

反应离子束刻蚀二氧化硅和硅研究

傅新定 陈国明 任琮欣 郑延芳 陈莉芝 方红丽 杨 洁

(中国科学院上海冶金研究所)

1984年9月17日收到

应用 CF_4 、 C_4F_8 、 CF_3I 等反应气体对 SiO_2 、单晶硅进行刻蚀研究。研究了刻蚀速率与离子能量、束流密度、入射角的关系、所得 SiO_2 对单晶硅刻蚀选择比分别为 9:1 (CF_4)、15:1 (C_4F_8)。刻蚀后,观察到表面有微量氟碳聚合物,但可用适当方法将氟碳沾污物予以消除。实验表明, C_4F_8 反应气体是用于刻蚀 SiO_2 -Si 系统的较好气体,而 CF_3I 气体则否。

本文主要报道应用 CF_4 、 C_4F_8 在反应离子束刻蚀、镀膜装置 (RIBC) 中刻蚀 SiO_2 和 Si 的实验结果。

一、实验方法

实验装置采用我所自制的 RIBC-1 反应离子束刻蚀、镀膜装置(图 1)。

该装置采用 G 枪石墨栅改进型考夫曼离子源,有效束径 $\phi 100$ 毫米。离子能量 300—1200 电子伏特,束入射角 $0-90^\circ$,束流密度 $0-1$ 毫安/厘米²均连续可调。束流稳定性一小时内 $\leq \pm 2\%$,束流均匀性 $\pm 5\%$ 。基板采用半导体致冷。采用纯度为 99% 的 CF_4 、 C_4F_8 反应气体。

刻蚀试样是单晶硅和在硅上热氧化生长 1 微米厚的 SiO_2 按常规清洗后涂 302 光刻胶作掩膜图形,然后将样品成对 (Si、 SiO_2) 放入刻蚀装置同时刻蚀。刻蚀厚度用 6JA 双光束干涉显微镜测重,并用 Sloan DEKTAK FLM 表面轮廓仪核对刻蚀厚度。

对 C_4F_8 刻蚀 SiO_2 后表面形成的氟碳聚合物用法国 LAS 2000 Auger 能谱仪分析。

将具有全息浮雕光栅掩膜图形的 SiO_2 衬底,用 CF_4 进行刻蚀转移。刻蚀后沿硅晶体轴向进行解理,获得台阶剖面,然后用扫描电镜观察沟槽剖面形状。

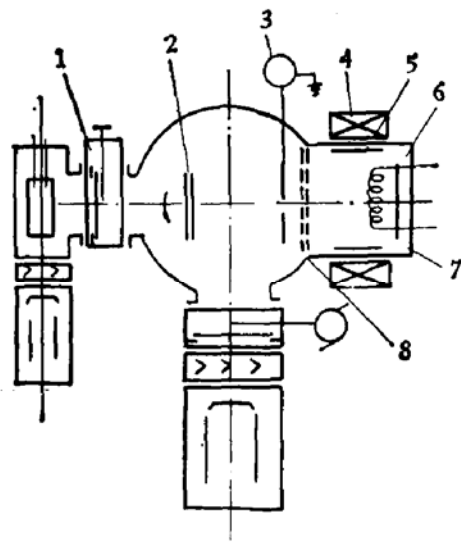


图 1 反应离子束刻蚀装置示意图

1 真空系统 2 刻蚀台 3 测束系统
4 磁场线圈 5 石墨阳极 6 阴极灯丝
7 进气口 8 石墨栅

二、实验结果和讨论

1. CF_4 、 C_4F_8 反应离子束刻蚀 Si、 SiO_2 刻蚀速率与离子能量的关系

由图 2 实验结果表明, SiO_2 和 Si 的刻蚀速率都是随离子能量的升高而增大。用 C_4F_8 刻蚀, SiO_2 刻蚀速率随离子能量升高增大很快而 Si 增大很慢, 所得 SiO_2 对 Si 刻蚀选择比高。但用 CF_4 刻蚀时, 离子能量在 800eV 以上, Si 的刻蚀速率突然增大很快, 因而所得 SiO_2 对 Si 刻蚀选择比(1000eV)也就特别低, 约为 2.5。这是由于 Si 在 CF_4^+ 离子束中, 在离子能量为 500—1500eV 时, 硅表面上失去了碳的保护层所致^[2]。因为 CF_4 电离后主要产生 CF_3^+ , 而 C_4F_8 几乎不产生 CF_3^+ 因而用 C_4F_8 刻蚀 Si 时, 没有出现刻蚀速率突然升高的现象。

实验表明, SiO_2 与 Si 的刻蚀速率相差很大。在 600eV 离子能量条件下, C_4F_8 刻蚀

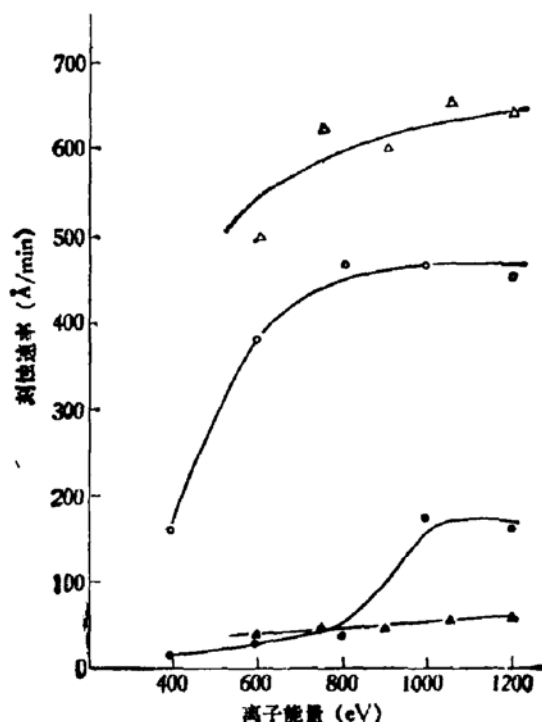


图 2 刻蚀速率与离子能量关系刻蚀条件:

束流密度 $0.3\text{mA}/\text{cm}^2$, 法向入射, 工作室气压 1.5×10^{-4} 托

△ SiO_2 用 C_4F_8 , ▲ Si 用 C_4F_8 , ○ SiO_2 用 CF_4 , ● Si 用 CF_4

选择比高达 15:1、 CF_4 达 9:1, 在刻蚀选择性方面有显著优越性, 显然 C_4F_8 优于 CF_4 。这与 J. W. Coburn^[2] 报告的结果一致, 符合他提出的反应气体对 SiO_2/Si 的刻蚀选择比是随反应气体中 F/C 比的减小而增高的原理。因为在刻蚀 SiO_2 时, 氟碳化合物与 SiO_2 反应生成 SiF_4 并析出碳沉积在反应表面, 而存在于 SiO_2 晶格上的氧却能与反应表面上的碳反应, 生成 CO 和 CO_2 , 从而除去了碳。但在刻蚀 Si 时, 由于 Si 中无氧, 要使表面碳挥发那就必须耗费氟原子, 这样便只有很少的氟被用于刻蚀。随着刻蚀气体中氟对碳的比例下降, 这种反应渐趋明显, 导致了 SiO_2 对 Si 刻蚀选择比的增加(见表 1)。

表 1 各种反应气体的 SiO_2 、Si 刻蚀选择比

反 应 气 体	我们实验结果	Barbara A. Heath 数据
	SiO_2/Si 选择比	SiO_2/Si 选择比
CF_4	9:1	2:1 文献[3] 5:1 文献[4]
C_2F_6	/	10:1 文献[3]
C_3F_8	/	6:1 文献[4]
C_4F_8	15:1 (未见报道)	/

由表 1 明显可见, 由于所用的刻蚀装置、刻蚀条件及测重手段各不相同, 故所得结果很难相同, 即使同一作者其所得结果^[3,4]也不尽相同。

为精确求得刻蚀深度仅几百埃的硅刻蚀速率 (此时仅用双光束干涉显微镜测量可能误差较大), 必须用 Sloan DEKTAK FLA 表面轮廓仪进行核对, 二者测量结果, 相差甚微。

2. 刻蚀速率与束流密度关系

图 3 表明用 CF_4 刻蚀 SiO_2 , 其刻蚀速率随束流密度的增加而增加, 而用氩离子束刻蚀则呈线性增加。

3. 刻蚀速率与人射角关系

由图 4 可见, SiO_2 刻蚀速率在小于 45° 时基本不变, 大于 45° 开始明显下降。实验结果与宋井真二实验结果相似^[5]。

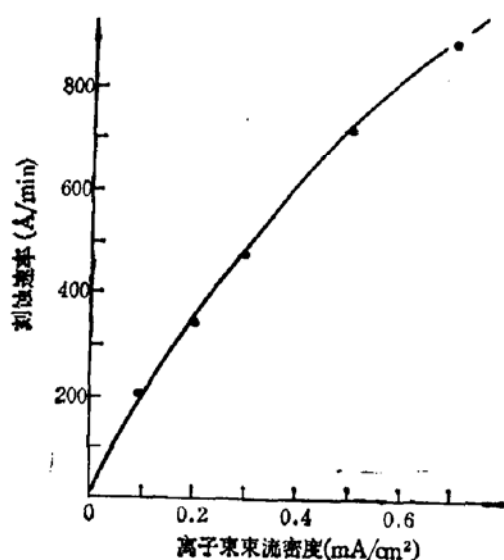


图 3 SiO_2 刻蚀速率与束流密度关系
 CF_4 刻蚀条件: 离子能量 1000eV,
 工作室气压 1.5×10^{-4} 托, 法向入射

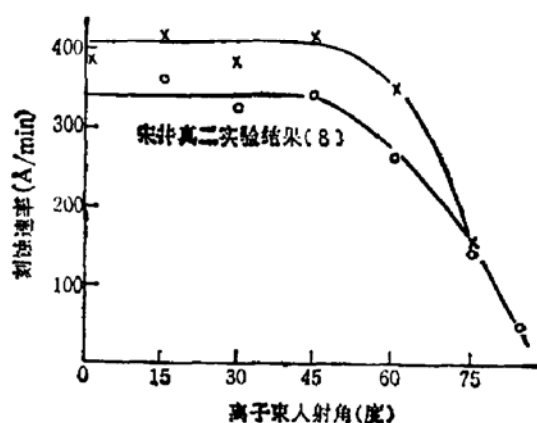


图 4 SiO_2 刻蚀速率与离子
 束入射角关系

4. 氟碳聚合物消除

用 CF_4 、 C_4F_8 等反应气体刻蚀各种材料时,刻蚀表面不可避免地会沉积微量氟碳聚合物 (Polymer)。氟碳聚合物不仅会影响刻蚀速率的提高,而且会影响刻蚀后图形表面质量及器件性能。只有将氟碳聚合物加以消除,才能使 C_4F_8 等反应气体具有应用价值。实验结果表明 C_4F_8 引起的氟碳聚合物较 CF_4 略为严重,因为 C_4F_8 的含碳量高于 CF_4 。

图 5(a) 表示 C_4F_8 反应离子束刻蚀表面碳、氟元素俄歇电子能谱仪分析结果,从碳的俄歇电子能谱峰值数据表明,碳沾污还是较严重的。同时,氟元素俄歇电子峰证实了表面沾污是以氟碳聚合物形式存在。

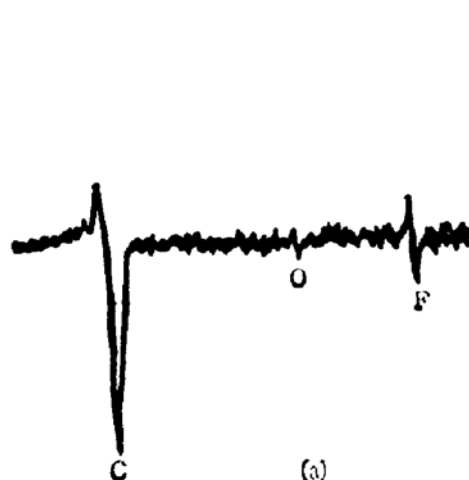


图 5(a) 用 C_4F_8 刻蚀 SiO_2 后 ($E = 600\text{eV}$, $J = 0.3\text{mA/cm}^2$, 0° 入射 $t = 5\text{min}$), 经 Auger 分析, 表面沾有 Polymer ($\text{C} \sim 84.2\%$, $\text{O} \sim 4.5\%$, $\text{F} \sim 11.3\%$)



图 5(b) 处理后的表面经 Auger 分析结果

图 5(b) 是我们根据氟碳聚合物性能,用适当方法加以处理后的表面俄歇电子能谱分析结果,表明处理后表面氟碳聚合物已经消除。

5. 反应离子束刻蚀图形

由于反应离子束刻蚀精度高,各向异性,即使有些沾污也能设法消除,因而所得刻蚀

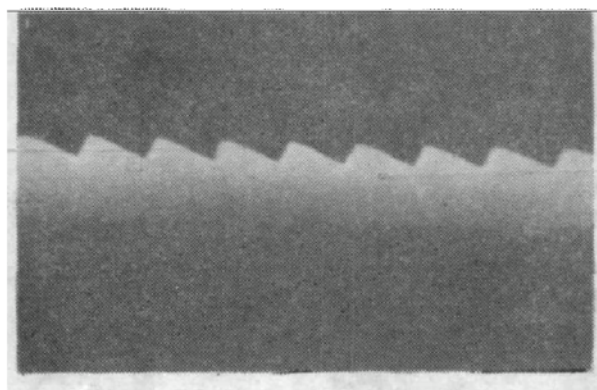


图 6 CF_4 斜入射刻蚀 SiO_2 剖面图形 (SEM $\times 10000$)
 $E = 900\text{eV}$, $J = 0.3\text{mA/cm}^2$, $\theta = 60^\circ$

图形清晰,线条陡直。

根据 SiO_2 全息闪耀光栅制造工艺,采用全息曝光浮雕光栅掩膜,控制离子束入射角,经 CF_4 刻蚀后,获得了良好的锯齿状图形,其剖面见图 6 所示

结 论

1. 我们用 CF_4 、 C_4F_8 在石墨离子源反应离子束刻蚀、镀膜装置中对 SiO_2 、Si 进行刻蚀,所得 SiO_2 /单晶 Si 刻蚀选择比分别为 9:1 (CF_4), 15:1 (C_4F_8), 显示了反应离子束刻蚀的优点。通过对刻蚀速率与离子能量、束流密度和入射角关系的研究,证实反应离子束刻蚀束流稳定性高,工艺重复性好,操作简便,适用于多种材料的微细加工及器件制造工艺。

2. 利用氟碳聚合工业中废气 C_4F_8 来刻蚀 SiO_2 、Si, 不仅提高了 SiO_2 /Si 刻蚀选择比,还可减少环境污染并有一定的实用价值。 C_4F_8 引起微量氟碳沾污可消除。

3. 采用浮雕光栅掩膜,控制离子束入射角,经刻蚀后可得锯齿状槽形。

全息曝光由上海激光技术研究所协作提供,扫描电镜照片由上海冶金研究所扫描电镜组拍摄,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] J. W. Coburn *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **48**, 3532 (1977).
- [2] J. W. Coburn and H. F. Winters, *J. Vac. Sci. Technol.*, **16**, 391(1979).
- [3] D. M. Brown, B. A. Heath *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **37**, 159 (1980).
- [4] B. A. Heath, *J. Electrochem. Soc.*, **129**, 396(1982).
- [5] 松井真二, 反応性イオンビームエッチングによる回折格子の作製に関する研究, 大阪大学, 昭和 56 年 2 月。

Investigation on Reactive Ion Beam Etching of SiO_2 and Si

Fu Xinding, Chen Guoming, Ren Congxin, Zheng Yanfang, Chen Lizhi,

Fang Hongli and Yang Jie

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

The etching characteristics of SiO_2 and Si using CF_4 , C_2F_6 and CF_3I gases are examined. The dependence of an etch rate on ion energy, beam density and incident angle has been investigated. The etch ratio of SiO_2 to Si reaches 9:1 for CF_4 and 15:1 for C_2F_6 . Thin polymer on the etched surface is observed after etching. Though the polymer on the etched surface using C_2F_6 is more contaminated than that using CF_4 . It can be eliminated easily by means of proper method. Experimental results show that C_2F_6 gas is suitable for etching SiO_2/Si system, while CF_3I gas is not suitable for etching SiO_2/Si system.