

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CAEE

团体标准

T/CAEE XXXX—XXXX

半导体级超纯高浓度臭氧发生装置

Semiconductor-grade ultra-pure high-concentration ozone generation device

（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

中国电子装备技术开发协会 发布

目 次

前言 IV

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号和缩略语 2

 4.1 计量单位符号 2

 4.2 技术术语缩略语 3

 4.3 设备型号缩略语 3

 4.4 工艺应用术语缩略语 3

 4.5 认证标准缩略语 4

 4.6 材料与组件缩略语 4

5 产品分类与型号 4

 5.1 臭氧发生器系列 4

 5.2 臭氧气体系统系列 4

6 一般要求 5

 6.1 设计原则要求 5

 6.2 材料纯净度要求 5

 6.3 环境适应性要求 5

 6.4 电气安全要求 5

 6.5 标识与文档要求 5

7 接口与连接要求 5

 7.1 气体接口 5

 7.1.1 进气接口 5

 7.1.2 出气接口 5

 7.2 液体接口 5

 7.2.1 超纯水输入 5

 7.2.2 臭氧水输出 6

 7.3 电气接口 6

 7.4 通信与控制接口 6

8 要求 6

 8.1 臭氧发生器性能要求 6

 8.1.1 放电单元性能 6

 8.1.2 浓度稳定性 6

 8.1.3 流量适应性 6

 8.1.4 电源可靠性 6

 8.1.5 结构特性 6

8.1.6	寿命与维护	6
8.2	臭氧气体系统要求	6
8.2.1	系统集成要求	6
8.2.2	控制逻辑要求	7
8.2.3	输出性能要求	7
8.2.4	安全监测要求	7
8.3	运行安全要求	7
8.3.1	泄漏防护要求	7
8.3.2	电气安全防护	7
8.3.3	应急处理机制	7
8.4	结构安装要求	7
8.4.1	机械结构设计	7
8.4.2	洁净室适配要求	7
8.4.3	厂务接口兼容性	8
8.5	控制逻辑要求	8
8.5.1	控制模式设计要求	8
8.5.2	通信协议兼容性	8
8.5.3	人机交互逻辑	8
8.6	关键部件材料要求	8
8.6.1	臭氧接触部件材料	8
8.6.2	电气组件材料	8
8.7	维护与服务要求	9
8.7.1	Overhaul 维护技术要求	9
8.7.2	预防性维护周期	9
8.7.3	竞品兼容性服务	9
8.7.4	现场服务要求	9
9	试验方法	9
9.1	臭氧浓度试验	9
9.2	流量稳定性试验	9
9.3	泄漏安全试验	9
9.4	材料纯净度试验	10
10	检验规则	10
10.1	检验分类	10
10.2	出厂检验流程	10
10.3	型式检验抽样规则	10
11	标志、标签和使用说明	10
11.1	产品标志要求	11
11.2	标识耐久性	11
11.3	安全标签规范	11
11.4	使用说明书内容	11
12	包装、运输和贮存	11
12.1	包装要求	11
12.1.1	包装结构设计	11

- 12.1.2 标识与标签规范 12
- 12.2 运输要求 12
 - 12.2.1 运输工具与环境 12
 - 12.2.2 装卸操作要求 12
 - 12.2.3 运输过程监控 12
- 12.3 贮存要求 12
 - 12.3.1 仓库环境条件 12
 - 12.3.2 码放与巡检规范 12
 - 12.3.3 贮存期限与处置 13
- 附录 A（规范性） 关键设备技术参数表..... 14
 - A.1 臭氧发生器参数 14
- 附录 B（规范性） Overhaul 维护操作指南 15
 - B.1 发生器陶瓷管更换流程 15

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。

本文件由苏州晶拓半导体科技有限公司提出。

本文件由中国电子装备技术开发协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

随着全球半导体产业向先进制程快速迭代，芯片制造对工艺环境的纯度要求达到前所未有的高度。臭氧（ O_3 ）作为半导体清洗、光刻胶剥离、氧化工艺中的关键功能性气体，其纯度直接影响晶圆良率与器件可靠性，而传统工业级臭氧发生装置已无法满足半导体制造的严苛要求。

当前，国内半导体级臭氧发生装置市场存在技术指标不统一、检测方法各异、安全防护标准缺失等问题：部分企业沿用工业级臭氧设备的技术参数，导致产品在超纯度、稳定性、长期运行可靠性上与国际先进水平存在差距；同时，行业内缺乏统一的性能评价体系，使得下游芯片制造企业在设备选型、质量验收时面临较大风险，制约了国内半导体装备自主化替代进程。

为填补上述标准空白，规范半导体级超纯高浓度臭氧发生装置的技术要求、试验方法、检验规则及安全使用准则，推动行业技术创新与质量提升，保障半导体制造工艺的稳定性与安全性，结合国内半导体装备制造企业的技术实践与下游应用需求，特制定本文件。

半导体级超纯高浓度臭氧发生装置

1 范围

本文件规定了半导体级超纯高浓度臭氧发生装置的符号和缩略语、产品分类与型号、要求、接口与连接要求、试验方法、检验规则、标志、标签和使用说明、包装、运输和贮存等要求。

本文件适用于半导体制造原子层沉积（ALD）、化学气相沉积（CVD）、晶圆清洗、灰化、High-K介电沉积等工艺；适用于平板显示（FPD）：TFT-LCD、OLED面板制造中的清洗与蚀刻；不适用于空气源臭氧发生器、医疗消毒、水处理等非半导体级设备。

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 4943.1 信息技术设备 安全 第1部分：通用要求
- GB/T 15437 环境空气 臭氧的测定 靛蓝二磺酸钠分光光度法
- GB 28232 臭氧消毒器卫生要求
- GB/T 35804 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐臭氧龟裂 测定试验箱中臭氧浓度的试验方法
- GB/T 37894 水处理用臭氧发生器技术要求
- CJ/T 322 水处理用臭氧发生器
- JB/T 13567 半导体设备用高纯气体管路技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

臭氧发生器 ozone generator

一种通过介质阻挡放电技术将氧气转化为臭氧气体的设备。

3.2

高纯陶瓷放电技术 high-purity ceramic discharge technology

使用陶瓷材料作为放电介质的技术，避免金属离子污染。

3.3

双面放电技术 double-sided discharge technology

在电极两侧同时进行放电以提高臭氧产出的技术。

3.4

SiC-MOSFET

一种采用碳化硅材料的电源开关器件。

3.5

PFC

功率因数校正功能，用于优化电源效率和稳定性。

3.6

臭氧气体系统 ozone gas system

集成臭氧发生器、流量控制器和分析仪的系统，用于提供稳定臭氧气体供应。

3.7

DI03 臭氧水系统 DI03 ozone water system

一种将臭氧气体溶解于超纯水中形成臭氧水溶液的系统。

- 3.8 气液混合技术 gas-liquid mixing technology
将气体与液体高效混合的方法。
- 3.9 消泡技术 defoaming technology
在混合过程中去除多余气泡的技术。
- 3.10 无轴全氟增压泵 shaftless fluorinated booster pump
一种无轴设计、全氟材料制造的泵，用于高压输送液体。
- 3.11 功能水设备 functional water equipment
用于混合超纯水与C O2 以调整水电阻率的设备。
- 3.12 臭氧破坏器 ozone destructor
一种催化分解多余臭氧气体以确保安全排放的设备。
- 3.13 加热催化一体式臭氧破坏器 heating catalytic integrated ozone destructor
结合加热和催化剂以加速臭氧分解的设备。
- 3.14 ALD 薄膜沉积 ALD thin film deposition
原子层沉积工艺，用于在半导体表面沉积薄膜。
- 3.15 灰化 ashing
通过氧化反应去除材料（如光刻胶）的工艺。
- 3.16 晶圆清洗 wafer cleaning
清洁半导体晶圆表面的工艺。
- 3.17 浓度 concentration
臭氧在气体或水中的含量度量。
- 3.18 流量 flow rate
气体或液体在单位时间内通过某一点的体积或质量。
- 3.19 电阻率 resistivity
表征水导电性能的物理量。

4 符号和缩略语

4.1 计量单位符号

本文件涉及的计量单位符号主要用于描述气体、液体的物理特性参数和系统运行状态，均采用国际通用符号表示。

表1 计量单位符号

符号	应用场景说明
slm	用于表示气体在标准状态（0° C，101.325 kPa）下的体积流量。例如臭氧发生器的气体流量范围表述为“0.5-50 slm”，表示设备每分钟可输送 0.5 至 50 升标准状态气体。
lpm	用于表示液体的体积流量。例如臭氧水系统的处理能力表述为“2-65 lpm”，表示设备每分钟可处理 2 至 65 升液体。

6 一般要求

6.1 设计原则要求

- 6.1.1 模块化设计：臭氧发生器采用抽屉式结构，支持不停机维护；气体系统预留扩展接口，可增配发生器单元。
- 6.1.2 人机交互设计：控制面板需提供中英文双语界面，关键参数（浓度、流量）实时显示，故障代码明确标识。
- 6.1.3 冗余安全设计：臭氧破坏器独立供电，主系统断电时自动启动催化分解。

6.2 材料纯净度要求

- 6.2.1 气体接触部件：所有管路、腔体及密封件采用 316 L EP 不锈钢或全氟材料（PFA/PTFE），表面粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu m$ 。
- 6.2.2 液体接触部件：臭氧水系统流道需满足 SEMI F63 洁净标准，金属离子析出量 $\leq 0.1 ppb$ 。
- 6.2.3 密封材料：臭氧环境密封必须使用 Kalrez®全氟醚橡胶，耐臭氧腐蚀寿命 ≥ 10 年。

6.3 环境适应性要求

- 6.3.1 温湿度范围：工作温度 $0 - 40^{\circ}C$ ，存储温度 $-20 - 60^{\circ}C$ ，湿度 $\leq 80\%RH$ （非冷凝）。
- 6.3.2 洁净度要求：设备内部洁净等级优于 Class 10（ISO 4 级），外部表面防尘设计符合 SEMI S23。
- 6.3.3 振动耐受：运行时耐受 $5 - 500 Hz/2 Grms$ 振动，运输时耐受 GB/T 4857.7 包装振动测试。

6.4 电气安全要求

- 6.4.1 电源兼容性：输入电压 $220V \pm 15\%$ ，频率 $50/60Hz$ ，带 PFC 功能降低谐波干扰。
- 6.4.2 绝缘防护：高压放电单元需满足双重绝缘设计，绝缘电阻 $\geq 100 M\Omega$ （GB 4943.1-2022）。
- 6.4.3 接地安全：所有金属外壳接地电阻 $\leq 0.1 \Omega$ ，臭氧发生器放电单元单独接地。

6.5 标识与文档要求

- 6.5.1 产品标识：设备铭牌需包含型号、流量范围、浓度规格、SEMI/CE 认证标志及生产日期。
- 6.5.2 安全警示标贴：臭氧接触部位粘贴“高压危险”和“臭氧腐蚀”警示标贴，中英文对照。
- 6.5.3 技术文档：提供安装手册、操作指南、Overhaul 维护手册，含图示说明关键部件更换步骤。

7 接口与连接要求

7.1 气体接口

7.1.1 进气接口

- 7.1.1.1 氧气输入：采用 $1/4"$ MVCR 接头（MODS 系统）或 $1/2"$ MVCR 接头（ODS 系统），316 LEP 不锈钢管路，内壁粗糙度 $Ra \leq 0.4 \mu m$ ，确保高纯氧（ $\geq 99.999\%$ ）无污染输送。
- 7.1.1.2 微量氮气添加接口：可选配 $1/8"$ MVCR 接头，用于 TL4XXX 型系统稳定臭氧浓度。

7.1.2 出气接口

- 7.1.2.1 臭氧气体输出： $1/4"$ 至 $3/4"$ MVCR 分级配置，密封材料采用 Kalrez®全氟醚橡胶，耐受臭氧腐蚀 ≥ 10 年。
- 7.1.2.2 应急排气口： $3/4"$ 法兰接口，连接厂务尾气处理系统。

7.2 液体接口

7.2.1 超纯水输入

- 7.2.1.1 进水接口：DN15 卫生级卡箍接头（PFA 材质），支持 $5 - 60 lpm$ 流量范围，配置 $0.45 \mu m$ 在线过滤器。
- 7.2.1.2 压力闭环控制：可选配压力传感器接口（ $G1/4"$ 螺纹），改善厂务水压波动问题。

7.2.2 臭氧水输出

- 7.2.2.1 多路分配设计：支持 2 - 8 路 DN10 卡箍输出，每路独立流量控制，适配多工艺腔室。
- 7.2.2.2 消泡装置集成：输出管路内置 PTFE 膜过滤器，气泡残留率 $\leq 0.1\%$ 。

7.3 电气接口

- 7.3.1 电源输入：C19 标准连接器（220V/50Hz），带 PFC 功能，兼容 $\pm 15\%$ 电压波动。
- 7.3.2 接地端子：M6 黄铜接地柱，接地电阻 $\leq 0.1\Omega$ ，放电单元单独接地。
- 7.3.3 安全联锁：24VDC 干触点接口，连接厂务急停系统。

7.4 通信与控制接口

表8 控制信号接口

类型	接口规格	功能说明
RS485	RJ45	支持Modbus协议传输浓度、流量数据
4 - 20mA	M12-5针航空插头	模拟量输出臭氧浓度反馈信号

注：高级控制接口：支持SECS/GEM协议（HSMS-50 Ω 同轴接口），满足半导体设备通信标准。

8 要求

8.1 臭氧发生器性能要求

8.1.1 放电单元性能

- 8.1.1.1 材料纯净性：采用高纯氧化铝陶瓷介质，金属杂质含量 $\leq 0.1\text{ppb}$ ，避免晶圆污染。
- 8.1.1.2 双面放电设计：正反电极同步放电，单位面积臭氧产出率提升 40%以上。

8.1.2 浓度稳定性

- 8.1.2.1 基础浓度：氧气源下持续输出浓度 $\geq 350\text{g/m}^3$ （25° C 标准条件）。
- 8.1.2.2 抗干扰能力：进气压力波动 $\pm 10\%$ 时，浓度偏差 $\leq \pm 3\%$ 。

8.1.3 流量适应性

- 8.1.3.1 宽范围调节：0.5 - 50slm 连续可调，支持 0.1slm 步进精度。
- 8.1.3.2 动态响应：流量阶跃变化（10slm $\rightarrow$ 40slm）响应时间 ≤ 5 秒。

8.1.4 电源可靠性

- 8.1.4.1 SiC-MOSFET 应用：开关频率 $\geq 50\text{kHz}$ ，电能转化效率 $\geq 95\%$ 。
- 8.1.4.2 故障保护：过流/过压自动切断放电，重启需人工确认。

8.1.5 结构特性

- 8.1.5.1 紧凑型设计：标准 6U 高度（266.7mm），抽屉式模块支持热插拔更换。
- 8.1.5.2 散热要求：强制风冷系统温升 $\leq 15^\circ\text{C}$ （满载运行）。

8.1.6 寿命与维护

- 8.1.6.1 放电管寿命： $\geq 20,000$ 小时（25° C 环境），性能衰减 $\leq 10\%$ 。
- 8.1.6.2 维护兼容性：Overhaul 服务可更换陶瓷管及电极组件。

8.2 臭氧气体系统要求

8.2.1 系统集成要求

- 8.2.1.1 发生器堆叠：最大支持 4 台发生器并联，集成 MFC 控制单元，总流量输出 120slm。
- 8.2.1.2 浓度分析集成：内置紫外光度法分析仪（API M470），量程 0 - 500g/m³，精度 $\pm 1\%$ 。

9.3.1 氦质谱检漏：封闭所有管路接口，向系统注入 0.5MPa 氦气，用质谱仪扫描焊接点与密封面。

表11 泄漏率判定标准

部件类型	最大允许泄漏率
气体管路	$\leq 1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
液体密封腔	$\leq 1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

9.3.2 运行中泄漏监测：在臭氧发生器满载状态下，用便携式臭氧检测仪（量程 0 - 10ppm）扫描设备表面，任何部位检测值 > 0.1ppm 即判定不合格。

9.4 材料纯净度试验

9.4.1 金属离子析出测试：用超纯水（ $18.2 \text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ ）循环冲洗液体流道 24 小时，收集出水样品，通过 ICP-MS（电感耦合等离子体质谱仪）分析 Na、K、Fe 等 32 种金属元素，总量需 $\leq 0.1 \text{ppb}$ 。

9.4.2 材料耐臭氧老化：将 Kalrez®密封件浸泡在 $200 \text{g}/\text{m}^3$ 臭氧气体中 500 小时，检测拉伸强度变化率 $\leq 10\%$ ，无龟裂变形。

10 检验规则

10.1 检验分类

表12 检验分类

检验类型	执行条件	检验范围
出厂检验	每台设备组装完成	全项性能+安全测试
型式检验	新产品上市/重大设计变更	全标准要求
周期检验	每12个月	安全+关键性能

10.2 出厂检验流程

10.2.1 初检项目：

- a) 外观结构（无划伤/变形）；
- b) 电气安全（接地电阻 $\leq 0.1 \Omega$ ）；
- c) 基础功能（触摸屏响应/阀门动作）。

10.2.2 运行测试：

- a) 臭氧浓度（ $\geq$ 标称值的 95%）；
- b) 流量稳定性（连续 1 小时波动 $\leq \pm 2\%$ ）；
- c) 泄漏率（He 质谱全检）。

10.2.3 判定规则：任何一项不合格即返修，返修后全项目复检。

10.3 型式检验抽样规则

10.3.1 抽样基数：同批次 ≥ 10 台时抽样 3 台； < 10 台时全检。

10.3.2 特殊试验项：

表13 特殊试验项

项目	测试方法	接受标准
振动耐受性	GB/T 4857.7	运行功能无中断
高低温存储	GB/T 2423.1/2	材料无老化，性能达标
EMC兼容性	GB/T 17626系列	无通信中断或误动作

10.3.3 设备振动测试示意图：

11 标志、标签和使用说明

11.1 产品标志要求

表14 铭牌内容

信息类型	强制内容示例
基础信息	型号（如OG-50H）、序列号、生产日期
技术参数	流量范围0.5 - 50slm，浓度≥350g/m³
认证标识	SEMI S2/S23、CE标志（含认证编号）
安全警示	“高压危险”闪电图标+“臭氧腐蚀”警示符

11.2 标识耐久性

采用蚀刻或激光雕刻，耐酒精擦拭100次不模糊。

11.3 安全标签规范

表15 位置与内容

标签位置	内容要求
放电单元外壳	“通电时勿开盖”中英双语+高压图标
臭氧管路	“含高浓度臭氧”黄黑斜纹带+危害说明
破坏器排气口	“高温表面”三角叹号图标+温度范围

11.4 使用说明书内容

11.4.1 安装指导：

- a) 机架式设备：标注导轨承重限值（≥50kg）与水平调校方法；
- b) 面板式设备：提供开孔尺寸图（如 300×400mm）及密封垫安装步骤。

11.4.2 操作流程：

- a) 启动前检查（接地/泄漏/液位）；
- b) 模式选择（开环/闭环/Reclaim 节水模式）；
- c) 紧急停机操作（红色蘑菇按钮联动破坏器）。

11.4.3 Overhaul 维护指南：

表16 维护项目及操作提示

维护项目	操作图示	关键提示
陶瓷管更换	分步拆卸照片	“佩戴洁净手套操作”
催化剂再生	催化床取出示意图	“活性物质不可接触油脂”

12 包装、运输和贮存

12.1 包装要求

12.1.1 包装结构设计

12.1.1.1 采用三层复合结构包装：内层为防静电珍珠棉模具（完全贴合设备轮廓），中层为高密度缓冲泡沫（厚度≥50mm），外层为全钢框架木箱（箱体厚度≥15mm）。包装内部湿度需控制在≤30%RH，内置湿度指示卡实时监控。

12.1.1.2 分体式包装规范：

表17 独立包装要求

组件类型	独立包装要求
主机设备	6U抽屉式发生器需横向固定，避免导轨变形
精密附件	臭氧分析仪、传感器等单独密封防潮盒

组件类型	独立包装要求
线缆及接头	缠绕后装入抗压工程塑料箱

12.1.2 标识与标签规范

12.1.2.1 外箱标识内容：

- a) 基础信息：产品型号（如 OG-50H）、序列号、重量（毛重/净重）、尺寸（长×宽×高）；
- b) 操作警示：向上箭头↑、“易碎”“防潮”“禁止翻滚”图标（符合 GB/T 191）；
- c) 环保标识：可回收标志+包装材料成分说明（如 EPE 占比≥80%）；
- d) 标签耐久性：采用防水油墨印刷，耐受-20° C 至 60° C 温度变化，酒精擦拭 50 次不褪色。

12.2 运输要求

12.2.1 运输工具与环境

12.2.1.1 工具选择标

表18 工具选择标准

运输距离	推荐工具	环境控制要求
≤500km	防震气垫卡车	车厢温湿度记录仪全程监控
>500km/跨境	恒温集装箱	温度0 - 40° C，湿度≤70%RH

12.2.1.2 装载规范：设备与车厢壁间距≥200mm，木箱底部铺设橡胶减震垫；单层码放（堆高≤1.5m），重型设备（如 ODS 系统）需专用承托架固定。

12.2.2 装卸操作要求

12.2.2.1 机械操作规范：

- a) 叉车作业：货叉长度≥包装箱宽度 80%，倾斜角≤3°，升降速度≤0.5m/s；
- b) 吊装作业：钢索张力均匀，吊装角度≤45°，避免单点受力；
- c) 人工搬运禁忌：严禁徒手搬运≥25kg 组件，禁止抓取线缆接口/显示屏等脆弱部位。

12.2.3 运输过程监控

12.2.3.1 实时监测项：

- a) 振动强度：三轴加速度计记录≤3Grms（GB/T 4857.10 标准）；
- b) 冲击事件：>5g 冲击自动触发报警标签变红；
- c) 开箱预警：封箱带内置微断裂传感器，非法开启时触发电子记录。

12.3 贮存要求

12.3.1 仓库环境条件

12.3.1.1 物理参数控制：

表19 物理参数范围

参数	标准范围	监控方式
温度	-10° C - 40° C	分布式温湿度传感器
相对湿度	≤75%RH（无凝露）	自动除湿机联动控制
洁净度	≤10万级（ISO 8）	定期粒子计数检测

12.3.1.2 安全防护要求：

- a) 防静电措施：货架接地电阻≤4Ω，地面铺设导电橡胶；
- b) 避光要求：紫外线强度≤50 μW/cm²（防止材料老化）。

12.3.2 码放与巡检规范

附 录 A
(规范性)
关键设备技术参数表

A.1 臭氧发生器参数

表A.1 臭氧发生器参数

特性分类	参数描述
放电技术	高纯陶瓷双面放电技术，电极表面无金属裸露
浓度输出	持续生成 $\geq 350\text{g/m}^3$ 超纯臭氧气体（氧气源，25° C标准环境）
流量适应性	0.5 - 50slm宽范围调节，支持步进式精确控制
电源设计	SiC-MOSFET电源模块集成PFC功能，电压波动时输出稳定性优异

标准文本全文请联系标准起草工作组索取