

一种结构改进了的硅基微静电马达

孙曦庆 李志坚 费圭甫 刘理天

清华大学微电子学研究所, 北京 100084

(1992年11月23日收到; 1993年1月7日收到修改稿)

本文介绍一种结构改进了的硅基微静电马达。通过在微马达转子下面集成光伏器件实现了对马达转速的片内检测, 这对于实现转速自动控制和制作各种传感器有重大意义。利用复合膜牺牲层腐蚀技术制成了一种曲颈状轴承, 该轴承能够大大减小马达转动时的摩擦阻力矩。微静电马达转子直径分 100 和 120 μm 两种, 膜厚约 2 μm , 定子与转子的空气间隙为 2 μm 。初始测量结果表明该微马达有良好的性能, 具有实用化前景。

EEACC: 8340, 4250

1. 前 言

近几年涌现的微型涡轮机和微静电马达标志着微型活动机械的研究已进入了关键性的阶段^[1-3]。尤其是利用 IC 加工工艺制作的微型活动机械, 能够与传感器和电脑集成于一体构成完整的微电力机械系统(MEMS), 最受到电子、机械和自动控制等技术界的重视。

微马达和微涡轮机转子转速的检测是实现闭环控制的关键。目前国际上都采用片外成像检测法^[4-6]。本文通过在转子下面集成硅光伏器件, 实现了转子转速的片内检测。

提高转子转动性能的一个重要措施就是减小转子与轴以及转子与衬底之间的接触面积^[3,5]。本文采用 SiO_2/PSG 复合膜牺牲层腐蚀技术得到了一种曲颈状轴承。它保证了转子与衬底无接触, 而与轴承本身也只成圆线接触, 达到了相应目的。

2. 制作要点

微静电马达在转子释放前的总体剖面示意如图 1 所示。其主要工艺步骤有: ①在 P-Si 衬底上淀积一层 1.2 μm 厚的 $\text{Si}_x\text{N}_y/\text{SiO}_2$ 复合膜, 起抗氢氟酸腐蚀和电绝缘作用; ②刻复合膜形成 N 区接触孔, 淀积掺磷多晶硅作为转子的电屏蔽层和 PN 结的上电极, PN 结用于转子转速的检测; ③淀积 PSG 和 SiO_2 膜构成复合膜牺牲层, 然后刻蚀 SiO_2/PSG 以形成定子与 Si_xN_y 的接触区; ④淀积掺磷多晶硅并刻出定子和转子形状; ⑤在 BHF 中溶解复合膜牺牲层。PSG 与 SiO_2 在 BHF 中腐蚀速率的较大差别使得横向腐蚀后的轴孔呈曲颈状; ⑥淀积 SiO_2 并刻出轴接触孔, 再淀积掺磷多晶硅作为曲颈轴承, 最后将硅片投入氢氟酸中浸泡以释放转子。图 2(a)、(b)(见图版 I)给出了微静电马达的 SEM 照片。从(a)中可以看出整个转子被轴承托离衬底, 各转子极板与光伏器件的极板相间排列。从(b)中可以观察到轴的曲颈状, 转子的下底面与轴承之间仅存在圆线接触, 而非圆面接触。当用微弱气流冲击转子极时, 转子即能飞速旋转。

3. 测量原理与结果

微静电马达转速测量系统如图 3 所示。一束平行光垂直照射在转子所在的平面上，三相脉冲信号源用来驱动转子。当转子旋转时，光伏器件出现受光和被遮盖两种状态，使其输出产生“高”、“低”两种电平。转子每转一周，在输出端就会得到与转子极数相一致的电脉冲信号。通过对这些电脉冲信号的计数就能得到微马达转速。

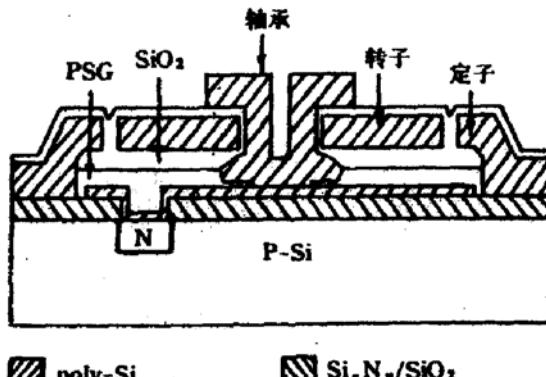


图 1 微静电马达总体剖面示意图

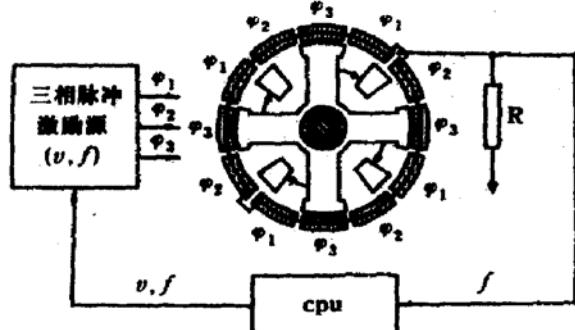


图 3 微马达转速测量系统

三相驱动电压的排列如图 3 所示，十二个定子分四组周期排列三相脉冲信号，每一个转子极板都对应一组三相信号。在测试过程中，相电压首先被置于某一值，然后连续改变相频，直至观察到马达转动为止。我们对转子数为 4，定子数为 12，定子-转子最小间隙为 $2\mu\text{m}$ 的微静电马达的初步测量结果为：最低驱动电压为 93V，最高转速为 253rps。保持转速为 100rps，微马达可连续转动达 14 分钟以上。

令马达稳定地以 100rps 旋转，然后撤去定子上的激励电压该马达就会因阻尼而自动减速直至停转。我们对各种轴承结构的微马达进行了实验，结果表明用以上所描述的曲颈轴承结构，阻尼时间可达 18ms，说明其阻尼作用远比传统面接触轴承结构微马达的要小。

张继盛副教授、熊大菁副教授对本研究给予了大力帮助，林宏、钟燕等在工艺制造方面积极地进行了配合，作者借此向他们表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] L. -S. Fan, Y. -C. Tai and R. S. Muller, *Sensors and actuators*, 20, 41(1989).
- [2] M. Sakata, Y. Hatazawa, A. Omodaka, T. Kudoh and H. Fujita, *Sensors and Actuators*, A21—A23, 168 (1990).
- [3] M. Mehregang, S. D. Senturia, H. Lang and P. Nagarkar, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-39, (9), 2060 (1992).
- [4] K. J. Gabriel, F. Behi, R. Mahadevan and M. Mehregang, *Sensors and Actuators*, A21—A23, 184(1990).
- [5] Y. -C. Tai and R. S. Muller, *Sensors and Actuators*, 20, 49(1989).
- [6] S. F. Bast, M. Mehregang, L. S. Tarrow, Jeffrey H. Lang and S. D. Senturia, *IEEE*, ED-39(3), 566 (1992).

A Silicon Based Micro Electro-Static Motor with Some Structure Improvements

Sun Xiqing, Li Zhijian, Fei Guiyu and Liu Litian

Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100084

(Received 26 November 1991; revised manuscript received 7 January 1992)

Abstract

A structure improved silicon based micro electrostatic motors is described. On-chip detection of micromotor rotation speed is realized by fabricating photovoltaic devices on the silicon substrate beneath the rotors, and this is very important to realize the automatic control of rotation speed and fabricating various sensors. By the use of SiO_2/PSG composite sacrificial layer technology, a curved bearing structure that greatly reduces the frictional torque is fabricated. The micromotors are between 100 and 120 μm in diameters, and the air gap between rotors and stators is 2 μm only. The initial test results show that the micro electro-static motors possess some good performances and are promising in the near future application.

EEACC: 8340, 4250