

Ar 离子激光增强硅各向异性腐蚀速率的研究

温殿忠

(黑龙江大学物理系, 哈尔滨 150080)

提要 研究了 Ar 离子激光器与硅各向异性腐蚀技术相结合制造硅杯的方法。结果表明, 激光照射能增强浸于 KOH 溶液中硅的化学腐蚀速率, 在入射光强为 4.6 W, KOH 溶液浓度为 0.22 mol, 温度为 90 °C 的条件下, 得到〈100〉硅的腐蚀速率为 21 $\mu\text{m}/\text{min}$, 是无激光照射时硅各向异性腐蚀速率的多倍。进而讨论了硅在 KOH 溶液中腐蚀速率对激光光强的依赖关系以及实验温度对腐蚀速率的影响问题。

关键词 激光增强腐蚀, 硅各向异性腐蚀, 硅杯, 微加工

1 引 言

硅各向异性腐蚀技术是硅立体加工的新技术, 国外自 70 年代开始有很多文献报道了该项技术的研究结果^[1,2]。目前该项技术已广泛地应用于微电子器件微机械加工领域, 是硅杯式压力传感器、微型气流传感器、硅加速度传感器以及许多需要立体加工硅器件制造的主要手段。由于这项技术具有定向腐蚀加工精度高、成本低、适于集成化和产业化大规模生产的独特优点, 受到国内外专家学者的普遍重视^[3]。

近年来很多文献报道了激光在微型材料定域加工中的应用^[4]。本文进一步研究利用 Ar 离子激光与硅各向异性腐蚀技术相结合制造硅杯式压力传感器的方法, 研究发现这一新技术不但可以提高硅各向异性腐蚀速率, 而且还可以实现无屏蔽膜加工。

2 实验材料和装置

衬底材料选用 N 型〈100〉硅单晶片, 电阻率为 8 $\Omega \cdot \text{cm}$, 硅片厚度为 450 μm , 双面抛光后氧化, SiO_2 膜厚为 600 nm, 再双面高温(960 °C)淀积氮化硅膜, 其膜厚为 250 nm, 然后用集成电路工艺在一个表面扩散硼杂质制造压力传感器的压敏电阻, 在背面采用双面光刻机对准上表面已经制出的压敏电阻刻出硅杯开孔处待腐蚀区的窗口。

实验装置如图 1 所示, 液体腔为一直径 150 mm, 高为 200 mm 的圆筒形压力容器, 其侧面有光学窗口, 上底面插入自动放气冷却回流装置, 下底面放在磁力加热搅拌器上。

实验前充以一定浓度配比的 KOH 溶液, 加热搅拌到实验温度后, 将已制备好的硅材料浸于 KOH 溶液中。实验用 COHERENT INNOVR 70 型激光器提供一个波长为 514.5 nm, 脉宽为一连续的激光, 用 F/1.6 的单会聚透镜 f_1 将 Ar 离子激光聚焦成直径为 50 μm 的光斑, 该透镜

连同—个扩束器和—个扫描器同步使用，视频相机和电视检测器被用来作辐射过程的光控，激光脉冲能量由能量计 J 监视并作相对测量。腐蚀时间由自动记时系统的记录仪完成。

硅的腐蚀速率是以测定腐蚀 $400\ \mu\text{m}$ 厚硅片至穿孔所需时间来表征的，具体方法是当用激光照射样品时，样品表面的反射率减少，此时开始记时，直到样品被腐蚀穿孔时，放在样品背面的两个光敏二极管和它们所连接的记录仪能准确测得起始和终止之间的时间间隔。

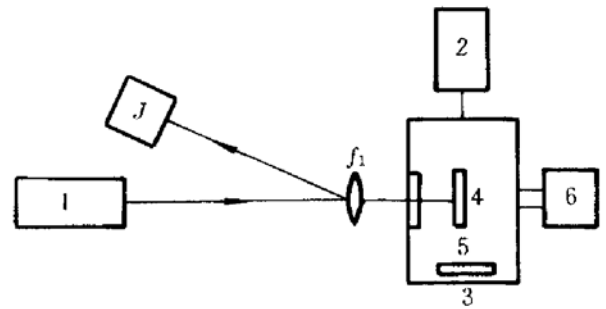


Fig. 1 Laser etching system

1: Argon-ion laser; 2: cooling chamber; 3: solution chamber; 4: wafer; 5: stirrer; 6: recorder; f_1 : lens; J : energy meter

3 实验结果与分析

实验发现当聚焦 Ar 离子激光照射浸在浓 KOH 溶液中垂直放置的样品上时，激光照射处的硅样品析出分散的乳白色颗粒，这些颗粒在激光曝光几秒钟后被 KOH 溶液迅速消耗掉，且 KOH 溶液重新变得清静而透明。同时也观察到由温度梯度产生的沸腾液体的细流从样品表面上的激光入射处析出。这种细流致使 KOH 腐蚀液强烈地振动并形成冷热腐蚀液在激光入射点对流。

在有 Ar 离子激光照射和无 Ar 离子激光照射两种情况和不同温度(腐蚀液温度)实验条件下硅腐蚀速率与 KOH 溶液浓度的关系如图 2 所示。图 3 给出了 KOH 溶液温度恒定情况下，KOH 溶液浓度为 $0.32\ \text{mol}$ 时，硅腐蚀速率与激光光强的关系。

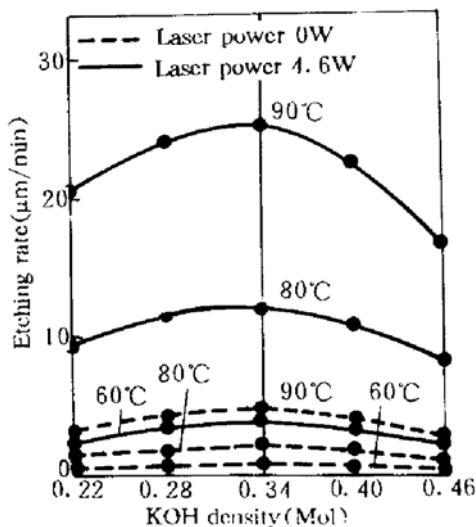


Fig. 2 The relation between the etching rate of Si and the KOH density at different temperatures

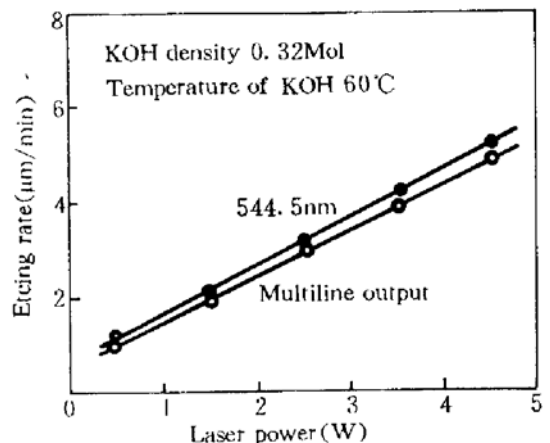


Fig. 3 The relation between the etching rate of Si and the different laser power

从上述实验结果可以看到，在 KOH 不同的浓度和温度情况下，Ar 离子激光照射可以明显提高硅的各向异性腐蚀速率，而且在相同的实验条件下，硅各向异性腐蚀速率随入射激光强度的增加而线性增大。

硅在 KOH 溶液中的化学反应是通过粒子之间的相互碰撞实现的。只有平均动能足够高的粒子才能发生有效碰撞，称这样的粒子为活化粒子。KOH 为强电解质，它溶于水后全部电离

成带正电的 K^+ 离子和带负电的 OH^- 离子, OH^- 离子与硅原子发生有效碰撞。而激光照射处温度升高, 引起粒子动能的增加, 并产生较大的定域热梯度而使溶液局部振动, 加速定域分解和汽化, 导致腐蚀速率随 Ar 离子激光强度增加而增大。

实验还发现, $\langle 111 \rangle$ 硅单晶在 KOH 溶液中腐蚀速率具有极小的数量级而无法测出, 但在 Ar 离子激光作用下, 也引起定域的分解和汽化发生, 使样品在 KOH 溶液中的腐蚀速率明显增大, 这为无氮化硅保护膜定域腐蚀提供了可能。

采用电测技术和激光-电学扫描技术对 Ar 离子激光器与硅各向异性腐蚀技术相结合制造的硅杯结构参数和电参数检测结果如表 1 所示。

Table 1 Parameters of Si-cup sensor

$\langle 100 \rangle$ crudeness (μm)	$\langle 111 \rangle$ crudeness (μm)	Degree of level (μm)	Degree of linear F. S	Tardy F. S	Repeat F. S
± 0.05	± 0.03	± 0.45	0.13%	0.03%	0.04%

致谢 感谢黑龙江大学物理系姜作宏教授和黑龙江大学物理系激光实验室王然同志为本实验提供了方便条件并参加了本实验的部分工作。

参 考 文 献

- 1 Wen H. KO. A High-sensitivity integrated-circuit capacitive pressure transducer. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 1982, ED-29(1): 48~56
- 2 J. C. Greenwood. Etched silicon vibrating sensor. *J. Phys. E; Sci. Instrum.*, 1984, 17: 650~652
- 3 Masayoshi Esashi. Biomedical pressure sensor using buried piezoresistors. *Sensors and Actuators*, 1983, 4: 537~544
- 4 R. J. Von Gutfeld, R. T. Hodgson. Laser enhanced etching in KOH. *Appl. Phys. Lett.*, 1982, 40(4): 352~354
- 5 温殿忠. JFET 压磁电效应的理论分析. *电子科学学刊*. 1989, 11(3): 276~283

Study on Ar-ion Laser Enhanced Anisotropic Etching Rate of Si

Wen Dianzhong

(Department of Physics, Heilongjiang University, Harbin 150080)

Abstract In this paper, a method of producing Si-cup by using Si anisotropic etching technique combined with an argon laser is discussed. We have used a focused laser beam to perform the localized etching on the $\langle 100 \rangle$ Si. The results from the experiment show that laser irradiation can enhance etching removal rates of Si in KOH. An averaged instantaneous etching rate as high as $21 \mu\text{m}/\text{min}$ has been observed in silicon for a 3 W input laser power. The chemical etching rates dependence on the laser power and on the temperature are further studied.

Key words laser enhanced etching, anisotropic etching of Si, Si-cup, microprocessing