

文章编号: 1000-324X(2003)05-1143-04

电镀法制备 CoNiMnP 永磁薄膜阵列的研究

蒋洪川, 张金平, 张万里, 张文旭, 彭 斌, 杨仕清

(电子科技大学微电子与固体电子学院, 成都 610054)

摘 要: 采用光刻和电镀技术在 $5\text{mm}\times 5\text{mm}\times 0.2\text{mm}$ 的硅片上设计并制备了 2000 个大小为 $50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ 的 CoNiMnP 垂直各向异性永磁薄膜阵列, 并对该薄膜阵列的组成、磁性能等进行了分析与测试. 结果表明: 薄膜阵列的组成为: Co90.32wt%、Ni7.83wt%、Mn0.74wt%、P1.11wt%, 阵列垂直方向磁性能为: $H_c=59.7\text{kA/m}$, $B_r=0.53\text{T}$, $(BH)_{\max}=11.3\text{kJ/m}^3$; 阵列水平方向磁性能为: $H_c=27.8\text{kA/m}$, $B_r=53715\text{T}$, $(BH)_{\max}=1.585\text{kJ/m}^3$.

关 键 词: CoNiMnP 永磁薄膜阵列; 电镀; 垂直各向异性

中图分类号: TG 174, TM 273 **文献标识码:** A

1 引言

随着 MEMS 技术的不断深入发展, 人们的兴趣越来越集中于实现双向的微致动器研究, 尤其是对于作为光通讯和图象处理核心器件的光开关和扫描仪, 通常需要稳定的、长范围的双向微致动器. 在微致动器的驱动机理中, 磁力驱动被大多数研究者认为是最适合于大变形 (几百微米) 应用的微制动器. 其制动的基本原理是通过改变电磁的激励电流方向在励磁线圈和永磁之间产生引力或斥力, 从而实现致动的目的, 这种致动器结构简单, 易于在不同的尺度设计实现和较低的功率消耗.

到目前, 人们已经研究了几种薄膜永磁微制动器, 但是在集成有 CMOS 电路的硅基片上制作薄膜永磁微制动器被认为是极为困难的任务之一, 因为要与其他电子器件如 CMOS 电路或集成的电磁相容, 因此对热处理温度、几何尺寸和集成精度要求很高, 难以实现^[1~4]. 如采用 NdFeB 作为微制动器的永磁材料, 需要对材料加热到 600°C 进行热处理以达到需要的磁性能, 但在这么高的温度下, 电子器件和 MEMS 结构将会遭到致命的破坏^[5]. 近来发展了化学镀或电镀垂直各向异性的钴基合金, 这种通常薄于 2000\AA 的磁性薄膜镀层显示了与平面薄膜相似的磁各向异性和高达数 kOe 的矫顽力. 对 MEMS 应用来说, 具有垂直各向异性的磁性薄膜应该有尽可能高的磁能积, 因此电镀厚的磁性薄膜将优先考虑用于 MEMS, 只要这种薄膜能够保持足够高的垂直矫顽力.

本文中, 我们采用电镀和微机械工艺制作了垂直各向异性的 CoNiMnP 永磁薄膜阵列. 薄膜阵列的应用是为了提高薄膜和基片的结合力, 并且可以通过改变阵列的几何尺寸来控

收稿日期: 2002-07-29, 收到修改稿日期: 2002-08-26

基金项目: 国防预研基金 (JKA5005)

作者简介: 蒋洪川 (1971-), 男, 硕士, 讲师. E-mail: hcjiang@uestc.edu.cn

制薄膜的磁性能. 因为阵列的应用将极大地减小薄膜垂直方向的退磁因子并且使残余应力局域化, 从而提高薄膜与基片的结合力.

2 实验部分

取一片 $5\text{mm}\times 5\text{mm}\times 0.2\text{mm}$ 的硅片利用磁控溅射法在其表面溅射一层约 3000\AA 厚的 Cu 作为电镀种子层. 然后在种子层上面涂覆光致抗蚀剂, 利用光刻工艺得到 2000 个大小为 $50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ 电镀阵列所需的模子, 阵列之间间隔为 $40\mu\text{m}$, 如图 1 所示. 然后将其放入如图 2 所示的电镀槽中进行电镀. 实验在室温、搅拌条件下进行, 电镀时采用 Co 作阳极, 其目的在于: 一方面是为了保持电镀液中 Co^{2+} 离子浓度; 另一方面在于避免次磷酸盐在阳极的氧化^[1]. 另外在电镀时, 在电极两端加上恒定磁场, 其作用主要是让 CoNiMnP 永磁薄膜在电镀时能进行磁场取向, 从而提高永磁薄膜的磁性能.

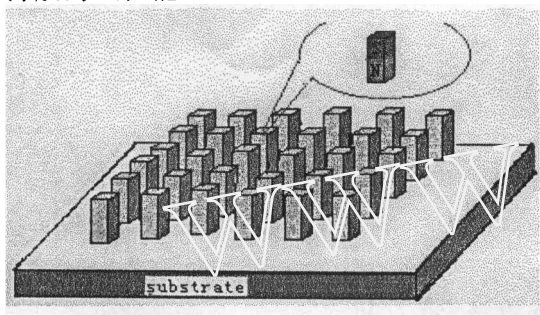


图 1 永磁薄膜阵列示意图

Fig. 1 Schematic illustration of permanent magnet arrays

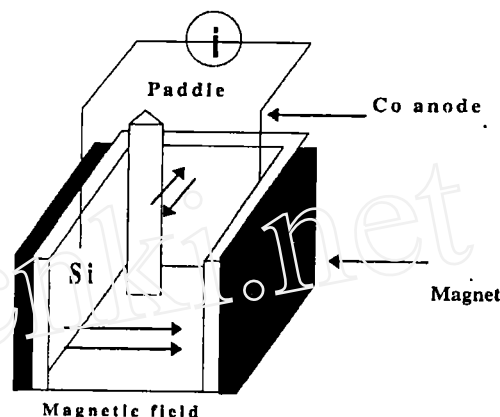


图 2 电镀槽示意图

Fig. 2 Schematic illustration of electroplating system

实验中采用的电镀液配方是: $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 23.79g/L, $\text{NiCl}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ 23.77g/L, $\text{MnSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$ 3.38g/L, NaCl 23.38g/L, $\text{B}(\text{OH})_3$ 24.73g/L, $\text{NaH}_2\text{PO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ 4.40g/L, 十二烷基硫酸钠 0.20g/L, 邻磺酰苯酰亚胺 1.0g/L, 苯亚磺酸钠 0.005g/L. 电流密度为 $5\sim 10\text{mA}/\text{cm}^2$, pH 值为 3~4. 电镀完成后, 用丙酮除去镀件表面的光致抗蚀剂.

3 结果和讨论

图 3 为所电镀的 CoNiMnP 永磁薄膜的 EDS 能谱图. 从图 3 可以看出, 薄膜的组成为: Co90.32wt%、Ni7.83wt%、Mn0.74wt%、P1.11wt%, 说明 Co 是电镀的 CoNiMnP 永磁薄膜的主要成分.

图 4、5 为电镀时间 3h 的 CoNiMnP 镀层的表面和断面 SEM 照片. 薄膜颗粒大小约为 $2\mu\text{m}$, 颗粒均匀、致密性好. 图 5 中白色条状部分为镀层, 其余为基底. 从图中可以看出镀层厚度大约为 $5\mu\text{m}$, 电镀沉积速度约为: $1.7\mu\text{m}/\text{h}$.

图 6 为采用振动样品磁强计 (VSM) 测量的永磁薄膜阵列磁滞回线. 根据测试结果, 薄膜阵列垂直方向磁性能为: $H_c=59.7\text{kA}/\text{m}$, $B_r=0.53\text{T}$, $(BH)_{\text{max}}=11.3\text{kJ}/\text{m}^3$; 阵列水平方向磁性能为: $H_c=27.8\text{kA}/\text{m}$, $B_r=0.42\text{T}$, $(BH)_{\text{max}}=3.2\text{kJ}/\text{m}^3$, 薄膜阵列垂直方向的磁性能优于水

平方向的磁性能, 说明电镀所得的 CoNiMnP 薄膜阵列具有较强的垂直各向异性.

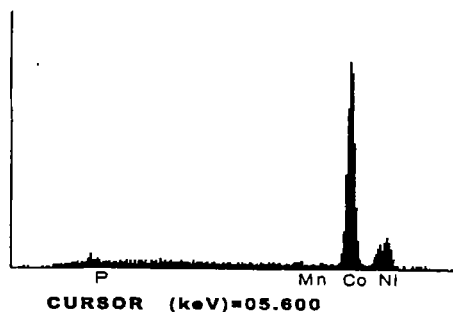


图 3 电镀薄膜的 EDS 能谱图

Fig. 3 Material composition spectrum of the electroplated CoNiMnP analyzed by EDS

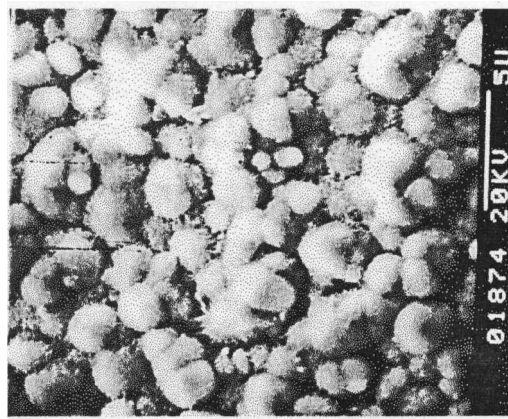


图 4 CoNiMnP 镀层表面 SEM 图

Fig. 4 SEM photograph of the electroplated CoNiMnP

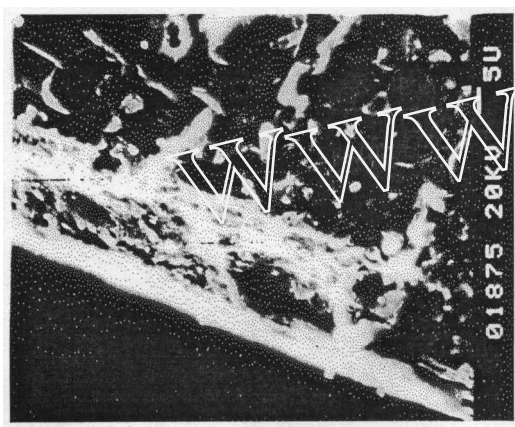


图 5 CoNiMnP 镀层断面 SEM 图

Fig. 5 SEM photograph of the electroplated CoNiMnP cross section

通过光学显微镜观察到的所获薄膜阵列的图片:

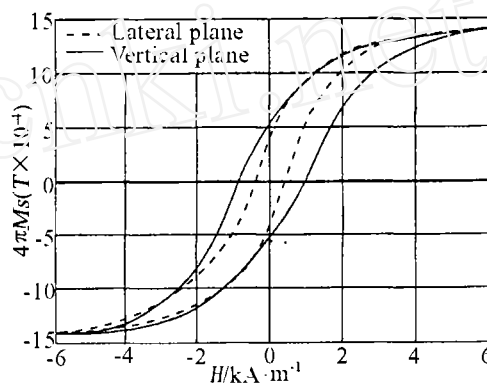


图 6 用 VSM 测量的永磁薄膜阵列磁致回线图

Fig. 6 Demagnetization hysteresis loops of the fabricated magnet arrays measured by using a vibrating sample magnetometer (VSM)

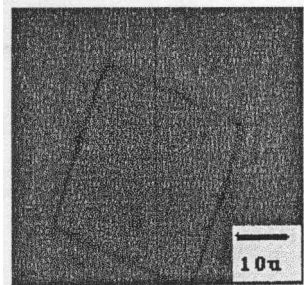
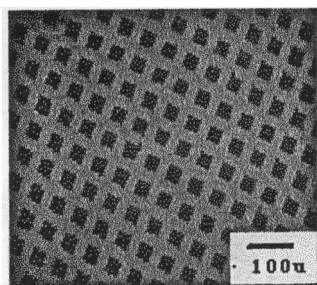


图 7 薄膜阵列光学显微镜图片

Fig. 7 Optic-microscope photographs of permanent magnet arrays

从图 7 中可以看出本实验得到了所设计的 CoNiMnP 永磁薄膜阵列, 阵列单元无开裂脱

落,说明阵列的应用确实大大地分散了薄膜的应力.

4 结论

本实验采用光刻和电镀工艺在 $5\text{mm}\times 5\text{mm}\times 0.2\text{mm}$ 的硅片上成功制备了 2000 个 $50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ 的 CoNiMnP 垂直各向异性永磁薄膜阵列. 薄膜阵列的组成为: Co90.32wt%、Ni7.83wt%、Mn0.74wt%、P1.11wt%; 阵列垂直方向磁性能为: $H_c=59.7\text{kA/m}$, $B_r=0.53\text{T}$, $(BH)_{\max}=11.3\text{kJ/m}^3$; 薄膜水平方向磁性能为: $H_c=27.8\text{kA/m}$, $B_r=0.42\text{T}$, $(BH)_{\max}=3.2\text{kJ/m}^3$.

参考文献

- [1] Lagorce L K, Brand O, Gallen M. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 1999, 8 (1): 2-9.
- [2] Parhfer S, Gieres G, Wecker J, et al. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 1996, 163: 32-38.
- [3] Mehdizadeh S, Dukovic J, Andricacos P C, et al. *Journal of Electrochemistry Society*, 1993, 140 (2): 3497-3505.
- [4] Liakopoulos T M, Zhang Wenjin, Ahn C H. *IEEE Transactions on Magnetics*. 1996, 32 (5): 5154-5156.
- [5] Cho H J, Ahn C H. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 2002, 11 (1): 78-84.

Studies on Electroplating CoNiMnP Permanent Film Arrays

JIANG Hong-Chuan, ZHANG Jin-Ping, ZHANG Wan-Li, ZHANG Wen-Xu,
PENG Bin, YANG Shi-Qing

(College of Microelectronics and Solid Electronics, University of Electronic Science and Technology of China. Chengdu 610054, China)

Abstract: Using photolithographing and electroplating techniques, CoNiMnP permanent film arrays were designed and fabricated. The microstructure, material composition and magnetic performances of the deposited film arrays were tested and analyzed. The electroplated permanent film arrays contain 2000 magnets of $50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ in a cubic shape on the silicon substrate of $5\text{mm}\times 5\text{mm}\times 0.2\text{mm}$. The results show that high magnetic performances CoNiMnP permanent film arrays with vertical anisotropy can be fabricated with current density less than 10mA/cm^2 at room temperature. The deposited film array compositions are as follows: Co90.32wt%, Ni 7.83wt%, Mn 0.74wt%, P1.11wt%. The vertical direction magnetic parameters are $H_c=59.7\text{kA/m}$, $B_r=0.53\text{T}$, $(BH)_{\max}=11.3\text{kJ/m}^3$, while $H_c=27.8\text{kA/m}$, $B_r=0.42\text{T}$, $(BH)_{\max}=3.2\text{kJ/m}^3$ in the lateral direction.

Key words CoNiMnP permanent film arrays; electroplating; vertical anisotropy