



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118009870 A

(43) 申请公布日 2024. 05. 10

(21) 申请号 202410164234.3

(22) 申请日 2024.02.05

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西
大直街92号

(72) 发明人 彭庆宇 薛福华 赫晓东

(74) 专利代理机构 哈尔滨龙科专利代理有限公司 23206

专利代理师 王新雨

(51) Int. Cl.

G01B 7/16 (2006.01)

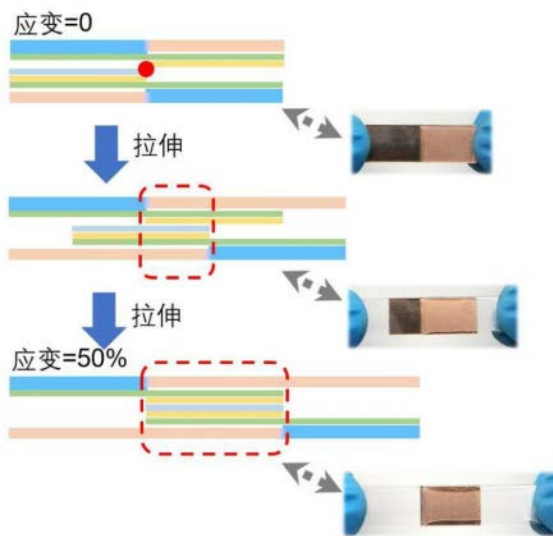
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器及其制备方法

(57) 摘要

一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器及其制备方法,属于传感器制备领域。所述电容式应变传感器包括两层硬质基底,所述两层硬质基底之间依次设有电极层、固态电解质层、电极层,其中一个电极层的位置与另外两层错开设置,上层硬质基底的上侧和下层硬质基底的下侧设有高刚度弹性体和低刚度弹性体,且上下两侧的高低刚度弹性体错开设置,低刚度弹性体与电极层同侧设置。本发明相对于现有技术的有益效果为:该电容式应变传感器在整个传感范围内表现出超高的灵敏度 ($GF=9.1 \times 10^6$) 和超高的线性度 ($R^2=0.9997$),同时几乎没有滞后,并具有超快的响应时间(17毫秒)。



1. 一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,其特征在于:所述电容式应变传感器包括两层硬质基底,所述两层硬质基底之间依次设有电极层、固态电解质层、电极层,其中一个电极层的位置与另外两层错开设置,上层硬质基底的上侧和下层硬质基底的下侧设有高刚度弹性体和低刚度弹性体,且上下两侧的高低刚度弹性体错开设置,低刚度弹性体与电极层同侧设置。

2. 根据权利要求1所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,其特征在于:所述硬质基底的材质为PVC、PET或PC中的一种。

3. 根据权利要求1所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,其特征在于:所述高刚度弹性体为PDMS或聚氨酯。

4. 根据权利要求1所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,其特征在于:根据具体应变要求选择低刚度弹性体的断裂伸长率。

5. 根据权利要求4所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,其特征在于:所述低刚度弹性体为Ecoflex-0030、Ecoflex-0050或dragon-skin。

6. 根据权利要求1所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,其特征在于:所述电极的材质为柔性钛、铜或铝,所述固态电解质为PAM/LiCl或PVA/LiCl体系。

7. 一种权利要求1~6任一项所述的基于差层滑移策略的电容式应变传感器的制备方法,其特征在于:所述方法为:

步骤一:在硬质基底的一半区域上浇筑高刚性弹性体并固化,并使基底和弹性体之间相结合;

步骤二:将低刚度弹性体浇筑在硬质基底的另一半区域上,两种弹性体的边界处相融合并固化连接在一起,但低刚度弹性体和基底之间未结合;

步骤三:在低刚度弹性体部分相对应的硬质基底的另一侧加上电极,再在电极上浇筑一层固态电解质;

步骤四:将仅有电极的高刚度弹性体/硬质基底-低刚度弹性体梯度刚度层和另一个电极上覆盖固态电解质的梯度刚度层首尾相连,即形成电容式应变传感器;

以上步骤无具体顺序限定,亦可先制备电极和固态电解质,后制备弹性体。

8. 根据权利要求7所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器的制备方法,其特征在于:步骤一中,所述使基底和弹性体之间相结合的方法为氧等离子体处理。

9. 根据权利要求7或8所述的一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器的制备方法,其特征在于:在低刚度弹性体部分和硬质基底层之间的缝隙中滴入少量润滑剂。

一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于传感器制备领域,具体涉及一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 柔性传感器克服了传统刚性传感器设备生物相容性差和传感范围窄的缺点,在人工智能、电子皮肤和健康监测方面具有重要的实用价值,开发一种在宽范围内具有高灵敏度和高线性度的理想应变传感器一直是一个关键和必要的课题。柔性应变传感器根据其工作机制通常可分为三类:压电、电阻和电容。压电型应变传感器对动态变形具有快速响应时间,并且不需要额外的电源,但它们不能检测静态负载。电阻型应变传感器能够实现高灵敏度,这是目前研究最多的传感器。尽管通过一些精细的设计,柔性应变传感器可以表现出出色的灵敏度系数(GF),但大多数电阻式应变传感器都表现出非线性应变响应和滞后效应。在实际操作中,将柔性应变传感器放置在人体皮肤等传感目标上时,通常无法保证其安装状态没有初始应变。在这种情况下,非线性将导致显著的测量误差,使校准过程变得复杂而具有挑战性。即使在加载和卸载过程中承受相同的应变,高滞后效应也会导致传感器显示不同的结果,这也是一个严重的问题。电容式应变传感器可以很好地满足上述线性和滞后要求。在对传统平行板电容式应变传感器施加单轴应变时,由于泊松效应,电介质的表面积和厚度会协同变化,从而导致电容随应变呈线性变化。虽然电容式应变传感器具有线性的固有优势,但其灵敏度较低,理论上可达到的最佳GF值为1,远低于电阻式传感器。因此,亟需打破电容式应变传感器灵敏度低的限制,以满足人们对宽线性范围和高灵敏度的需求。

发明内容

[0003] 本发明的目的是为了打破电容式应变传感器灵敏度低的限制,从结构设计角度出发,提出了一种全新的电容式应变传感器设计策略--“差层滑移”方法,通过控制局部增强电场的分布和基片的异质变形,从根本上突破了电容式应变传感器最高灵敏度为1的理论极限,成功制备出了一种性能卓越的电容式应变传感器,在整个传感范围内表现出超高的灵敏度和超高线性度,同时几乎没有滞后效应,并具有超快的响应时间。

[0004] 为实现上述目的,本发明采取的技术方案如下:

[0005] 一种基于差层滑移策略的电容式应变传感器,所述电容式应变传感器包括两层硬质基底,所述两层硬质基底之间依次设有电极层、固态电解质层、电极层,其中一个电极层的位置与另外两层错开设置,上层硬质基底的上侧和下层硬质基底的下侧设有高刚度弹性体和低刚度弹性体,且上下两侧的高低刚度弹性体错开设置,低刚度弹性体与电极层同侧设置。

[0006] 进一步地,所述硬质基底的材质为PVC、PET或PC中的一种,能弯曲的基材即可。

[0007] 进一步地,所述高刚度弹性体为PDMS或聚氨酯。

[0008] 进一步地,根据具体应变要求选择低刚度弹性体的断裂伸长率。

[0009] 进一步地,所述低刚度弹性体为Ecoflex-0030、Ecoflex-0050或dragon-skin。

[0010] 进一步地,所述电极的材质为柔性钛、铜或铝,所述固态电解质为PAM/LiCl或PVA/LiCl体系。

[0011] 一种上述的基于差层滑移策略的电容式应变传感器的制备方法,所述方法为:

[0012] 步骤一:在硬质基底的一半区域上浇筑高刚性弹性体并固化,并使基底和弹性体之间相结合;

[0013] 步骤二:将低刚度弹性体浇筑在硬质基底的另一半区域上,两种弹性体的边界处相融合并固化连接在一起,但低刚度弹性体和基底之间未结合;

[0014] 步骤三:在低刚度弹性体部分相对应的硬质基底的另一侧加上电极,再在电极上浇筑一层固态电解质;

[0015] 步骤四:将仅有电极的高刚度弹性体/硬质基底-低刚度弹性体梯度刚度层和另一个电极上覆盖固态电解质的梯度刚度层首尾相连,即形成电容式应变传感器;

[0016] 以上步骤无具体顺序限定,亦可先制备电极和固态电解质,后制备弹性体。

[0017] 进一步地,步骤一中,所述使基底和弹性体之间相结合的方法为氧等离子体处理。

[0018] 进一步地,在低刚度弹性体部分和硬质基层之间的缝隙中滴入少量润滑剂(例如,0.1克滑石粉),以便低刚度弹性体部分在硬质基层上顺利滑动。

[0019] 本发明相对于现有技术的有益效果为:该电容式应变传感器在整个传感范围内表现出超高的灵敏度($GF=9.1 \times 10^6$)和超高的线性度($R^2=0.9997$),同时几乎没有滞后,并具有超快的响应时间(17毫秒)。

附图说明

[0020] 图1为结构示意图;

[0021] 图2为工作机理示意图;

[0022] 图3为灵敏度及线性度表征图;

[0023] 图4为响应时间表征图;

[0024] 图5为滞后效应表征图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案作进一步的说明,但并不局限于此,凡是对本发明技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,均应涵盖在本发明的保护范围内。

[0026] 实施例1:

[0027] 应变传感器的尺寸设定为 30×10 毫米,制备过程如图1所示。覆盖0.15毫米厚的柔性PVC薄膜的一半区域,然后仅对另一半区域进行30分钟的等离子处理。然后将PDMS(单体和交联剂的质量比为10:2)浇注到经过等离子处理的区域,并在 70° 下固化20分钟。然后将Ecoflex-0030浇注在未处理的PVC区域,Ecoflex部分和PDMS部分融合,并在 75° 下固化12小时。至此,坚硬的PDMS/PVC部分和柔软的Ecoflex部分形成了梯度刚度基底。然后,在与Ecoflex部分相对应的PVC层的另一侧贴上0.02毫米厚的柔性钛片作为电极。或者,也可以通过磁控溅射在基底上沉积一层金作为电极。再在电极上浇铸一层0.5毫米厚的PAM/LiCl

离子层固态电解质。最后,将仅有电极的PDMS/PVC-Ecoflex梯度刚度层和电极上覆盖离子层的另一个梯度刚度层首尾相连,形成一个电容式应变传感器。两端的Ecoflex部分和上下梯度刚度层的PDMS部分固化后,再滴入几滴PDMS粘合在一起。此外,还可在Ecoflex部分和PVC层之间的缝隙中滴入少量润滑剂(0.1克滑石粉,阿拉丁公司),以便Ecoflex部分在PVC层上顺利滑动。

[0028] 其中,PAM/LiCl离子层固态电解质制备方法:以过硫酸铵为引发剂,通过自由基聚合法合成PAM水凝胶。具体地,首先,将8.34克丙烯酰胺、1.586克丙烯酸钠和0.115克N,N'-亚甲基双丙烯酰胺溶解到100毫升去离子水中,然后搅拌30分钟直到它们完全溶解(溶液A)。然后将1.11克过硫酸铵溶解到10克去离子水中(溶液B)。在冰水浴中将2.54克氯化锂溶解到10毫升溶液A中,得到预凝胶溶液。将这种预凝胶溶液与15 μ L N,N',N'-四甲基乙二胺和50 μ L溶液B混合,浇筑在电极上形成离子层固态电解质。整个离子层固态电解质就是PAM水凝胶里包含着LiCl离子。

[0029] 所制备的应变传感器的传感机理分析及性能表征:

[0030] 当应变传感器受到单轴拉力时,只有上下梯度刚度层中的软部件(Ecoflex部分)发生形变(如图2所示),导致上部电极与离子层之间的接触面积逐渐增大(下部电极始终与离子层完全接触)。由于离子层/电极界面上形成了双电层(EDL),接触面积的增加导致电容的增加。离子层中分布着大量的正负离子对。当施加电压时,电极上的电子和离子层中的正离子在纳米距离的接触区域内聚集并相互吸引,从而产生超高的双电层电容。从理论上讲,上电极与离子层之间的接触面积随传感器应变的增加而线性增加。

[0031] 电容式应变传感器的灵敏度定义为 $GF = \delta(\Delta C/C_0) / \delta\epsilon$,其中C和 C_0 分别为拉伸时的测量电容和施加应变前(ϵ)的初始电容。对于本方法所设计的传感器,可以很好地利用EDL来提高灵敏度。本方法制备的传感器的GF值测试高达 9.1×10^6 。最重要的是,电信号在整个感应范围内保持高度线性($R^2 = 0.9997$) (如图3所示)。在施加应变之前,离子层/电极界面的接触面积很小,因此由于EDL的形成极少,初始电容 C_0 只有几个pF。随着应变的增加,上层和下层梯度刚度层中的软部件发生变形并伸长,导致电极和离子层之间的接触面积增大,从而显著增加了EDL电容($C \sim \mu$ F),从而显示出极高的灵敏度。

[0032] 此外,与传统电阻式应变传感器相比,本方法设计的电容式传感器在拉伸到0.5%应变时的动态响应时间极短,仅为17毫秒(如图4所示)。一些现有的电阻式传感器会表现出滞后现象,即使在加载和卸载过程中的应变相同,测量结果也会不同。滞后通常是由于聚合物的粘弹性以及活性材料与聚合物之间的相互作用造成的,这在实际应用中非常不利。相比之下,这种电容式传感器在加载/卸载循环中几乎没有滞后现象(如图5所示)。

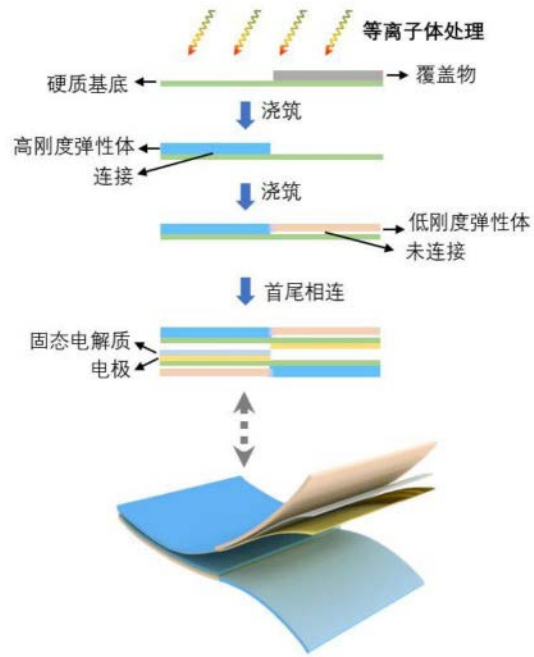


图1

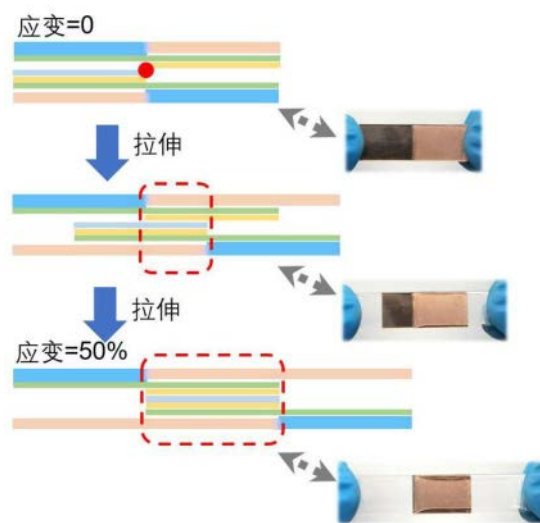


图2

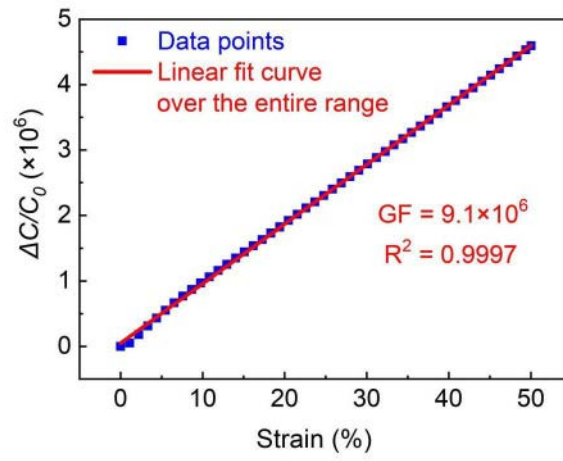


图3

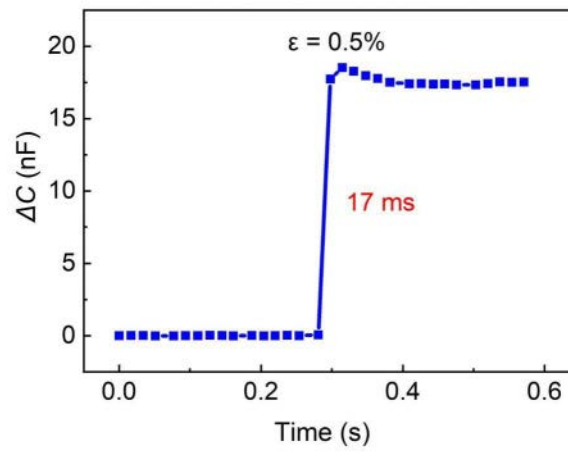


图4

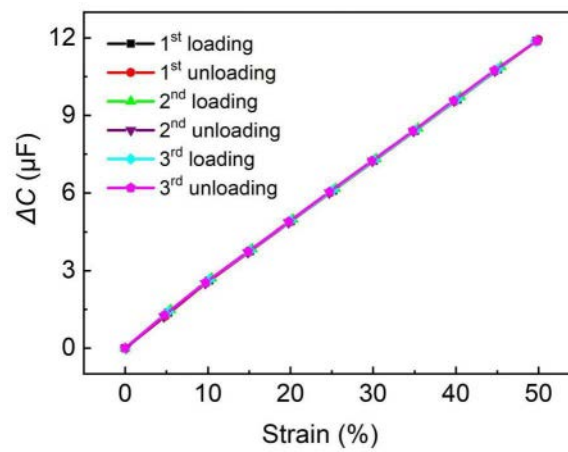


图5