深硅刻蚀工艺实验流程单

工艺大步	序号	工艺步骤	细节步骤	设备	工程师	片数	备注	版图要求
备片信息	00	备片	来料确认	金相显微镜/Olympus MX-51（设备号11001102）	—	—	适用于Si材料深槽、深孔、背腔、微流道、通孔及深沟槽结构	提供GDS/版图、沟槽/孔径、目标深度、开口率、划片道、对准标记及禁刻区域
制版	01	版图确认	GDS/版图数据检查	版图设计软件	尹长青	—	孔径/沟槽宽度建议≥2 μm	常规孔径/线宽≥2 μm；深宽比≤10:1；建议局部开口率约13%；边缘10 mm设置dummy或禁布区；需标明深度测试位置和是否刻穿
	01	光刻版制作（可选）	掩膜版制作/激光直写版图准备	DWL66+激光直写（设备号17002190）	尹长青	—	深硅刻蚀版图应避免过高开口率突变；必要时增加dummy结构以降低loading	版图需包含对准标记、工艺测试图形、样品编号和划片道标识
晶圆清洗	02	清洗	有机清洗	8槽清洗机	宗莉	—	清洗方式需与客户样品材料及已有薄膜兼容	无特殊版图要求
光刻	03	前处理	水分去除	HMDS烘箱	付玉霞	—	用于提高光刻胶与Si、SiO_2、SiNx等表面的附着力，减少显影、金属沉积和剥离过程中的胶边翘起或图形脱落	无特殊版图要求
	03	涂胶	AX12XT-20PL-10厚胶涂覆	SUSS Labspin匀胶机	付玉霞	—	厚胶均匀性、边缘堆胶和气泡会影响曝光、显影和深硅刻蚀掩膜质量；深度>100-200 μm或300-500 μm结构需评估胶厚、选择比和掩膜消耗	常规孔径/线宽≥2 μm
	03	前烘	厚胶Soft bake	SUSS Hot热板	付玉霞	—	前烘不足会导致曝光显影不稳定和刻蚀中起泡；过烘会降低显影窗口或导致显影困难。	无特殊版图要求
	03	曝光	对准曝光	SUSS MA8（LED）光刻机（设备号25032843）	付玉霞	—	曝光剂量需结合胶厚、掩膜透过率和设备光强校准微调；双面对准或背面刻蚀需提前确认正反面对准标记	确认曝光层次、对准方向、深硅刻蚀区域和禁刻区域
	03	中烘	曝光后烘烤/PEB	SUSS Hot热板	付玉霞	—	中烘用于稳定厚胶曝光图形；过烘可能导致CD变化、显影困难或边缘变形	需确认最小沟槽/孔、Pad开口、对准标记和测试图形是否受中烘影响
	03	显影	厚胶显影	PD238显影液	付玉霞	—	显影不足会导致刻蚀开口残胶，显影过度会引起CD偏差和胶边损伤。必要时通过镜检决定是否微调显影时间。	重点检查最小沟槽/孔、开口密集区、对准标记和边缘区域
	03	后烘/坚膜	显影后硬烘	2号烘箱	付玉霞	—	坚膜不足可能导致深硅刻蚀中胶膜起皮或掩膜损耗过快；过度坚膜会增加刻后去胶难度	无特殊版图要求
镜检	04	镜检	光刻图形检查	金相显微镜/Olympus MX-51（设备号11001102）	付玉霞，包艳琳	—	深硅刻蚀前必须确认开口干净，避免残胶导致刻蚀不均或局部未刻蚀	记录中心、边缘、密集区和孤立区图形
打底胶	05	刻蚀前处理	开口残胶处理	等离子体去胶机（设备号21013080）	李希有	—	去除残胶和表面吸附物	无特殊版图要求
刻蚀	06	镜检	刻蚀前检查	光学显微镜	仲涛	—	若采用厚胶掩膜，需确认胶厚和抗刻蚀能力	占空比约13%；预留10mm边缘dummy
	06	深硅刻蚀	DRIE刻蚀	硅深刻蚀系统（设备号16041492）	仲涛	—	深宽比>10:1、高密度小孔、500 μm深通孔、刻穿片、强loading、掩膜背冷、notching、低scallop或低粗糙要求需专项开发。含Au等金属污染样品进入前需提前确认设备准入	孔径/线宽≥2 μm；深宽比≤10:1；局部开口率约13%；边缘10 mm设置dummy或禁布区；测试沟槽建议宽度≥10 μm、长度≥500 μm
去胶	07	湿法去胶	NMP/丙酮浸泡去残胶	湿法通风橱//超声清洗机	宗莉	—	作为主去胶步骤；应去除光刻胶及胶上方多余金属，避免孔内/线间残胶、金属桥连、毛刺和颗粒残留；细小图形慎用超声，防止有效金属图形脱落	无特殊版图要求
	07	干法去胶	O_2 plasma 去残胶	等离子体去胶机（设备号21013080）	李希有	—	避免过度O_2 plasma导致胶形貌损伤、undercut消失、金属/敏感材料表面氧化或孔内残留影响后续检查；确认其他材料是否怕Ar	无特殊版图要求
刻蚀后镜检	08	显微镜检查	表面/边缘形貌检查	光学显微镜	包艳琳	—	作为刻蚀后首步快速检查；记录中心、边缘、典型图形和异常区域照片	需提前定义典型测试图形、边缘区域和异常记录位置
	08	深度/形貌测量	共聚焦显微镜	共聚焦显微镜系统（设备号2101537）	苏鑫	—	适用于有足够开口宽度的深槽/深孔结构；深窄结构底部可能存在光学测量误差	需提前定义测量点位、深度容差和是否需要输出均匀性统计
	08	截面观察	SEM 截面观察	高分辨场发射扫描电镜 / Zeiss GeminiSEM 300（20009957）（可选）	陈雅璐	—	若需精确确认深度、侧壁垂直度或底部形貌，截面SEM比光学测深更可靠；该步骤可能需要切样或破坏性制样。根据精度要求选择	SEM测试图形尺寸：≥10 μm宽*5000 μm长
	08	多点均匀性测试	深度/线宽多点统计	高分辨场发射扫描电镜 / Zeiss GeminiSEM 300（20009957）（可选）	陈雅璐	—	在边缘10mm内的有效区域选取中心、两端及边缘多点测量	设置宽度≥100 μm的平坦膜厚测试区；无测试区时使用同批陪片
氧化（可选）	09	深硅刻蚀后修复	热氧化生长SiO_2	氧化炉（设备号21014796）	曹秉军	—	300 nm可作为轻度损伤消耗/侧壁钝化窗口，500-1000 nm适合更强的侧壁氧化消耗和绝缘保护需求。热氧化会消耗Si，生成1 nm SiO_2约消耗0.44 nm Si；300-1000 nm SiO_2约消耗132-440 nm Si。对于尺寸敏感的深槽、窄梁、孔阵列结构，需提前评估CD缩小、侧壁氧化增厚、应力和结构变形	版图中需预留氧化消耗量和氧化层厚度影响；深槽、窄孔、微桥、薄梁结构需标注关键尺寸和最小间距
	09	氧化后膜厚检查	SiO_2厚度/均匀性测量	椭圆偏振光谱仪（设备号10013202）	苏鑫	—	深槽侧壁氧化厚度不宜直接用椭偏表征，应以平面监测区或陪片厚度作为工艺参考；必要时用截面SEM确认侧壁氧化情况	版图中建议设置平坦膜厚测试区，建议开口尺寸≥100μm；若无测试区，需使用同批陪片
	09	形貌检查	氧化后形貌检查	光学显微镜	包艳琳	—	对高深宽比结构，氧化后可能出现侧壁厚化、开口变窄、局部应力集中或结构变形	无特殊版图要求
	09	牺牲氧化层去除(可选)	HF/BOE去SiO_2	湿法间/BOE腐蚀台	宗莉	—	只有需要真正去除刻蚀损伤层时才加入该步骤；若SiO_2作为侧壁钝化层、绝缘层或保护层，则不去除。湿法去氧化层会引入悬空结构粘连和图形损伤风险	无特殊版图要求
最终确认	10	结果汇总	数据记录	—	—	—	汇总光刻尺寸、刻蚀深度、侧壁角度、均匀性数据	无特殊版图要求

注：1. 若后续需要划片工艺，请参考砂轮划片工艺流程卡。
2.本流程卡基于4英寸晶圆制定，其他尺寸晶圆/小片/异形片的工艺参数、设备适配、装片方式、均匀性与风险均会调整，需专项评估。
3. 本流程标准刻蚀深度为1–500 μm、线宽/孔径≥2 μm、深宽比≤10:1、占空比13%；300–500 μm、刻穿、高密度小孔、强loading或特殊停止层结构需专项评估，本流程刻蚀为博世工艺。
4.若后续有热氧需求，可选热氧化用于去除刻蚀损伤，应采用“热氧化消耗S1损伤层 + 后续HF/BOE去除牺牲氧化层”的完整路线；若氧化层作为绝缘、钝化或保护层，则默认保留。