

# 光伏电池组件行业深度报告

## 钙钛矿：新一代太阳能薄膜电池，有望大幅提高极限转换效率

方正证券研究所证券研究报告

### 分析师

郭彦辰

登记编号：S1220523110003

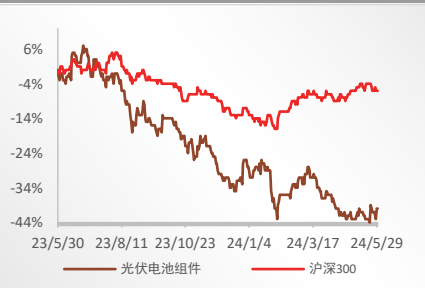
联系人 黄昊

### 行业评级：推荐

#### 行业信息

上市公司总数	18
总股本(亿股)	467.12
销售收入(亿元)	2,810.76
利润总额(亿元)	257.18
行业平均 PE	-17.59
平均股价(元)	12.94

#### 行业相对指数表现



数据来源：wind 方正证券研究所

#### 相关研究

钙钛矿作为新一代太阳能电池材料，**提效显著**。钙钛矿指结构为  $ABX_3$  的化合物，其组成元素在地壳中含量丰富，由其制备的钙钛矿太阳能电池禁带宽度佳、吸光效果好、载流子稳定，转换效率高。此外钙钛矿电池原材料成本与消耗低，产业链流程缩短，投资额仅为晶硅电池一半，产业化前景广阔、可行性高。

**镀膜、刻蚀、封装是单结钙钛矿电池组件制备核心工艺**。单结钙钛矿电池制备主要环节为：TCO 导电玻璃制备与处理——制备电子传输层——制备钙钛矿层——制备空穴传输层——蒸镀金属背电极——清边、测试、封装。其中激光工艺贯穿始终，用于刻蚀、清边。

**制备需应用镀膜设备、涂布设备、激光设备、封装设备，价值量占比分别约 50%、20%、20%、10%**。激光设备与封装设备暂无路线分歧，镀膜设备尚未统一，分为 PVD、PRD、ALD。当前钙钛矿层制备以涂布设备为主，空穴及电子传输层制备可以使用涂布设备或镀膜设备，金属背电极、TCO 导电玻璃制备分别以蒸镀 PVD、溅射 PVD 为主。

**钙钛矿叠层电池理论效率高达 40%+**。钙钛矿材料带隙可调，是叠层电池理想顶层电池材料。双结叠层是产业主要发展方向，钙钛矿电池能够与晶硅电池、钙钛矿电池形成两端/四端叠层。其中 HJT 电池具备天然的 TCO 层，较其它晶硅电池叠层所需改动的生产环节更少，能够有效简化叠层工序。全钙钛矿叠层电池能充分发挥钙钛矿材料自身成本低廉、吸光性强等优势，或为产业发展终极路径。

**随着稳定性差、大面积制备效率低等问题解决，利于产业化进程**。受限于钙钛矿材料自身稳定性及易受外界环境影响、各功能层稳定性，钙钛矿电池长期稳定性差，可从器件内部稳定性、后处理、封装工艺隔绝等方向改进。同时随着面积增大，钙钛矿电池效率下降明显，当前国内外研究团队正积极寻求解决方案，已有一定突破。设备端而言，PVD 设备镀膜均匀性、激光设备与涂布设备精准度仍存在提升空间。

**相关公司**：1) **设备**：曼恩斯特、京山轻机、捷佳伟创、杰普特、德龙激光、迈为股份；2) **材料**：亚玛顿、旗滨集团、耀皮玻璃、隆华科技、金晶科技；3) **电池**：协鑫科技、宝馨科技等。

**风险提示**：光伏组件需求不及预期，钙钛矿产业化进展不及预期，市场竞争加剧。

## 正文目录

1 钙钛矿及钙钛矿电池的概念.....	5
1.1 钙钛矿的基本概念.....	5
1.2 钙钛矿电池在理论效率、工艺、成本三方面优于主流晶硅电池.....	6
1.3 持续出台钙钛矿相关政策，推动钙钛矿电池产业化发展.....	11
2 钙钛矿的工艺.....	12
2.1 钙钛矿电池结构主要采用平面结构.....	12
2.2 钙钛矿太阳能电池实现光电转换的流程.....	13
2.3 钙钛矿电池的制备.....	14
2.4 镀膜工艺：钙钛矿电池各膜层制备所需.....	14
2.5 刻蚀工艺：激光刻蚀是主流.....	23
2.6 封装工艺：钙钛矿电池组件制备最后一环.....	24
3 叠层电池：具有更高理论效率，或为终极解决方案.....	25
3.1 钙钛矿叠层发展优势突出.....	25
3.2 钙钛矿/晶硅叠层电池：钙钛矿-HJT 叠层更具优势.....	27
3.3 全钙钛矿叠层电池：未来叠层电池的重要发展方向.....	29
4 钙钛矿电池设备：关注镀膜、涂布、激光、封装设备.....	31
5 相关公司.....	35
6 风险提示.....	40

## 图表目录

图表 1: 太阳能电池技术一览图 .....	5
图表 2: 钙钛矿晶体结构 .....	6
图表 3: 钙钛矿各位置的元素选择 .....	6
图表 4: 各太阳能电池理论效率极限 .....	6
图表 5: 钙钛矿电池与其他太阳能电池吸收系数对比 .....	7
图表 6: 半导体的禁带宽度-理论效率 .....	7
图表 7: 钙钛矿电池与晶硅电池生产流程对比 .....	8
图表 8: 钙钛矿电池关键材料成本 (a) 中国地区钙钛矿电池关键原材料价格 (b) 国际其他地区钙钛矿电池关键原材料价格 (c) 除钙钛矿层之外其他界面材料的成本之和 .....	8
图表 9: 大面积制备技术进展 .....	9
图表 10: 钙钛矿电池稳定性影响因素 .....	10
图表 11: 钙钛矿材料可迁移离子迁移路径示意图 .....	10
图表 12: 温度引起钙钛矿材料相变 .....	10
图表 13: 水分催化钙钛矿材料分解 .....	10
图表 14: 电池材料影响钙钛矿电池稳定性 .....	10
图表 15: 钙钛矿电池成本变化 (单位: 元/W) .....	11
图表 16: 钙钛矿电池行业政策 .....	12
图表 17: 钙钛矿电池结构示意图 .....	13
图表 18: 钙钛矿电池组成和光电转换过程 .....	13
图表 19: 钙钛矿电池制备流程 .....	14
图表 20: 钙钛矿电池各层镀膜方法 .....	14
图表 21: TCO 玻璃制备方法 .....	15
图表 22: 电子传输层制备方法 .....	16
图表 23: 钙钛矿薄膜晶体成核与生长模型 .....	18
图表 24: 狭缝涂布法示意图 .....	18
图表 25: 刮刀涂布法的示意图 .....	19
图表 26: 喷涂法制备钙钛矿薄膜机理示意图 .....	19
图表 27: 喷墨打印法沉积钙钛矿薄膜的示意图 .....	20
图表 28: 一步旋涂法和两步旋涂法的示意图 .....	20
图表 29: 真空蒸镀法的示意图 .....	21
图表 30: 钙钛矿制备常用方法及优劣势 .....	21
图表 31: 旋涂法制备空穴传输层 .....	22
图表 32: 蒸镀制备背电极 .....	22
图表 33: 刻蚀方法 .....	23
图表 34: 钙钛矿电池刻蚀步骤 .....	23
图表 35: 钙钛矿子电池结构 .....	24
图表 36: 钙钛矿电池封装方法 .....	25
图表 37: 卤素钙钛矿带隙调控范围 .....	25
图表 38: 钙钛矿叠层电池结构 .....	26
图表 39: 四端叠层电池理论最大 PCE .....	26
图表 40: 已报道四端叠层电池效率图 .....	26
图表 41: 两端叠层太阳能电池理论最大 PCE .....	27
图表 42: (A) 串联器件有效面积大于 1cm <sup>2</sup> 已报道两端叠层电池效率图 (B) 串联器件有效面积小于 1cm <sup>2</sup> 已报道两端叠层电池效率图 .....	27
图表 43: HJT-钙钛矿叠层电池 .....	28

图表 44: TOPCon 与钙钛矿叠层电池.....	28
图表 45: 基于平面的 PERC 电池前表面结构的钙钛矿/PERC 叠层电池结构.....	28
图表 46: 全绒面钙钛矿叠层电池结构与示意图.....	28
图表 47: TCO 复合层模型 (a) 与硅基隧穿层模型 (b) .....	29
图表 48: 全钙钛矿叠层电池结构 .....	30
图表 49: 单结钙钛矿电池与全钙钛矿叠层电池效率演变.....	30
图表 50: 钙钛矿叠层电池度电成本对比.....	30
图表 51: 原子层沉积技术 .....	31
图表 52: 有无 Au 在隧穿结中全钙钛矿叠层电池 J-V 曲线.....	31
图表 53: 降低钙钛矿薄膜锡空位缺陷.....	31
图表 54: 产线设备构成 .....	32
图表 55: 各流程所需工艺及设备 .....	32
图表 56: 镀膜设备比较 .....	33
图表 57: 镀膜设备供应商 .....	33
图表 58: 涂布设备供应商 .....	34
图表 59: 激光设备供应商 .....	34
图表 60: 封装设备供应商 .....	35
图表 61: 各设备涉及公司 .....	35
图表 62: 钙钛矿设备供应商 .....	35
图表 63: 钙钛矿材料供应商 .....	37
图表 64: 钙钛矿电池供应商 .....	38

## 1 钙钛矿及钙钛矿电池的概念

钙钛矿材料丰富，产业化前景广阔。太阳能电池主要分为晶硅电池和薄膜电池两大类，这两类电池起初在技术上相对独立，在各自方向不断发展迭代。晶硅电池中，N型和P型单晶硅电池是产业主流。在薄膜电池中，有砷化镓（GaAs）、碲化镉（CdTe）、铜铟镓硒（CIGS）、钙钛矿这几种常见的化合物电池。其中部分电池含有的稀有元素（如：镓）在地壳内含量极其稀少，导致了规模化、产业化困难，市场空间比较有限。相对来说，钙钛矿所需的元素在地壳中含量丰富，这为其规模化发展提供了必要条件。

图表1: 太阳能电池技术一览图



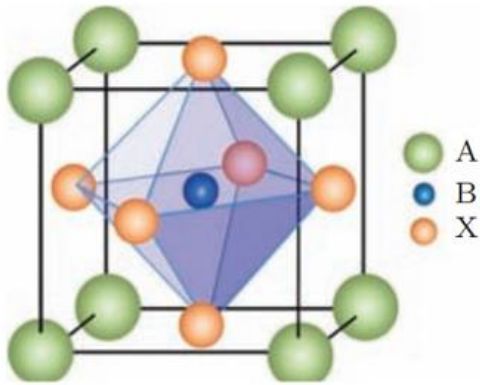
资料来源：方正证券研究所整理

### 1.1 钙钛矿的基本概念

钙钛矿最早是指发现于钙钛矿石中的钛酸钙（ $\text{CaTiO}_3$ ）化合物，这也是钙钛矿名称的由来。现如今，广义钙钛矿指的是结构为  $\text{ABX}_3$  的晶体，这种有机卤化物钙钛矿结构容错率高：八面体网络之间的空隙比较大，允许较大尺寸离子填入，即使产生大量晶体缺陷，相较其它离子晶体也更稳定。此外钙钛矿晶体每个位置都可以用不同的元素替代，而使用不同的元素会让钙钛矿晶体的性质发生变化。

A 位通常为有机阳离子，其主要作用是在晶格中维持电荷平衡。最常用的为  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$ （甲胺），其他诸如  $\text{NH}_2\text{CH}=\text{NH}_2^+$ （甲基胍）， $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_3^+$ （乙胺）也有一定的应用。B 离子指的是金属阳离子，主要有  $\text{Pb}_2^+$  和  $\text{Sn}_2^+$ 。Pb 具有良好的稳定性，但具有毒性；Sn 对环境友好但易被氧化为  $\text{Sn}_4^+$ ，因此现在的钙钛矿使用的多是 Pb 或 Pb 和 Sn 混合。X 离子为卤素阴离子，通常为碘、溴和氯。

图表2: 钙钛矿晶体结构



资料来源:《钙钛矿太阳能电池综述》, 方正证券研究所

图表3: 钙钛矿各位置的元素选择

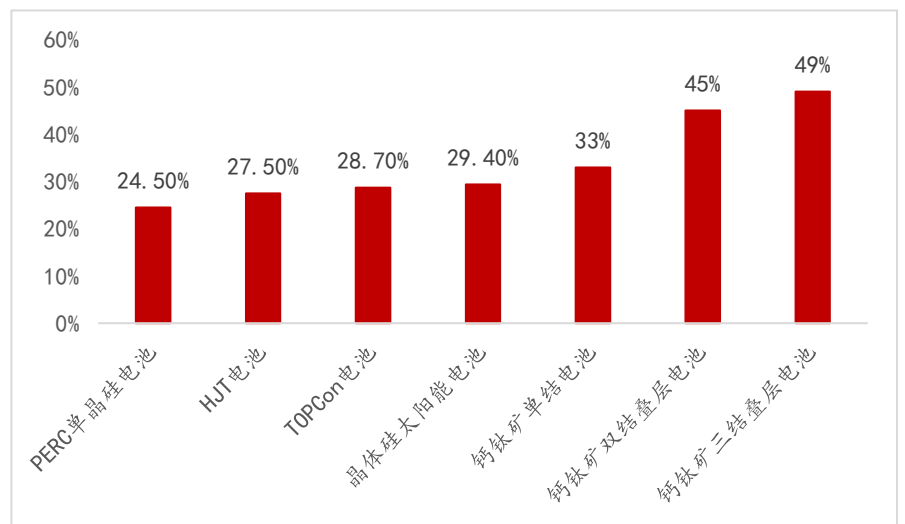
The periodic table shows elements categorized by site suitability: A (purple), B (orange), A/B (blue), and X (green). A/B sites include transition metals like Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, In, Sn, Sb, Te, I, and Bi. X sites include non-metals like F, Cl, S, Se, Br, I, and At.

资料来源:《Machine learning for perovskite materials design and discovery》, 方正证券研究所

### 1.2 钙钛矿电池在理论效率、工艺、成本三方面优于主流晶硅电池

**钙钛矿电池理论效率极限远高于单晶硅电池。**普通单晶硅电池/晶体硅太阳能电池极限转换效率分别为 24.5%/29.4%。据晶科能源和通威股份数据显示,目前量产的 TOPCon 和 HJT 电池效率可分别达到 25.6%以上和 26.49%,接近 TOPCon 电池和 HJT 电池的理论效率极限(分别为 28.7%和 27.5%)。而钙钛矿单层电池极限转换效率可达 33%,同时,钙钛矿可以与其他光伏技术结合合成得到极限转换效率更高的叠层电池,比如晶硅/钙钛矿叠层电池和钙钛矿/钙钛矿叠层电池极限分别可达 43%和 45%。目前钙钛矿电池的最高效率为清华大学电机易陈谊团队实现的 26.41%。

图表4: 各太阳能电池理论效率极限

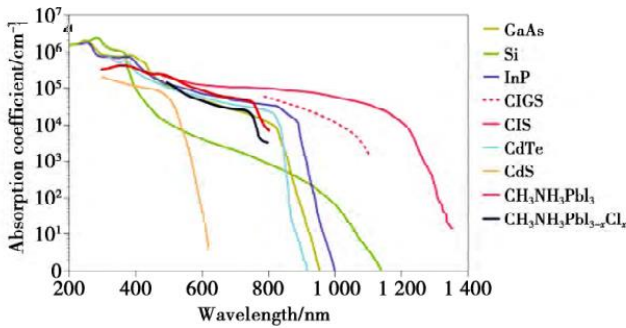


资料来源: 中商产业研究院, 方正证券研究所

**钙钛矿理论效率较高主要来自三大方面。**1) 作为吸光材料综合性能强: 钙钛矿材料能够同时高效地完成太阳光的吸收、光生载流子的激发输运和分离等过程。钙钛矿材料具有极高的吸光系数, 光吸收能力比其它有机染料高 10 倍以上, 400nm 厚的薄膜即可吸收紫外-近红外光谱范围内的所有光子; 并且可以通

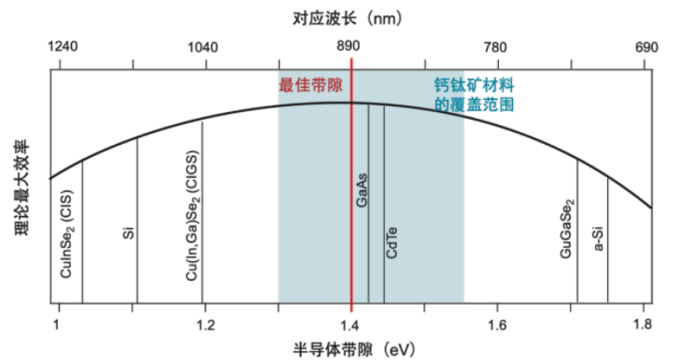
过替位掺杂等手段，调节材料禁带宽度，实现功能的发展和迭代。2) **其禁带宽度在最佳宽带附近**：禁带宽度指的是使共价键上电子跃迁到导带上所需的最低能量。当光照提供的能量大于禁带宽度时，共价键中的电子由价带跃迁到导带，形成空穴-电子对。在半导体的范围内，禁带宽度过窄会让半导体的结构受到破坏，禁带宽度过宽会影响钙钛矿吸收光能的效率，而适中的禁带宽度既能够承受高电压也能保证吸收光能的效率。根据肖克利-奎伊瑟极限，1.4eV 是太阳能电池的最佳禁带宽度，钙钛矿电池的禁带宽度在 1.4eV 左右，晶硅电池的禁带宽度约 1.1eV。3) **温度系数低**：钙钛矿电池的温度系数为-0.001，即温度上升 1°C 发电功率下降 0.001%，因此高温几乎不会影响到钙钛矿电池的发电效率。晶硅电池温度系数约为-0.3，当温度达到 75°C 时，20% 效率的组件实际工作效率仅为 16%。

图表5: 钙钛矿电池与其他太阳能电池吸收系数对比



资料来源：《高效钙钛矿太阳能电池及其叠层电池研究进展》，方正证券研究所

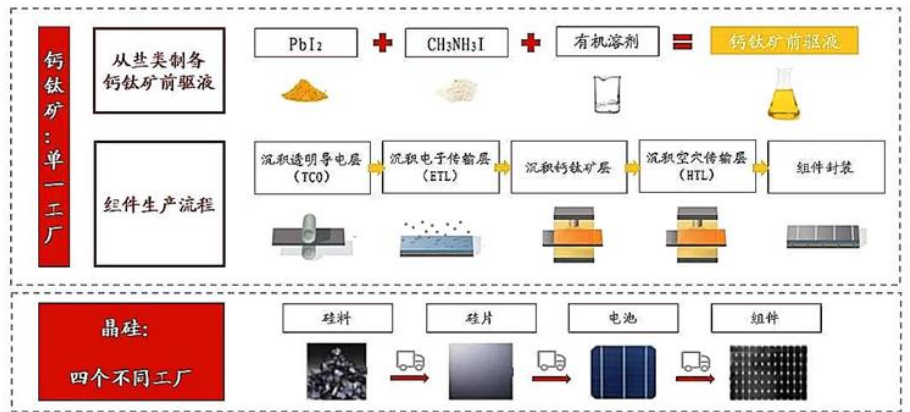
图表6: 半导体的禁带宽度-理论效率



资料来源：索比光伏网，方正证券研究所

钙钛矿电池工艺方面的优势主要在：1) **产业链流程较晶硅组件缩短**：钙钛矿制备流程简单使工艺流程缩短，100 兆瓦单一工厂从玻璃、胶膜、靶材、化工原料进入到组建成型仅需 45 分钟，相较下晶硅电池工艺流程更为复杂，需要针对不同环节分别建厂，四个工厂内分别加工硅料、硅片、电池、组件过程至少耗时 3 天，因此钙钛矿电池产业链制备时间优势明显。2) **纯度要求和能耗低**：晶硅需要 99.9999% (6N) 级别以上纯度，每一块组件需要 1 公斤左右的用料。硅料生产需要 1000 多度高温，拉晶切片需要 1400 多度高温，做电池的扩散也需要 800-900 度的温度，生产过程中能耗较高，相较而言，钙钛矿对杂质低敏感，95% 纯度即可满足生产使用需求，钙钛矿太阳能电池整个生产过程温度不超过 150 度，使生产过程能耗极大降低。单晶光伏组件制造能耗约为 1.52kWh/W，而钙钛矿组件的能耗成本为 0.12kWh/W。

图表7:钙钛矿电池与晶硅电池生产流程对比



资料来源: Solar Magazine, 方正证券研究所

**原料成本低, 有望未来实现理论成本 1 元/W:** 钙钛矿电池原材料为基础化工材料, 原料常见、不含贵金属且储量丰富价格低廉。陈炜教授团队就国内外钙钛矿电池的关键材料成本进行了对应的统计分析, 生产成本理想状态下  $1m^2$  的钙钛矿层成本可以实现  $10 \text{ 元}/m^2$ , TCO 玻璃和背电极  $1m^2$  的理想成本可以分别达到 40 元和 10 元, 加上界面层和封装的成本, 累计规模为 100MW 的钙钛矿组件理想成本可以降至  $180 \text{ 元}/m^2$ 。以协鑫光电已经实现的量产效率为例 (约 18%), 该效率下每  $1m^2$  的电池的功率约为 180W, 有望实现与晶硅组件成本相当的 1 元/W, 降本空间仍存。

图表8:钙钛矿电池关键材料成本 (a) 中国地区钙钛矿电池关键原材料价格 (b) 国际其他地区钙钛矿电池关键原材料价格 (c) 除钙钛矿层之外其他界面材料的成本之和

	Price <sup>a</sup> ¥/m <sup>2</sup>	Price <sup>b</sup> \$/m <sup>2</sup>	Price <sup>b</sup> \$/m <sup>2</sup>	Price <sup>b</sup> \$/m <sup>2</sup>	Price <sup>b</sup> \$/m <sup>2</sup>
钙钛矿层	10.00	1.75	1.09	0.065	0.07-13.1
界面层 <sup>c</sup>	25.00	0.79-3.84	4.574	0.202	40.71-95.76
TCO 玻璃	40.00	11.8-23.7	8.298	8.298	55.81
电极	10.00	0.03-2.97	0.013	0.001	1.82
封装	50.00	10.54	8.46	8.46	8.35
合计	180.00	24.91-42.80	22.435	17.026	106.76-174.84
规模	100MW	100MW	100MW	200MW	100MW

资料来源:《钙钛矿太阳能电池快速商业化的主要瓶颈和突出矛盾》, 方正证券研究所

钙钛矿电池规模的扩大仍存在三大挑战:

### 1) 大面积制备电池效率下降

**大面积效率不及预期:** 随着器件面积的增大, 钙钛矿电池效率下降幅度显著增加。虽然在  $0.1cm^2$  的实验室规模电池中钙钛矿电池实现了 25.7% 的记录效率, 但对于面积约为  $20000cm^2$  的组件, 最高效率记录由协鑫光电在 2024 年 3 月实现, 仅为 19.04%, 钙钛矿电池实现 22% 以上的量产效率仍需要一定的时间。为钙钛矿电池大面积制备问题可归因为两点原因。**有效光照面积方面**, 非光活性

死区（如栅线区和刻蚀区）面积增大，有效光照面积减小，可以通过改善激光刻蚀设备，减小钙钛矿电池死区面积，提升电池的大面积效率。**工艺方面**，大面积钙钛矿薄膜的可控设备尚未优化到位，其工艺采用的是溶液涂布技术（主流为狭缝涂布法），与历史上其他半导体主流制造工艺都不同，产业界对这一技术的放大仍很陌生，致使大面积钙钛矿薄膜均匀性较差，缺陷增多。实验室制备钙钛矿电池常用的溶液旋涂法虽具有成膜快、重复性好等优点，但无法满足大规模产业化发展的大面积与低成本等要求。工业目前制备大面积钙钛矿电池常用溶液涂布法、溶液喷涂法、软膜覆盖法与气相沉积法等，但制备电池转换效率仍与旋涂法存在一定差距。目前国内外研究团队正积极寻求解决方案，已取得一定进展。

图表9: 大面积制备技术进展

研究团队	方法介绍
Grätzel 团队	采用简单真空闪蒸，将光电转换效率提高到 19.6%。
宋延林团队	采用印刷工艺制备新型导电高分子透明电极，所制备柔性钙钛矿电池（0.1cm <sup>2</sup> ）与模组（25cm <sup>2</sup> ）光电转换效率达到 19%和 10%。
Lidzey 团队	全喷涂法制备三元钙钛矿太阳能电池，小面积获得 19.4%的光电转换效率。
黄劲松团队	将挥发性非配位溶剂与 Pb <sup>2+</sup> 和低挥发性配位溶剂结合，以 99mm/s 的快速刮涂制备大面积钙钛矿薄膜，获得 16.4%的认证模块光电转换效率（63.7cm <sup>2</sup> ）。
Paetzold 团队	喷墨印刷法制备高质量钙钛矿层，器件光电转换效率大于 21%。
林唯芳团队	采用环境友善材料配合不同环保溶剂，使用传统大面积狭缝式涂布法配合快速红外光涂布 12cm×12cm 均匀大面积钙钛矿薄膜，光电转换效率达 14.30%。
刘生忠团队	利用高压氮气萃取辅助结晶，以控制良好的印刷过程中获得宽阔的加工窗口，生产 40mm×40mm 模块光电转换效率 19.4%。

资料来源：《钙钛矿太阳能电池的研究进展与关键挑战》，方正证券研究所

## 2) 钙钛矿电池的稳定性不足

**钙钛矿太阳能长期稳定性差。**影响其稳定性具体原因主要包括三方面：钙钛矿材料自身稳定性、外部环境变化、器件中各功能层稳定性，每一环节产生偏差都可能导致电池稳定性问题。**钙钛矿材料自身易发生离子迁移：**与硅材料不同，钙钛矿材料具有明显的离子特性，通常情况下尺寸较小的离子在迁移过程中引起晶格形变小发生离子迁移，产生材料分解、器件性能衰减等影响电池稳定性问题。**钙钛矿材料作为电池组件吸光层与活性层，受外界环境动态影响显著。**钙钛矿材料本身易水解、易氧化，遇高温热分解，晶体结构、相界与晶界发生变化。光照引起钙钛矿材料分解、相变与内部分离。**钙钛矿电池器件传输层与电极材料对器件稳定性也具有关键作用。**电子传输层常用材料氧化钛（TiO<sub>2</sub>）和氧化锌（ZnO）在光照条件下产生光生空穴催化分解钙钛矿吸光层，同时酸性 ZnO 具有腐蚀作用加速器件老化；空穴传输层材料 Spiro-OMeTAD 使钙钛矿层碘离子扩散会降低电荷传输性能；常用电极金、银、铝等内部金属原子扩散进入钙钛矿吸光层导致吸光层材料分解，同时钙钛矿吸光层卤素离子扩散到金属电极造成电极材料腐蚀。

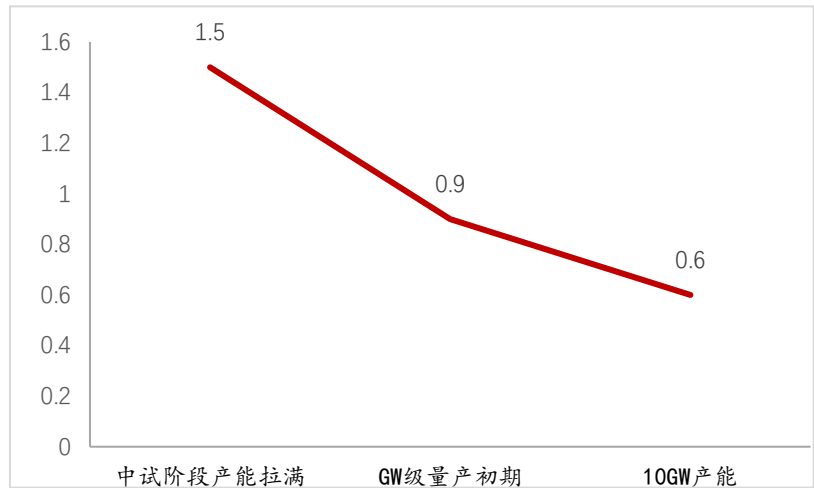
**在材料本身和封装方式等方面提高钙钛矿电池稳定性。**改善钙钛矿材料、电子传输层材料和电极材料，防止其分解，提高电池稳定性。同时，在器件封装方面，通过采用 POE+丁基胶的封装方式，可以很大幅度的缓解外部环境因素（如水和氧气）所导致的衰减。



### 3) 钙钛矿电池成本仍然较高

目前生产效率大于 25% 的高效钙钛矿电池需要使用不稳定的 Spiro-OMeTAD 空穴传输材料和高价的金电极，成本过高，阻碍其在工厂上放大应用。同时，由于钙钛矿产能目前较难拉满，钙钛矿组件仍高于晶硅组件成本，据极电光能表示，在中试线阶段，产能拉满的情况下，钙钛矿成本可以达到 1.5 元/W，在 GW 级量产初期，成本可以持续降至 0.9 元/W 左右。随着产能规模的进一步扩大，钙钛矿组件的降本空间将持续扩大。

图表15: 钙钛矿电池成本变化（单位：元/W）



资料来源：极电光能，方正证券研究所

#### 1.3 持续出台钙钛矿相关政策，推动钙钛矿电池产业化发展

自 2016 年国务院发布的《“十三五”国家科技创新》中涉及钙钛矿太阳能电池相关政策后，国家层面其他能源、科技类部门相继出台相关政策，推动钙钛矿电池产业化发展。2021 年 12 月，国家能源局和科技部在“十四五”能源领域科技创新规划中提出推动钙钛矿高效叠层电池制备产业化。2023 年，工信部、国家能源局相继推出《关于促进光伏产业链健康发展有关事项的通知》、《关于开展可再生能源发展试点示范的通知》，统筹推动钙钛矿电池及其叠层电池的技术发展。2023 年 3 月，中国光伏行业协会标准化技术委员会钙钛矿光伏标准专题组成立，加快了钙钛矿电池标准体系梳理和完善。

图表16: 钙钛矿电池行业政策

时间	发表部门	发表文件	内容摘要
2016.07	国务院	《“十三五”国家科技创新》	发展可再生能源大规模开发利用技术，重点加强高效低成本 <b>太阳能电池</b> 、光热发电、太阳能供热制冷、大型先进风电机组、海上风电建设与运维、生物质发电供气供热及液体燃料等技术研发及应用。
2016.11	国务院	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	推动太阳能多元化规模化发展。突破先进晶硅电池及关键设备技术瓶颈，提升薄膜太阳能电池效率， <b>加强钙钛矿</b> 、染料敏化、有机等新型高效低成本太阳能电池技术研发，大力发展太阳能集成应用技术，推动高效低成本太阳能利用新技术和新材料产业化，建设太阳能光电光热产品测试与产业监测公共服务平台，大幅提升创新发展能力。
2017.04	科技部	《“十三五”材料领域科技创新专项规划》	发展重点包括：前沿交叉电子材料--大面积二维电子功能材料、柔性电子材料、 <b>钙钛矿电子材料</b> 及上述材料异质结构的可控制备；有机/无机集成电子材料和器件。新型高性能微纳光电器件、自旋器件、隧穿晶体管及柔性可穿戴光电、逻辑器件。
2021.12	国家能源局、科技部	《“十四五”能源领域科技创新规划》	研制基于溶液法与物理法的钙钛矿电池量产工艺制程设备，开发高可靠性组件级联与封装技术，研发大面积、高效率、高稳定性、环境友好型的钙钛矿电池；开展晶体硅/ <b>钙钛矿</b> 、 <b>钙钛矿/钙钛矿</b> 等高效叠层电池制备及产业化生产技术研究。
2022.06	国家发改委、国家能源局等多部门	《“十四五”可再生能源发展规划》	开展光伏发电户外实证示范，掌握 <b>钙钛矿</b> 等新一代高效低成本光伏电池制备及产业化生产技术，突破适用于可再生能源灵活制氢的电解水制氢设备关键技术，研发储备钠离子电池、液态金属电池、固态锂离子电池、金属空气电池、锂硫电池等高能量密度储能技术。
2022.08	工信部、财政部、商务部等	《加快电力装备绿色低碳创新发展行动计划》	太阳能装备：推动 TOPCon、HJT、IBC 等晶体硅太阳能电池技术和 <b>钙钛矿</b> 、叠层电池组件技术产业化，开展新型高效低成本光伏电池技术研究和应用，开展智能光伏试点示范和行业应用。
2022.10	国家发改委、国家能源局	《关于促进光伏产业链健康发展有关事项的通知》	落实相关规划部署，突破高效晶体硅电池、高效 <b>钙钛矿</b> 电池等低成本产业化技术，推动光伏发电降本增效，促进高质量发展。推动高效环保型及耐候性光伏功能材料技术研发应用，提高光伏组件寿命。
2023.01	工信部等	《关于推动能源电子产业发展的指导意见》	加快智能光伏创新突破，发展高纯硅料、大尺寸硅片技术，支持高效低成本晶硅电池生产，推动 N 型高效电池、柔性薄膜电池、钙钛矿及叠层电池等先进技术的研发应用，提升规模化量产能力。统筹开发 <b>钙钛矿</b> 电池（含钙钛矿/晶硅叠层电池）、非晶硅/微晶硅/多晶硅薄膜电池、化合物薄膜电池等高效薄膜电池技术。
2023.03	中国光伏行业协会标准化技术委员会	中国光伏行业协会标准化技术委员会钙钛矿光伏标准专题组成立	中国光伏行业协会副秘书长江华在致辞中强调了从标准层面来引导和促进钙钛矿技术和产业发展的重要意义。他希望工作组成立后，能加快 <b>钙钛矿</b> 电池标准体系梳理和完善，并在此基础上快速有序、科学合理地开展相关标准制修订工作，为我国钙钛矿电池产业发展提供坚实的标准支撑。
2023.09	国家能源局	《关于组织开展可再生能源发展试点示范的通知》	新型高效光伏电池技术示范。主要支持高效光伏电池、 <b>钙钛矿及叠层太阳能电池</b> 、新型柔性太阳能电池及组件等新型、先进、高效光伏电池技术应用，以规模化促进前沿技术和装备进入应用市场，持续推进光伏发电技术进步、产业升级。单个示范项目装机规模不宜小于5万千瓦。

资料来源：国家能源局，发改委，工信部，国务院，科技部，方正证券研究所

## 2 钙钛矿的工艺

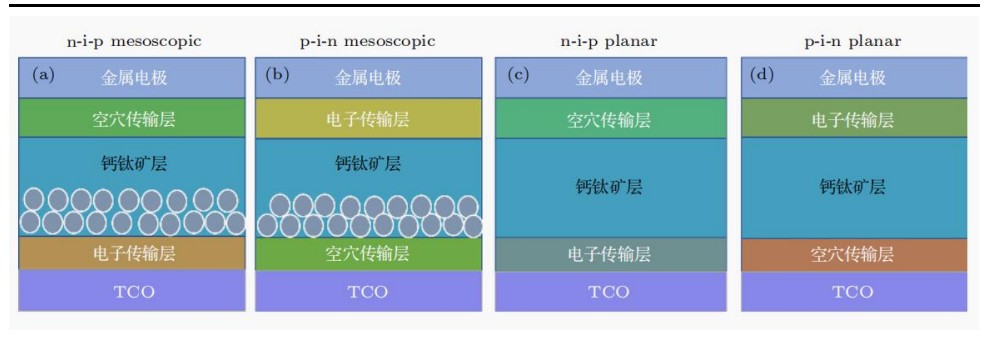
### 2.1 钙钛矿电池结构主要采用平面结构

钙钛矿电池可分为介孔结构（mesoscopic）和平面结构（planer）两种，平面结构的应用更加广泛。平面钙钛矿电池的主要组成部分有：TCO（Transparent Conducting Oxide）透明导电玻璃、空穴传输层（Hole Transport Layer）、钙

钛矿层、电子传输层 (Electronic Transport Layer) 和金属电极。介孔结构中还有稀疏的介孔氧化物支架层 (TiO<sub>2</sub> 或 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 起到介孔骨架的作用, 用以转移运输电子。介孔结构散光效果好, 能更充分地吸收光子, 但需要高温烧结, 耗能严重, 界面粗糙易造成界面内缺陷的增多。

平面结构可进一步分为 n-i-p 型 (正式结构) 和 p-i-n 型 (反式结构)。两种结构的区别为: 光线通过电子传输层进入钙钛矿的为正式结构, 光线通过空穴传输层进入钙钛矿的为反式结构。正式结构的制作工艺更加复杂, 其空穴传输层在钙钛矿层上面, 在选材的温度耐受性和性能平衡上不能很好匹配, 且迟滞效应比反式结构明显。反式结构将空穴传输层做在钙钛矿层下方, 材料选择更多, 应用难度较低, 应用规模更大。

图表17: 钙钛矿电池结构示意图

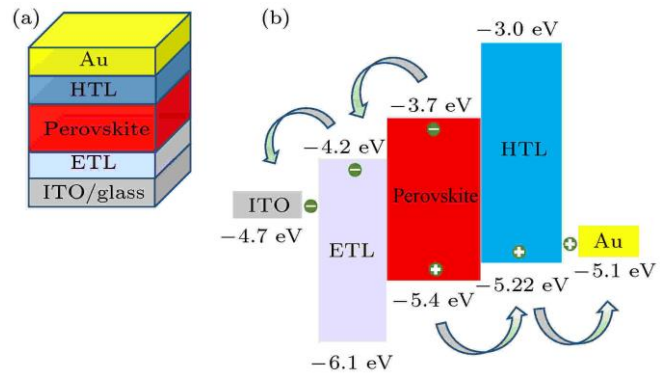


资料来源:《氧化镍在倒置平面钙钛矿太阳能电池中的应用进展》, 方正证券研究所

## 2.2 钙钛矿太阳能电池实现光电转换的流程

钙钛矿太阳能电池以钙钛矿材料作为吸光层 (钙钛矿层), 吸收光能, 转换为电能。转换主要经历了三个流程。**1) 电子-空穴对的变化:** 钙钛矿层接受太阳光照射, 吸收光子使价带中的电子跃迁到导带, 空穴留着价带, 产生电子-空穴对。由于钙钛矿材料激子束缚能得差异, 电子-空穴对在常温下成为自由载流子。**2) 载流子的吸收:** 电子穿过钙钛矿层到达电子传输层, 最后被导电玻璃吸收。空穴穿过钙钛矿层传输到空穴传输层, 最后被金属电极吸收。**3) 连接两极产生电流:** 通过连接导电玻璃和金属电极的电路产生电流, 实现光电转换。

图表18: 钙钛矿电池组成和光电转换过程

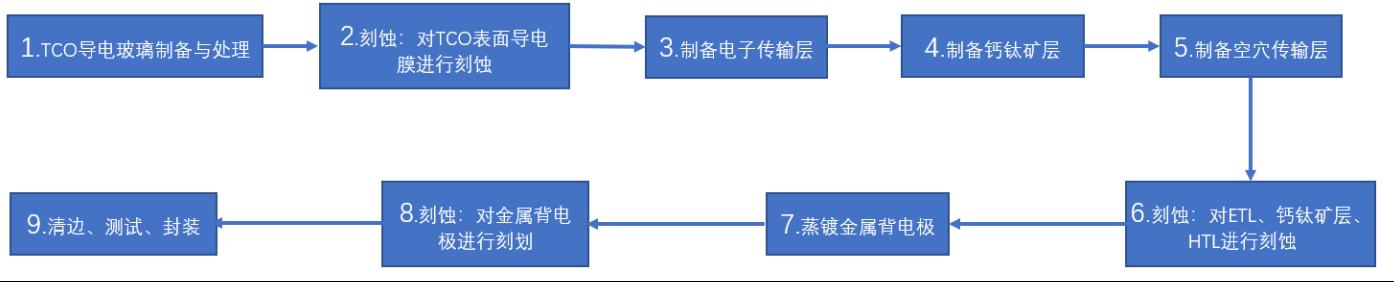


资料来源:《钙钛矿太阳能电池中的缓冲层研究进展》, 方正证券研究所

### 2.3 钙钛矿电池的制备

钙钛矿电池制备通常由九步组成，镀膜、刻蚀、封装三大工艺是核心。制备流程通常分为九步，首先制备并处理玻璃基底，进行刻蚀，再依次制备电子传输层、钙钛矿层、空穴传输层，对这三层进行刻蚀后，蒸镀金属背电极，进行刻蚀将电池分开，最后封装。其中最重要的部分是钙钛矿层制备，产业中正在积极解决其大面积制备效率低和不稳定的问题。

图表19:钙钛矿电池制备流程

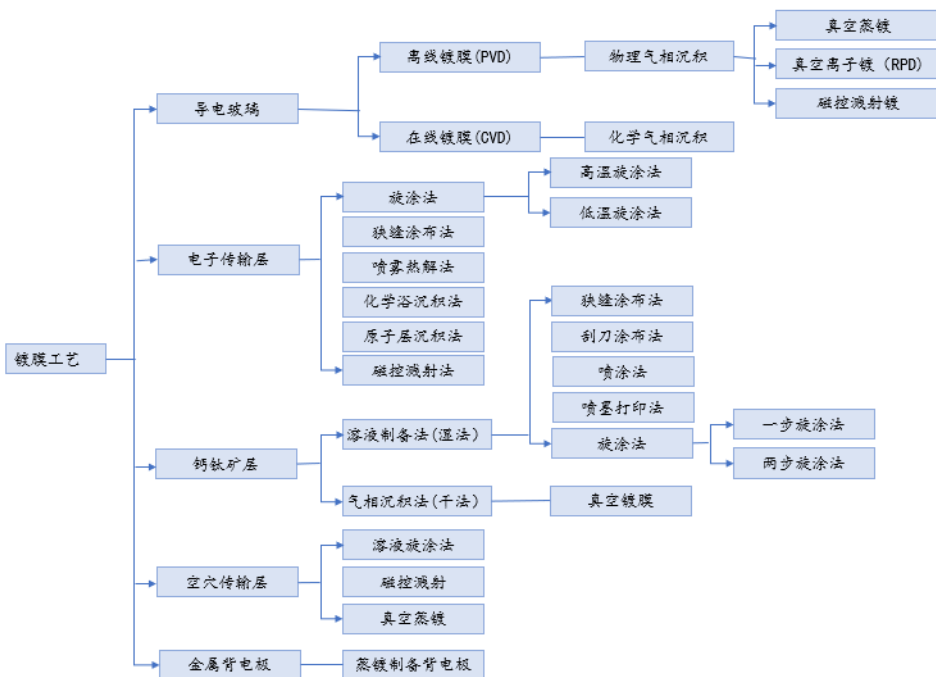


资料来源：方正证券研究所整理

### 2.4 镀膜工艺：钙钛矿电池各膜层制备所需

钙钛矿电池需要镀膜工艺的共有五个部分：导电玻璃、电子传输层、钙钛矿层、空穴传输层和金属背电极。每个部分根据其不同的特性，都有不同的镀膜工艺。导电玻璃镀膜可以通过离线镀膜（PVD）和在线镀膜（CVD）；电子传输层的镀膜工艺包含旋涂法、狭缝涂布法、喷雾热解法、化学浴沉积法、原子层沉积法和磁控溅射法；钙钛矿层主要通过溶液制备法和气相沉积法进行镀膜；空穴传输层采用溶液旋涂法、磁控溅射和真空蒸镀等方法镀膜；金属电极通过蒸镀制备背电极来取得镀膜的效果。

图表20:钙钛矿电池各层镀膜方法



资料来源：方正证券研究所整理

TCO 导电玻璃可用于制备玻璃基底，是钙钛矿电池电极的关键部件。TCO 玻璃可分为 FT0、ITO、AZO 三类，其中 FT0 靶材是在氧化锡中参杂了氟离子，ITO 靶材是参杂了铟离子，AZO 靶材是在氧化锌中参杂铝离子。玻璃基底制备分为两步：  
**(1) 制备或购买 TCO 导电玻璃。**在浮法玻璃上镀上一层透明的导电氧化物（即靶材）薄膜，从而制成 TCO 导电玻璃，或从玻璃厂商直接采购 TCO 导电玻璃。依据镀膜设备是否独立于玻璃生产产线，可分为离线镀膜及在线镀膜两种方式，当前离线镀膜法应用广泛。导电玻璃具有导电性，与金属背电极相连时形成电路，产生光电流。  
**(2) 对 TCO 导电玻璃进行处理。**通过激光刻蚀或化学刻蚀去除部分导电膜，形成条状独立导电电极。使用玻璃清洗剂、去离子水、丙酮、异丙醇、无水乙醇超声清洗依次清洗玻璃基底、将清洗完的玻璃放入干燥箱烘干，从而制得玻璃基底。

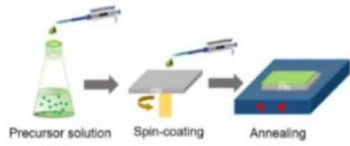
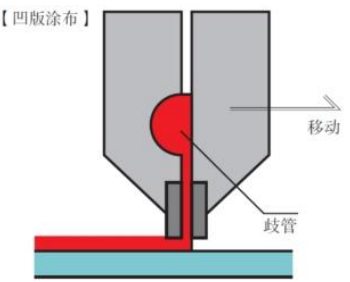
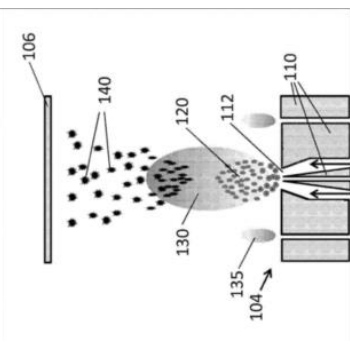
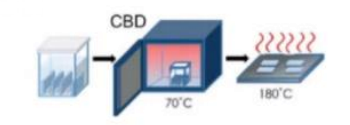
图表21:TCO 玻璃制备方法

流程	镀膜方式	介绍	优点	缺点
使用在线镀膜或离线镀膜方式将经过掺杂的靶材镀到浮法玻璃上，从而制成 TCO 玻璃。	离线镀膜 (PVD)	离线镀膜独立于玻璃生产产线之外，需将成型的浮法玻璃的基板拉到镀膜线上，通过 <b>PVD 工艺</b> （物理气相沉积，主要分为真空蒸镀、磁控溅射镀、真空离子镀 (RPD)，此处多采用磁控溅射技术），重新电加热升温再镀膜。	可以随时调整工艺参数，灵活性高。	造价贵，能耗高，同时镀膜均匀性难以保证。
	在线镀膜 (CVD)	将镀膜设备拉到浮法玻璃生产线锡槽上方，采用 <b>CVD 工艺</b> （化学气相沉积），在超白浮法玻璃表面沉积一层透明导电氧化物膜。	产生的膜层坚硬耐用，强度、耐侵蚀，稳定性等指标均大于离线镀膜玻璃，可长期储存，可热弯、夹层、钢化，属“硬镀膜”产品，二次加工性能优良。	在线镀膜设备和玻璃产线高度绑定，不灵活，具有较高沉没成本。

资料来源：《浮法玻璃在线镀膜技术现状与发展》，方正证券研究所

**电子传输层制备方法多样。**电子传输层在钙钛矿太阳能电池中起着传输电子、阻挡空穴的作用，是钙钛矿电池不可缺少的一环。玻璃基底经过刻蚀、清洗后，在玻璃基底上旋涂或蒸镀一层金属氧化物薄膜，经过加热退火，从而制得电子传输层。磁控线设法在真空环境下粒子撞击靶材表面，靶材原子发生跃迁，从而在衬底表面凝聚膜。或采用原子层沉积法，将前驱体注入反应室，在衬底表面形成单分子膜，惰性气体将多余前驱体排出，再注入另一种前驱体，并与前一种前驱体反应形成产物膜。

图表22: 电子传输层制备方法

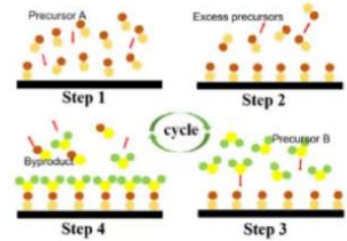
方法	流程	特点	示意图
旋涂法	包括高温旋涂法和低温旋涂法。通过将金属盐或其水合物溶解在合适的溶剂中制成前驱体溶液旋涂在基材上。将沉积的膜进行热退火处理以转变成金属氧化物膜。	<p>(1) 旋涂法低成本、制备简单，是目前的主流。</p> <p>(2) 旋涂法中低温法制备致密层方法更加节能，适合无法耐高温的柔性基底和 ITO 基底的钙钛矿电池。</p> <p>(3) 狭缝涂布可用于沉积均匀的湿膜且适用于柔性基材，在大规模生产电子传输层方面具有巨大潜力。</p>	
狭缝涂布法	狭缝涂布作为一种精密的涂布技术，工作原理为涂布液在一定压力一定流量下沿着涂布模具的缝隙挤压喷出而转移到基材上。	<p>(1) 涂膜速度快。</p> <p>(2) 膜厚一致性好。</p> <p>(3) 涂布缺陷少（闭环系统）。</p> <p>(4) 涂液利用率高。</p>	
喷雾热解法	原理类似于常用的喷雾器，能够将钛的前驱体溶液钛酸四异丙酯或者二异丙氧基双乙酰丙酮钛等通过喷雾的方法沉积到基底，同样需要高温退火。	<p>(1) 优势在于与旋涂法相比，前驱体不是通过旋涂的方法制备在基底表面，避免了旋涂过程中的厚度不一致引起的器件效率不均一、不可重复的情况。</p> <p>(2) 喷雾热解法受到实验设备的限制，同时使用喷雾热解法制备的薄膜需要前期进行很多的探索工作。</p>	
化学浴沉积法	将玻璃基底浸入包含金属离子和氢氧化物，硒化物或硫化物离子源的稀溶液中，缓慢沉积成膜。同时，沉积后残留前驱体的浪费也应适当处理。	<p>(1) 是一种用于制造各种高质量，大面积的半导体膜的方法，可用于合成金属氧化物膜，如 ZnO 和 SnO<sub>2</sub> 等。</p> <p>(2) 具有高效、低成本、低温、适应性强，可重复性高和可大规模加工等优点。</p> <p>(3) 薄膜的生长在很大程度上取决于生长条件，例如温度、溶液浓度和溶液的 pH 值。</p> <p>(4) 是一种新型处理方法。</p>	

原子层沉积法

首先将一种前驱体注入反应室中，待其在基板表面形成一层单分子膜之后用惰性气体将多余的前驱体排出。接着将另一种前驱体注入反应室，使其与第一种前驱体膜反应形成产物膜，最后用惰性气体排出多余的前驱体。

(1) 由于化学吸附的限制，每次循环只会形成一个单分子膜，因而可方便地精确控制膜的厚度，产物膜的覆盖率高。到目前为止，该方法已成功用于制备高质量的致密型电子传输层，广泛用于制造半导体工业中生产的超薄、均匀的半导体膜。

(2) 原子层沉积法成本较高并且对基板的纯度敏感，可能不适用于大面积的生产。

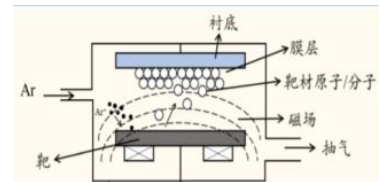


磁控溅射法

(1) 靶材的溅射：在高真空下，Ar 粒子束撞击 TiO<sub>2</sub> 靶材表面，将一部分能量传给了靶材原子使得表面 TiO<sub>2</sub> 原子获得能量发生跃迁逃逸，扩散到内部的真空区域。(2) 粒子迁移：TiO<sub>2</sub> 靶材原子跃迁逃逸到腔体内部的真空区域后，受到电场的作用发生离子加速或者在腔体内部分子散射效应。(3) 沉积成膜：到达衬底表面的 TiO<sub>2</sub> 靶材原子通过吸附、凝结核等过程，聚集成膜。

(1) 工艺比较成熟，能够以较低的成本制备实用的大面积薄膜，沉积温度较低。

(2) 沉积膜速率较慢，在溅射过程中各组分的挥发性差别很大，膜的成分和靶材的成分有较大偏差，结构的均匀性比较难以控制。



资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》，方正证券研究所

钙钛矿光活性层制备是钙钛矿电池制作的核心环节之一，对组件最终的转化效率起决定性作用。钙钛矿光活性层的制备工艺较多，一般可分为溶液制备法（湿法）和气相沉积法（干法），湿法包括狭缝涂布法、刮刀涂布法、旋涂法等，干法主要是真空镀膜法。考虑到大面积制备和稳定性问题，目前实际投产使用较多的是狭缝涂布法。

(1) 钙钛矿晶体成核和生长过程

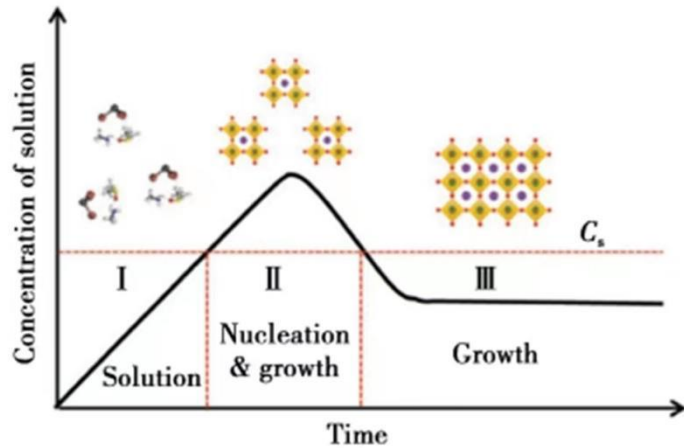
钙钛矿光活性层由钙钛矿前驱液结晶形成，制备过程对结晶的均匀度有较高要求。钙钛矿前驱液在结晶时先后经历了溶液态(过程 I)、成核与生长(过程 II)、晶体生长(过程 III)三个过程。其中钙钛矿成核过程十分迅速，在很大程度上影响着钙钛矿薄膜的一致性。

为保证钙钛矿液膜成核过程可控快速，通常需使用反溶剂进行后处理。常见的无毒反溶剂包括正己烷、二乙醚、三氟甲苯等。在前驱体溶液膜上引入反溶剂，可以去除前驱体溶液中的溶剂，从而诱导钙钛矿前驱体薄膜的快速过饱和。

反溶剂的滴加时机和使用量等因素对钙钛矿薄膜的质量、器件的效率和稳定性有着直接的影响。钙钛矿前驱体溶液使用的溶剂通常是易挥发的 DMF（二甲基甲酰胺）等，随着溶剂的迅速挥发，涂覆后的前驱体薄膜通常会迅速结晶，并由前驱体溶液态薄膜快速转变为钙钛矿中间态薄膜，无法为后续反溶剂处理预留足够的时间窗口。通过使用较低蒸气压溶剂等手段减慢前驱体溶剂挥发速度，

能够为反溶剂处理预留时间，实现沉积至预制备基底（沉积有电荷传输层的基底）的钙钛矿液膜的可控快速晶体成核，再结合低温长时间退火的策略来实现缓慢的晶体生长过程，有助于形成更高质量、更大晶体的钙钛矿薄膜。

图表23: 钙钛矿薄膜晶体成核与生长模型

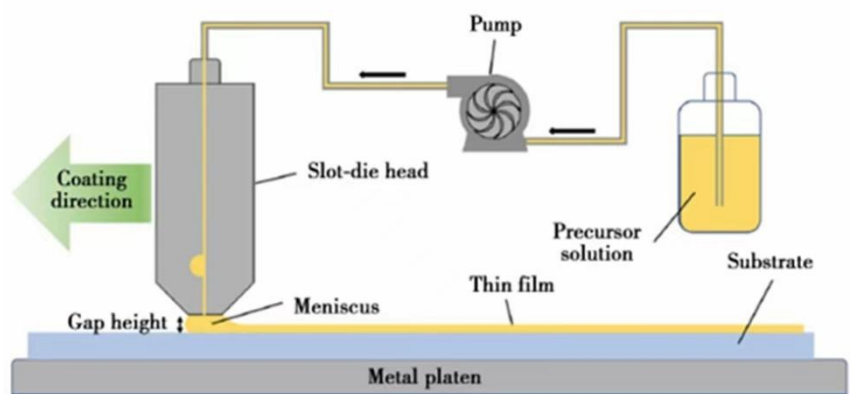


资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》，方正证券研究所

## (2) 钙钛矿前驱液涂覆方法

狭缝涂布法是目前钙钛矿电池产业化过程中最常用的钙钛矿层制备方法之一。该方法将钙钛矿前驱体墨水存储在储液泵中，并通过控制系统使其按照设定参数均匀地从狭缝涂布头中连续挤压至基底上以形成连续、均匀钙钛矿液膜。沉积液膜的厚度可通过涂布头与基底的缝隙宽度、基底移动速度、储液泵给料速度、风刀压力大小等进行预设。

图表24: 狭缝涂布法示意图

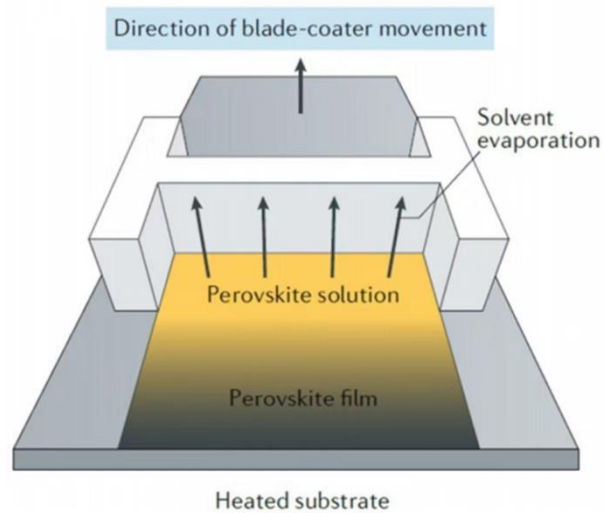


资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》，方正证券研究所

**优点：**1) 相比刮刀涂布法，能够通过控制系统参数设定进行精确设计；2) 无接触式液膜制备技术避免涂布头与基底直接刮擦；3) 钙钛矿前驱液保存密封储液罐保证浓度不变；4) 涂膜均匀性好；5) 材料利用率高；6) 涂布速度快。  
**缺点：**高效钙钛矿电池开发应用需对其进一步优化，如前驱液化学设计、沉积液膜的干燥过程以及钙钛矿薄膜结晶过程等。

**刮刀涂布法**是一种利用刮刀与基底的相对运动，通过刮板（半月板）将钙钛矿前驱体溶液分散到预制备基底上的液相制膜方法。前驱体溶液被刀片在光滑的基底上刮过形成平整的湿膜，然后将湿薄膜干燥形成固态薄膜。其中，薄膜的厚度可通过前驱体溶液的浓度、刮板与基底的缝隙宽度、刮涂的速度进行控制。

图表25:刮刀涂布法的示意图



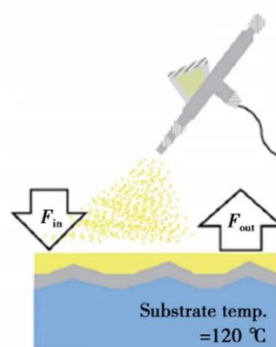
资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》，方正证券研究所

**优点：**1) 与狭缝涂布技术相比，刮涂法虽然在涂布液的供给方面自动化程度较低，但对小批量实验室研究而言，其溶液消耗量较少，且设备的清洗维护更简单；2) 与旋涂法相比，刮涂法在规模化生产时，钙钛矿溶液的浪费可大幅减少，而在成膜质量、工艺稳定性等方面均有着明显的优势。

**缺点：**由于弯液面表面的溶剂挥发，前驱液凝结所产生的固体成分会逐渐堵塞在接触线附近的半月板表面。

**喷涂法**是一种通过对喷枪内的钙钛矿前驱液施加压力，使溶液从喷嘴喷出后分散成微小的液滴并均匀沉积到基底上的一种液相薄膜沉积技术，该方法是一种易于扩展的大面积钙钛矿薄膜沉积技术。其优点在于能够通过控制参数调控薄膜厚度，但喷涂过程液滴大小与沉积位置不确定性大，多次喷涂工艺复杂，且原料利用率低且逸散有毒液体产生沉积腔室污染。

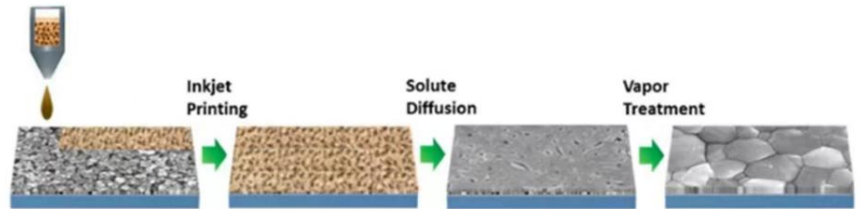
图表26:喷涂法制备钙钛矿薄膜机理示意图



资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》，方正证券研究所

喷墨打印法是通过控制打印腔内压力的变化将钙钛矿前驱体墨水从打印头喷出并打印到预沉积基底上的一种钙钛矿薄膜沉积方法。

图表27:喷墨打印法沉积钙钛矿薄膜的示意图



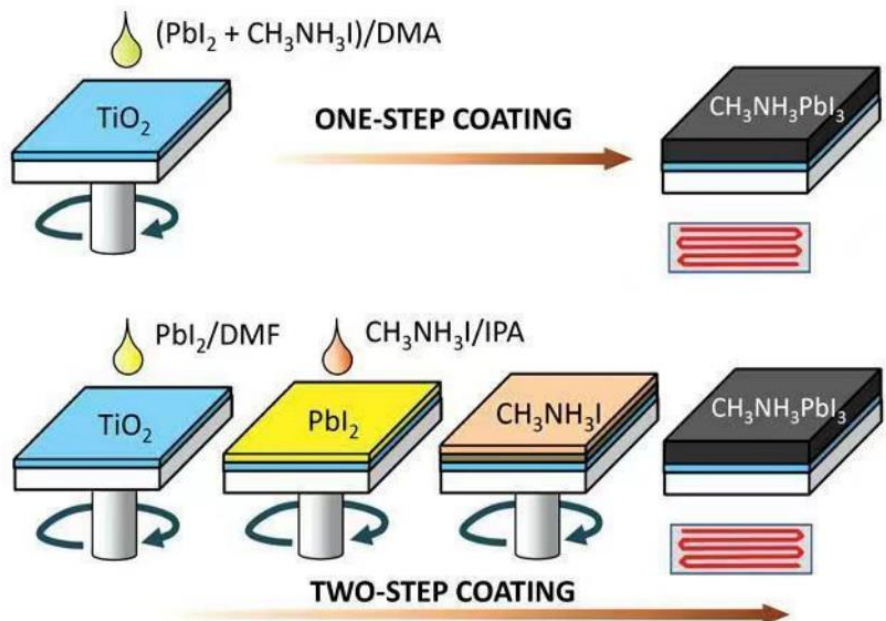
资料来源:《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》, 方正证券研究所

**优点:** 1) 沉积前预先将设计图案印刷到基底上, 节省制版过程, 提高原料利用率; 2) 通过参数调整实现液滴大小与运行轨迹的精细控制; 3) 多喷头同时打印满足产业化需求。

**缺点:** 1) 无法控制打印过程中钙钛矿薄膜结晶速率; 2) 较厚钙钛矿层易形成多层钙钛矿层堆叠。

旋涂法可分为一步旋涂法和两步旋涂法, 多应用于实验室的小面积PSC(钙钛矿太阳能电池)器件。钙钛矿前驱体溶液由铅源前驱体溶液与卤化物前驱体溶液制得。一步旋涂法将钙钛矿前驱体溶液直接旋涂在电子传输层表面, 再进行高温退火处理, 蒸发有机溶剂, 形成钙钛矿薄膜。两步旋涂法则是在衬底之上分两次旋涂铅源前驱体溶液与卤化物前驱体溶液, 两者之间发生反应得到钙钛矿前驱体溶液, 以制备钙钛矿薄膜。

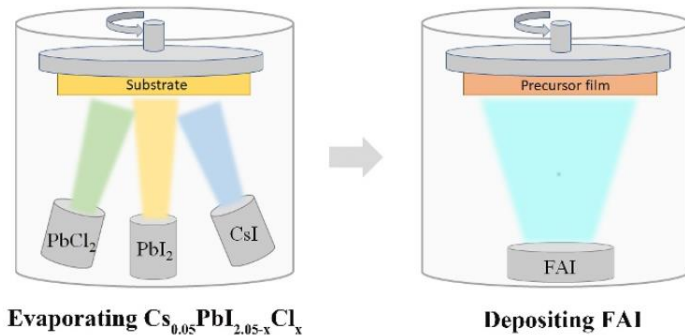
图表28:一步旋涂法和两步旋涂法的示意图



资料来源: PV-Tech, 方正证券研究所

**真空镀膜法**是指在高真空的条件下加热镀膜材料，使其蒸发并凝结于镀件（金属、半导体或绝缘体）表面而形成薄膜的一种方法。

图表29:真空蒸镀法的示意图



资料来源：清华新闻网，方正证券研究所

**优点：**该方法可以精确地控制钙钛矿薄膜沉积过程中钙钛矿组分的化学计量比，可制备均匀、高质量的大面积钙钛矿薄膜。

**缺点：**1) 真空气相沉积中真空环境的控制需要通过分子泵长时间抽真空实现，且真空设备昂贵，使得薄膜的制备时间变长、成本升高，限制了其在大面积钙钛矿光伏组件制备中的广泛应用；2) 有机盐在真空下分解，对真空腔体有腐蚀破坏，如碘甲烷在设备中产生酸性环境，对设备破坏较大。

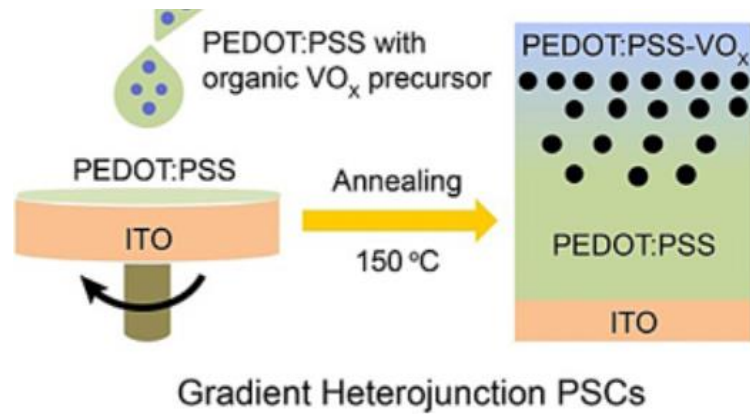
图表30:钙钛矿制备常用方法及优劣势

制备方法	相对优势	相对劣势
刮刀涂布法	1) 与狭缝涂布技术相比：刮涂法虽然在涂布液的供给方面自动化程度较低，但对小批量实验室研究而言，其溶液消耗量较少，且设备的清洗维护更简单；2) 与旋涂法相比：刮涂法在规模化生产时，可大幅减少钙钛矿溶液的浪费，且在成膜质量、工艺稳定性等方面均有着明显的优势。	与狭缝涂布法相比：涂布液供给自动化程度低；由于弯液面表面的溶剂挥发，前驱液凝结所产生的固体会逐渐堵塞在接触线附近的半月板表面。
狭缝涂布法	与刮刀涂布法相比：能够通过控制系统参数设定进行精确设计；无接触式液膜制备技术避免涂布头与基底直接刮擦；钙钛矿前驱液保存密封储液罐保证浓度不变；涂膜均匀性好；材料利用率高；涂布速度快。	高效钙钛矿电池开发应用需进一步优化，如前驱液化学设计、沉积液膜的干燥过程以及钙钛矿薄膜结晶过程等。
喷涂法	能够通过控制参数调控薄膜厚度。	喷涂过程液滴大小与沉积位置不确定性大，多次喷涂工艺复杂；原料利用率低且逸散有毒液体产生沉积腔室污染。
喷墨打印法	沉积前预先将设计图案印刷到基底上，节省制版过程，提高原料利用率；通过参数调整实现液滴大小与运行轨迹的精细控制；多喷头同时打印满足产业化需求。	无法控制打印过程中钙钛矿薄膜结晶速率；较厚钙钛矿层易形成多层钙钛矿层堆叠。
旋涂法	操作简便，可以通过调节转速控制薄膜厚度。	由于自身的缺陷，旋涂法制备的薄膜会出现涂膜不均的问题。
真空镀膜法	精确控制钙钛矿薄膜沉积过程化学计量，能够制备均匀高质量薄膜。	真空气相沉积需要使用价格高昂的真空设备进行真空环境的控制，这需要通过分子泵长时间抽真空得以实现，使得薄膜的制备时间变长和成本升高，限制了其在大面积钙钛矿光伏组件制备中的广泛应用；有机盐在真空下分解，对真空腔体有腐蚀破坏，如碘甲烷在设备中产生酸性环境，对设备破坏较大。

资料来源：《大面积钙钛矿薄膜制备技术的研究进展》，方正证券研究所

**空穴传输层制备材料成本昂贵。**在钙钛矿层上制备空穴传输层时，通常使用溶液旋涂法、磁控溅射、真空蒸镀等技术，其材料通常为 PTAA、Spiro-OMeTAD、NiO<sub>x</sub> 等，价格昂贵。PTAA 约 3000 元/克，Spiro-OMeTAD 约 3700 元/克。目前传统空穴传输材料价格昂贵，严重阻碍了钙钛矿太阳能电池的推广与发展。近年来高校开始研发低成本空穴传输材料如碳作为传统空穴传输材料替代品，同时无空穴传输层研究也取得了一定的成果。南方科技大学采用协同掺杂策略制备的无空穴传输层钙钛矿器件实现了 22% 的显著效率，是无空穴传输层钙钛矿太阳能电池迄今为止报道的最高效率。

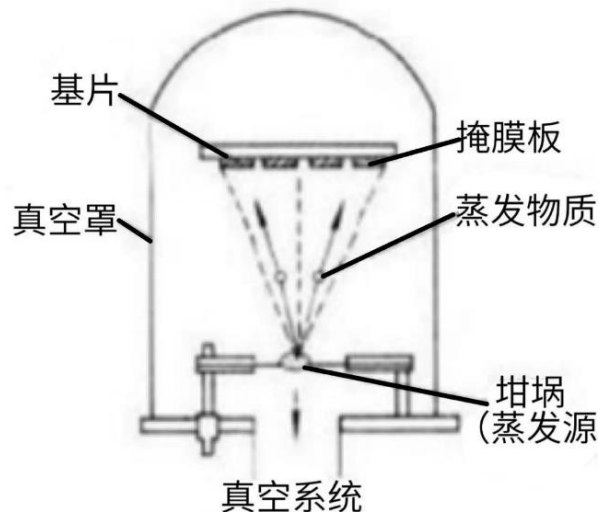
图表31: 旋涂法制备空穴传输层



资料来源:《VO<sub>x</sub>有机前驱体原位构建梯度异质结在钙钛矿太阳能电池中的性能研究》, 方正证券研究所

**制备金属背电极是薄膜制备的最后阶段。**将器件放入蒸镀机中，用掩模板固定住，进行蒸镀（高真空电阻蒸发镀膜）：沉积材料蒸发或升华为气态粒子，气态粒子快速从蒸发源向基片表面输送，金属模板放在衬底基片表面，粒子会穿过金属模板镂空的部分，附着在空穴传输层上逐渐形成图形化的薄膜。膜层厚度达到要求以后，用挡板盖住蒸发源并停止加热，即制得金属背电极。

图表32: 蒸镀制备背电极



资料来源: 上海载德半导体有限公司, 方正证券研究所

## 2.5 刻蚀工艺：激光刻蚀是主流

以激光刻蚀为主的刻蚀工艺贯穿钙钛矿电池制备全流程。钙钛矿电池各层结构均含金属氧化物薄膜，需要进行激光刻蚀或化学刻蚀，对金属氧化物薄膜进行刻划，去除部分金属氧化物薄膜（即形成刻蚀槽），从而将钙钛矿电池划分成多个长条状的电池组，使整个钙钛矿面板形成一道道子电池，并串联成组件，提高导电效率，避免因钙钛矿电池面积大导致效率下降。相较化学刻蚀法，激光刻蚀，具有精度高、死区小的优势，是光伏领域主要的刻蚀方法。

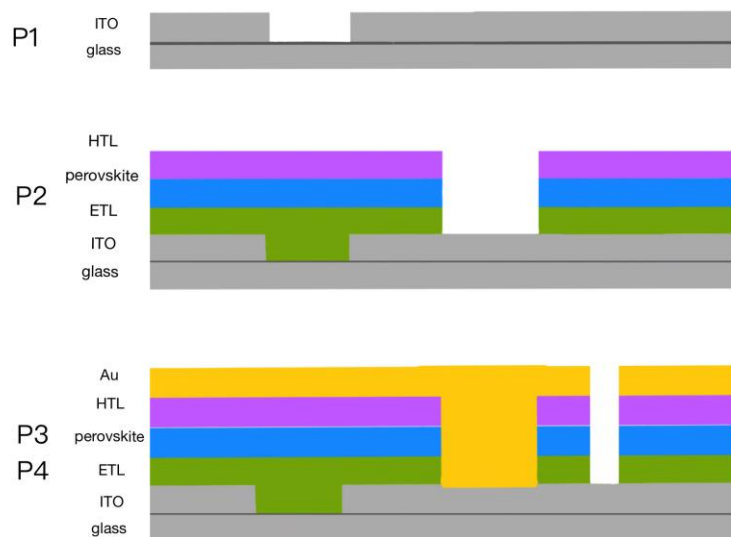
图表33:刻蚀方法

刻蚀方法	介绍	特点
激光刻蚀	用高能量的激光照在玻璃表面，用很短的时间（纳秒级别）汽化导电膜，进而形成一条线槽，从而实现线槽两边刻断，不具备导通性。	(1) 更加环保、损耗更小、保真性更强； (2) 可控性更强，精度和良品率也更高； (3) 成本比较高； (4) 钙钛矿电池对激光刻蚀设备进度要求更高，需要对之前的设备进行修改。
化学刻蚀	用胶带将导电玻璃需要的部分粘贴好，露出需要刻蚀的部分，在其上面均匀撒上锌粉，用胶头滴管滴上盐酸，大概7~8秒之后就可以将玻璃放入装有水的烧杯中进行清洗，洗去附着的盐酸。	(1) 成本远低于； (2) 批量生产效率； (3) 比较容易容易出现导电膜残留，使得导电性不稳定。

资料来源：激光制造网公众号，方正证券研究所

激光刻蚀主要应用于四个步骤。(1) **激光划线 P1 工艺**：在导电玻璃电极 TCO 层制备完成后，通过激光设备分割底部的 TCO 导电膜，形成相互独立的 TCO 玻璃基底。(2) **激光划线 P2 工艺**：完成空穴传输层、钙钛矿层和电子传输层制备之后，通过激光设备刻蚀这三层，暴露出 TCO 层，从而为下一步蒸镀金属背电极时子电池之间的正负极相互连接留出空间。(3) **激光划线 P3 工艺**：蒸镀完电极后，需去除部分功能层以分割相邻子电池的正极，将子电池之间分离开。(4) **激光清边 P4 工艺**：利用激光划线划分出无效区域即死区后，对无效区域采用大功率、大光斑、低频红外激光进行清除电池边缘的沉积膜。

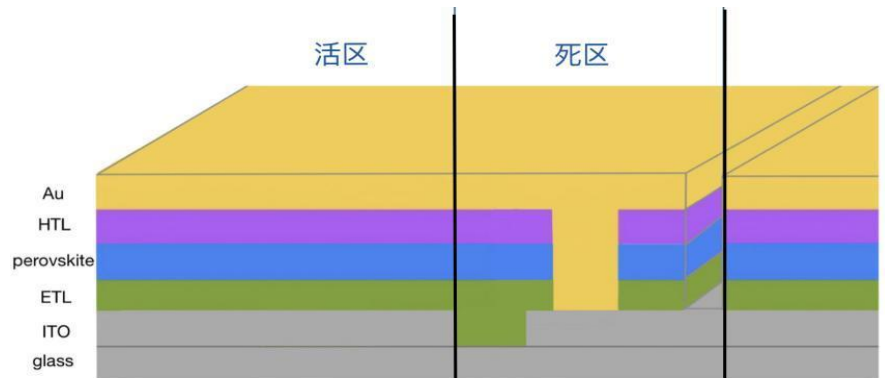
图表34:钙钛矿电池刻蚀步骤



资料来源：《Raising the one-sun conversion efficiency of III-V/Si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junctions》，方正证券研究所

死区大小是衡量薄膜太阳能激光划线工艺的重要指标。死区越大，子电池将光能转化为电能的效率就越低。据德国乐普测算，以1.0m×2.0m，子电池宽度为5mm的薄膜太阳能模组为例，当死区由250微米降到130微米时，总死区面积由0.098平方米降到0.05096平方米，发电面积增加0.04704平方米，假设有效面积转化效率为18%，每块模组输出功率可增加8.47瓦。GW级产线落地后，因降低死区而带来的输出功率增长是非常巨大的。

图表35: 钙钛矿子电池结构



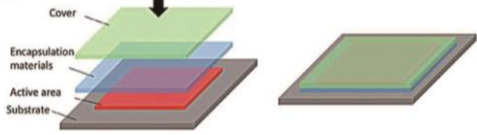
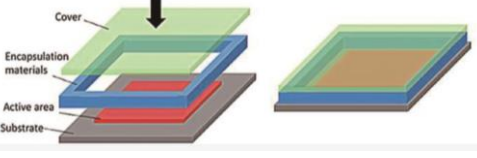
资料来源:《Raising the one-sun conversion efficiency of III-V/Si solar cells to 32.8% for two junctions and 35.9% for three junctions》, 方正证券研究所

## 2.6 封装工艺：钙钛矿电池组件制备最后一环

**封装对维持钙钛矿电池稳定性起重要作用。**钙钛矿电池各膜层制备好后，使用激光清边并使用设备测试其效率和功能，最后进行封装。钙钛矿电池各功能层材料对空气中的水氧、紫外光、压力等敏感，会发生材料改性分解、功能丧失的情况。而封装技术能够有效将工作元件与外界环境隔离，提高钙钛矿电池使用寿命。

**钙钛矿电池封装方法分为完全覆盖封装和边缘封装。**完全覆盖封装既可以使用聚合物作为封装材料，也可以采用原子沉积法制备隔绝水氧的薄膜，覆盖钙钛矿电池顶部活性区域，再用玻璃进行封装。边缘封装技术在钙钛矿活性区域周围放置密封剂如聚异丁烯（PIB）再用玻璃进行封装。最后通过层压机使封装层和玻璃背板粘连在一起，形成钙钛矿电池组件完整的封装结构。

图表36: 钙钛矿电池封装方法

封装方法	介绍	图示
完全覆盖封装	通常在模块顶部制备封装层。完全覆盖封装工艺的优势在于保护效果更好，但是对钙钛矿层以及其它功能层影响较大，并且由于其直接接触钙钛矿功能层，所以对其透光率有较高要求。	
边缘封装	在模块周围放置密封胶。边缘封装优势在于可以减少对接触层的影响，降低封装材料与钙钛矿发生副反应的可能性，同时对材料透光率的要求较低，但封装效果会相应降低。为进一步增加阻水效果，可以在边缘封装过程中加入干燥剂。	

资料来源:《钙钛矿光伏电池封装材料与工艺研究进展》, 方正证券研究所

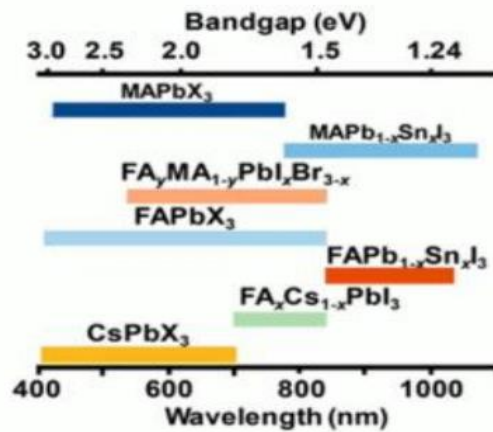
### 3 叠层电池: 具有更高理论效率, 或为终极解决方案

制备叠层电池是太阳能电池光电转换效率提升的重要突破口。叠层电池由多个带隙不同的子电池堆叠而成, 宽带隙顶电池与窄带隙底电池分别吸收短波长与长波长的太阳光, 能有效扩宽太阳能光谱利用范围, 提高太阳能电池光电转换效率。

#### 3.1 钙钛矿叠层发展优势突出

钙钛矿带隙可调, 是叠层电池理想顶层电池材料。钙钛矿材料不仅具有较高的光电转换效率与较低的制备成本, 其最具代表性特性是带隙可调。钙钛矿为  $ABX_3$  的晶体结构, 通过调节 A 位、X 位、B 位离子能够获得 1.5-3eV 的可调控带隙宽度, 有利于进行钙钛矿/晶硅叠层电池与钙钛矿/钙钛矿叠层电池的制备。

图表37: 卤素钙钛矿带隙调控范围

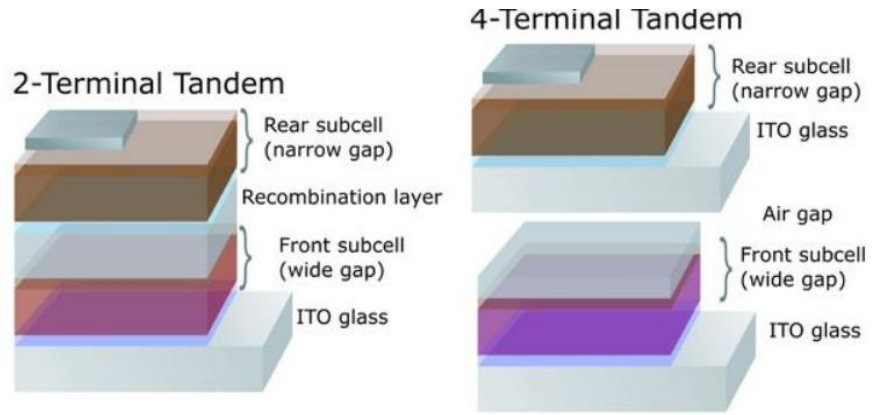


资料来源: 第四届全球钙钛矿与叠层电池(苏州)产业化论坛, 方正证券研究所

钙钛矿叠层电池理论效率优势明显, 双结叠层是产业主要发展方向。2023 年底隆基绿能的背接触晶硅异质结电池创造了最高晶硅电池转换效率 27.09%, 趋近理论极限 29.4%, 晶硅电池发展空间受限明显。而钙钛矿/晶硅电池最高理论效率达到 43%, 双结钙钛矿叠层电池最高理论效率达到 45%, 且吸光层的增加能够

导致更高的理论效率。但考虑实际生产经济性，双结叠层是主要发展方向，可分为四端、两端结构。

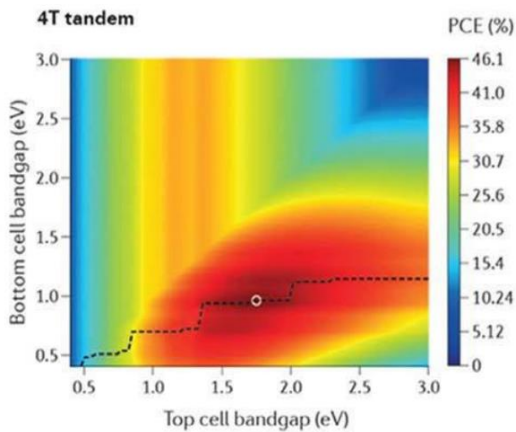
图表38: 钙钛矿叠层电池结构



资料来源:《Perovskite-perovskite tandem photovoltaics with optimized band gaps》, 方正证券研究所

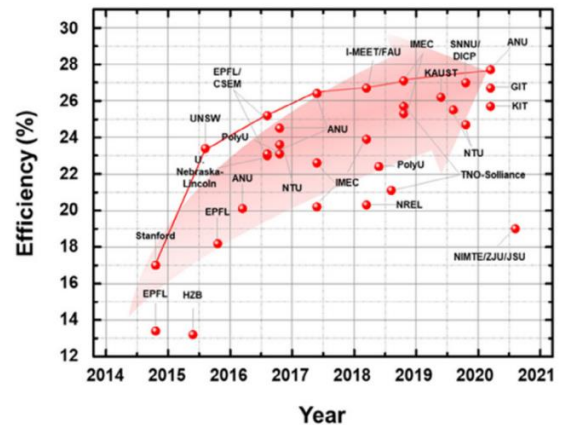
**四端叠层：工艺简单而成本受限。**四端叠层电池中两个子电池独立制作，窄带隙钙钛矿电池通过简单机械叠层堆叠在晶硅或宽带隙钙钛矿电池顶部，各电池电路相互独立有利于分别设计子电池的最佳制造条件，制备工艺简单。但子电池独立运行需使用四端电极，复杂的输出电路与透明电极的数量增加进一步导致电池制作成本的提升。四端叠层电池的理论最高效率为 46%，2022 年底南京大学谭海仁教授团队报道最高实验室效率达 29.8%（钙钛矿/晶硅叠层）。

图表39: 四端叠层电池理论最大 PCE



资料来源:《Strategy for large-scale monolithic Perovskite/Silicon tandem solar cell: A review of recent progress》, 方正证券研究所

图表40: 已报道四端叠层电池效率图

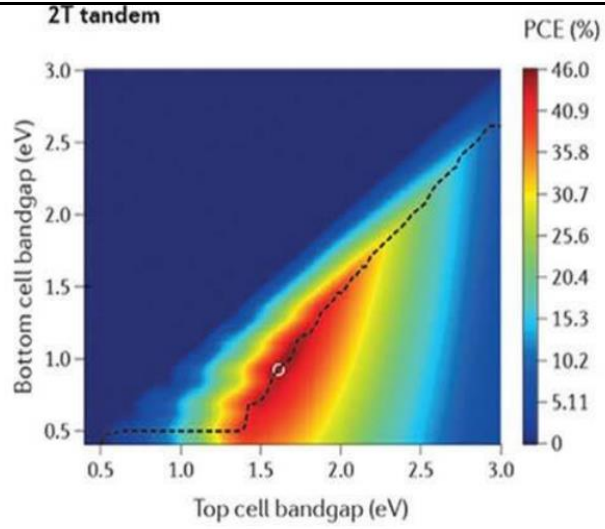


资料来源:《Strategy for large-scale monolithic Perovskite/Silicon tandem solar cell: A review of recent progress》, 方正证券研究所

**两端叠层电池：成本占优而工艺受限。**两端叠层电池通过在晶硅电池或钙钛矿电池上直接沉积钙钛矿电池制成，二者通过互联层串联连接。两端叠层电池得益于更少的电极材料与沉积步骤，制造成本较大降低。但子电池的非独立运行导致光电流大小受限于电流较低的子电池，需经过不断调整才能得到最大功率输出。同时晶硅电池陷光结构与表面钝化工艺使不规则晶硅电池表面难以沉积规则的钙钛矿电池，沉积过程对表面钝化层会发生破坏，工艺难题仍需克服。

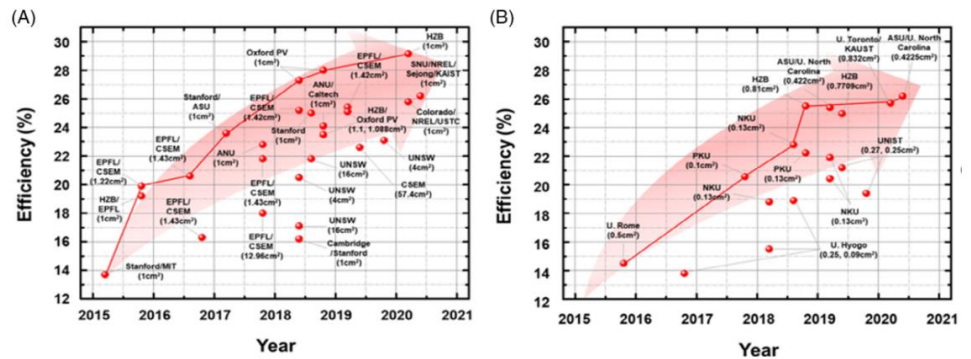
两端钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池理论效率为 43%，两端全钙钛矿太阳能电池理论效率为 45%，2023 年 2 月北京曜能科技报道最高实验室效率达 32.44%。

图表41: 两端叠层太阳能电池理论最大 PCE



资料来源:《Strategy for large-scale monolithic Perovskite/Silicon tandem solar cell: A review of recent progress》, 方正证券研究所

图表42: (A) 串联器件有效面积大于 1cm<sup>2</sup>已报道两端叠层电池效率图 (B) 串联器件有效面积小于 1cm<sup>2</sup>已报道两端叠层电池效率图



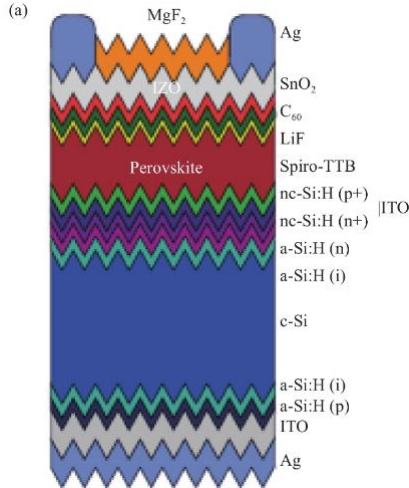
资料来源:《Strategy for large-scale monolithic Perovskite/Silicon tandem solar cell: A review of recent progress》, 方正证券研究所

### 3.2 钙钛矿/晶硅叠层电池：钙钛矿-HJT 叠层更具优势

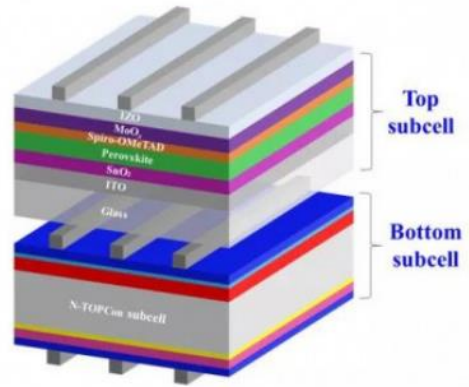
钙钛矿与晶硅具备良好叠层电池匹配度，可形成高效率叠层电池。晶硅具有 1.1eV 的窄带隙，容易吸收长波长光子，但吸收短波长光子时产生较大能量损失，成为晶硅电池效率提升的重要瓶颈。钙钛矿的带隙可调性为构筑钙钛矿/晶硅叠层电池提供条件，其中宽带隙钙钛矿顶电池吸收短波长太阳光，窄带隙晶硅底电池吸收未被顶电池吸收的长波长太阳光，更大程度扩宽光谱吸收范围，提高太阳能电池效率。目前钙钛矿/晶硅叠层电池效率已达 33.9%（2023 年 11 月隆基绿能）。

当前钙钛矿/晶硅叠层电池技术研发主线中钙钛矿/HJT 叠层电池更具优势。结构方面，HJT 电池表面本身为 TCO 玻璃，能够有效简化叠层工艺，无需对电池产线进行更改；TOPCon 电池表面氮化硅与氧化铝为绝缘体，需对表面物质进行清除，或加入掺杂与钝化工艺，使工艺复杂化。同时 HJT 电池制备工序更为简单，能够缩短出货周期，具有长期成本优势。

图表43:HJT-钙钛矿叠层电池



图表44:TOPCon 与钙钛矿叠层电池

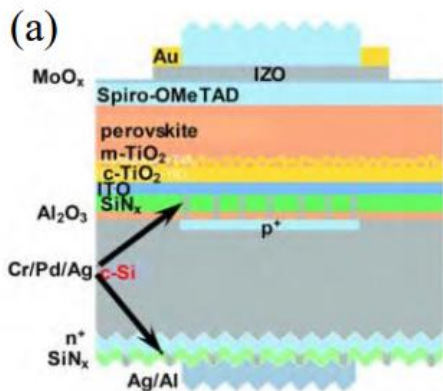


资料来源：《高效率双结钙钛矿叠层太阳能电池研究进展》，方正证券研究所

资料来源：索比光伏网，方正证券研究所

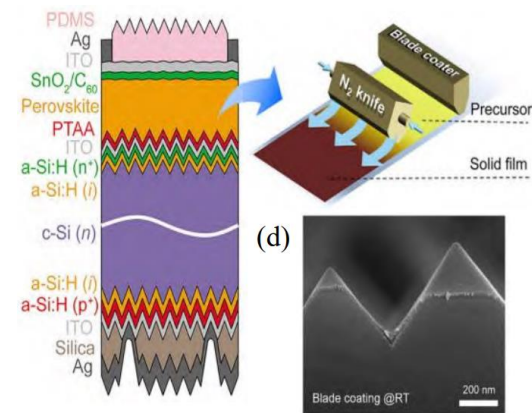
高效钙钛矿/晶硅叠层电池制备受底电池受光侧表面形貌影响。按晶硅底电池受光面的结构，钙钛矿/晶硅叠层电池制备路线可分为两类：（1）在平面晶硅衬底采用溶液法制备钙钛矿，并利用光学工程解决平面界面光反射损失；（2）保留晶硅表面绒面结构与陷光效果，开发保型沉积钙钛矿层电池新方法，目前已开发出热蒸发结合两部沉积法、气相沉积法和刮涂法等多种方法来实现陷光绒面上生长钙钛矿膜层。

图表45:基于平面的 PERC 电池前表面结构的钙钛矿/PERC 叠层电池结构



资料来源：《迈向效率大于 30%的钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池技术的研究进展》，方正证券研究所

图表46:全绒面钙钛矿叠层电池结构与示意图



资料来源：《迈向效率大于 30%的钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池技术的研究进展》，方正证券研究所

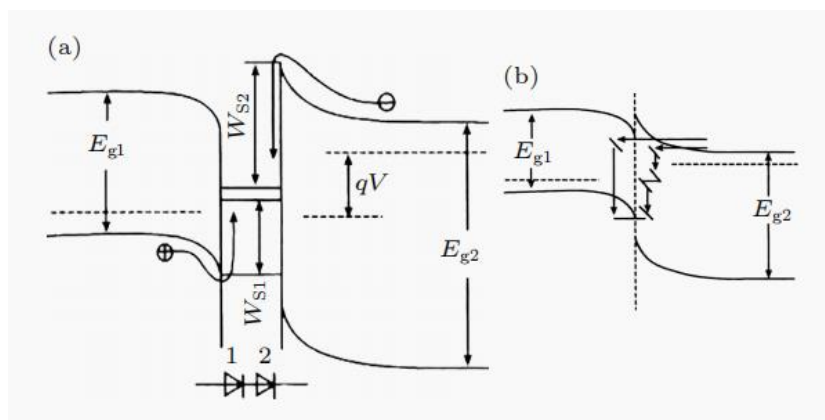
互联层拥有光学透过与电学连接双重作用，改善互联层材质是重要突破口。互联层是两端叠层电池中两子电池中间的连接结构，起电学连接和光学透过的双

重作用。电学方面，互联层形成子电池间电学连接，以最小电阻复合电子与空穴；光学方面，互联层能够保证长波波段的高透明性，同时降低背面多晶硅层对长波长光谱的寄生吸收。目前被用作互联层的材料主要分为两类：

(1) TCO 复合层：采用透明导电氧化物 (TCO) 材料，包括 ITO、铟掺氧化锌 (IZO)、锌掺氧化锡 (ZTO) 等。TCO 复合层能够在任何形貌的硅电池表面积，具有较高的电导率和光透过率，在光电转化效率大于 25% 的叠层电池中应用广泛。但 TCO 具有高横向电导率，对电荷传输层沉积不均匀的顶电池易造成局部漏电进而导致电压损失，因此选择 TCO 复合层的叠层电池多匹配平滑底电池表面或更加均匀的顶电池沉积工艺。

(2) 硅基隧穿层：采用重掺反型硅基材料，包括  $n^{++}/p^{++}$  的氢化非晶硅 (a-Si:H, Hydrogenated amorphous silicon) 或氢化纳米硅 (nc-Si:H, Hydrogenated nano-crystalline silicon) 等。该材料具有横向电导率、寄生损耗和反射损耗低的特点，是钙钛矿/晶硅叠层电池隧穿层的理想材料。同时隧穿层具有低温加工优势，或将成为大规模制备叠层电池的主流技术之一。

图表47: TCO 复合层模型 (a) 与硅基隧穿层模型 (b)

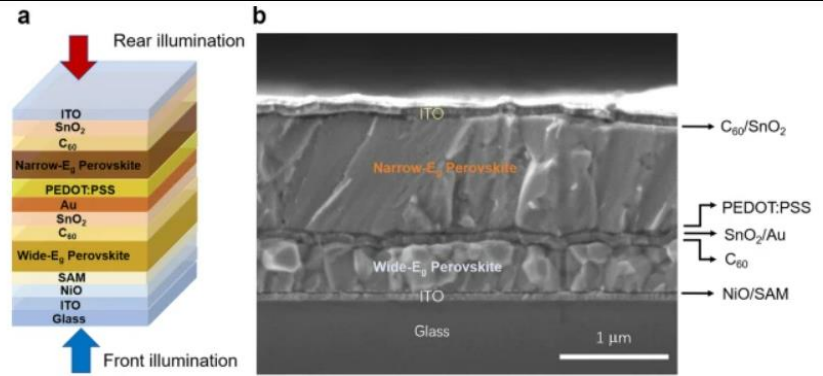


资料来源：《迈向效率大于 30% 的钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池技术的研究进展》，方正证券研究所

### 3.3 全钙钛矿叠层电池：未来叠层电池的重要发展方向

**全钙钛矿叠层电池能够最大限度发挥钙钛矿材料自身优势。**钙钛矿带隙可调特性使其不仅能作为宽带隙吸光层，而且能够调整作为窄带隙吸光层，二者结合成为全钙钛矿叠层电池。对比钙钛矿/晶硅叠层电池，全钙钛矿电池能够摆脱晶硅成本与性能束缚，充分发挥钙钛矿材料自身成本低廉、吸光性强、低温加工等优势，成为未来叠层电池的重要发展方向。

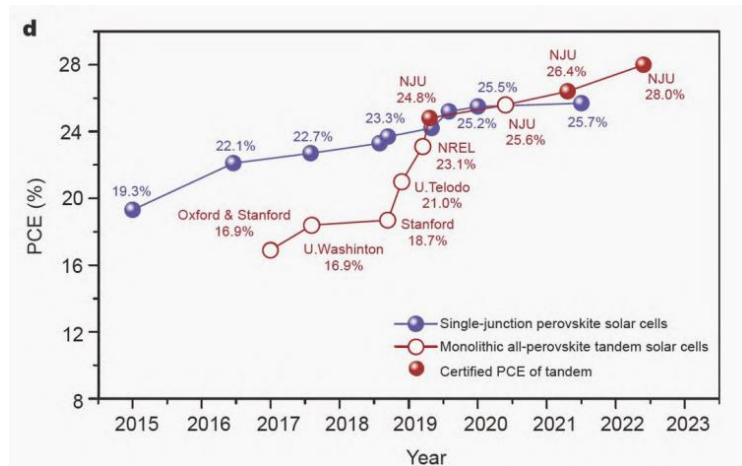
图表48:全钙钛矿叠层电池结构



资料来源:《Revealing the output power potential of bifacial monolithic all-perovskite tandem solar cells》, 方正证券研究所

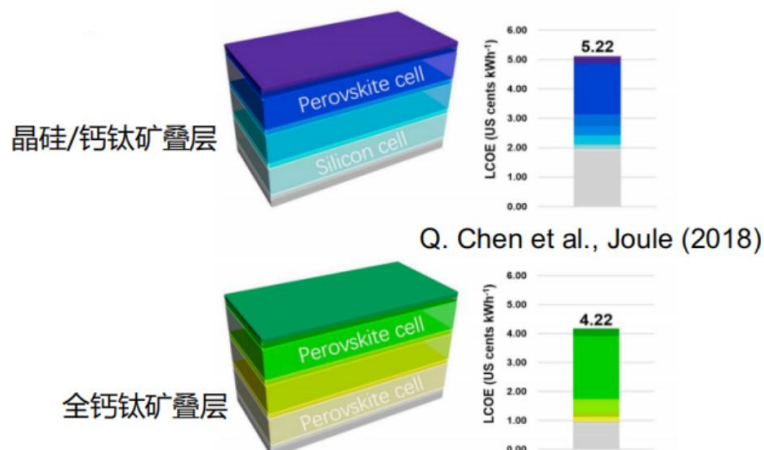
全钙钛矿叠层电池理论效率最高,有望成为太阳能电池未来产业发展终极路径。全钙钛矿叠层子电池带隙灵活调节能够更大范围覆盖太阳光谱,电池理论效率超过43%,目前最高实验室效率为29%(2022年12月仁烁光能)。

图表49:单结钙钛矿电池与全钙钛矿叠层电池效率演变



资料来源:《全钙钛矿叠层太阳能电池的发展与展望》, 方正证券研究所

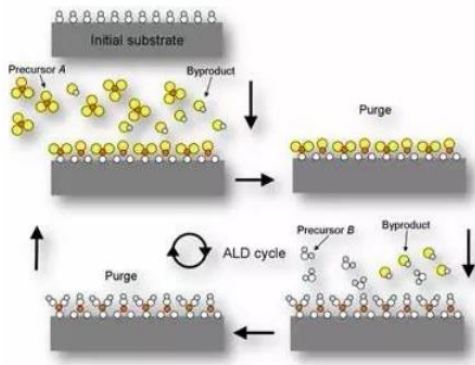
图表50:钙钛矿叠层电池度电成本对比



资料来源:仁烁光能, 方正证券研究所

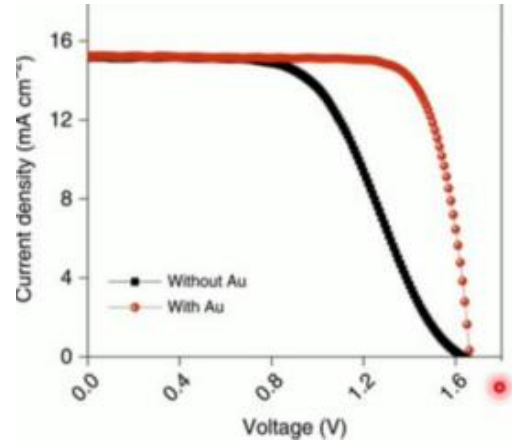
窄带隙锡氧化与互联层沉积瓶颈实现技术突破，为全钙钛矿电池产业化提供支撑。全钙钛矿叠层电池的主要挑战在于窄带隙的锡氧化问题与互联层的结构问题。窄带隙子电池方面，通过在钙钛矿前驱体溶液中引入金属锡粉能够有效抑制二价锡离子氧化并将四价锡离子还原，制备高质量窄带隙钙钛矿薄膜；互联层方面，提出使用原子层沉积技术制备致密互联层和金属复合层的新型隧穿结构，其中 SnO<sub>2</sub>层作为缓冲层保护底层器件层免受损坏，能够较好解决溶液法制备全钙钛矿叠层电池的溶剂正交问题，金属薄层能够实现载流子的高效隧穿复合环节开路电压和填充因子的损失。

图表51:原子层沉积技术



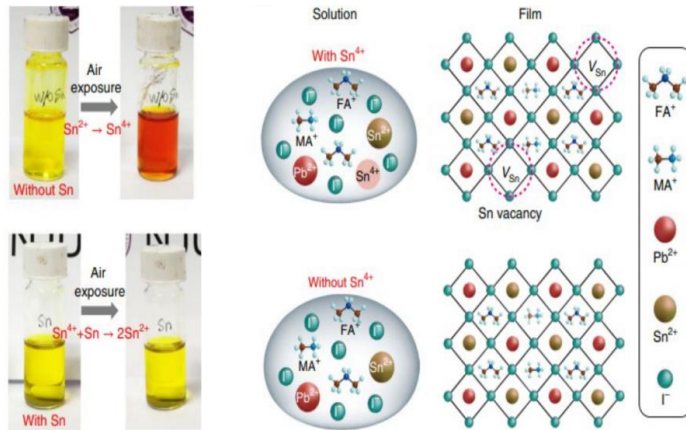
资料来源:《Atomic Layer Deposition: An Overview》, 方正证券研究所

图表52:有无 Au 在隧穿结中全钙钛矿叠层电池 J-V 曲线



资料来源:《Monolithic all-perovskite tandem solar cells with 24.8% efficiency exploiting comproportionation to suppress Sn(II) oxidation in precursor ink》, 方正证券研究所

图表53:降低钙钛矿薄膜锡空位缺陷



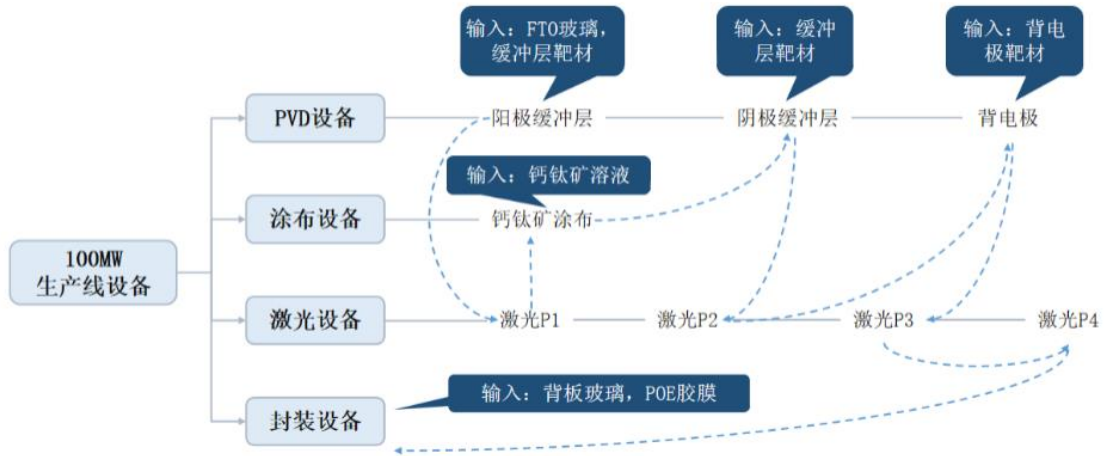
资料来源:《Monolithic all-perovskite tandem solar cells with 24.8% efficiency exploiting comproportionation to suppress Sn(II) oxidation in precursor ink》, 方正证券研究所

#### 4 钙钛矿电池设备：关注镀膜、涂布、激光、封装设备

钙钛矿电池制备设备主要由镀膜设备、涂布设备、激光设备、封装设备构成。镀膜设备主要包括 PVD (Physical Vapor Deposition, 物理气相沉积) 设备、ALD (Atomic Layer Deposition, 原子层沉积) 设备，其中 PVD 设备采用的技术又可细分为真空蒸镀、溅镀、RPD (等离子体沉积) 设备。协鑫光电公布的

100MW 大面积钙钛矿光伏组件生产线主要包括 2 台涂布机，3 台镀膜设备（2 台传统 PVD 设备和 1 台 RPD 设备）以及 4 台激光机。

图表54: 产线设备构成



资料来源：协鑫光电，方正证券研究所

钙钛矿电池制备尚未形成统一技术路径。TCO 玻璃制备主要使用磁控溅射 PVD 在浮法玻璃上镀膜。电子传输层、钙钛矿层和空穴传输层的技术路线较为相似，主要使用镀膜设备或涂布设备，电极层则主要使用 PVD 设备蒸镀形成金属背电极。不同技术路线之间使用 PVD 设备和涂布设备的数量和比例不同，但总体看，镀膜、涂布、激光、封装设备的价值量占比分别约为 50%、20%、20%、10%。

图表55: 各流程所需工艺及设备

膜层	工艺	设备
TCO玻璃	磁控溅射	PVD设备
	P1激光划线	激光设备
空穴传输层	磁控溅射	PVD设备
	涂布	涂布设备
钙钛矿层	涂布（主流）	涂布设备
	蒸镀	蒸镀设备
电子传输层	RPD	RPD设备
	磁控溅射	PVD设备
	ALD	ALD设备
	P2激光划线	激光设备
电极	蒸镀	蒸镀设备
	P3激光划线	激光设备
	P4激光清边	激光设备
	封装	层压机
	检测	检测设备

资料来源：协鑫光电，方正证券研究所

空穴传输层、电子传输层制备以镀膜设备为主。其中 PVD 设备应用广泛，蒸镀设备成膜效率高但高昂成本限制其大规模发展，溅镀设备工艺成熟、性价比高。RPD 设备的优势在于可以减少对钙钛矿电池的轰击损害，但价格昂贵且目前

仅有捷佳伟创为唯一 RPD 授权设备商。相较于 PVD 设备，ALD 设备制备出的膜层更为绵密。目前国内镀膜设备供应商主要有京山轻机、捷佳伟创、奥来德、弗斯迈、微导纳米等。

图表56:镀膜设备比较

设备	PVD 设备			ALD 设备
	真空蒸镀	溅镀	RPD 设备	
原理	在真空条件下，采用一定的加热蒸发方式蒸发镀膜材料并使之气化，粒子飞至基片表面凝聚成膜的工艺方法。	在真空环境下，稀有气体粒子束撞击靶材表面，使得表面原子获得能量发生跃迁逃逸，扩散到内部的真空区域。然后跃迁原子受到电场的作用发生离子加速或者在腔体内部分子散射效应。到达衬底表面的跃迁原子通过吸附、凝结等过程，聚集成膜。	离子镀膜过程是在真空条件下，利用气体放电使工作气体或被蒸发物质部分离子化，在工作气体离子或被蒸发物质的离子轰击作用下，把蒸发物或其反应物沉积在被镀基片表面的过程。	首先将一种前驱体注入反应室中，待其在基板表面形成一层单分子膜之后用惰性气体将多余的前驱体排出。接着将另一种前驱体注入反应室，使其与第一种前驱体膜反应形成产物膜，最后用惰性气体排出多余的前驱体。可以将物质以单原子膜形式一层一层的镀在基底表面的方法。
优势	(1) 设备比较简单、操作容易。 (2) 制成的薄膜纯度高、质量好，厚度可较准确控制。 (3) 成膜速率快，效率高。	(1) 工艺比较成熟，能够以较低的成本制备实用的大面积薄膜。 (2) 沉积温度较低。	相比于传统的 PVD 设备可以减少对钙钛矿电池的轰击损害。	制作出来的膜层相对于 PVD 设备更加致密。
劣势	(1) 不容易获得结晶结构的薄膜。 (2) 所形成的薄膜在基板上的附着力较小。 (3) 工艺重复性不够好。 (4) 价格昂贵。	(1) 沉积膜速率较慢，在溅射过程中各组分的挥发性差别很大，膜的成分和靶材的成分有较大偏差，结构的均匀性比较难以控制。 (2) 溅射不适用于低硬度材料，如非金属材料。 (3) 溅射不适用于非导电材料。	价格昂贵	(1) 价格比 PVD 设备更昂贵。 (2) 反应时间较长。

资料来源：方正证券研究所整理

图表57:镀膜设备供应商

设备商	设备介绍
京山轻机	钙钛矿电池团簇型多腔式蒸镀设备现已量产，PVD 溅射设备已成熟。公司与高校合作开发的空腔式 ALD 设备正在客户端验证，该设备解决了传统 ALD 设备效率低的问题，有望在电子传输层中实现应用。
捷佳伟创	拥有钙钛矿低温低损薄膜真空沉积设备、反应式等离子镀膜（RPD）设备，钙钛矿共蒸法真空镀膜设备（PVD）也顺利的再次取得订单，公司自主研发的钙钛矿大尺寸闪蒸炉（VCD）设备顺利出货。
奥来德	公司立足于现有 OLED 蒸镀设备及材料的技术积累，正式向钙钛矿光伏电池领域进军。2022 年 11 月公司公告建设钙钛矿结构性太阳能电池蒸镀设备开发项目。
弗斯迈	可提供钙钛矿光伏整线解决方案，公司拥有真空溅射镀膜设备用于钙钛矿镀膜。
众能光电	拥有 ALD、PVD 设备。钙钛矿 PVD 设备出货量 30 台套。
红太阳	首台钙钛矿电池用 PVD 及 ALD 镀膜设备中标龙头客户钙钛矿电池项目。
微导纳米	成功研发出首台适用于大面积百兆瓦钙钛矿电池生产的专用量产型原子层沉积（ALD）设备。

资料来源：各公司官网，方正证券研究所整理

钙钛矿层制备主要采用涂布设备。钙钛矿层制备多采用狭缝涂布机。目前，上海德沪涂膜市占率达到 70%，此外弗斯迈、大正微纳、协鑫光电、万度光能等均有涂布设备布局。

图表58:涂布设备供应商

设备商	设备介绍
德沪涂膜	德沪涂膜产业化进程领先，2022 年大尺寸电子级狭缝涂布设备市场市占率达 70%以上。公司目前为国内最大的钙钛矿电池制造用核心狭缝涂布设备供应商，在大尺寸电子级狭缝涂布设备领域市场占有率达 70%以上，技术指标与全球同类企业产品相当；并向协鑫 100MW 钙钛矿产线供应大尺寸核心狭缝涂布设备。
弗斯迈	可提供钙钛矿光伏整线解决方案，有狭缝涂布设备。
大正微纳	公司开发有一系列相关的高端装备，包括：喷雾热解镀膜机、玻璃切割机、高精度涂布机等。
协鑫光电	拥有狭缝涂布设备、应用于制备钙钛矿电池的刮涂设备专利。
万度光能	公司拥有 DieGate 狭缝涂布机 mini 系列等狭缝涂布设备。

资料来源：各公司官网，方正证券研究所整理

**激光设备以国产为主。**德龙激光、大族激光、杰普特、迈为股份、微导纳米等国产钙钛矿设备厂商竞争实力雄厚，部分设备已进入验收、出货、交付阶段。目前国内主要激光设备供应商如下。

图表59:激光设备供应商

设备商	设备介绍
德龙激光	公司推出了针对钙钛矿薄膜太阳能电池生产整段设备，包括 P0 层激光打标设备，P1、P2、P3 激光划线设备，P4 激光清边设备及其中一系列自动化设备，目前设备已投入客户量产线使用，率先实现百兆瓦级规模化量产。
迈为股份	自主研发的 OLED 柔性屏弯折激光切割(BendingCut)设备。
帝尔激光	公司一直保有钙钛矿激光技术储备，2022 年公司已有钙钛矿工艺设备订单的交付。
杰普特	公司已于 2021 年 8 月交付了首套柔性钙钛矿模切设备，开发了全新一代钙钛矿模切设备和清边设备，包含 P1-P3 的划线及 P4 的清边工艺流程。
大族激光	公司激光设备在该领域国内市占率一直位于市场前列，在钙钛矿电池行业几家龙头、前沿研究机构均取得激光设备的交付销售，及大尺寸激光加工设备的整线交付。
弗斯迈	可提供钙钛矿光伏整线解决方案，公司拥有激光划线设备。
微导纳米	公司开发了 ALD、PECVD、PEALD+PECVD 二合一设备、扩散炉等，以真空设备为主，并提供配套产品及服务。

资料来源：各公司官网，方正证券研究所整理

**封装设备可以与晶硅行业共用，多采用 POE 胶膜。**弗斯迈已能为钙钛矿组件龙头厂商提供整线解决方案，众能光电拥有层压机，通过层压机使封装层和玻璃背板粘连在一起，形成钙钛矿电池组件完整的封装结构。京山轻机开发光伏原子镀膜装备，所制备的功能膜层如 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 薄膜作为钙钛矿电池及叠层组件的封装防潮层保护壳。钙钛矿封装工艺与晶硅相似度较高，但由于钙钛矿材料比较敏感，一般采用 POE 胶膜进行封装而不能采用晶硅电池所使用的 EVA 胶膜，避免因 EVA 胶膜的水汽透过率较高以及降解分解会产生醋酸对钙钛矿材料造成腐蚀。

图表60:封装设备供应商

设备商	设备介绍
弗斯迈	已能为钙钛矿组件龙头厂商提供整线解决方案，主要提供精确裁覆膜设备、贴绝缘胶带机器、贴导电胶带机、汇流条贴数机、层压机等封装设备。
众能光电	拥有用于光电器件钝化的ALD设备、层压机。
京山轻机	与华中科技大学达成合作，共同开发光伏原子镀膜装备在钙钛矿电池方向有诸多应用，如其制备的Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 薄膜作为钙钛矿电池及叠层组件的封装防潮层保护壳，以及制备钙钛矿电池的SnO <sub>2</sub> 、TCO等功能薄膜层等。

资料来源：各公司官网，方正证券研究所

图表61:各设备涉及公司

镀膜设备		涂布设备	激光设备	封装设备
PVD设备	ALD设备			
京山轻机 捷佳伟创 红太阳 奥来德 众能光电（未上市） 弗斯迈（未上市）	微导纳米 红太阳 众能光电（未上市）	德沪涂膜（未上市） 弗斯迈（未上市） 大正微纳（未上市） 协鑫光电（未上市） 万度光能（未上市）	德龙激光 帝尔激光 杰普特 大族激光 迈为股份 弗斯迈（未上市）	京山轻机 弗斯迈（未上市） 众能光电（未上市）

资料来源：方正证券研究所整理

## 5 相关公司

### 1) 设备

国内提供钙钛矿制备设备的厂商包括曼恩斯特、京山轻机、德沪涂膜、杰普特、德龙激光等，涉及PVD设备、ALD设备、狭缝涂布设备、激光设备等。

图表62:钙钛矿设备供应商

公司名称	布局设备	公司介绍	产业化情况
曼恩斯特	狭缝式涂布设备	深圳市曼恩斯特科技股份有限公司是一家以涂布技术研发、应用为核心的国家级高新技术企业。公司多年深耕涂布技术领域，为客户提供创新性的一站式涂布技术整体解决方案。	公司在取得现有研究成果的基础上，正积极拓展涂布技术在周边新型领域的应用，其中包括了钙钛矿太阳能电池涂布。2023年，公司与中国科学院深圳先进技术研究院联合成立“钙钛矿薄膜太阳能电池联合实验室”，推动钙钛矿电池的发展。2023年7月，公司拿下钙钛矿领域狭缝涂布机首单，基板尺寸为1200x600mm，实现在涂布机领域的突破，打开钙钛矿电池的市场。目前公司在钙钛矿电池领域的涂布技术主要包括狭缝式平板涂布系统、真空干燥系统、风刀。产品线覆盖GW级（2300x1200mm）、中试线（1600x1200mm、1200x600mm）等产线以及实验室（330x430mm）。
京山轻机	镀膜设备（PVD/ALD）、玻璃清洗机、钙钛矿干燥设备、组件封装设备	京山轻机子公司晟成光伏是光伏组件制造设备和电池年制造设备提供商，处于钙钛矿上游设备制造环节，是业内较早完成钙钛矿设备开发且有实际产品销售的企业。	公司目前在钙钛矿设备布局主要包括PVD镀膜设备、蒸镀设备、ALD镀膜设备、玻璃清洗机、钙钛矿干燥设备、组件封装设备等。2022年8月，公司携手协鑫光电签署《钙钛矿叠层电池技术合作开发协议》，为大规模商业化量产钙钛矿电池奠定基础。与华中科技大学达成合作，共同开发光伏原子镀膜装备在钙钛矿电池方向的诸多应用，如Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 薄膜作为钙钛矿电池及叠层组件的封装防潮层保护壳，以及制备钙钛矿电池的SnO <sub>2</sub> 、TCO等功能薄膜层等。

2024年4月，公司首条钙钛矿单结及叠层太阳能电池整线设备项目成功交付，钙钛矿电池设备产品迈入成熟新阶段，加速助力客户端产业化进程。

钙钛矿电池团簇型多腔式蒸镀设备，钙钛矿电池团簇型多腔式蒸镀设备现已量产。PVD 溅射设备已成熟。公司与高校合作开发的空腔式 ALD 设备正在客户端验证，该设备解决了传统 ALD 设备效率低的问题，有望在电子传输层中实现应用。

涂覆机的量产设备主要来源是上海德沪。德沪涂膜提出大面积涂布全套解决方案，狭缝涂布设备 600mm\*1200mm 和 1000mm\*2000mm 供货达 350MW，达到 70% 的市场占有率，性价比高于日韩企业。

作为电子级狭缝涂布的原始开发者，2021 年德沪涂膜本土制造的 1m\*2m 电子级狭缝涂布设备是全球首套平米级狭缝涂布设备，应用于协鑫光电全球首条 100MW 钙钛矿产线。

2023 年，德沪将完成核心设备的开发和推出关键工艺段的设备解决方案，推出 20MW 中试线平台和 100MW 涂-干-结晶工艺平台。

2024 年 4 月，德沪涂膜“扬州德沪钙钛矿产业园”建设项目开工，项目总投资 20 亿元，设备投资 12.7 亿元，是全球首个钙钛矿上游装备集群，未来有望与公司 100MW 级的中试线平台一齐推动中国与全球钙钛矿产业发展。

公司在钙钛矿电池路线上持续迭代自主研发的激光模切设备和用于薄膜电池高精度划线的激光智能装备。

2021 年 8 月，公司首套柔性钙钛矿模切设备通过验收并投入生产使用。

2023 年 7 月，公司向协鑫光电交付 100MW 量产线整套激光设备，目前正在稳定运作。

2024 年 2 月 3 日，公司开发的 1mx2m 大尺寸钙钛矿 P1/P2/P3 整套激光划线设备在死区宽度可稳定在 150 $\mu$ m 以内，处于行业领先水平。

在薄膜光伏领域，公司针对不同场景，开发了多款激光智能装备，覆盖了钙钛矿电池生产中 P1 至 P4 的激光划线和激光清边工艺。公司将向着更窄的死区宽度目标努力。

2023 年 7 月，德龙激光在慕尼黑上海光博会展示薄膜太阳能电池激光加工系统，该设备可以应用于钙钛矿电池内部串联电路蚀刻及封装清边加工。

2022 年，公司首条钙钛矿薄膜太阳能电池激光加工设备已交付并投入使用，推动客户在国内率先实现百兆瓦级规模化量产。

2023 年公司已获得大客户 GW 级产线的部分订单和部分新客户订单。

上海德沪涂膜设备有限公司 (SPS) 是目前中国可以参与世界竞争的中国电子级精密狭缝涂布设备商，其生产的精密狭缝涂布设备广泛用于钙钛矿、平板显示 (光刻胶、TFT、PI、CF、TP、液晶配向膜等)、集成电路先进封装 (FOPLP)、传感器等电子级应用领域。

深圳市杰普特光电股份有限公司是一家集研发、生产和销售激光设备于一体的高新技术企业。公司是中国首家商用脉宽可调高功率光纤激光器生产制造商。

苏州德龙激光股份有限公司主要研发、生产和销售高端工业应用精密激光加工设备及其核心器件激光器。

德沪涂膜 狭缝涂布设备

杰普特 激光设备

德龙激光 激光设备

资料来源：各公司公众号、官网，方正证券研究所整理

## 2) 材料

国内材料供应商如金晶科技、亚玛顿、隆华科技等，公司均聚焦于 TCO 玻璃生产、靶材供应。目前 TCO 玻璃工艺主要掌握在海外公司手中，高品质的太阳能 TCO 玻璃基本被日本的旭硝子、板硝子垄断。国内靶材供应商及 TCO 玻璃生产商主要金晶科技、亚玛顿、隆华科技、旗滨集团、洛阳玻璃等。

图表63: 钙钛矿材料供应商

公司名称	公司介绍	产业化情况
亚玛顿	亚玛顿是技术主导型的制造企业，始终专注于光伏镀膜玻璃、超薄物理钢化玻璃和双玻组件的研发、生产和销售。进一步探索研究光电玻璃技术依托现有薄玻璃物理钢化技术、精密深加工技术以及镀膜技术。公司已经与国内知名显示器厂商建立了合作关系，并持续批量供货，成为主营业务的新增长点。	纤纳光电与亚玛顿签署合作协议，未来双方将在玻璃定制、BIPV 组件、TCO 玻璃等多个方面展开多维度合作。亚玛顿在玻璃应用、镀膜技术、BIPV 产品等方面有着丰富的技术积累和研发经验，纤纳光电将向亚玛顿提供全球领先的钙钛矿量子点夹层技术，携手推动 BIPV 在双碳时代的广泛应用。
旗滨集团	旗滨集团股份有限公司已形成了从硅砂、玻璃原片、在线 Low-E 镀膜节能玻璃、在线 TCO 镀膜光伏太阳能玻璃、超白光伏基片生产到深加工及销售的“一条龙”玻璃产业群体，是国内优质浮法玻璃生产基地、节能玻璃生产基地、光伏太阳能玻璃生产基地、特种玻璃生产基地、优质硅砂生产基地。	旗滨集团利用 CVD 技术研发了光伏电池 TCO 导电玻璃，是中国第一家、世界第三家实现在线 TCO 透明导电氧化物镀膜玻璃工业化生产企业。公司生产的 TCO 玻璃为 FTO，公司具备规模化生产大面积 FTO 玻璃的能力。公司生产的 TCO 玻璃已分别通过国家科学技术成果鉴定和新产品新技术鉴定。2022 年底公司计划在云南建设 TCO 玻璃产线，目前处于前期规划阶段。
耀皮玻璃	上海耀皮玻璃集团股份有限公司在平板玻璃领域，集团下辖五家控股子公司，产品包括高端汽车玻璃原片、EA 在线硬镀膜低辐射玻璃、超白玻璃、太阳能电池面板玻璃和特种节能玻璃等系列。在建筑加工玻璃领域，主要产品有镀膜、中空、夹层、钢化、彩釉等节能玻璃。	公司于 2022 年底收购大连艾杰旭(原名旭硝子)，生产 TCO 玻璃。耀皮 TCO 玻璃是采用化学气相沉积(CVD)方法生产的掺氟氧化锡半导体薄膜，出货量较大(60-70%供应 First Solar)，主要系其技术、转换效率(较金晶科技高 1%+)为国内最佳，但因产线较老故产品存在色差。目前有 1 条 800 吨的 TCO 玻璃产线。
隆华科技	隆华科技的子公司晶联光电主要产品为多比例氧化铟锡(ITO)靶材，包括平面和旋转靶。ITO 靶材被列为 35 项“卡脖子”技术之一。近年来，晶联光电的 ITO 靶材已逐步稳定量供于京东方、TCL 华星、天马微电子及信利半导体等客户的多条高世代 TFT 面板产线，而且还是国内首家批量供应 G10.5 平面 ITO 靶的供应商开发出的特殊比例光伏靶材已通过隆基等客户的认证。	隆华科技的光伏靶材已通过了隆基、通威、华晟、梅耶伯格的 HJT 产线验证，进入批量供货阶段，已为隆基供货，同时钙钛矿靶材已经取得突破性进展，正在配合隆基做钙钛矿的供货测试，后续形成批量供货。公司规划在广西柳州新建年产 500 吨的 ITO 靶材项目。
金晶科技	公司主要生产超白玻璃、离线镀膜玻璃、在线镀膜玻璃等产品，主要为建筑、汽车、太阳能、工业品等细分市场提供绿色、环保、节能、安全等差异化产品及服务。金晶依托浮法和 LOW_E 玻璃优势，大力发展下游加工业务，产品远销欧美、日韩、东南亚、澳洲、中东等上百个国家和地区。	2021 年公司成功开发 3.2mm、2.65mm 超白 TCO 导电玻璃，成为国内外为数不多掌握 TCO 导电膜玻璃技术且能实现量产的企业之一，开启了 TCO 玻璃国产替代进程，并已实现向国际薄膜电池巨头 FirstSolar 供货，满产产能约 2500 万平米。目前，公司具备 2 条年产 1500 万平米 TCO 玻璃生产线，使用 CVD 在线镀膜技术。2022 年 9 月，公司对滕州二线 600T/D 玻璃生产线进行升级，改造为 TCO 玻璃产线，于 2023 年 9 月 8 日成功点火。2022 年金晶科技与钙钛矿电池龙头杭州纤纳光电签订战略合作协议，金晶将根据纤纳光电的扩产规划，投资建设相应 TCO 玻璃产线并作为其主要供应商，纤纳光电未来若每增加 1GW 钙钛矿电池产能规划，则金晶需配套不低于 500 万平米/年的 TCO 玻璃产能。目前公司 TCO 玻璃业务处于起步阶段，未来随着下游市场启动，该板块有望成为公司新利润增长点。TCO 玻璃行业壁垒高，除金晶外，目前 TCO 玻璃生产商主要为外资，如日本板硝子、旭硝子。金晶科技有较大成长空间。

资料来源：各公司公众号、官网，方正证券研究所整理

### 3) 电池

国内布局钙钛矿电池厂商包括协鑫光电、极电光能、纤纳光电、仁烁光能、众能光电、大正微纳、宝鑫科技等。目前国内发展较快的钙钛矿电池企业主要是协鑫光电、极电光能和纤纳光电这三家。协鑫光电已经实现 1mx2m 的钙钛矿单结组件 19.04%的效率，钙钛矿叠层组件（369mmx555mm）效率以达到 26.34%，其 GW 级产线预计将在昆山建设。极电光能 1.2mx0.6m 商用尺寸钙钛矿组件全面效率实现 18.2%，其 150MW 钙钛矿中试生产线已于 2022 年投产，并率先开始建设全球首条 GW 级钙钛矿电池量产。纤纳光电在 2022 年实现钙钛矿太阳能小组件（19.35cm<sup>2</sup>）21.8%的效率，获得日本权威机构 JET 测试认证，其在被蒙古库布其沙漠完成全球首个商业化运行的 MW 级钙钛矿地面电站并网。

图表64: 钙钛矿电池供应商

公司名称	公司简介及融资情况	转换效率	产线
协鑫光电	团队以范斌博士为核心带头人，2022 年完成 5 亿元人民币 B+轮融资，由淡马锡投资、红杉中国、IDG 资本三家联合领投。2023 年 1 月，协鑫光电获得了由中国质量认证中心（CQC）颁发的钙钛矿组件 BIPV 光伏玻璃 3C 认证证书。	2019 年，协鑫光电的 45cmx65cm 的钙钛矿光伏组件经 TÜV 认证，效率达 15.31%；2022 年组件效率目标为 16%，2023 年预计达到 18%。	2020 年开始建设 100MW 产线，2022 年 5 月公司 1mx2m 钙钛矿光伏组件正式下线，100MW 产线也已经在昆山完成厂房和主要硬件建设。2024 年 5 月，昆山钙钛矿 GW 级组件基地开工，预计 2024 年完成，2025 年 3 月交付。
极电光能	极电光能是长城控股投资的一家专攻钙钛矿光伏、光电及前驱体材料的产业化技术开发和应用的企业，团队由国际知名院士 M. K. Nazeeruddin 教授领衔。已完成 Pre-A 轮融资，由碧桂园创投、九智资本联合领投，共募集资金 2.2 亿人民币。	2021 年 3 月，在 64.8cm <sup>2</sup> 的光伏组件上，极电光能实现了 20.01%的光电转换效率。2024 年 2 月，在 810cm <sup>2</sup> 的钙钛矿光伏组件上实现了 20.7%的稳态效率，突破大尺寸钙钛矿组件稳态效率的世界纪录。	2022 年 12 月，极电光能 150MW 钙钛矿光伏生产线正式投产运行，是全球目前已投产且产能最大的钙钛矿光伏生产线。将在 2023 年的年初投入超过 50 亿建设 6GW 的产能，第一期在 2023 年建设 1GW，2024 年、2025 年再分别追加 2GW 和 3GW 的产能。2023 年 4 月，总投资 30 亿元极电光能全球总部及钙钛矿创新产业基地项目正式签约落户锡山，计划建设 GW 级钙钛矿光伏组件及 BIPV 产品生产线、100 吨钙钛矿量子点生产线、全球创新中心及总部大楼。
纤纳光电	姚冀众博士和颜步一博士联合创立，七次刷新钙钛矿小组件转换效率世界纪录。2022 年 10 月完成了 D 轮融资，由招银国际和杭开集团领投，资金将主要用于钙钛矿前沿技术的开发和 GW 级产线扩建。	2022 年 9 月 23 日，公司钙钛矿太阳能小组件（19.35cm <sup>2</sup> ）在稳态连续输出下的效率提升至 21.8%。	拥有 100MW 产线，实现钙钛矿 α 组件全球首发。2018 年，公司 20MW 基地中试线产能投产，投资额 5050 万；2022 年初，公司 100MW 钙钛矿规模化产线建成投产；2022 年 2 月开建了全球首个钙钛矿集中式光伏地面电站，电站装机规模为 12MW；2022 年 5 月，纤纳光电钙钛矿 α 组件全球首发。2023 年 α 组件稳定性全序列获得国内外双认证，同时，公司完成全球首个商业化运行的 MW 级钙钛矿地面电站并网。
仁烁光能	仁烁光能（苏州）有限公司，主营业务为新型钙钛矿太阳能电池研发和生产。公司背靠南京大学、复旦大学、中科院等知名研究机构。公司 150MW 钙钛矿电池项目已顺利落地投产。	经日本 JET 第三方认证，仁烁光能团队研发的全钙钛矿叠层电池实验室光电转化效率达到 29%。	2022 年公司已建成 10MW 产线并投入使用，目标尺寸为 300x400mm，在 2023 年 9 月，该尺寸的钙钛矿组件已经实现了 19.42%的第三方认证转换效率。2023 年 10 月，公司 150MW 中试产线已落地常熟。2024 年 1 月 11 日，公司 150MW 钙钛矿光伏组件项目已经顺利竣工投产。2024 年 5 月 28 日，公司 GW 级钙钛矿光伏电池项目

正式签约落户常熟经济技术开发区，项目投资总额10亿元以上，预计建成后年产值超过20亿元。

无限光能	<p>深圳无限光能技术有限公司是一家致力于钙钛矿太阳能电池技术开发的科技创新型企业，公司业务涵盖太阳能电池组件、光伏系统解决方案和清洁能源综合利用等方向。预计将在2024年实现钙钛矿太阳能电池的商业化量产。</p>	<p>2022年2、3月，公司分别刷新半透明钙钛矿电池和柔性钙钛矿电池的转换效率，分别达到22.3%和23.6%。 2023年2月，公司自主研发的100.53mm<sup>2</sup>钙钛矿太阳能电池实现24.67%的转换效率，刷新该面积光电转换效率的世界纪录。</p>	<p>2022年底，公司10MW试验线已经建成，100MW中试线在2023年进行深化设计与设备采购。预计将于2024年建成该量产线。</p>
众能光电	<p>成立于2015年8月，公司客户覆盖行业主流企业，包括中国华能、国家电投、宁德时代等大型央企和民企，在相关中试和量产装备制造方面处在国内第一，国际领先地位，拥有最多的中试和量产线业绩，市场占有率超过70%。</p>	<p>2020年6月众能光电生产的面积46.2cm<sup>2</sup>、稳态光电转换率18.07%的钙钛矿太阳能器件通过全球权威光伏组件商业认证机构TÜV认证。2022年12月，面积61.58cm<sup>2</sup>、转换效率20.08%的钙钛矿组件通过TÜV认证。</p>	<p>2019年起，公司开始建设大组件生产线，攻关300mm×300mm的大面积组件的量产技术。主持了国际首条300kW钙钛矿量产线的研发和建设，已与中电建合作伙伴鑫磊集团意向协议60条总计200MW生产线。 2022年，公司已经完成国内首条300kW钙钛矿电池中试线项目，55cm×65cm的组件认证效率达15.5%。公司正在建设3调100MW及以上级别的钙钛矿光伏生产线，预计平均量产效率大于17%。</p>
黑晶光电	<p>深圳黑晶光电技术有限公司致力于新型太阳能电池研发和制造，作为国内首家专注于高效叠层太阳能电池研发的企业，公司在钙钛矿/PERC叠层电池和TOPCon/钙钛矿叠层电池都有较快的发展和进程。</p>	<p>2022年12月，公司研发的串联型钙钛矿/PERC叠层电池在AM1.5标准太阳光谱下实现26.1%的转换效率。2023年，皇氏农光与公司合作，共同推进TOPCon/钙钛矿叠层电池的研发、生产和应用。</p>	<p>2023年5月，公司7GW钙钛矿叠层电池+7.5GW新型组件项目落地河北宜昌正式动工，项目总投资100亿元，计划于2025年12月竣工投产。 2024年1月，公司7GW新一代钙钛矿/晶硅叠层电池片及光伏组件项目落户中山火炬开发区，项目将分三期建设，共投资50亿元。</p>
宝馨科技	<p>宝馨科技于2022年9月公告，与张春福教授、朱卫东副教授、安徽大禹集团成立合资公司，负责开展钙钛矿-异质结叠层电池技术的研发、产业化研究以及商业化解决方案推广，并将相应技术应用于公司异质结电池项目，并创建西安宝馨光能科技有限公司。</p>	<p>2023年12月，公司团队制备的钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池在RS测试条件下实现了30.26%的自测效率和30.18%的认证转换效率(稳态效率为29.65%)。</p>	<p>宝馨科技公告此前与张春福教授、朱卫东副教授、大禹实业共同成立的合资公司西安宝馨光能科技有限公司已完成工商注册登记手续。合资公司注册资本为5500万元，其中宝馨科技出资2000万元，用来开展异质结-钙钛矿叠层电池。并预计在2年内完成“100MW级钙钛矿电池或钙钛矿-HJT叠层电池产线”的产线建设。预计将在2023年启动该产线，并力争在2025年启动钙钛矿/异质结叠层电池的GW级产线升级。</p>
旭励钙钛	<p>旭励钙钛成立于2023年7月，核心团队包含新南威尔士大学、西南大学、应用材料等的光伏及半导体资深专家，公司专注于太阳电池的新材料及新器件的研发以及电池、组件的生产。</p>	-	<p>公司致力成为光伏技术领域的领先者，公司将立足于新桥镇，坚持创新，加快钙钛矿器件和材料技术的研发速度并转化为中试线。 目前，公司建成了业内领先的钙钛矿电池研发实验室，包含千级净化间、全套干法和湿法核心工艺设备。2024年1月，公司一期项目竣工投产，公司预计在5月开始对外融资计划，并预计7月建造百兆瓦级的中试线。</p>

资料来源：各公司公众号、官网，方正证券研究所整理

## 6 风险提示

光伏组件需求不及预期，钙钛矿产业化进展不及预期，市场竞争加剧。

## 分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，保证报告所采用的数据和信息均来自公开合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。研究报告对所涉及的证券或发行人的评价是分析师本人通过财务分析预测、数量化方法、或行业比较分析所得出的结论，但使用以上信息和分析方法存在局限性。特此声明。

## 免责声明

本研究报告由方正证券制作及在中国（香港和澳门特别行政区、台湾省除外）发布。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告内容仅供我公司适当性评级为 C3 及以上等级的投资者使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。若您并非前述等级的投资者，为保证服务质量、控制风险，请勿订阅本报告中的信息，本资料难以设置访问权限，若给您造成不便，敬请谅解。

在任何情况下，本报告的内容不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求，方正证券不对任何人因使用本报告所载任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告版权仅为方正证券所有，本公司对本报告保留一切法律权利。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处且不得进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

## 评级说明：

类别	评级	说明
公司评级	强烈推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有20%以上的涨幅。
	推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的涨幅。
	中性	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数在-10%和10%之间波动。
	减持	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的跌幅。
行业评级	推荐	分析师预测未来12个月内行业表现强于同期基准指数。
	中性	分析师预测未来12个月内行业表现与同期基准指数持平。
	减持	分析师预测未来12个月内行业表现弱于同期基准指数。
基准指数说明		A股市场以沪深300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基准。

## 方正证券研究所联系方式：

北京：西城区展览馆路 48 号新联写字楼 6 层

上海：静安区延平路71号延平大厦2楼

深圳：福田区竹子林紫竹七道光银行大厦31层

广州：天河区兴盛路12号楼隼峰苑2期3层方正证券

长沙：天心区湘江中路二段36号华远国际中心37层

网址：<https://www.foundersc.com>

E-mail：yjzx@foundersc.com