



光大证券
EVERBRIGHT SECURITIES

TOPCon提升银浆用量，LECO推动银浆工艺革新 ——光伏新技术系列（三）

作者：光大环保电新 殷中枢、黄帅斌

2024年1月23日

证券研究报告

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

- LECO简述：有力助推TOPCon
- LECO浆料的奥秘
- TOPCon渗透率快速提升
- 投资建议
- 风险分析



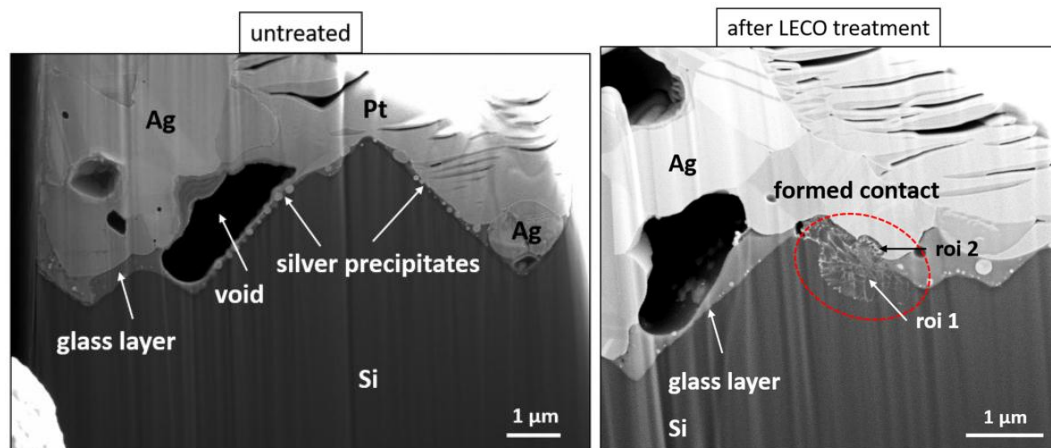
表1：现有激光辅助烧结技术总结

	官宣提效水平	官宣时间	官方名称	其他效果
帝尔激光	0.2%以上	2023.8.14	激光诱导烧结技术（LIF）	2023.9.13已获得100GW订单
英诺激光	0.2%以上	2023.9.13	电池栅线激光冲击强化技术（LSP）	
海目星激光	0.2%以上	2023.9.14	激光辅助快速烧结技术（LAS）	2023.9.22已出货
大族激光	0.2%以上	2023.9.15	激光优化接触工艺（LOC）	
捷泰科技	0.3%左右	2023.9.14	捷泰科技J-SE+	
中来股份		2023.9.13	中来独特注入金属化技术（JSIM）	提高组件抗湿热能力，助力单玻封装
德龙激光	0.25%以上，有望达到0.4%以上	2023.9.19	德龙激光超级光注入技术（SLI）	组件抗湿热衰减得到显著改善
奥特维	0.3%以上	2023.9.25	奥特维激光增强金属化设备（LEM）	2023年10月份获得订单

资料来源：各公司官方微信公众号、光大证券研究所整理

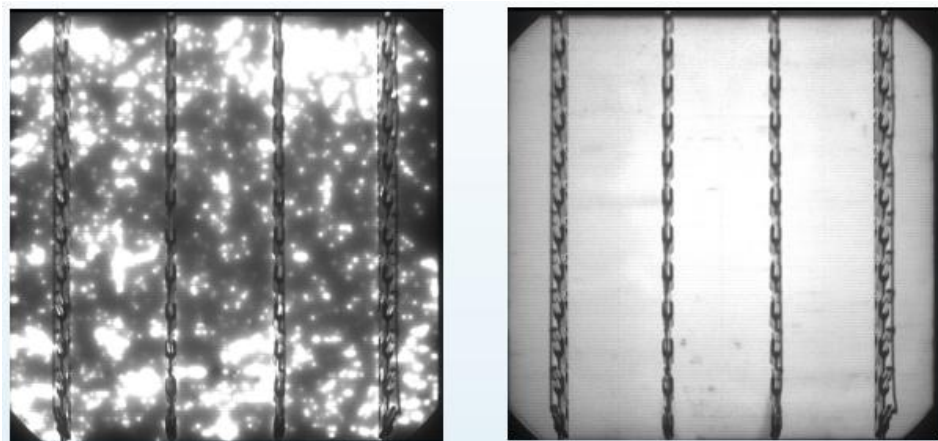


图1：LECO 处理前后电池表面变化



资料来源：Stephan Großer 《Microscale Contact Formation by Laser Enhanced Contact Optimization》

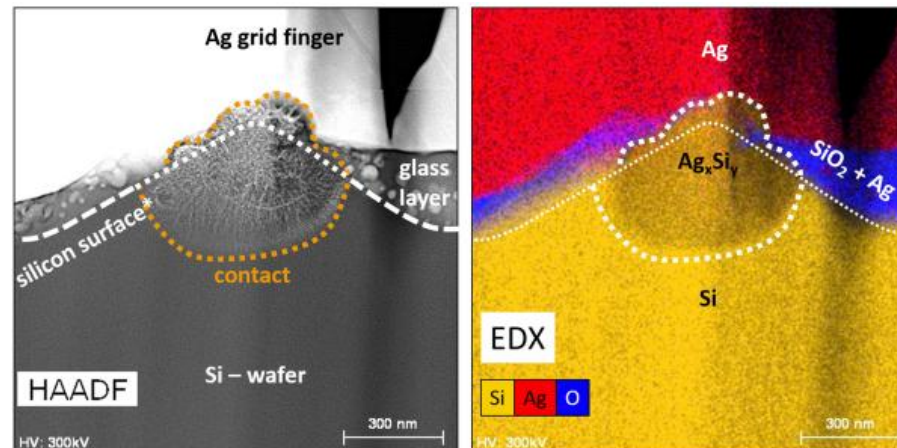
图3：LECO 处理前后电池外观变化



请务必参阅正文之后的重要声明

资料来源：HERAEUS

图2：LECO 处理后电池表面元素表征



资料来源：Stephan Großer 《Microscale Contact Formation by Laser Enhanced Contact Optimization》

LECO所形成的接触点多位于金字塔顶峰附近。图1中，兴趣区1（roi 1）：硅内发现丝状明亮材料对比区，表明银渗入了硅中；兴趣区2（roi 2）：银栅线内出现了偏暗的区域，说明掺入了硅。进一步的表征说明，兴趣区1中银含量小于20%，可以验证LECO诱导硅和银的相互扩散，形成局部亚微米大小的点接触。



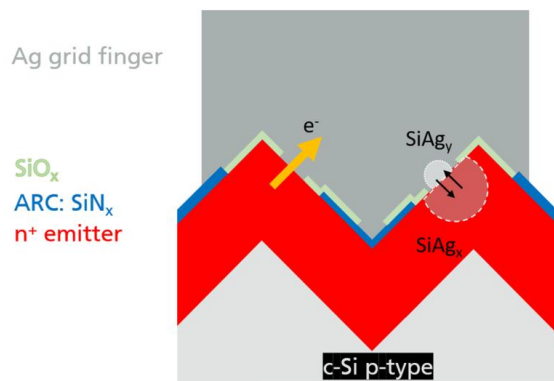
激光辅助烧结，本质上是利用激光的高度能量集中和可控特性，将高温烧结过程中钝化层侵蚀和接触形成这两个关键步骤分开，从而达到对烧结过程的进一步精准调控。

从原理上来看，激光形成的电流沿着低接触电阻路径传输，引发银硅互扩散，从而降低接触电阻；而整个烧结过程的持续时间与载流子寿命匹配，激光过后迅速停止，从而实现原有钝化层的最大限度保留。

图6：LECO 的三个本质特点

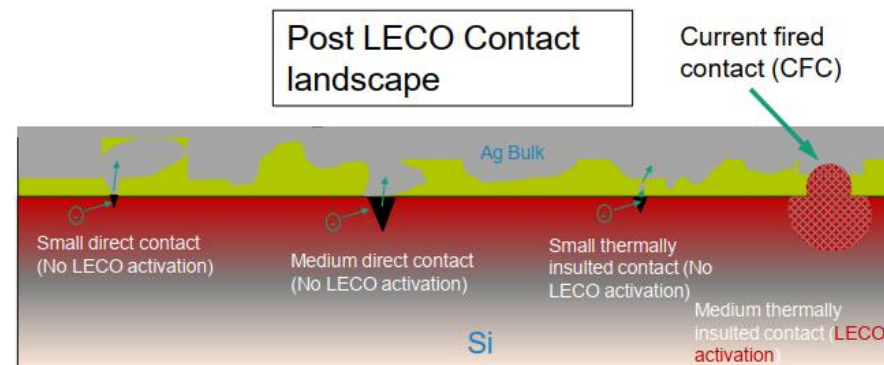


图4：LECO 的反应模型



资料来源：Stephan Großer 《Microscale Contact Formation by Laser Enhanced Contact Optimization》

图5：LECO 后电池与银浆接触表面



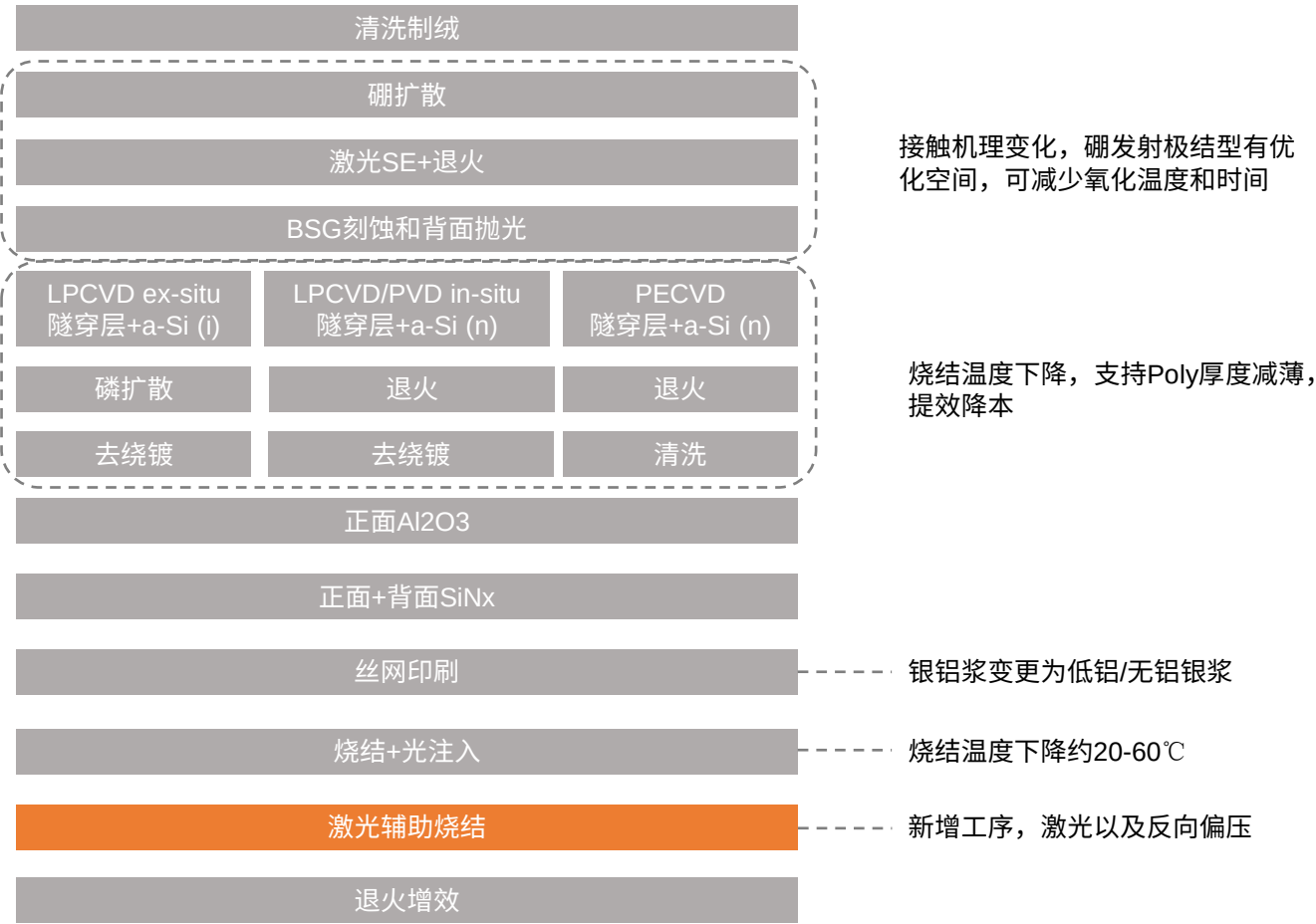
资料来源：Hannes Höffler 《Understanding current paths and temperature distributions during 'Laser Enhanced Contact Optimization' (LECO)》

LECO 的三个本质特点

- (1) 电化学效应：外部高强度载流子（电子）注入，促进 Ag^+ 还原；
- (2) 热效应：促进 Ag-Si 互扩散，形成局部超低电阻的 AgSi_x 合金化接触；
- (3) 定点突破：亚微米级烧结点，减少钝化层的大面积无效损伤。



图7：激光辅助烧结技术原理及影响



➤提效机理

- LECO技术利用低腐蚀银浆叠加低温烧结提升电池开压
- 激光的加入解决银浆的接触问题

➤优势

提效0.2%+

- 无铝/低铝银浆替代原有的银铝浆料，有望解决TOPCon组件湿热测试后的功率衰减问题，从而提升TOPCon单玻比率

➤投资分析

- 单GW投资目前约500万，投资回收期不足1年

➤推广进度

- 各大厂商均有引进，部分头部企业已经开始批量量产
- 24Q1有望成为TOPCon标准工艺

➤目前问题

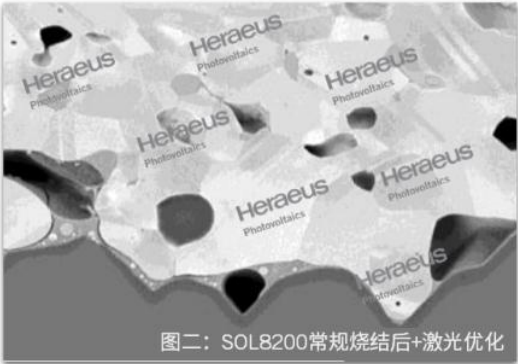
- 无铝/低铝银浆提效明显，但是电池端醋酸测试显示效率衰减过高问题，仍需银浆体系，工艺参数调整配合

资料来源：InfoLink Consulting

- 回顾LECO：有力助推TOPCon
- **LECO浆料的奥秘**
- TOPCon渗透率快速提升
- 投资建议
- 风险分析



图8：LECO 处理前后电池表面变化



图一：常规烧结钝化层面积破坏过大造成开压低；
图二：贺利氏SOL8200系列浆料烧结后，栅线下大面积钝化层得以保留，再通过激光优化打通导电通路

资料来源：贺利氏光伏微信公众号

图9：LECO 处理前后电池表面变化

	N-Type-Poly-Si (Front side)		N-Type-Poly-Si (Rear side)		N-Type-Poly-Si (Poly sides)	
	标准银浆	LECO 专用银浆	标准银浆	LECO 专用银浆	标准银浆	LECO 专用银浆
Voc(mV,calculated)	691.1	701.0	691.1	695.4	691.2	706.8
Voc Delta vs Control(mV)		9.9		4.3		15.7
Efficiency(%,calculated)	22.81	23.14	22.81	22.95	22.81	23.33
Efficiency Delta vs Control(%)		0.33		0.14		0.52

资料来源：HERAEUS

2019年贺利氏推出LECO专用浆料SOL8100，主要用于均匀发射极电池。配合LECO设备，提效水平约在0.15%。

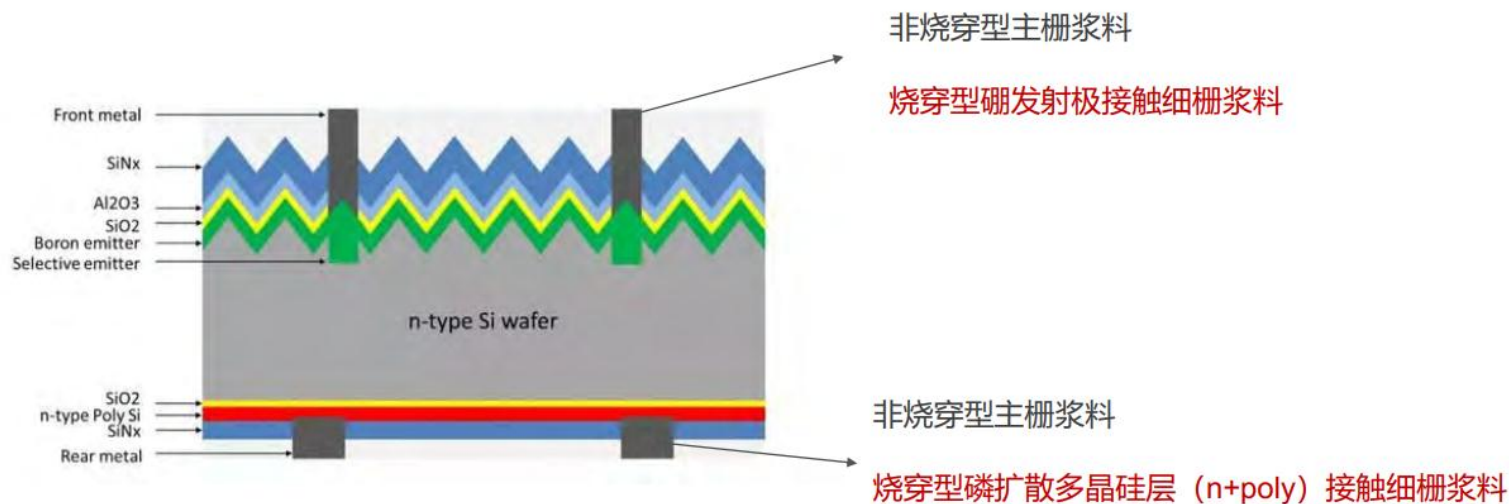
随后，贺利氏光伏推出了贺利氏SOL8200系列产品。该系列通过控制浆料的侵蚀性，并将其与激光后处理工艺相结合，成功将银电极烧结过程中的钝化层侵蚀和接触形成这两个关键步骤分开，在尽可能高地保持开路电压的同时，降低接触电阻。

贺利氏SOL8200系列在常规烧结过程中成功减少了钝化层的侵蚀；虽然几乎不能接触，EL测试显示大面积黑片，但经由激光优化处理产生的有效导电通路，能成功增强接触，并通过设备参数优化达到极佳效率。

从机理角度来看，贺利氏SOL8200系列的配方设计调整减少了烧穿区域，通过增强作用，打通了一些之前烧结过程中未通的的电子传输通道，从而显著提升了接触效果。在不同电池结构上，贺利氏SOL8200系列配合激光优化技术，可实现0.1%-0.2%的效率提升。



图10：TOPCon电池银浆需求



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》

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。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11：银浆烧结中的电化学反应

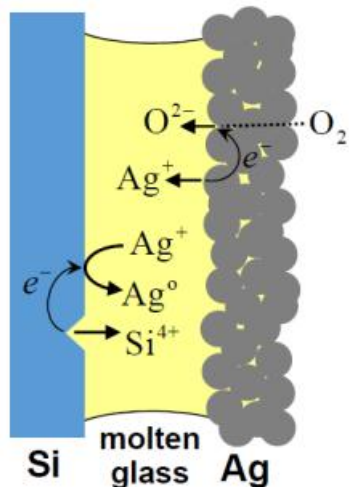
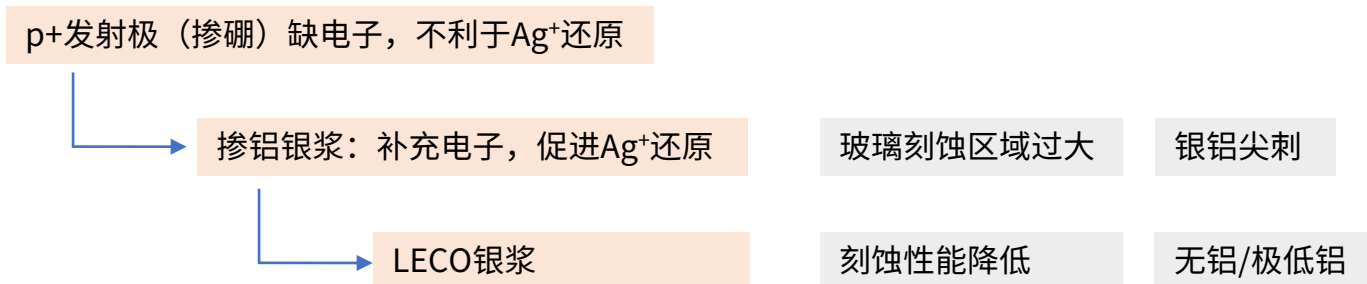


图12：正面细栅LECO银浆的要求



资料来源：Hee-Soo Kim 《Electrochemical nature of contact firing reactions for front-side Ag metallization of crystalline Si solar cells》

资料来源：光大证券研究所绘制

常规银铝浆的痛点：

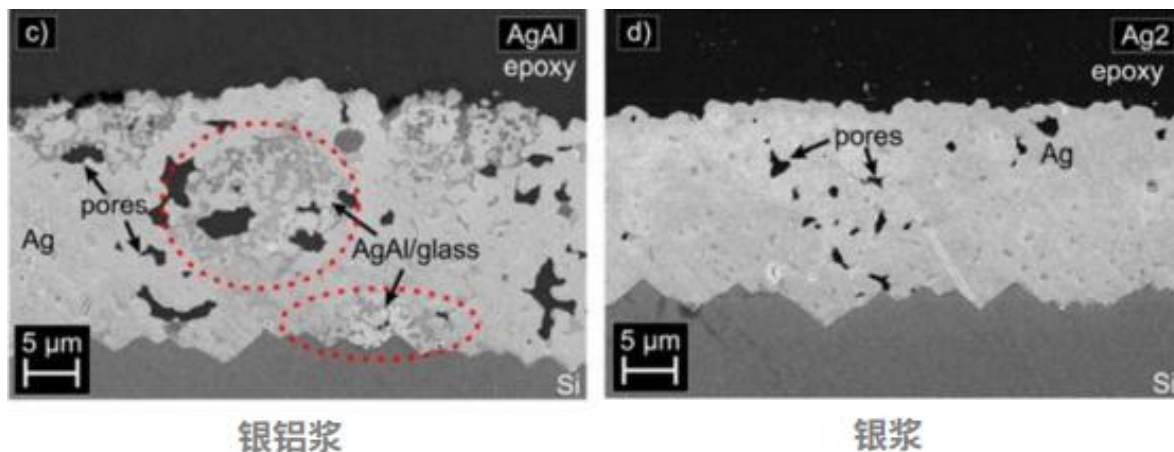
- (1) 在完成钝化层的刻蚀后，无法在所有刻蚀通道均形成高质量的接触位点，反而造成钝化的过度破坏；
- (2) 同时大尺寸银铝尖刺也造成了较高的金属复合。

利用激光增强烧结原理，创新升级浆料设计思想：实现钝化损伤与欧姆接触解耦。

- (1) 创新玻璃化学极大程度减少对于钝化层损伤，从而大幅增强Uoc；
- (2) 利用激光载流子注入的电化学效应和热效应，促进Ag+还原形成银微晶，并形成高质量AgSix合金化接触→恢复/增强欧姆接触。

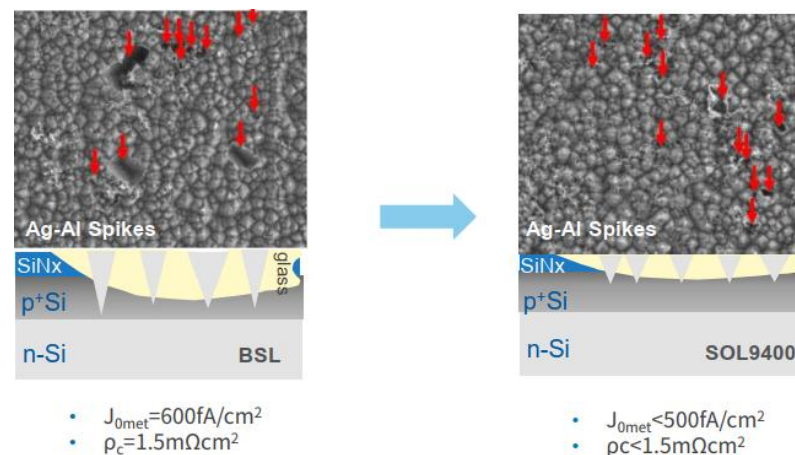


图13：银铝浆与银浆对比



资料来源：帝科股份《迈向“TOPCon”基高效电池金属化新时代》

图14：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》

铝粉的引入，一方面残留的AgAl(Si)相直接弱化了栅线导电性，另一方面烧结后再栅线本体内造成大量空洞，影响栅线致密度，导致线电阻大幅上升。因此，结合网版技术进步，快速推进细线印刷，进一步释放低线电阻潜力，进一步增强细线密栅工艺。

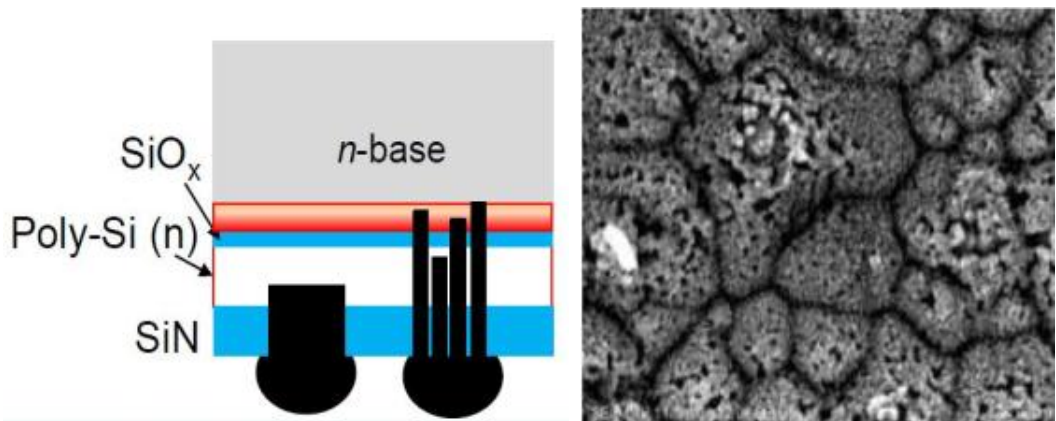
案例：

- (1) 帝科股份：DK72E协同激光增强烧结工艺第一阶段综合提效0.3-0.5%，开启TOPCon电池 $U_{oc}>735mV$ 新时代。
- (2) 索特：PV3NL在烧结阶段对钝化层的破坏较常规银铝浆更加轻微，帮助电池获得 V_{oc} 的大幅度提升。

背面细栅：与n-poly接触

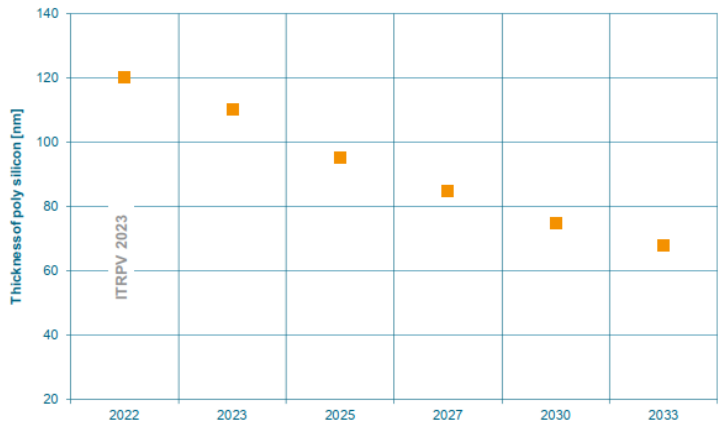


图15：背面细栅需控制烧穿深度



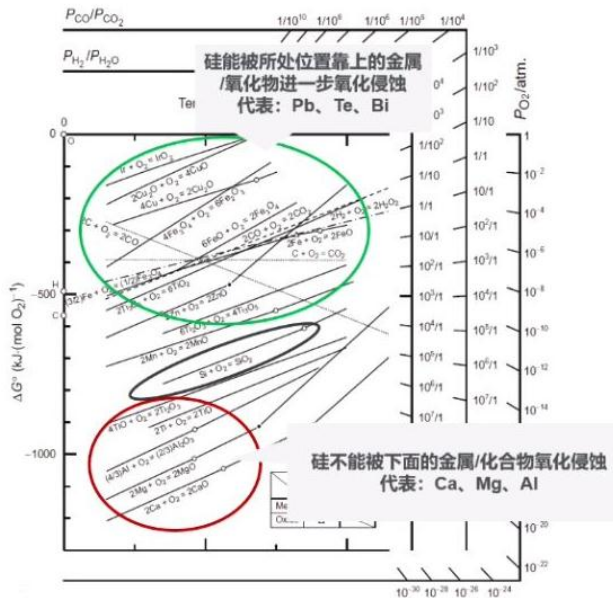
资料来源：宋登元《接触钝化（TOPCon）技术：一种最适合光伏产业升级的高效电池技术路线》

图16：背面poly硅厚度下降预期



资料来源：ITRPV

图17：不同金属对硅的侵蚀效果



资料来源：贺利氏《TOPCon/XBC高效晶硅太阳能电池的金属化提效方向》

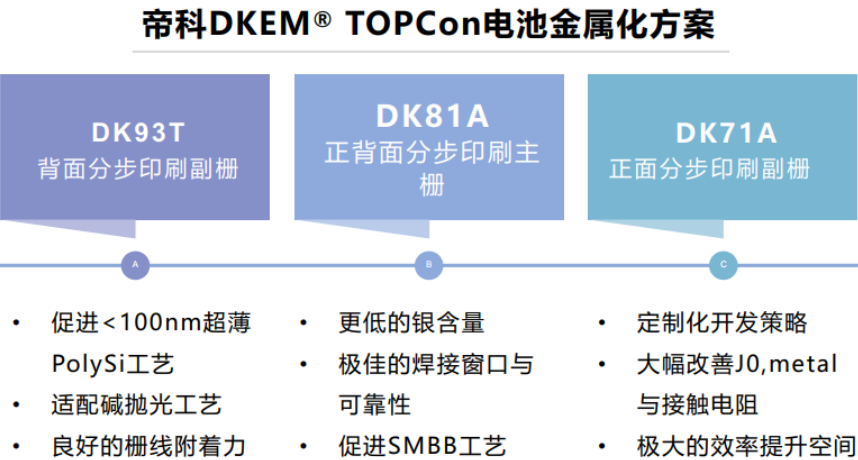
TOPCon背面细栅银浆的任务：面向抛光面，需控制烧穿深度，特别是在poly层减薄的趋势下，如何与薄poly层形成配合至关重要。

玻璃粉在烧结过程中主要有两个作用：

- 1) 刻蚀硅片表面的SiNx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18: TOPCon银浆组合（帝科）



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》

正背面主栅浆料属于非烧穿型浆料，主要起连接细栅、汇聚电流、辅助焊接作用。在LECO工艺下，银浆烧结温度存在50℃左右的降幅。
如何在更低的烧结温度下实现拉力稳定，是主栅面临的主要任务。

案例：

- (1) 索特：宽的工艺窗口，可配合正面激光工艺做-20~70℃大幅度降温的同时，保证拉力稳定；
- (2) 帝科股份：针对激光增强烧结工艺大幅降低烧结温度造成的正、背面主栅可焊性与拉力降低的风险，帝科DKEM®针对性开发的DK82E专用主栅浆料通过优化无机配方，在大幅降温条件下实现优异的初始拉力及老化拉力。

长期壁垒：TBC、Bi-TOPCon——与p-poly的接触



图19：TOPCon银浆组合（帝科）



资料来源：帝科股份《迈向“TOPCon”基高效电池金属化新时代》

从TOPCon到TBC、Bi-TOPCon（双面poly），结构方面的变化主要在于p-poly层。

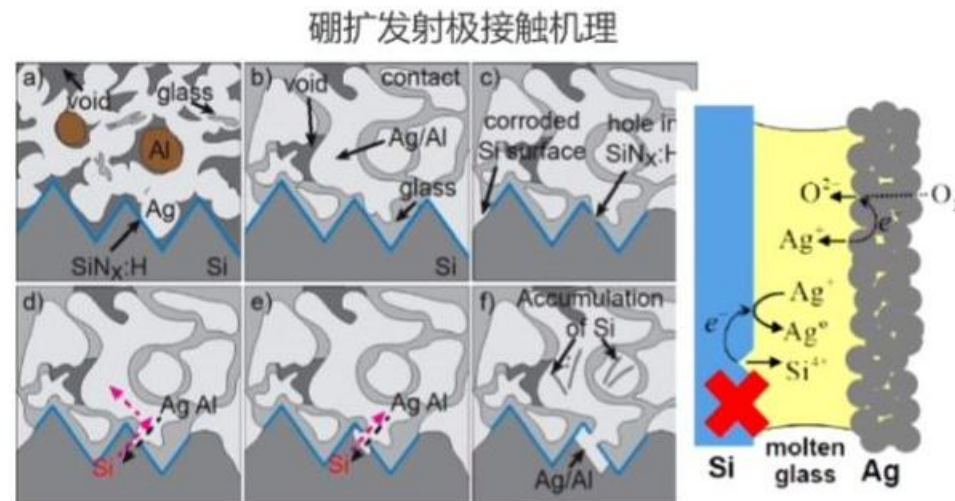
p-poly金属化面临两大挑战：（1）银离子较难在缺电子表面还原形成银晶导电通路；（2）铝刺尺寸>>poly硅厚度。尤其在Bi-TOPCon中，p-poly的薄化诉求更强烈。

案例：

采用正面n-Poly finger的背结双面Poly，正面绒面结构+均匀的AlOx/SiNx钝化层使得欧姆接触难度相对降低，但绒面+减薄n-Poly的需求提高了复合控制的要求。从长期提效角度考虑，在双面Poly结构上，持续缩窄Polyfinger宽度的诉求对细线化提出更高要求。

帝科DKEM® DK95B/DK73K结合TOPCon背面薄Poly经验及BC背面p-Poly方案，通过无机配方优化可以在保证接触的前提下，降低金属复合，配合客户实现TOPCon迭代升级。DK73K p-Poly银浆在常规烧结工艺下已经取得了与银铝浆p+发射极相当的接触电阻，和显著更低的金属复合。基于p-Poly目前的金属复合与接触水平（*j0, m = 60-250 fA/cm2, pc = 2.0-5.0 mOhm.cm2），帝科DKEM®专门开发的DK73E p-Poly激光增强烧结专用银浆正在快速迭代中，重点关注接触改善和薄Poly应用。

图20：硼扩散发射极接触机理



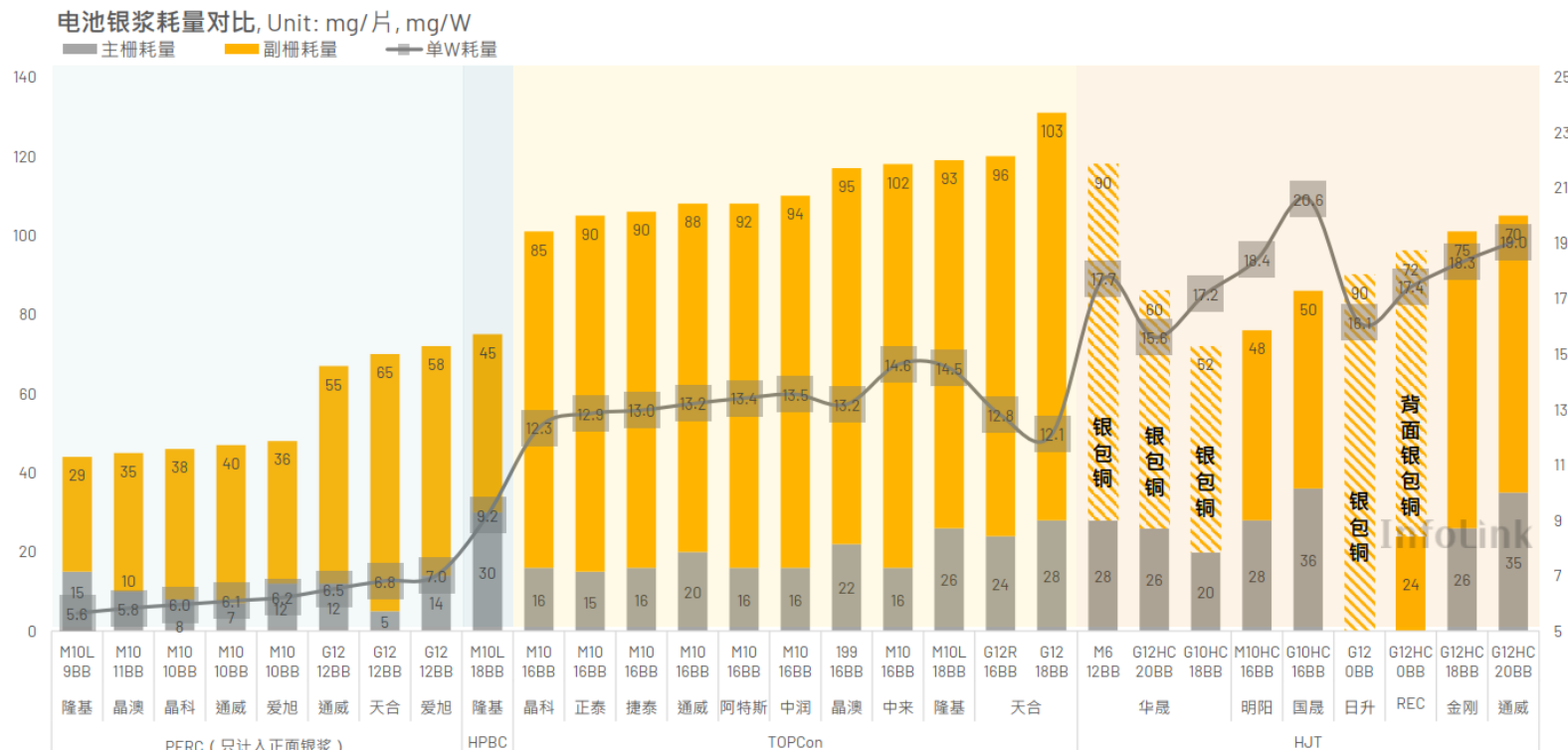
资料来源：贺利氏《TOPCon/XBC高效晶硅太阳能电池的金属化提效方向》

- 回顾LECO：有力助推TOPCon
- LECO浆料的奥秘
- **TOPCon渗透率快速提升**
- 投资建议
- 风险分析

TOPCon渗透率快速提升

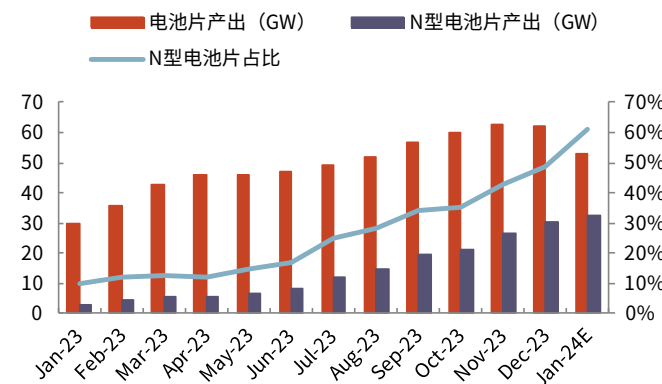


图21：电池银浆耗量对比，单位：mg/片，mg/W



资料来源：InfoLink Consulting

图22：2024年1月N型电池产出占比超60%



资料来源：SMM

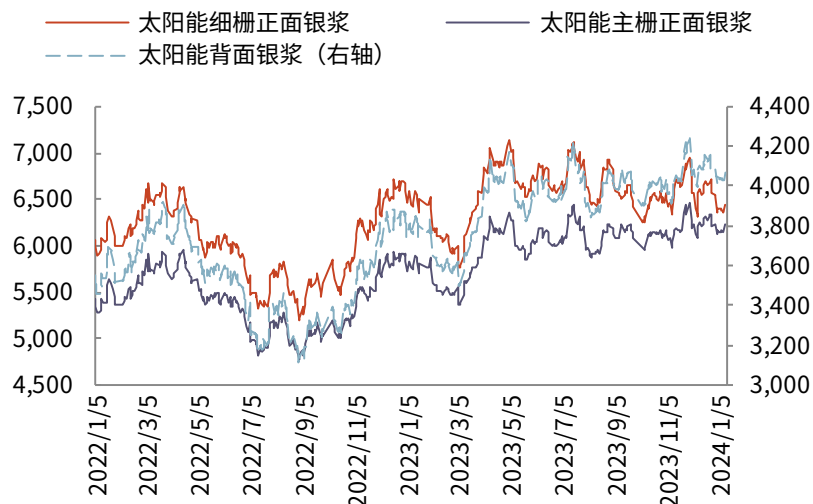
根据SMM数据，2023年光伏电池排产量逐月上行，全年产量突破590GW。电池片厂家争相布局N型电池生产线，四季度电池产能快速释放，过剩矛盾突出，尤其P型市场需求在12月腰斩，加剧了电池老产能淘汰。这造成2023年N型电池月度产出比例从年初10%提升至12月的48.7%，并在2024年1月预计提升至61.2%。2023年全年来看，Topcon电池占比23.62%，HJT电池占比2%不到，N型BC电池占比1%出头。

从当前电池银浆耗量来看，N型电池银浆单耗较P型电池有大幅提升。因此，随着电池产出端由P型到N型的快速切换，银浆需求将受到拉动。

请务必参阅正文之后的重要声明



图23：光伏银浆日度价格（元/吨）



资料来源：SMM；截至2024.1.15

图24：伦敦现货白银价格（美元/盎司）

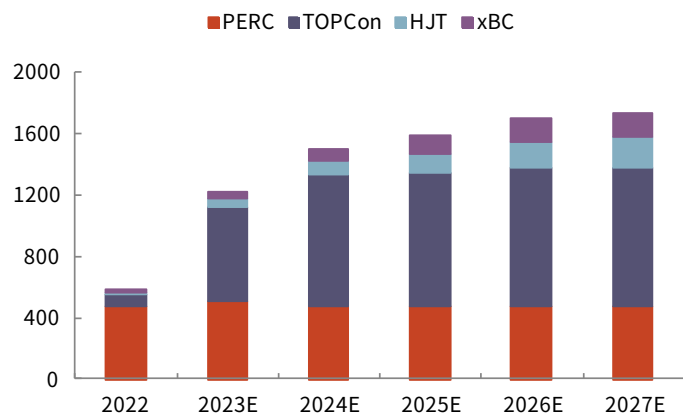


资料来源：；截至2024.1.17

根据帝科股份公告，公司的PERC银浆加工费相对稳定，相较于PERC银浆，TOPCon银浆的加工费要高40%-50%，HJT银浆加工费会比PERC和TOPCon更高。激光辅助烧结与新型导电浆料强强耦合的金属化增强方案，对TOPCon电池的转化效率的提升非常突出，将进一步大幅提升TOPCon电池的竞争力，对应导电银浆产品的技术壁垒与产品溢价也会有所提升。目前，公司在激光辅助烧结工艺专用导电浆料产品上处于行业领先地位，正积极与行业领先客户不断协同创新，共同推进相关技术及产品的快速大规模量产。

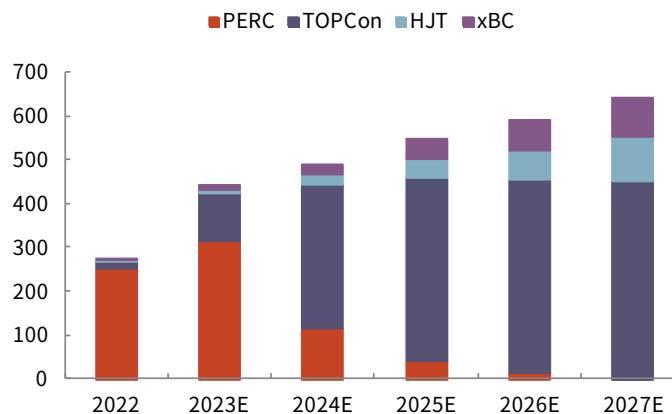


图25：电池片产能情况



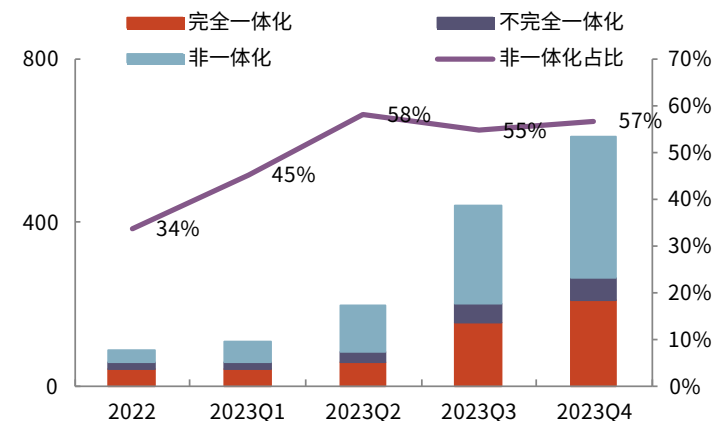
资料来源：InfoLink Consulting；单位：GW

图26：电池片出货情况



资料来源：InfoLink Consulting；单位：GW

图27：TOPCon银浆组合（帝科）



资料来源：InfoLink Consulting；单位：GW

随着TOPCon产能快速释放，N型电池已成为主流技术。据InfoLink Consulting统计，2023Q4预计TOPCon产能将达到613GW，其中非一体化产能348GW，占比57%。2024年TOPCon电池片出货占比将超过70%，较2023年大幅提升。

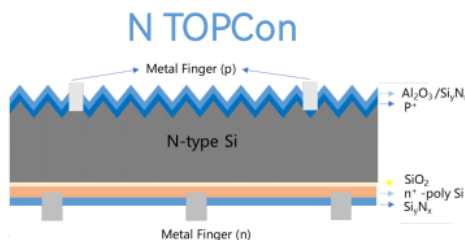
- 回顾LECO：有力助推TOPCon
- LECO浆料的奥秘
- TOPCon渗透率快速提升
- **投资建议**
- 风险分析



图28: TOPCon电池效率提升路线图

✓ 效率提升方案:

1. 正面光学优化;
2. 正面发射极优化;
3. 背面接触电阻优化;



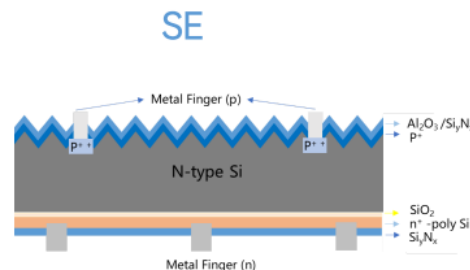
Eff: > 25%

► 技术要点及机会点:

- a. 稳定的超薄隧穿层;
- b. 均匀致密的Poly-Si;
- c. 陷光模型优化;

✓ 效率提升方案:

1. 正面接触电阻降低;
2. 正面复合降低;



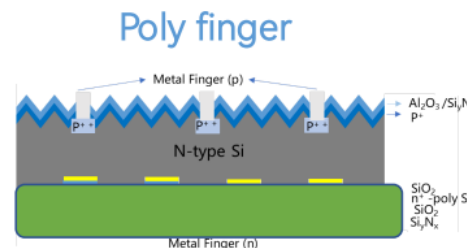
Eff: > 25.5%

► 技术要点及机会点:

- a. 无损SE技术;
- b. 高方阻下高B扩均匀性;

✓ 效率提升方案:

1. 背面光学优化;
2. 背面接触电阻优化;



Eff>26%+双面率提升

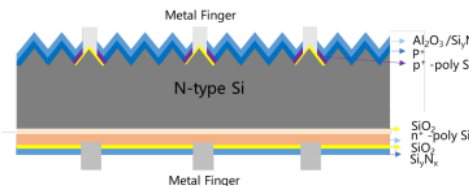
► 技术要点及机会点:

- a. 薄Poly结构;
- b. 图形化;

✓ 效率提升方案:

1. 正面复合降低;
2. 栅线图形优化;

双面Poly



Eff: > 26.5%

► 技术要点及机会点:

- a. 正面Poly结构导入 (local/full) ;
- b. 薄Poly结构;
- c. 图形化;

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》



量的层面，由于N型电池银浆单耗较P型电池有大幅提升。因此，随着电池产出端由P型到N型的快速切换，银浆需求将受到拉动；利的层面，LECO专用浆料与激光辅助烧结耦合，对TOPCon电池的转化效率的提升非常突出，对应导电银浆产品的技术壁垒与产品溢价也会有所提升。

短期来看，P型电池产能加速退出市场，N型电池产出占比在2024年有望超预期，从而拉动银浆需求进一步上行；长期来看，银浆配方伴随着TBC、Bi-TOPCon的技术路径演变，仍将保持其独特的壁垒。

即市场存在三个预期差：（1）TOPCon淘汰PERC的速度不是渐进式，而是快速淘汰；（2）LECO银浆/银浆的壁垒是长期的，将伴随着整个电池技术的演进；（3）由于加工费提升，银浆总价值量的提升幅度大于需求量的提升幅度。

展望2024年，组件价格下跌可能对辅材的价格盈利压制。但决定银浆超额收益的因素有原材料、工艺壁垒、供需格局等。LECO专用浆料可以大幅提升TOPCon电池竞争力，有助于提升阶段性盈利稳定性。

金属化的过程，本质上是钝化与接触的再平衡，与电池技术升级（核心是钝化膜的演变）紧密相关。展望未来，TOPCon电池占比的加速提升和LECO专用银浆的推出，将在量和利两个方面推动银浆行业景气度抬升。而头部厂家通过与客户进行协同创新，竞争壁垒有望得到延续。建议关注头部国产银浆厂商帝科股份、聚和材料。

- 回顾LECO：有力助推TOPCon
- LECO浆料的奥秘
- TOPCon渗透率快速提升
- 投资建议
- 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。

衷心 感谢

光大证券研究所



电新环保研究团队

殷中枢（首席分析师）

📄 执业证书编号：S0930518040004
☎ 电话：010-58452071
✉ 邮件：yinzs@ebscn.com

黄帅斌（分析师）

📄 执业证书编号：S0930520080005
☎ 电话：0755-23915357
✉ 邮件：huangshuaibin@ebscn.com

和霖（分析师）

📄 执业证书编号：S0930523070006
☎ 电话：021-52523853
✉ 邮件：helin@ebscn.com

郝骞（分析师）

📄 执业证书编号：S0930520050001
☎ 电话：021-52523827
✉ 邮件：haoqian@ebscn.com

陈无忌（分析师）

📄 执业证书编号：S0930522070001
☎ 电话：021-52523693
✉ 邮件：chenwuji@ebscn.com

资讯

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

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曾与、不与、也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

行业及公司评级体系

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股市场基准为沪深300指数；香港市场基准为恒生指数；美国市场基准为纳斯达克综合指数或标普500指数。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）成立于1996年，是中国证监会批准的首批三家创新试点证券公司之一，也是世界500强企业——中国光大集团股份公司的核心金融服务平台之一。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。