的宽度为 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 。
- [0036] 利用 $40 \sim 50\%$ 的 KOH 腐蚀液在 $40 \sim 60^\circ\text{C}$ 下腐蚀带有条形钨掩膜材料的硅衬底, 根据腐蚀的各项异性, 得到与硅(110)衬底表面垂直的硅(111)表面。由于 AlN[0001] 沿硅[111]方向生长, 这样在硅(110)衬底上得到的是 AlN(11-20)非极性面。
- [0037] 利用 MOCVD 法通过两步生长法生长非极性面 AlN(11-20)。其中 AlN 缓冲层的生长的温度为 $800 \sim 1000^\circ\text{C}$ , 生长室压力为 $100 \sim 200\text{mbar}$ , 缓冲层厚度为 $30 \sim 50\text{nm}$ 。继续在 AlN 缓冲层上生长 AlN 模板, 生长的温度为 $1200 \sim 1300^\circ\text{C}$ , 生长室压力为 $50\text{mbar}$ , 模板层厚度为 $500\text{nm} \sim 2 \mu\text{m}$ 。
- [0038] 本发明方法不限于上述实施例, 本发明所述方法还可以在硅(001)衬底上生长非极性面 AlN(1-101), 在硅(113)衬底上生长非极性面 AlN(11-22)。结合图 3 和图 4, 本发明方法在硅衬底上, 通过高温 MOCVD 的方法, 获得非极性面 AlN 模板。高温 MOCVD 法的采用, 解决了 Al 原子迁移率低的问题, 钨掩膜材料的选取解决了 SiO<sub>2</sub>, SiN 等材料不能用于非极性面 AlN 的选择性外延生长的问题。在硅衬底上非极性面 AlN 模板的制备为生长低位错密度、表面无裂纹的非极性 AlGaN, 尤其是高 Al 组分 AlGaN 提供了解决方案, 为提高 AlGaN 光电子器件的效率提供了途径。

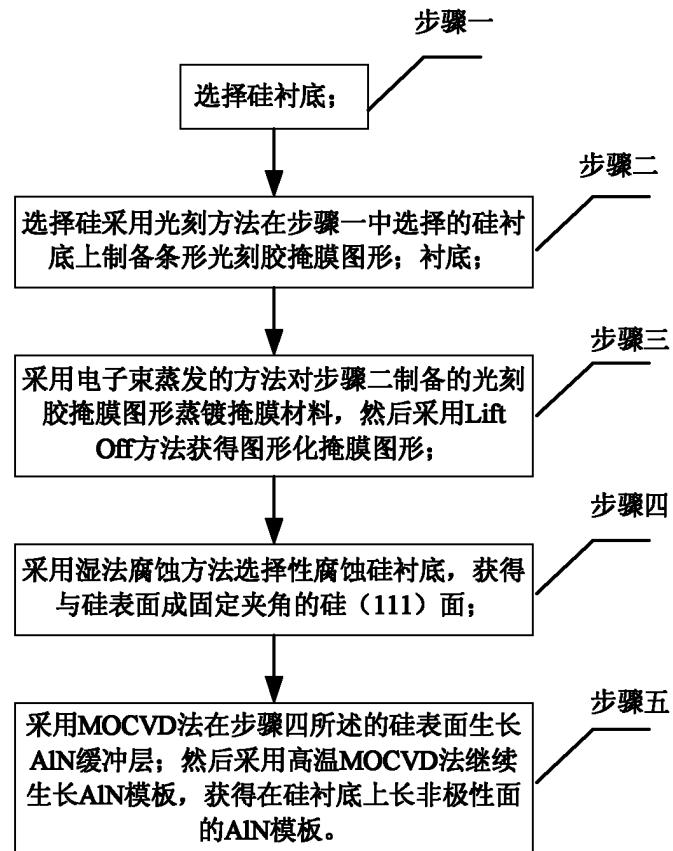


图 1

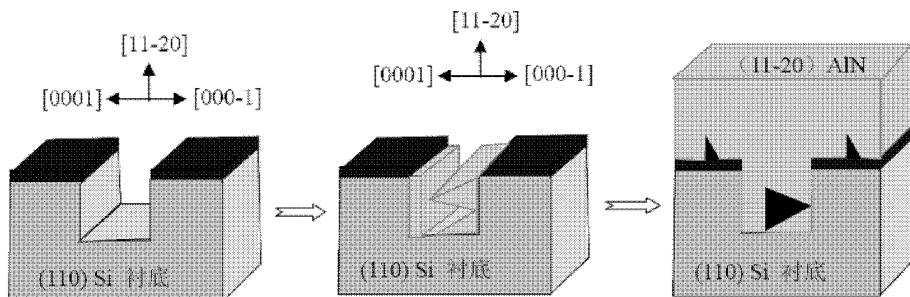


图 2

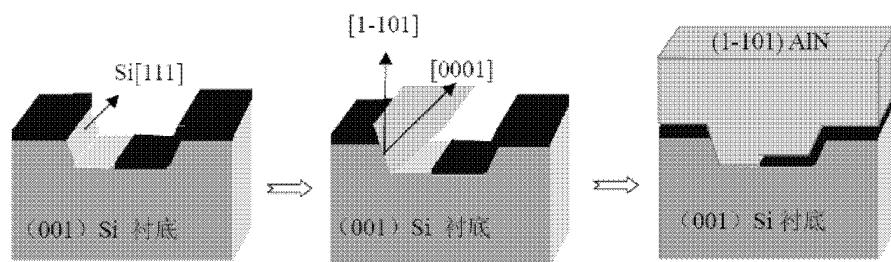


图 3

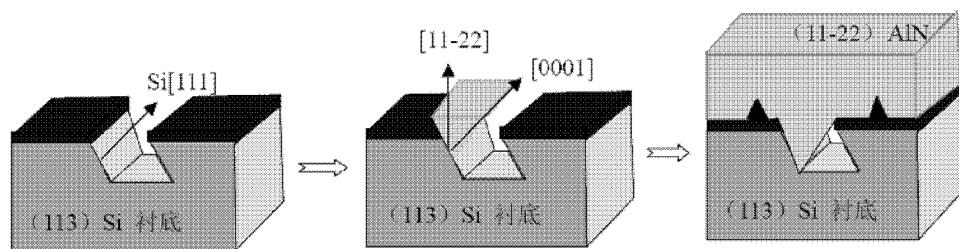


图 4