

## 光伏设备行业深度报告

## 电镀铜即将开启产业化进程,从0到1设备商率先受益

增持(维持)

关键词: #成本下降 #新产品、新技术、新客户

## 投资要点

- **HJT的少银化降本需求迫切,作为去银化“终极”手段的电镀铜更适用于HJT。**2022-2023年TOPCon扩产规模高于HJT,主要系HJT总成本仍偏高,降本为HJT规模扩产的关键,而银浆成本在HJT总成本中占比最高,根据我们的测算,银浆成本占HJT总成本比重约11%,因此降低银浆成本为关键,而电镀铜能够实现去银化,有望解决HJT银浆成本高的痛点,并且从工艺要求和降本效果来看,电镀铜更适用于HJT技术,(1) **工艺要求:** HJT独有的低温工艺符合电镀铜的工艺要求、独有的TCO薄膜能够起到阻挡作用并避免铜污染硅片内部;(2) **降本效果:** HJT应用电镀铜后降低非硅成本的效果最明显,根据我们的测算,假设电镀铜量产后带来0.5%提效、电镀液等耗材成本0.03元/W、电镀设备价值量1亿元/GW,PERC/TOPCon/HJT三种技术路线应用电镀铜工艺后,非硅成本的降低幅度分别为2%/12%/21%。
- **与银包铜相比,电镀铜目前尚不具备显著降本优势,因耗材&设备折旧成本较高。**电镀铜与银包铜均为降低银浆用量的浆料技术,目前电镀铜尚不具备显著成本优势:(1) **增效:**为电镀铜独有优势,能够通过更低电阻、更高栅线高宽比,提高0.3-0.5%效率;(2) **降本:**银包铜与电镀铜成本差异主要体现在材料与设备折旧方面,①**材料成本:**50%/30%银包铜的银浆成本分别为0.05/0.03元/W,电镀铜的铜成本可以忽略,但电镀药水和掩膜材料等目前较高约0.07元/W,未来量产后可能降低到0.03元/W;②**设备折旧成本:**50%/30%银包铜丝印设备单GW价值量0.4亿元,设备折旧成本为0.01元/W,而电镀铜设备单GW投资额目前2亿元,设备折旧成本约0.04元/W,有望降低至1亿元,设备折旧成本约0.02元/W;③**材料+设备折旧成本合计:**50%/30%银包铜合计成本分别为0.06/0.04元/W,电镀铜目前成本约为0.11元/W,尚不具备显著优势,未来耗材及设备国产化&规模放量降本后有望降低至0.05元/W。
- **电镀铜的产业化是抑制银浆价格上涨的重要手段。**随着光伏装机量提升、银浆耗量增加可能带来银价上涨,存在银包铜成本增加的可能性。所以电镀铜能够与银包铜路线形成竞争,抑制银价上涨。根据测算银价上涨43%、银浆含税价格9295元/KG时,30%银包铜的材料+设备折旧成本为0.051元/W,电镀铜工艺量产成本约0.051元/W,此时电镀铜量产成本与银包铜打平,当银价上涨超过43%时电镀铜成本低于银包铜。
- **电镀铜即将开启产业化。**早期电镀铜以研发线和中试线为主,没有大规模量产,2022年以来耗材借鉴PCB领域的湿膜、设备借鉴半导体领域的激光方案等均有所突破,快速导入验证中,但仍存在设备产能&环保&良率等问题,我们预计2023年行业进行中试,2024年导入量产。
- **多种技术方案角力,电镀铜设备商率先受益。**目前电镀铜设备价值量2亿元/GW,我们预计有望下降到1亿元/GW,到2025年电镀铜设备市场空间达30亿元,2023-2025年CAGR达260%。(1) **种子层(价值量占比25%):**种子层提升栅线与TCO层之间导电性和附着力,我们看好PVD为主流;(2) **图形化(占比30%):**分为掩膜、曝光、显影,我们看好经济性更强的油墨+掩膜类光刻;(3) **电镀(占比25%):**包括水平镀、垂直镀等,我们看好水平镀,有望满足光伏大产能低成本需求。其它设备占比20%左右。
- **投资建议:**重点推荐迈为股份,建议关注太阳井(未上市)、罗博特科、东威科技、捷得宝(未上市)、芯基微装、苏大维格。
- **风险提示:** HJT产业化进程不及预期,电镀铜产业化进程不及预期。

2023年02月21日

证券分析师 周尔双

执业证书: S0600515110002

021-60199784

zhouersh@dwzq.com.cn

研究助理 刘晓旭

执业证书: S0600121040009

liuxx@dwzq.com.cn

## 行业走势



## 相关研究

《隆基新扩100GW切片&50GW电池产能利好设备商,硅片价格触底反弹推动切片代工单GW盈利企稳》

2023-01-18

《产业链降价刺激需求,进而拉动硅片价格企稳利好硅片设备行业》

2023-01-12

## 内容目录

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. 电镀铜助力 HJT 降本增效, 产业化进程即将进入加速期 .....</b>                 | <b>4</b>  |
| 1.1. HJT 亟需降低银浆成本, 电镀铜为 HJT 独有的降本方式 .....                    | 4         |
| 1.2. 电镀铜同时实现降本&增效, 耗材&设备国产化推动降本加速进行时 .....                   | 7         |
| 1.3. 电镀铜处于导入初期, 关注下游验证情况 .....                               | 10        |
| <b>2. 多种技术方案角力, 电镀铜设备商优先受益 .....</b>                         | <b>11</b> |
| 2.1. 到 2025 年电镀铜设备市场空间达 30 亿元, 2023-2025 年 CAGR 达 260% ..... | 11        |
| 2.2. 种子层制备: PVD 为主流方案, 2025 年新增设备市场空间约 7 亿元 .....            | 13        |
| 2.3. 图形化: “油墨+掩膜类光刻”经济性强, 2025 年新增设备市场空间约 9 亿元 .....         | 15        |
| 2.4. 电镀: 看好水平镀技术突破, 2025 年新增设备市场空间约 7 亿元 .....               | 16        |
| <b>3. 本土重点公司介绍 .....</b>                                     | <b>19</b> |
| 3.1. 迈为股份: 光伏异质结设备领军者, 积极布局电镀铜工艺 .....                       | 19        |
| 3.2. 太阳井(未上市): 领跑异质结电镀铜整线设备, 自主研发实力构筑技术护城河 .....             | 19        |
| 3.3. 罗博特科: 光伏自动化设备龙头, 首创新型异质结电池铜电镀装备 .....                   | 20        |
| 3.4. 东威科技: PCB 电镀设备龙头, 光伏电镀铜领域成功突破 .....                     | 20        |
| 3.5. 捷得宝(未上市): 光伏电池电镀铜先行者, 整线设备积累深厚 .....                    | 20        |
| 3.6. 芯慕微装: 国内激光直写设备龙头, 拟定增加码电镀铜应用 .....                      | 21        |
| 3.7. 苏大维格: 依托光刻机先进制造能力, 进军电镀铜图形化领域 .....                     | 21        |
| <b>4. 投资建议 .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>5. 风险提示 .....</b>   | <b>22</b> |

## 图表目录

|   |    |
|---|----|
| 图 1: HJT 单 W 成本仍偏高, 成为制约其大规模扩产的瓶颈 .....   | 4  |
| 图 2: 2022 年 TOPCon 的新增扩产规模大于 HJT (单位: GW) .....   | 5  |
| 图 3: 三种技术路线下 HJT 的银浆成本在总成本中占比最高 .....   | 5  |
| 图 4: 三种技术路线下 HJT 银浆耗量最高 .....   | 5  |
| 图 5: 三种技术路线下 HJT 银浆成本最高 .....   | 5  |
| 图 6: 电镀铜技术更适用于 HJT, 降低非硅成本的效果最明显, PERC/TOPCon/HJT 三种技术路线应用电镀铜后带来的非硅成本降低幅度分别为 2%/12%/21% (M6 规格、同一栅线图形) .. | 7  |
| 图 7: 电镀铜的电极与 TCO 接触性能更优 .....   | 8  |
| 图 8: 电镀铜的电极拥有更细的线宽及更高的高宽比 .....   | 8  |
| 图 9: 与银包铜相比, 电镀铜尚不具备显著降本优势, 因耗材&设备折旧成本较高 (HJT M6 规格、同一栅线图形) .....   | 9  |
| 图 10: 银价上涨 43%以上、银浆含税价 9295 元以上时, 电镀铜量产的经济性得以凸显 .....   | 9  |
| 图 11: 光伏电镀铜工艺流程与设备方案 .....  | 12 |
| 图 12: 局部制备 HJT 电池种子层步骤 .....  | 14 |
| 图 13: 某无种子层铜电极 HJT 电池结构示意图 .....  | 14 |
| 图 14: 掩膜类光刻与激光直写技术原理对比 .....  | 16 |
| 图 15: 直写光刻技术原理示意图 .....   | 16 |
| 图 16: 水平电镀示意图 .....   | 17 |
| 图 17: 垂直电镀示意图 .....   | 17 |
| 图 18: 光诱导电镀示意图 .....  | 17 |
| <br>  |    |
| 表 1: 降银技术路线比较, 电镀铜为终局去银化技术 .....  | 6  |
| 表 2: 电镀铜处于导入初期, 多玩家角逐 .....   | 10 |
| 表 3: 预计 2025 年电镀铜设备市场空间达 30 亿元, 2023-2025 年 CAGR 达 260% .....   | 13 |
| 表 4: HJT 电池电镀铜工艺有无种子层对比 .....   | 14 |
| 表 5: HJT 电池电镀铜掩膜材料对比 .....  | 15 |
| 表 6: HJT 电池电镀铜曝光环节设备方案对比 .....  | 15 |
| 表 7: 图形化环节各设备厂商进展 .....   | 16 |
| 表 8: HJT 电池电镀铜电镀环节设备方案对比 .....  | 18 |
| 表 9: 电镀环节各设备厂商进展 .....  | 18 |
| 表 10: 相关公司估值 (截至 2023/2/20 收盘价) .....   | 22 |

## 1. 电镀铜助力 HJT 降本增效, 产业化进程即将进入加速期

### 1.1. HJT 亟需降低银浆成本, 电镀铜为 HJT 独有的降本方式

HJT 降本为规模扩产关键, 银浆降本为重要手段。2021 年以来电池技术路线由 PERC 向更高效率的 HJT、TOPCon 等 N 型技术转变, 其中 TOPCon 的扩产规模高于 HJT, 我们预计 2022 年 TOPCon 新增扩产超 130GW、HJT 约 30GW, 主要系 HJT 的总成本仍偏高, 根据我们的测算, 2022 年底硅料 240 元/KG、M6 硅片 4.5 元/片时, TOPCon 总成本约为 0.85 元/W、HJT 总成本约为 0.91 元/W。降本成为 HJT 规模扩产的关键, 而银浆成本在 HJT 总成本中占比最高, 根据我们的测算, 银浆成本占总成本比重约 11%, 因此降低银浆成本、少银&去银化极为关键。

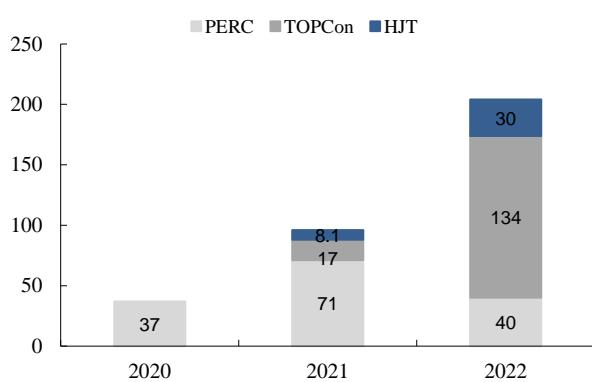
图1: HJT 单 W 成本仍偏高, 成为制约其大规模扩产的瓶颈

| 关键技术信息   |     | 2021:PERC | 2021:TOPCon | 2021:HJT | 2022(E):PERC | 2022(E):TOPCon | 2022(E):HJT |
|--|-----|-----------|-------------|----------|--------------|----------------|-------------|
| 电池片效率(%)                                       |     | 23.4%     | 24.0%       | 24.3%    | 23.5%        | 24.8%          | 25.00%      |
| 良品率(%)   |     | 98.9%     | 98.7%       | 98.5%    | 98.9%        | 98.0%          | 98.00%      |
| M6硅片功率(W)                                      |     | 6.42      | 6.58        | 6.66     | 6.44         | 6.80           | 6.85        |
| 电池片厚度(μm)                                      |     | 170       | 170         | 150      | 155          | 130            | 120         |
| 电池片连接技术  |     |           |             | 12BB     |              |                | SMBB        |
| M6电池片银浆耗量(mg/片)                                |     | 90        | 160         | 180      | 70           | 110            | 120         |
| 靶材耗量<br>(mg/片)                                 | ITO | 无         | 无           | 90       | 无            | 无              | 45          |
|  | AZO | 无         | 无           | 0        | 无            | 无              | 45          |
| 关键价格假设   |     |           |             |          |              |                |             |
| 硅料含税价格(元/kg)                                   |     | 260       | 260         | 260      | 240          | 240            | 240         |
| M6硅片含税价格<br>(元/片,N型硅片2021年溢价8%, 2022年<br>溢价5%) |     | 5.73      | 6.19        | 6.19     | 4.5          | 4.7            | 4.7         |
| 银浆含税价格(元/kg)                                   |     | 5300      | 5300        | 7500     | 5300         | 5300           | 6500        |
| 靶材含税价格<br>(元/kg)                               | ITO |           |             | 3000     |              |                | 2500        |
|  | AZO |           |             |          |              |                | 1000        |
| 生产设备投资价格 (亿元/GW)                               |     | 1.7       | 2           | 4        | 1.5          | 1.7            | 4           |
| 每W不含税成本测算(元/W)                                 |     |           |             |          |              |                |             |
| 1.硅片成本   |     | 0.79      | 0.83        | 0.82     | 0.62         | 0.61           | 0.61        |
| 2.非硅成本   |     | 0.25      | 0.28        | 0.40     | 0.22         | 0.23           | 0.30        |
| 2.1浆料  |     | 0.07      | 0.11        | 0.18     | 0.05         | 0.08           | 0.10        |
| 2.2靶材  |     | 0.00      | 0.00        | 0.04     | 0.00         | 0.00           | 0.02        |
| 2.3折旧  |     | 0.06      | 0.07        | 0.08     | 0.05         | 0.06           | 0.08        |
| 2.4其他电池制造成本                                    |     | 0.13      | 0.10        | 0.10     | 0.12         | 0.10           | 0.10        |
| 3.生产成本合计                                       |     | 1.04      | 1.11        | 1.22     | 0.84         | 0.85           | 0.91        |

数据来源: CPIA 等, 东吴证券研究所测算

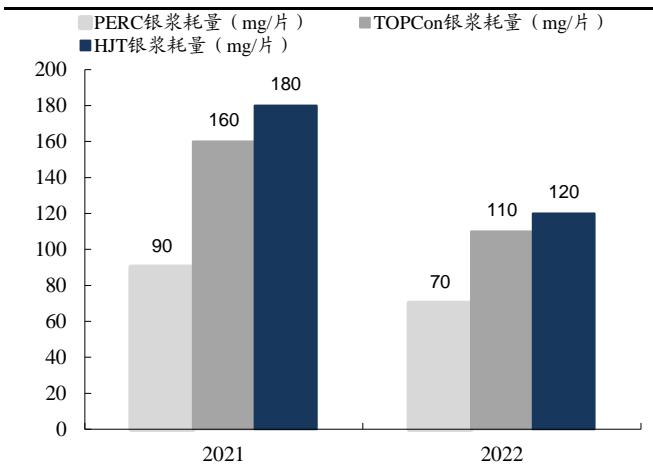
## 行业深度报告

图2: 2022年TOPCon的新增扩产规模大于HJT(单位:GW)



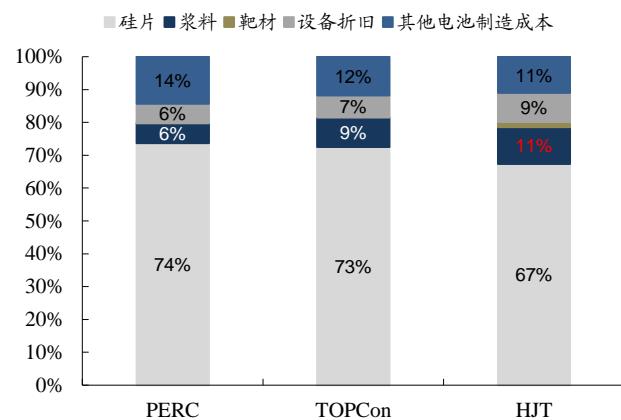
数据来源: 各公司公告, 东吴证券研究所

图4: 三种技术路线下HJT银浆耗量最高



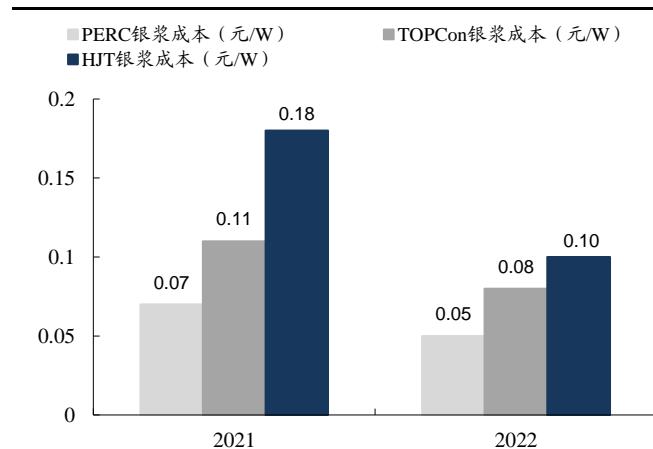
数据来源: CPIA 等, 东吴证券研究所测算

图3: 三种技术路线下HJT的银浆成本在总成本中占比最高



数据来源: CPIA 等, 东吴证券研究所测算

图5: 三种技术路线下HJT银浆成本最高



数据来源: CPIA 等, 东吴证券研究所测算

银浆降本手段主要分为两大类, 电镀铜为“终极”去银化降本手段:

- (1) 棚线图形的优化, 通过棚线变细从而节约银浆耗量, 例如MBB(多主栅), 逐步由12BB向SMBB、0BB(即无主栅技术, 去掉主栅仅保留细栅);
- (2) 浆料银含量的降低, 使用贱金属替代贵金属, 例如银包铜可利用铜替代部分银, 通过将银覆盖在铜粉颗粒的表面来减少银用量, 而电镀铜则可利用铜替代全部银, 实现去银化, 彻底解决HJT用银问题, 同时与其它降银手段相比, 电镀铜由于棚线更细降低遮光面积, 能够进一步提升效率, 进一步降低单位成本。从降本&增效两个维度考虑, 电镀铜是去银化的终极手段。

表1：降银技术路线比较，电镀铜为终局去银化技术

| 优化栅线图形 |  | 降低浆料银含量                                 |                                |
|--------|--|---|--------------------------------|
|        | SMBB、0BB   | 银包铜                                     | 电镀铜                            |
| 降本原理   | 栅线变多变细，或无主栅  | 通过将银覆盖在铜粉颗粒的表面来减少银用量，铜能够替代部分银           | 铜直接作为金属电极材料，完全替代银              |
| 优点     | 降低银浆用量；减少遮光面积，提升光线利用率；缩短电流横向收集路径，减少内部损耗、提升功率                   | 降低浆料成本，导电、导热性能优异                        | 铜替代全部的银&提升转换效率，从根本上解决银浆成本过高的问题 |
| 缺点     | 降低组件的串联电阻从而导致弱光性能低于常规组件  | 高温工艺中铜容易氧化失效，适用于低温工艺的HJT                | 良率较低、工艺涉及环保问题多、铜栅线脱栅/氧化等       |
| 技术进展   | 4BB→5BB→MBB（6-12条）→SMBB→0BB，华晟目前量产12BB，后续逐步切换SMBB；0BB多家厂商技术验证中 | 多家下游客户已批量导入进口银包铜浆料，国产银包铜浆料验证中，关键难点在于可靠性 | 各家厂商技术验证中，关键难点在于工艺成熟度&降本       |

数据来源：Solarzoom，各公司官网，东吴证券研究所

#### 电镀铜技术更适用于 HJT，为 HJT 独有的降本项：

**(1) PERC:** 无需使用电镀铜，因单面用银、银浆耗量少，电镀铜带来的非硅成本下降极为有限。

**(2) XBC:** PN 结和电极均处于电池背面，不需要考虑遮光损失，栅线图形也不需要特别精细，但 XBC 工艺复杂，需要多次掩膜和刻蚀，电镀铜进一步增加其复杂程度。

**(3) TOPCon:** ①电镀铜要求低温工艺，与 TOPCon 高温工艺不匹配，高温下铜容易氧化失效；②TOPCon 电极直接与硅片接触，缺少 TCO 薄膜阻挡，铜易扩散到硅中，带来可靠性问题，但可以通过激光在非导电层上开槽再镀镍、烧结后进行电镀铜，镍层能够提供部分阻挡；③TOPCon 设备和工艺成本低，电镀铜带来的非硅成本降低有限。

**(4) HJT:** ①低温工艺符合电镀铜工艺要求；②HJT 电极与 TCO 薄膜接触，不与硅片直接接触，能够避免铜污染硅片内部；③HJT 双面用银且低温银浆耗量更大、价格更高，因此 HJT 银浆降本需求更迫切，故电镀铜降低 HJT 非硅成本效果最明显，更适用于 HJT 技术——根据我们的测算，假设电镀铜量产后的成本降低 0.5%，则 PERC/TOPCon/HJT 三种技术路线应用电镀铜后带来的非硅成本降低幅度分别为 2%/12%/21%。

图6：电镀铜技术更适用于HJT，降低非硅成本的效果最明显，PERC/TOPCon/HJT三种技术路线应用电镀铜后带来的非硅成本降低幅度分别为2%/12%/21%（M6规格、同一栅线图形）

|  | 银浆丝网印刷      |             |             | 电镀铜（规模量产）     |               |               |
|--|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|  | PERC        | TOPCon      | HJT         | PERC          | TOPCon        | HJT           |
| 电池片面积（平方毫米）(1)                                 | 27415       | 27415       | 27415       | 27415         | 27415         | 27415         |
| 效率（%）(2)                                       | 23.5%       | 24.8%       | 25.0%       | 24.0%         | 25.3%         | 25.5%         |
| 电池片功率（W）(3)=(1)*(2)/1000                       | 6.4         | 6.8         | 6.9         | 6.6           | 6.9           | 7.0           |
| 浆料   |             |             |             |               |               |               |
| 银浆耗量（mg/片）(4)                                  | 70          | 110         | 120         |               |               |               |
| 银浆含税价格（元/KG）(5)                                | 5300        | 5300        | 6500        |               |               |               |
| 银浆单瓦成本（元/W）(6)=(4)*(5)/(3)/10^6                | <b>0.05</b> | <b>0.08</b> | <b>0.10</b> |               |               |               |
| 铜耗量（mg/片）(7)                                   |             |             |             | 45            | 71            | 77            |
| 铜含税价格（元/KG）(8)                                 |             |             |             | 58.65         | 58.65         | 58.65         |
| 铜单瓦成本（元/W）(9)=(7)*(8)/(3)/10^6                 |             |             |             | <b>0.0004</b> | <b>0.0005</b> | <b>0.0006</b> |
| 电镀液、掩膜材料单瓦成本（元/W）(10)                          |             |             |             | <b>0.03</b>   | <b>0.03</b>   | <b>0.03</b>   |
| 靶材   |             |             |             |               |               |               |
| ITO靶材耗量（mg/片）(11)                              |             |             | 45          |               |               | 45            |
| ITO靶材含税价格（元/KG）(12)                            |             |             | 2500        |               |               | 2500          |
| AZO靶材耗量（mg/片）(13)                              |             |             | 45          |               |               | 45            |
| AZO靶材含税价格（元/KG）(14)                            |             |             | 1000        |               |               | 1000          |
| 靶材单瓦成本（元/W）(15)={(11)*(12)+(13)*(14)}/(3)/10^6 |             |             | <b>0.02</b> |               |               | <b>0.02</b>   |
| 设备   |             |             |             |               |               |               |
| 设备价值量（亿元/GW）(16)                               | 1.5         | 1.7         | 3.5         | 2.0           | 2.2           | 4.0           |
| 折旧年限(17)                                       | 3           | 3           | 5           | 3             | 3             | 5             |
| 设备单瓦成本（元/W）(18)=(16)/(17)/10                   | <b>0.05</b> | <b>0.06</b> | <b>0.07</b> | <b>0.07</b>   | <b>0.07</b>   | <b>0.08</b>   |
| 电力人工等其他电池制造单瓦成本（元/W）(19)                       | <b>0.12</b> | <b>0.10</b> | <b>0.10</b> | <b>0.12</b>   | <b>0.10</b>   | <b>0.10</b>   |
| 总非硅成本（元/W）(20)=(6)+(9)+(15)+(18)+(19)          | <b>0.22</b> | <b>0.23</b> | <b>0.29</b> | <b>0.22</b>   | <b>0.20</b>   | <b>0.23</b>   |
| 电镀铜降本幅度  |             |             |             | <b>-2%</b>    | <b>-12%</b>   | <b>-21%</b>   |

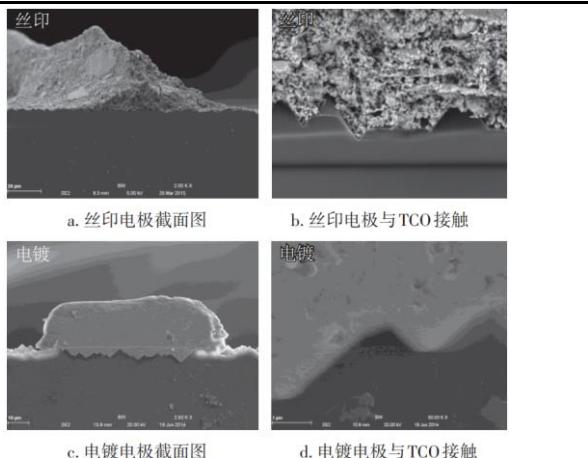
数据来源：CPIA 等，东吴证券研究所测算

## 1.2. 电镀铜同时实现降本&增效，耗材&设备国产化推动降本加速进行时

降低电池正面遮光损失、减小栅线的电阻损耗、改善电极与 TCO 接触、低成本电极制备是电池金属化工艺的发展方向，电镀铜既能够通过更低的电阻、更高的栅线高宽比来提高转换效率，也能够通过低价铜完全替代高价银实现降本，有望成为去银化的降本提效终极技术。

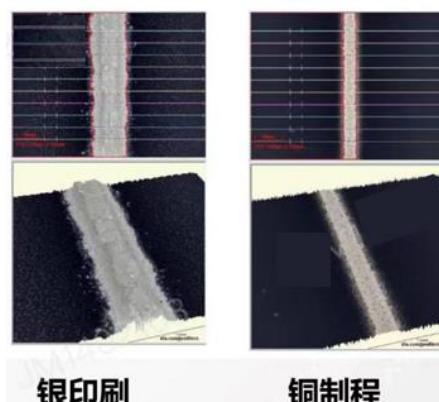
**(1) 增效：**①电阻损耗少，导电性能更优：电镀铜栅线内部均匀、与 TCO 接触更优（图 5 所示），有效减小电极与 PN 结的接触电阻，同时与银浆混合物相比，铜栅线为纯铜，本身的体电阻更低，铜栅线的体电阻率约  $1.8\mu\Omega\cdot cm$ ，低温银浆的体电阻率约  $3-10\mu\Omega\cdot cm$ ，故电阻损耗少、导电性能更优。②线宽更窄，遮光损失少：铜栅线的线宽更窄、高宽比更高，即电极更窄、更厚，其中铜栅线的线宽约  $15\mu m$ ，低温银浆的线宽大于  $40\mu m$ ，故电镀铜能够降低栅线遮挡造成的遮光损失、提高载流子收集几率，上述因素共同作用使得电镀铜相较低温银浆丝网印刷可以提高 0.3-0.5pct 光电转换效率。

图7: 电镀铜的电极与 TCO 接触性能更优



数据来源:《硅异质结太阳电池接触特性及铜金属化研究》,东吴证券研究所

图8: 电镀铜的电极拥有更细的线宽及更高的高宽比



数据来源: 海源复材, 东吴证券研究所

**(2) 降本:** 目前浆料降本手段主要为银包铜与电镀铜, 我们测算对比了两种方式的非硅成本差异, 主要体现在材料和设备两方面, 其中银包铜根据发展阶段分为 50%/30% 含银量, HJT 电池效率均为 25%; 电镀铜分为小规模初期/规模量产, HJT 电池效率分别为 25.3%/25.5%。

**①材料成本:** **a.银包铜:** 以浆料耗量 120mg/片为基准, 根据 50%/30% 的含银比例及 6500 元/KG 的银浆价格测算得到成本分别为 0.05/0.03 元/W; **b.电镀铜:** 我们估计铜耗量约 77mg/片, 结合铜价测算得到成本约为 0.0006 元/W, 显著降低浆料成本, 但电镀铜额外需要配备电镀药水、掩膜材料等, 目前下游需求量较少且海外供应商居多使得成本较高, 未来国产化&规模放量有望降本, 我们估计小规模初期/规模量产成本分别约 0.07/0.03 元/W, 故综合来看虽然电镀铜节省了银浆成本, 但额外增加的电镀药水、掩膜材料等影响了材料降本效果。

**②设备成本:** **a.银包铜:** 仍采用传统的丝印工艺, 单 GW 丝印设备价值量约 4000 万元, 按照 5 年折旧期, 则设备折旧成本约 0.01 元/W; **b.电镀铜:** 当前单 GW 电镀铜设备价值量约 2 亿元, 未来有望降低至 1 亿元, 按照 5 年折旧期, 则设备折旧成本约 0.04/0.02 元/W。

**③材料+设备折旧成本合计:** 综合材料及设备折旧成本, 50%/30% 银包铜的边际非硅成本约为 0.06/0.04 元/W, 电镀铜目前成本约为 0.11 元/W, 故与银包铜相比, 电镀铜尚不具备显著降本优势, 主要系电镀药水、掩膜材料等耗材及设备折旧成本较高, 未来国产化&规模放量降本后有望降低至 0.05 元/W。

图9: 与银包铜相比, 电镀铜尚不具备显著降本优势, 因耗材&amp;设备折旧成本较高 (HJT M6 规格、同一栅线图形)

|                                     | 银包铜   |       | 电镀铜    |        |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|
|                                     | 50%   | 30%   | 小规模    | 量产     |
| 电池片面积 (平方毫米) (1)                    | 27415 | 27415 | 27415  | 27415  |
| 效率 (%) (2)                          | 25%   | 25%   | 25.3%  | 25.5%  |
| 电池片功率 (W) (3)=(1)*(2)/1000          | 6.85  | 6.85  | 6.94   | 6.99   |
| 浆料                                  |       |       |        |        |
| 银浆耗量 (mg/片) (4)                     | 60    | 36    |        |        |
| 银浆含税价格 (元/KG) (5)                   | 6500  | 6500  |        |        |
| 银浆单瓦成本 (元/W) (6)=(4)*(5)/(3)/10^6   | 0.05  | 0.03  |        |        |
| 铜耗量 (mg/片) (7)                      |       |       | 77     | 77     |
| 铜含税价格 (元/KG) (8)                    |       |       | 58.65  | 58.65  |
| 铜单瓦成本 (元/W) (9)=(7)*(8)/(3)/10^6    |       |       | 0.0006 | 0.0006 |
| 电镀液、掩膜材料单瓦成本 (元/W) (10)             |       |       | 0.07   | 0.03   |
| 设备                                  |       |       |        |        |
| 设备价值量 (亿元/GW) (11)                  | 0.4   | 0.4   | 2.0    | 1.0    |
| 折旧年限(12)                            | 5     | 5     | 5      | 5      |
| 设备单瓦成本 (元/W) (13)=(11)/(12)/10      | 0.01  | 0.01  | 0.04   | 0.02   |
| 材料+设备折旧成本合计 (元/W) (14)=(6)+(9)+(13) | 0.06  | 0.04  | 0.11   | 0.05   |

数据来源: CPIA 等, 东吴证券研究所测算

当然随着光伏下游装机量持续提升、全球银浆耗量增加可能会带来银价上涨, 存在银包铜材料成本增加的可能性, 故我们认为电镀铜的产业化进程除了自身持续降本外, 也取决于其它降银手段的推进速度, 同时电镀铜也是抑制银浆价格上涨的有效手段。根据我们的测算, 银价上涨 43%、银浆含税价格 9295 元/KG 时, 30%银包铜的材料+设备折旧成本为 0.051 元/W, 而电镀铜工艺量产 (提效 0.5%、电镀液和掩膜材料成本为 0.03 元/W、设备价值量 1 亿元/GW) 的成本约为 0.051 元/W, 此时电镀铜量产成本与银包铜打平, 上涨超过 43%时电镀铜成本低于银包铜, 经济性凸显。

图10: 银价上涨 43%以上、银浆含税价 9295 元以上时, 电镀铜量产的经济性得以凸显

| 银价上涨幅度 (%) | 银浆含税价格 (元/KG) | 银包铜                |                    | 电镀铜       |          |
|------------|---------------|--------------------|--------------------|-----------|----------|
|            |               | 50%银包铜边际非硅成本 (元/W) | 30%银包铜边际非硅成本 (元/W) | 小规模 (元/W) | 量产 (元/W) |
| 0          | 6500          | 0.058              | 0.038              | 0.111     | 0.051    |
| 10%        | 7150          | 0.063              | 0.041              |           |          |
| 20%        | 7800          | 0.068              | 0.044              |           |          |
| 30%        | 8450          | 0.073              | 0.047              |           |          |
| 40%        | 9100          | 0.078              | 0.050              |           |          |
| 43%        | 9295          | 0.080              | 0.051              |           |          |
| 50%        | 9750          | 0.084              | 0.053              |           |          |
| 60%        | 10400         | 0.089              | 0.056              |           |          |

数据来源: CPIA 等, 东吴证券研究所测算

### 1.3. 电镀铜处于导入初期, 关注下游验证情况

早期电镀铜以研发线和中试线为主, 没有大规模量产。2015年日本Kaneka采用电镀铜的双面异质结电池效率达到25.1%, 并计划利用该技术建立一条试生产线; 2018年国电投建立了电镀铜中试线, 2021年初效率达到24.5%; 金石能源2021年推出了电镀铜HBC组件, 组件效率达到23.3%, 中试线效率最高超26%; 2021年11月海源复材公告与捷得宝合作建设5GW电镀铜HJT产能, 首条线规划投产600MW。

2022年以来光伏电镀铜耗材借鉴PCB领域、设备借鉴半导体领域等均有所突破, 电镀铜快速导入验证。(1)耗材: 以往多采用干膜+挂镀方式, 但干膜成本较高, 热压到电池片上后容易带来碎片率的提升, 2022年8月以来掩膜突破采用湿膜(油墨)后产业化进程加速, 油墨在PCB的领域应用较为成熟, 通过改善线宽后在光伏领域得以应用。(2)设备: 图形化与金属化设备均有进展, 如芯碁微装将激光直写光刻设备由半导体领域复制到光伏领域, 迈为股份与SunDrive合作研发无种子层直接电镀工艺等。

表2: 电镀铜处于导入初期, 多玩家角逐

| 类别   | 公司   | 布局环节                  | 进展   |
|------|------|-----------------------|--|
| 电池片厂 | 国电投  | 电池组件                  | 2018年建立了兆瓦级的电镀铜栅线HJT电池中试线, 2021年转换效率达24.5%, 2023年1月5GW异质结电池及组件基地开工, 并与罗博特科、东威科技等达成战略合作框架协议。  |
|      | 金石能源 | 电池组件                  | 2021年推出了电镀铜HBC组件, 组件效率达到23.3%, 中试线效率最高超26%   |
|      | 海源复材 | 电池                    | 与捷得宝合作签署合作框架协议, 建设5GW电镀铜HJT产能, 首条线规划600MW  |
| 设备商  | 通威股份 | 电池                    | 投资太阳井设备商布局电镀铜工艺  |
|      | 迈为股份 | 自主研发<br>图形化设备, 合作电镀设备 | 2021年以来与SunDrive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年9月最新转换效率高达26.41%。目前迈为自主研发图形化环节, 与启威星等合作布局电镀环节形成整线供应能力, 我们预计2023年进行中试, 2024年上半年有望实现量产 |
|      | 太阳井  | 整线设备                  | 2021年获通威股份投资, 电镀铜整线设备下游客户验证中   |
| 设备商  | 罗博特科 | 电镀设备                  | 已经完成铜电镀设备的内部测试, 各项指标基本达预期, 2023年1月与国电投达成战略合作框架协议   |
|      | 东威科技 | 电镀设备                  | 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, 2023年1月与国电投达成战略合作框架协议  |
|      | 捷得宝  | 整线设备                  | 与海源复材合作签署合作框架协议, 建设5GW电镀铜HJT产能, 首条线规划600MW   |
|      | 芯碁微装 | 图形化设备                 | 定增募投项目将拓展光伏领域的激光直写应用, 目前已与光伏知名电池片厂商进行了技术探讨。  |
|      | 苏大维格 | 图形化设备                 | 积极拓展光刻机设备在太阳能光伏电池铜电镀方案图形化方面的应用   |

|     |      |            |                                  |
|-----|------|------------|----------------------------------|
| 耗材商 | 三孚新科 | 电镀药水       | 高效单晶异质结太阳能电池电镀添加剂产品已在客户处实现了小规模应用 |
|     | 广信材料 | 掩膜<br>(湿膜) | 光伏绝缘胶产品已经在某光伏头部企业实现销售            |

数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

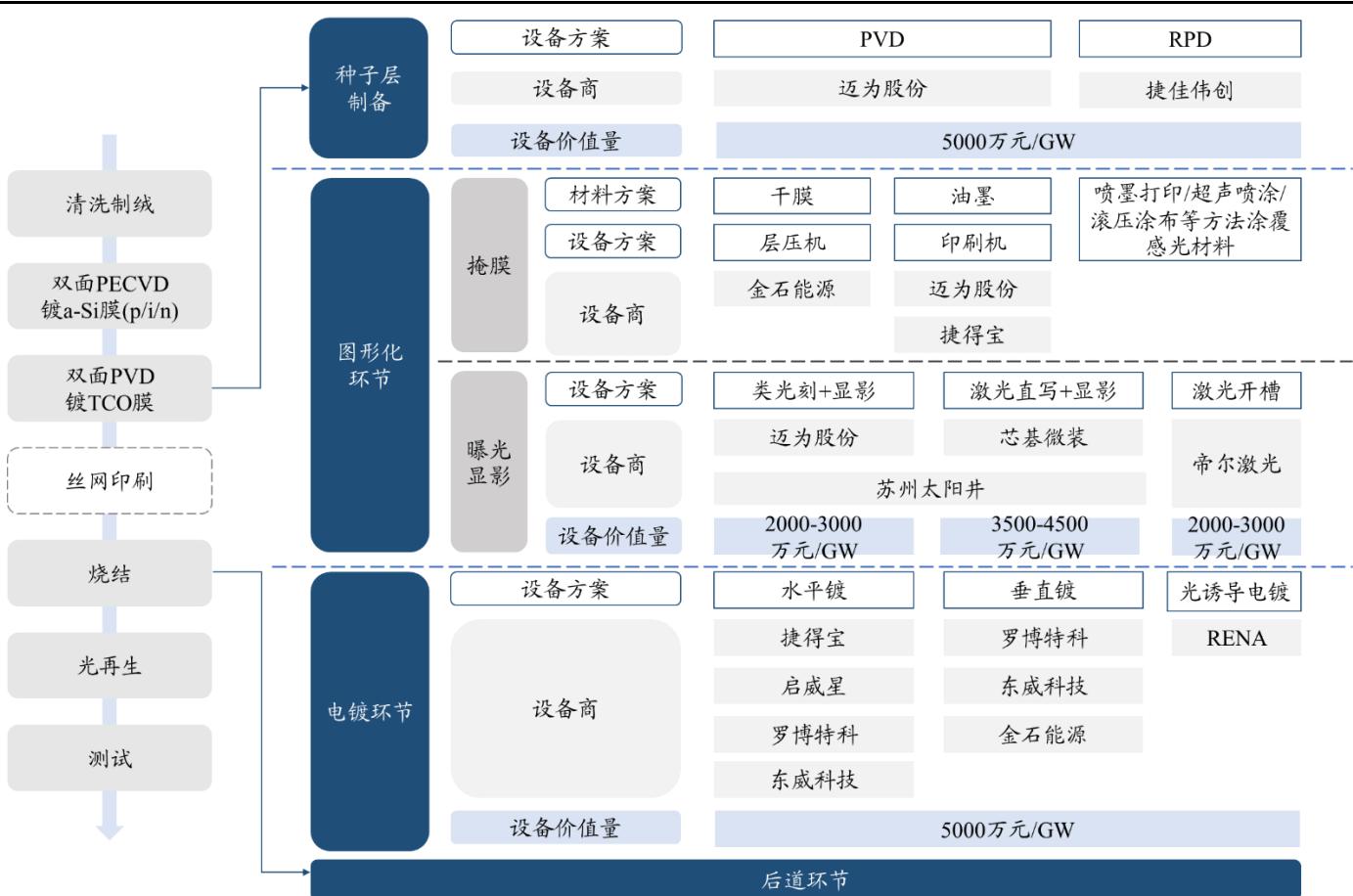
电镀铜目前处在产业化初期，仍存在设备产能&环保&良率等问题，我们预计 2023 年行业进行较大规模中试，2024 年有望导入量产。**(1) 设备产能：**目前设备产能较低，未来设备产能进一步提升后有利于降本。**(2) 环保：**在电镀铜工艺生产过程中，会产生干膜或油墨、电镀液等有机污染物，且沉积抗蚀剂、曝光、抗蚀剂显影需在黄光洁净室内进行需要进行后续处理。**(3) 良率：**相较丝网印刷，电镀铜工序更长、更复杂，使得良率较低。随着设备、耗材等产业链配套成熟，下游电池厂积极研发验证，我们认为 2023 年行业将进行较大规模中试，2024 年有望导入量产。

## 2. 多种技术方案角力，电镀铜设备商优先受益

### 2.1. 到 2025 年电镀铜设备市场空间达 30 亿元，2023-2025 年 CAGR 达 260%

电镀铜工序包括种子层制备、图形化、电镀三大环节，涌现多种设备方案。电镀铜工艺尚未定型，各环节技术方案包括**(1) 种子层：**设备主要采用 PVD，主要技术分歧在于是否制备种子层、制备整面/局部种子层和种子层金属选用；**(2) 图形化：**感光材料分为干膜和油墨，主要技术分歧在于曝光显影环节选用掩膜类光刻/LDI 激光直写/激光开槽；**(3) 电镀：**主要技术分歧在于水平镀/垂直镀/光诱导电镀。我们列示主要技术路线及参与设备厂商如下图，各环节设备将在后文详细介绍。

图11：光伏电镀铜工艺流程与设备方案



数据来源: Wind, 中国可再生能源学会, 各公司公告, 东吴证券研究所

**目前电镀铜设备价值量共 2 亿元/GW, 预计有望下降到 1 亿元/GW 左右。以 HJT 电镀铜工艺为例, 种子层制备环节, PVD 设备价值量约 5000 万元/GW, 占比约为 25%; 图形化环节由于技术路线选择差异, 设备价值量在 4000-6000 万元/GW 不等, 占比约为 30%; 电镀环节设备价值量约 5000 万元/GW, 占比约为 25%, 其它设备占比约为 20%。伴随各环节技术进一步成熟及电镀铜规模化量产, 我们预计设备投资额后续有望下降到 1 亿元/GW 左右。**

**我们预计到 2025 年电镀铜设备市场空间达 30 亿元, 2023-2025 年 CAGR 达 260%。**目前电镀铜仍然处于试验阶段, 我们预计 2023 年年中出现 100-300MW 产线, 2024 年出现 GW 级产线。假设 2023-2025 年 HJT 在光伏电池片中分别达到 25%、35%、45% 的渗透率, 电镀铜在 HJT 金属化方法中分别达到 2%、10%、25% 的渗透率, 我们测算到 2025 年电镀铜设备市场空间为 30 亿元, 2023-2025 年 CAGR 达 260%, 其中 PVD 市场空间达到 7 亿元, 图形化设备市场空间达到 9 亿元, 电镀设备市场空间达到 7 亿元。

表3: 预计 2025 年电镀铜设备市场空间达 30 亿元, 2023-2025 年 CAGR 达 260%

|                                       | 2021      | 2022       | 2023E      | 2024E       | 2025E       |
|---------------------------------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|
| 中国新增装机量合计 (GW) (1)                    | 60        | 80         | 100        | 125         | 150         |
| 海外新增装机量合计 (GW) (2)                    | 100       | 170        | 250        | 335         | 450         |
| 全球新增装机量合计 (GW) (3)=(1)+(2)            | 160       | 250        | 350        | 460         | 600         |
| 全球光伏电池需求合计 (GW) (4)=(3)*1.1           | 176       | 275        | 385        | 506         | 660         |
| <b>HJT 技术路线渗透率(5)</b>                 | <b>5%</b> | <b>14%</b> | <b>25%</b> | <b>35%</b>  | <b>45%</b>  |
| HJT 新增装机量 (GW, 对应存量产能) (6)=(5)*(4)    | 9         | 39         | 96         | 177         | 297         |
| <b>HJT 新增产能 (GW) (7)=(6)当年减前一年</b>    |           | <b>30</b>  | <b>58</b>  | <b>81</b>   | <b>120</b>  |
| <b>单 GW 电镀铜设备总金额 (亿元/GW) (8)</b>      |           |            | 2          | 1.5         | 1.0         |
| PVD 占比 25%                            |           |            | 0.5        | 0.4         | 0.3         |
| 图形化设备占比 30%                           |           |            | 0.6        | 0.5         | 0.3         |
| 电镀设备占比 25%                            |           |            | 0.5        | 0.4         | 0.3         |
| 其它设备占比 20%                            |           |            | 0.4        | 0.3         | 0.2         |
| <b>电镀铜技术路线渗透率(9)</b>                  |           |            | 2%         | 10%         | 25%         |
| <b>HJT 电镀铜新增产能(10)=(9)*(7)</b>        |           |            | <b>1</b>   | <b>8</b>    | <b>30</b>   |
| <b>电镀铜新增设备市场空间 (亿元) (11)=(8)*(10)</b> |           |            | <b>2</b>   | <b>12</b>   | <b>30</b>   |
| <b>电镀铜新增设备市场空间 yoy</b>                |           |            |            | <b>425%</b> | <b>147%</b> |
| PVD 设备市场空间 (亿元)                       |           |            | 1          | 3           | 7           |
| 掩膜机+曝光机+显影机设备市场空间 (亿元)                |           |            | 1          | 4           | 9           |
| 电镀机设备市场空间 (亿元)                        |           |            | 1          | 3           | 7           |

数据来源: Wind, 东吴证券研究所

## 2.2. 种子层制备: PVD 为主流方案, 2025 年新增设备市场空间约 7 亿元

制备种子层的主要作用为提升栅线与 TCO 层之间的导电性和附着力。由于 HJT 电池电极接触透明导电薄膜 (TCO 层), 会存在电镀金属与 TCO 层之间吸附力较差的问题, 通常借鉴半导体行业的方案, 在电镀金属与 TCO 层之间制备整面“种子层”、掩膜电镀后去除掩膜蚀刻未电镀部分种子层来解决附着力的问题, 但应用于光伏行业的大规模生产需要解决几个问题: (1) 步骤较多导致的良率较低和成本较高; (2) 种子层蚀刻溶液会一定程度刻蚀 TCO 层, 增加量产工艺难度和废液处理成本; (3) 制备铜种子层后薄膜的透过率发生降低, 进而导致光电转换效率降低等。

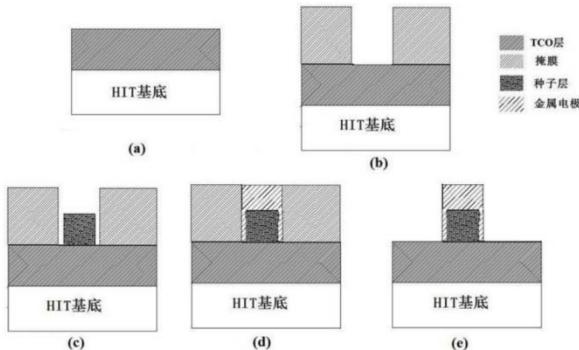
HJT 电池可以选择制备种子层 (整面或局部) 或不制备种子层直接电镀。(1) 整面制备种子层: 如捷德宝的方案为整面制备种子层; (2) 局部制备种子层: 如太阳井拥有局部制备种子层的专利, 保障电镀电极与 TCO 层高附着力, 同时省去种子层刻蚀步骤; (3) 无种子层直接电镀: 如迈为股份 2022 年 9 月联合澳大利亚金属化技术公司 SunDrive 研制出转换效率高达 26.41% 的 HJT 电池 (M6 尺寸), SunDrive 即为无种子层直接电镀工艺。

表4: HJT电池电镀铜工艺有无种子层对比

| 工艺选择  | 布局公司              | 布局进展                  | 优势   | 劣势   |
|-------|-------------------|-----------------------|--|--|
| 整面种子层 | 捷得宝<br>(海源复材)     | 600MW<br>电镀铜<br>HJT产线 | 提升 TCO 层与铜栅线附着力<br>和导电性  | (1) 增加种子层制备和蚀刻成本, TCO 层可能被蚀刻;<br>(2) 增加工序, 影响良率; |
| 局部种子层 | 太阳井               | 专利布局                  | (1) 节约种子层后道蚀刻成本, 避免 TCO 层被蚀刻;<br>(2) 局部种子层改良接触                       | (1) 增加种子层制备成本;<br>(2) 步骤繁琐                       |
| 无种子层  | 迈为股份<br>+Sundrive | 实验室                   | (1) 节约种子层制备和蚀刻成本, 避免 TCO 层被蚀刻;<br>(2) 减少工序, 提升良率;<br>(3) 保障 TCO 层透光率 | 需重新处理 TCO 层与铜栅线接触问题                              |

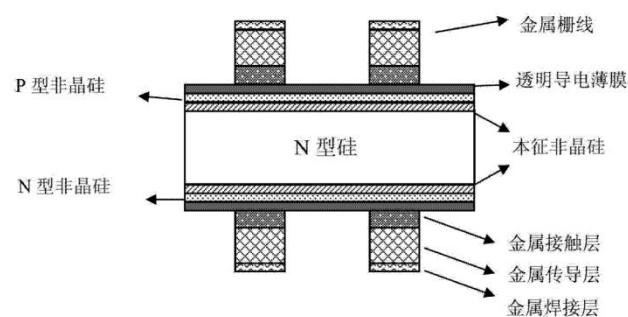
数据来源: 各公司公告, 专利之星, 东吴证券研究所

图12: 局部制备 HJT 电池种子层步骤



数据来源: 专利之星, 太阳井, 东吴证券研究所

图13: 某无种子层铜电极 HJT 电池结构示意图



数据来源: 专利之星, 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 东吴证券研究所

种子层制备所需设备为 PVD, 设备价值量约 5000 万元/GW。制备种子层的方法通常是物理气相沉积法 ( PVD ), 将具有透明导电薄膜的基片放置在镀膜载板表面进入腔室上镀膜, 可采用 PVD 溅射法、 PVD 蒸镀法或 PVD 离子镀法, 沉积包括铜、镍、银、铝的单一膜层或复合膜层, 沉积厚度为 5-500nm。 PVD 方案优势在于 (1) 便于控制工艺温度在 200°C 左右; (2) 技术成熟, 可共用沉积 TCO 膜层的 PVD 或新增 PVD 设备实现。其它制备方法包括 RPD、印刷等。

我们预计到 2025 年电镀铜新增 PVD 设备市场空间为 7 亿元, 迈为有望首先受益。相较于 RPD 设备, 迈为股份 PVD 设备具备产能较高、靶材利用率较高、成本较低等优势, 且与 RPD 转换效率差距逐步缩小。伴随 PVD 逐渐成为种子层制备主流设备, 我们认为迈为股份有望首先受益。

### 2.3. 图形化：“油墨+掩膜类光刻” 经济性强，2025年新增设备市场空间约9亿元

图形化环节分为掩膜、曝光、显影工序。掩膜即在电池片上涂覆感光材料，曝光指在烘干后的电池片上留下待电镀区域图形（或需掩模版，该掩模版与感光材料不同），显影指去除电池片表面待电镀区域的感光材料，最终形成电镀需要的图形化开口。

掩膜工序中，油墨正在成为主流感光材料，优势在于低成本和细线宽。感光材料分为干膜和湿膜（油墨），主要作用为阻挡和蚀刻，且电镀栅线的线宽取决于掩膜的精度。干膜是PCB行业的成熟耗材，应用于光伏电镀铜的劣势在于（1）成本较高；（2）需要热压贴到电池片上，容易造成碎片率的提升；（3）栅线难以做细，只能达到30微米。油墨的优势在于更低的成本和更细的线宽，经技术突破现已能满足电镀铜10微米线宽要求。涂覆感光材料可以采用层压、喷墨打印、丝网印刷、超声喷涂、滚压涂布等方式，其中油墨印刷应用较为普遍。

表5：HJT电池电镀铜掩膜材料对比

| 掩膜材料 | 成本                          | 碎片率 | 栅线宽度    | 技术难度              | 布局公司             |
|------|-----------------------------|-----|---------|-------------------|------------------|
| 干膜   | 较高，~0.3元/片，且越薄<br>越难制造、成本越高 | 较高  | 较宽，30微米 | 较低                | 金石能源、太阳井<br>(前期) |
| 油墨   | 较低，<0.1元/片                  | 较低  | 较细，10微米 | 高，2022年9月<br>实现突破 | 迈为股份、捷得<br>宝、太阳井 |

数据来源：各公司公告，专利之星，东吴证券研究所

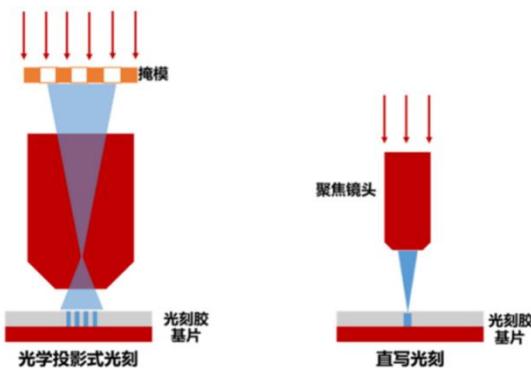
曝光显影可以通过掩膜类光刻、LDI激光直写、激光开槽或喷墨打印实现。曝光工序可采取（1）掩膜类光刻：需要通过掩模版把图形转移到涂覆感光材料的电池片上，按曝光光源可分为激光光源和紫外LED光源。（2）LDI激光直写：计算机控制的高精度光束聚焦投影至涂覆有感光材料的基材表面上完成曝光。（3）激光开槽：替代曝光显影，直接打开掩膜实现图形化。（4）喷墨打印：使用蚀刻机喷墨打印刻蚀剂以完成开槽，线宽通常在25微米内。

表6：HJT电池电镀铜曝光环节设备方案对比

| 设备方案    | 设备价值量                    | 精度               | 是否需要掩<br>模版 | 零部件国产化率             |
|---------|--------------------------|------------------|-------------|---------------------|
| 掩膜类光刻   | 1200-2000万元/GW，<br>经济性较好 | 10微米，满足电镀<br>铜条件 | 是           | >90%                |
| LDI激光直写 | 2700-3600万元/GW，<br>成本较高  | 6微米，精度较高         | 否           | 较低，DMD芯片尚未实<br>现国产化 |
| 激光开槽    | 1000-2000万元/GW           | -                | 否           | >90%                |
| 喷墨打印    | -                        | <25微米            | 是           | >90%                |

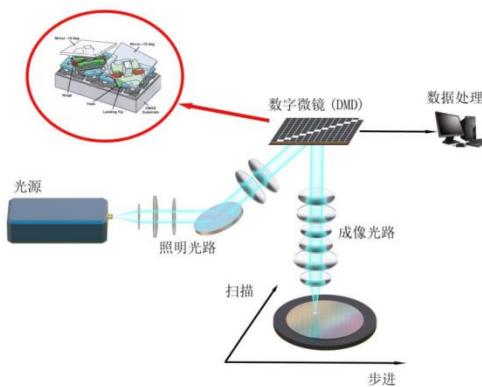
数据来源：各公司公告，专利之星，东吴证券研究所

图14: 掩膜类光刻与激光直写技术原理对比



数据来源：芯碁微装招股书，东吴证券研究所

图15: 直写光刻技术原理示意图



数据来源：芯碁微装招股书，东吴证券研究所

表7: 图形化环节各设备厂商进展

| 公司   | 感光材料选择  | 设备选择     | 合作客户           | 进展   |
|------|---------|----------|----------------|--|
| 迈为股份 | 油墨      | 掩膜类光刻    | 安徽华晟           | 2023Q3 推出中试线                               |
| 芯碁微装 | -       | LDI 激光直写 | 隆基、通威          | 2021Q3 光伏电镀铜 LDI 设备发货                      |
| 苏大维格 | -       | LDI 激光直写 | -              | -  |
| 帝尔激光 | -       | 激光开槽     | -              | 1)BC 方面获得 GW 级订单；<br>2) HJT 方面完成客户送样       |
| 捷得宝  | 油墨      | 掩膜类光刻    | 海源复材、爱旭、赛维、国电投 | 与海源复材签订框架合同，提供 600MWHJT 电池设备               |
| 太阳井  | 干膜，转向油墨 | -        | 通威             | 1) 曝光机产能达到 6000 片/小时；<br>2) 2021 年设备交付通威大试 |
| 金石能源 | 干膜      | -        | 钜能电力           | 一期 500MW 电镀铜 HJT 电池产能                      |

数据来源：各公司公告，东吴证券研究所

我们预计到 2025 年电镀铜新增图形化设备市场空间约为 9 亿元，相关标的包括迈为股份、芯碁微装、帝尔激光。按技术路线来看，(1) 掩膜类光刻：我们看好经济性更强的“油墨+掩膜类光刻”技术路线，迈为股份有望凭借丝网印刷相关技术积淀实现技术突破。(2) LDI 激光直写：芯碁微装下游验证进展较快，与头部电池片厂商如隆基、通威进行技术交流。(3) 激光开槽：帝尔激光布局电镀铜激光开槽设备，目前已获得 GW 级 BC 电镀铜订单。

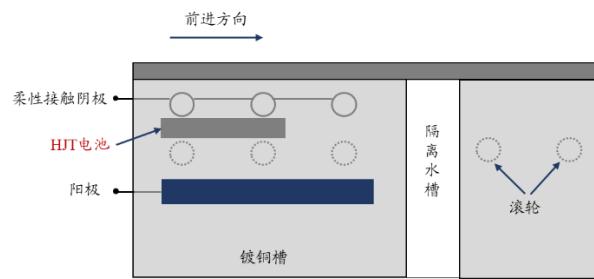
#### 2.4. 电镀：看好水平镀技术突破，2025 年新增设备市场空间约 7 亿元

电镀原理为在掩膜的图形化开口处通过电镀形式沉积金属铜，形成铜电极。电镀是一种湿法沉积过程，可以通过调控电流密度大小来控制金属阳离子沉积速率，通过控制总电荷量、电镀面积和电镀时间控制金属层厚度。但电镀过程中需要外加电源，需要设置电极夹点，容易造成电池片隐裂，并且在电镀后，夹点区域被铜覆盖，一定程度上减

小了电池的有效工作面积。

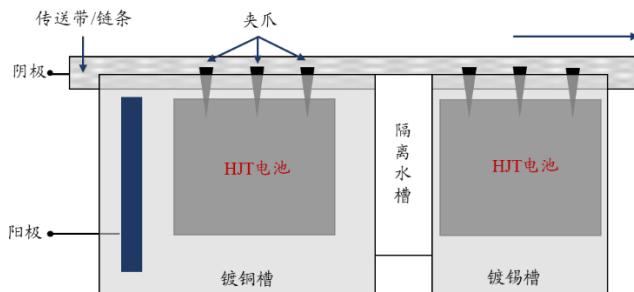
**电镀环节主要包括水平镀、垂直镀、光诱导电镀等。**(1) **水平镀:** 硅片通过滚轮水平进入电镀机, 上下两层导电的毛刷与硅片图形化留下的沟槽接触, 实现长铜。(2) **垂直镀:** 通过夹具夹爪夹着硅片上预留好的夹点进入电镀机, 长铜原理和水平镀一致, 区别为自动化程度较低, 主要包括垂直升降式电镀和垂直连续式电镀, 垂直连续镀能够不使用挂具。(3) **光诱导电镀:** 将电池片通过滚轮传输进行光照, 光照面通过电极线与电镀液导通, 形成闭合回路以完成金属沉积。其原理为: 光线照射到电池片表面, 电池片内产生光生载流子, 在内建电场的作用下被分离成电子和空穴, 分别向n型掺杂硅层面、p型掺杂硅层面处移动, 电子发生还原反应, 溶液中的金属离子由此被消耗, 生成的金属被沉积到电池片表面。

图16: 水平电镀示意图



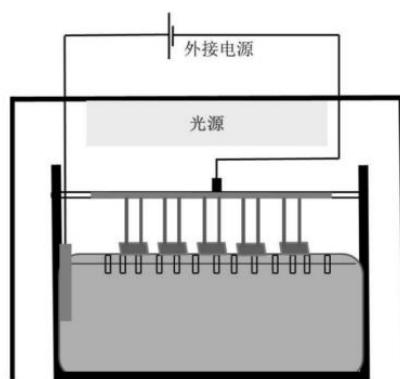
数据来源: 罗博特科官网, 东吴证券研究所

图17: 垂直电镀示意图



数据来源: 罗博特科官网, 东吴证券研究所

图18: 光诱导电镀示意图



数据来源: 专利之星, 东吴证券研究所

我们看好水平镀技术突破, 有望满足光伏电镀铜大产能低成本量产条件。根据罗博

特科专利说明书, 虽然垂直镀成熟度水平较高, 但其主要缺陷在于自动化水平较低带来的产能低下, 难以满足光伏大产能需求; 且电镀槽体较大、耗材用量较多、电镀均匀性有待提升。相较而言, 水平镀药水用量小, 自动化水平高, 且产能较高, 碎片率低; 但制程难度较高, 电池表面空洞、接触稳定性、电池片损伤等问题有待攻克。目前已有厂商转向水平镀与垂直镀结合的电镀技术, 我们看好水平镀技术突破, 提升电镀环节生产节拍和生产良率, 进一步推动电镀铜技术的广泛应用。

表8: HJT 电池电镀铜电镀环节设备方案对比

| 设备方案 | 产能   | 碎片率    | 优势                         | 劣势                                     |
|------|--|--------|----------------------------|--|
| 水平镀  | 常规结构的水平连续电镀的产量<br>6000 整片/小时                                     | 0.02%  | 产能高; 耗材<br>用量少; 自动<br>化水平高 | 制程难度高, 存在电池表面<br>空洞、接触稳定性、电池片<br>损伤等问题 |
| 垂直镀  | 垂直升降式电镀的产量约 1800-<br>3600 半片/小时; 垂直连续式电镀<br>的产量约 3600-7200 半片/小时 | ≤0.04% | 较为成熟                       | 存在电镀槽体较大、耗材用<br>量较多、电镀均匀性低等问<br>题      |

数据来源: 各公司公告, 专利之星, 东吴证券研究所

表9: 电镀环节各设备厂商进展

| 公司   | 技术路线     | 所处阶段 | 客户                     | 相关进展  |
|------|----------|------|------------------------|---|
| 迈为股份 | 水平镀      | 待送样  | 安徽华晟                   | 与启威星合作, 2023Q3 推出中试线  |
| 罗博特科 | 水平镀, 垂直镀 | 客户验证 | 2+客户                   | 研发推出 4 种电镀技术方案; 最新技术<br>方案待送样                                   |
| 东威科技 | 垂直镀      | 客户验证 | 隆基、国家<br>电投            | 第二代垂直连续电镀设备 2022 年交付<br>客户; 2022 年底发布第三代设备, 电镀<br>产能达 8000 片/小时 |
| 捷得宝  | 水平镀      | 客户验证 | 海源复材、<br>隆基、赛<br>维、国电投 | 电镀产能达到 6000-7000 片/小时; 与海<br>源复材签订框架合同, 提供 600MWHJT<br>电池设备     |
| 太阳井  | 水平镀, 垂直镀 | 客户验证 | 通威                     | 2021 年设备交付通威大试  |
| 宝馨科技 | 水平镀      | -    | -                      | 已研制出单道水平电镀中试线并出货  |

数据来源: 各公司公告, 东吴证券研究所

我们预计到 2025 年电镀铜新增电镀设备市场空间约 7 亿元, 相关标的包括迈为股份、罗博特科、东威科技。(1) **迈为股份:** 与启威星合作开发水平电镀设备, 启威星湿法工艺积累深厚, 已布局水平电镀设备及生产线、电镀夹具、药液浓度控制等方面专利;(2) **罗博特科:** 布局 4 种电镀技术方案, 2023 年 1 月公开的发明专利宣布实现双面电镀、单线产能 14000 整片/小时、破片率 < 0.02%。(3) **东威科技:** 专注于垂直镀, 2022 年 12 月发布垂直连续电镀第三代设备, 宣布电镀产能达 8000 片/小时, 预计 2023 年上半年发货; 2023 年 1 月公告与国家电投及其子公司合作协议, 将提供一台样机用于验证测试。

### 3. 本土重点公司介绍

#### 3.1. 迈为股份：光伏异质结设备领军者，积极布局电镀铜工艺

**HJT 设备龙头，前瞻布局铜电镀技术。**迈为股份为 HJT 整线设备龙头，积极布局电镀铜技术，2021 年 9 月与澳大利亚 SunDrive 合作使用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，2022 年 8 月进一步提升至 26.41%，创造了新的世界纪录，目前迈为自主研发图形化环节设备，与启威星等合作布局电镀环节设备，我们预计 2023 年进行中试，2024 年有望正式对外提供整线。

**(1) 已有的 PVD 技术可适用于种子层制备：**HJT 种子层和 TCO 薄膜沉积可使用同一台 PVD 设备（需要增加腔体数量）或直接增加一台 PVD 设备（靶材需更换为铜或铜合金等种子层材料），公司自主研发 PVD 镀膜设备的技术经验可延伸至 HJT 电镀铜工艺。

**(2) 丝印图形化技术积累与类光刻具备协同性：**迈为图形化技术积累丰富，丝印网板与掩膜版有一定相通性，①掩膜曝光 vs LDI 路线：掩膜曝光设备价值量仅为 LDI 设备的 1/2 甚至 1/3，经济性优势突出，LDI 设备不仅稳定性较差，激光还可能损伤 HJT 电池的钝化层。②油墨（湿膜）vs 干膜：油墨已于 2022 年 8-9 月实现线宽突破，能够满足电镀铜对于栅线线宽的要求（<10 微米），而干膜还未达到相应水准。

**(3) 与启威星等合作电镀环节：**垂直电镀产能有限且难以提升，因此迈为倾向于选择生产效率更高、产能更大的水平电镀方案，铜电镀的布局由迈为参股公司江苏启威星进行。启威星通过引进日本 YAC 的制绒清洗技术，为迈为 HJT 整线提供配套清洗制绒设备，具有多年湿法技术的积累和对 HJT 工艺需求的深刻理解。目前启威星电镀设备处于研发阶段，并已经有电池行业的客户在进行试用。

#### 3.2. 太阳井（未上市）：领跑异质结电镀铜整线设备，自主研发实力构筑技术护城河

**科研实力夯实发展基石，吸引通威两轮投资。**苏州太阳井新能源有限公司创立于 2017 年，致力于研发、生产异质结电池铜制程整套解决方案。公司由澳大利亚新南威尔士大学光伏专业海归博士团队带领，年研发投入额超千万元，掌握异质结太阳能电池领域多项核心技术，目前已申请国内外专利 70 余项，其中近 30 项专利已获得授权。受益于双碳政策，公司迎来快速发展期，先后获得光伏行业龙头企业通威股份的两轮战略投资。

**开发低成本镀铜技术，降本增效优势明显。**通过实现低成本图形化掩膜技术与 TCO 直接镀铜技术突破，公司成功开发出低成本铜制程异质结太阳能电池金属化技术，可显著降低生产成本、提升生产效率及良率，进而大幅提升产品的竞争力。在此技术的基础上，公司建成世界首条 250MW 级别量产生产线，目前正处于量产验证及组件扩产阶段，预计 2024 年前可实现产业大规模应用，届时电池效率可提升至 24.8%。

### 3.3. 罗博特科: 光伏自动化设备龙头, 首创新型异质结电池铜电镀装备

**光伏自动化设备龙头, 积极布局 TOPCon、HJT 等方向。**罗博特科自 2011 年成立以来深耕光伏自动化设备, 突出的技术实力确保公司在薄片化趋势下的 TOPcon 市场中仍占据龙头地位并得到下游客户的广泛认可, 公司客户包括天合光能、通威太阳能和 SunPower 等国内外知名的大型光伏厂商。同时公司也在 HJT 领域积极布局, 2015 年杭州赛昂成功实现铜电镀 HJT 量产化应用时, 罗博特科便为其提供自动化设备, 积累了相关技术经验。目前公司关于 HJT 技术路径的自动化技术和产品已迭代至第三代, 处于行业领先水平。

**完成新型异质结电池铜电镀装备交付, 成功切入铜电镀业务领域。**区别于传统的垂直升降式电镀、垂直连续电镀、水平电镀技术方案, 公司独创了全新的量产型铜电镀方案, 从源头上解决了目前生产中产能低、运营成本高等痛点, 这种插片式太阳能电池片铜电极电镀装置及方法已在申请专利。目前公司提供的电镀铜方案主要是基于 HJT 路线, 其在 TOPCon 方向上的延展性应用也在考虑范围内。公司已于 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, 后续将与合作客户(传统玩家)一起完成设备的安装调试及工艺测试与优化工作, 并将持续加快推进该业务领域的量产化进程。2023 年 1 月公告与国家电投在铜栅线异质结电池 VDI 电镀解决方案达成战略合作。

### 3.4. 东威科技: PCB 电镀设备龙头, 光伏电镀铜领域成功突破

**PCB 电镀设备龙头, 垂直连续电镀设备技术水平国际领先。**公司产品包括 PCB 电镀专用设备(VCP、水平化铜、水平镀等), 五金表面处理专用设备, 以及面向新能源动力电池负极材料专用设备、光伏领域专用设备、真空溅射专用设备等。其中垂直连续电镀设备(VCP)为公司主要收入来源。垂直连续电镀设备技术水平国际领先, 电镀均匀性、贯孔率(TP)等关键指标上处于行业领先水平。

**积极拓展光伏电镀设备, 实现客户突破。**公司第二代光伏垂直连续硅片电镀设备于 2022 年初交付客户, 经客户反馈均匀性、破片率等重要指标均达到要求, 目前已完成客户验收。2022 年 12 月, 公司发布垂直连续电镀第三代设备, 宣布电镀产能达 8000 片/小时, 预计 2023 年上半年发货; 2023 年 1 月公告与国家电投及其子公司合作协议, 将提供一台样机用于铜栅线异质结电池垂直连续电镀解决方案的验证测试。

### 3.5. 捷得宝(未上市): 光伏电池电镀铜先行者, 整线设备积累深厚

**光伏电池电镀铜先行者, 团队技术背景卓越。**捷得宝科技股份有限公司、苏州捷得宝机电设备有限公司分别成立于 2012 年、2015 年, 致力于光伏电池电镀铜解决方案, 布局相关设备工艺专利超过 20 项。团队技术背景卓越, 主要人员来自于应用材料, 其中总经理单伶宝先生曾任应用材料事业部总经理、保利协鑫光电 GCL 光电事业部总裁。

**自研油墨掩膜+水平镀, HJT 整线设备积累深厚。**公司自研图形化一体机和电镀一体机, 水平电镀产能可达 7500 片/小时, 可应用于 HJT 和 TOPCon 电池片, 客户认可度

较高。早在 2018 年,公司完成南昌国电投的 120MW HJT 电镀产线交钥匙工程。2021 年,公司与海源复材签订协议,提供前期 600MW 设备,包括 PECVD、电镀铜相关设备,制线设备与国内厂商合作。

### 3.6. 芯基微装: 国内激光直写设备龙头, 拟定增加码电镀铜应用

**国内激光直写设备龙头, 下游验证进展领先。**公司主要产品为微纳级别直接成像设备与直写光刻设备,产品广泛应用于半导体、显示及 PCB 行业,市占率不断上升。公司直写光刻技术不断取得突破,已将应用于 IC 载板产业化生产的直写光刻设备线路层曝光精度(最小线宽)由 8 微米提升至 6 微米。根据公司定增预案,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。

**拟定增加码电镀铜应用,设备研发进展加速。**根据公司定增预案,公司预计投资总计 3.18 亿元建设现代化的直写光刻设备生产基地,推动直写光刻设备在新能源光伏等领域的应用。根据公司定增回复函,公司拟投入 4200 万元规划一条电镀铜中试实验线;截至 2022 年 12 月,公司已实现实验室条件下满足 5 微米以下线宽的铜栅线曝光需求的直写光刻设备产业化;同时提供量产线实现最小 15 微米的铜栅线直写曝光方案,产能达到 6000 片/小时、对位精度  $\pm 10$  微米,可以应用于 HJT,并支持 210mm 的整片和双半片光伏电池的制造。

### 3.7. 苏大维格: 依托光刻机先进制造能力, 进军电镀铜图形化领域

**苏大维格是国内领先的微纳结构产品制造和技术服务商。**通过自主研发光刻机,公司建立微纳光学研发与生产制造的基础技术平台体系,目前已形成公共安全和新型印材、消费电子新材料、反光材料、高端智能装备四大事业群。根据公司 2022 年半年报,微纳光学产品贡献 6.4 亿元营业收入,占比 73.2%;反光材料贡献 2.3 亿元营业收入,占比 25.6%;设备贡献 0.2 亿元营业收入,占比 0.3%。

**依托光刻机先进制造能力,进军电镀铜图形化领域。**公司成功开发多个系列覆盖纳米级和微米级的光刻机设备,设备精度满足光伏电镀铜要求。根据公司 2021 年年报,在光刻机关键器件方面,公司向上海微电子提供了其半导体领域投影式光刻机用的定位光栅部件,充分证明公司光刻机方面先进制造能力。根据公司 2021 年年报及 2022 年半年报,公司积极拓展光刻机设备在太阳能光伏电池铜电镀方案图形化方面的应用。

## 4. 投资建议

重点推荐迈为股份,建议关注太阳井(未上市)、罗博特科、东威科技、捷得宝(未上市)、芯基微装、苏大维格。

表10：相关公司估值（截至 2023/2/20 收盘价）

| 股票<br>代码  | 公司   | 市值     | 股价     | 归母净利润（亿元） |       |       | PE        |           |           |
|-----------|------|--------|--------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|
|           |      | (亿元)   | (元)    | 2022E     | 2023E | 2024E | 2022E     | 2023E     | 2024E     |
| 300751.SZ | 迈为股份 | 649.19 | 372.99 | 9.80      | 19.13 | 28.42 | 66        | 34        | 23        |
| 688700.SH | 东威科技 | 171.47 | 116.49 | 2.16      | 3.90  | 5.63  | 79        | 44        | 30        |
| 688630.SH | 芯基微装 | 104.49 | 86.50  | 1.48      | 2.14  | 3.00  | 71        | 49        | 35        |
| 300757.SZ | 罗博特科 | 62.42  | 56.47  | 0.37      | 1.19  | 2.20  | 168       | 53        | 28        |
| 300331.SZ | 苏大维格 | 61.93  | 23.85  | -1.05     | 2.31  | 3.84  |           | 27        | 16        |
| 平均        |      |        |        |           |       |       | <b>96</b> | <b>41</b> | <b>27</b> |

数据来源：Wind，东吴证券研究所

注：迈为股份、东威科技均为东吴预测，罗博特科、芯基微装、苏大维格为 Wind 一致预期

## 5. 风险提示

**(1) HJT 产业化进程不及预期：**电镀铜技术更适用于 HJT 技术，但 HJT 电池产业链未完全成熟，若产业化进程低于预期，会影响电镀铜的导入。

**(2) 电镀铜产业化进程不及预期：**其他降银路线如银包铜等产业化速度更快，而电镀铜技术处于研发和试验阶段，量产难点未完全攻克，耗材、设备等若无法实现降本，存在产业化进程不及预期的可能性。

免责及评级说明部分**免责声明**

东吴证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准, 已具备证券投资咨询业务资格。

本研究报告仅供东吴证券股份有限公司(以下简称“本公司”)的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。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, 本公司不对任何人因使用本报告中的内容所导致的损失负任何责任。在法律许可的情况下, 东吴证券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并进行交易, 还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

市场有风险, 投资需谨慎。本报告是基于本公司分析师认为可靠且已公开的信息, 本公司力求但不保证这些信息的准确性和完整性, 也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更, 在不同时期, 本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本报告的版权归本公司所有, 未经书面许可, 任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制和发布。如引用、刊发、转载, 需征得东吴证券研究所同意, 并注明出自为东吴证券研究所, 且不得对本报告进行有悖原意的引用、删节和修改。

**东吴证券投资评级标准:****公司投资评级:**

**买入:** 预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在 15%以上;

**增持:** 预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于 5%与 15%之间;

**中性:** 预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于-5%与 5%之间;

**减持:** 预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘介于-15%与-5%之间;

**卖出:** 预期未来 6 个月个股涨跌幅相对大盘在-15%以下。

**行业投资评级:**

**增持:** 预期未来 6 个月内, 行业指数相对强于大盘 5%以上;

**中性:** 预期未来 6 个月内, 行业指数相对大盘-5%与 5%;

**减持:** 预期未来 6 个月内, 行业指数相对弱于大盘 5%以上。

东吴证券研究所  
苏州工业园区星阳街 5 号  
邮政编码: 215021  
传真: (0512) 62938527  
公司网址: <http://www.dwzq.com.cn>

