



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109243659 A

(43)申请公布日 2019.01.18

(21)申请号 201811167005.8

(22)申请日 2018.10.08

(71)申请人 山西大同大学

地址 037009 山西省大同市御河桥东水泊寺乡水泊寺村1602号

(72)发明人 刘红梅 尉国栋

(74)专利代理机构 苏州智品专利代理事务所
(普通合伙) 32345

代理人 王利斌

(51) Int. Cl.

G21H 1/06(2006.01)

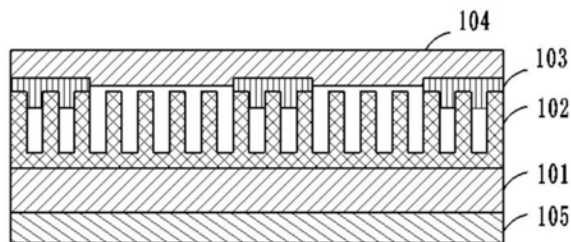
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种基于碳化硅材料的微型核电池及其制备方法

(57)摘要

本发明提供了一种基于碳化硅材料的微型核电池,包括:高掺杂碳化硅单晶衬底,所述高掺杂碳化硅单晶衬底的正面具有碳化硅一维纳米线阵列,所述碳化硅一维纳米线阵列具有PN结区域,所述碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域上面具有第一欧姆接触电极,所述第一欧姆接触电极上具有放射源层,所述高掺杂碳化硅单晶衬底的背面具有第二欧姆接触电极;本发明提供的微型核电池结构新颖合理、能量转换效率较高、制备成本较低,适用于半导体微器件领域。



1. 一种基于碳化硅材料的微型核电池,其特征在于:包括:高掺杂碳化硅单晶衬底(101),所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的正面具有碳化硅一维纳米线阵列(102),所述碳化硅一维纳米线阵列(102)具有PN结区域,所述碳化硅一维纳米线阵列(102)的PN结区域上面具有第一欧姆接触电极(103),所述第一欧姆接触电极(103)上具有放射源层(104),所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的背面具有第二欧姆接触电极(105)。

2. 根据权利要求1所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池,其特征在于:

所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)为P型高掺杂4H-SiC单晶衬底;

所述碳化硅一维纳米线阵列(102)由所述P型高掺杂4H-SiC单晶衬底的正面生长而成;

所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列(102)被进行N型掺杂而成;

所述第一欧姆接触电极(103)为呈叉指状的多层薄膜结构,且由下至上依次为Ti层、Ni层、Au层;

所述放射源层(104)的制作材料为同位素放射源;

所述第二欧姆接触电极(105)为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti层、Al层、Au层。

3. 根据权利要求1所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池,其特征在于:

所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)为N型高掺杂4H-SiC单晶衬底;

所述碳化硅一维纳米线阵列(102)由所述N型高掺杂4H-SiC单晶衬底的正面生长而成;

所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列(102)被进行P型掺杂而成;

所述第一欧姆接触电极(103)为呈叉指状的多层薄膜结构,且由下至上依次为Ti层、Al层、Au层;

所述放射源层(104)的制作材料为同位素放射源;

所述第二欧姆接触电极(105)为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti层、Ni层、Au层。

4. 一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于:包括:

S101、提供高掺杂碳化硅单晶衬底(101);

S102、采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的正面制备碳化硅一维纳米线阵列(102);

S103、采用离子注入工艺,对所述碳化硅一维纳米线阵列(102)进行半导体掺杂,得到基于碳化硅一维纳米线阵列(102)的PN结区域;

S104、采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列(102)的PN结区域表面沉积金属薄膜,形成第一欧姆接触电极(103);

在所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的背面沉积金属薄膜,形成第二欧姆接触电极(105);

S105、采用电化学沉积工艺,在所述第一欧姆接触电极(103)上沉积放射源,形成放射源层(104)。

5. 根据权利要求4所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于: S102步骤中,所述采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的正面制备碳化硅一维纳米线阵列(102),具体包括:

将所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)分别放入丙酮、乙醇、去离子水溶液中进行超声清洗,5~10分钟后取出;

然后放入具有铂片的400~600℃的高温电解液溶液中进行电化学腐蚀,电化学腐蚀过

程中,所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)作为阳极,所述铂片作为阴极;

施加一定的电压,经过10~20分钟后,将所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)取出,冷却、清洗、干燥,即可获得所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)上的碳化硅一维纳米线阵列(102)。

6.根据权利要求4所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于:S103步骤中,所述采用离子注入工艺,对所述碳化硅一维纳米线阵列(102)进行半导体掺杂,得到基于碳化硅一维纳米线阵列(102)的PN结区域,具体包括:

在600~700°C的温度下,从正面分别对所述碳化硅一维纳米线阵列(102)进行两次半导体离子注入,然后在Ar气的保护气氛下,在1300~1500°C的温度环境中退火10~20分钟,即可在所述碳化硅一维纳米线阵列(102)上获得PN结区域。

7.根据权利要求4所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于:S104步骤中,所述采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列(102)的PN结区域表面沉积金属薄膜,形成第一欧姆接触电极(103),在所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的背面沉积金属薄膜,形成第二欧姆接触电极(105),具体包括:

采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列(102)的PN结区域表面沉积呈叉指状的多层金属薄膜,形成第一欧姆接触电极(103);

采用磁控溅射工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底(101)的背面沉积多层金属薄膜,形成第二欧姆接触电极(105);

在Ar气的保护气氛下,在900~1000°C的温度环境中退火3~7分钟;

其中:

若所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列(102)被进行N型掺杂而成,则所述第一欧姆接触电极(103)由下至上依次为Ti层、Ni层、Au层,所述第二欧姆接触电极(105)由上至下依次为Ti层、Al层、Au层;

若所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列(102)被进行P型掺杂而成,则所述第一欧姆接触电极(103)由下至上依次为Ti层、Al层、Au层,所述第二欧姆接触电极(105)由上至下依次为Ti层、Ni层、Au层。

8.根据权利要求4所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于:S105步骤中,所述采用电化学沉积工艺,在所述第一欧姆接触电极(103)上沉积放射源,形成放射源层(104),具体包括:

将样品放入含有同位素放射源的电解液中进行电化学沉积;

将上述样品引线密封后放入稳定的高功率的反应堆中进行辐射,以生成同位素放射源。

9.根据权利要求8所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于:

所述含有Ni-63放射源的电解液包括以下组分:10~20mg的氯化镍,2~8mg的次磷酸钠,20~30mg的醋酸钠,0.2~0.8mL的水,6~12uL的液态⁶³Ni源;

所述含有Pm-147放射源的电解液包括以下组分:15~25mg的氯化钽,2~8mg的次磷酸钠,20~30mg的醋酸钠,0.5~1.5mL的水,0.2~0.8mg的粉末¹⁴⁷Pm源。

10.根据权利要求4所述的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,其特征在于:所述的具有铂片的400~600°C的高温电解液溶液为摩尔比为1:1的氢氧化钠和氢氧化钾的混合液。

一种基于碳化硅材料的微型核电池及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体微器件的技术领域,具体涉及一种基于碳化硅材料的微型核电池及其制备方法。

背景技术

[0002] 辐致伏特效应(RV)微型核电池是通过半导体PN结将放射性同位素衰变所放射出的粒子能(如 α 粒子、 β 粒子和 γ 射线)转换为电能的装置。它具有能量密度大、体积小、寿命长、工作稳定性好和易于集成等优点,且其换能结构简单,加工工艺成熟,具有广阔的发展前景,被用作各种存储器和MEMS系统的动力源,以及航天等极端情况下的长寿命、长期工作无需维护的移动电源。一般来说,RV核电池是由放射源和半导体换能单元这两个主要部分组成,其中半导体换能单元是核心,其性能的高低决定了核电池的转换效率和能量密度等主要性能参数。

[0003] 碳化硅作为第三代半导体材料,具有禁带宽度大、抗辐射能力强等优点,基于SiC材料的核电池具有更高的开启电压、更低的漏电流、更高的能量转换效率和持续稳定的电能输出。值得指出的是,SiC是目前唯一可以用热氧化法生长高质量SiO₂钝化层的化合物半导体,不但很容易地掺杂形成P型或N型导电材料,而且与硅半导体平面工艺相兼容,这使其成为国内外微型核电池研究的热点。目前国际上已经报道了碳化硅PN结和PiN结辐照电池的研究:2008年,西安电子科技大学的张林和西北工业大学的乔大勇等人联合报道了一种基于4H-SiC肖特基结的微型核电池“D.Y.Qiao,W.Z.Yuan,P.Gao,X.W.Yao,B.Zang,L.Zhang,H.Guo and H.J.Zhang,Chinese Physics Letters,2008,25,3798.”,在Ni-63源的辐照下,该微型同位素电池的开路电压为0.49V,短路电流密度为29.4nA/cm²,转换效率为1.2%;2012年,西安电子科技大学的张玉明课题组制备了4H-SiC PIN微电池“4H-SiC β 射线核电池和探测器的研究,2012年西安电子科技大学硕士毕业论文,张玉娟”,其在Ni-63源的辐照下,电池的有效转换效率达到了2.69%。

[0004] 虽然国际和国内已经出现对碳化硅核电池的研究,但是目前所报道的碳化硅基核电池的转化效率仍然较低,这主要是由以下问题引起的:

[0005] 1、换能单元结构的问题:根据现有文献和相关专利报道,基于碳化硅材料的微型核电池,其换能结构大多采用薄膜结构。这些薄膜结构一般来说是借助化学气相法同质外延制备而成,基于这种多晶薄膜的PN结和PiN结辐照电池在工艺和结构上均存在一定的缺陷,如采用同质外延的制备的P型层往往掺杂浓度不高,给P型欧姆接触的制备带来困难;同时多晶薄膜过多的表面缺陷和体缺陷使器件的漏电流和暗电流增大,从而影响电池最终性能。

[0006] 2、换能单元与辐射源的接触面积的问题

[0007] 由于传统的换能单元均为体材料或薄膜材料,虽然可以通过电化学腐蚀制备出倒三角表面结构来增大器件与辐射源的接触面积,但是这种有益结果非常有限,进而极大地限制了粒子的捕获和能量的转换效率。同时,为了实现一定的转换效率,不得不提高放射源

的使用量,继而增加核电池的使用成本。另外,基于薄膜的PN结构中,为了防止欧姆接触电极阻挡入射粒子,必须将欧姆电极做在器件的某一角,这会造成离欧姆电极远的辐照生载流子在运输的过程中被表面的缺陷复合掉,造成能量损失,降低能量转换效率。

发明内容

[0008] 针对相关技术中存在的不足,本发明所要解决的技术问题在于:提供一种结构新颖合理、能量转换效率较高、制备成本较低的一种基于碳化硅材料的微型核电池及其制备方法。

[0009] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:

[0010] 一种基于碳化硅材料的微型核电池,包括:高掺杂碳化硅单晶衬底,所述高掺杂碳化硅单晶衬底的正面具有碳化硅一维纳米线阵列,所述碳化硅一维纳米线阵列具有PN结区域,所述碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域上面具有第一欧姆接触电极,所述第一欧姆接触电极上具有放射源层,所述高掺杂碳化硅单晶衬底的背面具有第二欧姆接触电极。

[0011] 优选地,所述高掺杂碳化硅单晶衬底为P型高掺杂4H-SiC单晶衬底;所述碳化硅一维纳米线阵列由所述P型高掺杂4H-SiC单晶衬底的正面生长而成;所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列被进行N型掺杂而成;所述第一欧姆接触电极为呈叉指状的多层薄膜结构,且由下至上依次为Ti层、Ni层、Au层;所述放射源层的制作材料为同位素放射源;所述第二欧姆接触电极为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti层、Al层、Au层。

[0012] 优选地,所述高掺杂碳化硅单晶衬底为N型高掺杂4H-SiC单晶衬底;所述碳化硅一维纳米线阵列由所述N型高掺杂4H-SiC单晶衬底的正面生长而成;所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列被进行P型掺杂而成;所述第一欧姆接触电极为呈叉指状的多层薄膜结构,且由下至上依次为Ti层、Al层、Au层;所述放射源层的制作材料为同位素放射源;所述第二欧姆接触电极为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti层、Ni层、Au层。

[0013] 相应地,一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,包括:S101、提供高掺杂碳化硅单晶衬底;S102、采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底的正面制备碳化硅一维纳米线阵列;S103、采用离子注入工艺,对所述碳化硅一维纳米线阵列进行半导体掺杂,得到基于碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域;S104、采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域表面沉积金属薄膜,形成第一欧姆接触电极;在所述高掺杂碳化硅单晶衬底的背面沉积金属薄膜,形成第二欧姆接触电极;S105、采用电化学沉积工艺,在所述第一欧姆接触电极上沉积放射源,形成放射源层。

[0014] 优选地,S102步骤中,所述采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底的正面制备碳化硅一维纳米线阵列,具体包括:将所述高掺杂碳化硅单晶衬底分别放入丙酮、乙醇、去离子水溶液中进行超声清洗,5~10分钟后取出;

[0015] 然后放入具有铂片的400~600℃的高温电解液溶液中进行电化学腐蚀,电化学腐蚀过程中,所述高掺杂碳化硅单晶衬底作为阳极,所述铂片作为阴极;施加一定的电压,经过10~20分钟后,将所述高掺杂碳化硅单晶衬底取出,冷却、清洗、干燥,即可获得所述高掺杂碳化硅单晶衬底上的碳化硅一维纳米线阵列。

[0016] 优选地,S103步骤中,所述采用离子注入工艺,对所述碳化硅一维纳米线阵列进行半导体掺杂,得到基于碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域,具体包括:在600~700℃的温度

下,从正面分别对所述碳化硅一维纳米线阵列进行两次半导体离子注入,然后在Ar气的保护气氛下,在1300~1500°C的温度环境中退火10~20分钟,即可在所述碳化硅一维纳米线阵列上获得PN结区域。

[0017] 优选地,S104步骤中,所述采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域表面沉积金属薄膜,形成第一欧姆接触电极,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底的背面沉积金属薄膜,形成第二欧姆接触电极,具体包括:采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列的PN结区域表面沉积呈叉指状的多层金属薄膜,形成第一欧姆接触电极;采用磁控溅射工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底的背面沉积多层金属薄膜,形成第二欧姆接触电极;在Ar气的保护气氛下,在900~1000°C的温度环境中退火3~7分钟;其中:若所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列被进行N型掺杂而成,则所述第一欧姆接触电极由下至上依次为Ti层、Ni层、Au层,所述第二欧姆接触电极由上至下依次为Ti层、Al层、Au层;若所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列被进行P型掺杂而成,则所述第一欧姆接触电极由下至上依次为Ti层、Al层、Au层,所述第二欧姆接触电极由上至下依次为Ti层、Ni层、Au层。

[0018] 优选地,S105步骤中,所述采用电化学沉积工艺,在所述第一欧姆接触电极上沉积放射源,形成放射源层,具体包括:将样品放入含有同位素放射源的电解液中进行电化学沉积;将上述样品引线密封后放入稳定的高功率的反应堆中进行辐射,以生成同位素放射源。

[0019] 优选地,所述含有Ni-63放射源的电解液包括以下组分:10~20mg的氯化镍,2~8mg的次磷酸钠,20~30mg的醋酸钠,0.2~0.8mL的水,6~12uL的液态⁶³Ni源;所述含有Pm-147放射源的电解液包括以下组分:15~25mg的氯化钽,2~8mg的次磷酸钠,20~30mg的醋酸钠,0.5~1.5mL的水,0.2~0.8mg的粉末¹⁴⁷Pm源。

[0020] 优选地,所述的具有铂片的400~600°C的高温电解液溶液为摩尔比为1:1的氢氧化钠和氢氧化钾的混合液。

[0021] 本发明的有益技术效果在于:

[0022] 1、本发明中的微型核电池,包括放射源层及位于放射源层下方的换能结构,所述换能结构包括高掺杂的碳化硅单晶衬底及位于衬底上的具有PN结区域的碳化硅一维纳米线阵列,在碳化硅一维纳米线阵列上设有第一欧姆接触电极,在高掺杂碳化硅单晶衬底的背面设有第二欧姆接触电极;工作时,放射源层的放射性物质会发生衰变现象,在衰变过程中,不断释放出具有热能的射线,换能结构捕捉带电粒子,将放射性物质释放出来的能量转换为可以使用的电能,最后通过第一欧姆接触电极和第二欧姆接触电极将产生的电能进行输出。本发明中的换能结构核心为在碳化硅单晶衬底上生长而成的碳化硅一维纳米线阵列结构,结构比较新颖;而由于纳米线阵列具有较大的比表面积,不仅有利于提高单位体积放射源的加载量以及与放射源的接触面积,还能够借助陷光效应显著提高射线的利用率,从而能够降低核电池的制作成本、显著提高核电池的能量转换效率;并且,纳米线阵列具有高度取向性,轴向的连续结构为载流子提供了直接的传导通道,极大地提高了载流子的解离、转移和传输效率,因而有利于电流的快速收集,显著提升电流输出性能;此外,单晶半导体纳米线阵列良好的结晶性可以有效地降低由表面缺陷、体缺陷等各种缺陷导致的高空间电荷和电子、空穴对的复合率,从而提升辐生电荷的分离率。

[0023] 2、本发明中,放射源与换能结构之间的欧姆接触电极呈叉指状,与传统的薄膜结

构相比,又指电极为放射源释放的射线提供足够的入射空间,能够让换能结构充分地接收到入射粒子,同时能够及时地收集到整个换能结构产生的辐照生载流子,进一步提高了核电池的能量转换效率。

附图说明

[0024] 通过附图所示,本发明的上述及其它目的、特征和优势将更加清晰。在全部附图中相同的附图标记指示相同的部分。并未刻意按实际尺寸等比例缩放绘制附图,重点在于示出本发明的主旨。

[0025] 图1是本发明实施例一提供的一种基于碳化硅材料的微型核电池的结构示意图;

[0026] 图2~图6是本发明实施例一提供的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法的工艺流程图;

[0027] 图7~图8是本发明实施例一提供的碳化硅一维纳米线阵列的电镜图;

[0028] 图9是本发明实施例一提供的微型核电池的测试结果示意图;

[0029] 图中:101为高掺杂碳化硅单晶衬底,102为碳化硅一维纳米线阵列,103为第一欧姆接触电极,104为放射源层,105为第二欧姆接触电极。

具体实施方式

[0030] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例;基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0031] 其次,本发明结合示意图进行详细描述,在详述本发明实施例时,为便于说明,表示器件结构的剖面图会不依一般比例作局部放大,而且所述示意图只是示例,其在此不应限制本发明保护的范围。此外,在实际制作中应包含长度、宽度及深度的三维空间尺寸。

[0032] 以下结合附图详细说明所述一种基于碳化硅材料的微型核电池及其制备方法的具体实施例。

[0033] 实施例一

[0034] 图1是本发明实施例一提供的一种基于碳化硅材料的微型核电池的结构示意图,如图1所示,一种基于碳化硅材料的微型核电池,可包括:高掺杂碳化硅单晶衬底101,所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的正面具有碳化硅一维纳米线阵列102,所述碳化硅一维纳米线阵列102具有PN结区域,所述碳化硅一维纳米线阵列102的PN结区域上面具有第一欧姆接触电极103,所述第一欧姆接触电极103上具有放射源层104,所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的背面具有第二欧姆接触电极105。

[0035] 本实施例中的微型核电池,包括放射源层及位于放射源层下方的换能结构,所述换能结构包括高掺杂的碳化硅单晶衬底及位于衬底上的具有PN结区域的碳化硅一维纳米线阵列,在碳化硅一维纳米线阵列上设有第一欧姆接触电极,在高掺杂碳化硅单晶衬底的背面设有第二欧姆接触电极;工作时,放射源层的放射性物质会发生衰变现象,在衰变过程中,不断释放出具有热能的射线,换能结构捕捉带电粒子,将放射性物质释放出来的能量转换为可以使用的电能,最后通过第一欧姆接触电极和第二欧姆接触电极将产生的电能进行

输出。本发明中的换能结构核心为在碳化硅单晶衬底上生长而成的碳化硅一维纳米线阵列结构,结构比较新颖;而由于纳米线阵列具有较大的比表面积,不仅有利于提高单位体积放射源的加载量以及与放射源的接触面积,还能够借助陷光效应显著提高射线的利用率,从而能够降低核电池的制作成本、显著提高核电池的能量转换效率;并且,纳米线阵列具有高度取向性,轴向的连续结构为载流子提供了直接的传导通道,极大地提高了载流子的解离、转移和传输效率,因而有利于电流的快速收集,显著提升电流输出性能;此外,单晶半导体纳米线阵列良好的结晶性可以有效地降低由表面缺陷、体缺陷等各种缺陷导致的高空间电荷和电子、空穴对的复合率,从而提升辐生电荷的分离率。

[0036] 图2~图6是本发明实施例一提供的一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法的工艺流程图,如图2~图6所示,一种基于碳化硅材料的微型核电池的制备方法,可包括:

[0037] S101、提供高掺杂碳化硅单晶衬底101。

[0038] S102、采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的正面制备碳化硅一维纳米线阵列102。

[0039] S103、采用离子注入工艺,对所述碳化硅一维纳米线阵列102进行半导体掺杂,得到基于碳化硅一维纳米线阵列102的PN结区域。

[0040] S104、采用磁控溅射工艺,在所述碳化硅一维纳米线阵列102的PN结区域表面沉积金属薄膜,形成第一欧姆接触电极103;在所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的背面沉积金属薄膜,形成第二欧姆接触电极105。

[0041] S105、采用电化学沉积工艺,在所述第一欧姆接触电极103上沉积放射源,形成放射源层104。

[0042] 进一步地,S102步骤中,所述采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的正面制备碳化硅一维纳米线阵列102,具体可包括:

[0043] 将所述高掺杂碳化硅单晶衬底101分别放入丙酮、乙醇、去离子水溶液中进行超声清洗,5~10分钟后取出。具体地,5分钟后取出。

[0044] 然后放入具有铂片的400~600℃的高温电解液溶液中进行电化学腐蚀,电化学腐蚀过程中,所述高掺杂碳化硅单晶衬底101作为阳极,所述铂片作为阴极。具体地,上述高温电解液溶液的温度为500℃,高温电解液溶液为摩尔比为1:1的氢氧化钠和氢氧化钾的混合液。

[0045] 施加一定的电压,经过10~20分钟后,将所述高掺杂碳化硅单晶衬底101取出,冷却、清洗、干燥,即可获得所述高掺杂碳化硅单晶衬底101上的碳化硅一维纳米线阵列102。具体地,施加的电压为20V,脉冲电源的频率为1250Hz,占空比为50%,经过10分钟后取出。图7、图8为本步骤获得的碳化硅一维纳米线阵列的电镜图。

[0046] 进一步地,S103步骤中,所述采用离子注入工艺,对所述碳化硅一维纳米线阵列102进行半导体掺杂,得到基于碳化硅一维纳米线阵列102的PN结区域,具体可包括:

[0047] 在600~700℃的温度下,从正面分别对所述碳化硅一维纳米线阵列102进行两次半导体离子注入,然后在Ar气的保护气氛下,在1300~1500℃的温度环境中退火10~20分钟,即可在所述碳化硅一维纳米线阵列102上获得PN结区域。具体地,在650℃温度下进行半导体离子注入,在1400℃的温度环境中退火10分钟。

[0048] 进一步地, S104步骤中, 所述采用磁控溅射工艺, 在所述碳化硅一维纳米线阵列102的PN结区域表面沉积金属薄膜, 形成第一欧姆接触电极103, 在所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的背面沉积金属薄膜, 形成第二欧姆接触电极105, 具体可包括:

[0049] 采用磁控溅射工艺, 在所述碳化硅一维纳米线阵列102的PN结区域表面沉积呈叉指状的多层金属薄膜, 形成第一欧姆接触电极103。

[0050] 采用磁控溅射工艺, 在所述高掺杂碳化硅单晶衬底101的背面沉积多层金属薄膜, 形成第二欧姆接触电极105。

[0051] 在Ar气的保护气氛下, 在900~1000℃的温度环境中退火3~7分钟。具体地, 在950℃的温度环境中退火5分钟。

[0052] 其中: 所述第一欧姆接触电极103由下至上依次为Ti层、Ni层、Au层, 所述第二欧姆接触电极105由上至下依次为Ti层、Al层、Au层。具体地, 所述第一欧姆接触电极103的Ti层、Ni层、Au层的厚度分别为20nm、50nm、30nm, 所述第二欧姆接触电极105的Ti层、Al层、Au层的厚度分别为50nm、100nm、100nm。

[0053] 本实施例中, 放射源与换能结构之间的欧姆接触电极呈叉指状, 与传统的薄膜结构相比, 叉指电极为放射源释放的射线提供足够的入射空间, 能够让换能结构充分地接收到入射粒子, 同时能够及时地收集到整个换能结构产生的辐照生载流子, 进一步提高了核电池的能量转换效率。

[0054] 进一步地, S105步骤中, 所述采用电化学沉积工艺, 在所述第一欧姆接触电极103上沉积放射源, 形成放射源层104, 具体可包括:

[0055] 将样品放入含有同位素放射源的电解液中进行电化学沉积。

[0056] 将上述样品引线密封后放入稳定的高功率的反应堆中进行辐射, 以生成同位素放射源。

[0057] 具体地, 所述将样品放入含有同位素放射源的电解液中进行电化学沉积, 具体可包括: 将有机硅橡胶涂覆到非电镀窗口和单晶片的非电镀区, 待有机硅橡胶固化后, 将样品作为阳极, 将白金丝网作为阴极, 阴阳极间距为1cm; 在电镀槽中放入含有同位素放射源的电解液中, 维持电解液的温度为60~80℃; 采用直流电压1.2V, 沉积10~20分钟。

[0058] 具体地, 所述将上述样品引线密封后放入稳定的高功率的反应堆中进行辐射, 以生成同位素放射源之后, 还可包括: 将辐射后的样品经电极引线后, 放入铝合金密封盒中, 经激光焊接封口, 即可得到核电池样品。

[0059] 进一步地, 所述同位素放射源可为Ni-63, 或为Pm-147。

[0060] 所述含有Ni-63放射源的电解液包括以下组分: 10~20mg的氯化镍, 2~8mg的次磷酸钠, 20~30mg的醋酸钠, 0.2~0.8mL的水, 6~12uL的液态⁶³Ni源。具体地, 使用时, 可用盐酸将上述电解液的PH值调至4~5之间, 维持电解液的温度为80℃, 沉积10分钟。

[0061] 所述含有Pm-147放射源的电解液包括以下组分: 15~25mg的氯化钽, 2~8mg的次磷酸钠, 20~30mg的醋酸钠, 0.5~1.5mL的水, 0.2~0.8mg的粉末¹⁴⁷Pm源。具体地, 使用时, 可用硝酸将上述电解液的PH值调至2~3之间, 维持电解液的温度为60℃, 沉积20分钟。

[0062] 进一步地, 本实施例中的所述高掺杂碳化硅单晶衬底101可为P型高掺杂4H-SiC单晶衬底; 所述碳化硅一维纳米线阵列102可由所述P型高掺杂4H-SiC单晶衬底的正面生长而成; 所述PN结区域可由所述碳化硅一维纳米线阵列102被进行N型掺杂而成; 所述第一欧姆

接触电极103可为呈叉指状的多层薄膜结构,且由下至上依次为Ti层、Ni层、Au层;所述放射源层104的制作材料可为同位素放射源;所述第二欧姆接触电极105可为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti层、Al层、Au层。

[0063] 具体地,所述P型高掺杂4H-SiC单晶衬底可为厚度为300 μm 、晶体取向为偏离(0001)面8 $^{\circ}$ C的晶片,掺杂种类为Al掺杂,掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[0064] 具体地,当对所述碳化硅一维纳米线阵列102进行N型掺杂时,先采用300keV的注入能量、 $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 的注入剂量进行一次氮离子注入,再采用150keV的注入能量、 $8 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 的注入剂量进行二次氮离子注入。

[0065] 以上实施例中采用P型高掺杂4H-SiC单晶衬底作为高掺杂碳化硅单晶衬底101,也可以采用N型高掺杂4H-SiC单晶衬底作为高掺杂碳化硅单晶衬底101,在下面实施例中详细说明。

[0066] 实施例二

[0067] 在实施例一的基础上,本实施例与实施例一的区别在于:

[0068] 所述高掺杂碳化硅单晶衬底101还可为N型高掺杂4H-SiC单晶衬底;所述碳化硅一维纳米线阵列102由所述N型高掺杂4H-SiC单晶衬底的正面生长而成;所述PN结区域由所述碳化硅一维纳米线阵列102被进行P型掺杂而成;所述第一欧姆接触电极103为呈叉指状的多层薄膜结构,且由下至上依次为Ti层、Al层、Au层;所述放射源层104的制作材料为同位素放射源;所述第二欧姆接触电极105为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti层、Ni层、Au层。

[0069] 所述第一欧姆接触电极103由下至上依次为Ti层、Al层、Au层,所述第二欧姆接触电极105由上至下依次为Ti层、Ni层、Au层。具体地,所述第一欧姆接触电极103的Ti层、Al层、Au层的厚度分别为20nm、50nm、30nm,所述第二欧姆接触电极105的Ti层、Ni层、Au层的厚度分别为50nm、100nm、100nm。

[0070] 具体地,所述N型高掺杂4H-SiC单晶衬底可为厚度为300 μm 、晶体取向为偏离(0001)面8 $^{\circ}$ C的晶片,掺杂种类为氮掺杂,掺杂浓度为 $1 \times 10^{18} \sim 7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

[0071] 具体地,当对所述碳化硅一维纳米线阵列102进行P型掺杂时,先采用300keV的注入能量、 $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 的注入剂量进行一次Al离子注入,再采用150keV的注入能量、 $8 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 的注入剂量进行二次Al离子注入。

[0072] 最后,对实施例一中的微型核电池进行测试,测试结果如图9所示。根据图9的测试结果以及本领域中通用的计算公式,可容易得出:本发明中的微型核电池,单管的开路电压为4.6V,短路电流为0.09 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$;单器件最大输出功率为0.41 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。其转换效率约24%。可以预见,如果进一步优化换能单元和金属电极结构,其能量转换效率会有进一步的提高潜力。

[0073] 综上,本发明针对现有技术中的不足,提供一种基于碳化硅材料的微型核电池,其设计新颖合理,工艺简单,适合半导体平面工艺加工,有利于提高微型核电池的能量转换效率和封装密度,实用性强,应用前景高。与传统体单晶材料和薄膜材料相比,碳化硅纳米线阵列以其更小的体积、更高的放射源担载率和接触面积、更高的电离电子-空穴对的分离率和收集率、更高的载流子传输效率和便于集成化等特性,有望取得能量转换效率较高的微型核电池。

[0074] 在本发明的描述中,需要理解的是,术语“厚度”、“上”、“下”、“内”、“轴向”等指示

的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系,仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0075] 此外,术语“第一”、“第二”仅用于描述目的,而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此,限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括至少一个该特征。

[0076] 在本发明中,除非另有明确的规定和限定,第一特征在第二特征“上”或“下”可以是第一和第二特征直接接触,或第一和第二特征通过中间媒介间接接触。而且,第一特征在第二特征“之上”、“上方”和“上面”可是第一特征在第二特征正上方或斜上方,或仅仅表示第一特征水平高度高于第二特征。第一特征在第二特征“之下”、“下方”和“下面”可以是第一特征在第二特征正下方或斜下方,或仅仅表示第一特征水平高度小于第二特征。

[0077] 在本说明书的描述中,参考术语“实施例一”、“实施例二”、“示例”、“具体实施例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不必须针对的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。此外,在不相互矛盾的情况下,本领域的技术人员可以将本说明书中描述的不同实施例或示例以及不同实施例或示例的特征进行结合和组合。

[0078] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述的部分,可以参见其他实施例的相关描述。

[0079] 所述领域的技术人员可以清楚地了解到,为描述的方便和简洁,上述描述的器件的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0080] 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。

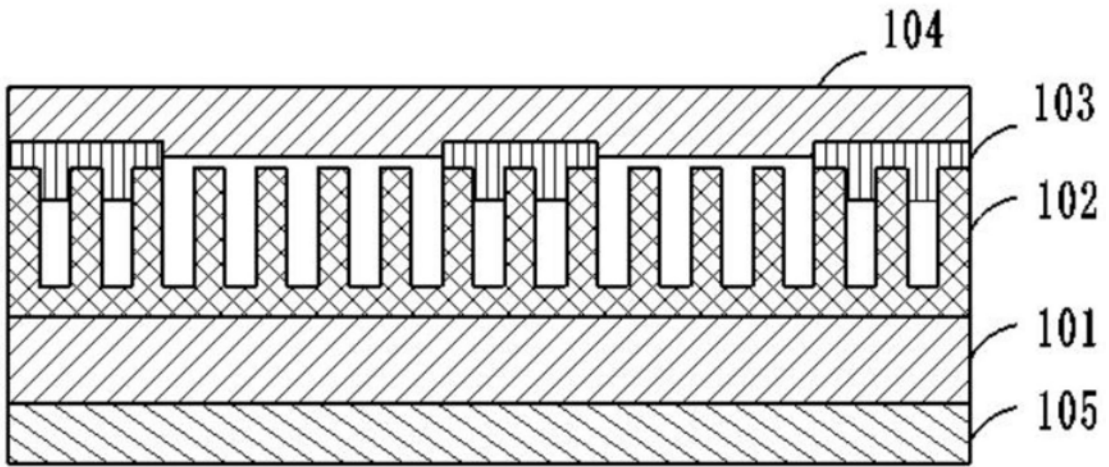


图1

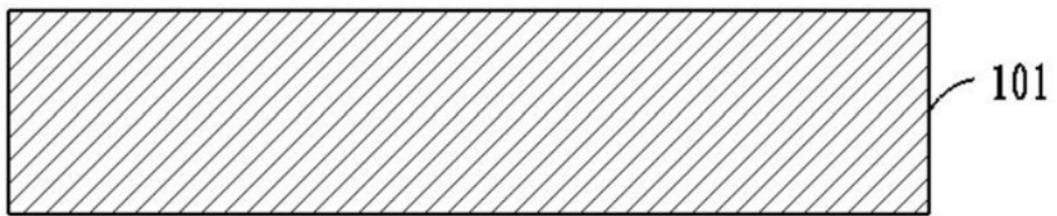


图2

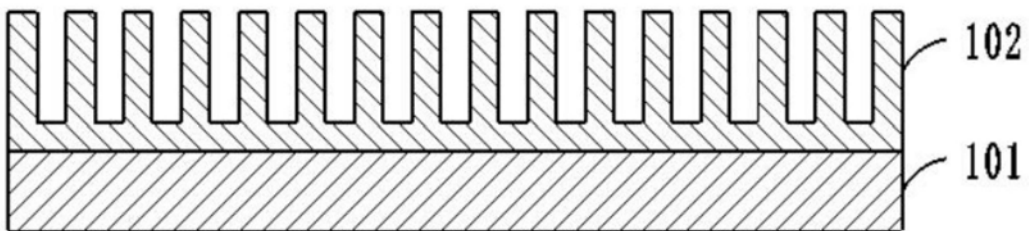


图3

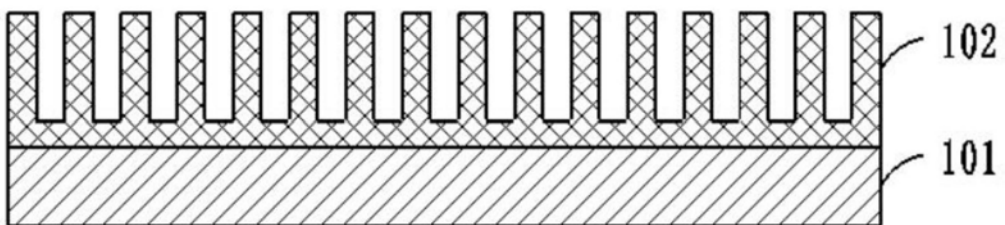


图4

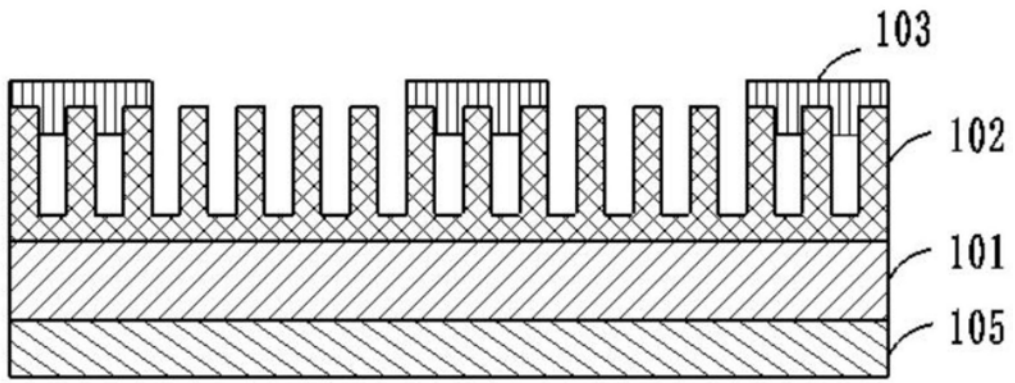


图5

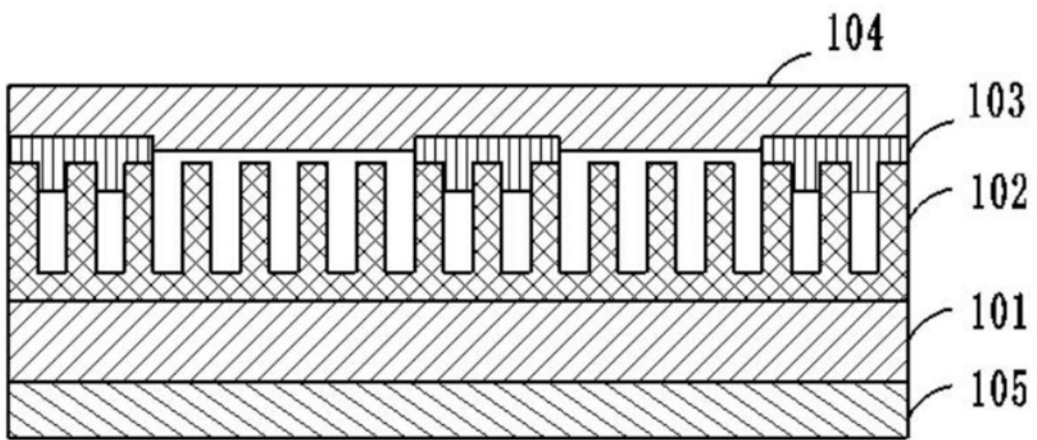


图6

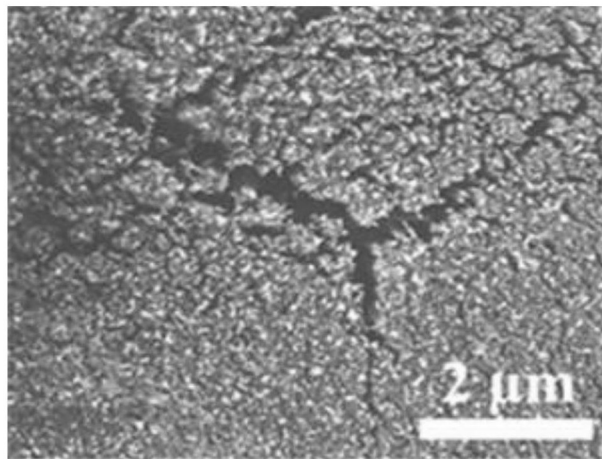


图7

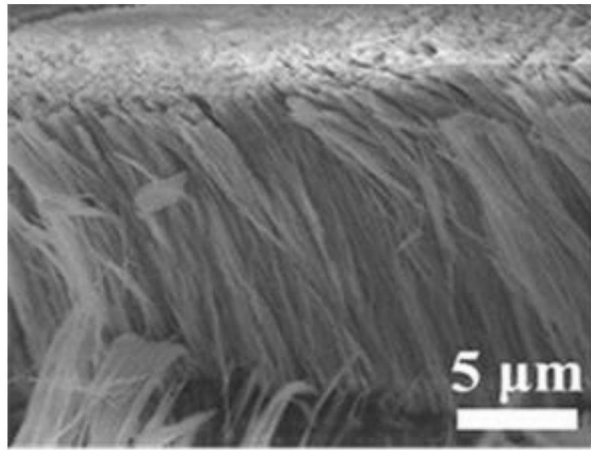


图8

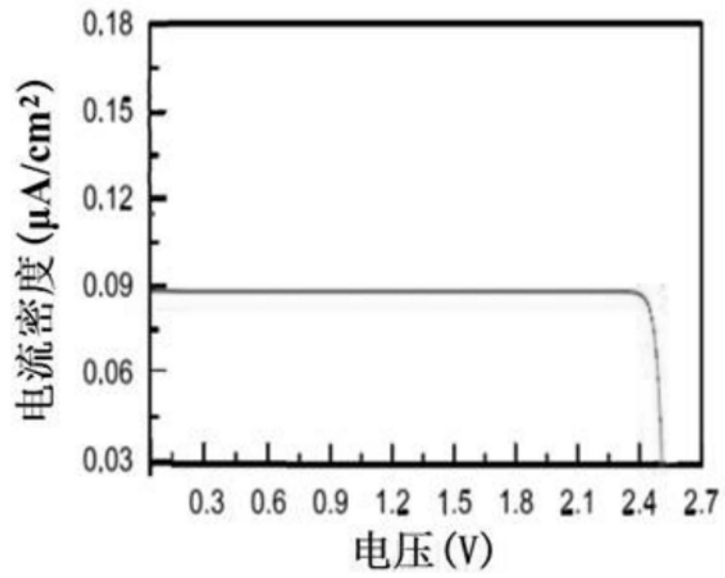


图9