



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102023179 A

(43) 申请公布日 2011. 04. 20

(21) 申请号 201010532200. 3

(22) 申请日 2010. 11. 04

(71) 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市岳麓区麓山南路
932 号

(72) 发明人 任伟新 肖丹

(74) 专利代理机构 长沙市融智专利事务所
43114

代理人 颜勇

(51) Int. Cl.

G01N 27/20(2006. 01)

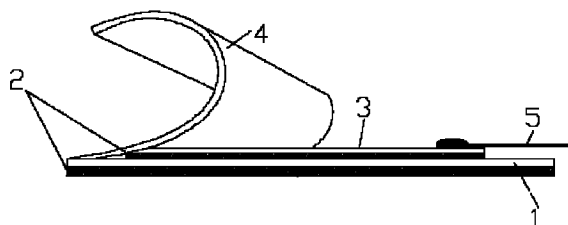
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器

(57) 摘要

一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器, 包括: 箔式敏感栅、基底、覆盖层、引线, 在所述基底表面依次设有箔式敏感栅、覆盖层, 所述箔式敏感栅上连接有所述引线; 所述箔式敏感栅由铜-镍-锰-铁-硅合金箔材通过光化学方法按设计的传感器结构图形制成。本发明在疲劳荷载作用下, 具有电阻自动累积功能; 适用于桥梁结构疲劳累积损伤监测, 具有温度自补偿能力, 适应桥梁结构复杂多变的气候环境。具有较大的电阻累积增量和优异的疲劳寿命, 保证传感器长期发挥工作, 无须频繁更换。具有较低的电阻累积应变门槛值, 可以直接粘贴在结构表面使用。生产成本低, 可实现大规模工业化应用。



1. 一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，包括：箔式敏感栅、基底、覆盖层、引线，其特征在于：在所述基底表面依次设有箔式敏感栅、覆盖层，所述箔式敏感栅上连接有上述引线；所述箔式敏感栅由铜-镍-锰-铁-硅合金箔材通过光化学方法按设计的传感器结构图形制成。

2. 根据权利要求 1 所述的一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，其特征在于：所述箔式敏感栅由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造，各组分的重量百分比为：

Ni 40 ~ 48%，

Mn 1.4% ~ 1.8%，

Fe 0.1% ~ 0.3%，

Si 0.3%，余量为 Cu，其厚度为 0.005mm。

3. 根据权利要求 2 所述的一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，其特征在于：所述引线为康铜丝。

4. 根据权利要求 3 所述的一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，其特征在于：所述基底、箔式敏感栅、覆盖层之间通过胶粘剂连接。

5. 根据权利要求 4 所述的一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，其特征在于：所述基底、覆盖层、胶粘剂材料均为聚酰亚胺。

6. 根据权利要求 1 ~ 5 任意一项所述的一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，其特征在于：所述箔式敏感栅的制备方法是：

第一步：将铜-镍-锰-铁-硅合金箔一面涂上光刻胶，另一面涂上聚酰亚胺绝缘胶基底，烘干后与根据设计的传感器结构图形制成的掩膜叠合；经曝光、显影后，使设计的传感器结构图形复制在铜-镍-锰-铁-硅合金箔表面；

第二步：

用三氯化铁溶液腐蚀第一步所得铜-镍-锰-铁-硅合金箔；设计的传感器结构图形所处位置的铜-镍-锰-铁-硅合金箔，受光刻胶膜的保护免受腐蚀，其余部分的合金箔均被腐蚀；即在绝缘胶基底上得到设计的传感器结构图形；清洗干净，在上述结构图形上焊接康铜丝，涂上覆盖层，即制成了具有电阻自动累积功能的箔式传感器。

一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种在疲劳荷载作用下，具有电阻自动累积功能的传感器，特指系一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，适用于桥梁结构疲劳累积损伤监测。属于电阻传感器技术领域。

技术背景

[0002] 国外 1966 年出现了报道疲劳寿命计的研究的文章，立即引起了极大的关注。Darrell R.Harting 在文中重点介绍了电阻随疲劳历程自动累积——这一疲劳寿命计的固有特性，同时也介绍了疲劳寿命计这一特性被发现的始末：1959 年波音飞机公司的测试部门发现某些应变计在疲劳荷载作用过程中出现了奇怪的电阻增长，有的电阻增率达到 300%，而有的只有 1~2%。技术人员把电阻增长归因于应变计敏感栅在疲劳历程中产生了细微裂纹。通过疲劳实验证实：应变计在疲劳加载过程中出现的电阻累积变化有 2 种成因，一种是由应变计敏感栅微裂缝引起（这是导致应变计出现电阻剧烈变化的原因），另一种是由冷作硬化引起的（这是应变计电阻出现少量变化的原因）。Darrell R.Harting 通过大量的实验，测定了疲劳寿命计的电阻累积性能曲线，并得到了电阻累积响应与疲劳次数、疲劳应变幅之间的函数关系（如式 1 所示）。

$$[0003] \quad \frac{\Delta R}{R} = K(\varepsilon_r - \varepsilon_0)N^h \quad (1)$$

[0004] 式中： $\frac{\Delta R}{R}$ ——疲劳寿命计的电阻变化率；

[0005] K、h——常数；

[0006] ε_r ——疲劳应变幅值；

[0007] ε_0 ——使得疲劳寿命计的电阻率发生变化的应变门槛值，在它以下的应变的作用不会使电阻改变；

[0008] N——循环次数。

[0009] 1972 年，Rober S.Horne 和 Oscar L.Freyre 在他们的研究报告中介绍了用特殊退火康铜箔制成的疲劳寿命计的电阻疲劳累积性能、应变倍增器的构造以及标定寿命计电阻疲劳累积性能曲线的实验方法，包括测试设备、测试流程、荷载控制方法等。在报告中，作者对寿命计的应用技术做了探讨，包括寿命计布设点位的优化，应变倍增器的尺寸定位，寿命计数据采集方法等；并以飞机的不同部件为测试对象，研究寿命计评估被测对象疲劳状态的方法。

[0010] 1975 年，P.Charsley 和 B.A.Robins 对由不同的合金成分、制备工艺的铜镍合金箔、纯铜箔制成的应变计进行大量的疲劳实验，分别从理论和实验说明了集聚体的作用，解释了在疲劳加载作用下电阻变化的机理，但寿命计具体制作方法、加工工艺并没有公布。

[0011] 美国波音公司首先研制成功 S-N 疲劳寿命计并应用于航空航天结构的疲劳监测，1976 年美国微测量公司曾在其产品目录中出现过 S-N 疲劳寿命计的介绍，但是对于

疲劳寿命计中的关键技术极端保密，能见到的也只是一页纸类似于产品介绍的东西。

[0012] Robert.S.Horne 和 Oscar.L.Freyre 的研究显示：Cu-Ni 合金箔材在 450 ~ 550℃ 左右退火时，起初合金中溶质原子的排列金相平衡是随机分布的，当以一定速度退火至 200℃ 时，合金中便有 Ni 原子积聚体形成，当合金成分中 Ni 元素在 30 ~ 70% 之间增加时，将会使所形成的 Ni 原子集聚体增大，合金材料的电阻值下降。但是在交变应变作用时，由于冷作硬化等作用，使 Ni 原子集聚体不断分解，Ni 原子集聚体的分解增大了合金材料的电阻率，使合金材料的电阻值增加。这个增加的电阻值在温度低于 150℃ 下不会消失，这就是 Cu-Ni 合金的电阻累积现象。

[0013] 国外疲劳寿命计应用的康铜材料的最佳成分为 43% Ni-55% Cu、2% Mn 及少量的 C、Si、Co 等，国内开发的航空航天疲劳寿命计的合金成分约为：43% Cu，55% Ni，2% Mn 以及少量 C、S、Si。

[0014] 上世纪 80 年代后期，由南京航空航天大学、629 所、上海有色金属研究所、航天工业部 702 所等单位合作研制了箔式疲劳寿命计，90 年代陆续发表了一些论文。南京航空学院的陶宝祺等首次介绍了国内自行研制的箔式疲劳寿命计，内容包括疲劳寿命计的响应机理、特性曲线标定方法以及国产疲劳寿命计的主要性能指标；陈学立介绍了制备疲劳寿命计箔材的正交试验方法；胡明敏、周克印、陈杰等学者公布了对国产疲劳寿命计进行特性曲线标定的方法及结论，同时对国产疲劳寿命计的平均应变响应和周期变载响应特性进行了测试，并探讨了利用疲劳寿命计预测结构疲劳寿命的方法；尹福炎对国产疲劳寿命计与国外同类产品在产品形式与一般性能进行了比较。由于此种传感器主要应用于国内军事、航空航天等敏感领域，且各单位做自己独立的部分，其合金组分、熔炼方法、压力加工工艺和热处理制度等完整制备过程无从知晓。欧进萍院士课题组对疲劳寿命计在海洋平台结构监测中布设位置的确定、贴片及保护工艺进行了有益的探讨。

[0015] 总之，现有的疲劳寿命传感元件是考虑专用于航空航天领域特定的使用对象，而该对象在结构材料、构造形式、工作特性上与桥梁结构存在显著差异。目前土木工程领域的疲劳寿命计应用研究尚处于初级阶段，大部分工作集中在对现有疲劳寿命计的电阻变化性能测试、讨论用电阻变化特性表征结构疲劳累积方法的研究。

[0016] 桥梁结构体积庞大，结构形式、受力状况复杂，且服役时间长。针对桥梁结构特点，研制一种新型的、基于具有电阻自动累积功能的箔式传感器的、适用于特大型桥梁关键构件疲劳累积损伤监测的技术与装备具有重大理论价值与实践意义。

发明内容

[0017] 本发明的目的是提供一种在疲劳荷载作用下，具有电阻自动累积功能、用于桥梁结构疲劳累积损伤监测的具有电阻自动累积功能的箔式传感器。

[0018] 本发明是采用下述方案实现的：一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，包括：箔式敏感栅、基底、覆盖层、引线，在所述基底表面依次设有箔式敏感栅、覆盖层，所述箔式敏感栅上连接有所述引线；所述箔式敏感栅由铜-镍-锰-铁-硅合金箔材通过光化学方法按设计的传感器结构图形制成。

[0019] 本发明中，所述箔式敏感栅由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造，各组分的

重量百分比为：

[0020] Ni：40～48%，Mn：1.4%～1.8%，Fe：0.1%～0.3%，Si：0.3%，余量为Cu，其厚度为0.005mm。

[0021] 本发明中，所述引线为康铜丝。

[0022] 本发明中，所述基底、箔式敏感栅、覆盖层之间通过胶粘剂连接。

[0023] 本发明中，所述基底、覆盖层、胶粘剂材料均为聚酰亚胺。

[0024] 本发明中，所述箔式敏感栅的制备方法是：

[0025] 第一步：将铜-镍-锰-铁-硅合金箔一面涂上光刻胶，另一面涂上聚酰亚胺绝缘胶基底，烘干后与根据设计的传感器结构图形制成的掩膜叠合；经曝光、显影后，使设计的传感器结构图形复制在铜-镍-锰-铁-硅合金箔表面；

[0026] 第二步：

[0027] 用三氯化铁溶液腐蚀第一步所得铜-镍-锰-铁-硅合金箔；设计的传感器结构图形所处位置的铜-镍-锰-铁-硅合金箔，受光刻胶膜的保护免受腐蚀，其余部分的合金箔均被腐蚀；即在绝缘胶基底上得到设计的传感器结构图形；清洗干净，在所述结构图形上焊接康铜丝，涂上覆盖层，即制成了具有电阻自动累积功能的箔式传感器。

[0028] 本发明制备的具有电阻自动累积功能的箔式传感器，敏感栅箔材主要由铜镍合金及其它微量元素构成。其中，镍原子以杆状和片状的集聚形态存在于基体中，由高电导率的铜元素构成低阻抗特性。当交变应变作用后，位错通过集聚体并使其分离，元素排列的变化使电阻率上升，产生不可恢复的电阻累积。经检测，本发明方法获得的箔式传感器成品，其性能指标为： $\Delta R/R$ 电阻疲劳累积增量 $\geq 8\%$ ，电阻累积应变门槛值 $\leq 950 \mu \epsilon$ ，电阻温度系数约为 $6.483 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，灵敏系数约为2.021。

[0029] 本发明由于采用Ni含量为40～48%的Cu-Ni系合金作为主要成分，并加入其它微量元素，例如有利于Ni原子集聚体生成的Fe元素的加入，使本发明具有较大的电阻累积量和较低电阻累积应变门槛值；其次是能使Cu-Ni合金的电阻温度系数产生剧烈变化的过渡族金属Mn、Co和能显著影响Cu-Ni合金的电阻温度系数的Si的加入，使本发明的电阻温度系数较小，从而受外界温度的影响较小；能显著细化Cu-Ni合金晶粒的Zr元素的加入，Mn和Si还能提高合金的耐热性，因Mn可改善冶炼过程中的脱氧、脱硫效果，而Si对细化晶粒，使合金组织均匀有明显作用，这些使本发明具有较优异的疲劳寿命。本发明具有以下优点：

[0030] (1) 具有温度自补偿能力，适应桥梁结构复杂多变的气候环境。

[0031] (2) 具有较大的电阻累积增量和优异的疲劳寿命，保证疲劳寿命计长期发挥作用，无须频繁更换。

[0032] (3) 具有较低的电阻累积应变门槛值，可直接粘贴在结构表面使用。

[0033] (4) 降低疲劳寿命计生产成本，利于疲劳寿命计的大规模应用。

附图说明

[0034] 附图1为本发明结构示意图。

[0035] 附图2为附图1的俯视图。

[0036] 图中：1-基底，2-胶粘剂，3-箔式敏感栅，4-覆盖层，5-引线。

具体实施方式

[0037] 本发明的具体结构，下面结合附图及实施例进行详细说明。

[0038] 实施例 1

[0039] 参见附图 1、2，本发明一种具有电阻自动累积功能的箔式传感器，包括：箔式敏感栅 3、基底 1、覆盖层 4、引线 5，在所述基底 1 表面依次设有箔式敏感栅 3、覆盖层 4，所述箔式敏感栅 3 上连接有所述引线 5；所述箔式敏感栅 3 由铜-镍-锰-铁-硅合金箔材通过光化学方法按设计的传感器结构图形制成。

[0040] 本实施例中，所述箔式敏感栅 3 由铜-镍-锰-铁-硅精密电阻合金制造，各组分的重量百分比为：

[0041] Ni 43%，Mn 1.8%，Fe 0.1%，Si 0.3%，余量为 Cu，其厚度为 0.005mm。

[0042] 本实施例中，所述引线 5 为康铜丝。

[0043] 本实施例中，所述基底 1、箔式敏感栅 3、覆盖层 4 之间通过胶粘剂 2 连接。

[0044] 本实施例中，所述基底 1、覆盖层 4、胶粘剂 2 材料均为聚酰亚胺。

[0045] 本实施例中，所述箔式敏感栅 3 的制备方法是：

[0046] 第一步：将铜-镍-锰-铁-硅合金箔一面涂上光刻胶，另一面涂上聚酰亚胺绝缘胶基底 1，烘干后与根据设计的传感器结构图形制成的掩膜叠合；经曝光、显影后，使设计的传感器结构图形复制在铜-镍-锰-铁-硅合金箔表面；

[0047] 第二步：

[0048] 用三氯化铁溶液腐蚀第一步所得铜-镍-锰-铁-硅合金箔；设计的传感器结构图形所处位置的铜-镍-锰-铁-硅合金箔，受光刻胶膜的保护免受腐蚀，其余部分的合金箔均被腐蚀；即在绝缘胶基底 1 上得到设计的传感器结构图形；清洗干净，在所述结构图形上焊接康铜丝，涂上覆盖层，即制成了具有电阻自动累积功能的箔式传感器。

[0049] 实施例 1 制备的箔式传感器性能指标为：

[0050] $\Delta R/R$ 电阻疲劳累积增量：8.473%

[0051] 电阻累积应变门槛值：700 $\mu \epsilon$

[0052] 电阻温度系数： $6.296 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

[0053] 灵敏系数：2.019

[0054] 实施例 2

[0055] 本实施例所制备的产品结构及制备方法与实施例 1 相同，但所述箔式敏感栅 3 各组分的重量百分比为：

[0056] Ni 40%，Mn 1.4%，Fe 0.3%，Si 0.3%，余量为 Cu，其厚度为 0.005mm。

[0057] 实施例 2 制备的箔式传感器性能指标为：

[0058] $\Delta R/R$ 电阻疲劳累积增量：8.075%，

[0059] 电阻累积应变门槛值：750 $\mu \epsilon$ ，

[0060] 电阻温度系数： $6.272 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，

[0061] 灵敏系数：2.003。

[0062] 实施例 3

[0063] 本实施例所制备的产品结构及制备方法与实施例 1 相同，但所述箔式敏感栅 3 各

组分的重量百分比为：

[0064] Ni 48%，Mn 1.7%，Fe 0.2%，Si 0.3%，余量为 Cu，其厚度为 0.005mm。

[0065] 实施例 3 制备的箔式传感器性能指标为：

[0066] $\Delta R/R$ 电阻疲劳累积增量：8.372%，

[0067] 电阻累积应变阈值：680 $\mu \varepsilon$ ，

[0068] 电阻温度系数： $6.489 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，

[0069] 灵敏系数：2.057。

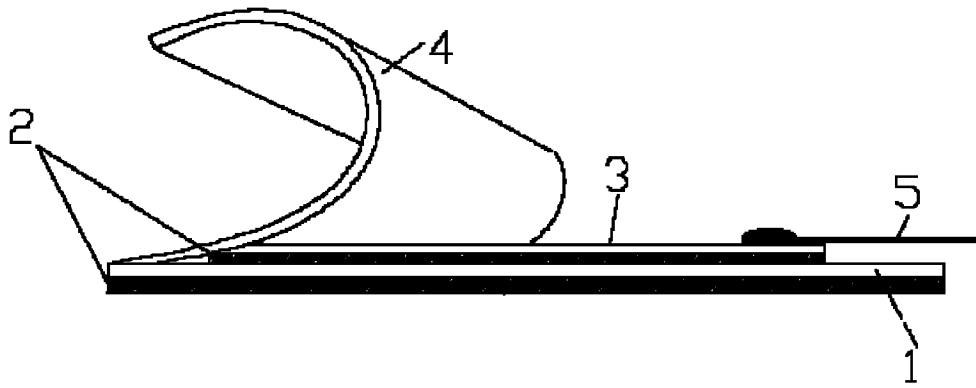


图 1

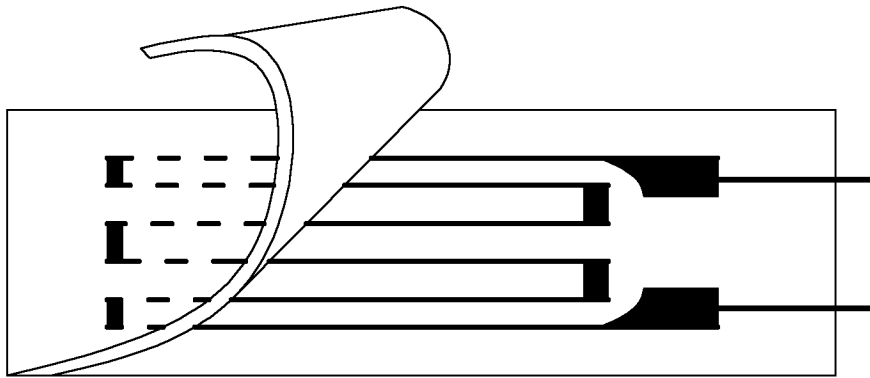


图 2