

行业研究

成结、镀膜、金属化：探究电池技术进步的本质

——光伏新技术系列（一）

要点

从底层工艺出发，探究电池技术进步的本质。 尽管光伏电池技术路线不断迭代，效率不断提升，但基于晶硅电池的基本原理和核心工序并未改变。即清洗制绒、扩散制结、钝化镀膜、金属化四大步骤。本篇报告力图跳出对 PERC、TOPCon、HJT 等光伏电池技术的分类讨论，而是从底层技术出发，透视光伏电池技术进步的本质。

掺杂与成结，热场与气场的矛盾调和。 同质结电池：扩散是主要的掺杂手段，并由此衍生出磷扩与硼扩。由于发射极与非发射极区对掺杂浓度的要求不同，衍生出 SE（选择性发射极）技术。异质结电池：由沉积方法实现掺杂。非成结掺杂：掺杂工艺除了可以形成 P-N 结之外，还被用作高低结。扩散炉：要解决均匀性问题，核心是气场与热场的均匀。大尺寸趋势催生水平放片和多段进气。

钝化是提效关键，镀膜工艺的关键：致密性、均匀性、厚度。 要逼近极限效率，必须解决光学损失和电学损失。钝化则是有效应对载流子复合的关键。PERC： Al_2O_3 发挥关键作用；TOPCon：氧化硅（隧穿氧化层）+多晶硅；HJT：（氢化）非晶硅。从 BSF 的面接触到 PERC 的线接触，再到 TOPCon 和 HJT 的钝化接触，钝化层进步起到关键作用。我们预计 2025 年 TOPCon、HJT 产能分别达到 790/200GW，带动整线设备需求 420/250 亿元。不同的设备和工艺影响镀膜质量，从而决定最佳膜层厚度。镀膜质量则取决于三个要素：气场、热场、电场。TOPCon：看好 PECVD 与原位掺杂、一次硼扩；HJT：线性串联式设备、I-IN-P 镀膜顺序具备优势，腔体与腔室的路线之争各有优劣，看好迈为多腔体路线。

金属化与电池进步：工艺与材料的耦合。 从 PERC 到 TOPCon，双面化和银铝浆线宽导致银耗增大；从 PERC 到 HJT，低温工艺引发较大阻碍。低温固化、树脂残留先天弱化了低温银浆的导电性能，电镀铜可能是终极方案。中短期内，银包铜+0BB 可能成为主流过渡路线。银浆国产化顺利推进，银粉国产化迫在眉睫。展望 2025 年，高温银浆需求量超 6895 吨，低温银浆需求量 1181 吨。

当前时点：TOPCon 步入放量期，HJT 曙光初现，天花板高。 TOPCon 的弱点在正面钝化，提效路线为：SE、薄 poly、正面 poly；HJT 的弱点在正面光学寄生吸收，微晶化首当其冲，其次是金属化降本。从电池效率提升难度来看，SE+薄 poly 助力 TOPCon 效率进一步提升。HJT 最新记录 26.81%，天花板更高。因此中期维度 TOPCon 将放量，长期维度 HJT 具备优势。

沿着功率曲线，寻找用武之地。 激光的应用是平台技术，基于激光功率和物质形变，依次为光注入、SE、开槽/消融、激光转印、无损划片、打孔。

投资建议：规模化、技术进步、降本互相交织，推动光伏电池效率向极限进发。我们认为，光伏电池效率的提升有望带来产业的新一轮增长，同时为设备端、制造端、材料端带来超额回报。短期内 TOPCon 已走向成熟，并在 SE 技术下效率进一步提升；2023-24 年，HJT 各降本路径有望取得阶段性进展并迎来平价拐点。

重点推荐：捷佳伟创、迈为股份、帝尔激光、奥特维、英杰电气、横店东磁、钧达股份、赛伍技术。

建议关注：帝科股份、聚和材料、金辰股份、海目星、苏州固锴、东威科技、芯基微装。

风险分析：上网电价政策风险、技术进步与提效低于预期、投资与产能过剩风险。

电力设备新能源
买入（维持）

作者

分析师：殷中枢

执业证书编号：S0930518040004

010-58452071

yinzs@ebsecn.com

分析师：黄帅斌

执业证书编号：S0930520080005

0755-23915357

huangshuaibin@ebsecn.com

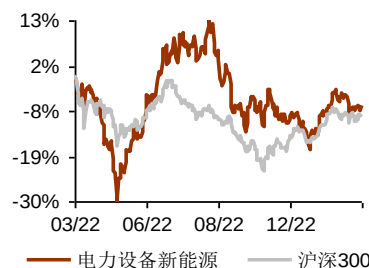
分析师：郝骞

执业证书编号：S0930520050001

021-52523827

haoqian@ebsecn.com

行业与沪深 300 指数对比图



资料来源：

相关研报

电池技术：引领下一阶段光伏提效、降本
(2022-05-11)

投资聚焦

从 2022 年开始，光伏电池技术加速从 P 型向 N 型过渡。TOPCon 和 HJT 作为两大热门路线，不仅引发了业界关注，形成了两大阵营，也正在对产业链上下游产生一系列影响。本篇报告试图回答以下几个问题：1) 光伏电池技术进步的本质；2) 扩散、镀膜设备的核心原理和工艺要点；3) 金属化工艺与材料的互相耦合与不同电池技术路线的方案选择；4) 激光作为一种平台技术，基于功率和物质形变的应用场景。

我们区别于市场的观点

1) 创新研究框架。对于光伏技术的解析，市场普遍采用自下而上的方法，分路线介绍 PERC、TOPCon 和 HJT，而缺乏对技术普适性的理解。我们认为，基于晶硅电池的制结、钝化、金属化工艺并未改变，我们从基本工序出发，透视光伏电池技术进步的本质。

2) 深入揭示工艺原理。市场对光伏技术的理解往往停留在表观层面，我们通过文献研究与学习，揭示了扩散制结中热场与气场的矛盾调和，探讨了真空镀膜中热场、气场、电场对成膜质量的影响，以及成膜厚度与均匀致密性的关联，并对金属化工艺和材料的耦合做了梳理。

3) 基于功率和物质形变的激光应用场景。激光在光伏电池制造中应用广泛，市场普遍按不同的电池路线进行区分，而忽视了底层工艺的稳定。我们按照激光功率大小与其造成的物质形变为参照，探讨了激光在照射、加热、融化、气化、分解等作用下，分别形成的光注入、SE、开槽、转印、划片、打孔等功能。

股价上涨的催化因素

1) 光伏新技术取得阶段性突破。本轮光伏技术进步由国内设备商主导，技术进步有望为下游制造商带来超额收益，继而带动企业资本开支。若光伏技术提效降本取得阶段性突破，则有望打开下游应用市场，提高新技术扩产预期，继而对设备商股价形成催化。

2) 光伏新技术产出端放量。TOPCon 和 HJT 组件具备高效、低衰减、低温度系数等优点，一旦降本进程跨过临界点，下游产出有望迅速放量，从而带动相关产业链配套产品，如组件、电池、银浆、胶膜、以及铜金属化等。

投资观点

规模化、技术进步、降本互相交织，推动光伏电池效率向极限进发。技术方面日拱一卒，不断创造新的世界纪录，产业链方面逐步成熟，适应 N 型技术的主辅材走向规模化。我们认为，光伏电池效率的提升有望带来产业的新一轮增长，同时为设备端、制造端、材料端带来超额回报。短期内，TOPCon 已走向成熟，并在 SE 技术下效率进一步提升；2023-24 年，HJT 在各降本路径有望取得阶段性进展并迎来平价拐点。

重点推荐：捷佳伟创、迈为股份、帝尔激光、奥特维、英杰电气、横店东磁、钧达股份、赛伍技术。

建议关注：帝科股份、聚和材料、金辰股份、海目星、苏州固锟、东威科技、芯碁微装。

目 录

1、 晶硅电池的基本原理与核心工序	12
2、 掺杂与成结：光伏电池的“心脏”	14
2.1、 同质结：磷扩与硼扩	16
2.2、 同质结：SE	19
2.3、 异质结：掺杂与非掺杂	20
2.4、 非成结掺杂	21
2.5、 扩散炉	22
3、 钝化：提效的关键	24
3.1、 钝化：有效减少复合	25
3.2、 钝化层的选择，决定了电池路径	27
3.3、 钝化接触：高效路线的本质	31
4、 光伏镀膜工艺：致密性、均匀性、厚度	35
4.1、 真空镀膜工艺总览	37
4.2、 TOPCon 镀膜设备	40
4.2.1、 镀膜的质量与厚度	42
4.2.2、 趋势：LP 与 PE 路线	45
4.3、 HJT 镀膜设备	50
4.3.1、 镀膜的质量与厚度	50
4.3.2、 趋势：腔室、镀膜顺序	53
5、 先进电池进步的思路与方向	58
5.1、 TOPCon：主要缺口来自前表面	58
5.2、 HJT：完美钝化，主要缺口来自光学损失	60
6、 金属化与电池进步	64
6.1、 金属化之材料：浆料区别与改进路线	68
6.1.1、 高温浆料：从 PERC 浆料到 TOPCon 银浆	69
6.1.2、 低温浆料与银包铜	72
6.1.3、 银浆与银粉国产化	76
6.2、 金属化之工艺：接触式与非接触式	80
6.2.1、 接触式	80
6.2.2、 非接触式	84
7、 激光的应用：沿着功率曲线，寻找用武之地	93
8、 当前时点：TOPCon 扩产具备确定性，HJT 到了降本关键节点	98
9、 相关标的梳理	100
9.1、 捷佳伟创	101
9.2、 迈为股份	102
9.3、 奥特维	104
9.4、 帝尔激光	110
9.5、 钧达股份	111
9.6、 英杰电气	115
9.7、 横店东磁	119
9.8、 赛伍技术	123
9.9、 帝科股份	128
9.10、 聚和材料	129
9.11、 金辰股份	132
9.12、 海目星	133
9.13、 苏州晶银	135

9.14、	微导纳米	135
9.15、	理想万里晖	136
9.16、	钧石能源	137
9.17、	拉普拉斯	138
10、	风险分析	139

图目录

图 1: 光伏电池分类	12
图 2: 组件价格与累计出货量的关系	12
图 3: 光伏不同技术的转化效率及未来前景	12
图 4: 产业化太阳能电池技术发展历程	13
图 5: 按照 P-N 结对光伏电池进行分类	14
图 6: 空穴与电子示意图	14
图 7: 内建电场示意图	14
图 8: 表面钝化能够增加同一位置下载流子被收集的概率	15
图 9: P-N 结杂质浓度分布	16
图 10: 扩散高低方阻的区别以及对电池片的影响	16
图 11: 低压硼扩散原理图	16
图 12: 硼扩与磷扩原理	17
图 13: 杂质在硅材料中的固溶度	17
图 14: 硼扩与磷扩工艺区别	17
图 15: 硼扩的两种路线	18
图 16: 硼扩散的技术路线预测	18
图 17: SE 原理图	19
图 18: 异质结电池基本结构	20
图 19: 备选的空穴及电子传输层材料能带结构图	21
图 20: TOPCon 电池中的 P-N 结与高低结	21
图 21: HJT 电池中的 P-N 结与高低结	21
图 22: 垂直放片与水平放片	22
图 23: 类 PE 顺向放片	23
图 24: LPCVD 多段进气	23
图 25: AM 1.5G (地表光谱辐照度) 太阳光谱下能够被硅吸收的部分	24
图 26: 太阳能电池的效率损失机理	24
图 27: 晶体硅太阳能电池中四种复合过程	25
图 28: 晶体缺陷引起晶格局部弹性变形称晶格畸变	26
图 29: 悬挂键示意图	26
图 30: 晶硅太阳能电池的钝化	26
图 31: 不同光伏电池的钝化层组合	27
图 32: 不同电池模型的理论最大效率	28
图 33: 不同的钝化介质会的钝化界面特性	28
图 34: 不同电池模型的理论最大效率 (隆基)	28
图 35: PERC 电池结构	29
图 36: 不同钝化介质会的钝化界面特性	29
图 37: Al ₂ O ₃ 钝化界面	29
图 38: HJT 电池钝化机理	30
图 39: TOPCon 电池钝化机理	31

图 40: 铝背场电池结构	31
图 41: PERC 电池结构	31
图 42: 钝化接触原理	32
图 43: 不同隧穿层材料的钝化特性	32
图 44: 不同隧穿层材料的钝化特性	32
图 45: TOPCon、HJT 的钝化结构	33
图 46: TOPCon 与 PERC 的背面电流示意图	33
图 47: 不同电池路线的开路电压	33
图 48: PERC、TOPCon、HJT 的开路电压、短路电流、效率对比	34
图 49: 光伏镀膜工艺的要点	35
图 50: 气场示意图 (LPCVD)	35
图 51: 热场示意图 (LPCVD)	36
图 52: PECVD (电场)	36
图 53: 薄膜沉积设备技术分类	38
图 54: PERC、TOPCon、HJT 电池中镀膜工序	39
图 55: TOPCon 电池正面采用 Al_2O_3 钝化	42
图 56: Al_2O_3 薄膜制备方法	42
图 57: 氧化铝沉积技术对比	43
图 58: ALD 沉积氧化铝由两个自限半反应组成	43
图 59: PERC 电池背钝化技术市场占比	43
图 60: 载流子隧穿机制	44
图 61: 过薄的多晶硅层会导致金属浆料烧穿	44
图 62: 背表面多晶硅薄膜减薄有助于提升电池效率	44
图 63: 背表面多晶硅薄膜寄生吸收原理	44
图 64: 背表面多晶硅薄膜厚度下降趋势预测	45
图 65: 关键结构的制程选择	45
图 66: LPCVD 和 PECVD 镀膜优劣势对比	46
图 67: 制备工艺	47
图 68: 原位掺杂与非原位掺杂市占率	47
图 69: 不同的镀膜技术路线市占率	47
图 70: 优化涂层与加工工艺可延长石英管寿命	48
图 71: PECVD (石墨舟)	48
图 72: LPCVD (石英舟)	48
图 73: 管式 PECVD 与板式 PECVD 的区别	49
图 74: 常见的 TCO 材料	51
图 75: 不同产线构型示意图	53
图 76: 线性串联式 (钧石)	54
图 77: 团簇并联式 (AM)	54
图 78: 线性并联式 (MB)	54
图 79: IN-IP 镀膜顺序	55
图 80: I-IN-P 镀膜顺序	55

图 81: 多个腔室镀制一层同性质薄膜示意图.....	56
图 82: 各家设备公司路线选择	56
图 83: 钧石能源设备特点.....	57
图 84: 钧石能源关键改进.....	57
图 85: 理想万里晖设备特点	57
图 86: 理想万里晖关键改进	57
图 87: 迈为设备示意图	57
图 88: 迈为设备特点	57
图 89: n-TOPCon 电池模拟及损失分析	58
图 90: TOPCon 电池效率提升路线图	59
图 91: 正表面全钝化接触.....	59
图 92: 正表面局部钝化接触	59
图 93: HJT 电池电学损失分析.....	60
图 94: a-Si:H、 μ c-Si:H 和 c-Si 的光吸收	60
图 95: 微晶硅可减少非晶硅的寄生吸收.....	60
图 96: 微晶硅的形成需要更高的稀释率	61
图 97: 稀释率提高后沉积速率变慢	61
图 98: VHF 在微晶硅沉积中的技术优势	61
图 99: 金属化与钝化镀膜的接触与配合	64
图 100: 金属化浆料设计要点	64
图 101: 全铝背场电向 PERC 电池的进步	65
图 102: 中润光能 157 多晶单面太阳能电池	65
图 103: 爱旭 PERC 电池.....	66
图 104: 一道 182N 型 TOPCon 电池	66
图 105: 华晟 M6-12BB 异质结电池	67
图 106: 金属化材料与工艺.....	67
图 107: 电池片银耗趋势 (182, 前+后表面)	68
图 108: 电池片银耗趋势 (M6+M10 平均)	68
图 109: 前表面金属化	68
图 110: 正面印刷工艺	68
图 111: 正面细栅宽度	68
图 112: 主栅路线 ($\geq$ M10)	68
图 113: PERC 细栅浆料印刷路线	69
图 114: 从 PERC 电池到 TOPCon 电池结构变化	69
图 115: TOPCon 银浆组合 (贺利氏)	70
图 116: TOPCon 银浆组合 (帝科)	70
图 117: TOPCon 银浆组合 (聚和新材)	70
图 118: 背面细栅需控制烧穿深度	71
图 119: 正面细栅需控制银铝尖刺	71
图 120: 光伏电池表面接触机理.....	71
图 121: 低温银浆基本构成及要求	72

图 122: 高低温银浆电极对比	72
图 123: 片状银粉+球状银粉复配有助于提高银粉间接接触面积	72
图 124: 低温银浆印刷较低	73
图 125: 化学镀银包铜粉示意图	73
图 126: 银包铜粉制备关键技术	73
图 127: 银包铜制备技术路线	74
图 128: 银包铜粉制备工艺流程	74
图 129: 异质结电池银耗降低路线	76
图 130: 光伏银浆制备工艺	76
图 131: 聚和材料原材料采购	76
图 132: 帝科股份原材料采购	76
图 133: 银粉的分类及功能	77
图 134: 国产正面银浆市占率	78
图 135: 各类银浆国产化率	78
图 136: 聚和材料银粉采购 (2021 年)	79
图 137: 帝科股份银粉采购 (2019 年)	79
图 138: 丝网印刷示意图	80
图 139: 丝网印刷机	80
图 140: 分步印刷和两次印刷原理	81
图 141: MBB 技术缩短电流收集路径	82
图 142: MBB 技术对电池片隐裂容忍度更高	82
图 143: 圆形焊带的光学优势	82
图 144: SMBB 技术可以缩短电流传导距离, 降低电阻	82
图 145: 华晟 15BB 半片 N 型异质结电池 (G12)	82
图 146: 主栅数量增加, 收集路径和主栅宽度降低	83
图 147: 主栅数量增加, 串联电阻降低, 电池功率提升	83
图 148: 网版结构差异	84
图 149: 激光转印过程示意图	85
图 150: 不同激光功率下激光转印过程	85
图 151: 无主栅技术	85
图 152: 圆丝铜线有效减少遮光	86
图 153: 主栅数量呈上升趋势	86
图 154: 铟锡层与银形成接触	86
图 155: SWCT 技术可实现低温熔融接触	86
图 156: SWCT 技术缩短电流收集路径	87
图 157: SWCT 技术对电池片隐裂容忍度更高	87
图 158: SWCT 技术可实现更小应力	87
图 159: 铜电镀工艺流程	88
图 160: 镀铜可以实现更好的接触	89
图 161: 优化设计的电镀电池与丝印电池比较	90
图 162: 退火对铜金属化电池外量子效率 EQE 的影响	90

图 163: 不同功率激光在光伏领域应用	93
图 164: 光注入增效原理.....	93
图 165: 异质结太阳能电池交替光注入后效率变化	94
图 166: 光注入设备	94
图 167: 双面单晶硅 PERC 电池截面结构示意图	95
图 168: 电池片背部激光开槽图案设计	95
图 169: HBC 工艺步骤	95
图 170: 激光用于激光转印的转移过程.....	96
图 171: 激光划片工艺分类.....	96
图 172: 光伏电池多分片趋势 ($\geq M10$ 尺寸)	96
图 173: 有损与无损激光划片	97
图 174: 冷却法与直接法无损划片	97
图 175: MWT 原理.....	97
图 176: 光伏玻璃打孔原理.....	97
图 177: 电池新技术投资的三个阶段	98
图 178: 捷佳伟创发展历程.....	101
图 179: 迈为股份发展历程.....	103
图 180: 奥特维发展历程.....	104
图 181: 奥特维产品布局.....	105
图 182: 奥特维营收情况.....	105
图 183: 奥特维归母净利润情况.....	105
图 184: 奥特维分部业务营收	106
图 185: 奥特维分部业务毛利率.....	106
图 186: 帝尔激光发展历程.....	110
图 187: 捷泰科技发展历程.....	112
图 188: 钧达股份营收情况.....	112
图 189: 钧达股份归母净利润情况	112
图 190: 英杰电气发展历程.....	115
图 191: 英杰电气营收情况.....	115
图 192: 英杰电气归母净利润情况	115
图 193: 英杰电气分部营收 (按应用领域)	116
图 194: 英杰电气分部营收 (按产品)	116
图 195: 横店东磁营收情况.....	119
图 196: 横店东磁归母净利润情况	119
图 197: 横店东磁分部业务营收.....	120
图 198: 横店东磁分部业务毛利率.....	120
图 199: 赛伍技术发展历程.....	123
图 200: 赛伍技术营收情况.....	123
图 201: 赛伍技术归母净利润情况	123
图 202: 赛伍技术分部业务营收.....	124
图 203: 赛伍技术胶膜与背板销量 (万平米)	124

图 204: 帝科股份 TOPCon 金属化方案.....	128
图 205: 帝科股份 HJT 金属化方案	128
图 206: 聚和材料发展历程.....	129
图 207: 聚和材料产品、客户、研发体系	130
图 208: 聚和材料 TOPCon 金属化方案.....	130
图 209: 聚和材料 TOPCon 电池用银浆性能指标.....	130
图 210: 金辰股份电池片设备发展历程.....	132
图 211: 金辰股份在 TOPCon 电池设备领域的布局	132
图 212: 海目星业务布局.....	133
图 213: 海目星在光伏领域产品布局	134
图 214: 微导纳米发展历程.....	136
图 215: 理想万里晖发展历程	137
图 216: 理想万里晖客户基础	137
图 217: 钧石能源发展历程.....	138
图 218: 钧石能源 PECVD 设备特点	138
图 219: 钧石能源提供异质结整线装备.....	138
图 220: 拉普拉斯发展历程.....	139
图 221: 拉普拉斯主要产品设备.....	139

表目录

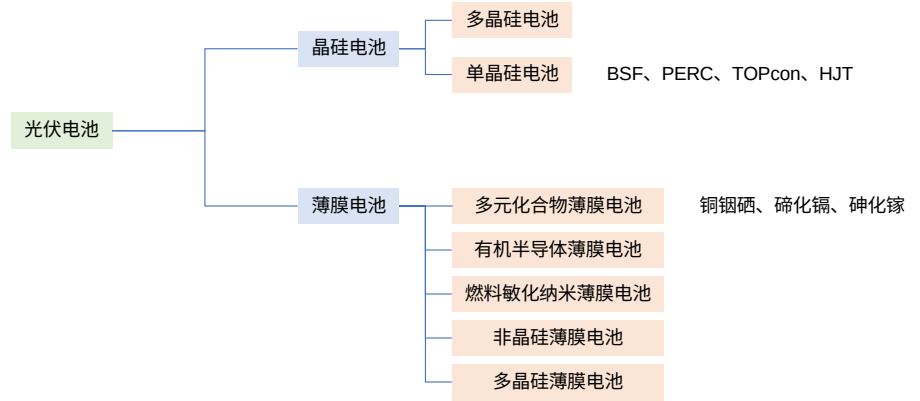
表 1: 硼扩 SE 不同路线对比	20
表 2: 硼扩 SE 各路线效率潜力分析.....	20
表 3: 各种钝化介质特性.....	27
表 4: 真空表面处理技术的分类.....	37
表 5: 薄膜沉积技术对比.....	38
表 6: 常见的薄膜生成原理.....	39
表 7: TOPCon 技术路线对比	40
表 8: 不同厂家的设备参数对比.....	40
表 9: TOPCon 扩产厂商设备选择.....	41
表 10: LPCVD 和 PECVD 镀膜特性	46
表 11: HJT CVD 路线参考	50
表 12: HJT TCO 制备路线参考	51
表 13: 不同厂家的设备参数对比.....	52
表 14: HJT 扩产厂商设备选择.....	52
表 15: 不同设备厂家的产线构型	54
表 16: 光伏电池需求与扩产	62
表 17: HJT 与 TOPCon 设备市场空间	63
表 18: 异质结浆料与高温正银差异	72
表 19: 银包铜浆料性能指标	75
表 20: 银包铜浆料测试结果	75

表 21: 银包铜电池（背面副栅）组件 CTM 数据.....	75
表 22: 银浆与银粉的国产化情况.....	78
表 23: 全球主要银粉厂家.....	79
表 24: 全球主要银粉厂家产品性能.....	80
表 25: 铜电镀领域各公司进度.....	89
表 26: 铜电镀和丝印银浆电池效率对比.....	90
表 27: 金属化设备市场空间.....	90
表 28: 金属化浆料市场空间.....	91
表 29: 组件环节设备市场空间.....	92
表 30: 设备公司 TOPCon 激光 SE 研发进展.....	94
表 31: 各类电池成本拆分.....	99
表 32: TOPCon 电池设备重点国内厂家.....	100
表 33: HJT 电池设备重点国内厂家.....	100
表 34: 捷佳伟创盈利预测与估值简表.....	102
表 35: 迈为股份盈利预测与估值简表.....	104
表 36: 奥特维营业收入盈利预测表.....	108
表 37: 可比公司估值比较.....	109
表 38: 奥特维业绩预测和估值指标.....	109
表 39: 帝尔激光盈利预测与估值简表.....	111
表 40: 钧达股份产能及出货量预测.....	113
表 41: 钧达股份营业收入盈利预测表.....	114
表 42: 可比公司估值比较.....	114
表 43: 钧达股份业绩预测和估值指标.....	114
表 44: 英杰电气营业收入盈利预测表.....	117
表 45: 可比公司估值比较.....	118
表 46: 英杰电气业绩预测和估值指标.....	118
表 47: 横店东磁产能预测.....	120
表 48: 横店东磁营业收入盈利预测表.....	121
表 49: 可比公司估值比较.....	122
表 50: 横店东磁业绩预测和估值指标.....	122
表 51: 赛伍技术背板、胶膜出货量预测.....	125
表 52: 赛伍技术营业收入盈利预测表.....	127
表 53: 可比公司估值比较.....	127
表 54: 赛伍技术业绩预测和估值指标.....	128
表 55: 光伏正面银浆销售体量同业对比.....	130
表 56: 聚和材料各电池路线银浆销售.....	131
表 57: 银浆企业专利情况对比.....	131
表 58: 海目星在光伏领域研发项目.....	135
表 59: 微导纳米光伏设备产品.....	136
表 60: 行业重点上市公司盈利预测、估值与评级.....	140

1、晶硅电池的基本原理与核心工序

全球光伏电池市场以晶硅电池占据主导地位。据 CPIA 数据，2021 年全球晶硅电池市场占有率为 96.2%，同比提升了 0.2 个百分点。

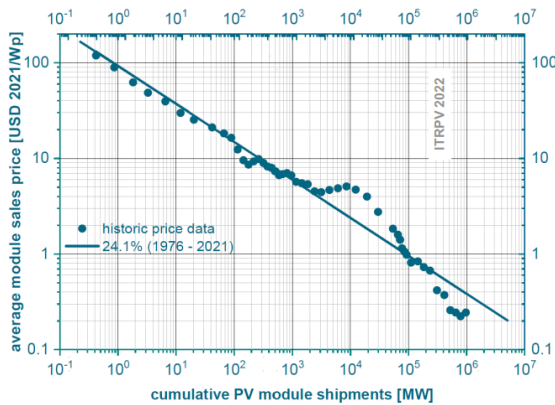
图 1：光伏电池分类



资料来源：靳瑞敏《新型太阳电池：材料·器件·应用》、光大证券研究所

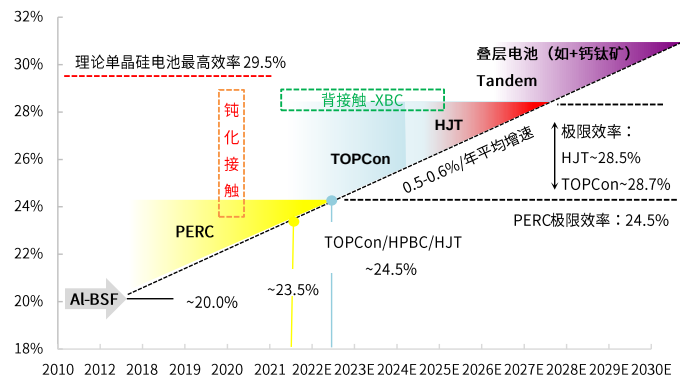
晶硅电池的提效降本光伏行业发展的关键，规模化、技术进步、成本降低三者互相促进。从最初规模化量产的铝背场电池，到 PERC（发射极钝化和背面接触），再到 HJT（本征非晶层的异质结）电池和 TOPCon（隧穿氧化层钝化接触电池），以及未来的叠层电池，光伏电池效率不断逼近极限，并由此带来成本与规模的突破。

图 2：组件价格与累计出货量的关系



资料来源：ITRPV

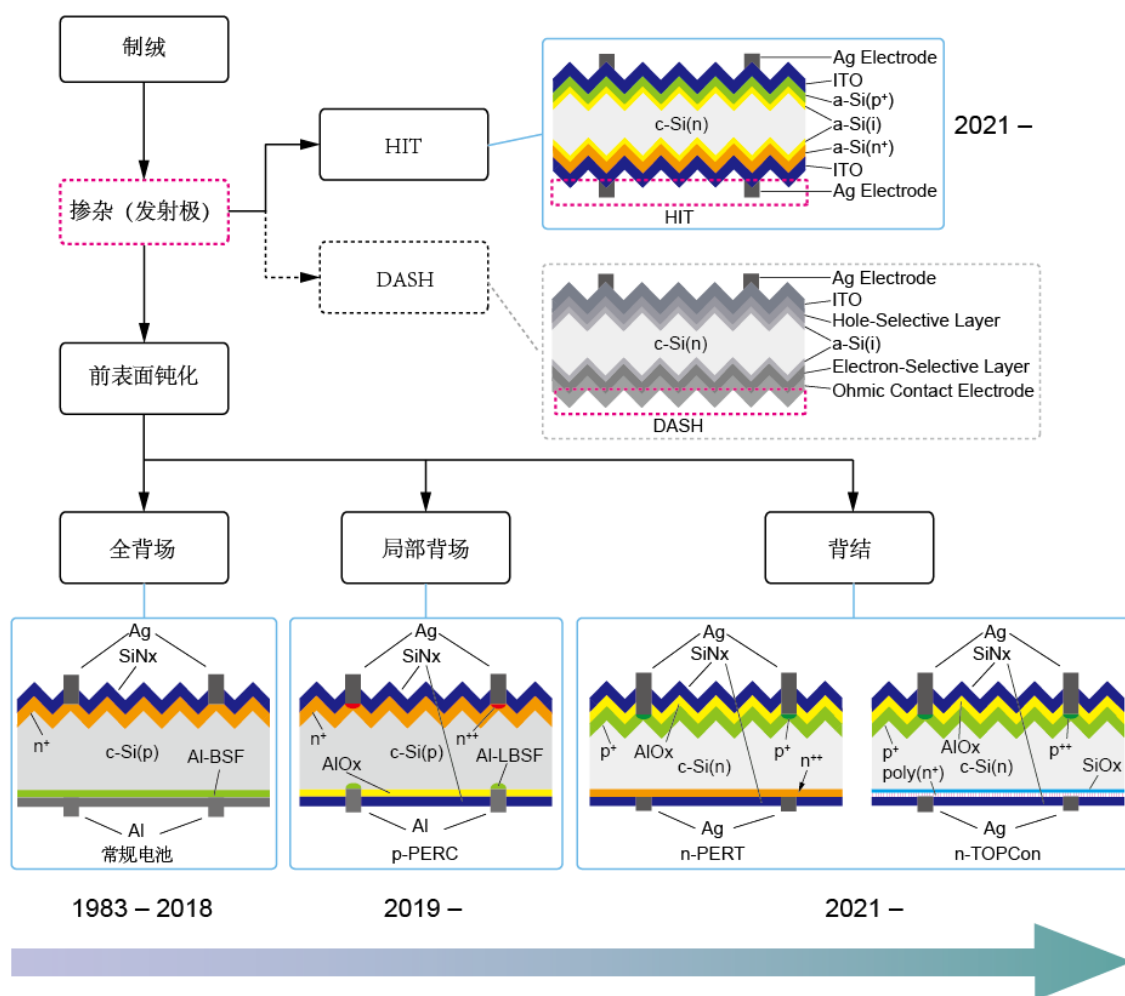
图 3：光伏不同技术的转化效率及未来前景



资料来源：上海交通大学、光大证券研究所；截至 2022.4

尽管光伏电池技术路线不断迭代，效率不断提升，但基于晶硅电池的基本原理和核心工序并未改变，即清洗制绒、扩散制结、钝化镀膜、金属化四大步骤。

图 4：产业化太阳能电池技术发展历程



资料来源：黄志平《晶体硅太阳能电池掺杂与金属化工艺研究》

1) 清洗制绒

清洗主要用来清除硅片表面杂质、去除硅片表面损伤层，制绒则用于在硅片表面形成金字塔结构，从而降低反射率。

2) 扩散制结

通过扩散的形式，形成光伏电池的核心结构：P-N 结。通常适用于同质结电池。

3) 钝化镀膜

通过真空镀膜的形式，在电池片表面形成一层钝化膜，起到降低少子复合、提供场钝化效应、降低反射率的作用，对于电池效率的提高起到关键作用，也是光伏电池提效的主要出发点。

4) 金属化

用于形成光伏电池的前电极和背电极，通常使用丝网印刷的方式。金属化的工艺路线与钝化工艺密切相关，同时对降低少子复合、降低电阻损失起到关键作用。

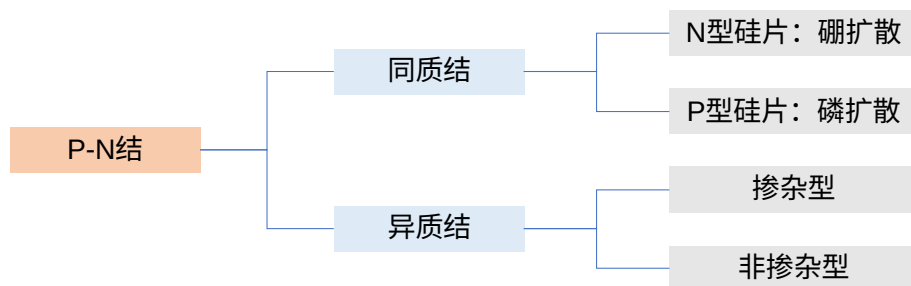
此外，还包括刻蚀、检测等通用步骤，在不同的电池技术路线中区别不大。

2、掺杂与成结：光伏电池的“心脏”

P-N 结是光伏电池的“心脏”。

按照 P-N 结类型，光伏电池可以分为同质结电池和异质结电池。其中同质结电池主要通过扩散的方式，在同一种类型的硅片（P 型或 N 型）上实现掺杂，从而得到 P-N 结。异质结电池的 P 型区和 N 型区由不同类型的半导体材料构成，可分为掺杂型和非掺杂型。

图 5：按照 P-N 结对光伏电池进行分类



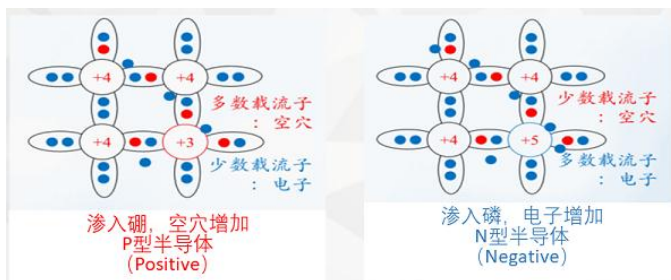
资料来源：光大证券研究所

当 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起，由于 P 型半导体中空穴浓度高，而 N 型半导体中电子浓度高，因此会形成热扩散运动。

即 P 型半导体中空穴向 N 型区扩散，N 型半导体中的电子向 P 型区扩散。而后在 P 型区形成负电荷，而 N 型区形成正电荷，两者之间形成一个内建电场。

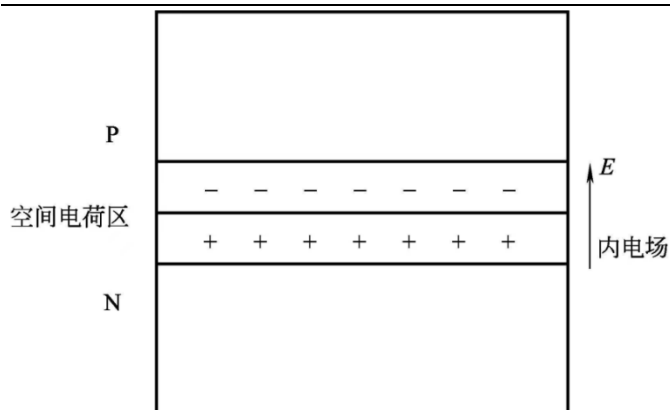
在光照条件下，能量大于禁带宽度的光子被吸收，在 PN 结的两边产生电子-空穴对，并在内建电场的作用下相互分开，从而产生光生电流。

图 6：空穴与电子示意图



资料来源：solarspace

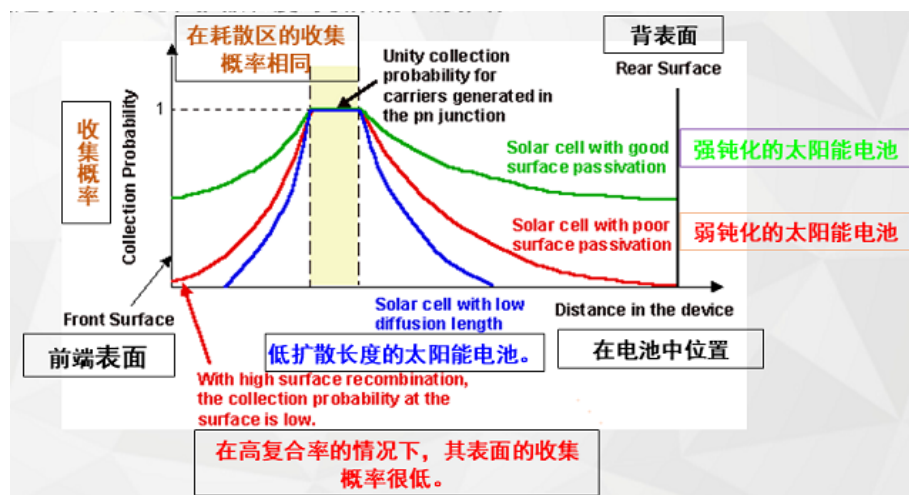
图 7：内建电场示意图



资料来源：段春艳《晶体硅太阳能电池生产工艺》、光大证券研究所

“收集概率”描述了光照射到电池的某个区域产生的载流子被 P-N 结收集并参与到电流流动的概率。其大小与光生载流子需要运动的距离和电池表面特性有关。距离耗散区越远，被收集的概率就越小，而表面钝化能够增加同一位置下载流子被收集的概率。

图 8：表面钝化能够增加同一位置下载流子被收集的概率



资料来源：solarspace

什么是扩散？

扩散描述了一种物质在另一种物质中运动的情况。本质在于原子、分子和离子的布朗运动，造成由浓度高的地方向浓度低的地方进行扩散。

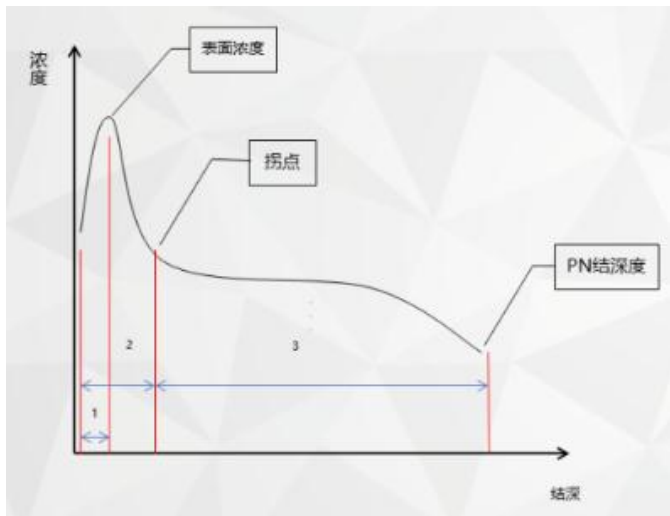
晶体硅太阳能电池制造采用了高温化学热扩散的方式来实现掺杂制结。热扩散利用高温驱动杂质穿过硅的晶格结构，这种方法受到时间和温度的影响，需要 3 个步骤：预淀积、推进和激活。

扩散的三个指标：方阻、结深、表面浓度

方阻值大小主要为表面浓度和结深的综合表征，其对电池片参数的影响主要有以下三点：

- 1) 扩散 P-N 结深度直接影响到其对短波光线的吸收，因此在一定范围内扩散 P-N 结越浅（方阻值越高），电流值越高；
- 2) 扩散磷元素的掺杂浓度从一定程度上影响其 N 型硅部分的导电性能，因此掺杂浓度越高（方阻值越小），填充因子越高；
- 3) 一般来说，在一定范围内，扩散浓度增大，开路电压随之增大。

图 9：P-N 结杂质浓度分布



资料来源：solarspace

图 10：扩散高低方阻的区别以及对电池片的影响

工艺参数		方阻影响
扩散方阻	工艺时间	与方阻大小成正比，时间越长方阻越大；反之，时间越短方阻越小
	沉积时间	与方阻大小成正比，时间越长方阻越大；反之，时间越短方阻越小
表面浓度	大氮	与方阻大小成正比，流量大方阻大
	小氮	与方阻大小成正比，流量大方阻小
	氧气	与方阻大小成正比，流量大方阻大
工艺温度	沉积温度	与方阻大小成正比，温度越高方阻越大；反之，温度越低方阻越小
	驱入温度	与方阻大小成正比，温度越高方阻越大；反之，温度越低方阻越小
	源温	与方阻大小成正比，温度越高方阻越大；反之，温度越低方阻越小

资料来源：solarspace

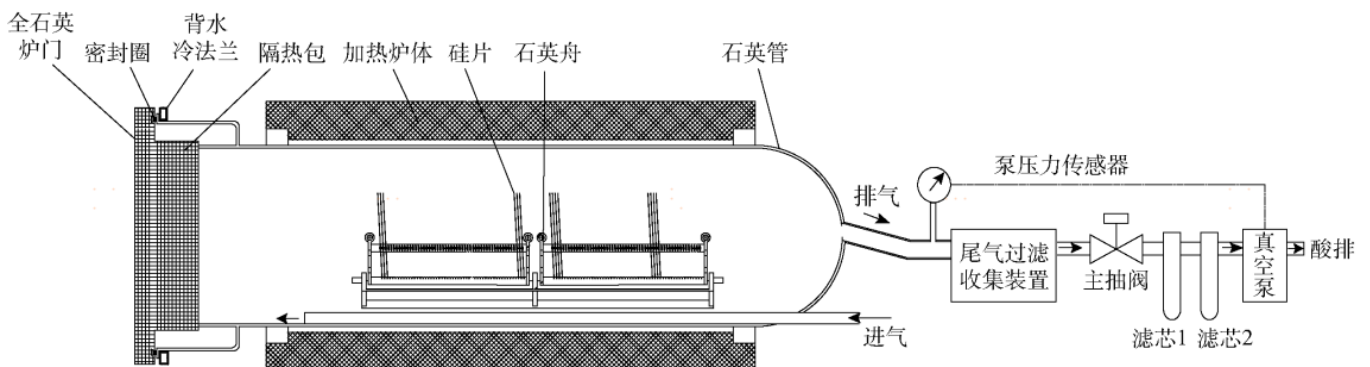
2.1、同质结：磷扩与硼扩

同质结电池中，P 型区和 N 型区为同一种类型的半导体材料，一般使用掺杂的方法形成 P-N 结。常见的掺杂方法包括：

- 1) 管式扩散（低压、常压）；
- 2) 离子注入+退火；
- 3) 涂布源扩散（丝网印刷、旋涂、喷涂、滚筒印刷）。

目前大多采用低压管式扩散。

图 11：低压硼扩散原理图



资料来源：龙辉《基于 BCl₃ 源的低压硼扩散设备及工艺研究》

图 12：硼扩与磷扩原理

磷扩	硼扩
液态 POCl_3 $5\text{POCl}_3 = 3\text{PCl}_5 + \text{P}_2\text{O}_5$ $4\text{POCl}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_5 + 6\text{Cl}_2 \uparrow$ $4\text{PCl}_5 + 5\text{O}_2 = 2\text{P}_2\text{O}_5 + 10\text{Cl}_2 \uparrow$ $2\text{P}_2\text{O}_5 + 5\text{Si} = 5\text{SiO}_2 + 4\text{P}$	液态 BBr_3 $4\text{BBr}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{B}_2\text{O}_3 + 6\text{Br}_2$ $\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$ $2\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{Si} = 3\text{SiO}_2 + 4\text{B}$ 气态 BCl_3 $4\text{BCl}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{B}_2\text{O}_3 + 6\text{Cl}_2$ $2\text{BCl}_3 = 2\text{B} + 3\text{Cl}_2$ $\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$ $2\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{Si} = 3\text{SiO}_2 + 4\text{B}$

资料来源：段春艳《晶体硅太阳能电池生产工艺》、光大证券研究所

磷扩：

POCl_3 分解产生的 P_2O_5 淀积在硅片表面， P_2O_5 与硅反应生成 SiO_2 和磷原子，并在硅片表面形成一层磷硅玻璃，然后磷原子再向硅中进行扩散。

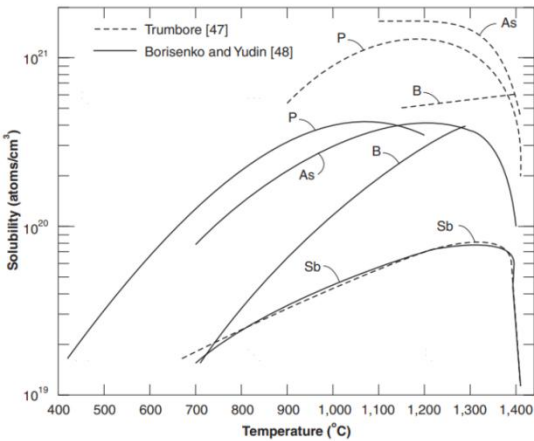
硼扩：

$\text{BBr}_3/\text{BCl}_3$ 分解产生的 B_2O_3 淀积在硅片表面， B_2O_3 与硅反应生成 SiO_2 和硼原子，并在硅片表面形成一层硼硅玻璃，然后硼原子再向硅中进行扩散。

由上可知，不管是硼扩还是磷扩，需形成硼原子或磷原子的基础上，向硅基体扩散。

相比磷扩散，硼扩散的难度更大。原因在于硼原子在硅基体中的固溶度较低，导致硼扩的温度须达到 1000°C 以上。且表面掺杂量较多时容易在表面形成硼堆积，即富硼层（BRL），对后续清洗造成挑战。

图 13：杂质在硅材料中的固溶度



资料来源：理想晶延《TOPCon 电池相关设备进展》

图 14：硼扩与磷扩工艺区别

	P-PERC	N-TOPCon
杂质原子大小 (Si:0.117nm)	P:0.11nm	B:0.088nm
氧化物沸点	P_2O_5 : 360°C	B_2O_3 : 1860°C
推进温度	$800\sim 880^\circ\text{C}$	$900\sim 1100^\circ\text{C}$
杂质源	POCl_3 :常温下液态	BCl_3 : 常温下气态
掺杂玻璃	PSG易去除	BSG难去除，界面富硼，粘舟，裂管
扩散系数	$D_p(\text{SiO}_2) < D_p(\text{Si})$	$D_b(\text{SiO}_2) > D_b(\text{Si})$

资料来源：理想晶延《TOPCon 电池相关设备进展》

对于硼扩来说，目前有 BBr_3 / BCl_3 两种路线。

BBr_3 常温下为液体，安全性相对较好，但生成的 B_2O_3 呈黏状，需要 DCE 清洗，维护成本高。

BCl_3 常温下为气体，安全性相对较差，但生成的 B_2O_3 呈颗粒状，容易清理，缺点是 B-Cl 键能更大，不易分解，造成扩散温度下利用率不高。

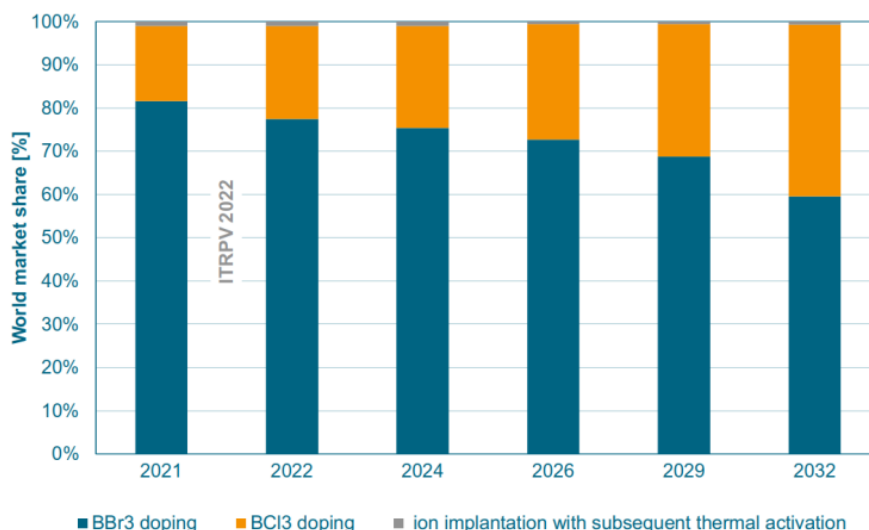
图 15：硼扩的两种路线



资料来源：拉普拉斯公众号

根据 ITRPV 预测，未来 BBr_3 路线仍将占据多数份额，但 BCl_3 路线的占比将会逐步提升，到 2032 年约达到 40% 左右的市场份额。

图 16：硼扩散的技术路线预测



资料来源：ITRPV

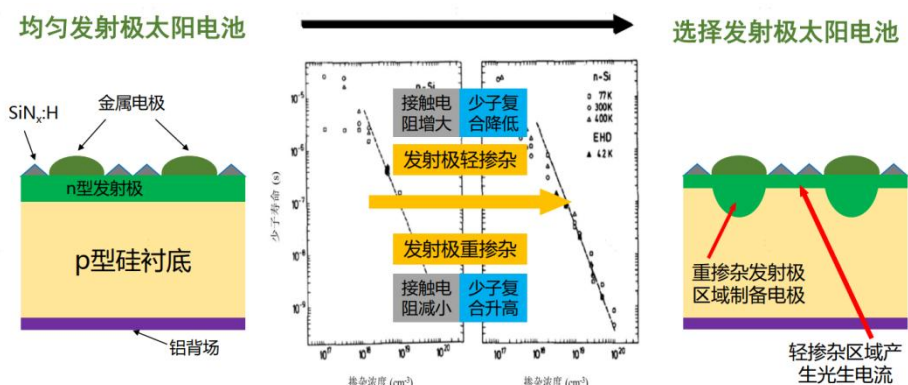
2.2、 同质结：SE

为什么需要 SE（选择性发射极）？

原因在于：

常规晶体硅太阳能电池采用均匀高浓度掺杂的发射极。较高浓度的掺杂可以改善硅片与电极之间的欧姆接触，降低串联电阻，但也容易造成较高的表面复合。为此，需要使用选择性发射极（SE）技术，在金属栅线（电极）与硅片接触部位及其附近进行高浓度掺杂深扩散，而在电极以外的区域进行低浓度掺杂浅扩散。

图 17：SE 原理图



资料来源：中科院电工所

SE 结构的优势：

- 1) 电极下的重掺杂使得接触电阻较常规电池有所下降，从而提高填充因子；
- 2) 电极间的轻掺杂可有效降低载流子在扩散层横向流动时的复合概率，提高载流子收集效率；
- 3) 太阳光短波段基本在硅片正表面被吸收，浅扩散可以提高短波段太阳光的激发效率，从而提高短路电流；
- 4) 形成一个 $n^{++}-n^{+}/p^{++}-p^{+}$ 的高低结，可以降低电极下方的少数载流子复合，提高开路电压。

综合来说，SE 较常规电池更好地平衡了金属半导体间的接触电阻和光子收集之间的矛盾。

基于硼扩的技术难度，在硼扩的基础上做出 SE 相较磷扩 SE 难度更大，目前主要发展出一次硼扩和二次硼扩两种技术路线。

根据通威股份《基于 PECVD 技术制备超薄隧穿氧化层及 poly-Si 在 TOPCon 电池中的应用》，目前行业内常见的硼扩 SE 有五种方案，其中激光开膜路线是目前最成熟的方案。从量产前景来看，Etch-back 路线、激光直掺路线是最可能实现量产的路线。五种方案中，刻蚀浆料路线、硼浆路线、Etch-back 路线都需要外部开发不同的浆料。

表 1：硼扩 SE 不同路线对比

序号	SE 方案	优点	缺点
1	激光开膜路线	行业内最广泛采用的，效率记录都是用此方案	硼扩散机台是正常的 2 倍； ps 激光还存在 mark 点不容易识别
2	刻蚀浆料路线	效率增益比方案一高 0.06%； 没有激光损伤，清洗流程简单，设备成本低	和方案一同样，硼扩散机台是正常的 2 倍
3	硼浆路线	预期简化流程	硼浆成分复杂，杂质过多，而且无法清洗，导致重扩区复合太高； 量产成本较高
4	Etch-back 路线	预期流程最简单； 扩散机台预期是所有路线中最少的	掩膜浆料可能存在清洗不干净问题
5	激光直掺路线	简化了扩散机台数量	效率增益不如二次扩散路线； 需要特殊定制的激光

资料来源：通威股份《基于 PECVD 技术制备超薄隧穿氧化层及 poly-Si 在 TOPCon 电池中的应用》

表 2：硼扩 SE 各路线效率潜力分析

工序	世界纪录 25.8%(FhG-ISE)	刻蚀浆料二次扩散 (目前水平)	Etch-back (目前水平)	激光直掺 (预期)	常规扩散 (未来预期)
轻扩区方阻(Ω/sq)	300	220	225	160	130
重扩区方阻(Ω/sq)	15	45	55	90	
效率增益		0.3-0.4%	0.3-0.4%	0.2-0.25%	
电池片尺寸(cm^2)	4	330.15	330.15	330.15	330.15

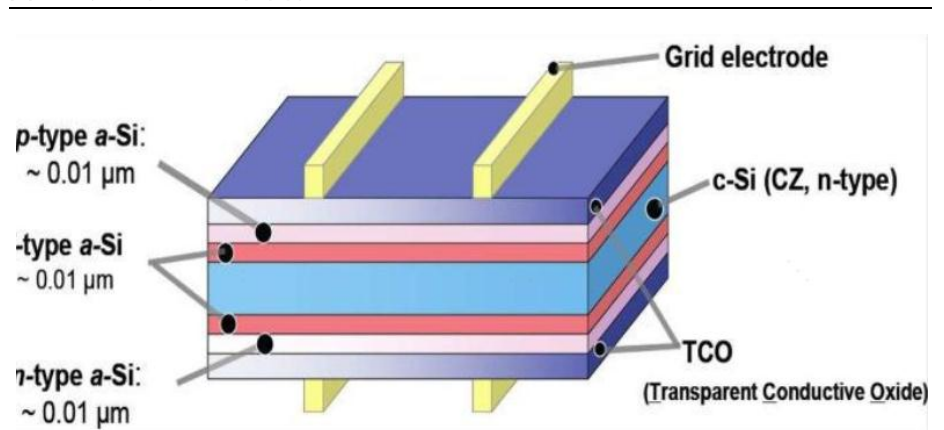
资料来源：通威股份《基于 PECVD 技术制备超薄隧穿氧化层及 poly-Si 在 TOPCon 电池中的应用》

2.3、异质结：掺杂与非掺杂

从本质上讲，热扩散是实现掺杂的一种方法，用于在同一种半导体上形成 PN 结。其他方法还包括离子注入、气相沉积等。

如通过气相沉积的方法在晶硅表面沉积本征非晶硅和掺杂非晶硅，由于晶硅与非晶硅不属于同一种半导体材料，故形成的 P-N 结名异质结。

图 18：异质结电池基本结构

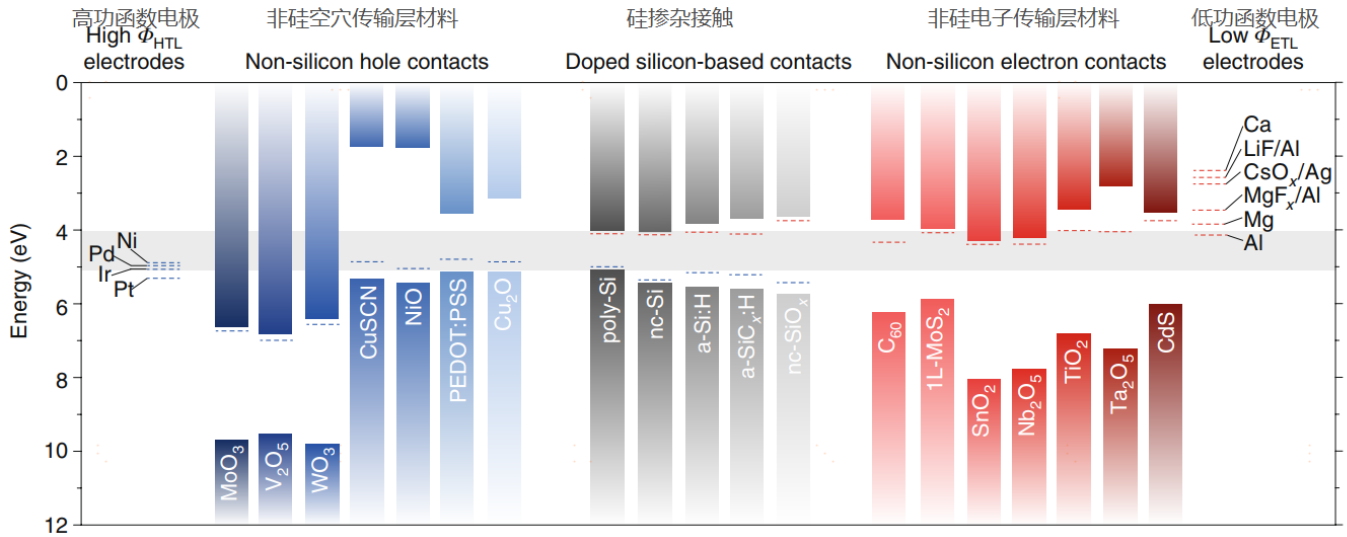


资料来源：赛拉弗《高效异质结电池（HIT）在叠瓦组件上的应用》

异质结电池采用气相沉积实现掺杂，而非扩散的形式。这带来的一个问题是，前表面的非晶硅带隙较小，导致严重的光学寄生吸收，从而限制了饱和电流的提升；且非晶硅层掺杂效率低致使电池良率较低。

这就引发了对免掺杂异质结电池的应用和探索。N 型过渡金属氧化物（TMO）材料被尝试用作空穴传输层。根据中山大学相关资料，HJT 电池中利用 MoOx 代替 p 型掺杂非晶硅，最高转换效率已达 23.5%。

图 19：备选的空穴及电子传输层材料能带结构图



资料来源：中山大学 何坚《新型晶体硅钝化接触异质结太阳能电池技术》

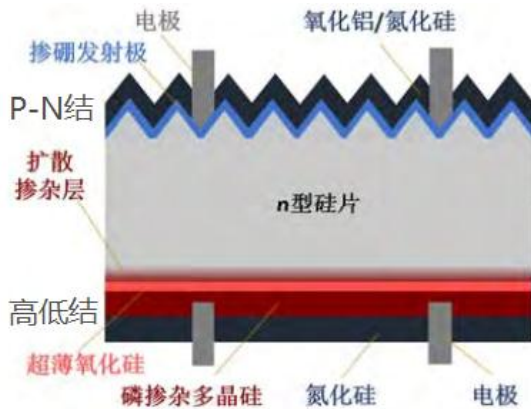
2.4、非成结掺杂

掺杂工艺除了可以形成 P-N 结之外，还被用作形成高低结。

所谓高低结，指的是在电池基体和底电极间建立一个同种杂质的浓度梯度，制备一个 P-P+或 N-N+高低结，形成背电场，可以提高载流子的有效收集，改善太阳能电池的长波响应，提高短路电流和开路电压，这种电池被称为“背场电池”。

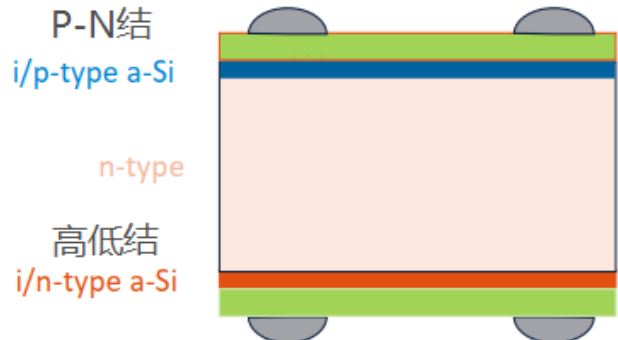
典型的案例是在 TOPCon 电池中，正面使用硼掺杂在 N 型硅片上形成 P-N 结，背面使用磷掺杂制成的 N 型多晶硅，起到高低结的作用。HJT 电池中，正表面 i 层非晶硅与 n 型硅基底形成 P-N 结，背表面 n 型非晶硅与 n 型硅基底形成高低结。

图 20：TOPCon 电池中的 P-N 结与高低结



资料来源：中科院宁波所《基于 PECVD 的 TOPCon 技术研究进展》、光大证券研究所

图 21：HJT 电池中的 P-N 结与高低结



资料来源：中山大学《新型晶体硅钝化接触异质结太阳能电池技术》、光大证券研究所

从广义上来讲，只要是通过同种杂质的浓度梯度建立起电场，从而影响载流子收集的结构，都可以称作高低结。

如硼扩/磷扩中的选择性发射极、BSF 电池中的铝背场、PERC 电池中的局部铝背场、以及 TOPCon 电池正表面的银铝浆细栅。

2.5、 扩散炉

国内 PERC 电场的磷扩散设备已完全实现国产化，并发展出了适用于大硅片、大产能的设备，综合考虑热场、气场的均匀性，硅片的放置模式有水平、垂直、类 PE 型垂直等多种模式。

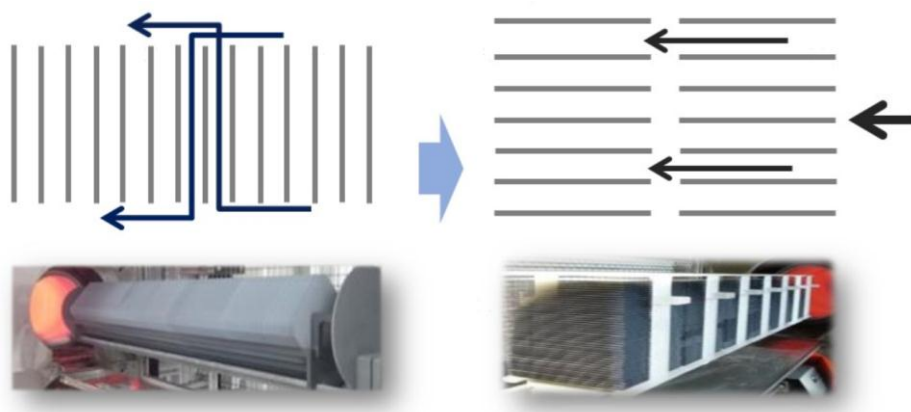
硼扩散设备的要求比磷扩散更高，主要体现在：均匀性、扩散时间长、扩散温度高、硅片寄生 OSF 位错。

均匀性问题：核心是气场与热场的均匀。

垂直放片和水平放片各有优劣，垂直放片有利于热辐射传递，但不利于气流传输；水平放片有利于气流传输，但对热辐射有遮挡。随着硅片尺寸变大变薄，垂直放片的均匀性受到挑战，一方面大硅片导致两硅片间气体运动距离变长，阻力增大；另一方面薄硅片垂直放置时弯曲度变大。

拉普拉斯采用水平背对背放置，气流从端口和侧面进入，不仅增加了气流的均匀性，而且硅片背对背放置，在重力作用下自然压紧，可减少绕镀。

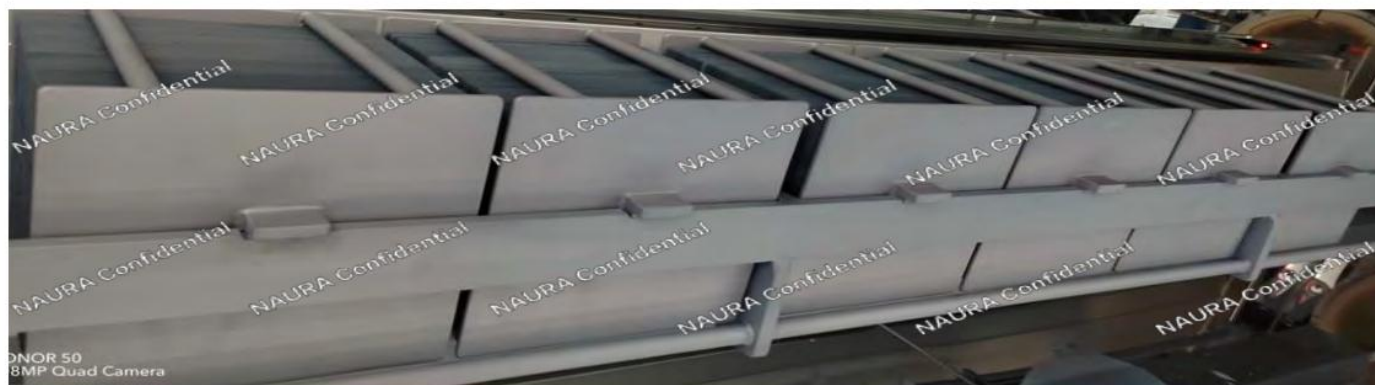
图 22：垂直放片与水平放片



资料来源：拉普拉斯《高温钝化接触电池技术路线分析及设备发展方向》

也有厂商采用类 PE 顺向放片，即硅片竖直放置，但与石英管轴向平行。一定程度上兼顾了气流传输与热辐射。

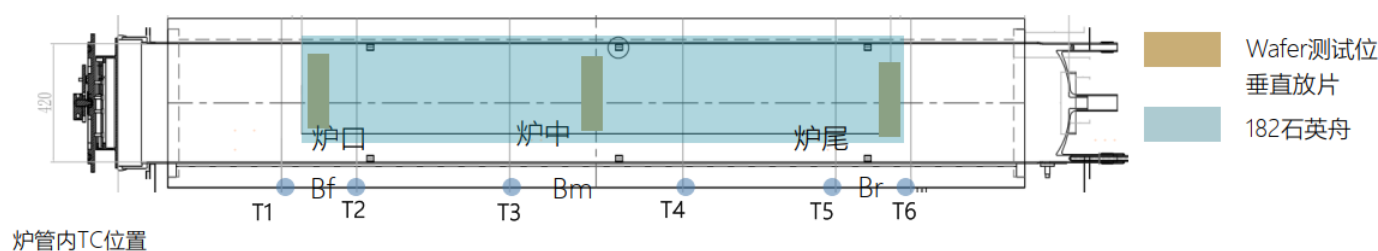
图 23：类 PE 顺向放片



资料来源：北方华创《TOPCon 量产技术路径思考及核心干法工艺装备之实践》

另一方面，随着单炉产能不断增加，炉管长度随之增加，带来了超长温区内气流与热场均匀性问题。目前多采取多段进气的方式，增加炉管内气流均匀性。

图 24：LPCVD 多段进气



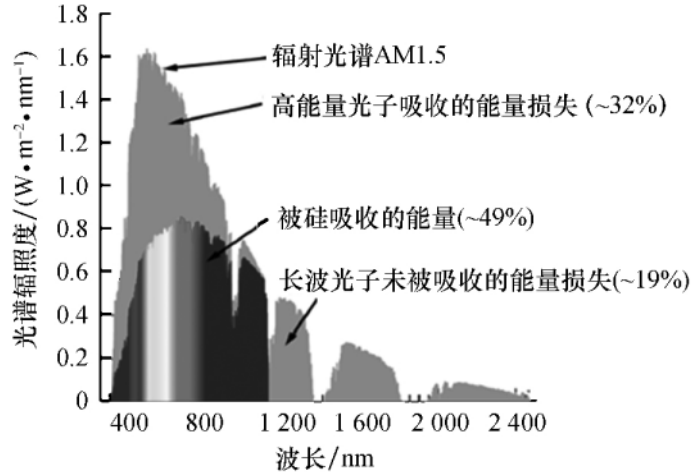
资料来源：理想晶延《TOPCon 电池相关设备进展》

3、钝化：提效的关键

光伏电池效率的热力学极限

一方面，考虑到晶体硅在室温下的光学带隙为 1.12eV，能量低于 1.12eV 的光子不足以激发电子-空穴对，因此能够有效利用的光子能量有限。另一方面，能量太高的光子中高于 1.12eV 的能量以热弛豫形式散发。能够被吸收的能量约为 49%，又由于禁带电势差与电池开路电压的差异，能够有效输出的电能约为 60%。因此，常温下硅基光伏单结电池的效率极限约为 29.4%。

图 25：AM 1.5G（地表光谱辐照度）太阳光谱下能够被硅吸收的部分

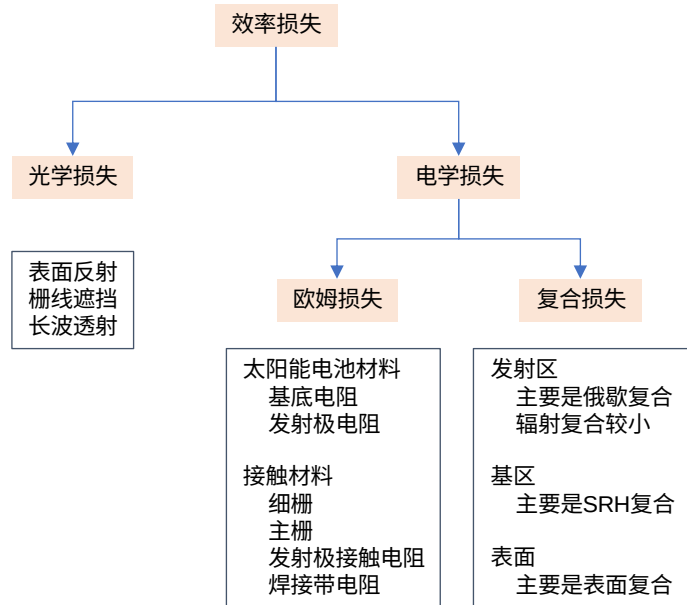


资料来源：李仲《晶体硅太阳能电池效率的损失分析》

逼近极限：可弥补的损失

对于硅基光伏单结电池来说，即使极限效率仅有 29.4%，目前的量产技术水平仍有较大的提升空间。整体来看，可弥补的太阳电池效率损失可以分为两大类，即光学损失和电学损失，电学损失又有复合损失和电阻损失两部分。

图 26：太阳能电池的效率损失机理



资料来源：黄志平《晶体硅太阳能电池掺杂与金属化工艺研究》

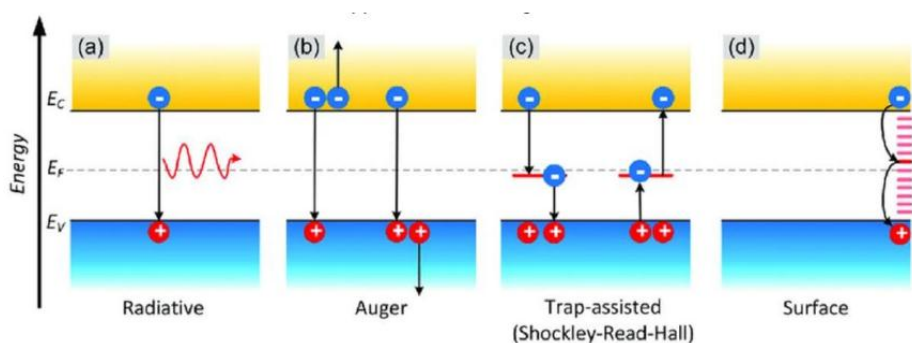
1、光学损失

- 1) 表面反射。晶体硅的折射率与空气相差很大，这会导致很大一部分入射光被反射，一般通过表面制绒和沉积减反膜来降低表面反射；
- 2) 长波透射。部分长波不能被硅基体完全吸收而从电池背面透过，可适度增加硅片厚度以消除该不利因素；
- 3) 栅线遮挡。部分入射光被正面金属电极栅线遮挡，一般可通过优化栅线设计或使用背电极来解决。

2、电学损失

- 1) 复合损失。主要指晶体硅太阳能电池中，由于掺杂、杂质、缺陷等因素，电子-空穴以各种形式形成复合，通常包括辐射复合、俄歇复合、SRH 复合、表面复合四种。减弱光生载流子复合的方法包括钝化（热氧、原子氢、表面扩散）、增加背场等；
- 2) 电阻损失。包括串联电阻和并联电阻，串联电阻主要由硅基体电阻、电极接触电阻、发射极电阻、主栅/细栅电阻、焊带电阻组成；并联电阻主要来自 pn 结结构和制备过程中的工艺，一般认为是在晶体硅太阳能电池的边缘产生。

图 27：晶体硅太阳能电池中四种复合过程



资料来源：王子磊《晶体硅太阳能电池中载流子选择性接触材料研究》

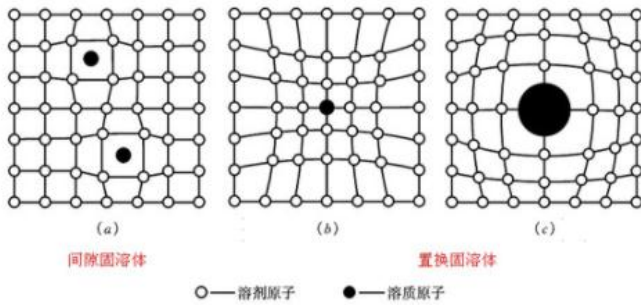
3.1、钝化：有效减少复合

少数载流子的复合是影响电池性能的关键因素，因此界面钝化成为晶体硅太阳能电池提效的关键手段。晶体硅材料体内的缺陷，包括杂质、空位、晶格畸变等，以及材料表面缺陷，如吸附杂质、悬挂键等，会成为载流子的复合中心，从而影响材料的少数载流子寿命。

晶体硅太阳能电池中表面或者晶界的局域态缺陷主要由以下三方面原因引起：

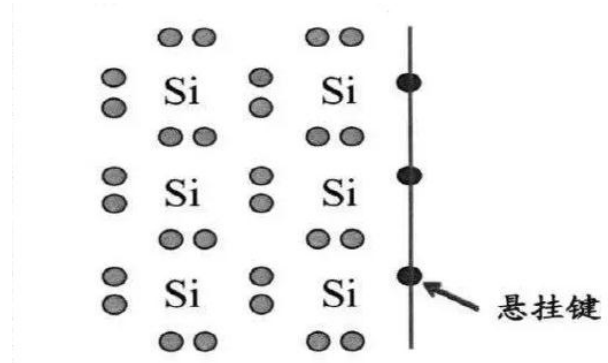
- 1) 悬挂键，主要是由于基体表面断键引起的晶体缺陷。
- 2) 器件制备过程中由工艺引入的杂质掺杂，在高浓度掺杂的情况下会引入死层(未激活的掺杂剂)缺陷从而引起晶格发生畸变。另外，高浓度掺杂情况下会引入俄歇复合。
- 3) 硅晶体在硅锭制备的过程引入了杂质、晶体不良等缺陷。

图 28：晶体缺陷引起晶格局部弹性变形称晶格畸变



资料来源：机电之家

图 29：悬挂键示意图



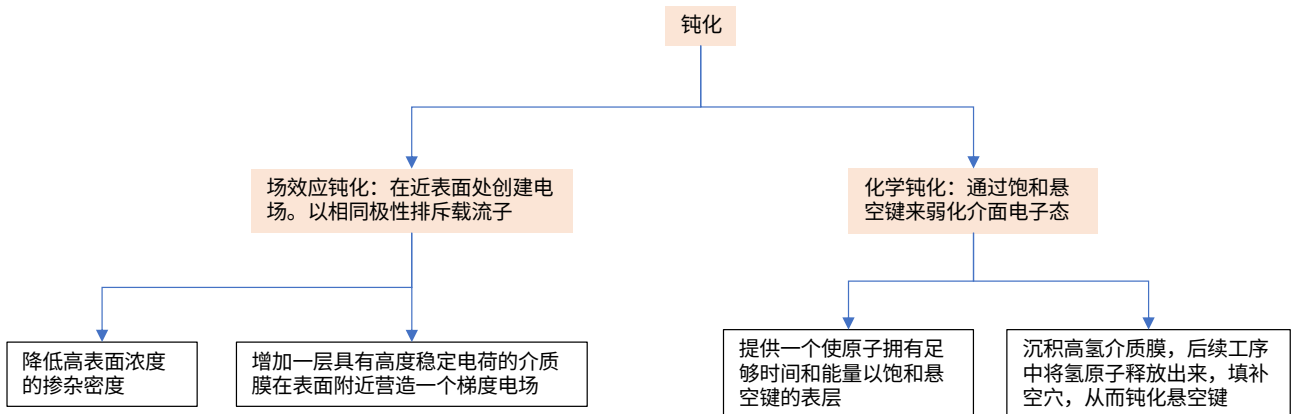
资料来源：索比光伏网

在各种缺陷中，最突出的表面缺陷。在硅片切割过程中，硅原子周期性排列的中断导致悬挂键的存在，从而形成复合中心。而钝化的过程是指通过使已存在的缺陷失去活性，从而达到减少载流子表面复合的作用。主要有两种互补的钝化方法：

(一) 场效应钝化。通过在表面附近产生一个电场，可以阻止类似极性的电荷载流子靠近，从而极大地减少一种极性的载流子达到表面的数量；

(二) 化学钝化。一种是在表面生长一个表面层，使原子有足够的时间和能量达到最佳能级，从而使表面悬空键饱和。另一种是沉积一层富 H 的电介质层，通过其在烧结过程中释放的游离氢来占据悬空键的空位，从而起到钝化效果。

图 30：晶硅太阳能电池的钝化



资料来源：TaiyangNews《TOPCon 电池技术报告》

3.2、钝化层的选择，决定了电池路径

钝化是光伏电池提效的关键，因此选择合适的钝化材料至关重要，需要根据表面电荷特性和电池结构进行合理搭配。而正是不同的钝化结构，决定了不同的电池技术路线。

表 3：各种钝化介质特性

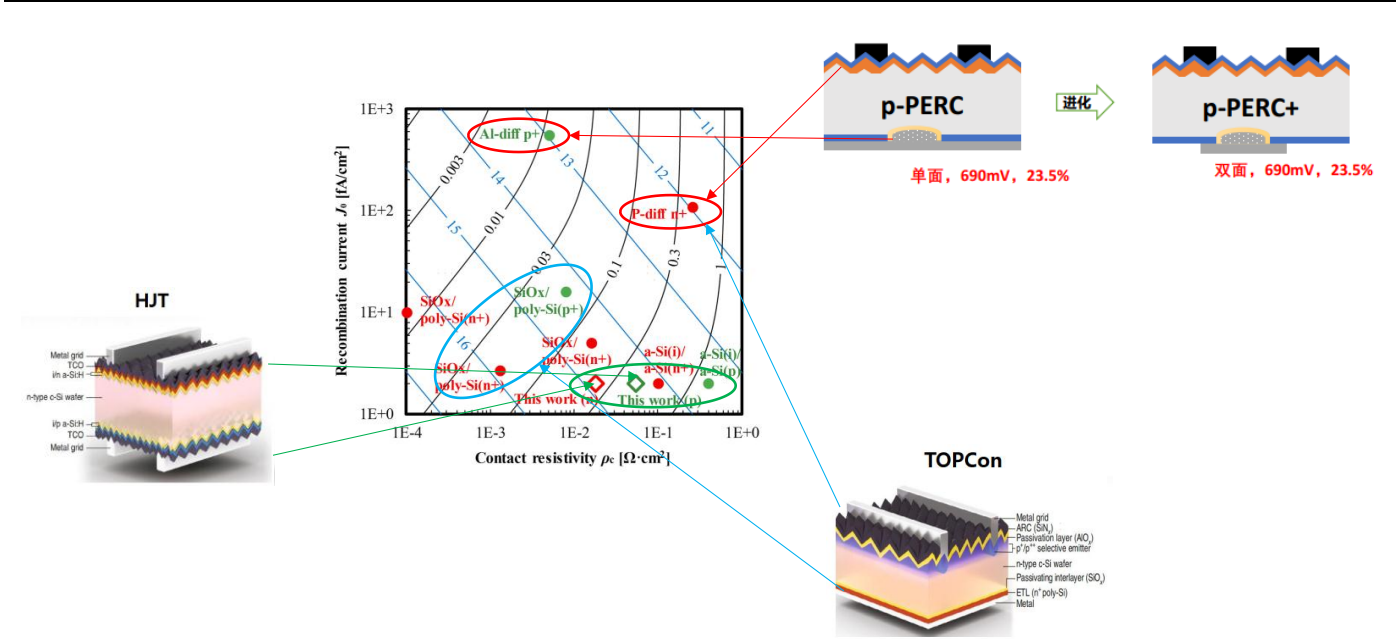
电解质	晶硅类型	量产适用沉积工艺	沉积后续工序中的稳定性	场钝化效应	化学钝化	整体钝化质量	加工费用	PERC 应用量产情况	局限
氧化铝	单晶 多晶	PECVD、ALD、APCVD、溅射	√√	√√√	√√	√√√	√√	√√√	新型材料，需适用昂贵前驱体 TMA
热生长氧化硅	单晶	高温热生长	√	×	√√√	√√√	√	√	沉积极薄薄膜可行的量产方案，但因自身钝化效果不充分，需外覆氧化铝和氮化硅叠层
氮氧化硅	单晶	PECVD	√√√	×	√√	√√	√√√	√√	金属化工序需要特别仔细优化，仅仅适用于单晶硅
碳化硅	单晶 多晶	PECVD	√√	×	√√	×	√√√	×	高密度固定正电荷形成反转层
非晶硅	单晶 多晶	PECVD	√	√√√	√√√	√√√	√√√	√	不适用于一般加工环境，而低温加工可以获得最佳效率（如松下 HIT）
氮化硅	单晶 多晶	PECVD	√√√	×	√√	×	√√√	×	高密度固定正电荷形成反转层

资料来源：公众号光伏百科；√√√极佳；√√优；√可用；×不可用；※直接覆铝后环境温度高于 500 摄氏度时不稳定，需覆膜隔离；※※高于 450 摄氏度时不稳定；

根据 Jan Schmidt 等人 2018 年建立的理论模型，不同的钝化介质会形成不同的钝化界面特性（如饱和电流 J_0 、接触电阻 ρ_c 等），选取电子选择接触层、空穴选择接触层相互组合后，理论上可以计算出不同电池模型的最大效率。

基于此模型和各种钝化膜的钝化和电导性结果，得到了双面 TOPCon 电池的理论极限效率为 28.7%，而 HJT 电池的理论极限效率为 27.5%。

图 31：不同光伏电池的钝化层组合



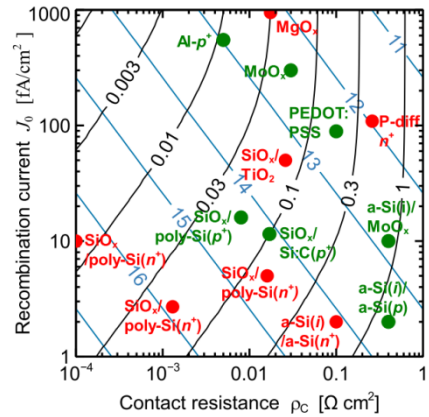
资料来源：Wei Long 《On the limiting efficiency for silicon heterojunction solar cells》，光大证券研究所

图 32：不同电池模型的理论最大效率

Substrate	J_{sc} [%]	Electron-selective contacts 电子选择接触									
		P-diffused [37]	a-Si:H(i)/a-Si:H(n) [38]	th-SiO ₂ /poly-Si(n*) PECVD [34]	th-SiO ₂ /poly-Si(n*) LPCVD [39]	chem-SiO ₂ /poly-Si(n*) LPCVD [40]	SiO ₂ /TiO ₂ [133]	MgO _x [134]			
Hetero-selective contacts	Adapted [61]	11.7	56	12.8	97	12.8	23	12.9	8.4	13.0	1.2
		3.5	24.5	1.3	26.8	1.2	26.9	1.1	27.1	1.6	26.3
		11.8	51	13.2	76	13.3	18	13.5	6.6	13.5	0.90
		464	24.7	152	27.5	144	27.7	134	27.9	133	28.0
		11.9	47	13.6	64	13.8	15	14.2	5.6	14.2	0.80
		21	24.9	6.4	28.1	6.1	28.3	5.8	28.7	5.7	28.7
		11.9	47	13.5	66	13.7	16	14.0	5.8	14.1	0.8
		37	24.9	11	28.0	11	28.2	10	28.5	10	28.6
		11.7	59	12.6	107	12.7	26	12.8	9.4	12.8	1.3
		242	24.4	95.9	26.5	91.5	26.6	85.6	26.8	84.9	26.8
Hetero-selective contacts		11.6	67	12.3	139	12.4	34	12.4	1.8	12.2	16
		14	24.1	6.2	25.9	6.0	26.0	5.7	26.1	5.6	26.1
		11.6	65	12.4	133	12.4	32	12.5	1.7	12.2	16
		47	24.1	21	26.0	20	26.1	19	26.2	19	26.2

资料来源：Jan Schmidt 《Surface passivation of crystalline silicon solar cells: Present and future》

图 33：不同的钝化介质会有的钝化界面特性



资料来源：Jan Schmidt 《Surface passivation of crystalline silicon solar cells: Present and future》

2021 年，隆基公司 Wei Long 等人对该模型进行了修正。采用微晶、纳米晶材料替代原有的 i、p 层非晶硅，得到了更低的钝化膜接触电阻，但钝化特性并没有变差。

根据修正后的结果，双面 TOPCon 电池的理论极限效率为 28.7%，而 HJT 电池的理论极限效率为 28.5%。

图 34：不同电池模型的理论最大效率（隆基）

	Electron selective 电子选择		P-diffused n+		a-Si:H(i)/a-Si:H(n)		Thermal/PECVD SiO ₂ /poly-Si(n+)		Thermal/LPCVD SiO ₂ /poly-Si(n+)		Chemical/LPCVD SiO ₂ /poly-Si(n+)	
	$J_{0,h}$	$\rho_{c,h}$	$J_{0,e}$	$\rho_{c,e}$	$J_{0,h}$	$\rho_{c,h}$	$J_{0,e}$	$\rho_{c,e}$	$J_{0,e}$	$\rho_{c,e}$	$J_{0,e}$	$\rho_{c,e}$
Hole selective 空穴选择			109	0.26	2	0.017	5	0.016	2.7	0.0013	10	0.0001
Al-doped p+	$J_{0,h}$	550	11.7	56.5%	12.9	34.6%	12.8	23.4%	12.9	8.5%	13.0	1.2%
	$\rho_{c,h}$	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)	$J_{0,h}$	2	11.9	45.6%	14.0	24.4%	14.0	14.9%	14.6	5.5%	14.6	0.8%
	$\rho_{c,h}$	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 ₂ /poly-Si(p+)	$J_{0,h}$	16	11.9	46.7%	14.0	23.0%	13.8	15.5%	14.2	5.7%	14.2	0.8%
	$\rho_{c,h}$	0.008	21.4%	24.9	5.9%	28.5	6.1%	28.4	5.8%	28.7	5.7%	28.7

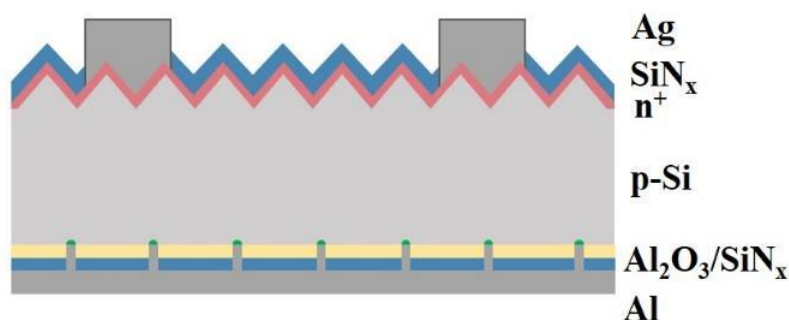
资料来源：Wei Long 《On the limiting efficiency for silicon heterojunction solar cells》

氧化铝：PERC 走向工业化的关键

PERC 电池结构最早于 1989 年由新南威尔士大学 Martin Green 所领导的研究小组提出。该电池正面采用光刻工艺制备“倒金字塔”陷光结构，双面生长高质量氧化硅层，正面氧化硅层作为减反膜，进一步改善正面的陷光效果。背面氧化硅层作为钝化膜，避免背金属电极与硅片全接触。

UNSW 开发的 PERC 系列电池虽然转换效率高，但技术复杂，成本高，特别是需要利用多次光刻和高温热氧化钝化工艺，这导致该系列电池没有走向产业化。真正使 PERC 电池产业化取得突破性进展的是氧化铝应用于太阳能电池做界面钝化层。

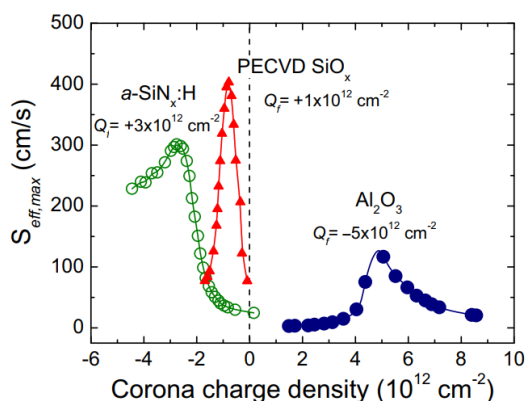
图 35: PERC 电池结构



资料来源: 王子磊《晶体硅太阳能电池中载流子选择性接触材料研究》

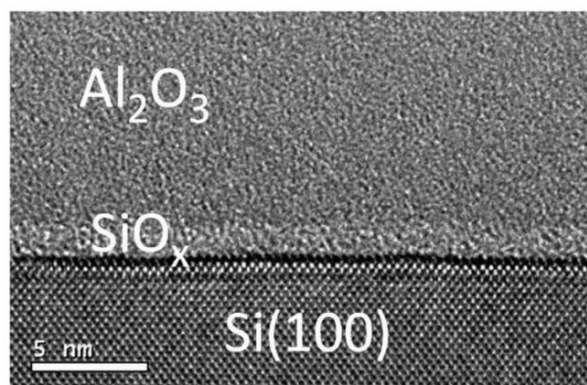
2006 年, G.Agostinelli 等利用原子层沉积 (ALD) 技术在 p 型单晶硅表面沉积 Al_2O_3 薄膜, 将表面复合速率降低至 10cm/s 。2010 年, Thomas Lauermann 等率先将 Al_2O_3 钝化用于 $125\text{mm} \times 125\text{mm}$ 的 p 型 CA 硅片, 背面采用 $15\text{nmALD-}\text{Al}_2\text{O}_3/80\text{nmPECVD-SiN}_x$ 叠层钝化, 效率为 18.6%, 从而促进了大尺寸 PERC 电池的产业化进展。

图 36: 不同钝化介质会的钝化界面特性



资料来源: G. Dingemans《Status and prospects of Al_2O_3 -based surface passivation schemes for silicon solar cells》

图 37: Al_2O_3 钝化界面



资料来源: Jan Schmidt《Industrially relevant Al_2O_3 deposition techniques for the surface passivation of Si solar cells》

对于 p 型表面来说, Al_2O_3 是最佳的钝化材料。

因为:

- 1) 大多数钝化膜都带正电荷, 如氧化硅、氮氧化硅、氮化硅等, 但氧化铝在沉积过程中, 负电荷恰好处在氧化铝和硅晶表面生成的氧化硅界面的交界处, 且负电荷密度高, 可确保产生高效的场钝化效果;
- 2) 氧化铝的化学钝化效果也非常好, 饱和了晶体硅表面的悬空键, 降低了界面态密度。

目前采用 $\text{AlO}_x/\text{SiN}_x$ 叠层钝化膜进行 PERC 电池的后表面钝化。原因主要是:

- 1) 氮化硅层实现对氧化铝层的保护;
- 2) 厚度达到 100nm 以上, 实现内反射。

（氢化）非晶硅：HJT 电池的关键钝化材料

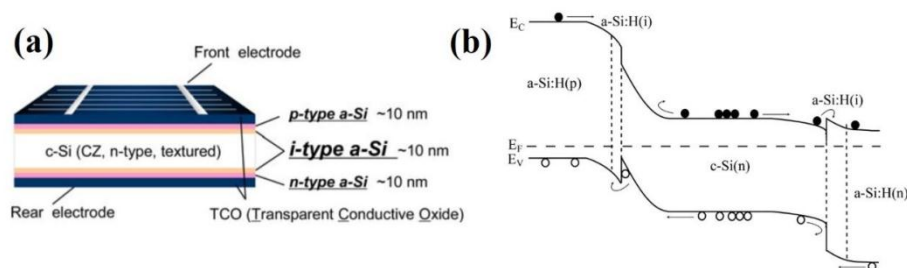
20 世纪 60 年底后期，氢化非晶硅（a-Si:H）的发现引发了研究者极大的兴趣，具有合适的载流子迁移率的 a-Si:H 成为潜在的光伏材料。

研究过程中有两个里程碑：

- 1) 1974 年，Lewis 等解释了氢在饱和 Si 原子悬挂键和形成稳定的互联 Si-H 环结构中的作用；
- 2) 1975 年实现取代掺杂，n 型掺杂（p 型掺杂）通过向硅烷气体中加入磷（乙硼烷）而实现。

1979 年，三洋公司首次发布商用 a-Si:H 太阳能电池，用于手持计算器。20 世纪 80 年代后期，三洋的研究部门用 a-Si:H 和 c-Si 形成硅基异质结，并在 1991 年以商标 HIT 为他们的 a-Si/c-Si 异质结（SHJ）电池的混合设计申请了专利。2011 年专利到期后，国内外开始尝试规模化量产。

图 38：HJT 电池钝化机理



资料来源：王子磊《晶体硅太阳能电池中载流子选择性接触材料研究》

氧化硅（隧穿氧化层）+多晶硅

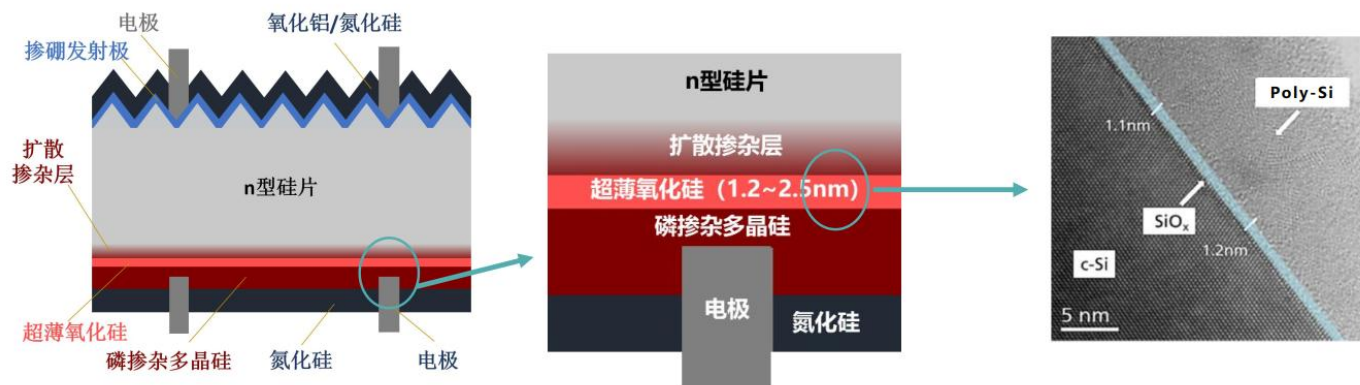
隧穿氧化层钝化接触（tunnel oxide passivated contact, TOPCon）太阳能电池，是 2013 年在第 28 届欧洲 PVSEC 光伏大会上德国 Fraunhofer 太阳能研究所首次提出的一种新型钝化接触太阳能电池。

氢化非晶硅对温度的要求十分苛刻（不超过 200°C），而多晶硅薄膜对温度耐受性高，结合对电子和空穴具有选择性通过的隧穿薄膜形成钝化接触结构，并通过高温扩散工艺完成掺杂的异质发射极。

实际上，多晶硅薄膜发射技术在 1980 年的半导体集成电路工艺上已实现商业化应用。早期的双二极管研究工作中，发现薄 SiO_x 层加掺杂的多晶硅层可以获得低复合速率，并在 1990 年证明可以用于晶体硅太阳能电池的接触钝化。

隧穿层的备选方案包括 Al₂O₃、SiO₂、a-Si:H、SiN_x 等，本来 a-Si:H 是比较理想的，但由于寄生光吸收、热稳定性差等原因，目前晶体硅电池上研究较多和产业化应用的隧穿层主要是 SiO₂ 材料。

图 39：TOPCon 电池钝化机理



资料来源：中科院宁波所《基于 PECVD 的 TOPCon 技术研究进展》

3.3、钝化接触：高效路线的本质

正确理解钝化和接触

在传统铝背场电池和 PERC 电池中，金属与晶硅层是相互接触的，不同的是铝背场电池中采取了面接触（BSF），而改进后的 PERC 电池采取了线接触（LBSF）。

原因在于，尽管全界面钝化对背面钝化效果是最好的，但不能满足金属化的要求，这就需要对背面钝化层进行开孔并实现局域金属接触。一方面，局域接触面积较小，将电极接触处复合降至最低，另一方面，也满足了电流传导的金属化要求。

但是，在金属和半导体的直接接触区域，金属层在接触界面附近的带隙内引入了巨量的电子态，导致电池端有超过 50%的载流子复合损失。

图 40：铝背场电池结构

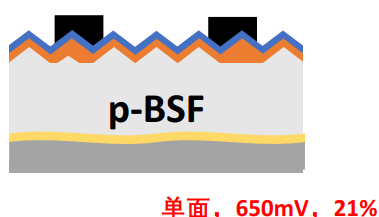


图 41：PERC 电池结构

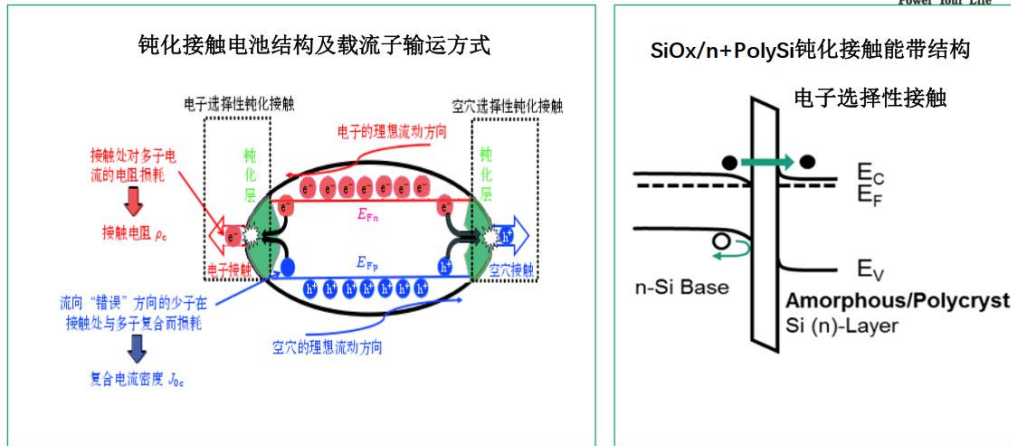


资料来源：通威股份《高效晶硅量产技术趋势》

资料来源：通威股份《高效晶硅量产技术趋势》

除了进行金属接触区域的局部重掺杂，减少金属/半导体的接触面积之外，一个行之有效的办法就是：采用超薄介质薄膜将金属和半导体隔离，钝化硅片表面，同时薄膜可以实现载流子的隧穿效应以保证载流子传导，这种技术被称为钝化（界面）接触（电接触）技术。

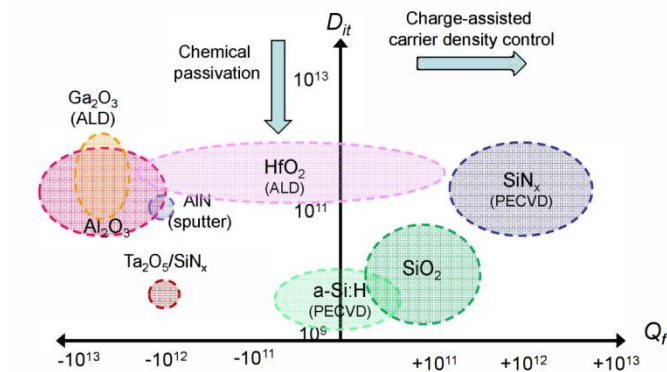
图 42：钝化接触原理



资料来源：宋登元《接触钝化：一种最适合光伏产业升级的高效电池技术路线》

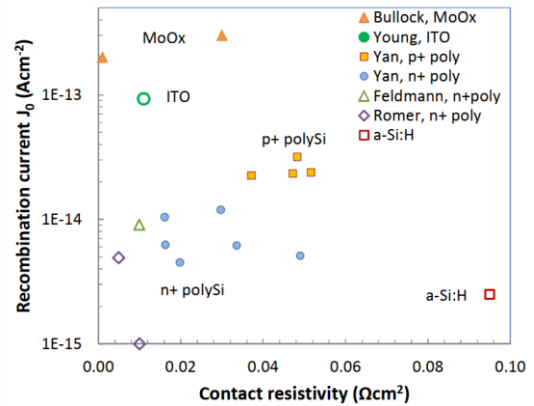
这意味着既要有良好的界面钝化效果，又要能实现良好的电接触，可选择材料包括 Al_2O_3 、 SiO_2 、 a-Si:H 、 SiN_x 等。

图 43：不同隧穿层材料的钝化特性



资料来源：Andres Cuevas《Skin Care for Healthy Silicon Solar Cells》

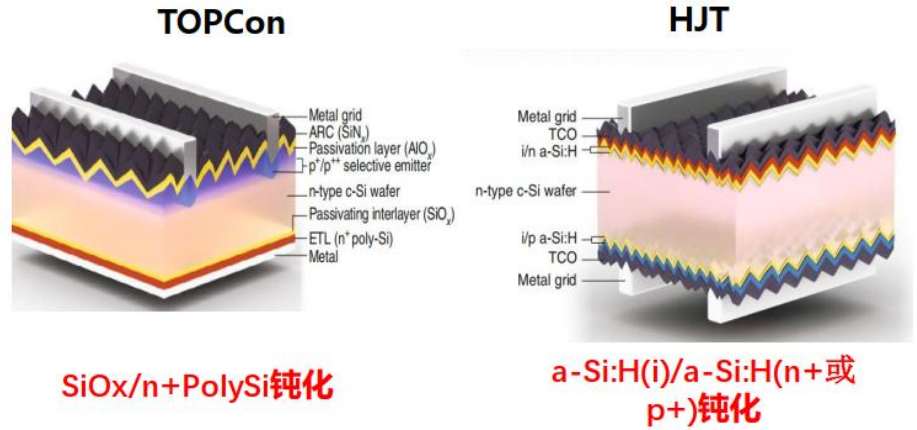
图 44：不同隧穿层材料的钝化特性



资料来源：Andres Cuevas《Skin Care for Healthy Silicon Solar Cells》

从钝化效果来看， SiO_2 、a-Si:H、 $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiNx}$ 具有较好的钝化效果。N+ polySi 和 a-Si:H 具备较低的复合电流，但 a-Si:H 的接触电阻大于 N+ polySi。由于对 SiO_2 、a-Si:H 的钝化路线的选择，形成了 TOPCon、HJT 两大 N 型电池技术路线。又由于 a-Si:H 的热稳定性差，决定了 HJT 需采用低温路线。

图 45：TOPCon、HJT 的钝化结构

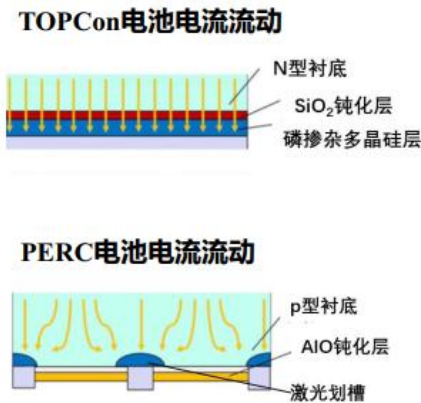


资料来源：宋登元《接触钝化：一种最适合光伏产业升级的高效电池技术路线》

TOPCon:

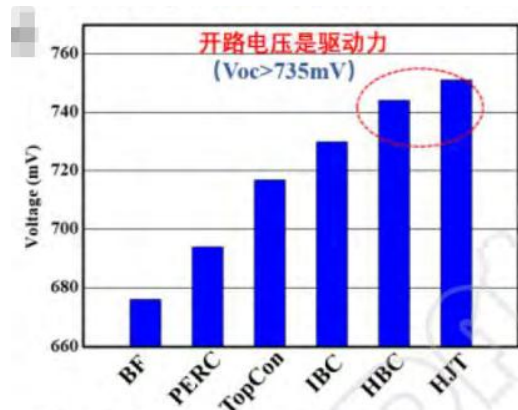
薄 SiO_2 层在接触钝化中起到关键作用，而掺杂多晶硅一方面通过 n+/n 高低场作用减少了硅基体界面处少数载流子密度，另一方面为多数载流子提供良好的传导性能。

图 46：TOPCon 与 PERC 的背面电流示意图



资料来源：宋登元《N 型电池产业化现状与发展趋势》

图 47：不同电池路线的开路电压



资料来源：沈文忠《新形势下晶硅太阳能电池技术发展趋势》

钝化接触效果直接体现在开路电压和短路电流上。

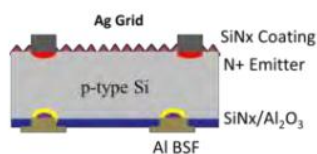
从开路电压 V_{oc} 来看, $HJT > TOPCon > PERC$ 。PERC 普遍不超过 700mV, TOPCon 则处于 720-730mV (单面钝化接触), HJT 则普遍大于 735mV, 甚至接近 750mV (双面钝化接触)。

从短路电流来看, $TOPCon > PERC > HJT$ 。受到前表面寄生吸收的影响, HJT 短路电流较低。

图 48: PERC、TOPCon、HJT 的开路电压、短路电流、效率对比

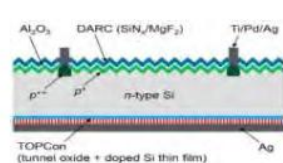
23.95%: PERC mono——JinKo solar

Voc/mV	Isc/mAcm ⁻²	FF/%
690	41.66	83.32



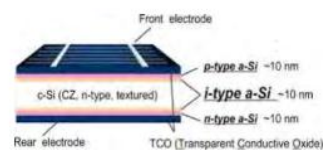
★ 25.8%: TOPCon mono——Fraunhofer

Voc/mV	Isc/mAcm ⁻²	FF/%
724.9	42.5	83.3



26.2%: HIT——隆基

Voc/mV	Isc/mAcm ⁻²	FF/%
746	39.4	84.5



资料来源: 拉普拉斯《TOPCon 电池产业化进展》

4、光伏镀膜工艺：致密性、均匀性、厚度

在确定选择镀膜介质后，不同的设备和工艺路线将对镀膜质量（即致密性、均匀性）产生影响，从而决定了完成钝化所需的膜层厚度。

而在真空镀膜工艺下，镀膜质量本质上与三个要素有关：气场、热场、电场。

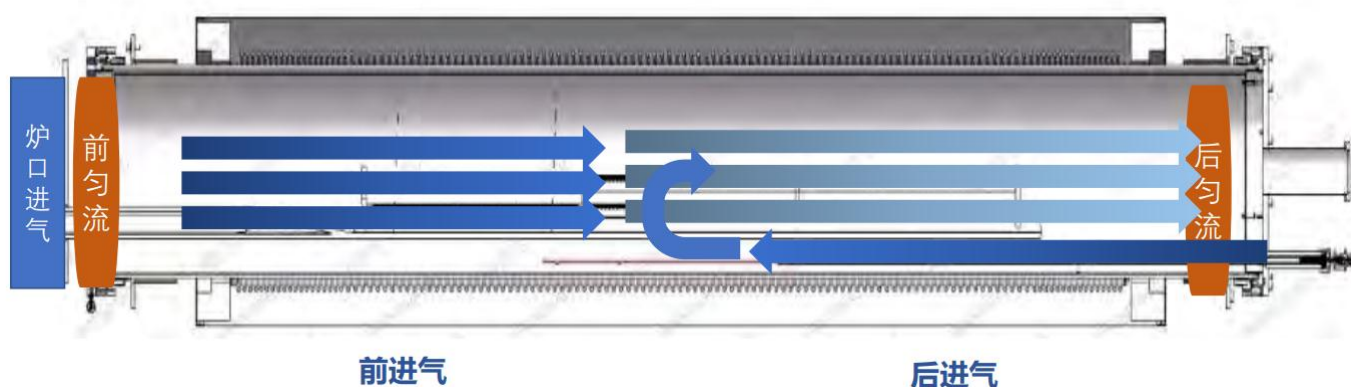
图 49：光伏镀膜工艺的要点



资料来源：光大证券研究所

在气相沉积工艺中，通入气体由反应物质与携带反应物质的惰性气体组成。在大硅片背景下，为了提高单线产能，石英管长度与半径都有增加趋势。此时气场的均匀性受到挑战，为了实现更好的管内气场，前进气、后进气、多段进气等工艺先后得到应用。

图 50：气场示意图（LPCVD）

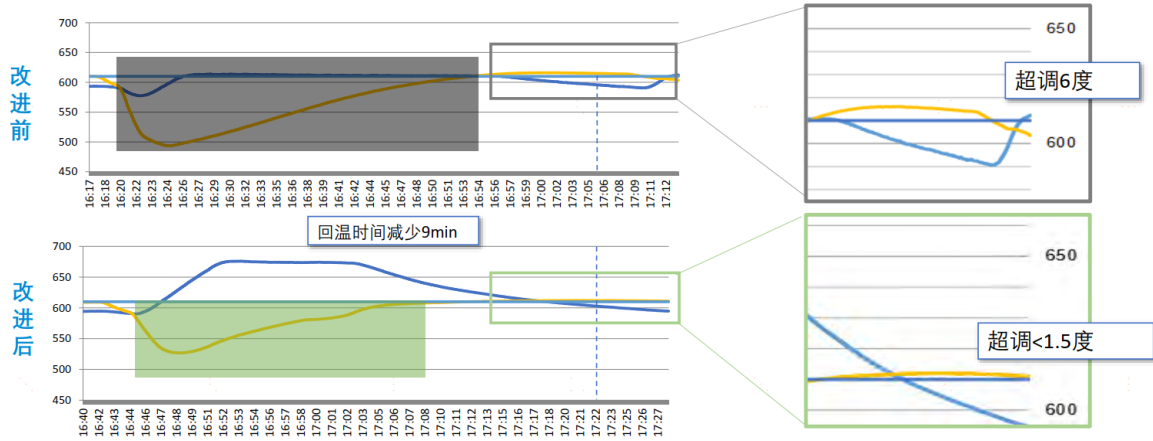


资料来源：北方华创《TOPCon 量产技术路径思考及核心干法工艺装备之实践》

热场的控制关键在于对管内温度更精准的控制。特别是光伏电池效率不断逼近极限，热场的精准调节有助于提高膜层质量。

北方华创温控解决方案：采用多段超长温区温控系统，非对称炉体设计，关键步骤阶梯控温技术，串联低超调快速回温技术，窄温度梯度工艺控制。

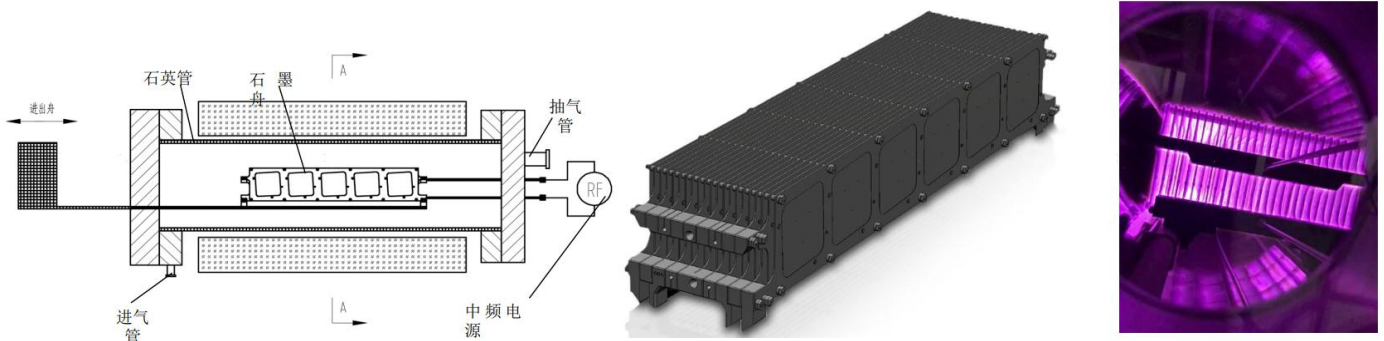
图 51：热场示意图（LPCVD）



资料来源：北方华创《TOPCon 量产技术路径思考及核心干法工艺装备之实践》

在管式 PECVD 中，石墨舟既是载具也是电极，以折叠的形式最大程度提升电极的有效面积。高频电场是制造等离子体的关键。

图 52：PECVD（电场）



资料来源：中科院宁波所《面向 TOPCon 产业应用的 PECVD 技术研究进展》

4.1、真空镀膜工艺总览

薄膜：由原子、分子或离子沉积所形成的二维材料称之为薄膜。

各种薄膜制备技术总体可分为两类：

- 1) 在液相中进行的化学物理制备方法，例如电镀、化学镀、热浸涂、热喷涂等；
- 2) 在气相中进行的化学物理制备方法，例如常规沉积、真空沉积、等离子体沉积、离子束沉积、离子束辅助沉积、等离子体喷涂等。

除常规沉积外，大部分属于真空镀膜的范围，其目的是为了改变基体表面的物理化学性能。

表 4：真空表面处理技术的分类

表面处理目的	处理方法		粒子运动能量/eV	工作方法	
				等离子体	高真空
薄膜沉积（表面厚度增加）	PVD（物理气相沉积）	真空蒸发镀膜	0.1~1	等离子熔射 辉光放电分解	电阻加热蒸发 电子束蒸发 真空电弧蒸发 真空感应蒸发 分子束外延
		真空溅射镀膜	10~100	放电方式：直流、交流、高频 电极数目：1 级、2 级、3 级 反应溅射、磁控溅射、对向靶溅射	离子束溅射镀膜
		真空离子镀膜	数十~5000	直流二极管型 多阴极型 ARE（活性反应蒸镀）型 增强 ARELPPD（低压等离子体离子镀）型 HCD（电弧放电型离子镀）型高频型	单一离子束镀膜 集团离子束镀膜
	CVD（化学气相沉积）			等离子增强化学气相沉积（PECVD）	低压等离子化学气相沉积（LPCVD）
微细加工（表面厚度减少）	离子刻蚀		数百~数千	高频溅射刻蚀 等离子刻蚀 反应离子刻蚀	离子束刻蚀 反应离子束刻蚀 电子束刻蚀 X 射线曝光
表面改性（不改变表面厚度）	离子注入		数百~数千	活性离子冲击 离子氮化	离子注入

资料来源：陆峰《真空镀膜技术与应用》

薄膜沉积设备通常用于在基底上沉积导体、绝缘体或者半导体等材料膜层，使之具备一定的特殊性能，广泛应用于光伏、半导体等领域的生产制造环节。

薄膜沉积设备按照工艺原理的不同可分为物理气相沉积（PVD）设备、化学气相沉积（CVD）设备和原子层沉积（ALD）设备。

1) PVD

物理气相沉积（PVD）技术是指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或分子，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。PVD 镀膜技术主要分为三类：真空蒸发镀膜、真空溅射镀膜和真空离子镀膜。

2) CVD

化学气相沉积（CVD）是通过化学反应的方式，利用加热、等离子或光辐射等各种能源，在反应器内使气态或蒸汽状态的化学物质在气相或气固界面上经化学反

应形成固态沉积物的技术，是一种通过气体混合的化学反应在基体表面沉积薄膜的工艺，可应用于绝缘薄膜、硬掩模层以及金属膜层的沉积。

3) ALD

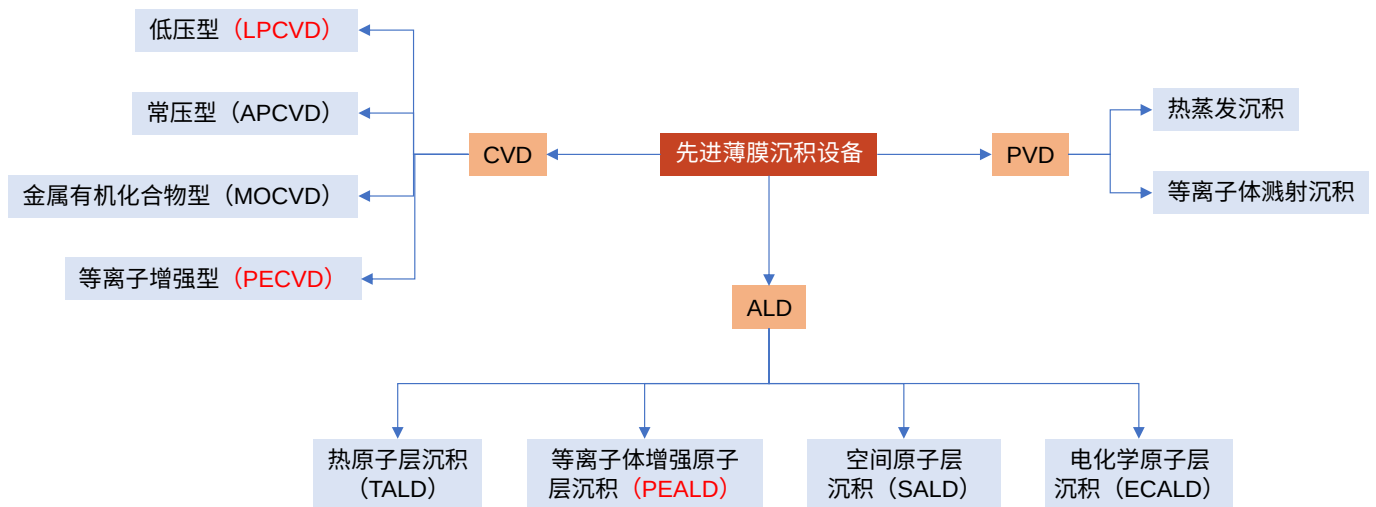
ALD 技术是一种特殊的真空薄膜沉积方法，具有较高的技术壁垒。通过 ALD 镀膜设备可以将物质以单原子层的形式一层一层沉积在基底表面，每镀膜一次/层为一个原子层，根据原子特性，镀膜 10 次/层约为 1nm。

表 5：薄膜沉积技术对比

项目	PVD 技术	CVD 技术	ALD 技术
优势与劣势	(1) 沉积速率较快； (2) 薄膜厚度较厚，对于纳米级的膜厚精度控制差； (3) 镀膜具有单一方向性； (4) 厚度均匀性差； (5) 阶梯覆盖率差。	(1) 沉积速率一般（微米/分钟）； (2) 中等的薄膜厚度（依赖于反应循环次数）； (3) 镀膜具有单一方向性； (4) 阶梯覆盖率一般。	(1) 沉积速率较慢（纳米/分钟）； (2) 原子层级的薄膜厚度； (3) 大面积薄膜厚度均匀性好； (4) 阶梯覆盖率最好； (5) 薄膜致密无针孔。
主要应用领域	(1) HJT 光伏电池透明电极； (2) 柔性电子金属化、触控面板透明电极； (3) 半导体金属化。	(1) PERC 电池背面钝化层、PERC 电池减反层； (2) TOPCon 电池接触钝化层、减反层； (3) HJT 电池接触钝化层； (4) 柔性电子介质层、柔性电子封装层； (5) 半导体介质层（低介电常数）、半导体封装层。	(1) PERC 电池背面钝化层； (2) TOPCon 电池隧穿层、接触钝化层、减反层； (3) 柔性电子介质层、柔性电子封装层； (4) 半导体高 k 介质层、金属栅极、金属互联阻挡层、多重曝光技术

资料来源：微导纳米招股说明书

图 53：薄膜沉积设备技术分类



资料来源：微导纳米招股说明书

CVD 工艺一般需满足三个条件：

1) 先驱反应物全部为气体。若先驱反应物在室温下为气体，则可用简单的沉积装置来满足成膜要求。若先驱反应物在室温下挥发性很少，则需通过加热使其挥发，且同时对从反应源到反应室的管道进行加热，以便采用运载气体将先驱反应物带入反应室；

2) 生成物为固体 (+气体)。生成物除了用于沉积物质为固态薄膜外，其他反应物均为挥发性气体，以便被抽气系统排出；

3) 沉积薄膜物质的蒸气压需足够低，以保证在反应的全过程中沉积物质能够在一定温度的基体上形成薄膜。

表 6：常见的薄膜生成原理

目标薄膜	反应物	生成物
SiNx	SiH ₄ (气) + 4NH ₃ (气)	Si ₃ N ₄ (固) + 12H ₂ (气)
AlxOy	TMA(Al ₂ (CH ₃) ₆)三甲基铝 (气) + N ₂ O (气)	AlxOy (固) + CO ₂ (气) + H ₂ O (气) + N ₂ (气)
SiO ₂	SiH ₄ (气) + N ₂ O (气)	SiO ₂ (固) + H ₂ O
Si	SiH ₄ (气)	Si (固) + H ₂ (气)

资料来源：陆峰《真空镀膜技术与应用》、光大证券研究所

图 54：PERC、TOPCon、HJT 电池中镀膜工序

PERC	TOPcon			HJT	
制绒	制绒			硅片吸杂	
磷扩散	硼扩散			背面抛光	
激光SE	SE预留			清洗制绒	
PSG刻蚀和背面抛光	BSG刻蚀和背面抛光				
	LPCVD ex-situ 隧穿层+a-Si (i)	LPCVD/PVD in-situ 隧穿层+a-Si (n)	PECVD 隧穿层+a-Si (n)	PECVD制备双面非晶 硅掺杂层	Cat-CVD制备双面非 晶硅掺杂层
	磷扩散	退火	退火		
	去绕镀	去绕镀	清洗	PVD制备双面TCO	RPD制备双面TCO
背面Al ₂ O ₃	正面Al ₂ O ₃				
正面+背面SiNx	正面+背面SiNx				
激光开槽					
丝网印刷	丝网印刷			丝网印刷	
烧结	烧结			烧结	
光注入退火增效	光注入退火增效			光注入退火增效	

资料来源：中科院宁波所《基于 PECVD 的 TOPCon 技术研究进展》

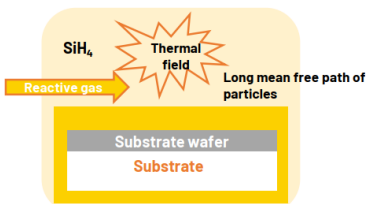
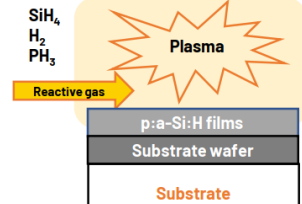
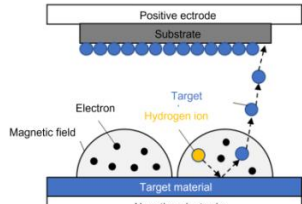
4.2、TOPCon 镀膜设备

TOPCon 电池中，主要针对标志性的隧穿氧化层和掺杂多晶硅层进行分析。

隧穿 SiO₂ 层：可采用热氧化法、PECVD、PEALD 等镀膜方法；

掺杂多晶硅层：主要有 LPCVD、PECVD 两种路线。

表 7：TOPCon 技术路线对比

	LPCVD	PECVD	PVD
原理	在低压下用热力活化气体物质，使其分解或发生化学反应，然后沉积在基材表面形成所需薄膜	在微波或射频的帮助下，将含有薄膜原子变成等离子体状态，等离子体化学活性强，易于反应，在基材上沉积所需薄膜	在真空条件下，通过物理方法（真空溅射镀膜）将材料沉积在工件上的薄膜制备技术
			
优点	技术成熟，更容易控制，厚度均匀性好，致密度高	原位掺杂，轻微环绕，冷壁，成膜速度快	原位掺杂，无绕镀，冷壁，成膜速度快
缺点	薄膜沉积速度慢并且有绕镀问题，需要高温，石英器件沉积严重	厚度均匀性有较大提升空间，纯度低。气泡问题导致膜层致密度低	设备资本支出高，靶材消耗大，正常运行时间短
成膜速度	5-8nm/min（本征）； 1-3nm/min（原位掺杂）	>10nm/min（原位掺杂）	>10nm/min（原位掺杂）
掺杂	二次掺杂 POCl ₃ 扩散或离子注入结合退火	原位掺杂	原位掺杂
绕镀	绕镀，需要额外的蚀刻并且控制更复杂蚀刻工艺	轻微绕镀，容易去除	无绕镀
处理时间	沉积本征硅（>120 分钟）POCl ₃ 扩散或离子注入结合退火	原位掺杂硅沉积（20-40 分钟），结晶和退火（30 分钟）	NA
良率	90%-98%	预计高于 LPCVD，但仍有待证实	97%（中来）
设备要求	扩散炉或离子注入设备/退火炉，蚀刻机	结晶过程需要退火炉，这取决于设备自带的技术方案	隧穿氧化层需要 PECVD 设备；结晶过程需要退火炉，取决于设备自带的技术解决方案
常见问题	绕镀，石英沉积	泡沫，粉末	正常运行时间低
主要制造商	拉普拉斯、SEMCO、丹普、普乐新能源、捷佳伟创、北方华创、红太阳	捷佳伟创、红太阳、金辰、微导（SiO ₂ :PEALD&n-Poly:PECVD）	杰太

资料来源：InfoLink Consulting

对比不同厂家的设备参数，目前采用 LPCVD 的厂家主要有：拉普拉斯、北方华创、松煜、红太阳、赛瑞达；采用 PECVD 路线的厂家主要有：捷佳伟创、金辰。不同的技术路线的区别点主要在于产能、良率、均匀性等指标。

表 8：不同厂家的设备参数对比

	拉普拉斯	北方华创	松煜	红太阳	赛瑞达	捷佳伟创	金辰	微导
工艺	2 in 1	2 in 1	2 in 1	2 in 1	2 in 1	3 in 1	3 in 1	3 in 1
	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2	隧穿 SiO2
	(热氧)	(热氧)	(热氧)	(热氧)	(热氧)	(PECVD)	(热氧)	(PEALD)
	+ 非原位 Poly (LPCVD)	+ 非原位 Poly (LPCVD)	+ 非原位 Poly (LPCVD)	+ 非原位 Poly (LPCVD)	+ 非原位 Poly (LPCVD)	+ 原位 Poly (PECVD)	+ 原位 Poly (PECVD)	+ 原位 Poly (PECVD)
模式	管式	管式	管式	管式	管式	管式	管式	管式
原位掺杂	可选	可选	可选	可选	可选	是	是	是
硅片尺寸 (mm)		156-210	156-210	156-230	166-230	156-210	156-210	156-210

硅片摆放	水平	垂直	垂直	垂直	垂直	垂直	垂直	垂直
管数	5/6 管	5/6 管	5 管	5 管	5/6 管	4/5/6 管	4/5/6/10 管	-
绕镀	是	是	是	是	是	少	少	少
每个真空腔中硅片数	2400 片/腔 @M10 2000 片/腔@G12	1600 片/腔	1200 片/腔	2200 片/腔@M6 2000 片/腔 M10 1800 片/腔@G12	1320 片/腔 M10 1100 片/腔@G12	-	580 片/腔@16X 504 片/腔@18X 432 片/腔@210	580 片/腔@18X 486 片/腔@G12
产能 (片/小时)	6000 (本征膜) 2800 (原位掺杂)	-	-	7100 @ 166 6200 @ 182 5700 @ 210	4300@M10 3600@G12	-	-	4800@M10 4000@G12
良率	-	-	>=96%		>=96%	>=97%	-	>=98%
温度区间	400-1100°C	-	350-850°C	500-750°C	500-700°C	200-550°C	350-500°C	100-600°C
厚度均匀性	批间 3%	批间 3%	批间 4%	批间 5%	批间 3%	批间 5%	SiO2: 4% Poly: 5%	批间 3%
	片间 5%	片间 3%	片间 4%	片间 5%	片间 3%	片间 5%		片间 3%
	片内 5%	片内 3%	片内 3%	片内 5%	片内 4%	片内 4%		片内 3%
客户	晶科、捷泰	天合、一道	亿晶、日升	顺风、晶澳	天合	晶澳、天合、通威	晶澳、日升	通威、尚德 BYD

资料来源: InfoLink Consulting

从终端电池片厂商的选择来看,拉普拉斯的 LPCVD 路线具备先发优势,目前已在晶科、捷泰、通威、正泰等厂商实现应用;捷佳伟创的 PECVD 路线亦取得较快进步,主要在天合、晶澳、通威等厂商实现应用;微导主要采用 PEALD+PECVD 路线,目前也已取得小范围供货;中来股份采用独特的 POPAID 路线,主要设备由杰太供应。

表 9: TOPCon 扩产厂商设备选择

公司				中来	中来	晶科	晶科	通威	通威	捷泰	正泰	正泰	一道	一道	天合	天合	晶澳	晶澳	
产能 (MW)				3600	4000	8000+8000	8000+11000	1000	8000	8000	250	2000	250	1000	500	8000	RD	1300	
地点				泰州	太原	合肥	海宁	眉山	眉山	滁州	海宁	海宁	衢州	泰州	宿迁	宿迁	扬州	宁晋	
尺寸				M6/M10	M10/G12	M10	M10	G12/M10	M10	M10	M6	M10	G1	M10	G12	G12R	-	M10	
Poly 技术路线				LP/PVD*	PVD	LP	LP	LP/PE	PE	LP	LP	LP	LP	LP/PE*	LP/PE*	PE	LP/PE	LP/PE	
清洗制绒				无锡琨圣	无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创 无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	
硼扩				拉普拉斯	拉普拉斯	拉普拉斯	拉普拉斯	捷佳伟创	北方华创	拉普拉斯	SMECO	北方华创	松煜	北方华创	北方华创 赛瑞达	赛瑞达 捷佳伟创	北方华创 松煜	红太阳	
BSG&背刻蚀				无锡琨圣	无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创 微导	捷佳伟创	无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创 无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	
隧穿层 +n-Poly-Si	1 2.LP 一次 硼扩	隧穿氧化物	热处理	拉普拉斯 普乐 松煜		拉普拉斯	拉普拉斯	拉普拉斯		拉普拉斯	SMECO 红太阳	拉普拉斯	松煜	北方华创	北方华创 赛瑞达		北方华创 松煜	红太阳	
		i-Poly-Si	LPCVD																
		n-Poly-Si	磷扩散																
	3	隧穿氧化物	PEALD					微导					微导						
		n-Poly-Si	PECVD																
			退火																
	4	隧穿氧化物	热处理															金辰	
		n-Poly-Si	PECVD																
			退火																
	5	隧穿氧化物	PECVD						捷佳伟创	捷佳伟创					捷佳伟创 (RD)	捷佳伟创 赛瑞达		捷佳伟创 红太阳	
		n-Poly-Si	PECVD																
			退火																
	6	隧穿氧化物	PECVD	杰太	杰太														
		n-Poly-Si	PVD																
			退火																
清洗制绒				无锡琨圣	无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创 无锡琨圣	捷佳伟创	捷佳伟创	
前表面 Al2O3				理想	理想	理想	微导	微导	微导	微导	理想	理想	微导	微导	理想	理想	理想	微导	

前表面 SiNx	红太阳 捷佳伟创	红太阳	北方华创 捷佳伟创	北方华创 捷佳伟创	捷佳伟创	北方华创 捷佳伟创	捷佳伟创	Fullshare	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创 赛瑞达	CT	红太阳
背表面 SiNx	红太阳 捷佳伟创	红太阳	北方华创 捷佳伟创	北方华创 捷佳伟创	捷佳伟创	北方华创 捷佳伟创	捷佳伟创	Fullshare	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创	捷佳伟创 赛瑞达	CT	红太阳
丝网印刷	科隆威	科隆威	迈为	迈为	迈为	迈为	迈为	科隆威	科隆威	迈为	迈为	迈为	迈为	应材	科隆威 应材

资料来源：InfoLink Consulting

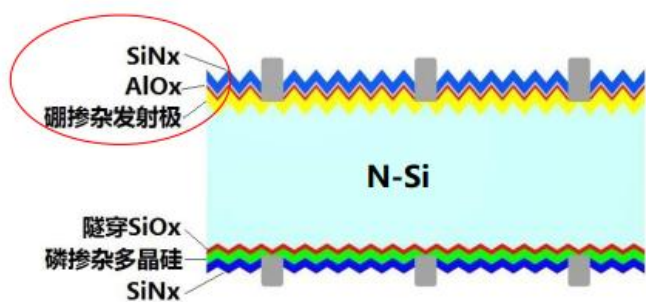
4.2.1、镀膜的质量与厚度

氧化铝

作为 P 型表面绝佳的钝化材料， Al_2O_3 自带负电荷，可以同时提供化学钝化和场钝化效应，在 PERC 电池背表面钝化过程中起到重要作用。目前，TOPCon 电池正表面钝化仍采用 Al_2O_3 。

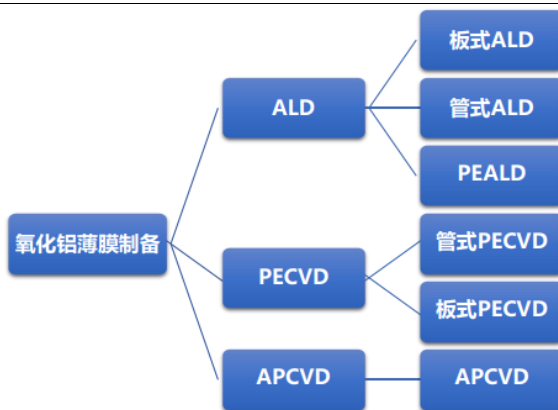
在制备方法上,可供选择的路线通常包括 ALD、PECVD、APCVD 等。

图 55: TOPCon 电池正面采用 Al_2O_3 钝化



资料来源：宋登元《N型电池产业化现状与发展趋势》

图 56: Al_2O_3 薄膜制备方法

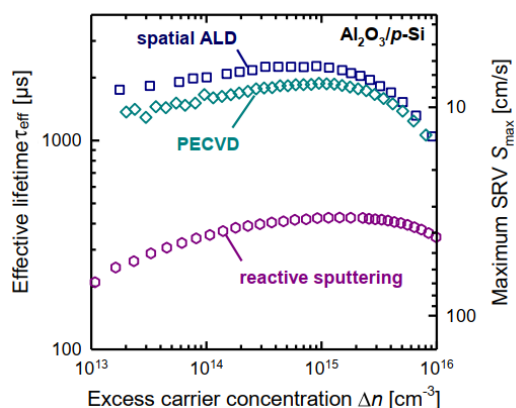


资料来源：宋登元《N型电池产业化现状与发展趋势》

根据丁建宁《高效晶体硅太阳能电池技术》，PECVD 可以在同一设备完成氧化铝和氮化硅薄膜沉积，工艺集成性好，但 PECVD 沉积的氧化铝致密性略差，钝化效果不如 ALD，因此 PECVD 沉积氧化铝厚度一般需大于 15nm。根据宋登元《N 型电池产业化现状与发展趋势》，3-5nm 氧化铝薄膜效果最好，复合降到电流 $15\text{fA}/\text{cm}^2$ 以下。

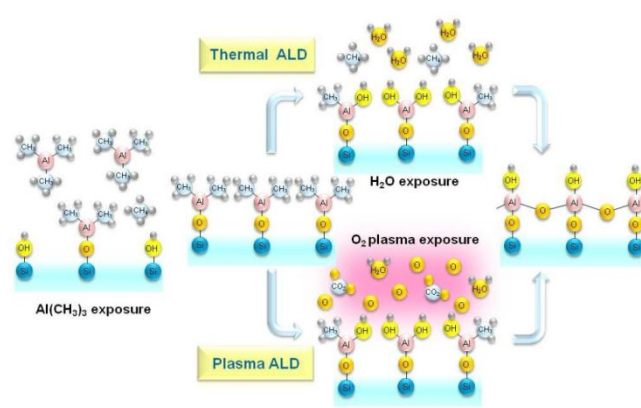
Jan Schmidt 等人研究表明, 各种沉积氧化铝技术中, 按钝化效果排序: ALD>PECVD>溅射。原因在于, ALD 沉积氧化铝由两个自限半反应组成, 每次反应被限制在一层原子, 通过交替通入反应物, 氧化铝得以一层一层生长, 所以其结构致密, 钝化效果好。

图 57：氧化铝沉积技术对比



资料来源：Jan Schmidt 《Industrially relevant Al₂O₃ deposition techniques for the surface passivation of Si solar cells》

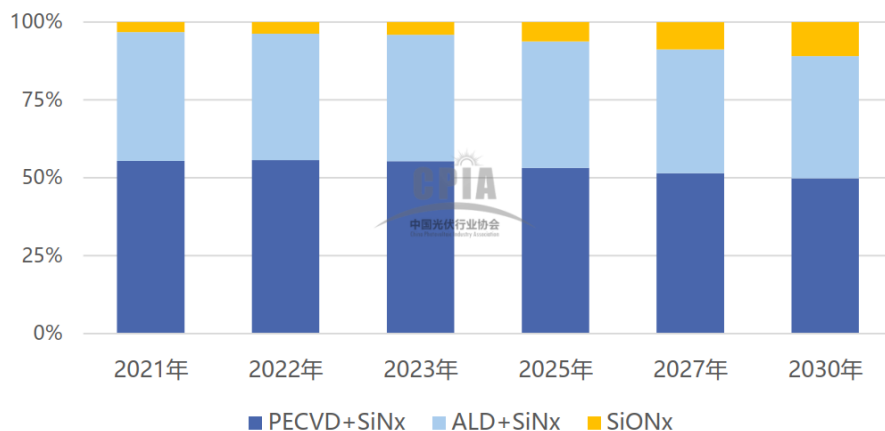
图 58：ALD 沉积氧化铝由两个自限半反应组成



资料来源：Jan Schmidt 《Industrially relevant Al₂O₃ deposition techniques for the surface passivation of Si solar cells》

根据 CPIA 《中国光伏产业发展路线图(2021 年版)》，ALD 沉积技术有更精确的层厚控制和更好的钝化效果，2021 年在 PERC 电池背钝化市场占比约 41.4%。而在 TOPCon 正面钝化领域，我们估计 ALD 沉积氧化铝市占率更高。根据微导公司披露，截至 2022 年 9 月，公司已斩获 TOPCon 等相关新型高效电池订单近 80GW。

图 59：PERC 电池背钝化技术市场占比



资料来源：CPIA

氧化硅（隧穿氧化层）

在 TOPCon 电池钝化结构中，SiO₂ 膜具有重要作用。它的钝化效果很好，但却是绝缘的。目前有两种导电机理可以使得电流通过这层绝缘膜：

- 1) 针孔作用；
- 2) 隧穿机理。

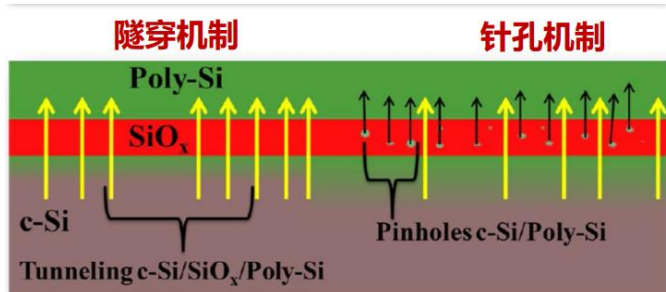
根据宋登元《N型电池产业化现状与发展趋势》，SiO_x在不同厚度下，载流子隧穿机制有所不同：

- 1) SiO_x<1.6nm，载流子穿过氧化硅层是隧穿机制；
- 2) SiO_x>2nm，载流子穿过氧化硅层是针孔机制+隧穿机制；
- 3) 1.43nm 和 1.25nm，FF 较差由于隧穿导电机制不能提供充足的导电，不能较好阻挡磷杂质进入硅衬底；
- 4) SiO_x=1.55nm，得到比较好的钝化效果。

SiO₂膜制备方法可以包括：湿法氧化、热氧化、PECVD、PVD、ALD。从致密度排序来看，ALD 制备的膜钝化效果最佳，其次是热氧化法，其次是 PECVD，最后是湿法氧化。

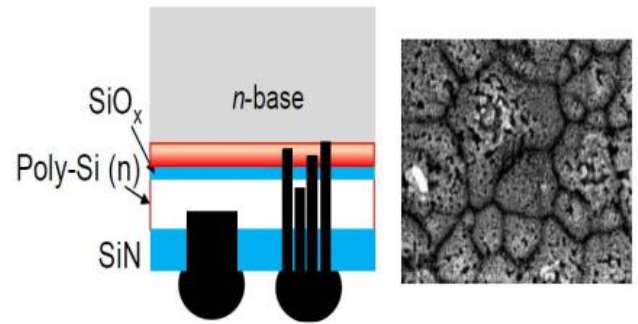
一般情况下，ALD-SiO₂膜在 0.7nm，而热氧-SiO₂需达到 1.3nm。

图 60：载流子隧穿机制



资料来源：宋登元《N型电池产业化现状与发展趋势》

图 61：过薄的多晶硅层会导致金属浆料烧穿



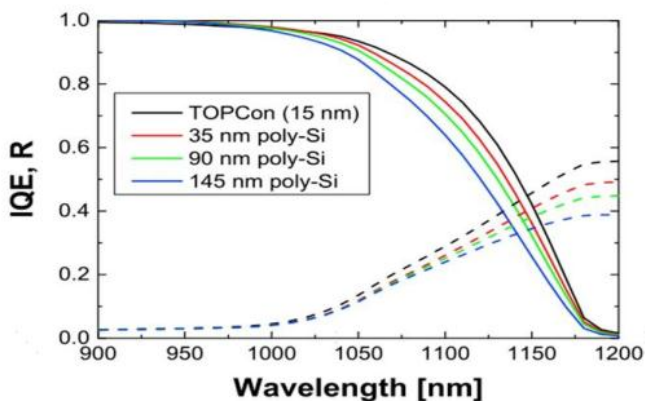
资料来源：宋登元《接触钝化：一种最适合光伏产业升级的高效电池技术路线》

掺杂多晶硅

目前多晶硅膜厚度为 120-150nm。理论上讲，多晶硅层越厚，越不容易烧穿，金属化烧结窗口越宽，但硅带来显著的长波段寄生吸收，导致短路电流损失。

将背表面多晶硅薄膜的表面掺杂浓度及厚度降低，可以有效减少光学的 FCA 损失，但过薄的多晶硅层会导致金属浆料烧穿，需结合金属化过程进行综合分析。

图 62：背表面多晶硅薄膜减薄有助于提升电池效率



资料来源：宋登元《N型电池产业化现状与发展趋势》

图 63：背表面多晶硅薄膜寄生吸收原理

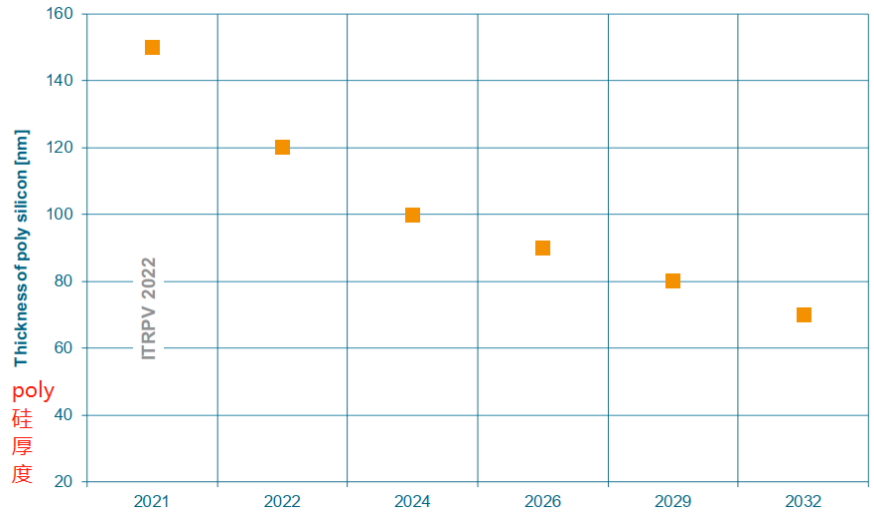
$$I = I_0 \exp(-a \times d)$$

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 穿过Poly-Si后的入射光强度 入射光强度 Poly-Si吸收系数 Poly-Si厚度

资料来源：晶科《量产 n 型 TOPCon 电池产品创新与技术进步》

根据 ITRPV 《2022 年国际光伏技术路线图》，TOPCon 电池中 poly 硅厚度将保持下降趋势，由 2022 年的 120nm 下降至 2029 年的 80nm。

图 64：背表面多晶硅薄膜厚度下降趋势预测

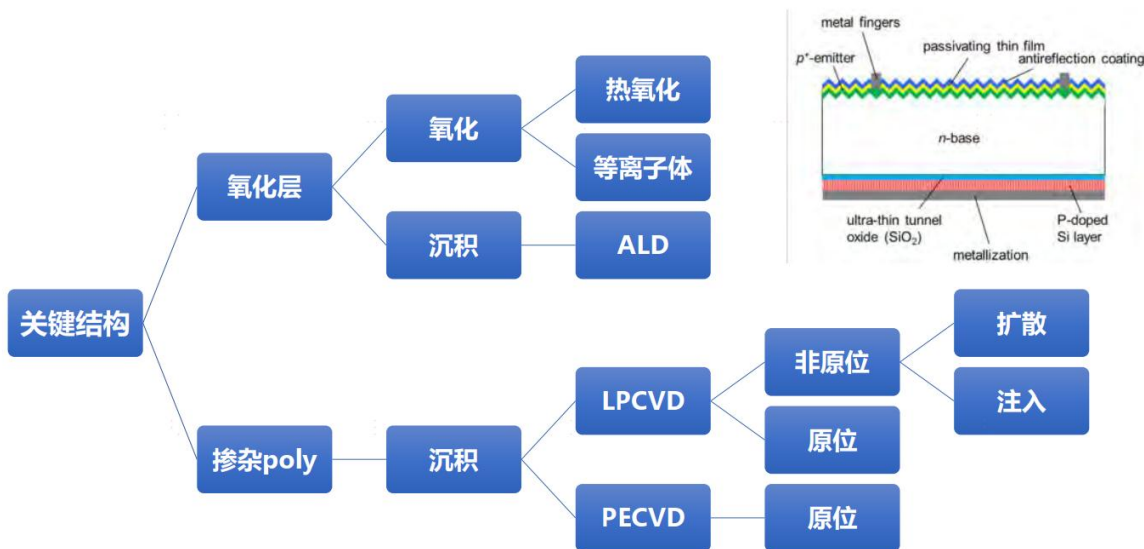


资料来源：ITRPV

4.2.2、趋势：LP 与 PE 路线

对于 TOPCon 电池中掺杂 poly 硅沉积，目前主要有 LPCVD 和 PECVD 两大路线。并由此衍生出原位掺杂和非原位掺杂两条路径。

图 65：关键结构的制程选择



资料来源：北方华创《TOPCon 量产技术路径思考及核心干法工艺装备之实践》

LPCVD 制备 poly 硅的工艺相对成熟，且成膜质量好，但缺点在于成膜速率低，特别是进行原位掺杂时速率更低。且容易产生绕镀，在石英管和石英舟上也沉积非晶硅膜，造成维护周期短，去绕镀难度高。

PECVD 制备 poly 硅的工艺属于新技术,优点在于沉积速率快,且可实现原位掺杂。但其缺点在于制备的膜中氢含量较高,在后期高温退火过程中容易析出气泡,造成钝化膜破损。

表 10: LPCVD 和 PECVD 镀膜特性

	LPCVD	管式 PECVD	板式 PVD
工作原理	将一种或数种气态物质,再较低压力下,用热激活能,使其发生热分解反应,沉积在衬底表面形成所需薄膜	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	在真空条件下,用物理的方法(真空溅射镀膜),使材料沉积在被镀工件上的薄膜制备技术
成膜速率	5-8nm/min (intrinsic) 1-3nm/min (in-situ doping)	>10nm/min (in-situ doping)	>10nm/min (in-situ doping)
WPH/台	单插: 4300pcs, 双插: 8000pcs	4200pcs	8000pcs
掺杂方式	P 扩散/离子注入 原位掺杂 (增加退火)	原位掺杂 (增加退火)	原位掺杂 (增加退火) PVD 硅 (靶材), PECVD 磷 (PH3)
隧穿氧化层生长方式	原位/热氧化	PEALD(甲基硅烷)、O2 plasma、N2O plasma	连续 O2 plasma、N2O plasma
绕镀情况	LAPLACE 水平插片: 四周均匀、10mm 以内 (已解决,年底推广) 竖直插片: 四周不均匀, 10-30mm	绕镀面积较小, 边缘 2mm 以内	取决于上下镀膜方式以及载板设计, 边缘 2mm 以内或边缘无膜
运行成本 (石英件维护)	石英舟寿命>6 个月/清洗周期 15 天 石英管寿命 4-12 个月 (不清洗+涂层) 个别厂家使用金属套管存在掉渣风险	石墨舟清洗周期 30-40run	板式运行方式, 容易掉片, 开腔维护保养时间长, uptime 低 保养周期 30 天, 保养时间 2 天; 换靶材需要 3 天;
效率	GW 量产效率 24.9%研发实验室最高效率 25.7%	待 GW 级量产验证	量产效率 24.5%
优势	1、热氧化、原位生长氧化质量高; 2、氧化层厚度与温度线性关系较好; 3、Poly 生长质量高, 钝化效果高。	1、镀膜速率快, 单机台产能大, 投入成本低 2、绕镀<2mm, 清洗容易	1、无绕镀, 清洗方式简单
劣势	1、石英件寿命较低, 影响运营成本	1、氧化层生长不均匀效率离散性较高 2、原位掺杂会导致陶瓷环导电, 石墨舟维护周期短; 3、存在掉片问题; 4、PH3 耗量高	1、设备 uptime 低, 下镀膜碎片清理较难, 故障率高; 2、设备价格昂贵; 3、边缘无膜, 清洗需要单独处理, 影响效率;

资料来源: 拉普拉斯《高温钝化接触电池技术路线分析及设备发展方向》

图 66: LPCVD 和 PECVD 镀膜优劣势对比

LPCVD 的主要优势

- 技术较成熟, 兼容现有产线, 被行业熟知;
- 集成度高, 氧化硅与非晶硅可以单管集成;
- 成膜质量好, 无脱膜现象;
- 装备产能大、成本不高、占地面积小;
- 电池效率高, ~24.5%;

LPCVD 的主要不足

- 成膜速率低: 本征非晶硅成膜速率低; 原位掺杂非晶硅的成膜速率更低, 且厚度均匀度控制难度大;
- 二次掺杂: 通常需结合二次磷扩散;
- 绕镀严重: 严重的非晶硅绕镀, 部分解决方案会降低产能; 刻蚀绕镀层需增加设备及工艺、且控制难度大;
- 耗材: 需定期停机维护, 更换石英炉管和载具, 新换石英管需做预镀处理;
- 其它: 热氧化硅均匀性尚未彻底解决; 制备硼掺杂的 TOPCon 结构的难度显著增大;

PECVD 的优势

- PECVD 非晶硅沉积速率快、且可实现原位掺杂, 可将沉积过程工艺总时间控制在~35 min;
- PECVD 会在硅片侧面及电池正面边缘区仍会产生轻微且规则的绕镀区, 但绕镀区易于去除;
- PECVD 的非晶硅仅沉积在石墨舟上, 可定期清洗石墨舟; 无石英管耗材、无需预镀石英管;

PECVD 的主要不足

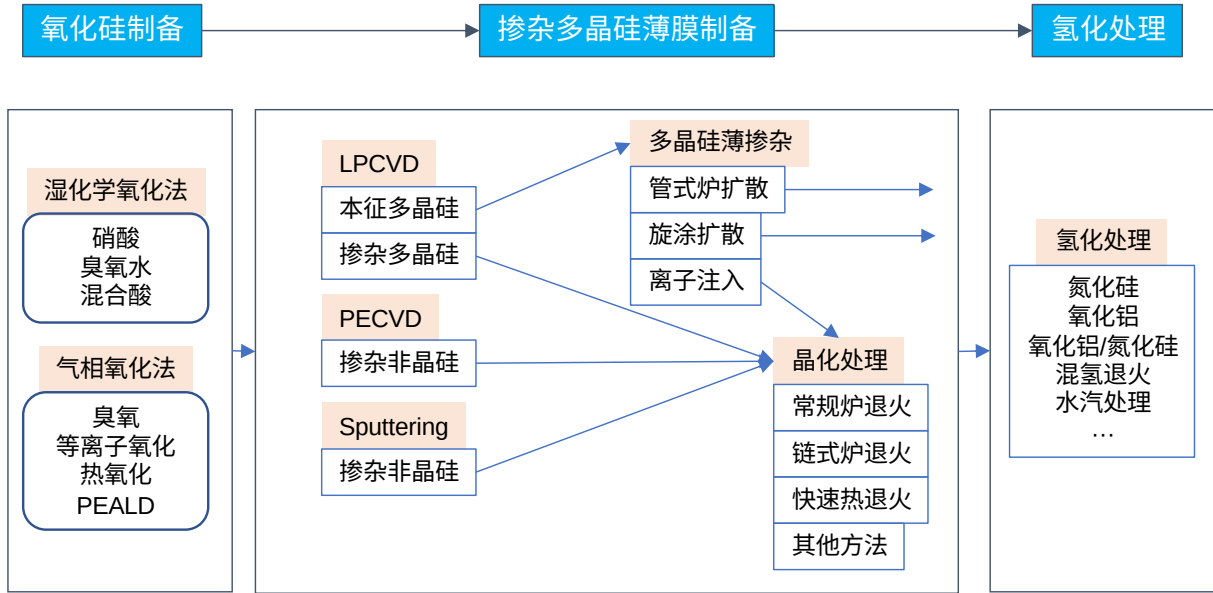
- PECVD 沉积非晶硅薄膜易出现脱膜;
- PECVD 技术路线仍存在竞争;
- PECVD 氧化硅技术路线尚未优化;
- PECVD 技术核心装备、工艺制程、关键辅材尚未配套到位, 电池效率仍待提高;

资料来源: 宁波所《基于 PECVD 的 TOPCon 技术研究进展》

原位掺杂与非原位掺杂

由于 LPCVD 在原位掺杂中成膜速率较慢（1-2nm/min），所以一般 LPCVD 路线搭配非原位掺杂，在制备本征多晶硅后再进行磷掺杂。PECVD 则一般搭配原位掺杂，在形成多晶硅层的同时实现磷掺杂。

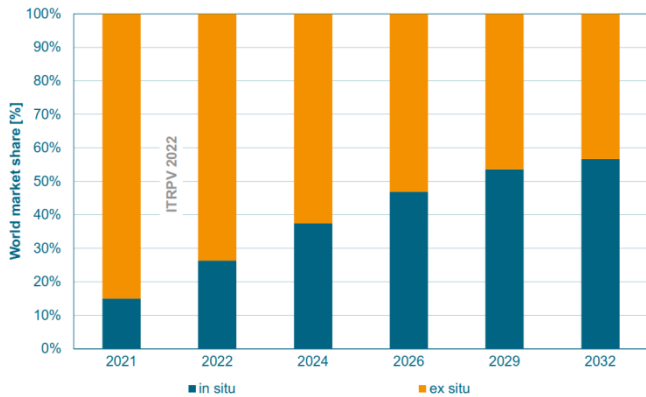
图 67：制备工艺



资料来源：叶继春《基于 PECVD 的 TOPCon 技术研究进展》

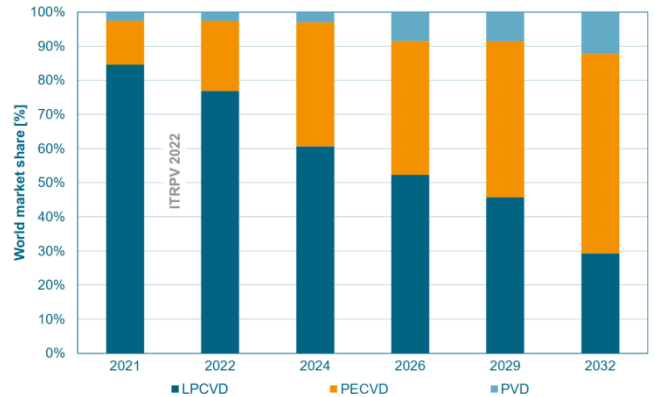
根据 ITRPV《2022 年国际光伏技术路线图》，原位掺杂、PECVD 的市占率将逐步提升。预计到 2032 年，原位掺杂将占据 50%以上市占率，PECVD 将占据近 60%的市占率。

图 68：原位掺杂与非原位掺杂市占率



资料来源：ITRPV

图 69：不同的镀膜技术路线市占率



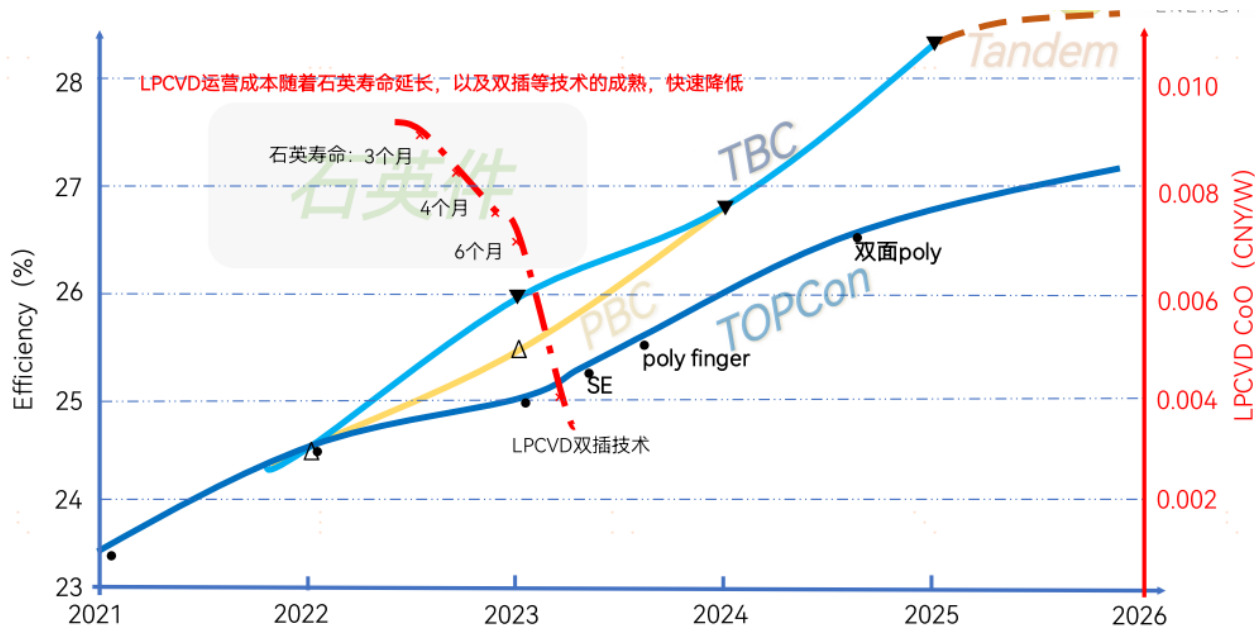
资料来源：ITRPV

值得一提的是，针对各自路线的不足，LPCVD 和 PECVD 仍在不断改进过程中。

LPCVD:

针对绕镀导致的石英件寿命缩短问题，拉普拉斯通过导入涂层石英，可将石英寿命由原来的 3 个月延长至 6 个月。通过同步优化涂层和石英加工工艺，目标寿命 12 个月。预计 2023Q1 前，拉普拉斯通过规模化导入双插技术，可进一步促进 LPCVD 成本降低 50%。

图 70：优化涂层与加工工艺可延长石英管寿命

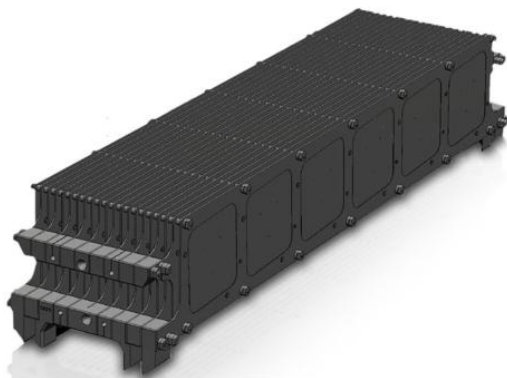


资料来源：拉普拉斯《高温钝化接触电池技术路线分析及设备发展方向》

PECVD:

宁波材料所采用 PECVD 制备掺碳多晶硅，显著抑制 PECVD 薄膜在高温下的脱膜，提升钝化质量，碳能增加氢的富集，进一步提升钝化效果。

图 71：PECVD (石墨舟)



资料来源：金辰股份官网

图 72：LPCVD (石英舟)



资料来源：北方华创《TOPCon 量产技术路径思考及核心干法工艺装备之实践》

管式与板式 PECVD

管式 PECVD 在 PERC 电池工艺中主要用于沉积氧化铝和氮化硅薄膜。而板式 PECVD 主要用于 HJT 电池。一般来说，管式 PECVD 具备结构简单、产能大、价格低的优势，但镀膜精度和质量低于板式 PECVD。

在 TOPCon 电池 poly 硅制备中，PECVD 首先沉积非晶硅薄膜，后期需通过退火处理，以达到晶化的目的。且非晶硅薄膜的厚度远大于 HJT 电池（TOPCon 电池 100nm 以上，HJT 电池 10nm 且参与成结），因此业内倾向于使用管式 PECVD。

图 73：管式 PECVD 与板式 PECVD 的区别

◆板式PECVD

- 1、√ 科研界验证多年，技术可信度高
- 2、√ 有SHJ设备可以借鉴，成熟度较高
- 3、√ 绕镀较小或可实现无绕镀
- 1、需经常维护，周期较短
- 2、价格相对较高
- 3、大产能设备占地面积大
- 4、链式耦合设备，复杂度高，对设备要求极高

◆管式PECVD

- 1、暂无成熟量产的设备及工艺
- 2、少量研究数据报告
- 3、无法完全避免绕镀
- 1、√ 产能大，维护周期长
- 2、√ 价格相对较低
- 3、√ 占地面积小
- 4、√ 管式堆叠设备，结构简单，对设备要求较低

资料来源：中科院宁波所《面向 TOPCon 产业应用的 PECVD 技术研究进展》

4.3、HJT 镀膜设备

4.3.1、镀膜的质量与厚度

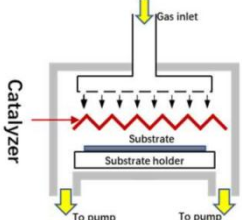
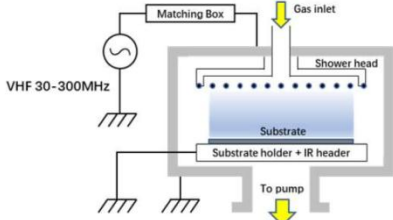
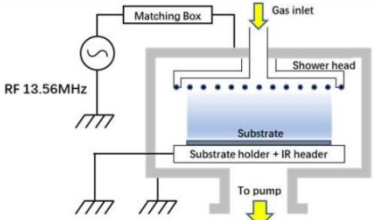
（氢化）非晶硅

HJT 电池在硅片正反面均要镀制 5-10nm 的本征非晶硅层作为钝化膜。在背表面本征非晶硅层外侧，镀有约 10nm 厚的硼掺杂 P 型非晶硅层，在前表面本征非晶硅膜外侧，镀有约 10nm 厚的磷掺杂 N 型非晶硅层。

前表面的非晶硅层作用十分重要，一方面是作为 n/n+层提供场钝化，但另一方面该层过厚会造成强烈的光吸收，影响短波响应。

针对 HJT 电池中非晶硅层制备，目前主要有两种镀膜技术：PECVD 镀膜和 CAT-CVD（热丝镀膜）。其中 PECVD 镀膜又可分为射频 PECVD（13.56MHz）和甚高频镀膜（27.12MHz、40MHz）。这部分是 HJT 电池中最为关键的技术，设备在整个生产线价格中约占 50%的份额。

表 11：HJT CVD 路线参考

	HWCVD	PECVD	
		VHFCVD(30-300MHz)	RFCVD(13.56MHz)
描述	真空反应室中安装热丝，当气体分子碰到热丝时被热分解，热分解产生的粒子通过扩散而沉积到衬底表面	借助微波或射频等使含有薄膜成分原子的气体电离，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	
图示			
优点	1.沉积速率高 2.对界面轰击小 3.对硅片钝化效果较好且气源利用率高	1.成膜质量较好 2.对衬底轰击相对 RFCVD 较小	1.技术成熟 2.沉积薄膜均匀性
缺点	1.薄膜均匀性较差且维护成本较高 2.需要较高的沉积温度，能耗较大 3.薄膜内应力大，膜基结合力较差	受制于等离子体驻波效应以及趋肤效应，腔体设计较复杂	1.非晶硅薄膜悬挂键和 Si-Si 弱键较多，成膜质量不如 VHFCVD 2.对硅衬底的轰击也强于 VHFCVD 3.沉积薄膜速率低
沉积速率	+++	++	+
透光率	+	++	+++
光敏性	+++	++	+
薄膜均匀性	<15%	<10%	<5%
氢含量	+++	++	+
主要厂商	ULVAC, 捷佳伟创, 汉可	理想, 应用材料	MB, 迈为, 钧石, 捷造广电, INDEOtec, 捷佳伟创, 理想, 应用材料, 金辰等

资料来源：InfoLink Consulting

透明导电膜 (TCO 层)

TCO 可以实现两个目的：1) 用作减反射涂层 (ARC)；2) 增加横向导电性。

根据技术路线不同，主要有 PVD 和 RPD 两种制备方法。

表 12: HJT TCO 制备路线参考

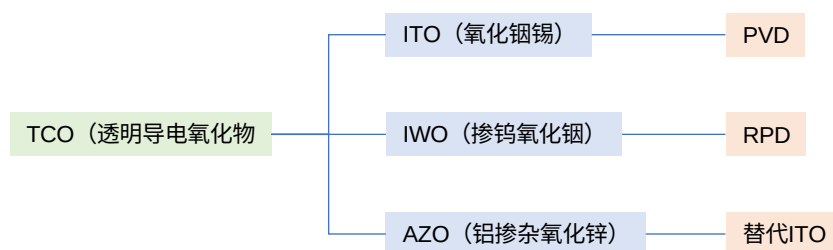
	RPD 反应等离子体沉积	PVD 磁控溅射
描述	利用等离子枪产生氩等离子体，氩等离子体进入生长腔后，在磁场作用下轰击靶材，靶材升华形成蒸气实现薄膜沉积	氩气在高压下电离产生氩粒子，氩粒子在磁场的作用下轰击靶材，使靶材表面的原子溅射到衬底表面形成薄膜
图示		
靶材	IWO 和 ICO	ITO 和 SCOT
优点	1.镀膜质量优，等离子体能量分布相对集中且离子率更高，高能离子较少，表现出低离子损伤的优良特性 2.沉积温度低，沉积速率高	1.工艺稳定，膜厚均匀易控； 2.靶材利用率高，成本低
缺点	1.日本住友专利问题 2.设备成本高 3.靶材利用率低且靶材昂贵，成本高	1.采用磁控溅射制备 TCO,粒子轰击较高，损伤较大 2.沉积速率较慢 3.ITO 光电学性能差于 RPD 制备的 IWO 导电薄膜
主要厂商	住友，捷佳伟创，精耀	MB, 迈为，冯阿登纳，Singulus，钧石，捷佳伟创，捷造光电，ULVAC

资料来源: InfoLink Consulting

针对 TCO 层,可以选择的镀膜材料有 ITO (氧化铟锡)、IWO (掺钨氧化铟)、AZO (铝掺杂氧化锌)。其中 ITO 主要与 PVD 路线配套, IWO 主要与 RPD 路线配套。为了减少铟的用量, AZO 可以用来部分替代 ITO 的使用。

根据迈为股份披露，通过 ITO+AZO 叠层膜的设计应用，实现了效率相当情况下铟用量降低 70%。未来根据不同的功能需求，有望采用多种材质的 TCO 材料进一步替代 ITO，实现无钢化。

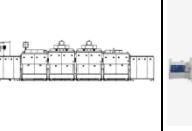
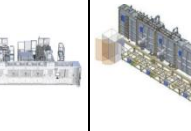
图 74: 常见的 TCO 材料



资料来源：刘飞《不同掺杂比例的 IWO 导电薄膜特性分析》

对比不同厂家的设备参数，目前采用 PECVD（射频）路线的厂家主要有钧石、捷佳伟创、梅耶博格；采用 PECVD（甚高频）路线的厂家主要有迈为、理想、美国应材；Cat-CVD（热丝）属于小众路线，除了日本真空外，国产厂家主要是江西汉可。

表 13：不同厂家的设备参数对比

	迈为	理想	钧石	捷佳伟创	梅耶博格	日本真空	美国应材
图片							
型号	Maxwell MV-LH06	OAK-DU-5	-	PD-1022/UD	HELIA PECVD	CCV-1400C-6	AKT-APXL Gen6
模式	RF-CVD VHF-CVD (可选)	RF-CVD VHF-CVD (可选)	RF-CVD	RF-CVD	RF-CVD	Cat-CVD	RF-CVD(I-N) VHF-CVD (I-P)
电源频率	13.56MHz 40.68MHz (可选)	13.56MHz 40.68MHz (可选)	13.56MHz	13.56MHz	13.56MHz	DC	13.56MHz(I-N) 40.68MHz(I-P)
排布方式	链式	链式(U-type)	链式	链式	链式	链式	团簇
静态/动态	半动态的	静态	静态	静态	静态	静态	静态
镀膜顺序	I-IN-P	IN-IP	I-IN-P	-	IN-I-P	I-N/I-P	I-N/I-P
产能	14400wph@G12 HC 18000wph@M10HC	6000wph@G12 HC 8350wph@M10HC 5200wph@M6	6100wph@G12 8640wph@M10 10140wph@M6	5500wph@M6	2400wph	2900wph	2475wph
Uptime	>=90%	>=90%	>=90%	-	>=90%	-	-
碎片率	<0.25%@150μm	-	-	<0.05%@150μm	-	-	-
硅片尺寸	M2-G12	M2-G12	M6-G12	M2-G12	M2-M6	M2	M2-M4
最大产能, MW/年	600	600	800	-	>110	125	100
设备特点	一层薄膜在多腔室完成	变频匹配、内外腔室、 双层内腔室	大腔室设计	-	双重真空系统	热丝 CVD	团簇式

资料来源：InfoLink Consulting；注：产能数据截止 2022 年 8 月底

对比各电池片厂家的设备选择，捷佳伟创、启威星（迈为）占据了清洗制绒环节的大多数市场份额；在 CVD 环节主要是迈为、钧石能源、理想等国产厂家；PVD 环节主要是钧石能源、捷佳伟创(RPD)、迈为；丝印环节主要是迈为、AMAT；光注入环节主要厂家为迈为、台湾科峤。

表 14：HJT 扩产厂商设备选择

	公司	产能 (MW)	清洗制绒	CVD	PVD	丝网印刷	光注入
日本	Kaneka	100	NA	日本真空 (Cat-CVD)	冯阿登纳	AMAT	-
新加坡	REC	600	Exateq	MB	MB	迈为	-
		400	YAC	迈为	迈为	迈为	迈为
中国	晋能	200	YAC	AMAT/金辰	日本真空(RPD)	AMAT	HBI
			Singulus	精曜	精曜(RPD)	迈为	迈为
	钧石能源	700	捷佳伟创	钧石能源	钧石能源	CFDR(silverprint)	台湾科峤
			-	钧石能源	钧石能源	电镀铜(自主制造)	台湾科峤
	三峡资本控股/上海 科技院/通威共同投资	200	YAC	理想	冯阿登纳	捷佳伟创	台湾科峤
			捷佳伟创	日本真空 (Cat-CVD)	住友(RPD)	AMAT	台湾科峤
	通威 (金堂)	1000	捷佳伟创	理想	捷佳伟创(RPD)	捷佳伟创	迈为
			捷佳伟创	钧石能源	钧石能源	迈为	迈为
			启威星 (迈为)	钧石能源	钧石能源	迈为	迈为
			YAC	迈为	迈为	迈为	迈为

	通威（合肥）	200	YAC	迈为	冯阿登纳	迈为	迈为
	日升	250	YAC	理想	HunanHongda	AMAT	HBI
	爱康科技	250	YAC	AMAT	捷佳伟创(RPD)	AMAT	HBI
		600	启威星（迈为）	迈为	迈为	迈为	迈为
	华晟	500	YAC	理想	冯阿登纳	Zonchow	迈为
			启威星（迈为）	迈为	迈为	迈为	迈为
		1500	启威星（迈为）	迈为	迈为	迈为	迈为
		500	启威星（迈为）	理想	Huayuan	Zonchow	Zonchow
	阿特斯	250	捷佳伟创	迈为	迈为	迈为	迈为
	隆基	200	YAC	理想	捷佳伟创(RPD)	AMAT	-
		1200	捷佳伟创	理想/迈为/AMAT/金辰	捷佳伟创(RPD)/理想	捷佳伟创	-
	爱旭	200	Rena	AMAT	冯阿登纳	AMAT	-
	金刚玻璃	1200	启威星（迈为）	迈为	迈为	迈为	迈为
	BYD	250	捷佳伟创	理想	HunanHongda	迈为	迈为
	晶澳	500	启威星（迈为）	钧石能源	钧石能源	迈为	-
	淮宁能源	1000	启威星（迈为）	迈为	迈为	迈为	迈为
	国家电投	50	Singulus	AMAT	冯阿登纳	电镀铜 (ProcessAutomation)	-
匈牙利	Ecsolifer	100	Singulus	MB	MB	ASYS	-
俄罗斯	Hevel	340	Singulus	欧瑞康	MB	ASYS	-
			RENA	欧瑞康	冯阿登纳	ASYS	-
德国	MeyerBurger	400	Singulus	MB	MB	ASYS	-
意大利	3SUN	250	Singulus	MB	MB	AMAT	-

资料来源：InfoLink Consulting；注：产能数据截止 2022 年 8 月底

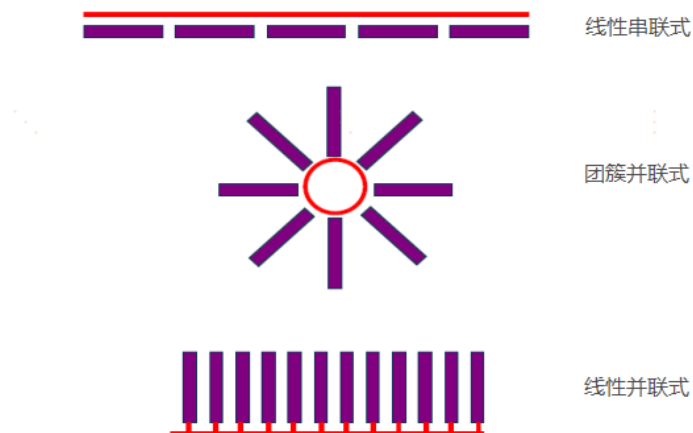
4.3.2、趋势：腔室、镀膜顺序

产线构型

针对 HJT 镀膜设备，主要有三种类型的产线构型：线性串联式、团簇并联式、线性并联式。

目前国内企业多采用线性串联式，优点在于结构简单，传递容易，缺点在于各个腔室节拍固定，某一个腔室的节拍调整或故障，会影响整条产线。

图 75：不同产线构型示意图



资料来源：中科院电工研究所

表 15：不同设备厂家的产线构型

设备构型		生产厂家	优点	缺点
线性串联式		迈为、金石、捷佳伟创、理想、日本真空	传递间接	工艺不易调整
并联式	团簇	AM、Indeo Tec	传递复杂	工艺易调整
	线性	MB		

资料来源：CPIA《2022 年中国光伏技术发展报告》

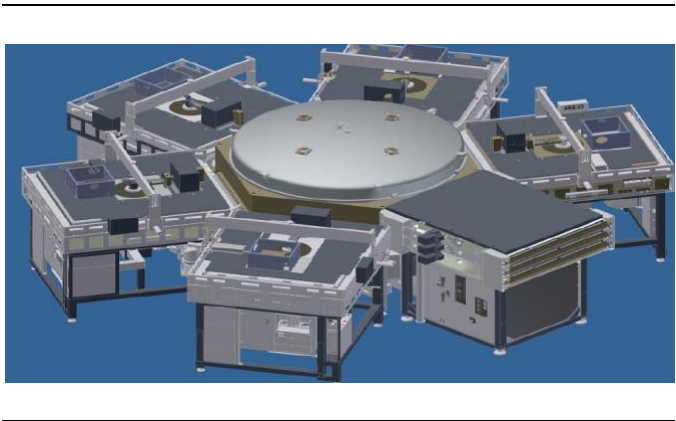
并联设备有两种类型，即团簇式和线性。团簇式设备主要以美国应材开发的半导体制造业中的镀膜设备转型而来（如 OLED 镀膜设备）；而线性并列式则以德国梅耶博格为代表。

图 76：线性串联式（钧石）



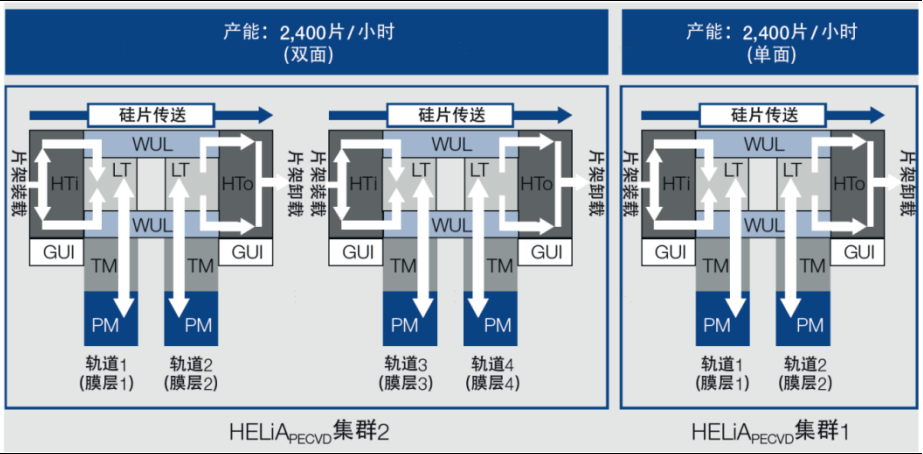
资料来源：中科院电工研究所

图 77：团簇并联式（AM）



资料来源：中科院电工研究所

图 78：线性并列式（MB）



资料来源：中科院电工研究所《从 24%走向 24.5%的 HJT 电池产业化技术》

镀膜顺序

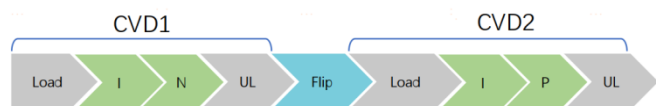
异质结电池的钝化层为本征硅 I 层，与之接触的晶体硅表面缺陷对电池的效率非常敏感。

传统的产业化 PECVD 设备工艺流程为 IN-IP。先镀 I 层，接着镀 N 层，在出真空腔室翻片之后镀 I 层和 P 层。其优点是翻片次数少，缺点是镀第二个 I 层前，已经进行过一次掺杂腔室镀膜，容易有一些绕镀的磷原子附着在硅片表面，增加表面缺陷，影响效率。

新型的产业化 PECVD 设备工艺流程为 I-IN-P。在镀一层 I 层后取出真空，翻片后再次进入真空室镀背面 I 层，紧接着镀 N 层，取出真空腔室翻片后再镀 P 层。尽管增加了一次翻片，但两层本征硅层镀膜之间不经过 N 型腔室，可以避免被沾污。

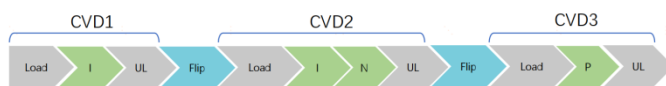
经过大规模量产验证，I-IN-P 的镀膜顺序相较 IN-IP 可提高电池产线平均效率 0.15%。

图 79：IN-IP 镀膜顺序



资料来源：中科院电工研究所

图 80：I-IN-P 镀膜顺序



资料来源：中科院电工研究所

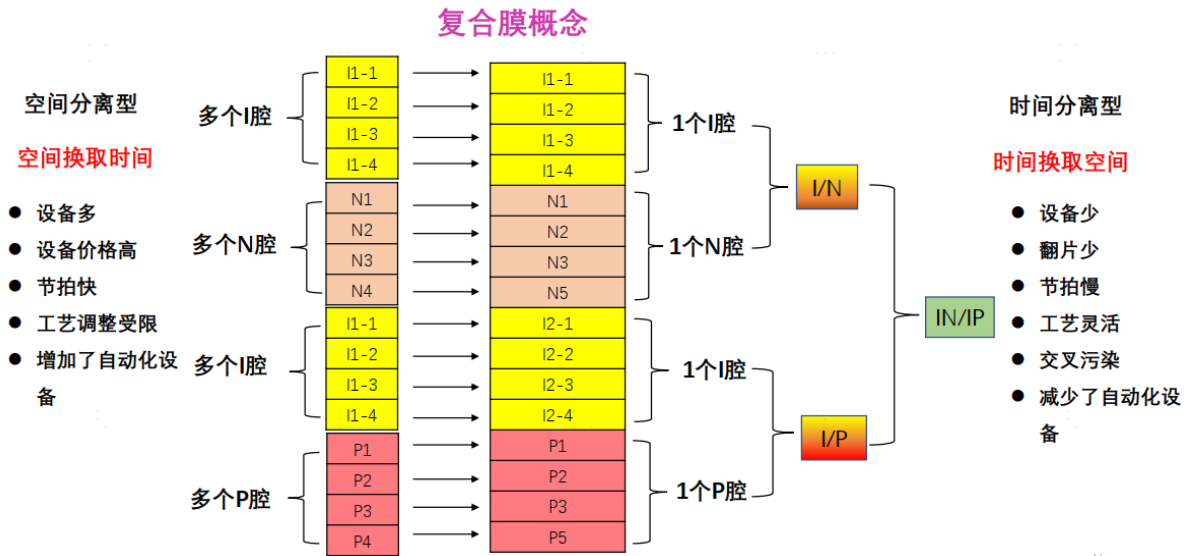
腔体与腔室

随着 HJT 技术的发展，多层面结构成为技术趋势，即对于 i 层、p 层、n 层可分为缓冲层、种子层、含氧层、富氢层等。但在工艺路线上有两种选择，一种是将一种膜分成多个腔室镀，各个腔室的工艺参数略有差异；另一种是在一个腔室中镀一种薄膜，但通过调整参数分成不同的子膜。

从本质上讲，第一种是以空间换取时间，设备硬件增加，但节拍加快，产能增加；第二种是以时间换取空间，不同子膜更换工艺参数时需暂停辉光放电，但设备投资减小。

图 81：多个腔室镀膜一层同性质薄膜示意图

多层膜结构已经成为HJT产业化技术趋势趋势



资料来源：中科院电工研究所《HJT 太阳能电池技术产业链生态的发展》

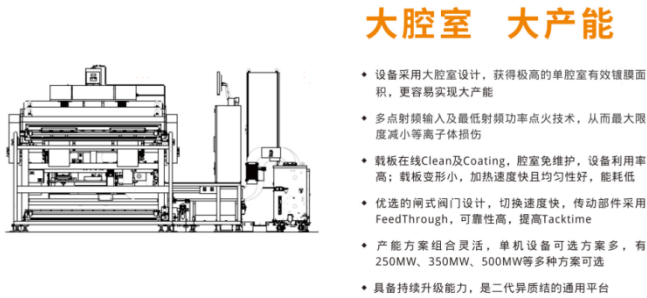
迈为采用的连续多腔体镀膜，单条线产能已达到 600MW（截至 2022 年 6 月）。而钧石、理想万里晖则采用单腔体镀多层膜路线，不同的是钧石通过对载板的改进和扩大，实现了大腔室、大产能，单线产能达到 800MW，理想万里晖则创新性地采用可叠加小腔室路线，增大了产量的可扩展性，且小腔体内气体利用率更高，第三代产品单线产能已达到 600MW。

图 82：各家设备公司路线选择



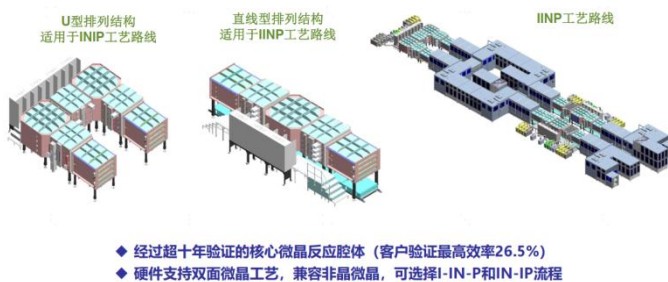
资料来源：光大证券研究所

图 83：钧石能源设备特点



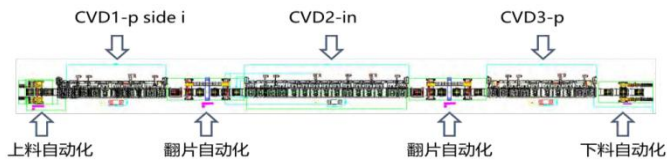
资料来源：钧石能源官网

图 85：理想万里晖设备特点



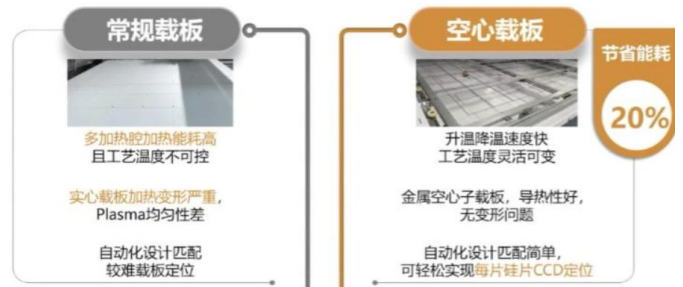
资料来源：理想万里晖官网

图 87：迈为设备示意图



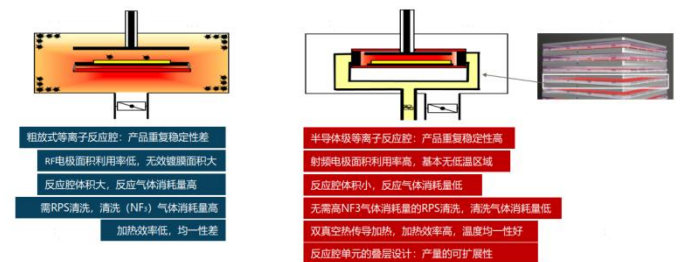
资料来源：迈为股份官网

图 84：钧石能源关键改进



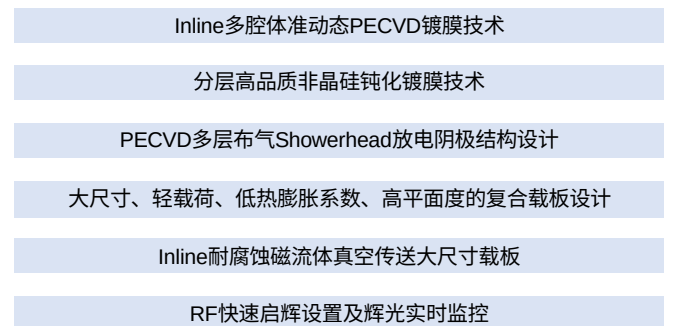
资料来源：钧石能源官网

图 86：理想万里晖关键改进



资料来源：理想万里晖官网

图 88：迈为设备特点



资料来源：迈为股份官网

5、先进电池进步的思路与方向

5.1、TOPCon：主要缺口来自前表面

对于 TOPCon 电池来说，基于 24.8% 的电池转换效率，主要影响效率的因素由大到小：

1. 正面复合损失，2. 光学损失，3. 正面传输损失，4. 体复合损失，5. 背面传输损失，6. 背面复合损失。

由此可见，TOPCon 电池目前的主要效率缺口来自前表面。原因在于：

- 1) TOPCon 电池背表面由 SiO_2 、poly 硅层组成钝化接触结构，而前表面仅由 Al_2O_3 层钝化，使用烧穿型浆料，仍存在金属-硅基体直接接触；
- 2) 由于硼掺杂浓度低，为了实现更好的接触，正面细栅从银浆转变为银铝浆。为达到同样的导电效果，栅线宽度大于银浆。

图 89：n-TOPCon 电池模拟及损失分析

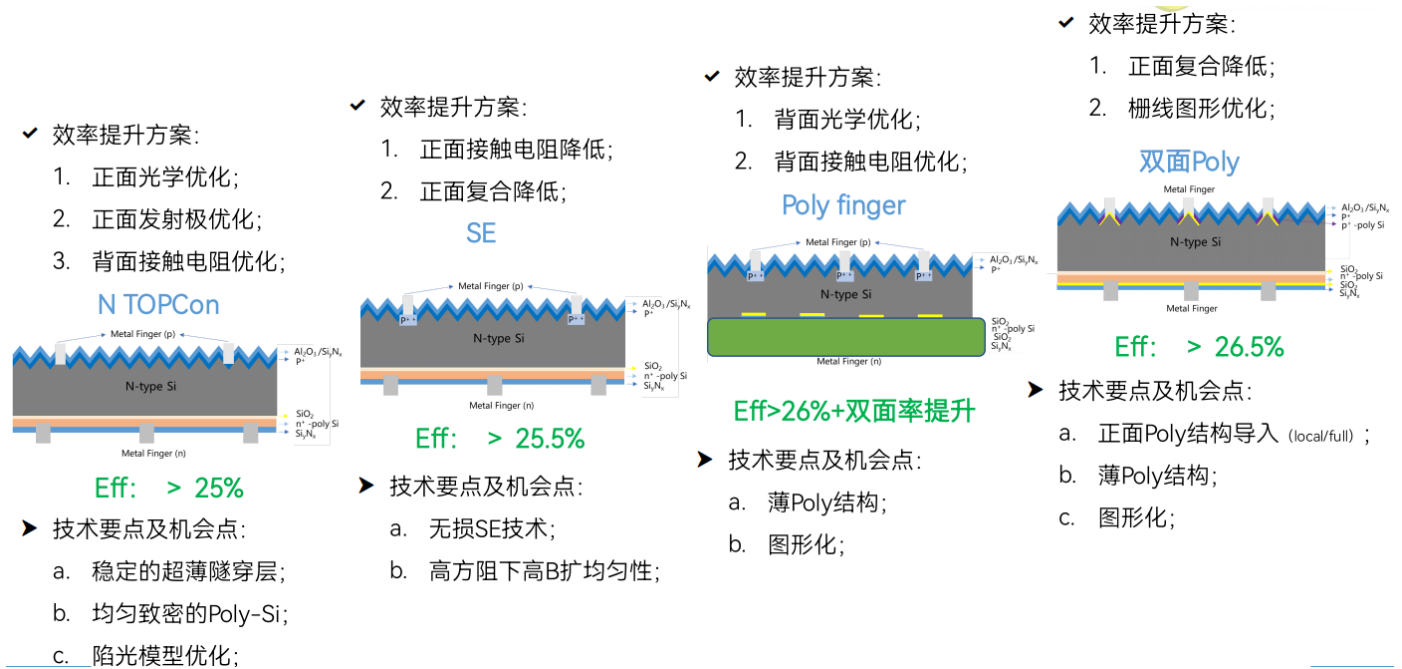


资料来源：正泰《N 型 TOPCon 高效电池与组件技术趋势》

为了解决 TOPCon 电池正表面的效率损失，终极方案是在正面也做成 SiO_2 +poly 硅的钝化接触结构。但 P 型 TOPCon 层的钝化能力本身就弱于 N 型 TOPCon 层，且前表面多晶硅会造成强烈的光学吸收。

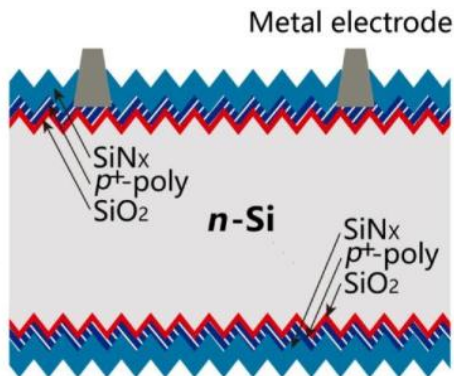
因此，目前多考虑局部 poly 层，即在正表面电极下方做一小部分 SiO_2 +poly 硅，但应用层面难度较大。

图 90：TOPCon 电池效率提升路线图



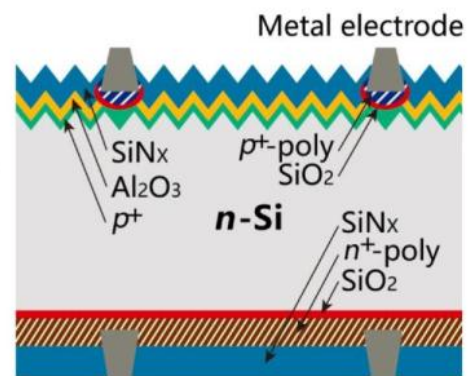
资料来源：拉普拉斯《高温钝化接触电池技术路线分析及设备发展方向》

图 91：正表面全钝化接触



资料来源：Bo Yu 《Selective tunnel oxide passivated contact on the emitter of large-size n-type TOPCon bifacial solar cells》

图 92：正表面局部钝化接触



资料来源：Bo Yu 《Selective tunnel oxide passivated contact on the emitter of large-size n-type TOPCon bifacial solar cells》

根据拉普拉斯对 TOPCon 电池效率提升的路线图，正面 poly 结构 (local/full) 适用于 26.5%的效率平台。

而在当前 25%的效率基础上，可以通过无损 SE 技术、薄 poly 等优化工艺将 TOPCon 电池效率提升至 26%。

基于硼扩的技术难度，在硼扩的基础上做出 SE 相较磷扩 SE 难度更大，目前主要发展出一次硼扩和二次硼扩两种技术路线。

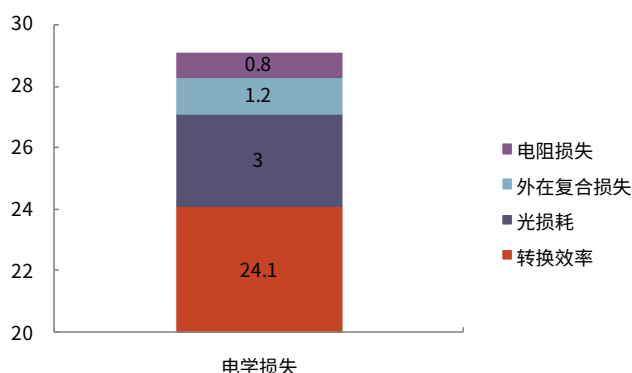
5.2、HJT：完美钝化，主要缺口来自光学损失

与 TOPCon 电池相比，HJT 电池在正表面、背面均实现了钝化接触，因此获得了较高的开路电压（接近 750mV），明显高于 TOPCon 电池和 PERC 电池。

但正表面的非晶硅层作为一种半导体，存在较为严重的寄生吸收，造成 HJT 电池在短路电流方面并不占优势。

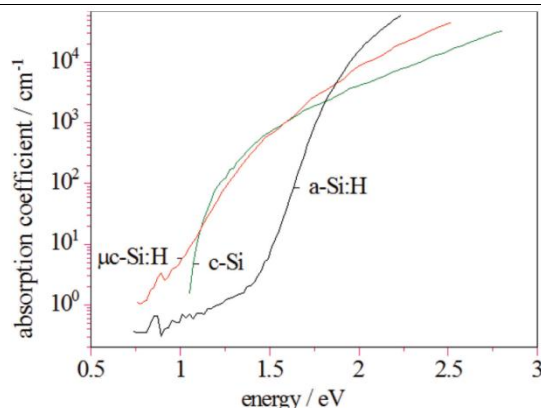
解决该问题的思路之一在于使用微晶硅代替非晶硅，原因在于微晶的吸光系数更小，且具有更高的电导率，在缓解正表面寄生吸收的同时，降低了对 ITO 导电性的依赖。

图 93：HJT 电池电学损失分析



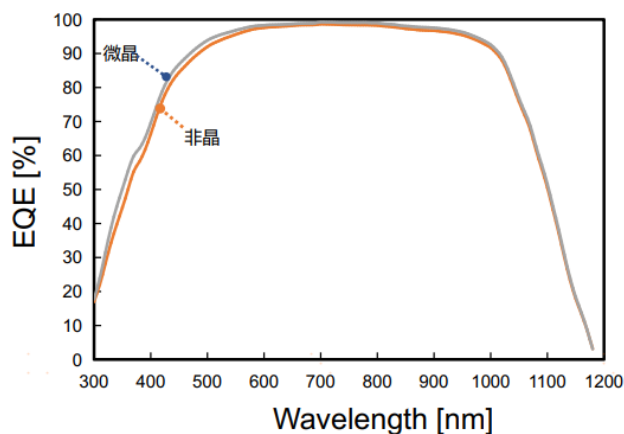
资料来源：中山大学《新型晶体硅钝化接触异质结太阳能电池技术》；纵轴单位：%

图 94：a-Si:H、 $\mu\text{c-Si:H}$ 和 c-Si 的光吸收



资料来源：Friedhelm Finger《Development of Solar Cells and Catalysts, Upscaling of Combined Photovoltaic-Electrochemical Devices and Performance Stability》

图 95：微晶硅可减少非晶硅的寄生吸收



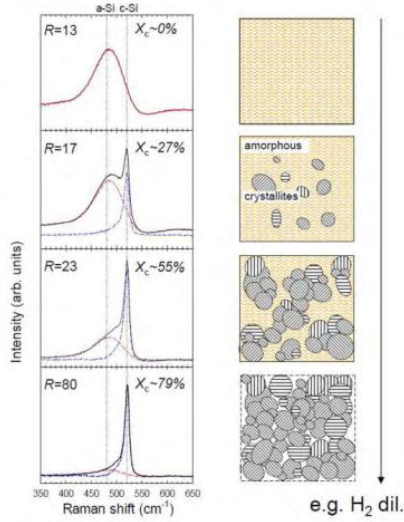
资料来源：通威股份《高效晶硅量产技术趋势》

从工艺上来讲，微晶的形成需要改变通入硅烷与氢气的稀释率，即更高比例的氢气，从而提高硅薄膜的晶化率。

但稀释率的提高通常伴随着沉积速率的下降，引入 VHF 电源以代替传统的 RF 电源，有助于提高微晶薄膜沉积速率。根据迈为股份数据，采用 VHF 电源，镀膜速率较 RF 电源提升 2 倍，氢气用量较 RF 电源降低 70% 左右，效率较 RF 电源提升 0.3% 以上。

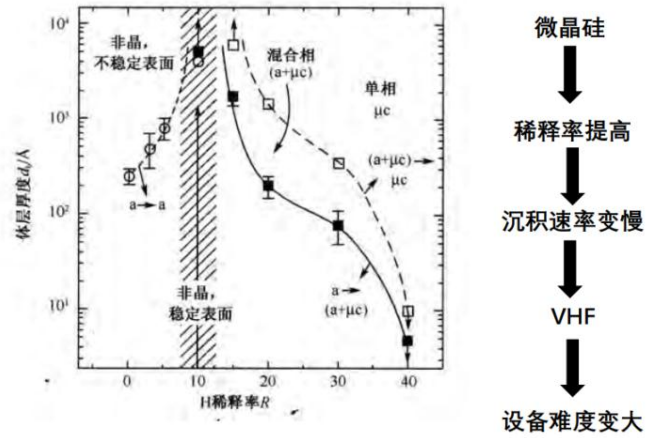
原因在于，频率增加后，等离子体电子浓度增加，可以产生更多的自由基元，从而提高微晶薄膜沉积速率。同时等离子体能量降低，有助于降低表面损伤。

图 96：微晶硅的形成需要更高的稀释率



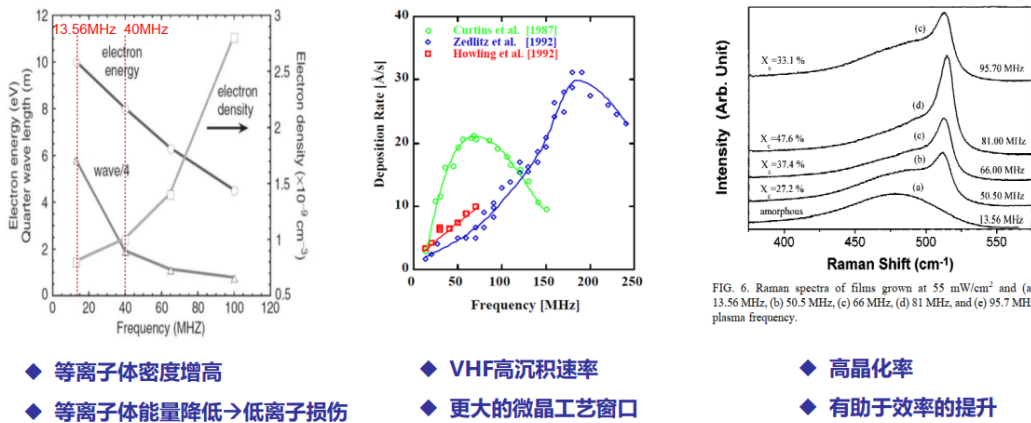
资料来源：王文静《HJT 电池进入 10GW 量产时代》

图 97：稀释率提高后沉积速率变慢



资料来源：王文静《HJT 太阳能电池技术产业链生态的发展》

图 98：VHF 在微晶硅沉积中的技术优势



- ◆ 等离子体密度增高
- ◆ 等离子体能量降低→低离子损伤

- ◆ VHF高沉积速率
- ◆ 更大的微晶工艺窗口

- ◆ 高晶化率
- ◆ 有助于效率的提升

资料来源：理想万里晖《微晶硅助力异质结效率的持续提升》

关键假设：

2022 年全球新增光伏装机 230GW，我们预测 2023-25 年全球新增光伏装机 350、430、500GW，按照 1.25 倍的容配比，组件需求量为 438、538、625GW。按照 55% 的产能利用率，则组件产能分别达到 795、977、1136GW。

根据已规划项目的进展情况，我们预测 TOPCon 产能进入快速发展期，2023-25 年新增产能分别为 200、250、280 GW，HJT 需进一步实现设备、产业链降本，2023-25 年新增产能分别为 32、54、100GW。从而带动 TOPCon 产能在 2023-25 年达到 260、510、790 GW，HJT 产能在 2023-25 年达到 46、100、200GW。

在整体的电池产出中,预计 2023-25 年 TOPCon 产出占比为 20%、35%、43.5%, HJT 产出占比为 5%、10%、12%,则 2023-25 年 TOPCon 电池产出为 88、188、272GW, HJT 产出为 22、54、75GW。

表 16: 光伏电池需求与扩产

	2020	2021	2022	2023E	2024E	2025E
全球新增装机 (GW)	127	170	230	350	430	500
组件需求量 (GW)	125	182	289	438	538	625
组件产能 (GW)	320	465	615	795	977	1136
组件产能利用率	39.1%	39.1%	47.0%	55.0%	55.0%	55.0%
产能 (GW)						
多晶	36	10	6	4	1	1
PERC	225	380	466	480	450	400
xBC	2	2	19	40	60	80
TOPCon	6	10	60	260	510	790
HJT	4	6	14	46	100	200
PERT	1	0	0	0	0	0
薄膜	8	10	10	13	16	16
合计	283	418	575	843	1136	1487
新增产能 (GW)						
多晶		(26)	(4)	(2)	(4)	0
PERC		155	86	14	(30)	(50)
xBC		0	17	21	20	20
TOPCon		4	50	200	250	280
HJT		2	8	32	54	100
PERT		(1)	0	0	0	0
薄膜		2	0	3	3	1
合计		136	157	268	293	351
产出 (GW)						
多晶	18	10	3	0	0	0
PERC	134	198	249	306	269	238
xBC	1	1	4	13	22	31
TOPCon	3	3	20	88	188	272
HJT	1	1	6	22	54	75
PERT	1	0	0	0	0	0
薄膜	6	8	7	9	5	9
合计	164	221	289	438	538	625
产出占比						
多晶	10.8%	4.5%	1.0%			
PERC	81.5%	89.6%	86.0%	70.0%	50.0%	38.0%
xBC	0.7%	0.5%	1.5%	3.0%	4.0%	5.0%
TOPCon	2.1%	1.4%	7.0%	20.0%	35.0%	43.5%
HJT	0.7%	0.6%	2.0%	5.0%	10.0%	12.0%
PERT	0.3%	0.0%				
薄膜	3.9%	3.4%	2.5%	2.0%	1.0%	1.5%
合计	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
产能利用率						
多晶	48.9%	98.2%	49.7%	0.0%	0.0%	0.0%

PERC	59.5%	52.1%	53.1%	63.8%	59.7%	59.4%
xBC	53.4%	53.3%	22.6%	32.8%	35.8%	39.1%
TOPCon	57.5%	30.9%	33.5%	33.7%	36.9%	34.4%
HJT	26.3%	21.1%	39.9%	47.6%	53.8%	37.5%
PERT	56.8%					
薄膜	83.9%	75.3%	71.9%	67.3%	34.2%	57.2%
合计	58.2%	52.8%	50.0%	51.9%	47.3%	42.0%

资料来源：InfoLink Consulting、光大证券研究所预测

随着国产化率提高和单线产能提升，预计设备降本持续进行，假设 2023-25 年 HJT 整线设备价格为 3.3/2.9/2.5 亿元/GW，TOPCon 整线设备价格为 1.9/1.7/1.5 亿元/GW。

TOPCon 设备中，SE 能够有效提升转换效率，随着该项技术趋于成熟，预计将从 2023 年开始实现规模化量产，假设 23-25 年硼扩 SE 渗透率为 70%/80%/90%，硼扩 SE 设备单价为 1000/800/800 万元/GW。

则 2023-25 年，HJT 设备市场空间为 102.6、155.5、250.0 亿元；其中 PECVD 设备市场空间为 51.5、77.8、125.0 亿元。

TOPCon 设备市场空间为 370.0、420.0、420.0 亿元，其中 LPCVD/PECVD 等镀膜设备市场空间为 100.0、112.5、112.0 亿元，硼扩设备市场空间为 44.0、52.5、56.0 亿元，激光 SE 设备市场空间为 14.0、16.0、20.2 亿元。

表 17：HJT 与 TOPCon 设备市场空间

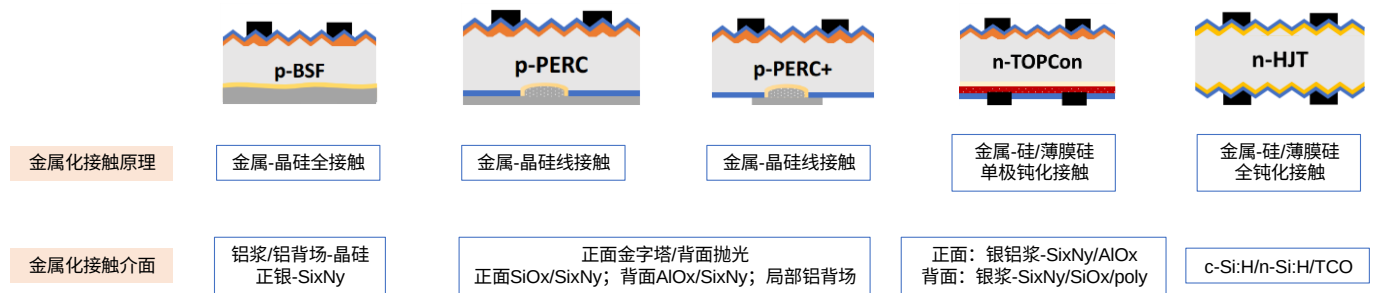
		2021	2022	2023E	2024E	2025E
HJT 设备						
新增产能	GW	1.7	8.2	31.6	54.0	100.0
HJT 设备整线价格	亿元/GW	4.0	3.6	3.3	2.9	2.5
PECVD 价格	亿元/GW	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3
PVD/RPD 价格	亿元/GW	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
HJT 设备整线市场	亿元	7.0	29.8	102.6	155.5	250.0
PECVD 设备市场	亿元	3.5	14.8	51.5	77.8	125.0
PVD/RPD 设备市场	亿元	1.7	7.5	25.6	38.9	63.0
TOPCon 设备						
新增产能	GW	3.8	50.2	200.0	250.0	280.0
SE 渗透率		0%	1%	70%	80%	90%
硼扩设备单价	万元/GW	2,500	2,300	2,200	2,100	2,000
激光 SE 设备单价	万元/GW	2,000	1,800	1,000	800	800
LPCVD/PECVD 等设备单价	万元/GW	6,000	5,500	5,000	4,500	4,000
TOPCon 整线价格	亿元/GW	2.2	2.0	1.9	1.7	1.5
硼扩设备市场	亿元	1.0	11.5	44.0	52.5	56.0
激光 SE 设备市场	亿元	-	0.1	14.0	16.0	20.2
LPCVD/PECVD 等设备市场	亿元	2.3	27.6	100.0	112.5	112.0
TOPCon 整线市场	亿元	8.4	101.8	370.0	420.0	420.0

资料来源：InfoLink Consulting、光大证券研究所预测

6、金属化与电池进步

从电池技术进步的角度来看，金属化作为钝化镀膜的后续工艺，其技术路线选择需要与钝化膜相配套，一方面，金属化本身与钝化膜/硅基体的接触将在很大程度上影响复合；另一方面，栅线本身对电池的光学损失、电阻损失起到至关重要的作用。

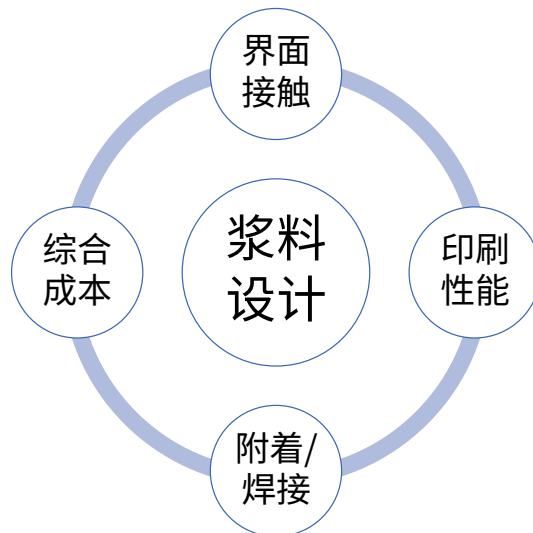
图 99：金属化与钝化镀膜的接触与配合



资料来源：通威股份《高效晶硅量产技术趋势》、光大证券研究所

对于光伏电池金属化来说，栅线宽度仅是表现指标，不同的浆料设计出发点在于界面接触，其次是印刷性能，以及烧结/固化后的附着特性和焊接特性，最后是工艺与材料的综合成本。

图 100：金属化浆料设计要点



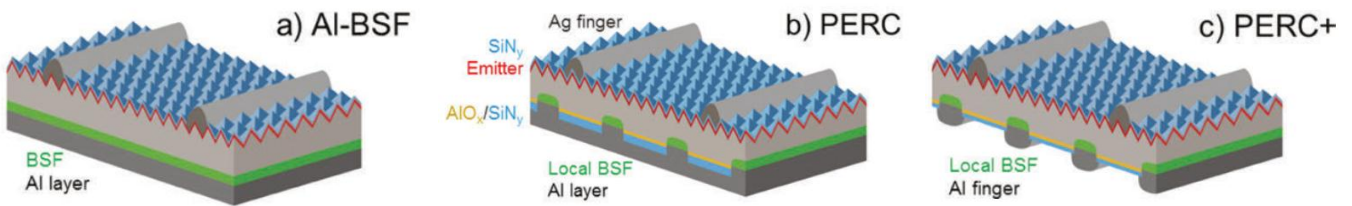
资料来源：光大证券研究所

全铝背场电池

全铝背场电池 (Al-BSF) 是最早实现产业化的晶硅电池结构, 具有工艺流程简单、技术成熟、成本低廉等诸多优点。

但是, 电池背面硅/铝的全面积接触引起的载流子复合较为严重, 且铝背场层的反射率低, 导致长波段光响应差, 这些使得 Al-BSF 电池始终无法突破 20% 的效率瓶颈。

图 101: 全铝背场电向 PERC 电池的进步



资料来源: Thorsten Dullweber 《Silicon Solar Cell Metallization and Module Technology》

单面 PERC

随着背表面氧化铝 (AlO_x) 钝化技术的出现, PERC 电池开始全面取代全铝背场电池。

在单面 PERC 电池中, 仍然采用铝背场, 同时铝背场通过激光开槽的方式与硅基体实现线接触, 并在接触区域形成局部铝背场 (LBSF)。

图 102: 中润光能 157 多晶单面太阳能电池

基材材料	P-型多晶硅片
电池厚度	190μm±20μm
边长	157mm*157mm±0.5mm
对角线长度	220.7mm±0.5mm
正面 (-)	5*0.6mm±0.1mm主栅线 (银) 104根副栅线, 蓝色减反射膜 (氮化硅)
背面 (+)	背电极 (银) 露白宽度1.3±0.3mm, 背面覆盖铝背场



资料来源: 中润光能官网

双面 PERC

在双面 PERC 电池中，放弃了全铝背场，而采用铝线接触的方式。根据 ITRPV 数据，双面 PERC 电池铝浆耗量仅为单面 PERC 的 1/4。

图 103：爱旭 PERC 电池



166mm 12BB 单/双面高效单晶PERC电池

尺寸：166mm × 166mm ± 0.25mm (直径 223 ± 0.25mm)

厚度（电池）：170 ± 20 μm

正面(-)：二氧化硅+蓝色氮化硅复合减反射膜；主栅宽度0.1±0.1mm，主栅头部为双叉；主栅线平行的脊骨状Ag栅线；副栅线数量为108±10根；图形呈半片设计。

双面电池背面(+): 钝化反射极（氧化铝及氮化硅复合层）；背电极由12根背面复合主栅线和130±10根背面Al副栅线组成；背面复合主栅线局部收窄，即2.5±0.2mm和1.6±0.2mm的Al电极交替出现；六段式宽度为1.8±0.2mm Ag电极镶嵌在Al电极中，每个Ag电极两端露1.3±0.2mm氮化硅。

单面电池背面(+): 钝化反射极（氧化铝及氮化硅复合层）；背电极由12根间断主栅线和Al背场组成；每根间断式主栅线宽度为1.6±0.2mm，六段式宽度为1.8±0.2mm Ag电极镶嵌在Al电极中，每个Ag电极两端露1.3±0.5mm氮化硅。其他区域被Al背场覆盖。

资料来源：爱旭股份官网

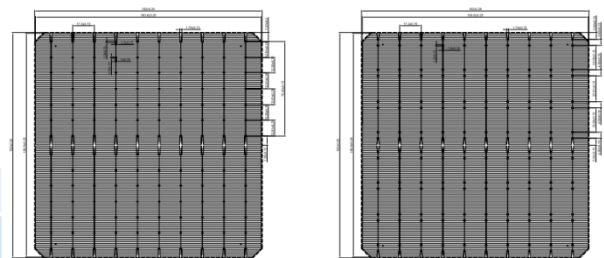
TOPCon 与 HJT 电池

由于采用了钝化接触技术，金属电极不再与硅基体直接接触，大幅改善钝化效果与金属复合。

TOPCon 电池正面采用银铝浆。原因在于对于 TOPCon 电池，正面仍采用同质扩散结，且硼掺杂的浓度较磷掺杂低 1-2 个数量级，导致发射区的接触电阻较大。在 P 型发射极局域重掺硼技术完善之前，TOPCon 电池正面采用了银铝浆，在烧结中铝原子进入 P 型发射区形成 p+区域，起到选择性发射区（SE）的作用。

图 104：一道 182N 型 TOPCon 电池

尺寸规格	182mmx182mm±0.25mm, Φ247mm±0.25mm
电池厚度	170 μm ± 20 μm
正面	0.06±0.03mm 主栅宽度, 148根细栅, 氮化硅
背面	0.06±0.03mm 主栅宽度, 148根细栅, 氮化硅



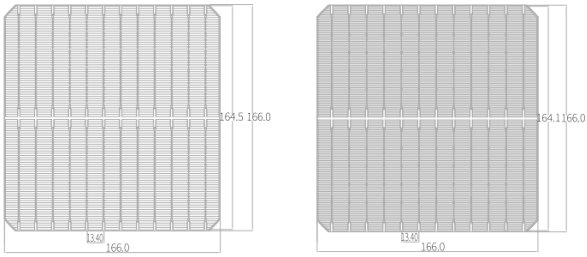
电池正面

电池背面

资料来源：一道新能官网

图 105：华晟 M6-12BB 异质结电池

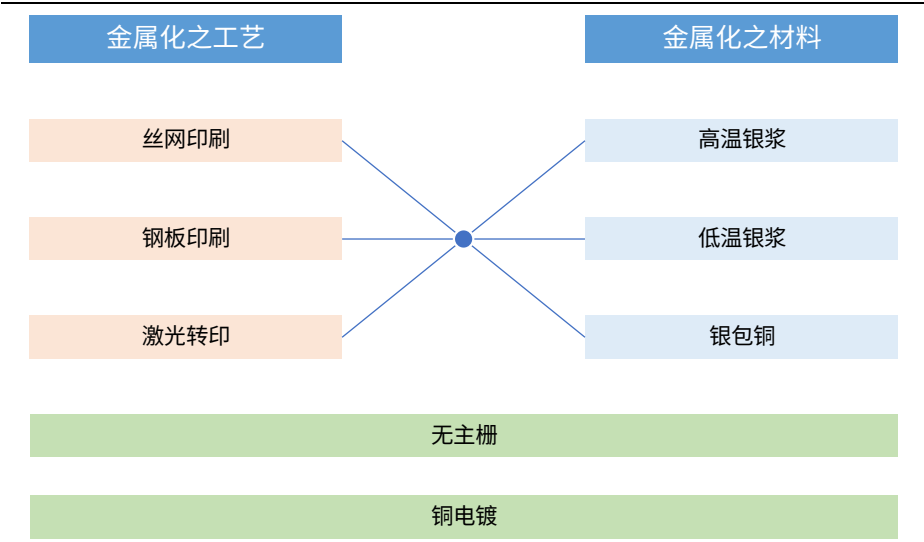
产品名称	单晶异质结太阳能电池片
款式	12栅, N型硅片, 166mm*166mm ±0.25mm
硅片平均厚度	140μm ±14μm
电池片正面(-)	2*12根带焊盘点主栅线(银), 深蓝色ITO(氧化铟锡)减反射薄膜
电池片背面(+)	2*12根带焊盘点主栅线(银), 深蓝色ITO(氧化铟锡)减反射薄膜



资料来源：华晟新能源官网

对于金属化工艺来说，重要的是工艺与材料的匹配。丝网印刷、钢板印刷、激光转印三种工艺都适用于液体浆料，适配高温银浆、低温银浆、银包铜银浆。而无主栅技术、铜电镀则跳出了液体浆料的范畴，单独具备一套工艺与材料。

图 106：金属化材料与工艺

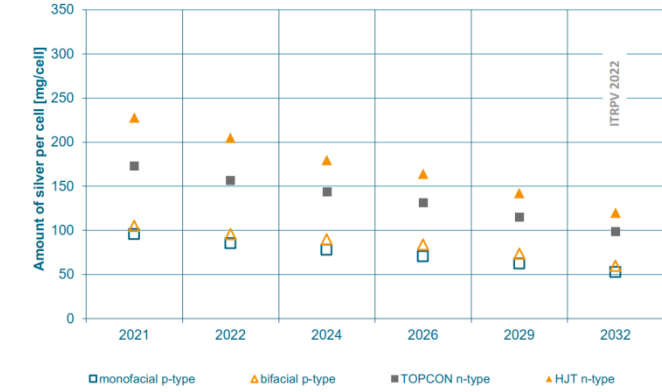


资料来源：光大证券研究所

6.1、金属化之材料：浆料区别与改进路线

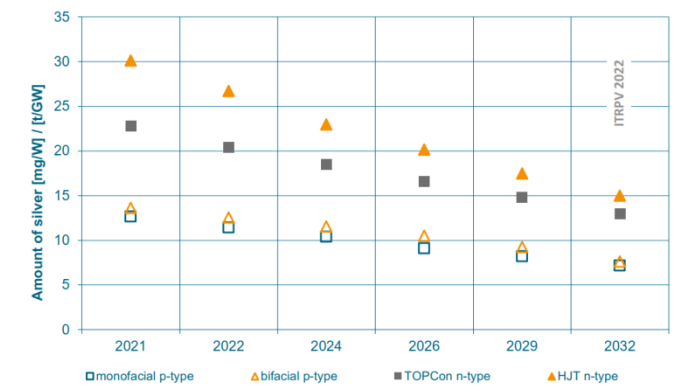
根据 ITRPV 《2022 年国际光伏技术路线图》，2021 年，200GW PERC 电池（效率 23%）消耗银 2640 吨，约占全球银总供给的 8%，单耗约 13.2mg/W。

图 107：电池片银耗趋势（182，前+后表面）



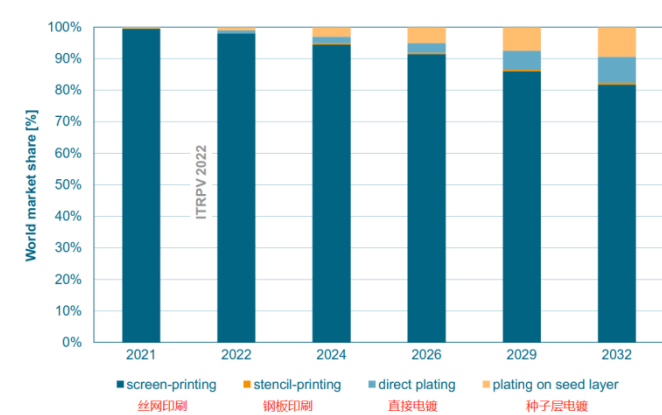
资料来源：ITRPV

图 108：电池片银耗趋势（M6+M10 平均）



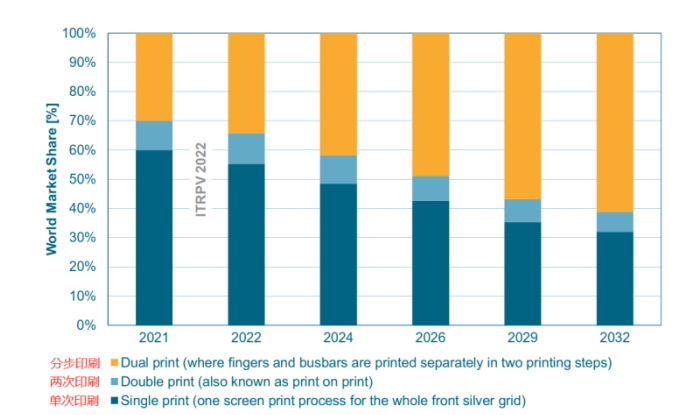
资料来源：ITRPV

图 109：前表面金属化



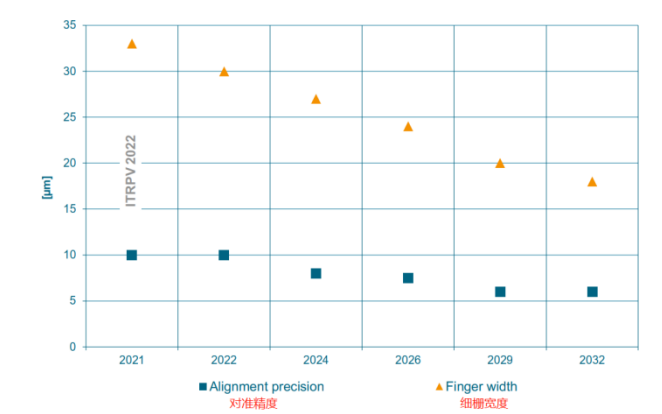
资料来源：ITRPV

图 110：正面印刷工艺



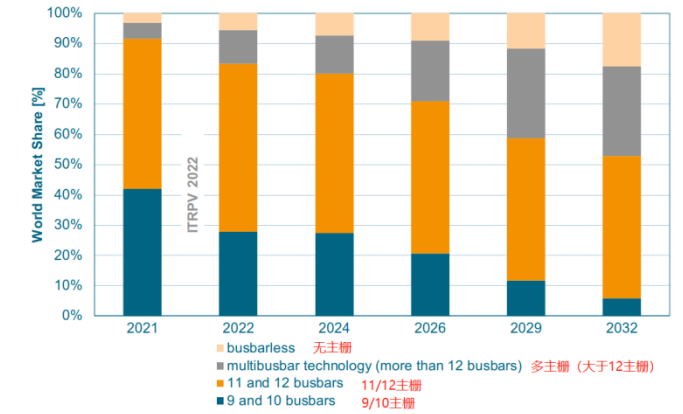
资料来源：ITRPV

图 111：正面细栅宽度



资料来源：ITRPV

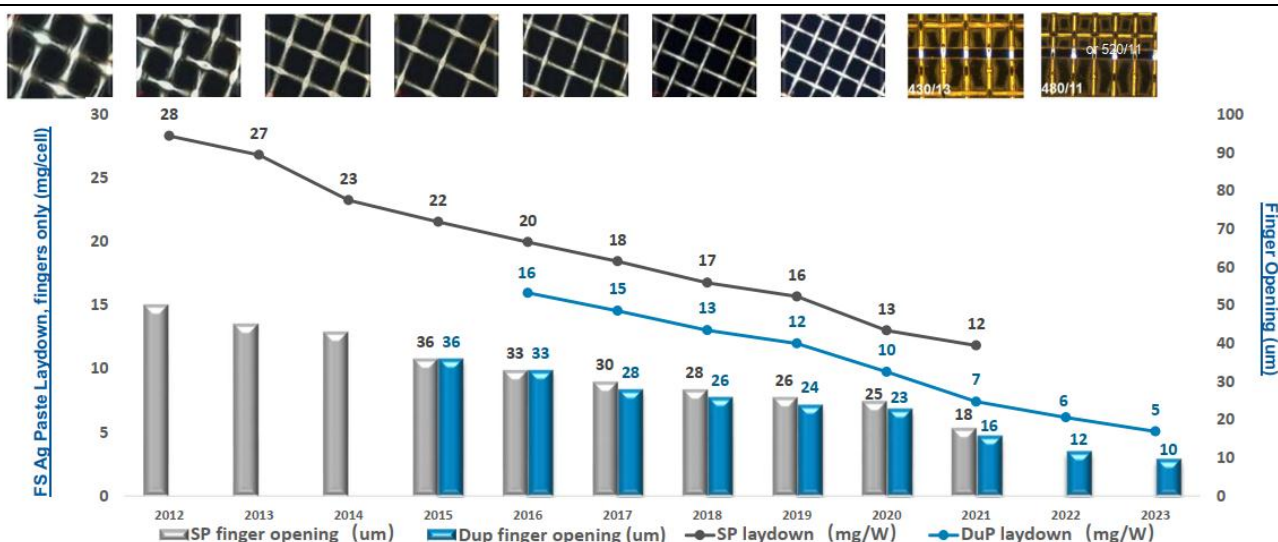
图 112：主栅路线（≥M10）



资料来源：ITRPV

细栅化对于金属化来说意义重大。不仅可以减少栅线遮光，而且有助于降本。

图 113: PERC 细栅浆料印刷路线



资料来源：贺利氏《新一代高效太阳能电池金属化浆料的开发》

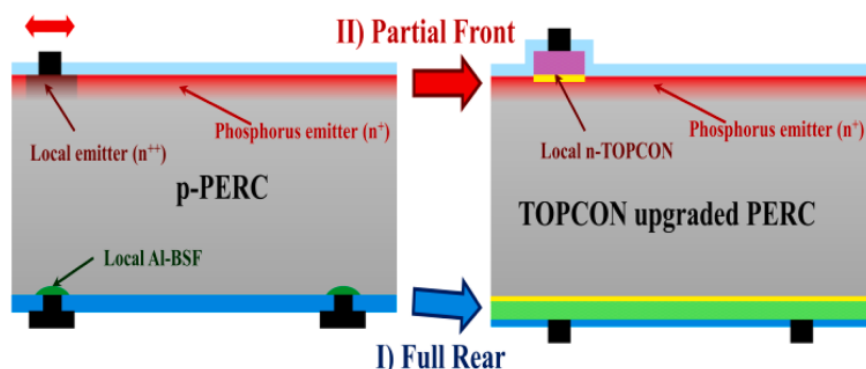
6.1.1、高温浆料：从 PERC 浆料到 TOPCon 银浆

从 PERC 电池到 TOPCon 电池,从结构上看仅仅是背表面钝化方式发生了改变,但由于硅基底从 P 型转变为 N 型,以及钝化层的改变,造成金属化工艺的较大转变。

正面：对于典型的 N 型 TOPCon 电池来说,主要是从 N 型发射极（磷扩）转变为 P 型发射极（硼扩），钝化方面仍采用 SiNx 和 AlOx 层。但由于硼扩掺杂浓度低,为了实现更好的接触,正面细栅从银浆转变为银铝浆。

背面：由于钝化接触结构解决了金属与硅基体接触的问题, TOPCon 电池的背面不再需要激光开槽+铝浆（LBSF），而是采用了银浆细栅。

图 114: 从 PERC 电池到 TOPCon 电池结构变化



资料来源：Dibyendu Kumar Ghosh《Fundamentals, present status and future perspective of TOPCon solar cells》

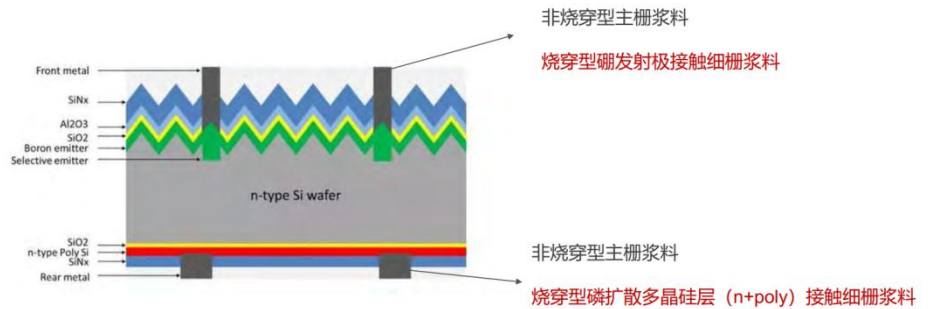
整体来看, TOPCon 银浆主要分三种细分应用:

1) 正面细栅浆料（银铝浆, 烧穿型），需要在烧结过程中烧穿 SiNx 和 AlOx 层, 与硼发射极接触;

2) 背面细栅浆料（银浆，烧穿型），需要在烧结过程中烧穿 SiNx 层，与 poly 硅层接触；

3) 正背面主栅浆料（银浆，非烧穿型），主要起连接细栅、汇聚电流、辅助焊接作用。

图 115: TOPCon 银浆组合（贺利氏）



资料来源：贺利氏《用于 N-TOPCON 高效太阳能电池的金属化浆料开发》

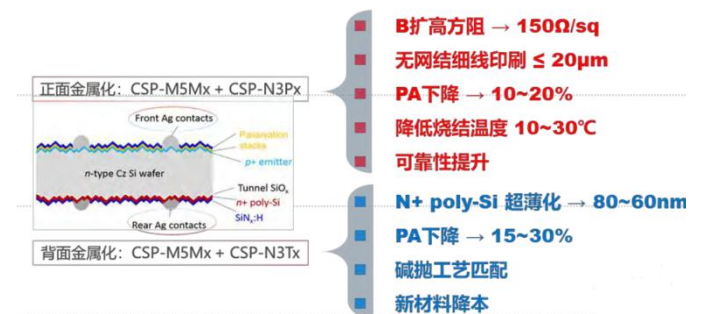
图 116: TOPCon 银浆组合（帝科）

帝科 DKEM® TOPCon 电池金属化方案



资料来源：帝科股份《金属化技术创新助力高效 n-TOPCon 电池产业化》

图 117: TOPCon 银浆组合（聚和新材）



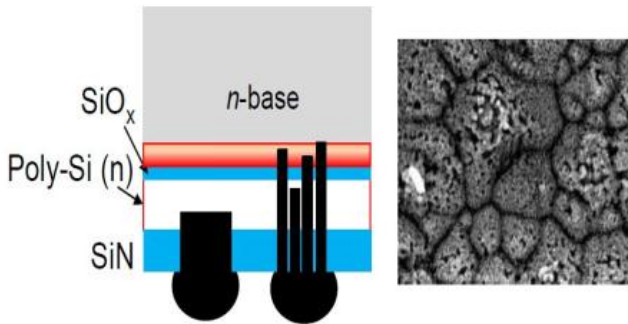
资料来源：聚和新材《高效 TOPCon 电池金属化技术探讨》

但是，TOPCon 银浆正背面细栅需严格控制烧穿深度。

对于正面细栅，需控制银铝尖刺的深度，否则容易破坏硼发射极；

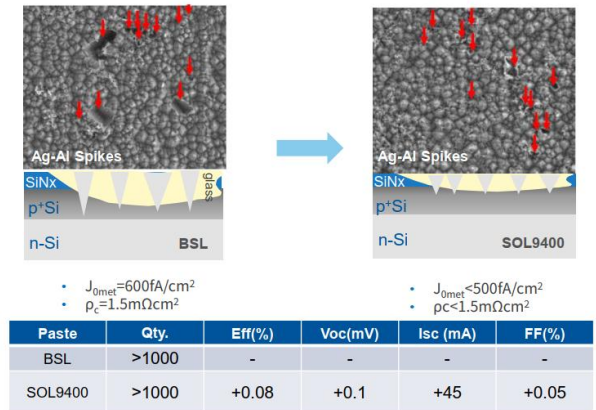
对于背面细栅，需控制烧穿深度，特别是在 poly 层减薄的趋势下，如何与薄 poly 层形成配合至关重要。

图 118：背面细栅需控制烧穿深度



资料来源：宋登元《接触钝化（TOPCon）技术：一种最适合光伏产业升级的高效电池技术路线》

图 119：正面细栅需控制银铝尖刺



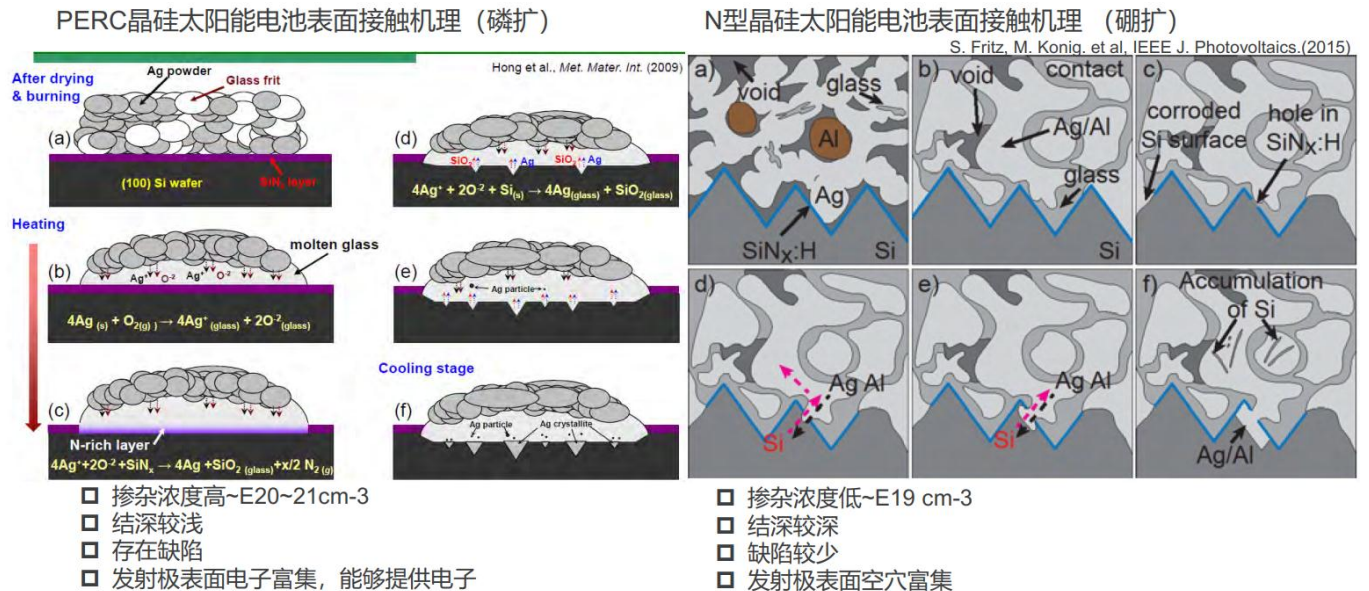
资料来源：贺利氏《新一代高效太阳能电池金属化浆料的开发》

在高温银浆中，玻璃粉起到刻蚀作用，因此工艺核心之一在于调节玻璃粉的成分与配比。

玻璃粉在烧结过程中主要有两个作用：

- 1) 刻蚀硅片表面的 SiN_x 减反射涂层，在烧结过程中促进硅太阳能电池正面电极的致密度，从而形成致密的导电网络，使得银膜与硅基片形成良好的欧姆接触；
- 2) 银浆烧结过程，玻璃粉在高温下溶解银粉，并带着银粉重新排列，这将影响银浆的整个烧结过程。

图 120：光伏电池表面接触机理



资料来源：贺利氏《用于 N-TOPCON 高效太阳能电池的金属化浆料开发》

6.1.2、低温浆料与银包铜

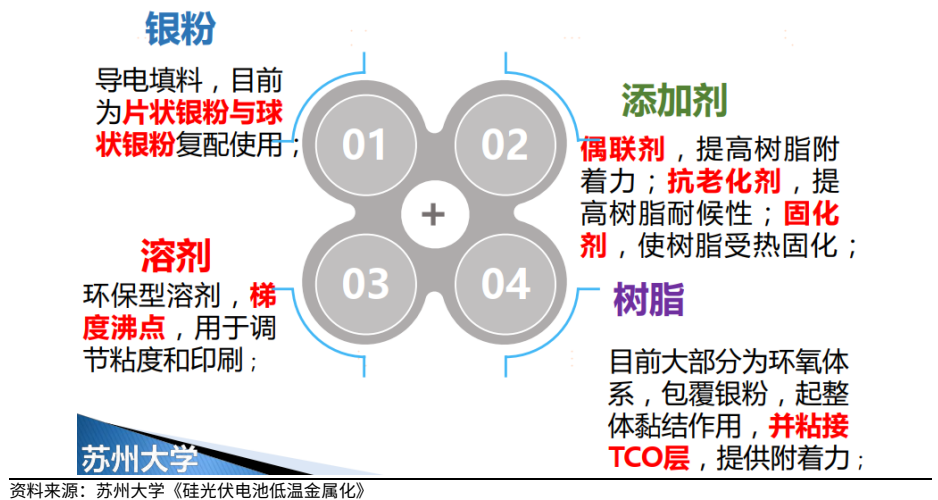
由于异质结电池中非晶硅不耐高温，导致其需适用低温银浆。与高温正银相比，低温银浆固化温度低，不含玻璃粉，属于非烧穿型浆料。

表 18：异质结浆料与高温正银差异

高温正银	异质结浆料	差异点
700-800℃	170-200℃	金属化温度
浆料与 PN 结直接接触，烧穿减反膜	浆料与 PN 结不接触，与 TCO 接触	接触机理
球状银粉、片状玻璃粉、有机组分	片状球状银粉、有机组分	组成成分
主要起印刷作用	印刷作用，有机体残留在电极上	有机组分作用
起步早，较成熟	起步晚，不成熟	成熟度

资料来源：晶银新材《异质结太阳能电池高性能低成本电子浆料——银包铜技术实际可行之路探讨》

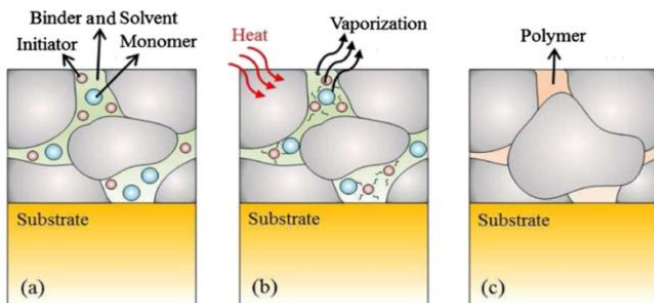
图 121：低温银浆基本构成及要求



在高温银浆中，玻璃粉会首先发生熔融，刻蚀硅片表面的 SiN_x 减反射涂层并带动银粉重新排列。因此玻璃粉是技术核心，助力实现高效接触和高效银粉导电。

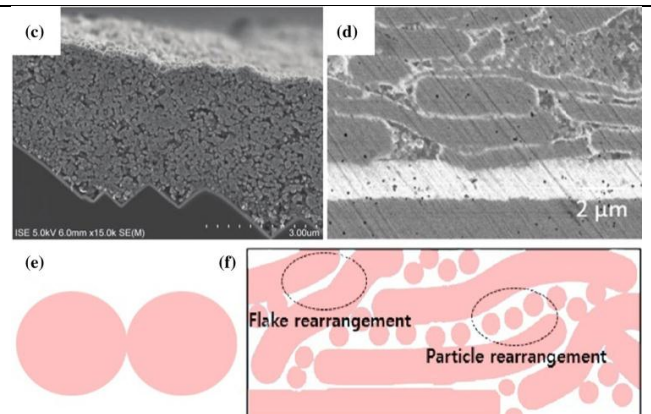
在低温银浆中，由于取消了玻璃粉，银粉粘结主要靠有机体系树脂固化收缩实现。由于缺乏烧结步骤，有机组分（特别是树脂）残留在浆料中，这也是低温银浆电阻率较大的根本原因。

图 122：高低温银浆电极对比



资料来源：晶银新材《异质结太阳能电池高性能低成本电子浆料——银包铜技术实际可行之路探讨》

图 123：片状银粉+球状银粉复配有提高银粉间接接触面积

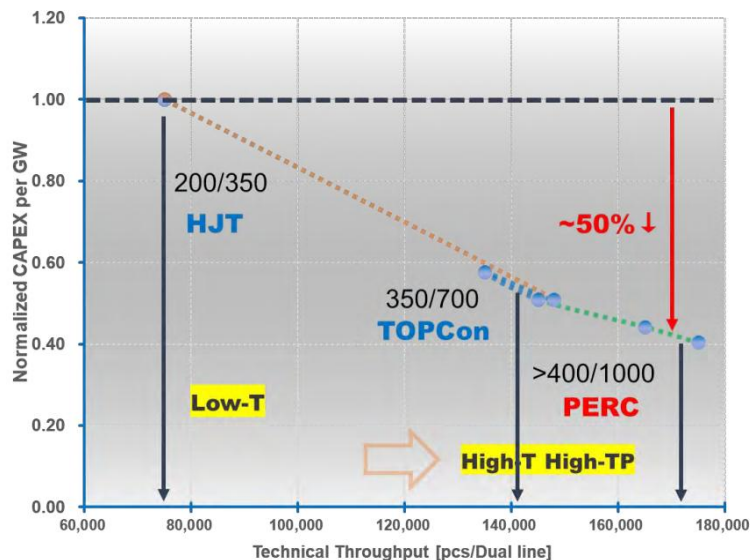


资料来源：Yulian Zeng《Review on Metallization Approaches for High-Efficiency Silicon Heterojunction Solar Cells》

采用片状银粉+球状银粉复配的方式，有助于提高银粉间接接触面积，从而改善银浆导电性能。但同时影响了印刷速度。

印刷速度是规模制造、产能提升的关键。HJT 低温银浆印刷与铺墨速度(CT>2s)显著低于主流的单晶 PERC、TOPCon 高温银浆。

图 124：低温银浆印刷较低



资料来源：聚合新材《高效 TOPCon 电池金属化技术探讨》

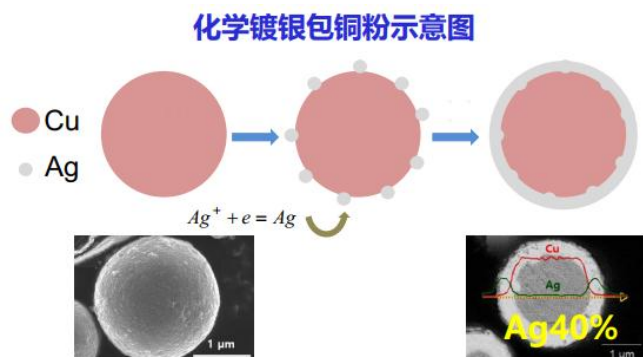
银包铜

由于低温银浆导电性较差，加上双面使用银浆，使得 HJT 电池的单位银浆耗量约为 PERC 电池的 2 倍，拉大了成本方面的差距。

银包铜作为一种有效的降本手段，引起业界重视。银包铜粉是一种核壳结构材料，具有铜的物化性能和银的优良金属特性以及高导电性、抗氧化性和热稳定性，既节约贵金属又降低了成本。

由于高温下铜容易氧化，因此银包铜浆料目前仅适用于异质结电池。

图 125：化学镀银包铜粉示意图



资料来源：高聚科技《高可靠性银包铜粉体技术特性与制备工艺》

图 126：银包铜粉制备关键技术

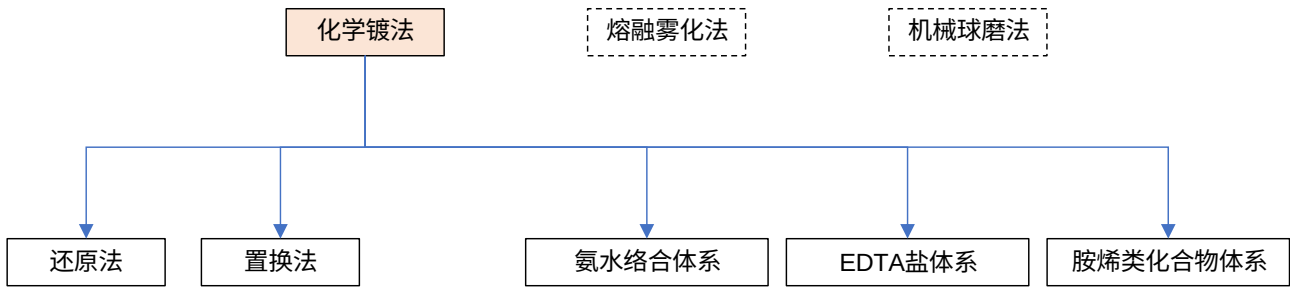
制备高可靠性银包铜粉的关键技术



资料来源：高聚科技《高可靠性银包铜粉体技术特性与制备工艺》

制备技术路线方面，化学镀法具备工艺简单、成本低等优点，目前已成为主流路线。工艺方面根据沉积机理不同，又分为还原法和置换法两种。

图 127：银包铜制备技术路线



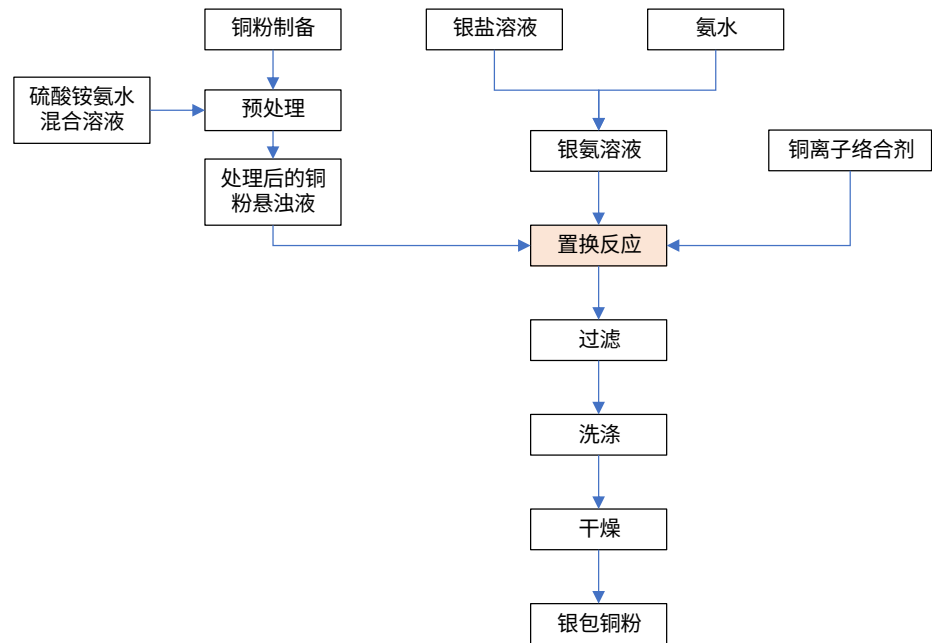
技术路线

络合体系

资料来源：施玉雷《银包铜粉的制备、表征及性能研究》

运用化学镀法制备银包铜粉的过程中，镀液的主要成分是由硝酸银溶液组成，并与铜离子发生置换反应，游离的银离子因为有较强的氧化-还原电位，导致镀液稳定性不佳，制得的镀层不够致密。因此，现代工艺多采用络合剂来络合游离的银离子，提高银离子的络合常数，保证镀液在金属包覆过程中的稳定性。常见的络合体系包括：氨水络合体系、EDTA 盐体系、胺烯类化合物体系。

图 128：银包铜粉制备工艺流程



资料来源：施玉雷《银包铜粉的制备、表征及性能研究》

根据苏州晶银的银包铜浆料产品性能，不管是主栅还是细栅浆料，在粘度、固化温度、拉力方面均保持同等水平，但银包铜浆料的体电阻率略高于纯银浆料，主要原因可能在于部分铜粉未完全包覆。

表 19：银包铜浆料性能指标

分步印刷主栅银包铜浆料 HAC539-ZT 系列		
项目	HC339-Z	HAC539-ZT
银含量 (%)	92-93	55-75
体电阻率 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	6.0-7.0	6.5-7.5
粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	250-380	250-380
固化温度 ($^{\circ}\text{C}$)	180-220	180-220
固化时间 (min)	3-8; 28-35	3-8; 28-35
主栅拉力(N/mm)	≥ 2.2	≥ 2.2
分步印刷细栅银包铜浆料 HAC539-T 系列		
项目	HC449	HAC539-T
银含量 (%)	92-93	43-70
体电阻率 ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)	5.0-6.0	5.5-8.0
粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)	250-380	250-380
印刷速度 (mm/s)	150-200	170-220
拉力(N/mm)	0.5-1.0	0.5-1.0

资料来源：苏州晶银《高效异质结低温浆料研发方向及进展》

根据安徽华晟测试结果，背面副栅使用银包铜浆料代替后，电池片效率降低 0.08%，主要反映在填充系数 FF 的差异。

组件方面，银包铜电池（背面副栅）组件 CTM 也表现出了类似的微幅下降趋势。

表 20：银包铜浆料测试结果

	测试数量	Eta	Voc	Isc	FF
产线纯银浆料	120000	24.51%	0.745	10.701	84.28%
背面副栅银包铜浆料	120000	24.43%	0.7451	10.696	84.05%

资料来源：安徽华晟《HJT 的量产现状与展望》

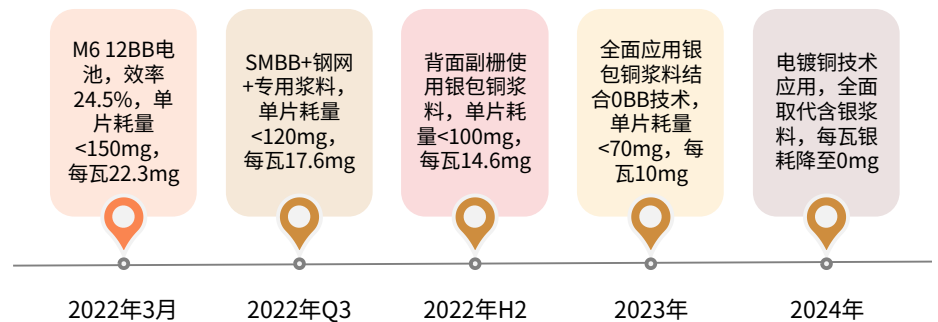
表 21：银包铜电池（背面副栅）组件 CTM 数据

类型	电池效率	组件版型	测试日期	测试数量	功率差异/W	CTM 差异
银包铜	24.30%	144	2022.4.15	412	-0.7	-0.15%
常规组件	24.30%	144	2022.4.4	234		

资料来源：安徽华晟《HJT 的量产现状与展望》

从安徽华晟新能源公布的异质结电池银耗降低路线来看，预计到 2023 年全面应用银包铜浆料结合 0BB 技术，单片耗量<70mg，每瓦 10mg。长期来看，银包铜路线倾向于定位为一种过渡路线，直到电镀铜技术得到成熟应用。

图 129：异质结电池银耗降低路线

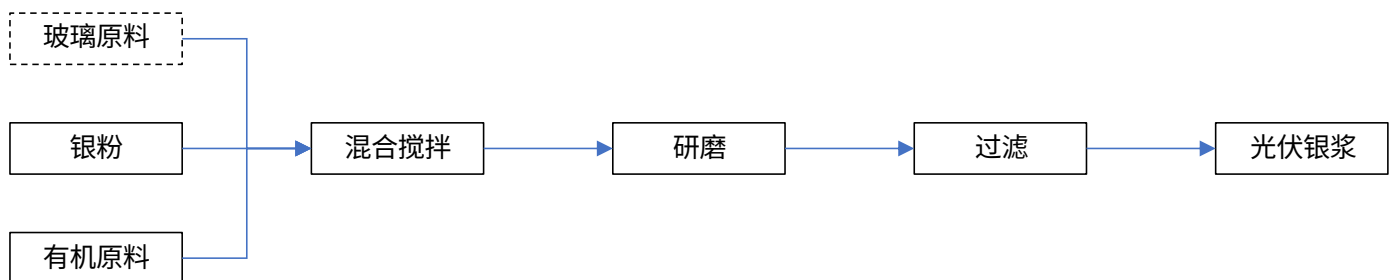


资料来源：安徽华晟《HJT 的量产现状与展望》

6.1.3、银浆与银粉国产化

不管是高温银浆，还是低温银浆，都是以银粉作为导电相。银粉在太阳能电池导电银浆中占质量的 70%~90%，是决定银浆和形成银电极性能的关键因素。

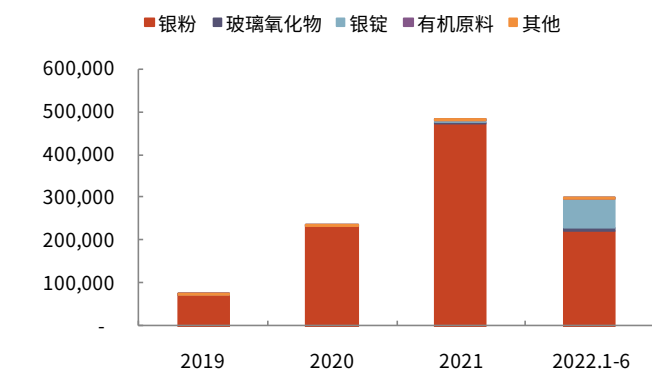
图 130：光伏银浆制备工艺



资料来源：聚和股份招股说明书

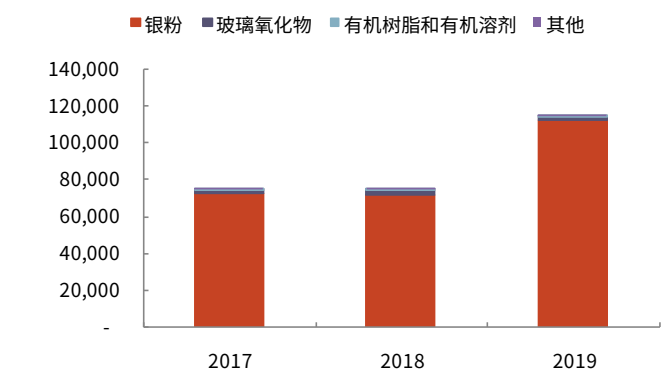
从已上市银浆企业的披露数据来看，银粉占据了企业原材料采购的绝大部分。2021 年，银粉占聚和材料原材料采购成本的 97.21%。2019 年帝科股份银粉占原材料采购成本的比例也达到了 96.8%。2022 年上半年，聚和材料存在部分外购银锭委外加工成银粉的情况，该比例下降至 74.6%。

图 131：聚和材料原材料采购



资料来源：聚和材料招股说明书；单位：万元

图 132：帝科股份原材料采购



资料来源：帝科股份招股说明书；单位：万元

银粉作为一种功能性粉末，不仅继承了银单质的一些性质，同时还具有粉末的独特性能，所以银粉的形貌、粒度分布、分散性、表面性质等都对银浆的性能具有重要影响。

1) 粒度分布。

在 0.5~5.0 μm 之间的银粉比较适用于太阳能电池用银浆的调制。且在银浆调制过程中，合理搭配不同粒度分布的银粉，可降低银浆印刷塑性后银粉自然堆积状态下的空隙率，进而减小银浆烧结后导电膜的孔隙率及形成的电路中的串联电阻。

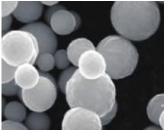
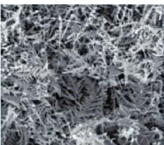
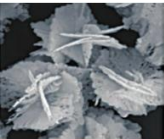
2) 分散性。

银粉的分散性直接影响银浆的调制效果，分散性好的银粉在银浆调制过程中能与有机体系充分润湿、混合，均质分散在有机载体中，使银浆具有很好的触变性和流平性，丝网印刷过程中能连续、流畅、均匀地通过网孔，形成完整的电路图案，有利于实现大规模连续生产。

3) 振实密度。

银粉的振实密度直接反映了银粉在生成过程中结晶的完整度。振实密度越高的银粉，其结晶完整度越好，在自然状态下银粉颗粒之间的堆积越致密，空隙率越小，调浆烧结后得到的导电膜的空洞少且小，电路中的串联电阻小，电极导电能力优良。

图 133：银粉的分类及功能

	银粉形貌	制备方法	用途	性能要求
	球状	化学合成法	球状粉多用于光伏正银，片状粉多用于光伏背银及低温银浆	粒度分布 分散性 振实密度
	片状	机械球磨法		
	树枝状		一般不用于光伏浆料	
	花枝状			

资料来源：屈新鑫《银粉对银浆性能的影响及其主要制备方法综述》

银浆国产化与银粉国产化

表 22：银浆与银粉的国产化情况

电池类型	栅线种类	正面		背面	
		银浆	银粉	银浆	银粉
P 型电池		61%	10%	100%	100%
N 型电池——TOPCon		70%		70%	
N 型电池——HJT	主栅	10%		10%	
	细栅	0%		0%	

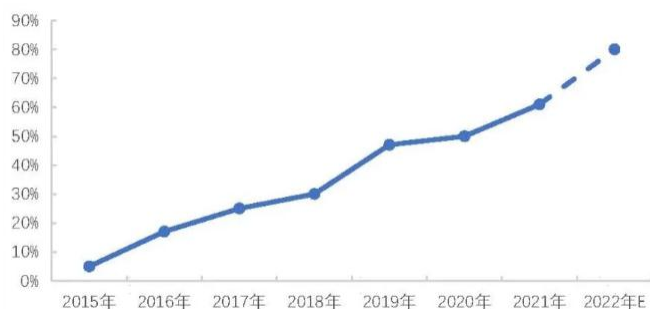
资料来源：CPIA《中国光伏产业年度报告》、光大证券研究所；截至 2021 年底

在 PERC 时代，正银主要采用球形银粉，背银采用片状银粉。其中背面银浆的技术要求较低，从原料端的片状银粉到产品端的背面银浆基本都已实现国产化。尽管 P 型电池正面银浆的国产化率在 2021 年末已达到 61%，但正面银浆所用的银粉大多仍依赖进口。

n 型电池用正银国产化程度明显提升。受制于市场规模以及技术等因素影响，当前 n 型电池的正面银浆国产化程度开始出现较大的分化。2021 年 TOPCon 电池用正面银浆国产率达 70%左右；HJT 电池用低温主栅银浆国产率 10%左右，细栅用银浆依然全部依赖进口。

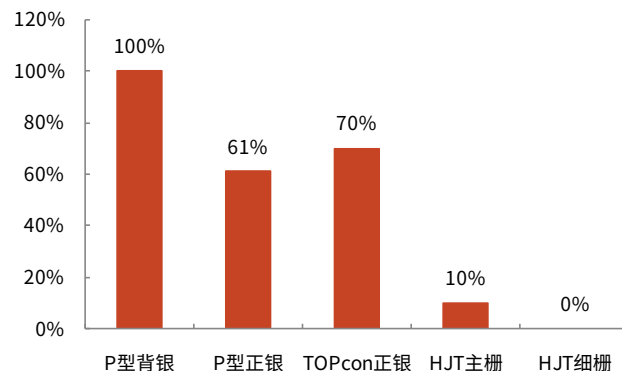
国外银粉制造厂家主要集中于日本和美国，销量较大的有日本 DOWA、日本德力化学、美国 Ferro 和 Ames Goldsmith 等公司。

图 134：国产正面银浆市占率



资料来源：CPIA《中国光伏产业年度报告》；截至 2021 年底

图 135：各类银浆国产化率

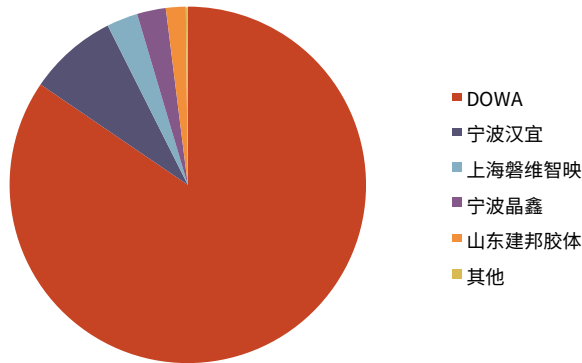


资料来源：CPIA《中国光伏产业年度报告》、光大证券研究所；截至 2021 年底

银粉国产化率远低于银浆国产化率。原因在于银浆工艺核心在于配比，而银粉的制造则具备更高的壁垒，特别是低温银粉对比表面积、分散性、平均粒径、振实密度等参数要求更高。

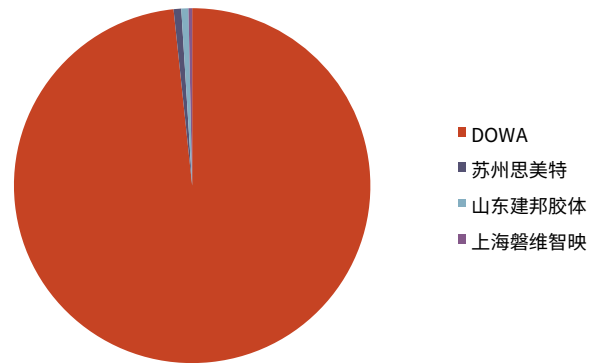
从部分头部公司已公布的数据来看，银粉供应市场呈现寡头垄断格局。日本 DOWA 占据了聚和材料银粉供应的 84.6%（2021 年），占据帝科股份银粉供应的 97.4%（2019 年）。

图 136：聚和材料银粉采购（2021 年）



资料来源：聚和材料招股说明书；注：宁波汉宜、上海磐维智映均为贸易商，代理中船重工黄冈贵金属有限公司生产的银粉产品

图 137：帝科股份银粉采购（2019 年）



资料来源：帝科股份招股说明书

全球主要银粉厂家：日本 Dowa、美国 AMES。国内主要银粉供应商包括苏州思美特、宁波晶鑫、山东建邦胶体、成都天府金属粉体、江苏博迁新材、中船重工黄冈贵金属等。

表 23：全球主要银粉厂家

公司	介绍
日本 Dowa	同和控股（集团）有限公司，创立于 1884 年，截至 2022 年 3 月末员工人数约 7,400 人，共有环保与循环再生、冶炼、电子材料、金属加工、热处理五大业务。其中电子材料由同和电子科技有限公司负责，提供用于各种电子设备的半导体材料、导电性材料及磁性材料等。
美国 AMES	前身为 Ames Chemical Company，成立于 1860 年，在 1979 年被 Ames Goldsmith Corporation 收购。经过 150 年的发展，Ames Goldsmith 已成为世界上最大的综合白银制造商之一，年白银消费量超过 8500 万金衡盎司。公司通过回收工业、医药、摄影、电子元件和制成品消费品领域的白银，生产硝酸银、氧化银以及高级银粉和银片。除了银基材料外，公司还拥有生产铜基材料的专有技术。
苏州思美特	苏州思美特表面材料科技有限公司（Smart）致力于贵金属精炼、贵金属粉末、贵金属化学品及新型材料的生产及市场推广，为客户提供一站式服务。目标成为集创新与竞争为一体的全球性贵金属集团公司，目前主要涉及的贵金属产品如金、银、钯、钌等。Smart 目前为晶体硅和薄膜太阳能电池用银浆提供专业的银粉产品，为光伏行业提供效率高、成本低的解决方案。
宁波晶鑫	宁波晶鑫电子材料有限公司成立于 2001 年 12 月，座落于宁波市北仑科技园区，是一家主要从事电子材料研制、开发、生产和销售的国家级高新技术企业，厂区面积 10000 平方米，建筑面积 7000 平方米，拥有年产量 200 吨银粉及 100 吨银浆的规模生产线，年销售收入 1 亿元左右、近三年利税均在 1000 万元以上。目前企业的主导产品有各规格的超细银粉、电子银浆、石英晶片、太阳能电池浆料。
山东建邦胶体	山东建邦胶体材料有限公司成立于 2010 年，注册资本 3500 万元，位于国家火炬特色产业基地——济南新材料产业园区内，公司隶属于山东建邦控股集团，是一家专业为太阳能电池银浆提供高端银粉的高新技术企业。依托建邦集团强大的资金支持，通过不断的技术创新，建设了国内首条拥有自主知识产权的太阳能电池银浆用银粉生产线，公司产品技术先进性得到了行业专家及客户的一致认可。公司现拥有年产 300 吨银粉的生产能力。
成都天府金属粉体	成都市天府金属粉体有限责任公司，注册成立于 2011 年 8 月，是一家采用国际先进技术专注于银粉生产的贵金属粉末生产商。目前天府粉体有近 30 种球形银粉与片状银粉产品，可以应用于光伏产业、电子元器件、薄膜电子开关、触摸屏、电子标签以及 PDP 显示器浆料等行业。现阶段天府粉体具备年生产 180 吨球形银粉与片状银粉的能力，并在工业园内置地 80 亩计划建设年产 450 吨规模的工厂。目前天府粉体已经推出了多种突破性产品，且有多种太阳能正银、太阳能背银、纳米银粉、PREC 银粉正在量产，并能依据客户需求进行技术合作订制专项产品。
江苏博迁新材	江苏博迁新材料股份有限公司，成立于 2010 年，是一家集高端纳米金属粉体材料研发、生产、销售为一体的国家高新技术企业。公司采用常压物理气相冷凝法（PVD）制备超细金属粉末，填补了国内该技术产业化的空白，并且公司作为唯一起草单位，起草与制定了我国第一项电容器电极镍粉行业标准，是目前全球领先的实现纳米级电子专用高端金属粉体材料规模化量产及商业销售的企业。目前公司产品主要包括纳米级、亚微米级镍粉和亚微米级、微米级铜粉、银粉、合金粉。2022 年，公司新建一条 HJT 异质结电池用银包铜粉中试产线，持续推进产品稳定性测试，深入挖掘规模化生产降本增效潜力，为后续银包铜粉规模化量产提供有效技术支撑。
中船重工黄冈贵金属	中船重工黄冈贵金属有限公司，前身为中国船舶重工集团有限公司第七一二研究所贵金属材料事业部。2017 年公司整体划归集团公司旗下上市平台中国动力（股票代码：600482），成为中国动力全资子公司。公司主要致力于贵金属领域内的产品研发、生产和销售，产品涵盖硝酸银、太阳能电池用超细银粉、电子浆料、贵金属盐、高纯金属、贵金属精炼等。黄冈园区项目总投资 4.5 亿元，于 2017 年建成年产 2000 吨硝酸银和 1200 吨银粉生产线，贵金属盐、电子浆料以及贵金属精炼等产线亦相继建成投产。随着光伏市场的迅猛发展，目前投资近 2 亿元的银粉项目正在规划建设中。

资料来源：各公司官网、光大证券研究所整理

从部分性能参数来看，进口银粉的一致性更高，比表面积更大。部分国产银粉性能已达到进口银粉同等水平。

表 24：全球主要银粉厂家产品性能

项目		平均粒径(μm)	平均粒径(μm)(D90)	松装密度 (g/cm3)	振实密度 (g/cm3)	比表面 (m2/g)
日本 DOWA	AG4-8F		2.8		5.4	0.43
	AG2-1C		1.3		5.3	0.93
美国 FERRO	AgSP107		2.2		5	0.71
美国杜邦	M1		<7		5.0-5.6	0.25-0.6
美国 AMES	K1-ED		0.88		4.2	2.1
宁波晶鑫	16#A	2.0~2.3		2.8~3.5	5.5~6.0	0.3~0.4
	16#B	1.7~2.0		3.0~3.4	5.4~5.9	0.4~0.5
成都天甫	TFQF-4N		2.6~3.3	2.0~3.0	≥6.2	0.4~0.5
	TFQF-4		2.7~3.3	2.0~3.0	≥6.0	0.5~0.6
中船重工黄冈贵金属	S334		1.8~2.5		5.9~6.4	0.41~0.46
	S560		1.7~2.4		6.0~6.6	0.29~0.35
江苏博迁新材	Ag-S0800	0.82-0.95	1.40-2.80		≥4.6	0.60-0.70
	Ag-S2000	1.80-2.20	3.80-5.20		≥5.0	0.25-0.32
山东建邦胶体	S115G		1.7-2.3		5.0-5.8	0.4-0.8
	S525G		2.3-3.3		5.5-6.5	0.4-0.8
贵研铂业	SAg-2				4.5-6.0	<0.6

资料来源：各公司官网、光大证券研究所整理

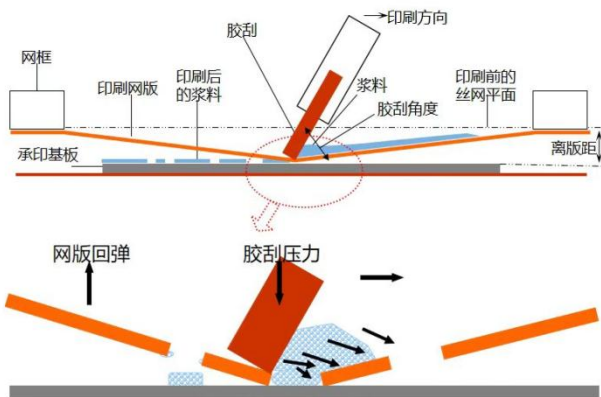
6.2、金属化之工艺：接触式与非接触式

6.2.1、接触式

根据中国光伏产业协会数据，目前电池片的金属栅线几乎全部通过丝网印刷的方式制备，2021 年市场占比达到 99.9%。预计未来 10 年内丝网印刷技术仍将是主流技术。

丝网印刷由五大要素构成：工作台、丝网、刮刀、浆料、基片。基片直接放在带有模板的丝网下面，丝网印刷油墨或涂料在刮刀的挤压下，从图形部分的网孔中间挤压到基片上。印刷过程中刮板始终与丝网模板和基片呈线接触，接触线随刮刀移动而移动，其他部分与基片为脱离状态，保证印刷尺寸精度和避免蹭脏基片。

图 138：丝网印刷示意图



资料来源：美能光伏

图 139：丝网印刷机



资料来源：美能光伏

分步印刷（DUP）&两次印刷（DP）

两次印刷：

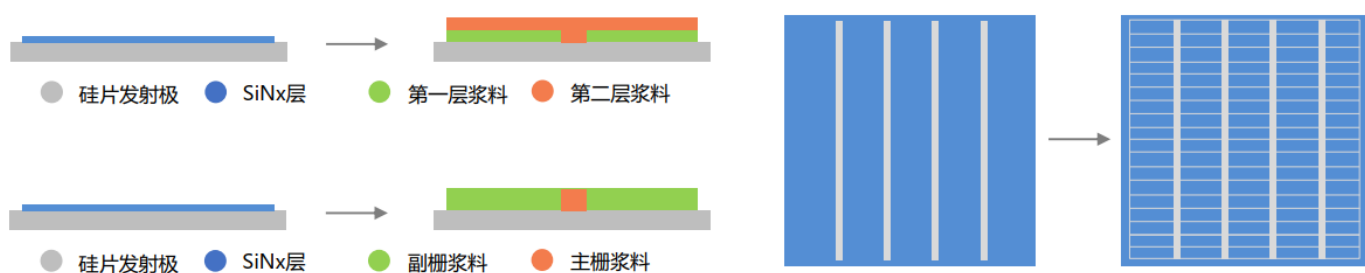
先印刷第一层银浆并烘干，在第一层银浆的基础上覆盖第二层银浆，两层共烧结形成电极。

两次印刷的方法可以突破单次丝网印刷高宽比的天花板，能有效提高电极栅线的高宽比，既能增加电池的受光面，又能降低栅线电极整体的线电阻，从而大幅提升电池的光电转换效率。

分步印刷：

根据主栅与细栅线对浆料特性要求的不同，将主栅与细栅分开印刷。细栅采用主流的正面电极银浆，具有较好的塑形能力和良好的烧结特性及欧姆接触。由于主栅在电池片上主要作用是汇集细栅上的电流，对塑形能力的要求较低，因此可选用较便宜的银浆。同时分开印刷后主栅网版可以采用与细栅规格不同的网版，可进一步降低主栅线的银浆单耗。

图 140：分步印刷和两次印刷原理



资料来源：帝科股份《高效光伏技术发展与金属化解决方案》

多主栅：从 MBB 到 SMBB

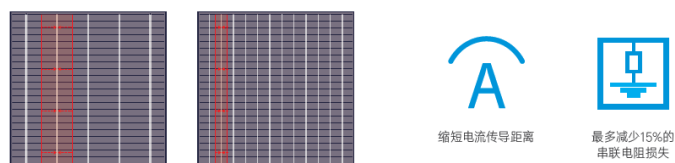
主栅是指晶硅太阳能电池表面上的粗电极条，起到连接细栅，将电池体内产生的光生电流引到电池外部的作用。多主栅技术（MULTI-BUSBAR，MBB）是通过提高主栅数目，提高电池应力分布均匀性，进而提高导电性，增加转换效率。

综合来看，多主栅技术（MBB）具有电学和光学两方面优势。

电学优势：

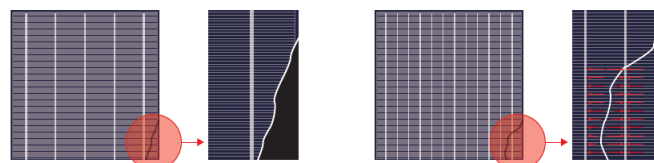
- 1) MBB 电池片电流横向收集路径增加，较传统 5BB 提高 30%以上；
- 2) MBB 技术可以使电流流经细栅到达主栅的路径显著缩短 50%以上，有效减少电流流经细栅产出的功率损耗；
- 3) MBB 技术提高了电流的收集能力，即多主栅对电池片隐裂、断栅、破裂等容忍度更高。

图 141：MBB 技术缩短电流收集路径



资料来源：天合光能分布式公众号

图 142：MBB 技术对电池片隐裂容忍度更高



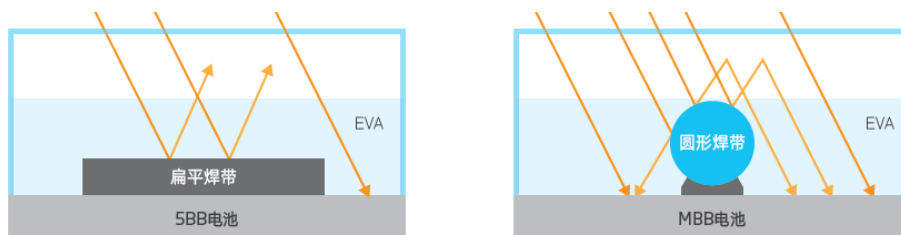
资料来源：天合光能分布式公众号

光学优势：

多主栅组件设计中，由于单根焊带变细，一般选用圆形焊带进行电池片连接，相对与扁平型常规焊带，圆形焊带更能体现光学上的优势。

圆形焊带的使用，使得入射光无论从哪个角度进入，都能在焊带区域获得约 75% 的利用率，而传统的 5BB 采用的平焊带对入射光的综合利用率仅 5% 以内。

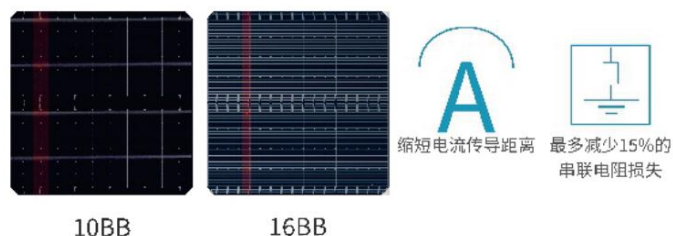
图 143：圆形焊带的光学优势



资料来源：天合光能分布式公众号

理论上来说，SMBB 是 MBB 技术的升级版，延续了 MBB 的诸多优点，通过采用更细的栅线，实现更少的遮挡和更短的电传输距离。从而有效降低了串联电阻，并进一步提高了对电池对隐裂、断栅、破裂的容忍度，提高可靠性。

图 144：SMBB 技术可以缩短电流传导距离，降低电阻



资料来源：一道新能 N 型产品白皮书

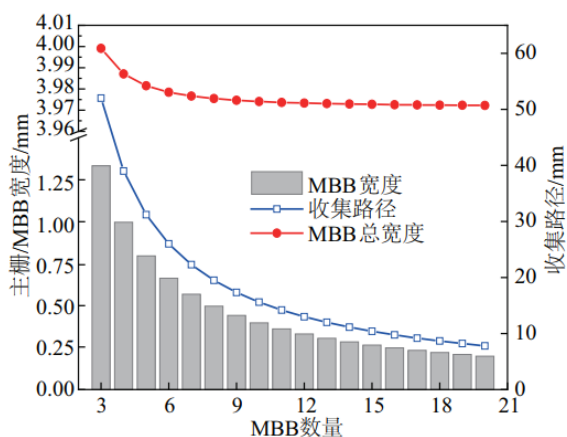
图 145：华晟 15BB 半片 N 型异质结电池（G12）



资料来源：华晟新能源官网

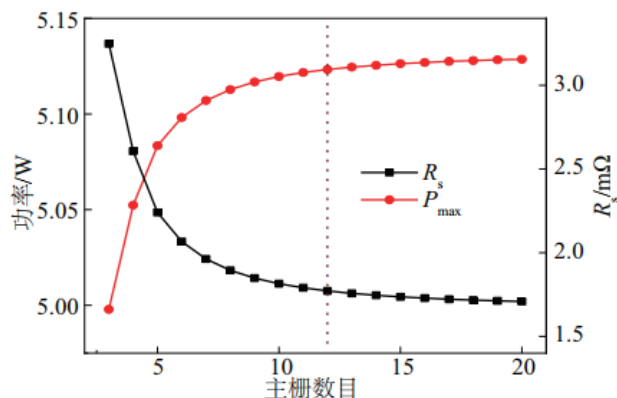
不管是 MBB 还是 SMBB，对于丝网印刷的原理性要求变化不大，与现有设备兼容。重要的是主栅增多，焊丝变细，焊点变小，对于串焊机的对位精度和焊接精度要求提升。同时，由于主栅变细，需开发相应的 MBB/SMBB 焊带。

图 146：主栅数量增加，收集路径和主栅宽度降低



资料来源：陈喜平《MBB 太阳能电池栅线的设计优化》

图 147：主栅数量增加，串联电阻降低，电池功率提升



资料来源：陈喜平《MBB 太阳能电池栅线的设计优化》

部分厂家相关进展：

迈为股份：积极探索新的组件工艺，成功开发出 SMBB 串焊机，可以满足 163、166、182 和 210 多种规格电池的 SMBB 产品需求，焊丝直径最小可以兼容到 0.25mm；

宇邦新材：公司研发了适用于多栅组件的 MBB 焊带、适用于 HJT 组件的低温焊带、适用于叠瓦组件的超薄冲孔焊带、适用于微间距组件的异形焊带等。目前市场上主流的产品还是 MBB 焊带，SMBB 焊带的市场正在逐步推开。

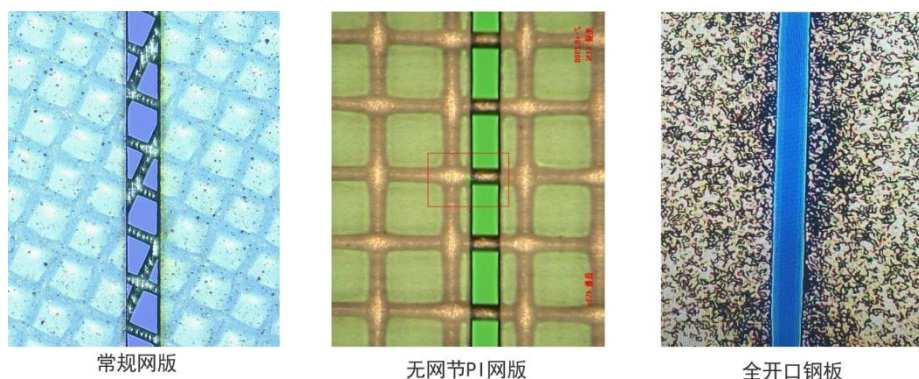
同享科技：公司除了积极开发常规互连焊带、常规汇流焊带外，也积极探索与研发 SMBB 焊带、黑色汇流带及反光焊带。公司年产涂锡铜带（丝）15000 吨项目建成后，将形成 8000 吨 SMBB 焊带、4000 吨异形焊带、2200 吨反光汇流焊带及 800 吨黑色汇流焊带的生产能力。

钢板印刷

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

由于栅线印刷区域为全开口结构，印刷高度均匀，在制造相同效率电池的情况下，净节省 20% 左右的银浆。

图 148：网版结构差异



资料来源：迈为股份公众号

值得一提的是，钢板印刷的优势是建立在多主栅的基础之上。根据迈为股份公众号：太阳能电池已进入多主栅时代，多主栅使得每段细栅的长度大大缩短，解决了全开口钢板栅线变形的问题。

6.2.2、非接触式

激光转印

激光图形转印技术（Pattern Transfer Printing，简称：PTP）是一种新型的非接触式的印刷技术，该技术在特定柔性透光材料上涂覆所需浆料，采用高功率激光束高速图形化扫描，将浆料从柔性透光材料上转移至电池表面，形成栅线。

激光转印能够突破传统丝网印刷的线宽极限，轻松实现 25um 以下的线宽，且印刷高度一致性、均匀性优良，误差在 2um。作为非接触式印刷，可以避免挤压式印刷存在的隐裂、破片、污染、划伤等问题。

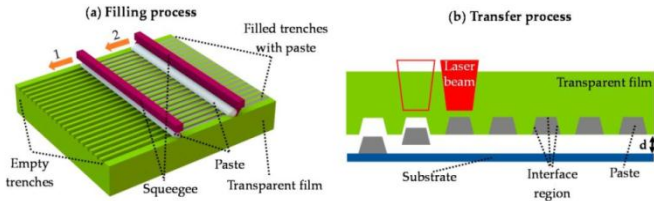
激光转印包括两个步骤：填充过程和转移过程。

填充过程：使用的是带有压花沟槽的透明聚合物薄膜，通过两个具有不同倾斜度的金属吸水扒胶条将浆料填充到沟槽中。

转移过程：将充满沟槽的薄膜旋转 180°并移至打印位置，电池片放置在薄膜下方 200μm 处，依次使用波长为 1070nm 的激光照射。

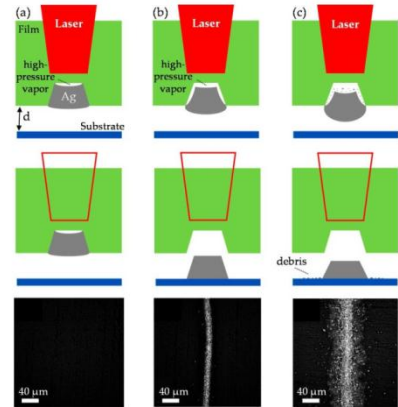
激光辐照通过透明膜，其能量首先被糊剂表面吸收。产生的热能使浆料和沟槽之间的界面区域中的有机成分汽化，并在浆料/薄膜界面处形成高压蒸汽层。当在浆料/薄膜界面处建立足够的压力时，浆料会释放到基材表面上。

图 149：激光转印过程示意图



资料来源：MDPI

图 150：不同激光功率下激光转印过程

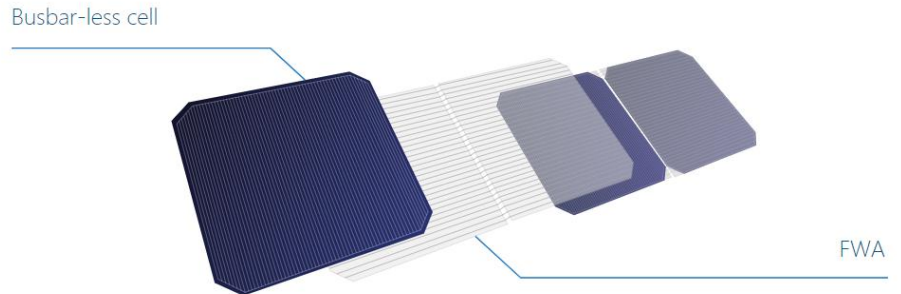


资料来源：MDPI

无主栅（SWCT）技术

无主栅技术（SmartWire Connection Technology，简称 SWCT）由加拿大 Day4 能源公司发明，由梅耶博格开发和工业化，并于 2013 年正式发布。其关键技术在于使用铜线（由锡合金包覆）代替传统主栅，并将铜线嵌于聚合物薄膜之上，同时实现了细栅电流汇集传输和电池片连接，从而完成对主栅和焊带的替代。

图 151：无主栅技术

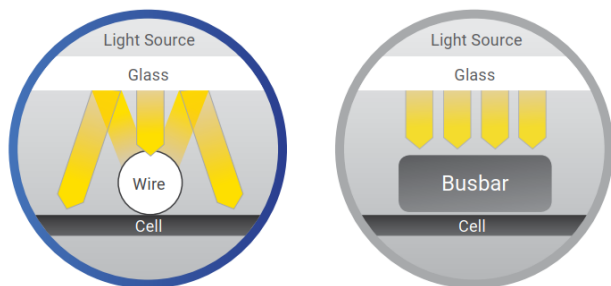


资料来源：SolarTech

SWCT 技术的优势：

1、**提效，原理同 SMBB 技术。**首先，SWCT 技术中用细线代替主栅，相比 SMBB 技术，主栅数量进一步增多，通过缩短细栅电流传输距离，增加电流收集能力从而实现提效。其次，SWCT 技术采用圆丝铜线，较传统主栅增加了入射光利用率。

图 152：圆丝铜线有效减少遮光



资料来源：SolarTech

图 153：主栅数量呈上升趋势

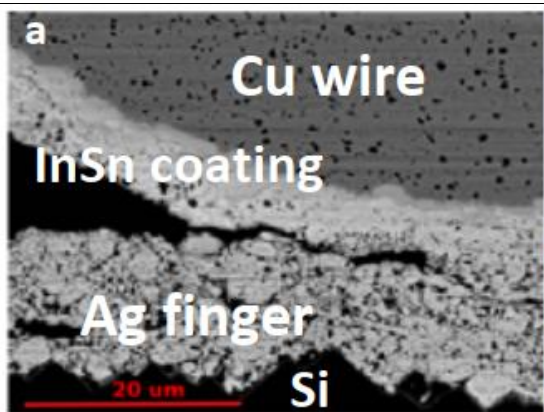


资料来源：SolarTech

2、降本，实现主栅去银化。SWCT 技术中采用圆铜线（锡合金包覆），实现了主栅去银化。第一代 SWCT 技术使用锡锡合金，第二代技术使用铋锡合金，成本进一步降低。同时由于主栅（圆铜线）数量增多，细栅宽度有望实现进一步下降。根据 CSEM 数据，相比传统丝网印刷技术，SWCT 技术可以将银耗量降低 85%。

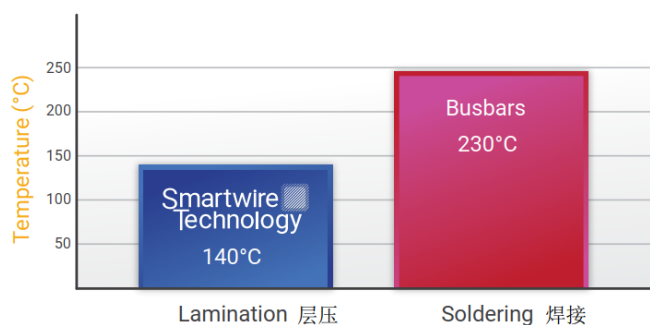
3、免焊接，在层压过程中实现接触。SWCT 技术中不但省去了主栅印刷，还省去了焊带焊接过程，在层压过程中实现圆铜线与细栅的接触。锡锡合金的熔点为 120℃，铋锡合金的熔点为 138℃，因此层压温度低于 140℃即可实现熔融接触。

图 154：锡锡层与银形成接触



资料来源：Antonin Faes 《SmartWire solar cell interconnection technology》

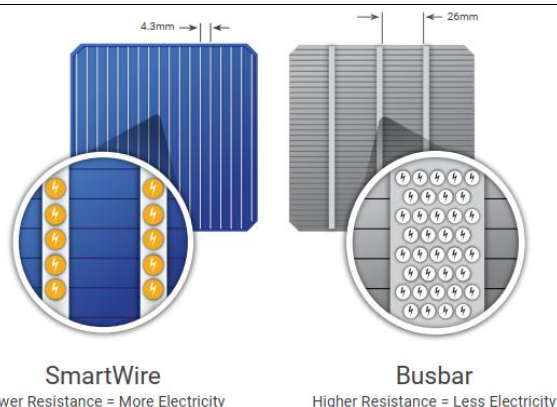
图 155：SWCT 技术可实现低温熔融接触



资料来源：SolarTech 《SmartWire Connection Technology》

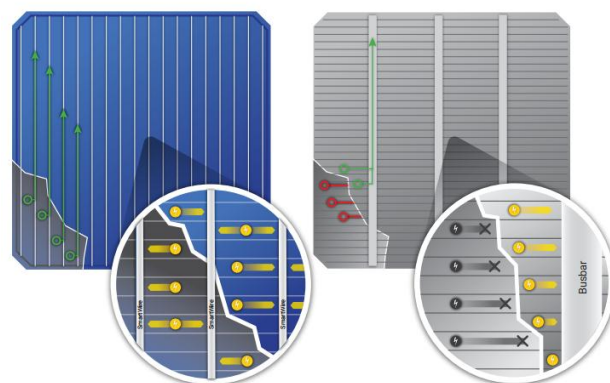
4、可靠性。一方面，同 MBB 技术类似，更细密的网格提高了电流的收集能力，即对电池片隐裂、断栅、破裂等容忍度更高。另一方面，SWCT 技术对电池片施加的应力更小，这归功于低温工艺和灵活细线，可有效减少电池片边缘翘曲。

图 156: SWCT 技术缩短电流收集路径



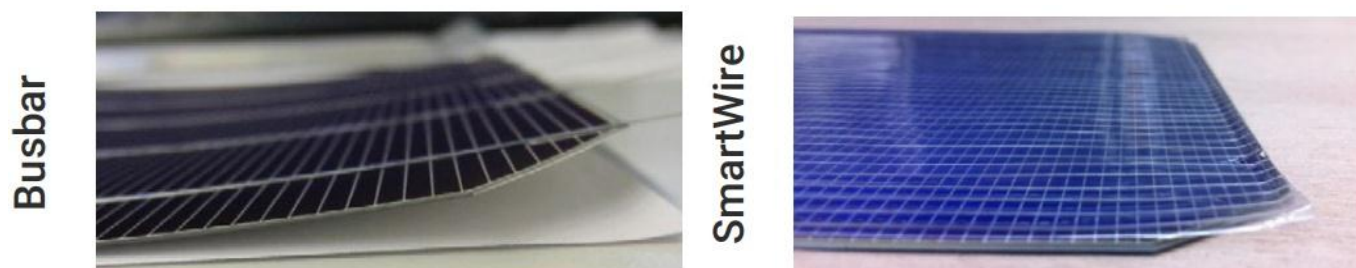
资料来源: SolarTech

图 157: SWCT 技术对电池片隐裂容忍度更高



资料来源: SolarTech

图 158: SWCT 技术可实现更小应力



资料来源: SolarTech

铜电镀

铜电镀实现量产后,有望彻底替代银浆的使用,从而实现有效降本。铜电镀工艺整体分为图形化和金属化两大环节。

图形化环节:

种子层的核心作用是改善 TCO 的附着力,通常采用镍或镍-铜合金。但镀制的种子层需要在完成电镀后,进行种子层的回蚀,增加了供需,影响了工艺的量产性。目前可选择的方法有选择性种子层沉积或无种子层工艺。2022 年 9 月,迈为&SunDrive 双面微晶无种子层直接电镀效率 26.41%。

图形化的核心环节在于制备选择性沟槽,以便进行下一步电镀环节,目前常见的方法有曝光显影和激光开槽两种。

曝光显影法：需要喷涂感光胶层，但出于成本考虑，目前多采用 PCB 领域已量产的光敏 UV 油墨或干膜。曝光环节有直写光刻和掩膜光刻两种选择。直写方案无需制作底片，在精度、良品率、生产周期、自动化水平方面具备优势。

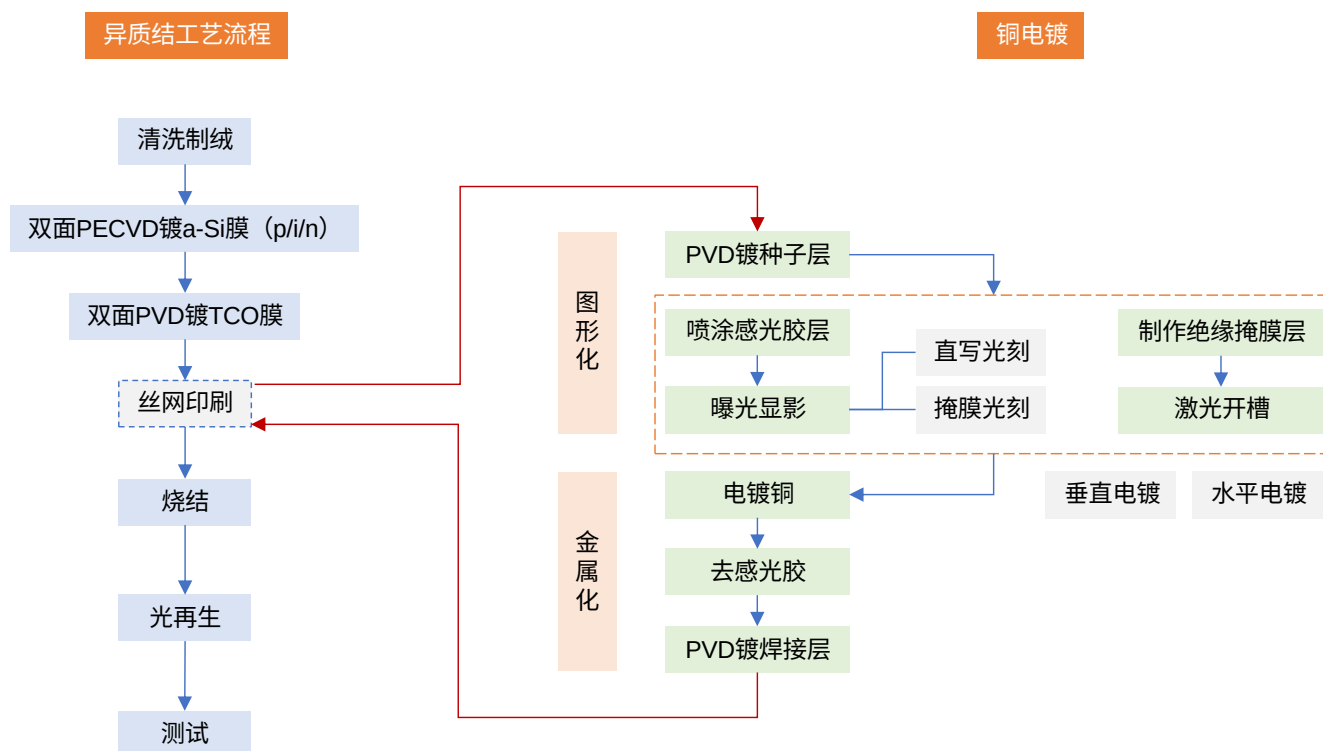
激光开槽法：在电池表面制备绝缘掩膜层（如氮化硅、氧化铝等），然后用激光去除掩膜层，露出待电镀区域的金属导电层，即完成图形化工序。但问题在于异质结电池的本征非晶硅、掺杂非晶硅层厚度小于 20nm，容易受到激光的损坏。因此激光开槽法可以用于 TOPCon 和 BC 类电池，与 HJT 电池并不兼容。

金属化环节：

核心为电镀环节。根据罗博特科公告，目前市面上比较主流的主要是垂直升降式电镀、垂直连续电镀、水平电镀三个方向。垂直电镀在 PCB 领域应用广泛，但缺点在于自动化水平较低；水平电镀自动化程度高，可长时间稳定工作，但技术要求高，长期为国外垄断。

东威科技光伏电镀路线为垂直电镀，同时掌握水平电镀技术（主要用于 PCB 领域），公司水平电镀技术为国内首创；罗博特科的方案区别于垂直升降式电镀、垂直连续电镀、水平电镀三种方案；捷得宝光伏电镀路线为水平链式。根据公告和官网信息，东威科技和捷得宝设备产能均达到 6000 片/小时。

图 159：铜电镀工艺流程



资料来源：中科院电工所《HJT 太阳能电池技术产业链生态的发展》、光大证券研究所

表 25：铜电镀领域各公司进度

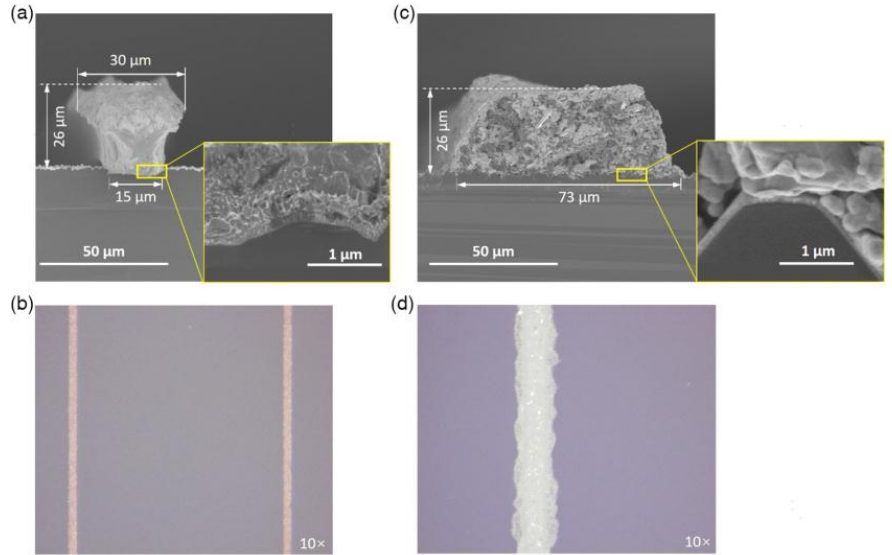
	公司	进度
图形化	芯碁微装	国内纳微直写光刻设备龙头，主要覆盖 PCB 和泛半导体领域
	帝尔激光	主要布局电镀化学工艺前的激光开槽，公司在前期 TOPCon 电镀工艺上已实现较好的中试应用，在 IBC 上又有更进一步的突破，目前已有电镀铜激光设备的量产订单
	迈为股份	铜电镀这个路径现在在 4 个技术难点，目前公司攻克了一半多，争取在明年上半年有一条中试线在客户端运行起来
电镀铜	东威科技	公司从 2020 年 8 月立项研发“光伏电池片金属化 VCP 设备”，中试线已经取得完全成功，大量产线已经攻克了设备和自动化技术难关，目前在设备研发设计制作中，其特点是：大产能，6000 片/小时；均匀性好，图形均匀性 3%；占地小；清洁环保；高效节能等
	罗博特科	公司加快推进在太阳能电池铜电镀制备电极方向的开发步伐，已经完成了工艺流程的验证部分，并完成了相应各工艺段的样片试制，公司技术团队对铜电镀样片进行了初步的检验和评估，各项指标基本达到预期。公司目前正在和几家客户合作开发铜电镀项目。关于铜电镀方案目前市面上比较主流的主要是垂直升降式电镀、垂直连续电镀、水平电镀三个方向，目前罗博特科全新开发了一种区别于前三种模式的第四套方案，综合了前三种方案的优点，也弥补或者平衡了这三种方案的缺陷，具有较好的优势
	捷得宝	捷得宝铜电镀设备 1) 适用于各种高效电池片例如：PERC、TOPCON、HJT、HBC、IBC、叠瓦片皆可使用，切换产品时无需改变设备配置。2) 水平链式传输设计可执行单、双面同时电镀，具有均匀性佳等优点。3) 产速高、体积小、本设计流速可调整 1m/min~2.5m/min，可调节不同的金属镀层需要；产速以 M2 算，目前可达 6000 片/小时（10um、10ASD），目标 10000 片/小时

资料来源：各公司官网、公告；截至 2022 年 11 月底

铜电镀有望成为光伏电池金属化终极方案。原因在于该技术路线不但可以有效实现降本，而且对光伏电池效率提升亦有帮助。

从栅线形貌来看，铜电镀可以将栅线宽度降至 15 μ m，高 26 μ m，外观更加平直。从接触部位微观结构来看，铜电镀的接触部位较银浆印刷烧结工艺更致密，空隙更少。

图 160：镀铜可以实现更好的接触



资料来源：Can Han 《Controllable Simultaneous Bifacial Cu - Plating for High - Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells》

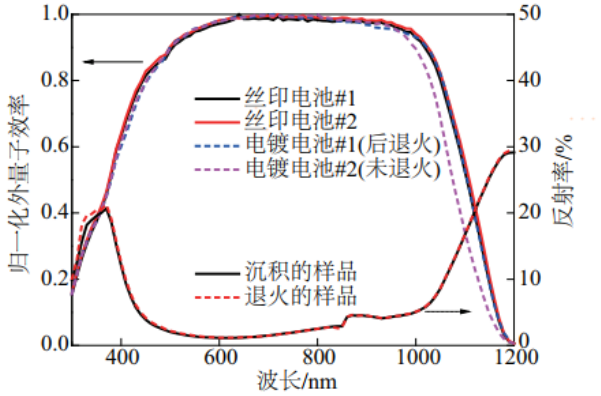
基于更大的高宽比和更细的栅线宽度，以及更好的接触界面，铜电镀实现了较银浆更高的转换效率。根据文献披露，同一批电池片分别采用铜电镀和丝印银浆，最终电池效率相差 1-2 个百分点。

表 26：铜电镀和丝印银浆电池效率对比

	开路电压(V_{oc} , mV)	短路电流(I_{sc} , mA/cm ²)	填充因子(FF, %)	效率 (η , %)
铜电镀	716±1.5	38.07±0.04	80.76±0.04	22.02±0.06
银浆	710±3.5	37.24±0.02	76.11±0.07	20.12±0.10

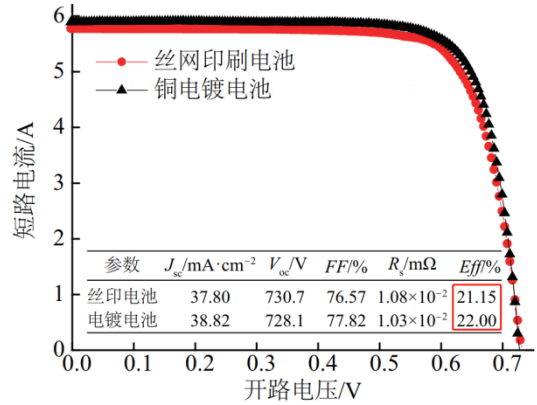
资料来源：Can Han 《Controllable Simultaneous Bifacial Cu - Plating for High - Efficiency Crystalline Silicon Solar Cells》

图 161：优化设计的电镀电池与丝印电池比较



资料来源：俞健《硅异质结太阳能电池接触特性及铜金属化研究》

图 162：退火对铜金属化电池外量子效率 EQE 的影响



资料来源：俞健《硅异质结太阳能电池接触特性及铜金属化研究》

目前金属化工艺包括丝网印刷、钢板印刷、激光转印、无主栅、铜电镀等，预计未来 5 年内丝网印刷工艺仍将占据主流地位。

关键假设：

1) 市场占比：根据 CPIA 数据，2022 年丝网印刷的市场占比仍高达 99.9%。由于高效电池对栅线宽度的要求，各种替代路线兴起，假设 2023-25 年丝网印刷路线市场占比为 95.5%/89.2%/82.0%，钢板印刷市场占比为 1.0%/2.0%/3.0%，激光转印市场占比为 1.0%/2.0%/3.0%，无主栅市场占比为 2.0%/5.0%/8.0%，铜电镀市场占比为 0.5%/1.8%/4.0%；

2) 设备单价：假设 2023-25 年丝网印刷机单价为 0.41/0.36/0.33 亿元/GW，激光转印设备单价为 0.33/0.32/0.30 亿元/GW，电镀铜设备单价为 1.96/1.86/1.77 亿元/GW；

则 2023-25 年丝网印刷机（含钢板印刷）市场空间为 96.7/81.4/74.4 亿元，激光转印设备市场空间为 2.7/4.5/6.6 亿元，电镀铜设备市场空间为 9.0/28.7/70.8 亿元。

表 27：金属化设备市场空间

	2021	2022	2023E	2024E	2025E
产能 (GW)					
PERC	380	466	480	450	400
xBC	2	19	40	60	80
TOPCon	10	60	260	510	790
HJT	6	14	46	100	200
其他	20	16	17	16	17
合计产能	418	575	843	1,136	1,487
新增产能	136	157	268	293	351
HJT 新增产能	2	8	32	54	100
印刷路线 (%)					
丝网印刷	99.9%	99.9%	95.5%	89.2%	82.0%

钢板印刷	0.0%	0.0%	1.0%	2.0%	3.0%
激光转印	0.0%	0.0%	1.0%	2.0%	3.0%
无主栅	0.0%	0.1%	2.0%	5.0%	8.0%
铜电镀	0.0%	0.0%	0.5%	1.8%	4.0%
——HJT 中铜电镀	0.0%	0.1%	10.0%	20.0%	30.0%
合计	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
印刷路线 (GW)					
丝网印刷	417.9	574.5	804.9	1,013.9	1,218.7
钢板印刷	0.2	0.1	8.4	22.7	44.6
激光转印	0.1	0.2	8.4	22.7	44.6
无主栅	-	0.3	16.9	56.8	119.0
铜电镀	0.0	0.0	4.6	20.0	60.0
金属化设备 (亿元/GW)					
丝网印刷机	0.50	0.45	0.41	0.36	0.33
激光转印	0.35	0.35	0.33	0.32	0.30
电镀铜设备	2.00	2.00	1.96	1.86	1.77
——曝光机	0.50	0.50	0.49	0.47	0.44
——电镀机	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27
市场空间 (亿元)					
丝网印刷机		70.5	96.7	81.4	74.4
激光转印		0.0	2.7	4.5	6.6
电镀铜设备		0.0	9.0	28.7	70.8
——曝光机		0.0	2.3	7.2	17.7
——电镀机		0.0	1.4	4.3	10.6

资料来源: InfoLink Consulting、光大证券研究所预测

关键假设:

1) 假设丝网印刷和钢板印刷采用银浆, 激光转印一半采用银浆, 一半采用银包铜浆料, 则 2023-25 年银浆路线占比为 97.0%/92.2%/86.5%, 非银浆路线占比为 3.0%/7.8%/13.5%。其中银包铜路线占比为 0.5%/1.0%/1.5%, 电镀铜路线占比为 0.5%/1.8%/4.0%;

2) 根据 CPIA 数据, 2022 年 PERC 电池银耗量 91mg/片 (正银+背银), TOPCon 电池银耗量 115mg/片, HJT 电池银耗量 127mg/片, 按照 21.0%/22.5%/23.0% 的组件端功率, PERC、TOPCon、HJT 单瓦银耗分别为 13.13/15.48/16.72 mg/W。

随着印刷技术进步, 电池单瓦银耗长期呈下降趋势, 假设 2023-25 年 PERC 单瓦银耗 12.86/12.61/12.35mg/W, TOPCon 单瓦银耗 15.17/14.87/14.57mg/W, HJT 单瓦银耗 16.39/16.06/15.74mg/W, 其他类型电池平均单瓦银耗同 PERC;

则 2023-25 年高温银浆需求量 5267/6185/6895 万吨, HJT 用低温银浆需求量 359/863/1181 万吨。

表 28: 金属化浆料市场空间

	2021	2022	2023E	2024E	2025E
银浆路线					
银浆	100.0%	99.9%	97.0%	92.2%	86.5%
非银浆	0.0%	0.1%	3.0%	7.8%	13.5%
——银包铜	0.0%	0.0%	0.5%	1.0%	1.5%
——电镀铜	0.0%	0.0%	0.5%	1.8%	4.0%
单瓦银耗(mg/W)					

PERC	14.01	13.13	12.86	12.61	12.35
TOPCon	21.82	15.48	15.17	14.87	14.57
HJT	28.43	16.72	16.39	16.06	15.74
其他	14.01	13.13	12.86	12.61	12.35
银浆需求					
PERC (万吨)	2,774	3,262	3,939	3,388	2,934
TOPCon (万吨)	66	313	1,328	2,797	3,961
高温银浆合计 (万吨)	2,840	3,575	5,267	6,185	6,895
HJT (万吨)	37	97	359	863	1,181

资料来源: InfoLink Consulting、光大证券研究所预测

关键假设:

1) 市场占比: 根据 CPIA 数据, 2022 年 9 主栅及以上技术市场占比为 100%, 其中 9BB 占比 34%, 10BB 占比 34.2%, 11BB 及以上占比 31.8%。假设 2023-25 年 9BB 以上技术市场占比为 70%/72%/74%, 无主栅技术市场占比为 2.0%/4.0%/6.0%;

2) 设备单价: 随着主栅数量增加, 对准精度要求提升, 串焊机单价提升。假设 2023-25 年普通串焊机单价为 1900/1850/1800 万元/GW, 多主栅串焊机单价为 1995/1943/1890 万元/GW, SMBB 串焊机单价为 2052/ 1998/1944 万元/GW, 无主栅串焊机单价为 2090/2035/1980 万元/GW。

则 2023-25 年串焊机市场空间为 56.4/65.1/65.5 亿元。

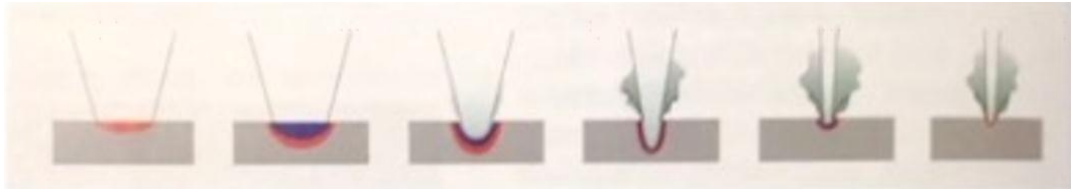
表 29: 组件环节设备市场空间

	2021	2022	2023E	2024E	2025E
组件新增产能 (GW)	145.2	149.9	180.6	181.8	159.1
组件存量替换产能 (GW)	62.5	72.8	96.3	145.8	179.2
串焊机需求 (GW)	207.7	222.7	276.9	327.7	338.3
主栅路线					
5BB	11.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9BB	55.0%	34.0%	28.0%	24.0%	20.0%
>9BB	34.0%	65.9%	70.0%	72.0%	74.0%
无主栅	0	0.1%	2.0%	4.0%	6.0%
主栅路线 (GW)					
5BB	22.85	-	-	-	-
9BB	114.23	75.72	77.53	78.64	67.65
>9BB	70.62	146.76	193.83	235.91	250.31
无主栅	-	0.22	5.54	13.11	20.30
单价					
普通串焊机 (万元/GW)	2,200	2,000	1,900	1,850	1,800
多主栅串焊机 (万元/GW)	2,310	2,100	1,995	1,943	1,890
SMBB 串焊机 (万元/GW)	2,376	2,160	2,052	1,998	1,944
无主栅串焊机 (万元/GW)	2,420	2,200	2,090	2,035	1,980
市场空间 (亿元)					
普通串焊机	5.03	-	-	-	-
多主栅串焊机	26.39	15.90	15.47	15.28	12.79
SMBB 串焊机	16.78	31.70	39.77	47.13	48.66
无主栅串焊机	-	0.05	1.16	2.67	4.02
合计	48.19	47.65	56.40	65.08	65.47

资料来源: InfoLink Consulting、光大证券研究所预测

7、激光的应用：沿着功率曲线，寻找用武之地

图 163：不同功率激光在光伏领域应用



主要效应	照射	加热	融化	融化和气化	气化	气化和电离	升华和直接分解
功率密度	30W/mm ²	30W/mm ²	1kW/mm ²	10kW/mm ²	1MW/mm ²	10W/mm ²	10GW/mm ²
相互作用时间	30-60s	s	ms	ms	ms	ns	ps/fs
光伏领域应用	光注入	SE、扩硼	串焊	激光开槽（PERC、电镀、IBC）	激光转印	无损划片	MWT打孔、网版切割

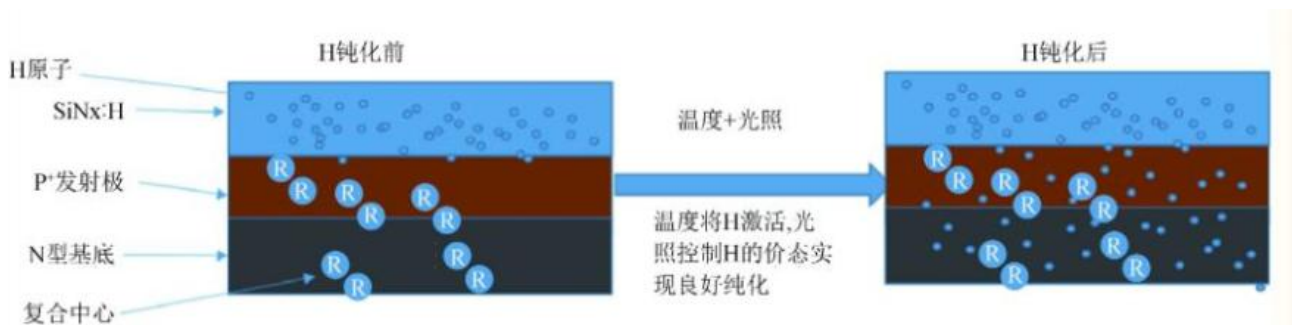
资料来源：大族激光《激光加工技术在光伏电池制造中的应用和前景》、光大证券研究所

1) 标准光照下，主要功能：光注入

异质结电池在经过光照后，会出现效率提升的现象。可能的原因在于，通过升温激活 SiNx 中的 H 原子，通过光照控制 H 原子的价态，使 H 原子在发射极和基底与复合中心结合，最终实现良好的钝化效果。

在光源方面，可以选择激光或 LED。

图 164：光注入增效原理

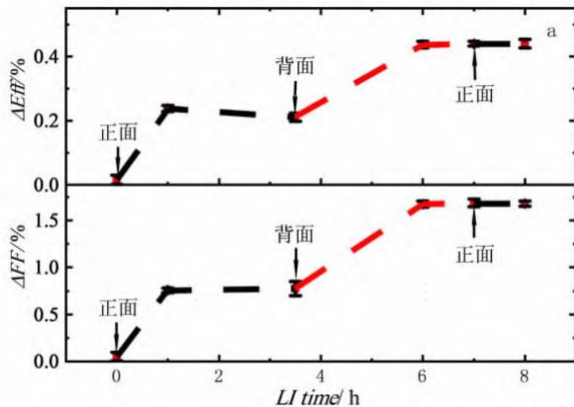


资料来源：沃特维《高效电池金属化工艺及再生平台——陶瓷辊道烧结炉/光注入设备》

根据余友林《硅异质结太阳电池光注入性能增益分析》数据，异质结太阳电池在 1-sun 标准光强下入光面顺序为正面-背面-正面时，效率出现两次提升。

首次进行正面光注入时，电池效率在 1h 内达到稳定，所产生的绝对效率增益为 0.22%。接着进行背面光注入，电池在 2h 光注入后重新达到稳定，累计产生的绝对效率增益为 0.42%。最后再次进行正面光注入 1h 后，电池性能无明显变化。

图 165：异质结太阳能电池交替光注入后效率变化



资料来源：余友林《硅异质结太阳能电池光注入性能增益分析》

图 166：光注入设备



资料来源：山东金晟阳光官网

2) 激光功率 30W/mm²，主要功能：加热，应用领域：SE、硼扩

不管是硼扩还是磷扩，都会在硅基体表面形成硼硅玻璃/磷硅玻璃，然后以硼原子或磷原子的形式向硅基体扩散。

而扩散掺杂的本质是原子的热运动，因此利用激光的精准特性实现对硼硅玻璃/磷硅玻璃实现线性加热，从而实现 SE（选择性掺杂）的作用。

在 PERC 时代，激光 SE 已成为产线标配。在 TOPCon 电池领域，由于硼在硅的固溶度低于磷，掺杂难度更高，在推进时需求更高的能量，即采用功率更高的激光器。但功率过高时，容易对绒面产生损伤。

目前行业内激光硼扩 SE 已实现突破。2022 年 10 月，晶科能源 182N 型高效单晶硅电池技术全面面积电池转化效率达到 26.1%，效率的提升主要依靠界面缺陷修复、高透多晶硅膜以及激光 SE 基础的超细金属电极等多项适用于大尺寸的先进技术。我们认为，激光 SE 技术是 TOPCon 电池转换效率从 25.5%向 26%效率平台迈进的关键技术。

设备层面，主要有海目星、帝尔激光、英诺激光、杰普特、大族激光。

表 30：设备公司 TOPCon 激光 SE 研发进展

公司	激光硼扩 SE 进展
海目星	与晶科合作在 TOPCON SE 环节率先突破，2022 年 4 月获得晶科 10.67 亿元中标通知，主要产品为 TOPCon 激光微损设备
帝尔激光	在 TOPCon 电池工艺上，公司一次掺杂方案在 5-6 家客户处验证，稳定在 0.2%-0.3%效率提升，预计年底前会实现量产订单
英诺激光	利用在 PERC 电池领域的经验积累，基于“光源+光学/运控+工艺”的一体化解决方案能力，成功开发了 QuaPulse™ 激光时空调制技术，2022 年 11 月 7 日正式推出基于该技术的定制激光器及 TOPCON 激光 SE 直掺设备
杰普特	2022 年 10 月，杰普特实现 TOPCon SE 激光一次硼扩的激光光源研发并完成交付，为光伏行业头部设备商客户提供高效的激光硼掺杂解决方案
大族激光	公司现有研发项目包括低压硼扩散炉、TOPCon 激光掺硼设备、LPCVD 设备等，低压硼扩散炉、TOPCon 激光掺硼设备处于客户验证阶段

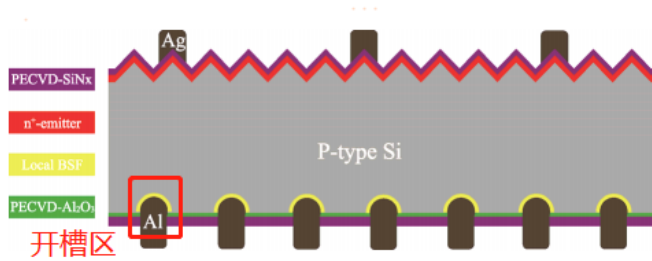
资料来源：各公司公告

3) 激光功率 10kW/mm²，主要功能：融化和气化，应用领域：激光开槽、消融

激光开槽是 PERC 电池必需的工艺。为了实现载流子传输，需要对钝化膜 Al₂O₃ 进行开槽，从而满足金属化需要。开槽后丝印铝浆，铝浆与硅基体接触处形成局部铝背场（LBSF），一定程度上抵消了金属与硅基体接触带来的复合效应。

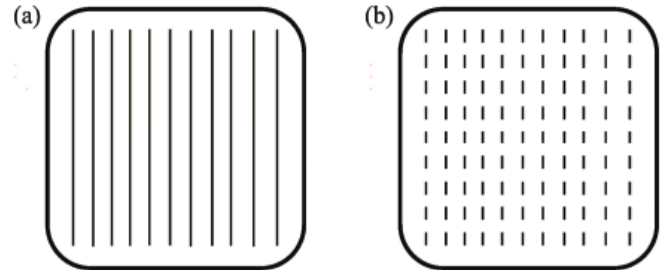
激光开槽的图形经过改进，由最初连续线型图案改为不连续短线图案。有研究表明，采用不连续短线作为开槽图案，当工艺控制虚实比为 1:2 时，电池输出性能最佳。

图 167：双面单晶硅 PERC 电池截面结构示意图



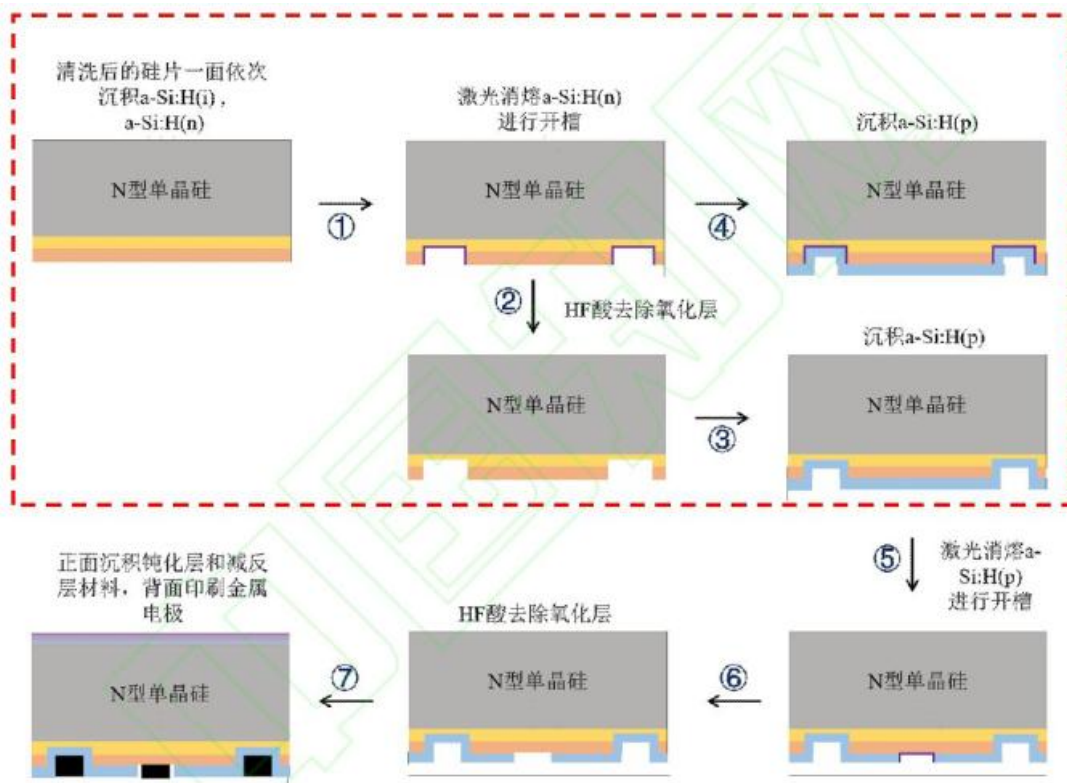
资料来源：王立富《背面选择性激光开槽图案优化双面 PERC 单晶电池输出性能研究》

图 168：电池片背部激光开槽图案设计



资料来源：王立富《背面选择性激光开槽图案优化双面 PERC 单晶电池输出性能研究》

图 169：HBC 工艺步骤



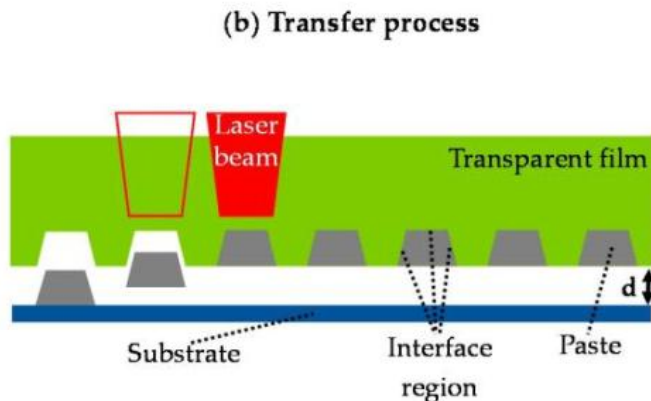
资料来源：伍小琼《激光消融制备 HBC 太阳能电池图形化发射极的研究》

激光消融、开槽在 IBC 领域用途更广，其用途主要包括 1) 刻蚀掩膜、制备 PN 区交叉指结构；2) PN 区隔离；3) 钝化膜开槽。

4) 激光功率 1MW/mm²，主要功能：气化，应用领域：激光转印

激光通过透明膜，照射在事先固定在薄膜中的银浆上。其产生的热能使浆料和沟槽之间的界面区域中的有机成分汽化，并在浆料/薄膜界面处形成高压蒸汽层。当在浆料/薄膜界面处建立足够的压力时，浆料会释放到基材表面上。

图 170：激光用于激光转印的转移过程



资料来源：MDPI

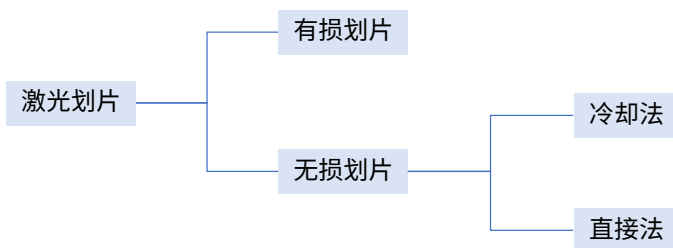
5) 激光功率 10MW/mm²，主要功能：气化和电离，应用领域：电池片划片

随着半片工艺在电池片封装中的应用，激光划片（切割）得到推广。激光划片主要分为有损划片和无损划片。

有损激光切割：以激光烧蚀配合机械掰片，首先利用激光在电池的背面加工出一条贯穿表面深度 40-60% 的切割道，再采用机械法将电池片沿着切割道掰开；

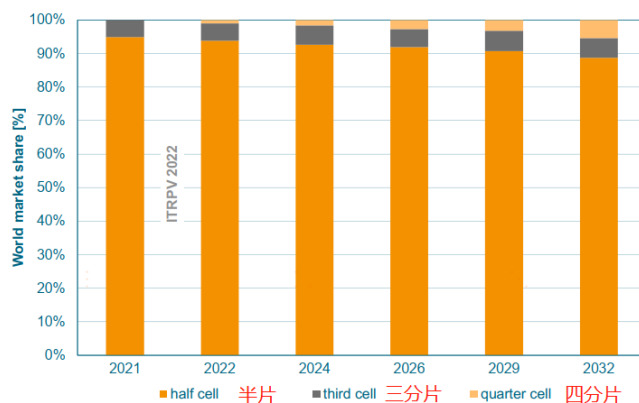
无损激光切割：为激光自动低温切割电池片，不存在切割区，通过温度差进行自然裂片，无机械裂片环节，无激光加工的残留痕迹。

图 171：激光划片工艺分类



资料来源：光大证券研究所

图 172：光伏电池多分片趋势（≥M10 尺寸）



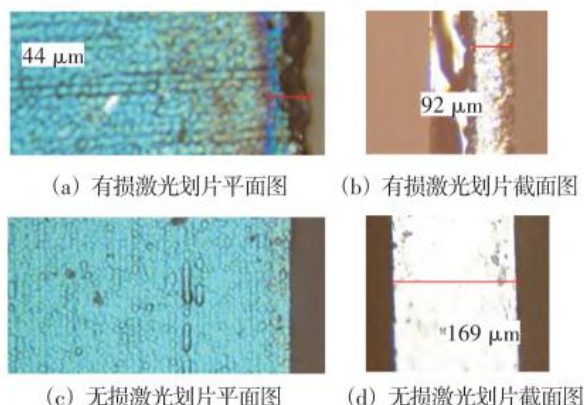
资料来源：ITRPV

第一代无损划片采用冷却法。通过激光加热太阳能电池片后，再通过冷却喷头喷水冷却，热应力使电池片自然裂开，实现电池片无损伤切割。

最新一代的无损划片技术取消了冷却喷头，因此也叫无水无损划片。根据大族激光披露的内容，主要利用超快激光短脉宽、高峰值功率特性，使材料在极短的时间内达到预定的温度，并且利用脉冲激光高重频特性使热量在消散之前重新聚集，

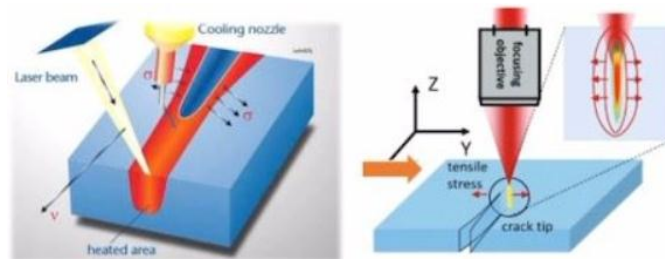
不断累积的能量形成合适的温度梯度场，进而产生热应力诱导裂纹形成和扩展，在无需液体冷却的情况下实现电池片的应力切割。

图 173：有损与无损激光划片



资料来源：耿亚飞《不同激光切割晶硅太阳能电池片的性能及应用》

图 174：冷却法与直接法无损划片



资料来源：大族激光《激光加工技术在光伏电池制造中的应用和前景》

6) 激光功率 10GW/mm²，主要功能：升华和直接分解，应用领域：MWT 打孔、玻璃打孔

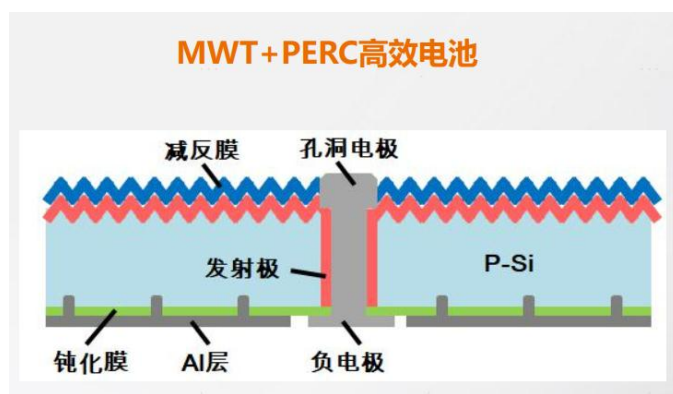
当激光功率进一步增大，可以对被作用物体直接进行打孔，或切割。

激光打孔在光伏领域的应用主要有两种情形：

1、MWT 电池。MWT（MetalWrapThrough，金属穿孔卷绕）是一种将电池的正负电极均制备在电池的背面（背接触，backcontact）的技术，采用激光打孔、背面布线的技术消除了正面电极的主栅线，仅保留正面细栅线，其搜集的电流通过孔洞中的银浆引到背面，使得电池的正负电极点都分布在电池片的背面。

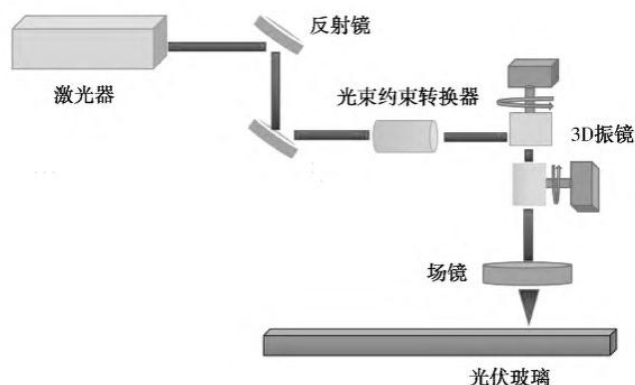
2、光伏玻璃打孔。主要用于在双玻组件的背板玻璃上制备出线孔。由于激光打孔具有良率、效率、成本方面的优势，逐步替代机械打孔成为主流路线。

图 175：MWT 原理



资料来源：日托光伏

图 176：光伏玻璃打孔原理



资料来源：林加富《激光打孔技术在光伏背板玻璃上的应用》

8、当前时点：TOPCon 扩产具备确定性，HJT 到了降本关键节点

根据我们对新技术投资的三阶段划分：

第一阶段：市场关注“概念”与“认知提升”，重点指标为技术的先进性与量产可行性。对于改变产业链利润分配的重大技术变化，一般呈现一级市场与二级市场共振的局面；

第二阶段：市场关注“兑现程度”，重点指标为先行者的盈利情况。量产顺利的情况下，新技术会带来超额收益。此时量产能力作为检验企业技术实力与执行落地能力的标准，“兑现”的企业会获得进一步的关注；

第三阶段：在超额收益的吸引下，以及先行企业技术扩散的带动下，大批社会资本开始进入新技术投资。此时重点指标为技术的可复制性，也是检验新技术壁垒的重要时期。对于技术壁垒高、依赖企业综合实力而非个别员工的领域，技术扩散的技术会相对较慢，先行企业获得超额收益的时间会拉长。

当前时点，TOPCon 正处于第二阶段向第三阶段过渡的时期，晶科、捷泰等先行企业已获得超额收益的验证，并吸引资本加速进场。根据我们不完全统计，截至 2022 年 12 月底，TOPCon 已投产 71.65GW，在建 209W，规划待建 215GW。

HJT 则仍然处于第一阶段向第二阶段过渡的时期。尽管华晟新能源、金刚光伏、爱康科技等已有 GW 级的产业投产，但受制于 HJT 成本劣势，组件产品仍局限于部分对价格接受程度高的细分市场。据我们不完全统计，截至 2022 年 12 月底，HJT 已投产 10.38GW，在建 88.4GW，规划待建 111.14GW。

图 177：电池新技术投资的三个阶段



资料来源：光大证券研究所

而制约 HJT 降本的最大环节，正是金属化环节。由于低温银浆的天然特性，目前单耗仍处于较高水平（150mg/片），加上低温银浆进口比例高，反映到银浆单瓦成本上，HJT 为 0.12 元/W，TOPCon 为 0.08 元/W，PERC 为 0.05 元/W（截至 2022 年 11 月底）。

能否如期实现 HJT 银耗降低，成为 HJT 走向量产的决速步。我们关注 2022 年底至 2023 年初银包铜+0BB 的实际应用情况，理想情况下可以将银浆成本降至 0.05 元/W 附近，实现与 PERC 打平。

表 31：各类电池成本拆分

M10	单位	PERC	TOPCon	提升	HJT	提升	备注
硅片成本							
硅片面积	mm ²	33015	33015		33015		
硅片厚度	μm	150	130		110		
锯缝厚度	μm	55	50		50		
切片槽距	μm	205	180		160		
切片良品率	%	95%	95%		90%		
每公斤方棒出片数	片/kg	60	69		73		
损耗率	%	95%	95%		93%		
单片硅耗	g/片	17.47	15.34		14.70		
电池片转换效率	%	23.50%	25.50%		25.50%		
组件实际转换效率	%	23.20%	24.10%		24.50%		
对应单片瓦数	W/片	7.66	7.96		8.09		
72 片组件瓦数	W	551	573	21	582	31	TOPCon 组件功率高 21W
单瓦硅耗	g/W	2.28	1.93		1.82		
硅料价格（含税）	元/kg	202	212.1		212.1		N 型硅料售价高 5%
硅料成本（不含税）	元/片	3.12	2.88		2.76		
非硅成本	元/片	0.84	0.84		0.84		假设硅片端拉棒切片成本一样
硅片成本（硅片+电池片一体化）	元/片	3.96	3.72		3.60		
硅片单瓦成本（硅片+电池片一体化）	元/W	0.52	0.47	-0.05	0.45	-0.07	
硅片成本（外购）	元/片	6.40	6.52		6.26		中环最新保价
硅片单瓦成本（外购）	元/W	0.74	0.73	-0.01	0.68	-0.05	外购硅片，TOPCon 便宜 1 分，HJT 便宜 5 分
非硅成本							
正银耗量	mg/片	60	110		125		
背银耗量	mg/片	25	0		0		
正银耗量	mg/W	7.83	13.82		15.45		
正银价格（不含税）	元/kg	6100	6100		7000		
背银价格（不含税）	元/kg	4000					
银浆成本	元/W	0.06	0.08	0.02	0.11	0.05	银浆成本 TOPCon 贵 2 分，HJT 贵 5 分
化学试剂成本	元/W	0.02	0.02		0.02		
化学品成本	元/W	0.01	0.01		0.01		
折旧成本	元/W	0.025	0.037	0.01	0.058	0.03	PERC1.5 亿/GW，TOPCon2.2 亿/GW，HJT3.5 亿/GW，产线按 6 年折旧（根据通威最新政策）
能源成本	元/W	0.02	0.01	-0.01	0.01	-0.01	TOPCon、HJT 功率高，能源摊薄便宜 1 分
人工成本	元/W	0.02	0.02		0.02		
靶材成本	元/W				0.04	0.04	HJT 需要用到 ITO
其他非硅成本	元/W	0.01	0.02	0.01	0.01		TOPCon 炉管/石英舟更换频率更高，生产节拍更慢，单瓦贵 1 分
总非硅成本	元/W	0.17	0.20	0.04	0.28	0.11	非硅成本 TOPCon 贵 3 分，HJT 贵 1 毛 2
汇总							
电池片售价	元/W	1.08	1.18	0.1	1.18	0.10	一道报价
总成本（硅片+电池片一体化）	元/W	0.68	0.67	-0.01	0.72	0.04	一体化前提下，TOPCon 总成本便宜 1 分，HJT 贵 4 分
单瓦毛利（硅片+电池片一体化）	元/W	0.27	0.38	0.10	0.32	0.05	
毛利率（硅片+电池片一体化）	%	28.5%	36.0%	7.5%	30.9%		
总成本（硅片外购）	元/W	0.91	0.93	0.02	0.96	0.06	外购硅片，TOPCon 总成本贵 2 分，HJT 贵 6 分
单瓦毛利（硅片外购）	元/W	0.05	0.12	0.07	0.08	0.03	

资料来源：Solarzoom、光大证券研究所测算；截至 2023 年 3 月底

9、相关标的梳理

表 32：TOPCon 电池设备重点国内厂家

TOPCon 设备名称		重点国内厂家
制绒清洗		捷佳伟创、无锡琨圣
硼扩散	扩散炉	拉普拉斯、捷佳伟创
	SE	帝尔激光、海目星、大族激光
刻蚀		捷佳伟创、无锡琨圣
隧穿层+poly	(1)LPCVD：本征+磷扩	LPCVD：拉普拉斯、普乐、松煜、北方华创
	(2)PECVD+退火	PECVD：捷佳伟创、金辰、红太阳
Al ₂ O ₃ +SiNx	PECVD 设备	理想、微导、捷佳伟创、北方华创
丝印烧结		丝印：迈为、科隆威 激光转印：帝尔激光

资料来源：TaiyangNews 2021、光大证券研究所整理

表 33：HJT 电池设备重点国内厂家

HJT 设备名称		重点国内厂家
制绒清洗		捷佳伟创、YAC、启威星（迈为）
PECVD	(1)板式	迈为、钧石、理想
	(2)管式	捷佳伟创
TCO	(1)PVD	钧石、迈为、理想
	(2)RPD	捷佳伟创
印刷		丝印：迈为、捷佳伟创 激光转印：帝尔激光

资料来源：TaiyangNews 2021、光大证券研究所整理

规模化、技术进步、降本互相交织，推动光伏电池效率向极限进发。技术方面日拱一卒，不断创造新的世界纪录，产业链方面逐步成熟，适应 N 型技术的主辅材走向规模化。我们认为，光伏电池效率的提升有望带来产业的新一轮增长，同时为设备端、制造端、材料端带来超额回报。短期内，TOPCon 已走向成熟，并在 SE 技术下实现效率进一步提升；2023-24 年，HJT 在各降本路径有望取得阶段性进展并迎来平价拐点。

重点推荐：捷佳伟创、迈为股份、帝尔激光、奥特维、英杰电气、横店东磁、钧达股份、赛伍技术。

建议关注：帝科股份、聚和材料、金辰股份、海目星、苏州固锟、东威科技、芯碁微装。

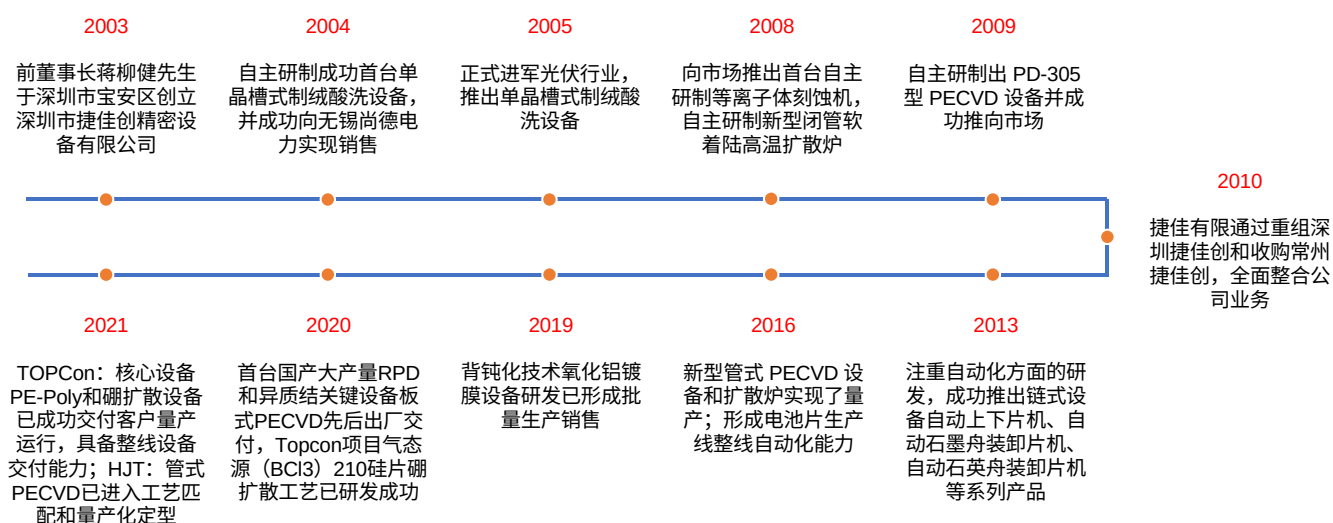
9.1、捷佳伟创

公司成立于 2003 年，并于 2018 年于深交所上市。2005 年公司以清洗制绒设备为切入点，进军光伏行业；2008-2009 年，先后推出扩散炉、PECVD 等设备。

进入 PERC 时代后，公司管式氧化铝镀膜设备、超高产能管式 PECVD 取得较高市占率。

面向高效电池技术，公司不但拥有了 TOPCon、HIT、钙钛矿三大主线领域，还由此拓展到 MWT、TBC、HBC、叠层电池等细分领域，各技术路线均具备了完全的整线设备供应能力及技术实力。

图 178：捷佳伟创发展历程



资料来源：公司官网

TOPCon 电池方面，公司 TOPCon 核心设备 PE-Poly 实现了隧穿层、Poly 层、原位掺杂层的“三合一”制备，不仅解决了传统 TOPCon 电池生产过程中绕镀、能耗高、石英件高损耗的固有难点，而且大大缩短了原位掺杂工艺时间，提高了生产效率，有效提升 TOPCon 的转换效率和良率。

据公司微信公众号披露，2023 年以来，公司取得了行业内多家客户合计 50GW 的 TOPCon 电池设备订单，中标设备包括了湿法设备、正背膜设备、PE-poly、硼扩及配套自动化设备。随着 TOPCon 扩产规模的快速增加，公司的 PE-poly 装备技术方案成为 TOPCon 技术路线的主流选择，市占率已超过 50%，并呈逐步上升趋势。

HJT 电池方面，公司 2020 年底实现关键设备板式 PECVD 的交付，从而具备了完全自主 HJT 整线交付能力；2021 年，公司在常州建设的 HJT 中试线实现首片下线，并探索将管式 PECVD 适用于 HJT 领域，目前已完成工艺匹配和量产化定型。2022 年 11 月，公司 HJT 板式 PECVD 路线微晶工艺的量产平均转换效率持续稳定达到 25% 以上。

钙钛矿电池方面，公司 RPD 设备取得多个钙钛矿产线订单，积极稳健推进钙钛矿及叠层电池整线装备的研发及升级，公司持续深入开发并获得了狭缝涂布、PVD/RPD、蒸发镀膜等设备订单。

2022 年 7 月，公司首台套量产型钙钛矿电池核心装备(RPD)出货。随后中标钙钛矿低温低损薄膜真空沉积设备订单（某央企研究院）、反应式等离子镀膜设备

订单（某国家科学院）、钙钛矿共蒸法真空镀膜设备（某全球头部光伏企业）。从 2022 年下半年至 2023 年 2 月，公司已向十多家光伏头部企业和行业新兴企业及研究机构提供钙钛矿装备及服务，订单金额超过 2 亿元。

半导体设备领域，公司全资子公司创微电子自主开发了 6 吋、8 吋、12 吋湿法刻蚀清洗设备，涵盖多种前道湿法工艺，实现了公司从光伏装备领域向半导体装备领域的战略上的拓展。

维持“买入”评级。基于 TOPCon 扩产顺利，长期发展前景看好，我们上调公司 2022-2024 年盈利预测 0.9%/2.2%/2.8%至 10.66/13.86/17.43 亿元，对应 EPS 为 3.06/3.98/5.01 元，当前股价对应 22-24 年 PE 为 38/29/23 倍。TOPCon 电池技术扩产加速，激光 SE 助力电池效率进一步提升，公司 PE-Poly 设备接连取得订单，整线设备在国内外取得突破，未来有望保障公司业绩稳步提升，维持“买入”评级。

风险提示：公司扩产进度不及预期；新设备推广应用进度不及预期；存货规模较大，流动性资金面临压力的风险。

表 34：捷佳伟创盈利预测与估值简表

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	4,044	5,047	6,807	8,812	10,923
营业收入增长率	60.03%	24.80%	34.86%	29.47%	23.96%
净利润（百万元）	523	717	1,066	1,386	1,743
净利润增长率	36.95%	37.16%	48.59%	29.98%	25.80%
EPS（元）	1.63	2.06	3.06	3.98	5.01
ROE（归属母公司）（摊薄）	17.23%	11.57%	14.79%	16.33%	17.28%
P/E	71	56	38	29	23
P/B	12.3	6.5	5.6	4.8	4.0

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日
 由于回购、增发、股权激励等原因，公司 2020 年/2021 年/2022 年底股本分别是 3.212 亿股/3.483 亿股/3.482 亿股

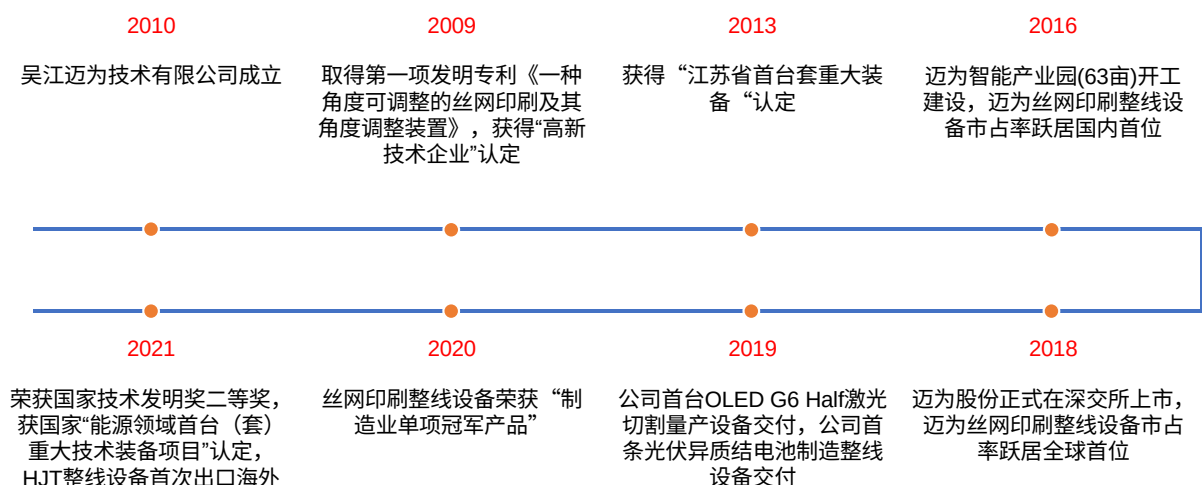
9.2、迈为股份

公司成立于 2010 年，主要产品包括全自动太阳能电池丝网印刷生产线、异质结高效太阳能电池制造整体解决方案、OLED 激光切割设备、微型 LED 激光设备、半导体晶圆激光切割设备等。

公司 2019 年交付第一条光伏异质结整线设备。在原有丝网印刷设备的基础上完善改进了 HJT 丝网印刷设备，通过自主研发陆续突破核心工艺环节非晶硅薄膜沉积、TCO 膜沉积所需的 PECVD 设备和 PVD 设备，并通过参股子公司吸收引进日本 YAC 的制绒清洗技术，从而实现了 HJT 电池设备的整线供应能力。

2022 年以来，公司先后中标信实工业（4.8GW）、安徽华晟（7.2GW）、金刚玻璃（4.8GW）、三五互联（1.2GW）异质结生产线，在异质结设备领域地位稳固。

图 179：迈为股份发展历程



资料来源：公司官网

公司依托现有技术优势，进军半导体封装设备、显示面板设备，并取得了快速发展。

半导体封装设备方面，与半导体芯片封装制造企业长电科技、三安光电就半导体晶圆激光开槽设备先后签订了供货协议，并与其他五家企业签订了试用订单。

显示面板设备方面，公司中标国内显示面板龙头企业京东方的第 6 代 AMOLED 生产线项目，将供应两套自主研制的 OLED 柔性屏弯折激光切割(BendingCut)设备，分别应用于京东方绵阳工厂以及京东方重庆工厂的智能手机柔性 AMOLED 面板生产线。

2022 年，公司在珠海成立了迈为技术（珠海）有限公司，拟出资 21 亿元，投资建设“迈为半导体装备项目”，推进公司半导体设备领域业务。

丝网印刷方面：

公司在太阳能电池丝网印刷领域占据龙头地位。主要产品太阳能电池丝网印刷整线设备的国内市占率连续六年（2016~2021 年）、全球市占率连续四年（2018~2021 年）位居第一，且于 2020 年荣获国家“制造业单项冠军产品”。

公司实现了在二次印刷、双头双轨印刷、高速高精软件控制等前沿技术上的突破，具备了与国外厂商角逐市场的实力。目前，公司的太阳能电池丝网印刷生产线成套设备产品已经实现了进口替代，在国内增量市场的份额连续多年居于首位。同时，公司还在逐步占领国内市场的基础上，加强海外销售网络的建设，完成了向印度、越南、泰国、马来西亚等光伏新兴国家的出口。

根据 2022 年中报披露，公司生产的太阳能电池丝网印刷生产线成套设备印刷产能较大，碎片率较低，印刷精度较高，目前公司主营产品的印刷产能（PERC 设备工艺）可以达到单轨 4000 片/小时，双轨 8000 片/小时，碎片率可以达到小于 0.1%，印刷精度可以达到±5 微米。

维持“买入”评级：公司与华晟、金刚玻璃、爱康科技等头部异质结电池片厂商深度绑定，订单及业绩有望加速释放，我们维持 22-24 年归母净利润预测 9.06/13.45/21.43 亿元，对应 EPS 为 5.21/7.73/12.31 元，当前股价对应 22-24 年 PE 为 57/38/24 倍。公司凭借在电池片制造环节的丝网印刷整套设备龙头地

位，积极布局培育 HJT 技术生态并实现突破，未来将持续受益于新一轮电池片产能革新，我们看好公司未来的发展前景和业绩的持续提升，**维持“买入”评级。**

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险；HJT 高效电池设备的技术路线存在不确定性。

表 35：迈为股份盈利预测与估值简表

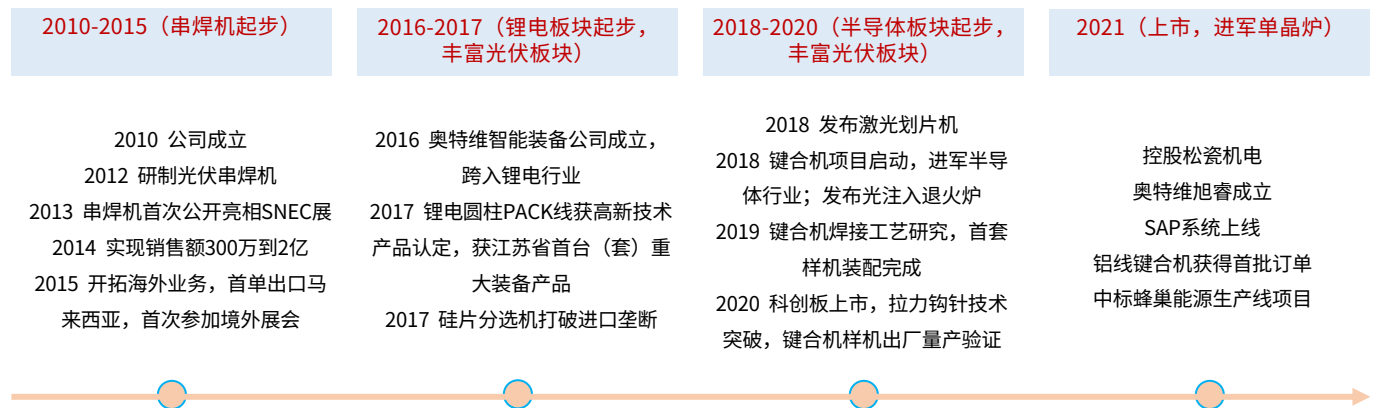
指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	2,285	3,095	4,484	6,747	10,535
营业收入增长率	58.96%	35.44%	44.87%	50.45%	56.16%
净利润（百万元）	394	643	906	1,345	2,143
净利润增长率	59.34%	62.97%	40.97%	48.41%	59.35%
EPS（元）	7.57	5.95	5.21	7.73	12.31
ROE（归属母公司）（摊薄）	22.59%	10.95%	13.70%	17.29%	22.20%
P/E	39	50	57	38	24
P/B	8.8	5.5	7.8	6.6	5.3

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日
由于资本公积金转增股本、转债转股原因，公司 2020 年/2021 年/2022 年底股本分别是 0.52 亿股/1.08 亿股/1.74 亿股

9.3、奥特维

公司创立于 2010 年，拥有员工近 3000 名，是光伏、锂电和半导体专业领域知名的智能设备制造商。产品覆盖光伏产业链的硅片/棒、组件、电池四大环节，核心产品多主栅串焊机、硅片分选机拥有强劲的市场竞争力，获得了行业龙头企业客户的高度认可，市场占有率较高。公司自主研发了锂电模组、PACK 智能生产线及锂电池外观分选设备，得到行业知名客户多批次多项目的复选采购；并于 2021 年正式推出半导体键合设备，已获得批量订单。

图 180：奥特维发展历程



资料来源：公司官网

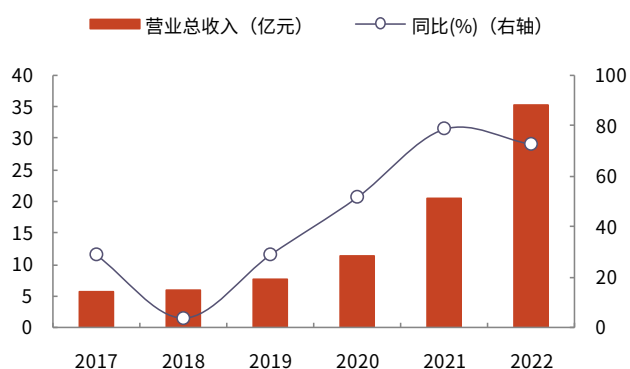
图 181：奥特维产品布局



资料来源：公司公告

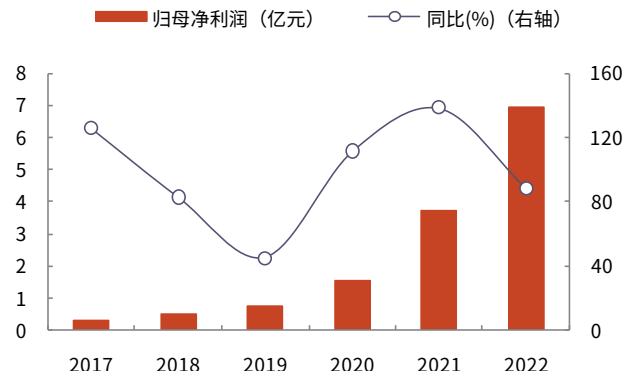
根据公司业绩快报，2022 年公司实现营收 35.40 亿元，同比增长 72.94%，实现归母净利润 6.98 亿元，同比增长 88.29%。公司业绩实现快速增长，主要由于以串焊机为代表的光伏设备较快交付。

图 182：奥特维营收情况



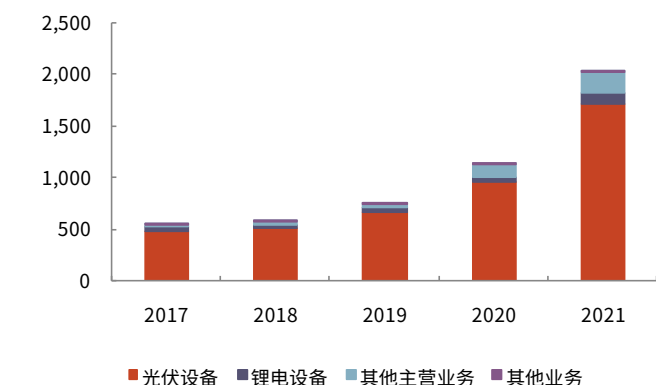
资料来源：、光大证券研究所；2022 年数据是公司业绩快报数据

图 183：奥特维归母净利润情况



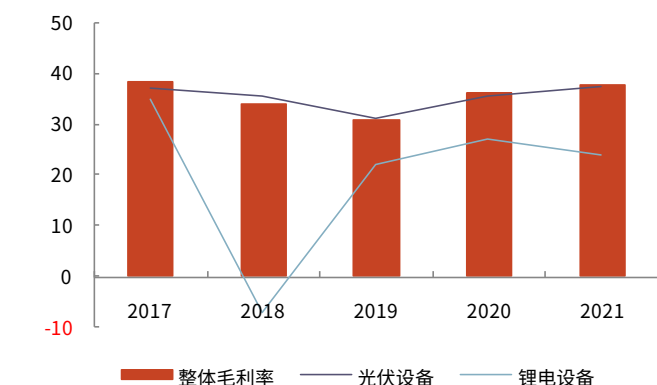
资料来源：、光大证券研究所；2022 年数据是公司业绩快报数据

图 184：奥特维分部业务营收



资料来源：、光大证券研究所；单位：百万元

图 185：奥特维分部业务毛利率



资料来源：、光大证券研究所；单位：%

光伏板块

1) 组件设备

公司在组件环节的拳头产品为串焊机，近年来随着光伏技术创新加快，特别大尺寸、多主栅、超薄片、多分片等技术的普及，加速了串焊机技术迭代进程。据公司公告，公司率先研发出适用于大尺寸、多主栅的高速串焊机，2021-2022 年在串焊机领域出货市占率达到 60-70%。除了串焊机之外，公司还开发了划焊排叠一体机，为用户提供一体化的解决方案。随着 SMBB、无主栅技术的普及，我们预计串焊机将面临新一轮的技术升级。

2) 电池片设备

公司在电池片环节的产品主要是光注入退火炉。通过调节光伏电池片费米能级变化，控制 H 总量及价态，提高 H 钝化与缺陷修复效率，达到降低 P 型电池衰减效应，提高 N 型电池转换效率的效果，最新型号的产能达 8000 片/小时。根据公司公告披露，2021 年公司光注入退火炉订单约 8000 万，2022 年上半年取得的订单量已接近 2021 年全年。

3) 硅片设备

公司在硅片环节的产品主要是直拉单晶炉和硅片分选机。其中直拉单晶炉主要通过控股子公司松瓷机电生产，在 2021 年推出产品后，当年取得宇泽半导体 1.4 亿元订单，2022 年 1-6 月，公司大尺寸 N 型单晶炉获得订单超 6 亿元。产能方面，截至三季度末，公司单晶炉产能扩张已超 200 台/月。由于两家头部硅片厂商隆基股份与 TCL 中环都有各自绑定的硅片设备厂商，公司主要目标市场为隆基、中环外的增量市场。

根据公司公告披露，截至 2022 年初，公司在硅片分选机领域的市场份额约 50%。

锂电板块

公司在锂电板块的主要产品为锂电模组/PACK 生产线、圆柱外观检测设备。

随着公司的产品逐步推向市场，目前已与蜂巢能源、远景动力、赣锋锂电、太普动力新能源、星恒电源、金康动力新能源、孚能科技、沃太能源、LG 新能源等电芯、PACK、整车知名企业，建立了较好的业务合作关系。2021 年，公司锂电

模组/PACK 生产线取得蜂巢能源大额订单，实现锂电业务单一订单金额过亿的突破。

产品方面，因锂电设备定制化程度高，公司采取以销定产的生产模式，严格根据客户的订单来确定采购计划和生产计划。但随着新能源车、储能行业快速发展，下游对电芯模组和 pack 线的产品复制化的需求开始逐步显现出来，公司加快对锂电模组/PACK 生产线标准化、模块化的推动，后续出货速度、毛利率有上行空间。

半导体板块

公司在半导体板块的主要产品为半导体封装环节铝线键合机，适用于焊接功率器件。随着新能源汽车对功率器件需求的放大，其市场规模会有较大幅度增长。

目前国内功率器件铝线键合机市场基本仍由库力索法、ASM 太平洋等公司所占有，国产化率较低。随着先进封装的工艺发展，国产设备性能的不不断提升，国产设备替代进口设备的趋势明显。

公司 2018 年立项研发半导体键合机，于 2021 年初成功推出高端键合机产品，陆续发往客户端试用。截至 2022 年上半年已有试用客户接近 20 家，已取得通富微电、德力芯及其他客户小批量订单。

同时，适用于处理器、存储器等器件的金铜线键合、倒装键合、装片等工艺的中高端设备仍由境外厂商生产，半导体封装测试设备领域进口替代空间仍然较大。根据公司公告，公司未来会向前延伸做装片机，横向做金铜线键合机，不断扩大产品覆盖范围。

盈利预测、估值与评级

关键假设：公司以精密位置控制技术、精密检测技术、智能制造技术、特种材料加工技术 4 大类核心支撑技术，衍生出光伏电池先进加工技术、锂电电芯外观检测技术、半导体引线键合技术等 9 项核心应用技术。

光伏板块：

以组件端的串焊机、硅片端的拉晶炉为核心产品，2022-24 年串焊机市场空间为 47.6/56.4/65.1 亿元，由于公司技术领先，假设公司串焊机业务市占率为 57%/63%/63%，营收分别为 27.2/35.5/41.0 亿元；假设 2022-24 年硅片环节新增产能 245/240/200GW，公司业务拓展顺利，预计在拉晶炉新增市场（除隆基中环外）渗透率为 1.7%/6.7%/12.0%，则拉晶炉业务营收 2.7/8.8/13.2 亿元。

随着公司电池片设备、划焊一体机、划焊排叠一体机等设备放量，假设串焊机、拉晶炉两大核心产品营收占光伏板块营收的比例为 93%/90%/86%，则 2022-24 年光伏板块营收分别为 32.0/49.3/63.0 亿元，随着大尺寸串焊机换代完成，以及拉晶炉放量，毛利率小幅下降分别为 37.5%/37.0%/36.5%。

锂电板块：

主要产品为锂电模组/PACK 生产线、圆柱外观检测设备，与电芯、PACK、整车知名企业，建立了较好的业务合作关系。随着新能源车、储能行业快速发展，下游对电芯模组和 pack 线的需求快速提升，假设 2022-24 年公司锂电板块确认营收分别为 1.1/1.7/2.3 亿元，增速分别为 14.1%/50.0%/40.0%，毛利率为 24.2%/24.2%/24.2%。

半导体板块：

主要产品为半导体封装环节铝线键合机，适用于焊接功率器件。随着新能源汽车对功率器件需求的放大，预计国产化替代逐步推进，假设 2022-24 年公司半导体板块确认营收分别为 1.0/1.5/2.1 亿元，2023-24 年增速分别为 50.0%/40.0%，参照相关半导体公司的毛利率，预计 2022-24 年毛利率为 35.0%/35.0%/35.0%。

其他主营业务：

主要为设备改造业务，整体需求与现有业务板块的更新换代相关。假设 2022-24 年该板块营收分别为 1.3/1.5/1.8 亿元，毛利率为 47.5%/47.5%/47.5%。

预计 2022-24 年销售费用率为 3.5%/3.5%/3.5%，管理费用率为 5.8%/5.8%/5.8%，研发费用率为 7.0%/7.0%/7.0%。

我们预计公司 22-24 年营业收入分别为 35.4/54.0/69.3 亿元，归母净利润分别为 6.98/10.70/13.77 亿元，对应 EPS 分别为 4.52/6.93/8.92 元。

表 36：奥特维营业收入盈利预测表

项目	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E
主营收入（百万元）	1,144	2,047	3,540	5,399	6,926
增长率	51.7%	78.9%	72.9%	52.5%	28.3%
毛利（百万元）	412	771	1,322	1,989	2,516
主营毛利率	36.1%	37.7%	37.3%	36.8%	36.3%
光伏板块					
收入（百万元）	968	1,725	3,201	4,931	6,302
增长率	44.7%	78.2%	85.6%	54.0%	27.8%
毛利（百万元）	346	647	1,201	1,825	2,300
毛利率	35.7%	37.5%	37.5%	37.0%	36.5%
锂电板块					
收入（百万元）	34	96	110	165	231
增长率	-33.8%	181.0%	14.1%	50.0%	40.0%
毛利（百万元）	9	23	27	40	56
毛利率	27.1%	24.2%	24.2%	24.2%	24.2%
半导体板块					
收入（百万元）			100	150	210
增长率				50.0%	40.0%
毛利（百万元）			35	53	74
毛利率			35.0%	35.0%	35.0%
其他主营业务					
收入（百万元）	83	223	125	150	180
增长率	161.6%	168.2%	-44.0%	20.0%	20.0%
毛利（百万元）	41	106	59	71	86
毛利率	49.8%	47.5%	47.5%	47.5%	47.5%

资料来源：，光大证券研究所预测；注：2020 年营收中存在非织造布设备一项，为偶发性业务

考虑到公司主要营收来源为光伏设备，且具备较强的市场地位和竞争优势，我们选择光伏设备公司迈为股份、捷佳伟创、帝尔激光三家公司作为可比公司。可比公司当前股价对应 22/23 年 PE 均值为 44/29 倍，公司当前股价对应 22/23 年 PE 为 39/25 倍，低于可比公司均值。

表 37：可比公司估值比较

公司名称	收盘价 (元)	EPS (元)					PE (X)				CAGR -2/2022	PEG -2022	市值 (亿元)
	2023/4/7	2021A	2022E	2023E	2024E	2021A	2022E	2023E	2024E				
迈为股份	296.56	5.95	5.36	9.11	13.56	50	55	33	22	59.06%	0.94	516	
捷佳伟创	116.02	2.12	2.89	4.03	5.29	55	40	29	22	35.33%	1.14	404	
帝尔激光	109.01	3.59	2.92	4.22	5.95	30	37	26	18	42.81%	0.87	186	
平均值						45	44	29	21	45.73%	0.98		
奥特维	175.10	3.76	4.52	6.93	8.92	47	39	25	20	40.46%	0.96	270	

资料来源：奥特维为光大证券研究所预测，其余为 wind 一致预期

我们预计公司 22-24 年净利润分别为 6.98/10.70/13.77 亿元，对应 EPS 分别为 4.52/6.93/8.92 元，当前股价对应 22-24 年 PE 分别为 39/25/20 倍。公司以四大核心技术为依托，产品覆盖光伏、锂电、半导体三大景气行业，特别是在光伏设备领域具备较强竞争力。首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；新设备推广应用进度不及预期；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

表 38：奥特维业绩预测和估值指标

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	1,144	2,047	3,540	5,399	6,926
营业收入增长率	51.67%	78.93%	72.94%	52.54%	28.28%
净利润（百万元）	155	371	698	1,070	1,377
净利润增长率	111.57%	138.63%	88.29%	53.29%	28.71%
EPS（元）	1.57	3.76	4.52	6.93	8.92
ROE（归属母公司）（摊薄）	14.26%	26.33%	35.83%	37.17%	34.06%
P/E	111	47	39	25	20
P/B	15.9	12.3	13.9	9.4	6.7

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日

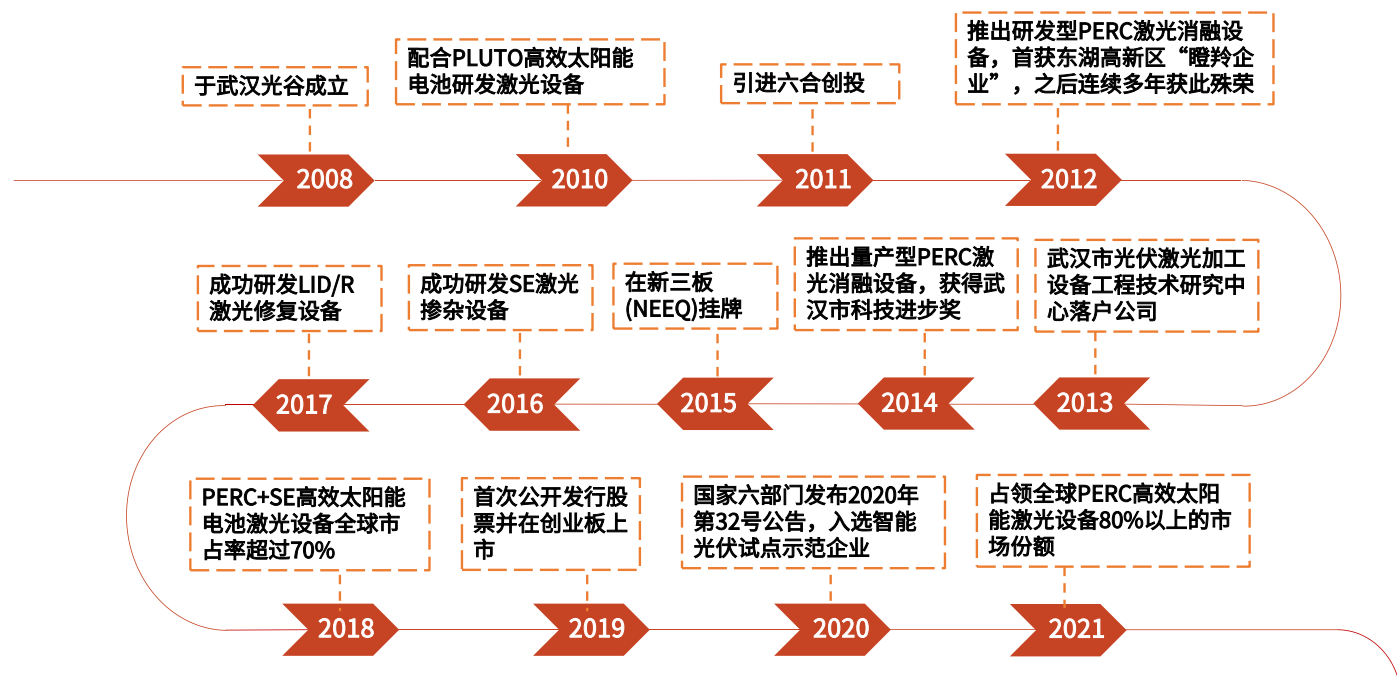
由于增发、股权激励等原因，公司 2021 年/2022 年底股本分别是 0.99 亿股/1.54 亿股

9.4、帝尔激光

帝尔激光成立于 2008 年，提供高效太阳能电池激光加工综合解决方案，客户包括隆基、阿特斯、通威、天合、晶科、爱旭、晶澳等国内外知名光伏企业。

2016~2021 年，公司营业收入由 0.77 亿元增长至 12.57 亿元，5 年 CAGR 高达 74.82%，归母净利润由 0.30 亿元增长至 3.81 亿元，5 年 CAGR 高达 66.03%。

图 186：帝尔激光发展历程



资料来源：公司官网

PERC：激光掺杂+消融。激光 SE（选择性发射极）较常规电池更好地平衡金属半导体间的接触电阻和光子收集之间的矛盾，光电转换效率绝对值可提高 0.3% 至 0.5%。激光 PERC 消融（开槽）是为了解决氧化铝钝化层与金属化之间的矛盾而采取的局部接触技术，是 PERC 电池走向商业化的关键。

公司推出高效太阳能电池 PERC 激光消融设备和 SE 激光掺杂设备，占领了全球 PERC 高效太阳能激光设备 80%以上的市场份额。2022 年公司取得 PERC 电池近 100GW 订单。

TOPCon：激光硼掺杂。在 TOPCon 电池工艺上，公司拥有激光硼掺杂、激光开膜、特殊浆料开槽等相关技术储备。截至 2023 年 2 月，公司 TOPCon SE 一次激光掺杂设备在手订单和中标产能累计已经超 100GW。

HJT：LIA 激光修复。在 HJT 电池工艺上，公司的 LIA 激光修复技术已取得客户量产订单。

IBC：激光开槽。在 IBC 电池工艺上，公司的激光开槽技术在 2022 年取得近 40GW 订单。

激光转印：目前是唯一的一家用激光转印的方式来进行电池银浆印刷的公司，已在全球范围内申请专利保护。公司的激光转印设备在 2022 年三季度末实现了单

机订单，激光转印在 HJT 工艺上有 30-40%浆料用量的节约，0.3%以上效率的提升，预计优先会在 HJT 工艺上实现整线量产订单。

铜电镀：公司的激光干法刻蚀技术已实现量产订单，具体应用为电镀前的图形化工艺。由于电镀铜环节对激光的精准性工艺要求较高，既要开比较精细的槽且无损伤，同时还要实现后续铜离子的较好吸附，因此激光设备的单 GW 价值量较高。

公司是一家拥有不同电池技术对应激光设备研发及应用能力的“隐形冠军”企业，对 PERC、TOPCon、HJT、IBC 等光伏电池均有激光设备布局，技术实力、品牌影响力、产品质量处于行业领先地位，未来市场空间广阔。我们维持原盈利预测，预计公司 2022-24 年的营业收入分别为 17.39/24.17/35.59 亿元，归母净利润分别为 5.31/7.19/10.65 亿元，EPS 分别为 3.11/4.21/6.24 元。当前股价对应 22-24 年 PE 分别为 35/26/17 倍。考虑到公司正在进行产品升级，激光转印、显示面板等产品进展顺利，未来增长动力强。**维持“买入”评级。**

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；新设备推广应用进度不及预期；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

表 39：帝尔激光盈利预测与估值简表

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	1,072	1,257	1,739	2,417	3,559
营业收入增长率	53.19%	17.21%	38.40%	38.97%	47.24%
净利润（百万元）	373	381	531	719	1,065
净利润增长率	22.28%	2.11%	39.31%	35.48%	48.16%
EPS（元）	3.53	3.59	3.11	4.21	6.24
ROE（归属母公司）（摊薄）	20.73%	16.51%	19.24%	21.36%	24.88%
P/E	31	30	35	26	17
P/B	6	5	7	6	4

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日
 由于资本公积金转增股本、转债转股原因，公司 2021 年/2022 年股本分别是 1.06 亿股/1.71 亿股

9.5、 钧达股份

钧达股份原有业务为汽车饰件业务，2021-2022 年公司通过资产重组，完成对捷泰科技 100%股权的并购，并剥离原有汽车饰件业务，成功转型为光伏电池片生产商。

重组过程：

2021 年 2 月 18 日，通过增资，上市公司持有上饶弘业（捷泰科技子公司）12% 股权；

2021 年 9 月 28 日，通过重大资产购买，上市公司持有捷泰科技 51%股权；

2022 年 6 月 10 日，通过重大资产出售，剥离与汽车饰件业务相关的资产组；

2022 年 7 月 28 日，通过并购捷泰科技 49%股权，捷泰科技成为公司全资子公司。

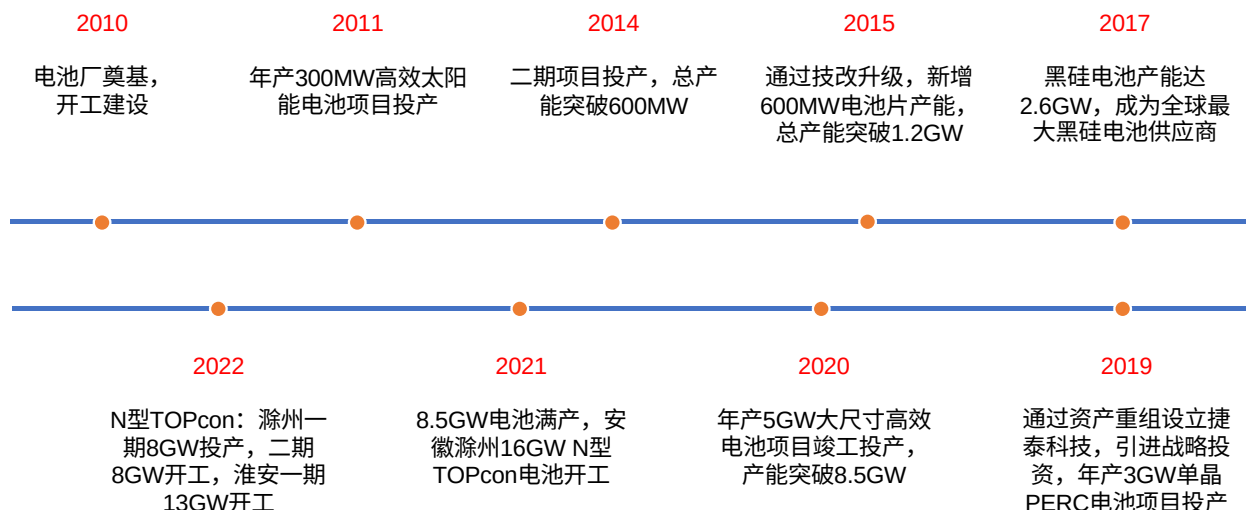
捷泰科技成立于 2019 年，曾用名展宇科技，系由展宇新能源光伏电池业务重组发展而来。

公司建成及规划中的生产基地有 3 处，规划年产能 53.5GW。

具体为：

- 1) 上饶基地。拥有 9.5GW 大尺寸 P 型 PERC 产能，产品转换效率达 23.5%；
- 2) 滁州基地。规划 18GW N 型 TOPCon 产能。一期 8GW 已于 2022Q3 建成达产，产品效率达 24.9%以上，二期 10GW 正在建设中，并于 2023 年 2 月完成首片下线；
- 3) 淮安基地。2022 年 10 月公司与淮安市涟水县政府签订年产 26GW N 型电池片项目合作协议，项目分二期实施，一期 13GW 正在建设中，预计 2023 年投产。

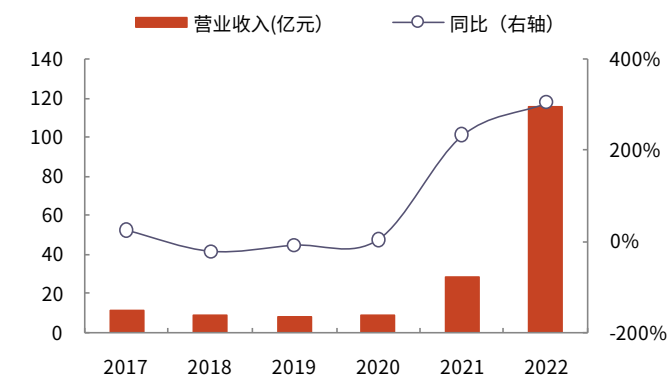
图 187：捷泰科技发展历程



资料来源：公司官网

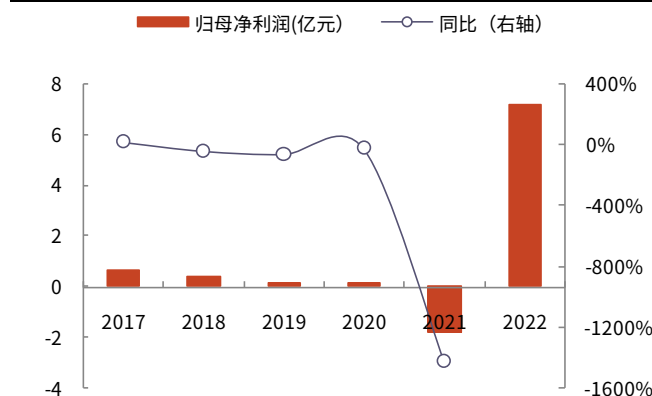
2022 年公司实现营收 116.0 亿元,同比增长 305%,实现归母净利润 7.17 亿元,扣非归母净利润 4.94 亿元。公司业绩实现快速增长,主要由于公司完成对汽车饰件业务的剥离,转型光伏业务,加上前瞻布局 TOPCon,实现出货量大幅增长。

图 188：钧达股份营收情况



资料来源：、光大证券研究所

图 189：钧达股份归母净利润情况



资料来源：、光大证券研究所

盈利预测、估值与评级

关键假设：公司产品主要为光伏电池片。

表 40：钧达股份产能及出货量预测

	2022	2023E	2024E	2025E
年末总产能(GW)	17.5	40.5	53.5	68.5
——PERC	9.5	9.5	9.5	9.5
——TOPCon	8.0	31.0	44.0	59.0
出货量(GW)	10.7	28.0	44.5	54.5
——PERC	8.85	9.0	9.5	9.5
——TOPCon	1.87	19.0	35.0	45.0
电池片单价 (元/W)	1.03	0.82	0.72	0.63
——PERC	1.02	0.80	0.69	0.59
——TOPCon	1.06	0.84	0.73	0.63
营收 (亿元)	110.5	230.8	321.2	341.1
——PERC	90.6	71.9	65.6	56.3
——TOPCon	19.9	159.0	255.6	284.8

资料来源：，光大证券研究所预测

2022 年上饶捷泰电池片出货量 10.72GW（其中 P 型 PERC 产品 8.85GW，N 型 TOPCon 产品 1.87GW）。

根据公司产能规划，PERC 产能将维持在 9.5GW，2022 年底拥有 TOPCon 产能 8GW（滁州一期），2023 年底将拥有 TOPCon 产能 31GW（滁州一期/二期+淮安一期），2024 年底将拥有 TOPCon 产能 44GW（滁州一期/二期+淮安一期/二期），2025 年我们预计达到 59GW。由于电池片产能相对紧缺，预计未来 2-3 年内 TOPCon 电池仍能保持较好的盈利能力和市场需求。根据各基地投产进度，预计 2023-25 年 PERC 电池出货量为 9.0/9.5/9.5 GW，TOPCon 电池出货量为 19/35/45 GW。

由于硅料供应逐步宽松，带动产业链价格下行，预计 2023-25 年 PERC 电池单价（不含税）为 0.80/0.69/0.59 元/W，TOPCon 电池单价（不含税）为 0.84/0.73/0.63 元/W，则 2023-25 年电池片业务营收为 230.8/321.2/341.1 亿元。由于硅料供应趋于宽松，电池片产能受到大尺寸紧缺及 TOPCon 溢价拉动，毛利率趋于上行，预计 2023-25 年分别为 15.0%/15.2%/15.5%。

汽车饰件业务：

2022 年上半年公司剥离汽车配件业务，往后年度不再做预测。

其他业务：

主要包括与主营业务无关的固定资产出租、代收代付等，假设 2023-25 年营收增速 28.0%/25.0%/20.0%，毛利率分别为 15.0%/15.0%/15.0%。

预计 2023-25 年销售费用率为 0.25%/0.25%/0.25%，管理费用率为 1.2%/1.2%/1.2%，研发费用率为 2.6%/2.5%/2.0%。

我们预计公司 2023-25 年营业收入分别为 231.2/321.6/341.7 亿元，归母净利润分别为 20.8/29.7/34.9 亿元，对应 EPS 分别为 14.24/20.39/23.94 元。

表 41：钧达股份营业收入盈利预测表

项目	2021A	2022 A	2023E	2024E	2025E
主营收入（亿元）	28.6	116.0	231.2	321.6	341.7
增长率	233.68%	305.01%	99.40%	39.10%	6.24%
毛利（亿元）	3.4	13.4	34.7	48.9	53.0
主营毛利率	11.97%	11.60%	15.00%	15.20%	15.50%
电池片业务					
收入（亿元）	16.4	111.0	230.8	321.2	341.1
增长率	0.00%	576.00%	107.97%	39.12%	6.22%
毛利（亿元）	2.2	12.6	34.6	48.8	52.9
毛利率	13.14%	11.38%	15.00%	15.20%	15.50%
汽车饰件					
收入（亿元）	11.6	4.7			
增长率	38.61%	-59.75%			
毛利（亿元）	1.2	0.8			
毛利率	10.27%	16.60%			
其他业务					
收入（亿元）	0.7	0.3	0.4	0.5	0.5
增长率	30.00%	30.00%	28.00%	25.00%	20.00%
毛利（亿元）	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
毛利率	12.63%	15.00%	15.00%	15.00%	15.00%

资料来源：，光大证券研究所预测

考虑到公司主要营收来源为光伏电池片，综合考虑公司业务领域与市场地位，我们选择主营电池片业务的爱旭股份、一体化组件企业晶科能源和晶澳科技三家公司作为可比公司。可比公司当前股价对应 22/23 年 PE 均值为 32/17 倍，公司当前股价对应 22/23 年 PE 为 28/10 倍，低于可比公司均值。

表 42：可比公司估值比较

公司名称	收盘价 (元)	EPS (元)					PE (X)				CAGR -2/2022	PEG -2022	市值 (亿元)
	2023/4/7	2021A	2022A	2023E	2024E	2021A	2022E	2023E	2024E				
爱旭股份	32.47	-0.06	1.33	2.58	3.48	-	24	13	9	37.84%	0.65	423	
晶科能源	13.72	0.14	0.29	0.60	0.79	98	47	23	17	39.81%	1.19	1372	
晶澳科技	56.45	1.27	2.38	3.78	4.89	44	24	15	12	27.10%	0.88	1330	
平均值						71	32	17	13	34.92%	0.90		
钧达股份	142.54	-1.30	5.07	14.66	21.00	-	28	10	7	60.63%	0.46	202	

资料来源：钧达股份为光大证券研究所预测，其余为 wind 一致预期；晶科能源 2022 年业绩为业绩快报数据

我们预计公司 2023-25 年净利润分别为 20.8/29.7/34.9 亿元，对应 EPS 分别为 14.66/21.00/24.65 元，当前股价对应 2023-25 年 PE 分别为 10/7/6 倍。公司在 N 型 TOPCon 电池领域具备先发优势，加快产能落地，享受新技术溢价。首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：竞争格局恶化；原材料大幅上涨；设备性能未能满足行业需求。

表 43：钧达股份业绩预测和估值指标

指标	2021	2022	2023E	2024E	2025E
营业收入（百万元）	2,863	11,595	23,121	32,162	34,169
营业收入增长率	233.5%	305.0%	99.4%	39.1%	6.2%
净利润（百万元）	(179)	717	2,075	2,972	3,489
净利润增长率	-1418.7%	-	189.4%	43.2%	17.4%
EPS（元）	(1.30)	5.07	14.66	21.00	24.65

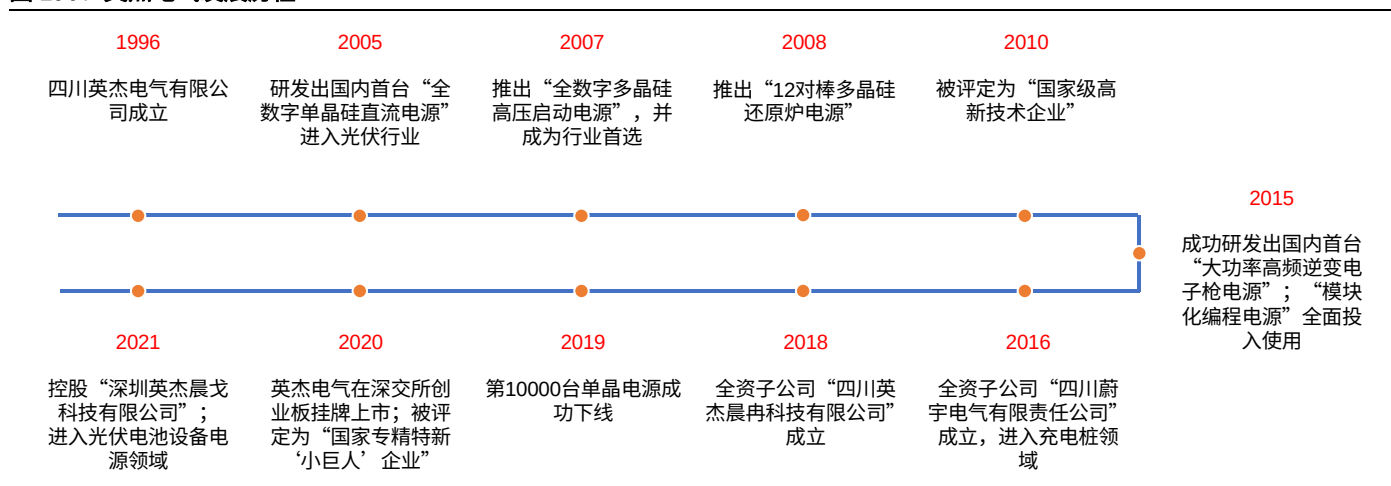
ROE (归属母公司) (摊薄)	-17.8%	68.2%	68.2%	53.3%	41.2%
P/E	-	28	10	7	6
P/B	19.5	19.2	6.6	3.6	2.4

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日
由于转债转股等原因，公司 2021 年/2022 年底股本分别是 1.373 亿股/1.415 亿股

9.6、英杰电气

公司成立于 1996 年，是专业的工业电源设计及制造企业，是国家高新技术企业、国家知识产权优势企业、国家专精特新“小巨人”企业。
公司专注于以功率控制电源、特种电源为代表的工业电源设备的研发制造，产品广泛应用于石油、化工、冶金、机械、建材等传统行业以及光伏、核电、半导体、环保等新兴行业。

图 190：英杰电气发展历程

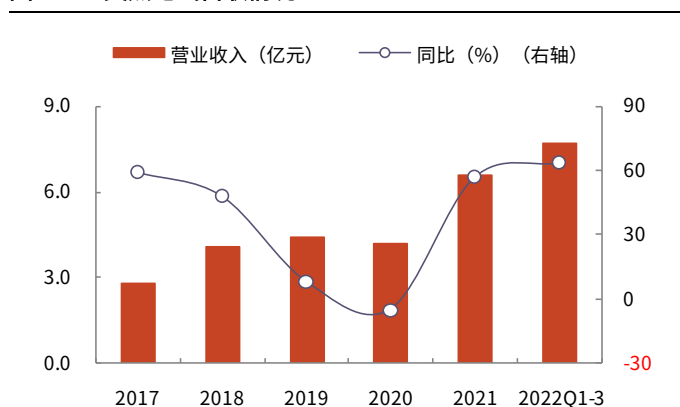


资料来源：公司官网

2022 年前三季度，公司实现营收 7.72 亿元，同比增长 63.6%，实现归母净利润 2.08 亿元，同比增长 71.6%。公司业绩实现快速增长，主要由于前期订单逐步步入确认周期，光伏、半导体等细分领域增速较快。

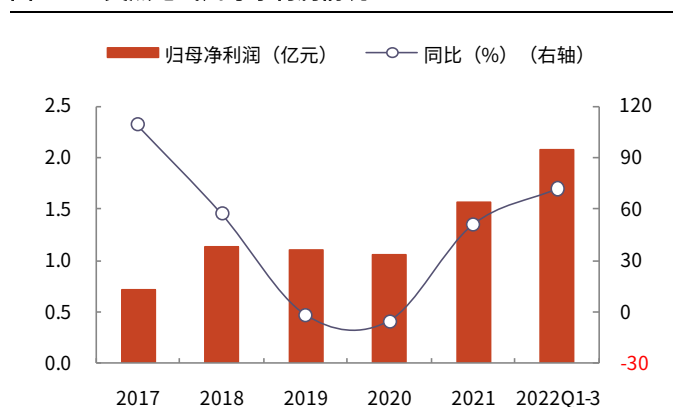
根据公司 2022 年业绩预告，公司 2022 年实现归母净利润 3.17-3.64 亿元，同比增长 101.4%-131.4%，实现扣非归母净利润 3.07-3.49 亿元，同比增长 133.6%-142.8%。

图 191：英杰电气营收情况



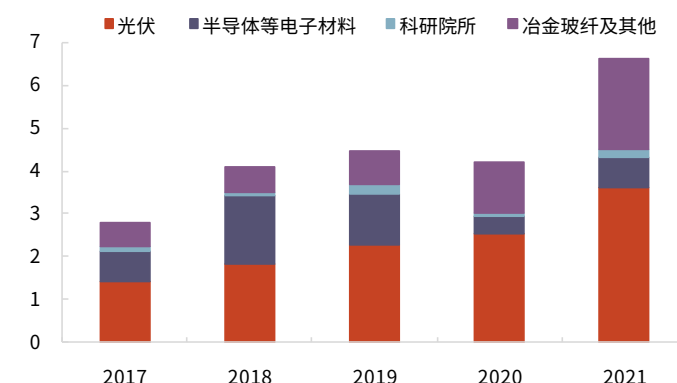
资料来源：，光大证券研究所

图 192：英杰电气归母净利润情况



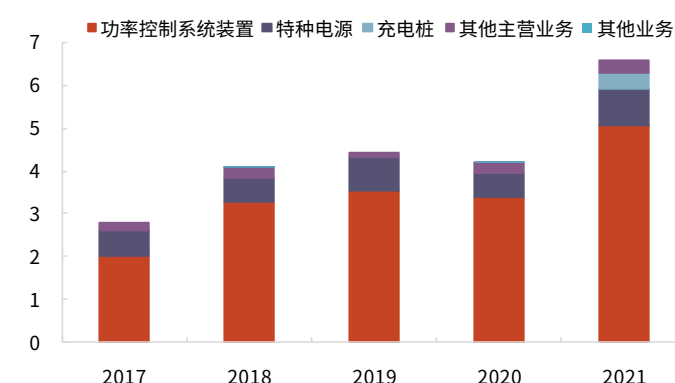
资料来源：，光大证券研究所

图 193：英杰电气分部营收（按应用领域）



资料来源：、光大证券研究所；单位：亿元

图 194：英杰电气分部营收（按产品）



资料来源：、光大证券研究所；单位：亿元

光伏电源：立足多晶、单晶电源，开拓电池片电源。公司以光伏多晶硅还原提纯电源、单晶硅晶体生长电源的国产替代为切入点，市场占有率常年保持在 70% 以上。立足多晶、单晶电源，公司向电池片设备电源拓展，如 TOPCon 电池设备中的中频溅射电源、异质结用射频电源。根据公司披露，公司射频电源中端产品在 2021 年初已经投向市场，截至 2022 年 9 月，高端产品有 1-2 个厂商正在测试。

半导体电源：乘半导体设备国产替代东风。公司产品主要应用于上游材料行业，如电子级多晶硅、半导体用单晶硅、碳化硅晶体、LED 用蓝宝石、LED 外延片等生产设备。在其他电子材料领域，公司产品主要应用于光纤拉丝、化成、腐蚀、电子铜（铝）箔等。公司目前已在 MOCVD（中微半导体）、碳化硅设备电源、刻蚀机电源等实现了进口替代，特别是碳化硅长晶电源领域已实现 80% 市场份额。在其他半导体设备上也有新电源研发成功，处于试用阶段。

冶金玻纤及其他：行业需求可持续，公司处于行业优势地位。包括钢铁冶金、玻璃玻纤、科研院所、电化学等行业，公司在这类行业里的产品一直处于优势，有较高的市场地位。节能减排背景下，电炉需求将持续增加，而玻璃玻纤为建筑、交通、电子、电气、化工、冶金、环境保护、国防等行业必不可少的原材料，因此公司工业用功率控制电源仍有较大的发展空间。

充电桩：国内外齐发力，未来空间广阔。公司成立全资子公司四川蔚宇电气，负责新能源汽车充电桩的研发制造。国内方面，公司已与蜀道集团成功签订战略合作协议，产品已覆盖四川省内 100 余个高速公路服务区，同时公司正有序推进与成都交投、重庆交运、云南能投、成都城投的商务洽谈，有望未来达成合作；国外方面，除已在美国、德国、意大利、英国等多个国家市场推广新能源充电桩产品获得订单外，公司将进一步开拓海外用户，拓展海外市场。

营收方面，2021 年，公司光伏/半导体电源/科研院所/冶金玻纤及其他板块分别实现营收 3.59/0.71/0.19/2.11 亿元，同比增加 42.8%/74.7%/81.6%/79.4%。2022 年上半年，公司光伏/半导体电源/冶金玻纤及其他板块分别实现营收 1.95/0.58/1.65 亿元，分别同比增加 22.1%/187.1%/103.9%。

订单方面，2021 年，公司光伏/半导体电源/充电桩板块分别实现订单 9.8/2.08/0.68 亿元，分别同比增加 224.5%/300.0%/553.5%；2022 年上半年，光伏/半导体电源/充电桩板块实现订单 9.18/1.73/0.78 亿元，同比增加 33.2%/86.2%/458%。

盈利预测、估值与评级

关键假设：公司主要业务为功率控制电源、特种电源，应用领域主要包括光伏（硅料、硅片、电池片）、半导体（MOCVD、碳化硅等）、冶金玻纤、充电桩等。

光伏：营收占比 50%以上，是公司的主要业务。碳中和背景下，全球光伏装机量快速提升，产业链上下游积极扩产，对硅料、硅片、电池片设备需求旺盛。公司已在硅料、硅片设备电源领域取得优势地位，市占率常年在 70%以上，目前正拓展电池领域，有望获得新的增长极。2022 年上半年，公司光伏业务实现营收 1.95 亿元，同比+22%。考虑到设备确认周期的不均匀性，我们预计下半年公司将加速确认节奏，根据新增订单情况，预计 22-24 年营业收入增速分别为 110%/45%/30%，预计 22-24 年毛利率分别为 39.0%/38.0%/38.0%。

半导体等电子材料：公司已在 MOCVD、碳化硅设备电源、刻蚀机电源等实现了进口替代，与中微半导体形成稳定合作。根据新增订单和交付情况，预计 22-24 年营业收入增速分别为 90%/60%/30%，预计 22-24 年毛利率分别为 50.0%/50.0%/50.0%。

科研院所：主要面向科研院所的研究需求，预计该部分需求保持稳定增长。2022 年受交付节奏影响，该部分收入增速较快，长期增速预计为 5%左右。根据新增订单和交付情况，预计 22-24 年营业收入增速分别为 95%/5%/5%，预计 22-24 年毛利率分别为 50.0%/50.0%/50.0%。

冶金玻纤及其他：碳中和背景下，电炉冶金比例提升，同时玻纤用途广泛，需求具备一定韧性，预计该部分需求长期保持增长。根据新增订单和交付情况，预计 22-24 年营业收入增速分别为 30%/25%/20%，预计 22-24 年毛利率分别为 43.0%/41.0%/41.0%。

充电桩：受到国内外需求拉动，预计充电桩需求保持较高增速。公司在国内与蜀道集团在内的多家客户保持合作，在海外已进入美国、欧洲多个国家，预计 22-24 年营业收入分别为 1.0/2.0/3.0 亿元，预计 22-24 年毛利率分别为 30.0%/30.0%/30.0%。

我们预计公司 22-24 年营业收入分别为 13.0/18.9/24.5 亿元，归母净利润分别为 3.18/4.55/6.00 亿元，对应 EPS 分别为 2.21/3.17/4.17 元。

表 44：英杰电气营业收入盈利预测表

项目	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E
主营收入（百万元）	421	660	1,300	1,891	2,454
增长率	-5.0%	56.9%	97.0%	45.4%	29.8%
毛利（百万元）	175.1	278.3	505.3	727.5	947.0
主营毛利率	41.6%	42.2%	38.9%	38.5%	38.6%
光伏					
收入（百万元）	252	359	755	1,094	1,423
增长率	12.0%	42.8%	110.0%	45.0%	30.0%
毛利（百万元）	89.6	141.7	294.3	415.8	540.6
毛利率	35.6%	39.4%	39.0%	38.0%	38.0%
半导体等电子材料					
收入（百万元）	40	71	134	215	279
增长率	-66.2%	74.7%	90.0%	60.0%	30.0%
毛利（百万元）		35.9	67.1	107.4	139.7
毛利率		50.9%	50.0%	50.0%	50.0%
科研院所					

收入（百万元）	10	19	37	39	41
增长率	-53.8%	81.6%	95.0%	5.0%	5.0%
毛利（百万元）		9.9	18.5	19.5	20.4
毛利率		52.1%	50.0%	50.0%	50.0%
冶金玻纤及其他					
收入（百万元）	117	211	274	342	411
增长率	55.3%	79.4%	30.0%	25.0%	20.0%
毛利（百万元）	57.0	90.6	43.0	82.0	123.0
毛利率	48.6%	43.0%	43.0%	41.0%	41.0%
充电桩					
收入（百万元）			100	200	300
增长率				100.0%	50.0%
毛利（百万元）			82.1	102.6	123.2
毛利率			30.0%	30.0%	30.0%

资料来源：，光大证券研究所预测

考虑到公司为光伏、半导体设备产业链企业，我们选择半导体设备公司晶盛机电、光伏设备公司奥特维、工业电源公司麦格米特三家公司作为可比公司。可比公司当前股价对应 22/23 年 PE 均值为 34/23 倍，公司当前股价对应 22/23 年 PE 为 43/30 倍，高于可比公司均值。鉴于公司属于电源平台型企业，未来在 TOPCon、HJT 电池设备电源有望加快国产替代，同时充电桩业务有望放量，估值具备提升空间。

表 45：可比公司估值比较

公司名称	收盘价（元）	EPS（元）					PE（X）				CAGR -2/2022	PEG -2022	市值 （亿元）
	2023/4/7	2021A	2022E	2023E	2024E	2021A	2022E	2023E	2024E				
晶盛机电	69.44	1.33	2.26	3.29	4.11	52	31	21	17	34.82%	0.88	909	
奥特维	175.10	3.76	4.52	6.55	8.63	47	39	27	20	38.20%	1.01	270	
麦格米特	29.85	0.78	0.89	1.34	1.84	38	33	22	16	43.74%	0.76	149	
平均值						46	34	23	18	38.92%	0.89		
英杰电气	95.77	1.65	2.21	3.17	4.17	58	43	30	23	37.30%	1.16	138	

资料来源：英杰电气为光大证券研究所预测，其余为 wind 一致预期；奥特维 22 年是业绩快报数据，晶盛机电 22 年是年报数据

我们预计公司 22-24 年净利润分别为 3.18/4.55/6.00 亿元，对应 EPS 分别为 2.21/3.17/4.17 元，当前股价对应 22-24 年 PE 分别为 43/30/23 倍。公司深耕工业电源领域，下游需求配套光伏、半导体等景气赛道，且通过自主创新不断拓展应用范围。首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：竞争格局恶化；原材料大幅上涨；充电桩需求不及预期。

表 46：英杰电气业绩预测和估值指标

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	421	660	1,300	1,891	2,454
营业收入增长率	-5.04%	56.87%	97.00%	45.42%	29.79%
净利润（百万元）	105	157	318	455	600
净利润增长率	-5.83%	50.60%	102.16%	43.08%	31.76%
EPS（元）	1.10	1.65	2.21	3.17	4.17
ROE（归属母公司）（摊薄）	9.86%	13.24%	21.80%	24.59%	25.42%
P/E	87	58	43	30	23
P/B	8.6	7.7	9.4	7.4	5.8

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日

由于转增、股权激励等原因，公司 2021 年/2022 年底股本分别是 0.953 亿股/1.437 亿股

9.7、横店东磁

公司主要从事磁性材料+器件、光伏+锂电两大产业群相关产品的研发、生产、销售以及提供一站式技术解决方案的服务。

1) 磁性材料产品包括预烧料、永磁、软磁、塑磁等，器件产品包括振动器件、电感、环形器/隔离器等。磁性材料+器件产品主要应用于家电、汽车、光伏、消费电子、5G 基站、大数据中心、充电桩、智能终端、工业互联网等领域；

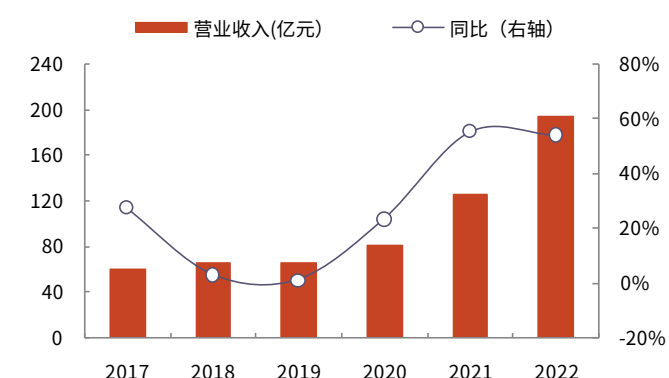
2) 光伏产品主要包括电池和组件等，主要应用于地面电站和分布式电站的建设；锂电产品主要包括三元圆柱锂电池及小动力 PACK 系统，主要应用于电动二轮车、电动工具、便携式储能、智能小家电等领域。

截至 2022 年 12 月底，公司磁性材料产业具有年产 22 万吨铁氧体预烧料、16.2 万吨永磁铁氧体、5 万吨软磁铁氧体、2.5 万吨塑磁的产能，是国内规模最大的铁氧体磁性材料生产企业；光伏产业具有年产 8GW 电池、7GW 组件的内部产能，公司组件出货量连续多年稳居欧洲分布式市场第一梯队，并塑造了黑组件市场的领导品牌；锂电产业具有年产 2.5GWh 锂电池的产能，随着产能的持续扩张将逐步跻身于小动力行业细分市场前列。

新建产能方面：包括年产 6GWh 高性能锂电池项目、高效一体电感项目、1.5 万吨软磁铁氧体项目、江苏泗洪 2.5GW 组件项目、广西梧州 2.2 万吨永磁铁氧体项目等。公司在四川建设年产 20GW 新型高效电池一期项目 6GW TOPCon 电池。截止 2022 年底，江苏泗洪二期已建成投产，横店本部的部分项目和梧州工厂已部分实现量产。

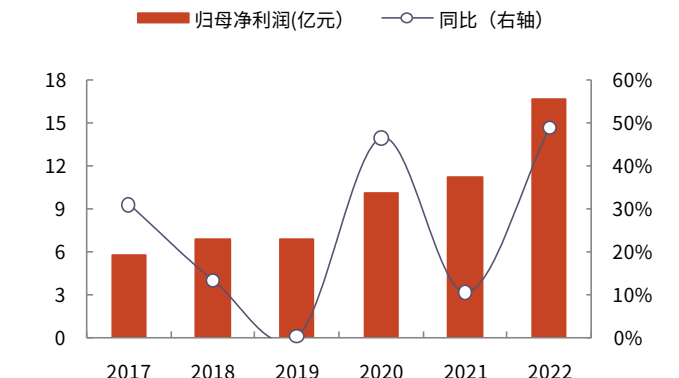
2022 年公司实现营收 194.5 亿元，同比增长 54.3%，实现归母净利润 16.7 亿元，同比增长 49.0%。公司业绩实现快速增长，主要由于欧洲能源危机下对光伏组件需求快速增长，拉动公司光伏组件出货。

图 195：横店东磁营收情况



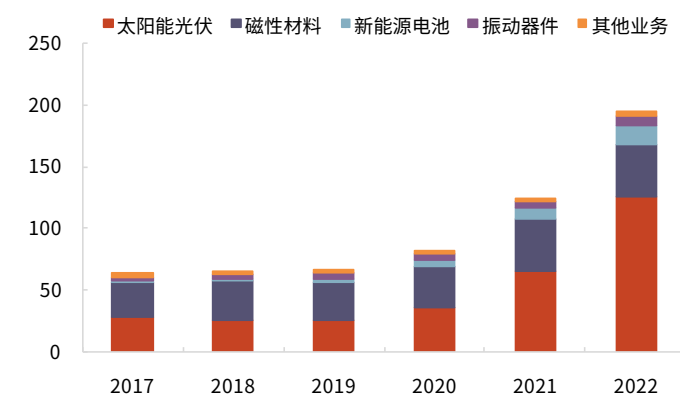
资料来源：、光大证券研究所

图 196：横店东磁归母净利润情况



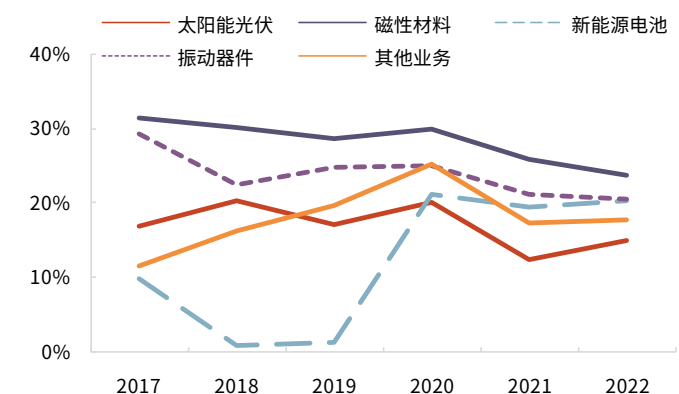
资料来源：、光大证券研究所

图 197：横店东磁分部业务营收



资料来源：、光大证券研究所；单位：亿元

图 198：横店东磁分部业务毛利率



资料来源：、光大证券研究所

对于光伏新技术，2022 年上半年公司搭建了 TOPCon 和 P-IBC 中试线，为下一步新技术规模化导入量产奠定了基础。2022 年 11 月，公司发布公告，拟在四川省宜宾市分步投资年产 20GW 新型高效电池项目，项目分三期实施，其中第一期投资建设年产 6GW 新型高效 TOPCon 电池，第二期投资建设年产 6GW 新型高效 TOPCon 电池，第三期投资建设年产 8GW 下一代高效电池。目前公司正推动一期 6GW TOPCon 电池工厂建设。

盈利预测、估值与评级

关键假设：公司产品主要应用领域包括光伏电池片/组件、消费锂电池、磁性材料。

表 47：横店东磁产能预测

业务板块	产品	2022	2023E	2024E	2025E
磁性材料 (万吨)	铁氧体预烧	22.0	24.0	26.0	28.0
	永磁铁氧体	16.2	17.0	18.0	19.0
	软磁铁氧体	5.0	6.0	7.0	8.0
	塑磁	2.5	2.5	2.5	2.5
器件	电感 (亿只)	10.0	10.0	10.0	10.0
	振动马达 (亿只)	4.0	4.0	4.0	4.0
光伏	光伏电池 (GW)	8.0	14.0	20.0	28.0
	光伏组件 (GW)	7.0	12.0	16.0	20.0
锂电	锂电池 (GWh)	2.5	7.0	8.5	12.0

资料来源：公司公告、光大证券研究所预测

光伏板块：

2022 年公司光伏产品出货 8.0GW，2023 年光伏业务产能目标为 14GW 电池+12GW 组件。

综合考虑公司产能规划和出货规划，我们预计公司 23-25 年组件出货量 9.0/13.0/17.0GW，电池出货量 2.0/2.0/2.0GW，预计组件单价（不含税）为 1.55/1.42/1.37 元/W，电池单价（不含税）为 0.88/0.71/0.62 元/W。则 23-25 年光伏板块营收 157.1/198.2/245.6 亿元。由于公司组件出口比例较大，且依靠

黑组件获取一定溢价，假设 23-25 年毛利率仍能保持较高水平，分别为 14%/14%/14%。

新能源电池：

公司新投建 6GWh 高性能锂电池项目，2023 年进入量产爬坡阶段。一方面，公司继续拓展电动二轮车、便携式储能、电动工具客户，另一方面公司正开发户储产品，目前低压产品在欧洲的认证已经全部通过。2022 年公司锂电板块累计出货 1.9 亿只，营收 15.6 亿元。

我们预计公司 23-25 年消费锂电池出货量分别为 4.0/6.0/8.0 亿只，单价分别为 7.5/7.2/7.0 元/只，锂电板块营收分别为 30.0/43.2/56.0 亿元，随着碳酸锂供需关系改善，毛利率保持平稳，23-25 年分别为 20.4%/20.4%/20.4%。

磁性材料及振动器件：

公司永磁 90%+应用在家电和汽车领域，10%不到应用在工业电机上；软磁 40%+用于在通讯和家电，30%+用于光伏、汽车电子，20%+用于照明、电脑等其他行业。受家电、消费电子和传统汽车等领域景气度影响，永磁需求阶段性疲软，而新能源汽车、光伏、充电桩、服务器等领域拉动了软磁需求。2022 年公司磁材板块累计出货 18.4 万吨，同比下降 11.2%，营收 42.0 亿元，同比增长 1.8%。

综合公司产能扩张进度与市场需求，我们预计 23-25 年磁材出货量 20.0/22.0/24.0 万吨，器件出货量 3.8/3.8/3.8 亿只。预计 23-25 年磁材单价 2.28/2.28/2.28 万元/吨，器件单价 1.82/1.82/1.82 元/只。则 23-25 年磁性材料板块营收分别为 45.7/50.3/54.8 亿元，毛利率分别为 23.7%/23.7%/23.7%；振动器件板块营收分别为 6.9/6.9/6.9 亿元，毛利率分别为 20.5%/20.5%/20.5%。

预计 2023-25 年销售费用率为 1.2%/1.2%/1.2%，规模效应下管理费用率为 2.4%/2.2%/2.0%，研发费用率为 4.6%/4.6%/4.6%。

我们预计公司 23-25 年营业收入分别为 244.4/304.4/370.3 亿元，归母净利润分别为 21.07/26.43/32.88 亿元，对应 EPS 分别为 1.30/1.63/2.02 元。

表 48：横店东磁营业收入盈利预测表

项目	2021A	2022A	2023E	2024E	2025E
主营收入（亿元）	126.1	194.5	244.4	304.4	370.3
增长率	55.5%	54.3%	25.6%	24.6%	21.6%
毛利（亿元）	34.0	34.1	41.2	50.9	61.4
主营毛利率	27.0%	17.5%	16.9%	16.7%	16.6%
太阳能光伏					
收入（亿元）	65.0	125.9	157.1	198.2	245.6
增长率	87.4%	93.7%	24.7%	26.2%	23.9%
毛利（亿元）	8.0	18.7	22.0	27.8	34.4
毛利率	12.3%	14.9%	14.0%	14.0%	14.0%
磁性材料					
收入（亿元）	41.3	42.0	45.7	50.3	54.8
增长率	22.3%	1.8%	8.7%	10.0%	9.1%
毛利（亿元）	10.7	10.0	10.8	11.9	13.0
毛利率	25.9%	23.7%	23.7%	23.7%	23.7%
新能源电池					

收入 (亿元)	8.7	15.6	30.0	43.2	56.0
增长率	87.2%	79.0%	92.2%	44.0%	29.6%
毛利 (亿元)	1.7	3.2	6.1	8.8	11.4
毛利率	19.5%	20.4%	20.4%	20.4%	20.4%
振动器件					
收入 (亿元)	6.5	7.2	6.9	6.9	6.9
增长率	28.5%	10.5%	-3.8%	0.0%	0.0%
毛利 (亿元)	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4
毛利率	21.2%	20.5%	20.5%	20.5%	20.5%
其他主营业务					
收入 (亿元)	4.5	3.7	4.7	5.8	7.0
增长率	57.8%	-17.9%	25.0%	25.0%	20.0%
毛利 (亿元)	0.8	0.7	0.8	1.0	1.2
毛利率	17.4%	17.8%	17.8%	17.8%	17.8%

资料来源：，光大证券研究所预测；总营收中包含其他业务

考虑到公司主要营收来源为光伏电池片/组件、消费锂电池、磁性材料，综合考虑公司业务领域与市场地位，我们选择同样布局光伏电池片/组件业务的天合光能、布局消费锂电池的蔚蓝锂芯、布局磁性材料领域的铂科新材三家公司作为可比公司。可比公司当前股价对应 22/23 年 PE 均值为 38/23 倍，公司当前股价对应 22/23 年 PE 为 20/16 倍，低于可比公司均值。

表 49：可比公司估值比较

公司名称	收盘价 (元)	EPS (元)					PE (X)				CAGR -2/2022	PEG -2022	市值 (亿元)
	2023/4/7	2021A	2022E	2023E	2024E	2021A	2022E	2023E	2024E				
天合光能	50.61	0.87	1.73	3.15	4.15	58	29	16	12	33.87%	0.86	1100	
蔚蓝锂芯	14.38	0.65	0.43	0.80	1.13	22	34	18	13	38.29%	0.88	166	
铂科新材	89.58	1.16	1.76	2.63	3.61	77	51	34	25	26.99%	1.88	98	
平均值						52	38	23	17	33.05%	1.21		
横店东磁	20.32	0.69	1.03	1.30	1.63	30	20	16	13	16.56%	1.20	331	

资料来源：横店东磁为光大证券研究所预测，其余为 wind 一致预期；天合光能 22 年为业绩快报

我们预计公司 23-25 年净利润分别为 21.07/26.43/32.88 亿元，对应 EPS 分别为 1.30/1.63/2.02 元，当前股价对应 23-25 年 PE 分别为 16/13/10 倍。公司在磁性材料领域具备较高的市占率，同步覆盖光伏、锂电池等景气赛道，公司的黑组件产品在欧洲具备较强的市场认可度。首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：竞争格局恶化；原材料大幅上涨；光伏行业需求不及预期。

表 50：横店东磁业绩预测和估值指标

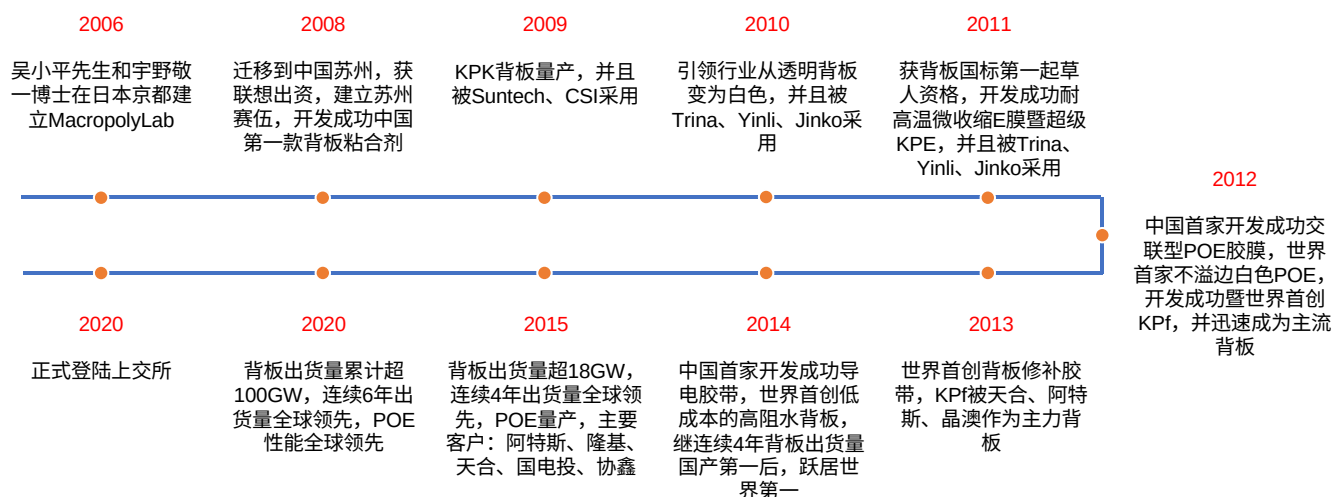
指标	2021	2022	2023E	2024E	2025E
营业收入 (百万元)	12,607	19,451	24,436	30,445	37,033
营业收入增长率	55.54%	54.28%	25.63%	24.59%	21.64%
净利润 (百万元)	1,120	1,669	2,107	2,643	3,288
净利润增长率	10.54%	48.98%	26.25%	25.43%	24.39%
EPS (元)	0.69	1.03	1.30	1.63	2.02
ROE (归属母公司) (摊薄)	16.65%	21.54%	22.74%	23.66%	24.29%
P/E	30	20	16	13	10
P/B	4.9	4.3	3.6	3.0	2.4

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日

9.8、赛伍技术

公司主要从事以粘合剂为核心的薄膜形态功能性高分子材料的研发、生产和销售，将“材料设计、树脂改性、胶粘剂配方、界面技术、测试评价”的基干技术与“涂布、复合、流延制膜”的工艺技术构成技术平台，在同一个技术平台上不断开发适用不同应用领域的功能性材料，实现同心圆多元化经营模式。目前已成规模的应用业务有：光伏材料（背板与封装胶膜产品）、光伏电站维修材料（MoPro®）、交通电力材料、3C 通讯及消费电子材料和半导体材料。

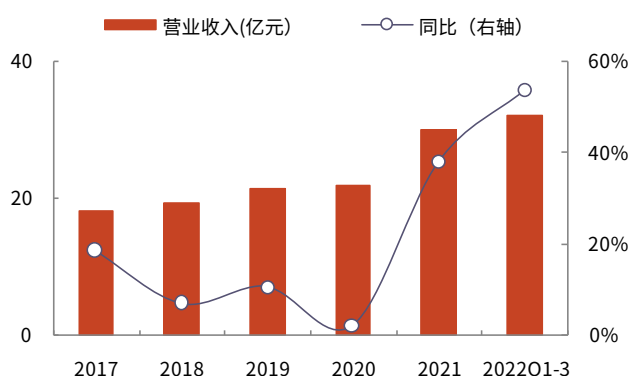
图 199：赛伍技术发展历程



资料来源：公司官网

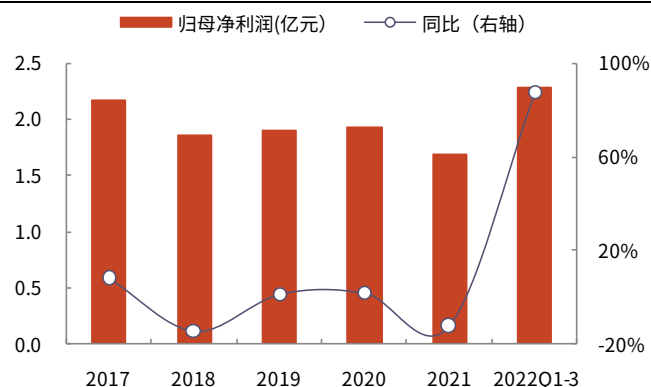
2022 年前三季度，公司实现营收 32.2 亿元，同比增长 54.0%，实现归母净利润 2.3 亿元，同比增长 87.9%。公司业绩实现快速增长，主要由于公司背板产品出货结构改善，销量实现提升，同时 SET 板块实现产品放量。

图 200：赛伍技术营收情况



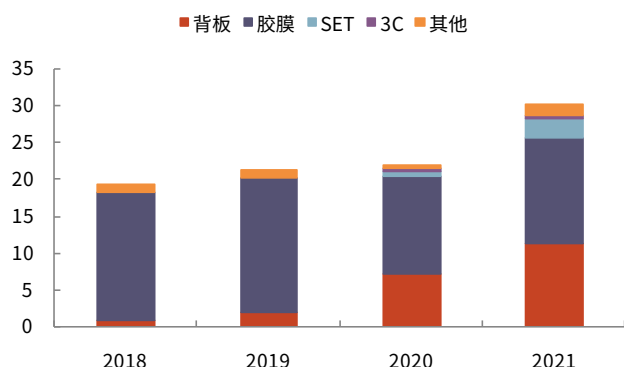
资料来源：、光大证券研究所

图 201：赛伍技术归母净利润情况



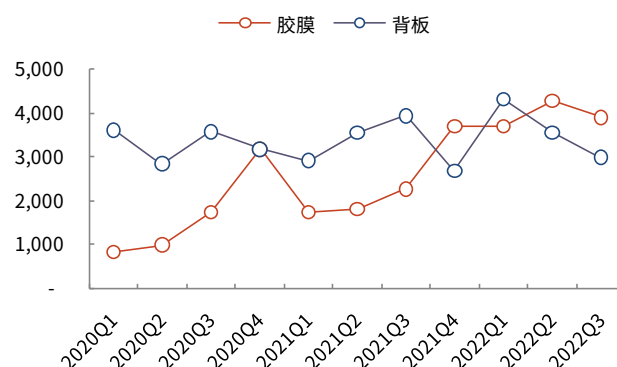
资料来源：、光大证券研究所

图 202：赛伍技术分部业务营收



资料来源：、光大证券研究所；单位：亿元

图 203：赛伍技术胶膜与背板销量 (万平方米)



资料来源：、光大证券研究所

光伏板块

1) 背板

公司销售的背板产品主要为自主原创的专利产品——KPF 型背板，是应用于单面发电组件的通用背板，截至 2021 年底该产品已经连续 7 年保持全球市占率第一。2021 年以来，受 K 膜的原材料——PVDF 粒子的供应紧缺和价格大幅上涨的影响，KPF 背板的成本大幅上升。公司通过供应链改善，降低了 KPF 的成本，在继续保持高可靠性细分市场的龙头地位的同时，提高了毛利率。同时，低成本的 PPf 和 FPf 的销售出货量比例已超过三分之一，背板总体的盈利开始走上恢复的轨道，在未增加设备的情况下完成了年产 2.2 亿平米的产能扩大。

2) 胶膜

公司在 POE 胶膜领域是全球市占率第二的主要供应商。在领先的纯 POE 胶膜业务的基础上，根据双玻组件封装出现的低成本化的 EPE 的需求，2022 年上半年完成了 EVA+EPE 胶膜的开发，获得了晶澳、天合、晶科、阿特斯、东方日升、正泰、通威等客户的测试认证，获得了晶澳等客户的批量订单。针对 HJT 异质结电池组件，公司在行业内率先开发成功的 UV 转换胶膜，并于 2022 年 11 月与华晟新能源签订约 10GW 的战略供货协议，并于 2023 年 2 月实现批量交付。

SET（半导体、电气、交通运输工具）材料业务板块

1) 电动车

2021 年度公司产生销售的主流产品增加到 5 类，包括侧板绝缘膜（黑膜）、电芯采集系统集成封装胶膜（CCS 热压膜）、电芯壳体保护膜（电芯蓝膜）、叠层母排 Busbar 绝缘膜、车载高压汇流排绝缘膜、车用胶带、铝塑膜保护膜等。截至 2021 年底，公司在售和在研产品的价值量约为 2000 元/台车。

2022 年，公司在先期进入到宁德时代和比亚迪的基础上，扩大到国轩高科、孚能科技等行业内领军企业供应链，并应用于特斯拉、大众新能源、吉利新能源、上汽乘用车等电动化的主力车型的关键零部件上，间接地进入了上述整机厂。其中，电池 PACK 的侧板绝缘膜、CCS 热压膜和车规级电芯蓝膜已给国内前十大动力电池生产厂商批量化供应，同时也已向某些储能电池生产厂商供货。2022 年上半年，公司这些产品的市占率在 2021 年的基础上进一步上升到 35% 左右，并开始送交国外电池厂商测试。

2) 半导体

公司主要产品包括：(1)IGBT 模组材料；(2)晶圆加工过程材料；(3)MLCC 加工过程材料等。由于半导体材料被世界各国认为是战略性物资，因此中国国产材料很难进入西方国家的市场，公司目前只考虑服务于国内市场和客户的机会。

截至 2022 年上半年，公司 UV 减粘膜和 IGBT 散热材料实现量产，批量性地进入格力等优质客户，并取得 2 家重大新客户的认证。在半导体领域，公司主要向格力新元提供 IGBT（智能功率模块）的热管理结构材料。

3C 消费电子材料

目前公司 3C 消费电子材料和产品方案主要应用在电子消费类产品中的结构粘结或者工艺制程中的过程保护等领域。包括应用于手机 LCD 模组的聚氨酯（PU）保护膜、应用于手机、智能穿戴 OLED 模组的 OCA 胶膜、网格泡棉一体化胶带等。

在 3C 行业领域，公司继续服务欧菲光、歌尔声学、维信诺、天马、京东方、东尼等重要客户，并进入了小米供应链。

盈利预测、估值与评级

关键假设：公司产品主要应用领域包括光伏板块（背板+胶膜）、SET 业务（半导体+锂电）、3C 消费电子。

光伏板块：

2022 年全球光伏组件产量 289GW，假设 2023-24 年全球光伏组件产量分别为 438/538GW，随着双玻组件占比提升，2022-24 年背板组件占比逐年下降为 60%/51%/50%。随着组件转换效率提升，背板单位需求趋于下降，假设 2022-24 年分别为 500/480/470 万平/GW，则 2022-24 年全球背板需求量为 8.7/10.7/12.6 亿平。

随着组件转换效率提升，胶膜单位需求同样趋于下降，假设 2022-24 年分别为 945/941/936 万平/GW，则 2022-24 年全球胶膜需求量为 27.3/41.1/50.3 亿平。

表 51：赛伍技术背板、胶膜出货量预测

	2021	2022E	2023E	2024E
全球组件产量 (GW)	221	289	438	538
背板组件占比	62.6%	60.0%	51.0%	50.0%
背板组件产量 (GW)	138	173	223	269
背板单位需求 (万平/GW)	500	500	480	470
全球背板需求 (万平)	69,110	86,700	107,100	126,420
赛伍背板出货 (万平)	13,121	13,547	17,136	20,859
赛伍背板市占率	19.0%	15.6%	16.0%	16.5%
胶膜单位需求 (万平/GW)	950	945	941	936
全球胶膜需求 (万平)	209,760	273,177	411,479	503,004
赛伍胶膜出货量 (万平)	9,510	18,556	31,000	45,000
赛伍胶膜市占率	4.5%	6.8%	7.5%	8.9%

资料来源：CPIA、光大证券研究所预测；2022 年全球组件产量为已知数据

1) 背板

由于双玻组件占比提升，传统背板的市占率受到挤压。加上 2021 年起 PVDF 基膜大幅涨价，公司优势产品 KPf 背板价格优势弱化，2021 年公司背板销量 1.31 亿平，较 2020 年 1.32 亿平略有下降，市占率则从 2020 年的 22.4% 下降至 19%。2022 年，一方面公司通过供应链降本，向下游顺价，毛利率同比有所提升，另一方面公司积极进行产品结构改善，2022 上半年背板中低成本的 PPf 和 FPf 的出货量比例已超过三分之一。展望未来，随着公司产品结构优化，PVDF 价格高位下行，预测公司背板市占率稳定回升，22-24 年分别为 15.6%/16.0%/16.5%，出货量分别为 1.35/1.71/2.09 亿平。由于 PVDF 价格下行及无氟背板占比提升，预计背板单价平稳下降，22-24 年分别为 11.5/9.8/9.5 元/平米（2022 年前三季度均价为 11.76 元/平米），营收分别为 15.6/16.8/19.8 亿元。预计毛利率保持平稳，22-24 年分别为 12.0%/12.0%/12.0%。

2) 胶膜

公司胶膜产品以 POE 胶膜为主，适用于双玻组件、TOPCon、HJT 等 N 型组件。2022 年上半年公司完成 EVA+EPE 胶膜开发，获得了晶澳等客户的批量订单。随着 N 型组件放量，公司以 POE 胶膜为主的产品优势有望得到体现，公司与华晟新能源签订 2 年约 10GWHJT 转光膜供货协议，将进一步拉动公司胶膜出货。预计 22-24 年胶膜出货量分别为 1.86/3.1/4.50 亿平。由于 HJT 转光膜单价较高，拉动整体平均单价至 13.0/15.0/16.2 元/平米（2022 年前三季度均价为 13.05 元/平米），营收分别为 24.2/46.4/72.8 亿元，受转光膜拉动，预计 22-24 年毛利率分别为 13.0%/17.0%/17.5%。

SET 材料板块：

公司在电动车领域进展顺利，在销的主要产品包括电芯蓝膜、CCS 热压膜、FFC 线束封装膜、结构件热压膜等，在先期进入到宁德时代和比亚迪的基础上，扩大到国轩高科、孚能科技等行业内领军企业供应链，并应用于特斯拉、大众、吉利等车企。2022 年上半年电动车领域营收 2 亿元，同比增加 125%，毛利率 32%。由于电动车下半年销量普遍好于上半年，预计 SET 板块 22-24 年出货量分别为 0.39/0.51/0.66 亿平，单价分别为 11.0/10.0/9.0 元/平米，营收分别为 4.3/5.1/5.9 亿元，随着产品放量，毛利率略下降，22-24 年分别为 32.8%/30%/28%。

3C 板块：

受益于公司膜类产品品类增加，预计该板块营收增速高于行业增速。2022 年上半年该板块取得营收 2400 万元，同比持平，主要由于车间投产进度延迟。假设 2022-24 年该板块出货量增速分别为 10.0%/20.0%/18.0%，出货量分别为 915/1098/1296 万平，产品单价分别为 6.0/5.0/5.0 元/平米，营收分别为 0.5/0.5/0.6 亿元，假设毛利率保持平稳，分别为 21.0%/21.0%/21.0%。

预计 2022-24 年规模效应下销售费用率为 1.4%/1.2%/1.1%，管理费用率为 1.9%/1.9%/1.9%，研发费用率为 3.0%/3.0%/3.0%。

我们预计公司 22-24 年营业收入分别为 46.1/70.3/100.7 亿元，归母净利润分别为 3.03/5.77/8.65 亿元，对应 EPS 分别为 0.69/1.31/1.97 元。

表 52：赛伍技术营业收入盈利预测表

项目	2020A	2021A	2022E	2023E	2024E
主营收入（亿元）	21.83	30.17	46.12	70.27	100.66
增长率	2.2%	38.2%	52.9%	52.4%	43.2%
毛利（亿元）	3.92	4.41	6.77	11.77	17.14
主营毛利率	18.0%	14.6%	14.7%	16.7%	17.0%
光伏胶膜					
收入（亿元）	7.25	11.38	24.18	46.35	72.75
增长率		56.9%	112.6%	91.7%	57.0%
毛利（亿元）	1.27	1.47	3.14	7.88	12.73
毛利率	17.5%	13.0%	13.0%	17.0%	17.5%
光伏背板					
收入（亿元）	13.14	14.25	15.59	16.79	19.82
增长率		8.5%	9.4%	7.7%	18.0%
毛利（亿元）	2.25	1.77	1.87	2.02	2.38
毛利率	17.1%	12.4%	12.0%	12.0%	12.0%
SET 材料					
收入（亿元）	0.63	2.50	4.29	5.07	5.93
增长率		297.3%	71.4%	18.2%	17.0%
毛利（亿元）	0.25	0.82	1.41	1.52	1.66
毛利率	39.2%	32.8%	32.8%	30.0%	28.0%
3C					
收入（亿元）	0.39	0.54	0.55	0.55	0.65
增长率		38.7%	2.6%	0.0%	18.0%
毛利（亿元）	0.11	0.11	0.12	0.12	0.14
毛利率	29.5%	21.0%	21.0%	21.0%	21.0%

资料来源：，光大证券研究所预测；注：总营收中包含其他收入

考虑到公司主要营收来源为光伏背板、光伏胶膜、锂电绝缘/保护膜，综合考虑公司业务领域与市场地位，我们选择具有类似光伏背板公司中来股份、光伏胶膜龙头福斯特、以及光伏辅材玻璃龙头福莱特三家公司作为可比公司。可比公司当前股价对应 22/23 年 PE 均值为 34/20 倍，公司当前股价对应 22/23 年 PE 为 36/19 倍，公司 2023 年估值接近可比公司均值。

表 53：可比公司估值比较

公司名称	收盘价 (元)	EPS (元)					PE (X)				CAGR -2/2022	PEG -2022	市值 (亿元)
	2023/4/7	2021A	2022E	2023E	2024E	2021A	2022E	2023E	2024E				
福斯特	56.26	2.35	1.85	2.63	3.17	24	30	21	18	19.60%	1.55	749	
中来股份	14.84	-0.29	0.40	0.90	1.35	-	37	16	11	50.12%	0.74	162	
福莱特	33.29	0.99	0.99	1.46	1.92	34	34	23	17	24.68%	1.36	652	
平均值						29	34	20	15	31.47%	1.22		
赛伍技术	24.82	0.42	0.69	1.31	1.97	59	36	19	13	41.84%	0.86	109	

资料来源：赛伍技术为光大证券研究所预测，其余为 wind 一致预期，福莱特 22 年 EPS 是实际数据

我们预计公司 22-24 年净利润分别为 3.03/5.77/8.65 亿元，对应 EPS 分别为 0.69/1.31/1.97 元，当前股价对应 22-24 年 PE 分别为 36/19/13 倍。公司以薄膜技术为依托，不断扩大产品范围，目前产品覆盖光伏、锂电、半导体等领域，HJT 转光膜具备先发优势，有望贡献超额收益。首次覆盖给予“买入”评级。

风险提示：竞争格局恶化；原材料大幅上涨；光伏行业需求不及预期。

表 54：赛伍技术业绩预测和估值指标

指标	2020	2021	2022E	2023E	2024E
营业收入（百万元）	2,183	3,017	4,612	7,027	10,066
营业收入增长率	2.20%	38.25%	52.86%	52.36%	43.24%
净利润（百万元）	194	170	303	577	865
净利润增长率	2.01%	-12.36%	78.26%	90.44%	49.86%
EPS（元）	0.49	0.42	0.69	1.31	1.97
ROE（归属母公司）（摊薄）	10.36%	7.63%	12.22%	19.26%	23.09%
P/E	51	59	36	19	13
P/B	5.3	4.5	4.4	3.6	2.9

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日

由于回购、转债转股原因，公司 2021 年/2022 年/2023 年股本分别是 4.04 亿股/4.40 亿股/4.40 亿股

9.9、帝科股份

公司成立于 2010 年，是一家专注于高性能电子材料开发与应用的材料科技公司，也是中国首家光伏与半导体导电银浆上市公司，工信部“专精特新”小巨人企业。

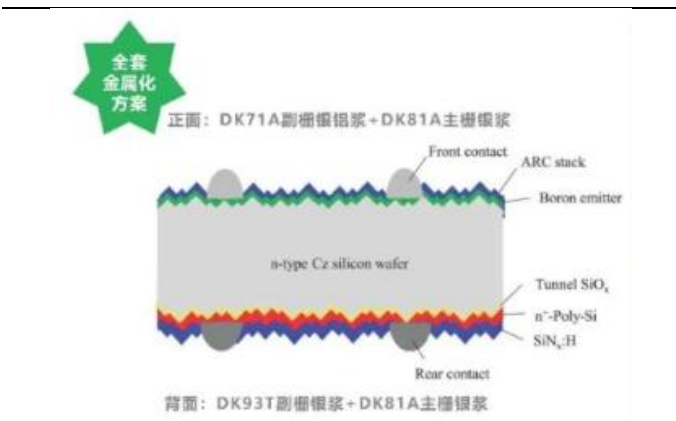
在光伏新能源领域，作为全球领先的光伏导电银浆供应商之一，公司通过丰富的导电银浆产品组合推动各类光伏创新技术的量产实践。在半导体电子封装领域，公司主要产品是导电银浆、导电粘合剂等多维产品组合。

公司通过多年来的技术研发和持续创新，掌握了以玻璃体系、有机体系、银粉体系为代表的多项核心技术，形成了多系列光伏导电银浆产品，获得了包括通威太阳能、天合光能、晶科能源、晶澳太阳能、爱旭科技、韩华新能源、正泰太阳能等光伏产业知名厂商的广泛认可并建立了长期稳定的合作关系，已处于全球光伏导电银浆供应链第一梯队。2020-2021 年，公司银浆销量 328/492 吨，全球光伏银浆总耗量 2990/3478 吨，公司市占率分别为 11.0%/14.2%。

公司 2021 年 10 月光伏银浆产能为 600-800 吨/年，其 500 吨导电浆料搬迁及扩产项目正在施工过程中，建成后总产能将突破 1000 吨/年。

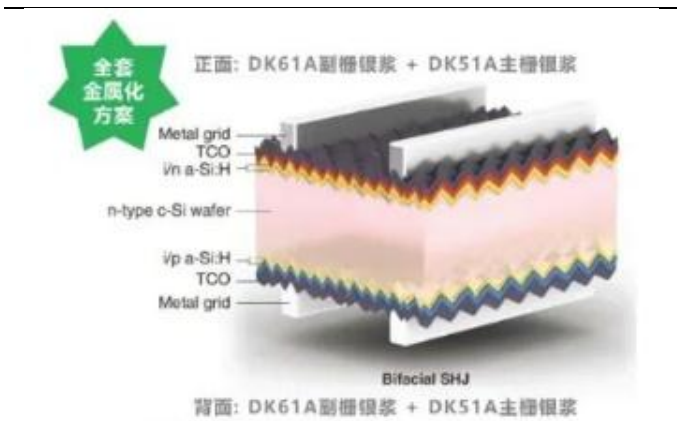
此外，公司在东营投资 4 亿元建设电子专用材料项目，包括年产 5000 吨硝酸银项目、年产 2000 吨金属粉项目、年产 200 吨电子级浆料项目。第一期为年产 5000 吨硝酸银产线建设项目，计划于 2023 年开始投产；第二期为年产 2000 吨金属粉产线建设项目，计划于 2024 年开始投产；第三期为年产 200 吨电子级浆料产线建设项目，计划于 2025 年开始投产。

图 204：帝科股份 TOPCon 金属化方案



资料来源：帝科股份《适用于 N 型电池的先进金属化工艺和导电浆料》

图 205：帝科股份 HJT 金属化方案



资料来源：帝科股份《适用于 N 型电池的先进金属化工艺和导电浆料》

针对 TOPCon 电池，公司开发了正面（DK71A 副栅银浆+DK81A 主栅银浆）+背面（DK93T 副栅银浆+DK81A 主栅银浆）。DK71A 定制化无机策略可实现稳健的效率增益和良率保证，已协助领先客户实现>24.5%TOPCon 电池生产（截至 2021 年底）。DK93T 大幅减少银微晶对 PolySi 层的破坏，推动超薄 PolySi 工艺（<100nm）量产。

针对 HJT 电池，公司开发了正面（DK61A 副栅银浆+DK51A 主栅银浆）+背面（DK61A 副栅银浆+DK51A 主栅银浆）。DK61A 副栅低温银浆具有优异的高速印刷性，支持 350mm/s 高速印刷，同时具有卓越的体电阻和栅线形貌，为异质结低温银浆用量下降释放空间。

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；原材料大幅涨价导致利润受挤压的风险；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

9.10、聚和材料

公司成立于 2015 年 8 月，是一家专业从事新型电子浆料研发、生产和销售的高新技术企业，目前主要产品为太阳能电池用正面银浆。

图 206：聚和材料发展历程



资料来源：聚和材料招股说明书

公司基于核心技术开发的产品已能满足多晶 PERC 电池、单晶单面氧化铝 PERC 电池、单晶双面氧化铝 PERC 电池、N 型 TOPCon 电池、HJT 电池等多种主流及新型高效电池对正面银浆的需求，并针对金刚线切片技术、MBB 技术、叠瓦技术、无网结网版印刷等特定工艺特点开发了相适配的正面银浆产品。

公司已与通威太阳能、东方日升、横店东磁、晶澳科技、中来光电、润阳悦达、阿特斯、金寨嘉悦、英发睿能等规模较大的太阳能电池片生产商建立了良好的合作关系。2020 年度，公司正面银浆产品销量 500.7 吨，全球市占率 16.7%，市场占有率排名国产厂商第一位、全行业第二位；2021 年度，公司正面银浆产品销量 944.32 吨，光伏正银全球市场占有率达到 37.09%，第一次取代境外银浆企业，成为全球正面银浆出货第一的企业。

截至 2021 年底，公司月出货量突破 100 吨，全球市占率 40%，实现了全球 TOP1 出货量。

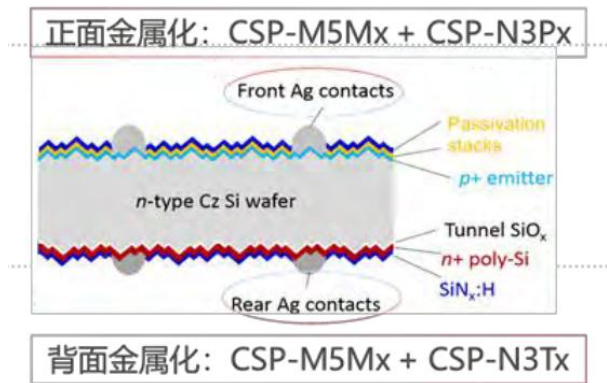
图 207：聚和材料产品、客户、研发体系



资料来源：聚和材料《高效 TOPCon 电池金属化技术探讨》

收入结构方面，根据公司招股说明书披露，2019-2021 年公司 HJT 银浆销售收入占比分别为 0.03%、0.11%、0.10%；2022 年 1-6 月单晶 PERC 电池用正银销售收入占正银销售收入比例超过 85.00%，TOPCon 银浆在公司营收占比已超过 10%。

图 208：聚和材料 TOPCon 金属化方案



资料来源：聚和材料《高效 TOPCon 电池金属化技术探讨》

图 209：聚和材料 TOPCon 电池用银浆性能指标

	客户五		客户六	
	发行人	供应商四+发行人+供应商五	发行人	供应商六+发行人+发行人
开路电压 (V)	702.7	701.9	707.3	706.9
短路电流 (A)	10.519	10.511	11.079	11.058
填充因子 (%)	82.81	82.93	83.43	83.62
电池转换效率 (%)	24.29	24.28	24.45	24.45
单位耗量/pcs	120	122.5	107.6	110
拉力 (N)	5	4.2	3.7	3.7
印刷线宽 (μm)	31	31.5	30	30.5
印刷速度 (mm/s)	380	380	400	400

资料来源：聚和材料招股说明书

表 55：光伏正面银浆销售体量同业对比

	2022 年 1-6 月		2021 年度		2020 年度		2019 年度	
	销售数量 (吨)	销售金额 (万元)	销售数量 (吨)	销售金额 (万元)	销售数量 (吨)	销售金额 (万元)	销售数量 (吨)	销售金额 (万元)
帝科股份	/	146,438.68	492.27	269,520.99	328.25	158,149.73	311.83	129,911.53
苏州晶银	/	99,104.71	229.33	117,008.62	154.01	75,253.20	235.47	96,882.75
匡宇科技	/	2,314.42	/	7,096.06	/	21,796.91	/	26,268.50
聚和材料	683.54	337,130.82	944.32	506,613.97	500.73	250,179.52	209.17	89,062.58

资料来源：聚和材料招股说明书

表 56：聚和材料各电池路线银浆销售

	2022 年 1-6 月		2021 年度		2020 年度		2019 年度	
	金额（万元）	比例（%）	金额（万元）	比例（%）	金额（万元）	比例（%）	金额（万元）	比例（%）
单晶	331,744	98.4	489,498	96.6	231,760	92.6	64,097	72.0
其中：PERC	294,397	87.3	443,081	87.5	220,267	88.0	58,292	65.5
TOPCon	36,601	10.9	45,922	9.1	11,226	4.5	5,777	6.5
HJT	746	0.2	496	0.1	266	0.1	27	0.0
多晶	5,409	1.6	17,116	3.4	18,420	7.4	24,966	28.0
合计	337,153	100.0	506,614	100.0	250,180	100.0	89,063	100.0

资料来源：聚和材料招股说明书

公司在已授权专利总数方面远高于同行业可比公司，主要由于公司通过一系列收购和交叉授权，形成了覆盖面较广的专利池。

2020 年 12 月 4 日，公司与三星 SDI、无锡三星签署了《资产购买协议》，以 800 万美元价格向三星 SDI、无锡三星购买了与光伏银浆生产相关的设备及境内外专利或专利申请权、非专利技术及交叉许可协议等无形资产。

2021 年 6 月 29 日，公司与昭荣化学签署了《专利购买协议》，公司以 400 万美元价格向昭荣化学购买了昭荣化学与贺利氏金属共同拥有的 23 项光伏银浆相关专利的 49% 份额。

2022 年 8 月 7 日，公司与江苏索特签署了《交叉许可协议》，将其分别拥有的除已包含在美国杜邦及三星 SDI 于 2019 年 11 月签署的《专利许可协议》外的部分美国杜邦及三星 SDI 专利进行交叉授权。

表 57：银浆企业专利情况对比

公司名称	专利情况
帝科股份	截至 2021 年 12 月 31 日，帝科股份取得 58 项专利，其中发明专利 14 项、实用新型专利 44 项
苏州晶银	截至 2020 年 10 月，苏州晶银累计取得授权专利 26 项，其中发明专利 16 项、实用新型专利 10 项
匡宇科技	截至 2020 年末，匡宇科技累计取得授权专利 16 项，其中发明专利 6 项，实用新型专利 10 项
聚和材料	截至 2022 年 6 月 30 日，公司及子公司累计获授权 315 项专利，其中发明专利 305 项，实用新型专利 10 项

资料来源：聚和材料招股说明书

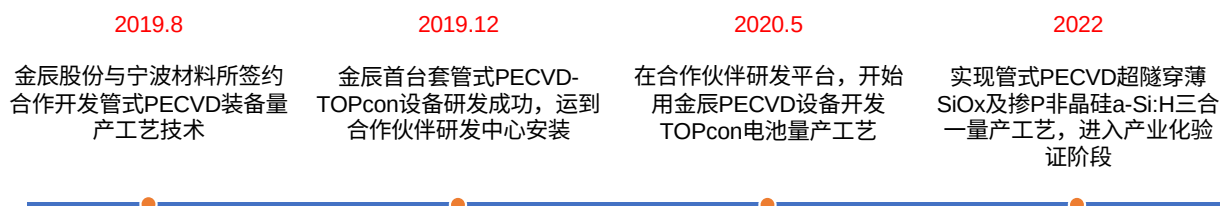
风险提示：光伏行业景气度下降的风险；原材料大幅涨价导致利润受挤压的风险；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

9.11、金辰股份

金辰股份成立于 2004 年，是中国国家高新技术企业，专注于真空镀膜技术、自动化技术、设备智能化解决方案。

公司在上市之初主营太阳能光伏组件自动化生产线、层压机、串焊机等，以及港口物流自动化相关设备，相关产品处于行业头部地位。公司积极拓展光伏电池片设备，紧紧抓住 TOPCon、HJT 先进电池工艺迭代机遇，与外部机构合作，进军高效电池核心设备。

图 210：金辰股份电池片设备发展历程

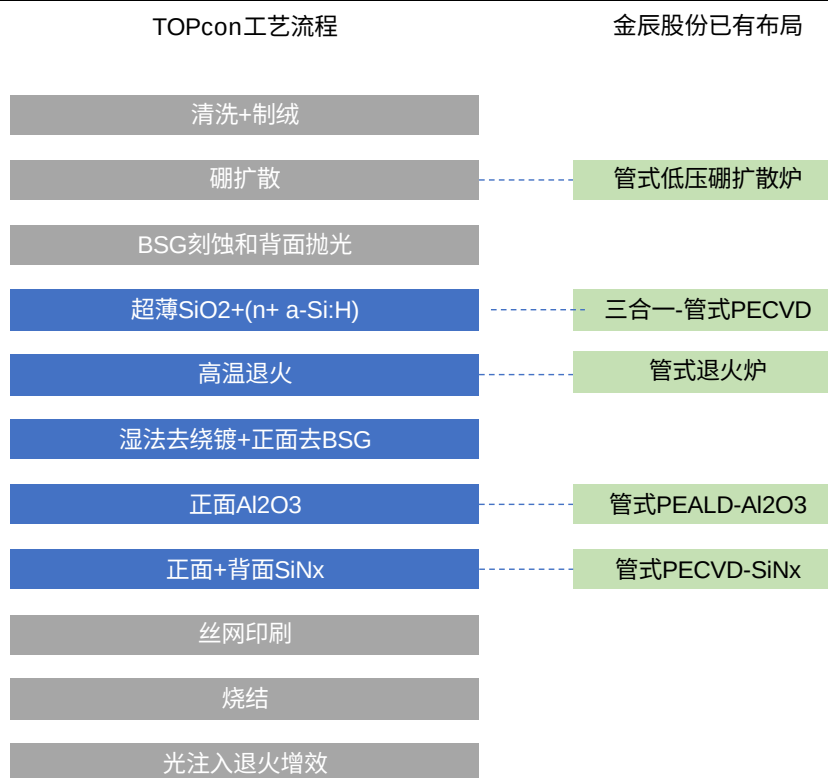


资料来源：公司官网

在 TOPCon 电池领域，公司与中科院宁波材料所展开战略合作，探索出用管式 PECVD 装备实现 TOPCon 光伏电池核心材料“超薄氧化硅+原位掺杂非晶硅”的制备，同时在抑制非晶硅爆膜、防止电场导通、实现高效电池全工艺集成等关键技术方面取得了重大突破，推出了简化工艺流程解决方案。

在 HJT 电池领域，公司与瑞士 H2GEMINI 公司积极合作，专注研发应用于 HJT 技术的新型 PECVD 工艺与设备，通过不断尝试与创新，最终取得了突破性进展，研发生产的 HJT 太阳能电池 PECVD 非晶硅薄膜设备具有产能大、成本低等优点。

图 211：金辰股份在 TOPCon 电池设备领域的布局



资料来源：公司官网

2020 年，公司组建团队开始研发 HJTPECVD 设备；2021 年 6 月，公司自主研发的首台 HJTPECVD 设备进驻晋能科技并成功通过设备工艺验证。2022 年 8 月，公司首台基于微晶工艺的 HJTPECVD 量产设备成功交付。

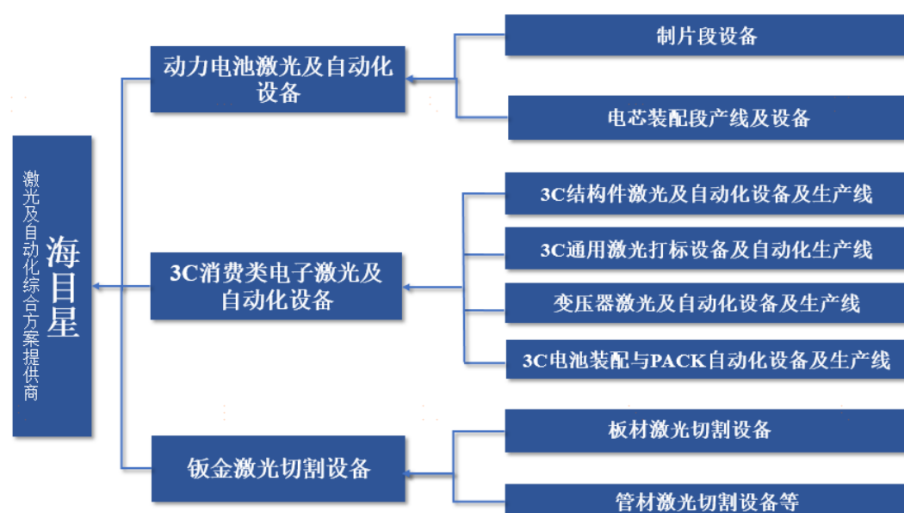
2021 年 11 月，公司助力中科院宁波材料所实现 TOPCon 晶硅太阳能电池效率突破 25.53%。截至 2021 年 11 月，公司生产的管式 PECVD 装备在多家光伏龙头公司已通过中试验证，量产 n 型 TOPCon 电池平均效率>24% (最高效率 24.5%)，同时在二合一设备开发上也取得了突破。

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；新设备推广应用进度不及预期；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

9.12、海目星

公司是激光及自动化综合解决方案提供商，主要从事消费电子、动力电池、钣金加工等行业激光及自动化设备的研发、设计、生产及销售，并在光伏、新型显示等领域取得突破性进展，在激光、自动化和智能化综合运用领域已形成较强的优势。

图 212：海目星业务布局



资料来源：公司公告

动力电池领域：

主要产品包括高速激光制片机、电芯装配段产线、电芯装配段产线（电芯干燥线），覆盖了极片制片、电芯装配、烘烤干燥等动力电池生产关键工艺流程。主要客户包括特斯拉、CATL、ATL、长城汽车、蜂巢能源、中创新航、力神、亿纬锂能等。

3C 消费电子领域：

主要产品包括 3C 结构件激光及自动化设备及生产线、3C 通用激光打标设备及自动化生产线、变压器激光及自动化设备及生产线、3C 电池装配与 PACK 自动

化设备及生产线，主要客户包括华为，中兴，伟创力，比亚迪、富士康、胜美达、赛尔康、雅达电子、华之欧、华生电机、比路电子等。

钣金激光切割领域：

主要应用在汽车工业、轨道交通、家具、机械设备等领域的板材、管材加工，主要包含钣金激光切板机和钣金激光管材切割机，主要客户包括新会中集、金龙客车等。

订单方面，2021 年公司新签订单 57 亿元（其中动力电池领域 46 亿元），同比增加 165%，2021 年末在手订单 51 亿元，同比增加 200%；

2022 年 H1 公司新签订单 36 亿元（其中动力电池领域 24 亿元），同比增加 65%，2022 年 6 月末在手订单 72 亿元，同比增加 121%。

光伏领域：

2021 年 4 月，公司新设光伏事业群。同时与哈工大机械工程学院系、西安交大材料系开展深入合作，投入大量研发经费，面向光伏行业 PERC 电池、TOPCon 电池、HJT 电池、无损切割等新技术进行产业化和创新研究。目前已有产品包括全自动激光开槽设备（晶硅太阳能行业）、全自动激光掺杂设备（晶硅太阳能行业）、全自动无损激光划裂设备（晶硅太阳能行业）、全自动激光划刻设备（薄膜太阳能行业）、全自动电池芯片清边设备（薄膜太阳能行业）、非标玻璃激光钻孔设备（薄膜太阳能行业）、非标玻璃激光切割设备（薄膜太阳能行业）。

2022 年 4 月，公司光伏业务获得客户 10.67 亿元中标通知，主要产品为 TOPCon 激光微损设备，这是公司光伏激光及自动化设备首次获得大规模订单，为公司进军光伏专用设备领域奠定了良好的基础。

据公司微信公众号披露，2023 年 2 月，公司 20GW 的 TOPCon 一次掺杂设备在客户处实现持续稳定量产，产线提效在 0.3%左右。2023 年以来，公司 TOPCon 一次掺杂设备在已开标的项目中标率超 60%。

图 213：海目星在光伏领域产品布局



资料来源：公司公告

表 58：海目星在光伏领域研发项目

项目名称	预计总投资规模 (元)	累计投入金额 (元)	进展或阶段性成果	拟达到目标	技术水平
光伏硅片高速高精度传输与 CCD 定位系统研发	3,500,000	2,769,566	设计阶段, 进行中	1. 整机产能 $\geq 10000\text{pcs/h}^2$, 单片传输时间 $\leq 400\text{ms}$ 3, 硅片传输精度 $\leq 0.5\text{mm}^4$, 视觉定位精度 $\leq \pm 15\mu\text{m}$	目前光伏硅片传输与 CCD 定位系统, 行业内整机产能在 7200pcs/h, 单片传输时间在 400ms, 视觉定位精度在 $\pm 30\mu\text{m}$, 本公司光伏硅片高速高精度传输与 CCD 定位系统, 使用多轴同步运动控制与驱动器高速探针相结合技术, 提高硅片传输速度与精度, 增加视觉定位系统提高激光加工精度
高效光伏电池激光掺杂系统研发	5,600,000	1,729,687	设计阶段, 进行中	1. 产能 $\geq 10000\text{pcs/h}^2$, 系统定位精度 $\leq 15\mu\text{m}^3$, 激光图形精度 $\leq \pm 15\mu\text{m}^4$, 碎片率 $\leq 0.02\%$	目前光伏行业内, 激光掺杂系统产能均在 7200pcs/h 左右, 本公司研发的高效光伏电池激光掺杂系统, 集成了硅片高速传输与高精度视觉定位技术以及高效激光加工技术, 实现高效、高精度激光掺杂

资料来源：公司公告；截至 2022 年 6 月底

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；新设备推广应用进度不及预期；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

9.13、苏州晶银

苏州晶银成立于 2011 年，由苏州固锝控股，并于 2021 年成为苏州固锝（002079.SZ）的全资子公司，专注于新能源领域的材料，目前主营业务为光伏银浆。

2020-2021 年，公司银浆销量 154/229 吨，全球光伏银浆总耗量 2990/3478 吨，公司市占率分别为 5.2%/6.6%。

PERC 方面，公司 PERC 单晶 SE 正银完成数家战略客户的验证及批量销售，光伏电池背面银浆产品在多个客户实现量产，2021 年销售 23.92 吨，较 2020 年增长 1639%；

HJT 方面，公司所研发的新一代高效低量快速印刷低温银浆产品在耗量降低近 30%，印刷速度快 20%的情况下还能保持转换效率的优势，实现了向钼能等客户的大批量供货；2021 年，公司 HJT 银浆实现销售 5.14 吨，2022 年 1-9 月，公司 HJT 银浆出货量接近 20 吨。

同时，公司还顺利推出银包铜 HJT 低温浆料，新开发出银包铜主栅浆料，突破了银包铜浆料附着力和焊接的问题，在客户处得到较高评价，目前已顺利通过可靠性测试，数家客户小批量量产已经完成，并在客户端进行户外实证电站验证。从银含量来看，截至 2022 年 11 月，公司实际出货的银包铜浆料含银量已降至 50%左右。

TOPCON 方面，公司 TOPCON 银浆在正面主细栅浆料和背面主细栅银浆产品上也在数家客户获得良好的测试效果。

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；原材料大幅涨价导致利润受挤压的风险；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

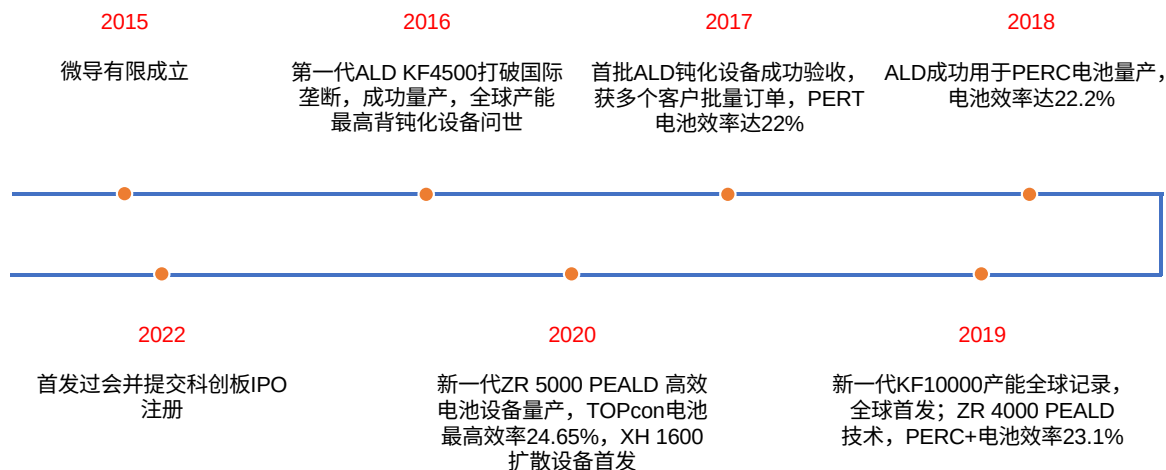
9.14、微导纳米

微导纳米成立于 2015 年，公司以原子层沉积技术为核心，致力于先进微、纳米级薄膜沉积技术和设备的研究与产业化应用，为光伏、集成电路、柔性电子等半导体与泛半导体行业提供高端装备与技术解决方案。2021 年，按应用领域划分，公司在光伏领域、半导体领域分别实现营收 2.75、0.25 亿元，占比 91.6%、8.4%。

招股说明书显示，公司控股股东为万海盈投资，实际控制人为王燕清、倪亚兰、王磊（王燕清同时为先导智能实控人、董事长兼总经理）。

公司产品主要以批量式（管式）ALD 设备为主，率先用于光伏电池片生产过程中的薄膜沉积环节，已覆盖包括通威太阳能、隆基股份、晶澳太阳能、阿特斯、天合光能等在内的多家知名太阳能电池片生产商。2021 年，公司产品中 ALD 设备、PECVD 设备、PEALD 二合一平台设备分别实现营收 1.36、0.71、0.68 亿元。

图 214：微导纳米发展历程



资料来源：公司官网

2022 年 9 月 1 日，微导纳米公众号称，公司先后中标 2 家头部太阳能制造商年产 20GW TOPCon 高效电池项目。截至 2022 年 9 月，公司已斩获 TOPCon 等相关新型高效电池订单近 80GW。

2022 年 10 月 1 日，微导纳米公众号称，公司交付的全球首条 AEP®原子层沉积技术 GW 级 TOPCon 整线项目取得量产效率平均 25%的突破性进展。

表 59：微导纳米光伏设备产品

产品系列	设备类型	镀膜工艺	目前应用领域	产业化阶段
夸父（KF）系列原子层沉积（ALD）系统	TALD	Al ₂ O ₃ 工艺	PERC 电池背面钝化层、TOPCon 电池正面钝化层	PERC：产业化应用 TOPCon：产业化验证
夸父（KF）管式 PECVD 系统	PECVD	SiNX 工艺	PERC 电池减反层	产业化应用
	PECVD	SiNX 工艺	TOPCon 电池背面减反层	产业化验证
祝融（ZR）管式 PEALD 系统	PEALD 和 PECVD	Al ₂ O ₃ 和 SiNX 二合一工艺	PERC 电池背面钝化层、减反层	产业化应用
	PEALD 和 PECVD	Al ₂ O ₃ 和 SiNX 二合一工艺	TOPCon 电池正面钝化层、减反层	产业化验证
	PEALD 和 PECVD	隧穿层和掺杂多晶硅层二合一工艺	TOPCon 电池隧穿层、掺杂多晶硅层	产业化验证
羲和（XH）低压扩散炉系统	炉管设备	非晶硅晶化及杂、扩散掺	TOPCon 电池扩散、退火	产业化验证

资料来源：微导纳米招股说明书

风险提示：光伏行业景气度下降的风险；新设备推广应用进度不及预期；行业竞争加剧导致市场份额下降的风险。

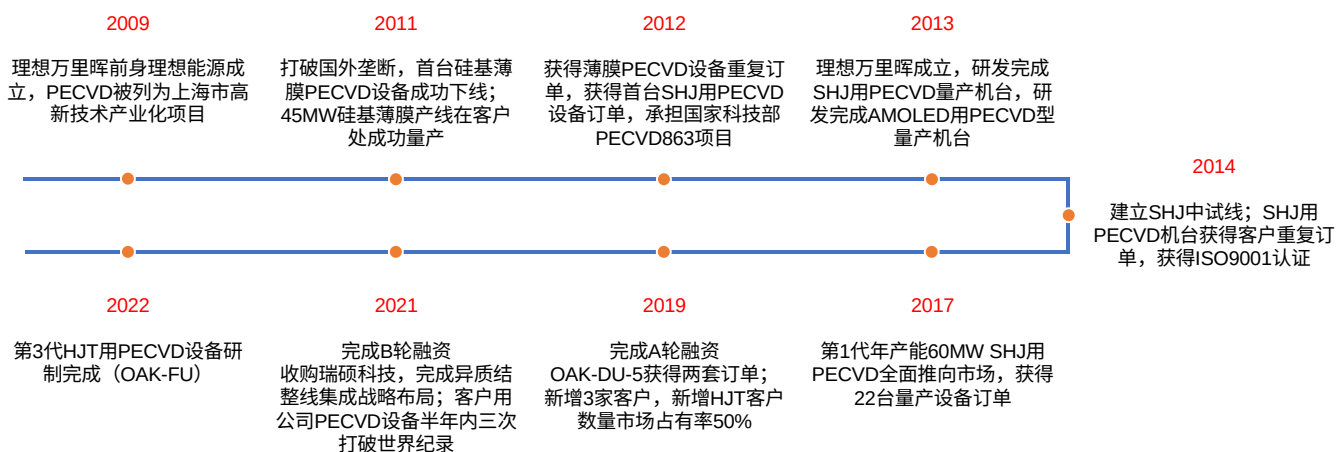
9.15、理想万里晖

上海理想万里晖薄膜设备有限公司由陈金元博士创立，前身是理想能源 PECVD 事业部，2012 年经过拆分重组，于 2013 年完成注册。2021 年，公司完成 B 轮融资，并落户临港新片区。2022 年，公司完成 C 轮融资并完成股改。

全资子公司理想万里晖真空装备（泰兴）有限公司于 2017 年 1 月在泰兴高新区成立，拥有 22000 平方米的厂房，可实现异质结 PECVD 装备年产能 10GW（截至 2022 年 11 月底）。

公司主营太阳能、泛半导体和半导体高端 PECVD 装备，系列光伏和 AMOLED 显示等领域高端 PECVD 系列产品多次打破国外垄断、填补国内空白，是中国高端 PECVD 装备的优选供应商。

图 215：理想万里晖发展历程



资料来源：公司官网

截至 2022 年 7 月，公司拥有异质结领域客户 14 家，验收客户 9 家，代表性客户包括隆基、通威、东方日升、华晟等。2021 年 10 月至 2022 年 6 月，隆基使用公司异质结设备，分别以 26.3%和 26.5%刷新 HJT 效率世界纪录。

图 216：理想万里晖客户基础

万里晖在HJT领域独立客户14家

打造稳定、可靠的异质结核心量产设备

- ◆ 异质结客户14家，验收9家
 - 异质结代表性客户：隆基、中威、通威、华晟、东方日升、汉能等
 - 异质结验收客户：隆基（实验线）、中威（量产线，生产近两年）、东方日升（量产线，生产超过一年）、汉能（量产线）等
- ◆ 客户近三年用微晶反应腔制备HIT电池N层，屡次打破HIT电池转换效率的世界纪录：
 - 2019年，汉能25.11%的转换效率；
 - 2021年隆基仅用3个月，获得25.26%的效率，产生新的HJT世界纪录。
 - 2021年10月至2022年6月隆基分别以26.30%和26.50%不断刷新HJT世界纪录
- ◆ 完成科技部“863”、上海市战略新兴重大产业项目等5项科研项目
- ◆ 拥有上海临港研发中心和泰兴生产基地

Copyright © 2013 上海理想万里晖真空设备有限公司, All Rights Reserved

Confidential

资料来源：理想万里晖《微晶硅 PECVD 助力 HJT 效率的持续提升》；截至 2022 年 6 月

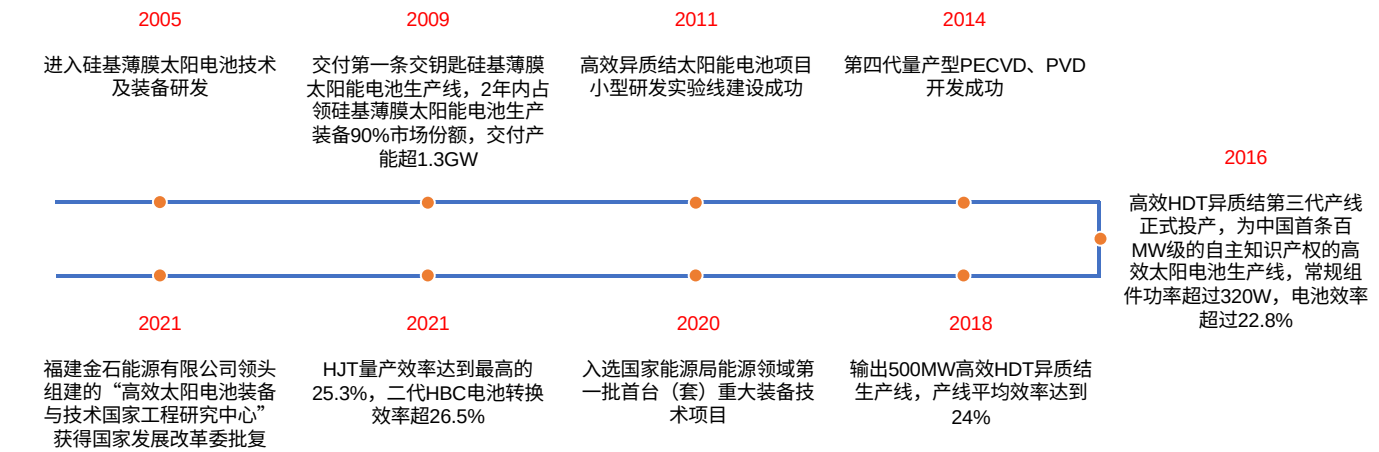
9.16、钧石能源

福建钧石能源的创始人为林朝晖，曾创建非晶硅薄膜太阳能设备企业铂阳精工（2009 年在香港上市，后被汉能集团收购并更名为汉能薄膜）。

2009 年，福建钧石能源有限公司（GS-SOLAR）成立，并在硅基薄膜太阳能电池生产装备领域取得较大市场份额。而后随着市场形势改变，钧石能源转向异质结太阳能设备领域，并于 2011 年建设高效异质结太阳能电池项目小型研发实验

室。2016 年，建成首个 100MW 级国产异质结中试线。2020 年，入选国家能源局能源领域第一批首台（套）重大装备技术项目。2021 年，领头组建“高效太阳能电池装备与技术国家工程研究中心”获得国家发改委批复。

图 217：钧石能源发展历程



资料来源：公司官网

2016 年，福建金石能源有限公司成立，专业从事异质结太阳能设备研发及生产。大股东为林朝晖控制的香港钧石电力，经过数轮融资，股东包括比亚迪、宁德时代等。

2017 年，钧石能源成立钜能电力，专业从事异质结电池片生产。

图 218：钧石能源 PECVD 设备特点



资料来源：公司官网

图 219：钧石能源提供异质结整线装备



资料来源：公司官网

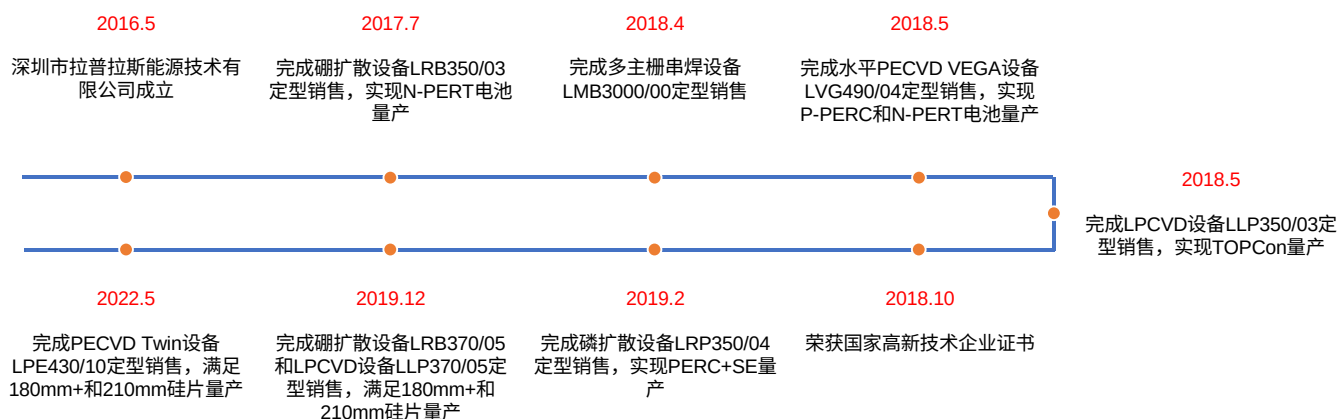
9.17、拉普拉斯

深圳市拉普拉斯能源技术有限公司成立于 2016 年 5 月，创始人为林佳继，是一家由海内外多名半导体及光伏设备行业顶尖专家创立的泛半导体高端装备与解决方案供应商。

目前公司核心产品以热制程（扩散，氧化，退火等），镀膜（PECVD，LPCVD，ALD 等）以及配套自动化设备+检测分析为主，主要应用在光伏和半导体相关研发和生产制造。公司已在深圳，广州，无锡和泰州建有不同产品线和制造基地，

并在西安和海宁等地建有 3 个服务中心。截至 2022 年 8 月，拥有员工近 2000 人，其中研发人员 200+人，售后和工艺人员 600+人。

图 220：拉普拉斯发展历程



资料来源：公司官网

拉普拉斯作为 TOPCon 核心工序供应商，主要提供硼扩和 LPCVD 设备，硼扩和 LP 市占率做到了 90%以上。

图 221：拉普拉斯主要产品设备



硼扩

1. 率先突破BCl₃和水平放片在硼扩量产应用；
2. 已签订单≥250台，市占率≥90%；
3. 产品成熟、稳定，已在客户端量产4年以上，经验丰富。



LPCVD

1. 已签订单≥350台，市占率≥90%；
2. 产能高，集成热氧，隧穿氧化层致密性和覆盖率高；
3. 通用性高，可应用在TOPCon，P型IBC，N型IBC等电池技术。



常规设备

1. 磷扩/退火≥200台；
2. PECVD≥200台；
3. 配套自动化≥300台；
4. 贴膜机≥50台。

资料来源：公司官网

10、风险分析

- (1) 政策风险：“双碳”政策节奏发生变化，新能源上网电价政策发生变化；
- (2) 技术风险：TOPCon、HJT、IBC 设备国产化、材料降本低于预期、效率提升进度低于预期；
- (3) 市场风险：投资过剩，产能过剩，导致格局恶化，新技术难以获得超额收益。

表 60：行业重点上市公司盈利预测、估值与评级

证券代码	公司名称	收盘价(元)	EPS(元)			P/E(x)			P/B(x)			投资评级	
			21A	22E	23E	21A	22E	23E	21A	22E	23E	本次	变动
300724.SZ	捷佳伟创	116.02	2.06	3.06	3.98	56	38	29	7	6	5	买入	维持
300751.SZ	迈为股份	296.56	5.95	5.21	7.73	50	57	38	6	8	7	买入	维持
688516.SH	奥特维	175.10	3.76	4.52	6.93	47	39	25	12	14	9	买入	首次
300776.SZ	帝尔激光	109.01	3.59	3.11	4.21	30	35	26	5	7	6	买入	维持
002865.SZ	钧达股份	142.54	-1.30	5.07	14.66	-	28	10	20	19	7	买入	首次
300820.SZ	英杰电气	95.77	1.65	2.21	3.17	58	43	30	8	9	7	买入	首次
002056.SZ	横店东磁	20.32	0.69	1.03	1.30	30	20	16	5	4	4	买入	首次
603212.SH	赛伍技术	24.82	0.42	0.69	1.31	59	36	19	5	4	4	买入	首次

资料来源：，光大证券研究所预测，股价时间为 2023 年 4 月 7 日；注：钧达股份、横店东磁 2022 年 EPS 为年报已披露数据

行业及公司评级体系

评级	说明
买入	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上
增持	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
中性	未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
减持	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
卖出	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。
基准指数说明：A 股主板基准为沪深 300 指数；中小盘基准为中小板指；创业板基准为创业板指；新三板基准为新三板指数；港股基准指数为恒生指数。	

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。

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分不与、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。

法律主体声明

本报告由光大证券股份有限公司制作，光大证券股份有限公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格，负责本报告在中华人民共和国境内（仅为本报告目的，不包括港澳台）的分销。本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格编号已披露在报告首页。

中国光大证券国际有限公司和 Everbright Securities(UK) Company Limited 是光大证券股份有限公司的关联机构。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）创建于 1996 年，系由中国光大（集团）总公司投资控股的全国性综合类股份制证券公司，是中国证监会批准的首批三家创新试点公司之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。

光大证券研究所

上海

静安区南京西路 1266 号
恒隆广场 1 期办公楼 48 层

北京

西城区武定侯街 2 号
泰康国际大厦 7 层

深圳

福田区深南大道 6011 号
NEO 绿景纪元大厦 A 座 17 楼

光大证券股份有限公司关联机构

香港

中国光大证券国际有限公司
香港铜锣湾希慎道 33 号利园一期 28 楼

英国

Everbright Securities(UK) Company Limited
64 Cannon Street, London, United Kingdom EC4N 6AE