

专题报告：2024 年 8 月 16 日

【建投晶硅光伏】晶硅物语（四）| 电池片：全球产能持续扩张，N 时代加速到来

摘要：

“建投晶硅光伏·晶硅物语”系列是中信建投期货晶硅光伏团队对于潜在上市期货品种多晶硅的系列前瞻报告，本篇为系列第四篇，主要简述电池片产业基本情况。

光伏电池片位于光伏主产业链中下游，上游为光伏硅片，硅片经过清洗制绒、扩散制结、钝化镀膜以及金属化四大工艺步骤后制备为光伏电池片，继续往下游看，光伏电池片又可与面板玻璃、EVA 胶膜、背板材料、铝合金边框、接线盒等部件共同组装为光伏组件。

按衬底硅片的掺杂元素不同，光伏电池片可分为 P 型电池和 N 型电池。其中 P 型电池包括 Al-SBF 电池、PERC 电池等，N 型电池包括 TOPCon 电池、HJT 电池等。此外，如果采用背接触平台技术的电池则被统称为 XBC 电池。随着 PERC 电池的转换效率逐步逼近理论转换效率上限，目前市场正加速由 P 型向以 TOPCon、HJT 为代表的第三代 N 型电池过渡，与此同时，作为平台技术的 XBC 也开始逐步崭露头角。

受技改成本优势、转换效率较高等因素影响，近年来 TOPCon 市占率提升迅速，CPIA 预计 2024 年 TOPCon 市占率有望大幅提升至 60% 左右，将会替代 PERC 成为电池片最主流路线。

降低用银成本是电池片环节的主要痛点之一。受宏观金融、地缘政治扰动以及工业需求增加影响，白银价格近年来一路上行。目前来看降低用银成本主要有三种思路，分别是：①通过 (S)MBB、OBB 调整主栅从而减少用银；②贱金属替代贵金属，如银包铜、铜电镀；③对白银期货买入套期保值实现锁定成本。

电池片尺寸正向大尺寸、标准化迈进。随着多家企业对硅片、组件尺寸相继达成共识，电池片尺寸的标准化水平也在不断提升。CPIA 数据显示，2024 年 Q2 开始，矩形电池片产能的释放或将加速。

电池效率检测步入标准化。为防止电池片效率检测结果对政策修订、公平竞争以及效率检测的公信力产生影响，2024 年以来电池片检测效率机制建设愈发完善，“尽快使以 TOPCon 为主的光伏电池测试效率回归真值”的呼声不断增加，行业协会带头起草自律文件助力行业高质量发展。

全球电池片供应呈现出持续增长的态势，背后原因或是中国市场在双碳目标指引下的产能大规模扩张。CPIA 数据显示 2023 年全球电池片产量前十名企业均为中国企业，且全球电池片 1032GW 产能中有 1031.7GW 集中在亚洲地区，其中中国产能 929.9GW。亚洲其余地区产能主要分布在东南亚，但受 2024 年 5 月美国启动东南亚双反调查影响，当地产能或将受到负面扰动。但积极的一面是，在政策驱动下中东光伏需求不断起量，infolink 数据显示中东光伏需求量有望于 2027 年达到 29-35GW，中国光伏出海中东热度不减，晶科能源、钧达股份等国内企业相继宣布将在中东建设电池片产能。

专题报告

作者姓名：王彦青

期货交易咨询从业信息：Z0014569

电话：023-81157292

研究助理：刘佳奇

期货从业信息：F03119322

发布日期：2024 年 8 月 16 日

近期研究报告

请联系对口销售获取

【建投晶硅光伏】通威收购润阳股份，优质产能整合助力产业高质量发展 2024-08-14

【建投晶硅光伏】中共中央、国务院《绿色转型意见》对光伏的影响解读 2024-08-12

【建投晶硅光伏】周评析 | 硅料反弹非反转，信号意义大于实质影响 2024-08-12

【建投晶硅光伏】月观点 | 硅料环节延续去库，但价格反弹非反转 2024-08-09

【建投晶硅光伏】周评析 | 期现商询价活跃，硅料看涨预期走强 2024-08-05

【建投晶硅光伏】周评析 | 晶科 97 亿元定增终止，CPIA 温州会议提振市场情绪

【建投晶硅光伏】周评析 | 扬帆起航，掘金沙特 2024-07-22

【建投晶硅光伏】周评析 | 需求继续走弱，组件中标跌破 0.8 元/W 2024-07-15

【建投晶硅光伏】工信部《规范条件》征求意见，光伏下一步棋该怎么走？ 2024-07-10

【建投晶硅光伏】周评析 | 主材各环节企稳，预期硅片或有探涨操作 2024-07-08

【建投晶硅光伏】月观点 | 去库斜率放缓，硅料继续 L 型筑底 2024-07-05

【建投晶硅光伏】周评析 | 硅料减产不及预期，价格仍在筑底 2024-07-01

【建投晶硅光伏】晶硅物语（三）| 硅片：大尺寸、标准化引领，两超多强格局下产能不断扩张 2024-06-28

【建投晶硅光伏】周评析 | SNEC 上海光伏展传递了什么信息？ 2024-06-17

【建投晶硅光伏】周评析 | 硅料价格中长期或 L 型筑底 2024-06-11

期货交易咨询业务资格：证监许可〔2011〕1461 号

HTTP://WWW.CFC108.COM

目 录

一、光伏电池片：位于产业链中下游，技术基础为光电与光化学效应	4
二、晶硅光伏电池片分类：P 型转 N 型加快，BC 逐渐崭露头角	6
2.1、Al-BSF 电池	7
2.2、PERC 电池	8
2.3、TOPCon 电池	12
2.4、HJT 电池	17
2.5、XBC 电池	19
2.6、本章小结	22
三、发展特点与趋势：降本增效趋势加快，行业标准化水平不断提升	23
3.1、TOPCon 市占率迅速提升，有望成为 2024 年最主流路线	23
3.2、白银价格持续攀升，降银诉求不断提升	24
3.3、大尺寸、标准化驱动，矩形电池片产能释放或将加速	29
3.4、电池效率检测机制建设愈发完善	29
四、中国双碳目标驱动全球电池产能放量，2024 中东产能大幅扩张	30
五、总结	33

图表目录

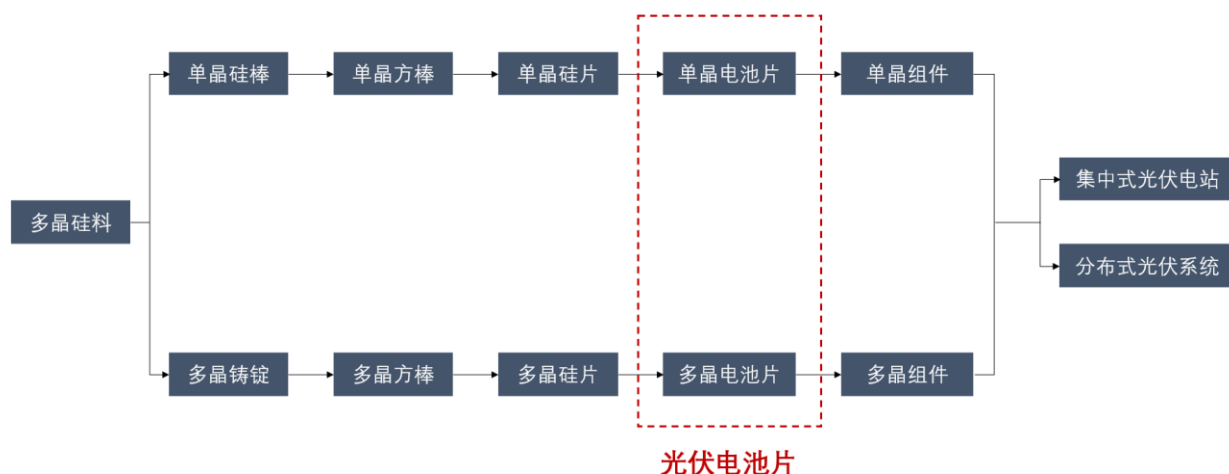
图表 1: 光伏电池片在光伏主产业链中的位置	4
图表 2: 光伏光电效应发电原理	5
图表 3: P 型硅片衬底的电池中形成空穴	5
图表 4: N 硅片衬底的电池中额外产生自由电子	5
图表 5: 钙钛矿电池结构	6
图表 6: 钙钛矿电池工作原理	6
图表 7: 染料敏化电池结构	6
图表 8: 染料敏化电池工作原理	6
图表 9: 晶硅光伏电池分类	7
图表 10: Al-BSF 电池结构	8
图表 11: PERC 电池	8
图表 12: PERC 电池结构	9
图表 13: PERC 电池相较 Al-BSF 电池需改进 1 道工序、增加 2 道工序	9
图表 14: PERC 电池与 Al-BSF 电池工艺差异	10
图表 15: 单晶 PERC 电池工艺流程	10
图表 16: PERC 电池产线布局	11
图表 17: PERC 电池最高转换效率纪录	11
图表 18: TOPCon 电池最早被提出时的结构	12
图表 19: 工业级 TOPCon 电池结构	12
图表 20: TOPCon 隧穿氧化层使多数载流子（电子）通过的同时阻挡少数载流子（空穴）的复合 ..	12
图表 21: TOPCon 电池工艺流程	13
图表 22: 光在绒面结构表面的反射过程	13
图表 23: TOPCon 碱性制绒过程中发生的化学反应	13
图表 24: 多晶硅薄膜沉积主要分为三种工艺	14
图表 25: LPCVD 法镀膜原理	15
图表 26: PECVD 法镀膜原理	15
图表 27: PVD 法镀膜原理	16
图表 28: 部分企业量产 N 型 TOPCon 电池片效率情况	17
图表 29: HJT 电池结构	17
图表 30: 双面 HJT 能带	17
图表 31: HJT 电池制备流程	18
图表 32: 26%效率以上的 HJT 电池发展情况	19
图表 33: IBC 电池结构	20
图表 34: HBC 电池结构	20
图表 35: TBC 电池结构	21
图表 36: 搭载 HPBC 2.0 技术的隆基 Hi-MO 9 组件	21
图表 37: 爱旭 ABC 电池	22
图表 38: 不同技术路线电池对比	23
图表 39: 2023-2030 不同电池技术路线市场占比趋势变化	24

图表 40: 2023-2030 年 182 尺寸电池片银浆耗量变化 (mg/片)	25
图表 41: 光伏银浆价格 (元/kg)	25
图表 42: 白银价格 (元/kg)	25
图表 43: 主栅数量增加使得主栅宽度减少.....	26
图表 44: 细栅数目减少、宽度增加, 银浆耗量下滑.....	26
图表 45: Day4 电极结构 (a) 与 SWCT 技术用于电池金属化的电极 (b)	26
图表 46: 东方日升伏羲 HJT 采用 OBB 技术	26
图表 47: 化学镀法银包铜粉制备工艺流程.....	27
图表 48: 银包铜粉制备导电银浆工艺流程.....	27
图表 49: 铜电镀技术流程	28
图表 50: HJT 电池片金属电极市场占比.....	28
图表 51: 银粉价格与 SHFE 白银期货价格 (元/千克)	29
图表 52: SHFE 白银期货价格与银粉价格趋势拟合 (元/kg)	29
图表 53: 全球电池片产量 (GW)	30
图表 54: 中国电池片产量 (GW)	30
图表 55: 2023 年全球电池片生产前十名企业 (GW)	31
图表 56: 2023 年全球电池片生产布局 (按产能划分)	31
图表 57: 沙特 NREP 计划至 2030 年实现 58.7GW 可再生能源装机, 其中光伏 40GW	32
图表 58: 沙特可再生能源项目将遍布全国 35 个以上园区.....	32

一、光伏电池片：位于产业链中下游，技术基础为光电与光化学效应

光伏电池片位于光伏主产业链中下游。上游为光伏硅片，硅片经过清洗制绒、扩散制结、钝化镀膜以及金属化四大工艺步骤后制备为光伏电池片，继续往下游看，光伏电池片又可与面板玻璃、EVA 胶膜、背板材料、铝合金边框、接线盒等部件共同组装为光伏组件。

图表 1：光伏电池片在光伏主产业链中的位置

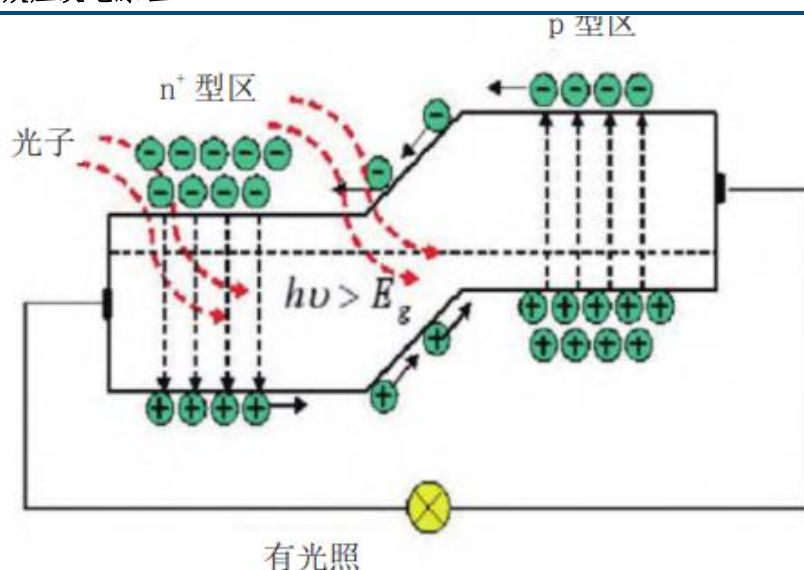


数据来源：中信建投期货

按照发电原理分，太阳能发电效应可分为光电效应和光化学效应。

光电效应原理：当太阳光照射至光伏电池后，光子与原子价电子相互碰撞，电子会从价带迁跃至导带，形成电子-空穴对，在 PN 结的内建电场中电子与空穴又会迅速分离，电子被推向 N 型区域、空穴被推向 P 型区域，从而形成 N 型到 P 型的电势差，进而产生电流。基于光电效应发电的光伏电池即晶硅电池，包括单晶硅电池，多晶硅电池，硅基、铜铟镓硒(CIGS)、碲化镉 (CdTe)、砷化镓 (GaAs) 薄膜太阳能电池，IBM 薄膜太阳电池等。CPIA 数据显示 2023 年晶硅太阳能电池市占率约为 98%。

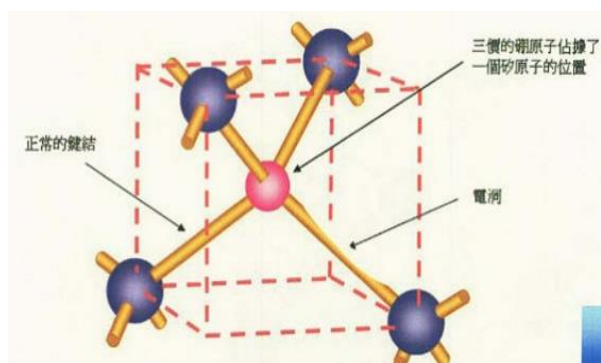
图表 2：光伏光电效应发电原理



数据来源：光伏发电的发展现状及控制方法研究

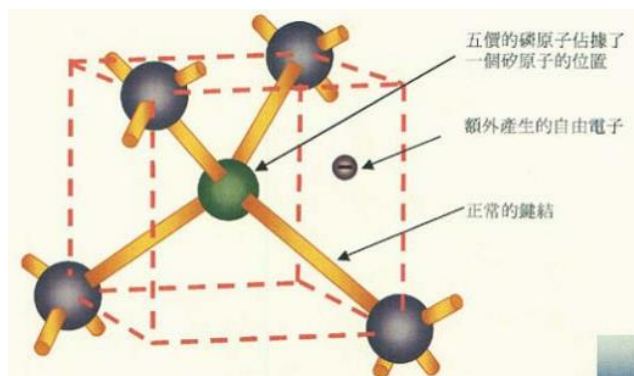
电子和空穴被统称为载流子。根据数量的相对多少，载流子可分为少数载流子和多数载流子。在 P 型硅片中少数载流子为电子、多数载流子为空穴；N 型硅片中少数载流子是空穴、多数载流子是电子。而决定这一电池 P/N 技术类型的，则是衬底的硅片所掺杂的元素。P 型硅片中通常会掺杂硼（B）、铝（Al）或镓（Ga）等三价元素，N 型硅片则会掺杂磷（P）、砷（As）或锑（Sb）等五价元素。以 P 型硅片衬底的电池片运作时，掺入三价元素后，杂质原子最外层电子数会比硅原子少一个，从而在晶硅格中形成一个空穴，这个空穴可以被周围的自由电子占据，自由电子跳入后又会留下一个新的空穴，如此就会产生正电荷载流子。而以 N 型硅片衬底的电池片运作时，五价元素的原子比硅原子多一个电子，这个多余的电子可以自由移动，因此 N 型具有较好的电子导电性。

图表 3：P 型硅片衬底的电池中形成空穴



数据来源：西安交通大学

图表 4：N 硅片衬底的电池中额外产生自由电子

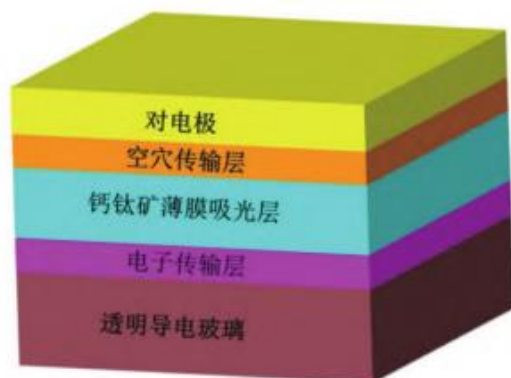


数据来源：西安交通大学

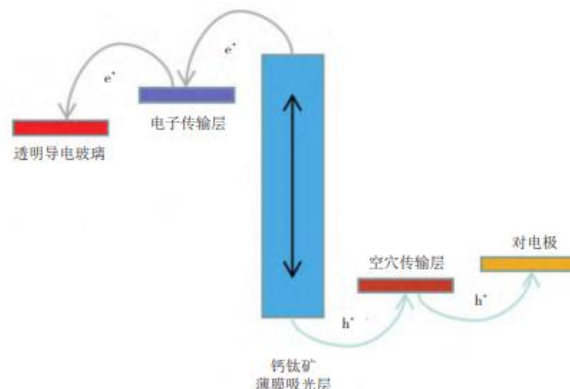
光化学效应：光化学效应主要应用在钙钛矿电池以及染料敏化电池中。

钙钛矿电池由透明导电玻璃层、电子传输层、吸收层、空穴传输层以及金属电极层等结构组成，钙钛矿电池吸收层被太阳辐照时会形成“电子-空穴对”，随后被分开形成电子和空穴，在电场力的作用下，电子通过电子传输层流入阴极，空穴通过空穴传输层流入阳极，外接电路后产生电流。

图表 5：钙钛矿电池结构



图表 6：钙钛矿电池工作原理

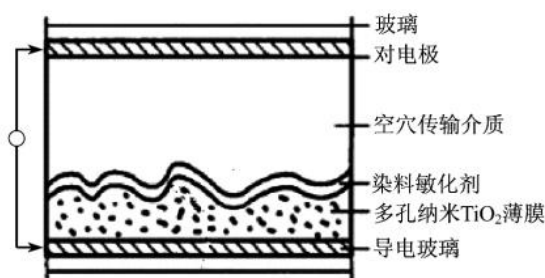


数据来源：钙钛矿太阳能电池研究进展与发展现状

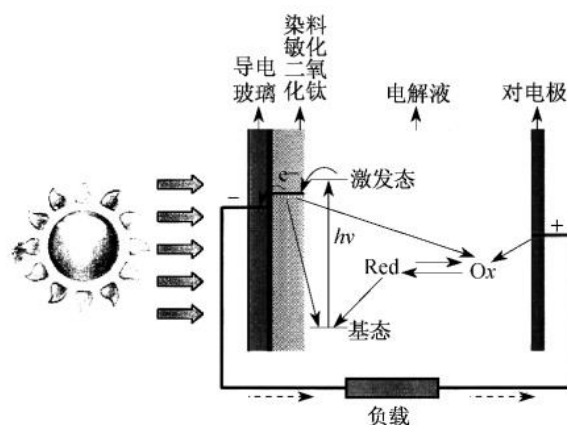
数据来源：钙钛矿太阳能电池研究进展与发展现状

染料敏化电池的组成结构有染料敏化剂、纳米二氧化钛、电解质、金属对电极等，太阳光照射在染料敏化电池后，染料敏化剂分子会从基态下跃迁至激发态，随后染料敏化剂分子会将电子送到半导体导带中，电子再扩散至导电基底，随后流向外接电路。

图表 7：染料敏化电池结构



图表 8：染料敏化电池工作原理



数据来源：染料敏化太阳能电池研究进展

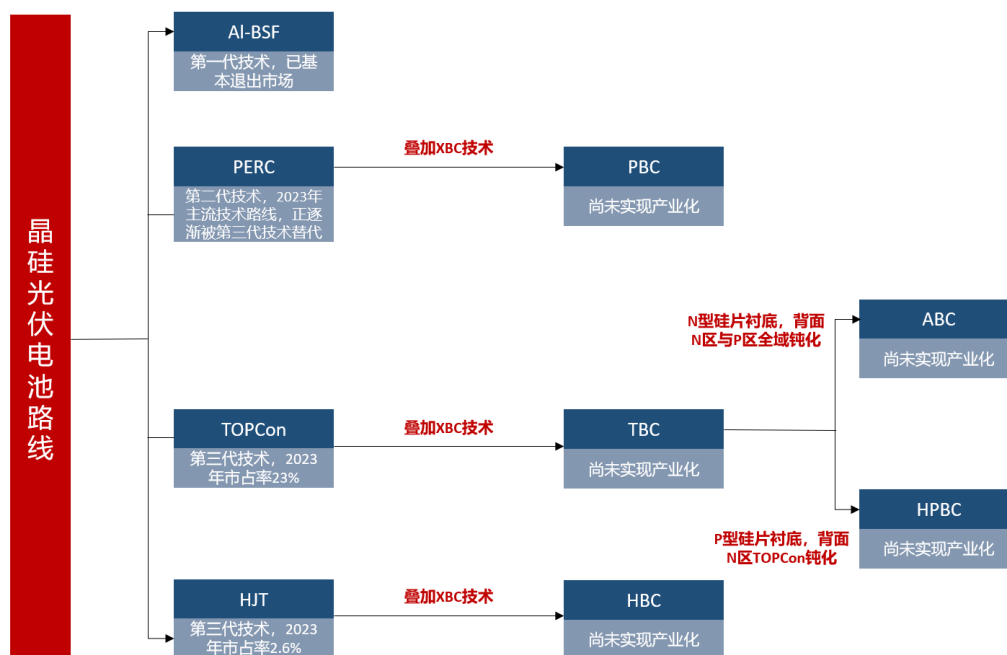
数据来源：染料敏化太阳能电池研究进展

二、晶硅光伏电池片分类：P 型转 N 型加快，BC 逐渐崭露头角

按衬底硅片的掺杂元素不同，光伏电池片可分为 **P 型电池**和 **N 型电池**。其中 P 型电池包括 Al-SBF 电池、PERC 电池等，N 型电池包括 TOPCon 电池、HJT 电池等。此外，如果采用背接触平台技术的电池则被统称为 XBC 电池。

AI-BSF 电池路线已基本淡出市场，近年来以 PERC 电池为代表的高效率 P 型电池成为主流。不过随着 PERC 电池的转换效率也逐步逼近理论转换效率上限，目前市场正加速由 P 型向以 TOPCon、HJT 为代表的第三代 N 型电池过渡，与此同时，作为平台技术的 XBC 也开始逐步崭露头角。

图表 9：晶硅光伏电池分类

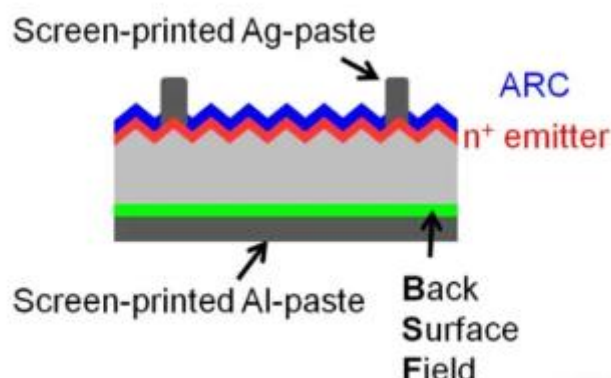


数据来源：中信建投期货绘制

2.1、AI-BSF 电池

AI-BSF 电池（Aluminium Back Surface Field）即铝背场电池，这种电池在背面使用铝层来反射未被吸收的光，从而增加电池对光的吸收和转换效率。AI-BSF 电池特点是具有较高的开路电压，但其辐照损失比常规电池大，理论转换效率上限约在 20%左右，CPIA 数据显示 2023 年 P 型 BSF 多晶黑硅电池平均转换效率为 19.7%，已经极度接近理论上限，进一步提升的空间十分有限，因此目前在 P 型电池中 AI-BSF 电池已基本被 PERC 所取代。

图表 10：Al-BSF 电池结构

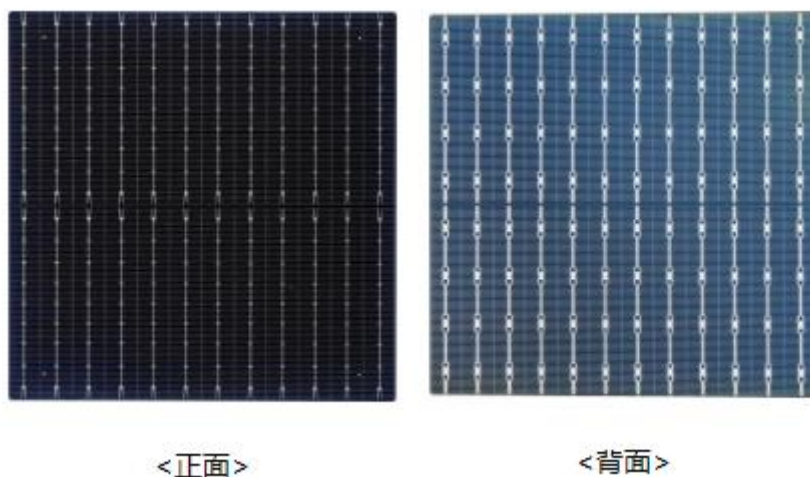


数据来源：ISFH

2.2、PERC 电池

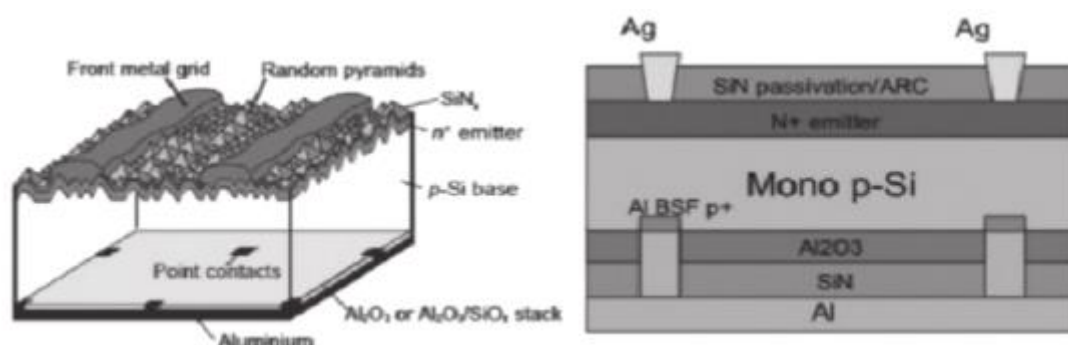
PERC 电池即发射极钝化和背面接触电池（Passivated Emitter and Rear Contact），该电池利用特殊材料在电池片背面形成钝化层（ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$ ）作为背反射器，增加长波光的吸收，同时增大 P-N 极间的电势差，降低电子复合，提高效率。从结构上看，PERC 电池主要包含正表面陷光结构、PN 结核心、背面钝化结构以及电极（包括正面电极和背面电极）。

图表 11：PERC 电池



数据来源：通威股份

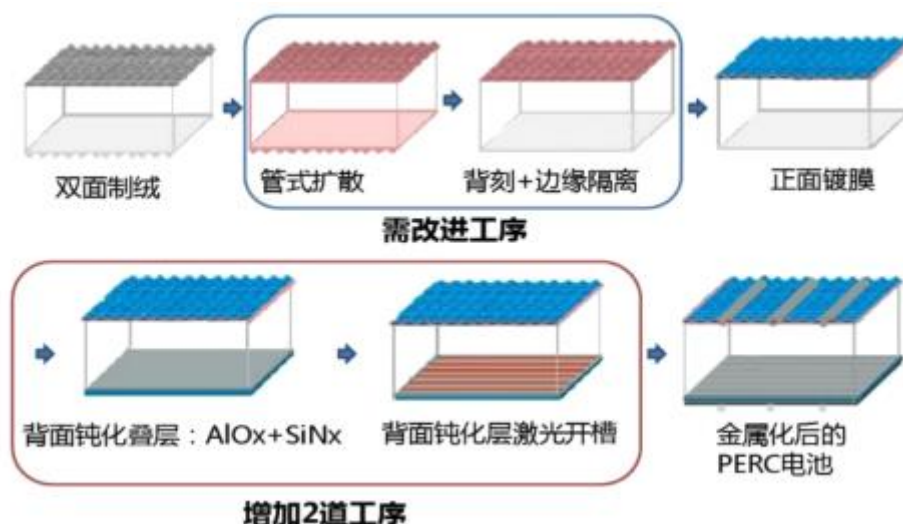
图表 12：PERC 电池结构



数据来源：PERC 太阳能电池生产工艺

PERC 电池与 Al-BSF 电池产线兼容，其工艺和程序与 Al-BSF 也较为类似，但 PERC 在 Al-BSF 流程基础上了增加了背面钝化叠层以及背面钝化层激光开槽 2 道工序，并改进了基于化学湿台的边缘隔离步骤（即硅片背部绒面金字塔型结构需要被溶蚀掉）。因此，相较 Al-BSF 工艺，PERC 生产设备需要额外增加钝化膜沉积设备和开孔设备，如果进行激光边缘绝缘处理，还需增加化学湿法刻蚀设备进行背面抛光。

图表 13：PERC 电池相较 Al-BSF 电池需改进 1 道工序、增加 2 道工序



数据来源：PERC 太阳能电池生产工艺

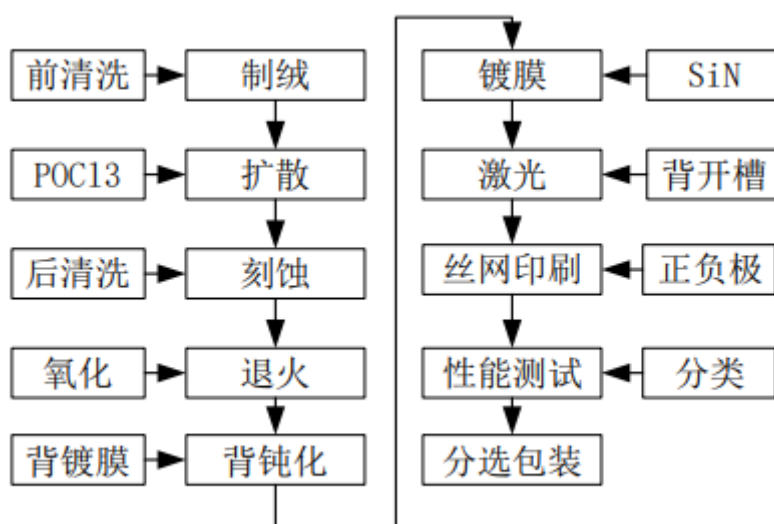
图表 14：PERC 电池与 Al-BSF 电池工艺差异

工艺流程	Al-BSF	PERC
刻蚀	无特殊要求	背表面抛光：影响背表面复合、光束缚和背面局域接触的形成，可用 HF/HNO ₃ 混合溶液腐蚀
背钝化	无	Maia 设备、ALD 等
激光	无	形成背面局域接触
丝网印刷	铝浆单耗高	铝浆单耗低
测试	效率低	效率高

数据来源：太阳能电池生产车间系统规划与仿真分析，中信建投期货

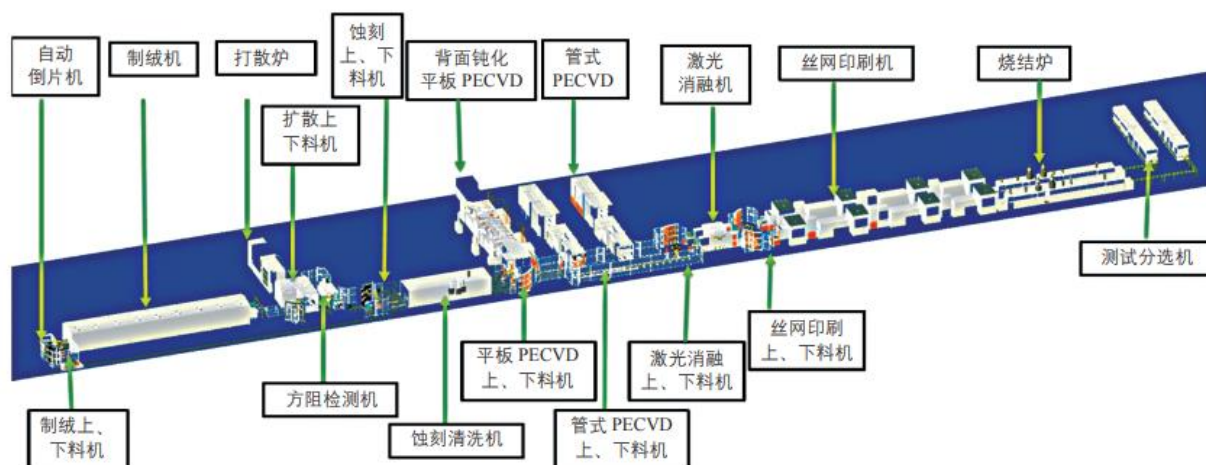
PERC 电池主要生产工艺流程包括制绒、扩散、激光开槽、刻蚀、退火、背钝化、镀膜、激光、丝网印刷以及电性能测试。①制绒：去除硅片表面因硅棒切割带来的物理损伤以及加工过程中沾染的油污和金属杂质，同时产生金字塔绒面，使得 PN 结区域变大；②扩散：通过掺杂扩散形成不同导电类型的扩散层，即形成 PN 结；③激光开槽：在硅片正面开孔；④刻蚀：去掉硅片边缘的 PN 结，避免电池片的正负极导通而短路；⑤退火：对因高温作用产生的空位等缺陷进行修复；⑥背钝化：制备钝化介质层 AlO_x 与 SiN_x，增加背表面薄膜厚度；⑦镀膜：形成钝化保护层，降低反射率，提升电池片效率；⑧激光：激光选择性开孔，使得硅和背面铝产生欧姆接触；⑨丝网印刷：将硅片正反面印导电电极浆料，通过烧结工艺，形成电池片的正负电极；⑩电性能测试：测试电池片电性能。

图表 15：单晶 PERC 电池工艺流程



数据来源：太阳能电池生产车间系统规划与仿真分析

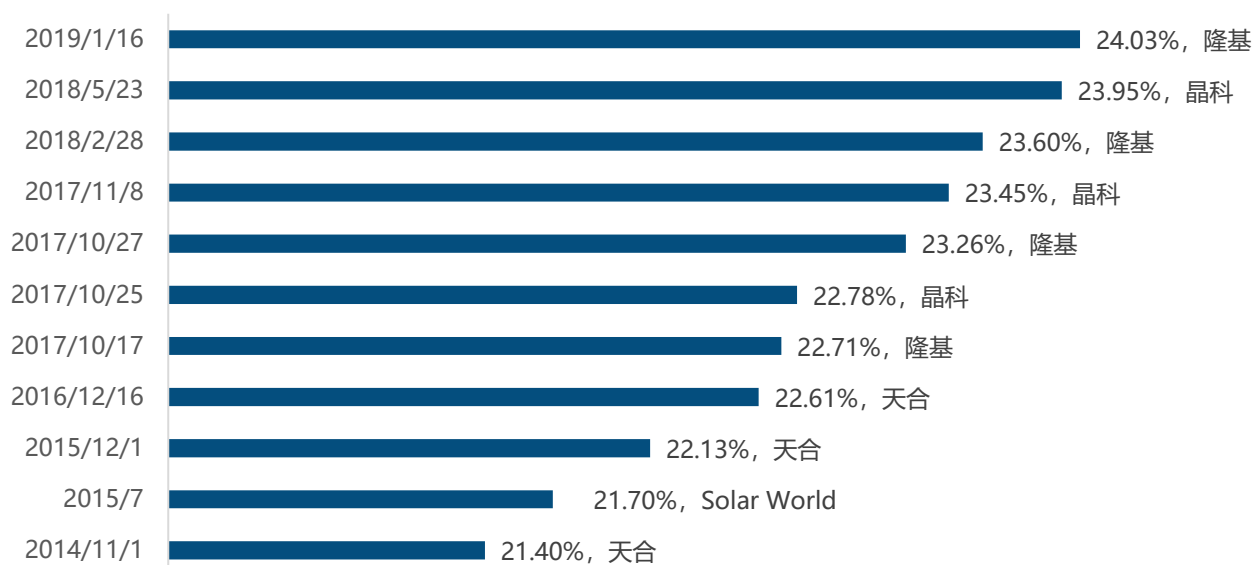
图表 16: PERC 电池产线布局



数据来源: 2020 年中国光伏技术发展报告晶体硅太阳能电池研究进展

PERC 电池理论转换效率上限为 24.5%, 目前 PERC 转换效率世界纪录为隆基在 2019 年创下的 24.03% (德国 ISFH 测试结果, 中国国家光伏质检中心测试结果为 24.06%), 此后便没有新的世界纪录产生。对于提升 PERC 电池效率, 可行的工艺改进方法包括提高发射区方块电阻、降低 SE 区激光划槽宽度、改进浆料实现降低少数载流子复合与接触电阻、降低丝网印刷网板的网线直径等。CPIA 数据显示, 2023 年 PERC 电池的产业化转换效率在 23.2%-23.5%, 主流企业良率 98% 左右, 已经十分接近理论上限, 未来继续提升的空间不大。

图表 17: PERC 电池最高转换效率纪录

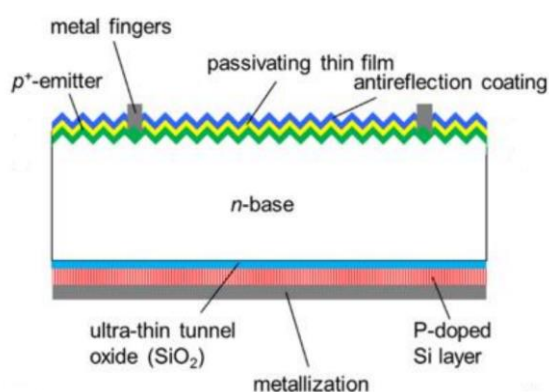


数据来源: 2020 年中国光伏技术发展报告晶体硅太阳能电池研究进展, 中信建投期货

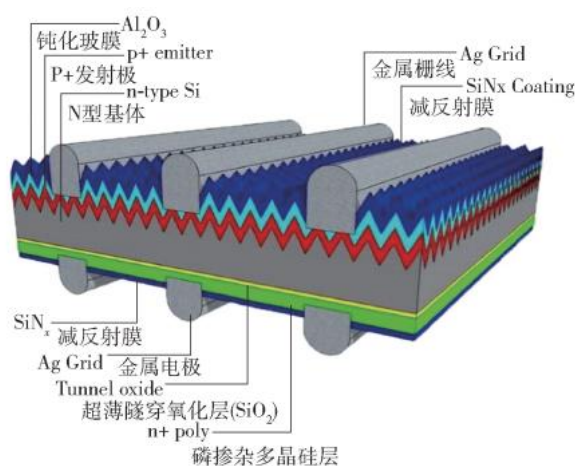
2.3、TOPCon 电池

TOPCon 电池即隧穿氧化层钝化接触电池，电池背面为超薄氧化硅（1-2nm），主要起到化学钝化的作用，之后再沉积形成重掺杂的多晶硅层，起到场钝化的作用，氧化层与多晶硅层共同形成钝化接触结构，称为能带，为电池提供表面钝化。在 TOPCon 电池中，隧穿氧化层可以在使多数载流子(电子)隧穿进入掺杂多晶硅的同时，阻挡少数载流子(空穴)复合，进而使进入多晶硅的电子横向传输被金属电极收集。在 TOPCon 电池中，金属电极仅与背表面掺杂的多晶硅层接触，因此可以极大降低金属接触区域载流子复合，显著提升电池的开压和效率。

图表 18：TOPCon 电池最早被提出时的结构



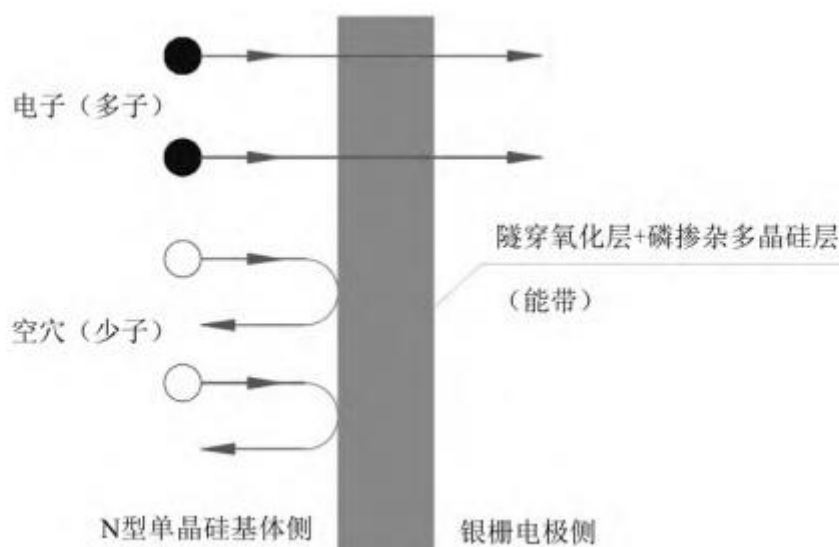
图表 19：工业级 TOPCon 电池结构



数据来源：晶硅 TOPCon 与 IBC 太阳能电池设计、制备与性能

数据来源：高效太阳能电池技术及其核心装备国产化进展

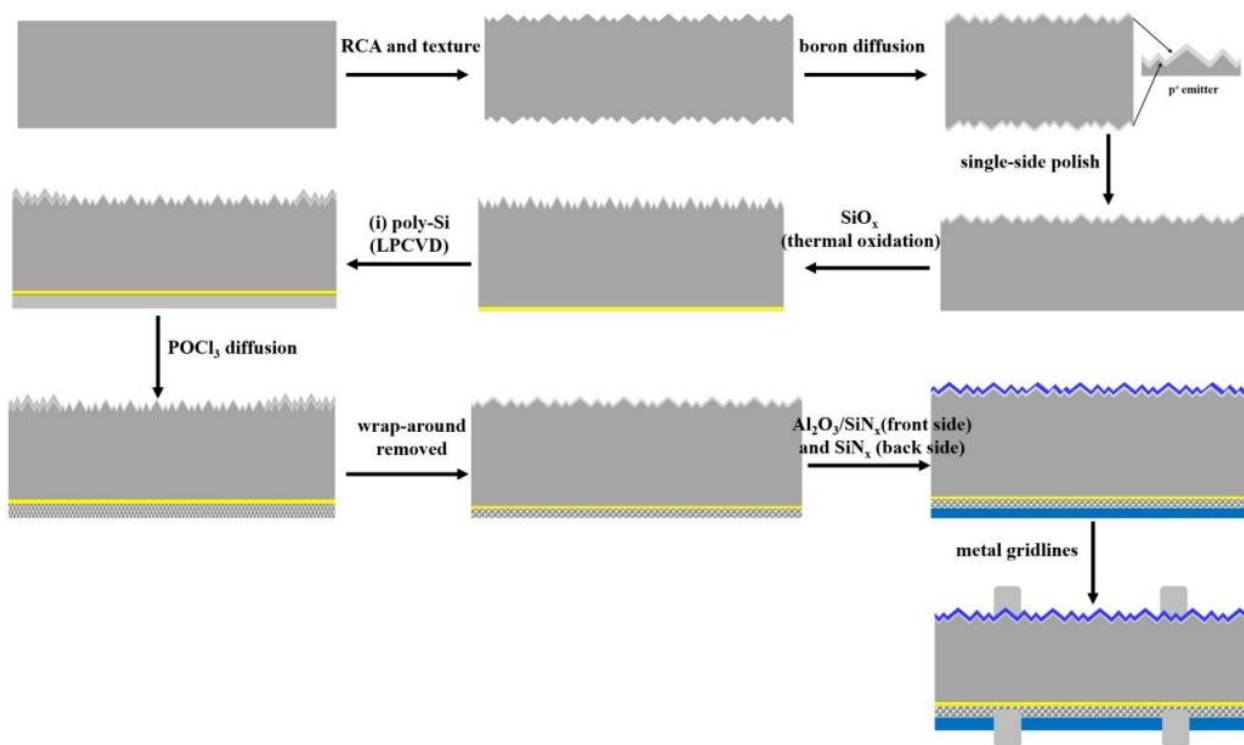
图表 20：TOPCon 隧穿氧化层使多数载流子（电子）通过的同时阻挡少数载流子（空穴）的复合



数据来源：TOPCon 光伏电池技术研究进展综述

TOPCon 电池生产工艺主要有三大核心步骤，分别是制绒、PN 结制备以及表面钝化沉积镀膜。

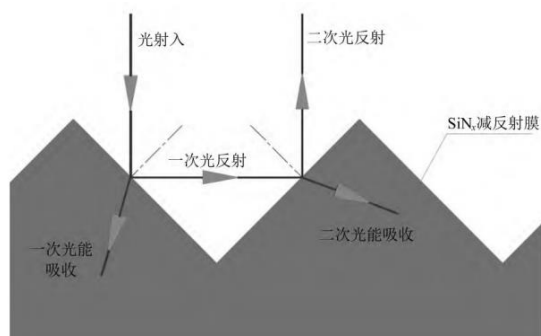
图表 21：TOPCon 电池工艺流程



数据来源：n 型隧穿氧化层钝化接触太阳能电池的量产关键问题研究

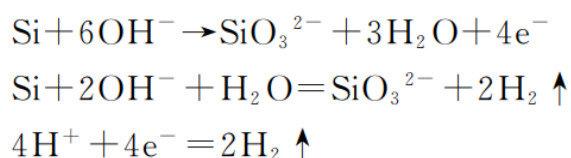
①制绒：与 PERC 类似，TOPCon 制绒的目的也是形成正金字塔形的绒面，以提高光的吸收率。TOPCon 电池制绒方式主要是碱性制绒，将清洗后的硅片放入 NaOH 或 KOH 的稀溶液中，反应温度控制在 80-90℃，从而在单晶硅片表面刻蚀出随机正金字塔绒面结构。

图表 22：光在绒面结构表面的反射过程



数据来源：TOPCon 光伏电池技术研究进展综述

图表 23：TOPCon 碱性制绒过程中发生的化学反应

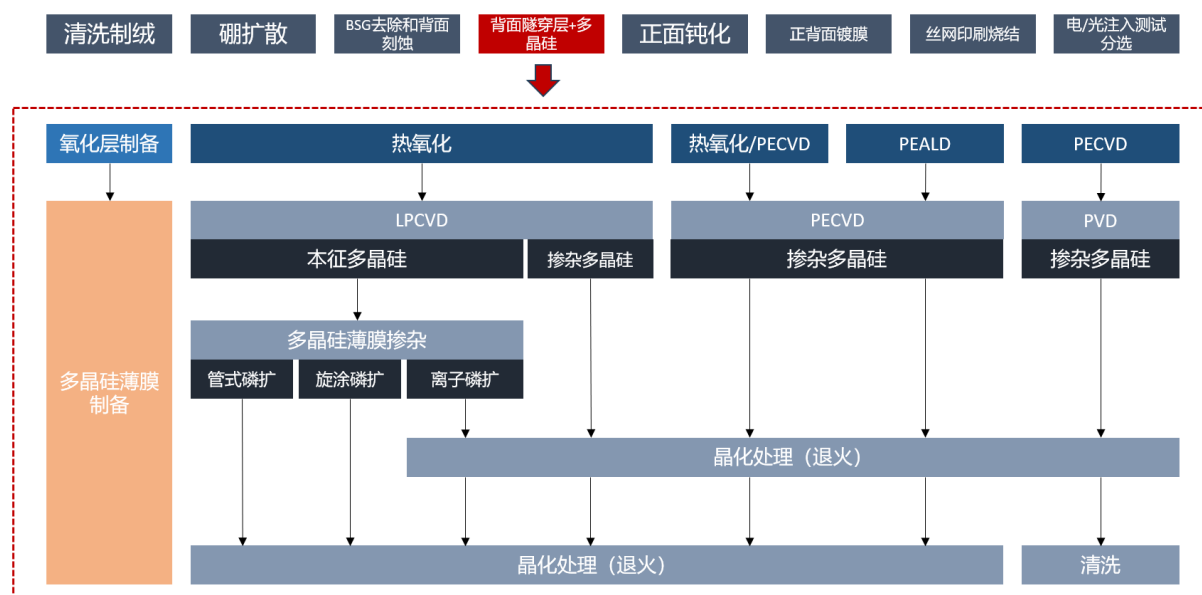


数据来源：TOPCon 光伏电池技术研究进展综述

②**PN 结制备**：工业生产中制备 TOPCon 电池 PN 结的常用方法是向 N 型硅片扩散硼元素，其中 BCl₃ 是较好的硼源，因为其反应产生的 Cl₂ 具有强氧化性，可以清洁石英管进而延长石英管寿命，并且气态 BCl₃ 夹杂 B₂O₃ 也能够均匀覆盖硅片表面。在硼源制备 PN 结的过程中，首先使用气态 BCl₃ 在石英管式扩散炉中升温至 850-950℃，随后硼原子会向硅片表面和体内扩散，最后在 1000-1050℃ 的高温下将硼原子推进至硅片表面。反应完成后，单晶硅的各区域会产生一个 N 型掺杂区和一个 P 型掺杂区紧密接触的结构，二者交界面处就形成了 PN 结。

③**表面钝化沉积镀膜**：对 TOPCon 电池表面进行钝化沉积镀膜处理，有助于提升电池的光电性能。其中多晶硅薄膜沉积是 TOPCon 电池制备中的最重要的环节之一，工艺路线大体分为三类，分别是低压化学气相沉积 LPCVD、等离子体增强化学气相沉积 PECVD 以及磁控溅射 PVD。

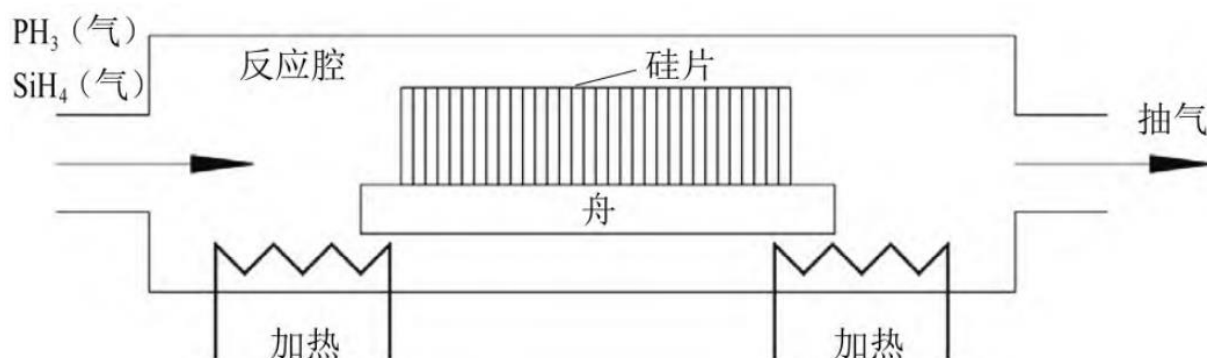
图表 24：多晶硅薄膜沉积主要分为三种工艺



数据来源：宜宾市经济和信息化局，中信建投期货绘制

LPCVD：LPCVD 技术原理为，先在石英管内的单晶硅表面氧化生成 SiO₂ 薄膜，之后将温度升至 650℃，向反应腔内通入纯硅烷气与磷烷气，SiH₄ 受热分解与磷烷分子掺杂并沉积在 SiO₂ 薄膜上，从而形成钝化接触结构。该工艺优点是氧化层质量好，厚度容易控制，多晶硅成膜质量高、工艺成熟、控制简单；缺点是存在绕镀现象，石英管内壁易形成多晶硅膜，且多晶硅与二氧化硅热膨胀系数不一容易导致损坏。

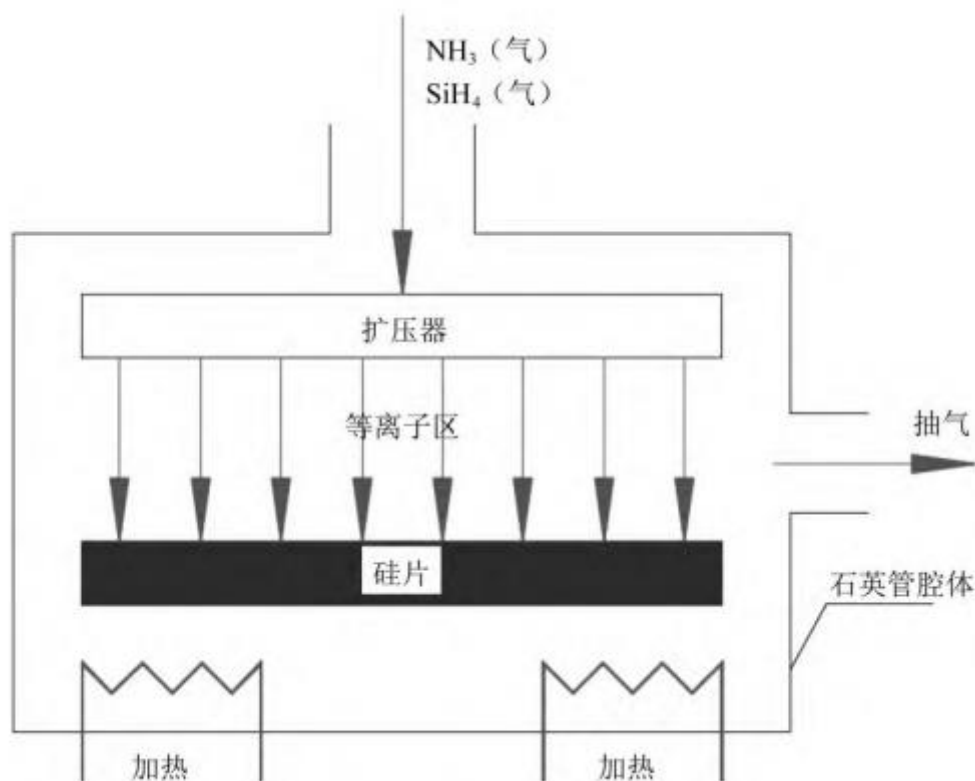
图表 25: LPCVD 法镀膜原理



数据来源: TOPCon 光伏电池技术研究进展综述

PECVD: PECVD 的原理是, 在低于 450°C 的环境内向腔体通入硅烷与氨气, 将低温等离子体作为能量源, 高速运动的电子撞击反应的气体分子使 Si-H 键和 N-H 键断裂电离, 产生的氢原子会被推进晶硅电池体内, 而氢原子又可饱和晶界上的悬挂键, 从而钝化电池内部的缺陷和杂质。

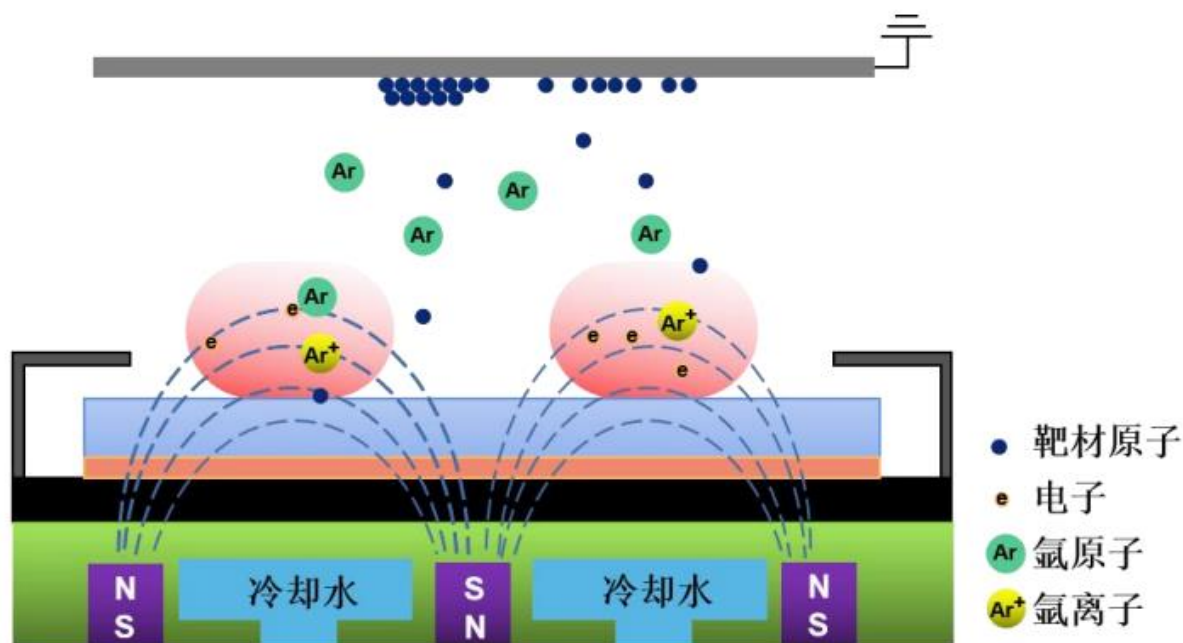
图表 26: PECVD 法镀膜原理



数据来源: TOPCon 光伏电池技术研究进展综述

PVD: PVD 即磁控溅射，阴极靶材的电子在电场作用下向着阳极基板运动，过程中与 Ar 分子碰撞产生新的二次电子，Ar 分子也会分裂为 Ar⁺离子，Ar⁺在电场中向阴极靶材推进，到达靶材表面后以较高能量对其轰击，使呈电中性的靶原子等粒子溅射沉积在衬底上，从而完成薄膜沉积。PVD 与上文 CVD 相关技术相比，不会使用具有危险性的 SiH₄ 等气体作为发射源，节省了尾气回收和资源处理，还具备更高水平的工艺均匀性和扩展性。

图表 27：PVD 法镀膜原理



数据来源：磁控溅射多晶硅载流子选择性薄膜研究

原有的 PERC 产能也可以升级改造为 TOPCon 产能。能够升级 TOPCon 产能的 PERC 产线需要满足三个主要条件，分别为①提前预留设备空间；②能够兼容 M10 和 G12 大尺寸硅片；③旧产线要有较高效率的处理硅片的节拍（“节拍”指的是设备完成一个生产单元所需的时间，即从硅片进入设备到完成加工并退出设备的时间），从而提高生产效率、降低量产成本。CPIA 数据显示，具备经济性的能够改造为 TOPCon 产线的 PERC 旧产能约占全部旧产能的 1/3。而 PERC 升级为 TOPCon，还需增加新的设备，包括多晶硅/非晶硅沉积设备（如 LPCVD、PECVD 或 PVD 设备）、硼掺杂设备（如高温扩散炉）、激光辅助烧结（LECO/LIF）等。CPIA 数据显示，PERC 技改升级 TOPCon 相较于直接新建产能具备较高的经济性，TOPCon 新产线投资成本约 1.8 亿元/GW，而 PERC 升级 TOPCon 则只需要 0.3-0.5 亿元/GW。

2022 年前后 TOPCon 逐步进入量产阶段，随后 2023 年在规模、效率、降本等方面 TOPCon 也得到了进一步发展。CPIA 数据显示目前已有 40 余家企业布局了 TOPCon 相关产能，主要生产企业包括晶科能源、一道新能、晶澳科技、通威、天合光能、正泰、阿特斯、协鑫集成等。

CPIA 数据显示，目前 TOPCon 电池平均转换效率约为 25.3%-25.8%，先进企业可以达

到 25.8%以上，部分企业宣称已经达到 26%。不过在电池实际的效率标定上，目前仍存在标定不规范、入库降档、夸大宣传等问题，为此有关政府部门、行业协会以及企业也在呼吁“尽快使以 TOPCon 为主的光伏电池测试效率回归真值”，2024 年 7 月，CPIA 与有关专家拟定《关于进一步提升光伏电池效率计量测试能力的倡议》，已有多家企业签署。

图表 28：部分企业量产 N 型 TOPCon 电池片效率情况

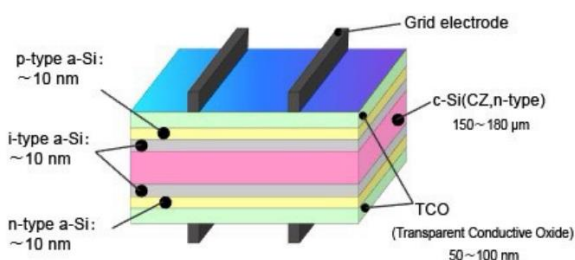
公司	TOPCon 电池片量产平均转换效率
一道新能	26.35%
晶澳科技	26.3%
协鑫集成	26.2%
晶科能源	26.0%
阿特斯	25.8%-26.1%
天合光能	25.8%
东方日升	25.2%
2023 年 CPIA 统计平均水平	25.0%

数据来源：各公司公告、各公司投资者关系记录表、CPIA、一道新能招股说明书，中信建投期货

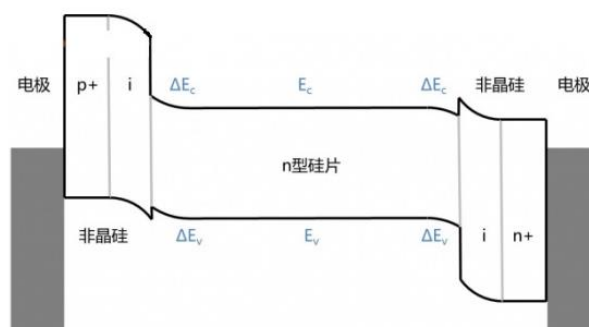
2.4、HJT 电池

HJT 电池即异质结电池，最早由日本三洋电机实现产业化。HJT 电池是一种双面钝化接触电池，通过掺杂不同类型的薄膜硅与晶硅组成异质结，采用本征非晶硅基薄膜/掺杂硅基薄膜构成钝化结构。从 HJT 电池的结构来看，N 型硅衬底作为光吸收层，一方面与正面的 p-a-Si:H 薄膜层形成 PN 结产生内建电场，另一方面作为入射光的吸收层在光照条件下产生光生载流子。HJT 电池结构中部的 i-a-Si:H 为钝化层，能够减少 N 型硅衬底表面的悬挂键，减少复合，增大电流。HJT 能带的前表面处导带带阶较大，电子流向受到阻碍，而较低的价带对空穴传输不构成阻碍；背面 i-a-Si:H 与 n-a-Si:H 与 N 型硅衬底形成背表面场（BSF），较高的价带阻碍了空穴的传输，减少少数载流子在背面的复合。TCO 是透明导电氧化物，隔绝了金属电极与硅材料的直接接触，使载流子复合损失进一步降低，从而提升转换效率。

图表 29：HJT 电池结构



图表 30：双面 HJT 能带

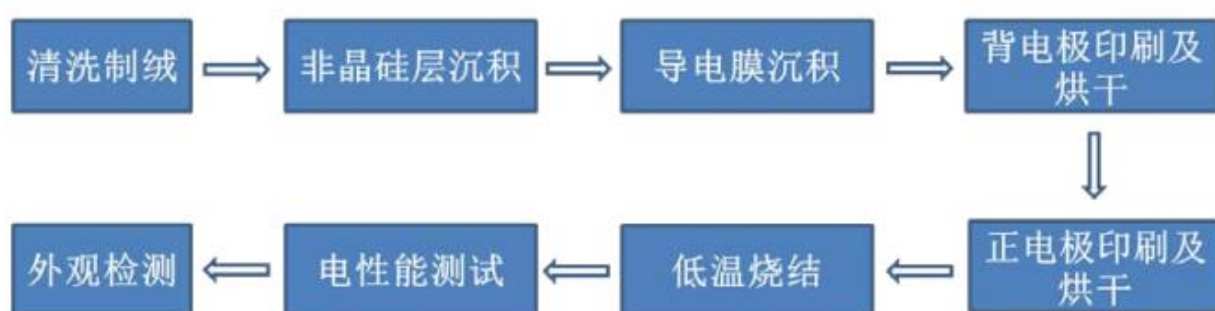


数据来源：高效晶硅异质结电池及其与钙钛矿叠层电池研究

数据来源：高效晶硅异质结电池及其与钙钛矿叠层电池研究

工艺流程方面，HJT 电池以 N 型硅片衬底，经过湿化学方法制绒后形成电池所需的洁净表面。随后是非晶硅层沉积镀膜，该步骤是 HJT 电池制备的核心环节，非晶硅薄膜包括正面本征非晶硅薄膜（i-a-Si:H）、P 型非晶硅薄膜（p-a-Si:H）、背面本征非晶硅薄膜（i-a-Si:H）、N 型非晶硅薄膜（n-a-Si:H），制备的主要方法分为 PECVD 和 CAT-CVD。下一步是导电膜沉积，主要利用 PVD 或 RPD 或磁控溅射的方式形成透明导电薄膜（TCO）层，作为载流子的传输层。最后通过丝网印刷或电镀在正反两面制备金属电极，形成具有双面对称结构的 HJT 电池。

图表 31：HJT 电池制备流程



数据来源：高效晶硅异质结电池及其与钙钛矿叠层电池研究

总体来看，HJT 电池有如下优势：

- ①**高开路电压**：异质结结构能够改变禁带宽度，进而改变电池的真空能级差来增加开路电压范围，并且本征层的加入使得 HJT 开路电压远高于普通晶硅电池，故转换效率更高；
- ②**低温工艺**：HJT 电池制备非晶硅膜层及透明导电膜层的温度为 250℃，远低于常规电池制备 PN 结时 900℃左右的高温，更节省能耗，并且采用低温银浆印刷、采用低温烧结也更加节省成本；
- ③**低温度系数**：常规晶体硅电池的温度系数为-0.45%，HJT 为-0.28%，同功率下 HJT 电池组件的输出特性表现更好；
- ④**降低载流子损耗**：TCO 将杂质浓度与导电性相分离，低掺杂的情况下也可以降低载流子横向输运过程中的损耗。

不过受制于材料成本和初始投资成本偏高，以及技术要求、操作环境等更加严格，**HJT 电池也具备较高的准入门槛，目前产业仍处在发展阶段。**

CPIA 数据显示，多家企业在导入双面微晶硅技术后 HJT 电池的量产平均转换效率已经基本达到 25-25.5%以上，此外 26%以上效率的 HJT 电池发展情况如下表。双面微晶硅技术是 HJT 产业化的重要提效技术。传统 HJT 电池双面膜是非晶硅结构，非晶硅结构对入射光吸收较多，会对光电效应产生一定阻碍，同时非晶硅膜会增大串联电阻，影响 HJT 电池填充因子

的提升，而微晶材料比非晶硅有更有秩序的晶格结构，能使载流子迁移率进一步提升，也可以提高掺杂浓度和透光性能，从而改进电池转换效率。

图表 32：26%效率以上的 HJT 电池发展情况

单位名称	工艺特点	Voc (mV)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	效率 (%)	面积 (cm ²)	时间
隆基绿能	n-HJT+BC	742.5	42.61	85.6	27.09	243.04	2023.12
隆基绿能	n-HJT	751.4	41.45	86.1	26.81	274.4	2022.11
隆基绿能	p-HJT	751.3	41.3	85.6	26.56	274.1	2022.9
迈为 /SunDrive	n-HJT	750.2	40.79	86.28	26.41	274.5	2022.8
隆基绿能	n-HJT	750.6	41.01	86.08	26.50	274.4	2022.6
隆基绿能	n-HJT	750.2	40.49	86.59	26.3	274.3	2021.10

数据来源：CPIA，中信建投期货

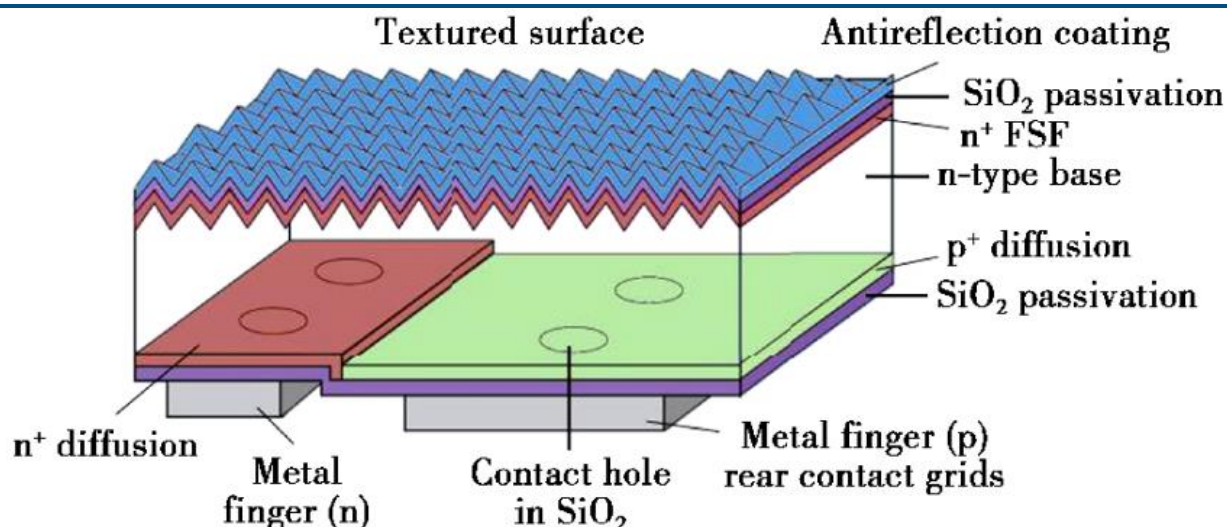
2.5、XBC 电池

XBC 是一种电极具有交指形状背结和背接触电池，经典 BC 结构电池为 IBC。同时，XBC 作为平台技术又可与 HJT、TOPCon 等技术相结合，其中与 HJT 结合被称为 HBC，与 TOPCon 结合又称为 TBC，其中隆基与爱旭两家公司又在 TBC 的基础上创新性地发展出了 HPBC 与 ABC 电池。

XBC 与 PERC、TOPCon 以及 HJT 相比，具备特点包括：①XBC 表面没有栅线，正负极采用交叉排列的方式被制备在电池背面，避免了常规电池正面栅线约 3%的遮光损失；②XBC 背面的交叉式电极接触高掺杂区，实现了金属电极与发射区或基区的点接触连接，同时降低了光生载流子的背表面复合速率；③XBC 电池的串联电阻低于传统电池，具有较高的填充因子。

IBC 电池：1975 年 Schwartz 首次提出背接触式太阳能电池，随后经发展，该概念演化成了 IBC 电池。与常规电池相比，IBC 电池的 PN 结和金属接触都在太阳能电池的背部，前表面彻底避免了金属栅线电极的遮挡，前表面的金字塔绒面结构和减反层组成的陷光结构能够最大程度利用入射光；电池背部则采用优化的金属栅线电极，降低了串联电阻。IBC 电池因其前面无遮挡，所以具备较高的转换效率，且外形美观，适合光伏建筑一体化（BIPV）场景。美国 Sunpower 公司以及中国的天合光能在 IBC 领域保持领先地位，Sunpower 的实验室 IBC 电池转换效率能够达到 25.2%，而 2018 年 1 月天合光能研发的大面积 IBC 电池转换效率突破了 25.04%（日本 JET 认证）。

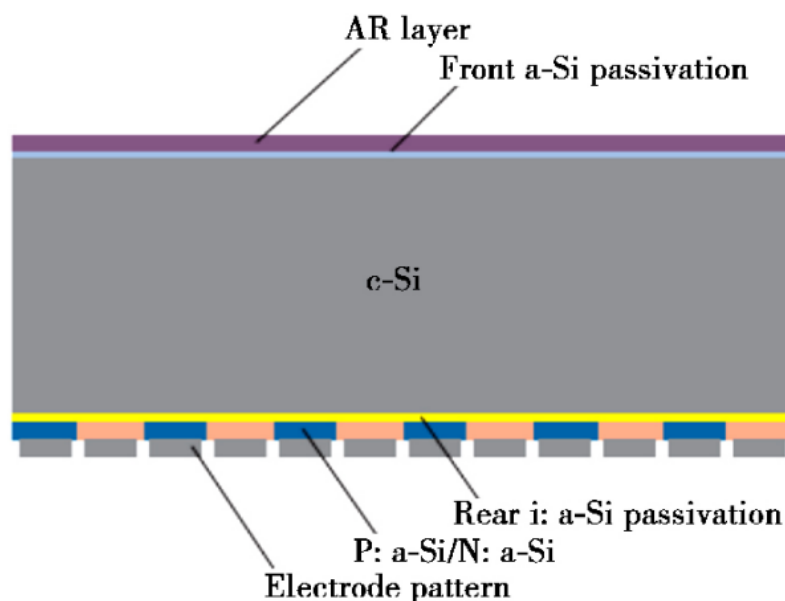
图表 33: IBC 电池结构



数据来源：高效单晶硅太阳能电池的最新进展及发展趋势

HBC 电池：HBC 电池是 IBC 与 HJT 路线相结合的产物，在 IBC 电池的基础上，HBC 由于采用异质结作为发射极以及高质量的非晶硅钝化，因此开路电压较高。在生长 PN 结的过程中，HBC 采用了区域型掩膜掺杂，降低了载流子的复合损失。相较于 HJT，HBC 由于前表面无电极遮挡，且采用 SiN 减反层替代了 TCO，其减少光学损失的优势会更加显著。2016 年日本 Kanaeka 公司宣布，其 HBC 电池实现了 26.33% 的世界最高单晶硅电池转换效率，2017 年 3 月 Kaneka 又宣布这一纪录被提高至 26.7%，2023 年 12 月隆基绿能宣布自主研发的 HBC 电池转换效率达到 27.09%，创造了单晶硅太阳能电池效率的新世界纪录。

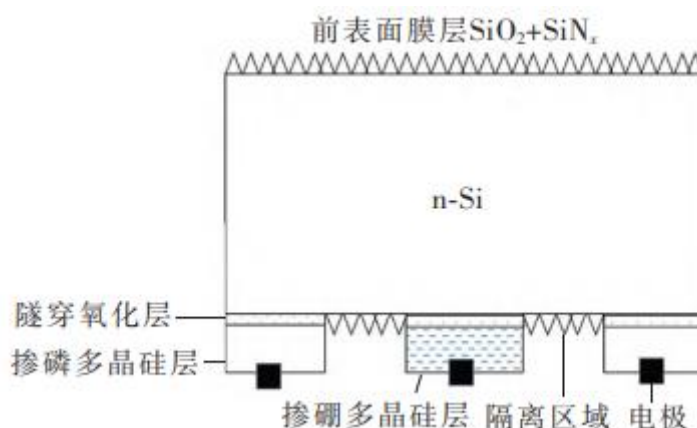
图表 34: HBC 电池结构



数据来源：高效单晶硅太阳能电池的最新进展及发展趋势

TBC 电池：即隧穿氧化层钝化背接触电池，TBC 是 TOPCon 与 IBC 电池结构的结合，实现了 IBC 电池较高的短路电流和 TOPCon 出色的钝化接触特性相匹配，因而具备较高的转换效率。TBC 电池对 IBC 电池的后表面进行再设计，增加了类似 TOPCon 的钝化接触结构，相当于在 TOPCon 的背面形成了交指状图形化结构，由于良好的钝化接触，从而电池转换效率有所提升。

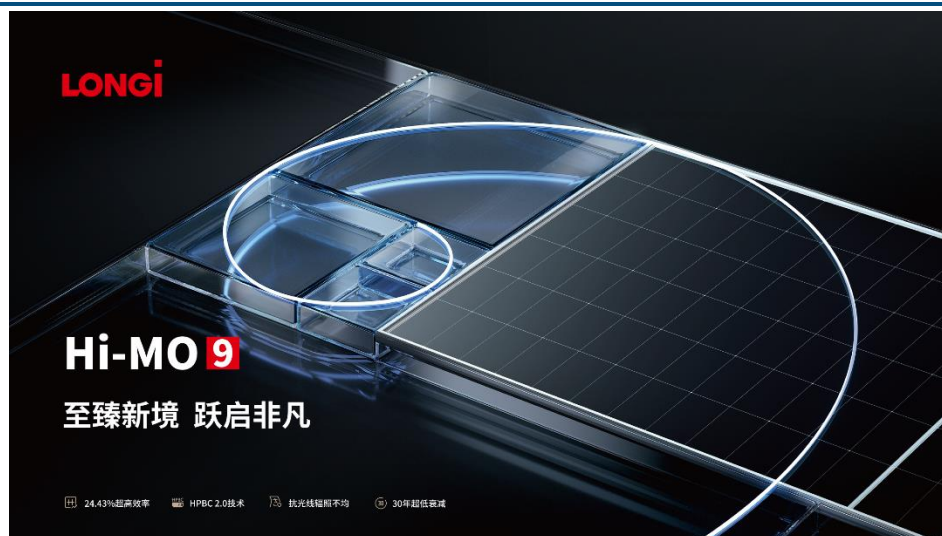
图表 35：TBC 电池结构



数据来源：n 型隧穿氧化层钝化背接触太阳能电池发射极激光硼掺杂工艺

HPBC 电池：HPBC 电池是隆基绿能推出的一种混合钝化背接触电池，在 P 型硅片的基础上结合 TOPCon 及 IBC 技术，在电池背面构建叉状 PN 结，并运用 TOPCon 隧穿钝化，本质是基于 P 型硅片的 BC 电池技术。2023 年 2 月，隆基在其官网透露标准版 HPBC 电池量产效率已突破 25%，而叠加了氢钝化技术的 PRO 版本效率可达 25.3%。2024 年 5 月，隆基又发布新品 Hi-MO 9 组件，该组件搭载最新的 HPBC 2.0 电池技术，HPBC 2.0 相较于 1.0 在钝化技术上进行了更新，电池量产平均效率能够达到 26.6% 以上，良率 95% 以上。

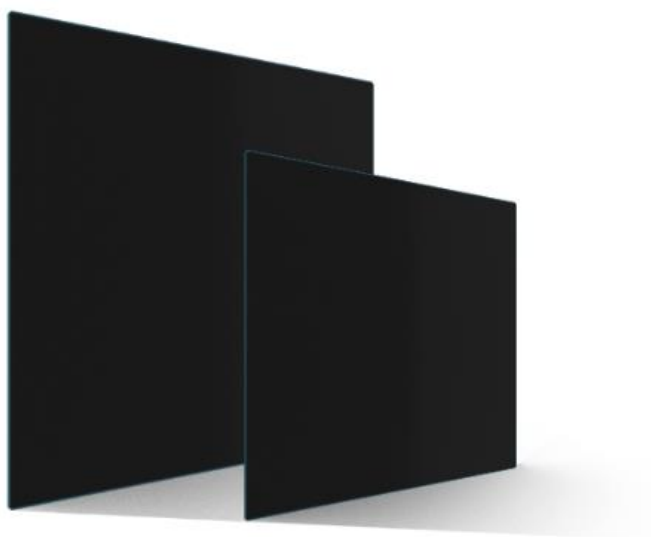
图表 36：搭载 HPBC 2.0 技术的隆基 Hi-MO 9 组件



数据来源：隆基绿能

ABC 电池：ABC 是爱旭公司推出的一种 XBC 电池结构，采用背接触电池结构设计，电极采取无银化技术路线。据爱旭股份 2023 年报，其 ABC 电池量产平均转换效率已经达到 27%，ABC 组件量产交付转换效率达到 24.2%。

图表 37：爱旭 ABC 电池



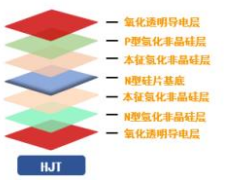


数据来源：爱旭股份

2.6、本章小结

不同电池技术路线的对比如下图表所示。

图表 38：不同技术路线电池对比

技术路线	PERC	TOPCon	HJT	XBC
描述	发射极钝化和背面接触电池，该电池利用特殊材料在电池片背面形成钝化层（ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiN}_x$ ）作为背反射器，增加长波光的吸收，同时增大 P-N 极间的电势差，降低电子复合，提高效率	隧穿氧化层钝化接触电池，电池背面为超薄氧化硅（1-2nm），主要起到化学钝化的作用，之后再沉积形成重掺杂的多晶硅层，起到场钝化的作用，氧化层与多晶硅层共同形成钝化接触结构，称为能带，为电池提供表面钝化	双面钝化接触电池，通过掺杂不同类型的薄膜硅与晶硅组成异质结，采用本征非晶硅基薄膜/掺杂硅基薄膜构成的钝化结构。从 HJT 电池的结结构来看，N 型硅衬底作为光吸收层，一方面与正面的 p-a-Si:H 薄膜层形成 PN 结产生内建电场，另一方面作为入射光的吸收层在光照条件下产生光生载流子	是一种电极具有交指形状的背结和背接触电池，经典 BC 结构电池为 IBC。同时，XBC 作为平台技术又可与 HJT、TOPCon 等技术相结合，其中与 HJT 结合被称为 HBC，与 TOPCon 结合又称为 TBC，其中隆基与爱旭两家公司又在 TBC 的基础上创新性地发展出了 HPBC 与 ABC 电池
电池结构	 减反射层+钝化膜 N+发射极 P型硅片基底 背面钝化层 铝背场 PERC	 减反射层+钝化膜 P型发射极 N型硅片基底 超薄隧穿层 P掺杂硅层 键金属 TOPCon	 氧化透明导电层 P型氢化非晶硅层 本征氢化非晶硅层 N型硅片基底 本征氢化非晶硅层 N型氢化非晶硅层 氧化透明导电层 HJT	 减反射层+钝化膜 N+FSF N型硅片基底 P型发射极+N型BSF 背面钝化层 XBC
理论转换效率上限	24.5%	28.7%	28.5%	29.1%（HBC）
量产转换效率	23.4%	25.0%	25.2%	隆基 HPBC：26.6% 爱旭 ABC：27.0%
温升系数	-0.38%/℃	-0.30%/℃	-0.25%/℃	-0.30%/℃
双面率	75%	80%	90%	40%
光致衰减	首年 2%每年 0.45%	首年 1%每年 0.4%	首年 1%-2%每年 0.25%	首年 1%每年 0.35%
投资额	1.42 亿元/GW	1.8 亿元/GW	3.51 亿元/GW	3 亿元+/GW
优势	结构简单，工艺流程短	可由 PERC 产线直接升级，转换效率更高	工序步骤简单，温度系数低、光衰减率低	转换效率高，尤其适配 BIPV 等特殊场景，作为平台技术可与 HJT、TOPCon 等路线结合
劣势	转换效率逼近理论上限，发展潜力低	工艺流程增加	技术壁垒高，低温银浆、氧化锡靶材价格高，隐裂风险高	工艺复杂，生产成本低，良率低，不适用于双面利用光的场景

数据来源：CPIA、公司公告、一道新能招股说明书

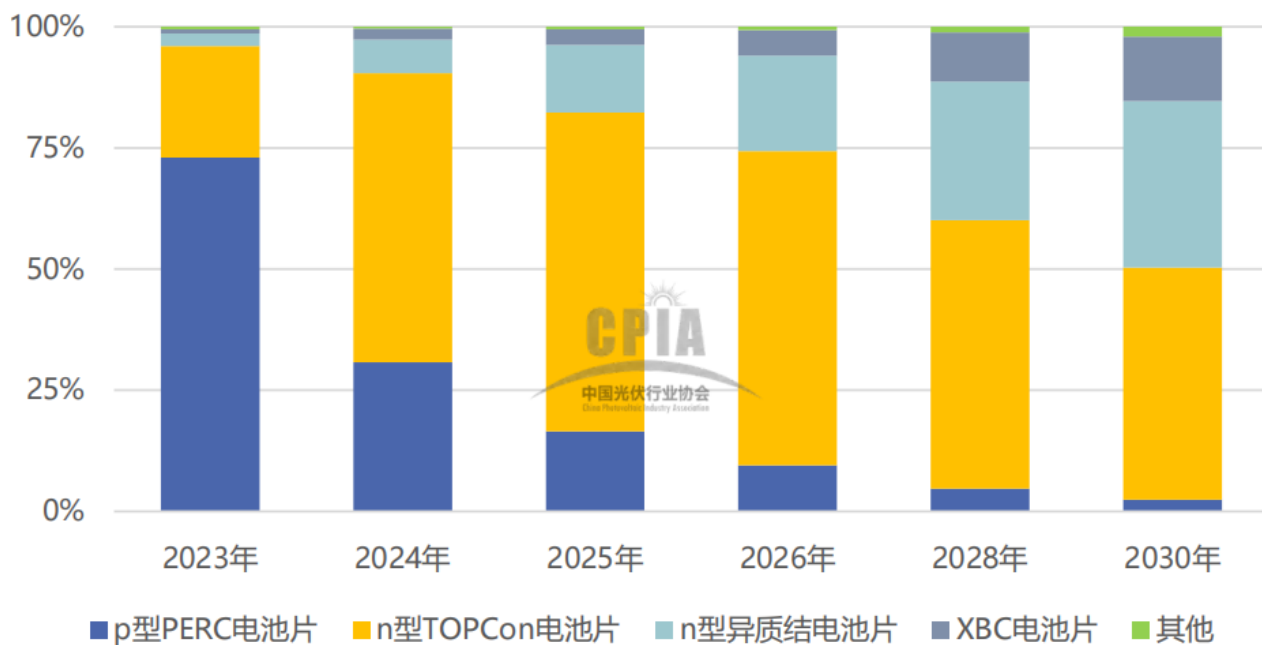
三、发展特点与趋势：降本增效趋势加快，行业标准化水平不断提升

3.1、TOPCon 市占率迅速提升，有望成为 2024 年最主流路线

近年来 PERC 电池市场占比有所下滑，CPIA 数据显示 2023 年 PERC 电池市场占比被进一步压缩至 73%。由于 PERC 电池理论转换效率上限为 24.5%，继续提升的空间有限，因此产业将技术发展的重心逐步切换至以 TOPCon 和 HJT 为代表的 N 型电池上。其中 TOPCon 的扩张速度又快于 HJT，CPIA 数据显示 2023 年 TOPCon 市占率提升 14.7pct 达到 23%，HJT

市占率提升 2pct 达到 2.6%。而 XBC 技术虽然具有更高的转换效率上限，但核心技术仍掌握在部分龙头企业手中，故 XBC 目前尚未实现产业化大规模扩张，2023 年市占率提升仅 0.7pct。

图表 39：2023-2030 不同电池技术路线市场占比趋势变化



数据来源：CPIA

TOPCon 在技改成本、转换效率等方面具备相对优势。在光伏产业由 P 型向 N 型过渡时，由于 TOPCon 可直接由原有的 PERC 产能技改而来，因此较低的建设成本使得 TOPCon 在这一产业变革的初期便具备了先发优势，CPIA 数据显示 TOPCon 新产线投资成本约 1.8 亿元/GW，而 PERC 升级 TOPCon 则只需要 0.3-0.5 亿元/GW。并且即便是新投产的产能，其投资成本也要远低于 HJT。此外，双面 POLY 的 TOPCon 理论转换效率上限为 28.7%，不仅与 HJT 的 28.5% 的理论上限接近，而且还逼近晶硅光伏电池 29.43% 的理论转换效率上限，因此选择 TOPCon 路线也基本能够满足未来一段时间光伏产业的效率要求。在这些因素的作用下，TOPCon 市占率提升迅速，CPIA 预计 2024 年 TOPCon 市占率有望大幅提升至 60% 左右，将会替代 PERC 成为电池片最主流路线。

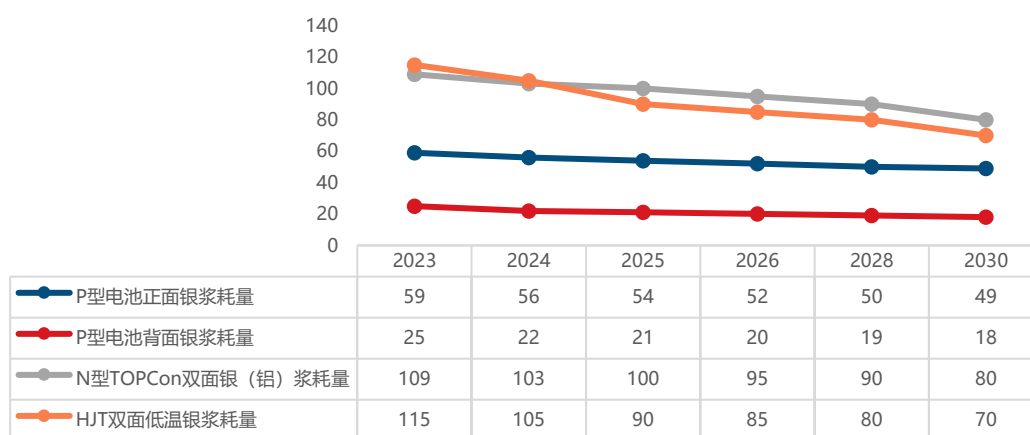
3.2、白银价格持续攀升，降银诉求不断提升

晶硅光伏电池主要使用三种厚膜导体浆料：受光面的正面银浆、背光面的背面银浆以及背面铝浆。三种浆料经过丝网印刷分别被印制在硅片两面，烘干后烧结形成晶硅光伏电池的两端电极。不同电池对浆料的需求也存在差异，如 HJT 需要低温银浆，但 TOPCon 则需要高温银浆。

银粉是银浆中最重要的组成成分。以正面银浆为例，其组成成分为高纯度银粉、玻璃体系、有机载体等，其中银粉作为导电功能相，成分占比约 89%-90%。2023 年 PERC 电池年平

均耗量（正银+背银）84mg/片，N型 TOPCon 双面银（铝）浆耗量 109mg/片，HJT 双面低温银浆耗量 115mg/片。因此白银价格波动极易对银浆成本与价格产生影响，也会对银浆企业及电池片企业的经营产生影响。尤其是近年来受宏观金融、地缘政治扰动以及工业需求增加，白银价格一路上行，在 2024 年 7 月时甚至触及 8000 元/kg 以上的高点，因此降低用银成本是电池片环节的主要痛点之一。

图表 40：2023-2030 年 182 尺寸电池片银浆耗量变化（mg/片）



数据来源：CPIA，中信建投期货

图表 41：光伏银浆价格（元/kg）



数据来源：SMM，中信建投期货

图表 42：白银价格（元/kg）



数据来源：上海黄金交易所，中信建投期货

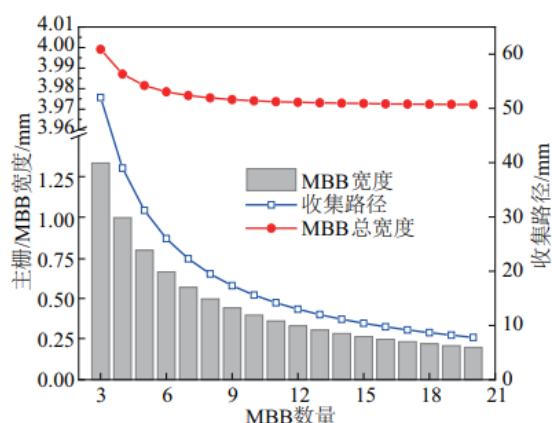
具体来看，降低用银成本主要有三种思路：①通过(S)MBB、0BB 调整主栅从而减少用银；②贱金属替代贵金属，如银包铜、铜电镀；③对白银期货买入套期保值实现锁定成本。

①通过(S)MBB、0BB 调整主栅从而减少用银

MBB 和 SMBB 即多主栅技术与超多主栅技术，其原理是通过增加电池主栅的数量，从而使主栅宽度变细、细栅数目相应减少。据《MBB 太阳电池栅线的设计优化》（陈喜平等，2020），在最优栅线设计下，相较于 5BB 光伏电池，12BB 光伏电池的正面总体银浆耗量能

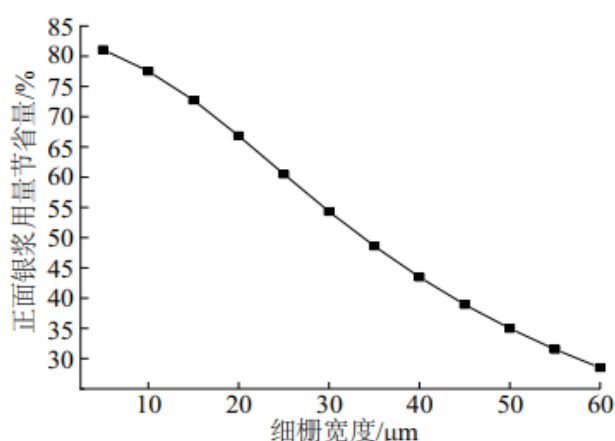
够节省约 37.25%。CPIA 数据显示，2023 年 P 型电池中 11BB 已成为主流，具体而言 9BB 占比 12.9%，10BB 占比 38.4%，11BB 及以上占比 48.7%；对于 N 型 TOPCon 而言，市场上已有 87.5% 的电池采用了 16BB 及以上的技术。

图表 43：主栅数量增加使得主栅宽度减少



数据来源：MBB 太阳能电池栅线的设计优化

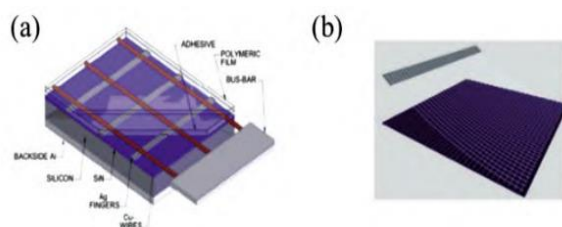
图表 44：细栅数目减少、宽度增加，银浆耗量下滑



数据来源：MBB 太阳能电池栅线的设计优化

近年 0BB 技术关注度不断提升。0BB 即无主栅，本质是采用铜焊丝取代传统电池的主栅线，进而节省主栅银浆消耗。无主栅技术早期的提出为 Day4 Energy 在 2007 年提出的 Day4 电极，实现银浆耗量节省 40% 以上。在 Day4 基础上，梅耶伯格继续开发出了 SWCT 技术，与 3BB 相比能够实现降低银浆耗量 80% 以上。目前，我国企业在 0BB 技术上主要三种方案：1) UV 胶预固定焊丝于无主栅电池上，层压形成电连接；2) 红外焊接预固定焊丝于无主栅电池上进行 UV 胶点胶加固；3) 一体化覆膜。2023-2024 年前后，包括东方日升、正泰新能、晶科能源等多家国内厂商开始导入 0BB 技术。

图表 45：Day4 电极结构 (a) 与 SWCT 技术用于电池金属化的电极 (b)



数据来源：太阳能电池无主栅互联封装技术研究进展

图表 46：东方日升伏羲 HJT 采用 0BB 技术



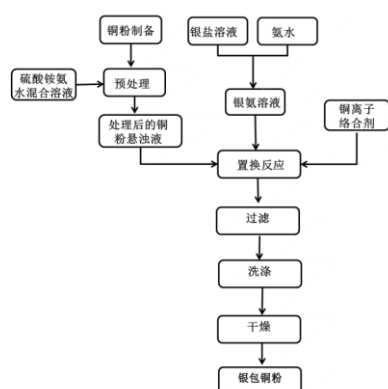
数据来源：东方日升

②贱金属替代贵金属，如银包铜、铜电镀

HJT 电池需要使用低温银浆，但由于低温银浆导电性弱于高温银浆，故 HJT 对浆料需求要高于 TOPCon, CPIA 数据显示 HJT 银浆耗量约为 15-18mg/W, 而 TOPCon 则为 11mg/W。由于贱金属如铜，在低温环境不易氧化、性质更加稳定，因此采用低温工艺的 HJT 更加适合采用贱金属替代贵金属的方案。

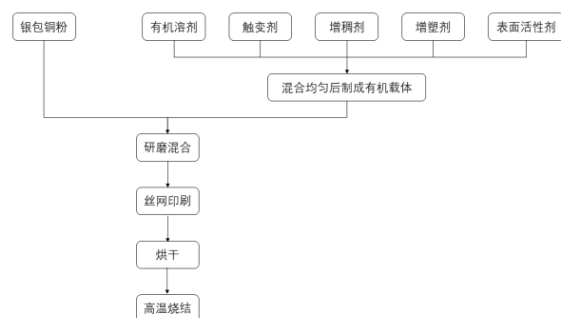
银包铜：银包铜即用银来覆盖铜，银包铜粉的电阻与密度介于银粉与铜粉之间，比表面积高于银粉与铜粉，在实现高转换效率的同时降低银浆成本。银包铜粉制备技术路线主要包括机械球磨法、熔融雾化法以及化学镀法，其中化学镀法工艺简单且制备成本低，是制备银包铜粉的主要方法，其原理为在无外加电流的影响下，通过氧化还原反应将溶液中的银还原出金属银，并覆盖至基体表面。从产业化进展看，2023 年银包铜浆料实现小批量产业化并被应用在 HJT 电池上，晶银、聚和、帝科等企业已开始供货下游电池片企业，已导入多家头部 HJT 企业。CPIA 数据显示目前主流银包铜浆料的含银量约为 45%，未来极限比例可实现约 30%的含银量。

图表 47：化学镀法银包铜粉制备工艺流程



数据来源：银包铜粉的制备、表征及性能研究

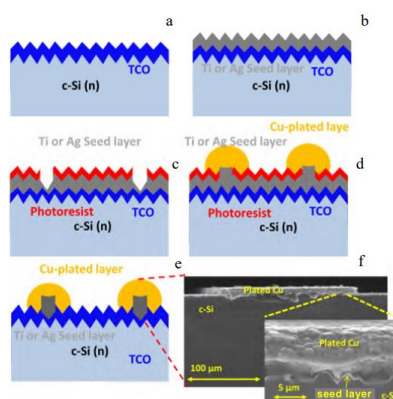
图表 48：银包铜粉制备导电银浆工艺流程



数据来源：银包铜粉的制备、表征及性能研究

铜电镀：传统丝网印刷通过在 TCO 层印刷导电浆料并固化成型栅线电极；而铜电镀则采取无压力接触式电极金属化技术，在 TCO 层通过电解还原铜离子的方法在表面沉积金属铜制成铜栅线电极。铜电镀技术可实现贱金属对贵金属的完全替代，且该方法得到的栅线线宽要更窄，有助于减少遮光损失，提升转换效率。但目前铜电镀壁垒较高，尚未实现产业化，具体难点包括工艺复杂导致良率下降、设备投资成本更高、铜电极长期稳定性与可靠性尚待验证等。

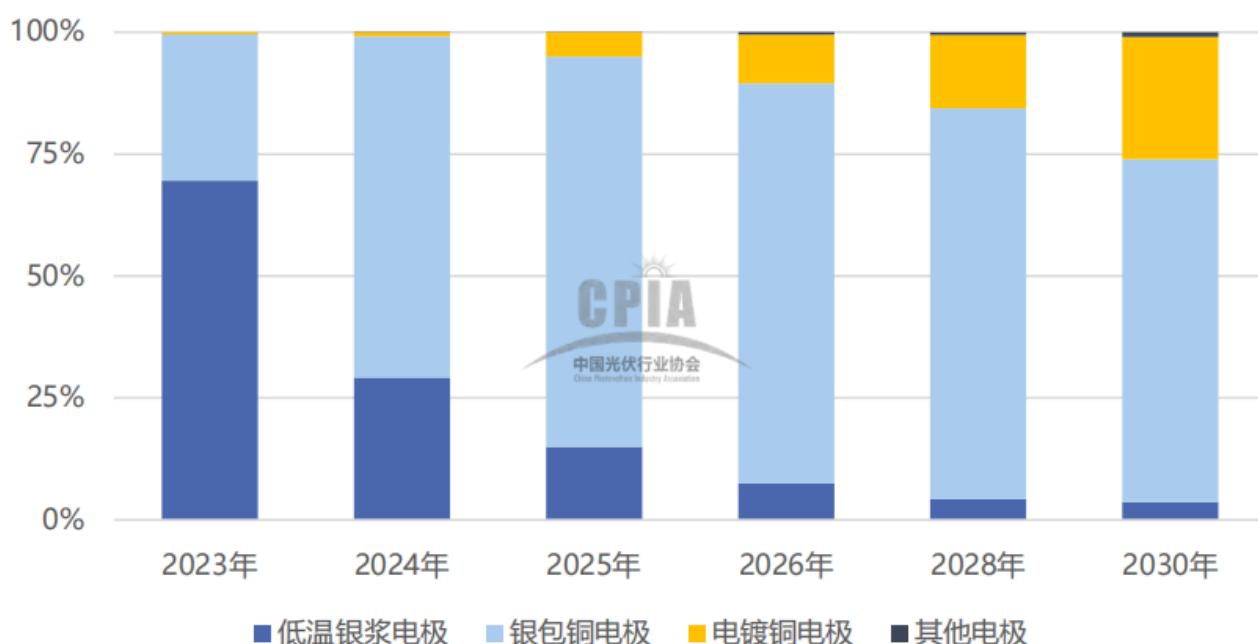
图表 49：铜电镀技术流程



数据来源：异质结太阳能电池金属化技术研究进展，中信建投期货

CPIA 数据显示，HJT 中贱金属电极替代贵金属的进程不断加快，预计 2024 年开始银包铜电极占比将大幅提升，而铜电镀的性价比仍有待提升，不过远期来看或仍将具备一定市场份额。

图表 50：HJT 电池片金属电极市场占比



数据来源：CPIA

③对白银期货买入套期保值实现锁定成本

套期保值即企业在日常经营的过程中在面对原材料价格、产品价格等可能发生朝向自己不利的方向变动时，利用相应的期货工具对冲这种不利的风险，从而达到规避风险，稳定经营目的的一种行为。对于银浆企业与电池片企业而言，原材料价格与白银价格高度相关，基

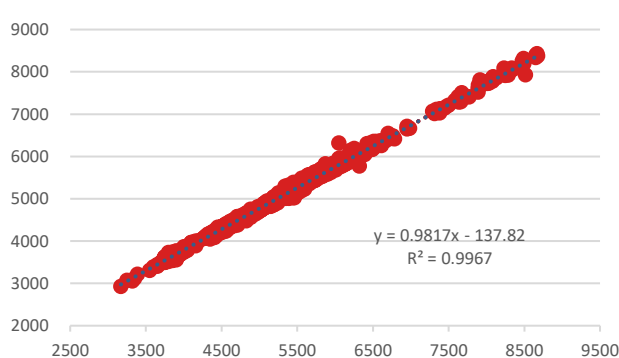
于对未来原材料价格上涨的担忧，企业可以在采购原材料现货的同时买入期货，如果原材料价格上涨，那么期货市场盈利就能够抵消现货采购带来的亏损。以银浆企业为例，企业经营模式为采购银粉后加工为银浆进行销售，风险敞口主要在于原材料采购，历史数据显示上期所 AG 期货价格与银粉价格高度相关，R 方高达 0.9967，如采取套期保值，将有效实现风险对冲；此外不仅原材料端能够实现风险规避，销售端 AG 期货价格走势也与银浆价格高度相关，未来即便风险敞口转移，企业依然可实现有效套保。

图表 51：银粉价格与 SHFE 白银期货价格（元/千克）



数据来源：SMM、上海期货交易所，中信建投期货

图表 52：SHFE 白银期货价格与银粉价格趋势拟合（元/kg）



数据来源：SMM、上海期货交易所，中信建投期货

3.3、大尺寸、标准化驱动，矩形电池片产能释放或将加速

电池片以硅片为衬底，电池片尺寸也随硅片呈现出大尺寸、标准化的趋势（参考《建投晶硅光伏 | 晶硅物语（三）硅片：大尺寸、标准化引领，两超多强格局下产能不断扩张》）。2023 年 7 月 7 日，阿特斯、东方日升、晶澳科技、晶科能源、隆基绿能、天合光能、通威股份、一道新能、正泰新能 9 家光伏企业对新一代矩形硅片中版型组件尺寸标准化达成了共识，认为 2382mm*1134mm 是 238Xmm*1134mm 组件的标准尺寸；随后阿特斯、东方日升、隆基、通威、一道、正泰等 6 家企业在 2023 年 8 月又对 72 版型组件所用的 191.Xmm 矩形硅片的尺寸达成共识，确定边距为 182.2*191.6mm，该尺寸硅片亦可满足 2023 年 7 月 9 家企业达成共识的 2382*1134mm 组件。CPIA 数据显示，2024 年 Q2 开始，矩形电池片产能的释放或将加速。

3.4、电池效率检测机制建设愈发完善

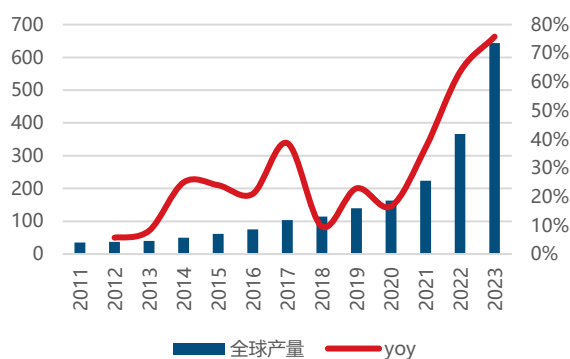
电池效率检测机制建设正不断完善。目前电池片第三方检测机构较多，检测标准也各有不同，且各家厂商的电池参数也存在差异，就导致准确测量电池效率的难度增大，各家测试机构数据偏差也较大，容易对政策修订、公平竞争以及效率检测的公信力产生影响。2024 年 6 月，CPIA 组织召开光伏电池效率标定问题研讨会，会上首先发出了“尽快使以 TOPCon 为主的光伏电池测试效率回归真值”的呼吁。随后 2024 年 7 月 9 日，工信部发布《光伏制造行业规范条件（2024 年本）（征求意见稿）》，要求现有 N 型电池转换效率需不低于 25%、新

建及改建项目电池效率不低于 26%，进一步对电池效率提出定量要求。2024 年 7 月 24 日，CPIA 举办 2024 光伏行业供应链发展（温州）论坛，会上正式发布《关于进一步提升光伏电池效率计量测试能力的倡议》，对提升电池效率检测能力建设、提升诚信水平等方面发出呼吁，已有华晟新能源、鉴衡认证、东方日升等多家企业签署。

四、中国双碳目标驱动全球电池产能放量，2024 中东产能大幅扩张

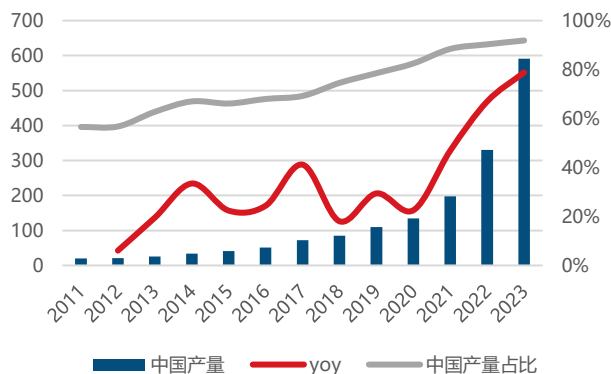
全球电池片供应呈现出持续增长的态势，2023 年全球电池片产能 1032GW，yoy+76.99%，首次达到 TW 级别，全球产量 643.6GW，yoy+75.80%。从结构上看，全球绝大部分产量来自中国，2023 年中国电池片产量 591.3GW，占全球产量 91.87%。2020 年之后，全球电池片供应增速大幅提升，背后原因或是中国市场在双碳目标指引下的产能大规模扩张。

图表 53：全球电池片产量（GW）



数据来源：CPIA，中信建投期货

图表 54：中国电池片产量（GW）



数据来源：CPIA，中信建投期货

结构角度看，CPIA 数据显示 2023 年全球电池片产量前十名企业均为中国企业，总产量 456.3GW，全球 CR10 达到 70.9%，其中通威太阳能以 80.8GW 产量位居全球第一，其次是晶科能源 63.9GW，再次是隆基绿能 62.3GW 以及晶澳科技 45.5GW。

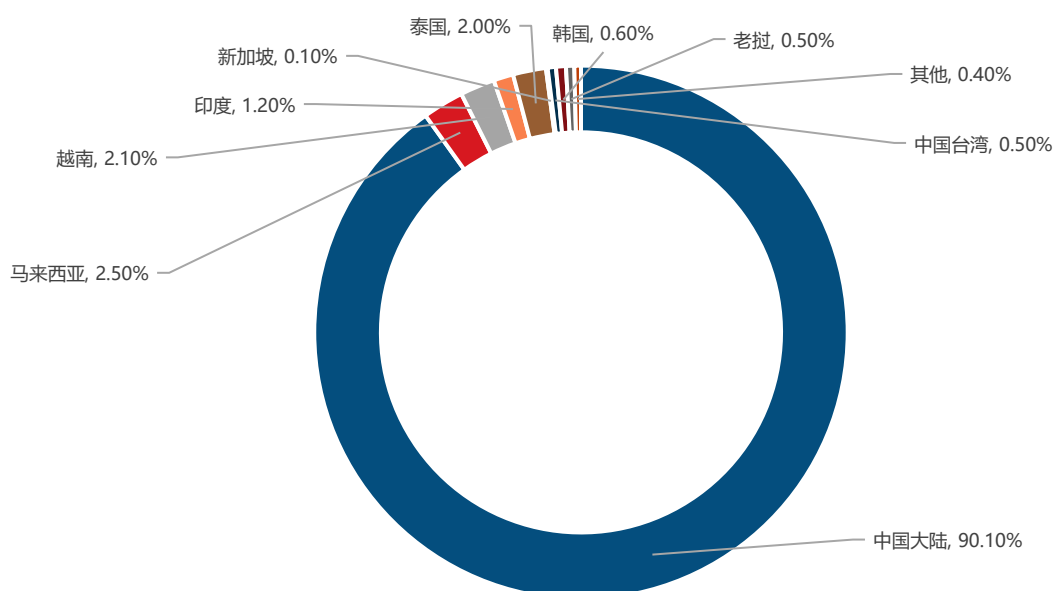
图表 55：2023 年全球电池片生产前十名企业（GW）

序号	企业名称	总部所在地	2023 年产能	2023 年产量
1	通威太阳能	中国大陆	95	80.8
2	晶科能源	中国大陆	90	63.9
3	隆基绿能	中国大陆	66.8	62.3
4	晶澳科技	中国大陆	90	45.5
5	天合光能	中国大陆	75	44.3
6	爱旭科技	中国大陆	46	38
7	江苏中润光能（含中宇）	中国大陆	58.8	34.9
8	捷泰科技	中国大陆	49.5	30.6
9	润阳悦达	中国大陆	55	30
10	浙江正泰	中国大陆	50	26

数据来源：CPIA，中信建投期货

从产业分布来看，2023 年全球电池片 1032GW 产能中有 1031.7GW 集中在亚洲地区，其中中国产能 929.9GW，而亚洲其余产能主要分布在东南亚地区。受贸易政策影响，东南亚地区长期以来是我国向美国出口光伏产品的重要跳板，不过 2024 年 5 月美国商务部宣布对进口自柬埔寨、马来西亚、泰国和越南的晶体硅光伏电池（无论是否组装成组件）发起双反调查，东南亚产能或将因此受到负面影响。

图表 56：2023 年全球电池片生产布局（按产能划分）



数据来源：CPIA，中信建投期货

在政策驱动下中东光伏需求不断起量，中东光伏电池产能建设正在加快。例如沙特发布

沙特国家可再生能源计划(NREP)、阿联酋发布《国家能源战略 2050 更新》等等，infolink 数据显示中东光伏需求量有望于 2027 年达到 29-35 GW。在此背景下中国光伏出海中东热度不减，2024 年 7 月 17 日晶科能源公告称全资子公司晶科中东与沙特阿拉伯王国公共投资基金全资子公司 Renewable Energy Localization Company 以及 Vision Industries Company 签订协议，将在沙特阿拉伯王国成立合资公司建设 10GW 高效电池及组件项目；2024 年 7 月 25 日钧达股份公告称拟于阿曼苏丹国苏哈尔自贸区投资建设 5GW 高效电池生产基地。

图表 57：沙特 NREP 计划至 2030 年实现 58.7GW 可再生能源装机，其中光伏 40GW



数据来源：NREP

图表 58：沙特可再生能源项目将遍布全国 35 个以上园区



数据来源：NREP

五、总结

光伏电池片位于光伏主产业链中下游，上游为光伏硅片，硅片经过清洗制绒、扩散制结、钝化镀膜以及金属化四大工艺步骤后制备为光伏电池片，继续往下游看，光伏电池片又可与面板玻璃、EVA 胶膜、背板材料、铝合金边框、接线盒等部件共同组装为光伏组件。

按衬底硅片的掺杂元素不同，光伏电池片可分为 P 型电池和 N 型电池。其中 P 型电池包括 Al-SBF 电池、PERC 电池等，N 型电池包括 TOPCon 电池、HJT 电池等。此外，如果采用背接触平台技术的电池则被统称为 XBC 电池。随着 PERC 电池的转换效率逐步逼近理论转换效率上限，目前市场正加速由 P 型向以 TOPCon、HJT 为代表的第三代 N 型电池过渡，与此同时，作为平台技术的 XBC 也开始逐步崭露头角。

受技改成本优势、转换效率较高等因素影响，近年来 TOPCon 市占率提升迅速，CPIA 预计 2024 年 TOPCon 市占率有望大幅提升至 60%左右，将会替代 PERC 成为电池片最主流路线。

受宏观金融、地缘政治扰动以及工业需求增加，白银价格近年来一路上行，降低用银成本是电池片环节的主要痛点之一。目前来看降低用银成本主要有三种思路，分别是：①通过 (S)MBB、0BB 调整主栅从而减少用银；②贱金属替代贵金属，如银包铜、铜电镀；③对白银期货买入套期保值实现锁定成本。

电池片尺寸正向大尺寸、标准化迈进。随着多家企业对硅片、组件尺寸相继达成共识，电池片尺寸的标准化水平也在不断提升。CPIA 数据显示，2024 年 Q2 开始，矩形电池片产能的释放或将加速。

为防止电池片效率检测结果对政策修订、公平竞争以及效率检测的公信力产生影响，2024 年以来电池片检测效率机制建设愈发完善，“尽快使以 TOPCon 为主的光伏电池测试效率回归真值”的呼声不断增加，行业协会带头起草自律文件助力行业高质量发展。

全球电池片供应呈现出持续增长的态势，背后原因或是中国市场在双碳目标指引下的产能大规模扩张。CPIA 数据显示 2023 年全球电池片产量前十名企业均为中国企业，且全球电池片 1032GW 产能中有 1031.7GW 集中在亚洲地区，其中中国产能 929.9GW。亚洲其余地区产能主要分布在东南亚，但受 2024 年 5 月美国启动东南亚双反调查影响，当地产能或将受到负面扰动。但积极的一面是，在政策驱动下中东光伏需求不断起量，infolink 数据显示中东光伏需求量有望于 2027 年达到 29-35GW，中国光伏出海中东热度不减，晶科能源、钧达股份等国内企业相继宣布将在中东建设电池片产能。

联系我们

全国统一客服电话：400-8877-780

网址：www.cfc108.com

获取更多研报报告、专业客户经理一对一服务、
了解公司更多信息，扫描右方二维码即可获得！



重要声明

本报告观点和信息仅供符合证监会适当性管理规定的期货交易者参考，据此操作、责任自负。中信建投期货有限公司（下称“中信建投”）不因任何订阅或接收本报告的行为而将订阅人视为中信建投的客户。

本报告发布内容如涉及或属于系列解读，则交易者若使用所载资料，有可能会因缺乏对完整内容的了解而对其中假设依据、研究依据、结论等内容产生误解。提请交易者参阅中信建投已发布的完整系列报告，仔细阅读其所附各项声明、数据来源及风险提示，关注相关的分析、预测能够成立的关键假设条件，关注研究依据和研究结论的目标价格及时间周期，并准确理解研究逻辑。

中信建投对本报告所载资料的准确性、可靠性、时效性及完整性不作任何明示或暗示的保证。本报告中的资料、意见等仅代表报告发布之时的判断，相关研究观点可能依据中信建投后续发布的报告在不发布通知的情形下作出更

改。

中信建投的销售人员、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不一致的市场评论和/或观点。本报告发布内容并非交易决策服务，在任何情形下都不构成对接收本报告内容交易者的任何交易建议，交易者应充分了解各类交易风险并谨慎考虑本报告发布内容是否符合自身特定状况，自主做出交易决策并自行承担交易风险。交易者根据本报告内容做出的任何决策与中信建投或相关作者无关。

本报告发布的内容仅为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可，任何机构和/或个人不得以任何形式对本报告进行翻版、复制和刊发，如需引用、转发等，需注明出处为“中信建投期货”，且不得对本报告进行任何增删或修改。亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告发布的全部或部分内容。版权所有，违者必究。