

铜电镀：光伏最具潜力降本技术之一， 设备产业化临近

——深度研究系列

行业评级：看好

2023年4月22日

姓名

邱世梁

邮箱

qiushiliang@stocke.com.cn

电话

18516256639

证书编号

S1230520050001

姓名

王华君

邮箱

wanghua jun@stocke.com.cn

电话

18610723118

证书编号

S1230520080005

光伏铜电镀：光伏去银技术，产业化进程有望提速

■ 铜电镀：最具降本潜力的光伏技术之一，预计目前可实现降本0.04元/W

光伏铜电镀技术是采用金属铜完全代替银浆作为栅线电极，具备低成本、高效率等优势。可用于TopCon、HJT、BC等多种技术路径，其中HJT银浆用量相对较大，运用铜电镀技术的需求更为迫切。铜电镀优势体现在1) 低成本：相较于HJT传统丝网印刷技术，预计目前可实现0.04元/W的成本下降。随着铜电镀设备逐步成熟，后续降本空间可观；2) 高效率：相较于传统丝网印刷技术，铜电镀可以实现0.3%-0.5%的光电转换效率提升。

■ 图形化和金属化为光伏铜电镀工艺的核心环节，多技术路径共存，设备厂商百家齐放

光伏铜电镀工艺流程可分为种子层制备、图形化、金属化、后处理环节，其中图形化和金属化为核心环节。1) 图形化：以曝光机为核心设备，主要技术路径为传统掩膜光刻、激光直写光刻（LDI）、激光开槽，主流厂商为苏大维格、芯碁微装、帝尔激光、捷得宝、太阳井等；2) 金属化：电镀设备主要技术路径为垂直式电镀、水平式电镀、插片式电镀，主流厂商为罗博特科、东威科技、捷得宝、太阳井等。

■ 光伏铜电镀产业化处于加速期，预计2024年有望迈入量产阶段，到2030年设备市场规模有望达到275亿元

1、**产业化进程**：1) **发电/制造厂商**：①国电投：中试线正在运行，预计第一条量产线于2023年7月份开始安装；②海源复材：中试线情况较好，铜电镀技术已趋于成熟，降本增效比较明显，2023年具备产业化能力，有望于2024年形成规模化产能；③通威股份：2020年与太阳井大成战略合作，布局光伏铜电镀；④隆基股份：2019年以来公司申请多项铜电镀相关专利，提前布局光伏铜电镀技术；2) **设备厂商**：迈为股份预计2023年运行中试线。

2、**市场规模**：预计2030年光伏铜电镀设备市场空间有望达到275亿，2022-2030年 CAGR=77%。

■ 投资建议：聚焦光伏铜电镀优质设备企业

1、**【金属化设备】**：重点推荐罗博特科、东威科技；关注宝馨科技、钧石能源等。2、**【图形化设备】**：重点关注苏大维格、芯碁微装、帝尔激光、天准科技等。3、**【整线】**：重点推荐迈为股份；重点关注捷得宝（未上市）、太阳井（未上市）等。

01

【光伏行业】N型电池放量，铜电镀助力降本增效

- **光伏需求扩张：**伴随未来光伏价格和成本的持续下降，光伏装机需求有望持续加速增长。预计2030年全球光伏新增装机需求达1189-1472GW（平均1330GW），2022-2030年CAGR达23%-26%（约6倍空间）。
- **N型市占率提升：**2022年伴随着能源危机及乌俄战争的影响，可再生能源装机量增长超预期，其中光伏新增装机量显著提升。根据InfoLinkConsulting数据，2022年全球光伏需求量达278GW，同比提升56%。其中，N型电池产能快速增长，市占率将迅速提升。2022年N型电池出货量约20GW，市占率超7%。根据PVInfoLink预测，到2030年，N型电池市占率将超50%。

图1：2030年主要国家装机需求预测达1330GW

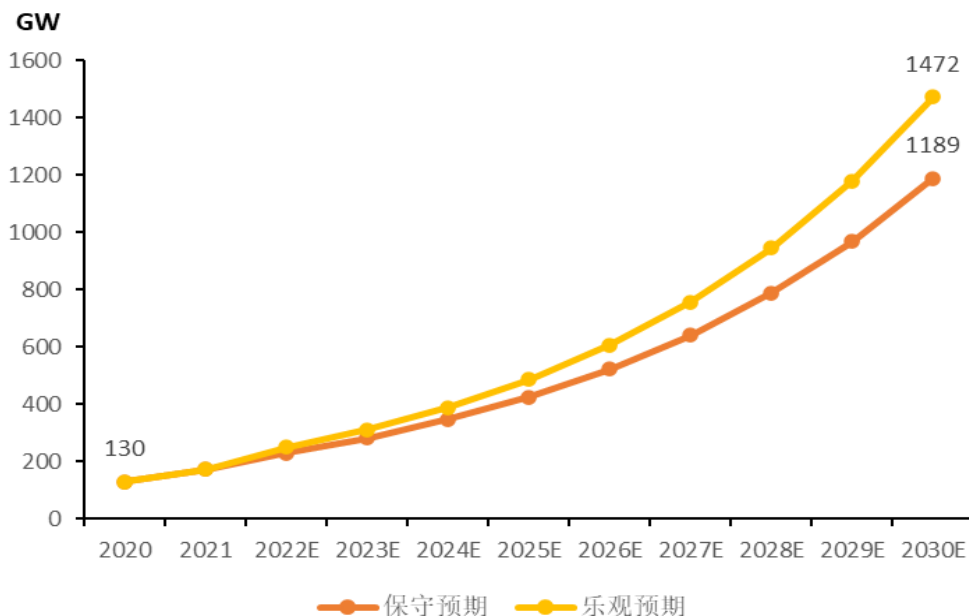
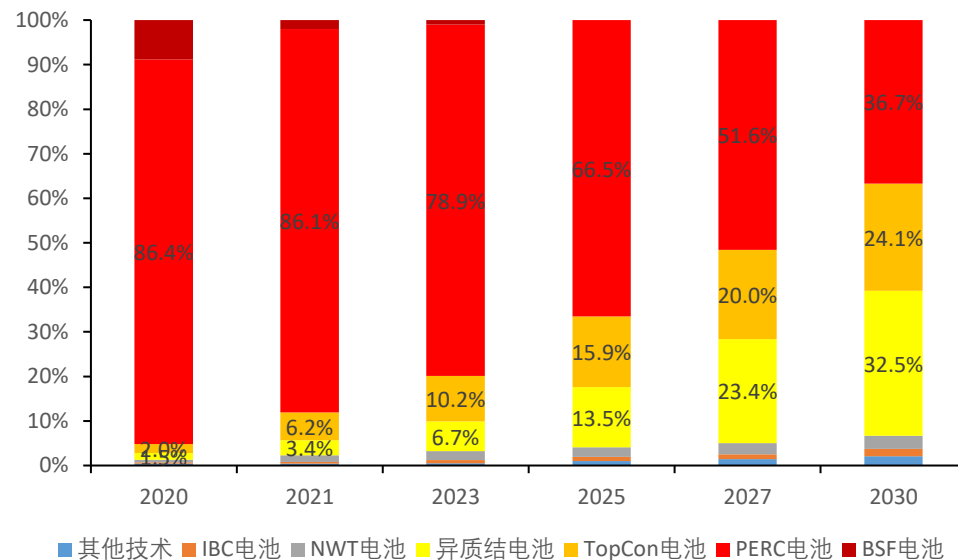


图2：2030年N型电池市占率将超50%



1.2 银浆用量大成为降本难点，HJT非硅成本中银浆占比约59%

- **银浆用量大成为降本难点：**根据CPIA《2021-2022年中国光伏产业年度报告》，2021年全球银浆总耗量达3478吨，我国电池对应银浆总耗量为3074吨。随着光伏行业不断发展，电池片产量持续高增，银浆耗用量将持续增加。根据CPIA《中国光伏产业发展路线图（2022-2023年）》，2022年P型电池消耗量约91mg/片（正银65mg/片、背银26mg/片）；N型TOPCon电池双面银浆、银铝浆*（95%银）平均消耗量约115mg/片；HJT电池双面低温银浆消耗量约127mg/片。由于HJT银浆消耗量较高，银浆成本占比更高，降低银耗量的需求更为迫切，因此我们主要探讨铜电镀在HJT的发展情况。
- **HJT大规模产业化制约因素在成本：**HJT成本比PERC高约0.2元/W，主要体现非硅成本上：1) 设备投资高：3-4亿/GW，比PERC高一倍；2) 组件封装材料贵：大量使用POE；3) 银耗量大：约127mg/片；4) 银浆成本高：低温银浆比高温银浆高10%以上。

图3：HJT电池硅片成本占比约49%

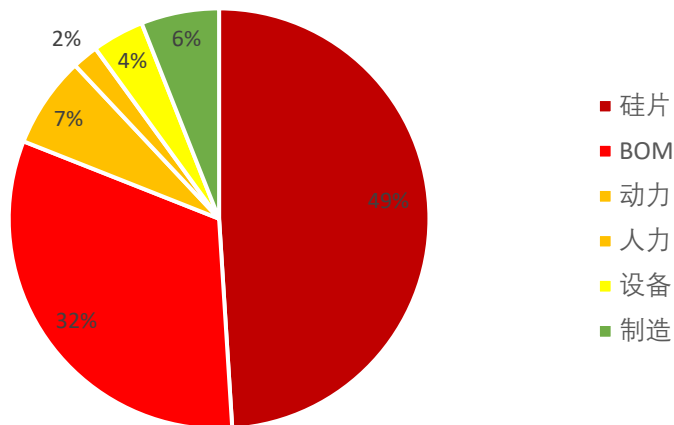
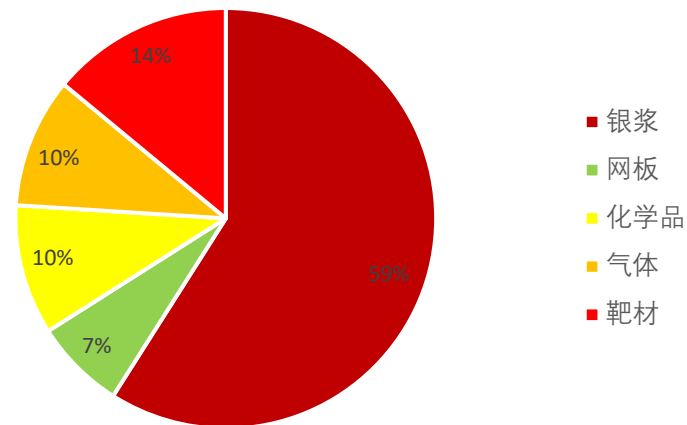


图4：HJT电池非硅成本银浆成本占比约59%



1.3 HJT技术路线多，降低银耗量是HJT产业化关键

- HJT降本路线清晰，降低银耗量是关键。未来HJT主要依靠硅片降本（薄片化、N型硅片规模效应）、设备国产化、靶材国产化和银浆降本（国产化、降低银耗量）来实现。
- 低温银浆国产化：目前国产低温银浆已起量（常州聚和、苏州晶银、浙江凯盈等），打破日本垄断。
- 丝网印刷技术：传统的晶硅电池金属化技术，目前正通过工艺优化降低低温银浆消耗量。

图5：2022年HJT双面低温银浆消耗量约127mg/片

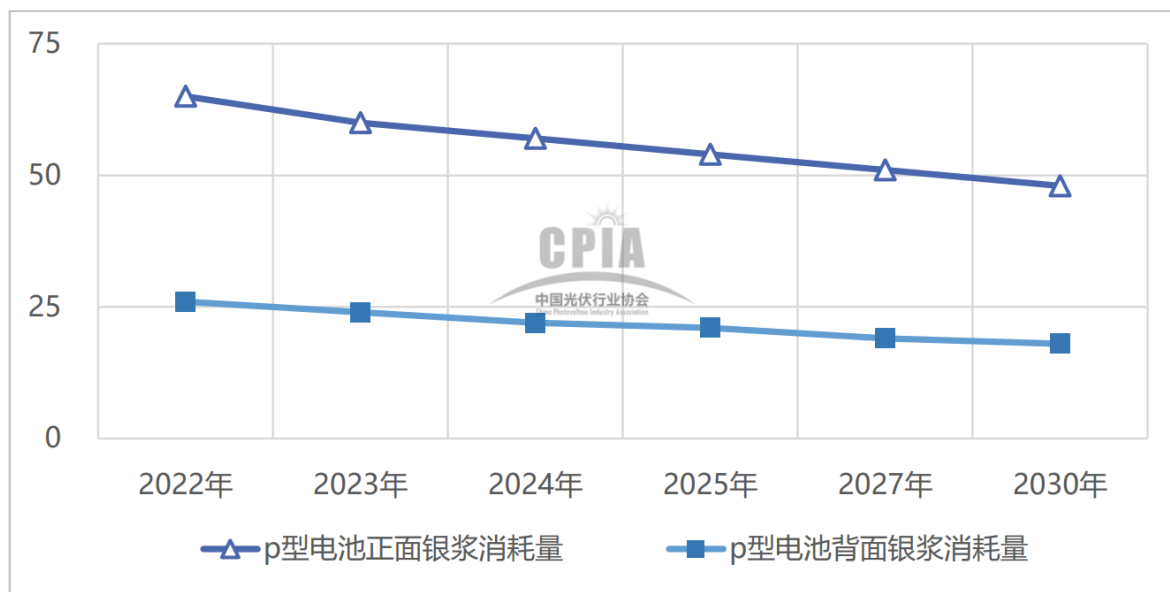
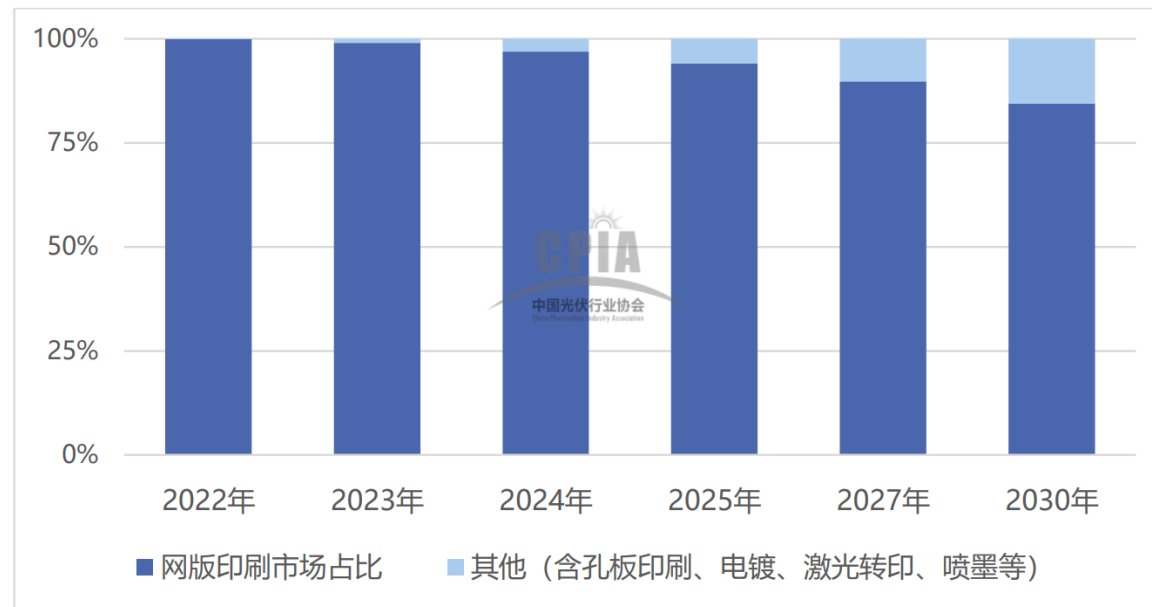


图6：2022年丝网印刷技术市场占比达99.9%





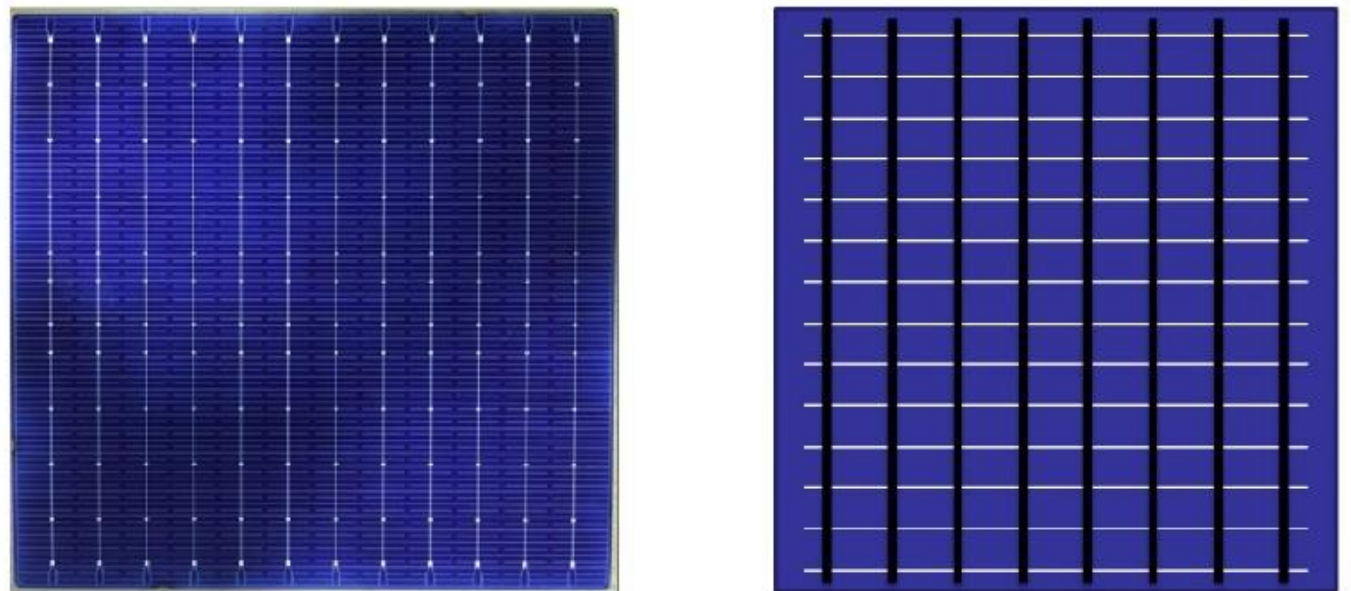
- 栅线会遮挡部分太阳光进入电池,为提高电池转换效率则希望栅线越细越好,然而栅线越细则电阻损失越大,填充因子也因此降低,所以太阳电池栅线设计的核心是平衡遮光和导电的关系。
- **多主栅技术 (MBB)**：增加主栅线的数量以减小主栅线和细栅线物理尺寸，从而减少遮光和降低单位银耗量。根据光伏們数据，多主栅技术可提升约0.2%的效率，节省正银耗量25~35%。SMBB即SuperMBB，与MBB在串焊方面有区别。目前主要通过丝网印刷+多主栅技术以及减小栅线宽度来减少正银消耗量。

表1：多主栅技术与HJT电池结合，电池成本为1.657RMB/W (2020)

BOM差异	4BB	5BB	MBB	SuperMBB
电池浆料	350mg/pcs	300mg/pcs	<200mg/pcs	120mg
单片成本	2.1 ¥ /pcs	1.8 ¥ /pcs	<1.3 ¥ /pcs	0.72 ¥ /pcs
效率	22.8%	23.2%	23.8%	24.0%
M2功率/W	5.57	5.668	5.815	5.864
单W成本	0.359 ¥	0.318 ¥	0.224 ¥	0.123 ¥
浆料成本占比	21.7%	19.2%	14.7%	7%
浆料占组件成本	14.6%	12.9%	9.9%	5%

- **无主栅技术**：以圆形镀层铜丝连接电池细栅，汇集电流的同时实现电池互连，在电池层面取消了传统的主栅。
- 梅耶博格利用“SmartWireConnectionTechnology”（SWCT）技术一层内嵌铜线的聚合物薄膜覆盖在异质结电池正面，其制作的6英寸无主栅HJT电池效率超过24%，正银消耗量减少80%，但其设备造价昂贵，电池可靠性有待验证。

图7：12BB太阳电池（左图）与无主栅太阳电池（右图）示意图



1.6 降银三：激光转印可降低银浆耗量30%以上

- ❑ **激光转印**：可实现超细线宽（25微米以下）的金属栅线的无接触印刷，在提升转换效率的同时，**降低银浆耗量20%-30%**。此外，激光转印采取无接触加工方式，较传统丝网印刷可以**降低电池的破损率，提高良率，更适用于未来薄片化、大尺寸硅片生产**。
- ❑ 激光转印技术应用前景广阔。在PERC、TOPCon、HJT、IBC电池中均有广泛的应用前景，可配合银包铜等各种特殊浆料叠加使用持续降本。

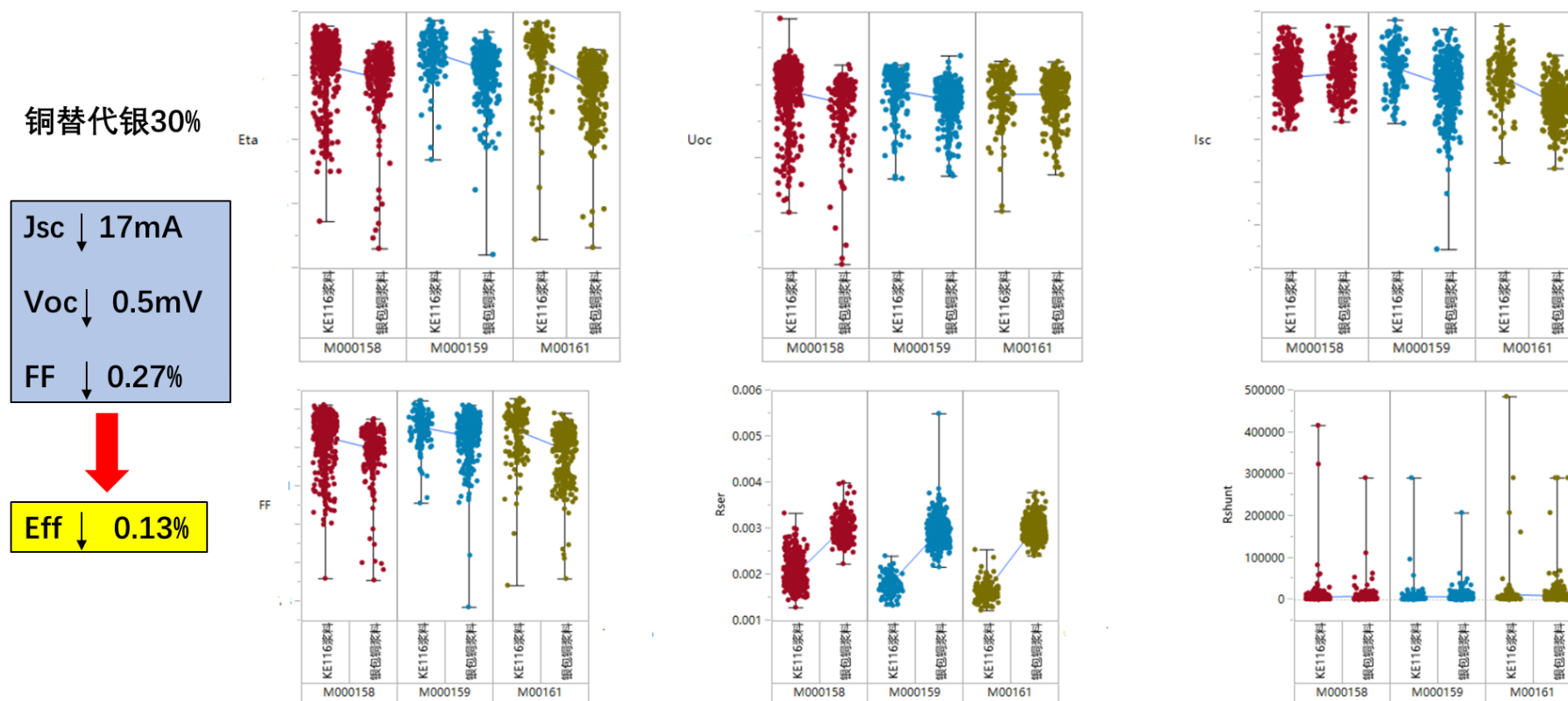
表2：激光转印较丝网印刷降本成果显著，生产良率大幅提高

项目	激光转印	丝网印刷
栅线线宽	较窄，可做到18μm以下	较宽
HJT线宽	22μm	40μm
栅线一致性	一致性、均匀性优良，误差在2μm	一致性较差、误差较大
栅线形状	通过改变柔性膜的槽型，根据不同的电池结构，实现不同的栅线形状	不可生成设定好的形状
接触方式	非接触式	挤压式
良率	顺应硅片薄片化趋势，减少电池破损率，提升生产良率	存在隐裂、破片、污染、划伤等问题
浆料选择	可以使用银包铜、低温银浆等不同的浆料类型	-
浆料耗用量	低	高
技术路线	在PERC、TOPCon、IBC和HJT电池上都可以应用	应用受限

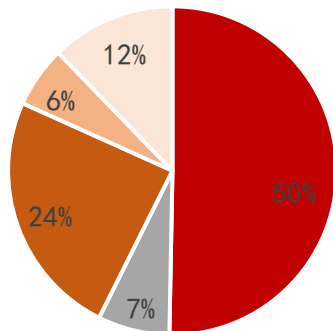
1.7 降银四：银包铜技术有望降低电极成本30%

- **银包铜**：采用银包铜粉作为导电填料制备HJT低温浆料。铜的导电性仅次于银，价格便宜，且银粉在低温银浆总成本中占比超98%，根据《引领光伏技术新一轮革命》数据，**银包铜技术将降低电极成本30%。我们预计银包铜+MBB技术有望将银浆用量降低到100mg/片。**

图8：银包铜浆料可以降低HJT电池电极成本30%



- 硅片
- 设备折旧
- 银浆
- 靶材
- 其他



□ 异质结行业何时爆发？

核心关注成本、而非效率之比！

□ 降本方向：

- 1) 银浆降本（银包铜+0BB、电镀铜）
- 2) 硅片降本（减薄+规模效应）
- 3) 设备降本（增大产能+核心零部件国产）
- 4) 靶材降本（国产化+AZO替代）
- 5) 提效（微晶、转光膜、膜层优化等）

表3：预计2023年HJT将有望和PERC电池成本打平

	2021PERC	2021TOPCon	2021HJT	2023EPERC	2023TOPCon	2023EHJT
关键技术信息						
电池片效率	22.70%	23.50%	24%	23.5%	25.00%	25.5%
M6每片W数（W/片）	6.22	6.44	6.58	6.44	6.85	6.99
电池片厚度（um）	170	160	150	160	150	120
良率	99%	93%	98%	99%	96%	98%
电池片连接技术	9BB	9BB	9BB	12BB	12BB	12BB
关键假设						
税率	13%					
设备折旧期(年)	6					
电池片单W成本测算						
1. 硅片成本	基于2020年底价格	（假设：N型硅片溢价8%）		基于2020年底价格	（假设：N型硅片溢价5%）	
M6硅片含税价格（元/片）	3.25	3.5	3.5	3.25	3.3	2.7
单W含税成本（元/W）	0.52	0.55	0.53	0.50	0.48	0.38
单W不含税成本（元/W）	0.46	0.48	0.47	0.45	0.43	0.34
2. 非硅成本						
2.1设备折旧						
生产设备价格(亿元/GW)	1.5	2.2	4.5	1.2	1.6	3.5
单W折旧成本（元/W）	0.025	0.037	0.075	0.020	0.027	0.058
2.2浆料						
M6电池片银浆耗量（mg/片）	90	140	200	70	80	110
银浆含税价格（元/kg）	6000	6500	8500	6000	6000	6500
单W含税成本（元/W）	0.09	0.14	0.26	0.07	0.07	0.10
单W不含税成本（元/W）	0.08	0.13	0.23	0.06	0.06	0.09
2.3靶材						
靶材耗量（mg/片）	——	——	140	——	——	110
靶材含税价格（元/kg)	——	——	3000	——	——	2500
单W含税成本（元/W）	——	——	0.06	——	——	0.04
单W不含税成本（元/W）	——	——	0.06	——	——	0.04
2.4其他成本（元/W）	0.12	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12
2. 非硅含税成本合计（元/W）	0.23	0.31	0.53	0.21	0.22	0.32
非硅不含税成本合计（元/W）	0.22	0.29	0.49	0.20	0.21	0.30
考虑良率后的不含税总成本（元/W）	0.22	0.31	0.50	0.20	0.22	0.31
与PERC电池成本差（元/W）		0.09	0.28		0.02	0.11
3. 含税总成本（元/W）	0.75	0.85	1.06	0.71	0.70	0.70
不含税总成本（元/W）	0.68	0.77	0.96	0.64	0.64	0.64
考虑良率后的不含税总成本（元/W）	0.68	0.77	0.96	0.65	0.66	0.66
与PERC电池成本差（元/W）		0.09	0.28		0.01	0.005

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

1.9 降银五：铜电镀技术采用金属铜完全代替银浆作为栅线电极

- ❑ **光伏铜电镀**：采用金属铜完全代替银浆作为栅线电极。赛昂电力曾采用电镀铜电极实现了效率 > 23%的6英寸隧道氧化物异质结电池。
- ❑ 铜电镀产业化存在一定难点：1) 工艺流程多于丝印技术；2) 工艺过程中涉及湿化学，电池片形成组件时拉力难控制；3) 电镀液存在各种重金属，含氮废液、干膜废弃物等，环保成本及环评审批等问题需解决。若能解决以上难点，铜电镀技术巨大的成本优势将使得HJT电池技术具有明显的竞争优势。

图9：铜电镀技术工艺流程

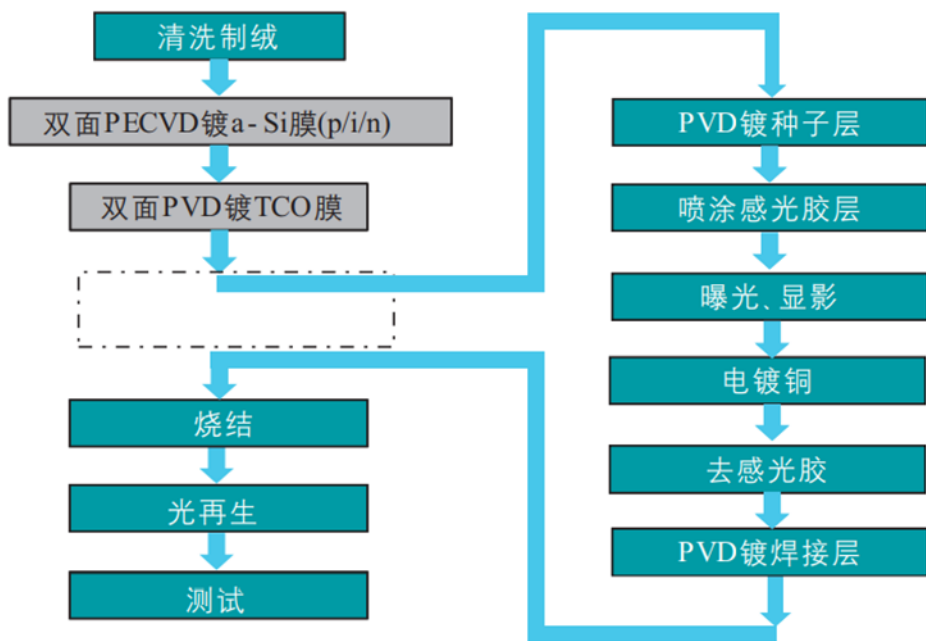
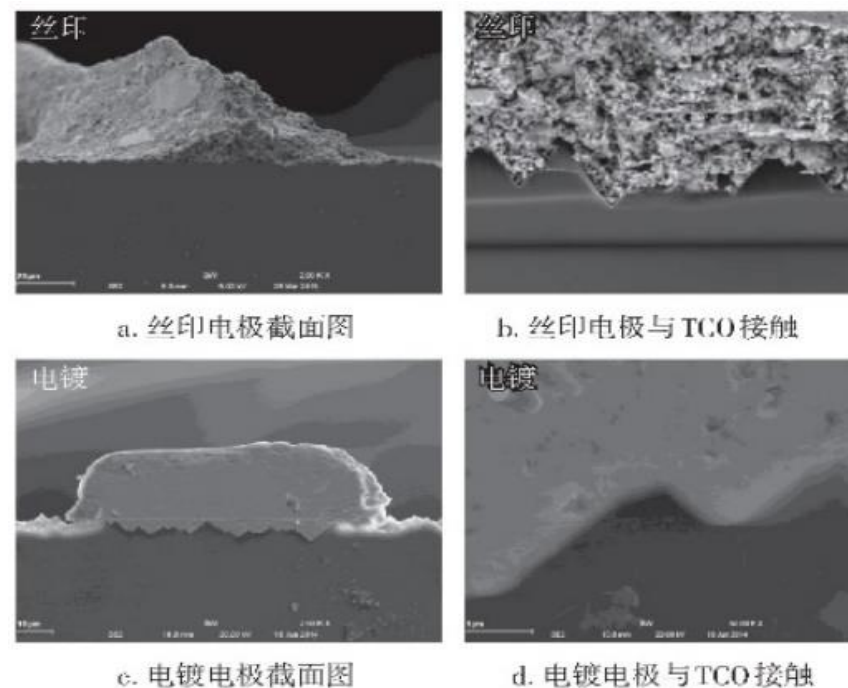


图10：电镀电极与TCO紧密附着，接触电阻小



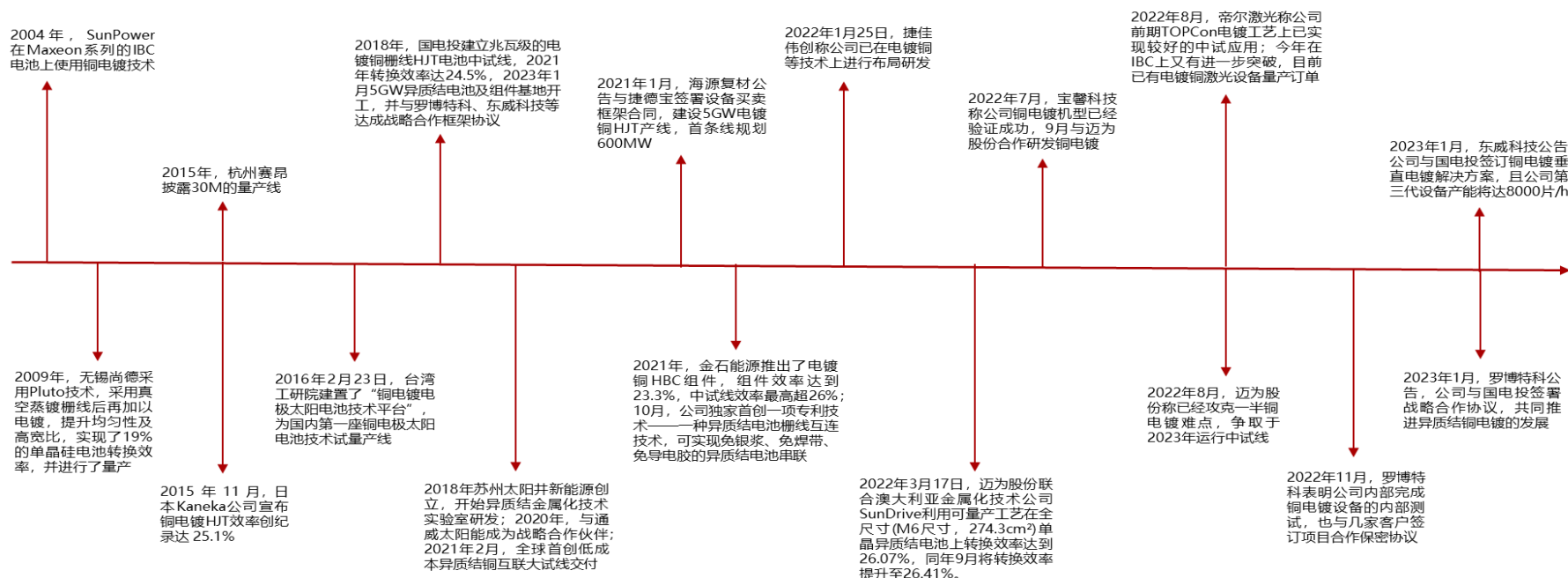
02

【光伏铜电镀】降本增效，有望成为HJT主流技术路径

2.1 光伏铜电镀已发展多年，2023年产业化进程有望加速

- **光伏铜电镀技术已发展多年：**2004年，SunPower在其Maxeon系列的IBC电池上运用铜电镀技术；2011年11月，日本Kaneka公司和比利时IMEC微电子研究中心在第21届国际光伏科学和工程大会上展示了无银HJT电池，通过电镀铜连接6英寸硅基板的透明导电氧化层，实现超过21%转换效率；2015年11月，Kaneka公司宣布采用铜接触金属化的双面异质结晶硅太阳能电池效率创纪录达25.1%。
- **2023年产业化进程加速：**2020年以来，国内多家光伏/发电企业（如海源复材、国电投、隆基绿能、通威股份、爱旭股份、爱康科技等）纷纷布局铜电镀技术，并与设备公司（如迈为股份、罗博特科、东威科技、芯碁微装、捷得宝、太阳井等）进行合作，2023年产业化进程有望加速。

图11：光伏铜电镀发展历程



- **电镀铜工艺的基本原理：**利用电解化学反应在基体表面镀上一层金属铜膜层的方法。电镀铜工艺过程中发生的电解化学反应简要概述如下：阴极反应：① $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ ，② $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ 阳极反应：① $\text{Cu} - 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^{2+}$ ② $4\text{OH}^- - 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
- **铜电镀：**铜电镀是一种非接触式的电极金属化技术，在基体金属表面通过电解方法沉积金属铜制作铜栅线，收集光伏效应产生的载流子。是对传统丝网印刷环节的替代，可分为“种子层制备、图形化、金属化、后处理”四大环节。

图12：电镀铜工艺原理

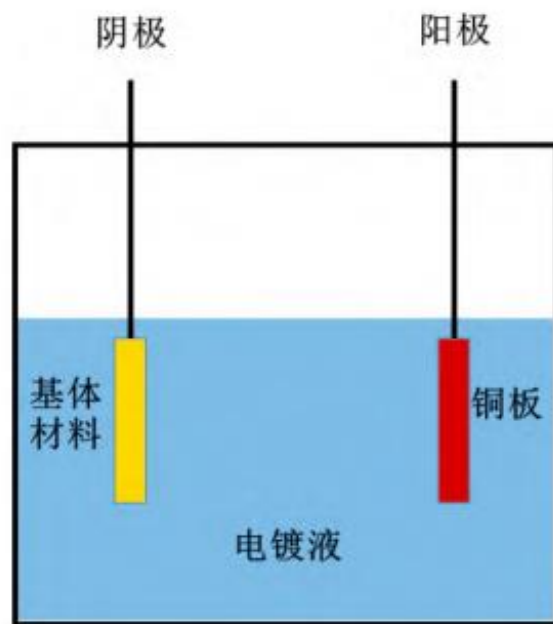
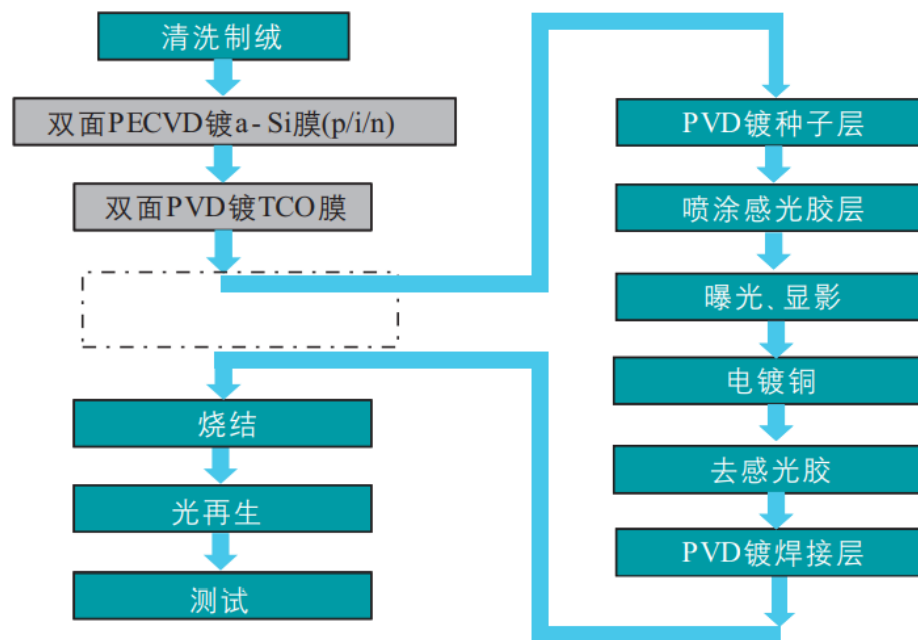


图13：光伏铜电镀替代传统丝网印刷环节（HJT）



- **金属铜代替银浆，助力成本下降。**金属铜导电性能好、成本低廉，是替代银进行金属栅电极化的理想材料。1) 导电率：银的电导率为 6.30×10^7 西门子/米，铜的电导率为 5.96×10^7 西门子/米，相差不大；2) 价格：但是铜的价格仅为银价格的1/100，是非常理想的替代材料；3) 栅线宽度：铜栅线宽度可做到20um，相对于银栅线的30-40um更细，有助于节省浆料。

图14：与银价对比，铜价性价比高（元/kg）



表4：铜电镀完全摆脱银浆依赖，可显著降本（2021）

	HJT		PERC
银浆	5BB	350mg/片	90mg/片(正) 50mg/片(背)
	9BB	200mg/片	
	(Super)12BB	130mg/片	
	OMM	100mg/片	
	银包铜MBB	100mg/片 (银含量)	
铜栅线		0mg/片	

- **HJT铜电镀成本显著低于传统丝网印刷：**在不考虑良率的情况下，HJT铜电镀成本将比丝网印刷成本低**0.04元/W**。假设HJT丝网印刷良率为98%，则当HJT铜电镀良率为**78.3%**时可打平HJT传统丝网印刷成本。
- **预测假设：**1) PERC、TopCon、HJT（丝网印刷）的耗银量分别为91、115、127mg/片；2) 高温银浆价格为4月21日银浆价格，低温银浆价格相较高温银浆溢价2000元/kg；3) 铜电镀其他材料成本、废水成本分别约0.06元/W、0.01元/W；4) HJT（铜电镀）新增设备投资为15000万元，折旧为6年。

表5：HJT铜电镀成本相对于传统丝网印刷降低0.04元/W

项目	PERC	TopCon	HJT（丝网印刷）	HJT（铜电镀）
电池尺寸（mm）	166	166	166	166
电池面积（cm ² ）	276	276	276	276
电池功率（W/片）	6.37	6.89	6.97	7.04
非硅成本：	0.07	0.08	0.12	0.07
银浆成本（元/片，不含税）	0.07	0.08	0.12	0.00
银浆耗量（mg/片）	91	115	127	0
银浆售价（元/kg，含税）	5749	5749	7749	7749
其他材料成本（铜、油墨、感光材料、电解液等）				0.06
废水成本				0.01
设备成本：	0.03	0.03	0.06	0.08
设备投资额（万元/GW）	15500	19000	36400	30940
其中：丝网印刷设备（万元/GW）	2325	2850	5460	0
新增设备（万元/GW）				15000
设备折旧期（年）	6	6	6	6
设备折旧额（元/W）	0.026	0.032	0.061	0.077
成本合计（元/W）	0.097	0.115	0.184	0.147

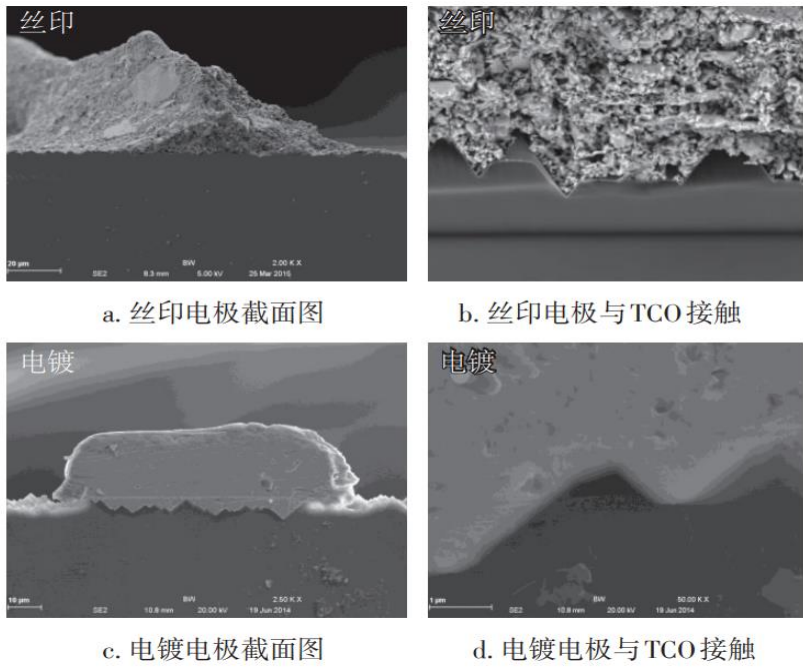
2.5 铜电镀兼具增效优点，实现0.3%-0.5%的光电转换效率提升

■ **铜电镀可实现0.3%-0.5%光电转换效率提升。**为充分收集光伏效应产生的载流子，一般通过丝网印刷技术制备金属电极，引出光生电流。受异质结电池工艺温度的限制，低温浆料的退火温度不超过250℃，电极的导电性较差，电阻率约为6~10Ω·m，是高温浆料的3~6倍，导致其电极功率损耗远大于常规电池，而铜金属化电极具有更小的金属线电阻1.7Ω·m，导电性能佳；此外由于铜栅线相较于银栅线可以做到更细，导致铜电镀的遮光损失相对较少，将有效改善载流子收集；同时电镀铜电极的内部致密且均匀，没有明显的空隙，可有效地降低电池电极的欧姆损耗。综合来看，铜电镀技术相较于传统技术可以实现0.3%-0.5%的效率提升。

表6：铜电镀相较于传统丝网印刷实现0.3%-0.5%的效率提升

	银栅线	铜栅线
直接材料成本低	银~5645元/kg	铜~69元/kg
栅线窄，高宽比高，降低遮光面积及栅线电阻	30~40μm	20μm
电阻率	6~10Ω·m	1.7Ω·m
低温工艺	√	√
效率提升		0.3%~0.5%

图15：电镀电极相比丝印电极可以减少损耗



03

【光伏铜电镀设备】铜电镀工艺流程共四步，设备市场空间大

- 种子层——技术工艺成熟，PVD成为主流
- 图形化——铜电镀核心环节之一
- 金属化——铜电镀核心环节之二
- 后处理——技术工艺成熟

3.1 工艺流程分为四步，设备市场空间较大

■ **铜电镀工艺流程主要分为四步：**1) **种子层制备：**为了改善金属与透明导电薄膜的接触及附着特性，引入种子层，增加电镀金属与TCO之间的附着性能；2) **图形化：**通过图形转移技术选择性的获得电极设计图案，具体工序包括掩膜、曝光、显影等；3) **金属化：**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，是金属化的一部分；4) **后处理：**主要是对感光材料和种子层的去除，保证TCO层能够露出。在铜电镀设备中，曝光和电镀设备为两大核心设备。

图16：铜电镀工艺流程

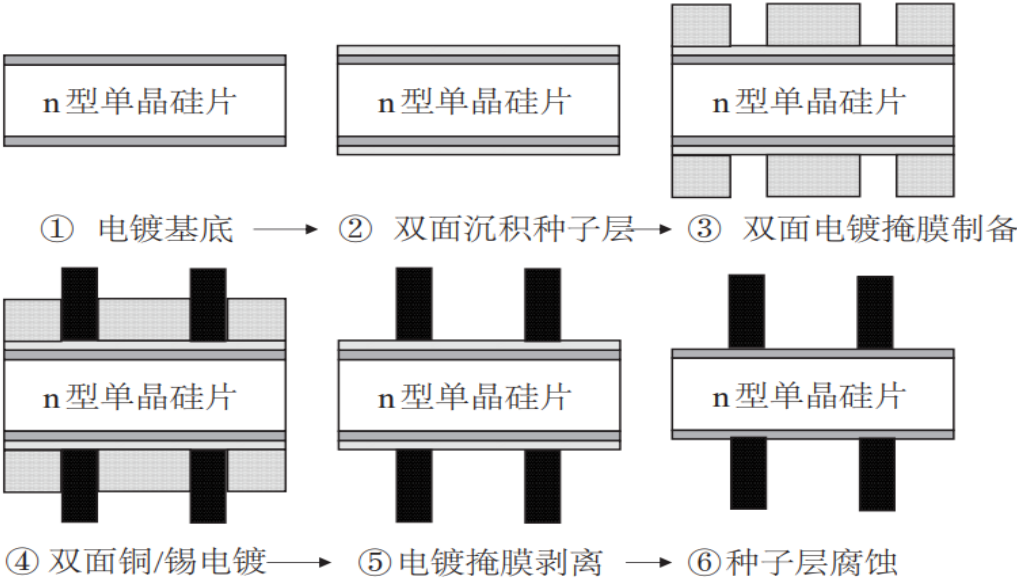


表7：HJT光伏铜电镀涉及多种设备

设备	作用
PVD	应用于铜种子层的建立，主要厂商为迈为股份、金辰股份、捷佳伟创、理想能源、钧石能源、利元亨、湖南宏大等。
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	主要技术路径分为传统掩膜光刻、激光直写光刻、激光开槽，主要厂商是芯碁微装、苏大维格、帝尔激光、捷得宝、太阳井等。
显影机	应用于显影，价值量不高。
电镀机	应用于电镀，主要技术路径有水平式、垂直式、花篮式，主要厂商为罗博特科、东威科技、捷得宝、太阳井。
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

3.2 种子层——技术成熟，PVD成为主流

- **种子层制备**：直接在TCO上电镀，镀层和TCO间的接触为物理接触，附着力主要为范德华力，容易引起电极脱落，且在TCO上电镀金属是非选择性的，需在电镀之前在透明导电薄膜表面沉积种子层（一般为100nm），增加电镀金属与TCO之间的附着性能。
- **种子层材料**：种子层的材料可以采用金属铜（Cu）、镍（Ni）、铜镍合金进行制备，超高深径比或特殊结构可能需要采用金种子层。
- **种子层工艺**：种子层制备方法包括物理气相沉积（PVD）、化学气相沉积（CVD）、印刷、喷涂等。目前主流方法为PVD大面积沉积，PVD技术是指在真空条件下采用物理方法将材料源（固体或液体）表面气化成为气态原子或分子，或部分电离成离子，并通过低压气体（或等离子体）过程，在基体表面沉积具有某种特殊功能的薄膜的技术，在异质结的制备过程中，透明导电薄膜和种子层的制备可以使用一台PVD设备，只需将靶材更换为金属铜。

图17：电镀电极结构

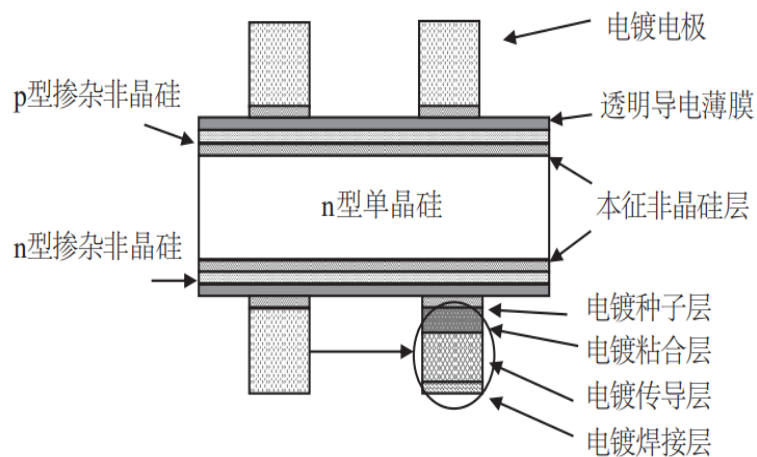


图18：不同种子层对电池性能的影响

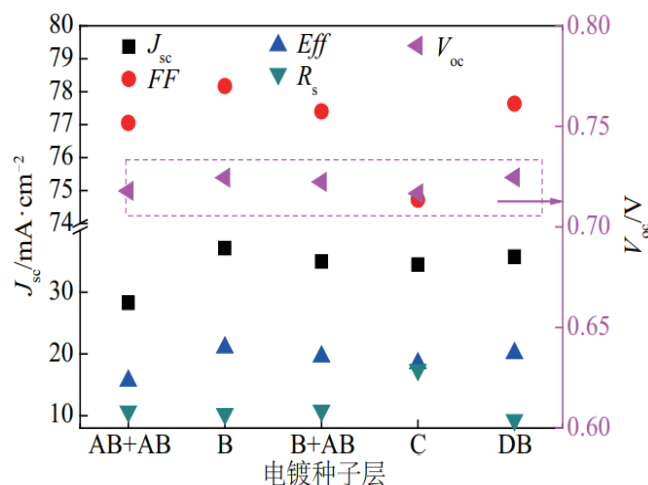
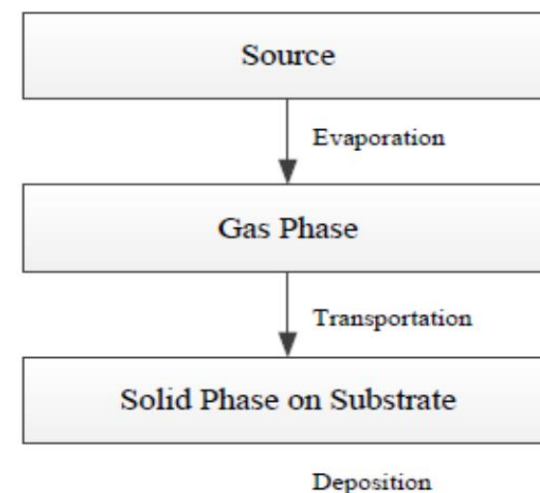


图19：PVD沉积过程



3.3 图形化——铜电镀核心环节之一

■ **图形化是核心步骤，通过图形转移技术获得电极设计图案，实现选择性电镀。具体工序包括掩膜、曝光、显影等。**

■ **掩膜：**主要作用是遮盖非刻蚀部分，在电镀环节保护不需要被电镀的部分。其材料主要分为干膜、湿膜。

1) 干膜：干膜是一种高分子的化合物，它通过紫外线的照射后能够产生一种聚合反应形成一种稳定的物质附着于板面，从而达到阻挡电镀和蚀刻的功能。干膜由于制造环节较多以及三明治结构导致材料成本不易下降，成本较高，不适用于光伏行业。

2) 湿膜：湿膜是一种感光油墨，对紫外线敏感，并且能通过紫外线固化的一种油墨。由于其成本较低且栅线宽度窄的优势，在光伏行业较为常用，但是由于工艺相较于干膜多了烘干，因此部分情况存在着油墨残留的部分。

■ **显影：**按显影效果不同可分为正负光刻胶，正光刻胶是指在光刻过程中，暴露在光线下的部分可溶于光刻胶显影剂，而未曝光部分仍然溶于显影剂。负光刻胶刚好和正光刻胶相反，是指在光刻工艺中，暴露在光线下的部分不溶于显影剂，未曝光部分则可以被光刻胶显影剂所溶解。由于正胶成本是负胶的两倍，且光伏栅线要求较窄，现在一般都走负胶路线。

图20：干刻光刻胶的三明治结构

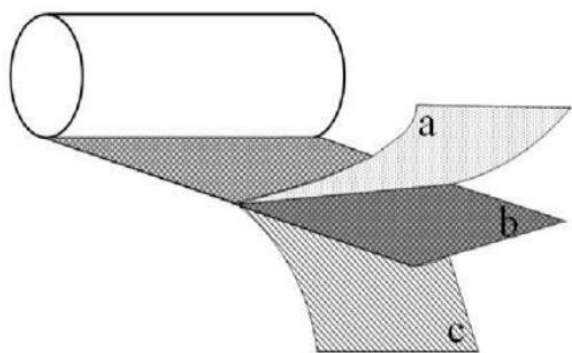


图21：掩膜光刻过程

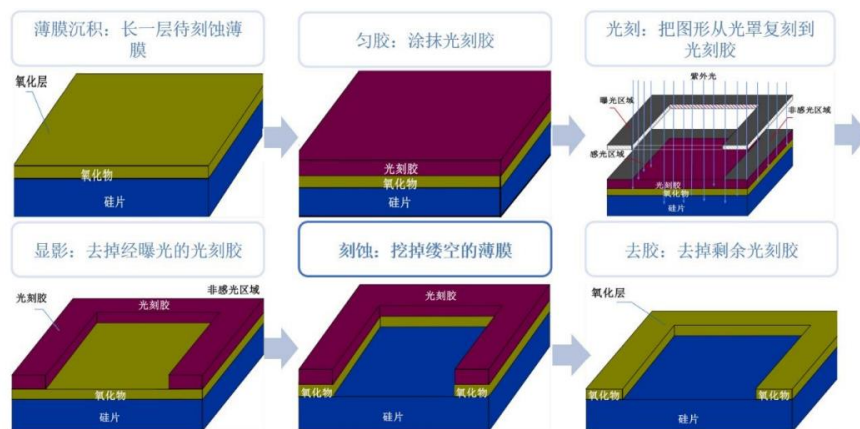
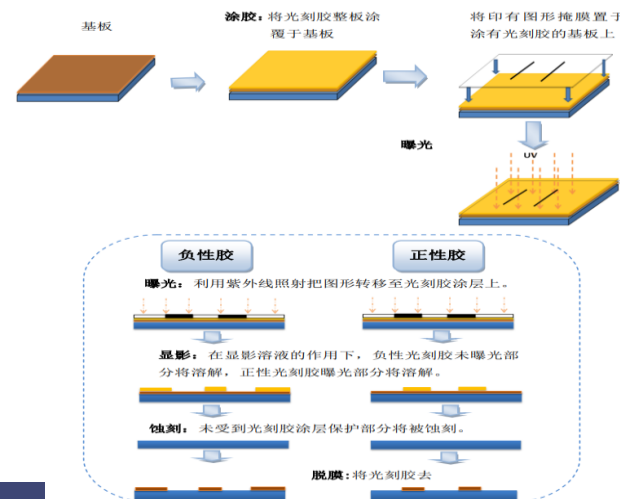


图22：正负胶工艺流程



3.3 图形化——铜电镀核心环节之一

- **曝光显影是将所需要的图形转移到感光材料上。**目前曝光显影的工艺主要有：1) 传统掩膜+显影；2) 激光直写 (LDI)；3) 激光开槽；4) 喷墨打印，其中传统掩膜光刻技术中的投影式曝光、激光直写技术 (LDI) 是目前较为主流技术。
- **传统掩膜光刻技术：**掩膜光刻，由光源发出的光束经掩膜版在感光材料上成像。具体又可分为**接近式**、**接触式**、**投影式**光刻。相较于接触式光刻和接近式光刻技术，投影式光刻技术更加先进，通过投影的原理能够在相同尺寸掩膜版的情况下获得更小比例的图像，从而实现更精细的成像。具有设备复杂程度低，产能潜力大，降本空间大的优势。**代表厂商为苏大维格。**
- **激光直写 (LDI)：**直写光刻也称无掩膜光刻，是指计算机控制的高精度光束聚焦投影至涂覆有感光材料的基材表面上，无需掩膜直接进行扫描曝光。目前由于介入光伏较早，所以进展相较于曝光式光刻技术更快，但是也存在着设备造假较贵和设备产能提升存在局限性的问题。**代表厂商为芯碁微装。**
- **激光开槽：**激光开槽可以省去曝光显影的步骤，直接在掩膜层上形成电极设计图案。但是精确控制激光对HJT掩膜开槽具有较高技术壁垒，需要在不损伤本征多晶硅层和掺杂多晶硅层的前提下打开掩膜。**代表厂商为帝尔激光。**

图23：光刻技术主要有掩膜光刻、激光直写

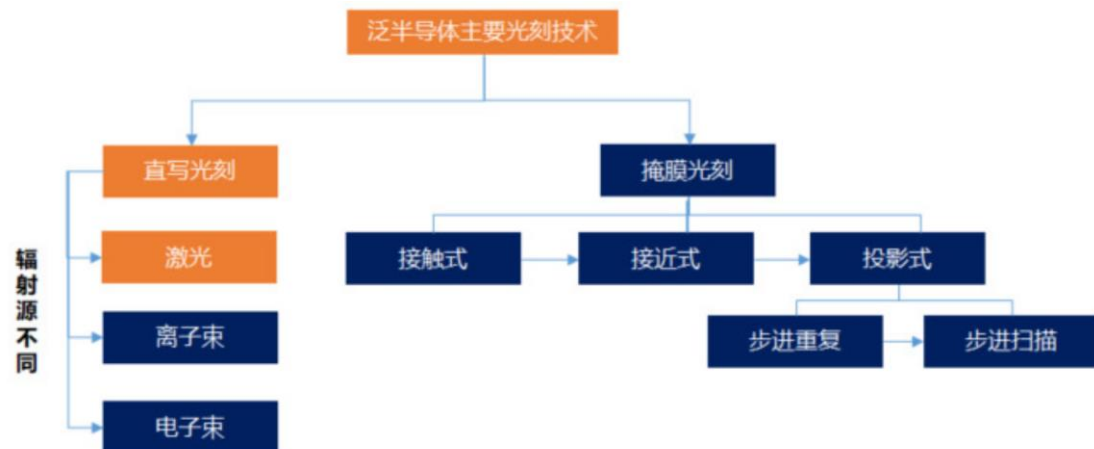
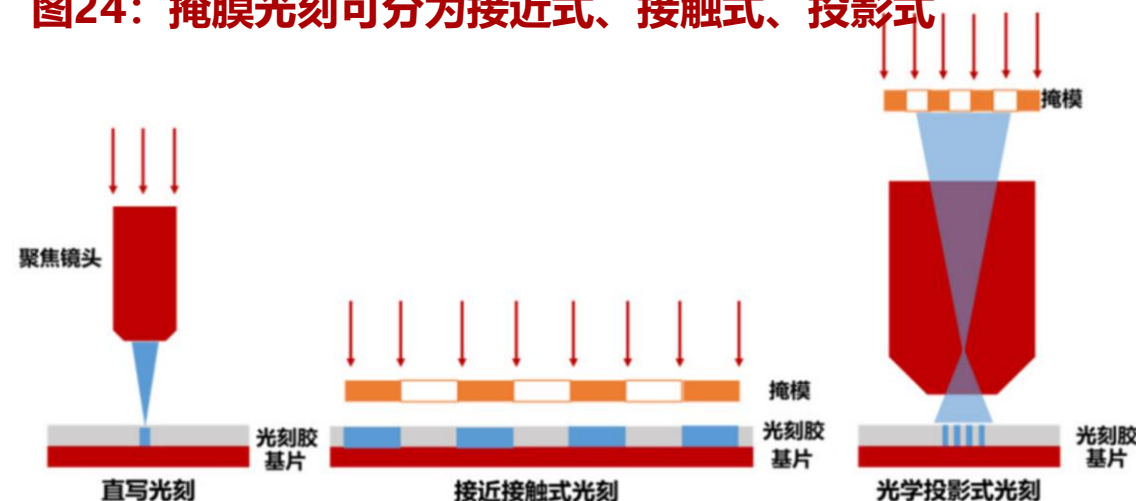
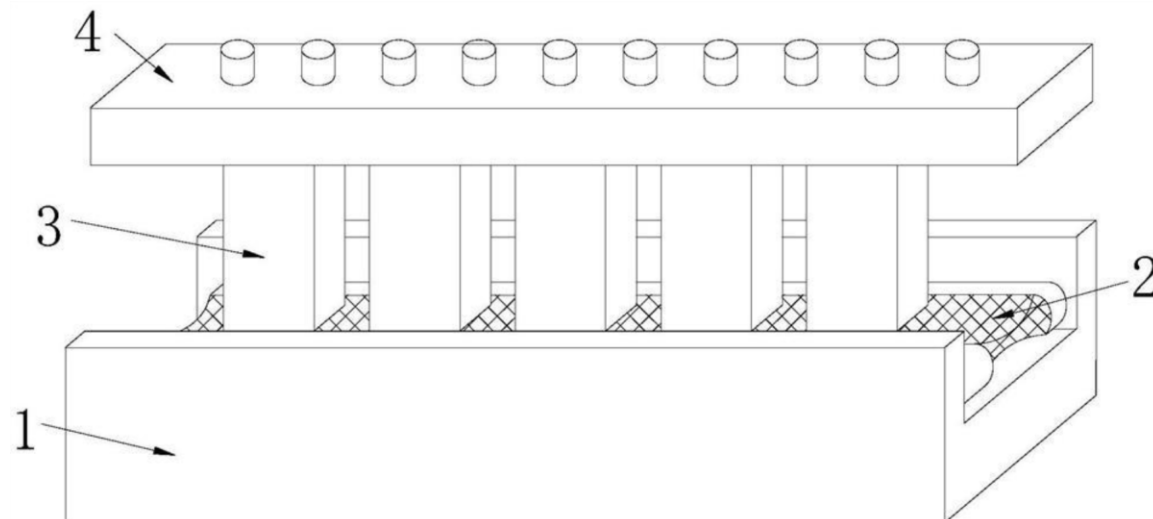


图24：掩膜光刻可分为接近式、接触式、投影式



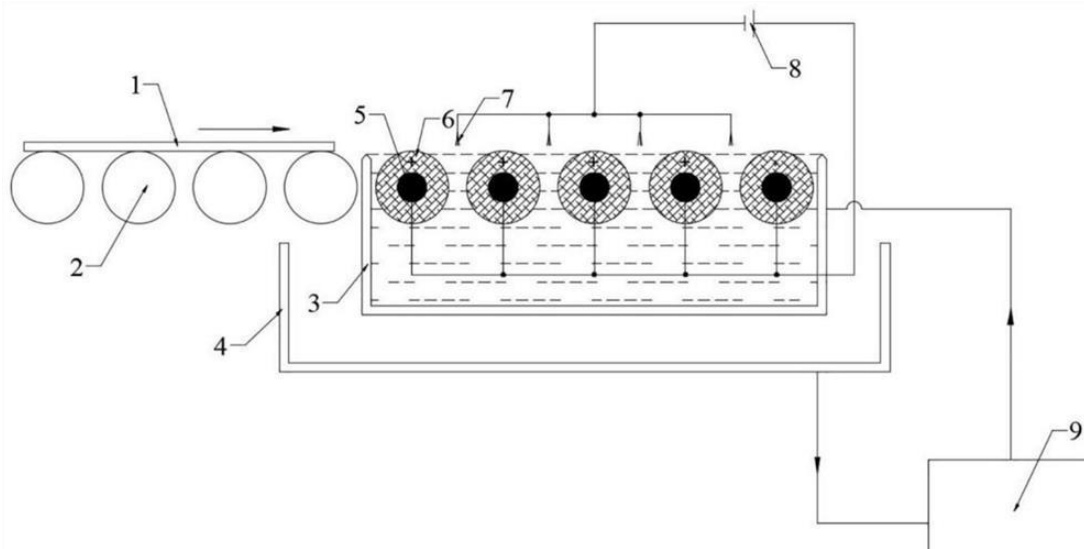
- **金属化（又称电镀）是铜电镀的核心环节之一，利用电解原理在某些金属表面上镀上一薄层其它金属或合金的过程。**目前主流的技术路线：1) 垂直式电镀（东威科技为代表）；2) 水平式电镀（捷得宝为代表）；3) 插片式电镀（罗博特科为代表）。
- **垂直电镀：**垂直电镀广泛应用于PCB电镀铜工艺，夹爪夹住阴电极，竖着挂在电镀槽中进行铜电镀。
- 1) 优势：设备较为成熟，头部设备厂商已有供货。东威科技交付客户2台第二代光伏铜电镀设备，并公告宣布第三代光伏铜电镀设备可实现节拍为8000片/小时的垂直电镀技术。
- 2) 缺点：①产能受限：根据垂直镀的工艺流程，由于受限于机械结构限制单槽夹持的电池片数目，以及考虑夹住硅片并进行上下移动的耗时，垂直镀路线的产能有受限的可能；②均匀性：由于垂直部分溶液溶度，电流大小不同，电镀过程也存在均匀性的问题。

图25：垂直式电镀技术相对成熟，头部设备厂商已实现供货



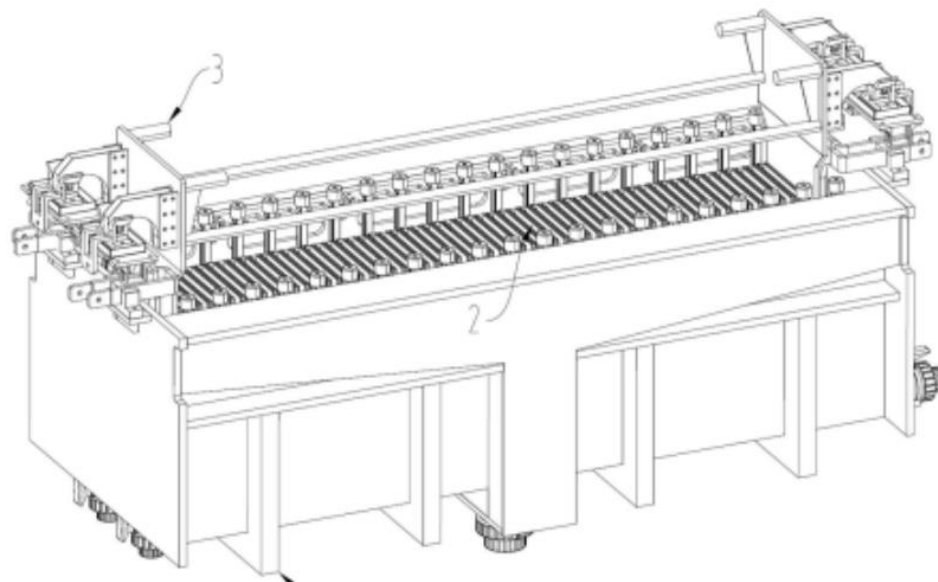
- **金属化（又称电镀）是铜电镀的核心环节之一，利用电解原理在某些金属表面上镀上一薄层其它金属或合金的过程。**目前主流的技术路线：1) 垂直式电镀（东威科技为代表）；2) 水平式电镀（捷得宝为代表）；3) 插片式电镀（罗博特科为代表）。
- **水平电镀：**水平电镀与垂直电镀方法和原理相似，都必须具有阴阳两极，通电后产生电极反应使电解液主成份产生电离，使带电的正离子向电极反应区的负相移动；带电的负离子向电极反应区的正相移动，于是产生金属沉积镀层和放出气体。
 - 1) 优点：①产能相对较高：由于无需手动安装和悬挂即可适应大范围的尺寸，实现全自动操作，因此有助于产能提升；②均匀性：由于电池表面接触溶液均匀，也保证了最终产品的均匀性和稳定性。
 - 2) 缺点：需运用毛刷使得导电滚轮和硅片的沟槽进行有效接触，因此要求毛刷具备导电性佳、细软等特点，这种材料较难获取。

图26：水平式式电镀技术具备电镀均匀性好等优势



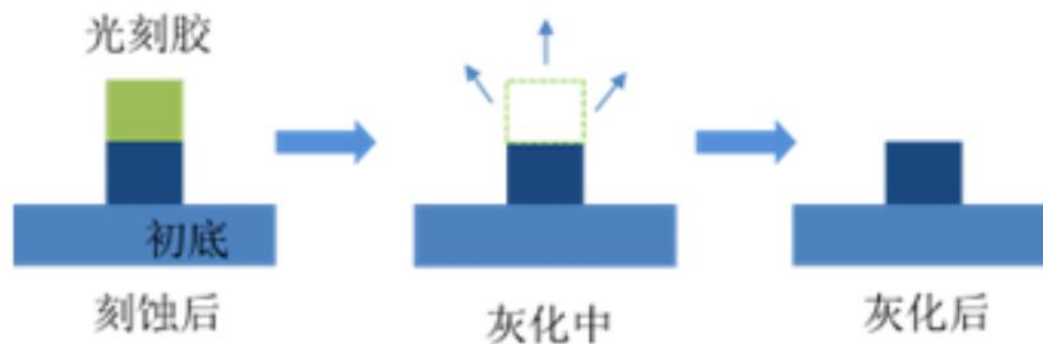
- **金属化（又称电镀）是铜电镀的核心环节之一，利用电解原理在某些金属表面上镀上一薄层其它金属或合金的过程。**目前主流的技术路线：1) 垂直式电镀（东威科技为代表）；2) 水平式电镀（捷得宝为代表）；3) 插片式电镀（罗博特科为代表）。
- **插片式电镀：**将电池片设置在阴极导电支架上，向下插入使得一个导电支撑单元位于相邻两个阳极板组件之间。
 - 1) 优点：电镀速率快，产能高的优点。根据罗博特科发明专利，该种电镀方式可实现双面电镀，单线可做到14000整片/小时，破片率<0.02%。
 - 2) 缺点：消耗铜离子速率较快，后续可能出现铜离子能否补充到位的问题。

图27：插片式电镀技术具备产能高等优势



- **后处理的主要作用是去除感光材料和种子层，露出TCO层。**
- 工艺主要包括**干法**和**湿法**：湿法蚀刻使用溶液腐蚀和刮掉表面，可以快速且廉价的加工，但是加工精度较低，一般适用于尺度较大（大于3nm）的情况以及用来腐蚀硅片上某些层或用来去除干法刻蚀后的残留物；干法蚀刻不使用溶液，而是使用气体撞击基板表面进行刮擦，特点是加工精度高。之前，刻蚀后的光刻胶是用湿法完成的，但是湿法很难去除刻蚀中发生变质的光刻胶，同时存在废液处理问题，因此干法刻蚀去胶成为趋势。
- **蚀刻技术较为成熟**：铜种子层的刻蚀工艺已经在半导体行业使用了几十年，技术较为成熟。目前干法刻蚀市场占比90%，湿法刻蚀占比10%。

图28：后处理刻蚀工序主要用于去除感光材料、种子层



04

【光伏铜电镀设备】2030年铜电镀设备市场空间有望达275亿元

表8：预计2030年光伏铜电镀设备新增市场空间有望达到275亿，2022-2030年CAGR=77%

	项目	2020	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E
核心假设	光伏新增装机量 (GW)	130	170	247	345	431	539	647	744	819	900	990
	yoy	13%	31%	45%	40%	25%	25%	20%	15%	10%	10%	10%
	光伏容配比	1.25										
	光伏组件需求 (GW)	163	213	308	431	539	674	809	930	1023	1125	1238
	产能利用率	66%	60%	60%	65%	65%	65%	70%	70%	70%	70%	70%
	全球组件产能 (GW)	246	354	514	664	830	1037	1155	1329	1462	1608	1769
	N型电池渗透率	3.8%	10%	13%	18%	23%	30%	37%	45%	49%	53%	58%
	N型电池铜电镀占比	-	-	3%	7%	14%	23%	31%	41%	47%	54%	61%
	铜电镀总渗透率	-	-	0.37%	1.25%	3.14%	6.91%	11.47%	18.25%	22.96%	28.60%	35.33%
	铜电镀新增装机 (GW)	-	-	1.9	8.3	26.1	71.7	132.5	242.5	335.7	459.8	625.1
	单GW设备价值量 (亿元)											
	PVD	-	-	0.50	0.42	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28
	曝光机	-	-	0.20	0.17	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11
	电镀机	-	-	0.30	0.25	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.17	0.17
	其他设备	-	-	0.50	0.42	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28
	单GW价值量	-	-	1.50	1.25	1.00	0.97	0.94	0.91	0.89	0.86	0.83
	yoy	-	-	-	-17%	-20%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%	-3%
测算结果	市场规模 (亿元)											
	PVD	-	-	1	3	6	17	25	49	50	82	92
	曝光机	-	-	0	1	2	7	10	20	20	33	37
	电镀机	-	-	1	2	4	10	15	30	30	49	55
	其他设备	-	-	1	3	6	17	25	49	50	82	92
	市场规模	-	-	3	8	19	51	74	148	149	245	275
										64%	12%	

05

【光伏铜电镀产业链】投资建议

5.1 投资建议：聚焦光伏铜电镀优质设备企业

- 金属化设备：重点推荐罗博特科、东威科技；关注宝馨科技、钧石能源等。

□ 图形化设备：重点关注苏大维格、芯碁微装、帝尔激光、天准科技等。

□ 整线：重点推荐迈为股份；重点关注捷得宝（未上市）、太阳井（未上市）等。

表9：建议聚焦光伏铜电镀生产优质设备企业

环节	设备企业	制造企业
PVD设备	迈为股份、捷佳伟创、金辰股份、利元亨、理想能源（未上市）、钧石能源（未上市）、湖南宏大（未上市）等	海源复材、通威股份、隆基绿能、爱旭股份、晶澳科技、东方日升、爱康科技、国电投新能源（未上市）、华晟新能源（未上市）等
图形化设备	芯碁微装、苏大维格、天准科技、帝尔激光等	
金属化设备	罗博特科、东威科技、宝馨科技、钧石能源（未上市）等	
整线设备	迈为股份、捷得宝（未上市）、太阳井（未上市）、金石能源（未上市）等	

5.2 投资建议：聚焦光伏铜电镀优质设备企业

表10：光伏铜电镀重点推荐公司估值表

证券代码	可比公司	市值 (亿元)	归母净利润 (亿元)			EPS			PE			PB (LF)	ROE (2021)
			2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E		
300757	罗博特科*	65	0.26(A)	1.22	2.21	0.24(A)	1.11	2.00	235	53	29	7.6	-5.5%
688700	东威科技*	128	2.13(A)	3.77	5.17	1.44(A)	2.56	3.51	60	34	25	13.0	20.9%
300331	苏大维格	61	-2.86	1.99	3.46	-1.1	0.77	1.33	-22	31	18	3.0	-17.5%
688630	芯碁微装	96	1.37(A)	2.14	3.03	1.13(A)	1.77	2.51	74	45	32	8.8	11.4%
300751	迈为股份	477	9.32	15.86	23.60	5.36	9.11	13.56	51	30	20	7.6	10.9%

资料来源：罗博特科、东威科技为浙商机械团队预测，其余为

5.3 罗博特科：高端自动化设备龙头，迈向光伏铜电镀设备龙头

□ 罗博特科：光伏自动化设备龙头，积极内生拓展铜电镀设备、外延光模块封测设备，中长期业绩估值有望双提升。

图29：2017-2022年公司营收CAGR约16%

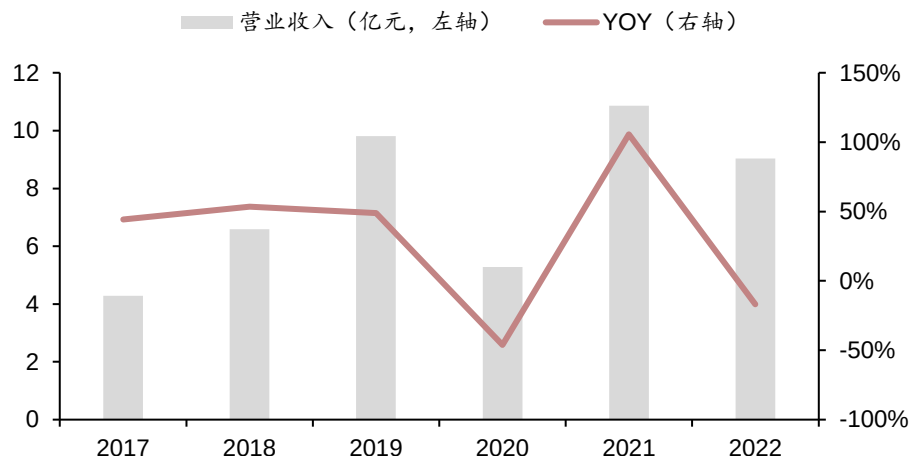


图30：2022年公司归母净利润约2615万元，实现扭亏为盈

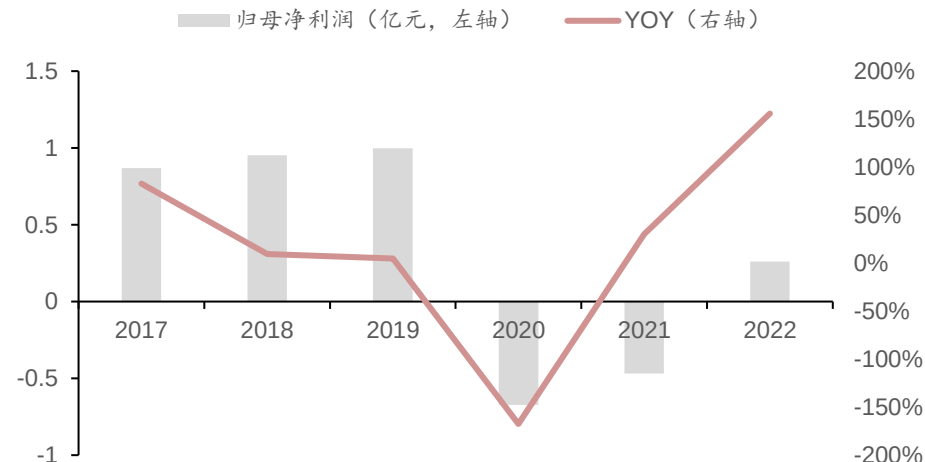


图31：2020年以来毛利率、净利率持续回升

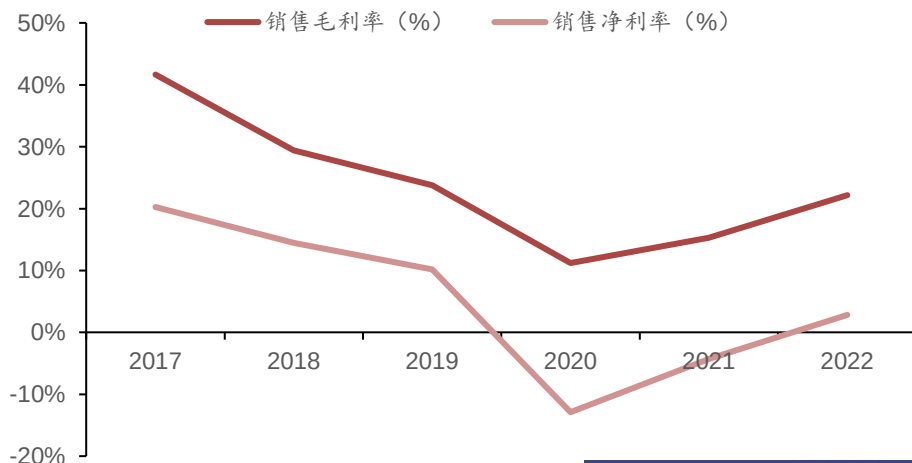
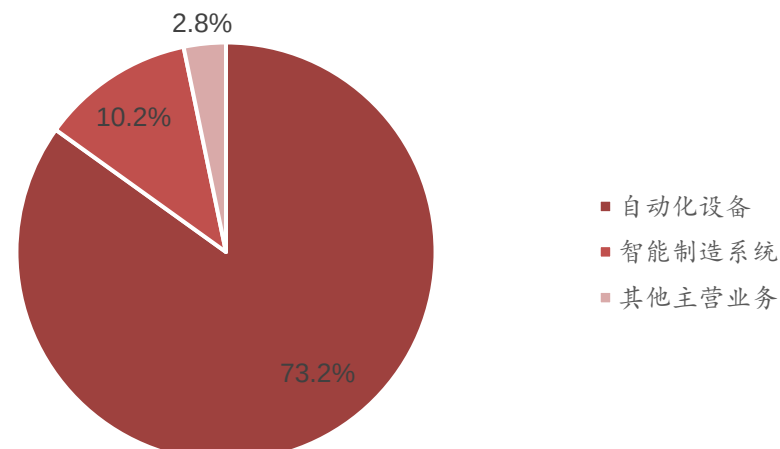


图32：2022年自动化设备营收占比约73%



5.4 东威科技：PCB电镀设备龙头，光伏铜电镀技术行业领先

□ 东威科技：PCB电镀设备龙头，积极拓展光伏铜电镀、锂电PET复合铜箔电镀设备领域，打开公司成长空间。

图33：2017-2022年公司营收CAGR约22%

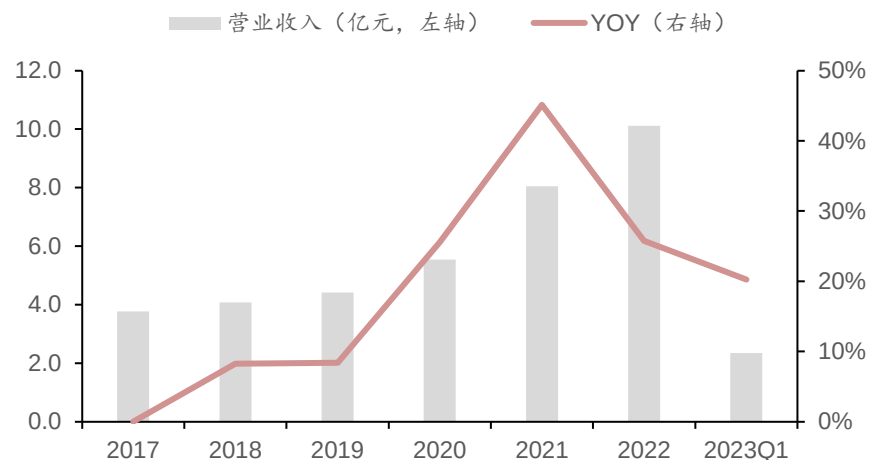


图34：2017-2022年公司归母净利润CAGR约36%

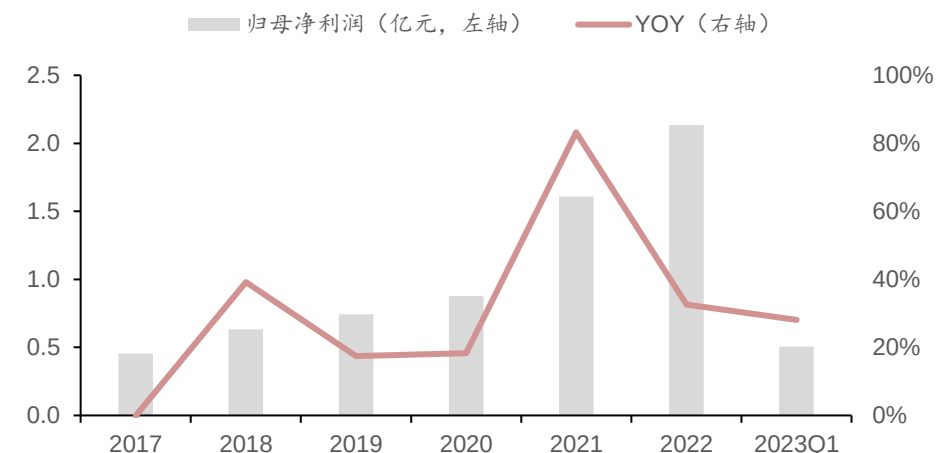


图35：2022年毛利率、净利率约42%、21%

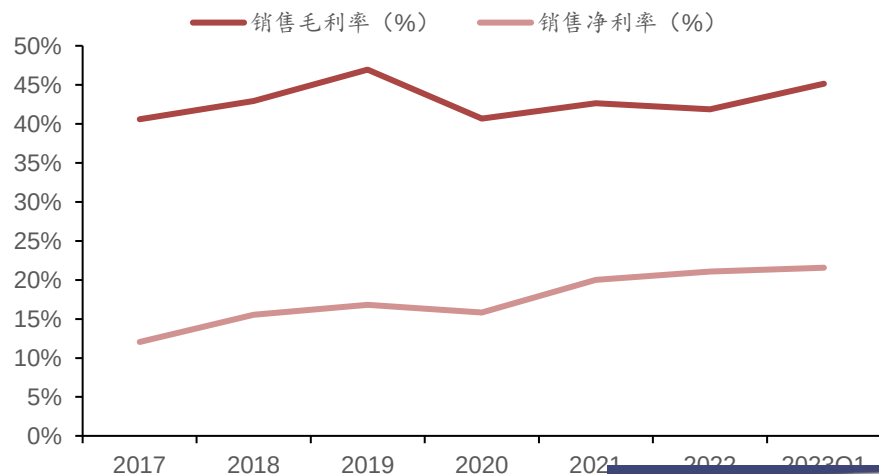


图36：2022年公司PCB设备营收占比约66%

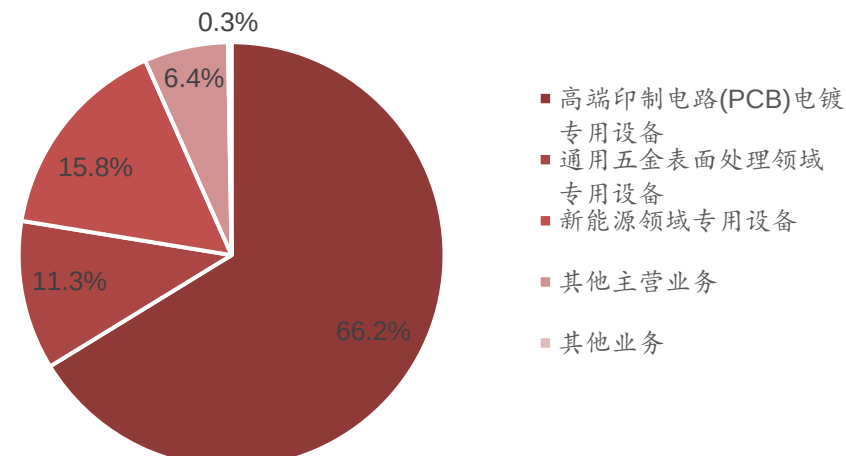


图37：2017-2021年公司营收CAGR约16%

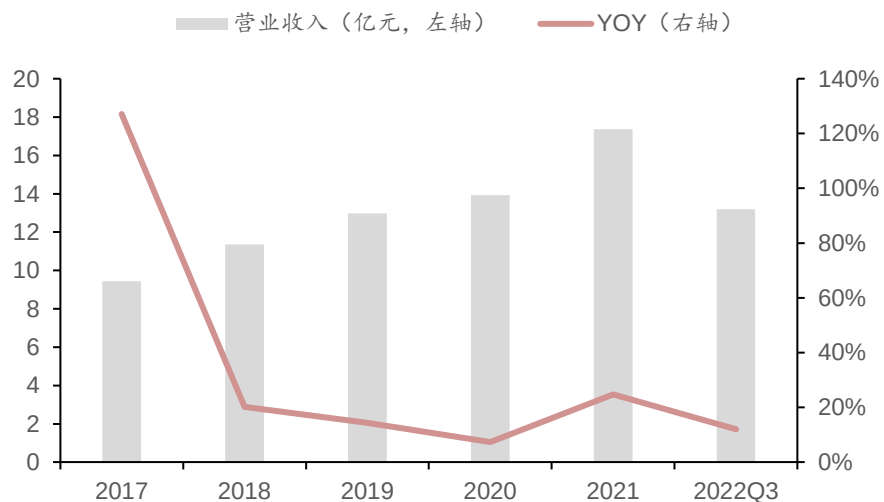


图38：2021年公司归母净利润承压

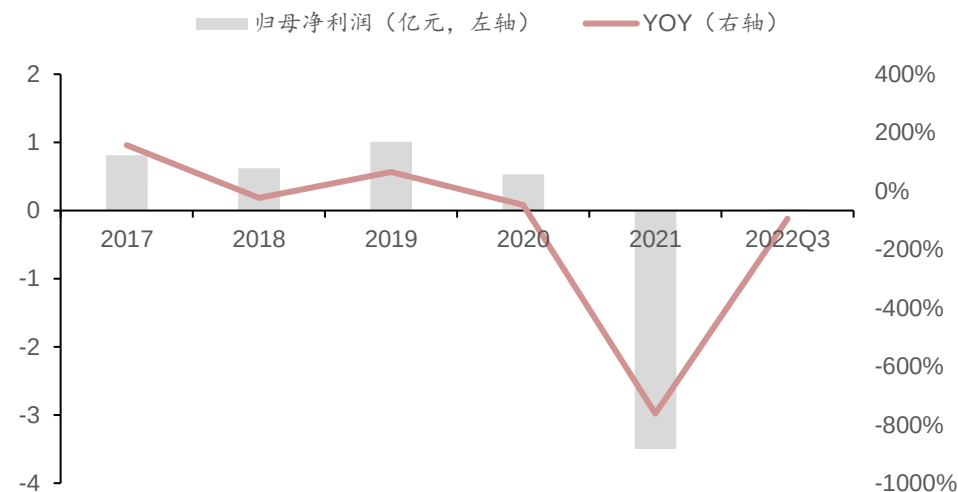


图39：2017-2021年毛利率、净利率中枢约28%、5%

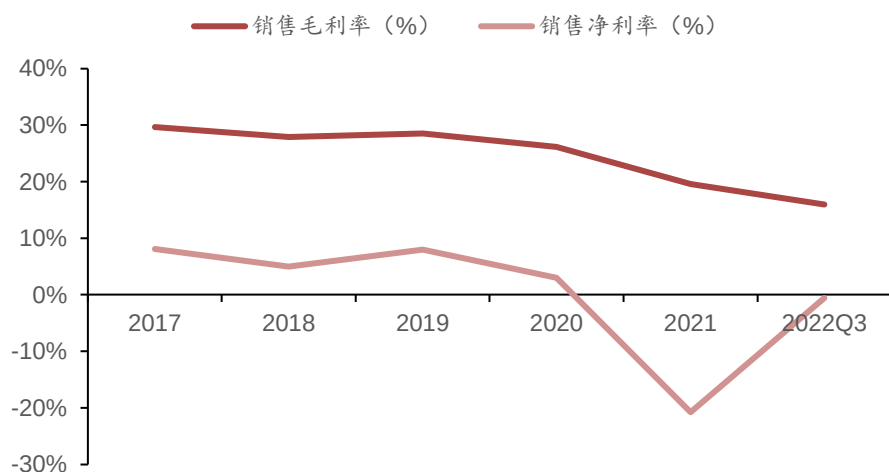


图40：2021年公司微纳光学产品营收占比约77%

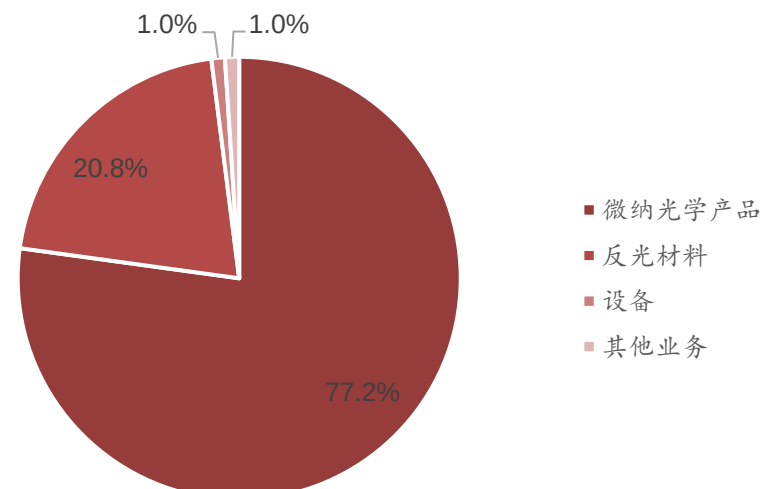


图41：2017-2021年公司营收CAGR约97%

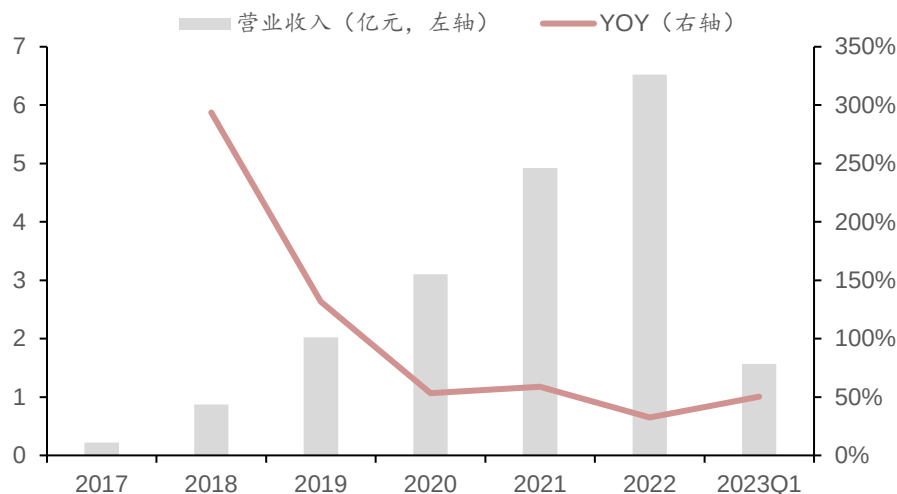


图42：2018-2021年公司归母净利润CAGR约68%

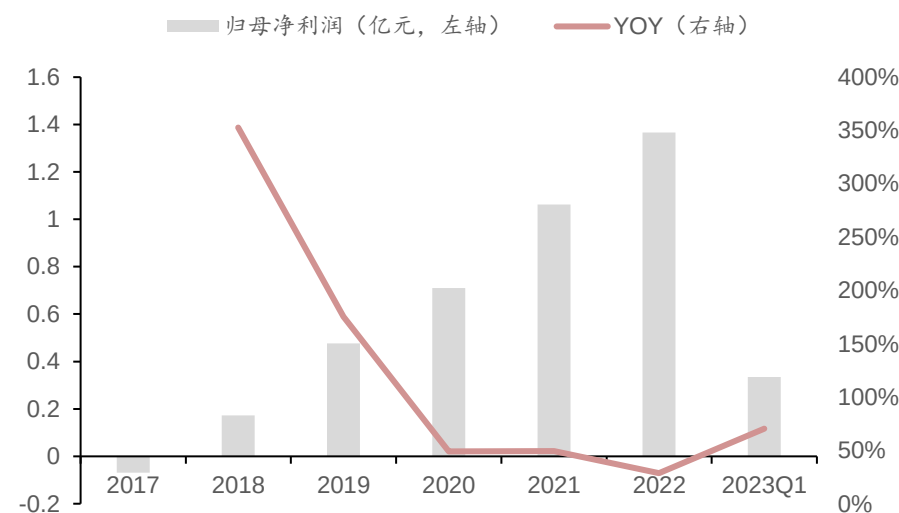


图43：2022年毛利率、净利率约43%、22%

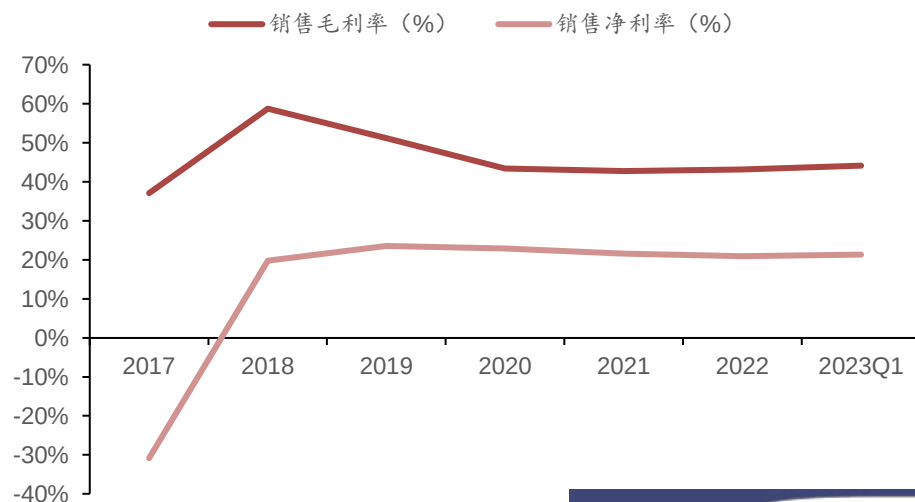
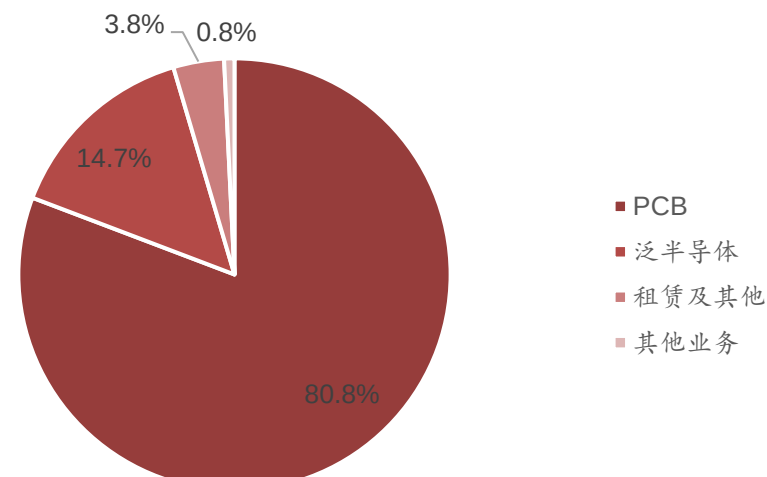


图44：2022年PCB营收占比约81%



06

风险提示

- **光伏行业技术替代风险：**若未来下游相关产业发生重大技术革新和产品升级换代，对现有产品需求发生不利变化，可能影响下游扩产需求、光伏设备需求下滑。
- **产能扩张竞争格局恶化风险：**如果光伏各环节产能扩张速度大于下游需求增长速度，有可能出现产能过剩风险，导致光伏各环节行业竞争格局恶化、扩产节奏放缓，光伏设备需求下滑。
- **产业化进展不及预期风险：**当前铜电镀新投入成本较高、产能受到限制等仍是铜电镀产业化亟待解决的难题，若上述难题无法在预期时间内解决，则铜电镀的产业化进展将推迟。从而影响相关企业业绩。
- **市场空间测算偏差风险：**光伏行业变化快、技术迭代多，本报告中各个市场空间测算模型仅供当前假设情况下的参考，可能存在一定预测误差风险。

行业的投资评级

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

- 1、看好：行业指数相对于沪深300指数表现 + 10%以上；
- 2、中性：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10% ~ + 10%以上；
- 3、看淡：行业指数相对于沪深300指数表现 - 10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，投资者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。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的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。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、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。

本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、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

邮政编码：200127

电话：(8621)80108518

传真：(8621)80106010

浙商证券研究所：<http://research.stocke.com.cn>