

# 扭梁悬臂梁支撑的扭摆式 MEMS 永磁双稳态机构\*

姜 政<sup>†</sup> 丁桂甫 王 艳 张东梅 王志明 冯建智

(上海交通大学微纳科学技术研究院, 上海 200030)

**摘要:** 在进行理论分析证实可行性和模拟仿真优化参数后,利用非硅表面微加工方法中的牺牲层工艺制备了一种扭梁悬臂梁支撑的扭摆式 MEMS 永磁双稳态机构.该双稳态结构尺寸为 1.9mm × 1.6mm × 0.03mm,通过永磁力实现稳态姿态无功耗保持,通过对其单侧触点施加纵向驱动力使之达到 30 $\mu$ m 的纵向驱动位移,可以实现机构的双稳态姿态切换,可以通过控制永磁体磁片、悬臂梁和扭梁的尺寸来灵活调控稳态切换所需的驱动力矩.此双稳态机构可与电磁驱动、电热驱动和静电驱动等类型的微驱动器联用构成永磁双稳态 MEMS 微继电器.

**关键词:** 永磁; 双稳态; MEMS; 微继电器

**EEACC:** 1350; 2180; 2575

**中图分类号:** TN603.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-4177(2006)01-0143-07

## 1 前言

通信、仪表和汽车等工业领域广泛使用各种继电器,当插入损耗和绝缘性要求较高时,与固态继电器相比,传统的机电继电器无疑将会是最佳选择.然而,机电继电器微型化技术的进展相对于芯片技术要滞后很多,因此成为了控制模块集成化和微型化的技术瓶颈.微型机电系统技术(micro electro-mechanical systems, MEMS)一方面保持着传统机电继电器的金属触点接通与断开模式设计,一方面能够以类似半导体技术的集成工艺批量制造,集机电继电器和固态继电器两者的优点于一身,因此有可能是继电器微型化的可行技术途径.

但是伴随着继电器尺寸的减小, MEMS 器件的功耗成为制约其工作稳定性的关键因素之一,为此一些开关类器件尝试采用双稳态机制工作以降低整体功耗.比如电磁驱动的双稳态开关和继电器,仅在需要开/闭状态切换时才接通电源,而在姿态保持阶段则借助双稳态机构实现无功耗保持.已经有多种此类实验室样品诞生<sup>[1-4]</sup>,其中大多数采用灵巧机械机构,借助弹性能的积聚与转移实现稳态的保持与切换.其中典型的是双端固定的弯曲梁机构,它借助机械变形的弹性力实现双稳态.但是这类机构通常结构比较复杂、效率较低,而且部件疲劳损伤严

重,联动的机械机构进一步延缓了可动部件的响应速度.而已有的采用永磁机制的双稳态机构是平面内驱动方式,与大多数驱动器的纵向驱动方式不兼容.因此至今尚未有任何双稳态机构能够真正达到实用化水平,探索新的双稳态机构仍然是该方向的重要研究内容.

本文设计并制备了一种可以借助微加工技术实现的采用扭梁悬臂梁支撑的扭摆式 MEMS 永磁双稳态机构.它不但体积小、易于实现纵向位移、稳态姿态保持无需功耗,而且方便与各种驱动机制的微驱动器实现工艺与功能的兼容,具有广泛适用性.

## 2 永磁双稳态机构设计

### 2.1 结构及原理

如图 1 所示,永磁双稳态机构组成部分包括下软磁回路、永磁体、基台、扭梁、悬臂梁、触点和外接电极,其中扭梁、悬臂梁、触点、基台和下软磁回路均为软磁材料.机构两侧的触点被扭梁和悬臂梁支撑悬浮于外接电极的引线端口和下软磁回路的上方,扭梁和悬臂梁安装在基台上,基台和永磁体安装在下软磁回路上.

该双稳态机构各组成部分的作用及整体工作原理如下:永磁体提供磁场;下软磁回路导磁;基台支撑悬臂梁和扭梁,并为触点提供气隙空间;扭梁将悬

\*教育部科学技术研究资助项目(批准号:0307)

<sup>†</sup>通信作者. Email: bullman@sjtu.edu.cn

2005-06-18 收到, 2005-10-04 定稿

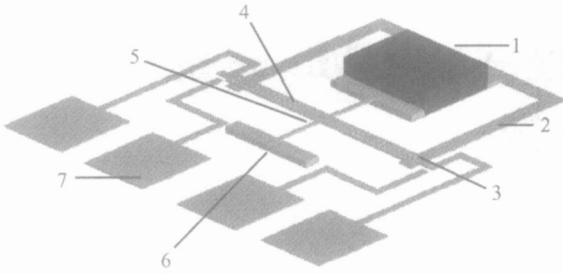


图 1 扭梁悬臂梁支撑的永磁 MEMS 双稳态机构示意图 1: 永磁体; 2: 下软磁回路; 3: 触点; 4: 悬臂梁; 5: 扭梁; 6: 基台; 7: 外接电极

Fig. 1 Schematic configuration of a teeterboard pattern MEMS permanent magnet bistable structure supported by torsion and cantilever beam

臂梁的纵向位移转化为横向扭转小形变;悬臂梁的纵向位移导致触点的闭合和断开,触点闭合使悬臂梁连通了两外接电极,断开便使悬臂梁脱离两外接电极;四个外接电极可作为微继电器的双向电极沟通外电路.永磁双稳态机构通过被联用的驱动器驱动工作.当其一侧触点被联用的驱动器抬起或下压,另一侧触点将同步下沉或上升.当下沉一端的触点与下软磁回路接触时,双稳态机构中便沟通形成“永磁体-扭梁-悬臂梁-触点-下软磁回路-永磁体”的闭合磁路,其中的磁作用力能一直保持该触点的下沉状态而无需联用驱动器持续出力.该下沉的触点同时能沟通外接电极,形成继电器的通态.此时的磁作用力同时能够提供触点接触的压力,使继电器的接入电阻维持在较低的水平.如果要切断这一侧电路,只需要给联用驱动器一个脉冲电流,抬起该侧悬臂梁或下压另外一侧悬臂梁,该侧触点就会被抬起,这侧电路便被切断,而另一侧的触点就会下压从而形成与前述相似的磁回路与电回路,同样实现无功耗姿态保持.

## 2.2 特点

该双稳态机构基于金属对金属接触的导通机制,触点闭合时为金属直接接触,接触电阻小、插入损耗低;触点断开时为气隙隔绝,开路电阻大、隔断效果好.因此将其应用到微继电器中时,可以使继电器拥有机电继电器式的优点.

该双稳态机构通过永磁吸引力来保持稳态,不需要外加电流来保持稳态,因此用于微器件可以克服持续功耗所导致的散热困难.永磁体可以通过电镀方法进行原位制备<sup>[6]</sup>,这种与半导体技术兼容的工艺对集成制造十分有利,但目前通过电镀获得的永磁体磁性能远不如常规永磁体磁片,因此永磁体磁片仍然是当前最合适的选择.

该双稳态机构的三维磁路构造形式未见报道,对其施加纵向小位移驱动可以实现稳态切换.永磁双稳态机构的稳态切换所需力矩可以通过控制悬臂梁、扭梁和永磁体的尺寸灵活控制,切换所需的触点位移可以通过控制基台高度精确控制,切换速度可以通过控制施加外加驱动力的大小和施加加速度来控制.鉴于一般的微驱动器的驱动位移也是纵向的,驱动位移也不大,故该双稳态机构与一般的微驱动器在驱动方式上的兼容性极好.该双稳态机构的制备工艺可以用简单的光刻胶牺牲层常温表面微加工工艺,也可改用耐高温的金属牺牲层技术制备,因而其在工艺上与各种微驱动器也能有很好的兼容性.可见,该双稳态机构具有与各种类型的微驱动器协同构成永磁双稳态 MEMS 器件的潜力.借助此类永磁双稳态机构,与电磁型微驱动器联合制备,我们已经制备出了电磁型永磁双稳态微继电器.同理,此永磁双稳态机构也可以与其他电热、静电等类型的微驱动器联用构成永磁双稳态微继电器.

## 3 双稳态机构的建模与仿真分析

扭梁悬臂梁支撑的永磁双稳态机构的等效磁路如图 2 所示,每一个稳态的磁回路都由“永磁体-扭梁-悬臂梁-触点-下软磁回路-永磁体”构成.

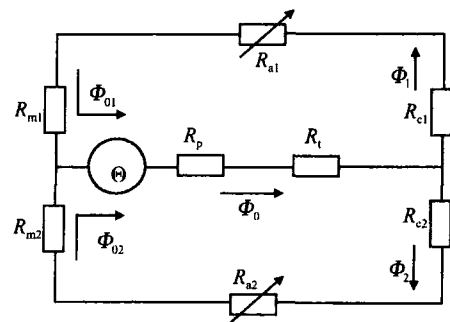


图 2 永磁双稳态机构的等效磁路图  $\odot$ : 永磁体磁激励力;  $R_p$ : 永磁体磁阻;  $R_t$ : 扭梁磁阻;  $R_{c1}, R_{c2}$ : 悬臂梁磁阻;  $R_{a1}, R_{a2}$ : 气隙磁阻;  $R_{m1}, R_{m2}$ : 软磁回路磁阻;  $\odot$ : 永磁体磁通;  $\Phi_1, \Phi_2$ : 回路 1, 2 中的磁通;  $\Phi_{01}, \Phi_{02}$ : 气隙 1, 2 中的磁通

Fig. 2 Equivalent magnet path diagram of permanent magnet bistable structure

基于双稳态机构的构造及其等效磁路,我们对双稳态机构的单侧触点位移与机构的势能的关系进行了系统分析.

假定机构的金属材料的悬梁为理想弹性.机构的势能包括扭梁形变所储存的机械势能和机构的磁场势能.记该侧触点水平时的位移  $s$  为 0.

机构的扭梁形变后存储的机械势能大小可以等效表示为:

$$N = \frac{1}{2} K^2 (s) = \frac{1}{2} K \arctan^2 \frac{s}{L}$$

其中  $K$  为等效的扭转常数;  $s$  为气隙高度;  $L$  为悬梁长度.

对于磁稳双稳态机构中闭合磁路, 沿其对磁场  $H$  进行线积分得到磁动势:

$$F_{MM} = H_{\mu} L_m + H_s s$$

其中  $H_{\mu}$  与  $H_s$  分别为磁路和气隙的磁场强度;  $L_m$

$$u = \begin{cases} \frac{1}{2} K \arctan^2 \frac{s}{L} - \left[ \frac{F_{MM}^2 \mu_0 A}{2 \left( a + s + \frac{\mu_0}{\mu} L_m \right)} - \frac{F_{MM}^2 \mu_0 A}{2 \left( a - s + \frac{\mu_0}{\mu} L_m \right)} \right], & s \in (-a, 0) \\ \frac{1}{2} K \arctan^2 \frac{s}{L} - \left[ \frac{F_{MM}^2 \mu_0 A}{2 \left( a - s + \frac{\mu_0}{\mu} L_m \right)} - \frac{F_{MM}^2 \mu_0 A}{2 \left( a + s + \frac{\mu_0}{\mu} L_m \right)} \right], & s \in (0, a) \end{cases}$$

以典型的结构参数代入上式求解, 可得如图 3 所示的单侧触点位移  $s$  与机构势能  $u$  的关系. 从中可见, 机构的该侧触点从水平位置逐渐运动达到一定的临界点时, 由于机构机械势能快速上升, 磁势能缓慢下降, 使得机构势能逐渐上升达到峰值; 该侧触点继续运动超过此临界点后, 机构机械势能上升较慢, 机构的磁势能迅速下降, 使得机构势能呈迅速下降趋势; 当该机构的单侧触点位移达到向上或向下的最大位移(止停位置)时, 机构的势能达到最小值; 当触点达到止停位置后便无法产生进一步位移, 此时若强行压挤触点, 机构的势能将急剧上升. 根据能量最低原理, 势能最低的状态最稳定. 因此当该侧触点位移处于止停位置的时候, 机构的势能最低, 这是机构的稳态. 由于止停位置两侧的势能曲线都比较陡峭, 如要打破此稳态, 需克服的势能势垒较高, 所

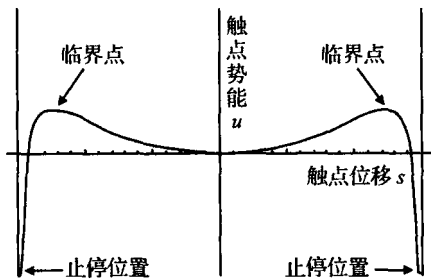


图 3 触点位移与势能关系图

Fig. 3 Relationship between the replacement and the energy at the contact

以机构的稳态是比较稳定的; 在对机构进行稳态切换时, 对触点施加驱动, 使得该侧触点位移超过另侧临界点, 机构的势能越过势垒, 机构便可切换到另一个稳态. 因此该双稳态机构的双稳态功能在理论上是可以实现.

为了使永磁双稳态机构能获得较好的稳态性能, 其在结构上有诸多讲究. 双稳态机构在有限的尺

和  $s$  分别为磁路和气隙的长度.

结合分析气隙中的磁通量, 可以获得该机构中存储的磁势能:

$$W(F_{MM}, s) = \frac{F_{MM}^2 \mu_0 A}{2 \left( s + \frac{\mu_0}{\mu} L_m \right)}$$

其中  $A$  为触点面积.

因此机构的势能  $u$  为:

寸范围内需获得较大的吸附力和驱动位移, 同时也需获得较好的剩余磁感应强度、导磁率和电导率. 因此我们使用最大磁能积  $(BH)_{max}$  为  $180 \text{kJ/m}^3$  的高强度永磁体磁片提供吸附力. 根据仿真结果, 实际需要的永磁体磁片厚度仅需数十微米即可, 但鉴于永磁体磁片采用普通切片工艺进行加工并需将其组装嵌入到下软磁回路中, 为了便于加工与组装小尺寸永磁体磁片, 取永磁体磁片厚度为  $200 \mu\text{m}$ ; 使用 Fe 含量为 19% 的电镀坡莫合金作为下软磁回路、悬臂梁和扭梁的软磁材料; 当双稳态机构一侧处于稳态时, 为了使其稳定吸附并维持较低的接入电阻, 该侧触点处的吸附力应大于  $10 \mu\text{N}^{[8]}$ , 而开路的另一端的气隙高度应大于  $20 \mu\text{m}$  以保证绝缘性; 同时, 整个双稳态机构的尺寸应尽可能小. 经反复仿真与验证, 得到了如表 1 的合理结构尺寸.

表 1 永磁双稳态机构的结构尺寸

Table 1 Structure dimension of the permanent magnet bistable structure

结构参数	尺寸/ $\mu\text{m}$
悬臂梁宽度, $w$	100
悬臂梁长度, $L_c$	695
扭梁宽度, $d$	30
扭梁长度, $L_t$	300
梁厚度, $B$	10
基台高度, $t$	15
永磁体宽度, $b$	480
永磁体长度, $L$	620
永磁体厚度, $a$	200

依据优化的结构尺寸, 运用 ANSYS 有限元分析软件对一端闭合吸附的结构模型进行了磁场分布分析和 Maxwell 磁力分析, 得到了如图 4 和 5 所示的机构中的磁场分布和磁力分布情况. 从中可见, 机构中悬梁处的磁场强度较均匀地分布为  $10^{-6} \text{T}$ , 而闭合端悬臂梁的磁力沿着悬梁路径的分布的最大磁力出现在闭合触点处, 其平均大小为  $1.5 \times 10^{-7} \text{N}$ ,

累积计算闭合触点处 1000 个节点的磁场吸附力可得闭合触点处的磁场吸附力为  $1.5 \times 10^{-5} \text{ N}$ , 这与触点实现闭合后悬臂梁的空间位置以及磁路分布情况是吻合的. 另对机构进行力学结构分析, 可得: 机构扭梁的回复力为  $1 \times 10^{-12} \text{ N}$ . 因此可认为在触点处的吸附力即为磁场吸附力  $15 \mu\text{N}$ .

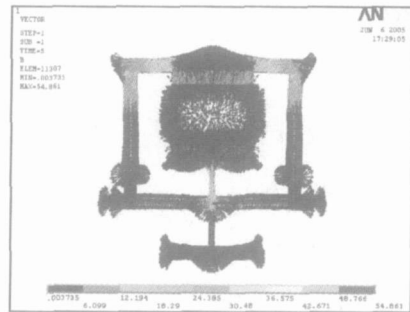


图 4 一端闭合的永磁双稳态结构的磁场强度分布图

Fig. 4 Magnetic intensity distributing of permanent magnet bistable structure with one side closed

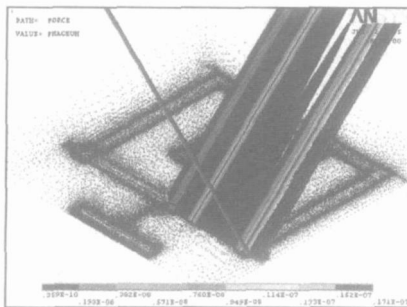


图 5 一端闭合的永磁双稳态结构的闭合端悬臂梁的沿着悬梁路径分布的磁力细化图

Fig. 5 Magnetic force distributing of permanent magnet bistable structure with one side closed along with cantilever beam

## 4 微加工实验

制备本永磁双稳态机构主要运用了非硅表面微加工技术. 其工艺流程如图 6 所示.

本永磁双稳态机构的制备在玻璃基片上进行. 在经清洗烘干的玻璃基片上溅射厚度为 30nm 的 Cr 膜和厚度为 80nm 的 Cu 膜作为后继的电镀种子层(图 6(a)). 溅射的 Cr 膜可以有效地增强后继结构与基片的结合力, 溅射的 Cu 膜可以便于后继电镀工艺的开展.

然后涂覆  $5 \mu\text{m}$  厚的光刻胶, 光刻出电极和下软磁回路的图形, 按表 2 的工艺条件电镀 FeNi 合金获得下软磁回路和外接电极. 涂覆  $15 \mu\text{m}$  厚的光刻胶, 光刻出基台的图形, 电镀 FeNi 合金获得基台(图 6

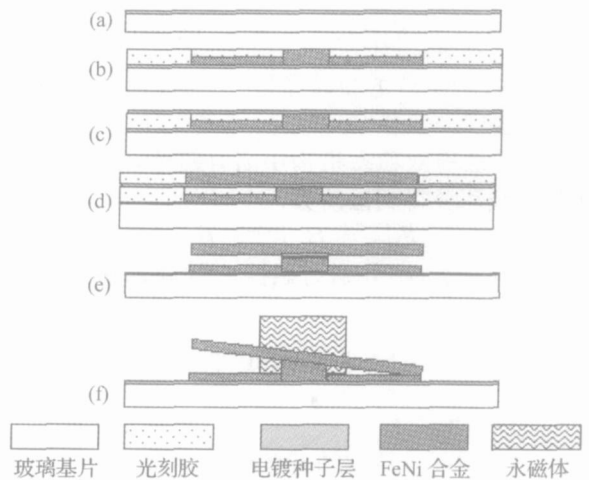


图 6 永磁双稳态机构制备工艺流程 (a) 溅射电镀种子层; (b) 光刻并电镀制备下软磁回路和基台; (c) 溅射电镀种子层; (d) 光刻并电镀制备悬梁; (e) 去除光刻胶和电镀种子层; (f) 插入永磁体获得稳态

Fig. 6 Technical flow chart of permanent magnet bistable structure

(b)). 电镀获得的 FeNi 合金性能如表 3 所示, 从中可以发现 FeNi 合金的机械性能、磁学性能和电学性能都较好.

表 2 电镀 FeNi 合金工艺条件

Table 2 Technical conditions of FeNi alloy electroplating

成份/参数	含量/条件
$\text{Ni}^{2+}$	11.7g/L
$\text{Fe}^{2+}$	0.59g/L
$\text{H}_3\text{BO}_3$	25.0g/L
糖精	1.0g/L
温度	$30 \pm 2$
pH 值	$2.8 \pm 0.2$
电流密度	$1.0 \text{ A/dm}^2$

表 3 电镀 FeNi 合金性能指标

Table 3 FeNi alloy's performances

性能	指标
杨氏模量, $E$	$1.8 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
拉伸强度, $T$	$1.9 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
矫顽力, $F$	4A/m
剩余磁通密度, $B_r$	0.5 T
饱和磁通密度, $B_s$	0.86 T
相对磁导率, $\mu$	$10^5$
电阻率, $\rho$	$1.6 \times 10^{-7} \cdot \text{m}$

将基片低温烘干, 溅射 Cr/Cu 电镀种子层(图 6(c)). 低温烘干是为了将光刻胶中含有的溶液和气体基本烘除, 避免在后继过程中有气体逸出致使镀层开裂.

涂覆  $10 \mu\text{m}$  厚的光刻胶, 光刻出悬臂梁和扭梁

的图形, 电镀 FeNi 合金获得悬臂梁和扭梁(图 6 (d)). 此时通过仔细控制电镀的电流密度等工艺条件可以消除内应力, 避免后继过程中悬空的悬臂梁和扭梁弯曲变形.

依次去除最上层的光刻胶、中间的电镀种子层、下层的光刻胶和底层的电镀种子层(图 6(e)). 需要指出的是: 此时应该采用稀释的腐蚀液湿法去除电镀种子层, 以免速度过快, 生成难去物, 破坏结构.

在下软磁磁路中组装嵌入切割好的永磁体磁片(图 6(f)). 应使磁片的磁极方向与磁路磁通流向一致以有效利用磁通.

## 5 测试与应用

### 5.1 双稳态机构的尺寸

该双稳态机构尺寸为  $1.9\text{mm} \times 1.6\text{mm} \times 0.03\text{mm}$ , 永磁体磁片的尺寸为  $0.6\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ . 与一般微型继电器几立方厘米的体积比较, 此双稳态机构的尺寸是相当小的, 所以如将此双稳态机构应用到微继电器中会对继电器的微型化有积极意义. 与毫米见方的 MEMS 器件相较, 此双稳态机构的尺寸比较匹配, 因此该双稳态机构与 MEMS 继电器在尺寸上有较好的兼容性.

### 5.2 双稳态机构的稳态姿态保持功耗

图 7(a) 为永磁双稳态机构的一端悬臂梁下压时, 该端触点与下磁路、外接电极闭合的电镜照片. 从局部放大图可以清楚地看到永磁双稳态机构呈一端闭合一端开路的稳态. 通过在显微镜下用探针轻微点击悬梁触点可自如地切换到如图 7(b) 所示的另一个稳态. 在此两个稳定状态中, 永磁双稳态机构均未借助外力而实现了无功耗姿态保持, 即永磁双稳态机构的稳态姿态保持功耗为 0.

电镜照片图中永磁体周围图像发生扭曲是因为电镜的电子束接近永磁体时发生扭曲.

通过对该双稳态机构施加手工晃动扰动来测试稳态时触点处的稳态保持效果. 经测试表明, 该双稳态机构能够抵挡大幅度的晃动扰动而保持稳态. 这表明该双稳态机构在一些具有扰动的环境下也适用.

### 5.3 双稳态机构的稳态切换力

通过使用 S/N6-140 型纳米压入硬度测试仪对该双稳态机构的翘起一端的触点施加微压力来测量稳态切换力. 测量采用的纳米硬度压痕仪所能施加的最小力为  $0.1\text{mN}$ . 经实验表明, 当悬臂梁一端下压, 该侧触点闭合时, 在另外翘起一端的触点处通过探针施加  $0.1\text{mN}$  的微压力可以自如地对双稳态机

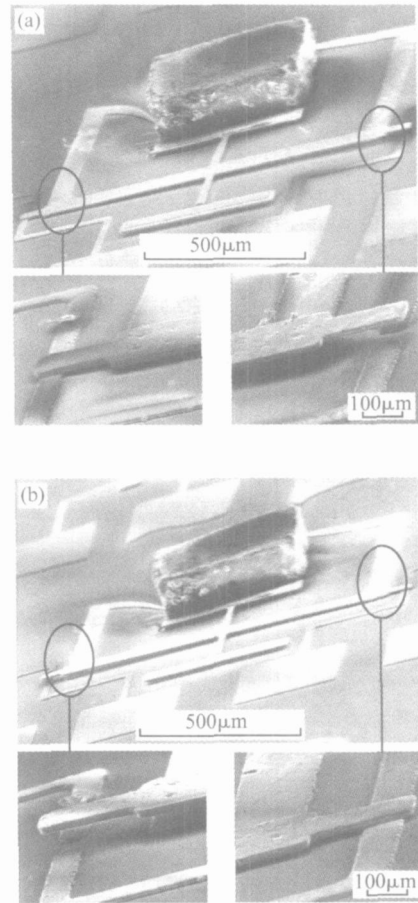


图 7 (a) 永磁双稳态机构的一个稳态; (b) 永磁双稳态机构的另一个稳态

Fig. 7 (a) One stable state of the permanent magnet ; (b) Another stable state of the permanent magnet bi-stable structure

构进行稳态切换. 虽然我们对机构的稳态切换力难以进一步量化, 但测试已经表明该双稳态机构的稳态切换力小于  $0.1\text{mN}$ , 而模拟分析得到的稳态切换力  $15\mu\text{N}$  也确实低于  $0.1\text{mN}$ , 此稳态切换力显著低于一些微驱动器的驱动力. 因此该双稳态机构在与微驱动器联用构成微继电器方面具备可行性.

### 5.4 双稳态机构电学性能

对永磁双稳态机构进行了电学性能测试. 运用 Agilent4156C 精密半导体参数分析仪对处于稳态下的机构的闭合端进行电阻测试结果为  $0.01\Omega$ , 这表明该双稳态机构接入电阻较小; 对机构的开路端进行电阻测试结果为绝缘, 这表明该双稳态机构开路电阻较大. 同时对机构的开路端进行  $30\text{V}$  电压加压测试, 机构未击穿, 这表明该双稳态机构耐压性能较好. 由上可见该双稳态机构的电学性能良好, 能满足常规电路对器件的要求.

## 5.5 应用

将此类永磁双稳态机构与微驱动器进行联合制备可以获得永磁双稳态微继电器. 如图 8 (a) 所示, 我们已经将其与电磁驱动器联合制备获得了电磁型永磁双稳态微继电器, 其性能良好. 图 8 (b) 是电磁型永磁双稳态微继电器的响应测试曲线. 结果表明其借助于永磁双稳态机构实现了状态切换响应功能. 由此可见永磁双稳态机构具有良好的实用性.

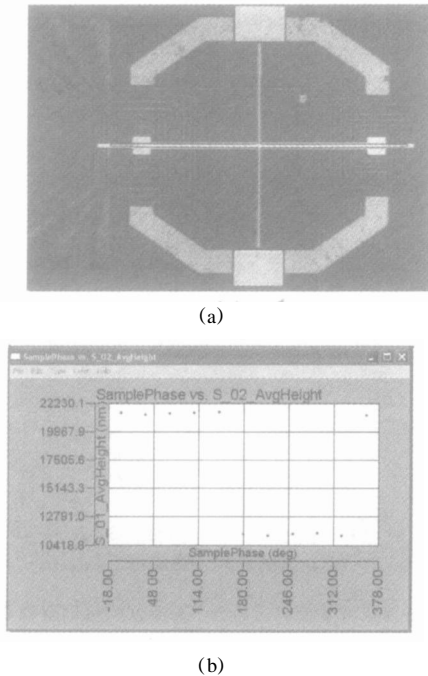


图 8 (a) 电磁型永磁双稳态微继电器; (b) 电磁型永磁双稳态微继电器响应测试曲线

Fig. 8 (a) Electromagnetism permanent magnet bistable MEMS relay; (b) Respond curve of electromagnetism permanent magnet bistable MEMS relay

## 6 结论

我们设计分析和制备了扭梁悬臂梁支撑的扭摆

式永磁 MEMS 双稳态机构并对其进行了性能测试. 永磁双稳态机构的总体尺寸为  $1.9\text{mm} \times 1.6\text{mm} \times 0.03\text{mm}$ , 永磁体磁片的尺寸为  $0.6\text{mm} \times 0.5\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ . 借助插入的永磁体磁片的作用, 永磁双稳态机构的任一稳态均能实现无功耗姿态保持. 对永磁双稳态机构的触点施加低于  $0.1\text{mN}$  的驱动力能使该机构在两个稳态间实现自由切换. 稳态切换时, 触点位移为  $30\mu\text{m}$ . 该机构能很好地与各种微驱动器联用构成 MEMS 微继电器.

## 参考文献

- [1] Qiu Jin, Lang J H, Slocum A H, et al. A high-current electrothermal bistable MEMS relay. IEEE The Sixteenth Annual International Conference on Micro Electro Mechanical Systems, 2003: 64
- [2] Wang Ye, Li Zhihong, McCormick D T, et al. A micromachined RF microrelay with electrothermal actuation. Sensors and Actuators A, 2003, 103: 231
- [3] Wood R, Mahadevan R, Dhuler V, et al. MEMS microrelays. Mechatronics, 1998, 8: 535
- [4] Ren H, Gerhard E. Design and fabrication of a current-pulse-excited bistable magnetic microactuator. Sensors and Actuators A, 1997, 58: 259
- [5] Kovacs G T A. Micromachined transducers source book. Beijing: Science Press, 1999
- [6] Liakopoulos T M, Zhang W, Ahn C H. Electroplated thick CoNiMnP permanent magnet array for micromachined magnetic devices application. Proceedings of IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshop, San Diego, USA, 1996
- [7] Xia Pingchou. Permanent magnet structure. Beijing: Beijing Industrial University Press, 2000 (in Chinese) [夏平畴. 永磁机构. 北京: 北京工业大学出版社, 2000]
- [8] Schlaak H F. Potentials and limits of micro-electromechanical systems for relays and switches. 21st International Conference on Electrical Contacts, Zurich, 2002: 19

## A Teeterboard Pattern MEMS Permanent Magnet Bistable Structure Supported by Torsion and Cantilever Beam \*

Jiang Zheng<sup>†</sup>, Ding Guifu, Wang Yan, Zhang Dongmei, Wang Zhiming, and Feng Jianzhi

(*Micro/ Nano Science & Technology Research Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China*)

**Abstract :** After feasibility analysis and parameter optimization ,a teeterboard pattern MEMS permanent magnet bistable structure supported by a torsion and cantilever beam is fabricated with sacrificial layer technology of non-silicon surface micro fabrication. The size of the bistable structure is 1.9mm ×1.6mm ×0.03mm. The stable states can be maintained without power consumption by a permanent magnet force ,and the two states are switched by applying a perpendicular driving force on one side of the anchors to achieve a perpendicular displacement of 30μm. The driving moment can be adjusted by controlling the sizes of the permanent magnet ,torsion ,and the cantilever beam. With electromagnetic ,electrothermal ,and electrostatic micro actuators ,this bistable structure can be applied to permanent magnet bistable MEMS relay.

**Key words :** permanent magnet ; bistable ; MEMS ; micro relay

**EEACC :** 1350 ; 2180 ; 2575

**Article ID :** 0253-4177(2006)01-0143-07

---

\* Project supported by the Key Project in Science Research of Ministry of Education(No.0307)

† Corresponding author. Email :bullman@sjtu.edu.cn

Received 18 June 2005 ,revised manuscript received 4 October 2005

© 2006 Chinese Institute of Electronics