

# 2024年中国钙钛矿电池工艺流程分析 镀膜、涂布、激光刻蚀为关键环节【组图】

蔡志濠 · 2023-12-27 14:30:40 来源：前瞻产业研究院

钙钛矿电池行业主要上市公司：宁德时代(300750.SZ);隆基绿能(601012.SH);天合光能(688599.SH);晶科能源(688223.SH);晶澳科技(002459.SZ);杭萧钢构(600477.SH);宝馨科技(002514.SZ)等

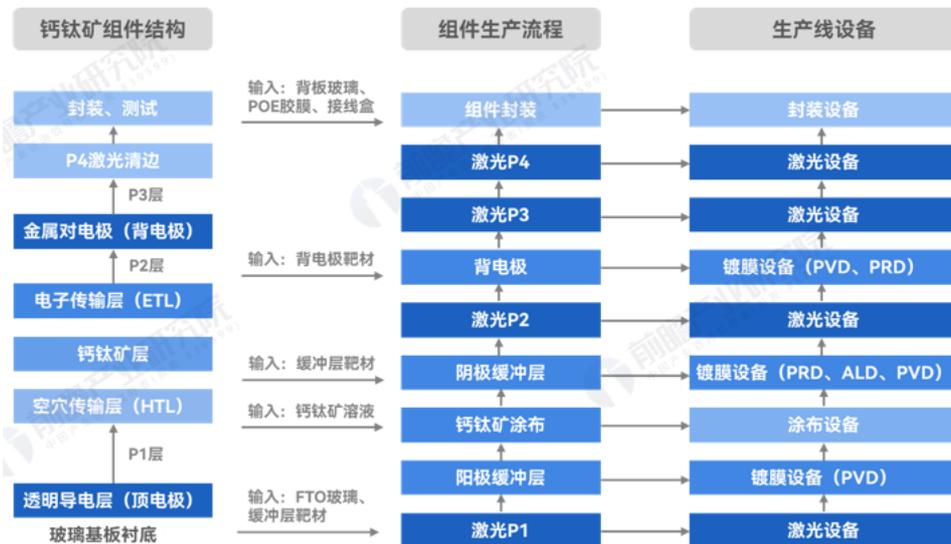
本文核心指标：钙钛矿电池制备流程及工艺设备;钙钛矿电池不同组成部分制备工艺及设备;主流镀膜方式对比;大面积钙钛矿薄膜制备技术对比;钙钛矿电池激光刻蚀工艺流程

## 镀膜、涂布、激光刻蚀为制备过程核心环节

钙钛矿电池在结构上由多个功能薄膜叠加而成，其制备在方法上也是在基底上一层层累置薄膜而成。整个过程中三层薄膜(空穴传输层HTL、钙钛矿层、电子传输层ETL)制备最为关键，镀膜、涂布、激光刻蚀为核心环节，镀膜设备(PVD、RPD)、激光设备和涂布机为核心设备。

以反式平面结构为例，其工艺流程为：导电透明玻璃制备-激光P1刻蚀-制备第一传输层薄膜-退火/干燥-制备钙钛矿层薄膜-退火烘干-制备第二传输层薄膜-退火/干燥-激光P2刻蚀-底电极(背电极)制备-激光P3刻蚀-激光清边-测试分拣和封装。钙钛矿电池组件生产共需要镀膜设备、激光设备、涂布设备和封装设备4种设备，需进行3次镀膜、3次激光刻蚀+1次激光清边。制备过程中，材料、工艺、设备共同铸就钙钛矿电池企业的核心竞争力，钙钛矿电池产业化发展带来关键设备的投资机会。

图表1：钙钛矿电池制备流程及工艺设备——以反式结构为例



资料来源：协鑫光电 众能光电 前瞻产业研究院

@前瞻经济学人APP

如上所示，电池的不同组成部分制备的工艺不同，所用的设备也有所不同：

图表2：钙钛矿电池不同组成部分制备工艺及设备

结构	制备工艺	设备
TCO 玻璃基板层	可以直接采购，或在玻璃底上制备透明导电层，较为成熟	溅射 PVD
空穴传输层	镀膜（蒸镀/磁控溅射等）或涂布，难点是工艺参数的调整	溅射 PVD（主流）或蒸镀 PVD
钙钛矿层	涂布印刷（狭缝涂布等），也可用蒸镀 PVD 或气相沉积，技术难度较高，难点是大面积、均匀性和材料使用效率	涂布机（主要）或蒸镀 PVD
电子传输层	镀膜（蒸镀/磁控溅射/离子镀 RPD）或涂布	RPD 设备（主流），或先用 RPD 或 ALD 设备制作阻隔层，再用溅射 PVD 做传输层
背电极	镀膜（蒸镀或磁控溅射），相对较为成熟	蒸镀 PVD（主流），或用 PRD 进行离子反应

资料来源：前瞻产业研究院

@前瞻经济学人APP

### 主流镀膜技术有PVD、RPD、ALD

钙钛矿电池空穴传输层和电子传输层的制备工艺主要包括PVD和RPD，ALD目前处于研究状态，未来或将应用于钙钛矿电池功能层制备。PVD又分为真空蒸发镀膜、真空溅射镀膜和真空离子镀膜(RPD)。

从三种镀膜技术对比来看，PVD为目前较成熟的镀膜技术，具有沉积速率快、成本较低的优势，但该技术制备的薄膜均匀性相对较差;采用RPD制备电子传输层可以减少制作过程中对下方钙钛矿层的影响，但设备成本高于PVD;ALD工艺的优势则在于大面积成膜的均匀性，且致密、无针孔。

图表3：主流镀膜方式对比—PVD、RPD、ALD

镀膜技术	PVD	RPD	ALD
沉积原理	物理气象沉积	等离子体沉积	表面饱和式反应
优点	1) 沉积速度较快; 2) 镀膜具有单一方向	1) 离子能量低，对电池损伤小; 2) 光透过率高，电导率高	1) 薄膜厚度较薄; 2) 均匀性好; 3) 阶梯覆盖率好
缺点	1) 薄膜厚度较厚，精度控制差; 2) 均匀性差; 3) 阶梯覆盖率差	1) 需多个靶平行放置，影响产能; 2) 靶材利用率低，成本较高	沉积速度较慢
应用	1) 方案成熟、成本更优; 2) 等离子轰击造成电池性能下降	1) 电池转化效率更高; 2) 量产难度较大，生产效率较低	满足对薄膜厚度、精度的更高要求

资料来源：前瞻产业研究院

@前瞻经济学人APP

### 钙钛矿层产业化制备以狭缝涂布法为主

钙钛矿层的制备是生产过程中的核心环节，其成膜质量直接决定了电池的转换效率，目前主要制备方法包括溶液涂布法(湿法)、真空蒸镀法(干法)、气相辅助溶液法(干湿法结合)。其中，溶液涂布法又分为刮刀涂布法、狭缝涂布法、丝网印刷法、喷涂法、喷墨打印法和软膜覆盖法。

钙钛矿薄膜的结晶性良好有助于降低其缺陷态密度、减少载流子的复合。大面积钙钛矿的主要难点就是如何在溶液中形成大量的结晶，以提升镀膜的均匀性。狭缝涂布法可以通过控制系统参数设定进行精确设计、可兼容卷对卷生产，是实现钙钛矿电池产业化的重要方法。

图表4：大面积钙钛矿薄膜制备技术对比

制备方式	优势	缺点
刮刀涂布法	易于大面积制备，无需复杂设备	溶液利用率低，敞开环境下溶液均一性较差
狭缝涂布法	易于大面积制备，成产效率高	对设备精确度要求高
丝网印刷法	易于大面积制备，涂覆过程简单	利用率低，对丝网精度要求高
喷涂法	易于大面积制备，喷涂过程简单	溶液利用率低，可重复性差
喷墨打印法	材料利用率高，可实现定制化生产	设备要求高，生产效率低，难以控制结晶过程
软膜法	可大面积制备，无需溶液	材料利用率低，生产效率低
气相沉淀法	薄膜质量较高，可精准调控	生产效率低，成本高

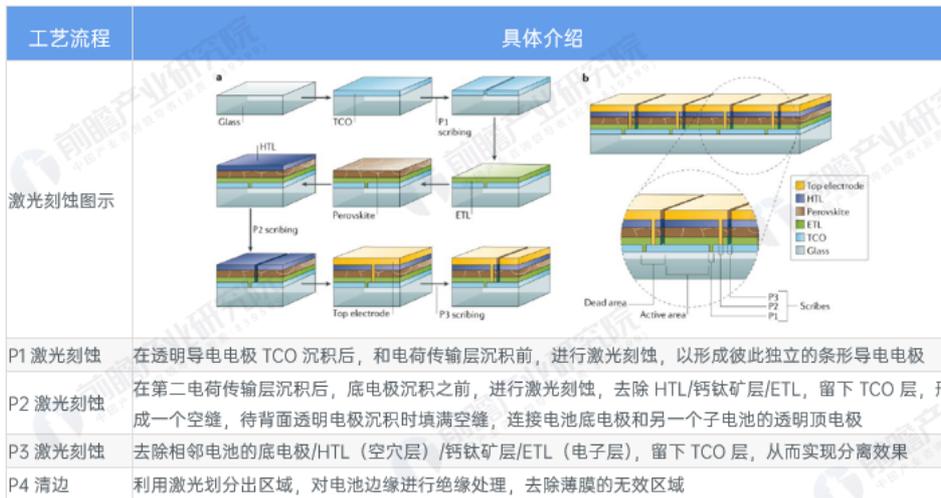
资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》前瞻产业研究院

@前瞻经济学人APP

### 钙钛矿电池制备过程包括4次激光刻蚀

激光工艺涉及到整个钙钛矿薄膜电池的制备流程，是整个生产流程中的必备环节。钙钛矿电池生产过程中需要分别进行3次平行激光刻蚀(P1-P3)，并完成P4的清边。P1-P3刻蚀环节的作用是切割电池表面，形成阻断电流导通的单独模块，实现增大电压和串联电池的效果；P4激光负责清边以完成最后的封装环节。

图表5：钙钛矿电池激光刻蚀工艺流程



资料来源：前瞻产业研究院

@前瞻经济学人APP

更多本行业研究分析详见前瞻产业研究院《中国钙钛矿电池（PSCs）产业发展前景预测与投资战略规划分析报告》。

同时前瞻产业研究院还提供产业大数据、产业研究报告、产业规划、园区规划、产业招商、产业图谱、智慧招商系统、行业地位证明、IPO咨询/募投可研、IPO工作底稿咨询等解决方案。在招股说明书、公司年度报告等任何公开信息披露中引用本篇文章内容，需要获取前瞻产业研究院的正规授权。