

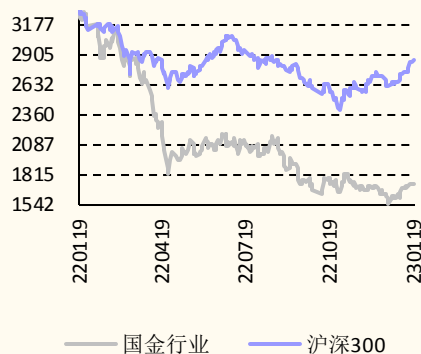
## 新能源与电力设备组

# 电力设备与新能源行业研究 买入 (维持评级)

## 行业深度研究

### 市场数据(人民币)

市场优化平均市盈率	18.90
国金电力设备与新能源指数	1734
沪深300指数	4156
上证指数	3240
深证成指	11913
中小板综指	12297



### 相关报告

- 1.《FCV单月上千已兑现，全年装机量突破历史新高》，2023.1.16
- 2.《电力设备与新能源行业周报：产业链价格反弹如期而至，组件集采报...》，2023.1.15
- 3.《电力设备与新能源行业周报：基本面剧烈波动近尾声，后续积极信号...》，2023.1.8
- 4.《2022年风电招标规模达95GW-风电月度报告》，2023.1.5
- 5.《年末降价压力释放完毕，Q1价格企稳迎放量-新能源与电力设备行...》，2023.1.2

姚遥 分析师 SAC 执业编号: S1130512080001  
(8621)61357595  
yaoy@gjzq.com.cn

张嘉文 联系人  
zhangjiawen@gjzq.com.cn

## 新技术快速渗透，催生辅材发展新机遇 ——高效太阳能电池系列深度（二）

### 行业观点

- 随新型电池技术降本增效快速推进，2022年 TOPCon、HJT、xBC、钙钛矿等新电池技术扩产规模、研发进展超市场预期，我们预计2023年 TOPCon 扩产规模 150-200GW，HJT 扩产规模 60GW 以上。在新型高效电池加速扩产背景下，电池技术的演变对配套的辅材、耗材均有较大的影响，并将催生辅材、耗材领域新的市场机遇和投资机会。
- **胶膜：POE 树脂供给紧张，新型封装方案方兴未艾。**与 PERC 组件相比，N 型组件因 PID 问题突出、对水汽更敏感、对紫外敏感，对封装胶膜要求更高。POE 胶膜抗 PID 性能好，更符合 TOPCon 组件封装要求，但目前 POE 树脂尚未实现国产化，供给相对受限。我们测算了 TOPCon 组件不同封装方案对 POE 及 EVA 树脂的需求，预计 2023 年 EVA 树脂需求 137~154 万吨，考虑流通库存后供给（170~196 万吨）或出现阶段性紧张；POE 树脂需求 40~55 万吨，考虑流通库存后供给（40~50 万吨）较为紧张，胶膜厂商 POE 树脂的保供能力将成为关键竞争要素。此外，组件及胶膜企业积极研发储备新型封装方案，产品研发实力强的企业或能提升盈利及份额。
- **玻璃：钙钛矿技术星辰大海，TCO 玻璃空间广阔。**钙钛矿是研发热度较高的下一代光伏技术方向，TCO 玻璃为钙钛矿组件的重要配件，成本占比较高。光伏 TCO 玻璃生产需拥有成熟的超白浮法玻璃产线和 TCO 配方、镀膜工艺，具备 TCO 玻璃量产能力的企业有望充分受益钙钛矿的产业化进程。
- **焊带：新技术推动封装工艺迭代，产品升级方向明确。**焊带产品技术升级趋势明显，圆形焊带、异形焊带随电池技术及图形化工艺加速迭代，未来 2-3 年将加速放量，头部厂商有望充分受益新技术加速迭代带来的新产品放量。
- **接线盒：芯片接线盒高电流优势显著，分布式助力智能接线盒推广。**组件大尺寸、大功率提高接线盒额定电流要求，分体式接线盒、芯片接线盒优势凸显，相关技术掌握娴熟的企业或可获得超额收益、提升市占率。此外，分布式占比提升或助力集成优化器及关断器的智能接线盒推广。
- **坩埚/高纯石英砂：N 型硅片坩埚耗量更高，N 型放量或将加剧高纯石英砂及石英坩埚供需紧张，产能增速较快的石英坩埚企业有望充分享受产量增长。**
- **金刚线：金刚线细线化趋势明确，钨丝细线化空间大，但钨丝母线生产难度较大、成本高。**钨丝母线价格和线径对金刚线经济性有较大影响，考虑到线径具有理论极限，钨丝母线价格下降将成为钨丝金刚线实现经济性的核心。
- **热场：N 型硅片对热场纯度要求更高，具备低成本获得高纯度热场产品技术的热场企业将充分受益。**

### 投资建议

- 新型电池技术加速渗透，催生辅材、耗材产生新的市场机遇，相关产品及技术领先的企业或将获得市占率及盈利能力的快速提升，建议关注 POE 类胶膜、POE 树脂、TCO 玻璃、圆形/异形焊带、芯片接线盒等技术领先的企业。推荐组合：福斯特、海优新材、金晶科技、欧晶科技、通灵股份（完整推荐组合详见正文各章节）。

### 风险提示

- 需求低于预期；行业产能无序扩张导致竞争加剧；国际贸易恶化。

## 内容目录

1 新型电池技术加速渗透，行业主流趋势明确.....	5
2 胶膜/树脂：POE 树脂供给紧张，新型封装方案方兴未艾.....	7
2.1 N型组件封装：抗 PID、抗水汽、抗紫外线要求更高.....	7
2.2 光伏胶膜市场：EVA 胶膜为主，POE 胶膜具有性能优势.....	10
2.3 不同封装方案下光伏树脂供需测算：2023 年 POE 树脂供应紧张.....	14
2.4 新型封装方案：UV 转光胶膜、EVA+丁基胶、改良 EVA 等快速发展.....	15
2.5 投资建议.....	17
3 玻璃：钙钛矿技术星辰大海，TCO 玻璃空间广阔.....	18
3.1 TCO 玻璃：钙钛矿组件最为重要的配件之一，成本占比较高.....	18
3.2 光伏 TCO 玻璃：在线镀膜生产为主，国内掌握量产技术的企业较少.....	20
3.3 投资建议.....	21
4 焊带：新技术推动封装工艺变化，焊带技术升级方向明确.....	21
5 接线盒：芯片接线盒高电流优势显著，分布式助力智能接线盒推广.....	24
6 石英坩埚：N型硅片放量提升坩埚耗量.....	26
7 金刚线：钨丝助力金刚线细线化推进，降本为提升渗透率关键.....	27
7.1 细线化是硅片新发展趋势下的必由之路.....	27
7.2 钨丝金刚线细线化空间更大，但钨丝母线成本高、生产难度较大.....	28
7.3 钨丝金刚线经济性测算：钨丝降本为提升经济性核心.....	30
7.4 投资建议.....	31
8 热场：N型热场纯度要求更高.....	32
9 投资建议.....	32
10 风险提示.....	34

## 图表目录

图表 1：2022 年 TOPCon 扩产超预期.....	5
图表 2：2022 年 HJT 扩产超预期.....	5
图表 3：TaiyangNews 全球量产光伏组件产品 TOP10 最高效率榜单.....	6
图表 4：双玻组件 PID 漏电流的主要路径.....	7
图表 5：PERC 双面光伏组件的 PID 机理.....	8
图表 6：组件发生 PID 效应的机理（PID-s 衰减）.....	8
图表 7：TOPCon 组件功率衰减主要集中在正面.....	8
图表 8：水汽会加快组件多种类型失效.....	9
图表 9：HJT 电池片暴露在紫外下，比其他种类的电池功率衰减更大.....	9
图表 10：不同类型胶膜特点对比.....	10
图表 11：中国 EVA 产能、产量与表观消费量（万吨）.....	11
图表 12：中国 EVA 进出口量及对外依存度（万吨，%）.....	11
图表 13：POE 胶膜水汽透过率更低.....	11

图表 14: POE 胶膜体积电阻率更高 .....	11
图表 15: POE 胶膜抗 PID 性能更好 .....	12
图表 16: 全球主要的 POE/POP 树脂生产厂商 .....	12
图表 17: POE 胶膜封装结构 .....	13
图表 18: EPE 胶膜封装结构 .....	13
图表 19: 2021 年全球 PVB 下游应用领域分布 .....	13
图表 20: 光伏胶膜用树脂供需测算基本假设 .....	14
图表 21: N 型组件不同封装方案对应的树脂需求测算 (万吨) .....	14
图表 22: 不同封装方案下 POE 树脂需求测算 (万吨) .....	15
图表 23: 不同封装方案下 EVA 树脂需求测算 (万吨) .....	15
图表 24: 含吸潮剂的边缘密封胶可延缓水汽侵入组件的时间 .....	16
图表 25: 不同 HJT 封装方案的效率和衰减情况 .....	16
图表 26: 高频率的紫外光转为低频率的可见光机理 .....	17
图表 27: 光转换曲线 .....	17
图表 28: 钙钛矿电池主体结构示意图 .....	18
图表 29: TCO 玻璃示意图 .....	19
图表 30: 主要 TCO 材料对比 .....	19
图表 31: 典型钙钛矿组件成本构成 (苏州协鑫 100MW 钙钛矿组件) .....	20
图表 32: 在线镀膜、离线镀膜对比 .....	20
图表 33: 在线镀膜与 CVD 示意图 .....	21
图表 34: 离线镀膜 PVD (磁控溅射) 示意图 .....	21
图表 35: 光伏焊带工作原理 .....	22
图表 36: 双玻 PERC 组件成本拆分 .....	22
图表 37: 互联焊带与汇流焊带 .....	22
图表 38: 互连焊带、汇流焊带演变趋势 .....	23
图表 39: 光伏焊带未来技术趋势 .....	23
图表 40: 新型光伏组件对焊带技术要求 .....	23
图表 41: 分段焊带示意图 .....	24
图表 42: 不同尺寸组件对应接线盒额定电流 .....	24
图表 43: IEC61215:2021 对接线盒额定电流的要求 .....	24
图表 44: 分体式接线盒与单体式接线盒特点比较 .....	25
图表 45: 快可电子分体式接线盒主要用于大电流组件 .....	25
图表 46: 通灵股份分体式接线盒占比迅速提高 .....	25
图表 47: 通灵股份分体式芯片接线盒 .....	25
图表 48: 2022 年通灵股份芯片接线盒占比迅速提高 .....	25
图表 49: 传统接线盒与智能接线盒功能及成本比较 .....	26
图表 50: 隆基 Hi-MO6 极智家 .....	26
图表 51: 硅片薄片化进程预测 .....	27
图表 52: 金刚线母线线径持续下降 ( $\mu\text{m}$ ) .....	28

图表 53: 金刚线母线线径 ( $\mu\text{m}$ ) 与最小破断力 (N) 的关系 .....	29
图表 54: 主要金刚线企业钨丝金刚线产品研发及量产进度.....	29
图表 55: 钨丝生产流程.....	29
图表 56: 钨丝、碳丝母线与金刚线产品价格对比 (元/km) .....	30
图表 57: 钨丝金刚线性价比测算 (以 182 硅片为例) .....	30
图表 58: 钨丝母线价格和线径对钨丝切割经济性 (元/W) 的敏感性分析.....	31
图表 59: 碳化硅涂层的制备技术.....	32
图表 60: 核心标的估值表 (元/股、亿元, 股价截至 2023 年 1 月 19 日收盘) .....	34

## 1 新型电池技术加速渗透，行业主流趋势明确

- 2022 年光伏新型电池技术快速发展，从扩产角度看，年内 TOPCon（年初预期 40-60GW）、HJT（年初预期 20-30GW）、HPBC/IBC 扩产均超出市场预期；从电池效率角度看，研发布局较为领先的企业在新技术增效方面已经开始进行更为深入的探索，TOPCon 技术中开始导入激光掺杂进一步提效，HJT 技术中导入单/双面微晶、靶材优化、后续电镀等提效，较 PERC 电池量产效率的领先幅度进一步扩大。

图表 1: 2022 年 TOPCon 扩产超预期

公司	新增产能 (GW)	核心设备选型
中来	4	杰太、拉普拉斯
晶科	32	拉普拉斯
晶澳	6.5	捷佳等
阿特斯	7.5	捷佳 (湿法、PE-Poly)
天合	8	捷佳(70%),赛睿达
一道	14	拉普拉斯等
捷泰	18	拉普拉斯
润阳	12	捷佳 (PE-Poly)
三一	1	-
通威	7.5	捷佳 (PE-Poly)
沐邦高科	10	捷佳 (PE-Poly)
聆达股份	5	捷佳 (整线)
<b>总计</b>	<b>125.5</b>	

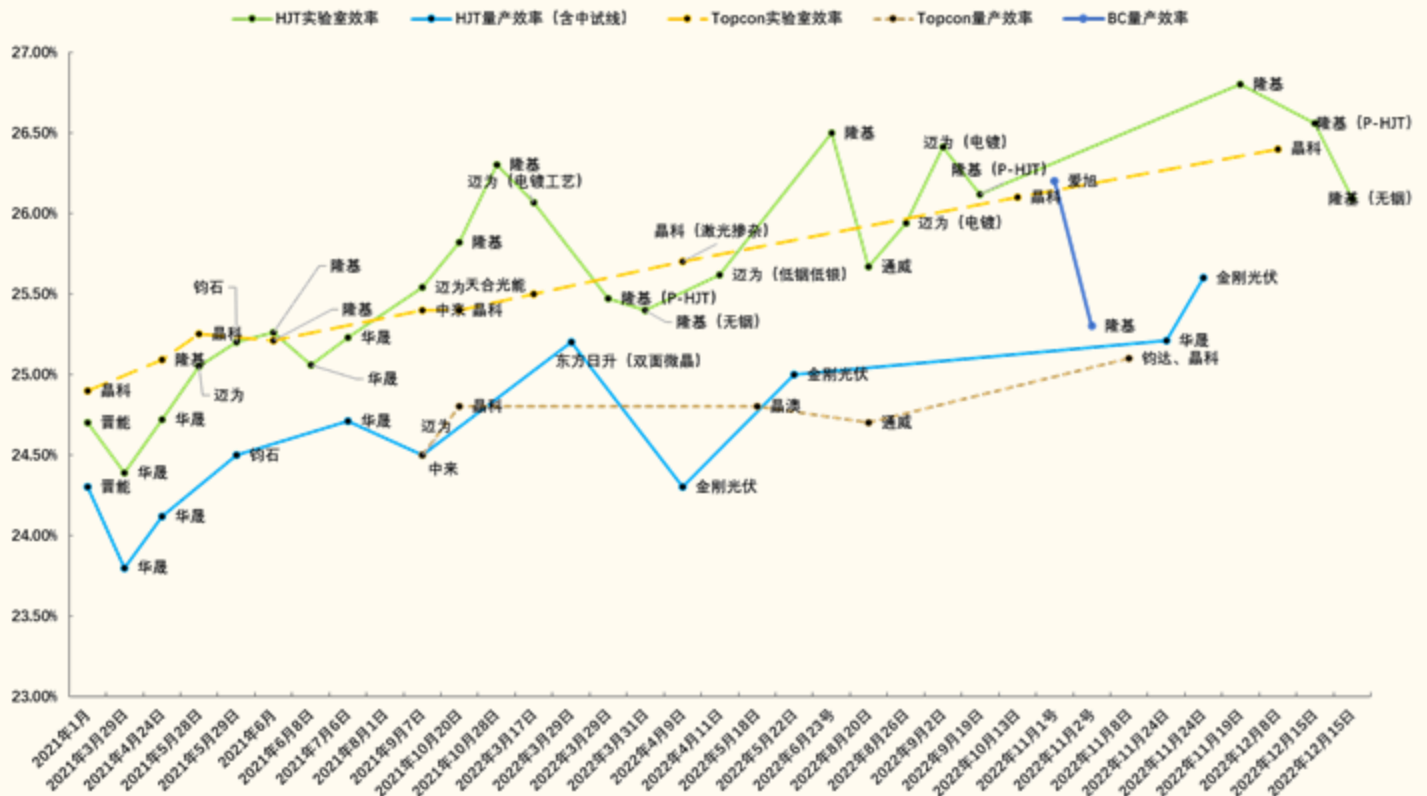
来源: 各公司公告、公众号等, 国金证券研究所整理

图表 2: 2022 年 HJT 扩产超预期

公司	新增产能 (GW)	核心设备供应商
东方日升	5.2	迈为、钧石
爱康	1.2	迈为
华晟	10	迈为、理想万里晖
金刚玻璃	4.8	迈为
浙江润海新能源	1.8	迈为
某新进入者	1.2	迈为
海外 (REC)	4.8	迈为
宝馨科技	2	迈为
国晟新能源	1	钧石
<b>总计</b>	<b>32</b>	

来源: 各公司公告、公众号等, 国金证券研究所整理

图表 3: 新型电池技术转换效率持续快速提升



来源: 各公司公告, 国金证券研究所绘制

- 在 Taiyang News 2022 年 12 月和 2021 年 12 月光伏组件量产产品 TOP10 效率榜单中，可以看到一个明确的趋势，无论是 HJT、TOPCon 还是 xBC 路线，组件效率均远超当前主流 PERC 产品，最新的全球组件最高效率榜单 TOP10 中已不再出现 PERC 组件的身影。

图表 3: TaiyangNews 全球量产光伏组件产品 TOP10 最高效率榜单

2022 年 12 月			2021 年 12 月		
公司	技术	效率(%)	公司	技术	效率(%)
LONGi (隆基)	HPBC	22.8	Maxeon	IBC	22.7
Maxeon	IBC	22.8	Jolywood (中来)	TOPCon	22.53
JinkoSolar (晶科)	TOPCon	22.65	LG	IBC	22.3
Huasun (华晟)	HJT	22.53	JinKo (晶科)	TOPCon	22.26
Jolywood (中来)	TOPCon	22.53	REC	HJT	21.9
Akcome (爱康)	HJT	22.5	Meyer Burger	HJT	21.8
Canadian Solar	HJT	22.5	Megasol	TOPCon	21.62
JA Solar (晶澳)	TOPCon	22.4	Canadian Solar	PERC	21.6
SPIC (国电投)	IBC	22.3	Suntech	PERC	21.6
REC	HJT	22.3	Talesun (腾晖)	PERC	21.6

来源: TaiyangNews、国金证券研究所

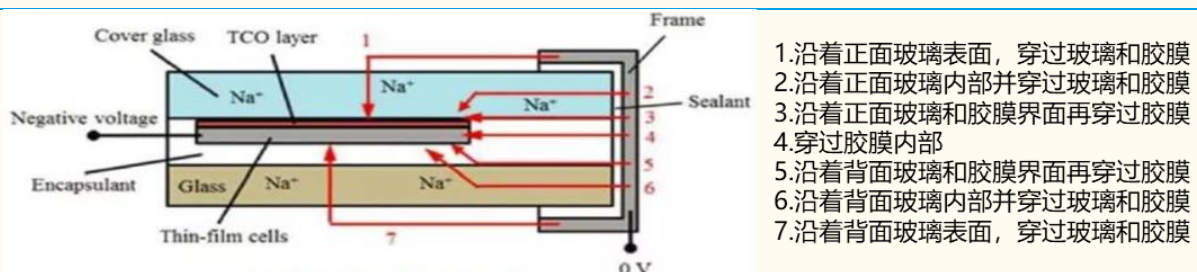
- 从头部组件及电池厂商的产能规划及实际落地产能来看，TOPCon 无疑已成为当前行业内高效电池技术扩产的最主流选择，晶科、钧达等布局较快的厂商已经开始兑现超额盈利。
- HJT 在 2022 年由于新产线爬产时间较长、银包铜尚未完全导入等因素，年内大部分时间尚未实现盈利，但 2022 年底有望实现毛利转正，预计 2023 年将逐步出现盈利拐点、成本拐点及大厂扩产拐点，扩产有望提速。
- xBC 技术由于技术难度高、良率较 TOPCon 及 HJT 稍低，效率优势尚未完全体现，但隆基、爱旭等在电池环节研发实力较强的企业已经开始量产布局，考虑到分布式市场的空间广阔、盈利水平高，预计后续产能将会进一步扩张。
- 钙钛矿是较晶硅电池拥有更高理论极限效率的技术路线，目前单结钙钛矿电池最高实验室效率记录已达到 25.2%，钙钛矿与晶硅叠层电池的效率已达到 32%，理论上可提升至 45%以上，远超晶硅电池理论效率极限，是目前业内研发热度较高的下一代光伏技术方向。但由于产品材料配方、量产工艺路径等核心要素尚未定型，且在野外实证环境下的运行稳定性仍有待验证，我们判断短期内钙钛矿投入大规模商用的可能性较低。近两年国内外多家钙钛矿研发企业逐步进入中试阶段，并将在近几年从中试走向量产，一级市场相关企业投融资热度较高，部分企业开始对小规模试点项目的批量出货。
- 我们预计 2023 年 TOPCon 扩产规模 150-200GW，HJT 扩产规模 60GW 以上。在新型高效电池扩产加速的背景下，电池技术的演变对配套的辅材、耗材均有较大的影响，并将催生辅材、耗材领域新的市场机遇和投资机会。

## 2 胶膜/树脂：POE 树脂供给紧张，新型封装方案方兴未艾

### 2.1 N 型组件封装：抗 PID、抗水汽、抗紫外线要求更高

- 光伏封装胶膜为光伏组件中玻璃、电池和背板之间的粘结材料，位于电池片上下两侧，主要作用包括：
  - 1) 粘结：粘结光伏电池片和玻璃、背板；
  - 2) 透光：使电池和玻璃之间达到光耦合，以保证太阳辐射透过率超过 90%，并在 20~30 年甚至更长的使用过程中，组件的最大光损失不超过 5%；
  - 3) 保护：作为电池和其他元件的物理隔离，保护电池电路不受组件使用环境中不良因素的影响
  - 4) 支撑：在组件生产、存储、安装和使用过程中起到结构支撑和定位电池的作用；
  - 5) 绝缘：保持电池和其他元件间的电绝缘。
- 因此，光伏胶膜需要具有粘结性好、高透光性、抗紫外湿热黄变性等特点。与 PERC 组件相比，N 型组件对水汽更敏感、PID 问题突出（TOPCon）、对紫外敏感（HJT），对封装胶膜有更高的要求。
- **TOPCon 组件封装要求：抗 PID 要求高、抗水汽要求高**
- PID 效应（Potential Induced Degradation）全称为电势诱导衰减，是太阳能电池长期受到一定外电压时发生功率衰减的现象，主要由于电池片和组件其他部分（如玻璃或铝边框）之间产生高电势差导致负离子和正离子迁移，迁移后负离子通过接地的铝边框流出，而正离子（钠离子  $\text{Na}^+$ ）则迁移富集到电池片表面减反层，导致钝化效果恶化，引发衰减。

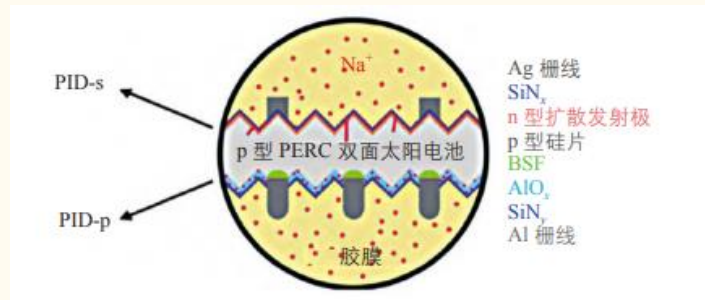
图表 4：双玻组件 PID 漏电流的主要路径



来源：林洋光伏，国金证券研究所

- 目前 PERC 双面组件主要存在两种 PID 机理：
  - 1) PID-s 衰减（PID-shunt 分流）：钠离子  $\text{Na}^+$  在电场作用下穿过玻璃和胶膜，聚集在电池片表面膜层，再铜鼓扩散的形式进入填充在硅晶体的缺陷（位错）中，并穿过 PN 结，形成 PN 结两端的漏电流通道；
  - 2) PID-p 衰减（PID-polarization 极化），背玻中的  $\text{Na}^+$  快速聚集到电池片背面膜层，吸引背面少子和背面原有的带负电钝化层氧化铝，导致钝化效果恶化。
- 目前业界针对缓解 PERC 正面 PID-s 衰减的措施已较为成熟（如适当提高  $\text{SiNx}$  层的折射率、增加  $\text{SiO}_2$  层），且铝栅线的背钝化工艺使 PERC 双面太阳能电池的背面对 PID 更为敏感，因此，目前针对 PERC 双面光伏组件 PID 的研究热点大部分聚焦在其背面。

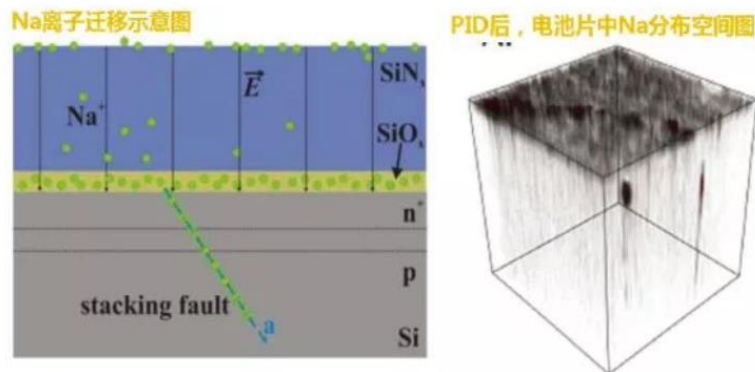
图表 5: PERC 双面光伏组件的 PID 机理



来源:《光照恢复处理对采用不同封装材料的 p 型 PERC 双面光伏组件 PID 的影响》, 国金证券研究所

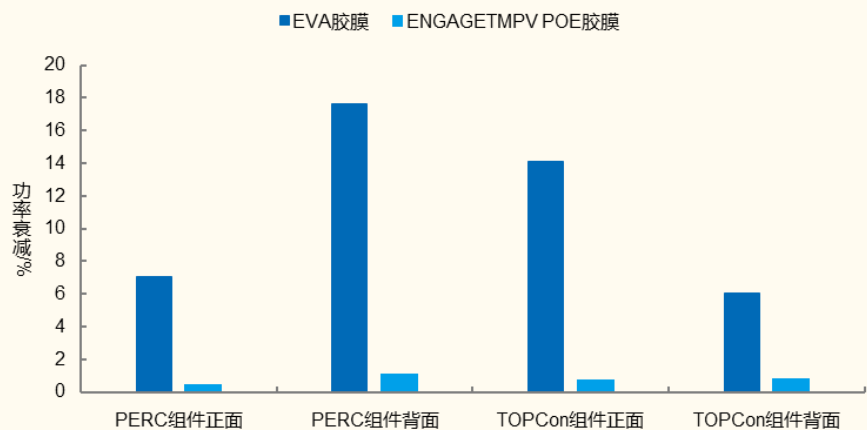
- TOPCon 组件 PID 问题更为突出, 正面 PID 衰减更大。由于电池结构不同, TOPCon 组件主要存在三种 PID 机理:
  - 1) 与 PERC 类似的正面 PID-s 衰减;
  - 2) 正面 PID-p 衰减: 正面玻璃中 Na+快速涌入膜层, 原本钝化层 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的负电被 Na+吸引, 导致正面钝化效果恶化;
  - 3) 背面 PID-s 衰减: 背面玻璃中 Na+快速涌入膜层, 并穿过 PN 结, 形成 PN 结两端的漏电流通道。
- 由于 TOPCon 组件正面具有 PID-s 和 PID-p 衰减, 其正面 PID 衰减大于背面衰减, 且 TOPCon 组件因漏电流离子离 PN 结更近, PID 问题更突出。因此, TOPCon 组件封装对抗 PID 性能要求更高。

图表 6: 组件发生 PID 效应的机理 (PID-s 衰减)



来源: 林洋光伏, 国金证券研究所

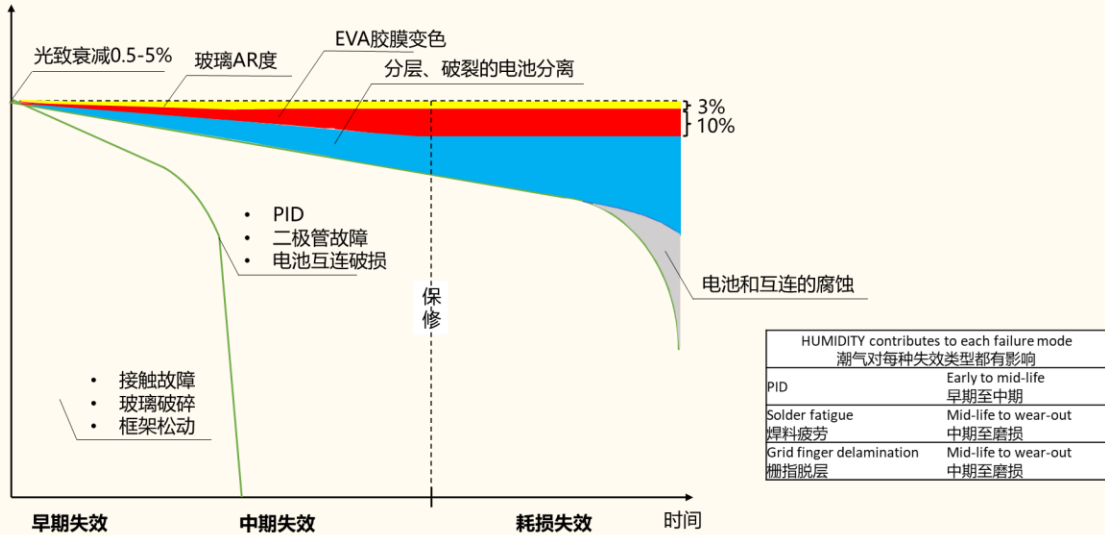
图表 7: TOPCon 组件功率衰减主要集中在正面



来源:《ENGAGETM PV POE 胶膜对双面光伏组件长期可靠性的影响》, 国金证券研究所

- 光伏组件失效一般包括初期失效、中期失效和后期失效，水汽进入会造成组件内部金属部件脱落，PID、焊带等多种类型的组件失效也与水汽进入有关。
- TOPCon 正面主栅为银浆、细栅为银铝浆，银铝浆对水汽更为敏感，水汽进入后会造成电池片周围栅线发黑和功率衰减现象。因此，TOPCon 组件对水汽更为敏感，对正面封装材料阻水性能要求更高。

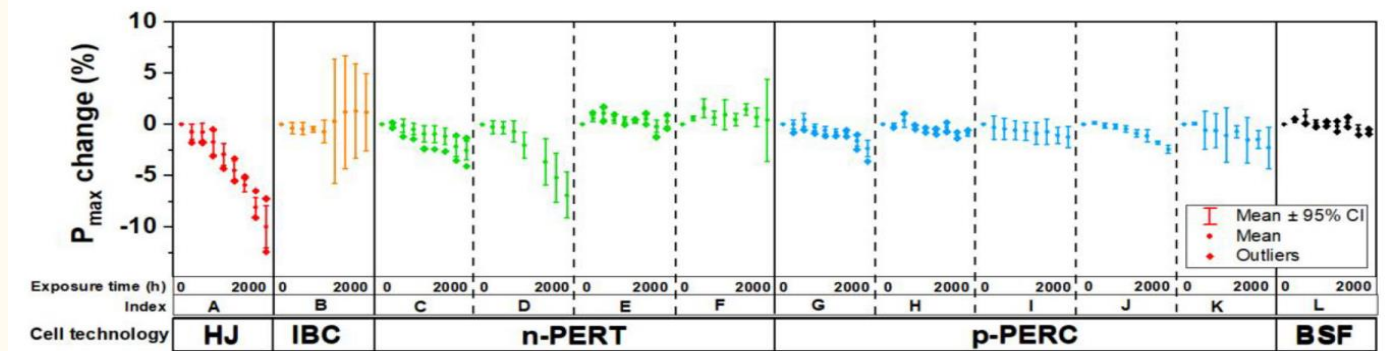
图表 8: 水汽会加快组件多种类型失效



来源: 林洋光伏, 国金证券研究所

- HJT 组件封装要求: 粘贴力强, 阻水、抗酸要求高, 抗紫外要求高
- HJT 电池结构较为特殊, 表面为 TCO 膜层, 与传统封装胶膜粘粘力较弱, 同时对水汽特别敏感, 因此要保证 HJT 电池封装材料的阻水性及粘接力。此外, 由于当前 HJT 技术非硅成本较高, 后续银包铜浆料替代传统低温银浆将成为 HJT 重要降本手段, 而铜栅线容易受大气环境中微量的氧气、水汽、有机酸(醋酸)的氧化和腐蚀, 导致电池出现效率加速衰减等可靠性问题, 预计后期 HJT 组件封装将对阻水、抗酸提出更高的要求。
- HJT 电池使用非晶或微晶硅, 表面因 Si-H 基团更容易遭受紫外辐照而被破坏产生缺陷, 导致组件功率衰减。美国 SLAC 和 NREL 团队 2022 年发表在 PHOTOVOLTAICS 上的论文显示, HJT 电池片暴露在紫外下比其他种类的电池功率衰减更大。因此, HJT 组件对抗紫外的要求更高。

图表 9: HJT 电池片暴露在紫外下, 比其他种类的电池功率衰减更大


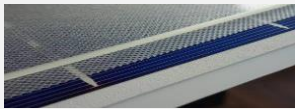
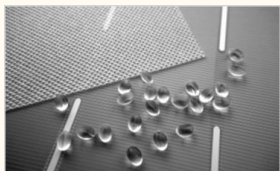
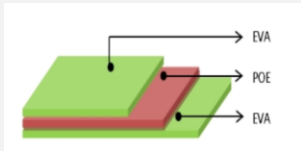
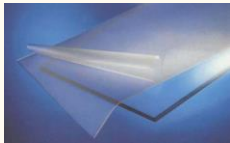


来源: 《UV-induced degradation of high-efficiency silicon PV modules with different cell architectures》, 国金证券研究所

## 2.2 光伏胶膜市场：EVA 胶膜为主，POE 胶膜具有性能优势

- 目前光伏胶膜主要分为 EVA 胶膜、POE 胶膜、共挤胶膜（如 EPE 胶膜）、PVB 胶膜等。

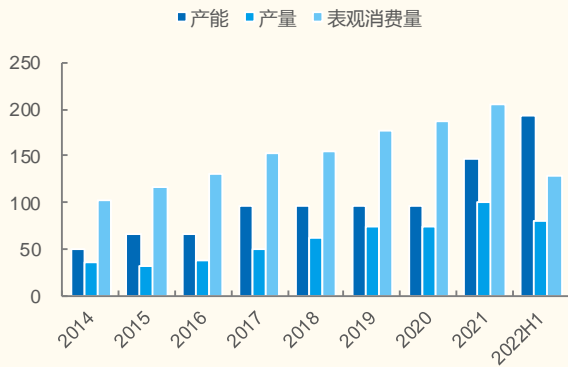
图表 10：不同类型胶膜特点对比

胶膜类型	图示	主要原料	优点	缺点	应用场景	配方
透明 EVA 胶膜		EVA 树脂	技术成熟且成本低，高粘附特性，满足封装材料透光、可粘接、耐紫外及高温等要求	反射性差；透水率高，易产生 PID 现象	普通单面组件正背面封装（对性能要求不高）	99%EVA 树脂+交联剂+增粘助剂+抗老化助剂
白色 EVA 胶膜		EVA 树脂	反射率高，提升组件效率；抗湿热老化及紫外老化能力较强	抗 PID 性能差	单面组件背面封装	90%EVA 树脂（双玻改为低熔脂 EVA 树脂）+白色填料
POE 胶膜		POE 树脂	优异的水汽阻隔性、抗 PID 性能、抗老化性能	价格高	单晶 PERC 双面组件、N 型电池组件，尤其是双玻组件	99%POE 树脂+交联剂+增粘助剂+抗老化助剂
多层共挤 EPE 胶膜		EVA 树脂+POE 树脂	透水率低，接近同等厚度 EVA 胶膜的 1/5，可大幅度提升组件耐候性能；抗 PID 性能好；相较 POE 胶膜成本较低	价格高	有耐高温高湿、高抗 PID 要求的单玻组件，PERC 双面、N 型双面等高效双玻组件	EVA 树脂+POE 树脂+交联剂+增粘助剂+抗老化助剂
PVB 胶膜		PVB 树脂	优异的机械强度和很强的粘接性能，安全性高	透光性、阻水性差、价格高	建筑 BIPV 幕墙玻璃	PVB 树脂+增塑剂+铈钨青铜+丙二醇甲醚醋酸酯+乙酸钾+乙醇

来源：海优新材招股说明书等，国金证券研究所

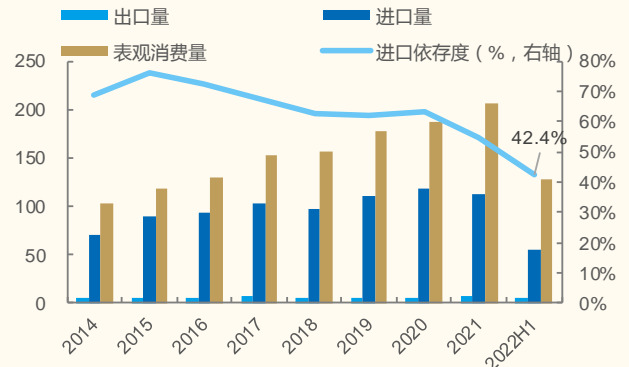
- EVA 胶膜：目前主流封装材料，加工属性好、供给较充足，但抗 PID 性能较差。**
- EVA 胶膜是以 EVA 树脂（乙烯-醋酸乙烯共聚物）为主要原料，通过添加多种助剂改性，经熔融加工成型的胶膜。由于加工性能好、供给充足且成本较低，EVA 胶膜为目前主流的光伏封装胶膜。
  - 特点 1：加工属性好。EVA 树脂为极性材料，在加工为 EVA 胶膜的过程中更容易与极性助剂融合，且具有出色的熔体流动性和低加工温度，加工属性好。
  - 特点 2：国产替代持续推进，供给较为充足，具有一定成本优势。2022 年起国内新增 EVA 产能逐步释放，国产 EVA 树脂供给迅速增长，国内 EVA 产量从 2014 年的 35.27 万吨增加到 2022 年的 167.55 万吨，2022 年上半年进口依存度已下降至 42.4%。目前光伏 EVA 胶膜产能几乎都集中在国内，考虑到国产原料供给的便利性和经济性，光伏级 EVA 树脂国产替代快速推进，光伏 EVA 树脂供应稳定性、经济性优势凸显。

图表 11: 中国 EVA 产能、产量与表观消费量 (万吨)



来源: 金联创资讯, 卓创资讯, 国金证券研究所

图表 12: 中国 EVA 进出口量及对外依存度 (万吨, %)



来源: 卓创资讯, 国金证券研究所

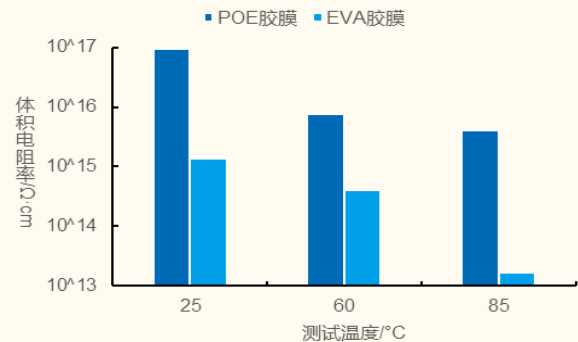
- 特点 3: 稳定性差。醋酸乙烯酯基团使 EVA 胶膜容易因紫外光和湿热氧化导致降解老化, 表现为胶膜的黄变及脱层, 影响组件效率及使用寿命。
- 特点 4: 抗 PID 性能差。EVA 材料中醋酸乙烯酯基团具有亲水性, 组件边缘水汽进入后 EVA 易发生水解生产醋酸, 醋酸与玻璃反应生成大量自由移动的钠离子, 玻璃表面的钠离子通过封装材料迁移至电池表面, 与电池片表面的银栅线发生电腐蚀反应, 从而腐蚀电池栅线, 导致串联电阻升高、组件性能衰减。
- POE 胶膜: 水汽透过率低、体积电阻率高、抗 PID 性能好, 更符合 N 型组件封装要求, 但加工属性较差、POE 树脂供给有限。
- POE 指聚烯烃弹性体, 是由乙烯与  $\alpha$ -烯烃 (以 4-8 个碳的  $\alpha$ -烯烃为主, 如 1-丁烯、1-己烯、1-辛烯) 共聚得到的无规共聚物, 具有优异的物理力学性能、良好的低温性能、优异的耐热老化和抗紫外线性能, 主要用于 PP 和 PE 的共混改性, 下游包括汽车、建筑、机械、光伏等多个领域。
- POE 胶膜以 POE 树脂为主要原料, 添加多种助剂改性后经熔融加工成型。由于 POE 树脂的性能优势, POE 胶膜具有水汽透过率低、抗 PID 性能好等多种优势, 目前广泛应用于双玻组件、N 型组件的封装。
- 特点 1: 水汽透过率低、体积电阻率高、抗 PID 性能好。POE 树脂为非极性材料, 不能和水分子形成氢键, 也不会像 EVA 等含极性基团 (醋酸乙烯酯基团) 的材料一样吸附水汽, 水汽透过率更低。此外, POE 胶膜的体积电阻率高, 且随着温度升高, POE 胶膜体积电阻率降幅较 EVA 胶膜更小。这些特点使得 POE 胶膜可以很大程度上阻隔正电荷离子 (如  $\text{Na}^+$ ) 向电池片表面迁移的速率, 一定程度上降低 PID 效应, 抗 PID 性能更好。

图表 13: POE 胶膜水汽透过率更低

样品	水汽透过率 (g/m <sup>2</sup> /d)
ENGAGETM PV POE 胶膜	3.3
EVA 胶膜	34

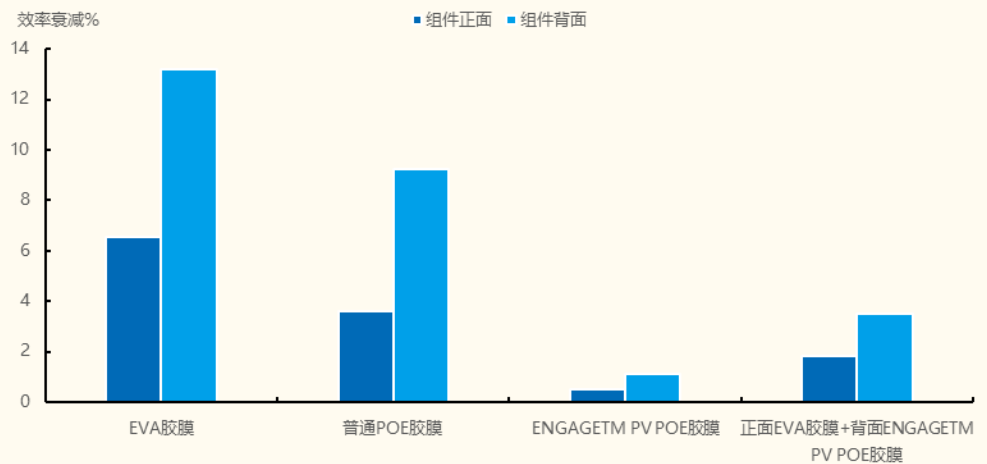
来源: 《ENGAGETM PV POE 胶膜对双面光伏组件长期可靠性的影响》, 国金证券研究所

图表 14: POE 胶膜体积电阻率更高



来源: 《光照恢复处理对采用不同封装材料的 P 型 PERC 双面光伏组件 PID 的影响》, 国金证券研究所

图表 15: POE 胶膜抗 PID 性能更好



来源:《ENGAGETM PV POE 胶膜对双面光伏组件长期可靠性的影响》, 国金证券研究所

- 特点 2: 加工属性差, 具有助剂迁移风险。POE 树脂为非极性材料, 目前制备胶膜添加的助剂基本为极性助剂, 与 POE 树脂相容性较差, POE 胶膜在应用中存在助剂析出、易产生气泡等一系列加工问题, 组件层压良率低, 且 POE 胶膜表面光滑易移位, 影响组件生产效率。
- 特点 3: POE 树脂供给紧张, 成本较高。POE 树脂的生产工艺为溶液聚合, 核心技术为高碳  $\alpha$ -烯烃 (以 4~8 个碳的  $\alpha$ -烯烃为主, 如 1-丁烯、1-己烯、1-辛烯) 及催化剂 (茂金属催化剂) 的制备, 目前国内  $\alpha$ -烯烃主要依赖进口, 仅具有少量 1-丁烯产能, 且国内企业尚未完全突破 POE 催化剂体系, 导致 POE 树脂生产尚未实现国产化。目前陶氏、三井、LG 为主要的光伏 POE 树脂进口商, 供给相对有限, 供需紧张时成本较高。

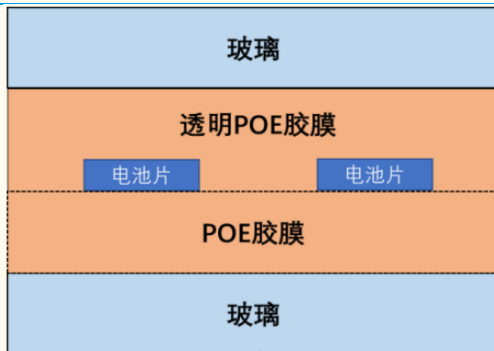
图表 16: 全球主要的 POE/POP 树脂生产厂商

生产商	商品	商标名	地址	投产年份	产能(万吨)
Dow	POE	Engage	美国德州	1993/2004	20.0
	POP	Affinity	美国路易斯安那州	2003/2006	13.6
	EPDM	Verify	西班牙塔拉戈纳	2004	5.5
	OBC	Infuse	泰国马塔府	2008	5.0
Exxon	POE	Exact	美国路易斯安那州	1991/2004	17.0
	POE	Vistamaxx		1991/2004	
Mitsui	POE	Tafmer	新加坡裕廊岛	2003/2005	20.0
	POP			2003/2005	
	EPDM			2003/2005	
SK	POE	Solumer		2015	
SABIC	POE	Fortify	韩国蔚山	2015	17.0
	POP	Cohere		2015	
Borealis	POE	Queo	荷兰赫仑	2013	3.0
	POP			2013	
LG	POE	Lucene	韩国丽水	2007	1.0

来源:《聚烯烃弹性体和塑性体产品及应用现状》, 国金证券研究所

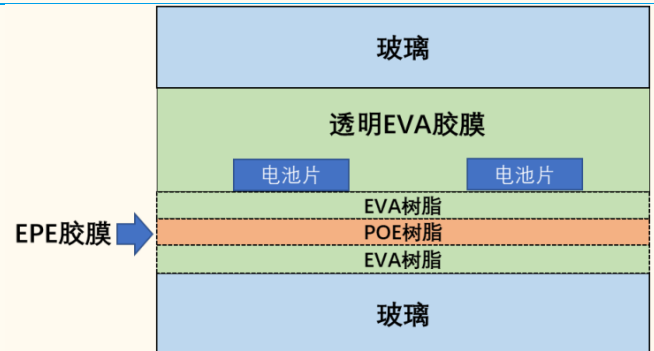
- **多层共挤胶膜：抗 PID 性能较 EVA 胶膜更优、POE 树脂耗量少，但加工难度更高。**目前多层共挤胶膜以 EPE 胶膜为代表，是将 EVA 树脂和 POE 树脂共挤熔融加工成型的胶膜。
  - 特点 1：抗 PID 性能较 EVA 胶膜更优，POE 树脂耗量少。共挤胶膜将 EVA 树脂和 POE 树脂按一定比例共挤熔融，具备 POE 胶膜的高抗 PID 性能，且由于外层为 EVA 材料，PERC 双面组件正面可使用 EVA 胶膜进行封装，“EVA-EPE”封装结构相较于“POE-POE”结构对 POE 树脂的用量大幅减少，一定程度上可缓解 POE 树脂供给紧张，降低组件封装成本。
  - 特点 2：加工难度高。共挤胶膜为多层结构，由于 EVA 树脂为极性材料、POE 树脂为非极性材料，两者相容性较差，界面粘贴力弱，EVA 层与 POE 层的融合存在一定难度。

图表 17: POE 胶膜封装结构



来源：海优新材招股说明书，国金证券研究所绘制

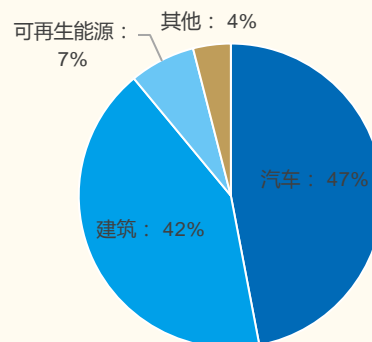
图表 18: EPE 胶膜封装结构



来源：海优新材招股说明书，国金证券研究所绘制

- **PVB 胶膜：强度高，但阻水性能差，主要应用于 BIPV 封装。**PVB 胶膜是以 PVB 树脂为主要原料，通过添加多种助剂改性，经熔融加工成型的胶膜。
  - 特点 1：机械强度优异，安全性高。PVB 胶膜具有优异的机械强度和很强的粘接性能，国家建筑工业标准规定，建筑光伏必须使用 PVB 胶膜，目前 PVB 胶膜多用于建筑 BIPV 幕墙玻璃。
  - 特点 2：阻水性差、热塑性差，难以应用于传统组件。PVB 胶膜透光性、阻水性较差，难以应用于传统组件。此外，PVB 热塑性不如 EVA，对覆膜机要求更高，设备成本较高。

图表 19: 2021 年全球 PVB 下游应用领域分布



来源：Mordor Intelligence，国金证券研究所

### 2.3 不同封装方案下光伏树脂供需测算：2023 年 POE 树脂供应紧张

- 1.光伏 EVA 树脂及 POE 树脂供给：
  - 近年光伏 EVA 树脂供给增量主要为古雷炼化、宝丰能源等新建装置投产及爬坡，预计 2023 年光伏 EVA 树脂供给 170~196 万吨，2024 年 200~225 万吨。
  - 目前 POE 树脂尚未国产化，2023 年光伏 POE 树脂供给增量主要为海外厂商扩产及不同领域的 POE 树脂产能调配，随万华化学等国产厂商研发推进，2024 年国产光伏 POE 树脂或有增量释放，**预计 2023 年光伏 POE 树脂供给 40~50 万吨，2024 年增长至 60~70 万吨。**
- 2.光伏胶膜封装需求：
  - 随硅料供给释放，光伏组件需求快速增长，预计 2023-2024 年光伏新增装机 360/450GW，对应组件需求约 450/567GW。N 型技术路线快速发展，预计 2023 年起 TOPCon、HJT、xBC 等技术路线均有规模化出货，预计 2023-2024 年 N 型组件出货约 175/350GW，N 型组件渗透率快速提升。预计电池效率提升推动胶膜单耗略下降，胶膜单平克因粒子紧缺持续下降。

图表 20：光伏胶膜用树脂供需测算基本假设

		2022E	2023E	2024E
组件需求 (GW)	光伏交流侧新增装机	230	360	450
	容配比	1.25	1.25	1.26
	光伏组件需求	300	450	567
	N 型组件	10	175	350
	TOPCon	10	150	250
	N 型 BC		5	20
	HJT		20	80
	P 型双面组件	125	78	10
	P 型单面组件 (含 HPBC)	165	198	207
胶膜需求	单 GW 组件胶膜用量 (亿平/GW)	0.110	0.100	0.098
	全球胶膜需求 (亿平)	33.0	45.0	55.6
胶膜单平克重 (g/平)	EVA 胶膜	480	440	420
	POE 胶膜	420	400	380

来源：CPIA、各公司产能规划，国金证券研究所测算

- 由于 N 型组件对水汽及酸更为敏感、PID 问题更为突出 (TOPCon)，主流 N 型组件企业都较早探索导入 POE 胶膜或含 POE 树脂成分的胶膜作为封装材料，目前量产 TOPCon 组件以 POE 胶膜封装为主，各家选型稍有不同；HJT、N 型 BC 组件以 POE 胶膜或 EVA 胶膜+丁基胶方案为主。考虑到 POE 树脂尚未国产化，预计随 N 型组件大规模量产，组件企业将探索多种封装方案。我们对 TOPCon 组件不同封装方案进行情景假设，测算 POE 树脂及 EVA 树脂的供需情况 (假设 TOPCon 组件封装用共挤胶膜 POE 树脂含量提升至 50%)：

图表 21：N 型组件不同封装方案对应的树脂需求测算 (万吨)

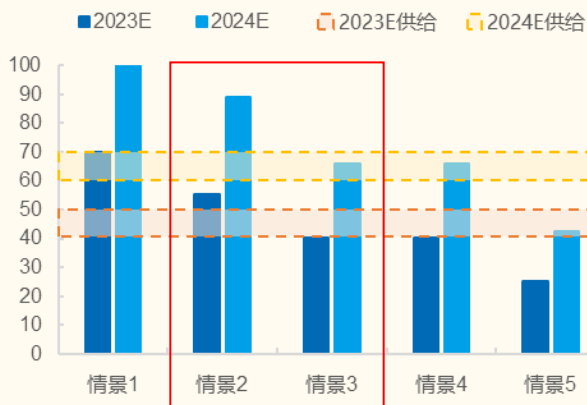
		TOPCon 封装方案	HJT/N 型 BC 封装方案	POE 树脂		EVA 树脂	
				2023E	2024E	2023E	2024E
需求	情景 1	正 POE+反 POE	目前为 POE 或 EVA+丁基胶，考虑到 HJT 及 N 型 BC 出货占比低，暂使用 50%纯 POE、50%EVA+丁基胶方案测算	70	112	121	109
	情景 2	正 POE+反共挤		55	89	137	135
	情景 3	正 POE+反 EVA		40	66	154	161
	情景 4	正共挤+反共挤		40	66	154	161
	情景 5	正共挤+反 EVA		25	43	170	186
供给	-	-	-	40~50	60~70	170~196	200~225

来源：产业链调研，国金证券研究所测算

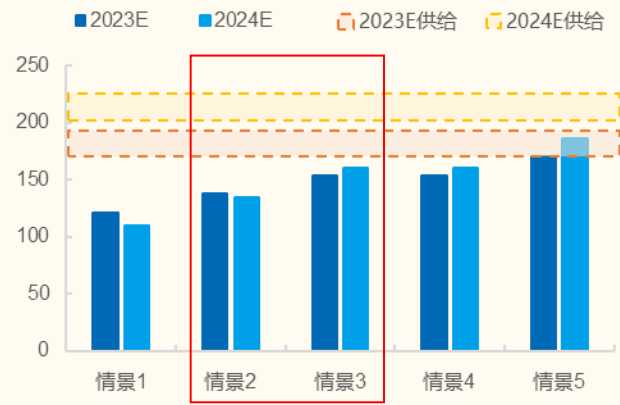
- 在 TOPCon 组件企业选择不同组件封装方案的假设下，POE 树脂及 EVA 树脂供需情况如下：
  - 情景 1：POE 树脂供给在 2023-2024 年将出现缺口。
  - 情景 2：POE 树脂供给在 2023-2024 年将非常紧张。
  - 情景 3、情景 4：考虑到流通库存，POE 树脂及 EVA 树脂供给在 2023 年偏紧，POE 树脂更为紧张。
  - 情景 5：考虑到流通库存，EVA 树脂供给在 2023-2024 年较为紧张。

图表 22：不同封装方案下 POE 树脂需求测算（万吨）

图表 23：不同封装方案下 EVA 树脂需求测算（万吨）



来源：国金证券研究所测算；



来源：国金证券研究所测算；

- 目前 TOPCon 组件企业多选用双面 POE 封装方案（情境 1），预计 2023 上半年逐步在反面导入共挤胶膜（情境 2）及 EVA 胶膜（情境 3），随技术成熟，后续或将在 TOPCon 组件正面也逐步导入共挤胶膜（情境 4、情境 5）。综合考虑组件封装技术发展趋势，预计 2023 年 TOPCon 组件胶膜选型更接近情景 2 和情景 3，即 2023 年 EVA 树脂需求约 137~154 万吨，考虑流通库存后或出现阶段性供给紧张；POE 树脂需求约 40~55 万吨，供给较为紧张。预计 2024 年 EVA 树脂需求约 135~161 万吨，总体维持供需均衡；POE 树脂需求约 66~89 万吨，供给持续紧张。

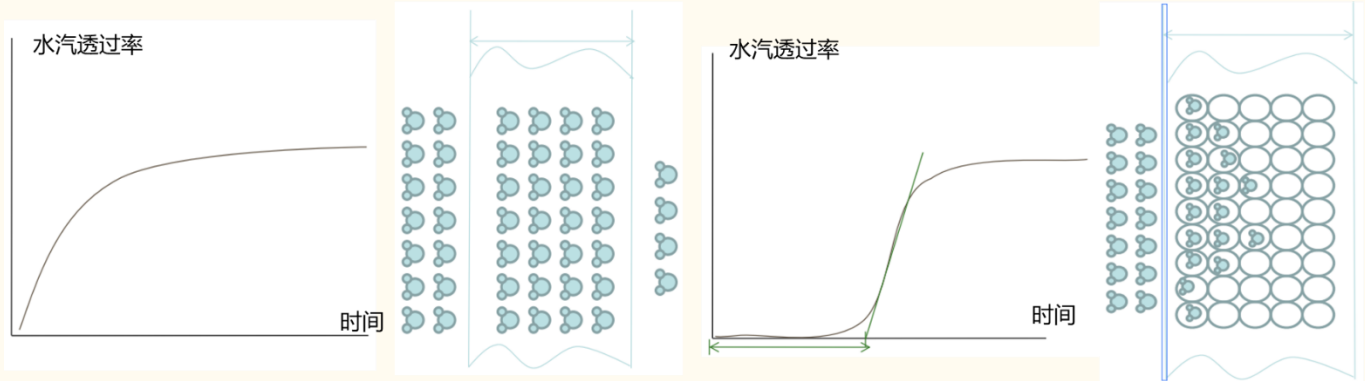
#### 2.4 新型封装方案：UV 转光胶膜、EVA+丁基胶、改良 EVA 等快速发展

- 考虑到 POE 树脂供给紧张，组件及胶膜企业积极研发储备新型封装方案，EVA+丁基胶、无酸 EVA 胶膜、转光胶膜等多种方案快速发展，新产品研发实力强的企业或将提升市场份额及盈利水平。
- **EVA 胶膜+丁基胶封边：延缓水汽浸入时间，降低 POE 树脂用量。**
- 组件四周边缘为水汽侵入的主要通道，晶硅组件常用的铝边框和硅胶密封可以阻挡液态水，却不能有效阻隔水汽分子。丁基边缘密封胶是一种电气绝缘、低水汽透过率的粘合剂，采用丁基边缘密封胶对组件边缘封装可显著延缓水汽侵入，保护电池、连接件及透明导电氧化物免受腐蚀和降解，同时增强电气绝缘性能，对抗组件的功率衰减，提升全寿命周期内的发电效率。
- 目前华晟 HJT 组件已有部分导入 EVA 胶膜+丁基胶封装方案，考虑到 2023 年 POE 树脂供给紧张，若 POE 胶膜与 EVA 胶膜价差显著拉大，EVA 胶膜+丁基胶的封装方案或将成为 HJT 组件中 POE 胶膜的替代封装方案，具体渗透情况需持续跟踪丁基胶阻水性能及性价比。

图表 24: 含吸潮剂的边缘密封胶可延缓水汽侵入组件的时间

没有吸潮剂的边缘密封胶, 水汽分子自由穿过边缘密封胶, 快速穿透侵入组件内部

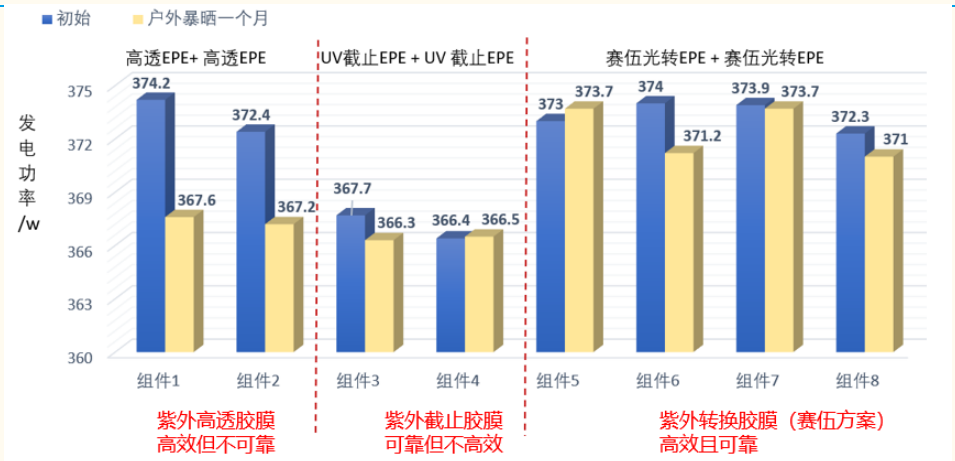
含有吸潮剂的边缘密封胶, 水汽分子被分子筛锁住, 无法自由移动穿透密封胶, 有效延缓水汽侵入



来源: 柯耐士, 国金证券研究所

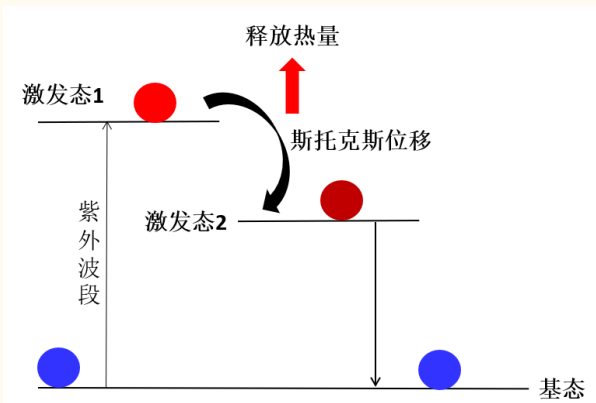
- **UV 转光胶膜: 转光提升 HJT 组件转换效率。**
- 相较 PERC 电池片, HJT 电池表面的 Si-H 基团更容易遭受紫外辐照而被破坏, HJT 电池片在紫外下较其他种类的电池功率衰减更大。目前主流封装方式是使用截止型 EPE + 截止型 EPE, 通过过滤紫外光减缓衰减, 但组件功率低。
- 赛伍技术推出的 UV 转光胶膜中的光转物质可将高频率的紫外光转为低频率的可见光, 一方面避免 HJT 电池片因紫外光衰减, 同时紫外光转换成的蓝光可提升发电效率。随 2023 年 HJT 组件量产出货, UV 转光胶膜出货量有望快速提升。

图表 25: 不同 HJT 封装方案的效率和衰减情况



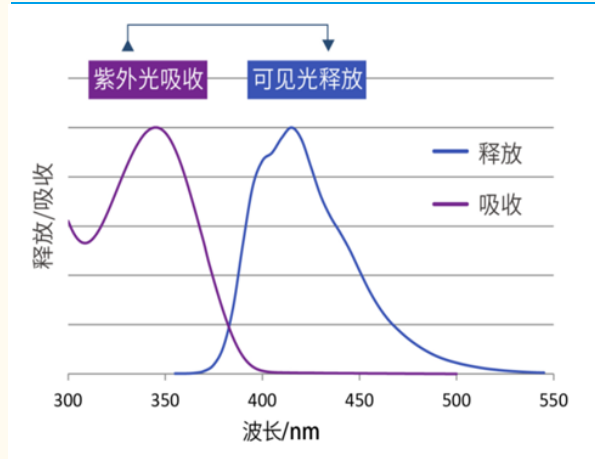
来源: 赛伍技术, 国金证券研究所

图表 26: 高频率的紫外光转为低频率的可见光机理



来源: 赛伍技术, 国金证券研究所

图表 27: 光转换曲线



来源: 赛伍技术, 国金证券研究所

- **改良 EVA: 高阻水、低酸 EVA 提升抗 PID 性能。**针对 Na<sup>+</sup>迁移诱发晶硅组件 PID 效应的机制, EVA 胶膜抗 PID 改性主要包含两个层面: 抑制 EVA 老化、降低 EVA 封装胶膜内部离子迁移率以阻止 Na<sup>+</sup>迁移引发的 PID 效应。目前针对这两个层面的研究方向包括改性研制高性能的抗老化 EVA 封装胶膜、提高体积电阻率以缓解因绝缘不良而导致的漏电等现象。在 POE 树脂紧缺的背景下, 改良 EVA 胶膜或成为可选方案之一。

## 2.5 投资建议

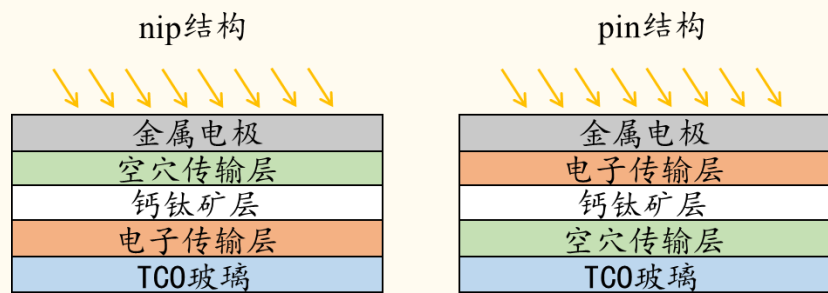
- **胶膜: 建议关注 POE 树脂供应充足、POE 胶膜工艺领先的企业。**随 N 型组件推广, 未来 1-2 年 POE 树脂供给紧张, 胶膜厂商的 POE 树脂保供能力将成为胶膜行业的关键竞争要素, POE 树脂供应保障充足、POE 胶膜工艺掌握领先的企业具有较强的竞争优势。此外, 转光胶膜、丁基胶等新型封装方案或将逐步提升渗透率, 新品研发实力强的企业或将快速提升份额及盈利。推荐福斯特、海优新材, 建议关注信义储电、赛伍技术、明冠新材、激智科技等。
  - 福斯特: POE 胶膜市占率绝对领先, POE 树脂供应保障优势明显, 有望充分受益 TOPCon 组件放量带来的 POE 类胶膜需求提升。
  - 海优新材: 首创共挤胶膜, 有望在 TOPCon 组件用共挤胶膜中持续保持技术优势。
- **EVA 树脂: 随硅料供给释放推动下游组件需求快速提升, 2023 年 EVA 树脂或出现阶段性紧缺, 目前 EVA 树脂价格处于历史低位区间, 预计 2023 年 EVA 树脂价格及盈利将迎来明显修复, 推荐联泓新科, 建议关注东方盛虹、荣盛石化等。**
  - 联泓新科: 国内 EVA 树脂领先企业, 光伏料比例较高, 有望充分受益 EVA 树脂价格上涨。
- **POE 树脂: 目前国内领先企业已启动 POE 树脂及上游 α 烯烃、茂金属催化剂的研发及量产进程, 若推进顺利, 相关企业业绩将有明显增量, 建议关注万华化学、鼎际得、卫星化学、岳阳兴长、东方盛虹等。**

### 3 玻璃：钙钛矿技术星辰大海，TCO 玻璃空间广阔

#### 3.1 TCO 玻璃：钙钛矿组件最为重要的配件之一，成本占比较高

- TCO 玻璃为钙钛矿电池基片，起机械支撑及保护作用。
- 机械支撑：晶硅电池的主要原材料——硅在自然界中直接可得，但薄膜电池中起主要作用的化合物需要通过化学反应制备，或使用物理沉积获得功能层，这种多层薄膜结构需要依托基础物做机械支撑，目前钙钛矿电池多选择 TCO 玻璃作为电池基片。目前钙钛矿电池的工艺流程是先将玻璃作为衬底生长 TCO 薄膜制成 TCO 玻璃，再根据电池 nip/pin 结构在 TCO 薄膜面依次生长功能层，最后用背板玻璃封装形成完整光伏组件，TCO 玻璃主要起支撑作用。
- 保护：此外，薄膜电池的所有功能层厚度都在纳米量级，且钙钛矿吸光层对空气中的水和氧极其敏感，TCO 玻璃还起到隔绝空气和保护功能层的作用。

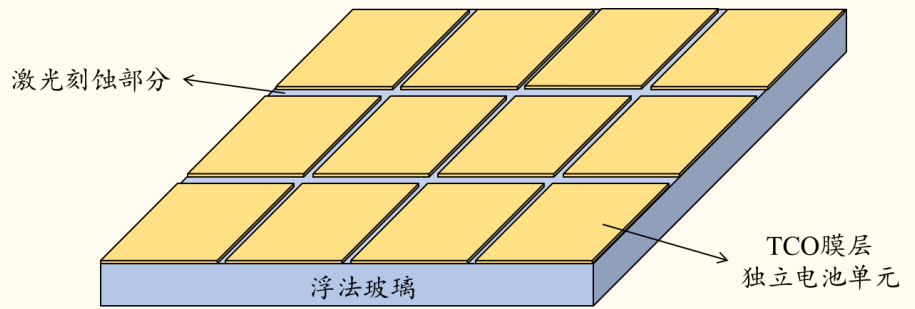
图表 28：钙钛矿电池主体结构示意图



来源：知言光电材料，国金证券研究所绘制

- TCO 玻璃由 TCO 膜层和浮法玻璃组成，透过率、导电性和雾度为主要参数。
  - 光谱透过率：由浮法玻璃和 TCO 膜层共同影响，为了提高转换效率，TCO 玻璃要求可见光的透过率>80%。
  - 导电性：TCO 膜层的导电性取决于方阻（薄膜厚度方向上的电阻密度）大小， $RS=\rho$ （电阻率）/d（膜厚），TCO 层越厚方阻越小，导电性能越好，但透过率会变差，因此对 TCO 玻璃上的膜层厚度选择提出了一定要求。
  - 雾度：材料对透射光的散射能力，由浮法玻璃和 TCO 膜层共同作用。光伏用 TCO 玻璃要求具有一定的光散射能力以提高电池的光电转换效率。
  - 激光划刻性能：在整块浮法玻璃镀上 TCO 膜层后，钙钛矿企业需划刻掉指定位置的导电氧化物薄膜，使整块 TCO 玻璃分隔成独立的电池单元，因此 TCO 玻璃需具备激光划刻性能。
  - 耐候性和耐久性：目前晶硅电池的寿命一般可达到 25~30 年，薄膜电池也要具有良好的耐候性和耐久性，需要起电极和保护作用的 TCO 玻璃具有耐候性、耐久性和长期稳定性。

图表 29: TCO 玻璃示意图



来源:《透明导电氧化物镀膜玻璃光伏应用前景》, 国金证券研究所绘制

- TCO 膜层起导电和透光的作用, 目前光伏 TCO 玻璃多为 FTO 材料。
- 透明导电氧化物 (Transparent Conductive Oxide, TCO) 是可以导电的宽禁带半导体材料, 在可见光范围的透射率高 (80%~90%), 电阻率低 ( $10^{-5}$ ~ $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ )。TCO 薄膜的导电能力由载流子浓度决定, 但载流子浓度较低时才能表现出较好的透明度, 目前最常见的手段是通过掺杂平衡高透明度和高电导率。目前市场上研究较多的 3 种光伏用 TCO 材料分别是 FTO、ITO、AZO。
  - FTO: 稳定性良好, 膜层结合力好, 易刻划, 但电学性能略差。FTO ( $\text{SnO}_2 : \text{F}$ ) 是目前钙钛矿光伏电池使用的主流透明导电材料, 虽然材料表面不平整导致其导电性和透光性略低于 ITO 和 AZO, 但热稳定性和化学稳定性良好, 且成本较低, 是现有材料中匹配薄膜光伏市场的最佳选择。
  - ITO: 导电性最好、透光性最高, 但刻划难度高, 多用于显示领域。ITO ( $\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Sn}$ ) 是目前研究和应用最广泛的透明导电材料, 具有高透明性、低电阻率、可低温制备的优点, 多被用于显示领域, 但受限于成本高、热稳定性差等缺陷, 与薄膜光伏匹配度并非最佳。
  - AZO: 光电性能最接近 ITO, 成本低廉, 但稳定性欠佳, 研究应用尚未成熟。AZO ( $\text{ZnO} : \text{Al}$ ) 是最有可能取代 ITO 的透明导电材料, 其透射率和电阻率可以媲美 ITO, 且掺杂后热稳定性明显提高, 可用于光伏领域, 但目前 AZO 薄膜化学稳定性差, 易腐蚀, 无法很好满足光伏电池使用寿命长达 25~30 年的需求。

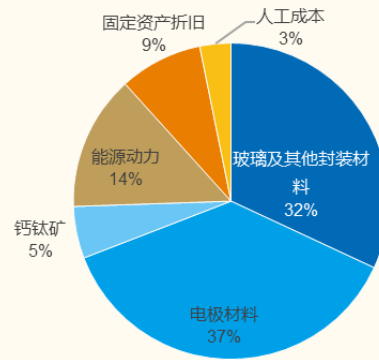
图表 30: 主要 TCO 材料对比

	FTO	ITO	AZO
主体材料	$\text{SnO}_2$	$\text{In}_2\text{O}_3$	$\text{ZnO}$
掺杂元素	F	Sn	Al
其他可掺杂元素	Sb、As、Nb 等	Ge、Mo、Ti 等	Ga、B、In 等
可见光透过率	87%	>90%	>80%
电阻率	$5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$	$10^{-5} \sim 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$	$2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
优点	稳定性好; 光学性能适宜; 成本低; 易刻蚀	导电性能最佳; 膜层牢固; 硬度高; 耐磨	无毒; 成本低廉; 导电性能与 ITO 相当
缺点	方阻大; 导电性能略差	成本高; 有毒; 化学稳定性差	膜层软; 寿命短; 工业应用不够成熟
应用领域	薄膜电池	电器显示屏	非晶硅薄膜电池
生产方式	在线镀膜	离线镀膜	离线镀膜

来源:《FTO 透明导电薄膜表面处理及其复合膜的研究》, 国金证券研究所整理

- 由于钙钛矿电池以 TCO 玻璃为基片, TCO 玻璃在钙钛矿组件中成本占比较高, 据苏州协鑫, TCO 玻璃约占钙钛矿组件成本的 32%, 相较晶硅组件中玻璃占比大幅提升。

图表 31: 典型钙钛矿组件成本构成 (苏州协鑫 100MW 钙钛矿组件)



来源: 苏州协鑫, 国金证券研究所绘制

### 3.2 光伏 TCO 玻璃: 在线镀膜生产为主, 国内掌握量产技术的企业较少

- TCO 玻璃的生产主要分为浮法玻璃加工段和 TCO 薄膜生长段, 根据两种工艺产线的结合情况, TCO 玻璃生产可分为在线镀膜和离线镀膜。
- 在线镀膜是目前光伏用 TCO 玻璃主流生产方式, 成本较低。
- 在线镀膜是指在浮法玻璃生产产线中完成 TCO 薄膜生长, 使用化学法沉积薄膜 (CVD), 满足大面积镀膜需求, 是主流的光伏 TCO 玻璃生产方式。化学气相沉积将可反应生成薄膜的原材料以气态的方式导入反应室中, 在基片表面生成目标材料, 目前在线镀膜一般采用常压化学气相沉积法 (APCVD), 借助玻璃窑炉已有的高温, 在约 600°C 的产线段锡槽上方插入镀膜气体通道, 工艺设备相对简单、重复性好, 但需要提前制备反应前驱物, 对 ITO 和 AZO 而言成本较高、技术较难, 因此目前市场上的在线镀膜基本为 FTO 玻璃。
- 离线镀膜是显示用 TCO 玻璃主流生产方式, 镀膜质量更优、材料选择灵活度高、可进行定制化生产, 但成本昂贵。
- 离线镀膜是指在浮法玻璃离开窑炉产线之后进行 TCO 薄膜生长, 浮法玻璃生产和镀膜是两条独立的产线, 使用物理法沉积薄膜 (PVD), 依赖于设备的高真空, 多用于制备 ITO 玻璃和 AZO 玻璃。物理气相沉积是在超高真空环境下使靶材以原子或分子方式沉积在基片表面的薄膜制备技术, 氧化物的离线镀膜工艺一般采用磁控溅射的方式, 用特定频率的粒子轰击靶材, 实现物质原子从靶到衬底的转移, 基于物理法对真空度的需求, 设备结构相对复杂, 价格昂贵, 对靶材的制作也提出了一定的要求。但 PVD 制作的薄膜质量优于 CVD, 高能粒子沉积时的能量转换增强了薄膜与衬底的附着力, 使用物理法还可以更精确地调整材料配比, 灵活高效地获得种类丰富的薄膜。

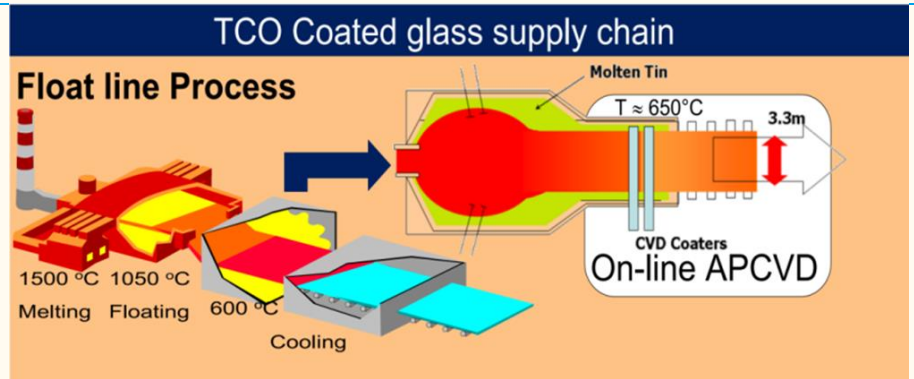
图表 32: 在线镀膜、离线镀膜对比

	在线镀膜	离线镀膜
镀膜工艺位置	浮法玻璃产线中	浮法玻璃产线外
应用领域	FTO 玻璃	ITO 玻璃、AZO 玻璃
镀膜工艺	CVD (APCVD)	PVD (磁控溅射)
可见光透过率	>90%	>80%
薄膜生长源	前驱物	TCO 靶材
生长温度	550~1100°C	常温或 <600°C
反应室压力	常压	0.1~200 mTorr
生长速率	2-300 um/h	<1 mm/min

优点	成本低；薄膜硬度高	灵活度高；膜层质量好
缺点	薄膜表面略粗糙	成本昂贵

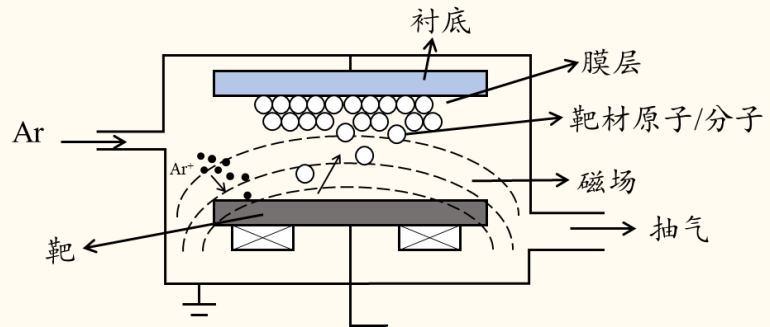
来源：《集成电路产业全书》，国金证券研究所整理

图表 33：在线镀膜与 CVD 示意图



来源：NSG European Technical Center，国金证券研究所

图表 34：离线镀膜 PVD（磁控溅射）示意图



来源：《FTO 透明导电薄膜的制备及性能研究》，国金证券研究所绘制

- 生产光伏用 TCO 玻璃需要同时拥有成熟的超白浮法玻璃产线和匹配的 TCO 配方、镀膜工艺，独立开发周期较长，国内公司相关前沿研发稀缺，目前仅少数企业可进行 TCO 玻璃量产。

### 3.3 投资建议

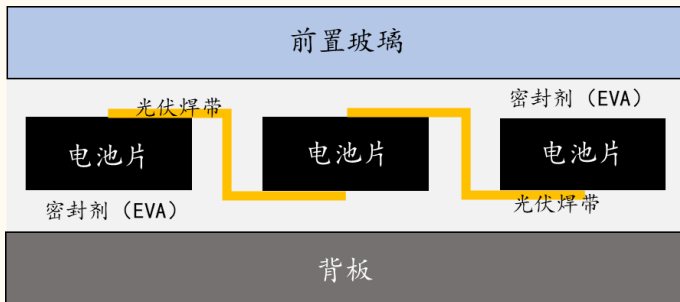
- 推荐具备 TCO 玻璃量产能力的企业。钙钛矿是目前业内研发热度较高的下一代光伏技术方向，TCO 玻璃作为钙钛矿组件的重要配件，市场空间广阔，具备 TCO 玻璃量产能力的企业或将充分受益钙钛矿产业化进程。推荐金晶科技，建议关注信义光能、福莱特、亚玛顿等。
- 金晶科技：国内外少数掌握 TCO 玻璃技术且能量产的企业之一，目前为国内多家钙钛矿中试企业的 TCO 玻璃供应商，已与国内头部钙钛矿公司纤纳光电签署战略合作协议，计划为其长期供应 TCO 玻璃，有望充分受益钙钛矿的产业化进程。

## 4 焊带：新技术推动封装工艺变化，焊带技术升级方向明确

- 光伏焊带为光伏组件的核心辅材之一，是在铜带表面涂敷锡基焊料形成的复合导电材料，应用于光伏电池片的串联或并联，发挥汇集电流和导电的作用，形成完整的电路回路。其品质优劣直接影响电流收集效率，对组件功率和发电系统效率都有较大影响。据 solarzoom 数据及我们测算，硅料

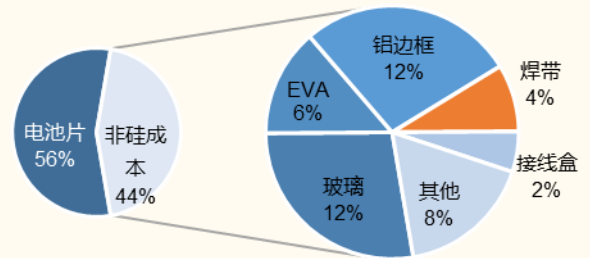
价格 16 万元/吨时，焊带成本占光伏组件总成本/辅材成本的 4%/8.6%，技术升级所带来的成长空间较为广阔。

图表 35：光伏焊带工作原理



来源：宇邦新材招股说明书，国金证券研究所

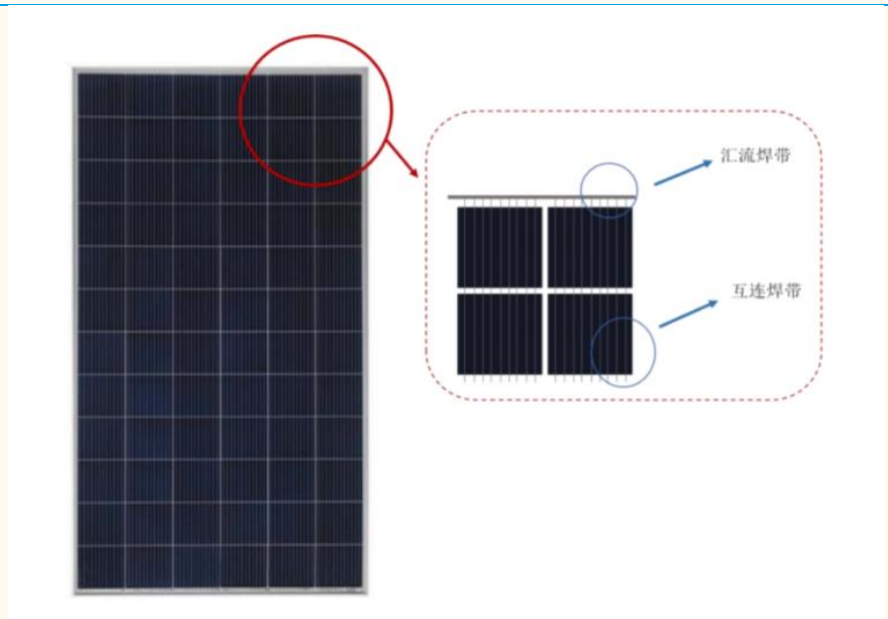
图表 36：双玻 PERC 组件成本拆分



来源：Solarzoom，国金证券研究所测算；使用硅料价格 16 万元/吨测算

- 光伏焊带按产品应用方向可分为互连焊带和汇流焊带，互连焊带用于连接光伏电池片，收集、传输光伏电池片电流，作为太阳能电池的导电引线带，直接焊接在电池正面栅线和背面栅线，连接相邻电池片的正负极，形成串联电路，将光伏发电的电输送到汇流焊带。汇流焊带用于连接光伏电池串及接线盒，传输光伏电池串电流，众多电池串通过汇流焊带连接起来以实现完整电路。

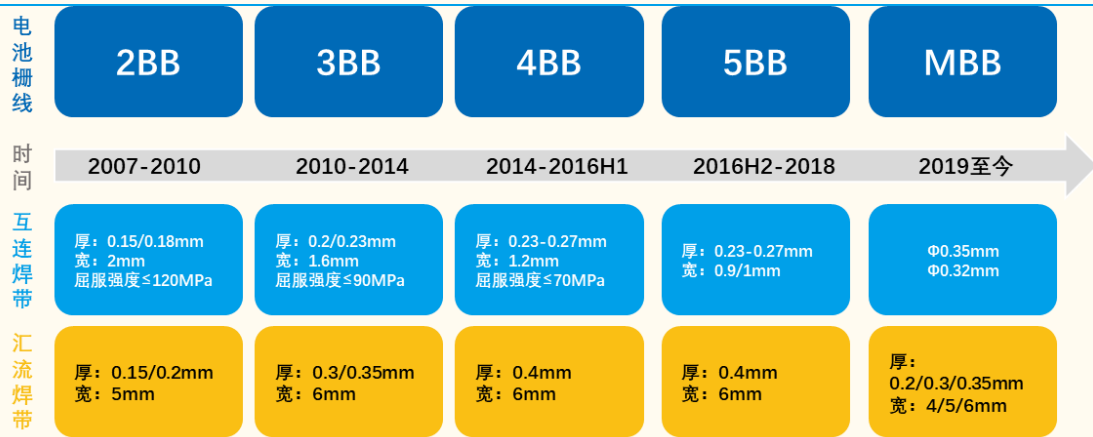
图表 37：互连焊带与汇流焊带



来源：宇邦新材招股说明书，国金证券研究所

- 焊带产品向适应多主栅化、细线化发展。目前光伏焊带技术发展专注于提升焊带的力学性能，以及通过优化焊带的表面结构、外观尺寸等降低焊带电阻率，增加电池片受光总量，提升光伏组件功率。电池栅线从 2018 年以前的 2BB-5BB 发展到目前主流的 MBB，焊带也跟随从最初的压延涂锡扁焊带发展到如今的圆形焊带、异形焊带等，互连焊带平均宽度从 2BB 时代的 2mm 降低到现阶段的 0.32mm。

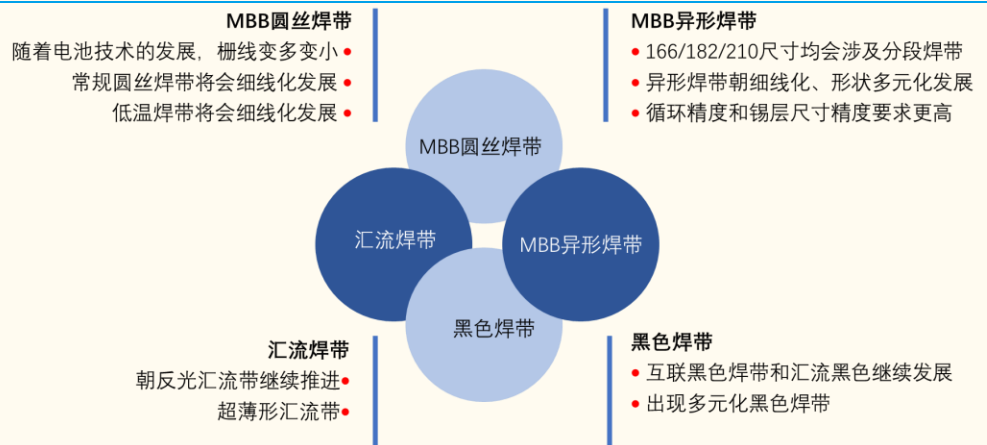
图表 38: 互连焊带、汇流焊带演变趋势



来源: 宇邦新材招股说明书, 国金证券研究所整理

- **新型组件技术推进适配焊带技术更新迭代。**目前市场上主流光伏焊带产品为适用于多主栅组件的 MBB 焊带, 比常规焊带更细更密, 有利于减少对电池片的遮光, 减少电池功率损失。此外, 黑色组件、HJT 组件、叠瓦组件、IBC/MWT 组件等下游新技术对焊带功能提出了新要求, 催化焊带产品升级。
  - 互连焊带新型产品包括低电阻焊带、低温焊带和异形焊带, 分别适配常规组件、HJT 电池组件和多栅组件。
  - 汇流焊带新型产品包括折弯焊带、冲孔焊带、黑色焊带, 分别适配常规组件、叠瓦组件和全黑组件。
  - 此外, 高密度封装的普及, 也对焊带技术提出了新的要求。通过高密度封装, 减少电池片的间距, 有利于增加组件有效受光面积, 实现更高的发电能量密度提升。

图表 39: 光伏焊带未来技术趋势



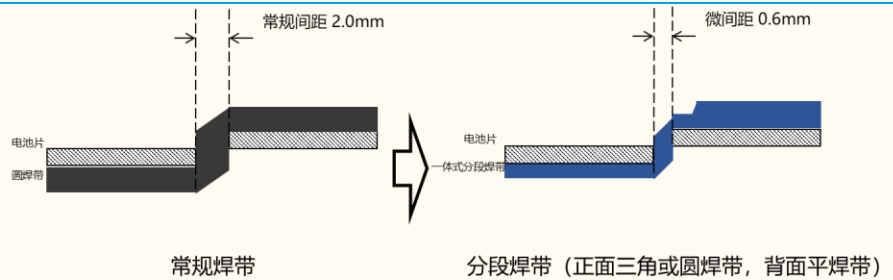
来源: 光伏荟, 国金证券研究所整理

图表 40: 新型光伏组件对焊带技术要求

	互连焊带	汇流焊带
常规组件	低电阻焊带、反光焊带	反光焊带、折弯焊带
多主栅组件	MBB 焊带、异形焊带	反光焊带、折弯焊带
黑色组件	黑色焊带	黑色焊带
HJT 组件	低温焊带	反光焊带、折弯焊带
叠瓦组件	导电胶互连	冲孔焊带
IBC/MWT 组件	导电胶/异形焊带	反光焊带、折弯焊带

来源：宇邦新材招股说明书、同享科技招股说明书，国金证券研究所

图表 41：分段焊带示意图



来源：奥特维，国金证券研究所

- 投资建议：焊带产品技术升级趋势明显，圆形焊带、异形焊带产品随电池技术及图形化工艺同步加速迭代，未来 2-3 年将加速放量，建议关注受益于新技术加速迭代带来新产品放量的头部焊带厂商宇邦新材。

### 5 接线盒：芯片接线盒高电流优势显著，分布式助力智能接线盒推广

- 随着行业降本增效推进，光伏电池效率持续提升，182、210 尺寸组件逐步取代 166 组件成为行业主流。相比于 166 尺寸组件，182、210 组件在工作时形成的电流较高，以 600W 功率的 210 尺寸组件为例，其短路电流（Isc）为 18.6A，大大高于 182 及 166 组件，对配套的接线盒额定电流提出更高要求。按照现行的 IEC61215/IEC61730:2021 标准进行计算，在考虑双面系数和 1.25 倍的安全冗余下，两款 182 组件完美适配额定电流为 25A 的接线盒，而 210 尺寸的组件则需要 30A 的接线盒进行适配，组件大功率对接线盒额定电流的要求逐步提高。

图表 42：不同尺寸组件对应接线盒额定电流

组件类型	组件功率	组件 Isc	组件串 Voc	接线盒额定电流
166 系列组件	450W	11.5A	16.5V	16、18 或 20A
182 系列组件	530W	13.9A	16.5V	20、22 或 25A
	590W	13.9A	17.9V	
210 系列组件	540W	18.6A	15.1V	25 或 30A
	600W	18.6A	13.9V	

来源：摩尔光伏，国金证券研究所



图表 43：IEC61215:2021 对接线盒额定电流的要求

组件类型	功率	短路电流 Isc	双面系数 φ	接线盒最小额定电流
隆基 Hi-MO 科学家 182/HPBC	600W	14.46A	70%	21.87A
晶科 TigerNeo 182/TOPCon	630W	14.39A	85%	22.57A
爱康 AKiPower 210/HJT	690W	17.17A	90%	27.26A
日升泰坦 210/PERC	670W	18.43A	70%	27.88A
计算公式	$I_{sc} \times (1 + 30\% \cdot \varphi) \times 1.25$			

来源：晶科能源官网、solarzoom，国金证券研究所

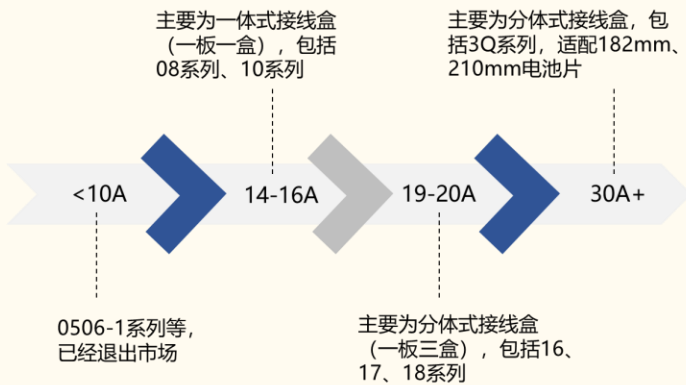
- 接线盒发展趋势 1：电流承载能力较高的分体式接线盒替代单体式接线盒成为行业主流。传统单体式接线盒为每套接线盒一个箱体，箱体内集成三个自动保护器件，其优点是配件较少、生产及安装均较简单，但器件放置较为集中造成接线盒整体的电流承载能力较差。随着行业不断向大功率、大尺寸发展，每套含三个盒体的分体式接线盒迅速取代单体式接线盒成为行业主流，据通灵股份招股说明书，2021 年上半年公司分体式接线盒已成为公司主导产品。

图表 44: 分体式接线盒与单体式接线盒特点比较

接线盒种类	图片	技术特点	优势	劣势
单体式接线盒		<ul style="list-style-type: none"> <li>每套接线盒中含有 1 个盒体；</li> <li>1 个盒体内放置 3 个自动化保护器件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>配件少，结构简洁，生产简单；</li> <li>每个组件配套 1 个接线盒，安装简单</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>汇流带较长导致串联电阻及物料成本较高，电缆用量较高；</li> <li>自动保护器件的集中放置造成发热量集中，电流承载能力较差</li> </ul>
分体式接线盒		<ul style="list-style-type: none"> <li>每套接线盒中含有 3 个盒体；</li> <li>每个盒体中放置 1 个自动化保护器件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>电缆及汇流带的使用长度减少，串联电阻及组件发电效率较优；</li> <li>自动保护器件相互分离，发热互不干涉，电流承载能力较高；</li> <li>粘接面积大幅下降，增加双玻双面组件的光照面积</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分体式接线盒含 3 个盒体，所需生产配件、模具、设备和工装数量增加，生产成本及管理难度较高</li> </ul>

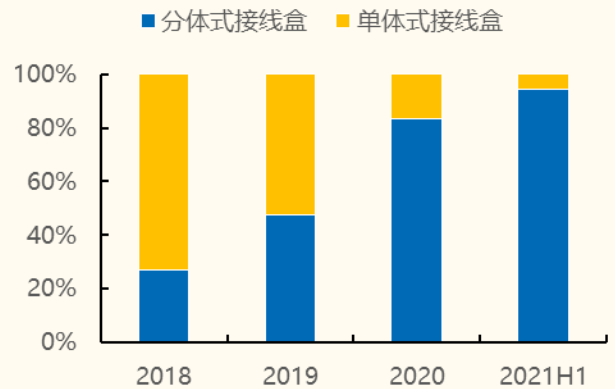
来源：快可电子招股说明书、通灵股份招股说明书，国金证券研究所

图表 45: 快可电子分体式接线盒主要用于大电流组件



来源：快可电子招股说明书，国金证券研究所

图表 46: 通灵股份分体式接线盒占比迅速提高



来源：通灵股份公告、招股说明书，国金证券研究所

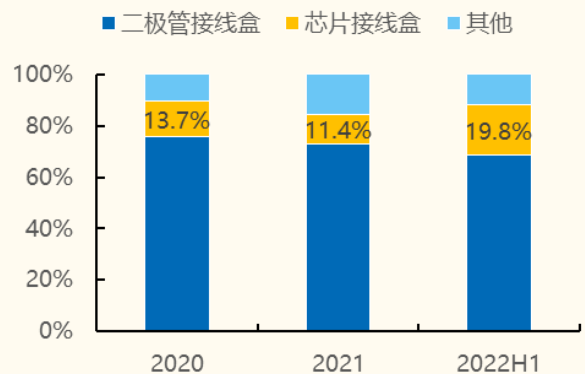
- **接线盒发展趋势 2: 芯片接线盒渗透率逐步提升。** 传统二极管接线盒中，二极管与导电部件连接后通过灌密封胶的整体密封；芯片接线盒使用低压封装工艺将自动保护器件二极管中的芯片直接浇注在接线盒内部，并填充各种导热材料以增强其散热效果，从而降低芯片的工作温度，提升芯片的散热能力以及接线盒的电流承载能力。随着接线盒额定电流提高，芯片接线盒可承载电流大、散热性能好、成本低的优势逐步凸显，据通灵股份，其芯片接线盒产品收入占比呈上升的趋势。

图表 47: 通灵股份分体式芯片接线盒



来源：通灵股份公告，国金证券研究所

图表 48: 2022 年通灵股份芯片接线盒占比迅速提高



来源：通灵股份公告，国金证券研究所

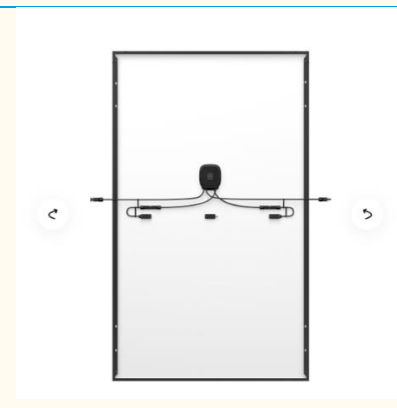
- **趋势 3: 分布式光伏占比提升, 集成优化器及关断器的智能接线盒或成为接线盒新方向。** 早年光伏行业主要由大型光伏电站主导, 降本增效要求较高, 装置选型时成本因素占比较高, 而随着应用场景为终端消费者的分布式光伏占比提升, 安全、效率在设备选型的考察因素中重要性提升, 具备快速关断及效率优化功能的智能接线盒有望实现推广。
- 与传统接线盒相比, 智能接线盒集成了智能控制芯片模块, 可通过芯片模块实现对组件单板级的远程数据监控、实时功率优化与效率提升、火灾智能快速关断等功能, 从而提高光伏系统的安全及效率。但由于智能芯片模块成本较高, 智能成本大约在传统接线盒的五倍以上。
- 2022年11月2日, 隆基发布 Hi-MO6 系列组件产品, 其中主打智能安全的极智家系列组件预制优化器, 从而满足高安全和遮挡优化场景需求, 有望成为行业分布式产品新标杆。

图表 49: 传统接线盒与智能接线盒功能及成本比较

	传统二极管接线盒	智能芯片接线盒
电流输送&旁路保护	√	√
功率追踪 (MPPT)	—	√
功率优化&发电效率提升	—	√
远程电流/电压/温度监控	—	√
智能快速关断	—	√
成本	智能接线盒成本约为传统接线盒 5 倍以上	

来源: 快可电子招股说明书, 国金证券研究所

图表 50: 隆基 Hi-MO6 极智家



来源: 隆基绿能官网, 国金证券研究所

- **投资建议:** 随行业大尺寸、大功率推进, 接线盒额定电流要求逐步提升, 分体式接线盒、芯片接线盒优势逐步凸显, 相关工艺掌握领先的企业或将获得超额收益及市占率提升, 此外, 分布式占比提升或助力集成优化器及关断器的智能接线盒推广。**推荐通灵股份, 建议关注快可电子。**
- **通灵股份:** 首创芯片接线盒, 有望凭借芯片接线盒成本、散热、稳定性优势持续提升市占率及盈利能力。

## 6 坩埚/高纯石英砂: N 型硅片放量提升坩埚耗量

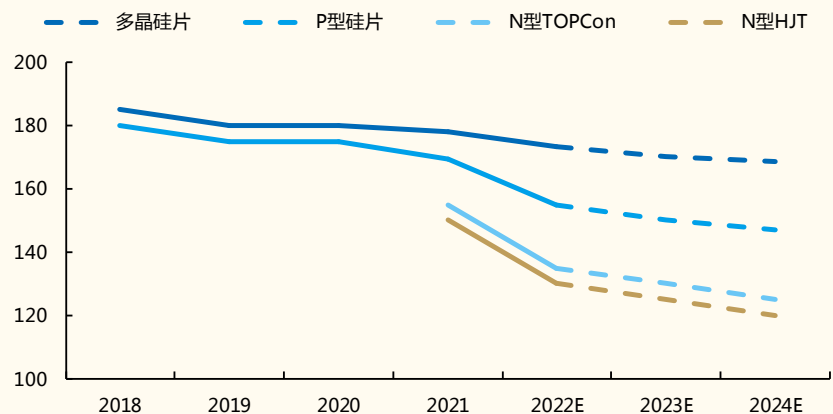
- 在单晶硅片的生产过程中, 石英坩埚主要用于盛装熔融硅并制成后续工序所需晶棒, 由于单晶硅片的纯度要求, 石英坩埚一次或几次加热拉晶完成后即报废, 需要定期更换, 属于消耗性器皿。
- N 型硅片相比 P 型硅片在氧含量、少子寿命、纯度等方面要求更高, 若在拉晶过程中引入碳氧杂质, 会直接影响硅片的纯度与品质。在控制 N 型单晶的过程中, 为防止坩埚加热时间过长造成涂层脱落而引入碳氧杂质, 更需要及时更换坩埚来减少拉晶过程中引入杂质的机率, 因此 N 型硅片生产过程中单个坩埚的使用时间缩短。此外, 目前 N 型硅棒长晶速度明显低于 P 型硅棒, 单根硅棒对应坩埚耗量明显高于 P 型。
- **投资建议:** N 型产品放量提升石英坩埚耗量, 或将进一步加剧 2023 年高纯石英砂及石英坩埚供需紧张, 扩产积极、产品品质优势明显的石英坩埚企业有望充分受益。**推荐欧晶科技, 建议关注石英股份、晶盛机电、天宜上佳。**
- **欧晶科技:** 石英坩埚领先企业, 坩埚产能快速扩张, 高纯石英砂保供及技术优势保障产品质量, 有望迎来量利齐升。

## 7 金刚线：钨丝助力金刚线细线化推进，降本为提升渗透率关键

### 7.1 细线化是硅片新发展趋势下的必由之路

- 硅片切割过程中，切割槽距=硅片厚度+金刚线线径+振动损耗+误差范围，降低硅片生产成本、提高硅片切割出片数有两个方向：1) 降低硅片厚度，即硅片薄片化；2) 降低金刚线线径，即金刚线细线化。
- **N型技术发展加速硅片薄片化的进程。**
- 2021年P型单晶硅片平均厚度约为170μm，目前N型硅片平均厚度约在140~150μm，并有趋势向130~140μm发展，未来将会达到120μm甚至更薄。随着N型电池渗透率快速提升，硅片薄片化将持续推进。
  - 1) 薄片化助力N型技术降本：由于N型硅片对原料、耗材的品质要求更高，且规模效应不充分，目前N型硅片生产成本较高，硅片减薄可以在面积不变的前提下节省用料，直接降低单GW硅耗。
  - 2) 相比PERC，降低硅片厚度对TOPCon、HJT等N型电池效率的负面影响较小：硅片厚度减薄会影响其对太阳光的吸收，导致短路电流降低，据相关研究，PERC硅片短路电流和开路电压对厚度敏感，厚度降低到一定程度会影响电池效率。硅片表面是晶格截止面，会不可避免引入大量缺陷，对应的表面能级具有很强的少数载流子复合的能力，容易捕获电子进行复合。N型技术以N型硅片为基材，其中电子作为多子、空穴作为少子（少数载流子），空穴作为少子的N型硅片表面复合速率更低，少子寿命更高，少子寿命对太阳能电池的光电转换效率起着重要作用，N型硅片厚度减薄后虽短路电压降低，但依赖优异的表面复合性能，短路电流的损失可以通过开路电压得到补偿，转换效率基本不受硅片厚度影响。
  - 3) HJT技术更适合推进硅片薄片化：HJT电池采用低温制程，硅片减薄后不容易发生翘曲、失效的现象，且整体电池结构对称、工艺流程简洁，极大减少破片率，更符合薄片化趋势。

图表 51：硅片薄片化进程预测



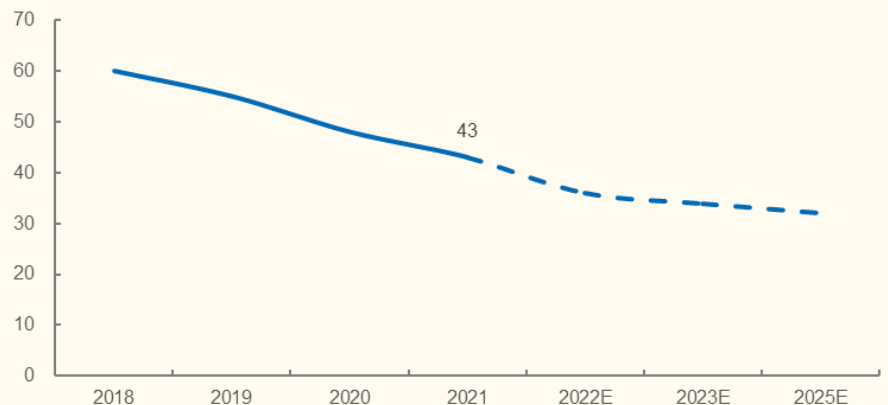
来源：CPIA，国金证券研究所预测

- **细线化是硅片新发展趋势下的必由之路。**
- 目前常用的金刚线以高碳钢为母线，金刚石微粉颗粒以一定的分布密度均匀固结在母线上，形成刀刃起切割作用。金刚线的总线径=母线条径+金刚石微粉颗粒直径，细线化通常是指减小母线条径。
  - 1) 细线化助力降本：硅片切割过程中，金刚线总线径与产生的硅料损耗直接相关，金刚线线径越细，锯缝越小，切割时产生的锯缝硅料损失越少，相同长度硅棒可切割加工的硅片数量越多。此外，金刚线细线化有助于提高单刀有效切割时间，可实现效率和产能的双重提升，

长期来看符合光伏行业的降本趋势。据美畅股份招股说明书，金刚线线径每下降 10%，硅片出片量增加 3%。

- 2) 细线化提升切割力：金刚石微粉颗粒含量相同时，母线线径越小则表面积越小，金刚石颗粒的分布密度越高，更有利于切割；在切割过程中，硅粉也更不容易粘在金刚线上，避免影响后续切割力。
- 3) 细线化提升切片良率：在金刚线线径不变的情况下，硅片的薄片化、大尺寸趋势会降低切片合格率，更薄的硅片在电池和组件端隐裂、碎片等风险也随之提升。若继续使用线径较粗的金刚线进行切割，往复运动伴随的微小震动会对硅片产生较大的应力，划痕深度增大，对硅片内部的损伤也会加大，影响生产良率。相同工艺下，较小的线径和介质颗粒可以减少加工时对硅片表面的损伤、提高产品良率。

图表 52：金刚线母线线径持续下降（ $\mu\text{m}$ ）

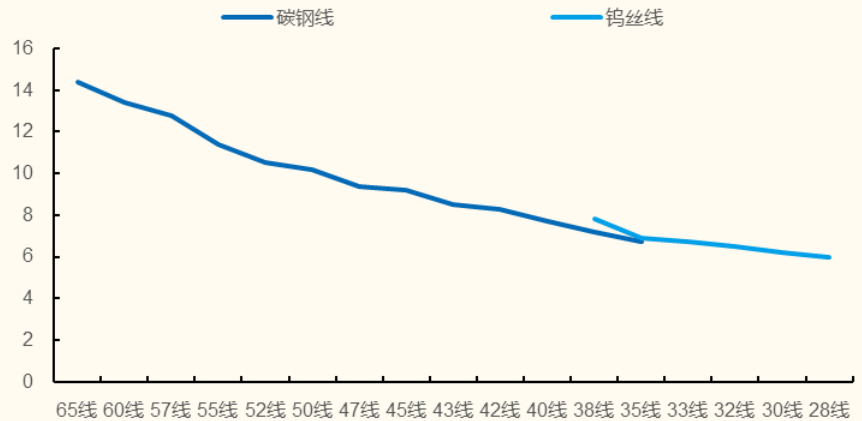


来源：CPIA，国金证券研究所预测

## 7.2 钨丝金刚线细线化空间更大，但钨丝母线成本高、生产难度较大

- **钨丝金刚线特点 1：钨丝强度高、破断力大，断线率相同时线径可比碳丝更细。**
- 金刚线线径与最小破断拉力成正比，线径下降会降低金刚线的拉伸强度，细线径的金刚线在切割过程中更容易被拉断，为避免断线则需要增加金刚线更换频率，提升金刚线耗量。
- 目前行业内金刚线母线基材为高碳钢丝（由黄丝拉制而成），随着金刚线细线化推进，钢丝线所能承受的最小破断拉力也相应下降，目前领先金刚线产品线径已达  $35\ \mu\text{m}$  及以下，现有钢丝母线细线化程度已逐渐接近物理极限，将难以支撑更新规格产品切割所需张力。
- 钨丝具有强度高、耐磨、受拉力不易变形、寿命长等优点，以掺杂钨丝为母线制作的金刚线具有线径细、抗拉强度高、断线率低、使用寿命长的特点，破断拉力值较同规格碳钢线更高，断线率相同时可具有较碳丝金刚线更细的线径。据聚成科技招股书，目前  $30\ \mu\text{m}$ 、 $28\ \mu\text{m}$  等规格的细线径钨丝线产品已成功量产，线径较主流碳丝线（ $34\sim 36\ \mu\text{m}$ ）具有明显优势。在硅片大尺寸、薄片化、细线化的趋势下，钨丝线可有效提高切割效率，是母线基材未来发展方向之一。

图表 53: 金刚线母线线径 ( $\mu\text{m}$ ) 与最小破断力 (N) 的关系



来源: 聚成科技招股说明书, 国金证券研究所

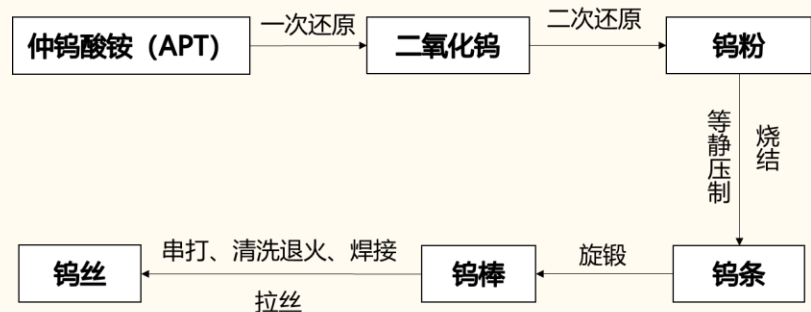
图表 54: 主要金刚线企业钨丝金刚线产品研发及量产进度

公司	钨丝金刚线产品研发及量产进度
聚成科技	截至 2022 年 6 月末, 公司已经成功量产 30 线、28 线等规格的细线径钨丝线产品
岱勒新材	截至 2022 年 11 月, 30~32 $\mu\text{m}$ 钨丝产品批量出货, 28 $\mu\text{m}$ 钨丝产品小批量供应
原轼新材	截至 2022 年 6 月, 使用钨丝母线生产的 31 线产品实现销售, 29 线通过小试
三超新材	截至 2022 年 9 月, 已有小批量钨丝金刚线的销售
高测股份	截至 2022 年 10 月, 自用金刚线主要以 34 $\mu\text{m}$ 金刚线为主, 同时有小批量的钨丝金刚线
美畅股份	截至 2022 年 6 月, 钨丝目前还未批量生产、供货, 更多的是继续深入基础材料的研究

来源: 各公司公告、聚成科技招股说明书, 国金证券研究所

- **钨丝金刚线特点 2: 钨丝可重复利用, 寿命更长。**
- 目前碳丝金刚线多为一次性使用, 但细钨丝可以重复利用。据公开数据, 在单晶硅生产中, 钢丝金刚线使用寿命只有 2~4 次, 而钨丝金刚线使用寿命可以达到 40 次以上。
- **钨丝金刚线特点 3: 钨丝母线拉拔工艺难度高, 生产良率低、价格较高。**
- 钨丝母线生产需要 APT 还原、钨粉压制烧结、钨条旋锻加工、钨棒拉拔等 30 多道工序。拉拔是制备钨丝母线的重要过程, 原料钨棒经拉丝机在高温下多次拉伸至目标线径, 拉拔钨丝的拉拔力随钨丝强度增加而呈线性增加, 由于金属钨的硬度和脆度较大, 拉拔过程中容易出现缩丝和断丝, 拉拔工艺难度大。此外, 钨丝母线生产流程长、合金配方和拉拔工艺控制等难度较大, 钨丝生产成材率较低, 目前行业平均成材率仅 50%~60%, 较碳丝母线具有较大差距 (70%~90%), 生产成材率较低导致钨丝母线价格较高。

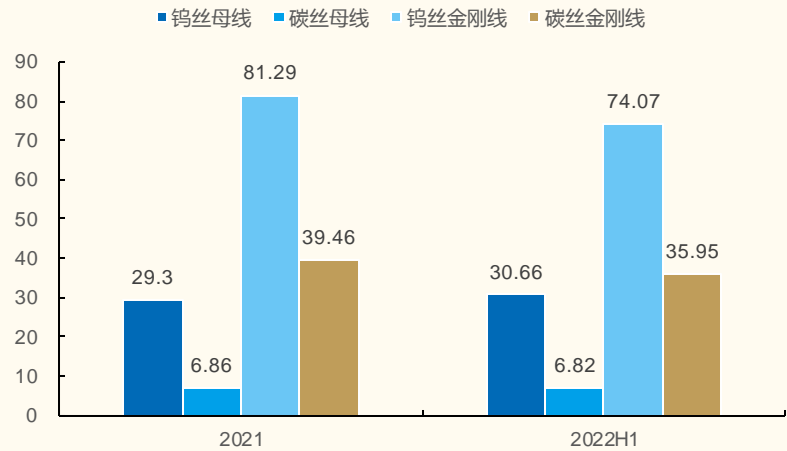
图表 55: 钨丝生产流程



来源: 中钨高新环评报告, 国金证券研究所绘制

- 此外，钨丝的密度约 19.3g/cm<sup>3</sup>，碳钢的密度约 7.9g/cm<sup>3</sup>，同样长度的钨丝重量是碳钢的接近 2.5 倍。据聚成科技，目前钨丝母线价格为碳丝母线价格的 4~5 倍，钨丝金刚线价格为碳钢丝金刚线价格的 2~3 倍。

图表 56: 钨丝、碳丝母线与金刚线产品价格对比 (元/km)



来源：聚成科技招股说明书，国金证券研究所

- 钨丝金刚线特点 4: 钨丝母线产品长度与金刚线生产要求匹配度较低。**金刚线生产所需的钨丝母线长度远超当前钨丝主要应用领域（灯泡等）所需钨丝长度，目前单卷金刚线产品长度约 10 万米（单台机器每日消耗量），而钨丝母线产品长度在 10~20 万米/卷之间，长度难以保持稳定，而 10 万米以下的钨丝母线在金刚线生产时需并线增加换产时间，难以达到金刚线厂家生产要求，导致钨丝母线产品交货不足。

### 7.3 钨丝金刚线经济性测算：钨丝降本为提升经济性核心

- 钨丝金刚线成本较高，目前较碳丝母线尚无经济型。**目前钨丝成本较高，在硅料价格 150 元/kg 的假设下，30 μm 钨丝金刚线综合成本仍较 36 μm 高碳钢丝金刚线高 0.029 元/W，钨丝金刚线尚不具备性价比优势，大规模应用仍需进一步推进降本。

图表 57: 钨丝金刚线性价比测算 (以 182 硅片为例)

		36μm 钢丝金刚线	30μm 钨丝金刚线
参数	金刚线母线线径 (μm)	36	30
	硅料价格 (含税, 元/kg)	150	150
	硅片厚度 (μm)	150	150
边际收益	锯缝厚度 (μm)	52	46
	每 Kg 出片数 (片/kg)	62.5	64.4
	单瓦硅耗 (g/W)	2.15	2.09
	硅料成本 (元/W)	0.29	0.28
	<b>硅料成本节省 (元/W)</b>		<b>0.008</b>
	金刚线母线单价 (元/公里)	6.8	30.0
边际成本	金刚线非母线成本 (元/公里)	15	15
	金刚线生产成本 (元/公里)	22.2	46.5
	金刚线毛利率	35%	35%
	金刚线价格 (元/公里)	34.1	71.5
	金刚线线耗 (米/片)	4.0	4.0
	金刚线消耗量 (公里/kg)	0.49	0.52

	金刚线成本 (元/片)	0.27	0.57
	金刚线成本 (元/W)	0.034	0.072
	金刚线成本增加 (元/W)		0.038
成本差距	单位收益 (元/W)		-0.029

来源：聚成科技招股说明书、草根调研，国金证券研究所测算

- 钨丝金刚线经济性主要受到钨丝线径、钨丝母线价格、硅料价格的影响。
  - 钨丝母线价格：钨丝母线价格下降可直接降低钨丝金刚线成本，提升经济性；
  - 钨丝线径：细线径可降低硅料损耗，增加硅片出片数，提升切片经济性；
  - 硅料价格：硅料价格越高，钨丝细线径增加的出片数带来的经济效益越高，可放大钨丝金刚线切片经济性。
- 考虑到后续硅料价格将逐步趋稳，我们在硅料价格 150 元/kg 时，测算钨丝母线价格和钨丝母线线径对钨丝金刚线切割经济性的影响。从敏感性分析结果看，钨丝线径低于 28 μm、钨丝母线价格下降至 18 元/km 以下，钨丝金刚线可能具备经济性。考虑到钨丝材料线径具有理论极限，钨丝母线价格下降将成为推动钨丝金刚线实现经济性的重要因素。

图表 58：钨丝母线价格和线径对钨丝切割经济性 (元/W) 的敏感性分析

钨丝母线价格 (元/km) / 钨丝母线线径 (μm)	30	27	24	21	18	15	12	9	6
32	-0.032	-0.029	-0.026	-0.022	-0.019	-0.016	-0.013	-0.009	-0.006
31	-0.030	-0.027	-0.024	-0.021	-0.017	-0.014	-0.011	-0.008	-0.004
30	-0.029	-0.025	-0.022	-0.019	-0.016	-0.012	-0.009	-0.006	-0.003
29	-0.027	-0.024	-0.020	-0.017	-0.014	-0.011	-0.008	-0.004	-0.001
28	-0.025	-0.022	-0.019	-0.015	-0.012	-0.009	-0.006	-0.003	0.001
27	-0.023	-0.020	-0.017	-0.014	-0.011	-0.007	-0.004	-0.001	0.002
26	-0.021	-0.018	-0.015	-0.012	-0.009	-0.006	-0.003	0.001	0.004
25	-0.020	-0.017	-0.013	-0.010	-0.007	-0.004	-0.001	0.002	0.005
24	-0.018	-0.015	-0.012	-0.009	-0.005	-0.002	0.001	0.004	0.007
23	-0.016	-0.013	-0.010	-0.007	-0.004	-0.001	0.003	0.006	0.009
22	-0.014	-0.011	-0.008	-0.005	-0.002	0.001	0.004	0.007	0.010
21	-0.013	-0.010	-0.006	-0.003	0.000	0.003	0.006	0.009	0.012
20	-0.011	-0.008	-0.005	-0.002	0.001	0.004	0.008	0.011	0.014

来源：聚成科技招股说明书、草根调研，国金证券研究所测算；按照硅料价格 150 元/kg 测算

#### 7.4 投资建议

- **金刚线**：金刚线母线基材对金刚线生产技术影响不大，目前龙头金刚线企业均具有钨丝金刚线研发布局，钨丝金刚线量产进度较快的企业或可获得阶段性超额利润及市占率提升。建议关注高测股份、美畅股份、岱勒新材等。
- **钨丝母线**：目前光伏钨丝未大规模产业化，随在建钨丝母线产能逐步投产，预计后续钨丝母线大规模量产带来规模效应、钨丝母线企业技术进步提升良率，钨丝母线成本将有下降空间。建议关注光伏钨丝母线扩产规划较快的厦门钨业、中钨高新、翔鹭钨业等。

## 8 热场：N 型热场纯度要求更高

- 热场系统主要用于单晶硅长晶、拉制过程，在高温设备中起到支撑、隔热或导流作用。热场的设计很大程度上决定了动态热场中各温度梯度的变化及气体在炉室内的流动，好的热场有利于改善晶体品质、提高结晶效率。
- N 型硅片少子寿命、氧碳含量要求更高，对热场材料也提出了更高的要求：1) 纯度高：P 型单晶要求热场灰分 < 200ppm，目前 N 型单晶要求 < 100ppm；2) 部分客户会对比较敏感的金属元素提出要求。目前领先热场企业通过配套纯化设备具备生产半导体热场（灰分 < 30ppm）的能力，可充分满足 N 型产品技术要求。
- 此外，在直拉单晶硅过程中，硅料熔融会产生硅蒸气和熔融硅飞溅，造成碳/碳热场材料的硅化侵蚀，碳/碳热场材料的力学性能和使用寿命会受到影响。碳化硅涂层由于其优异的抗热震性能、耐磨性能等特点成为碳/碳热场材料表面涂层防护的首选。致密的 CVD 碳化硅涂层可有效阻止微孔石墨材料内部的污染物到达表面，提高热场性能及使用寿命，同时可以减少杂质进入硅熔料中，提升 N 型硅片的纯度。目前，高纯涂层制备技术已取得突破，可以改善石墨材料涂层易脱落的问题。

图表 59：碳化硅涂层的制备技术

制备技术	原理	优点	缺点
包埋法	用混合粉体包裹碳碳复合材料，进行热处理，发生反应形成涂层	单一过程，尺寸变化小，适用任何纤维增强结构，与基体结合好	高温下易使纤维受损，碳碳基体力学性能下降；均匀性难控制
浆料涂覆法	混合涂层材料和黏结剂，均匀涂刷在基体表面，烘干后在惰性气氛中高温烧结，得到涂层	简单易操作，涂层厚度易控制	涂层与基体间结合强度较差，抗热震性差，均匀性较低
化学气相反应法	在一定温度下蒸发固体硅料成硅蒸气，与基体中的碳原位反应生成碳化硅	气氛均匀，简单易操作，可通过改变参数控制涂层厚度	试样受炉内摆放位置影响，硅蒸气压达不到理论均匀度，导致涂层厚度不均匀
化学气相沉积法	以碳氢化合物作为气源，高纯 N <sub>2</sub> /Ar 作为载气，将混合气体引入反应炉，碳氢化合物在一定的温度和压力下反应，在碳碳复材基体表面生成固体薄膜	涂层的密度、纯度可控；适用形状复杂的工件；可以控制产物的晶体结构、表面形貌	沉积速率低、工艺过程复杂、生产成本高，可能存在涂层缺陷
包埋法	用混合粉体包裹碳碳复合材料，进行热处理，发生反应形成涂层	单一过程，尺寸变化小，适用任何纤维增强结构，与基体结合好	高温下易使纤维受损，碳碳基体力学性能下降；均匀性难控制

来源：国家材料环境腐蚀平台、国金证券研究所

- 投资建议：N 型硅片对热场纯度要求更高，具备低成本获得高纯度热场产品技术的热场企业有望受益。建议关注金博股份、天宜上佳。

## 9 投资建议

- 新型电池技术加速渗透，催生辅材、耗材产生新的市场机遇，相关产品及技术领先的企业或将获得市占率及盈利能力的快速提升。建议关注核心原材料供应充足、技术领先的企业。
- 胶膜：建议关注 POE 树脂供应充足、POE 胶膜工艺领先的企业。随 N 型组件推广，未来 1-2 年 POE 树脂供给紧张，胶膜厂商的 POE 树脂保供能力将成为胶膜行业的关键竞争要素，POE 树脂供应保障充足、POE 胶膜工艺掌握领先的企业具有较强的竞争优势。此外，转光胶膜、丁基胶等新型封装方案或将逐步提升渗透率，新品研发实力强的企业或将快速提升份额及盈利。推荐福斯特、海优新材，建议关注信义储电、赛伍技术、明冠新材、激智科技等。

- **EVA 树脂:** 随硅料供给释放推动下游组件需求快速提升, 2023 年 EVA 树脂或出现阶段性紧缺, 目前 EVA 树脂价格处于历史低位区间, 预计 2023 年 EVA 树脂价格及盈利将迎来明显修复, 推荐联泓新科, 建议关注东方盛虹、荣盛石化等。
- **POE 树脂:** 目前国内领先企业已启动 POE 树脂及上游  $\alpha$  烯烃、茂金属催化剂的研发及量产进程, 若推进顺利, 相关企业业绩将有明显增量, 建议关注万华化学、鼎际得、卫星化学、岳阳兴长、东方盛虹等。
- **玻璃: 推荐具备 TCO 玻璃量产能力的企业。** 钙钛矿是目前业内研发热度较高的下一代光伏技术方向, TCO 玻璃作为钙钛矿组件的重要配件, 市场空间广阔, 具备 TCO 玻璃量产能力的企业或将充分受益钙钛矿产业化进程。推荐金晶科技, 建议关注信义光能、福莱特、亚玛顿等。
- **焊带:** 焊带产品技术升级趋势明显, 圆形焊带、异形焊带产品随电池技术及图形化工艺同步加速迭代, 未来 2-3 年将加速放量, 建议关注受益于新技术加速迭代带来新产品放量的头部焊带厂商宇邦新材。
- **接线盒:** 随行业大尺寸、大功率推进, 接线盒额定电流要求逐步提升, 分体式接线盒、芯片接线盒优势逐步凸显, 相关工艺掌握领先的企业或将获得超额收益及市占率提升, 此外, 分布式占比提升或助力集成优化器及断路器的智能接线盒推广。推荐通灵股份, 建议关注快可电子。
- **坩埚/高纯石英砂:** N 型产品放量提升石英坩埚耗量, 或将进一步加剧 2023 年高纯石英砂及石英坩埚供需紧张, 扩产积极、产品品质优势明显的石英坩埚企业有望充分受益。推荐欧晶科技, 建议关注石英股份、晶盛机电、天宜上佳。
- **金刚线:** 金刚线母线基材对金刚线生产技术影响不大, 目前龙头金刚线企业均具有钨丝金刚线研发布局, 钨丝金刚线量产进度较快的企业或可获得阶段性超额利润及市占率提升。建议关注高测股份、美畅股份、岱勒新材等。
- **钨丝母线:** 目前光伏钨丝未大规模产业化, 随在建钨丝母线产能逐步投产, 预计后续钨丝母线大规模量产带来规模效应、钨丝母线企业技术进步提升良率, 钨丝母线成本将有下降空间。建议关注光伏钨丝母线扩产规划较快的厦门钨业、中钨高新、翔鹭钨业等。
- **热场:** N 型硅片对热场纯度要求更高, 具备低成本获得高纯度热场产品技术的热场企业有望受益。建议关注金博股份、天宜上佳。

**图表 60: 核心标的估值表 (元/股、亿元, 股价截至 2023 年 1 月 19 日收盘)**

环节	证券代码	名称	货币	股价	总市值	2021年归母 净利	2022E		2023E		2024E		2023/24年 复合增速
							归母净利润	PE	归母净利润	PE	归母净利润	PE	
胶膜	603806.SH	福斯特	CNY	73.10	973.36	21.97	24.68	39	36.25	27	46.44	21	37%
	688680.SH	海优新材	CNY	220.28	185.08	2.52	3.05	61	7.74	24	10.29	18	84%
	8328.HK	信义储电*	HKD	5.20	40.82	0.63	-	-	-	-	-	-	-
	603212.SH	赛伍技术*	CNY	32.75	144.26	1.70	3.24	45	5.60	26	8.39	17	61%
	688560.SH	明冠新材*	CNY	52.53	105.74	1.23	2.07	51	5.02	21	7.50	14	91%
	300566.SZ	激智科技*	CNY	25.65	67.65	1.19	0.56	121	2.27	30	3.34	20	144%
EVA/POE 树脂	003022.SZ	联泓新科	CNY	37.35	498.83	10.91	13.50	37	16.70	30	20.12	25	22%
	000301.SZ	东方盛虹*	CNY	14.67	969.86	45.44	39.80	24	107.73	9	131.73	7	82%
	002493.SZ	荣盛石化*	CNY	12.41	1,256.58	128.24	81.13	15	134.85	9	176.19	7	47%
	600309.SH	万华化学*	CNY	95.85	3,009.45	246.49	183.78	16	230.82	13	275.77	11	22%
	603255.SH	鼎际得*	CNY	50.14	66.92	1.32	1.17	57	1.98	34	2.75	24	53%
	002648.SZ	卫星化学*	CNY	17.59	592.60	60.07	48.18	12	75.88	8	98.11	6	43%
	000819.SZ	岳阳兴长*	CNY	23.15	70.91	0.64	0.79	90	2.77	26	4.34	16	135%
TCO玻璃	600586.SH	金晶科技	CNY	11.11	158.74	13.07	8.66	18	11.51	14	14.48	11	29%
	0968.HK	信义光能	HKD	10.06	894.96	49.24	50.99	18	77.00	12	100.88	9	41%
	601865.SH	福莱特	CNY	36.27	706.92	21.20	26.27	27	39.57	18	53.55	13	43%
	6865.HK	福莱特玻璃	CNY	23.50	817.38	21.20	26.27	31	39.57	21	53.55	15	43%
	002623.SZ	亚玛顿*	CNY	31.20	62.11	0.54	1.44	43	2.78	22	4.04	15	67%
焊带	301266.SZ	宇邦新材*	CNY	82.53	85.83	0.77	1.23	70	2.44	35	3.47	25	68%
接线盒	301168.SZ	通灵股份*	CNY	69.15	82.98	0.80	1.39	60	3.14	26	5.26	16	95%
	301278.SZ	快可电子*	CNY	104.89	67.13	0.65	1.28	52	2.23	30	3.37	20	62%
石英坩埚/ 高纯石英砂	001269.SZ	欧晶科技	CNY	102.49	140.85	1.33	2.36	60	4.51	31	6.61	21	67%
	603688.SH	石英股份*	CNY	125.67	454.02	2.81	9.19	49	20.66	22	30.64	15	83%
	300316.SZ	晶盛机电*	CNY	66.61	871.74	17.12	27.51	32	37.22	23	45.21	19	28%
	688033.SH	天宜上佳*	CNY	23.09	129.62	1.75	2.49	52	4.64	28	6.37	20	60%
金刚线/钨 丝	688556.SH	高测股份	CNY	80.48	183.44	1.73	7.89	23	10.63	17	13.26	14	30%
	300861.SZ	美畅股份	CNY	51.35	246.49	7.63	13.74	18	16.16	15	18.50	13	16%
	300700.SZ	岱勒新材*	CNY	37.46	45.53	-0.78	1.18	39	2.65	17	3.81	12	80%
	600549.SH	厦门钨业*	CNY	21.21	300.86	11.81	17.61	17	24.27	12	30.19	10	31%
	000657.SZ	中钨高新*	CNY	15.69	168.75	5.28	6.15	27	8.62	20	10.90	15	33%
	002842.SZ	翔鹭钨业*	CNY	8.19	22.74	0.25	0.26	87	0.34	67	0.46	49	33%
热场	688598.SH	金博股份	CNY	242.00	227.66	5.01	6.44	35	9.10	25	12.08	19	37%
	688033.SH	天宜上佳*	CNY	23.09	129.62	1.75	2.49	52	4.64	28	6.37	20	60%
平均值								43		23		17	65%
中位数								39		23		16	62%

来源: Wind、国金证券研究所 (带“\*星号”公司采用 wind 一致盈利预期, 其余公司采用国金证券盈利预测)

## 10 风险提示

- 需求低于预期的风险: 疫情对电力需求及其增速的负面影响超预期, 导致即使光伏成本已大幅下降, 并成为最便宜的电源, 但装机动力仍然不足以支撑需求持续快速增长; 配置储能是未来电源结构中光伏实现高比例渗透的必经之路, 如果储能成本下降速度不及预期或电池储能安全性未能获得认可, 则有可能限制中期光伏在能源结构中的渗透率提升速度。
- 产业链价格竞争激烈程度超预期: 在明确的双碳目标背景下, 新能源行业的产能扩张明显加速, 并出现跨界资本大量进入的迹象, 可能导致部分环节因产能过剩程度超预期而出现阶段性竞争格局和盈利能力恶化的风险。

- 国际贸易环境恶化风险：随着光伏在各国能源结构中的比例持续提升，中国作为在光伏制造业领域一家独大的存在，仍然可能面临其他国家更严苛的贸易壁垒限制（尽管这种壁垒可能导致该国使用清洁能源的成本上升）。

**公司投资评级的说明：**

买入：预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 15%以上；  
增持：预期未来 6-12 个月内上涨幅度在 5%-15%；  
中性：预期未来 6-12 个月内变动幅度在 -5%-5%；  
减持：预期未来 6-12 个月内下跌幅度在 5%以上。

**行业投资评级的说明：**

买入：预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；  
增持：预期未来 3-6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%-15%；  
中性：预期未来 3-6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%-5%；  
减持：预期未来 3-6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。

**特别声明:**

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告版权归“国金证券股份有限公司”（以下简称“国金证券”）所有，未经事先书面授权，任何机构和个人均不得以任何方式对本报告的任何部分制作任何形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级（含C3级）的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

**上海**

电话：021-60753903

传真：021-61038200

邮箱：researchsh@gjzq.com.cn

邮编：201204

地址：上海浦东新区芳甸路1088号

紫竹国际大厦7楼

**北京**

电话：010-85950438

邮箱：researchbj@gjzq.com.cn

邮编：100005

地址：北京市东城区建内大街26号

新闻大厦8层南侧

**深圳**

电话：0755-83831378

传真：0755-83830558

邮箱：researchsz@gjzq.com.cn

邮编：518000

地址：中国深圳市福田区中心四路1-1号

嘉里建设广场T3-2402