



洞悉光伏主产业链系列一

——光伏电池片：N型电池片技术迭代拉开序幕，引领行业降本增效

核心观点

电池片是光伏发电的核心部件，其技术路线和工艺水平直接影响光伏组件的发电效率和使用寿命。电池片是通过将硅片加工处理得到的可以将太阳的光能转化为电能的半导体薄片，决定了光伏系统的发电能力，原理是光生伏特效应和PN结。电池片上游主要包括原材料硅片（占电池片总成本约74%-75%）和核心辅材银浆（占电池片总成本约8%）；电池片下游为光伏组件制造商，电池片约占组件总成本50.1%。

N型电池片接棒P型电池片，成为下一代主流技术。P型电池片仍是主流技术路线，2021年PERC电池市占率达91.2%，但单晶PERC电池量产效率已达23.1%，逼近24.5%的极限效率，难取得大幅提升。N型电池由于成本较高，量产规模较小，2021年市占率3%，较2020年基本持平。N型电池具有少子寿命高、光致衰减低、温度系数绝对值低、弱光响应好等优点，极大提升电池开路电压和转换效率，有望成为下一代主流技术。

TOPCon产线接轨PERC产线，短期内凭借成本优势产业化进度最快。TOPCon采用隧穿氧化层钝化接触技术，在电池背面制备超薄氧化硅后再沉积掺杂硅薄层。从转换效率来看，TOPCon理论极限效率28.7%，量产效率24%~24.5%，最高实验室效率高达25.7%，效率提升空间大。从成本来看，TOPCon产线兼容PERC产线，增加约0.5-0.8亿元/GW即可完成升级；新建TOPCon产线设备投资成本约2.2亿元/GW，较其他N型技术更具经济性。截至2021年底，TOPCon的非硅成本已经能低于0.3元/瓦，对比PERC仍然有0.18-0.22元/瓦的差距。从产能规划来看，预计2022年TOPCon落地产能有望超50GW，TOPCon总产能规划约162GW。

HJT电池降本路径清晰，是中期最有优势的技术方向之一。HJT电池由掺杂不同的两种不同材料（晶体硅和非晶硅）组成，硅片和非晶硅组成PN结，减少载流子复合。从转换效率来看，HJT电池理论极限效率为28.5%，量产效率24%~24.5%，最高实验室效率达26.5%。从成本来看，我们测算HJT生产成本较PERC每瓦高0.18元，降本路线包括：1）设备国产化；2）低温银浆国产化；3）工艺改善（多主栅、银包铜、激光转印）降低银浆耗量；4）靶材国产化，AZO替代；5）硅片薄片化。从产能规划来看，预计2022年新增产能在20-30GW，HJT总产能规划超150GW。

IBC电池优势与挑战并存，叠加其他技术潜力大。IBC电池正面无金属栅线，发射极和背场及对应的正负金属电极呈叉指状集成在电池背面，该结构最大程度减少了光学损失。从转换效率来看，传统IBC电池的效率并没有与TOPCon和HJT电池拉开差距，而IBC电池技术作为一种平台型技术，叠加TOPCon/HJT电池技术，即TBC/HBC电池，量产效率分别为24.5%~25.5%/25%~26.5%。从成本来看，IBC电池目前成本高，精简工艺步骤，降低制造成本是降本核心。从产能规划来看，头部厂商布局，预计今年将有少量产能落地。

投资建议

在电池片技术快速迭代背景下，我们看好1）能进行全产业链配套同时技术储备丰富的一体化组件龙头企业，相关标的：隆基绿能、晶科能源、晶澳科技、天合光能；2）电池片龙头相关标的：通威股份、爱旭股份。

风险提示

上游原材料价格波动；政策落地不及预期；N型电池片研发不及预期。

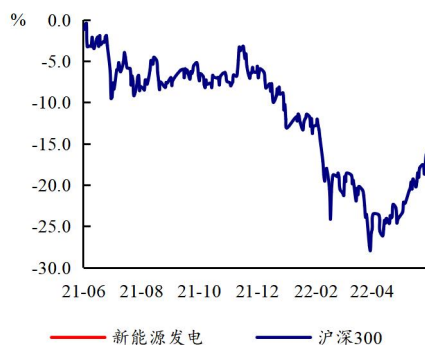
评级

推荐（维持）

报告作者

作者姓名	段小虎
资格证书	S1710521080001
电子邮箱	duanxh@easec.com.cn
联系人	柴梦婷
电子邮箱	chaimt@easec.com.cn

股价走势



相关研究

《光伏行业维持高景气，各板块分化显著》2022.05.19
 《洞悉光伏辅材产业链系列二》2022.04.21
 《新能源车2月销量好于预期，光伏中上游价格稳中有升》2022.03.14
 《两会再提促进新能源车消费，光伏中上游价格稳中有进》2022.03.07
 《洞悉光伏辅材产业链系列一》2022.03.03

正文目录

1. 引言	6
2. 电池片简介及发展趋势	6
2.1. 定义：电池片是光伏发电核心部件，其技术路线和工艺水平直接影响光伏系统发电效率和使用寿命	6
2.2. 原理：光生伏特效应与 PN 结	9
2.3. 分类：根据衬底硅片类型，分为 P 型电池片和 N 型电池片	10
2.4. 生产流程：主要概括为 6 个流程，不同种类电池生产流程有所差异	12
2.5. 发展趋势：全国电池片产量高速增长，N 型电池技术效率跃升新高度	14
2.5.1. 全国电池片产量高速增长，近十年光伏电池片产量 CAGR 为 33.5%	14
2.5.2. PERC 电池产能占比 91%，短期仍然占据主流地位	15
2.5.3. N 型电池转换效率优势明显，将成为下一代技术方向	20
3. TOPCon 电池：接轨 PERC 产线，产业化进度最快	22
3.1. 简介：采用量子隧穿效应，LPCVD 为当前主流工艺路线	22
3.1.1. N 型硅衬底，采用隧穿氧化层钝化接触技术	22
3.1.2. TOPCon 技术概念起源于 2013 年，规模化应用或将开启	23
3.1.3. 多种技术路线并进，LPCVD 工艺为当前主流	24
3.2. 转换效率：理论转换效率高达 28.7%，量产效率为 24%~24.5%	24
3.3. 成本端：兼容 PERC 产线设备，大硅片+银铝浆进一步推动成本下降	26
3.3.1. 兼容并延长 PERC 产线的生命周期，短期看最具性价比	26
3.3.2. 非硅成本逐渐逼近 PERC，良率仍有提升空间	27
3.4. 产能规划：预计 2022 年 TOPCon 落地产能有望超过 50GW	28
4. HJT 电池：颠覆性技术异军突起，产业化降本路径清晰明确	30
4.1. 简介：采用异质结替代同质结，异质结电池诞生逾 30 年	30
4.1.1. 异质结替代同质结，本征富氢非晶硅膜为核心工艺	30
4.1.2. HJT 电池技术起源于 1974 年，国内厂商加快产业化步伐	31
4.2. 转换效率：理论转换效率为 28.5%，量产效率为 24%~24.5%	32
4.3. 成本端：成本仍处高位，多种降本路线齐头并进	35
4.3.1. 高成本导致竞争力不足，限制 HJT 电池规模化生产	35
4.3.2. 材料端：银浆、靶材、硅片都是 HJT 电池未来主要的降本路径	37
4.3.3. 设备端：国产替代加速，未来 HJT 设备有望降至 3 亿元/GW	39
4.4. 产能规划：预计 2022 年新增产能 20-30GW	39
5. IBC 电池：平台型长期电池技术路线，国内仍难实现大规模量产	41
5.1. 简介：采用交叉指式背接触结构，XBC 为当前热门发展方向	41
5.1.1. 正面无金属栅线，优势与挑战并存	41
5.1.2. IBC 电池技术起源于 1975 年，XBC 为当前热门发展方向	42
5.1.3. 制作工艺：制程步骤复杂，工艺难度大	43
5.2. 转换效率：经典 IBC 效率溢价难以覆盖成本溢价，TBC+HBC 吸引产业转型	45
5.3. 成本端：精简工艺步骤和降低制造成本是降本核心，XBC 降本路线与融合前的技术具有相关性	48
5.4. 产能规划：头部厂商布局，预计今年少量产能落地	48
6. 相关标的	49
6.1. 隆基绿能	49
6.1.1. 光伏组件一体化龙头，全面布局零碳赛道	49
6.1.2. 业绩维持高速增长，盈利能力稳定	50
6.1.3. 增资扩产单晶电池片，光伏电池转换效率屡创新高	51
6.2. 通威股份	52

6.2.1. 全球电池片龙头，HJT、TOPCon 新技术加速研发	52
6.2.2. 业绩维持高速增长，现金流大幅增加	53
6.2.3. 单晶 PERC 电池平均非硅成本持续下降，HJT、TOPCon 新技术加速研发	55
6.3. 晶科能源	56
6.3.1. 全球组件龙头，专注光伏中游制造环节	56
6.3.2. 营业收入稳步增长，毛利率保持稳定	57
6.3.3. TOPCon 电池研发能力领先，N 型电池片开始放量	59
6.4. 晶澳科技	59
6.4.1. 光伏组件一体化龙头，垂直一体化率高达 80%	59
6.4.2. 业绩维持高速增长，盈利能力趋向稳定	60
6.4.3. PERC 电池奠定坚实基础，6.5GW TOPCon 电池放量在即	62
6.5. 天合光能	62
6.5.1. 光伏组件国际化领军者，出货量常年全球领先	62
6.5.2. 业绩亮眼增长可期，费用率控制得当持续下降	64
6.5.3. 研发和量产效率行业领先，开启 TOPCon 电池产业化进程	66
6.6. 爱旭股份	66
6.6.1. 光伏电池后起之秀，产品创新引领行业发展	66
6.6.2. 业绩持续高速增长，费用管控效果显著	68
6.6.3. 研发技术优势凸显，高效 ABC 电池引领组件技术迭代	70
7. 风险提示	71

图表目录

图表 1. 光伏产业链梳理	6
图表 2. 传统光伏电池片结构示意图	7
图表 3. 单晶单面光伏电池片成本结构	8
图表 4. 单晶双面光伏电池片成本结构	8
图表 5. 光伏组件成本构成	8
图表 6. 本节术语概览	9
图表 7. PN 结内部电场	10
图表 8. 光生伏特效应	10
图表 9. 本节术语概览	10
图表 10. 电池片技术路线图	11
图表 11. 本节术语概览	12
图表 12. 陷光原理	12
图表 13. 传统电池片生产工艺流程	13
图表 14. 各种电池工艺步骤	14
图表 15. 2011-2021 年中国电池片产量	15
图表 16. 本节术语概览	15
图表 17. PERC 电池与常规 BSF 电池结构对比	16
图表 18. PERC 电池生产工艺流程	17
图表 19. PERC 电池发展历程	18
图表 20. PERC 电池量产效率变化趋势	19
图表 21. PERC 电池最高效率变化趋势	19
图表 22. 2016-2021 不同技术路线电池渗透率	19
图表 23. 2021-2030 年电池技术市场占比变化趋势	20

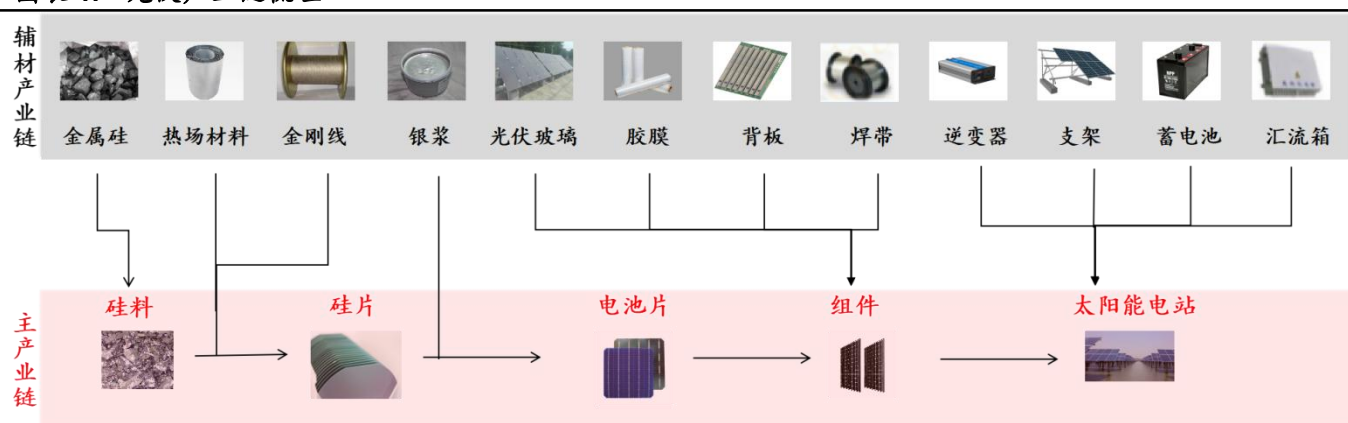
图表 24. 2012-2030E 年国内电池片量产转换效率发展趋势	21
图表 25. 本节术语概览	22
图表 26. TOPCon 电池结构图	22
图表 27. TOPCon 电池发展历程	23
图表 28. TOPCon 主要工艺技术路线	24
图表 29. 不同电子/空穴选择性接触材料组成的电池极限效率 (ISFH 测算版本)	25
图表 30. 不同电子/空穴选择性接触材料组成的电池极限效 (隆基最新测算版本)	25
图表 31. N 型 TOPCon 最高效率记录	26
图表 32. TOPCon 与 PERC 电池生产工艺及设备改造情况	27
图表 33. TOPCon 电池成本结构	28
图表 34. 头部电池厂商 TOPCon 扩产计划及进度 单位: GW (截至 2022 年 6 月)	29
图表 35. 本节术语概览	30
图表 36. HJT 异质结电池结构图	31
图表 37. HJT 电池发展历程	32
图表 38. HJT 最高转换效率 (国际认证)	33
图表 39. HJT 最高转换效率 (非国际认证)	33
图表 40. 各种类电池温度系数	34
图表 41. HJT 电池与 TOPCon 电池工艺步骤比较	35
图表 42. 2022 年 PERC 电池与 HJT 电池成本对比	36
图表 43. HJT 成本结构	37
图表 44. HJT 非硅成本结构	37
图表 45. 高低温银浆对比	37
图表 46. 不同技术银浆耗量 (mg/片)	38
图表 47. N 型硅片厚度变化趋势 (μm)	39
图表 48. HJT 电池规划产能统计 (截至 2022 年 6 月)	40
图表 49. 本节术语概览	41
图表 50. IBC 电池结构图	41
图表 51. IBC 电池发展历程	43
图表 52. IBC 电池工艺流程	44
图表 53. FFE 结构的 IBC 空穴电流模拟	44
图表 54. FSF 结构的 IBC 空穴电流模拟	44
图表 55. SunPower 公司 IBC 电池发展历程	45
图表 56. IBC 电池工艺路线	46
图表 57. HBC 电池结构	46
图表 58. SunPower 的 TBC 电池结构	47
图表 59. 各电池技术效率对比	47
图表 60. 各电池技术路线成本对比	48
图表 61. XBC 电池产能规划统计 (截至 2022 年 6 月)	49
图表 62. 隆基绿能历史沿革	49
图表 63. 隆基绿能股权结构	50
图表 64. 隆基绿能历年营收变动趋势	50
图表 65. 隆基绿能历年归母净利润变动趋势	50
图表 66. 隆基绿能毛利率与净利率变动趋势	51
图表 67. 隆基绿能期间费用率变动趋势	51
图表 69. 通威股份历史沿革	53
图表 70. 通威股份股权结构	53

图表 71. 通威股份历年营收变动趋势	54
图表 72. 通威股份历年归母净利润变动趋势	54
图表 73. 通威股份毛利率与净利率变动趋势	55
图表 74. 通威股份期间费用率变动趋势	55
图表 76. 晶科能源历史沿革	56
图表 77. 晶科能源股权结构	57
图表 78. 晶科能源历年营收变动趋势	57
图表 79. 晶科能源历年归母净利润变动趋势	57
图表 80. 晶科能源毛利率与净利率变动趋势	58
图表 81. 晶科能源期间费用率变动趋势	58
图表 83. 晶澳科技历史沿革	59
图表 84. 晶澳科技股权结构	60
图表 85. 晶澳科技历年营收变动趋势	61
图表 86. 晶澳科技历年归母净利润变动趋势	61
图表 87. 晶澳科技毛利率与净利率变动趋势	61
图表 88. 晶澳科技期间费用率变动趋势	61
图表 90. 天合光能历史沿革	63
图表 91. 天合光能股权结构	64
图表 92. 天合光能历年营收变动趋势	65
图表 93. 天合光能历年归母净利润变动趋势	65
图表 94. 天合光能毛利率与净利率变动趋势	65
图表 95. 天合光能期间费用率变动趋势	65
图表 97. 爱旭股份历史沿革	67
图表 98. 爱旭股份股权结构	68
图表 99. 爱旭股份历年营收变动趋势	68
图表 100. 爱旭股份历年归母净利润变动趋势	68
图表 101. 爱旭股份毛利率与净利率变动趋势	69
图表 102. 爱旭股份期间费用率变动趋势	69

1. 引言

随着全球碳中和进程不断加速，叠加光伏发电成本持续下行，经济性不断提升，光伏装机需求高增长确定性较强。我们将对光伏全产业链进行全面及深入的研究，旨在基于长期看好光伏产业链发展的情况下，作出深入研究并为投资者提供参考。光伏产业链上游包括原料高纯度多晶硅材料的生产，单晶硅和多晶硅的制造，硅片的生产；中游包括光伏电池片，光伏组件（玻璃、支架、胶膜等）以及逆变器环节；下游是光伏发电的应用端包括光伏电站和分布式发电。本篇报告将聚焦于光伏产业链中技术迭代速度最快的中游电池片环节，将PERC、TOPCon、HJT、IBC 电池的原理、结构、发展历史、工艺路线、转换效率、成本构成及各企业对各种类产能规划进行全面梳理。

图表 1. 光伏产业链梳理



资料来源：海优新材招股说明书，东亚前海证券研究所

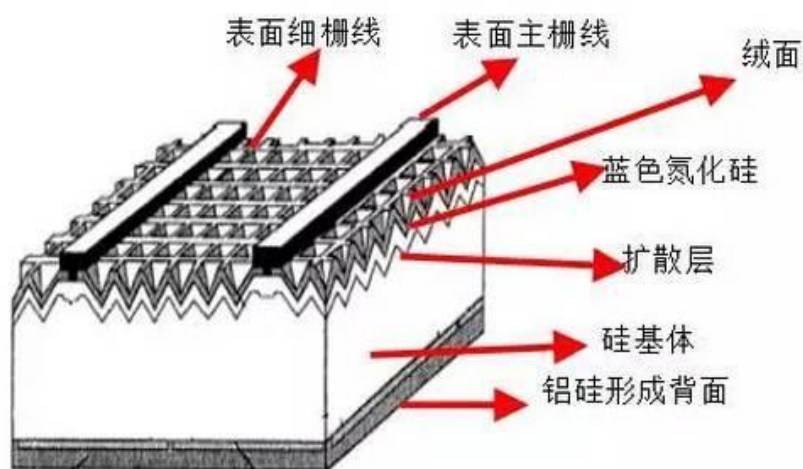
2. 电池片简介及发展趋势

2.1. 定义：电池片是光伏发电核心部件，其技术路线和工艺水平直接影响光伏系统发电效率和使用寿命

电池片是光伏发电的核心部件，其技术路线和工艺水平直接影响光伏组件的发电效率和使用寿命。光伏电池片位于光伏产业链中游，是通过将单/多晶硅片加工处理得到的可以将太阳的光能转化为电能的半导体薄片。从电池片的必要性来看，光伏发电的原理（详细阐述见 2.2 章节）来自于半导体的光电效应，通过光照使不均匀半导体或半导体与金属结合的不同部位之间产生电位差，是由光子（光波）转化为电子、光能量转化为电能量后形成电压和电流的过程。上游环节生产出来的硅片无法导电，经过加工处理得到的电池片决定了光伏组件的发电能力。

从电池片的重要性来看，发电效率和使用寿命是光伏组件价值的核心参数：1) 电池片的转换效率是其受光照时的最大输出功率和入射光功率的比值，是直接影响光伏组件乃至整个光伏发电系统发电效率的核心因素。转换效率更高的电池片有着更高的输出功率，用其封装形成的光伏组件的整体功率也会更高；2) 电池片生产工艺的缺陷往往会导致单体电池片的内阻不均匀从而极易产生热斑现象，热斑效应是指单体电池片被小的物体遮盖，导致其所产生的电流变小，成为负载，轻则烧毁电池片，严重的会引起整片电池组件的燃烧，对组件使用寿命危害非常大。从这个维度来看，电池片的生产工艺水平直接影响光伏组件的使用寿命。

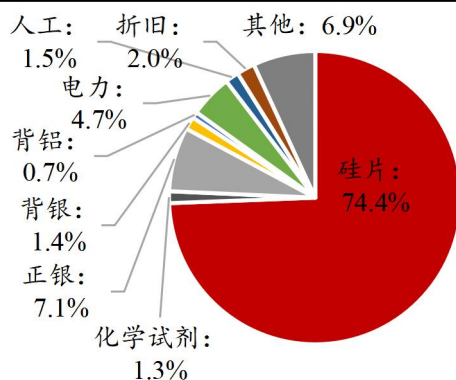
图表 2. 传统光伏电池片结构示意图



资料来源：全球光伏，东亚前海证券研究所

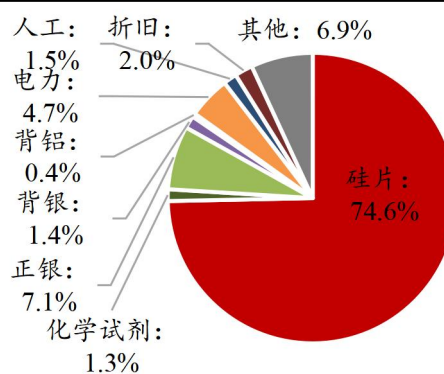
电池片上游主要包括原材料硅片和核心辅材银浆。从光伏电池片产业链上游来看，电池片主要原材料为硅片，主要辅材为银浆、铝浆和化学试剂，主要动力为电力。1) 硅片：硅片是电池片主要原材料，在硅料价格持续上涨的背景下，硅片环节凭借其良好的价格传导能力且相对稳定的竞争格局，维持较好盈利能力；2) 银浆：银浆为电池片结构中的核心电极材料，目前光伏银浆需求随着光伏行业的发展持续增长，但受制于高技术门槛，海外厂商市场份额较大，尚有较大的国产替代空间。从电池片成本构成来看，根据 Solarzoom 数据，硅片占电池片成本最高，约为 74-75%；银浆是除硅片外电池片成本占比第二高的材料，约占电池片总成本的 8%，占电池片非硅成本的 33%，主要能源电力约占总成本的 5%。

图表 3. 单晶单面光伏电池片成本结构



资料来源: Solarzoom, 东亚前海证券研究所

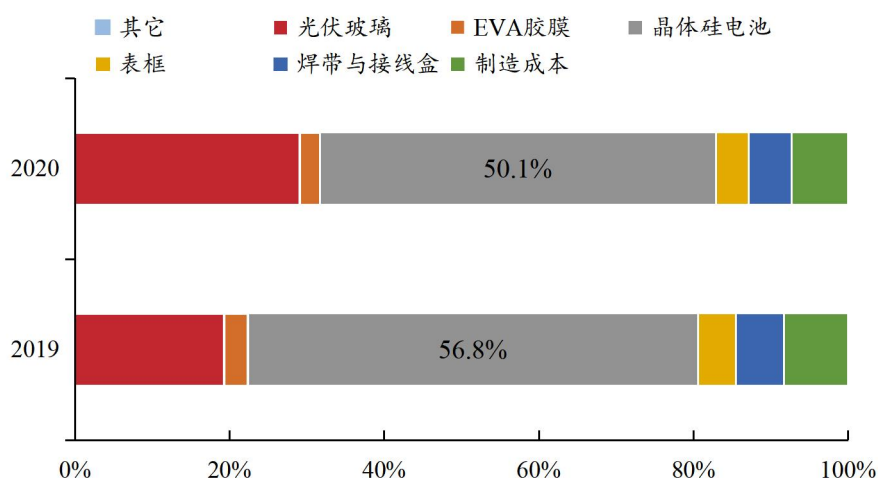
图表 4. 单晶双面光伏电池片成本结构



资料来源: Solarzoom, 东亚前海证券研究所

电池片下游为光伏组件制造商。从光伏电池片产业链下游来看, 电池片主要与光伏玻璃、其他封装材料(背板、EVA 胶膜等)共同封装形成太阳能电池组件, 组件再与逆变器、支架等共同构成光伏电站发电系统。从电池片占组件成本比重来看, 根据华经产业研究院, 2021 年电池片占组件成本比重为 50.1%, 同比-6.7pct, 主要系硅料硅片、组件端的双重压力和供需关系影响导致电池片价格承压下行, 但电池片仍为光伏组件成本的最核心组成部分, 也是光伏组件降本的主要途径。

图表 5. 光伏组件成本构成



资料来源: 华经产业研究院, 东亚前海证券研究所

2.2. 原理：光伏效应与 PN 结

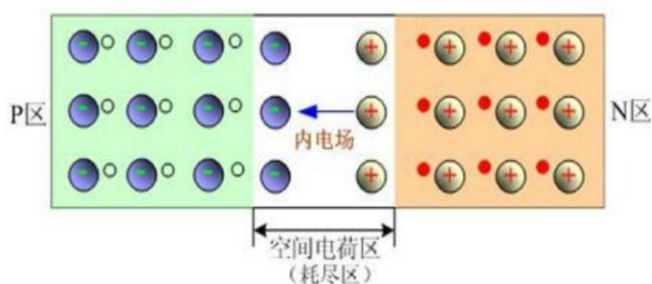
图表 6. 本节术语概览

术语	定义
光伏效应	当物体受到光照时，物体内的电荷分布状态发生变化而产生电动势和电流的一种效应。
P 型硅	纯净的硅本身不导电，掺杂硼的硅即 P 型硅。硅最外层有 4 个电子，而硼最外层有 3 个电子，故 P 型硅又称正电荷载流子型硅。
空穴	带正电的 P 型硅外层有 4 个电子，当它掺杂外层有 3 个电子的硼，在与硅成键时留下 1 个额外的开放空间，即空穴。
N 型硅	纯净的硅本身不导电，掺杂磷的硅即 N 型硅。磷最外层有 5 个电子，其中 4 个用于与相邻硅原子结合，剩下 1 个额外的自由电子，故 N 型硅又称负电荷载流子型硅。
PN 结	在一块完整的硅片上，用不同的掺杂工艺使其一边形成 N 型半导体，另一边形成 P 型半导体，我们称两种半导体的交界面附近的区域为 PN 结。
空间电荷区	当 P 型和 N 型硅层状掺杂时，在其交界处发生电子和空穴的扩散运动：空穴由 P 区向 N 区扩散，电子则由 N 区向 P 区扩散，随着扩散的进行，P 区空穴减少，出现了一层带负电的离子区，而 N 区电子减少，出现了一层带正电的离子区，这样在它们的交接处形成空间电荷区。
电位差	衡量单位电荷在静电场中由于电势不同所产生的能量差的物理量。
光生电压	在有光照（无论是太阳光，还是其它发光体产生的光照）情况下，电池吸收光能，电池两端出现异号电荷的积累，即产生“光生电压”。
内建电场	半导体中由于内部的作用而形成的电场，不是外加电场。

资料来源：维基百科，东亚前海证券研究所

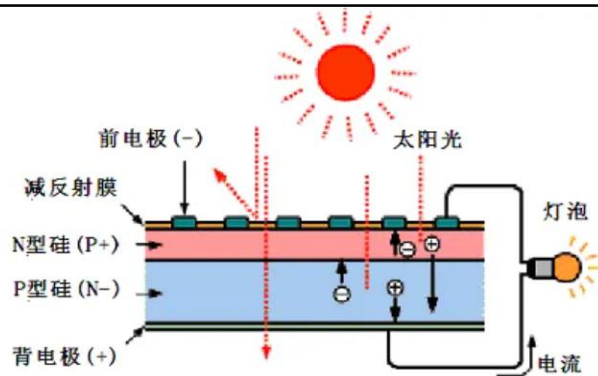
太阳能电池工作的原理为光伏效应和 PN 结。光伏效应是指当物体受到光照时，物体内的电荷分布状态发生变化而产生电动势和电流的一种效应，该效应是光伏发电的原理。电池片基本构造是运用 P 型与 N 型半导体接合而成，半导体最基本的材料是“硅”，纯净的硅是不导电的，但可以通过在硅中掺杂来改变分子结构：在硅晶体中掺入硼元素，即可做成 P 型半导体；掺入磷元素，即可做成 N 型半导体。电池片发电即是利用 P 型半导体有个空穴（P 型半导体少了一个带负电荷的电子，可视为多了一个正电荷），与 N 型半导体多了一个自由电子的电位差来产生电流，当太阳光照射到半导体的 PN 结时，就会在 PN 结的两边出现光生电压，进而将硅原子中的电子激发出来，产生电子和空穴的对流，这些电子和空穴均会受到内建电场影响，分别被 N 型及 P 型半导体吸引，而聚集在两端。在此情境下，将两端外部用电极连接起来，形成一个回路，即可产生电流，这就是太阳能电池发电的原理。

图表 7. PN 结内部电场



资料来源：CSDN，东亚前海证券研究所

图表 8. 光生伏特效应



资料来源：索比光伏网，东亚前海证券研究所

2.3. 分类：根据衬底硅片类型，分为 P 型电池片和 N 型电池片

图表 9. 本节术语概览

术语	定义
光致衰减 (Light Induced Degradation, LID)	光伏电池及组件在光照过程中引起的功率衰减现象。P 型电池光致衰减的主要原因：在硅材料中硼和氧同时存在的情况下，光照或电流注入导致硼和氧形成硼氧 (B-O) 复合体。硼氧复合体是一种亚稳态缺陷，形成了复合中心，从而降低了少子寿命。而 N 型电池因为硼含量极低，本质上消除了硼氧复合体的影响，几乎不会产生 LID 现象。
载流子	又名电流载体，指可以自由移动的带有电荷的物质微粒，半导体中有两种载流子即电子和空穴。
少子	半导体材料中有电子和空穴两种载流子。如果在半导体材料中某种载流子占少数，导电中起到主要作用，则称它为少子。在 P 型半导体中，电子为少子；在 N 型半导体中，空穴为少子。
金属栅线	晶硅电池的汇流线，栅线将电流汇集到汇流带（焊带）上，再与接线盒相连，最终由接线盒的线缆导出。
陷光	陷光原理是利用光线入射到电池片表面的斜面，进而被反射到另一斜面，以形成多次吸收。入射光在经过多次反射，改变了入射光在硅中的前进方向，既延长了光程，又增加了对红外光子的吸收，同时有较多的光子在靠近 PN 结附近产生光生载流子，从而增加了光生载流子的收集。
场钝化	在近表面处创建电场，以排斥相同极性的载流子。
化学钝化	通过饱和悬空键来弱化界面电子态。
选择性发射极 (SE)	选择性发射极晶体硅太阳电池，即在金属栅线与硅片接触部位及其附近进行高浓度掺杂，而在电极以外的区域进行低浓度掺杂。这样的结构可降低扩散层复合，由此可提高光线的短波响应，同时减少前金属电极与硅的接触电阻，使得短路电流、开路电压和填充因子都得到较好的改善，从而提高转换效率。摩尔光伏实验数据显示，采用 SE 技术能实现电池片量产效率稳定提升 0.25% 以上，到组件环节可以使现有的 60 片组件提升功率 5W。

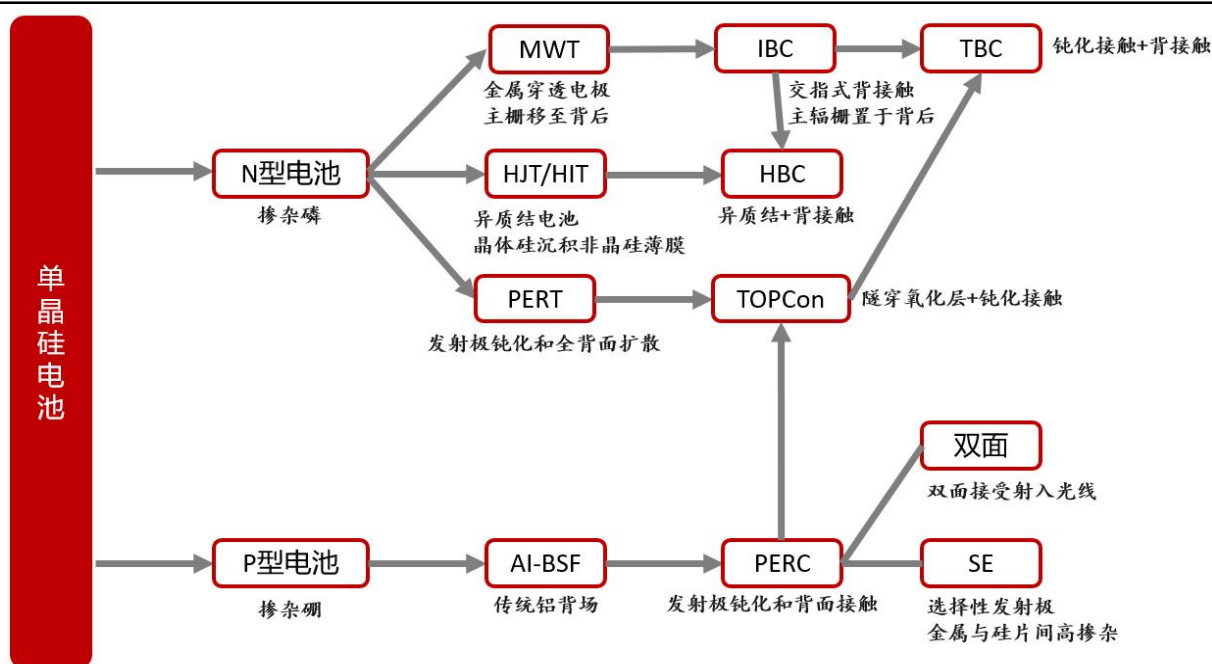
资料来源：维基百科，东亚前海证券研究所

从衬底类型来看，可将电池片分为 P 型电池片和 N 型电池片两类。P 型电池原材料为 P 型硅片（掺杂硼），N 型电池原材料为 N 型硅片（掺杂磷）。P 型电池主要包括 BSF（常规铝背场电池）和 PERC（钝化发射极和

背面电池)；N型电池目前较主流的技术为 TOPCon (隧穿氧化层钝化接触) 和 HJT (本征薄膜异质结)。N型电池通过电子导电，且硼氧原子对造成的光致衰减较少，因此光电转换效率更高。

从提效原理来看，可将电池技术分为减少电学损失和减少光学损失两类。从光照到电流的传输，电池中间会经历：1) 光学损失（光在电池片前表面被反射、长波长光未被有效吸收、正面电极造成的阻挡等）；2) 电学损失（电子和空穴在复合中心复合、金属电极和金属栅线与半导体接触产生额外电阻等），光学、电学损失都会减少光电转换效率。为了降低光学损失，可通过增加减反射层（沉积 SiNx 原理）、陷光层（制绒原理）或将正面金属栅线放到背面（IBC 电池原理）。为了降低电学损失，可进行场钝化或化学钝化处理，即通过提高硅片质量或改善金属和半导体接触方案来减小载流子的复合速率，提高载流子寿命，当前主要采用的方法有：选择性发射极（SE 技术原理）、氧化硅+多晶硅（TOPCon 电池隧穿层原理）、本征非晶硅+掺杂非晶硅（HJT 电池原理）或富氢介质膜（HJT 电池本征富氢非晶硅膜原理）。

图表 10. 电池片技术路线图



资料来源：《晶体硅太阳能电池产业化技术发展》，CPIA，PV Info Link，东亚前海证券研究所

2.4. 生产流程：主要概括为 6 个流程，不同种类电池生产流程有所差异

图表 11. 本节术语概览

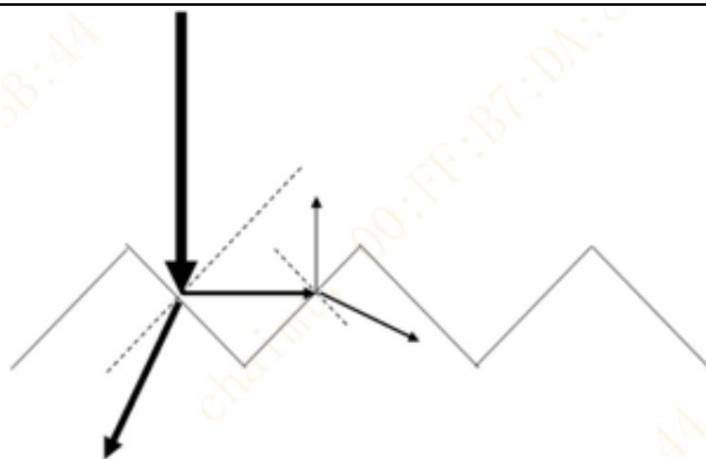
术语	定义
欧姆接触	半导体与金属接触时，多会形成势垒层，但当半导体掺杂浓度很高时，电子可借隧道效应穿过势垒，从而形成低阻值的欧姆接触。
填充因子	是电池具有最大输出功率时的电流和电压的乘积与短路电流和开路电压乘积的比值。
PECVD（等离子体增强化学气相沉积）	借助微波或射频等使含有薄膜组成原子的气体，在局部形成等离子体，而等离子体化学活性很强，很容易发生反应，在基片上沉积出所期望的薄膜。
PVD（物理气相沉积）	在真空条件下，采用物理方法，将材料源——固体或液体表面气化成气态原子、分子或部分电离成离子，并通过低压气体（或等离子体）过程，在基体表面沉积具有某种特殊功能的薄膜的技术。
LPCVD（低压化学气相沉积）	将一种或数种气态物质，在较低压力下，用热能激活，使其发生热分解或化学反应，沉积在衬底表面形成所需的薄膜。
ALD（原子层沉积）	是一种可以将物质以单原子膜形式一层一层的镀在基底表面的方法。
PSG（磷硅玻璃）	在扩散过程中发生如下反应：三氯氧磷分解产生的五氧化二磷淀积在硅片表面，五氧化二磷与硅反应生成二氧化硅和磷原子：这样就在硅片表面形成一层含有磷元素的二氧化硅，即磷硅玻璃。
等离子体	由部分电子被剥夺后的原子及原子团被电离后产生的正负离子组成的离子化气体状物质。

资料来源：维基百科，PV Info Link，东亚前海证券研究所

传统电池片生产主要可以概括为 6 个步骤。从传统电池片制作工艺流程来看，主要可以概括为以下 6 个步骤：

1) 清洗与制绒，主要目的是去除吸附在硅片表面的各类污染物，去除硅片表面的切割损坏层；利用陷光原理降低电池表面反射率，绒面凹凸不平可以增加二次反射，改变光程及入射方式，增加光的吸收，提高短路电流，进而提升电池转换效率。其中，因单多晶晶体结构差异，考虑到效率因素，多晶硅电池用酸制绒，绒面为不规则凹凸面；单晶硅电池用碱制绒，绒面为规则类金字塔结构；

图表 12. 陷光原理



资料来源：北极星太阳能光伏网，东亚前海证券研究所

2) 扩散，主要目的是形成 PN 结，该环节是电池片制造的心脏，使电池片具有功能。P 型硅片需要进行磷扩散，液态磷源三氯氧磷是当前磷扩散较主流的选择，主要原因系液态磷源扩散具有生产效率较高、稳定性好、制得 PN 结均匀平整及扩散层表面良好等优点；N 型硅片需要进行硼扩散，目前硼扩散液态源主要包括硼酸三甲酯、硼酸三丙酯及三溴化硼等，扩硼比扩磷工艺难度大，主要原因系硼在硅中固溶度较低，实际硼扩散温度需要达到 900~1100 摄氏度；

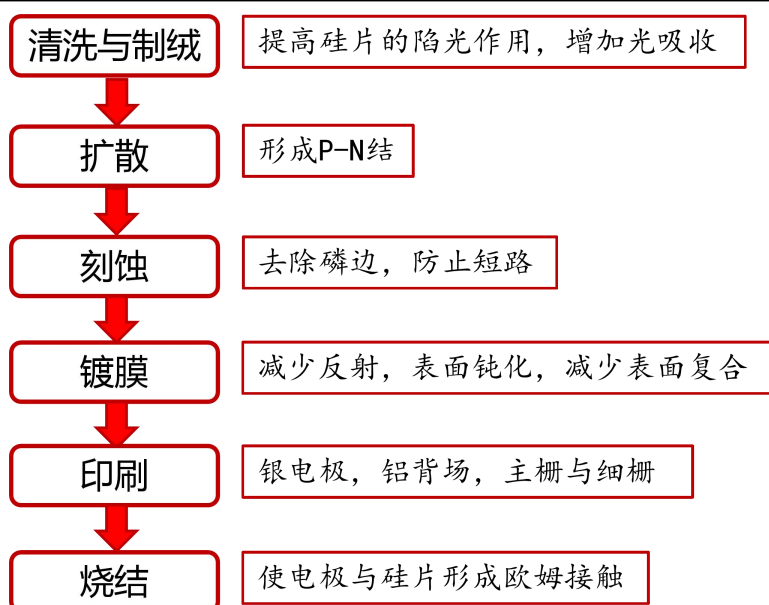
3) 刻蚀（去磷硅玻璃），在扩散工序中，硅片侧边和背面边缘没有遮挡，也会扩散上磷，PN 结正面所收集的光生电子会沿边缘扩散有磷的区域流到 PN 结背面，从而造成短路，使电池片失效。刻蚀工序即是将硅片边缘带有磷的部分去除，避免 PN 结短路且造成并联电阻降低；

4) 镀膜，主要起到 a) 减反射作用，提高电池片对阳光的吸收，提高光生电流，从而提高转换效率；b) 钝化作用，薄膜中的氢对电池表面的钝化降低了发射结的表面复合速率，提升开路电压，从而提高转换效率。光伏电池片中常见的镀膜技术包括 PECVD、LPCVD、PVD、ALD 等；

5) 丝网印刷，主要作用是为太阳能电池收集电流并制造电极，其中第一道背面银电极，第二道背面铝背场印刷和烘干，第三道正面银电极印刷；

6) 烧结，即把印刷到电池片表面的电极在高温下烧结，使电极和硅片本身形成欧姆接触，提高电池片开路电压和填充因子，使电极接触有电阻特性以达到高转换效率。

图表 13. 传统电池片生产工艺流程



资料来源：北极星太阳能光伏网，东亚前海证券研究所

各种类电池生产流程有所差异。值得注意的是，不同种类电池片在生产流程上有所差异，其中 PERC 电池生产工艺步骤在 10 步左右，较传统

BSF 电池主要增加激光制备 SE、双面氧化、背表面氧化铝/氮化硅复合膜制备环节；TOPCon 电池工艺步骤为 12~13 步；HJT 电池工艺流程较为简化，总步骤为 6 步（各种类电池工艺流程详细讲解见各章节工艺流程部分）。

图表 14. 各种电池工艺步骤



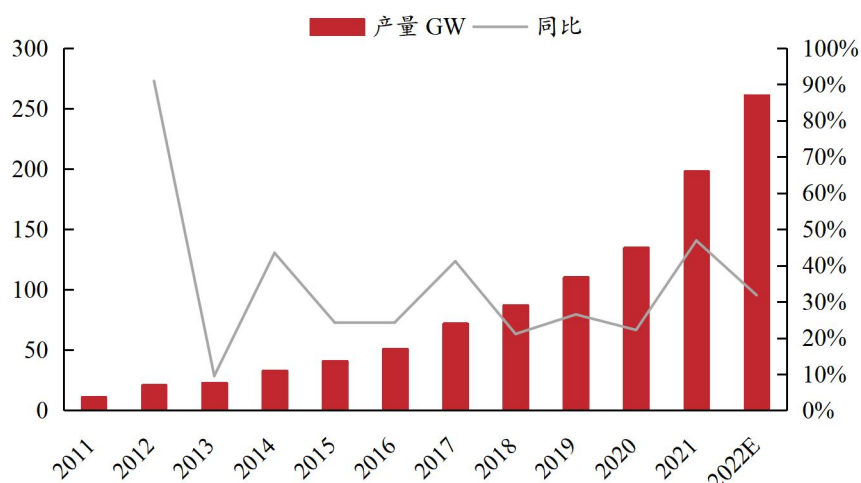
资料来源：《HJT 电池的降本之路》，东亚前海证券研究所

2.5. 发展趋势：全国电池片产量高速增长，N 型电池技术效率跃升新高度

2.5.1. 全国电池片产量高速增长，近十年光伏电池片产量 CAGR 为 33.5%

全国电池片产量近十年来保持高速增长，CAGR 高达 33.5%。根据中国光伏行业协会（CPIA）发布的《中国光伏产业发展路线图（2021 年版）》，全国电池片产量已经从 2011 年的 11GW 迅速增长到了 2021 年的 198GW，2021 年电池片产量同比增长 46.9%，近十年的 CAGR 高达 33.5%。根据中国光伏行业协会（CPIA）预计，2022 年全国电池片产量将超过 261GW。

图表 15. 2011-2021 年中国电池片产量



资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

2.5.2. PERC 电池产能占比 91%，短期仍然占据主流地位

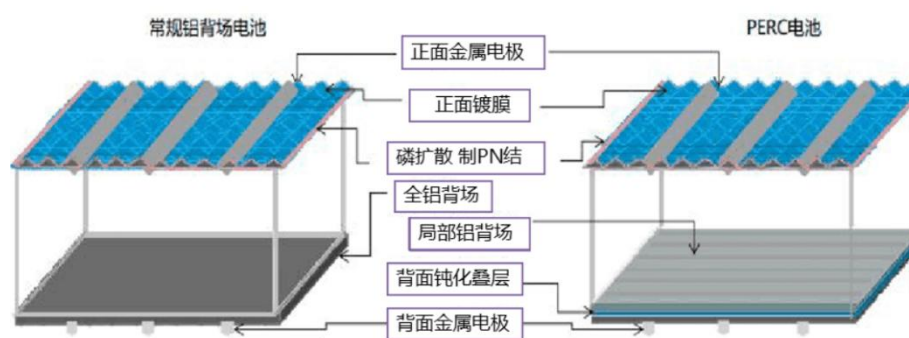
图表 16. 本节术语概览

术语	定义
铝背场	在 PN 结制备完成后，往往在硅片的背面即背光面，沉积一层铝膜，制备 P+层。
光子	传递电磁相互作用的基本粒子，是一种规范玻色子。
晶界	在多晶体中，由于晶粒的取向不同，晶粒间存在分界面，该分界面，称为晶界。

资料来源：维基百科，东亚前海证券研究所

PERC 电池从传统铝背场电池升级改造而来，与 BSF 电池相比，光电转换效率更高。PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) 电池，全称为“发射极和背面钝化电池”，是从常规铝背场电池 AL-BSF 结构自然衍生而来。常规 BSF 电池由于背表面的金属铝膜层中的复合速度无法降至 200cm/s 以下，致使到达铝背层的红外辐射光只有 60%~70%能被反射，产生较多光电损失，因此在光电转换效率方面具有先天的局限性。而 PERC 技术通过在电池背面附上介质钝化层，采用背面点接触来代替整个全铝背场，可以较大程度减少这种光电损失，从而提升光伏电池 1%左右的光电转换效率。仅从结构上来看，两者是较为相似的，PERC 电池仅比 BSF 电池多一个背钝化层。形成背面钝化叠层使得 PERC 电池能在降低背表面复合速度的同时，提升背表面的光反射，提升了电池的转换效率。

图表 17. PERC 电池与常规 BSF 电池结构对比



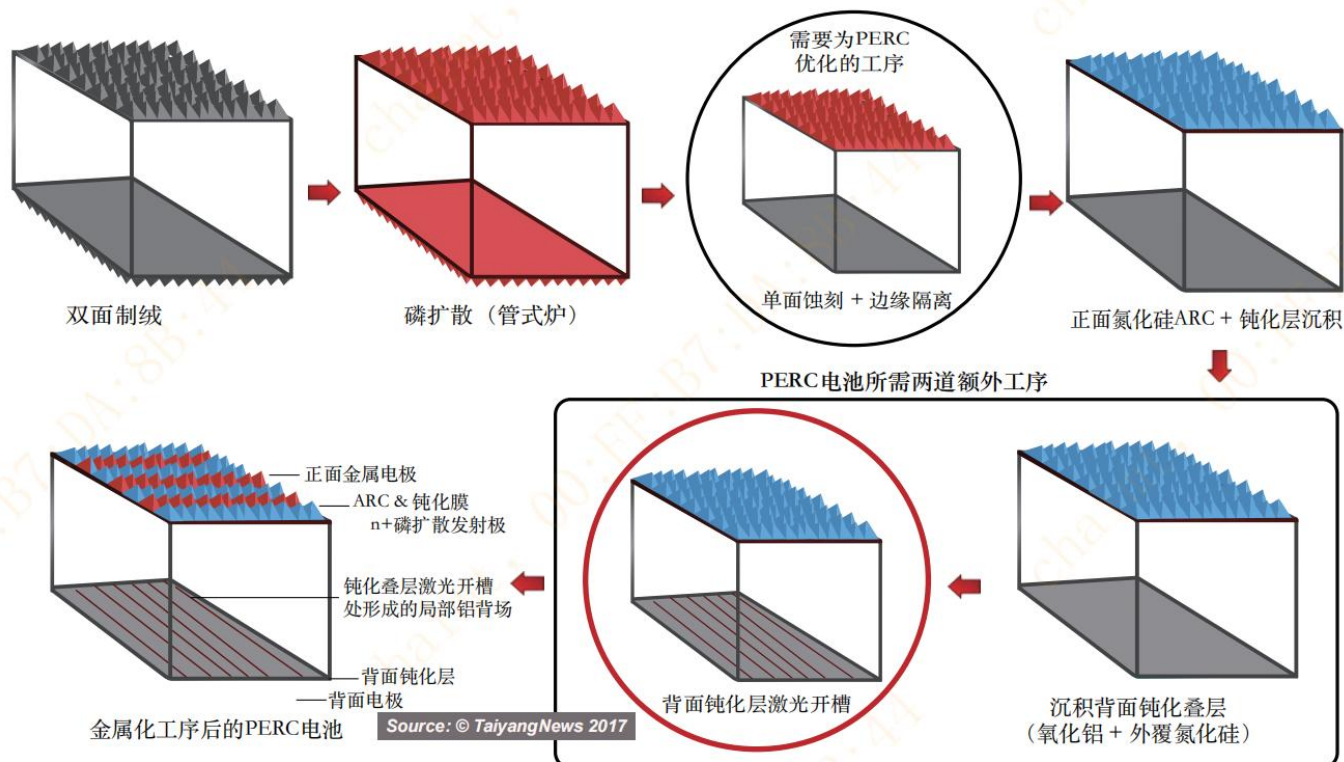
资料来源：《PERC 电池专刊》，TaiyangNews，CPIA，东亚前海证券研究所

从工艺步骤上来看，PERC 电池的生产流程较传统铝背场电池多出三个步骤：1) 沉积背面钝化叠层氧化铝，氧化铝具备较高的电荷密度，可以形成场钝化，显著降低硅表面的界面态，使得背面的少数载流子复合速率降低；2) 双面沉积氮化硅，正面的氮化硅和 BSF 电池相同，一方面钝化硅表面，另一方面减少入射光的反射率，增加光吸收。背面的氮化硅能够通过厚度调节，将未吸收的光子反射回去，显著提高长波光的吸收。同时能对氧化铝层起到保护作用，增加热稳定性；3) 激光开槽形成背面接触，将部分氧化铝和氮化硅薄膜打穿露出硅基体，使金属铝能透过背面的介质层和硅形成良好的欧姆接触。

从背面钝化技术工艺路线来看，PECVD+ALD 沉积氧化铝+氮化硅为主流技术路线。PERC 电池背面钝化技术工艺路线主要分为：1) PECVD 沉积氧化铝+氮化硅；2) ALD 沉积氧化铝+氮化硅；3) 沉积氮氧化硅。根据中国光伏行业协会，PECVD 沉积氧化铝+氮化硅和 ALD 沉积氧化铝+氮化硅为主流背面钝化工艺路线，2021 年市占率分别为 55.4%和 41.4%。

从设备端上来看，PERC 电池产线相较于 BSF 电池产线需增添两套设备。PERC 电池产线较常规 BSF 电池产线需要新增的设备包括：1) 背面钝化处理（氧化铝+外覆氮化硅）；2) 激光开槽设备，故从 BSF 产线升级到 PERC 产线极为方便，这也是目前 PERC 电池能在光伏产业中得到大规模应用的重要原因之一。

图表 18. PERC 电池生产工艺流程



资料来源：TaiyangNews，东亚前海证券研究所

PERC 电池的发展历程可以分为技术雏形期、萌芽期、高速成长期、爆发期四个阶段。1) **1989-2006 年：PERC 技术出现并引起重视。**PERC 电池技术起点源于 1989 年澳洲新南威尔士大学的马丁·格林教授研究组公开的研究成果，实现了 22.8% 的实验室效率。2006 年，PERC 电池背面钝化的 AlOx 介质膜的钝化作用引起重视，PERC 技术开始逐步走向产业化；

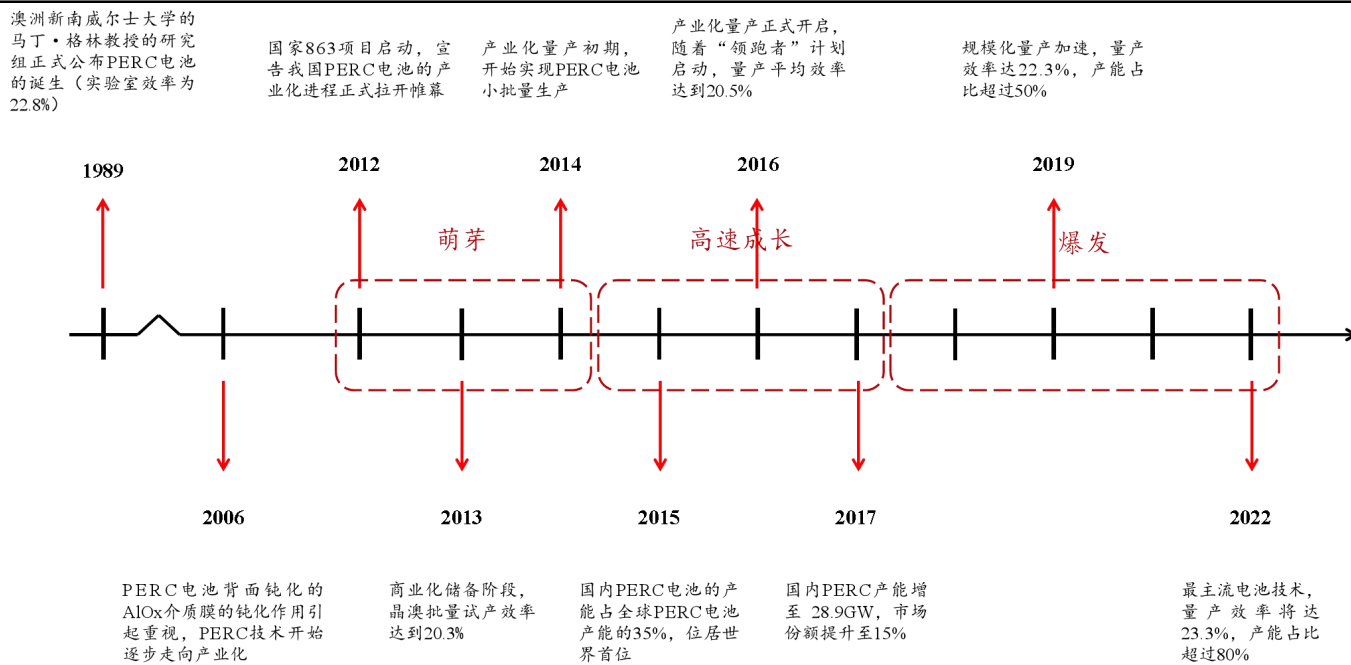
2) **2012-2014 年：国内 PERC 电池步入萌芽期。**2012 年由中电光伏牵头的国家 863 项目正式吹响了我国 PERC 电池产业化的号角，2013-2014 年在诸多厂家与机构长期的技术储备和研究基础下国内 PERC 电池进入商业化和量产化的基础阶段，其中晶澳作为国内首家打通 PERC 产业链的企业，其批量试产效率达到 20.3%，并率先实现小批量生产；

3) **2015-2017 年：国内 PERC 电池进入高速成长阶段。**2015 年国内 PERC 电池产能达到世界首位，占全球 PERC 电池产能的 35%。2016 年由国家能源局实施的“光伏领跑者计划”引领国内 PERC 电池正式开启产业化量产，平均效率达到 20.5%。2017 年是光伏电池市场份额发生转折的一年，常规电池的市场份额开始下降，国内 PERC 电池市场份额提升至 15%，其产能已增至 28.9GW；

4) **2018 年-至今：PERC 电池进入爆发期，成为市场主流。**2019 年 PERC

电池规模化量产加速，量产效率达 22.3%，产能占比超过 50%，正式超过 BSF 电池成为最主流的光伏电池技术。根据 CPIA 预计，到 2022 年 PERC 电池量产效率将达 23.3%，产能占比将超过 80%，市场份额仍将稳居第一。

图表 19. PERC 电池发展历程

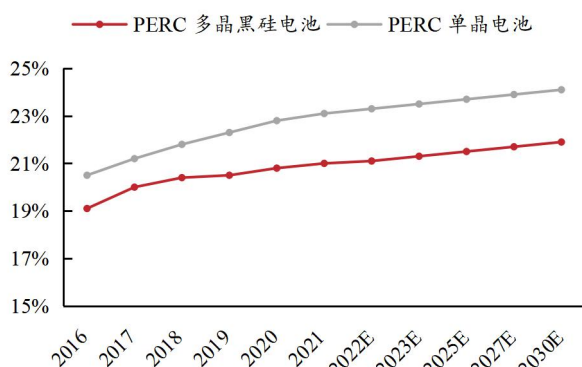


资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

PERC 量产效率逐年提升，最高效率由隆基创造，达到 24.06%。从单晶和多晶电池角度来看，PERC 单晶电池效率始终高于 PERC 多晶电池，主要原因系 1) 多晶硅在生产时晶片面积上有许多晶界和缺陷，这些晶界和缺陷不仅使少子平均寿命降低，且导致对入射光的吸收也有所降低；2) 多晶硅生产中采用铸锭法，因此其中所含的 O 和 C 原子等杂质浓度较高，从而影响光电转换效率，而单晶硅生产以多晶硅为原料，以直拉法为主要生产工艺，其中的 O 和 C 原子的杂质浓度较低；3) 多晶硅生产工艺制约导致其 PN 结厚度较薄，使得 PN 结对光子吸收有所降低。

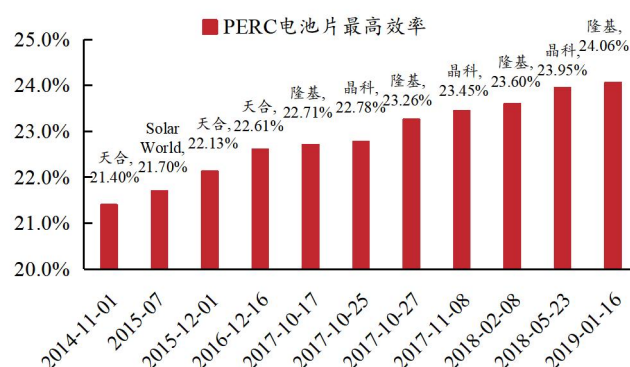
从量产效率来看，PERC 电池量产效率呈现逐年增长趋势，PERC 单晶电池量产效率由 2016 年的 20.5% 提升至 2021 年的 23.1%，据 CPIA 预计，2022 年 PERC 单晶电池量产效率将达 23.3%。从最高效率来看，截至目前，单晶双面 PERC 电池最高效率记录由隆基绿能于 2019 年 1 月创造，最高效率达 24.06%（CPVT 认证）。从理论极限效率来看，根据权威测试机构德国哈梅林太阳能研究所（ISFH）测算，P 型单晶硅 PERC 电池理论转换效率极限为 24.5%，P 型 PERC 电池量产效率已十分逼近理论极限效率，效率提升空间有限。

图表 20. PERC 电池量产效率变化趋势



资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

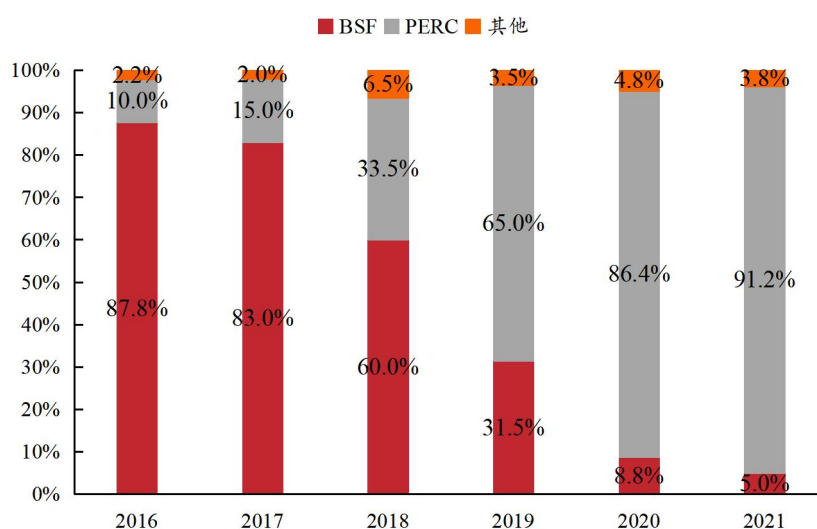
图表 21. PERC 电池最高效率变化趋势



资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

PERC 电池产能持续攀升，市占率遥遥领先成为主流。根据中国光伏行业协会，2015 年前，BSF 电池为主流产品，占据了 90%的市场份额。2016 年起，BSF 电池市占率呈现大幅下滑趋势，由 2016 年的 87.8%下滑至 2021 年的 5%，主要原因系 BSF 电池具有先天局限性，光电损失较大，而下游客户对高效电池片的需求日益显著致使 BSF 逐渐被淘汰；同期 PERC 电池市占率呈现大幅提升趋势，由 2016 年的 10.0%攀升至 2021 年的 91.2%，现已成为电池片主流产品。光电转换效率更高的 N 型电池（主要包括 TOPCon 和 HJT 电池）成本较高，量产规模仍较小，2021 年市场占比约 3%，较 2020 年基本持平。

图表 22. 2016-2021 不同技术路线电池渗透率

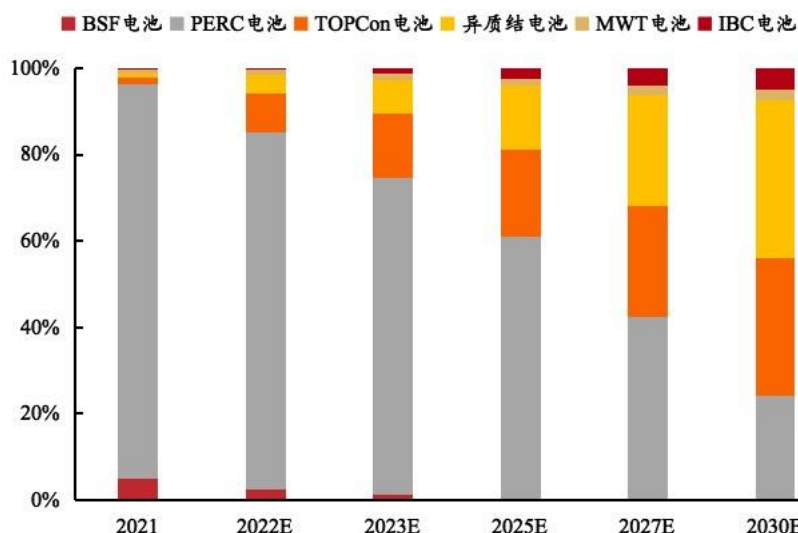


资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

光伏电池技术路线更新迭代速度快，先进路线格局未定。根据中国光伏行业协会预测，到 2030 年，光伏电池技术市场会进一步被高效电池产能所替代，N 型电池将成为市场主流。具体来看，BSF 电池产线从 2015 年后

开始陆续退出了电池厂商的新增产线，预计未来市场占有率会进一步降低，最后被淘汰。转换效率更高的 N 型电池，包括 TOPCon 电池、HJT 电池和背接触电池，会在未来十年内陆续释放产能，随着技术进步和成本降低，最终取代目前 PERC 电池的垄断地位。

图表 23. 2021-2030 年电池技术市场占比变化趋势



资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

2.5.3. N 型电池转换效率优势明显，将成为下一代技术方向

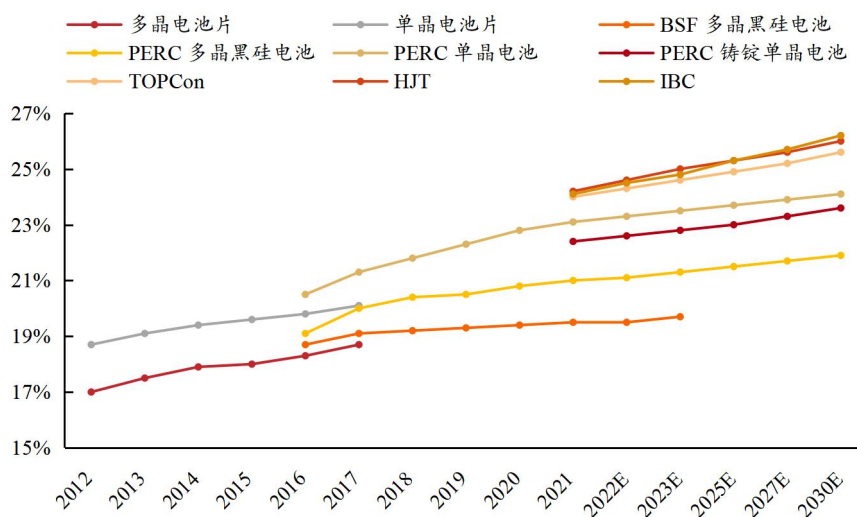
P 型电池接近转换效率极限，难以进一步发展。根据权威测试机构德国哈梅林太阳能研究所（ISFH）测算，P 型单晶硅 PERC 电池理论转换效率极限为 24.5%，2021 年 P 型 PERC 单晶电池量产效率已达到 23.1%，同比提升 0.3pct，从效率方面来看，PERC 电池量产效率已逼近理论极限效率，很难再有大幅度的提升，并且未能彻底解决以 P 型硅片为基底的电池富有硼氧对所产生的光至衰减现象，这些因素使得 P 型晶体硅电池很难再取得进一步突破。

与 P 型电池片相比，N 型电池片在多方面都具备优势。N 型技术主要的优势在于：1) P 型电池片少子是电子，N 型电池片少子是空穴，硅片中杂质对电子的捕获远大于空穴，根据普乐科技，在相同金属杂质污染的情况下，N 型电池片表面复合速率低，少子寿命比 P 型电池片高 1-2 个数量级，能极大提升电池的开路电压，电池转换效率更高；2) N 型电池片掺杂的元素为磷元素，晶体硅中硼含量极低，本质上削弱了硼氧对的影响，光致衰减效应接近于零；3) N 型电池片工作温度低，红外透过率高，电流通道多，

根据摩尔光伏，N 型电池片工作温度较常规单玻组件低 3-9℃，减小因温度提高带来的功率下降；4) N 型电池片弱光响应好，根据摩尔光伏，N 型电池片在辐照强度低于 400W/m² 的阴雨天及早晚仍可发电。

N 型电池的转换效率更高，未来将成为光伏电池片的主流技术。根据中国光伏行业协会 CPIA 统计，2021 年，规模化生产的 P 型单晶电池均采用 PERC 技术，平均转换效率达到 23.1%，较 2020 年+0.3pct；采用 PERC 技术的多晶黑硅电池片转换效率达到 21.0%，较 2020 年+0.2pct；N 型 TOPCon 电池平均转换效率达到 24.0%，HJT 电池平均转换效率达到 24.2%，两者较 2020 年均有较大提升，IBC 电池平均转换效率达到 24.1%。未来随着生产成本的降低及良率的提升，N 型电池将会是电池技术的主要发展方向之一。

图表 24. 2012-2030E 年国内电池片量产转换效率发展趋势



资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

3. TOPCon 电池：接轨 PERC 产线，产业化进度最快

3.1. 简介：采用量子隧穿效应，LPCVD 为当前主流工艺路线

3.1.1. N 型硅衬底，采用隧穿氧化层钝化接触技术

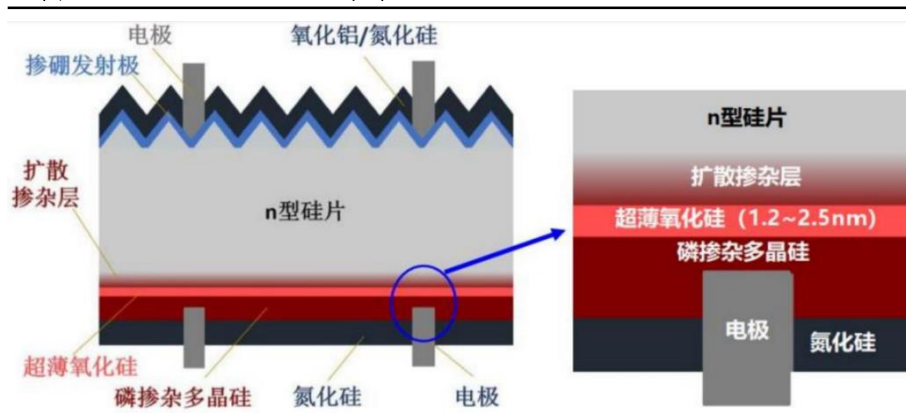
图表 25. 本节术语概览

术语	定义
隧穿	当电子或其它微观粒子(例如质子和中子等)从势垒的一边入射时，即使它们不具有足够的动能从势垒顶部翻越过势垒，它们仍然能够在势垒入射的一边消失而在势垒的另一边出现。这种现象形象地称之为微观粒子隧道贯穿通过势垒或隧穿势垒。
势垒	所谓势垒也称位垒，就是在 PN 结由于电子、空穴的扩散所形成的阻挡层，两侧的势能差，就称为势垒。
功函数	把一个电子从固体内部刚刚移到此物体表面所需的最少的能量。
能带	由原子轨道所构成的分子轨道的数量非常之大，以至于可以将所形成的分子轨道的能级看成是准连续的，即形成了能带。

资料来源：维基百科，东亚前海证券研究所

TOPCon 电池技术利用隧穿氧化层，极大降低少子复合速率。TOPCon 是（Tunnel Oxide Passivated Contact）的缩写，TOPCon 电池属于一种钝化接触型电池。由于 PERC 电池金属电极仍与硅衬底直接接触，金属与半导体的接触界面由于功函数失配会产生能带弯曲，并产生大量的少子复合中心，对太阳能电池的效率产生负面影响。若采用薄膜将金属与硅衬底隔离，则可以减少少子复合。在电池背面制备一层超薄氧化硅，然后再沉积一层掺杂硅薄层，二者共同形成了钝化接触结构，即是 TOPCon 技术。超薄氧化层可以使多子电子隧穿进入多晶硅层，同时阻挡少子空穴复合，进而电子在多晶硅层横向传输被金属收集，极大地降低复合速率，提升了电池的开路电压和短路电流，从而提升电池转换效率。

图表 26. TOPCon 电池结构图



资料来源：宁波材料所，东亚前海证券研究所

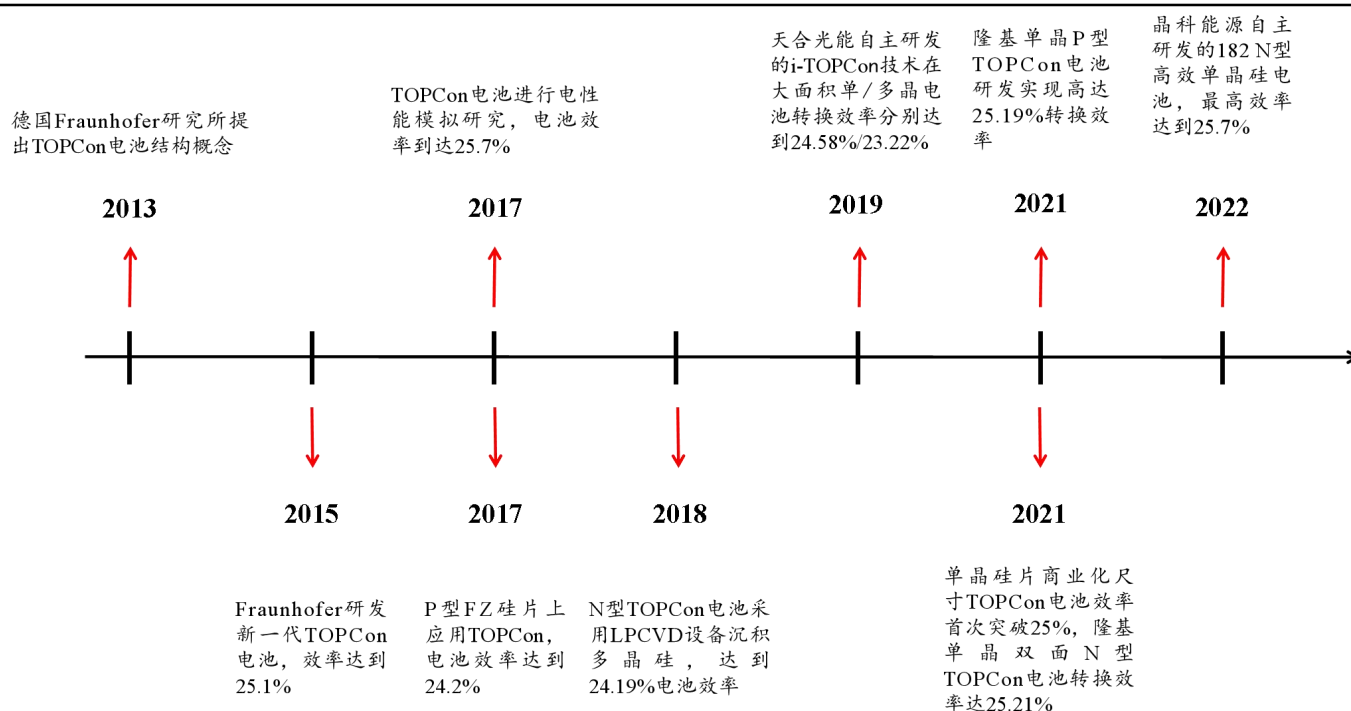
3.1.2. TOPCon 技术概念起源于 2013 年，规模化应用或将开启

TOPCon 电池的发展历程可以分为技术雏形期、产品布局期和商业推广期三个阶段。1) 2015-2017 年：TOPCon 技术出现并得到应用。 TOPCon 技术概念最早由德国 Fraunhofer 研究所于 2013 年提出，并于 2015 年研发出效率达到 25.1% 的新一代 TOPCon 电池。2017 年美国乔治亚理工学院对 TOPCon 电池的电性能模拟研究将其电池效率进一步提高到了 25.7%，同年德国 Fraunhofer 研究所的 Armin Richter 团队在 P 型 FZ（区熔）硅片上首次应用了 TOPCon 技术并达到 24.2% 的电池效率；

2) 2018-2020 年：国内厂商积极布局 TOPCon 技术。 2018 年晶科能源在大面积商用硅片衬底上制备的 N 型 TOPCon 电池最高效率达到了 24.19%，2019 年天合光能自主研发的 i-TOPCon 技术在大面积单/多晶电池上都打破了实验室纪录，转换效率分别达到了 24.58% 和 23.22%；

3) 2021 年-至今：电池效率屡创新高，TOPCon 有望规模化应用。 国内厂商加大对 TOPCon 技术的布局并步入行业前列，2021 年隆基绿能在单晶硅片商业化尺寸 TOPCon 电池效率上首次突破 25%，N 型 TOPCon 转换效率达到了 25.21%，2022 年晶科能源自主研发的 182 N 型高效单晶硅电池最高效率达到了 25.7%，TOPCon 电池或将开始启动规模化应用。

图表 27. TOPCon 电池发展历程



资料来源：CPIA，天合光能、隆基绿能、晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

3.1.3. 多种技术路线并进，LPCVD 工艺为当前主流

从 TOPCon 技术路线来看，LPCVD 是目前主流 TOPCon 工艺路线。TOPCon 电池主要包括三种工业化路线：**路线 1) 本征+扩磷**：LPCVD 制备多晶硅薄膜结合传统的全扩散工艺。**优势**：工艺目前相对成熟且耗时短，生产效率高，厚度均匀性好，致密度高，已经实现规模化量产，为目前 TOPCon 厂商选取的主流路线。**劣势**：过度的绕镀，石英件沉积问题，成膜速度慢。目前晶科能源和天合光能都有布局。

路线 2) 原位掺杂：PECVD 制备多晶硅膜并原位掺杂工艺。**优势**：沉积速度快，沉积温度低，轻微的绕镀，可以用 PECVD 直接制备多晶硅层，流程相对简化。**劣势**：厚度均匀性较差，纯度低，存在气泡爆膜问题，导致致密度和良率较低。目前产业化程度较慢，根据 Solarzoom，目前拉普拉斯、捷佳伟创、金辰股份、无锡微导等国内设备厂商已经布局，后续有望受益于技术迭代。

路线 3) 离子注入：LPCVD 制备多晶硅膜结合扩硼及离子注入磷工艺。**优势**：离子注入技术是单面工艺，掺杂离子无需绕镀，工艺温度低，成膜速度快。**劣势**：扩硼工艺要比扩磷工艺难度大，需要更多的扩散炉和两倍的 LPCVD，设备成本高，靶材用量大，方阻均匀性有偏差，目前主要是隆基绿能有布局。

总体来看，目前 TOPCon 电池工艺还是以 LPCVD 本征+扩磷法制备为主流，该方法成熟度最高，但绕镀问题较严重；LPCVD+离子注入工艺路线目前占地面积较大，几乎没有绕镀问题但是设备成本昂贵，正逐渐被边缘化；PECVD 原位掺杂法原则上没有绕镀问题，与 PERC 产线不兼容，更适合新的产线，后续有望通过工艺的成熟改善镀膜稳定性，成为主流技术。

图表 28. TOPCon 主要工艺技术路线

1. 本征+扩磷	2. 原位掺杂	3. 离子注入
清洗制绒	清洗制绒	清洗制绒
三氯化硼扩散	三氯化硼扩散	三氯化硼扩散
去BSG和背结	去BSG和背结	去BSG和背结
隧穿氧化+非晶硅	隧穿氧化+原位掺杂非晶硅	隧穿氧化+非晶硅
扩POCL ₃ +退火	退火	离子注入+退火
刻蚀（绕镀严重）	无需刻蚀（原则上无绕镀）	刻蚀（掺杂离子不存在绕镀，但本征非晶硅仍存绕镀现象）
前表面Al ₂ O _x	前表面Al ₂ O _x	前表面Al ₂ O _x
前背表面SiNx	前背表面SiNx	前背表面SiNx
丝印电极+烧结	丝印电极+烧结	丝印电极+烧结
测试	测试	测试

资料来源：拉普拉斯，《晶体硅太阳能电池研究进展》，东亚前海证券研究所

3.2. 转换效率：理论转换效率高达 28.7%，量产效率为 24%~24.5%

TOPCon 电池理论转换效率居各种类电池之首，极限效率高达 28.7%。从理论极限效率来看，根据权威测试机构德国哈梅林太阳能研究所（ISFH）

测算, TOPCon 电池的理论极限效率达到 28.7%, 高于 HJT 的 27.5% 和 PERC 的 24.5%, 且最接近晶体硅太阳能电池理论极限效率 29.43%。根据隆基最新测算, TOPCon 电池理论极限效率维持 28.7%, HJT 理论极限效率提升至 28.5%, 仍小幅低于双面 TOPCon 极限效率, 双面 TOPCon 电池极限效率居各种类电池之首。

图表 29. 不同电子/空穴选择性接触材料组成的电池极限效率 (ISFH 测算版本)

	$\eta_{max}[\%]$ <i>Sedkh</i>	Electron-selective contacts						
		P-diffused n+	a-Si:H(i)/a-Si:H(n)	th-SiO ₂ /poly-Si(n+)	th-SiO ₂ /poly-Si(n+)	chem-SiO ₂ /poly-Si(n+)	SiO ₂ /TiO ₂	MgO _x
PERC 理论效率		24.5 11.7	26.8 12.8	26.9 12.8	27.1 12.9	27.1 13.0	26.3 12.5	24.9 11.9
HJT 理论效率		24.7 11.8	27.5 13.2	27.7 13.3	27.9 13.5	28.0 13.5	26.8 12.8	25.1 12.0
Hole-selective contacts	Al-p+	24.9 11.9	28.1 13.6	28.3 13.8	28.7 14.2	28.7 14.2	27.3 13.1	25.4 12.1
	SiO ₂ /poly-Si(p+)	24.9 11.9	28.0 13.5	28.2 13.7	28.5 14.0	28.6 14.1	27.2 13.0	25.3 12.1
	SiO ₂ /Si:C(p+)	24.4 11.7	26.5 12.6	26.6 12.7	26.8 12.8	26.8 12.8	26.0 12.4	24.7 11.8
	a-Si:H(i)/MoO _x	24.1 11.6	25.9 12.3	26.0 12.4	26.1 12.4	26.1 12.4	25.5 12.2	24.4 11.7
	MoO _x	24.1 11.6	26.0 12.4	26.1 12.4	26.2 12.5	26.2 12.5	25.6 12.2	24.5 11.7
	PEDOT:PSS							

资料来源: ISFH, 东亚前海证券研究所

图表 30. 不同电子/空穴选择性接触材料组成的电池极限效率 (隆基最新测算版本)

		PERC极限效率				N型TOPCon极限效率						
	<i>Electron selective</i>		P-diffused n+		a-Si:H(i)/a-Si:H(n)		Thermal/PECVD SiO _x /poly-Si(n+)		Thermal/LPCVD SiO _x /poly-Si(n+)		Chemical/LPCVD D SiO _x /poly-Si(n-)	
<i>Hole selective</i>			<i>J</i> _{0,e}	<i>ρ</i> _{c,e}	<i>J</i> _{0,e}	<i>ρ</i> _{c,e}	<i>J</i> _{0,e}	<i>ρ</i> _{c,e}	<i>J</i> _{0,e}	<i>ρ</i> _{c,e}	<i>J</i> _{0,e}	<i>ρ</i> _{c,e}
			109	0.26	2	0.017	5	0.016	2.7	0.0013	10	0.0001
Al-doped p+	<i>J</i> _{0,h}	550	11.7	56.5%	12.9	34.6%	12.8	23.4%	12.9	8.5%	13.0	1.2%
	<i>ρ</i> _{c,h}	0.005	3.5%	24.5	1.2%	27.0	1.2%	26.9	1.2%	27.1	1.2%	27.1
a-Si:H(i)/a-Si:H(p)	<i>J</i> _{0,h}	2	11.9	45.6%	14.0	24.4%	14.0	14.9%	14.6	5.5%	14.6	0.8%
	<i>ρ</i> _{c,h}	0.055	97.9%	24.9	43.9%	28.5	27.6%	28.6	26.2%	28.9	26.0%	28.9
Chemical/PECVD SiO _x /poly-Si(p+)	<i>J</i> _{0,h}	16	11.9	46.7%	14.0	23.0%	13.8	15.5%	14.2	5.7%	14.2	0.8%
	<i>ρ</i> _{c,h}	0.008	21.4%	24.9	5.9%	28.5	6.1%	28.4	5.8%	28.7	5.7%	28.7

PERC极限效率

HJT极限效率

P型TOPCon极限效率

双面TOPCon极限效率

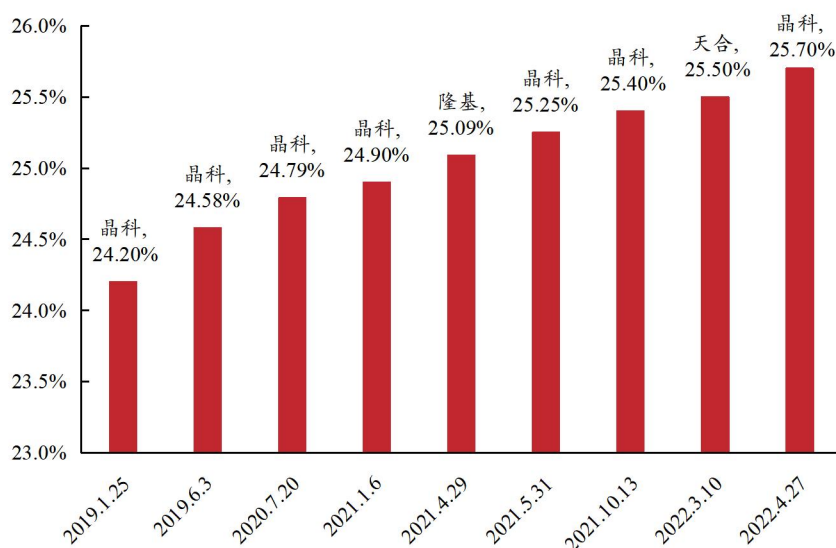
N型TOPCon极限效率

资料来源: 隆基绿能, 东亚前海证券研究所

目前量产效率在 24%~24.5%, 最高实验室效率高达 25.7%。从量产效

率来看，根据 Energy Trend，目前 TOPCon 量产效率达 24%~24.5%，头部电池厂商量产平均效率突破 24%，包括中来、隆基在内的许多头部公司已经将实验室效率做到了 25% 以上，未来 TOPCon 电池产业化效率有更高的提升空间。从最高效率来看，2021 年 4 月，经德国 ISFH 研究所测试，隆基单晶双面 N 型 TOPCon 电池转换效率达 25.09%，硅片商业化尺寸 TOPCon 电池效率首次突破 25%，是 TOPCon 发展进程重要里程碑之一。截至目前，TOPCon 电池最高效率由晶科能源于 2022 年 4 月创造，由中国计量科学院检测实验室认证，全面积电池转换效率达到 25.7%。

图表 31. N 型 TOPCon 最高效率记录



资料来源：隆基绿能、晶科能源、天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

3.3. 成本端：兼容 PERC 产线设备，大硅片+银铝浆进一步推动成本下降

3.3.1. 兼容并延长 PERC 产线的生命周期，短期看最具性价比

TOPCon 电池和 PERC 电池的技术和产线设备兼容性极高。从设备角度来看，大部分的 TOPCon 产线可以从 PERC 产线升级得来，极大降低设备投资成本。此外，TOPCon 产线延长了 PERC 产线生命周期，有助于降低折旧费用。TOPCon 和 PERC 产线均为高温工艺，且 TOPCon 技术最大程度保留和利用了现有传统 P 型电池设备制程，主要新增的设备包括：多晶硅/非多晶硅沉积的 LPCVD/PECVD/PVD 设备、硼扩散设备等。

图表 32. TOPCon 与 PERC 电池技术工艺及设备改造情况

主要步骤	PERC	TOPCon	设备升级	设备来源
清洗制线	清洗制线	清洗制线	硅片清洗机	现有设备
制结	磷扩散	硼掺杂	硼扩散设备	新购置硼扩散设备
	湿法刻蚀	湿法刻蚀	湿法刻蚀	现有设备
		Tune Oxide	退火氧化	现有设备
		非晶硅沉积	增加LPCVD	新购置LPCVD设备
	退火	退火P掺杂	P扩散	现有设备
镀膜		湿法刻蚀	增加湿法刻蚀	新购置湿法刻蚀设备
	减反射区	正面氧化铝	氧化铝	现有设备
	正面SiNX	正面SiNX	PECVD/LPCVD	现有设备
印刷电极及分选	背面SiNX	背面SiNX	PECVD/LPCVD	现有设备
	丝网烧结系统	丝网烧结系统	丝网烧结系统	现有设备
	光注入	光注入	Iv测试+分档设备	现有设备

资料来源：《晶体硅太阳能电池研究进展》，光伏技术，东亚前海证券研究所

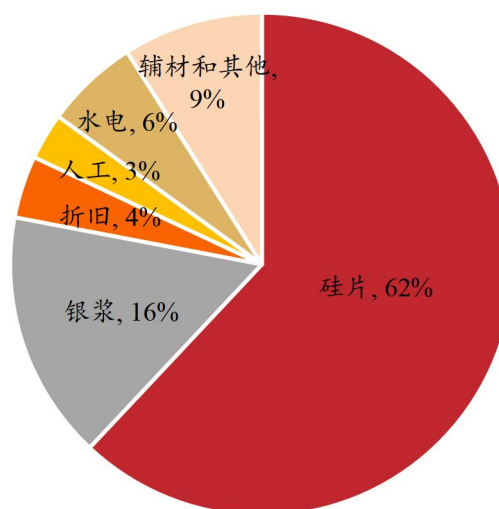
短期来看，TOPCon 技术的产能释放最具性价比。从设备投资额来看，

1) 新建：根据中国光伏行业协会统计，2021 年 TOPCon 电池线设备投资成本约 2.2 亿元/GW，略高于 PERC 电池的 1.94 亿元/GW，但较其他 N 型电池更具经济性；2) 改造：根据深圳市拉普拉斯能源技术有限公司披露，电池产线从 PERC 升级至 TOPCon 单 GW 投资成本在 5000~8000 万元左右。目前 TOPCon 产能大都为新建产线，很少从 PERC 产线升级而来，主要原因系 1.新建产线可以自由选择产能最大、性能最优的设备，在产能方面更具优势；2.并非所有 PERC 产线均可以进行改造；3.待新建产线经济效益显现后，再估算老线改造的性价比更为合理。从折旧费用来看，在面临大规模 PERC 产线设备资产折旧计提的条件下，改造为 TOPCon 产线将拉长设备的使用周期，降低折旧费用。从设备投资角度来看，TOPCon 技术产能释放较其他 N 型技术更具性价比。

3.3.2. 非硅成本逐渐逼近 PERC，良率仍有提升空间

从非硅成本上来看，可以通过使用多主栅技术或使用银铝浆替代银浆来降低成本。根据 Solarzoom，TOPCon 电池成本结构中，主要包括硅片、银浆、水电和折旧，分别占总成本比重的 62%、16%、6%和 4%。目前 TOPCon 的成本仍显著高于 PERC 电池，主要原因系新增的工艺设备和高双面率导致银浆耗量提升。根据 PV Info Link 统计，截至 2021 年底，TOPCon 电池的非硅成本已经有能力低于 0.3 元/瓦，对比 PERC 电池仍然有 0.18-0.22 元/瓦的差距，主要原因系银浆单耗高，TOPCon 的双面率高，正反面都需要使用银浆，根据 PV Info Link，M6 型 TOPCon 电池使用的银浆约 130mg，较 M6 型 PERC 电池高出约 60mg，预计未来可以通过多主栅或背面使用银铝浆来降低非硅成本。

图表 33. TOPCon 电池成本结构



资料来源：Solarzoom，东亚前海证券研究所

TOPCon 电池的良率整体低于 PERC，仍有提升空间。TOPCon 电池的整体良率在 93%-95% 左右，而 PERC 电池的整体良率在 97%-98% 之间。TOPCon 电池良率整体低于 PERC 电池良率，主要原因系：1) 隧穿氧化层和多晶硅层的制备工艺路线不统一，且加工步骤较多，TOPCon 生产流程共 12~13 步，PERC 为 10 步左右，HJT 为 6 步左右；2) TOPCon 技术低压隧穿氧化的均匀性导致暗片、脏污的情况仍有待改善。TOPCon 良率较低导致成本有所上升，未来随着 TOPCon 产业化进度加速，技术不断迭代，TOPCon 良率较低的问题或将得到逐步改善。

3.4. 产能规划：预计 2022 年 TOPCon 落地产能有望超过 50GW

预计 2022 年 TOPCon 落地产能有望超过 50GW。从产能角度来看，根据各公司生产规划统计，我们预计 2022 年 TOPCon 落地产能有望超过 50GW。具体来看，2022 年，晶科能源安徽合肥和浙江海宁项目预计投产规模将达到 16GW，公司也是最早实现 GW 级 TOPCon 电池出货的厂商；从电池效率角度来看，目前公司 N 型 TOPCon 实验室转换效率高达 25.7%，处于行业之首，量产效率则达 24.5%，处于行业内领先地位。中来股份作为最早布局 TOPCon 的企业，目前山西一期 8GW 产线正处于设备安装阶段，预计 2022 年新增产能将达到 6GW；从电池效率角度来看，目前公司 N 型 TOPCon 实验室转换效率高达 25.4%，量产效率则再 24% 以上。天合光能将 TOPCon 作为公司主打产品，宿迁 8GW TOPCon 项目预计将于今年下半年投产；从电池效率角度来看，N 型 i-TOPCon 实验室转换效率达 25.5%，量产平均效率达 24.5%，此外，公司聚焦于高效 N 型 TOPCon/钙钛矿叠层电池，拟达

到钙钛矿/晶体硅两端叠层太阳能电池效率大于 29% 的目标。根据我们预计，2022 年 TOPCon 落地产能有望超 50GW。从产能规划总量来看，根据 Energy Trend 统计，截至目前 TOPCon 总产能规划达到 162GW，目前新建的 TOPCon 产能都为新建产线，很少从 PERC 产线升级而来。

图表 34. 头部电池厂商 TOPCon 扩产计划及进度 单位：GW（截至 2022 年 6 月）

电池厂商	2021	2022	效率	进度
晶科能源	0.9	16	N型TOPCon实验室转换效率达到25.7%，量产效率达到24.5%	安徽合肥、浙江海宁合计16 GW的N型TOPCon电池项目已投产
中来股份	3.6	6	N型TOPCon电池实验室转换效率达到25.4%，量产效率可达24%以上	山西16GW产线，其中一期8GW正处于设备安装阶段，预计2022年实现6GW产能
天合光能	0.5	8	N型i-TOPCon实验室转换效率达到25.5%，量产平均效率达到24.5%	宿迁8GW TOPCon电池项目计划在2022年下半年投产
隆基绿能	——	——	N/P型TOPCon实验室转换效率分别达到了25.21%和25.19%	实验室单晶双面TOPCon电池效率达25.09%，预计2022年三季度末投产
晶澳科技	0.1	6.5	N型TOPCon量产效率达到24.8%	Q3预计TOPCon产能将达1.3GW，年底预计TOPCon产能将达6.5GW
通威股份	1	1	N型TOPCon产品转换效率在24.5%以上	2021年完成了1GW TOPCon 中试线的建设，目前处于试产中；于四川眉山投资建设32GW高效晶硅电池项目（TOPCon与HJT），一期16GW预计2023年12月
钧达股份	——	8	转换效率在24.5%以上	控股子公司捷泰科技位于安徽滁州16GW TOPCon项目，今年下半年投产8GW
协鑫集成	——	——		乐山10GW，一期5GW预计2023年建成
正泰电器	——	3	最高平均效率24.6%	2022年产能达到3GW

资料来源：晶科能源、中来股份、天合光能、隆基绿能、晶澳科技、通威股份、钧达股份、协鑫集成、正泰电器公司公告，东亚前海证券研究所

4. HJT 电池：颠覆性技术异军突起，产业化降本路径清晰明确

4.1. 简介：采用异质结替代同质结，异质结电池诞生逾 30 年

4.1.1. 异质结替代同质结，本征富氢非晶硅膜为核心工艺

图表 35. 本节术语概览

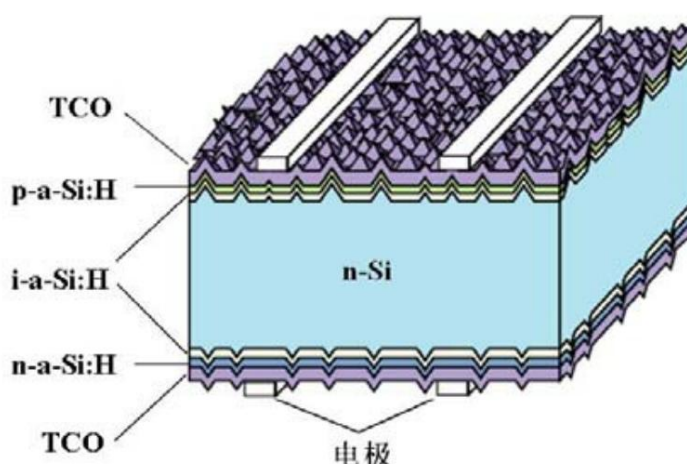
术语	定义
界面态	硅-二氧化硅界面处而能值位于硅禁带中的一些分立或连续的电子能级或能带。
悬挂键	一般晶体因晶格在表面处突然终止，在表面的最外层的每个原子将有一个未配对的电子，即有一个未饱和的键，这个键称为悬挂键。
隙态	非晶态半导体材料能带模型中迁移率隙中的电子状态称为隙态。
PID	Potential Induced Degradation, 潜在电势诱导衰减，是光伏电池板的一种特性，指在高温多湿环境下，高电压流经太阳能电池单元便会导致输出下降的现象。
RPD	反应等离子体沉积法,利用特定的磁场控制等离子体的形状，从而产生稳定、均匀、高密度的等离子体。

资料来源：维基百科，东亚前海证券研究所

HJT 将 PN 结改为异质结，拥有良好的双面对称结构。异质结太阳能电池缩写为 HIT（Heterojunction with Intrinsic Thin-layer），中文全称为本征薄膜异质结电池。异质结电池最早由日本三洋公司于 1990 年研发成功，并被注册为商标，后续进入异质结领域的企业为避免专利纠纷而采用了不同的称谓，如 HJT/ SHJ/ HDT。HJT 电池具备双面对称结构，电池正面依次为透明导电氧化物膜（TCO）、P 型非晶硅薄膜和本征富氢非晶硅薄膜；电池背面依次为 TCO，N 型非晶硅薄膜和本征富氢非晶硅膜；最后采用丝网印刷技术形成双面电极。PERC 和 TOPCon 电池均是由掺杂不同的同一种材料（晶体硅）组成，HJT 电池由掺杂不同的两种不同的材料（晶体硅和非晶硅）组成，使得硅片和非晶硅层组成 PN 结，减少了 PN 结处载流子复合。

本征富氢非晶硅膜是 HJT 异质结电池的核心工艺。异质结电池中，单晶硅层和掺杂非单晶硅层中间处会嵌入一层钝化材料，高质量的钝化层会对异质界面缺陷钝化、减少载流子复合、增大开路电压。在各钝化材料中，本征富氢非晶硅薄膜为当前的最佳选择，由于 H 原子的存在，界面处形成的 Si-H 键能使界面态悬挂键得到有效的饱和，界面态密度降低，少子寿命提高，增大开路电压。同时，异质结界面两端具有较大的界面势垒，富氢非晶硅膜能提供缓冲作用，调节能带偏移，降低隙态密度，减少漏电流，提高电池的输出性能。

图表 36. HJT 异质结电池结构图



资料来源：《新型硅基异质结太阳能电池结构设计研究》，东亚前海证券研究所

4.1.2. HJT 电池技术起源于 1974 年，国内厂商加快产业化步伐

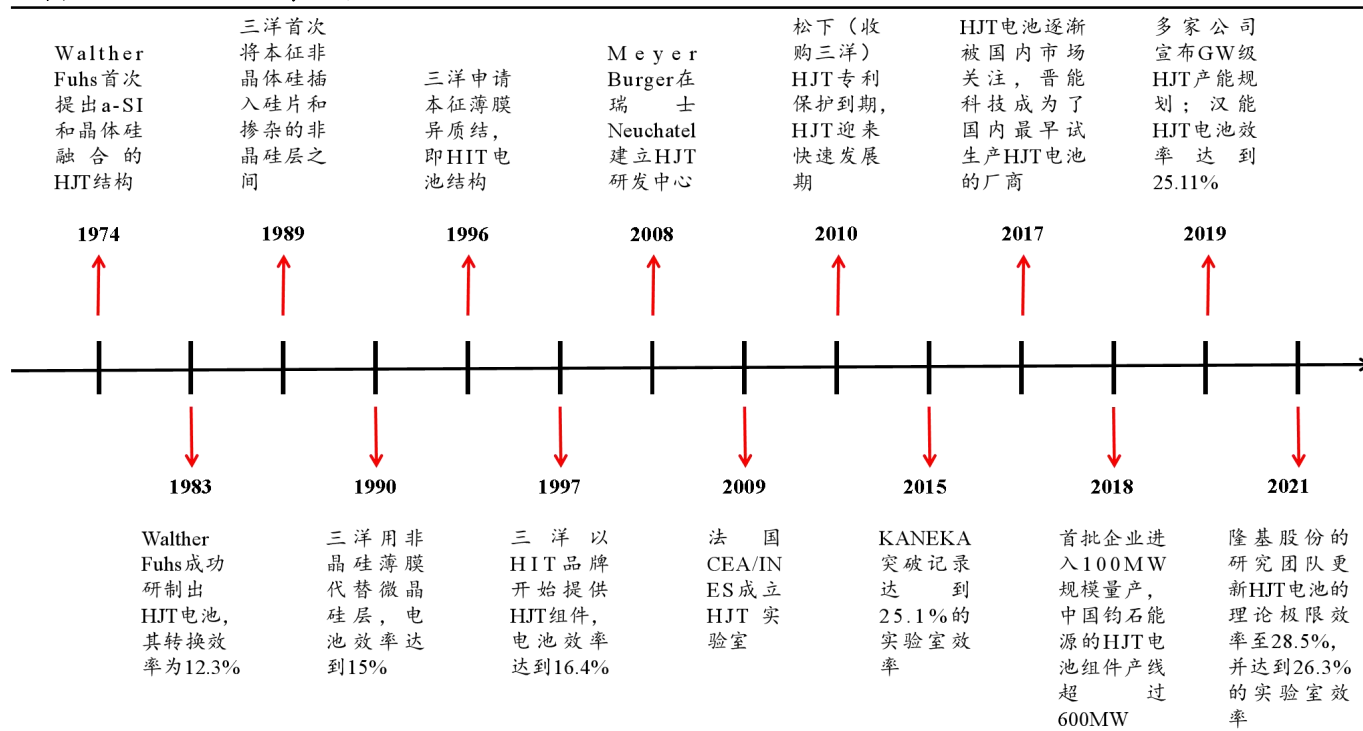
HJT 电池的发展历程可以分为技术雏形期、专利垄断期、工业化期和产业化期四个阶段。1) 1974-1996 年：HJT 技术成功研发并专利化。1974 年德国马尔堡大学的 Walther Fuhs 在论文中首次提出 HJT（Heterojunction with Intrinsic Thin-Layer，即异质结）结构，并于 1983 年成功研制出 HJT 电池，其转换效率为 12.3%，90 年代日本三洋通过技术改进实现效率突破 15%并申请了 HJT 结构专利；

2) 1997-2010 年：三洋开启 HJT 技术垄断期。1997 年开始三洋开始向市场提供 HJT 系统，其电池片和组件效率分别达到 16.4%和 14.4%，2003 年其实验室效率达到了 21.3%。此后 HJT 技术一直被三洋垄断，期间各国也在积极开展对 HJT 技术的研究；

3) 2010-2015 年：多厂商步入 HJT 工业化进程。2010 年松下（收购三洋）的 HJT 专利到期后，国内外诸多厂商纷纷开启了 HJT 的工业化进程，期间松下于 2011 年达到 23.7%的效率，于 2014 年转换效率最高已达 24.7%，KANEKA 于 2015 年突破记录达到 25.1%的实验室效率；

4) 2017-2022 年：国内厂商加快 HJT 产业化步伐。2017 年晋能科技成为了国内最早试生产 HJT 电池的厂商，此后越来越多的企业开始进入中试生产阶段，到 2019 年已有多家国内厂商宣布 GW 级 HJT 产能规划。2021 年隆基绿能的研究团队更新 HJT 电池的理论极限效率至 28.5%，并刷新纪录达到 26.3%的实验室效率。

图表 37. HJT 电池发展历程

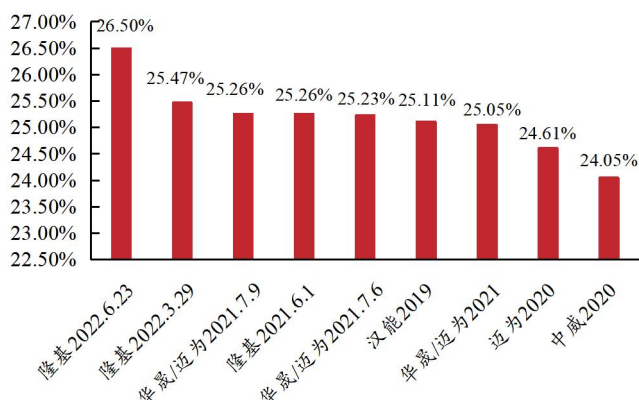


资料来源: CPIA, 隆基绿能公司公告, 东亚前海证券研究所

4.2. 转换效率: 理论转换效率为 28.5%, 量产效率为 24%~24.5%

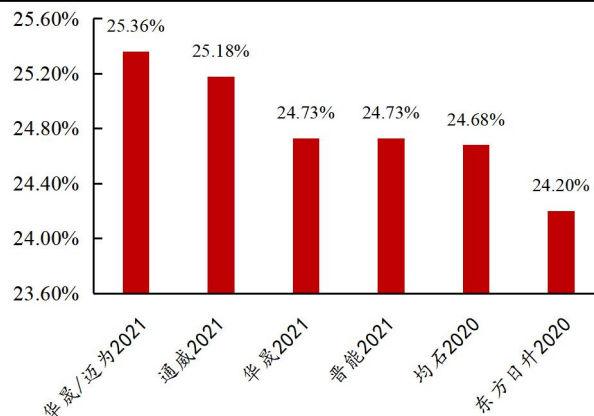
HJT 电池理论极限效率为 28.5%, 目前量产效率在 24%~24.5%, 最高实验室效率高达 26.5%。从理论极限效率来看, 根据隆基最新测算, HJT 理论极限效率为 28.5%, 仍小幅低于双面 TOPCon 电池的 28.7%。从量产效率来看, 根据 Energy Trend, 目前国内多条 HJT 中试线上平均转换效率达 24%~24.5%, HJT 电池产业化效率仍有较大的提升空间。从最高效率来看, 截至目前, HJT 电池最高效率由隆基绿能于 2022 年 6 月创造, 由德国 ISFH 研究所认证, M6 全尺寸电池光电转换效率高达 26.5%。根据 PV Info Link 预计, 随着设备的不断升级, 2022 年 HJT 有望实现 25%+ 的量产效率。

图表 38. HJT 最高转换效率（国际认证）



资料来源：《HJT 电池技术发展现状及成本分析》，隆基绿能、迈为股份公司公告，东亚前海证券研究所

图表 39. HJT 最高转换效率（非国际认证）



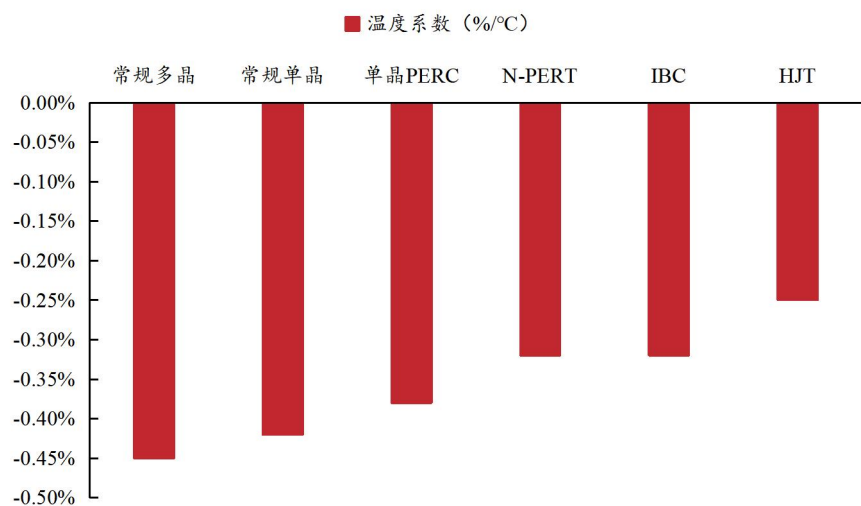
资料来源：《HJT 电池技术发展现状及成本分析》，迈为股份、通威股份、东方日升公司公告，东亚前海证券研究所

HJT 电池是中期最适合的发展方向之一，效率潜力明显优于 PERC 电池。相比 PERC 电池，HJT 电池主要有以下几点优势：

1) 双面率高：HJT 是双面对称结构，并且最外层的 TCO 薄膜是透光膜，整体结构形成天然的双面电池，双面电池的发电量要超出单面电池 10%+，目前 HJT 电池双面率已经达到 95%（最高达到 98%），双面 PERC 电池的双面率仅为 75%+，相比其他工艺路线有明显的发电增益优势。根据 Solarzoom 数据，考虑 10%~20% 的背面辐照及电池片双面率的差异，HJT 电池每 W 发电量较双面 PERC 电池高出 2.0%~4.0%；

2) 温度系数绝对值低：光伏系统实际工作的温度是要高于实验室的标准室温，故高温下的电池性能尤为重要。根据 Solarzoom，HJT 电池的功率温度系数约为 -0.25%/°C，相比 PERC 电池 -0.38%/°C 的温度系数存在 0.13%/°C 的优势。根据 Solarzoom 测算，如果考虑电池工作温度超出环境温度 10~40°C，而全年平均环境温度相比实验室标准工况低 5~10°C，则 HJT 每 W 发电量高出双面 PERC 电池约 0.6%~3.9%。从温度系数角度来看，HJT 电池能更好地减少太阳光带来的热损失；

图表 40. 各种类电池温度系数

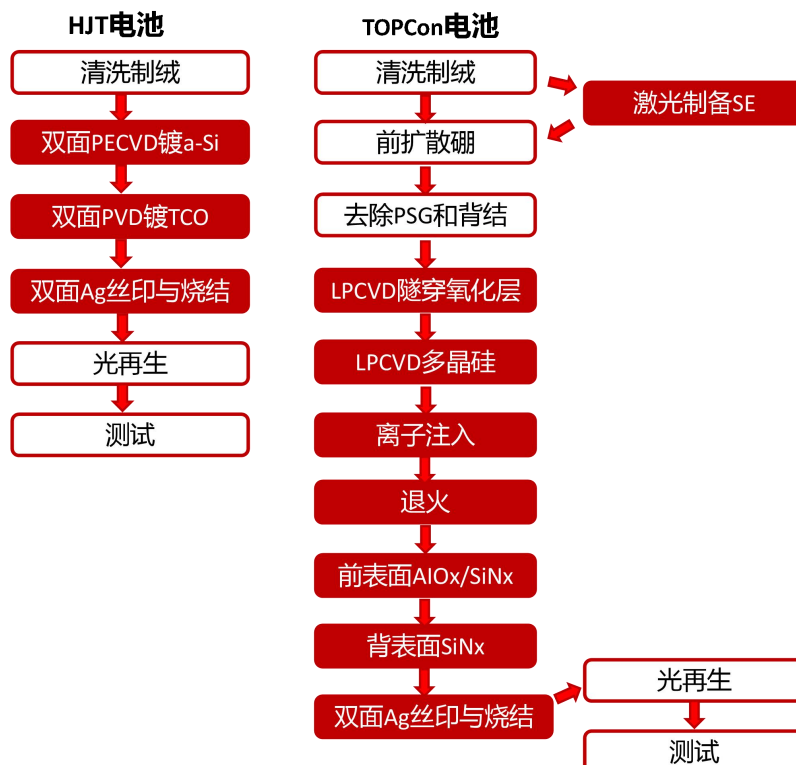


资料来源：Solarzoom，索比光伏网，东亚前海证券研究所

3) 低衰减：HJT 电池中通常用 N 型单晶硅作为衬底，而 N 型单晶硅为磷掺杂，故不存在 P 型电池中硼氧对导致 LID 光致衰减的问题。同时，HJT 电池表面沉积 TCO 薄膜，无绝缘层，因此无表面层带电的机会，避免了 PID 发生。无 LID 和 PID 特征使 HJT 衰减率较低，根据 Solarzoom，HJT 电池首年衰减 1%~2%，此后每年衰减 0.25%，远低于 PERC 电池首年衰减 2%，此后每年衰减 0.45% 的衰减情况。HJT 低衰减特征使得其全生命周期每 W 发电量高出双面 PERC 电池约 1.9%~2.9%；

4) 工艺流程简化&低温工艺使得降本空间大：HJT 电池的核心工艺包括：制绒、非晶硅沉积、TCO 薄膜沉积和丝网印刷，全套工艺流程共计 6 个环节，远少于 PERC 电池的 10 个环节和 TOPCon 的 12-13 个环节。其中非晶硅沉积主要用 PECVD 方法，TCO 薄膜沉积用 RPD（反应等离子体沉积法）或 PVD（物理化学气相沉积法）。工艺流程简化使得 HJT 电池从生产效率和产品良率上更有优势和提升空间，目前 TOPCon 电池良率在 93%~95% 的水平，而 HJT 电池良率在 97% 以上。此外，HJT 采取低温工艺，采用硅基薄膜形成 PN 结，最高工艺温度在 200°C 以内，相比于传统的热扩散型 P-N 结在 900°C 高温下制备，一方面有利于薄片化（未来可实现 100μm 厚度）和降低热损伤进而降低硅片成本，另一方面因能源节约等因素非硅成本也表现更优。

图表 41. HJT 电池与 TOPCon 电池工艺步骤比较



资料来源：《HJT 电池的降本之路》，东亚前海证券研究所

4.3. 成本端：成本仍处高位，多种降本路线齐头并进

4.3.1. 高成本导致竞争力不足，限制 HJT 电池规模化生产

HJT 电池生产成本相较于 PERC 电池每瓦高 0.18 元。从 HJT 电池总生产成本来看，我们假设：1) 税率为 13%；2) 设备折旧年限为 6 年；3) 根据 CPIA 预计，2022 年 PERC 电池转换效率将达 23.3%，2022 年 HJT 电池转换效率将达 24.6%；4) 根据硅业分会，上周硅片均价为 5.72 元/片，假设 N 型硅片溢价 6%；5) 根据普乐科技，目前 M6 PERC 电池单片银浆耗量约 80mg，根据 CPIA，假设 2022 年 HJT 电池单片银浆耗量下降至 170mg；6) 根据中科院电工所，HJT 电池使用的低温银浆较传统银浆溢价为 2000 元/千克；7) 根据中科院电工所，M6 HJT 电池单片靶材耗量为 168mg，靶材价格为 2000 元/千克。基于以上假设，我们测算 2022 年 HJT 电池总生产成本较 PERC 电池高 0.18 元/瓦，其中 HJT 电池非硅成本较 PERC 电池非硅成本高 0.18 元/瓦。

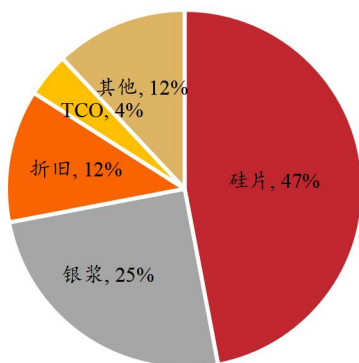
图表 42. 2022 年 PERC 电池与 HJT 电池成本对比

参数	2022. PERC	2022. HJT
关键技术信息		
面积/平方毫米	27554	27554
光电转换效率/%	23.30%	24.60%
M6每片W数	6.42W/片	6.79W/片
关键价格假设		
税率/%	13%	
设备折旧/年	6.00	
M6硅片成本		
M6硅片价格（含税）	5.72元/片	6.06元/片
M6硅片成本	0.79元/瓦	0.79元/瓦
非硅成本测算		
设备投资额（含税）	1.5亿元/GW	4亿元/GW
折旧成本	0.02元/W	0.06元/W
M6太阳能电池单片银浆消耗量	80mg/片	170mg/片
银浆价格（含税）	6500元/kg	8500元/kg
银浆成本	0.07元/W	0.19元/W
M6太阳能电池单片靶材消耗量	无	168mg/片
靶材价格（含税）	无	2000元/kg
靶材成本	无	0.04元/W
其他成本	0.12元/W	0.10元/W
非硅成本合计	0.21元/W	0.39元/W
总成本	1.00元/W	1.18元/W

资料来源：Solarzoom，《未来光伏发电技术的发展趋势预测》，CPIA，中科院电工所，东亚前海证券研究所测算

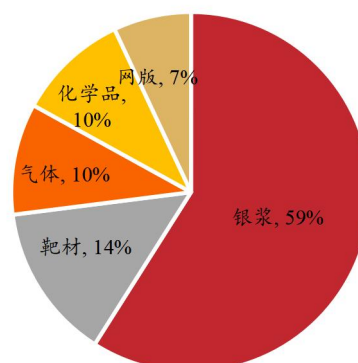
银浆成本在 HJT 电池非硅成本中占比近 60%。从 HJT 电池成本构成来看，根据 CPIA，HJT 电池成本结构中，主要包括硅片、银浆、折旧和 TCO，分别占比总成本 47%、25%、12%和 4%。从非硅成本来看，根据《HJT 电池技术发展现状及成本分析》，银浆为最主要的非硅成本构成，占比总非硅成本的 59%，主要原因系 1)量：HJT 电池所需的低温银浆导电能力较弱，故 HJT 电池银浆耗用量高于 PERC 和 TOPCon 电池，根据 CPIA，2021 年 P 型电池正银+背银消耗量共计约 96.4mg/片；TOPCon 电池正银+背银消耗量共计约 145.1mg/片，而 HJT 电池双面低温银浆消耗量约 190mg/片；2)价：低温银浆的国产化率较低，目前价格大幅高于高温银浆，根据《HJT 电池技术发展现状及成本分析》，低温银浆较高温银浆溢价约 2000 元/千克。在量价的双重影响下，银浆为 HJT 电池最主要的非硅成本构成，占比总非硅成本近六成，未来将成为 HJT 电池的主要降本路线之一。

图表 43. HJT 成本结构



资料来源：CPIA，东亚前海证券研究所

图表 44. HJT 非硅成本结构



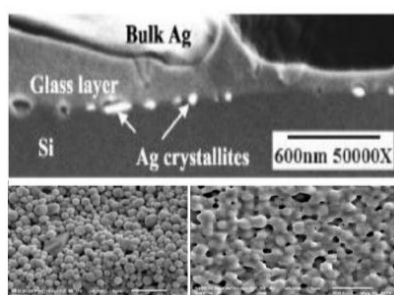
资料来源：《HJT 电池技术发展现状及成本分析》，东亚前海证券研究所

4.3.2. 材料端：银浆、靶材、硅片都是 HJT 电池未来主要的降本路径

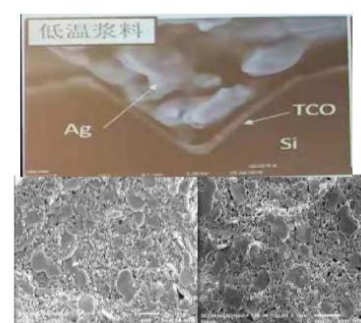
从材料端来看：未来主要的降本路径落脚点分别为银浆、靶材、硅片，具体来看：

1) **银浆**：目前的光伏银浆分为高温银浆和低温银浆两种，主要的区别在于工艺温度，传统的 P 型电池和 N 型 TOPCon 使用高温银浆，HJT 只能使用低温银浆。HJT 电池是在晶硅基片使用薄膜技术制作 PN 结、减反射层和导电层的新型电池工艺技术，其整个电池制作前道过程的工艺温度均不超过 200℃。高温银浆成型需要 700℃以上的高温，若使用高温银浆作 HJT 电池的正负极，会对其薄膜结构造成非常大的损伤，故目前 HJT 电池只能采用树脂固化型的低温银浆制作电池的正负极。由于低温银浆的导电性和印刷性较差并且 HJT 电池双面均需要使用银浆，为了保证低电阻和高电导传输，HJT 电池的低温银浆浓度要求更高，耗量更大。

图表 45. 高温银浆对比



高温银浆烧结前后对比图



低温银浆固化前后对比图

资料来源：摩尔光伏，东亚前海证券研究所

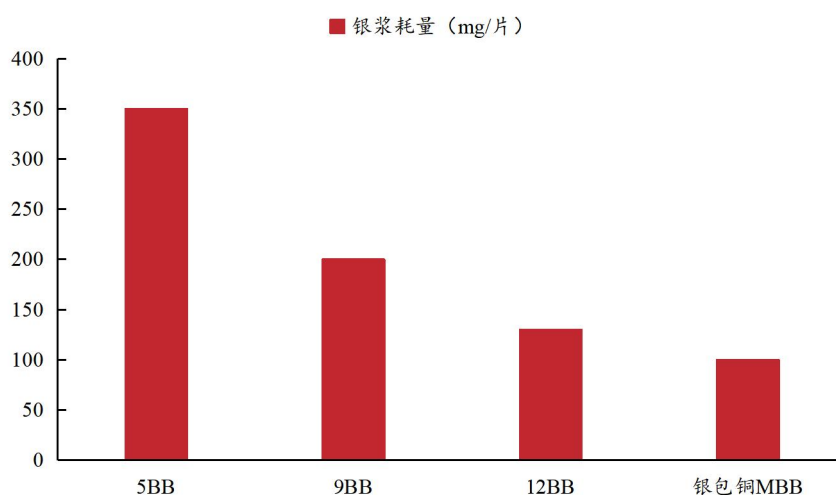
银浆分别可以从价格上和耗量上降低 HJT 电池的成本。

a) **价格上**：目前低温银浆的生产工艺难度较高，需要冷链运输，根据中科院电工所，相较于普通银浆溢价 2000 元/千克。低温银浆技术前期被日本供应商垄断，随着 HJT 设备国产替代进程加速，国内常州聚合、苏州固

得等企业已经开始批量供货低温银浆，逐步打破了日本的垄断，未来能进一步降低低温银浆的采购成本。

b) 单片耗量上：1.多主栅、无主栅技术可以在减少电池转换效率的基础上，增加组件的导电性，降低银浆耗量，根据中科院电工所，5BB 技术、9BB 技术、12BB 技术的单片 HJT 电池耗银量分别在 350mg/片、200mg/片、130mg/片；2.银包铜工艺，即是在铜的表面包裹银粉，低温加工工艺使铜作为导电材料从而降低银的使用量，根据中科院电工所，银包铜 MBB 技术的单片 HJT 电池耗银量为 100mg/片；3.激光转印技术为非接触式印刷，制作出来的栅线更细，根据帝尔激光公司公告，激光转印技术在 PERC 电池上验证的银浆耗量节省约 30%，在 HJT 电池上的节约量会更大。目前帝尔激光太阳能电池激光工艺设备全球市占率第一，激光转印技术走在国际前沿，迈为股份也在积极布局该技术，预计未来短期内还是多主栅 MBB 技术为主，而长期来看激光转印技术也在不断研发，有望助力 HJT 降本。

图表 46. 不同技术银浆耗量 (mg/片)

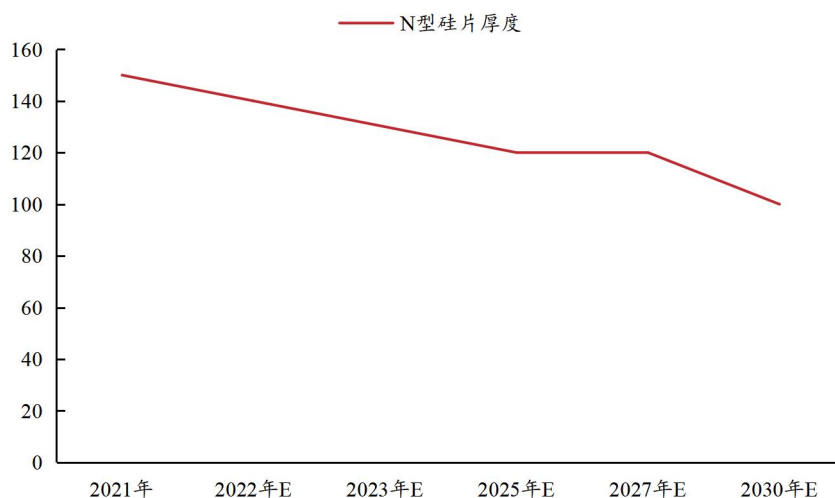


资料来源：中科院电工所，东亚前海证券研究所

2) 靶材：靶材的选择决定了薄膜的光电特性，进而影响电池转换效率，目前市场化的靶材有 AZO（铝锌氧化物）和 ITO（氧化铟锡）等。AZO 材料价格相对较低，但是导电性较差。ITO 靶材通过把氧化铟和氧化锡粉末按一定比例混合后经过一系列的生产工艺加工成型，再高温气氛烧结（160 度，通氧气烧结）形成的黑灰色陶瓷半导体，通过调整氧化铟和氧化锡粉末的比例，可以提高 HJT 电池的转换效率。根据中国铟网，目前国内 ITO 靶材超过一半依赖于进口，国产的 ITO 靶材主要供应中低端市场，仅占国内市场 30% 的份额，而高端 ITO 靶材几乎全部从日本、韩国进口，占 70% 的市场份额。HJT 电池通过靶材的降本路径包括：1.靶材国产化替代进程不断加速，目前广东先导稀材股份等企业 ITO 靶材生产技术已经逐渐成熟；2.实现靶材规模化回收；3.使用 AZO 替代等。

3) **硅片**: HJT 电池的异质结结构更适合硅片的薄片化, 具备天然优势。HJT 电池的对称结构能够降低机械应力, 硅片的碎片率更低; 低温工艺使得良品率更高; 在硅片变薄的情况下, HJT 开路电压上升, 短路电流下降, 转换效率基本不变。根据 CPIA 测算, 2021 年, 用于 TOPCon 电池的 N 型硅片平均厚度为 165 μm , 用于异质结电池的硅片厚度约 150 μm , 用于 IBC 电池的硅片厚度约 130 μm , 根据东方日升公司公告, HJT 电池的硅片厚度降到 100 μm 基本不影响效率。根据索比光伏网, 硅片厚度每降低 10 μm , 单片硅片成本将降低 3%~5%。

图表 47. N 型硅片厚度变化趋势 (μm)



资料来源: CPIA, 东亚前海证券研究所

4.3.3. 设备端: 国产替代加速, 未来 HJT 设备有望降至 3 亿元/GW

随着国产设备替代+规模化生产, 未来 HJT 设备投资成本有望进一步降低。2019 年之前, HJT 设备主要由外资品牌提供, 设备成本约为 10-20 亿元/GW, 2019 年之后, HJT 设备投资端逐渐进行国产厂商替代, 迈为股份、钧石能源、捷佳伟创等推进国产设备研发, HJT 设备投资成本降至 5-10 亿元/GW。根据 CPIA, 2021 年 HJT 设备成本进一步降至 4 亿元/GW, 主要得益于国产设备替代进程不断加速。根据 Solarzoom 预计, 2022 年 HJT 设备成本有望降至 3 亿元/GW 以内, 折旧成本下降 0.03 元/W, 未来随着国产替代进程不断加速, HJT 电池设备投资成本有望持续下行。

4.4. 产能规划: 预计 2022 年新增产能 20-30GW

HJT 产业化持续推进, 产线适配仍需磨合。HJT 电池产线与 PERC 产线不兼容, 行业“新进者”纷纷布局 HJT 电池, 使得目前 HJT 电池产线大部分仍以小规模为主。具体来看, 截至目前, 华晟新能源已形成异质结电

池和组件产能各 2.7GW, 规模居全球异质结领域第一, 公司规划三期 4.8GW 产线预计将于 2023 年完成; 从转换效率来看, 华晟 210mm 尺寸微晶异质结电池片批次平均效率已达 24.73%, 生产线冠军电池片效率高达 25.1%。金刚玻璃 1.2GW 产线目前处于产能爬坡状态, 2022 年 6 月, 公司宣布建设 4.8GW 高效异质结电池片及组件项目; 从转换效率来看, 6 月异质结非晶电池平均转换效率达 24.28%, 微晶转换效率达 24.95%, 微晶 MBB (即电池栅线为 12 主栅) 转换效率达 25.3%。东方日升 将原先 100MW 的异质结产线改造并扩产至 500MW 的异质结薄片产线, 第一片产品于 5 月 10 日顺利下线, 公司宁海 15GWHJT 电池+15GW 组件的一期部分 (即 5GW 电池+10GW 组件) 预计 2023 年 4 月达产; 从转换效率来看, 公司 HJT 技术团队反馈原先的 158 异质结产线平均效率可达 25.2%。**根据迈为股份预计, 2022 年 HJT 新增产能大概在 20-30GW。根据 Energy Trend 预测, HJT 电池项目总产能规划超过 150GW。**

图表 48. HJT 电池规划产能统计 (截至 2022 年 6 月)

电池厂商	现有 (GW)	规划 (GW)	进度
爱康科技	3	22	异质结短期内长兴和泰兴总共 5GW, 整体看长兴 10GW, 泰兴 6GW, 赣州 6GW
东方日升	0.5	15	宁海县年产 15GWN 型超低碳高效异质结电池片与 15GW 高效太阳能组件项目, 周期 30 个月
华晟新能源	2.6	9.8	二期 2GW 产线于 2022 年 6 月投产; 三期 4.8GW 产线预计于 2023 年投产; 大理 5GW 项目于 2022 年 5 月签署合作协议
华润电力	—	12	12GW 高效异质结太阳能电池及组件制造项目位于舟山, 建设单位为浙江铨海
海泰新能	—	5	江苏盐城 5GW 异质结电池+5GW 组件
钧石能源	—	10	舟山 10GW 异质结电池项目
润阳集团	5	10	江苏盐城与捷佳伟创签署 5GW 异质结电池, 2022 年下半年募投项目为 5GW 异质结
山煤国际	—	10	10GW 高效异质结 (HJT) 太阳能电池产业化一期 3GW 项目
比太科技	1	9	山西蒙城 1GWHJT 电池项目 2020 年 10 月投产, 安徽扩产 5GW; 宝鸡市 3GW, 一期 2GW 2022 年达产, 二期 1GW 2024 年达产
晶飞能源	1	6	泰兴 5GW, 分三期, 一期在 21 年 9 月投产; 马鞍山 1GW 已投产
国家电投	—	5.1	联合钜能电力在莆田规划 5GW 异质结, 与江西共青城市规划 0.1GW 异质结组件项目
中利集团	—	5	合资公司 5 年内在阜平投资建设 5GW 异质结电池
晋锐能源	—	5	HDT 高效异质结太阳能电池 5GW, 25% 的量产转换效率
明阳智能	—	5	江苏盐城 5GW 光伏异质结电池项目, 一期 2.5GW, 项目周期为 5 年 3 期
淮宁能源	—	2	在阜宁县新建年产 2GW 异质结电池生产项目, 项目预计 2022 年 10 月进行设备调试
国投电力	—	1.5	张家口市与国投电力、华源电力、金石能源建设 1.5GW 异质结电池生产线
金刚玻璃	1.2	4.8	1.2GW 产线处于产能爬坡阶段; 2022 年 6 月, 公司宣布建设 4.8GW 高效异质结电池片及组件项目
隆基绿能	—	1.2	隆基中央研究院一期新型高效电池中试项目, 建设规模 1.2GW
苏州潞能	—	1	项目计划 2021 年 3 月初开工建设, 2022 年底前建成投产
中建材	—	5	江阴临港 5GW 异质结太阳能电池项目
阿特斯	0.25	—	浙江嘉兴 0.25GW 异质结电池中试线, 2021Q1 形成销售
晶澳科技	—	—	募资 3 亿元, 对异质结电池研发中试线进行建设, 并新增设备 120 台, 预计 2022 年投产
通威集团	1.2	1.2	金堂基地 1GW 异质结电池项目, 合肥 0.2GW 中试线
水发能源	—	5	位于东营的 5GW 异质结电池项目

资料来源: 爱康科技、东方日升、华润电力、山煤国际、明阳智能、隆基绿能、金刚玻璃、阿特斯、晶澳科技公司公告, 东亚前海证券研究所

5. IBC 电池：平台型长期电池技术路线，国内仍难实现大规模量产

5.1. 简介：采用交叉指式背接触结构，XBC 为当前热门发展方向

5.1.1. 正面无金属栅线，优势与挑战并存

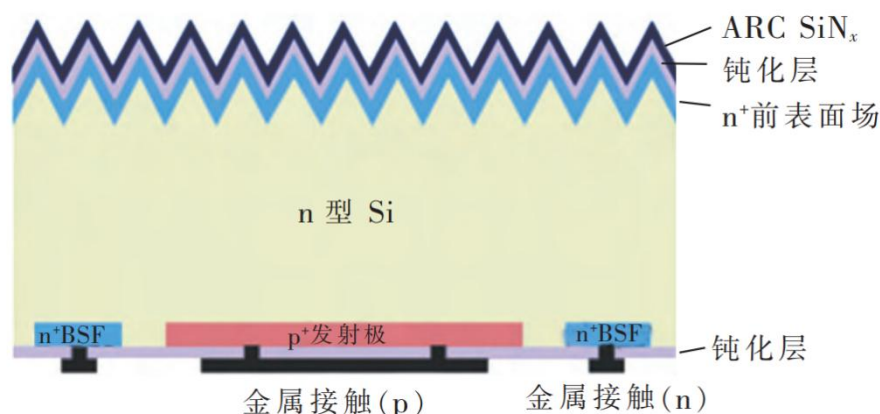
图表 49. 本节术语概览

术语	定义
ARC	抗反射涂层，旋涂于光刻胶与 Si 衬底界面处以吸收光刻反射光的物质
背结	光入射的那一面一般约定为正面，普通 P 型电池正面的 PN 结是最终需要使用的，而背面的则称为背结。
光掩模	在半导体制造的整个流程中，其中一部分就是从版图到晶圆制造中间的一个过程，即光掩膜或称光罩（mask）制造。

资料来源：维基百科，东亚前海证券研究所

IBC 电池正面的无金属栅线设计，最大程度减少光学损失。IBC 电池（interdigitated back contact）中文名称为交叉指式背接触电池。IBC 电池正面无金属栅线，发射极和背场以及对应的正负金属电极呈叉指状集成在电池的背面，这种独特结构避免了金属栅线电极对光线的遮挡，结合前背表面均采用金字塔结构和抗反射层，最大程度地利用入射光，相较于 PERC 等其他技术路线的电池减少了更多的光学损失，具有更高的短路电流，有效提高 IBC 太阳电池的光电转换效率。电池前表面收集的载流子要穿过衬底远距离扩散至背面电极，故 IBC 电池一般采用少子寿命更高的 N 型单晶硅衬底。

图表 50. IBC 电池结构图



资料来源：《IBC 太阳电池技术的研究进展》，东亚前海证券研究所

特殊的背接触结构，使 IBC 电池有以下优点：1) 正面因无电极栅线的遮挡，可有效降低光学损失，与传统太阳电池相比，IBC 太阳电池的短路电流密度可提高 5%~8%；2) 电池的正负电极均位于电池背面，可最大限度优化电极栅线，从而降低串联电阻，提高电池效率；3) 正面无金属栅线

设计的考虑,可最优化地设计表面钝化及减反结构,从而改善电池性能;4)正面无栅线,可与组件封装技术相结合,制备出外观好看且适用于光伏建筑一体化(built-in PV, BIPV)的组件产品,未来应用前景较广。

在产业化道路上,IBC 电池面临以下挑战:1)对基体材料要求较高,需要较高的少子寿命。IBC 电池属于背结电池,为使光生载流子在到达背面 PN 结前尽可能少得被复合掉,需要较高的少子扩散长度;2)IBC 电池对前表面的钝化要求较高。若前表面钝化效果不理想,光生载流子在未到达背面 PN 结区之前,已被复合掉,将会大幅降低电池转换效率;3)工艺过程复杂。背面指交叉状的 P 区和 N 区在制作过程中,需要多次的掩膜和光刻技术,为了防止漏电,P 区和 N 区之间的间隙也需非常精准,增加了工艺难度;4)IBC 复杂的工艺步骤使其制作成本远高于传统晶体硅电池。

5.1.2. IBC 电池技术起源于 1975 年,IBC 为当前热门发展方向

IBC 电池的发展历程可以分为技术探索期、初步产业化期、研发热潮期和技术分支化期四个阶段。1)1975-1996 年:IBC 技术概念被提出,进入技术探索期。IBC 技术最早可追溯到由 Schwartz 和 Lammert 于 1975 年提出的背接触式光伏电池概念。1984 年,斯坦福教授 Swanson 报道了类 IBC 的点接触(Point Contact Cell, PCC)太阳电池,在聚光系统下转换效率达到 19.7%,但其更为复杂的工艺过程不易于大规模推广,Swanson 教授于次年创立 SunPower,专注研发 IBC 电池。1986 年 Pierre Verlinden 博士在标准光照下制备出效率 21%的 IBC 电池;

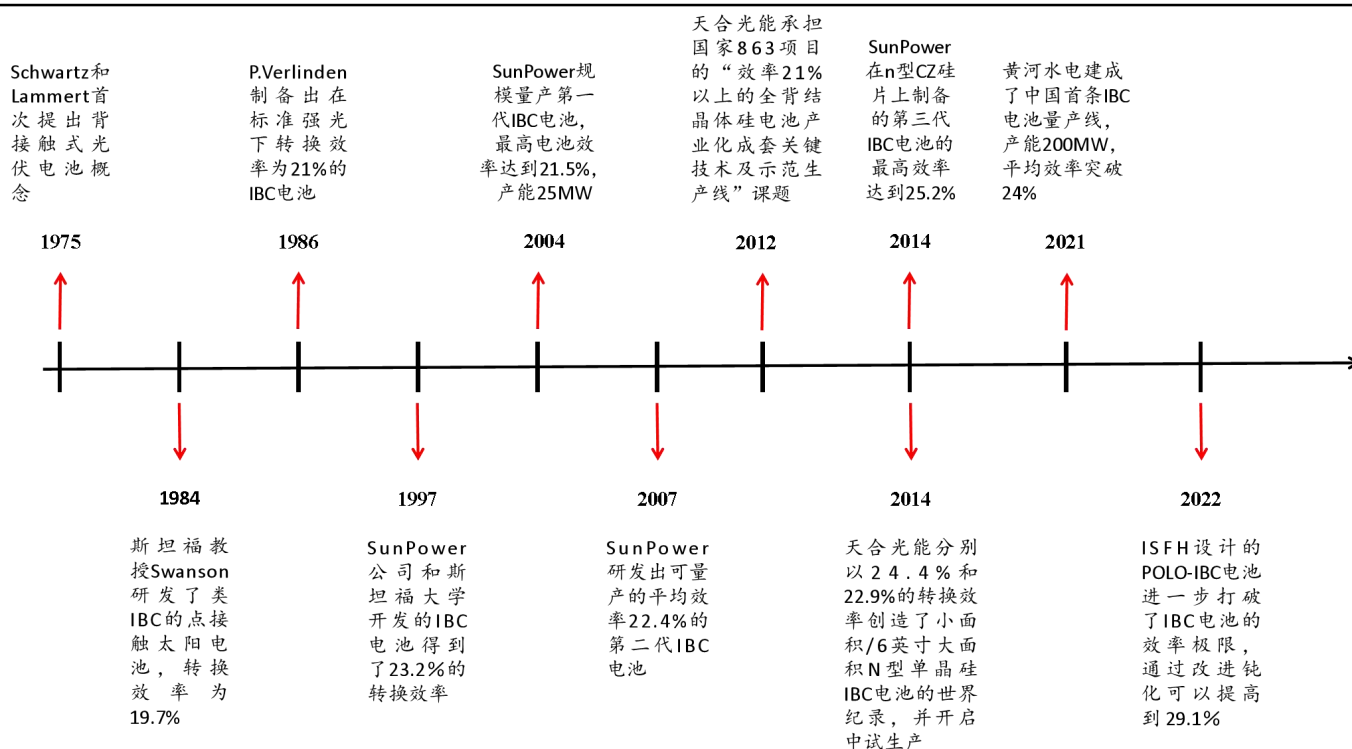
2)1997-2010 年:技术领导者 SunPower 开启 IBC 电池初步产业化。1997 年,SunPower 公司和斯坦福大学开发的 IBC 电池得到了 23.2%的转换效率。SunPower 于 2004 年采用点接触和丝网印刷技术研发出第一代大面积(149cm²)的 IBC 电池 A-300,转换效率为 21.5%,并于菲律宾工厂规模量产(25MW 产能)。2007 年 SunPower 通过工艺优化和改进研发出可量产的平均效率 22.4%的第二代 IBC 电池;

3)2011-2016 年:更多厂商机构步入 IBC 技术研发。2012 年天合光能承担了国家 863 项目的“效率 21%以上的全背结晶体硅电池产业化成套关键技术及示范生产线”课题,于 2014 年分别以 24.4%和 22.9%的转换效率创造了小面积/6 英寸大面积 N 型单晶硅 IBC 电池的世界纪录,并开启中试生产。2014 年,SunPower 在 N 型 CZ(直拉)硅片上制备的第三代 IBC 电池的最高效率达到 25.2%;

4)2017 年-至今:IBC 技术形成三大分支化路线。随着工艺成熟和设备成本下降,IBC 电池逐渐形成了三大工艺路线:a)以 SunPower 为代表

的经典 IBC 电池工艺；b) 以 ISFH 为代表的 POLO-IBC（集成光子晶体的多晶硅氧化物叉指背接触）电池工艺；c) 以 KANEKA 为代表的 HBC（IBC 与 HJT 技术结合）电池工艺。2021 年黄河水电建成了中国首条 IBC 电池量产线，产能 200MW，平均效率突破 24%。2022 年 ISFH 设计的 POLO-IBC 电池进一步打破了 IBC 电池的效率极限，通过改进钝化转换效率有望提高到 29.1%。

图表 51. IBC 电池发展历程

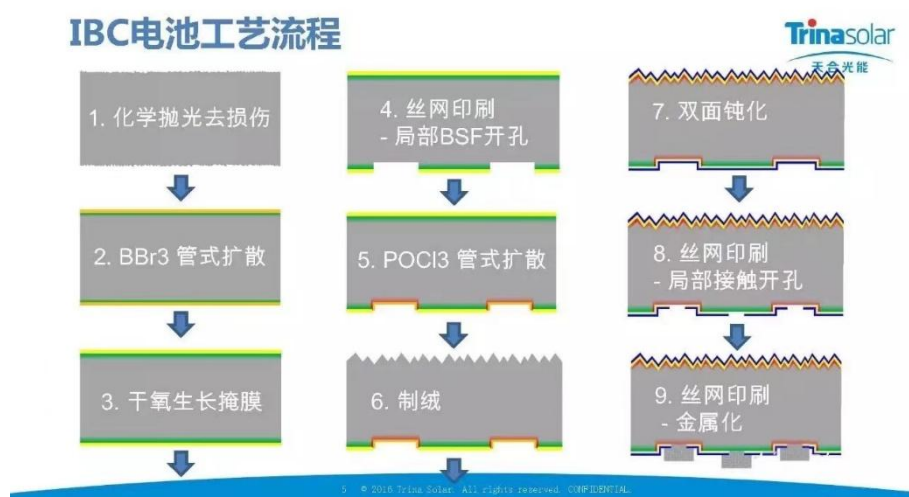


资料来源：CPIA，Sunpower，天合光能公司公告，索比光伏网，东亚前海证券研究所

5.1.3. 制作工艺：制程步骤复杂，工艺难度大

IBC 电池工艺流程相对复杂，核心要解决制备指状间隔排列的 PN 区、金属化接触和栅线的问题。在电池背面印刷一层含硼的叉指状扩散掩膜层，硼经过扩散之后在 N 型衬底背部形成 P⁺发射极，未印刷掩膜的区域，经过磷扩散后形成 N⁺区。在电池前表面制备金字塔状绒面来增强光的吸收，同时在前表面形成前表面场（FSF）。前表面多采用 SiN_x 的叠层钝化减反膜，背面采用 SiO₂、AlO_x、SiN_x 等钝化层或叠层，最后在背面选择性地形成 P 和 N 的金属接触。

图表 52. IBC 电池工艺流程



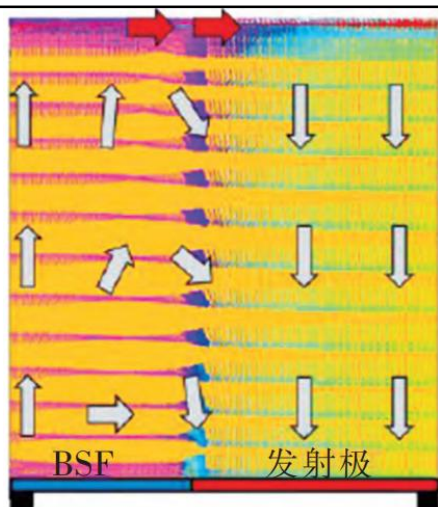
资料来源：天合光能，东亚前海证券研究所

IBC 电池前表面没有栅线遮挡，故表面的钝化性能需要足够优异才能最大程度发挥 IBC 电池的结构优势。IBC 电池的钝化镀膜有两种方法：

1) FFE：在电池前表面进行硼掺杂形成 P⁺/N 结，也叫浮动发射极结构（FFE），该钝化结构的特点是在 IBC 电池背表面场 BSF 以上的区域产生的空穴先被运输到发射极上方对应的前表面区域，由于前表面和背表面梯度浓度差，空穴再被垂直运输到发射极区域位置被收集，电子则被垂直运到 BSF 区被收集，该方法通过增加衬底中的少子空穴浓度来提升电池的短路电流密度。

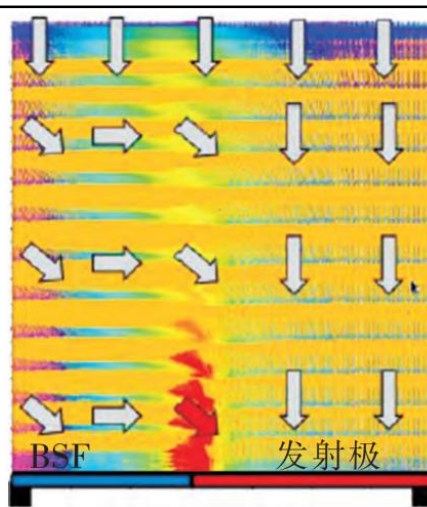
2) FSF：在电池前表面进行磷掺杂，形成前表面场结构（FSF），该结构的特点是在电池前表面形成高浓度的掺杂，与高电阻率的硅衬底形成 N⁺/N 高低结，产生自上而下的电场，驱使空穴向下运输，电子向上运输，从而降低少数载流子的表面复合，起到良好的钝化作用，有利于效率提升。

图表 53. FFE 结构的 IBC 空穴电流模拟



资料来源：《IBC 太阳能电池技术的研究进展》，东亚前海证券研究所

图表 54. FSF 结构的 IBC 空穴电流模拟



资料来源：《IBC 太阳能电池技术的研究进展》，东亚前海证券研究所

叉指状 PN 结可通过印刷源浆、光刻、离子注入或激光掺杂等方式形成。根据《IBC 太阳电池技术的研究进展》，IBC 太阳电池背面一般可采用印刷源浆、光刻、离子注入或激光掺杂等方式形成叉指状的 p+ 区和 n+ 区。具体来看，1) 印刷源浆：工艺简单，成本相对便宜，但易造成表面缺陷，掺杂效果难以控制，尚未应用于 IBC 电池；2) 光刻：复合低，掺杂类型可控，但是工艺过程复杂，工艺难度大；3) 离子注入：控制精确度高、扩散均匀性好，但设备昂贵，易造成晶格损伤；4) 激光掺杂：工艺简单，常温制备，但需要精确对位。

5.2. 转换效率：经典 IBC 效率溢价难以覆盖成本溢价，TBC+HBC 吸引产业转型

IBC 电池在当前各电池技术效率最高，国际上 SunPower 处于领先地位。自 1985 年以来，美国 SunPower 聚焦于研发 IBC 电池，是首个能够实现量产 IBC 电池的公司。自推出一代 IBC 电池后，SunPower 不断往两个方向升级 IBC 电池技术：1) 更简化的制程，及更低成本工艺；2) 更好的钝化技术。从 SunPower 最新披露信息来看，其最新一代 IBC 电池，已吸收了 TOPCon 电池钝化接触的技术优点，保留了铜电极工艺，量产工艺已经简化，成本在可接受范围，转换效率达到 25% 以上。

图表 55. SunPower 公司 IBC 电池发展历程

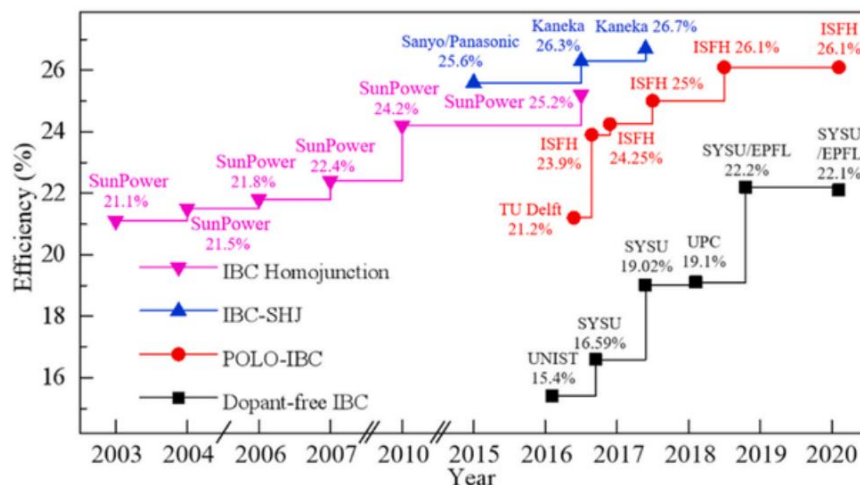
	电池面积 cm ²	最高效率	量产效率	IBC 电池技术	同时期电池技术
2004 年	149	21.50%	20.50%	第一代 IBC 规模量产 IBC 电池，用低成本丝网印刷技术取代光刻；用低成本加工设备例如扩散炉、湿法刻蚀和清洁设备；	BSF 多晶 13%
2007 年	155	22.40%	22.00%	第二代 IBC 图案化技术的优化；硅片厚度减薄到 160um；首次激光加工	BSF 多晶 15%
2010 年	155.1	24.20%	23.00%	第三代 IBC 改进表面掺杂和其他工艺，进一步减小了金属接触复合；硅片厚度减薄到 145um；克服扩散和体复合限制	BSF 单晶 18% BSF 多晶 16%
2016 年	153	25.20%	24.00%	Maxeon 5 抑制边缘损耗，降低 Rs；硅片厚度 130um；首次量产 TBC	PERC 单晶 22%
2021 年	245.7	未披露	24.50%	Maxeon 6 提高硅片的体寿命；发射极复合电流密度 1.5fa/cm ² ；进一步降低边缘损耗；降低前表面光吸收；简化工艺，更大硅片尺寸	TOPCon 24.5% HJT 24.5%

资料来源：SunPower，普乐科技，东亚前海证券研究所

IBC 效率溢价难以覆盖成本溢价，TBC/HBC 路线逐渐成型。2021 年，PERC 单晶电池平均转换效率已到 23.1%，TOPCon 电池和 HJT 电池平均转换效率分别达到 24.0% 和 24.2%，经典 IBC 电池获取的效率溢价，难以覆盖其成本溢价，故经典 IBC 工艺路线竞争力逐渐衰弱。在此背景下，IBC 电池慢慢成为了一种平台型电池技术，厂商在该技术上结合 TOPCon 和 HJT 的特点，IBC 电池逐渐形成了三大工艺路线：1) 以 SunPower 为代表的经

典 IBC 电池工艺;2)以 ISFH 为代表的 POLO-IBC 电池工艺;由于 POLO-IBC 工艺复杂,低成本的同源技术 TBC 电池工艺(TOPCon-IBC)更具优势;3)以 Kaneka 为代表的 HBC 电池工艺(IBC-SHJ)。

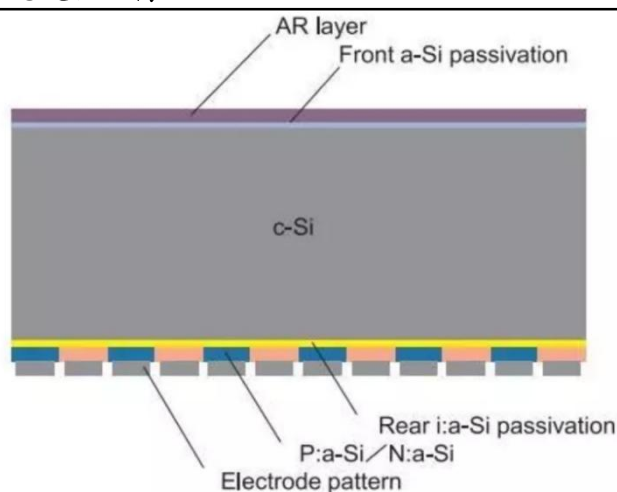
图表 56. IBC 电池工艺路线



资料来源:中科院宁波材料所,光伏们,东亚前海证券研究所

HJT+IBC=HBC, 当前晶硅电池研发效率的最高水平。 HBC 工艺即在硅片表面采用本征非晶硅进行钝化,在背面分别采用 N 型和 P 型的非晶硅薄膜形成异质结,该结构充分利用了非晶硅优越的表面钝化性能,并结合了 IBC 结构没有金属遮挡的优点,有效提升电池转换效率。从 HBC 量产效率来看,根据普乐科技, HBC 电池量产转换效率达 25%~26.5%。从 HBC 最高效率来看,2017 年, Kaneka 将 HBC 电池世界纪录刷新到 26.63%,这也是迄今为止晶硅太阳能电池研发效率的最高水平。IBC 与非晶硅钝化技术的结合是未来 IBC 电池效率提升的方向之一。

图表 57. HBC 电池结构

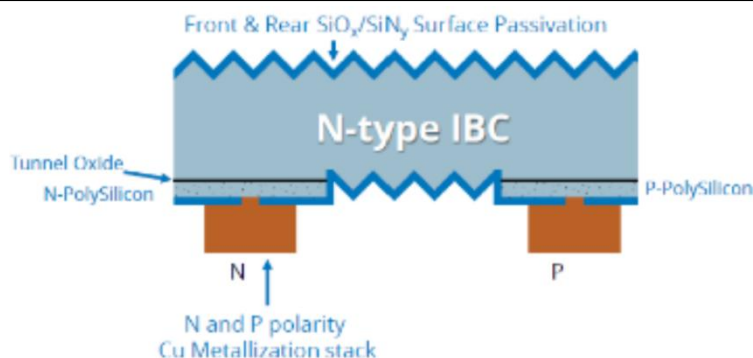


资料来源:摩尔光伏,东亚前海证券研究所

TOPCon+IBC=TBC, 极具性价比的 IBC 衍生工艺路线。 将 TOPCon 钝化接触技术与 IBC 相结合,即是 TBC 电池,又名 POLO-IBC 电池。多晶

硅氧化物（POLO 层）选择钝化接触技术是通过生长 SiO₂ 和沉积本征多晶硅，采用高温退火方式使正背面 SiO₂ 钝化薄层形成局部微孔，通过微孔和隧穿特性实现电流的导通。因此，将 POLO 技术用于正面无遮挡的 IBC 太阳能电池，能在不损失电流的基础上提高钝化效果和开路电压，获得更高的光电转换效率。从 TBC 量产效率来看，根据普乐科技，TBC 电池量产转换效率达 24.5%~25.5%。从 TBC 最高效率来看，Fraunhofer 创下实验室最高转换效率记录 26.1%。

图表 58. SunPower 的 TBC 电池结构



资料来源：SunPower，普乐科技，东亚前海证券研究所

从转换效率来看，TBC 技术和 HBC 技术均优于经典 IBC 技术。根据普乐科技，经典 IBC 的量产效率在 23.5%-24%之间，TBC 在 24.5%-25.5%之间，HBC 在 25%-26.5%之间，实验室中的效率分别能够达到 25.2%，26.1%，26.63%。TBC 技术和 HBC 技术在转换效率层面优于经典 IBC 技术。

图表 59. 各电池技术效率对比

	实验室效率	平均量产效率
P 型 PERC（基准）	24.06% (隆基)	22.8%-23.2%
TOPCon	25.7% (晶科)	23.5%-24.5%
HJT	26.5% (隆基)	23.5%-24.5%
IBC	25.2% (SunPower)	23.5%-24.5%
TBC	26.1% (Fraunhofer)	24.5%-25.5%
HBC	26.63% (Kaneka)	25%-26.5%

资料来源：普乐科技，东亚前海证券研究所

从产业化进度上来看，短期内 TBC 电池路线发展前景更广。目前，TBC 和 HBC 电池技术路线均处于实验室研究阶段，产业化进程的推进仍有许多问题亟待解决。TOPCon 的工艺路线相比 HJT 的工艺路线更加成熟，成本更低，TBC 产线又与 TOPCon 产线部分兼容，故 TBC 技术成为短期内极具性价比的 IBC 电池进化方向。HBC 电池仍需克服诸多挑战，除了 TCO 靶材和低温银浆的高成本外，还需解决 IBC 技术严格的电极隔离、制程复杂及工艺窗口窄等问题。

5.3. 成本端：精简工艺步骤和降低制造成本是降本核心，XBC 降本路线与融合前的技术具有相关性

精简工艺步骤、降低制造成本，是实现 IBC 电池产业化的关键因素。IBC 电池只需背面印刷银浆，银浆耗量比 TOPCon 和 HJT 电池低，且背面银浆不必考虑栅线遮挡问题，可适当加宽栅线，从而降低串联电阻。电极背置需要用到掩膜工艺，该工艺对图形化和分辨率有一定要求，产线上要增加背部掩膜、开槽、激光消融等图形化处理设备，根据普乐科技测算，目前经典 IBC 的设备投资额约为 3 亿元/GW 左右。

图表 60. 各电池技术路线成本对比

	P 型 PERC	TOPCon	HJT	IBC	TBC	HBC
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	170-190μm	150-160μm	90-140μm	130-150μm	130-150μm	90-140μm
产线兼容度	目前主流产线	通过升级 PERC 产线	不兼容主流产线	兼容部分 PERC	兼容部分 TOPCon	兼容部分 HJT
设备投资额	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	成熟	成熟	即将成熟	成熟	即将成熟	即将成熟

资料来源：普乐科技，东亚前海证券研究所

XBC 电池的降本路线与融合前的技术有强相关性。例如 HJT 的降本路线也是 HBC 的降本路线，以此类推，XBC 主要有以下降本路径：

1) 产线投资上：由于 IBC、TBC、HBC 电池工艺路线分别兼容部分 PERC、TOPCon、HJT 的设备，通过开发配套工艺和设备升级改造，以最小代价实现与目前规模化的生产线兼容的 IBC 工艺路线，能够带动 XBC 电池的工艺成熟，带动设备投资端的下降；

2) 工艺设备上：可采用半导体常用的精度更高、均匀性更好的离子注入设备代替光伏中均匀性较差的高温磷扩散设备制备前场区和背场区，叠加丝网印刷、PECVD 沉积掩膜、激光开膜等产业化工艺取代复杂且昂贵的光刻掩膜、电镀等高成本技术，适用于量产化 IBC 电池；

3) 材料选择上：选用更低成本的 TCO 膜和靶材，比如选用 AZO 或其他低成本 TCO 膜；选用更低成本的金属电极工艺，比如采用铜电极工艺，或配合微晶工艺采用中高温银浆方案。

5.4. 产能规划：头部厂商布局，预计今年少量产能落地

头部电池厂商开始布局 XBC 电池，预计今年能看到少量产能落地。具体来看，隆基绿能计划在泰州隆基电池厂内，在原年产 2GW 单晶电池项目

的基础上对生产线进行技术提升改造，改建成8条HPBC（即P-IBC电池）高效单晶电池产线，4GW的电池片产线预计将于今年8月投产。爱旭股份于2021年发布了具有自主知识产权的基于IBC技术的ABC电池，目前已有800MW的实验及中试线产能，共计规划N型ABC产能52GW（珠海基地26GW+义乌基地26GW），其中珠海基地6.5GW量产项目正有序推进中，预计今年三季度可建成投产。

图表 61. XBC 电池产能规划统计（截至 2022 年 6 月）

电池厂商	现有 (GW)	规划 (GW)	进度
中来股份	—	10	衢州基地年产10GW N型单晶IBC与双面太阳能电池，一期3GW N型单晶IBC双面电池
爱旭股份	—	52	N型ABC规划产线包括珠海26GW和义乌6GW，其中珠海6.5GW预计将于今年完成
隆基绿能	—	4	泰州隆基乐叶，8条HPBC产线，4GW电池产线预计2022年8月投产
TCL中环	1.2	—	收购SunPower拆分出来的Moxeon Solar，收购前IBC产能达1.2GW，效率>25%
黄河水电	0.2	—	西宁市0.2GW N型IBC电池及组件项目，量产效率突破24.1%，达到国际先进水平

资料来源：中来股份、爱旭股份、隆基绿能、TCL 中环公司公告，东亚前海证券研究所

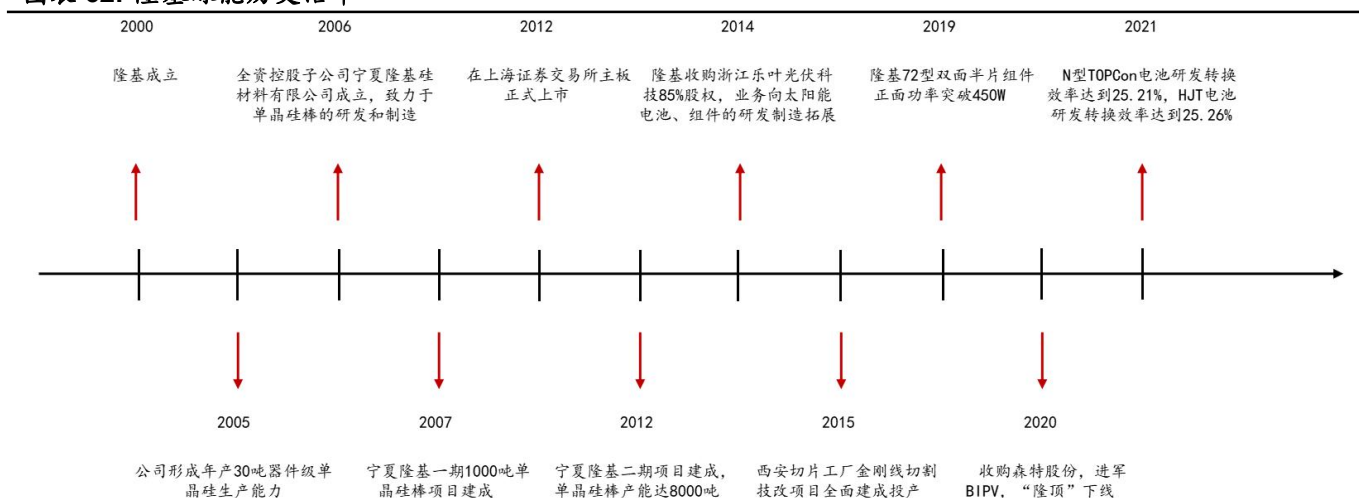
6. 相关标的

6.1. 隆基绿能

6.1.1. 光伏组件一体化龙头，全面布局零碳赛道

隆基绿能科技股份有限公司前身新盟公司成立于2000年，后于2012年在主板上市。公司主营业务为单晶硅棒、硅片、电池和组件的研发、生产和销售，以及光伏电站开发、建设及运营业务等，已形成了从单晶硅棒/硅片、单晶电池/组件到下游单晶光伏电站应用的完整产业链，其中单晶硅片和单晶组件业务是公司的核心制造业务，目前公司已发展成为全球最大的单晶硅片和组件制造企业。

图表 62. 隆基绿能历史沿革

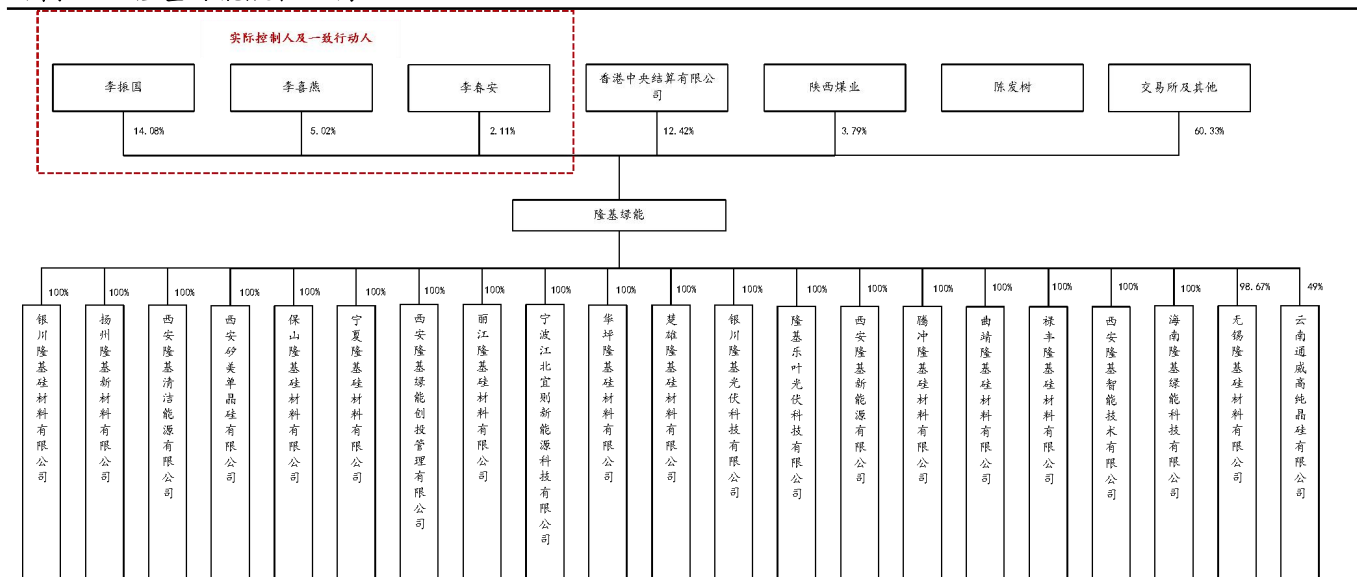


资料来源：隆基绿能公司公告，东亚前海证券研究所

截至2022年一季度，公司控股股东为董事兼总经理李振国，其与一致行动人李喜燕、李春安合计持股约21%。三位创始人李振国、李春安、钟

宝申均为技术出身，系兰州大学 1986 级物理系校友。

图表 63. 隆基绿能股权结构



资料来源：隆基绿能公司公告（控股/参股公司未完全显示），东亚前海证券研究所

6.1.2. 业绩维持高速增长，盈利能力稳定

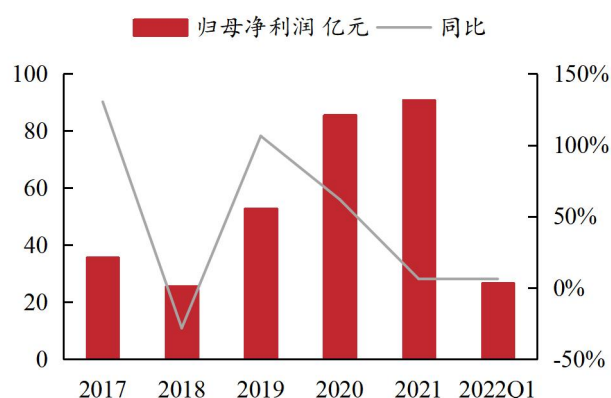
公司营收及归母净利润保持增长，硅片和组件出货量稳增。2017-2021 年，公司营收增长迅速，CAGR 达 49.13%；同期归母净利润 CAGR 为 26.35%。公司 2021 年实现营业收入 809.32 亿元，同比+48.27%，营收表现亮眼主要得益于硅片和组件的出货量高增，硅片出货量达 70GW，同比+20.40%，组件出货 38.5GW，同比+57%。2021 年公司归属母公司净利润 90.86 亿元，同比+6.24%。2022 年一季度，公司实现营收 185.95 亿元，同比+17.29%；实现归母净利润 26.64 亿元，同比+6.46%。

图表 64. 隆基绿能历年营收变动趋势



资料来源：隆基绿能公司公告，东亚前海证券研究所

图表 65. 隆基绿能历年归母净利润变动趋势

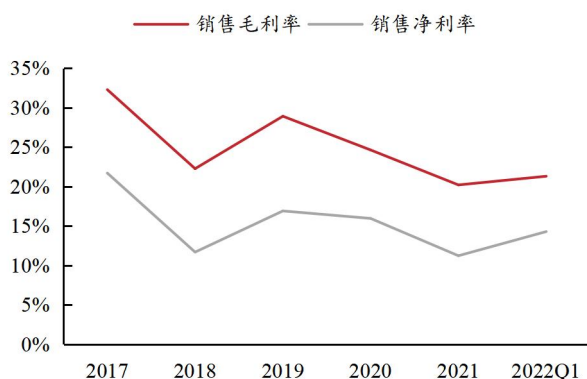


资料来源：隆基绿能公司公告，东亚前海证券研究所

公司盈利能力稳定，费用管控能力良好。2017-2021 年，公司毛利率总体小幅下降，由 2017 年的 32.27% 小幅降低至 2021 年的 20.19%，净利率由 2017 年的 21.69% 小幅下降至 2021 年的 11.21%，主要系光伏产业原材料价格成本压力增大和运费上涨导致。2017-2021 年，公司费用管控能力良好，

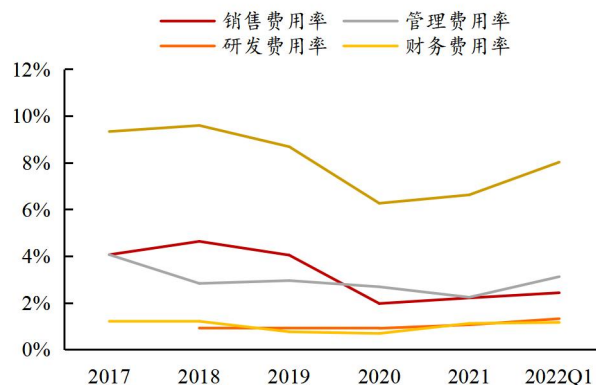
期间费用率总体呈下降趋势，由 2017 年的 9.33% 下降至 2021 年的 6.62%。其中，公司 2021 年销售/管理/研发/财务费用率分别为 2.21%/2.24%/1.06%/1.12%，分别同比+0.24pct/-0.45pct/+0.15pct/+0.43pct，财务费用的上升主要系汇率变动导致汇兑损失增加。

图表 66. 隆基绿能毛利率与净利率变动趋势



资料来源：隆基绿能公司公告，东亚前海证券研究所

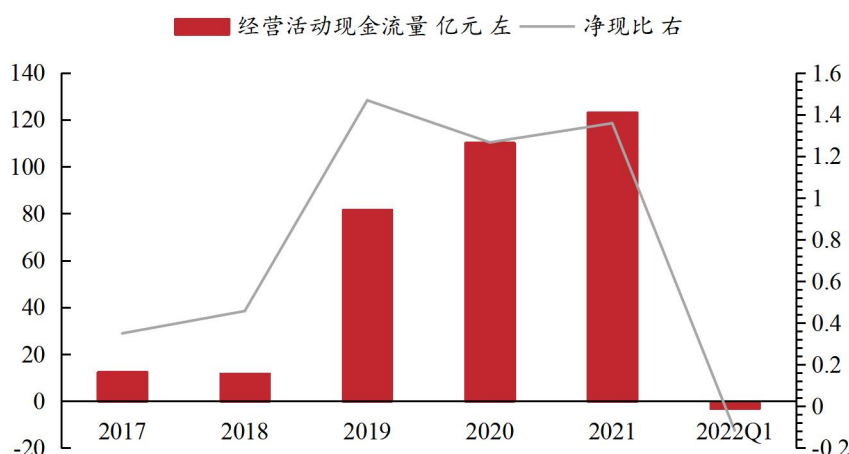
图表 67. 隆基绿能期间费用率变动趋势



资料来源：隆基绿能公司公告，东亚前海证券研究所

公司现金流保持优异。2017-2021 年，公司经营活动产生的现金流量净额分别为 12.42/11.73/81.58/110.15/123.23 亿元，同期净现比为 0.35/0.46/1.47/1.27/1.36。2021 年，公司经营性活动产生的现金流量净额为 123.23 亿元，同比+11.87%，现金流保持健康运转，主要系收到的销货款增幅较大。2022 年一季度，公司经营性活动产生的现金流量净额为-3.09 亿元，去年同期为-16.15 亿元。

图表 68. 隆基绿能现金流保持健康



资料来源：隆基绿能公司公告，东亚前海证券研究所

6.1.3. 增资扩产单晶电池片，光伏电池转换效率屡创新高

增资约 12 亿用于 15GW 高效单晶电池项目。2 月 21 日隆基绿能发布变更 2018 年度配股结余募集资金投资项目的公告，原用于宁夏乐叶年产 3GW 单晶电池项目建设的 2018 年度配股结余募集资金用于泰州乐叶年

产 4GW 电池单晶电池项目建设，预计 2022 年 8 月投产。后续业绩有望受益于大规模的高效单晶电池产能释放。

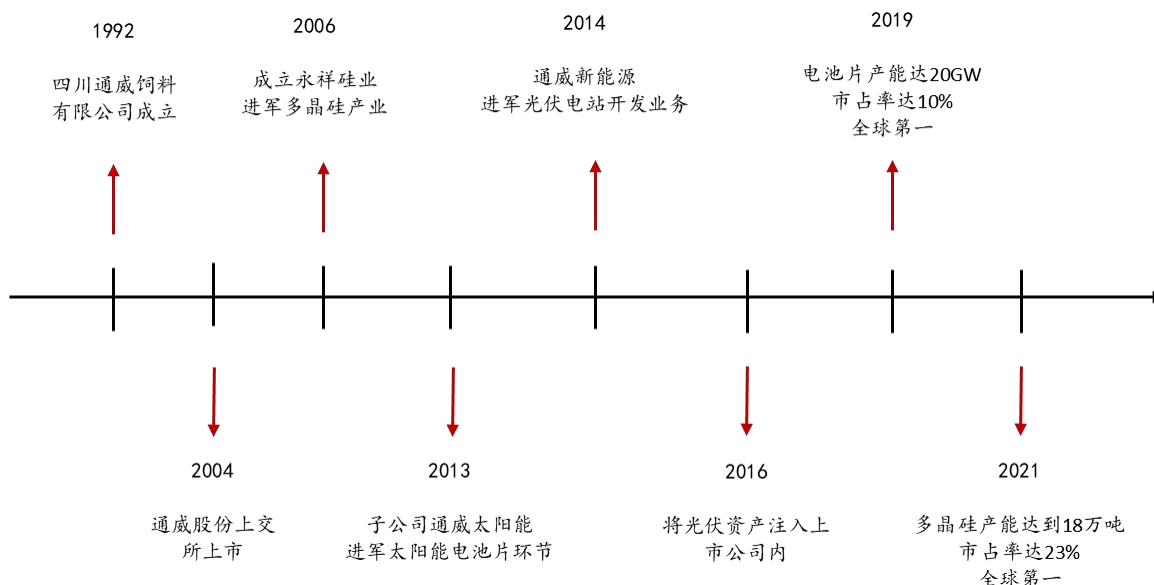
研发力度加大，光伏电池转换效率屡创新高。3 月 29 日，隆基绿能宣布，经德国哈梅林太阳能研究所（ISFH）认证，其采用掺擦 p 型硅片制备的硅异质结电池（p-HJT）获得效率新突破：完全利用可量产工艺在全尺寸（M6 尺寸，面积 274.3cm²）单晶硅片上，创造了转换效率为 25.47% 的大尺寸 P 型光伏电池效率世界纪录。据公司公告，仅在 2021 年，隆基先后七次打破光伏电池转换效率世界纪录，其中 N 型 TOPCon、P 型 TOPCon 和 N 型 HJT 电池转换效率分别被推高至 25.21%、25.19%、26.30%，不断挑战新的技术应用极限。2022 年 6 月，隆基再次刷新 HJT 世界记录，经 ISFH 测试 M6 全尺寸电池光电转换效率高达 26.50%。隆基屡次创下中国高端电池片转换效率技术，彰显公司强大的研发能力，后续有望进一步增强竞争优势，巩固龙头地位。

6.2. 通威股份

6.2.1. 全球电池片龙头，HJT、TOPCon 新技术加速研发

通威股份前身四川通威饲料有限公司成立于 1992 年，并于 2004 年 3 月 2 日在上海证券交易所成功上市。公司起家于饲料加工业的水产饲料领域，高速增长于光伏行业多晶硅业务与电池片业务。同年，通威集团收购永祥树脂 50% 股份，2006 年，永祥树脂成立永祥硅业，进入多晶硅产业。2013 年，通威集团通过竞标取得合肥赛维 100% 股权，进入了太阳能电池片环节，这是当时全球最大的太阳能电池片工厂。2014 年通威集团设立通威新能源，进军光伏电站的开发业务。2016 年，通威集团的所有新能源资产全部注入上市公司通威股份。2019 年，太阳能电池产能达 20GW，市占率 10%，全球第一。2021 年，电池及组件销量达到 34.93GW，太阳能电池出货量继续蝉联全球第一。

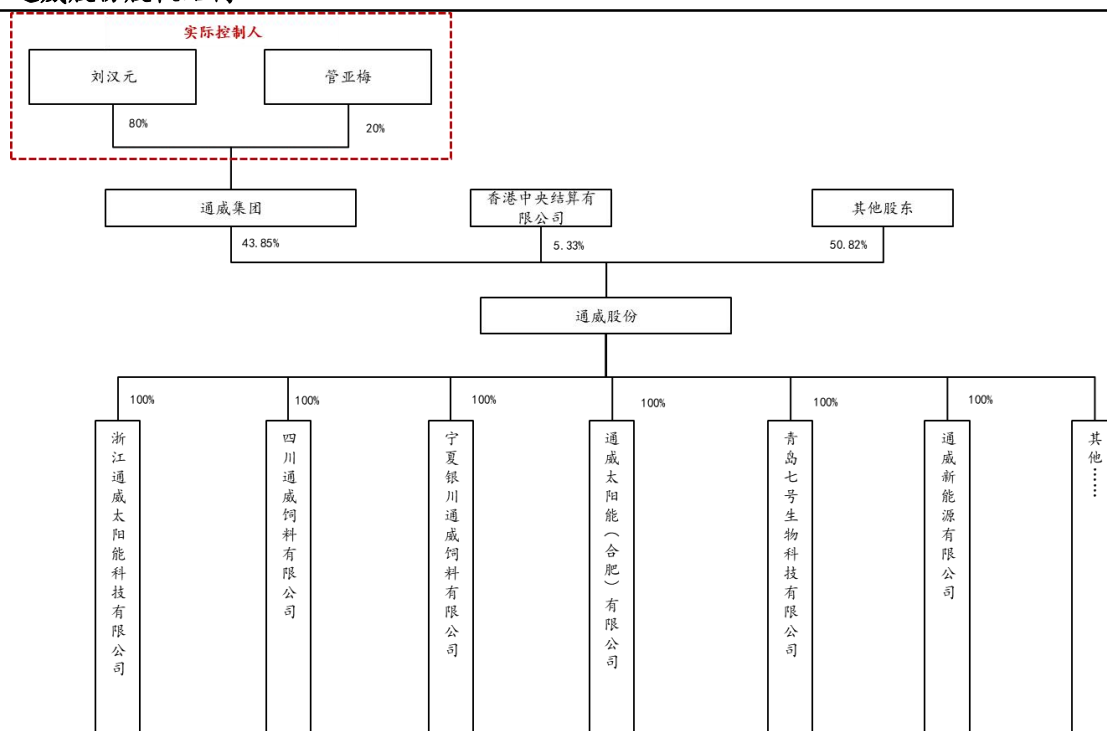
图表 69. 通威股份历史沿革



资料来源：通威股份公司公告，东亚前海证券研究所

截至 2022 年一季度，公司控股股东为通威集团，持股 43.85%。公司实际控制人为董事长刘汉元先生、管亚梅女士，分别持有通威集团 80%、20% 股份。涉及光伏行业的全资子公司分别是四川永祥、通威太阳能（合肥）、通威新能源，其中四川永祥负责多晶硅及化工业务；通威太阳能（合肥）负责电池及组件业务；通威新能源负责光伏电站业务。

图表 70. 通威股份股权结构



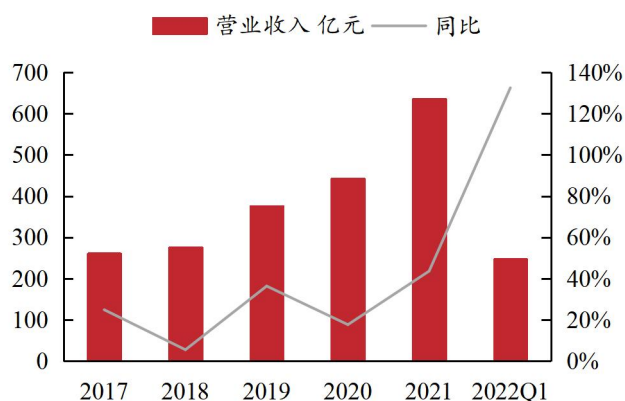
资料来源：通威股份公司公告（控股/参股公司未完全显示），东亚前海证券研究所

6.2.2. 业绩维持高速增长，现金流大幅增加

公司营收及归母净利润快速增长，太阳能电池及组件销量持续增长。

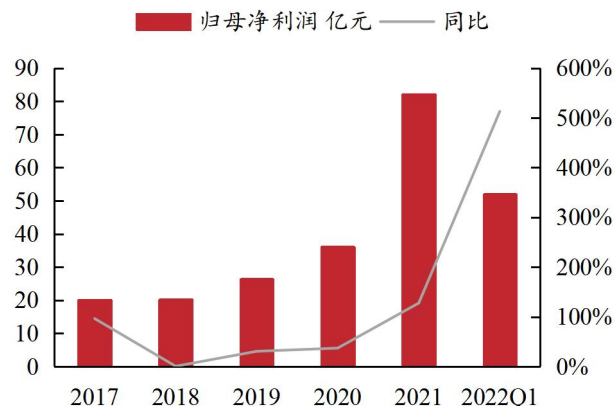
2017-2021 年,公司营收增长迅速,CAGR 达 24.90%;同期归母净利润 CAGR 为 42.12%。公司 2021 年实现营业收入 634.91 亿元,同比+43.64%,营收高速增长,主要受益于光伏行业高景气,公司多晶硅及电池片产品销量稳步上升;2021 年公司归属母公司净利润 82.08 亿元,同比+127.50%,2021 年公司电池及组件销量达到 34.93GW,同比+57.61%。2022 年一季度,公司实现营收 246.85 亿元,同比+132.49%;实现归母净利润 51.94 亿元,同比+513.01%,主要系硅料供不应求,公司硅料产品量利齐升,助力业绩高增。

图表 71. 通威股份历年营收变动趋势



资料来源:通威股份公司公告,东亚前海证券研究所

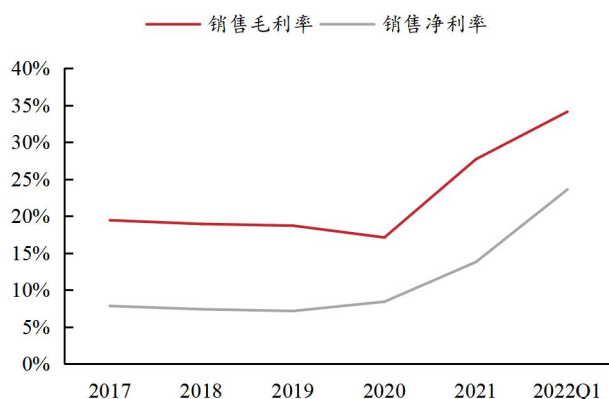
图表 72. 通威股份历年归母净利润变动趋势



资料来源:通威股份公司公告,东亚前海证券研究所

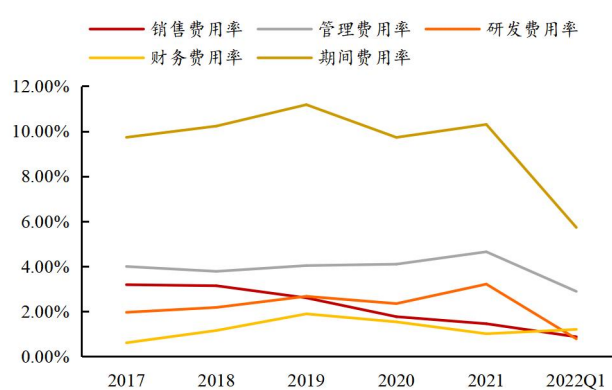
公司盈利能力大幅提升,费用管控能力良好。2021 年度,公司整体销售毛利率 27.68%,同比+10.59pct;净利率 13.77%,同比+5.37pct,主要系受产业链供需错配影响,高纯晶硅产品供不应求,市场价格同比上涨,公司高纯晶硅业务盈利能力大幅提升。2017-2021 年,公司费用管控能力良好,期间费用率总体持平,由 2017 年的 9.73%小幅增长至 2021 年的 10.30%。其中,公司 2021 年销售/管理/研发/财务费用率分别为 1.45%/4.64%/3.21%/1.00%,分别同比-0.31pct/+0.55pct/+0.86pct/-0.53pct,研发费用的上升主要系报告期内公司成立光伏技术中心,加大光伏技术研发力度,研发人员大幅增加所致。2022 年一季度,公司销售毛利率为 34.11%,同比+13.36pct;销售净利率为 23.59%,同比+15.18pct;公司期间费用率为 5.72%,同比-5.25pct,主要系管理费用率大幅下降所致。

图表 73. 通威股份毛利率与净利率变动趋势



资料来源：通威股份公司公告，东亚前海证券研究所

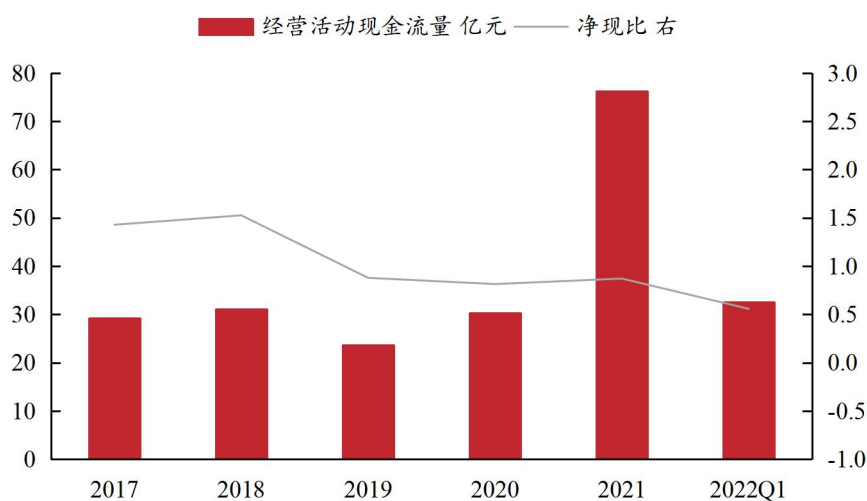
图表 74. 通威股份期间费用率变动趋势



资料来源：通威股份公司公告，东亚前海证券研究所

公司经营性现金流大幅增长。2017-2021 年，公司经营活动产生的现金流量净额从 29.16 亿元增长至 76.18 亿元，净现比从 1.43 降低为 0.87。2021 年，公司经营性活动产生的现金流量净额为 76.18 亿元，同比+151.83%。2022 年一季度，公司经营性活动产生的现金流量净额为 32.49 亿元，去年同期为 16.85 亿元。

图表 75. 通威股份现金流保持健康



资料来源：通威股份公司公告，东亚前海证券研究所

6.2.3. 单晶 PERC 电池平均非硅成本持续下降，HJT、TOPCon 新技术加速研发

在提质降本方面，公司加强内外对标，2021 年产品 A 级率、转换效率、碎片率等关键生产指标继续保持行业领先水平，单晶 PERC 电池平均非硅成本已降至 0.18 元/w 以内，较上年下降 11%，其中大尺寸非硅成本下降更为明显。在技术研发方面，公司于 2019 年投产 400MW HJT 试验线，是行业中较早建成异质结研发线的企业，2021 年公司 HJT 量产转换效率超过 25%，研发最高转换效率达到 25.45%，同时新增的 1GW HJT 中试线已于 2021 年 8 月投产。公司于 2020 年启动了基于 210 尺寸的 TOPCon 技术研

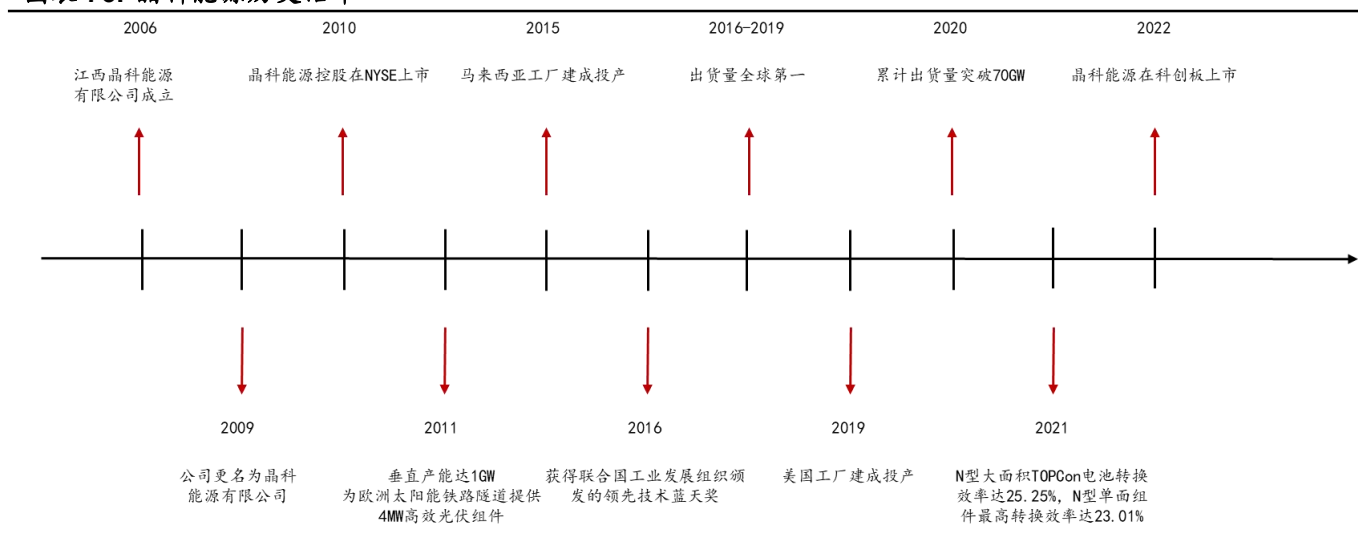
发，目前 1GW TOPCon 项目已顺利投产，产品量产转换效率达到 24.5%以上。

6.3. 晶科能源

6.3.1. 全球组件龙头，专注光伏中游制造环节

晶科能源前身江西晶科能源有限公司成立于 2006 年，于 2010 年 5 月在纽约证券交易所上市，后于 2022 年 1 月在上海证券交易所上市。公司是拥有从拉棒/铸锭、硅片生产、电池片生产到光伏组件生产的垂直一体化产能的光伏组件制造企业，客户涵盖全球范围内的光伏电站投资商、开发商、承包商以及分布式光伏系统终端客户，销售规模 and 市场份额占据市场龙头地位。

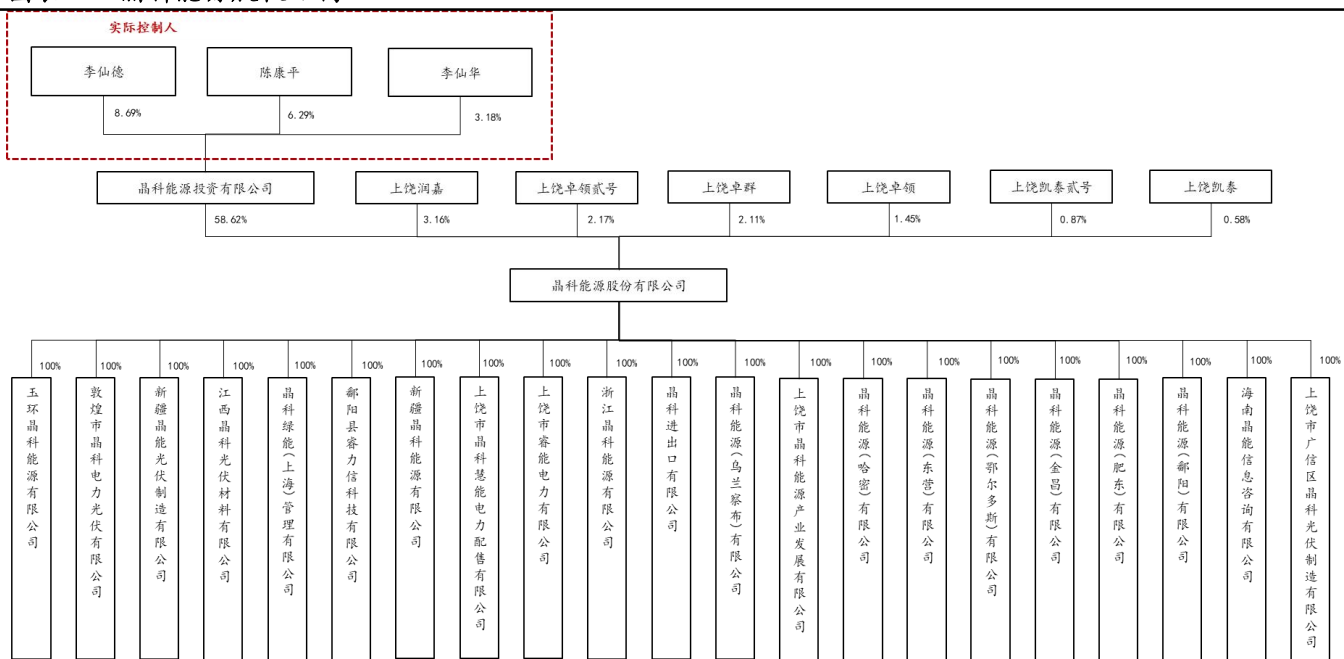
图表 76. 晶科能源历史沿革



资料来源：晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

公司控股股东为晶科能源投资有限公司，持股 58.62%。公司实际控制人为李仙德、陈康平及李仙华。截至 2022 年一季度，李仙德、陈康平及李仙华通过晶科能源投资间接持有晶科能源 10.65% 股权。董事长李仙德、董事兼总经理陈康平、董事李仙华均有近 20 年光伏行业从业经历，管理经验丰富。

图表 77. 晶科能源股权结构

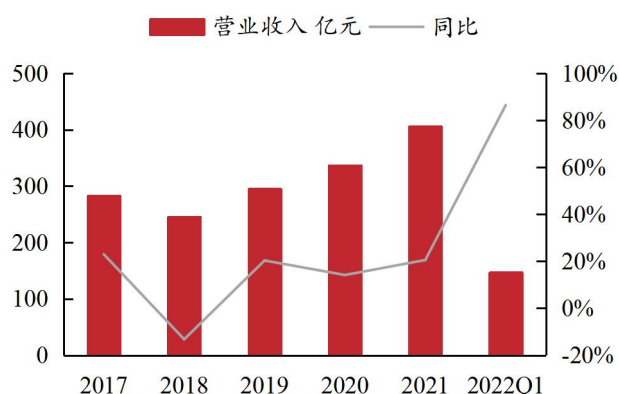


资料来源：晶科能源公司公告（控股/参股公司未完全显示），东亚前海证券研究所

6.3.2. 营业收入稳步增长，毛利率保持稳定

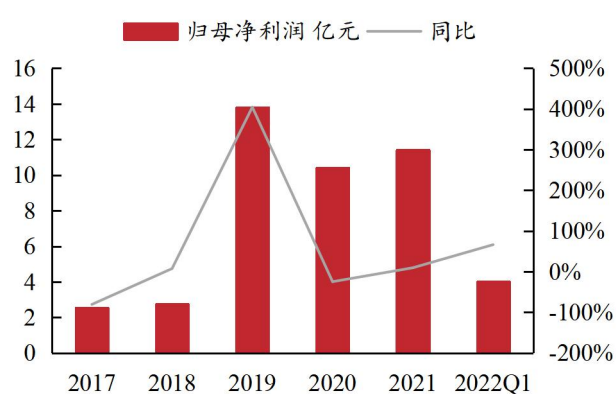
公司营业收入增长迅速，盈利情况短期有所波动。2018-2021 年，公司营收增长迅速，CAGR 达 18.29%；同期归母净利润 CAGR 为 60.96%。公司 2021 年实现营业收入 405.70 亿元，同比+20.53%，营收的亮眼表现主要得益于公司组件产品销量高增，2021 年公司组件全年销量达 22.23GW，同比+18.45%；2021 年公司归属母公司净利润 11.41 亿元，同比+9.59%。2022 年一季度，公司实现营收 146.81 亿元，同比+86.42%，主要系公司出货量大幅增加所致，总出货量较去年同期增长 56.7%；实现归母净利润 4.01 亿元，同比+66.39%。

图表 78. 晶科能源历年营收变动趋势



资料来源：晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

图表 79. 晶科能源历年归母净利润变动趋势

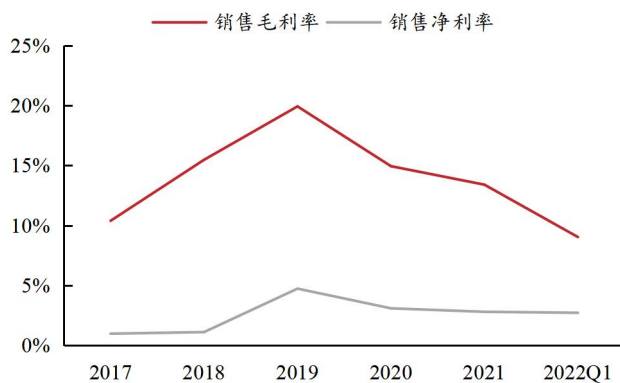


资料来源：晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

毛利率保持稳定，费用管控能力良好。2017-2021 年，公司毛利率总体稳定增加，由 2017 年的 10.39% 升至 2021 年的 13.40%，主要得益于公司增加了单晶硅棒的产能，一体化程度提高，毛利水平较高的单晶组件收入占

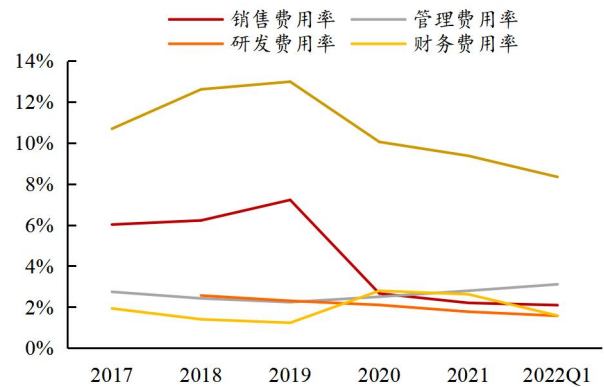
比提高；净利率由 2017 年的 0.99% 上涨至 2021 年的 2.81%。2017-2021 年，公司费用管控能力良好，期间费用率总体呈下降趋势，由 2017 年的 10.69% 下降至 2021 年的 9.37%。其中，公司 2021 年销售/管理/研发/财务费用率分别为 2.20%/2.79%/1.77%/2.62%，分别同比-0.46pct/+0.29pct/-0.33pct/-0.17pct，管理费用的上升主要系公司规模扩大，职工人数增加所导致。2022 年一季度，公司销售毛利率为 9.04%，同比-4.16pct；销售净利率为 2.73%，同比-0.33pct；公司期间费用率为 8.34%，同比-2.23pct。

图表 80. 晶科能源毛利率与净利率变动趋势



资料来源：晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

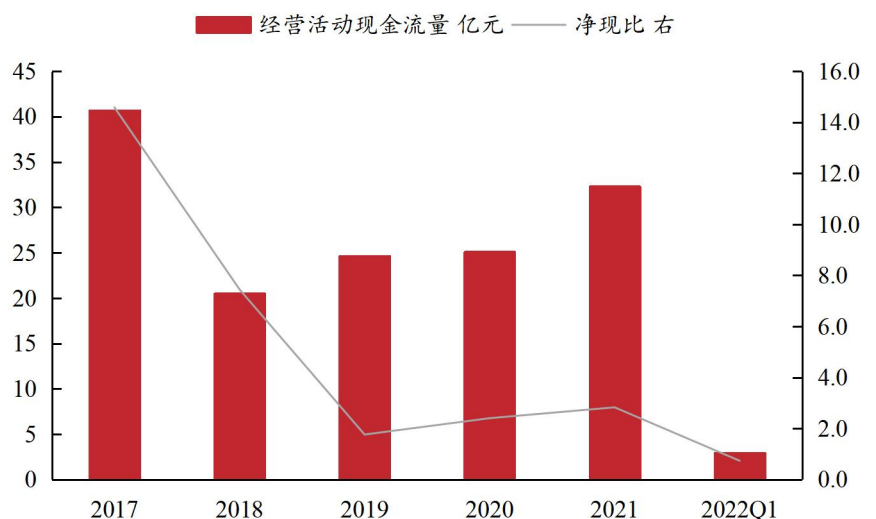
图表 81. 晶科能源期间费用率变动趋势



资料来源：晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

公司现金流整体保持健康。2017-2021 年，公司经营活动产生的现金流量净额分别为 40.68/20.49/24.64/25.08/32.29 亿元，同期净现比为 14.58/7.45/1.76/2.40/2.83。2021 年，公司经营性活动产生的现金流量净额为 32.29 亿元，同比+28.75%，现金流持续健康流转，主要系收到的销货款增幅较大。2022 年一季度，公司经营性活动产生的现金流量净额为 2.95 亿元，去年同期为 2.22 亿元。

图表 82. 晶科能源现金流保持健康



资料来源：晶科能源公司公告，东亚前海证券研究所

6.3.3. TOPCon 电池研发能力领先，N 型电池片开始放量

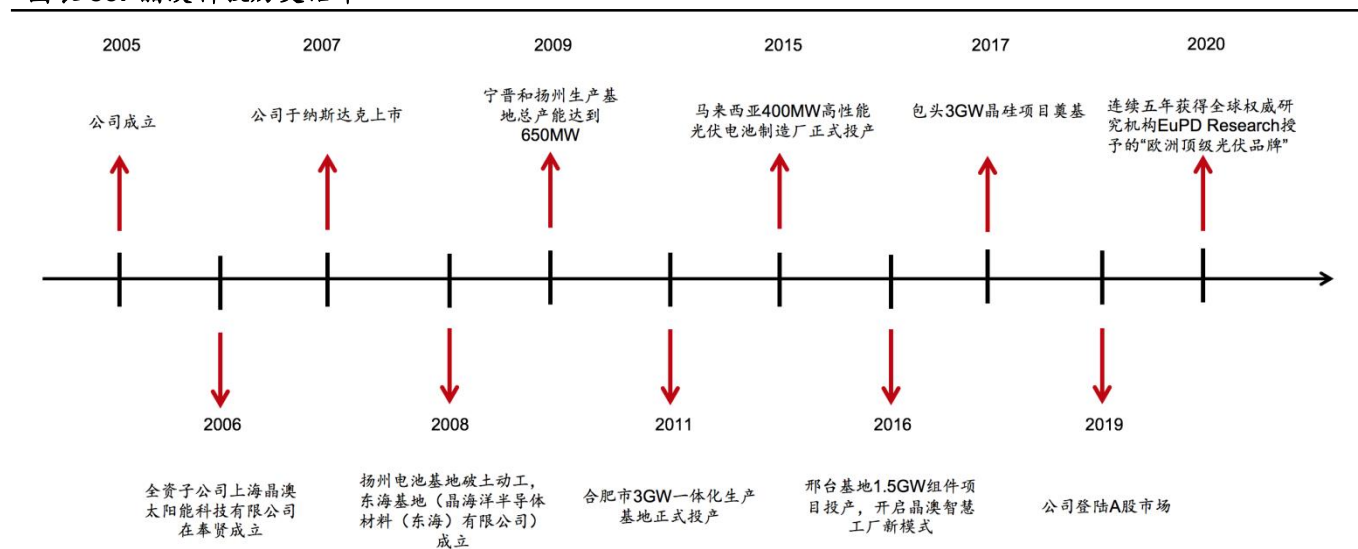
2022 年 4 月，晶科能源 182 N 型 TOPCon 电池转换效率达到 25.7%，再次创造了新的世界纪录，公司在 TOPCon 技术路线中处于领先地位。此外，晶科能源在 2021 年开始启动大规模 TOPCon 产能建设，从扩产项目进展来看，2022 年 1 月，安徽晶科能源一期 8GW 的 N 型 TOPCon 电池产能投产；2022 年 2 月，海宁基地 8GW 的 N 型 TOPCon 电池产能投产，N 型电池大规模投产领先行业，未来业绩有望受益于高效电池片放量而迎来第二增长曲线。

6.4. 晶澳科技

6.4.1. 光伏组件一体化龙头，垂直一体化率高达 80%

晶澳科技成立于 2005 年，以光伏电池片业务起家，两年时间就实现了纳斯达克上市，并于 2019 年登陆 A 股市场。公司是光伏一体化企业，业务覆盖硅片、电池、组件及光伏电站等多领域，在全球拥有 12 个生产基地、20 多个分支机构，产品足迹遍布 100 多个国家和地区，广泛应用于地面光伏电站以及工商业、住宅分布式光伏系统。公司的电池片产品大部分供自己的组件生产，少量对外出售，目前公司的垂直一体化率高达 80%，处于国内领先水平，成本控制能力优异。

图表 83. 晶澳科技历史沿革

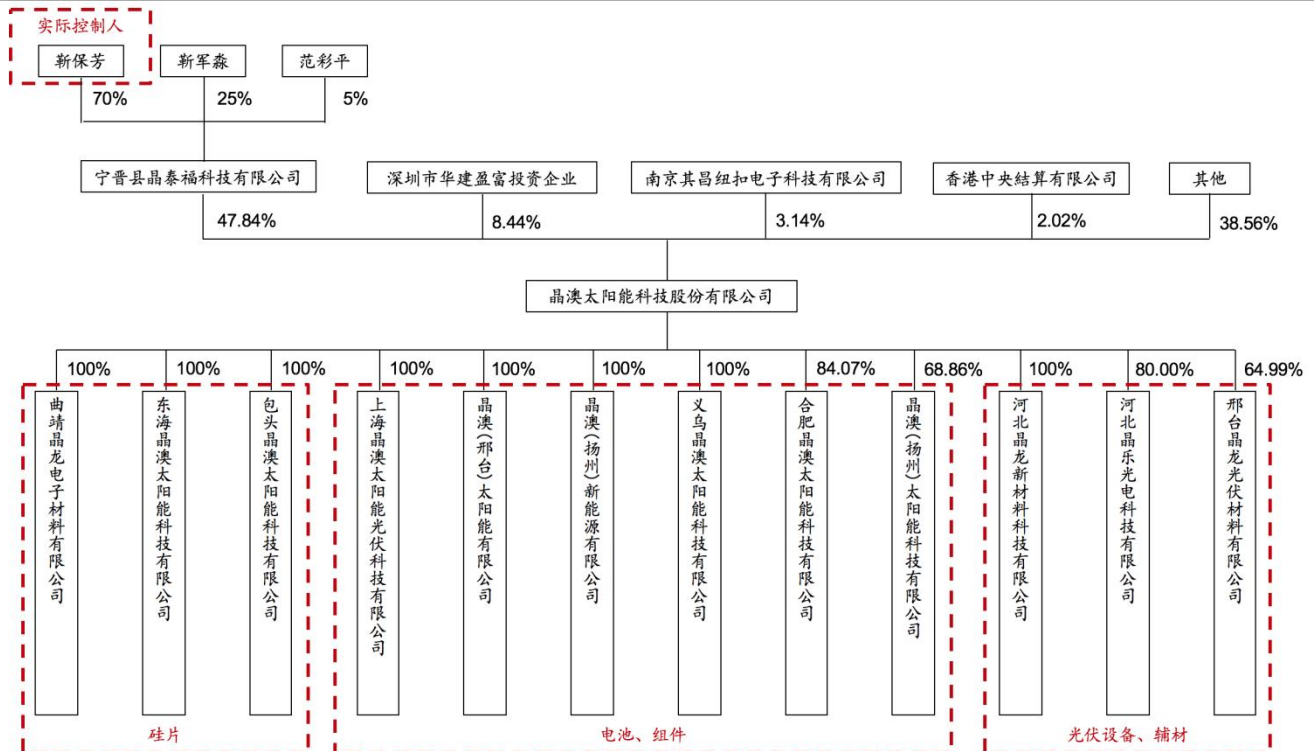


资料来源：晶澳科技公司公告，东亚前海证券研究所

截至 2022 年一季度，公司控股股东为宁晋县晶泰福科技有限公司，持股 47.84%。公司实际控制人为董事长兼总经理靳保芳先生，其与一致行动人合计持股约为 45.45%。公司全资子公司晶澳太阳能有限公司下设多家公司，其中包括负责电池、组件业务的扬州晶澳、邢台晶澳、义乌晶澳、上

海晶澳、合肥晶澳等多家公司，负责硅片业务的包头晶澳、东海晶澳、曲靖晶龙等多家公司，以及负责光伏设备和辅材业务的河北晶龙、河北晶乐、邢台晶龙等多家公司。

图表 84. 晶澳科技股权结构

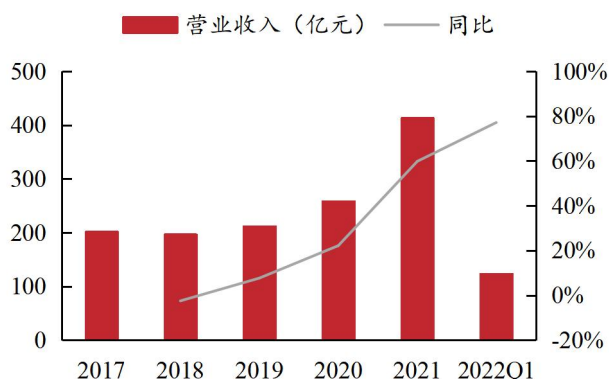


资料来源：晶澳科技公司公告（控股/参股公司未完全显示），东亚前海证券研究所

6.4.2. 业绩维持高速增长，盈利能力趋向稳定

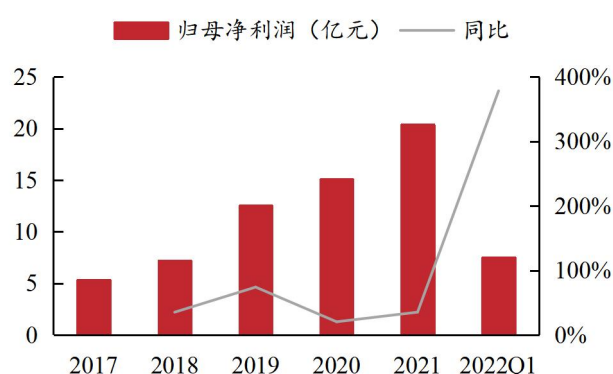
公司业绩增长迅速，组件产品量价齐升。2018-2021 年，公司营收增长迅速，CAGR 达 28.10%；同期归母净利润 CAGR 为 41.53%。公司 2021 年实现营业收入 413.02 亿元，同比+59.80%，营收的亮眼表现主要得益于公司组件产品出货量高增，2021 年公司组件全年出货量达 25.45GW，同比+60.26%，位列全球第二；2021 年公司归属母公司净利润 20.39 亿元，同比+35.31%。2022 年一季度，公司实现营收 123.21 亿元，同比+77.12%；实现归母净利润 7.50 亿元，同比+378.27%，主要系公司经营规模扩大，组件产品量利齐升所致，2022 年一季度公司组件出货量达 6.6GW，同比+47.83%。

图表 85. 晶澳科技历年营收变动趋势



资料来源：晶澳科技公司公告，东亚前海证券研究所

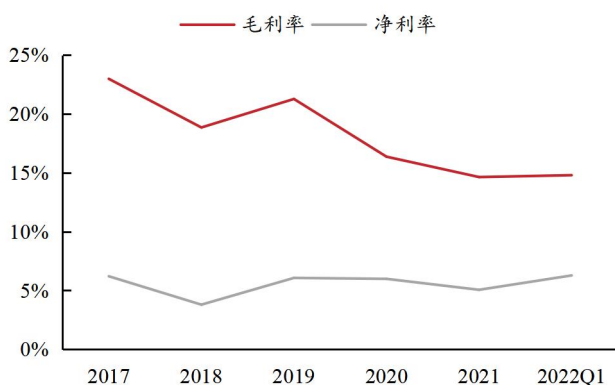
图表 86. 晶澳科技历年归母净利润变动趋势



资料来源：晶澳科技公司公告，东亚前海证券研究所

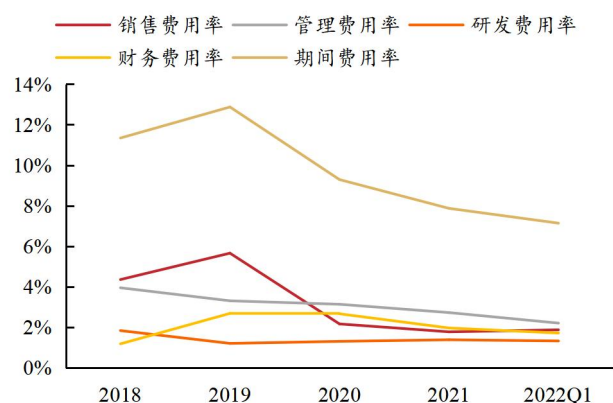
公司盈利能力趋稳，费用管控成效显著。2021 年度，公司整体销售毛利率 14.63%，同比-1.73pct；净利率 5.06%，同比-0.93pct，主要系上游硅料价格暴涨，硅料环节攫取了产业链中的大部分利润，位于产业链下游的公司利润水平被压缩所致。2018-2021 年，公司费用管控能力良好，期间费用率总体呈下降趋势，由 2018 年的 11.34% 下降至 2021 年的 7.87%。其中，公司 2021 年销售/管理/研发/财务费用率分别为 1.78%/2.73%/1.39%/1.97%，分别同比-0.39pct/-0.41pct/+0.08pct/-0.70pct，公司的费用管理水平不断提升，系统性降本为公司经营提供了良好的效益。2022 年一季度，公司销售毛利率为 14.79%，同比+4.01pct；销售净利率为 6.28%，同比+3.88pct；公司期间费用率为 7.14%，同比-1.74pct。

图表 87. 晶澳科技毛利率与净利率变动趋势



资料来源：晶澳科技公司公告，东亚前海证券研究所

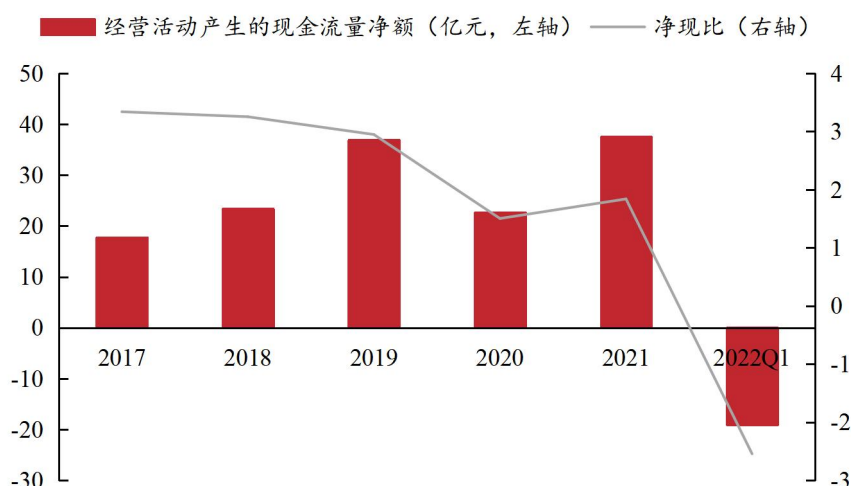
图表 88. 晶澳科技期间费用率变动趋势



资料来源：晶澳科技公司公告，东亚前海证券研究所

公司经营性现金流短期承压。2017-2021 年，公司经营活动产生的现金流量净额从 17.77 亿元增长至 37.50 亿元，净现比从 3.34 降至 1.84，其中 2020 年公司经营活动产生的现金流量净额的减少主要系疫情影响销售，回款周期相对延长和支付税费增加所致。2021 年，公司经营性活动产生的现金流量净额为 37.50 亿元，同比+65.56%，相较 2020 年有大幅改善。2022 年一季度，公司经营性活动产生的现金流量净额为-19.08 亿元，净现比为-2.54，主要原因系保障稳定生产支付的预付款增加。

图表 89. 晶澳科技现金流变动趋势



资料来源：晶澳科技公司公告，东亚前海证券研究所

6.4.3. PERC 电池奠定坚实基础，6.5GW TOPCon 电池放量在即

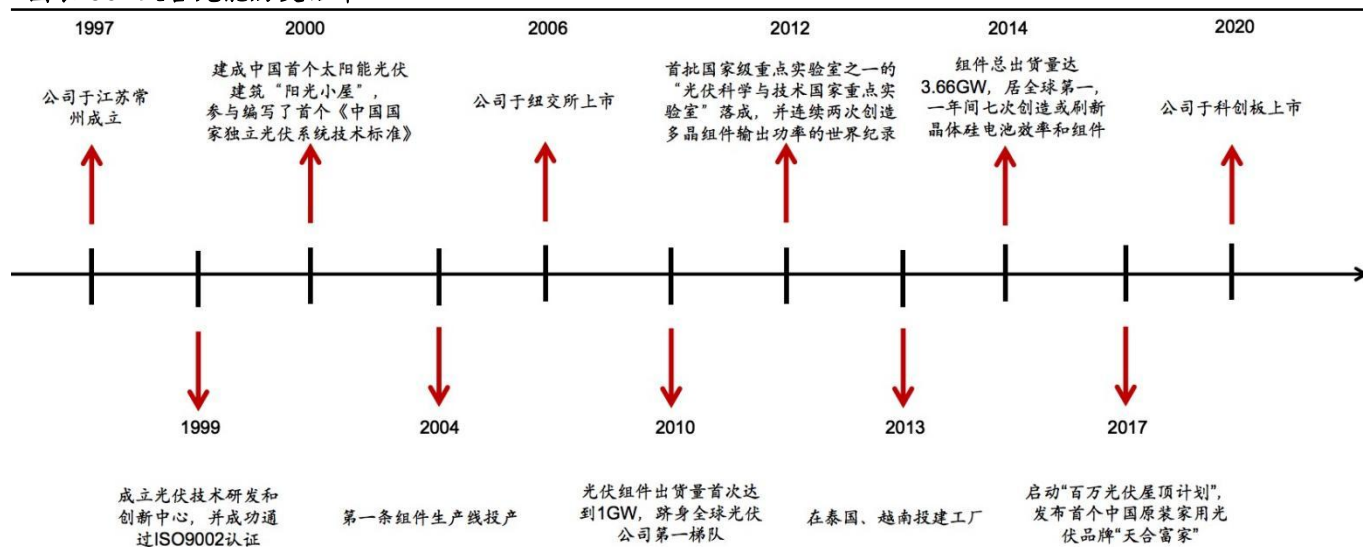
公司的电池产品以魄秀 (Percium) 系列高效 166mm/182mm 单晶 PERC 电池片为主，目前量产转换效率已达 23.60%，处于行业领先水平。TOPCon 电池方面，公司研发的高效 N 型倍秀 (Bycium) TOPCon 电池目前量产电池效率可达 24.8% 以上，宁晋 1.3GW 的 TOPCon 电池项目将于 2022 年三季度量产，到 2022 年底预计会有 6.5GW 的 TOPCon 电池产能。HJT 电池方面，公司募资 3 亿元对 HJT 电池研发中试线进行建设，新增设备 120 台，预计 2022 年投产。公司 2021 年电池片产能为 32GW，预计到 2022 年底公司电池片产能将达到 40GW。

6.5. 天合光能

6.5.1. 光伏组件国际化领军者，出货量常年全球领先

天合光能 1997 年于江苏常州成立，1999 年成立光伏技术研发和创新中心，专注太阳能应用技术的研发。2004 年公司第一条组件生产线投产后，公司积极开启国际化进程，向海外拓展销售网络，并在 2006 年于纽交所上市。2010 年公司的光伏组件出货量达到 1GW，已然跻身全球光伏公司第一梯队。此后公司多次刷新组件效率的世界纪录，并于东南亚进行产能布局，到 2014 年时，公司的组件出货量已位居全球第一，一年内组件和电池效率七创世界纪录，此后公司的组件出货量常年稳居全球前四。2017 年公司完成私有化退市，后于 2020 年在上交所科创板上市，同年公司推出 210 大尺寸组件产品，引领光伏行业进入大尺寸高功率组件时代。

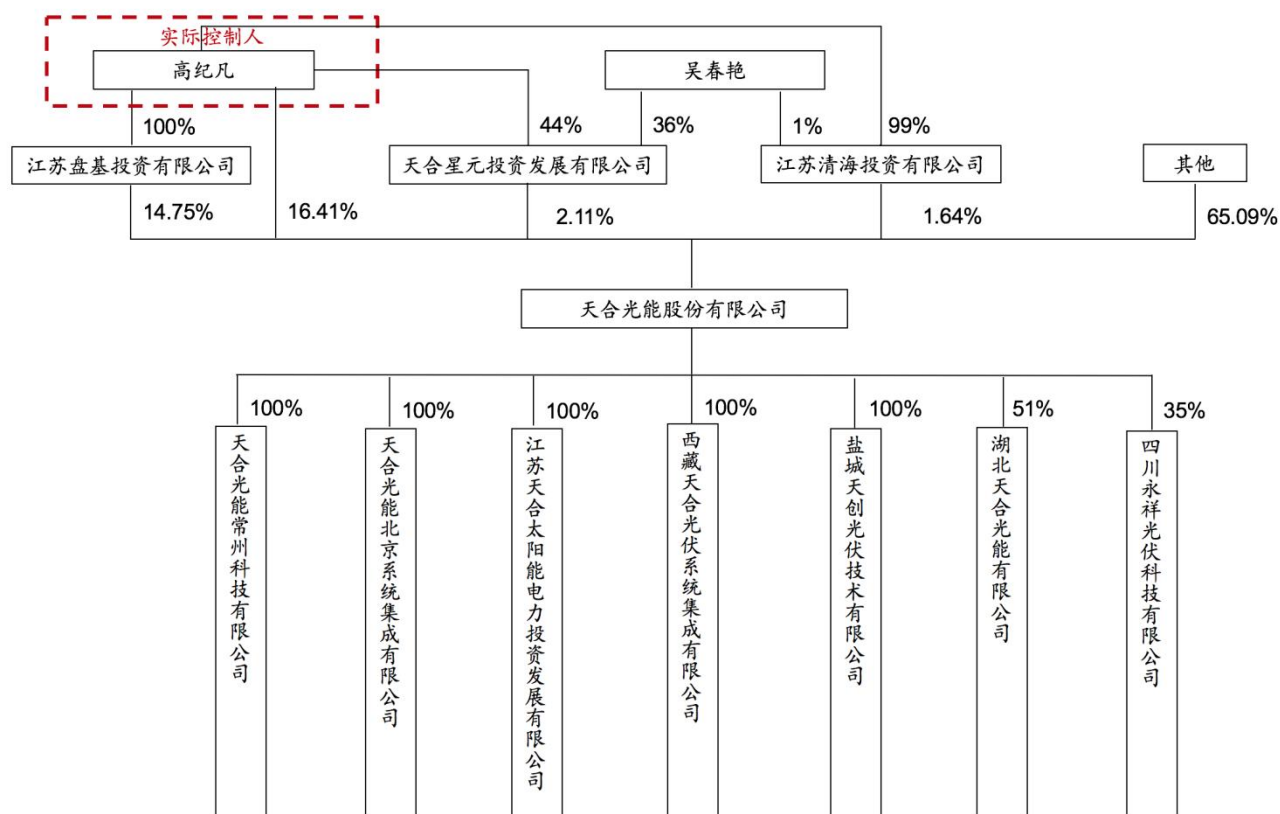
图表 90. 天合光能历史沿革



资料来源：天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

截至 2022 年一季度，公司控股股东、实际控制人为董事长兼总经理高纪凡先生，其与一致行动人合计持股约为 34.49%。高纪凡先生作为公司创始人，有 20 余年的光伏技术背景，同时也是中国光伏行业协会第一届、第二届理事会理事长、联合国开发计划署可持续发展顾问委员会创始成员。通过自身丰富的产业经验和专业的管理能力，以及具有战略远见的国际视野，高纪凡先生为公司打造了独特的核心竞争力。公司下设天合光能（常州）、天合光能（北京）、江苏天合、西藏天合、盐城天创等多家主营光伏相关业务的子公司，打造多元一体化光伏产业链布局。

图表 91. 天合光能股权结构

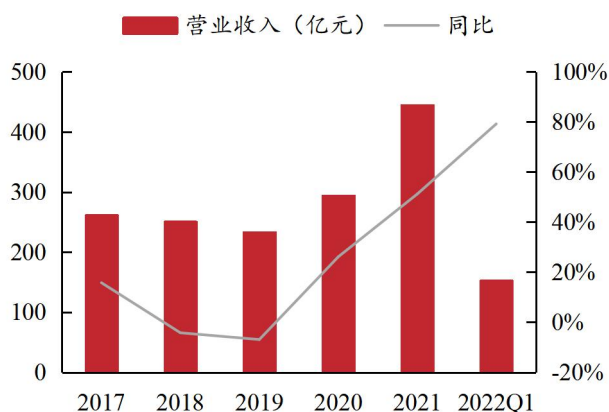


资料来源：天合光能公司公告（控股/参股公司未完全显示），东亚前海证券研究所

6.5.2. 业绩亮眼增长可期，费用率控制得当持续下降

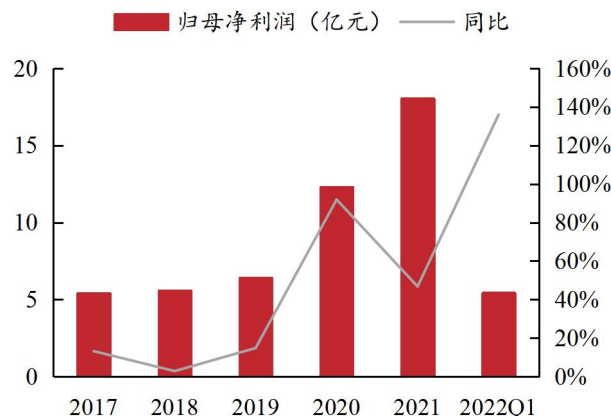
公司业绩增长迅速，组件产品量价齐升。2019-2021 年，公司营收增长迅速，CAGR 达 38.10%；同期归母净利润 CAGR 为 67.82%。公司 2021 年实现营业收入 444.80 亿元，同比+51.20%，营收的亮眼表现主要得益于光伏组件、系统产品及光伏电站销量的高增，2021 年公司合计组件出货量为 24.8GW，同比+55.83%，大尺寸组件出货量全球第一；2021 年公司归属母公司净利润 18.04 亿元，同比+46.77%。2022 年一季度，公司实现营收 152.73 亿元，同比+79.20%；实现归母净利润 5.43 亿元，同比+135.97%，主要得益于公式组件产品快速增长，叠加产品出货结构优化，大尺寸占比提升。

图表 92. 天合光能历年营收变动趋势



资料来源：天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

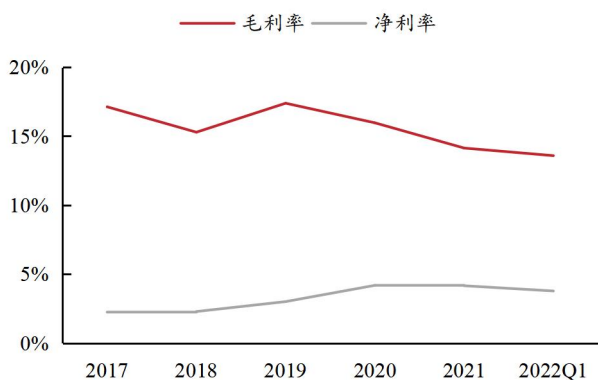
图表 93. 天合光能历年归母净利润变动趋势



资料来源：天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

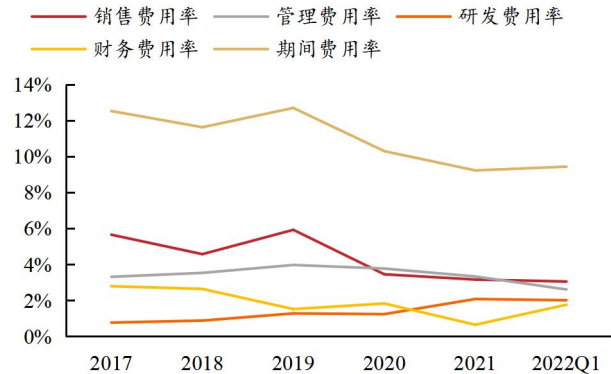
公司盈利能力逐步趋稳，费用率持续降低。2021 年度，公司整体销售毛利率 14.14%，同比-1.83pct；净利率 4.16%，同比-0.03pct，主要系上游硅料价格上涨，公司作为下游组件企业盈利能力受挤压所致。2017-2021 年，公司费用管控能力良好，期间费用率总体呈下降趋势，由 2017 年的 12.52% 下降至 2021 年的 9.22%。其中，公司 2021 年销售/管理/研发/财务费用率分别为 3.16%/3.33%/2.08%/0.65%，分别同比-0.29pct/-0.44pct/+0.84pct/-1.18pct，研发费用的上升主要系报告期内公司不断提高光伏发电转换效率，加大研发投入所致，财务费用的减少主要系公司 2021 年收到美国海关退回的反补贴和反倾销保证金，对应利息收入、汇兑损失同比减少。2022 年一季度，公司销售毛利率为 13.59%，同比+1.32pct；销售净利率为 3.78%，同比+0.88pct；公司期间费用率为 9.43%，同比-0.43pct。

图表 94. 天合光能毛利率与净利率变动趋势



资料来源：天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

图表 95. 天合光能期间费用率变动趋势

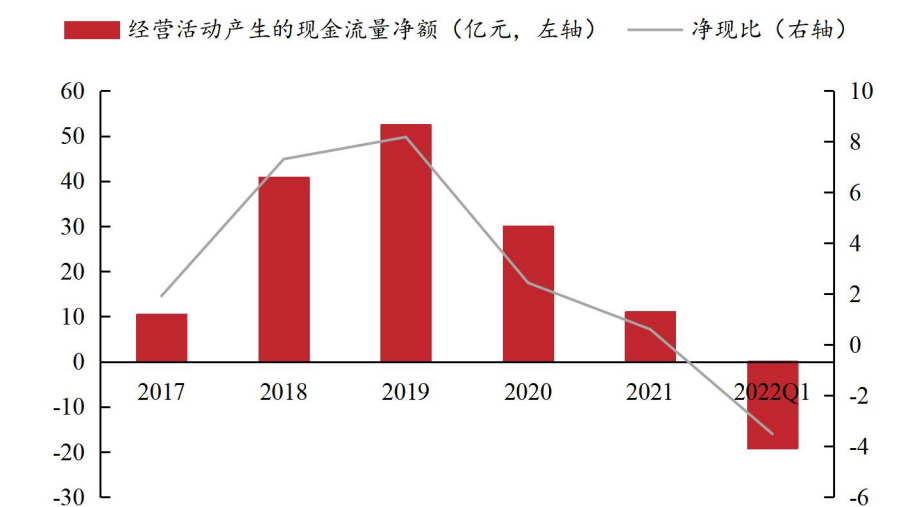


资料来源：天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

公司经营现金流短期表现承压。2017-2020 年，公司经营活动产生的现金流表现优异，从 10.42 亿元增长至 29.98 亿元，净现比从 1.92 增长至 2.44。2021 年，公司经营活动产生的现金流量净额为 10.98 亿元，同比-63.37%，主要系应收账款持续增长，同时公司因业务发展需要增加库存，经营活动现金流出增加。2022 年一季度，公司经营活动产生的现金流量

净额为-19.08 亿元，同比-29.43%，现金流表现短期承压。

图表 96. 天合光能现金流变动趋势



资料来源：天合光能公司公告，东亚前海证券研究所

6.5.3. 研发和量产效率行业领先，开启 TOPCon 电池产业化进程

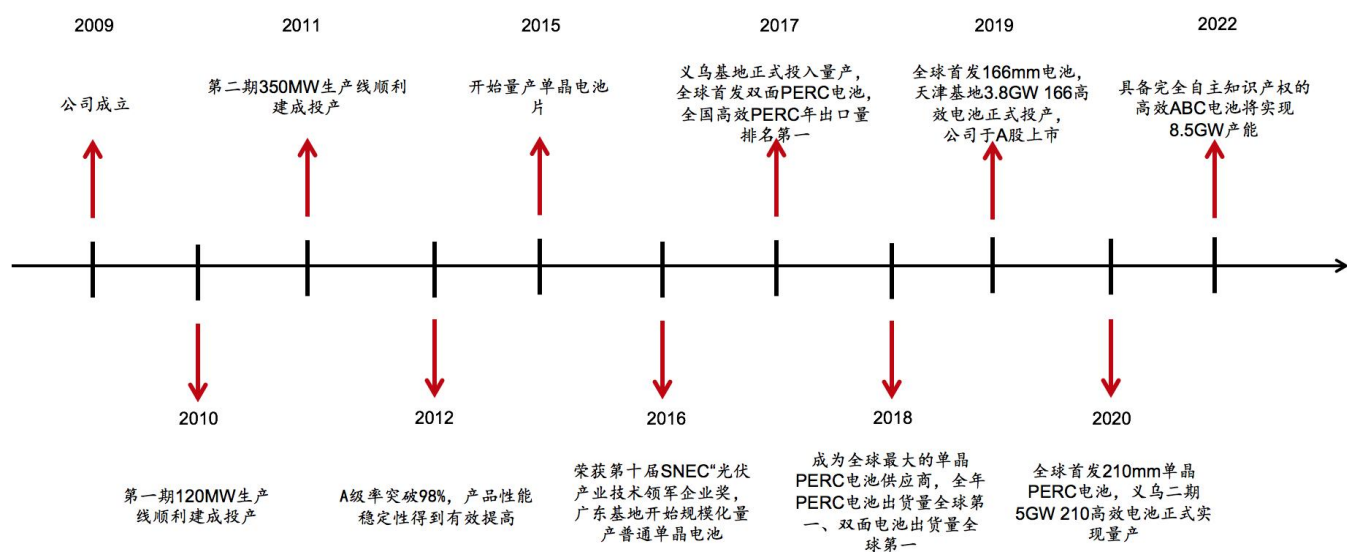
公司作为光伏组件行业领跑者，持续积极关注高效光伏电池的研发和量产技术，2021 年公司光伏电池产能达 35GW，2022 年计划扩充电池产能到 50GW。PERC 电池方面，公司的 210 PERC 电池实现了 23.5% 的行业领先量产效率，此外公司创新性地利用产业化生产设备将 PERC 电池金属接触区复合进一步降低，制造的 PERC+ 电池转换效率达到 23.81%，并通过了德国 ISFH CalLab 的测试认证，为行业进一步提升产业化 PERC 电池效率指明了技术方向。TOPCon 电池方面，公司的 N 型 i-TOPCon 效率及良率实现行业领先，实验室最高效率达到 25.5%，量产平均效率达到 24.5%，最高达到 25%，公司位于宿迁的 8GW TOPCon 电池项目预计 2022H2 逐步投产。HJT 电池方面，公司承担了国家 863 计划课题——“MW 级薄膜硅/晶体硅异质结太阳电池产业化关键技术”，实现了 24% 以上的 HJT 电池量产效率，并于近期即将完成 HJT 产品的 TUV 认证，积极进行市场化推进。

6.6. 爱旭股份

6.6.1. 光伏电池后起之秀，产品创新引领行业发展

公司成立于 2009 年，自成立以来一直专注于太阳能电池的研发、生产和销售，拥有业内领先的光伏电池制造技术和生产供应能力。公司于 2015 年开始量产单晶电池片，在当时竞争激烈的光伏行业中凭借高效率、高品质、高发电的产品优势迅速崛起，到 2018 年时已成为全球最大的单晶 PERC 电池供应商。此后公司分别于 2019 年、2020 年全球首发 166mm、210mm 单晶 PERC 电池并实现量产，从技术和市场两方面引领 PERC 电池的发展。2022 年，公司具备完全自主知识产权的高效 ABC 电池将实现量产。

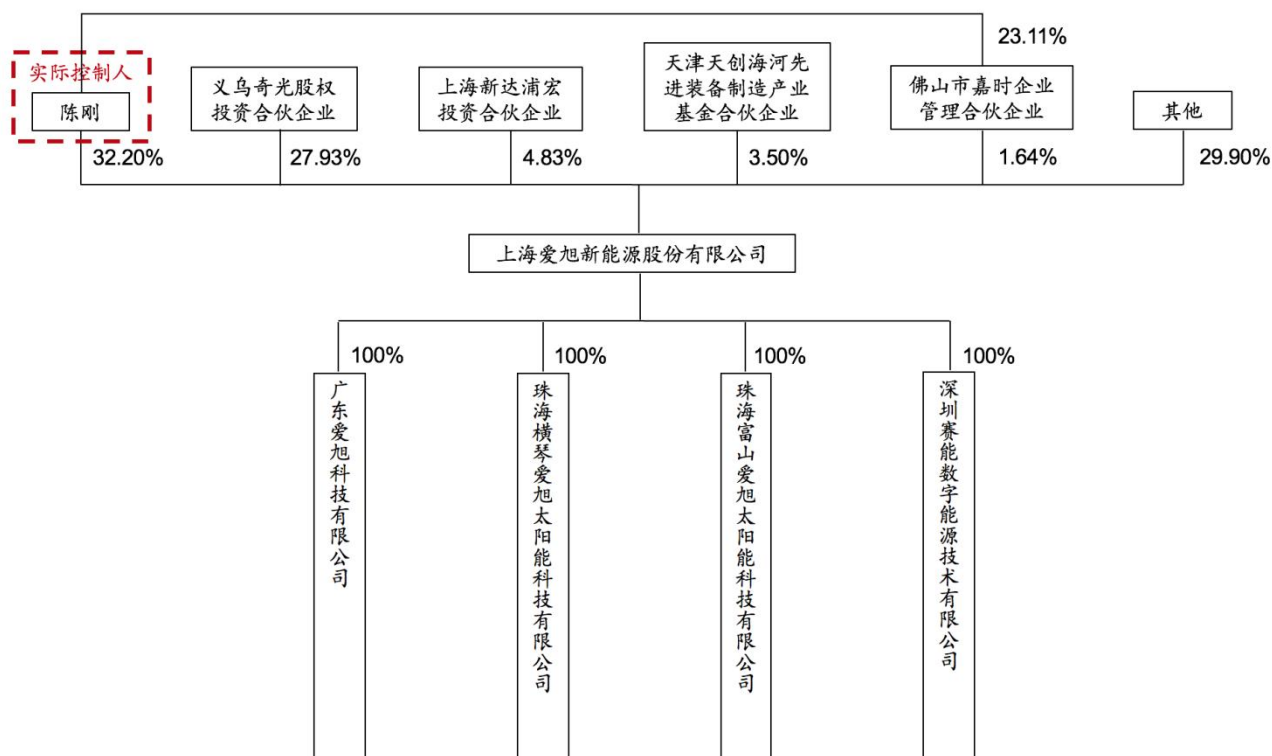
图表 97. 爱旭股份历史沿革



资料来源：爱旭股份公司公告，东亚前海证券研究所

截至 2022 年一季度，公司控股股东、实际控制人为董事长兼总经理陈刚先生，直接持有公司股份比例约为 32.20%。作为公司的核心技术人员，陈刚先生深耕光伏行业十余年，在太阳能电池片领域具备丰富的经验。公司下设广东爱旭科技、珠海富山爱旭、珠海横琴爱旭等多家光伏相关业务子公司，目前拥有广东佛山、浙江义乌、天津、广东珠海四大生产基地。

图表 98. 爱旭股份股权结构

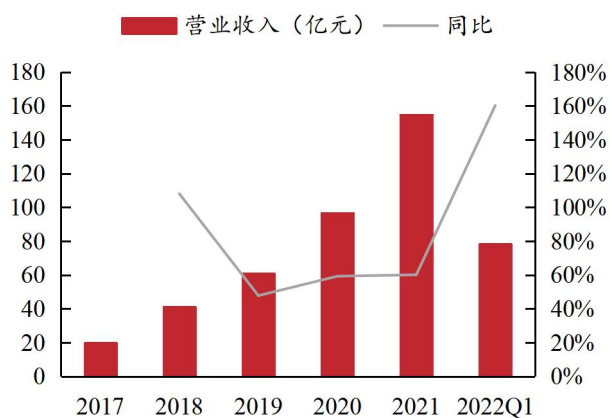


资料来源：爱旭股份公司公告（控股/参股公司未完全显示），东亚前海证券研究所

6.6.2. 业绩持续高速增长，费用管控效果显著

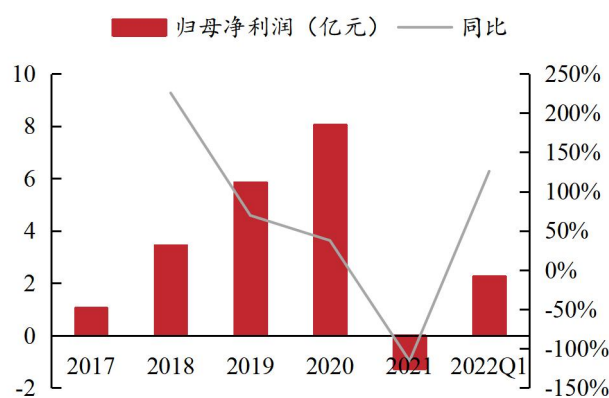
营收高速增长表现亮眼，盈利能力短期承压边际向好。2017-2021 年，公司营收逐年高速增长，CAGR 达 67.30%，营收的亮眼表现主要得益于公司电池产品销售规模的加速扩大。2021 年公司归母净利润亏损 1.26 亿元，主要系硅料供应紧张导致价格上涨叠加全球疫情和限电影响所致。2022 年一季度，公司实现营收 78.27 亿元，同比+160.25%；实现归母净利润 2.27 亿元，同比+125.81%，公司盈利能力逐渐修复。

图表 99. 爱旭股份历年营收变动趋势



资料来源：爱旭股份公司公告，东亚前海证券研究所

图表 100. 爱旭股份历年归母净利润变动趋势

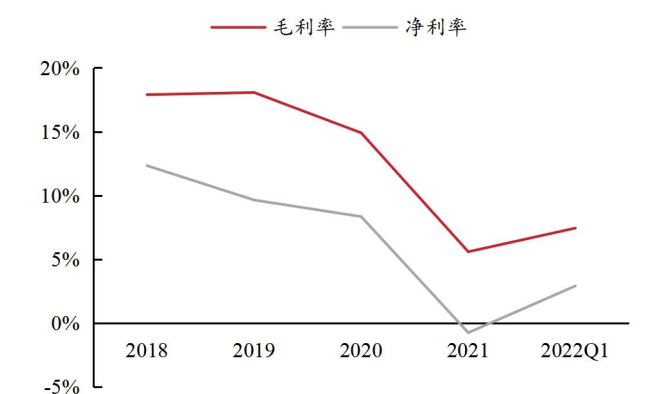


资料来源：爱旭股份公司公告，东亚前海证券研究所

盈利能力短期承压，费用管控成效凸显。受上游硅料价格上涨、全球

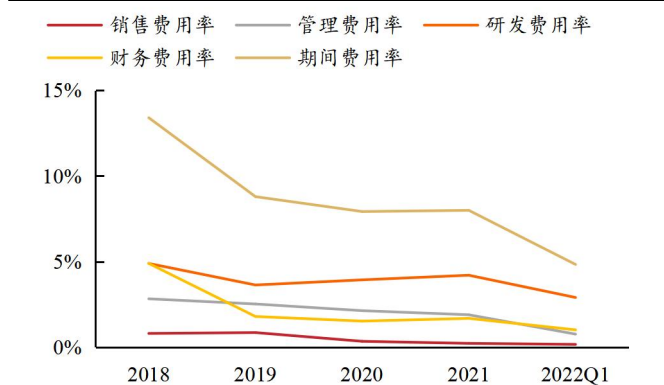
疫情、阶段性限电限产等多重不利因素的影响，2021 年公司毛利率 5.59%，同比-9.31pct；净利率-0.75%，同比-9.09pct。2018-2021 年，公司期间费用率呈稳步下降趋势，费用管控效果显著，由 2018 年的 13.40%下降至 2021 年的 7.99%。其中，公司 2021 年销售/管理/研发/财务费用率分别为 0.22%/1.89%/4.20%/1.68%，分别同比-0.12pct/-0.24pct/+0.27pct/+0.16pct，公司凭借产品的高效率、高可靠性获得了稳定的大客户资源，销售费用率常年维持较低水平，同时公司持续加码研发投入，研发费用率占比较高且在行业中处于领先水平，构建了以技术为导向的公司产品护城河。2022 年一季度，公司销售毛利率为 7.44%，同比-2.27pct；销售净利率为 2.91%，同比-0.44pct；公司期间费用率为 4.83%，同比-3.44pct。

图表 101. 爱旭股份毛利率与净利率变动趋势



资料来源：爱旭股份公司公告，东亚前海证券研究所

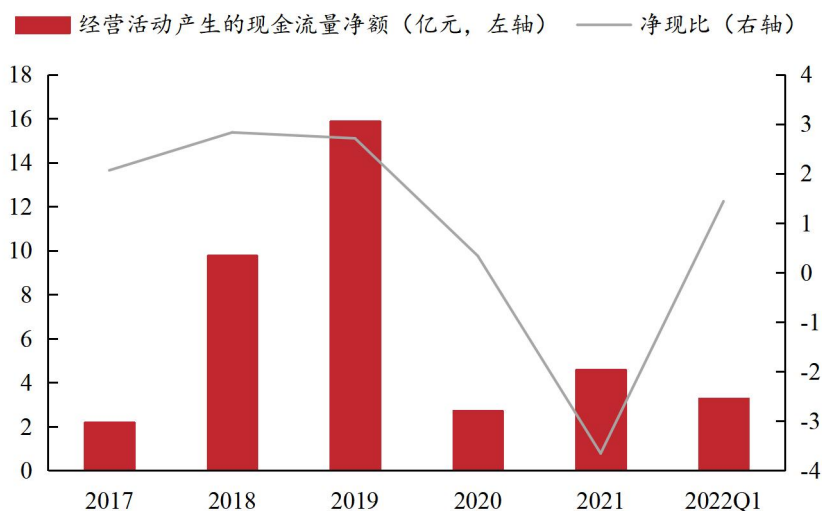
图表 102. 爱旭股份期间费用率变动趋势



资料来源：爱旭股份公司公告，东亚前海证券研究所

公司经营性现金流呈改善趋势。2017-2019 年，公司经营活动产生的现金流表现优异，从 2.19 亿元增长至 15.87 亿元，净现比维持在较高水平，从 2.07 增长至 2.71。2020 年受国内客户票据结算影响，公司回款效率降低，经营性活动产生的现金流量净额和净现比分别降至 2.71 亿元和 0.34。2021 年上游硅料供应及价格的剧烈波动对公司正常生产经营活动产生了重大冲击，公司经营性活动产生的现金流量净额和净现比分别为 4.59 亿元和-3.65。2022 年一季度，受销售额增长和税费返还增加影响，公司经营性活动产生的现金流量净额为 3.27 亿元，去年同期为-8.72 亿元，现金流改善趋势显著。

图表 103. 爱旭股份现金流变动趋势



资料来源：爱旭股份公司公告，东亚前海证券研究所

6.6.3. 研发技术优势凸显，高效 ABC 电池引领组件技术迭代

公司于 2021 年发布了具有自主知识产权的基于 IBC 技术的 ABC 电池，目前已有 800MW 的实验及中试线产能，平均量产转换效率达到 25.5% 左右，等面积发电量较市场主流的 PERC 电池可增加 10%，有望引领光伏产业链展开新一轮的技术迭代。PERC 电池方面，公司领先的研发技术优势在其他电池产品中也得到了充分体现，公司在产的单晶 PERC 电池的量产平均转换效率为 23.50%，研发最高转换效率为 24.10%。HJT 电池方面，公司的最高研发转换效率达到 25.60%。从产能角度来看，2021 年公司的高效 PERC 光伏电池产能达到 36GW，在珠海投资建设的 6.5GW ABC 电池也将于 2022Q3 建成投产，预计 2022 年公司电池总产能将达到 45GW，助力公司业绩延续高增长。

7. 风险提示

提示一：上游原材料波动。若光伏上游原材料价格持续上涨，或将导致电池片厂商盈利空间受到挤压，从而对经营业绩产生重大影响。

提示二：政策落地不及预期。若国内风光大基地、整县推进分布式光伏等相关政策推进不及预期、国内外产业政策变动、补贴或扶持政策发生重大变化，或将导致光伏产业链供需出现错配，从而影响相关光伏企业的经营状况和盈利水平。

提示三：N型电池片技术研发不及预期。光伏电池片环节迭代速度快，若最终技术落地不及预期，或将导致相关电池片厂商供给端错配，从而对生产经营造成重大影响。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，东亚前海证券评定此研报的风险等级为R3（中风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。

因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师声明

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及东亚前海证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

分析师介绍

段小虎，东亚前海证券新兴产业组首席与电新组首席，兼任海外首席。研究所助理总经理/执行董事。复旦大学与巴黎第一大学硕士。曾获2017年新财富第2名，水晶球奖第4名，中国证券业金牛分析师第4名；2018年新财富第4名，2018年Wind金牌分析师第3名。

投资评级说明

东亚前海证券行业评级体系：推荐、中性、回避

推荐： 未来6—12个月，预计该行业指数表现强于同期市场基准指数。

中性： 未来6—12个月，预计该行业指数表现基本与同期市场基准指数持平。

回避： 未来6—12个月，预计该行业指数表现弱于同期市场基准指数。

市场基准指数为沪深300指数。

东亚前海证券公司评级体系：强烈推荐、推荐、中性、回避

强烈推荐： 未来6—12个月，预计该公司股价相对同期市场基准指数涨幅在20%以上。该评级由分析师给出。

推荐： 未来6—12个月，预计该公司股价相对同期市场基准指数涨幅介于5%—20%。该评级由分析师给出。

中性： 未来6—12个月，预计该公司股价相对同期市场基准指数变动幅度介于-5%—5%。该评级由分析师给出。

回避： 未来6—12个月，预计该公司股价相对同期市场基准指数跌幅在5%以上。该评级由分析师给出。

市场基准指数为沪深300指数。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

免责声明

东亚前海证券有限责任公司经中国证券监督管理委员会批复，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告由东亚前海证券有限责任公司（以下简称东亚前海证券）向其机构或个人客户（以下简称客户）提供，无意针对或意图违反任何地区、国家、城市或其它法律管辖区域内的法律法规。

东亚前海证券无需因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给东亚前海证券客户的，属于机密材料，只有东亚前海证券客户才能参考或使用，如接收人并非东亚前海证券客户，请及时退回并删除。

本报告所载的全部内容只供客户做参考之用，并不构成对客户的投资建议，并非作为买卖、认购证券或其它金融工具的邀请或保证。东亚前海证券根据公开资料或信息客观、公正地撰写本报告，但不保证该公开资料或信息内容的准确性或完整性。客户请勿将本报告视为投资决策的唯一依据而取代个人的独立判断。

东亚前海证券不需要采取任何行动以确保本报告涉及的内容适合于客户。东亚前海证券建议客户如有任何疑问应当咨询证券投资顾问并独自进行投资判断。本报告并不构成投资、法律、会计或税务建议或担保任何内容适合客户，本报告不构成给予客户个人咨询建议。

本报告所载内容反映的是东亚前海证券在发表本报告当日的判断，东亚前海证券可能发出其它与本报告所载内容不一致或有不同结论的报告，但东亚前海证券没有义务和责任去及时更新本报告涉及的内容并通知客户。东亚前海证券不对因客户使用本报告而导致的损失负任何责任。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的东亚前海证券网站以外的地址或超级链接，东亚前海证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

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

除非另有说明，所有本报告的版权属于东亚前海证券。未经东亚前海证券事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式更改、复制、传播本报告中的任何材料，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为东亚前海证券的商标、服务标识及标记。

东亚前海证券版权所有并保留一切权利。

机构销售通讯录

地区	联系人	联系电话	邮箱
北京地区	林泽娜	15622207263	linzn716@easec.com.cn
上海地区	朱虹	15201727233	zhuh731@easec.com.cn
广深地区	刘海华	13710051355	liuhh717@easec.com.cn

联系我们

东亚前海证券有限责任公司 研究所

北京地区：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦A座二层

邮编：100086

上海地区：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号27楼

邮编：200120

广深地区：深圳市福田区中心四路1号嘉里建设广场第一座第23层

邮编：518046

公司网址：<http://www.easec.com.cn/>