

证书号第 5132777 号



发明专利证书

发明名称：一种基于 3D 打印模板法的三维压力传感器及其制备方法

发明人：陈小明;王春江;邵金友;田洪淼;宋启航;牛万灏;王硕

专利号：ZL 2020 1 1642025.3

专利申请日：2020 年 12 月 31 日

专利权人：西安交通大学

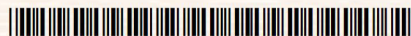
地址：710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路 28 号

授权公告日：2022 年 05 月 06 日

授权公告号：CN 112848269 B

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发发明专利证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。专利权期限为二十年，自申请日起算。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长
申长雨

申长雨



第 1 页 (共 2 页)

其他事项参见续页

证书号 第5132777号



专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年12月31日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

申请日时本专利记载的申请人、发明人信息如下：

申请人：

西安交通大学

发明人：

陈小明；王春江；邵金友；田洪淼；宋启航；牛万灏；王硕



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112848269 A

(43) 申请公布日 2021.05.28

(21) 申请号 202011642025.3

(22) 申请日 2020.12.31

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72) 发明人 陈小明 王春江 邵金友 田洪淼
宋启航 牛万灏 王硕

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 弋才富

(51) Int.Cl.

B29C 64/10 (2017.01)

G01L 5/162 (2020.01)

B33Y 80/00 (2015.01)

B33Y 70/10 (2020.01)

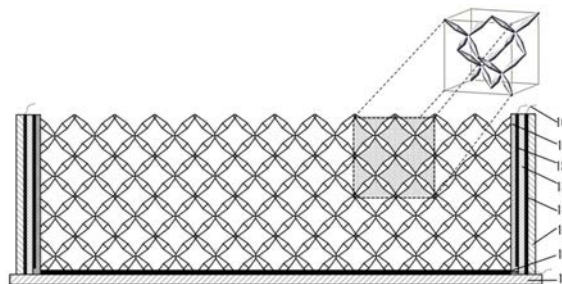
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于3D打印模板法的三维压力传感器
及其制备方法

(57) 摘要

一种基于3D打印模板法的三维压力传感器及其制备方法,压力传感器包括可定制形状的柔性桁架,桁架由可溶性光敏树脂光固化增材制造的原型作模板,得到空心结构的石墨烯/铜复合支杆;复合支杆较小面积的外表面对称设置两对柔性基底/多层摩擦电复合材料,两对正交方向传感信号互相独立,用于输出X和Y方向压力分量的大小;面积较大外表面是复合压阻结构A,以压阻方式传感信号,用于监测结构可随形变化的Z向压力信号;基于3D打印模板法的各向异性压力传感器的制备方法用于制备上述压力传感器;本发明所提供的传感器制造工艺简单,可以自由定制并快速制造,成本低、效率高、工作灵敏,并且能在包覆感知的基础上实现三维压力信号的传感与识别。



1. 一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,其特征在于,包括可溶性桁架(8),可溶性桁架(8)以可溶性光敏树脂光固化增材制造的原型作模板,表面包裹金属膜并生长有石墨烯弹性层,溶化后得到具有空心结构的石墨烯/铜空心复合支杆(19);空心复合支杆(19)的四周两对即四个面积面积较小的外表面设置有A柔性基底(15)/多层摩擦电传感层,以摩擦电信号为传感原理,每个面上至少设置两个独立传输信号的电极,两对正交方向传感信号互相独立,用于输出X和Y方向压力分量的大小;空心复合支杆(19)面积较大的上、下外表面是以B柔性基底(17)/电极(16)/粘附层/空心复合支杆(19)复压的复合压阻结构A,以压阻方式传感信号,用于监测结构可随形变化的Z向压力信号。

2. 根据权利要求1所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,其特征在于,所述的可溶性桁架(8)为可设计的具有形状包覆与贴合特性的五模材料结构或者其他具备零泊松比的三维可设计结构。

3. 根据权利要求1所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,其特征在于,所述的可溶性光敏树脂为基于丙烯酸基的可溶性紫外光固化光敏树脂。

4. 根据权利要求1所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,其特征在于,所述的包裹的金属膜可采用铜膜或镍膜。

5. 根据权利要求1一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,其特征在于,所述柔性基底采用聚二甲基硅氧烷PDMS或硅橡胶材料。

6. 根据权利要求1所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,其特征在于,所述每个表面设置的电极数量可根据信号采集器的信道与采集电路的方式确定。

7. 基于权利要求1所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器的制备方法,包括以下步骤:

第一步,基于3D打印模板法的可溶性光敏树脂(4)的配制:将光引发剂双酰基氧化磷、反应单体N,N-二甲基丙烯酰胺、共聚单体甲基丙烯酸、裂解剂甲基丙烯酸酐和填充剂聚乙烯吡咯烷酮按一定配比混合,分散均匀得到可溶性光敏树脂9;

所述的可溶性光敏树脂9的质量份数为:光引发剂双酰基氧化磷1-5份、反应单体N,N-二甲基丙烯酰胺20-30份、共聚单体甲基丙烯酸40-50份、裂解剂甲基丙烯酸酐2-5份、填充剂聚乙烯吡咯烷酮5-10份;

第二步,可溶性桁架(8)的制备:将超高精度光固化成型设备(4)调整至工作状态,把可溶性光敏树脂(9)沿杯壁流入树脂槽(3)中,将光固化工作台面(7)完全浸入光敏树脂(9)的液面中,通过计算机(5)生成,由数据总线(6)传输到紫外光发生器(1)中输出相应片层的光斑图像,同时控制光固化工作台(7)的升降移动,利用紫外光发生器(1)分层固化控制光固化工作台(7)和流平膜(2)之间的树脂,按照计算机(5)的指令完成可溶性桁架(8)的制备过程;

第三步,铜/石墨烯空心支杆的制备:将可溶性桁架(8)从光固化工作台(7)上取下清洗并干燥,然后放入铜膜蒸镀仪器中,1分钟后得到表面包覆一层铜膜的铜/树脂复合材料;然后基于电沉积装置,通电沉积后冷冻干燥得到包裹一层还原氧化石墨烯膜的铜膜/树脂复合桁架(8),清洗并干燥;配制碱性水溶液,将桁架(8)放入碱性水溶液中进行刻蚀反应,溶解树脂得到中空支杆结构,清洗干燥后得到还原氧化石墨烯/铜空心复合支杆(19);

第四步,压阻传感层的制备:在B柔性基底(17)上蒸镀一层金属(16)作为电极,并分别

从该电极和桁架(8)的上表面引出导线,然后在电极表面四分之三的区域上设置一层聚二甲基硅氧烷(PDMS),作为柔性基底(17)和所制备空心复合支杆(19)的粘附层,将空心桁架浸入聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,在80℃左右的烘箱中固化,冷却至室温后得到柔性基底(17)/电极(16)/粘附层/空心复合支杆(19)的复合压阻结构A;

第五步,摩擦电传感层的制备:通过石墨烯的化学气相沉积或湿法转移在A柔性基底(15)上设置多层石墨烯(14)作电极,在石墨烯(14)基底上覆盖摩擦电材料PET(13);以摩擦电材料PET(13)作为基底,在摩擦电材料PET(13)设置多层石墨烯得到摩擦电传感层的另一电极(12),分别在两个电极上引出导线,然后在电极(12)上均匀旋涂一层聚二甲基硅氧烷(PDMS)得到摩擦电传感层(11)。

第六步,各向异性压力传感器的制备:将复合压阻结构A中面积较小的两对表面上分别与摩擦电传感层(11)黏附到一起,形成具有传感面B和传感面C的压阻/摩擦电复合压力传感结构,固化后冷却,得到具有各向异性的压力传感器。

8.根据权利要求7所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器的制备方法,其特征在于,所述的第三步中溅射的金属层采用铜或镍。

9.根据权利要求7所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器的制备方法,其特征在于,所述的第三步中化学腐蚀中空杆件的碱性水溶液采用氢氧化钠或氢氧化钾水溶液,其浓度为0.1-2mol/L。

10.根据权利要求7所述的一种基于3D打印模板法的三维压力传感器的制备方法,其特征在于,所述的第三步中通电沉积的具体参数为,电压10-36V,电流密度为0.5-5A/dm²,通电时间0.1-2小时;

所述的第三步中冷冻干燥的温度为-120至-70摄氏度,冷冻干燥时间为2-4小时;

所述的第三步中电沉积得到多层还原氧化石墨烯清洗并干燥,清洗过程采用去离子水洗涤,后室温下干燥;

所述的第四步中金属16为镍Ni、铜Cu或铬Cr。

一种基于3D打印模板法的三维压力传感器及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及增材制造工艺和传感器技术领域,特别涉及一种基于3D打印模板法的三维压力传感器及其制备方法。

背景技术

[0002] 随着柔性电子领域的快速发展和物联网技术的普及,能够用来监测人类生理指标(如心跳、脉搏、运动周期、血压等)和劳动生产状态(如主轴跳动、机器人运动状态感知等)物理信号的可穿戴电子器件逐渐应用到社会生活中,所得到的信息用于人体健康状况的定量化获取和服务型机械状态的检测,量化相关物理信号的处理方式,为建立“人/机”控制界面的双向信息渠道起到至关重要的作用,与此相关的功能化柔性传感装置的快速制造也成为近年来的研究热点。

[0003] 传统意义上广泛研究和应用的压力传感器仍由无机材料(如硅、铜、ZnO等)制造,存在压力传感方向单一、感知维度单一、功能集成性低的局限性,同时一旦产生拉伸变形或外部信号干扰,不但无法起到良好的形状复形能力,还会因传感器硬件的结构疲劳而失效,无法准确采集数据。

[0004] 近年来,研究并发展的可穿戴柔性压力传感器在一定程度上克服了刚性器件的缺点,具备较好的形状贴合能力和变形范围。现有技术中的柔性压力传感器主要分为以下几种:

[0005] 1.应变片式压阻传感:以无机材料制备多种结构的薄膜,通过刚性包覆固定在感知对象本体的基体上,在至少两片电极的信号传输下,利用基体的变形量转化为薄膜电阻的变化,将其转化为电路中电流的波动,得到具有感知基体形状变化的应变传感器,通过多个传感单元的叠加可逆向合成施加到本体上的压力。

[0006] 2.多维度压阻感知:以PDMS作柔性基体,通过设计石墨烯和碳纳米管(CNT)的结构与合成方式,制备多尺度、多孔的一维导线、二维薄膜、三维海绵块,进一步以微结构设计和微接触设计,阵列、叠层封装感知单元,产生不同灵敏度与感知范围的压阻传感器,根据变形量的不同产生检测不同形式的载荷大小。

[0007] 3.多种传感模式的耦合传感:利用不同的结构设计,将压阻、压电、摩擦电、电容式传感等模块耦合到一种传感器中,构成闭环信号监控系统,在新能源压力传感器件、电子皮肤、微驱动器、微执行器等领域具有研究空间。

[0008] 以上所述柔性压力传感器的监测对象往往是离散的压力数据,缺乏压力方向与矢量特性的信号反馈,对实际中作为三维物理量呈现的矢量压力信号不匹配,对信号来源的物理本体表现出被迫变形的传感特点,接触面在长期工作下易受损坏;同时,在制造过程中往往受所设计传感器的形状与结构限制,现有压力传感器件的制造工艺大多基于单层电路结构、多层三明治结构而采取的光刻、压印、刻蚀、叠层等方法,致使多维压力信号(大小、方向)的传感以多个单维度压力传感器叠加的形式实现,工艺复杂、效率低,增加了制造成本,影响了压力传感器的使用范围和应用领域,限制了测量范围与交互结果。

[0009] 因此如何使得柔性压力传感器具备感知各向异性压力信号的能力,并克服微结构制造环节的结构不可定制性,增加多模式传感的耦合种类,实现具有良好的形状覆形能力与高灵敏度的压力传感器成为一个值得研究的问题。

发明内容

[0010] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种基于3D打印模板法的三维压力传感器及其制备方法,通过3D打印模板法,以可定制化的结构实现一种具备三维各向异性压力感知的传感器,在克服上述现有压力传感器不足的基础上,提供一种制备该型传感器的方法,以期实现矢量压力信号感知的精准度与可靠性。

[0011] 为了达到上述目的,本发明的技术方案是:

[0012] 一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,包括可溶性桁架8,桁架8以可溶性光敏树脂光固化增材制造的原型作模板,表面包裹金属膜并生长有石墨烯弹性层,溶化后得到具有空心结构的石墨烯/铜空心复合支杆19;空心复合支杆19的四周两对即四个面积较小的外表面设置有A柔性基底15/多层摩擦电传感层,以摩擦电信号为传感原理,每个面上至少设置两个独立传输信号的电极,两对正交方向传感信号互相独立,用于输出X和Y方向压力分量的大小;空心复合支杆19面积较大的上、下外表面是以B柔性基底17/电极16/粘附层/空心复合支杆19复压的复合压阻结构A,以压阻方式传感信号,用于监测结构可随形变化的Z向压力信号。

[0013] 所述的桁架8为可设计的具有形状包覆与贴合特性的五模材料结构或者其他具备零泊松比的三维可设计结构。

[0014] 所述的可溶性光敏树脂为基于丙烯酸基的可溶性紫外光固化光敏树脂。

[0015] 所述的包裹的金属膜可采用铜膜或镍膜。

[0016] 所述柔性基底采用聚二甲基硅氧烷PDMS或硅橡胶材料。

[0017] 所述每个表面设置的电极数量可根据信号采集器的信道与采集电路的方式确定。

[0018] 基于上述一种基于3D打印模板法的三维压力传感器的制备方法,包括以下步骤:

[0019] 第一步,基于3D打印模板法的可溶性光敏树脂4的配制:将光引发剂双酰基氧化磷、反应单体N,N-二甲基丙烯酰胺、共聚单体甲基丙烯酸、裂解剂甲基丙烯酸酐和填充剂聚乙烯吡咯烷酮按一定配比混合,分散均匀得到可溶性光敏树脂9;

[0020] 所述的可溶性光敏树脂9的质量份数为:光引发剂双酰基氧化磷1-5份、反应单体N,N-二甲基丙烯酰胺20-30份、共聚单体甲基丙烯酸40-50份、裂解剂甲基丙烯酸酐2-5份、填充剂聚乙烯吡咯烷酮5-10份;

[0021] 第二步,可溶性桁架8的制备:将超高精度光固化成型设备4调整至工作状态,把可溶性光敏树脂9沿杯壁流入树脂槽3中,将光固化工作台面7完全浸入可溶性光敏树脂9的液面中,通过计算机5生成,由数据总线6传输到紫外光发生器1中输出相应片层的光斑图像,同时控制光固化工作台7的升降移动,利用紫外光发生器1分层固化控制光固化工作台7和流平膜2之间的树脂,按照计算机5的指令完成可溶性桁架8的制备过程;

[0022] 第三步,铜/石墨烯空心支杆的制备:将可溶性桁架8从光固化工作台7上取下清洗并干燥,然后放入铜膜蒸镀仪器中,1分钟后得到表面包覆一层铜膜的铜/树脂复合材料;然后基于电沉积装置,通电沉积后冷冻干燥得到包裹一层还原氧化石墨烯膜的铜膜/树脂复

合桁架8,清洗并干燥;配制碱性水溶液,将桁架8放入碱性水溶液中进行刻蚀反应,溶解树脂得到中空支杆结构,清洗干燥后得到还原氧化石墨烯/铜空心复合支杆19;

[0023] 第四步,压阻传感层的制备:在B柔性基底17上蒸镀一层金属16作为电极,并分别从该电极和桁架8的上表面引出导线,然后在电极表面四分之三的区域上设置一层聚二甲基硅氧烷PDMS,作为B柔性基底17和所制备空心复合支杆19的粘附层,将空心桁架浸入聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,在80℃左右的烘箱中固化,冷却至室温后得到柔性基底17/电极16/粘附层/空心复合支杆19的复合压阻结构A;

[0024] 第五步,摩擦电传感层的制备:通过石墨烯的化学气相沉积或湿法转移在A柔性基底15上设置多层石墨烯14作电极,在石墨烯14基底上覆盖摩擦电材料PET13;以摩擦电材料PET13作为基底,在摩擦电材料PET13设置多层石墨烯得到摩擦电传感层的另一电极12,分别在两个电极上引出导线,然后在电极12上均匀旋涂一层聚二甲基硅氧烷(PDMS)得到摩擦电传感层11。

[0025] 第六步,各向异性压力传感器的制备:将复合压阻结构A中面积较小的两对表面上分别与摩擦电传感层11黏附到一起,形成具有传感面B和传感面C的压阻/摩擦电复合压力传感结构,固化后冷却,得到具有各向异性的压力传感器。

[0026] 所述的第三步中溅射的金属层采用铜或镍。

[0027] 所述的第三步中化学腐蚀中空杆件的碱性水溶液采用氢氧化钠或氢氧化钾水溶液,其浓度为0.1-2mol/L。

[0028] 所述的第三步中通电沉积的具体参数为,电压10-36V,电流密度为0.5-5A/dm²,通电时间0.1-2小时。

[0029] 所述的第三步中冷冻干燥的温度为-120至-70摄氏度,冷冻干燥时间为2-4小时。

[0030] 所述的第四步中金属16为镍Ni、铜Cu或铬Cr。

[0031] 所述的第三步中电沉积得到多层还原氧化石墨烯清洗并干燥,清洗过程采用去离子水洗涤,后室温下干燥。

[0032] 本发明提供一种基于可溶性树脂的各向异性压力传感器及其制备方法,可使各向异性的压力传感器具有感知面结构的可定制性、柔性且拉伸、压缩性好的特点,通过五模材料的结构设计,使结构在受到主感知面压力的作用时,压力传感器不但能感知所受压阻信号的大小,还能通过互不干扰信号输出的传感面分别感知三个正交方向分力的大小,从而合成合力的方向并建立受压方向与受压大小的映射模型,实现了任意三维矢量压力信号的感知。

[0033] 同时,本发明还给出了基于3D打印模板法的该型传感器制备工艺,增加了形状与功能的可设计阈,降低了工艺对结构的限制。本发明特别适用于复杂环境下的可穿戴设备中需要检测力的方向的情况,其能完全包覆被感知压力本体的接触面,降低接触面因感知物体形状复杂而被损坏的风险,具有高精度与可靠性,在柔性传感与多维压力感知领域有广泛的应用前景。

附图说明

[0034] 图1是本发明实施例的一种基于3D打印模板法光固化增材制造工艺示意图。

[0035] 图2是本发明实施例的光敏树脂光固化增材制造曝光面示意图。

- [0036] 图3是本发明实施例中基于3D打印模板法光固化得到的可溶性桁架示意图。
- [0037] 图4是本发明实施例中电沉积还原氧化石墨烯的装置示意图。
- [0038] 图5是本发明实施例制备包覆石墨烯/铜并溶化得到空心桁架的示意图。
- [0039] 图6是本发明实施例制备三明治摩擦电结构并得到摩擦电传感层的示意图。
- [0040] 图7是本发明实施例粘附摩擦电传感层与空心桁架示意图。
- [0041] 图8是本发明实施例中粘合柔性桁架与压阻传感面和摩擦电传感面的示意图。
- [0042] 图9是本发明传感器的剖视图。

具体实施方式

[0043] 下面结合说明书附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。

[0044] 参照图9,一种基于3D打印模板法的三维压力传感器,包括可溶性桁架8,可溶性桁架8以可溶性光敏树脂光固化增材制造的原型作模板,表面包裹金属膜并生长有石墨烯弹性层,溶化后得到具有空心结构的石墨烯/铜空心复合支杆19;空心复合支杆19的四周两对即四个面积较小的外表面设置有A柔性基底15/多层摩擦电传感层,以摩擦电信号为传感原理,每个面上至少设置两个独立传输信号的电极,两对正交方向传感信号互相独立,用于输出X和Y方向压力分量的大小;空心复合支杆19面积较大的上、下外表面是以B柔性基底17/电极16/粘附层/空心复合支杆19复压的复合压阻结构A,以压阻方式传感信号,用于监测结构可随形变化的Z向压力信号。由于传感器在结构上具备力学各项异性,三个方向的分力信号可合成并感知各向异性压力信号的矢量特性。

[0045] 基于上述一种基于3D打印模板法的三维压力传感器及其制备方法,包括以下步骤:

[0046] 第一步,基于3D打印模板法的可溶性光敏树脂4的材料选择与配制:本发明提供了一种可溶性光敏树脂,由以下组分通过紫外光固化下的自由基聚合反应实现快速成型。将光引发剂双酰基氧化磷、反应单体N,N-二甲基丙烯酰胺、共聚单体甲基丙烯酸、裂解剂甲基丙烯酸酐和填充剂聚乙烯吡咯烷酮按一定质量分数配比均匀混合,在磁力搅拌下分散均匀得到可溶性光敏树脂9。

[0047] 所述第一步中可溶性光敏树脂的材料配制包括以下步骤:选择反应单体N,N-二甲基丙烯酰胺25份、共聚单体甲基丙烯酸45份、裂解剂甲基丙烯酸酐5份在50℃的油浴加热下混合,然后渐次分别加入聚乙烯吡咯烷酮9份和光引发剂双酰基氧化磷3份分散均匀。

[0048] 第二步,可溶性支架的制备:如图1所示,可溶性桁架8的制备:将超高精度光固化成型设备4调整至工作状态,把可溶性光敏树脂9沿杯壁流入树脂槽3中,将光固化工作台面7完全浸入可溶性光敏树脂9的液面中,通过计算机5生成,由数据总线6传输到紫外光发生器1中输出相应片层的光斑图像,同时控制光固化工作台7的升降移动,利用紫外光发生器1分层固化控制光固化工作台7和流平膜2之间的树脂,按照计算机5的指令完成可溶性桁架8的制备过程。

[0049] 所述第二步中可溶性光敏树脂倾倒入树脂槽3的过程,需要考虑去除树脂内的气泡,包括静置、变速离心、抽滤等步骤;

[0050] 可选地,根据操作设备的种类特点,将无气泡的光敏树脂倒入,保证光敏树脂9的上液面与流平膜2向齐平,调节光固化设备4的成形焦距,满足最佳曝光距离。

[0051] 可选地,所述流平膜2与树脂槽3的贴合操作也可能产生气泡,从一端先浸入树脂中,缓慢降低流平膜和树脂液面之间的角度,保证其间无气泡出现;同时,可预先升降工作台2,确保升降过程中工作台周边的气泡不会涌入树脂间隙中。

[0052] 所述光固化增材制造过程中,即第二步中打印层厚根据桁架结构的设计,按照结构越复杂层厚划分约细的原则,基本控制桁架结构部分的打印层厚在0.05mm~0.1mm之间,曝光时间设置为2s,光照强度设置为25Lux,同时还需增加打印支撑层,支撑层的曝光时间控制在4s,曝光强度设置为30Lux,以确保可溶性桁架8从工作台7上的顺利脱出和桁架结构的成型精度。

[0053] 第三步,铜/石墨烯空心支杆的制备:将可溶性桁架8从光固化工作台7上取下清洗并干燥;然后将构件放入铜膜蒸镀仪器中,1分钟后得到表面包覆一层10微米的铜膜21,得到如图5所示的铜/树脂复合桁架;然后准备如图4所示的电沉积装置,通电沉积后冷冻干燥得到氧化石墨烯层20,而后将构件清洗并干燥;配制碱性水溶液,将可溶性桁架8放入溶液中进行化学反应,溶解树脂得到中空支杆结构,清洗干燥后得到还原氧化石墨烯/铜空心支杆19;

[0054] 所述第三步中的,通电沉积后冷冻干燥得到氧化石墨烯层20,通电沉积包括以下步骤:先将3mg/mL的氧化石墨烯溶液与0.1mL/L的氯化氢水溶液混合,将铂板作为对电极,把铜/树脂复合桁架放于电极的另一端,在30V电压下沉积5分钟后得到包覆着一层石墨烯的复合桁架,然后将桁架清洗并冷冻干燥,得到包裹一层还原氧化石墨烯膜的铜膜/树脂复合桁架。

[0055] 所述还原氧化石墨烯合成时的冷冻干燥工艺为:

[0056] 先将电沉积得到的还原氧化石墨烯水凝胶用大量去离子水轻轻清洗,然后用0.1mol/L的抗坏血酸在90℃的烘箱内放置6小时,将合成的样品放在零下80℃环境下冷冻干燥24小时,最后在真空烘箱中干燥,得到冷冻干燥后的还原氧化石墨烯覆层。

[0057] 所述第三步中化学腐蚀中空杆件的碱性水溶液腐蚀剂采用1mol/L的氢氧化钠或氢氧化钾水溶液,腐蚀过程中用玻璃棒缓慢搅拌溶液,直到空心支杆形成后对桁架进行清洗和干燥。

[0058] 可选地,在第二步和第三步中所用到的清洗与干燥的方法包括:将试件浸入乙醇溶液清洗20秒,并放在去离子水中超声处理1分钟,后室温下干燥。

[0059] 第四步,压阻传感层的制备:在B柔性基底17上蒸镀一层金属16作为电极,并分别从该电极和桁架8的上表面引出导线,然后在电极表面四分之三的区域上设置一层聚二甲基硅氧烷(PDMS),作为柔性基底17和所制备空心桁架8的粘附层,将空心桁架8浸入聚二甲基硅氧烷(PDMS)中,在80℃左右的烘箱中固化,冷却至室温后得到柔性基底17/电极16/粘附层/桁架8的复合压阻结构A;

[0060] 第五步,摩擦电传感层的制备:以一侧的摩擦电传感层为例,通过石墨烯的化学气相沉积工艺,在80毫托压力下和8mL/min的氢气保护气氛中加热至1000℃并保持2小时,然后在1.6托压力下和20mL/min的甲烷气氛下加热至相同温度保持1小时,最后在CVD管中通8mL/min的氢气直至冷却至室温(25℃)得到铜膜上生长的石墨烯电极。然后通过湿法转移工艺,在柔性基底15上设置多层石墨烯14作电极,并在石墨烯14基底上覆盖摩擦电材料PET13,再用相同的工艺以PET层作为基底,在摩擦电材料PET13设置多层石墨烯得到摩擦电

传感层的另一电极12,分别在两个电极上引出导线,然后在电极12上均匀旋涂一层聚二甲基硅氧烷(PDMS),在表面处理后得到带电密度更高的摩擦电传感层11。采用相同工艺,得到对称的两片摩擦电传感层B和C。

[0061] 可选地,聚二甲基硅氧烷(PDMS)的上表面处理采用氧等离子体轰击和SF₆表面氟化的处理工艺,其中氧等离子体轰击处理120秒,然后在100W功率下氟官能化处理30秒,得到具有较高表面带电密度的摩擦电传感层11。

[0062] 所述第五步中采用的石墨烯电极12和14的制备方法包括以下步骤:

[0063] 可选地,石墨烯电极层的沉积速率为每15分钟一层,本发明提供的实施例中选择沉积4层石墨烯作为电极12和14的材料。

[0064] 可选地,所述第五步中采用的石墨烯湿法转移制备摩擦电结构中电极12和14的工艺包括以下步骤:以电极12为例,先在以铜膜为基底的石墨烯上均匀旋涂一层PMMA,根据电极的制备面积,取相应面积大小的PMMA/石墨烯/铜箔置于刻蚀液中,刻蚀完成后用PET基底将刻蚀后的PMMA/石墨烯转移到去离子水中清洗,清洗完成后然后放入丙酮中去除PMMA,去除完成后清洗、干燥得到相应石墨烯电极12和作为基底的PET层13。

[0065] 可选地,刻蚀液采用20g/L的过硫酸铵溶液,或8mol/L的稀硝酸溶液。

[0066] 第六步,各向异性压力传感器的制备:将复合压阻结构A中面积较小的两对表面上分别与摩擦电传感层11用丙烯酸基的粘合剂黏附到一起,如图7所示,将未沉积石墨烯的空心支杆22设置在摩擦电传感层11上并与表面处理后的聚二甲基硅氧烷(PDMS)上表面接触,形成具有传感面B和C的压阻/摩擦电复合压力传感结构,放入烘箱中在80℃左右固化20分钟,冷却后得到具有各向异性的压力传感器,如图8所示。

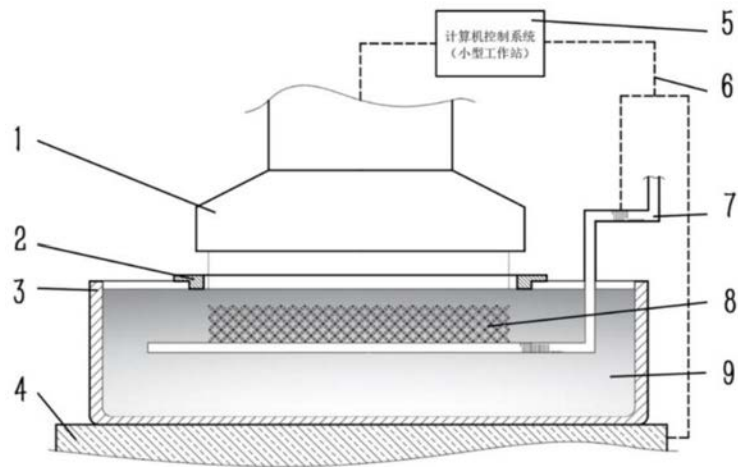


图1

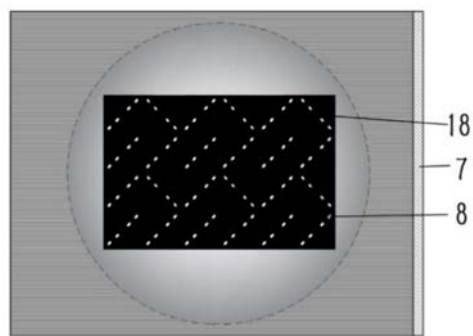


图2

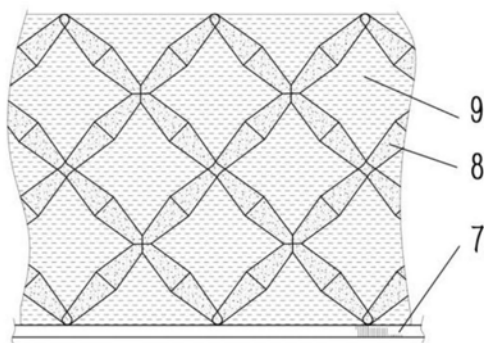


图3

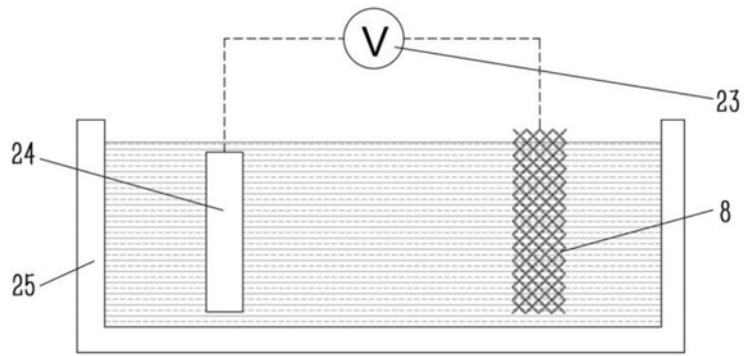


图4

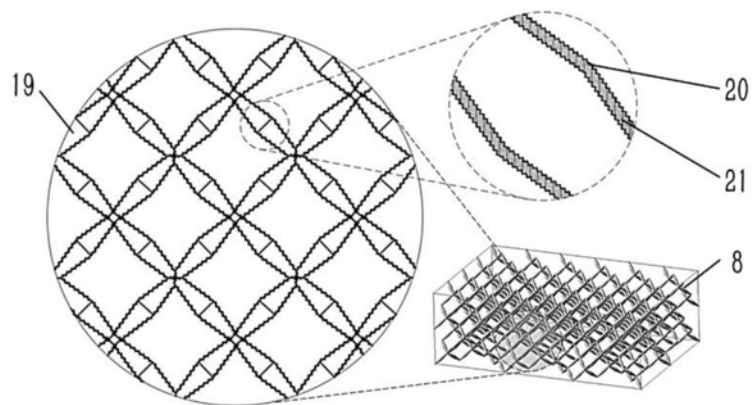


图5

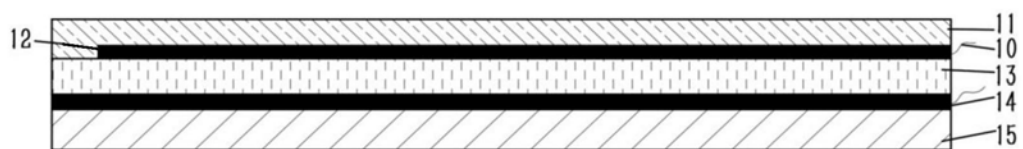


图6

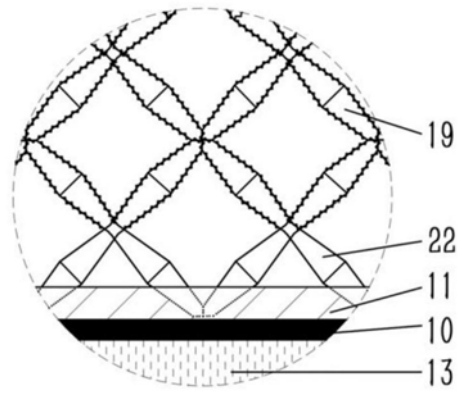


图7

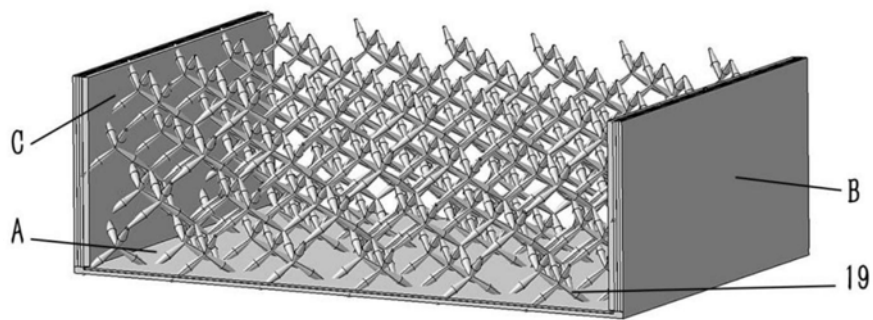


图8

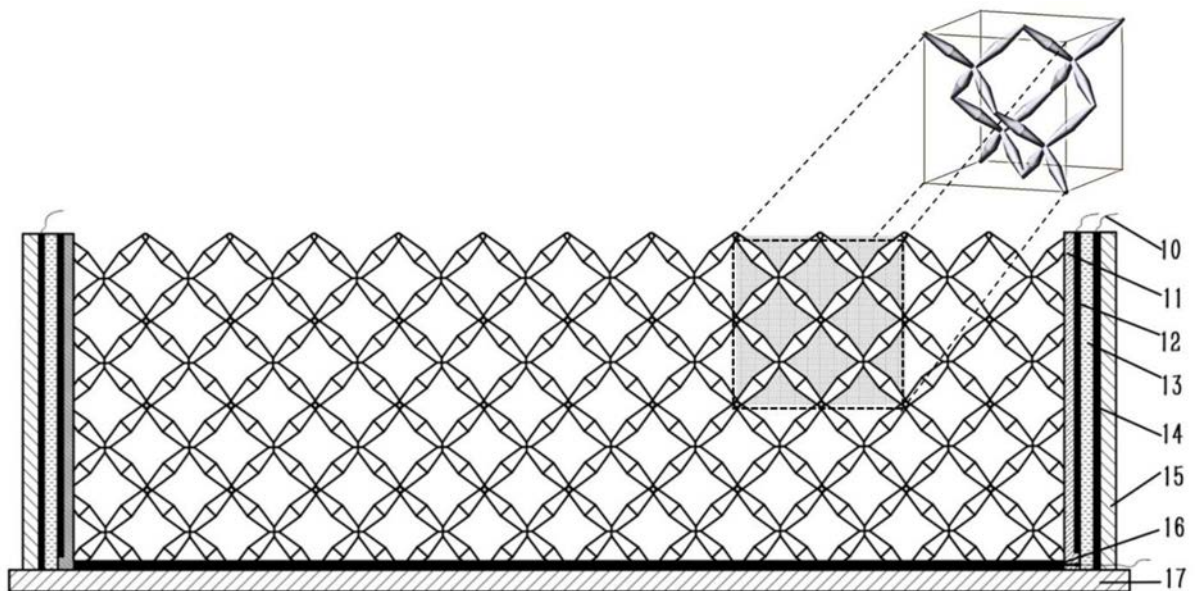


图9