

8×8 MEMS 光开关阵列的制作*

贾翠萍¹ 董 玮^{1,2} 周敬然¹ 刘彩霞¹ 臧会东¹ 玄 伟¹ 徐宝琨¹ 陈维友^{1,†}

(1 吉林大学电子科学与工程学院 集成光电子国家重点实验室, 长春 130012)

(2 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 激发态物理重点实验室, 长春 130033)

摘要: 采用 MEMS 技术制作了静电驱动的扭臂结构 8×8 光开关阵列, 主要包括上下电极的制作. 利用硅在 KOH 溶液中各向异性腐蚀特性及(110)硅的结晶学特点, 在(110)硅片上制作出 8×8 光开关微反射镜上电极阵列, 考虑到在腐蚀时微反射镜有很大的侧蚀, 对开关结构进行了调整. 在偏一定角度的(111)硅片上制作了倾斜的下电极. 整个开关制作工艺简单, 成本低. 开关寿命大于 1000 万次, 开关时间小于 10ms.

关键词: 光开关; (110)硅片; 微反射镜; 开关时间

EEACC: 2575F; 4250

中图分类号: TN256

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0343-04

1 前言

MEMS 光开关是通过静电或者其他控制力使可以活动的微反射镜发生机械转动, 以改变输入光的传播方向, 从而实现开关功能的. MEMS 光开关具有较低的插损、小串音、高消光比、良好重复性及适中的响应速度, 与波长、偏振、速率及调制方式无关, 寿命长, 易扩展成大规模的开关阵列, 成为光交换器件的主流^[1~6]. 在驱动结构方面, 大多采用静电和磁感应驱动的方式. 磁驱动虽能提供较大的力, 但存在大的能量损耗及使隔壁系统存在电磁干扰等问题. 因而很多开关器件选用静电驱动.

本文介绍扭臂结构静电驱动的 8×8 MEMS 光开关阵列的制作方法, 阵列光开关由微反射镜阵列、光纤阵列和下电极阵列组成, 见图 1. 利用(110)硅片的结晶学特点及腐蚀特性, 制作微反射镜阵列, 对开关的结构进行了调整, 保证了能够得到足够大的反射镜. 并在偏一定角度的(111)硅片上, 制作出倾斜的下电极结构, 并对制作的开关进行了键合封装和测试. 该开关的制作方法简单、成本低、一致性好, 且能实现大规模的开关阵列.

2 微反射镜阵列的制作

光开关是通过微反射镜的移动来实现开关的反射和直通状态的. 微反射镜是制作光开关的核心和基础, 微反射镜的好坏直接影响到光开关的插入损

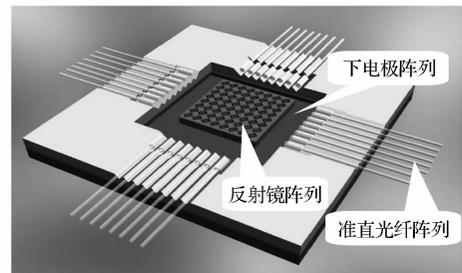


图 1 8×8 开关阵列的结构示意图

Fig. 1 Schematic of 8×8 optical switch array

耗. 所以制作出垂直性好, 并且具有较高反射率的反射镜面是光开关的关键. 在 KOH 溶液中腐蚀(110)面与{111}面的选择比很高, 可以形成高深宽比微结构, 利用该结构可在(110)硅片上制作光开关微反射镜阵列. (110)硅片上有四个与(110)面垂直的{111}面, 如图 2 所示. 在(110)硅片上腐蚀出与衬底垂直的{111}面时, 当掩膜方向没有对准{111}面晶向时, 腐蚀出的侧面有很多棱; 只有当对准晶向时, 腐蚀出的侧面才比较光滑, 可以用作反射镜面. 在各向异性腐蚀过程中, 为了能够暴露预期的晶面, 必须按预定的晶向进行腐蚀. 通常硅片上都有给定的参考方向, 但是给定的参考方向与实际的晶向有一定的误差, 一般在 $\pm 0.5^\circ$, 因此必须通过实验的方法精确定向. 采用扇形定位结构腐蚀后可作为制作微反射镜时的参考方向.

在腐蚀过程中由于微反射镜顶角的侧蚀比较严重, 实际得到反射镜的长度与掩膜尺寸有很大的偏

* 吉林省科技发展计划资助项目(批准号:20050319)

† 通信作者. Email: chenwy@mail.jl.cn

2005-10-18 收到, 2006-01-05 定稿

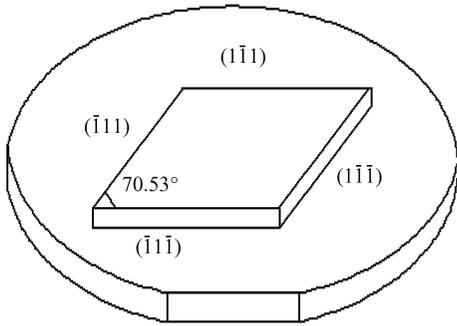


图 2 (110)硅片上{111}面
Fig.2 {111} planes in (110) silicon

差. 为保证得到足够大面积的微反射镜, 我们将原来垂直于扭臂的微反射镜结构重新设计为平行于扭臂的结构, 并且微反射镜面处于悬臂的顶端. 这样同时也实现了开关驱动时微反射镜能够有最大位移的目的, 改进前后开关结构图形如图 3(a) 和 (b) 所示. 微反射镜阵列加工工艺流程如图 4 所示.

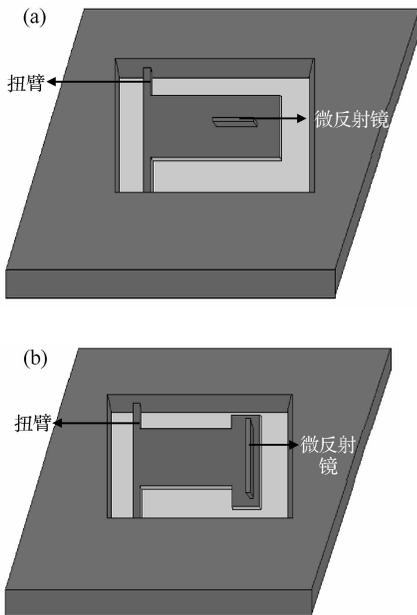


图 3 开关结构
Fig.3 Structure of optical switch

实验步骤: 选用 n 型 (110) 硅片, 厚度为 $290\mu\text{m}$, 电阻率为 $4\sim 6\Omega\cdot\text{cm}$, 双面生长二氧化硅和氮化硅, 厚度为 140nm . 以制作的定位图形为基准制作微反射镜阵列; 通过光刻, 反应离子刻蚀, 然后在 $40\% 70^\circ\text{C}$ 的 KOH 溶液中进行单面和双面腐蚀, 得到高度为 $200\mu\text{m}$ 的微反射镜, 接着蒸镀起反射和掩膜作用的铝膜; 进一步光刻和反应离子刻蚀, 最后制作出具有扭臂结构的开关上电极, 见图 5.

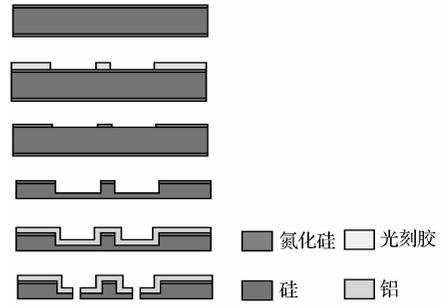


图 4 微反射镜阵列加工工艺流程
Fig.4 Process of fabrication technology for micro-mirrors



图 5 制作的微反射镜阵列照片
Fig.5 Photo of fabricated micro-mirrors

3 倾斜下电极的制作

倾斜下电极的结构较平面下电极结构更能有效地降低开关驱动电压^[9], 依据微反射镜所应偏移距离和悬臂的长度, 采用偏 4.5° 的 (111) 硅片制作倾斜下电极阵列. 采用的 (111) 硅片双面抛光, 导电类型为 n 型, 电阻率为 $4\sim 8\Omega\cdot\text{cm}$, 晶向由 $\langle 111 \rangle$ 向最近 $\langle 110 \rangle$ 偏 4.5° , 定位面 $\langle 110 \rangle$ 面, 见图 6. 在抛光后硅片上双面生长二氧化硅和氮化硅复合膜, 厚度为

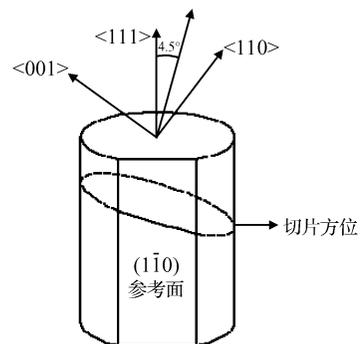


图 6 (111)硅片切片示意图
Fig.6 Slice schematic of (111) silicon

140nm, 进而进行光刻和反应离子刻蚀, 最后在 KOH 溶液中腐蚀足够长时间, 即得到所需的倾斜下电极结构, 如图 7 所示。

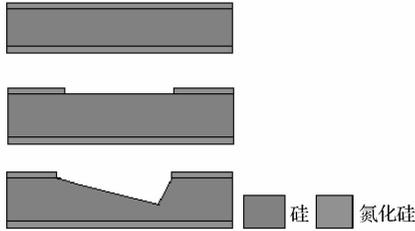


图 7 倾斜下电极制作流程

Fig.7 Process of fabricating slant electrode

在制作好的下电极硅片上蒸镀铝膜制作电极引线, 而后溅射一层二氧化硅作为绝缘层. 将上下电极硅片对准后键合, 并将准直器光纤阵列放在相应位置并进行精确调整后固定. 组装好的开关实物照片见图 8.

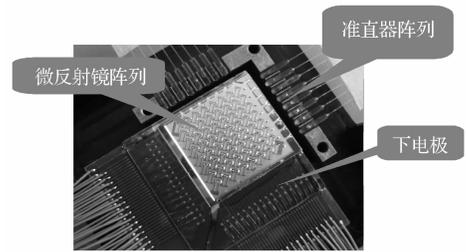


图 8 组装好的光开关

Fig.8 Assembled optical switches

4 开关性能

采用脉冲源作为光开关的驱动电压, 测量光开关的寿命大于 1000 万次. 利用脉冲幅值为 68V, 频率为 30Hz, 占空比为 50% 的矩形波发生器驱动, 测得光开关的上升时间为 6ms, 下降时间为 5ms, 如图 9 所示. 图中信号 1 为驱动信号, 信号 2 为经开关光电转换的信号.

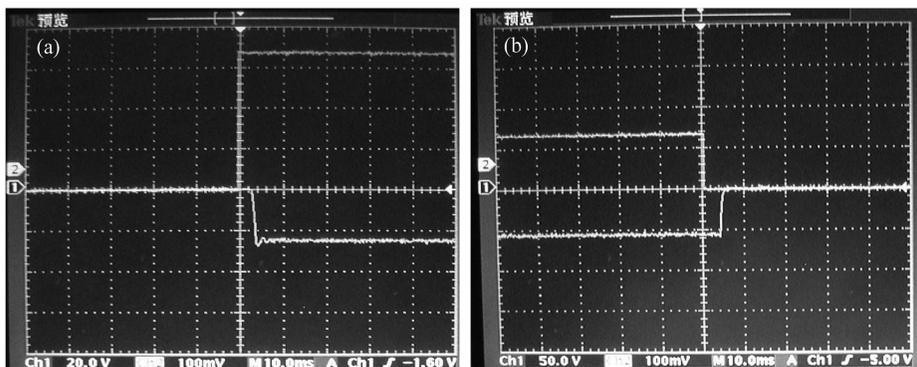


图 9 开关时间 (a)下降时间; (b)上升时间

Fig.9 Switch time (a) T_{off} ; (b) T_{on}

5 结论

利用(110)硅片的结晶学特征和在 KOH 溶液中的腐蚀特性, 在(110)硅片上制作了微反射镜阵列, 反射镜表面光滑、垂直度高、各个反射镜平行性一致, 并对上电极开关的结构进行了修改设计. 保证得到足够大的微反射镜镜面, 制作了降低驱动电压的倾斜下电极. 对制作的光开关进行封装和测试, 开关寿命为 1000 万次, 开关时间小于 10ms. 整个开关的制作工艺简单, 一致性好. 所制作的 MEMS 光开关可与光衰减器、光调制器、激光-光纤耦合装置、滤波器以及微型激光器等微型器件相结合, 推动当前的光纤通信系统向小型化方向发展.

参考文献

- [1] Hecth J. All-optical networks need optical switches. Laser Focus World, 2000, 189(5): 174
- [2] Ma Xiaohua, Kuo Gengsheng. A novel integrated multistage optical MEMS-mirror switch architecture design with shuffle Benes inter-stage connecting principle. Opt Commun, 2004, 242: 179
- [3] Li J, Zhang Q X, Liu A Q. Advanced fiber optical switches using deep RIE (DRIE) fabrication. Sensors and Actuators A, 2003, 102: 286
- [4] Wu M C. Micromachining for optical and optoelectronic systems. Proc IEEE, 1997, 85(11): 1833
- [5] Shen S C, Pan C T, Chou H P. Electromagnetic optical switch for optical network communication. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2002, 239: 610
- [6] Syms R R A, Moore D F. Optical MEMS for telecoms. Materials Today, 2002, 5(8): 26

- [7] Zhang Long, Dong Wei, Zhang Xindong, et al. Fabrication technique of bulk-silicon micro-optical switch in (110) silicon. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25(1):99 (in Chinese)[张龙,董玮,张歆东,等.利用(110)硅片制作体硅微光开关的工艺研究. *半导体学报*, 2004, 25(1):99]
- [8] Dong Wei, Ruan Shengping, Zhang Xindong, et al. Design and fabrication of reflective micromirror micromechanical optical switches based on the low applied voltage. *High Technology Letters*, 2003, 5:46 (in Chinese)[董玮,阮圣平,张歆东,等.低电压微反射镜型微机械光开关的设计与制作. *高技术通讯*, 2003, 5:46]
- [9] Dong Wei, Ruan Shengping, Zhang Xindong, et al. Design and fabrication of slant-counter electrodes for optical switches. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2004, 41(4):273

Fabrication of 8×8 MEMS Optical Switch Array*

Jia Cuiping¹, Dong Wei^{1,2}, Zhou Jingran¹, Liu Caixia¹, Zang Huidong¹,
Xuan Wei¹, Xu Baokun¹, and Chen Weiyu^{1,†}

(1 *State Key Laboratory of Integrate Optoelectronics, College of Electronic Sciences & Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China*)

(2 *Key Laboratory of Excited State Processes, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: Torsion beam 8×8 optical switch array driven by electrostatic, including upper and under electrodes, was fabricated by MEMES technique. According to crystal characteristics of (110) silicon and anisotropic etching in KOH solution, 8×8 micro-mirror array was fabricated. Moreover, the structure of optical switches is rectified by a consideration of undercut when micro-mirrors are etched. The Slant electrode was fabricated in tilting (111) silicon. The whole fabrication technology is characterized by simple technique and low cost. Life time is about 10^7 cycles and tested switch time is less than 10ms.

Key words: optical switches; (110) silicon; micro-mirror; switch time

EEACC: 2575F; 4250

Article ID: 0253-4177(2006)S0-0343-04

* Project supported by the Foundation for Development of Science and Technology, Jilin Province, China (No. 20050319)

† Corresponding author. Email: chenwy@mail.jl.cn

Received 18 October 2005, revised manuscript received 5 January 2006