



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118936692 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 12

(21) 申请号 202410950523.6

(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 张昕 罗轩梓 程琳
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)

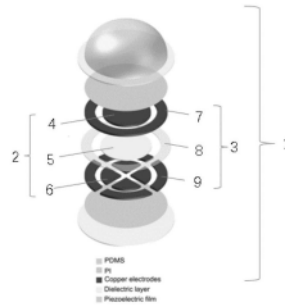
权利要求书2页 说明书8页 附图10页

(54) 发明名称

一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器

(57) 摘要

本发明公开了一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,所述传感器包括安装于柔性机械爪内侧的三维力双模式柔性应变传感器,所述三维力双模式柔性应变传感器包括柔性静态三维力电容式应变传感器与柔性动态三维力压电式应变传感器,分别制备柔性静态三维力电容式应变传感器和柔性动态三维力压电式应变传感器,将两者组合构建了三维力双模式柔性应变传感器,实现了从静态到高频动态信号的三维力感知提升,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,将该三维力双模式柔性应变传感器固定在柔性机械爪上,实现了传感器在织物检测中的应用。



1. 一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,其特征在于:所述传感器包括安装于柔性机械爪内侧的三维力双模式柔性应变传感器(1),所述三维力双模式柔性应变传感器(1)包括柔性静态三维力电容式应变传感器(2)柔性动态三维力压电式应变传感器(3),所述柔性静态三维力电容式应变传感器(2)包括电容式传感器上层公共铜电极极板(4),电容式传感器离子薄膜介质层(5)和电容式传感器铜阵列电极下极板(6),所述柔性动态三维力压电式应变传感器(3)包括压电式传感器上层公共铜电极极板(7),压电式传感器离子薄膜压电层(8)和压电式传感器铜阵列电极下极板(9)。

2. 根据权利要求1所述的一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,其特征在于:所述柔性静态三维力电容式应变传感器(2)、柔性动态三维力压电式应变传感器(3)极板均由上层公共铜电极极板与下层铜阵列电极极板共同构成。

3. 根据权利要求1所述的一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,其特征在于,所述传感器的制备方法包括如下步骤:

1) 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0.1g-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0.01g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;

2) 将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率不小于25kHz、电流不小于1A、速度不小于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以及圆形公共上极板;将步骤1)制得的离子薄膜作为介质层同下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性静态三维力电容式应变传感器;

3) 称量0.3g-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-0.7g的钛酸钡BaTiO₃,在各成分完全溶解后,添加0.01g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,制备出压电薄膜;

4) 将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率不小于25kHz、电流不小于1A、速度不小于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以及环状公共上极板;将步骤1)制得的离子薄膜作为介质层同下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性动态三维力压电式应变传感器;

5) 将步骤2)所制得的电容式传感器作为电容感知模块,将步骤4)所制得的压电式传感器作为压电感知模块,两者作为三维力双模式柔性应变传感器的电容感知模块和压电感知模块,用聚二甲基硅氧烷PDMS将两个模块封装起来,用模具塑造圆顶,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阵列的上下极板上,制备得到电容压电三维力双模式柔性应变传感器。

4. 根据权利要求1所述的一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,其特征在于:所述柔性静态三维力电容式应变传感器(2)和所述柔性动态三维力压电式应变传感器(3)在柔性机械爪做抓握织物动作时被挤压,根据所抓织物的厚度、弹性以及表面粗糙度等特征的不同,传感器电容信号和压电信号会有所差异,不同的电容变化率和电压变化可以反

映织物的厚度、弹性和表面粗糙度。

5. 根据权利要求4所述的一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,其特征在于:将所述柔性静态三维力电容式应变传感器(2)的电容变化信号与所述柔性动态三维力压电式应变传感器(3)的输出电压变化信号结合分析,将两组信号分别检测并组合,得到传感器织物检测组合识别波形图,进而反映所检测织物的厚度、弹性以及织物表面粗糙度等特征。

6. 根据权利要求5所述的一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,其特征在于:所述传感器电容感知模块测厚度越大的织物相对电容变化波形拥有更高的脉冲峰值,表面粗糙度越大的织物,所述传感器压电感知模块所测电压值波形拥有更高的脉冲峰值,弹性越小的织物,所述传感器电容感知模块和压电感知模块所测相对电容和电压波形变化越大,所述传感器织物检测信号中电容和压电信号的不同,不仅能区分不同厚度和弹性的织物,也能区分不同表面粗糙度的织物。

一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及柔性传感器领域,具体涉及一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器。

背景技术

[0002] 随着移动网络和智能设备的快速进步,可穿戴技术市场呈现出巨大的发展潜力。在这样的趋势下,柔性传感器因其在提升人机交互体验和可穿戴设备性能方面的显著优势,吸引了众多科研工作者的注意。这些传感器使用柔韧材料制造,具备高度的敏感性、迅速的响应时间和极佳的穿戴舒适度,已经在多个领域,如可穿戴监测设备、自修复电子皮肤和可弯曲触控屏等,发挥了重要作用。

[0003] 然而,随着对传感器功能和性能要求的持续提高,单一类型的传感器已经难以应对多样化和复杂的应用场景。目前市场上的柔性传感器还面临一些挑战和问题。这些问题可能包括但不限于:1) 电容式传感器的现有设计较为单一,其性能提升已经接近其潜力的极限,迫切需要创新的结构设计来突破这一瓶颈;2) 材料选择的多样性和复杂性:在压电薄膜的制造中,材料的选择和配比方案多样,不同的组合对传感器的性能有着不同的影响,这增加了研发的复杂性;3) 力识别维度的局限性:大多数电容传感器目前只能识别二维的力,这在需要三维力识别的应用场景中显得力不从心;4) 动态感知范围的限制:单一模式的传感器在感知从静态到高频动态变化的信息方面存在局限,难以满足更广泛的监测需求。

[0004] 目前,仅依靠单一类型的传感器,如压阻式和电容式传感器,由于它们较长的响应时间和较低的检测频率,主要限于检测低频的静态信号。与此同时,压电式和摩擦电式传感器虽然能够迅速产生电压信号,但这些信号随着时间推移会迅速消失,更适合捕捉动态变化。面对这种局限性,单纯提高单一传感器的性能已经难以实现对静态和动态信号的全面监测。因此,开发一种能够整合多种感知模式的传感器,以实现信号的全面捕捉,已成为技术发展中的一个迫切需求。

[0005] 为了应对以上挑战,并推动柔性传感器的实际应用,本发明提出一种织物检测的三维力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,本发明提供了一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,分别制备柔性静态三维力电容式应变传感器以及柔性动态三维力压电式应变传感器,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] 一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,包括安装于柔性机械爪内侧的三维力双模式柔性应变传感器,所述三维力双模式柔性应变传感器包括柔性静态三维力电容式应变传感器与柔性动态三维力压电式应变传感器,所述柔性静态三维力电容式应变传感

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,所述柔性动态三维力压电式应变传感器包括压电式传感器上电极极板,压电式传感器薄膜压电层和压电式传感器铜电极阵列下极板。

[0009] 进一步的,所述三维力双模式柔性应变传感器的制备方法包括如下步骤:

[0010] 1) 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0.01g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;

[0011] 2) 将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率为25kHz、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以及圆形公共上极板;将步骤1)制得的离子薄膜作为介质层同下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性静态三维力电容式应变传感器;

[0012] 3) 称量0.5g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0.5g的钛酸钡BaTiO₃,在各成分完全溶解后,添加0.01g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,制备出压电薄膜;

[0013] 4) 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以及环状公共上极板;将步骤1)制得的离子薄膜作为介质层同下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性动态三维力压电式应变传感器;

[0014] 5) 将步骤2)所制得的电容式传感器作为电容感知模块,将步骤4)所制得的压电式传感器作为压电感知模块,两者作为三维力双模式柔性应变传感器的电容感知模块和压电感知模块,用聚二甲基硅氧烷PDMS将两个模块封装起来,用模具塑造圆顶,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阵列的上下极板上,制备得到电容压电三维力双模式柔性应变传感器。

[0015] 进一步的,所述柔性静态三维力电容式应变传感器在柔性机械爪做抓握动作时被挤压,根据所抓织物的厚度、弹性以及表面粗糙度等特征的不同,电容信号会有所差异,不同的电容变化率可以反映织物的厚度和弹性。

[0016] 进一步的,所述柔性动态三维力压电式应变传感器在柔性机械爪做抓握动作时被挤压,根据所抓织物的厚度、弹性以及表面粗糙度等特征的不同,压电信号也会有所不同,不同的电压可以反映织物的弹性和织物表面的粗糙度。

[0017] 进一步的,将所述三维力双模式柔性应变传感器中的电容感知模块的电容变化信号与所述三维力双模式柔性应变传感器中的压电感知模块的输出电压变化信号结合分析,将两组信号分别检测并组合,得到传感器织物检测组合识别波形图,进而反映所检测织物的尺寸、弹性以及织物表面粗糙度等特征。

[0018] 进一步的,所述传感器电容感知模块测厚度越大的织物相对电容变化波形拥有更高的脉冲峰值,表面粗糙度越大的织物,所述传感器压电感知模块所测电压值波形拥有更

高的脉冲峰值,弹性越小的织物,所述传感器电容感知模块和压电感知模块所测相对电容和电压波形变化越大,所述传感器织物检测信号中电容和压电信号的不同,不仅能区分不同厚度和弹性的织物,也能区分不同表面粗糙度的织物。

[0019] 有益效果

[0020] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0021] 1.将柔性静态三维力电容式应变传感器与柔性动态三维力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;

[0022] 2.制备出圆环嵌套结构的内圆外环双模式传感器结构以及具有圆顶结构的封装,有效提高了三维力双模式柔性应变传感器的稳定性和灵敏度以及整体抗电磁干扰能力;

[0023] 3.以钛酸钡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;

[0024] 4.将柔性静态三维力电容式应变传感器和柔性动态三维力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,三维力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;

[0025] 5.将电容信号与压电信号进行信号组合,得到多模态传感器织物检测信号组合信号波形,以此反映所检测织物的厚度、弹性以及表面粗糙度的特性。

[0026] 6.三维力双模式柔性应变传感器独特的电极阵列设计能够很好地感应三维力的方向大小等触觉应变信息。

[0027] 7.三维力双模式柔性应变传感器能够检测织物信号中电容和压电信号的不同,不仅能区分不同厚度和弹性的织物,也能区分不同表面粗糙度的织物。

附图说明

[0028] 图1是本发明一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器的结构示意图;

[0029] 图2是离子薄膜表面棱锥阵列的形貌图;

[0030] 图3是离子薄膜表面棱锥阵列的截面形貌图;

[0031] 图4是柔性静态三维力电容式应变传感器的法向灵敏度性能测试图像;

[0032] 图5是柔性静态三维力电容式应变传感器的切向灵敏度性能测试图像;

[0033] 图6是柔性静态三维力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;

[0034] 图7是柔性静态三维力电容式应变传感器在切向力作用下的迟滞性能的测试图像;

[0035] 图8是柔性静态三维力电容式应变传感器的法向重复性能的测试图像;

[0036] 图9是柔性静态三维力电容式应变传感器的切向重复性能的测试图像;

[0037] 图10是柔性静态三维力电容式应变传感器的法向响应时间性能的测试图像;

[0038] 图11是柔性静态三维力电容式应变传感器的切向响应时间性能的测试图像;

[0039] 图12是柔性静态三维力电容式应变传感器的法向动态响应能力的测试图像;

[0040] 图13是柔性静态三维力电容式应变传感器的切向动态响应能力的测试图像;

- [0041] 图14是柔性静态三维力电容式应变传感器的法向静态响应能力的测试图像；
- [0042] 图15是柔性静态三维力电容式应变传感器的切向静态响应能力的测试图像；
- [0043] 图16是柔性动态三维力压电式应变传感器力与输出电压的关系图像；
- [0044] 图17是柔性动态三维力压电式应变传感器在阶梯力值下的电压输出与受力关系的测试图像；
- [0045] 图18是柔性动态三维力压电式应变传感器在不同频率动态力下电压输出与受力关系；
- [0046] 图19是柔性动态三维力压电式应变传感器的重复性能的测试图像；
- [0047] 图20是柔性动态三维力压电式应变传感器的响应时间的测试图像；
- [0048] 图21是三维力双模式柔性应变传感器在0°斜坡的测试图像；
- [0049] 图22是三维力双模式柔性应变传感器在30°斜坡的测试图像；
- [0050] 图23是三维力双模式柔性应变传感器在45°斜坡的测试图像；
- [0051] 图24是三维力双模式柔性应变传感器在60°斜坡的测试图像；
- [0052] 图25是柔性动态三维力压电式应变传感器检测牛仔的测试图像；
- [0053] 图26是柔性动态三维力压电式应变传感器检测条绒的测试图像；
- [0054] 图27是柔性动态三维力压电式应变传感器检测欧根纱的测试图像；
- [0055] 图28是柔性动态三维力压电式应变传感器检测尼龙的测试图像；
- [0056] 图29是柔性静态三维力电容式应变传感器检测牛仔的测试图像；
- [0057] 图30是柔性静态三维力电容式应变传感器检测条绒的测试图像；
- [0058] 图31是柔性静态三维力电容式应变传感器检测欧根纱的测试图像；
- [0059] 图32是柔性静态三维力电容式应变传感器检测尼龙的测试图像；
- [0060] 附图标号
- [0061] 1、三维力双模式柔性应变传感器2、柔性静态三维力电容式应变传感器3、柔性动态三维力压电式应变传感器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

- [0062] 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:
- [0063] 如图1所示,本发明公开了一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器,包括安装于柔性机械爪内侧的三维力双模式柔性应变传感器1,所述三维力双模式柔性应变传感器1包括柔性静态三维力电容式应变传感器2与柔性动态三维力压电式应变传感器3,所述柔性静态三维力电容式应变传感器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,所述柔性动态三维力压电式应变传感器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。
- [0064] 一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器的制备方法,包括如下步骤:
- [0065] 1) 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

0.01g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;

[0066] 2) 将附着在聚酰亚胺(PI)基板上的铜带在频率为25kHz、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以及圆形公共上极板。将步骤一制得的离子薄膜作为介质层同下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性静态三维力电容式应变传感器;

[0067] 3) 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0.5g的钛酸钡BaTiO₃,在各成分完全溶解后,添加0.01g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,制备出压电薄膜;

[0068] 4) 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以及环状公共上极板。将步骤一制得的离子薄膜作为介质层同下极板、上极板三层组装在一起,制备出柔性动态三维力压电式应变传感器;

[0069] 5) 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,两者作为三维力双模式柔性应变传感器的电容感知模块和压电感知模块,用聚二甲基硅氧烷PDMS将两个模块封装起来,用模具塑造圆顶,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阵列的上下极板上,制备得到电容压电三维力双模式柔性应变传感器。

[0070] 进一步的,佩戴在柔性机械爪内侧的所述三维力双模式柔性应变传感器(1)中的柔性静态三维力电容式应变传感器(2)在柔性机械爪做抓握动作时被挤压,根据所抓织物的厚度、弹性以及表面粗糙度等特征的不同,电容信号会有所差异,不同的电容变化率可以反映织物的厚度和弹性,佩戴在柔性机械爪内侧的所述三维力双模式柔性应变传感器(1)中的柔性动态三维力压电式应变传感器(3)在柔性机械爪做抓握动作时被挤压,根据所抓织物的厚度、弹性以及表面粗糙度等特征的不同,压电信号也会有所不同,不同的电压可以反映织物的弹性和织物表面的粗糙度。

[0071] 进一步的,将所述三维力双模式柔性应变传感器中的电容感知模块的电容变化信号与所述三维力双模式柔性应变传感器中的压电感知模块的输出电压变化信号结合分析,将两组信号分别检测并组合,得到传感器织物检测组合识别波形图,进而反映所检测织物的大小、弹性以及织物表面粗糙度等特征。

[0072] 进一步的,厚度越大的织物,所述传感器电容感知模块所测相对电容变化波形拥有更高的脉冲峰值,表面粗糙度越大的织物,所述传感器压电感知模块所测电压值波形拥有更高的脉冲峰值,弹性越小的织物,所述传感器电容感知模块和压电感知模块所测相对电容和电压波形变化越大,所述传感器织物检测信号中电容和压电信号的不同,不仅能区分不同厚度和弹性的织物,也能区分不同表面粗糙度的织物。

[0073] 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

450 μm ,且每两个金字塔的中心距离均为350 μm 。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。

[0074] 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50 μm 左右;棱锥间的中心距离为125 μm ,棱锥的高度约为60 μm ,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。

[0075] 如图4所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器2施加0~50kPa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呈现两级变化。在0~20kPa的压力范围内, $S=43.8\text{kPa}^{-1}$,灵敏度较高的原因是传感器介电层与电极之间的微观结构变形完全,互锁结构中的间隙充分减小。随着压力增加到20~50kPa,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,传感器的灵敏度下降到1.6kPa $^{-1}$ 。

[0076] 如图5所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器2施加0~25kPa的切向压力,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呈现两级变化。在0~20kPa的压力范围内, $S=43.8\text{kPa}^{-1}$,灵敏度较高的原因是传感器介电层与电极之间的微观结构变形完全,互锁结构中的间隙充分减小。随着压力增加到20~50kPa,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,传感器的灵敏度下降到1.6kPa $^{-1}$ 。

[0077] 如图6图7所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器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及切向力作用下的迟滞性能。施加力的全过程中,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。

[0078] 如图8图9所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器2施加重复的加载—卸载循环法向与切向力,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1500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。

[0079] 如图10图11所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器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,测得法向加载时间为63ms,卸载时间为64ms,测得切向加载时间为243ms,卸载时间为270ms,基本一致。证明该传感器在法向力切向力作用下均有良好的响应能力。

[0080] 如图12图13所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器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,法向与切向均显示出良好的动态响应性能。

[0081] 如图14图15所示,通过力学试验机(MX-0350)对柔性静态三维力电容式应变传感器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5kPa、6kPa、7kPa的静态法向压力,并保持一段时间。通过力学试验机对传感器分别施加了大小为10kPa、12.5kPa、15kPa的静态切向压力,并保持一段时间。使用数字电桥(TH2830)在100kHz的采样频率下分别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。

[0082] 如图16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)对柔性动态三维力压电式应变传感器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。

[0083] 如图17图18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)对柔性动态三维力压电式应变传感器3进行力学测试能够得到压电传感单元在阶梯力值下的电压与受力关系与压电传感单元在不同频率动态力下电压与受力关系。

[0084] 如图19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)对柔性动态三维力压电式应变传感器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。

[0085] 如图20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)对柔性动态三维力压电式应变传感器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23ms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。表明该传感器的电压响应时间不超过100ms,电压恢复时间不超过900ms,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。

[0086] 如图21-24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)对柔性动态三维力压电式应变传感器3进行0°、30°、45°、60°角度三维力测试。

[0087] 如图25-28所示,通过柔性机械爪、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性动态三维力压电式应变传感器3进行牛仔条绒欧根纱尼龙四种织物的测试。传感器贴在柔性机械爪上,循环抓取四种织物。根据所抓织物的厚度、弹性以及表面粗糙度等特征的不同,压电信号也会有所不同。

[0088] 如图29-32所示,通过柔性机械爪、电荷放大器和(KSI-3103)和数据采集仪(KSI-8908N)对柔性静态三维力电容式应变传感器3进行牛仔条绒欧根纱尼龙四种织物的测试。传感器贴在柔性机械爪上,循环抓取四种织物。不同的电压可以反映织物的弹性和织物表

面的粗糙度。

[0089] 一种织物检测的三维力双模式柔性应变传感器可以捕捉柔性静态三维力电容式应变传感器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,将柔性静态三维力电容式应变传感器和柔性动态三维力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织物识别时,三维力双模式柔性应变传感器1佩戴在柔性机械爪内侧位置,通过柔性静态三维力电容式应变传感器2和柔性动态三维力压电式应变传感器3把采集到的电容信号以及压电信号进行组合,得到传感器织物检测组合识别波形,对组合信号波形进行分析,进而反映出所检测织物的大小、弹性以及织物表面粗糙度等特征。

[0090] 最后应说明的是: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。

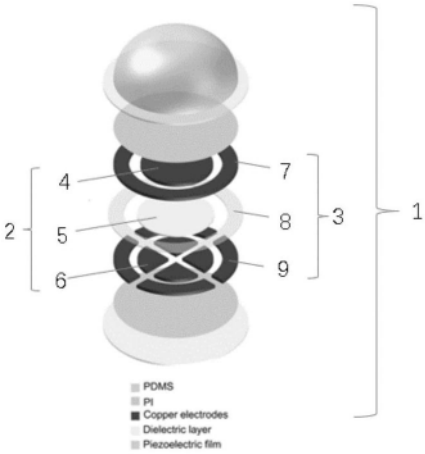


图1

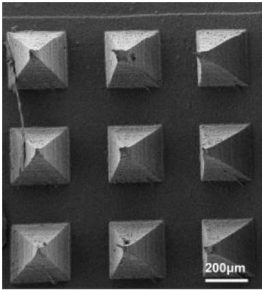


图2

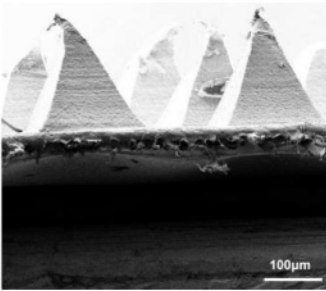


图3

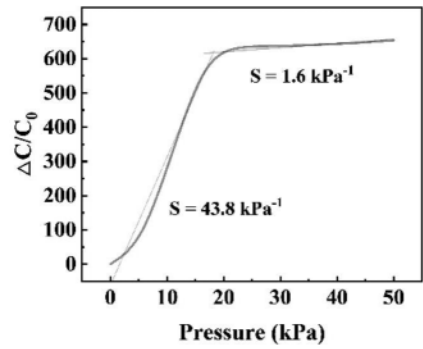


图4

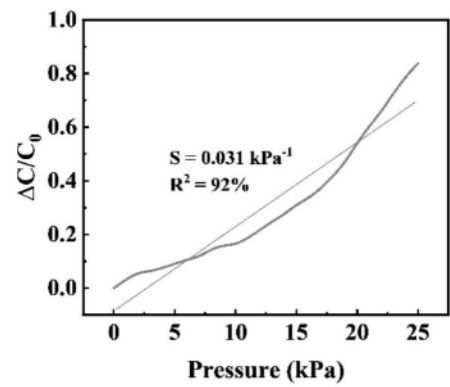


图5

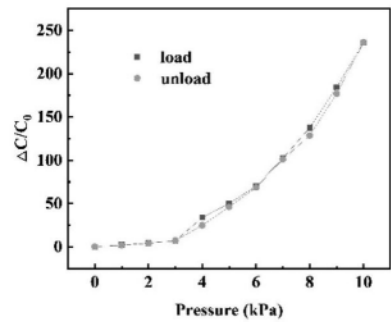


图6

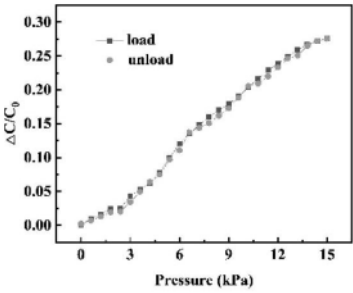


图7

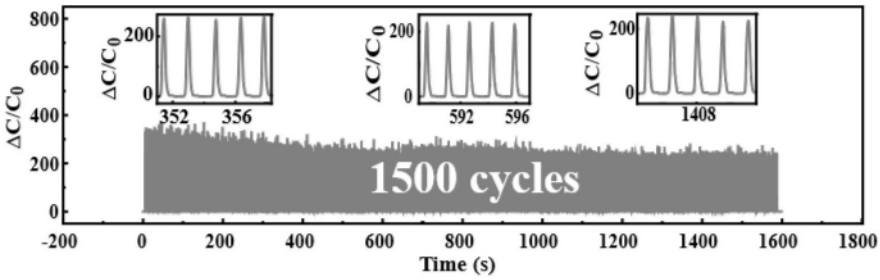


图8

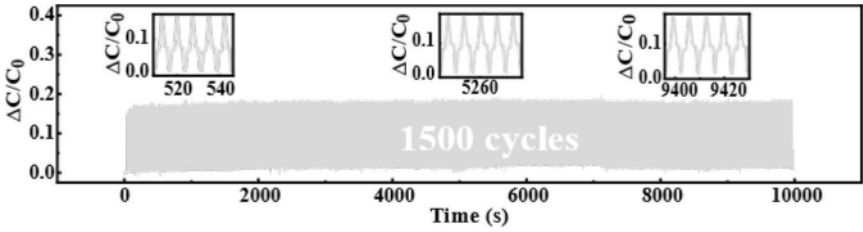


图9

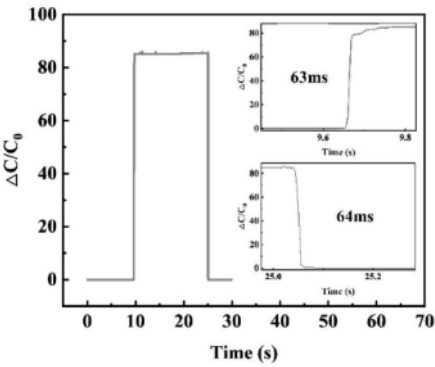


图10

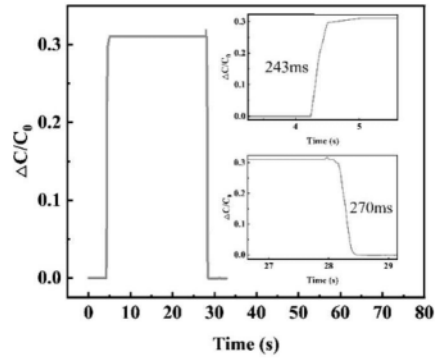


图11

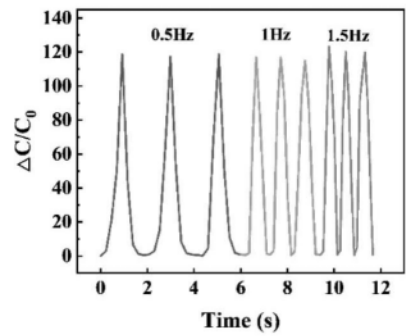


图12

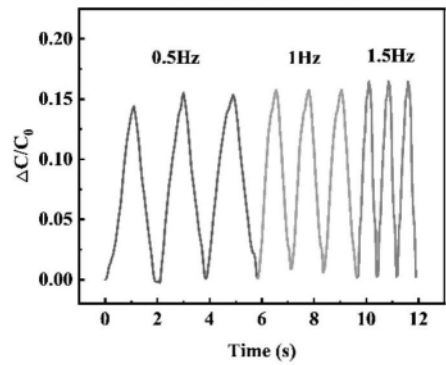


图13

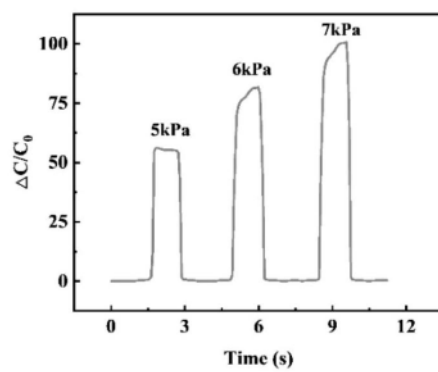


图14

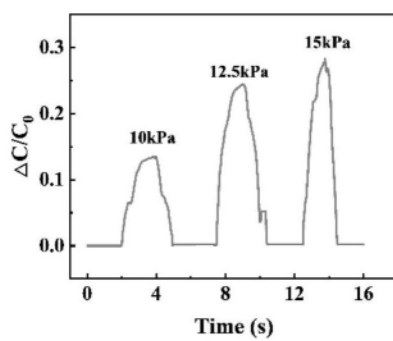


图15

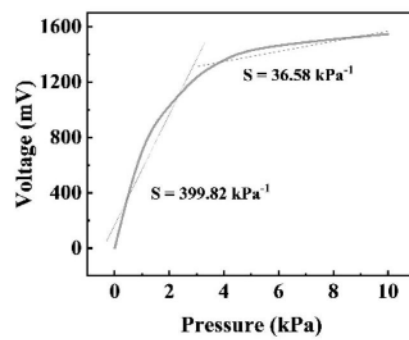


图16

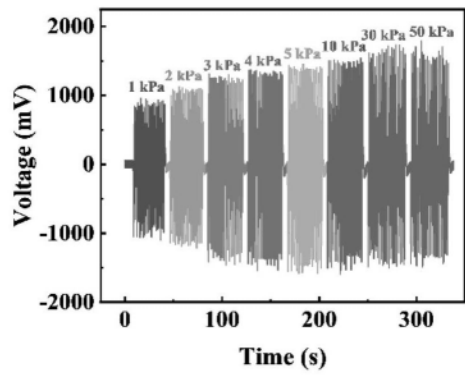


图17

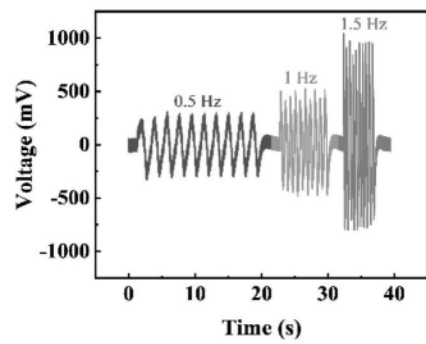


图18

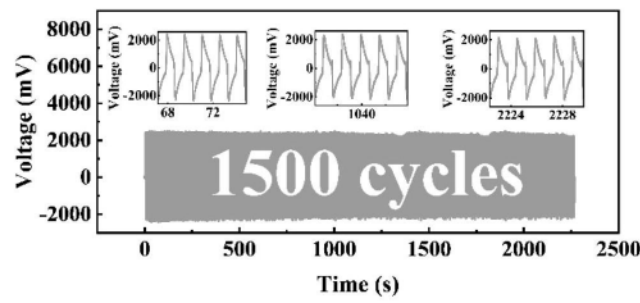


图19

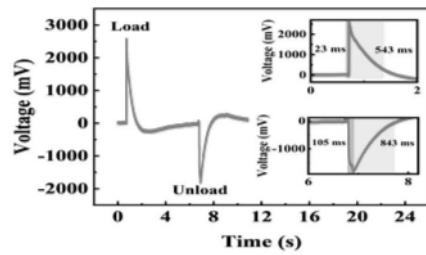


图20

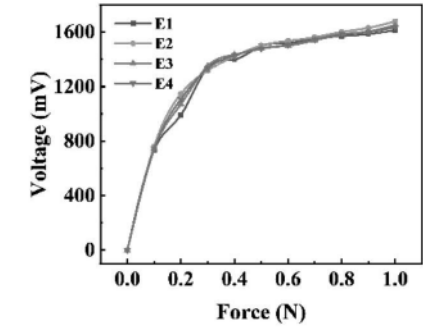


图21

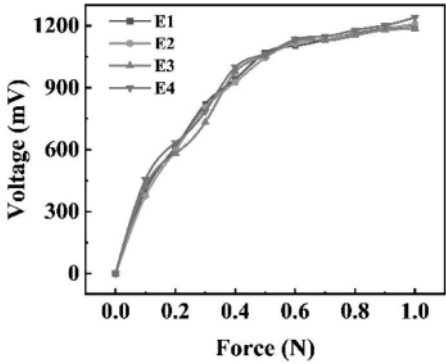


图22

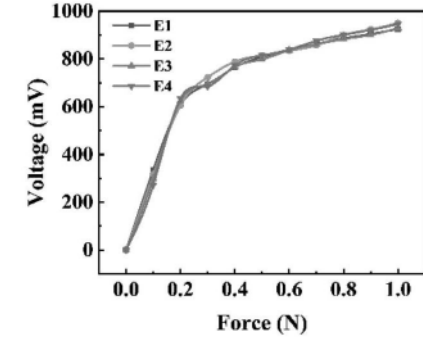


图23

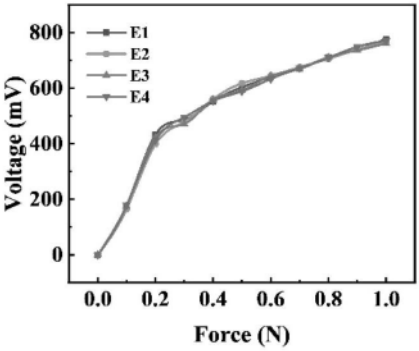


图24

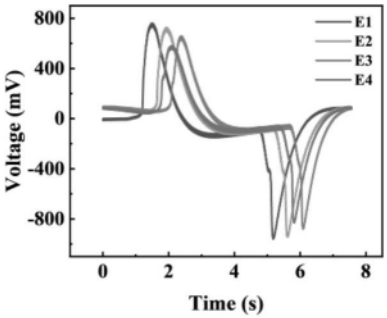


图25

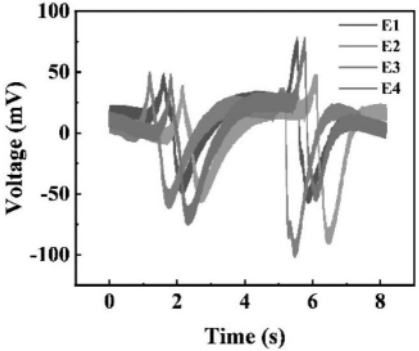


图26

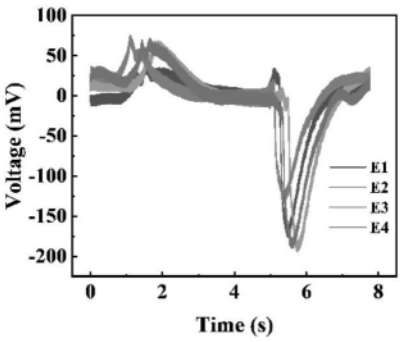


图27

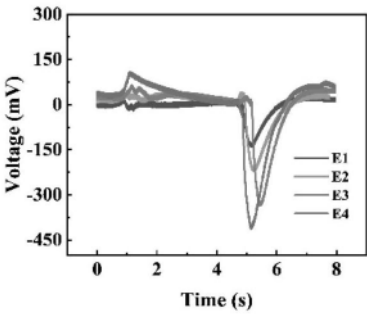


图28

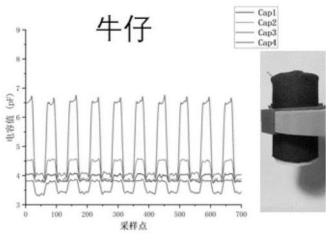


图29

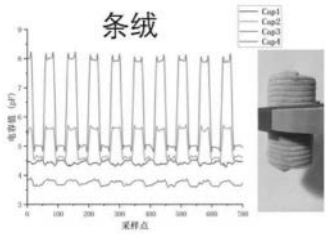


图30

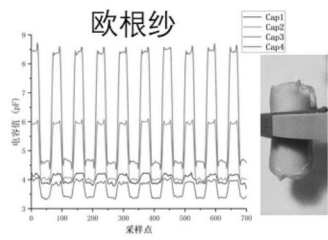


图31

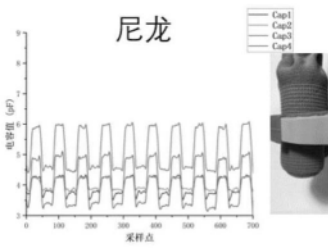


图32