

洁净室用毛刷技术白皮书

一、背景与范围

随着半导体、平板显示、生物医药行业对洁净环境要求的不断提高，洁净室配套使用的工业毛刷需要满足极低发尘量、无金属离子析出、耐化学清洗等严苛要求。本白皮书系统性地阐述了洁净室用毛刷的材料选择、设计准则、测试方法和应用建议。

二、洁净度等级与毛刷要求

ISO 14644-1 洁净度等级：

- Class 1-10 (ISO 3-4)：芯片制造前道 → 刷丝须PEEK或特氟龙，辊轴全包覆
- Class 100-1000 (ISO 5-6)：晶圆后道封装 → 推荐PBT/PA66，低发尘处理
- Class 10000 (ISO 7)：一般洁净组装 → PA6/PA66，抗静电处理
- Class 100000 (ISO 8)：普通洁净环境 → PA6标准型

三、材料选择标准

1. 刷丝材质

- PEEK：最高洁净等级，耐温250 °C，无金属离子，可反复高温高压灭菌
- PBT：高洁净等级，低吸水率（0.2%），耐化学清洗溶剂
- PA66（抗静电型）：中高洁净等级，表面电阻 $10^8 \sim 10^{10} \Omega$
- 导电PA：含碳纤/碳黑，表面电阻 $<10^6 \Omega$ ，适用于ESD敏感工位

2. 辊轴材质

- 304不锈钢（推荐）：电解抛光处理，表面 $Ra < 0.4 \mu m$
- 铝合金：阳极氧化+特氟龙涂层
- 工程塑料（PEEK/PPS）：全包覆无金属暴露

3. 辅助材料

- 植毛胶水：环氧树脂（低挥发份型），通过outgas测试
- 轴承：不锈钢材质，PTFE密封，食品级润滑脂
- 包装：双层真空包装，洁净室环境内开封

四、发尘量测试数据

测试方法：在ISO Class 5洁净室中，毛刷辊以800rpm空转，用粒子计数器（TSI 9306）测量 $0.3 \mu m$ 以上颗粒数。

材质	空转10min发尘量	清洁后发尘量	Class评级
PA6（标准）	8500 粒/m3	1200 粒/m3	Class 10000
PA66	4200 粒/m3	680 粒/m3	Class 1000
PBT	1800 粒/m3	320 粒/m3	Class 100
PEEK	520 粒/m3	85 粒/m3	Class 10
导电PA	3200 粒/m3	550 粒/m3	Class 1000

注：以上数据基于PHOEBE实验室测试，测试条件严格遵循ISO 14644-3。

五、金属离子析出检测

检测方法：ICP-MS，将刷丝样品在超纯水（18.2MΩ·cm）中80℃浸泡24小时，检测浸出液中金属离子浓度。

离子/材质	PEEK	PBT	PA66
Na	<1 ppb	12 ppb	45 ppb
K	<1 ppb	5 ppb	28 ppb
Ca	<1 ppb	8 ppb	63 ppb
Fe	<1 ppb	3 ppb	18 ppb
Cu	<1 ppb	<1 ppb	6 ppb

结论：PEEK材质满足半导体前道工艺要求（<1ppb），PBT满足后道封装需求（<20ppb）。

六、洁净室毛刷选型指南

- 半导体前道（晶圆制造）：PEEK刷丝+不锈钢辊轴+PTFE轴承 → Class 1-10
- 半导体后道（封装测试）：PBT刷丝+铝合金辊轴+PTFE轴承 → Class 100
- 平板显示（LCD/OLED）：PBT/PA66抗静电+不锈钢辊轴 → Class 100-1000
- 生物医药灌装线：PEEK刷丝+全不锈钢结构 → Class 100
- 光伏电池片：PA66抗静电+铝合金辊轴 → Class 10000
- 一般电子组装：PA6/PA66+标准辊轴 → Class 100000

七、清洗与维护建议

- 初次使用前：用超纯水+IPA（异丙醇）超声波清洗30分钟
- 日常清洗：纯水冲洗+无尘布擦拭，频率根据洁净度要求
- 定期深度清洗：每200小时，专业清洗液浸泡+超声清洗
- 更换标准：发尘量超过规定值的3倍时建议更换
- 存放环境：清洁后真空包装，温度15-25℃，湿度<40%

八、认证与合规

- ISO 14644 洁净室标准
- SEMI S2/S8 半导体设备安全标准
- RoHS 2.0 有害物质限制
- REACH 化学物质法规
- 可按客户需求提供第三方SGS/TUV检测报告