才

体

标

准

T/CPIA 0059-2024

晶体硅光伏电池用低压化学气相淀积设备

Low pressure chemical vapor deposition equipmentused for crystalline silicon photovoltaic cells



2024 - 03 - 10 发布

2024 - 03 - 15 实施

目 次

前	宣	II	Ι
1	范围	1	1
2	规范	[性引用文件	1
3		和定义	
4	, ,	:环境	
5		要求	
J	450.1	~•	_
		外观及结构要求 基本性能 基本性能	
		工艺运行自动化控制	
		工乙运行自幼化程刷 安全要求	
	5. 5	可靠性	
		噪声	
	5. 7	电磁兼容性	
6		· 方法	
0		检验设备及仪器	
		<u> </u>	
		外 观及结构位	
	6.4	工艺运行自动化控制检验	4
		安全要求检测	
		可靠性检测	
	6.8	噪声检测 电磁兼容性检测	6
7		·检验	
8		. 包装、搬运和运输、贮存	
		标志	
		包装	
		搬运和运输	
	8 4	储存	8

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。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会提出。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位:深圳市捷佳伟创新能源装备股份有限公司、无锡市检验检测认证研究院、中国电子技术标准化研究院、北京北方华创微电子装备有限公司、湖南红太阳光电科技有限公司、江苏协鑫硅材料科技发展有限公司、嘉兴阿特斯技术研究院有限公司、一道新能源科技股份有限公司、正泰新能科技有限公司、晶澳太阳能科技有限公司、英利能源发展有限公司、常州大学(江苏省光伏科学与工程协同创新中心)、扬州大学、国信认证无锡有限公司、宁夏国信检研科技有限公司。

本文件主要起草人:罗伟斌、张勇、恽旻、吴晓丽、王赶强、孙朋涛、吴志明、王晨光、杨宝立、 苏磊、李硕、章康平、甘曌、王建勃、马红娜、袁宁一、李绿洲、钦卫国、王炳楠。



晶体硅光伏电池用低压化学气相淀积设备

1 范围

本文件规定了晶体硅光伏电池用低压化学气相淀积设备(以下简称"LPCVD设备")的术语和定义、工作环境、技术要求、基本性能、检验方法、交付检验以及标志、包装、搬运和运输、贮存。

本文件适用于晶体硅光伏电池用管式LPCVD设备的生产及检验。其他类型LPCVD设备可参考使用。 LPCVD设备可进行隧穿氧化层、本征多晶硅(Poly-Si)层、原位掺杂多晶硅(Poly-Si)层等的工艺制备。

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 2297 太阳光伏能源系统术语
- GB 2894—2008 安全标志及其使用导则
- GB/T 5080.7 设备可靠性试验恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 5226. 1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 11164-2011 真空镀膜设备通用技术条件
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 25915.1—2010 洁净室及相关受控环境 第1部分: 空气洁净度等级
- GB/T 30116 半导体生产设备电磁兼容性要求
- GB 51401 电子工业废气处理工程设计标准
- CB/T 3764—1996 金属镀层和化学覆盖层厚度系列及质量要求
- SJ/T 10674-1995 涂料涂覆通用技术条件
- SJ 20984-2008 化学气相淀积设备通用规范
- TSG D0001-2009 压力管道安全技术监察规程 工业管道
- TSG 21-2016 固定式压力容器安全技术监察规程

SEMI S6 半导体制造设备排气通风环境、健康和安全导则(Environmental, Health, and Safety Guideline for Exhaust Ventilation of Semiconductor Manufacturing Equipment)

3 术语和定义

GB/T 2297 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3. 1

低压化学气相淀积法 | low pressure chemical vapor deposition: LPCVD

在低于一个大气压的条件下进行的化学气相沉积方法。

注: 广泛用于氧化硅、氮化物、多晶硅淀积,在高温炉管中实施工艺制备。

[来源: GB/T 2297—1989, 6.2, 有修改]

3. 2

隧穿氧化层 tunnel oxide layer

TOPCon电池表面有隧穿现象的超薄氧化层。

4 工作环境

管式LPCVD设备的工作环境及厂务应满足以下要求:

- a) 环境温度: 5 ℃~40 ℃;
- b) 相对湿度: 不大于 70% RH;
- c) 环境净化等级:应符合 GB/T 25915.1-2010 规定的 ISO 7 级或优于 ISO 7 级;
- d) 大气压强: 86 kPa~106 kPa:
- e) 电源:三相五线交流 380(1±10%) V, 频率 50(1±1%) Hz; 电网波动不超过±10%;
- f) 冷却水: 采用纯水或软化水,压力 $0.3 \, \text{MPa} \sim 0.6 \, \text{MPa}$,进出水压差不小于 $0.2 \, \text{MPa}$,进水温度 $20 \, \text{C} \pm 3 \, \text{C}$:
- g) 工艺气体压力: 氧气及氮气: 0.4 MPa~0.6 MPa, 硅烷及磷烷: 0.25 MPa~0.4 MPa;
- h) 压缩空气压力: 0.4 MPa~0.6 MPa;
- i) 排废及排热:气源柜接排废气管道,且应有良好的抽风排毒系统;净化台及炉体柜顶部均接排热抽风管道,且应有良好的抽风排热系统;真空泵排放口接尾气处理装置。
- j) 工作接地,接地电阻不大于 3 Ω。

5 技术要求

5.1 外观及结构要求

5.1.1 外观要求

外观要求如下:

- a) 设备表面应整齐平整,不应有明显的凹凸不平、划伤、锈蚀等缺陷,零部件应完整无缺。如 有适当装饰,应色泽协调、美观:
- b) 表面涂覆的零部件,应符合 SJ/T 10674—1995 的规定;
- c) 表面有金属镀层及化学处理的零部件,应符合 CB/T 3764—1996 的规定;
- d) 面板上的文字、符号和标志应清晰、正确。

5.1.2 结构要求

结构要求如下:

- 中国光伏行业协会
- a) 结构布局应合理,便于操作、装拆和维修;
- b) 应配有散热、排废、抽风接口; wollow industry Association
- c) 各运动机构应运转灵活,无卡滞现象,无异响;
- d) 紧固件连接应牢固,无松动、漏装现象;
- e) 水冷装置的进出水应畅通,无滴漏现象。
- f) 工艺气体输送管道材料耐蚀性应不低于 316 不锈钢,内外表面应抛光处理,外表面粗糙度≤ 0.8μm Ra,内表面粗糙度≤0.25μm Ra。
- g) 所有气体管道、液体管道和接口应无漏气、漏液现象。

5.2 基本性能

5.2.1 膜厚不均匀性

管式LPCVD设备膜厚的不均匀性,在硅片对边尺寸不大于230 mm的情况下,应满足以下要求:

- a) 本征多晶硅(Poly-Si) 膜厚不均匀性:
 - 1) 片内: ≤5%;
 - 2) 片间: ≤5%:
 - 3) 批间: ≤4%。
- b) 隧穿氧化层不均匀性:
 - 1) 片内: ≤10%:
 - 2) 片间: ≤10%;

3) 批间: ≤5%。

5.2.2 膜厚控制范围

本征多晶硅(Poly-Si) 膜厚控制范围: 40 nm~400 nm。

5.2.3 工艺温度

管式LPCVD设备工艺温度应满足以下要求:

- a) 温度控制范围: 500 ℃~650 ℃;
- b) 恒温区温度控制精度: ±1 ℃ (650 ℃);
- c) 恒温区单点稳定性: ±1 ℃/4h (650 ℃);
- d) 升温时间:从室温升至650℃所需时间不超过45 min。

5.2.4 压力控制

压力控制应满足以下要求:

- a) 极限真空: ≤1.33 Pa;
- b) 真空系统漏气率:关阀保压,压力上升率≤1 Pa/min;
- c) 气路管道漏气率: ≤1×10⁻⁸ Pa•m³/s;
- d) 压力控制范围: 15 Pa~200 Pa 连续可调;
- e) 压力控制精度: ±1 Pa。

5.3 工艺运行自动化控制

计算机自动控制工艺过程,应具有故障诊断、报警和保护功能。

5.4 安全要求

- 5. 4. 1 设置声光报警,在压力偏差、流量偏差、超温、断偶、断水时应能报警,并能够根据实际情况处理。
- 5.4.2 管式 LPCVD 设备的对地绝缘电阻应不小于 1 MΩ。
- 5.4.3 电气连接及安全应符合 GB/T 5226.1—2019 的规定。
- 5.4.4 设备外壳温度应不超过35℃。
- 5.4.5 反应残余气体经尾气处理装置处理后方可排放,应符合 GB 51401 的规定。
- 5.4.6 设备所用特气如磷烷、硅烷等的泄漏检测应符合 SEMI S6 的规定。

5.5 可靠性

- 5.5.1 系统的平均故障间隔时间(MTBF)由供需双方协商确定。
- 5.5.2 系统的平均维修时间(MTTR)由供需双方协商确定。

5.6 噪声

系统正常运行中,系统等效连续A声级噪声应不大于75 dB(A)。

5.7 电磁兼容性

电磁兼容性应符合GB/T 30116的规定。

6 检验方法

6.1 检验设备及仪器

以下检验用设备及仪器应经专业计量机构鉴定,并在检定/校准合格有效期内:

- a) 椭偏仪;
- b) 游标卡尺、卷尺;
- d) 声级计;

T/CPIA 0059-2024

- e) 氦质谱检漏仪,瓶装氦气,减压阀 0 MPa~0.4 MPa;
- f) 智能电表或电表;
- g) 接触式温度检测仪。
- h) 随机仪表: 压控仪、热电偶、温控仪、计时器。

6.2 外观及结构检查

对照设备的技术文件或设计图纸,对设备的外观和结构进行目视检查。

6.3 基本性能检测

6.3.1 膜厚不均匀性

6.3.1.1 本征多晶硅(Poly-Si) 片内不均匀性

淀积工艺结束后,每管按空间位置均匀取n 片(至少9 片,炉口、炉中及炉尾各取至少3 片)的任一片,用椭偏仪测量硅片上5 点膜厚 t_i ,取点位置见图1,周边四点中心轴线对称,测量点距硅片边缘距离 ≥ 15 mm,按照公式(1)计算片内膜厚不均匀性。

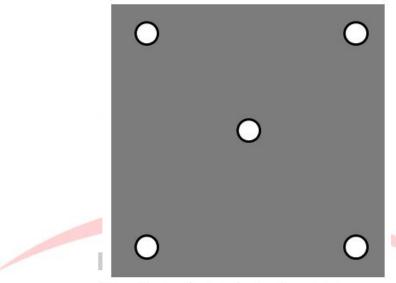


图1 单片膜厚测量位置示意图

$$\delta_{i} = \frac{t_{\text{max}} - t_{\text{min}}}{2 * t_{\text{avg}}} \times 100\% \dots (1)$$

式中:

 δ_i ——片内膜厚不均匀性,单位为百分比(%);

ti ——片内第 i 点的膜厚测量值,单位为纳米 (nm);

 t_{max} ——片内最大膜厚, $max(t_i)$,单位为纳米(nm);

 t_{min} ——片内最小膜厚, $min(t_i)$,单位为纳米(nm);

 t_{avg} ——片内膜厚平均值,单位为纳米(nm)。

6.3.1.2 本征多晶硅(Poly-Si)片间膜厚不均匀性

在采用完全相同的工艺条件和参数完成淀积工艺的同一批基片中,每管按空间位置均匀取n 片(至少9片,炉口、炉中及炉尾各取至少3 片)。每片样品按照6.3.1.1的规定取点,并采用椭偏仪测量各点的膜厚。按照公式(2)计算片间膜厚不均匀性。

$$\delta_{p} = \frac{\overline{t}_{max} - \overline{t}_{min}}{2 * \overline{t}_{avg}} \times 100\% \qquad (2)$$

式中:

 δ_{p} ——片间膜厚不均匀性,单位为百分比(%);

 \bar{t}_{max} ——n 片片内膜厚平均值的最大值, $max(t_{avg})$,单位为纳米(nm);

 \bar{t}_{min} ——n 片片内膜厚平均值的最小值, $min(t_{ava})$, 单位为纳米 (nm);

 \bar{t}_{avg} ——n片片内膜厚平均值的平均值,单位为纳米(nm)。

6.3.1.3 本征多晶硅(Poly-Si)批间膜厚不均匀性

在采用完全相同的工艺条件和参数完成淀积工艺的若干批基片中,任取5批,每批至少取9片样品。每片样品按照6.3.1.1的规定取点,并采用椭偏仪测量各点的膜厚。按照公式(3)计算批间膜厚不均匀性。

$$\delta_{W} = \frac{\overline{t_{k_{max}}} - \overline{t_{k_{min}}}}{2 * \overline{t_{k_{nav}\sigma}}} \times 100\% \cdots (3)$$

式中:

 δ_w ——批间膜厚不均匀性;

 $\bar{t}_{k\,max}$ ——批间膜厚平均值的最大值,单位为纳米 (nm);

 \bar{t}_{kmin} ——批间膜厚平均值的最小值,单位为纳米 (nm);

 $\bar{t}_{k\,ava}$ ——批间膜厚平均值的平均值,单位为纳米 (nm)。

6.3.1.4 隧穿氧化层不均匀性

隧穿氧化层的不均匀性检测,可采用以下方法之一实施:

使用正常工艺制备的硅片,<mark>实施电池效率检测</mark>,如果电池<mark>效率满</mark>足既定要求规格,视为不均匀性合格。如果电池效率发生恶化,需同步确认隧穿氧化层及其以外的原因。

不能使用正常工艺的硅片,需使用镜面抛光的硅片,采用隧穿氧化层相同的工艺条件和参数完成氧化层制备样片,不实施本征多晶硅(Poly-Si)层工艺制备。样片制备后,检测取样同6.3.1.1,检测值的范围应符合5.2.1中b)的要求。

6.3.2 膜厚控制范围检测

在确保5.2.1不均匀性的前提下,将膜厚设置为最小值、最大值和任意几个中间值,调整镀膜时长等参数,设备应能有效制备这些膜厚规格。

6.3.3 工艺温度

6.3.3.1 温度控制范围验证

在满足本文件第4章规定的工作环境条件下,在设备要求的温度范围内,将温度设置为最小值、最大值和任意几个中间值,设备应能以一定的升温速率达到此温度且温度稳定。

6.3.3.2 恒温区温度控制精度检测

在满足本文件第4章规定的工作环境条件下,将反应室温度设置为650 ℃。当反应室温度达到设定值时,稳定30 min后,每隔5 min记录一次温度测量仪器检测到的温度值,将所得到的数据采用数理统计方法,用温度标准差P1表示温度控制精度。按照SJ 20984—2008中公式(4)计算恒温区温度控制精度。

6.3.3.3 恒温区单点稳定性检测

在满足本标准第4章规定的工作环境条件下,将温度设置为650 ℃。当温度达到设定值时,稳定30 min 后,采用温度测量仪器测量基片放置区域中任意一点的温度值,每隔10 min记录一次,连续测量2 h。将所得到的数据采用数理统计方法,用温度标准差P2来表示温度点稳定性。按照SJ 20984—2008中公式(5)计算恒温区单点稳定性。

6.3.3.4 升温时间验证

在满足本标准第4章规定的工作环境条件下,将温度设置为650 ℃或设备控温范围内的其他温度,记录开始升温至温度达到设定值的时间。

6.3.4 压力控制

6.3.4.1 极限真空检测

根据GB/T 11164-2011中5.1测定。

6.3.4.2 真空系统漏率检测

对反应室(管)抽真空至极限真空,关闭主抽及预抽。3 min后开始记录时间和压控仪的读数,每分钟记1 次,共10 min。计算单位时间内的压力变化值。

6.3.4.3 气路管道漏气率检测

根据SJ 20984-2008中4.5.4.4.1的规定检测。

6.3.4.4 压力控制范围检测

反应室(管)抽到本底真空后,通入一定量的工艺气体,将压力分别设置为15Pa~200Pa范围内的任意压力值,等压力稳定后观察压控仪的读数。

6.3.4.5 压力控制精度检测

向反应室(管)通入一定量的工艺气体,将压力设定在15Pa~200Pa范围内的任意压力值,等压力稳定后观察压控仪的读数。

6.4 工艺运行自动化控制检验

模拟工艺运行,实际验证工艺参数的设定、工艺流程、故障诊断及报警均由计算机全自动控制。

6.5 安全要求检测

6.5.1 报警检测

根据S.J 20984-2008中4.5.5的规定逐项进行验证。

6.5.2 绝缘电阻试验

将设备总电源断开(即设备电源不接入电网),用兆欧表分别测量电<mark>网电压</mark>所有输入端与机壳之间的电阻值。测试结果是否满足5.4.2的要求。

6.5.3 电气连接及安全检测 China Photovoltaic Industry Association

按照GB/T 5226.1-2019的规定进行检测。

6.5.4 设备外壳温度检测

设备正常生产运行情况下,采用接触式温度检测仪测量设备的外壳温度。试验结果是否满足5.4.4 的要求。

6.6 可靠性检测

按GB/T 5080.7的规定,选定试验方案,进行可靠性试验。测试结果是否满足5.5的要求。

6.7 噪声检测

系统负载运行中,用精度为2 dB的声级计,在设备正前方1 m处、高出地面1.2 m ~ 1.5 m处,测量噪声声压级(A计权)。测试结果是否满足5.6的要求。

6.8 电磁兼容性检测

电磁兼容性检验应按照GB/T 30116的规定进行。

7 交付检验

7.1 交付检验项目应符合表1的规定。

表 1 检验项目

序号	项目名称	要求章条号	检验方法章条号	交付检验
1	外观及结构	5. 1	6. 2	•
2	膜厚不均匀性	5. 2. 1	6.3.1	•
3	膜厚控制范围	5. 2. 2	6.3.2	•
4	工艺温度	5. 2. 3	6.3.3	•
5	压力控制	5. 2. 4	6. 3. 4	•
7	工艺运行自动化控制	5. 3	6. 4	•
8	安全要求	5. 4	6. 5	•
9	可靠性	5. 5	6. 6	•
10	噪声	5. 6	6. 7	•
11	电磁兼容性	5. 7	6.8	•

- 7.2 交付检验应在用户现场安装、调试后进行。
- 7.3 交付检验项目中任一项出现故障时,应停止检验,查出故障原因,排除故障后,重新进行检验。 重新检验中若再次出现故障,应将该设备判为不合格。
- 8 标志、包装、搬运和运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 设备标牌

管式LPCVD设备应在明显部位设置字迹清晰、牢固耐久的标牌,并符合GB/T 13306的规定。标牌中至少应包含以下内容:

- a) 设备名称和型号;
- b) 设备额定电压、额定电流、额定功率;
- c) 设备外形尺寸和重量;
- d) 出厂编号、制造日期;
- e) 制造单位名称或商标。

8.1.2 零件、部件和导线标志

管式LPCVD设备的零件、部件和导线标志要求如下:

- a) 管式 LPCVD 设备的接线柱、接线板、插头座、接插件、线缆的代号及其连接点、端头应加以标记;
- b) 管式 LPCVD 设备的控制装置和检测装置附近,应由表示用途(如"接通"、"断开"等)的 清晰标记或图形符号;
- c) 控制面板上的开关、旋钮、按钮、指示灯等应有字迹清晰、格式规范的文字标识;
- d) 导线两端应采用塑料套管并印有相应的导线编号,且应与电路图保持一致。

8.1.3 安全标志

管式LPCVD设备的安全标志要求如下:

- a) 安全标志图形的含义、颜色组合与使用方法应符合 GB 2894—2008 的规定;
- b) 设备的特殊安全要求及应遵守的操作规程应根据需要制成标牌,固定在醒目位置。

8.1.4 包装标志

T/CPIA 0059-2024

- 8.1.4.1 包装箱上应"易碎物品"、"禁止翻滚"、"向上"、"怕雨"等储运图示标志,需要吊装的包装箱应有"由此吊起"标志,且储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。
- 8.1.4.2 需要时,包装箱应按 GB/T 6388 的规定标明收发货标志,至少应包含商品分类图示标志、设备名称、型号和规格、包装箱体积和重量、收货地点和单位、发货单位、包装日期等信息。

8.2 包装

- 8.2.1 管式 LPCVD 设备应采用箱装,同时采用防潮包装、防震包装等防护包装,具体应满足 GB/T 13384 的相应规定。包装应车固可靠,包装箱边角用扎带加固,防止开裂。
- 8.2.2 包装材料应清洁干燥,且具有防霉、防蛀等特性,不应使用导致设备锈蚀及产生有害气体的材料(如石棉)。缓冲和裹包材料应阻燃、无腐蚀性,不易破碎、剥落、粉化和脱落。
- 8.2.3 防潮用干燥剂应采用透气性好的袋子装好,放在设备内部或周围,不应直接接触设备,放入干燥剂后应迅速密封。
- 8.2.4 随同设备的备件、附件以及拆卸下的部件或零件应加标签进行标记。随机备件、附件应采用防潮密封包装。
- 8.2.5 设备表面不应直接与对镀(涂)层有影响的材料(如橡胶、海绵、聚氯乙烯等)接触。
- 8.2.6 装箱清单、技术文件应采用防潮密封包装,放在包装箱内明显位置,并加以固定。设备随机文件至少包括以下文件:
 - a) 装箱清单;
 - b) 设备安装及使用说明书;
 - c) 设备维修手册(含结构、电路与管路等的图纸);
 - d) 随机备件和附件清单、易损件图纸等;
 - e) 设备合格证书。
 - f) 设备所属的,符合 TSG 21—2016 的压力容器,符合 TSG D0001—2009 的压力管道的出厂证明文件。

8.3 搬运和运输

8.3.1 搬运

设备的搬运要求如下:

- a) 搬运时应平稳,缓起慢放,避免磕碰划伤设备表面,避免破坏设备精度;
- b) 采用起吊方式搬运时,吊索捆绑位置应避开仪表及结构脆弱部位,起吊时应控制升降速度, 防止设备倾倒或坠落;
- c) 使用叉车时,两叉牙长度应超过设备中心 100 mm 以上;
- d) 采用气垫搬运设备时,气垫应放在设备底部的承重梁下,每台设备配置的气垫应不少于4个。

8.3.2 运输

设备的运输要求如下:

- a) 运输时应采取防震、防潮、防晒及防污措施,用敞篷车运输时需加盖篷布;
- b) 装载时应注意包装箱重心高度一般不超过 2 m, 堆放应整齐牢靠;
- c) 包装件应放置平衡,不允许偏向一侧;
- d) 不应与易燃、易爆、易腐蚀的物品同车装运;
- e) 装车和运输过程中应有防止跌落的紧固措施。

8.4 储存

设备应存放在仓库中,仓库应清洁、通风,且无腐蚀性介质,环境温度-5 \mathbb{C} ~40 \mathbb{C} ,相对湿度不大于75 %。不同型号规格的设备应分别放置,摆放整齐,不应倒置;与腐蚀性、易燃、易爆物品隔离存放;小型和精密部件应放置在器材架上;包装件应堆放在带枕木的底座上,枕木高度应不低于20 cm。