

用 SF_6-N_2 混合气的反应离子刻蚀制作 WSi_x 微米结构

程美乔 傅绍云 李建中

(中国科学院半导体研究所, 北京)

1989年5月8日收到

本文报道了 WSi_x 在 SF_6-Ar 、 SF_6-N_2 混合气中的反应离子刻蚀 (RIE) 的实验结果。研究了在 SF_6-N_2 的混合气中刻蚀 WSi_x 时, 气体成分、气体流量、工作气压和输入功率对刻蚀速率的影响。发现在 SF_6/N_2 中刻蚀 WSi_x 微米结构具有优越性。实验结果的重复性较好, 并在高速场效应器件、光电集成器件(微米结构)制作中得到应用。

主题词 SF_6-N_2 混合气, 反应离子刻蚀, WSi_x 微米结构

一、前言

在微型结构的半导体器件及超大规模集成电路制作中, 难熔金属硅化物 (WSi_2 、 $TaSi_2$ 、 $MoSi_2$ 、 $TiSi_2$ 等) 由于具有高导电性和稳定性而受到重视, 特别是在制作高性能的固体器件(如高速场效应器件)中可作为栅材料。在器件制作中, 若采用难熔金属硅化物, 则其刻蚀工艺就成为一个重要的环节。为此, 我们对 WSi_x 的反应离子刻蚀 (RIE) 进行了研究。

二、设备与实验

本实验所用的 RIE 设备是瑞典 Plasma Therm 公司制造的 520/540 系统。

实验所用的样品是在 Si 或 GaAs 衬底上溅射淀积的 WSi_x , 其中 W 和 Si 的原子数比为 1:0.56。 WSi_x 在腐蚀前未经任何特殊处理, 样品图形是微米结构, 用 Az1350 光刻胶作掩蔽。腐蚀速率的测定是对样品按一定的时间进行刻蚀, 然后用台阶仪测出腐蚀深度, 从而求得相应的平均蚀速。腐蚀图形的断面在扫描电镜下观察、拍照。

三、结果及讨论

实验表明, WSi_x 在纯 SF_6 中蚀速较快。在刻蚀精细结构图形时, 为便于控制精度, 则要求有一个中等的蚀速, 因此就要在稀释的 SF_6 中刻蚀。我们分别用 Ar、 N_2 作为 SF_6 的稀释气体对 WSi_x 进行刻蚀实验, 结果如下。

1. 腐蚀速率

图 1 中曲线 (a) (b) 分别是在 SF_6/Ar 、 SF_6/N_2 系统中 WSi_x 蚀速随 Ar 、 N_2 的体积百分浓度的变化情况。如曲线 (a) 所示, 用 Ar 稀释 SF_6 , 只有当 Ar 的体积百分浓度大于 90% 以后蚀速急剧下降, 但其蚀速仍较快。这样突变的蚀速是不便于控制的, 重复性也不好。由曲线 (b) 可知, 用 N_2 稀释 SF_6 , WSi_x 蚀速随 N_2 的百分浓度的增大而单调下降, 这样可便于调节和选用蚀速。下面对曲线 (a) (b) 作简要的讨论。

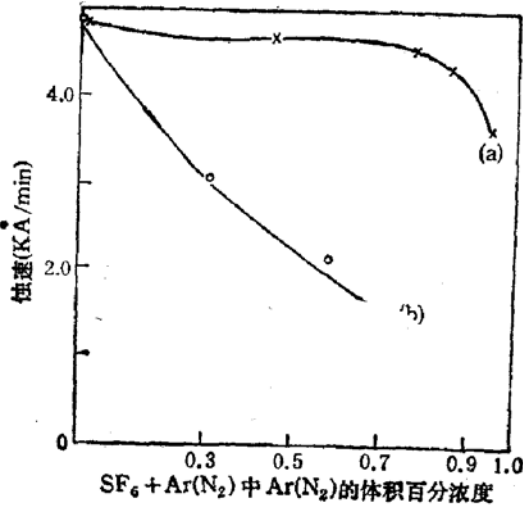


图 1 在 SF_6 混合气中 WSi_x 蚀速随气体成份的变化

$SF_6 + Ar(a)$
 $SF_6 + N_2(b)$ } 15sccm 2.3Pa, 0.16Wcm⁻²

在 SF_6 中 WSi_x 蚀速随 Ar 、 N_2 的加入而下降, 这是由于 Ar 、 N_2 的加入减小了等离子体中活性粒子的密度, 从而使蚀速下降, 这就是所谓的稀释作用。

由图 1 可见, 曲线 (a) 比 (b) 减小的趋势要慢得多, 这是由于: 在 SF_6/Ar 中能量较大的 Ar 离子轰击样品表面而使样品的晶格受到损伤, 从而加速了刻蚀过程中反应物的形成, 同时也有助于产物的脱附, 即加速了刻蚀过程中的反应作用。但蚀速的主要贡献是游离基的化学作用, 在 SF_6/Ar 混合气中, 当 Ar 含量较高时, 游离基数量明显减少, 稀释作用超过增强效应, 从而使蚀速下降。相反, 在 SF_6/N_2 中 N 原子质量较轻, 对样品表面轰击作用小, 对加速刻蚀过程中的反应作用影响小。更重要的是, 在 SF_6/N_2 中刻蚀反应过程中在材料表面会生成 Si 或 W 的氮化物, 减缓了游离基对表面材料的腐蚀反应, 从而使蚀速减慢, 因而含 N 量越多蚀速越慢。

在实验中还观察到: 在 SF_6/Ar 中刻蚀 WSi_x , 光刻胶图形由于 Ar 离子轰击而使表

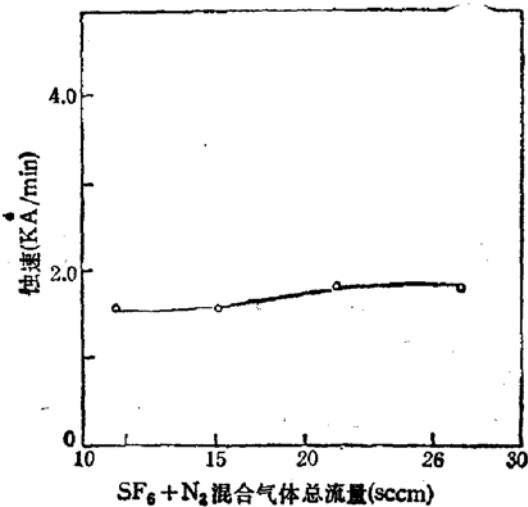


图 2 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 蚀速与气体流量的关系
 SF_6/N_2 , $N_2\% = 69\%$, 2.3Pa, 0.16Wcm⁻²

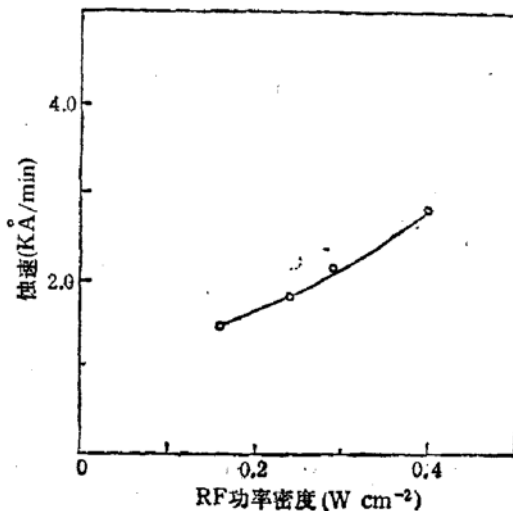


图 3 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 蚀速与 RF 功率的关系
 SF_6/N_2 , $N_2\% = 69\%$, 1.6Pa

面变得粗糙不平,厚度变薄;在 SF_6/N_2 中刻蚀 WSi_x ,光刻胶图形的表面和厚度都没有明显的变化。

基于上述理由,我们认为在 SF_6/N_2 中刻蚀精细结构图形的 WSi_x 较为适宜。因此对它进行了深入的研究。

图 2 是在 SF_6/N_2 中,当 N_2 的体积百分浓度为 20% 时, WSi_x 蚀速随混合气体总流量的变化情况。由图可见,气体总流量对蚀速影响不大。

图 3 是在 SF_6/N_2 系统中, WSi_x 蚀速随输入功率的变化情况。由图可见,蚀速随输入功率增大而增大,功率密度为 $0.16W/cm^2$ 时,蚀速为 $1450 \text{ \AA}/\text{分}$, $0.40W/cm^2$ 时为 $2800 \text{ \AA}/\text{分}$ 。

图 4 是 WSi_x 蚀速随工作气压的变化情况。可以看出,蚀速随气压增大略有增大,在气压大于 $4Pa$ 以后趋于不变。

通过上述实验,我们知道在 SF_6/N_2 中,气体总流量、工作气压、输入功率对蚀速的影响远小于混合气体成分的影响。但相对而言,其中以输入功率的影响较为明显。以上的实验结果和有关的等离子体的理论是相符合的。

2. 腐蚀剖面

在高性能的固体器件制造中,对于精细结构图形的刻蚀,人们希望能获得一个垂直或略外倾的侧墙。我们对样品断面在扫描电镜下观察、拍照。结果如图 5 所示(见图版 I)。

从剖面观察可知:本刻蚀条件下可获得侧墙比较垂直的微细结构。

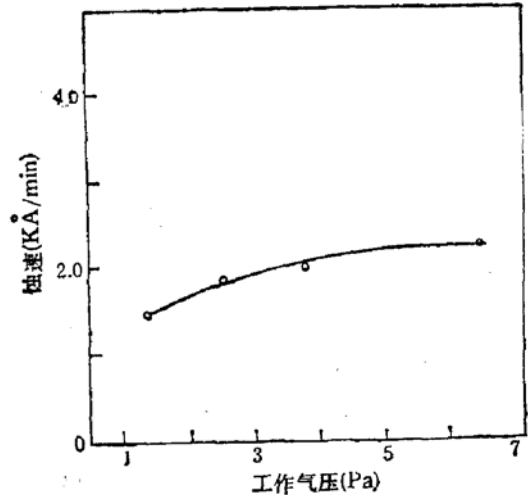


图 4 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 蚀速与工作气压的关系
 $SF_6/N_2, N_2\% = 69\%, 0.16Wcm^{-2}$

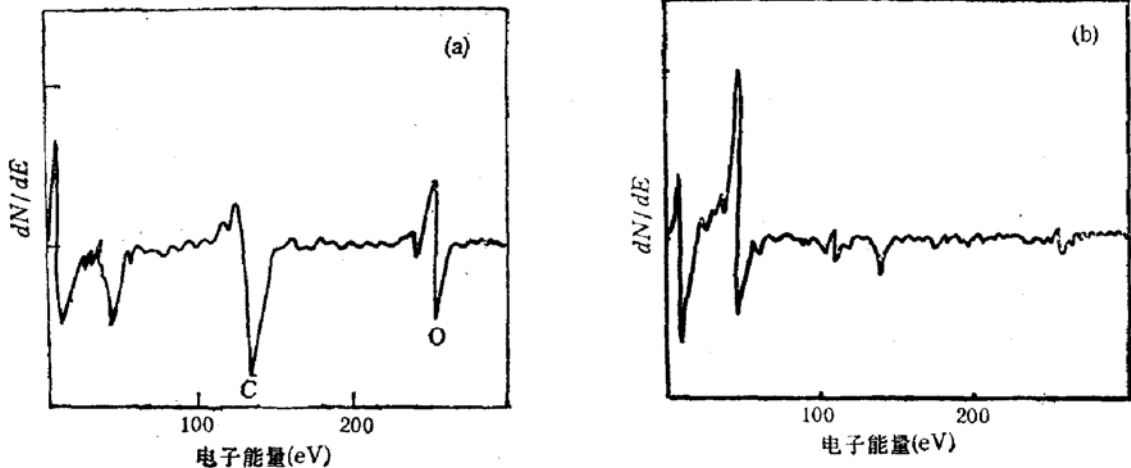


图 6

- (a) 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 被刻蚀后的 Si 衬底表面的 AES 谱图
(b) 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 被刻蚀后 Si 衬底经溅射剥离 30 \AA 后的 AES 谱图

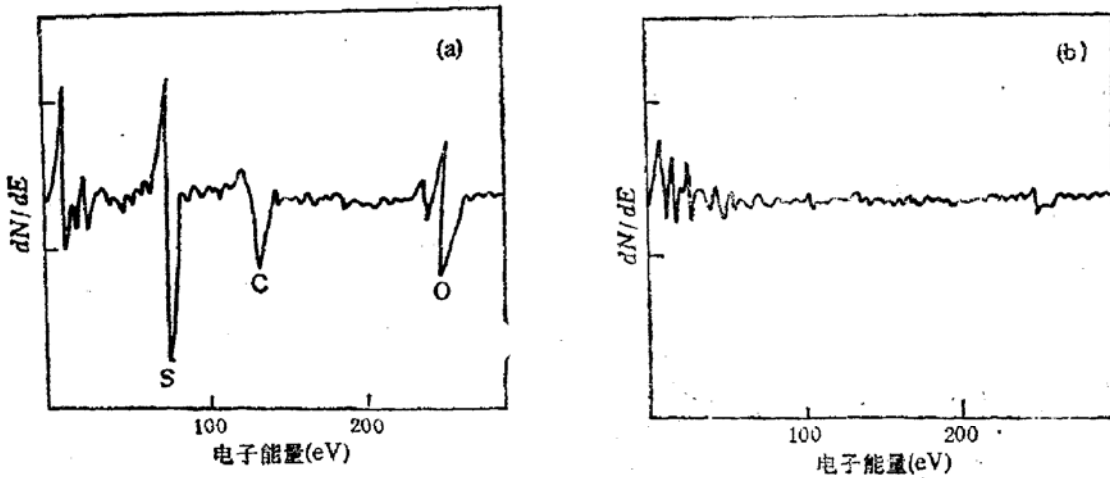


图 7

(a) 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 被刻蚀后的 GaAs 衬底表面的 AES 谱图
 (b) 在 SF_6/N_2 中 WSi_x 被刻蚀后 GaAs 衬底经溅射剥离 60 \AA 后的 AES 谱图

3. 表面分析

对 WSi_x 腐蚀后的样品衬底 (Si、GaAs) 进行 AES 表面分析, 其 AES 谱图如 6(a)、6(b) 和 7(a)、7(b) 所示。

图 6(a) 表明, 在 SF_6/N_2 中刻蚀 WSi_x , Si 衬底上没有 N 和 S 的沾污。图 7(a) 表明, 在 GaAs 衬底上没有 N 的沾污, 但却有 S 的沾污, 这可能是由于 GaAs 表面具有吸附 S 的性能。图 6(a)、7(a) 还显示出少量 C、O 俄歇峰。但经溅射剥离几十埃后, C、O 峰消失或减弱, 如图 6(b)、7(b) 所示。C、O 可能是空气及有机物(如: 光刻胶)沾污表面所致, 和腐蚀系统气氛无关。

在实验中还看到用 Ar、 N_2 稀释 SF_6 均可以改善 SF_6 辉光放电的物理条件。在 SF_6/N_2 中, 选用适宜的气体成分和流量是可以获得一个稳定的放电状态的, 这有利于实验结果的重复性。

四、小 结

在半导体器件制造中, 过去人们已成功地应用 $CF_4 + O_2$ 、 $SF_6 + O_2$ 刻蚀 Si 及其化合物。 $SF_6 + N_2$ 和它们及 $SF_6 + Ar$ 相比较, 它具有蚀速便于调节选用的优点, 同时衬底表面没有沾污。又由于没有掺入 O_2 , 因此利于保持图形的完整性。用 SF_6/N_2 的反应离子刻蚀制作的 WSi_x 微米结构已在器件制作中得到应用, 结果令人满意。

本工作得到杨沁清同志的热情帮助、关心, 并提出了有益的意见。赵一兵、高俊华同志在制备样品中做了大量的工作, 还得到周帆、陈纪瑛、任悦英同志的帮助, 在此向他们深表谢意。

Fabrication of WSi_x Micron Structures Using RIE in SF_6-N_2 Mixture

Cheng Meiqiao, Fu Shaoyin and Li Jianzhon

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing*)

Abstract

This paper reports experiments on reactive ion etching of WSi_x using SF_6-Ar and SF_6-N_2 as etchants. Etching characteristics are well studied with SF_6-N_2 system. N_2 is found to be superior as a diluent of SF_6 in etching micrometer structures of WSi_x , and having good repeatability. GaAs MESFET and OEIC devices have been fabricated with the etching.

Key words SF_6-N_2 mixture, reactive ion etching, micron structures of WSi_x