

金属化降银探索不停，无主栅技术方兴未艾

——光伏设备系列报告

成本是制约异质结等新型光伏电池产业化推进的重要因素，目前银浆作为主要的金属化浆料在电池成本占比中仍然较高，各类低银金属化方案不断涌现，无主栅技术有望降低30%-40%的银耗，目前产业端、设备端各厂商都在积极布局。本文将对无主栅技术的工艺、设备、产业化现状进行阐述，分析技术发展背后的投资机会。

金属栅线持续优化，主栅“更多”且“更细”是发展方向
电极金属化是光伏电池生产的关键工序，光生载流子必须通过金属化形成的导电电极实现收集。晶硅电池电极包括主栅和细栅，细栅收集光生载流子，主栅收集细栅汇集后的电流经由焊带导出电池片。我们将主栅的发展趋势总结为“更多”且“更细”，即增加主栅数量且减小主栅宽度。增加主栅数量能够缩短电流在细栅的传输距离，同时减少每条主栅承载的电流，降低功率损耗；减小主栅宽度能够减少遮光，提高光能利用率，同时减少银浆耗量，但是过细的栅线会导致电阻率增加造成电阻损失，因此栅线宽度设计仍需需在遮光和导电之间取得平衡。

无主栅技术采用焊带汇集细栅电流并实现电池互连，进一步促进降本增效

MBB、SMBB 工艺便是将主栅做多且做细的重要实践。有厂商延续这样的思路，提出了无主栅技术，即采用铜丝焊带替代原有银主栅直接汇集细栅电流并实现电池片之间的互连，焊带数量较主栅数量进一步增加，且宽度进一步变细，助力进一步实现降本增效。从降本角度来说，无主栅技术从浆料等方面实现了成本的下降，预计 HJT 电池银浆单耗将从 18mg/W 下降至 12mg/W；从增效角度来说，无主栅技术使光生载流子的传输距离下降，有效降低串联电阻，实现功率损耗降低；同时能够减少电池表面遮挡，组件功率提升约 1%。

SmartWire 专利受限，国内主流设备商聚焦点胶焊接方案

根据焊带与电池片互连方式不同，目前可将无主栅技术分为 SmartWire 方案、点胶焊接方案及其他，各方案对组件设备提出全新要求。①**SmartWire 方案**：内嵌铜线于聚合物薄膜，随后通过层压实现铜线与细栅的电气互连，该方案下电池片串接由全新线膜布设机实现，焊接由层压设备实现，该方案会造成较为严重的光学遮挡且复合膜成本较高，且目前存在专利限制，产业化进展较慢。②**点胶焊接方案**：目前大致存在两种路线选择，根据焊接与点胶的先后可分为先焊与后焊。该方案核心环节包括通过点胶体将焊带粘结于电池片，以及焊带与细栅直接接触实现电气互连。该方案无需用膜，较 SmartWire 更具经济性，胶水承担拉力功能，焊带与细栅焊接承担导电功能，对应串焊设备需发生变化。③**其他无主栅方案**：包括无主栅叠瓦方案、Multi Busbar Connector 技术、Merlin 技术等。

专用设备

维持

强于大市

吕娟

lyujuan@csc.com.cn

021-68821610

SAC 执证编号:S1440519080001

SFC 中央编号:BOU764

夏纾雨

xiashuyu@csc.com.cn

SAC 执证编号:S1440521120002

发布日期：2022 年 12 月 08 日

市场表现



相关研究报告

- 2022.09.02 【中信建投机械设备】为什么这么多企业开始做钙钛矿电池？——光伏设备系列报告
- 2022.08.23 【中信建投机械设备】钙钛矿电池稳定性如何了？——光伏设备系列报告
- 2022.07.02 【中信建投机械设备】降本增效步履不停，HJT 招标或将密集启动——光伏设备系列报告
- 2022.06.30 【中信建投专用设备】道阻且长，行则将至——光伏设备系列报告
- 2022.04.20 【中信建投专用设备】拥抱 TOPCon 激光 SE 大时代——光伏设备系列报告
- 2022.04.11 【中信建投专用设备】激光加工设备在光伏行业应用前景广阔——光伏设备系列报告
- 2022.03.05 【中信建投专用设备】专用设备：2022 年硅料硅片设备需求可能继续超预期

无主栅技术处于产业化早期，组件、设备厂商积极布局

国内无主栅技术研发持续推进，近年来已有多款无主栅组件推向市场，如赛拉弗导电胶互连型无主栅组件（2016）、爱康科技无主栅异质结组件（2022），中能创 210 无主栅异质结组件（2022）。此外，国内主流设备厂商也积极布局无主栅设备，迈为股份量产型设备正在中试，预计 2023 年上半年推向市场；奥特维无主栅设备正在客户端验证；先导智能已有量产型无主栅串焊设备推出。

投资建议：无主栅技术是实现新型高效电池降银的重要降本手段，延续了光伏电池将栅线做多且做细的发展思路，将通过降低串联电阻、减少电池片表面遮挡等实现提效，通过取消传统主栅实现银浆耗量的节约，已有众多设备厂商积极布局，预计 2023 年将逐步走向量产。**建议关注在无主栅技术方面具有前瞻布局的设备企业：迈为股份、奥特维、先导智能。**

风险提示：

- ①**无主栅电池及组件研发不及预期：**无主栅电池及组件为光伏行业的新技术，工艺成熟是一个多维度均达标的系统工程，量产取决于包括辅材在内的多因素，由于行业技术创新和新产品的开发受各种客观条件的制约，存在失败的风险。此外新技术、新产品研发成功后也存在不能得到市场的认可或者未达到预期经济效益的风险。
- ②**光伏行业投资不及预期：**近年来光伏行业投资、扩产持续火热，若行业出现周期性或政策性波动，行业增长势头放缓，将不利于新技术的研发及产业化推进。

目录

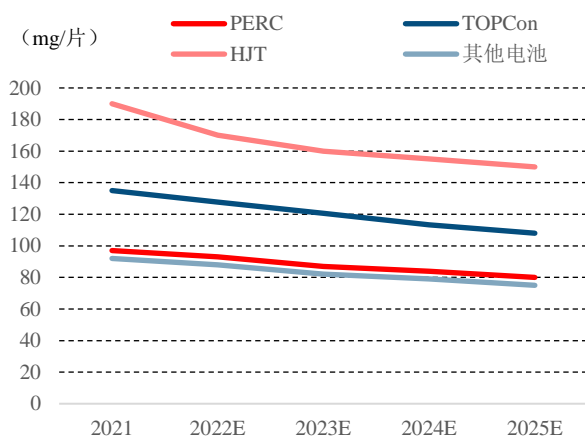
一、银浆降本迫在眉睫，无主栅技术渐行渐近	1
1.1 成本是制约高效电池产业化发展的重要因素，降银是光伏电池降本的关键	1
1.2 金属栅线优化探索不停，主栅“更多”且“更细”是发展方向	1
1.3 无主栅技术采用焊带汇集细栅电流并实现电池互连，进一步促进降本增效	3
二、SmartWire 专利受限，国内厂商积极布局点胶焊接方案	6
2.1 SmartWire 方案：导电网版结合聚合物薄膜实现电气互连，需更换全新设备	6
2.2 点胶焊接方案：新型串焊实现焊带与细栅互连，点胶工序增加拉力	8
2.3 其他无主栅方案：多种类型无主栅方案均有研发开展	10
2.3.1 无主栅叠瓦方案——无主栅与叠瓦结合的高密度电池组件	10
2.3.2 Multi Busbar Connector 技术——铜线直接铺设在电池表面，保留红外焊接	11
2.3.3 Merlin 技术——网印分段细栅的电池片技术，需要特定铜网耗材及铺设设备	12
三、国内厂商已发布无主栅组件产品，行业尚处于产业化早期	13
3.1 赛拉弗：2016 年推出导电胶互连型无主栅组件	13
3.2 爱康科技：2022 年 8 月推出无主栅异质结组件	13
3.3 中能创：已实现无主栅异质结电池 100MW 量产	14
四、国内设备厂商积极布局无主栅技术，探索银浆降银方案	15
4.1 迈为股份：采用先焊工艺，预计 2023 年完成中试并推出量产设备	15
4.2 先导智能：已发布量产型无主栅串焊设备	16
4.3 奥特维：无主栅设备正在验证中	16
五、投资建议	17
六、风险分析	17

一、银浆降本迫在眉睫，无主栅技术渐行渐近

1.1 成本是制约高效电池产业化发展的重要因素，降银是光伏电池降本的关键

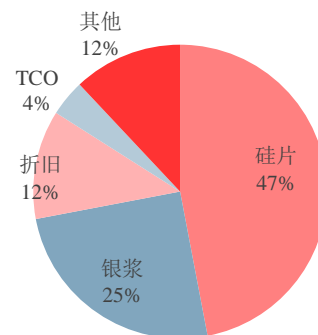
成本是阻碍异质结等高效电池产业化发展的重要因素，其中金属化浆料成本在非硅成本中占比最高，降低银浆成本势在必行。根据 CPIA 数据，2021 年 P 型电池正银、背银消耗量分别约为 71.7、24.7mg/片；TOPCon 电池片正面银（铝）浆（95%银）、背银平均消耗量分别为 75.1、70mg/片；异质结电池双面低温银浆消耗量约 190mg/片，较 P 型电池银浆消耗量高约 93.6mg/片。此外，异质结电池由于具有非晶硅薄膜层，通常需要采用烧结温度在 250℃ 以下的低温银浆，避免非晶硅薄膜向晶体转变，低温银浆价格显著高于高温银浆，导致 HJT 电池的银浆成本占比显著高于 PERC。从 HJT 的成本电池构成来看，我们参考 DKEM 于 2022 年 1 月发布的数据，银浆成本占比高达 25%，仅次于硅片成本。

图表1：各类电池银浆耗量情况及预测（mg/片）



资料来源：CPIA，中信建投

图表2：HJT 电池成本中银浆占比较高（2022 年 1 月）



资料来源：DKEM，中信建投；注：银耗尚未得到显著优化

降低银浆耗量的方式可分为两种思路：①降低浆料用量绝对值，通过工艺改进尽可能在金属化环节减少银浆的使用或者损耗，比如将栅线变细，提高高宽比等，对应实现路径包括 SMBB、网版图优化、钢板印刷、激光转印等；②通过用贱金属替代银，达到减少、未来甚至是不需要银浆的目的，对应的实现路径是使用贱金属代替传统银浆，包括银包铜、电镀铜等。

无主栅技术结合以上两种思路实现金属化降银。目前金属电极仍以银电极为主，2021 年市场占比达到 99.9%；由于银价格较高，部分企业及研究机构正积极开发利用降低银浆单耗的技术。无主栅电池采用焊带汇集细栅电流并实现电池互连，焊带宽度小于传统主栅宽度；此外，无主栅电池通常采用铜焊带，原有银电极主栅被完全取代，实现了贱金属代替传统银主栅的功能。

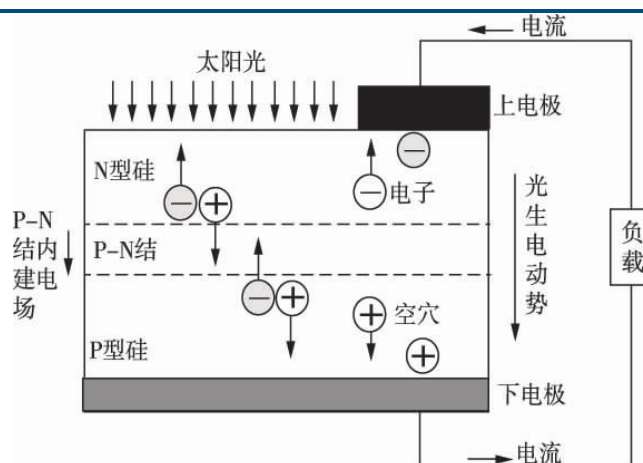
本报告将分别从无主栅的定义、分类、国内下游客户进展及相关设备厂商展开介绍。

1.2 金属栅线优化探索不停，主栅“更多”且“更细”是发展方向

晶硅太阳能电池的工作原理为光生伏特效应，太阳光照射半导体 P-N 结，P-N 结两端产生电压，即光生电

压。太阳光照射到电池表面，吸收具有能量的光子在内部产生非平衡状态的电子-空穴对。由于 P-N 结内建电场的作用，电子与空穴将分别向 N、P 区移动，P-N 结附近形成与内建电场方向相反的光生电场。抵消 P-N 结内生电场剩余部分使 P、N 区分别带有正负电荷形成光生电动势，外接负载后电流将从 P 区流出，通过负载再从 N 区流入。

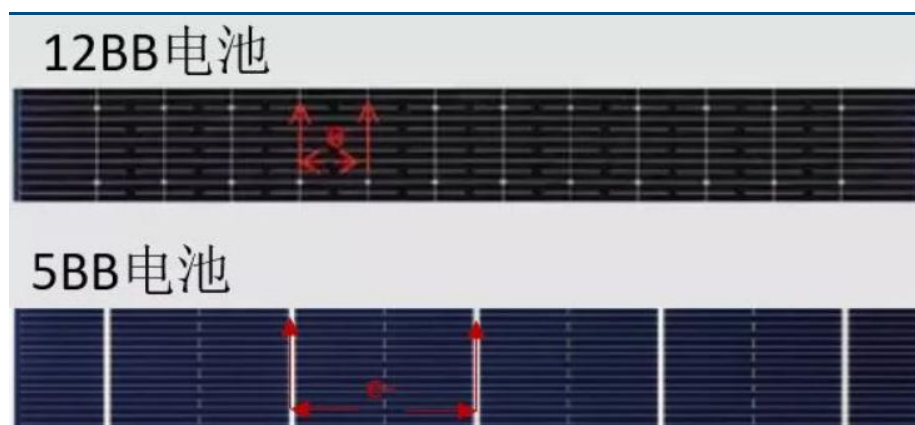
图表3： 太阳能电池工作原理



资料来源：光伏发电原理及发展现状，中信建投

晶硅电池内部电流形成后主要通过金属电极导出，金属电极可分为主栅和细栅。金属化是太阳能电池生产工序中一个关键步骤，光生载流子必须通过金属化形成的导电电极才能获得有效收集，晶硅电池的电极包括主栅和细栅，主栅用于汇流、串联，细栅用于收集光生载流子，主栅和细栅分布在太阳能电池片表面，起到光生电流的收集和传输作用。光生电流通过细栅汇集，主栅收集细栅汇集后的电流经由焊带导出电池片，并与其他电池片相连接，最终焊带连接于接线盒上，形成能够单独使用的光伏组件产品。因此，在主栅总宽度更细、不影响光能利用率的前提下，提高主栅的数量最直观的作用是缩短光生电流传输至主栅线的路径，电流在细栅上的路径越短，消耗的功率就越小，相应组件整体功率输出就越高，同时可有效降低组件工作温度。

图表4： 光生电流经细栅汇集流入主栅，主栅数量增加可缩短电流在细栅上的传输路径



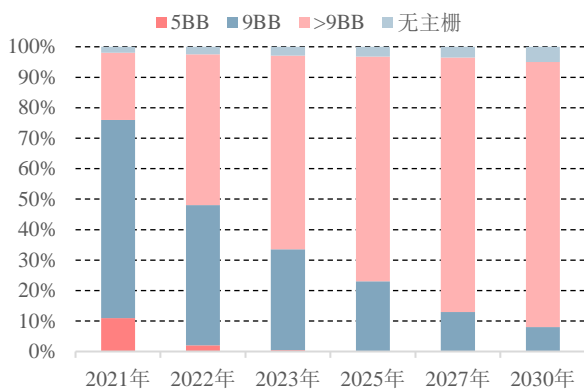
资料来源：林洋能源，中信建投

MBB 技术已成为行业主流，SMBB 技术是对 MBB 的升级。目前主流的是 MBB (Multi-Busbar, 多主栅) 技术为 9-12BB，即单个电池片上印刷 9-12 条主栅，多主栅已成为行业主流技术；SMBB (Super Multi-Busbar, 超多主栅) 技术是对 MBB 技术的进一步升级，一般为 15-25BB，即单个电池片上印刷有 15-25 条主栅。多主栅技

术发展的核心思路是“更多”且“更细”，即增加主栅数量且减小主栅宽度。

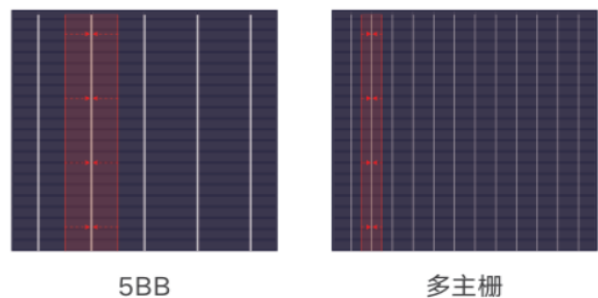
增加主栅数量能够减少功率损耗、提高组件可靠性。从效率角度来看，为了提升电池组件效率，应当优化金属化电极以减少遮挡和阻抗损失，由 MBB 向 SMBB 转变也正是技术发展方向之一，两者的本质都是为了缩短了电池片主栅之间的细栅长度，减小细栅电阻，因此细栅宽度可以更窄。主栅数的增多可以减少光生电流传输到主栅线的路径，消耗功率减少，对应组件输出功率就越高。从成本角度来看，多主栅对电池片隐裂、断栅、破裂等容忍度更高，在组件的持续工作当中造成的损失更小；同时，焊接后焊带在电池片上的分布更为均匀，对电池片的作用力分布更均匀，分散了电池片封装应力，进而可以提高组件可靠性。

图表5：各种主栅技术市场占比变化趋势



资料来源：CPIA，中信建投

图表6：多主栅技术可缩短细栅的电流传导距离



资料来源：天合光能，中信建投

主栅数量的增加需与主栅宽度的减小齐头并进，减小主栅宽度能够推动光能利用率提升和银耗的降低。从遮光角度看，栅线越细越能更大程度地利用光能，太阳光从电池正面进入电池，正面的金属电极会遮挡一部分硅片，这部分照在电极上的光能也就无法转变成电能，只增加主栅数量势必导致总遮光面积的增大，从而降低光能利用率，因此，同时通过栅线变细的方式来减小总遮光面积，有助于提高光能利用率；从银耗角度看，细栅和主栅优化可以使得整体银浆耗量下降，显著降低银浆成本，这是降低其非硅成本的核心因素。

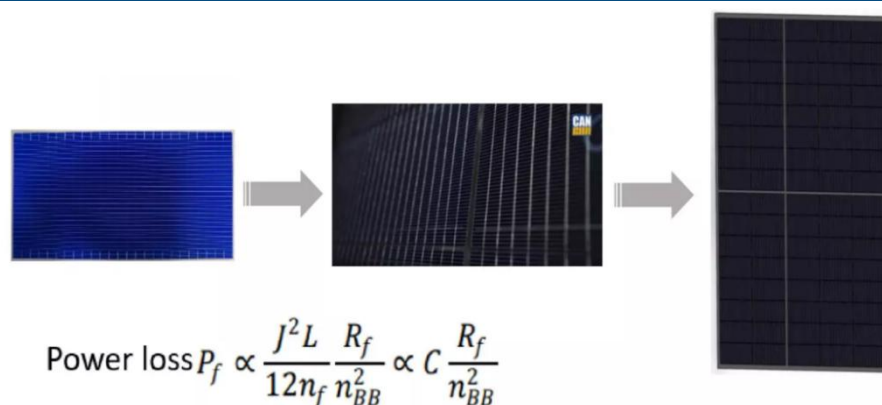
但主栅宽度设计受到导电性及焊接等问题的限制。①主栅和细栅的设计需要在遮光和导电之间取得平衡，从导电角度看栅线并非越细越好。栅线的作用在于传导电流，从电阻率的角度分析，栅线越细则导电横截面积越小，栅线持续变细又会进一步增大电阻损失。②工艺端，太细的主栅会造成焊接困难，主栅宽度下降使得与焊带的连接出现问题，无法保证焊接拉力。

1.3 无主栅技术采用焊带汇集细栅电流并实现电池互连，进一步促进降本增效

沿着多主栅的发展思路进一步增加主栅数量并降低主栅宽度，部分厂商提出采用铜丝焊带直接连接细栅汇集电流并实现电池互连，取消了电池正面传统的主栅，这种技术便是无主栅技术。在电池环节保留传统的第一步正面网印，在电池上制作底层的细栅，但不印刷主栅；而后在组件环节通过不同的办法将多条垂直于细栅的金属线焊带（一般为带有涂层的铜线，涂层可为涂锡层、SnBiAg 合金层或其他低熔点的金属层或合金层，熔点可低至 120℃左右）覆盖其上，用更细、更密集的复合金属线替代常规银主栅与细栅形成交织的导电网格结构，随后进行焊接、层压等工艺。

无主栅电池通常采用增加焊带数量提升电流收集能力。主流的无主栅电池设计通常是电池细栅间距均匀以及细栅数量均匀分布，在组件制作时通过焊带和细栅直接形成合金接触达到电流传输作用，但由于细栅宽度和

焊带宽度很细，焊带和细栅接触面积较小电流收集能力较差，所以无主栅电池通常采用增加焊带数量来减少电流传输路径提升电流收集能力。

图表7： 无主栅异质结电池及组件示意图


资料来源：中能创，中信建投

无主栅技术可实现光伏电池及组件端降本增效：

从降本路径来说，0BB 无主栅技术从浆料等方面实现了生产成本的下降：浆料方面，预计常规 MBB 电池主栅银耗约 8mg/W（按 166 尺寸异质结电池片、效率 25% 估算，约 55mg/片），细栅银耗约 10mg/W（约 69mg/片），电池无主栅的设计，可降低 30%-40% 的电池浆料单耗，主栅银耗降至 0mg/W，细栅银耗约 12mg/W（约 82mg/片），有助于实现成本降低；此外，层压和焊接环节是组件加工过程中温度较高的两个环节，其中层压温度在 145-150℃，焊接温度高达 190℃ 左右，组件焊接的温度下降是薄片化进一步突破的必由之路，由于无主栅铜丝焊带上金属/合金层熔点较低，最低可达 120℃，而传统焊带（锡铅合金）的熔点在 180℃，因此 0BB 能实现较传统串焊更低温度下的焊接，推动硅片进一步薄片化降本，预计可实现硅片降本 20%。

图表8： 无主栅技术可将主栅银浆用量降至 0mg/W，有效降低栅线银浆单耗

未来预期	常规 MBB	钢网 MBB	0BB	银包铜钢网 0BB	电镀
主栅银浆用量 (mg/W)	8	8	0	0	0
细栅银浆用量 (mg/W)	10	8	12	12	0
浆料价格 (元/kg)	5800	5800	5800	2500	-
浆料成本 (分/W)	10.44	9.28	6.96	3	6-8

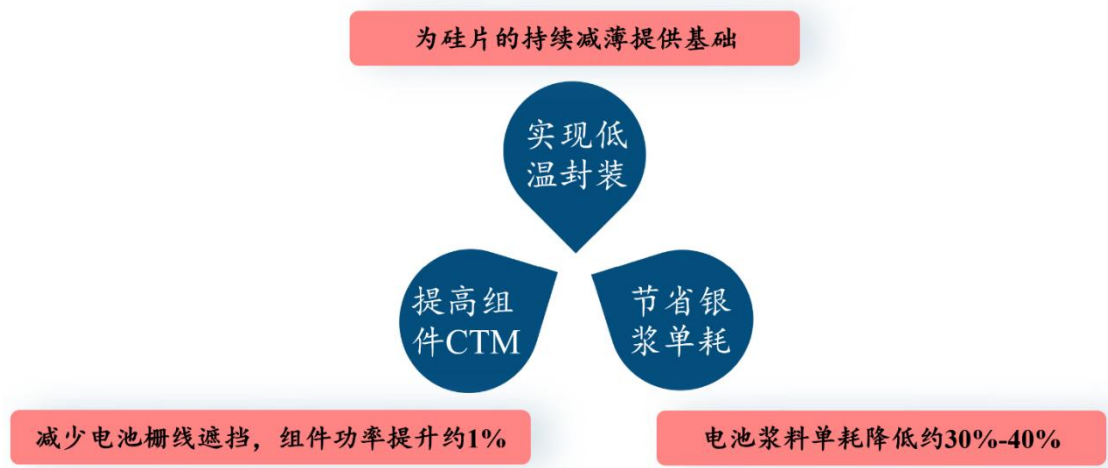
资料来源：迈为股份，中信建投

从增效角度来说，金属细栅线引起的功率损耗 P_f 与主栅数量 n_{BB} 的平方成反比，因此无主栅搭配多焊丝的应用通过增加 n_{BB} 的数量，细栅线与焊丝的接触点增多，光生载流子的传输距离下降，有效降低串联电阻，从而降低功率损耗，同时组件抗隐裂能力提升。此外，无主栅技术还可以进一步减少电池正面栅线遮挡，组件 CTM 得到有效提升。

无主栅技术在多主栅的基础上更进一步地实现了银耗降低。与多主栅技术相比，无主栅技术的特点在于使用了更多更细的铜丝焊带以汇集、导出电流，一方面进一步增加了汇集电流的“栅线”数量，另一方面用更便宜的镀层铜丝焊带替代了原有银主栅导出电流的作用，实现大幅度的材料降本。因此，无主栅技术既有主栅数

量进一步增加带来的降本增效优势，又在多主栅技术的基础上进一步消除了正面银浆的用量，持续推进晶硅电池降本步伐。

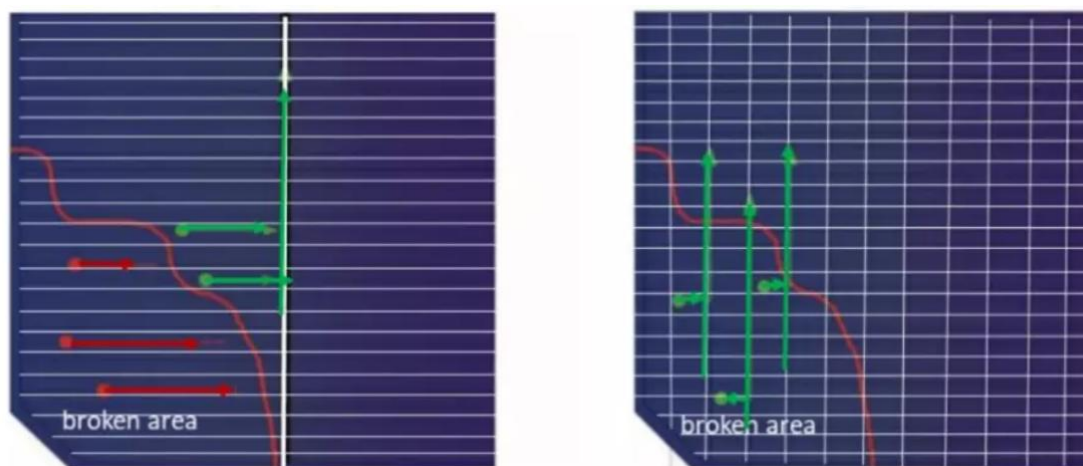
图表9： 无主栅技术可实现电池及组件的降本提效



资料来源：爱康科技，中信建投

此外，相较于传统组件串焊技术，无主栅技术下无需焊带-主栅对准，同时焊丝与细栅的接触点增加，能够减少由于电池片隐裂造成的损失，具有提高产品稳定性等优点。

图表10： 无主栅技术下，焊丝与细栅接触点增多，组件抗隐裂能力提升



资料来源：中能创，中信建投

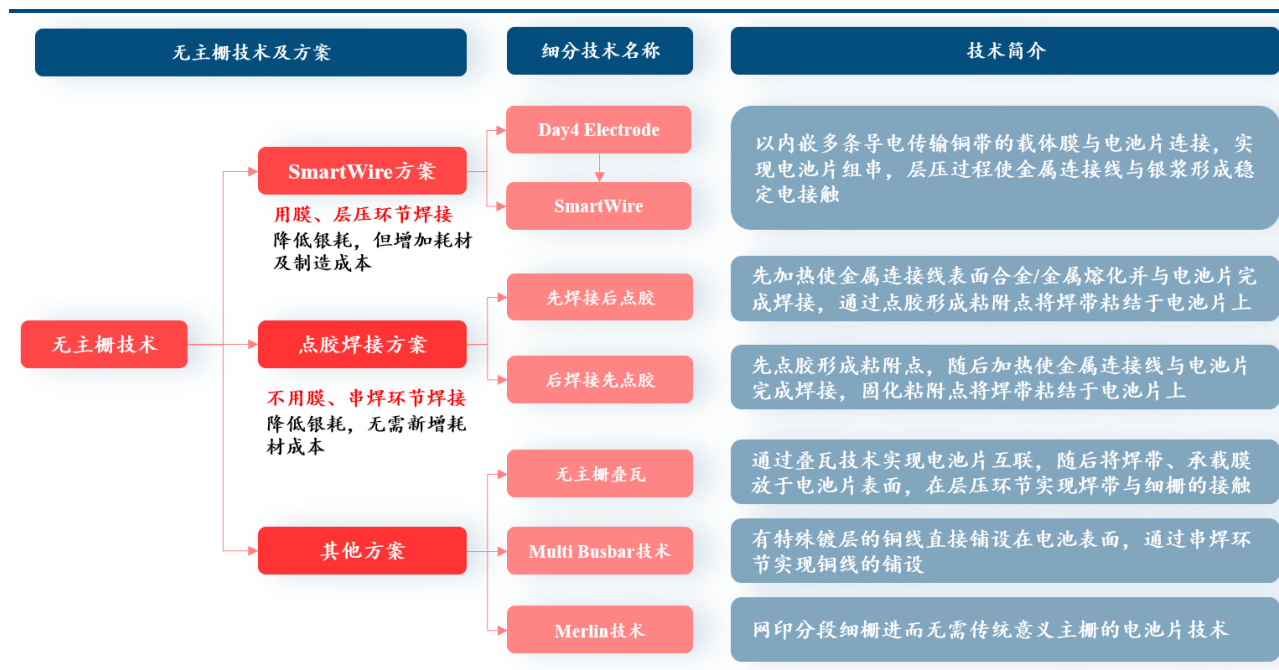
此外，无主栅技术也存在诸多需要解决的问题。①镀层材料及配比的确定：主要为了优化电学性能和机械性能；②膜材的确定：若用膜，则膜材既要透光性又需要与铜丝有一定的粘合度，且目前国内由于专利问题并未大范围使用；③串焊机新设备导入；④层压机的改进；⑤组件厂工艺匹配：低温预压、低温层压。

无主栅技术对于设备及耗材的要求较高。无主栅技术除了对焊带的要求比较高以外，对设备要求也很高，主要问题在于铜和硅的热膨胀系数相差很大，铜的热膨胀系数高于硅，温度越高，膨胀也就越快，回缩以后会对形状产生影响，进而对于设备各项参数均有更高要求。

二、SmartWire 专利受限，国内厂商积极布局点胶焊接方案

根据组件环节铜丝焊带与无主栅电池片的互连方式不同，目前可将无主栅技术分为 SmartWire 方案、点胶焊接方案及其他方案。①SmartWire 方案：通过内嵌铜线于聚合物薄膜，随后通过层压工艺实现铜线与细栅的电气互连；②点胶焊接方案：在电池片上设置点胶体，通过点胶体将焊带粘结于电池片上，焊带与各电池片细栅直接接触实现电气互连；③其他方案：包括无主栅叠瓦方案、Multi Busbar Connector 技术、Merlin 技术等。SmartWire 方案和点胶焊接方案的本质差异在于前者电气互联通过层压工艺实现；而点胶焊接方案通过焊接实现，胶水承担拉力作用，工艺实现方案存在显著区别。

图表11：无主栅技术的主要差异体现在组件封装环节的焊接工序

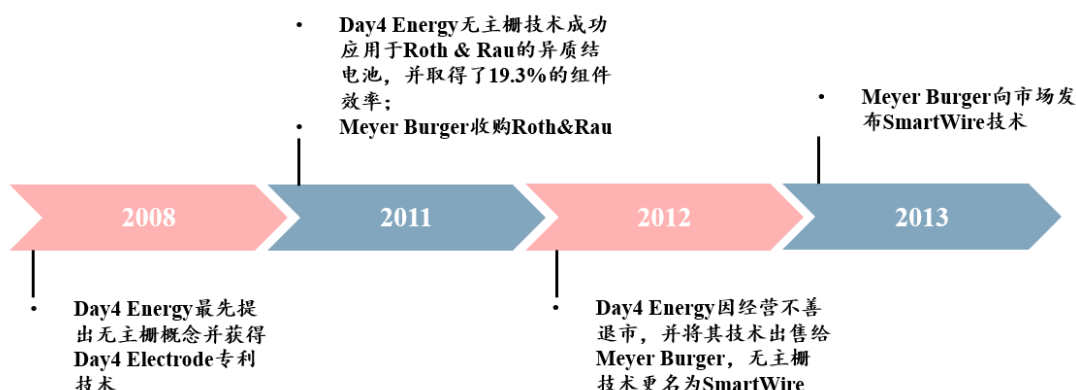


资料来源：中信建投

2.1 SmartWire 方案：导电网版结合聚合物薄膜实现电气互连，需更换全新设备

Meyer Burger 的 SmartWire 技术是使用导电网版结合聚合物薄膜实现电池片连接的无主栅技术，相关专利将在 2023 年到期。SmartWire 最早来源于 Day4 Energy 提出的无主栅技术，2008 年 Day4 Energy 获得了 Day4 Electrode 专利技术；2011 年，Day4 Energy 将更名为 DNA 技术的电池互连技术成功应用于 Roth & Rau 的异质结电池，并取得了 19.3% 的组件效率，同年 Meyer Burger 收购 Roth & Rau；2012 年，Day4 Energy 因经营不善退市，并将其技术出售给 Meyer Burger，后者将 DNA 技术更名为 SmartWire 并继续开发，并于 2013 年向市场发布。

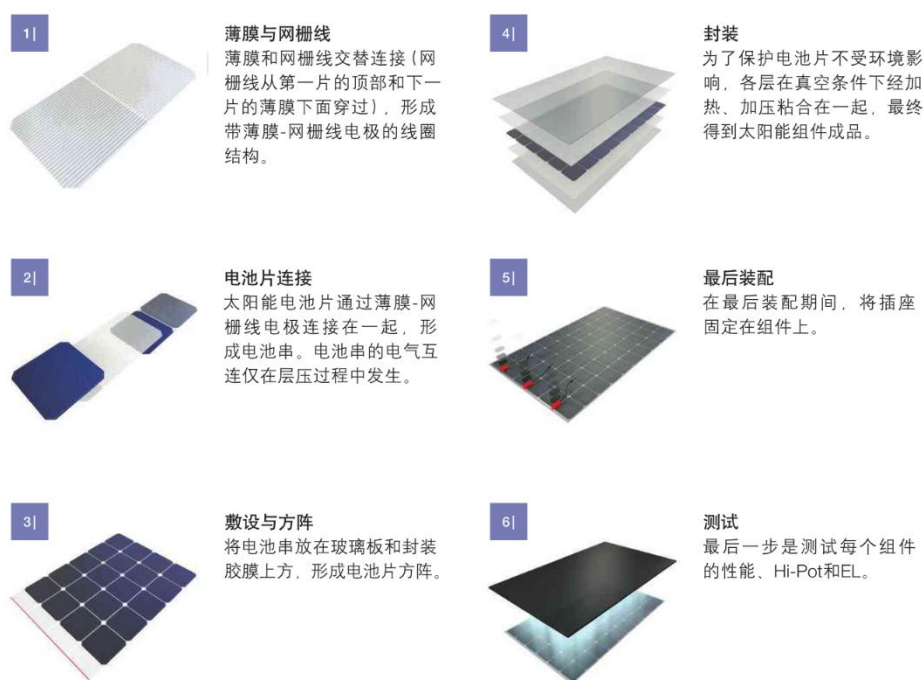
图表12: SmartWire 技术发展历程



资料来源: Day4 Energy, Meyer Burger, 中信建投

SmartWire 的特点在于使用载体膜, 在层压环节实现线膜与细栅的互连。SmartWire 先使用高分子载体膜与多条导电传输铜带相连接, 形成带薄膜-网栅线电极的线圈结构, 再将复合好的膜线与电池片连接, 后将膜片复合好的电池片组串, 按照传统工艺, 与封装胶膜、背板或玻璃重叠, 随后在加热层压过程使金属连接线与细栅形成稳定电接触, 载体膜永久留在产品中。SmartWire 技术使用的低温工艺非常适用于 HJT 电池, 能够处理厚度低至 110 μm 的硅片。**SmartWire 技术的应用可进一步减少银浆耗量**, 与无主栅技术结合的双面电池银浆耗量可下降 40%。相比于传统串焊以及导电胶互连的银浆耗量也有较大幅度下降。**与常规串焊相比**, 无主栅光伏组件封装主要增加了铜丝与薄膜的复合过程, 且将电池串接和焊接过程分开, 新型串焊机只用来实现铜丝复合膜与电池的定位性接触, 而将焊接过程转移到层压工艺中, 实现 150 $^{\circ}\text{C}$ 左右的低温焊接, 减少高温过程对电池的热损伤的同时, 电池在焊接后的翘曲问题也得以解决。

图表13: SmartWire 组件生产工艺步骤



资料来源: Meyer Burger, 中信建投

区别于传统串焊，SmartWire 采用“膜接”实现原有串焊环节的功能，串焊机的定位及功能出现改变，需要更换全新设备。SmartWire 方案下首先经过复合机将铜丝与薄膜复合，随后封装过程中电池片串、焊分离：串接环节由新型串焊机实现，主要作用是预压，使无主栅焊带定位、匹配电池表面，并形成初步的接触；焊接环节由层压设备在低温下完成。

图表14：无主栅封装工艺对应设备及参数

工艺过程	工艺设备	工艺参数	备注
铜丝与薄膜复合	复合机	120℃±5℃	
无主栅电池与铜丝覆膜定位性接触	新型串焊机	100℃±5℃	
无主栅电池与铜丝焊接形成欧姆接触	层压机	150℃±5℃	包含层压过程
		900mbar	
		17min15sec	

资料来源：黄河水电，中信建投

图表15：采用 SmartWire 技术生产的电池示意图


资料来源：Meyer Burger，中信建投

图表16：Meyer Burger SmartWire 线膜布设机


资料来源：Meyer Burger，中信建投

SmartWire 也存在工艺复杂度较高、专利限制及材料成本高等问题。①**工艺复杂度高**：虽然取消了串焊步骤，但需要进行膜线复合及热压成串两个步骤作为替代，并且头尾电池片线膜电极复合单元需要经过特殊制作处理，增加了工艺复杂度，也导致了潜在的量产瓶颈；②**专利限制**：目前 SmartWire 技术仍存在专利限制，预计 2023 年专利到期后会推动众多市场参与者的研发进程；③**材料成本较高**：用于促进低温焊接的钢锡焊料合金的价格较高；④**光学遮挡较严重**：使用复合膜造成较为严重的光学遮挡，影响电池片焊接后的透光率。因此，目前 SmartWire 产业化进展较慢。

2.2 点胶焊接方案：新型串焊实现焊带与细栅互连，点胶工序增加拉力

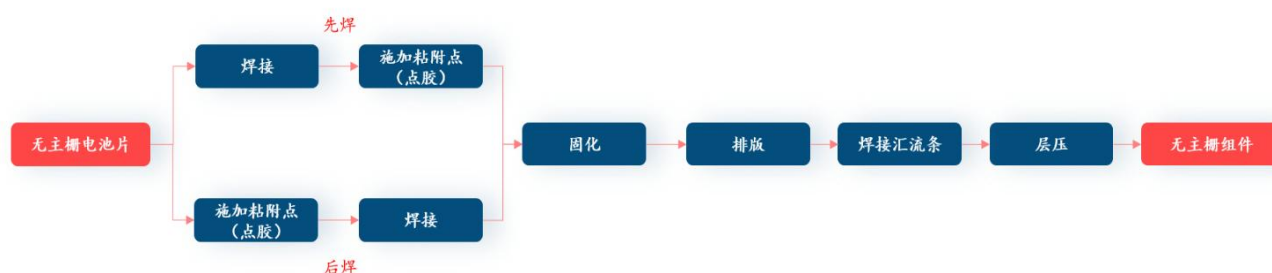
与 SmartWire 工艺不同，点胶焊接方案不使用载体膜，同时将电池片焊接互连工序保留在串焊环节。点胶焊接方案的核心在于将每条焊带与电池片表面印刷的细栅线直接接触形成电性连接、进而将电池片连接成电池串的串焊环节，该方案采用超低温焊接工艺，胶水承担拉力功能，焊带与细栅焊接承担导电功能。

该工序按照焊接与点胶的顺序不同可分为先焊与后焊两类，其中：①**先焊**为先进进行电池片与焊带的焊接后**点胶**，主要通过加热使得金属连接线表面合金或金属熔化并与电池片完成焊接，随后在电池片上设置点胶体（UV 胶、热熔胶等粘合剂），具体操作为通过点胶形成粘附点将焊带粘结于电池片上，以加固焊带与电池片的连接强

度、实现焊带与电池片的机械连接。先焊工艺难度相对较高，但是便于后续检测，有助于提高生产良率。②后焊则为先点胶再进行电池片与焊带的焊接。

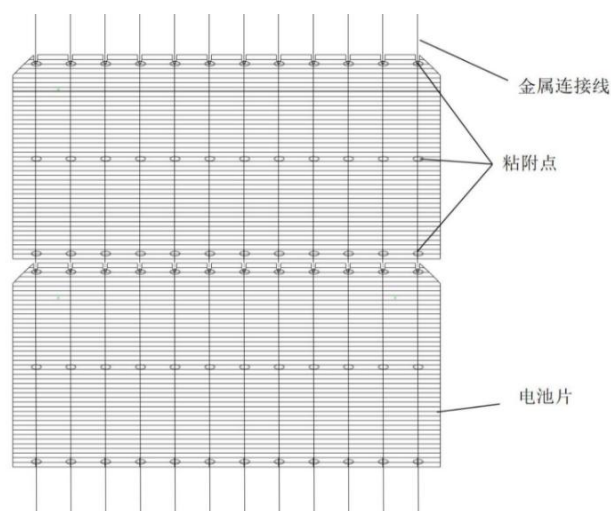
完成电池片成串工序后，接着对多个电池串进行排版、焊接汇流条以形成电池组件；对电池组件进行加热层压，最终完成组件封装。

图表17：点胶焊接方案流程图



资料来源：各公司专利，中信建投

图表18：点胶焊接方案电池组件示意图



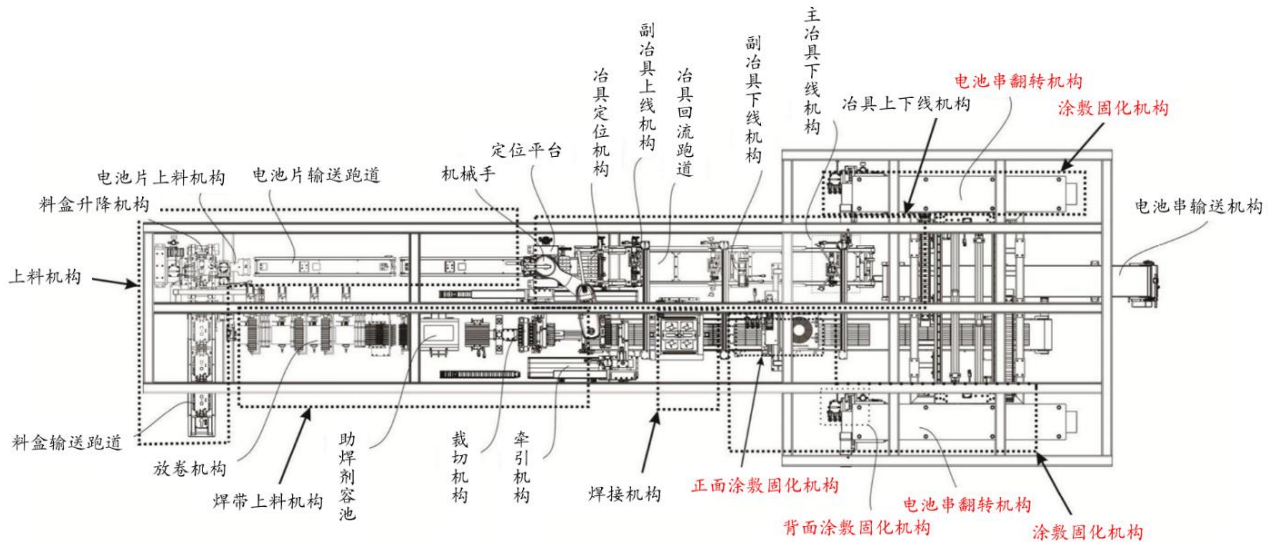
资料来源：苏州迈展《一种新型无主栅太阳能光伏组件的制作方法》专利，中信建投

材料端，该方案使用的焊带是现有的普通焊带，无需采用载体膜。点胶焊接与 SmartWire 在材料端的区别在于不需要内嵌铜带的高分子膜层，能够降低材料成本，因此相对于 SmartWire 的方式来说，不仅可以降低电池片的银浆用量，同时还可以有效降低电池组件的成本。

设备端，点胶焊接方案对应串焊设备需配合工序实现焊带（焊丝）与电池片的连接这一新工序。以苏州迈展《一种光伏电池串制造设备》专利设备为例，该制造设备包括上料机构、焊带上料机构、治具上下线机构、焊接机构、涂敷固化机构，以及电池串输送机构。通过牵引机构、机械手将裁切成工艺所需的长度的多股焊带与电池片二种材料依次按顺序摆放，使得相邻电池正背面依次靠多股焊带预焊成电池串；并在后续工作流程中进行电池串正背面涂敷粘附点，及固化彻底消除搭接不良风险，取消了复合膜和电池片正背面 PAD 点，其减少

光伏电池片表面遮挡的同时，减少了银浆料的使用，极大的降低了成本。总体而言，新型无主栅技术需更换全新设备，且价值量有望超过现有 PERC、TOPCon 等串焊设备。

图表19： 迈展无主栅串焊设备结构图



资料来源：苏州迈展《一种光伏电池串制造设备》专利，中信建投

点胶焊接方案较传统串焊及以 SmartWire 为代表的带膜焊接均有较大优势。传统串焊机在电池串的制造过程中将电池片主栅与焊带进行焊接，且焊带与电池片主栅之间位置的对齐度要求较高；SmartWire 技术依靠透明复合薄膜与金属线制成单个电池串单元后，与电池片进行连接，并在光伏组件后续制作过程中，通过层压将金属线表面低熔点合金与栅线完成连接，此技术单个电池串单元的现有技术制造成本较高，内部复合膜的耐温性和透光较差，多股金属线与银浆接触不稳定，降低了导电性能；点胶焊接方案对应的串焊机通过改善用于串联电池片的焊带的结构及连接方式，能够有效解决电池片透光率下降、导电性降低等问题。

2.3 其他无主栅方案：多种类型无主栅方案均有研发开展

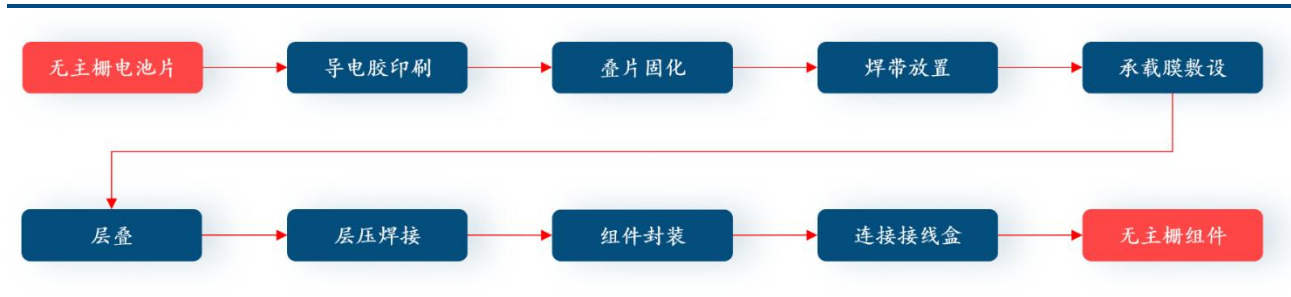
2.3.1 无主栅叠瓦方案——无主栅与叠瓦结合的高密度电池组件

无主栅叠瓦方案是无主栅和高密度封装技术的结合。无主栅叠瓦方案在传统无主栅技术的基础上通过电池连接结构的优化实现组件提效，电池片之间经过叠片后通过焊接点上的导电胶进行电流传输，取消了相邻电池片之间的间距，组件内有效发电面积增多，从而提升了组件的效率。通过电池网版优化采用新的焊接方式，使电池主栅银浆耗量减少 70%，达到降本目的；缩短电流传输路径提升组件功率；电池片与片之间无空白间距，增加组件有效发电面积，提升组件效率。

无主栅叠瓦方案通过叠瓦技术实现电池片互连，随后将焊带、承载膜放于电池片表面，在层压环节实现焊带与细栅的接触。具体步骤为，①无主栅电池片准备：无主栅电池片正面与背面均设有放置方向与无主栅电池片细栅方向垂直的多条焊带，其中一侧的正面设有一列均匀布置的焊接点，另一侧的背面设有相同对应的一列焊接点，焊接点包括焊带焊接区和导电胶印刷区。②导电胶印刷：采用点胶或者印刷方式在焊接点的导电胶印刷区上涂覆导电胶；③叠片固化：将分割后的电池片按照一定顺序叠片成串，相邻的两片电池的正面与背面交

叠；④焊带放置：在电池片的正背面放置焊带，焊带的方向与细栅垂直，并将焊带的两端分别连接到相邻两个电池片边缘的焊接点的焊带焊接区上；⑤承载膜敷设：在电池片表面放置承载膜，通过加热固定在电池片表面，使焊带和细栅以及焊接点形成物理接触；⑥层叠：将电池串进行排版焊接形成串与串的连接，电路采用先串联再并联方式；⑦层压焊接：敷设封装材料层压，使焊带固定在无主栅电池片上进行焊接；⑧组件封装：组件封装层压，通过层压中的高温以及抽真空，使焊带和无主栅电池片的细栅形成良好的接触；⑨连接接线盒。

图表20：无主栅叠瓦组件制造流程



资料来源：爱康科技，中信建投

2.3.2 Multi Busbar Connector 技术——铜线直接铺设在电池表面，保留红外焊接

2012年德国太阳能设备制造商 Schmid 发布无主栅技术 Multi Busbar，导电传输铜线直接铺设在电池表面。该技术的实现方式与 SmartWire 有所不同，主要体现在铜线铺设方式及对于细栅的要求上：①铜线铺设方式方面：其主栅也为有特殊镀层的铜线，但铜线不是内嵌在聚合物薄膜中，而是直接铺设在电池表面；②对细栅的要求方面：细栅网版需特殊设计，在细栅与铜线交界处预留焊盘。在电池网印细栅完成后，电池来到改进的串焊机，而串焊机将通过图像识别技术配合真空吸盘，将 15 条铜线将精确的铺设在电池表面的细栅的焊盘之上，实现红外焊接，同时也将铜线焊接在相邻电池的背面。

Schmid 的无主栅技术继承了当时已有的网印电池和组件工艺，需更换细栅网版和新的串焊设备。与 Meyer Burger 类似，Schmid 称相比 3 主栅，其 Multi Busbar 技术可以降低电阻损失，将填充因子提高 0.3%，效率净提高 0.6%。银浆的用量也可以降低 75%。

图表21：Schmid 公司无主栅电池示意图



资料来源：Schmid，中信建投

图表22：Multi-Busbar Connector 串焊机



资料来源：Schmid，中信建投

2.3.3 Merlin 技术——网印分段细栅的电池片技术，需要特定铜网耗材及铺设设备

GT Advanced Technologies 于 2014 年推出太阳能电池正面无主栅金属化技术 Merlin，是采用分段细栅实现无主栅的电池片端技术。该技术的细栅采用分段结构，并非完整的一条，进一步挖掘了主栅数量增多所带来的优势，通过分段的细栅进一步减少银的用量和正面遮挡。Merlin 在网印分段银细栅之后，无需传统意义上的主栅连接，而是采用十余根特殊包层的铜线将细栅串联，铜线最后汇聚在一个类似宽焊带的结构上连接到相邻电池的背面。

图表23： Merlin 无主栅技术电池示意图



资料来源：GT Advanced Technologies，中信建投

Merlin 技术对电池和组件性能和成本的提升表现在：

- ①**减少银的使用：**由于 Merlin 技术不需要银主栅，银细栅也替换为分段结构，其正面银浆的消耗将大大降低，GT 宣称可减少 80% 的银浆用量；
- ②**效率提高：**由于使用了较细的铜线替代主栅，铜线的数量得以提高，紧凑的铜线间距降低了串联电阻；同时由于铜线的截面形状更有利于将反射光大角度偏转，提高这部分光被玻璃反射再吸收的可能性，短路电流得以提升，可提效约 0.7%；
- ③**便于串组：**无需传统串焊工艺和额外的焊带，降低电池间的排布空隙和串联电阻；
- ④**支持新的组件设计：**GT 称由于其 Merlin 技术对组件形变的容忍程度更高，组件可采用更薄的玻璃，同时由于减少了焊带和银的重量，GT 预计采用 Merlin 技术的组件可以更轻薄，从而减少安装过程的成本。综合考虑以上改进，GT 称其 Merlin 技术可以在整个系统层面降低 10% 的成本。

Merlin 技术需要该技术特定的正面铜网和铺设铜网的设备。电池厂商客户则无需大的改变，其只需调整正面网印工艺，仅网印分段细栅。

三、国内厂商已发布无主栅组件产品，行业尚处于产业化早期

目前国内多家组件厂商开始投入无主栅组件的研发及生产，已有多种无主栅产品推出。赛拉弗、爱康科技和中能创分别在 2016 年、2022 年 8 月、2022 年 11 月发布其无主栅异质结组件产品，其中中能创于 2022 年 9 月融资数亿元扩建大尺寸无主栅异质结电池量产线。此外，东方日升等组件厂商也在积极布局无主栅无应力焊接技术。

图表24： 无主栅组件厂商及其进展

组件厂商	进展
赛拉弗	2016 年推出“日食”系列的旗舰组件型号，该产品为导电胶互连型无主栅组件。
爱康科技	2022 年 8 月发布无主栅异质结组件，综合运用“0BB 无主栅、120um 以下硅薄片、低银含量浆料、高强度钢边框”技术。
中能创	2022 年 9 月融资数亿元扩建大尺寸无主栅异质结电池的量产线并研发下一代产品，11 月 11 日发布 210 无主栅异质结组件。
东方日升	正在积极布局下一代组件技术路线，包括无主栅无应力焊接技术与高效电池、组件技术。

资料来源：各公司公告，各公司公众号，中信建投

3.1 赛拉弗：2016 年推出导电胶互连型无主栅组件

赛拉弗于 2016 年推出“日食”系列的旗舰组件型号，为国内首个推出无主栅组件的企业。赛拉弗通过自主设计网版，研发出无主栅的电池片，制成的组件产品整体取消了主栅并优化电池栅线设计，增加了受光面积；电池片不再是一片一片串焊，而是通过一种类似导电胶进行焊接连接成串，通过串并联的方式做成组件。此外，该组件取消了焊带汇流条，减少了组件内部的损耗，间接组件转换效率；同时采用无主栅设计以及创新性的电气设计，降低了组件内部损耗，有效提高组件功率，同时大幅度降低了反向电流对组件产生热斑效应的影响。

图表25： 赛拉弗无主栅组件示意图



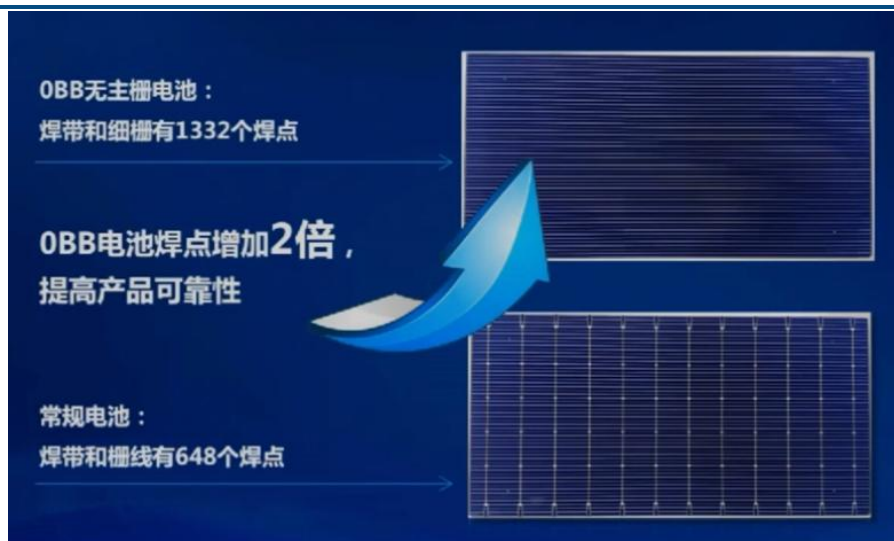
资料来源：赛拉弗，中信建投

3.2 爱康科技：2022 年 8 月推出无主栅异质结组件

爱康发布无主栅异质结组件产品，产业化进程进一步推进。2022 年 8 月爱康发布 700W+ “ZERO 无极” 异

质结组件，该产品综合运用“0BB 无主栅、120um 以下硅薄片、低银含量浆料、高强度钢边框”技术，具有零 PID 和 LID、低温度系数、高双面率、低衰减、高功率质保、高可靠性等多重优势。常规电池焊带和栅线有 648 个焊点，爱康 0BB 无主栅电池产品的焊带和细栅有 1332 个焊点，0BB 电池焊点增加 2 倍，提升产品可靠性。

图表26： 0BB 无主栅电池（上）及常规电池（下）示意图



资料来源：爱康科技，中信建投

3.3 中能创：已实现无主栅异质结电池 100MW 量产

中能创是无主栅异质结组件新锐制造商，常州 1GW 组件工厂正在规划中。产线端，2022 年 9 月，中能创完成近亿元 Pre-A 轮融资，此轮融资主要用于扩建大尺寸无主栅异质结电池的量产线、研发下一代产品，并扩充其团队。2022 年，中能创研发出全球首个 210mm 无主栅超薄化异质结电池，获得了德国 TÜV 莱茵的第三方权威认证，实现 100MW 的小批量生产，计划在 2023 年建设 1GW 产能，2024 年实现 10GW。目前，中能创是中国第一家、全球第二家掌握大尺寸无主栅异质结技术的企业。产品端，公司于 2022 年 11 月 11 日发布 210 无主栅异质结组件，通过无主栅技术，异质结电池的硅料和银浆消耗将大大减小，每瓦成本可降低 0.2 元-0.25 元。多种技术叠加下，目前中能创的异质结电池可比常规的 PERC 电池多发电 5%-6%，预计 1GW 异质结电池片和组件能够节省 3000 万左右设备成本。

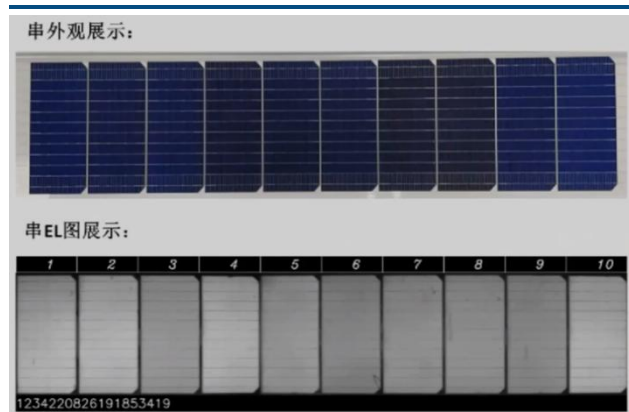
四、国内设备厂商积极布局无主栅技术，探索银浆降银方案

由于 SmartWire 专利及成本等方面的问题，目前国内设备厂商主要聚焦于点胶焊接方案，目前无主栅技术设备主要参与者包括迈为股份、先导智能、奥特维等。

4.1 迈为股份：采用先焊工艺，预计 2023 年完成中试并推出量产设备

迈为 OBB 的实现方式是先焊接、再点胶，焊接完成后即可进行检测，适合国内高速迭代的工艺现状。目前机械设计、工艺方案相关试验已在 166 样机基本完成可行性验证，210 量产机型已投料完成，后续将在 2022 年 11 月底进行设备装配，预计 12 月完成设备测试，计划 2023 年一季度进入客户端进行中试，上半年推出量产设备。

图表27： 迈为股份 OBB 设备出片展示



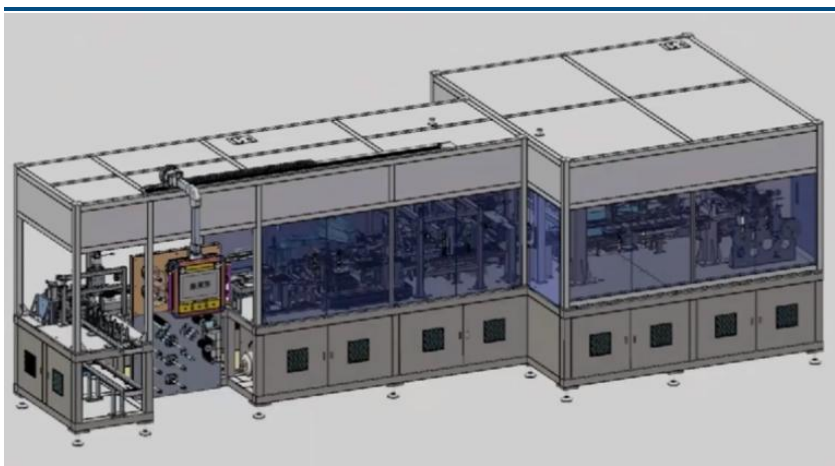
资料来源：迈为股份，中信建投

图表28： 迈为股份 OBB 设备出片示意图



资料来源：迈为股份，中信建投

与现有 SmartWire 及相应拓展技术不同，迈为无主栅技术不使用载体膜、同时保留传统焊接工艺。迈为已有无主栅技术对应串焊设备，从具体参数及性能来看，目前原型机可实现产能 4800 半片/h，承载超低温焊接工艺，与现有的 OBB 技术不同，出于对层压环节焊接拉力无法检测的考虑，迈为设备保留传统焊接工艺，而非将焊接留在层压环节进行，同时并不使用类似 SmartWire 技术的载体膜，胶水承担拉力功能，焊带与细栅焊接承担导电功能。迈为方案差异化特点在于串联动作和合金化动作的同步实现，消除同类技术因合金化动作后移带来的质量隐患。

图表29： 迈为 0BB 无主栅设备原型机示意图


资料来源：迈为股份，中信建投

4.2 先导智能：已发布量产型无主栅串焊设备

2022年11月24日，先导智能推出量产型无主栅串焊设备，量产效率超过6800片/小时，可实现100 μ m厚度电池片串焊。该设备采用无主栅印刷，省略了原有主栅和印刷工序，可降低银浆成本约20%，同时固化温度低于200 $^{\circ}$ C，无需高温焊接，无需助焊剂，年维护成本较传统MBB设备降低约30%。

图表30： 先导智能 0BB 串焊机示意图


资料来源：先导智能，中信建投

4.3 奥特维：无主栅设备正在验证中

奥特维已有无主栅设备正在配合客户验证。根据公司2022年10月23日投资者交流披露，公司认为0BB组件量产取决于包括耗材在内的多种因素，具体时间尚不清楚。目前公司串焊机针对SMBB技术已经成熟量产，正在验证0BB串焊工艺。

五、投资建议

无主栅技术是实现新型高效电池降银的重要降本手段，延续了光伏电池将栅线做多且做细的发展思路，将通过降低串联电阻、减少电池片表面遮挡等实现提效，通过取消传统主栅实现银浆耗量的节约，已有众多设备厂商积极布局，预计 2023 年将逐步走向量产。**建议关注在无主栅技术方面具有前瞻布局的设备企业：迈为股份、奥特维、先导智能。**

六、风险分析

①无主栅电池及组件研发不及预期：无主栅电池及组件为光伏行业的新技术，工艺成熟是一个多维度均达标的系统工程，量产取决于包括辅材在内的多因素，由于行业技术创新和新产品的开发受各种客观条件的制约，存在失败的风险。此外新技术、新产品研发成功后也存在不能得到市场的认可或者未达到预期经济效益的风险。

②光伏行业投资不及预期：近年来光伏行业投资、扩产持续火热，若行业出现周期性或政策性波动，行业增长势头放缓，将不利于新技术的研发及产业化推进。

分析师介绍

吕娟

董事总经理，上海区域总监，高端制造组组长&首席分析师，机械行业首席分析师。复旦大学经济学硕士，法国 EDHEC 商学院金融工程交换生，河海大学机械工程及自动化学士，2007.07-2016.12 曾就职于国泰君安证券研究所任机械首席分析师，2017.01-2019.07 曾就职于方正证券研究所任董事总经理、副所长、机械首席分析师。曾获新财富、金牛、IAMAC、水晶球、第一财经、WIND 最佳分析师第一名。

夏纾雨

中信建投证券机械行业研究员，复旦大学世界经济硕士，覆盖光伏设备、风电设备、通用基础件、油服设备、核电设备方向，2021 年加入中信建投证券。

研究助理

籍星博

jixingbo@csc.com.cn

评级说明

投资评级标准		评级	说明
报告中投资建议涉及的评级标准为报告发布日后6个月内的相对市场表现,也即报告发布日后的6个月内公司股价(或行业指数)相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准:A股市场以沪深300指数作为基准;新三板市场以三板成指为基准;香港市场以恒生指数作为基准;美国市场以标普500指数为基准。	股票评级	买入	相对涨幅 15%以上
		增持	相对涨幅 5%—15%
		中性	相对涨幅-5%—5%之间
		减持	相对跌幅 5%—15%
		卖出	相对跌幅 15%以上
	行业评级	强于大市	相对涨幅 10%以上
	中性	相对涨幅-10-10%之间	
	弱于大市	相对跌幅 10%以上	

分析师声明

本报告署名分析师在此声明:(i)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,结论不受任何第三方的授意或影响。(ii)本人不曾因,不因,也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

法律主体说明

本报告由中信建投证券股份有限公司及/或其附属机构(以下合称“中信建投”)制作,由中信建投证券股份有限公司在中华人民共和国(仅为本报告目的,不包括香港、澳门、台湾)提供。中信建投证券股份有限公司具有中国证监会许可的投资咨询业务资格,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证书编号已披露在报告首页。

在遵守适用的法律法规情况下,本报告亦可能由中信建投(国际)证券有限公司在香港提供。本报告作者所持香港证监会牌照的中央编号已披露在报告首页。

一般性声明

本报告由中信建投制作。发送本报告不构成任何合同或承诺的基础,不因接收者收到本报告而视其为中信建投客户。

本报告的信息均来源于中信建投认为可靠的公开资料,但中信建投对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载观点、评估和预测仅反映本报告出具日该分析师的判断,该等观点、评估和预测可能在不发出通知的情况下有所变更,亦有可能因使用不同假设和标准或者采用不同分析方法而与中信建投其他部门、人员口头或书面表达的意见不同或相反。本报告所引证券或其他金融工具的过往业绩不代表其未来表现。报告中所含任何具有预测性质的内容皆基于相应的假设条件,而任何假设条件都可能随时发生变化并影响实际投资收益。中信建投不承诺、不保证本报告所含具有预测性质的内容必然得以实现。

本报告内容的全部或部分均不构成投资建议。本报告所包含的观点、建议并未考虑报告接收人在财务状况、投资目的、风险偏好等方面的具体情况,报告接收者应当独立评估本报告所含信息,基于自身投资目标、需求、市场机会、风险及其他因素自主做出决策并自行承担投资风险。中信建投建议所有投资者应就任何潜在投资向其税务、会计或法律顾问咨询。不论报告接收者是否根据本报告做出投资决策,中信建投都不对该等投资决策提供任何形式的担保,亦不以任何形式分享投资收益或者分担投资损失。中信建投不对使用本报告所产生的任何直接或间接损失承担责任。

在法律法规及监管规定允许的范围内,中信建投可能持有并交易本报告中所提公司的股份或其他财产权益,也可能在过去12个月、目前或者将来为本报中所提公司提供或者争取为其提供投资银行、做市交易、财务顾问或其他金融服务。本报告内容真实、准确、完整地反映了署名分析师的观点,分析师的薪酬无论过去、现在或未来都不会直接或间接与其所撰写报告中的具体观点相联系,分析师亦不会因撰写本报告而获取不当利益。

本报告为中信建投所有。未经中信建投事先书面许可,任何机构和/或个人不得以任何形式转发、翻版、复制、发布或引用本报告全部或部分内容,亦不得从未经中信建投书面授权的任何机构、个人或其运营的媒体平台接收、翻版、复制或引用本报告全部或部分内容。版权所有,违者必究。

中信建投证券研究发展部

北京
 东城区朝内大街2号凯恒中心B
 座12层
 电话:(8610) 8513-0588
 联系人:李祉瑶
 邮箱:lizhiyao@csc.com.cn

上海
 上海浦东新区浦东南路528号
 南塔2106室
 电话:(8621) 6882-1600
 联系人:翁起帆
 邮箱:wengqifan@csc.com.cn

深圳
 福田区益田路6003号荣超商务
 中心B座22层
 电话:(86755) 8252-1369
 联系人:曹莹
 邮箱:caoying@csc.com.cn

中信建投(国际)

香港
 中环交易广场2期18楼
 电话:(852) 3465-5600
 联系人:刘泓麟
 邮箱:charleneliu@csci.hk