



高效光伏电池技术路线概述

技术布局百花齐放，高效电池产业化提速

【华西机械团队】

曾雪菲：SAC NO: S1120521100003

2022年6月26日

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

■ 光伏行业景气度高涨，技术百花齐放推动设备需求上升

- 平价上网和“双碳”政策共驱光伏行业景气度高涨。2021年我国光伏新增装机量54.88GW，同比高增13.9%，其中，分布式新增29.28GW，占比53.4%。根据CPIA预测，2022-2025年，我国年均新增光伏装机将达到83-99GW，全球光伏年均新增装机将达232-286GW。
- 目前PERC技术效率提升瓶颈已现，对高效电池片需求提升。TOPCon、HJT高效电池片技术路线逐渐成熟，且转换效率提升空间大，性价比优势逐渐显现，已逐步进入大规模产业化阶段。另外，IBC（或HBC/TBC等）、钙钛矿（叠层）电池也有望在未来成为明日之星。

■ 高效电池片呼之欲出，新老玩家持续加码

- 1) TOPCon电池：主要电池厂商包括晶科、中来、隆基、国电投、钧达、通威、晶澳等；设备端主要包括捷佳股份、金辰股份、京山轻机、拉普拉斯等。其中，捷佳、拉普拉斯等具备TOPCon整线设备交付能力。晶科能源TOPCon的实验室最高转换效率已达到25.70%。随着激光硼掺杂技术成熟及LPCVD/PECVD等关键设备逐步成熟，TOPCon电池转换效率提升仍有较大空间。
- 2) HJT电池：主要电池厂包括爱旭、通威、东方日升、阿特斯、晶澳、晋能、金刚玻璃、REC、梅耶博格等；设备厂商主要包括迈为、捷佳、金辰、京山轻机等。其中，迈为股份目前在HJT设备中占据较高市场份额。HJT电池目前成本较高，但降本增效路径明确。随着微晶、银包铜、铜电镀、SMBB、激光转印等技术取得突破及硅片薄片化、大尺寸化的推进，HJT电池成本有望得到大幅下降。
- 3) IBC电池：隆基、爱旭、普乐、天合、中来、晶澳、海润等均有相关技术储备。IBC可与TOPCon/HJT/PSCs组合，形成HBC/TBC/PSCs IBC。随着PECVD/LPCVD等关键设备在HJT和TOPCon电池生产应用中不断成熟，未来也有望助推IBC电池产业化。
- 4) 钙钛矿电池（PSCs）：天合光能、协鑫光电、东方日升、晶科能源、宁德时代等电池厂商已有布局。其中宁德时代PSCs中试线正在搭建中。设备端，捷佳RPD设备已获得客户中试线订单，京山轻机钙钛矿电池装备突破，光伏团簇型多腔式蒸镀设备量产交付。PSCs可与晶硅电池叠层，能显著提高转换效率，且不会增加过多投资成本，优势明显。

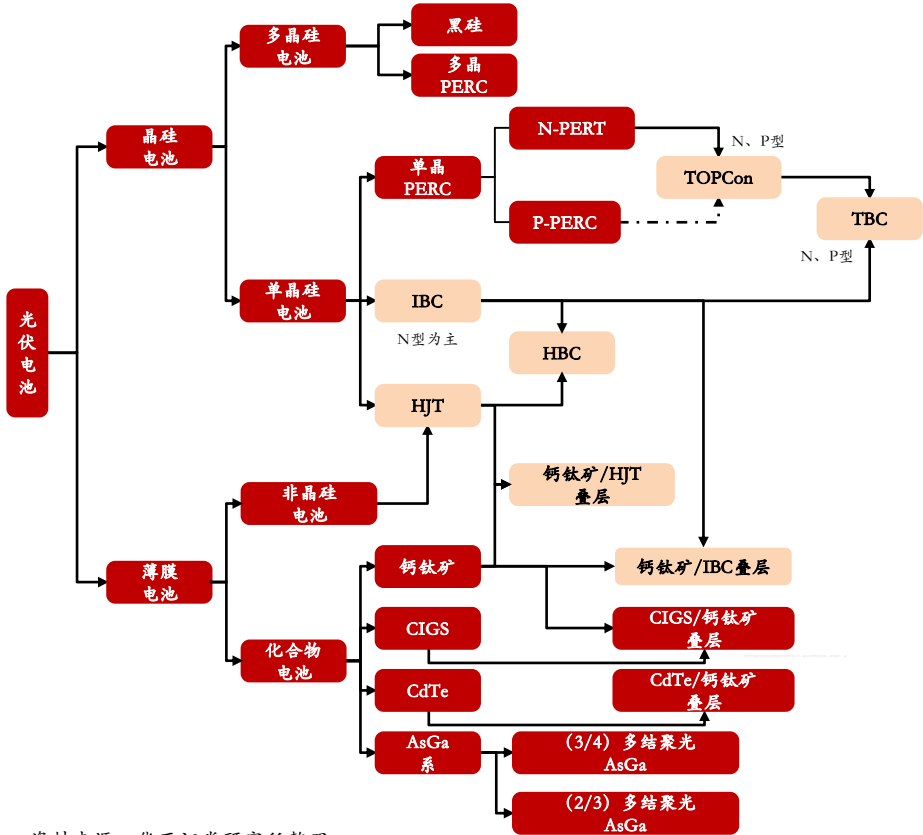
■ 投资建议

- 关注优质光伏电池设备上市公司：迈为股份、捷佳伟创、帝尔激光、海目星；其他受益标的如金辰股份、京山轻机等。

■ 风险提示

- 技术进步不及预期、下游扩产进度不及预期、行业竞争加剧、数据更新不及时的风险等。

电池技术路线及产能情况总览



资料来源：华西证券研究所整理

高效电池片目前布局情况（不完全统计）

| 单位：GW | TOPCon | | HJT | | XBC | 钙钛矿 |
|--------|--------|-------|------|-------------|-------|-------|
| | 已建 | 在建或待建 | 已建 | 在建或待建 | 规划或在建 | 规划或在建 |
| 隆基 | 0.1 | | | 1.2 | ✓ | ✓ |
| 晶科 | 16 | 8 | | | | ✓ |
| 晶澳 | 0.1 | 6.5 | 0.25 | | ✓ | |
| 天合 | 0.5 | 8 | | | ✓ | ✓ |
| 中来 | 1.5 | 16 | | | ✓ | |
| 通威 | 0.4 | | 1 | | | |
| 钧达（捷泰） | | 16 | | | | |
| 国电投 | 0.4 | | 0.1 | | ✓ | |
| 东方日升 | 0.5 | | 0.5 | 15（其中5GW在建） | | ✓ |
| 爱旭 | | | 0.25 | 0.60 | ✓ | |
| 爱康 | | | 0.22 | 6 | | |
| 华晟 | | | 2.7 | 4.8 | | |
| 尚德 | 2 | | | | | |
| 金刚玻璃 | | | 1.2 | 4.8 | | |
| 宁德时代 | | | | | | ✓ |
| 明阳智能 | | | | 10 | | |
| 宝馨科技 | | | | 18 | | |
| REC | | | 0.6 | 4.8 | | |

资料来源：公司公告，华西证券研究所整理 注：✓表示公司有技术储备或在建，空白部分不代表公司目前或未来没有已建或规划，实际情况以公司最新公告为准

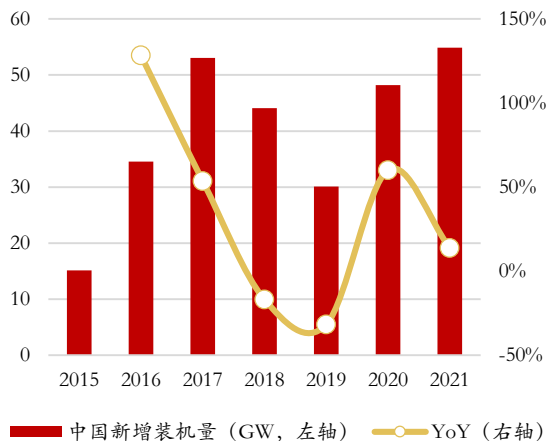


- 1 — 光伏行业景气度持续，高效电池片技术百花齐放
- 2 — 光伏电池制造中常用镀膜设备举例：CVD、PVD
- 3 — TOPCon：扩产潮已至，效率提升空间仍较大
- 4 — HJT：成本下降路径明确，技术层面突破在即
- 5 — IBC：具有巨大发展前景，可与其他技术结合
- 6 — 钙钛矿：叠层和成本优势显著，关注度日益提升
- 7 — 投资建议与风险提示

光伏行业景气度持续，高效电池片技术百花齐放

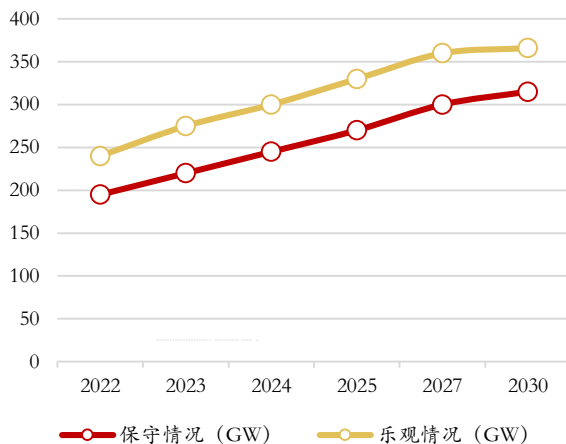
- 平价上网和“双碳”政策共驱光伏行业景气度高涨。2021年我国光伏新增装机量54.88GW，同比高增13.9%，其中，分布式新增29.28GW，占比53.4%。
- 根据CPIA预测，2022-2025年，我国年均新增光伏装机将达到83-99GW，全球光伏年均新增装机将达232-286GW。目前PERC技术效率提升瓶颈已现，对高效电池片需求提升。TOPCon、HJT高效电池片技术路线逐渐成熟，且转换效率提升空间大，性价比优势逐渐显现，已逐步进入大规模产业化阶段，IBC（或HBC/TBC等）、钙钛矿（叠层）等技术也有望成为明日之星。

图表：中国光伏新增装机量



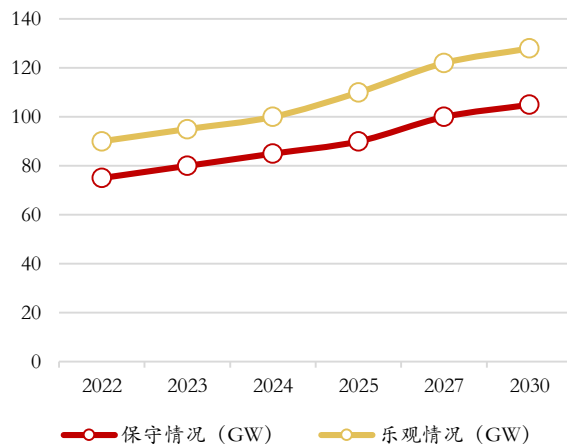
资料来源：CPIA，华西证券研究所整理

图表：全球装机量预测



资料来源：CPIA，华西证券研究所整理

图表：中国装机量预测



资料来源：CPIA，华西证券研究所整理

光伏行业景气度持续，高效电池片技术百花齐放

图表：光伏技术路线汇总

| 技术 | 特点 | 图例 |
|--------|--|---|
| PERL | <ul style="list-style-type: none">通过光刻和碱溶液腐蚀技术、制备倒金字塔绒面后，再覆盖双层减反射膜，降低电池表面光反射损失。电池前表面采用密细栅技术，可降低电池表面栅线遮光面积。采用选择性发射极技术，通过热生长SiO₂薄膜钝化电池的前表面和背面，并利用电接触背面金属结构和技术接触孔的重掺杂（n⁺或p⁺）钝化，降低电池表面复合速率。结合双面电池技术，在背面采用氧化层钝化隧道接触，从而获得较高转换效率。 |  |
| HJT | <ul style="list-style-type: none">结构对称，采用异质结结构，使电池具有较高开路电压。在异质结界面插入本征非晶硅薄膜，从而有效的钝化了电池表面，同时α-Si钝化层相对于SiNx或SiO₂带隙更宽；受光面是p-i型α-Si膜（厚度为5-10μm）。发射极采用宽带隙的非晶硅薄膜，在其上面再覆盖透明氧化物（TCO）薄膜，提高了电池的光透过率和电池表面的导电性。电池制造在200° C以下进行，使得硅片的载流子寿命不会因为制造过程中的高温烧结而降低。加之对称结构，可消除热量或成膜时所引起的硅片变型和热损伤，利于高效制作薄片。正反对称结构，能够有效吸收地面反射光，增加电池功率（提高6%-10%）。HJT电池温度依赖性优于常规电池，可在高温条件下使用。低温银浆其导电率远低于高温银浆，因此，银浆耗量是PERC电池的两倍左右。 |  |
| IBC | <ul style="list-style-type: none">为避免由电池前表面栅线造成的遮光损失，在前表面不设置电极栅线，pn结与正负极采用叉指形状排列于电池背面。电池背面采用扩散法形成p⁺和n⁺交叉间隔电极接触的高掺杂区，通过SiO₂隔离钝化膜上开孔，实现金属电极与发射区或基区的点接触连接，SiO₂膜兼具钝化作用，降低载流子复合速率。背接触结构还降低了电池串联电阻，改善了电池填充因子，提高光电转换效率。 |  |
| TOPCon | <ul style="list-style-type: none">量子隧穿效应（Quantum tunneling effect）指的是，像电子等微观粒子能够穿入或穿越位势垒的量子行为，尽管位势垒的高度大于粒子的总能量。借助隧穿效应，能让电子顺利通过，又可以阻止空穴的复合。采用薄氧化膜钝化接触，从而获得较高转换效率。并以高掺杂硅薄膜实现选择性接触，同时避免了背面氧化物钝化层的开孔工艺，降低了制造成本。 |  |
| 钙钛矿 | <ul style="list-style-type: none">所谓“钙钛矿”，指的是一类与钙钛矿（CaTiO₃）晶体结构类似的“ABX₃”化合物。其中A和B为阳离子，X为阴离子。发现半径在1.60Å和2.50Å之间的阳离子形成钙钛矿结构。当前的钙钛矿电池主要走柔性器件路线，也可以归类为一种薄膜电池，兼具半透明、色彩可调节的特点。可与HJT、IBC等叠加组成叠层电池，提高光电转换效率 |  |

光伏行业景气度持续，高效电池片技术百花齐放

- 受益于技术革新，迈为股份、捷佳伟创、金辰股份、京山轻机等上市公司纷纷布局高效电池片设备制造。非上市公司如钧石、理想、金石、拉普拉斯（连成数控参股）等也纷纷布局相关设备，并也取得较大突破。

图表：主要上市公司光伏电池片设备布局

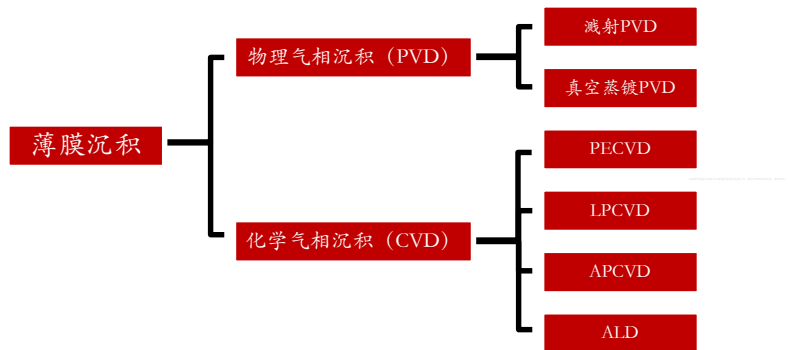
| 上市公司 | 技术路线 | 设备名称 | 用途 | 进度 |
|--------|--------|----------------|--|-------------------------------|
| 迈为股份 | HJT | 清洗制绒设备 | 消除杂质和机械损伤，同时在硅表面形成凹凸不平的组织 | |
| | | PECVD | 全自动完成双面镀膜、连续镀膜，RPS自清洗，产能高，无需行车 | |
| | | PVD | 连续完成正背面TCO镀膜，产能高、8个工艺单元(PU)提升了TCO镀膜工艺灵活性，无需行车，以获取批量订单，客户有通威、REC、华晟、阿特斯、金刚玻璃、爱康等 | |
| | | 丝网印刷 | 制备电极，平铺式固化，集成光注入 | |
| | | 整线 | 自主研发、实现整线设备国产化，其完整覆盖了异质结电池生产的四道工艺，通过大片化、薄片化、半片化制程，结合创新 i-in-p PECVD 工艺路线，集成整线 MES 智能系统 | |
| TOPCon | | 管式硼扩散炉 | 主要用于晶体硅太阳能电池制造中硅片的掺杂形成PN结 | 已成功交付客户量产运行 |
| | | 管式PECVD设备 | 主要用于N-TOPCon电池制备隧穿氧化层、本征poly-si、掺杂poly-si、掩膜层 | |
| | | 管式LPCVD设备 | 主要用于晶体硅太阳能电池制造中硅片表面淀积多晶硅及原位掺杂。 | 在客户端得到了验证 |
| | | HJT 制绒清洗设备 | 对高效太阳能电池异质结电池片进行制绒、清洗 | 有订单，客户如通威 |
| | | HJT 管式PECVD设备 | 制备本征及掺杂非晶硅薄膜 | 中试线上进行技术匹配，进入量产机定型阶段 |
| 捷佳伟创 | HJT | HJT RPD设备 | 制备透明导电薄膜 | 客户端验证，如爱康。另外钙钛矿用RPD设备已发往客户中试线 |
| | | Cat-CVD设备 | 制备本征及掺杂非晶硅薄膜 | |
| | | PAR（RPD+PVD） | 以反应式等离子体镀膜设备沉积正面透明导电膜，以磁控溅射镀膜设备沉积背面透明导电膜，并将两台镀膜设备整合至同一真空设备中 | |
| | | PVD设备 | 制备透明导电薄膜 | 客户如通威，其中PVD设备也在其常州中试线验证 |
| | | 丝网印刷 | 制备电极 | |
| 金辰股份 | TOPCon | 管式PECVD设备 | 能够实现TOPCon光伏电池核心材料“超薄氧化硅+原位掺杂非晶硅”的制备 | 与晶澳、东方日升、晶科等展开合作 |
| | | HJT PECVD设备 | 制备本征及掺杂非晶硅薄膜。 | 带有微晶功能的PECVD设备已交付晋能 |
| | | PECVD和PVD二合一设备 | 镀膜设备 | 首台TOPCon技术二合一镀膜设备成功交付 |
| 京山轻机 | HJT | 清洗制绒设备 | 消除杂质和机械损伤，同时在硅表面形成凹凸不平的组织 | 已实现首台HJT异质结清洗制绒设备的交付 |

资料来源：Wind，各公司官网，华西证券研究所 注：TOPCon由于部分和PERC设备相通，上述公司PERC已有设备暂未列入

光伏电池制造中常用镀膜设备举例：CVD、PVD

- 薄膜沉积方法通常有CVD（化学气相淀积）和PVD（物理气相淀积）。除此之外，还有RPD等其他类型镀膜设备。在光伏电池制造中，常用的镀膜方法有LPCVD、PECVD、ALD、RPD等。CVD广泛用于氧化硅、氮化物、多晶硅等沉积。
- CVD包括APCVD（常压）、LPCVD（低压）和PECVD（等离子增强）、ALD（原子层沉积）等。
- APCVD和LPCVD：通过气体混合化学反应在硅片表面沉积膜的工艺，APCVD内部环境为常压，高温（700-900℃），系统简单，反应速度快，但是均匀性、台阶覆盖能力差。LPCVD内部环境为低压、高温（750℃左右），镀膜质量较好。
- PECVD：指借助微波或射频等使含有薄膜组成原子的气体电离，在局部形成等离子体后发生反应，并在基质表面沉积膜的方法。内部环境为低压、低于450℃，设备形态分为管式PECVD设备和板式PECVD设备。
- ALD：一种变相的CVD工艺，通过将气相前驱体脉冲交替地通入反应器并在基体上化学吸附并反应形成沉积膜的方法。
- PVD：指将材料源表面气化并通过低压气体/等离子体在基体表面沉积，包括蒸发、溅射、离子束等。

图表：常用镀膜方法



资料来源：华西证券研究所

图表：镀膜作用

1. 短路电流损失：
面积——栅线的阻挡面积
反射——表面反射的光损失
透过损失——厚度的减薄导致的吸收损失
复合电流——体内和表面的复合电流损失
2. 开压损失
复合损失——非平衡载流子的复合导致的
势能损失

转换效率的计算公式：

$$\text{Eff} = I_{sc} * V_{oc} * FF / P_{in}$$

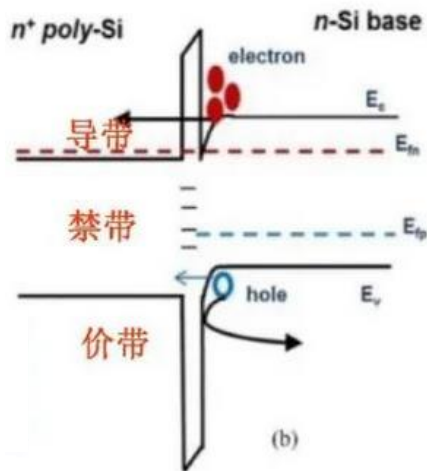
薄膜的作用通常为：1) 背表面钝化：降低背表面缺陷态密度，降低背表面复合；2) 提高背面内反射

资料来源：华西证券研究所

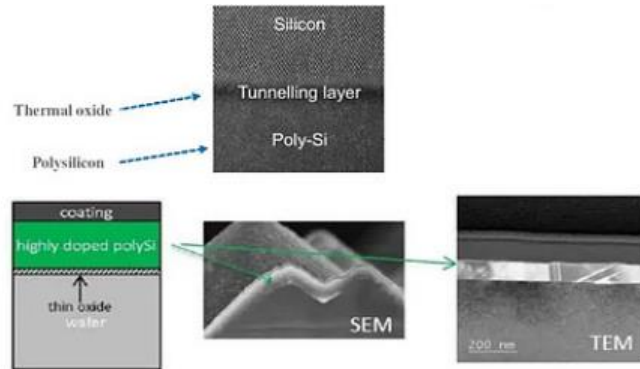
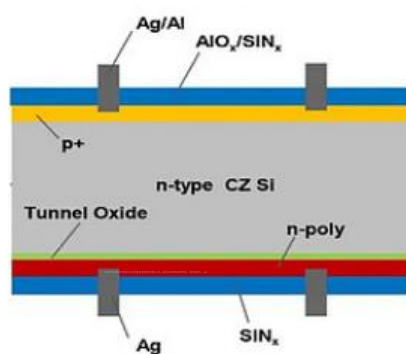
TOPCon：扩产潮已至，效率提升空间仍较大

- 隧穿氧化层钝化接触（TOPCon）太阳能电池，首先在电池背面制备一层1~2nm的隧穿氧化层，然后再沉积一层掺杂多晶硅，二者共同形成了钝化接触结构，为硅片的背面提供了良好的界面钝化。TOPCon理论极限值28.7%，而PERC理论极限值为24.5%。
- 超薄隧穿氧化层+高掺杂多晶硅层形成了钝化接触结构背面，提供良好的钝化效果。
- 借助隧穿效应，能让电子顺利通过，又可以阻止空穴的复合。采用薄氧化膜钝化接触，从而获得较高转换效率。
- 以高掺杂硅薄膜实现选择性接触，同时避免了背面氧化物钝化层的开孔工艺，降低了制造成本。

图表：TOPCon隧穿原理



图表：TOPCON电池结构示意图



TOPCon：扩产潮已至，效率提升空间仍较大

- 隧穿氧化层通常采用LPCVD（+热氧化法）、PECVD沉积，非（多）晶硅层通常采用LPCVD、PECVD、PVD沉积。
- 本征+磷扩：先采用隧穿氧化制备二氧化硅，LPCVD制备非晶硅薄膜，再退火，磷扩（扩散炉），优点在于良率较高，生产效率较高。此外，磷扩也可采用直掺，即离子注入（增加离子注入机）结合退火的方式实现。
- 另外一种是在LPCVD或PECVD制备多晶硅薄膜的同时进行原位掺杂：所谓原位掺杂多晶硅是指在沉积多晶硅的同时通入含有杂质的气体。LPCVD原位掺杂转化效率高，但是工艺时间较长，同时存在石英管损耗、绕镀等问题。PECVD更容易原位掺杂，且具备绕镀小、降低耗材成本等优势。
- SiN_x 和 AlO_2 沉积与PERC电池工序相同：沉积钝化层通常仍采用ALD或PECVD；沉积减反层通常采用PECVD。

图表：镀膜方法比较

| | LPCVD | 管式PECVD | PVD |
|---------|--------------------------------|---|----------------------|
| 设备投资 | 低 | 低 | 高 |
| 绕镀 | 严重 | 小 | 无 |
| 不同尺寸兼容性 | 可以 | 可以 | 高 |
| 产能 | 高 | 可以 | 高 |
| 原位掺杂 | 较难， SiH_4+PH_3 | 容易， $\text{SiH}_4+\text{PH}_3/\text{B}_2\text{H}_6$ | 容易，硅靶+ PH_3 |
| 膜层质量 | 较好 | 一般，易爆膜 | 较好 |
| 特气 | SiH_4+PH_3 | $\text{SiH}_4+\text{PH}_3/\text{B}_2\text{H}_6$ | PH_3 |
| 易耗品成本 | 高（石英舟、石英管） | 一般（石墨舟清洗） | 低（载板清洗） |
| 占地面积 | 小 | 小 | 大 |
| 能耗 | 高 | 中 | 低 |

资料来源：拉普拉斯官网，华西证券研究所

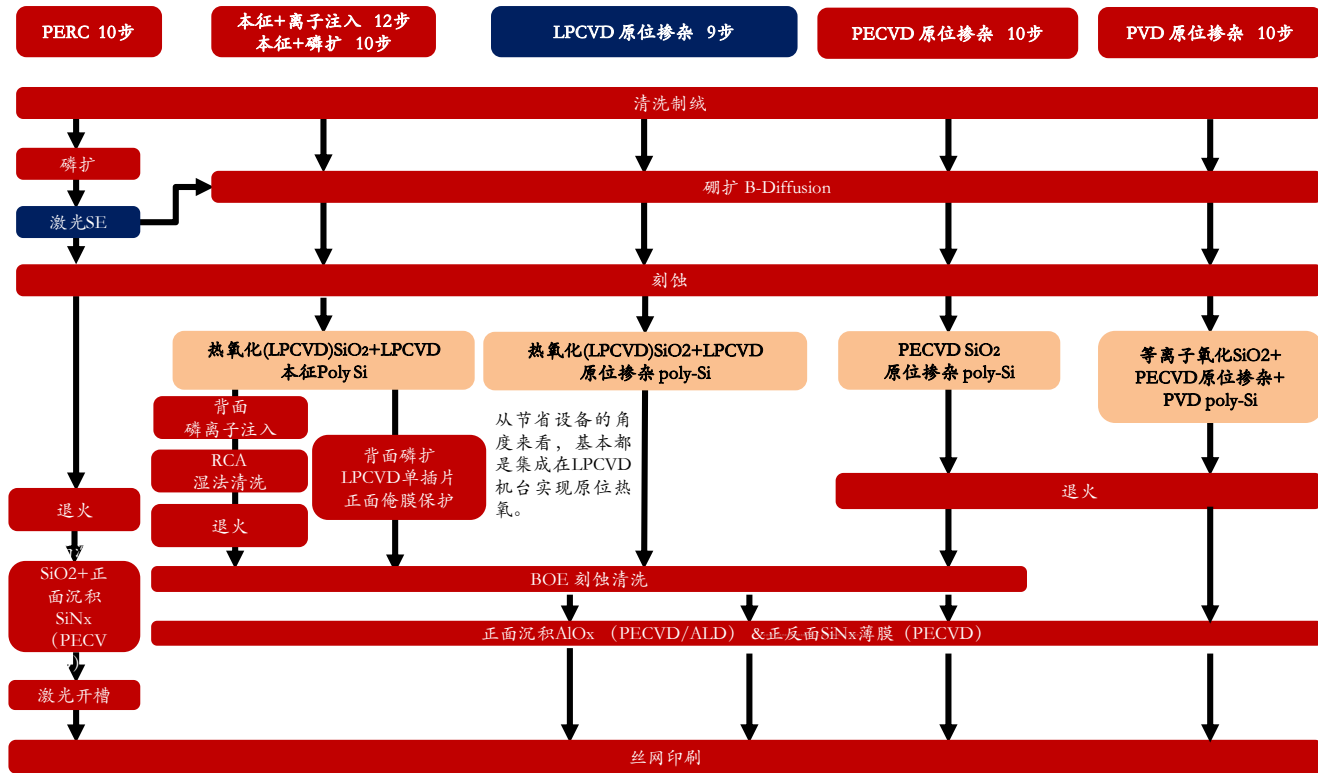
图表：TOPCon技术路线

| 本征+磷扩 | 原位掺杂 | 先磷后硼 | 离子注入 |
|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| 制绒 | 制绒 | SDE | 制绒 |
| 硼扩散 | 硼扩散 | 隧穿氧化+非晶硅 | 硼扩散 |
| 刻蚀 | 刻蚀 | 退火+磷扩 | 刻蚀 |
| 隧穿氧化+非晶硅 | 隧穿氧化+原位掺杂非晶硅 | 刻蚀 | 隧穿氧化+非晶硅 |
| 退火+磷扩 | 退火 | 背面 SiN_x | 离子注入 |
| 湿法刻蚀 | 湿法刻蚀 | 制绒 | 退火 |
| 钝化 Al_2O_3 | 钝化 Al_2O_3 | 硼扩 | 钝化 Al_2O_3 |
| 正面 SiN_x | 正面 SiN_x | 去BSG | 正面 SiN_x |
| 背面 SiN_x | 背面 SiN_x | 正面 SiN_x | 背面 SiN_x |
| 丝网印刷 | 丝网印刷 | 丝网印刷 | 丝网印刷 |

资料来源：拉普拉斯官网，华西证券研究所

TOPCon：扩产潮已至，效率提升空间仍较大

图表：光伏技术路线汇总



资料来源：《晶体硅太阳能电池物理_陈哲良》，华西证券研究所整理

- 目前LPCVD较为成熟，应用较广，另外PECVD也有设备厂家和电池厂推广。
- 捷佳已具备整线设备交付能力，核心设备PE-Poly和硼扩散设备已成功交付客户量产运行，LPCVD也在客户端得到了验证，其中PE-Poly实现了隧穿层、Poly层、原位掺杂层的“三合一”制备；
- 金辰股份推出管式PECVD装备实现TOPCon电池核心材料“超薄氧化硅+原位掺杂非晶硅”的制备；
- 京山轻机首台TOPCon技术二合一镀膜设备成功交付；
- 拉普拉斯推出的LPCVD设备可应用于N-TOPCon电池的隧穿氧化层与非晶硅生长工艺。

TOPCon：扩产潮已至，效率提升空间仍较大

- TOPCon电池扩产规划规模巨大，老牌玩家纷纷加码。2022年1月，晶科安徽8GW TOPCon电池项目投产，为全国首个大规模量产的TOPCon生产线，2月海宁基地产出首片TOPCon电池，预计到年中公司TOPCon产能将逐步爬升至16GW（海宁+安徽）。钧达、中来、隆基、天合、晶澳等均有较大规模的规划。其中，钧达股份计划扩产16GW高效电池，其中一期8GW的TOPCon项目已开工，中来在现有产能的基础上也启动两期共16GW的产能扩张；晶澳现有一条约100MW的中试线在试产TOPCon电池，预计2022年年底产能达到6.5GW。

图表：部分TOPCon电池厂扩产规划（不完全统计）

| 企业名称 | 产地 | 已建 (MW) | 在建/待建 (MW) |
|--------|-------|-----------|------------|
| 国电投 | 西安 | 400 | |
| 韩华 | 韩国 | 600 | 2500 |
| 鸿禧 | - | | 2000 |
| 嘉悦 | 安徽金寨 | | 5000 |
| 晶澳 | 河北宁晋 | 1300 | 10000 |
| 晶科 | 浙江海宁 | 8000 | |
| | 安徽合肥 | 8000 | 8000 |
| 尚德 | 江苏无锡 | 2000 | |
| 聆达 | | | 5000 |
| 东方日升 | 安徽滁州 | 500 | |
| 苏州路能 | 江苏张家港 | | 1000 |
| 腾晖 | - | | 1000 |
| 天合 | 江苏常州 | 500 | |
| | 江苏宿迁 | | 8000 |
| 通威 | 四川眉山 | 1500 | |
| 同铂新能源 | 江苏高邮 | | 5000 |
| 一道 | 浙江衢州 | 1250 | |
| 昱辉 | 江苏盐城 | | 2000 |
| 中节能 | 江苏 | | 5000 |
| | 安徽滁州 | | 10000 |
| 中来 | 江苏泰州 | 1500+2100 | |
| | 山西太原 | | 8000+8000 |
| 钧达（捷泰） | 安徽滁州 | | 8000+8000 |
| LGE | 韩国 | 1500 | |
| REC | 新加坡 | 300 | |
| 合计 | | 29550 | 96500 |

- 晶科TOPCon的实验室最高转换效率已达到25.70%，行业内量产效率已接近25%。目前TOPCon技术还未大规模激光硼掺杂技术也有望大规模应用于TOPCon等电池技术中。若采用TOPCon配合激光SE（硼扩），预计能助力TOPCon电池提升约0.3-0.5%的转换效率。海目星、帝尔激光等已布局相关激光硼扩散设备。目前海目星已中标晶科大额激光微损设备订单，主要用于激光硼掺杂。未来，激光设备有望成为TOPCon电池生产标配。

图表：部分TOPCon电池最高转换效率

| 公司 | 硅类型 | 技术/场所 | 最高电池效率 | 时间 |
|------|-----|-------|--------|---------|
| 晶科能源 | N型 | 182 | 25.70% | 2022年4月 |
| 天合光能 | N型 | | 25.50% | 2022年3月 |
| 正泰 | N型 | 210 | 24.60% | |
| 中来股份 | N性 | 182 | 25.4% | 2021年9月 |
| 隆基股份 | N型 | | 25.21% | 2021年6月 |
| 隆基股份 | P型 | | 25.02% | 2021年6月 |

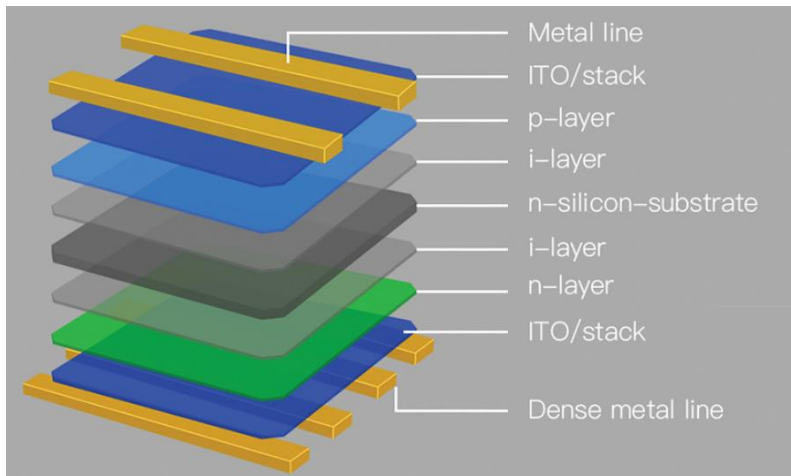
资料来源：各公司官网，华西证券研究所

资料来源：各公司官网，TrandForce，华西证券研究所

HJT：成本下降路径明确，技术层面突破在即

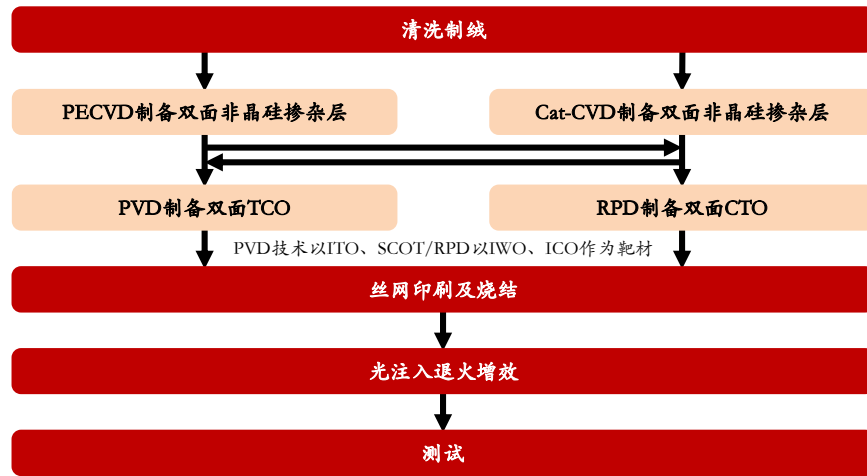
- **异质结电池（HJT）**：由两种不同的材料组成，即在晶硅和非晶硅薄膜之间形成PN结。即在N型晶体硅片正反两面依次沉积厚度为5~10nm的本征和非晶硅薄膜以及透明导电氧化物（TCO）薄膜，从上到下依次形成了TCO-N-i-N-i-P-TCO的对称结构。HJT整个工序4道，非晶硅膜沉积和TCO膜沉积两道工序设备（主要是PVD设备）价值量占整条产线的75%。
- **HJT电池优势**：①结构对称、工艺简单、设备较少。HJT电池是在单晶硅片的两面分别沉积本征层、掺杂层和TCO以及双面印刷电极。其结构对称、工艺相对简单；②低温制造工艺。HJT电池采用硅基薄膜工艺形成PN结发射区，制程中的最高温度就是非晶硅薄膜的形成温度，避免了传统晶体硅电池形成PN结；③获得较高的转换效率。HJT电池中的本征薄膜能有效钝化晶体硅和掺杂非晶硅的界面缺陷，形成较高的开路电压；④由于电池上表面为TCO导电玻璃，电荷不会在电池表面的TCO上产生极化现象和PID现象（电势诱导衰减）。

图表：HJT结构



资料来源：钧石能源，华西证券研究所

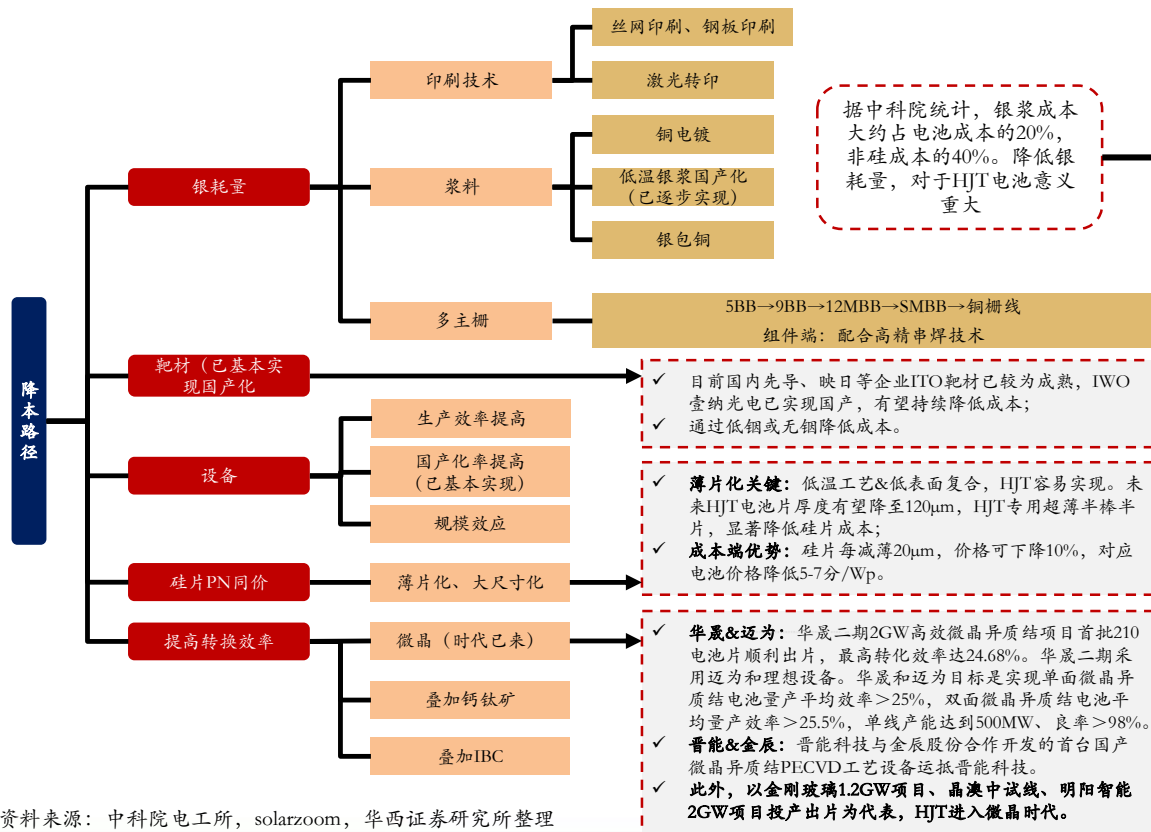
图表：HJT一般生产工序



资料来源：CPIA，华西证券研究所

HJT：成本下降路径明确，技术层面突破在即

图表：异质结优势及降本增效路径



据中科院统计，银浆成本大约占电池成本的20%，非硅成本的40%。降低银耗量，对于HJT电池意义重大

- ✓ **帝尔激光**：推出激光转印技术，能够降低20%-30%银耗量
- ✓ **迈为股份**：推出铜板印刷技术，能够降低20%左右银耗量
- ✓ **帝科股份**：光伏异质结低温银浆，客户测试进展顺利，转换效率处于行业领先地位，目前已有小规模订单销售。
- ✓ **苏州固锲**：1) 加强了TOPCon浆料研发；2) 2021年上半年推出银包铜HJT低温银浆，2021年1-9月份，苏州晶银异质结浆料销售量共计3.73吨。
- ✓ **奥特维**：多主栅串焊机，SMBB是为了减少银耗量，但更细焊带使得焊接难度加大。
- ✓ 2022年下半年预计国内GW级项目将量产导入40-50%湿重银含量级别的银包铜。

| | PERC (+SE) | TOPCon | HJT |
|-------|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 量产效率 | 22.5%-23.5% | 23.5%-24% 比perc: eff+1%，功率+10W | >24% 比perc: eff+1.5%，功率+15W |
| 理论效率 | 24.5% | 28.7% | 钙钛矿叠层可达27-29% |
| 量产性 | 非常成熟 | 已可量产 | 已可量产 |
| 工艺难点 | 激光开孔、氧化铝钝化 | 硼掺杂、多晶硅掺杂、氧化铝钝化 | TCO薄膜、背面PN结、银耗量降低 |
| 技术难度 | 容易 | 难度高 | 难度很高 |
| 工序步骤 | 10 | 9-12 | 4 |
| 温度系数 | | -0.32%/°C | -0.26%/°C |
| 良率 | 98%-99% | 94%左右 | 97%左右 |
| 硅片厚度 | 160-170μm | 大多175μm，高温工艺较薄薄片化 | 约130μm |
| 生产成本 | 0.6-0.8元/W | 0.7-0.9元/W | 0.93-0.98元/W |
| 产线兼容性 | 现有产线成熟 | 可由PERC产线升级 | 完全不兼容 |
| 设备成本 | 1.5-2亿元 | 2.3亿元左右 | 4亿元左右 |
| 目前问题 | 后续提效路线不明朗 | 量产难度高 | 与现有设备不兼容，设备投资成本高 |

HJT：成本下降路径明确，技术层面突破在即

- **HJT电池四大步骤对应的设备分别为清洗设备、CVD设备、PVD设备、丝网印刷设备。**截止到目前，迈为、捷佳、钧石等具备整线设备制造能力。
- **清洗制绒：**迈为通过参股子公司吸收引进日本YAC制绒清洗技术，捷佳自主研发，京山轻机已完成首台HJT异质结清洗制绒设备的交付，产品各项指标和性能得到了客户的认可。
- **非晶硅薄膜沉积：**硅片在PECVD设备中制作钝化膜和PN结。非晶硅膜层包好本征层I层，掺杂层P层和掺杂层N层，一般采用PECVD，价值量最高，约占50%。迈为、钧石、理想等已发客户端验证；捷佳PECVD设备已交付；金辰股份推出的微晶PECVD已交付晋能；微导也在储备PECVD项目的研发；Cat-CVD成本较高，目前采用较少，但捷佳拥有其制造能力。
- **TCO镀膜：**TCO沉积包括RPD（反应等离子体蒸镀）和PVD（物理气象沉积）。PVD技术以ITO、SCOT，RPD以IWO、ICO作为靶材。PVD工艺主要包括真空蒸镀法和溅射法。HJT电池主要采用磁控溅射法，其原理是稀薄气体在异常辉光放电产生的等离子体在电场作用下，对阴极靶材表面进行轰击，把靶材表面分子、原子、离子及电子等溅射出来，沿一定的方向射向硅片表面形成镀层；RPD的薄膜生长速率、成膜质量和电学性能更优秀，但靶材成本较高。**迈为、钧石、理想等具备PVD设备制造能力，捷佳具备PVD和RPD设备制造能力。**
- **金属化：**目前通常采用丝网印刷，迈为属于丝网印刷龙头，市占率常年维持在70%+。另外捷佳等也推出其异质结丝网印刷设备。此外，新技术路线还包括激光转印、全开口钢板印刷、铜电镀、银包铜等工艺，目的是降低银耗量。

图表：异质结电池设备主要玩家

| 工艺环节 | 对应设备 | 设备厂商 | 价值量占比 |
|---------|-------|--|-------|
| 清洗制绒 | 制绒设备 | 迈为股份、捷佳伟创、京山轻机、YAC、Singulus、RENA | 约15% |
| | | Cat-CVD 捷佳伟创、日本真空 | |
| 非晶硅薄膜沉积 | PECVD | 迈为股份、捷佳伟创、金辰股份、捷造光电、钧石能源、理想能源、精耀科技、梅耶博格、INDEOtec、应用材料、Jusung | 约50% |
| | | | |
| TCO镀膜 | PVD | 捷佳伟创、迈为股份、冯阿登纳、梅耶博格、Singulus、钧石能源、Ulvac、百利恒 | 约20% |
| | | RPD+PVD 捷佳伟创 | |
| 电极制作 | 丝印设备 | 迈为股份、捷佳伟创、金辰股份、Baccini、科隆威、Microtec、应用材料、中昊晨 | 约15% |

资料来源：中科院电工所，华西证券研究所

HJT：成本下降路径明确，技术层面突破在即

- **参与者：**国内企业有安徽华晟、金刚玻璃、明阳智能、爱康科技、金阳新能源、通威、隆基、阿特斯、晶澳、东方日升、晋能，海外企业有梅耶博格、REC、Hevel等，目前100MW以上合计产能大约9.31GW。根据solarzoom统计，隆基、爱康、东方日升、明阳智能、REC、爱康等2022年预计在建或待建产能约28GW。
- **HJT电池效率不断创新高：**东方日升、华晟等运用微晶、半片等技术，HJT电池效率不断创新高。

图表：100MW以上HJT电池产能（不完全统计）

| 国家 | 企业 | 城市 | 期数 | 产能 (GW) | 备注 |
|-----|-------|------|-------|---------|---------|
| 俄罗斯 | Hevel | | | 0.34 | 海外 |
| 新加坡 | REC | | | 0.60 | 海外 |
| 德国 | 梅耶博格 | | | 0.40 | 海外 |
| 中国 | 晋能 | 山西晋中 | 一期+二期 | 0.15 | 中试 |
| 中国 | 钜能电力 | 福建莆田 | | 0.70 | 中试 |
| 中国 | 中威 | 四川成都 | | 0.20 | 中试 |
| 中国 | 国电投 | 江西南昌 | | 0.10 | 中试 |
| 中国 | 东方日升 | 浙江宁海 | | 0.20 | 中试 |
| 中国 | 东方日升 | 常州金坛 | | 0.50 | |
| 中国 | 通威 | 安徽合肥 | | 0.25 | 中试 |
| 中国 | 爱旭 | 浙江义乌 | | 0.25 | HBC, 中试 |
| 中国 | 爱康 | 浙江湖州 | | 0.22 | 中试 |
| 中国 | 阿特斯 | 浙江嘉兴 | | 0.25 | 中试 |
| 中国 | 安徽华晟 | 安徽宣城 | 一期 | 0.70 | 量产 |
| 中国 | 通威 | 四川成都 | 一期 | 1.00 | 量产 |
| 中国 | 金刚玻璃 | 江苏苏州 | 一期 | 1.20 | 量产 |
| 中国 | 晶澳 | 江苏扬州 | | 0.25 | 中试 |
| 中国 | 安徽华晟 | 安徽宣城 | 二期 | 2.00 | 量产 |
| 合计 | | | | 9.31 | |

资料来源：solarzoom，各公司公告，华西证券研究所

- **迈为股份竞争优势明显，市场份额占据大头。**清洗制绒设备以捷佳、YAC为主，PECVD、PVD、丝网印刷设备迈为优势显著，是华晟、阿特斯等电池厂主要设备供应商。通威PECVD、PVD采购多家设备，以相互对比，表明通威对设备选用的谨慎，也表明通威对HJT电池的重视程度。我们估计21年迈为HJT设备按照招标规模计算市占率超过70%。22年迈为再次中标REC 4.8GW的HJT电池整线订单，持续获得客户认可，HJT设备领域竞争优势稳固。

图表：典型HJT生产线所合作的设备厂家

| 电池厂 | 规模 | 清洗制绒 | PECVD | PVD | 丝网印刷 |
|------|-------|--------|----------|-----------|--------|
| 通威 | 1GW | YAC、捷佳 | 迈为、理想、钧石 | 迈为、钧石、佰立恒 | 迈为、捷佳 |
| 金刚玻璃 | 1.2GW | 迈为 | 迈为 | 迈为 | 迈为 |
| 安徽华晟 | 2.7GW | YAC | 迈为、理想 | 迈为、冯阿登纳 | 迈为、中昊晨 |
| 阿特斯 | 250MW | 捷佳 | 迈为 | 迈为 | 迈为 |
| 爱康科技 | 220MW | YAC | 应用材料 | 捷佳 (RPD) | 应用材料 |

资料来源：各公司官网，华西证券研究所

图表：HJT电池近期公布的各家最高转换效率

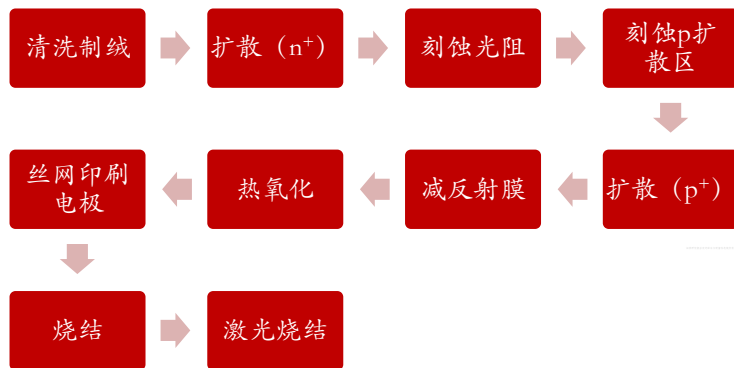
| 公司 | 技术 | 最高电池效率 | 时间 |
|------|------------------------------------|---------|----------|
| 东方日升 | N型 120μm厚度、四角倒角的210半切硅片、微晶技术和低银含浆料 | 突破25.5% | 2022年5月 |
| 安徽华晟 | N型 单面微晶，210半片+SMBB多主栅 | 24.68% | 2022年4月 |
| 迈为股份 | N型 低铜含量的TCO工艺结合银包铜栅线 | 25.62% | 2022年4月 |
| 金刚玻璃 | N型 微晶、210、半片、薄片化 | 突破24.5% | 2022年4月 |
| 隆基股份 | P型 M6尺寸 | 25.47% | 2022年3月 |
| 金刚玻璃 | N型 大尺寸、半片、薄片化 | 24.28% | 2022年3月 |
| 隆基股份 | N型 采用捷佳RPD | 25.82% | 2021年10月 |

资料来源：各公司官网，华西证券研究所

IBC：具有巨大发展前景，可与其他技术结合

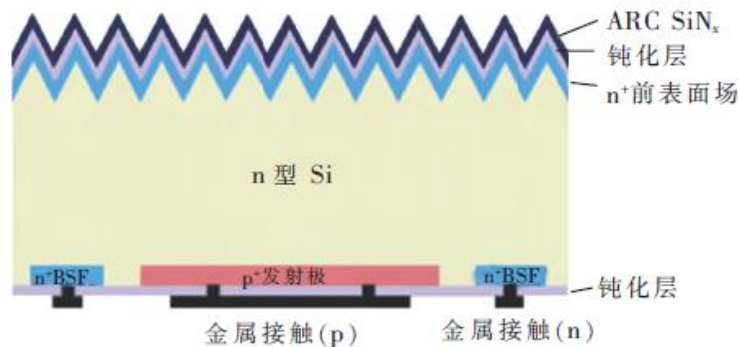
- **IBC电池：**即叉指式背接触电池，最大特点是正面无栅线，PN结和金属接触均在背面。缺点是工艺复杂，良率低，成本高。2014年在N型CZ硅片上制备的第三代IBC电池的最高效率就已达25.2%。
- 由于IBC电池结构的特殊性，前表面附近形成的光生载流子必须穿透整个电池，扩散到背表面的PN结，因此衬底材料中少数载流子扩散长度要大于器件厚度，且电荷的表面复合速率要非常低，所以IBC电池通常采用载流子寿命较高的n型FZ硅片。在高寿命n型硅片衬底的前表面采用SiO₂或SiO_x/SiN_x叠层钝化减反膜与n⁺层结合，形成前表面场（front surface field, FSF），并制备绒面来增强光的吸收；背面分别进行磷、硼局部扩散，形成指交叉排列的p⁺和n⁺扩散区，重掺杂形成的p⁺区（发射极）和n⁺区（背表面场）可有效消除高聚光条件下的电压饱和效应，两个掺杂区中间一般还存在一个间隙，其中发射极用来收集空穴载流子，背表面场用来捕获电子；背面采用SiO₂、AlO_x、SiN_x等钝化层或叠层，并通过在钝化层上开金属接触孔，实现电极与发射区或基区的金属接触。

图表：IBC大致工序流程（不同细分技术具体流程有差异）



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术_丁建宁》，华西证券研究所

图表：IBC常见结构示意图



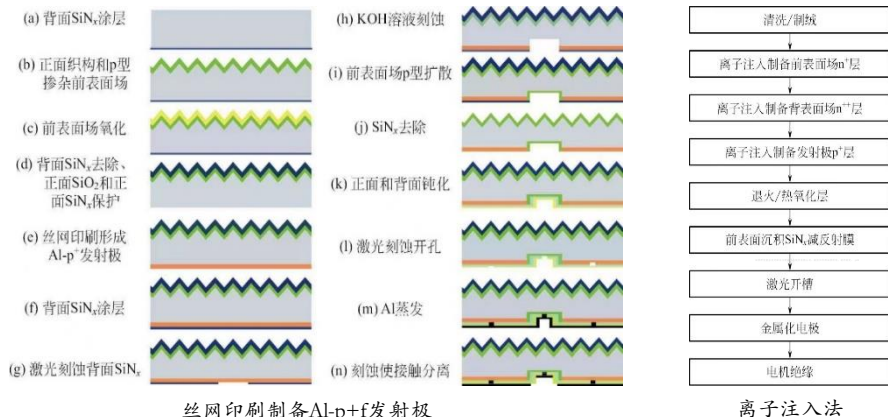
资料来源：《IBC太阳能电池技术的研究进展_席珍珠》，华西证券研究所

IBC：具有巨大发展前景，可与其他技术结合

■ IBC电池制造中，一些技术对于IBC电池制造至关重要。

- **前表面陷光和钝化技术**：IBC电池对前表面复合要求严格，先形成一个低掺杂的 n^+ 前表面场，再利用 SiO_2 对其进行钝化。
- **背表面掺杂技术**：有丝网印刷技术、激光刻蚀、离子注入等技术。其中丝网印刷技术较为成熟，但对准精度较差，而激光能够准确定位，离子注入需要丝网印刷技术结合使用。
- **金属化接触和栅线技术**：电极与掺杂区域的接触方式通常有线接触和点接触两种，蒸镀和电镀是最常用的金属化方法。

图表：背表面掺杂技术不同流程



资料来源：《高效晶硅太阳能电池技术_丁建宁》，华西证券研究所

图表：IBC关键工序

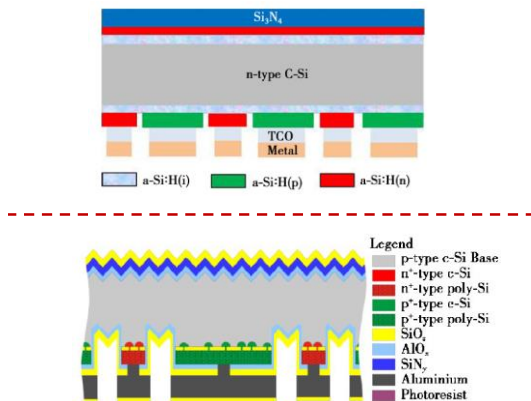
| 技术 | 概述 |
|------------|---|
| 前表面陷光和钝化技术 | IBC电池对前表面复合要求严格，通常采用 场钝化 和 化学钝化 相结合，首先形成一个低掺杂的 n^+ 前表面场，再利用 SiO_2 对其进行钝化。同时磷扩散的前表面场不仅可以起到钝化作用，还可以传输光子电子，降低多数载流子的横向电阻，减小电池串联电阻。 |
| 背表面掺杂技术 | 丝网印刷技术 是通过印刷蚀刻浆料来刻蚀掩膜，或印刷阻挡型浆料来挡住不需要刻蚀的部分掩膜，需要两步单独的扩散过程来分别形成p区和n区。采用丝网印刷技术时，可以直接在掩膜中掺入杂质源（硼或磷），然后通过气相沉积法形成掺杂的掩膜层；也可以在电池背面印刷一层含硼的指状交叉的扩散掩膜层，硼扩散进入n型衬底形成p区，未印刷掩膜层的区域，经磷扩散形成n区。丝网印刷技术工艺成熟，成本低廉，但由于IBC电池背面图形特点，需经过重复的印刷和精确的对准工艺，大大增加了工艺难度。 激光刻蚀 包括间接刻蚀掩膜和直接刻蚀掩膜。间接刻蚀掩膜是指利用激光的高能量，使局部固体硅升华，从而使附着在该部分硅上的薄膜脱落；直接刻蚀是钝化层吸收紫外激光能量而直接被刻蚀。激光刻蚀可以得到比丝网印刷更小的电池单位结构、更小的金属接触开孔和更灵活的设计，且减少了工艺步骤，对降低生产成本具有积极的作用。激光刻蚀可能会造成硅片损伤，并影响接触电阻，且加工时间较长，生产效率低，目前只适合研发应用。在IBC太阳能电池的生产中，传统高温扩散掺杂能够较容易地获得高浓度、深结深的掺杂区域，但长时间高温过程会对硅片晶格结构造成损伤，还会造成掺杂离子侧向扩散，相邻区域相互渗透。 |
| 金属化接触和栅线技术 | 离子注入 技术可以克服传统高温掺杂的缺点，更可以精确控制掺杂浓度，避免炉管扩散中存在的扩散死层。由于IBC电池背电极图形的特殊性，在使用离子注入法进行掺杂时，需要同丝网印刷或喷墨打印等掩膜技术相结合，实现背面图形化区域掺杂。离子注入得到的掺杂区域界面平整，能够减少侧向扩散，制备出的IBC电池转换效率有所提高。 在金属化之前，要先在钝化层上开孔。金属接触区的复合通常都较大，在一定范围内接触区的比例越小，载流子复合概率越小，电压损失也越小，因此，电极与掺杂区域的接触方式通常有线接触和点接触两种，通过 丝网印刷刻蚀浆料 、 湿法刻蚀或者激光等方法 来将接触区的钝化膜去除，形成接触区。n区和p区的接触孔区需要与各自的掺杂区域对准，否则会造成电池漏电。线接触式背电极的掺杂区域和钝化层上的开孔均为条形。点接触太阳能电池将早期IBC电池的长条形重掺杂区优化成点阵，从而降低重掺杂区的面积， 降低掺杂区域的饱和电流密度和金属接触区的复合，大幅度提高开路电压和转换效率。蒸镀和电镀是最常用的IBC电池金属化方法。 |

资料来源：《高效晶硅太阳能电池技术_丁建宁》，华西证券研究所

IBC：具有巨大发展前景，可与其他技术结合

- 基于IBC电池结构衍生的新型高效太阳电池研究可分为两个方向，包括HBC、TBC（POLO-IBC）高效晶硅电池技术，以及主要为PSC IBC叠层电池技术。HBC、TBC电池需要解决HJT、TOPCon技术存在的问题，还需要解决IBC技术严格的电极隔离、制程复杂及工艺窗口窄等问题。PSC IBC叠层电池在钙钛矿章节再做论述。
- **HBC电池：**HJT和IBC电池技术结合。利用了HJT电池结构非晶硅优越的表面钝化性能及IBC电池结构正面无金属遮挡的优点。在n型硅衬底正面依次为i-a-Si:H前钝化层、i-a-Si:H层和减反射层；背面依次为i-a-Si:H背钝化层，钝化层上呈叉指状分布的p-a-Si:H层和n-a-Si:H层，分别为发射极和BSF。在发射极和BSF上均覆盖有TCO薄膜及金属接触电极。
- **TBC电池：**P型（早期研究）或N型硅衬底。POLO（多晶硅氧化物）选择钝化接触技术是通过生长SiO₂和沉积本征多晶硅，采用高温退火方式使正背面的SiO₂钝化薄层形成局部微孔，通过微孔和隧穿特性实现电流的导通。TBC电池通过对IBC电池的背面进行优化设计，即用p⁺和n⁺的Poly-Si作为发射极和BSF，并在Poly-Si与掺杂层之间沉积一层隧穿氧化层SiO₂。

图表：HBC（上）和TBC（下）电池结构



图表：一种HBC工序（普乐）

| 双面抛光 | 双面抛光 |
|--|--|
| 隧穿氧化层+非晶硅沉积（背面） | 隧穿氧化层+非晶硅沉积（背面） |
| 去绕镀+正面制绒 | 去绕镀+正面制绒 |
| 丝网印刷+烘干（背面硼浆、磷浆） | 热氧退火 |
| 激光掺杂+超声波清洗（硼浆、磷浆） | 丝网印刷+烘干（背面硼浆、磷浆） |
| 热氧退火 | 激光掺杂+超声波清洗（硼浆、磷浆） |
| 镀减反射膜（双面） | 镀减反射膜（双面） |
| 激光开槽（p ⁺ /n ⁺ 区隔离） | 激光开槽（p ⁺ /n ⁺ 区隔离） |
| 丝网印刷+激光烧结 | 丝网印刷+激光烧结 |

资料来源：普乐新能源科技专利，华西证券研究所

图表：一种TBC工序（爱旭，P型硅衬底）

| 对硅片进行制绒 |
|---|
| 将制绒后的硅片置于富氧的去离子水中，在硅片的背面形成隧穿氧化层 |
| 在隧穿氧化层上形成n型非晶硅 |
| 采用磷扩散工艺在硅片的正面形成n ⁺ 轻掺杂层，并将硅片背面的n型非晶硅晶层转化为n型多晶硅层 |
| 对n型多晶硅层和隧穿氧化层进行激光消融刻蚀，形成P型区，未被刻蚀的区域为N型区 |
| 热氧退火，减薄隧穿氧化层的厚度以形成微孔，以及通过磷扩散在隧穿氧化层中形成针孔隧穿结构，并在N型区和P型区上形成SiO ₂ 钝化层 |
| 在n ⁺ 轻掺杂层和SiO ₂ 钝化层上分别依次形成AlO _x 钝化层和SiNx减反层； |
| 形成N型电极和P型电极 |

资料来源：爱旭太阳能专利，华西证券研究所

资料来源：《N型背接触异质结太阳电池概述_杨振英》，华西证券研究所

IBC：具有巨大发展前景，可与其他技术结合

- 转换效率方面，随着研究深入，通过不断改进工艺，IBC/HBC/TBC转换效率等不断提升。
- IBC：2018年天合光能自主研发的6英寸面积N型IBC效率高达25.04%（全面积）；2021年国家电投黄河公司国内首条量产规模IBC电池及组件生产平均效率突破24%，单片电池功率提高约10%。
- HBC：2014年，Sharp获得25.1%的HBC电池光电转换效率。2017年，日本Kaneka将HBC太阳电池光电转换效率提高至26.63%。
- TCB：2018年，在4cm²电池面积上获得了26.1%的POLO-IBC电池光电转换效率。除了在p型电池，POLO技术在n型IBC电池上的技术研究也取得不错进展。如2019年，天合采用LPCVD法对IBC电池的BSF进行多晶硅隧穿钝化，通过调节湿法工艺使其与原始IBC电池工艺相兼容，在6英寸硅片上实现了IBC电池光电转换效率由24.1%到25%的技术提升。
- 布局IBC电池的国内企业众多，如隆基、爱旭、普乐、天合、中来、晶澳、海润等。中来有IBC电池技术储备且已实现小规模IBC电池量产出货；隆基计划在原年产2GW单晶电池项目的基础上对生产线进行技术提升改造，改建成8条HPBC（p-IBC）高效单晶电池产线，预计形成年产4GW的电池片产线；横店东磁预计2023年择机做N型TOPCon和P-IBC的产能扩张。
- 随着PECVD/LPCVD等在HJT和TOPCon电池生产应用中不断成熟，未来也有望推动IBC/TBC和HBC电池发展。

图表：近年来部分IBC电池光电效率

| 文献 | 电池面积/cm ² | 光电转换效率/% | V _{oc} /mV | J _{sc} /(mA·cm ⁻²) | FF/% |
|------|----------------------|------------|---------------------|---|------------|
| [6] | 153.5 | 25.2 | 737 | 41.2 | 82.7 |
| [19] | 243.2 | 25.04 | 715.6 | 42.27 | 82.81 |
| [20] | 4 | 24.4±0.7 | 703 | 41.95 | 82.7 |
| [18] | 4 | 25±0.6 | 716±1.1 | 43±0.79 | 81±1.9 |
| [15] | 4 | 23.24±0.47 | 681.6±2.3 | 41.34±0.79 | 82.47±0.54 |

图表：近年来部分HBC电池转换效率

| 文献 | 电池面积/cm ² | 光电转换效率/% | V _{oc} /mV | J _{sc} /(mA·cm ⁻²) | FF/% |
|---------------------------|----------------------|----------|---------------------|---|------|
| Sharp ^[26] | 3.724 9 | 25.1 | 736 | 41.7 | 82 |
| Panasonic ^[27] | 143.7 | 25.6 | 740 | 41.8 | 82.7 |
| Kaneka ^[23] | 180.4 | 26.3 | 744 | 42.3 | 83.8 |
| Kaneka ^[24] | 179.7 | 26.63 | 740 | 42.5 | 84.6 |

图表：近年来部分TBC电池转换效率

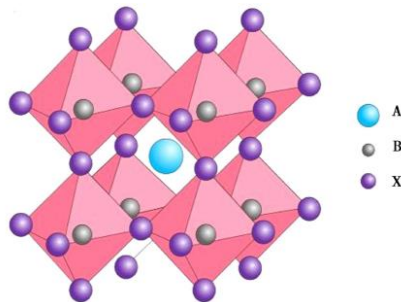
| 文献 | 电池面积/cm ² | 光电转换效率/% | V _{oc} /mV | J _{sc} /(mA·cm ⁻²) | FF/% |
|------|----------------------|------------|---------------------|---|------------|
| [29] | 3.986 | 26.10±0.31 | 726.6±1.8 | 42.62±0.4 | 84.28±0.59 |
| [31] | 9 | 21.2 | 692 | 39.2 | 78.3 |
| [32] | 2 | 23 | 701 | 42.2 | 77.8 |
| [34] | 3.97 | 24.25±0.49 | 727.1±2.5 | 41.57±0.79 | 80.23±0.52 |
| [35] | 4 | 25.01±0.38 | 722.7±2.2 | 41.9±0.6 | 82.60±0.60 |

资料来源：《N型背接触异质结太阳能电池概述_杨振英》，华西证券研究所

钙钛矿：叠层和成本优势显著，关注度日益提升

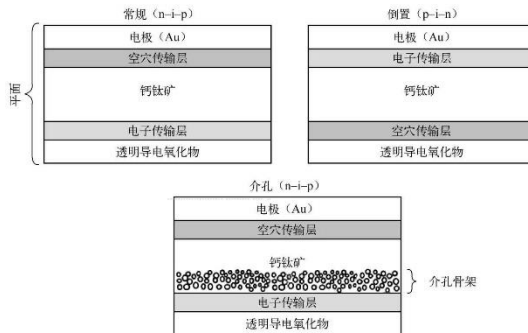
- **钙钛矿电池（PSCs）**：钙钛矿本指化学式为 CaTiO_3 的矿物质以及拥有为 CaTiO_3 结构的金属氧化物。发展至今，钙钛矿已经成为化学式为 ABX_3 的物质的术语。利用钙钛矿型的有机金属卤化物半导体作为吸光材料的电池，极限理论转换率约31%。钙钛矿电池结构简单，以常规钙钛矿电池为例，自下往上依次为：透明导电氧化物（FTO或ITO）、电子传输层（ETL）、钙钛矿层、空穴传输层（HTL）、金属电极。其中钙钛矿层厚度为百纳米，对于电池质量至关重要。
- **钙钛矿电池优势**：①性能好。钙钛矿材料吸光性能强于晶硅，能量损失极低，覆盖的光谱范围极宽。②灵活性高。其配方可调，可将其带隙尽可能地推向理想值，也可针对不同波长入射光设计不同钙钛矿层并彼此、或与其他光伏材料叠加，提高转化率。③预期成本较低。所需原材料价格低，材料的用量低。且前驱液的配制不涉及复杂工艺，对纯度要求不高，后续组件对加工环境要求也不高。④产业链的投资需求不高。钙钛矿制备简单，工艺流程短，上下游整合相对容易。
- **钙钛矿电池缺点**：①目前使用较广的钙钛矿材料中含有Pb，Pb是一种有毒的元素；②钙钛矿材料对湿度和温度极其敏感，经过封装的电池其效率衰减依然严重；③实验室制备方法大部分不适用于工业化应用，在制备工艺上仍有较大提升空间。

图表：钙钛矿晶格结构



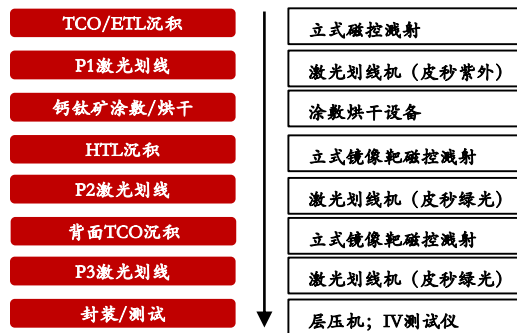
资料来源：《高效钙钛矿太阳能电池及其叠层电池研究进展_刘璋》，华西证券研究所

图表：现阶段钙钛矿电池的典型结构



资料来源：《晶体硅太阳能电池物理_陈哲良》，华西证券研究所

图表：纯钙钛矿薄膜电池技术方案总结



资料来源：蚂蚁光伏，华西证券研究所

钙钛矿：叠层和成本优势显著，关注度日益提升

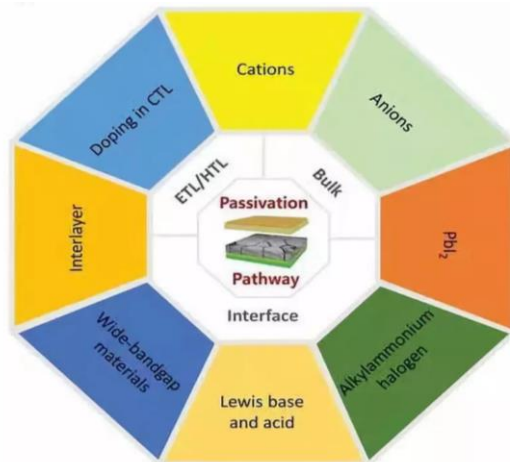
- **钙钛矿薄膜层是光收集层，制备方法多。**钙钛矿电池的光电转换效率和薄膜的光电特性受薄膜形貌的影响很大，多种成膜方法不断被开发用于制备高效的钙钛矿薄膜，常见的钙钛矿薄膜制备方法包括一步法、两步法、双源共蒸发法、气相辅助溶液法、刮涂法、卷对卷印刷技术、喷墨打印等。
- **钙钛矿电池缺陷钝化技术：**薄膜缺陷长期制约钙钛矿电池光电转换效率和器件稳定性的发展。目前，针对钙钛矿薄膜缺陷的钝化思路主要是在前驱液中添加钝化剂，调整钙钛矿结晶速度增强结晶度，以及钝化晶界缺陷降低缺陷浓度和能级陷阶深度。现有钝化材料主要包括钙钛矿前驱体、碱金属元素、有机分子、路易斯酸/碱、疏水基团材料。

图表：纯钙钛矿薄膜制备方法

| 制备方法 | | 概述 |
|---------|---------|---|
| 旋涂法 | 一步法 | 现在比较常用的钙钛矿薄膜的制备方法。通常是 将 PbX_2 和 CH_3CH_2X (X 为 Cl 、 Br 、 I) 按固定的物质的量比加入到高沸点的极性溶剂（如 N 、 N -二甲基甲酰胺（DMF）、 γ -丁内酯（GBL）、二甲基亚砜（DMSO）等）中，将混合物在一定的温度范围内加热搅拌，以制成澄清的钙钛矿前驱体溶液。然后将溶液旋涂在衬底上，经过退火处理获得所需的钙钛矿薄膜。 |
| | 两步法 | 将生成钙钛矿的两种前驱体的旋涂过程分为两步进行。先将 PbX_2 加入 DMF 或 DMSO 等高沸点极性溶剂中，然后将溶液旋涂在基底上制成 PbX_2 薄膜；进而将制备的 PbI_2 薄膜浸入 MAI 或 FAI 的异丙醇溶液中，或者在 PbI_2 薄膜上旋涂 MAI 或 FAI 的异丙醇溶液，使二者反应制备得到钙钛矿薄膜。 |
| 气相沉积法 | 双源共蒸发法 | 是沉积薄膜的一种常用方法，使用双气源共蒸发同时对 PbX_2 和 CH_3CH_2X 进行加热蒸发，在真空条件下使其在衬底上沉积，然后加热使其反应形成钙钛矿薄膜。在双源共蒸发法中，可以通过控制两种固体的蒸发速率，改变两种成分的比例，进而控制钙钛矿的成分组成，获得均一度较高的钙钛矿薄膜。 |
| | 气相辅助溶液法 | 将旋涂了 PbX_2 的薄膜作为钙钛矿前驱体置于 CH_3CH_2X 气氛中，使它们相互结合形成钙钛矿薄膜。 |
| 刮涂法 | | 一种工艺简单的薄膜制备方法，先在导电基底上刮涂电子传输层的前驱溶液并退火，重复一次上述操作，再在电子传输层上刮涂一层前驱溶液并退火得到钙钛矿层，然后刮涂空穴传输层溶液，静置干燥得到空穴传输层，最后制备背电极，得到钙钛矿太阳能电池。 |
| 喷墨打印 | | 喷墨打印是一种非接触式材料保护可扩展打印技术，可以实现尺寸的精确可控与沉积的自动可重复，其原理是基于精确的液滴操作将油墨从喷嘴喷射到衬底。 |
| 卷对卷印刷技术 | | 卷对卷印刷技术是在环境条件下高集成、低成本、大规模制备柔性钙钛矿太阳能电池的一种很有前景的制备工艺。 |

资料来源：《钙钛矿薄膜制备技术及其在大面积太阳能电池中的应用_降戎杰》，华西证券研究所

图表：钙钛矿太阳能电池缺陷钝化技术

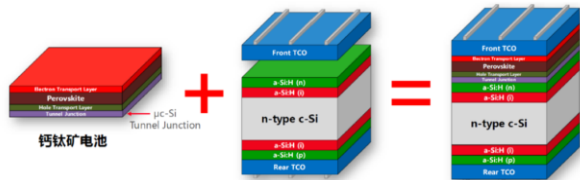


资料来源：《钙钛矿太阳能电池缺陷钝化技术的研究进展_钟东霞》，华西证券研究所

钙钛矿：叠层和成本优势显著，关注度日益提升

- 钙钛矿电池与晶硅电池相比，能更有效地利用高能量的紫外和蓝绿可见光，而晶硅电池可以有效地利用钙钛矿材料无法吸收的红外光。因此，通过叠层方式与HJT、IBC等电池组合，实现吸收光谱互补，可以突破传统晶硅电池理论效率极限，提升光伏电池转换效率。目前两端叠层电池效率已经突破28%。理论上，新式钙钛矿光伏电池的单层理论效率可达31%，钙钛矿双结叠层电池转换效率可达35%，钙钛矿三结叠层电池理论效率可达45%以上。

图表：在HJT电池表面涂覆一层钙钛矿电池

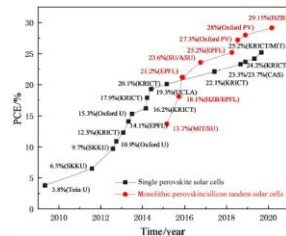


资料来源：华西证券研究所

图表：钙钛矿/晶硅叠层（2-T）电池效率进展

| 单位 | 电池结构 | 效率Eff | 时间 |
|-----------|--------------|--------|---------|
| 柏林亥姆霍兹中心 | 钙钛矿/晶硅 | 29.8% | 2021.11 |
| 荷兰应用科学研究所 | 钙钛矿/晶硅 (HJT) | 29.2% | 2021.11 |
| 牛津光伏 | 钙钛矿/晶硅, 2T | 29.52% | 2020.12 |

资料来源：NREL, CPIA, 华西证券研究所



- 钙钛矿晶硅叠层电池结构有多种。2-T叠层电池又称集成一体化结构，是指在硅电池上生长钙钛矿电池，采用中间层连接两个子电池；4-T叠层电池又称为机械堆叠结构，是指将带隙较大的钙钛矿电池作为顶电池，将带隙较小的晶硅电池作为底电池，通过简单堆叠形成叠层电池，顶电池和底电池分别保留其正负极，构成4个终端结构。另外，还有光谱分离的四端叠层电池、反射结构的四端叠层电池、三端叠层等。

图表：钙钛矿/晶硅叠层太阳电池结构

| 种类 | 介绍 | 图例 |
|-------------------|---|----|
| 机械堆叠的四端叠层电池 (4-T) | <p>含义 将两个子电池独立制备后堆叠在一起，相互之间只有光学耦合作用。四端叠层电池对电极有较高的要求，要求四个电极中其中三个为透明电极，进光面电极需要具备在宽光谱范围内的高透过，中间两个电极需要具备在红外光谱范围内的高透过。</p> <p>优点 这个结构的优点是各个子电池的制备工艺不互相制约，能各自采用最优的工艺条件。四端叠层电池在工作过程中，两个子电池可以分别保持在最大功率点，这减少了顶电池带隙选择的限制，当顶电池带隙为1.6~2eV，叠层电池都能获得较高的效率。</p> <p>缺点 采用四端结构意味着功率电子元件要加倍，相应地，度电成本将提高。</p> | |
| 两端叠层电池 (2-T) | <p>含义 在晶硅电池上直接生长钙钛矿电池，中间通过复合层或隧道结将两个子电池串联起来。</p> <p>优点 与四端叠层电池相比，两端叠层电池仅需要一个宽光谱透明电极，有利于降低制造成本。</p> <p>缺点 两端叠层电池限制：首先串联电池的电流由两个子电池中较小的电流决定，因此，要求两个子电池具有近似的电流。其次，顶电池直接沉积在底电池上，要求顶电池功能层的制备不能影响底电池的性能，同时底电池表面成为顶电池的衬底，传统绒面结构的晶硅底电池为制备高性能钙钛矿电池带来了挑战。</p> | |

资料来源：《钙钛矿/晶硅叠层太阳电池关键材料与技术研究进展_李梓进》，华西证券研究所

钙钛矿：叠层和成本优势显著，关注度日益提升



■ 钙钛矿尚处起步阶段，众多企业持续关注和布局。天合光能、协鑫光电、东方日升、晶科能源、聆达股份西子节能、拓日新能、杭萧钢构、万润股份等厂商正储备相关技术。设备厂商如捷佳伟创、迈为股份、京山轻机、杰普特等已有相关设备布局。

图表：部分上市公司钙钛矿电池布局情况

| 公司 | 布局或进展 |
|------|---|
| 天合光能 | 聚焦高效N型TOPCon/钙钛矿叠层电池，承担国家重点研发计划项目的研究不断提升叠层电池转换效率以实现新突破 |
| 东方日升 | 进一步提高高效钙钛矿叠层电池的转换效率 |
| 晶科能源 | 推动钙钛矿电池技术从实验室研究到未来产品量产工艺方案的开发。通过大面积高效高稳定钙钛矿电池开发，推动钙钛矿电池走向商业化 |
| 隆基股份 | 对钙钛矿等新型电池技术保持密切的跟踪和关注 |
| 宁德时代 | 钙钛矿光伏电池研究进展顺利，正在搭建中试线 |
| 聆达股份 | 关注钙钛矿电池技术的发展，并把异质结叠加钙钛矿技术列入三期规划 |
| 捷佳伟创 | 其PVD和RPD均可用在钙钛矿生产中，RPD设备取得了钙钛矿中试线的订单，同时钙钛矿的整线设备也进入了研发阶段 |
| 迈为股份 | 2020年年报披露公司已布局钙钛矿激光设备。主要内容是研究对钙钛矿型太阳能电池组件的切割工艺，分割标准件成电池，让电池形成串联，到达绝缘和可靠性的处理 |
| 京山轻机 | 与下游钙钛矿电池领先企业强强联合，开展钙钛矿叠层电池技术开发战略合作，联合开发钙钛矿与叠层电池的工艺及相关设备。 目前，钙钛矿电池装备突破，晟成光伏团簇型多腔式蒸镀设备量产交付 |
| 杰普特 | 研发的钙钛矿膜切设备主要用于钙钛矿薄膜切割，运用优化的超短脉冲激光工艺，通过高精度视觉定位、运动控制及光束整形技术，有效降低了钙钛矿薄膜电池死区宽度，使得钙钛矿太阳能电池生产效率及效果进一步提升 |
| 西子节能 | 公司全资子公司参股公司杭州众能光电科技主要从事薄膜光电器件（钙钛矿/OPV）和相关装备的研发和生产 |

资料来源：Wind，各公司年报，官网，华西证券研究所

■ 投资建议

- 关注优质光伏电池设备上市公司：迈为股份、捷佳伟创、帝尔激光、海目星；其他受益标的如金辰股份、京山轻机等。

■ 风险提示

- 技术进步不及预期、下游扩产进度不及预期、行业竞争加剧、数据更新不及时的风险等。

分析师与研究助理简介

曾雪菲：上海交通大学金融学硕士，武汉大学经济学学士，2年券商从业经验，2021年10月加入华西证券研究所，主要研究方向检测、工控、工业互联网等领域。

分析师承诺

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

| 公司评级标准 | 投资评级 | 说明 |
|--------------------------------|------|--------------------------------|
| 以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。 | 买入 | 分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15% |
| | 增持 | 分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间 |
| | 中性 | 分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间 |
| | 减持 | 分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间 |
| | 卖出 | 分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15% |
| 行业评级标准 | | |
| 以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。 | 推荐 | 分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10% |
| | 中性 | 分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间 |
| | 回避 | 分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10% |

华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

免责声明



华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均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而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司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或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。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，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。