



上海证券
SHANGHAI SECURITIES

光伏新技术系列（一）：N型降本路径孕育潜在投资机会

增持（维持）

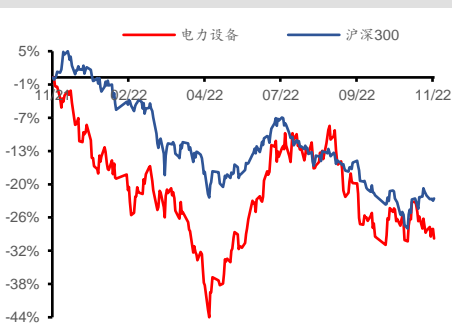
行业： 电力设备
日期： 2022年11月28日

分析师： 开文明
Tel: 021-53686172
E-mail: kaiwenming@shzq.com
SAC 编号: S0870521090002

分析师： 丁亚
Tel: 021-53686149
E-mail: dingya@shzq.com
SAC 编号: S0870521110002

联系人： 刘清馨
Tel: 021-53686152
E-mail: liuqingxin@shzq.com
SAC 编号: S0870121080027

最近一年行业指数与沪深300比较



相关报告：

《从空间、格局、壁垒看金刚线投资机会》

——2022年07月06日

《需求高增，持续关注新技术与优质细分环节》

——2022年06月05日

《外因扰动需求，创新演绎主线》

——2022年05月24日

主要观点

N型扩产速度加快，预计TOPCon22年底产能超过90GW，异质结22年产能近6GW。22年是N型量产元年，TOPCon与HJT产能规划与投产进展超预期。目前TOPCon规划产能近230GW，预计22年底超过90GW建成/投产。HJT规划产能超170GW，预计22年量产近6GW。

TOPCon电池成本高出PERC约5分/W，降本需求迫切。经我们测算，TOPCon电池总成本高出PERC5分/W，非硅成本高于PERC约3分/W，异质结与PERC成本差距更大。由于硅片和银浆成本占比较高，我们认为未来薄片化和降低银浆耗量是降本主要方向。

薄片化难点在于需要平衡成本、效率与良率。硅片厚度下降，单KG硅棒出片数提升，摊薄硅片成本。但是硅片减薄导致电池开路电压（Voc）和填充因子（FF）有所提高，同时短路电流（Isc）下降，转换效率也有可能降低。而钝化可以降低薄片化对短路电流的影响，所以异质结出色的双面对称钝化结构可以支撑更薄的硅片，甚至薄片化同时实现效率提高。另外，薄片化同时需要关注碎片率提高以及硅片隐裂问题，保证组件可靠性。目前PERC主流硅片厚度在150μm左右，TOPCon和异质结均可以应用130μm硅片。

银浆降本包括接触式金属化工艺：MBB、SMBB、0BB。MBB通过降低细栅的截面积和线长降低银耗。MBB技术可节省异质结25%-35%正面银浆耗量，同时提升转换效率约0.2%。SMBB技术让焊带和细栅直接汇联，降低主栅宽度，增加栅线数量，减少银浆耗量约8mg/W。无主栅技术印制细栅而不印制主栅，可以降低80%银浆耗量。

非接触式金属化工艺：（1）激光转印：在柔性透光材料上涂覆浆料，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。

栅线宽度可达15-25μm，减少银浆30-45%。

（2）铜电镀：铜电镀过程类似于半导体中光刻工艺。铜电镀可以取代银浆，同时缩短线宽、增加光照面积，提高转换效率。

采用低成本金属浆料：银包铜浆料用银覆盖铜，既保留白银的优点又防止铜氧化和复合物产生。因为银包铜在高温环境下活性失效，所以只能用于低温异质结路线，可以降低电池成本约30%。

投资建议

（1）薄片化：薄片化趋势驱动金刚线细线化发展。建议关注头部企业，推荐高测股份。

（2）金属化：我们建议关注光伏激光设备龙头：帝尔激光；直写光刻技术领军企业：芯基微装；电镀设备龙头：东威科技。

（3）低成本浆料：我们建议关注苏州固锝、帝科股份。

风险提示

光伏行业政策波动风险，行业竞争加剧，技术进步不及预期。

数据预测与估值

公司名称	股价	EPS				PE			PB	投资评级
		11/25	22E	23E	24E	22E	23E	24E		
高测股份 (688556)	80.60	2.61	3.93	5.70	30.88	20.51	14.14	11.69	买入	

资料来源：Wind，上海证券研究所

目 录

1 N型扩产加速，降本需求迫切	4
1.1 TOPCon 22 年底产能超 90GW	4
1.2 HJT 规划产能超 170GW	4
1.3 N 型拐点已至，降本需求急迫	5
2 硅片薄片化——成本、效率与良率的平衡	8
3 金属化工艺与低成本金属浆料	11
3.1 接触式金属化工艺——MBB、SMBB、0BB	11
3.2 非接触式金属化工艺——激光转印	14
3.3 非接触金属化工艺——铜电镀	14
3.4 低成本金属浆料——银包铜	16
4 投资建议	16
4.1 高测股份	17
4.2 帝尔激光	18
4.3 东威科技	19
4.4 芯碁微装	20
4.5 苏州固得	21
4.6 帝科股份	21
5 风险提示：	22

图

图 1 TOPCon 电池成本构成	6
图 2 异质结电池成本构成	6
图 3 硅料持续涨价	8
图 4 N 型硅片价格高于 P 型	8
图 5 P 型硅片厚度 21 年至今下降超 15 μ m	9
图 6 不同厚度 G12 硅片对电池效率影响 (%)	9
图 7 硅衬底厚度对电池性能的影响	9
图 8 主栅技术	11
图 9 正面总体银浆用量节省量随细栅宽度的变化	12
图 10 主栅数目增多，总宽度降低	13
图 11 串联电阻和太阳能电池功率随主栅数目的变化	13
图 12 无主栅电池片	13
图 13 激光转印填充和转移过程	14
图 14 异质结电镀铜工艺流程	15
图 15 铜电镀流程图	15
图 16 银包铜浆料	16
图 17 高测股份收入及增速 (亿元)	17
图 18 高测股份归母净利润及增速 (亿元)	17
图 19 高测股份分业务收入 (亿元)	17
图 20 高测股份毛利率与净利率	17
图 21 帝尔激光收入及增速 (亿元)	18
图 22 帝尔激光归母净利润及增速 (亿元)	18

图 23 帝尔激光分业务收入 (亿元)	18
图 24 帝尔激光毛利率与净利率	18
图 25 东威科技收入及增速 (亿元)	19
图 26 东威科技归母净利润及增速 (亿元)	19
图 27 东威科技分业务收入 (亿元)	19
图 28 东威科技毛利率与净利率	19
图 29 芯碁微装收入及增速 (亿元)	20
图 30 芯碁微装归母净利润及增速 (亿元)	20
图 31 芯碁微装分业务收入 (亿元)	20
图 32 芯碁微装毛利率与净利率	20
图 33 苏州固得收入及增速 (亿元)	21
图 34 苏州固得归母净利润及增速 (亿元)	21
图 35 苏州固得分业务收入 (亿元)	21
图 36 苏州固得毛利率与净利率	21
图 37 帝科股份收入及增速 (亿元)	22
图 38 帝科股份归母净利润及增速 (亿元)	22
图 39 帝科股份分业务收入 (亿元)	22
图 40 帝科股份毛利率与净利率	22

表

表 1 TOPCon 产能统计	4
表 2 异质结产能统计	5
表 3 银浆分类	6
表 4 电池成本对比 (硅片价格参考中环 2022.07.21 数据)	7
表 5 TOPCon 银浆耗量敏感性分析 (182 硅片价格参考中环 2022.07.21 数据)	7
表 6 异质结银浆单价、耗量敏感性分析 元/W (硅片价格参考中环 2022.07.21 数据)	8
表 7 金刚线基线钢丝力学性能指标	10
表 8 HJT 电池采用不同主栅技术时的成本情况 (2020 年)	12

1 N型扩产加速，降本需求迫切

1.1 TOPCon 22 年底产能超 90GW

TOPCon 规划产能近 230GW，22 年底超 90GW 建成/投产。TOPCon 是最先落地、规划最多、在建和投产产能最多的 N 型电池路线。晶科能源、中来股份、钧达股份、天合光能等行业龙头均在 TOPCon 路线有布局，其中晶科能源目前 16GW 满产，钧达一期 8GW 预计 22 年下半年量产，中来泰州 3.6GW 满产山西 4GW 爬坡过程中。预计 22 年底已投产+建成 TOPCon 产能将超过 90GW。按照已有规划，23 年至少新增投产 40GW 产能。

表 1 TOPCon 产能统计

公司	地点	规划产能	产能进展/规划
晶科能源	浙江海宁	8GW	满产
	尖山	11GW	尖山二期 11GW 开工
钧达股份	安徽合肥	8+8GW	一期 8GW 满产，二期 8GW 在建
	安徽滁州	18GW	一期 8GW 预计 22 年下半年量产，二期 10GW 在建
中来股份	泰州	3.6GW	2.1GW TOPCon 1.0+1.5GW TOPCon 2.0 满产
	山西	16GW	一期 4GW 投产，剩余 12GW 规划建设
天合光能	江苏宿迁		8GW TOPCon 电池项目在建，预计 2022 年下半年逐步投产
通威股份	四川眉山	1GW+8.5GW	1GW 中试线投产，8.5GW 预计 22 年底建成投产
沐邦高科	鄂城区	10GW	10GW TOPCON 光伏电池生产基地项目（拟投建）
	梧州市	10GW	拟与梧州市人民政府共同建设 10GW TOPCON 光伏电池生产基地
晶澳科技	曲靖、扬州	27.3GW	1.3GW 预计近期投产，剩余 6GW 于年底落地，曲靖和扬州各
			10GW 于 2023 上半年投产
一道新能	浙江衢州	20GW	现有 6GW 产能，预计 22 年底达到 20GW
协鑫集成	乐山	10GW	拟建设 10GW 高效 TOPCon 光伏电池生产基地(一期 5GW)项目
大恒能源	巢湖	3GW	3GW TOPCon 电池
太一光伏	徐州	5GW	5GW TOPCon 光伏电池项目在建
润阳光伏	江苏		2022 年下半年建成 10GW TOPCon 电池生产线
尚德	无锡	2GW	2GW 产能已投产
苏州潞能	张家港	1GW	1GW N 型 Topcon 光伏电池在建，2022 年底前建成投产
正泰新能源	浙江海宁	4GW	海宁工厂三期 4GW 电池设备 6 月底投产
嘉悦	金寨	5GW	5GW 210 尺寸兼容 182 尺寸的 TOPCon 电池
同翎新能源	高邮	5GW	5GW 单晶 N 型 TOPCON 高效电池项目
赛拉弗公司	安徽蚌埠	5GW	年产 5GW Topcon 电池片、5GW 光伏组件项目签约
泰安道得双碳产业基金	山东	10GW	首期建设 5GW TOPCon 电池生产线，二期建设 5GW TOPCon 电池生产线
皇氏集团	安徽阜阳	20GW	拟与合作方共同建设 20GW Topcon 高效太阳能电池项目（2023 年 6 月 1 日前完成一期 10GW 建设并实际投产；拟至 2024 年 6 月 1 日前完成二期 10 GW）

资料来源：北极星太阳能光伏网等，上海证券研究所

1.2 HJT 规划产能超 170GW

异质结规划产能超 170GW，22 年量产产能近 6GW。国内异质结电池产能规划较多，但是目前只有华晟、爱康及金刚玻璃有量产产能落地，22 年华晟已投产 2.7GW、爱康科技预计 22 年底产能实现 2GW、金刚玻璃 1.2GW 于今年 2 月即进入量产准备阶段，合计 22 年异质结落地 5.9GW。华晟作为异质结电池佼佼者，已经率先实现 2.7GW 电池与组件产能，三期 4.8GW 产能预计于

23年投产，预计23年底将实现7.5GW异质结产能，目前分别在无锡与大理各规划5GW异质结电池与组件产能。爱康科技、宝馨科技以及金刚玻璃分别规划24GW、18GW、6GW异质结产能。

表2 异质结产能统计

公司	地点	规划产能	产能进展/规划
华晟新能源	宣城	2.7+4.8GW	已投产2.7GW，三期4.8GW将在2023年Q1-Q3分两期完成调试投产
	无锡	5GW	5GW异质结电池及组件项目
	大理	5GW	5GW双面微晶高效异质结电池与组件项目。项目首期规划建设2.5GW高效电池与组件产能
爱康科技	湖州	10GW	预计22年底产能达2GW，规划10GW
	温州瑞安	8GW	一二期各4GW异质结电池与组件
	赣州	6GW	6GW高效异质结太阳能电池及高效组件项目
宝馨科技	安徽怀远	18GW	计划分三期建设18GW高效异质结电池和8GW光伏组件生产线，其中一期2GW电池及组件计划23年5月投产
金刚玻璃	吴江	1.2GW	22年2月进入量产准备阶段
	酒泉	4.8GW	计划扩产高效异质结电池片及组件项目
通威股份		1.4GW	
隆基绿能	陕西	1.2GW	拟投资1.2GW异质结光伏电池中试项目
明阳智能	江苏盐城	5GW	设备采购已经完成
浙江润海	舟山	12GW	W高效异质结太阳能电池及组件制造项目已启动
水发能源	山东东营	5GW	5GW异质结光伏电池片及配套项目
赛维能源	新余	600MW	海源复材全资孙公司新余赛维能源投资建设600MW HJT高效异质结电池
太一光伏	徐州空港	5GW	二期建设5GW高效异质结(HJT)光伏电池
腾晖光伏	阜平	5GW	拟5年内内在阜平投建5GW异质结电池、5GW光伏组件制造项目
海泰新能	江苏盐城	5GW	计划分两期建设5GW异质结电池及5GW组件项目
东方日升	常州金坛区	500MW	22年5月首片下线
	宁波	15GW	年产15GW异质结电池与组件，分两期实施
华耀光电	常州金坛	10GW	10GW异质结电池项目在建
中弘晶能	浙江台州	9GW	9GW异质结(HJT)电池智能制造项目签约
国晟新能源	张家口	2GW	2GW光伏异质结组件生产线开工
	徐州	5GW	5GW异质结光伏电池在建
金阳新能源	乐山	10GW	10GW异质结太阳电池项目，预计2023年1月试投产
	福建南安	20GW	签订战略投资合作协议，展开20GW二代异质结规模化量产项目

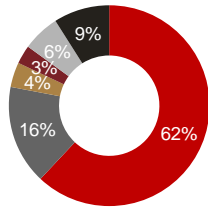
资料来源：北极星太阳能光伏网等，上海证券研究所

1.3 N型拐点已至，降本需求急迫

硅片成本占比62%，银浆占比16%。薄片化和降低银耗是N型电池降本主要路径。电池成本包括硅成本和非硅成本。降低硅成本方面，主要通过硅片薄片化实现。非硅成本中银浆占比较高，TOPCon银浆成本占比达16%。根据中国光伏协会数据，2021年，p型电池正银消耗量约71.7mg/片，背银消耗量约24.7mg/片，TOPCon电池正面银铝浆(95%银)消耗75.1mg/片，头部企业背银消耗量约为70mg/片；异质结电池双面低温银浆消耗量约190mg/片。N型电池银浆成本远高于P型，银浆降本将成为降本主要手段。

图 1 TOPCon 电池成本构成

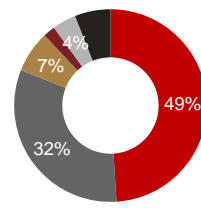
■ 硅片 ■ 银浆 ■ 折旧 ■ 人工 ■ 水电 ■ 辅材和其他



资料来源：阳光工匠光伏网，上海证券研究所

图 2 异质结电池成本构成

■ 硅片 ■ BOM ■ 动力 ■ 人力 ■ 设备 ■ 制造



资料来源：智研咨询，上海证券研究所

银浆按照应用位置分为正面银浆和背面银浆，按照烧结温度分为低温银浆和高温银浆，异质结用低温银浆价格较高。

TOPCon 使用高温银浆，异质结采用低温银浆。低温银浆如果实现国产化，成本有望从 7000 元/kg 降到 5000 元/kg，降幅达 28.57%，其中近一半为国际运输成本。

表 3 银浆分类

分类标准	产品种类	特性	适用光伏电池
位置	正面银浆	汇集、导出光生载流子	P 型电池受光面及 N 型电池双面
	背面银浆	主要起到粘连作用，对导电性能的要求相对较低	P 型电池背光面
烧结温度	高温银浆	烧结温度在 500 度以上	BSF、PERC 电池、PERT 电池等
	低温银浆	烧结温度在 250 度以下	异质结

资料来源：OFWeek 等，上海证券研究所

银浆国产化率提高速度加快，低温银浆依旧依赖进口。按国内银浆产量占全球光伏银浆需求量计算，2021 年国产银浆占比 55%。低温银浆领域，2021 年以前全球主要供应商是日本 ELEX 公司，占据低温银浆市场份额 90% 以上

银粉主要依赖进口是银浆成本高的主要原因。银粉主要厂商有日本 DOWA 公司、美国 AMES 公司等，其中 DOWA 全球光伏银粉市占率超过 50%。国内光伏银粉的厂商包括苏州思美特、山东建邦、宁波晶鑫电子材料等。2021 年，中国全年进口银粉 3240 吨，其中日本、美国、韩国分别占比 91.48%、6.81%、0.86%，超过 50% 的进口量用于生产光伏银浆。

TOPCon 成本高于 PERC 约 5 分/W，HJT 高于 PERC 约 0.13 元/W。经测算，我们预计目前 TOPCon 总成本高于 PERC 约 5 分/W，非硅成本高于 PERC 约 3 分/W，成本差距主要由高银浆耗量造成。HJT 总成本高于 PERC 约 0.13 元/W，由于异质结薄片化程度较高，单 w 硅成本略低于 PERC，但是由于低温银浆

价格较高、银浆耗量较高、应用靶材、设备投资成本高等因素，非硅成本高于 PERC 约 0.16 元/W。

表 4 电池成本对比（硅片价格参考中环 2022.07.21 数据）

	PERC	TOPCon	HJT
效率	23.20%	24.50%	25.05%
功率(182)	7.66	8.09	8.27
良率	98.00%	97.00%	97.00%
硅片 元/pc	7.47	8.07	7.81
硅片 元/w	0.98	1.00	0.94
银浆成本 元/w	0.05	0.07	0.13
折旧 元/w	0.02	0.02	0.04
靶材成本 元/w	0.00	0.00	0.05
电池片电费 元/w	0.02	0.02	0.02
电池片人工 元/w	0.01	0.01	0.01
电池片其他 元/w	0.06	0.07	0.07
非硅成本元/w	0.16	0.19	0.32
合计 元/w	1.13	1.19	1.26
高出 perc 元/w		0.05	0.13

资料来源：solarzoom 等，上海证券研究所

假设 N 型硅片成本和银浆单价不变，仅考虑银浆耗量变化，我们预计银浆耗量每降低 10mg，对应减少电池片成本约 0.005 元/W。

表 5 TOPCon 银浆耗量敏感性分析（182 硅片价格参考中环 2022.07.21 数据）

银浆耗量	电池片成本
145mg	1.1857
140mg	1.1811
130mg	1.1764
120mg	1.1718
110mg	1.1671
100mg	1.1625
90mg	1.1578
80mg	1.1532

资料来源：上海证券研究所

假设异质结用低温银浆单价从 7000 元/kg 下降到 5000 元/kg，银浆耗量从 180mg 下降至 90mg，对应异质结成本将降低 0.15 元/W。

表 6 异质结银浆单价、耗量敏感性分析 元/W (硅片价格参考中环 2022.07.21 数据)

银浆耗量 mg	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	
银浆单价元/kg	9000	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25
8500	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	
8000	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	
7500	1.31	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	
7000	1.30	1.29	1.28	1.28	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.22	
6500	1.29	1.28	1.27	1.27	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	
6000	1.28	1.27	1.26	1.26	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	
5500	1.27	1.26	1.25	1.25	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.21	
5000	1.26	1.25	1.24	1.24	1.23	1.23	1.22	1.21	1.21	1.20	

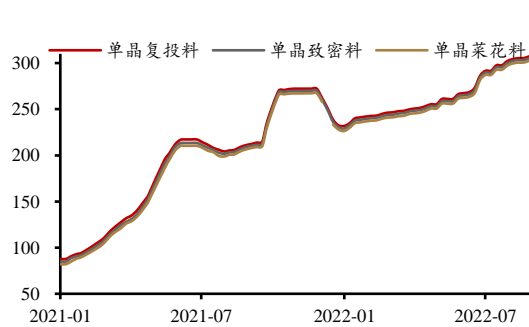
资料来源: solarzoom 等, 上海证券研究所

2 硅片薄片化——成本、效率与良率的平衡

硅料价格高企+N型硅片成本高于P型, 驱动薄片化加速进展。硅料供需错配导致价格持续攀升至 300 元/kg, 硅料价格高于 200 元/kg 已经超过一年。硅料持续涨价, 硅片成本水涨船高。同时 22 年电池进入 N 型元年, 由于 N 型硅片对硅料质量及生产过程杂质含量等要求较高, 成本高于 P 型。硅片端降本最直接的措施是硅片减薄。从 21 年至今, 硅片厚度下降已经超过 15 μm。

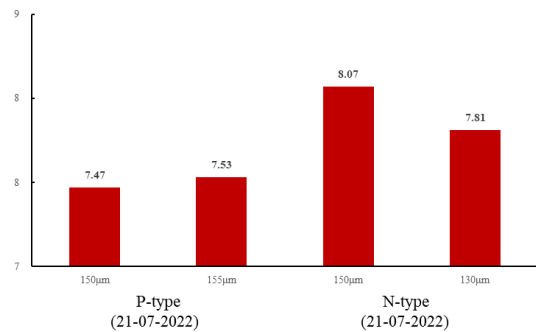
硅片厚度下降, 单 KG 硅棒出片数提升, 直接摊薄硅片成本。根据 CPIA, 2021 年 P 型 158.75mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 70 片、P 型 166mm 尺寸每公斤单晶方棒出片量约为 64 片。

图 3 硅料持续涨价



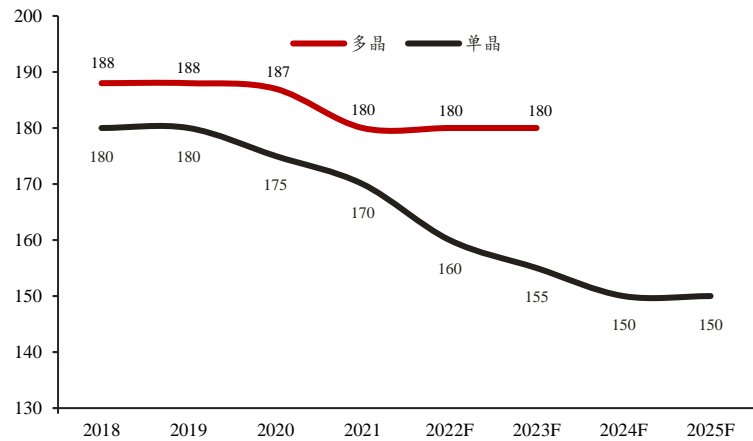
资料来源: 硅业分会, 上海证券研究所

图 4 N 型硅片价格高于 P 型



资料来源: 中环股份, 上海证券研究所

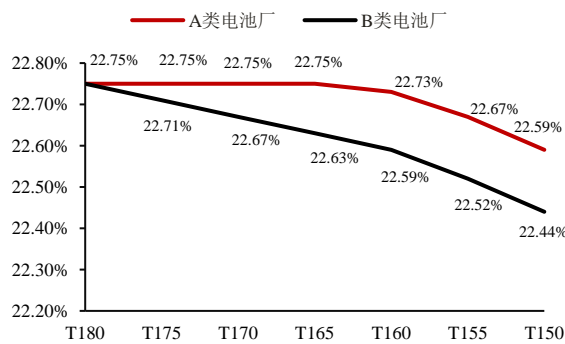
图 5 P 型硅片厚度 21 年至今下降超 15 μm



资料来源: PV Infolink, 上海证券研究所

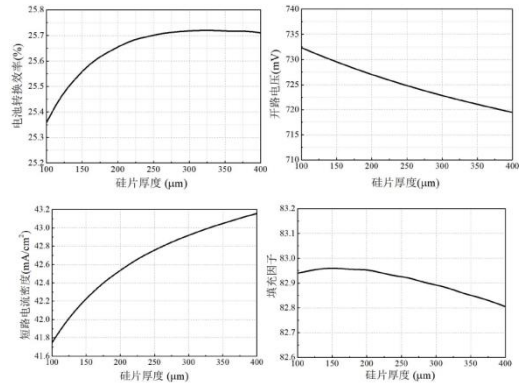
硅片减薄需平衡开路电压(Voc)、短路电流(Jsc)以及填充因子(FF)。晶硅电池转换效率取决于开路电压(Voc)、短路电流密度(Jsc)和填充因子(FF)三者的乘积。硅片减薄, 电池开路电压(Voc)和填充因子(FF)有所提高, 但是短路电流下降, 转换效率也有可能降低。根据中环相关测算, 应用 160 μm 硅片电池效率比 175 μm 的低 0.02%。

图 6 不同厚度 G12 硅片对电池效率影响 (%)



资料来源: 《硅片博弈_田甜》, 上海证券研究所

图 7 硅衬底厚度对电池性能的影响



资料来源: 《TOPCon 型 N-PERT 双面太阳能电池工艺技术的研究_吕欣》, 上海证券研究所

异质结比 TOPCon 更容易实现薄片化, 钝化弥补薄片化带来的效率降低。异质结更易薄片化主要原因包括 (1) 异质结采用低温沉积工艺, 硅片弯曲变形小, 硅片厚度理论可最低实现 80 μm 厚度。(2) 异质结双面钝化弥补减薄带来的电流损失。硅片减薄导致电流损失、降低效率, 但是异质结双面钝化结构可以实现更高的开路电压从而弥补短路电流损失的影响。而 PERC 和 TOPCon 并不是对称结构, 仅在一面提供更好的钝化接触。爱康科技 120 μm 异质结电池相比 150 μm 厚度电池片, 效率实现高

0.2%以上。(3) 工艺步骤少：TOPCon 有 9-12 步工艺，异质结仅有 4 步。

目前 PERC 主流硅片厚度保持在 150 μm 左右，TOPCon 与异质结均应用 130 μm 厚度硅片。异质结硅片量产厚度已经切换至 130 微米，爱康预计 22 年下半年导入 120 μm 厚度硅片，预计到 2026 年的异质结硅片目标可降至 90 μm 。华晟新能源已经完成 120 μm 电池的小批量产，正在开发中的大尺寸 98 μm 硅片测试数据 A 品率也稳定在 90% 以上。钧达股份 TOPCon 目前电池片厚度在 130 μm 左右。

硅片减薄有极限，不可低于少子扩散长度。对于硅材料，太阳光中的短波长光的吸收系数比长波长的大，当一束太阳光照射到晶体硅上时短波长的光被表面的硅材料立即吸收，而长波长的光要在内部传播一段距离才能够被吸收，所以硅片需要有一定厚度防止长光波还没来得及被吸收就消失。当硅片厚度减薄到小于少数载流子扩散长度时，硅片表面会发生少子复合，所以硅片薄片化有极限，不可低于少子扩散长度。

金刚线是实现薄片化的核心耗材，钨丝有望成为母线替代基材。目前金刚线主流产品为 36 μm 、38 μm 线，34 μm 线正在推广阶段。钢丝线径越细，其破断拉力越小，制成的金刚线在切割过程中所能承受的张力越小。现有高碳钢丝直径降到 35 μm 以下将可能难以支撑切割所需的张力，进一步细线化难度较大。钨丝因为高破断力、高耐腐蚀能力等优异性能有望未来成为母线替代基材。

表 7 金刚线基线钢丝力学性能指标

公称直径/ μm	破段拉力/N	抗拉强度(名义)/Mpa
40	5.9	4700
45	7.3	4600
50	9	4550
55	10.5	4400
60	12.5	4400
65	14.5	4300
70	16.5	4250
80	19.5	3850
110	33.5	3500
120	39.5	3450
130	44.5	3350

资料来源：《金刚线基线用钢丝标准化研究》王宝玉、闵学钢等，上海证券研究所

薄片化带来碎片率提高及隐裂问题。硅片减薄，在生产和传送过程中易出现碎片和隐裂。硅片减薄的同时还需要保证组件的可靠性，减少机械载荷、层压引起的破片以及隐裂的风险。

3 金属化工艺与低成本金属浆料

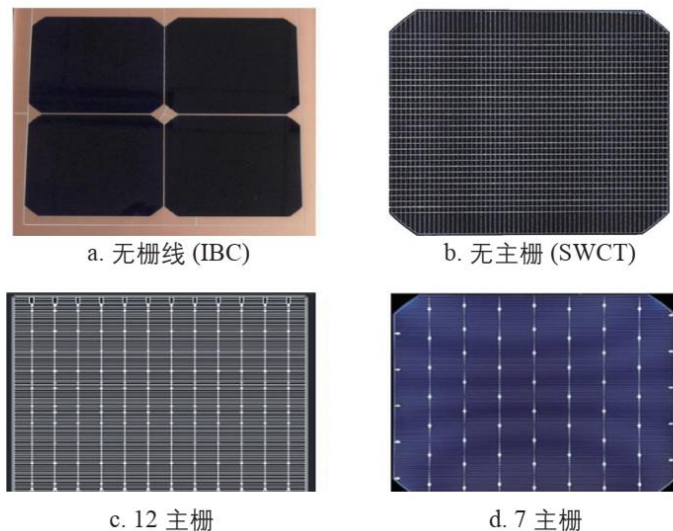
少银、超细、致密、和大高宽比是晶硅电池栅线主要发展方向。电池栅线会遮挡部分光进入，所以栅线越细电池转换效率越高。但是栅线细则电阻损失大、填充因子降低，所以栅线发展的核心是平衡遮光与导电的关系。

银浆降本路径主要包括两个方向：一、金属化工艺：在不影响电池转换效率的前提下，减少栅线面积，降低银浆耗量。目前主要包括多主栅技术（MBB）、SMBB、0BB、激光转印和电镀铜。二、采用低成本金属浆料，减少银的使用。采用价格较低金属部分或者完全替代银，措施主要包括银包铜。

3.1 接触式金属化工艺——MBB、SMBB、0BB

金属电极主要包括主栅和细栅，增加主栅数目、减少细栅宽度可以有效降低银浆耗量。主栅用于汇流、串联，细栅用于收集光生载流子。主栅数量增加，通过每根主栅线电流减小，电阻损耗减小；同时，主栅数量增加，载流子通过细栅传输距离缩短，细栅承载电流减小，欧姆损失显著降低。在增加主栅数目的同时减小主栅和细栅宽度，可以尽量在不牺牲电池转换效率、增加组件可靠性的同时，降低银浆用量。

图 8 主栅技术

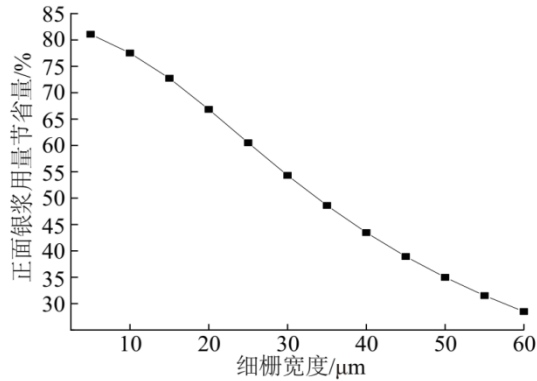


资料来源：《2020 年中国光伏技术发展报告》上海证券研究所

2021 年市场主流的主栅数量是 9BB 及以上，细栅宽度控制在平均 $32.5\ \mu\text{m}$ 左右。预计到 2030 年底，细栅宽度或将下降至 $21.8\ \mu\text{m}$ 左右。

多主栅技术通过降低细栅的截面积和线长来降低银耗。多主栅大幅缩小了单根细栅对应的收集电流面积，节约截面积，从9栅变成12栅，可节约截面积43%。根据电阻公式 $R = \rho L/S$ ，由于多主栅截面积 S 变小，在保持电阻 R 不变的情况下， L 变小，因此多主栅可以降低线长。例如将9栅增加至12栅，单根栅线长减少约25%。

图9 正面总体银浆用量节省量随细栅宽度的变化



资料来源：《MBB 太阳能电池栅线的设计优化》陈喜平，黄纬等，上海证券研究所

MBB 技术可以节省异质结 25%-35% 正面银浆耗量，同时提升转换效率约 0.2%。根据赛迪智库数据，采用 5BB 技术的单片异质结银耗约 300mg，银浆成本约 1.9-2.1 元/片，采用 MBB 技术的银浆成本约 1.1-1.2 元/片。目前华晟 M6-12BB 电池片单片银耗已低于 150mg，计划 22 年 Q3 M6-12BB 银耗降低至 120mg/片。

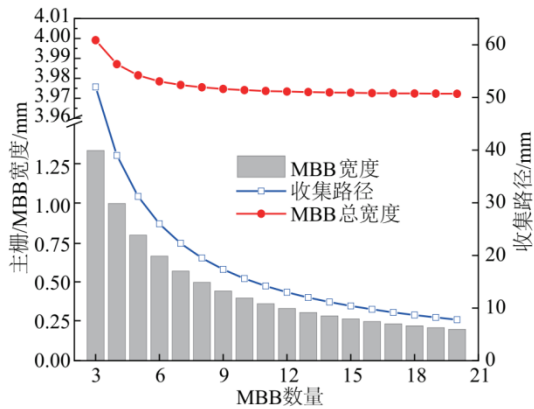
表8 HJT 电池采用不同主栅技术时的成本情况（2020 年）

	4BB	5BB	MBB	0BB
电池浆料/mg·片 ⁻¹	350	300	<200	120
单片成本/元·片 ⁻¹	2.1	1.8	<1.3	0.7
光电转换效率/%	22.8	23.2	23.8	24
M2 硅片功率/W	2.57	5.668	5.815	5.864
单瓦成本/元·W ⁻¹	0.359	0.318	0.224	0.123
浆料成本占比/%	21.7	19.2	14.7	7
浆料占组件成本比例/%	14.6	12.9	9.9	5

资料来源：《2020 年中国光伏技术发展报告》，上海证券研究所

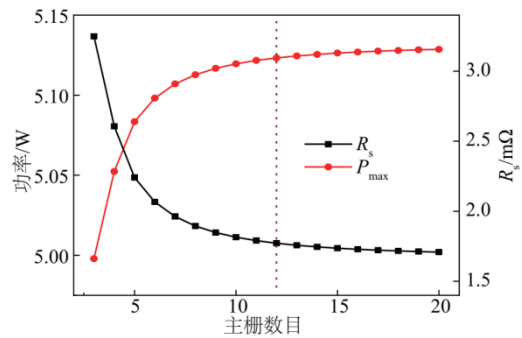
在降低银浆耗量的同时，因主栅数目增多，主栅总宽度降低，光遮挡减少，光利用得以增加。同时增加主栅数目，串联电阻减少，电池转换效率提升。

图 10 主栅数目增多，总宽度降低



资料来源：《MBB 太阳能电池栅线的设计优化》陈喜平、黄纬等，上海证券研究所

图 11 串联电阻和太阳能电池功率随主栅数目的变化

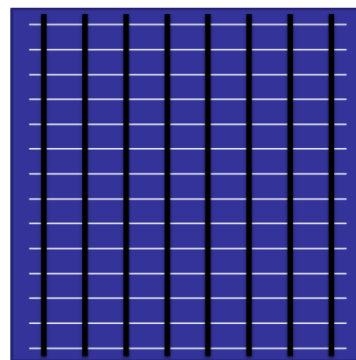


资料来源：《MBB 太阳能电池栅线的设计优化》陈喜平、黄纬等，上海证券研究所

SMBB(SuperMBB)技术可以减少银浆耗量约 8mg/W。 迈为联合华晟发布超级主栅(SMBB)技术，其通过降低 pad 点面积，让焊带和细栅直接汇联，降低主栅宽度，增加栅线数量，从而降低银耗。根据迈为股份数据，SMBB 技术可以减少银浆耗量 8mg/W

无主栅 (SWCT、0BB) 可以降低 80% 的银浆用量。 无主栅技术印制细栅而不印制主栅，保留传统的正面丝网印刷，在电池上制作底层的细栅线，而后将多条垂直于细栅的栅线覆盖在其上，形成交叉的导电网格结构。第二层栅线仍可称为主栅，主栅的材料目前多为金属线，相当于采用多根金属丝 (≥ 10 根) 代替常规焊带，让更多更细的焊带直接连接电池细栅，汇集电流的同时实现电池互连，取消了常规组件工艺中电池焊带串焊的环节，在电池层面取消了传统的主栅。无主栅技术消除了主栅并优化细栅的宽度和间距，可以降低 80% 的银浆用量。

图 12 无主栅电池片

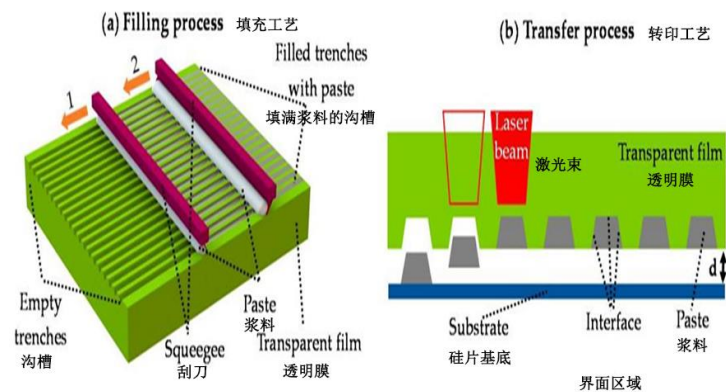


资料来源：《硅基异质结太阳能电池新进展》李正平、杨黎飞等，上海证券研究所

3.2 非接触式金属化工艺——激光转印

激光图形转印技术（PTP）是一种非接触式印刷技术，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。激光转印对浆料类型（银浆、银包铜）没有选择性，同时不局限于电池结构，在 PERC、TOPCon 和 HJT 电池中均可以得到应用。

图 13 激光转印填充和转移过程



资料来源：光伏产业通，上海证券研究所

激光转印可以突破传统丝网印刷的限制。目前金属电极制备主流工艺为丝网印刷，工艺简单且精度容易控制。但是丝印过程中丝网与基底（硅片）接触，容易造成硅片的破损、栅线宽度难以降低导致遮光面积大及银浆耗量高、易断栅等现象均是丝网印刷工艺的局限。而激光转印可以实现 $25\ \mu\text{m}$ 以下线宽，实现更优高宽比。

激光转印的优势主要包括（1）栅线更细，可达 $15\text{-}25\ \mu\text{m}$ ，减少银浆 $30\text{-}45\%$ 。（2）降低产品破片、划伤等。激光转印模板距离产品保持 $120\text{-}160\ \mu\text{m}$ 的高度不直接接触产品，降低产品破片、划伤、污染、隐裂等，可应用于硅片薄片化；（3）精度高。转印精度 $\leq 10\ \mu\text{m}$ 。（4）稳定性好。玻璃载板可平面度高，透光率高，可重复利用，实用性强。（5）耗材少。无需定制的钢网模板，少耗材。

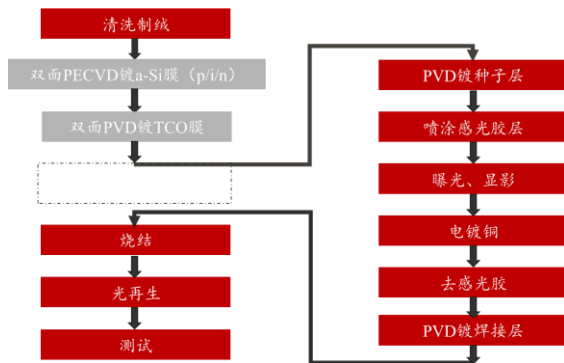
3.3 非接触金属化工艺——铜电镀

电镀技术利用电化学方法在导电固体表面沉积一层薄金属、合金及复合材料。电镀溶液在通电后金属阳离子受电位差作用移动到电池表面，沉积形成金属镀层，即电极。

铜电镀过程类似于半导体中光刻工艺。（1）图形化：硅片经制绒清洗、非晶硅沉积、TCO 薄膜沉积后，在 TCO 薄膜表面沉积

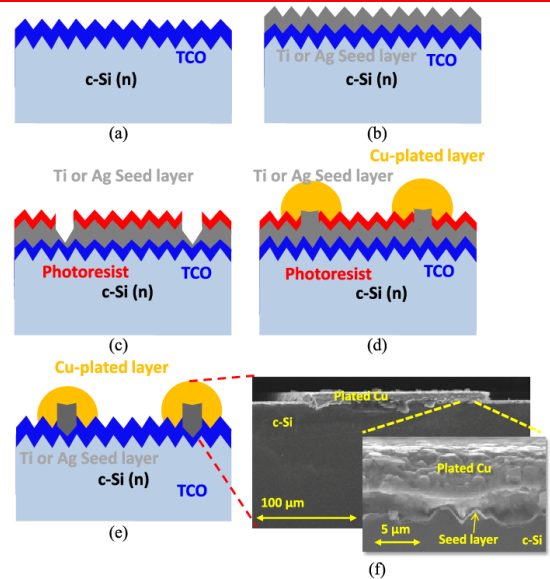
一层绝缘减反射膜；绝缘减反射膜为掩膜层，利用激光烧灼掉所设计电极图形处的绝缘减反射膜，清洗后露出下方的 TCO 薄膜，即电镀铜附着位置；**(2) 金属化**：通过电镀在目标图形处制备铜电极；之后去掉掩膜及种子层，电池正反面均需重复此项操作。这个过程类似于半导体中光刻工艺的涂胶、曝光、显影、刻蚀/离子注入、去胶过程。

图 14 异质结电镀铜工艺流程



资料来源：《2020 年中国光伏技术发展报告》，上海证券研究所

图 15 铜电镀流程图



资料来源：《Copper-Plating Metallization With Alternative Seed Layers for c-Si Solar Cells Embedding Carrier-Selective Passivating Contacts》Gianluca Limodio, Yvar De Groot, 上海证券研究所

铜电镀可以取代银浆，同时缩短线宽、增加光照面积，提高转换效率。丝网印刷线宽可达 $20\ \mu\text{m}$ ，铜电镀可以实现 $10\ \mu\text{m}$ 左右线宽。电极制备过程中，栅线宽度、高度可控，可以有效提高栅线高宽比，减小栅线遮挡的阴影损耗，同时有效减小电极与 PN 结的接触电阻、电极本身的体电阻以及电池的串联电阻，提高电池光电转换效率。电镀技术可以应用于 TOPCon、HJT、PERC、IBC 等电池电极制作。

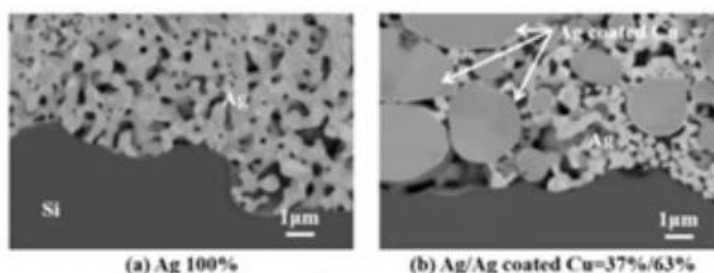
电镀铜目前的主要问题集中在脱栅、氧化、环保以及设备投资成本高等。脱栅：银浆是银与树脂和其它氧化物组成，烧结完后呈现类似珊瑚状，本身略有弹性。但铜栅线是一个实心的状态，和硅面是刚性结合体，所以容易发生脱栅。氧化：铜比银更容易氧化。环保问题：电镀过程中的干膜、油墨等是有机污染物，环评审批或受限制，在工艺过程中设计中水回收系统，排放

可达标准但是会相应增加投资成本及运行成本。设备投资成本高：目前设备投资成本超过 1 亿元/GW。

3.4 低成本金属浆料——银包铜

银粉占银浆成本 95%，银粉用量降低将使整体浆料成本下降。银包铜浆料是通过贱金属铜部分替代银，用银覆盖铜，通过调整银和铜的掺杂比例提高光电转化效率，既保留白银的优点又防止铜氧化和复合物产生。银包铜粉是在超细铜粉产品基础上制备，超细铜粉的品质优劣直接影响到银包铜性能。

图 16 银包铜浆料



资料来源：王文静《HJT 电池的降本之路》，上海证券研究所

银包铜粉只能应用于低温 HJT 路线。银包铜因在高温环境下活性失效，所以银包铜粉只能应用于低温异质结路线。

银包铜可使电池成本降低 30%。实验证明，用银包铜浆料制备异质结电池，电池效率仅损失 0.4%，但是成本可以节约 30%。

华晟规划于 2022Q3 在背面副栅使用银包铜浆料，结合钢板印刷，预计单片银耗降至 100mg，电池片成本下降 3.1%。预计 2023 年银包铜结合 OBB 技术，银耗将下降至 70mg/片，电池片成本下降 7.2%。

4 投资建议

硅片和银浆成本是电池成本的主要部分，所以薄片化和降低银浆成本成为未来电池降本的主要发展方向。

(1) 薄片化：薄片化趋势驱动金刚线细线化发现，细线化在提高出片量、降低硅成本的同时，可以进一步提高硅片质量。建议关注头部企业，推荐高测股份。

(2) 金属化：金属化工艺降本措施主要为多主栅、OBB、激光转印、以及铜电镀工艺。我们建议关注光伏激光设备龙头：帝尔激光；直写光刻技术领军企业：芯碁微装；电镀设备龙头：东威科技。

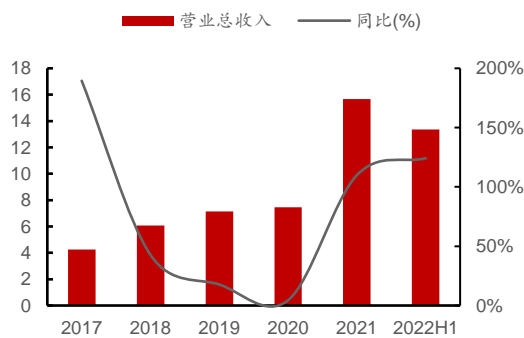
(3) 低成本浆料：异质结龙头企业华晟新能源 22 年即将导入银包铜技术。我们建议关注苏州固得。

4.1 高测股份

公司主要从事高硬脆材料切割设备和切割耗材的研发、生产和销售。主要产品为高硬脆材料切割设备、高硬脆材料切割耗材、轮胎检测设备及耗材等三类。公司于 2011 年开始研究金刚线在光伏切割领域的应用前景。2015 年公司金刚线切片机专机研发进入切割验证环节。2016 年，公司正式向市场推出量产切片及产品。自 2018 年起，公司依托自身积累的技术和管理经验，开始将金刚线切割技术向半导体硅材料、蓝宝石材料、磁性材料等其他高硬脆材料加工领域拓展。2021 年，公司进入切片代工领域，为光伏硅材料切割提供全新价值服务。

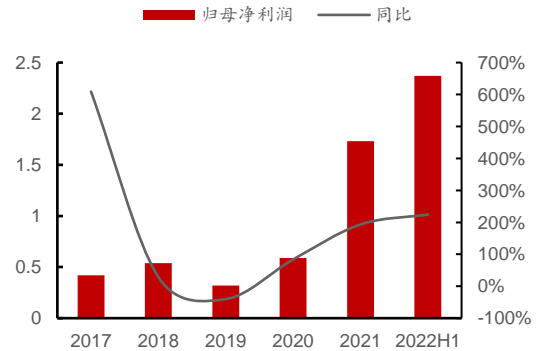
2021 年，公司实现营业收入 15.67 亿元，同比+103%；实现归母净利润 1.73 亿元，同比+193%。

图 17 高测股份收入及增速（亿元）



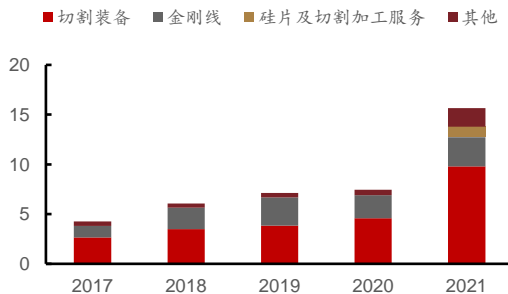
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 18 高测股份归母净利润及增速（亿元）



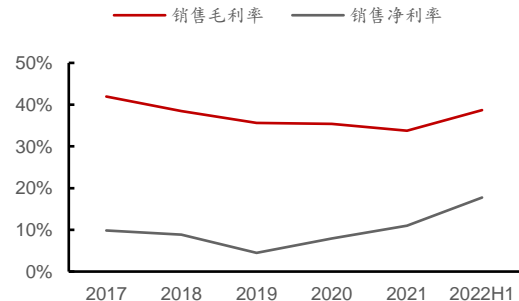
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 19 高测股份分业务收入（亿元）



资料来源：Wind，上海证券研究所

图 20 高测股份毛利率与净利率



资料来源：Wind，上海证券研究所

金刚线：2021年公司金刚线出货量829.35万公里，仅次于美畅股份。公司金刚线产能持续提升，2022Q1完成“单机十二线”技改，金刚线年产能2500万公里以上。

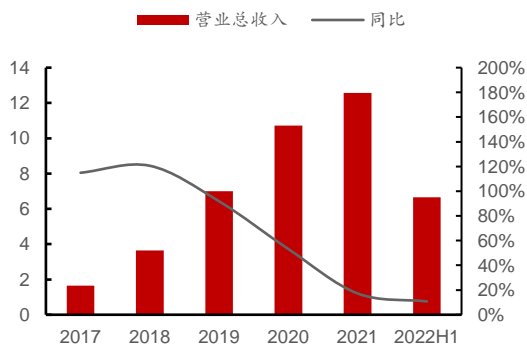
切片机：公司目前是行业龙头，新一代切片机GC700X，在细线支持、大尺寸空间等方面，均在行业内处于领先地位。

切片代工：目前公司的切片代工业务产能主要分为3个部分，且均有配套对象。(1)乐山大硅片研发中心及智能制造示范基地项目，产能5GW，2021年已全部投产；(2)乐山20GW项目：一期6GW 2022Q2投产，二期14GW预计于2023年投产；(3)盐城建湖一期10GW预计年内投产，二期12GW预计2023年投产。

4.2 帝尔激光

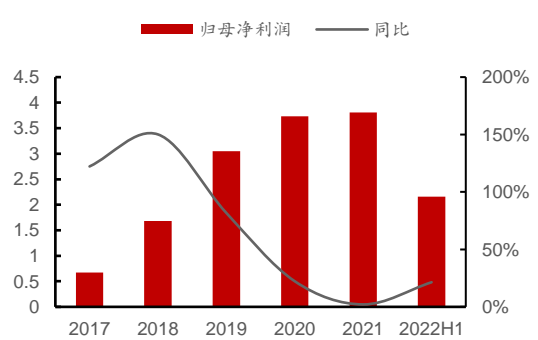
公司在微纳级激光精密加工领域深耕多年，是国内首次将激光技术导入光伏太阳能电池路线的国家高新技术企业。公司已成功将激光加工技术应用到PERC、MWT、TOPCON、IBC、HJT、钙钛矿等高效太阳能电池及组件技术，是行业内少数能够提供高效太阳能电池激光加工综合解决方案的企业。公司在激光转印技术方面进行了多年的研发，在全球都有相关专利布局

图 21 帝尔激光收入及增速 (亿元)



资料来源：Wind，上海证券研究所

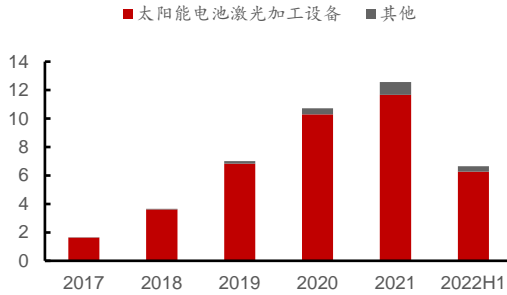
图 22 帝尔激光归母净利润及增速 (亿元)



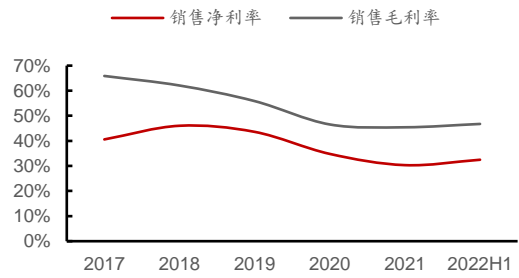
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 23 帝尔激光分业务收入 (亿元)

图 24 帝尔激光毛利率与净利率



资料来源: Wind, 上海证券研究所

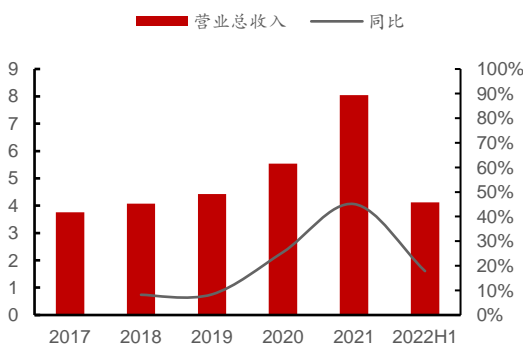


资料来源: Wind, 上海证券研究所

4.3 东威科技

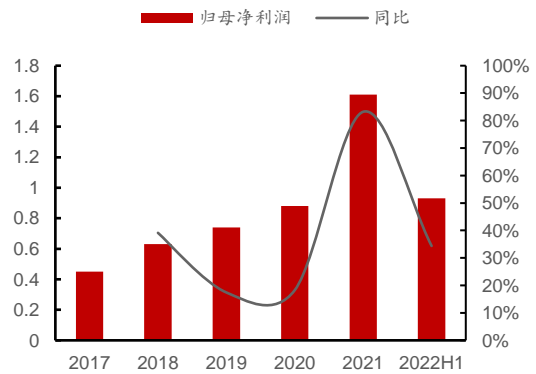
公司主营业务是高端精密电镀设备及其配套设备的研发、设计、生产及销售。公司目前主要面向 PCB 电镀设备（包括 VCP、水平化铜、水平镀等设备）、通用五金电镀设备、新能源动力电池负极材料专用设备、光伏领域专用设备、磁控溅射卷绕镀膜设备等领域。公司从 2020 年 8 月立项研发“光伏电池片金属化 VCP 设备”，中试线已经取得成功，量产线已经攻克了设备和自动化技术难关，目前在设备研发设计制作中，特点是：大产能，6000 片/小时；均匀性好，图形均匀性 3%；占地小；清洁环保；高效节能等。

图 25 东威科技收入及增速 (亿元)



资料来源: Wind, 上海证券研究所

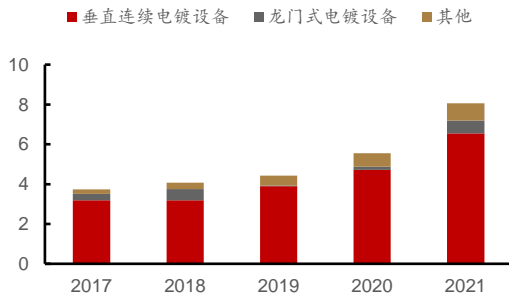
图 26 东威科技归母净利润及增速 (亿元)



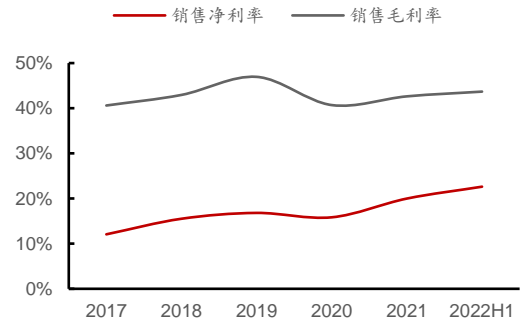
资料来源: Wind, 上海证券研究所

图 27 东威科技分业务收入 (亿元)

图 28 东威科技毛利率与净利率



资料来源: Wind, 上海证券研究所

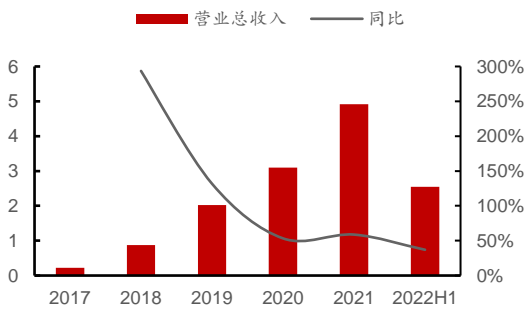


资料来源: Wind, 上海证券研究所

4.4 芯碁微装

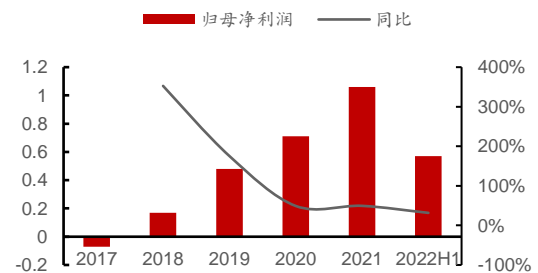
公司是国内直写光刻技术产业化应用领军企业，自主研发生产的直写光刻设备主要应用于下游集成电路、平板显示等泛半导体领域以及 PCB 领域。未来随着铜电镀工艺发展，曝光环节作为铜电镀工艺中的核心工艺，为直写光刻设备在该领域的应用提供契机。

图 29 芯碁微装收入及增速 (亿元)



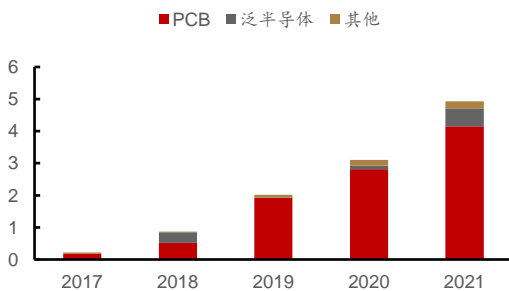
资料来源: Wind, 上海证券研究所

图 30 芯碁微装归母净利润及增速 (亿元)



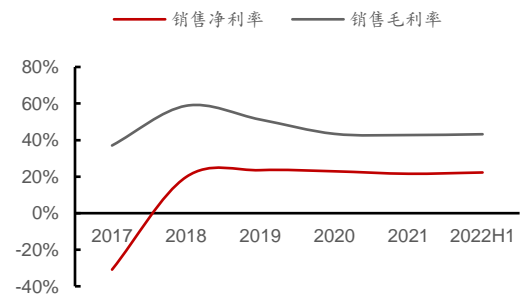
资料来源: Wind, 上海证券研究所

图 31 芯碁微装分业务收入 (亿元)



资料来源: Wind, 上海证券研究所

图 32 芯碁微装毛利率与净利率



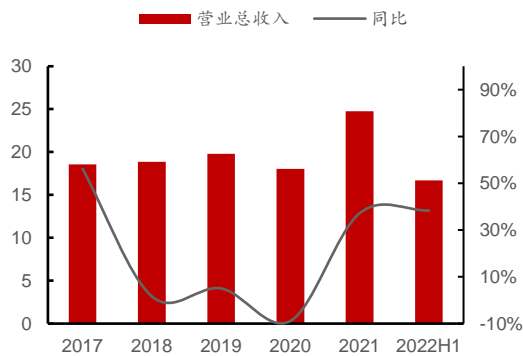
资料来源: Wind, 上海证券研究所

4.5 苏州固得

公司全资子公司晶银新材是国际知名的导电银浆供应商，也是太阳能电池银浆领域技术完全自主研发、原材料全面国产化的先行者。

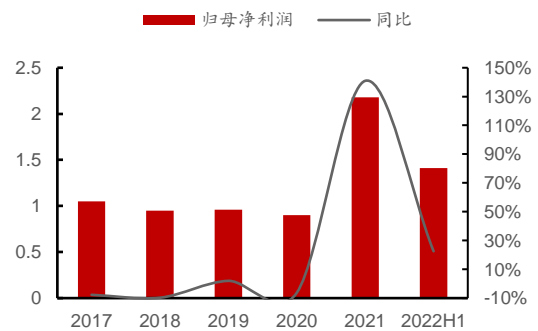
2022年上半年，公司在单晶 PERC SE 银浆性能上取得突破，银浆业务实现销售额 9.91 亿元，同比+92%。同时，公司研发的重点集中在 TOPCON 银浆和 HJT 低温银浆在性能上取得重大进展，尤其是 HJT 银包铜浆料在多家客户的可靠性测试获得通过，数家客户小批量量产已经完成。公司与客户合作建设的银包铜可靠性示范性电站已经建成。TOPCON 银浆在正面主细栅浆料和背面主细栅银浆产品上也在数家客户获得良好的测试效果。预计 TOPCON 浆料和 HJT 低温银浆将成为新的业绩增长点。

图 33 苏州固得收入及增速（亿元）



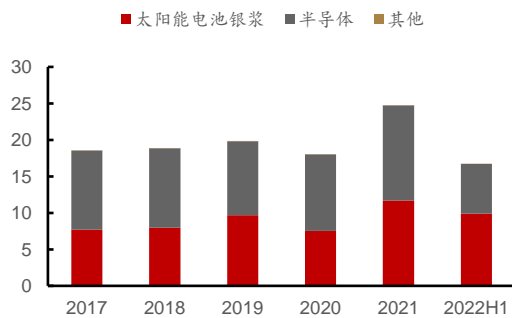
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 34 苏州固得归母净利润及增速（亿元）



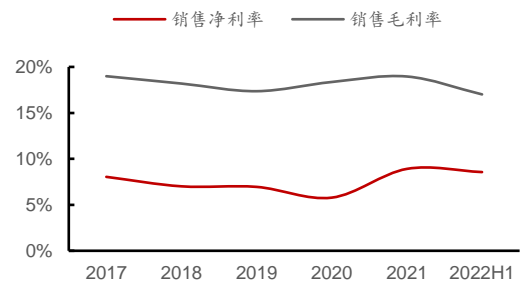
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 35 苏州固得分业务收入（亿元）



资料来源：Wind，上海证券研究所

图 36 苏州固得毛利率与净利率

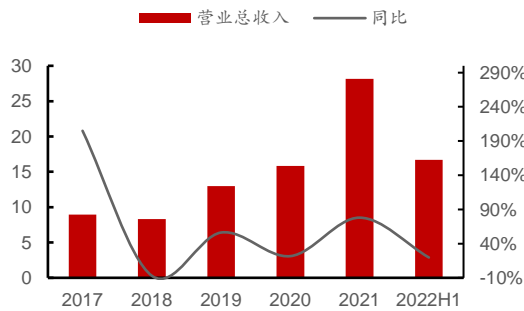


资料来源：Wind，上海证券研究所

4.6 帝科股份

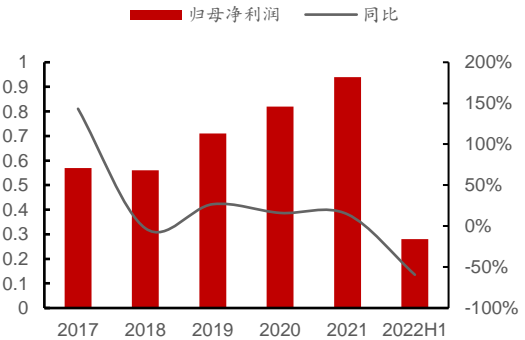
公司主要产品是晶硅太阳能电池导电银浆，为客户提供太阳能电池金属化解决方案。公司主要产品包括 P 型 BSF 电池、PERC 电池等主流电池技术用导电银浆产品，N 型 TOPCon 电池用全套导电银浆产品，N 型 HJT 电池用全套低温银浆产品，新型 IBC 背接触电池用导电银浆产品等。公司正在积极开发银包铜浆料产品。

图 37 帝科股份收入及增速（亿元）



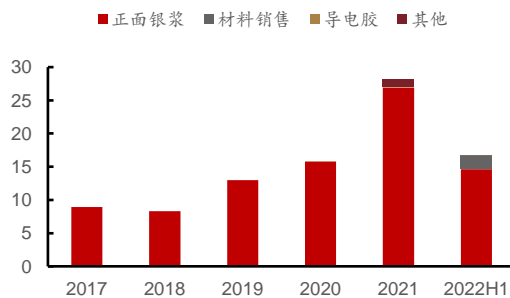
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 38 帝科股份归母净利润及增速（亿元）



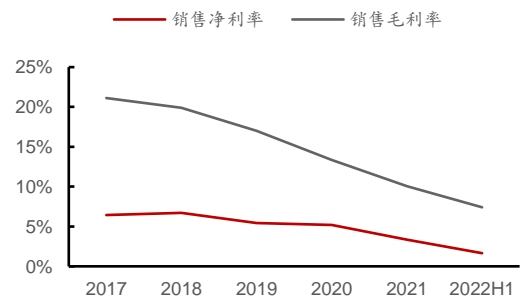
资料来源：Wind，上海证券研究所

图 39 帝科股份分业务收入（亿元）



资料来源：Wind，上海证券研究所

图 40 帝科股份毛利率与净利率



资料来源：Wind，上海证券研究所

5 风险提示：

光伏行业政策波动风险：光伏行业受政策影响较大，在积极的政策带动下，光伏行业处于快速发展阶段。但是如果国内外光伏行业政策出现不利变化，整个光伏市场需求将面临较大波动，光伏需求有可能不及预期，届时将会影响电池片需求，从而对相关企业造成不利影响。

行业竞争加剧：N 型电池步入量产元年，行业企业也在持续布局新技术，阶段性行业竞争可能加剧，造成相关产业链环节的盈利能力恶化。

技术进步不及预期。新降本技术是未来发展方向，但是技术突破依靠企业的持续研发以及供应链配套，**存在**进展不及预期的风险。

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询资格或相当的专业胜任能力，以勤勉尽责的职业态度，独立、客观地出具本报告，并保证报告采用的信息均来自合规渠道，力求清晰、准确地反映作者的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响。此外，作者薪酬的任何部分不与本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接相关。

公司业务资格说明

本公司具备证券投资咨询业务资格。

投资评级体系与评级定义

股票投资评级：	分析师给出下列评级中的其中一项代表其根据公司基本面及（或）估值预期以报告日起 6 个月内公司股价相对于同期市场基准指数表现的看法。
买入	股价表现将强于基准指数 20%以上
增持	股价表现将强于基准指数 5-20%
中性	股价表现将介于基准指数±5%之间
减持	股价表现将弱于基准指数 5%以上
无评级	由于我们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，致使我们无法给出明确的投资评级
行业投资评级：	分析师给出下列评级中的其中一项代表其根据行业历史基本面及（或）估值对所研究行业以报告日起 12 个月内的基本面和行业指数相对于同期市场基准指数表现的看法。
增持	行业基本面看好，相对表现优于同期基准指数
中性	行业基本面稳定，相对表现与同期基准指数持平
减持	行业基本面看淡，相对表现弱于同期基准指数
相关证券市场基准指数说明：A 股市场以沪深 300 指数为基准；港股市场以恒生指数为基准；美股市场以标普 500 或纳斯达克综合指数为基准。	

投资评级说明：

不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准，投资者应区分不同机构在相同评级名称下的定义差异。本评级体系采用的是相对评级体系。投资者买卖证券的决定取决于个人的实际情况。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，投资者不应以分析师的投资评级取代个人的分析与判断。

免责声明

本报告仅供上海证券有限责任公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告版权归本公司所有，本公司对本报告保留一切权利。未经书面授权，任何机构和个人均不得对本报告进行任何形式的发布、复制、引用或转载。如经过本公司同意引用、刊发的，须注明出处为上海证券有限责任公司研究所，且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

在法律许可的情况下，本公司或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券或期权并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供多种金融服务。

本报告的信息来源于已公开的资料，本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见和推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值或投资收入可升可跌。过往表现不应作为日后的表现依据。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见或推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告中的内容和意见仅供参考，并不构成客户私人咨询建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负责，投资者据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或关联机构无关。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告作为投资决策的唯一参考因素，也不应当认为本报告可以取代自己的判断。