

# T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX—2025

## 半导体用智能真空泵颗粒物控制技术要求

Technical requirements for particle control of intelligent vacuum pumps used in  
semiconductors

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 发布

# 目 次

1	范围	1
2	规范性引用文件	1
3	术语和定义	1
4	技术要求	1
4.1	颗粒物限值	1
4.2	材料	1
4.3	结构设计	1
4.4	智能控制模块设计	2
4.5	加工精度	2
4.6	清洗工艺	2
4.7	过程检验	2
5	试验方法	2
5.1	颗粒物限值	2
5.2	仪器	2
5.3	采样点	2
5.4	测试流程	2
5.5	合格判据	2
5.6	材料	2
5.7	结构设计	3
5.8	智能控制模块设计	3
5.9	加工精度	3
5.10	清洗工艺	3
5.11	过程检验	3
6	包装	4
7	运输	4

## 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××××提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 半导体用智能真空泵颗粒物控制技术要求

## 1 范围

本文件适用于半导体用智能真空泵颗粒物控制的技术要求、试验方法、包装、运输。

本文件适用于半导体芯片制造过程中，对真空环境颗粒物浓度有严格要求的智能真空泵（包括干式螺杆泵、罗茨泵、分子泵等），不适用于含腐蚀性气体或放射性物质的特殊工艺场景。

## 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 9286 色漆和清漆 划格试验

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**智能真空泵 intelligent vacuum pump**

具备颗粒物浓度实时监测、自动调节抽速、故障预警及远程诊断功能的真空泵系统。

### 3.2

**颗粒物控制 particle control**

通过设计优化、运行调控、过滤净化等手段，将真空泵内部及排气中颗粒物浓度控制在规定限值内的技术措施。

## 4 技术要求

### 4.1 颗粒物限值

真空泵在额定工况下运行时，应满足以下颗粒物浓度要求：

- 泵腔内部：不小于  $0.1\ \mu\text{m}$  颗粒物浓度不大于  $10\ \text{个}/\text{m}^3$ ，不小于  $0.5\ \mu\text{m}$  颗粒物浓度不大于  $1\ \text{个}/\text{m}^3$ ；
- 排气口：不小于  $0.1\ \mu\text{m}$  颗粒物浓度不大于  $100\ \text{个}/\text{m}^3$ ，不小于  $0.5\ \mu\text{m}$  颗粒物浓度不大于  $10\ \text{个}/\text{m}^3$ 。

### 4.2 材料

4.2.1 主体材料：泵体、转子等与气体接触部件应采用 316L 不锈钢（含铬不小于 17%、镍不小于 12%）或氧化铝陶瓷涂层（厚度不小于  $50\ \mu\text{m}$ ），材料释气率不大于  $1\times 10^{-8}\ \text{Pa}\cdot\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ （ $25^\circ\text{C}$  下测试）。

4.2.2 密封材料：选用全氟醚橡胶（FFKM）或金属 C 形圈，避免有机挥发物（VOCs）分解产生颗粒物。

### 4.3 结构设计

4.3.1 流道优化：流道表面粗糙度  $R_a$  不大于  $0.8\ \mu\text{m}$ ，拐角处曲率半径不小于  $5\ \text{mm}$ ，避免直角或锐角结构；压缩腔与排气口之间设置  $15^\circ$  倾斜导流板，防止湍流沉积。

4.3.2 无死角设计：螺纹连接部位采用内藏式螺栓，焊接部位采用自动 TIG 焊（钨极惰性气体保护焊），焊后进行电解抛光，确保表面光滑度。

4.3.3 自清洁功能集成：内置超声波清洗装置，可定时或触发式（颗粒物浓度超标时）启动。

#### 4.4 智能控制模块设计

4.4.1 传感器布局：泵腔内置3组激光粒子计数器（采样点：进气端、压缩段、排气端），响应时间不大于1 s；温度传感器、振动传感器集成于轴承座。

4.4.2 算法要求：采用PID+模糊控制算法，当颗粒物浓度超过限值10%时，10 s内启动以下任一措施：

- a) 抽速提升15%；
- b) 氮气注入量增加至额定流量的30%；
- c) 启动超声波清洗。

#### 4.5 加工精度

4.5.1 转子加工：螺杆泵转子齿形公差不大于 $\pm 0.01$  mm，动平衡等级G1；叶轮类部件径向跳动不大于0.02 mm。

4.5.2 装配环境：洁净度不小于 $0.5 \mu\text{m}$ 颗粒物不大于100个/ $\text{m}^3$ ），车间温湿度控制在 $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $(45\% \pm 5\%) \text{ RH}$ 。

#### 4.6 清洗工艺

4.6.1 零部件清洗：加工后部件应经过超声波清洗、去离子水漂洗、真空干燥流程，清洗后表面颗粒物（不小于 $0.5 \mu\text{m}$ ）不大于5个/ $\text{cm}^2$ 。

4.6.2 整机清洗：装配完成后进行3次循环冲洗（通入99.999%氮气，流量 $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ，每次30 min），残液量不大于0.5 mL。

#### 4.7 过程检验

泄漏率检测：采用氦质谱检漏仪，泵腔泄漏率不大于 $5 \times 10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

### 5 试验方法

#### 5.1 颗粒物限值

#### 5.2 仪器

激光粒子计数器（量程 $0.1 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ ，精度 $\pm 10\%$ ）。

#### 5.3 采样点

泵腔内部于进气端、压缩段、排气端各设3个采样点，排气口设1个采样点。

#### 5.4 测试流程

真空泵在额定工况（转速、温度按制造商规定）下运行30 min后，每个采样点连续采样5次（每次1 min），取算术平均值。

#### 5.5 合格判据

5.5.1 泵腔内部：不小于 $0.1 \mu\text{m}$ 颗粒物浓度不大于10个/ $\text{m}^3$ ，不小于 $0.5 \mu\text{m}$ 颗粒物浓度不大于1个/ $\text{m}^3$ ；

5.5.2 排气口：不小于 $0.1 \mu\text{m}$ 颗粒物浓度不大于100个/ $\text{m}^3$ ，不小于 $0.5 \mu\text{m}$ 颗粒物浓度不大于10个/ $\text{m}^3$

#### 5.6 材料

#### 5.6.1 主体材料

5.6.1.1 成分分析：采用X射线荧光光谱仪（XRF）检测316L不锈钢成分、铬（Cr）含量，镍（Ni）含量；氧化铝陶瓷涂层采用涡流测厚仪测量，取3个测试点平均值。

5.6.1.2 释气率测试：在 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 、真空度 $1 \times 10^{-7} \text{ Pa}$ 条件下，采用质谱仪持续监测24 h，总释气率不大于 $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。

5.6.1.3 涂层附着力：按GB/T 9286进行划格试验。

## 5.6.2 密封材料

采用热脱附-气相色谱质谱联用仪（TD-GC/MS），将密封材料在200℃下加热2 h，收集挥发物。

## 5.7 结构设计

### 5.7.1 流道优化

5.7.1.1 表面粗糙度：使用触针式表面粗糙度仪，在流道不同位置取5个测试点。

5.7.1.2 拐角曲率半径：采用三坐标测量仪，对每个拐角取3个测量点。

### 5.7.2 无死角设计

采用工业内窥镜（分辨率不小于1080P）检查焊接部位，无气孔、裂纹等缺陷；电解抛光后表面光泽度采用光泽度仪测量。

### 5.7.3 自清洁功能

使用频率计测量清洗装置工作频率；功率计测量功率密度。

## 5.8 智能控制模块设计

### 5.8.1 传感器布局

5.8.1.1 响应时间测试：使用标准颗粒物发生器向泵腔注入颗粒物，记录传感器从检测到输出信号的时间，重复3次，取最大值。

5.8.1.2 温度/振动传感器精度：温度传感器在80℃±5℃区间内，与标准温度计对比误差不大于±0.5℃；振动传感器在1000 Hz频率下，测量误差不大于±5%。

### 5.8.2 算法要求

5.8.2.1 响应时间验证：通过颗粒物发生器注入浓度为限值110%的颗粒物，记录从传感器检测超标到控制措施（抽速提升/氮气注入/超声波清洗）启动的时间。

5.8.2.2 措施有效性：通过流量传感器验证抽速提升幅度；质量流量计检测注入量。

## 5.9 加工精度

### 5.9.1 转子加工

5.9.1.1 齿形公差：采用三坐标测量仪（精度±0.001 mm）在转子全长范围内取5个截面。

5.9.1.2 动平衡测试：在动平衡机上以3600 r/min转速测试。

5.9.1.3 叶轮径向跳动：使用百分表（精度±0.001 mm）测量叶轮端面。

### 5.9.2 装配环境

使用激光粒子计数器在装配车间1.5 m高度处取5个采样点，每个点采样10 min；温湿度计实时监测环境温湿度。

## 5.10 清洗工艺

### 5.10.1 零部件清洗

取清洗后的部件，用无尘布蘸取异丙醇（纯度不小于99.9%）擦拭100 cm<sup>2</sup>面积，擦拭液通过0.1 μm滤膜过滤，在显微镜下计数不小于0.5 μm颗粒物。

### 5.10.2 整机清洗

整机清洗后，采用称重法（精度±0.1 mg）测量残留液体质量，换算为体积（以水密度计）。

## 5.11 过程检验

采用氦质谱检漏仪，将泵腔抽真空至1×10<sup>-3</sup> Pa后，向泵体外部喷氦气。

## 6 包装

- 6.1 内包装：采用双层防静电洁净袋，内层填充不小于 99.99%氮气。
- 6.2 外包装：采用防锈铝箔复合木箱，内衬 EVA 缓冲材料，。

## 7 运输

- 7.1 温度控制：运输过程中箱内温度维持在 5 °C~35 °C，温度波动不大于±3 °C。
  - 7.2 振动限制：运输车辆应配备空气悬架系统，垂直方向加速度不大于 1.5G，水平方向加速度不大于 1.0G。
  - 7.3 吊装防护：专用吊具与泵体接触部位应包裹聚四氟乙烯垫层，避免金属接触产生划痕；起吊速度不大于 0.5 m/s，禁止斜拉。
-