

# PECVD SiC 材料刻蚀技术\*

陈 晟 李志宏<sup>†</sup> 张国炳 郭 辉 王 煜 田大宇

(北京大学微电子研究院 微米/纳米加工技术国家重点实验室, 北京 100871)

**摘要:** 通过对 PECVD SiC 进行不同条件下的反应离子刻蚀(RIE)和电感耦合反应离子刻蚀(ICP)实验研究,提出了使用 SF<sub>6</sub> 和 He 的混合气体进行 RIE 刻蚀,并讨论了功率和压强分别对刻蚀速率的影响.进一步研究了 SiC 中 H 含量对于 RIE 刻蚀速率的影响,同时验证 ICP 刻蚀过程中负载效应的存在.

**关键词:** PECVD; 碳化硅; 反应离子刻蚀; 电感耦合离子刻蚀; 氢含量; 功率

**EEACC:** 2575B

**中图分类号:** TN402

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2006)S0-0381-04

## 1 引言

微电子机械系统(MEMS)是微电子领域与其他学科,如机械、生物、医学等的交叉学科,作为近年来国际研究的热点之一,在很多领域体现出重要的应用价值,并且出现种类繁多的 MEMS 器件<sup>[1]</sup>.然而随着研究的深入和应用范围的拓展,传统的 Si 基 MEMS 器件已经不能满足特殊条件下的使用,如高温、高压、强腐蚀等.

SiC 材料禁带宽度大,具有耐高温、抗腐蚀、化学性质稳定等特点<sup>[2]</sup>,是恶劣环境下理想的 MEMS 器件材料.随着 SiC-MEMS 器件的深入研究,对于 SiC 工艺过程,包括薄膜制备、掺杂、刻蚀、氧化、欧姆接触等<sup>[3]</sup>,有更高的要求.特别是一套标准的并且能和 IC 工艺兼容的 SiC 工艺条件就显得尤其重要.

PECVD 由于其能够很好地和 IC 工艺兼容,是目前 SiC 薄膜制备最常用的方法之一.本文通过采用 RIE 和 ICP 对 PECVD SiC 刻蚀工艺条件包括反应气体组成、刻蚀过程中的功率、压强等进行了研究,并且对 ICP 刻蚀过程中的负载效应进行了验证.

## 2 薄膜制备

SiC 材料的制备在北京大学微电子学研究院的微米/纳米加工技术国家重点实验室完成.衬底采用 100mm,双面抛光,〈100〉晶向,厚度为  $420 \pm 10 \mu\text{m}$  硅片.淀积采用的是 PECVD 工艺,工艺条件如下:温度为 300℃,压力为 133.3Pa,采用 SiH<sub>4</sub> (50sccm/

min), CH<sub>4</sub> (450sccm/min), Ar (500sccm/min) 作为气体源,高频功率为 300W,低频功率为 100W,生长 2.5μm 厚的 SiC 薄膜.为了研究 H 含量对刻蚀速率的影响,对薄膜分别进行 1050 和 1150℃ 退火,以得到不同 H 含量的 SiC.

作为对照组的 SiO<sub>2</sub> 薄膜也是在北京大学微电子学研究院的微米/纳米加工技术国家重点实验室完成的.采用热氧化的方法生长 0.5μm 厚的 SiO<sub>2</sub> 薄膜.

## 3 RIE 刻蚀结果及分析

RIE 刻蚀 PECVD SiC 薄膜采用 PT520 反应离子刻蚀机.文献[4]中采用 SF<sub>6</sub> 和 Ar 的混合气体,我们选用 SF<sub>6</sub> 和 He 的混合气体进行 RIE 刻蚀,并且分别改变功率、压强以及 SiC 薄膜中 H 含量的大小,观察刻蚀速率的变化.实验另外选取 SiO<sub>2</sub> 和 Si 作为对照组.

### 3.1 刻蚀气体压强的影响

实验条件为: SF<sub>6</sub> (30sccm/min), He (20sccm/min), 功率 (100W). 压强分别为 65, 90 和 130mTorr. 分别得到刻蚀速率曲线(图 1)和刻蚀结果的 SEM 照片(图 2).

从图 1 中可以看到,随着压强的增大, SiO<sub>2</sub> 和 SiC 的刻蚀速率增大.原因是更高的压强使等离子体中粒子的平均自由程下降,离子和活性基增多,从而更多的离子和活性基到达样品表面,加快化学反应的速率.但是 Si 的刻蚀速率有一个下降的过程,可能是因为在这个压强的变化范围内,刚才提到的机

\* 北京市自然科学基金资助项目(批准号:4052017)

<sup>†</sup> 通信作者. Email: zhhli@ime.pku.edu.cn

2005-10-11 收到, 2006-01-13 定稿

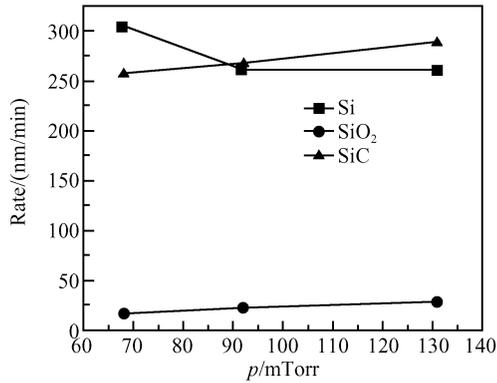


图 1 三种材料刻蚀速率随压强的变化关系

Fig.1 Etching rate curves of three materials in RIE under different pressures

理已经不起主要作用了. 压强增大影响到 Si 表面反应生成物的运输, 阻碍反应进一步进行, 因此刻蚀速率会下降.

图 2 的 SEM 照片说明用  $\text{SF}_6/\text{He}$  进行 RIE 刻蚀得到比较陡直的台阶. SiC 和  $\text{SiO}_2$  的刻蚀比为 13 : 1.

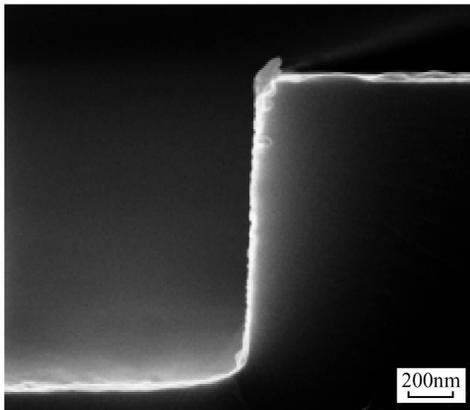


图 2 压强为 92mTorr 时 RIE 刻蚀 SiC 的 SEM 照片

Fig.2 SEM SiC etching photo in 92mTorr RIE pressure condition

### 3.2 功率的影响

实验条件为:  $\text{SF}_6$  (30sccm/min), He (20sccm/min), 压强 (130mTorr). 功率分别为 20, 50, 80 和 100W. 速率曲线如图 3 所示.

从图 3 可看出功率在 20~80W 的范围内, 三种材料的刻蚀速率是随功率递增的. 随着功率的增大, 会产生两个方面的作用: 一是原子分离成等离子体的数量增加; 二是等离子能量增大<sup>[5]</sup>. 前一种相当于增加了反应物质, 后一种相当于加强了离子对表面的轰击效果. 另外也使由活性基引起的聚合物凝聚现象得到抑制. 这些都会使得刻蚀速率增大.

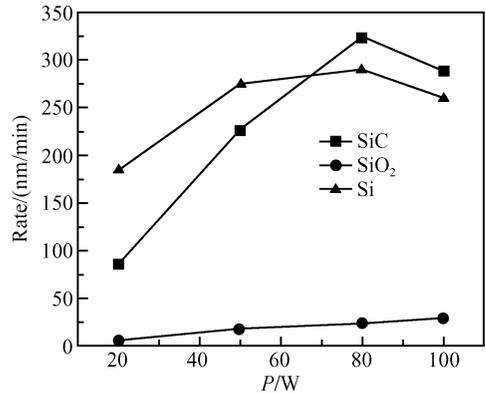


图 3 三种材料刻蚀速率随功率的变化关系

Fig.3 Etching rate curves of three materials in RIE under different powers

随着功率的进一步增大, 原子分离成等离子体的数量饱和, 不再继续增加; 另一方面, 使用光刻胶作为掩膜材料时, 随着离子的能量增大, 打在光刻胶上的离子使光刻胶反溅射, 部分覆盖在了要刻蚀的表面, 从而阻碍了反应的进行, 这就是在 100W 的时候 SiC 和 Si 刻蚀速率下降的原因.

### 3.3 SiC 薄膜中 H 含量的影响

实验条件为:  $\text{SF}_6$  (30sccm/min), He (20sccm/min), RF power (100W), 压强 (130mTorr).

表 1 是 TFS 公司测得的未退火 SiC 和经过 1050°C 退火后的 SiC 成分, 其中经过 1150°C 退火的 SiC 片 H 含量为 0.08.

表 1 TFS 公司测的未退火 SiC 原片和经过 1050°C 退火后的 SiC 成分

Table 1 Annealed and unannealed SiC components measured by TFS

	Atoms/cm <sup>2</sup>	Si	H	C	O
原片	$7.11 \times 10^{18}$	0.38	0.35	0.27	0
1050°C 退火	$4.07 \times 10^{18}$	0.34	0.08	0.58	0

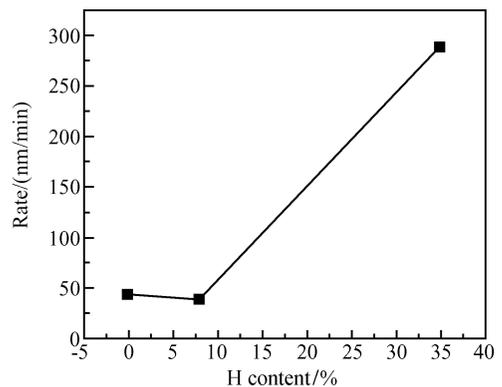


图 4 工艺条件一定时, H 含量与 SiC 刻蚀速率的关系

Fig.4 Etching rate curves of SiC under different H contents

从图 4 看出, H 含量对于 RIE 刻蚀 SiC 的速率有很大的影响, 刻蚀速率前后的变化达到了 6 倍之多. H 的存在一方面使得 Si-C 键能被减弱, 从而更加容易断裂发生化学反应; 同时 H 的参与也让 SiC 结构更加疏松. 这两方面都会让刻蚀速率变大.

## 4 ICP 刻蚀结果及分析

### 4.1 功率的影响

ICP 实验采用 STS AOE 电感耦合等离子体反应刻蚀机. 实验条件:  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power 分别为 400, 600, 800W. 分别得到速率曲线 (图 5) 和刻蚀结果的 SEM 照片 (图 6).

图 5 中刻蚀速率先增加后减少, 是因为功率增加先使得反应物增多、反应离子能量增大造成刻蚀速率变快. 然后随着功率进一步增大, 出现了光刻胶的反溅射现象, 从而阻碍了刻蚀的进行.

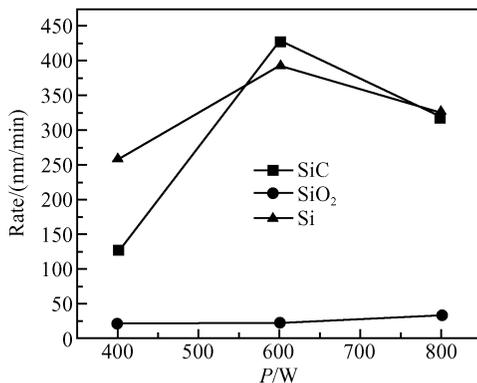


图 5 三种材料刻蚀速率随功率的变化关系

Fig.5 Etching rate curves of three materials in ICP under different powers

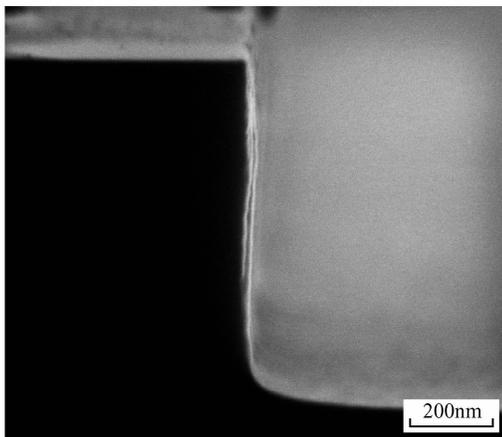


图 6 功率为 600W 时 ICP 刻蚀后 SiC 的 SEM 照片

Fig.6 SEM SiC etching photo in 600W ICP coil power condition

图 6 为 ICP 刻蚀后得到 SEM 照片, 可看出具有很陡直的台阶, 明显优于 RIE.

### 4.2 负载效应的验证

(1) 实验条件:  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power (600W). 改变片子的面积, 分别为 1/16 和 1/4. 结果如表 2 所示.

表 2 条件为  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power (600W) 的负载效应验证

Table 2 Proof for load effect in condition of  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power (600W)

刻蚀速率/(nm/min)	427.7	313.8
面积/整片	1/16	1/4

(2) 实验条件:  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power (800W). 改变片子的面积, 分别为 1/12 和 1/4. 结果如表 3 所示.

表 3 条件为  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power (800W) 的负载效应验证

Table 3 Proof for load effect in condition of  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure (15mTorr), Platen power (12W), Coil power (800W)

刻蚀速率/(nm/min)	379.9	320.0
面积/整片	1/12	1/4

综合实验条件(1)和(2), ICP 刻蚀速率随样品面积增加而减少, 证明负载效应存在.

## 5 结论

本文提出使用  $\text{SF}_6$  和 He 的混合气体进行 RIE 刻蚀 SiC 的方法, 并在实验中得到了验证.

通过改变功率和压强的系统实验研究, 找到了刻蚀速率变化的规律, 在  $\text{SF}_6$  (30sccm/min), He (20sccm/min), RF power (80W), 压强 (130mTorr) 工艺条件下, 可以达到最大的刻蚀速率.

实验发现 SiC 中 H 含量对于 SiC 的刻蚀速率可以产生很大的影响, 所以采用含有 H 的 SiC 可以大大提高刻蚀速率.

RIE 刻蚀 SiC 和 Si 对于  $\text{SiO}_2$  都有很高的选择比.

使用传统的  $\text{SF}_6$  和  $\text{C}_4\text{F}_8$  的混合气体进行 ICP 刻蚀, 观察了刻蚀速率对于功率变化的规律, 得到在条件:  $\text{SF}_6$  (40sccm),  $\text{C}_4\text{F}_8$  (90sccm), Pressure

(15mTorr), Platen power (12W), Coil power (600W)时,刻蚀速率最大.

同时还验证了 ICP 刻蚀负载效应的存在.

SEM 照片显示,ICP 和 RIE 的图形保持都很好,但相比之下 ICP 的侧壁垂直度要优于 RIE.

### 参考文献

- [1] Okojie R S, Ned A A, Kurtz A D, et al. (6H)-SiC pressure sensors for high temperature applications. The Ninth Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, 1996: 146
- [2] Xu Yulong, Xu Yucheng. High temperature semiconductor material silicon carbide and its application in MEMS. Electronic Science & Technology Review, 1999, (12): 32 (in Chinese) [徐毓龙, 徐玉成. 高温半导体材料碳化硅及其在微机电中的应用. 电子科技导报, 1999, (12): 32]
- [3] Wang Shurui, Liu Zhongli. Progress in SiC device technology. Microelectronics, 2000, 30(6): 422 (in Chinese) [王姝睿, 刘忠立. SiC 器件工艺的发展状况. 微电子学, 2000, 30(6): 422]
- [4] Langan J G, Beck S E, Felker B S, et al. The role of diluents in electronegative fluorinated gas discharges. J Appl Phys, 1996, 79(8): 15
- [5] Yih P H, Saxena V, Steckl A J. A review of SiC reactive ion etching in fluorinated plasmas. Phys Status Solidi B, 1997, 202: 605

## Etching Characteristics of PECVD SiC\*

Chen Sheng, Li Zhihong<sup>†</sup>, Zhang Guobing, Guo Hui, Wang Yu, and Tian Dayu

(National Key Laboratory of Nano/Micro Fabrication Technology, Institute of Microelectronics, Peking University 100871, China)

**Abstract:** In this paper, we use reactive ion etching (RIE) and inductive coupled plasma reactive ion etching (ICP) method to test the etching characteristics in PECVD SiC under different pressures and powers. We prove the feasibility of using SF<sub>6</sub> and He to etch PECVD SiC, discuss the relationship between pressure/power and etch rate in RIE, investigate the influence of hydrogen content in PECVD SiC etch rate under certain parameters, testify the existence of load efficiency in ICP.

**Key words:** PECVD; SiC; reactive ion etching; inductive coupled plasma reactive ion etching; hydrogen content; power  
EEACC: 2575B

**Article ID:** 0253-4177(2006)S0-0381-04

\* Project supported by the Beijing Natural Science Foundation of China (No. 4052017)

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: zhhlh@ime.pku.edu.cn

Received 11 October 2005, revised manuscript received 13 January 2006