

证券研究报告

2023年03月15日

行业报告 | 行业专题研究

机械设备

叠层钙钛矿电池： 单结为矛，叠层为盾，下一代电池片技术或开始逐渐演绎！

作者：

分析师 李鲁靖 SAC执业证书编号：S1110519050003

联系人 张钰莹



天风证券

【综合金融服务专家】

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

1) 钙钛矿叠层电池：效率突破单结极限，多种技术路径持续探索。叠层电池的原理是宽带隙顶部电池吸收高能量光子，窄带隙底部电池提高光子利用率，二者合作能突破单结电池的理论效率极限，打开转化效率天花板。

- **从材料分类：**可分为钙钛矿/PERC、钙钛矿/TOPCon、钙钛矿/HJT、钙钛矿/CIGS与全钙钛矿电池等。钙钛矿晶硅叠层电池是现阶段晶硅电池的升级之选，**其中钙钛矿/HJT电池或为更优解**；而全钙钛矿电池无需晶硅材料，能实现有效降本，**未来随着量产技术逐渐成熟，全钙钛矿叠层有望成为更优选择。**
- **从结构分类：**两端结构为两子电池串联，三端结构两子电池并联，四端机械堆叠结构两子电池并联，光学耦合。两端集成一体化结构要求两子电池电流相互匹配，**产业选择集中于两端一体化结构**，或因其所需透明导电层较少，制备成本低。

2) 制备设备：看好广泛PVD与先进ALD。综合分析各公司公开专利，叠层电池生产流程相较于单结电池的增量在于中间层，ALD技术在其中缓冲层/致密层更占优；PVD技术覆盖大部分生产流程，价值量占比高。

3) 叠层钙钛矿电池：电池厂商厚积待薄发，产能规划持续萌芽。传统电池厂商隆基、爱旭已开始技术布局，新兴企业宝馨、华晟不容小觑，跨界厂商杭萧钢构、聆达股份动作频繁。目前钙钛矿叠层电池尚处于研发与试验阶段，已有企业宣布产能规划，钙钛矿晶硅叠层电池因基础晶硅技术成熟，产业进度快于钙钛矿/CIGS叠层电池与全钙钛矿叠层电池。效率方面，小面积钙钛矿/晶硅叠层电池效率已超30%，期待大面积叠层电池效率突破。

4) 投资建议：

- **建议关注电池厂商后续进展：**目前明确钙钛矿叠层电池规划的多为跨界厂商，杭萧钢构进展快速，率先规划建立100MW中试线。传统电池片厂商中，天合、东方日升与通威已有明确的钙钛矿叠层电池布局计划。
- **关注PVD设备与ALD厂商：**PVD设备商中捷佳伟创与京山轻机设备已成功导入下游钙钛矿电池端，未来有望应用于叠层电池；微导纳米是光伏ALD设备龙头之一，已获取叠层电池订单，期待未来扩大优势；奥来德（正在研发）、欣奕华（暂未上市）作为蒸镀机探索研发生产商，有望凭借蒸发源know-how带来增益。

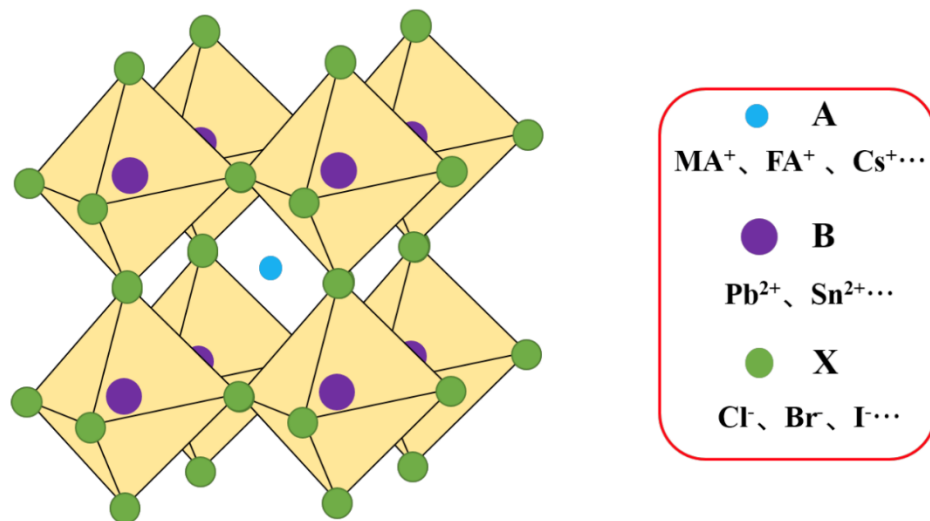
风险提示：光伏装机不及预期；电池片技术路径变化风险；钙钛矿叠层电池量产速度低于预期

1.钙钛矿叠层电池： 效率突破单结极限，多种技术路径持续探索

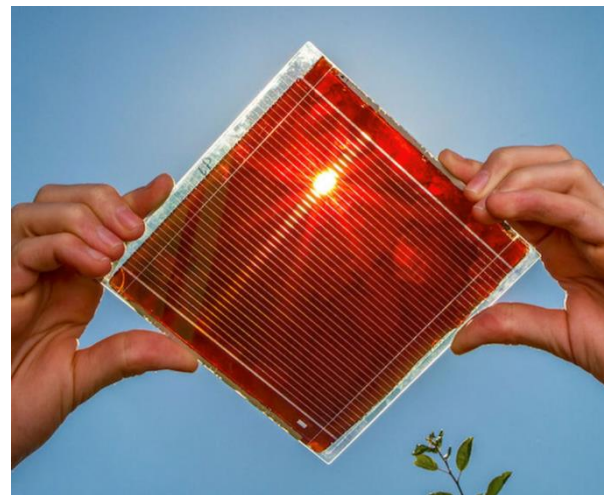
1.1.钙钛矿：新一代电池技术，降本增效灵活性强

- **钙钛矿材料结构：** ABX_3 。狭义的钙钛矿是矿物 $CaTiO_3$ 本身，广义钙钛矿则是具有钙钛矿结构类型的 ABX_3 型化合物。钙钛矿晶体结构由共享的 BX_6 八面体组成，A占据了每个晶胞单元中 BX_6 八面体的空腔位置，其中A位离子为大半径的阳离子，B位阳离子为小半径的阳离子，X位阴离子则为卤素阴离子。
- **半透明薄膜电池，可用于光伏建筑一体，打开光伏市场天花板。**钙钛矿电池是新型薄膜电池，兼具半透明、色彩可调节的特点，能部署于无法安装晶硅电池之处，适合用于光伏建筑一体。其高水平的转化效率使其在理想化情况下有望实现车载，甚至用于移动设备的表面或穿戴。

图：钙钛矿晶体结构



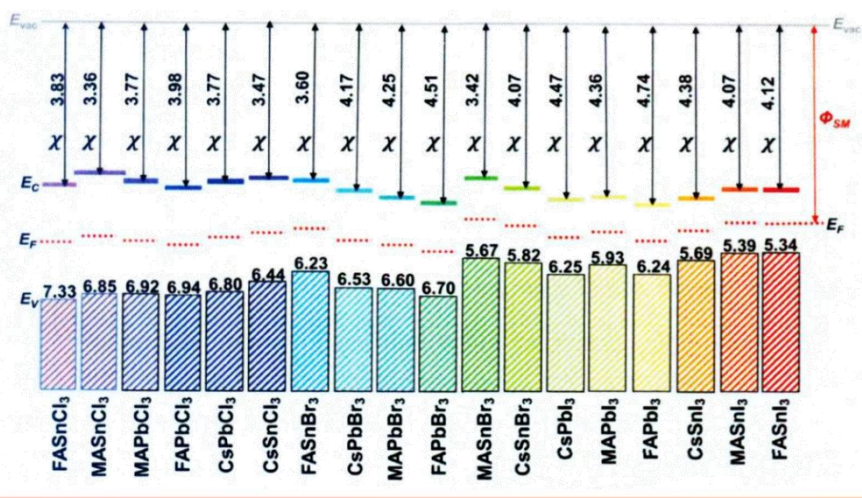
图：钙钛矿太阳能电池



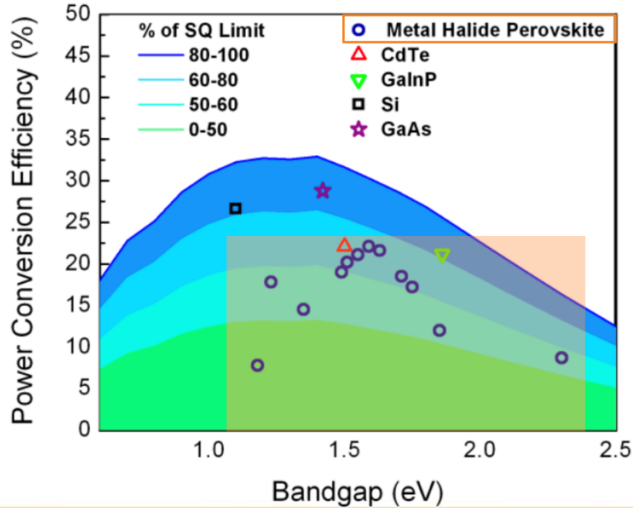
1.1.钙钛矿：新一代电池技术，降本增效灵活性强

- 钙钛矿活性层优良的光电性质：较高的吸光系数、灵活的带隙可调性、较长的载流子扩散长度、激子结合能小等特点。
- **吸光系数高**：钙钛矿(MAPbI₃)属于直接带隙半导体，具有较高的吸收系数，仅需要500nm左右厚度薄膜吸收800nm以下的可见光，即可产生25mA·cm⁻²以上的电流密度。相比于硅电池，厚度达几十微米，方可产出40mA·cm⁻²以上的电流密度。
 - **带隙可调性好**：通过影响晶格的大小，能改变卤素原子与金属离子间的键长，通过间接的方式影响材料的能带结构。因此可以通过调控不同元素的掺杂比例，获得不同带隙的钙钛矿材料，从而实现钙钛矿吸收光谱的连续可调性。硅的带隙为1.1eV，而**钙钛矿带隙连续可调1.2-2.5eV，宽带隙可吸收更高能量的光子。**
 - **载流子扩散长度长**：较长的载流子扩散长度有利于太阳能电池的电荷传输，利于电子-空穴的分离与提取，降低复合损失。
 - **激子结合能小**：钙钛矿的激子结合能低于绝大部分光伏材料，所以在光照下，钙钛矿活性层吸收光子后，室温下即能迅速转化为电子空穴对，并被两端电极收集产生光伏效应。

图：不同类型钙钛矿材料的能带结构图



图：不同带隙钙钛矿对应转化效率几乎都高于50% S-Q极限



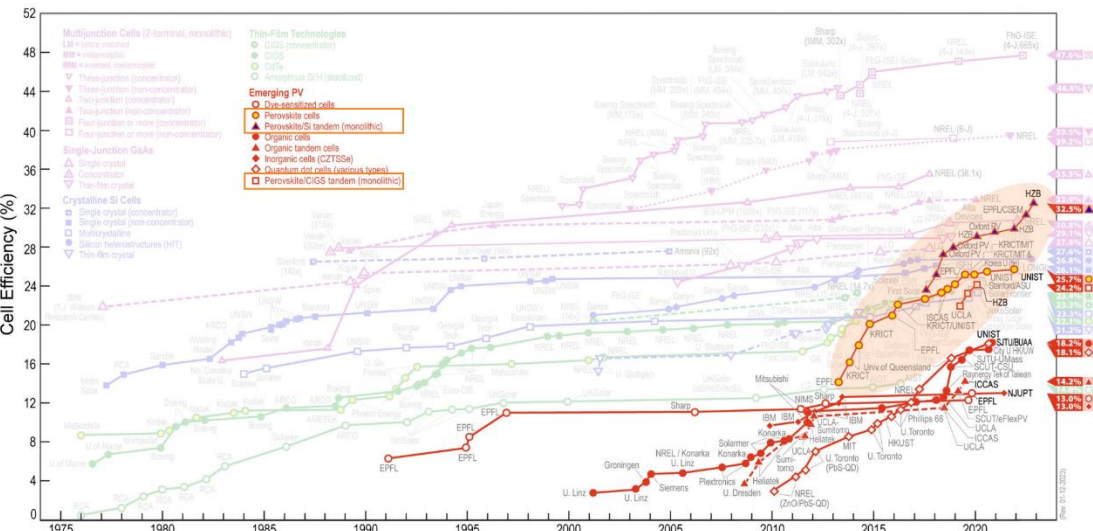
资料来源：钙钛矿太阳能电池的性能优化及稳定性研究_王硕、Opportunities and challenges for tandem solar cells using metal halide perovskite semiconductors_Tomas Leijtens、天风证券研究所

1.1.钙钛矿：新一代电池技术，降本增效灵活性强

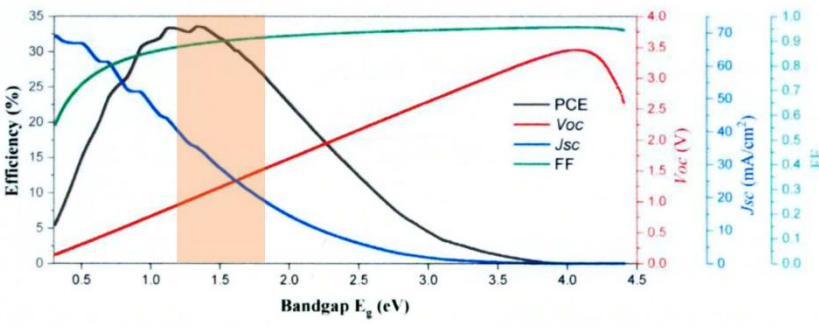
□ 钙钛矿优势：低成本、高效率，切合行业永恒命题

- 降本：1) 制备成本：PSCs 制作过程无需硅料，金属卤化物钙钛矿所需原材料储量丰富，价格低廉，能耗较低。2) 设备投资额：钙钛矿1GW投资金额约5亿元，是晶硅的1/2，是第二代GaAs薄膜太阳能电池的1/10。
- 增效：光电转化效率飞速提升，理论天花板高。1) 晶硅电池率先起跑，已逐渐逼近理论极限。据ISFH，PERC/HJT电池/TOPCon电池的极限转换效率为 24.50%/27.50%/28.70%。经过数十年发展，晶硅电池效率已达到 25%+，接近理论极限。2) 钙钛矿后起之秀，提效迅速空间大。根据 S-Q理论，常用的钙钛矿材料 MAPbI₃ 和 FAPbI₃ 的禁带宽度位于 1.5-1.6eV，其理论最大光电转化效率均处于 30% 以上。仅经过十余年，钙钛矿单结光伏电池的光电转换效率就从 3.8% 迅速提升至 25.5%，接近晶硅电池的效率记录，提效速度明显快于晶硅电池。

图：钙钛矿电池转化效率发展历程



图：半导体材料禁带宽度与光电转化效率关系图

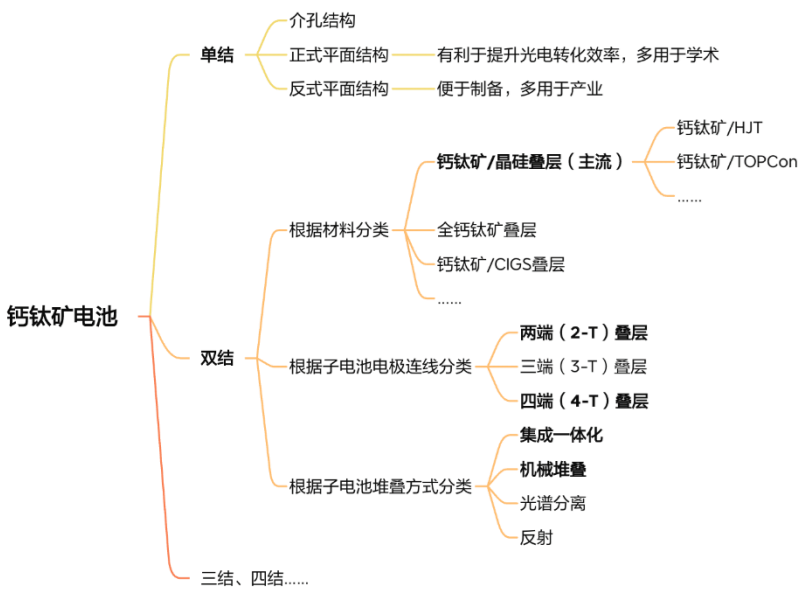


资料来源：NREL、钙钛矿太阳能电池的性能优化及稳定性研究_王硕、天风证券研究所

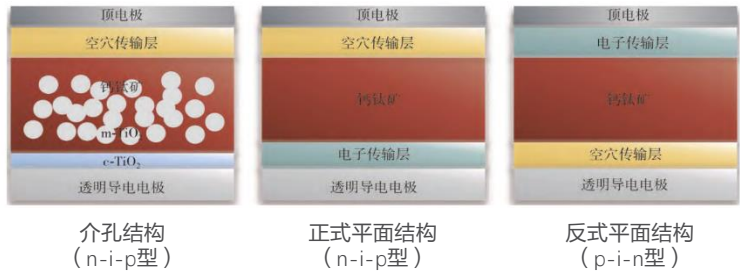
1.1.钙钛矿：新一代电池技术，降本增效灵活性强

□ 钙钛矿电池可分为单结电池与叠层电池，目前产业中单结电池占据主流。电池结构包括介孔结构与平面结构，其中平面异质结构又分为正式（n-i-p型）平面结构和反式（p-i-n型）平面结构，结构包括透明导电电极、电子传输层、钙钛矿层、空穴传输层、顶电极。介孔结构的钙钛矿电池成膜光滑、均匀，效率表现好，但制备工艺较复杂，且需要高温烧结；正式平面结构的钙钛矿器件有利于提升其光电转换效率，多用于学术领域；反式平面结构的钙钛矿器件便于制备，被广泛用于产业领域。叠层（多结）太阳能电池由两个或多个吸收光谱互补的子电池串联或并联堆叠。理论上随着叠层电池不同带隙吸收材料的增加，转换效率会不断提高，但实际上由于不可避免地寄生吸收，叠层的合理层数在二到三层，因此实验室与产业对叠层电池的研究与探索集中于双结。

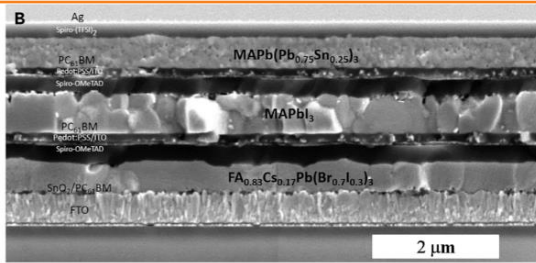
图：钙钛矿电池分类



图：钙钛矿电池结构示意图



图：三结钙钛矿叠层电池结构示意图

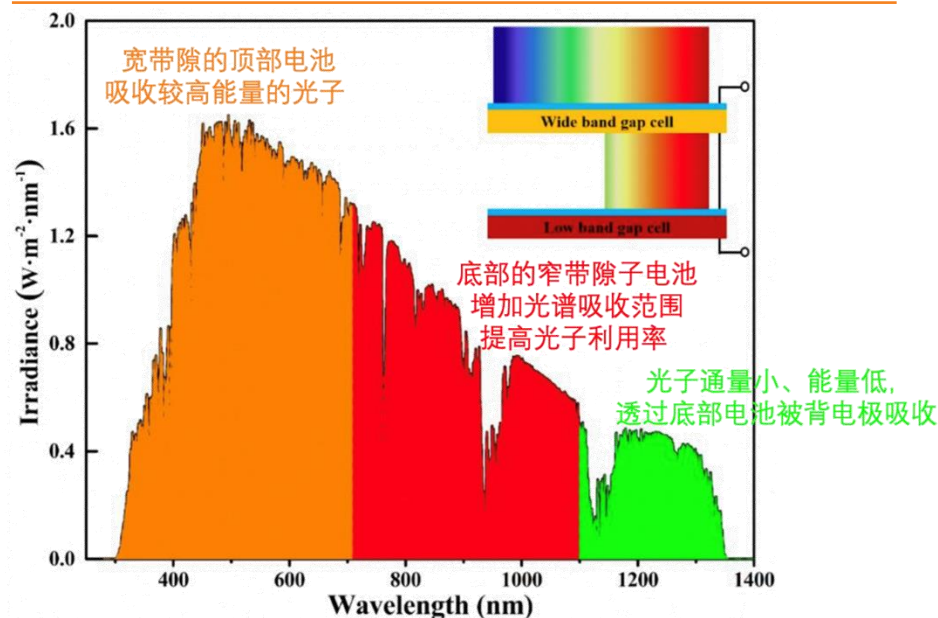


1.2. 叠层电池：组合增加光谱吸收范围，突破单结效率极限

叠层电池原理：宽带隙顶部电池吸收高能量光子，窄带隙底部电池提高光子利用率。

- 根据半导体理论，只有能量高于半导体材料的带隙光子才能被其吸收。不被吸收的低能量光子会穿过器件被金属背电极吸收，变成热能释放；被吸收的高能光子产生的热载流子也会转变成热能损失，对器件稳定性不利。
- 以双结太阳能电池为例：当太阳光垂直照射在器件上，宽带隙的顶部太阳能电池，吸收较高能量的光子，顶部子电池不仅能产生较高的电压，还能降低高能电子弛豫带来的热化损失。能量较低的光子（能量小于顶部电池的带隙）则不能被顶部宽带隙的子电池吸收，而是透过顶部电池被底部窄带隙的子电池吸收，相对于顶电池，底部的窄带隙子电池通过增加光谱吸收范围，提高光子利用率。

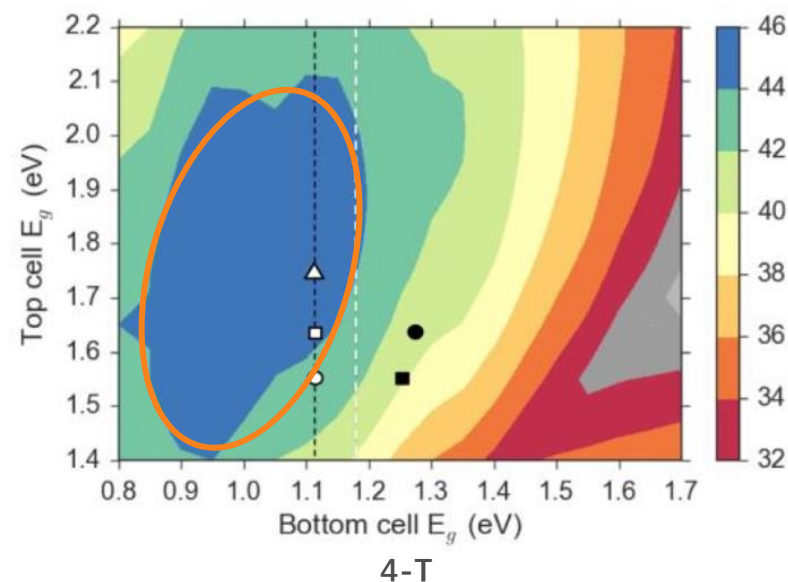
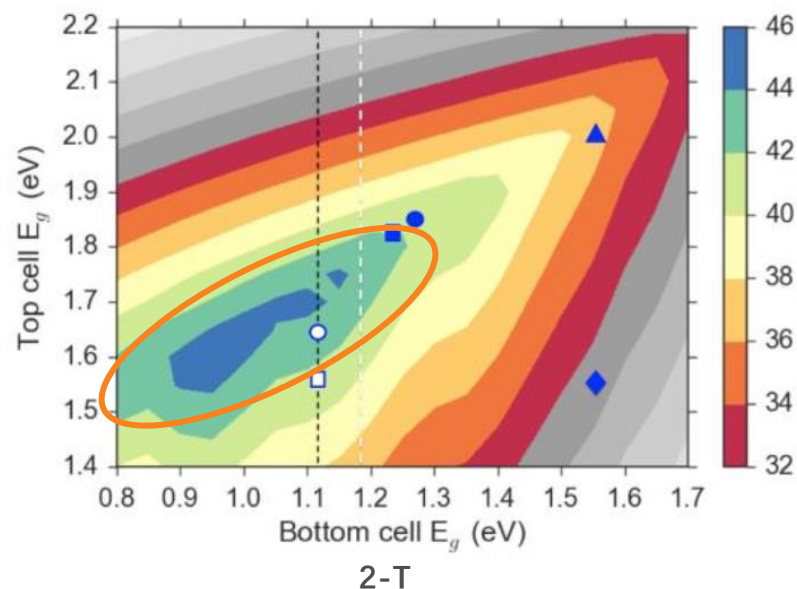
图：叠层器件工作原理图



1.2. 叠层电池：组合增加光谱吸收范围，突破单结效率极限

- 钙钛矿凭借优异的光电特性和带隙可调的优点成为叠层电池首选材料之一，光电转化效率突破单结S-Q理论极限，理论转化效率高达40%+。
- 钙钛矿/晶硅叠层电池与钙钛矿/CIGS叠层电池：Shockley-Queisser 限制理论分析单结的光伏电池转化效率最高为 30%。以钙钛矿/晶硅叠层电池为例，将硅电池和钙钛矿电池按照能隙的分布从小到大叠合，硅电池带隙窄，主要进行长波段光的吸收；钙钛矿电池带隙宽，主要进行短波段光的吸收，二者合作提高电池对太阳光的综合吸收率，从而突破S-Q限制理论。
- 全钙钛矿叠层电池：钙钛矿自身可调节带隙，因此可制备带隙在 1.2-2.5 eV 范围内连续可调的钙钛矿吸光材料，将宽带隙钙钛矿作为顶层，窄带隙钙钛矿为底层，从而增加光谱覆盖范围，提高光子利用率。

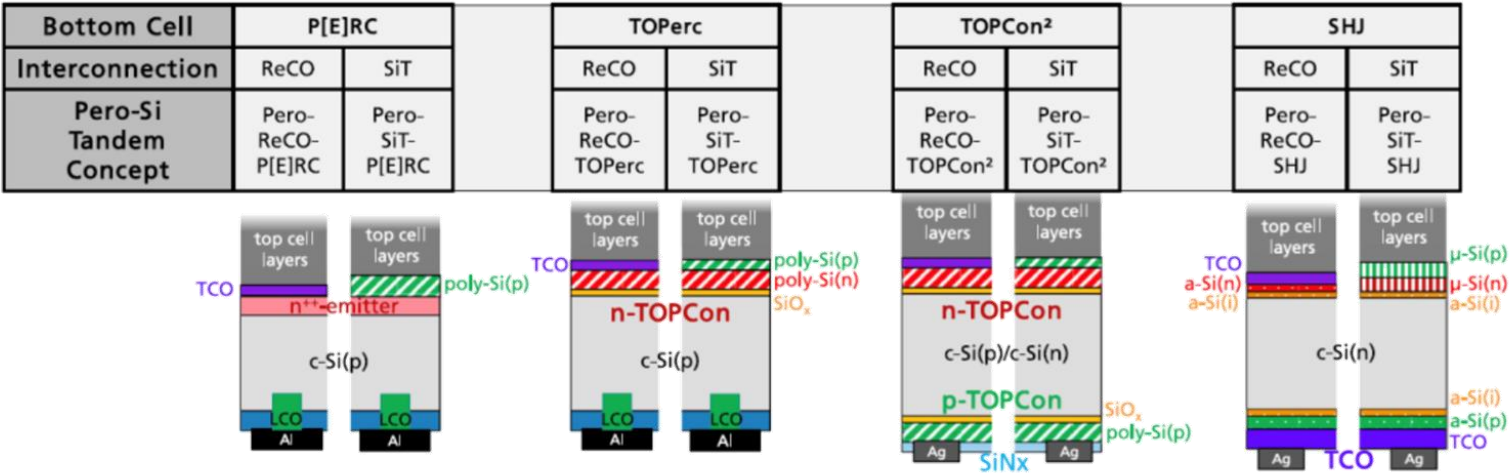
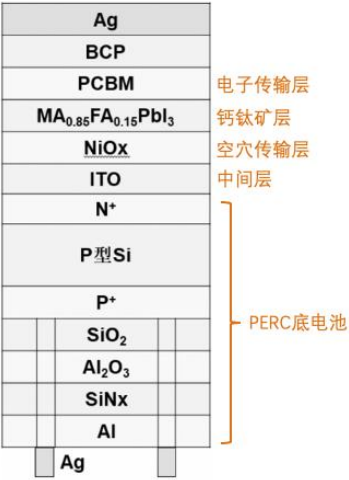
图：2-T与4-T叠层电池各转化效率对应禁带宽度



1.3.1. 叠层材料：钙钛矿/PERC叠层电池

- ❑ 钙钛矿/晶硅叠层电池：晶硅升级，基础技术成熟，钙钛矿/HJT或为更优解。钙钛矿/晶硅叠层电池以窄带隙晶硅作为底电池，宽带隙钙钛矿电池作为顶电池。其优势在于晶硅拥有理想带隙（ $E_g=1.12\text{eV}$ ），产业链成熟，量产稳定且效率高。钙钛矿/晶硅叠层电池可视为目前晶硅电池的升级，突破效率极限瓶颈，适用于主流光伏电站场景。
- ❑ 钙钛矿/PERC叠层电池：早期方案，效率与结构受限。在TOPCon与HJT技术尚未成熟时，早期叠层电池底电池使用PERC结构。
 - 效率：主要受限于PERC正表面未钝化的掺磷发射极，导致电池电流密度与开路电压降低，从而影响转化效率。
 - 结构：早期n-PERC结构的发射极在受光面，决定了宽带隙钙钛矿只能为n-i-p结构。后期经过权衡光学和电学增益，TOPCon与HJT电池开始采用背结结构，发射极在背光面，基于TOPCon和HJT的平面反式结构（p-i-n）叠层电池逐渐兴起，钙钛矿/PERC叠层电池日渐式微。

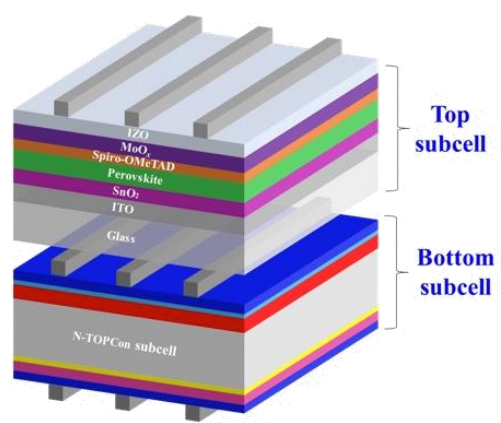
图：钙钛矿/PERC叠层电池结构 图：钙钛矿/晶硅叠层电池各结构比较



1.3.1. 叠层材料：钙钛矿/TOPCon叠层电池

- 钙钛矿/TOPCon叠层电池：结构需改造，电流受限。TOPCon与钙钛矿相叠并非最优解：
- Topcon正面的氮化硅和氧化铝不能导电，需要先去除氧化铝和氮化硅或加入额外工艺环节；
 - Topcon电池开压不高、电流高，若采用集成一体结构则丧失电流优势，理论上钙钛矿/TOPCon叠层电池效率低于钙钛矿/HJT叠层电池。

图：钙钛矿/TOPCon叠层电池结构



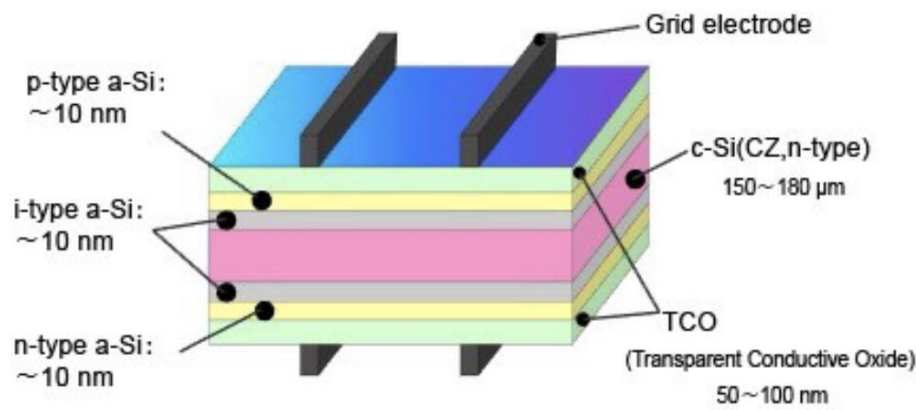
表：学术端钙钛矿/晶硅电池转化效率历程

研究机构	钙钛矿电池结构	晶硅电池类型	转化效率(%)
ANU	n-i-p	n-PERC	22.5
EPFL	p-i-n	HJT	25.24
EPFL	n-i-p	n-HJT	22
UNL	p-i-n	n-HJT	25.4
UNIST	p-i-n	p-Al BSF	21.02
HZB/Oxford	p-i-n	n-HJT	25.2
HZB	p-i-n	HJT	29.15
UNC	p-i-n	n-HJT	26
HZB	p-i-n	HJT	29.8
EPFL/CSEM	/	/	31.3

1.3.1. 叠层材料：钙钛矿/异质结叠层电池

- 钙钛矿/异质结叠层电池：结构适配，开路电压高。产业中主要选择异质结与钙钛矿相叠，原因在于：
- 仅异质结电池具备透明导电层(TCO)，可与钙钛矿叠层完美适配，后续改造难度小，工艺流程简单；
 - 异质结电池的对称性结构，可兼容正反型钙钛矿电池技术；
 - 异质结电池开压高，因此与钙钛矿叠层串联输出电压高，从而保障叠层电池效率高。目前产业中面临的挑战包括异质结绒面金字塔与钙钛矿涂层的匹配问题等。

图：异质结电池结构



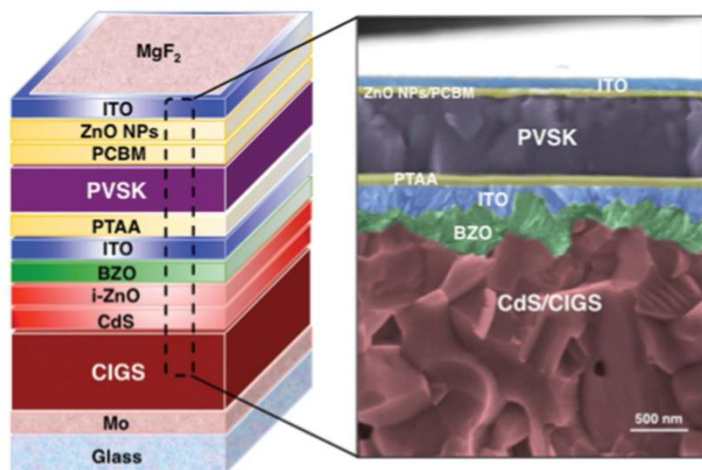
图：钙钛矿/异质结叠层电池结构

LIF	LIF
ITO	ITO
MoO ₃	SnO ₂
Spiro-OM	PCBM
Perovskite	Perovskite
TiO ₂	NiO ₂
ITO	ITO
p ⁺ a-Si:H	n ⁺ a-Si:H
i a-Si:H	i a-Si:H
c-Si	c-Si
i a-Si:H	i a-Si:H
n ⁺ a-Si:H	p ⁺ a-Si:H
Ag	Ag

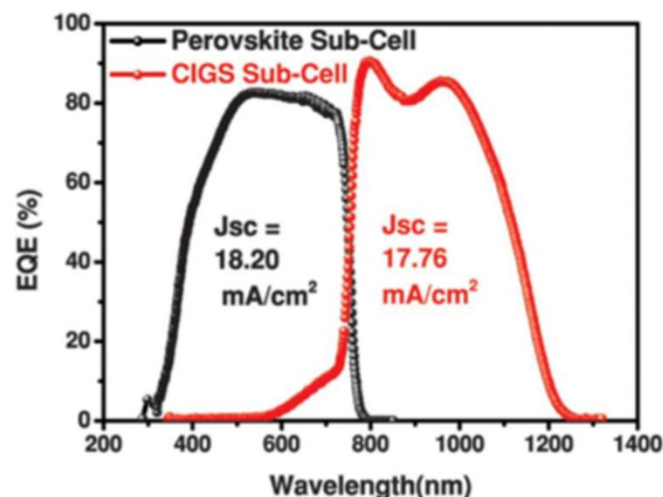
1.3.1.叠层材料：钙钛矿/CIGS叠层电池

- 钙钛矿/CIGS（铜铟镓硒）叠层电池：以窄带隙CIGS作为底电池，宽带隙钙钛矿作为顶电池。CIGS是传统商业薄膜太阳能电池技术之一，窄带隙宽度可调，能与钙钛矿顶电池带隙匹配。CIGS电池的典型结构为衬底/Mo/CIGS(p型)/CdS(n型)/ZnO，这种极性结构限制了顶部钙钛矿只能是p-i-n(反式)结构。
- **优势：** CIGS具有较高的光吸收系数，理论上能获得比钙钛矿/晶硅叠层结构更高的光电性能；子电池带隙均可调节；CIGS与钙钛矿皆为薄膜电池，可获得柔性叠层电池。
 - **挑战：** CIGS通常通过真空方法沉积，导致表面粗糙，因此挑战之一是在粗糙的CIGS电池表面保形生长钙钛矿顶子电池，或通过增加表面后处理工艺或者优化CIGS吸收层的沉积工艺改善表面粗糙度。

图：钙钛矿/CIGS叠层电池结构和截面SEM图



图：钙钛矿与CIGS子电池的EQE曲线

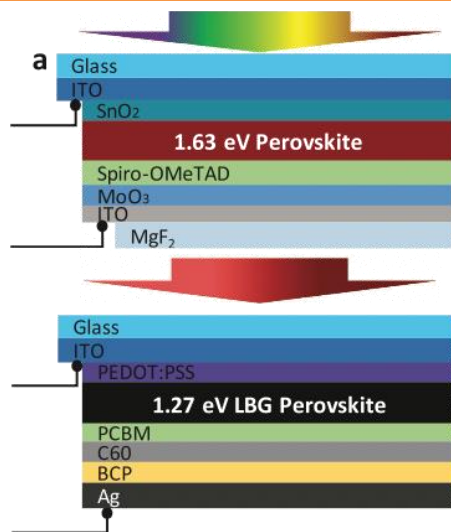


1.3.1.叠层材料：全钙钛矿叠层电池

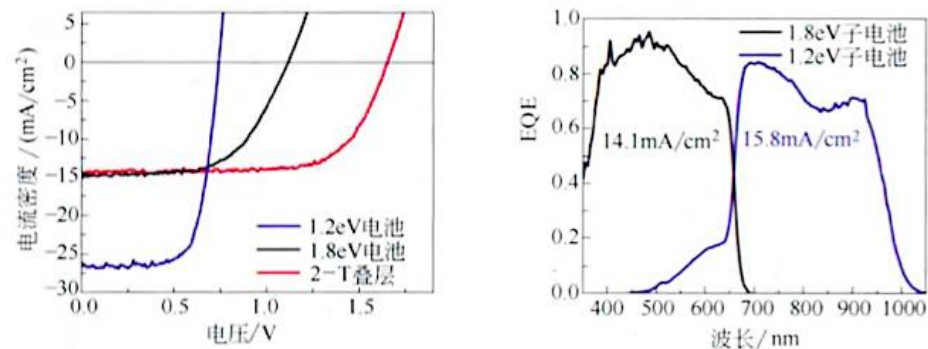
□ 全钙钛矿叠层电池：利用钙钛矿可调节带隙的特性，制备窄带隙钙钛矿作为底电池，宽带隙钙钛矿作为顶电池。

- **优势**：两子电池带隙均可灵活调节，能最大程度实现太阳光谱高效利用， V_{oc} 超过钙钛矿/晶硅叠层电池，效率上限高；柔性程度高，可采用平面工艺；低温和低成本的溶液可加工性，有望大幅降低制备成本。
- **挑战**：窄带隙钙钛矿稳定性较低，大面积制备难度较高；互联界面为平面，平面界面的光反射降低了窄带隙钙钛矿电池对长波光谱利用率；窄带隙电池沉积过程中存在溶剂对宽带隙钙钛矿电池降解的风险。

图： 4-T全钙钛矿叠层电池结构示意图



图： 2-T全钙钛矿叠层电池的JV曲线与EQE曲线



1.3.1.叠层材料：综合比较

- 综合比较钙钛矿与各材料的叠层电池：短期选择钙钛矿/HJT，远期未来或属于全钙钛矿。
- 钙钛矿/晶硅叠层电池为现阶段晶硅电池升级之选，基础技术成熟，主要应用场景仍为电站。多家电池片厂商已有布局，其中钙钛矿/HJT叠层电池凭其结构优势获得多数厂商青睐。
 - 全钙钛矿叠层电池生产无需晶硅材料，生产成本大幅降低，且转化效率优于单结钙钛矿电池，但目前大面积制备仍存问题。未来随着量产技术逐渐成熟，全钙钛矿叠层或为更优选择。

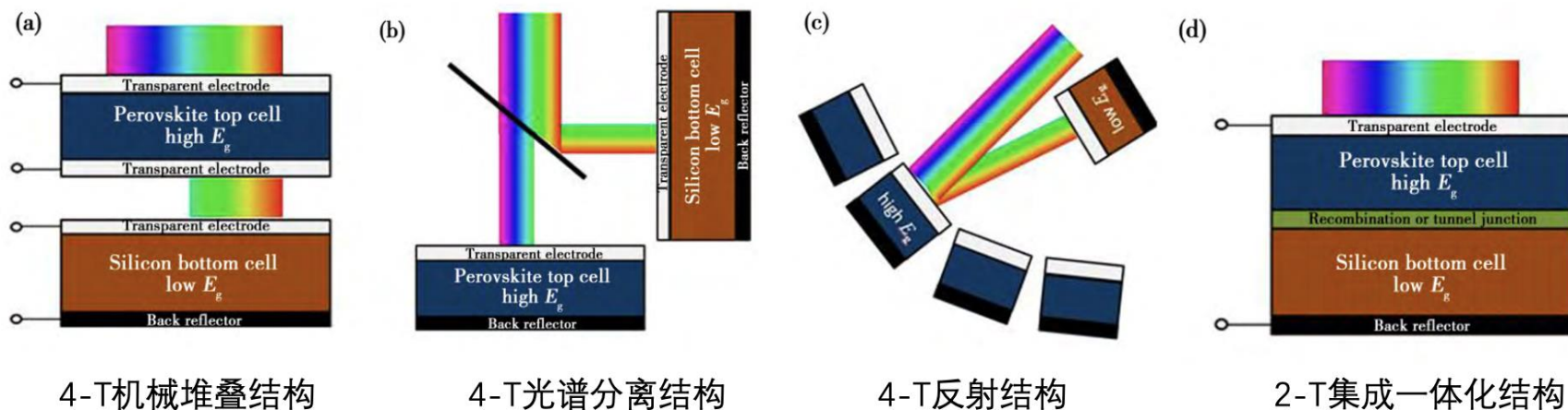
表：各材料叠层电池的优缺点比较与产业进展

电池种类	钙钛矿/晶硅		薄膜电池	
	钙钛矿/HJT	钙钛矿/TOPCon	钙钛矿/CIGS	全钙钛矿
优点	具备TCO，与钙钛矿适配；结构对称；开路电压高	TOPCon技术成熟，产线投资低	光电性能优于晶硅;带隙可调;柔性	光电性能优于晶硅;带隙可调;低温低成本
缺点	绒面与钙钛矿涂层有待磨合	需要改造，电流优势无法完全发挥	CIGS表面粗糙，与钙钛矿涂层有待磨合	窄带隙钙钛矿难以大面积制备；平面界面降低光谱利用率等
应用场景	多用于光伏电站		建筑立面、玻璃幕墙、车顶等	
产业化进展	产业主流选择，多为电池片厂商		相关企业少	相关企业少
相关企业	隆基、爱旭、合特光电（杭萧钢构）、华晟、宝馨、聆达、牛津光伏（金风科技）	中来、黑晶（皇氏集团）	泰州锦能	仁烁光能、协鑫（专利储备）
	钙钛矿/晶硅（未知具体晶硅电池）：天合、东方日升、通威、曜能			

1.3.2.叠层结构：2-T集成一体化与4-T机械堆叠各有千秋

根据两子电池堆叠的方式进行分类，可分为：集成一体结构、机械堆叠结构、光谱分离结构、反射结构；
根据各子电池电极之间的连线分类，可分为：两端(2-T)叠层、三端(3-T)叠层和四端(4-T)叠层。
其中集成一体结构与机械堆叠结构较受关注，研究进展领先，已进入产业研发应用阶段。

图：钙钛矿/晶硅叠层电池各结构示意图



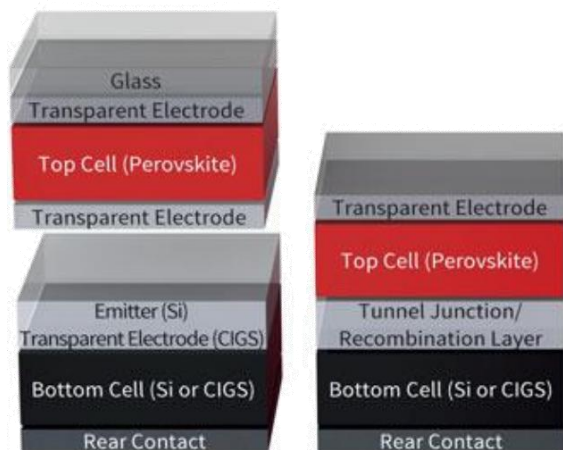
1.3.2.叠层结构：2T集成一体化与4-T机械堆叠各有千秋

□ 2-T叠层：多为集成一体化结构，2-T机械堆叠劣势明显。

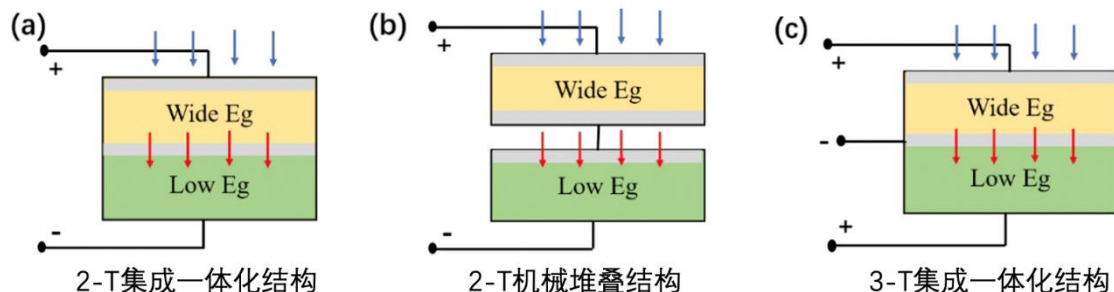
- 2-T集成一体化结构：由单片集成的底部与顶部子电池和单个透明导电层构成，子电池之间通过复合层或隧道结串联。集成一体结构的特点是串联电池电流由两个子电池中较小的电流决定，两个子电池需具有近似的电流才能使串联电池的能量转换效率最大化，最高效率与4-T机械堆叠结构接近，此时顶电池的理想带隙被限制在1.7~1.8eV的狭窄范围内。
- 2-T机械堆叠机构：由两个独立的顶部和底部子电池堆叠构成，其中两个输出端用导线串联。其优点是消除了对界面隧穿层的需要，并且子电池能分开单独制备，但其需要多达三个透明导电层，造成严重的光损耗，且制备成本偏高。

□ 3-T集成一体化结构：与2-T集成一体结构类似，但由透明电极连接子电池，为两子电池共同的输出端，由串联改为并联。该结构要求两子电池输出同种电荷，输出电流密度为两子电池电流之和，但电压由较小的决定。据我们统计，这一类型仅在实验室偶有出现，未见商业化应用。

图：机械堆叠与集成一体化结构图



图：2-T集成一体化、2-T机械堆叠、3-T集成一体化结构示意图

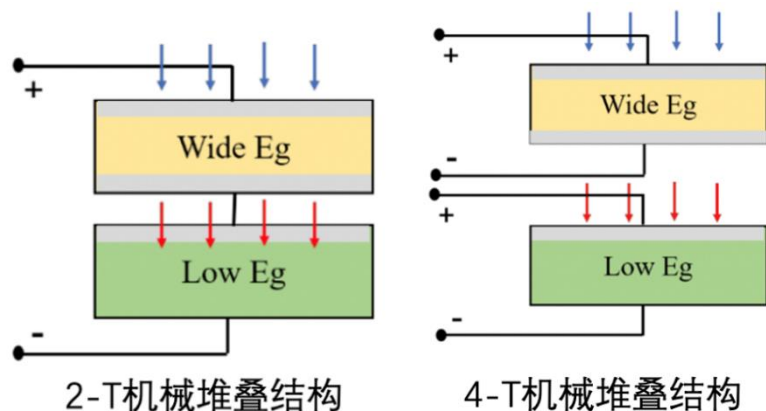


1.3.2.叠层结构：2T集成一体化与4-T机械堆叠各有千秋

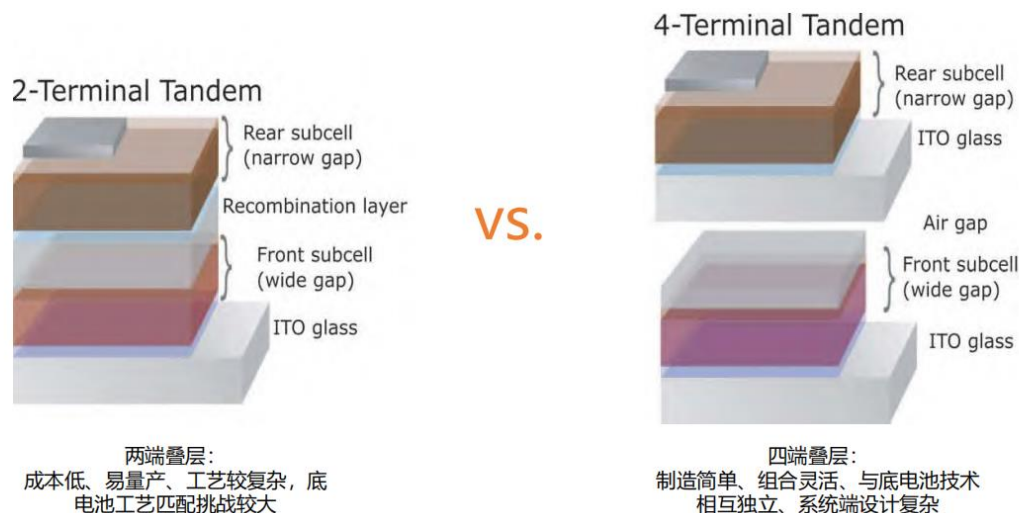
□ 4-T机械堆叠结构：类似于2-T机械堆叠结构，但两子电池中的两个输出端并未串联，而是拥有四个输出端。

- 结构与工艺独立：子电池可以单独制备，无需匹配电流，因此能灵活选择带隙，更易制备。
- 无需匹配电流：两子电池形成并联电路，无需电流匹配，子电池独立输出，输出功率单独计算后相加，在最合适的带隙组合区间可以实现40%以上的能量转换效率。
- 优势：与传统工艺相兼容；劣势：需要将顶电池的底部金属电极替换为透光性好的电极材料，增加制备成本。

图：2-T与4-T机械堆叠结构输出端对比图



图： 2-T集成一体化与4-T机械堆叠结构比较图



1.3.2.叠层结构：2T集成一体化与4-T机械堆叠各有千秋

□ 2-T集成一体化与4-T机械堆叠结构比较：

- **制备难易度：**2-T难于4-T。4-T机械堆叠的子电池能分开制备，两子电池可分别达到最大功率；2-T集成一体要求上下电池电流匹配，并且制备顶电池时必须兼顾其工艺对底电池影响，还须考虑每一层的电导率、透射率和界面特性。
- **生产成本：**2-T成本更低。4-T需要额外的透明电极使成本增加；2-T透明电极少，两子电池沉积在同一衬底，通过隧穿层连接，减少了基板电极材料和外部电路连接材料的使用。
- **效率极限：**2-T与4-T效率极限无明显差别，在满足带隙要求时二者极限效率均高于40%。
- **产业选择：**2-T集成一体化或是未来方向。据公开专利，厂商大都选择2-T集成一体化结构进行研发；4-T机械结构涉及企业较少，纤纳光电率先发力、协鑫有专利积累。

表：4-T机械堆叠与2-T集成一体化电学比较

	2-T集成一体化	4-T机械堆叠
连接方式	光学耦合+电学耦合（串联）	光学耦合+堆叠（并联）
电流密度	两子电池电流密度相等， 取决于较小的子电池 $J_{sc,tandem} = \text{Min}[J_{sc,bottom}, J_{sc,top}]$	子电池分别保持最佳 功率时的电流 $J_{oc,tandem} = J_{oc,bottom} + J_{oc,top}$
开路电压	子电池开路电压之和 $V_{oc,tandem} = V_{oc,bottom} + V_{oc,top}$	两子电池开路电压相 等，取决于较小的子 电池 $V_{sc,tandem} = \text{Min}[V_{sc,bottom}, V_{sc,top}]$
输出功率	子电池输出功率之和	

表：4-T机械堆叠与2-T集成一体化结构比较

结构	优点	缺点	相关公司
4-T 机械堆叠 结构	子电池能分别保持 最大功率点，分开 制备能分别采取最 优工艺，制备较易	透明电极数多（4 个）、电极要求高	全钙钛矿：协鑫 钙钛矿/晶硅：纤纳光电
2-T集成一体 化结构	透明电极少（2 个），降低制造成 本	需要上下电池电流匹 配，顶电池带隙要求 高； 顶电池直接沉积在底 电池上，制备时需考 虑性能影响	钙钛矿/HJT：隆基、爱旭、 合特、宝馨 钙钛矿/晶硅：黑晶光电、 天合、东方日升、通威 钙钛矿/TOPCon/钙钛矿： 中来

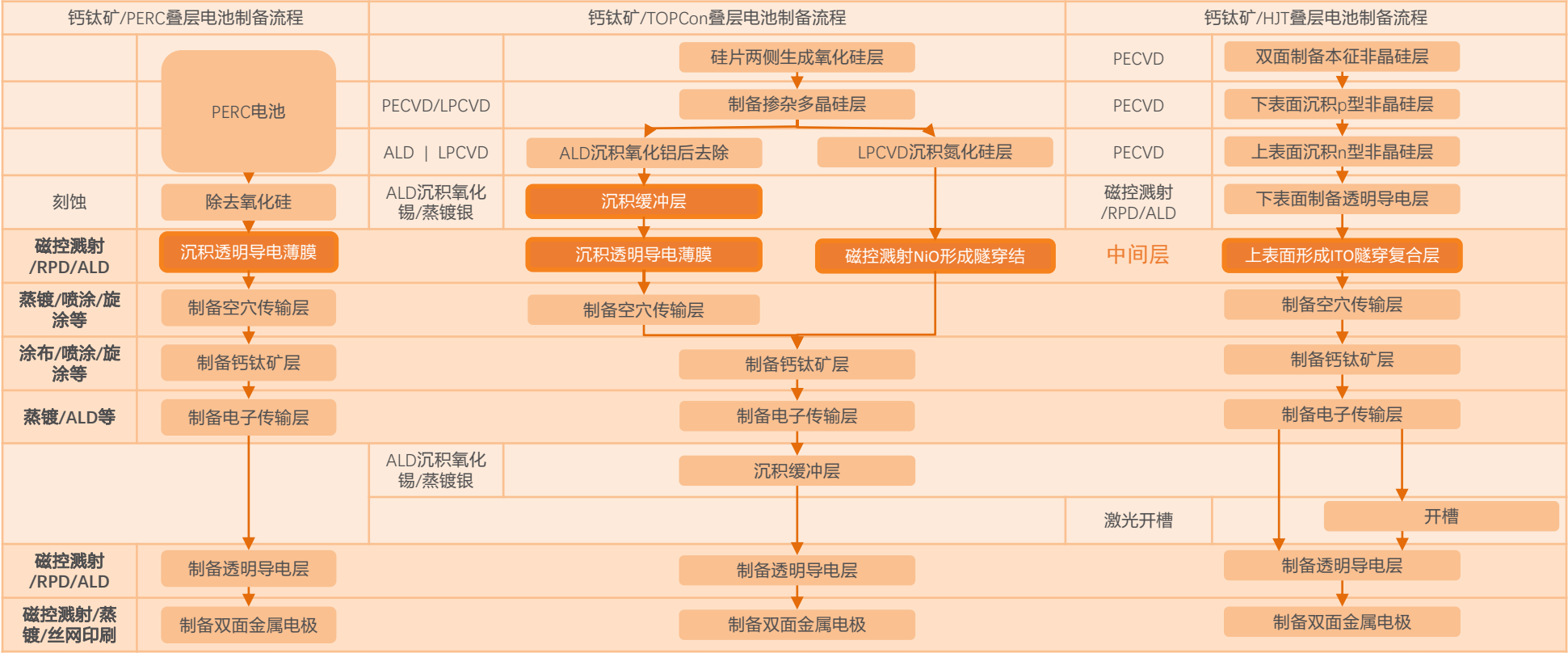
资料来源：各公司公告与公开专利、天风证券研究所
注：电学特性根据串联与并联特点得出；相关公司为不完全统计，所属结构根据专利归纳总结

2. 制备流程与设备： 看好广泛PVD+先进ALD设备

2.1.制备流程：钙钛矿/晶硅叠层电池

□ 根据已公开专利，归纳钙钛矿/晶硅叠层电池制备流程：先制备晶硅底电池，再制备钙钛矿顶电池，子电池间需制备中间复合层/隧穿结。PERC氧化硅和TOPCon正面氧化铝/氮化硅难以导电，需新增透明导电薄膜或NiO作为隧穿结以连接顶部钙钛矿电池；HJT原结构顶部即为透明导电薄膜，理论上可直接承接钙钛矿顶电池，产业中可制备隧穿层优化叠层电池效率。

表：钙钛矿 晶硅叠层电池制备流程



资料来源：隆基、爱旭、国家电投等公开专利、天风证券研究所
注：表格为不完全统计，皆为2-T集成一体化结构叠层电池的制备流程

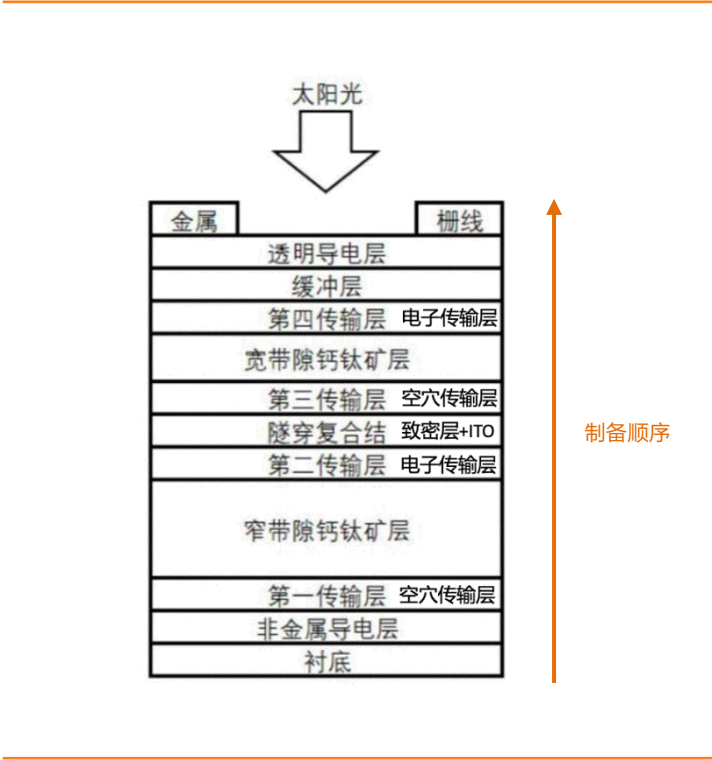
2.1.制备流程：全钙钛矿叠层电池

□ 根据已公开专利，全钙钛矿叠层电池的制备流程：先制备窄带隙底钙钛矿，随后制备隧穿复合结，再制备宽带隙顶钙钛矿。制备隧穿复合结包括ALD沉积氧化锡致密层、磁控溅射制备ITO薄膜，随着产业对全钙钛矿叠层电池的研究越发深入，未来或出现更多制备路径。

表：全钙钛矿叠层电池制备流程

蒸镀	制备导电金属薄膜
磁控溅射	制备ITO非金属导电层
蒸镀/喷涂/旋涂等	制备空穴传输层
丝网印刷/喷涂/旋涂等	沉积窄带隙钙钛矿
蒸镀/ALD等	制备电子传输层
ALD	制备氧化锡致密层
磁控溅射	制备ITO薄膜
蒸镀/喷涂/旋涂等	制备空穴传输层
丝网印刷/喷涂/旋涂等	沉积宽带隙钙钛矿
蒸镀/ALD等	制备电子传输层
ALD	制备氧化锡缓冲层
PVD磁控溅射/RPD/ALD	制备透明导电层
丝网印刷/磁控溅射/蒸镀	制备顶部金属电极

图：全钙钛矿叠层电池结构



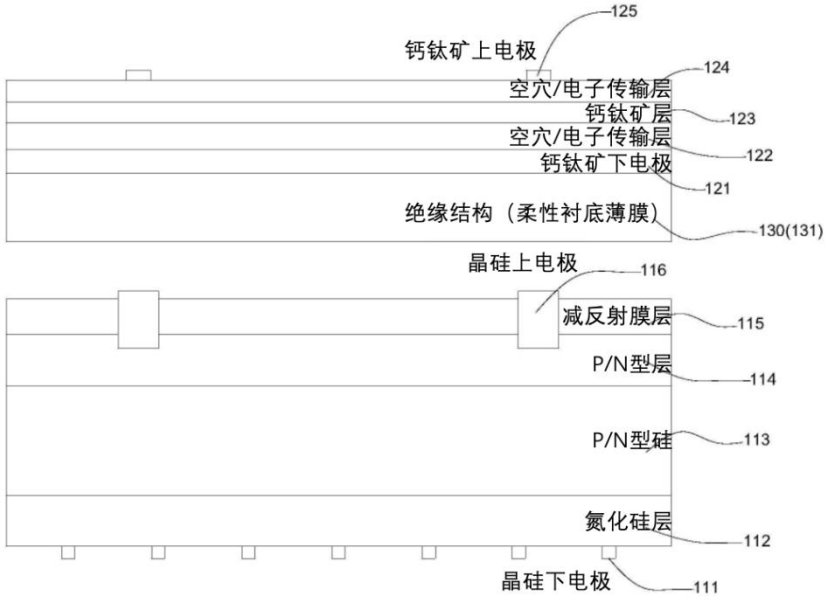
2.1.制备流程：4-T机械堆叠结构叠层电池

□ 4-T机械堆叠结构叠层电池：机械堆叠结构的两子电池可分开制备，最后堆叠并联即可。两子电池之间须有绝缘层，以避免上下电池接触短路。

表：4-T机械堆叠结构钙钛矿叠层电池制备流程

	钙钛矿顶电池	底电池
	制备柔性衬底薄膜	制备底电池
磁控溅射ITO	制备透明电极	
涂布/喷涂等	制备电子传输层	
狭缝涂布等	制备钙钛矿层	
涂布/喷涂等	制备空穴传输层	
卷对卷/喷涂/旋涂等	制备透明电极	
	将底电池置于柔性衬底薄膜下，并联	

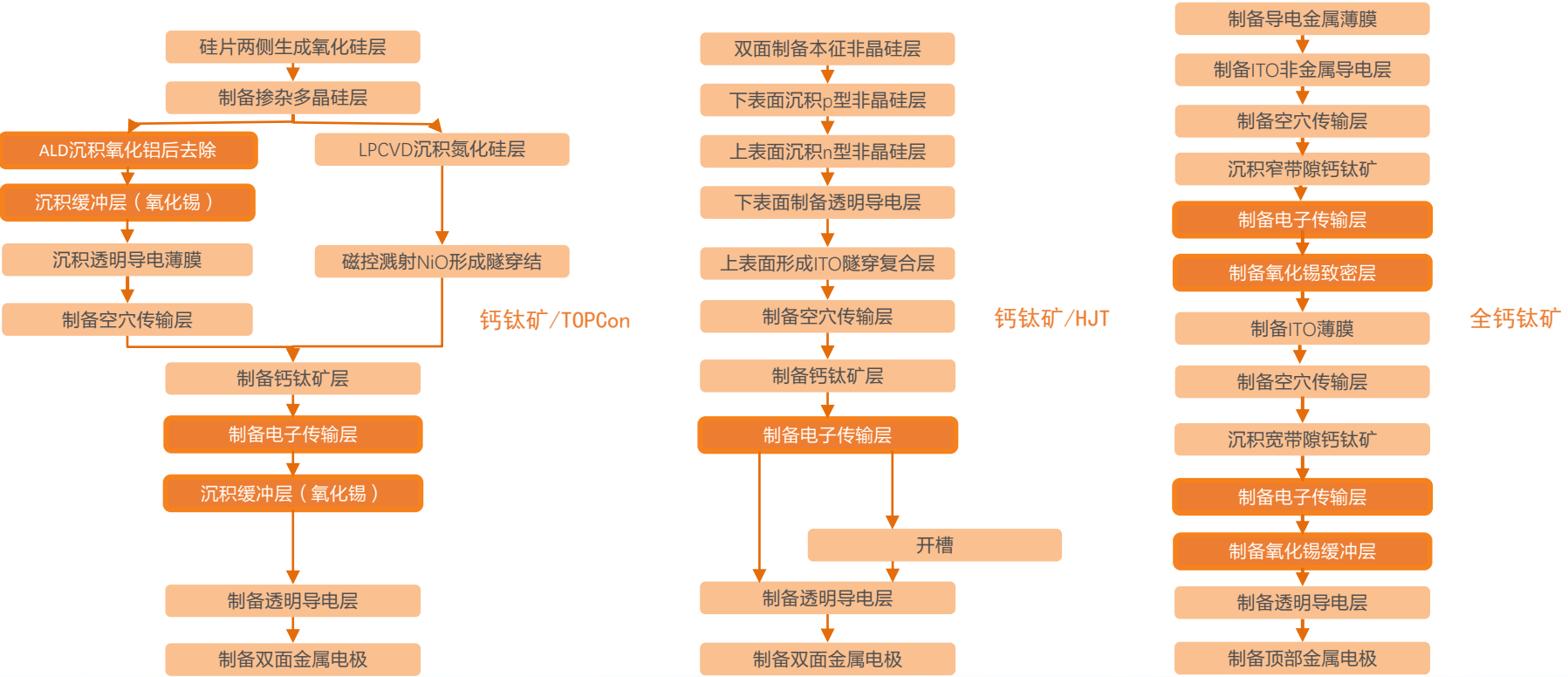
图：4-T机械堆叠钙钛矿/晶硅叠层电池结构



2.2.镀膜设备：高技术壁垒ALD，中间层崭露头角

- ALD技术多用于叠层电池中间层，高精度特性助力叠层电池再攀高峰。
- **特点：**ALD是原子层沉积技术，其优势是三维共形性好、精度高、低温工艺。
 - **应用：**叠层电池中间层常使用ALD技术沉积氧化锡缓冲层、致密层、电子传输层，另有实验室将ALD技术应用于透明导电层。
 - **优势：**ALD沉积的薄膜紧凑、共形、均匀，具有高效的空穴阻挡能力；硅基电池 200 ° C时 a-Si:H 层会出现不良的 H 迁移率，使用ALD沉积SnO₂代替需要500C°退火的TiO₂可有效提升转化效率。

图：叠层电池涉及ALD技术的制备环节



2.2.镀膜设备：高技术壁垒ALD，中间层崭露头角

□ 先进ALD技术壁垒高，设备价值量高。ALD要求原子逐层沉积，国内少有企业掌握ALD设备生产技术，其中微导纳米是钙钛矿领域ALD设备唯一上市公司，并且已公告获得钙钛矿叠层电池订单。

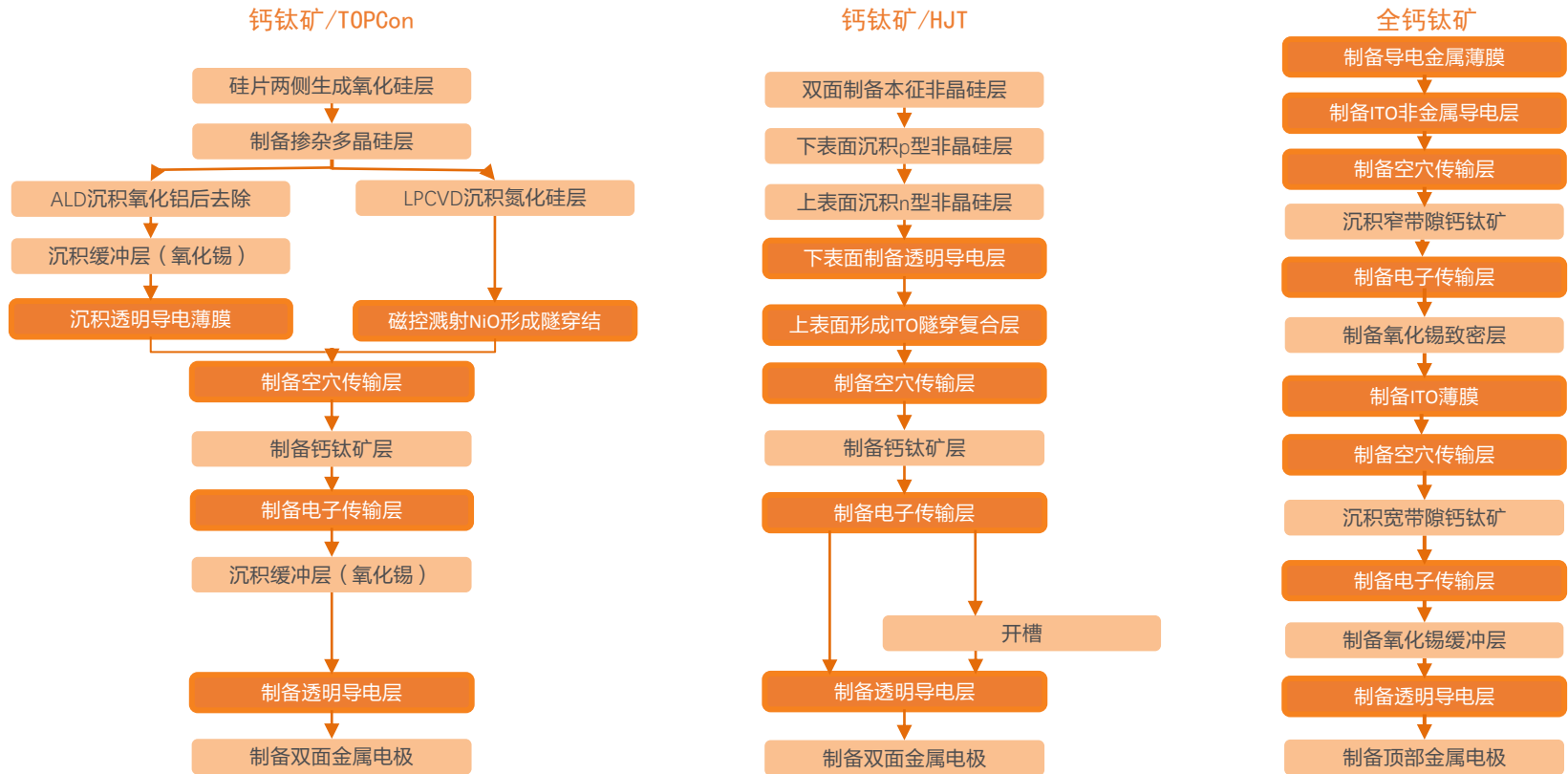
表：钙钛矿电池ALD设备相关厂商

公司类型	公司名称	公司简介	钙钛矿电池领域动态
设备商	微导纳米（已上市）	成立于2015年，以原子层沉积ALD技术为核心，公司产品率先用于光伏电池片生产过程中的薄膜沉积环节，TOPCon电池ALD设备市占率高达70%-80%。	20230201：公司已取得钙钛矿异质结叠层电池订单。
	湖南红太阳	成立于2009年，隶属于中国电子科技集团有限公司，是国内最早的光伏装备研制生产单位，具备为行业量身定制高效电池+智能制造集成方案和整线交钥匙工程的能力。	20220725：湖南红太阳的首台钙钛矿电池用PVD及ALD镀膜设备发货，成功中标龙头客户钙钛矿电池项目，多家一线光伏企业和科研院所项目正在洽谈中。
	理想晶延	成立于2013年，是一家以化学气相沉积技术为核心，覆盖半导体及泛半导体领域的高端设备供应商，提供TOPCon产线包括：ALD设备、管式PECVD镀膜设备、PE-Poly Si设备、低压扩散设备等。	202212：公司2021年起积极开展钙钛矿电池镀膜设备的研制，且在2022年12月公开信息中表示：ALD工艺沉积SnO ₂ 薄膜已有成熟客户应用案例，目前研发机台已顺利出货，中试机型也获得多家行业一线电池生产商订单。
	众能光电	成立于2015年，掌握了钙钛矿光伏MW级和GW级量产装备技术，曾是国际首条kW级钙钛矿光伏电池组件生产线供应者。公司产线设备下线的钙钛矿器件曾多次刷新大尺寸钙钛矿光伏电池器件认证记录。	20221105：公司目前已完成平米级大面积产业化2项，3个平米级产业化项目正在交付中，已与国内大型企业和知名高校科研机构累计完成近200个单体工艺设备交付，包括涂布机、刮涂机、激光刻蚀机、PVD和ALD等。
	原速科技	成立于2017年，专注于原子层沉积系统工艺研发及技术咨询为新能源、柔性显示、光学镀膜等领域的薄膜研发和生产提供优质的技术服务和一体化解决方案。产品包括智能化ALD材料研发系统、工业级ALD量产装备以及新材料开发与代工。	20221202：原速公司在钙钛矿电子传输层、空穴传输层、钝化层、封装阻水层等领域取得突破性进展，形成了服务于钙钛矿电池研发、中试、100MW级量产的产线ALD技术解决方案。公司自主开发的Exploiter原子层沉积系统已批量交付于钙钛矿领域内诸多客户。
组件商	纤纳光电	成立于2015年，围绕着钙钛矿批量生产、组件稳定性等商业化核心展开探索，建有国内首个钙钛矿生产基地，是首个完成钙钛矿组件规模出货的企业。自2017年第一次刷新钙钛矿小组件世界最高效率后不断突破，目前已7次刷新钙钛矿组件转换效率世界纪录。	20201231：申请“一种原子层沉积设备”实用新型专利，20210827公开，公开号CN214060636U。 20220728：公司的全球首款钙钛矿量产商用组件出货，发货5000片。 20220923：公司钙钛矿太阳能小组件在稳态连续输出下的效率提升至21.8%，@19.35cm ² 。

2.2.镀膜设备：磁控溅射与真空蒸发应用广泛

- PVD应用广泛，设备价值占比高。PVD可应用于大部分钙钛矿叠层电池生产环节，包括沉积透明导电层、电子传输层、钙钛矿层、空穴传输层与金属电极。
- 透明导电层：相比于单结电池，叠层电池的透明导电层数量增多，而透明导电层的主流制备方式是磁控溅射。
 - 电子传输层与空穴传输层：厂商多使用蒸镀的方式制备电子传输层与空穴传输层。

图：叠层电池涉及PVD技术的制备环节



2.2.镀膜设备：磁控溅射与真空蒸发应用广泛

□ PVD设备厂商：PVD设备技术壁垒低于ALD，国内PVD厂商较多，主要厂商如下：

表：PVD设备相关厂商

设备商	是否上市	公司主业	钙钛矿相关产品	时间	进展情况
捷佳伟创	是	PECVD及扩散炉等半导体掺杂沉积工艺光伏设备、清洗、刻蚀、制绒、全自动丝网印刷设备等、先进半导体的湿法、炉管类设备	蒸镀设备/RPD设备	2022-10-16	在获得某央企研究院的钙钛矿低温低损薄膜真空沉积设备，及某国家科学院的RPD设备后，公司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钙钛矿电池蒸镀设备项目
				2022-07-10	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
				2021-10-28	公司近日中标首个钙钛矿中试设备，采购订单中标的钙钛矿设备为反应式等离子体镀膜设备（RPD）
				2021-10-28	目前量产设备RPD5500A已完成量产优化升级，助力客户满产运行，量产效率指标处于行业领先水平
京山轻机 (苏州晟成)	是	光伏智能装备业务，包装智能装备业务	PVD镀膜设备、团簇型多腔蒸镀设备、ITO玻璃清洗机	2022-06-15	晟成光伏钙钛矿电池团簇型多腔式蒸镀设备现已量产，并成功应用于多个客户端
				2022-08	京山轻工提供具备完全自主知识产权的钙钛矿PVD镀膜设备、钙钛矿团簇型多腔蒸镀设备
				2021-04	在PVD量产设备上已有成熟供货能力
奥来德	是	OLED有机发光材料和蒸发源设备	蒸镀设备(开发)	2022-11-18	公司使用超募资金4900万元投资建设新项目。项目一：钙钛矿结构型太阳能电池蒸镀设备的开发项目；项目二：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

2.2.镀膜设备：磁控溅射与真空蒸发应用广泛

□ PVD设备厂商：PVD设备技术壁垒低于ALD，国内PVD厂商较多，主要厂商如下：

表：PVD设备相关厂商

设备商	是否上市	公司主业	相关产品	时间	进展情况
众能光电(西子洁能参股10%)	西子洁能上市	从事锅炉、压力容器、环保设备等	PVD设备	2021	钙钛矿PVD设备出货量30台套
				2020-07	公司开发一系列钙钛矿光电器件装备。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
合肥欣奕华	否	高端装备，工业机器人，智慧工厂解决方案，核心部件	镀膜设备	2022-11	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电池产业知名公司投入生产
弗斯迈	否	液压快速换膜、磁力模板、换膜台车、非标自动化等	PVD、RPD设备	/	可提供钙钛矿光伏整线解决方案，在钙钛矿镀膜环节，公司拥有真空溅射镀膜设备，公司拥有PVD、RPD设备
湖南红太阳	否	光伏电池及组件智能生产线	PVD、ALD设备	2022-07	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
宏大真空	否	真空镀膜全领域解决方案供应商	镀膜设备	2022	真空镀膜全领域解决方案供应商，22年初世界首台跑道式双腔同时成膜四室机即将出厂
成都四盛科技	否	光学真空镀膜机、车灯专用镀膜机、连续镀膜生产线、磁控溅射/感应加热/电容膜/包装膜卷绕镀膜机等	镀膜设备	2020	2020年公司中标华能钙钛矿中试研发项目真空沉积（PVD）系统设备采购
科晶智达	否	软包电池注液封口机、实验涂布机、转盘式真空封装机	蒸镀仪	/	公司可提供钙钛矿太阳能电池制备的全套方案，在导电层镀膜环节公司配有超声喷雾热分解镀膜设备，在钙钛矿镀膜环节配有旋转涂布机、蒸镀仪等设备
德国莱宝	/	真空泵及真空解决方案等	PVD设备	/	/
德国Vonardenne	/	真空设备	PVD设备	/	/
荷兰SMIT	/	镀膜和热处理设备供应商，用于玻璃、电池、半导体和薄膜太阳能等	PVD设备	/	/

资料来源：各公司官网、各公司公众号、全球光伏公众号等、天风证券研究所

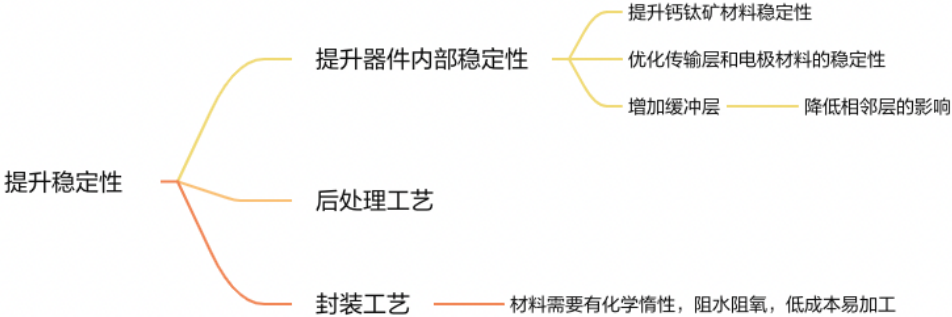
2.3.量产瓶颈：钙钛矿材料不稳定性

- 与单结电池类似，钙钛矿叠层电池量产面临着稳定性和大面积模组化等难题。稳定性表现在材料、器件到组件三个环节，任一环节材料性能失效都会导致产品性能衰减。钙钛矿电池的不稳定性主要在于材料易分解：
- 钙钛矿自身不稳定：卤化物钙钛矿材料本身易分解；
 - 钙钛矿易在水、光、氧气、电场、热等环境作用下加快分解：例如温度会改变钙钛矿的晶体结构，光照引起钙钛矿材料分解。
 - 提升电池稳定性：可从提升器件内部稳定性、后处理、封装三方面入手，厂商多通过沉积氧化锡缓冲层以降低相邻层的影响，不同厂商的电池结构也略有不同，探索各类材料性能以提升稳定性与效率。

表：太阳能电池耐久性测试条件标准

测试项目	测试条件
光照强度	光照强度：200W/m ² ，全幅自然光照或者采用B级太阳光模拟器(IEC 60904-9)
室外性能测试	60 kW·h/m ² 太阳全幅辐射使电池在最大功率下工作
紫外稳定性测试	电池温度：(60+5)C° 15 kW·h/m ² ：280~385nm紫外全幅光照，其中280~320nm的紫外线强度不低于5kW·h/m ²
热循环测试	室内温度：-40~85C°进行200个循环，循环时间≤6h 极端环境测试时间≥10min
湿度与高温测试	湿度：85%RH；测试时间：1000h；恢复时间：2~4h 94022A
光稳定性测试	电池温度：(50+10)C° 光照强度：(800±200)~(1000±200)W/m ² 全幅自然光照或者采用CCC级太阳光模拟器使电池在最大功率下工作

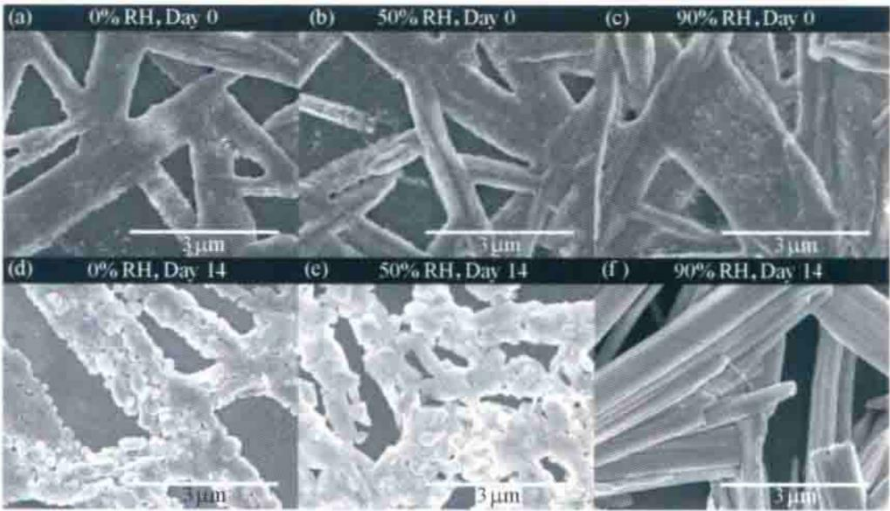
图：提升钙钛矿电池稳定性的方法



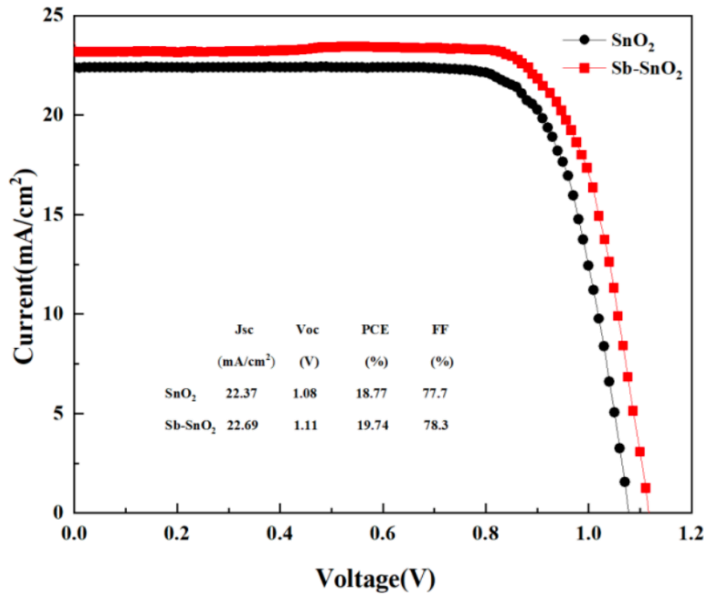
2.3.量产瓶颈：窄带隙钙钛矿材料选择与大面积模组化

- ❑ **大面积模组化：**目前钙钛矿叠层电池在学术端与产业端的试验面积皆较小，而大面积制备时仍需保持转化效率与稳定性。钙钛矿光伏器件的性能和稳定性与钙钛矿薄膜质量密切相关，钙钛矿薄膜厚度、表面形貌、结晶性等直接影响电池的光吸收、载流子产生与传输等性能，对于沉积大面积、高质量的钙钛矿层应采用何种技术路径仍有待确定。
- ❑ **全钙钛矿叠层-窄带隙钙钛矿层的不稳定性：**全钙钛矿叠层电池的底电池以窄带隙钙钛矿为核心，通常窄带隙钙钛矿由Sn/Pb共混或纯Sn体系制得，而在前驱体溶液中 Sn^{2+} 极易被氧化成 Sn^{4+} ，而 Sn^{4+} 是复合中心，严重影响器件效率。 Sn^{2+} 的易氧化特性是影响Sn-Pb钙钛矿稳定性的主要因素，也是目前提升全钙钛矿叠层电池结晶质量和稳定性需要解决的重要问题之一。

图：钙钛矿薄膜室温不同湿度下的SEM结果



图：基于掺锑处理 SnO_2 的钙钛矿电池JV性能更优



3. 叠层钙钛矿市场： 电池厂商厚积待薄发，产能规划持续萌芽

3.1.叠层钙钛矿电池产业动态：多公司积极布局，产能规划萌芽中

□ 钙钛矿/HJT叠层电池厂商：国内知名电池片厂商隆基、爱旭拥有技术储备，专攻异质结的厂商华晟选择布局，新兴厂商宝馨着手建设试验线。另有杭萧钢构与聆达股份跨界布局，杭萧钢构进度领先，根据公司22年12月投资者交流记录，预计23年初能完成中试线铺设，开始产能爬坡。

表：钙钛矿/HJT叠层电池厂商

技术路线	公司	地域	成立年份	总经理/CEO	履历	技术团队	融资进展	资金方	是否上市	产业化进程
钙钛矿/HJT	隆基绿能	西安	2000	李振国	兰州大学物理系半导体材料专业，西安交通大学MBA	/	/	/	是	20221202：公开发明专利“一种钙钛矿-硅异质结叠层太阳能电池及其制作方法”
	爱旭股份	上海	1996	陈刚	/	/	/	/	是	20210806：公开实用新型发明专利“一种异质结钙钛矿太阳能叠层电池”
	华晟新能源	安徽	2020	徐晓华	/	/	2023年1月完成B轮超20亿融资	中建材新材料基金、锡创投、合肥产投集团等	否	官网：目标在2025年，通过异质结与钙钛矿叠加，支撑组件功率实现800W，电池效率达到28%
	合特光能	嘉兴	2014	张群芳	安徽大学物理本科，中科院研究生院物理博士	/	/	/	是（杭萧钢构子公司）	20221211：预计2023年初完成晶硅薄膜+钙钛矿叠层电池中试线产线铺设，一期规划产能为100MW，目标转化效率为28%以上。
	金寨嘉悦	六安	2019	柏疆红	西安建筑科技大学建筑学硕士	/	/	/	是（聆达股份子公司）	规划建设10GW高效光伏电池产能，三期拟建设HJT异质结叠加钙钛矿电池项目。
	宝馨科技	苏州	2001	左越	法学学士	胡辉、吴现实、李海波、崔建荣等	/	/	是	20230215：已于投建的光伏异质结产线预留钙钛矿叠层升级改造区域和接口；将于上半年完成新实验线建设；2024年启动100MW钙钛矿叠层线的建设，实验室效率大于32%；公司规划2026年钙钛矿/异质结叠层GW级产线升级，实现量产210半片钙钛矿/异质结叠层电池，电池效率在基底异质结的基础上提升率大于15%。

资料来源：各公司官网、各公司公开专利、Wind、企查查等、天风证券研究所

3.1.叠层钙钛矿电池产业动态：多公司积极布局，产能规划萌芽中

- 钙钛矿/TOPCon叠层电池厂商：中来研发中；皇氏集团跨界与黑晶光电合作建设TOPCon电池产线，未来逐步引入叠层电池。
- 其他钙钛矿/晶硅叠层电池厂商：协鑫早有4-T叠层电池技术储备；纤纳科技率先研发钙钛矿/PERC叠层电池；传统晶硅电池厂商天合、东方日升、通威皆开展研发工作，新兴叠层企业曜能不断刷新效率记录，金风科技参股的国外厂商牛津光伏早有叠层电池布局。

表：钙钛矿/晶硅叠层电池厂商

技术路线	公司	地域	成立年份	总经理/CEO	履历	技术团队	融资进展	资金方	是否上市	产业化进程
钙钛矿/TOPCon	中来股份	常熟	2008	林建伟	高级经济师	林建伟、夏文进等	/	/	是	2021年年报：投入研发钙钛矿/TOPCon叠层电池关键技术，以达到正面效率大于26%的目标
	黑晶光电	深圳	2019	徐成	/	核心研发人员均具备海内外博士学位	/	/	否（与皇氏集团合作）	20230207：皇氏集团计划在TOPCon工厂建成投产后，配合黑晶光电的TOPCon/钙钛矿叠层电池技术研发和生产应用，未来将视叠层工艺效果和效率提升情况，逐步开始量产
钙钛矿/PERC	纤纳光电	杭州	2015	姚冀众	浙江大学新南威尔士大学学士，帝国理工学院物理博士	颜步一、杨旻等	2022年10月已完成D轮融资	三峡集团、京能集团、衢州金控、三峡招银等	否	202112：公司与三峡科研院联合开发的钙钛矿/晶硅四端子叠层组件在约20cm ² 的组件上达到26.63%的效率
钙钛矿/晶硅	天合光能	常州	1997	高纪凡	吉林大学物理化学专业硕士	陈奕峰、全鹏、张映斌、张舒等	/	/	是	202208：开发钙钛矿/晶体硅两端叠层太阳能电池实验室效率达到29.2%，经国际权威认证机构第三方测试效率27.9%
	东方日升	宁波	2002	林海峰	东方日升创始人，宁波大学EMBA	/	/	/	是	20220129：拟建设HJT高效太阳能电池试验线、Topcon高效太阳能电池试验线、钙钛矿及叠层电池试验线以及SMBB高效组件试验线等4个区域
	通威股份	成都	1995	谢毅	英国伦敦帝国理工大学管理学硕士		/	/	是	20211102：公开发明专利“硅/钙钛矿叠层太阳能电池及其制备方法” 2022半年报：公司已全面展开了对钙钛矿/硅叠层电池等前沿技术的研究与开发
	曜能科技	北京	2017	孙于超	清华大学化工系	创始人来自清北，核心研发人员均毕业于名校	2022年3月A+轮融资	高瓴资本、源码资本等	否	官网：计划开发制备钙钛矿/晶硅叠层太阳能电池的全套工艺，在2023年底实现29%的效率目标。 20230206：公司自主研发的25cm ² 大面积钙钛矿/晶硅两电极叠层电池器件稳态效率达到29.57%

资料来源：各公司官网、各公司公开专利、Wind、企查查、集邦新能源网、天风证券研究所

3.1.叠层钙钛矿电池产业动态：多公司积极布局，产能规划萌芽中

- 全钙钛矿叠层电池厂商：新兴钙钛矿电池企业仁烁光能已有叠层电池中试产线，正在投建150MW产线计划年底出片。
- 钙钛矿/CIGS叠层电池厂商：CIGS电池厂商泰州锦能探索钙钛矿叠层领域，项目进行中。

表：全钙钛矿与钙钛矿/CIGS叠层电池厂商

技术路线	公司	地域	成立年份	总经理/CEO	履历	技术团队	融资进展	资金方	是否上市	产业化进程
全钙钛矿	仁烁光电	苏州	2021	沈承勇	上海交通大学硕士，清华大学五道口金融学院EMBA，曾任协鑫集团董事长	谭海仁，南京大学教授；褚君浩，中国科学院院士，上海太阳能电池研发中心主任等	2023年2月：战略融资 2022年8月：Pre-A轮	2023年2月：前沿投资； Pre-A：三行资本领投，中科创星、苏高新金控、金浦投资、险峰长青、云启资本、中财鼎晟等知名机构跟投	否	202301：经国际权威认证创造了29%的世界纪录效率； 公司10MW全钙钛矿叠层研发线已跑通，正在投建的150MW量产线计划2023年底出片。预计未来五年内，将建设数条GW级别的钙钛矿电池组件生产线。
钙钛矿/晶硅	协鑫光电	昆山	2019	范斌	本硕清华大学化学系，瑞士洛桑联邦理工学院博士	田清勇，清华大学化学系本硕；白华，清华大学本博	2022年12月，已完成5亿元B+轮融资	淡马锡投资、红杉中国、IDG资本等	否 (控股股东协鑫科技上市)	20191018：公司技术团队原属协鑫科技公开实用新型专利“四端叠层钙钛矿太阳能电池”
钙钛矿/CIGS	泰州锦能	泰州	2017	陈龙	/	/	/	杭州锦江集团投资设立	否	202111：公司钙钛矿/CIGS叠层电池全产业链项目签约落户湖南省常德市，总投资20亿元。项目全部建成投产达产后，量产转换效率22%以上，年产值约25亿元。

3.2.叠层电池学术端进展：效率扶摇直上，期待大面积突破

□ 学者与产业研发人员不断攻坚克难，转化效率飞速提升中。小面积钙钛矿/晶硅叠层电池效率已超30%，全钙钛矿叠层电池效率有望紧跟晶硅叠层电池步伐突破30%。大面积叠层电池制备仍是难题，期待未来技术进步迎接春天。

表：钙钛矿叠层电池转化效率历程

钙钛矿电池	日期	转换效率	研究企业/团队
钙钛矿/PERC四端叠层	2021/12	26.63%	三峡研究院、纤纳科技
全钙钛矿叠层	2022/1	26.40%	南京大学谭海仁团队
全钙钛矿叠层	2022/5	28.00%	南京大学谭海仁团队
钙钛矿/TOPCon叠层	2022/6	27.60%	澳大利亚国立大学、北京大学、晶科能源
钙钛矿/晶硅叠层	2022/7	31.30%	洛桑联邦理工学院 (EPFL) 和瑞士电子与微技术中心 (CSEM)
钙钛矿/晶硅叠层	2022/8	29.20% (认证27.9%)	天合光能
全钙钛矿叠层电池组件	2022/10	24.50%	仁烁光能
钙钛矿/晶硅叠层	2022/12	32.50%	德国柏林亥姆霍兹中心 (HZB)
钙钛矿/晶硅叠层	2023/1	32.44%	曜能科技
大面积钙钛矿/晶硅叠层	2023/1	22.5% (100cm ² +)	弗劳恩霍夫太阳能系统研究所 (ISE)
全钙钛矿叠层	2023/1	29.00%	仁烁光能
大面积钙钛矿/晶硅叠层	2023/2	29.57% (25cm ²)	曜能科技

资料来源：solarzoom公众号、全球光伏公众号、PV-Tech公众号、光伏组件与BIPV公众号、天风证券研究所
注：表格为不完全统计

4. 投资建议

4.1. 投资建议：关注电池厂商后续进展

- 多家电池厂商提出布局计划，建议关注后续进展：
- 目前明确钙钛矿叠层电池规划的多为跨界厂商，其中杭萧钢构进展较为快速，率先规划建立100MW中试线。
 - 传统电池片厂商中，天合、东方日升与通威已有明确的钙钛矿叠层电池布局计划，天合转化效率处于领先地位。

表：钙钛矿叠层电池上市设备厂商

公司		技术路径	相关布局	
跨界厂商	杭萧钢构	钙钛矿/HJT	产能规划	2023年初：预计中试线100MW
	聆达股份			拟建设HJT异质结叠加钙钛矿电池项目
	宝馨科技			2024：预计100MW 2026：产线升级
电池片厂商	天合光能	钙钛矿/晶硅	研究进展	202208：钙钛矿/晶硅两端叠层太阳能电池实验室效率达到29.2%，经国际权威认证机构第三方测试效率27.9%
	东方日升			20220813：拟建设钙钛矿及叠层电池试验线
	通威			20211102：公开发明专利“硅/钙钛矿叠层太阳能电池及其制备方法” 2022半年报：全面展开对钙钛矿/硅叠层电池等前沿技术的研究与开发

4.2. 投资建议：关注ALD与PVD设备厂商

□ 看好PVD设备商与ALD设备：

- 叠层电池中间层给予ALD一席之地，国内微导纳米是光伏ALD设备龙头之一，已获取叠层电池订单，期待未来扩大优势；
- PVD设备商中捷佳伟创与京山轻机设备已成功导入下游钙钛矿电池端，未来有望应用于叠层电池奥来德（正在研发）、欣奕华（暂未上市）作为蒸镀机探索研发生产商，有望凭借蒸发源know-how带来增益。

表：钙钛矿叠层电池上市设备厂商

公司	相关设备	相关环节	相关布局
微导纳米	ALD设备	致密层、缓冲层	20230201：已取得钙钛矿异质结叠层电池订单
捷佳伟创	蒸镀设备/RPD设备	背电极	20211028：RPD设备中标钙钛矿中试 20221017：成功中标某头部光伏企业钙钛矿电池蒸镀设备项目
京山轻机	蒸镀设备	钙钛矿材料	20220615：钙钛矿电池团簇型多腔式蒸镀设备现已量产，成功应用于多个客户端
	PVD设备	电子传输层、空穴传输层	
	ITO玻璃清洗机	透明导电层	
奥来德	蒸镀设备	公司预计可用于钙钛矿层、电子传输层、空穴传输层等	公司使用超募资金4900万元投资建设新项目，其中包括钙钛矿结构型太阳能电池蒸镀设备的开发项目
欣奕华	蒸镀设备	/	2022年10月，国内首台大尺寸钙钛矿真空镀膜机量产交付

风险提示

- 1) 光伏装机不及预期：钙钛矿叠层电池应用场景多为光伏电站，若未来光伏装机量下滑，则会对钙钛矿叠层电池需求造成不利影响。
- 2) 电池片技术路径变化风险：HJT、TOPCon、IBC等电池路线仍未确定，钙钛矿叠层电池未达量产条件，具有不确定性。
- 3) 钙钛矿叠层电池量产速度低于预期：钙钛矿叠层电池目前仍处于商业化的初步阶段，仍然存在稳定性的问题，后续仍需进一步优化电池结构与生产技术，因此量产速度有可能低于预期。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们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，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS