(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108562219 A
(43)申请公布日 2018.09.21

(21)申请号 201810245042.X

(22)申请日 2018.03.23

(71)申请人 南京邮电大学
地址 210023 江苏省南京市亚东新城区文苑路9号

(72)发明人 徐荣青 叶亚龙 韩永琪 曹姝清 陈启山

(74)专利代理机构 南京苏科专利代理有限责任公司 32102
代理人 姚姣阳

(51)Int.Cl.
G01B 7/16(2006.01)
A61B 5/024(2006.01)
A61B 5/02(2006.01)

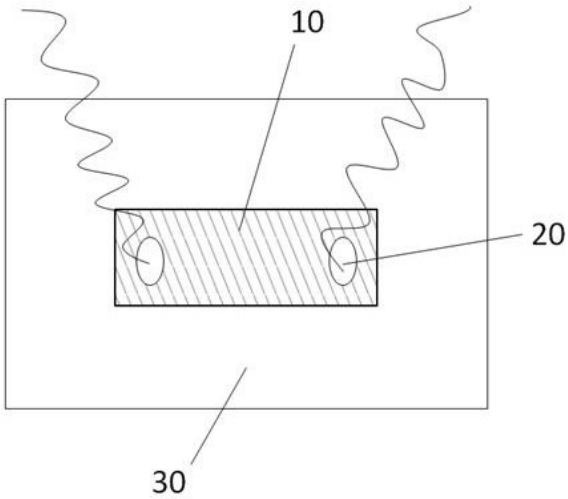
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

一种柔性应变传感器及其制备方法与应用

(57)摘要

本发明提供了一种柔性应变传感器及其制备方法与应用，该柔性应变传感器包括应变感应材料、电极和绝缘的柔性封装层，所述应变感应材料与所述电极电连接、且二者均被所述柔性封装层封装，所述电极的端部引至所述柔性封装层外部，所述应变感应材料为包含氧化还原石墨烯和银纳米线的复合材料AgNWs/RGO。本发明采用低成本的氧化还原石墨烯(RGO)与高电导率的银纳米线(AgNWs)复合，得到超高电导率的应变感应复合材料AgNWs/RGO；采用柔性聚合物对上述复合材料AgNWs/RGO进行封装，耐用性高，弯曲灵敏度佳；此外，上述复合材料AgNWs/RGO可裁剪，由此可制备出不同形状尺寸的高灵敏度柔性应变传感器，灵活、方便地贴附于各种形貌的表面，质量轻具有较强的环境适应性。



CN 108562219 A

1.一种柔性应变传感器，包括应变感应材料、电极和绝缘的柔性封装层，所述应变感应材料与所述电极电连接、且二者均被所述柔性封装层封装，所述电极的端部引至所述柔性封装层外部，其特征在于：所述应变感应材料为包含氧化还原石墨烯和银纳米线的复合材料AgNWs /RGO。

2.根据权利要求1所述的一种柔性应变传感器，其特征在于：所述复合材料AgNWs /RGO的电导率为11.32S/m -23.61S/m。

3.根据权利要求1所述的一种柔性应变传感器，其特征在于：所述柔性封装层的材质为热塑性高分子聚合物。

4.根据权利要求3所述的一种柔性应变传感器，其特征在于：所述热塑性高分子聚合物为聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚乙烯亚胺、聚二甲基硅氧烷、聚氨酯、聚丙烯或聚四氟乙烯。

5.根据权利要求1所述的一种柔性应变传感器，其特征在于：所述柔性应变传感器整体呈扁平状，其纵截面的厚度为1mm-2mm。

6.权利要求1所述的一种柔性应变传感器的制备方法，其特征在于：首先按以下步骤制备AgNWs /RGO复合材料，然后在该AgNWs /RGO复合材料上设置电极，并采用柔性封装层进行绝缘封装，从而制备获得柔性应变传感器——

S1)将未还原的石墨氧化物GO分散到二甲基甲酰胺溶液中，超声处理制成GO悬浮液；S2)在步骤S1制得的GO悬浮液中加入银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌，然后依次加入二甲基甲酰胺溶液、氢氧化铵溶液和水合肼溶液，继续磁力搅拌对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs /RGO复合材料溶液；

S3)将步骤S2制得的复合材料溶液冷却、过滤、干燥，得到AgNWs /RGO复合材料。

7.根据权利要求6所述的一种柔性应变传感器的制备方法，其特征在于：S2步骤当中，所述银纳米线AgNWs溶液的浓度为5mg/ml-10mg/ml。

8.根据权利要求6所述的一种柔性应变传感器的制备方法，其特征在于：所述封装过程包括如下步骤：

(a)分别量取聚二甲基硅氧烷和固化剂进行混合，其中，聚二甲基硅氧烷和固化剂的体积比为10:1；

(b)将步骤(a)配置的聚二甲基硅氧烷溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡5min-15min至聚二甲基硅氧烷溶液无气泡；

(c)将步骤(b)中的聚二甲基硅氧烷溶液倒入预制模具中，放入烘箱中固化，同步对所述AgNWs /RGO复合材料和电极进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

9.根据权利要求6所述的一种柔性应变传感器的制备方法，其特征在于，包括如下步骤：(1)将50g未还原的石墨氧化物GO分散到25ml二甲基甲酰胺DMF(≥99.5%)溶液中，置于水浴超声仪中进行超声处理10min-15min直至GO完全分散，超声频率为40KHz，制成浓度为2.0mg / mL的GO悬浮液；

(2)在上述GO悬浮液中加入50ml、10mg/ml的银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌5min，后依次加入30mL的二甲基甲酰胺DMF溶液、3mL氢氧化铵溶液(NH3·H2O，25％)和0.5mL水合肼(N2H4·H2O，80％)溶液，90℃下继续磁力搅拌20min，对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs / RGO复合材料溶液；

(3)冷却至室温，采用真空抽滤机并通过孔径220nm的微孔过滤膜过滤上述AgNWs /RGO

复合材料溶液，后将真空抽滤后的产物放置在60℃烘箱中干燥30min，得到AgNWs /RGO复合材料；

(4)在步骤(3)的AgNWs /RGO复合材料两端边缘处涂覆导电胶并引出导线，干燥5min-10min后，置于预制模具中；

(5)分别量取聚二甲基硅氧烷和固化剂进行混合，其中，聚二甲基硅氧烷和固化剂的体积比为10:1；

(6)将步骤(5)配置的聚二甲基硅氧烷溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡5min-15min至聚二甲基硅氧烷溶液无气泡；

(7)将上述聚二甲基硅氧烷溶液倒入所述预制模具中，放入60℃烘箱中固化10h，同步对步骤(4)中的AgNWs /RGO复合材料、导电胶和导线进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

10.权利要求1所述的柔性应变传感器的用途，其特征在于：将该柔性应变传感器应用于心跳监测、脉搏波检测或者声音信号的采集和识别。

一种柔性应变传感器及其制备方法与应用

技术领域

[0001] 本发明涉及复合材料及其在传感器领域的应用,具体涉及一种柔性应变传感器及其制备方法与应用,属于传感器领域。

背景技术

[0002] 随着透明、灵活应变传感器的技术发展,人们对实时医疗监护、生物整合治疗、可穿戴显示器和轻量化移动电子设备的技术需求日益增长。相较于玻璃或硅晶片等刚性载体,柔性电子器件是构建在柔性聚合物(例如,聚对苯二甲酸乙二醇酯PET、聚乙烯亚胺PEI或聚二甲基硅氧烷PDMS)上的电子器件,由于此种柔性聚合物表现出弹性,所以柔性聚合物基材上的电子元件可以被弯曲和均匀拉伸,从而可以广泛应用在变形触摸屏、生物识别设备、可穿戴超级电容器或太阳能电池等方面。

[0003] 传统应变传感器主要集中在高变形下的高伸缩性和高灵敏度测试运动,而在微变形状态下,其较低的灵敏度限制了其在心跳监测、脉搏波检测或声音信号采集和识别等领域中的应用。现有技术(例如CN 107655398 A、CN 107720685 A)采用石墨烯及其复合产品作为应变感应材料制备柔性应变传感器,上述制备方法工艺复杂,制备过程不易控制,成本较高,且应变传感器的电导率较低,在生物医学检测等微变形状态下不能实现其高灵敏度。

发明内容

[0004] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种柔性应变传感器及其制备方法与应用,该制备方法简易高效、过程可控,柔性应变传感器成本低、质量轻且灵敏度高。

[0005] 为实现以上目的,本发明采用以下技术方案:

第一方面,本发明提供一种柔性应变传感器,包括应变感应材料、电极和绝缘的柔性封装层,所述应变感应材料与所述电极电连接、且二者均被所述柔性封装层封装,所述电极的端部引至所述柔性封装层外部,其特征在于:所述应变感应材料为包含氧化还原石墨烯和银纳米线的复合材料AgNWs /RGO。

[0006] 进一步地,所述复合材料AgNWs /RGO的电导率为11.32S/m -23.61S/m。

[0007] 进一步地,所述柔性封装层的材质为热塑性高分子聚合物。

[0008] 进一步地,所述热塑性高分子聚合物为聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚乙烯亚胺、聚二甲基硅氧烷、聚氨酯、聚丙烯或聚四氟乙烯。

[0009] 进一步地,所述柔性应变传感器整体呈扁平状,其纵截面的厚度为1mm-2mm。

[0010] 第二方面,本发明提供如第一方面所述的柔性应变传感器的制备方法,首先按以下步骤制备AgNWs /RGO复合材料,然后在该AgNWs /RGO复合材料上设置电极,并采用柔性封装层进行绝缘封装,从而制备获得柔性应变传感器——

S1)将未还原的石墨氧化物GO分散到二甲基甲酰胺溶液中,超声处理制成GO悬浮液;

S2)在步骤S1制得的GO悬浮液中加入银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌,然后依次加入二

甲基甲酰胺溶液、氢氧化铵溶液和水合肼溶液，继续磁力搅拌对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs /RGO复合材料溶液；

S3)将步骤S2制得的复合材料溶液冷却、过滤、干燥，得到AgNWs /RGO复合材料。

[0011] 进一步地，S2步骤当中，所述银纳米线AgNWs溶液的浓度为5mg/ml-10mg/ml。

[0012] 进一步地，所述封装过程包括如下步骤：

(a)分别量取聚二甲基硅氧烷和固化剂进行混合，其中，聚二甲基硅氧烷和固化剂的体积比为10:1；

(b)将步骤(a)配置的聚二甲基硅氧烷溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡5min-15min至聚二甲基硅氧烷溶液无气泡；

(c)将步骤(b)中的聚二甲基硅氧烷溶液倒入预制模具中，放入烘箱中固化，同步对所述AgNWs /RGO复合材料和电极进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

[0013] 作为本发明所述方法的优选技术方案，所述柔性应变传感器的制备方法包括如下步骤：

(1)将50g未还原的石墨氧化物GO分散到25ml二甲基甲酰胺DMF(≥99.5%)溶液中，置于水浴超声仪中进行超声处理10min-15min直至GO完全分散，超声频率为40KHz，制成浓度为2.0mg / mL的GO悬浮液；

(2)在上述GO悬浮液中加入50ml、10mg/ml的银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌5min，后依次加入30mL的二甲基甲酰胺DMF溶液、3mL氢氧化铵溶液(NH3·H2O，25％)和0.5mL水合肼(N2H4·H2O，80％)溶液，90℃下继续磁力搅拌20min，对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs /RGO复合材料溶液；

(3)冷却至室温，采用真空抽滤机并通过孔径220nm的微孔过滤膜过滤上述AgNWs /RGO复合材料溶液，后将真空抽滤后的产物放置在60℃烘箱中干燥30min，得到AgNWs /RGO复合材料；

(4)在步骤(3)的AgNWs /RGO复合材料两端边缘处涂覆导电胶并引出导线，干燥5min-10min后，置于预制模具中；

(5)分别量取聚二甲基硅氧烷和固化剂进行混合，其中，聚二甲基硅氧烷和固化剂的体积比为10:1；

(6)将步骤(5)配置的聚二甲基硅氧烷溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡5min-15min至聚二甲基硅氧烷溶液无气泡；

(7)将上述聚二甲基硅氧烷溶液倒入所述预制模具中，放入60℃烘箱中固化10h，同步对步骤(4)中的AgNWs /RGO复合材料、导电胶和导线进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

[0014] 第三方面，本发明提供如第一方面所述的柔性应变传感器的用途，即将该柔性应变传感器应用于心跳监测、脉搏波检测或者声音信号的采集和识别。

[0015] 与已有技术相比，本发明具有如下有益效果：

1.本发明采用低成本的氧化还原石墨烯(RGO)与高电导率的银纳米线(AgNWs)复合，得到超高电导率的应变感应复合材料AgNWs /RGO。

[0016] 2.采用柔性聚合物对上述复合材料AgNWs /RGO进行封装，耐用性高，弯曲灵敏度佳。

[0017] 3.上述复合材料AgNWs /RGO可裁剪,由此可制备出不同形状尺寸的高灵敏度柔性应变传感器,灵活、方便地贴附于各种形貌的表面,质量轻具有较强的环境适应性。

附图说明

[0018]

图1是本发明一个实施例柔性应变传感器的结构示意图。

[0019] 图2是柔性应变传感器测量的频率为10hz的振动信号。

[0020] 图3是采用与图2相同的柔性应变传感器测量的频率为30hz的振动信号。

[0021] 图4是采用与图2相同的柔性应变传感器测量的频率为50hz的振动信号。

[0022] 图5是采用与图2相同的柔性应变传感器测量的频率为100hz的振动信号。

[0023] 图6是采用与图2相同的柔性应变传感器测量的频率为150hz的振动信号。

[0024] 图7是采用与图2相同的柔性应变传感器测量的频率为200hz的振动信号。

[0025] 图8是本发明的柔性应变传感器用于人体手腕处测试的脉搏振动信号图。

[0026] 图9是本发明的柔性应变传感器用于人体喉咙处测试的喉咙发声振动信号图。

[0027] 图10是本发明一个实施例柔性应变传感器用于检测信号的测试电路示意图。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图和具体的实施方式对本发明作进一步详细的说明。所述实施例的示例在附图中示出,在下述本发明的实施方式中描述的具体的实施例仅作为本发明的具体实施方式的示例性说明,旨在用于解释本发明,而不构成为对本发明的限制。

[0029] 如图1所示的柔性应变传感器,整体呈扁平状,其纵截面的厚度为1mm-2mm;该柔性应变传感器包括应变感应材料10、电极20和柔性封装层30,应变感应材料10与电极20电连接、且二者均被绝缘的封装层30封装在内部,电极20包括导电胶和导线,导线通过导电胶固定粘接在应变感应材料上,电极20的端部即导线被引至柔性封装层30的外部。

[0030] 进一步地,构成电极的导电胶为导电银胶或导电硅胶,导线为铜丝、银丝或铁丝,应变感应材料10为包含氧化还原石墨烯和银纳米线的复合材料AgNWs /RGO。

[0031] 上述柔性应变传感器的制备方法,首先按以下步骤制备AgNWs /RGO复合材料,然后在该AgNWs /RGO复合材料上设置电极,并采用柔性封装层进行绝缘封装,从而制备获得柔性应变传感器——

S1)将未还原的石墨氧化物GO分散到二甲基甲酰胺溶液中,超声处理制成GO悬浮液;

S2)在步骤S1制得的GO悬浮液中加入银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌,然后依次加入二甲基甲酰胺溶液、氢氧化铵溶液和水合肼溶液,继续磁力搅拌对GO进行氧化还原反应,得到AgNWs /RGO复合材料溶液;

S3)将步骤S2制得的复合材料溶液冷却、过滤、干燥,得到AgNWs /RGO复合材料。

[0032] 进一步地,S2步骤当中,银纳米线AgNWs溶液的浓度为5mg/ml-10mg/ml。

[0033] 采用上述氧化还原石墨烯(RGO)和银纳米线(AgNWs)相结合的制备方法,制得的复合材料AgNWs /RGO的电导率为11.32S/m -23.61S/m,而仅用氧化还原石墨烯RGO制成的试样膜的电导率仅为0.71S/m。

[0034] 电导率可由如下方法计算:

将步骤S2制得的混合材料通过微孔滤膜真空抽滤，然后在真空烘箱中干燥30分钟得到薄膜样品，通过数字式四探针测试仪测量样品的面电阻(R)，将薄膜样品通过SEM断面分析测量膜的厚度，然后按照如下公式：

$$\rho(\Omega \cdot m)=\frac{\pi}{In2}\cdot\frac{U}{I}\cdot d \quad (1)$$

(1)式中，ρ:电阻率/Ω·m;U:实测电压/V;I:实测电流/A;d:膜厚/m;

$$\delta(S/m):=\frac{1}{\rho}; \quad (2)$$

(2)式中，δ:电导率/S/m。

[0035] 进一步地，柔性封装层的材质为热塑性高分子聚合物，具体为聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚乙烯亚胺、聚二甲基硅氧烷、聚氨酯、聚丙烯或聚四氟乙烯。。

[0036] 下面以聚二甲基硅氧烷PDMS为例，封装过程包括如下步骤：

(a)分别量取聚二甲基硅氧烷PDMS和固化剂进行混合，其中，聚二甲基硅氧烷PDMS和固化剂的体积比为10:1；

(b)将步骤(a)配置的聚二甲基硅氧烷PDMS 溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡5min-15min至聚二甲基硅氧烷PDMS溶液无气泡；

(c)将步骤(b)中的聚二甲基硅氧烷PDMS溶液倒入预制模具中，放入烘箱中固化，同步对所述AgNWs /RGO复合材料和电极进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

[0037] 实施例1

一种柔性应变传感器的制备方法，包括如下步骤：

(1)将50g未还原的石墨氧化物GO分散到25ml二甲基甲酰胺DMF(≥99.5%)溶液中，置于水浴超声仪中进行超声处理15min直至GO完全分散，超声频率为40KHz，制成浓度为2.0mg /mL的GO悬浮液；

(2)在上述GO悬浮液中加入50ml、10mg/ml的银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌5min，后依次加入30mL的二甲基甲酰胺DMF溶液、3mL氢氧化铵溶液(NH3·H2O，25％)和0.5mL水合肼(N2H4·H2O，80％)溶液，90℃下继续磁力搅拌20min，对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs /RGO复合材料溶液；

(3)冷却至室温，采用真空抽滤机并通过孔径220nm的微孔过滤膜过滤上述AgNWs /RGO复合材料溶液，后将真空抽滤后的产物放置在60℃烘箱中干燥30min，得到AgNWs /RGO复合材料；

(4)在步骤(3)的AgNWs /RGO复合材料两端边缘处涂覆导电胶并引出导线，干燥10min后，置于预制模具中；

(5)分别量取聚二甲基硅氧烷PDMS和固化剂进行混合，其中，PDMS和固化剂的体积比为10:1；

(6)将步骤(5)配置的 PDMS 溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡15min至PDMS溶液无气泡；

(7)将上述PDMS溶液倒入所述预制模具中，放入60℃烘箱中固化10h，同步对步骤(4)中的AgNWs /RGO复合材料、导电胶和导线进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

[0038] 经检测，上述AgNWs /RGO复合材料及其制成的柔性应变传感器的电导率为

23.61S/m。

[0039] 实施例2

一种柔性应变传感器的制备方法，包括如下步骤：

(1)将50g未还原的石墨氧化物GO分散到25ml二甲基甲酰胺DMF(≥99.5%)溶液中，置于水浴超声仪中进行超声处理10min直至GO完全分散，超声频率为40KHz，制成浓度为2.0mg /mL的GO悬浮液；

(2)在上述GO悬浮液中加入50ml、8mg/ml的银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌5min，后依次加入30mL的二甲基甲酰胺DMF溶液、3mL氢氧化铵溶液(NH3·H2O，25％)和0.5mL水合肼(N2H4·H2O，80％)溶液，90℃下继续磁力搅拌20min，对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs /RGO复合材料溶液；

(3)冷却至室温，采用真空抽滤机并通过孔径220nm的微孔过滤膜过滤上述AgNWs /RGO复合材料溶液，后将真空抽滤后的产物放置在60℃烘箱中干燥30min，得到AgNWs /RGO复合材料；

(4)在步骤(3)的AgNWs /RGO复合材料两端边缘处涂覆导电胶并引出导线，干燥5min后，置于预制模具中；

(5)分别量取PDMS和固化剂进行混合，其中，PDMS和固化剂的体积比为10:1；

(6)将步骤(5)配置的 PDMS 溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡10min至PDMS溶液无气泡；

(7)将上述PDMS溶液倒入所述预制模具中，放入60℃烘箱中固化10h，同步对步骤(4)中的AgNWs /RGO复合材料、导电胶和导线进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

[0040] 经检测，上述AgNWs /RGO复合材料及其制成的柔性应变传感器的电导率为16.66S/m。

[0041] 实施例3

一种柔性应变传感器的制备方法，包括如下步骤：

(1)将50g未还原的石墨氧化物GO分散到25ml二甲基甲酰胺DMF(≥99.5%)溶液中，置于水浴超声仪中进行超声处理12min直至GO完全分散，超声频率为40KHz，制成浓度为2.0mg /mL的GO悬浮液；

(2)在上述GO悬浮液中加入50ml、5mg/ml的银纳米线AgNWs溶液并磁力搅拌5min，后依次加入30mL的DMF溶液、3mL氢氧化铵溶液(NH3·H2O，25％)和0.5mL水合肼(N2H4·H2O，80％)溶液，90℃下继续磁力搅拌20min，对GO进行氧化还原反应，得到AgNWs /RGO复合材料溶液；

(3)冷却至室温，采用真空抽滤机并通过孔径220nm的微孔过滤膜过滤上述AgNWs /RGO复合材料溶液，后将真空抽滤后的产物放置在60℃烘箱中干燥30min，得到AgNWs /RGO复合材料；

(4)在步骤(3)的AgNWs /RGO复合材料两端边缘处涂覆导电胶并引出导线，干燥10min后，置于预制模具中；

(5)分别量取PDMS和固化剂进行混合，其中，PDMS和固化剂的体积比为10:1；

(6)将步骤(5)配置的 PDMS 溶液放置在真空干燥箱中，真空消泡5min至PDMS溶液无气泡；

(7)将上述PDMS溶液倒入所述预制模具中，放入60℃烘箱中固化10h，同步对步骤(4)中

的AgNWs /RGO复合材料、导电胶和导线进行封装，固化后脱模即得到柔性应变传感器。

[0042] 经检测，上述AgNWs /RGO复合材料及其制成的柔性应变传感器的电导率为11.32S/m。

[0043] 上述实施例中采用的微孔过滤膜为有机(尼龙)过滤膜。

[0044] 上述方法制备的柔性应变传感器可广泛应用于心跳监测、脉搏波检测或者声音信号的采 集和识别等领域。将柔性应变传感器用声耦合剂粘附在HEV-20激振器上，调节HEAS-20功 率放大器的频率，使HEAS-20功率放大器产生单一频率的振动波，用图10的电路测试，可 以测得1hz-200hz的任意振动频率，图2-7为不同振动频率下测得的相应信号图。若需进一 步提高测试灵敏度，可采用差放电路。

[0045] 将采用上述制备方法制得的应变传感器贴附在人体手腕处和喉咙处，用图10的电路测试，图10由恒流源(0.1mA)、保护电阻R(999Ω)、应变传感器电阻RG、示波器组成，应变传感器电阻RG两端的电压U为：

$$U=k(RG-R0)I \qquad (3)$$

(3)式中I为恒流源的电流，该电压信号就反映了心跳或脉搏信号。

[0046] 图8为实测手碗处的脉搏振动信号图，图9为实测喉咙处发声“你好”的振动信号图。

[0047] 本发明提供一种柔性应变传感器及其制备方法，采用低成本的氧化还原石墨烯(RGO)与高电导率的银纳米线(AgNWs)复合，得到超高电导率的应变感应复合材料AgNWs /RGO；采用柔性聚合物对上述复合材料AgNWs /RGO进行封装，耐用性高，弯曲灵敏度佳；此外，上述复合材料AgNWs /RGO可裁剪，由此可制备出不同形状尺寸的高灵敏度柔性应变传感器，灵活、方便地贴附于各种形貌的表面，质量轻具有较强的环境适应性。

[0048] 应该注意的是，上述实施例是对本发明进行说明而不是对本发明进行限制，并且本领域技术人员在不脱离所附权利要求的范围的情况下可设计出替换实施例。在权利要求中，单词“包含”不排除存在未列在权利要求中的数据或步骤。

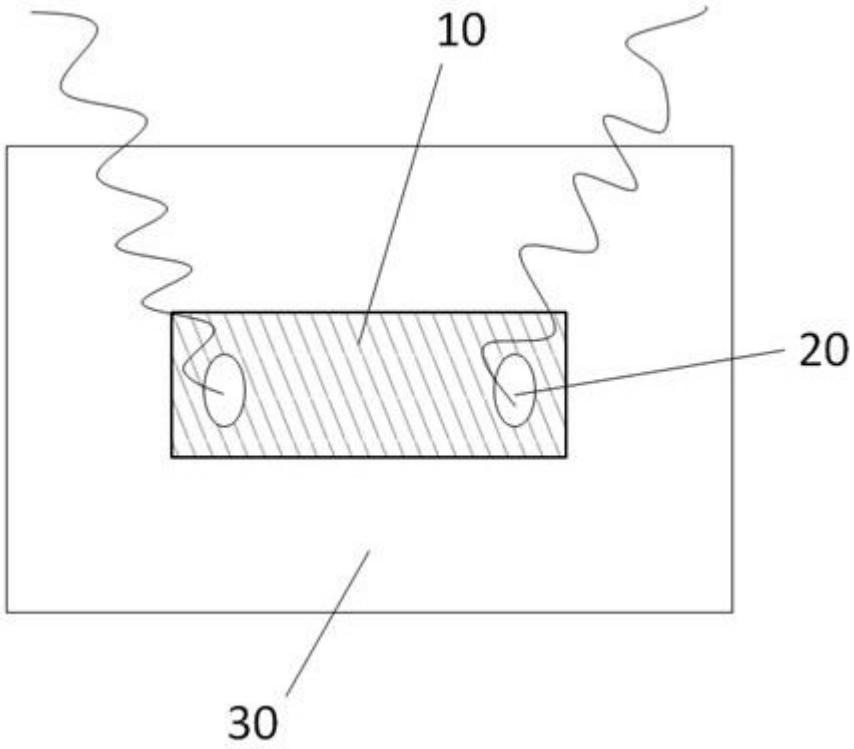

10
20
30

图1

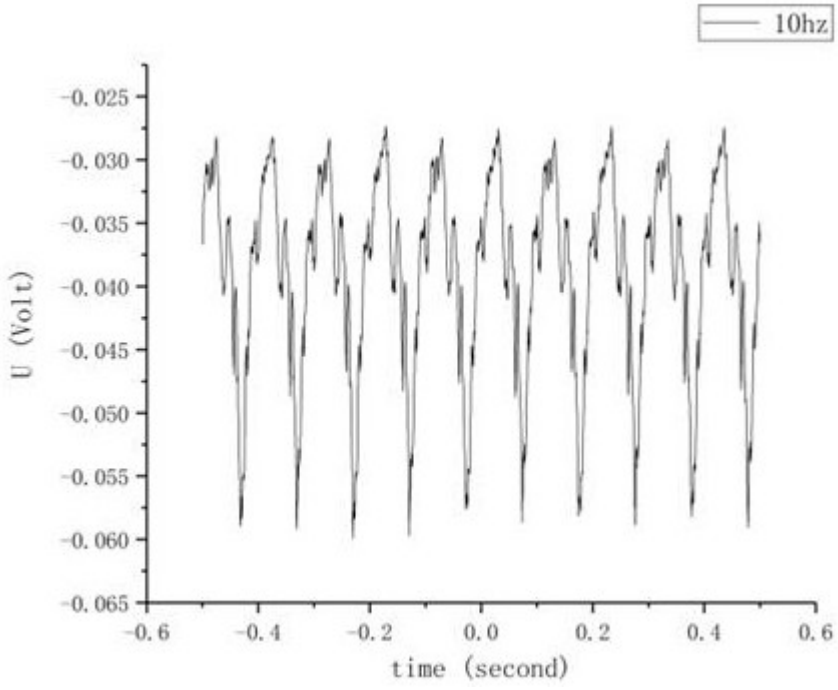

10hz
-0.025
-0.030
-0.035
-0.040
-0.045
-0.050
-0.055
-0.060
-0.065
U (Volt)
-0.6
-0.4
-0.2
0.0
0.2
0.4
0.6
time (second)

图2

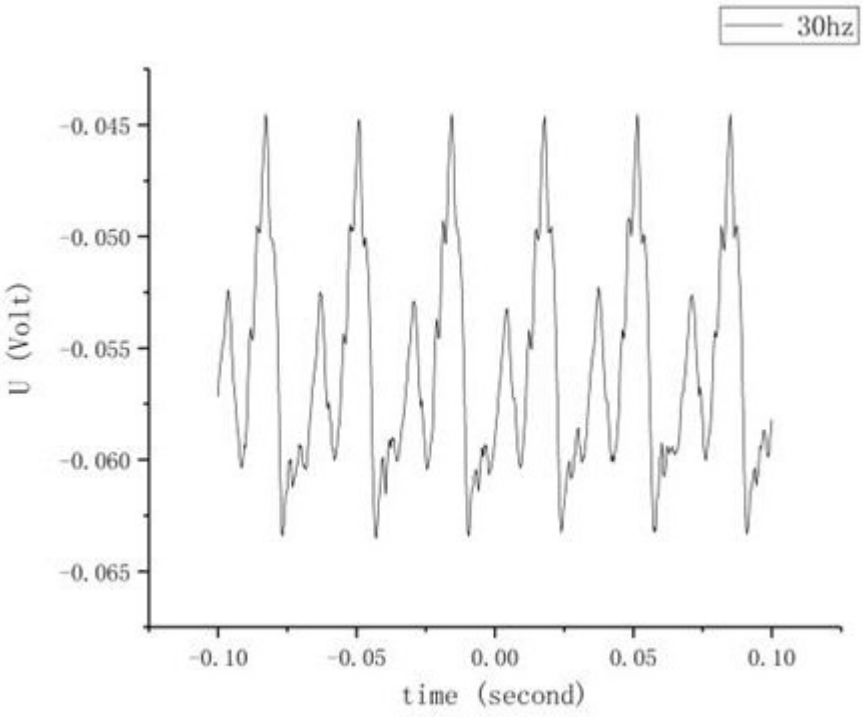

30hz
-0.045
-0.050
-0.055
-0.060
-0.065
U (Volt)
-0.10
-0.05
0.00
0.05
0.10
time (second)

图3

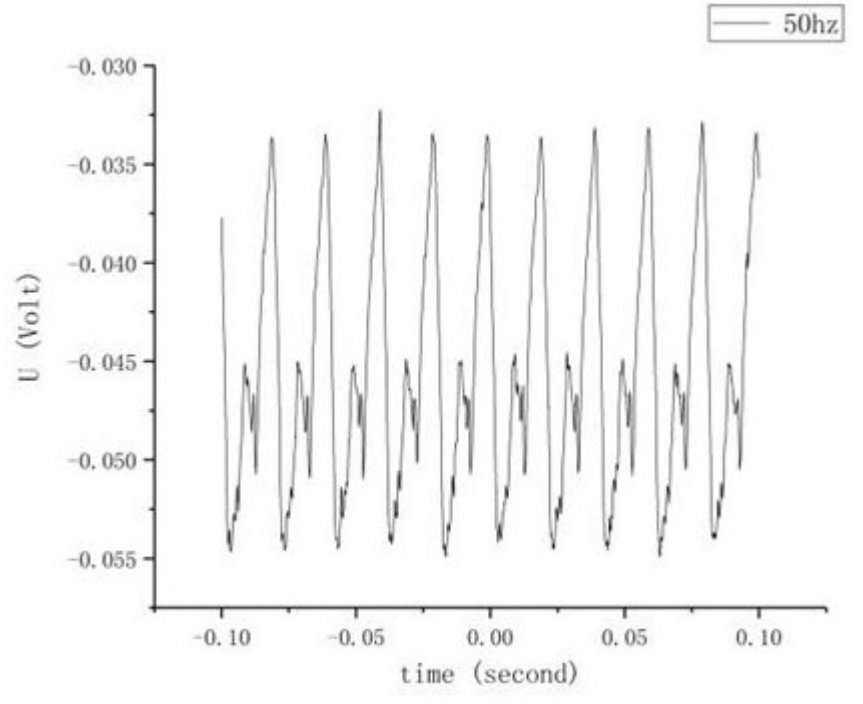

50hz
-0.030
-0.035
-0.040
-0.045
-0.050
-0.055
U (Volt)
-0.10
-0.05
0.00
0.05
0.10
time (second)

图4

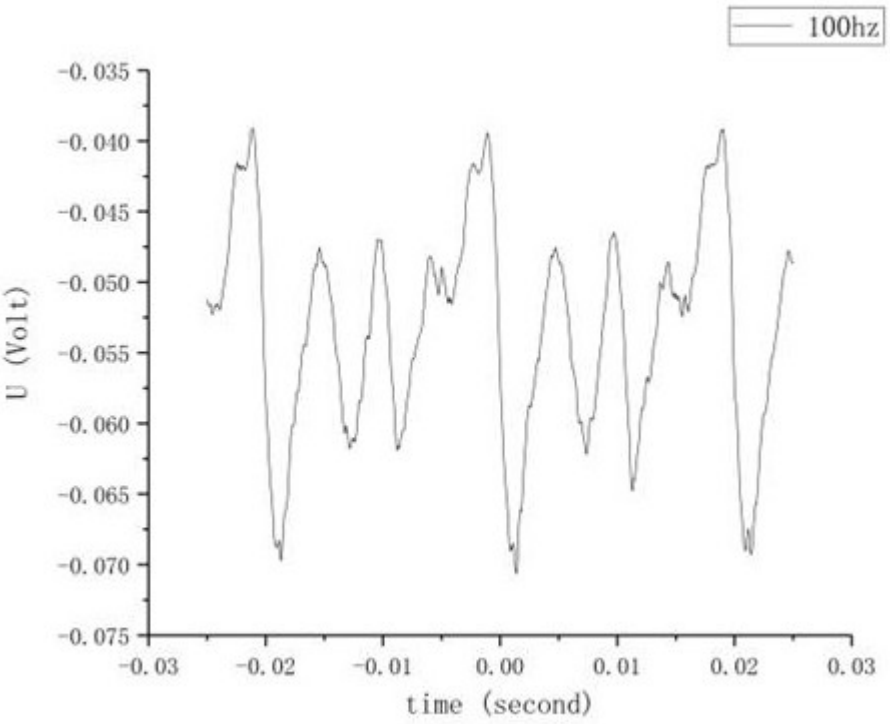

100hz
-0.035
-0.040
-0.045
-0.050
-0.055
-0.060
-0.065
-0.070
-0.075
U (Volt)
-0.03
-0.02
-0.01
0.00
0.01
0.02
0.03
time (second)

图5

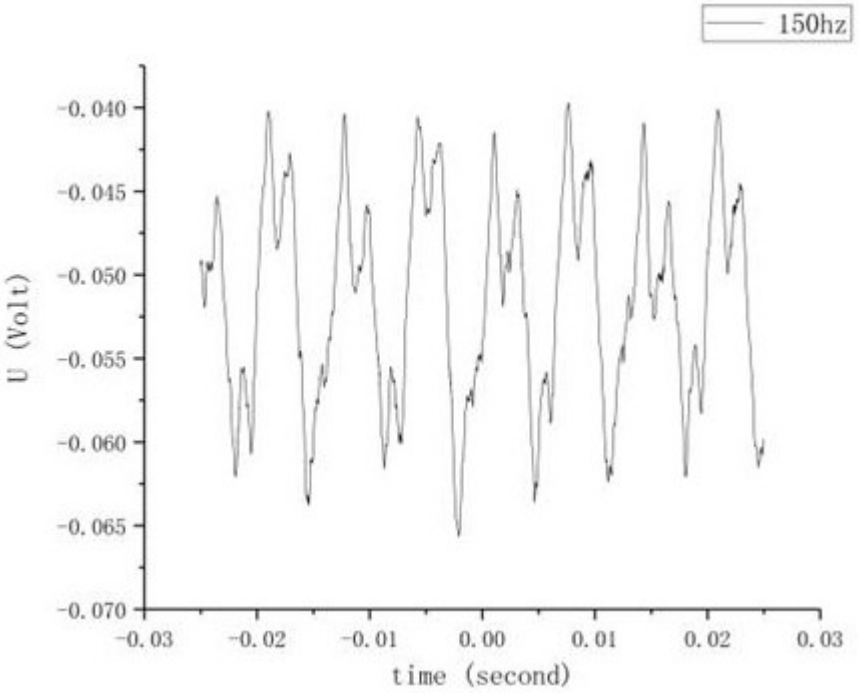

150hz
-0.040
-0.045
-0.050
-0.055
-0.060
-0.065
-0.070
U (Volt)
-0.03
-0.02
-0.01
0.00
0.01
0.02
0.03
time (second)

图6

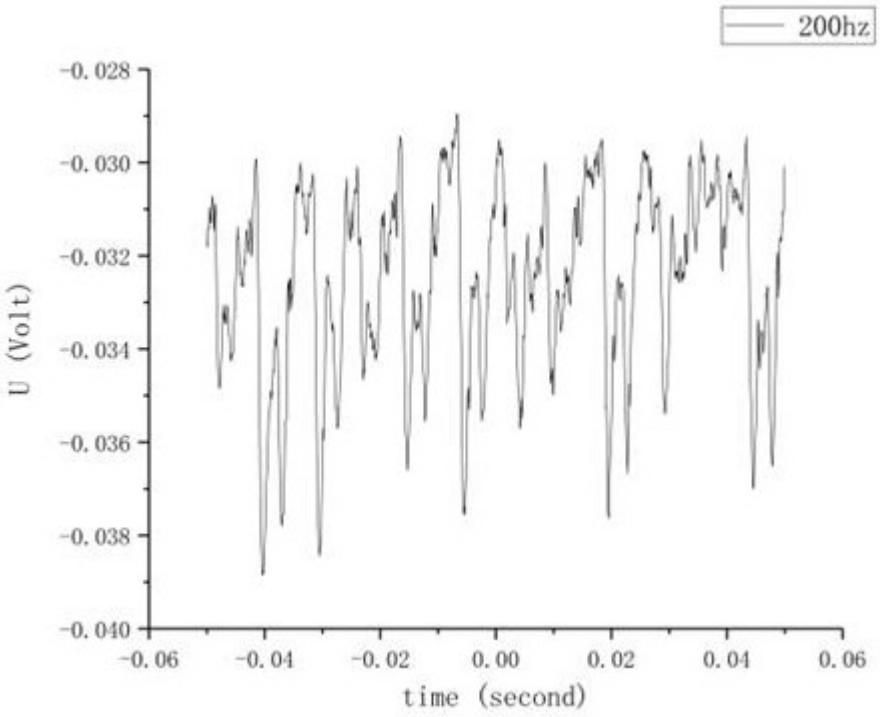

200hz
-0.028
-0.030
-0.032
-0.034
-0.036
-0.038
-0.040
U (Volt)
-0.06
-0.04
-0.02
0.00
0.02
0.04
0.06
time (second)

图7

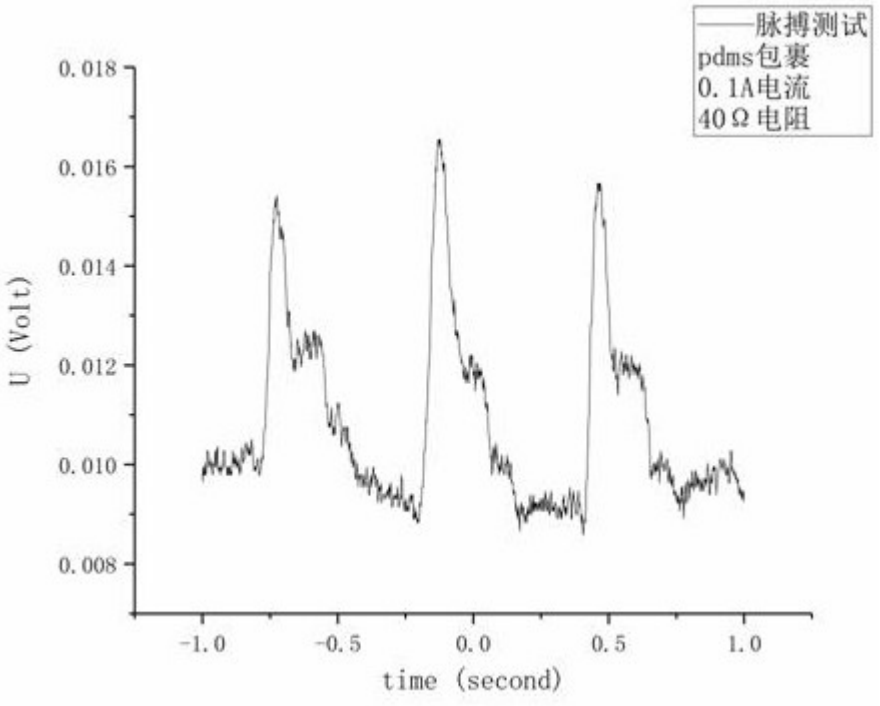

脉搏测试
pdms包裹
0.1A电流
40Ω电阻
0.018
0.016
0.014
0.012
0.010
0.008
U (Volt)
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0
time (second)

图8

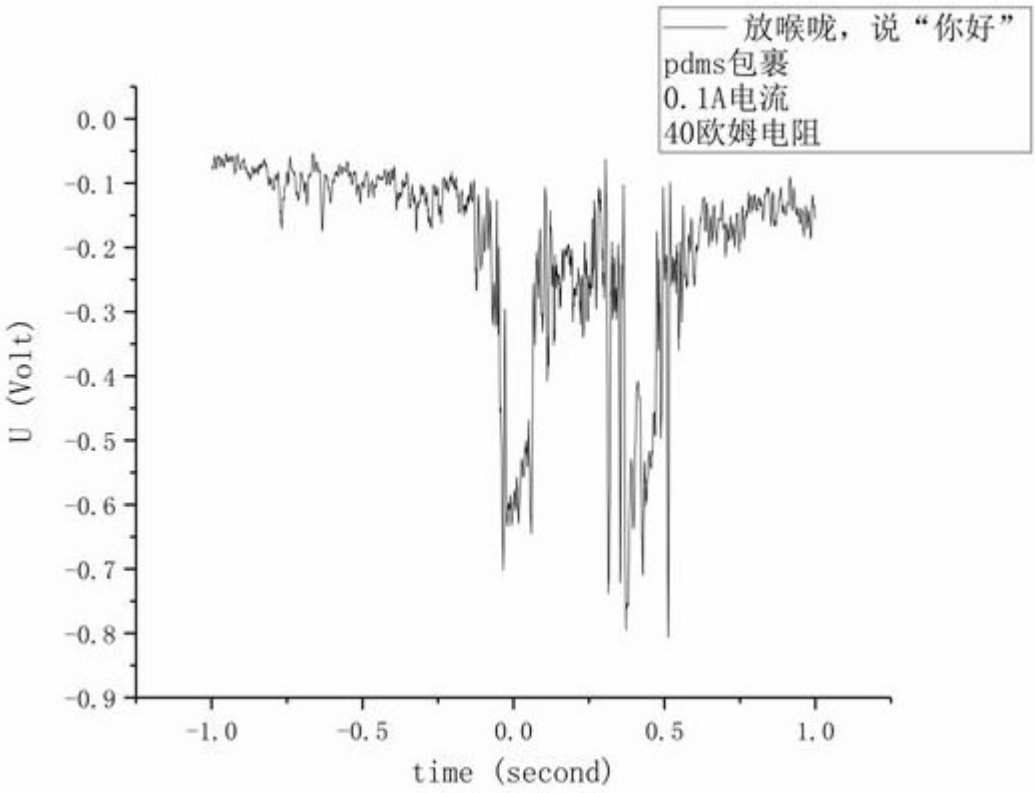

—— 放喉咙，说“你好”
pdms包裹
0.1A电流
40欧姆电阻
U (Volt)
time (second)
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
-0.5
-0.6
-0.7
-0.8
-0.9
-1.0
-0.5
0.0
0.5
1.0

图9

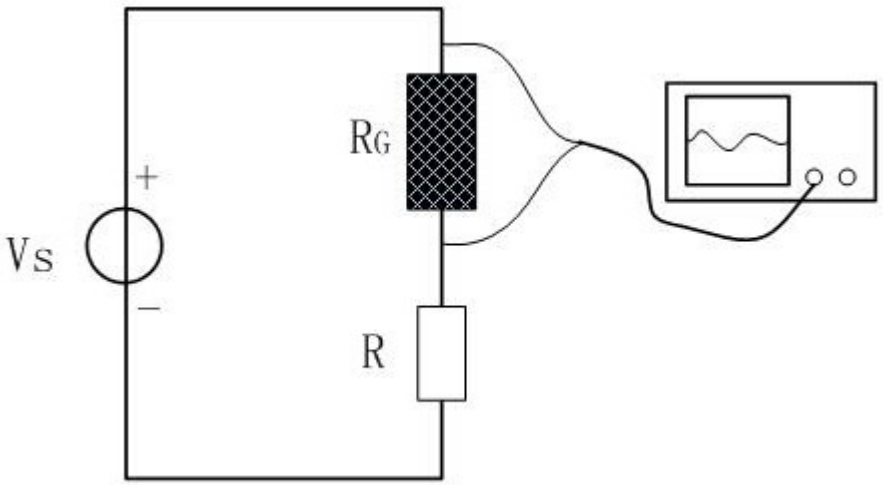
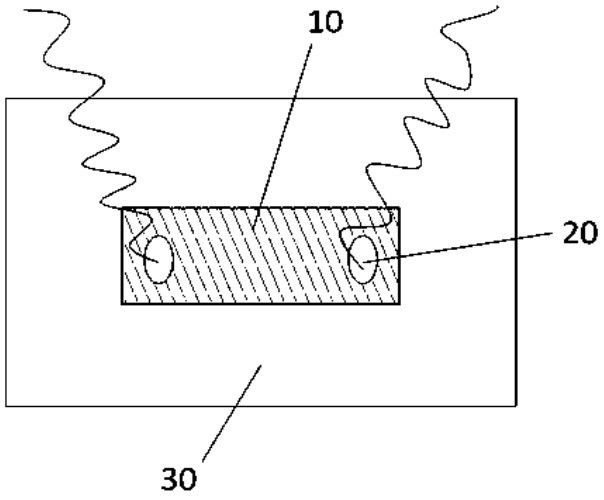

RG
R
Vs
+
−

图10

专利名称(译)	一种柔性应变传感器及其制备方法与应用		
公开(公告)号	CN108562219A	公开(公告)日	2018-09-21
申请号	CN201810245042.X	申请日	2018-03-23
[标]申请(专利权)人(译)	南京邮电大学		
申请(专利权)人(译)	南京邮电大学		
当前申请(专利权)人(译)	南京邮电大学		
[标]发明人	徐荣青 叶亚龙 韩永琪 曹姝清 陈启山		
发明人	徐荣青 叶亚龙 韩永琪 曹姝清 陈启山		
IPC分类号	G01B7/16 A61B5/024 A61B5/02		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供了一种柔性应变传感器及其制备方法与应用，该柔性应变传感器包括应变感应材料、电极和绝缘的柔性封装层，所述应变感应材料与所述电极电连接、且二者均被所述柔性封装层封装，所述电极的端部引至所述柔性封装层外部，所述应变感应材料为包含氧化还原石墨烯和银纳米线的复合材料AgNWs/RGO。本发明采用低成本的氧化还原石墨烯（RGO）与高电导率的银纳米线（AgNWs）复合，得到超高电导率的应变感应复合材料AgNWs/RGO；采用柔性聚合物对上述复合材料AgNWs/RGO进行封装，耐用性高，弯曲灵敏度佳；此外，上述复合材料AgNWs/RGO可裁剪，由此可制备出不同形状尺寸的高灵敏度柔性应变传感器，灵活、方便地贴附于各种形貌的表面，质量轻具有较强的环境适应性。