

# 硅的反应离子刻蚀工艺参数研究

葛益娴, 王 鸣, 戎 华

(南京师范大学 光电技术江苏省重点实验室, 江苏 南京 210097)

[摘要] 对硅的反应离子刻蚀 (RE) 工艺参数进行了研究. 通过控制变量法, 得出了刻蚀速率与射频功率、刻蚀气体压强和刻蚀气体流量之间的关系曲线. 结果表明, 随着射频功率的增加, 刻蚀速率不断增加; 刻蚀速率开始随刻蚀气体压强的增加而加快, 压强超过一定值时, 刻蚀速率反而减小; 刻蚀速率在刻蚀气体流量较小时, 随气体流量的增加而加快, 在较大的气体流量下反而降低. 通过比较不同条件下的刻蚀结果, 得到了刻蚀硅的优化工艺条件. 最后用 DEKTAK 6M 型台阶仪测出了优化工艺条件下的刻蚀深度和粗糙度. 测试结果表明在优化工艺条件下刻蚀速率快, 粗糙度低.

[关键词] 反应离子刻蚀, 刻蚀速率, 优化工艺参数

[中图分类号] TN305.7 [文献标识码] A [文章编号] 1672-2129(2006)03-0079-02

## Study on the Technological Parameters for the Reactive Ion Etching of Si

GE Yixian, WANG Ming, RONG Hua

(Jiangsu Province Key Laboratory of Optoelectronic Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

**Abstract** The technological parameters for the Reactive Ion Etching of Si are studied. By controlling variables, we obtain the relation between etching rate and RF power, etching gas pressure, flow of the gas. It is demonstrated that the etching rate increases continually with the increased RF power, that the etching rate initially increases with the increasing gas pressure but decreases after 25 Pa, that the etching rate increases with the gas flow at the low flow but decreases after 40 sccm. By comparing the different etching results, we also obtain the optimal technological conditions. At last, the etching depth and roughness are measured by the DEKTAK 6M stylus profiler under the optimal technological conditions. The results show that the etching rate is faster and the roughness is lower under the optimal technological conditions.

**Key words** reactive ion etching, etching rate, optimal technological parameters

## 0 引言

硅是一种脆性材料, 它的杨氏模量、硬度和抗拉屈服强度与许多常见的金属接近. 硅的机械特性是各向异性的<sup>[1]</sup>. 反应离子刻蚀是硅的微机械加工中常用的手段之一. 它是一种物理作用和化学作用共存的刻蚀工艺, 兼有离子溅射刻蚀和等离子化学刻蚀的优点, 不仅刻蚀分辨率高, 而且刻蚀速率也快, 各向异性好<sup>[2]</sup>. 硅的反应离子刻蚀工艺不但广泛地应用在微电子领域, 而且是集成光学器件及微光机电器件加工的重要手段<sup>[3]</sup>. 刻蚀速率不仅与射频功率、刻蚀气体流量、工作气压等刻蚀条件密切相关, 而且与刻蚀设备有关<sup>[4]</sup>. 本文使用 RE23 型刻蚀机, SF<sub>6</sub> 刻蚀 Si 研究了射频功率、气体压强和气体流量对刻蚀速率的影响, 得到了用 RE23 型刻蚀机刻蚀硅的优化工艺条件.

## 1 反应离子刻蚀的基本原理

反应离子刻蚀 (reactive ion etching RE) 是利用一定压强下刻蚀气体在高频电场的作用下, 使气体辉

收稿日期: 2006-03-28

基金项目: 江苏省高新技术研究计划资助项目 (BG2003024).

作者简介: 葛益娴 (1982), 女, 硕士研究生, 主要从事光学传感和微纳技术的学习与研究. E-mail: geyixian820925@163.com

通讯联系人: 王 鸣 (19502), 教授, 主要从事光电子和激光应用的教学与研究. E-mail: wangming@njnu.edu.cn

光放电产生分子游离基(游离的原子、分子或原子团),对被刻蚀物进行离子轰击和化学反应生成挥发性气体形成刻蚀的一种刻蚀方法。

图 1 是反应离子刻蚀设备简图<sup>[5]</sup>。阳极接地,阴极是功率电极,另外有一接地屏蔽罩,防止电极侧面及下面被溅射。射频功率源频率 1315MHz 是研究、科学、医学部门专用频率,阻抗匹配网络保证有效的功率输出。要刻蚀的片子放在功率电极上。腐蚀气体按照一定的工作压力充满整个反应室。对反应室中的低压刻蚀气体,加上高频电场,产生辉光放电。在强电场作用下,被高频电场加速的杂散电子与气体分子或原子进行随机碰撞,当电子能量大到一定程度时,随机碰撞变为非弹性碰撞,产生二次电子发射。它们又进一步与气体分子碰撞,不断激发或电离气体分子。这种激烈碰撞引起电离和复合。当电子的产生和消失过程达到平衡时,放电能持续不断地维持下去。由非弹性碰撞产生的离子、电子及游离基具有很强的化学活性,可与被刻蚀样品表面的原子起化学反应,形成挥发性物质,达到腐蚀样品表层的目的。同时,高能离子在一定的工作压力下,射向样品表面,进行物理轰击,使得反应离子刻蚀具有很好的各向异性。

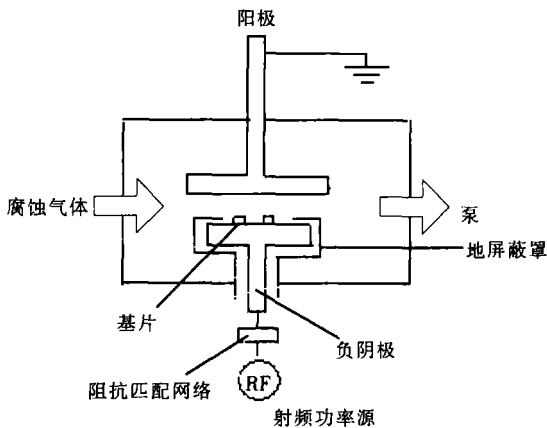


图 1 设备原理简图

反应离子刻蚀 Si 时,采用氟化物或氯化物气体,在辉光放电中分解出氟原子或氯原子,与表面 Si 原子反应生成气态产物,达到刻蚀的目的。本实验采用 SF<sub>6</sub> 对 Si 进行刻蚀。当反应室通入 SF<sub>6</sub> 时,在辉光放电中发生的化学反应方程式为<sup>[6]</sup>: SF<sub>6</sub> + e<sup>-</sup> → SF<sub>5</sub><sup>+</sup> + F (游离基) + 2e<sup>-</sup>

生成的 F 原子到达 Si 表面时,发生的化学反应为 Si + 4F → SiF<sub>4</sub>。

2 反应离子刻蚀的实验结果与讨论

实验采用北京创维纳公司生产的 RIE23 型反应离子刻蚀机进行刻蚀。RIE23 型刻蚀机反应室的极限真空度可达 2 × 10<sup>-4</sup> Pa 实验中通过改变射频功率、反应气体压力以及气体流量,得出了用 RIE23 型反应离子刻蚀机刻蚀硅的工艺参数与刻蚀速率之间的关系。

2.1.1 射频功率对刻蚀速率的影响

保持反应气体压强为 25 Pa 气体流量 40 sccm( sccm: 标准状态毫升/分,标准状态: 101 325 Pa 0℃ )不变,改变射频功率的大小,得到射频功率和刻蚀速率之间的关系曲线如图 2 所示。

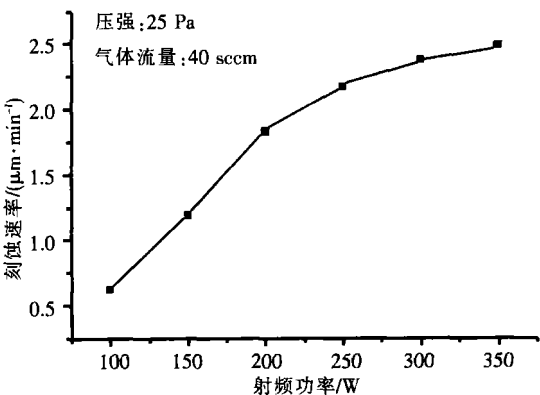


图 2 射频功率与刻蚀速率的关系曲线

从图中可以看出,随着功率的增加,刻蚀速率不断增加,但在 200~ 350W 之间,增加比较慢。这是因为,增加功率密度,入射到硅表面的离子平均能量和电子平均能量将增加,也增加了原子团和离子密度。一方面,射频功率的增大,加快反应气体的离化、分解,促进表面化学反应,加快刻蚀速度;另一方面,射频功率增大,自由电子能量升高,物理轰击作用增强,加快刻蚀速度<sup>[7]</sup>。但当功率增加到一定值时,能够离化分解的分子数已经达到饱和,再继续增加功率,会影响刻蚀速率。而且实验中也发现,当射频功率太大时,反射功率不容易调节,刻蚀表面粗糙程度增大,而且样品表面容易烧焦变形。因此,300W 是一个很好的工作点。

2.1.2 气体压强对刻蚀速率的影响

保持射频功率(300W)和气体流量(40 sccm)不变,改变气体压强,得出气体压强与刻蚀速率之间的关系,如图 3 所示。

从图中可以看出,随着反应气体压强的增加,刻蚀速率不断增加,在 25 Pa 左右达到最大值。随后,刻

蚀速率不断减小. 反应离子刻蚀是一种复杂的物理和化学过程. 增大压强, 增大了反应室中的反应气体浓度, 增强了化学反应, 加快了刻蚀速度. 但压强达到一定值后, 继续增加, 增大了分解粒子碰撞的几率, 粒子损失较多的能量, 削弱了离子对 Si 的物理轰击作用, 从而导致刻蚀速度的降低<sup>[7]</sup>.

213 气体流量对刻蚀速率的影响

保持射频功率 (300W) 和反应气体压强 (25 Pa) 不变, 改变气体流量, 得出气体流量与刻蚀速率之间的关系, 如图 4 所示.

从图中可以看出, 随着流量的增加, 刻蚀速率先是上升, 达到最大值后, 在较大的流量下刻蚀速率反而会下降. 这是因为, 在低流量情况下, 刻蚀速率受到活性物质供应的限制, 而在高流量情况下则受活性物质被抽走的限制. 低流量下刻蚀速率不高主要是由于反应气体供应不足; 当流量增加时, 抽出去的气体的量也必然增加, 其中未参与反应的活性物质的抽出量也随之增加, 反应速率下降<sup>[5]</sup>. 必要的流量对于保证刻蚀中足够的活性物质的补给是很重要的, 它直接影响到刻蚀表面的均匀性. 由于基片 (中央) 局部区域的气相粒子的耗尽, 基片边缘处的刻蚀速率要高于基片中部. 因此, 设定的流量应该足够大以及时弥补基片局部区域的气相耗尽效应<sup>[8]</sup>, 使中央和边缘的活性物质浓度达到一致. 实验中发现, 在低流量情况下, 刻蚀速率比较快, 而刻蚀均匀性比较低. 综合考虑刻蚀速率和刻蚀均匀性, 40 sccm 是一个很好的工作点.

214 优化工艺条件

通过一系列的实验, 得到了用 RE23 型反应离子刻蚀机刻蚀硅的优化工艺条件, SF<sub>6</sub> 流量: 40 sccm; 气体压强: 25 Pa; 射频功率: 300W; 刻蚀速率: 21384 Lm# min<sup>-1</sup>.

用 Nikon 显微镜拍摄的在优化工艺条件下的刻蚀结果如图 5 所示, 用 DEKTAK 6M 型台阶仪测出的实验结果如图 6 所示, 深度 = 61237 Lm, 粗糙度 Ra\* = 70 @10<sup>-10</sup> m. 结果表明刻蚀速率较快, 粗糙度较低.

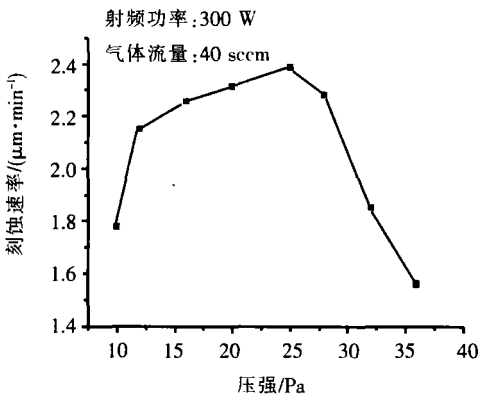


图 3 压强与刻蚀速率的关系曲线

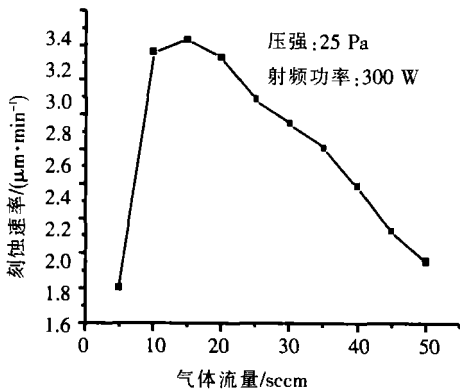


图 4 气体流量与刻蚀速率的关系曲线

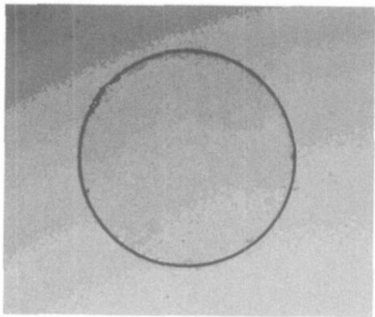
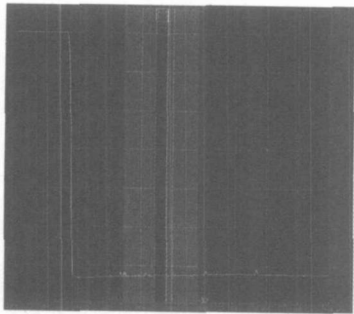


图 5 实验结果



Analytic Results			
Ash	R:226	M:24	30609 Å
Ra*	R:361	M:199	87 Å
Ra*	R:264	M:212	60 Å
Ash	R:377	M:161	-35417 Å
Ash	R:35	M:240	-62371 Å
Ra*	R:222	M:240	70 Å

图 6 测试结果

### 3 结论

通过大量实验, 得出了用 RIE 型刻蚀机、 $\text{SF}_6$  刻蚀硅的刻蚀速率与射频功率、气体压强以及气体流量之间的关系及 RIE 型刻蚀 Si 的优化工艺参数. 在优化工艺参数条件下刻蚀硅时, 不仅刻蚀速率快, 而且表面粗糙度低. 对于刻蚀速率与其他工艺参数如刻蚀气体成分的关系, 将继续进行研究, 以便进一步优化工艺参数.

#### [参考文献] (References)

- [1] 格雷戈里 T A 科瓦奇. 微传感器与微执行器全书 [M]. 张文栋, 译. 北京: 科学出版社, 2000 18- 19.  
GREGORY T A KOVACS. Micromachined Transducers Sourcebook [M]. Translated by ZHANG Wendong. Beijing: Science Publishing Company, 2000: 18- 19 (in Chinese)
- [2] 苏毅, 谭淞生, 孙承龙, 等. 等离子体和反应离子刻蚀硅的各向异性及均匀性实验研究 [J]. 传感技术学报, 1994(2): 36- 40.  
SU Yi, TAN Songsheng, SUN Chenglong, et al. Research on anisotropy and uniformity in etching Si by using reactive ion etching and plasma etching systems [J]. Journal of Transduction Technology, 1994(2): 36- 40 (in Chinese)
- [3] 陆建祖, 魏红振, 李玉鉴, 等. 反应离子刻蚀仿真工艺的研究 [J]. 功能材料与器件学报, 2000, 6(4): 420- 424.  
LU Jianzu, WEI Hongzhen, LI Yujian, et al. Modeling and simulation of reactive ion etching technology [J]. Journal of Functional Materials and Devices, 2000, 6(4): 420- 424 (in Chinese)
- [4] LEGTENBERG R, JANSSEN H, DE BOER M. Anisotropic reactive etching of silicon using  $\text{SF}_6/\text{O}_2/\text{CHF}_3$  gas mixtures [J]. J Electrochem Soc, 1995, 142(6): 2020- 2028.
- [5] 张锦, 冯伯儒, 杜春雷, 等. 反应离子刻蚀工艺因素研究 [J]. 光电工程, 1997(24): 46- 51.  
ZHANG Jin, FENG Boru, DU Chunlei, et al. Research on the technological factors for the reactive ion etching [J]. Optoelectronic Engineering, 1997(24): 46- 51 (in Chinese)
- [6] 孙承龙, 戈肖鸿, 王渭源, 等. 反应离子深刻蚀 (RIE) 技术的研究 [J]. 传感器世界, 1996(5): 31- 35.  
SUN Chenglong, GE Xiaohong, WANG Weiyuan, et al. Research on deep reactive ion etching technology [J]. Sensor World, 1996(5): 31- 35 (in Chinese)
- [7] 郝慧娟, 张玉林, 卢文娟. 二氧化硅的反应离子刻蚀 [J]. 电子工业专用设备, 2005(126): 48- 51.  
HAO Huijuan, ZHANG Yulin, LU Wenjuan. Reactive ion etching of  $\text{SiO}_2$  [J]. Equipment for Electronic Products Manufacturing, 2005(126): 48- 51 (in Chinese)
- [8] CHNOY, PERCY B. Reactive ion etching of benzocyclobutene polymer films [J]. IEEE Trans Comp Packag Manuf Technol Part C, 1997, 20(3): 199- 206.

[责任编辑: 刘 健]