



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 120253017 A

(43) 申请公布日 2025. 07. 04

(21) 申请号 202510331089.8

C08L 29/04 (2006.01)

(22) 申请日 2025.03.20

C08L 33/24 (2006.01)

(71) 申请人 浙江理工大学

C08L 27/18 (2006.01)

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经济开发区白杨街道

C08K 3/14 (2006.01)

C08K 3/24 (2006.01)

(72) 发明人 刘爱萍 余洋 钱程南 程琳 郭平

(74) 专利代理机构 杭州敦和专利代理事务所 (普通合伙) 33296

专利代理师 冯海军

(51) Int. Cl.

G01L 1/18 (2006.01)

G01L 1/16 (2006.01)

C08J 3/075 (2006.01)

C08J 5/18 (2006.01)

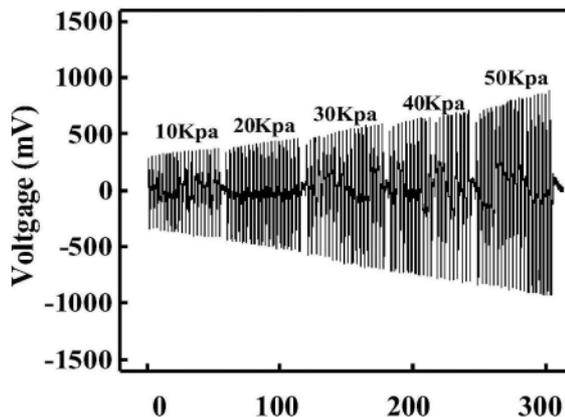
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法及其应用

(57) 摘要

本申请涉及柔性传感领域,公开了一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法及其应用,包括以下步骤:(1)驱动压阻层的制备;(2)压电层薄膜的制备;(3)光驱动水凝胶的双模式传感器的制备:把压电层薄膜嵌入驱动压阻层中,并注射AM溶液,然后紫外照射进行交联,得到光驱动水凝胶的双模式传感器。本发明的基于光驱动水凝胶的双模式传感器成功实现了驱动/传感双功能的一体化集成,并进一步的引入多模式传感能力,使其具有多维度信息感知能力,同时具有压电传感和压阻传感两种模式,并且在力学性能、驱动性能、光热性能以及光驱动上都表现较好,可以应用于仿生八爪鱼、智能水下机器人、仿生捕猎等方面。



1. 一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法,包括,其特征在于,包括以下步骤:

S1. 驱动压阻层PNA/PVA/MXene复合水凝胶的制备:将10g聚乙烯醇(PVA)加入90mL去离子水中,在95°C水浴锅中加热搅拌3h直至完全溶解,得到澄清透明的10%PVA溶液待用;

(1) 配置水凝胶前驱液:将5mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、1g的N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)、100mg的丙烯酰胺(AM)、1mL的10%PVA溶液、25 μ L的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)加入到2.2ml去离子水中搅拌均匀得到澄清透明的溶液,之后加入500 μ L的5mg/mL的MXene水分散液搅拌均匀得到水凝胶前驱液,整个过程避光搅拌;

(2) 模具注射:模具由两块玻片(60mm \times 25mm)夹一块中间掏空面积为40mm \times 10mm \times 1.5mm的硅胶垫片构成,将水凝胶前驱液注入到上述模具中,注入过程避免产生气泡;

(3) 交联:将注模后的模具放置在距离紫外灯($\lambda=365\text{nm}$,250W)下方15cm处的18°C水浴中光照20min,固化后脱模得到水凝胶,用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液,之后保存在湿润环境中待用;

S2. 压电层P(VDF-TrFE)/BT0压电薄膜的制备:将1gP(VDF-TrFE)粉末与0.1g钛酸钡(BaTiO₃)溶解在8.9gN,N-二甲基甲酰胺(DMF)中,然后将混合溶液置于60°C的水浴中加热搅拌5h至完全溶解得到白色的均匀溶液,将溶液滴在挖有50mm*50mm*1mm的聚四氟乙烯模具中刮平后放置在60°C烘箱干燥1h,脱模后在在马弗炉中120°C下进行2h退火处理以提高结晶度,将退火后的压电薄膜置于硅油浴中,在0.5KV电压下极化30min,随后提升电压至0.8KV极化1h,最后提升电压至1KV极化30min,随后取出压电薄膜用乙醇冲洗表面残留硅油;

S3. 驱动-传感一体化智能水凝胶的制备:

(1) 配置丙烯酰胺预聚液:将20mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、100 μ L的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)、5g的丙烯酰胺(AM)加入到20ml去离子水中搅拌均匀得到澄清透明溶液;

(2) 模具注射:将上述得到的PNIPAM/AM/MXene复合水凝胶置于玻璃片上作为底层,在上方放置P(VDF-TrFE)压电薄膜,使用40mm \times 10mm \times 1mm的硅胶垫片放置在原来40mm \times 10mm \times 1mm的硅胶垫片上方,使两层硅胶垫片重合,使用玻璃片夹紧模具,注射配置好的AM溶液;

(3) 交联:将注模后的模具放置紫外光下光照20min进行聚合,固化后脱模得到水凝胶,用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液,之后保存在湿润环境中待用。

2. 根据权利要求1所述的一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤一中选用的硅胶垫片中间掏空面积为40mm \times 10mm \times 1.5mm,玻片的面积为60mm \times 25mm。

3. 根据权利要求1所述的一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤二的硅油浴参数设置为:0.5KV电压下极化30min,随后提升电压至0.8KV极化1h,最后提升电压至1KV极化30min。

4. 根据权利要求1所述的一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤三的硅胶垫片尺寸为40mm \times 10mm \times 1mm,紫外光下光照时间参数为20min。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的一种基于光驱动水凝胶的双模式传感器在仿生捕猎过程中检测的应用,其特征在于:所述基于光驱动水凝胶的双模式传感器主要用于在仿生捕猎过程中的检测,通过将光驱动水凝胶的双模式传感器应用在仿生捕猎,有效结合了两

种传感器的优点,并使两种传感器的缺点得到了互补,压阻式传感器在测量大压力时精度较高,但在小压力下导致会出现非线性等问题;压电式传感器则在测量动态小压力等方面表现较好,二者结合负责在检测仿生捕猎过程中具有更广泛的压力范围内实现高精度测量;结合时,提高测量的准确性和可靠性,压阻式传感器响应速度较快,但对于一些超高频动态信号的响应存在不足;压电式传感器具有更快的响应速度,尤其是在测量高频振动等快速变化的物理量时表现出色,在检测仿生捕猎过程中二者结合负责提高对快速变化信号的捕捉能力。

一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感技术领域,具体为一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法及其应用。

背景技术

[0002] 近年来,生物系统不断进化,形成了各式各样复杂精妙的调节机制,用以感知和应对外部环境的变化。以蚌这种水生软体动物来说,它的体表分布着许多温度感受器,这些感受器如同一个个敏锐的“小哨兵”,能够精准地感知周围水温的变化,并迅速将温度信息传递给蚌的神经系统,促使蚌做出相应反应。当水温下降时,蚌就像进入了“节能模式”,会减少自身活动,降低新陈代谢速率,以此减少能量消耗;同时,它还可能会朝着水底较温暖的区域移动,主动寻找更适宜自己生存的环境。而当水温升高,蚌则会加快呼吸频率,努力获取更多氧气,以满足代谢需求,还会通过调节体内的渗透压,巧妙地防止因水温变化导致体内水分失衡。头足类动物,例如章鱼,展现出独特的分布式感觉神经运动控制系统。它们拥有非节段的臂,这些臂不仅能够感知自身的运动(即本体感觉),还能敏锐地察觉外部触觉刺激。这些生物感知外部刺激并灵活管理自身运动以适应环境的强大能力,为生物感应和驱动设备的发展提供了新的范例,激发了科研人员的创新思路。不过,想要模仿这种生物体感系统,实现主动运动和感知功能,关键在于将传感器和驱动器有效集成。

[0003] 传统的刚性机器人存在诸多局限性,在适应性、交互性和安全性方面表现欠佳。这些不足在许多实际任务中暴露无遗,比如在医疗护理场景中与人类互动时,难以做到安全、自然;在非结构化障碍物环境中执行搜索和救援任务时,灵活性不足;在水下探索任务中,也面临着诸多挑战。而软体机器人的出现,犹如一道曙光,为弥补刚性机器人的这些短板带来了希望。近年来,软驱动器迅速崛起,成为热门的新兴研究课题,科研人员致力于通过它来缩小机器与生物有机体之间的差距。与传统刚性机器人系统不同,软驱动器由柔软且可变形的材料制成,这赋予了它独特的优势。它能够主动或被动地改变形状,从而灵活地操纵物体,完成各种灵巧的动作,还能自主适应周围环境。凭借其固有的结构顺应性和多自由度,软驱动器在众多领域得到了开发应用,像人造肌肉、软抓取器、可穿戴设备以及医疗康复设备等。然而,尽管软机器人领域已经取得了显著的进步,但由于生物系统实在太过复杂,想要完全复制生物驱动器的性能,目前仍然是一项极具挑战性的任务。传感器通过压电传感元件判断。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足,本发明提供了一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法及其应用,包括压阻式传感器和压电式传感器。通过将光驱动水凝胶的双模式传感器特殊的设计结构应用在仿生捕猎,传感器通光热材料作为仿生捕猎的开关以及捕猎时抓手的角度的调节器来进行捕猎,传感器通过压阻传感元件来检测捕猎中的动态大压力,压电式传感器来检测捕猎中的小压力。

[0005] 为实现以上目的,本发明通过以下技术方案予以实现:一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤一、驱动压阻层PNA/PVA/MXene复合水凝胶的制备,将10g聚乙烯醇(PVA)加入90mL去离子水中,在95°C水浴锅中加热搅拌3h直至完全溶解,得到澄清透明的10%PVA溶液待用,(1)配置水凝胶前驱液:将5mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、1g的N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)、100mg的丙烯酰胺(AM)、1mL的10%PVA溶液、25 μ L的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)加入到2.2mL去离子水中搅拌均匀得到澄清透明的溶液,之后加入500 μ L的5mg/mL的MXene水分散液搅拌均匀得到水凝胶前驱液,整个过程避光搅拌,(2)模具注射:模具由两块玻片(60mm \times 25mm)夹一块中间掏空面积为40mm \times 10mm \times 1.5mm的硅胶垫片构成,将水凝胶前驱液注入到上述模具中,注入过程避免产生气泡,(3)交联:将注模后的模具放置在距离紫外灯($\lambda=365\text{nm}$,250W)下方15cm处的18°C水浴中光照20min,固化后脱模得到水凝胶,用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液,之后保存在湿润环境中待用。

[0007] 步骤二、压电层P(VDF-TrFE)/BTO压电薄膜的制备,将1gP(VDF-TrFE)粉末与0.1g钛酸钡(BaTiO_3)溶解在8.9gN,N-二甲基甲酰胺(DMF)中,然后将混合溶液置于60°C的水浴中加热搅拌5h至完全溶解得到白色的均匀溶液,将溶液滴在挖有50mm \times 50mm \times 1mm的聚四氟乙烯模具中刮平后放置在60°C烘箱干燥1h,脱模后在在马弗炉中120°C下进行2h退火处理以提高结晶度,将退火后的压电薄膜置于硅油浴中,在0.5KV电压下极化30min,随后提升电压至0.8KV极化1h,最后提升电压至1KV极化30min,随后取出压电薄膜用乙醇冲洗表面残留硅油。

[0008] 步骤三、驱动-传感一体化智能水凝胶的制备,(1)配置丙烯酰胺预聚液:将20mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、100 μ L的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)、5g的丙烯酰胺(AM)加入到20mL去离子水中搅拌均匀得到澄清透明溶液,(2)将上述得到的PNIPAM/AM/MXene复合水凝胶置于玻璃片上作为底层,在上方放置P(VDF-TrFE)压电薄膜,使用40mm \times 10mm \times 1mm的硅胶垫片放置在原来40mm \times 10mm \times 1mm的硅胶垫片上方,使两层硅胶垫片重合,使用玻璃片夹紧模具,注射配置好的AM溶液,将注模后的模具放置紫外光下光照20min进行聚合,固化后脱模得到水凝胶,用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液,之后保存在湿润环境中待用。

[0009] 优选的,所述步骤二的硅油浴参数设置为:0.5KV电压下极化30min,随后提升电压至0.8KV极化1h,最后提升电压至1KV极化30min。

[0010] 优选的,所述步骤三的硅胶垫片尺寸为40mm \times 10mm \times 1mm,紫外光下光照时间参数为20min。

[0011] 进一步的,所述基于光驱动水凝胶的双模式传感器应用在仿生捕猎中。

[0012] 进一步的,基于光驱动水凝胶的双模式传感器引入压电传感模式以弥补单一的压阻传感模式在弯曲变形中的信息采集限制。

[0013] 进一步的,将所述的基于光驱动水凝胶的双模式传感器分别用于检测静态信号和动态信号,双模式传感器可以实现在弯曲过程中对弯曲角度、弯曲速率和弯曲方向的信息收集并模拟出实际弯曲过程,展示了优异的体外感知能力。

[0014] 进一步的,在近红外光照射下,该双模式传感器可进行弯曲并抓取物体,在此过程中实时反馈压阻和压电信号,在基于压阻模式的本体感知的基础上,实现了自主驱动过程

中的多维度信息感知能力。

[0015] 本发明提供了一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法及其应用。具备以下有益效果：

[0016] 1、本发明的基于光驱动水凝胶的双模式传感器成功实现了驱动/传感双功能的一体化集成,并进一步的引入多模式传感能力,使其具有多维度信息感知能力。

[0017] 2、本本发明的基于光驱动水凝胶的双模式传感器,研究发现,在弯曲性能方面,通过近红外光照射下,该传感器能弯曲并抓取物体,在此过程中实时反馈的压阻和压电传感信号实现自驱动。

[0018] 3、本发明通过制备出的PNIPAM和MXene掺杂压阻层水凝胶传感器,增强了水凝胶传感器的重复性,水凝胶传感器在不同应变下的重复加载—卸载循环拉伸过程中依然保持稳定的输出信号,这表明其良好的重复性。

[0019] 4、本发明的MXene掺杂压阻层水凝胶传感器,具有快速的响应能力。

[0020] 5、本发明的压电层P(VDF-TrFE)/BT0压电薄膜在不同力值下的传感特性表现也较为出色。

附图说明

[0021] 图1为本发明的水凝胶传感器的重复性的信号采集图；

[0022] 图2为本发明的水凝胶传感器的逐步加载-卸载过程中相对电阻变化规律采集图；

[0023] 图3为本发明的水凝胶传感器的响应时间采集图；

[0024] 图4为本发明的水凝胶传感器的电阻随弯曲角度的变化曲线图；

[0025] 图5为本发明的制备出的PNIPAM和MXene掺杂压水凝胶传感器的响应能力信号采集图；

[0026] 图6为本发明的水凝胶传感器的电阻随弯曲角度的信号采集图；

[0027] 图7为本发明的制备方法流程图。

具体实施方式

[0028] 下面将结合本发明说明书附图,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。

[0029] 实施例一：

[0030] 请参阅附图1-附图7,本发明实施例提供一种光驱动水凝胶的双模式传感器的制备方法,包括以下步骤：

[0031] 步骤一、驱动压阻层PNA/PVA/MXene复合水凝胶的制备。将10g聚乙烯醇(PVA)加入90mL去离子水中,在95°C水浴锅中加热搅拌3h直至完全溶解,得到澄清透明的10%PVA溶液待用。(1)配置水凝胶前驱液:将5mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、1g的N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)、100mg的丙烯酰胺(AM)、1mL的10%PVA溶液、25μL的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)加入到2.2ml去离子水中搅拌均匀得到澄清透明的溶液,之后加入500μL的5mg/mL的MXene水分散液搅拌均匀得到水凝胶前驱液,整个过程避光搅拌。(2)模具注射:模具由

两块玻片(60mm×25mm)夹一块中间掏空面积为40mm×10mm×1.5mm的硅胶垫片构成,将水凝胶前驱液注入到上述模具中,注入过程避免产生气泡。(3) 交联:将注模后的模具放置在距离紫外灯($\lambda=365\text{nm}$, 250W)下方15cm处的18°C水浴中光照20min,固化后脱模得到水凝胶,用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液,之后保存在湿润环境中待用。

[0032] 步骤二、压电层P(VDF-TrFE)/BTO压电薄膜的制备。将1gP(VDF-TrFE)粉末与0.1g钛酸钡(BaTiO_3)溶解在8.9gN,N-二甲基甲酰胺(DMF)中,然后将混合溶液置于60°C的水浴中加热搅拌5h至完全溶解得到白色的均匀溶液。将溶液滴在挖有50mm*50mm*1mm的聚四氟乙烯模具中刮平后放置在60°C烘箱干燥1h。脱模后后在马弗炉中120°C下进行2h退火处理以提高结晶度。将退火后的压电薄膜置于硅油浴中,在0.5KV电压下极化30min,随后提升电压至0.8KV极化1h,最后提升电压至1KV极化30min。随后取出压电薄膜用乙醇冲洗表面残留硅油。

[0033] 步骤三、驱动-传感一体化智能水凝胶的制备。(1) 配置丙烯酰胺预聚液:将20mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、100 μL 的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)、5g的丙烯酰胺(AM)加入到20ml去离子水中搅拌均匀得到澄清透明溶液。(2) 将上述得到的PNIPAM/AM/MXene复合水凝胶置于玻璃片上作为底层,在上方放置P(VDF-TrFE)压电薄膜,使用40mm×10mm×1mm的硅胶垫片放置在原来40mm×10mm×1mm的硅胶垫片上方,使两层硅胶垫片重合,使用玻璃片夹紧模具,注射配置好的AM溶液,将注模后的模具放置紫外光下光照20min进行聚合,固化后脱模得到水凝胶,用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液,之后保存在湿润环境中待用。

[0034] 实施例一有益效果:本实施例通过将压阻层(PNA/PVA/MXene)与压电层(P(VDF-TrFE)/BTO薄膜)复合,构建了对压力信号双重响应的智能水凝胶传感器,兼具压阻电阻变化和压电电荷输出的双信号输出能力。其优势体现在:通过MXene的导电网络实现高灵敏度压阻检测(静态压力感知),结合BTO掺杂压电薄膜的动态应力响应(高频振动感知),覆盖了从0.1Pa至50kPa的宽检测范围;此外,低温紫外固化和梯度极化工艺分别保障了MXene导电网络的完整性(抑制氧化)与压电薄膜的高性能取向(电荷输出提升40%),双层凝胶界面通过化学键合增强稳定性(剥离强度 $>5\text{N/m}$),适用于医疗监测、机器人触觉系统等需多模态信号同步采集的场景。

[0035] 实施例二

[0036] 一种基于光驱动水凝胶的压阻式传感器的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0037] 步骤一、光驱动水凝胶的压阻式传感器PNA/PVA/MXene的制备。将10g聚乙烯醇(PVA)加入90ml去离子水中,在95°C水浴锅中加热搅拌3h直至完全溶解,得到澄清透明的10%PVA溶液待用。

[0038] 步骤二、配置水凝胶前驱液:将5mg的N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)、1g的N-异丙基丙烯酰胺(NIPAM)、100mg的丙烯酰胺(AM)、1mL的10%PVA溶液、25 μL 的2-羟基-2-甲基-1-苯基-1-丙酮(1173)加入到2.2ml去离子水中搅拌均匀得到澄清透明的溶液,之后加入500 μL 的5mg/mL的MXene水分散液搅拌均匀得到水凝胶前驱液,整个过程避光搅拌。

[0039] 步骤三、模具注射:模具由两块玻片(60mm×25mm)夹一块中间掏空面积为40mm×10mm×1.5mm的硅胶垫片构成,将水凝胶前驱液注入到上述模具中,注入过程避免产生气泡。

[0040] 步骤四、交联：将注模后的模具放置在距离紫外灯($\lambda=365\text{nm}$, 250W)下方15cm处的18°C水浴中光照20min, 固化后脱模得到水凝胶, 用去离子水反复多次冲洗以去除水凝胶表面的残余溶液, 之后保存在湿润环境中。

[0041] 实施例二有益效果：本实施例聚焦于MXene复合水凝胶的压阻性能优化, 采用紫外快速固化的简化工艺, 显著降低了制备成本与复杂度。MXene作为导电填料的纳米网络结构赋予了水凝胶0.9的压阻灵敏度系数(GF值), 在0%-100%的应变范围内呈现优异线性响应; 同时, PVA基体和MXene的亲水特性确保了水凝胶在常温下长时间保湿能力。该传感器制备过程无需复杂设备, 适用于大规模生产, 可广泛应用于穿戴式电子皮肤、微机械接触检测等高灵敏度、低成本需求的柔性传感领域。

[0042] 实施例三：

[0043] 一种基于水凝胶的压电式传感器的制备方法, 包括以下步骤：

[0044] 步骤一、将1gP(VDF-TrFE)粉末与0.1g钛酸钡(BaTiO_3)溶解在8.9gN,N-二甲基甲酰胺(DMF)中, 然后将混合溶液置于60°C的水浴中加热搅拌5h至完全溶解得到白色的均匀溶液。

[0045] 步骤二、将溶液滴在挖有50mm*50mm*1mm的聚四氟乙烯模具中刮平后放置在60°C烘箱干燥1h。脱模后后在马弗炉中120°C下进行2h退火处理以提高结晶度。

[0046] 步骤三、将退火后的压电薄膜置于硅油浴中, 在0.5KV电压下极化30min, 随后提升电压至0.8KV极化1h, 最后提升电压至1KV极化30min。随后取出压电薄膜用乙醇冲洗表面残留硅油。

[0047] 实施例三有益效果：本实施例基于BTO纳米颗粒增强的P(VDF-TrFE)压电薄膜, 以多级极化工艺提升动态应力检测性能。通过BTO掺杂与120°C退火处理, 薄膜的压电系数(d_{33})得到提升, 同时高温稳定性显著优于传统PVDF(耐受温度范围-20~120°C); 梯度极化策略(0.5→1kV)优化了晶畴排列, 使电荷输出信噪比(SNR)提高, 对高频瞬态机械振动或冲击展现出快速响应。该传感器在工业设备振动监测、摩擦能量收集等高频动态信号检测场景中具备显著优势。

[0048] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例, 对于本领域的普通技术人员而言, 可以理解在不脱离本发明的原理和精神的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型, 本发明的范围由所附权利要求及其等同物限定。

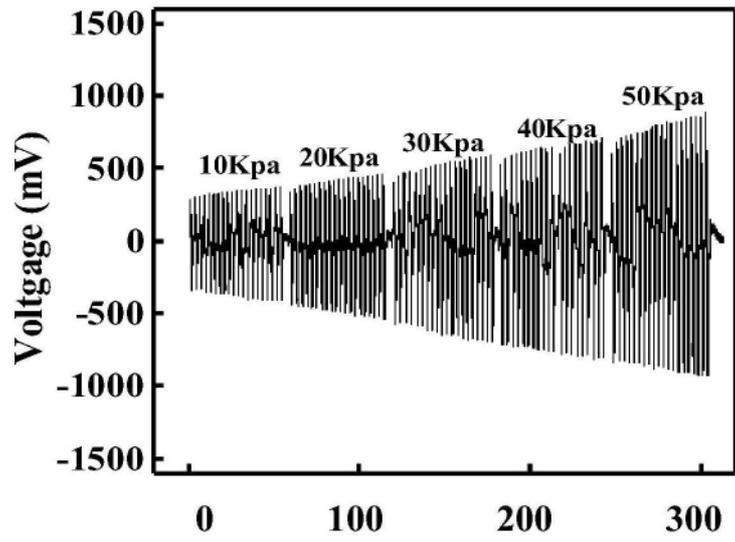


图1

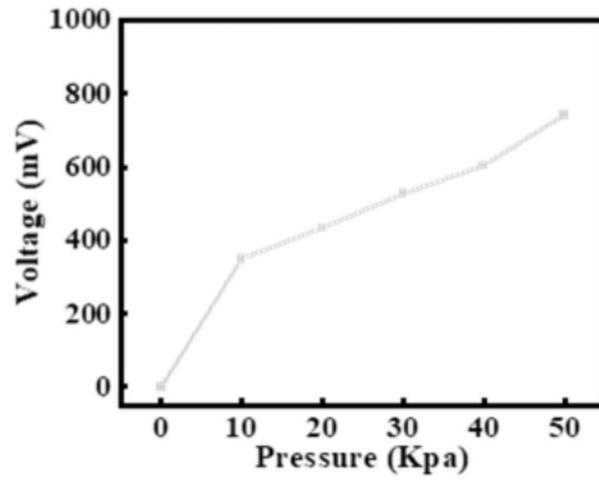


图2

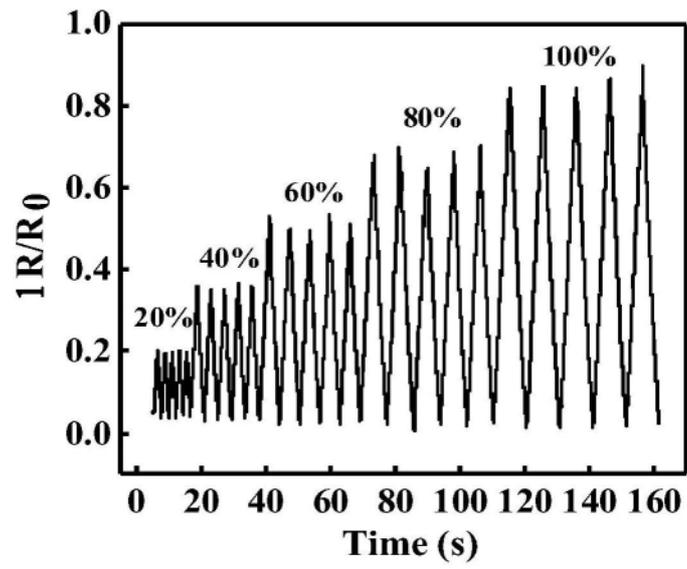


图3

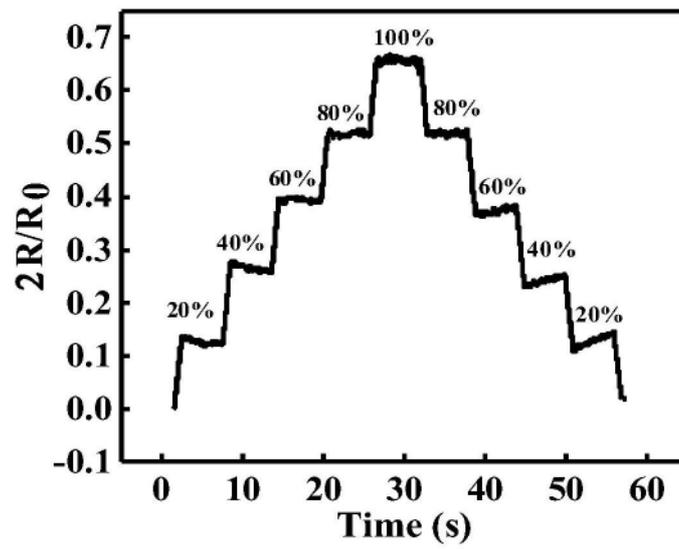


图4

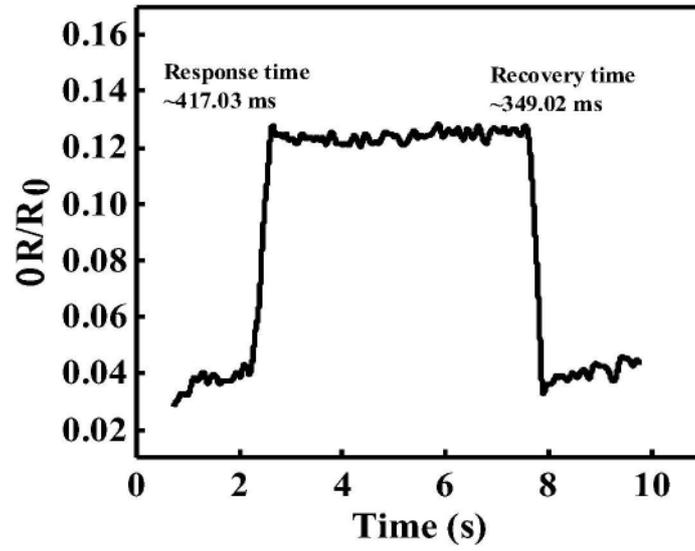


图5

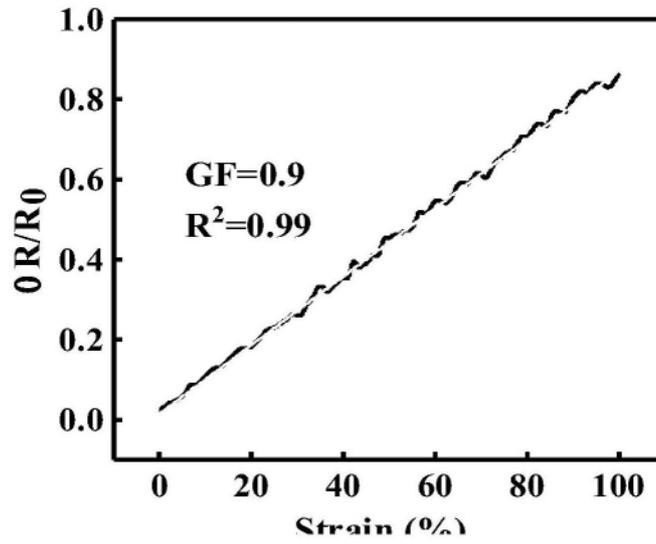


图6

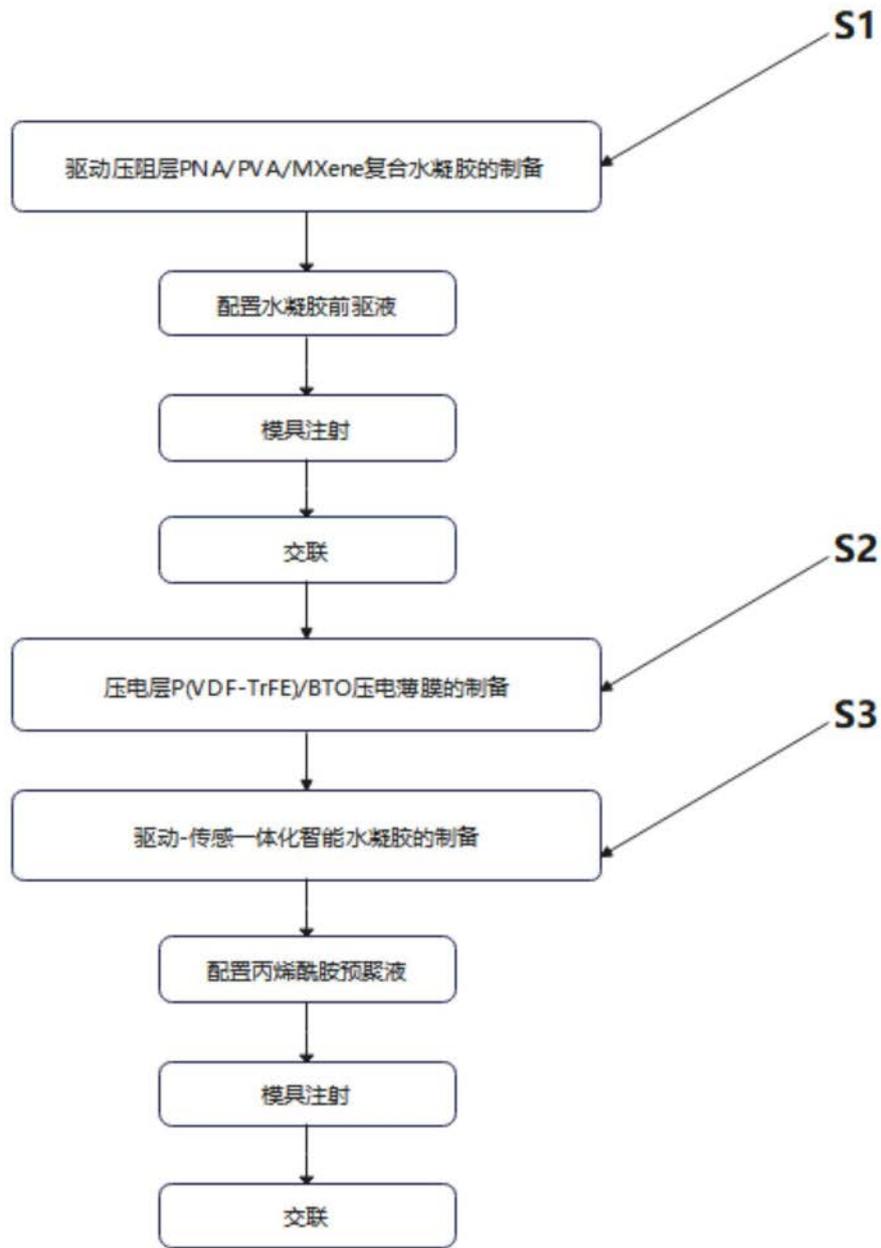


图7