

降低硅微机械加速度传感器横向灵敏度的方法

费 龙 钟先信 温志渝 刘桂雄 高 扬

(国家教委光电技术及系统开放实验室, 重庆大学, 重庆 630044)

摘要 本文分析了硅微机械加速度传感器横向灵敏度产生的原因, 并介绍了降低它的方法。

关键词: 横向灵敏度; 加速度传感器; 硅微

1 引言

近年来, 硅微机械加速度传感器发展迅速, 已广泛应用于工业、车辆、医学和科学测量等领域。由于硅微机械加速传感器的设计和加工工艺方面的原因, 横向灵敏度高是硅微机械加速度传感器中较为突出的问题, 如不采取特殊措施, 横向灵敏度一般在10%以上, 严重影响传感器的测量精度, 所以研究降低硅微机械加速度传感器横向灵敏度的方法对硅微机械加速度传感器的研制和应用具有重要的意义。本文分析了硅微机械加速度传感器横向灵敏度的原因, 介绍了降低它的方法。

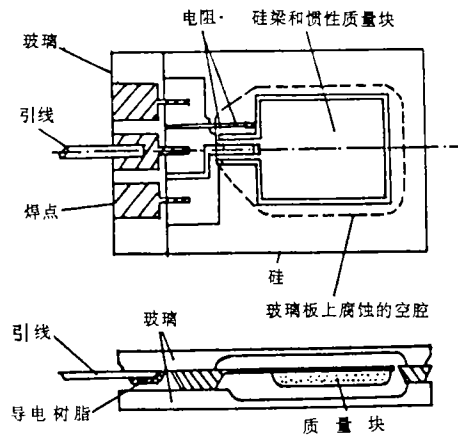


图1 硅微压阻式加速度传感器结构示意图

2 硅微机械加速传感器横向灵敏度产生的原因

图1是压阻式硅微机械加速度传感器基本的结构, 由于采用了半导体平面工艺和各向异

• 国家教委博士点基金资助课题

收稿日期: 1994年9月19日

性腐蚀相结合的工艺，为了在悬臂梁的根部加工出应变电阻，要求悬臂梁顶面与基片表面在同一平面上，造成了质量块的中心与支撑梁的中性面的不重合。图 2 是其悬臂梁的受力图，当过种传感器置于具有 X,Y,Z 三个方向加速度的加速度场中时，悬臂梁端部的受力情况如下：

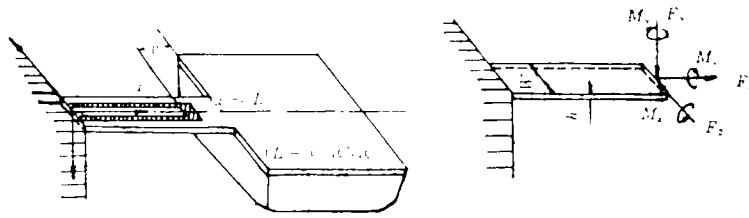


图 2 硅微压阻式加速度传感器悬臂梁受力图

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -Max & M_x &= M(c_3a_y - c_2d_2) \\ F_y &= -May & M_y &= M(c_1a_x - c_3a_z) \\ F_z &= -Max & M_z &= M(c_1a_y - c_2a_x) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中： a_x, a_y, a_z 分别为 X,Y,Z 三个方向的加速度，M 为质量块的质量

c_1, c_2, c_3 分别为悬臂梁端面中心的到质量块中心 X,Y,Z 三个方向的距离，由加速度 a_y 引起的应变电阻的变化为：

$$\Delta R/R = \{ [0.5(\pi_{11} + \pi_{12} + \pi_{14}) - (s_{12} + 0.5s_{44})] \cdot [M(c_1 + (L + b)/2)(c - h)/I_z] \} \cdot a_y = S_0 a_y \quad (3)$$

式中： $\Delta R/R$ 为应变电阻的相对变化量；

π_{ij} 为压阻系数；

S_{ij} 分别为弹柔系数；

L,h 分别为悬臂梁的长和厚；

b 为悬臂梁端面到应变电阻端点的距离；

c 为横截面中心到梁的底部的距离；

I_z 为相对于 Z 轴的转动惯量；

S_0 为灵敏度。

在 a_x 存在的情况下，由于 F_x 和 M_x 引起的应变电阻变化 $\Delta R/R \cdot a_x$ 为：

$$\frac{\Delta R/R \cdot a_x}{\Delta R/R \cdot a_y} \approx \left\{ \frac{h}{12(2c_1 + L + b)} - \frac{2c_2}{2c_1 + L + b} \right\} \frac{a_x}{a_y} \quad (4)$$

这里假设悬梁的宽度 $w \gg h$ 。

从式 (3) 中可看出，要降低传感器的横向灵敏度就必须使：

$$\left. \begin{aligned} h, c_2 &\ll 2c_1 + L + b \\ h &\ll w \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

在一般的硅微机械加速度传感器中，h 一般都远小于 w，但 c_2 却与 $2c_1 + L + b$ 仅相差一个数量级，如不采取特殊措施，横向灵敏度一般都在 10% 以上。从力学分析可知，在 h 远远小于 w 的情况下，传感器在 Z 方向的横向灵敏度很低，可以忽略，所以质量块的中心与悬臂梁中性面的 Y 方向上不重合是硅微机械加速度传感器横向灵敏度高的主要原因。

3 减小硅微机械加速度传感器横向灵敏度的方法

3.1 对称结构法

从前面的分析可知,硅微加速度传感器的横向灵敏度是由于质量块的中心与悬臂梁的中性面的Y方向的不重合引起的,所以解决这一问题的最直接的方法是采用使质量块中心与悬臂梁中性面重合的结构。在图3所示的结构中,采用了双面同时加工的方法,结构相对于悬臂梁的中性面对称,质量块中心与悬臂梁的中性面重合。文献[2]介绍了使用这种结构的电容式硅微机械加速度传感器,这种传感器芯片的横向灵敏度 $<0.1\%$,而文献[1]所介绍的采用硅质量块的硅微加速度传感器的横向灵敏度为 10% ,实践证明采用对称结构是降低硅微机械加速度传感器横向灵敏度的有效方法。但是由于这种结构悬臂梁的顶面与基片表面不在同一平面上,不能加工出扩散电阻,所以无法用于压阻式加速度传感器。

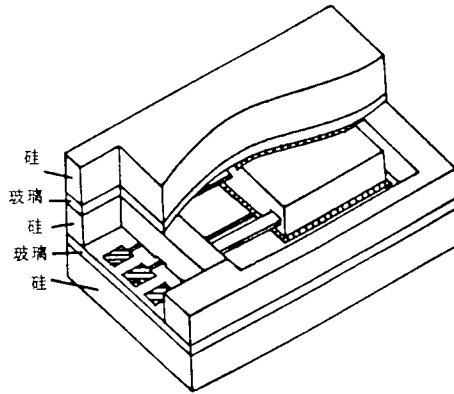


图3 采用对称结构的硅微加速度传感器结构示意图

3.2 信号补偿法

信号补偿法是利用多个敏感元件产生的横向灵敏度相互抵消来降低横向灵敏度的方法。文献[3]介绍的利用信号补偿法研制的一种横向灵敏度非常低的硅微机械加速度传感器,其结构如图4所示。在有平行于芯片表面的加速度的情况下,传感器的四个敏感元件的横向灵敏度分别为:

梁1和3:

$$\frac{48(l/4 - L/3)d}{3l^2 + 3(l+L)^2 + L^2} \cdot \frac{a_{par}}{a} \quad (5)$$

梁2和4:

$$\frac{ld}{3l^2 + 3(l+L)^2 + L^2} \cdot \frac{a_{par}}{a} \quad (6)$$

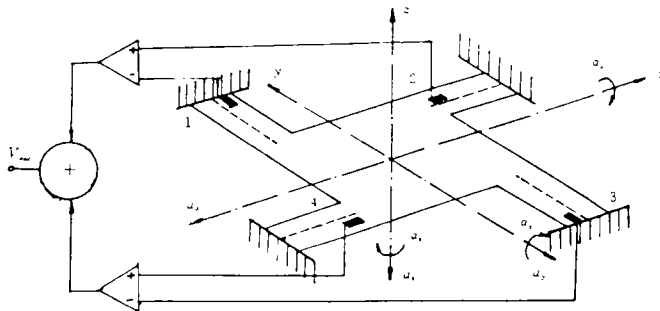


图4 采用信号补偿方法的硅微机械加速度传感器原理图

式中： l 为质量块的长， L 为梁长；

d 为质量块中心到芯片表面的距离；

a 为垂直于芯片表面的加速度；

a_{par} 为平行于芯片表面的加速度。

如采用图 4 所示的电路对四个敏感元件的输出信号进行补偿处理后，这种传感器的横向灵敏度理论应为零，而各个敏感元件的横向灵敏度的理论值为 13%。这种加速度传感器的实际横向灵敏度小于 1%。

3.3 传感器阵列方法

传感器阵列是一组结构相同，参数不同的传感器组成的阵列。当一个加速度传感器阵列置于具有 X, Y, Z 三个方向加速度的加速度场中时，第 i 个传感器的输出为：

$$y_i = S_{1x}a_x + S_{1y}a_y + S_{1z}a_z \quad (7)$$

式中： $S_{1x} = \partial y_i / \partial a_x$ ， $S_{1y} = \partial y_i / \partial a_y$ ， $S_{1z} = \partial y_i / \partial a_z$ 为传感器 i 分别对 X, Y, Z 方向速度的灵敏度，从式 (1) 中可以看出，只要将传感器的某些几何参数设计得不同，就可以得到不同 S_{1x}, S_{1y}, S_{1z} 。从前面的分析可知 $S_{1z} \approx 0$ ，所以如果设计如图 5 所示的由两个加速度传感器构成的传感器阵列，就有：

$$\begin{aligned} y_1 &= S_{1x}a_x + S_{1y}a_y \\ y_2 &= S_{2x}a_x + S_{2y}a_y \end{aligned} \quad (8)$$

从式 (2) 和式 (3) 可以看出， y_1, y_2 分别与 a_x, a_y 呈线性关系，所以，方程组 (8) 有解的条件是：

$$\begin{vmatrix} S_{1x} & S_{1y} \\ S_{2x} & S_{2y} \end{vmatrix} \neq 0 \quad (9)$$

即向量 y_1, y_2 线性无关，这一点可以在传感器阵列设计中保证。方程 (8) 中 S_{1x}, S_{1y}, S_{2x} 和 S_{2y} 可通过对传感器的标定来确定， y_i 为传感器 i 的输出，求解方程 (8) 可得消除了横向加速度影响后的测量结果为：

$$a_y = \frac{S_{2x}y_1 - S_{1x}y_2}{S_{1y}S_{2x} - S_{1x}S_{2y}} \quad (10)$$

从理论上讲，这种方法也能使硅微机械加速度传感器的横向灵敏度为零。由于使用了硅微结构和半导体平面工艺，采用传感器阵列方法不但传感器的体积和成本几乎不会增加，而且能够降低传感器的设计和制造要求，提高传感器的灵敏度和信噪比。

4 结束语

降低硅微机械加速度传感器的横向灵敏度对于提高硅微机械加速度传感器的性能，拓广应用范围具有重要的意义。从前面的分析可以看出，硅微机械加速度传感器的横向灵敏度主要是由于惯性质量块的中心与悬臂梁中性面在 Y 方向不重合引起的。本文介绍了三种方法能有效降低硅微加速度传感器横向灵敏度的方法，使硅微机械加速度传感器横向灵敏度降低到 1% 以下。

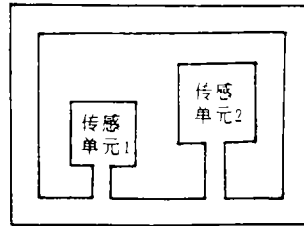


图 5 由两个加速度传感器的构成的阵列结构示意图

参 考 文 献

- [1] L. M. Roylance and J. B. Angell, A Batch-fabricated Silicon Accelerometer. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1979, ED-12 (12): 1911-1917
- [2] F. Rudolf and A. Jornod et al. Precision accelerometers with μg resolution. *Sensors and Actuators*, 1990, A21-A23: 297-302
- [3] B. Puers and L. Reynaert et al, A new uniaxial accelerometer in silicon based on the piezjunction effect. *IEEE Trans. Electron Devices*, 1988, 135 (6): 764-770

Methods for reducing Sensitivity of Micromachined Silicon Accelerometer

Fei Long, Zhong Xianxin, Wen Zhiyu, Liu Guixiong and Gao Yang
(The Institute of Optoelectronic Machinery of Chongqing University,
Chongqing 630044)

Abstract

This paper analyses the cross sensitivity of micromachined silicon accelerometer. Methods for reducing sensitivity of micromachined silicon accelerometer are described.

Key Words: Cross sensitivity; Accelerometer; Micromachined silicon