

# 钙钛矿&异质结专题深度报告

## 光伏电池新技术新机遇

银河证券研究院 电力设备及新能源行业首席分析师 周然

2023.06.08

中国银河证券股份有限公司  
CHINA GALAXY SECURITIES CO., LTD.

**一 异质结：效率突破是关键**

**二 钙钛矿：产业化进程加速**

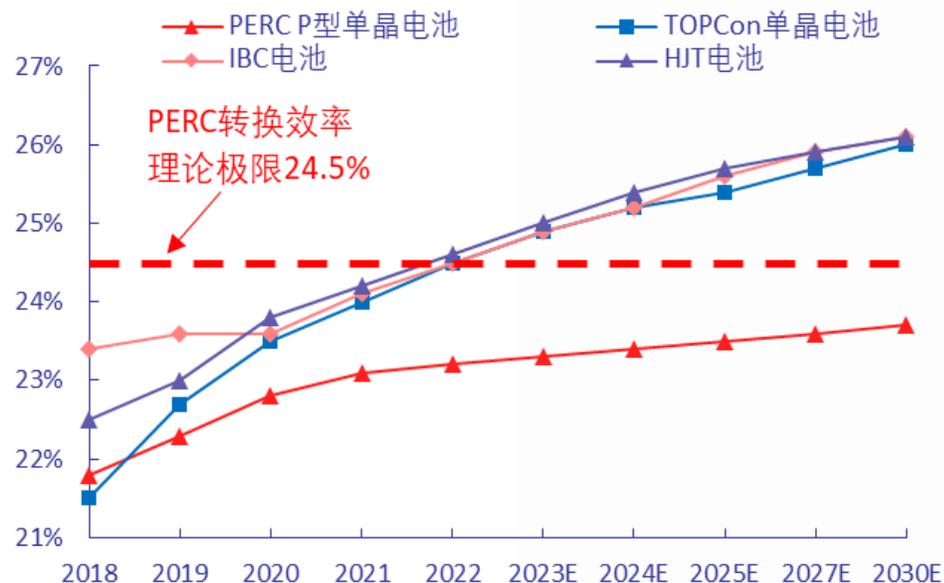
**三 综述与投资建议**

**四 风险提示**

# N型技术变革已至

■ P型瓶颈已现，N型替代正当时。据CPIA统计，2022年P型PERC电池量产平均效率达23.2%，世界效率记录24.06%，已接近24.5%的理论天花板。而**N型电池2022年量产平均效率均已超24.5%**，华晟新能源G12-15BB电池量产效率达25.2%。HJT电池方面，隆基绿能2022年11月创下26.81%的记录；TOPCon电池方面，晶科能源10月创下26.4%的纪录；IBC电池方面，日本Kaneda通过IBC+HJT结构拿下26.7%的效率记录。此外，N型电池还具有无LID效应，更好的温度性能、弱光性等优势，已开启对P型电池的全面替代之路。

图1：不同电池技术路线量产平均转化效率



资料来源：CPIA，中国银河证券研究院

表1：三大N型电池技术路线对比

		TOPCon	HJT	IBC
光电转换效率纪录	理论	28.7%	29.2%	29.1%
	实验室	26.4%	26.81%	26.7%
	量产	25.1%	25.2%	26%
温度系数		-0.34~-0.37%/°C	-0.23~-0.25%/°C	-0.28~-0.31%/°C
量产难度		易	中	难
成本		较低	较高	中等

资料来源：CPIA，中国银河证券研究院

# N型电池理论极限

- 2021年隆基研究表明，双面HJT理论转换效率28.5%，双面TOPCon理论转换效率极限28.7%。根据Nature期刊上最新发布数据，2023年隆基基于突破世界纪录的HJT技术，刷新双面HJT理论转换极限为29.2%。

图2：2021年隆基绿能计算各类钝化电池类型的理论转换极限效率

			PERC电池				N型TOPCon					
			P-diffused n+		a-Si:H(i)/a-Si:H(n)		Thermal/PECVD SiO <sub>x</sub> /poly-Si(n+)		Thermal/LPCVD SiO <sub>x</sub> /poly-Si(n+)		Chemical/LPCVD SiO <sub>x</sub> /poly-Si(n+)	
Hole selective	Electron selective		J <sub>0,e</sub>	ρ <sub>c,e</sub>	J <sub>0,e</sub>	ρ <sub>c,e</sub>	J <sub>0,e</sub>	ρ <sub>c,e</sub>	J <sub>0,e</sub>	ρ <sub>c,e</sub>	J <sub>0,e</sub>	ρ <sub>c,e</sub>
				109	0.26	2	0.017	5	0.016	2.7	0.0013	10
Al-doped p+	J <sub>0,h</sub>	550	11.7	56.5%	12.9	34.6%	12.8	23.4%	12.9	8.5%	13.0	1.2%
	ρ <sub>c,h</sub>	0.005	3.5%	24.5	1.2%	27.0	1.2%	26.9	1.2%	27.1	1.2%	27.1
a-Si:H(i)/a-Si:H(p)	J <sub>0,h</sub>	2	11.9	45.6%	14.0	24.4%	14.0	14.9%	14.6	5.5%	14.6	0.8%
	ρ <sub>c,h</sub>	0.055	97.9%	24.9	43.9%	28.5	27.6%	28.6	26.2%	28.9	26.0%	28.9
Chemical/PECVD SiO <sub>x</sub> /poly-Si(p+)	J <sub>0,h</sub>	16	11.9	46.7%	14.0	23.0%	13.8	15.5%	14.2	5.7%	14.2	0.8%
	ρ <sub>c,h</sub>	0.008	21.4%	24.9	5.9%	28.5	6.1%	28.4	5.8%	28.7	5.7%	28.7

P型TOPCon
HJT
双面Poly-TOPCon

资料来源：《On the limiting efficiency for silicon heterojunction solar cells》 Wei Long，中国银河证券研究院

# N型电池、组件特性对比

- 据东方日升量产数据，效率方面同版型HJT组件已明显领先于TOPCon和PERC组件，在光转膜加持下功率已突破700W，领先TOPCon组件约4%左右。
- HJT组件还具有更高的双面率和更优异的温度性能。

表2：不同电池技术的组件特性对比

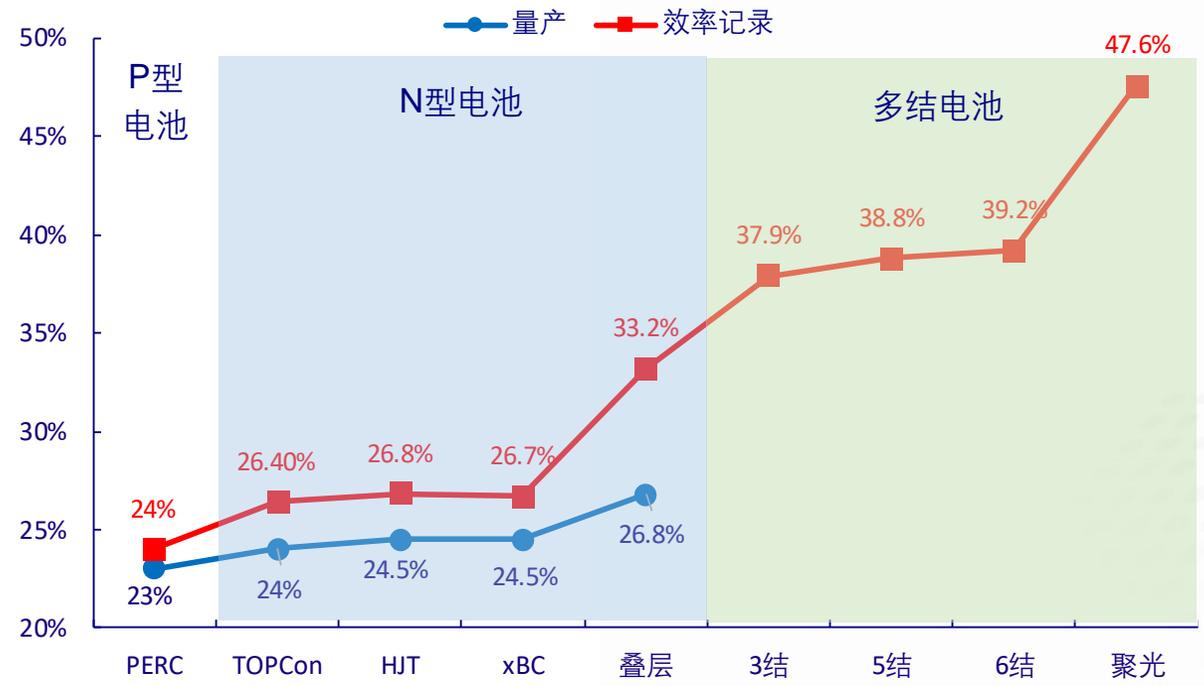
电池技术 210*105	硅片种类	组件型式	组件功率 (瓦)	组件效率 (%)	双面率 (%)	温度系数 (%/°C)
PERC	P	132 G-G	650-660	21.2%	70	-0.35
TOPCon	N	132 G-G	670-680	21.9%	80	-0.3
HJT	N	132 G-G	700-710 (+光转换)	22.9%	85	-0.24

资料来源：《异质结超薄片技术和可靠性能的低碳未来展望》东方日升，中国银河证券研究院

# 叠层→多结电池将成终极形态

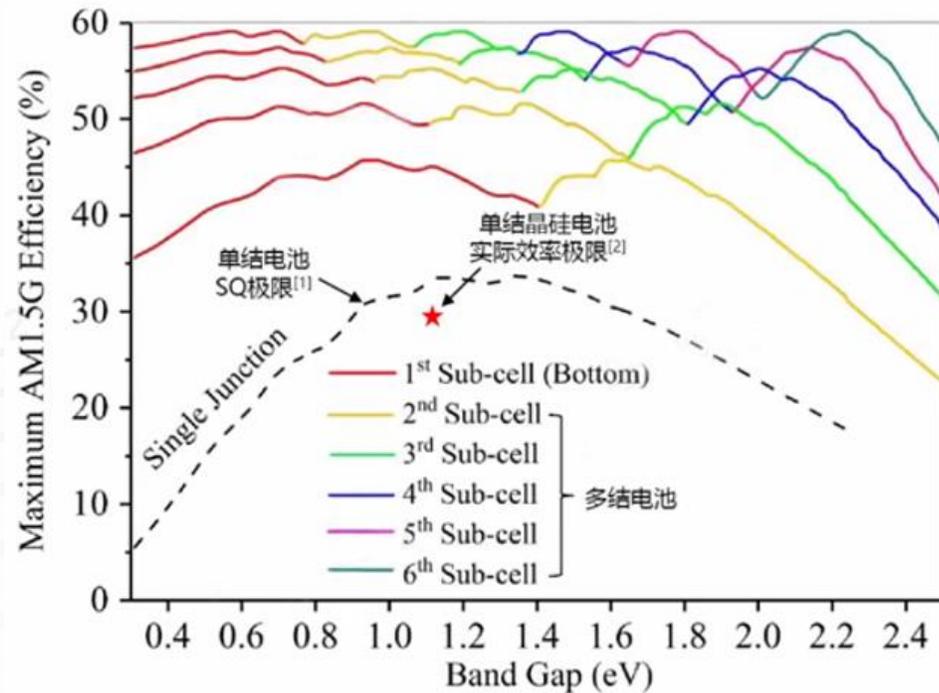
■ 钙钛矿/异质结叠层电池现雏形，多结电池驶向星辰大海。2023年4月13日KAUST中心的小面积钙钛矿/异质结叠层电池创下33.2%的效率纪录；1月曜能科技叠层电池达到32.44%的效率。德国ISFH研究表明，成熟晶硅电池的效率已难破30%，钙钛矿薄膜电池理论效率虽高但亦难工业制造。而多结电池凭借吸收光谱更宽、开压更高，晶硅/钙钛矿叠层电池被公认为光伏电池终极形态。

图3：太阳能电池效率发展趋势



资料来源：《Solar cell efficiency tables Version 61》，中国银河证券研究院

图4：多结太阳电池SQ理论效率极限轻松突破主流单晶单节电池



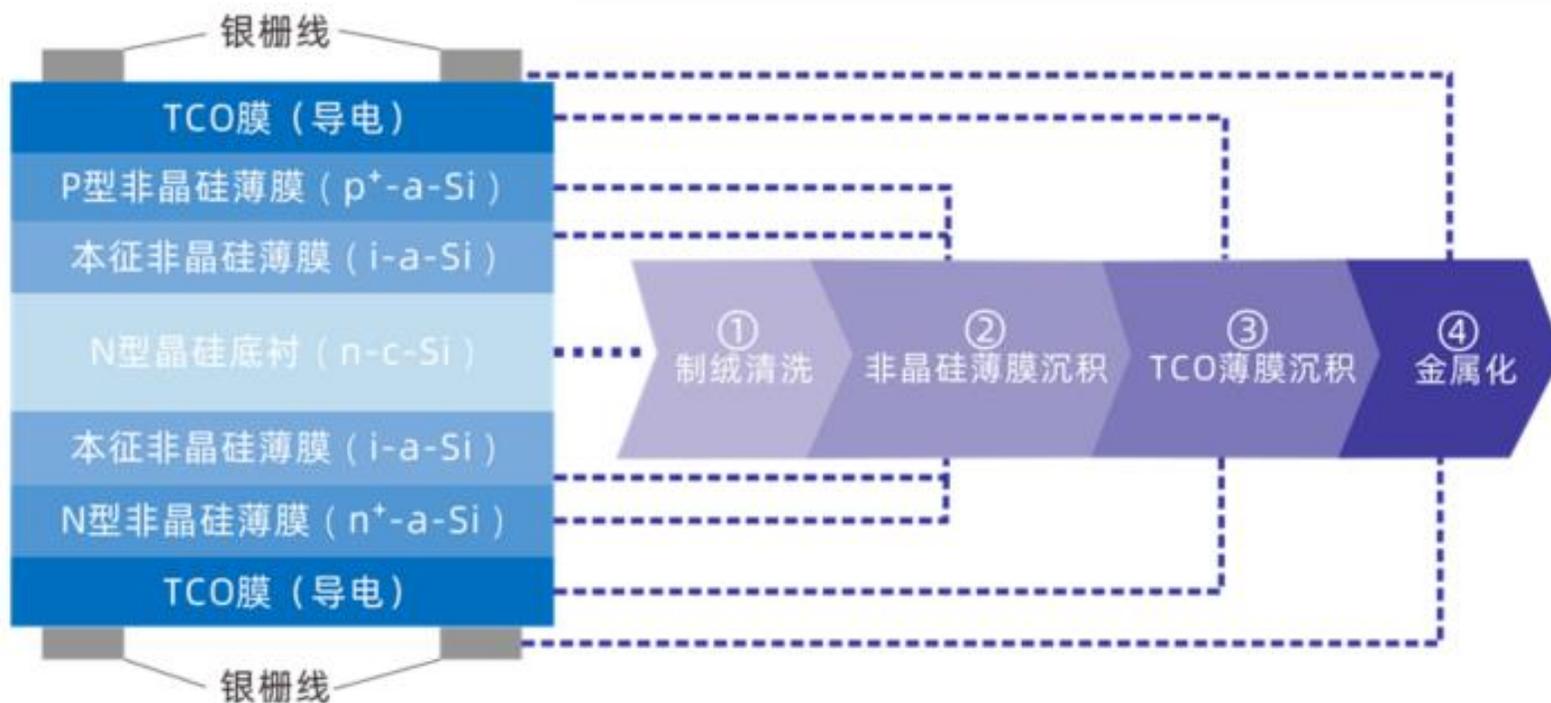
资料来源：《Fundamental losses in solar cells》，中国银河证券研究院

# 异质结：效率突破是关键

- HJT即具有本征非晶层的异质结技术（Heterojunction Technology），核心结构是晶硅层与非晶硅薄膜。
- 异质PN结一方面可以形成更高的开路电压，另一方面能实现更好的钝化效果，因此更易提升转换效率。
- HJT优势明显，有望成为N型主流：
  - 1) 抗光衰能力更强，可实现25年功率衰减不超过8%，明显优于PERC的20%和TOPCon的13%；
  - 2) 两侧均具有透光能力，双面率最高可达95%，高于PERC与TOPCon电池；
  - 3) 双面均有晶硅+非晶硅结构，实现双面钝化，其钝化选择率可达14.0（PERC电池仅11.7）；
  - 4) 适应能力强，较双面PERC，温度升高后效率降低幅度小，温度系数仅为-0.26%/°C（PERC约-0.35%/°C，TOPCon约-0.3%/°C）；
  - 5) 结构应力分布更均衡、更稳定，易提升良率且后续运维压力小。

# HJT优势突出

图5: HJT对称结构以及4道制造工序



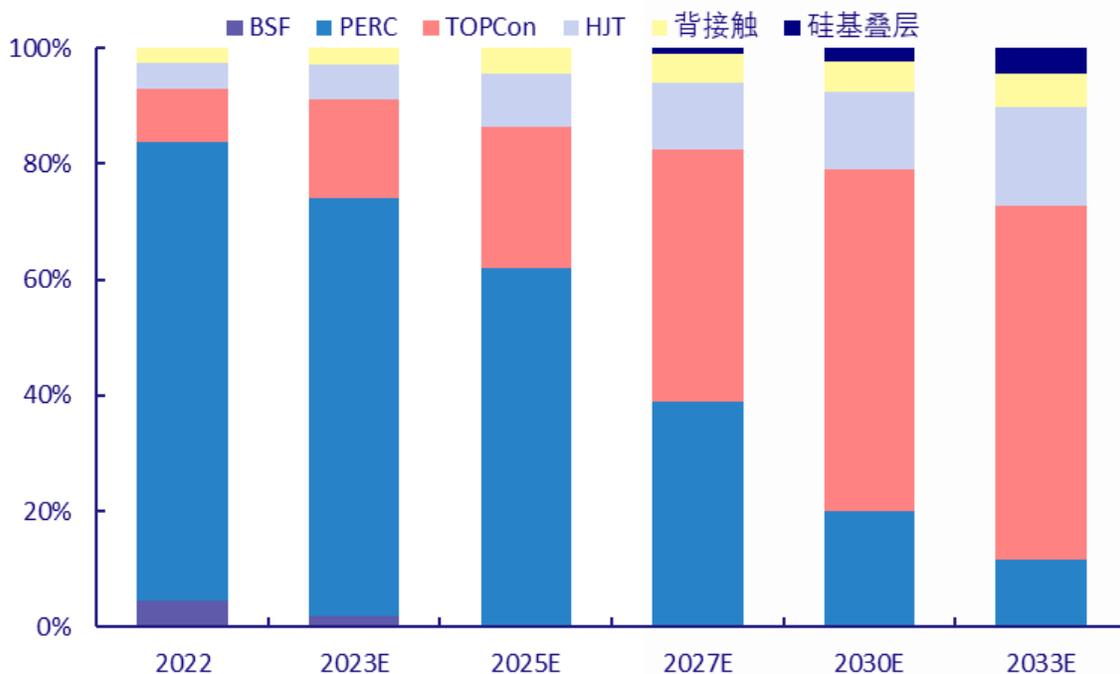
- HJT电池的制备过程仅需4步，产线简单，良率更高。
- 薄膜沉积工艺不涉及高温扩散环节，能耗更低。
- 两步薄膜沉积可通过设备优化实现二合一，产业化潜力巨大。
- HJT易实现叠层结构，可通过改良膜的性能、增减膜甚至与钙钛矿薄膜电池技术叠加，突破晶硅效率极限，升级空间广阔。

资料来源：华晟新能源官网，金刚太阳官网，中国银河证券研究院

# HJT前景广阔

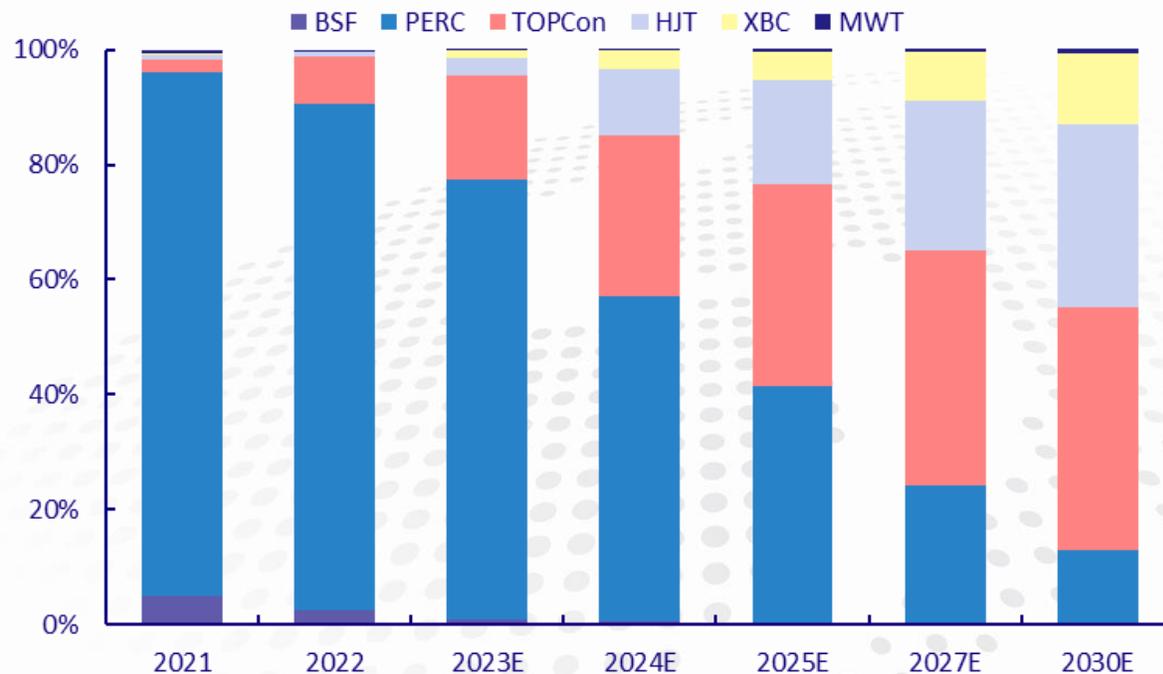
- 国际光伏技术路线图（ITRPV）预测2025年/2030年全球HJT市场份额约9%/13%；
- 中国光伏协会对HJT发展前景更乐观，预测2025年/2030年其市场份额约18%/32%。

图6：国际光伏技术路线图对全球光伏电池技术市场份额的统计预测



资料来源：ITRPV，中国银河证券研究院

图7：中国光伏协会对全球光伏电池技术市场份额的统计预测

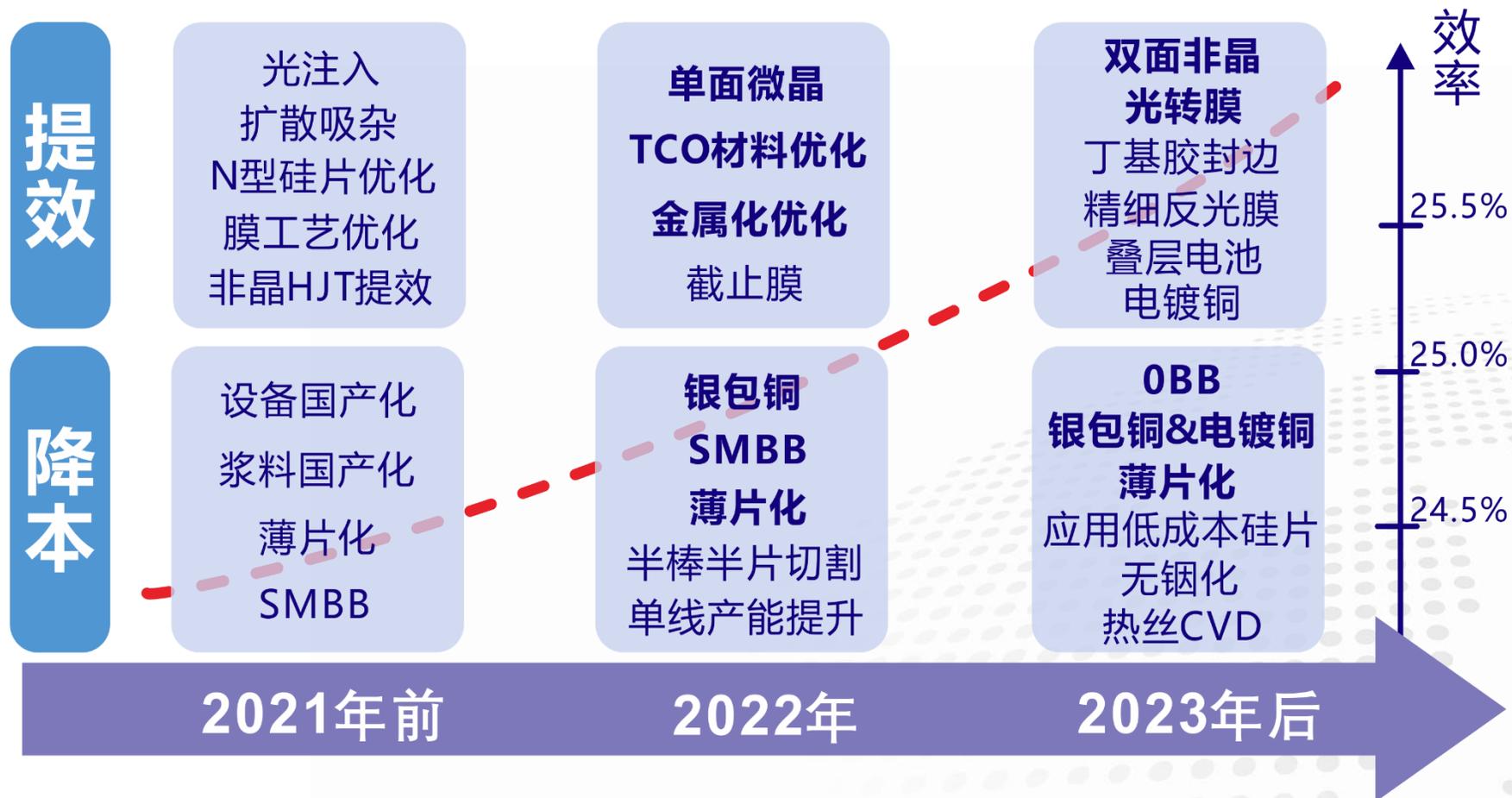


资料来源：CPIA，中国银河证券研究院

- **HJT大订单签订，市场验证加速。**2022年9月，华晟新能源和中电建华东院正式签署采购合作框架协议，2022年至2025年华东院将从华晟采购10GW异质结光伏组件，这成为迄今为止行业内N型电池最大订单，成为HJT产业化里程碑。
- 据CPIA预测，2023年HJT市占率有望或达3%，对应装机有望超过10GW。
- **华晟扩产领跑。**华晟新能源目前除了宣称总部，还拥有合肥、无锡、大理三个基地。华晟宣城规划共5期，目前1-3期已经投产，合计5GW，4-5期预计分别将于2023年6月和第四季度设备搬入。公司2022年实现销售收入17个亿，对应约900MW异质结组件的出货。预计2023年电池/组件产能分别达到22.5GW/18.6GW。华晟M6-144常规版型组件功率已突破500W，G12-132常规版型组件功率突破730.55W，组件转换效率达到23.5%。
- 根据公司披露信息不完全统计，目前全行业已公布HJT电池产能超过200GW，已投产约8GW，在建约53GW。预计2023/2025年底国内HJT产能有望实现68GW/97GW。

# HJT提效降本之路

图8: HJT降本提效关键技术

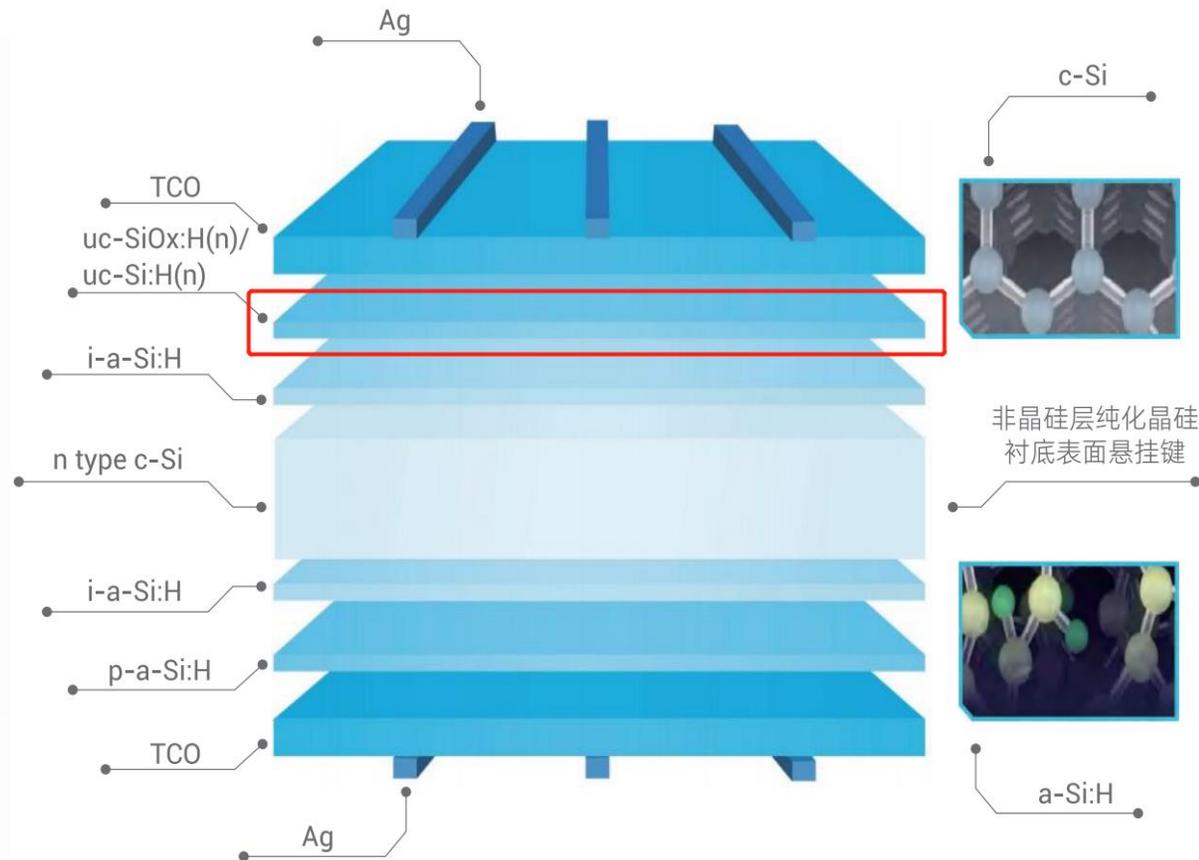


资料来源:《不断创新的HJT技术》王文静,《效率25%+异质结电池及可靠性研发进展》通威股份,《异质结技术的产业化发展》晋能科技,《异质结超薄片技术和可靠性能的低碳未来展望》东方日升,中国银河证券研究院

# 提效—单面→双面微晶

- 相较于传统非晶硅薄膜，**微晶硅薄膜**透光率更优、缺陷密度更低、掺杂效率更高、导电率更高，从而获得更高的转换效率。微晶工艺难点在于解决生产节拍较慢及一致性问题。
- **单面微晶基本开发完成，开始挑战双面微晶**。2022年头部企业与设备商携手完成了微晶技术的初步落地，**华晟**采用迈为VHF-PECVD设备的单面微晶HJT2.0电池首片效率达到**24.68%**，目前宣城二期平均效率约**25%**，预计今年双面微晶导入后平均效率有望达到**25.5%**。
- **东方日升**双面微晶产品“伏羲”电池效率中试效率已达**25.5%**，组件效率达**23.89%**。**通威**采用纳晶工艺，年底完成双面纳晶导入有望突破**25.5%+**的效率。
- 为实现极致的钝化、吸光等效果，在i层、a层、p层、n层硅基础上演变出的多层结构或将成为主流，对工艺掌控、设备性能等方面提出更高要求。

图10：华晟异质结电池在正面制备微晶硅层形成单面微晶电池



资料来源：华晟新能源官网，中国银河证券研究院

# 提效—改进封装工艺

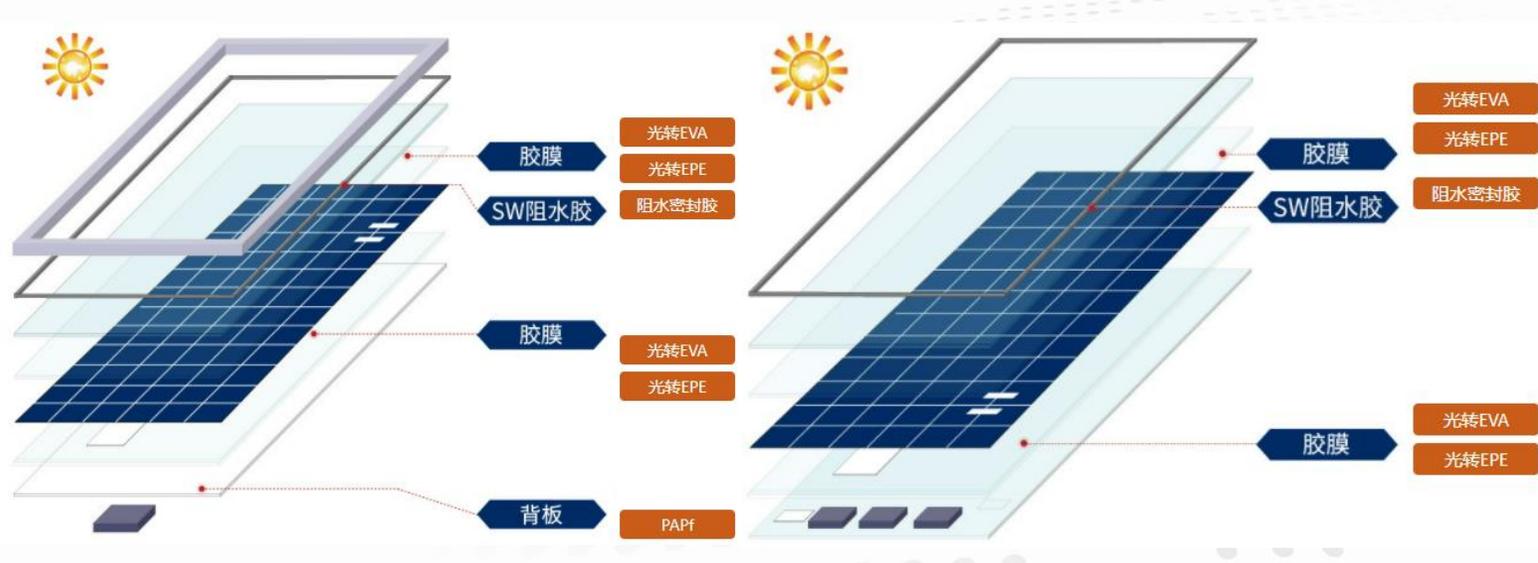
- **光转膜或成标配。**HJT微/非晶硅中的硅氢键会被紫外光破坏，导致功率、寿命降低。传统解决方案为使用UV截止膜来阻挡紫外光，但吸收到的光能量会降低。而光转胶膜能将紫外光转换成可见光再被电池吸收，从而提升组件发电量，实证数据表明其能提升1-2%的组件功率。目前行业头部企业基本完成导入。
- **高阻水性材料进一步保障产品寿命，提升长期效率。**此外，HJT特殊的材料、结构导致其极易受水气影响，常规封装材料无法应对挑战。目前行业正在导入丁基胶作为HJT封装材料，预计年底有望实现导入。

图11：光转膜组件发电量提升效果



资料来源：华晟新能源官网，中国银河证券研究院

图12：赛伍技术单玻（左）及双玻（右）HJT电池组件封装解决方案中应用光转胶膜

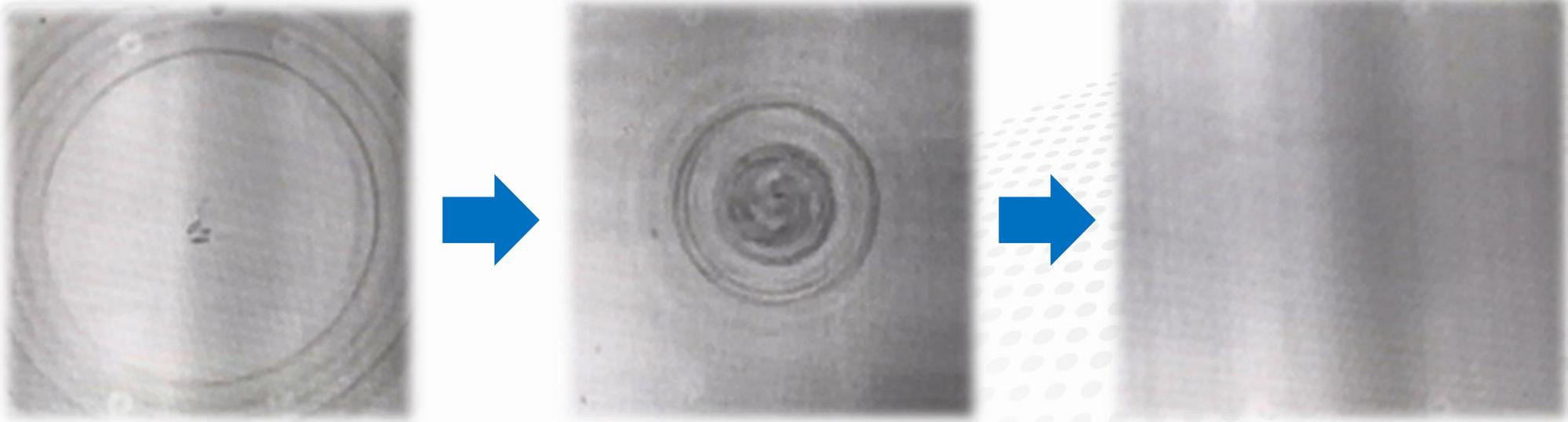


资料来源：赛伍技术官网，中国银河证券研究院

# 提效—N型硅片质量提升

- N型硅片制备技术逐渐成熟，品质不断提升。截止目前，N型硅片少子寿命已由最初的500 $\mu$ s提升至2000 $\mu$ s左右，氧含量下降由14ppma下降至11-12ppma。
- 预切片、清洗吸杂等处理工序进一步提升硅片质量从而提升电池效率。据晋能科技测算，通过前处理工艺可降低缺陷密度及损耗，可实现0.2-0.3%左右的效率提升。

图9：降低硅片氧含量来减轻甚至解决硅片氧同心圆问题

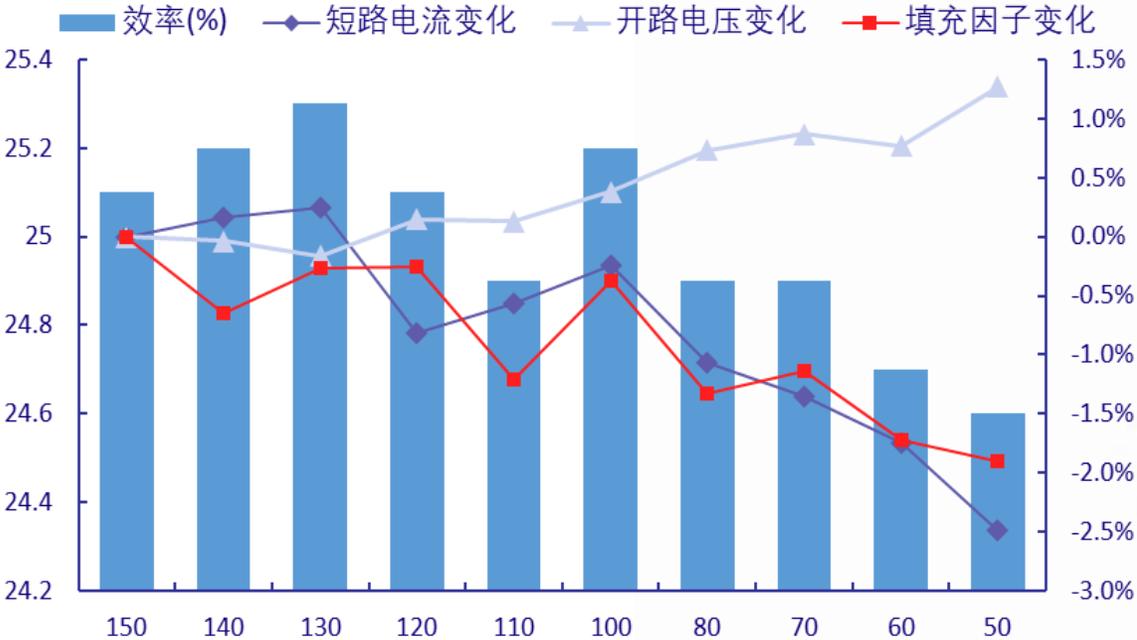


资料来源：《效率25%+异质结电池及可靠性研发进展》通威股份，中国银河证券研究院

# 降本—薄片化

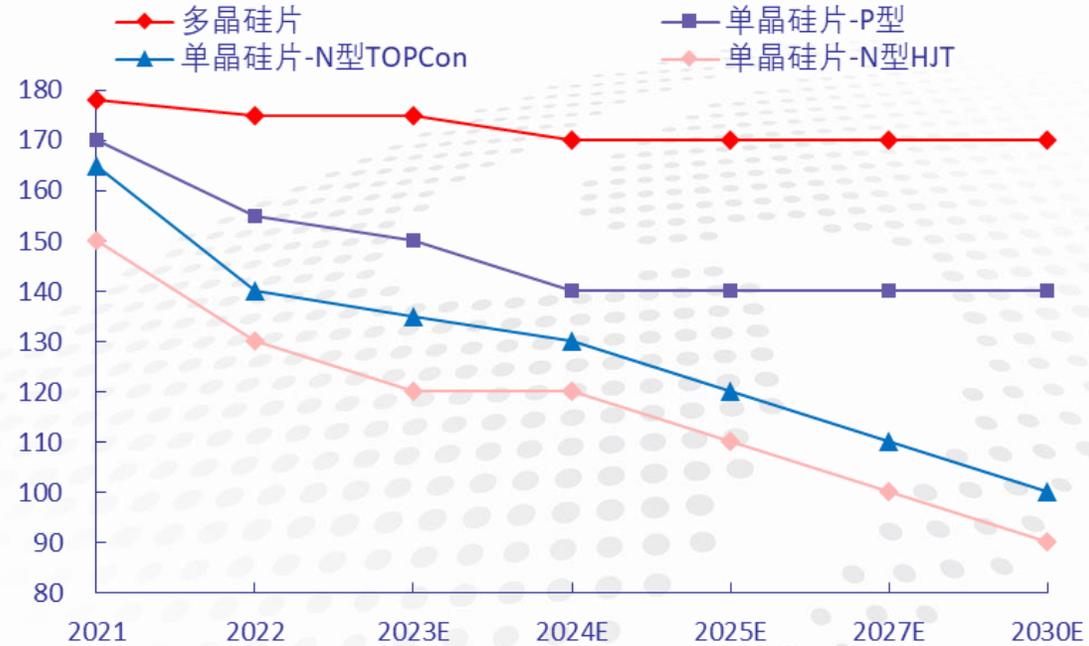
- 虽然硅片越薄短路电流会越少，但是HJT非晶硅层可以帮助形成更高的开路电压，即原理上HJT硅片减薄不会明显影响效率。此外HJT生产工艺简单且使用低温环境，不易产生碎片。
- 目前头部企业已做到110~130 $\mu\text{m}$ 厚度，行业正在冲击100 $\mu\text{m}$ 厚度，TaiyangNews研究报告显示HJT已有80微米厚度的实现路径。硅料价格为150元/kg时，硅片厚度每减薄10微米可以带来单瓦硅成本0.01元左右的降低。

图13: 使用100 $\mu\text{m}$ 左右的硅片厚度的HJT效率仍处于25%+的高水平



资料来源: 华晟新能源, 中国银河证券研究院

图14: 不同电池技术路线的硅片厚度变化趋势 ( $\mu\text{m}$ )

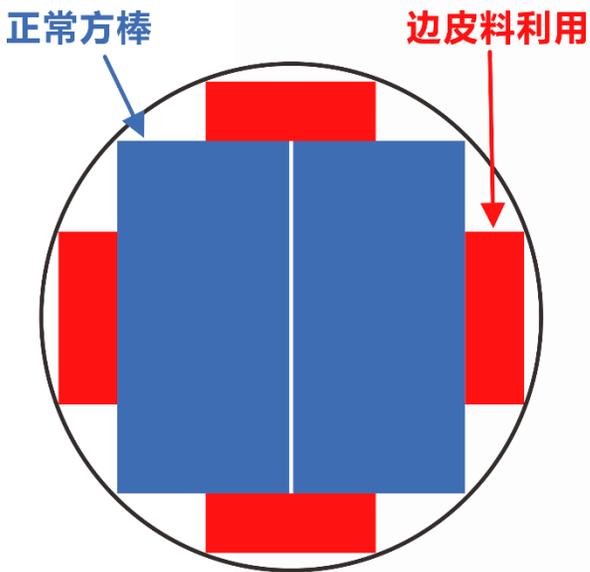


资料来源: CPIA, 中国银河证券研究院

# 降本—硅片

- 半棒半片：硅棒开方后再将其分成两个半棒。技术上，整片厚度难突破 $120\mu\text{m}$ ，而半片更易实现薄片化，2023年5月高测股份首次展示利用半片工艺制造的 $60\mu\text{m}$ 超薄硅片。
- 边皮切割：HJT对硅棒的边皮料利用率更高，可提高硅棒使用率，可助力硅成本下降约15%。
- 氧含量容忍度更高：HJT较TOPCon可使用更高氧含量的头尾料，可进一步降低约30%硅成本。

图15：边皮切割



资料来源：华晟新能源，中国银河证券研究院

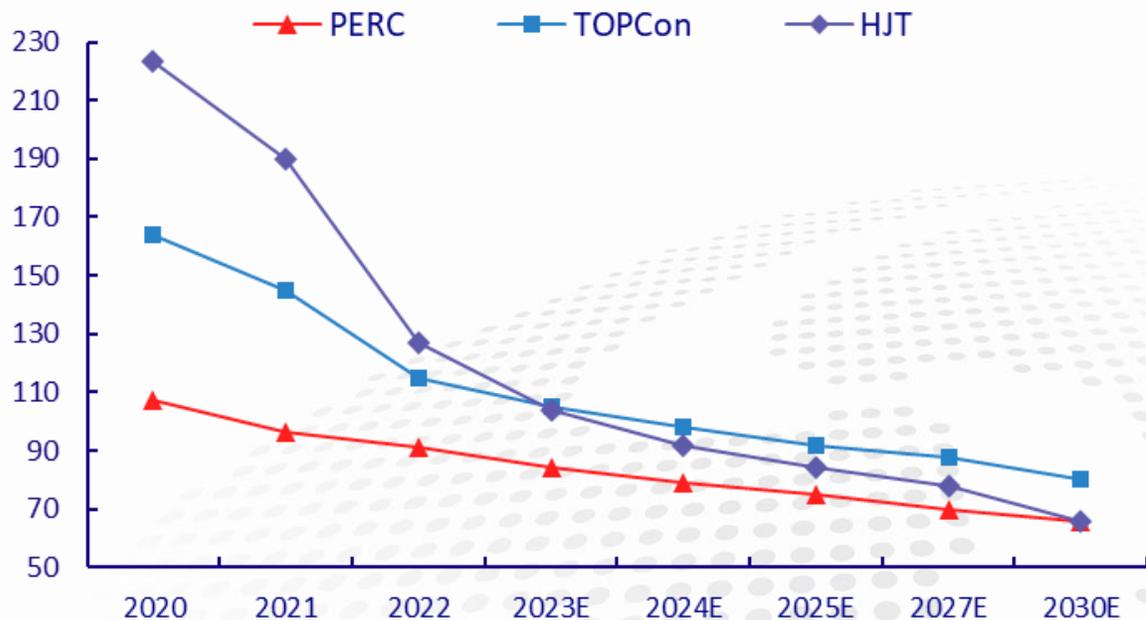
表3：G12 N半型硅片边皮切割成本是整片切割的约85%

公司	外购边材	外购方棒
片厚( $\mu\text{m}$ )	130	130
单价(元/kg)	125	205
每公斤出片pcs	41.97	48.62
硅料单片成本(元)	3.15	4.22
硅块加工成本(元)	0.18	/
切片单片成本(元)	0.884	0.763
合计(元)	4.22	4.98

资料来源：华晟新能源，中国银河证券研究院

- 据PV Infolink数据，2022年HJT非硅成本约为0.28元/W，显著高于PERC的0.16元/W和TOPCon的0.19元/W，非硅成本中占比约50%是银耗。
- HJT电池为双面结构，总银耗量更高。
- 据CPIA统计，2022年PERC平均银浆耗量仅91mg/片（同比-5.6%），TOPCon约115mg（同比-20.7%），HJT约127mg（同比-33.2%）。
- 与PERC、TOPCon不同，HJT由于工艺特殊性需要使用低温银浆，企业倾向于使用价格更昂贵但更成熟的进口银浆，进一步增加了浆料成本。

图16: PERC、HJT与TOPCon银浆耗量/mg变化趋势



资料来源: CPIA, 中国银河证券研究院

# 降本—银耗

- **方法一：优化栅线。**可以改进印刷工艺，结合钢板印刷等方法将细栅细化；可以采用**SMBB技术**（增加主栅数、降低主栅宽度），既能提高电流传输效率也能直接降低银耗，还能增强电池应变能力；可以采用**无主栅（0BB）技术**，即主栅不用银浆而直接使用导电丝、焊带，大幅降低银浆耗量。
- **SMBB已成N型电池技术标配工艺**，部分头部异质结企业已实现量产**18+BB**。**0BB技术**实现路径多，发展最早最成熟的是瑞典Meyer Burger的**SmartWire技术**，REC已采用该技术；德国Schimid、美国GT也采用类似方法。国内受专利限制，更多采用点胶焊接的方式，我们预计仍需半年至一年来实现成熟的量产导入。

图17：主栅数量演化及SMBB技术示意图

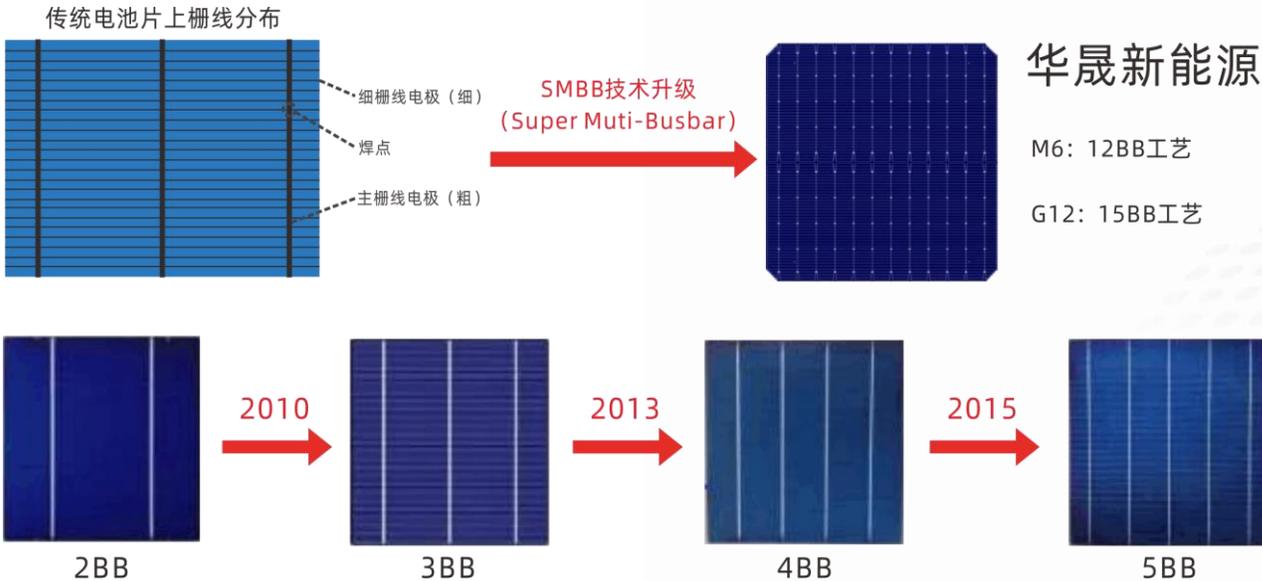
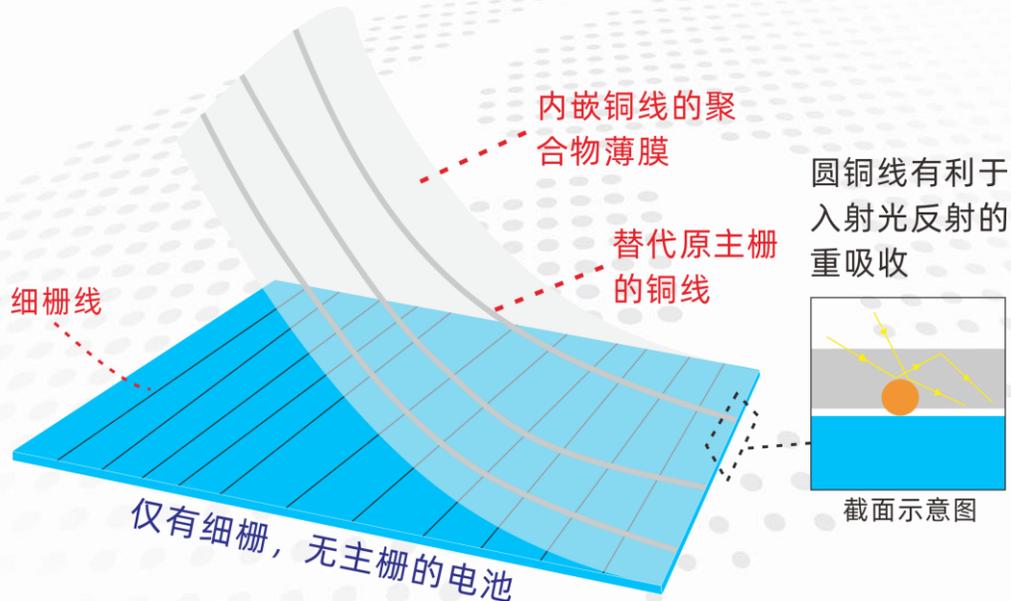


图18：SmartWire技术示意图



# 降本—银耗

- **方法二，银包铜。**通过调整浆料中银、铜和助剂的比例实现性能不减并降低银耗。对比纯银浆，银包铜浆料可降本20%-50%。银包铜技术已成为HJT降本必经之路，目前50%银含量的实证数据无问题，正在突破40%以下的超低比例浆料。各企业正陆续进行量产导入，预计年底将全面使用银包铜浆。
- 目前华晟最新产线已实现单片银耗100mg，公司计划今年全面应用银包铜+0BB技术后进一步降至70mg，折合单瓦银耗仅10mg以下，成本降至0.08元/W。

图19：银包铜浆料结构示意图及实验室测试数据

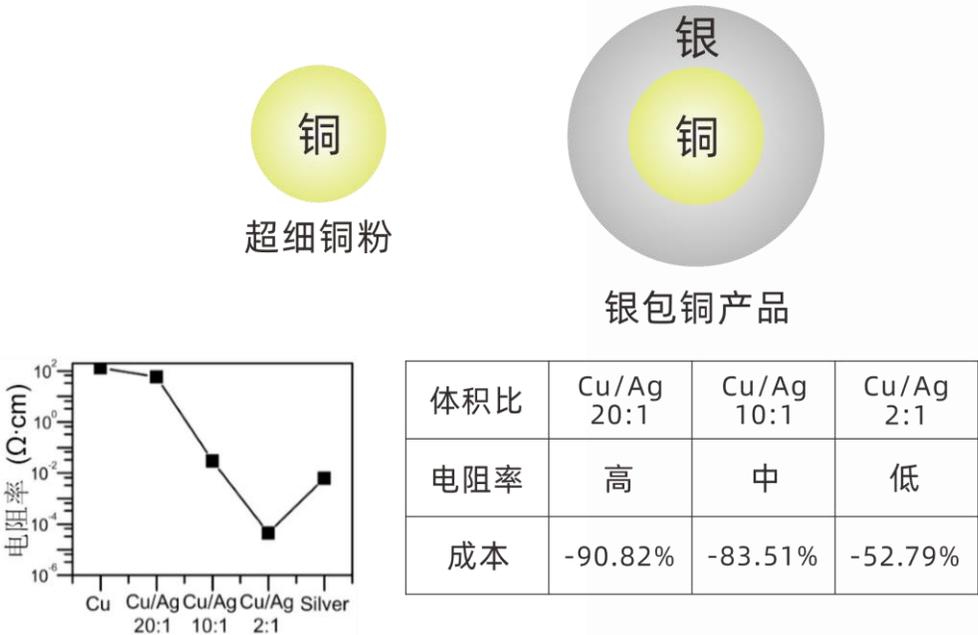
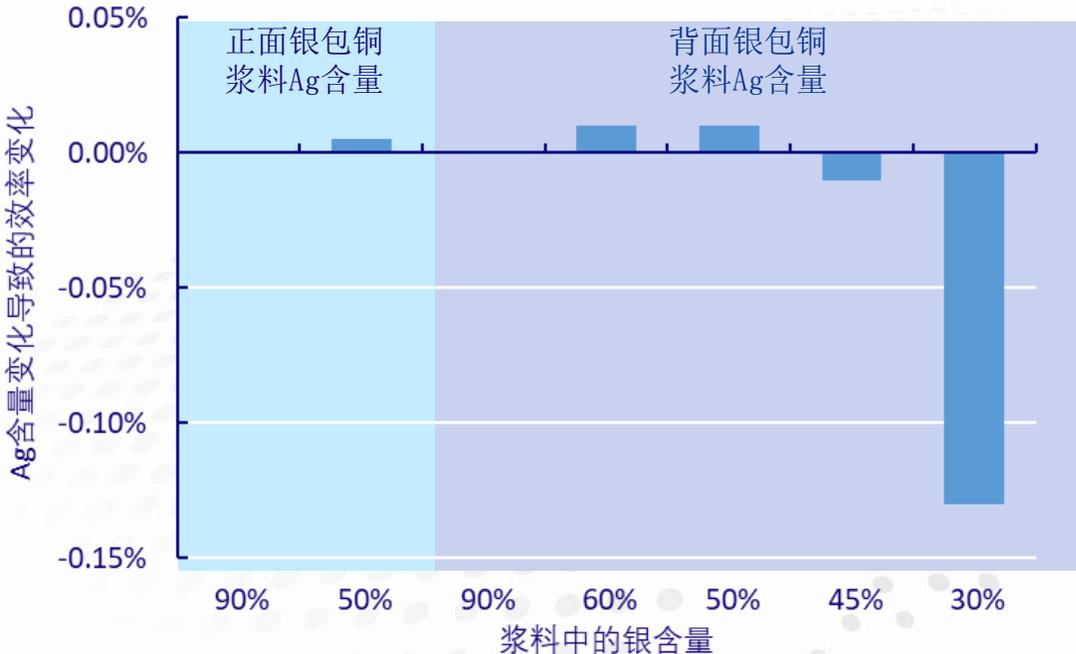


图20：实证数据显示50%银含量的银包铜浆料对电池性能影响较小



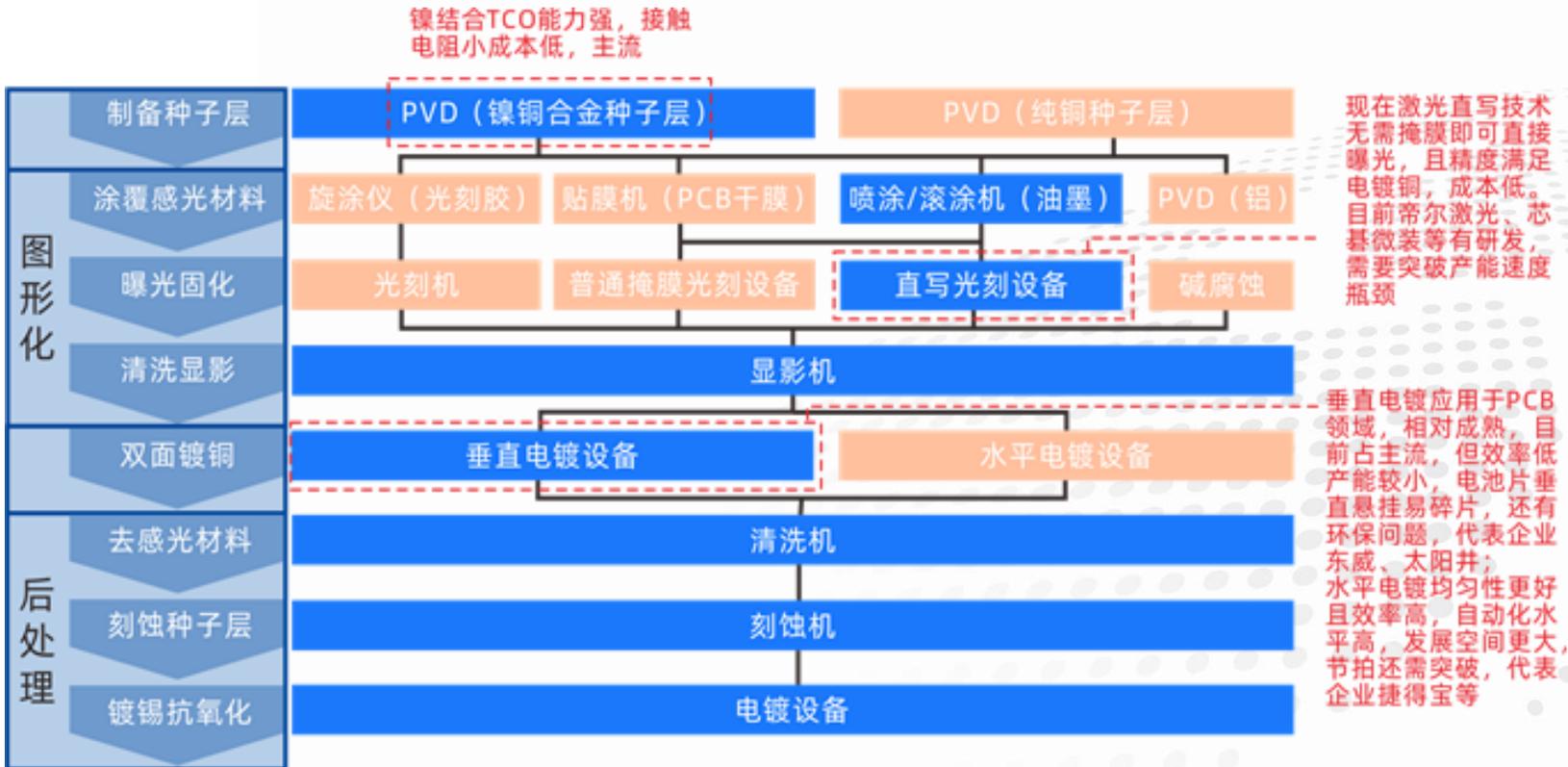
资料来源：《低成本银包覆铜导电浆料的可控制备及其在太阳能电池中的应用》刘徐迟，中国银河证券研究院

资料来源：晋能科技，中国银河证券研究院

# 降本—银耗

- 方法三，电镀铜技术。不经丝网印刷，直接在TCO上电镀沉积Cu电极，完全替代银且可提升转换效率，降本增效空间最大，但同时面临设备不成熟、成本高、环保审批挑战大等问题，技术路线亦未确定。
- 2022年8月1日，迈为结合澳大利亚金属化公司SunDrive的电镀铜技术实现了26.41%的HJT电池纪录。目前国内华晟、通威等头部HJT企业已有demo线测试。据东方日升测算，当电镀铜技术能实现效率+0.5%、单瓦成本达到0.05元时，将具备量产导入能力。我们预计该技术还需2年左右观察期。

图 21：常规电镀铜技术新增工艺及重点环节



资料来源：  
迈为股份  
官网，  
《2020年  
中国光伏  
技术发展  
报告——  
晶体硅太  
阳能电池  
研究进  
展》，中  
国银河证  
券研究院

# 降本—设备

- 非硅成本中设备折旧是第二大成本项，设备降本是HJT大规模产业化的必要条件。核心镀膜环节中主流路线为PECVD+PVD，另外也存在热丝CVD、RPD等路线。目前国内异质结设备已全球领先，其中迈为、捷佳等已具备整线交钥匙能力，钧石、理想等镀膜设备性能突出。由于国产化率和下游需求较高，我们认为当下设备降本能力相对较弱，电池企业更需要提升自动化、生产效率、扩大产能来降低单瓦成本。
- 2022年设备基本维持4亿/GW水平，但新增了双面微晶、退火除杂等功能。华晟最新产线设备成本实现3.5亿/GW，行业目标年底有望实现3亿/GW。

表 4 : HJT 电池生产设备供应商

	清洗制绒	非晶硅薄膜沉积	TCO膜沉积	金属化	交钥匙能力
迈为股份		√	√	√	√
钧石能源		√	√		√
捷佳伟创	√	√	√		√
H2GEMINI		√	√		√
理想万里晖		√			
Applied Materials		√		√	
INDEOtec (实验室规模)		√	√		
Rena (德国)	√				
Singulus (德国)	√		√		

资料来源:  
TaiyangNews,  
公司产品手册,  
中国银河证券  
研究院

- 靶材是沉积TCO薄膜的关键材料，ITO（氧化铟锡）是靶材首选（制成的ITO薄膜导电率高、可见光透过率高、物理化学稳定性强），但铟价格昂贵。主要降本方向包括：
  - 1) 国产化：据华经情报网统计，2020年我国靶材市场外企占比近70%，大尺寸高纯靶材主要被日企垄断。近年靶材国产化进程加速，其中隆华科技已通过隆基、通威、华晟等企业产线验证，映日科技已进入晋能集团供应链体系。
  - 2) 提升利用率：通过调整激发磁场，优化靶材纵向尺寸来提升靶材利用率，单瓦可节省0.02-0.04元。
  - 3) 去铟化：相比于ITO，采用锌为原料的AZO靶材成本更低、光学性能更佳，有望成为良好替代品，但仍需解决电学性能差的问题。据德国Juelich机构研究，理论上AZO靶材可降低50%~85%的铟耗。铟的综合性能更高，理论上降铟会导致效率损失，但是2022年3月隆基采用无铟靶材的HJT电池实现了25.4%的纪录，进一步证实去铟化在降本增效进程中的可行性。
- 目前迈为与华晟正在验证背面AZO替代方案的可行性，华晟预计2024年实现无铟TCO应用，结合其他技术实现26%的电池转换效率。

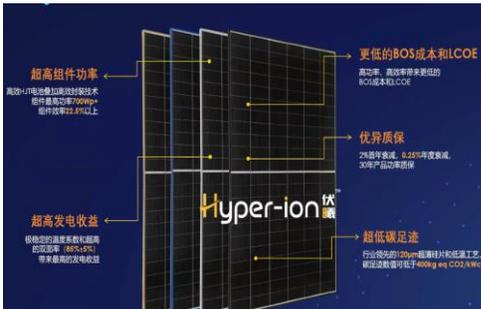
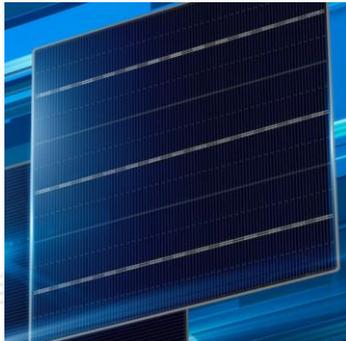
# 头部企业积极布局

表5：布局HJT电池主要企业梳理（单位：GW）

公司	项目	已投产	在建	规划	2022年底	2023年底	2025年底
爱康科技	湖州长兴	0.82	1.2	8	0.82	2.02	10
	赣州（N型TOPCON）		5			5	14.5
	舟山（表外）		3	9		3	12
华晟新能源	宣城	2.7	8.3	10	2.7	11	21
	大理		2.5	5		2.5	5
	合肥					5.4	5.4
	无锡					3.6	5
明阳智能	盐城		2	3	2	2	5
通威股份	双流	0.2			0.2	0.2	0.2
	合肥	0.25			0.25	0.25	0.25
金刚光伏	金堂	1			1	1	1
	吴江	1.2			1.2	1.2	1.2
	酒泉	4.8				4.8	4.8
潞能能源	张家港	1			1	1	1
东方日升	金坛	0.5	4		0.5	4.5	4.5
	宁海		5	10		5	20
晋能科技	晋中	0.2			0.2	0.2	-
	其他	1.7	19	140	3.5	13.1	27.2
	合计	14.4	50	185	13.4	63.8	138

# 头部企业积极布局 (续)

表6: 主要已面市HJT产品型号及相关信息

	华晟喜马拉雅系列	东方日升伏羲系列	晋能科技JNHM系列	金刚光伏JG系列	爱康科技iPower组件
产品示意图					
型号	电池: M6-12BB(140 $\mu$ m)、 G12-15BB(130 $\mu$ m) 组件: G12/132版型(720W)、 G12/120版型(635W)、G10/144 版型(600W)、G10/108版型 (450W)、M6/144版型(500W)、 M6/120版型(400W)	组件: G12/132版型(700W)	组件: M6/120版型(395W)、 M6/140版型(475W)、 G12/132版型(720W)	电池: G12-12BB(150 $\mu$ m) 组件: G12/80版型(425W)、 G12/90版型(480W)、G12/100 版型(530W)、G12/110版型 (585W)、G12/120版型(650W)、 G12/132版型(710W)、	电池: G12-12BB(150 $\mu$ m) 组件: G12/120版型(635W)、 G12/132版型(700W)
效率	电池: 最高25.2% 组件: 最高23.23%	电池: 最高25.5% 组件: 最高22.5%	电池: 最高25%+	组件: 最高23%	电池: 最高24.7% 组件: 22.6
技术	光注入、吸杂退火、半棒半片切割、超薄硅片、光转膜、单面微晶、SMBB、银包铜等	半棒半片切割、超薄硅片、光转膜、单面微晶、OBB、银包铜等	吸杂、半棒半片切割、超薄硅片、光转膜、单面微晶、OBB、银包铜等	超薄片硅片、半棒半片切割、单面微晶、SMBB、银包铜等	超薄硅片、半棒半片切割、SMBB等

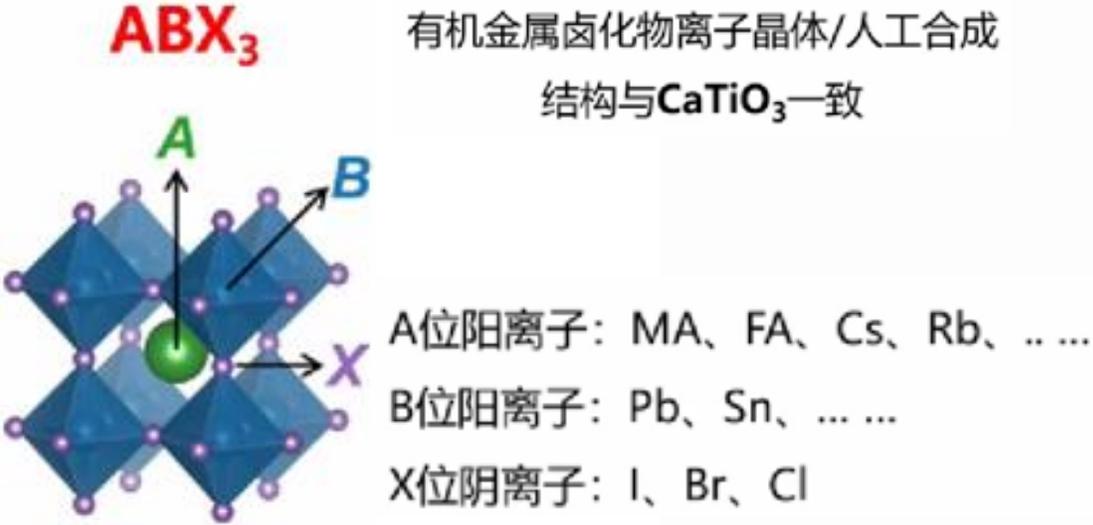
资料来源: 各公司官网, 各公司公告, 中国银河证券研究院

# 钙钛矿产业化进程加速

# 优势突出

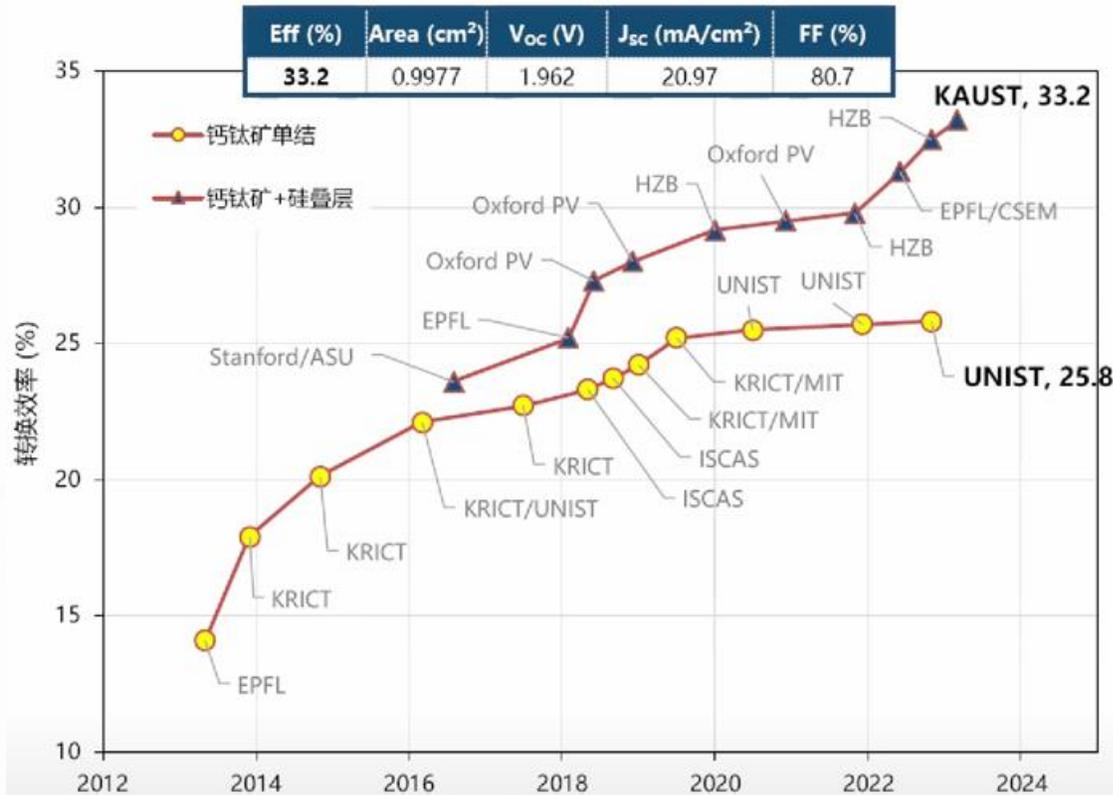
- 目前用作薄膜太阳能电池材料的钙钛矿主要指的是有机无机杂化钙钛矿，它是一类具有正八面体结构结构 $ABX_3$ 化合物。典型体系有甲胺铅碘（ $MAPbI_3$ ）、甲脒铅碘（ $FAPbI_3$ ）等，是最先进的光伏材料。
- 钙钛矿最大优势在于效率潜力大，仅用10年实验室效率就提升了10%+至25.8%，而晶硅电池用了近30年；单结钙钛矿电池理论效率33%亦大于晶硅电池极限。钙钛矿/异质结叠层电池实验室已来到33.2%。

图22：银包铜浆料结构示意图及实验室测试数据



资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》吴颜亮，中国银河证券研究院

图23：单结钙钛矿电池与叠层电池实验室效率



资料来源：  
NREL,  
中国银河证券  
研究院

## 优势突出 (续)

钙钛矿电池的综合优势主要体现在：

- 钙钛矿是人工合成材料，根据配方不同可调整带隙，因此材料可设计性极强，对光谱吸收的范围更广；光吸收系数高，是晶硅的百倍，**电池也不需要做的太厚**；
- 不含有任何稀缺材料，**材料成本极低**；产业链条、工序流程较晶硅电池大大缩短，生产效率极高，据极电光能测算，**投资成本可缩减50%左右**；组件端降本空间巨大，**较晶硅组件有50%左右的降本空间**；
- 对杂质、缺陷容忍度能力更强，**更易实现高效率以及大规模制备推广**；
- 外观、形态可调，**应用场景更广**，如BIPV、弱光室内应用、可穿戴与便携式电源等；
- **碳足迹更低**，全生产过程能耗仅晶硅的1/3.6，能量回收期仅晶硅的1/4；
- 弱光性能更好、温度性能更好、无PID和LID效应，实证数据显示，**钙钛矿电池发电出力更高**，较晶硅增幅10%。

# 产业化难点一：大面积制备

- 电池面积扩大一般会降低电池效率，而钙钛矿的结晶特性使得大面积电池制备造成的效率损失更大。
- 主要原因：1) 制膜工艺局限性导致钙钛矿薄膜性能变差；2) 非光活性面积增大导致电流密度减小；3) 结构设计导致串联电阻增大。其中钙钛矿薄膜质量是最主要因素。

图24：钙钛矿电池（PSC）效率受面积变化影响最大

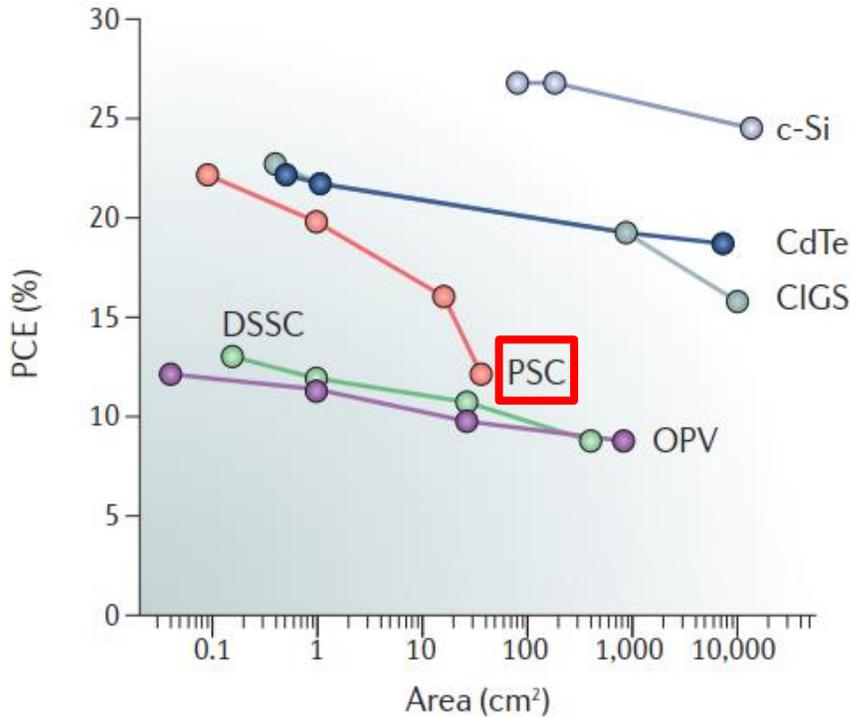
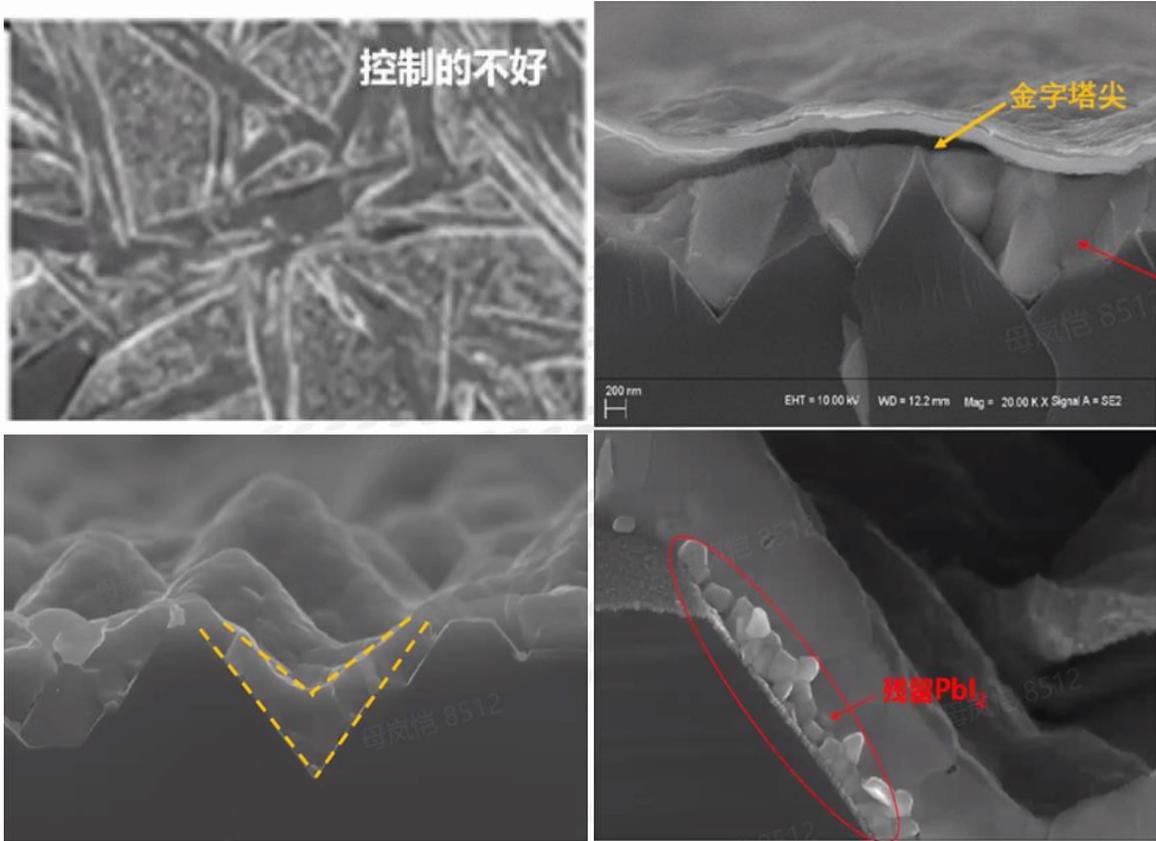


图25：当前工艺局限性导致的几大钙钛矿薄膜沉积问题

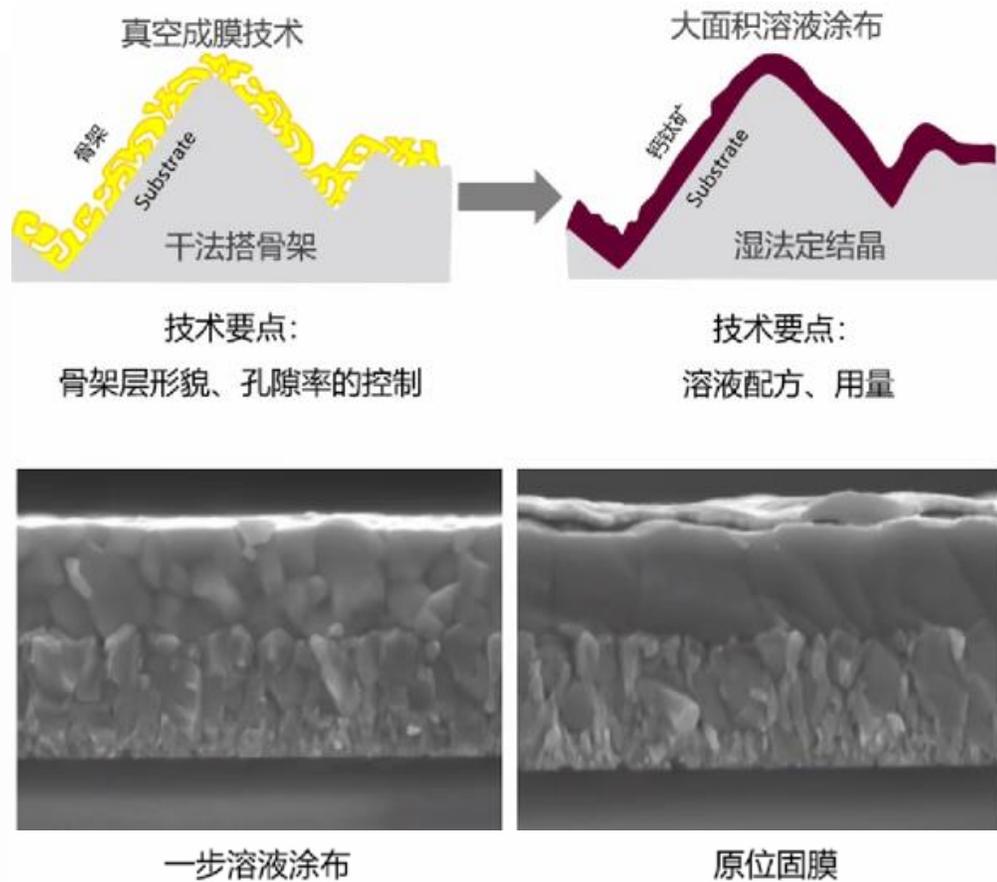


资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，《面向产业化的钙钛矿异质结叠层太阳能电池技术开发》通威股份，中国银河证券研究院

# 极电光能—“原位固膜”法制备钙钛矿薄膜

- 极电光能基于钙钛矿成核结晶机理，自主研发了“原位固膜”技术即真空溶液两步法。
- 步骤：首先使用真空蒸镀法形成干法骨架，然后使用溶液法在骨架基础上反应形成钙钛矿薄膜。
- 该类方法难点在于骨架形貌控制、固液反应控制、配方效率等。
- 优势：膜层质量高、性能好，工艺窗口宽易大面积放大，适用不平整底电池，兼容叠层电池。

图26：极电光能钙钛矿薄膜制备方法

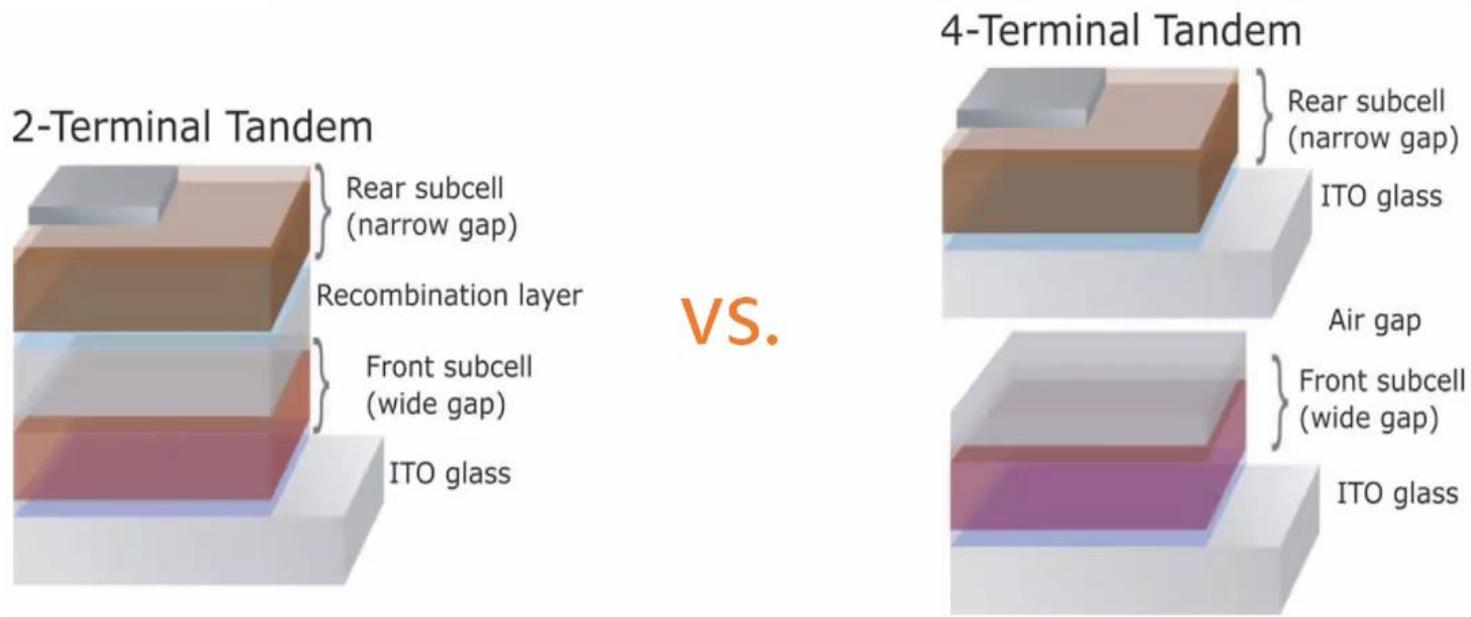


资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，中国银河证券研究院

# 通威股份—主攻钙钛矿+异质结叠层电池

- 通威股份于22Q2建立钙钛矿叠层实验室，与自身异质结、TOPCon研发形成协同。
- 考虑到量产经济性、可实现性以及自身工艺积累等因素，公司选择两端叠层的钙钛矿/异质结电池路线。

图27：钙钛矿两端叠层电池和四端底层电池的对比



**两端电池：**在HJT底电池上直接制备钙钛矿电池  
成本低、易量产、工艺较复杂，顶/底电池工艺  
匹配挑战大

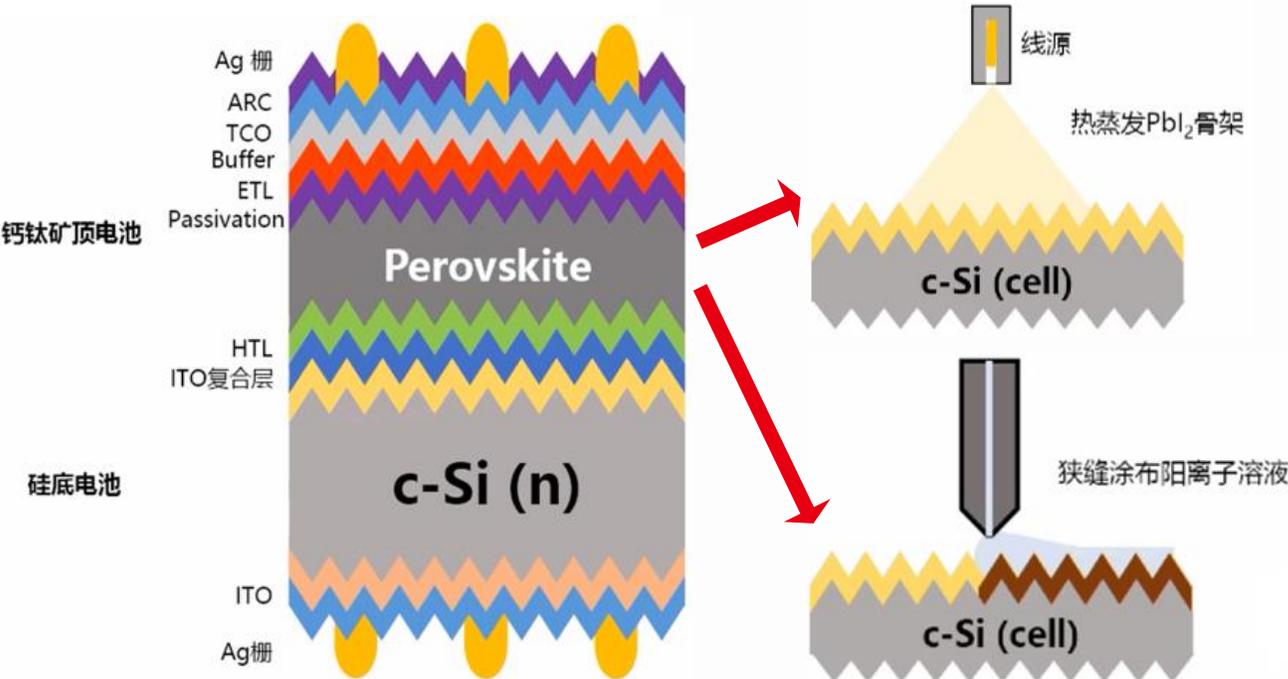
**四端电池：**顶/底电池分别制备，两者  
仅有光学耦合作用；  
各层制造简单、组合灵活，顶电池与底  
电池相互独立，但系统端设计复杂

资料来源：  
《面向产  
业化的钙  
钛矿/异质  
结叠层太  
阳电池技  
术开发》  
通威股份，  
中国银河  
证券研究  
院

# 通威股份—蒸镀+溶液法制备钙钛矿薄膜

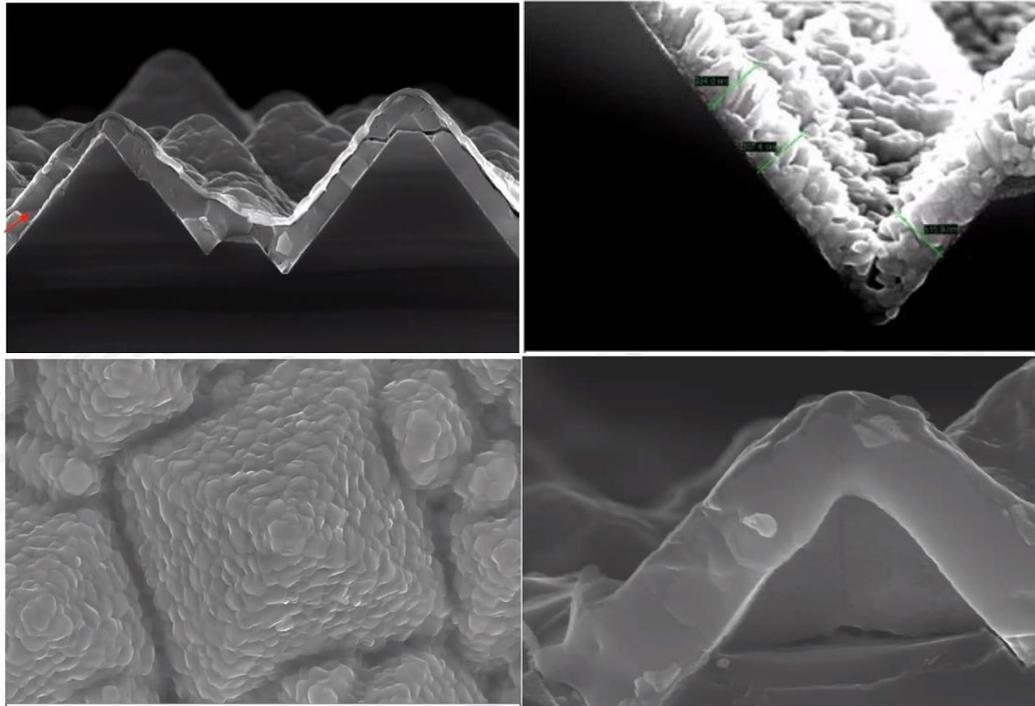
- 在钙钛矿层制备方面，通威同样选择了蒸镀+溶液两步法，大面积制备将采用线源蒸镀+狭缝涂布方案。
- 目前公司通威已完成实验室研发，成功制备了骨架可控、均匀覆盖、无碘化铅残留的高效钙钛矿层。

图28：通威钙钛矿+硅基叠层电池方案及大面积制备方案



资料来源：《面向产业化的钙钛矿异质结叠层太阳能电池技术开发》通威股份，中国银河证券研究院

图29：通威两步法制备的高性能钙钛矿层SEM图

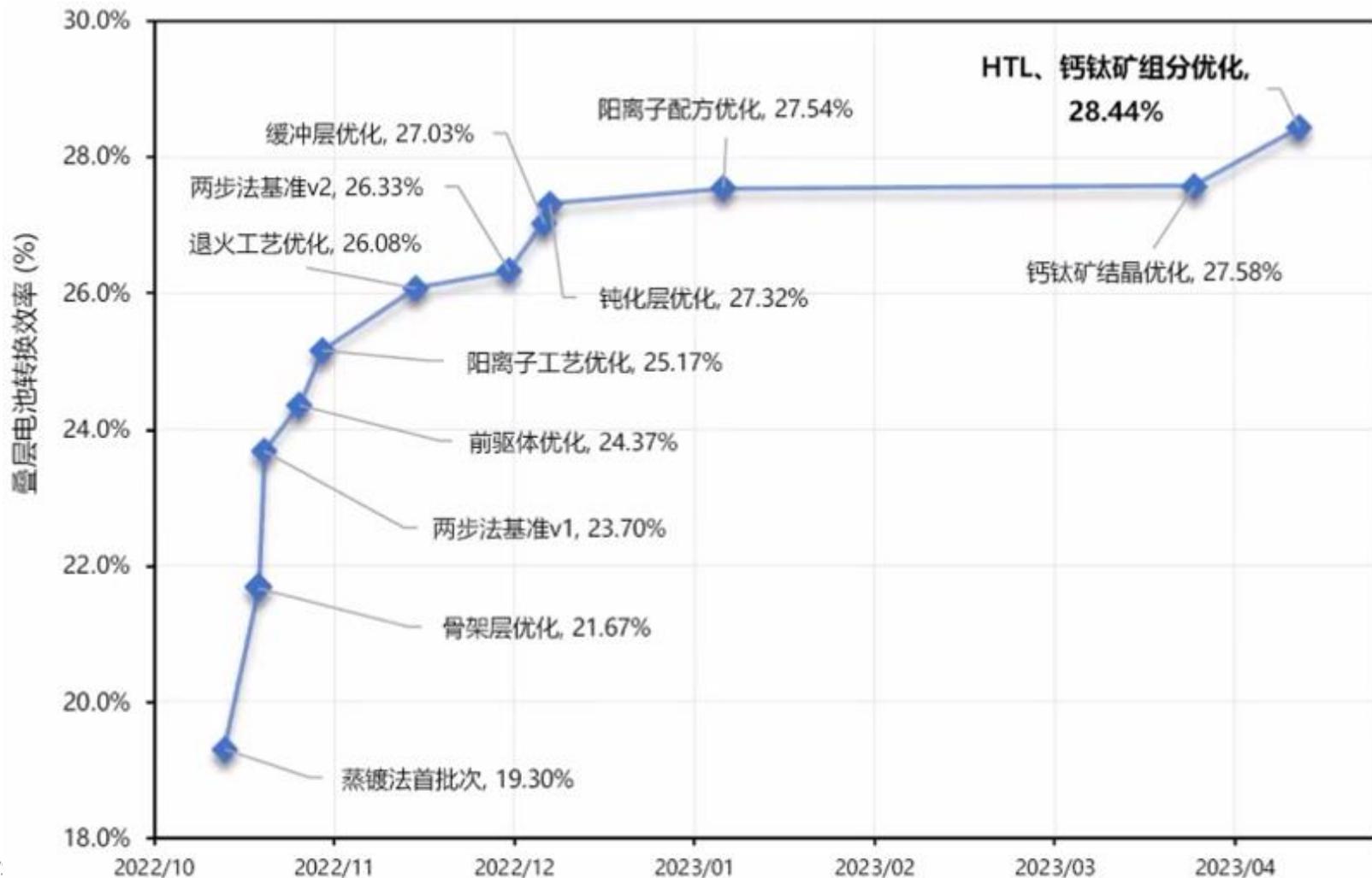


资料来源：《面向产业化的钙钛矿异质结叠层太阳能电池技术开发》通威股份，中国银河证券研究院

# 通威股份—蒸镀+溶液法制备钙钛矿薄膜

■ 2023年4月，公司小面积（约1 cm<sup>2</sup>）钙钛矿/异质结叠层电池研发效率突破28.4%。

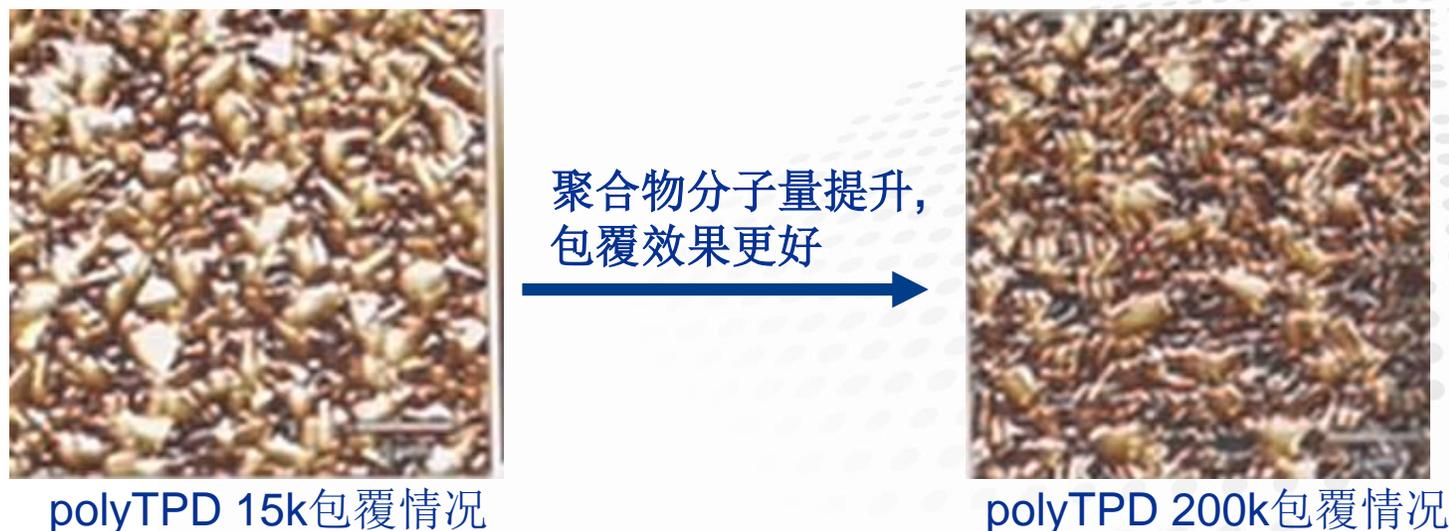
图 30：通威钙钛矿+硅叠层电池效率趋势



资料来源：  
《面向产业化的钙钛矿异质结叠层太阳能电池技术开发》  
通威股份，  
中国银河  
证券研究  
院

- 产业用硅片较实验室用硅片的表面更粗糙，会造成后续钙钛矿工艺困难并影响电池效率。曜能科技使用高分子量聚合物材料作为传输层，同时实现对底电池粗糙表面的包覆，再使用一步湿法工艺直接形成钙钛矿膜。该方法不仅简化了工艺流程，同时保证了器件的重复性、稳定性及效率。
- 在光学管理上开发了准平面技术，虽然陷光能力不如全绒面结构，但最大优势是降低了工艺和设备成本，一步法即可形成高性能、稳定性强的钙钛矿层。2023年初公司， $1\text{cm}^2$ 叠层电池研发效率达32.44%，接近世界纪录33.2%； $25\text{cm}^2$ 产品效率达30.83%，创造了该尺寸世界纪录。

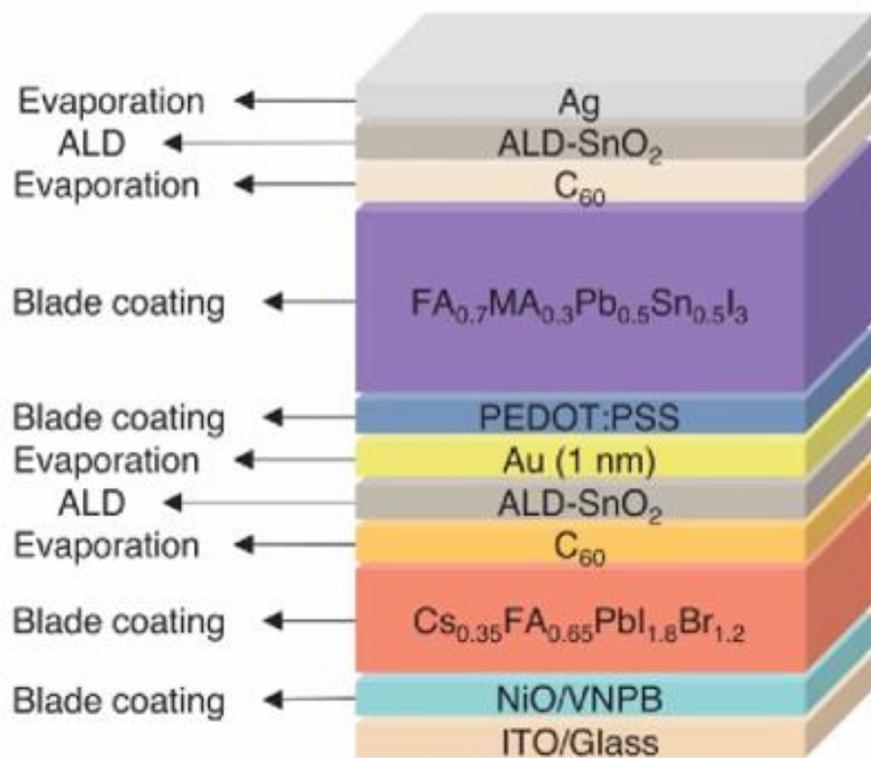
图31：曜能科技利用高分子材料对晶硅表面进行包覆（黄色区域为包覆良好，白色区域为未包覆区域）



# 仁烁光能—全钙钛矿叠层电池

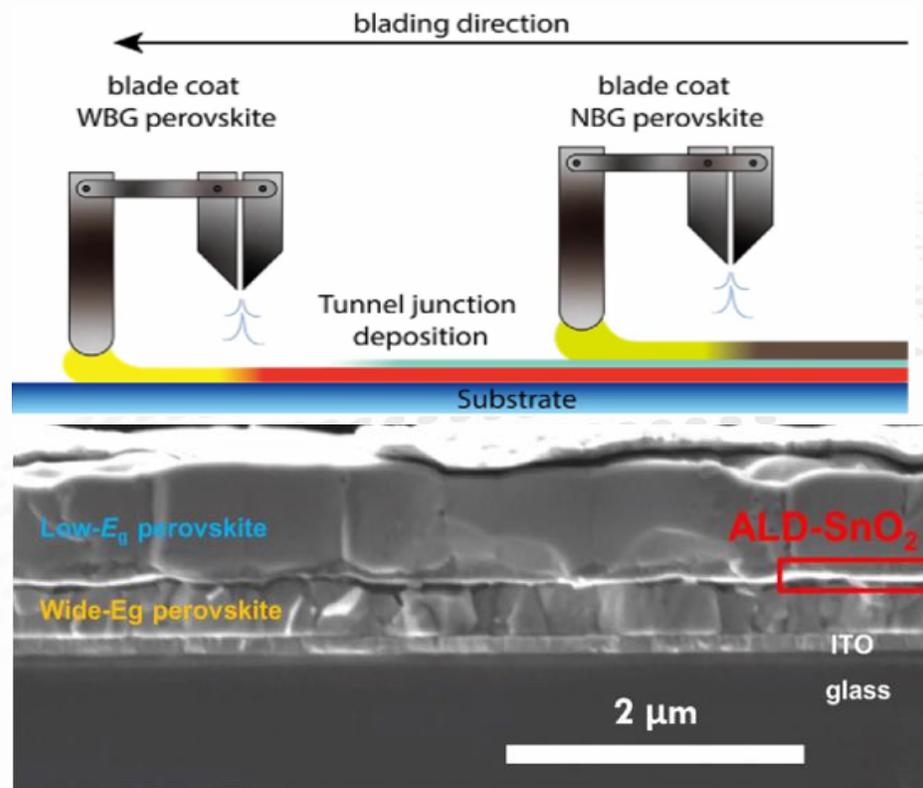
- 仁烁光能利用全溶液法印刷钙钛矿叠层电池，同时设计了特有的截面保护层（ALD沉积新型隧穿结构）来助力大面积叠层组件量产；其通过配方优化提高了电流密度，实现了高效率了全钙钛矿叠层电池。公司制备了 $20\text{cm}^2$ 的全球首个全钙钛矿叠层电池组件，实现了24.5%的效率记录。

图32：仁烁光能全钙钛矿叠层电池结构



资料来源：《全钙钛矿叠层电池效率提升策略》仁烁光能，中国银河证券研究院

图33：仁烁光能全钙钛矿叠层电池制造流程及隧穿结示意图



资料来源：《全钙钛矿叠层电池效率提升策略》仁烁光能，中国银河证券研究院

# 产业化难点二：稳定性

■ 钙钛矿稳定性主要受钙钛矿材料稳定性、功能层/电极的稳定性和环境因素影响：1) 钙钛矿材料在高水氧、高温及长光照下易发生分解、相变等反应，造成组件效率降低甚至失效；2) 功能层/电极一方面易受水气、光照影响分解，另一方面会与吸光层反应致其分解，从而使组件衰退。目前科学界通过材料、工艺和结构等方面优化已基本解决稳定性问题。

图34：钙钛矿稳定性影响因素及对应解决是方案

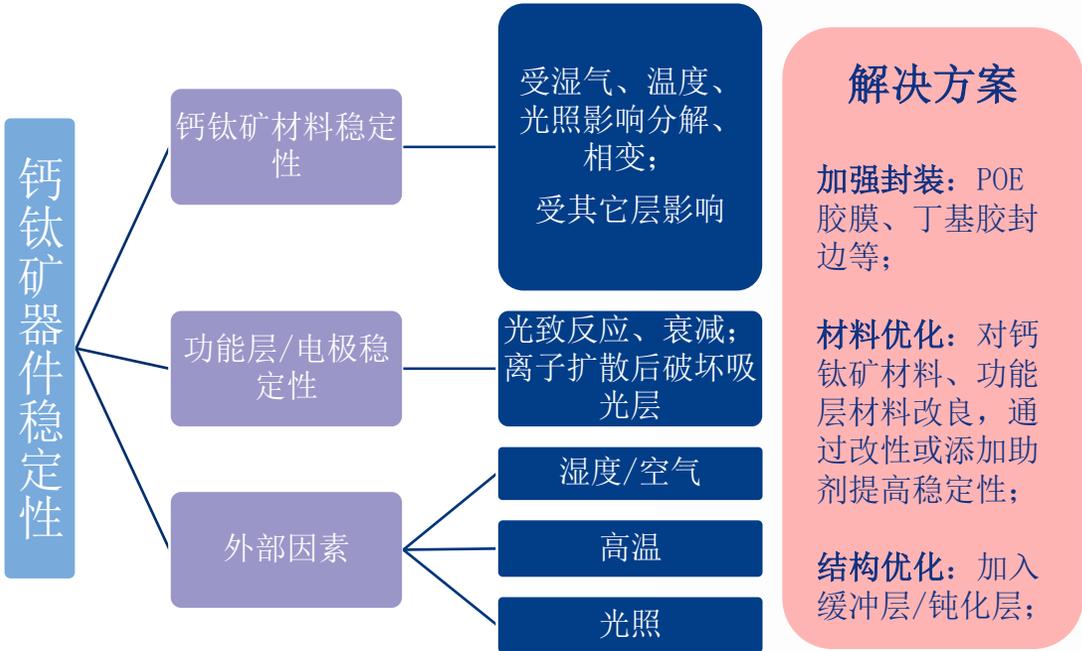


表7：科学层面针对稳定性已有经过验证的解决方案

时间	单位	所用器件	技术方案	老化条件	结果
2017	EPFL-Nazeeruddin	组件	2D-PVSK界面钝化	1sun/55°C/12000h	无衰退
2019	Oxford-Sanith	电池	离子液体钝化	1sun/75°C/1900h	<5%
2020	UNSW-M. Gree课题组	电池	FA-基材料，丁基胶封装	DH1800, HF75	<5%
2022	沙特国王大学	电池	3D/2D钙钛矿材料	DH1000	<5%
2022	普林斯顿	电池	2D-PVSK界面钝化，双重封装	1.2sun/35-110°C/65%RH	T80>30
2022	莱斯大学	电池	3D/PP-2D bilayer	1sun/60°C/75%RH	T99>2000h

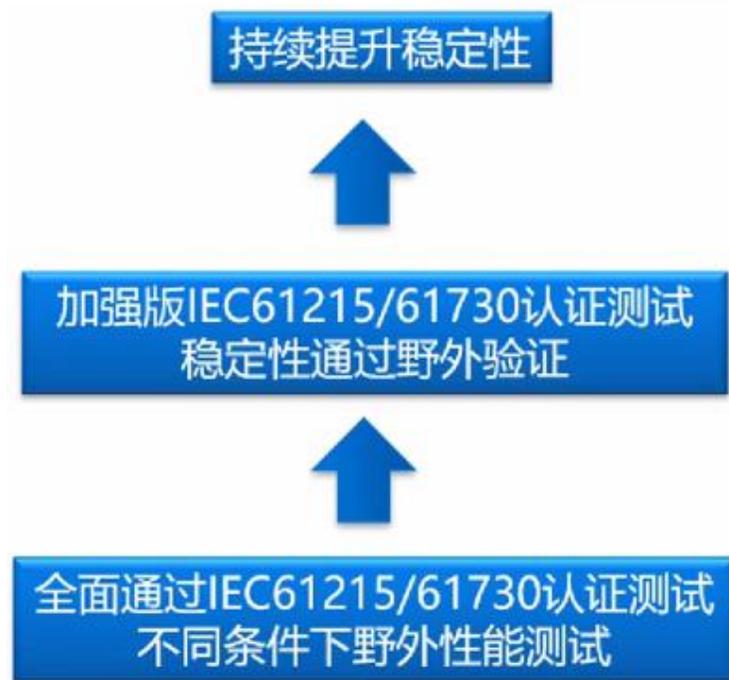
资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，中国银河证券研究院

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》金胜利等，中国银河证券研究院

# 极电光能通过IEC61215认证

- 在产业端，2023年-2024年将迎来钙钛矿组件认证潮。23年初极电光能30\*30cm<sup>2</sup>尺寸小试组件已通过IEC61215认证，0.72m<sup>2</sup>组件正在认证中，公司预计于2024年完成野外环境验证。

图35：极电光能稳定性突破成果及规划



## 2025年：

- 对稳定性的质疑将逐渐消失

## 2024年：

- 一些企业的产品会通过加强版认证
- 会有一些野外运行数据公布

## 2023年：

- 纤纳组件产品已通过认证
- 极电光能30\*30cm<sup>2</sup> 已通过IEC61215认证，0.72m<sup>2</sup> 组件产品认证之中
- 预计其它企业也将在2023-2024年通过认证
- CPIA、SEMI等推进制定相关标准
- 野外电站建设之中，收集野外运行数据

资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，中国银河证券研究院

# 纤纳光电—全球首家钙钛矿全体系认证

- 2022年5月纤纳光电全球首发钙钛矿商用组件 $\alpha$ （ $1.2*0.6m^2$ ），7月正式出货5000片组件用于分布式光伏。2023年1月该产品经过VDE权威认证，通过行业最重要基础标准IEC61215、IEC61730的认证，证明该产品已具备进入市场的条件，公司也是全球唯一一家通过这些认证的企业。

图36：纤纳光电钙钛矿大面积组件 $\alpha$ 通过VDE的权威认证



资料来源：《钙钛矿光伏技术的量产落地及商业化突破》纤纳光电，中国银河证券研究院

图37：使用纤纳光电组件的浙江衢州分布式项目已并网运行



资料来源：《钙钛矿光伏技术的量产落地及商业化突破》纤纳光电，中国银河证券研究院

# 产业化进程加速

表8：布局领先的部分钙钛矿电池组件企业

公司	成立时间	技术路线	产业化进程
纤纳光电	2015	刚性单结	2021年底投产100MW产线；2022年7月实现5000片 $\alpha$ 组件出货，产品通过IEC61215/61730认证；规划浙江衢州生产基地项目，总体规划5GW，总投资54.6亿。
协鑫光电	2010	刚性单结	2021年9月完成100MW量产生产线并进行试生产，组件尺寸1m $\times$ 2m，预计2023年达产，效率目标18%；
极电光能	2018	刚性单结	2022年底投产150MW产线；23年初极电光能30 $\times$ 30cm <sup>2</sup> 尺寸小试组件已通过IEC61215认证，0.72m <sup>2</sup> 组件正在认证中，公司预计于2024年完成野外环境验证；2023年4月，全球首条单GW钙钛矿产线开工。
众能光电	2015	—	与中电建合作伙伴鑫磊集团签订意向协议，2023年建设200MW生产线。
万度光能	2016	刚性单结	公司200MW试验线已投建；2023年1月，万度光能2GW钙钛矿光伏组件研发及制造基地开工总投资10亿元，分三期建设。
仁烁光能	2021	PSC/PSC叠层	2022年实现10MW线投产，完成了150MW线的设计工作；预计在2023年年底投产150MW中试线。
宁德时代	2019	刚性单结	2020年控股子公司瑞庭投资参投协鑫光电pre-A轮融资，入局钙钛矿领域，2022年5月对外表示正在推进100MW中试线。
无限光能	2022	—	2022年已投建10MW试验线，电池效率超过20%；100MW量产线预计2024年建成。
大正微纳	2018	柔性单结	公司产品已实现小批量出货；100MW产线预计23年底开始调试部分设备，预计24年出货50MW。
曜能科技	2021	Si/PSC叠层	建成2MW中试线；
黑晶	2021	Si/PSC叠层	—
光晶能源	2022	—	—
脉络能源	2022	—	—

资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，PV-Tech，中国银河证券研究院

- 2022年底投产150MW中试线，目前0.6\*1.2m<sup>2</sup>组件平均效率达到16%。公司主要产品规划基于BIPV市场，后续推出集中式、分布式标准组件。
- 2023年4月，启动首条GW级产线建设，2024~2025年陆续启动后续产能建设，2026年达到10GW。

图38：极电光能钙钛矿组件走向产业化

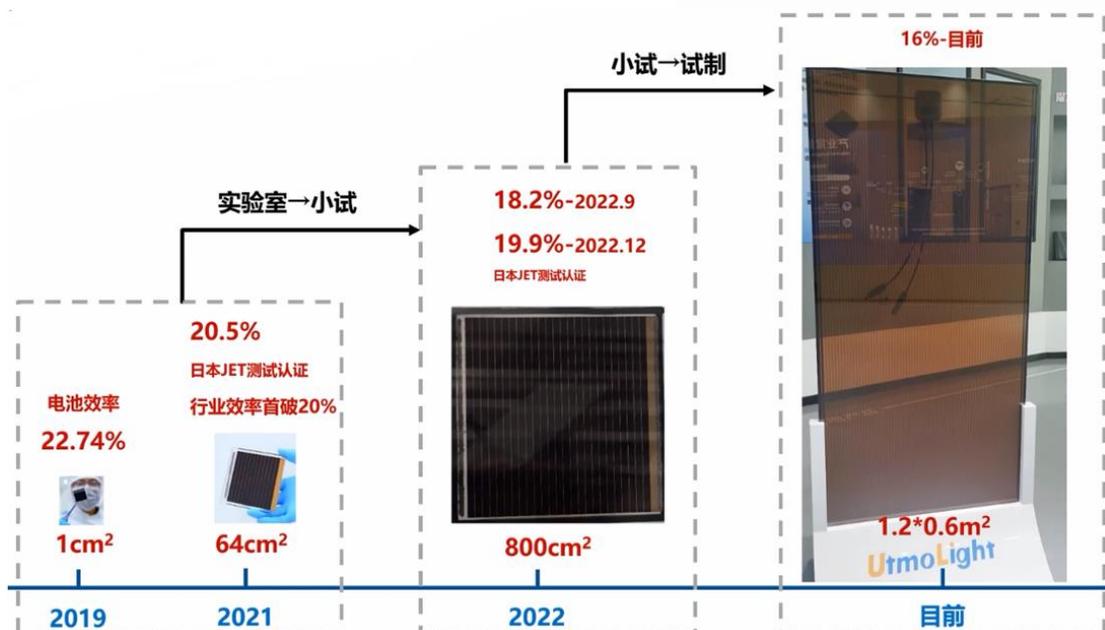


图39：极电光能产品规划

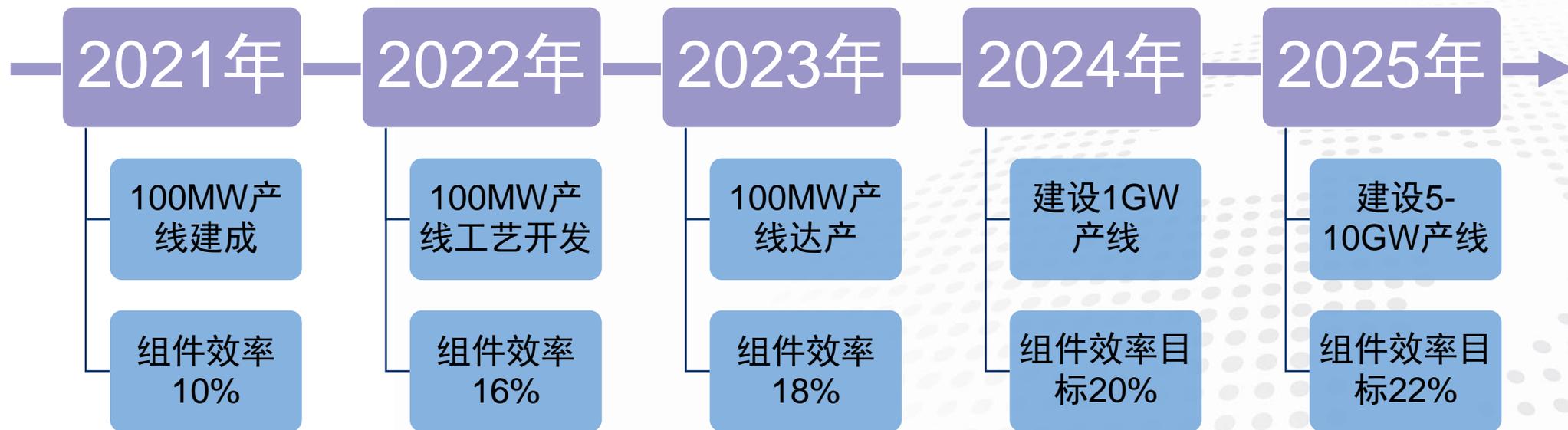


资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，中国银河证券研究院

资料来源：《钙钛矿光伏组件的产业化路径》极电光能，中国银河证券研究院

- 2021年设备进场至2022年，由于受到疫情影响，效率爬坡不及预期，2023年3月实现了16%的组件效率目标；2023年年底效率目标要达到18%，在该目标前公司明确不会进行扩产。
- 达到18%效率目标后，经济性、性价比可以体现，2024年规划建设产能1GW；2025年规划建设5-10GW，效率目标22%，性能基本与晶硅打平。

图40：协鑫光电的钙钛矿产业化进展及其规划



资料来源：《协鑫光电的钙钛矿产业化进展》协鑫光电，中国银河证券研究院

- 2021年底投产100MW产线，2022年7月实现5000片 $\alpha$ 组件出货，2023年初产品通过IEC61215/61730认证。
- 浙江衢州生产基地设计产能5GW，一、二期已完工，三期已开始建设。

图41：纤纳光电百兆瓦级钙钛矿产线达产率已超80%



资料来源：《钙钛矿光伏技术的量产落地及商业化突破》纤纳光电，中国银河证券研究院

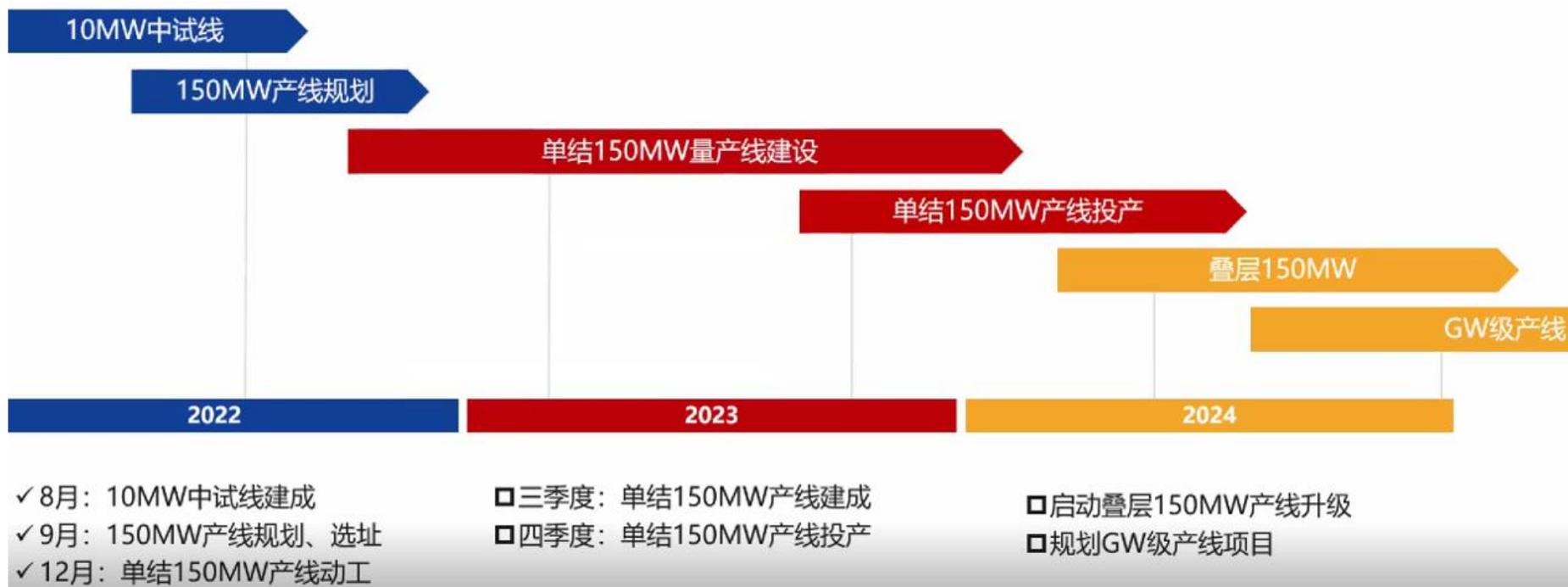
图42：纤纳光电浙江衢州5GW钙钛矿组件生产基地



资料来源：《钙钛矿光伏技术的量产落地及商业化突破》纤纳光电，中国银河证券研究院

- 2022年完成10MW中试线建设，预计23Q3完成150MW单结钙钛矿产线建设，并于23Q4投产，2024年升级试跑150MW全叠层钙钛矿产线，并开始规划GW级产线。
- 效率方面，2025/2026/2027年全叠层钙钛矿 $1.2*6m^2$ 效率目标22%/24%/26%。

图43：仁烁光能全叠层钙钛矿电池组件产业化规划



资料来源：《全钙钛矿叠层电池技术进展》仁烁光能，中国银河证券研究院

# 综述与投资建议

- **异质结当下提效是关键，降本路径明确，电池/组件端齐发力。** N型大幕开启，TOPCon率先规模化量产；但从电池、尤其组件产品看，HJT效率明显领先于TOPCon，且双面率高、温度衰减更弱，因此具备反超TOPCon成为下一代光伏电池技术的潜力。我们认为目前发展关键是提效，HJT与TOPCon的效率差达到TOPCon与PERC的效率差将成为HJT产业化重要标志，我们预计2023/2024年底行业平均电池效率将达25.5%+/26%+。电池端提效依靠双面微晶、0BB、电镀铜等，组件端依靠光转膜、丁基胶、精细反光膜等。在降本方面，基本明确薄片化、降银浆、降设备三大方向，2023年底目标实现硅片厚度110 $\mu$ m、银浆耗量10mg/W、设备3亿/GW水平。
- **钙钛矿优势突出，“钙钛矿+”开启叠层多结技术的光伏未来。** 钙钛矿组件具备理论效率高、材料成本低等优势，且钙钛矿+晶硅能利用成熟晶硅电池产业，技术变革完美衔接。这也将为以叠层为基础的多结电池蓄力，冲击40%+乃至更高的转换效率极限。当下产业化最大瓶颈是大面积制备和稳定性：1) 组件面积扩大会增加核心层和功能层的制备难度，直接导致效率损失，量产需要权衡成本和效率，在材料配方、设备及工艺三方面提出解决方案，以核心层制备为例，目前技术路线多样，较具代表性的有极电光能的干法+湿法两步法、无限光能的两步干法、协鑫光电的一步湿法等；2) 钙钛矿材料极易受环境影响，目前主要在材料、结构设计以及封装工艺上进行优化；目前纤纳光电率先突破，已取得VDE权威认证并实现出货，预计2023年稳定性问题逐渐得到解决。

- 异质结方面，技术领先、产能布局较快的企业，如华晟新能源、爱康科技（002610.SZ）等，以及布局各N型技术的龙头企业，如通威股份（600438.SH）、东方日升（300118.SZ）等，以及一些跨行涉猎最新电池技术的公司，如明阳智能（601615.SH）、金刚光伏（300093.SZ）、晋能科技等。
- 钙钛矿方面，产业方兴未艾，除了技术领先的纤钠光电、极电光能、曜能科技、仁烁光能、万度光能、无限光能、大正微纳等初创企业外，还有通威股份（600438.SH）、协鑫科技（3800.HK）等较早布局的光伏头部企业，同时实力强劲的跨界玩家也值得关注，如宁德时代（300750.SZ）等。
- 设备方面，异质结核心的薄膜沉积设备供应商迈为股份（300751.SZ）、钧石能源、理想万里晖等已处于全球领先地位，同时电镀铜技术值得期待，建议关注东威科技（688700.SH）、捷得宝、太阳井等。钙钛矿制备由于技术路线尚未确定，且企业自研比例较高，因此我们更推荐关注确定性较强的激光设备供应商大族激光（002008.SZ）、帝尔激光（300776.SZ）、杰普特（688025.SH）等。
- 关键材料方面，建议关注确定性较高的封装材料供应商赛伍技术（03212.SH）、金晶科技（00586.SH）等，以及浆料供应商苏州固锴（002079.SZ）等。

# 风险提示

- 异质结、钙钛矿技术突破、产业化进度不及预期的风险；
- 异质结、钙钛矿市场推广不及预期的风险；
- 光伏下游需求受政策、国际环境等因素影响增长不及预期的风险；
- 其他N型技术发展速度超预期，异质结、钙钛矿技术相对优势减弱导致产业化进程减速的风险；
- 原材料上涨过快导致异质结、钙钛矿成本无法消化的风险

# 分析师简介

周然，工商管理学硕士。2010年11月加盟银河证券研究部，先后从事公用事业、环保、电力设备及新能源行业分析师工作，目前担任电新团队负责人。

2020年、2019年获金融界量化评选最佳分析师第2名；2019年、2016年新财富最佳分析师第9名；2014年卖方分析师水晶球奖第4名；2013年团队获新财富第5名，水晶球奖第5名；2012年新财富第6名。

逻辑分析能力强；对行业景气度及产业链变化理解深入，精准把握周期拐点；拥有成熟的自上而下研究框架；以独特视角甄选成长标的。

曾任职于美国汇思讯（Christensen）的亚利桑纳州总部及北京分部，从事金融咨询（IR）和市场营销的客户主任工作。

☎：（8610）8092 7636

✉：zhou\_ran@chinastock.com.cn

分析师登记编号：S0130514020001



# 评级标准

## 行业评级体系

未来6-12个月，行业指数(或分析师团队所覆盖公司组成的行业指数)相对于基准指数(交易所指数或市场中主要的指数)

推荐：行业指数超越基准指数平均回报20%及以上。

谨慎推荐：行业指数超越基准指数平均回报。

中性：行业指数与基准指数平均回报相当。

回避：行业指数低于基准指数平均回报10%及以上。

## 公司评级体系

推荐：指未来6-12个月，公司股价超越分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报20%及以上。

谨慎推荐：指未来6-12个月，公司股价超越分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报10%—20%。

中性：指未来6-12个月，公司股价与分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报相当。

回避：指未来6-12个月，公司股价低于分析师(或分析师团队)所覆盖股票平均回报10%及以上。

# 免责声明

本报告由中国银河证券股份有限公司（以下简称银河证券）向其客户提供。银河证券无需因接收人收到本报告而视其为客户。若您并非银河证券客户中的专业投资者，为保证服务质量、控制投资风险、应首先联系银河证券机构销售部门或客户经理，完成投资者适当性匹配，并充分了解该项服务的性质、特点、使用的注意事项以及若不当使用可能带来的风险或损失。

本报告所载的全部内容只提供给客户做参考之用，并不构成对客户的投资咨询建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。客户不应单纯依靠本报告而取代自我独立判断。银河证券认为本报告资料来源是可靠的，所载内容及观点客观公正，但不担保其准确性或完整性。本报告所载内容反映的是银河证券在最初发表本报告日期当日的判断，银河证券可发出其它与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但银河证券没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知客户。银河证券不对因客户使用本报告而导致的损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的银河证券网站以外的地址或超级链接，银河证券不对其内容负责。链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

银河证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。银河证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

银河证券已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。除非另有说明，所有本报告的版权属于银河证券。未经银河证券书面授权许可，任何机构或个人不得以任何形式转发、转载、翻版或传播本报告。特提醒公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告。

本报告版权归银河证券所有并保留最终解释权。



谢谢!

中国银河证券研究

扫码关注我们  
微信号 | zgyhzqyj



创造财富 担当责任  
股票代码: 601881.SH 06881.HK