



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114136203 A

(43) 申请公布日 2022.03.04

(21) 申请号 202111338988.9

(22) 申请日 2021.11.12

(71) 申请人 中国科学院金属研究所

地址 110016 辽宁省沈阳市沈河区文化路  
72号

(72) 发明人 张广平 吴绪苹 罗雪梅 宋竹满

(74) 专利代理机构 沈阳科苑专利商标代理有限公司 21002

代理人 于晓波

(51) Int. Cl.

G01B 7/16 (2006.01)

G23C 14/35 (2006.01)

G23C 14/20 (2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图4页

### (54) 发明名称

一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法

### (57) 摘要

本发明公开了一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,属于应变电测与传感器技术领域。该方法包括三个步骤:在柔性基底上溅射一层金属薄膜、对薄膜进行疲劳加载使其表面产生疲劳裂纹、在薄膜两端连接电导线。利用本发明可以制备出兼具高灵敏度和高循环稳定性的柔性应变传感器。采用本发明所制备的应变传感器具有十的三次方以上的高灵敏度因子,能够精准感应极微小的应变(小于1.5%的应变),同时具有优异的循环稳定性,实现了柔性应变传感器两大关键性能的结合,此外还具有易于制备、性能便于调控等优点,为柔性电子器件中应变检测技术的发展提供了一种新思路。

1. 一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,其特征在于:该方法包括如下步骤:

(1) 将柔性基底裁剪成大小合适的矩形,并在柔性基底上沉积一层或多层金属薄膜;

(2) 采用力学试验机将步骤(1)沉积有金属薄膜的柔性基底在其长度方向(也是最终器件的应变传感方向)上以一定的应变幅和频率进行拉-拉疲劳加载,一定周次后卸载,以使薄膜表面形成一定密度的横向疲劳裂纹;

(3) 使用导电胶在步骤(2)所得带疲劳裂纹的柔性基底金属薄膜的两端连接电导线,即得到所述灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器。

2. 按照权利要求1所述的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,其特征在于:步骤(1)中,所述金属薄膜采用磁控溅射的方法沉积,该金属薄膜可为连续致密状,也可为疏松多孔状,可为变形能力强的塑性薄膜,也可为变形能力差的脆性薄膜。

3. 按照权利要求1所述的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,其特征在于:步骤(2)进行拉-拉疲劳加载过程中,采用正弦加载方式,载荷最大值和最小值分别为10-25N、1.0-3.0N,加载频率为25-35Hz,加载周次大于1000周。

4. 按照权利要求1所述的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,其特征在于:该柔性应变传感器在小于1.5%的应变范围内具有很高的灵敏度,其灵敏度因子可达 $10^3$ 以上。

5. 按照权利要求1所述的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,其特征在于:该柔性应变传感器在进行循环应变传感 $10^4$ 周次以上之后,电阻应变响应仍然能够维持稳定的水平。

6. 按照权利要求1所述的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,其特征在于:该柔性应变传感器的传感性能可通过调整制备过程中疲劳加载时的应变幅、加载频率或调整金属薄膜本身的力学性质和微观形貌进行调节。

## 一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及应变电测与传感器技术领域,具体涉及一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,柔性电子技术迅猛发展,柔性电子器件在医疗健康监测、电子仿真皮肤、人机交互界面等领域具有广泛的应用前景。其中,柔性应变传感器是一种进行应变感应的柔性器件,对柔性电子技术的发展至关重要,近年来相关科学研究层出不穷。灵敏度与循环稳定性是柔性应变传感器非常重要的两项性能指标。对于电阻型应变传感器来说,灵敏度通常用单位应变下产生的相对电阻变化来表示,也称GF值,循环稳定性则用其在动态循环应变传感时维持稳定响应的周次来衡量。传统的应变传感器灵敏度较低,且多属于刚性器件,不能应用于柔性器件中。而近年来发展的高灵敏柔性应变传感器大多难以达到良好的综合性能,通常在较低的循环传感周次后就会发生不可逆的损伤,循环稳定性较差。因此,有必要研发新技术来制备兼备高灵敏度和高循环稳定性的柔性应变传感器。

### 发明内容

[0003] 针对柔性应变传感器高灵敏度、高循环稳定性难以兼得的特点,本发明的目的在于提供一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,相比于已有方法本发明具有灵敏度超高、循环稳定性好、制备过程简单、易于针对特定使用需求进行定制化设计等优点,为应变检测技术在柔性电子器件中的应用发展提供了一种新的思路。

[0004] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案如下:

[0005] 一种灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的制备方法,该方法包括如下步骤:

[0006] (1) 将柔性基底裁剪成大小合适的矩形,并在柔性基底上沉积一层或多层金属薄膜;

[0007] (2) 采用力学试验机将步骤(1)沉积有金属薄膜的柔性基底在其长度方向(也是最终器件的应变传感方向)上以一定的应变幅和频率进行拉-拉疲劳加载,一定周次后卸载,以使薄膜表面形成一定密度的横向疲劳裂纹;

[0008] (3) 使用导电胶在步骤(2)所得带疲劳裂纹的柔性基底金属薄膜的两端连接电导线,即得到所述灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器。

[0009] 步骤(1)中,所述金属薄膜采用磁控溅射的方法沉积,该金属薄膜可为连续致密状,也可为疏松多孔状,可为变形能力强的塑性薄膜,也可为变形能力差的脆性薄膜。

[0010] 步骤(2)进行拉-拉疲劳加载过程中,采用正弦加载方式,载荷最大值和最小值分别为10-25N、1.0-3.0N,加载频率为25-35Hz,加载周次大于1000周。

[0011] 该柔性应变传感器在小于1.5%的应变范围内具有很高的灵敏度,其灵敏度因子可达 $10^3$ 以上。

[0012] 该柔性应变传感器在进行循环应变传感 $10^4$ 周次以上之后,电阻应变响应仍然能够维持稳定的水平。

[0013] 该柔性应变传感器的传感性能可通过调整制备过程中疲劳加载时的应变幅、加载频率或调整金属薄膜本身的力学性质和微观形貌进行调节。

[0014] 本发明优点如下:

[0015] 1、本发明所制备的柔性应变传感器在小应变范围内具有很高的灵敏度,其灵敏度因子可达 $10^3$ 以上,可用在柔性电子器件中对微小应变(小于1.5%的应变)进行精确传感,目前广泛使用的应变传感器制备技术还难以达到这样的高灵敏度。

[0016] 2、本发明所制备的柔性应变传感器具有优异的循环稳定性,在进行循环应变传感 $10^4$ 周次以上之后,电阻应变响应仍然能够维持稳定的水平,表现出良好的动态电阻响应效果,高灵敏度和高循环稳定性兼备的特点使得该应变传感器具有很好的应用前景。

[0017] 3、本发明所制备的柔性应变传感器,可以通过调整疲劳加载时的应变幅、加载频率或调整金属薄膜本身的力学性质和微观形貌对其传感性能进行调节,在实际应用中,可以按使用需求对器件性能进行定制化设计。

[0018] 4、本发明制备灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器过程中所使用的柔性基底具有较宽的选择范围,可以根据器件应用场景的差异进行针对性选择。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器制备过程示意图。

[0020] 图2为实施例1中步骤2所得带疲劳裂纹金薄膜的表面形貌图。

[0021] 图3为实施例1所制备的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的应变传感测试曲线。

[0022] 图4为实施例1所制备的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的循环稳定性测试曲线及局部放大图。

[0023] 图5为实施例2所制备的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的应变传感测试曲线。

[0024] 图6为实施例2所制备的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的循环稳定性测试曲线及局部放大图。

[0025] 图7为实施例3所制备的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的应变传感测试曲线。

[0026] 图8为实施例3所制备的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器的循环稳定性测试曲线及局部放大图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和实施例详述本发明。

[0028] 实施例1:

[0029] 本实施例为制备基于聚酰亚胺(125 $\mu$ m)基底上溅射沉积90nm金薄膜的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器,制备过程如图1,具体步骤如下:

[0030] 步骤1:将柔性聚酰亚胺基底裁剪成2mm $\times$ 16mm的矩形,采用磁控溅射的方法在其

上沉积一层厚度为90nm的金薄膜。

[0031] 步骤2:对步骤(1)制备的聚酰亚胺基底金薄膜施加拉-拉疲劳载荷,采用正弦加载方式,载荷最大值和最小值分别为20N、2N,加载频率为30Hz,加载 $2.4 \times 10^6$ 周次后卸载,以在其表面制备一定密度的疲劳裂纹,如图2所示;

[0032] 步骤3:利用导电银胶在步骤(2)所得带疲劳裂纹的柔性基底金属薄膜两端连接铜导线。

[0033] 本实施例所制备的柔性应变传感器的应变传感测试曲线如图3,该曲线表明该传感器在0.5%~1.2%的微小应变范围内的灵敏度因子高达3100。

[0034] 图4为本实施例所制备的柔性应变传感器的循环稳定性测试曲线及局部放大图。在进行循环应变传感 $10^4$ 周次以上之后,电阻应变响应仍然能够维持稳定的水平,表现出良好的动态电阻响应效果。

[0035] 实施例2

[0036] 本实施例为制备基于聚酰亚胺(125 $\mu\text{m}$ )基底上溅射沉积170nm金薄膜的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器,具体步骤如下:

[0037] 步骤1:将柔性聚酰亚胺基底裁剪成2mm $\times$ 16mm的矩形,采用磁控溅射的方法在其上沉积一层厚度为170nm的金薄膜。

[0038] 步骤2:对步骤(1)制备的聚酰亚胺基底金薄膜施加拉-拉疲劳载荷,采用正弦加载方式,载荷最大值和最小值分别为16N、1.6N,加载频率为30Hz,加载 $2.0 \times 10^6$ 周次后卸载,以在其表面制备一定密度的疲劳裂纹;

[0039] 步骤3:利用导电银胶在步骤(2)所得带疲劳裂纹的柔性基底金属薄膜两端连接铜导线。

[0040] 本实施例所制备的柔性应变传感器的应变传感测试曲线如图5,该曲线表明该传感器在0.4%~0.8%的微小应变范围内的灵敏度因子高达3337。

[0041] 图6为本实施例所制备的柔性应变传感器的循环稳定性测试曲线及局部放大图。在进行循环应变传感 $10^4$ 周次以上之后,电阻应变响应仍然能够维持稳定的水平,表现出良好的动态电阻响应效果。

[0042] 实施例3:

[0043] 本实施例为制备基于聚酰亚胺(125 $\mu\text{m}$ )基底上溅射沉积10nm钛/200nm金薄膜的灵敏度高且循环稳定性好的柔性应变传感器,具体步骤如下:

[0044] 步骤1:将柔性聚酰亚胺基底裁剪成2mm $\times$ 16mm的矩形,采用磁控溅射的方法在其上沉积一层厚度为10nm的Ti薄膜,随后沉积一层200nm的金薄膜。

[0045] 步骤2:对步骤(1)制备的聚酰亚胺基底金/钛薄膜施加拉-拉疲劳载荷,采用正弦加载方式,载荷最大值和最小值分别为20N、2N,加载频率为30Hz,加载 $2.0 \times 10^6$ 周次后卸载,以在其表面制备一定密度的疲劳裂纹;

[0046] 步骤3:利用导电银胶在步骤(2)所得带疲劳裂纹的柔性基底金属薄膜两端连接铜导线。

[0047] 本实施例所制备的柔性应变传感器的应变传感测试曲线如图7,该曲线表明该传感器在0.6%~1.0%的微小应变范围内的灵敏度因子高达3000。

[0048] 图8为本实施例所制备的柔性应变传感器的循环稳定性测试曲线及局部放大图。

在进行循环应变传感 $10^4$ 周次以上之后,电阻应变响应仍然能够维持稳定的水平,表现出良好的动态电阻响应效果。



图1

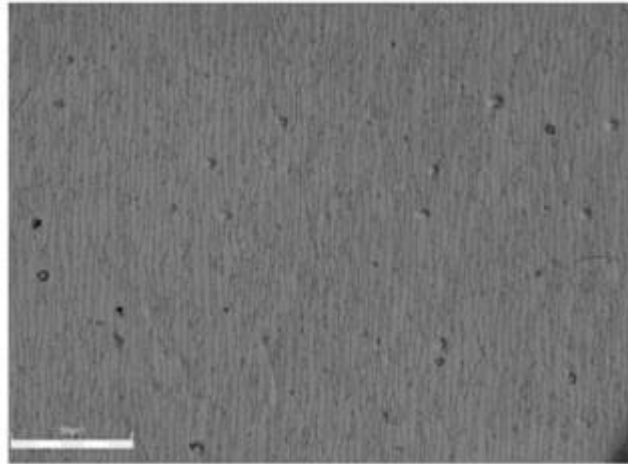


图2

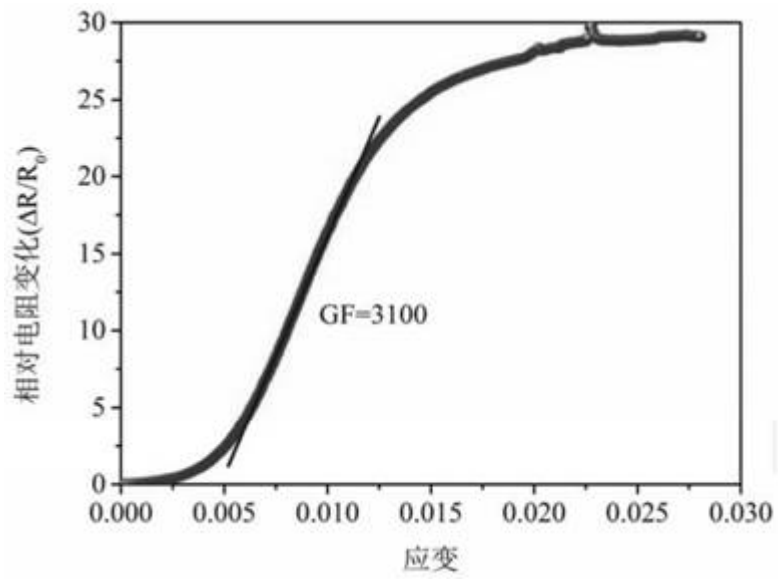


图3

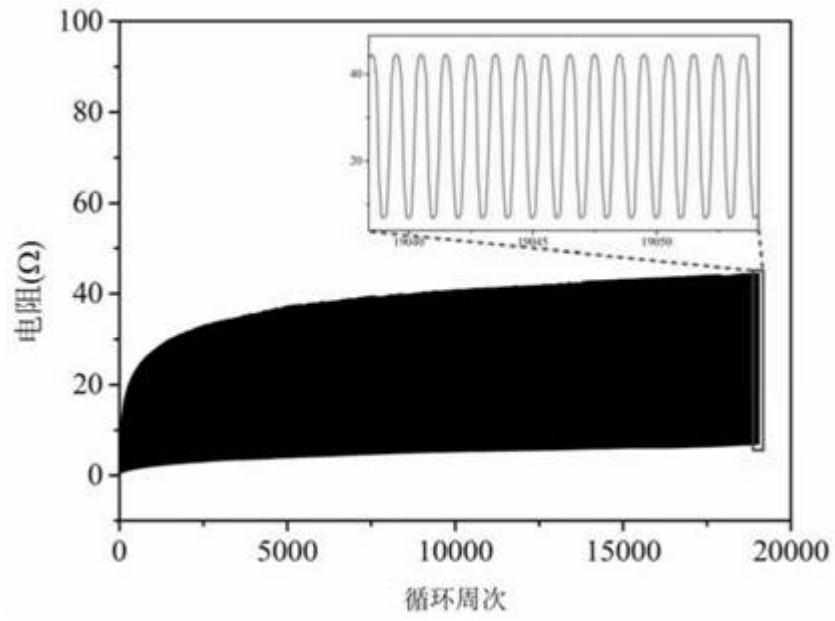


图4

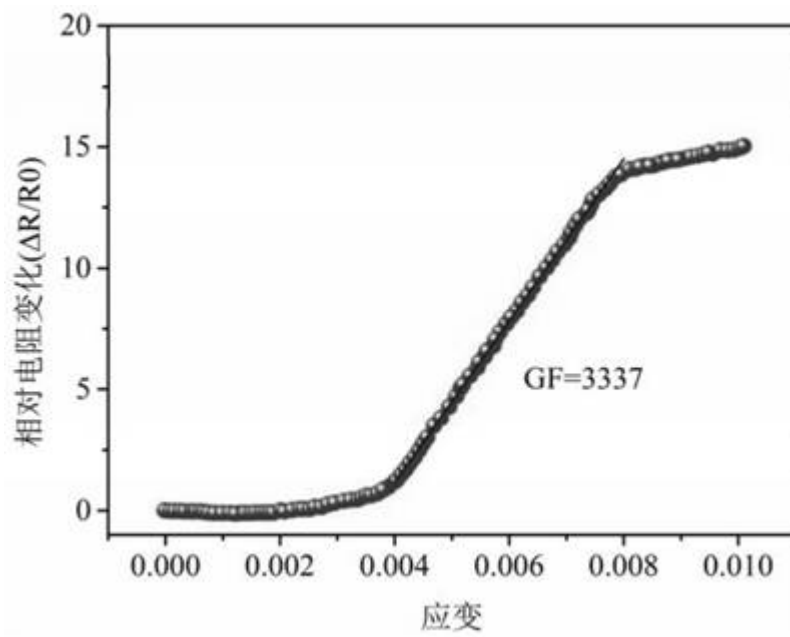


图5



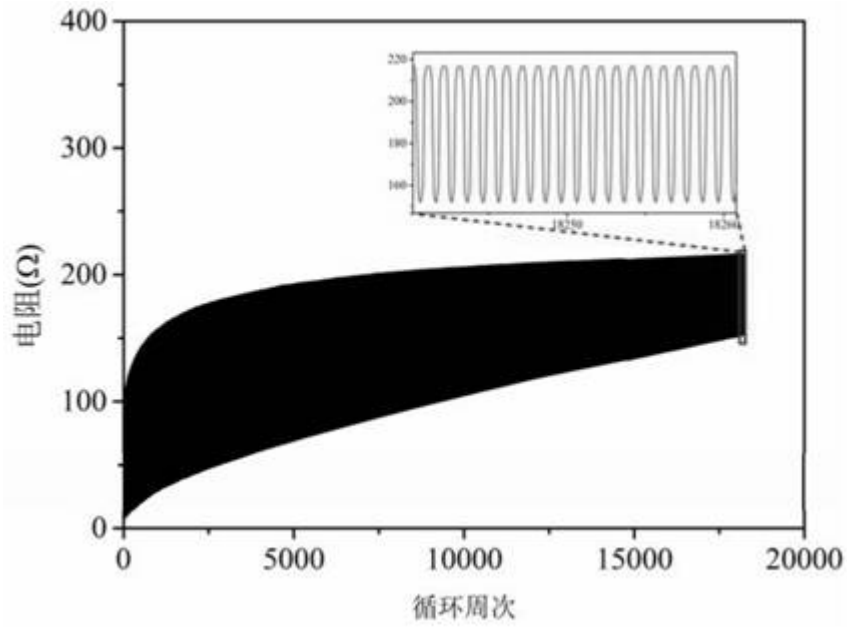


图6

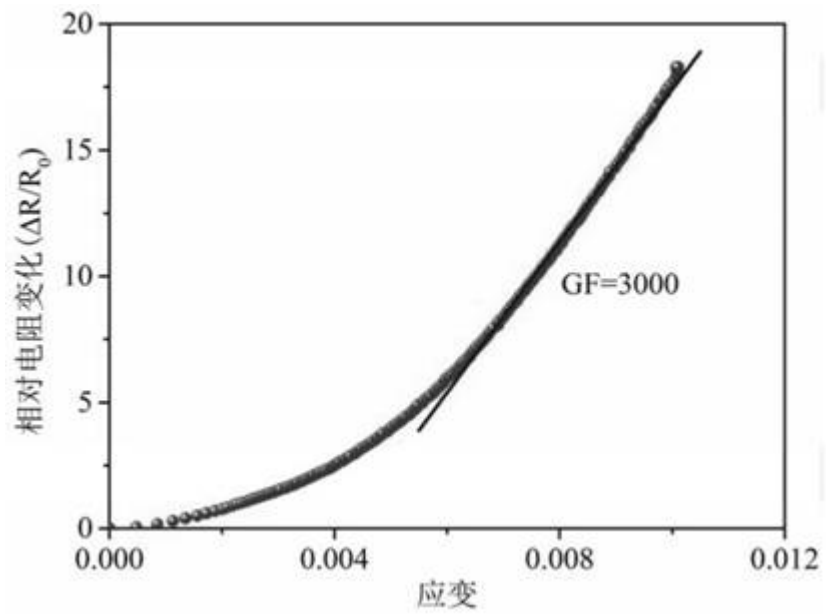


图7

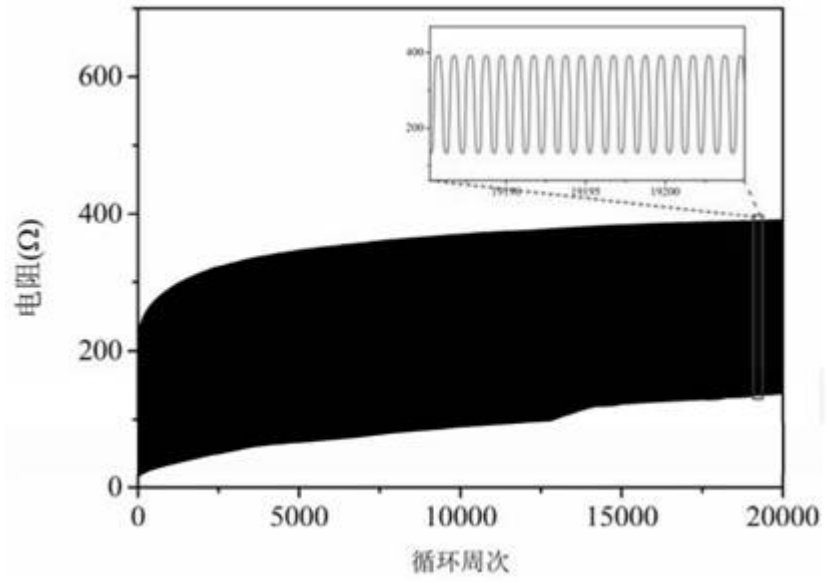


图8