ICS 27.160
CCS K 83

T

团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

太阳能电池激光边缘隔离技术规范

Technical specification for laser edge isolation of solar cells

2026-X-XX 发布 2026-X-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 总体要求 2
4.1 一般规定 2
4.2 人员要求 2
4.3 环境要求 2
4.4 来料要求 2
4.5 设备要求 2
5 工艺流程 3
5.1 工艺步骤 3
5.2 上料与定位 3
5.3 表面清洁 3
5.4 激光刻蚀 4
5.5 除尘与碎屑清除 4
5.6 在线检测 4
5.7 下料与周转 4
6 工艺参数要求 4
6.1 一般规定 4
6.2 激光参数 4
6.3 光路与聚焦 4
6.4 运动与轨迹参数 5
6.5 刻蚀轨迹 5
6.6 辅助工艺参数 5
6.7 参数变更与首件确认 5
7 质量控制要求 6
7.1 外观 6
7.2 隔离槽几何参数 6
7.3 隔离电性能 6
7.4 电性能 6
7.5 一致性与过程能力 6
7.6 可靠性 7

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

太阳能电池激光边缘隔离技术规范

1 范围

本文件规定了太阳能电池激光边缘隔离的总体要求、工艺流程、工艺参数要求及质量控制要求。

本文件适用于晶体硅太阳能电池（PERC、TOPCon、IBC等）扩散制结后，采用紫外或绿光短脉冲激光在电池片正面近边缘处刻蚀闭合隔离槽，切断发射极绕镀层与基体之间电连接的激光边缘隔离工序，包括工艺设计、设备选型、工艺控制与质量验收。

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 2297 太阳光伏能源系统术语

GB/T 25915.1 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级

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

激光边缘隔离 laser edge isolation

采用聚焦脉冲激光沿电池片边缘刻蚀闭合槽道，去除发射极绕镀层与边缘扩散层，使发射极与基体之间恢复高阻隔离的工艺过程。

3.2

隔离槽 isolation groove

激光刻蚀形成的、贯穿发射极并进入基体的窄槽，其深度应大于发射极结深。

3.3

发射极绕镀 emitter wrap-around

扩散过程中掺杂源沿硅片侧面扩散，使发射极延伸至硅片背面边缘及倒角区域的现象。

3.4

槽深 groove depth

硅片原始表面至隔离槽槽底最低点的垂直距离，单位为微米（μm）。

3.5

热影响区 heat-affected zone；HAZ

隔离槽槽壁外侧因激光热作用产生晶格损伤、缺陷增殖或相变的区域。

3.6

隔离电阻 isolation resistance

在规定直流电压下，电池片正面发射极与背面基体之间的等效电阻。

3.7

脉冲重叠率 pulse overlap ratio

相邻两个激光光斑沿扫描方向的搭接长度与光斑直径之比。

4 总体要求

4.1 一般规定

4.1.1 激光边缘隔离工艺应以保证隔离效果、控制热损伤和减少有效面积损失为原则。
4.1.2 新设备投产、新批次投产、激光器或光路更换、工艺参数变更时，应进行首件确认，确认合格后方可批量生产。
4.1.3 工艺文件应规定电池型号、硅片规格、方阻区间对应的参数配方，并明确参数允许的调整范围；操作人员不应超范围调整。
4.1.4 生产过程中应对槽深和隔离电阻实施统计过程控制（SPC），发现趋势性偏移时应及时停机核查。

4.2 人员要求

4.2.1 操作人员应接受激光安全、设备操作、工艺原理和异常处置培训，经考核合格后上岗，每年复训不应少于1次。
4.2.2 参数设定与配方修改应由授权人员执行，并留存修改记录；未经授权的人员不应修改激光功率、重复频率、扫描速度等关键参数。
4.2.3 操作人员应掌握隔离电阻测量、槽深判读和常见缺陷识别方法。

4.3 环境要求

4.3.1 生产环境温度应保持在23℃±3℃，相对湿度应保持在45%～65%，且不应出现结露。
4.3.2 激光刻蚀区空气洁净度应不低于GB/T 25915.1规定的ISO 7级。
4.3.3 工作台面照度不应低于500 lx；工作区地面和工装表面电阻应在1×10^{4} Ω～1×10^{9} Ω范围内。
4.3.4 设备安装区域应避开强振动源，振镜与聚焦镜组所在平台的振动速度有效值不宜大于5 mm/s。

4.4 来料要求

4.4.1 硅片尺寸、厚度和倒角应符合产品图样规定，常用规格为182 mm×182 mm、210 mm×210 mm及其切片，尺寸偏差不应超过±0.5 mm。
4.4.2 硅片厚度宜为130 μm～180 μm，同一批次厚度极差不应大于10 μm。
4.4.3 扩散方阻应符合产品配方规定，常用范围为60 Ω/□～200 Ω/□，同一批次方阻极差不应大于10 Ω/□；发射极结深宜为0.3 μm～0.6 μm。
4.4.4 发射极绕镀宽度不应大于1.0 mm，绕镀区不应存在连续的低阻通道。
4.4.5 来料硅片不应有贯穿性裂纹、明显崩边和严重翘曲，翘曲量不应大于2.0 mm；来料应按批次抽检电致发光（EL），隐裂片比例不应大于0.5%。
4.4.6 来料应在洁净、干燥环境中存放；存放时间超过7 d的硅片，投产前应复检表面洁净度和方阻。

4.5 设备要求

4.5.1 激光器

激光器应符合下列要求：

a）波长应为355 nm或532 nm，波长偏差不应超过±5 nm；
b）额定平均功率应为3 W～10 W，连续工作4 h的功率稳定性不应超过±2%；
c）光束质量因子M^2不应大于1.3，光斑圆度不应小于90%；
d）激光器冷却水温应控制在22℃±1℃，流量不应小于8 L/min。

4.5.2 光路与聚焦系统

光路与聚焦系统应符合下列要求：

a）宜采用焦距100 mm～160 mm的F-theta聚焦镜，聚焦光斑直径应为20 μm～40 μm；

b）保护镜在355 nm或532 nm处的透过率不应低于95%，每班应检查，出现污染或损伤应立即更换；

c）光路应密封并通入干燥空气或氮气，露点不应高于-20℃。

4.5.3 运动与传输系统

运动与传输系统应符合下列要求：

a）振镜定位偏差不应超过±50 μm，重复定位偏差不应超过±10 μm；

b）传输与上下料机构的破片率不应大于0.05%；

c）单台设备产能不应低于3000片/h，设备综合效率（OEE）不应低于85%。

4.5.4 视觉与检测系统

视觉与检测系统应符合下列要求：

a）定位相机分辨率不应低于0.05 mm/pixel，单次定位时间不应大于50 ms；

b）在线测宽分辨力不应低于2 μm，测深分辨力不应低于1 μm；

c）检测数据应能按片号上传至制造执行系统。

4.5.5 除尘系统

除尘系统应符合下列要求：

a）吸口负压应为-5 kPa～-15 kPa；

b）过滤等级不应低于H13，对0.3 μm颗粒的过滤效率不应低于99.95%；

c）管道风速应为15 m/s～20 m/s，避免粉尘沉积。

4.5.6 设备校准

应符合下列要求：

a）激光功率计应每班点检，每季度校准1次；

b）聚焦焦面应每月校验1次，更换聚焦镜后应重新校验；

c）整机精度应每年校准1次，校准记录应保存不少于3年。

5 工艺流程

5.1 工艺步骤

激光边缘隔离应按表1规定的步骤连续完成，各步骤应在同一生产节拍内衔接，节拍应与整线产能匹配。

表1 工艺流程、关键控制点与工艺输出

序号	工艺步骤	关键控制点	工艺输出
1	上料与定位	硅片基准识别、碎片与缺角检测、定位坐标建立	定位坐标、片号
2	表面清洁	表面颗粒与有机物残留、离子风除静电	洁净片面
3	激光刻蚀	功率、频率、扫描速度、聚焦状态、四边闭环轨迹	闭合隔离槽
4	除尘与碎屑清除	吸口负压、吸口距离、管道风速	无熔渣槽道
5	在线检测	槽宽槽深、轨迹连续性、隔离电阻、EL	检测数据
6	下料与周转	片间隔离、防划伤、批次标识	合格电池片

5.2 上料与定位

5.2.1 应采用花篮或传输带自动上料，上料过程不应造成叠片、碰撞和二次污染。

5.2.2 应采用视觉系统识别硅片基准边或倒角，建立刻蚀坐标系；定位偏差不应超过±50 μm。

5.2.3 上料后应检测碎片、缺角、明显翘曲和位置超差，异常片应自动剔除并记录。

5.3 表面清洁

5.3.1 刻蚀前应去除硅片表面的颗粒、指纹和有机物残留，宜采用离子风配合无尘布或软毛刷清洁。

5.3.2 不应使用含硅油、成膜剂或腐蚀性成分的清洁剂；清洁后表面不应有可见残留。

5.4 激光刻蚀

5.4.1 应按第6章确定的参数，沿硅片四边刻蚀闭合隔离槽，刻蚀轨迹应连续、无断点。
5.4.2 刻蚀过程中应同轴吹气保护聚焦镜，并同步开启抽尘；吹气压力宜为0.05 MPa～0.2 MPa。
5.4.3 每片刻蚀开始前应确认激光功率、重复频率与配方一致；功率偏差超过±3%时应停止刻蚀并报警。

5.5 除尘与碎屑清除

5.5.1 刻蚀后应在30 s内完成槽内及片面的粉尘抽吸，吸口与片面的距离不应大于5 mm。
5.5.2 抽吸后槽内不应有可见熔渣、粉尘团聚或残留碎屑。

5.6 在线检测

5.6.1 每片应在线检测隔离槽的连续性和位置，每2 h应抽测槽宽、槽深并记录。
5.6.2 检测不合格时应自动标记并分流，不应流入下道工序。

5.7 下料与周转

5.7.1 下料应采用花篮或片盒，片间应有隔离纸或专用间隔，避免槽口相互摩擦。
5.7.2 周转过程中不应叠压、倾斜和暴露于强光；静置时间超过24 h的电池片应复测隔离电阻。
5.7.3 每批产品应标识批次号、设备号、参数配方号和投产时间，实现与工艺记录一一对应。

6 工艺参数要求

6.1 一般规定

6.1.1 工艺参数应按表2和表3选取，并在首件确认后固化；同一批次生产过程中不应变更。
6.1.2 应按电池结构、硅片规格和扩散方阻分组建立参数配方；不同配方之间应设置防错，防止误调用。
6.1.3 参数窗口的确定应兼顾隔离彻底性与热损伤控制，宜通过槽深、隔离电阻和转换效率的三因素试验确定最佳工作点。

6.2 激光参数

激光参数应符合表2的规定。

表2 激光参数要求

参数	要求	检测方法
波长	355 nm或532 nm，偏差±5 nm	光谱仪或激光波长计
脉冲宽度	≤20 ns，355 nm时宜≤15 ns	示波器配光电探头
重复频率	50 kHz～200 kHz	频率计
额定平均功率	3 W～10 W	激光功率计
工作单脉冲能量	5 μJ～20 μJ	功率计按平均功率=单脉冲能量×重复频率换算
聚焦光斑直径	20 μm～40 μm	光斑分析仪
能量密度	0.8 J/cm²～3.0 J/cm²	按单脉冲能量与光斑面积计算
功率稳定性	连续4 h不超过±2%	功率计连续记录
单脉冲能量不稳定度	不超过±3%	能量计连续记录
注：表中平均功率为激光器额定值，工作平均功率按单脉冲能量与重复频率之积计算，宜为额定功率的20%～60%；单脉冲能量、光斑直径与能量密度应满足能量密度=单脉冲能量/光斑面积，三者取值应相互匹配。		

6.3 光路与聚焦

6.3.1 聚焦镜焦距应根据硅片尺寸和产能选取；焦距为100 mm～160 mm时，全幅面光斑直径变化不应大于±10%。
6.3.2 离焦量应控制在±0.1 mm以内；焦面位置应以保证槽底平直、槽壁陡直为准。
6.3.3 聚焦镜和保护镜应保持清洁；镜面污染会导致能量密度下降和槽深不足，发现槽深连续偏低时应首先检查镜面状态。

6.4 运动与轨迹参数

6.4.1 运动与轨迹参数应符合表3的规定。

表3 运动与轨迹参数要求

参数	要求	说明
扫描速度	500 mm/s～2000 mm/s	应与重复频率、光斑直径匹配
脉冲重叠率	50%～80%	按式（1）计算
轨迹定位偏差	≤±50 μm	相对设定轨迹
重复定位偏差	≤±10 μm	同一点多次回位
单片刻蚀时间	≤0.8 s	含四边闭环
转角搭接长度	≥0.5 mm	转角圆弧过渡
首尾搭接长度	≥1.0 mm	起点与终点重叠

6.4.2 脉冲重叠率按公式（1）计算：

$$\eta_0 = (1 - v/(f \times d)) \times 100\% \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

式中：
η_0——脉冲重叠率，单位为%；
v——扫描速度，单位为mm/s；
f——重复频率，单位为kHz；
d——光斑直径，单位为μm。

6.4.3 扫描速度应满足$v \leq f \times d \times (1-\eta_0)$，且不应超过振镜的动态响应能力；转角处应降速至直线段的50%～70%，并同步补偿能量密度。
6.4.4 加减速段的扫描速度波动不应超过±10%；必要时应采用脉冲能量随速度同步调节的方式，保持单位长度沉积能量一致。

6.5 刻蚀轨迹

6.5.1 隔离槽应沿硅片四边形成闭合环路，槽中心线至硅片边缘的距离应为0.2 mm～0.5 mm。
6.5.2 轨迹转角应与硅片倒角形状一致，偏差不应大于0.2 mm；转角处不应出现尖角、过刻或断点。
6.5.3 刻蚀起点与终点应搭接，搭接长度不应小于1.0 mm；搭接区不应因重复刻蚀形成深槽或崩边。
6.5.4 槽道不应进入硅片边缘的崩边区和隐裂区；发现边缘缺陷时，应将轨迹向内侧偏移，偏移量不应大于0.2 mm。

6.6 辅助工艺参数

6.6.1 同轴吹气应采用干燥压缩空气或氮气，压力宜为0.05 MPa～0.2 MPa，流量不应小于10 L/min。
6.6.2 抽尘负压应为-5 kPa～-15 kPa，总排风量应与设备产能匹配，吸口控制风速不应小于1.5 m/s。
6.6.3 激光器冷却水温度应为22℃±1℃，电导率不应大于10 μS/cm，流量不应小于8 L/min。

6.7 参数变更与首件确认

6.7.1 参数变更应履行申请、审核、试刻和首件确认流程；变更记录应包含变更前后的参数值和确认数据。
6.7.2 首件确认应连续抽取5片，检测槽宽、槽深、隔离电阻和EL；全部符合第7章要求方可批量生产。
6.7.3 首件确认不合格时，应重新调整参数并再次确认；连续2次确认不合格应停止该配方并排查设备状态。

7 质量控制要求

7.1 外观

7.1.1 隔离槽应连续、清晰，槽口不应有连续熔渣、重铸凸起和明显变色。
7.1.2 槽口崩边不应大于30 μm，崩边处不应伴随向片内扩展的裂纹。
7.1.3 硅片表面不应有刻蚀过程造成的二次划伤、指纹和粉尘残留。
7.1.4 离槽外侧区域不应出现发黑、彩虹斑等异常外观。

7.2 隔离槽几何参数

7.2.1 隔离槽几何参数应符合表4的规定。

表4 隔离槽几何参数要求

项目	要求
槽宽W	20 μm～50 μm
槽深D	8 μm～20 μm，且不小于发射极结深的5倍
槽中心线位置偏差	≤±50 μm
槽中心线至硅片边缘距离	0.2 mm～0.5 mm
槽壁倾角	60°～85°
槽口崩边	≤30 μm
热影响区宽度HAZ	≤10 μm
重铸层厚度	≤1 μm
闭合性	全程连续、无断点，首尾搭接≥1.0 mm
槽深均匀性	片内极差≤3 μm

7.2.2 槽深应大于发射极结深的5倍，且槽底应进入基体。
7.2.3 槽壁应连续、无贯穿裂纹。
7.2.4 槽深沿轨迹方向的突变不应大于3 μm/mm，突变处应判定为工艺异常。

7.3 隔离电性能

7.3.1 在10 V直流电压下，电池片正面发射极与背面基体之间的隔离电阻不应小于1.0 MΩ。
7.3.2 在10 V测试电压下，隔离电阻对应的漏电流不应大于10 μA；批量生产中隔离电阻宜控制在5.0 MΩ以上。

7.4 电性能

7.4.1 相对于同批次未隔离对照片，隔离后电池片的电性能应符合表5的规定。

表5 隔离后电性能要求

项目	要求（相对对照片）
转换效率η	不低于对照片的99.5%
填充因子FF	不低于对照片的99.0%
开路电压Voc	变化不超过±0.15%
短路电流Isc	下降不超过1.0%

7.4.2 对照片应与被测片同批、同方阻区间、同测试条件，数量不应少于20片，取中位值比较。

7.5 一致性与过程能力

7.5.1 同一片内槽深极差不应大于3 μm，同一批次槽深标准差不应大于1.5 μm。

7.5.2 槽深与隔离电阻的过程能力指数Cpk不应小于1.33。
7.5.3 批量隔离电阻不合格率不应大于0.5%，崩边超差率不应大于0.3%。

7.6 可靠性

7.6.1 经85℃、85%相对湿度、1000 h湿热试验后，隔离电阻不应小于0.9 MΩ，且相对初始值衰减不应大于10%。
7.6.2 经-40℃～85℃、200次热循环后，转换效率衰减不应大于5%，且不应出现沿槽扩展的新增裂纹。
7.6.3 可靠性试验后隔离槽不应出现贯穿性开裂、脱层和明显氧化。

T/CEATEC XXX—XXXX

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
T/CEATEC XXXX－XXXX
*
中国欧洲经济技术合作协会
网址 https://www.ceatec.org.cn/
*
开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 XXX 千字
2026 年 X 月第一版 2026 年 X 月第一次印刷
*
如有印装差错 由中国欧洲经济技术合作协会调换
版权专有 侵权必究
举报电话：010-64516951