

微型真空传感器制作工艺的研究

俞龙发, 冯勇建

(厦门大学 机电工程系 福建 厦门 361005)

摘要: 介绍微型真空传感器制作工艺的流程, 阐述了清洗、氧化、光刻、腐蚀、扩散、键合等工艺的方法和特点, 分析了制作工艺过程中出现的问题并提出解决的方法, 最后对制作工艺进行总结。

关键词: 光刻; 腐蚀; 扩散; 键合

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1006-2394(2011)04-0067-04

Research of Micro Vacuum Sensor Production Process

YU Long-fa, FENG Yong-jian

(Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In this paper, Micro vacuum sensor production process is introduced. Methods and characteristics of cleaning, oxidation, lithography, etching, diffusion and bonding processes are elaborated. The questions in the production process are analyzed and the solutions are proposed. At last, production process is summarized.

Key words: lithography; corrosion; diffusion; bonding

0 引言

MEMS 技术是一项崭新的技术, 它的产生、发展将带动众多交叉学科和高新技术产业的发展, 是本世纪科学研究的亮点。近 10 年来, MEMS 的发展令人瞩目, 相当数量的微型元器件和微型系统研究成功, 显现了其现实的和潜在的应用价值。目前在 MEMS 器件的研究方面, 压力传感器、加速度传感器等已日趋成熟, 并投入市场, 展现了令人乐观的产业化前景。由于硅是 MEMS 产品最主要的材料, 因此, 硅基加工将是 MEMS 加工工艺的主流, 而表面微机械加工和硅的键合技术则构成了硅微机械传感器的关键技术。玻璃的主要成分是二氧化硅, 兼之其制备简单、成本低, 是半导体制造中常用的绝缘体。

1 工艺过程研究

本文中介绍的真空传感器是在基于集成电路 (IC) 的基础上进行制作工艺的研究, 其基本工艺过程包括了硅片上的工艺、玻璃加工工艺, 以及硅-玻璃工艺, 其主要的工艺过程包括清洗、涂胶、光刻、氧化、干法和湿法去胶、干法和湿法腐蚀、溅射金属、杂质扩散、生长氮化硅绝缘层、划片、焊接线、封装等。

1.1 硅片上的工艺

1.1.1 清洗

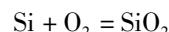
真空传感器的制作使用的是 $P < 100 >$ 双面抛光的硅片, 新的双面抛光硅片必须要经过标准清洗才能投入使用。清洗的步骤为:

(1) 用甲苯、丙酮、乙醇分别超声 15min, 去除硅片表面油脂;

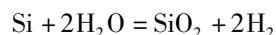
(2) 用碱性溶液(按 $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:2:5$ 的配比混合的) 和酸性溶液(按 $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:2:8$ 的配比混合的) 在恒温水浴锅中标准清洗。

1.1.2 氧化

二氧化硅 (SiO_2) 的制备是 MEMS 器件制作的基本工艺之一。 SiO_2 不仅是杂质选择扩散的掩蔽膜, 又是器件表面的保护层和钝化膜, 同时由于其制备简单, 所以应用十分广泛。在本课题的实验中采用热生长法制备 SiO_2 薄膜。干氧氧化法的生长机理是: 高温下的氧分子与硅片表面的 Si 原子反应, 生成 SiO_2 起始层, 其反应式为:



湿氧氧化与干氧氧化不同之处是将干氧通入炉子前, 先通过加热的高纯去离子水, 使氧气中携带一定量的水汽。因此在湿氧氧化中, 既有氧的氧化作用, 又有水的氧化作用。水与 Si 表面的化学反应方程式为:



收稿日期: 2010-12

基金项目: 福建省科技计划项目(2010A6025)

作者简介: 俞龙发(1986—) 男, 硕士研究生, 研究方向为 PIC 单片机、C#编程、MEMS 真空传感器。

图 1 是在 1000℃ 时,采用湿氧法和干氧法生长氧化层的厚度和时间的关系。从图中可以看出干氧法的生长速率最慢,但生成的 SiO₂ 薄膜结构致密、干燥,均匀性和重复性好,掩蔽能力强,钝化效果好, SiO₂ 薄膜表面与光刻胶接触良好,光刻时不易浮胶。湿氧法的生长速率比干氧法快得多,其生长速率可通过炉温或水浴温度进行调整,使用灵活性较大。湿氧法生长的 SiO₂ 薄膜,虽然致密性略差于干氧法生长的 SiO₂ 薄膜,但其掩蔽能力和钝化效果都能满足一般器件生产的要求。但是因为水分子会在 SiO₂ 表面反应生成硅烷醇 (Si - OH),致使 SiO₂ 薄膜表面与光刻胶接触不良,光刻时容易浮胶。

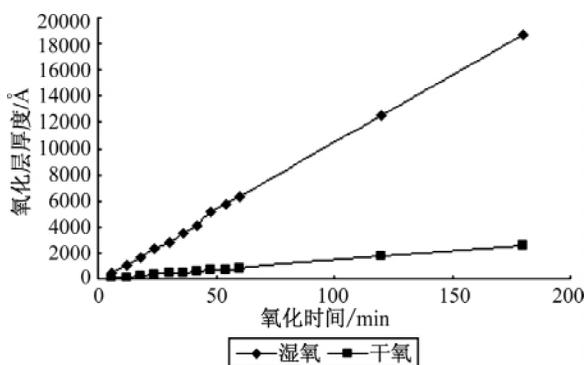


图 1 1000℃ 下干氧和湿氧的生长速率

将硅片放在氧化炉中经过 10min 干氧,60min 湿氧,再 10min 干氧,这样生成的 SiO₂ 薄膜结构致密、干燥,其表面与光刻胶接触良好,光刻时不易浮胶,有利于下一步光刻工作的进行。氧化后 SiO₂ 薄膜的厚度约为 6000Å。

1.1.3 BHF (Buffered HF) 腐蚀 SiO₂

腐蚀 SiO₂ 所用的腐蚀液为 HF (48%) : NH₄F : H₂O = 3 : 6 : 10,称为缓冲液,其腐蚀速率约为 1000Å/min。SiO₂ 的整个腐蚀过程为:

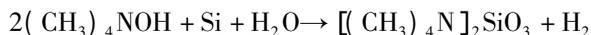


在稀释的 HF 溶液中,由于反应消耗 HF,反应速率将随时间而降低。为避免该现象发生,通常兑入一定量的 NH₄F 来缓冲,其反应式:



其中 NH₃ 是气体,缓冲过程也可控制腐蚀液的 pH 值,减少腐蚀液对光刻胶的损伤。将硅片放在缓冲液中,没有被光刻胶保护的 SiO₂ 薄膜被腐蚀掉,露出 Si。将腐蚀好的硅片用去离子水冲洗干净。

实验中腐蚀 Si 的溶液为四甲基氢氧化氨 (TMAH),当腐蚀液加热到一定的温度时,将硅片放在腐蚀液中腐蚀,腐蚀的深度为约为 2μm。Si 与四甲基氢氧化氨发生如下反应:



由于光刻面要进行扩散,所以要把这一面的 SiO₂ 掩膜层腐蚀掉。

1.1.4 扩散

将硅片标准清洗后放在扩散炉中扩散,温度为 1125℃,扩散 6h。实验中所使用的硼源是固态硼源 BN,其浓度为 C_s = 5 × 10²⁰/cm³。根据 Si 的电阻率和图 2 可以计算出理论上的结深,也就是膜厚。

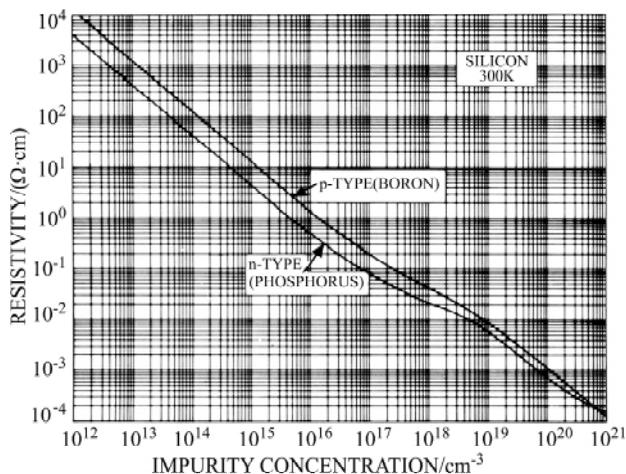


图 2 300K 时 Si 的电阻率与 BN 浓度的关系

扩散后得到大约 3μm 的硼硅膜,与理论值基本一致。在其表面不同地方测量三次,得到的表面方块电阻分别为 1.1876Ω/口,1.1648Ω/口,1.1739Ω/口。三次测量结果相近,满足要求。

刚刚扩散后的硅片表面很不光泽,这是由于扩散后在硅片的表面形成了硼硅玻璃的缘故。硅片表面的硼硅玻璃影响器件的性能,所以一定要去除干净。将扩散后的硅片放在 HF 缓冲液中腐蚀硼硅玻璃。

1.2 硅 - 玻璃工艺

1.2.1 键合

(1) 由于硅片和玻璃上都有图形,所以在键合前要先对准。将硅片和玻璃放在对准的仪器上,玻璃的透明性极大地方便了对准过程,对准后抽真空,将硅片和玻璃之间的空气和水分抽走后,才能使硅片和玻璃很好地黏在一起。(2) 将对准的硅片和玻璃放在键合机上键合,键合好的片子如图 3 所示。

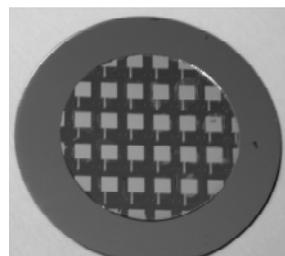


图 3 硅片与玻璃的键合

1.2.2 深腐蚀

利用 SiO₂ 作为掩蔽层,对〈100〉晶向的硅作各向异性腐蚀,会产生清晰的 V 型沟槽,沟槽的边缘为〈111〉晶面,〈111〉晶面会与〈100〉晶面有 54.7° 的夹角,如果尺寸足够大或者时间较短,则会形成一个 U 型的沟槽,腐蚀的沟槽的底部的宽度为:

$$W_b = W_0 - 2l \cot 54.7^\circ$$

其中, W₀ 是硅片表面图案的宽度 l 是腐蚀的深度。把键合好的片子放在 TMAH 腐蚀液中腐蚀,图 4 为腐蚀好的硅片的整体图形,图 5 为腐蚀好的硼硅膜。

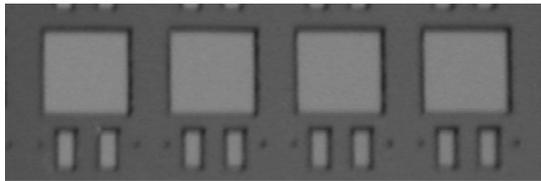


图 4 深腐蚀后的硅片

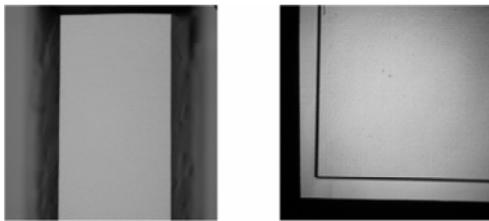


图 5 腐蚀好的硼硅膜

1.2.3 等离子刻蚀(ICP)

在微真空传感器的制作过程中,刻蚀硼硅膜和氮化硅用的是 ICP-2B 型刻蚀机,采用电感耦合等离子刻蚀技术(ICP)。ICP 系统的基本工作原理如图 6 所示。ICP 系统具有两个独立的 13.56MHz 射频功率源,其中一个连接到反应室外的电感线圈上。当给电感线圈施加一定电压时,在反应室内就产生交变的磁场和电场。当作用于反应室内气体上的电场强度超过临界值时,气体就会产生放电现象,此时气体从绝缘态变为导电态,即物质的第四态——等离子态。反应室底部的射频源提供了一个偏置电压,给等离子体提供了一定的能量,达到垂直作用于基片的目的。当基片材料

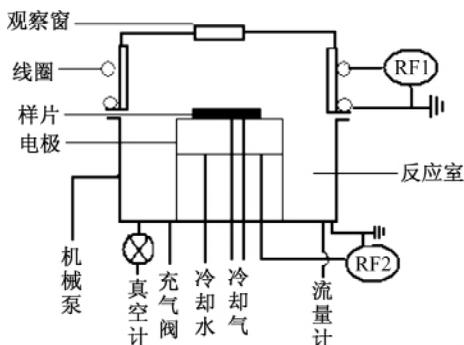


图 6 ICP 实验装置示意图

与辉光放电过程中产生的自由基或正离子进行反应并生成可挥发的气态物质时,就达到了刻蚀的目的。

试验中经常使用 SF₆ 作为刻蚀气体。用等离子刻蚀的方法刻蚀硼硅膜,其工艺参数如表 1 所示。

表 1 等离子刻蚀硼硅膜的工艺参数

上电极/W	下电极/W	流量/(mL·min ⁻¹)	刻蚀时间/min
300	100	35	15

2 制作过程中的问题和解决方法

2.1 清洗

在用 I、II 号液清洗的时候要严格地按照顺序在去离子水中倒入各种溶液,否则会导致清洗不干净或其他问题的产生。清洗完用去离子水冲洗,冲洗的时间要足够长,确保硅片和玻璃表面干净。

2.2 光刻

在光刻显影完后,用显微镜观察图形,有时可以看到图形的线条上有毛刺,这是由于曝光时间过长或显影时间过长引起的;有时可以看到图形上的颜色很不均匀,这是由于曝光时间或显影时间太短引起的。因此要经过反复的实验,得到最合适的曝光时间和显影时间,这样作出的图形才能满足工艺的要求。

2.3 硼硅膜的制备

作为微真空传感器的敏感元件,硼硅膜质量的好坏直接影响到器件的成品率与性能。硼硅膜的质量受到很多因素的影响,主要有工艺条件、硼源的质量和硅片本身的特性和质量等。为了得到优质的硼硅膜,经过反复的实验,严格控制工艺条件,使其达到要求的浓度和厚度。

硅片扩散后表面会有一层硼硅玻璃,如图 7 所示,硼硅玻璃的存在对器件的制作和性能都有严重的影响,因此必须去除。实验中采用的方法是将扩散后的硅片放入 HF 缓冲液中进行腐蚀。去除了硼硅玻璃的硅片如图 8 所示。

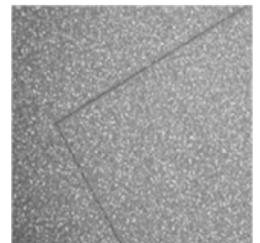


图 7 刚扩散后的硅片表面

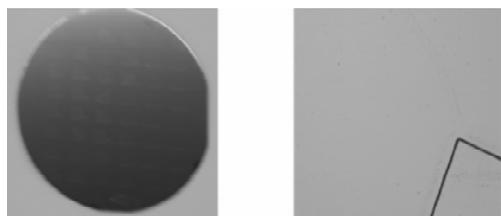


图 8 去除了硼硅玻璃的硅片和表面

在硅的腐蚀过程中,要注意温度对腐蚀速率的影

响,而且要注意观察硅片的表面,以免硼硅膜被破坏。

2.4 刻蚀硼硅膜

微真空传感器的制作过程中要刻蚀硼硅膜,由于器件的结构特点,采用等离子刻蚀(ICP)的方法。在刻蚀过程中,要注意刻蚀机上、下电极的参数以及气体的流量和刻蚀时间。参数选择不当,会损害硅片的光滑表面,不利于下一步工作的进行。经过反复实验,选择 SF₆ 气体刻蚀硼硅膜,气体的流量是 35mL/min,上、下电极的参数分别是 300W、100W。从图 9 可以看到,

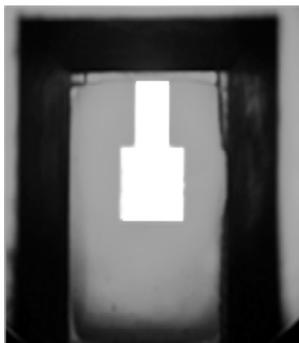


图 9 等离子刻蚀硼硅膜

按照上述参数刻蚀硼硅膜,效果良好,硼硅膜完全被刻蚀掉,露出底下的金属电极。

3 结束语

完成了对制作电容式微型真空传感器的各种工艺的研究,其中关键的工艺是扩散和键合。在扩散工艺的研究过程中采用新工艺,得到了性能良好、厚度可控制的硼硅膜;硅片与 7740 玻璃的键合具有良好的键合质量。解决了键合后引出电极的问题,完成了电容式微型真空传感器的制作。

参考文献:

[1] 国家自然科学基金委员会. 无机非金属材料科学 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.

[2] 樊中朝, 余金中, 陈少武. ICP 刻蚀技术及其在光电子器件制作中的应用 [J]. 微细加工技术, 2003(2): 21 - 28.

[3] Frederilo S, Hiberx C, Fritschi P, et al. Silicon sacrificial dry etching(SSLDE) for free-standing RF MEMS architectures [J]. Micro Electro Mechanical System 2003(10): 19 - 23.

(郁菁编发)

(上接第 37 页)

Windows 操作系统平台上,方便以后地修改和使用。监控中心部分的软件设计必须注意以下几个问题。

(1) PC 机与 MC35 模块的通信: 主要负责接收来自 MC35 通信模块的信息或向 MC35 通信模块发送信息。

(2) 采集液位显示及告警显示: 主要是在主界面上显示接收的监视液位数据。当监视现场的采集液位超过告警界限时,在主界面告警面板上显示告警地点及告警内容。

(3) 采集写入液位数据库: 将接收的短信息字符解码,提取出时间、地点及采集的液位数据,并分析上述数据的合法性,如果合法则存入数据库的表。

(4) 串口参数及 SMS 服务中心号码设定: 设定使用哪个串口,串口的波特率、校验位、停止位, SMS 服务中心号码。设定 SMS 服务中心号码的意义在于当系统用于不同的地区或更换了其他服务商的 SIM 卡时, SMS 服务中心号码发生变化,须重新设定。

(5) 控制指令发送: 向监控现场发送控制指令,当采集现场发来的监测数据超过告警界限时,维护人员可根据实际情况判断是否向告警地点发送控制指令。

监控中心数据库是由 Access 软件生成的,包括三个表: 表 1 是保存采集数据表,表 2 是保存操作人员及密码表,表 3 是保存各监测地址及相应 SIM 卡号码表。

监控中心的应用软件提供了一个良好的界面,使维护人员能通过界面上的数据表方便地观测各远程监测点的工作状态,通过菜单对全系统进行有效地维护。

5 结束语

传统的监控系统一般都需要组建专门的通信网络,而采用 GSM 网络的短信息业务传输数据,只需要一个 GSM 的终端模块就可以了,数据的传输质量由 GSM 网络来保证,系统网络结构简单、费用低廉。由于 GSM 网络覆盖范围广,所以对于监控地域分散、地处偏僻的监控系统来说,用短信息业务传输数据就有更大的优势,可以使监控范围扩大,而且扩充方便灵活,只需增加现场监控单元即可。本文提出一种基于 GSM 的远程液位监控报警系统,这种无线远程液位监控报警系统具有设计合理、便于监控等优点,使得现场与后台间真正实现了“实时监控,远程传输”。

参考文献:

[1] 周光彬, 曾孝平. GSM 短信息智能控制器的设计与实现 [J]. 微计算机信息, 2007(1-1): 24 - 25.

[2] 邓振杰, 齐建玲, 李志红, 等. 基于 GSM 远程监控系统的设计 [J]. 微计算机信息, 2007(6-1): 120 - 121.

[3] 王天杰, 原明亭. 基于 C8051F020 的以太网远程监控系统的设计 [J]. 化工自动化及仪表, 2007, 34(5): 36 - 37.

(郁菁编发)