

强于大市

公司名称	股票代码	股价(人民币)	评级
迈为股份	300751.SZ	329.9	买入
捷佳伟创	300724.SZ	83.22	买入
金辰股份	603396.SH	35.05	未有评级

资料来源：万得，中银证券
以 2020 年 8 月 13 日当地货币收市价为标准

光伏异质结电池系列报告之三

HJT：国产设备降本助推产业化提速

HJT 设备国产化带来的降本有望推动产线投资回收期快速下降，加速 HJT 电池的产业化进度。2020-2025 年 HJT 设备需求空间有望超过 600 亿元，率先布局的设备企业有望享受产业化初期较高的订单弹性。

支撑评级的要点

- **HJT 电池兼具高转换效率与短工艺流程：**简洁独特的非晶硅膜钝化结构一方面使得 HJT 电池具备高转换效率，另一方面使得仅需 4 步主工艺即可完成 HJT 电池的生产，在一定程度上降低了 HJT 电池工艺控制的复杂程度和产业化的难度。
- **PECVD：提效与降本之匙：**PECVD 作为支撑 HJT 电池关键工艺非晶硅薄膜沉积的设备，其质量与 HJT 电池转换效率紧密相关。同时，PECVD 在 HJT 产线中 50%-60%的价值量占比也决定了其在 HJT 设备降本中的关键地位。当前 PECVD 环节国产化热情高涨，已有部分国内企业取得阶段性积极成果。预计国内企业有望取得产能、性能、价格之间的平衡，国产 PECVD 设备的价格水平有望在单台 150-250MW 产能的基础上降低至 3 亿元/GW 左右，进而有望将整条生产线的设备投资降低至 5 亿元/GW 以下。
- **其他主设备：国内企业积极入局，国产化全面推进：**在非晶硅镀膜之外，TCO 镀膜、清洗制绒、丝网印刷等其他主工艺设备亦呈现国内企业积极入局、设备国产化全面推进的良好局面，在清洗制绒环节部分企业已推出具备性价比优势的产品。
- **设备降本或打响产业化提速“发令枪”：**预计 HJT 电池后续主要通过效率提升、银耗降低、设备降价、硅片减薄等途径实现降本，其中设备降价不仅可直接降低折旧成本，还有望推动 HJT 产线投资回收期快速下降。我们测算 HJT 设备初始投资额在降至 5 亿元/GW 时，HJT 产线投资回收期将快速下降至 4 年左右，有望显示出充分的投资吸引力，从而扩大 HJT 产能规模并逐步显现规模效应以加速效率提升和材料降本的进程，形成良性循环后有望进一步加快 HJT 电池的产业化进度。

投资建议

- 在设备国产化的基础上，HJT 设备初始投资额在降至 5 亿元/GW 以下的过程中有望推动 HJT 产线投资回收期快速下降，进而加速 HJT 电池的产业化进度并加速对现有技术路线的替代。我们测算 2020-2025 年新增设备需求空间有望超过 600 亿元，产能投放高峰年份空间有望超过 200 亿元，较早布局的设备企业有望享受产业化初期较高的订单弹性。推荐 HJT 设备国产化先锋迈为股份、捷佳伟创，建议关注金辰股份，此外建议关注非上市公司理想万里晖、钧石能源等。

评级面临的主要风险

- HJT 电池效率进步与降本速度不达预期；设备与辅材降本进度不达预期；单晶 PERC 电池效率竞争力超预期；光伏政策风险；疫情影响超预期。

相关研究报告

《光伏异质结电池系列报告之一：HJT：有望开启光伏新一轮技术革命》2020.02.04
《光伏异质结电池系列报告之二：HJT：产业化大幕即将开启》2020.05.19

中银国际证券股份有限公司
具备证券投资咨询业务资格

电气设备

证券分析师：沈成
(8621)20328319
cheng.shen@bocichina.com
证券投资咨询业务证书编号：S1300517030001

证券分析师：李可伦
(8621)20328524
kelun.li@bocichina.com
证券投资咨询业务证书编号：S1300518070001

证券分析师：杨绍辉
(8621)20328569
shaohui.yang@bocichina.com
证券投资咨询业务证书编号：S1300514080001

目录

HJT 电池兼具高转换效率与短工艺流程 5

PECVD：提效与降本之匙 8

HJT 核心工艺：非晶硅薄膜沉积 8
PECVD：HJT 设备降本的关键 9

其他主设备：国内企业积极入局，国产化全面推进 14

TCO 薄膜沉积：PVD 磁控溅射为主流工艺 14
清洗制绒：国产设备具备性价比 16
金属化：低温银浆是降本核心 17

设备降本或打响产业化提速“发令枪” 19

HJT 电池降本路径明确 19
设备降成本是 HJT 产业化提速的关键 20
HJT 设备 6 年市场空间或超过 600 亿元 22

投资建议 24

风险提示 25

图表目录

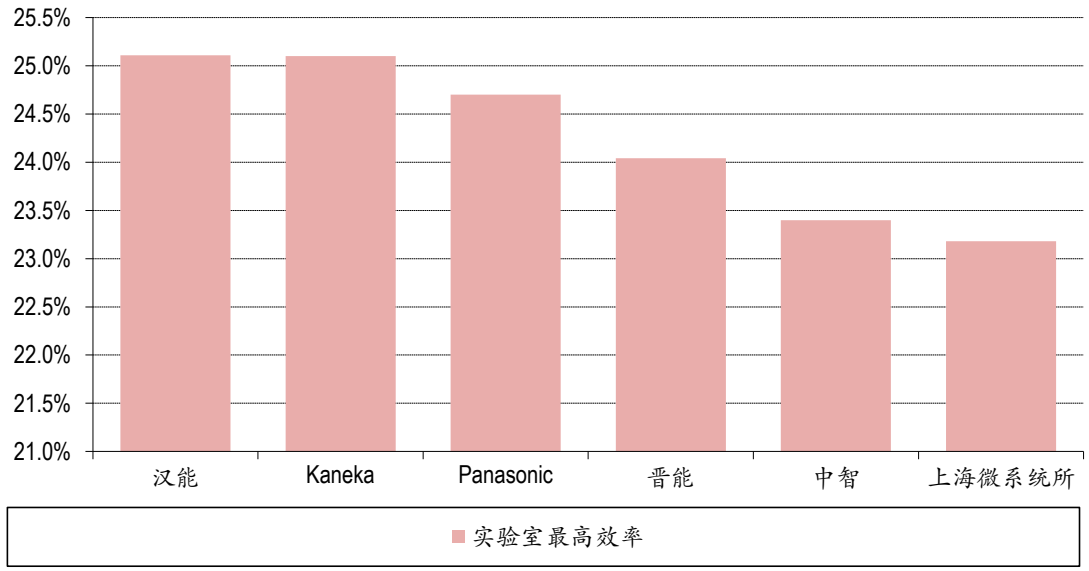
图表 1. 异质结电池实验室最高转换效率.....5
图表 2. NREL 晶硅光伏电池转换效率图（实心圆点为异质结电池）.....5
图表 3. 异质结电池的基本结构.....6
图表 4. 异质结电池生产工艺流程.....6
图表 5. 各电池技术路线工艺流程对比.....7
图表 6. 近年 Sanyo/松下 HJT 电池转换效率与参数.....8
图表 7. 工作中的 HWCVD 反应腔.....8
图表 8. HWCVD 与 PECVD 部分特性对比.....9
图表 9. 板式 RF-PECVD 基本结构.....9
图表 10. 梅耶博格 PECVD 设备工艺流程.....10
图表 11. 梅耶博格 PECVD 设备部分技术指标.....10
图表 12. 应用材料 PECVD 设备外观.....10
图表 13. 应用材料 PECVD 腔体结构.....11
图表 14. 理想万里晖 PECVD 设备腔体示意.....11
图表 15. 理想万里晖 PECVD 设备外观.....12
图表 16. 捷造光电 PECVD 设备部分技术指标.....12
图表 17. 部分 PECVD 厂商腔体与产线设计对比.....13
图表 18. 磁控溅射工艺原理示意图.....14
图表 19. RPD 工艺原理示意图.....14
图表 20. PVD 磁控溅射工艺与 RPD 工艺部分特性对比.....15
图表 21. 湖南红太阳 PVD 磁控溅射设备部分技术参数.....15
图表 22. 新格拉斯 PVD 设备外观.....15
图表 23. 晋能 HJT 电池清洗制绒工艺流程.....16
图表 24. RCA 与臭氧清洗流程对比.....16
图表 25. RCA 与臭氧清洗耗材成本对比.....17
图表 26. 捷佳伟创清洗制绒设备部分技术参数.....17
图表 27. 捷佳伟创清洗制绒设备外观.....17
图表 28. 丝网印刷原理示意图.....18
图表 29. HJT 电池非硅成本拆分及其目标.....19
图表 30. CPIA 对于硅片厚度的预测（μm）.....20
图表 31. 单晶 PERC 电池产能扩张历程.....20
图表 32. 单晶 PERC 电池与多晶电池价格走势.....21
图表 33. HJT 电池产能净现金流预测（无贷款）.....21

图表 34. HJT 电池产能投资回收期测算 22
图表 35. HJT 产能规模与设备市场空间预测 23
附录图表 36. 报告中提及上市公司估值表 26

HJT 电池兼具高转换效率与短工艺流程

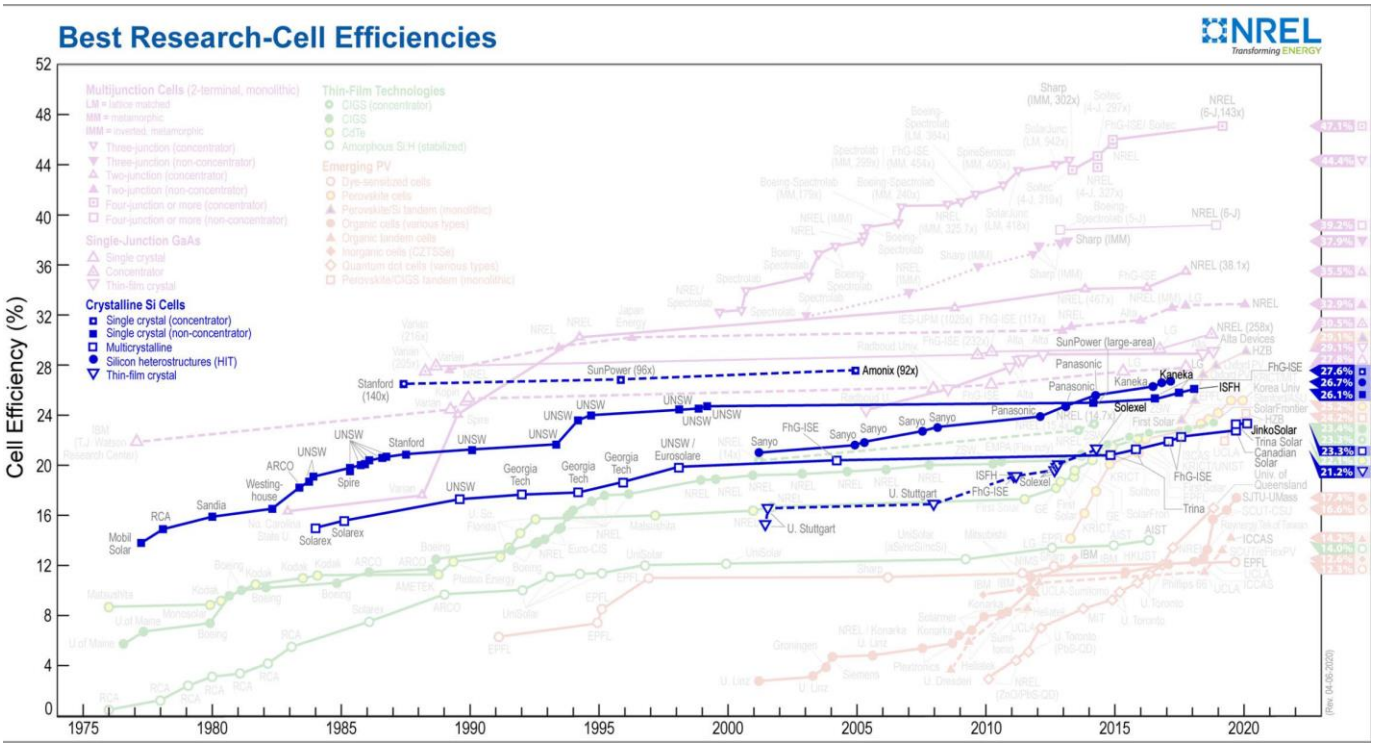
纯异质结电池实验室转换效率已超过 25%：目前国内外对异质结电池的研究已大范围展开，转换效率亦逐步攀升。现在在 M2 的标准硅片尺寸下，纯异质结结构电池的转换效率世界纪录为 25.11%，由我国汉能成都研发中心创造，且此转换效率是在使用量产设备和量产工艺的前提下取得的，具备相当程度的量产可能性。同时，叠加 IBC 技术组成的 HBC 电池转换效率已达到 26.7%。

图表 1. 异质结电池实验室最高转换效率



资料来源：中科院电工所，中银证券

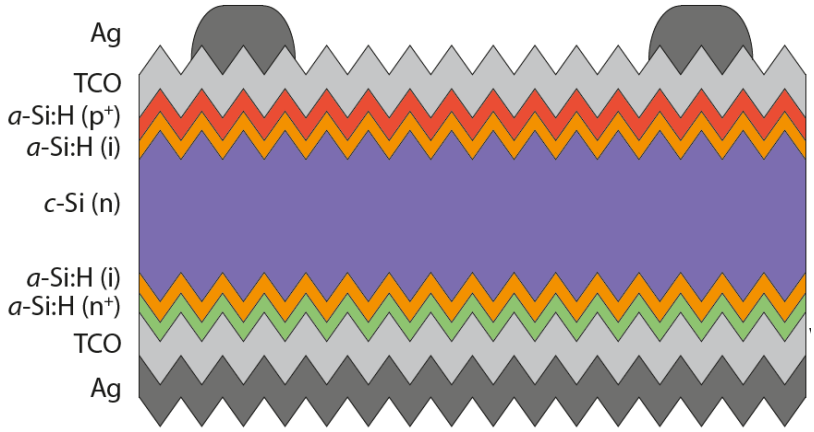
图表 2. NREL 晶硅光伏电池转换效率图（实心圆点为异质结电池）



资料来源：NREL，中银证券

高转换效率得益于电池材料和结构：HJT 异质结电池以 N 型单晶硅片为衬底，在经过清洗制绒的 N 型硅片正面依次沉积厚度为 5-10nm 的本征 a-Si:H 薄膜和 P 型掺杂 a-Si:H 薄膜以形成 p-n 异质结，在硅片背面依次沉积厚度为 5-10nm 的本征 a-Si:H 薄膜和 N 型掺杂 a-Si:H 薄膜形成背表面场，在掺杂 a-Si:H 薄膜的两侧再沉积透明导电氧化物薄膜（TCO），最后通过丝网印刷或电镀技术在电池两侧的顶层形成金属集电极。HJT 电池中的本征非晶硅薄膜（i-a-Si:H）有效降低了晶硅/非晶硅异质结表面的复合速率，同时补偿了本征非晶硅层自身存在的悬挂键缺陷，在硅片表面获得了令人满意的钝化效果，显著提升了电池的开路电压和转换效率。

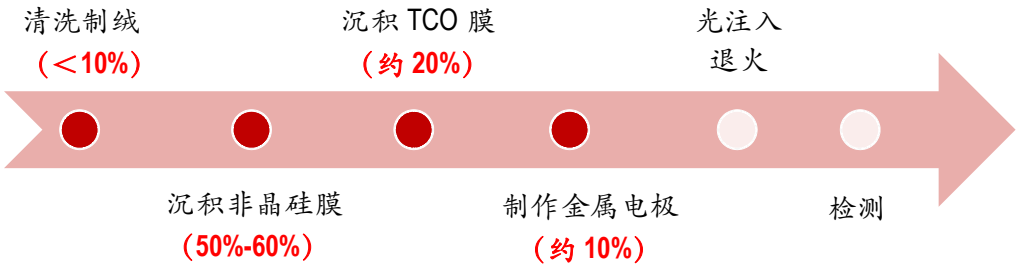
图表 3. 异质结电池的基本结构



资料来源：Green，中银证券

简单的电池结构决定了较短的生产工艺流程：从电池结构上看，异质结电池由中心的硅片基底叠加两侧的数层薄膜组成，整体结构颇为简单，各层材料之间基本不存在交叠、贯穿等现象。HJT 电池生产过程的核心即为各层薄膜的沉积，不涉及扩散、注入等工艺，整体而言其工艺流程较短，主工艺仅有 4 步。相对于同属于 N 型电池、但生产工艺需要 10-20 步的 IBC 和 TOPCon 电池，HJT 电池较短的工艺流程在一定程度上降低了工艺控制的复杂程度和产业化的难度。

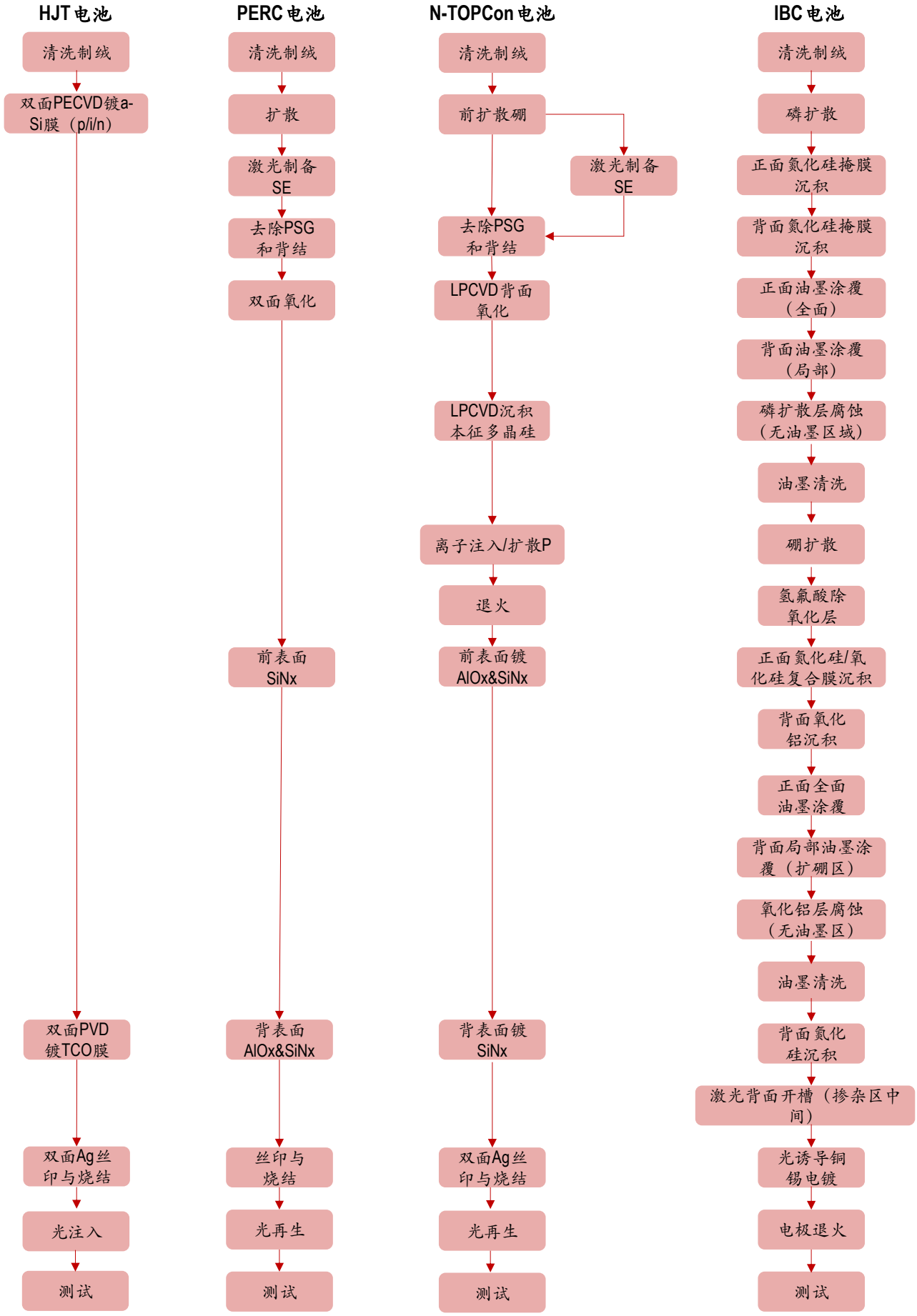
图表 4. 异质结电池生产工艺流程



资料来源：中科院电工所，中银证券（注：深红色为主工艺流程，红色数字为设备价值量占比）

HJT 电池设备与现有主流工艺设备不兼容：HJT 电池各步工艺分别对应清洗制绒设备、非晶硅薄膜沉积设备、TCO 膜沉积设备、金属化设备等各个主工艺设备，其中非晶硅薄膜沉积设备与 TCO 膜沉积设备不应用于现有主流单晶 PERC 电池的生产制造，而清洗制绒、金属化设备与 PERC 电池设备类似，但仍有不同之处。整体而言 HJT 电池生产设备与单晶 PERC 电池生产不兼容，亦不完全与 TOPCon、IBC 等其他 N 型电池设备兼容。

图表 5. 各电池技术路线工艺流程对比



资料来源：中科院电工所，中银证券

PECVD：提效与降本之匙

HJT 核心工艺：非晶硅薄膜沉积

HJT 电池转换效率与非晶硅薄膜质量直接相关：HJT 电池之所以具备较高的光电转换效率，核心原因在于其具备显著高于其他结构电池的开路电压，而较高的开路电压则来源于硅片两面分别沉积的两层非晶硅薄膜（i-a-Si:H/n-a-Si:H/p-a-Si:H）对界面接触的钝化效果。因此非晶硅薄膜的沉积质量即与产线产出 HJT 电池的转换效率直接相关。

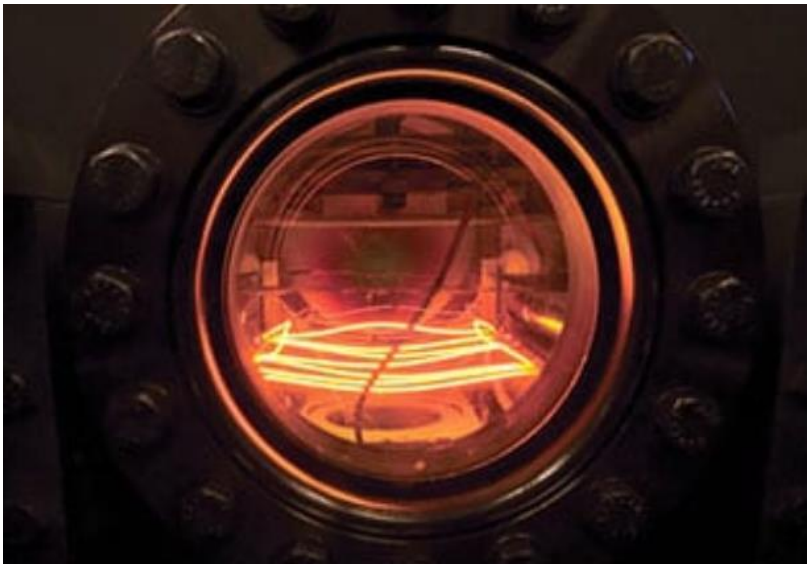
图表 6. 近年 Sanyo/松下 HJT 电池转换效率与参数

年份	开路电压（V）	短路电流密度（$mAcm^{-2}$）	填充因子(%)	转换效率(%)
2014（HBC）	0.740	41.8	82.7	25.6
2013	0.750	39.5	83.2	24.7
2011	0.745	39.4	80.9	23.7
2009	0.729	39.5	80.0	23.0
2007	0.725	39.2	79.1	22.3
2006	0.718	38.4	79.0	21.8
2004	0.712	38.3	78.7	21.5

资料来源：人工晶体学报，中银证券

CVD 为非晶硅薄膜沉积的主流工艺：为了获得具有钝化功能的非晶硅薄膜，实际生产中一般采用化学气相沉积（CVD）工艺，其中以等离子体增强化学气相沉积（PECVD）和热丝化学气相沉积（HWCVD/Cat-CVD）两种工艺路径为主。本征和掺杂非晶硅薄膜分别由硅烷、硼烷、磷烷等气体裂解沉积而成，而等离子体与高温热丝都是起促进气体裂解的作用。

图表 7. 工作中的 HWCVD 反应腔



资料来源：MVSystems，中银证券

HWCVD 产业化应用相对较少：HWCVD 是利用高温金属丝的催化作用使硅烷、硼烷等气体分解沉积至硅片表面从而获得非晶硅薄膜。在高温金属丝的作用下，反应气体分解效率较高，反应速率相对较快，因此薄膜沉积的速率相对较高，同时沉积出的薄膜更为有序。此外，HWCVD 还具备气体利用率高、沉积对硅片本身损伤较小等优点。但由于 HWCVD 同时具有热丝寿命较短导致更换成本高、热丝温度控制精度不高、热丝温度影响硅片温度等问题，目前产业应用相对较少，少量的应用以日本 HJT 电池企业为主，国内有科研院所与企业正在研发。

图表 8. HWCVD 与 PECVD 部分特性对比

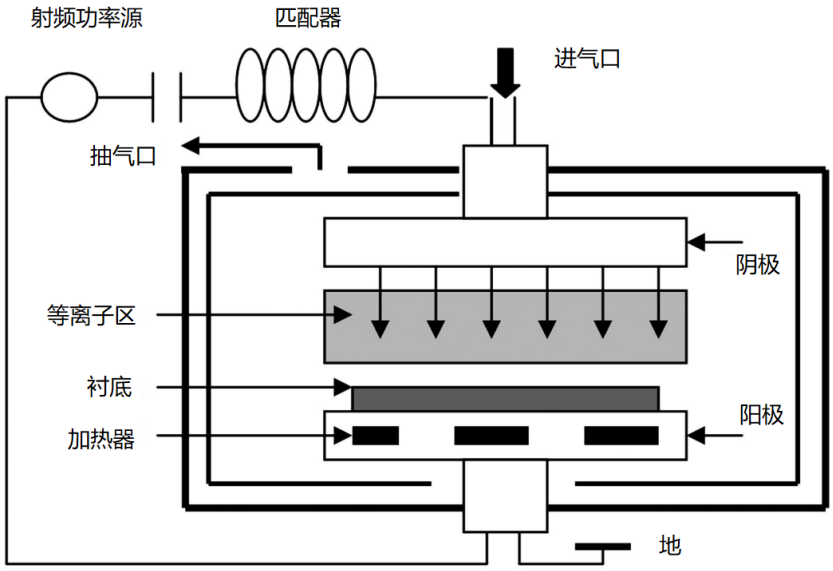
性能指标	HWCVD	PECVD
薄膜生长速率	快	一般
薄膜均匀性	更好	一般
工艺稳定性	较差	稳定
耗材成本	高	低
量产规模	较小	多数量产产线均使用

资料来源：摩尔光伏，南昌大学光伏研究院，中银证券

PECVD：HJT 设备降本的关键

PECVD 沉积薄膜的基本过程：PECVD 技术是借助于辉光放电等离子体使含有薄膜成分的气态物质发生化学反应，从而实现薄膜材料生长的一种制备技术。基本反应过程为：1）在非平衡等离子体中，电子与反应气体（HJT 电池生产中为硅烷、硼烷、磷烷、氢气等）发生初级反应，使得反应气体发生分解，形成离子和活性基团的混合物；2）各种活性基团向薄膜生长表面（衬底，即硅片）扩散输运，同时发生各反应物之间的次级反应；3）到达生长表面的各种初级反应物和次级反应产物被吸附并与表面发生反应，同时伴随气相分子物的再放出。

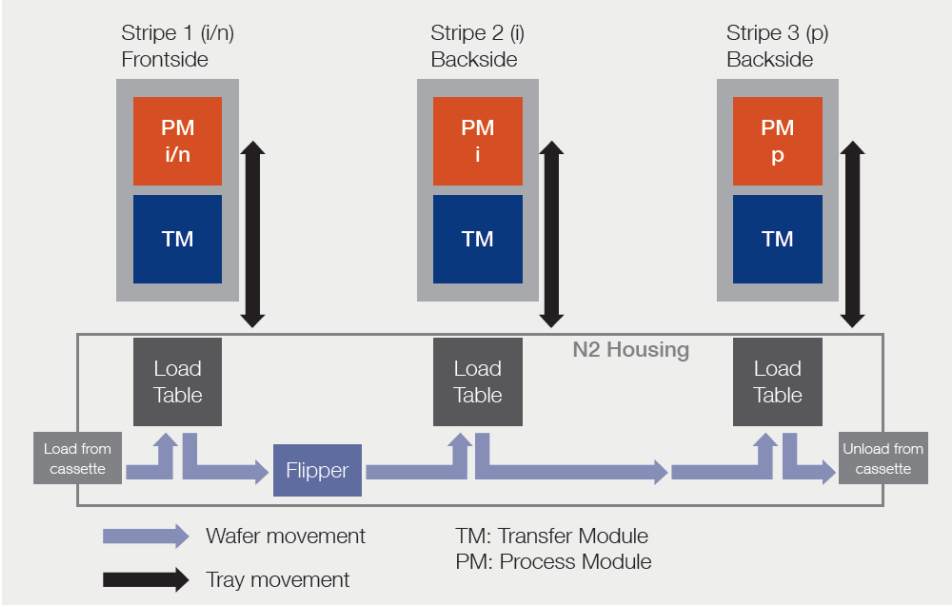
图表 9. 板式 RF-PECVD 基本结构



资料来源：中国知网，中银证券

梅耶博格与应用材料为海外主要供应商：瑞士光伏设备厂商梅耶博格生产的 HELiA 系列 HJT 电池生产线中包含有用于非晶硅镀膜的 PECVD 设备。其设备已应用于 REC、3Sun、Ecosolifier 等海外 HJT 电池厂商。梅耶博格 PECVD 设备的特点：1）在不同镀膜腔体内使用不同的托盘（tray）以隔绝沉积不同膜层时可能出现的交叉污染，可提升镀膜质量；2）设备每个腔体内的托盘始终保持已加热的状态，节约了每次镀膜的初始加热时间，可提升生产节拍。

图表 10. 梅耶博格 PECVD 设备工艺流程



资料来源：梅耶博格官网，中银证券

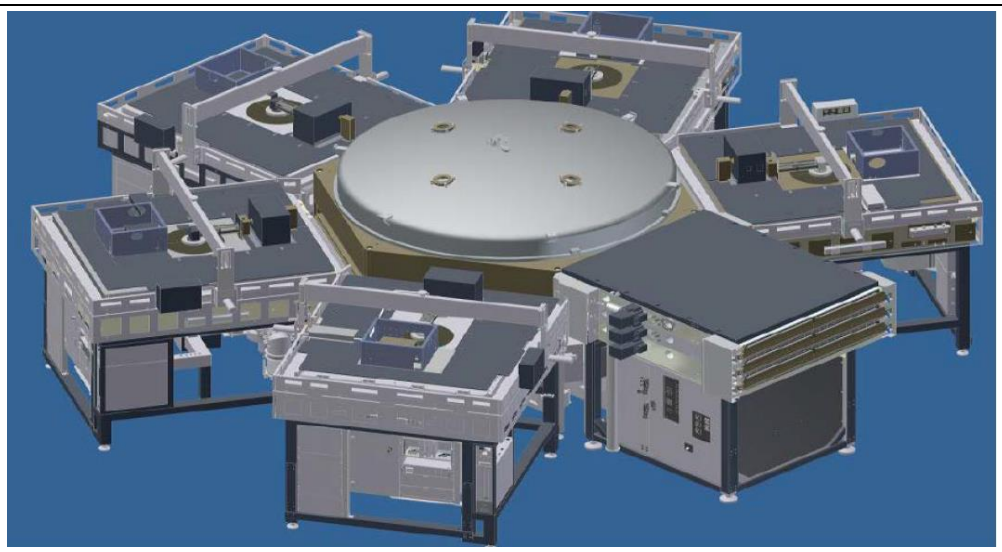
图表 11. 梅耶博格 PECVD 设备部分技术指标

项目	指标
平均工艺时间	84 秒
单托盘硅片数	56 片
生产速度	＞2400 片/h
年产能	≥110MW
良品率	＞99.7%

资料来源：梅耶博格官网，中银证券

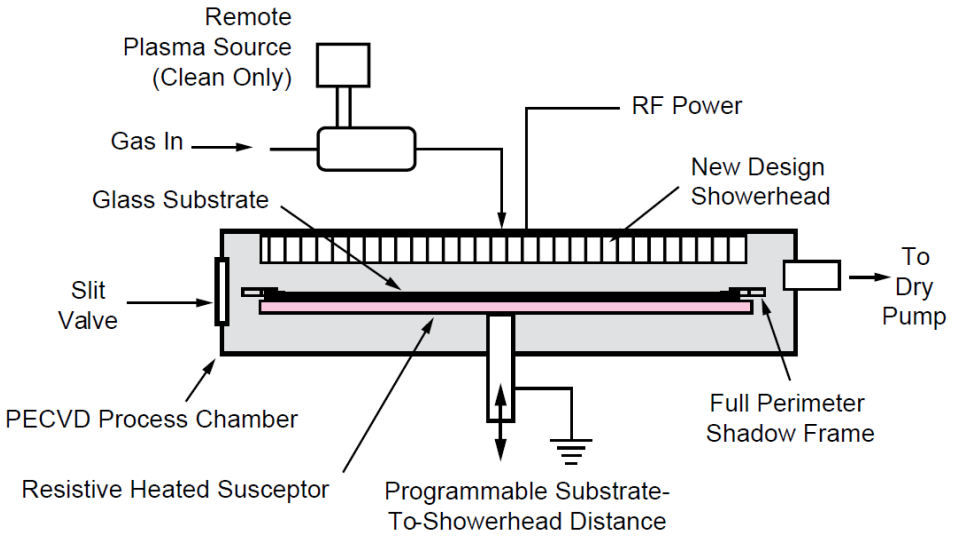
美国设备厂商应用材料生产的 PECVD 设备脱胎于 TFT-LCD 显示屏所使用的 PECVD 设备，有着深厚的技术工艺经验积累，其腔体面积较大，可同时容纳更多硅片进行镀膜，且在大面积下保持优秀的成膜质量。其最主要的特点是采取了团簇式（cluster）的腔体排列方式，不同腔体可同时工作在不同批次的硅片上以提升生产节拍。

图表 12. 应用材料 PECVD 设备外观



资料来源：中科院电工所，中银证券

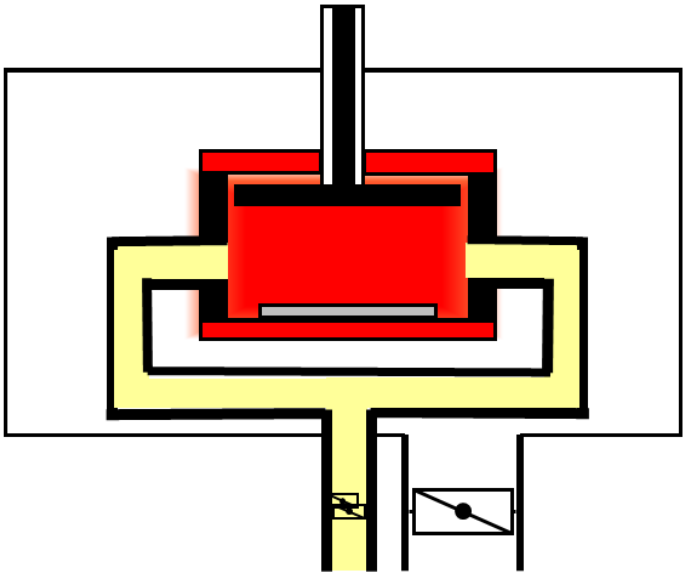
图表 13. 应用材料 PECVD 腔体结构



资料来源：应用材料官网，中银证券

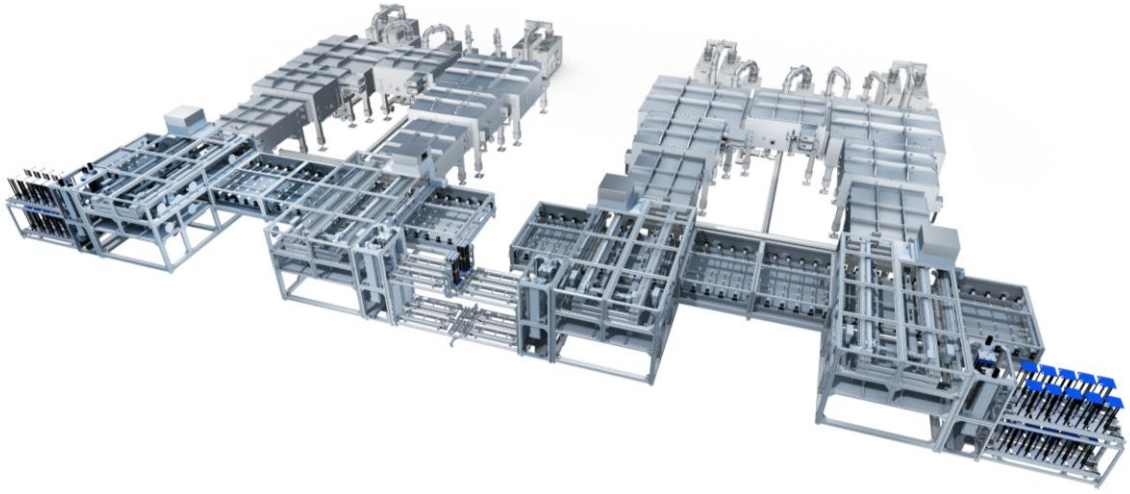
理想万里晖与钧石能源领衔国产厂商：理想万里晖专注于 HJT 电池 PECVD 设备的研发和生产，其设备的特点之一是采用了双真空反应腔，减小了反应腔体的体积，不易产生颗粒物，生产过程中气体消耗较少，同时采用上下极板同时加热的方式，不易产生热漂移。目前理想万里晖 PECVD 设备已实现 25.11%的 HJT 电池实验室转换效率世界纪录。钧石能源自 2010 年起即开始对 HJT 电池与设备进行研发，在电池技术和设备工艺方面均取得了较大突破，目前其自研 PECVD 设备可支撑 HJT 电池达到 24.1%的平均转换效率。此外，迈为股份、捷佳伟创、金辰股份等上市公司亦已积极投入 PECVD 设备的研发，且已取得阶段性成果。

图表 14. 理想万里晖 PECVD 设备腔体示意



资料来源：理想万里晖展示材料，中银证券

图表 15. 理想万里晖 PECVD 设备外观



资料来源：理想万里晖展示材料，中银证券

PECVD 国产化是 HJT 设备降本的主要推动力：PECVD 是 HJT 电池生产过程中的核心设备，其价值量在整条生产线中的占比约 50%-60%。目前梅耶博格与应用材料两家企业所生产的 PECVD 在成膜质量、设备产能等主要指标方面各具优势，但设备价格相对较高，折算到 GW 产能价格超过 5 亿元。因此，通过 PECVD 的国产化以降低设备价格是 HJT 设备降本的主要推动力。

扩大产能是 PECVD 降本的可行路径：降低单 GW 设备价格的主要思路是在不显著提高设备成本的基础上扩大设备产能，具体路径包括提高生产节拍、增加单腔体处理硅片数量等，各国产厂商一般通过缩短镀膜工艺时间、扩大腔体面积、堆叠腔体数量、优化腔体排布与工艺流程等方式实现。其中，提速、扩大面积等方式或影响成膜质量，改变腔体排布结构与工艺流程等方式则对生产过程中配套自动化的质量提出了新的要求。相比于其他三道主工艺设备 5000-6000 片/h 的生产节拍，PECVD 设备的生产节拍相对较慢，亟需在此方面进行研发改进。

国产设备须取得产能、性能、价格之间的平衡：我们认为国内厂商或可博采梅耶博格、应用材料等优秀厂商的不同设计思路，在满足 HJT 设备性能要求的基础上进行设备结构与工艺指标的优化，以在产能、性能、价格之间取得平衡。从近期国内企业取得的研发进展来看，预计国产 PECVD 设备有望在达到单台 150-250MW 产能的基础上将价格水平降低至 3 亿元/GW 以下，进而有望将整条生产线的设备投资降低至 5 亿元/GW 以下。

图表 16. 捷造光电 PECVD 设备部分技术指标

项目	指标
平均工艺时间	120 秒
单托盘硅片数	100 片
生产速度	3000 片/h
年产能	125MW
Uptime（有效工作时间）	90%

资料来源：捷造光电官网，中银证券

图表 17. 部分 PECVD 厂商腔体与产线设计对比

设备厂商	腔体特征
梅耶博格	In-line 排布；在不同镀膜腔体内使用不同托盘以隔绝沉积不同膜层时可能出现的交叉污染，可提升镀膜质量；设备每个腔体内的托盘始终保持已加热的状态，节约了每次镀膜的初始加热时间，可提升生产节拍
应用材料	腔体面积较大，且在大面积下保持优秀的成膜质量；采取了团簇式（cluster）的腔体排列方式，不同腔体可同时工作在不同批次的硅片上以提升生产节拍
INDEOtec	可在腔体内部翻转硅片，完成双面镀膜
理想万里晖	In-line 排布；采用双真空反应腔，减小了反应腔体的体积，不易产生颗粒物，生产过程中气体消耗较少；上下极板同时加热，不易产生热漂移
迅立光电	采用在线动态连续镀膜方式，等离子不间断，可缩短工艺时间，提高生产节拍
捷造光电	In-line 排布；滚轮传输托盘；模块化设计；两套托盘循环系统

资料来源：各公司官网，TaiyangNews，摩尔光伏，中银证券

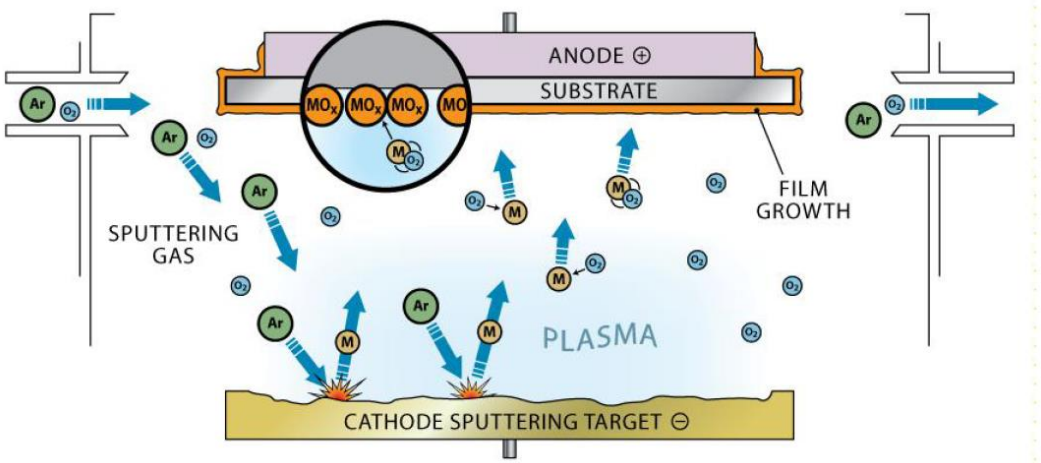
其他主设备：国内企业积极入局，国产化全面推进

TCO 薄膜沉积：PVD 磁控溅射为主流工艺

TCO 薄膜可增强电荷输送能力：在 HJT 电池中，位于硅片两侧的非晶硅薄膜层提供了良好的钝化接触效果，但其整体呈现长程无序结构，使得层内载流子迁移率较低，电池电流不能充分地被金属电极收集。为了解决这一问题，可以使用既可导电又可透光的薄膜来对电荷进行输运，实际常用 TCO（透明导电氧化物）薄膜。高质量的 TCO 薄膜可有效提升 HJT 电池的整体转换效率。

PVD 磁控溅射为现时主流工艺：目前最常用于沉积 TCO 薄膜的方法是物理气相沉积（PVD）大类下的磁控溅射（Sputtering）工艺。此工艺的基本原理是在电磁场的作用下，被加速的气体高能粒子（Ar^+）轰击镀膜靶材，靶材表面的原子获得能量逸出表面后沉积到衬底（已完成非晶硅镀膜的电池片半成品）表面生成氧化物薄膜。

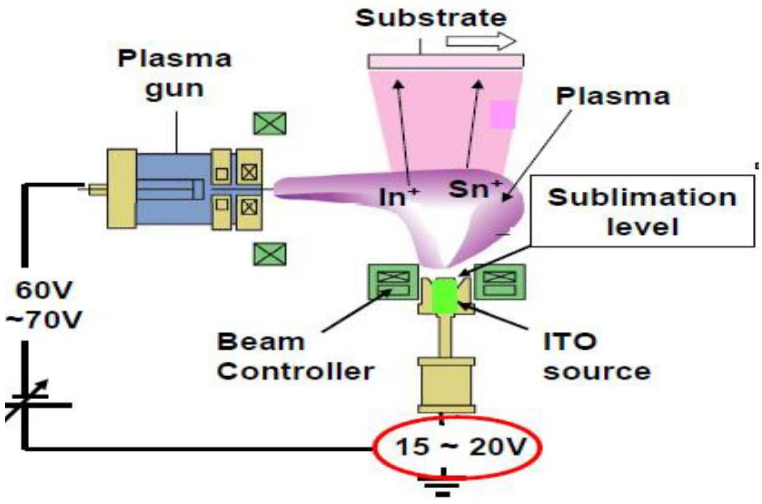
图表 18. 磁控溅射工艺原理示意图



资料来源：研创材料，中银证券

RPD 工艺亦有应用：在磁控溅射以外，反应等离子体沉积（RPD）工艺在 TCO 镀膜中亦有应用。在镀膜设备中，Ar 气体通过等离子体枪产生等离子体，通过磁场引导 Ar 等离子体轰击靶材，靶材温度升高后升华产生气体再沉积到衬底上形成氧化物薄膜。

图表 19. RPD 工艺原理示意图



资料来源：研创材料，中银证券

相较于 PVD，RPD 工艺过程中较少涉及能量粒子对衬底电池片的直接轰击，因此工艺对衬底损伤较小，且衬底温度相对较低，加之其使用的 IWO（掺钨氧化铟）材料的电学性能优于 PVD 使用的 ITO（氧化铟锡）材料，整体上应用 RPD 工艺的 HJT 电池转换效率略高于应用 PVD 工艺的电池。然而 RPD 工艺同时也具有核心部件依赖进口且专利保护严密、靶材供应商少且成本较高、设备来源单一等问题，PVD 相对而言应用更为广泛，设备、靶材均在一定程度上可与显示屏行业通用，国产化程度亦相对较高，故而现时 PVD 磁控溅射为 TCO 镀膜环节的主流工艺。

图表 20. PVD 磁控溅射工艺与 RPD 工艺部分特性对比

项目	PVD 磁控溅射	RPD
薄膜生长速率	较慢	较快
成膜质量	正常	较好
电学性能	一般	较好
靶材成本	低	高
设备厂商	较多	仅日本住友及获专利授权的企业

资料来源：摩尔光伏，研创材料，中银证券

国产设备产能稍有劣势：TCO 镀膜环节，主要的海外 PVD 设备供应商包括德国冯阿登纳、德国新格拉斯、瑞士梅耶博格等，其中新格拉斯的 PVD 设备已可实现 10000 片/h 的生产节拍。国内厂商则有湖南宏大、湖南红太阳、钧石能源、杭州上方等企业投入研发，部分企业可做到 6000 片/h 的生产节拍，预计单机产能约 250MW。RPD 方面，海外供应商为保有核心专利的日本住友，国内捷佳伟创拥有专利授权，其生产的 220MW 设备已应用于爱康科技 HJT 电池中试研发线。

图表 21. 湖南红太阳 PVD 磁控溅射设备部分技术参数

项目	指标
载板规格	12×8 片
生产节拍	≥6000 片/h
成膜厚度	100nm
成膜均匀性	片内±4%、片间±4%、批间±4%
透过率	＞91%

资料来源：中国电科，中银证券

图表 22. 新格拉斯 PVD 设备外观



资料来源：新格拉斯展示材料，中银证券

清洗制绒：国产设备具备性价比

在 HJT 电池结构中，由于衬底硅片的表面直接作为晶硅/非晶硅异质结界面的一部分而存在，因此其表面的洁净程度对于转换效率和其他性能指标的影响相较于现有技术路线更为明显，亦对清洗制绒工序和设备提出了更高的要求。

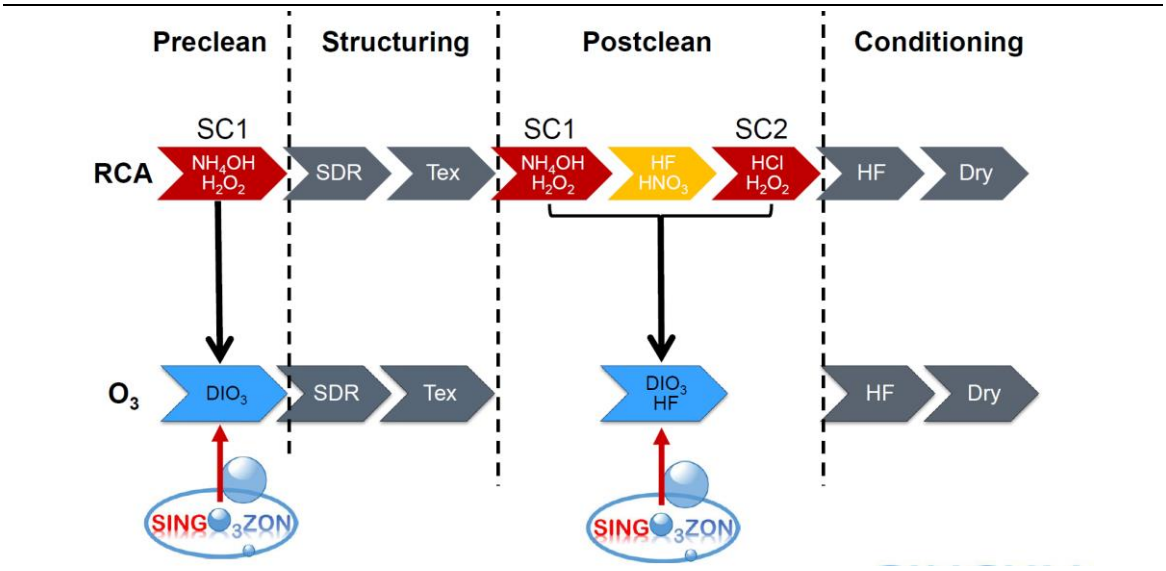
图表 23. 晋能 HJT 电池清洗制绒工艺流程

步骤	工艺		目的	化学品	工艺温度	工艺时间
1	预清洗		去除硅片表面有机物及脏污	NH_4OH、H_2O_2	65-80℃	180-240s
2	去损伤		去除损伤层	KOH	70-80℃	120-180s
3	制绒		制备金字塔绒面	KOH、添加剂	75-85℃	600-900s
4	RCA 清洗	SC1	形成洁净硅片表面	NH_4OH、H_2O_2	65-80℃	120-240s
5		CP	对金字塔底部进行圆滑处理	HNO_3、HF	室温	60-120s
6		SC2	形成洁净硅片表面	HCl、H_2O_2	65-80℃	120-240s
7		DHF		HF	室温	120-180s

资料来源：摩尔光伏，中银证券

主流工艺路线为 RCA，后续或向臭氧工艺切换：目前行业内一般使用 RCA 和臭氧两种清洗技术路线。RCA 技术路线历史较久，使用硫酸和过氧化氢的高浓度混合溶液，包含 SC-1 和 SC-2 两个步骤。SC-1 侧重于通过过氧化氢和氢氧化铵的热碱性混合溶液去除硅片表面的颗粒和有机污染物。SC-2 在较高的温度下用盐酸和过氧化氢的混合溶液去除硅片表面的金属污染。最后的清洗处理步骤是通过 HF 处理，在干燥前形成一个干净的氢钝化表面。RCA 工艺主要的不足在于化学品成本相对较高，且废水含氮，对环境稍有压力。目前 RENA、新格拉斯等企业已推出兼容臭氧工艺的设备，预计后续 HJT 产能有望逐步切换到臭氧清洗路线。

图表 24. RCA 与臭氧清洗流程对比



资料来源：新格拉斯展示材料，中银证券

图表 25. RCA 与臭氧清洗耗材成本对比

化学品	100MW RCA（万欧元）	100MW 臭氧（万欧元）
H_2O_2	26.70	/
KOH	26.38	26.47
NH_4OH	21.17	/
添加剂	17.15	17.20
HNO_3	8.63	/
去离子水	5.88	5.90
电力	3.84	3.57
HF	3.80	3.95
HCl	1.81	0.76
压缩干燥空气	0.45	0.45
N_2	0.12	0.10
O_2	/	0.38
合计	**115.93**	**58.78**

资料来源：新格拉斯展示材料，中银证券

国产设备具备性价比：HJT 电池清洗制绒设备主要海外供应商包括日本 YAC、德国 RENA、德国新格拉斯等，其中新格拉斯已在兼容 M6 尺寸硅片的基础上将生产节拍提升至 8000 片/h。国内企业中，根据捷佳伟创官网信息，捷佳伟创已推出 6000 片/h 生产节拍（单机产能 250MW）的设备，虽产能相较最高水平有所不足，但性价比方面已具备竞争力，亦同时兼容 RCA 与臭氧两种工艺。

图表 26. 捷佳伟创清洗制绒设备部分技术参数

项目	指标
Uptime	≥95%
生产节拍	6000 片/h
破片率	≤0.05%
平均维护间隔	450h
平均维护时间	4h

资料来源：捷佳伟创官网，中银证券

图表 27. 捷佳伟创清洗制绒设备外观



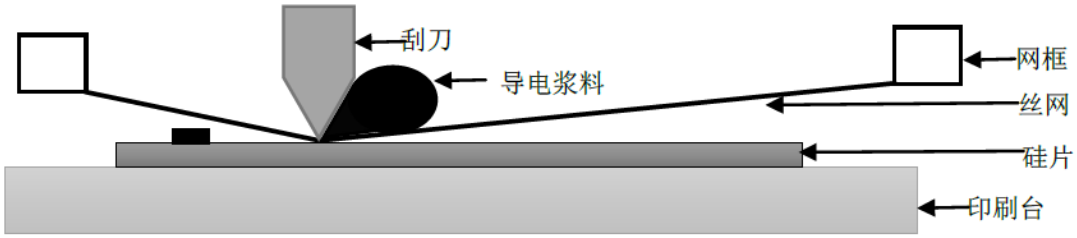
资料来源：捷佳伟创官网，中银证券

金属化：低温银浆是降本核心

金属化即金属电极制作，是 HJT 电池生产的最后一步主工艺，通过在电池两侧固化金属电极，使电极与电池片形成紧密高效的欧姆接触，以将电池内部的电流引出。

丝网印刷银电极应用广泛：HJT 电池的丝网印刷原理与单晶 PERC 电池大体一致，利用丝网图形的网孔使浆料透过而漏印至承印物（电池片），操作时在丝网一面倒入浆料后均匀摊覆，而后通过刮刀的移动将网孔部分的浆料挤印至电池，实际操作中常采用二次印刷以提升印刷质量。印刷完毕后电池片进入烧结工序形成与电极的欧姆接触。

图表 28. 丝网印刷原理示意图



资料来源：摩尔光伏，中银证券

HJT 电池必须使用低温银浆：由于 HJT 电池非晶硅薄膜含氢量较高等特点，HJT 电池生产全过程中的温度一般不应超过 200℃，而传统铝背场电池的印刷工序一般在 800℃温度下进行烧结，因此 HJT 电池必须使用不同于传统银浆的低温银浆。

低温银浆是降本核心：低温银浆的固有特性在一定程度上限制了 HJT 电池丝网印刷工艺的降本提效。1）低温银浆导电性能相对较差，需要栅线宽度适当放大以降低电阻，由此导致低温银浆耗用量较高；2）低温银浆焊接拉力偏低，为保证足够的焊接拉力亦需要提升银浆用量；3）低温银浆黏度特性导致 HJT 电池电极印刷速度相对 PERC 电池偏慢；4）低温银浆应用量较少，价格较高。在传统 5BB 电池工艺下，HJT 电池银浆消耗量约 300mg/片，对应成本约 0.3 元/W，是 HJT 电池非硅成本的最主要构成，印刷环节的降本必然要从低温银浆入手。

进口设备尚为主流，国产设备或以性价比取胜：目前 HJT 电池丝网印刷设备海外主要供应商为美国应用材料（旗下 Baccini 公司）、日本 Microtec、德国 ASYS 等，进口设备在目前中试产能中占有率较高。国产设备企业包括 PERC 电池丝网印刷设备龙头迈为股份以及新近进入印刷领域的捷佳伟创等。丝网印刷设备就技术而言国内外企业差距相对较小，预计国产设备有望以性价比优势逐步取得市场份额。

电镀铜路线暂显沉寂：除丝网印刷之外，电镀铜路线亦有少量 HJT 电池厂商应用。相对于银电极印刷，电镀铜电极具备材料价廉、导电性好等优势，但在目前的工艺流程下存在生产偏复杂、生产成本偏高、废水面临环保压力等不足，金属化环节整体上仍是银电极印刷路线为当前主流。如后续能通过优化工艺等途径解决上述问题，则电镀铜路线未来仍有望凭借成本和效率双方面的优势替代银电极印刷。

设备降本或打响产业化提速“发令枪”

HJT 电池降本路径明确

根据我们前期报告的测算，由于异质结组件具备高转换效率、强发电能力、低发电衰减等固有优势，当前异质结组件所具备的合理溢价空间可允许 HJT 非硅成本高出 0.18-0.27 元/W，结合电池片、组件环节其他成本、毛利空间等因素，我们综合判断 HJT 电池非硅成本的临界范围约在 0.4-0.5 元/W；如果异质结电池非硅成本达到临界范围，异质结电池相对于目前主流单晶 PERC 电池的性价比优势有望逐步显现，从而有望实现对于单晶 PERC 的替代。

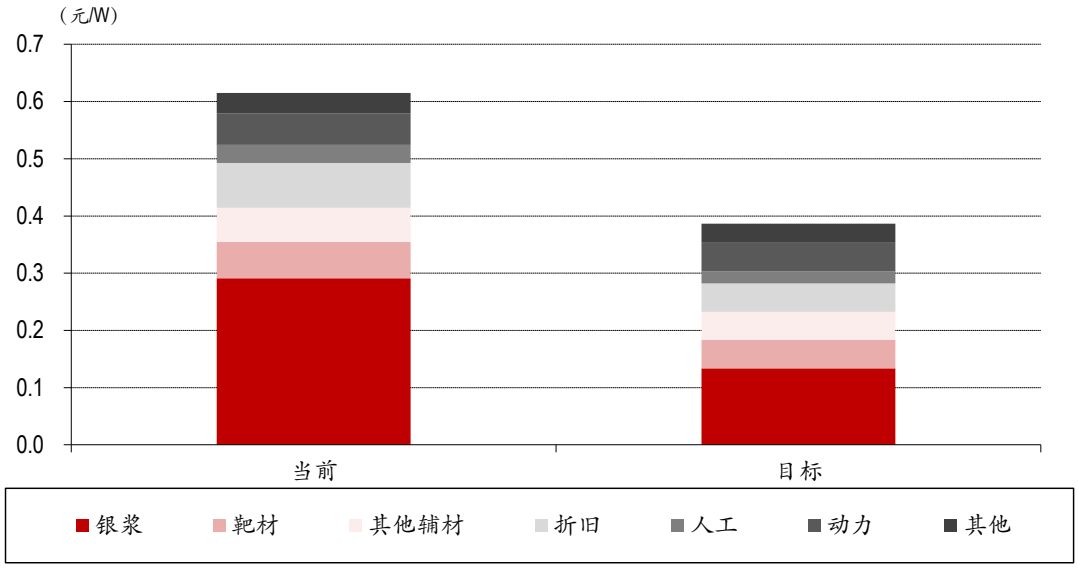
根据前期报告，我们预计目前异质结电池非硅成本水平大致位于 0.6-0.7 元/W 区间，相对于 0.4-0.5 元/W 的目标仍有一定幅度的差距。就非硅成本的组成而言，异质结电池在低温银浆、设备折旧、靶材耗用等方面均有较大的降本潜力。

银浆：随着 MBB 多主栅工艺的逐步应用，目前应用 9BB 的 HJT 电池银浆耗量预计可下降 30%，对应可节省非硅成本 0.05-0.06 元/W。后续如 SmartWire 等新型连接技术国产化取得突破，则银耗有望进一步降低 25%至 150mg/片以下。此外，HJT 电池低温银浆本身的国产化也有望降低银浆价格约 15%-20%。

设备：目前进口设备整线投资水平约 8 亿元/GW，全部国产化后的初步预期水平为 5 亿元/GW 以下，预计可降低折旧成本约 0.05 元/W 以上。

靶材：以 PVD 工艺为例，ITO 靶材的耗用有望降低约 20-30mg/片，结合 ITO 价格下降，预计可降低成本约 0.01-0.02 元/W。

图表 29. HJT 电池非硅成本拆分及其目标

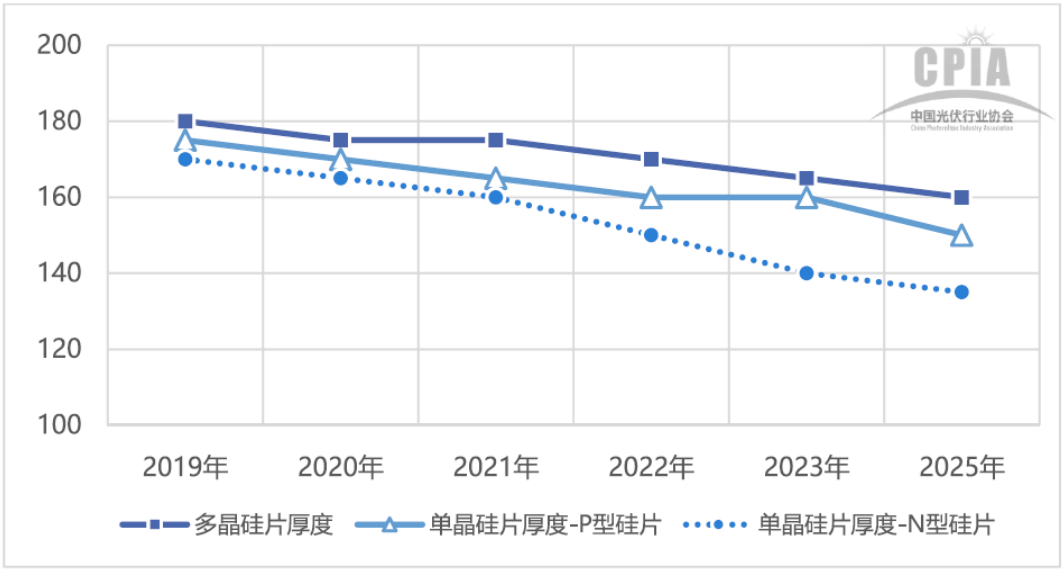


资料来源：摩尔光伏，三峡资本，Solarzoom，中银证券

此外，根据我们的测算，HJT 电池转换效率每提升 1%，在不同应用场景下可增加组件溢价空间 0.05-0.15 元/W 不等，即可放大 HJT 电池的成本空间。考虑 HJT 电池研发力量持续增加，且研发成果正不断涌现，我们认为在不提升整体成本的基础上，25%的量产效率大概率可以预见。

在硅成本方面，由于基底 N 型硅片具备更高的减薄潜力，且 HJT 的电池结构对薄硅片的兼容能力较强，硅片本身的薄片化则有望为 HJT 电池提供进一步的降本空间。根据 CPIA 光伏发展路线图，目前用于异质结电池的硅片厚度约为 150μm。目前部分国产 HJT 电池片厂商已开始将 140μm 厚度的硅片投入量产。我们预计随着异质结电池技术的应用，硅片厚度降速有望进一步加快。

图表 30. CPIA 对于硅片厚度的预测（μm）

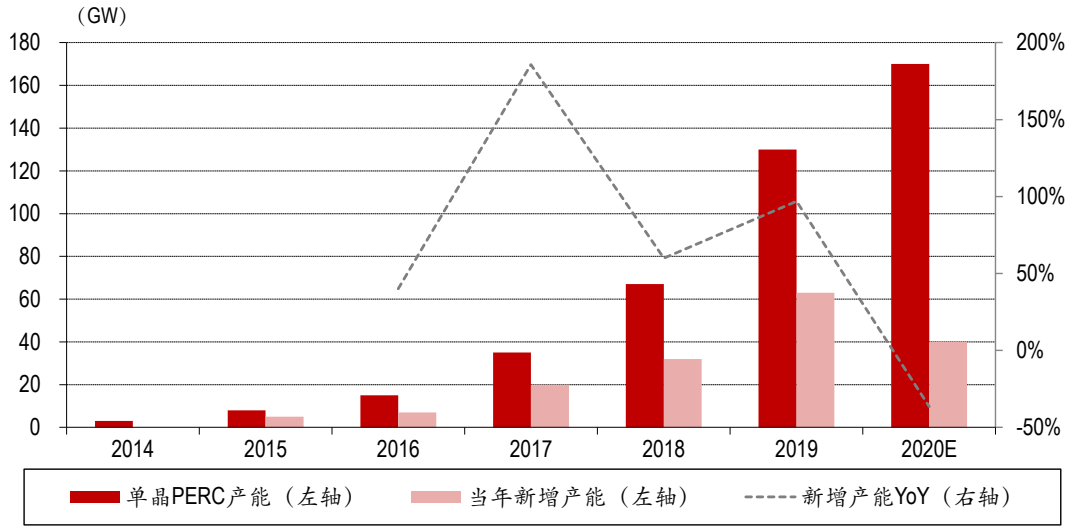


资料来源：CPIA，中银证券

设备降成本是 HJT 产业化提速的关键

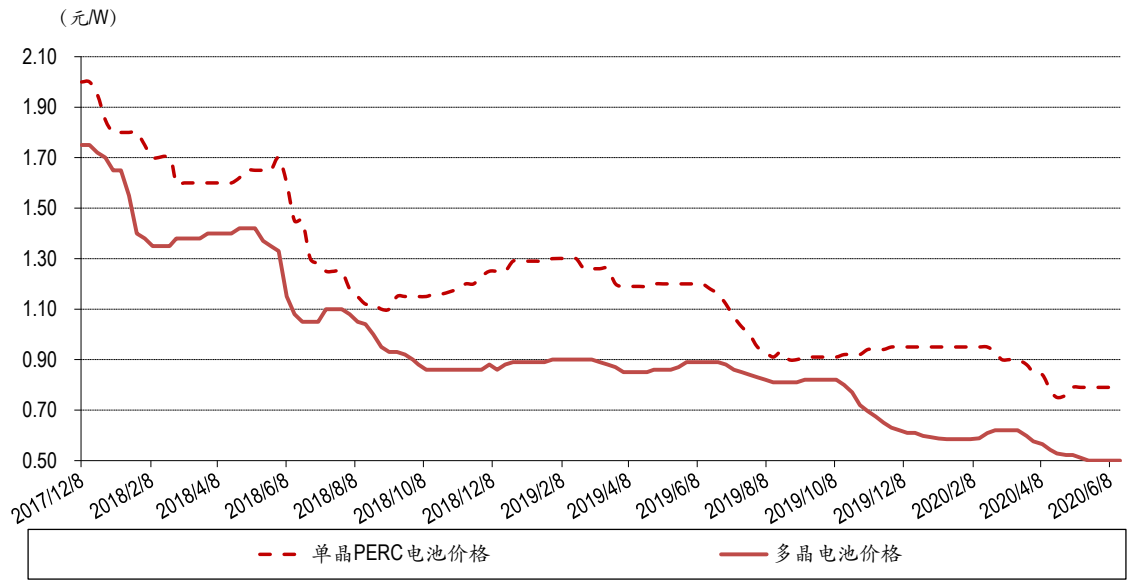
电池片价格或伴随产业化规模的提升而快速下降：光伏电池片行业技术扩散较快，导致电池片产品区分度较低，又因为新进入者采购新装备即可在相当程度上建立起对老产能的成本和转换效率优势，加之新产品在产业化初期往往具备一定程度的溢价，使得新产能账面投资回报率较高，故而光伏电池片环节在新技术或工艺进步可量产后，一般会进入新产能快速扩张的周期，最近一次的单晶 PERC 电池产能扩张即为显例。但从供需两端看，首先，一般情况下光伏需求增量无法覆盖新增的新产品产能，其次，老技术路线产能并不会迅速主动出局，采取产能技改与产品降价等对策以延长存活时间是较大概率的选择，因此在新技术路线产能快速释放的过程中，供需格局在边际上通常处于恶化状态，产业化初期的溢价难以长久支撑，新产品价格一般随产能规模的提升而快速下降。

图表 31. 单晶 PERC 电池产能扩张历程



资料来源：PVInfolink，中银证券

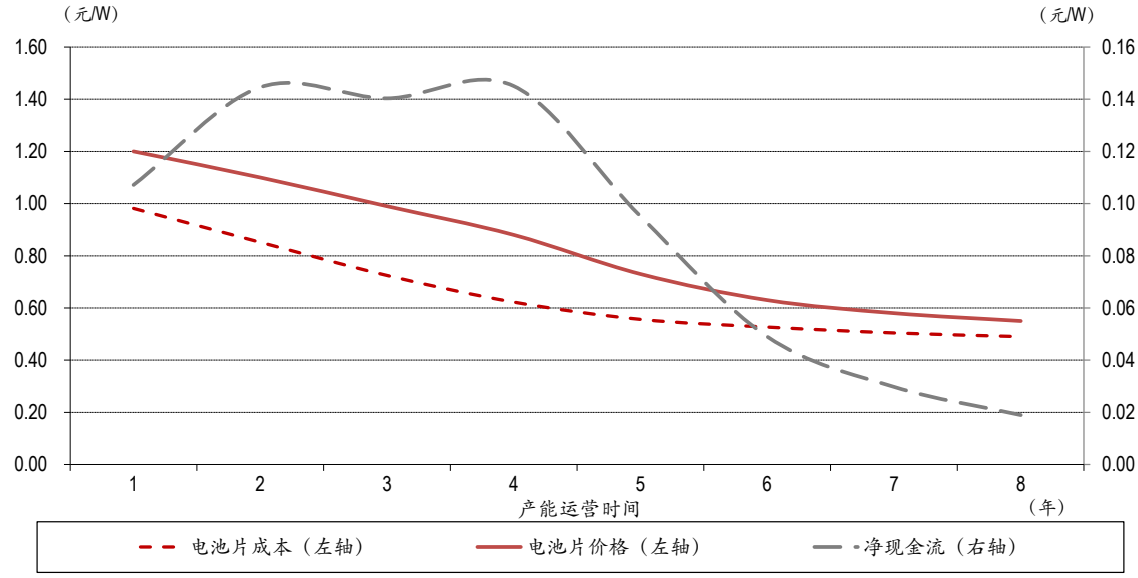
图表 32. 单晶 PERC 电池与多晶电池价格走势



资料来源：Solarzoom，PVInfolink，中银证券

缩短产线投资回收期或为企业核心诉求：目前 HJT 电池正处于大规模产业化的前期，从产业目前的研发情况来看，主工艺设备的技术突破是 HJT 提效的主要推动力之一，预计 HJT 产业化后大概率不易摆脱设备水平对电池竞争格局的影响。大规模产业化后 HJT 电池的产能与价格或在一定程度上与单晶 PERC 电池的变化路径相仿，即价格可能在初期供需偏紧结束之后快速下降。在这样的预期之下，最大程度地缩短新产线的投资回收期或成为电池片厂商产能投资决策的核心关注点。

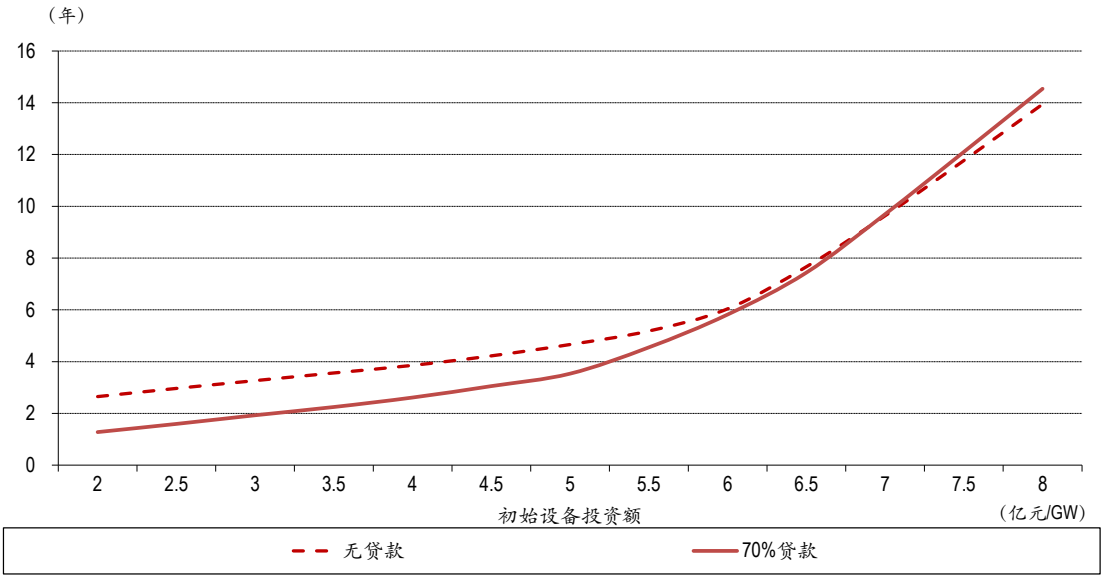
图表 33. HJT 电池产能净现金流预测（无贷款）



资料来源：中银证券

整线投资 5 亿元/GW 或成“发令枪”：我们对 HJT 电池产业化的进度以及产业化后价格、成本、盈利等各方面进行了推演和测算。可以看出在 HJT 产能投资回收期对初始设备投资额的敏感程度在 5-6 亿元/GW 附近出现分段。在较保守的盈利情况预测和无贷款条件下，当初始设备投资由 8 亿元/GW 降低至 5 亿元/GW 时，对应产能投资回收期由接近 14 年快速下降至 5 年以下，降幅约 9 年；而当设备投资进一步降低至 2 亿元/GW 时，产能投资回收期仅再下降 2.1 年。在 70%贷款条件下这一现象更为明显，8 亿元/GW 至 5 亿元/GW 区间和 5 亿元/GW 区间至 2 亿元/GW 区间产能投资回收期分别下降 11 年、2.2 年。因此，虽然设备国产化对 HJT 电池折旧成本的降低不如银浆等辅材的降本幅度显著，但其对缩短产能投资回收期的积极影响是显而易见的。进一步推演，产能投资回收期的缩短有望吸引更多产业资本进入 HJT 行业，进而放大产能和人员规模，加速效率提升和材料降本的进程，最终提升 HJT 电池的经济性并进一步扩大产能规模，形成良性循环。故而设备降本对 HJT 产业化的提速有着重要的意义，处于分割点的 5 亿元/GW 设备投资或成为 HJT 大规模产业化的“发令枪”。

图表 34. HJT 电池产能投资回收期测算

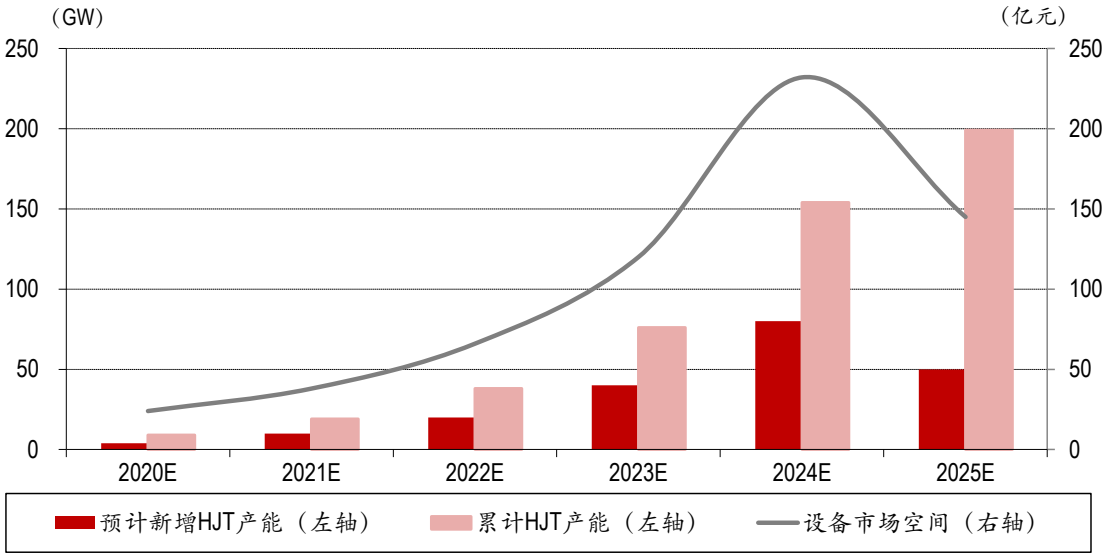


资料来源：中银证券

HJT 设备 6 年市场空间或超过 600 亿元

在设备国产化的推动下，HJT 设备投资有望快速下降至 5 亿元/GW 以下，产能投资吸引力的提升有望加速 HJT 电池的产业化进度并加速对现有技术路线的替代，行业产能或复制近年单晶 PERC 的扩张进程。我们测算 2020-2025 年新增设备需求空间有望超过 600 亿元，产能投放高峰年份空间有望超过 200 亿元。

图表 35. HJT 产能规模与设备市场空间预测



资料来源：中银证券

投资建议

HJT 电池在拥有高转换效率的同时亦具备短工艺流程的优势，对设备和电池企业而言降低了工艺控制的复杂程度和产业化的难度。梳理各道主工艺及设备，PECVD 一方面直接影响非晶硅膜层的质量进而影响电池转换效率，另一方面其价值量高且产能存在突破的空间，是 HJT 电池提效降本的核心环节，且已有国产设备企业取得阶段性进展。PVD、清洗制绒、丝网印刷等其他主工艺设备呈现国内企业积极入局、国产化全面推进的良好局面。

根据我们的测算，在设备国产化的基础上，HJT 设备初始投资额在降至 5 亿元/GW 以下的过程中有望推动 HJT 产线投资回收期快速缩短而显示出充分的投资吸引力，进而加速 HJT 电池的产业化进度并加速对现有技术路线的替代。我们测算 2020-2025 年新增设备需求空间有望超过 600 亿元，产能投放高峰年份空间有望超过 200 亿元，较早布局的设备企业有望享受产业化初期较高的订单弹性。

推荐 HJT 设备国产化先锋迈为股份、捷佳伟创，建议关注金辰股份，此外建议关注非上市公司理想万里晖、钧石能源等。

风险提示

HJT 电池效率进步与降本速度不达预期：HJT 电池对现有技术路线替代的核心因素是性价比，包含转换效率提升与成本降低两个大方向，如任何一个方向未来进度不达预期，均会对 HJT 电池的整体性价比造成影响，进而延后 HJT 的大规模产业化进程。

设备与辅材降本进度不达预期：生产设备与银浆等辅材降本是 HJT 电池降低成本的重要推动因素，如辅材与设备成本下降速度或幅度低于预期，会对 HJT 的整体降本进度产生重大负面影响。

单晶 PERC 电池效率竞争力超预期：作为现有主流技术路线，单晶 PERC 电池如在转换效率上取得超预期提升，或在生产成本方面取得超预期下降，均会进一步拉开目前相对于 HJT 电池的性价比优势，从而导致 HJT 电池的替代进程放缓。

光伏政策风险：目前光伏行业整体景气度与行业政策的导向密切相关，如政策方面出现不利变动，可能影响光伏行业整体需求，从而对制造产业链整体盈利能力造成压力，进而放缓行业技术进步的速度，推迟新技术的替代时间。

疫情影响超预期：新型冠状病毒肺炎疫情尚未结束，如疫情持续或出现反弹，可能因人流、物流受限而影响 HJT 相关企业研发人员工作进度，亦可能导致相关企业缩减研发投入，进而拖慢 HJT 研发生产进程。

附录图表 36. 报告中提及上市公司估值表

公司代码	公司简称	评级	股价	市值	每股收益(元/股)		市盈率(x)		最新每股净资产
			(元)	(亿元)	2019A	2020E	2019A	2020E	(元/股)
300751.SZ	迈为股份	买入	329.90	171.55	4.76	6.22	69.31	53.05	27.32
300724.SZ	捷佳伟创	买入	83.22	267.32	1.19	1.87	69.93	44.43	8.29
603396.SH	金辰股份	未有评级	35.05	37.08	0.57	0.85	61.49	41.03	8.91

资料来源：万得，中银证券

注：股价截止日 8 月 13 日，未有评级公司盈利预测来自万得一致预期

披露声明

本报告准确表述了证券分析师的个人观点。该证券分析师声明，本人未在公司内、外部机构兼任有损本人独立性与客观性的其他职务，没有担任本报告评论的上市公司的董事、监事或高级管理人员；也不拥有与该上市公司有关的任何财务权益；本报告评论的上市公司或其它第三方都没有或没有承诺向本人提供与本报告有关的任何补偿或其它利益。

中银国际证券股份有限公司同时声明，将通过公司网站披露本公司授权公众媒体及其他机构刊载或者转发证券研究报告有关情况。如有投资者于未经授权的公众媒体看到或从其他机构获得本研究报告的，请慎重使用所获得的研究报告，以防止被误导，中银国际证券股份有限公司不对其报告理解和使用承担任何责任。

评级体系说明

以报告发布日后公司股价/行业指数涨跌幅相对同期相关市场指数的涨跌幅的表现为基准：

公司投资评级：

买　　入：预计该公司股价在未来 6 个月内超越基准指数 20%以上；

增　　持：预计该公司股价在未来 6 个月内超越基准指数 10%-20%；

中　　性：预计该公司股价在未来 6 个月内相对基准指数变动幅度在-10%-10%之间；

减　　持：预计该公司股价在未来 6 个月内相对基准指数跌幅在 10%以上；

未有评级：因无法获取必要的资料或者其他原因，未能给出明确的投资评级。

行业投资评级：

强于大市：预计该行业指数在未来 6 个月内表现强于基准指数；

中　　性：预计该行业指数在未来 6 个月内表现基本与基准指数持平；

弱于大市：预计该行业指数在未来 6 个月内表现弱于基准指数。

未有评级：因无法获取必要的资料或者其他原因，未能给出明确的投资评级。

沪深市场基准指数为沪深 300 指数；新三板市场基准指数为三板成指或三板做市指数；香港市场基准指数为恒生指数或恒生中国企业指数；美股市场基准指数为纳斯达克综合指数或标普 500 指数。

风险提示及免责声明

本报告由中银国际证券股份有限公司证券分析师撰写并向特定客户发布。

本报告发布的特定客户包括：1) 基金、保险、QFII、QDII 等能够充分理解证券研究报告，具备专业信息处理能力的中银国际证券股份有限公司的机构客户；2) 中银国际证券股份有限公司的证券投资顾问服务团队，其可参考使用本报告。中银国际证券股份有限公司的证券投资顾问服务团队可能以本报告为基础，整合形成证券投资顾问服务建议或产品，提供给接受其证券投资顾问服务的客户。

中银国际证券股份有限公司不以任何方式或渠道向除上述特定客户外的公司个人客户提供本报告。中银国际证券股份有限公司的个人客户从任何外部渠道获得本报告的，亦不应直接依据所获得的研究报告作出投资决策；需充分咨询证券投资顾问意见，独立作出投资决策。中银国际证券股份有限公司不承担由此产生的任何责任及损失等。

本报告内含保密信息，仅供收件人使用。阁下作为收件人，不得出于任何目的直接或间接复制、派发或转发此报告全部或部分内容予任何其他人，或将此报告全部或部分内容发表。如发现本研究报告被私自刊载或转发的，中银国际证券股份有限公司将及时采取维权措施，追究有关媒体或者机构的责任。所有本报告内使用的商标、服务标记及标记均为中银国际证券股份有限公司或其附属及关联公司（统称“中银国际集团”）的商标、服务标记、注册商标或注册服务标记。

本报告及其所载的任何信息、材料或内容只提供给阁下作参考之用，并未考虑到任何特别的投资目的、财务状况或特殊需要，不能成为或被视为出售或购买或认购证券或其它金融票据的要约或邀请，亦不构成任何合约或承诺的基础。中银国际证券股份有限公司不能确保本报告中提及的投资产品适合任何特定投资者。本报告的内容不构成对任何人的投资建议，阁下不会因为收到本报告而成为中银国际集团的客户。阁下收到或阅读本报告须在承诺购买任何报告中所指之投资产品之前，就该投资产品的适合性，包括阁下的特殊投资目的、财务状况及其特别需要寻求阁下相关投资顾问的意见。

尽管本报告所载资料的来源及观点都是中银国际证券股份有限公司及其证券分析师从相信可靠的来源取得或达到，但撰写本报告的证券分析师或中银国际集团的任何成员及其董事、高管、员工或其他任何个人（包括其关联方）都不能保证它们的准确性或完整性。除非法律或规则规定必须承担的责任外，中银国际集团任何成员不对使用本报告的材料而引致的损失负任何责任。本报告对其中所包含的或讨论的信息或意见的准确性、完整性或公平性不作任何明示或暗示的声明或保证。阁下不应单纯依靠本报告而取代个人的独立判断。本报告仅反映证券分析师在撰写本报告时的设想、见解及分析方法。中银国际集团成员可发布其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告，亦有可能采取与本报告观点不同的投资策略。为免生疑问，本报告所载的观点并不代表中银国际集团成员的立场。

本报告可能附载其它网站的地址或超级链接。对于本报告可能涉及到中银国际集团本身网站以外的资料，中银国际集团未有参阅有关网站，也不对它们的内容负责。提供这些地址或超级链接（包括连接到中银国际集团网站的地址及超级链接）的目的，纯粹为了阁下的方便及参考，连结网站的内容不构成本报告的任何部份。阁下须承担浏览这些网站的风险。

本报告所载的资料、意见及推测仅基于现状，不构成任何保证，可随时更改，毋须提前通知。本报告不构成投资、法律、会计或税务建议或保证任何投资或策略适用于阁下个别情况。本报告不能作为阁下私人投资的建议。

过往的表现不能被视作将来表现的指示或保证，也不能代表或对将来表现做出任何明示或暗示的保障。本报告所载的资料、意见及预测只是反映证券分析师在本报告所载日期的判断，可随时更改。本报告中涉及证券或金融工具的价格、价值及收入可能出现上升或下跌。

部分投资可能不会轻易变现，可能在出售或变现投资时存在难度。同样，阁下获得有关投资的价值或风险的可靠信息也存在困难。本报告中包含或涉及的投资及服务可能未必适合阁下。如上所述，阁下须在做出任何投资决策之前，包括买卖本报告涉及的任何证券，寻求阁下相关投资顾问的意见。

中银国际证券股份有限公司及其附属及关联公司版权所有。保留一切权利。

中银国际证券股份有限公司
中国上海浦东
银城中路 200 号
中银大厦 39 楼
邮编 200121
电话: (8621) 6860 4866
传真: (8621) 5888 3554

相关关联机构：

中银国际研究有限公司
香港花园道一号
中银大厦二十楼
电话:(852) 3988 6333
致电香港免费电话:
中国网通 10 省市客户请拨打：10800 8521065
中国电信 21 省市客户请拨打：10800 1521065
新加坡客户请拨打：800 852 3392
传真:(852) 2147 9513

中银国际证券有限公司
香港花园道一号
中银大厦二十楼
电话:(852) 3988 6333
传真:(852) 2147 9513

中银国际控股有限公司北京代表处
中国北京市西城区
西单北大街 110 号 8 层
邮编:100032
电话: (8610) 8326 2000
传真: (8610) 8326 2291

中银国际(英国)有限公司
2/F, 1 Lothbury
London EC2R 7DB
United Kingdom
电话: (4420) 3651 8888
传真: (4420) 3651 8877

中银国际(美国)有限公司
美国纽约市美国大道 1045 号
7 Bryant Park 15 楼
NY 10018
电话: (1) 212 259 0888
传真: (1) 212 259 0889

中银国际(新加坡)有限公司
注册编号 199303046Z
新加坡百得利路四号
中国银行大厦四楼(049908)
电话: (65) 6692 6829 / 6534 5587
传真: (65) 6534 3996 / 6532 3371