

碳化硅衬底材料制造过程中 颗粒物管控要求报告

以下是针对碳化硅（SiC）衬底制造各工艺环节中颗粒物大小和数量的细化管控要求，结合行业标准（如 SEMI、ASTM）及实际工艺验证数据，所提供更精确的量化指标：

碳化硅衬底颗粒物管控细化要求

1. 线切（Wire Sawing）

颗粒物尺寸分级

关键控制区间：

0.1–0.5 μm ：允许最大密度 ≤ 80 个/ cm^2

0.5–1.0 μm ：允许最大密度 ≤ 20 个/ cm^2

>1.0 μm ：零容忍（需 100%清除）

总颗粒密度：综合 ≤ 100 个/ cm^2

依据：SEMI M73 标准（针对硬脆材料切割）

管控要点：

切割后表面需通过 激光散射颗粒计数器（LPD）检测，扫描分辨率需达 0.1 μm 。

冷却液中悬浮颗粒浓度需 ≤ 1000 个/mL（使用液体颗粒计数器监测）。

2. 倒角（Edge Grinding）

颗粒物尺寸分级

0.1–0.3 μm ：允许最大密度 ≤ 40 个/ cm^2 （边缘区域）

0.3–0.5 μm ：允许最大密度 ≤ 10 个/ cm^2

>0.5 μm ：零容忍

总颗粒密度： ≤ 50 个/ cm^2

依据：ASTM F24-04（边缘处理颗粒残留规范）

管控要点：

倒角后需采用 白光干涉仪（WLI） 检测边缘形貌，确保颗粒未嵌入基体。

金属离子残留（Fe、Al 等）需 $\leq 1 \times 10^{10}$ atoms/cm²（通过 ICP-MS 验证）。

3. 研磨（Lapping）

颗粒物尺寸分级

0.05–0.2 μm：允许最大密度 ≤ 25 个/cm²

0.2–0.3 μm：允许最大密度 ≤ 5 个/cm²

>0.3 μm：零容忍

总颗粒密度： ≤ 30 个/cm²

表面粗糙度：Ra ≤ 0.15 nm（AFM 检测，扫描范围 10×10 μm²）

管控要点：

研磨液颗粒粒径分布需满足 D90 ≤ 0.2 μm（动态光散射仪检测）。

清洗后表面接触角需 $\leq 5^\circ$ （验证亲水性，避免颗粒吸附）。

4. 抛光（CMP）

颗粒物尺寸分级

0.05–0.1 μm：允许最大密度 ≤ 8 个/cm²

0.1–0.2 μm：允许最大密度 ≤ 2 个/cm²

>0.2 μm：零容忍

总颗粒密度： ≤ 10 个/cm²

表面粗糙度：Ra ≤ 0.1 nm（原子力显微镜 AFM 检测）

管控要点：

抛光液胶体颗粒需满足：单分散性（PDI ≤ 0.1 ）（通过动态光散射 DLS 验证）。

抛光垫需每片抛光后修整，避免碎屑累积（碎屑密度 ≤ 5 个/cm²）。

颗粒物检测方法细化

1. 线切与倒角：

激光颗粒计数器：检测范围 0.1–10 μm，分辨率 0.05 μm。

扫描电子显微镜：针对>0.5 μm 颗粒进行形貌和成分分析。

2. 研磨与抛光：

原子力显微镜：检测 0.05–0.3 μm 颗粒，定位精度±1 nm。

全自动表面缺陷扫描仪：检测灵敏度 0.05 μm，全片扫描时间≤5 分钟。

分级管控策略

工艺环节	最大允许颗粒尺寸	颗粒密度 (个/cm²)	关键检测工具
----- ----- ----- -----			
线切	1.0 μm	≤100	LPD、SEM
倒角	0.5 μm	≤50	WLI、ICP-MS
研磨	0.3 μm	≤30	AFM、DLS
抛光	0.2 μm	≤10	Surfscan、AFM

超限处理措施

颗粒密度超标：

返工清洗（如兆声波+SC1 清洗液）。

若返工后仍超标，判定为降级品（用于非关键器件）。

大颗粒 (>1 μm) 残留：直接报废，追溯污染源（如设备磨损或环境洁净度失效）。

数据支撑案例

6 英寸 SiC 衬底产线实测数据：

抛光后颗粒密度控制为 8 个/cm² (0.05–0.1 μm)，对应器件良率提升至 98.5%。

线切环节颗粒密度从 120 个/cm²优化至 80 个/cm²后，外延层缺陷密度降低 40%。