

ICS 29.050

CCS Q 51

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

半导体刻蚀设备用高纯硅微孔部件加工技术规范

Technical specification for processing technology of high-purity silicon
microporous components used in semiconductor etching equipment

(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 加工前准备 2

 4.1 图纸与工艺审查 2

 4.2 原材料检验 2

 4.3 加工余量确认 2

5 设备与工装要求 2

 5.1 加工设备要求 2

 5.2 工装夹具要求 2

 5.3 刀具要求 3

6 工艺参数控制 3

 6.1 切削参数选择原则 3

 6.2 微孔钻削参数 3

 6.3 冷却与润滑要求 3

 6.4 倒角工艺 4

7 过程检测与监控 4

 7.1 在线过程监控 4

 7.2 首件检验 4

 7.3 过程抽检 4

 7.4 损伤层检测 4

8 化学腐蚀与表面处理 5

 8.1 腐蚀目的 5

 8.2 腐蚀液配方及工艺参数 5

 8.3 腐蚀后检验 5

9 加工环境与人员要求 5

 9.1 洁净环境要求 5

 9.2 人员要求 5

10 加工质量文件 5

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

半导体刻蚀设备用高纯硅微孔部件加工技术规范

1 范围

本文件规定了半导体刻蚀设备用高纯硅微孔部件的加工前准备、设备与工装要求、工艺参数控制、过程检测与监控、化学腐蚀与表面处理、加工环境与人员要求、加工质量文件。
本文件适用于半导体刻蚀设备用高纯硅微孔部件的机械加工过程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 6616 半导体晶片电阻率及半导体薄膜薄层电阻的测试 非接触涡流法
- GB/T 11073 硅片径向电阻率变化测量方法
- GB/T 12962 硅单晶
- GB/T 14264 半导体材料术语
- GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级
- GB/T 35306 硅单晶中碳、氧含量的测定 低温傅立叶变换红外光谱法
- GB/T 40577 集成电路制造设备术语

3 术语和定义

GB/T 14264和GB/T 40577界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

硅微孔部件 silicon microporous component

以高纯单晶硅为原材料，经机械加工和化学处理制成的、含有微孔结构的硅电极、硅环等刻蚀设备用零部件。

3.2

微孔 micro-hole

硅微孔部件上用于刻蚀气体导流的通孔结构。

3.3

加工损伤层 machining-induced damage layer

在微孔机械加工（钻削或铣削）过程中，因刀具对硅材料施加的挤压和剪切作用，在微孔内壁表层产生的由非晶态硅、位错缠结和微裂纹组成的显微组织改变区域。

3.4

啄钻循环 peck drilling cycle

为防止深孔加工中切屑堵塞和散热不良，采用刀具周期性退刀排屑的分段钻孔进给策略。

3.5

工艺验证批 process validation lot

在加工工艺参数变更或设备大修后，为验证工艺稳定性而连续加工的不少于 3 件且不超过 5 件的试加工批次。

4 加工前准备

4.1 图纸与工艺审查

- 4.1.1 加工前应对硅微孔部件设计图纸进行工艺性审查，确认微孔孔径、孔深、孔位分布、倒角要求等技术参数的合理性。
- 4.1.2 应根据图纸要求编制加工工艺规程文件，内容应包括：设备选型、工装夹具方案、刀具选型、切削参数、检测方法及频次。
- 4.1.3 工艺规程文件应经技术负责人审批后方可实施。

4.2 原材料检验

硅单晶原材料应符合GB/T 12962的规定，来料时应核查质量证明文件，并按照表1的指标进行检验。

表1 硅单晶原材料检验指标

序号	检验项目	宜采用的指标	检验方法
1	导电类型	P 型	GB/T 12962
2	晶向	〈100〉	X 射线衍射法
3	电阻率	0.5 Ω·cm~20 Ω·cm	GB/T 6616
4	电阻率径向变化率	≤10%	GB/T 11073
5	氧含量	≤1.0×10 ¹⁸ atoms/cm ³	GB/T 35306
6	碳含量	≤5.0×10 ¹⁶ atoms/cm ³	GB/T 35306
7	位错密度	≤500 cm ⁻²	蚀刻法
8	直径	200 mm~376 mm，偏差≤±1.0 mm	游标卡尺/激光测径仪

4.3 加工余量确认

- 4.3.1 加工前应确认硅单晶毛坯的厚度余量，外形粗加工宜预留0.3 mm~0.5 mm精加工余量。
- 4.3.2 基准面精磨后，以上、下表面为定位基准，两平面平行度宜不大于0.01 mm。

5 设备与工装要求

5.1 加工设备要求

硅微孔部件加工宜采用高精度五轴联动或三轴精密加工中心，加工中心宜具备以下技术指标：

- a) 主轴最高转速不低于60 000 r/min，转速精度不低于±100 r/min；
- b) 主轴径向跳动（在距主轴端面100 mm处测量）不大于0.002 mm；
- c) 三轴定位精度不大于0.004 mm，重复定位精度不大于0.002 mm；
- d) 设备宜配备冷却液循环过滤系统，过滤精度不大于1 μm；
- e) 设备工作台面平面度不大于0.005 mm。

注：加工中心宜每12个月进行一次精度校准，校准报告应存档备查。

5.2 工装夹具要求

5.2.1 夹具类型选择

硅微孔部件加工宜采用真空吸盘夹具或专用的陶瓷基静电夹具。

5.2.2 真空吸盘

宜满足以下要求：

- a) 吸盘表面平面度不大于0.005 mm；
- b) 真空度不低于-80 kPa，且真空波动不超过±2 kPa；

c) 吸盘材料宜为多孔陶瓷或不锈钢,表面宜包覆厚度不小于0.5 mm的聚四氟乙烯或聚醚醚酮(PEEK)保护层,防止划伤硅部件表面。

5.2.3 复合夹具

对于厚度小于3 mm的薄片部件,宜采用“托盘+真空”复合夹具,下垫硬质支撑环,防止加工过程中部件发生弹性变形。

5.2.4 定位精度

夹具宜设置基准定位销,定位销的位置度公差不大于0.01 mm,重复装夹一致性不大于0.005 mm。

5.3 刀具要求

5.3.1 刀具材质选择

微孔加工宜选用聚晶金刚石(PCD)或化学气相沉积(CVD)金刚石涂层硬质合金钻头。刀具技术指标应符合JB/T 11458的规定。

5.3.2 刀具几何参数

宜满足以下要求:

- a) 钻头顶角宜为 $118^{\circ} \pm 2^{\circ}$;
- b) 钻头螺旋角宜为 $30^{\circ} \sim 35^{\circ}$;
- c) 刀具刃口钝圆半径宜控制在 $2\ \mu\text{m} \sim 5\ \mu\text{m}$ 范围内;
- d) 刀具径向跳动不大于0.003 mm。

5.3.3 刀具寿命管理

每把PCD钻头的累计钻孔数达到200个微孔时应强制更换。更换刀具后应重新进行刀具长度补偿和半径补偿标定。

6 工艺参数控制

6.1 切削参数选择原则

硅材料属于硬脆材料,加工时应遵循“小切深、低进给、高转速”的原则,以防止崩边和微裂纹扩展。切削参数宜在工艺验证批中通过正交试验确定,最优参数应在批量加工中保持固定。

6.2 微孔钻削参数

6.2.1 主轴转速

应根据孔径和孔深综合确定:

- a) 孔径0.3 mm~0.8 mm的微孔,主轴转速宜为35 000 r/min~50 000 r/min;
- b) 孔径0.8 mm~2.0 mm的微孔,主轴转速宜为20 000 r/min~35 000 r/min。

6.2.2 进给速度

进给速度宜按以下要求控制:

- a) 粗加工时进给速度宜为5 mm/min~15 mm/min;
- b) 精加工时进给速度宜为3 mm/min~8 mm/min。

6.2.3 啄钻循环参数

宜采用分段啄钻加工,每次切入深度(每刀切削深度)不应大于0.5 mm(适用于孔径 ≤ 1.0 mm)或1.0 mm(适用于孔径1.0 mm~2.0 mm);退刀高度不应小于0.3 mm。

6.2.4 粗/精加工余量分配:

粗加工孔径宜预留0.02 mm~0.04 mm余量,精加工一次成形至最终尺寸。

6.3 冷却与润滑要求

6.3.1 冷却液选用

加工过程中应使用充分过滤的冷却液进行强制内冷和外冷。冷却液宜选用去离子水基切削液(浓度5%~8%),或采用纯度不低于99.999%的高纯氮气作为雾化冷却介质。

6.3.2 供液参数

冷却液供液压力(内冷通道)不应小于2.0 MPa,流量不应小于5 L/min。

6.3.3 温度控制

冷却液温度宜控制在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，温度波动超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 时应暂停加工，待温控恢复后继续。

6.4 倒角工艺

6.4.1 倒角参数

微孔入口和出口处应采用专用倒角铣刀或同一钻头程序降速进行倒角。倒角主轴转速宜降至加工转速的50%~60%，进给速度宜降至 $2\text{ mm/min} \sim 3\text{ mm/min}$ 。

6.4.2 倒角尺寸

倒角尺寸宜为 $(0.1 \pm 0.05)\text{ mm} \times 45^\circ$ ，倒角后不应存在目视可见的毛刺或锯齿状边缘。

7 过程检测与监控

7.1 在线过程监控

7.1.1 主轴负载监测

加工过程中应实时监测主轴负载电流。当负载电流超出初始空载电流的15%时，系统应自动报警并暂停进给，提示刀具磨损或切屑堵塞。

7.1.2 对刀检测

加工中心应配备接触式或非接触式对刀仪，每班次开工前应对所有使用刀具进行长度和径向跳动检测，偏差超过 0.005 mm 时应立即补偿或更换。

7.2 首件检验

7.2.1 检验时机

每批次加工前应进行首件检验。首件检验应在工艺参数设定完成后、连续加工的前3个部件中进行。

7.2.2 检验项目

首件检验项目宜包括：

- a) 孔径及孔径公差（至少测量10个微孔）；
- b) 微孔位置度（全尺寸测量）；
- c) 微孔内壁表面粗糙度（至少测量3个微孔）；
- d) 微孔入口及出口边缘质量（100%显微镜检查）。

7.2.3 判定与处置

首件全部检验项目合格后，方可进行批量加工，若有任何一项不合格，应调整工艺参数后重新进行首件检验。

7.3 过程抽检

7.3.1 抽检频次

批量加工中宜按每20件或每2小时（以先到者为准）进行一次抽检。

7.3.2 抽检项目与接收限

过程抽检项目为孔径和微孔边缘崩边情况。孔径宜抽检5个微孔，公差宜不超过 $\pm 0.02\text{ mm}$ ；崩边宽度不应大于 0.02 mm ，深度不应大于 0.01 mm 。

7.3.3 异常处置

抽检发现不合格时，应立即停机排查原因，并对自上次合格抽检以来加工的产品进行全数复检。

7.4 损伤层检测

7.4.1 检测时机与取样

每批次宜抽取1件，或在每更换一次刀具批次时抽取1件，进行破坏性检测。

7.4.2 检测方法

将样品沿微孔轴线剖开，经化学腐蚀后，在扫描电子显微镜（SEM）下观察并测量加工损伤层厚度。腐蚀液宜选用Wright蚀刻液，室温条件下腐蚀60 s。

7.4.3 接收限与处置

损伤层厚度宜不大于5 μm 。若检测结果超过此限值，宜降低进给速度20%后重新进行工艺验证批加工，验证合格后方可继续批量生产。

8 化学腐蚀与表面处理

8.1 腐蚀目的

机械加工后的微孔内壁存在由切削应力引起的非晶态损伤层和微裂纹，应通过化学腐蚀去除，以获得洁净、无应力的原始硅晶格表面。

8.2 腐蚀液配方及工艺参数

8.2.1 腐蚀液配方

腐蚀液宜采用 HNO_3 （65%~68%）、 HF （49%）、 CH_3COOH （冰醋酸，99.5%）混合体系，体积比宜为5：1：2或10：1：3。

8.2.2 腐蚀工艺参数控制

腐蚀工艺参数宜按以下要求控制：

- a) 腐蚀温度宜控制在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ；
- b) 腐蚀时间应根据所需去除厚度计算，典型去除单面厚度3 μm 时，腐蚀时间宜为120 s~180 s；
- c) 腐蚀速率应通过随炉陪片（同批次硅片）测定，宜控制在1.0 $\mu\text{m}/\text{min}$ ~1.5 $\mu\text{m}/\text{min}$ 。陪片测量后以实际速率为准调整时间。

8.2.3 腐蚀后处理

腐蚀后应立即用去离子水（电阻率 $\geq 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ ）进行溢流冲洗，冲洗时间不少于5 min，随后在无水乙醇中脱水干燥。

8.3 腐蚀后检验

化学腐蚀后，微孔内壁表面粗糙度 R_a 宜不大于0.4 μm ，且不应存在腐蚀坑、晶界选择性腐蚀等不均匀现象。

9 加工环境与人员要求

9.1 洁净环境要求

9.1.1 硅微孔部件的机械加工及化学腐蚀区域宜在满足GB/T 25915.1中ISO 6级（千级）或更高级别的洁净室内进行。

9.1.2 洁净室温度宜控制在 $(22 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，相对湿度宜控制在 $(45 \pm 5)\%$ 。

9.1.3 加工设备本体宜配备局部层流罩（FFU），在刀具和工件接触区域形成垂直单向流，风速不低于0.45 m/s。

9.2 人员要求

9.2.1 硅微孔部件加工操作人员应经过半导体硅材料加工专业培训，考核合格后持证上岗。

9.2.2 操作人员进入洁净室应穿着符合ISO 4级洁净室要求的无尘服、手套和口罩。禁止裸手接触硅部件表面及微孔区域。

9.2.3 每名操作人员同时操作的设备台数不宜超过2台。

10 加工质量文件

每批硅微孔部件加工完成后，制造单位应向委托方提供加工质量文件，至少宜包括以下内容：

- a) 制造单位名称及加工日期；
- b) 硅部件名称、型号、批次号及数量；
- c) 所采用的加工设备编号及校准有效日期；
- d) 实际使用的工艺参数记录（主轴转速、进给速度、每刀切深、冷却液温度）；

- e) 首件检验及过程抽检的记录数据；
 - f) 损伤层厚度检测报告（含SEM照片）；
 - g) 化学腐蚀工艺记录（腐蚀液配比、温度、时间、去除厚度）；
 - h) 操作人员签名及质量检验员签章。
-