



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118999850 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 22

(21) 申请号 202410950368.8

(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 刘爱萍 于航 宋泽乾 程琳
陈冠政

(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)

G01B 7/16 (2006.01)

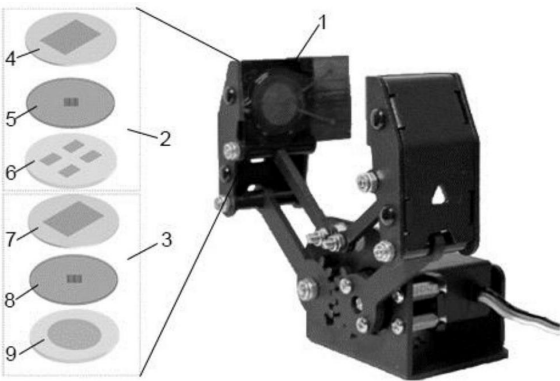
权利要求书2页 说明书6页 附图7页

(54) 发明名称

一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器及其制备方法,所述传感器包括安装于机械爪内侧的双模式柔性应变传感器,所述双模式柔性应变传感器包括柔性电容式应变传感器与柔性压电式应变传感器,所述柔性电容式应变传感器包括上电极极板、离子薄膜介质层、铜电极阵列下极板,所述柔性压电式应变传感器包括上电极极板、离子薄膜压电层和铜电极下极板,制备柔性电容式应变传感器和柔性压电式应变传感器,将两者组合构建了双模式柔性应变传感器,实现了从静态到高频动态信号的感知提升,同时也实现了更多信息的实时采集,扩大了传感器应用范围,将该双模式柔性应变传感器固定在机械爪上,实现了传感器在物体识别中的应用。



1. 一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器,其特征在于:包括安装于机械爪内侧的双模式柔性应变传感器(1),所述双模式柔性应变传感器(1)包括柔性电容式应变传感器(2)和柔性压电式应变传感器(3),所述柔性电容式应变传感器(2)包括电容式传感器上电极极板(4)、电容式传感器离子薄膜介质层(5)和电容式传感器铜电极阵列下极板(6),所述柔性压电式应变传感器(3)包括压电式传感器上电极极板(7)、压电式传感器离子薄膜压电层(8)和压电式传感器铜电极下极板(9)。

2. 根据权利要求1所述一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器,其特征在于:所述压电式传感器离子薄膜压电层(8)通过将电容式传感器离子薄膜介质层(5)高压极化制成。

3. 一种如上述1~2任意一项所述离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤一、离子薄膜的制备:称量0.5~1g的聚偏氟乙烯-六氟丙烯PVDF-HFP溶解于8~12mL的N,N-二甲基甲酰胺DMF中,再加入0.1~0.5g的溴化1-丁基-3-甲基咪唑离子盐[BMIM]Br,在离子盐完全溶解后,添加己二胺HMDA作为交联剂,之后将上述溶液置于60℃的水浴环境中加热搅拌6~8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75℃的烘箱中进行烘干处理,待其完全固化成型,制备出离子薄膜;

步骤二、柔性电容式应变传感器的制备:将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在一定条件下进行紫外激光切割,制备得到电极阵列作为下极板;将步骤一制得的所述固化后的离子薄膜在电压为40V的条件下进行磁控溅射镀金,在离子薄膜上得到一定厚度的金薄膜,制备所得的离子薄膜作为上电极极板;用PI胶带将步骤一制得的离子薄膜作为介质层和下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性电容式应变传感器;

步骤三、压电薄膜的制备:将步骤一制得的离子薄膜放置在鼓风干燥箱中,在恒温60~90℃的条件下烘干10~40分钟,然后升温至120℃的条件下进行1~3小时的退火处理,冷却至室温后,将离子薄膜置于高压电场的正负极板之间进行极化操作后制备出压电薄膜;

步骤四、柔性压电式应变传感器的制备:将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在一定条件下进行紫外激光切割,制备得到圆形铜电极作为下极板;将步骤一制得的所述固化后的离子薄膜在电压为40V的条件下进行磁控溅射镀金,在离子薄膜上得到一定厚度的金薄膜,制备所得的离子薄膜作为上电极极板;用PI胶带将步骤三制得的压电薄膜作为压电层和下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性压电式应变传感器;

步骤五、电容压电双模式柔性应变传感器:将步骤二所制得的电容式传感器作为电容感知模块,将步骤四所制得的压电式传感器作为压电感知模块,两者作为双模式传感器的上下端,用PI胶带将两个模块组装起来,铜线通过导电银浆分别固定在电容式传感阵列的上下极板和压电式传感器的上下极板上,制备得到电容压电双模式柔性应变传感器。

4. 根据权利要求3所述离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,其特征在于,所述己二胺HMDA交联剂的添加量为0.01~0.02g。

5. 根据权利要求4所述离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤二和步骤四中紫外激光切割的工艺为频率为20kHz、电流为1A、速度为15mm/s。

6. 根据权利要求5所述离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,其特征在于,所述步骤二和步骤四中金薄膜的厚度为2~5nm。

7. 根据权利要求3所述离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,其特征在

于,所述步骤三中极化操作为:先将高压电场的电压升至500V,在该条件下保持30分钟,然后再将电压升至800V,在该条件下保持1小时,最后将电压升至1000V,在该条件下保持30分钟,完成极化。

一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感器领域,具体涉及一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着移动互联网和智能终端的迅猛发展,可穿戴电子设备正展现出前所未有的市场前景。在这一背景下,柔性传感器因其在人机交互和可穿戴设备技术中的卓越表现,受到了科研人员的广泛关注。这种由柔性材料制成的传感器,以其高灵敏度、快速响应和出色的舒适性,在可穿戴检测器件、自愈合电子皮肤以及柔性触摸屏等领域得到了广泛应用。

[0003] 然而,随着人们对传感器功能和性能要求的不断提升,单一的传感器已难以满足复杂多变的应用需求。目前已有的柔性传感器仍然存在着一些问题:1) 电容式传感器的微结构设计单一,性能提升达到瓶颈;2) 压电薄膜的材料选取和配比存在多种思路,对传感器性能影响存在差异;3) 电容传感器多以二维力识别为主,在应用方面存在短板;4) 单一模式传感器很难实现从静态到高频动态信息的感知。因此,设计一种集多模式、高灵敏度、高稳定性于一体的多功能集成化的传感器,成为了当前亟待解决的技术挑战。

[0004] 当前,单纯的压阻式传感器和电容式传感器响应时间较长、检测频率较低,因此只能用于低频静态信号的检测;而压电式传感器和摩擦电式传感器则能产生瞬时的电压信号,其产生的电荷量会随着时间的推移而消失,因而只适合检测动态的信息。目前通过单纯提升单一模式传感器的性能来实现从静态到动态信息的全面感知变得相当困难,这也使得构建一种集成多模态的传感器成为必要。

[0005] 为了应对以上挑战,并推动柔性传感器的实际应用,本发明提出一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器。

发明内容

[0006] 为了克服上述现有技术中的缺陷,本发明提供了一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器及其制备方法,分别制备基于离子薄膜的柔性电容式应变传感器以及基于离子薄膜的柔性压电式应变传感器,将二者组合实现了从静态到高频动态信号的感知提升,同时也实现更多信息的实时采集,扩大了传感器应用范围。

[0007] 技术方案

[0008] 一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器,包括安装于机械爪内侧的双模式柔性应变传感器,所述双模式柔性应变传感器包括柔性电容式应变传感器与柔性压电式应变传感器,所述柔性电容式应变传感器包括电容式传感器上电极极板,电容式传感器离子薄膜介质层和电容式传感器铜电极阵列下极板,所述柔性压电式应变传感器包括压电式传感器上电极极板,压电式传感器离子薄膜压电层和压电式传感器铜电极下极板。

[0009] 一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,包括如下步骤:

[0010] 步骤一、离子薄膜的制备:称量0.5~1g的聚偏氟乙烯-六氟丙烯PVDF-HFP溶解于8

~12mL的N,N-二甲基甲酰胺DMF中,再加入0.1~0.5g的溴化1-丁基-3-甲基咪唑离子盐[BMIM]Br,在离子盐完全溶解后,添加0.01~0.02g的己二胺HMDA作为交联剂,交联上述溶液,之后将上述溶液置于60℃的水浴环境中加热搅拌6~8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75℃的烘箱中进行烘干处理,待其完全固化成型,制备出离子薄膜;

[0011] 步骤二、柔性电容式应变传感器的制备:将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率为20kHz、电流为1A、速度为15mm/s的条件下进行紫外激光切割,制备得到电极阵列作为下极板;将步骤一制得的所述固化后的离子薄膜在电压为40V的条件下进行磁控溅射镀金,在离子薄膜上得到厚度2~5nm的金薄膜,制备所得的离子薄膜作为上电极极板;用PI胶带将步骤一制得的离子薄膜作为介质层和下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性电容式应变传感器;

[0012] 步骤三、压电薄膜的制备:将步骤一制得的离子薄膜放置在鼓风干燥箱中,在恒温60~90℃的条件下烘干10~40分钟,然后升温至120℃的条件下进行1~3小时的退火处理,冷却至室温后,将离子薄膜置于高压电场的正负极板之间进行极化操作,先将高压电场的电压升至500V,在该条件下保持30分钟,然后再将电压升至800V,在该条件下保持1小时,最后将电压升至1000V,在该条件下保持30分钟,完成极化过程后,将高压电场的电压逐渐降至0V,离子薄膜经过极化操作后,制备出压电薄膜;

[0013] 步骤四、柔性压电式应变传感器的制备:将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率为20kHz、电流为1A、速度为15mm/s的条件下进行紫外激光切割,制备得到圆形铜电极作为下极板;将步骤一制得的所述固化后的离子薄膜在电压为40V的条件下进行磁控溅射镀金,在离子薄膜上得到厚度2~5nm的金薄膜,制备所得的离子薄膜作为上电极极板;用PI胶带将步骤三制得的压电薄膜作为压电层和下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性压电式应变传感器;

[0014] 步骤五、电容压电双模式柔性应变传感器:将步骤二所制得的电容式传感器作为电容感知模块,将步骤四所制得的压电式传感器作为压电感知模块,两者作为双模式传感器的上下端,用PI胶带将两个模块组装起来,铜线通过导电银浆分别固定在电容式传感阵列的上下极板和压电式传感器的上下极板上,制备得到电容压电双模式柔性应变传感器。

[0015] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0016] 1.将柔性电容式应变传感器与柔性压电式应变传感器组合在一起,实现了同一个传感器对两种不同电信号的采集;

[0017] 2.制备出具有金字塔形微结构的离子薄膜作为电容式传感器的介电层,有效提高了电容式传感器的稳定性和灵敏度以及整体抗电磁干扰能力;

[0018] 3.以离子薄膜作为压电薄膜层,经过高压电场的极化后,制备出具有金字塔微结构的压电薄膜,将其作为压电式传感器的离子薄膜压电层,有效提高了压电式传感器的动态响应能力和稳定性;

[0019] 4.将柔性电容式应变传感器和柔性压电式应变传感器组合,构建出具有双模式感知能力的柔性应变传感器,双模式柔性应变传感器充分发挥了电容式传感器与压电式传感器的各自特长,实现了传感器从静态信息到高频动态信息的全面感知;

[0020] 5.将电容信号与压电信号进行信号组合,得到多模态传感器物体检测信号组合信

号波形,以此反映所检测物体的尺寸、弹性以及表面粗糙度的特性。

附图说明

- [0021] 图1是本发明离子薄膜调控双模式柔性应变传感器的结构示意图;
- [0022] 图2是离子薄膜表面棱锥阵列的形貌图;
- [0023] 图3是离子薄膜表面棱锥阵列的截面形貌图;
- [0024] 图4是柔性电容式应变传感器在不同采样频率下电容变化率图像;
- [0025] 图5是柔性电容式应变传感器的灵敏度性能测试图像。;
- [0026] 图6是柔性电容式应变传感器在法向力作用下的迟滞性能的测试图像;
- [0027] 图7是柔性电容式应变传感器的重复性能的测试图像;
- [0028] 图8是柔性电容式应变传感器的响应时间性能的测试图像;
- [0029] 图9是柔性电容式应变传感器的动态响应能力的测试图像;
- [0030] 图10是柔性电容式应变传感器的静态响应能力的测试图像;
- [0031] 图11是柔性压电式应变传感器力与输出电压的关系图像;
- [0032] 图12是柔性压电式传感器的响应时间性能的测试图像;
- [0033] 图13是柔性压电式应变传感器的重复性能的测试图像;
- [0034] 图14是柔性压电式应变传感器的动态响应能力的测试图像;
- [0035] 图15是柔性压电式应变传感器的压电传感性能的测试图像;
- [0036] 图16是离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器物体检测组合识别波形图。
- [0037] 附图标号
- [0038] 1、双模式柔性应变传感器2、柔性电容式应变传感器3、柔性压电式应变传感器4、电容式传感器上电极极板5、电容式传感器离子薄膜介质层6、电容式传感器铜电极阵列下极板7、压电式传感器上电极极板8、压电式传感器离子薄膜压电层9、压电式传感器铜电极下极板。

具体实施方式

- [0039] 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:
- [0040] 如图1所示,本发明公开了一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器,包括安装于机械爪内侧的双模式柔性应变传感器1,所述双模式柔性应变传感器1包括柔性电容式应变传感器2与柔性压电式应变传感器3,所述柔性电容式应变传感器2包括电容式传感器上电极极板4,电容式传感器离子薄膜介质层5和电容式传感器铜电极阵列下极板6,所述柔性压电式应变传感器3包括压电式传感器上电极极板7,压电式传感器离子薄膜压电层8和压电式传感器铜电极下极板9。
- [0041] 一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器的制备方法,包括如下步骤:
- [0042] 步骤一、称量0.7g的聚偏氟乙烯-六氟丙烯(PVDF-HFP)溶解于9mL的N,N-二甲基甲酰胺(DMF)中,再加入0.3g的溴化1-丁基-3-甲基咪唑(离子盐[BMIM]Br),在离子盐完全溶解后,添加0.01克的己二胺(HMDA)作为交联剂,交联上述溶液,之后将上述溶液置于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75℃的烘箱中进行烘干处理,待其完全固化成型,制备出离子薄膜;

[0043] 步骤二、将附着在聚酰亚胺 (PI) 基板上的铜带在频率为20kHz、电流为1A、速度为15mm/s的条件下进行紫外激光切割,制备得到电极阵列作为下极板。将步骤一制得的所述固化后的离子薄膜在电压为40V的条件下进行磁控溅射镀金,在离子薄膜上得到厚度约为3nm的金薄膜,制备所得的离子薄膜作为上电极极板。用PI胶带将步骤一制得的离子薄膜作为介质层和下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性电容式应变传感器;

[0044] 步骤三、将步骤一制得的离子薄膜放置在鼓风干燥箱中,在恒温80℃的条件下烘干约30分钟,然后升温至120℃的条件下进行2小时的退火处理,冷却至室温后,将离子薄膜置于高压电场的正负极板之间进行极化操作,先将高压电场的电压升至500V,在该条件下保持30分钟,然后再将电压升至800V,在该条件下保持1小时,最后将电压升至1000V,在该条件下保持30分钟,完成极化过程后,将高压电场的电压逐渐降至0V,离子薄膜经过极化操作后,制备出压电薄膜;

[0045] 步骤四、将附着在聚酰亚胺 (PI) 基板上的铜带在频率为20kHz、电流为1A、速度为15mm/s的条件下进行紫外激光切割,制备得到圆形铜电极作为下极板。将步骤一制得的所述固化后的离子薄膜在电压为40V的条件下进行磁控溅射镀金,在离子薄膜上得到厚度约为3nm的金薄膜,制备所得的离子薄膜作为上电极极板。用PI胶带将步骤三制得的压电薄膜作为压电层和下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性压电式应变传感器;

[0046] 步骤五、将步骤二所制得的电容式传感器作为电容感知模块,将步骤四所制得的压电式传感器作为压电感知模块,两者作为双模式传感器的上下端,用PI胶带将两个模块组装起来,铜线通过导电银浆分别固定在电容式传感阵列的上下极板和压电式传感器的上下极板上,制备得到电容压电双模式柔性应变传感器。

[0047] 如图2所示,使用扫描电子显微镜 (S-4800) 对离子薄膜介质层5表面形貌进行观察。离子薄膜介质层5由10×10的金字塔阵列构成,每个金字塔边长精确至150μm,高度达到450μm,且每两个金字塔的中心距离均为350μm。这种金字塔形微结构纵向形变较大,可以有效地增加接触面积。

[0048] 如图3所示,使用扫描电子显微镜 (S-4800) 对离子薄膜介质层5表面形貌进行观察。离子薄膜上单个棱锥边长为50μm左右;棱锥间的中心距离为125μm,棱锥的高度约为60μm,由于具备较高的高宽比,受到相同大小的压力时,纵向形变量较大。另外,棱锥间中心距离较小,可以有效地增加接触面积。

[0049] 如图4所示,通过力学试验机 (MX-0350) 对柔性电容式应变传感器2施加0~30kPa的压力时,使用数字电桥 (TH2830) 分别在1kHz、20kHz和100kHz采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,以进行传感器的传感性能的测试,可以发现高采样频率下响应时间快,但是波形中存在一定的噪声。而低采样频率下虽然响应时间较慢,但波形较为平滑稳定。

[0050] 如图5所示,通过力学试验机 (MX-0350) 对柔性电容式应变传感器2施加0~30kPa的法向压力,使用数字电桥 (TH2830) 在100kHz的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,以对传感器的灵敏度性能进行测试。测试结果为:灵敏度S呈现三级变化。在0~10kPa的压力范围内, $S=2.48\text{kPa}^{-1}$,灵敏度较低的原因是传感器介电层与电极之间的微观结构变形不完全,互锁结构中的间隙没有充分减小。随着压力增加到10~15kPa,微观结构完全变形,互锁结构中的间隙也完全减小,传感器的灵敏度上升到 10.47kPa^{-1} 。当压力增加到15~30kPa时,由于离子薄膜介电层5和上电极极板4以及铜电极阵列下极板6的变形逐渐饱和,S

减小到 1.84kPa^{-1} 。

[0051] 如图6所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性电容式应变传感器2施加一系列有序的加载—卸载循环力,使用数字电桥(TH2830)在 100kHz 的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,以测试传感器在法向力作用下的迟滞性能。当施加力为 15kPa 时,传感器的电容相对变化曲线几乎重合,证明该传感器具有良好的迟滞性和鲁棒性。

[0052] 如图7所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性电容式应变传感器2施加重复的加载—卸载循环力,使用数字电桥(TH2830)在 100kHz 的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,以测试传感器的重复性。在 5kPa 的循环正压下,传感器在长达1000次的加载—卸载过程中,始终保持着稳定的感测信号,未出现疲劳或温漂现象,证明该传感器具有出色的稳定性和重复性。

[0053] 如图8所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性电容式应变传感器2的响应时间性能进行测试。力学试验机以 50mm/min 的加载速度施加 2kPa 的作用力并保持一段时间,再以相同速度卸载时,使用数字电桥(TH2830)在 100kHz 的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,测得加载时间为 62ms ,卸载时间为 63ms ,基本一致。证明该传感器在法向力作用下具有良好的响应能力。

[0054] 如图9所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性电容式应变传感器2的动态响应能力进行测试。通过力学试验机对传感器施加大小为 20kPa ,频率分别为 0.5Hz 、 1.0Hz 和 1.5Hz 的循环压力。在特定频率下,使用数字电桥(TH2830)在 100kHz 的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,测得传感器在周期性压力作用下表现出稳定的相对电容变化,显示出良好的动态响应性能。

[0055] 如图10所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性电容式应变传感器2的静态响应能力进行测试。通过力学试验机对传感器分别施加了大小为 2kPa 、 3kPa 、 5kPa 、 10kPa 、 15kPa 和 20kPa 的静态压力,并保持一段时间。使用数字电桥(TH2830)在 100kHz 的采样频率下对传感器输出的电容信号进行测量,结果表明在恒定压力作用下,传感器所输出的相对电容变化值能够保持恒定,这充分证明了传感器具备稳定的静态响应性能。

[0056] 如图11所示,通过力学试验机(MX-0350)、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式应变传感器3进行力学测试。随着施加力的增加,传感器的输出电压信号也在不断增加,力与输出电压的关系呈现出正相关性。随着应力应变增大,由于离子薄膜压电层8形变趋于饱和,其输出电压变化率(即斜率)逐渐降低。

[0057] 如图12所示,通过力学试验机(MX-0350)、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式应变传感器3进行响应时间测试。通过对传感器施加 5kPa 的应力,并记录其输出的电压信号:当传感器受到应力应变时,传感器输出了一段电压脉冲信号,产生正向电压。在 286ms 内,电压迅速达到最大值,随即逐渐减小至约 0mV 左右。当压力释放时,压电薄膜上、下表面之间的压电电位消失,累积的电荷将反向流回,产生一个负电压信号。在 31ms 内,电压以相反的方向迅速达到最大值,然后在接下来的 1196ms 内逐渐减小至 0mV 。表明该传感器的电压响应时间不超过 300ms ,电压恢复时间不超过 1200ms ,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13所示,通过力学试验机(MX-0350)、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式应变传感器3进行重复性能的测试。通过力学试验机重复施加

20kPa的应力200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。

[0059] 如图14所示,通过力学试验机(MX-0350)、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式应变传感器3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30kPa、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。

[0060] 如图15所示,通过力学试验机(MX-0350)、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性压电式应变传感器3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,通过电荷放大器和数据采集仪对传感器在不同作用力下的输出电压进行精确分析。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。

[0061] 一种离子薄膜调控的双模式柔性应变传感器可以捕捉柔性电容式应变传感器2以及柔性压电式应变3的信号,通过制备具有金字塔形微结构的离子薄膜作为电容式传感器介电层5,有效提高了电容式传感器的稳定性和灵敏度以及整体抗电磁干扰能力,以离子薄膜作为压电薄膜层,经过高压电场的极化后,制备出具有金字塔微结构的压电薄膜,作为压电式传感器离子薄膜压电层8,有效提高了压电式传感器的动态响应能力和稳定性,将柔性电容式应变传感器和柔性压电式应变传感器组合,构建出具有双模式感知能力的应变传感器,双模式传感器充分发挥了电容式传感器与压电式传感器的各自特长,实现了传感器从静态信息到动态信息的全面感知,将双模式应变传感器应用于物体识别时,双模式柔性应变传感器1佩戴在机械爪内侧位置,通过柔性电容式应变传感器2和柔性压电式应变传感器3把采集到的电容信号以及压电信号进行组合,得到传感器物体检测组合识别波形,对组合信号波形进行分析,进而反映出所检测物体的大小、弹性以及物体表面粗糙度等特征。

[0062] 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。

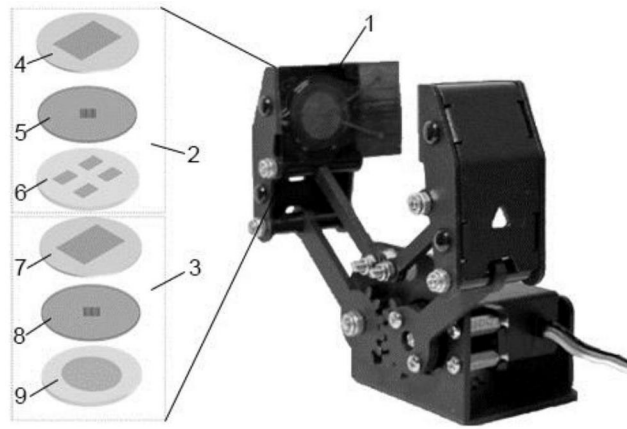


图1

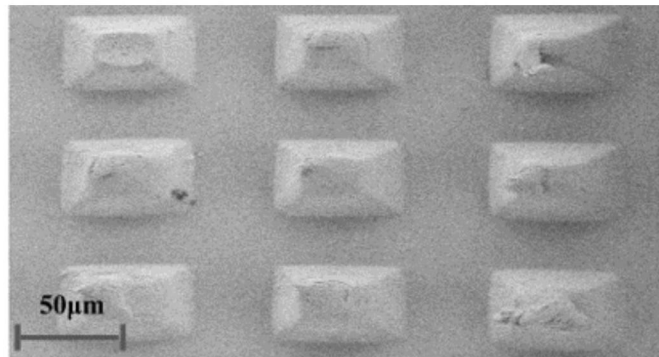


图2

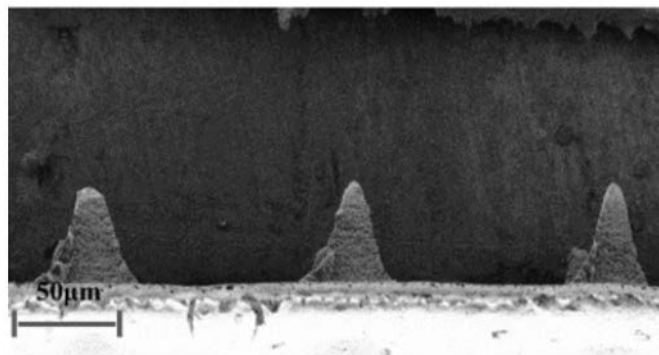


图3

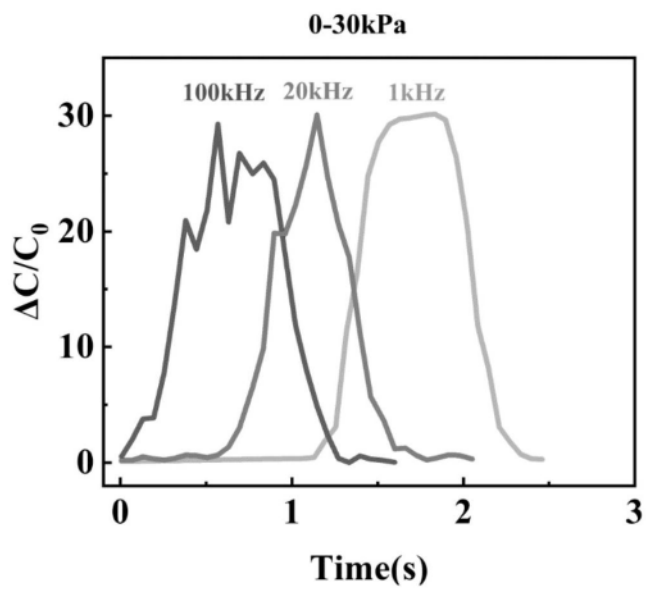


图4

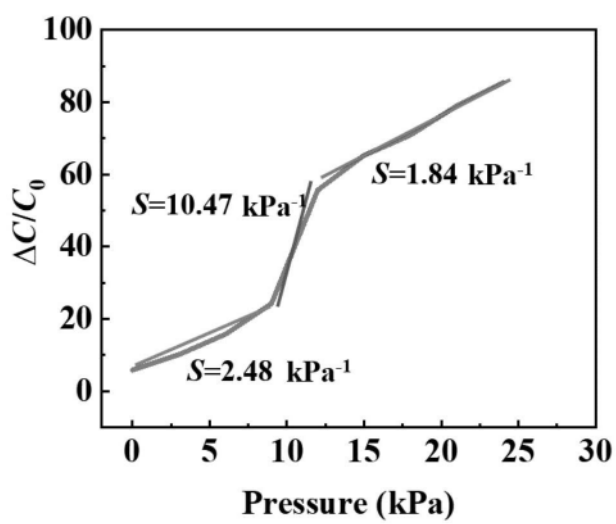


图5

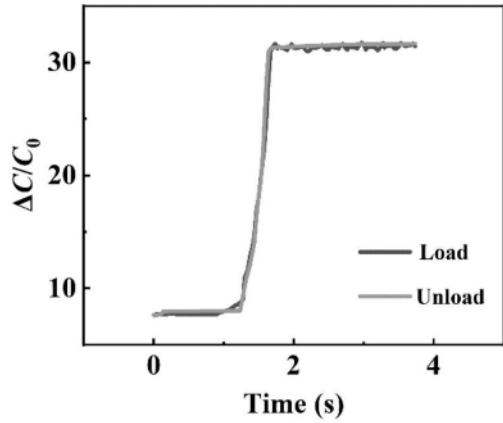


图6

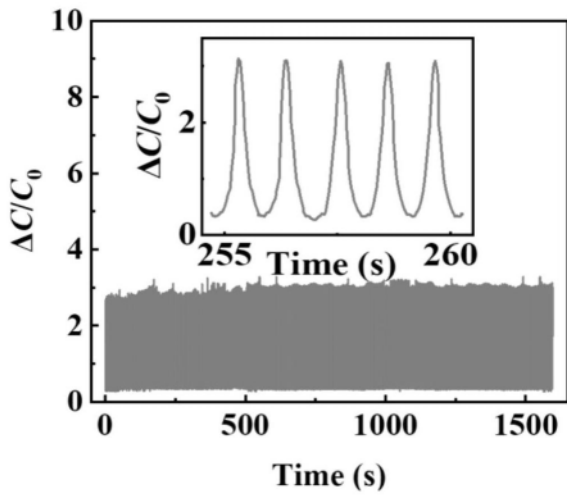


图7

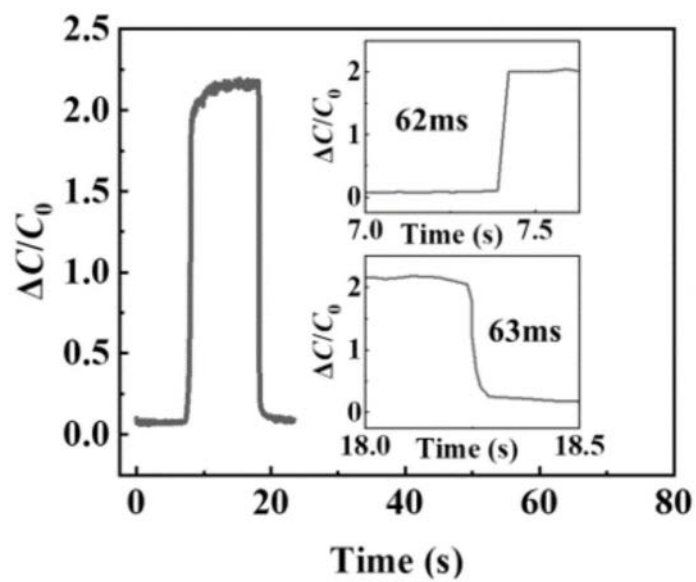


图8

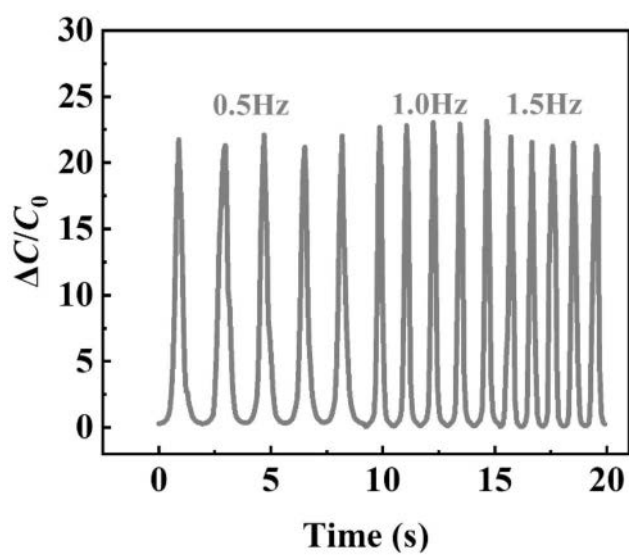


图9

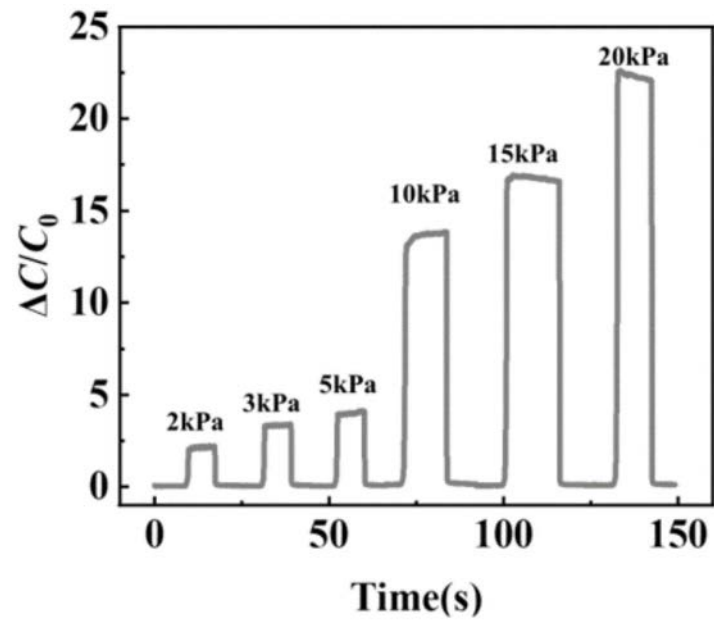


图10

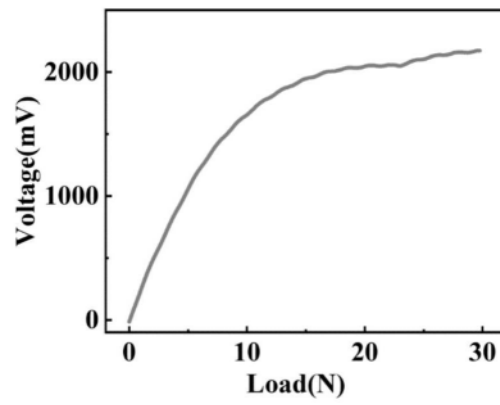


图11

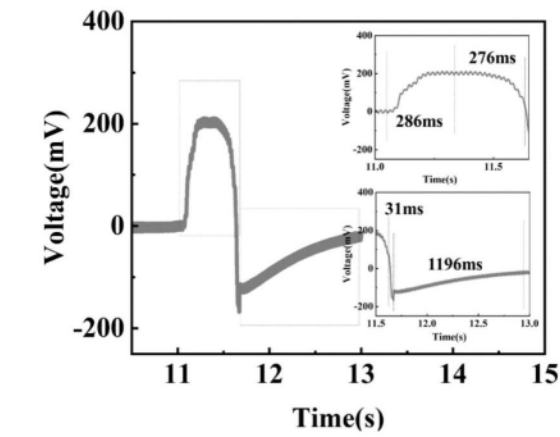


图12

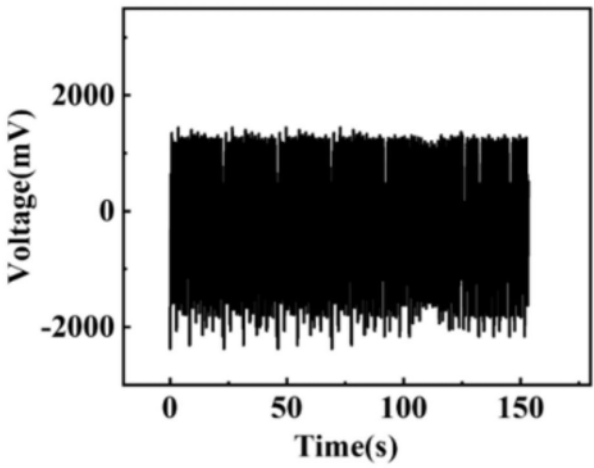


图13

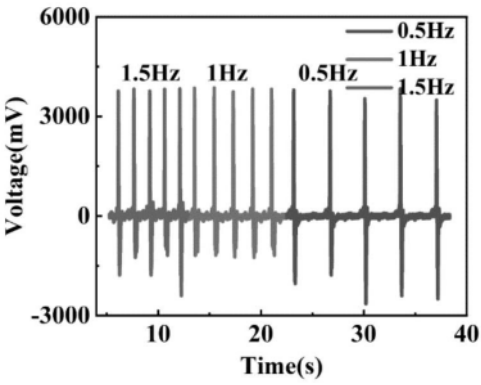


图14

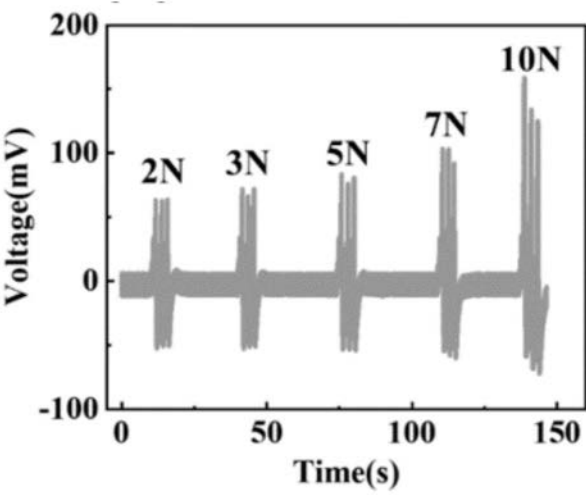


图15

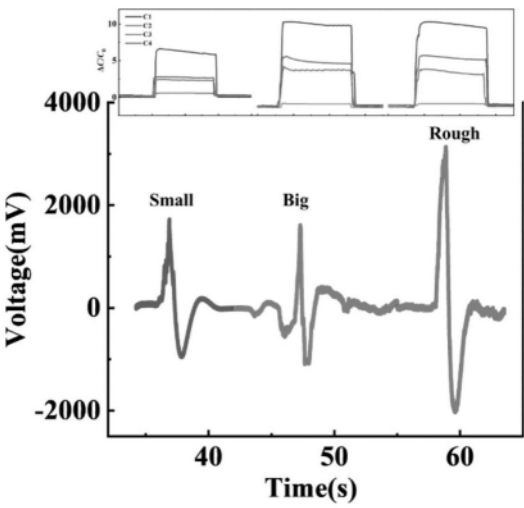


图16