



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116183088 A

(43) 申请公布日 2023. 05. 30

(21) 申请号 202310215766.0

(22) 申请日 2023.03.08

(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 周家豪 刘爱萍 吕子寒 程琳
吴化平 王文航 王鑫银

(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 韩立霞

(51) Int. Cl.

G01L 5/165 (2020.01)

G01L 1/14 (2006.01)

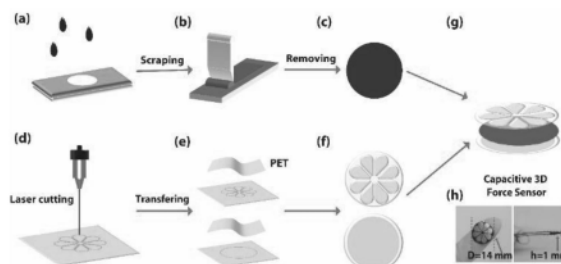
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器及其制备方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器及其制备方法。该传感器由顶部电极、介质层和底部电极组成,顶部电极由八个独立的花瓣电极组成,底部电极由一个圆形的公共电极组成,介质层由Ecoflex和多壁碳纳米管的复合材料制备而成,并用Ecoflex对传感器进行封装。该柔性电容式三维力触觉传感器的灵敏度较高,响应时间短,具备良好的迟滞性和稳定性。本发明在静态环境和动态环境下都具有良好的触觉传感功能,在触觉识别的领域具有重要的意义。



1. 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于:该传感器包括顶部电极、介质层和底部电极。顶部电极由八个独立的花瓣电极组成,底部电极由一个圆形的公共电极组成,介质层由Ecoflex和多壁碳纳米管的复合材料制备而成,并用Ecoflex对传感器进行封装。

2. 根据权利要求1所述的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于:该传感器通过各个极板的电容变化提供三维力传感。

3. 根据权利要求1所述的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于:顶部与底部电极层之间设置有由Ecoflex和纯度为95%多壁碳纳米管的复合材料制备而成的介质层。

4. 根据权利要求1所述的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于,所述的由Ecoflex和纯度为95%多壁碳纳米管的复合材料制备而成的介质层中碳纳米管所占质量分数为4wt.%。

5. 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 以1:1的质量比称取Ecoflex的A胶与B胶混合形成溶液,之后称取适量的多壁碳纳米管分散在二甲苯中并与Ecoflex溶液混合,将混合溶液倒入模具中并放置在加热台上在80℃下加热1小时,脱模后即可形成介质层;

(2) 将预先制备的Ecoflex溶液和分散的碳纳米管溶液混合并充分搅拌,倒入准备好的模具中,使用刮刀刮擦并涂抹,在80℃下保持1小时。用激光切割机切割厚度为150μm的粘合铜带,并将其转移到柔性PET基底上,形成柔性电极层;

(3) 顶部电极层、底部电极层和介质层由未固化的Ecoflex组装,所述的底部电极为直径等于14mm的圆形电极,顶部电极为8个相互独立的花瓣状阵列电极。

(4) 铜线通过导电银浆粘附到电极层的延伸部分,用于电信号输出,得到花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器。

6. 根据权利要求1所述的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于:该传感器用于物体表面的形貌的测定。

7. 根据权利要求1所述的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于:所述的传感器根据顶部电极与底部电极之间投影面积的改变,检测正向力和切向力,解耦传感器上的三维力。

8. 根据权利要求1所述的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器,其特征在于:所述的传感器佩戴在手指上,通过捕捉手指抓取时传感器各单元电容输出的相对电容变化曲线,以此来判断所抓取的物体形状。

一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉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,具体涉及一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着传感技术以及柔性基质材料的发展,柔性传感器受到越来越多的关注。柔性传感器是指采用柔性材料制备的传感器。相对于传统的刚性传感器,柔性传感器具有良好的柔韧性、灵活性和耦合性。此外,柔性传感器的制作成本较低,可穿戴性高,因此柔性传感器被广泛用于人机交互、医学监测、环境保护、可穿戴设备等领域。此外,材料研发、电子信息和传感器制备技术的不断进步也为柔性传感器性能和功能的提升提供了充分的技术支持,使得柔性传感器得以大规模生产和使用。

[0003] 柔性传感器的种类繁多,一般按照用途可分为柔性压力传感器、柔性湿度传感器、柔性温度传感器、柔性光电传感器、柔性应变传感器、柔性电化学传感器等。其中柔性压力传感器可以将施加在传感器上的压力信号以电信号方式反馈给接收端,从而实现对压力的传感。这种传感方式不仅可以反馈施加在传感器上的外力信息,同时也可以反映与传感器接触的物体的信息,因此柔性压力传感器被广泛应用于对物体形状和材质、振动、表面粗糙度、压力和触觉[30]等信息的传感。

[0004] 随着人们对柔性压力传感器的深入探索和研究,柔性压力传感器的测试维度也由一维上升到了三维。相对于传统的柔性一维力传感器,柔性三维力传感器可以同时检测来自空间中X、Y、Z三个方向上力的信息,因此柔性三维力传感器被广泛应用于智能设备和电子皮肤等领域。此外,柔性三维力传感器也被用于触觉传感领域,让机器拥有如同人体般的触觉感知功能。由于柔性三维力传感器对于不同测试物体的耦合程度较高,可以传感轴承振动从而监测轴承的工作状况,避免机器超负荷工作而受到损伤,同时可以通过闭环反馈的方式帮助机器完成工作。在医疗领域,柔性三维力传感器也扮演着重要角色。例如,利用柔性三维力传感器可以对足底的界面应力进行监测,从而预防糖尿病和平足病;对眼压的检测可以预防眼部疾病的产生;对于肿瘤的预防也有着一定的前景。除此之外,还可以通过柔性三维力传感器对医疗设备的工作状态进行监测,并通过传感方式进行信息反馈。

[0005] 综上所述,柔性三维力传感器的应用前景广阔且具备实用价值,但是随着科技的不断发展人们对于传感器的要求也在不断地提升,传感器的灵敏度、传感精度、传感范围等性能的提升也变得格外重要,以适应柔性三维力传感器更为广阔的发展空间。

发明内容

[0006] 为了克服上述现有技术中的缺陷,本发明设计一种具有花瓣结构的电极层的非对称柔性电容式三维力触觉传感器,该传感器包括顶部电极、介质层和底部电极。顶部电极由八个独立的花瓣电极组成,底部电极由一个圆形的公共电极组成,介质层由Ecoflex和多壁

碳纳米管的复合材料制备而成,并用Ecoflex对传感器进行封装。该传感器通过改变施加在传感器上的力改变顶部和底部极板的间距和投影面积,从而改变传感器的相对电容变化并传感三维力信息。

[0007] 为实现上述技术目的,本发明通过以下技术方案实现:

[0008] 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器及其制备方法,包括如下步骤:

[0009] (1) 以1:1的质量比称取Ecoflex的A胶与B胶混合形成溶液,之后称取适量的多壁碳纳米管分散在二甲苯中并与Ecoflex溶液混合,将混合溶液倒入模具中并放置在加热台上在80℃下加热1小时,脱模后即可形成介质层;

[0010] (2) 将预先制备的Ecoflex溶液和分散的碳纳米管溶液混合并充分搅拌,倒入准备好的模具中,使用刮刀刮擦并涂抹,在80℃下保持1小时。用激光切割机切割厚度为150μm的粘合铜带,并将其转移到柔性PET基底上,形成柔性电极层;

[0011] (3) 顶部电极层、底部电极层和介质层由未固化的Ecoflex组装,所述的底部电极层为直径等于14mm的圆形电极,顶部电极层为8个相互独立的花瓣状阵列电极。

[0012] (4) 铜线通过导电银浆粘附到电极层的延伸部分,用于电信号输出,得到花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器。

[0013] 进一步的,所述的由Ecoflex和纯度为95%多壁碳纳米管的复合材料制备而成的介质层中碳纳米管所占质量分数为4wt.%。

[0014] 进一步的,所述步骤(2)中的传感器的底部电极层为直径等于14mm的圆形电极,顶部电极层为8个相互独立的花瓣状阵列电极。

[0015] 进一步的,所述柔性电容式三维力传感器的直径为14mm,厚度为1mm,与手指尺寸非常匹配。

[0016] 进一步的,当外力施加在传感器上时,只有部分顶部电极层会与底部电极层产生投影面积上的改变,从而分别检测正向力和切向力,并进一步解耦获得施加在传感器上的三维力。

[0017] 本发明的目的又一方面是通过以下技术方案实现的:

[0018] 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器的应用。将传感器佩戴在手指上,抓取具有特定形状的物体。实验中我们分别抓取载玻片、砝码(200g)和网球,它们对应的形状分别为长方体、圆柱体和球体。通过捕捉手指抓取时传感器各单元电容输出的相对电容变化曲线,以此来判断所抓取的物体形状。由于此柔性电容式三维力传感器是由多个独立的传感单元组成的阵列结构,因此可以映射目标物体表面的形貌。

[0019] 本发明的有益效果:

[0020] 1、传感器的花瓣结构有利于传感器实现三维力的识别,通过更多电极,通过不同电极的数据变化,增强了对三维力的传感性能,以及对三维力解耦的效率。通过花瓣结构的多电极设计实现了更好的三维力传感性能。

[0021] 2、探究了介质层中碳纳米管所占质量分数对传感器基本物性的影响。随碳纳米管质量分数增大,相同压力下介电系数也随之增大,传感性能提升。但当碳纳米管所占质量分数过大时,会导致介电层导通,传感器失效。传感器碳纳米管所占质量分数为4wt.%,此时传感性能优秀,且更高时会出现介电层导通。

[0022] 3、探索了顶电极传感单元数量对三维力检测和解耦精度的影响。随顶部电极数量增加,传感器对三维力解耦的误差减小,然而同时解耦的难度、复杂度也会相应增加。传感器选取顶部电极为8个单元,此时兼备了三维力传感器的传感性和解耦效率。

[0023] 4、传感器具有高灵敏度、快速响应、良好的迟滞性和在连续压力下的优异重复性。

[0024] 5、传感器对于三维力的解耦非常精确,误差可以控制在6%之内,且具有八瓣阵列结构的电极所构筑的传感器在保证精度的情况下,更有助于简化三维力的解耦过程,可以满足解耦精度和解耦过程简化的双重要求。

[0025] 6、通过触觉测试的结果表明,该传感器在静态环境和动态环境下都具有良好的触觉传感功能。

[0026] 7、无论传感器的顶部电极向任何方向移动,只有一部分的顶部电极会与底部电极产生投影面积的改变,这样便可以直接分离法向力与切向力,从而降低解耦的难度,这也是该结构的独特特征。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图获得其他的附图。

[0028] 图1为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器制备加工流程图。

[0029] 图2为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器实物图。

[0030] 图3为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器施加法向力的传感器输出的电容相对变化曲线。

[0031] 图4为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器施加切向力的传感器输出的电容相对变化曲线。

[0032] 图5为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器施加法向力下下加载和卸载时的传感器输出的电容相对变化曲线。

[0033] 图6为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器施加切向力下下加载和卸载时的传感器输出的电容相对变化曲线。

[0034] 图7为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器施加500次法向重复加载-卸载循环力的电容相对变化曲线。

[0035] 图8为本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器施加50次切向重复加载-卸载循环力的电容相对变化曲线。

[0036] 图9为佩戴本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器抓取载玻片时各传感单元相对电容变化曲线。

[0037] 图10为佩戴本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器抓取砝码时各传感单元相对电容变化曲线。

[0038] 图11为佩戴本发明一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器抓取网球时各传感单元相对电容变化曲线。

具体实施方式

[0039] 为了使本发明的目的、技术方案和有益技术效果更加清晰,下面结合附图和具体实施方式,对本发明的一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器制备方法及其对应的有益效果进行详细阐述。

[0040] 应当理解的是,本说明书中描述的实施例仅仅是为了解释本发明,但本发明的保护范围并不限于所述内容。

[0041] 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器的制备方法,包括如下步骤:

[0042] (1) 以1:1的质量比称取Ecoflex的A胶与B胶混合形成溶液,之后称取适量的多壁碳纳米管分散在二甲苯中并与Ecoflex溶液混合,将混合溶液倒入模具中并放置在加热台上在80℃下加热1小时,脱模后即可形成介质层;

[0043] (2) 将预先制备的Ecoflex溶液和分散的碳纳米管溶液混合并充分搅拌,倒入准备好的模具中,使用刮刀刮擦并涂抹,在80℃下保持1小时。用激光切割机切割厚度为150μm的粘合铜带,并将其转移到柔性PET基底上,形成柔性电极层;

[0044] (3) 顶部电极层、底部电极层和介质层由未固化的Ecoflex组装,所述的底部电极层为直径等于14mm的圆形电极,顶部电极层为8个相互独立的花瓣状阵列电极。

[0045] (4) 铜线通过导电银浆粘附到电极层的延伸部分,用于电信号输出,得到花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器。

[0046] 进一步的,所述的由Ecoflex和纯度为95%多壁碳纳米管的复合材料制备而成的介质层中碳纳米管所占质量分数为4wt.%。

[0047] 进一步的,所述步骤(2)中的传感器的底部电极层为直径等于14mm的圆形电极,顶部电极层为8个相互独立的花瓣状阵列电极。

[0048] 进一步的,所述柔性电容式三维力传感器的直径为14mm,厚度为1mm,与手指尺寸非常匹配。

[0049] 进一步的,当外力施加在传感器上时,只有部分顶部电极层会与底部电极层产生投影面积上的改变,从而分别检测正向力和切向力,并进一步解耦获得施加在传感器上的三维力。

[0050] 本发明的目的又一方面是通过以下技术方案实现的:

[0051] 一种基于花瓣结构的柔性电容式三维力触觉传感器的应用。将传感器佩戴在手指上,抓取具有特定形状的物体。实验中我们分别抓取载玻片、砝码(200g)和网球,它们对应的形状分别为长方体、圆柱体和球体。通过捕捉手指抓取时传感器各单元电容输出的相对电容变化曲线,以此来判断所抓取的物体形状。由于此柔性电容式三维力传感器是由多个独立的传感单元组成的阵列结构,因此可以映射目标物体表面的形貌。

[0052] 如图3所示,测试柔性电容式三维力传感器的法向灵敏度,通过传感器输出的相对电容变化与所施加压力的比值体现,使用编程控制力学试验机对传感器施加压力,并使用数字电桥(LCR)捕捉传感器输出的相对电容变化。通过测定电容的相对变化量随施加外力而变化的曲线并进行线性拟合,计算得最大法向灵敏度为1.101,证明所述传感器有良好的法向力传感行为,法相灵敏度高。

[0053] 如图4所示,测试柔性电容式三维力传感器的法向灵敏度,通过测定电容的相对变化量随施加外力而变化的曲线并进行线性拟合,计算得切向灵敏度为0.035,证明所述传感

器有良好的切向力传感行为,切向灵敏度高。

[0054] 如图5所示,测试柔性电容式三维力传感器在法向力作用下的迟滞性,当传感器在0至30kPa的法向压力下加载和卸载时,测量柔性电容式三维力传感器的滞后情况,结果显示在法向良好的迟滞性。

[0055] 如图6所示,测试柔性电容式三维力传感器在切向力作用下的迟滞性,传感器在0至4kPa的切向压力下加载和卸载时,显示出在切向良好的迟滞性。

[0056] 如图7所示,测试柔性电容式三维力传感器的法向重复性,在200Pa正压下,传感器在500次法向重复加载-卸载循环力过程中保持稳定的感测信号,无疲劳,这表明其良好的稳定性。

[0057] 如图8所示,测试柔性电容式三维力传感器的切向重复性,在4kPa的切向力作用下,传感器在50次法向重复加载-卸载循环力过程中依然保持令人满意的切向稳定性。

[0058] 如图8所示,测试柔性电容式三维力传感器的切向重复性,在4kPa的切向力作用下,传感器在50次法向重复加载-卸载循环力过程中依然保持令人满意的切向稳定性。

[0059] 如图9所示,佩戴柔性电容式三维力传感器抓取载玻片时各传感单元相对电容变化曲线,当抓取载玻片时传感器各单元的相对电容变化处于平稳状态,8个传感单元的电容相对变化量几乎相同。

[0060] 如图10所示,佩戴柔性电容式三维力传感器抓取砝码时各传感单元相对电容变化曲线,传感器部分传感单元的相对电容变化表现为先急剧增大后部分回落并逐渐趋于稳定的状态。

[0061] 如图11所示,佩戴柔性电容式三维力传感器抓取网球时各传感单元相对电容变化曲线,传感器的各传感单元的相对电容变化处于先降低后上升的趋势。

[0062] 由图9、图10、图11可知,传感器具备优秀的触觉识别能力,能通过传感器各单元的相对电容变化识别接触物体的形貌特征。

[0063] 最后还应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述各实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;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范围。

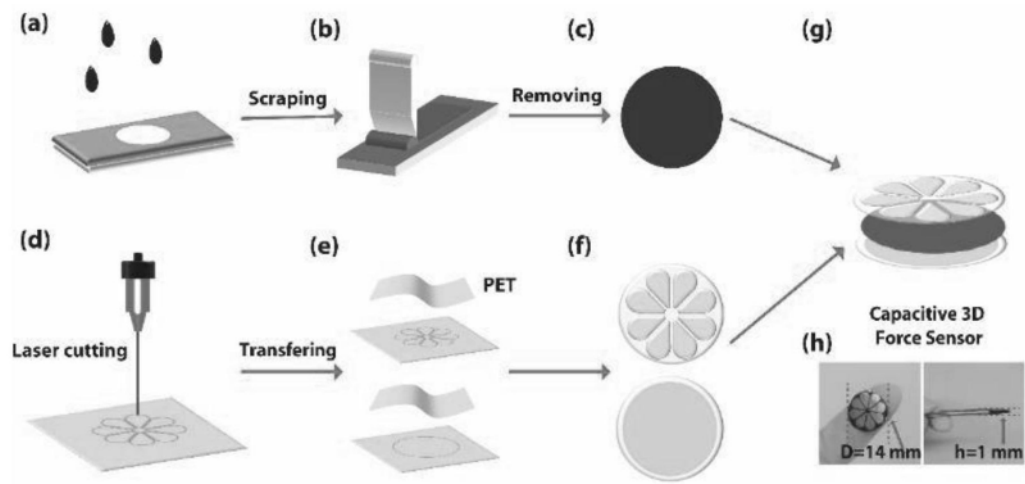


图1

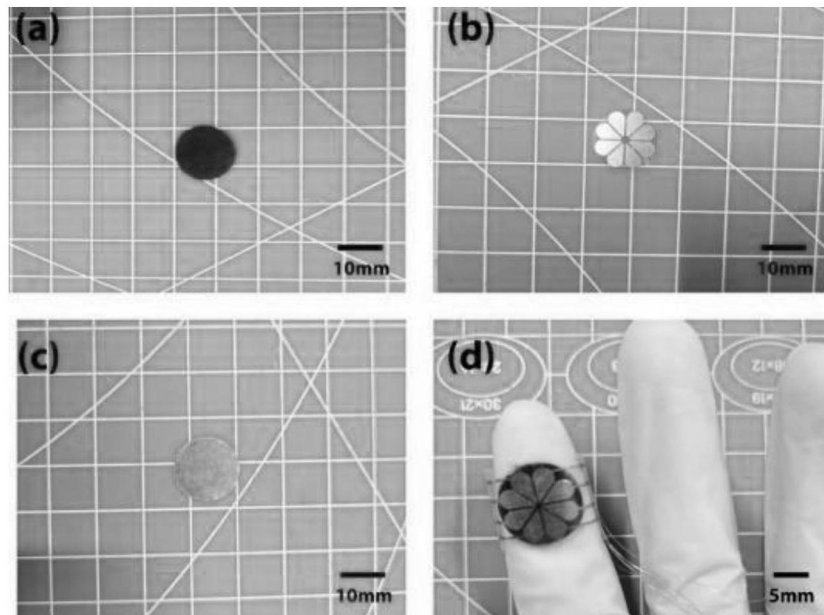


图2

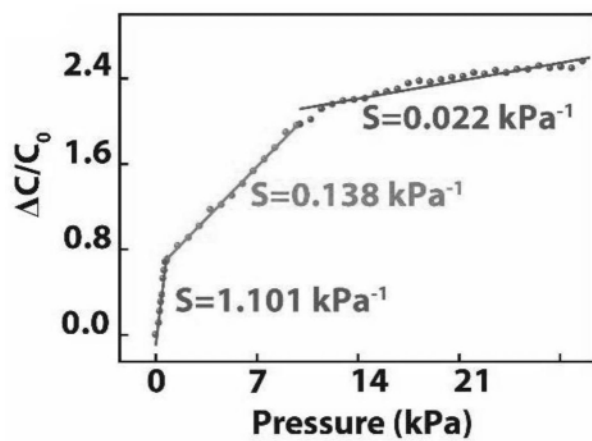


图3

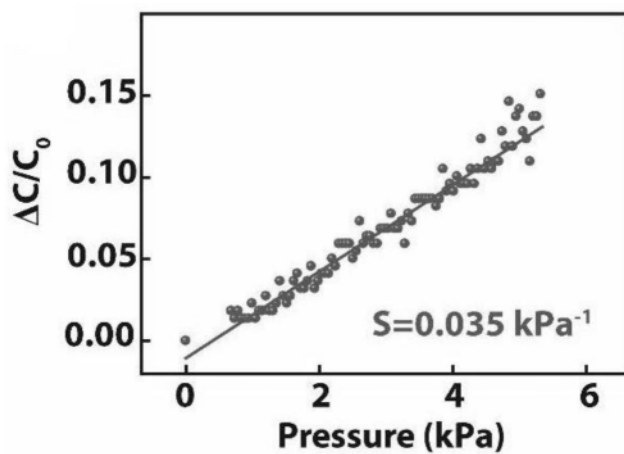


图4

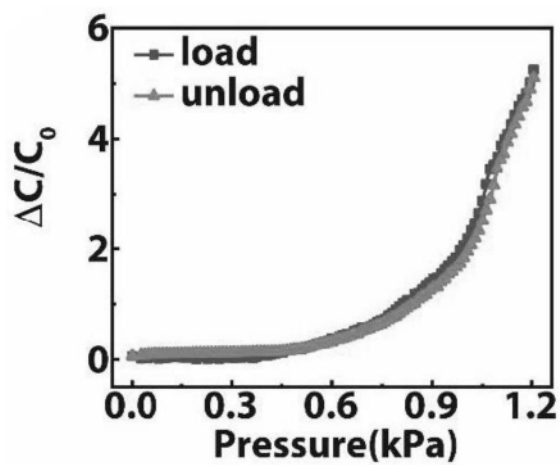


图5

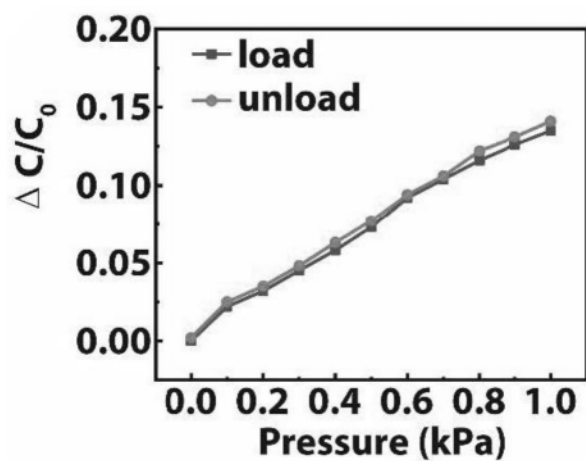


图6

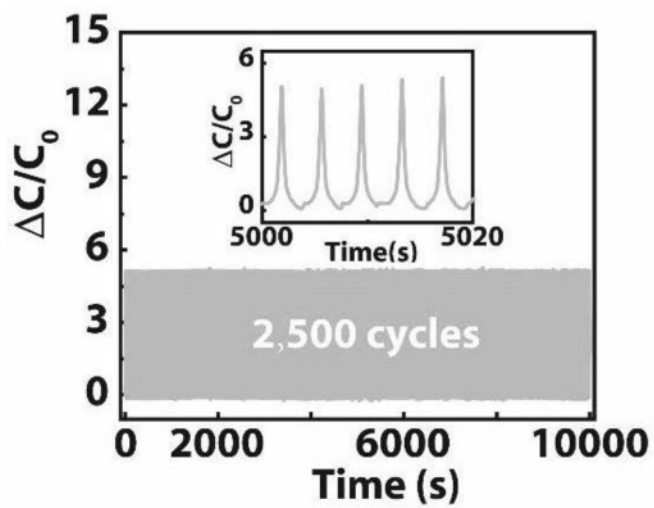


图7

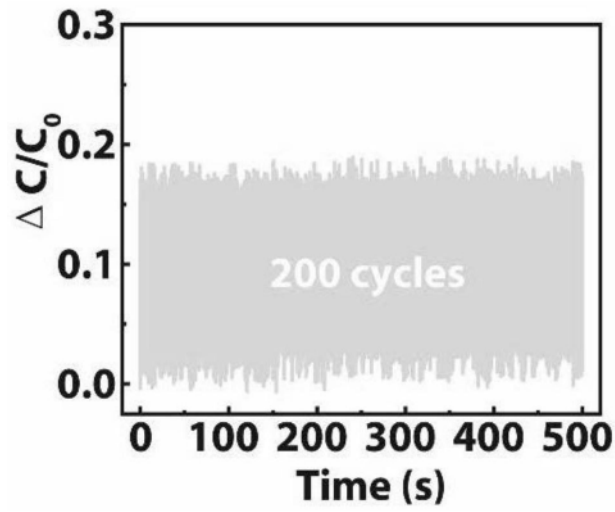


图8

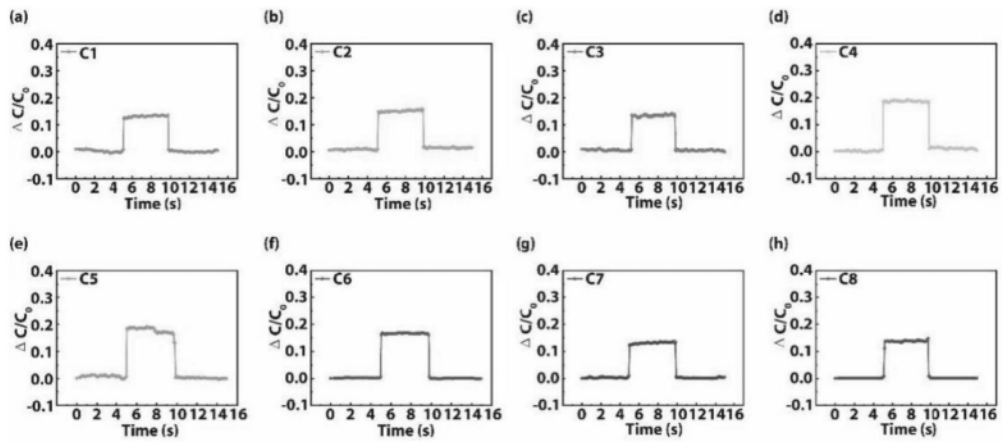


图9

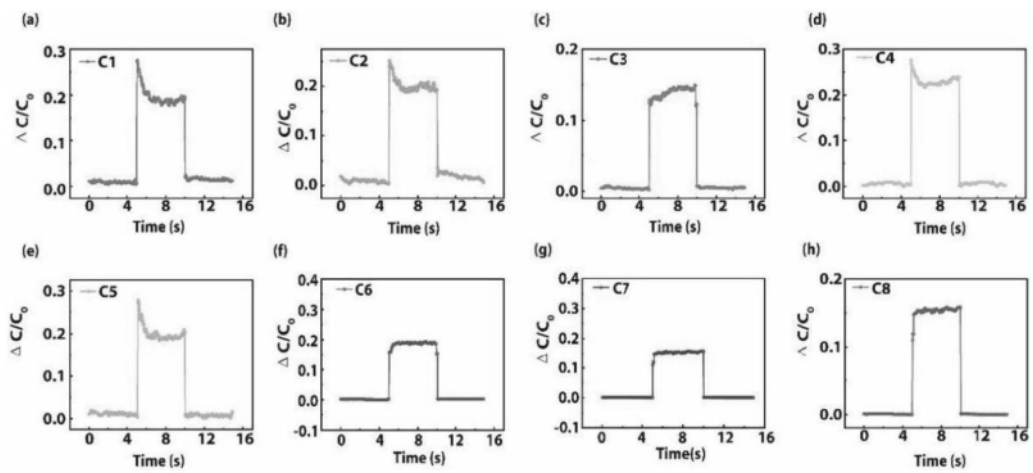


图10

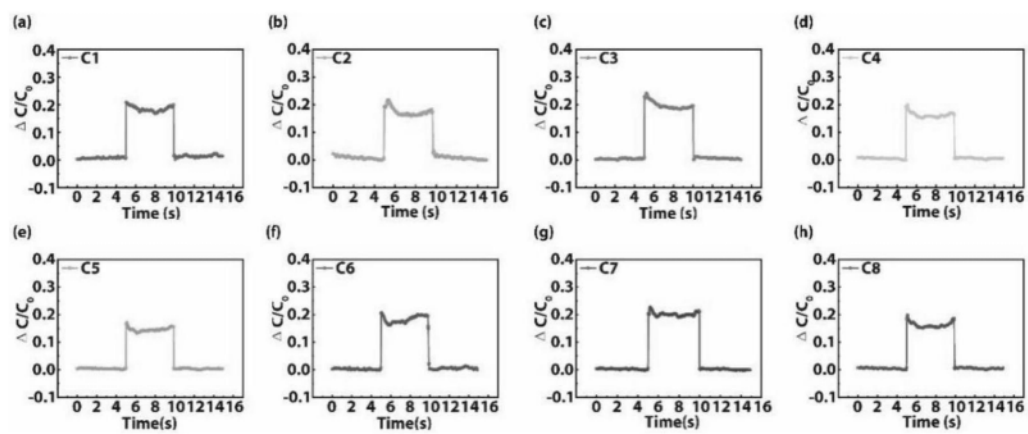


图11