



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—XXXX

半导体制造用快速热退火设备（RTP）安全 与可靠性要求

Safety and reliability requirements for rapid thermal annealing equipment (RTP) used
in semiconductor manufacturing

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-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 安全要求 2

 4.1 电气安全 3

 4.2 热安全 3

 4.3 气体安全 4

 4.4 真空安全 4

 4.5 操作安全 4

5 可靠性要求 4

 5.1 性能可靠性 4

 5.2 运行可靠性 5

 5.3 环境适应性 5

 5.4 维护可靠性 5

6 测试方法 5

 6.1 安全测试 5

 6.2 可靠性测试 6

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

半导体制造用快速热退火设备（RTP）安全与可靠性要求

1 范围

本文件规定了半导体制造用快速热退火设备（以下简称“RTP设备”）的安全要求、可靠性要求及测试方法。

本文件适用于半导体制造用快速热退火设备。

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/T 191 包装储运图示标志

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 5226.33 机械电气安全 机械电气设备 第33部分：半导体设备技术条件

GB/T 10066.4 电热装置试验方法 第4部分：间接电阻炉

GB/T 24468 半导体设备可靠性、可用性和维修性（RAM）测量方法

GB/T 30825 热处理温度测量

GB/T 34986 产品加速试验方法

IEC 61508 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全（Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems）

IEC 62061 机械安全 安全相关电气、电子和可编程电子控制系统的功能安全

ISO 13849-1 机械安全 控制系统安全相关部件 第1部分：设计通用原则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

快速热退火设备 fast thermal annealing equipment; RTP

采用热辐射等快速加热与冷却方式，对半导体晶圆进行高精度退火热处理的专用设备，核心单元包括热辐射加热系统、压力调节与控制系统、气体控制系统、温度测量与控制系统、冷却系统以及安全保护系统。

3.2

温度均匀性 temperature uniformity

在 RTP 设备加热腔设定温度下，晶圆表面指定测量点之间的最大温度差值。

3.3

升温速率 heating rate

设备在规定工况下，工艺区域温度从室温升至设定工艺温度的平均变化速率，单位为℃/s。

注：瞬时升温和平均升温速率，应在到达设定温度且过冲不超过50摄氏度的情况下测试。或根据供需双方协商确定。

3.4

平均无故障工作时间 mean time between failures; MTBF

设备在规定的条件下和规定的时间内，相邻两次故障间工作时间的平均值。

3.5

极限真空度 ultimate vacuum

设备真空系统在冷态、空载、密闭工况下，所能达到的最低稳定压力值，单位为 Pa。

3.6

超温保护 Over-Temperature Protection; OTP

独立于主温控回路、用于防止温度超限的安全保护机制；通过专用传感器与独立控制回路，在温度达到设定阈值时触发告警、限功率或切断加热，避免热失控与设备/晶圆损坏。

3.7

工艺腔室 Process chamber

晶圆进行退火的密闭空间，通常有石英窗、进气/排气口及测温窗口。

3.8

灯管阵列 Lamp arrangement

设备用于加热的辐射热源，有多个卤钨灯按区域排列，灯管形态及分布模式直接影响温度的均匀性。

3.9

高温计

非接触式测温仪器，通过测量晶圆或支撑结构在特定波长下的热辐射来实时获取温度，是设备闭环控制的核心。需明确工作波长、采样频率和校准方式。

3.10

温度校准晶圆 TC wafer

嵌有多支微型热电偶的特殊晶圆，用于建立高温计读数与晶圆温度的关系映射

3.11

工艺配方 Recipe

一组预定义的完整工艺指令集合，包含晶圆传输逻辑，升降温速率，目标温度，保温时间，气体种类及流量步骤，腔室压力，旋转速率等关键设置、限值、报警条件等。在工艺重复性测试中，Recipe 的版本锁定是保证测试有效性的前提，任何涉及配方更改，更重新执行工艺认证。

3.12

温度的开环控制和闭环控制 Temperature open loop/close loop control

开环控制是指不依赖测量温度的实时反馈，直接按预设的功率曲线输出控制信号的工作模式，常用于非关键阶段（如低速预热升温阶段）或工艺开发阶段的功率测试，不具有温度控制能力。

闭环控制是指根据高温计实时测得的温度与目标设定值比较后自动调整输出，使实时测量温度稳定在设定值的工作模式。快速热退火设备的温度闭环控制通常以高温计读数作为反馈，通过模型预测算法或者 PID 动态调节灯管功率，是实现精确温度重复性和快速升温的核心机制。

3.13

保温/均温退火工艺 (Soak anneal)

晶圆升温至设定目标温度后，在该温度下维持一定时间（保温时间）的快速热退火工艺。保温段允许晶圆达到热稳定，使化学反应或固相反应完成，适用于氧化、硅化物形成、致密化、常规杂质激活等需要稳定温度平台的工艺。

关键表征参数：保温温度 soak temperature，保温时间 soak time（通常在 1s-300s 量级），升温速率 ramp up rate (up to 75°C/s)

3.14

尖峰退火工艺 (Spike anneal)

一种以极高的升温速率(通常大于 150°C/s)将晶圆加热至峰值温度后，不执行保温阶段，立即以受控高速率降温的快速热处理方式。其核心目的是在激活掺杂杂质的同事最大限度抑制扩散，常用于超浅结的形成。

关键表征参数：峰值温度 Peak temperature (T_{peak})，升温速率 Ramp up rate，降温/冷却速率 Ramp down/Cooling rate, 及 T-50 时间。

3.15

T-50

在尖峰退火工艺中，晶圆表面温度处于峰值温度减去 50°C ($T_{peak}-50^{\circ}\text{C}$) 以上范围的持续时间。该参数量化了尖峰退火有效高温段的热预算，直接关联杂质扩散深度，单位通常为秒 (s)。在重复性测试评价中， T_{peak} 和 T-50 应作为辅助判定项。

3.16

升温速率 Ramp up rate

从规定起始温度升温至目标温度的平均速率，单位是℃/s

3.17

降温/冷却速率 Ramp down rate/Cooling rate

从峰值温度降温至规定终点温度的平均速率，单位是℃/s

3.18

温度过冲 Temperature over shoot

升温过程中，警员实际温度超出目标温度的最大值。过冲过大可能会导致杂质过度扩散等问题影响产品器件性能，极限值不超过 50℃。

3.19

工艺气体及流量 Process gas/Gas flow

进入腔室的反应气体、保护气体种类及体积流量，单位是 sccm 或 slm

3.20

原位蒸汽生成 In-Situ Steam Generation(ISSG)

在低压工艺腔体（常用工艺压力范围 6-15torr）里通入氢气和氧气，利用晶圆表面高温（通常在 850℃以上）在腔室进行氧化反应的工艺。涉及 ISSG 工艺，需规定 H₂/O₂ 流量比、腔室压力及安全互锁要求。

3.21

滑移线与翘曲 Slip line and Warpage

退货后因热应力在晶圆内产生的晶格缺陷或形变，这是快速热退火工艺必须控制的指标，尤其是 300mm 以上的大尺寸晶圆。

3.22

热机/预处理 Pre conditioning

在正式工艺前，用非产品晶圆或者无晶圆执行特殊指定的一个或者多个完整的工艺循环/recipe，使工艺腔室和晶圆承载装置达到热稳定，清除腔室内残留物质，稳定气体氛围，这是保证首片测试重复性的关键步骤。

3.23

负载

负载是指被热处理样品及用于匀热样品的托盘。托盘应与样品下表面完全贴合。

4 安全要求

4.1 电气安全

4.1.1 电气设备防护

RTP 设备的电气系统应符合GB 5226.1的规定，具备过流、过压、短路、漏电等保护功能，电气控制柜应设置明显的接地标识，设备接地电阻应≤0.1Ω。

4.1.2 电气隔离

加热模块、控制模块与操作面板之间应设置有效的电气隔离，防止高压窜入低压回路，隔离电压应≥1000V（AC）。

4.2 热安全

4.2.1 超温保护

设备应具备两级超温保护功能：一级保护为温控系统自动断电，二级保护为机械联动切断加热电源，保护动作温度应为最高工艺温度10℃～极限值范围。

4.2.2 热辐射防护

加热腔应采用高反射率隔热材料（如镀金反射面），设备外壳应设置隔热层，设备外壳表面温度在正常工作时不应超过60℃。

4.2.3 紧急冷却

设备应配备独立的紧急冷却系统，当发生超温故障时，可在5min内将加热腔温度从1000℃降至200℃以下。

4.3 气体安全

4.3.1 气体管路

工艺气体（如氮气、氩气、氢气、氨气等）管路应采用不锈钢材质，管路连接应采用焊接或真空法兰连接，有气柜保护的管路可采用螺纹连接，管路应设置压力传感器和泄漏报警器，压力传感器，阀门，调压阀需使用支持应用气体的型号。

4.3.2 气体压力控制

工艺气体输入压力应稳定在0.1MPa~0.3MPa，当压力低于0.08MPa或高于0.35MPa时，设备应立即报警。

4.3.3 废气处理

废气排放系统应配备高效过滤器或中和装置，废气排放浓度应符合国家环保标准要求，排放口应设置在设备外侧远离操作区域的位置。

4.4 真空安全

4.4.1 真空系统防护

真空系统应具备真空度传感器和真空阀，当真空度低于 7.5006×10^{-8} Torr时，非制程状态设备应自动切断加热电源并报警。

4.4.2 防真空炸裂

真空腔应采用高强度合金材料，设计压力应 ≥ 0.1 MPa，真空腔应进行耐压试验，试验压力为设计压力的1.5倍，保压30min 无泄漏、无变形。

4.5 操作安全

4.5.1 安全联锁

应对设备潜在的各种风险源进行防护和控制，针对不同的应用场景设置必要的安全联锁装置。风险源包括但不限于：机械运动风险，高温风险，化学品风险，电气风险，光学危害风险，离子辐射风险等。相关控制回路的功能安全等级应满足ISO 13849-1的要求。安全互锁触发后，应确保相关风险源得以可靠控制或消除。触发条件复位后，相关风险源不得自动启动，应在操作人员手动操作干预后，才能启动相关风险源。

4.5.2 操作标识

设备操作面板应清晰标注操作步骤、紧急停机按钮位置、危险区域警示标识，警示标识应符合GB 2894的规定。

4.6 环境温升要求

设备的散热系统（风冷或水冷）不得对 Fab 厂洁净间环境温度产生明显影响，温升应符合 GB/T 2423 等相关国标或由供需双方协商确定。

5 可靠性要求

5.1 性能可靠性

5.1.1 温度控制精度

RTP设备的温度控制精度应 $\leq \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，在 $600^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 工艺温度范围内，任意设定温度下的控制偏差均应符合该要求。

5.1.2 温度均匀性

有效工艺区内温度偏差应不超过 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，或符合供需双方约定的技术要求。

5.1.3 升温 / 降温速率

达到工艺要求最高温度的平均升温速率，这个过程硅晶圆无开裂碎片，温度无过冲到设定温度超过 50°C 。

5.2 运行可靠性

5.2.1 平均无故障工作时间（MTBF）

RTP设备在正常使用条件下，MTBF应 $\geq 5000\text{h}$ ，故障修复时间（MTTR）应 $\leq 4\text{h}$ ，可由供需双方协商确定。

5.2.2 连续运行稳定性

设备连续运行720h（30天），工艺参数（温度、压力、气体流量等）波动应 $\leq \pm 5\%$ ，无重大故障发生。

5.2.3 部件可靠性

关键部件的使用寿命应 $\geq 10000\text{h}$ ，或由供需双方协商确定，更换周期应明确标注在设备说明书中。

5.3 环境适应性

5.3.1 工作环境

设备应在以下环境条件下稳定运行：

- a) 环境温度： $15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：20%~75%（无凝露）；
- c) 电源：480V（三相）、380V（三相）或220V（单相）或208V（三相）50Hz/60Hz；
- d) 清洁度：空气中无腐蚀性气体、粉尘浓度 $\leq 1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

5.3.2 抗干扰能力

设备应具备抗电磁干扰能力，在GB/T 13926规定的电磁环境下，运行参数无异常波动，控制精度仍符合5.1的要求。

5.4 维护可靠性

5.4.1 维护周期

设备应制定明确的维护周期：日常维护（每日）、定期维护（每月）、深度维护（每年），维护内容及周期应在说明书中详细说明。

5.4.2 维护便捷性

关键部件应具备快速更换结构，维护时无需拆卸大型部件，维护工具应通用化，维护操作应简单易上手。

6 测试方法

6.1 安全测试

6.1.1 电气安全测试

按照GB 5226.1的规定，对设备进行接地电阻测试、绝缘电阻测试、过流/过压保护试验，测试结果应符合4.1的要求。

6.1.2 热安全测试

通过超温保护试验（模拟超温故障）、外壳温度测试、紧急冷却系统测试，验证热安全保护功能的有效性。

6.1.3 气体/真空安全测试

采用气体泄漏检测仪检测管路泄漏量（ $\leq 1 \times 10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ），通过真空度传感器测试、真空阀联动试验，验证气体/真空安全系统的可靠性。

6.2 可靠性测试

6.2.1 性能测试

采用高精度温度测试仪（精度 $\leq \pm 0.1^\circ\text{C}$ ）测量晶圆表面温度，验证温度控制精度、均匀性及升温/降温速率，测试次数不少于3次，取平均值。

6.2.2 运行可靠性测试

通过连续运行试验（720h）、故障模拟试验（模拟常见故障），验证设备的MTBF、MTTR及运行稳定性。

6.2.3 环境适应性测试

在极限环境条件下（如环境温度 35°C 、电源电压波动 $\pm 10\%$ ）运行设备，验证设备的环境适应能力。
