



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109192350 A

(43)申请公布日 2019.01.11

(21)申请号 201811167006.2

(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)

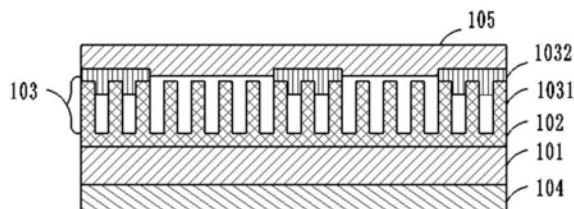
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种基于碳化硅材料的肖特基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肖特基微型核电池,包括:碳化硅单晶衬底、碳化硅一维纳米线阵列、肖特基接触电极、欧姆接触电极和放射源层;碳化硅一维纳米线阵列位于碳化硅单晶衬底的正面,碳化硅一维纳米线阵列具有N型掺杂区域;肖特基接触电极包括势垒金属层和N型掺杂区域,势垒金属层的表面形状为叉指状;欧姆接触电极位于碳化硅单晶衬底的背面;放射源层位于所述势垒金属层的上方;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肖特基微型核电池,其特征在于:包括:碳化硅单晶衬底101、碳化硅一维纳米线阵列(102)、肖特基接触电极(103)、欧姆接触电极(104)和放射源层(105);

所述碳化硅一维纳米线阵列(102)位于所述碳化硅单晶衬底(101)的正面,且所述碳化硅一维纳米线阵列(102)具有N型掺杂区域(1031),且所述N型掺杂区域(1031)至少包括所述碳化硅一维纳米线阵列(102)的上部区域;

所述肖特基接触电极(103)包括势垒金属层(1032)和所述N型掺杂区域(1031),所述势垒金属层(1032)的表面形状为叉指状,且所述势垒金属层(1032)位于所述N型掺杂区域(1031)的上方;

所述欧姆接触电极(104)位于所述碳化硅单晶衬底(101)的背面;

所述放射源层(105)位于所述势垒金属层(1032)的上方。

2. 根据权利要求1所述的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池,其特征在于:所述碳化硅单晶衬底(101)的制备材料为本征型碳化硅单晶材料,或为N型高掺杂碳化硅单晶材料。

3. 根据权利要求1所述的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池,其特征在于:所述势垒金属层(1032)为多层薄膜结构,且由下至上依次为第一Ni金属薄膜、Al金属薄膜。

4. 根据权利要求1所述的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池,其特征在于:所述欧姆接触电极(104)为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti金属薄膜、第二Ni金属薄膜、Au金属薄膜。

5. 根据权利要求1所述的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池,其特征在于:所述放射源层(105)的制备材料为同位素放射源,所述同位素放射源为Ni-63放射源,或为Pm-147放射源。

6. 一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池的制备方法,其特征在于:包括:

S101、提供碳化硅单晶衬底(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N型掺杂,使得所述碳化硅一维纳米线阵列(102)具有N型掺杂区域(1031),且所述N型掺杂区域(1031)至少包括所述碳化硅一维纳米线阵列(102)的上部区域;

S104、采用磁控溅射工艺,在所述N型掺杂区域(1031)上沉积呈叉指状的势垒金属层(1032),形成包含N型掺杂区域(1031)和势垒金属层(1032)的肖特基接触电极(103);

在所述碳化硅单晶衬底(101)的背面沉积金属薄膜,形成欧姆接触电极(104);

S105、采用电化学沉积工艺,在所述势垒金属层(1032)上沉积放射源,形成放射源层(105)。

7. 根据权利要求6所述的一种基于碳化硅材料的肖特基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300~700℃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3~20分钟后,将所述碳化硅单晶衬底(101)取出,冷却、清洗、干燥,即可获得所述碳化硅单晶衬底(101)上的碳化硅一维纳米线阵列(102)。

8. 根据权利要求6所述的一种基于碳化硅材料的肖特基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N型掺杂,使得所述碳化硅一维纳米线阵列(102)具有N型掺杂区域(1031),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(102)进行两次施主离子注入,然后在Ar气的保护气氛下,在1000~1700℃的温度环境中退火3~20分钟,即可得到具有N型掺杂区域(1031)的碳化硅一维纳米线阵列(102)。

9. 根据权利要求6所述的一种基于碳化硅材料的肖特基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N型掺杂区域(1031)上沉积呈叉指状的势垒金属层(1032),形成包含N型掺杂区域(1031)和势垒金属层(1032)的肖特基接触电极(103),在所述碳化硅单晶衬底(101)的背面沉积金属薄膜,形成欧姆接触电极(104),具体包括:

采用磁控溅射工艺,先在所述碳化硅单晶衬底(101)的背面依次沉积Ti金属薄膜、第二Ni金属薄膜和Au金属薄膜,再在所述N型掺杂区域(1031)的表面依次沉积均呈叉指状的第一Ni金属薄膜和Al金属薄膜,最后在Ar气的保护气氛下,在600~1150℃的温度环境中退火3~20分钟,即可得到碳化硅单晶衬底(101)背面的欧姆接触电极(104)和碳化硅一维纳米线阵列(102)上方的肖特基接触电极(103)。

10. 根据权利要求6所述的一种基于碳化硅材料的肖特基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,在所述势垒金属层(1032)上沉积放射源,形成放射源层(105),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。

一种基于碳化硅材料的肖特基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肖特基微型核电池及其制备方法。

背景技术

[0002] 微型核电池是通过半导体二极管作为能量转换结构,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。通常,微型核电池是借助放射性同位素发射的辐射粒子在半导体材料中的电离效应作为能源,收集辐辐射粒子在半导体中产生的电子-空穴对来产生输出功率。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 and 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,微型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,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基微型核电池的研究,如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核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。同时,对于大多数基于p-n结或p-i-n结式微型核电池来说,都需要在p-n结或p-i-n结两侧做欧姆接触,但是在p型碳化硅上作欧姆接触是非常困难的。并且为了形成良好的欧姆接触,大多采用离子注入的方式对碳化硅进行选择区域高掺杂,但是注入之后必须进行温度为1400~1700℃的高温退火,且退火过程中必须对碳化硅表面进行保护以避免产生沟状的结构,因此造成了p-n结或p-i-n结式核电池的工艺复杂,从而相应地增加了制造成本。

[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、凹槽、金字塔等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,基于碳化硅薄膜的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。除此之外,现有的大多数肖特基结核电池均采用肖特基结的耗尽区作为灵敏区的一部分来收集辐照生载流子,通常这些肖特基接触层均会覆盖整个电池区域,即肖特基电极完全遮挡了换能单元,而由于平面结构的换能单元的面积较为有限,最终使得整个核电池的粒子捕获能力和能量转换效率都较低。

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、能量转换效率较高、制备成本较低的基于碳化硅材料的肖特基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] 本发明提供了一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池,包括:碳化硅单晶衬底、碳化硅一维纳米线阵列、肖特基接触电极、欧姆接触电极和放射源层;所述碳化硅一维纳米线阵列位于所述碳化硅单晶衬底的正面,且所述碳化硅一维纳米线阵列具有N型掺杂区域,且所述N型掺杂区域至少包括所述碳化硅一维纳米线阵列的上部区域;所述肖特基接触电极包括势垒金属层和所述N型掺杂区域,所述势垒金属层的表面形状为叉指状,且所述势垒金属层位于所述N型掺杂区域的上方;所述欧姆接触电极位于所述碳化硅单晶衬底的背面;所述放射源层位于所述势垒金属层的上方。

[0011] 优选地,所述碳化硅单晶衬底的制备材料为本征型碳化硅单晶材料,或为N型高掺杂碳化硅单晶材料。

[0012] 优选地,所述势垒金属层为多层薄膜结构,且由下至上依次为第一Ni金属薄膜、Al金属薄膜。

[0013] 优选地,所述欧姆接触电极为多层薄膜结构,且由上至下依次为Ti金属薄膜、第二Ni金属薄膜、Au金属薄膜。

[0014] 优选地,所述放射源层的制备材料为同位素放射源,所述同位素放射源为Ni-63放射源,或为Pm-147放射源。

[0015] 本发明还提供了一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池的制备方法,包括:S101、提供碳化硅单晶衬底;S102、采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述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N型掺杂,使得所述碳化硅一维纳米线阵列具有N型掺杂区域,且所述N型掺杂区域至少包括所述碳化硅一维纳米线阵列的上部区域;S104、采用磁控溅射工艺,在所述N型掺杂区域上沉积呈叉指状的势垒金属层,形成包含N型掺杂区域和势垒金属层的肖特基接触电极;在所述碳化硅单晶衬底的背面沉积金属薄膜,形成欧姆接触电极;S105、采用电化学沉积工艺,在所述势垒金属层上沉积放射源,形成放射源层。

[0016] 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;然后放入具有铂片的300~700℃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3~20分钟后,将所述碳化硅单晶衬底取出,冷却、清洗、干燥,即可获得所述碳化硅单晶衬底上的碳化硅一维纳米线阵列。

[0017] 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N型掺杂,使得所述碳化硅一维纳米线阵列具有N型掺杂区域,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施主离子注入,然后在Ar气的保护气氛下,在1000~1700℃的温度环境中退火3~20分钟,即可得到具有N型掺杂区域的碳化硅一维纳米线阵列。

[0018] 优选地,S104步骤中,所述采用磁控溅射工艺,在所述N型掺杂区域上沉积呈叉指状的势垒金属层,形成包含N型掺杂区域和势垒金属层的肖特基接触电极,在所述碳化硅单晶衬底的背面沉积金属薄膜,形成欧姆接触电极,具体包括:采用磁控溅射工艺,先在所述碳化硅单晶衬底的背面依次沉积Ti金属薄膜、第二Ni金属薄膜和Au金属薄膜,再在所述N型掺杂区域的表面依次沉积均呈叉指状的第一Ni金属薄膜和Al金属薄膜,最后在Ar气的保护气氛下,在600~1150℃的温度环境中退火3~20分钟,即可得到碳化硅单晶衬底背面的欧姆接触电极和碳化硅一维纳米线阵列上方的肖特基接触电极。

[0019] 优选地,S105步骤中,所述采用电化学沉积工艺,在所述势垒金属层上沉积放射源,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。

[0020] 本发明的有益技术效果在于:

[0021] 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,所述换能结构包括碳化硅单晶衬底及位于衬底上的具有N型掺杂区域的碳化硅一维纳米线阵列,在碳化硅一维纳米线阵列的N型掺杂区域上方设有势垒金属层,使得N型掺杂区域和势垒金属层形成肖特基接触电极,而在碳化硅单晶衬底的背面设有欧姆接触电极;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,最后通过肖特基接触电极和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;除此之外,本发明中的碳化硅微型核电池是基于肖特基结式的,而不是采用p-n结或p-i-n结式,因此不需要通过离子注入来形成良好的欧姆接触,也不需要通过高温退火来对P型碳化硅表面进行保护以避免产生沟状的表面结构,从而简化了工艺,相应地降低了制造成本;最后,由于本发明中的放射源与换能结构之间的肖特基接触电极呈叉指状,与传统的薄膜结构相比,叉指电极作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

[0022] 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。

[0023] 图1是本发明实施例提供的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池的结构示意图;

[0024] 图2~图6是本发明实施例提供的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池的制备方法的工艺流程图;

[0025] 图7是本发明实施例提供的碳化硅一维纳米线阵列的电镜图;

[0026] 图8是本发明实施例提供的叉指电极的表面结构示意图;

[0027] 图中:101为碳化硅单晶衬底,102为碳化硅一维纳米线阵列,103为肖特基接触电极,104为欧姆接触电极,105为放射源层,1031为N型掺杂区域,1032为势垒金属层。

具体实施方式

[0028] 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。

[0029] 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。

[0030] 以下结合附图详细说明所述一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池及其制备方法的具体实施例。

[0031] 图1是本发明实施例提供的一种基于碳化硅材料的肖特基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肖特基微型核电池,可包括:碳化硅单晶衬底101、碳化硅一维纳米线阵列102、肖特基接触电极103、欧姆接触电极104和放射源层105;所述碳化硅一维纳米线阵列102位于所述碳化硅单晶衬底101的正面,且所述碳化硅一维纳米线阵列102具有N型掺杂区域1031,且所述N型掺杂区域1031至少包括所述碳化硅一维纳米线阵列102的上部区域;所述肖特基接触电极103包括势垒金属层1032和所述N型掺杂区域1031,所述势垒金属层1032的表面形状为叉指状,且所述势垒金属层1032位于所述N型掺杂区域1031的上方;所述欧姆接触电极104位于所述碳化硅单晶衬底101的背面;所述放射源层105位于所述势垒金属层1032的上方。

[0032] 本实施例中的微型核电池,包括放射源层105及位于放射源层105下方的换能结构,所述换能结构包括碳化硅单晶衬底101及位于衬底上的具有N型掺杂区域1031的碳化硅一维纳米线阵列102,在碳化硅一维纳米线阵列102的N型掺杂区域1031上方设有势垒金属层1032,使得N型掺杂区域1031和势垒金属层1032形成肖特基接触电极103,而在碳化硅单晶衬底101的背面设有欧姆接触电极104;工作时,放射源层105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,最后通过肖特基接触电极103和欧姆接触电极104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101上生长而成的碳化硅一维纳米线阵列102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;除此之外,本发明中的碳化硅微型核电池是基于肖特基结式的,而不是采用p-n结或p-i-n结式,因此不需要通过离子注入来形成良好的欧姆接触,也不需要通过高温退火来对P型碳化硅表面进行保护以避免产生沟状的表面结构,从而简化了工艺,相应地降低了制造成本;最后,由于本发明中的放射源与换能结构之间的肖特基接触电极103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。需要补充的是,本发明制备的微型核电池能够极大地减少放射源的使用量,从而降低核电池的成本,具有极高的应用前景。

[0033] 进一步地,所述碳化硅单晶衬底101的制备材料可为本征型碳化硅单晶材料,或为N型高掺杂碳化硅单晶材料。

[0034] 进一步地,所述势垒金属层1032可为多层薄膜结构,且由下至上依次可为第一Ni金属薄膜、Al金属薄膜。

[0035] 进一步地,所述欧姆接触电极104可为多层薄膜结构,且由上至下依次可为Ti金属薄膜、第二Ni金属薄膜、Au金属薄膜。

[0036] 进一步地,所述放射源层105的制备材料可为同位素放射源,所述同位素放射源可为Ni-63放射源,或可为Pm-147放射源。

[0037] 图2~图6是本发明实施例提供的一种基于碳化硅材料的肖特基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肖特基微型核电池的制备方法,可包括:

[0038] S101、提供碳化硅单晶衬底101。

[0039] S102、采用高温熔盐电化学腐蚀工艺,在所述碳化硅单晶衬底101的正面制备碳化硅一维纳米线阵列102。

[0040] 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N型掺杂,使得所述碳化硅一维纳米线阵列102具有N型掺杂区域1031,且所述N型掺杂区域1031至少包括所述碳化硅一维纳米线阵列102的上部区域。

[0041] S104、采用磁控溅射工艺,在所述N型掺杂区域1031上沉积呈叉指状的势垒金属层1032,形成包含N型掺杂区域1031和势垒金属层1032的肖特基接触电极103;在所述碳化硅单晶衬底101的背面沉积金属薄膜,形成欧姆接触电极104。

[0042] S105、采用电化学沉积工艺,在所述势垒金属层1032上沉积放射源,形成放射源层

105。

[0043] 进一步地,所述碳化硅单晶衬底101的厚度可为10~300 μm ,晶型可为3C、4H或6H,晶体取向可为偏离(0001)面8 $^{\circ}$ 。当所述碳化硅单晶衬底101的制备材料为N型高掺杂碳化硅单晶材料时,掺杂元素可为氮元素或磷元素,掺杂浓度可为 $1 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 。

[0044] 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:将所述碳化硅单晶衬底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(优选为5分钟)后取出;然后放入具有铂片的300~700 $^{\circ}\text{C}$ (优选为500 $^{\circ}\text{C}$)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3~20分钟(优选为10分钟)后,将所述碳化硅单晶衬底101取出,冷却、清洗、干燥,即可获得所述碳化硅单晶衬底101上的碳化硅一维纳米线阵列102。

[0045] 具体地,本步骤中的高温电解液溶液可为氢氧化钠和氢氧化钾的混合液,混合液的摩尔比可为1:1、1:2或1:3(优选为1:1)。施加的电压可为20~50V(优选为20V),脉冲电源的频率可为1250Hz,占空比可为50%。图7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N型掺杂,使得所述碳化硅一维纳米线阵列102具有N型掺杂区域1031,具体可包括:在600~700 $^{\circ}\text{C}$ (优选为650 $^{\circ}\text{C}$)的温度下,从正面分别对所述碳化硅一维纳米线阵列102进行两次施主离子注入,然后在Ar气的保护气氛下,在1000~1700 $^{\circ}\text{C}$ (优选为1400 $^{\circ}\text{C}$)的温度环境中退火3~20分钟(优选为10分钟),即可得到具有N型掺杂区域1031的碳化硅一维纳米线阵列102。

[0047] 具体地,当所述碳化硅一维纳米线阵列102进行两次施主离子注入时,可先采用200~500keV(优选为300keV)的注入能量、 $0.1 \sim 5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ (优选为 $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$)的注入剂量进行一次氮离子注入,再采用100~250keV(优选为150keV)的注入能量、 $1 \sim 8 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ (优选为 $8 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$)的注入剂量进行二次氮离子注入。

[0048] 进一步地,S104步骤中,所述采用磁控溅射工艺,在所述N型掺杂区域1031上沉积呈叉指状的势垒金属层1032,形成包含N型掺杂区域1031和势垒金属层1032的肖特基接触电极103,在所述碳化硅单晶衬底101的背面沉积金属薄膜,形成欧姆接触电极104,具体可包括:采用磁控溅射工艺,先在所述碳化硅单晶衬底101的背面依次沉积Ti金属薄膜、第二Ni金属薄膜和Au金属薄膜,再在所述N型掺杂区域1031的表面依次沉积均呈叉指状的第一Ni金属薄膜和Al金属薄膜,最后在Ar气的保护气氛下,在600~1150 $^{\circ}\text{C}$ (优选为950 $^{\circ}\text{C}$)的温度环境中退火3~20分钟(优选为5分钟),即可得到碳化硅单晶衬底101背面的欧姆接触电极104和碳化硅一维纳米线阵列102上方的肖特基接触电极103。

[0049] 具体地,所述呈叉指状的势垒金属层1032的电极宽度M1可为50~200 μm ,电极长度M2可为10~100 μm ,叉指宽度M3可为5~10 μm ,相邻叉指之间的间隙距离M4可为1~5 μm 。其中:所述第一Ni金属薄膜的厚度可为20~100nm(优选为20nm),所述Al金属薄膜的厚度可为30~500nm(优选为30nm)。图8为本实施例提供的叉指电极的表面结构示意图。

[0050] 具体地,所述Ti金属薄膜的厚度可为30~70nm(优选为50nm),第二Ni金属薄膜的厚度可为80~120nm(优选为100nm),Au金属薄膜的厚度可为80~120nm(优选为100nm)。

[0051] 进一步地, S105步骤中, 所述采用电化学沉积工艺, 在所述势垒金属层1032上沉积放射源, 形成放射源层105, 具体可包括: 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。

[0052] 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40~80℃; 采用直流电压1.0~1.2V, 沉积3~20分钟。

[0053] 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。

[0054] 进一步地, 所述同位素放射源可为Ni-63, 或为Pm-147。

[0055] 所述含有Ni-63放射源的电解液可包括以下组分: 5~25mg的氯化镍, 3~8mg的次磷酸钠, 5~25mg的醋酸钠, 0.1~0.8mL的水, 1~15μL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40~80℃, 采用直流电压1.0~1.2V, 沉积3~20分钟。

[0056] 所述含有Pm-147放射源的电解液可包括以下组分: 2~30mg的氯化钽, 1~8mg的次磷酸钠, 5~35mg的醋酸钠, 0.1~1.0mL的水, 0.1~0.8mg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30~80℃, 采用直流电压0.8~1.2V, 沉积5~30分钟。

[0057] 本发明提供的一种基于碳化硅材料的肖特基微型核电池, 克服了现有技术中的不足(如SiC PN结核电池工艺复杂、重复性差、表面死层厚等), 设计新颖合理, 工艺更为简单, 实现方便, 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, 有利于集成, 实用性强, 推广应用价值高, 具有突出的实质性特点和显著的进步。

[0058] 在本发明的描述中, 需要理解的是, 术语“长度”、“宽度”、“厚度”、“上”、“上方”、“表面”、“底”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。

[0059] 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。

[0060] 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。

[0061] 在本说明书的描述中, 参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、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。

[0062] 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,上述描述的方法和结构的具体工作过程或相互重叠部分,可以参考前述实施例中的对应过程或结构,在此不再赘述。

[0063] 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。

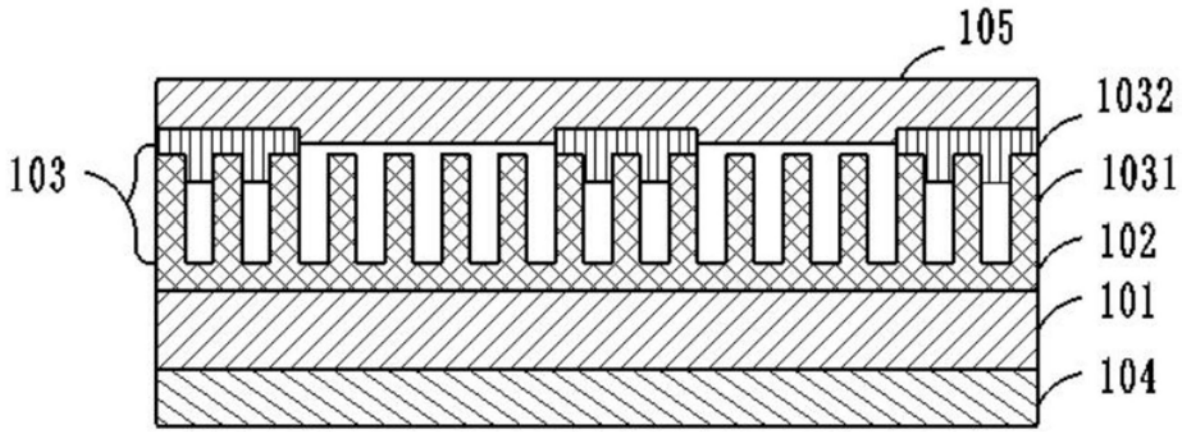


图1

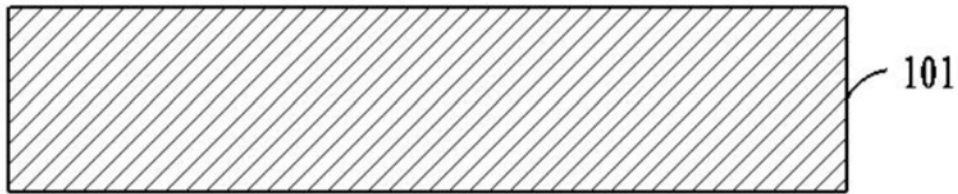


图2

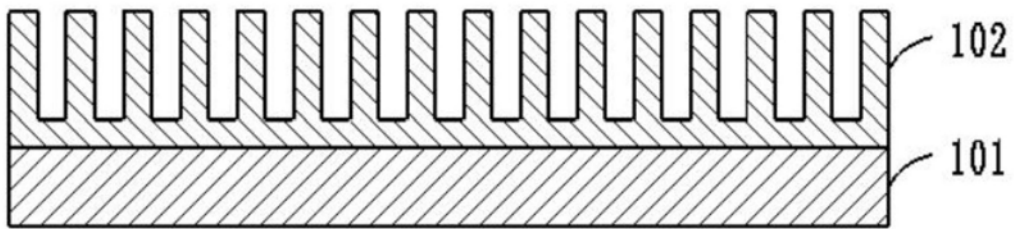


图3

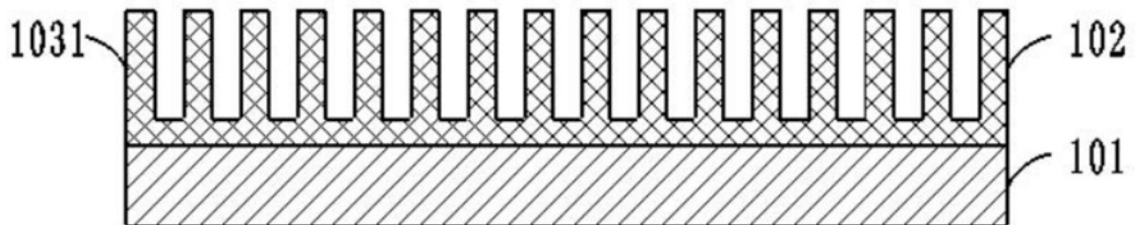


图4

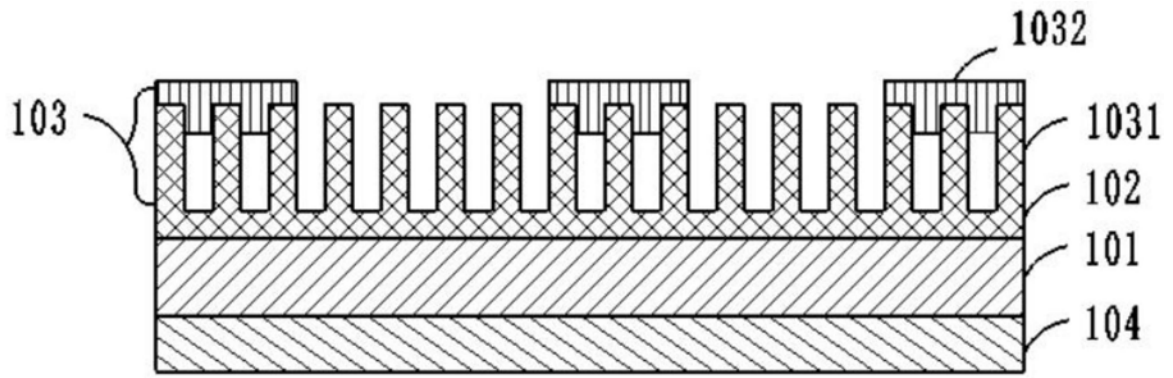


图5

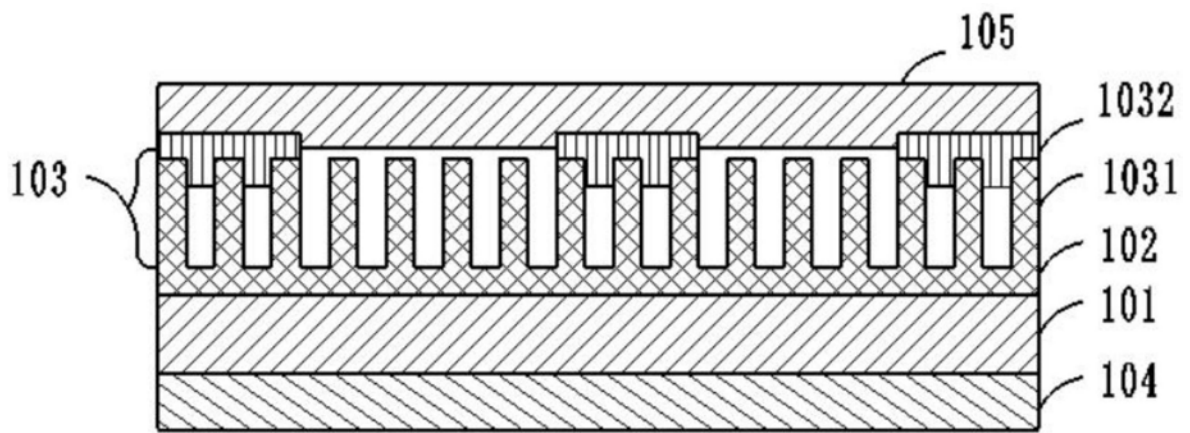


图6

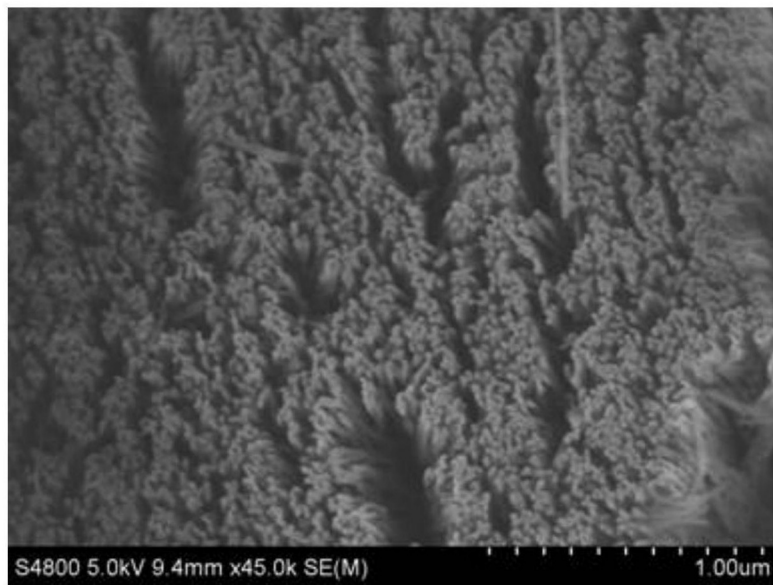


图7

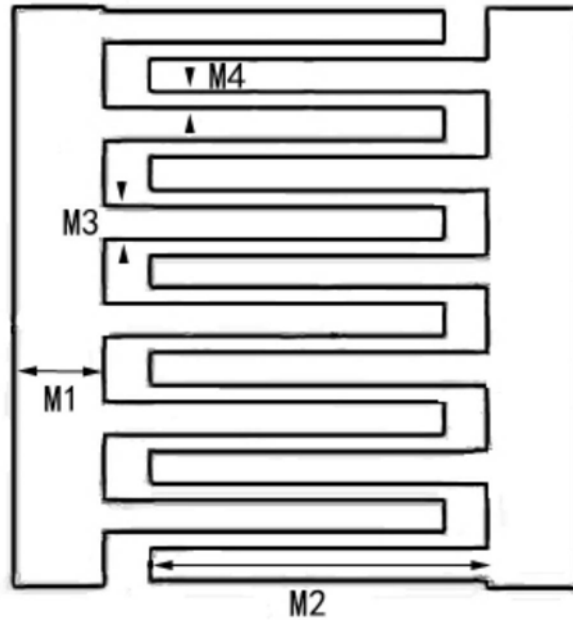


图8