



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118936693 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 12

(21) 申请号 202410950624.3

(22) 申请日 2024.07.16

(71) 申请人 浙江理工大学

地址 310000 浙江省杭州市江干区杭州经
济开发区白杨街道

(72) 发明人 程琳 罗轩梓 刘爱萍 于航
孙强

(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 姜术丹

(51) Int. Cl.

G01L 1/16 (2006.01)

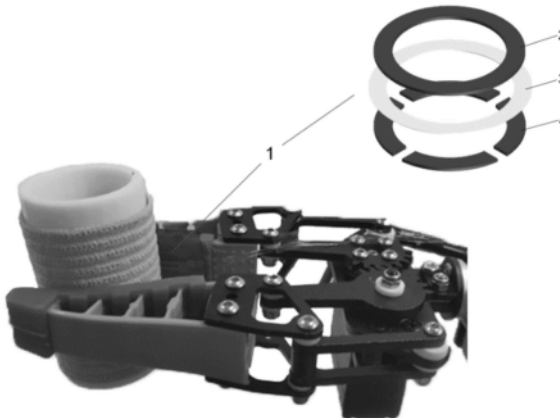
权利要求书1页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

一种柔性压电式三维力传感器及其应用

(57) 摘要

本发明公开了一种柔性压电式三维力传感器及其应用,包括安装于机械爪内侧的柔性压电式三维力传感器,所述柔性压电式三维力传感器包括上电极极板、压电层和铜电极阵列下极板,通过对压电薄膜的极化操作实现了压电性能的提升,同时通过阵列式电极结构设计实现了三维力信息的检测,扩大了传感器的应用范围,将该柔性压电式三维力传感器固定在机械爪上,实现了传感器在织物检测中的应用。



1. 一种柔性压电式三维力传感器, 其特征在于: 包括安装于机械爪内侧的柔性压电式三维力传感器(1), 所述柔性压电式三维力传感器(1) 包括上电极极板(2), 压电层(3) 和铜电极阵列下极板(4)。

2. 根据权利要求1所述的一种柔性压电式三维力传感器, 其特征在于: 所述柔性压电式三维力传感器(1) 通过设计铜电极阵列下极板(4) 的方式使压电式传感器具备了检测三维力的功能。

3. 根据权利要求1所述的一种柔性压电式三维力传感器, 其特征在于: 所述柔性压电式三维力传感器(1) 在机械爪做抓握动作时被挤压, 根据所抓取织物的弹性以及表面粗糙度等特征的不同, 压电信号会有所差异。

4. 根据权利要求1所述的一种柔性压电式三维力传感器, 其特征在于: 对所述柔性压电式三维力传感器(1) 采用四通道电压变化信号进行采集, 得到传感器检测不同织物时的电压波形图。

5. 根据权利要求1所述的一种柔性压电式三维力传感器, 其特征在于, 所述柔性压电式三维力传感器的制备方法包括如下步骤:

①称量0.5g的聚偏二氟乙烯-三氟乙烯PVDF-TrFe溶解于9mL的N,N-二甲基甲酰胺(DMF)中, 再加入0.2-0.8g的钛酸钡 BaTiO_3 , 将上述溶液置于60°C的水浴环境中加热搅拌8小时, 取出该溶液; 随后, 将溶液倒入预先制备好的凹模模具中并放入60°C的烘箱中烘干1小时, 待其完全固化成型, 再将该薄膜置于高压电场的正负极板之间进行极化操作, 完成极化过程后, 将高压电场的电压逐渐降至0V, 薄膜经过极化操作后, 制备出压电薄膜;

②将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率为15-25kHz、电流为0.5-1.5A、速度为10-20mm/s的条件下进行紫外激光切割, 制备得到环形电极阵列作为下极板, 同时制备得到环形电极作为上极板; 用PI胶带将步骤一制得的压电薄膜作为压电层和下极板阵列、上极板三层组装在一起, 制备出柔性压电式三维力传感器。

6. 一种如权利要求1-5任意一项所述柔性压电式三维力传感器的应用, 其特征在于: 所述柔性压电式三维力传感器可以用来测织物的弹性和粗糙性, 不同种类的织物所测得压电信号有所差异, 弹性越大的物体, 所述柔性压电式三维力传感器所测电容值波形脉冲峰值更小, 表面粗糙度越大的物体, 所述柔性压电式三维力传感器波形波动越大, 即曲线越宽, 根据所述传感器织物检测信号中压电信号波形的不同, 可以区分不同弹性和不同表面粗糙度的物体。

一种柔性压电式三维力传感器及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感领域,具体涉及一种柔性压电式三维力传感器及其应用。

背景技术

[0002] 人类能够完成灵巧的操作以及感知触摸物体的物理属性等触觉任务,得益于皮肤对多模态机械刺激的解耦感知能力。这种能力将作用于皮肤表面的压力信号解耦为沿法向的力和沿皮肤表面的剪切力,通过两个方向力的信息来完成对空间中物体的多维感知。

[0003] 然而,传统柔性压力传感器由于结构设计问题,多以二维力识别为主,往往不具备检测三维力的能力,从而在应用上存在短板;其次,传统压阻式传感器以及电容式传感器检测频率较低,不适用于动态信号的检测,而压电适用于动态信号的检测,但较少被应用于三维力信号的检测。传感器以接近人类皮肤的空间感知能力来解耦获得法向力和剪切力依然是一个充满挑战的问题。因此,设计一种适用于动态信号、具备高灵敏度、高稳定性的于一体的具备三维力检测功能柔性传感器,成为了当前亟待解决的技术挑战。

[0004] 为了应对以上挑战,并推动柔性传感器的实际应用,本发明提出一种柔性压电式三维力传感器。

发明内容

[0005] 为了克服上述现有技术中的缺陷,本发明提供了一种柔性压电式三维力传感器及其制备方法,制备柔性压电式三维力传感器,通过对压电薄膜的极化操作实现了压电性能的提升,同时通过阵列式电极结构设计实现了三维力信息的检测,扩大了传感器的应用范围。

[0006] 技术方案

[0007] 一种柔性压电式三维力传感器,包括安装于机械爪内侧的柔性压电式三维力传感器,所述柔性压电式三维力传感器包括上电极极板、压电层和铜电极阵列下极板。

[0008] 进一步的,所述柔性压电式三维力传感器在机械爪做抓握动作时被挤压,根据所抓取织物的弹性以及表面粗糙度等特征的不同,压电信号会有所差异,不同的电压值可以反映物体的弹性以及表面粗糙度等特征。

[0009] 进一步的,对所述柔性压电式三维力传感器的四通道电压变化信号进行采集,得到传感器检测不同织物时的电压波形图,进而反映所检测织物的弹性及其表面粗糙度等特征。

[0010] 一种柔性压电式三维力传感器,其特征在于,所述传感器包括如下步骤:

[0011] 1) 称量0.5g的聚偏二氟乙烯-三氟乙烯PVDF-TrFe溶解于9mL的N,N-二甲基甲酰胺DMF中,再加入0.2-0.8g的钛酸钡BaTiO₃,将上述溶液置于60℃的水浴环境中加热搅拌8小时,取出该溶液;随后,将溶液倒入预先制备好的凹模模具中并放入60℃的烘箱中烘干1小时,待其完全固化成型,之后,将该薄膜置于高压电场的正负极板之间进行极化操作,完成极化过程后,将高压电场的电压逐渐降至0V,薄膜经过极化操作后,制备出压电薄膜;

[0012] 2) 将附着在聚酰亚胺 (PI) 基板上的铜带在频率为15-25kHz、电流为0.5-1.5A、速度为10-20mm/s的条件下进行紫外激光切割,制备得到环形电极阵列作为下极板,同时制备得到环形电极作为上极板;用PI胶带将步骤一制得的压电薄膜作为压电层和下极板阵列、上极板三层组装在一起,制备出柔性压电式三维力传感器。

[0013] 如上述所述柔性压电式三维力传感器测试织物,不同种类的织物所测得压电信号有所差异,弹性越大的物体,所述柔性压电式三维力传感器所测电容值波形脉冲峰值更小,表面粗糙度越大的物体,所述柔性压电式三维力传感器波形波动越大,即曲线越宽,根据所述传感器织物检测信号中压电信号波形的不同,可以区分不同弹性和不同表面粗糙度的物体。

[0014] 有益效果

[0015] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0016] 1. 制备出圆环状钛酸钡薄膜作为压电薄膜层,并将其经过高压电场的极化,通过极化操作,有效提高了压电薄膜层的灵敏度和响应时间性能;

[0017] 2. 通过制备圆环状铜电极上极板和圆环状铜电极阵列下极板电极结构,使压电式传感器具备感知三维力的能力,可以通过四通道电极传感信号的差异感知力的大小与方向信息;

[0018] 3. 应用柔性压电式三维力传感器四通道信号波形的不同,来检测不同种类织物的弹性及表面粗糙度等特征。

附图说明

[0019] 图1是本发明一种柔性压电式三维力传感器的结构示意图;

[0020] 图2是传感器压电薄膜极化前灵敏度性能的测试图像;

[0021] 图3是传感器压电薄膜极化后灵敏度性能的测试图像;

[0022] 图4是传感器压电薄膜极化前响应时间性能的测试图像;

[0023] 图5是传感器压电薄膜极化后响应时间性能的测试图像;

[0024] 图6是压电传感单元在阶梯力值下的电压与受力关系图像;

[0025] 图7是压电传感单元的灵敏度性能测试曲线图;

[0026] 图8是压电传感单元的响应时间性能测试图像;

[0027] 图9是压电传感单元在不同频率动态力下电压与受力关系图像;

[0028] 图10是压电传感单元的重复性能的测试图像;

[0029] 图11是压电传感单元在法向力作用下的压电信号图像;

[0030] 图12是压电传感单元在与法线成30度夹角压力作用下的压电信号图像;

[0031] 图13是压电传感单元在与法线成45度夹角压力作用下的压电信号图像;

[0032] 图14是压电传感单元在与法线成60度夹角压力作用下的压电信号图像;

[0033] 图15是压电传感单元识别织物牛仔时的压电信号图像;

[0034] 图16是压电传感单元识别织物条绒时的压电信号图像;

[0035] 图17是压电传感单元识别织物欧根纱时的压电信号图像;

[0036] 图18是压电传感单元识别织物尼龙时的压电信号图像;

[0037] 图19是压电传感单元识别织物毛时的压电信号图像;

- [0038] 图20是压电传感单元识别织物棉麻时的压电信号图像；
[0039] 图21是压电传感单元识别织物太空棉时的压电信号图像；
[0040] 图22是压电传感单元识别织物棉时的压电信号图像；
[0041] 附图标号
[0042] 1、柔性压电式三维力传感器2、上电极极板3、压电层4、铜电极阵列下极板。

具体实施方式

[0043] 为更好地说明阐述本发明内容,下面结合附图和实施实例进行展开说明:

[0044] 如图1所示,本发明公开了一种柔性压电式三维力传感器,包括安装于机械爪内侧的柔性压电式三维力传感器1,所述柔性压电式三维力传感器1包括上电极极板2,压电层3和铜电极阵列下极板4。

[0045] 一种柔性压电式三维力传感器的制备方法,包括如下步骤:

[0046] 1.称量0.5g的聚偏二氟乙烯-三氟乙烯(PVDF-TrFe)溶解于9mL的N,N-二甲基甲酰胺(DMF)中,再加入0.2-0.8g的钛酸钡(BaTiO_3),将上述溶液置于60℃的水浴环境中加热搅拌8小时,取出该溶液。随后,将溶液倒入预先制备好的凹模模具中并放入60℃的烘箱中烘干1小时,待其完全固化成型,之后,将该薄膜置于高压电场的正负极板之间进行极化操作,完成极化过程后,将高压电场的电压逐渐降至0V,薄膜经过极化操作后,制备出压电薄膜;

[0047] 2.将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率为15-25kHz、电流为0.5-1.5A、速度为10-20mm/s的条件下进行紫外激光切割,制备得到环形电极阵列作为下极板,同时制备得到环形电极作为上极板。用PI胶带将步骤一制得的压电薄膜作为压电层和下极板阵列、上极板三层组装在一起,制备出柔性压电式三维力传感器。

[0048] 进一步的,佩戴在机械爪内侧的柔性压电式三维力传感器(1),所述柔性压电式三维力传感器(1)在机械爪做抓握动作时被挤压,根据所抓取织物的弹性以及表面粗糙度等特征的不同,压电信号会有所差异,不同的电压值可以反映物体的弹性以及表面粗糙度等特征。

[0049] 进一步的,对所述柔性压电式三维力传感器(1)的四通道电压变化信号进行采集,得到传感器检测不同织物时的电压波形图,进而反映所检测织物的弹性及其表面粗糙度等特征。

[0050] 进一步的,不同种类的织物所测得压电信号有所差异,弹性越大的物体,所述柔性压电式三维力传感器所测电容值波形脉冲峰值更小,表面粗糙度越大的物体,所述柔性压电式三维力传感器波形波动越大,即曲线越宽,根据所述传感器织物检测信号中压电信号波形的不同,可以区分不同弹性和不同表面粗糙度的物体。

[0051] 如图2所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对极化前压电层的压电薄膜3的灵敏度性能进行测试。随着施加力的增加,传感器的输出电压信号不断增加,力与输出电压的关系呈现出正相关性。随着应力应变增大,由于压电层3形变趋于饱和,其输出电压变化率(即斜率)逐渐降低。传感器灵敏度曲线呈现两级变化,在前一阶段,传感器灵敏度为 29.82kPa^{-1} ,后一阶段,传感器灵敏度为 4.47kPa^{-1} 。

[0052] 如图3所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对压电层经过极化后的压电薄膜3的灵敏度性能进行测试。随着施加力的增加,传感器的输出电压信号不

断增加,力与输出电压的关系呈现出正相关性。随着应力应变增大,由于压电层3形变趋于饱和,其输出电压变化率(即斜率)逐渐降低。传感器灵敏度曲线呈现两级变化,在前一阶段,传感器灵敏度为 399.82kPa^{-1} ,后一阶段,传感器灵敏度为 36.58kPa^{-1} 。

[0053] 如图4所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对极化前压电层压电薄膜3的响应时间性能进行测试。通过对传感器施加10kPa的压力,记录其输出的电压信号:当传感器受到压力时,传感器产生正向电压。在127ms内,电压迅速达到最大值,随即在接下来的926ms内逐渐减小至约0mV左右。当压力释放时,传感器产生负向信号。在180ms内,电压以相反的方向迅速达到最大值,然后在接下来的1080ms内逐渐减小至0mV。

[0054] 如图5所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对压电层经过极化后的压电薄膜3的响应时间性能进行测试。通过对传感器施加10kPa的压力,记录其输出的电压信号:当传感器受到压力时,传感器产生正向电压。在23ms内,电压迅速达到最大值,随即在接下来的543ms内逐渐减小至约0mV左右。当压力释放时,传感器产生负向信号。在105ms内,电压以相反的方向迅速达到最大值,然后在接下来的843ms内逐渐减小至0mV。表明压电薄膜经过极化后,该传感器能够有效地检测瞬时力等动态力,其具备良好的响应能力。

[0055] 如图6所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式三维力传感器1进行压电性能的测试。通过力学试验机对传感器施加不同大小的连续作用力,通过数据采集仪对传感器在不同作用力下的输出电压进行采集。实验结果表明,传感器具有优良的传感性能,能够准确地通过输出的电压来反映受力大小。

[0056] 如图7所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式三维力传感器1的灵敏度性能进行测试。随着施加力的增加,传感器的输出电压信号不断增加,力与输出电压的关系呈现出正相关性。随着应力应变增大,由于压电层3形变趋于饱和,其输出电压变化率(即斜率)逐渐降低。传感器灵敏度曲线呈现两级变化,在前一阶段,传感器灵敏度为 399.82kPa^{-1} ,后一阶段,传感器灵敏度为 36.58kPa^{-1} 。

[0057] 如图8所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式三维力传感器1进行响应时间测试。通过对传感器施加10kPa的压力,记录其输出的电压信号:当传感器受到压力时,传感器产生正向电压。在23ms内,电压迅速达到最大值,随即在接下来的543ms内逐渐减小至约0mV左右。当压力释放时,传感器产生负向信号。在105ms内,电压以相反的方向迅速达到最大值,然后在接下来的843ms内逐渐减小至0mV。表明该传感器能够有效地检测瞬时力等动态力,证明其具有良好的响应能力。

[0058] 如图9所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式三维力传感器1进行动态响应能力的测试。通过力学试验机向传感器施加一系列大小为1kPa、频率分别为0.5Hz、1.0Hz和1.5Hz的循环压力。在连续周期内,电压脉冲信号的波形基本相同。在特定频率下,在周期性压力的作用下,传感器展现出了稳定的电压变化模式,这充分验证了其动态响应性能的可靠性。

[0059] 如图10所示,通过力学试验机(MX-0350)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式三维力传感器1进行重复性能的测试。通过力学试验机重复施加20kPa的应力1500次,得到传感器的电压脉冲信号。结果表明,传感器在大应力的重复施力下,能够输出稳定的电压脉冲。

[0060] 如图11所示,通过力学试验机(MX-0350)对处于平面上的柔性压电式三维力传感器1逐渐施加0-1N的法向压力,使用数据采集仪(KSI-8908N)收集传感器阵列信号。四通道的压电信号变化趋势接近,在压力值达到1N时,电压值为1600mv左右。

[0061] 如图12所示,通过力学试验机(MX-0350)对处于30度斜面上的柔性压电式三维力传感器1逐渐施加0-1N的法向压力,使用数据采集仪(KSI-8908N)收集传感器阵列信号。四通道的压电信号变化趋势接近,在压力值达到1N时,电压值为1200mv左右。

[0062] 如图13所示,通过力学试验机(MX-0350)对处于45度斜面上的柔性压电式三维力传感器1逐渐施加0-1N的法向压力,使用数据采集仪(KSI-8908N)收集传感器阵列信号。四通道的压电信号变化趋势接近,在压力值达到1N时,电压值为950mv左右。

[0063] 如图14所示,通过力学试验机(MX-0350)对处于60度斜面上的柔性压电式三维力传感器1逐渐施加0-1N的法向压力,使用数据采集仪(KSI-8908N)收集传感器阵列信号。四通道的压电信号变化趋势接近,在压力值达到1N时,电压值为750mv左右。

[0064] 如图15所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物牛仔时的压电信号进行采集,抓取牛仔时电压信号峰值在700-800mv之间,峰谷在-800mv左右,四通道电压值有所差异。

[0065] 如图16所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物条绒时的压电信号进行采集,抓取条绒时电压信号峰值在50-100mv之间,峰谷在-100mv至-50mv之间,四通道电压值有所差异。

[0066] 如图17所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物欧根纱时的压电信号进行采集,抓取欧根纱时电压信号峰值在50-75mv之间,峰谷在-200mv至-150mv之间,四通道电压值有所差异。

[0067] 如图18所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物尼龙时的压电信号进行采集,抓取尼龙时电压信号峰值在50-150mv之间,峰谷在-300mv左右,四通道电压值有所差异。

[0068] 如图19所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物毛时的压电信号进行采集,抓取毛时电压信号峰值在200mv左右,峰谷在-700mv至-500mv之间,四通道电压值有所差异。

[0069] 如图20所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物棉麻时的压电信号进行采集,抓取棉麻时电压信号峰值在400mv左右,峰谷在-500mv至-300mv之间,四通道电压值有所差异。

[0070] 如图21所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物太空棉时的压电信号进行采集,抓取太空棉时电压信号峰值在100mv左右,峰谷在-300mv左右,四通道电压值有所差异。

[0071] 如图22所示,通过将柔性压电式三维力传感器1固定于柔性机械爪内侧,利用数据采集仪(KSI-8908N)对机械爪以固定的舵机旋转角度抓取织物棉时的压电信号进行采集,抓取棉时电压信号峰值在400mv左右,峰谷在-600mv至-400mv之间,四通道电压值有所差异。

[0072] 一种柔性压电式三维力传感器,通过制备钛酸钡压电薄膜3并对其进行极化,有效提高了压电薄膜的灵敏度和响应时间性能。圆环状铜电极上极板2和圆环状铜电极阵列下极板3所构成的电极结构使压电式传感器具备了感知三维力的能力,可以通过四通道电极传感信号的差异感知力的大小与方向信息,将柔性压电式三维力传感器1应用于织物检测时,柔性压电式三维力传感器1佩戴在机械爪内侧位置,对柔性压电式三维力传感器1的四通道电压变化信号进行采集,得到传感器检测不同织物时的电压波形图,根据传感器阵列四通道信号波形的脉冲峰和曲线宽度的不同,来检测不同种类织物的弹性及表面粗糙度等特征。

[0073] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明技术方案进行了详细的说明,本领域的技术人员应当理解,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行同等替换;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精神与范围。

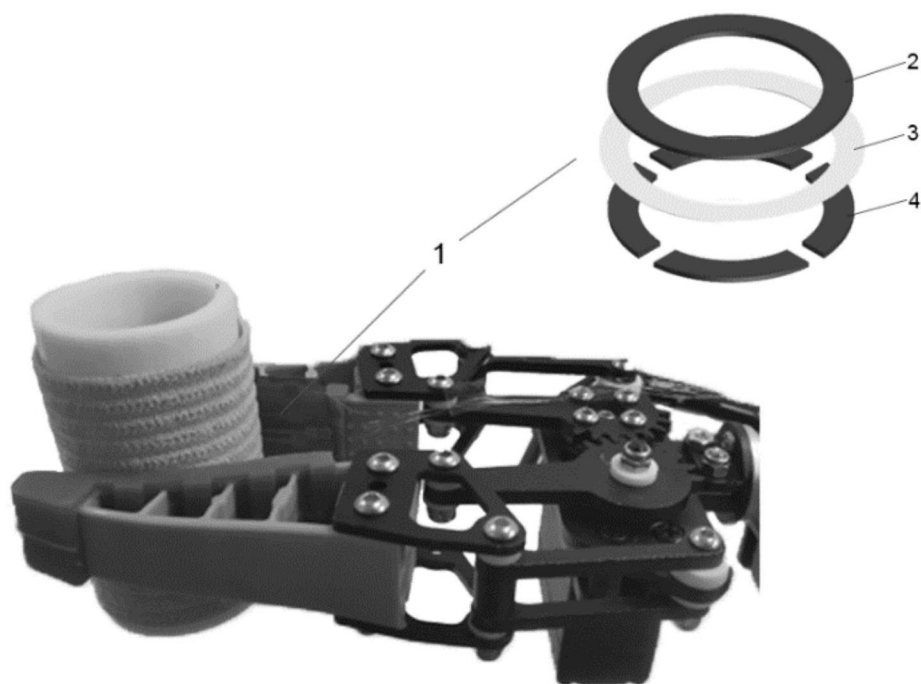


图1

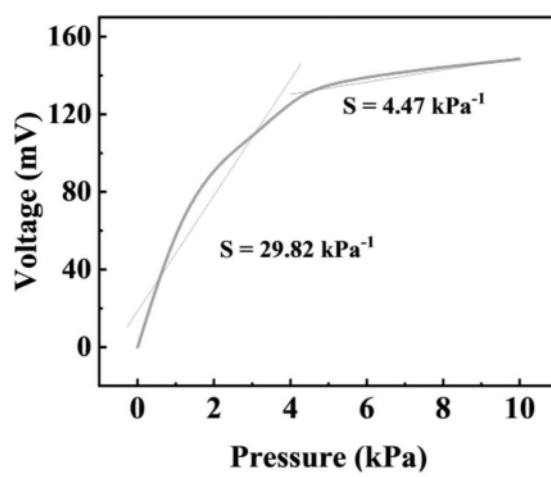


图2

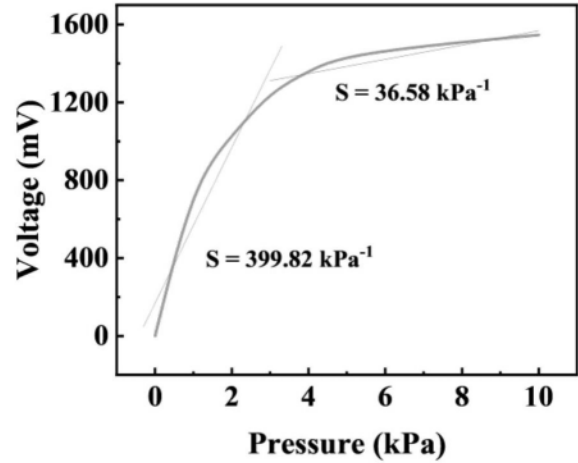


图3

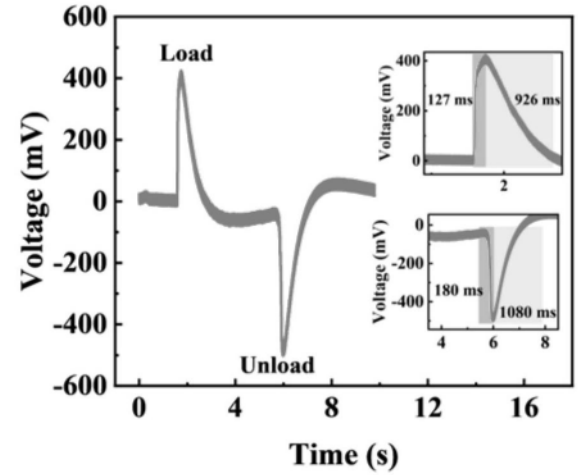


图4

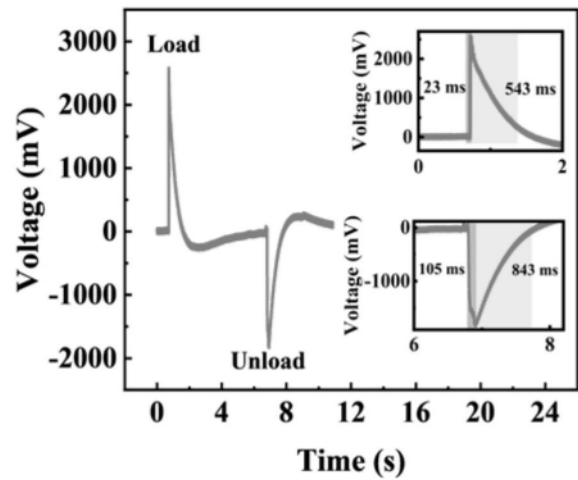


图5

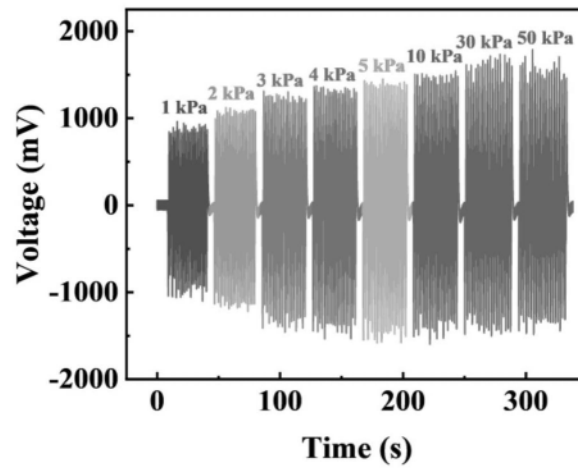


图6

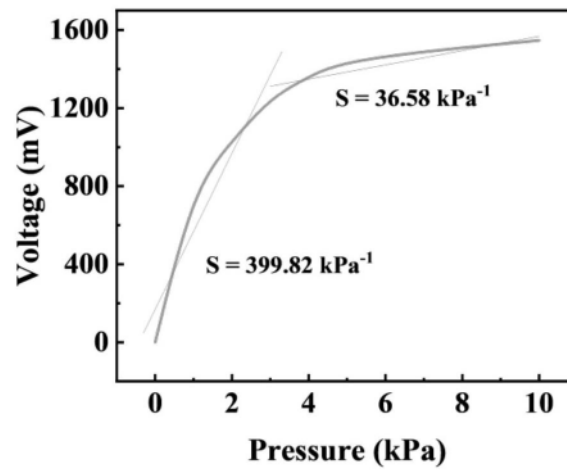


图7

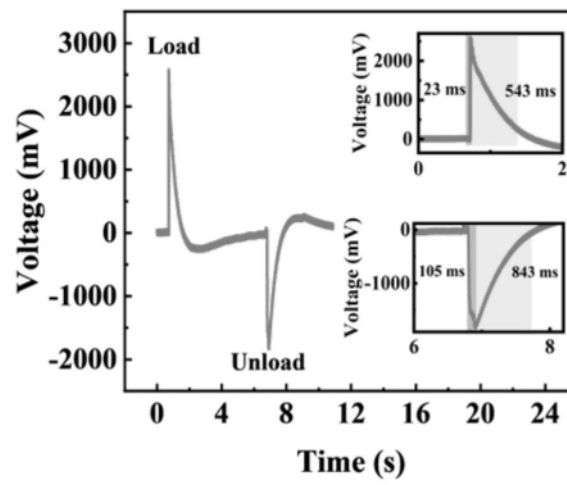


图8

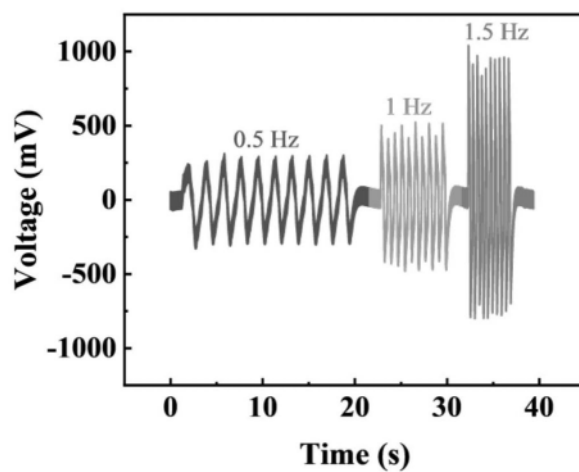


图9

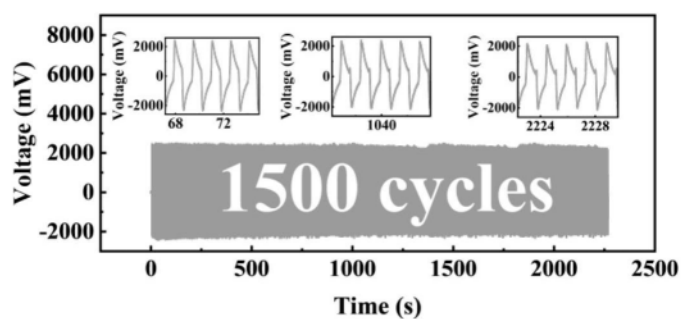


图10

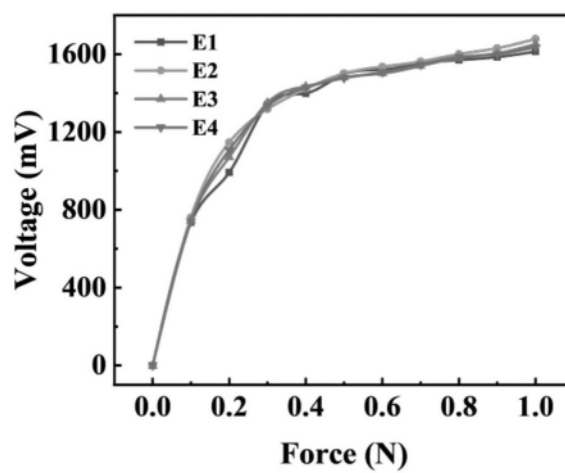


图11

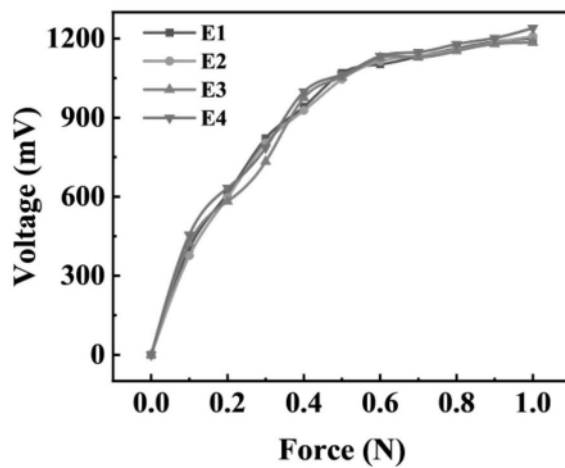


图12

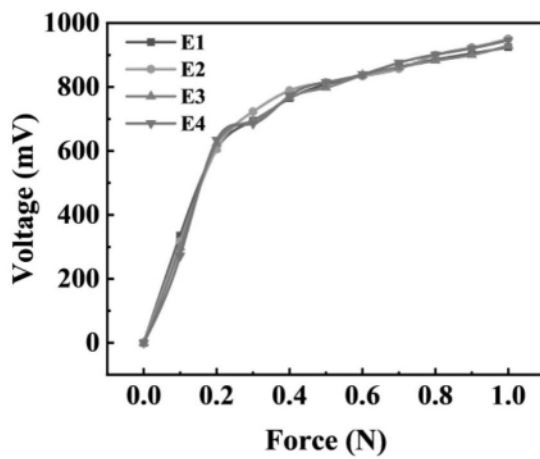


图13

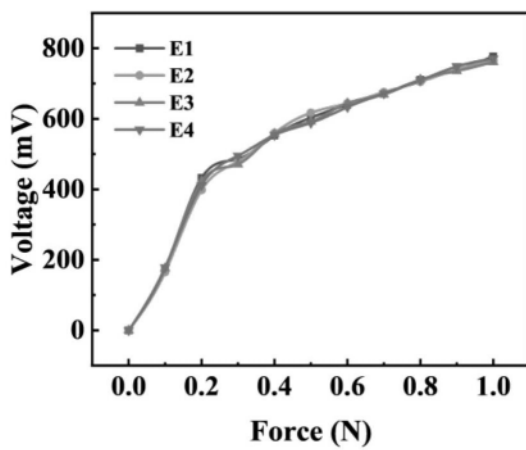


图14

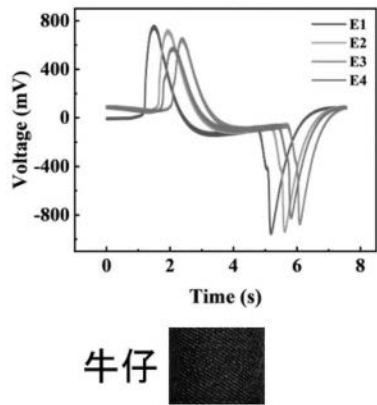


图15

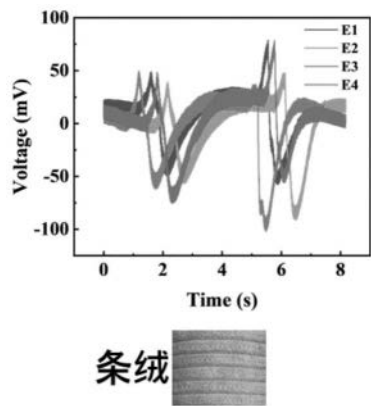


图16

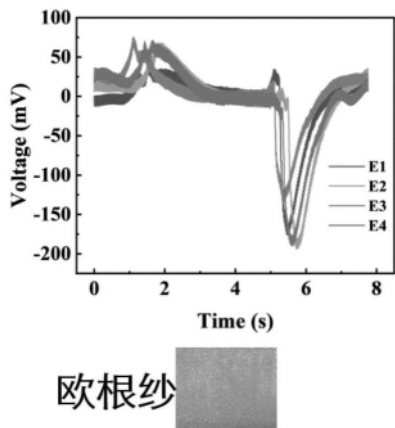


图17

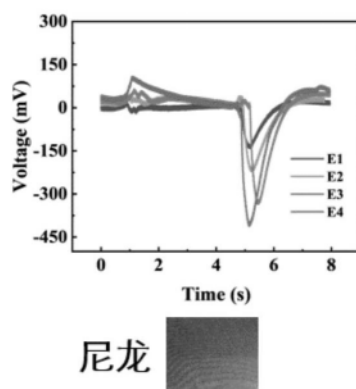


图18

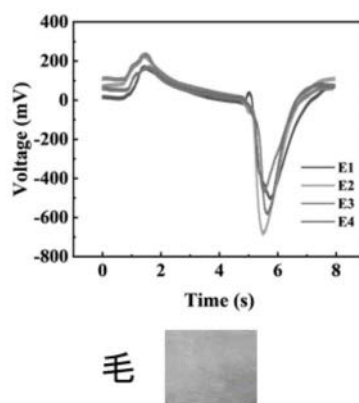


图19

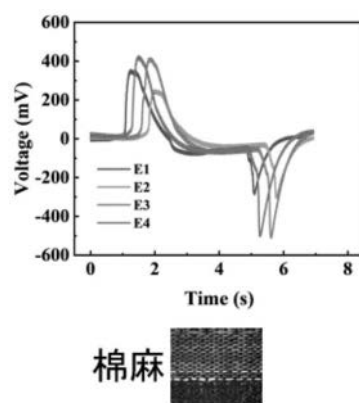
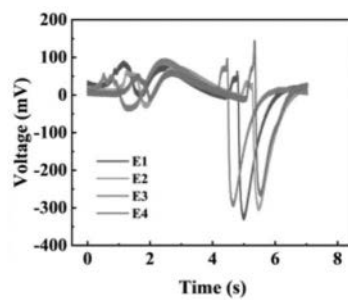


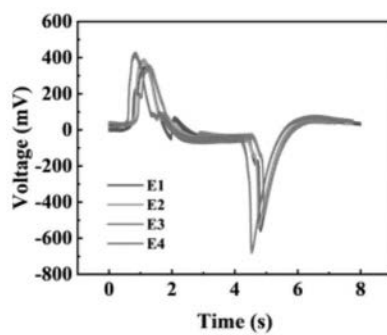
图20



太空棉



图21



棉



图22