

Research and Test of the Circuit for MEMS Based Piezoelectric Micro Energy Harvesting Device

SHEN Xiucheng^{1*}, FANG Hua-bin², WANG Ya-Jun¹, LIU Jing-quan^{1*}

1. National Key Laboratory of Micro/ Nano Fabrication Technology, Key Laboratory for Thin Film and Micro Fabrication of Ministry of Education, Institute of Micro/ Nano Science and Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;
2. A CS Sensors Lab, Honeywell, Shanghai 201203, China

Abstract: Micro energy harvesting technology is to utilize some effects to convert the energy around the environment into electrical energy. So it can supply the energy for the MEMS devices in the embedded system and wireless sensors networks. This paper discusses a piezoelectric micro energy harvesting device which is based MEMS technology. This device works in low frequency environment. When excited by the vibration, the device can convert the mechanical energy into electrical energy. But the direct output electrical energy of the energy harvesting device is AC voltage and usually can not be supplied to the devices directly. So AC-DC circuit is used to convert AC voltage into DC voltage and then it will be supplied to the MEMS devices. This paper gives the testing circuit of the micro energy harvesting device and analyzes the result. It demonstrates the feasibility of the micro energy harvesting in the low frequency environment.

Key words: Energy harvesting; MEMS; Piezoelectric effect; Cantilever

EEACC: 2575; 2860

基于 MEMS 的压电微能量采集器的电路研究与测试

沈修成^{1*}, 方华斌², 王亚军¹, 刘景全^{1*}

1. 上海交通大学微纳科学技术研究院微米/纳米加工技术国家级重点实验室薄膜与微细技术教育部重点实验室, 上海 200030;
2. 霍尼韦尔公司上海传感器实验室, 上海 201203

摘要: 微能量采集技术是利用某种效应把周围环境中的某种形式的能量转换成电能, 为嵌入式系统和无线传感网络中的 MEMS 器件供电。本文探讨了一种基于 MEMS 技术的压电型微能量采集器。微能量采集器工作于低频环境, 当给其振动激励信号时, 它能够把机械能转换为电能。但是能量采集器直接输出的是交流电压, 一般不能直接为器件供电。所以, 利用 AC-DC 电路把交流转换为直流, 实现为 MEMS 器件供电。文中给出了微能量采集器的测试电路, 同时给出了测试结果, 论证了在低频环境下这种微能量采集器的可行性。

关键词: 能量采集; MEMS; 压电效应; 悬臂梁

中图分类号: TM13

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)04-0692-03

无线传感器网络、嵌入式系统、射频识别 (RFID)、无线通讯等技术发展迅速^[1]。在由这些技术组成的网络和系统中, 微型传感器等无线元器件得到广泛应用。这些元器件一般数目庞大、位置分散、体积微小。因此, 相应元器件要求其供电部分具有体积小、集成度高、寿命长甚至无需更换、无人看管等特点^[1]。传统电池体积大、质量大、供电寿命有限, 能量耗尽需更换或反复充电^[2-3]。近年来, 微型

高能电池蓬勃发展, 它可以满足对无线元器件供电的需求, 但是它的能量密度及供电寿命仍然有限。另外, 对于一些需要长时间 (工作时间以年为单位) 工作的分散式、嵌入式元器件而言, 更换电池极大地增加了成本, 尤其是元器件数目较多, 甚至由于位置偏远或难以触及 (比如战场、人体内) 的原因而无法更换。

为了摆脱对电池的依赖而实现对无线元器件供

能的要求,研究人员提出了微能量采集技术^[1-2,4-5]。它是把周围环境中的能量转换为电能,为元器件供电。在各种能量源中,振动机械能广泛存在,且能量密度大,因此在微能量采集技术中,是一种比较好的选择。

振动机械能转换为电能的方法有三种:电磁式、静电式、压电式^[1-2,6-7],其中压电式换能方式结构简单,便于 MEMS 加工,能量采集密度大,且无需启动电压,在实际应用中满足嵌入式系统和无线传感网络的要求。

压电能量采集器的研究已经取得了一些进展。Glynn-Jones et al. 提出了一种方法来设计和建立振动能量采集器,它描述了一种体压电采集器。Roundy et al. 报道了一种微小压电悬臂梁结构(长 9-25 mm),它能在加速度 2.5 m/s^2 频率为 120 的条件下产生 $375 \text{ }\mu\text{W}$ 的能量。Sood 在他的论文中描述了一种压电微能量采集器。这种采集器利用 d_{33} 模式把声能转换为电能,它的工作频率在 20 ~ 40 kHz,能量输出约为 $1 \text{ }\mu\text{W}$ 。^[3]

以上已报道的能量采集器要么尺寸较大,属于非 MEMS 范围;要么工作频率过高,只适用于特殊场合。因此,本文提出了一种基于 MEMS 技术制作,工作于低频振动环境(频率小于 1 000 Hz)的压电微能量采集器,并通过一种能量采集电路完成了测试。

1 能量采集器结构及工艺

压电效应有两种: d_{31} 和 d_{33} 模式^[8]。本文介绍了一种采用 d_{33} 模式制作的复合悬臂梁式结构,如图 2。它由 Pt/Ti 叉指电极,PZT 压电层,ZrO₂,SiO₂ 和 Si 层组成,在梁的自由端加一镍质量块,如图 1。其中叉指电极可以产生 d_{33} 模式的响应电场;ZrO₂ 层作为绝缘层可以阻挡 PZT 层产生的电荷泄漏;镍

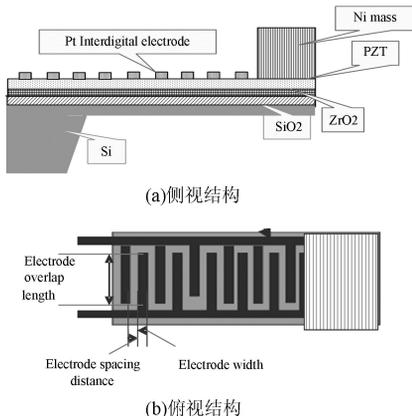


图 1 d_{33} 模式压电型微能量采集器结构图

质量块是用来降低梁的谐振频率,以实现工作在低频的环境。

这种悬臂梁结构的制作工艺如图 2。首先,在 N 型 $<100>$ 约 $500 \text{ }\mu\text{m}$ 厚的硅片上双面热氧化生长约 $2.2 \text{ }\mu\text{m}$ 厚的 SiO₂ 层。接着,在 SiO₂ 层上先制备 ZrO₂ 薄膜,再利用 sol-gel 技术在其上涂覆 PZT 薄膜。在其上依次溅射 Ti、Pt。采用 HF 溶液在背面刻蚀出 SiO₂ 窗口,纯 Ar 气体进行离子轰击使叉指电极图形化,PZT 和 ZrO₂ 层则采用专门的 PZT 刻蚀液使其图形化。然后,采用 RIE 工艺正面刻蚀 SiO₂/Si 层。采用专门夹具保护正面,KOH 溶液刻蚀背面硅。需预留较薄一层硅,以防止过刻蚀。RIE 从背面刻蚀硅直至刻穿释放出悬臂梁。最后,在梁末端加宽度和悬臂梁一致的 Ni 质量块。

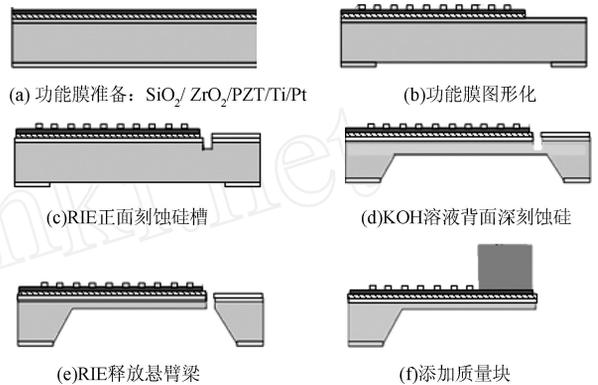


图 2 微型压电能量采集器制作工艺流程图

2 测试与分析

图 3 为测试系统示意图,由可调制波形信号发生器、功率放大器、振动台、加速度计、示波器和激光位移传感器装置组成。

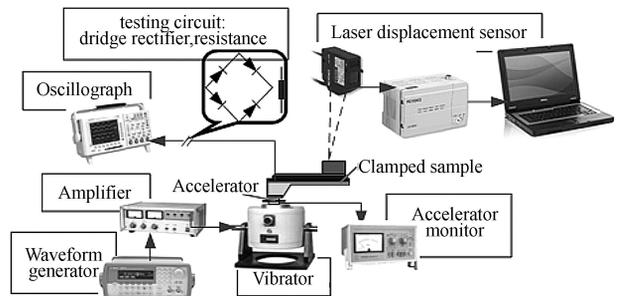


图 3 测试系统示意图

测试过程如下:信号发生器产生频率为悬臂梁谐振频率的正弦波信号,此信号经功率放大器放大后激励振动台的振动;在合适的振动输入下,粘附于振动台上的样品输出正弦交流电压;在此过程中,示波器可以检测输出电信号,加速度计测量输入的激励加速度,激光位移传感器装置测量悬臂梁在振动过程中各时刻的尖端位移量。如果没有整流电路,

输出的电信号是交流电压,而交流电压是不能直接向电子器件供能的,必须转换成直流电压。因此,交流电通过桥式整流电路转换为直流电,加载于负载电阻或给电容充电,如图4。

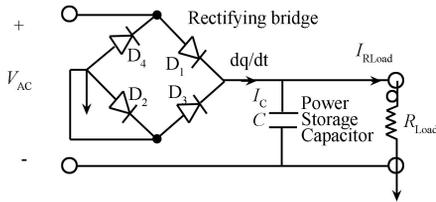


图4 桥式整流及存储电路示意图

在大量的测试中,得到了在固有频率 512 Hz 下,交流电压输出峰-峰值为 1.2 V,如图5。

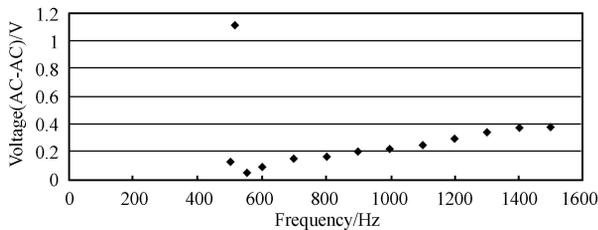


图5 交流电压峰-峰值与频率关系图

通过测试还可以初步得出:振动能量采集器的输出与几何结构参数、压电模式、外界环境的振动因素和 PZT 材料本身的特性有关。

3 总结与展望

由于各种条件的制约,这种基于 MEMS 技术的振动能量采集器提供的能量一般较低 (μW 级别),除了一些特殊场合,这些能量还不能满足大多数电子设备的需求。因此,微能量采集技术应该在以下

方向取得突破:(1)发展低功耗电子技术及先进电源管理技术,降低微型电子器件的功耗。(2)设计新的采集器结构或研究新材料,提高能量转换效率和功率。(3)在同一电子器件中,不同能量采集方式的结合,将会极大地提高采集能量的能力。

虽然微能量采集技术以及相应的电子器件还没有得到广泛应用,但是它已经向我们展示了诱人的前景。

参考文献:

- [1] 方华斌. 基于 MEMS 技术的压电能量采集器研究[D]. 上海交通大学,2007.
- [2] 董璐. 基于 MEMS 的压电型微能量采集器研究[D]. 上海交通大学,2007.
- [3] Fang Hua-Bin, Liu Jing-Quan, Xu Zheng-Yi, Dong Lu, Wang Li, Chen Di, Cai Bing-Chu, Liu Yue. Fabrication and Performance of MEMS-Based Piezoelectric Power Generator for Vibration Energy Harvesting[J]. Microelectronics Journal. 2006, 37:1280-1284.
- [4] Heng Zeng, Carla S. Ellis, Alvin R. Lebeck, Energy Harvesting and Conservation[J]. IEEE pervasive computing, 2005, 4 (1):14-16.
- [5] Glyne-Jones P, White N M. Self-Powered Systems: A Review of Energy Sources[J]. Sensor Review, 2001, 21(2):91-97.
- [6] Shearwood S, Yates R B. Development of an Electro-magnetic Micro-Generator [J]. Electron. Litt. Oct. 1997, 33: 1833-1884.
- [7] Beeby S P, Tudor M J, White N M. Energy Harvesting Vibration Sources for Microsystems Applications, Measurement Science and Technology[J]. 2006, 17:175-195.
- [8] 孟立凡, 郑宾. 传感器原理及技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2005, 84-100.



沈修成(1982-),男,上海交通大学硕士研究生,研究方向为微能源技术, xspring@sjtu.edu.cn.



刘景全(1971-),男,上海交通大学研究员、博士生导师,研究方向为可植入微系统、微能源技术、生物芯片技术, jqliu@sjtu.edu.cn.