



华安证券  
HUAAN SECURITIES



钙钛矿行业深度：  
从0-1机遇与挑战并存，  
重视材料体系演进中的投资机会

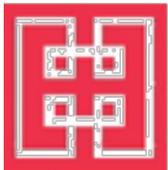
华安机械

张帆 S0010522070003

徒月婷 S0010522110003

2023年3月20日

华安证券研究所



## 目录

1 钙钛矿简述——第三代光伏电池

2 钙钛矿优势——降本提效潜力巨大

3 钙钛矿产业化现状——从0-1过程中，机遇与挑战并存

4 钙钛矿设备梳理——空间广阔，百花齐放

5 投资逻辑及标的梳理

6 风险提示



## 1.1 钙钛矿介绍

▶ 光伏电池从第一代以晶硅为主，第二代以薄膜电池为主，典型代表为铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe）电池，第三代为以钙钛矿为代表的新型太阳能电池。钙钛矿作为经典的材料体系，具有悠久的历史。1839年，在俄罗斯乌拉尔山脉，德国矿物学家Gustav Rose发现了矿物质钛酸钙 $\text{CaTiO}_3$ ，后将结构式为 $\text{ABX}_3$ 形式且具有与 $\text{CaTiO}_3$ 相似晶体结构的材料统称为钙钛矿。自然界中，钙钛矿材料分布广泛，种类多样且丰富，一般为立方体或者八面体形状且具有光泽。

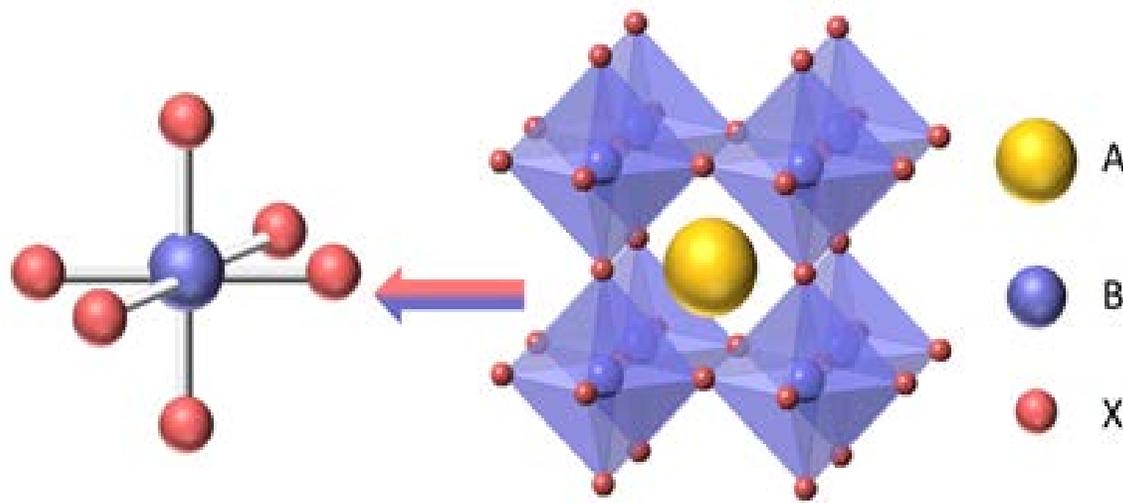
▶  $\text{ABX}_3$ 属于四方晶系。1个金属B原子与6个卤素X原子配位形成 $[\text{BX}_6]$ 八面体结构，A原子被周围的共享顶点的8个八面体骨架包围，在较弱的范德华力相互作用下保持结构稳定。

✓ A代表一价有机或无机阳离子，如甲脒离子（ $\text{HC}(\text{NH}_2)_2^+$ ）、甲铵离子（ $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$ ）、铯离子（ $\text{Cs}^+$ ）、铷离子（ $\text{Rb}^+$ ），或者多种阳离子混合等

✓ B代表二价金属阳离子，如铅离子（ $\text{Pb}^{2+}$ ）、锡离子（ $\text{Sn}^{2+}$ ），锗离子（ $\text{Ge}^{2+}$ ），或者多种金属离子混合等

✓ X代表一价卤素阴离子，如溴离子（ $\text{Br}^-$ ）、碘离子（ $\text{I}^-$ ）、氯离子（ $\text{Cl}^-$ ），或者多种卤素离子混合等。

钙钛矿 $\text{ABX}_3$ 晶体结构示意图



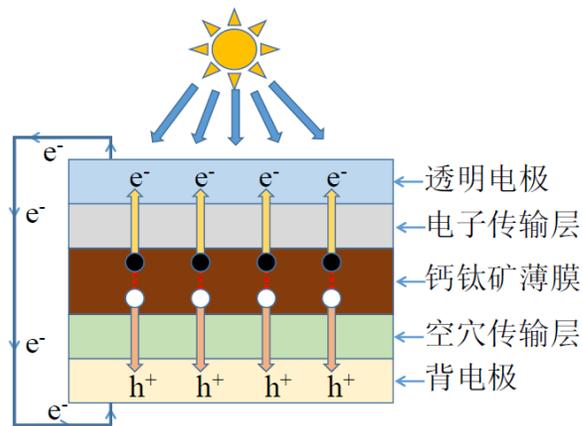
资料来源：CNKI\_钙钛矿型太阳能电池制备方法的研究\_赵艳红、华安证券研究所整理

## 1.2 钙钛矿太阳能电池工作原理

► **钙钛矿太阳能电池的工作原理：**光照条件下，钙钛矿材料吸收光子，电子从价带跃迁到导带，随后以极快的速度注入到电子传输层ETL，对应空穴被传输至空穴传输层HTL；然后电子和空穴被电极收集，接上负载后，电池便可对外做功，具体来看主要分为以下5个过程：

- 1、**光子吸收过程：**受到太阳光辐射时，电池的光吸收层材料吸收光子产生受库仑力作用束缚的电子-空穴对，即激子；
- 2、**激子扩散过程：**激子产生后不会停留在原处，会在整个晶体内运动。激子的扩散长度足够长，激子在运动过程发生复合的几率较小，大概率可以扩散到界面处；
- 3、**激子解离过程：**钙钛矿材料的激子结合能小，在钙钛矿光吸收层与传输层的界面处，激子在内建电场的的作用下容易发生解离，进而成为自由载流子；
- 4、**载流子传输过程：**激子解离后形成的自由载流子，其中自由电子通过电子传输层向阴极传输，自由空穴通过空穴传输层向阳极传输；
- 5、**电荷收集过程：**自由电子通过电子传输层后被阴极层收集，自由空穴通过空穴传输层后被阳极层收集，两极形成电势差，电池与外加负载构成闭合回路，回路中形成电流。

平面正式结构电池工作原理



资料来源：适于高性能太阳能电池的 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 钙钛矿薄膜及其器件研究、华安证券研究所

# 1.3 钙钛矿材料的特征

## 钙钛矿材料的特征

特征	具体表述
载流子结合能较小	半导体材料具有的载流子结合能越低越容易分离出电子-空穴对的特性。钙钛矿材料 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 的载流子结合能为 $20 \pm 2\text{meV}$ ，而大多数半导体材料该数值在 $200\text{meV}$ 左右。
介电常数较大	钙钛矿材料 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 的介电常数为6.5，而其它的半导体材料的介电常数相比之下就要小得多，介电常数数值一般在3左右。
载流子的迁移率和迁移速度都较大	钙钛矿材料分离下来的空穴和电子有效质量都较小，所以载流子对的迁移速度会比较大，有利于载流子对的传输和收集。
吸收系数较高	吸收系数越高，材料的吸光能力越强。钙钛矿材料 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 在可见光波长范围内都有良好的吸光能力，在 $360\text{nm}$ 波长处，其吸收系数达到了 $4.3 \times 10^5\text{cm}^{-1}$ 。
浅缺陷能级	通常深能级的缺陷降低载流子寿命，而钙钛矿材料中主导的缺陷为浅能级，对载流子寿命影响较低，进而使其具有较大的扩散长度。钙钛矿材料对缺陷容忍度高。

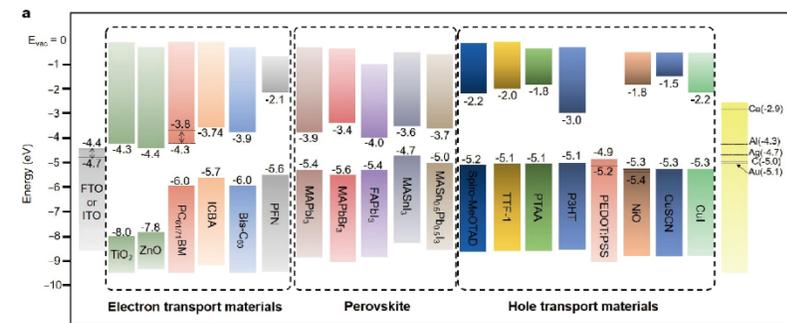
资料来源：钙钛矿\_黑硅叠层太阳能电池的制备及性能研究、华安证券研究所整理

钙钛矿类材料的光学照片



资料来源：CNKI\_钙钛矿型太阳能电池制备方法的研究\_赵艳红、华安证券研究所整理

钙钛矿电池能级图示

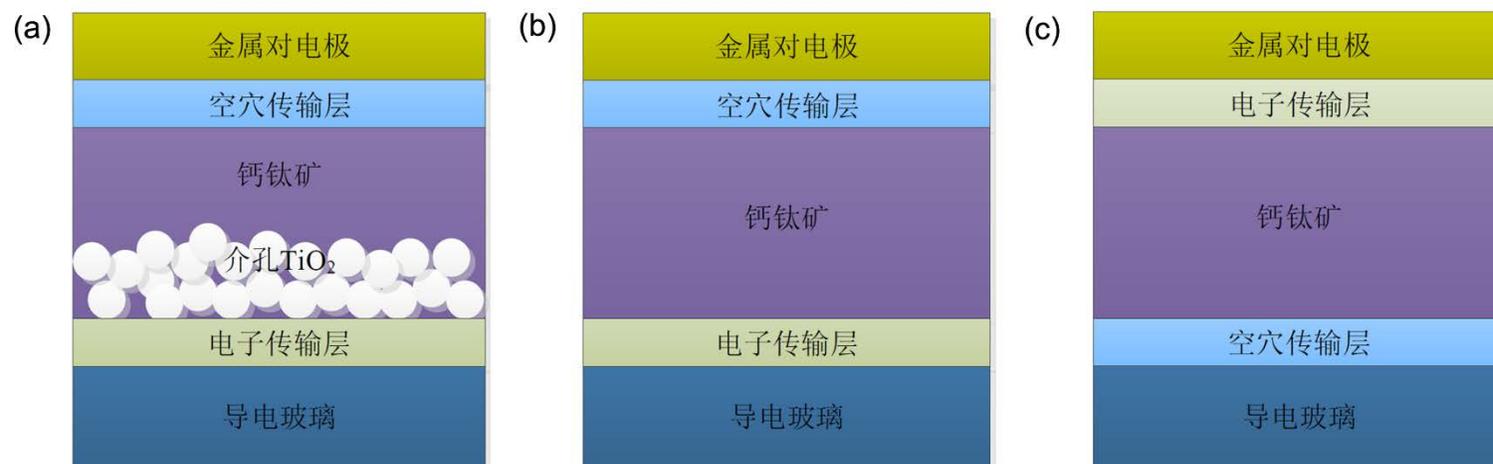


资料来源：Science China Materials、华安证券研究所整理

## 1.4 钙钛矿太阳能电池结构

- ▶ **钙钛矿电池结构**：钙钛矿太阳能电池是层状结构，主要包括金属对电极、空穴传输层、钙钛矿吸收层、电子传输层和透明导电玻璃，常见的钙钛矿电池结构有正式结构（也称n-i-p型）结构和反式结构（也称p-i-n型）两种，两种结构的区别是传输层位置相反，传输方向不同。
- ▶ 考虑到材料的可选性和大规模量产的可行性，目前主流是用反式平面结构。

钙钛矿太阳能电池的3种典型结构图



(a) 正式介孔结构; (b) 正式平面结构; (c) 反式平面结构

资料来源：中国科学、华安证券研究所整理



## 1.5 钙钛矿电池各层结构及特点

膜层	功能	特点	常用材料
透明导电基底	电池的衬底层，电池器件的各层都基于导电玻璃上。它一般由玻璃和附着在其上的高透光导电薄膜组成	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 透光性必须要很好</li> <li>2. 功函数要与其上面的传输层相匹配，如果带阶相差太大，电池内部的载流子会发生严重的复合现象从而削弱电池光电性能</li> <li>3. 其电阻要选择合适的数值，太大会增加电池内部电阻，太小需要增加导电薄膜厚度，削弱薄膜透光率。一般在12-14Ω内为佳</li> </ol>	工业上一般以FTO或ITO导电玻璃为主
电子传输层	高效传输电子，阻挡空穴向阴极方向移动，避免空穴-电子对分离不彻底而造成载流子在电池内部积累	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 与钙钛矿层达成合格的能级匹配，它影响着电荷的注入和复合</li> <li>2. 有足够小的缺陷态，它影响电荷的复合和传输</li> <li>3. 有较高的电子迁移率，它影响着电荷的传输和收集</li> <li>4. 有较光滑的表面形貌，影响钙钛矿薄膜质量和界面接触</li> <li>5. 有较好的光透过率（正式）</li> </ol>	主要包含TiO <sub>2</sub> 、SnO <sub>2</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 等金属氧化物和一些有机物材料
光吸收层	位于中心位置，主要负责吸收能量高于其带隙的光子，并在该层生成载流子对	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 吸光系数高、空穴扩散长度长</li> <li>2. 成本低廉、工艺简单、可大面积制备和低温处理</li> </ol>	甲胺碘化铅（MAPbI <sub>3</sub> ）和甲脒碘化铅（FAPbI <sub>3</sub> ）
空穴传输层	传输空穴载流子，并阻挡电子在该层的迁移，同时该层还起到了防止钙钛矿层与电极直接接触引起电池内部电路短路的作用	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 空穴转移速率须很快</li> <li>2. 合适的带隙与钙钛矿吸光层相匹配</li> <li>3. 有较好的光透过率（反式）</li> </ol>	主要可分为以Spiro-OMeTAD、PTAA、PDPPDBTE等为代表的有机类材料和以NiO、CuI、CuSCN、CuO、Cu <sub>2</sub> O等为代表的无机类材料
金属对电极	收集空穴或电子载流子	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 优异的导电性</li> <li>2. 合适的带隙从而与空穴传输层或电子传输层相匹配</li> </ol>	通常是Au、Ag、Al等导电金属，正结钙钛矿电池一般采用Au作为电极材料，反结钙钛矿电池一般采用Ag作为电极材料

资料来源：钙钛矿\_黑硅叠层太阳能电池的制备及性能研究、华安证券研究所整理

## 1.6 钙钛矿电池应用场景

- **BIPV**: 钙钛矿电池具有轻薄、透光性强、颜色可调的特点，适用于BIPV；BIPV市场空间广阔，有望成为钙钛矿首选应用市场。
- **地面电站**: 钙钛矿与晶硅叠层电池有望率先实现突破。
- **车载光伏**: 钙钛矿电池具有轻薄、透光性强、颜色可调、柔性化的特点，在车载光伏领域应用空间较大。目前已有部分车企进入钙钛矿领域。
- **室内光伏**: 理论预测表明，光学带隙1.6eV的PSCs在荧光灯或白光LED照明下可实现高达50%的光电转换效率。

BIPV



资料来源：能源百科、华安证券研究所

地面电站



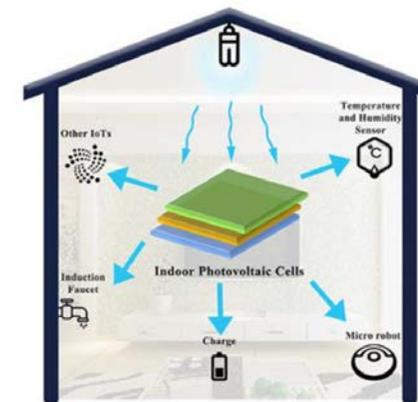
资料来源：索比光伏网、华安证券研究所

车载光伏

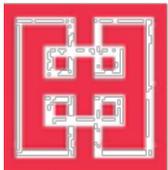


资料来源：A2-solar、华安证券研究所

室内光伏



资料来源：x-mol、华安证券研究所



## 目录

1 钙钛矿简述——第三代光伏材料

2 钙钛矿优势——降本提效潜力巨大

3 钙钛矿产业化现状——从0-1过程中，机遇与挑战并存

4 钙钛矿设备梳理——空间广阔，百花齐放

5 投资逻辑及标的梳理

6 风险提示



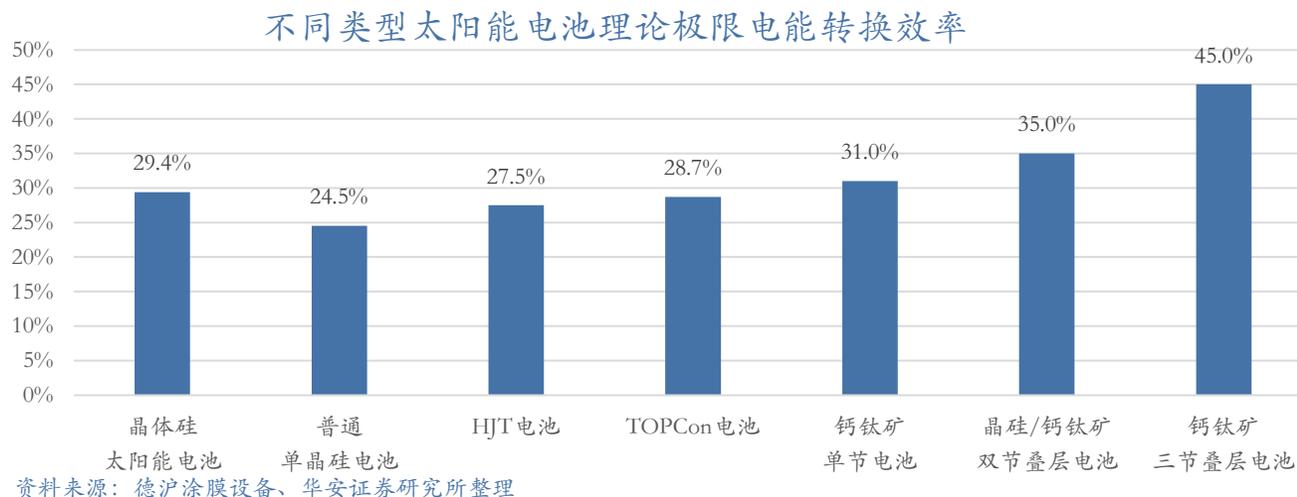
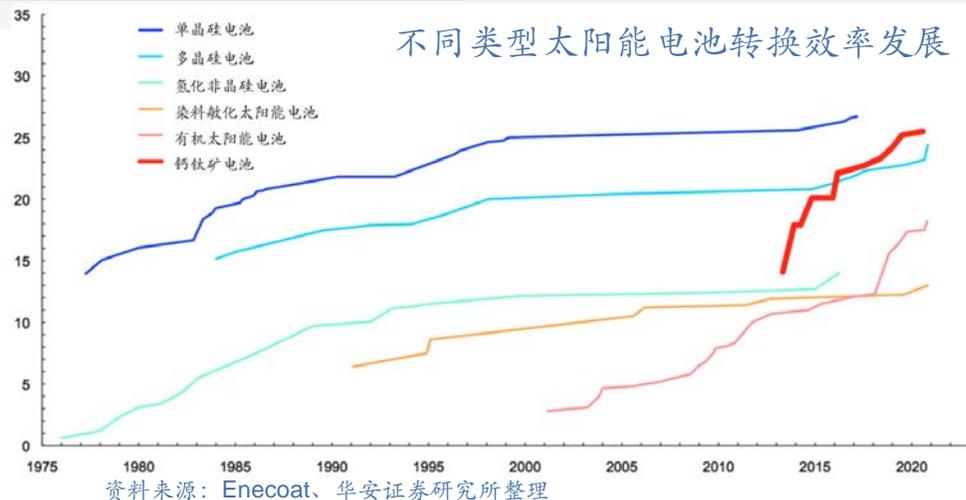
## 2.1 光电转化效率高

- **理论光电转换效率高。**钙钛矿太阳能电池（PSCs）单结理论最高转化效率可达31%，高于晶硅电池的29.4%。当前量产效率接近15%，向18%迈进。长期来看，叠层将进一步打开效率天花板，其中钙钛矿三节叠层电池转换效率最高可突破40%。
- **钙钛矿电池转换效率提升迅速。**单晶硅及多晶硅电池转换效率提升走过漫长的路程，而钙钛矿效率在近10年来显著提升，发展迅猛。

截至2022年不同类型电池最高效率

时间	电池类型	效率记录	公司/团队
2022.12	TOPCon 电池	26.40%	晶科能源
2022.12	HJT 电池	26.56%	隆基绿能
2021.12	正式电池	25.70%	韩国蔚山国家科学技术研究所 (UNIST)
2022.09	反式电池	25.37%	NREL 朱凯、托莱多大学鄢炎发团队
2022.12	钙钛矿-晶硅叠层电池	32.50%	德国柏林亥姆霍兹研究中心 (HZB)

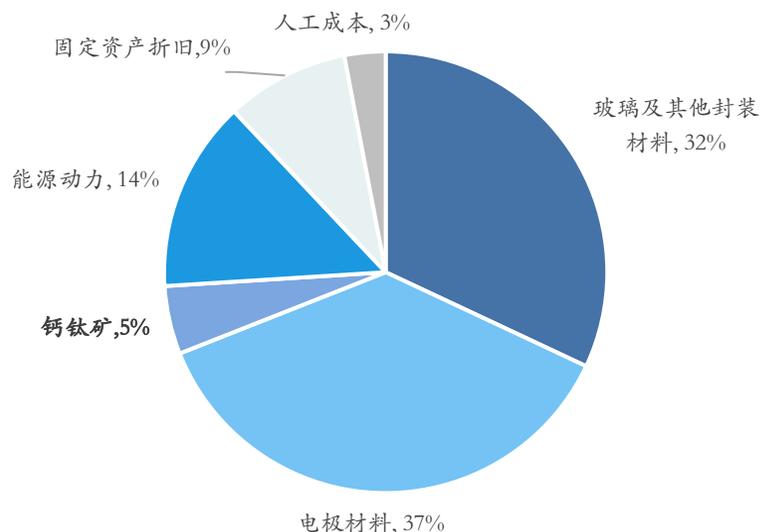
资料来源：SOLARZOOM、北极星太阳能光伏网、晶科及红太阳公司公众号、集邦新能源网、华安证券研究所整理



## 2.2 综合成本下降空间大

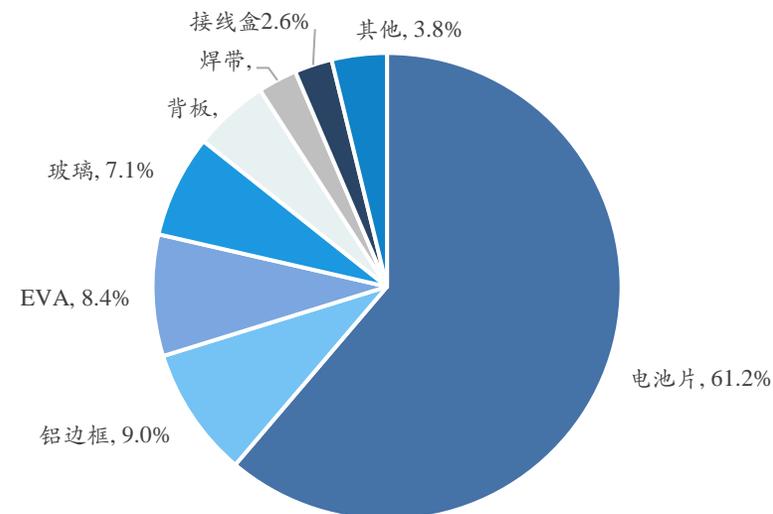
- ▶从综合成本看，钙钛矿总成本约为5-6毛/W，是晶硅极限成本的50%。
- ▶材料占比少：钙钛矿在其组件成本中仅占5%，而晶硅电池片在其组件中占比达到61.2%。硅片的厚度通常为100-180 $\mu\text{m}$ ，纯度要求高；钙钛矿电池原材料储量丰富，可由人工合成，且原料用量少，厚度大概是0.3 $\mu\text{m}$ 。
- ▶能耗低：晶硅纯度需要达到99.9999%（6-7个9），且需要反复提纯，消耗大量资源。钙钛矿纯度要求95%，远低于晶硅电池，晶硅单瓦能耗1.52KWh，钙钛矿单瓦能耗仅为0.12KWh，只有晶硅的1/10。

钙钛矿组件成本构成



资料来源：全球光伏、华安证券研究所整理

晶硅光伏组件成本构成



资料来源：易达光电、华安证券研究所整理

## 2.3 产线投资低，生产流程短

- ▶ **钙钛矿工艺流程简单，产业链显著缩短。**晶硅电池在四个不同工厂内分别加工硅料、硅片、电池、组件，此过程需要至少耗时3天。而钙钛矿太阳能电池的生产流程简单，仅需要一条300百米长的全自动生产线，就能实现从原材料光伏玻璃的磨边清洗，到化合物半导体薄膜的制备，再到最后光伏组件成品封装测试的完整生产流程。根据协鑫纳米披露，可在45分钟内将玻璃、胶膜、靶材、化工原料在单一工厂内加工成为钙钛矿组件，产业链显著缩短，价值高度集中。
- ▶ **产线投资成本低。**光伏企业投资1GW产能晶硅电池，需要建四个工厂，硅料、硅片、电池和组件，合计投资金额超过9亿元；投资1GW产能钙钛矿电池仅需1个工厂，投资金额仅约5亿元，其投资强度仅为晶硅的一半。

单晶硅组件与钙钛矿组件工艺对比



资料来源：东方富海、华安证券研究所

晶硅路线与钙钛矿路线生产流程对比



资料来源：险峰、华安证券研究所



## 目录

1 钙钛矿简述——第三代光伏材料

2 钙钛矿优势——降本提效潜力巨大

3 钙钛矿产业化现状——从0-1过程中，机遇与挑战并存

4 钙钛矿设备梳理——空间广阔，百花齐放

5 投资逻辑及标的梳理

6 风险提示



## 3.1 钙钛矿太阳能电池效率进展

► **钙钛矿转换效率持续突破。**十多年来经过不断的改进变革，钙钛矿转换效率从最初的3.8%提升到25.7%，其他各种结构的钙钛矿电池效率也在不断打破纪录。

单结钙钛矿太阳能电池转换效率发展历程

时间	研发团队	改进	转换效率
2009	日本科学家Tutomu Miyasaka	率先将钙钛矿材料用于染料敏化太阳能电池作为吸光材料	3.80%
2011	韩国成均馆大学Nam-Gyu Park课题组	技术改进	6.50%
2012	牛津大学Henry SnaithHE和Mike Lee 课题组	引入了空穴传输材料Spiro-OMeTA, 实现了钙钛矿电池的固态化	10.00%
2012	牛津大学Henry Snaith	将电池中的TiO <sub>2</sub> 用铝材 (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) 进行了代替	15%
2016	瑞士洛桑联邦理工学院	进一步改进	19.60%
2018	中国科学院半导体研究所研究员游经碧课题组	提出有机盐钝化钙钛矿表面缺陷的方法	23.70%
2019.4	韩国化学技术研究所 (KRICT)	利用溶液旋涂法制备出一种新型钙钛矿材料	24.20%
2021	韩国蔚山国家科学技术研究所 (UNIST)	锡 (IV) 氧化物 (SnO <sub>2</sub> ) 电子传输层和卤化物钙钛矿层之间通过将氯键合的SnO <sub>2</sub> 与含有氯的钙钛矿前体耦合	25.50%
2021	韩国蔚山国立科学技术研究院 (UNIST)		25.70%

资料来源：北极星光伏网、全球光伏、索比光伏网、华安证券研究所整理

截至2022年不同结构类型钙钛矿电池最高效率

电池类型	团队	电池效率	认证机构	时间
正式电池	韩国蔚山国家科学技术研究所 (UNIST)	25.70%	NREL	2021.12
反式电池	NREL朱凯、托莱多大学鄢炎发团队	25.37%	NREL	2022.09
钙钛矿-晶硅叠层电池	德国柏林亥姆霍兹研究中心 (HZB)	32.50%	NREL	2022.12
钙钛矿-钙钛矿叠层电池	仁烁光能	29%	JET (日本电气安全环境研究所)	2023.01
钙钛矿-CIGS叠层电池	德国柏林亥姆霍兹研究中心 (HZB)	24.20%	NREL	2020
柔性电池	香港城市大学朱宗龙团队&中科大杨上峰团队	23.35%	福建省计量科学研究院	2022.11

资料来源：协鑫光电、NREL官网、华安证券研究所整理



## 3.2 钙钛矿电池产业化进展

公司	规模 (GW)	产线类型	状态	备注
协鑫光电	0.01	中试线	2017年已建成	投资7000万元
	0.1	量产线	2021年量产	产能和工艺稳定后, 目标转化效率超过18%, 面积1m×2m
	1	量产线	2024年量产	
	5-10	量产线	2025年建设	
纤纳光电	0.1	量产线	2022年达产	2024年上半年跑通, 组件效率提升至20%左右, 面积1.2m×2m
	1	量产线	2023年有望投产	
极电光能	0.15	试产线	2022年底投产运行	2021四季度启动建设, 总投资超2亿
	1	量产线	2024年达产	计划2023年初投入50亿建设6GW产能
	5	量产线	2025年全部达产	
万度光能	0.2	大试线	2021在建	总投资60亿元, 可印刷介观钙钛矿太阳能电池生产基地项目
	10	量产线	规划中	
众能光电	0.2	生产线	在建	
无限光能	0.01	中试线	在建	
	0.1	量产线	2024年建成	
光晶能源	0.01	小试线	2022年建成	30cm×30cm组件, 目标效率20%
	0.1	中试线	2023年投建, 2024达产	60cm×120cm组件
脉络能源	0.1	量产线	设计中	2022年建成并运行一条中试线
仁烁光能	0.01	中试线	2023年已全线跑通	新型钙钛矿叠层电池, 组件尺寸30cm×40cm
	0.15	量产线	建设中, 预计2023年四季度投产	新型钙钛矿叠层电池
杭萧钢构 (合特光电)	0.1	中试线	2023年5月中旬投产	钙钛矿/晶硅薄膜叠层电池, 电池目标转化效率达到28%以上
宝馨科技	0.1	试验线	规划中	钙钛矿电池或钙钛矿-HJT叠层电池产线
	1	量产线	规划中	
大正微纳	0.01	试产线	在建	全球首家量产40cm*60cm柔性钙钛矿组件, 已投资8000万元
	0.1	量产线	规划中	计划再投资2亿元人民币
金昌鑫磊鑫半导体	1	量产线	建设中	钙钛矿薄膜光伏组件。项目总投资10.36亿元, 占地面积约320亩, 分两期建设
<b>总计</b>	<b>26.55-31.55</b>		<b>截至2022年底产能0.37GW, 23年新增0.34GW, 24年新增3.6GW, 25年新增7.8GW</b>	

资料来源: 各公司公告、各公司官网、各公司公众号、北极星光伏网、华安证券研究所整理



## 3.3 钙钛矿产能测算

钙钛矿产能不完全统计 (GW)

	2022	2023E	2024E	2025E	2026E
协鑫光电	0.1	0.1	0.1	1.1	6.1-11.1
杭州纤纳	0.1	0.1	1.1	3.1	3.1
极电光能	0.15	0.15	1.15	4.15	10
众能光电	0.0003	0.0003	0.2	0.2	0.2
万度光能			0.2	2	10
大正微纳	0.01	0.11	0.11	0.11	0.11
仁烁光能	0.01	0.15	0.15	0.15	1.15
无限光能			0.1	0.1	0.1
杭州鑫磊半导			1	1	1
合特光电 (杭萧钢构子公司)		0.1	0.1	0.1	0.1
宝馨科技			0.1	0.1	1
钙钛矿产能总计	0.37	0.71	4.31	12.11	32.86-37.86

资料来源：各公司官网，各公司微信公众号，北极星太阳能光伏网，华安证券研究所整理

注1：众能光电、大正微纳、无限光能、鑫磊半导及合特光电在2025年后暂无规划

注2：合特光电在建钙钛矿/晶硅叠层电池中试线，宝馨科技将完成钙钛矿-异质结叠层电池实验线

## 3.4 钙钛矿产业化挑战及应对

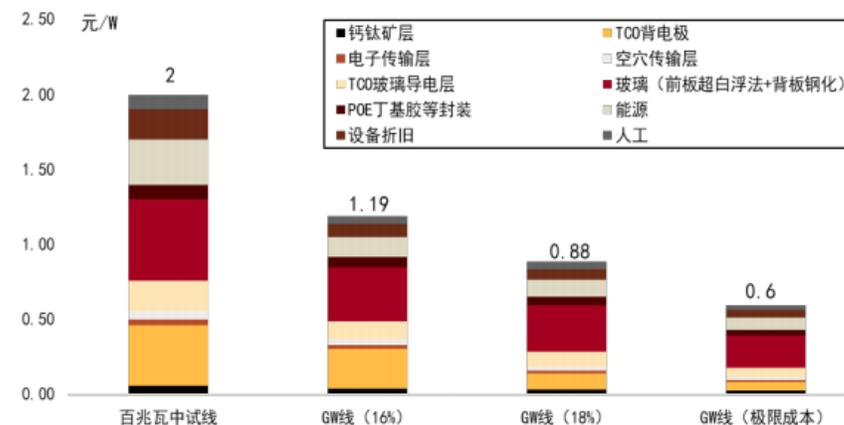
钙钛矿材料稳定性、大幅面制备及高效率是钙钛矿商业化的主要瓶颈，学术界和产业界正在针对性的解决。光伏始终是降本为导向，因此钙钛矿的发展方向也将沿着安全稳定地提效降本去突破。

钙钛矿产业化挑战梳理

方向	进展	应对方法
稳定性	纤纳α组件已顺利通过IEC61215、IEC61730稳定性全体系认证。更多稳定性的数据仍待积累与验证。由于钙钛矿材料受水氧、温度、紫外光等等不利因素影响，稳定性仍需行业获得更多量产数据。	在材料体系、后处理、封装等方面提高稳定性等
大幅面	协鑫光电选取1m*2m幅面，其他企业的幅面不一，现阶段大幅面带来效率降低。晶硅219尺寸66片组件版型尺寸为2.4*1.3m，钙钛矿大幅面制备然后激光切割串联为其成本优势的一大来源，因此在大幅面与高效之间如何获得平衡是一大挑战。	提高制备及结晶均匀性，稳定大幅面的良率及效率等
高效率	实验室效率不断突破，协鑫光电以18%左右为近期的大幅面效率目标。效率提升将带来电池成本大幅下降，而钙钛矿材料的优势之一即为效率天花板高。	材料体系改善，优化组件设计等
低成本	按照目前头部企业中试线情况测算，钙钛矿单瓦总成本约2元/W，远期极限成本有望降至0.6元/W上下	提高效率、寿命、产能利用率、良率，规模化降低材料及设备成本



不同情况下钙钛矿成本拆分



资料来源：全球光伏、华安证券研究所

资料来源：纤纳光电官网、全球光伏、中国电力网、华安证券研究所整理

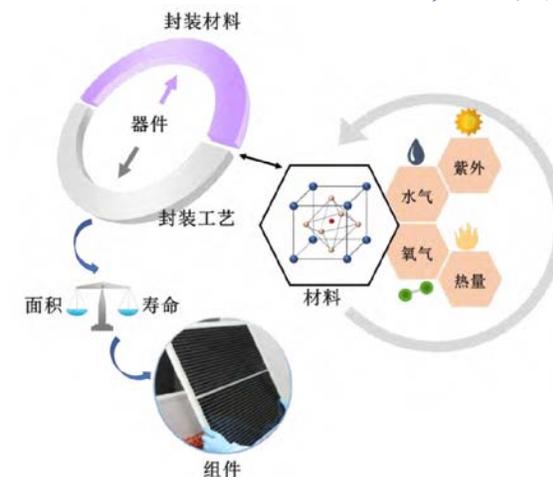
## 3.4 钙钛矿产业化的挑战及应对——稳定性

### 钙钛矿太阳能电池稳定性的影响因素及机理

影响因素	影响机理
水氧	H <sub>2</sub> O的存在, CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> 薄膜会逐步分解
温度	CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> 在100°C下加热20min会分解为PbI <sub>2</sub> 、CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> 和HI。不同温度下, 钙钛矿所形成的晶体结构不同, 相的转变会改变钙钛矿材料的带隙结构, 进而影响材料的稳定性。除此之外, 温度也会引起钙钛矿材料形貌发生变化。
光照	光照对钙钛矿材料稳定性的影响难以避免且更为复杂, 包括光照引起钙钛矿材料的分解、材料的相变和材料内部的分相等。
传输层和电极材料	1. 正式结构中通常选择氧化钛、氧化锌和一些掺杂金属氧化物作为电子传输材料。在光照情况下TiO <sub>2</sub> 和ZnO会产生光生空穴并催化分解钙钛矿材料, 而且酸性ZnO具有腐蚀作用, 加速钙钛矿材料的分解和器件的老化。 2. Spiro-OMeTAD是一种广泛应用的空穴材料, 但钙钛矿材料中的I <sup>-</sup> 扩散进入到Spiro-OMeTAD之后, 会降低其电荷传输性能。 3. 现阶段最常用的电极材料为金、银、铝等。金属原子可以通过扩散作用进入到钙钛矿层中, 引起钙钛矿材料发生分解, 而且光伏效应所形成的内建电场会加剧原子的扩散。钙钛矿材料中的卤素离子, 也会扩散到金属电极, 并造成电极材料的腐蚀。
离子迁移	与半导体硅材料不同, 有机-无机杂化钙钛矿材料具有明显的离子特性, 容易发生离子迁移, 可以导致点缺陷或杂质的聚集, 改变薄膜的电学性质。

资料来源: 《钙钛矿太阳能电池稳定性研究进展及模组产业化趋势》、华安证券研究所

### 钙钛矿太阳能电池稳定性的影响因素

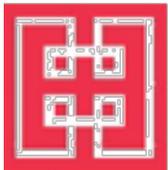


资料来源: 《钙钛矿太阳能电池的性能优化及稳定性研究》、华安证券研究所

### 提高钙钛矿太阳能电池稳定性的方法

提高稳定性方法	具体方法
提升器件内部稳定性	<b>提升钙钛矿材料的稳定性:</b> (1) 混合阳离子和卤化物阴离子钙钛矿材料 (2) 有机聚合物或无机物掺杂的钙钛矿复合材料 (3) 二维-三维钙钛矿复合材料。
	<b>优化传输层材料:</b> 如在反式结构中, 用薄层的Ti层取代电子传输材料, 设计出ITO/PTAA/MAPbI <sub>3</sub> /Ti/Cathode结构的器件等。
	<b>优化电极材料:</b> 如用Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Cr取代Ag作为钙钛矿电池的电极材料等。
	增加缓冲层, 优化器件结构等: 在电子、空穴传输材料一侧增加缓冲层。
后处理工艺	例如: 用硫氰酸胍和氯化甲胺作为后处理剂, 钝化钙钛矿表面和晶界中的缺陷。
利用封装工艺	为降低环境因素的影响, 合适的封装材料和工艺是提高稳定性必不可少的。常用的封装材料为玻璃基板、EVA塑料、POE塑料和丁基胶等。

资料来源: 《钙钛矿太阳能电池稳定性研究进展及模组产业化趋势》、华安证券研究所



## 目录

1 钙钛矿简述——第三代光伏材料

2 钙钛矿优势——降本提效潜力巨大

3 钙钛矿产业化现状——从0-1过程中，机遇与挑战并存

4 钙钛矿设备梳理——空间广阔，百花齐放

5 投资逻辑及标的梳理

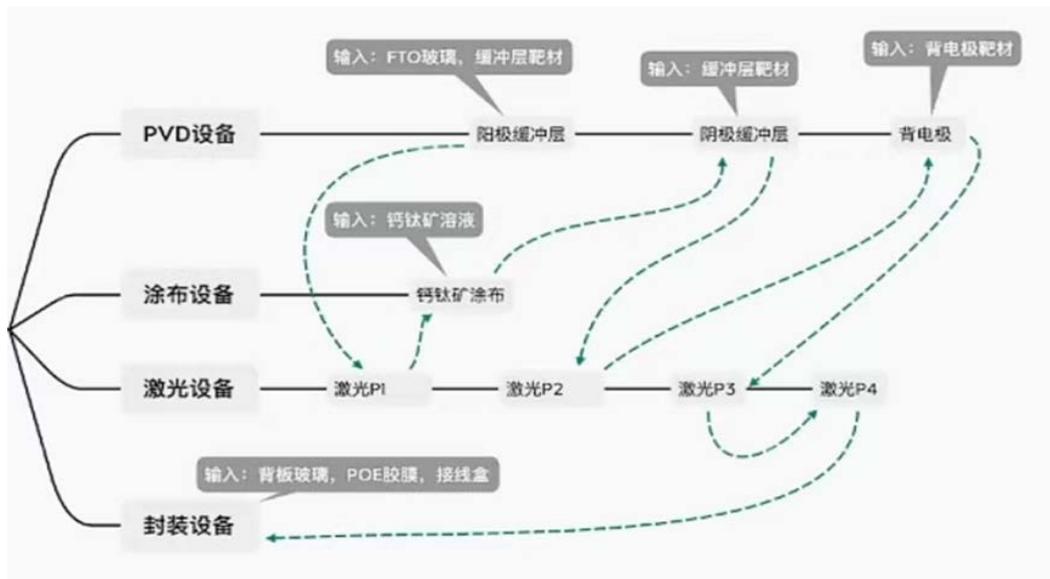
6 风险提示



## 4.1 钙钛矿生产工艺

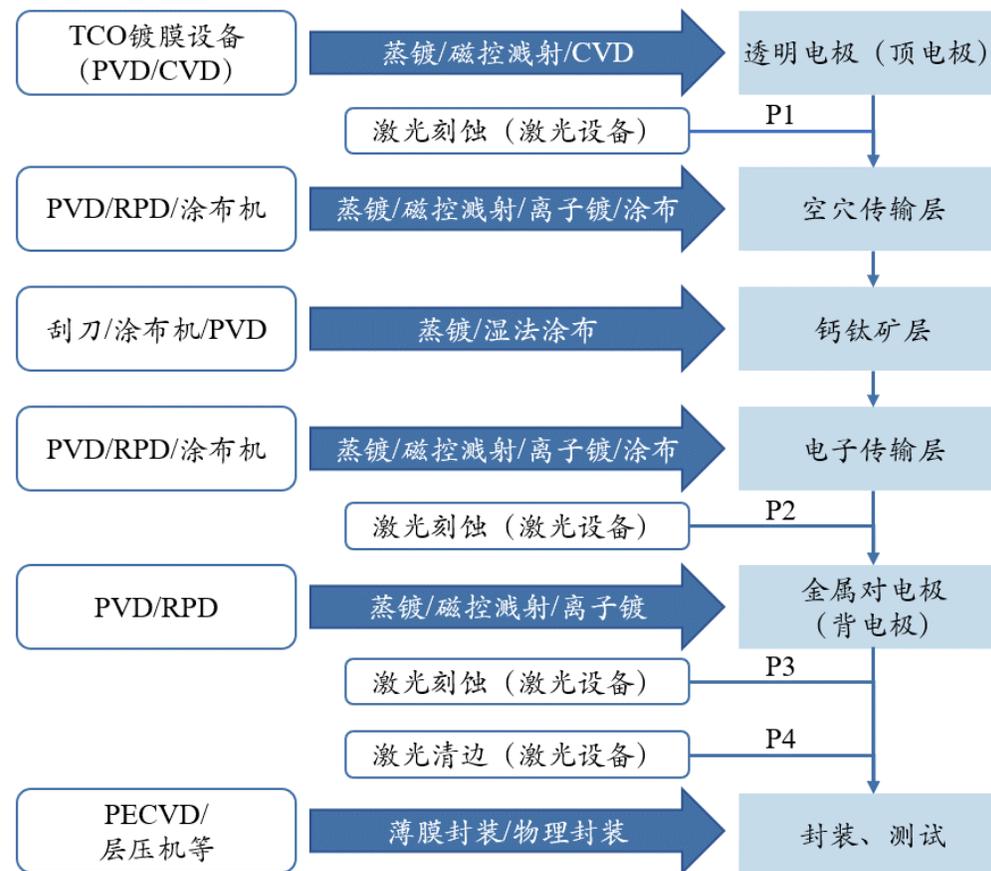
► 协鑫光电正计划启动100MW的钙钛矿电池产线，从公布的工艺流程图看，整个工艺需要9步，钙钛矿组件产线主要设备分为四部分：PVD设备、涂布设备、激光设备及封装设备。其生产工艺包括制备空穴传输层、钙钛矿层、电子传输层、电极及激光划线等部分。

协鑫钙钛矿工艺流程图



资料来源：赶碳号科技公众号、华安证券研究所

钙钛矿电池制备流程及相应设备（平面反式）



资料来源：立鼎产业研究网、华安证券研究所整理

## 4.2 钙钛矿设备空间测算

▶ 目前还没有钙钛矿GW级产线设备招标，所以参考协鑫100MW产线的设备投资额进行测算，整条产线造价1.2亿元，纯设备不含厂房装修。我们假设镀膜设备占比70%，涂布设备占比10%，4台激光设备一共占比10%，封装及自动化、检测设备占比10%，测算得到：截至2026年钙钛矿设备空间共164.3-189.3亿元，2026年钙钛矿设备市场空间预计103.75-128.75亿元。

### 钙钛矿主要环节设备空间测算

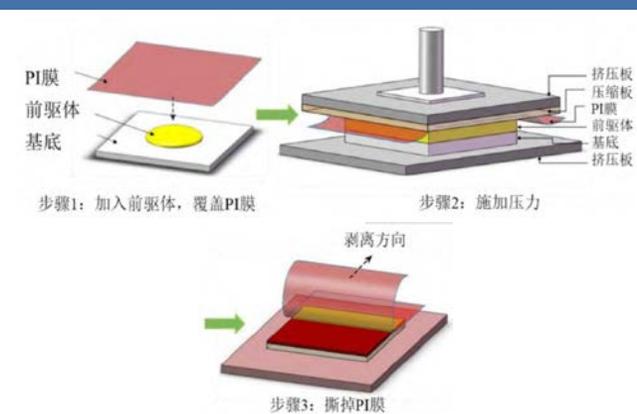
	2022	2023E	2024E	2025E	2026E
钙钛矿产能合计 (GW)	0.3703	0.7103	4.31	12.11	32.86-37.86
钙钛矿新增产能 (GW)		0.34	3.5997	7.8	20.75-25.75
单GW设备投资额 (亿元/GW)		12	9	6	5
钙钛矿设备总市场空间 (亿元)		8.5236	38.79	72.66	164.3-189.3
钙钛矿设备新增市场空间 (亿元)		4.08	32.40	46.80	103.75-128.75
新增设备中:					
镀膜设备 (亿元)		2.86	22.68	32.76	72.625-90.125
涂布设备 (亿元)		0.41	3.24	4.68	10.375-12.875
激光设备 (亿元)		0.41	3.24	4.68	10.375-12.875
封装及自动化、检测设备 (亿元)		0.41	3.24	4.68	10.375-12.875

资料来源：协鑫光电官网，华安证券研究所测算

## 4.3 钙钛矿层生产方法及设备

- **钙钛矿光吸收层**：位于中心位置，吸收能量高于其带隙的光子并在该层生成载流子对。目前最常见的钙钛矿层材料为甲胺碘化铅（MAPbI<sub>3</sub>）和甲脒碘化铅（FAPbI<sub>3</sub>）
- 在早期研究阶段，传统器件薄膜制备的一步旋涂法最早应用，而后在此基础上开发出一步反溶剂法。同时还有两步旋涂法（相互扩散法）制备钙钛矿薄膜。但他们制备出的钙钛矿薄膜往往是小面积的。
- 刮刀涂布和狭缝涂布法是目前产业化应用较多的工艺，而热蒸法是硅/钙钛矿叠层电池比较主流的工艺。目前，钙钛矿薄膜的产业化制备技术可分为四大类：
  - 软膜覆盖法
  - 溶液涂布法：由涂布装置带动钙钛矿前驱体溶液在基底上相对运动，由液体的表面张力和基底接触形成一层均匀薄膜
  - 通过在喷头内部施加压力的方法将钙钛矿前驱体溶液从喷头内挤出并在基底上成膜的方法
  - 基于固态材料的气象沉积技术

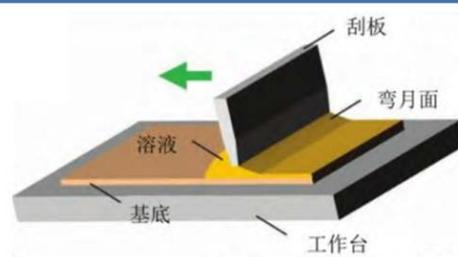
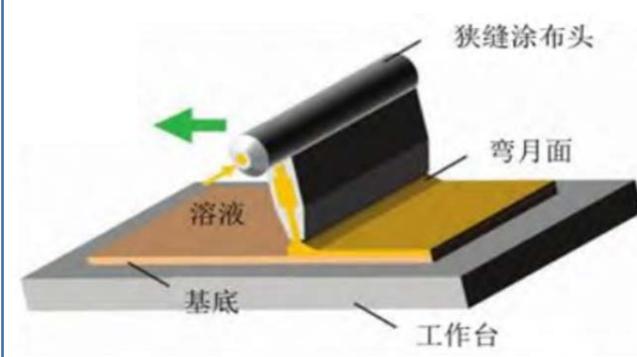
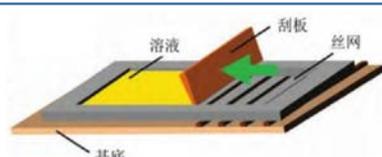
大面积钙钛矿薄膜制备技术对比

方法种类	具体方法	工艺简述	优点	缺点	图示
软膜覆盖法	软膜法	不依赖于常见的溶剂，也不需要真空环境。在压力下用聚酰亚胺膜（PI）覆盖的方式将胺络合物前驱体快速转化为钙钛矿薄膜	无针孔且高度均匀，器件迟滞较小。可以在低温空气下进行，便于大面积钙钛矿器件的制备，无需溶液	材料利用率低，生产效率低	 <p>PI膜 前驱体 基底</p> <p>步骤1：加入前驱体，覆盖PI膜</p> <p>挤压板 压缩板 PI膜 前驱体 基底 挤压板</p> <p>步骤2：施加压力</p> <p>剥离方向</p> <p>步骤3：撕掉PI膜</p>

资料来源：《钙钛矿太阳能电池稳定性研究进展及模组产业化趋势》、华安证券研究所整理

## 4.3 钙钛矿层生产方法及设备

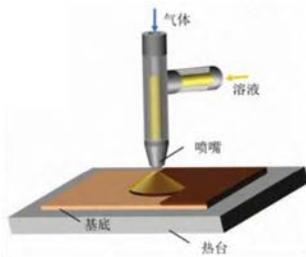
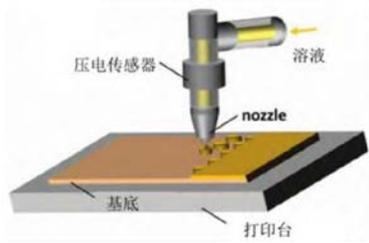
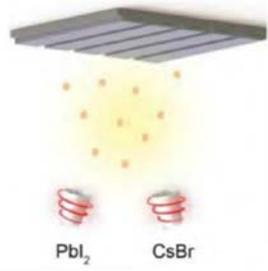
大面积钙钛矿薄膜制备技术对比

方法种类	具体方法	工艺简述	优点	缺点	图示
基于溶液涂布法	刮刀涂布法	利用刮刀将钙钛矿前驱体溶液分散到基底上，所制备钙钛矿薄膜的厚度由前驱体溶液浓度、刮板与基底缝隙宽度和刮涂的速度决定。	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差	
	狭缝涂布法	通过控制系统进行狭缝宽度、移动速度和输液速度的调整，对薄膜质量进行更精细化调控。	可以将溶液密封在储液罐中，既能够提高溶液利用率，又能保证溶液浓度的统一和减少对操作人员的影响。易于大面积制备，生产效率较高	对设备精确度要求较高	
	丝网印刷法	通过丝网的数目和厚度调整制备薄膜的厚度，对丝网制备要求较高	易于大面积制备，涂覆过程简单	溶液利用率低，对丝网精度要求较高	

资料来源：《钙钛矿太阳能电池稳定性研究进展及模组产业化趋势》、华安证券研究所整理

## 4.3 钙钛矿层生产方法及设备

大面积钙钛矿薄膜制备技术对比

方法种类	具体方法	工艺简述	优点	缺点	图示
由喷头内的压力带动钙钛矿前驱体溶液喷出，在基底上形成一层薄膜	喷涂法	喷涂法中常用的喷头有高压气喷头和超声喷头。	易于大面积制备，喷涂过程简单	溶液利用率低，可重复性较差	
	喷墨打印法	利用喷头内部压电材料形变将溶液挤出，按照预设程序进行相对运动，可以按要求制备不同图案。	避免了制版的过程，提高了钙钛矿原料的利用率。材料利用率高，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	
基于固态材料的气象沉积技术	气相沉积法	在真空环境下，通过蒸镀的方法制备钙钛矿薄膜。	相对于溶液法制备，气象沉积的方法可以通过控制蒸发源，精确调控钙钛矿中各组分化学计量比，并且可以保证薄膜的均一性。薄膜质量较高，可精准调控	真空气相沉积需要使用价格高昂的真空设备，而且需要较久的抽真空时间。生产效率低，成本高	

资料来源：钙钛矿太阳能电池稳定性研究进展及模组产业化趋势、华安证券研究所整理



## 4.4 钙钛矿层制备工艺的专利布局

制备工艺	布局公司						
旋涂机 (实验室级别)	协鑫光电	纤纳光电	无限光能		众能光电		大正微纳
狭缝涂布机	协鑫光电	纤纳光电	无限光能	极电光能		万度光能	
刮刀涂布机	协鑫光电	纤纳光电					
喷涂机	协鑫光电	纤纳光电					
CVD		纤纳光电		极电光能			
丝网印刷机					众能光电	万度光能	
热蒸镀机	协鑫光电	纤纳光电	无限光能	极电光能			

资料来源：中国粉体网，华安证券研究所整理

\*图表为国内主要钙钛矿企业的不完全统计

## 4.5 钙钛矿其他层生产方法及设备

- **电子传输层**：通常为TiO<sub>2</sub>、SnO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等金属氧化物和一些有机物材料。可以用PVD（蒸镀、磁控溅射、离子镀）或涂布方法制备。在反式结构中，用RPD沉积电子传输层以减少PVD高能量对钙钛矿层的损伤。
- **空穴传输层**：目前最常用的空穴传输层材料主要可分为以Spiro-OMeTAD、PTAA、PDPPDBTE等为代表的有机类材料，和以NiO、CuI、CuSCN、CuO、Cu<sub>2</sub>O等为代表的无机类材料。也可以用PVD（蒸镀、磁控溅射、离子镀）或涂布方法制备。
- **透明电极层**：通常是N型氧化物半导体氧化铟锡（简称为ITO）或者掺杂F的SnO<sub>2</sub>（简称为FTO）。TCO玻璃基板可以直接采购，或在玻璃基底上采用PVD制备透明导电层，较为成熟。
- **背电极层**：通常是Au、Ag、Al等导电金属，一般通过热蒸镀法或磁控溅射法制备得到。
- **钝化或连接层**：ALD

用于封装用的氧化铝致密层；如金属电极替换成ITO，ITO使用溅射工艺，那么在电子传输层和ITO之间需要插入一层致密的氧化锡，这一层用ALD做合适。（单结钙钛矿）  
晶硅和钙钛矿连接位置需要一层ITO，这一层ITO用ALD做，上方会有一层氧化锡溅射。（钙钛矿-晶硅叠层）

电子传输层、空穴传输层制备技术对比

类型	镀膜方法	优点	缺点
物理气相沉积	蒸镀	工艺成熟，设备较完善，低熔点金属蒸发效果高	1. 被覆基件的蒸气压不能太高，零件大小受到真空槽大小的限制 2. 蒸发的原子沿直线飞行，隐蔽的部位不能被镀覆 3. 为了增加镀层结合力，蒸镀过程中零件必须加热
	磁控溅射	减小了电子冲击基板发热造成的恶劣影响，同时有效地利用了气体的离子化。沉积速率高、基片的温升低、对膜层的损伤小	1. 设备结构的复杂 2. 靶材利用率低下 3. 等离子轰击会造成电池性能下降或不稳定
	离子镀	1. 膜层与基体的结合力好，通常无需光饰加工， 2. 膜层厚度很均匀，沉积膜层纯度很高 3. 被镀基体材料和镀层材料可广泛搭配	基板必需是导电材料，并且镀膜时基板的温度会升高到摄氏几百度 不适宜沉积厚度均匀的大面积薄膜
溶液法	涂布	易于大面积制备，具有性价比优势，效率高于蒸镀法	1. 膜层质量（化学一致性）仍有待提高 2. 设备、工艺均尚需完善

资料来源：《现代表面处理新工艺》、华安证券研究所整理

## 4.6 钙钛矿-激光为标配设备，精度要求提高

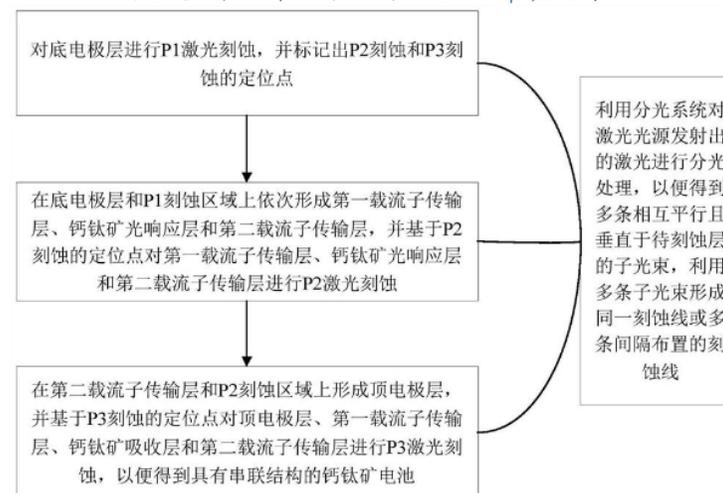
➢ 激光工艺涉及到整个钙钛矿薄膜电池的制备流程，功能重要度较高。激光设备精度提升可以有效减小死区面积。根据极电光能专利：

- ✓ P1:通过对底电极层进行P1激光刻蚀，并标记P2刻蚀和P3刻蚀定位点；
- ✓ P2:形成第一载流子传输层、钙钛矿光响应层和第二载流子传输层并基于P2刻蚀定位点进行P2激光刻蚀；
- ✓ P3:形成顶电极层并基于P3刻蚀定位点进行P3激光刻蚀，得到具有串联结构的钙钛矿电池组件。

➢ P1激光刻蚀、P2激光刻蚀和P3激光刻蚀中分别独立地利用分光系统对激光光源发射出的激光进行分光处理，以得到多条相互平行且垂直于待刻蚀层的子光束，同时可结合聚焦刻蚀工艺利用多条子光束形成同一刻蚀线或多条间隔布置的刻蚀线。

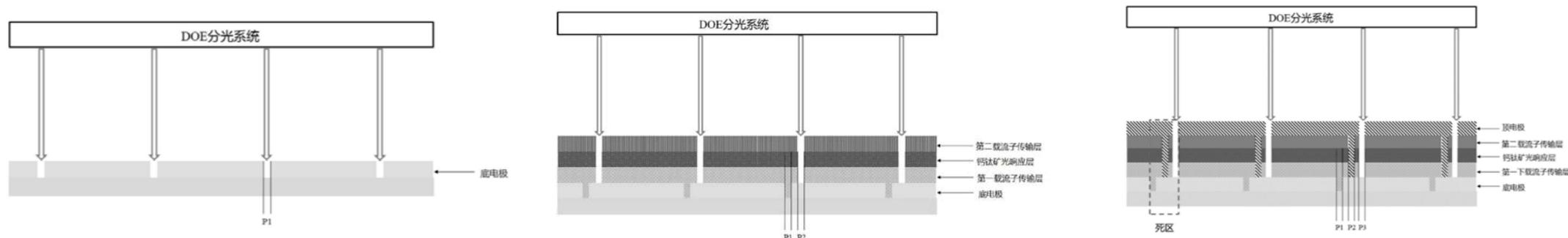
➢ 钙钛矿激光刻蚀是0.3-0.5微米的级别，加工精度的要求更高，以达到精确控制P1、P2和P3线的线宽，降低钙钛矿电池的死区面积，提高光电转换效率，简化刻蚀工艺，提高生产效率的效果。

### 激光刻蚀在钙钛矿电池中应用

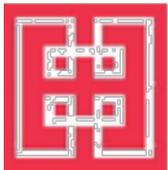


资料来源：极电光能《制备钙钛矿电池的方法及其用途》、华安证券研究所整理

### 激光刻蚀P1-3步骤图示



资料来源：极电光能《制备钙钛矿电池的方法及其用途》、华安证券研究所整理



## 目录

1 钙钛矿简述——第三代光伏材料

2 钙钛矿优势——降本提效潜力巨大

3 钙钛矿产业化现状——从0-1过程中，机遇与挑战并存

4 钙钛矿设备梳理——空间广阔，百花齐放

5 投资逻辑及标的梳理

6 风险提示





## 5.1 投资逻辑

### ➤1.重视产业进度带来的整体行情催化:

钙钛矿产业在大幅面、稳定性、量产效率三个方向的平衡值得关注，三方面的突破都将有望助力产业化进程的推进，也为钙钛矿产业投资带来行情催化。

### ➤2.重视钙钛矿在材料端的多样性，重视先发优势:

区别于晶硅材料体系趋于成熟，钙钛矿电池不论空穴、电子传输层或钙钛矿层，材料体系都在不断研发和改进过程中，材料体系的不断创新要求靶材、设备等与之进行匹配。因此，重视和下游合作的紧密程度，能够和下游研发进度配套改进的供应商，将有望获得更大的先发优势。

### ➤3.重视更具确定性的赛道:

钙钛矿的材料体系的科研属性，决定了设备及材料的不同选择具备不确定性，重视确定性更高的赛道，如TCO导电玻璃、激光设备赛道，在不同的材料体系中均有应用，更容易产生具备产业粘性及明确先发优势的上游公司。



## 5.2 产业链公司梳理——材料相关公司

膜层	公司名称	股票代码	业务布局情况
导电玻璃	金晶科技	600586.SH	2021年金晶在太阳能领域完成了超白TCO镀膜玻璃基片的研发，在高透过率基片基础上相继开发成功3.2mm和2.65mm超白TCO导电玻璃。2022年10月，公司与杭州纤纳光电签订战略合作协议，纤纳未来若每增加1GW的钙钛矿电池产能规划，在双方达成共识的情况下，金晶需配套不低于500万平米/年TCO玻璃产能。同时，同等条件下纤纳当选择金晶作为主要供应商。
	耀皮玻璃	600819.SH	其收购的AGC产线具备TCO玻璃生产能力，目前三条产线，国内大概率可以出货，国内钙钛矿部分研发项目使用耀皮的TCO玻璃。
	亚玛顿	002623.SZ	公司主要经营太阳能用镀膜导电玻璃和常压及真空镀膜玻璃产品、节能与微电子用玻璃及太阳能新材料产品、太阳能电池组件及系统集成产品的制造和销售。 公司2022年12月，与晶澳签订光伏玻璃的《战略合作协议》，合同销售量合计2.76亿平米，预估合同总金额约60亿元人民币。（产品规格以双玻为主）。
靶材	阿石创	300706.SZ	公司产品，如TiO <sub>2</sub> 、ITO、AZO、NiO等各类单质或者氧化物靶材，可以应用于电极、电子层、空穴层等结构。
	隆华科技	300263.SZ	22年开始，公司正式为钙钛矿核心厂商协鑫光电、极电光能等提供靶材，并配合隆基推进钙钛矿电池的研发测试。2022年9月公司钙钛矿电池用靶材处于供货测试阶段。
POE胶膜	福斯特	603806.SH	公司主营光伏胶膜、光伏背板等光伏封装材料产品，布局覆盖了透明EVA胶膜、白色EVA胶膜、POE胶膜等。 2019年公司公开发行可转债，用于“年产2.5亿平方米白色EVA胶膜技改项目”、“年产2亿平方米POE封装胶膜项目（一期）”等项目。 2022年11月，公司再次发行可转债，募资投建“年产2.5亿平方米高效电池封装胶膜项目”。
	赛伍技术	603212.SH	公司光伏材料业务包括POE封装胶膜（含EPE胶膜）、EVA封装胶膜（含EVA白膜）等，形成了光伏组件的高分子材料解决方案。2020年，公司封装胶膜产品实现销售6,724.67万平方米，在光伏POE封装胶膜市场的占有率约为17.5%。2021年10月，公司募资7亿元，建设年产25,500万平方米太阳能封装胶膜项目。
	百佳年代	申报上市	公司核心业务为光伏胶膜产品的研发、生产和销售，主要产品为透明EVA胶膜、POE胶膜、EPE胶膜、TPO胶膜等。2023年1月公司发布招股说明书，计划募投“年产2.6亿平方米光伏胶膜项目”、“年产8800万平方米光伏胶膜项目”及“研发中心改造项目”。
	海优新材	688680.SH	公司主要为新能源行业中的光伏产业进行配套，主要产品包括透明EVA胶膜、白色增效EVA胶膜、POE胶膜及其他高分子胶膜等。2022年，公司定向增发，募投资金建设“年产2亿平米光伏封装材料生产建设项目（一期）”和“上饶海优威应用薄膜有限公司年产20,000万平光伏胶膜生产项目（一期）”。

资料来源：各公司官网、各公司公告、各公司微信公众号，华安证券研究所整理



## 5.2 产业链公司梳理——镀膜设备

公司	布局情况
京山轻机 (000821.SZ)	苏州晟成光伏设备有限公司为京山轻机全资控股子公司。公司PVD用于沉积电子传输层或空穴传输层、团簇型多腔蒸镀设备用于钙钛矿电池制备过程中钙钛矿材料及金属电极材料的蒸镀、ITO玻璃清洗机用于TCO镀膜/背板玻璃表面的洁净化清洗，是目前上市公司中在钙钛矿设备领域布局较为全面的企业之一。 公司推出的PVD溅射设备已成熟，蒸镀设备也已实现多个客户的出货，公司与高校合作开发的空腔式ALD设备正在客户端验证。
捷佳伟创 (300724.SZ)	2022年获得某央企研究院的钙钛矿低温低损薄膜真空沉积设备订单，以及某国家科学院的反应式等离子镀膜设备订单。而后自主研发的钙钛矿共蒸法真空镀膜设备成功中标某全球头部光伏企业的钙钛矿电池蒸镀设备项目。 钙钛矿太阳能电池生产的关键量产设备“立式反应式等离子体镀膜设备”(RPD)通过厂内验收，将发运给客户投入生产。钙钛矿整线设备处于研发阶段。
奥来德 (688378.SH)	2022年11月，公司拟使用超募资金4900万元投资建设钙钛矿结构型太阳能电池蒸镀设备的开发项目（计划投资额2900万元，建设周期20个月）和低成本有机钙钛矿载流子传输材料和长寿命器件开发项目（计划投资额2000万元，建设周期20个月） 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，布局钙钛矿专用蒸镀设备以及空穴传输层材料
微导纳米 (688147.SH)	公司积极响应下游厂商XBC电池结构的开发和优化需求，并根据下游厂商在HJT电池、钙钛矿叠层电池等其他新型高效电池的量产节奏完善相关的技术储备和产品。截止目前，公司已取得了XBC电池、钙钛矿异质结叠层电池订单。
弗斯迈	提供钙钛矿光伏整线解决方案，包括前道电池生产线和后道组件封装生产线，在钙钛矿镀膜环节，公司拥有真空溅射镀膜设备。同时公司还拥有清洗机、狭缝涂布机及激光划线设备，具备整线供应能力。
众能光电	众能光电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、激光刻蚀机、真空蒸镀机、磁控溅射机、PECVD和SALD等。同时众能光电拥有层压机、等离子增强化学气相沉积系统(PLAD)设备可以用于封装。
四盛科技	集真空设备(如真空镀膜机等)研发、销售、生产和服务于一体的较大型专业化公司，主要产品有光学镀膜机、卷绕镀膜机、磁控溅射镀膜机等
湖南红太阳	2022年7月，公司首台钙钛矿用PVD及ALD镀膜设备已顺利发往某一线光伏企业。在获得某光伏龙头企业、某中央研究院和多个研发中心的钙钛矿订单后，2022年11月，公司自主研发的钙钛矿磁控溅射镀膜设备又一次完成出货，顺利交付给国内某一线光伏企业技术研发中心。
宏大真空	公司是一家真空镀膜解决方案提供商，其主要产品涉及较多种类镀膜设备，包括双室/三室/四室及多腔室磁控溅射镀膜设备(PVD)。
合肥欣奕华	2022年11月，公司研发的用于钙钛矿太阳能电池生产的关键量产设备Inline钙钛矿真空镀膜机，已交付国内钙钛矿产业知名公司投入生产。这是国内首台全自主研发面世的大尺寸钙钛矿真空镀膜机
科晶智达	提供钙钛矿太阳能电池制备的全套方案，在钙钛矿镀膜环节配有旋转涂布机、蒸镀仪、钙钛矿镀膜机等设备。

资料来源：各公司官网、各公司公告、各公司微信公众号，华安证券研究所整理



## 5.2 产业链公司梳理——涂布设备

公司	布局情况
德沪涂膜	深耕狭缝涂布设备，供应协鑫100MW量产线。截至2022年12月，我国已建和在建的500MW试量产线（钙钛矿功能层使用狭缝涂膜制备）核心涂膜设备供货中，德沪涂膜狭缝涂布设备0.6m×1.2m和1m×2m供货达350MW，市占率70%。
众能光电	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、激光刻蚀机、真空蒸镀机、磁控溅射机、PECVD和SALD等。已对外销售刮涂/涂布一体机、磁控溅射、热蒸发镀、ALD和激光刻蚀机等工艺单机以及光伏组件整线近100台套。
大正微纳	成立于2018年，是一家专业从事新型钙钛矿薄膜太阳能电池组件以及相关精密设备制造的领军型、国家高新技术企业，拥有DieGate狭缝涂布机mini系列等狭缝涂布设备。
曼恩斯特	公司产品主要包括高精密狭缝式涂布模头和涂布设备，此外还有相应配件、涂布模头增值与改造。在钙钛矿领域，公司产品终端客户为纤纳光电。（申报上市）
美国nTact	电子级狭缝涂布的原始开发者，具有超过30年的开发经验；拥有许多大面积面板涂膜的原始专利。现为全球最大钙钛矿涂膜设备供应商，具有钙钛矿材料狭缝涂膜的丰富经验和Know-how，可提供研发、中试、量产制备钙钛矿电池Turn-keySolution全套设备方案。
日本东丽	为国内已建和在建的试量产线供货150MW，市占率占30%。公司可提供特有涂布技术的狭缝涂布机。

资料来源：各公司官网、各公司公告、各公司微信公众号，华安证券研究所整理



## 5.2 产业链公司梳理——激光设备

企业	股票代码	设备	进展
帝尔激光	300776.SZ	钙钛矿电池激光设备	帝尔激光将交付用于TCO层、钙钛矿层、电极层的钙钛矿电池激光设备。
德龙激光	688170.SH	钙钛矿电池激光刻蚀设备	2020年推出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。
大族激光	002008.SZ	钙钛矿激光刻划设备	大族激光2022年8月在互动平台表示，公司在钙钛矿技术领域自主研发的钙钛矿激光刻划设备2015年已实现量产销售，大尺寸整线激光刻划设备已在钙钛矿头部企业交付。
迈为股份	300751.SZ	单结大面积钙钛矿电池激光设备	2021年为客户定制的单结大面积钙钛矿电池激光设备已交付、钙钛矿设备处于研发阶段。
杰普特	688025.SH	钙钛矿激光膜切设备	公司为江苏大正微纳科技有限公司定制的首套柔性钙钛矿膜切设备，通过验收并正式投入生产使用。
众能光电		钙钛矿激光划线刻蚀设备	2021年已出货钙钛矿激光划线刻蚀设备50台套。

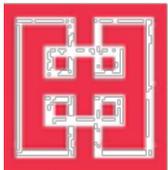
资料来源：各公司官网、各公司公告、各公司微信公众号，华安证券研究所整理



## 5.2 产业链公司梳理——封装设备

公司	布局情况
京山轻机 (000821.SZ)	公司和华中科技大学签订协议光伏原子镀膜技术合作。光伏原子镀膜技术在钙钛矿电池方向有诸多应用，如 $Al_2O_3$ 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 $SnO_2$ 、TCO等功能薄膜层等。
弗斯迈	提供钙钛矿组件自动化产线整体解决方案，拥有精确裁切覆膜设备、贴胶带设备。
众能光电	拥有层压机、等离子增强化学气相沉积系统（PLAD）设备可以用于封装。

资料来源：各公司官网、各公司公告、各公司微信公众号，华安证券研究所整理



## 目录

1 钙钛矿简述——第三代光伏材料

2 钙钛矿优势——降本提效潜力巨大

3 钙钛矿产业化现状——从0-1过程中，机遇与挑战并存

4 钙钛矿设备梳理——空间广阔，百花齐放

5 投资逻辑及标的梳理

6 风险提示





## 风险提示

- 1.钙钛矿产业化不及预期风险。钙钛矿稳定性、大面积制备等仍是制约产业化的瓶颈。若并未在预期时间内有效解决问题，钙钛矿产业化将推迟，相关公司布局进度、扩产及业绩将不及预期。
- 2.钙钛矿电池行业竞争加剧风险。
- 3.政策变动风险。
- 4.测算市场空间的误差风险。
- 5.研究依据的信息更新不及时，未能充分反映行业最新状况的风险。

# 风险提示

## 重要声明

### 分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的执业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人对这些信息的准确性或完整性不做任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。报告中的信息和意见仅供参考。本人过去不曾与、现在不与、未来也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接接收任何形式的补偿，分析结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

### 免责声明

华安证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。本报告中的信息均来源于合规渠道，华安证券研究所力求准确、可靠，但对这些信息的准确性及完整性均不做任何保证。在任何情况下，本报告中的信息或表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。华安证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经华安证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如欲引用或转载本文内容，务必联络华安证券研究所并获得许可，并需注明出处为华安证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。如未经本公司授权，私自转载或者转发本报告，所引起的一切后果及法律责任由私自转载或转发者承担。本公司并保留追究其法律责任的权利。

## 投资评级说明

以本报告发布之日起6个月内，证券（或行业指数）相对于同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准，

A股以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克指数或标普500指数为基准。定义如下：

### 行业评级体系

增持—未来6个月的投资收益率领先市场基准指数5%以上；

中性—未来6个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至5%；

减持—未来6个月的投资收益率落后市场基准指数5%以上；

### 公司评级体系

买入—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数15%以上；

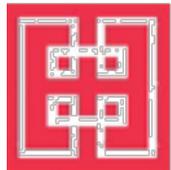
增持—未来6-12个月的投资收益率领先市场基准指数5%至15%；

中性—未来6-12个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至5%；

减持—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数5%至15%；

卖出—未来6-12个月的投资收益率落后市场基准指数15%以上；

无评级—因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。



华安证券  
HUAAN SECURITIES

证券研究报告

# 谢谢

了解更多研究成果和资讯

敬请关注华安证券研究



敬请参阅末页重要声明及评级说明