



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112201696 B

(45) 授权公告日 2021.03.12

(21) 申请号 202011421752.7

H01L 51/05 (2006.01)

(22) 申请日 2020.12.08

H02N 1/04 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112201696 A

(56) 对比文件

KR 10-2019-0136402 A, 2019.12.10

US 2010/0283028 A1, 2010.11.11

(43) 申请公布日 2021.01.08

CN 107144704 A, 2017.09.08

(73) 专利权人 西交利物浦大学  
地址 215123 江苏省苏州市工业园区独墅湖高等教育区仁爱路111号

CN 109830598 A, 2019.05.31

Chi Zhang et al. Contact

Electrification Field-Effect Transistor.

《ACS NANO》. 2014, 第8卷 (第8期), 8702-8709.

(72) 发明人 刘启晗 赵春 赵策洲 刘伊娜  
杨莉

审查员 张玉萍

(74) 专利代理机构 苏州谨和知识产权代理事务  
所 (特殊普通合伙) 32295  
代理人 叶栋

(51) Int. Cl.

H01L 29/78 (2006.01)

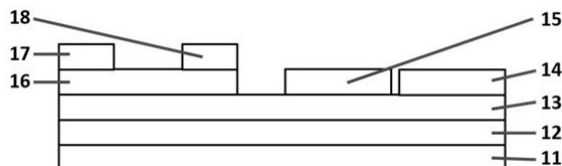
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

自驱动摩擦纳米发电突触晶体管

(57) 摘要

本发明涉及的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,包括摩擦纳米发电机和突触晶体管,其包括衬底;形成在衬底上的电极层;形成在电极层上的共享中间层;形成在共享中间层上的突触晶体管有源层、源电极和漏电极;以及形成在共享中间层上的正摩擦层和负摩擦层,共享中间层作为突触晶体管的介电层以及摩擦纳米发电机的中间层,提升了摩擦纳米发电机的输出电压并能够实现为突触晶体管的突触功能,电极层作为摩擦纳米发电机的输出电极以及突触晶体管的栅电极,结构简单,轻便且柔性,摩擦正摩擦层或负摩擦层,共享中间层产生脉冲电压,无需外部供电即在源电极和漏电极之间产生兴奋性后突触电流,能够自驱动实现仿生突触晶体管功能。



1. 一种自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述自驱动摩擦纳米发电突触晶体管包括摩擦纳米发电机和突触晶体管,所述自驱动摩擦纳米发电突触晶体管包括衬底;形成在所述衬底上的电极层;形成在所述电极层上的共享中间层;形成在所述共享中间层上的突触晶体管有源层、源电极和漏电极;以及形成在源电极和漏电极中的一个上的正摩擦层和负摩擦层,所述共享中间层作为所述突触晶体管的介电层以及所述摩擦纳米发电机的中间层,所述电极层作为所述摩擦纳米发电机的输出电极以及所述突触晶体管的栅电极,通过使用正摩擦材料摩擦所述负摩擦层或通过使用负摩擦材料摩擦所述正摩擦层,所述共享中间层产生脉冲电压,所述共享中间层中的电荷发生转移从而改变所述突触晶体管有源层的电导率,并在所述源电极和漏电极之间产生兴奋性突触后电流。

2. 如权利要求1所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述共享中间层的材料为高介电材料。

3. 如权利要求2所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述高介电材料为具有突触效应的高介电材料或具有铁电极化特性的高介电材料。

4. 如权利要求2所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述高介电材料为氧化镓、氧化铪、氧化铝、氧化钽、氧化铌、氧化锆、氧化镧、氧化锂、氧化铈中的一种或两种以上的组合。

5. 如权利要求1所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述衬底为玻璃、二氧化硅、聚酰亚胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯中的任一种。

6. 如权利要求1所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述电极层、源电极以及漏电极的材料为氧化镉、氧化镉锡、氧化镉铝、氮化钛、金、银、铜、铝中的一种或两种以上的组合。

7. 如权利要求1所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述突触晶体管有源层的材料为有机半导体材料和无机半导体材料中的一种。

8. 如权利要求1所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述正摩擦层采用更易失去电子的材料制备得到。

9. 如权利要求1所述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,其特征在于,所述负摩擦层采用更易得到电子的材料制备得到。

## 自驱动摩擦纳米发电突触晶体管

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,属于半导体器件技术领域。

### 背景技术

[0002] 智能时代带来的大数据和高效人机交互的需求,对复杂信息的处理和储存带来了更高的要求。相较于人脑的低功率和小体积,目前的计算机系统存在明显不足,近年来,模仿人脑的信息处理方式并开发出类神经网络计算系统,提供了一条通往高效运算的潜在途径。目前的神经网络系统大多运用传统的互补型金属氧化物半导体技术,虽然类似神经网络的计算功能能够在结合代码算法的条件下实现,但是其效率仍远低于人脑。这其中的根本原因是没有摆脱冯·诺依曼构架的限制,因此,从基于单个器件出发模拟人脑中的神经元与突触的工作原理,实现人脑的低功率高效运算,是解决此问题的有效方法。因此,模仿生物突触的结构和工作机理并制备具有生物突触功能的仿生人工突触器件是实现低功率高功效神经网络的重点。近年来,海内外诸多研究机构涌现诸多基于仿生人工突触器件的发明创造,其中,基于薄膜晶体管结构的仿生突触晶体管展现出了结构简单,低功率,突触特性完备等特点并受到了广泛的关注,同时仿生突触晶体管也在仿生皮肤,仿生传感器中展现出了一定的应用潜力,将仿生突触晶体管通过电路以及例如整流桥等器件与传感器或摩擦发电器件组成系统,可以实现对于外部刺激的采集,信号传输,信息储存等仿生功能,作为类神经网络系统的交互以及外部信息采集端口展现出了极高的应用价值。但是,近年来的研究主要通过外加的复杂电路实现仿生突触晶体管与刺激采集端的集成并需要额外的电源供应,不利于应用于柔性电子器件,可穿戴设备与仿生皮肤等运用。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种无需额外供电,具有轻便、柔性、结构简单特点的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管。

[0004] 为达到上述目的,本发明提供如下技术方案:一种自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,包括摩擦纳米发电机和突触晶体管,所述自驱动摩擦纳米发电突触晶体管包括衬底;形成在所述衬底上的电极层;形成在所述电极层上的共享中间层;形成在所述共享中间层上的突触晶体管有源层、源电极和漏电极;以及形成在所述共享中间层上的正摩擦层和负摩擦层,所述共享中间层作为所述突触晶体管的介电层以及所述摩擦纳米发电机的中间层,所述电极层作为所述摩擦纳米发电机的输出电极以及所述突触晶体管的栅电极,摩擦所述正摩擦层或所述负摩擦层,所述共享中间层产生脉冲电压,所述共享中间层中的电荷发生转移从而改变所述突触晶体管有源层的电导率,并在所述源电极和漏电极之间产生兴奋性后突触电流。

[0005] 进一步地,所述共享中间层的材料为高介电材料。

[0006] 进一步地,所述高介电材料为具有突触效应的高介电材料或具有铁电极化特性的高介电材料。

[0007] 进一步地,所述高介电材料为氧化镓、氧化铪、氧化铝、氧化钽、氧化铟、氧化锆、氧化镧、氧化锂、氧化铈中的一种或两种以上的组合。

[0008] 进一步地,所述衬底为玻璃、二氧化硅、聚酰亚胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯中的任一种。

[0009] 进一步地,所述电极层、源电极以及漏电极的材料为氧化镉、氧化锡、氧化锌、氧化铟、氧化钨、氧化钼、氧化钛、金、银、铜、铝中的一种或两种以上的组合。

[0010] 进一步地,所述突触晶体管有源层的材料为有机半导体材料和无机半导体材料中的一种。

[0011] 本发明的有益效果在于:

[0012] (1)将摩擦纳米发电机和仿生突触晶体管集成,得到的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管结构简单,轻便且柔性,能够自驱动实现仿生突触晶体管功能。

[0013] (2)无需外部供电即可产生电荷转移从而驱动突触晶体管并产生兴奋性后突触电流。

[0014] (3)共享中间层使用高介电材料,提升了摩擦纳米发电机的输出电压并能够实现为突触晶体管的突触功能。

[0015] 上述说明仅是本发明技术方案的概述,为了能够更清楚了解本发明的技术手段,并可依照说明书的内容予以实施,以下以本发明的较佳实施例并配合附图详细说明如后。

## 附图说明

[0016] 图1为本发明所示的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管的结构示意图;

[0017] 图2为图1中所示的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管无共享中间层的开路电压图;

[0018] 图3为图1中所示的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管具有氧化铝高介电材料作为共享中间层的开路电压图;

[0019] 图4为图1中所示的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管具有增强特性的兴奋性后突触电流图;

[0020] 图5为图1中所示的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管具有衰减特性的兴奋性后突触电流图。

## 具体实施方式

[0021] 下面将结合附图对本发明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。

[0022] 此外,下面所描述的本发明不同实施方式中所涉及的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互结合。

[0023] 请参见图1,本发明一实施例所示的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管,包括摩擦纳米发电机和突触晶体管,自驱动摩擦纳米发电突触晶体管包括衬底11;形成在衬底11上的电极层12;形成在电极层12上的共享中间层13;形成在共享中间层13上的突触晶体管有源层16、源电极17和漏电极18;以及形成在共享中间层13上的正摩擦层14和负摩擦层15,共享中间层13作为突触晶体管的介电层以及摩擦纳米发电机的中间层,电极层12作为摩擦纳米

发电机的输出电极以及突触晶体管的栅电极,摩擦正摩擦层14或负摩擦层15,共享中间层13产生脉冲电压,共享中间层13中的电荷发生转移从而改变突触晶体管有源层16的电导率,并在源电极17和漏电极18之间产生兴奋性后突触电流。

[0024] 其中,共享中间层13的材料为高介电材料,且高介电材料为具有突触效应的高介电材料或具有铁电极化特性的高介电材料。高介电材料为氧化镓、氧化铪、氧化铝、氧化钽、氧化铌、氧化锆、氧化镧、氧化锂、氧化铈中的一种或两种以上的组合。关于的高介电材料还可以为其他材料,在此不一一列举。共享中间层13的厚度范围为20-80nm。本实施例中,共享中间层13为氧化铝高介电材料。

[0025] 衬底11为玻璃、二氧化硅、聚酰亚胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯中的任一种。衬底11可以为刚性衬底或者柔性衬底,本实施例中,衬底11为单晶硅且单晶硅的表面上形成有20-200nm厚度的二氧化硅,关于衬底11的材料在此不做具体限定,还可以其他材料,在此不一一列举,可根据实际需要选择合适的衬底11。

[0026] 电极层12、源电极17以及漏电极18的材料为氧化铟锌、氧化铟锡、氧化锌铝、氮化钛、金、银、铜、铝中的一种或两种以上的组合。电极层12的厚度范围为200-400nm,源电极17和漏电极18的厚度范围为200-400nm。关于电极层12、源电极17以及漏电极18的材料在此不做具体限定,还可以其他材料,在此不一一列举。本实施例中,电极层为ITO,源电极17和漏电极18的材料为铝。需要说明的是,源电极17和漏电极18的位置在此不做具体限定,源电极17和漏电极18之间的距离看根据实际进行选择,此为现有技术,在此不再赘述。

[0027] 突触晶体管有源层16的材料为有机半导体材料和无机半导体材料中的一种。关于突触晶体管有源层16的材料在此不一一列举,可根据实际需要进行选择,且突触晶体管有源层16的厚度范围也根据实际需要进行设置即可,突触晶体管有源层16的厚度范围为5-100nm。本实施例中,突触晶体管有源层16由氧化铟半导体制备得到。

[0028] 正摩擦层14采用更易失去电子的材料制备得到。负摩擦层15采用更易得到电子的材料制备得到。关于正摩擦层14和负摩擦层15的材料在此不一一列举。关于正摩擦层14和负摩擦层15的厚度的范围为0.1-1mm,在此不做具体限定,可根据实际需要进行设置。本实施例中,正摩擦层14为铜箔,负摩擦层15为聚四氟乙烯薄膜。

[0029] 关于制备上述的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管的制备方法,下面进行详细说明。

[0030] 步骤一、清洗并亲水处理衬底

[0031] 提供表面具有20-200nm厚的二氧化硅的单晶硅作为衬底;将其完全浸入丙酮溶液中,超声清洗10-30min;再将衬底转移并完全浸入异丙醇溶液中,超声清洗10-30min;之后将衬底完全浸入乙醇溶液中,超声清洗10-30min;最后用去离子水冲洗衬底并用氮气吹干,从而完成了对衬底的清洗。

[0032] 将清洗完成的衬底放入紫外臭氧清洗机内,并进行10-30min的表面臭氧清洗,得到表面亲水的衬底。

[0033] 步骤二、制备电极层

[0034] 使用磁控溅射工艺,在衬底表面上制备200-400nm厚的ITO得到电极层。需要说明的是,若需要制备具有图形的电极层,则可以在制备过程中在衬底上设置具有相应图案的掩模版。

[0035] 步骤三、制备共享中间层

[0036] 先将具有ITO的衬底在紫外臭氧清洗机内进行10-30min的表面臭氧清洗;制备氧化铝前驱体溶液,具体的,将0.23-2.3g的硝酸铝九水合物和0.094-0.94g的尿素溶于5-50ml的乙醇中并进行5-20分钟的磁力搅拌,通过0.22 $\mu$ m孔径的聚四氟乙烯过滤嘴过滤后;将氧化铝前驱体溶液滴在ITO表面上并在2000-6000rpm下进行旋涂10-60s;放置在加热板上,250-350 $^{\circ}$ C下退火处理,得到20-80nm厚的氧化铝薄膜。

[0037] 需要说明的是,若需要制备具有图形的共享中间层,则可以在臭氧清洗过程中在ITO表面上设置具有相应图案的掩模版,进行选择清洗,则可得到具有图形的氧化铝薄膜。

[0038] 步骤四、制备突触晶体管有源层

[0039] 制备氧化铟半导体前驱体溶液,具体的,将0.22-2.2g的硝酸铟水合物溶于5ml的去离子水中,搅拌均匀即可;通过喷墨打印在氧化铝薄膜的靠近一侧的位置上喷涂氧化铟半导体前驱体溶液;250-350 $^{\circ}$ C下退火处理,得到5-100nm厚的突触晶体管有源层。

[0040] 需要说明的是,若需要制备具有图形的突触晶体管有源层,喷墨打印即可实现,方法为现有技术,在此不再赘述。

[0041] 步骤五、制备源电极和漏电极

[0042] 先在突触晶体管有源层上覆盖掩模版,然后在氧化铝薄膜进行电子束蒸镀200-400nm厚的铝作为源电极和漏电极。源电极和漏电极也可以具有图形,具体图形可根据实际进行选择。

[0043] 步骤六、制备正摩擦层

[0044] 通过在氧化铝薄膜上的指定区域覆盖具有单面粘性的铜箔,其厚度为0.1-1mm,得到正摩擦层。

[0045] 步骤七、制备负摩擦层

[0046] 通过在氧化铝薄膜上的指定区域覆盖具有单面粘性的聚四氟乙烯薄膜,其厚度为0.1-1mm,得到负摩擦层。

[0047] 本发明将突触晶体管和摩擦纳米发电机集成,通过共享突触晶体管介电层和摩擦纳米发电机中间层,既减少了制备工艺流程和成本,也提升了摩擦纳米发电机输出。请参见图2和图3,图2为无共享中间层的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管的开路电压图,其作为空白对照,电压峰值约为15伏特。图3为具有氧化铝高介电材料作为共享中间层的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管开路电压图,电压峰值约为30伏特,相比无共享中间层,氧化铝高介电材料作为共享中间层显著提升了开路电压,产生了约为100%的开路电压增幅,即提升了摩擦纳米发电机输出。

[0048] 通过摩擦纳米发电机采集正电荷或负电荷,从而实现突触晶体管的兴奋性后突触电流增强或抑制效果,达到摩擦纳米发电自驱动突触晶体管的集成效果。请参见图4,本实施例得到的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管具有增强特性,通过使用正摩擦材料摩擦负摩擦层,负摩擦层感应产生的正向刺激脉冲信号作用于突触晶体管的栅极从而产生了如图4所示的兴奋性后突触电流的增强效果。请参见图5,本实施例得到的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管具有衰减特性,通过使用负摩擦材料摩擦正摩擦层,正摩擦层感应产生的负向刺激脉冲信号作用于突触晶体管的栅极从而产生了如图5所示的兴奋性后突触电流的抑制效

果。需要说的是,兴奋性后突触电流和兴奋性突触后电流完全相同,都是翻译的用词,在此不做区分。

[0049] 摩擦纳米发电机具有成本低、高效率、无污染等优点并在将机械运动能量收集上具有巨大的优势。因此,摩擦纳米发电机在自驱动的柔性电子器件以及智能可穿戴设备的应用收到了越来越多的关注。本发明将摩擦纳米发电机和仿生突触器件集成,得到既能对外界刺激响应并收集能量从而产生电信号,也能在产生的电信号驱动下实现仿生突触功能的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管。因为摩擦纳米发电机结构的引入,实现了对于外界刺激的响应以及能量收集,从而不需要额外供电,便可驱动突触晶体管并产生兴奋性后突触电流,实现诸如突触抑制,增强等仿生功能。

[0050] 综上,(1)将摩擦纳米发电机和仿生突触晶体管集成,得到的自驱动摩擦纳米发电突触晶体管结构简单,轻便且柔性,能够自驱动实现仿生突触晶体管功能。

[0051] (2)无需外部供电即可产生电荷转移从而驱动突触晶体管并产生兴奋性后突触电流。

[0052] (3)共享中间层使用高介电材料,提升了摩擦纳米发电机的输出电压并能够实现为突触晶体管的突触功能。

[0053] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0054] 以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对发明专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。因此,本发明的保护范围应以所附权利要求为准。

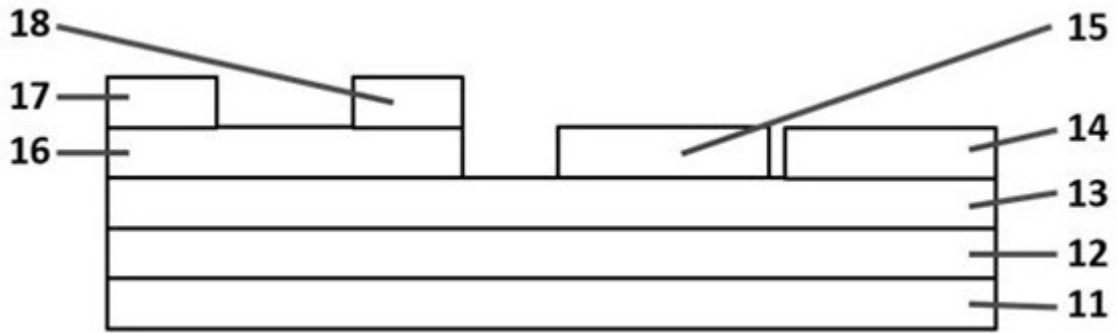


图1

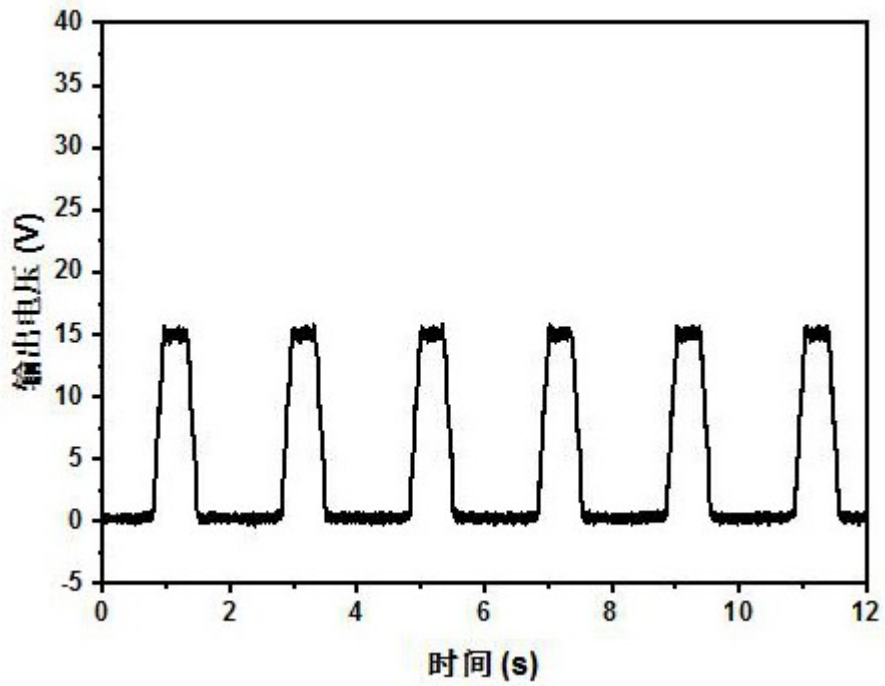


图2



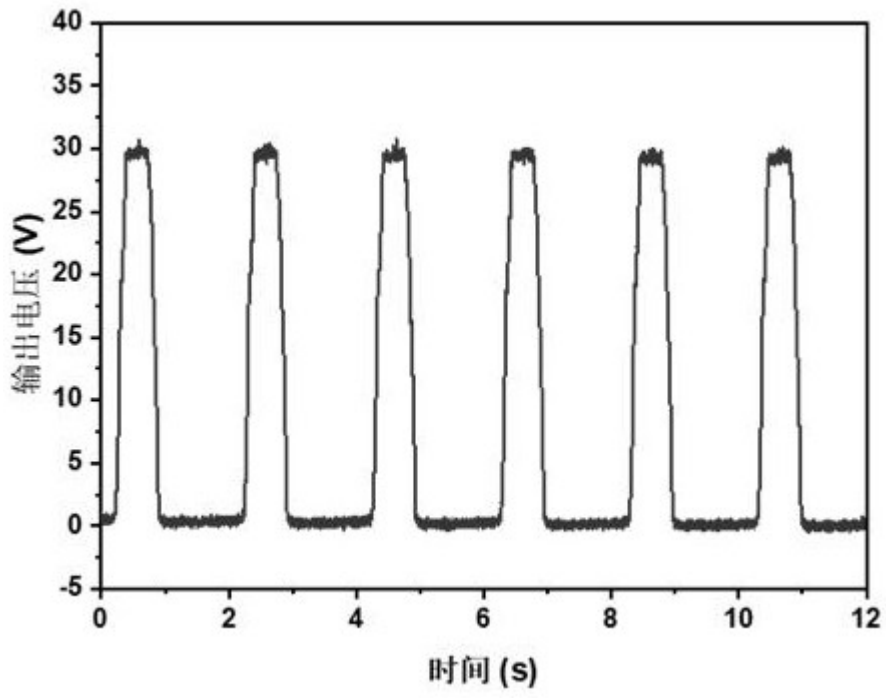


图3

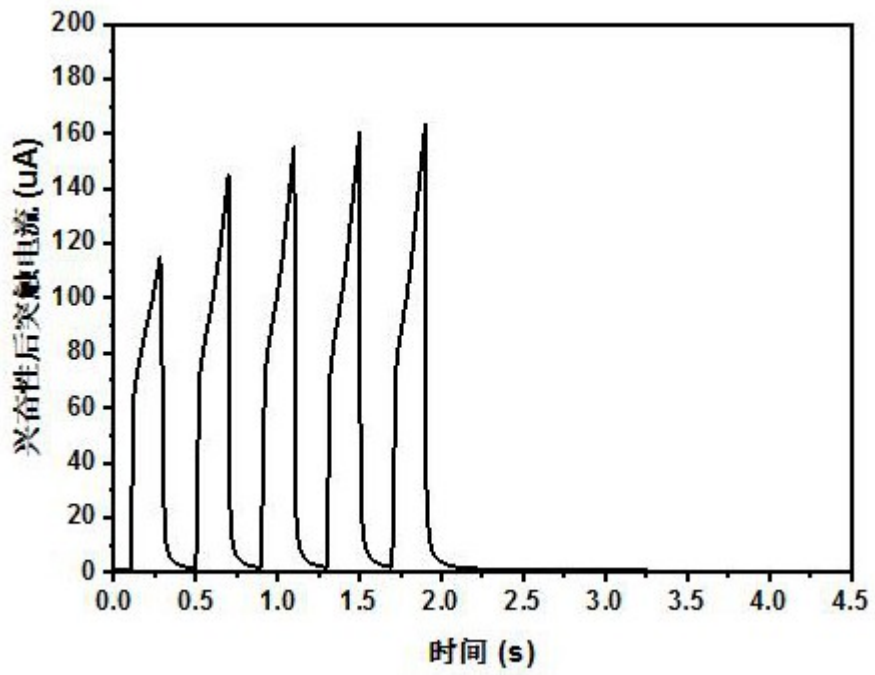


图4

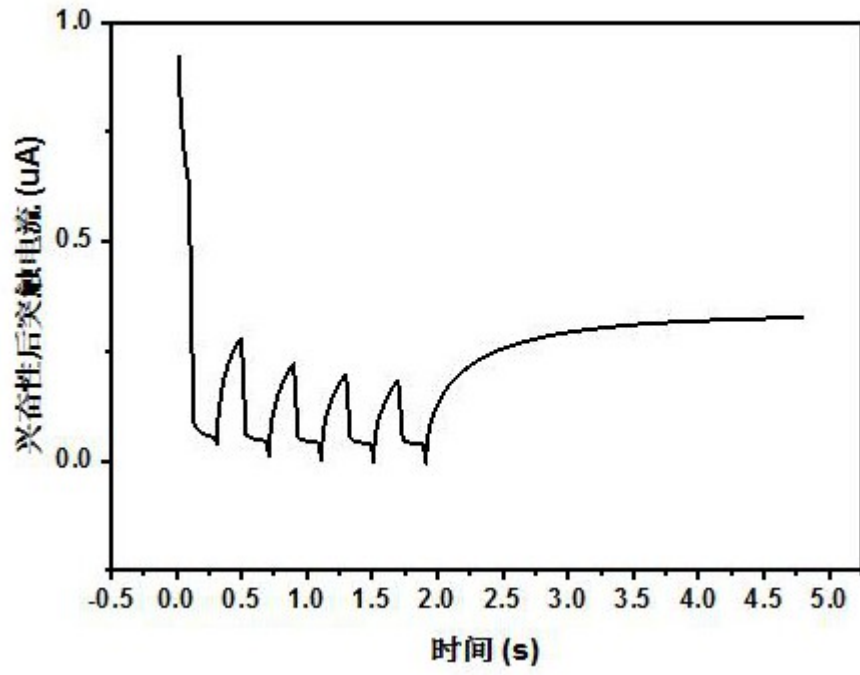


图5