

证券研究报告

2023年01月12日

行业报告 | 行业专题研究

光电路路径提效+降本之电镀铜： 技术主流路线分析、经济效应及规模测算

作者：

分析师 李鲁靖 SAC执业证书编号：S1110519050003

联系人 张钰莹



请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

- ❑ **电镀铜技术：**参考半导体、PCB领域电镀铜工艺，光伏电池通过制备种子层、图形化环节、电镀、后处理四大环节制作铜的非接触式金属化电极，实现“以铜代银”，制成包括种子层、粘合层、传导层、焊接层的电极。迈为股份联合SunDrive研制的铜电镀HJT电池转化效率屡创新高，现已达到26.41%，未来或仍有提升空间。
- ✓ **增效：**据ISFH研究，PERC/TOPCon/HJT电池理论效率极限为24.5%/28.7%/27.5%，HJT电池是未来主流路径之一。而HJT电池的低温银浆为纯银和有机物的混合物，其本身较差的材料导电属性需要通过更宽的电池栅线来弥补。电镀铜技术由于应用了导电性较好的纯铜浆料解决了大线宽的光学损失问题，使得光电转换效率得到明显提升。
- ✓ **降本：**制备成本方面，以铜代银的去银化路径直接去除了主要非硅成本——银耗，低温银浆价格接近铜价的100倍，低温银浆约6500元/kg、铜价为70元/kg左右。我们以6500元/kg的银浆价格进行敏感性分析测算，若目前电镀铜路线量产良率达25%及以上，则相比传统丝印银浆已经具备明显成本优势，当良率不断趋近丝印银浆方式时，单GW非硅成本降本金额将接近1亿元。

- ❑ **电镀铜路线：设备市场空间几何？**
- ✓ 爱旭、海源复材、晶澳、天合、晶科、爱康、日升、隆基、迈为等厂商均在布局电镀铜路线的HJT电池下游应用。目前图形化、电镀两大核心环节的电镀铜设备厂商均在积极布局，其中电镀环节厂商均已进行到中试线及以上。我们统计测算得到，随着N型电池/非银电极/铜电镀的技术渗透，22/26年电镀铜设备市场空间约1.4/55.9亿元。

- ❑ **建议关注：**1) 图形化环节设备：芯碁微装、迈为股份、捷佳伟创、爱康科技、帝尔激光等；2) 电镀环节设备：东威科技、罗博特科、宝馨科技等。

- ❑ **风险提示：**光伏装机量不及预期；HJT电池量产速度低于预期；电镀铜技术推进进展不及预期；存在主观性预测使得测算结果与未来事实存在偏差等。

目 录

- 1、N型电池渗透率不断提高，电镀铜去银化路线引领降本增效新风向
- 2、电镀铜包含四大环节，图形化和电镀环节为两大核心工艺
- 3、长坡厚雪赛道，核心环节厂商降本突围指日可待
- 4、行业快速导入期在即，关注2023年量产验证情况

1. N型电池渗透率不断提高， 电镀铜去银化路线引领降本增效新风向

1.1 N型电池渗透率不断提升，降银任务首当其冲

- ❑ PERC主流电池技术逼近极限，N型电池渗透率不断提高。
- 从效率极限角度，PERC 电池转化效率已接近极限，据 ISFH 研究，PERC/TOPCon/HJT 电池理论效率极限为 24.5%/28.7%/27.5%，N型电池理论效率极限高于P型电池，TOPCon与HJT技术提效潜力大。

➢ 从结构与性能角度，N型电池少子寿命更长，开路电压高；解决光致衰减问题，稳定性好；双面率高，发电量大；温度系数低，更耐高温，综合性能强于P型电池。

➢ 从扩产角度，我们认为2022年是N型电池元年，据SMM统计，2023年N型规划产能超300GW，预计22年底共有88.2GW建成，N型电池未来已来。

表：2021–2030年各电池技术平均转换效率变化趋势

	分类	2021	2022E	2023E	2025E	2027E	2030E
P型多晶	BSF P型多晶黑硅电池	19.5%	19.5%	19.7%	-	-	-
	PERC P型多晶黑硅电池	21.0%	21.1%	21.3%	21.5%	21.7%	21.9%
	PERC P型铸锭单晶电池	22.4%	22.6%	22.8%	23.0%	23.3%	23.6%
P型单晶	PERC P型单晶电池	23.1%	23.3%	23.5%	23.7%	23.9%	24.1%
N型单晶	TOPCon单晶电池	24/0%	24.3%	24.6%	24.9%	25.2%	25.6%
	异质结电池	24.2%	24.6%	25.0%	25.3%	25.6%	26.0%
	IBC电池	24.1%	24.5%	24.8%	25.3%	25.7%	26.2%

表：P型与N型电池参数对比

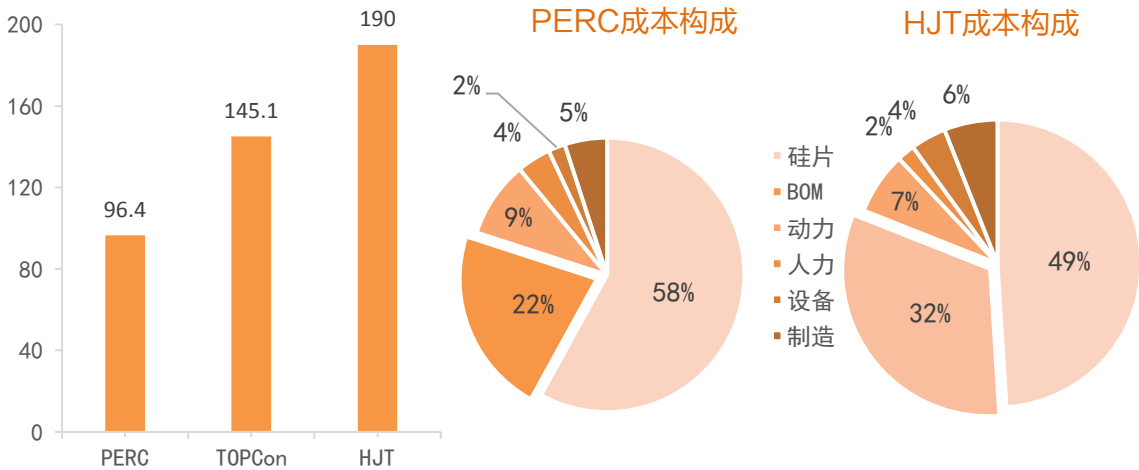
	P型电池	N型电池
掺杂物分凝系数	B：0.8	P：0.35
少子寿命	20~30μs	100~1000μs
功率衰减	大；在基区	小；在发射区
初始光致衰减	有	无
温度系数	-0.35%/℃	TOPCon: -0.3%/℃
双面率	70%	TOPCon: 85%

注：1.背接触 N 型单晶电池目前处于中试阶段；2.均只记正面效率。

1.1 N型电池渗透率不断提升，降银任务首当其冲

- ❑ N型电池单瓦银浆耗量显著高于P型，其中HJT电池银浆非硅成本占比超50%。
 - 银浆耗量高的原因：HJT电池由于膜层原因采用低温工艺、不能高温烧结，只能采用低温银浆，而低温银浆为纯银和有机物的混合物，导电性能较差，因此HJT电池需要耗用更多的银浆，大线宽会增加光学损失。主流细栅线宽度约30 μm，而HJT栅线宽度约为40 μm。
- ❑ 因此，降银成为HJT电池降本的首要路径，主要包括激光转印、MBB、银包铜与电镀铜技术路径。
 - 从成熟度来看：四种路径中，前3类相对更成熟，激光转印已进入量产验证阶段，多主栅在量产中提升主栅数量，银包铜小批量产完成；而电镀铜技术尚处于研发阶段，技术验证逐渐深入，趋向规模化节点。
 - 从降本程度来看：前3种路径皆属于降银化路径，激光转印/OBB可节省30%-40%银耗量；2021年HJT平均银耗190mg/片，据华晟公告12BB银耗量已降至150mg/片，相比节省21%，叠加银包铜有望节省近50%银耗量。随着银包铜浆料今年底明年初有望迈入量产，在光伏行业降本增效的大主题下，去银化或为终局。

图：N型电池单片银浆耗量高于P型电池（单位：mg/片）
图：HJT电池银浆成本占比显著高于PERC电池



表：4种降银路线的比较

	激光转印	MBB	银包铜	电镀铜
降本原理	栅线更细	栅线更细	铜替代部分银	铜完全替代银
成熟度	小批量产	MBB量产	小批量产	技术验证中
银耗量	节省30%-40%	OBB：预计节省30%-40% 12BB：已降至150mg/片	22年降至100mg/片	零银耗
最新进展	帝尔激光设备订单开启交付	OBB：迈为测试中，23Q1导入客户中试 12BB：华晟实现量产	苏州固得浆料可靠性测试通过，数家客户小批量产完成	多家厂商技术验证深入

1.2 电镀铜去银化路线降本又增效，颠覆浆料成本问题

- ❑ 低温银浆国产化进程尚未完成，银价居高不下，去银化路线或能彻底解决长久以来困扰光伏行业的降银成本问题。
 - 高温银浆国产化率逐步提高，低温银浆仍依赖进口，日本ELEX主导市场，国内厂商如苏州固得抢抓机遇导入市场中。
 - 贱金属铜价格显著低于银，据长江有色金属网，2022年12月7日银价为5065元/千克，铜价为66.55元/千克，铜代替银可有效降本。
- ❑ 另外，电镀铜电极宽度相比低温银浆电极显著减小，因此电镀铜技术可以增加光电转换效率。
 - HJT低温银浆的有机杂质使导电受阻，丝网印刷线宽约40 μm；而铜的电阻率及电导率仅次于银，电镀铜的纯铜栅线导电性能优于含杂质的低温银浆，线宽有望降至25 μm以下，减小光学损失，因此“去银化”的同时实现了更高的转换效率。迈为股份联合SunDrive研制的铜电镀HJT电池转化效率屡创新高，现已达到26.41%，未来或仍有提升空间。

图：银价居高不下



表：铜的电阻率及电导率仅次于银

金属	电阻率(*10 ⁻⁸ Ω·m)	电导率(*10 ⁷ S/m)
银	1.59	6.29
纯铜	1.68	5.95
金	2.40	4.17
铝	2.66	3.76
镍	6.84	1.46
铁	9.71	1.03

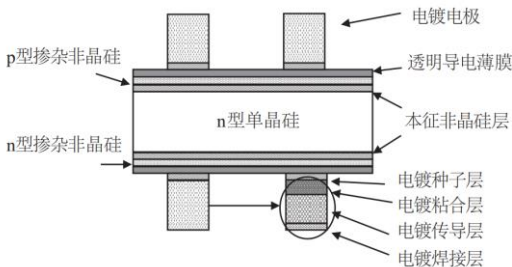
备注：以上为金属在20℃的物性参数

2.电镀铜包含四大环节， 图形化和电镀环节为两大核心工艺

2.1电镀铜四大环节替换传统丝印工艺环节

- ❑ 电镀铜工艺原理：参考半导体、PCB领域电镀铜工艺，光伏电池通过**制备种子层、图形化环节、电镀、后处理**四大环节制作铜的非接触式金属化电极，实现“以铜代银”，制成包括种子层、粘合层、传导层、焊接层的电极。
- PCB（印刷电路板）、IC封装、大规模集成线路（芯片）等电子领域都需要通过电镀铜技术实现**电路结构**。
- ❑ 铜电镀与传统丝网印刷银浆环节的前两道工艺制绒环节、PVD溅射环节相同，差异主要在TCO膜制备工序之后：传统HJT产线在TCO膜制备之后采用银浆印刷，而铜电镀则把银浆丝网印刷替换成制备铜栅线的图形化和金属化两大工序。

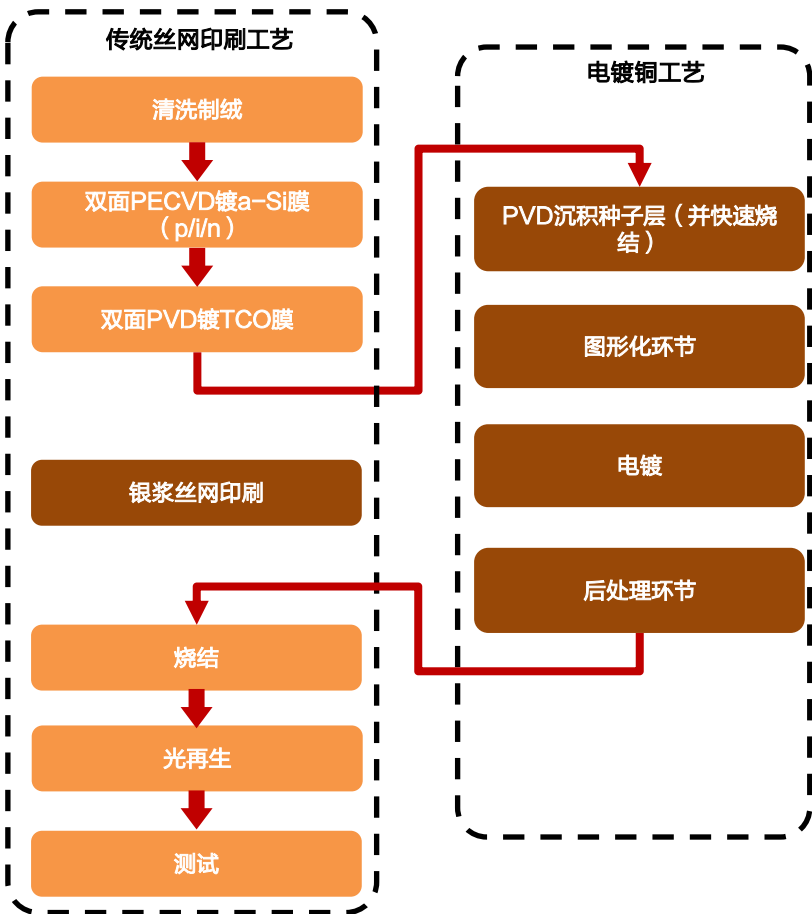
图：电镀铜异质结电池HJT的结构



表：电镀铜四大环节

电镀铜四大环节	目的与原理
制备种子层	镀层和TCO间主要通过范德华力进行物理接触，易引起电极脱落；且铜扩散至硅基底中损坏器件。一般通过PVD设备 蒸镀/溅射 在TCO表面沉积100nm 极薄铜/镍/铜镍/铜镍银 等种子层，可提高镀铜的附着性能，并通过快速烧结强化附着力
图形化环节	涂覆感光材料 后，将感光材料 不需要镀铜的部分曝光变性，并显影洗去未曝光变性的需要镀铜的部位 使其裸露出来，以实现后续选择性电镀环节
电镀	电解过程，通过在电解池中还原Cu离子实现较高均匀性和产能的镀铜
后处理	为防止铜氧化进行镀锌/其他抗氧化剂；清洗掉之前曝光变性的剩余感光材料；刻蚀掉电极外的多余种子层

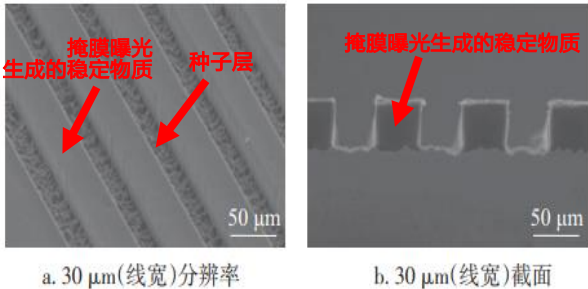
图：电镀铜技术的工艺流程示意图



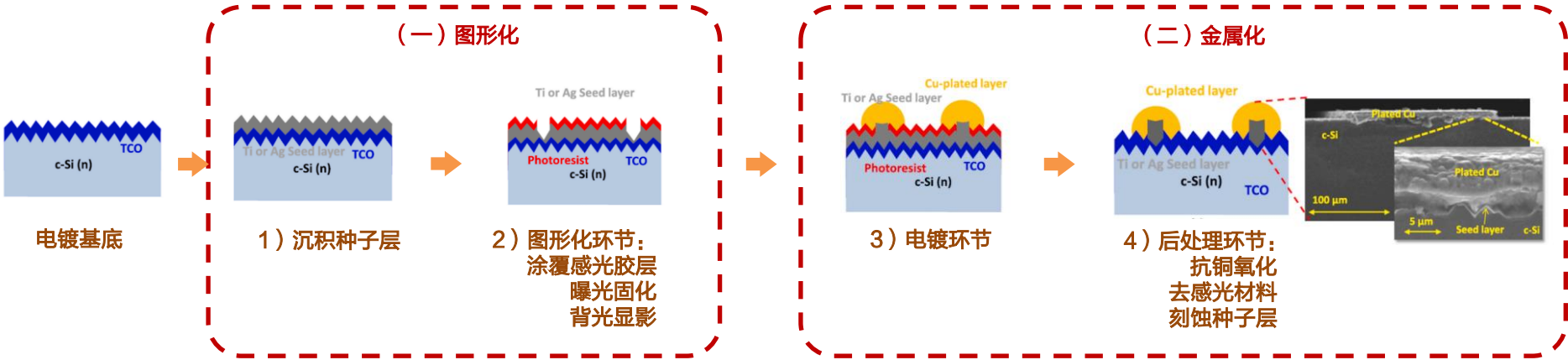
2.2电镀铜四大环节包含多项工艺步骤

- 铜电镀具体工艺流程较为复杂，四大环节包含了共计7-9项工艺步骤。
- 制备种子层/图形化环节/电镀环节/后处理环节分别包括1/3/1/3个步骤。
- 其中，图形化环节依次包括涂覆感光材料、曝光固化、清洗显影3步骤；后处理环节依次包括镀锡抗氧化、去感光材料、刻蚀种子层3步骤。
- 综上，电镀铜四大环节、多项工艺步骤可被简要概括为图形化+金属化：图形化包括沉积种子层、图形化环节，金属化包括电镀环节、后处理环节。
- （一）图形化：为改善金属与透明导电薄膜的接触及附着特性，引入一层极薄的种子层（100nm），增加电镀金属与TCO之间的附着性能；然后通过喷涂感光图层/制作掩膜经过曝光、显影获得电极的设计图案。右图示为作为感光材料的一种干膜类电镀掩膜，经选择性地曝光固化生成了稳定（不溶解于显影剂）、绝缘（阻挡电镀）物质附着于种子层，其他非反应掩膜溶解于显影液洗去，从而可在图示凹陷部分镀铜、形成排列电极。
- （二）金属化：特定图形的铜沉积（电镀铜）；然后使用抗铜氧化方法进行处理、除去之前的掩膜/感光胶、刻蚀去除电极外的多余铜种子层，最后再进行表面处理，至此形成完整的铜电镀工序。

图：图形化后的凹陷区域为镀铜区域



图：电镀铜异质结电池的生产流程



2.2 图形化+电镀为两大核心环节，技术壁垒高

- 仅图形化环节设备占比电镀铜4大环节设备价值量的50-60%，图形化+电镀环节本身技术难度大且须相互匹配。
- ❑ （1）从对电镀铜的工艺效果影响来看：图形化/电镀环节分别直接影响了后续电镀过程的电极精度/产能+良率。
 - ❑ （2）从技术壁垒来看：光伏电池电极的微米级图形化环节借鉴自半导体（纳米级）/PCB领域光刻技术，单项技术难度大，尤其是图形化光刻环节；并且图形化与电镀环节内外工艺环环相扣，要求极高的相互匹配度。
 - 图形化环节：壁垒高、测试周期长。光刻技术难度一方面在于感光材料（+掩膜）的处理、曝光、显影各工序本身需花费大量时间进行设备/工艺/辅料辅材测试，其中曝光机核心零部件依赖进口；另一方面在于需要保证相应辅料与设备应用之间的匹配度。
 - 电镀环节：借鉴自PCB的挂镀技术，但光伏行业应用需在其基础上提升产能和良率。
 - 图形化环节&电镀环节：电镀建立在图形化基础上，需要与图形化方案相匹配。
 - ❑ 另外，其他环节价值量低，技术难度相对较小。制备种子层环节通过普通物理气相沉积PVD蒸镀/溅射实现，技术门槛低。

图：两大核心环节设备+材料的相互匹配测试周期长

序号	环节	影响电镀铜工艺性能指标	具体工艺步骤	设备	设备技术进程	材料/辅料	主要价值量占比
1	PVD沉积种子层	-	蒸镀/溅射	PVD设备	技术门槛低	-	
2	图形化	对位精度	涂覆感光材料	油墨印刷机/贴膜机	半导体光刻胶日美垄断	感光材料	
			曝光固化	曝光机	核心零部件依赖进口	-	√
			显影	显影机		显影液	
3	电镀	产能、良率	电镀	电镀机	产能+良率尚在爬坡	电解液	√
4	后处理环节	-	镀锡等抗氧化金属	电镀机		电解液	
			去感光材料	去膜机		去膜液	
			刻蚀种子层	刻蚀机		刻蚀液	

3.长坡厚雪赛道， 核心环节厂商降本突围指日可待

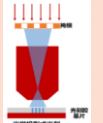
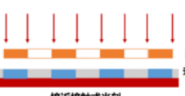
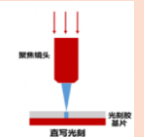
3.1 两大核心工艺同时形成多条技术路径，有望驱动设备+耗材端滚雪球式降本

- ❑ （一）图形化核心环节：具体包括涂覆感光材料、曝光固化、清洗显影步骤，其中第一/二步中感光材料/光刻具有多条技术路径。
 - 感光材料分为干膜材料/湿膜油墨/铝膜三种，其中湿膜油墨性能略差但比干膜便宜，适用于追求低成本的光伏行业。
 - 曝光固化分为光学投影掩膜光刻/接近接触式光刻/激光直写光刻(LDI)/喷墨打印共计4种，其中LDI在线宽、自动化、成本方面具有综合优势。
- ❑ 目前来看，在多条技术路线下，感光油墨+激光直写技术组合（油墨LDI）最具综合优势，且有望在极具量产+降本需求特征的光伏行业产业化。

表：图形化环节的不同感光材料比较

感光材料	涂覆技术/工艺设备	性能	特征
干膜	卷对卷贴膜机、旋涂仪	好	成本较高
光敏油墨	油墨印刷机	略差，满足要求	成本低
铝膜（薄膜）	PVD	自动氧化绝缘	-

表：图形化环节的不同技术路径比较

序号	图形化工艺	示意图	技术方案	搭配感光材料	图形化基本原理	技术来源	技术成熟度	线宽要求： 10-30μm	自动化水平	总结	光伏设备厂商
1	光学投影掩膜光刻		光刻	半导体光刻胶	由光源发出的光束，通过投影原理下的复杂光路使得光束经过掩膜获得更小比例、更精细的图像，在感光材料上曝光。	芯片高端行业	成熟	<1μm	低	设备供给、掩膜成本太高+不能自动化→不适合规模化	芯碁微装
2	接近接触式光刻		光刻	干膜/油墨	由光源发出的光束，经掩膜板在感光材料上曝光。	PCB等泛半导体行业	成熟	最小线宽约50μm 精度不足	低	设备供给、掩膜成本较高+不能自动化、精度低→不适合规模化	芯碁微装
3	激光直写光刻		光刻	干膜/油墨	计算机控制高精度光束聚焦至感光胶层基材表面，无需掩膜直接进行扫描曝光。	PCB行业		最小线宽达5μm 精度足够	高	成本相对较低、无掩膜+自动化→ 适合规模化	芯碁微装，捷得宝
4	喷墨打印		喷墨蚀刻	铝膜	印刷碱性墨，蚀刻铝膜。			精度低		精度低	-

3.1 两大核心工艺同时形成多条技术路径，有望驱动设备+耗材端滚雪球式降本

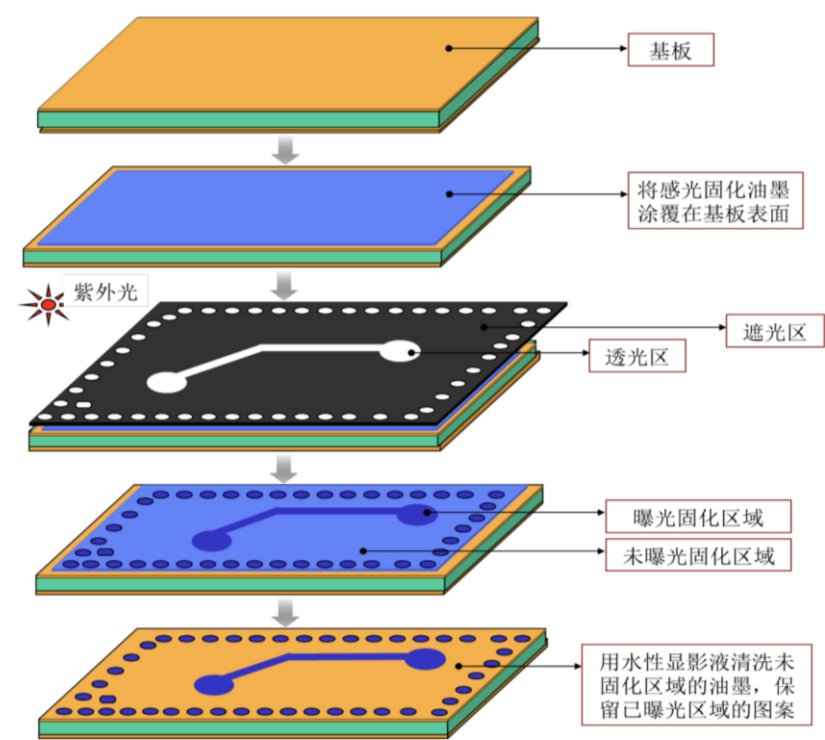
- （一）图形化核心环节：油墨LDI技术有望在电镀铜工艺中得到推广。一方面，直写光刻设备无需掩膜版制造，显著节省了成本；另一方面，油墨作为感光湿膜材料相比干膜成本更低。

图：直写光刻设备应用无需掩膜版节省大量成本

泛半导体领域直写光刻设备应用示意图



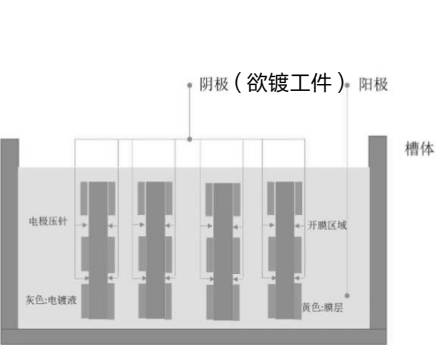
图：油墨作为感光材料的涂覆→曝光→显影的图形化示意图



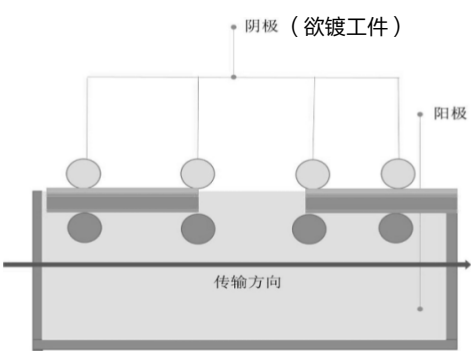
3.1 两大核心工艺同时形成多条技术路径，有望驱动设备+耗材端滚雪球式降本

- ❑ （二）电镀核心环节
- ❑ 电镀设备一般分为垂直电镀设备（挂镀设备）/水平电镀设备。垂直电镀就是让欲镀表面、铜阳极板与镀液液面垂直，同时欲渡表面与铜阳极板之间保持平行；而水平电镀就是让欲镀表面、铜阳极板与镀液液面保持水平，同样，欲镀表面与铜阳极板也要保持平行。
- 水平电镀与垂直电镀的原理一致。以半导体硅片的水平电镀为例，待镀电极（阴极）位于上方，晶圆中有溅射铜种晶层的一面朝下进行电镀，铜电极（阳极）置于半导体晶圆的下方。阴极滚轮与半导体晶圆边缘连接，并通过晶圆表面的种晶层跟铜阳极形成导电路径，滚轮连接方式如图所示。当电压加在阴极和铜阳极之间，电流就可以在两个电极之间流动。回路一旦形成，铜离子从电镀液向晶圆（阴极）表面移动，从而使得表面形成铜电镀层。
- ❑ 水平电镀技术本身难度更高，但在均匀性、量产、良率与受力的性能指标上皆比挂镀方式更好，有望成为未来的主流设备。

图：垂直电镀示意图



图：水平电镀示意图



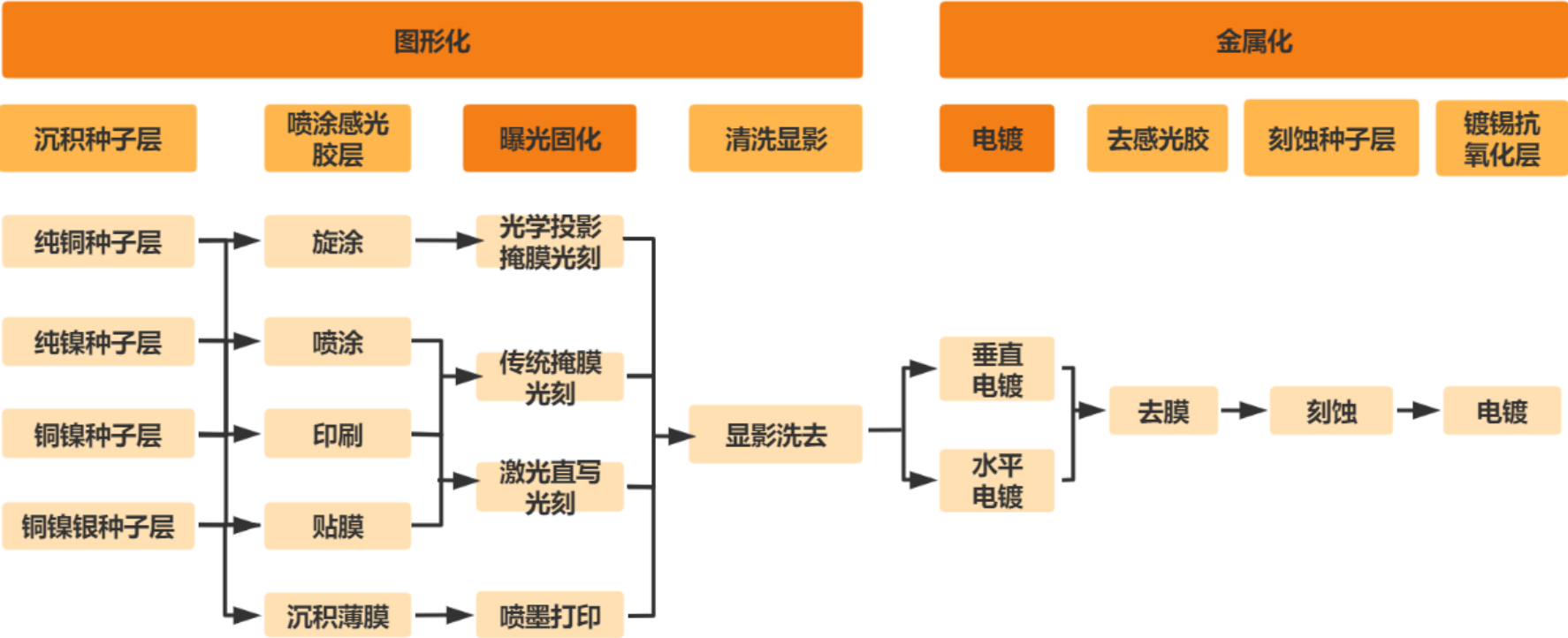
表：金属化环节的不同技术路径比较

	垂直电镀	水平电镀
电镀性能指标	电极均匀性（一般种子层边缘区电流密度更大导致电极更厚）、产能、良率	
电镀过程	工件在镀液中垂直放置，并通过垂直夹持方式随传送系统水平缓慢传送。	工件在镀液中水平放置并随导电夹子/滚轮（更方便）传送，镀液通过泵加压后经喷嘴垂直喷出促使其在板面和孔内流动并在孔内形成涡流。
特征	阴极与电池片接触面积小（具有损伤硅片风险）	阴极与电池片接触面积大
技术难度/成熟度	较低/相对成熟，可参考PCB行业，可实现单、双面镀铜	高/不成熟、研发中，待验证
电机设计要求	-	高，独特电机设备设计复杂
电化学经验要求	相对低，直接参考PCB行业	非常高
电解液	常规铜离子溶液	搭配特殊的三价铁离子溶液
电极均匀性	差	较好
产能（生产速率）	慢，难以实现自动化 2000-3000片/小时（单台50-60米挂镀设备）	快 6000-7000片/小时
良率	低，易碎片	接触面积大，相对高
其他质量问题	-	电解过程生成氢气，在电池板上产生空洞
代表厂家	东威科技等	安美特（PCB，德国） 捷得宝（做铜电镀整体解决方案）等

3.1 两大核心工艺同时形成多条技术路径，有望驱动设备+耗材端滚雪球式降本

□ 综上，电镀铜围绕图形化、电镀两大核心环节形成了多条技术路线，提升了电镀铜量产落地的确定性，且多环节配合有望实现滚雪球式降本效果。

图：电镀铜围绕图形化、电镀两大核心环节形成多条技术路径



资料来源：全球光伏公众号，《硅异质结太阳能电池接触特性及铜金属化研究》俞健等，《2020年中国光伏技术发展报告-晶体硅太阳能电池研究进展(7)》，芯碁微装招股说明书，高分子科技公众号，天风证券研究所

3.2 图形化环节-主要涉及公司及进展

- （一）图形化环节
- 整体格局：图形化环节核心设备为曝光机（光刻机），目前国内曝光机设备的核心部件依然依赖进口；感光材料油墨国产化进程中，比较顺利。
- 国内格局：国内6家公司布局，其中芯碁微装在图形化环节积淀深厚，有望引领其他厂家实现图形化环节设备降本。

表：国内各公司参与铜电镀-图形化环节的进展情况

序号	公司	图形化布局	地位	其他最新进程（公司公告披露）
1	捷得宝（未上市）	铜电镀整体解决方案，水平电镀技术供应商	致力开发光伏电池铜电镀整线工艺，为海源复材、爱旭供应商。	
2	芯碁微装	曝光+显影环节设备	国内半导体激光直写光刻设备的龙头厂商，量产LDI光刻机的设备龙头供应商，技术积淀深厚。	
3	迈为股份	PVD、图形化环节部分设备（HJT量产线设备）	2021.9.7，迈为在HJT量产设备和电镀技术结合上率先实现突破，利用澳大利亚SunDrive 无种子层直接铜电镀工艺实现了 M6 尺寸 HJT 电池片 25.54%转换效率。	202208：铜电镀这个路径现在有4个技术难点，目前公司攻克了一半多，争取在2023年上半年的一条中试线在客户端运行起来。公司对铜电镀/银包铜持中立态度。
4	爱康科技	-	介入铜电镀开发。	202110：电镀铜工艺看起来有八九道工序，但未来会整合成两台设备。
5	帝尔激光	激光干法刻蚀图形化（激光开槽）	激光干法刻蚀图形化	202210:在电镀铜路线上，公司的激光干法刻蚀技术已实现量产订单，具体应用为电镀前的图形化工艺。

3.3 金属化-电镀环节主要涉及公司及进展

- （二）电镀环节
- 技术路线：（仅部分公司公开其研究路线）捷得宝、宝馨科技着力于**水平电镀技术**的研发，东威科技专注于垂直挂镀路线。
- 进展情况：太阳井披露其推进到量产阶段，其他公司皆处于中试线阶段测试中，预计行业2023年可向量产目标推进。
- 建议2023年关注水平电镀技术的良率、产能、空洞质量问题验证。

表：国内各公司参与铜电镀-电镀环节的进展情况

序号	公司	金属化布局（湿法工艺）	地位	其他最新进程（公司公告披露）
1	捷得宝（未上市）	铜电镀整体解决方案， 水平双面电镀设备需搭配独家调制的电镀药水配方	致力开发光伏电池铜电镀整线工艺，为海源复材、爱旭供应商。	产品专利铜电镀设备产速6000片/小时，目标10000片/小时。 2021年12月有消息称：在台湾已有小批量生产，预计2022年可实现国内设置 中试线 ，年中可提供7500片量产设备。
2	东威科技	垂直挂镀 电镀机（+图形化-显影机）	202207：公司光伏设备在硅片上镀铜速度为6000片/小时， 目前（202207）行业内以电镀方式能做到6000片的只有东威	已完成样机交付并与终端客户做了 中试线 。
3	罗博特科	制备电极方向、HJT铜互联解决方案	2015年为杭州赛昂铜电镀量产提供自动化设备；202206公司关于HJT自动化技术和产品已经迭代至第三代。	铜电镀技术还处于公司内部测试阶段，目前已完成工艺流程的验证部分，并出了相应各工艺段的样片。公司专门负责该业务的技术团队对铜电镀样片已进行初步检验和评估，结果基本达到预期，预计202212将在合作客户端逐步完成铜电镀设备的样机配套并安排是客户现场进行测试。
4	宝馨科技	电镀机、刻蚀机	公司经过对光诱导电镀、化镀、直接电镀、垂直挂镀、水平电镀等相关工艺路径的研究及实验。	202209：目前公司相关项目研发部门 正着力于水平电镀设备开发 ，研发进展顺利，已研制出单道水平电镀 中试线 并出货。在前端图形化工艺段将采取合作的模式开展。
5	钧石能源（未上市）	铜电极电镀设备	介入开发铜电镀技术，并应用于其HBC中试整线，组件产品于2021年展出。	—
6	太阳井（未上市）	HJT铜互联解决方案	（通威投资）2017年成立，致力于异质结电池的铜制程整套解决方案，具有镀铜小试实验机产品。	—

4.行业快速导入期在即， 关注2023年量产验证情况

4.1 电镀铜经济性测算：较传统丝印银浆具有显著降本效果

- 由于电镀环节技术在持续验证中，假设未来电镀铜良率将逐步趋近现有丝网印刷良率并达到95%，从成本测算可得：铜电镀作为去银化路线对HJT电池路线具有明显降本效果：（1）目前，低温银浆价格约6500元/kg，非硅成本降本效果达0.085元/W；（2）考虑到低温银浆国产化进程，即使在银浆价格低至3000元/kg基础下，考虑到耗材端油墨和其他药剂的国产化也将带来一定的降本效果，铜电镀依然能较丝印银浆降低非硅成本0.027元/W。
- 虽然铜电镀的初始投资额高于丝印方式接近2亿，但其铜材+感光油墨+其他药剂的总体耗材成本合计约为3-4分/W，相较于传统方式低了0.104元/W，能够很好抵消折旧端0.019元/W的成本提升。

表：电镀铜技术较传统丝印降本作用明显（其他药剂：显影液、电解液、去膜液）

HJT-丝网印刷		HJT-铜电镀	
设备初始投资（亿元/gw）	4.00	设备初始投资（亿元/gw）	5.60
折旧残值/年限	5%/8年		5%/8年
设备折旧（元/w）	0.048	设备折旧（元/w）	0.067
			0.019
假设银浆价格为6500元/kg:			
银浆成本（元/W）	0.141	铜成本（元/W）	0.001
		耗材1-感光油墨（元/W）	0.018
		耗材2-其他药剂（元/W）	0.018
银浆价格（元/kg）	6500.00	铜价格（元/kg）	65.00
电极宽度（μm）	40.00	电极宽度	20.00
每片银浆用量（mg）	240.00	每片铜用量（mg）	126.32
总体耗材成本合计（元/W）	0.141	总体耗材成本合计（元/W）	0.037
			(0.104)
总体非硅成本（元/W）	0.189	总体非硅成本（元/W）	0.104
			(0.085)
假设银浆价格为3000元/kg:			
银浆成本（元/W）	0.065	铜成本（元/W）	0.001
		耗材1-感光油墨（元/W）	0.009
		耗材2-刻蚀墨水（元/W）	0.009
银浆价格（元/kg）	3000.00	铜价格（元/kg）	65.00
电极宽度（μm）	40.00	电极宽度（μm）	20.00
每片银浆用量（mg）	240.00	每片铜用量（mg）	126.32
总体耗材成本合计（元/W）	0.065	总体耗材成本合计（元/W）	0.019
			(0.046)
总体非硅成本（元/W）	0.113	总体非硅成本（元/W）	0.085
			(0.027)

备注：表格数据基于电镀铜良率未来达到95%假设测算得来，不代表目前真实情况，仅供参考

表：电镀铜各环节所用耗材包括感光材料和多种化学药剂

序号	环节	具体工艺步骤	设备	材料/辅料	主要价值量占比
1	PVD沉积种子层	蒸镀/溅射	PVD设备	-	
2	图形化	涂覆感光材料	油墨印刷机/贴膜机	感光材料	
		曝光固化	曝光机	-	√
		显影	显影机	显影液	
3	电镀	电镀	电镀机	电解液	√
4	后处理环节	镀锡等抗氧化金属	电镀机	电解液	
		去感光材料	清洗机	去膜液	
		刻蚀种子层	刻蚀机		

4.1 电镀铜经济性测算：关键在良率、量产速率验证

- ❑ 量产验证的关键指标系电镀铜技术的良率、量产速率的可行性。

➢ 当前铜电镀良率尚无可靠数据，从敏感性分析可见，若目前良率低至30%及以下则基本抵消了电镀铜的成本优势。

➢ 传统丝印量产速率达8000片/小时，目前电镀铜前期试线水平最高为水平电镀的6000片/小时左右。

➢ 关注水平电镀技术下产品空洞的质量问题。
- ❑ 去银化路线下，随着目前感光油墨、显影液等其他药剂正在国产化进程中，我们预计耗材的非硅成本占比将进一步减小，未来电镀铜产业化有望持续在设备端给予光伏行业降本动力。

➢ （1）目前~耗材端：感光油墨、其他化学药剂国产化；

➢ （2）未来~设备折旧端：电镀铜设备的规模化量产将快速分摊固定资产成本；设备核心部件的本土化驱动降本，目前电镀铜较多设备及其核心部件仍以从中国台湾地区或其他地区引进为主。

➢ （3）未来~推动薄片化降本：铜电镀是低温工艺，利于推动薄片化。

表：良率对电镀铜降本效果的敏感性分析（银浆价格为6500元/kg）

电镀铜良率	10%	20%	25%	30%	50%	70%	90%	99%
总体耗材成本合计（元/W	0.370	0.185	0.148	0.123	0.074	0.053	0.041	0.037
设备折旧（元/W）	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
总体非硅成本-电镀铜	0.437	0.252	0.215	0.190	0.141	0.119	0.108	0.104
总体非硅成本-丝印银浆	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
电镀铜降本效果（元/W）	-0.248	-0.063	-0.026	-0.001	0.048	0.070	0.081	0.085

表：电镀铜量产速率远不及传统丝印方式

片/小时	2022年生产速率	碎片率	数据来源
丝网印刷	8000	小于0.1%	迈为
电镀设备	6000	未披露	捷得宝、东威

表：电镀铜去银化路线颠覆了光伏电池非硅成本结构，未来降本压力转移到设备端

HJT-丝网印刷		非硅成本占比	HJT-铜电镀		非硅成本占比
设备折旧（元/w）	0.048	25%	设备折旧（元/w）	0.067	64%
银浆成本（元/W）	0.141	75%	铜成本（元/W）	0.001	1%
			耗材1-感光油墨（元/W）	0.018	18%
			耗材2-其他药剂(元/W)	0.018	18%
总体耗材成本合计（元/W）	0.141	75%	总体耗材成本合计（元/W）	0.037	36%
总体非硅成本（元/W）	0.189	100%	总体非硅成本（元/W）	0.104	100%

4.2 电镀铜设备市场空间26年有望突破50亿

- 随着未来N型电池渗透率不断加速，预计非银电极的降银（银包铜）→去银技术（铜电镀）将不断成熟实现产业化，我们假设银包铜技术率先应用，而后光伏行业的降本增效需求将促使其转变为去银化的铜电镀技术，**预计26年铜电镀设备市场规模突破50亿元。**其中核心设备曝光机26年市场规模或接近15亿元。预测假设如下：
- 假设N型电池/非银电极/铜电镀的技术渗透率逐年提升，并假设2022年铜电镀技术渗透率为2%；
 - 当前铜电镀全工艺设备投资额约2亿/GW，假设随着产业化未来设备投资额逐年下降5-10%。

表：铜电镀设备市场规模预测

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
光伏组件需求（GW）	166	266	346	399	457	571
光伏电池片需求（GW）	181	289	376	434	497	621
N型电池占比	3%	14%	30%	44%	52%	57%
N型电池需求（GW）	5	41	113	191	259	354
N型电池需求增量（GW）		35	72	78	68	96
电镀铜技术占比		2%	5%	10%	20%	40%
电镀铜投资规模（GW）		0.7	3.6	7.8	13.5	38.2
电镀铜单GW投资额（亿元）		2.00	1.80	1.62	1.54	1.46
曝光机单GW投资额（亿元）		0.50	0.45	0.41	0.38	0.37
电镀铜市场规模（亿元）		1.4	6.5	12.6	20.8	55.9
曝光机市场规模（亿元）		0.4	1.6	3.2	5.2	14.0

备注：表格数据基于电镀铜2022年技术渗透率为2%的假设测算得来，不代表目前真实情况，仅供参考

表：电镀铜工艺产线投资额显著高于丝印

	丝网印刷	电镀铜	占比电镀铜全工艺设备
HJT电池产线投资额（亿/GW）	4	5.6	
丝网印刷全工艺设备（亿/GW）	0.4		
电镀铜全工艺设备（亿/GW）		2	100%
曝光机（亿/GW）		0.5	25%

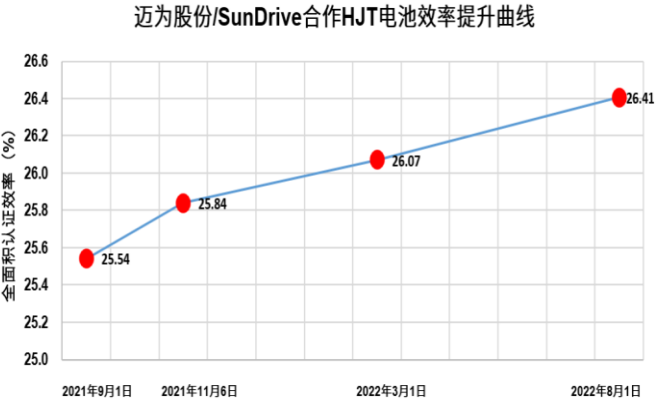
4.3 电镀铜产业化进程：龙头电池厂商加盟，关注2023年产线验证情况

- 据全球光伏，2022年底前铜电镀各技术路线的量产验证线将陆续投产并历时约半年时间的验证，因此2023年中前为研判相关技术量产的关键时期。
- 电镀铜在下游电池应用中难度较大、壁垒高。其中爱旭、海源复材、晶澳、天合、晶科、爱康、日升、隆基的技术验证进行较为深入，我们预计上述企业有望较快放量，其中爱旭和海源公开宣称电镀铜技术可以量产。

表：国内各电池厂商参与铜电镀的进展情况

铜电镀电池厂商	序号	电池厂商	曝光机设备供应商	电镀机设备供应商	进程
第一批	1	赛昂（2015）	罗博特科（自动化设备）		
	2	钧石（2018）			
	3	国电投			国电投研究院已自主开发并拥有转换效率 24.5%的铜栅线异质结电池（C-HJT）量产技术工艺。
第二批 近两年技术验证的下游	1	爱旭	捷得宝	捷得宝	
	2	海源复材	捷得宝	捷得宝	2021.11月海源复材与捷得宝签署《设备买卖 框架合同》，拟共同完成5GW 高效异质结电池产能建设项目。首条应用铜电镀工艺的600MW异质结电池量产线于2022年前已开始进设备、年后安装调试，有望在业内率先应用电镀铜技术。
	3	隆基	芯碁微装	东威科技	
	4	迈为			Sundrive（澳大利亚电镀厂商，无种子层电镀设备）；迈为股份与 SunDrive 自 2021 年起合作研发高效 HJT 电池，电池片电极在无种子层电镀设备上完成，SunDrive 优化了其无种子层直接电镀工艺，使电极高宽比得到提升（栅线宽度可达 9μm，高度 7μm），2022.9最新转换效率高达 26.41%。
	5	通威	芯碁微装	太阳井（通威投资）	

图：迈为与sundrive合作研发无银HJT电池不断突破光电转换效率



5.投资建议

5 投资建议

■ 建议关注图形化、电镀两大核心环节设备厂商。（1）图形化环节中，PCB直写光刻设备龙头芯碁微装深耕图形化技术多年，帝尔激光在激光干法刻蚀图形化技术上实现量产订单，迈为股份、爱康科技等设备厂商积极布局图形化环节技术；（2）电镀环节中，东威科技专研垂直电镀技术并完成中试线，罗博特科技术布局正处于内部验证阶段并预计于2022年底在客户端测试，宝馨科技着力突破水平电镀技术且完成中试线研制与出货。

表：电镀铜上市公司积极布局

环节	序号	公司	图形化布局	地位	更新时间	其他最新进程（公司公告披露）
图形化	1	芯碁微装	曝光+显影环节设备	国内半导体激光直写光刻设备的龙头厂商，量产LDI光刻机的设备龙头供应商，技术积淀深厚。	-	-
	2	迈为股份	PVD、图形化环节部分设备	2021.9.7，迈为在HJT量产设备和电镀技术结合上率先实现突破，利用澳大利亚 SunDrive 无种子层直接铜电镀工艺实现了 M6 尺寸 HJT 电池片 25.54%转换效率。	202208	202208：铜电镀这个路径现在有4个技术难点，目前公司攻克了一半多，争取在2023年上半年的一条中试线在客户端运行起来。公司对铜电镀/银包铜持中立态度。
	3	爱康科技		介入铜电镀开发。	202110	202110：电镀铜工艺看起来有八九道工序，但未来会整合成两台设备。
	4	帝尔激光	激光干法刻蚀图形化（激光开槽）	激光干法刻蚀图形化	202210	202210：在电镀铜路线上，公司的激光干法刻蚀技术已实现量产订单，具体应用为电镀前的图形化工艺。
电镀	5	东威科技	垂直挂镀电镀机（+图形化-显影机）	202207：公司光伏设备在硅片上镀铜的速度为6000片/小时，目前（202207）行业内以电镀方式能做到6000片的只有东威		已完成样机交付并与终端客户做了中试线。
	6	罗博特科	电镀设备、HJT铜互联解决方案	2015年为杭州赛昂铜电镀量产提供自动化设备；202206公司关于HJT自动化技术和产品已经迭代至第三代。	202206	铜电镀技术还处于公司内部测试阶段，目前已完成工艺流程的验证部分，并出了相应各工艺段的样片。公司专门负责该业务的技术团队对铜电镀样片已进行初步检验和评估，结果基本达到预期，预计202212将在合作客户端逐步完成铜电镀设备的样机配套并安排在现场进行测试。
	7	宝馨科技	电镀机、刻蚀机	公司经过对光诱导电镀、化镀、直接电镀、垂直挂镀、水平电镀等相关工艺路径的研究及实验。	202209	202209：目前公司相关项目研发部门正着力于水平电镀设备开发，研发进展顺利，已研制出单道水平电镀中试线并出货。在前端图形化工艺段将采取合作的模式开展。

风险提示

- 1) 光伏装机量不及预期：电镀铜技术应用于太阳能电池片，主要用于光伏电站建设，若未来光伏装机量下滑，则会对电池需求造成不利影响，从而影响电镀铜应用进程。
- 3) HJT电池量产速度低于预期：电镀铜技术应用于HJT电池能有效实现降本增效，多家企业已宣布HJT电池量产规划。但HJT电池产业链未完全成熟，后续仍需改进技术进一步降低成本，因此量产速度可能低于预期，影响电镀铜应用。
- 3) 电镀铜技术推进进展不及预期：电镀铜技术处于研发和试验阶段，量产难点未完全攻克。若电镀铜技术推进不及预期，厂家可能转向其他降银路径。
- 4) 存在主观性预测使得测算结果与未来事实存在偏差：本文对市场空间和电镀铜技术降本测算分析是基于一定前提假设，存在假设条件不成立、市场发展不及预期等因素导致市场空间和降本测算结果偏差，仅供参考。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS