

TMAH 在压力传感器制作中的应用*

刘洪** 姚素英 曲宏伟 张生才 张维新 毛赣如

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

【摘要】 介绍了四甲基氢氧化铵(TMAH)溶液的腐蚀特性, 论述了在单晶硅和多晶硅高温压力传感器的制作过程中, TMAH 腐蚀液在浓硼终止腐蚀和各向异性硅杯腐蚀两个制作工艺中的应用。通过大量的实验得到了较为理想的腐蚀条件, 取得了较好的腐蚀结果。

关键词 四甲基氢氧化铵; 终止腐蚀; 高温压力传感器; 各向异性腐蚀; 硅杯

中图分类号 TN379

半导体高温压力传感器利用半导体材料的压阻效应制成, 采用致密的二氧化硅介质膜隔离代替pn结隔离, 提高了工作温度。在其制作工艺过程中, 硅的腐蚀技术是关键技术之一, 其中包括浓硼终止腐蚀和各向异性硅杯腐蚀。在单晶硅高温压力传感器制作中利用浓硼终止腐蚀的方法, 可以从n型衬底上腐蚀出通过浓硼离子注入(或扩散)制成的p型单晶硅电阻, 实现选择性腐蚀。硅杯腐蚀无论在多晶硅还是单晶硅高温压力传感器的制作工艺中都是必不可少的, 因此在高温压力传感器的制作中腐蚀液以及腐蚀条件的选取起到了关键的作用。我们对TMAH溶液、KOH溶液以及EDP(乙二胺、邻苯二酚和水的混合液)等多种腐蚀液进行了大量的实验摸索, 发现用KOH溶液腐蚀得到的表面较为粗糙, 会引起离子沾污, 且EDP溶液具有毒性。实验结果表明, TMAH腐蚀液是一种令人满意的腐蚀剂, 它无毒、易于控制, 腐蚀表面光亮平整, 在适当的腐蚀条件下能得到较其他腐蚀液更为理想的腐蚀效果。

1 TMAH 的腐蚀特性

四甲基氢氧化铵(TMAH, $(\text{CH}_3)_4\text{NOH}$)与其他腐蚀剂相比, 其主要优点是无毒性, 以及与大规模集成(LSI)的工艺兼容性。

在TMAH溶液中, 硅(100)面腐蚀速率与浓度及温度之间的关系如图1所示^[1]。腐蚀速率随

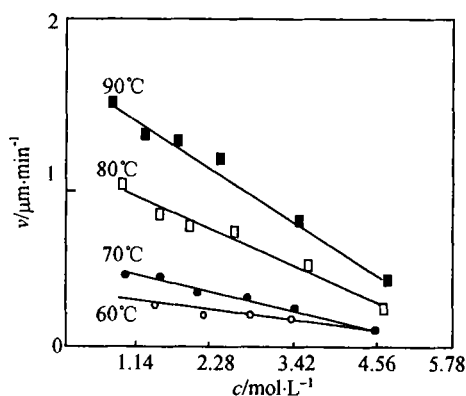


图1 硅<100>方向腐蚀速率与TMAH浓度及温度的关系

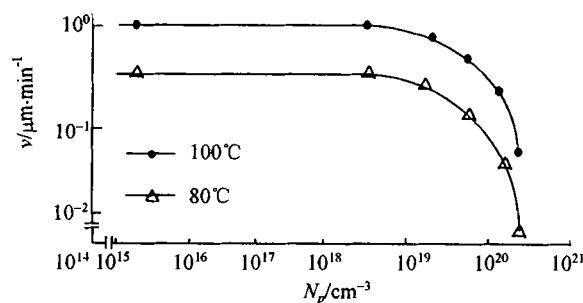


图2 2.85 mol/L TMAH溶液的腐蚀速率与掺硼浓度及温度关系

2000年1月19日收稿

* 国家自然科学基金资助项目, 基金号: 69876027

** 男 24岁 硕士生

TMAH 浓度的增加而下降, 而腐蚀后表面的粗糙度也随浓度的增加而下降, 当浓度高于 2.51 mol/L 时, 可获得非常光滑平整的腐蚀表面。而(111)面腐蚀速率较慢, (111)面与(100)面的腐蚀速率之比约为 0.02~0.08。

SiO_2 在 TMAH 中的腐蚀速率比硅(100)面低 3~4 个数量级, 而 Si_3N_4 的腐蚀速率更小, 故都可作为 TMAH 溶液中的腐蚀掩膜。

图 2 反映了在 80℃ 和 100℃ 时, 2.85 mol/L TMAH 溶液的腐蚀速率和掺硼浓度的关系曲线^[2]。硅的腐蚀速率随掺硼浓度的上升而下降, 当掺硼浓度达到 $2.5 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 时, 硅的腐蚀速率下降至轻掺杂时的 1/40, 这个比率随温度不同稍有变化。

2 TMAH 在压力传感器中的应用

2.1 浓硼终止腐蚀

2.1.1 终止腐蚀基本原理

在单晶硅的高硼掺杂区, 对于使用的所有碱性腐蚀液, 硅的腐蚀速率较低, 硼掺杂时会发生显著下降, 起到了自动终止腐蚀的作用。原因是高硼掺杂时 p 型硅表面与腐蚀液相互生成一层几纳米厚的钝化层, 阻止了腐蚀的继续进行。而对于 n 型硅腐蚀速率与掺杂浓度关系不大, 且大小基本与低硼掺杂时相同, 因此可通过这种浓硼终止腐蚀的方法, 从 n 型硅衬底上腐蚀出通过离子注入(或扩散)形成的单晶硅应变电阻。

腐蚀硅的化学反应通常是比较复杂的氧化-络合反应, 但是硅在 TMAH 溶液中腐蚀的化学反应至今尚无定论, 可以表示为



总的反应方程式为



2.1.2 终止腐蚀实验

在单晶硅高温压力传感器制作中, 终止腐蚀是一个非常关键的工艺过程。首先选取两片双面抛光的 n 型(100)硅单晶片, 电阻率约为 $10 \Omega\cdot\text{cm}$ 。然后将第一片通过离子注入(或扩散)硼制成 p 型压敏电阻, 第二片进行适当的热氧化, 再将两片硅片放在一起, 选择适当的条件完成硅熔键合工艺。第二片背面用 LPCVD 淀积上一层 Si_3N_4 薄膜做保护, 对第一片表面进行腐蚀, 腐蚀液遇到 p^+ 层则腐蚀自动终止。终止腐蚀实验是在一个由节点温度计控制温度的超级恒温器中进行的, 将配制的适当浓度的 TMAH 水溶液装入一个有磨口瓶盖的玻璃瓶中(为保证腐蚀效果腐蚀液可配多些, 并注意在适当时候更换腐蚀液), 放入恒温器中进行水浴加热, 恒温器的温度控制在所需温度范围内, 误差不超过 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。经过反复实验, 确定出 TMAH 的浓度为 5.78 mol/L, 温度范围为 85~90℃。



图3 腐蚀中表面

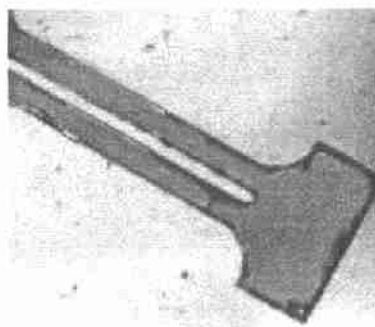


图4 腐蚀后表面

因腐蚀液浓度较大,因此腐蚀速率较慢,需要腐蚀较长的时间,但是在这种条件下得到的腐蚀表面较为光滑平整。图3和图4分别为腐蚀过程中及腐蚀完成后的硅片表面照片。

2.2 各向异性硅杯腐蚀

半导体压力传感器的硅杯是决定其性能优劣的关键结构,它是在芯片背面制造的。

2.2.1 硅杯腐蚀基本原理

硅属于金刚石立方结构,不同原子面上原子排列密度也不同。硅的各向异性腐蚀速率取决于不同方向上原子晶格密度以及可用键密度。由于(111)双密排面结合牢固,因此腐蚀速率较慢。如果在(100)面上开一个方形窗口,边缘平行或垂直于<110>方向,如图5所示。当腐蚀液腐蚀硅片时,就可得到一个由4个(111)面和底部(100)面围成的四棱体。如图6所示,设掩膜宽度为 w ,经 t 腐蚀后的硅杯深度为 h ,杯顶宽度为 a ,杯底宽度为 b ,它们之间的关系为

$$a = w + \frac{2R(111)t}{\sin\theta} \quad (4)$$

$$b = a - \frac{2}{\tan\theta} R(100)t \quad (5)$$

$$h = R(100)t = \frac{\tan\theta}{2}(a-b) \quad (6)$$

式中 $R(100)$ 和 $R(111)$ 分别为(100)面和(111)面的腐蚀速率。应用式(4)~(6),只要已知掩膜宽度和腐蚀时间,便可计算出硅杯的形状尺寸,从而得到硅膜厚度。

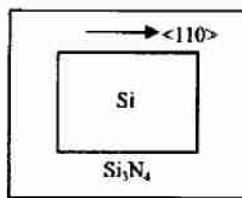


图5 硅杯腐蚀掩膜

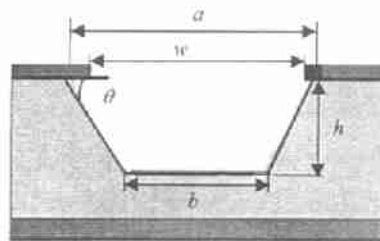


图6 硅杯结构

2.2.2 腐蚀系统与控制

在腐蚀过程中,由于挥发的作用,随着时间的延长各组分之间的比例会发生变化。为了保持腐蚀系统恒定,使用带有回流冷却系统的腐蚀装置,采用水银触点温度计。腐蚀过程中硅杯的深度可主观控制,即每隔一段时间取出测试片测量腐蚀厚度,从而精确控制正式膜片的厚度。根据设计的要求可以动态地调节腐蚀时间。

2.2.3 硅杯制作

在压力传感器的制作过程中,硅杯腐蚀工艺是制作力敏电阻后在硅片的后面进行的。本文以单晶硅高温压力传感器为例进行说明。在终止腐蚀出单晶硅力敏电阻之后,利用LPCVD在硅片正反两面各淀积一薄层 Si_3N_4 膜,然后在背面光刻硅杯腐蚀窗口。腐蚀液采用 5.78 mol/L TMAH溶液(为了保证腐蚀质量,可加入异丙醇作为缓冲剂),腐蚀温度控制在 $80\sim 85^\circ\text{C}$,根据传感器量程的不同,选择适当的腐蚀膜厚度。与终止腐蚀原因一样,可得到极光滑的硅膜表面,为提高传感器的性能起到关键性的作用。

3 结束语

经研究发现,TMAH腐蚀液无论是在终止腐蚀还是在硅杯腐蚀过程中,都可得到较为理想的腐蚀效果。在高温压力传感器的制作过程中,TMAH是一种理想的腐蚀剂,有广泛的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Osamu Tabata, Ryouji Asahi, Hirofumi Funabashi, *et al.* Anisotropic etching of silicon in TMAH solutions. *Sensors and Actuators A*, 1992,(34):51~57
- 2 Elin Steinsland, Martin Nese, Anders Hanneborg, *et al.* Born etch-stop in TMAH solutions. *Sensors and Actuators*, 1996,(54):728~732

Application of TMAH Solutions in Manufacturing of Pressure Sensor

Liu Hong Yao Suying Qu Hongwei Zhang Shengcai Zhang Weixin Mao Ganru

(School of Electronic Information and Engineering, Tianjin University Tianjin 300072)

Abstract In this paper, etching characteristics of TMAH solutions is introduced. Application of TMAH solutions which is used as etchant in boron etch-stop and anisotropic etching process in the manufacturing of single-crystal and polysilicon pressure sensors is mainly discussed. Satisfying process condition and experimental results are obtained through experiments.

Key words TMAH; etch-stop; high-temperature pressure sensor; anisotropic etching; silicon cup

· 科研成果介绍 ·

4X 密度磁光盘格式化仪系统研究

主研人员: 王志刚 张 勋 高正平 王 琳 罗 勇 周 南 周建平 徐素云

磁光盘格式化仪系统是盘片研究、开发和规模化生产的必备质检设备。系统既考虑了规模化生产中吞吐量大、检测快速的要求,又兼顾了盘片开发过程中细致分析以调整工艺的需要。系统采用 SCSI 接口配置多台格式化单元及相应测控电路的结构,利用 Windows 环境多任务操作特点,通过 ASPI 层协议,实现多台格式化单元同时操作,比较容易地实现系统规模的扩展以提供更大的盘片吞吐量。各格式化单元可灵活地设置工作项目,便于质量分析检测。主机通过串行通信口控制信号测试电路参数,即进行功率、磁场强度调整、伺服误差信号测试,并对盘上所有可寻址的扇区访问,从而对介质工艺有问题的区域进行细致分析。

· 科 卞 ·