



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114613841 A

(43) 申请公布日 2022. 06. 10

(21) 申请号 202210247269.4

H01L 29/778 (2006.01)

(22) 申请日 2022.03.14

H01L 21/335 (2006.01)

(71) 申请人 中国工程物理研究院电子工程研究所

B82Y 30/00 (2011.01)

B82Y 40/00 (2011.01)

地址 621999 四川省绵阳市游仙区绵山路64号

(72) 发明人 李男男 罗毅

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

专利代理师 张艺

(51) Int. Cl.

H01L 29/06 (2006.01)

H01L 29/10 (2006.01)

H01L 29/739 (2006.01)

H01L 21/331 (2006.01)

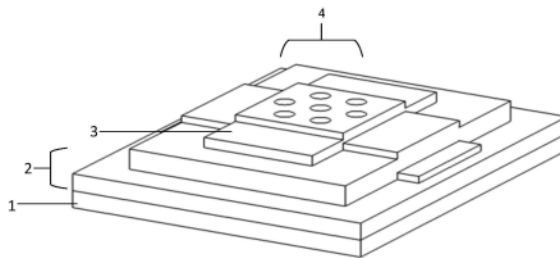
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种高电流立体型纳米空气沟道电子管及电子器件

(57) 摘要

本发明公开了一种高电流立体型纳米空气沟道电子管,包括:半导体基底;位于半导体基底一侧表面的功能层;半导体基底与功能层之间存在二维电子气;位于功能层背向半导体基底一侧表面的顶电极;多个沿垂直方向从顶电极延伸至半导体基底的纳米空气沟道;多个纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列。通过设置多个垂直方向的纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列,可以有效增大二维电子气的有效发射面积,提高发射电流至毫安量级。通过新型纳米空气沟道阵列和电极结构与材料的设计,可以实现低电压大电流工作,同时大幅提高该类器件的截止频率至太赫兹量级。本发明还提供了一种电子器件,同样具有上述有益效果。



1. 一种高电流立体型纳米空气沟道电子管,其特征在于,包括:
半导体基底;
位于所述半导体基底一侧表面的功能层;所述半导体基底与所述功能层之间存在二维电子气;
位于所述功能层背向所述半导体基底一侧表面的顶电极;
多个沿垂直方向从所述顶电极延伸至所述半导体基底的纳米空气沟道;多个所述纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列。
2. 根据权利要求1所述的立体型纳米空气沟道电子管,其特征在于,所述纳米空气沟道阵列中相邻所述纳米空气沟道间的距离相等。
3. 根据权利要求2所述的立体型纳米空气沟道电子管,其特征在于,所述纳米空气沟道长度的取值范围在1nm至100nm,包括端点值。
4. 根据权利要求1所述的立体型纳米空气沟道电子二极管,其特征在于,所述功能层为绝缘介质层。
5. 根据权利要求4所述的立体型纳米空气沟道电子二极管,其特征在于,所述绝缘介质层的厚度不大于60nm。
6. 根据权利要求1所述的立体型纳米空气沟道晶体管,其特征在于,所述功能层包括:
位于所述半导体基底一侧表面的第一绝缘介质层;所述二维电子气存在于所述半导体基底与所述第一绝缘介质层之间;
位于所述第一绝缘介质层背向所述半导体基底一侧表面的栅孔电极;
位于所述栅孔电极背向所述半导体基底一侧表面的第二绝缘介质层;
所述顶电极位于所述第二绝缘介质层背向所述半导体基底一侧表面。
7. 根据权利要求6所述的立体型纳米空气沟道晶体管,其特征在于,所述沿垂直方向所述栅孔电极与所述顶电极十字交叉叠置。
8. 根据权利要求6所述的立体型纳米空气沟道晶体管,其特征在于,所述第一绝缘介质层的厚度不大于60nm。
9. 根据权利要求1所述的立体型纳米空气沟道电子管,其特征在于,所述半导体基底为重掺杂低阻硅基底。
10. 一种电子器件,其特征在于,包括如权利要求1至9任一项权利要求所述的立体型纳米空气沟道电子管。

一种高电流立体型纳米空气沟道电子管及电子器件

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体器件技术领域,特别是涉及一种高电流立体型纳米空气沟道电子管以及一种电子器件。

背景技术

[0002] 现代电子学信息系统的不断发展要求器件尺寸越来越小、速度越来越快、频率越来越高。目前,作为电子学核心基础元器件的半导体晶体管,其特征尺寸和电学性能已经接近理论极限。尺寸限制下的固态半导体电子器件的发展主要依靠新材料的使用,从传统的硅材料到化合物半导体(如GaAs、InP、SiC等材料)再到纳米材料(如碳纳米管,石墨烯,过渡金属硫化物等),大都依靠提高载流子迁移率进一步提升器件性能。然而,载流子在固态半导体中输运必然会遭遇晶格碰撞散射和光子声子散射,这从本质上限制了固态半导体电子器件的开启速度和工作频率。相比之下,真空是实现载流子无散射弹道输运的理想媒介,电子在真空中的速度为半导体中的1000倍左右。虽然真空电子器件在工作原理上天然具有响应速度快、工作频率高的特点,但真空电子器件的发展与应用严重受限于器件的大尺寸、不易集成、高电压、真空工作环境等要求。

[0003] 近年来发展的纳米空气沟道电子器件,使半导体微纳工艺技术与真空原理的优势充分结合,不仅具备固态半导体电子器件的体积小、重量轻、功耗低、易集成、无需真空环境等优势,还具备真空电子器件的响应速度快、工作频率高、耐极端环境(如高温、辐射)等特点。因此,这类器件被誉为是下一代超快集成电路的理想基本单元。目前,纳米真空沟道电子器件主要分为立体型和平面型两类结构。其中立体型结构相对具有大电流的优势,但目前为止,立体型纳米空气沟道电子器件的工作电流仍普遍处于几十纳安培至几微安量级,远低于同等电压下的MOSFET的能力,这严重制约了纳米空气沟道电子器件在电路与系统层面发挥其器件优势,限制了纳米空气沟道电子器件的发展与实际应用。因此,如何提供一种低压高电流工作的新型纳米空气沟道电子器件结构是本领域技术人员亟需解决的问题。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种立体型纳米空气沟道电子管,具有较高且可调控的工作电流;本发明的另一目的在于提供一种电子器件,其使用的立体型纳米空气沟道电子管具有较高的工作电流。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供一种立体型纳米空气沟道电子管,包括:

[0006] 半导体基底;

[0007] 位于所述半导体基底一侧表面的功能层;所述半导体基底与所述功能层之间存在二维电子气;

[0008] 位于所述功能层背向所述半导体基底一侧表面的顶电极;

[0009] 多个沿垂直方向从所述顶电极延伸至所述半导体基底的纳米空气沟道;多个所述纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列。

- [0010] 可选的,所述纳米空气沟道阵列中相邻所述纳米空气沟道间的距离相等。
- [0011] 可选的,所述纳米空气沟道阵列的数量可调,依据纳米空气沟道阵列数量调控工作电流大小。在工作电压不变情况下,立体型纳米空气沟道电子管的工作电流与所述纳米空气沟道阵列数量成正比。
- [0012] 可选的,所述纳米空气沟道长度的取值范围在1nm至100nm,包括端点值。
- [0013] 可选的,作为立体型纳米空气沟道二极管,功能层为绝缘介质层,厚度不大于60nm。
- [0014] 可选的,作为立体型纳米空气沟道晶体管,功能层包括:
- [0015] 位于所述半导体基底一侧表面的第一绝缘介质层;所述二维电子气存在于所述半导体基底与所述第一绝缘介质层之间;
- [0016] 位于所述第一绝缘介质层背向所述半导体基底一侧表面的栅孔电极;
- [0017] 位于所述栅孔电极背向所述半导体基底一侧表面的第二绝缘介质层;
- [0018] 所述顶电极位于所述第二绝缘介质层背向所述半导体基底一侧表面。
- [0019] 可选的,所述栅孔电极与所述顶电极在空间上十字交叉叠置,通过减小电极间重合面积,利于减小电容,进一步提高器件截止频率。
- [0020] 可选的,所述第一绝缘介质层的厚度不大于60nm。
- [0021] 可选的,所述半导体基底为重掺杂低阻硅基底。
- [0022] 本发明还提供了一种电子器件,包括上述任一项所述的立体型纳米空气沟道电子管。
- [0023] 本发明所提供的一种立体型纳米空气沟道电子管,包括:半导体基底;位于半导体基底一侧表面的功能层;半导体基底与功能层之间存在二维电子气;位于功能层背向半导体基底一侧表面的顶电极;多个沿垂直方向从顶电极延伸至半导体基底的纳米空气沟道;多个纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列。
- [0024] 通过设置多个垂直方向的纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列,成比例地增大二维电子气的有效发射面积,提高器件总发射电流。通过新型纳米空气沟道阵列和电极结构与材料的设计,可以实现低压大电流工作,同时大幅提高该类器件的截止频率。
- [0025] 本发明还提供了一种电子器件,同样具有上述有益效果,在此不再进行赘述。

附图说明

- [0026] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术的技术方案,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,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。
- [0027] 图1为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道电子管的结构示意图;
- [0028] 图2为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气二极管的结构及工作原理示意图;
- [0029] 图3为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道三极管的结构及工作原理示意图;
- [0030] 图4为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道电子管的电流-电压特性

曲线。

[0031] 图中:1. 半导体基底、2. 功能层、21. 第一绝缘介质层、22. 栅孔电极、23. 第二绝缘介质层、3. 顶电极、4. 纳米空气沟道阵列。

具体实施方式

[0032] 本发明的核心是提供一种立体型纳米空气沟道电子器件。在现有技术中,纳米空气沟道电子器件主要分为垂直立体型和平面型两类结构。其中立体型结构相对具有大电流的优势,但目前为止,立体型纳米空气沟道电子器件的工作电流普遍处于几十纳安至几微安量级,远低于同等电压下的MOSFET的能力,这严重制约了纳米空气沟道器件在电路与系统层面发挥其器件优势,限制了纳米空气沟道器件的发展与实际应用。

[0033] 而本发明所提供的一种高电流立体型纳米空气沟道电子管,包括:半导体基底;位于半导体基底一侧表面的功能层;半导体基底与功能层之间存在二维电子气;位于功能层背向半导体基底一侧表面的顶电极;多个沿垂直方向从顶电极延伸至半导体基底的纳米空气沟道;多个纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列。

[0034] 通过设置多个垂直立体方向的纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列,成比例地增大二维电子气的有效发射面积,可控地提高发射电流。通过新型纳米空气沟道阵列和电极结构与材料的设计,不仅可以实现低电压大电流工作,同时大幅提高该类器件的截止频率至太赫兹水平。

[0035] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,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做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。

[0036] 请参考图1,图1为本发明实施例所提供的一种高电流立体型纳米空气沟道电子管的结构示意图。

[0037] 参见图1,在本发明实施例中,立体型纳米空气沟道电子管包括:半导体基底1;位于所述半导体基底1一侧表面的功能层2;所述半导体基底1与所述功能层2之间存在二维电子气;位于所述功能层2背向所述半导体基底1一侧表面的顶电极3;多个沿垂直方向从所述顶电极3延伸至所述半导体基底1的纳米空气沟道;多个所述纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列4。

[0038] 上述半导体基底1不仅仅起到承载作用,还通常作为立体型纳米空气沟道电子管的一极使用。相应的,在本发明实施例中上述半导体基底1通常为重掺杂低阻硅基底。当然,也可以选用其他材料作为上述半导体基底1,例如SOI(Silicon On Insulator或Semiconductor On Insulator)基底或碳化硅等化合物半导体基底均可,只要能起到对应效果即可。

[0039] 上述功能层2位于半导体基底1一侧表面,该功能层2至少包括一层与上述半导体基底1相接触的绝缘层,从而在半导体基底1与该绝缘层之间形成二维电子气,作为立体型纳米空气沟道电子管的电子源。根据功能层2结构的不同,立体型纳米空气沟道电子管可以分为二极管或三极管(晶体管),其具体结构将在下述发明实施例中做详细介绍,在此不再进行赘述。上述与半导体基底1相接触的绝缘层具体可以是采用高温热氧化生长的方式,制

备致密且耐压的氧化物介质层,如氧化硅作为该绝缘层。当然,有关该绝缘层的具体材质以及制备工艺在此并不做具体限定,只要可以在界面处产生二维电子气即可。

[0040] 上述顶电极3位于上述功能层2背向半导体基底1一侧表面,该顶电极3在工作时产生的电场通常用于电子的收集。通常情况下,顶电极3为金属电极,当然有关顶电极3的具体材质在本发明实施例中不做具体限定,视具体情况而定。

[0041] 在本发明实施例中对于一个高电流立体型纳米空气沟道电子管,具体会设置有多个沿垂直方向从顶电极3延伸至上述半导体基底1的纳米空气沟道。多个纳米空气沟道会形成纳米空气沟道阵列4。对于一个纳米空气沟道,其通常贯穿了功能层2直至半导体基底1。在该立体型纳米空气沟道电子管工作时,首先需要半导体基底1与上述顶电极3之间施加一定的电压,此时半导体基底1与功能层2之间界面附近靠近半导体一侧产生二维电子气,顶电极3与功能层2之间界面附近会产生等量的正电荷,该二维电子气的厚度通常在2nm左右。二维电子气中的电子在电子之间的斥力,以及上述正电荷的引力共同作用下,发生逸出。而由于上述纳米空气沟道的长度小于电子在空气中的平均自由程,溢出的电子会在纳米空气沟道中加速且发生无散射弹道运输,快速运动到收集极,实现器件的超快开启。当功能层2中包含栅极时,二维电子气中的电子将在栅极控制下发射,并在栅极与顶电极3的共同作用下,在纳米空气沟道中加速且发生无散射弹道输至收集极3,实现三极管(晶体管)的超快开启与工作。

[0042] 由于对于二维电子气来说,其有效发射面积与纳米空气沟道总的周长正相关。通过设置纳米空气沟道阵列4相比于仅设置一个纳米空气沟道,在同样的器件面积内有效增加了二维电子气的有效发射面积,从而可以提高发射电流。

[0043] 具体的,在本发明实施例中,所述纳米空气沟道阵列4中相邻所述纳米空气沟道间的距离相等。即上述多个纳米空气沟道通常会呈周期性排列,从而形成纳米空气沟道阵列4。有关纳米空气沟道横向截面的尺寸在本发明实施例中不做具体限定,而对于纳米空气沟道的长度(即半导体基底与顶电极之间的空气长度距离)在本发明实施例中通常不超过100nm,即所述纳米空气沟道长度的取值范围通常在1nm至100nm,包括端点值。需要强调的是,本发明实施例中在工作电压不变情况下,立体型纳米空气沟道电子管的工作电流与所述纳米空气沟道阵列数量成正比。因此在制备过程中,本申请可以通过调整纳米空气沟道的数量来调控立体型纳米空气沟道电子管的工作电流。

[0044] 本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道电子器件,包括:半导体基底1;位于半导体基底1一侧表面的功能层2;半导体基底1与功能层2之间存在二维电子气;位于功能层2背向半导体基底1一侧表面的顶电极3;多个沿垂直方向从顶电极3延伸至半导体基底1的纳米空气沟道;多个纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列4。

[0045] 通过设置多个垂直方向的纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列4,可以有效增大二维电子气的有效发射面积,提高发射电流。通过新型纳米空气沟道阵列和电极结构与材料的设计,可以实现低压大电流工作,同时大幅提高该类器件的截止频率。

[0046] 有关本发明所提供的一种高电流立体型纳米空气沟道电子管的具体结构将在下述发明实施例中做详细介绍。

[0047] 请参考图2,图3以及图4,图2为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道二极管的结构示意图;图3为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道三极管(晶体

管)的结构示意图;图4为本发明实施例所提供的一种立体型纳米空气沟道二极管的电流-电压特性曲线。

[0048] 区别于上述发明实施例,本发明实施例是在上述发明实施例的基础上,进一步的对功能层2的结构进行具体限定。其余内容已在上述发明实施例中做详细介绍,在此不再进行赘述。

[0049] 本发明具体提供一种立体型纳米空气沟道二极管的结构以及一种立体型纳米空气沟道三极管的结构,其区别主要集中在上述功能层2结构的不同,但是其均设置有纳米空气沟道阵列4实现电子的输运。

[0050] 第一种,参见图2,所述功能层2为绝缘介质层。以该功能层2仅为一层绝缘介质层,该绝缘介质层位于半导体基底1的表面,而上述顶电极3具体位于该绝缘介质层背向半导体基底1一侧表面。相应的,上述纳米空气沟道仅需要贯穿绝缘介质层,延伸至半导体基底1即可。其在工作时在半导体基底1与绝缘介质层之间产生的二维电子气,会在纳米空气沟道中无散射输运至顶电极3被接收。

[0051] 具体的,在本发明实施例中上述绝缘介质层的厚度通常不大于60nm,因为对于立体型纳米空气沟道二极管来说,其纳米空气沟道的长度取决于绝缘介质层的厚度。将绝缘介质层的厚度限制在60nm以下,一方面可以保证电子的输运路径小于电子在空气中的平均自由程,在空气中实现类似真空环境的无散射弹道输运;另一方面,通过减小沟道长度,利于整个垂直二极管具有较低的工作电压,通常该工作电压可以小于2V。上述绝缘介质层具体可以通过高温热氧化方式所生长的氧化层。

[0052] 第二种,参见图3,所述功能层2包括:位于所述半导体基底1一侧表面的第一绝缘介质层21;所述二维电子气存在于所述半导体基底1与所述第一绝缘介质层21之间;位于所述第一绝缘介质层21背向所述半导体基底1一侧表面的栅孔电极22;位于所述栅孔电极22背向所述半导体基底1一侧表面的第二绝缘介质层23;所述顶电极3位于所述第二绝缘介质层23背向所述半导体基底1一侧表面。

[0053] 上述第二种结构为立体型纳米空气沟道三极管(晶体管),此时在该功能层2中包括有直接与半导体基底1相接触的第一绝缘介质层21,在第一绝缘介质层21表面设置有栅孔电极22,在三极管中该栅孔电极22主要用做栅极控制使用。在栅孔电极22背向半导体基底1一侧依次设置有第二绝缘介质层23以及顶电极3,而纳米空气沟道会依次贯穿第二绝缘介质层23、栅孔电极22、第一绝缘介质层21延伸至半导体基底1。在工作时,会在半导体基底1与第一绝缘介质层21之间界面产生二维电子气,同时在栅孔电极22附近感应出对应的正电荷。当栅孔电极22与半导体基底1之间施加一定电压时,二维电子气中的电子在电子之间的斥力,以及栅孔电极22附近正电荷的引力共同作用下,逸出。具体的,上述,对栅孔电极22施加电压产生的电场强度用于控制二维电子气中电子的发射,而顶电极3作为阳极施加的电压产生的电场用于控制发射电子的收集。

[0054] 具体的,在本发明实施例中,所述沿垂直方向所述栅孔电极22与所述顶电极3十字交叉叠置。即在立体三极管中上述栅极与阳极在空间上交叉叠置,从而有效减小上述电极所占用的面积,进而减小栅源电容,利于增大器件截止频率。需要说明的是,上述顶电极3以及栅孔电极22的材质不局限于金属材料,还可以使用ITO(氧化铟锡)、石墨烯、碳纳米管薄膜等其它新型导电材料。

[0055] 具体的,在本发明实施例中上述第一绝缘介质层21的厚度通常不大于60nm。将第一绝缘介质层21的厚度限制在60nm以下,可以有效保证纳米空气沟道最终长度的可控。

[0056] 对于上述两种结构,其均具有超快高频的电子发射能力以及极佳的电流扩展能力。上述纳米空气沟道阵列4的制备工艺,即纳米空气沟道可控的阵列化技术手段多种多样,如纳米球光刻(NSL)、聚焦离子束刻蚀(FIB)、紫外光学光刻或电子束光刻结合湿法腐蚀或干法刻蚀等均可,在此不做具体限定。

[0057] 在本发明实施例中,具体可以以N型重掺杂的低阻硅作为基底,干氧化50纳米厚的氧化硅作为绝缘介质层,利用直径500纳米的聚苯乙烯乳胶微球作为掩膜,利用NSL技术在氧化硅表面制备直径400纳米的金属孔阵列;在利用反应离子刻蚀技术,以金属孔阵列为掩膜制备了纳米空腔阵列,即纳米空气沟道阵列4。

[0058] 值得注意的是,通过使用不同尺寸的聚苯乙烯乳胶微球,可以实现周期性在10nm-10 μ m可调的纳米空气沟道阵列4;通过等离子体刻蚀均匀缩小聚苯乙烯乳胶微球,可以实现单个纳米空气空腔尺寸,即单个纳米空气沟道直径在10nm-10 μ m调节;通过调整纳米空气沟道阵列4的数量和密度可以实现超快纳米空气沟道电子管发射电流能力的控制。此外,NSL技术并非唯一制备空腔阵列的技术手段,还可以使用聚焦离子束刻蚀(FIB)等其它手段。

[0059] 参见图4,本实施例制备得到的低成本大面积制备的低压高电流工作的立体型纳米空气沟道二极管的电流电压特性如图4所示。其开启电压<1V,最大电流已经大于60微安,已经远大于目前报道的纳米空气沟道电子器件的水平。通过调整空腔阵列的数量和密度实现纳米空气沟道电子管发射电流能力的控制,未来有望达到毫安量级。

[0060] 本发明还提供了一种新型低功耗高电流电子器件,该电子器件使用了上述任一发明实施例所提供的立体型纳米空气沟道二极管和晶体管。而电子器件的其他结构,例如各种电子元器件的结构具体可以参考现有技术,在此不再进行展开描述。

[0061] 有关本发明实施例所提供的一种新型低功耗高电流电子器件使用了上述立体型纳米空气沟道二极管和晶体管,由于设置多个垂直方向的纳米空气沟道形成纳米空气沟道阵列4,可以有效增大二维电子气的有效发射面积,提高发射电流。相应的上述电子器件可以具有更高的性能。有关其中立体型纳米空气沟道二极管和晶体管的具体结构已在上述发明实施例中做详细介绍,在此不再进行赘述。

[0062] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其它实施例的不同之处,各个实施例之间相同或相似部分互相参见即可。

[0063] 最后,还需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0064] 以上对本发明所提供的一种立体型纳米空气沟道二极管和晶体管以及一种电子器件进行了详细介绍。本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想。应当指出,对于本技术领

域的一般技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

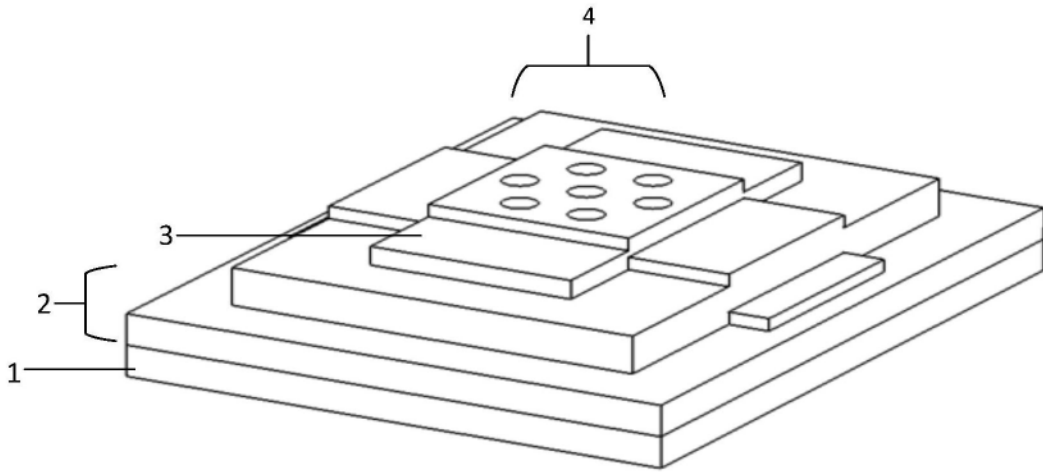


图1

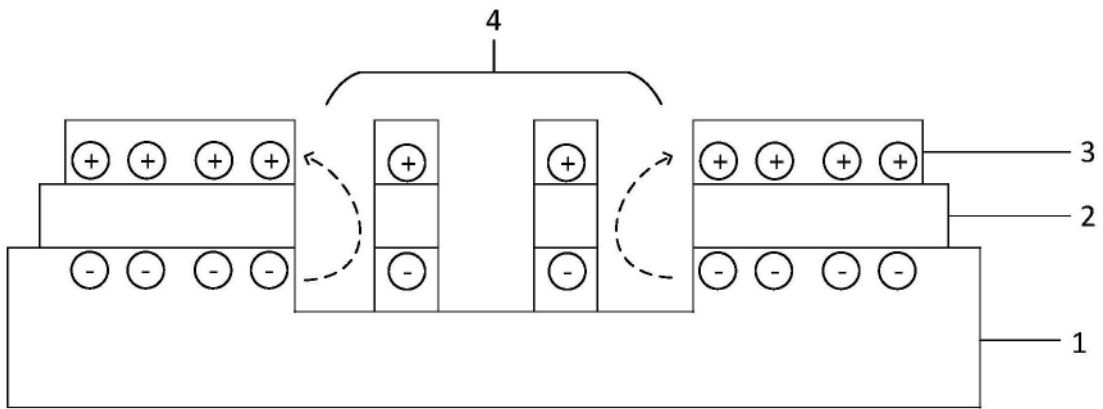


图2

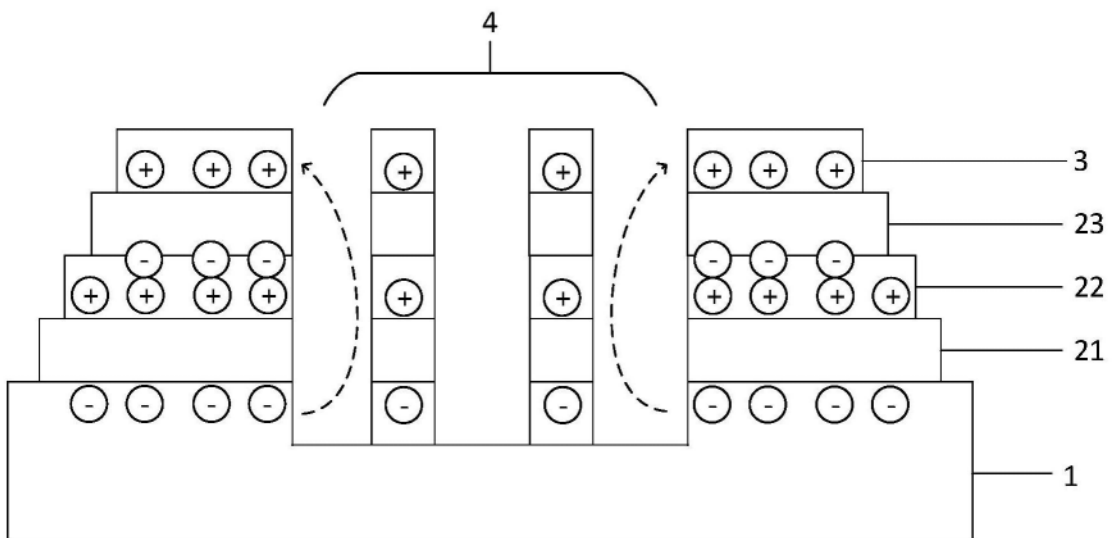


图3

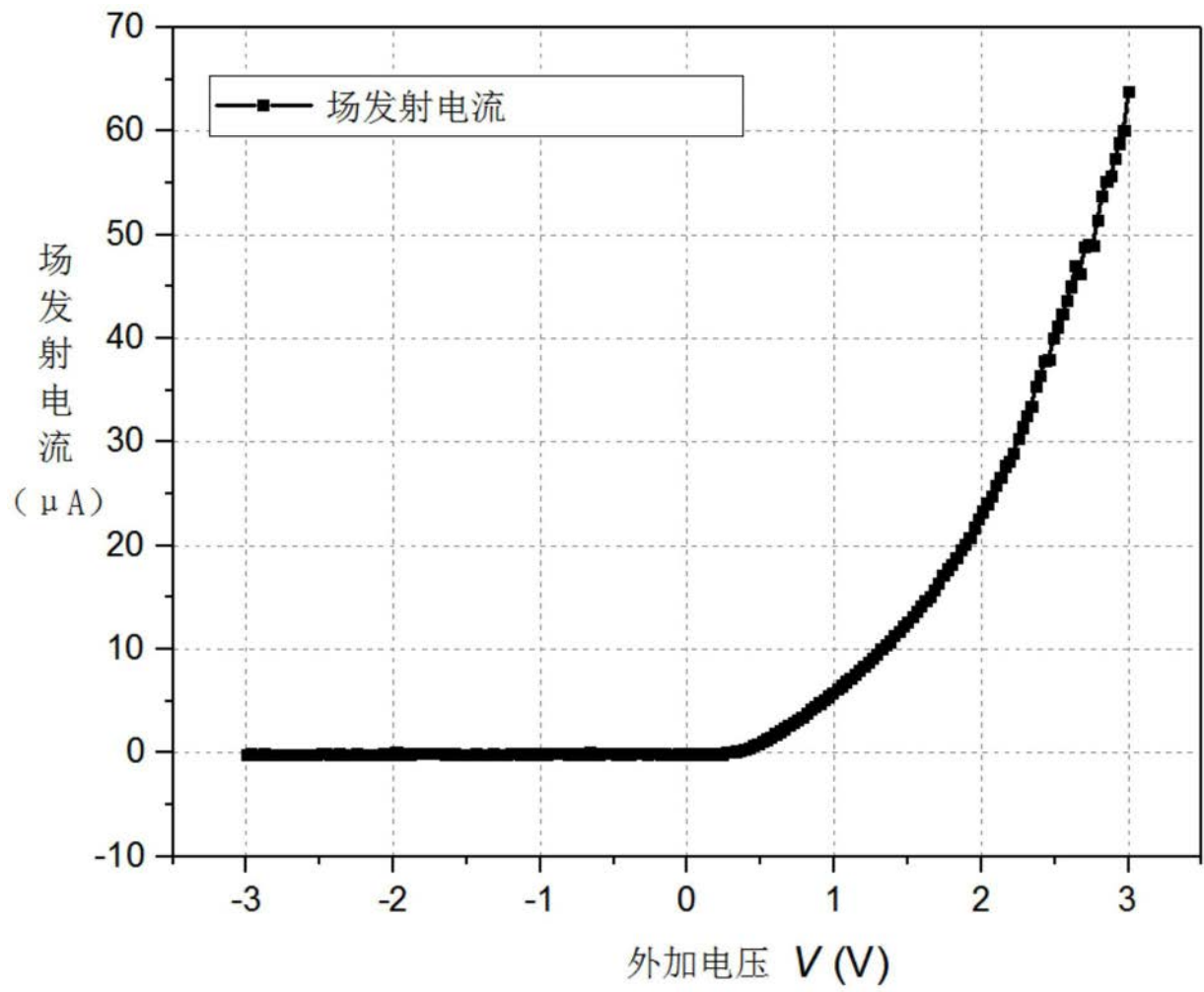


图4