

两种热驱动结构在微型电场传感器中的应用*

叶 超^{1,2} 陈贤祥^{1,2} 彭春荣^{1,2} 陶 虎^{1,2} 夏善红^{1,†}

(1 中国科学院电子学研究所 传感技术国家重点实验室, 北京 100080)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 设计并制备出两种新型电热驱动微型静电场传感器. 一种利用了 V 型梁阵列作为驱动结构, 另一种引入了位移放大机构. 针对传感器的弱电流输出信号, 建立了基于锁相放大器的测试系统对两种传感器的输出信号进行检测. 测试结果表明, 两种传感器都具有线性的输出特性, 且带有位移放大机构的电场传感器具有更高的灵敏度.

关键词: 热驱动结构; V 型梁阵列; 位移放大机构; 电场传感器

EEACC: 2560

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)09-1672-04

1 引言

电场测量在气象研究、航空航天、电力系统等领域有着广泛的应用^[1-3]. 现有电场传感器主要分为光学式电场传感器^[4,5]和电荷感应式电场传感器. 电荷感应式电场传感器包括双球式电场传感器^[6]、火箭式电场传感器^[7]、场磨式电场传感器^[8]和基于微加工技术的微型电场传感器. 与常规的电荷感应式电场传感器相比, 基于微加工技术的微型电场传感器具有明显的优势: 质量小, 更有利于对高空或外太空进行测量; 体积微小, 能用于测量电场分布的细节; 另外将微型电场传感器与其他传感器如温度传感器、压力传感器、湿度传感器等集成在一起也相对容易. 因此基于微加工技术的微型电场传感器有着广阔的应用前景. 目前基于微加工技术的微型电场传感器主要包括静电驱动电场传感器^[9,10]、压电驱动电场传感器^[11]以及热驱动电场传感器^[12]. 与静电驱动相比, 压电驱动和电热驱动方式具有更低的驱动电压.

相比以前的热驱动电场传感器, 本文改进了设计方案, 采用了 V 型梁阵列作为驱动结构, 这种阵列结构可以在较低的驱动电压下产生较大的驱动力, 另外, 其中一种传感器还引入了位移放大机构, 这种放大机构的引入, 显著地提高了传感器的灵敏度.

2 传感器工作原理

2.1 电荷感应原理

电场传感器工作基于导体在电场中感应电荷的

原理, 如图 1 所示. 传感器的屏蔽电极与正负感应电极均为导电的多晶硅材料, 当屏蔽电极向右振动, 正感应电极会部分暴露于外电场之中, 正感应电极上的感应电荷会增加. 同时屏蔽电极会遮挡负感应电极的部分面积, 负感应电极上的感应电荷会减少, 当屏蔽电极周期性振动时, 正负感应电极上就会产生大小相同, 方向相反的感应电流, 利用差分检测电路, 就可以检测出感应电流的大小, 从而实现外电场的探测.

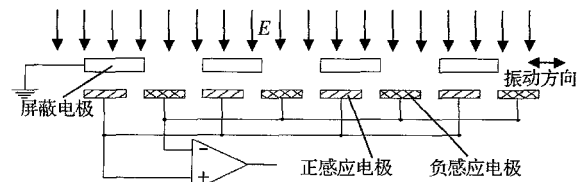


图 1 电场传感器的电荷感应原理图

Fig. 1 Working principle of electric field sensor

2.2 热驱动结构工作原理

热驱动结构用来驱动与其直接相连的屏蔽电极, 因此热驱动结构的设计与选取对传感器的工作性能有重要的影响. 在相同工作频率, 相同驱动电压下, 屏蔽电极的振动位移越大, 感应电极输出的信号越强. 为了增加屏蔽电极的输出位移, 可以选择有较大输出力的热驱动结构, 也可以采用带有位移放大机构的热驱动结构.

V 型梁阵列是一种常见的热驱动结构, 它具有较大的驱动力^[13]. 其工作原理是利用梁受热与冷却

*国家自然科学基金资助项目(批准号: 90207006)

†通信作者. Email: shxia@mail.ie.ac.cn

时热应力的变化,产生驱动力.如图 2(a)所示,当对锚点 1 与锚点 2 施加电压时,V 型梁阵列将产生向上的驱动力.

在 V 型梁阵列上引入位移放大机构,输出的驱动力会减小,但输出位移会增大^[14],如图 2(b)所示.V 型梁阵列前端连接着位移放大机构,当在相应的锚点施加电压时,放大机构会产生与 V 型梁阵列方向相反的位移.

对于图 2 所示的两种驱动结构,如果在 V 型梁阵列两端的锚点 1 和锚点 2 分别施加图 2(c)所示的大小相等,相位相反的方波电压,而锚点 0 接地,驱动结构的前端就会产生周期性的往复运动,驱动屏蔽电极.

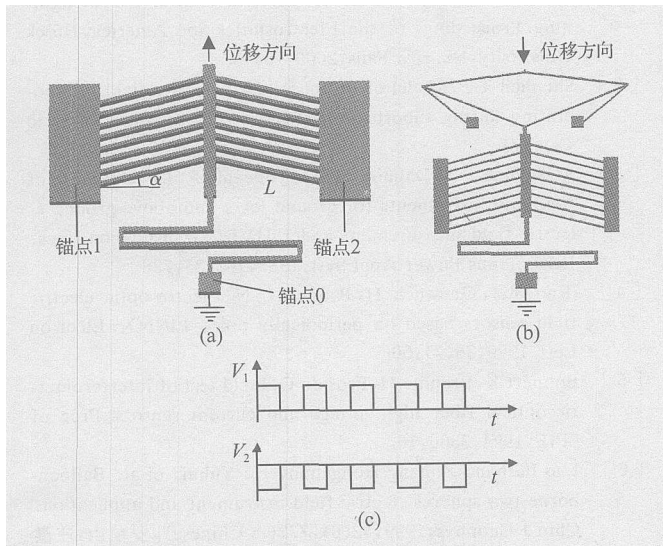


图 2 驱动结构及驱动电压波形示意图

Fig. 2 Schematic view of thermal actuators and their waveforms of driving voltages

3 传感器制备与测试

传感器的制备采用了标准的 Polymumps 工艺,这是一种表面牺牲层工艺,共有三层多晶硅结构 (Poly0, Poly1, Poly2),在多晶硅层 Poly0 与 Poly1 之间, Poly1 与 Poly2 之间是 PSG (磷硅玻璃) 牺牲层.传感器的感应电极由 Poly0 制成,驱动结构与屏蔽电极由 Poly1 制成.传感器的尺寸不超过 2.5mm x 2.5mm,其照片如图 3 所示,其中图 3(a)为 V 型梁阵列驱动传感器.其中热驱动结构共有 8 对热驱动梁,驱动梁采用了文献[13]中推荐的已经优化的参数,单边梁的长度 L 为 218μm,倾角为 1°.图 3(b)为带有位移放大机构的传感器.热驱动结构也包含 8 对热驱动梁,与图 3(a)相比,驱动梁倾角增大,并加入了位移放大机构.

由于传感器输出的感应电流非常微弱 (10^{-10} A

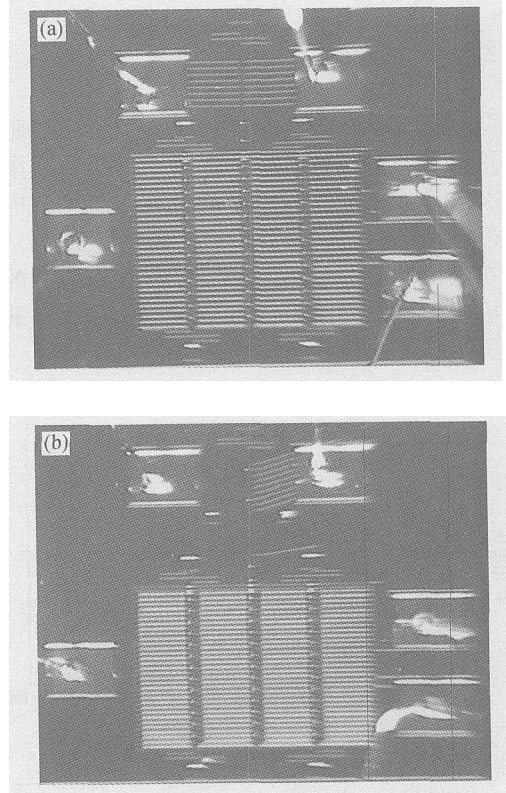


图 3 传感器照片

Fig. 3 Photograph of electric field sensors

量级),将微弱信号从噪声背景中提取出来就成为传感器测量的重要问题,因此建立了基于锁相放大器的测试系统,对传感器的输出信号进行检测.测试系统示意图如图 4 所示.

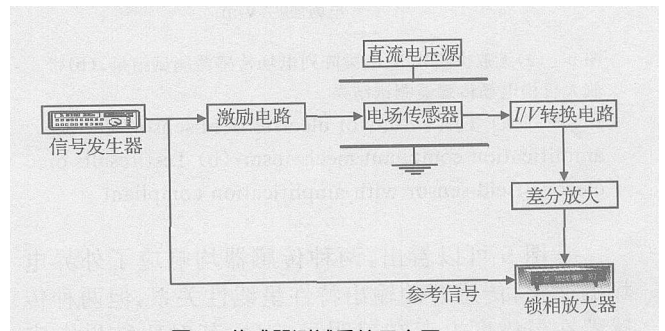


图 4 传感器测试系统示意图

Fig. 4 Test system for electric field sensors

在测试中,将电场传感器置于平行极板之间,并在平行极板上施加直流电压.此时电场传感器外部就会产生一定强度的电场.在信号发生器和激励电路的作用下,传感器的屏蔽电极产生周期性振动,感应电极开始响应外部电场,产生的感应电流通过 I/V 转换电路变为电压信号,再经过差分放大电路将信号放大,同时去除共模干扰,最后由锁相放大器读数.

4 结果与分析

两种传感器均可以在 0.5 和 - 0.5V 的驱动电压下正常工作,电压的占空比为 50%.在工作频率为 25kHz 时,对图 3(a)所示的无放大机构的电场传感器进行了测试,测试结果如图 5(a)所示.

在工作频率为 17kHz 时,对图 3(b)所示的带有放大机构的电场传感器进行了测试,测试结果如图 5(b)所示.

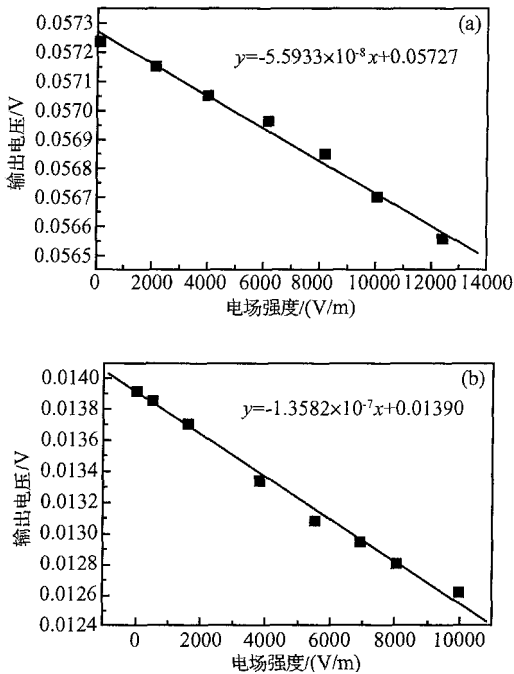


图 5 (a)无放大机构 V 型梁阵列电场传感器测试结果;(b)带放大机构电场传感器测试结果

Fig. 5 (a) Test results of electric field sensor without amplification compliant mechanism;(b) Test results of electric field sensor with amplification compliant

从图 5 可以看出,两种传感器均响应了外界电场的变化,传感器的输出特性呈线性关系,但两种传感器在灵敏度上存在着明显差异,其对比结果在表 1 中列出.从表 1 可以看出,带有放大机构的传感器具有更高的灵敏度,是前者的两倍多.同时,这种传感器也具有更好的线性度.在测试中两种传感器均保持了较好的重复性.

表 1 两种传感器的线性度和灵敏度

Table 1 Linearity and sensitivity of two sensors

传感器	线性度/ %	灵敏度/ ($\mu\text{V} \cdot \text{m}/\text{kV}$)
图 3(a) 所示传感器	5.54	55.9
图 3(b) 所示传感器	3.25	136

5 结论

成功研制了两种新型热驱动微型电场传感器,利用基于锁相放大器的测试系统对这两种传感器进行了测试.测试结果表明,两种传感器的输出特性均满足线性关系,且带有放大机构的传感器的灵敏度明显更高.下一步的工作着重对带有放大机构的传感器进行结构优化设计,进一步提高传感器的各项性能.

参考文献

- [1] Chubb J N. A system for advance warning of risk of lightning. Proceedings of the Electrostatics Soc America, Brock University, Niagara Falls, 2000 :154
- [2] Shenhen T P. Model of response of an electric field mill operating during suborbital flight. Rev Sci Instrum, 1974, 45 (2) :171
- [3] Maravuda P S, Dallaire R D, Pedneault R. Development of field mill instruments for ground level and above-ground electric field measurement under HVDC transmission lines. IEEE Trans Power Appl Syst, 1983, 102(3) :738
- [4] Rao Y J, Gnewuch H, Pannell C N. Electro-optic electric field sensors based on periodically poled LiNbO₃. Electron Lett, 1999, 36(7) :596
- [5] Bohnert K, Brandle H, Frosido G. Field test of interferometric optical fiber high-voltage and current sensors. Proc of SPIE, 1994, 2360:16
- [6] Luo Fushan, Zhuang Hongchun, He Yuhui, et al. Balloon-borne two spheres electric field instrument and application. Chin J Geophys, 1999, 42(6) :772 (in Chinese) [罗福山, 庄洪春, 何渝晖, 等. 球载双球式电场仪及其应用. 地球物理学报, 1999, 42(6) :772]
- [7] Luo Fushan, Zhuang Hongchun, He Yuhui, et al. The principle of micro-rocket electric field instrument and its application. Chin J Geophys, 2000, 43(5) :616 (in Chinese) [罗福山, 庄洪春, 何渝晖, 等. 微火箭电场仪的原理及其应用. 地球物理学报, 2000, 43(5) :616]
- [8] Bai Qiang, Xia Shanong, Chen Shaofeng. A novel fieldmill used as space electric field sensor and its application. Journal of Electronics & Information Technology, 2004, 26(4) :651 (in Chinese) [白强, 夏善红, 陈绍凤, 等. 新型旋片式空中电场传感器及应用. 电子与信息学报, 2004, 26(4) :651]
- [9] Horenstein M N, Stone P R. A micro-aperture electrostatic field mill based on MEMS technology. Journal of Electrostatics, 2001, 51/52:515
- [10] Riehl P S, Scott K L, Muller R S. Electrostatic charge and field sensors based on micromechanical resonators. Journal of Microelectromechanical System, 2003, 12(5) :577
- [11] Gong Chao, Tao Hu, Bai Qiang, et al. Miniature interlacing vibration electric field sensors. China Mechanical Engineering, 2005, 16(z1) :188 (in Chinese) [龚超, 陶虎, 白强, 等. 交错振动式微型电场传感器. 中国机械工程, 2005, 16(z1) :188]
- [12] Chen Xianxiang, Peng Chunrong, Bai Qiang, et al. Thermally driven micro electric field sensor. China Mechanical Engineering, 2005, 16(z1) :161 (in Chinese) [陈贤祥, 彭春荣, 白

- 强,等. 热驱动微型电场传感器. 中国机械工程,2005,16(z1): 161]
- [13] Sinclair MJ. A high force low area MEMS thermal actuator. Inter Society Conference on Thermal Phenomena,2000:127
- [14] Chu L L, Hetrick J A, Gianchandani Y B. High amplification compliant microtransmissions for rectilinear electrothermal actuators. Sensors and Actuators A,2002,97/98:776

Application of Two Thermal Actuators in Miniature Electric Field Sensors *

Ye Chao^{1,2}, Chen Xianxiang^{1,2}, Peng Chunrong^{1,2}, Tao Hu^{1,2}, and Xia Shanhong^{1,†}

(1 State Key Laboratory of Transducer Technology, Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper presents two novel miniature electrostatic field sensors with thermal actuators, one of which uses a chevron actuator array and the other of which uses amplification-compliant micro-transmission. A test system with a lock-in amplifier is constructed to detect the output signal of the sensor. The test results show that both of the two sensors respond to an external electric field linearly, but the sensor with amplification-compliant micro-transmissions has higher sensitivity.

Key words: thermal actuator; chevron actuator array; amplification compliant micro-transmission; electric field sensor

EEACC: 2560

Article ID: 0253-4177(2006)09-1672-04

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 90207006)

† Corresponding author. Email: shxia@mail.ie.ac.cn