

文章编号: 1001-1455(2007)02-0190-03

# 一种高 $g$ 值微冲击开关的研制\*

陈光焱, 杨黎明

(中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 采用微机电系统(MEMS)技术设计制作了一种微冲击开关,其敏感元件由悬臂梁支撑的质量块和其下的微触点构成。在冲击加速度作用下,质量块与触点碰撞实现接通。开关芯片体积为  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ ,动作门限  $3\ 000g$ ,响应时间  $84\ \mu\text{s}$ ,能承受极端的高冲击而不破坏。

**关键词:** 固体力学;冲击响应;微机电系统;冲击开关;高  $g$  值

**中图分类号:** O347;TJ4      **国标学科代码:** 130·15      **文献标志码:** A

冲击开关是感受冲击加速度并输出开关信号的一类惯性器件。已报道的几种应用在汽车防撞气囊控制系统中的微冲击开关<sup>[1-2]</sup>均采用硅制作,能承受一定的冲击,但在极端恶劣碰撞条件下有可能损坏<sup>[3-4]</sup>。为考核 MEMS 硅器件的抗冲击能力,Sandia 国家实验室在硅器件上加载  $40\ 000g$  的冲击,发现器件的陶瓷封装管壳都被打碎<sup>[5]</sup>。为满足高冲击应用的需要,拟采用金属钼制作了一种能承受高速碰撞并瞬间作出响应的微冲击开关。

## 1 结构和工作原理

微冲击开关是感受冲击加速度而工作的机械式碰撞开关<sup>[6]</sup>,是典型的弹簧-质量-阻尼系统,其运动方程遵循牛顿第二运动定律

$$mz'' + cz' + kz = -ma \quad (1)$$

式中: $k$  为弹簧刚度; $m$  为质量块质量; $c$  为阻尼; $a$  为加速度。

由于冲击加速度属脉冲型加速度,作用时间很短,要求弹簧-质量系统响应频率很高。因此,设计时应保证弹簧的刚度足够大,而质量块质量足够小,同时阻尼尽量小。

微冲击开关主要由引线座、触点、框架、悬臂梁、检测质量块、盖板、引线等 7 个部分组成,其中悬臂梁和检测质量块构成弹簧-质量系统并作为开关的一个电极,触点作为开关的另一极。采用 MEMS 技术加工,最后封装并通过两根导线引出形成微冲击开关。当有外界冲击加速度作用时,检测质量块将在惯性力作用下迅速向下运动,和其下的触点碰撞,完成闭合动作。其结构原理示意图如图 1 所示。

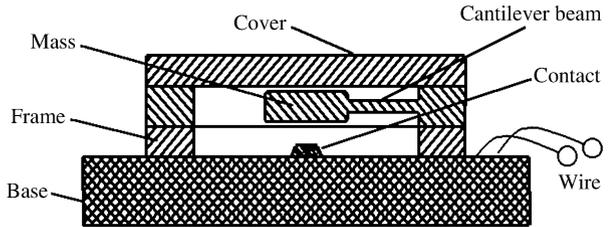


图 1 微冲击开关结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of micro impact switch

## 2 设计

设计的目标是动作门限  $3\ 000g$ 。由于敏感元件结构不规则,采用有限元软件 ANSYS 进行仿真计算。仿真采用的材料参数为:钼的弹性模量  $300\text{ GPa}$ ,密度  $10.21\text{ g/cm}^3$ ,泊松比  $0.3$ 。施加的边界条件为:结构的外框固定,加载  $3\ 000g$  ( $g=9.81\text{ m/s}^2$ ),通过初步分析确定弹簧-质量系统的运动位移,结构变形如图 2 所示。

\* 收稿日期: 2005-11-01; 修回日期: 2006-05-26

作者简介: 陈光焱(1975—),男,硕士,助理研究员。

从图上可以看出,质量块位移量在水平方向呈梯度变化,最大位移点位于质量块自由端边缘。根据仿真结果得知质量块最大位移量为  $70\ \mu\text{m}$ 。如果设定框架高  $100\ \mu\text{m}$ ,触点高  $30\ \mu\text{m}$ ,则当冲击加速度为  $3\ 000g$  时,质量块自由端边缘与触点接触,即可实现开关导通。

通过模态分析得知结构的主模态为垂直方向的挠度变形,第一阶频率为  $5.6\ \text{kHz}$ ,第二阶和第三阶频率分别为  $28$  和  $38\ \text{kHz}$ 。仿真结果说明该开关结构对非主模态的冲击不敏感,不易受横向干扰。

### 3 制作工艺

微触点采用 UV-LIGA 工艺制作,其工艺过程<sup>[7]</sup>如下:先在硼硅玻璃上溅射一层铬和金作为后续电铸工艺的种子层;接着经过光刻和腐蚀等工艺形成触点和引线区;再通过厚胶光刻形成微触点胶模,然后在胶模中电铸设定厚度的铜触点;最后去掉胶模。为了降低电阻率和防止铜的氧化,在整个电极和触点上电镀一层金。

弹簧-质量系统的制作工艺过程如下:先对钼片作表面处理,去掉自然氧化层;接着通过双面光刻和腐蚀形成悬臂梁和质量块结构。盖板和框架的制作也可采用这样的方法完成。

最后将以上元件组装成微冲击开关芯片,开关芯片体积为  $5\ \text{mm}\times 5\ \text{mm}\times 0.5\ \text{mm}$ 。加工出的微冲击开关样品与一角硬币对比的照片如图 3 所示。

### 4 实验结果

为确定微冲击开关的动作门限,采用锤击试验机对研制出的器件进行测试。测试方法为:将微冲击开关固定在锤头上面,当锤头释放与铁砧碰撞产生的冲击加速度达到微冲击开关的动作门限时,开关闭合,示波器测出此时的电压变化波形(负脉冲方波)。测试方案如图 4 所示。

若把锤头与铁砧的碰撞信号作为触发信号,可测出开关的响应时间。经测试,微冲击开关的动作门限为  $3\ 000g$ ,响应时间为  $84\ \mu\text{s}$ ,闭合时间为  $28\ \mu\text{s}$ ,测试波形如图 5 所示。

穿靶试验后,回收的微冲击开关结构完整,如图 6 所示。

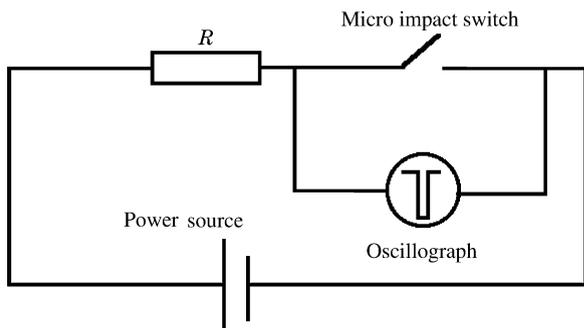


图 4 测试方案示意图

Fig. 4 Schematic diagram of test method

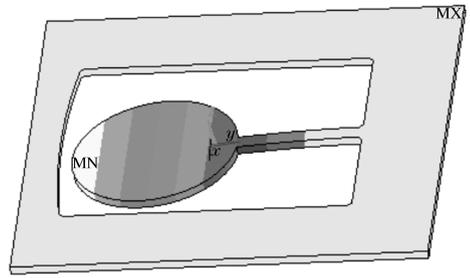


图 2 ANSYS 分析结果

Fig. 2 Analysis result by ANSYS

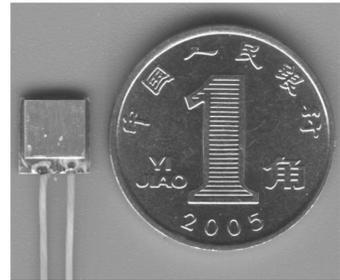


图 3 微冲击开关样品

Fig. 3 Photo of the micro impact switch

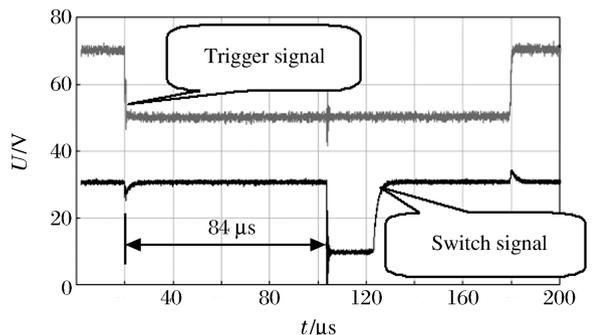


图 5 微冲击开关测试波形

Fig. 5 Impact test waveform of the switch

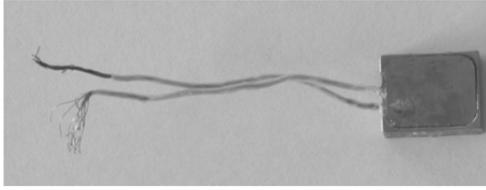


图 6 回收的微冲击开关照片

Fig. 6 Photo of the retrieved micro impact switch

感谢杨波和杜连明工程师在实验中给予的帮助!

## 参考文献:

- [1] Matsunaga T, Esashi M. Acceleration switch with extended holding time using squeeze film effect for side airbag systems[J]. *Sensors and Actuators: A*, 2002,100:10-17.
- [2] Go J S, Cho Y H, Kwak B M, et al. Snapping microswitches with adjustable acceleration threshold[J]. *Sensors and Actuators: A*, 1996,54:579-583.
- [3] Duesterhaus M A, Bateman V I, Hoke D A. Shock testing of surface micromachined MEMS devices[C]// The 47th Annual Fuze Conference. New Orleans: LA, 2003.
- [4] Davies B R, Montague S, Smith J H, et al. Micromachined contact fuses for earth penetrator applications[R]. SAND98-0073 UC-406,1998.
- [5] Tanner D M, Walraven J A, Helgesen K, et al. MEMS reliability in shock environments[C]// IEEE International Reliability Physics Symposium. San Jose: CA, 2000:129-138.
- [6] 张志铭, 王晓双, 杨黎明. 一种敏感低加速度的碰撞开关[J]. *传感器技术*, 2002,21(7):28-30.  
ZHANG Zhi-ming, WANG Xiao-shuang, YANG Li-ming. Impact switch for low acceleration[J]. *Journal of Transducer Technology*, 2002,21(7):28-30.
- [7] 陈光焱, 吴嘉丽, 赵龙. 微机械 G 开关的研制[J]. *传感器技术*, 2005,24(6):82-84.  
CHEN Guang-yan, WU Jia-li, ZHAO Long. Fabrication of a micro-mechanical  $g$ -switch[J]. *Journal of Transducer Technology*, 2005,24(6):82-84.

## Fabrication of a high- $g$ micro impact switch

CHEN Guang-yan<sup>\*</sup>, YANG Li-ming

(*Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China*)

**Abstract:** The impact switch is a kind of inertial device that can sense impact acceleration and output on-off signal. A micro-mechanical impact switch is designed and fabricated with MEMS technology. The sensitive unit of the micro impact switch consists of a seismic mass supported with a cantilever beam. The movable mass is displaced to contact the micro electrode tip when subjected to impact acceleration. The chip size of the switch is  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$  and the switch threshold is  $3\ 000g$  while the response time is  $84\ \mu\text{s}$ . It can survive ultra-high  $g$ -loads impact.

**Key words:** solid mechanics; impact response; MEMS; impact switch; high- $g$  level

\* Corresponding author: CHEN Guang-yan  
E-mail address: cgyiee@126.com  
Telephone: 86-816-2484595