

# 硅尖的制备

王艳华, 孙道恒

(厦门大学机电系, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 隧道硅尖的制备是微机械隧道传感器制作的一个重要组成部分,通过对 ICP 刻蚀和湿法各向异性刻蚀工艺制备硅尖实验的研究,得到了合适的工艺条件以及较理想的硅尖。

**关键词:** 硅尖; 各向异性刻蚀; ICP

**中图分类号:** TN304.12; TN305 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4776(2003) 07/08-0164-03

## The fabrication technology of silicon tip

WANG Yan-hua, SUN Dao-heng

(Dept of Machinery Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** The fabrication technology of silicon tip is an important constituent of micro tunneling sensor. Through studying the process of ICP and anisotropic etching associate with bonding technology, ideal silicon tips and suitable process conditions were obtained.

**Key words:** silicon-tip; anisotropic etching; ICP

## 1 引言

随着空间技术、国防、工业等领域的发展,要求所使用的传感器和执行器的体积越来越小,灵敏度越来越高。人们对电子隧道的研究发现,隧道效应可以解决传统传感器小型化带来的灵敏度降低的问题,从而许多研究机构纷纷致力于微机械电子隧道传感器的开发研制工作<sup>[1]</sup>。而这些传感器制作的关键技术之一就是隧道微硅尖的制备。现在已经发展了多种方法制备硅尖,比较基础的有干法和湿法刻蚀,其中湿法刻蚀又分为各向同性和各向异性。这里,我们研究了使用 ICP 刻蚀和湿法各向异性反向刻蚀结合静电键合工艺以及湿法各向异性正向刻蚀三种方法来制备硅尖。

## 2 工艺理论

硅的各向异性腐蚀是 MEMS 器件制造的一种主导工艺,其常用的腐蚀液基本上都是碱性溶液如: KOH、四甲基氢氧化氨水溶液、NaOH、LiOH 等。在各向异性湿法腐蚀中,硅的腐蚀速度在腐蚀液中表

现出各向异性,即不同晶面具有不同的腐蚀速率,在硅的特定表面如(100)面要比(111)面的腐蚀速度快数十倍或上百倍。已有各种机理要素来说明刻蚀速度的方向依赖性,但是没有一个是能完全解释清楚。这些要素包括(111)晶面的密度最大,四个共价键中有三个在此晶面下,因此刻蚀剂难腐蚀该晶面;拥有最高键密度的表面刻蚀最快<sup>[2]</sup>。

ICP 刻蚀由于刻蚀速率高且刻蚀均匀故深受欢迎。在类别上 ICP 属于物理化学腐蚀,本质上是 RIE。在物理腐蚀中利用放电时所产生的高能惰性气体离子如氩离子对材料进行物理轰击,这时,能量通过弹性碰撞传递给衬底原子,当这能量超过结合能时就能撞出衬底原子。在化学腐蚀中惰性气体如甲烷、六氟化硫等在高频或直流电场中受到激发并分解,然后与被腐蚀材料起反应形成挥发物质,再由抽气泵排出<sup>[3]</sup>。

## 3 制备工艺

实验中选用电阻率为  $1 \sim 2.5 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ ,厚度为  $310 \pm 10 \text{ } \mu\text{m}$ ,直径为  $50.8 \text{ mm}$  p 型(100)晶面的硅片。

收稿日期: 2003-05-15

各向异性湿法反向刻蚀结合静电键合的具体工艺流程图如图 1。图中(a)1100 时硅片进行干-湿-干氧化 2 h;(b)光刻腐蚀窗口,掩模尺寸最小为 3  $\mu\text{m}$  见方,最大为 8  $\mu\text{m}$  见方。窗口的一边对准 < 110 > 晶向;(c)采用 25 % 的 TAMH 溶液在 75 时进行各向异性腐蚀,时间 15 ~ 20 min,腐蚀出倒金字塔形孔腔;(d)清洗后用缓冲 HF 溶液腐蚀掉二氧化硅掩模层,LPCVD 淀积一层氮化硅,厚度 1000 nm;(e)静电键合,玻璃接负极,硅接正极,键合电压为 1100 V,温度 390 ;(f)用 TMAH 或 KOH 溶液腐蚀掉衬底硅。由于氮化硅基本不溶于 TMAH 或 KOH,故得到硅尖。

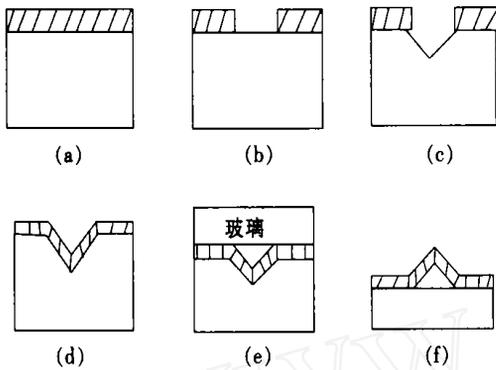


图 1 湿法反向刻蚀结合静电键合工艺流程图

ICP 刻蚀的具体工艺流程图如图 2 所示:图中(a)1100 时硅片进行干-湿-干氧化 2 h;(b)光刻掩模图形,掩模尺寸为 3  $\mu\text{m}$   $\times$  3  $\mu\text{m}$ ;(c)进行 ICP 刻蚀:使用 SF<sub>6</sub> 气体,上电极为 400 W,下电极 150 W,压力 0.4 Pa,刻蚀时间 20 min;(d)在 1050 时进行氧化削尖,然后再用 BUFFER HF 溶液去除剩余的掩模。

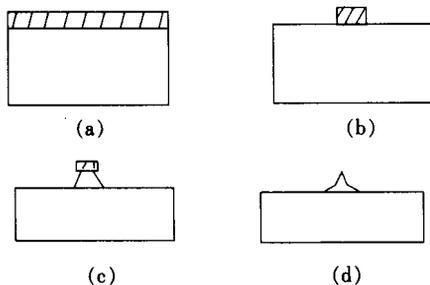


图 2 ICP 刻蚀的工艺流程图

各向异性湿法正向腐蚀制备硅尖该法的工艺流程图与 ICP 刻蚀的工艺流程图相一致,具体描述如下:(a)1100 时硅片进行干-湿-干氧化 2 h;(b)光刻掩模图形,掩模尺寸为 3  $\mu\text{m}$   $\times$  3  $\mu\text{m}$ ;(c)采用 25 % 的 TMAH 溶液在溶液温度 75 下腐蚀 1.5 min 和 2.5 min。

## 4 结果与分析

下面是一组采用上述三种方法得到的硅尖显微照片。从图 3 和图 4 的湿法各向异性正向腐蚀制备的硅尖的 SEM 照片上可以发现,硅尖的表面不够光滑,而且腐蚀时间为 2.5 min 时硅尖形状变形较大;从图 5 的利用 ICP 法制备的硅尖显微照片可以大体看到由 4 个(111)面组成的金字塔形;图 6 的湿法各向异性腐蚀结合静电键合法制备的硅尖 SEM 照片上则可以清晰看到 4 个(111)面且表面很光滑平整。测试结果表明其顶部的曲率半径小于 30 nm。



图 3 TAMH 腐蚀 1.5 min 的硅尖 SEM 照片

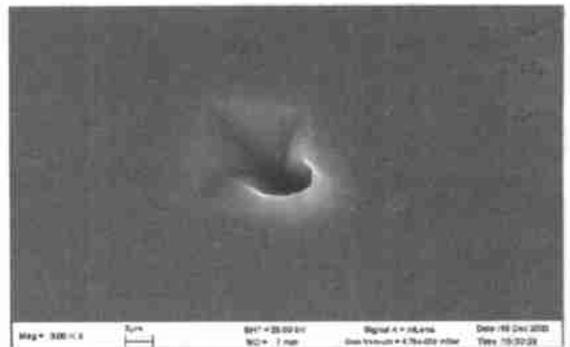


图 4 TAMH 腐蚀 2.5 min 的硅尖 SEM 照片

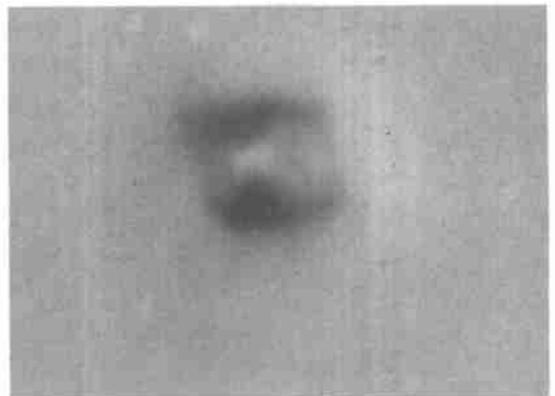


图 5 ICP 刻蚀的显微照片(1000 倍)

对于湿法各向异性正向腐蚀制备出的硅尖,因为使用的图形掩模存在凸角,凸角处存在其它高腐

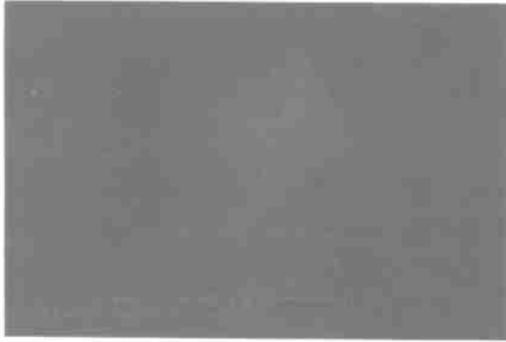


图6 湿法各向异性腐蚀结合静电键合刻蚀的硅尖 SEM 照片

蚀速率的晶面,腐蚀时凸角掩膜下的硅受到钻蚀,腐蚀形状由这些高速率晶面决定。这些晶面沿掩膜方向切进的速率较快,随着腐蚀时间的增加腐蚀图形变形也就越厉害。因此实验中对腐蚀时间以及掩膜图形的对准要求很高。

在 ICP 中因为含有大量的化学物质和众多的能量状态,所以要做出精确的分析特别困难,工艺结果几乎取决于每一个可能的参数变化,因此,有效地控制取决于经验和实验。从实验时显微镜观察表明,压力的改变对刻蚀出的硅表面状态有较大的影响,上电极功率的增加对横向刻蚀量有较大的影响。由于版图设计时的考虑不周使得在进行 SEM 扫描时有很大的困难,没能得到 SEM 扫描电镜照片,这里不能给出具体的分析说明。从得到的 ICP 显微照片看,其刻蚀出的硅尖形状与掩模的形状有很大的关系。如果掩模图形不够规则时,由于其阻挡作用,刻蚀出的硅尖底部与其一致,不能形成很完美的金字塔形。

各向异性腐蚀结合静电键合法能腐蚀出由 4 个规则平整的(111)面组成的倒金字塔形的主要机理是:(111)面有极慢的腐蚀速率,其他晶面与(111)面相比腐蚀速率都快得多,只要其为封闭的图形,随着其它高腐蚀晶面的硅在溶液中钻蚀、溶解,最后腐蚀停止于(111)晶面,故最后得到的孔腔边界就是由 4 个(111)面组成的图形。在硅晶格结构中(111)与

(100)面成  $57.74^\circ$ ,因此腐蚀后能形成倒金字塔形。如果掩模图形没有对准(110)时,基于其腐蚀特点,腐蚀出的依然为倒金字塔形,只是图形尺寸会发生变化。图形大小由经验公式得到为

$$W = W(\sin + \cos)$$

其中,  $w$  为掩模正方形的边长;  $\theta$  为窗口边界偏离(110)方向的角度<sup>[4]</sup>。

## 5 结 论

对于 ICP 刻蚀工艺,要获得几何形状均匀一致的尖锥,对于掩模的要求很高,要求为理想的正方形,各种工艺参数对实验结果的影响较大;在各向异性湿法正向腐蚀中,对腐蚀时间和掩模图形的对准要求很高,硅尖的均匀性不是很好;在反向刻蚀结合静电键合工艺中虽然它比正向刻蚀多了几个步骤,但由于每道工艺要求相对较低,实际上更易实现。而且它可以克服硅尖形状对掩模质量的依赖性,腐蚀出的形状均匀整齐。在腐蚀时间的控制要求上也没有另两种方法严格,即便过腐蚀也不影响腐蚀效果,相反还可以克服光刻或掩模质量不佳带来的缺陷。在实验中用这种方法得到了曲率半径小于 300 nm 的硅尖。故比较上述各种方法,在实验室中采用反向刻蚀结合静电键合法制备硅尖最简单,效果也最好。

### 参考文献:

- [1] 杨拥军. 微机械电子隧道传感器研究进展 [J]. 半导体情报, 1997, 34(2): 23-27.
- [2] CAMPBELL S A 著. 曾莹, 严利人, 王纪民, 等译. 微电子制造科学原理与工程技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003, 543-544.
- [3] 石庚辰. 微机电系统技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002, 59-64.
- [4] 黄庆安. 硅微机械加工技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1996, 207-226.

### 作者简介:

王艳华 女, 在读硕士, 研究方向为微机电系统。