

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXX—2026

碳化硅化学气相沉积炉技术规范

Technical specifications for silicon carbide chemical vapor
deposition furnace

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

中国机电设备工程协会 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 系统组成与功能	2
4.1 炉体与加热系统	2
4.2 工艺气体输送与分配系统	2
4.3 真空与压力控制系统	2
4.4 衬底承载与旋转系统	2
4.5 尾气处理系统	2
4.6 电气与控制系统	2
4.7 辅助系统	2
5 基本参数和技术要求	3
5.1 基本参数	3
5.2 技术要求	3
6 试验方法	3
7 检验规则	5
7.1 检验分类	5
7.2 出厂检验	5
7.3 型式检验	5
8 标志、包装、运输和贮存	5
8.1 标志	5
8.2 包装	6
8.3 运输	6
8.4 贮存	6
9 质量证明书	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。

本文件由株洲瑞德尔智能热工装备股份有限公司提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：株洲瑞德尔智能热工装备股份有限公司。

本文件主要起草人： 。

碳化硅化学气相沉积炉技术规范

1 范围

本文件规定了碳化硅化学气相沉积炉（以下简称“SiC-CVD炉”）的系统组成与功能、基本参数和技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于采用化学气相沉积法制备碳化硅单晶、外延层及碳化硅基复合材料的立式/卧式碳化硅化学气相沉积炉，其他类型碳化硅气相沉积设备可参照执行。

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 1958 产品几何技术规范（GPS） 几何公差 检测与验证
- GB 2894 安全色和安全标志
- GB/T 2900.18 电工术语 低压电器
- GB/T 3163 真空技术 术语
- GB/T 3768 声学 声压法测定噪声源声功率级和声能量级 采用反射面上方包络测量面的简易法
- GB 5959.1 电热和电磁处理装置的安全 第1部分：通用要求
- GB 5959.4 电热装置的安全 第4部分：对电阻加热装置的特殊要求
- GB/T 6067.1 起重机械安全规程 第1部分：总则
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 10066.1 电热和电磁处理装置的试验方法 第1部分：通用部分
- GB/T 10066.4 电热设备的试验方法 第4部分：间接电阻炉
- GB/T 10067.1 电热和电磁处理装置基本技术条件 第1部分：通用部分
- GB/T 10067.4 电热装置基本技术条件 第4部分：间接电阻炉
- GB/T 10707 橡胶燃烧性能的测定
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB 14048.2 低压开关设备和控制设备 第2部分：断路器
- GB/T 15823 无损检测 氦泄漏检测方法
- GB/T 30555 螺杆膨胀机(组)性能验收试验规程
- SJ/T 11494 硅单晶中III-V族杂质的光致发光测试方法
- YS/T 1031 化学气相沉积炉

3 术语和定义

GB/T 3163、YS/T 1031、GB/T 2900.18界定的以及术语和定义适用于本文件。

3.1

碳化硅化学气相沉积炉 chemical vapor deposition furnace

以氢气、氩气等为载气，将硅源、碳源等反应气体输送至高温真空腔室，在碳化硅衬底表面发生气相化学反应并沉积形成碳化硅单晶层、外延层或复合材料的专用热工设备。

3.2

外延层厚度均匀性 epitaxial layer thickness uniformity

碳化硅外延片表面不同位置外延层厚度的相对偏差，反映沉积过程中温场、流场的均匀性。

3.3

缺陷密度 defect density

单位面积碳化硅沉积层内存在的微管、位错、堆垛层错等晶体缺陷的数量，单位为个/平方厘米（个/cm²）。

3.4

工艺压力稳定性 process pressure stability

沉积过程中炉内工艺腔室压力的波动范围，反映真空与气体控制系统的精准度。

4 系统组成与功能

4.1 炉体与加热系统

4.1.1 炉体：构成真空腔室的主结构，应具备良好的气密性、耐腐蚀性和热稳定性。应配备水冷夹套。

4.1.2 加热系统：为衬底和反应气体提供精确可控的高温环境。加热元件通常为石墨电阻加热器，温度最高可达 $\geq 1800^{\circ}\text{C}$ ，无局部过热、烧蚀现象，保温层隔热效果良好，符合 GB/T 10066.4 的热工性能要求。

4.2 工艺气体输送与分配系统

4.2.1 气源柜：存放高纯氢气（H₂）、硅烷（SiH₄）、丙烷（C₃H₈）等高纯/易燃易爆/有毒气源，并集成压力调节、安全切断阀和吹扫单元。

4.2.2 质量流量控制器（MFC）：用于精确控制各种反应气体和掺杂剂的流量。

4.2.3 气体分配与喷淋头：气路系统应无漏气、堵管、返混现象，气体混合均匀后输送至衬底上方，管路连接牢固。

4.3 真空与压力控制系统

4.3.1 真空系统：由机械泵、罗茨泵、分子泵等组成的多级抽气机组，用于实现反应室从大气压到高真空的快速抽空与工艺过程中的压力维持，运行应无漏油、漏气现象，真空计显示准确、稳定，真空阀门动作灵敏、无卡滞。

4.3.2 压力控制系统：通过电动节流阀与真空计联动，实现反应室工艺压力的精确、稳定控制。

4.4 衬底承载与旋转系统

4.4.1 石墨基座（Susceptor）：用于承载和加热 SiC 衬底，通常采用高纯涂层石墨。

4.4.2 旋转驱动系统：驱动基座在工艺过程中匀速旋转，以提升膜厚和掺杂的均匀性。

4.5 尾气处理系统

用于安全处理未反应的易燃、有毒工艺尾气，通常包括燃烧、过滤和洗涤单元。

4.6 电气与控制系统

4.6.1 电源与温控系统：为加热器提供稳定功率，并实现工艺温度的精确控制。

4.6.2 可编程逻辑控制器（PLC）与人机界面（HMI）：集成控制所有子系统动作，实现全自动工艺配方运行、数据记录、报警和安全联锁。

4.6.3 安全联锁系统：包含气体泄漏检测、过温保护、冷却水断流保护、压力超限保护、漏电保护等。

4.7 辅助系统

4.7.1 高纯冷却水系统：为炉体、真空泵、电源等提供冷却。

4.7.2 净化间接口：设备设计与安装应考虑与高级别净化间的兼容性。

5 基本参数和技术要求

5.1 基本参数

SiC-CVD炉的基本参数应符合表1规定，实际值与标称值的偏差应 $\leq\pm 5\%$ 。

表 1 SiC-CVD 炉基本参数要求

型号	结构	工作区域尺寸	承载重量(kg)	额定加热功率(kW)	适用衬底尺寸(英寸)	最大装片量(片)
VSiC-CVD-0510	立式	∅ 500×1000 mm	150	90	4	20
VSiC-CVD-0815	立式	∅ 800×1500 mm	500	240	4/6	40
VSiC-CVD-1220	立式	∅ 1200×2000 mm	2000	420	6	60
VSiC-CVD-1525	立式	∅ 1500×2500 mm	3000	540	6/8	80
HSiC-CVD-101015	卧式	1000×1000×1500 mm	1500	480	4/6	50
HSiC-CVD-121225	卧式	1200×1200×2500 mm	2500	600	6	80
HSiC-CVD-151530	卧式	1500×1500×3000 mm	5000	900	6/8	120

5.2 技术要求

SiC-CVD炉的技术要求应符合表2规定。

表 2 SiC-CVD 炉技术要求

项目	单位	额定要求	备注	
真空性能	极限真空度	Pa	$\leq 6.0 \times 10^{-5}$	-
	升压率	Pa/h	≤ 0.5	-
	抽气时间	min	≤ 30	-
	工艺压力稳定性	%FS	$\leq \pm 1$	相对偏差
温场性能	额定加热温度	°C	1650	-
	最高加热温度	°C	≥ 1800	沉积核心区
	炉温均匀性	°C	$\leq 2(4英寸); \leq 1.5(6英寸)$	沉积核心区, 最大温差
	温度控制精度	°C	$\leq \pm 1$	与设定值偏差
	空炉升温速率	°C/min	≥ 5	平均速率
炉体外壁温度	°C	≤ 50	接触式测量	
气路性能	质量流量控制器精度	%FS	$\leq \pm 1$	相对偏差
	气体管路漏率	Pa·m ³ /s	$\leq 1 \times 10^{-9}$	整体气路系统
	气体切换响应时间	s	≤ 5	从触发到稳定
沉积性能	外延层厚度均匀性	%	$\leq \pm 1$	相对偏差 (max-min) / 平均 × 100%
	生长速率	μm/h	≥ 25	平均生长速率
	缺陷密度	个/cm ²	≤ 1	有效观测面积 $\geq 10\text{cm}^2$
安全性能	炉门联锁保护	-	有效	炉门无法开启, 触发后停机
	超温报警阈值	°C	额定温度+10	触发后切断加热回路
	断水报警阈值	L/min	额定流量的50%	触发后整机自动停机
	漏电保护电流	mA	≤ 30	动作时间 $\leq 0.1\text{s}$
整机性能	连续无故障运行时间	h	≥ 300	运行稳定性符合SJ/T 11494的要求
	设备运行噪声	dB(A)	≤ 75	符合GB/T 3768声压级测量要求

6 试验方法

SiC-CVD炉的基本参数和技术要求试验方法应按表3规定执行。

表 3 试验方法

项目	试验方法	试验仪器	参考标准	
基本参数	工作区域尺寸	1.立式炉：用数显卡尺测量沉积区直径（均匀取5点）、钢卷尺测量高度（上中下3点）； 2.卧式炉：用钢卷尺测量宽、高、长各3点； 3.各维度取平均值，计算与标称值的偏差。	数显卡尺（±0.01mm）、钢卷尺（±1mm）	GB/T 1958 YS/T 1031
	承载重量	1.将标准砝码均匀放置在工件架中心及边缘位置； 2.逐渐增加砝码至标称承载重量，静置1h； 3.检查工件架、炉体支撑结构无变形、裂纹、异响，测量工件架形变量≤0.1mm。	标准砝码（±0.1%）、百分表（±0.01mm）	GB/T 6067.1 GB/T 10067.4
	额定加热功率	1.设备空载，关闭炉门并抽真空至 1×10^{-3} Pa； 2.加热至额定温度1650℃并稳态运行30min； 3.用三相功率计测量设备输入功率，连续测量3次取平均值，计算与标称值偏差。	三相功率计（±0.5%FS）	GB/T 10066.1 YS/T 1031
	适用衬底尺寸/装片数量	使用标准碳化硅衬底（4/6/8英寸）在设备内进行满载装片验证，检查适配性有无干涉。	标准碳化硅衬底	SJ/T 11494
真空性能	极限真空度	1.设备空载，关闭炉门，启动真空系统按正常流程抽气； 2.主泵开启2h后，用热阴极电离规在沉积核心区测量真空度； 3.连续测量3次，每次间隔5min，取平均值作为试验结果。	热阴极电离规（±0.5%FS）、真空计	GB/T 10066.1 YS/T 1031
	升压率	1.炉内抽气至极限真空度并稳定30min； 2.关闭所有真空阀门，静置20min后测量初始真空度 p_1 ； 3.24h后测量最终真空度 p_2 ，按公式：升压率= $(p_2-p_1)/24$ 计算； 4.连续试验2次，取最大值作为试验结果。	热阴极电离规（±0.5%FS）、温度记录仪（消除温漂影响）	GB/T 10066.1 YS/T 1031
	抽气时间	1.设备空载，炉门开启恢复至大气状态后关闭炉门； 2.启动真空系统，同时启动秒表，记录真空计读数达到 6.6×10^{-3} Pa的时间； 3.连续测量3次，每次间隔30min，取平均值作为试验结果。	真空计（±0.5%FS）、电子秒表（±0.1s）	YS/T 1031 GB/T 3163
	工艺压力稳定性	1.启动真空系统，分别将炉内压力调节至10Pa、100Pa、1000Pa三个工艺点； 2.每个压力点稳定30min，用高精度电容薄膜规连续记录压力值（每秒1次）； 3.计算各压力点压力波动的相对偏差，取最大值作为试验结果。	电容薄膜规（±0.1%FS）、数据采集仪（±0.1%）	GB/T 3163 SJ/T 11494
温场性能	额定/最高加热温度	1.将B型热电偶布置在沉积核心区； 2.启动真空系统至 1×10^{-3} Pa，全功率加热至1650℃，稳定30min，测量实际温度（额定温度）； 3.继续加热至1800℃，持续1h后降温至室温，检查加热元件、保温层无永久损坏（最高温度）。	B型热电偶（±0.25%t）、温度记录仪（±0.1℃）	GB/T 10066.4 YS/T 1031
	炉温均匀性	1.按GB/T 10066.4布置测温点：4英寸衬底≥9点，6英寸衬底≥16点； 2.抽真空至 1×10^{-3} Pa，加热至1650℃并保温30min； 3.测量各测温点温度，计算最高与最低温度的差值作为试验结果。	B型热电偶（±0.25%t）、多路温度记录仪（±0.1℃）	GB/T 10066.4 YS/T 1031
	温度控制精度	1.在沉积核心区布置1个基准热电偶，连接至温度控制器； 2.加热至1650℃稳态后，用温度记录仪连续记录1h温度值； 3.计算实际温度与设定温度的最大偏差作为试验结果。	B型热电偶（±0.25%t）、温度记录仪（±0.1℃）	GB/T 10067.4 SJ/T 11494
	空炉升温速率	1.设备空载，抽真空至极限真空度； 2.全功率加热，同时启动秒表，记录从室温（25℃±2℃）升至1650℃的时间； 3.按公式：升温速率= $(1650-室温)/$ 升温时间计算，连续测量2次取平均值。	B型热电偶（±0.25%t）、电子秒表（±0.1s）	YS/T 1031 GB/T 10066.4
	炉体外壁温度	1.设备加热至1650℃额定工况并稳定1h； 2.用接触式测温仪在沉积区对应外壁均匀取10点测量温度； 3.取最大值作为试验结果，测量时防止烫伤。	接触式测温仪（±0.5℃）、隔热手套	GB/T 10067.1 GB 5959.4
气路性能	质量流量控制器精度	1.选取任意1路气体管路，将MFC调节至20%、50%、80%FS三个流量点； 2.每个流量点稳定10min后，用皂膜流量计测量实际流量； 3.计算各点实际流量与设定流量的相对偏差，取最大值作为试验结果，所有管路均需测试。	皂膜流量计（±0.5%FS）、气体减压阀（±0.1%）	GB/T 10707 SJ/T 11494
	气体管路漏率	1.关闭气路系统所有出口，向管路内充入氮气至1MPa，稳定30min； 2.用精密压力计测量初始压力 P_0 ，静置24h后测量最终压力 P_1 ； 3.按真空漏率公式计算管路整体漏率，试验过程中环境温度恒定。	精密压力计（±0.1%FS）、氮气钢瓶（纯度99.999%）	GB/T 15823 GB/T 3163
	气体切换	1.选取两路常用工艺气体，将MFC均调节至50%FS；	电子秒表（±0.1s）、	SJ/T 11494 GB/T 10067.1

	响应时间	2.触发气体切换指令，同时启动秒表，记录至目标气体流量稳定在设定值±1%内的时间； 3.各管路间两两切换测试，取最大值作为试验结果。	流量记录仪 (±0.5%FS)	
沉积性能	外延层厚度均匀性	1.按标准工艺沉积碳化硅外延层，保证厚度≥5μm； 2.用台阶仪在衬底表面均匀取≥9个测试点测量厚度； 3.按公式：均匀性=[(最大厚度-最小厚度)/平均厚度]×100%计算，取绝对值。	台阶仪(±0.01μm)、 金相切片机 (±0.01mm)	GB/T 30555 SJ/T 11494
	生长速率	1.按标准工艺进行沉积，记录沉积时间(t/h)； 2.沉积完成后，用台阶仪测量外延层平均厚度d(μm)； 3.按公式：生长速率=d/t计算，连续试验3次取平均值。	台阶仪(±0.01μm)、 电子秒表 (±0.1s)	GB/T 30555
	缺陷密度	1.取沉积后的碳化硅外延片，进行金相制样(研磨、抛光、腐蚀)； 2.用金相显微镜在≥10cm ² 的有效观测面积内观测； 3.统计微管、位错等缺陷数量，按公式：缺陷密度=缺陷总数/观测面积计算。	金相显微镜(≥500倍)、 腐蚀液 (KOH熔融液)	GB/T 30555 SJ/T 11494
安全性能	炉门联锁保护	1.启动设备，加热至500°C并抽真空至10kPa，稳定10min； 2.尝试开启炉门，检查炉门是否能解锁/开启； 3.触发联锁保护后，检查加热、真空系统是否自动停机，声光报警是否启动。	温度记录仪 (±0.1°C)、真空计 (±0.5%FS)	GB 5959.1 GB 5959.4
	超温报警阈值	1.将热电偶布置在沉积核心区，设置温度控制器报警阈值为1660°C(1650+10)； 2.加热至报警阈值，检查声光报警是否触发，加热回路是否自动切断； 3.测试3次，确认动作准确、无延迟。	B型热电偶 (±0.25%t)、温度 控制器(±0.1°C)	GB 5959.1 GB/T 10067.1
	断水报警阈值	1.启动水冷系统，调节流量至额定值，记录额定流量Q0； 2.逐渐减小水冷流量至0.5Q0，检查断水报警是否触发，整机是否自动停机； 3.恢复流量后，设备可正常启动，无故障提示。	电磁流量计 (±0.5%FS)、压力 传感器(±0.1%FS)	GB 5959.4 GB/T 10067.4
	漏电保护电流	1.断开设备负载，用漏电保护器测试仪连接至设备整机供电回路； 2.施加可调漏电流至30mA，检查保护器是否在0.1s内动作并切断电源； 3.测试5次，动作成功率100%。	漏电保护器测试仪 (±1mA)、示波器 (±0.1ms)	GB 14048.2 GB 5959.1

7 检验规则

7.1 检验分类

SiC-CVD炉的检验分为出厂检验和型式检验两类。

7.2 出厂检验

7.2.1 每台设备出厂前均应由供方质检部门进行出厂检验，检验合格并出具质量证明书、产品合格证后方可出厂。

7.2.2 出厂检验为逐台检验，检验项目包括：基本参数、真空性能、温场性能、气路性能、安全性能、整机性能。

7.2.3 出厂检验所有项目均应合格，若有不合格项，供方应返修后重新检验，直至合格。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品定型或老产品转厂生产时；
- 产品结构、材料、工艺有重大改变，可能影响产品性能时；
- 产品停产≥1年，恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大偏差(偏差≥10%)时；
- 行政机构或客户提出进行型式检验的要求时。

7.3.2 型式检验项目为本标准第6章规定的所有技术指标。

7.3.3 型式检验样本从出厂检验合格的产品中随机抽取。批量生产≥5台时，应随机抽取1台进行。若检验合格，判定该批次产品合格；若检验不合格，应加倍抽样重新检验，若仍不合格，判定该批次产品不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

- 8.1.1 设备本体应设置永久性产品铭牌，铭牌材质为 304 不锈钢，尺寸符合 GB/T 13384 要求，内容包括：产品名称、型号、规格、基本参数、制造单位名称/地址/联系方式、生产日期、产品编号、本标准编号。
- 8.1.2 设备的操作按钮、阀门、气路/真空接口、水冷接口等应设置清晰、耐久的标识。
- 8.1.3 设备的高温、高压、真空、漏电等危险部位应设置符合 GB 2894 要求的安全警示标志。
- 8.1.4 设备包装外表面应设置运输收发货标志，符合 GB/T 6388 的要求。

8.2 包装

- 8.2.1 设备应采用防潮、防震、防锈、防雨的复合包装方式，符合 GB/T 13384 的要求。
- 8.2.2 设备主体采用木质包装箱，内部用缓冲材料填充，设备与包装箱之间用钢带固定。
- 8.2.3 易损精密部件应单独密封防震包装。
- 8.2.4 设备的金属表面应涂防锈油并包裹防锈纸，电气部件、控制柜应做密封防潮处理。
- 8.2.5 气路、真空管路的所有接口应安装密封堵头，管路内充入干燥氮气（压力 0.05MPa）。
- 8.2.6 包装箱内应附有完整的技术文件，文件密封在防水塑料袋内，包括：产品说明书、质量证明书、检验报告、装箱单、合格证、保修卡、易损件清单、设备图纸。

8.3 运输

- 8.3.1 设备应采用整车公路运输，必要时采用集装箱运输，运输工具应清洁、干燥、无腐蚀性。
- 8.3.2 设备在运输车上应牢固固定，起吊与装卸应符合 GB/T 6067.1 的要求，严禁野蛮装卸。
- 8.3.3 运输过程中设备倾斜角度应 $\leq 15^\circ$ ，并应防止雨淋、暴晒、剧烈振动、碰撞。

8.4 贮存

- 8.4.1 设备应贮存在干燥、通风、清洁的室内仓库内，环境无腐蚀性气体、易燃易爆气体、粉尘及强烈电磁干扰。
- 8.4.2 设备贮存时应放置在平整的地面上，底部垫放枕木，离地面高度 $\geq 100\text{mm}$ ，离墙壁 $\geq 500\text{mm}$ 。
- 8.4.3 设备贮存期间应每月检查 1 次，检查内容包括：包装是否完好、设备是否锈蚀、电气部件是否受潮、密封是否良好。
- 8.4.4 设备的贮存期限为 1 年，若超过贮存期限，应重新按出厂检验项目进行检验，合格后方可安装使用。

9 质量证明书

每台 SiC-CVD 炉应附有一式两份的质量证明书，一份随设备交付需方，一份由供方存档。具体包括：

- a) 供方名称、地址、联系方式、邮政编码；
 - b) 产品名称、型号、产品编号、生产日期、出厂日期；
 - c) 设备基本参数；
 - d) 各项检验结果；
 - e) 试验仪器校准证书编号、检验人员签字、检验日期；
 - f) 其他需要说明的事项。
-