

微纳加工技术开发及应用

张明亮

(中国科学院半导体研究所, 北京 100084)

摘要: 简要介绍了离子注入掺杂技术、高功率脉冲磁控溅射镀膜技术及关键技术人员。

关键词: 离子注入掺杂技术

1 专业技术成果介绍

1.1 离子注入掺杂技术

(1) 离子注入设备改造

在完全掌握瓦里安 300XP 离子注入机各部件的工作原理后,将原离子源供电系统中 500 W 电流源和 450 W 起弧电源升级为 1500 W 电流源和 1500 W 起弧电源,并集成到当前的系统中。将现有的不稳定的气体流量、离子源电源、分析器、源磁场、吸极高压塑料光纤隔离控制线路,升级成多通道光纤通讯光端机隔离控制系统。将一个 4 英寸进样终端改造成 6 英寸的样品卡盘,并开发出一套独立控制剂量监测系统。改造后,硼最大束流超过 $150 \mu\text{A}$,且可调节;6 英寸片内片间均匀性优于 3.5%。

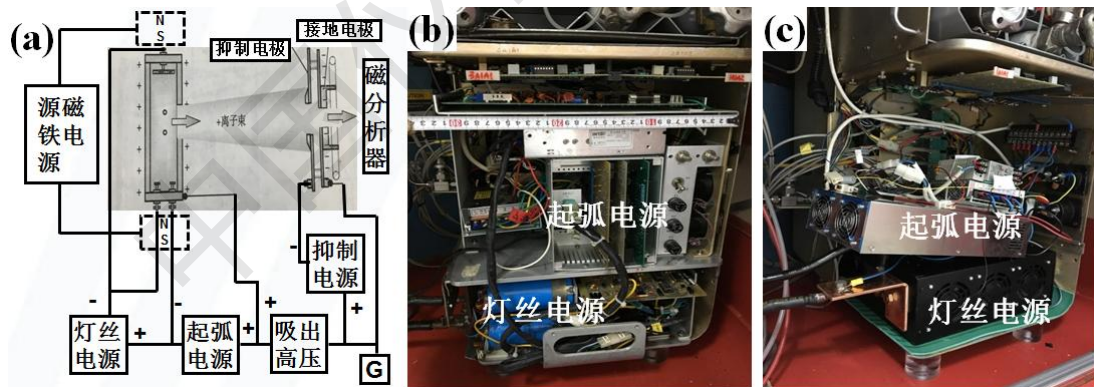


图 1 离子源供电电源, (a) 内部电源互联原理框图, (b) 旧系统中电源, (c) 改造后电源实物照片

(2) 离子注入工艺应用

在 n 型单晶硅表面注入硼,形成浓硼掺杂层,利用该浓硼层制作硅纳米线压阻,互联成惠斯通电桥,构建出 MEMS 压力传感器芯片。图 2(a)示意经过浓硼掺杂过的单晶硅在 TMAH 溶液中腐蚀后剩余的硅薄膜,该膜厚可以通过离子注入及后续退火工艺调节。表面整层的浓

硼掺杂硅通过沟槽刻蚀隔离技术，在应力集中的感压膜上形成压阻条。图 2 (b) 是悬空硅压阻的局部放大 SEM 照片，宽度 120 nm，厚度 1.1 μm。图 2 (c) 是感压膜边沿切向压阻条的 SEM 照片。图 2 (d) 为 MEMS 压力传感器芯片横截面 SEM 照片，感压膜厚度 40 μm。实验室测试发现，满量程 1 MPa 输出约 50 mV，满量程精度优于 1%。

利用离子注入，在 n 型体硅内注入硼，形成 p 型压阻条，构成惠斯通电桥，桥电阻在 5 k Ω 。低压、中压、高压芯片尺寸(长×宽×高 mm)分别为，高压:2.2×2.2×0.9; 中压:3.2×2.4×0.9; 低压:4.1×4.1×0.9，性能如表 1。

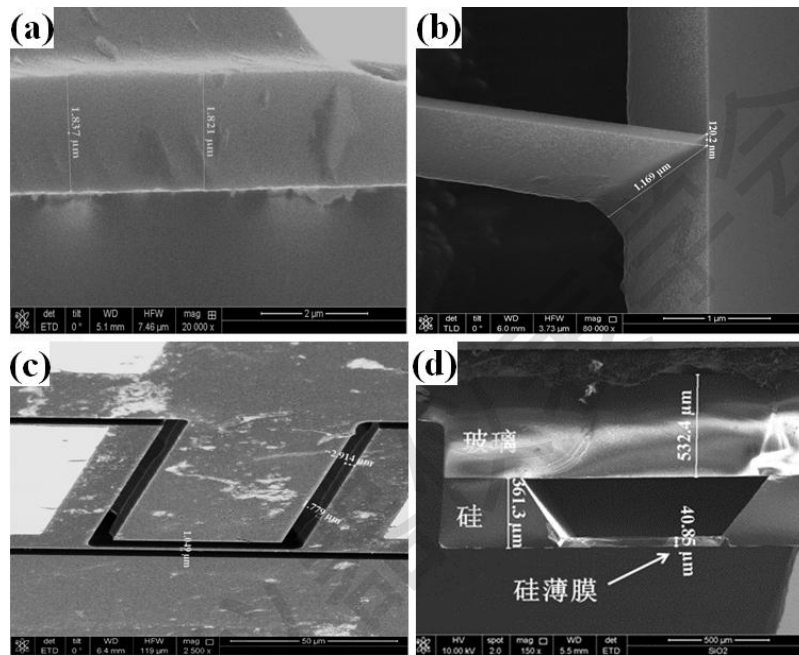


图 2 基于浓硼掺杂硅压阻 MEMS 压力传感器

(a): 浓硼掺杂层 SEM 照片; (b): 悬空硅压阻的局部放大 SEM 照片;
(c): 边沿切向压阻条的 SEM 照片; (d) 压力传感器横截面 SEM

表 1 压阻式压力芯片静态特性测试结果

	非线性%	迟滞%	重复性%	精度%
高压 (5MPa)	0.056	0.021	0.058	0.107
	0.082	0.045	1.093	0.862
	0.054	0.030	0.073	0.112
中压 (1MPa)	0.017	0.061	0.114	0.121
	0.011	0.077	0.103	0.111
	0.017	0.074	0.094	0.106
低压 (100kPa)	0.041	0.038	0.104	0.161
	0.032	0.015	0.075	0.101
	0.037	0.039	0.084	0.116

1.2 高功率脉冲磁控溅射镀膜技术

(1) 设备研制

在 JCP-350 磁控溅射系统基础上，设计加工新的强磁场溅射靶，新增一台高功率脉冲磁控溅射电源，峰值电压达 1000 V，峰值电流最大 1000 A，脉宽 1 μ s-500 ms，周期 100 Hz-50 kHz，可产生计数的正负脉冲，并集成到当前的系统中，结果如图 3 示意。用大尺寸的永磁体代替原磁体，测试得知靶面磁感应强度分别达到 2400 高斯，改造前靶面磁感应强度 300-400 高斯，如图 3 (a) 示意。图 3 (b) 和 (c) 示意了高功率脉冲电源的电脑控制界面和电源主机控制面板。

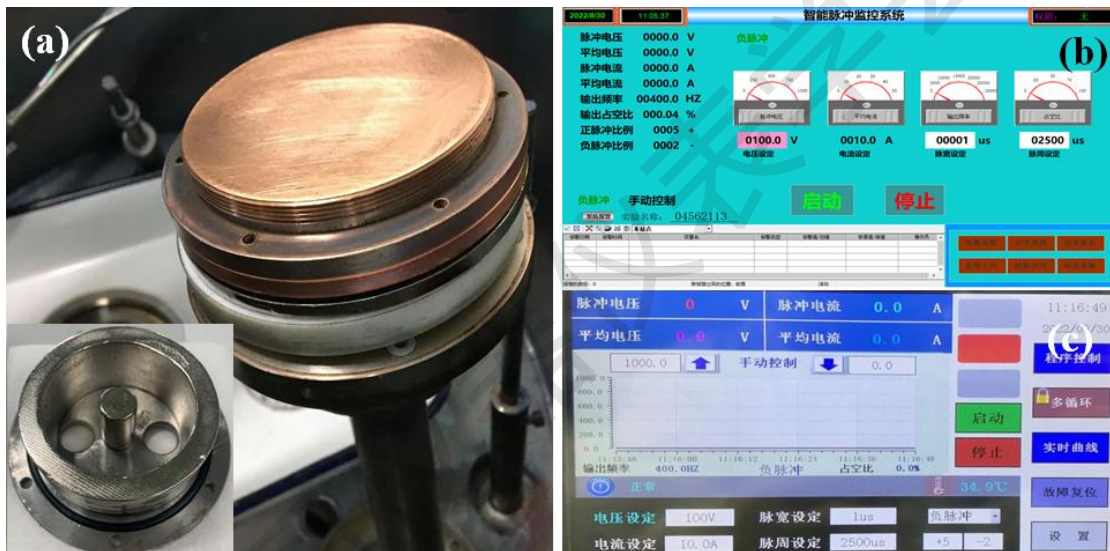


图 3 (a): 强磁场靶头; (b): 电脑控制界面; (c) 电源主机控制面板

(2) 镀膜应用

新研制的高功率脉冲磁控溅射设备能够溅射金属（包括磁性金属及合金）、半导体（多种掺杂状态）、绝缘体各种材料的薄膜。目前已经可以起辉并溅射成薄膜的材料如图 4 示意。

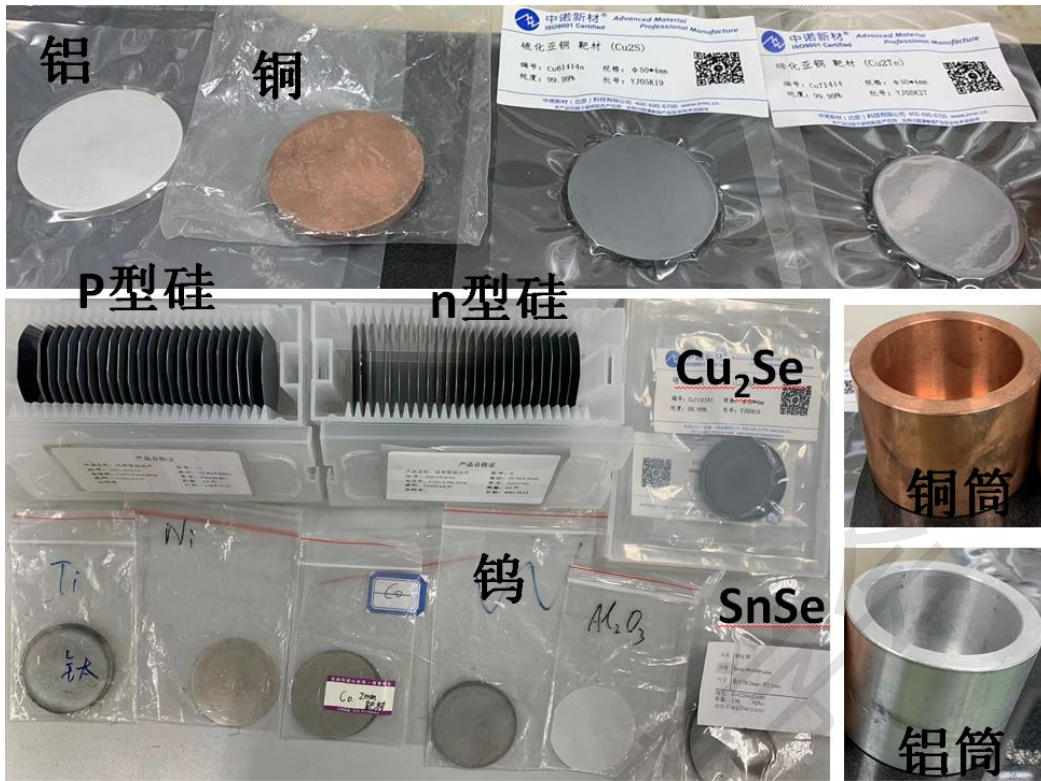


图4 金属、半导体、绝缘体及筒形的磁控溅射靶

利用干法刻蚀，在4英寸硅片上制作深宽比5:1的深孔阵列，将硅片贴附在辅助磁场上，溅射筒形铜靶20分钟。发现在开口直径大于等于 $50\ \mu\text{m}$ 深孔中，连续铜薄膜已经形成，孔口处铜膜厚度为360纳米，如图5所示。

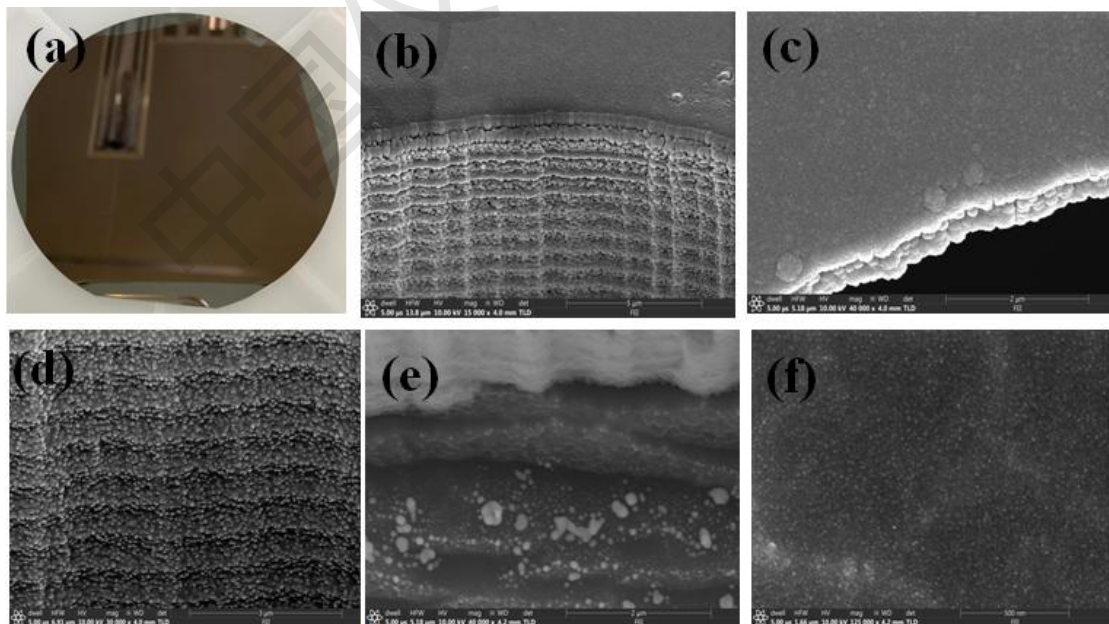


图5 (a): 4英寸片溅射铜后照片; (b): 深孔表面及上部; (c): 孔内侧壁铜薄膜厚度360纳米; (d): 深孔中部; (e): 深孔侧壁与孔底面交会部分; (f) 深孔底面铜薄膜放大图

2 专业技术人才介绍

2.1 个人简介

张明亮，男，博士，副研究员，硕士生导师。

2000 年及 2003 年于安徽大学化学化工学院获学士及硕士学位，2007 年于香港城市大学生物及化学系获博士学位，2007-2009 年，在香港城市大学和加州大学圣迭戈分校从事博士后研究。2010 年加入中国科学院半导体研究所半导体集成技术工程研究中心。

2.2 专业技术研究方向

MEMS 压力传感器；微纳加工技术开发及 MEMS 制作；微纳能源器件

2.3 承担科技项目及代表论著

承担项目：

序号	项目名称	项目类型	负责人	项目起止时间
1	原位可视化海洋多参数高精度观测系统	中科院仪器研制	张明亮	2022.01-2023.12

代表著作：

张明亮，韩国威，刘庆，李艳，杨富华，王晓东，瓦里安 300XP 离子注入机改造及功能开发，《分析测试技术与仪器》，2020, 26（3），151-159.

2.4 获奖及荣誉

