



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102254798 A

(43) 申请公布日 2011. 11. 23

(21) 申请号 201110177841. 6

(22) 申请日 2011. 06. 28

(71) 申请人 中国科学院半导体研究所

地址 100083 北京市海淀区清华东路甲 35 号

(72) 发明人 孙国胜 吴海雷 郑柳 刘兴昉

王雷 赵万顺 闫果果

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

代理人 汤保平

(51) Int. Cl.

H01L 21/20(2006. 01)

H01L 21/265(2006. 01)

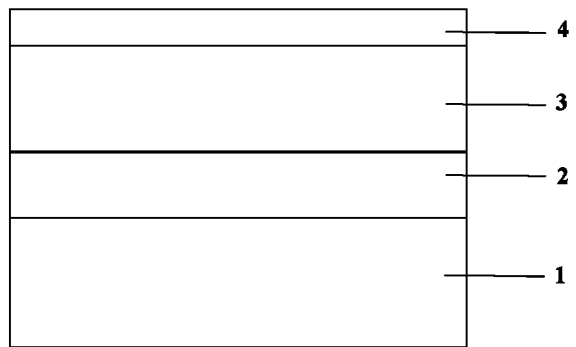
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54) 发明名称

碳化硅 PIN 微结构的制作方法

(57) 摘要

一种碳化硅 PIN 微结构的制作方法, 包括如下步骤: 步骤 1: 取一 n 型碳化硅衬底; 步骤 2: 对 n 型碳化硅衬底的表面进行氢气刻蚀; 步骤 3: 在 n 型碳化硅衬底上生长 n 型变浓度缓冲层; 步骤 4: 在 n 型变浓度缓冲层上外延生长本征外延层; 步骤 5: 采用离子注入法, 在本征外延层上制备 P 型层; 步骤 6: 退火, 完成碳化硅 PIN 微结构的制作。



1. 一种碳化硅 PiN 微结构的制作方法,包括如下步骤:

步骤 1:取一 n 型碳化硅衬底;

步骤 2:对 n 型碳化硅衬底的表面进行氢气刻蚀;

步骤 3:在 n 型碳化硅衬底上生长 n^- 型变浓度缓冲层;

步骤 4:在 n^- 型变浓度缓冲层上外延生长本征外延层;

步骤 5:采用离子注入法,在本征外延层上制备 P 型层;

步骤 6:退火,完成碳化硅 PiN 微结构的制作。

2. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中所用 n 型碳化硅衬底为 n 型六方相、棱方相或立方相的碳化硅单晶体材料,载流子浓度为 10^{18} - 10^{21} 。

3. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中 n^- 型变浓度缓冲层的厚度为 2-6 微米,掺杂浓度沿 n 型碳化硅衬底的法线方向线性递减,其靠近 n 型碳化硅衬底表面处的掺杂浓度为 10^{16} - 10^{18} ,其表面处掺杂浓度为 10^{14} - 10^{15} 。

4. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中本征外延层的掺杂浓度为 10^{13} - 10^{15} ,厚度 6-14 微米。

5. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中在本征外延层上制备的 P 型层,是通过在本征外延层表面注入 Al 离子形成的,该 p 型层的厚度为 80-150 纳米,其 p 型载流子浓度为 10^{18} - 10^{20} 。

6. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中 n^- 型变浓度缓冲层、本征外延层和 p 型层三者晶型、取向与 n 型碳化硅衬底一致。

7. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中氢气刻蚀 n 型碳化硅衬底,所用刻蚀压力为 40 毫托-100 托,温度为 1350-1550 $^{\circ}$ C,氢气流量为 5-20 标准升/分钟,刻蚀时间为 10-60 分钟。

8. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中生长 n^- 型变浓度缓冲层时,生长压力为 40 毫托-100 托,生长温度为 1500-1550 $^{\circ}$ C,在低于生长温度 20-50 $^{\circ}$ C 时通入流量为 1-10 标准毫升/分钟的碳源,所用碳源为含碳的无氧高纯气体,n 型碳化硅衬底以 5-20 $^{\circ}$ C/分钟的速率加热至生长温度;按碳、硅原子摩尔比为 1-2 的比例通入硅源,所用硅源为含硅的无氧高纯气体, n^- 型变浓度缓冲层生长时氢气流量为 5-20 标准升/分钟,生长时间是 40-80min。

9. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中生长本征外延层时,生长压力为 40 毫托-100 托,生长温度为 1500-1550 $^{\circ}$ C,在低于生长温度 20-50 $^{\circ}$ C 时通入流量为 1-10 标准毫升/分钟的碳源,所用碳源为含碳的无氧高纯气体,n 型碳化硅衬底以 5-20 $^{\circ}$ C/分钟的速率加热至生长温度;按碳、硅原子摩尔比为 1-2 的比例通入硅源,所用硅源为含硅的无氧高纯气体, n^- 型变浓度缓冲层生长时氢气流量为 5-20 标准升/分钟,生长时间是 100-150min。

10. 根据权利要求 1 所述的碳化硅 PiN 微结构的制作方法,其中离子注入形成 p 型层时,注入工艺为多步离子注入,所注入的离子为 Al 离子。

碳化硅 PIN 微结构的制作方法

技术领域

[0001] 本发明属于宽禁带半导体外延材料制备领域,特别是涉及一种碳化硅同质 PIN 微结构的制备方法。

背景技术

[0002] 碳化硅为一种同质多种结晶形态的材料,发现的晶态形式已经超过 250 种。在 SiC 众多多型体中,4H-SiC 以其禁带宽度大 (3.26eV)、迁移率高 ($900\text{cm}^2/\text{Vs}$) 和各向异性比较小等优越性能而被认为更适合于制造大功率高反压电子器件。另外,碳化硅化学惰性好,耐高温,抗辐射,在大功率电力电子领域具有巨大的应用潜力,因此,设计和制作基于同质 SiC 的材料和器件具有重要现实意义。PIN 结构的 SiC 材料除了具有常规 PIN 性能外,还能根据 i 型本征层和离子注入形成的 P 型层的特别设计以实现更高的功率密度及更高频率的开关速度。

[0003] 与现有技术 200910237845.1 相比,本发明使用离子注入而不采用原位掺杂,与原位掺杂相比,离子注入方法具有以下优点:1. 离子注入可通过调节注入离子的能量和数量,精确控制掺杂的深度和浓度;2. 离子注入掺杂的横向扩散小,注入区域的图形尺寸可以更小,有利于集成度;3. 离子注入可实现大面积均匀掺杂并有高的浓度;4. 离子注入不受化学结合力、扩散系数和固溶度等的限制,能在任意所需的温度下进行掺杂;5. 离子注入可达到高纯度掺杂的要求,避免有害物质进入半导体材料,可以提高 PIN 器件的性能。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种 SiC 同质 PIN 微结构材料的制作方法,其是采用离子注入,可以提高器件制造的重复性与一致性,适用于半导体大功率电力电子器件的制备。

[0005] 本发明采用的技术方案是:一种碳化硅 PIN 微结构的制作方法,包括如下步骤:

[0006] 步骤 1:取一 n 型碳化硅衬底;

[0007] 步骤 2:对 n 型碳化硅衬底的表面进行氢气刻蚀;

[0008] 步骤 3:在 n 型碳化硅衬底上生长 n^- 型变浓度缓冲层;

[0009] 步骤 4:在 n^- 型变浓度缓冲层上外延生长本征外延层;

[0010] 步骤 5:采用离子注入法,在本征外延层上制备 P 型层;

[0011] 步骤 6:退火,完成碳化硅 PIN 微结构的制作。

[0012] 其中所用 n 型碳化硅衬底为 n 型六方相、棱方相或立方相的碳化硅单晶体材料,载流子浓度为 $10^{18}-10^{21}$ 。

[0013] 其中 n^- 型变浓度缓冲层的厚度为 2-6 微米,掺杂浓度沿 n 型碳化硅衬底的法线方向线性递减,其靠近 n 型碳化硅衬底表面处的掺杂浓度为 $10^{16}-10^{18}$,其表面处掺杂浓度为 $10^{14}-10^{15}$ 。

[0014] 其中本征外延层的掺杂浓度为 $10^{13}-10^{15}$,厚度 6-14 微米。

[0015] 其中在本征外延层上制备的 P 型层,是通过在本征外延层表面注入 Al 离子形成

的,该 p 型层的厚度为 80-150 纳米,其 p 型载流子浓度为 10^{18} - 10^{20} 。

[0016] 其中 n^- 型变浓度缓冲层、本征外延层和 p 型层三者晶型、取向与 n 型碳化硅衬底一致。

[0017] 其中氢气刻蚀 n 型碳化硅衬底,所用刻蚀压力为 40 毫托-100 托,温度为 1350-1550℃,氢气流量为 5-20 标准升 / 分钟,刻蚀时间为 10-60 分钟。

[0018] 其中生长 n^- 型变浓度缓冲层时,生长压力为 40 毫托-100 托,生长温度为 1500-1550℃,在低于生长温度 20-50℃ 时通入流量为 1-10 标准毫升 / 分钟的碳源,所用碳源为含碳的无氧高纯气体,n 型碳化硅衬底以 5-20℃ / 分钟的速率加热至生长温度;按碳、硅原子摩尔比为 1-2 的比例通入硅源,所用硅源为含硅的无氧高纯气体, n^- 型变浓度缓冲层生长时氢气流量为 5-20 标准升 / 分钟,生长时间是 40-80min。

[0019] 其中生长本征外延层时,生长压力为 40 毫托-100 托,生长温度为 1500-1550℃,在低于生长温度 20-50℃ 时通入流量为 1-10 标准毫升 / 分钟的碳源,所用碳源为含碳的无氧高纯气体,n 型碳化硅衬底以 5-20℃ / 分钟的速率加热至生长温度;按碳、硅原子摩尔比为 1-2 的比例通入硅源,所用硅源为含硅的无氧高纯气体, n^- 型变浓度缓冲层生长时氢气流量为 5-20 标准升 / 分钟,生长时间是 100-150min。

[0020] 其中离子注入形成 p 型层时,注入工艺为多步离子注入,所注入的离子为 Al 离子。

[0021] 本发明具有的有益效果是:

[0022] (1) 缓冲层是一个掺杂浓度线性渐变层,在 n 型衬底和本征层之间引入一个缓变过渡层,有利于承受更高的功率密度;

[0023] (2) 采用 Al 离子注入形成 P 型层,可以提高器件制造的重复性与一致性;

[0024] (3) p 注入层相对很薄,在保证 p 型欧姆接触良好的前提下,有利于减少空穴迁移长度,提高开关速度。

附图说明

[0025] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,以下结合具体实施例,并参照附图,对本发明进一步详细说明,其中:

[0026] 图 1 是本发明的碳化硅 PIN 微结构示意图。

具体实施方式

[0027] 请参阅图 1 所示,本发明提供一种碳化硅 PIN 微结构的制作方法,包括如下步骤:

[0028] 步骤 1:取一 n 型碳化硅衬底 1,所用 n 型碳化硅衬底 1 为 n 型六方相、棱方相或立方相的碳化硅单晶体材料,载流子浓度为 10^{18} - 10^{21} ,碳化硅材料耐高温高压,可以在极端及恶劣条件下正常工作,与常规用于器件制作的硅材料相比,具有更大的应用前景;

[0029] 步骤 2:对 n 型碳化硅衬底 1 的表面进行氢气刻蚀,这是碳化硅材料生长必须的步骤,给后续的材料生长做准备,以生长出性能优秀的碳化硅外延层。所述氢气刻蚀 n 型碳化硅衬底 1,所用刻蚀压力为 40 毫托-100 托,温度为 1350-1550℃,氢气流量为 5-20 标准升 / 分钟,刻蚀时间为 10-60 分钟;

[0030] 步骤 3:在 n 型碳化硅衬底 1 上生长 n^- 型变浓度缓冲层 2,该 n^- 型变浓度缓冲层 2 的厚度为 2-6 微米,掺杂浓度沿 n 型碳化硅衬底 1 的法线方向线性递减,其靠近 n 型碳化硅

衬底 1 表面处的掺杂浓度为 10^{16} – 10^{18} , 其表面处掺杂浓度为 10^{14} – 10^{15} , 所述生长 n^- 型变浓度缓冲层 2 时, 生长压力为 40 毫托–100 托, 生长温度为 1500 – 1550°C , 在低于生长温度 20 – 50°C 时通入流量为 1–10 标准毫升 / 分钟的碳源, 所用碳源为含碳的无氧高纯气体, n 型碳化硅衬底 1 以 5 – 20°C / 分钟的速率加热至生长温度; 按碳、硅原子摩尔比为 1–2 的比例通入硅源, 所用硅源为含硅的无氧高纯气体, n^- 型变浓度缓冲层 2 生长时氢气流量为 5–20 标准升 / 分钟, 生长时间是 40–80min;

[0031] 步骤 4: 在缓冲层 2 上外延生长本征外延层 3, 该本征外延层 3 的掺杂浓度为 10^{13} – 10^{15} , 厚度 6–14 微米, 所述生长 n^- 型变浓度缓冲层 2 时, 生长压力为 40 毫托–100 托, 生长温度为 1500 – 1550°C , 在低于生长温度 20 – 50°C 时通入流量为 1–10 标准毫升 / 分钟的碳源, 所用碳源为含碳的无氧高纯气体, n 型碳化硅衬底 1 以 5 – 20°C / 分钟的速率加热至生长温度; 按碳、硅原子摩尔比为 1–2 的比例通入硅源, 所用硅源为含硅的无氧高纯气体, n^- 型变浓度缓冲层 2 生长时氢气流量为 5–20 标准升 / 分钟, 生长时间是 100–150min;

[0032] 步骤 5: 采用离子注入法, 在本征外延层 3 上制备 P 型层 4, 其是通过在本征外延层 3 表面注入 Al 离子形成的, 该 p 型层 4 的厚度为 80–150 纳米, 其 p 型载流子浓度为 10^{18} – 10^{20} , 所述离子注入形成 p 型层 4 时, 注入工艺为多步离子注入, 所注入的离子为 Al 离子, 相比于其他方法而言, 离子注入法具有加工温度低、可均匀的大面积注入杂质、易于控制等优点, 已成为器件制作比较常用的掺杂工艺;

[0033] 步骤 6: 退火, 完成碳化硅 PiN 微结构的制作。

[0034] 其中 n^- 型变浓度缓冲层 2、本征外延层 3 和 p 型层 4 三者晶型、取向与 n 型碳化硅衬底 1 一致。

[0035] 实施例 1

[0036] 请再参阅图 1 所示, 采用单晶 4H-SiC 衬底, 其 Si (0001) 表面朝 $\langle 1120 \rangle$ 方向偏 8° , 经过化学抛光处理, 清洗干净后放入低压化学气相沉积设备中, 通入氢气, 保持压力为 40 托, 升温至 1350°C 后保温, 用氢气对衬底表面进行刻蚀抛光, 刻蚀 30 分钟。然后以 40°C / 分钟的升温速率升温至 1500°C , 通入 1sccm 流量的乙烯, 当衬底表面升温至 1550°C 时, 通入 1sccm 流量的硅烷, 保持温度不变, 生长 180 分钟, 完成缓冲层和本征层的生长。整个生长过程压力保持在 40 托, 氢气流量为 3000sccm, 直至生长结束。之后应用多步离子注入技术, 向本征层表面注入 Al 离子, 注入能量和剂量分别为: 160KeV , $2.44 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$; 70KeV , $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$; 30KeV , $6 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 。最后对注入后的样品在 1600°C 下进行高温退火以消除注入损伤并激活注入离子。

[0037] 以上所述的具体实施例, 对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明, 所应理解的是, 以上所述仅为本发明的具体实施例而已, 并不用于限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内, 所做的任何修改、等同替换、改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

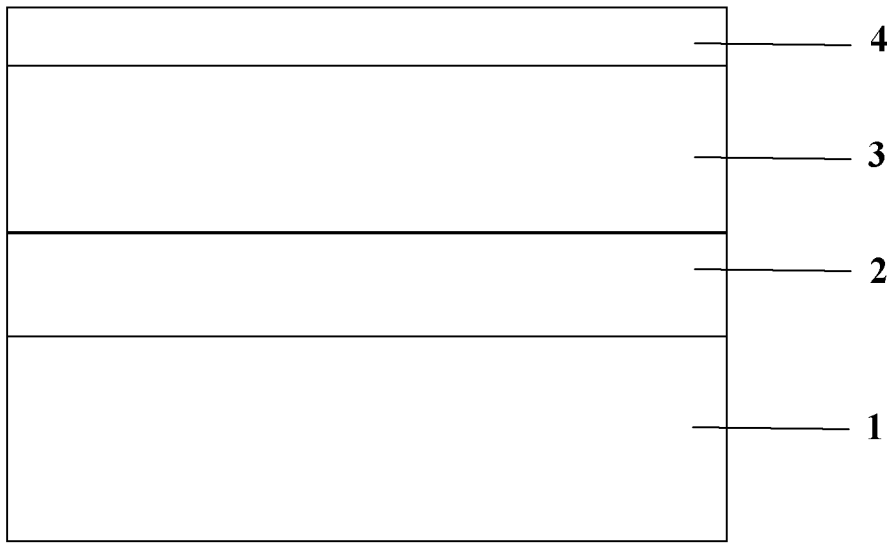


图 1