

光伏设备专题报告

光伏铜电镀：降本增效利器，市场向好趋势明确

【华西机械团队】

毛冠锦：S1120523020001

2023年2月8日

请仔细阅读在本报告尾部的重要法律声明

□ 去银化趋势下，铜电镀工艺优势凸显

- **电镀优势在于成本低、电池接触性能高、电池损耗率低、不易氧化等。**根据我们测算：1) 丝印HJT非硅成本约0.31元/W，比PERC非硅成本高出0.07元/W，电镀HJT为0.23元/W，已经基本和PERC打平。2) 银耗量方面，丝印HJT电池达到0.152元/W，显著高于PERC电池0.06元/W和TOPCon电池0.08元/W的水平，而铜电镀HJT电池浆料及其他材料成本约0.05元/W。若铜电镀量产，我们认为单瓦成本仍有进一步降低的空间：1) 设备中长期来看有降本空间，降低折旧成本；2) 药剂、油墨等材料也有下降空间。3) 薄片化降低硅片成本。
- **产业化稳步推进，设备市场规模可期。**海源复材、天合、通威、宝馨科技、爱旭、隆基等布局无银化技术，如海源复材在电镀铜技术已趋于成熟，降本增效比较明显，2023具备产业化，2024年开始形成规模化产能；宝馨科技铜电镀技术及设备目前已完成中试供货，同时正在量产化研发设计中。产业化推进，设备厂商率先受益，规模产业化后铜电镀设备产线投资额有望由目前的1.5-2亿元/GW降低至1-1.2亿元/GW。根据我们测算，2026年HJT铜电镀设备市场规模将达86亿元，其中曝光机和镀铜设备市场规模分别为27亿元和30亿元。

□ 铜电镀工艺中图形化环节路线不一，电镀铜环节仍存技术难点

- **种子层制备中PVD制备工艺为主流：**种子层制备是为了改善铜金属电极与TCO间的粘附性，常用经济效益高的铜金属。制备方法有PVD、CVD、喷涂、印刷等，其中PVD为主流方法。此外，如迈为股份已采用无种子层电镀方案，提高HJT转换效率至25.94%。
- **图形化工艺成熟但路线不一，选择最优路线降低成本是关键：**图形化环节包括喷涂感光胶层、曝光、显影，其中主要感光材料有干膜、湿膜、光刻胶。曝光、显影环境是将图形转移至感光材料上，主流技术有普通掩膜光刻技术、激光直写技术、激光转印等，其中激光直写式光刻是铜电镀领域中的主流技术。该环节采用的曝光机为核心设备，主要布局企业有芯碁微装、苏大维格、天准科技等。
- **电镀铜环节仍存技术难点待突破，设备厂商加快布局：**电镀方式主要有垂直升降式电镀、垂直连续电镀及水平电镀等。其中，垂直电镀工艺更为成熟，但效率或存在瓶颈；水平电镀容易实现自动化但目前镀铜均匀性较差。电镀设备厂商主要有东威科技、捷得宝、罗博特科、钧石能源等。其中，东威科技已实现8000片/小时光伏垂直镀铜设备研发；罗博特科已完成设备内测，已发往客户端验证；钧石能源、太阳井、捷德宝电镀设备也在推进中。

□ **投资建议：**光伏铜电镀产业化加速，行业处于0-1，蕴含巨大机遇，给予行业“推荐”评级。

□ **受益标的：**东威科技、罗博特科、苏大维格、芯碁微装、迈为股份、捷佳伟创等

□ **风险提示：**铜电镀产业化进度不及预期，行业竞争加剧，数据更新不及时、测算误差等。

一 金属化工艺多样，高效电池片降银需求加强

二 铜电镀：去银化趋势下的新选择-工艺&设备

三 光伏铜电镀工艺设备市场规模测算

四 光伏铜电镀产业进展及主要公司介绍

五 投资建议、受益标的及风险提示



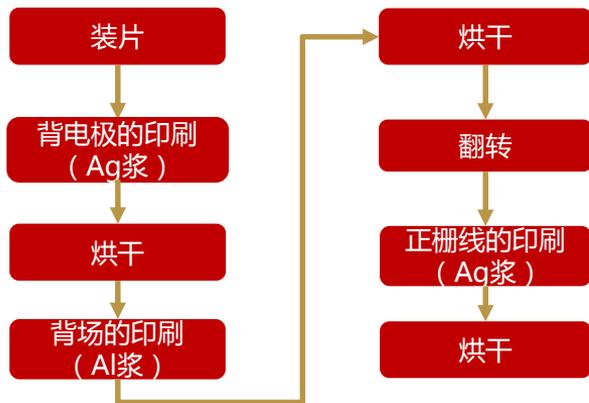
一、金属化工艺多样，高效电池片降银需求加强



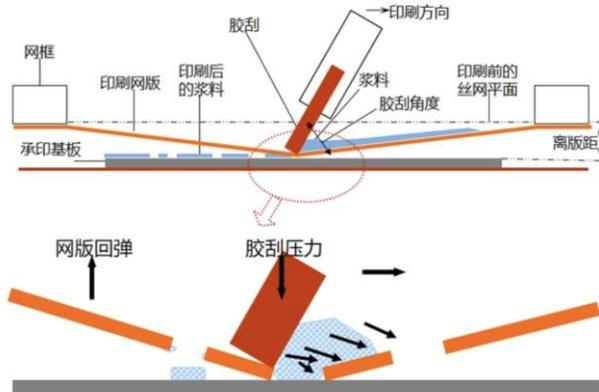
1.1.金属化：工艺路线多样，丝网印刷是主流

- 金属化是光伏电池片关键工艺之一，主要用于制作光伏电池电极，将PN结两端形成欧姆接触，实现电流输出。**目前光伏电池金属化环节中**共有银浆丝网印刷、银包铜、铜电镀、喷墨打印、激光转印等。**其中目前量产线上基本采用丝网印刷工艺，银包铜、铜电镀、激光转印等工艺仍未实现大规模产业化。**
- **丝网印刷**：利用丝网图形部分网孔透浆料，非图文部分网孔不透浆料。印刷时丝网一端倒入浆料，用刮刀实施压力并朝丝网另一端移动。油墨在移动过程中被刮板从图形部分网孔挤压到基片上。浆料的黏性作用使印迹固定在一定范围内，印刷过程中刮板和丝网印版和承印物接触，接触线随刮刀移动。当刮板刮过整个印刷区域后抬起，丝网脱离基片，工作台返回到上料的位置。**丝网印刷也存在几点不足：一是容易造成污染和原料浪费，二是目前印刷精度和印刷细栅的高宽比很难再提高，但更大的高宽比金属栅极却是提高电池光电转换效率的关键环节。**
- 在HJT电池中，由于目前低温银浆的导电性较差，因此栅线的线电阻较大（电阻率约为 $6\sim 10\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，是高温浆料的3~6倍），需要更大的高宽比，通常需要印刷2次，印刷线印刷时的栅线对准精度很重要。

图表：丝网印刷工艺流程



图表：丝网印刷原理示意图



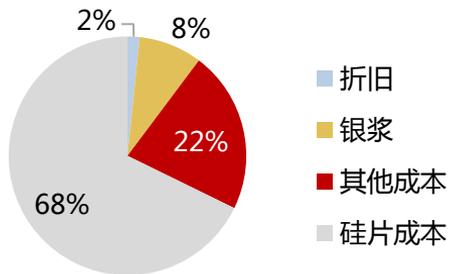
图表：丝网印刷设备



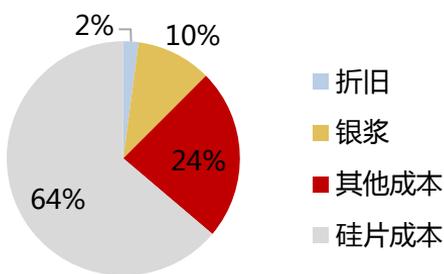
1.2.银耗量：HJT电池采用低温银浆，且银耗量较高

- **光伏电池主流技术现状**：市场上主要有P型与N型太阳能电池，其中N型电池具有转换效率高、双面率高等特点，制备技术包括TOPCon、IBC、HJT。其中，TOPCon已开始大规模量产，N型HJT具有能耗少、转换效率高、双面发电等技术优势，未来渗透率有望提升。
- **从单瓦银浆耗量来看，HJT银耗量最高**。PERC银耗量为10-15mg/W，TOPCon银耗量为10-20mg/W，HJT银耗量为20-25mg/W。HJT电池银耗量约为PERC的2倍，低温银浆占总成本约20%，占电池片非硅片成本比重近50%。
- 在HJT电池中，一方面异质结电池正反两面都有银电极，增加了贵金属银的用量；另一方面所使用的银浆为低温银浆，仅占银浆总供应量的2%。虽我国低温银浆正快速国产化，但低温银浆由于需同时满足印刷和固化工序，工艺流程严苛，大部分需要从杜邦、汉高、贺利氏等海外公司进口。
- **目前主要有两大改进方向**：1) **减少低温银浆的使用量以及银粉使用量**。用贱金属代替部分或全部银粉，如银包铜、电镀铜、喷墨打印等；2) **提高转化率**。如增加主栅数目减小主栅和细栅的宽度，增大细栅线高宽比、减少细栅线电阻率，提高电池受光面积等。铜电镀工艺完全去银化大幅降低生产成本，因此铜电镀工艺有望成为主流趋势。

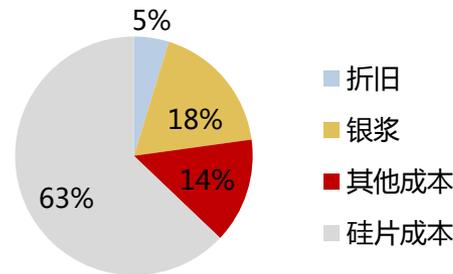
图表：PERC电池成本分布



图表：TOPCon电池成本分布



图表：丝印HJT电池成本分布



1.2.银耗量：HJT电池采用低温银浆，且银耗量较高

□ 根据我们测算：

➢ 丝印HJT非硅成本约0.31元/W，比PERC非硅成本高出0.07元/W，**铜电镀HJT为0.23元/W，基本和PERC持平。**

➢ PERC、TOPCon和丝印HJT电池设备折旧分别为0.012、0.016和0.04元/W，铜电镀设备折旧约为0.05元/W，处于较高水平。

➢ 银耗量方面，丝印HJT电池达到0.152元/W，显著高于PERC电池0.06元/W和TOPCon电池0.08元/W的水平。

□ 若铜电镀量产，我们认为单瓦成本仍有进一步降低的空间：

➢ 设备中长期来看有降本空间，降低折旧成本；

➢ 模电镀液、研磨材料等也有下降空间；

➢ 铜电镀是低温工艺，不影响硅片薄片化。

图表：成本测算

	PERC	TOPCon	HJT	HJT (导入背面银包铜)	HJT (导入双面银包铜)	HJT (导入铜电镀)
功率 (W/片, M10)	7.5	8.12	8.12	8.12	8.12	8.36
良率	98%	96%	98%	98%	98%	98%
设备 (亿元/GW)	1.2	1.6	4	4	4	5.5
折旧年限 (年)	10	10	10	10	10	10
折旧 (元/W)	0.012	0.016	0.04	0.04	0.04	0.055
正银耗量 (mg/片)	71.7	75.1				
背银耗量 (mg/片)	24.7	70				
低温银浆耗量 (mg/片)			190	143	95	
铜耗量 (mg/片)						130
正银价格 (元/kg)	5650	5650				
背银价格 (元/kg)	3165	3165				
低温银浆 (元/kg)			6500			
银包铜 (元/kg)				6500	6500	
铜价 (元/kg)						61.9
正银耗量 (mg/W)	9.6	9.2				
背银耗量 (mg/W)	3.3	8.6				
低温银浆耗量 (mg/W)			23.4			
银包铜浆料耗量 (mg/W)				17.5	11.7	
正银耗量 (元/W)	0.054	0.052				
背银耗量 (元/W)	0.010	0.027				
低温银浆耗量 (元/W)			0.152			
银包铜浆料 (元/kg)				0.114	0.076	
铜+药剂+油墨等材料 (元/kg)						0.041
浆料及其他材料成本 (元/W)	0.064	0.080	0.152	0.114	0.076	0.041
靶材耗量 (mg/片)			140	140	140	140
靶材价格 (元/kg)			1680	1680	1680	1680
靶材成本 (元/W)			0.029	0.029	0.029	0.028
其他成本 (元/W)	0.16	0.18	0.12	0.12	0.12	0.12
非硅成本 (元/W)	0.24	0.28	0.31	0.27	0.24	0.22
硅片成本 (元/W)	0.51	0.49	0.53	0.53	0.53	0.53
成本 (元/W)	0.74	0.76	0.84	0.80	0.77	0.75
考虑良率成本 (元/W)	0.76	0.79	0.86	0.82	0.78	0.76

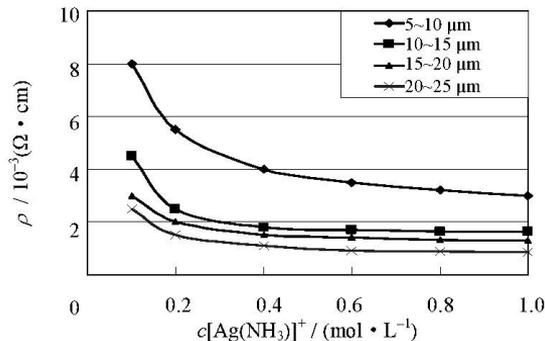
1.3.银包铜&铜电镀：电池工艺升级，少银或无银化趋势加强

- **银包铜是为减少银浆使用量而延伸出来的工艺，利用铜代替部分银，采用化学镀技术，经过特定的成型及表面处理工艺，在超细铜粉表面形成不同厚度的银镀层，兼备银和铜的优点。**
- 当铜粉粒径增大，铜粉分散性能更好，分散剂对银氨络离子与铜粉的接触阻碍减小，更易发生置换反应，包覆在铜粉颗粒上的银含量更高，银包铜的电阻率会减小。
- 当银包铜的包覆温度低于50°C时，银包铜粉的银含量增加平缓，电阻率大；高于50°C后，银含量急剧增大；当包覆温度达到70°C左右时，银含量达到最大值。但随着温度的升高，铜粉表面会氧化阻碍银在铜表面的沉淀。
- **银包铜技术能够使银耗量降低，但缺点是效率无法提升，且可能会出现新的问题。** 1) 银与铜的熔点与硬度不同，在高温情形下会出现**脱银、铜氧化提高电阻**等现象，所包裹的银的均匀性降低；2) 丝网印刷工艺中球粉颗粒需要具有足够的过网性，这就要求铜粉的直径小于15微米，**加工成本**大幅增加；3) 组件的质量可靠性与工艺的性能测试还有待验证。

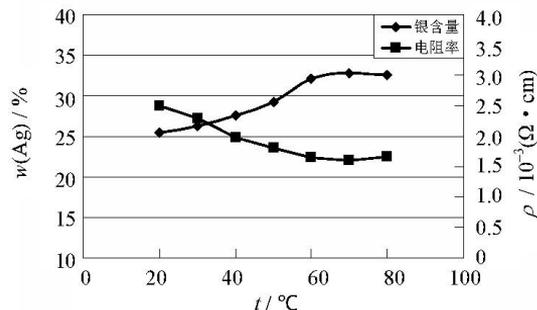
图表：银包铜制备工艺流程



图表：不同粒径银包铜粉电阻率



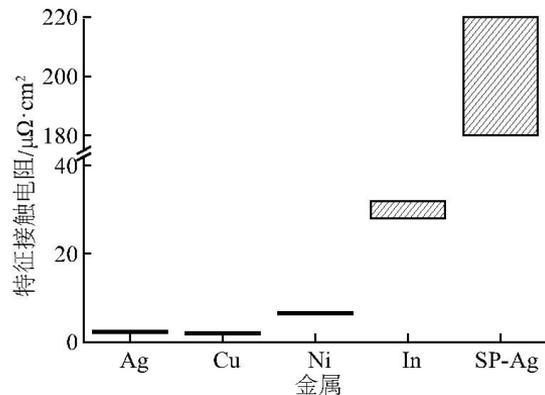
图表：包覆温度对银包铜粉性能影响



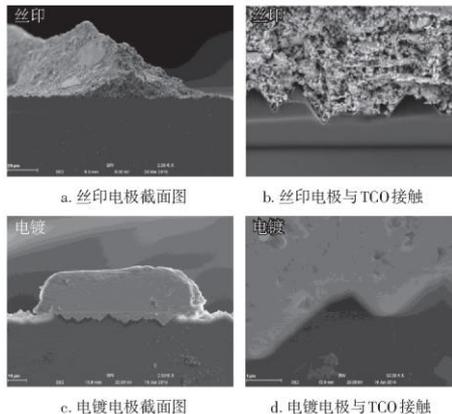
1.3.银包铜&铜电镀：电池工艺升级，少银或无银化趋势加强

- **铜金属化电极被认为是突破丝网印刷技术瓶颈，有助于改善载流子收集，或是太阳电池金属化终极技术。**
- **优势：**1) 成本低，铜的每单位成本仅为银的1/100；2) 在HJT电池中，丝网印刷工艺中使用的低温银浆成本高，且低温银浆由于烧结的温度低，导致银颗粒之间空隙较大，导致线电阻高以及电极的附着性降低，但在铜电镀工艺中采用的电镀工艺会使得电极内部紧密且均匀，提高接触性能；3) 铜电极具有线宽细（可达 $25\mu\text{m}$ ）以及高宽比更佳、线电阻低（铜栅线电阻率是 $1.7\Omega/\text{m}$ ，银浆的电阻率大约为 $5-10\Omega/\text{m}$ ）的特点，电池损耗功率相较丝网印刷工艺更低。4) 与银包铜技术相比，能够缓解因银、铜熔点不同造成的脱银、氧化铜等现象。
- **劣势：**1) 工序历时时间长，工艺流程更复杂；2) 所需设备数量大幅增加，设备成本高；3) 增加环保成本。
- **对比现在主流的光伏银浆，电镀铜技术转换效率可以增加约0.3%。**但电镀铜路线目前处于最优工艺路径尚未确定、设备尚无法定型的阶段，我们预计2024年电镀铜在HJT产业链内有望量产。

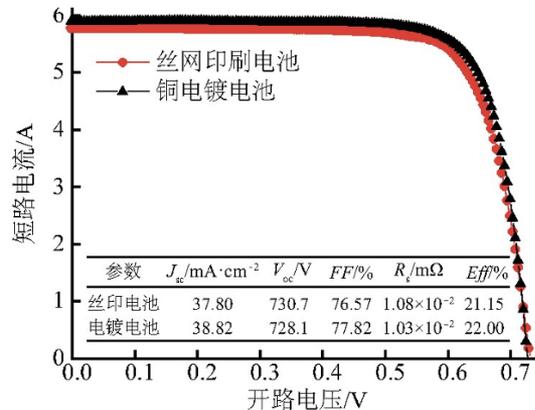
图表：常见金属与TCO的接触电阻对比



图表：丝网印刷和电镀电极有望实现比



图表：丝网印刷和铜电镀电流对比





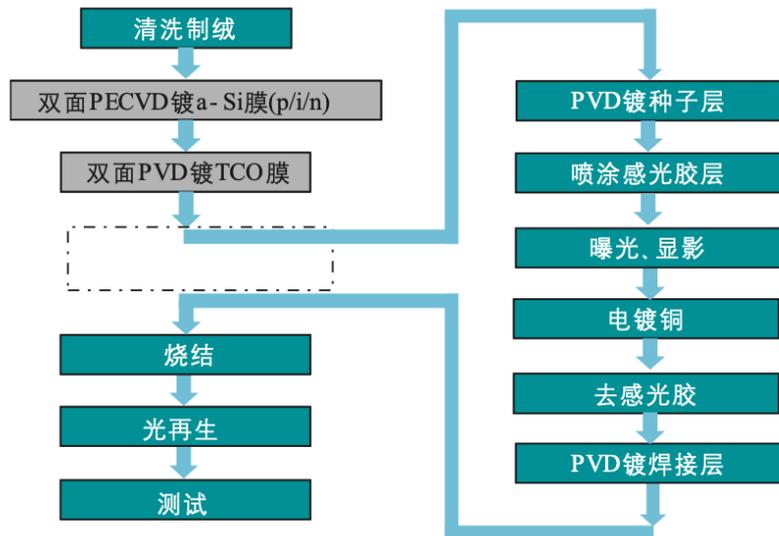
二、铜电镀：去银化趋势下的新选择—工艺&设备



2.1.铜电镀：主要工艺流程及设备

- 铜电镀是电池片电极金属化环节中降低成本、提高效率的重要技术。
- 铜电镀工艺流程为：1) 种子层制备：具体工艺为镀种子层，主要是增加铜镀层和透明导电薄膜之间的附着力，防止电极脱落；2) 图形化：具体工艺包括喷涂感光胶层，曝光、显影，显现出在感光胶上的图形；3) 电镀：这是金属化的一步，将电池片插在电解池中还原溶液中的铜离子为铜金属，完成铜的沉淀；4) 后处理：主要包括去感光胶、刻蚀种子层，镀焊接层等流程，前者主要采用清洗机对残留在表面的感光胶进行处理，露出种子层，并刻蚀种子层；后者主要目的是通过电镀锡保护层，防止铜氧化，延长电池寿命。在铜电镀设备中，曝光和电镀设备为两大核心设备。

图表：铜电镀制备工艺流程



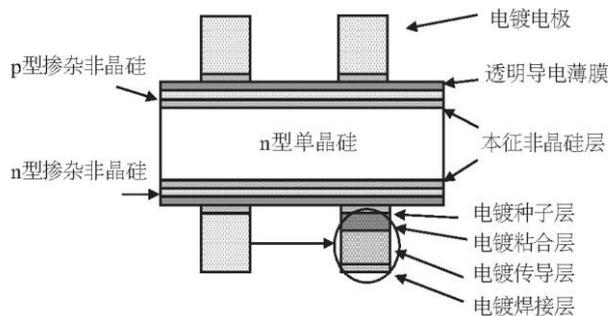
图表：铜电镀主要设备

设备	作用
PVD	• 应用于铜种子层的建立
贴膜机+真空层压机	• 应用于覆盖掩膜，感光材料主要有干膜、光刻胶、湿膜油墨
曝光机	• 分为传统曝光设备和直接成像设备，主要厂商是芯碁微装
显影机	• 应用于显影，价值量不高，主要厂商为东威科技、芯碁微装
电镀机	• 应用于电镀，分为水平电镀和垂直电镀，主要厂商为捷得宝、太阳井、东威科技
退膜机	• 应用于后处理环节中的退膜，洗去剩余感光材料层，显露出种子层
化镀锡机	• 应用于后处理环节中的化镀锡，防止铜氧化，延长电池寿命

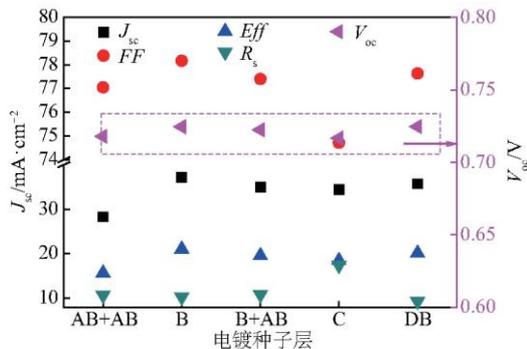
2.2.1.铜电镀：种子层制备，通常采用PVD设备

- 种子层的制备是为了改善铜金属电极和透明导电薄膜（TCO）之间的粘附性以及电性能，同时防止烧结后铜向硅内部的扩散。种子层厚度约为100nm。
- 种子层的制备材料：金属铜（Cu）、镍（Ni）、铜镍合金、钛（Ti）、钨（W）。
 - 所用材料需要具有不易氧化、低电阻率并与TCO膜层接触好、耐电解液腐蚀、可被刻蚀工艺腐蚀的特性。其中，镍价格相对便宜，但铜具有更低的接触电阻，而钛和钨价格高经济效益不高。
- 种子层的制备方法：物理气相沉淀（PVD）和化学气相沉淀（CVD）、喷涂、印刷等方法。
 - 由于PVD方法技术门槛较低，因此目前PVD制备种子层为主流方法，其中主要采取溅镀技术溅射金属层。在制备过程中，种子层制备可与透明导电薄膜制备使用同一台PVD设备，或使用两台PVD设备，只需将靶材更换为金属铜。
- 此外，已有部分企业采取无种子层电镀方案。如迈为股份采用低钨含量的TCO工艺结合SunDrive公司的铜电镀栅线（栅线宽度可达 $9\mu\text{m}$ ，高度 $7\mu\text{m}$ ），联合将低成本HJT电池的转换效率提高至25.94%。

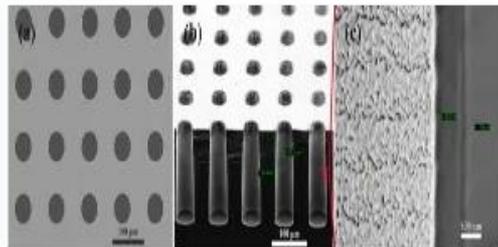
图表：HJT铜电极电池结构



图表：不同种子层对电池性能的影响



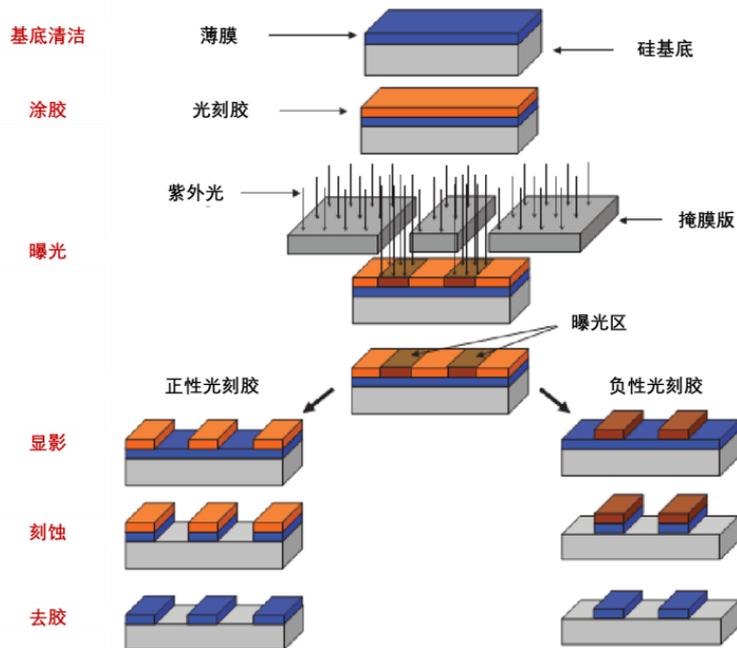
图表：PVD镀种子层



2.2.2.铜电镀：图形化—核心环节之一，工艺成熟但路线不一

- 图形化是铜电镀工艺中核心环节之一，包括喷涂感光胶层，曝光、显影。
- 其中，感光材料有：1) 干膜材料；2) 光刻胶；3) 湿膜油墨。其精度均满足铜电镀工艺要求，材料的选取与使用的图形化工艺有关。
- 干膜：一种高分子材料，通过紫外线照射后产生一种聚合反应，形成一种稳定的物质附着于板面，达到阻挡电镀和蚀刻的功能。其优势在于提高电镀的均匀性，操作简单，但设备成本较高，工艺更为复杂。
- 湿膜：指对紫外线敏感，并能够通过紫外线固化的感光油墨。优势在于油墨的价格远低于干膜，能够满足光伏行业量产的需求；且所需设备数量少；所制备的铜栅线更窄，可控性更强。劣势在于残余油墨不太容易去除，易影响电池电流密度，目前也在不断改进中。
- 光刻胶：又称光致抗蚀剂，是指通过紫外线、电子束、离子束、X射线等照射，其溶解度发生变化的耐蚀剂刻薄膜材料。根据显影原理可分为正性光刻胶和负性光刻胶，前者被曝光的区域溶于显影剂中，在蚀刻过程中光照区域被去除，留下光线未照到区域；后者则相反。
- 在传统掩膜工艺中，常采用湿膜+曝光显影结合，主流技术为喷墨打印、丝网印刷、喷印刻槽等。若采用前两者技术，可在喷涂感光材料的同时直接印刷出图形，工艺简单，减少曝光显影步骤的成本；缺点在于所生产的铜栅线具有上宽下窄的特点，降低光照效率。若采用丝网印刷工艺，与金属化丝印设备相同。

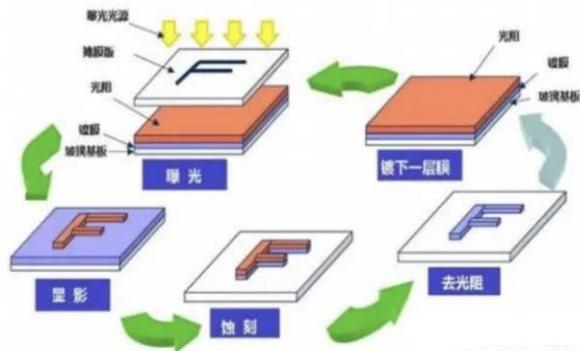
图表：光刻胶原理图



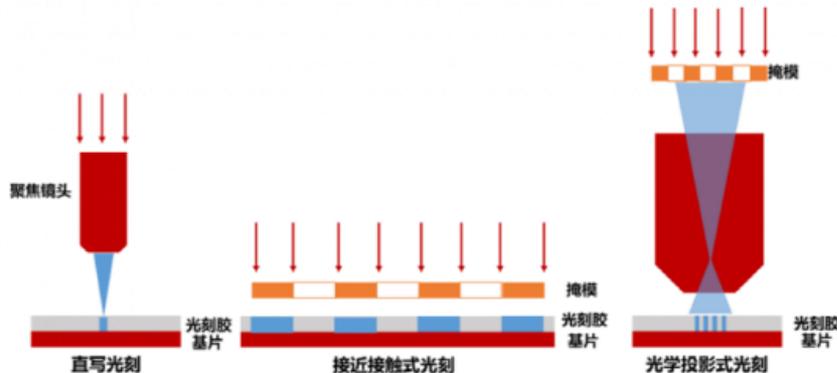
2.2.2.铜电镀：图形化—核心环节之一，工艺成熟但路线不一

- **曝光、显影环节主要是将图形转移至感光材料上。**
- 主流技术如下：1) 普通掩膜光刻+显影；2) 激光直写+显影；3) 喷墨打印；4) 激光开槽。**其中，激光直写式光刻技术是目前光伏铜电镀领域最为主流的技术，掩膜光刻也有厂家在推进。**
- **普通掩膜光刻技术**：分为接近、接触式光刻、投影光刻。其中，投影式光刻技术是通过掩模板，激光发射器发射一束光至镜面，再反射至掩模板上，掩模板将初始设计的图形转移至感光材料上，再进行铜电镀。该技术虽然能够生成比例更小、更精细的图像，但是成本过高，实际应用仍未落地。
- **激光直写技术**：无需掩模版，通过计算机控制的高精度光束将所涉及的图形投影至光刻胶基片表面，直接进行扫描曝光。该技术的精度满足铜电镀要求，且可节约掩膜版的成本。
- **激光开槽**：节约曝光显影步骤的成本，技术壁垒较高，难以控制开槽宽度。开槽过窄可能会导致槽形状不佳，过宽会导致激光能量过强容易损伤电池表面，且对TCO薄膜损失严重，因此不适合HJT电池使用，但在TOPCon/IBC电池中能够应用。

图表：掩膜版光刻示意图



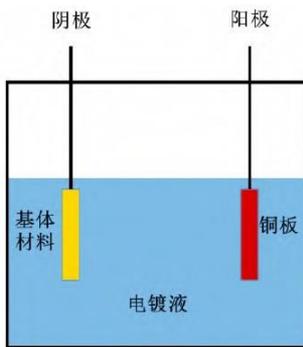
图表：直写光刻、接近/接触式光刻以及投影式光刻对比



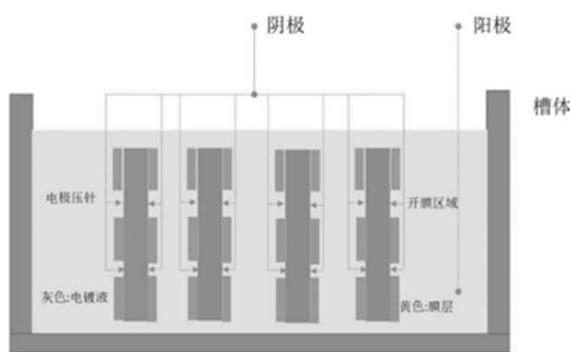
2.2.3.铜电镀：电镀铜—核心环节之一，技术难点仍待突破

- 电镀也是铜电镀工艺中关键环节之一。电镀技术是利用电化学方法在导电固体表面沉积一层薄金属、合金或复合材料的过程，是一种特殊的电解过程。铜电镀设计方案包含要控制膜镀层厚度、镀层宽度、均匀性、药液配方，工艺要求高。
- 铜电镀的电解化学反应式为：1) 阴极反应： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ ， $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ ；2) 阳极反应： $\text{Cu} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^{2+}$ ， $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ 。具体原理为：将镀铜的基体材料作为阴极，铜板作为阳极，同时放置在电镀液中，发生如上化学反应，阳极板生成的铜离子融入电镀液中，并在阴极的基体材料上形成铜镀层与氢气。
- 电镀方式主要包括垂直升降式电镀、垂直连续电镀及水平电镀等。电镀原理相同，目前垂直电镀的工艺更为成熟，但是产能不足。水平电镀在垂直电镀基础上发展而来，其优势：1) 适应尺寸范围宽，实现全部自动化作业，实现规模化大生产极为有利；2) 工艺审查中不需要装夹位置，增加实用面积，节约原材料耗损；3) 水平电镀采用计算机控制，可保证电路板镀层均一性；4) 电镀槽清理、电镀液的更换添加实现自动化。但水平镀均匀性目前较差。
- 目前东威科技已实现8000片/小时的光伏垂直镀铜设备的研发；而罗博特科业界首创新型异质结电池铜电镀装备技术方案有别于上述现有技术方案，重点解决了目前生产中产能低、运营成本高核心问题，已发往客户端验证。

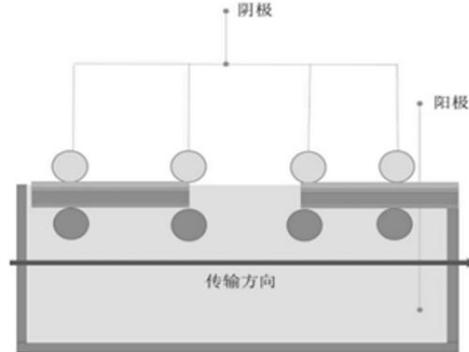
图表：铜电镀原理图



图表：垂直电镀示意图



图表：水平电镀示意图





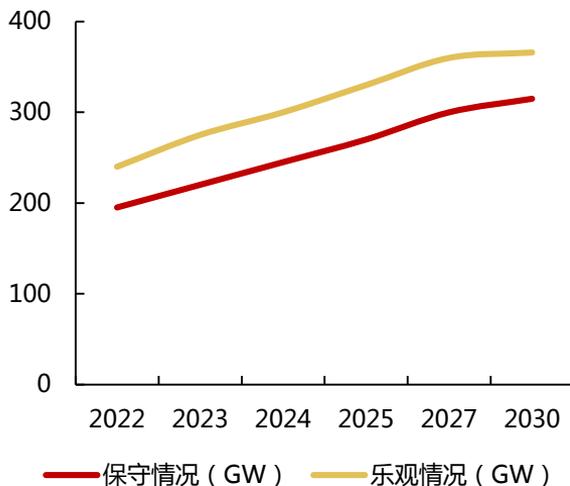
三、光伏铜电镀工艺设备市场规模测算



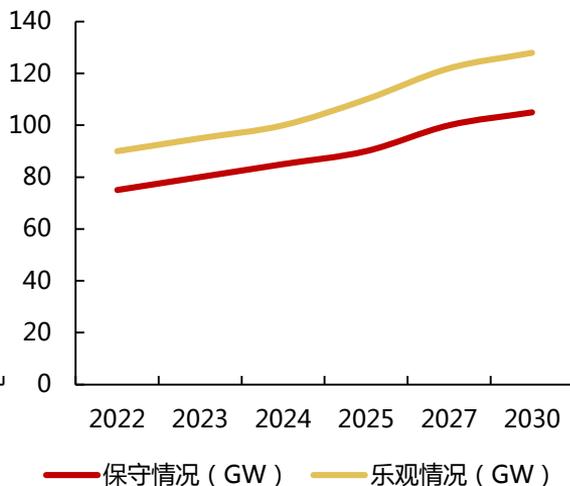
3.1. 光伏行业景气度高涨，高效电池优势凸显

- 平价上网和“双碳”政策共驱光伏行业景气度高涨。
- 2021年我国光伏新增装机量54.88GW，同比高增13.9%，其中，分布式新增29.28GW，占比53.4%。
- 根据CPIA预测，2022-2025年，我国年均新增光伏装机将达到83-99GW，全球光伏年均新增装机将达232-286GW，光伏行业预计景气度持续。
- 目前PERC技术效率提升瓶颈已现，对高效电池片需求提升。TOPCon、HJT高效电池片技术路线逐渐成熟，且转换效率提升空间大，性价比优势逐渐显现，已逐步进入大规模产业化阶段，IBC（或HBC/TBC等）、钙钛矿（叠层）等技术也有望成为明日之星。

图表：全球装机量预测



图表：中国装机量预测



图表：电池片技术路线对比

	PERC	TOPCon	HJT
量产效率	22.5%-23.5%	23.5%-24%	>24%
理论效率	24.5%	28.7%	钙钛矿叠层可达27-29%
量产性	非常成熟	已可量产	已可量产
技术难度	容易	难度高	难度很高
工序步骤	10	12~13	4
与现有产线兼容性	现有产线成熟	可由PERC产线升级	完全不兼容
良率	98%-99%	94%左右	98%左右
设备成本	1.5-2亿元	2.3亿元左右	4亿元左右
目前问题	后续提效路线不明朗	量产难度高，效率提升空间可能略低于HJT	与现有设备不兼容，设备投资成本高

3.2. 市场规模：2026年光伏铜电镀设备预计达86亿元

- 目前电镀铜投资额约为1.5-2亿元。随着规模产业化，设备产线投资额目标有望降低到1-1.2亿元。
- 目前图像化环节PVD投资额约为4000-5000万元/GW，曝光机设备约为5000万元、电镀环节电镀机5000万元/GW（2-3台），其他设备有印刷机、清洗机等。
- 经过以下测算，预计2026年HJT铜电镀设备市场规模达到85.85亿元，其中曝光机和电镀设备市场规模分别为27.47亿元和30.05亿元。

图表：HJT铜电镀设备市场空间预测

	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E
全球光伏年度新增装机规模（GW）	130	170	202.5	240	270	300	350
容配比	1.26	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
电池片产量（GW）	164	221	263	312	351	390	455
产能利用率	59%	60%	55%	55%	55%	53%	53%
全球电池片产能（GW）	278	368	479	567	638	736	858
HJT占比	1%	2.0%	6.0%	13.0%	25.0%	40.0%	50.0%
HJT产能（GW）	3	7	29	74	160	294	429
HJT新增产能（GW）		5	21	45	86	135	135
铜电镀渗透率			2%	5%	10%	15%	20%
铜电镀投资规模（GW）			0.57	3.69	15.95	44.15	85.85
铜电镀设备成本（亿元/GW）			1.8	1.5	1.3	1.1	1
铜电镀设备市场规模（亿元）			1.03	5.53	20.74	48.57	85.85
曝光机价值量（亿元/GW）			5000	4500	4000	3500	3200
电镀铜价值量（亿元/GW）			5000	5000	4500	4000	3500
曝光机市场规模（亿元/GW）			0.29	1.66	6.38	15.45	27.47
电镀铜市场规模（亿元/GW）			0.29	1.84	7.18	17.66	30.05



四、光伏铜电镀产业进展及主要公司介绍



4.1.铜电镀产业化进展—设备公司

图表：HJT电池片生产设备企业铜电镀进展情况

设备公司	产业链所处位置	主营业务&铜电镀布局
钧石能源 (未上市)	中游设备厂商--整线	公司专业从事高效异质结太阳能电池技术研发并提供异质结整线设备及服务，具有量产经验。公司较早布局了铜电极的 水平电镀 设备，并申请了专利
迈为股份	中游设备厂商--整线	公司具备异质结高效电池整线设备，具有量产经验。铜电镀这个路径现在有4个技术难点，目前迈为攻克了一半多，争取在23年上半年有一条中试线在客户端运行起来。迈为表示对铜电镀和银包铜是持中立态度
捷佳伟创	中游设备厂商--整线	公司已开发出节省银浆的印刷方案， 同时也在电镀铜等技术上进行布局研发
太阳井 (未上市)	中游设备厂商--铜电镀	公司致力于研发、生产HJT电池铜制程整套解决方案。公司先后获得光伏行业龙头企业通威股份的两轮战略投资。公司铜电镀已经过多年研发的验证。可实现在不同电池结构上实现电镀镍、铜、锡、银的金属化工艺。 2022年2月完成全球首创异质结铜互联装备交付
芯碁微装	中游设备厂商--图形化	公司已经与下游知名电池片厂商进行了技术探讨，并计划扩大直写光刻设备产品的生产规模
帝尔激光	中游设备厂商--图形化	公司是光伏激光设备龙头。 激光开槽设备已获客户量产订单
苏大维格	中游设备厂商--图形化	公司是国内领先的微纳结构产品制造和技术服务商，深耕图形化和光刻技术。公司 激光直写设备具备一定优势 。
天准科技	中游设备厂商--图形化	公司主要产品包括视觉测量装备、视觉检测装备、视觉制程装备和智能网联方案等。 基于核心技术已推出LDI设备，产能效率高，并多次获海外客户复购订单
东威科技	中游设备厂商--铜电镀	公司是PCB电镀设备龙头。公司第二代光伏镀铜设备在均匀性、破片率等重要指标均已符合厂商的要求，下游厂商也已签署了验收确认单，公司也已确认收入。目前光伏 垂直铜电镀设备 光伏镀铜第三代产品（8000片/小时）预计2023年上半年发货至客户处、验收合格后量产
捷得宝	中游设备厂商--铜电镀	公司致力开发铜栅线制程，着重在掩膜、光刻及 水平电镀 工艺，目前在中国台湾已有研发中试线，稳定为国内外客户进行铜栅线试产；公司预计2023年初可于国内实现中试线设置，年中可交付每小时产能达7500片的量产设备，与目前HJT电池银印刷设备之产能相当
罗博特科	中游设备厂商--铜电镀	公司主营“新能源+泛半导体”双主业。 铜电镀设备 内部测试已完成，已发往客户端验证

4.1.铜电镀产业化进展—电池片公司

- HJT太阳能电池片布局铜电镀—海源复材、华晟、通威、爱旭、宝馨科技等公司为代表。

图表：部分HJT太阳能电池片生产企业铜电镀布局情况

相关公司	产业链所处位置	主营业务等公司介绍
华晟新能源	电池生产商	专注于HJT电池、组件开发应用和产品规模化生产，且同时布局了单面微晶、双面微晶、HBC、铜电镀和异质结-钙钛矿叠层电池等技术的研发
国电投新能源	电池生产商	持续布局高效铜栅线异质结光伏电池（C-HJT电池）量产技术，并于东威科技、罗博特科签订战略合作协议
天合光能	电池生产商	公司有研发储备电镀铜技术
东方日升	电池生产商	主要从事光伏并网发电系统、光伏独立供电系统、太阳能电池片、组件等的研发、生产和销售
隆基绿能	电池生产商	自主研发HJT电池转换效率26.81%，打破全球各个电池技术路线的最高效率记录，并积极验证新工艺
海源复材	电池生产商	主营业务包括复合材料轻量化、机械装备及光伏业务。21年11月，公司与苏州捷得宝签署了《设备买卖框架合同》，双方计划共同完成5GW高效异质结电池产能建置项目，公司拟先行采购1GW（含单面微晶及铜电镀工艺）异质结电池设备做为第一期项目推进使用。目前从中试的情况来看，海源复材在电镀铜技术已趋于成熟，降本增效比较明显，2023具备产业化，2024年开始形成规模化产能
爱旭股份	电池生产商	主营业务为太阳能晶硅电池的研发、生产和销售。2022年6月正式推出了基于ABC电池的“黑洞”系列组件及整体解决方案服务，开创性地采用了无银化技术。
爱康科技	电池生产商	公司从18、19年开始研发电镀铜，目前最大的问题是工艺整合，目前已形成一定的雏形
通威股份	电池生产商	主营上游高纯晶硅生产、中游高效太阳能电池片生产、终端光伏电站建设，已形成完整光伏新能源产业链条。公司始终保持着前沿技术的跟进、研究和开发
金刚光伏	电池生产商	银包铜已经完成小批量试产，等待可靠性验证结果。铜电镀暂无计划
宝馨科技	电池生产商	公司在光伏领域的业务范畴主要包括光伏电池湿法设备（主要为清洗制绒设备及铜电镀设备）、HJT光伏电池及组件产品，以及异质结-钙钛矿叠层电池的开发。公司铜电镀技术及设备目前已完成中试供货，同时正在量产化研发设计中

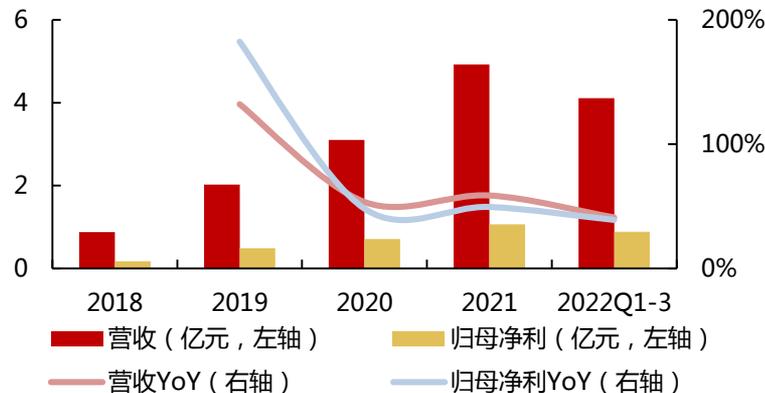
4.2.1. 芯碁微装：直写光刻设备龙头，曝光显影设备优势显著

- ❑ **简介**：公司主营半导体无掩模光刻设备、检测设备、高端PCB专用激光直写成像设备（LDI）、显示领域OLED光刻设备，荣获国家高新技术企业、市创新企业、科技小巨人等称号，并拥有100多项技术专利。公司产品已获半导体、PCB、显示领域头部客户的认可，包括辰显光电、健鼎科技、兴森科技等并出口海外。2018年至今，公司快速成长，业绩持续高增。
- ❑ **直写光刻设备技术领先**：公司为国内直写光刻设备领先企业，直写光刻技术不断突破，已将应用于PCB线路层曝光的直写光刻设备曝光精度（最小线宽）由 $8\mu\text{m}$ 提升至 $6\mu\text{m}$ ，PCB阻焊层曝光精度（最小线宽）由 $75/150\mu\text{m}$ 提升至 $40/70\mu\text{m}$ ，与此同时公司直写光刻设备产能效率也不断提升，客户的单位产品使用成本不断下降。
- ❑ **公司定增项目将拓展新能源光伏领域的产业化应用**：在新能源光伏领域，公司已经与下游知名电池片厂商进行了技术探讨。根据公司定增预案，公司预计投资3.18亿元，建设现代化的直写光刻设备生产基地，深化拓展直写光刻设备在新型显示、PCB阻焊层、引线框架以及新能源光伏等新应用领域的产业化应用，预计达产后将形成年产210（台/套）直写光刻设备产品的生产规模。

图表：芯碁微装光刻设备



图表：芯碁微装业绩保持高增



4.2.2. 东威科技—电镀设备龙头，布局锂电和光伏镀铜设备

- **简介**：公司是垂直连续电镀设备龙头，下游应用领域如锂电复合铜箔、光伏电镀铜持续开拓。此外，公司加大配套设备研发生产，如PCB水平除胶化铜&垂直连续电镀设备、复合铜箔PVD设备等。2018年至今，公司快速成长，业绩持续高增。另外，公司近期与国电投达成铜栅线异质结电池垂直连续电镀解决方案战略合作框架协议，推动铜电镀工艺产业化进程。
- **光伏设备有望推向市场**：公司现有垂直式电镀铜设备保持投产使用，第二代设备洽谈中，速率可达7000片以上/小时，大幅降低成本，助力光伏铜电镀快速产业化。现已推出光伏第三代垂直连续硅片电镀设备，设备速度达8000片/小时，硅片厚度可满足100 μ m-180 μ m，电镀均匀性R \leq 10%，破片率 $<$ 1%，实现产能效率进一步提升，预计2023年出货。
- **新能源设备订单持续高增**：公司现有水平式新能源电镀设备，是国内唯一量产公司。2022年新能源（复合铜箔）设备在手订单已达30亿元以上。根据公司公告，水电镀及其配套设备（PVD设备2022年已实现交货）今年将开始大规模交货。

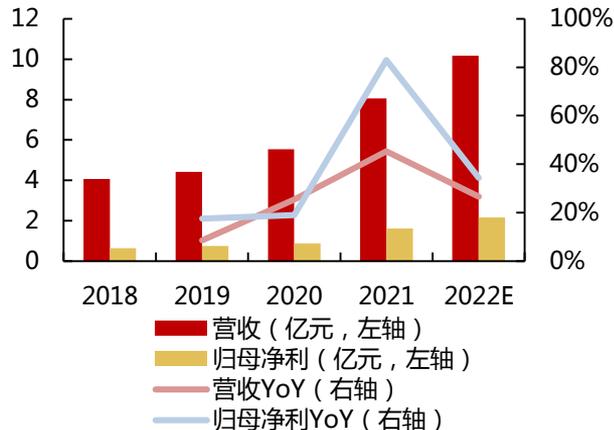
图表：东威科技水平式电镀设备



图表：东威科技光伏镀铜设备



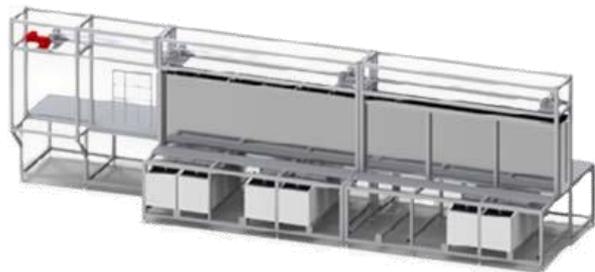
图表：东威科技业绩保持高增



4.2.3. 罗博特科：自动化设备龙头，铜电镀设备研发进展顺利

- **简介**：公司目前在光伏电池片领域的自动化技术方面已处于行业领先地位，其铜电镀设备主要有垂直升降式电镀、水平电镀及有别于目前传统的垂直升降式电镀、垂直连续电镀、水平电镀三种现有技术方案的电镀设备。另外，公司近期与国电投新能源签订框架协议，将就铜栅线异质结电池VDI电镀技术的解决方案展开合作。
- **公司垂直升降式电镀特征**：1) 独特夹具设计；2) 具有高沉积速率以及良好的均匀性；3) 具有大产能，约5000片/小时。
- **公司水平电镀特征**：1) 其先进的传输设计确保设备具有高稳定性；2) 具有高沉积速率以及良好的均匀性；3) 具有大产能，约5000片/小时；4) 维护界面友好，减少宕机时间。
- **光伏铜电镀设备进展顺利**：2022年公司加大对铜电镀设备的研发投入，致力于该业务尽早实现量产化。此外，公司于2022年12月完成了业界首创新型异质结电池铜电镀装备交付，本次向合作客户交付的异质结电池铜电镀设备是基于公司独创的量产型方案研发的全新模块化设备。该技术方案有别于目前传统的垂直升降式电镀、垂直连续电镀、水平电镀三种现有技术方案，该方案重点解决了目前生产中产能低、运营成本高等核心问题。

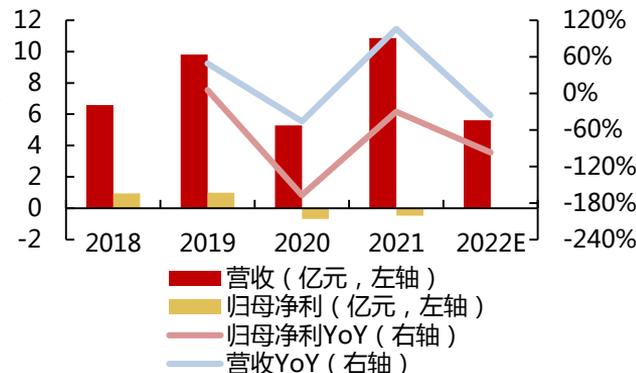
图表：罗博特科垂直升降式电镀设备



图表：罗博特科水平电镀设备



图表：罗博特科业绩有所波动





五、投资建议、受益标的及风险提示



■ 投资建议

- 光伏HJT电池铜电镀产业化加速，行业处于发展初期，蕴含巨大机遇，给予行业“推荐”评级。

■ 受益标的

- 东威科技、罗博特科、苏大维格、芯碁微装、迈为股份、捷佳伟创等

■ 风险提示

- 铜电镀产业化进度不及预期，行业竞争加剧，数据更新不及时、测算误差等。

分析师承诺

作者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，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

评级说明

公司评级标准	投资评级	说明
以报告发布日后的6个月内公司股价相对上证指数的涨跌幅为基准。	买入	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数达到或超过15%
	增持	分析师预测在此期间股价相对强于上证指数在5%—15%之间
	中性	分析师预测在此期间股价相对上证指数在-5%—5%之间
	减持	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数5%—15%之间
	卖出	分析师预测在此期间股价相对弱于上证指数达到或超过15%
行业评级标准		
以报告发布日后的6个月内行业指数的涨跌幅为基准。	推荐	分析师预测在此期间行业指数相对强于上证指数达到或超过10%
	中性	分析师预测在此期间行业指数相对上证指数在-10%—10%之间
	回避	分析师预测在此期间行业指数相对弱于上证指数达到或超过10%

华西证券研究所：

地址：北京市西城区太平桥大街丰汇园11号丰汇时代大厦南座5层

网址：<http://www.hx168.com.cn/hxzq/hxindex.html>

免责声明

华西证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具备证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司签约客户使用。本公司不会因接收人收到或者经由其他渠道转发收到本报告而直接视其为本公司客户。

本报告基于本公司研究所及其研究人员认为的已经公开的资料或者研究人员的实地调研资料，但本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载资料、意见以及推测仅于本报告发布当日的判断，且这种判断受到研究方法、研究依据等多方面的制约。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及预测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息始终保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者需自行关注相应更新或修改。

在任何情况下，本报告仅提供给签约客户参考使用，任何信息或所表述的意见绝不构成对任何人的投资建议。市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告视为做出投资决策的惟一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在任何情况下，本报告均未考虑到个别客户的特殊投资目标、财务状况或需求，不能作为客户进行客户买卖、认购证券或者其他金融工具的保证或邀请。在任何情况下，本公司、本公司员工或者其他关联方均不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告而导致的任何可能损失负有任何责任。投资者因使用本公司研究报告做出的任何投资决策均是独立行为，与本公司、本公司员工及其他关联方无关。

本公司建立起信息隔离墙制度、跨墙制度来规范管理跨部门、跨关联机构之间的信息流动。务请投资者注意，在法律许可的前提下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的前提下，本公司的董事、高级职员或员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处为华西证券研究所，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。