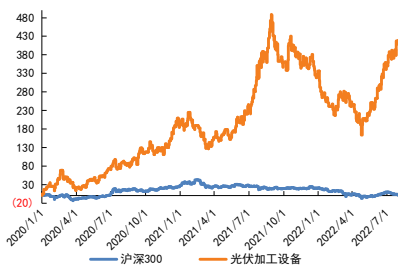


## 行业研究

### 行业评级:

投资评级 【看好】  
评级变动 【维持】

### 行业走势:



## N型电池产业化进程加快

### 设备行业有哪些投资机会?

#### 主要观点:

◆**第一性原理决定N型电池是行业发展的必然方向。**降本增效是光伏行业的第一性原理。目前P型电池已经接近理论效率天花板。N型硅片的少子寿命更高、对金属污染的容忍度更高、无光致衰减衰减(BO-LID)现象决定了其具有更高的理论光电转化效率。N型硅片对P型硅片的成本溢价较2018年已经大幅下降,目前以TOPCon、HJT、IBC为主的N型电池技术已经逐渐成熟且开始进入产业化阶段。

◆**TOPCon: 产业化进程领跑,背钝化层为增量环节,扩散及SE工艺值得期待。**根据我们的统计,截至2022年6月15日,国内已建成的TOPCon产能为30.55GW,在建/待建产能为178.8GW。在建产能中,预计有62.30GW产能将在年内投产。在TOPCon的核心加工工艺隧穿氧化层及多晶硅层沉积上,设备单位投资额约为4500-5000万元/GW,仅在建产能带来的增量设备市场空间为80.46-89.40亿元。N型硅片硼扩散制备发射极的难度要大大高于P型硅片的磷扩散,使得硼扩散炉需求量较PERC产线翻倍。SE制备工艺上,激光掺杂法和氧化物掩膜扩散法最有可能被广泛使用,两者都需要激光设备,对相关的激光设备公司形成利好。

◆**HJT: 薄膜沉积为核心工艺,金属化工工艺为降本关键。**根据我们的不完全统计,目前国内异质结的投产产能为8.1GW,规划产能达到了162.7GW。非晶硅沉积设备占异质结设备总成本的比重在50%左右,是降低设备投资成本的重要环节,当前有两种技术路线。我们认为工艺路线之争并不是当前阶段非晶硅层沉积环节的主要矛盾,如何降低设备的投资成本推动异质结电池加快市场化进程才是当前设备厂商竞争的核心。TCO层沉积方面,RPD设备有着明显的转换效率优势。金属化对于推动异质结成本的下降体现在降低银浆使用量上,设备的发

### 分析师

分析师 黄文忠

huangwenzhong@gwgsc.com

执业证书编号: S0200514120002

联系电话: 010-68080680

研究助理 刘然

liuran@gwgsc.com

执业证书编号: S0200121070007

联系电话: 010-68099389

公司地址: 北京市丰台区凤凰嘴街2号院

1号楼中国长城资产大厦12层



## 相关报告：

【光伏设备行业深度报告】技术迭代视角的光伏设备投资机会

【双周解惑之光伏系列一】晶体硅光伏电池发电原理——光激发与载流子输运

【双周解惑之光伏系列二】晶体硅光伏电池的载流子收集与效率损失机制

【双周解惑之光伏系列三】晶体硅光伏电池发电原理——转换效率提升方式与计算方法

力方向主要为钢板印刷技术、激光转印以及铜电镀技术，其中钢板印刷技术相对成熟。

◆**IBC：平台型技术，掩膜、激光、刻蚀设备为主要增量。**由于IBC电池是电极结构创新，因此可以和其他类型电池很好的结合，与TOPCon电池结合成为TBC电池，与异质结电池结合成为HBC电池。TBC和HBC可以提高电池转换效率，降低TOPCon和HJT的非硅成本。为制备背面呈叉指式间隔排列的P区和N区，需要用到掩膜、开槽和刻蚀工艺。掩膜工艺所需的PECVD/APCVD设备、激光开槽所需的激光设备、刻蚀所需的湿法刻蚀设备是背接触电池的主要增量设备。

## 投资建议：

当前，光伏电池处于技术迭代的关键时点。TOPCon、异质结以及IBC电池都开始进入产业化阶段，电池厂商在未来一段时间内的资本开支速度将加快，对于光伏设备企业形成需求端的利好。不同设备厂商对于各种电池技术都推出了自己的工艺路线和相应的设备。我们认为**电池设备企业竞争的核心是需要站在电池生产企业的角度，在转换效率和成本间做出平衡，以最大化设备的性价比。**因此对于处于不同产业化阶段的电池技术路线，选择投资标的的侧重点有所差异，对于进入产业化扩大阶段的TOPCon电池，更加侧重于转换效率优势，对于处于产业化初期的HJT电池，更加侧重成本优势。IBC电池并不需要新的设备类型，设备需求取决于电池企业的工艺路径选择，因此推荐在掩膜、刻蚀和激光设备上有技术储备，且具备根据客户需求提供定制化解决方案能力的设备企业。投资标的重点推荐迈为股份、捷佳伟创、帝尔激光。

## 风险提示：

下游厂商扩产不及预期；技术迭代速度不及预期。



## 目 录

<b>1 第一性原理决定 N 型电池是行业发展的必然方向</b> .....	<b>6</b>
1.1 为何是 N 型电池? .....	6
1.2 N 型电池已经具备产业化能力 .....	7
<b>2 TOPCon: 产业化进程领跑, 背钝化层为增量环节, 扩散及 SE 工艺值得期待</b> .....	<b>8</b>
2.1 TOPCon 产业化进程更快, 赢在哪里? .....	8
2.2 背钝化层为增量环节, 技术方案多点开花 .....	11
2.3 硼扩散、SE 制备难度更高, 带来设备的增量空间 .....	13
2.3.1 硼扩散: 设备需求量翻倍, 技术门槛提高进入壁垒 .....	13
2.3.2 SE 制备: 激光设备大有可为 .....	15
<b>3 HJT: 薄膜沉积为核心工艺, 金属化工艺为降本关键</b> .....	<b>18</b>
3.1 短期不具备成本优势, 长期降本路径清晰 .....	18
3.2 薄膜沉积: 异质结核心环节, 降本重要抓手 .....	20
3.3 金属化: 异质结降本的关键环节 .....	25
3.3.1 钢板印刷技术 .....	25
3.3.2 激光转印技术 .....	26
3.3.3 铜电镀技术 .....	27
<b>4 IBC: 平台型技术, 掩膜、激光、刻蚀设备为主要增量</b> .....	<b>30</b>
4.1 平台型技术, 可结合 TOPCon、异质结结合 .....	30
4.2 掩膜、激光、刻蚀设备为主要增量环节 .....	31
<b>5 相关设备公司</b> .....	<b>35</b>
5.1 迈为股份 .....	35
5.2 捷佳伟创 .....	36
5.3 帝尔激光 .....	37



## 图目录

图 1 : P 型硅片和 N 型硅片少数载流子寿命对比 .....	6
图 2 : 相同金属杂质对少子寿命的影响 .....	6
图 3 : 2021-2030 年不同类型硅片市场占比 .....	8
图 4 : 2021-2030 年不同电池技术市场占比 .....	8
图 5 : TOPCon 电池结构示意图 .....	10
图 6 : TOPCon 电池能带结构示意图 .....	10
图 7 : PERC 与 TOPCon 主要工艺流程对比 .....	10
图 8 : TOPCon 电池工艺流程 .....	12
图 9 : 湿法硼扩散设备示意图 .....	15
图 10 : 激光掺杂法示意图 .....	16
图 11 : 氧化物掩膜扩散法制备 SE 示意图 .....	16
图 12 : 离子注入法示意图 .....	17
图 13 : 异质结电池成本构成 .....	18
图 14 : 异质结电池结构示意图 .....	21
图 15 : 异质结电池能带结构示意图 .....	21
图 16 : 异质结工艺路线图 .....	22
图 17 : 板式 PECVD 示意图 .....	23
图 18 : 管式 PECVD 示意图 .....	23
图 19 : 理想万里晖的 U 型串联式 PECVD .....	24
图 20 : INDEOTec 的团簇式 PECVD 设备 .....	24
图 21 : 丝网印刷示意图 .....	25
图 22 : 丝网印刷网版与全开口钢板对比 .....	26
图 23 : 激光转印过程 .....	27
图 24 : 不同凹槽形状形成的栅线 .....	27
图 25 : 铜电镀工艺步骤 .....	28
图 26 : 铜电镀金属化过程 .....	29
图 27 : 铜电镀工艺流程示意图 .....	29
图 28 : IBC 电池结构示意图 .....	30
图 29 : TBC 电池结构示意图 .....	31
图 30 : HBC 结构示意图 .....	31
图 31 : TBC 和经典 HBC 工艺流程 .....	32
图 32 : HBC 叉指式电极制备流程 .....	33
图 33 : Tunnel-HBC 电池结构示意图 .....	33
图 34 : 2015-2021 迈为股份营收及净利润情况 .....	35
图 35 : 2015-2021 迈为股份毛利率及净利率情况 .....	35
图 36 : 2015-2021 捷佳伟创营收及净利润情况 .....	36
图 37 : 2015-2021 捷佳伟创毛利率及净利率情况 .....	36
图 38 : 2015-2021 帝尔激光营收及净利润情况 .....	37
图 39 : 2015-2021 帝尔激光毛利率及净利率情况 .....	37



## 表目录

表 1 : 中环 210 尺寸硅片报价 .....	7
表 2 : 2022 年 TOPCon 产能情况 .....	8
表 3 : 中来 8GW TOPCon 电池设备投资明细 .....	11
表 4 : PERC 与 TOPCon 电池 BOS 成本对比 .....	11
表 5 : 三种设备的情况对比 .....	13
表 6 : 中来股份与晶澳科技电池片项目扩散炉采购成本对比 .....	14
表 7 : 2021 年东方日升 2.5GW 异质结电池项目投资预算 .....	18
表 8 : 国内异质结产能情况 .....	19
表 9 : 部分企业异质结中试线 CVD 设备 .....	22
表 10 : 不同电池技术对比 .....	31
表 11 : 国内背接触电池产能布局情况 (不完全统计) .....	34
表 12 : 迈为股份异质结设备部分中标情况 (仅含已公告订单) .....	35
表 13 : 捷佳伟创产品矩阵 .....	36

## 1 第一性原理决定 N 型电池是行业发展的必然方向

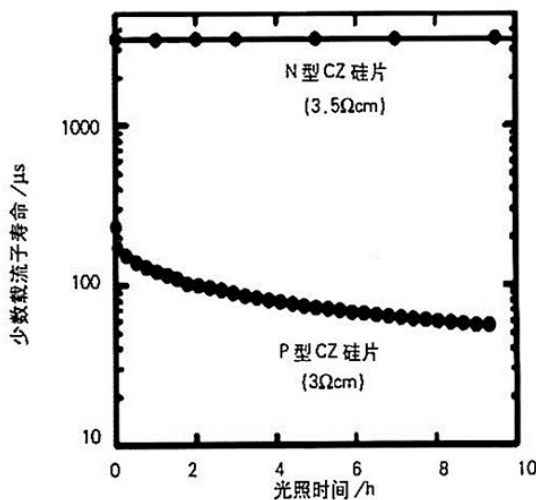
### 1.1 为何是 N 型电池？

降本增效是光伏行业的第一性原理。目前 P 型电池已经接近理论效率天花板，N 型电池的自身物理属性决定了其具有更高的理论光电转化效率。相较于 P 型硅片，N 型硅片具有以下优点：

一是 N 型硅片的少子寿命更高。N 型材料中的杂质对少子（空穴）的捕获能力低于 P 型材料中的杂质对少子（电子）的捕获能力，相同电阻率的 N 型 CZ 硅片少子寿命比 P 型硅片的高出 1~2 个数量级，达到毫秒级，且 N 型材料的少子（空穴）的表面复合速率低于 P 型材料中电子的表面复合速率。

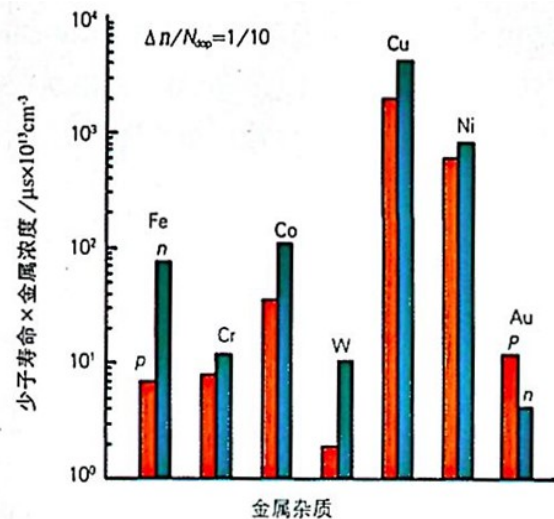
二是 N 型硅片对金属污染的容忍度要高于 P 型硅片。Fe、Cr、Co、W、Cu、Ni 等金属对 P 型硅片少子寿命的影响均比 N 型硅片大。因为带正电荷的金属元素具有很强的捕获少子电子的能力，而对于少子空穴的捕获能力比较弱。在相同金属污染的情况下，N 型硅片的少子寿命要明显高于 P 型硅片。Au 对 N 型硅片的影响要大于 P 型硅片，但目前工业生产中，已经可以充分避免 Au 金属污染。

图 1：P 型硅片和 N 型硅片少数载流子寿命对比



资料来源：《N-type Silicon - the better material choice for industrial high-efficiency solar cells》，长城国瑞证券研究所

图 2：相同金属杂质对少子寿命的影响



资料来源：《N-type Silicon - the better material choice for industrial high-efficiency solar cells》，长城国瑞证券研究所  
说明：图中红色代表 P 型硅，蓝色代表 N 型硅

三是 N 型硅片无光致衰减 (BO-LID) 现象。P 型硅片对应的电池以及组件在光照条件下会产生功率衰减。研究发现导致衰减的原因是硅片内部的 B-O 复合体（硼氧复合体）为复合中心，对少子具有捕获作用。N 型硅片的掺杂元素为磷，从源头上避免了硼氧复合体的产生。



## 1.2 N 型电池已经具备产业化能力

目前，P 型电池占据主要市场份额。从硅片出货量看，2021 年 P 型硅片市场占比为 90.4%，N 型约占 4.1%。在过去 N 型硅片市场占有率偏低的原因主要有两个：

一是 N 型硅片的成本偏高。N 型硅片要求更高的原材料纯度、更低的金属污染和含氧量，需要使用纯度更高的多晶硅料、高纯热场等，这也使得复拉料无法使用、降级片无法重复利用，这些都增加了 N 型硅片的成本。2018 年 N 型硅片成本比 P 型高 8%~10%。

二是 N 型电池的成本较高，技术成熟度较 P 型电池低。以 PERT、TOPCon、IBC、HJT 等为主的 N 型电池设备投资成本高，且选择性发射极的制备、薄膜沉积等关键工艺步骤的技术问题并未完全解决。而 PERC 技术、磷掺杂选择性发射极等技术推动着 P 型晶体硅电池产品的光电转换效率不断提升，使得 P 型电池的性价比一直高于 N 型电池。

上述问题已经从一定程度上得到解决。

N 型硅片与 P 型硅片的成本差距在逐渐缩小。以中环股份 210 尺寸 150 $\mu$ m 厚硅片为例，N 型硅片较 P 型硅片溢价率约为 6%，较 2018 年水平有较大下降。HJT 电池的低温加工工艺更适应薄片化工艺，可进一步降低 N 型硅片的成本溢价。

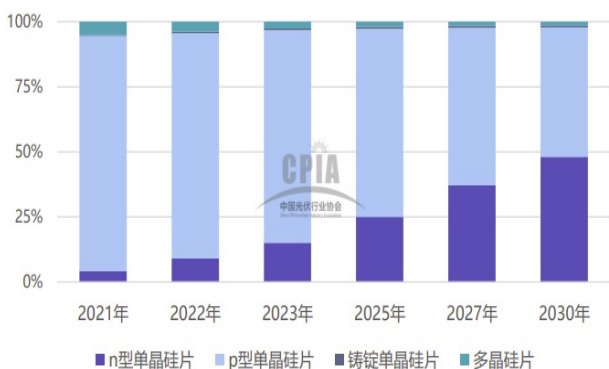
表 1：中环 210 尺寸硅片报价

	硅片厚度	价格（元/片）
N 型硅片	150 $\mu$ m	10.02
	130 $\mu$ m	9.59
P 型硅片	150 $\mu$ m	9.45
	160 $\mu$ m	9.55

资料来源：中环股份，长城国瑞证券研究所  
说明：截至 2022 年 6 月 25 日

TOPCon、HJT、IBC 等电池的技术路线已逐渐成熟，其中 TOPCon 的单瓦成本已几乎追平 PERC 电池。中国光伏行业协会预测未来 N 型硅片市场份额将会逐渐提升，到 2030 年 N 型硅片市场份额将会接近 50% 的水平，以 TOPCon、异质结电池为主的 N 型电池技术市场占比在 2030 年将会接近 70%。

图 3：2021-2030 年不同类型硅片市场占比



资料来源：CPIA，长城国瑞证券研究所

图 4：2021-2030 年不同电池技术市场占比



资料来源：CPIA，长城国瑞证券研究所

## 2 TOPCon：产业化进程领跑，背钝化层为增量环节，扩散及 SE 工艺值得期待

### 2.1 TOPCon 产业化进程更快，赢在哪里？

根据我们的统计，截至 2022 年 6 月 15 日，国内已建成的 TOPCon 产能为 30.55GW，在建/待建产能为 178.8GW。在建产能中，预计有 62.30GW 产能将在年内投产。

表 2：2022 年 TOPCon 产能情况

	产地	项目状态	已建 (MW)	在建/待建(MW)	备注
国电投	西安	投产	400		
韩华	韩国	投产	600	2,500	
鸿禧能源		募资		2,000	
嘉悦	安徽金寨	募资		5,000	
晶澳	河北宁晋	投产	100		
	河北宁晋	在建		1,300	2022 年中投产
	浙江义乌	在建		5,000	2022 年末投产
晶科	浙江海宁	投产	8,000		
	安徽合肥	投产	8,000		
	安徽合肥	在建		8,000	2022 年 4 月公告，两年工期（暂定）
	浙江尖山	在建		11,000	2022 年 6 月 28 日开工
	浙江海宁	规划		11,000	2022 年 7 月 28 日公告
隆基	江苏泰州	投产	100		
	宁夏银川	筹备中		5,000	一期 3GW 筹备中
	陕西西咸	在建		15,000	预计 2022 年四季度开始投产
	云南曲靖	筹备中		10,000	筹备中
尚德	江苏	投产	2000		2022 年 1 月投产
苏州潞能	张家港	开工		1,000	
腾辉		环评通过		1,000	通过环评，尚未开工
天合光能	江苏常州	投产	500		
	江苏宿迁	在建		8,000	预计 2022 下半年逐步投产
	青海西宁	规划		5,000	TOPCon 是优选技术路线
通威	四川眉山	投产	1000		
同翎新能源	江苏高邮	在建		3,000	2022 年底全部投产





	江苏高邮	规划		3,000	
一道新能源	浙江衢州	投产	1250		
	江苏泰州	投产	5000		2022年2月投产
	浙江衢州	在建		5,000	预计2022年投产
中来	江苏泰州	投产	2100		
	江苏泰州	投产	1500		2021年投产
	山西太原	在建		8,000	一期项目, 预计2023年投产
	山西太原	规划		8,000	二期项目, 预计2024年投产
聆达股份	安徽六安	在建		5,000	
钧达股份	安徽滁州	在建		8,000	预计2022年投产
	安徽滁州	规划		8,000	
润阳能源	江苏盐城	在建		10,000	2022年下半年建成投产
沐邦高科	江西安义	规划		8,000	2022年6月3日公告
	广西梧州	规划		10,000	2022年7月20日公告
昱辉光能	江苏盐城	签约		2,000	2022年5月签约
协鑫集成	四川乐山	在建		10,000	一期5GW, 2022年1月公告
合计			30,550	178,800	

资料来源：公司公告，公司官网，环评公告，TrendForce，长城国瑞证券研究所

说明：表中数据为不完全统计，截至2022年6月15日

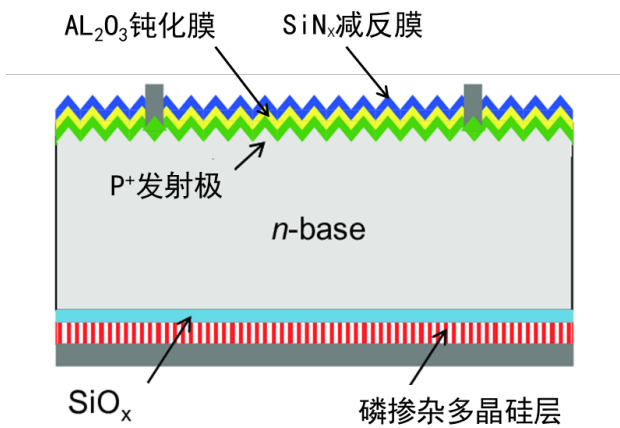
用更小的成本上涨带来更多的效率提升是光伏电池技术迭代的必然路径。更高的理论转化效率、与当前 PERC 产线高度兼容决定了 TOPCon 电池产业化进程会更加领先。

**更高的理论转化效率。**TOPCon 电池效率极限 28.7%，最接近晶体硅太阳能电池理论极限效率 29.43%。TOPCon 背表面创新的采用了一层 1~2nm 厚的氧化硅形成隧穿氧化层，然后在沉积一层磷掺杂的多晶硅层。这种结构通过四种机制对载流子产生选择性：①重掺杂的多晶硅层与衬底的功函数不同，在界面处产生积累层，积累层阻止空穴进入氧化层，帮助电子进入氧化层。②空穴隧穿需要 4.5eV 能量，电子隧穿只需 3.1eV 能量，空穴更难穿过氧化层。③电子准费米能级  $E_{Fn}$  位于多晶硅层的导带附近，可以为隧穿后的电子提供可占据的能级，而空穴的准费米能级  $E_{Fp}$  位于多晶硅层的禁带内，空穴不易隧穿。④场效应钝化减少了空穴浓度，降低了表面复合和 SRH 复合。

以上四种机制大大减少了的少子（空穴）的复合损失，有利于提高填充因子，获得更高的开路电压。

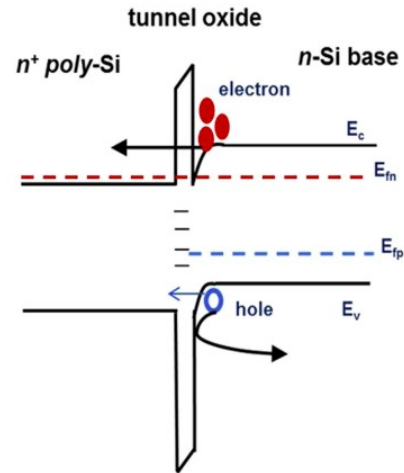


图 5: TOPCon 电池结构示意图



资料来源: CPIA, 长城国瑞证券研究所

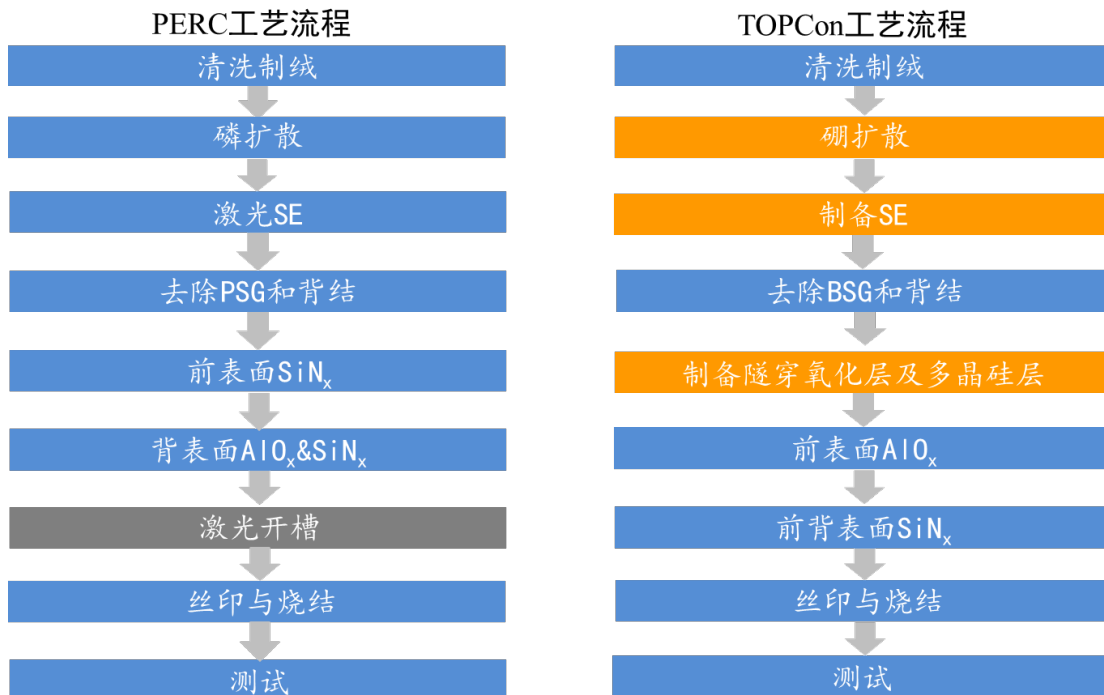
图 6: TOPCon 电池能带结构示意图



资料来源: Journal of Photovoltaics, 长城国瑞证券研究所

与当前 PERC 产线高度兼容。从加工工艺来看, TOPCon 与 PERC 产线兼容度非常高, TOPCon 与 PERC 产线主要的工艺步骤差异为硼扩散、SE 的制备及隧穿氧化层及多晶硅层的制备。TOPCon 背表面为全钝化, 背面无需开槽, 较 PERC 减少了激光开槽步骤。目前 TOPCon 产线可以在 PERC 产线上追加 3,000-4,000 万元/GW 投资进行改造。根据 CPIA 的报告, 2021 年 PERC 电池产线单位投资额为 1.94 亿元/GW, TOPCon 电池产线单位投资额为 2.2 亿元/GW。

图 7: PERC 与 TOPCon 主要工艺流程对比



资料来源: 长城国瑞证券研究所

从设备投资构成来看, TOPCon 电池产线中的硼扩散设备、隧穿氧化层及多晶硅层沉积设

备、前背表面钝化膜设备（沉积 SiN<sub>x</sub>、沉积 AlO<sub>x</sub>）为主要支出项，占比分别约为 14%、19%、23%。

表 3：中来 8GW TOPCon 电池设备投资明细

工艺步骤	设备名称	总投资（万元）	单位投资（万元/GW）	投资占比（%）
清洗制绒	清洗设备	3,960.00	1,080.00	4.9%
	制绒设备	4,680.00		
硼扩散	扩散设备	24,100.00	3,012.50	13.6%
去除 BSG 和背结	刻蚀设备	6,800.00	850.00	3.8%
制备隧穿氧化层及多晶硅层	POPAID 设备	34,500.00	4,312.50	19.4%
沉积 SiN <sub>x</sub>	PECVD 设备	27,880.00	3,485.00	15.7%
沉积 AlO <sub>x</sub>	ALD 设备	12,750.00	1,593.75	7.2%
丝印/烧结/测试	印刷/烧结/测试	29,043.00	3,630.38	16.3%
	自动化产线	16,000.00	2,000.00	9.0%
	自他辅助设备	1,850.50	231.31	1.0%
	工程安装费用	16,106.35	2,013.29	9.1%
合计		177,699.85	22,208.73	100%

资料来源：中来股份，长城国瑞证券研究所

**TOPCon 电池在 BOS 端性价比已经超过 PERC。**在 N 型 TOPCon 电池效率较 PERC 电池高 1%，其他条件完全相同的情况下，TOPCon 组件发电功率较 PERC 高 3.6%。由此可以节省土地、线缆、人工等系统成本，最终带来 BOS 成本下降约 3.5%。以 100MW 的地面电站为例，预计可节约 BOS 成本 0.07 元/W。

表 4：PERC 与 TOPCon 电池 BOS 成本对比

技术类型	单位	单晶双面 PERC	N 型 TOPCon
电池效率	%	23.50	24.50
电池尺寸	mm	182	182
组件功率（72 片）	W	550	570
双面率	%	65	80
单串组件数量	片	28	28
支架	-	单轴 1P 跟踪支架	单轴 1P 跟踪支架
逆变器	-	组串逆变器	组串逆变器
BOS 成本	%	基准	96.49

资料来源：一道新能源，长城国瑞证券研究所

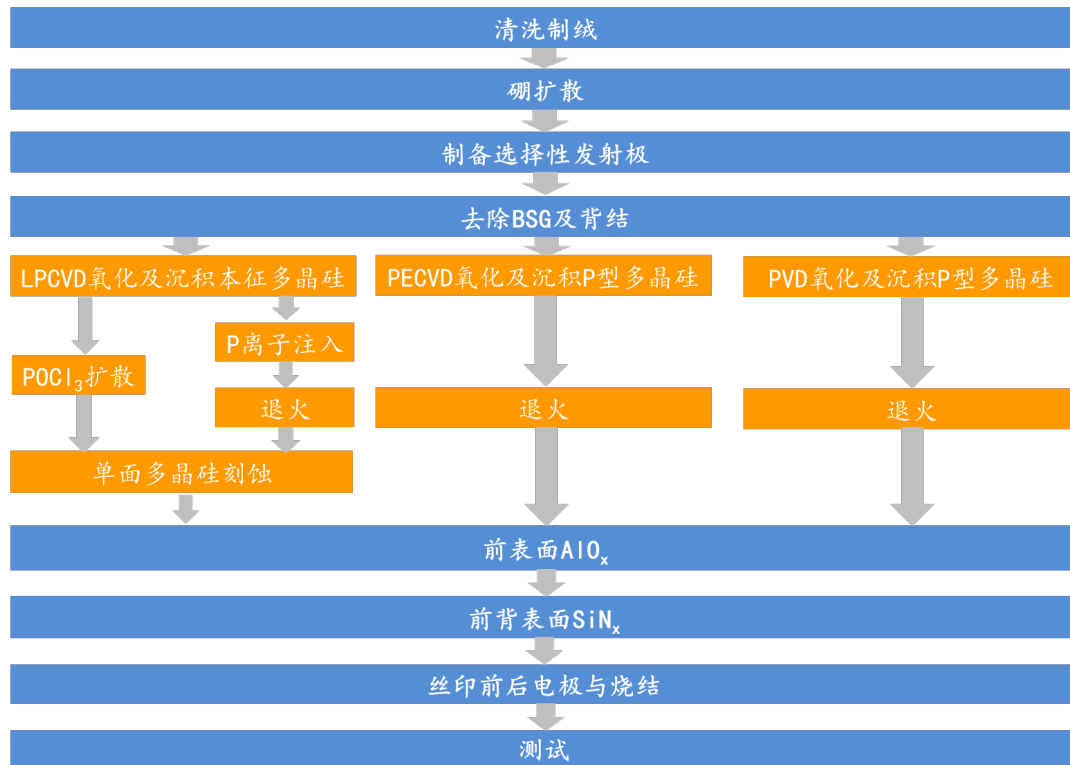
## 2.2 背钝化层为增量环节，技术方案多点开花

在 TOPCon 的核心加工工艺隧穿氧化层及多晶硅层沉积上，目前有四种工艺路线：（1）LPCVD 制备多晶硅膜结合传统的 POCl<sub>3</sub> 全扩散工艺；（2）LPCVD 制备多晶硅膜结合离子注入磷工艺；（3）PECVD 制备多晶硅膜并原位掺杂工艺；（4）PVD 制备多晶硅膜并原位掺杂工



艺。采用 PECVD 和 PVD 方法可以一次性完成氧化硅膜和多晶硅膜的制备。

图 8：TOPCon 电池工艺流程



资料来源：中科院电工所，长城国瑞证券研究所

以上四种工艺路线也可进行相互组合，如中来股份研发的 POPAID（等离子氧化及等离子辅助原位掺杂技术）技术采用 PECVD 制备隧穿氧化层+PVD 原位掺杂多晶硅层。

目前来看，LPCVD 沉积的薄膜质量更高，较 PECVD 设备有 0.2%-0.3% 的转换效率优势，是晶科能源已投产项目的主要工艺路径。若采用  $\text{POCl}_3$  扩散进行多晶硅层沉积，可以使用 PERC 产线的扩散炉，更适合 PERC 产线升级改造。LPCVD 设备的缺点在于沉积过程中存在绕镀，且无法实现原位掺杂，因此需要在完成背钝化层沉积后增加磷掺杂和正面多晶硅刻蚀两个工艺步骤，会一定程度上降低生产效率。此外 LPCVD 设备沉积过程中温度较高，石英舟和石英管有隐裂和碎管的情况出现，需要定期更换，后期加工成本更高。

PECVD 设备的优点在于沉积速率快，能够实现原位掺杂，可以大大提高生产效率。隧穿氧化层的厚度为 1-2nm，PECVD 设备由于沉积速度较快，对隧穿氧化层均匀性的控制存在一定难度。多晶硅层沉积则不存在这种问题。PECVD 设备的主要缺点是存在一定的绕镀，在沉积完成后往往也需要增加多晶硅刻蚀工艺。

PVD 设备的优点在于无绕镀，可以实现原位掺杂，但设备投资额偏高。中来股份采用了 PVD 设备原位掺杂沉积多晶硅层。

表 5：三种设备的情况对比

	LPCVD	PECVD（管式）	PVD
设备投资	低	低	高
绕镀	严重	小	无
不同尺寸兼容性	适中	适中	高
产能	高	适中	高
原位掺杂	较难	容易，SiH <sub>4</sub> +PH <sub>3</sub>	容易，硅靶+PH <sub>3</sub>
膜层质量	较好	一般，易爆膜	较好
耗气量	低	高	低
特气	SiH <sub>4</sub> 、PH <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub> 、PH <sub>3</sub> /B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 、H <sub>2</sub>	PH <sub>3</sub>
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
优点	工艺成熟度高 气体用量小 成膜质量高 设备投资少 占地面积小	工艺时间短（沉积速率快） 易原位掺杂 占地面积小	无绕镀 工艺时间短 易原位掺杂 硅片尺寸兼容度高
缺点	绕镀 原位掺杂难 能耗大 石英耗材成本较高 不同尺寸硅片兼容性差	一定程度绕镀 膜层均匀性较差 易爆膜 气体用量大 不同尺寸兼容性差	设备投资大 占地面积大

资料来源：普乐新能源，长城国瑞证券研究所

目前来看，LPCVD 由于工艺相对成熟，在已建成的产线中应用比例更高，PECVD 和 PVD 设备因其更高的生产效率在较多试验线中处于工艺调试阶段。三种设备各有优劣，不同电池片企业在工艺路线选择上各有不同。

从设备投资额看，隧穿氧化层及多晶硅层的设备投资额约为 4,500-5,000 万元/GW，仅在建产能带来的增量设备市场空间为 80.46 亿元-89.40 亿元。

## 2.3 硼扩散、SE 制备难度更高，带来设备的增量空间

### 2.3.1 硼扩散：设备需求量翻倍，技术门槛提高进入壁垒

磷原子半径为 0.110nm，硼的原子半径为 0.082nm，硅原子半径为 0.118nm，相对于磷，硼与硅的不匹配比例为 0.75，在扩散过程中产生晶格张力，导致硼在硅中的扩散速率与固溶度要大幅低于磷。因此 N 型硅片硼扩散制备发射极的难度要大大高于 P 型硅片的磷扩散。

硼扩散炉需求量较 PERC 产线翻倍。为了让硼达到理想的掺杂浓度，需要更高的扩散温度和扩散时间，这使得在硼扩散这一工艺步骤对与扩散炉的需求较传统 PERC 产线翻倍。从中来股份和晶澳科技两个电池片项目的扩散炉采购金额看，中来股份的单位投资成本为 3012.5 万元/GW，晶澳科技的单位投资成本为 1528.8 万元/GW。

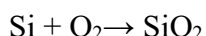
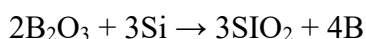
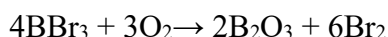
表 6：中来股份与晶澳科技电池片项目扩散炉采购成本对比

项目名称	电池类型	扩散炉（含自动化） 采购金额（万元）	单位投资金额（GW/万元）
中来股份 16GW 高效单晶电池智能工厂项目(一期 8GW)	TOPCon	24,100	3,012.5
晶澳科技年产 5GW 高效电池项目	PERC	7,644	1,528.8

资料来源：中来股份公告，晶澳科技公告，长城国瑞证券研究所

说明：中来股份为 2021 年定向增发项目、晶澳科技为 2020 年非公开发行项目

**硼扩散提高了技术门槛。**目前高温硼扩散采用的硼源主要为氯化硼( $\text{BCl}_3$ )和溴化硼( $\text{BBr}_3$ )。 $\text{BCl}_3$  常温下为气体，具有一定的安全隐患，且反应生成的  $\text{Cl}_2$  腐蚀性更强，容易造成金属污染。 $\text{B-Cl}$  键能更大，在相同扩散温度下， $\text{BCl}_3$  较  $\text{BBr}_3$  的利用率低。这些限制了  $\text{BCl}_3$  的使用。 $\text{BBr}_3$  常温下为气态，由氮气携带进入高温石英管，高温下先与氧气反应生成液态  $\text{B}_2\text{O}_3$ ，经氮气携带沉积在硅片表面并与硅反应生成硼原子，沉积过程发生的具体化学反应过程为：

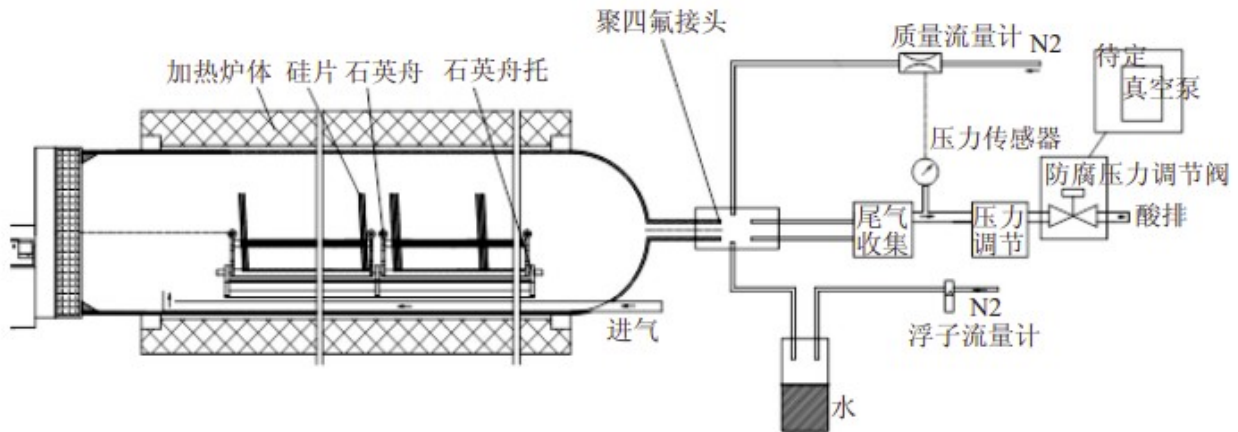


工艺上看，硼扩散的技术难点在于：（1）扩散温度一般在  $850\sim 1100^\circ\text{C}$ ，在这一温度下， $\text{B}_2\text{O}_3$  为液态，无法像气体一样自由扩散，受自身重力影响，硅片表面沉积的  $\text{B}_2\text{O}_3$  质量分布极不均匀，不利于硅片表面的均匀掺杂；（2） $\text{B}_2\text{O}_3$  对石英器件有很强的腐蚀作用，且温度越低粘稠度越高，低温下石英表面易形成硼硅玻璃，在石英炉门开关过程中极易粘接破坏石英舟，提高生产成本；（3）当表面硼掺杂量较多时极易造成硼在界面处的堆积，从而形成 BRL(BoroNRichLayer)，对湿法刻蚀清洗工艺带来很大的挑战，所以对预沉积过程的通源扩散工艺提出了很高的要求，源流量不宜过大。

上述三个问题的本质是  $\text{B}_2\text{O}_3$  在扩散温度下为液态，使  $\text{B}_2\text{O}_3$  气态化是解决上述问题的根本方法。目前的一种解决方案是采用低压硼扩散炉，降低  $\text{B}_2\text{O}_3$  的沸点，使其在扩散温度下成为气态。另一种解决方案是采用湿法硼扩散设备，在沉积过程中通入适当水蒸气将  $\text{B}_2\text{O}_3$  变为气态  $\text{HBO}_2$ ，改变中间产物类别，避免上述问题的产生。



图 9：湿法硼扩散设备示意图



资料来源：中电科四十八所，长城国瑞证券研究所

总的来说，硼扩散对设备需求总量大幅提升，同时技术难度提升会一定程度上影响扩散设备的竞争格局。

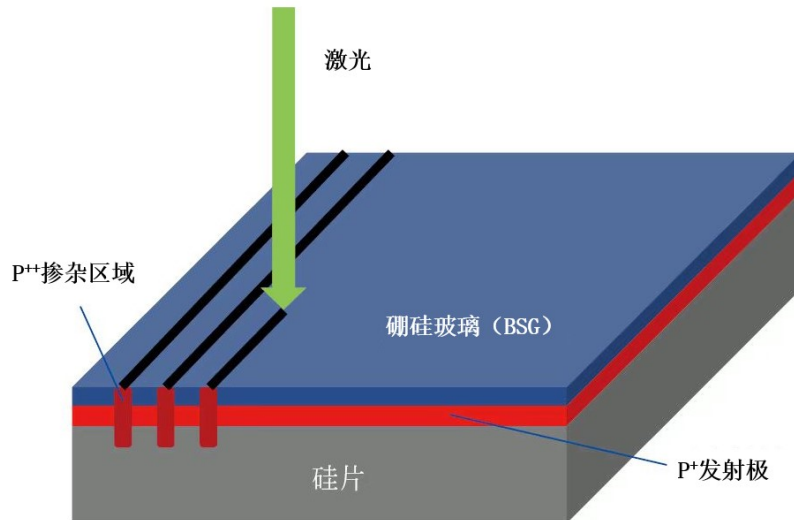
### 2.3.2 SE 制备：激光设备大有可为

PERC 电池的选择性发射极制备普遍是利用激光照射磷扩散后在硅片表面形成的磷硅玻璃，形成局部重掺杂。此方法仅需增加一套激光设备，投资成本低且生产效率高，成为了行业的首选。

**N 型电池激光掺杂难度更高。**N 型电池的选择性发射极制备需要进行硼扩散，上文提到硼的扩散速率低，采用激光掺杂需要更高的功率以及更长的照射时间，会对硅片造成一定的损伤，带来的效率提升较小甚至负提升。如何在保证硼掺杂浓度的情况下，最大程度减少对硅片的损伤是激光掺杂设备的核心研发方向。



图 10：激光掺杂法示意图



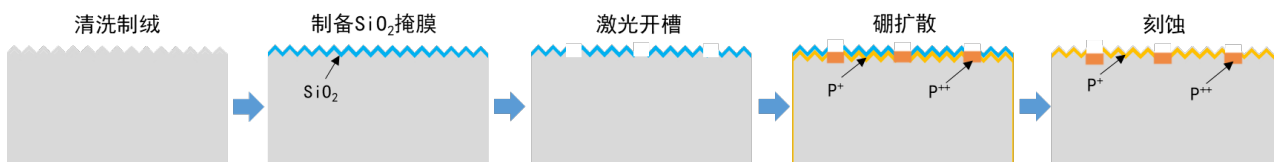
资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》，长城国瑞证券研究所

除了激光掺杂外，选择性发射极制备的其他工艺路线包括丝网印刷硼浆法、氧化物掩膜扩散法以及离子注入法等。

**丝网印刷硼浆法。**这种方法首先在 N 型衬底的正面进行硼扩散，然后在衬底正面电极对应的区域内丝印硼浆，接着经过高温退火和硼浆清洗，在正面电极相对应的区域内形成 P<sup>++</sup>掺杂区，其他区域内形成 P<sup>+</sup>掺杂区。丝网印刷硼浆法的缺点主要包括以下三点：（1）硼浆价格较贵；（2）硼浆会污染炉管，且硼浆去除也是一个问题；（3）需要增加退火设备，增加设备投资成本。

**氧化物掩膜扩散法。**这种方法是在清洗制绒后，在硅片表面制备一层薄的 SiO<sub>2</sub> 膜，然后用激光在金属电极对应区域进行开槽，随后在扩散炉进行扩散，最后形成开槽区域重掺杂，其他区域轻掺杂的选择性发射极。氧化硅薄膜可以由扩散炉制备，只需增加激光开槽设备。

图 11：氧化物掩膜扩散法制备 SE 示意图



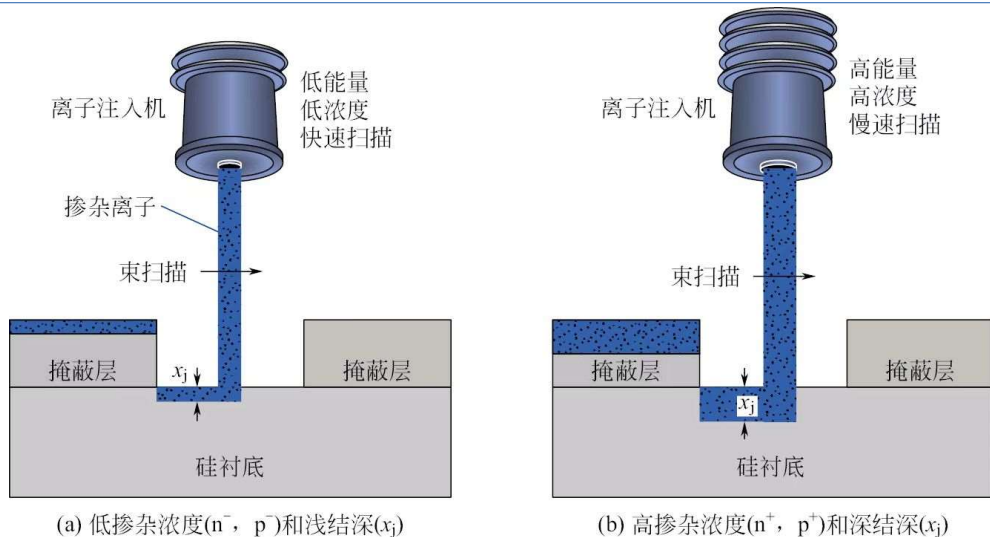
资料来源：长城国瑞证券研究所





**离子注入法。**这种方法是在硅片的表面附上一个掩膜板（一般采用石墨材料）遮挡离子源，通过电场将离子加速，直接注入硅片未被掩膜板遮挡的区域。掺杂的原子通常是未激活的，以原子基团的形式注入硅片表面，同时硅片表面由于受到高能量离子的轰击而非晶化，所以离子注入后需要经过高温退火。退火既可以修复表面的损伤层，又可以激活掺杂原子，并且在表面形成一层氧化膜。离子注入法需要离子注入机，设备成本高，性价比较低。

图 12：离子注入法示意图



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》，长城国瑞证券研究所

综合来看，离子注入法和丝网印刷硼浆法由于自身的缺点，难以在工业生产中广泛使用。激光掺杂法和氧化物掩膜扩散法最有可能被广泛使用，虽然两者的工艺存在较大差异，但从设备端来讲，都需要在常规产线上增加激光设备。激光直接掺杂法的技术难度更高，相较于氧化物掩膜扩散法的激光开槽设备会有一定的溢价。

我们建议关注在光伏激光设备有较多积累的相关企业，尤其是在激光直接掺杂设备上有较大突破的公司。



### 3 HJT：薄膜沉积为核心工艺，金属化工艺为降本关键

#### 3.1 短期不具备成本优势，长期降本路径清晰

目前来看，异质结电池的单位成本不具备比较优势，主要原因是异质结设备单位投资成本较高、浆料成本高。

设备投资额远超 PERC 和 TOPCon。2021 年东方日升异质结产线的单位设备投资预算为 4.82 亿元/GW。目前异质结产线单位投资成本已有一定程度的下降，约为 4-4.5 亿元/GW，相比于 PERC 产线的 1.9 亿元/GW 和 TOPCon 的 2.2 亿元/GW，仍然较高。

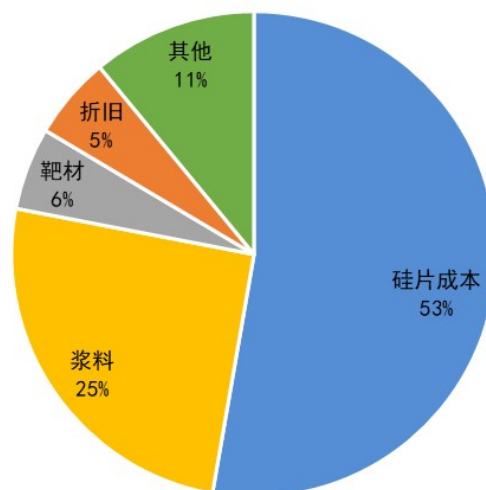
表 7：2021 年东方日升 2.5GW 异质结电池项目投资预算

	清洗制绒	PECVD 设备	PVD 设备	丝网印刷	测试分选及其他辅助设备	合计
总价（万元）	13,200	63,000	20,000	14,000	10,200	120,400
单位投资成本（万元/GW）	5,280	25,200	8,000	5,600	4,080	48,160
设备投资占比	10.96%	52.33%	16.61%	11.63%	8.47%	100%

资料来源：东方日升公告，长城国瑞证券研究所

银浆耗量高提高生产成本。从单瓦银浆耗量对比来看，现在 PERC 电池的银浆耗量约 15mg/w，TOPcoN 约为 20mg/w，HJT 为 25-30mg/w，几乎是 PERC 的两倍。异质结的低温工艺需要使用低温银浆，进一步提升了浆料成本。异质结电池的浆料成本占总成本的 25%左右。

图 13：异质结电池成本构成



资料来源：SolarZoom，长城国瑞证券研究所

异质结效率的提升目前难以对冲成本的提高，在组件端的单位成本并未形成优势，大规模量产需要成本端下降一定幅度后才可实现。这点从异质结现有产能情况上可以得到验证，根据我们的不完全统计，目前异质结的投产产能仅为 8.1GW，且多数为中试线。异质结降本路线清

晰，未来潜能较大，国内的规划产能达到了 162.7GW。

表 8：国内异质结产能情况

企业名称	产地	项目状态	已建 (MW)	在建/待建 (MW)	备注
阿特斯		投产	250		
爱康科技	浙江湖州	投产	250	1,750	
	江苏泰州	设备定标		6,000	
	浙江长兴	开工		8,000	预计 2022 年底实现 2GW 产能
	江西赣州	规划		5,000	
爱旭	-	投产	200		
	陕西千阳	在建		2,000	一期 1GW，预计 2022 年 12 月建成
比太新能源	安徽蒙城	备案		1,000	
东方日升	江苏常州	投产	500		
	江苏常州	在建		4,000	
	浙江宁海	在建		5,000	预计 2023 年 4 月投产
	浙江义乌	在建		5,000	
高登赛能源&水发集团	辽宁阜新	规划		1,000	
水发集团	山东东营	规划		5,000	2022 年 4 月签约
国家电投	江西南昌	投产	100		
国家电投&钜能电力	福建莆田	规划		5,000	
国投电力&金石能源	河北张家口	规划		1,500	
海泰新能	江苏盐城	规划		10,000	2021 年 10 月签约
海源复材/赛维	江苏高邮	在建		600	计划 2022 年 10 月进行产线调试
华晟新能源	安徽宣城	投产	2,700		2022 年 6 月投产
	安徽宣城	在建		4,800	预计 2023 年 Q3 进行设备调试
	云南大理	规划		5,000	2022 年 5 月签约
	浙江舟山	厂房招标		12,000	2022 年 5 月进行厂房招标
淮宁能源科技	江苏盐城	开工		2,000	
金刚玻璃	江苏吴江	投产	1200		
	甘肃酒泉	规划		4,800	2022 年 6 月公告，项目建设周期 18 个月，分两期建成。
晋能	山西太原	投产	200	800	
晶澳	江苏扬州	规划		200	
隆基乐叶	陕西西安	投产	200	1,200	
钜能电力	福建莆田		600	1,000	
钧石能源	福建漳州	部分投产	500	1,500	
	浙江舟山	签约		10,000	
明阳智能	江苏盐城	设备定标		5,000	2021 年 5 月公告，预计 2025 年全部投产
润阳&捷佳伟创	江苏盐城	设备签约		5,000	
山煤国际	山西太原	规划		10,000	
苏州潞能	江苏张家港	开工		1,000	预计 2022 年投产
唐正能源	山东东营	签约		500	
中利集团	江苏常熟	规划		1,000	2020 年非公开发行募资项目，后续发行终止。
	河北阜平			5,000	异质结电池产能分两期建设，一期



					2GW 于 2023 年 6 月建设
天合光能		规划		250	
通威	四川成都	投产	1,000		
	安徽合肥	投产	200		
中威	四川成都	投产	200	800	200MW2019 年投产
中建材	江苏江阴	签约		5,000	
中天华昱光电	江西上饶	设备采购		5,000	
金阳新能源	福建南安	规划		20,000	2022 年 7 月公告
合计			8,100	162,700	

资料来源：TrendForce，各公司公告，各公司官网，环评公告，长城国瑞证券研究所

异质结的降本路径主要有三个方向：

(1) 薄片化可大幅降低硅片成本。异质结电池采用低温工艺，加工温度在 200°C 以下，且采用上下对称结构，不会出现 PERC 和 TOPCon 电池在高温烧结过程中因材料热膨胀系数不同而出现的曲翘、碎片现象，可以通过降低硅片厚度大幅降低硅片成本。目前主流 PERC 电池片厚度在 160-170 $\mu\text{m}$ ，下降空间十分有限，而异质结电池厚度未来有望降至 130 $\mu\text{m}$ ，使得硅片成本下降 20% 左右；

(2) 降低浆料成本。为降低异质结电池银浆消耗量，目前有多种技术路线在研发之中：在工艺方面，如采用丝网印刷结合多主栅 (MBB) 技术、激光转印技术、铜电镀技术等；在浆料方面如银包铜等；

(3) 设备降本潜力大。异质结仍处于市场化的早期阶段，设备端仍有较大的降本空间。设备的降成本来自于两个方面：一是设备端企业扩大产能带来的规模效应；二是设备生产效率提高带来的单位投资成本降低。

设备端可以从浆料和减少初始投资两个方面助力成本降低，对于异质结电池的大规模产业化有着重要意义。

### 3.2 薄膜沉积：异质结核心环节，降本重要抓手

异质结电池结构是在 N 型硅片上下表面沉积大约 5nm 厚的本征非晶硅层 (a-Si:H)，随后在前表面沉积大约 10nm 厚的硼掺杂 P 型非晶硅层 (P 型 a-Si:H)，在背表面沉积大约 10nm 厚的磷掺杂 N 型非晶硅层 (N 型 a-Si:H)，再在上下表面沉积透明导电氧化物层 (TCO)，最后制备金属栅线。

非晶硅的禁带宽度在 1.72eV 左右，有利于异质结电池获得更大的开路电压，且能够帮助异质结电池实现较好的载流子选择性。由于 a-Si 的带隙大于 c-Si (禁带宽度为 1.12eV)，在正面结和背面结处都会由于能带失配而形成导带带阶  $\Delta E_C$  和价带带阶  $\Delta E_V$ 。在正面，较大的  $\Delta E_C$  对电子会产生一个很高的势垒，形成电子反射镜，使得电子只能被集电极收集。在背面， $\Delta E_V$

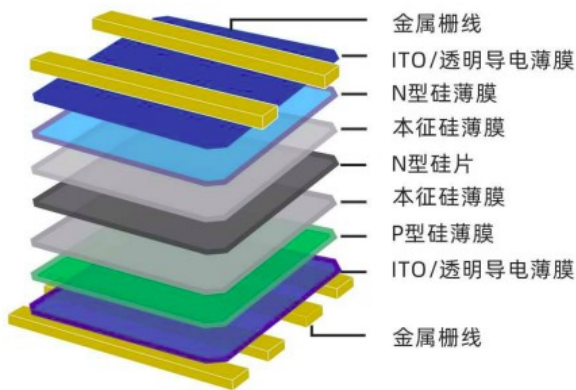


对空穴形成反射，使得空穴只能在正面结被收集。背面结导带带阶  $\Delta E_C$  较小（大约是  $\Delta E_V$  的三分之一），不对电子向背面接触的传输构成阻碍，因此背面 a-Si:H(i/N) 给电子输运提供了优异的后接触，给空穴的反射提供了优异的钝化。非晶硅内部的缺陷较多，且电导率低，为了减少载流子的缺陷复合和非晶硅层的寄生光吸收，需要将非晶硅薄膜层的厚度控制在 10-15nm 左右。

TCO 层的作用主要有两个：（1）增加横向导电性。非晶硅薄膜层的横向电阻较大，电极无法从发射极收集足够电流，需要 TCO 层增加横向导电性；（2）减反射。和 PERC 电池的  $\text{SiN}_x$  功能类似。

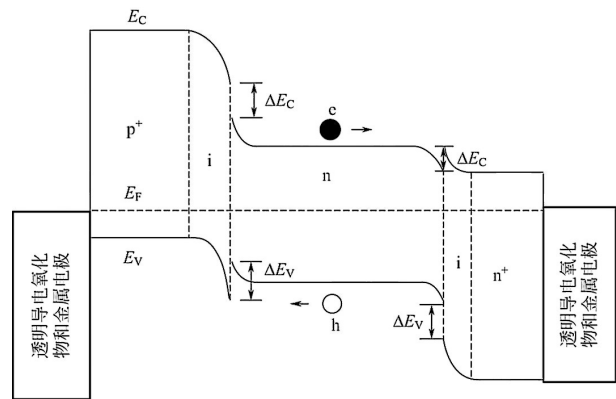
非晶硅层和 TCO 层决定了异质结电池的质量，因此薄膜沉积是异质结电池的核心环节。

图 14：异质结电池结构示意图



资料来源：钜能电力，长城国瑞证券研究所

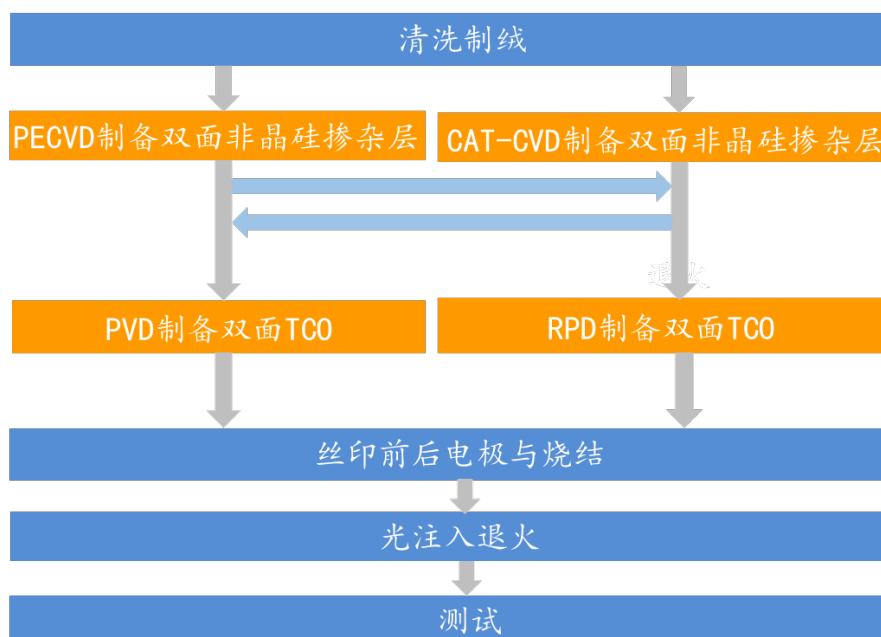
图 15：异质结电池能带结构示意图



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》，长城国瑞证券研究所

非晶硅层和 TCO 层的沉积都有两条技术路线。非晶硅层主要是采用等离子体增强化学气相沉积（PECVD）和热丝化学气相沉积（CAT-CVD），TCO 层主要是反应等离子体沉积（RPD）和物理化学气相沉积（PVD，以磁控溅射为主）。

图 16：异质结工艺路线图



资料来源：《太阳能》，长城国瑞证券研究所

在非晶硅层沉积方面，PECVD 优点是沉积速度快、膜均匀性好，缺点是等离子体对硅片表面产生轰击。CAT-CVD 是利用高温热丝催化作用使  $\text{SiH}_4$  分解从而制备硅薄膜，优点是对界面轰击较小，薄膜质量好，硅片钝化效果好，但是其均匀性较差，且维护成本较高。目前来看，PECVD 设备为市场主流，国内的理想万里晖、福建钧石、捷佳伟创、迈为股份都实现了该设备的量产能力。

表 9：部分企业异质结中试线 CVD 设备

企业	HJT 产能	模式	CVD 设备	节拍	单产	台数
金石能源	600MW	PECVD	钧石能源	/	—	/
泰兴中智	160MW	Cat-CVD	日本真空	2,400 wPh	80MW	2
山西晋能	200MW	PECVD	AM	2,400wPh	100MW	1
中威	200MW	PECVD	理想	3,200wPh	100MW	2
合肥通威	250MW	PECVD	迈为	5,000wPh	100MW	1
国电投	100MW	PECVD	AM	2,800wPh	100MW	1
东方日升	60MW	PECVD	理想	2,400wPh	60MW	1
爱康	200MW	PECVD	AM	2,400wPh	100MW	2
华晟	350MW	PECVD	迈为	8,000wPh	350MW	2
	150MW	PECVD	理想	4,500wPh	150WM	1
阿特斯	250MW	PECVD	迈为	8,000wPh	250MW	1
通威	1,000MW	PECVD	迈为	8,000wPh	350MW	1
			理想	4,500wPh	150MW	1
			钧石	5,200wPh	250MW	2



合计	3,250MW				
----	---------	--	--	--	--

资料来源：CPVS、长城国瑞证券研究所

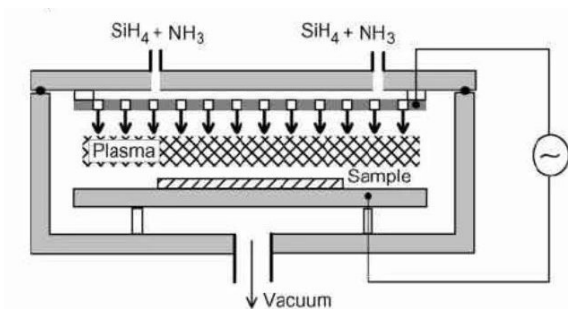
我们认为工艺路线之争并不是当前阶段非晶硅层沉积环节的主要矛盾，如何降低设备的投资成本推动异质结电池加快市场化进程才是当前设备厂商竞争的核心。非晶硅沉积设备占异质结设备总成本的比重在 50%左右，降低 PECVD 设备成本对于降低设备总成本意义重大。提高设备生产能力与降低单位投资成本是一个硬币的两面，因为设备生产能力提高可以减少单位产能的设备需求量。为提高设备生产能力，目前业界有以下几个方向：

### (1) 管式 PECVD

目前主流沉积非晶硅层的 PECVD 设备均为板式 PECVD，主要原因在于板式 PECVD 设备使用频率更高的射频等离子体源，对硅片产生轰击较小，生产的电池具有效率优势。但板式 PECVD 设备采用平板式载板，基片平摊在载板上，使得 PECVD 设备的占地面积大，产能相对较低，设备投资成本高。

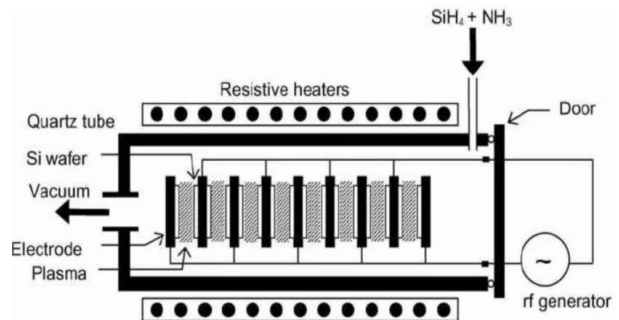
管式 PECVD 设备采用石墨舟结构，单批次装片量大，生产效率更高，提高产能容易，可以大幅降低设备投资成本。生产管式 PECVD 的难点在于，石墨舟结构在高频电源下工作不稳定，在生产中往往使用中频等离子源，频率越低对于硅片的损伤越重，因此管式 PECVD 的薄膜沉积质量往往不如板式 PECVD。

图 17：板式 PECVD 示意图



资料来源：中科院电工所，长城国瑞证券研究所

图 18：管式 PECVD 示意图



资料来源：中科院电工所，长城国瑞证券研究所

管式 PECVD 设备的占地面积更小、单台设备产能更高，能够大幅降低设备投资成本，能够一定程度解决当前异质结电池设备投资成本较高的问题，研发的重点在于如何降低硅片损伤。捷佳伟创的管式 PECVD 已经量产定型阶段，有望将异质结电池投资成本降至 3.5 亿元/GW。

### (2) 多层复合膜技术

由于本征非晶硅和掺杂非晶硅膜层厚度不一样，沉积所需时间也不同，这会带来生产节拍的不一致。迈为股份提出一种新的方法，将掺杂非晶硅层分别在 4 个腔室中镀制，匹配不同膜



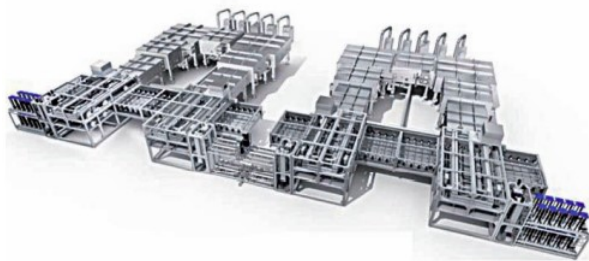
层的生产节拍，提高硅片通量，进而提高设备的产能。此外，分开镀膜可以将一层薄膜分成不同的子膜层，可以在掺杂浓度、氢稀释率、温度、功率、压强等多种参数都有所变化，从而分区优化各部分的功能，提高膜层的性能。

### (3) 改变设备构型

PECVD 设备主要有线性串联式和团簇并联式两种构型。线性串联式是将每个沉积腔室按顺序串联起来，按照工艺顺序依次沉积。这种构型是目前国内企业普遍采用的，如迈为股份、理想万里晖等，优点是结构简单，传递容易，通常以轮轨传递即可。这种构型的缺点主要有两个：一是各个腔室的节拍固定，因此在调整某一个腔室的沉积工艺参数时，不仅对该腔室的沉积速率产生影响，也会打乱整个工艺流程的时间序列，从而影响产线的产能；二是一旦有一个腔室出现问题，整个产线就会停下来，从而影响整个产线的开机率。

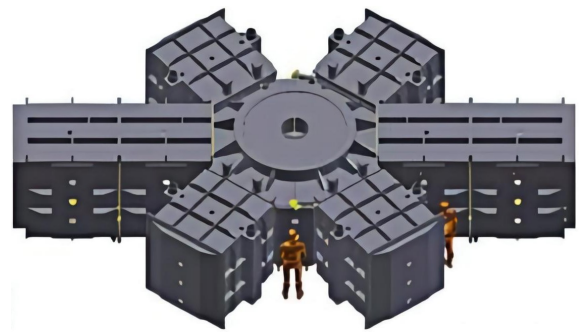
团簇并联式的设备的优点是工艺灵活，各个腔室之间相互影响小，一个腔室参数变化不会影响其他腔室镀膜速率，设备的开机率高，但其需要机械手在不同腔室间传递电池片，传递工艺复杂。团簇式设备目前只有部分国外厂商采用，如 INDEOTec、应用材料、日本真空。

图 19：理想万里晖的 U 型串联式 PECVD



资料来源：理想万里晖，长城国瑞证券研究所

图 20：INDEOTec 的团簇式 PECVD 设备



资料来源：INDEOTec 官网，长城国瑞证券研究所

TCO 薄膜沉积环节也有两种技术路线：PVD（物理气相沉积）和 RPD（反应等离子体沉积）。PVD 设备原理是用辉光放电的等离子体在磁场约束下轰击靶材，将靶材分子（主要为 ITO）溅射到衬底上。由于衬底直接暴露在等离子体中，而 HJT 的非晶硅层厚度只有 10-15nm，等离子体对于电池表面的轰击对于性能影响较大。

RPD 设备用磁场将离子偏转后轰击靶材，避免了衬底暴露在等离子体中，减少了非晶硅层的损伤。RPD 设备匹配的靶材为 IWO（INO+WO），沉积的透明导电层结晶度高，有更好的透明度和电导率。RPD 方法生产的异质结电池比 PVD 方法转换效率提高 0.5%-1%。RPD 设备为日本住友公司开发，目前将中国的制造、销售和二次开发权转让给捷佳伟创。



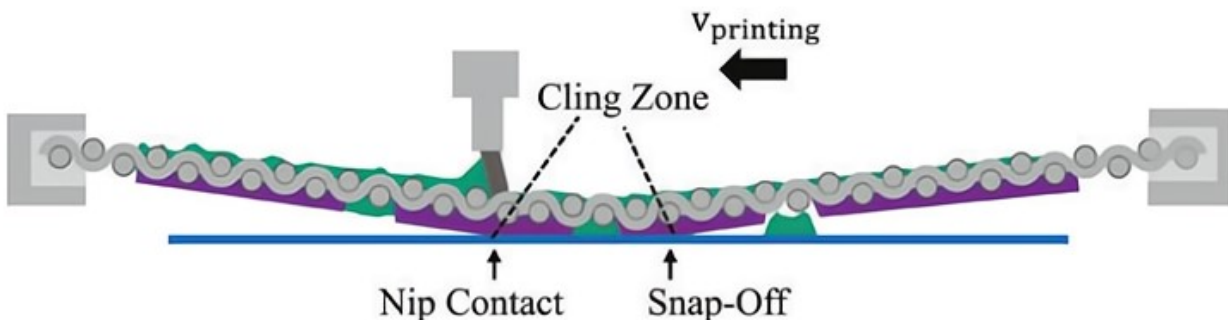
### 3.3 金属化：异质结降本的关键环节

金属化对于推动异质结成本的下降体现在降低银浆使用量上，设备的发力方向主要为钢板印刷技术、激光转印以及铜电镀技术。钢板印刷和激光转印是通过降低栅线宽度，提高高宽比的方式降低银浆使用量。铜电镀技术是使用贱金属铜替代银来降低银浆使用量。

#### 3.3.1 钢板印刷技术

钢板印刷是在丝网印刷的基础上演变来的，两者的区别主要是网版不同。丝网印刷的网版是由不锈钢织成的网纱上覆盖一层PI（聚酰亚胺）膜，根据栅线图形在网版上开口制成的。印刷时刮刀将网版上的浆料通过开口处转移至电池片上。丝网印刷的电极形状和网版张力、膜厚度、刮刀压力、刮刀速度、下刀及离刀迟滞时间以及浆料特性有关。目前丝网印刷的栅线宽度约为  $40\mu\text{m}$ ，下降空间有限。

图 21：丝网印刷示意图



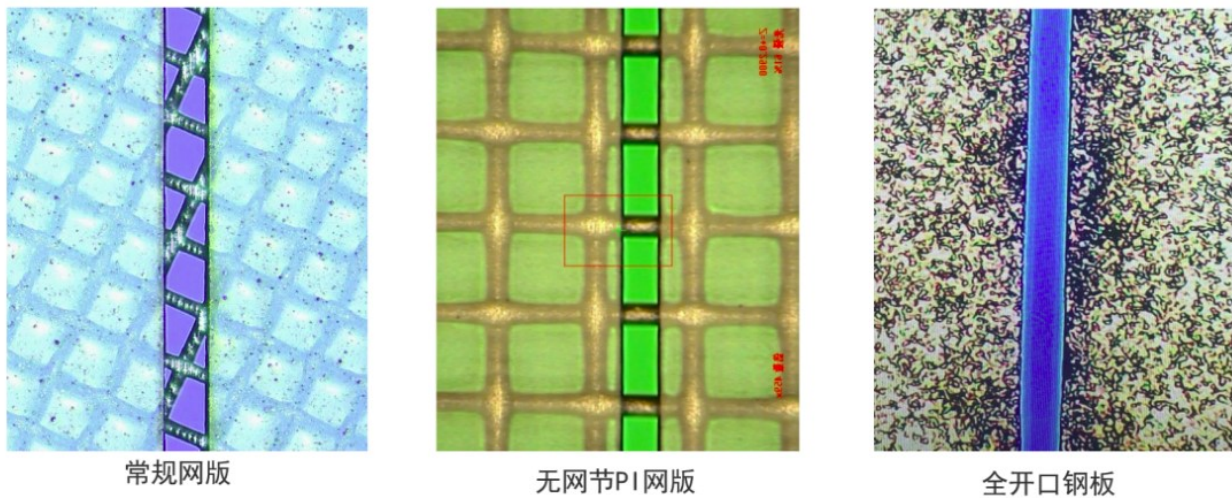
资料来源：《Solar Energy Materials and Solar Cells》，长城国瑞证券研究所

为了降低栅线宽度，迈为股份研发了全开口太阳能电池钢板印刷技术。钢板印刷所采用的网版是以平整、超强材质的合金钢片为原材料，通过物理、化学等加工手段形成均匀副栅。钢板材料具有高强度、高稳定性、高耐磨性、高耐腐蚀等特性，可以确保钢板网版尺寸的稳定性，且钢板的印刷寿命高于目前市场主流的PI网版。

传统网版的细栅附着在丝网上，丝网的网节或钢丝会阻挡网版透过浆料，导致印刷后栅线高低起伏、拓宽，影响电性能。全开口钢板的细栅部分是100%的无遮挡结构，网版透浆料更顺畅，栅线更平整、均匀，使电池栅线的形貌得以优化、电性能得以提升。



图 22：丝网印刷网版与全开口钢板对比



资料来源：迈为股份，长城国瑞证券研究所

钢板印刷可以实现：

- (1) 栅线的高宽比达 50% 以上，26 微米宽，13-14 微米高；
- (2) 未来，钢板开口可以进一步降低，线宽控制到 20 微米；
- (3) 兼容 210mm 硅片尺寸，栅线数量可比丝网印刷增加一倍，推动 HJT 电池效率进一步提高。

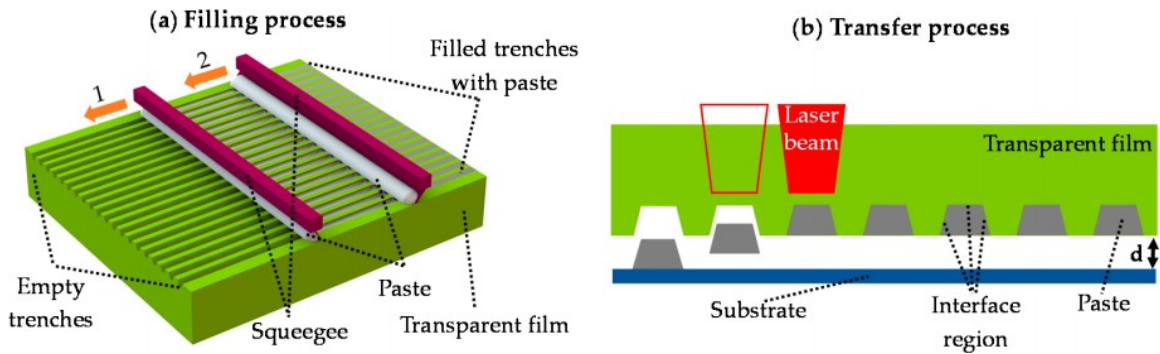
由此钢板印刷可以在提高栅线质量的基础上，较丝网印刷减少 20% 的银浆耗量。

### 3.3.2 激光转印技术

激光转印技术是以色列的 Utilight 公司（现为帝尔激光子公司）开发的一种非接触印刷技术。激光转印过程有两步：首先将金属浆料预压至透明聚合物薄膜的凹槽中，然后将薄膜移动到电池上方的印刷位置并用波长为 1,070nm 的激光照射。激光透过聚合物薄膜作用至金属浆料上，浆料中的有机成分蒸发使浆料脱落，进而转移至电池上。



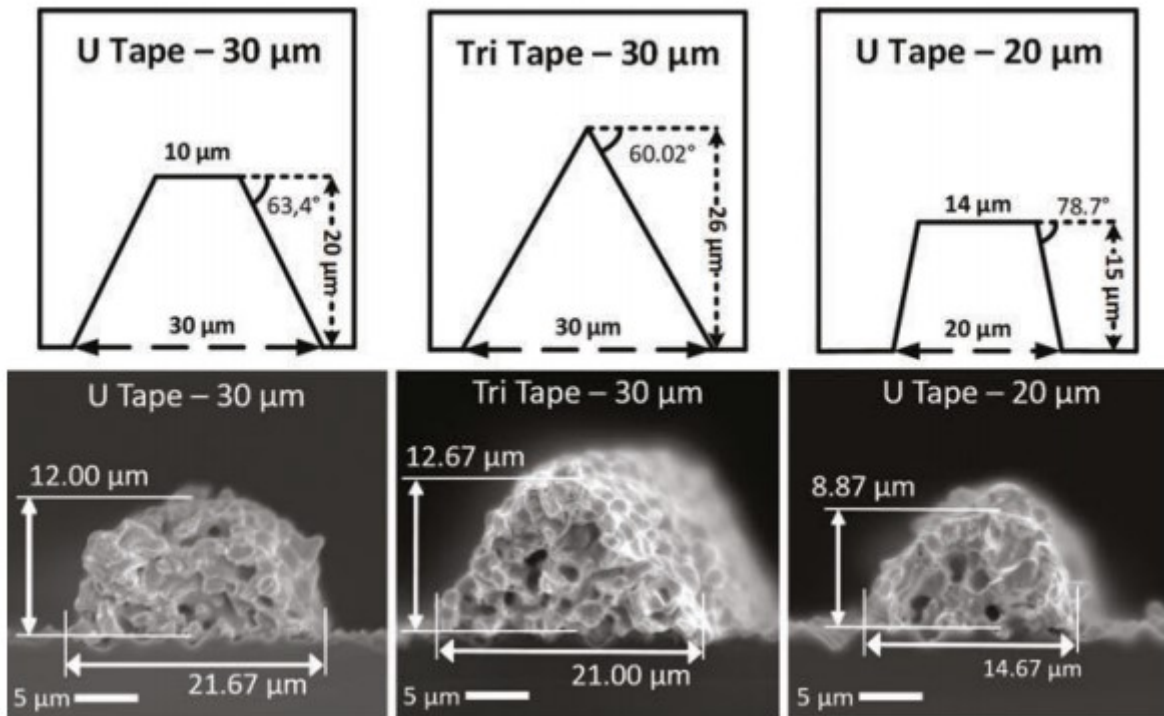
图 23：激光转印过程



资料来源：《Investigation of Thick-Film-Paste Rheology and Film Material for Pattern Transfer Printing (PTP) Technology》，长城国瑞证券研究所

激光转印形成的栅线形状相较于丝网印刷更细、高宽比更高、形状更均匀。通过改变聚合物薄膜上凹槽的形状可以进一步优化栅线形状。根据帝尔激光公告，激光转印可以将栅线做到  $18\mu\text{m}$  以下，节省 30% 浆料成本。目前帝尔激光的激光转印设备已经交付电池厂进行验证。

图 24：不同凹槽形状形成的栅线



资料来源：《Finger metallization using Pattern transfer Printing technology for c-Si solar cell》，长城国瑞证券研究所

### 3.3.3 铜电镀技术

铜电镀电极的电阻更小，成本更低。异质结电池的低温工艺要求浆料的烧结、退火温度低

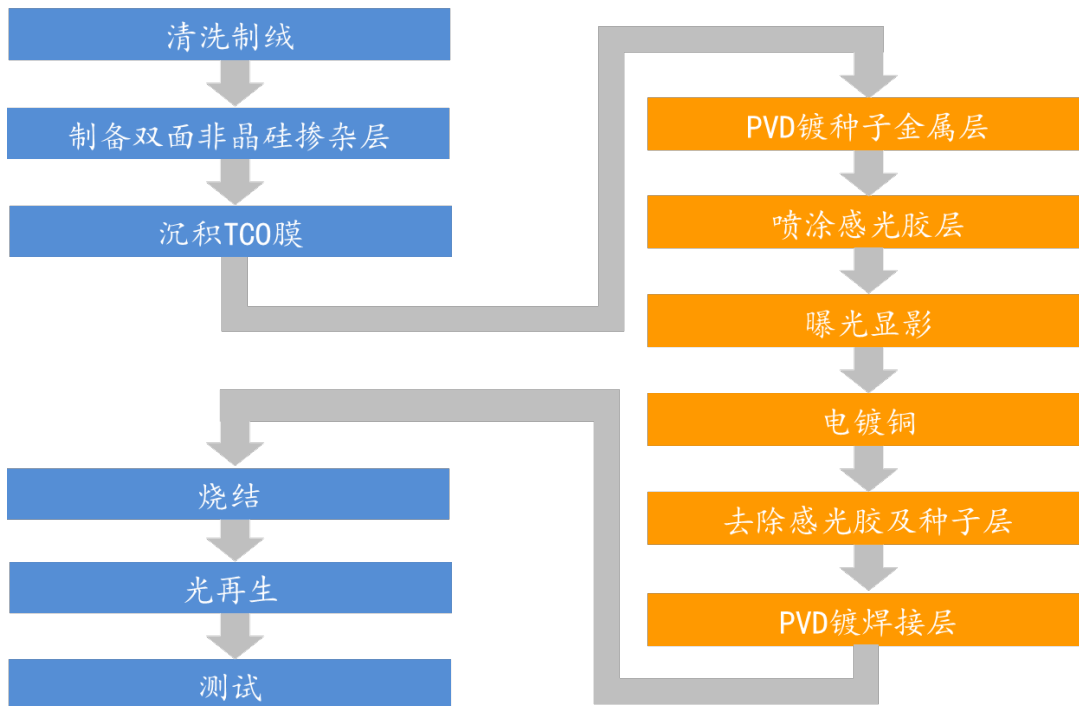


于 250℃，这使电极的导电型变差，低温银浆制成的栅线电阻为 6~10μΩ·cm，是高温浆料的 3-6 倍，给异质结电池带来更大的串联电阻。低温银浆更贵的价格以及更差的导电性能使铜电镀技术成为研究热点。

铜电镀是利用电解还原的原理在 TCO 层上制备铜电极，工艺步骤比较复杂。按照大的工艺类型，可以将铜电镀过程分为图形化和金属化。直接在 TCO 膜上电镀金属电极是非选择性的，而且直接电镀的金属电极与 TCO 膜之间的附着力较差，容易脱落，因此需要先通过图形化工艺实现选择性电镀，并增加金属与 TCO 层之间的附着力。

图形化的具体工艺步骤是首先在 TCO 层上使用 PVD 沉积一层厚度约为 100nm 的种子金属层，目的是增加金属的附着力。然后在种子金属层上喷涂一层感光胶、并经过曝光显影形成图形化区域，目的是实现选择性电镀。

图 25：铜电镀工艺步骤

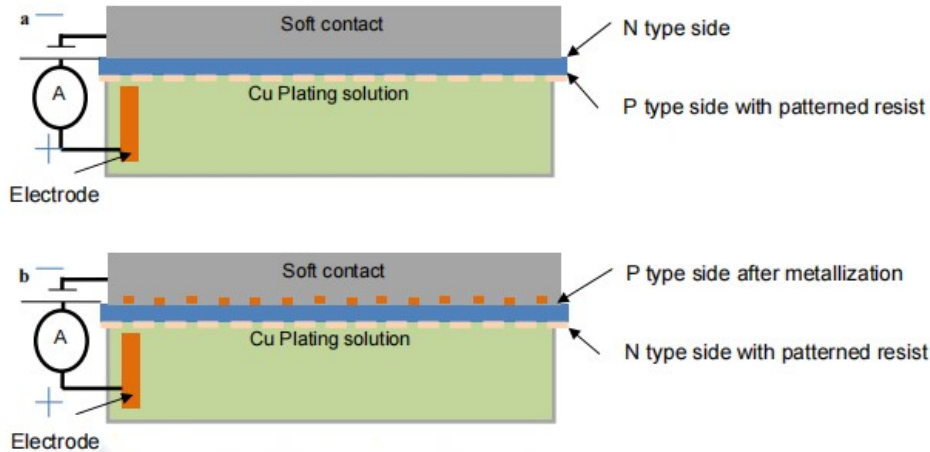


资料来源：CPVS，长城国瑞证券研究所

图形化工艺后，通过电镀在图形化区域制备铜电极，再去掉感光胶和种子金属层，最后使用 PVD 沉积焊接层完成铜电镀的全部工艺。

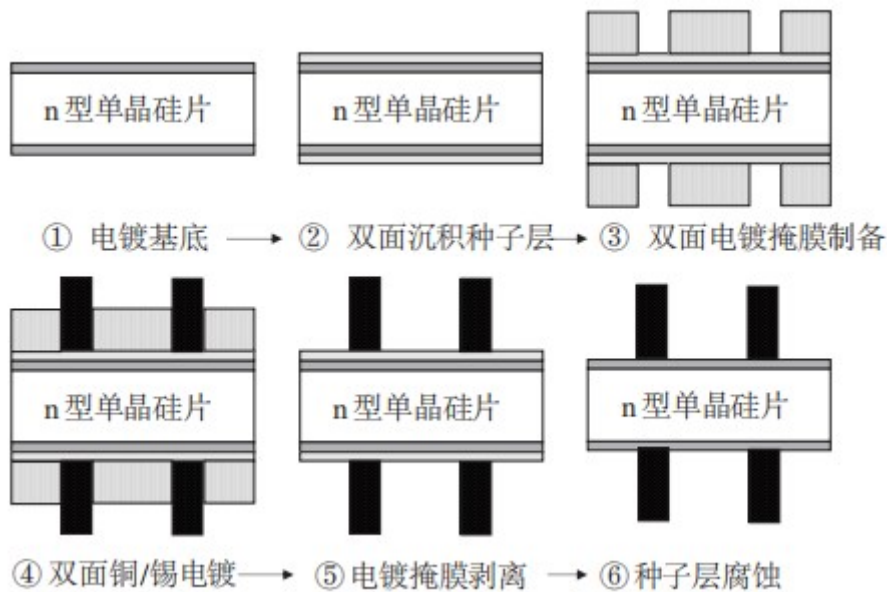


图 26：铜电镀金属化过程



资料来源：《Patterning for Plated Heterojunction Cells》，长城国瑞证券研究所

图 27：铜电镀工艺流程示意图



资料来源：《硅异质结太阳能电池接触特性及铜金属化研究》，长城国瑞证券研究所

铜电镀工艺的缺点有以下几个方面：（1）铜栅线的附着力小于银栅线，在组件生产过程中有脱落风险；（2）铜栅线容易氧化。铜的化学稳定性要弱于银，在空气中氧化速度较快，容易导致组件失效；（3）工艺复杂度较高。虽然降低了浆料成本，但设备投资成本目前较高。

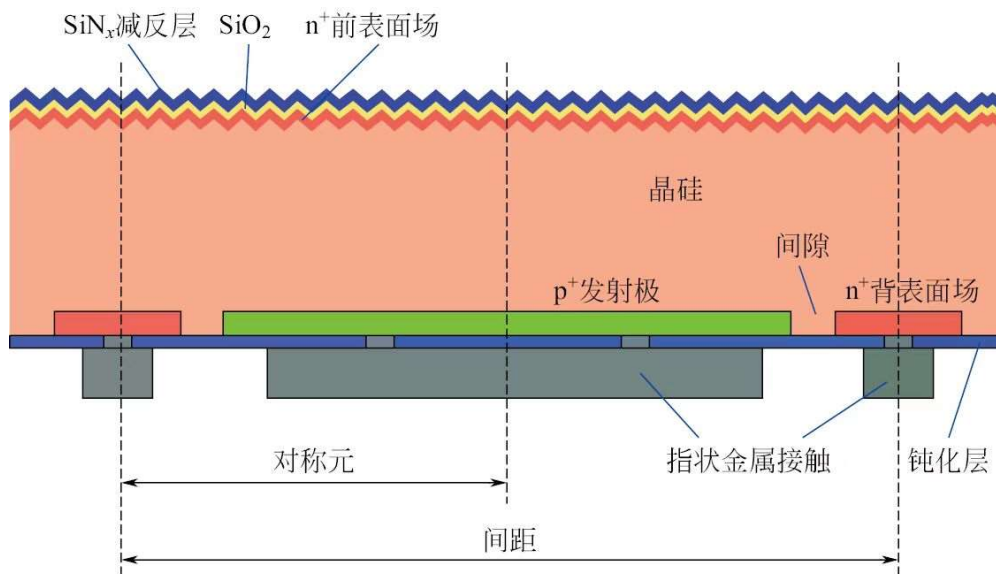
目前国内的电池企业如隆基绿能、通威股份、爱旭股份、海源复材等都在布局铜电镀工艺。设备厂商捷佳伟创、钧石能源、捷德宝等在进行铜电镀的研发，其中捷德宝提供铜电镀的整线解决方案，并于 2021 年 11 月与海源复材签署了《设备买卖框架合同》。此外一些 PCB 板的电镀设备厂商如东威科技、罗伯特科也有布局光伏铜电镀设备。

## 4 IBC：平台型技术，掩膜、激光、刻蚀设备为主要增量

### 4.1 平台型技术，可结合 TOPCon、异质结结合

IBC（interdigitated back-contact）电池称为指交叉背接触电池，是将发射区电极和基区电极都放置于电池背面，从而减少电池栅线对阳光的遮挡，提高电池转换效率。2017年 Kaneka 制作的背接触电池刷新了记录，电池转换效率达到了 26.63%。

图 28：IBC 电池结构示意图



资料来源：《高效晶体硅太阳能电池技术》，长城国瑞证券研究所

从电池结构上看，IBC 电池结构有以下几个优点：

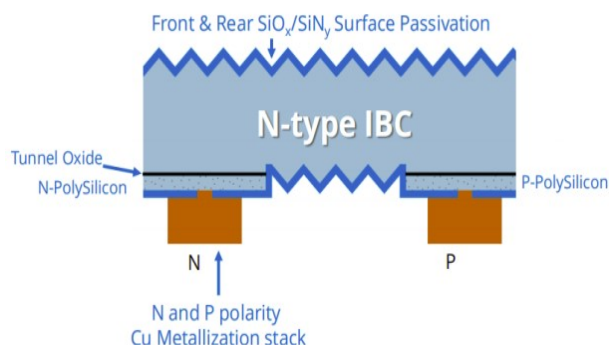
(1) PN 结、基底与发射区的接触电极以叉指形状全部处于电池的背面，正面没有金属电极遮挡，因此具有更高的短路电流密度 ( $J_{sc}$ )；

(2) 正面不需要考虑电池的接触电阻问题，可以最优化地设计前表面场和表面钝化，提升电池的开路电压；

(3) 正负电极全部在背面，可以采用较宽的金属栅线来降低串联电阻 ( $R_s$ )，从而提高填充因子 (FF)。

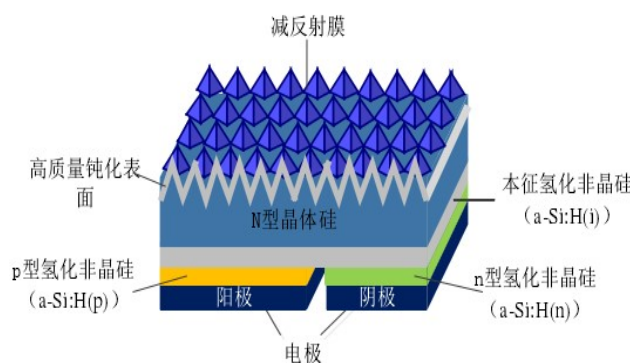
平台型技术，可降低 TOPCon 和 HJT 非硅成本。由于 IBC 电池是电极结构创新，因此可以和其他类型电池很好的结合，与 TOPCon 电池结合成为 TBC 电池，与异质结电池结合成为 HBC 电池。TBC 和 HBC 除了可以提高 TOPCon 和 HJT 电池的转换效率外，因其只在背面制备电极可以减少银浆用量，降低浆料成本。对于 HBC，正面可以使用  $SiN_x$  作为减反射膜，背面不需要考虑透光性，可以采用 AZO 等低成本 TCO 膜，进一步降低非硅成本。

图 29: TBC 电池结构示意图



资料来源: SunPower, 长城国瑞证券研究所

图 30: HBC 结构示意图



资料来源: 《N 型 HBC 太阳能电池的性能仿真与结构优化》, 长城国瑞证券研究所

IBC 电池的技术难点在于如何在电池背面制备出质量较好、呈叉指状间隔排列的 P 区和 N 区掺杂区, 且两者要实现电学隔离。由于结构复杂, IBC 电池工艺异常复杂。工艺步骤较长使得 IBC 电池的生产成本和设备投资成本明显高于同类型的底层电池技术。

表 10: 不同电池技术对比

电池工艺	P-PERC (基准)	TOPCon	HJT	IBC		
				经典 IBC	TBC	经典 HBC
实验室效率	24.06% (隆基)	26.0% (Fraunhofer)	26.3% (隆基)	25.2% (SunPower)	26.1% (Fraunhofer)	26.63% (Kaneka)
量产效率	22.8%-23.2%	23.5%-24.5%	23.5%-24.5%	23.5%-24.5%	24.5%-25.5%	25%-26.5%
量产难度	工序中等; 难度低	工序多; 难度中低	工序少; 难度中高	工序多; 难度中高	工序多; 难度中高	工序多; 难度高
生产成本	0.6-0.8 元/W	0.7-0.9 元/W	1.0-2.0 元/W	1.0-2.0 元/W	1.0-2.0 元/W	1.2-2.2 元/W
银浆耗量	80mg/片	100-120mg/片	200-220mg/片	低于双面 PERC	低于双面 TOPCon	低于 HJT
薄片化	170-190 μm	150-160 μm	90-140 μm	130-150 μm	130-150 μm	90-140 μm
产线兼容性	目前主流产线	可由升级 PERC 产线	完全不兼容 PERC	兼容部分 PERC	兼容 TOPCon	兼容 HJT
设备投资	2 亿元/GW	2.5 亿元/GW	4.5 亿元/GW	3 亿元/GW	3 亿元/GW	5 亿元/GW
量产成熟度	已成熟	已成熟	即将成熟	已成熟	即将成熟	即将成熟
2022 年产能预测	200GW 以上	30GW 以上	10GW 以下	4GW 以下	约 3GW	约 1GW

资料来源: 普乐科技, 长城国瑞证券研究所

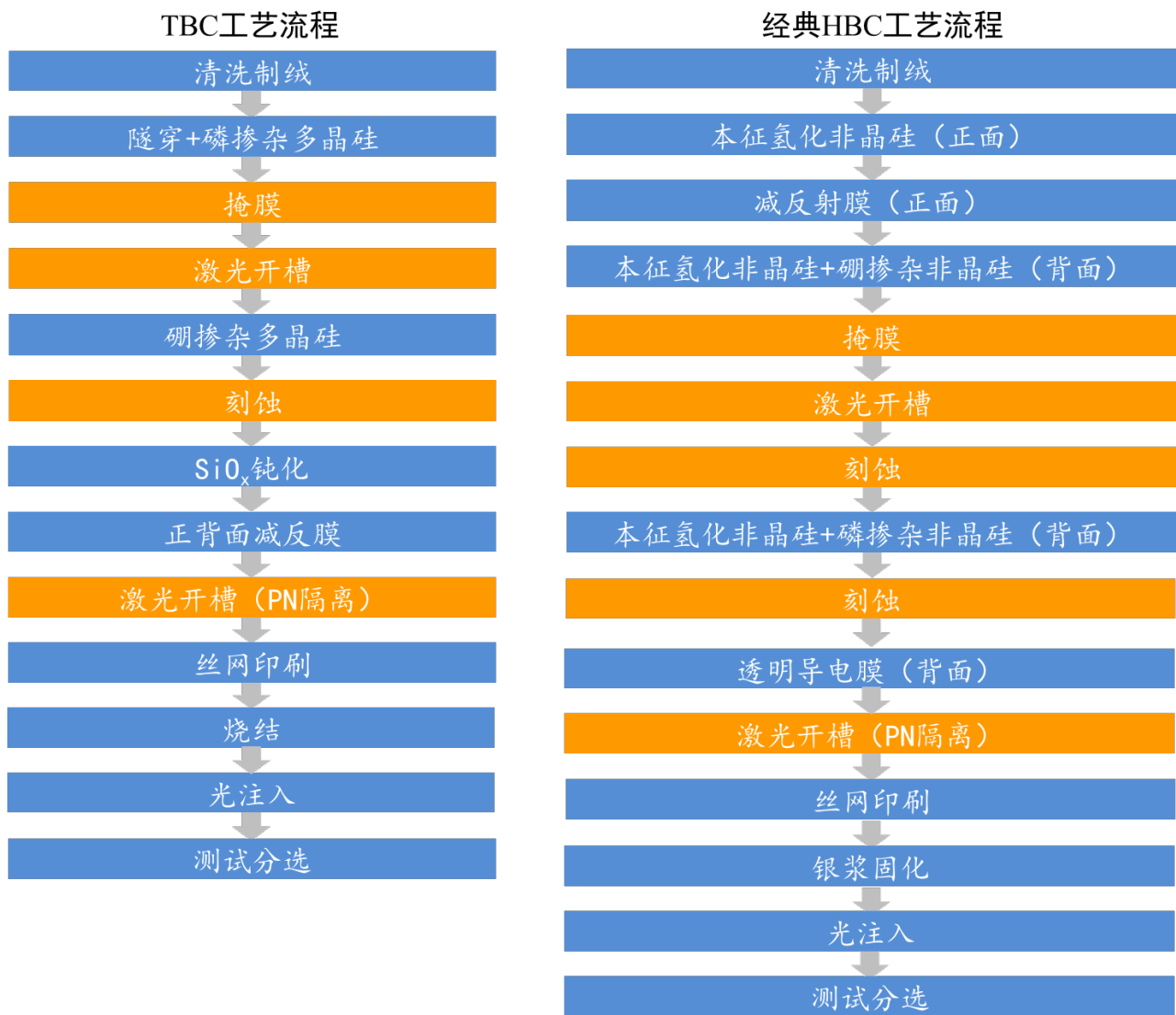
## 4.2 掩膜、激光、刻蚀设备为主要增量环节

为制备背面呈叉指式间隔排列的 P 区和 N 区, 需要用到掩膜、开槽和刻蚀工艺。以 HBC 电池为例, 首先在衬底背面沉积本征非晶硅和硼掺杂非晶硅, 再使用 PECVD 或 APCVD 设备



镀掩膜（常用  $\text{SiN}_x$ ），然后利用激光开槽将掩膜图形化，随后对开槽处的本征非晶硅层和硼掺杂非晶硅层进行刻蚀，露出衬底，随后沉积本征氢化非晶硅层和磷掺杂非晶硅层，再将沉积在掩膜上的非晶硅层和掩膜一同刻蚀掉形成叉指状的 P 区和 N 区。在沉积 TCO 层后，在 P 区和 N 区接触处使用激光开槽，将两者隔离。

图 31：TBC 和经典 HBC 工艺流程

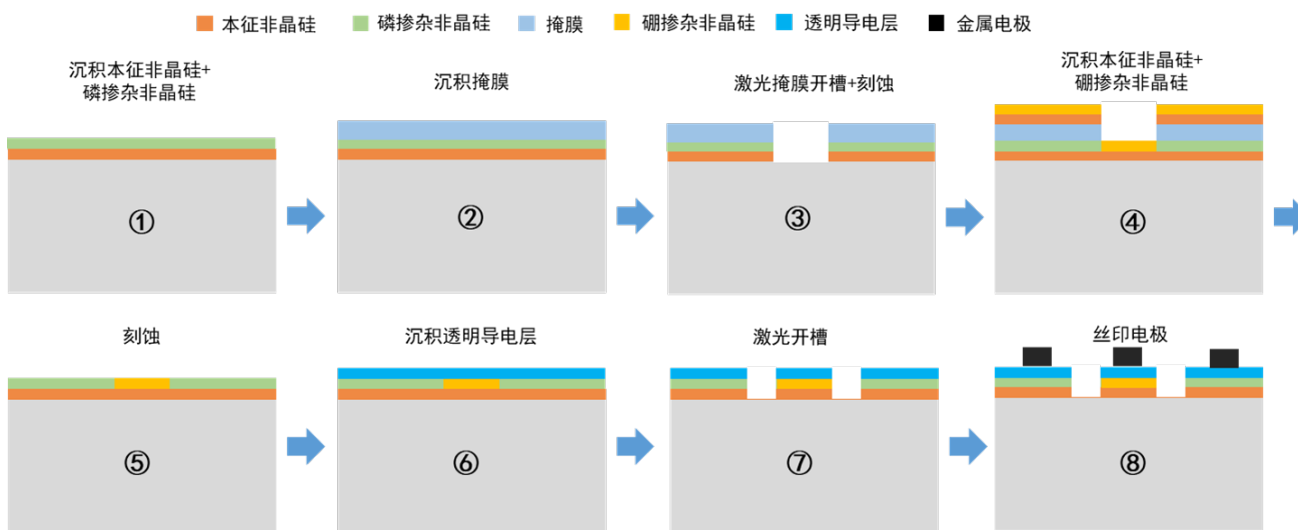


资料来源：普乐科技，长城国瑞证券研究所

从下图可以看出 HBC 电池制备过程需要用到一次掩膜工艺、两次激光开槽与刻蚀工艺。TBC 制备过程需也要用到一次掩膜和刻蚀工艺、两次激光开槽工艺。掩膜工艺所需的 PECVD/APCVD 设备、激光开槽所需的激光设备、刻蚀所需的湿法刻蚀设备是背接触电池的主要增量设备。此外，TBC 设备还需增加硼掺杂多晶硅沉积设备。



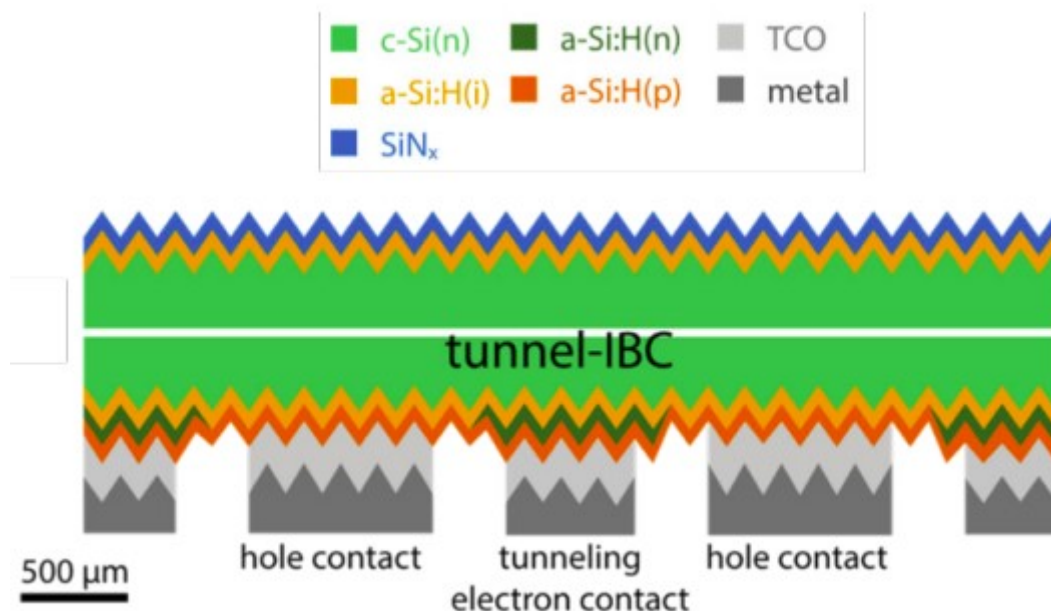
图 32: HBC 叉指式电极制备流程



资料来源：长城国瑞证券研究所

总的来看，背结触电池所需的掩膜工艺导致工艺流程过长，设备投资成本较高。研发工艺简单的背结触电池工艺是产业的主要方向。瑞士的 CSEM 联合设备厂商 Meyer Burger 和 EPFL 提出了低成本的 Tunnel-HBC 电池工艺， $V_{oc}$  达到了 745mV，电池转换效率高达 25.35%。

图 33: Tunnel-HBC 电池结构示意图



资料来源：CSEM，长城国瑞证券研究所

Tunnel-HBC 的特点在于：

- (1) 只需要 N 区图形化，设备自带 mask，省略了原掩模工序；
- (2) P 区直接覆盖整个背面，不需要对准，省略了原开槽和刻蚀工序；

(3) 从双面本征非晶硅到背面两层掺杂纳米晶硅层，可用一个设备连续沉积，适合大规模生产；

(4) TCO 层采用了更便宜 AZO (Al:ZNO) 材料。

Tunnel-HBC 技术可以将工艺流程减少到 10 步，大大减少了生产成本，但 Tunnel-HBC 也有其自身缺点：

(1) P 区和 N 区没有隔离，为防止短路，空穴收集材料必须具有低横向电导性能；

(2) 自带 mask 的 PECVD 设备，造价昂贵，国内目前没有设备企业跟进；

从产业化的角度看，目前爱旭股份和隆基绿能进行了比较大规模的产能布局。爱旭股份的珠海 6.5GW 和义乌 2GW ABC 电池产能将在今年建成。隆基绿能泰州的 4GW 技改 HPBC 项目同样将在年内建成。无论是 ABC 和 HPBC，都是 IBC 电池的一种，区别在于底层电池技术的差异。

表 11：国内背接触电池产能布局情况（不完全统计）

企业名称	产地	项目状态	已建 (MW)	在建/待建 (MW)	备注
中来股份	浙江衢州	规划		3,000	2017 年公告，目前尚未建成
爱旭股份	-	投产	300		
	广东珠海	在建		6,500	预计 2022 年三季度投产
	浙江义乌	在建		2,000	规划 10GW，首期 2GW，预计 2022 年投产
黄河水电	青海西宁	投产	200		
隆基绿能	江苏泰州	在建		4,000	2022 年 1 月环评，预计今年投产

资料来源：公司公告，公司官网，环评公告，长城国瑞证券研究所

## 5 相关设备公司

### 5.1 迈为股份

迈为股份是一家集机械设计、电气研制、软件算法开发、精密制造装配于一体的高端设备制造商。凭借多年来优异的自主研发能力、产品质量与售后服务体系，迈为股份打破了外国厂商在光伏丝网印刷设备领域的垄断，成为全球光伏丝网印刷设备的龙头企业，实现了光伏丝网印刷制造设备领域的国产化替代。

迈为股份主营产品为太阳能电池生产设备，主要应用于光伏产业链的中游电池片生产环节，包括 HJT 太阳能电池 PECVD 真空镀膜设备、HJT 太阳能电池 PVD 真空镀膜设备、全自动太阳能电池丝网印刷机等主设备以及自动上片机、红外线干燥炉、测试分选机等生产线配套设备。

迈为股份的异质结设备市场化程度领先。根据已公开的公告，迈为股份 2021 年至今中标的异质结设备容量已经达到 8.7GW，其中整线设备 8.45GW。

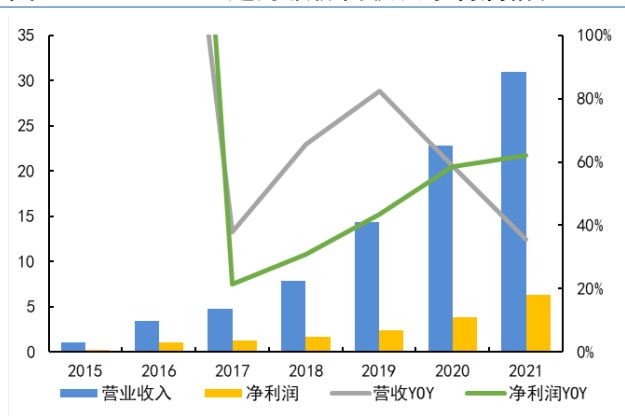
表 12：迈为股份异质结设备部分中标情况（仅含已公告订单）

时间	客户	采购设备	采购容量（MW）
2022.07	爱康科技	异质结整线设备	1,200
2022.04	印度信实工业	异质结整线设备	4,800
2021.12	REC	异质结整线设备	400
2021.11	爱康科技	异质结整线设备	600
2021.07	金刚玻璃	异质结整线设备	1,200
2021.03	安徽华晟	异质结整线设备	250
2021.03	安徽华晟	制绒+PVD+丝网印刷设备	250

资料来源：公司公告，长城国瑞证券研究所

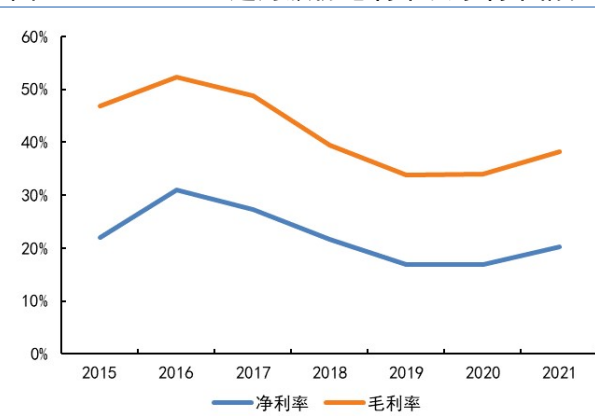
2021 年公司营业收入 30.95 亿元，同比增长 35.44%，实现净利润 6.27 亿元，同比增长 62.02%。2021 年公司毛利率为 38.30%，同比提升 4.28Pct，净利率 20.25%，同比提升 3.32Pct。

图 34：2015-2021 迈为股份营收及净利润情况



资料来源：Wind，长城国瑞证券研究所

图 35：2015-2021 迈为股份毛利率及净利率情况



资料来源：Wind，长城国瑞证券研究所



## 5.2 捷佳伟创

捷佳伟创成立于2007年，是一家国内领先的晶体硅太阳能电池生产设备制造商，主营PECVD设备、扩散炉、制绒设备、刻蚀设备、清洗设备、自动化配套设备等太阳能电池片生产工艺流程中主要设备的研发、制造和销售。

捷佳伟创是目前光伏设备企业中对各种电池技术工艺路线布局最全的一家公司。在TOPoN的氧化硅及多晶硅沉积上，公司有LPCVD设备和管式PECVD三合一两种。在异质结的非晶硅薄膜沉积上，公司有板式PECVD、管式PECVD及Cat-CVD设备三种技术路线。在异质结的TCO层沉积上，公司有PVD、RPD和PAR三种技术路线，其中RPD和PAR设备为公司独有。

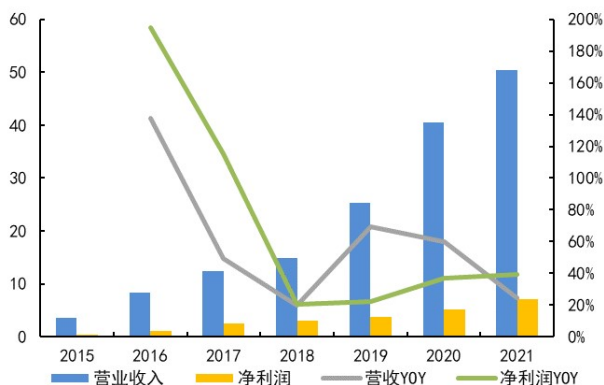
表 13：捷佳伟创产品矩阵

电池技术		工艺及所需设备			
	工艺步骤	清洗制绒	磷扩散	镀膜	金属化
PERC	设备	单晶槽式制绒设备 槽式碱抛光设备 链式酸抛光清洗设备	管式扩散氧化退火炉	管式 PECVD 氮氧化硅沉积炉 管式 PECVD 氧化铝沉积炉	网链式烧结炉 激光开槽设备 丝网印刷
TOPCon	设备	单晶槽式制绒设备 槽式碱抛光设备 链式酸抛光清洗设备	管式硼扩散炉	管式 LPCVD 管式 PECVD 三合一设备	丝网印刷 直线印刷机 横向卷纸印刷机
HJT	设备	单晶槽式制绒设备 槽式碱抛光设备 链式酸抛光清洗设备	非晶硅薄膜沉积 管式 PECVD 板式 PECVD Cat-CVD	TCO 层沉积 PVD/RPD/PAR	金属化 丝网印刷

资料来源：捷佳伟创官网，公司公告，长城国瑞证券研究所

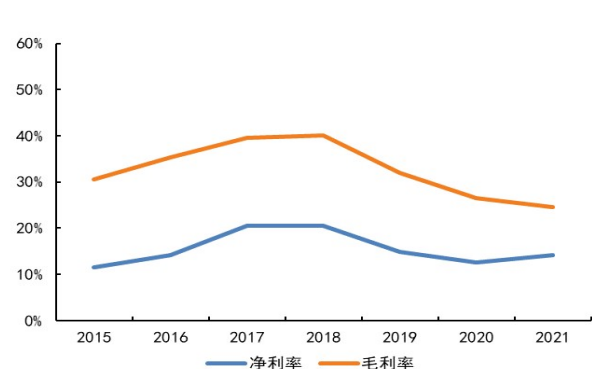
公司2021年实现收入50.47亿元，同比增长24.80%，实现净利润7.14亿元，同比增长39.45%。公司2021年毛利率为24.60%，同比下降1.83Pct，净利率为14.14%，同比提升1.49Pct。

图 36：2015-2021 捷佳伟创营收及净利润情况



资料来源：Wind，长城国瑞证券研究所

图 37：2015-2021 捷佳伟创毛利率及净利率情况



资料来源：Wind，长城国瑞证券研究所

### 5.3 帝尔激光

帝尔激光成立于2008年，于2019年在创业板上市。主营业务为精密激光加工解决方案的设计及其配套设备的研发、生产和销售，是国内首次将激光技术导入光伏太阳能电池路线的国家高新技术企业。帝尔激光是行业内少数能够提供高效太阳能电池激光加工综合解决方案的企业，客户包括隆基股份、通威股份、爱旭科技、晶科能源、晶澳太阳能、天合光能、阿特斯太阳能、韩华新能源、东方日升等知名光伏企业。

公司目前的主要产品包括PERC激光消融设备、SE激光掺杂设备、MWT系列激光设备、全自动高速激光划片/裂片机、LID/R激光修复设备、激光扩硼设备等激光设备，PERC激光消融和SE激光掺杂设备的市场占有率处于行业领先水平。

公司是国内激光转印技术的领先者，已完成实验室论证和量产化技术储备。从公司的目前验证情况看，激光转印的优势在于：

- (1) 激光转印的栅线更细，现在可以做到18微米以下，浆料节省更多，在PERC上已经得到论证，在TOPCon、HJT等路线上的节省量会更高。
- (2) 印刷高度一致性、均匀性优良，误差在2 $\mu\text{m}$ ，低温银浆也同样适用。
- (3) 可以改变柔性膜的槽型，根据不同的电池结构，来实现即定的栅线形状，改善电性能。
- (4) 激光转印为非接触式印刷，可以避免挤压式印刷存在的隐裂、破片、污染、划伤等问题。

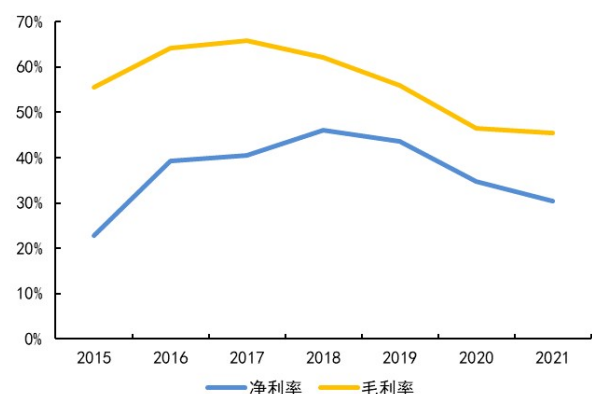
2021年公司实现收入12.57亿元，同比增长17.26%，实现净利润3.81亿元，同比增长2.14%。公司2021年毛利率为45.42%，较2020年下降1.12Pct，净利率为30.32%，较2020年下降4.48Pct。

图 38：2015-2021 帝尔激光营收及净利润情况



资料来源：Wind，长城国瑞证券研究所

图 39：2015-2021 帝尔激光毛利率及净利率情况



资料来源：Wind，长城国瑞证券研究所



## 股票投资评级说明

### 证券的投资评级：

以报告日后的 6 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

买入：相对强于市场表现 20% 以上；

增持：相对强于市场表现 10%~20%；

中性：相对市场表现在 -10%~+10% 之间波动；

减持：相对弱于市场表现 10% 以下。

### 行业的投资评级：

以报告日后的 6 个月内，行业相对于市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

看好：行业超越整体市场表现；

中性：行业与整体市场表现基本持平；

看淡：行业弱于整体市场表现。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

本报告采用的基准指数：沪深 300 指数。

### 法律声明：“股市有风险，入市需谨慎”

长城国瑞证券有限公司已通过中国证监会核准开展证券投资咨询业务。在本机构、本人所知情的范围内，本机构、本人以及财产上的利害关系人与所评价的证券没有利害关系。本报告中的信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性及完整性不作任何保证，不保证报告信息已做最新变更，在任何情况下，报告中的信息或所表达的意见并不构成对所述证券买卖的出价或询价。在任何情况下，我公司不就本报告中的任何内容对任何投资做出任何形式的担保，投资者据此投资，投资风险自我承担。本报告版权归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何形式翻版、复制、刊载或转发，否则，本公司将保留随时追究其法律责任的权利。