



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103633134 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 12

(21) 申请号 201310673040. 8

H01L 29/06(2006. 01)

(22) 申请日 2013. 12. 12

(71) 申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市新港西路 135 号  
中山大学

(72) 发明人 刘扬 倪毅强 贺致远 周德秋  
张佰君

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限  
公司 44102

代理人 林丽明

(51) Int. Cl.

H01L 29/778(2006. 01)

H01L 21/335(2006. 01)

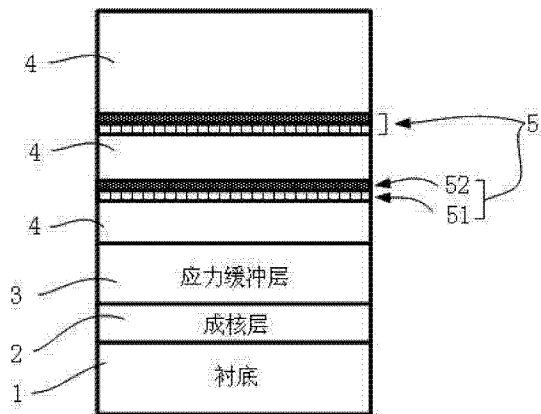
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构及其生长方法

(57) 摘要

本发明涉及半导体材料外延生长领域,公开了一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构及其生长方法。其外延结构由下至上依次包括衬底、成核层、应力缓冲层和氮化物材料层,氮化物材料层包括间隔布设的氮化物半导体材料层和新型基本氮化物复合夹层,氮化物半导体材料层位于应力缓冲层上方;新型基本氮化物复合夹层包括位于氮化物半导体材料层上方的第一氮化物夹层和位于第一氮化物夹层上方的第二氮化物夹层,第一氮化物夹层为 p 型,第二氮化物夹层为一层弛豫氮化物夹层,第二氮化物夹层包括铝和镓,并且氮化物材料层的总厚度至少 2.0 μm 以上。本发明的半导体外延结构会在降低氮化物的位错密度、提高氮化物晶体质量的同时,大幅度降低外延层材料漏电流、提高外延层材料的击穿电压。



1. 一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,由下至上依次包括衬底、成核层、应力缓冲层和氮化物材料层,所述氮化物材料层包括间隔布设的氮化物半导体材料层和新型基本氮化物复合夹层,氮化物半导体材料层位于应力缓冲层上方;所述新型基本氮化物复合夹层包括第一氮化物夹层和位于所述第一氮化物夹层上方的第二氮化物夹层,所述第一氮化物夹层为 p 型,所述第二氮化物夹层为一层弛豫氮化物夹层;其中第一氮化物夹层位于氮化物半导体材料层上方。

2. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述衬底为硅衬底、绝缘衬底硅、蓝宝石衬底、碳化硅、铌酸锂、氮化镓或氮化铝衬底中的任一种。

3. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述成核层为 AlGa<sub>N</sub> 层、AlInGa<sub>N</sub> 层、AlN 层或 GaN 层。

4. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述应力缓冲层为 AlN、AlGa<sub>N</sub>、GaN 的任一种或组合;应力缓冲层厚度为 100nm~10 μm。

5. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述氮化物半导体材料层为 AlGa<sub>N</sub> 层、AlInGa<sub>N</sub> 层或 GaN 层;其厚度为 100nm~20 μm。

6. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述第一氮化物夹层为 p 型掺杂 Ga<sub>N</sub> 层、AlN 层或 AlGa<sub>N</sub> 层,是通过掺杂 Mg、Be、Zn、Mn 或 C 的杂质以实现 P 型掺杂;所述的第一氮化物夹层材料厚度为 1nm~50nm。

7. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述第二氮化物夹层为一层弛豫氮化物夹层;所述弛豫氮化物夹层包括 AlN、AlGa<sub>N</sub> 任一种或组合;所述的弛豫氮化物夹层材料厚度为 1nm~50nm。

8. 根据权利要求 1 所述的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,其特征在于,所述半导体外延结构还包括形成于所述氮化物层半导体材料层上的有源区,所述有源区选自 InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 多量子阱结构和 P 型氮化物构成的发光二极管、AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质构成的高电子迁移率晶体管、AlGaIn<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质构成的高电子迁移率晶体管、AlN/Ga<sub>N</sub> 异质构成的高迁移率三极管、氮化镓 MOSFET、UVLED、光电探测器或太阳能电池。

9. 一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构的生长方法,其特征在于,包括:

- 1) 提供一种衬底;
- 2) 在所述衬底上生长成核层;
- 3) 在所述成核层上生长应力缓冲层;
- 4) 在应力缓冲层上生长一层氮化物半导体材料层;
- 5) 在氮化物半导体材料层上生长新型基本氮化物复合夹层,其中新型基本氮化物复合夹层第一氮化物夹层和位于所述第一氮化物夹层上方的第二氮化物夹层;
- 6) 在新型基本氮化物复合夹层上生长另一层氮化物半导体材料层;
- 7) 依次重复步骤 5) 和步骤 6) 直到生长到足够厚度的氮化物半导体材料层为止。

## 一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构及其生长方法

[0001]

### 技术领域

[0002] 本发明涉及半导体技术领域,更具体地,涉及一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构及其生长方法。

### 背景技术

[0003] 以 GaN 为代表的第三代宽禁带半导体材料具有宽禁带、高击穿电场强度、高饱和电子漂移速度、高热导率、异质界面二维电子气浓度高等优良的材料性能特点,相比于 Si 材料, GaN 更加适合制作大功率大容量、高开关速度以及高频的电子器件。与传统 Si 器件相比, GaN 器件能承载更高的功率密度,具有更高的能量转换效率,可以使整个系统的体积和重量减少,从而降低系统成本。

[0004] 由于缺乏同质衬底,目前在廉价的大尺寸 Si 衬底上生长 GaN 外延层制备功率器件成为了推动 GaN 功率器件市场化的主流方向。

[0005] 传统的采用异质结构沟道的平面型硅基氮化镓功率器件不能像在蓝宝石或碳化硅衬底上的 GaN 功率器件一样,单纯的靠增大栅漏间距或者引入场板技术来获得高的击穿电压。实验表明, Si 基 GaN 功率器件存在一个饱和击穿电压。也就是说当增大栅漏间距时,击穿电压并非一直线性增大,而是在达到某一个栅漏间距后,击穿电压趋于饱和。这说明在器件水平方向发生击穿之前,垂直方向材料就发生了击穿。这主要是由于 Si 衬底材料本身的导电性和低的临界击穿电场导致了垂直方向的击穿。所以,提高 Si 衬底上氮化物功率器件的击穿电压是急需攻克的关键问题。

[0006] 通过增加 Si 衬底上氮化物外延层的厚度可以达到提高硅衬底氮化物功率器件的击穿电压的目的。但是由于 Si 衬底与氮化物之间存在晶格失配和热失配,为了平衡失配所产生应力不均,采用应力工程技术可以很好的在 Si 衬底上生长出厚膜无龟裂的 GaN 外延层。Dadgar 在 2000 年等人 (Dadgar, et. al, Metalorganic Chemical Vapor Phase Epitaxy of Crack-Free GaN on Si (111) Exceeding 1  $\mu\text{m}$  in Thickness Armin Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) L1183) 提出了采用多层富 Al 的氮化物插入层的方法获得了 Si 衬底上异质生长 1 微米以上的高质量无龟裂 GaN 外延层。这种采用富 Al 氮化物插入层的思路是该应力释放后的富 Al 氮化物插入层与其上面覆配生长或部分应力释放的 GaN 外延层会给后续的 GaN 外延层提供一个压应力,从而很好的平衡应力获得无龟裂的氮化物外延层。该方法的一个缺点是最上层的 GaN 层厚度不能太厚,通常为 2-3 微米。但是,该方法可以得到非常厚的氮化物外延层 (14.6  $\mu\text{m}$ ) (A. Dadgar et al.: Improving GaN-on-silicon properties for GaN device epitaxy, Phys. Status Solidi C 8, No. 5, 1503 - 1508 (2011))。这是目前主流技术中唯一可以生长超过 10  $\mu\text{m}$  外延层厚度的插入层技术。

[0007] 但是,实验表明采用多层富 Al 氮化物插入层的技术生长出的厚膜外延层并不能有效的提升材料的耐压能力。这是因为,由于极化效应的存在,该富 Al 氮化物插入层会在

其与下方的 GaN 外延层的界面处产生一层埋层二维电子气沟道。该埋层沟道扮演着一个埋层漏电流通道的角色,从而使得实际耐压层仅为最顶层的 GaN 层,而不是整层氮化物外延层。(Ni Yi Qiang, He Zhi Yuan et al.: Electrical properties of MOCVD-grown GaN on Si (111) substrates with low-temperature AlN interlayers, Chin. Phys. B Vol. 22, No. 8 (2013) 088104; Zhiyuan He, Yiqiang Ni et al: Investigations of Leakage Current Properties in Semi-insulating GaN Grown on Si (111) Substrate with Low Temperature AlN Interlayers, Journal of Physics D:Applied Physics, 2013, accepted)。

## 发明内容

[0008] 为了克服现有采用富 Al 氮化物插入层技术外延生长厚膜 GaN 耐压能力不足的问题,首先提出一种具有更高耐压能力的厚膜高阻氮化物半导体外延结构。

[0009] 为了实现上述目的,技术方案如下:

一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构,由下至上依次包括衬底、成核层、应力缓冲层和氮化物材料层,所述氮化物材料层包括间隔布设的氮化物半导体材料层和新型基本氮化物复合夹层,氮化物半导体材料层位于应力缓冲层上方;所述新型基本氮化物复合夹层包括第一氮化物夹层和位于所述第一氮化物夹层上方的第二氮化物夹层,所述第一氮化物夹层为 p 型,所述第二氮化物夹层为一层弛豫氮化物夹层;其中第一氮化物夹层位于氮化物半导体材料层上方。

[0010] 上述外延结构采用新型基本氮化物复合夹层,从而实现最大化的利用富 Al 氮化物掺入层技术所获得的厚膜氮化物外延层,本是一种工艺简单,稳定性高,通过调控能带来消除埋层导通沟道,从而最大化利用采用富 Al 氮化物插入层的技术。

[0011] 第二氮化物夹层的引入可以有效的释放后续氮化物外延层的应力,从而更好的平衡整层外延层的应力分布,并获得无龟裂的氮化物外延层。但由于氮化物材料中极化效应的存在,单纯引入的第二氮化物夹层会与下层氮化物半导体材料层在界面处形成一层埋层二维电子气沟道。引入第一氮化物夹层可以有效的耗尽上述埋层二维电子气沟道,消除埋层漏电流通道。同时并不会对晶体质量有很大的影响。上述新型基本氮化物复合夹层在氮化物半导体材料层中的个数由实际耐压和厚度需求而定,包括多个新型基本氮化物复合夹层的氮化物材料层具有至少  $2.0\ \mu\text{m}$  以上的总厚度。

[0012] 优选的,所述衬底为硅衬底、绝缘衬底硅、蓝宝石衬底、碳化硅、铌酸锂、氮化镓或氮化铝衬底中的任一种。

[0013] 优选的,所述成核层为 AlGa<sub>n</sub>N 层、AlInGa<sub>n</sub>N 层、AlN 层或 GaN 层。

[0014] 优选的,所述应力缓冲层为 AlN、AlGa<sub>n</sub>N、GaN 的任一种或组合;应力缓冲层厚度为  $100\text{nm}\sim 10\ \mu\text{m}$ 。

[0015] 优选的,所述氮化物半导体材料层为 AlGa<sub>n</sub>N 层、AlInGa<sub>n</sub>N 层或 GaN 层;其厚度为  $100\text{nm}\sim 20\ \mu\text{m}$ 。

[0016] 优选的,所述第一氮化物夹层为 p 型掺杂 GaN 层、AlN 层或 AlGa<sub>n</sub>N 层;是通过掺杂 Mg、Be、Zn、Mn 或 C 等的杂质以实现 P 型掺杂;所述的第一氮化物夹层材料厚度为  $1\text{nm}\sim 50\text{nm}$ 。该层起到耗尽由所述第二氮化物夹层所引入的埋层沟道的作用。从而获得更高阻的氮化物

半导体外延层。

[0017] 优选的,所述第二氮化物夹层为一层弛豫氮化物夹层;所述弛豫氮化物夹层包括铝和镓;所述的弛豫氮化物夹层材料厚度为  $1\text{nm}\sim 50\text{nm}$ 。该层起到缓解外延层结构内应力,从而获得更厚的氮化物半导体材料层。

[0018] 优选的,半导体外延结构还包括形成于所述氮化物层半导体材料层上的有源区,所述有源区选自 InGaN/GaN 多量子阱结构和 P 型氮化物构成的发光二极管、AlGaIn/GaN 异质结构构成的高电子迁移率晶体管、AlGaInN/GaN 异质结构构成的高电子迁移率晶体管、AlN/GaN 异质结构构成的高迁移率三极管、氮化镓 MOSFET、UVLED、光电探测器或太阳能电池等。

[0019] 本发明还提出一种用于生长上述外延结构的生长方法,采用该方法能够有效克服现有采用富 Al 氮化物插入层技术外延生长厚膜 GaN 耐压能力不足的问题,最大化的利用采用富 Al 氮化物掺入层技术所获得的厚膜氮化物外延层,该外延结构相比传统采用富 Al 氮化物插入层技术生长的氮化物外延层材料具有更高的耐压能力。同时该生长方法工艺简单,稳定性高。

[0020] 为了实现上述目的,其技术方案为:

一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构的生长方法,包括以下步骤:

- 1) 提供一种衬底;
- 2) 在所述衬底上生长成核层;
- 3) 在所述成核层上生长应力缓冲层;
- 4) 在应力缓冲层上生长一层氮化物半导体材料层;
- 5) 在氮化物半导体材料层上生长新型基本氮化物复合夹层,其中新型基本氮化物复合夹层第一氮化物夹层和位于所述第一氮化物夹层上方的第二氮化物夹层;
- 6) 在新型基本氮化物复合夹层上生长另一层氮化物半导体材料层;
- 7) 依次重复步骤 5) 和步骤 6) 直到生长到足够厚度的氮化物半导体材料层为止。

[0021] 优选的,所述成核层、应力缓冲层、氮化物材料层、新型基本氮化物复合夹层的生长方法包括是金属有机化学气相沉积法或分子束外延法。

[0022] 优选的,所述新型基本氮化物复合夹层包括第一氮化物夹层和位于所述第一氮化物夹层上方的第二氮化物夹层,所述第一氮化物夹层为 p 型掺杂,所述第二氮化物夹层为一层弛豫氮化物夹层。第二氮化物夹层的引入可以有效的释放后续氮化物外延层的应力,从而更好的平衡整层外延层的应力分布,并获得无龟裂的氮化物外延层。但由于氮化物材料中极化效应的存在,单纯引入的第二氮化物夹层会与下层氮化物半导体材料层在界面处形成一层埋层二维电子气沟道。引入第一氮化物夹层可以有效的耗尽上述埋层二维电子气沟道,消除埋层漏电流通道。同时并不会对晶体质量有很大的影响。

[0023] 与现有技术相比,本发明的有益效果为:采用新型基本氮化物复合夹层(第一氮化物夹层和第二氮化物夹层)的有益效果为:外延结构简单,不仅能够降低氮化物的位错,提高氮化物外延层的晶体质量,最大化利用由采用富 Al 氮化物插入层技术而获得的厚膜高阻氮化物半导体外延结构,还能进一步获得更高的外延层耐压能力。为基于此外延结构的器件提供更高阻的外延层模板。

附图说明

[0024] 图 1 为本发明实施例 1 中的半导体外延结构的示意图。

### 具体实施方式

[0025] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单的介绍,显然的,本发明可以被具体实施为许多不同的形式并且不应当被理解为局限于这里所述的实施例;更确切地说,提供这些实施例使得本公开更加全面和完整,并且这些实施例将会向本领域技术人员完全传达本发明的范围。贯穿全文类似的数字指的是类似的元件。此外,附图中所示出的多个层和区域是被示意性标示出的。因此,本发明并不局限于附图中所示的相对大小和间隔。正如本领域技术人员理解的,这里提及的形成在衬底或其它层“上面”的层可以指的是直接形成在该衬底或其它层上面的层或者指形成在形成于该衬底或其它层上的插入层上的层。

#### [0026] 实施例 1

本发明实施例公开了一种厚膜高阻氮化物半导体外延结构,由下至上依次包括衬底 1、成核层 2、应力缓冲层 3、氮化物材料层以及氮化物材料层上的有源区(图未示),氮化物材料层包括间隔布设的氮化物半导体材料层 4 和新型基本氮化物复合夹层 5,氮化物半导体材料层 4 位于应力缓冲层 3 上方;新型基本氮化物复合夹层 5 包括第一氮化物夹层 51 和位于第一氮化物夹层 51 上方的第二氮化物夹层 52,第一氮化物夹层 51 为 p 型,第二氮化物夹层 52 为一层弛豫氮化物夹层;其中第一氮化物夹层 51 位于氮化物半导体材料层 4 上方,有源区位于氮化物半导体材料层 4 上方。

[0027] 相应的,本发明还公开了上述厚膜高阻氮化物半导体外延结构生长方法,如图 1 所示,包括以下步骤:

- 1) 提供一种衬底 1;
- 2) 在衬底上生长成核层 2;
- 3) 在成核层 2 上生长应力缓冲层 3;
- 4) 在应力缓冲层 3 上生长一层氮化物半导体材料层 4;
- 5) 在氮化物半导体材料层 4 上生长新型基本氮化物复合夹层 5,其中依次为第一氮化物夹层 51 和第二氮化物夹层 52;
- 6) 在新型基本氮化物复合夹层 5 上生长另一层氮化物半导体材料层 4;
- 7) 依次重复第 5) 步和第 6) 步直到生长到足够厚度的氮化物材料层为止。

[0028] 本发明中采用的生长方法为分子束外延法或金属有机化学气相沉积法两种方法之一生长而成。

[0029] 本发明采用新型基本氮化物复合夹层(第一氮化物夹层 51 和第二氮化物夹层 52)结构,不仅降低了氮化物半导体材料层位错密度和晶体质量并获得厚膜的氮化物半导体材料层(2  $\mu\text{m}$  以上),还进一步避免了外延结构中的埋层漏电流通道,提高了氮化物半导体材料层的漏电流水平和耐压能力。

[0030] 上述衬底 1 为硅衬底、绝缘衬底硅、蓝宝石衬底、碳化硅、铌酸锂、氮化镓或氮化铝衬底中的一种。

[0031] 成核层 2 为 AlGa<sub>N</sub>、AlInGa<sub>N</sub>、AlN 或 GaN 层。

[0032] 应力缓冲层为 AlN、AlGa<sub>N</sub>、GaN 的任一种或组合。

[0033] 氮化物半导体材料层 4 为 AlGa<sub>N</sub> 层、AlInGa<sub>N</sub> 层或 Ga<sub>N</sub> 层。

[0034] 新型基本氮化物复合夹层 5 为双层结构,自下而上分别为第一氮化物夹层 51 和位于第一氮化物夹层 51 上方的第二氮化物夹层 52。第一氮化物夹层 51 材料与氮化物半导体材料层 4 相同,并掺入 Mg、Be、Zn、Mn、C 等杂质以实现 P 型掺杂。

[0035] 第一氮化物夹层 51 为 p 型掺杂 Ga<sub>N</sub> 层、AlN 层或 AlGa<sub>N</sub> 层;是通过掺杂 Mg、Be、Zn、Mn 或 C 等的杂质以实现 P 型掺杂;的第一氮化物夹层 51 材料厚度为 1nm~50nm;第二氮化物夹层 52 为一层弛豫氮化物夹层;弛豫氮化物夹层包括铝和镓;的弛豫氮化物夹层材料厚度为 1nm~50nm。

有源区可选自 InGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 多量子阱结构和 P 型氮化物构成的发光二极管、AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> 异质构成的高电子迁移率晶体管、AlGaInN/Ga<sub>N</sub> 异质构成的高电子迁移率晶体管、AlN/Ga<sub>N</sub> 异质构成的高迁移率三极管、氮化镓 MOSFET、UVLED、光电探测器、太阳能电池等。

[0036] 综上,本发明采用新型基本氮化物复合夹层(第一氮化物夹层和第二氮化物夹层)结构,不仅降低了氮化物半导体材料层位错密度和晶体质量并获得厚膜的氮化物半导体材料层(2 μ m 以上),还进一步避免了外延结构中的埋层漏电流通道,提高了氮化物半导体材料层的漏电流水平和耐压能力。

[0037] 应当理解,虽然本说明按照实施方式加以描述,但并非每个实施只包含一个独立的技术方案,说明书的叙述方式只是为了清楚表达意思起见,本领域技术人员应当将说明书作为一个整体,各实施方式中的技术方案也可以经适当组合,形成本领域技术人员可以理解的其他技术实施方式。

[0038] 上文所列出一系列详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,它们并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

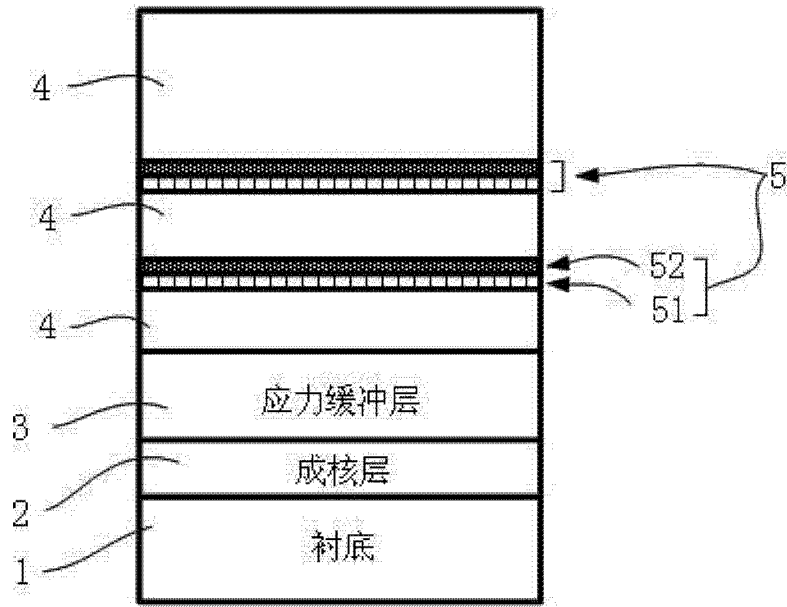


图 1