



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105318826 B

(45)授权公告日 2018.06.29

(21)申请号 201510882743.0

(22)申请日 2015.12.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105318826 A

(43)申请公布日 2016.02.10

(73)专利权人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖六
区潮王路18号浙江工业大学

(72)发明人 张端

(74)专利代理机构 杭州斯可睿专利事务所有限
公司 33241

代理人 王利强

(51)Int.Cl.

G01B 7/16(2006.01)

(56)对比文件

CN 202329533 U, 2012.07.11,

CN 104913985 A, 2015.09.16,

CN 105004262 A, 2015.10.28,

CN 105066870 A, 2015.11.18,

CN 105066871 A, 2015.11.18,

CN 105091731 A, 2015.11.25,

CN 105091730 A, 2015.11.25,

EP 1460398 A1, 2004.09.22,

DE 102004030382 A1, 2006.02.02,

CN 102095362 A, 2011.06.15,

胡玉梅等.应变片敏感栅结构参数对测量精度的影响.《重庆大学学报》.2013,第36卷(第12期),第21-27页.

审查员 李哲

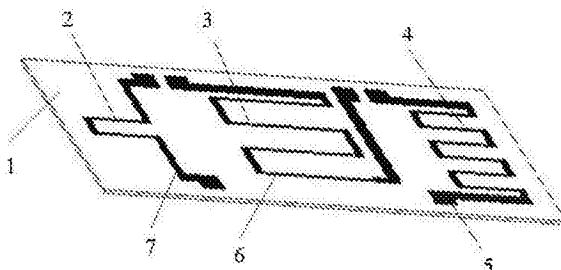
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片

(57)摘要

一种可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，包括基底和固定其上的三个敏感栅，每一敏感栅包括敏感段和过渡段，所有敏感段的轴线呈同一平面内的平行直线；该平面内，沿轴线方向即轴向，与轴向垂直的方向为横向；各敏感栅中心之间横向无偏差轴向有偏差，各敏感栅按其中心位置沿轴向从左至右分别称为左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅；任意两个敏感栅之中敏感栅中心轴向位置高者，其每一敏感段上每一点的轴向位置高于另一敏感栅之任一敏感段上任一点的轴向位置；左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅在相同应变下总电阻变化值呈1:4:3的比例关系。本发明能有效检测右敏感栅中心位置的应变轴向一阶偏导。



1. 一种可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，包括基底，其特征在于：所述金属应变片还包括三个敏感栅，每个敏感栅的两端分别连接一根引脚，所述基底上固定所述三个敏感栅；

每一敏感栅包括敏感段和过渡段，所述敏感段的两端为过渡段，所述敏感段呈细长条形，所述过渡段呈粗短形，所述敏感段的电阻远大于所述过渡段的电阻，相同应变状态下所述敏感段的电阻变化值远大于所述过渡段的电阻变化值，所述过渡段的电阻变化值接近于0；

每个敏感段的所有横截面形心构成敏感段轴线，该敏感段轴线为一条直线段，所述三个敏感栅中各敏感段的轴线平行并且位于同一平面中，敏感段轴线所确定平面内，沿所述敏感段轴线方向即轴向，与轴向垂直的方向为横向；每个敏感段上存在其两侧电阻值相等的一个横截面，取该截面形心位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的名义质点，各个敏感段的名义质点共同形成的质心位置为敏感栅的中心；

三个敏感栅中心在轴向上有偏差，在横向无偏差；三个敏感栅按敏感栅中心位置的顺序，沿轴向从左至右分别称为左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅；左敏感栅中心与中敏感栅中心的距离为 Δx_1 ，中敏感栅中心与右敏感栅中心的距离为 Δx_2 ， $\Delta x_1 = \Delta x_2$ ，任意两个敏感栅之中敏感栅中心轴向位置高者，其每一敏感段上每一点的轴向位置高于另一敏感栅任一敏感段上任一点的轴向位置；

左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段总电阻呈1:4:3的比例关系，左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段在相同的应变下敏感段的总电阻变化值也呈1:4:3的比例关系。

2. 如权利要求1所述的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，其特征在于：每个敏感段的所有横截面形状尺寸一致，取每个敏感段的轴线中点位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的名义质点，所述左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段总长度呈1:4:3的比例关系。

3. 如权利要求1或2所述的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，其特征在于：所述右敏感栅的两个引脚均位于右敏感栅的左侧。

4. 如权利要求1或2所述的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，其特征在于：相对中敏感栅，右敏感栅的敏感段轴向长度可较短而横向分布可较密。

5. 如权利要求1或2所述的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，其特征在于：所述金属应变片还包括盖片，所述盖片覆盖于所述敏感栅和基底上。

6. 如权利要求1或2所述的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，其特征在于：所述敏感栅为丝式、箔式、薄膜式或厚膜式敏感栅。

7. 如权利要求1或2所述的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片，其特征在于：所述基底为胶膜基底、玻璃纤维基底、石棉基底或金属基底。

可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片

技术领域

[0001] 本发明涉及传感器领域,尤其是一种金属应变片。

背景技术

[0002] 金属电阻应变片的工作原理是电阻应变效应,即金属丝在受到应变作用时,其电阻随着所发生机械变形(拉伸或压缩)的大小而发生相应的变化。电阻应变效应的理论公式如下:

$$[0003] R = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

[0004] 其中R是其电阻值,ρ是金属材料电阻率,L是金属材料长度,S为金属材料截面积。金属丝在承受应变而发生机械变形的过程中,ρ、L、S三者都要发生变化,从而必然会引起金属材料电阻值的变化。当金属材料被拉伸时,长度增加,截面积减小,电阻值增加;当受压缩时,长度减小,截面积增大,电阻值减小。因此,只要能测出电阻值的变化,便可知金属丝的应变情况。由式(1)和材料力学等相关知识可导出金属材料电阻变化率公式

$$[0005] \frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L} = K \varepsilon \quad (2)$$

[0006] 其中ΔR为电阻变动量,ΔL为金属材料在拉力或者压力作用方向上长度的变化量,ε为同一方向上的应变常常称为轴向应变,K为金属材料应变灵敏度系数。

[0007] 在实际应用中,将金属电阻应变片粘贴在传感器弹性元件或被测机械零件的表面。当传感器中的弹性元件或被测机械零件受作用力产生应变时,粘贴在其上的应变片也随之发生相同的机械变形,引起应变片电阻发生相应的变化。这时,电阻应变片便将力学量转换为电阻的变化量输出。

[0008] 但是有时我们也需要了解工件应变的偏导数,比如下面有三种场合,但不限于此三,需要用到工件表面应变偏导数:

[0009] 第一,由于工件形状突变处附近会出现应变集中,往往成为工件首先出现损坏之处,监测形状突变处附近的应变偏导数,可直观的获取该处应变集中程度。

[0010] 第二,建筑、桥梁、机械设备中受弯件大量存在,材料力学有关知识告诉我们,弯曲梁表面轴向应变与截面弯矩成正比,截面弯矩的轴向一阶偏导数与截面剪应变成正比,也就是可以通过表面轴向应变的轴向一阶偏导数获知截面剪应变,而该剪应变无法用应变片在工件表面直接测量到;

[0011] 第三,应用弹性力学研究工件应变时,内部应变决定于偏微分方程,方程求解需要边界条件,而工件表面应变偏导数就是边界条件之一,这是一般应变片无法提供的。

[0012] 此外,对工件的某些部位,比如轴肩、零件边缘处等位置,由于形状尺寸的突变,其应变往往相应存在比较大的变化。然而,正由于形状尺寸的突变,使得该处较难安置一般的

应变片,需要一种能测量应变片偏边缘位置而不是正中位置应变偏导的产品。

发明内容

[0013] 为了克服已有的金属应变片无法检测应变偏导的不足,本发明提供一种既能测量应变更能有效检测表面应变轴向偏导的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片,特别是测量工件角落、边缘等对应变片有尺寸限制部位的轴向一阶偏导。

[0014] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0015] 一种可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片,包括基底,所述金属应变片还包括三个敏感栅,每个敏感栅的两端分别连接一根引脚,所述基底上固定所述三个敏感栅;

[0016] 每一敏感栅包括敏感段和过渡段,所述敏感段的两端为过渡段,所述敏感段呈细长条形,所述过渡段呈粗短形,所述敏感段的电阻远大于所述过渡段的电阻,相同应变状态下所述敏感段的电阻变化值远大于所述过渡段的电阻变化值,所述过渡段的电阻变化值接近于0;

[0017] 每个敏感段的所有横截面形心构成敏感段轴线,该敏感段轴线为一条直线段,所述三个敏感栅中各敏感段的轴线平行并且位于同一平面中,敏感段轴线所确定平面内,沿所述敏感段轴线方向即轴向,与轴向垂直的方向为横向;每个敏感段上存在其两侧电阻值相等的一个横截面,取该截面形心位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的名义质点,各个敏感段的名义质点共同形成的质心位置为敏感栅的中心;

[0018] 三个敏感栅中心在轴向上有偏差,在横向无偏差;三个敏感栅按敏感栅中心位置的顺序,沿轴向从左至右分别称为左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅;左敏感栅中心与中敏感栅中心的距离为 Δx_1 ,中敏感栅中心与右敏感栅中心的距离为 Δx_2 , $\Delta x_1 = \Delta x_2$,任意两个敏感栅之中敏感栅中心轴向位置高者,其每一敏感段上每一点的轴向位置高于另一敏感栅任一敏感段上任一点的轴向位置;

[0019] 左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段总电阻呈1:4:3的比例关系,左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段在相同的应变下敏感段的总电阻变化值也呈1:4:3的比例关系。

[0020] 进一步,每个敏感段的所有横截面形状尺寸一致,取每个敏感段的轴线中点位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的名义质点,所述左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段总长度呈1:4:3的比例关系。该方案为一种可以选择的方案,名义质点的位置只要符合其两侧电阻值相等的横截面形心位置即可,也可以是其他位置。

[0021] 更进一步,右敏感栅的两个引脚均位于右敏感栅的左侧。目的是减小右敏感栅中心到应变片右侧边缘的距离。

[0022] 再进一步,相对中敏感栅,右敏感栅的敏感段轴向长度可较短而横向分布可较密。目的是减小右敏感栅中心到应变片右侧边缘的距离。

[0023] 利用金属材料电阻变化值与应变之间的线性关系,本应变片正如普通应变片那样可以用于测量应变。另一方面,依据数值微分理论中(如依冯康等编、国防工业出版社1978年12月出版的《数值计算方法》21页(1.4.11)–(1.4.14)式作等距插值分析)关于一阶偏导的具体计算方法,f(x,y)的x方向一阶偏导数的数值计算方法如下:

$$[0024] \quad \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{(x_2, y)} \approx \frac{1}{2h} [f(x_0, y) - 4f(x_1, y) + 3f(x_2, y)] \quad (3)$$

[0025] 其中 $x_1 = x_0 + h$, $x_2 = x_1 + h$, 特别注意上式为 (x_2, y) 位置的一阶偏导数值公式, 该式的截断误差较小为 $O(h^2)$ 即为步长平方的高阶无穷小量。由式(2)工程上一般认为敏感栅电阻变化量正比与敏感栅中心的应变, 结合各敏感栅电阻以及在相同应变下之电阻变化量的比例关系, 左敏感栅与右敏感栅的电阻和减去中敏感栅的电阻值, 再除以左敏感栅中心与右敏感栅中心的距离为应变的轴向一阶数值偏导; 特别的, 这是右敏感栅中心位置的轴向一阶数值偏导, 因此该应变片的优势在于测量工件角落、边缘等一般应变片由于尺寸限制无法测量的部位的轴向一阶偏导。

[0026] 在工艺上应注意保持左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅过渡段总电阻以及过渡段电阻在外部应变下之变化量呈 1:4:3 的数值关系以调高测量精度, 如果过渡段的电阻以及应变下电阻变化量不可忽略, 也能作为系统误差在检测时加以消除。

[0027] 进一步, 所述金属应变片还包括盖片, 所述盖片覆盖于所述敏感栅和基底上。

[0028] 再进一步, 所述敏感栅为丝式、箔式、薄膜式或厚膜式敏感栅。

[0029] 更进一步, 所述基底为胶膜基底、玻璃纤维基底、石棉基底、金属基底或临时基底。

[0030] 所述三个敏感栅左、中、右布置在基底上。当然, 也可以为其他的布置方式。

[0031] 本发明的有益效果主要表现在: 能有效检测右敏感栅中心位置的应变轴向一阶偏导数, 特别是测量工件角落、边缘等对应变片有尺寸限制部位的轴向一阶偏导。

附图说明

[0032] 图1是可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片的示意图。

[0033] 图2是可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片俯视图。

[0034] 图3是测量电桥示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0036] 参照图1~图3, 一种可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片, 包括基底, 所述金属应变片还包括三个敏感栅, 每个敏感栅的两端分别连接一根引脚, 所述基底上固定所述三个敏感栅;

[0037] 每一敏感栅包括敏感段和过渡段, 所述敏感段的两端为过渡段, 所述敏感段呈细长条形, 所述过渡段呈粗短形, 所述敏感段的电阻远大于所述过渡段的电阻, 相同应变状态下所述敏感段的电阻变化值远大于所述过渡段的电阻变化值, 所述过渡段的电阻变化值接近于 0;

[0038] 每个敏感段的所有横截面形心构成敏感段轴线, 该敏感段轴线为一条直线段, 所述三个敏感栅中各敏感段的轴线平行并且位于同一平面中, 敏感段轴线所确定平面内, 沿所述敏感段轴线方向即轴向, 与轴向垂直的方向为横向; 每个敏感段上存在其两侧电阻值相等的一个横截面, 取该截面形心位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的

名义质点,各个敏感段的名义质点共同形成的质心位置为敏感栅的中心;

[0039] 三个敏感栅中心在轴向上有偏差,在横向无偏差;三个敏感栅按敏感栅中心位置的顺序,沿轴向从左至右分别称为左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅;左敏感栅中心与中敏感栅中心的距离为 Δx_1 ,中敏感栅中心与右敏感栅中心的距离为 Δx_2 , $\Delta x_1 = \Delta x_2$,任意两个敏感栅之中敏感栅中心轴向位置高者,其每一敏感段上每一点的轴向位置高于另一敏感栅任一敏感段上任一点的轴向位置。

[0040] 左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段总电阻呈1:4:3的比例关系,左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段在相同的应变下敏感段的总电阻变化值也呈1:4:3的比例关系。

[0041] 进一步,每个敏感段的所有横截面形状尺寸一致,取每个敏感段的轴线中点位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的名义质点,所述左敏感栅、中敏感栅和右敏感栅的敏感段总长度呈1:4:3的比例关系。该方案为一种可以选择的方案,名义质点的位置只要符合其两侧电阻值相等的横截面形心位置即可,也可以是其他位置。

[0042] 更进一步,右敏感栅的两个引脚均位于右敏感栅的左侧,目的是减小右敏感栅中心到应变片右侧边缘的距离。

[0043] 再进一步,相对中敏感栅,右敏感栅的敏感段轴向长度可较短而横向分布可较密,目的是减小右敏感栅中心到应变片右侧边缘的距离。

[0044] 本实施例的可测量偏置敏感栅中心轴向偏导的轴向分布三敏感栅金属应变片,包括基底1,所述金属应变片还包括三个敏感栅,每个敏感栅的两端分别连接一根引脚,所述基底1上固定所述三个敏感栅。

[0045] 基底1之上可固定左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4,用于保持各敏感栅固定的形状、位置和尺寸;基底1很薄,从而将试件表面的应变准确地传递到左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4。基底1可以是胶膜基底、玻璃纤维基底、石棉基底、金属基底和临时基底。通常用黏结、焊接、陶瓷喷涂等方式将基底固定于测试件的被测部位。基底1上还可印有一些用于应变片定位的线条。

[0046] 盖片用纸或者胶等材料制成,覆盖于左敏感栅2、中敏感栅3、右敏感栅4和基底1上,起防潮、防蚀、防损等作用的保护层。

[0047] 引脚5用于连接敏感栅和测量电路,左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4各有两个引脚5,对与箔式和膜式应变片,引脚5与其所连接的左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4联为一体。左敏感栅2的两个引脚为5-1和5-2,中敏感栅3的两个引脚为5-3和5-4,右敏感栅4的两个引脚为5-5和5-6,引脚5-5和5-6均位于右敏感栅4的左侧,目的是减小右敏感栅4到应变片右侧边缘的距离。

[0048] 左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4按照其金属敏感材料和加工工艺的不同,可以为丝式、箔式、薄膜式、厚膜式。无论何种左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的厚度均很小,使得左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的轴向长度随其所依附工件的形变而变化。本发明基本的关键之处在于左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4之间的配合,有如下要点:

[0049] 第一,在基底上布置三个敏感栅,分别称为左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4。

[0050] 第二,左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4均可分为多个敏感段6和多个过渡段7,各过渡段7将各敏感段6连接形成敏感栅。比较而言,敏感段6呈细长形,电阻较大并且其阻

值对应变较为敏感;所述过渡段7基本呈粗短形,使得所述过渡段的电阻很小并且对应变不敏感,工作状态下电阻变化接近于0,因此敏感段电阻的总和基本为单个敏感栅的总电阻。图2从更清晰的角度更详细地标出了敏感段6和过渡段7。

[0051] 第三,每个敏感栅的敏感段6呈细长条状,每个敏感段6的所有横截面形心构成敏感段轴线,该敏感段6轴线为一条直线段,各敏感段6的轴线平行并且位于同一平面中。每个敏感段6的所有横截面沿敏感段轴线方向的投影形状一致。取每个敏感段的轴线中点位置并以该敏感段电阻值为名义质量构成所在敏感段的名义质点,各个敏感段的名义质点共同形成的质心位置为敏感栅的中心。

[0052] 第四,左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的敏感段6总长度呈1:4:3的比例关系,左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的敏感段6总电阻呈1:4:3的比例关系,左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的敏感段6在相同的应变下敏感段的总电阻变化值也呈1:4:3的比例关系。

[0053] 第五,俯视左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4,它们均具有对称轴且对称轴重合(图2中的x轴),左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4各自的敏感段6全都与该对称轴平行,各敏感栅的敏感段6均关于此轴对称分布。因此,可以说左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4同轴,即检测同方向的应变并且左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的中心位置均在x轴上,它们的中心有轴向偏差无横向偏差。根据图2中应变片的俯视图,左敏感栅2的敏感段6有横向对称轴y_L,左敏感栅2的中心在x轴与y_L轴的交点,中敏感栅3的敏感段6有横向对称轴y_M,中敏感栅3的中心在x轴与y_M轴的交点,右敏感栅4的敏感段6有横向对称轴y_R,右敏感栅4的中心在x轴与y_R轴的交点。

[0054] 第六,左敏感栅2中心与中敏感栅3中心的距离为 Δx_1 ,中敏感栅3中心与右敏感栅4中心的距离为 Δx_2 , $\Delta x_1 = \Delta x_2$,即左敏感栅2的中心与右敏感栅4的中心的连线中点也为x轴与y_M轴的交点,如图2所示。按图2所示x轴的正向,左敏感栅2之任意敏感段6上任意点的x坐标小于中敏感栅3之任意敏感段6上任意点的x坐标,中敏感栅3之任意敏感段6上任意点的x坐标小于右敏感栅4之任意敏感段6上任意点的x坐标。由于左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4的相对位置由应变片生产工艺保证被相当精确地固定了,这也是本发明能检测工件应变轴向偏导数的关键之一。

[0055] 综上所述,本发明左敏感栅2、中敏感栅3和右敏感栅4在相同应变下电阻变化值呈1:4:3的比例关系,各敏感栅中心横向无偏差轴向有偏差、左敏感栅2中心到中敏感栅3中心的距离与中敏感栅3中心到右敏感栅4的距离相等。

[0056] 令自由状态下左敏感栅2电阻为R_{L0},中敏感栅3电阻为R_{M0},右敏感栅4电阻为R_{R0},应有R_{L0}+R_{R0}=R_{M0}=R₀。将本发明的应变片安置于某有表面应变时,左敏感栅2电阻为R₀+ ΔR_L ,中敏感栅3电阻为R₀+ ΔR_M ,右敏感栅4电阻为R₀+ ΔR_R ;另一方面,左敏感栅2以及右敏感栅4的中心分别位于图2中x轴与y_L的交点以及x轴与y_R的交点,轴向上相距2 Δx_1 。利用敏感栅电阻与表面应变的关系以及数值微分的公式(3)有:

$$[0057] \left. \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right|_{\bar{x}} \approx \frac{\varepsilon_L - 4\varepsilon_M + 3\varepsilon_R}{2\Delta x_1} \approx \frac{K(\Delta R_L - \Delta R_M + \Delta R_R)}{2\Delta x_1} \quad (4)$$

[0058] 其中 \bar{x} 为右敏感栅4的中心位置, ε_L 为左敏感栅2中心处的应变, ε_M 为中敏感栅3中

心处的应变, ϵ_R 为右敏感栅 4 中心处的应变。这即是本实施例测量表面应变轴向偏导的原理。特别注意, 上式所计算的数值微分为右敏感栅 4 的中心位置的应变轴向一阶偏导, 该位置为应变片的右侧, 因此具有便于测量工件角落处、边缘处等对应变片有尺寸限制部位的轴向一阶偏导的优势。结合图 2, 注意到右敏感栅 4 的敏感段 6 较中敏感栅 3 的敏感段 6 短(实际上图 2 中右敏感栅 4 的敏感段 6 长度为中敏感栅 3 的敏感段 6 的一半), 横向上右敏感栅 4 的敏感段 6 布置较密(实际上图 2 中右敏感栅 4 的敏感段 6 的段数为中敏感栅 3 的敏感段 6 的段数的 3/2 倍), 以及右敏感栅 4 的引脚 5-5 和 5-6 布置于右敏感栅 4 左侧, 其目的均在于尽量缩小右敏感栅 4 中心到应变片右侧边缘的距离, 以便于进一步发挥上述优势。

[0059] 将本实施例配合电桥可用于测量应变、应变轴向一阶偏导, 假设电桥输入电压为 u_i 、输出电压为 u_o , 测量电桥的示意图见图 3。在无工件应变作用时, 电桥各桥臂电阻依顺时针方向分别标记为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 , 在不会混淆的情况下也用这些符号标记电阻所在电桥。每个电桥上可以安放应变片的敏感栅或者电阻。与一般的应变片布置相同, 如果在多个桥臂上安置敏感栅, 对各安置位置的次序、应变有定性的要求。无工件应变作用时, 电桥的输出电压公式为

$$[0060] \quad u_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} u_i ; \quad (5)$$

[0061] 此时, 要求电桥平衡也就是 $u_o = 0$, 于是必须满足所谓电桥平衡条件 $R_1 R_3 - R_2 R_4 = 0$, 采用的电桥进一步满足

[0062] $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, (6) 因为, 第一, 满足条件 (6) 时, 根据有关理论应变片灵敏度最高; 第二, 测量应变或者应变轴向偏导的方法均要求条件 (6) 成立。当应变片随外界应变也发生应变时, 上述电桥平衡条件一般不再成立, 此时

$$\begin{aligned} [0063] \quad u_o &= \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_2)(R_4 + \Delta R_4)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4)} u_i \\ &\approx \frac{R_3 \Delta R_1 + R_1 \Delta R_3 - R_4 \Delta R_2 - R_2 \Delta R_4 + \Delta R_1 \Delta R_3 - \Delta R_2 \Delta R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} u_i \\ &\approx \frac{(\Delta R_1 - \Delta R_2) + (\Delta R_3 - \Delta R_4)}{4R_1} u_i \end{aligned} \quad (7)$$

[0064] 由于 $\Delta R_i \ll R_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$) 故第一个 \approx 成立, 第二个 \approx 当 $\Delta R_1 - \Delta R_2$ 与 $\Delta R_3 - \Delta R_4$ 同号或者异号但 $|\Delta R_1 - \Delta R_2|$ 与 $|\Delta R_3 - \Delta R_4|$ 不十分接近时成立, 在工程上合理选择应变片安置位置完全可以实现。一般可用式 (7) 获取的电压测量应变; 对应变轴向偏导可结合式 (4) 和式 (7), 合理地设计安排各桥臂敏感栅和电阻, 例如桥臂 R_1 布置中敏感栅 3, 桥臂 R_2 串联布置左敏感栅 2 和右敏感栅 4, 其余桥臂配置等值电阻, 可获得与右敏感栅 4 中心处的应变轴向一阶偏导呈线性关系的电压值 u_o , 该电压为微弱信号需进行放大。

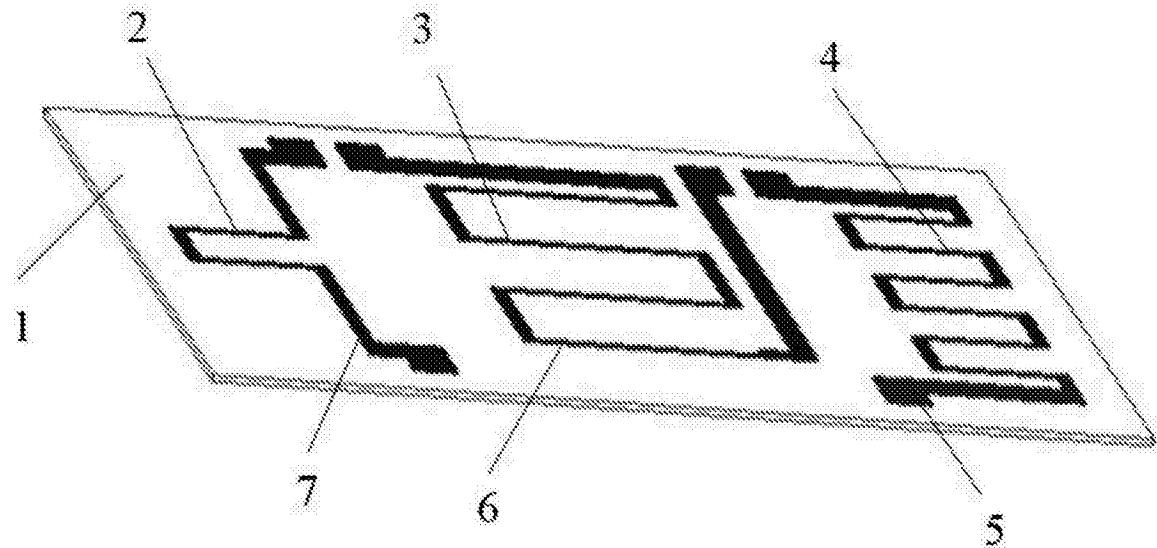


图1

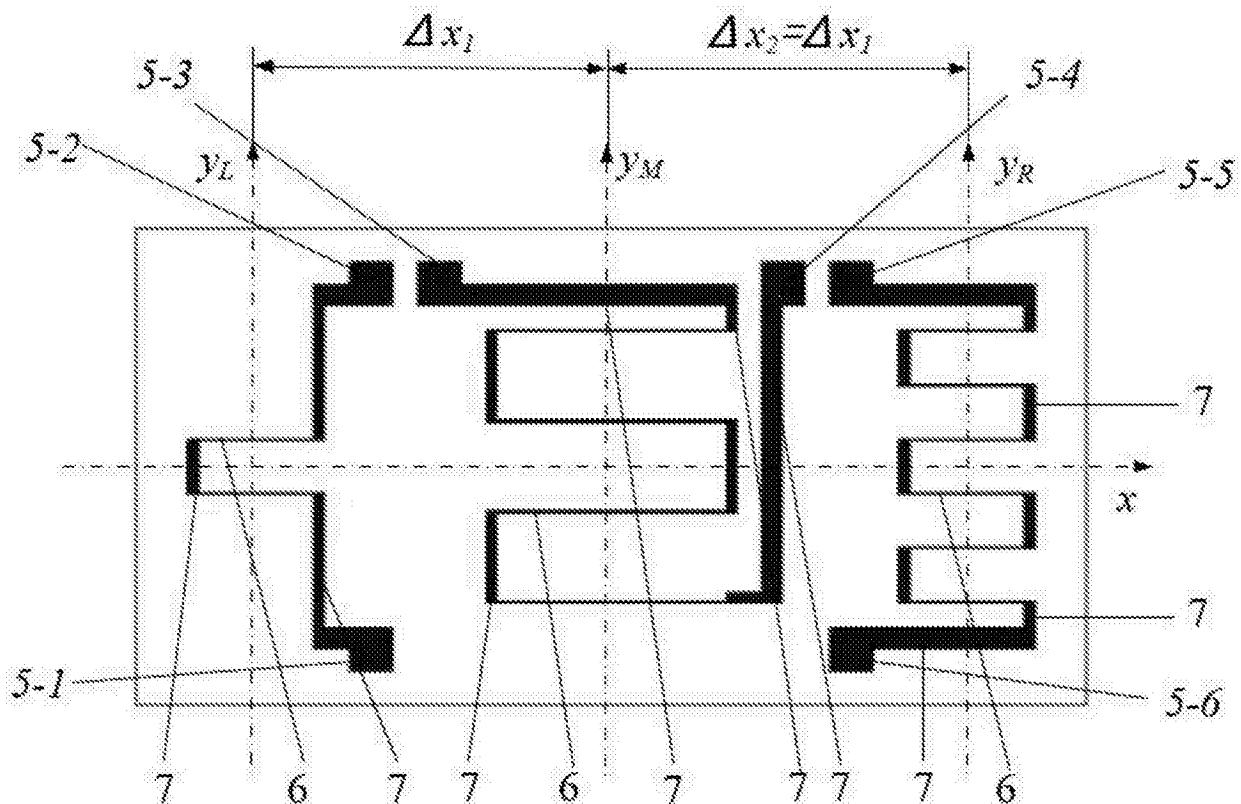


图2

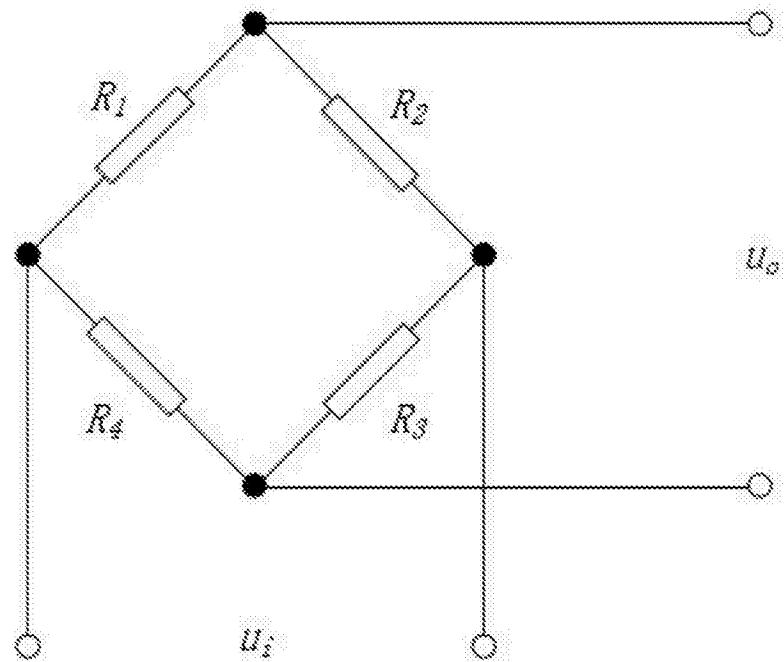


图3