

晶硅电池铜代银方案还有多久产业化？



五矿证券研究所 电气设备行业

分析师：蔡紫豪

登记编码：S0950523070002

邮箱：caizihao@wkzq.com.cn

联系电话：0755-23375760



中国五矿

五矿证券
MINMETALS SECURITIES

Contents 目录



01

铜浆的作用及原理

02

铜浆在下游的降本效果

03

铜浆对中游的影响

04

结论与风险提示

01

铜浆的作用及原理

1.1 电池金属化的作用

- ❑ 金属化是光伏电池生产中至关重要的工艺，通过在晶硅表面制备金属电极（如银浆、铜浆等），实现电流导出，直接影响电池的光电转换效率、成本和长期可靠性。
- ❑ 要求及发展趋势：降低成本、提高效率。
- ❑ 其主要工艺是将金属化浆料通过接触式（如丝网印刷）和非接触式（如激光转印、电镀铜）工艺使金属栅线附着在电池片表面制作电极。

图表1：电池金属化的要求和趋势

关键影响因素		金属化要求	
<div><div><ul style="list-style-type: none">功函数、电阻率、迁移率热、化学稳定性强可靠的附着力</div><div>金属化材料</div></div>	<div></div>	<div><div>转换效率</div><div><ul style="list-style-type: none">串阻损失(接触电阻、线电阻)光电流损失(遮光比，背反射)复合损失(金半接触复合)</div></div>	
<div><div><ul style="list-style-type: none">栅线宽度、形状、密度设计制作工艺简单可批量</div><div>设计工艺</div></div>		<div><div>制造成本</div><div><ul style="list-style-type: none">金属化材料价格工艺复杂程度制造通量</div></div>	
<div><div><ul style="list-style-type: none">表层掺杂类型、浓度、深度钝化接触结构接触面的形貌</div><div>电池结构</div></div>		<div><div>长期可靠性</div><div><ul style="list-style-type: none">金半接触界面可靠性金属材料自身可靠性</div></div>	

资料来源：长三角太阳能光伏技术创新中心，五矿证券研究所

图表2：电池金属化主要方案

新型金属化技术		
接触式	非接触式	无主栅/多主栅
<div><ul style="list-style-type: none">➢ 二次印刷➢ 两步印刷➢ 钢板印刷</div>	<div><ul style="list-style-type: none">➢ 点胶印➢ 激光转印➢ 物理气相沉积➢ 激光烧结电极➢ 电镀/化学镀➢ 喷墨打印</div>	<div><ul style="list-style-type: none">➢ 导电薄膜技术➢ 多主栅技术➢ 智能网栅焊接技术➢ Merlin TM</div>

资料来源：光伏行研，五矿证券研究所整理

1.2 晶硅电池金属化方案变迁

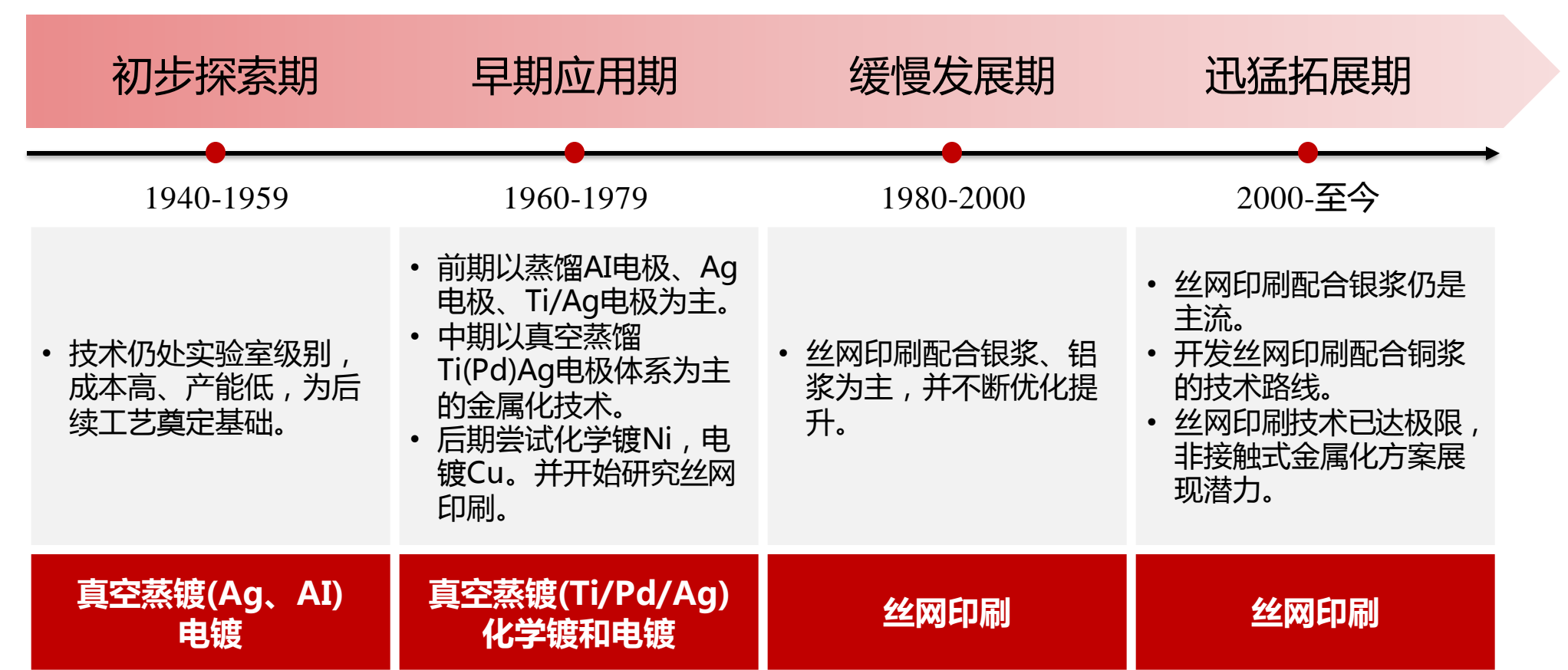
- ❑

1980年代前：20世纪40~50年代以真空蒸镀Ag/Al为主的“实验室探索期”；60~70年代在航天需求带动下，引入Ti/Pd/Ag多层蒸镀和Cu/Ni电镀的“早期应用期”。
- ❑

1980年代后：光伏电池金属化以丝网印刷配合银浆、铝浆为主，并不断优化提升。
- ❑

目前：因银价格持续上涨，同时光伏行业竞争愈加激烈，贱金属化替代成为新一代光伏发展降本的核心，铜代银方案开始出现并逐步成熟。

图表3：电池金属化方案发展历史与变迁



资料来源：长三角太阳能光伏技术创新中心，五矿证券研究所

图表4：主要电极材料性能对比

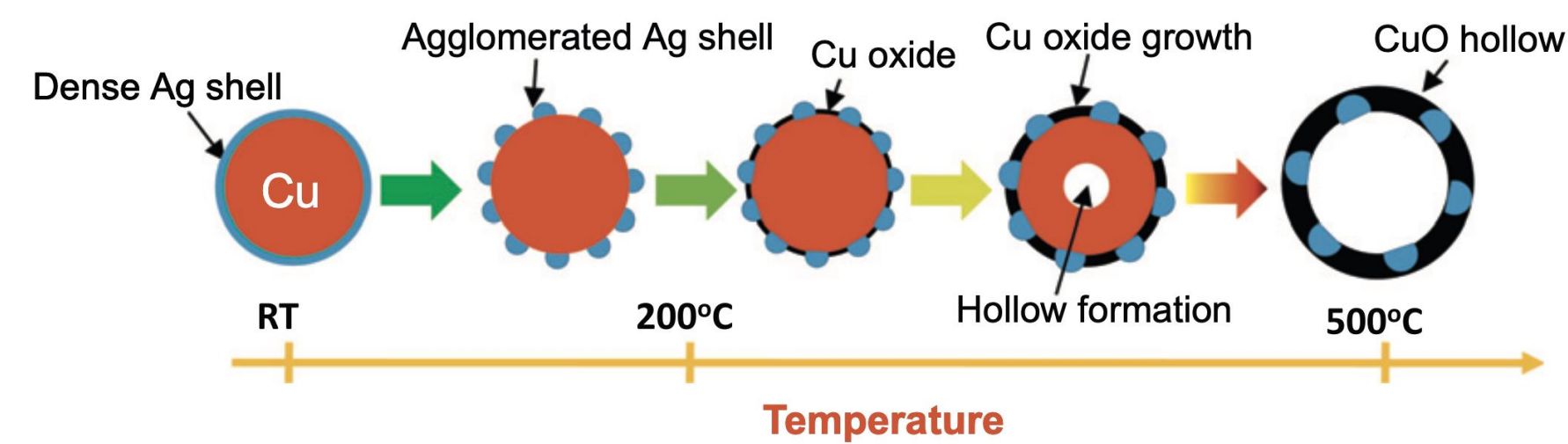
对比项目	银	铜	铝
电导率 (Ωm)	1.59×10 ⁻⁸	1.68×10 ⁻⁸	2.65×10 ⁻⁸
稳定性	好	差	差
原材料价格 (元/kg)	8500	80	20
在地壳中的丰度(ppm)	0.08	68	82000
碳足迹 (kgCO ₂ e/kg)	155	3.97	16.1

资料来源：聚和材料，wind，五矿证券研究所

1.3 铜浆产业化的难点及解决方案

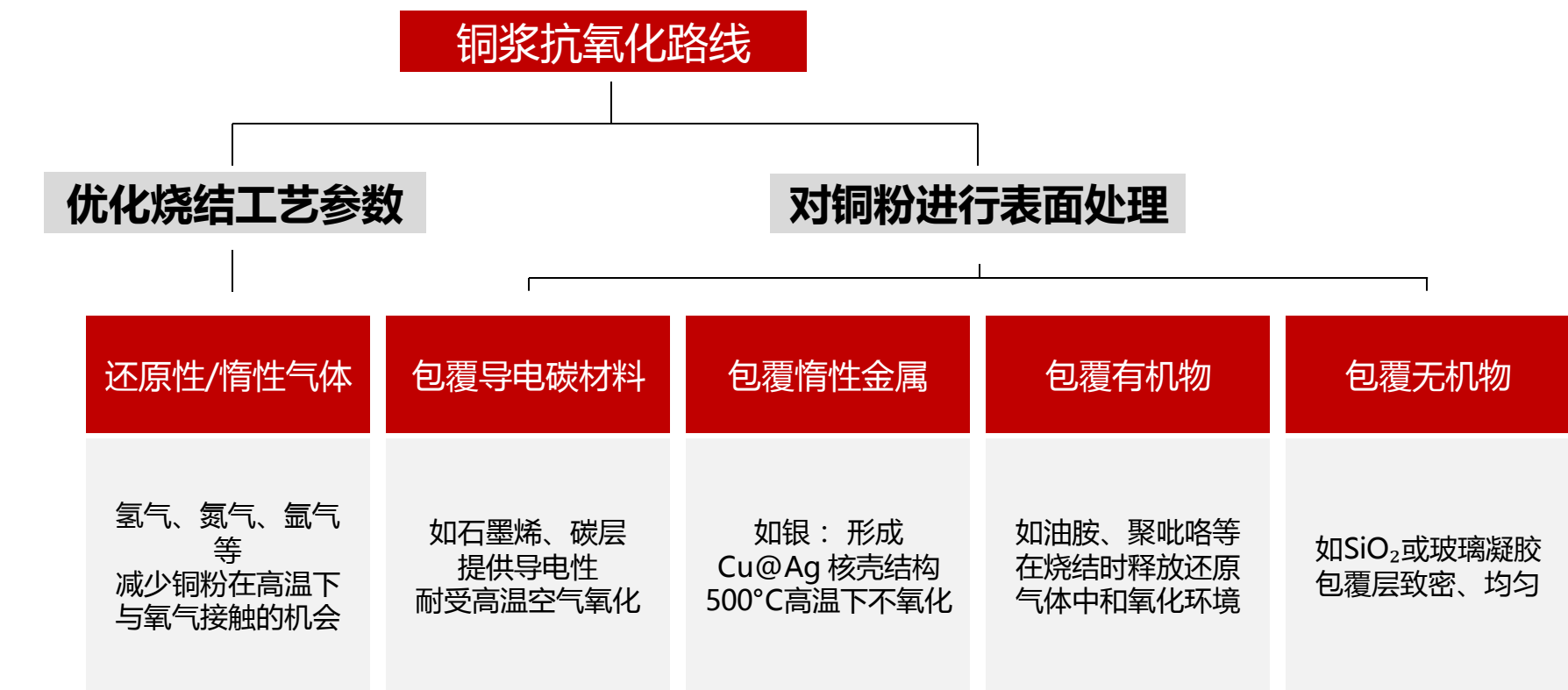
- ❑ 铜氧化产生的原因：因铜过于活泼，易于氧化，形成氧化铜。以银包铜粉为例，在200℃左右就会形成氧化铜，膨胀后将银包铜结构破坏，使得金属化电极失去导电性能。
- ❑ 铜氧化防止的方式：1) 其他气体保护，防止铜和氧气接触，避免氧化；2) 表面包覆，采用其他有机无机材料，在铜粉表面形成保护层，防止铜和氧气接触。

图表5：铜氧化的原理



资料来源：《Oxidation behavior of Cu–Ag core–shell particles for solar cell applications》Hoang Tri Hai等，五矿证券研究所

图表6：铜氧化解决方案



资料来源：《LTCC 用铜电子浆料的制备与性能》张芳，五矿证券研究所

1.3 铜浆产业化的难点及解决方案

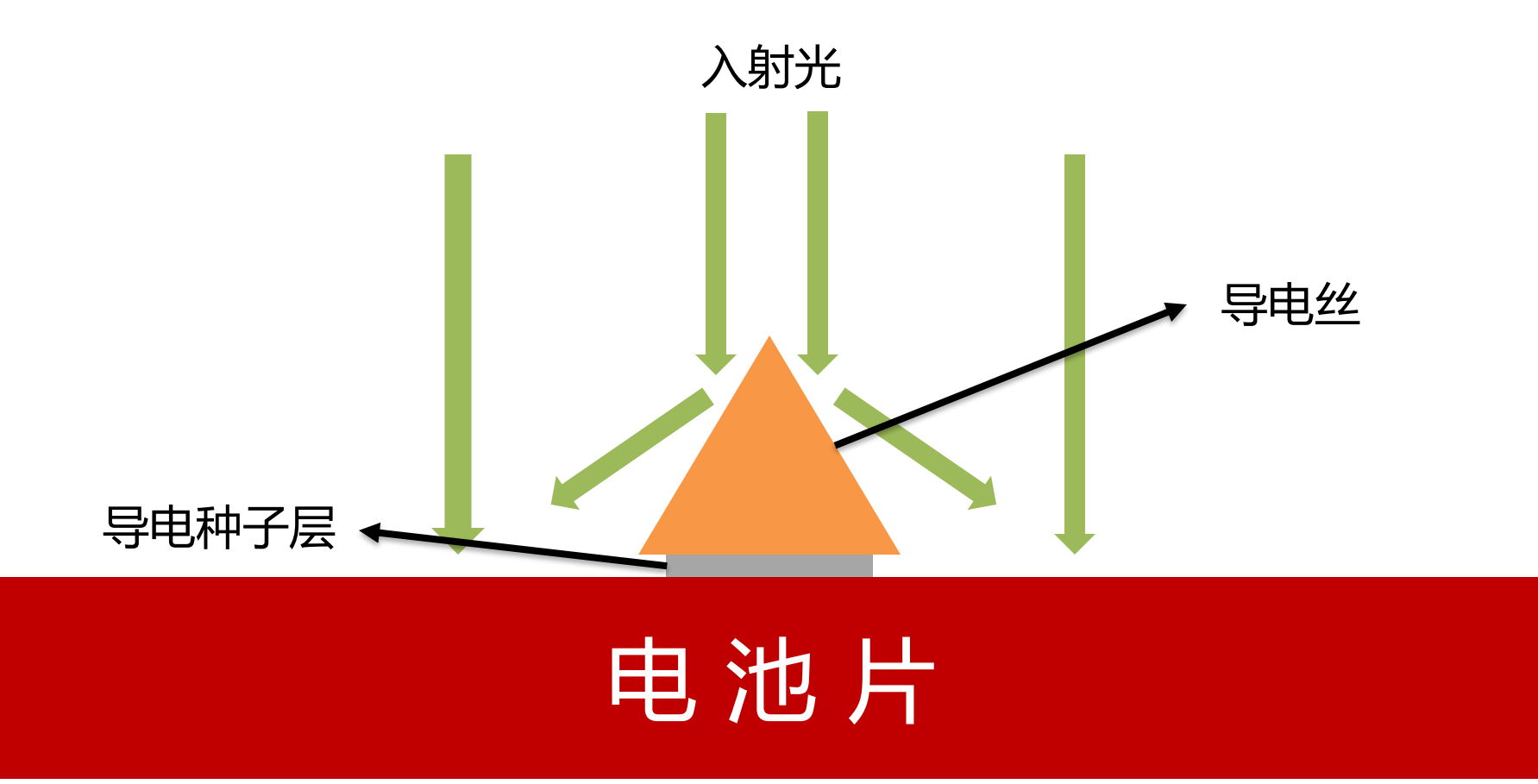
- 铜迁移的原因：铜原子在高温烧结过程中快速扩散进入硅基体，通过晶格空位和间隙路径移动，形成深能级陷阱中心。这破坏PN结结构，导致杂质复合增强、少子寿命下降、漏电流增加、开路电压降低。铜的扩散速度极快，在TOPCon电池（涉及多层掺杂接触区）中尤为严重，因为其多晶硅薄膜结构对铜扩散敏感。HJT结构含有TCO层，可以有效阻挡铜迁移，因此对于铜迁移问题，主要针对TOPCON和BC电池。
- 铜迁移的解决方案：通过在铜和硅片中间添加种子层，以防止铜对硅的扩散。

图表7：铜迁移解决方案



资料来源：《Ultra-Lean Silver Screen Printing for Sustainable Terawatt-Scale Photovoltaics》 Brett Hallam，五矿证券研究所

图表8：银种子层示意图



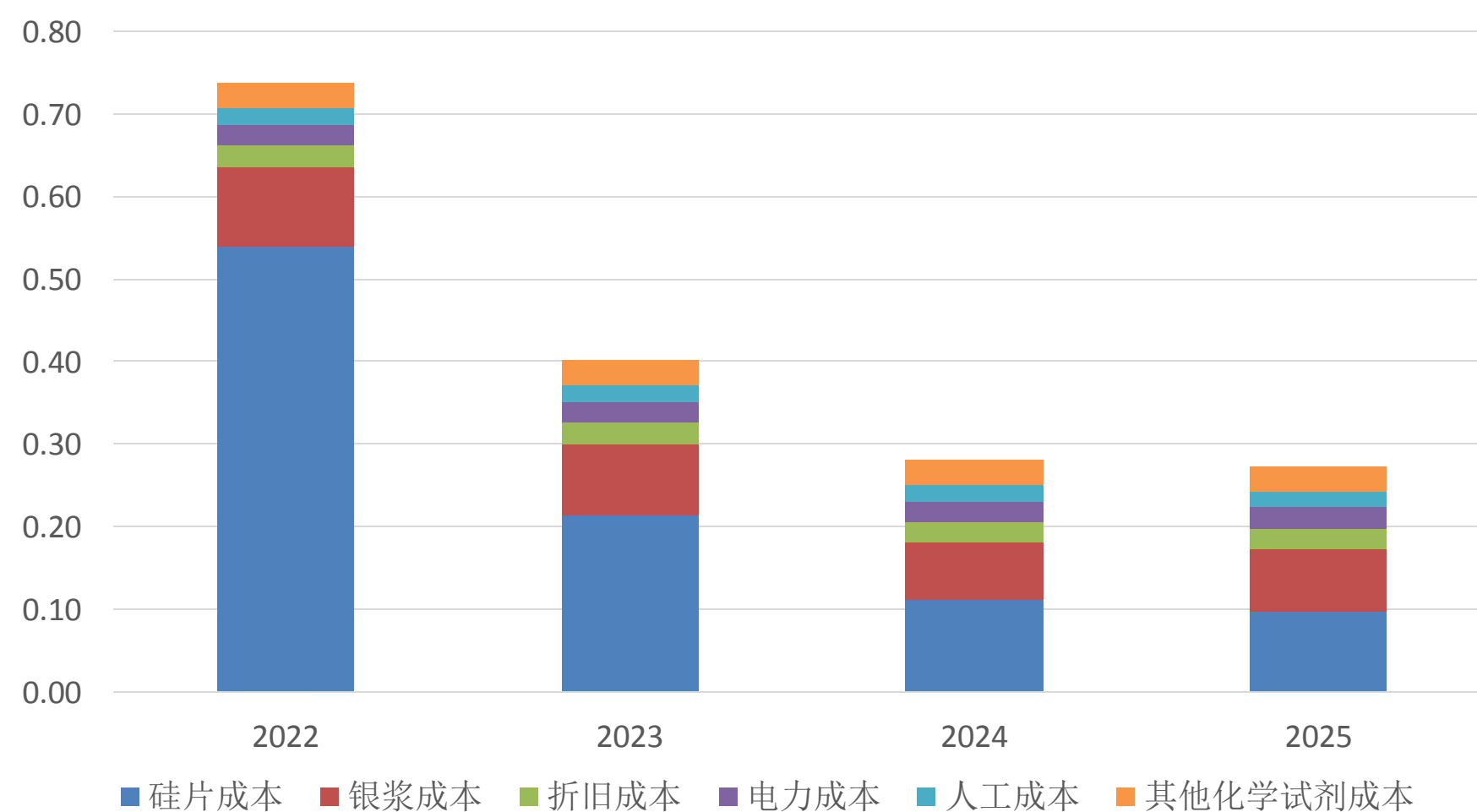
资料来源：AIOT大数据，五矿证券研究所测算

02 铜浆在下游的降本效果

2.1 金属化成本在电池成本中占比提升

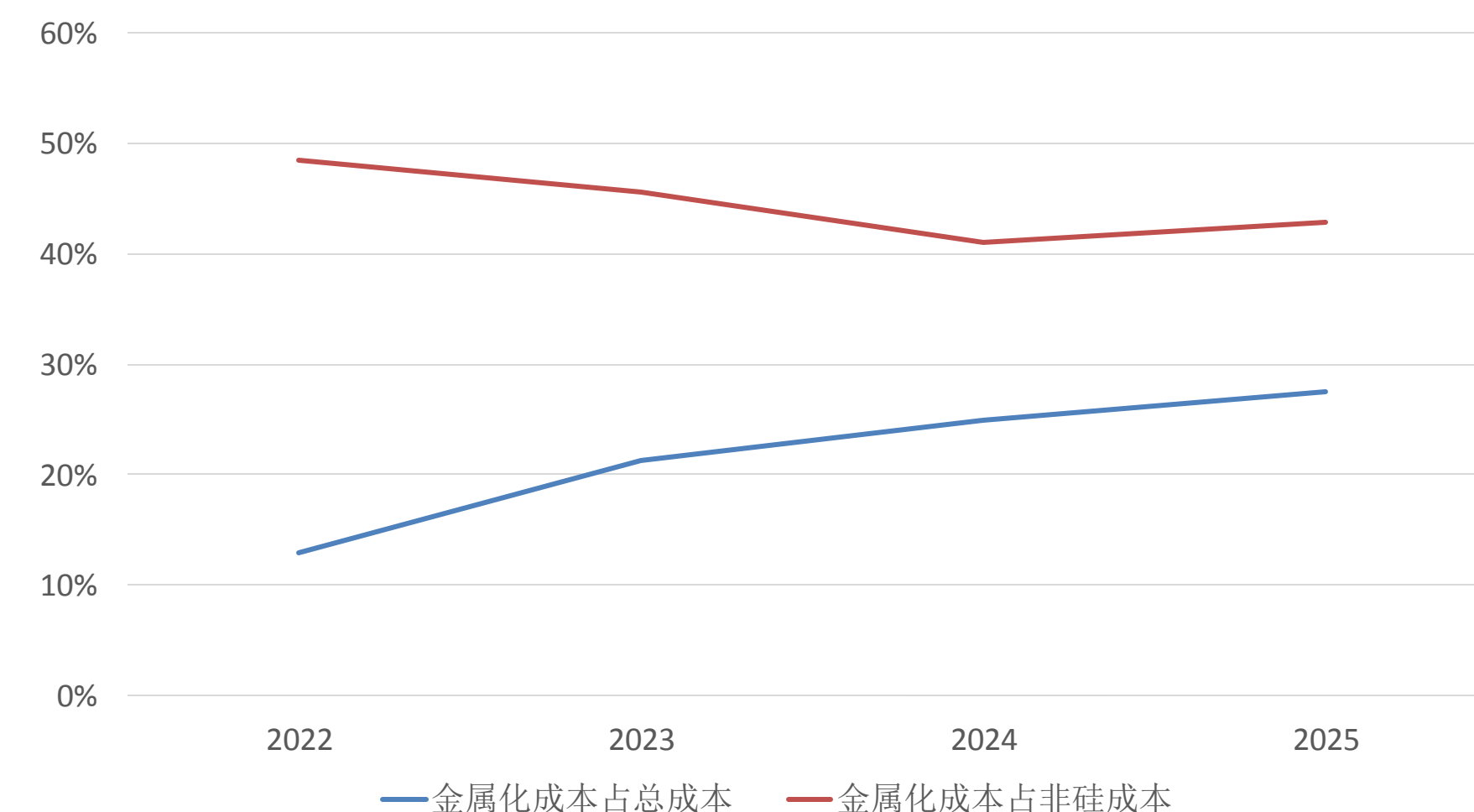
- 近年来，电池成本出现明显下降，一方面来自于硅成本的下降，另一方面也来自于折旧、制造等非硅成本的快速下降。
- 金属化成本占比在电池总成本中的占比是逐步提升的。虽然银耗量在持续下行，但是上升的银价导致目前金属化成本相对刚性，逐步达到30%的水平，成为电池企业降本的首要目标。

图表9：近年电池成本构成



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所

图表10：金属化成本在电池成本中的占比变化



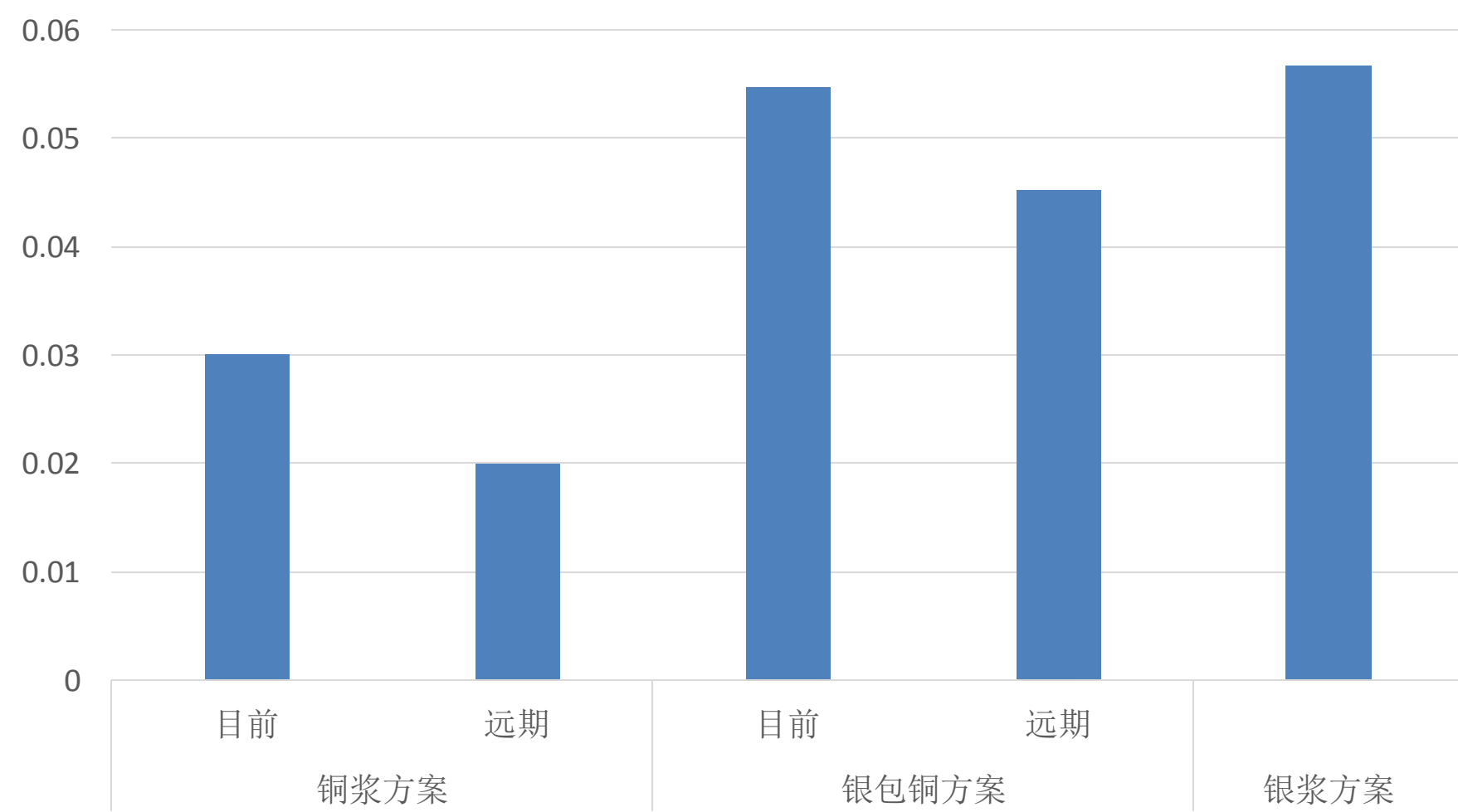
资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所

2.2 铜代银可以显著降低金属化成本

□ 铜代银方案主要有银包铜、纯铜浆、电镀铜方案，根据目前市场上主流企业的方案，我们测算了铜浆和银包铜方案在TOPCON电池和BC电池上的成本节约情况：

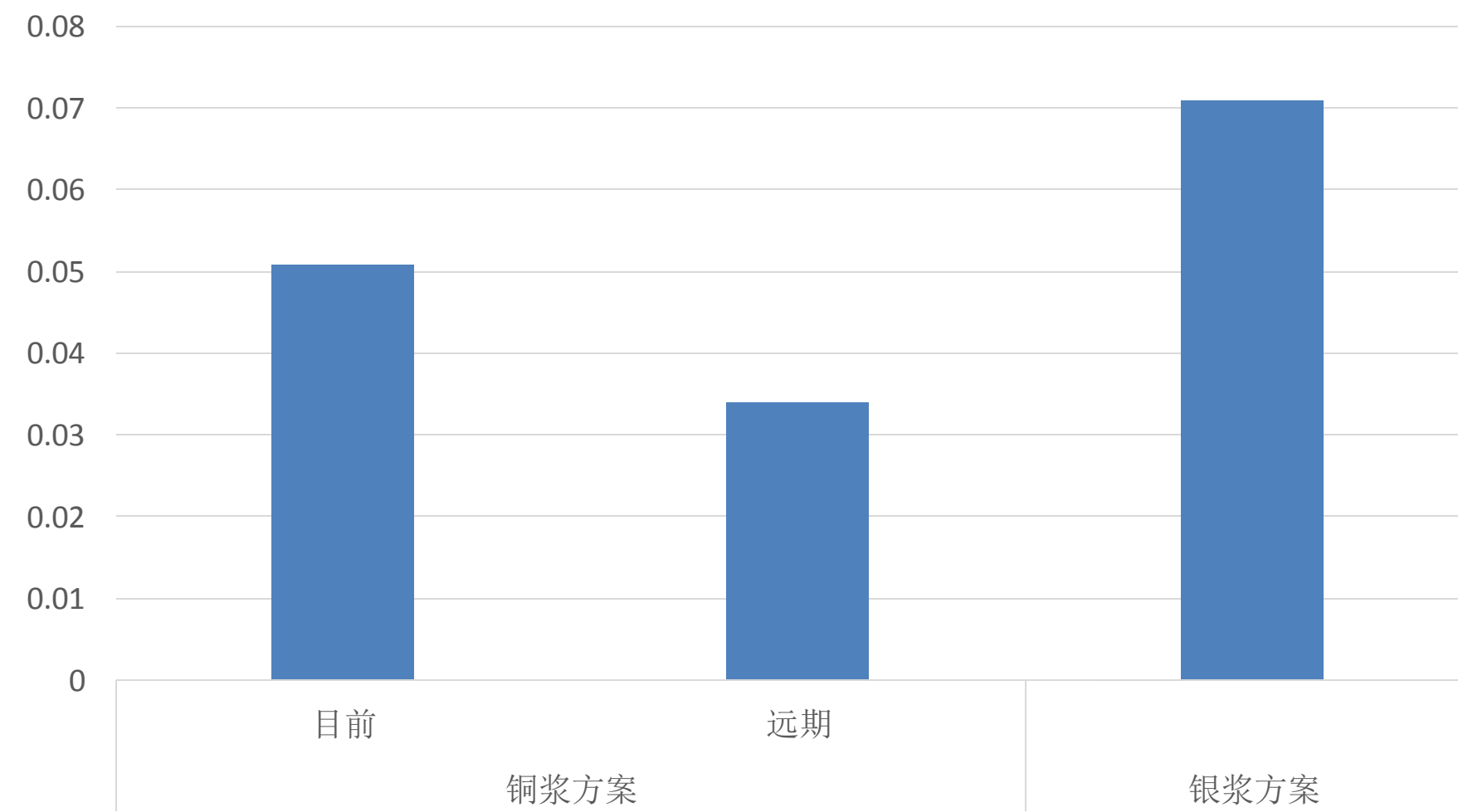
- 铜浆：相比银浆方案，铜浆在TOPCON背面及BC电池上的应用可以显著降低银耗量，同时在远期改良后，通过铜浆降价以及用量节约，可以进一步降低金属化成本。
- 银包铜：按照帝科股份银种子层和银包铜方案，在降本方面有一定效果，未来采用更加低银含的银包铜粉体以及粉体价格的下降，会带来成本的进一步优化。

图表11：TOPCON电池铜代银与银浆方案金属化成本对比（元/W）



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所测算

图表12：BC电池铜浆与银浆方案的金属化成本对比（元/W）



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所测算

03

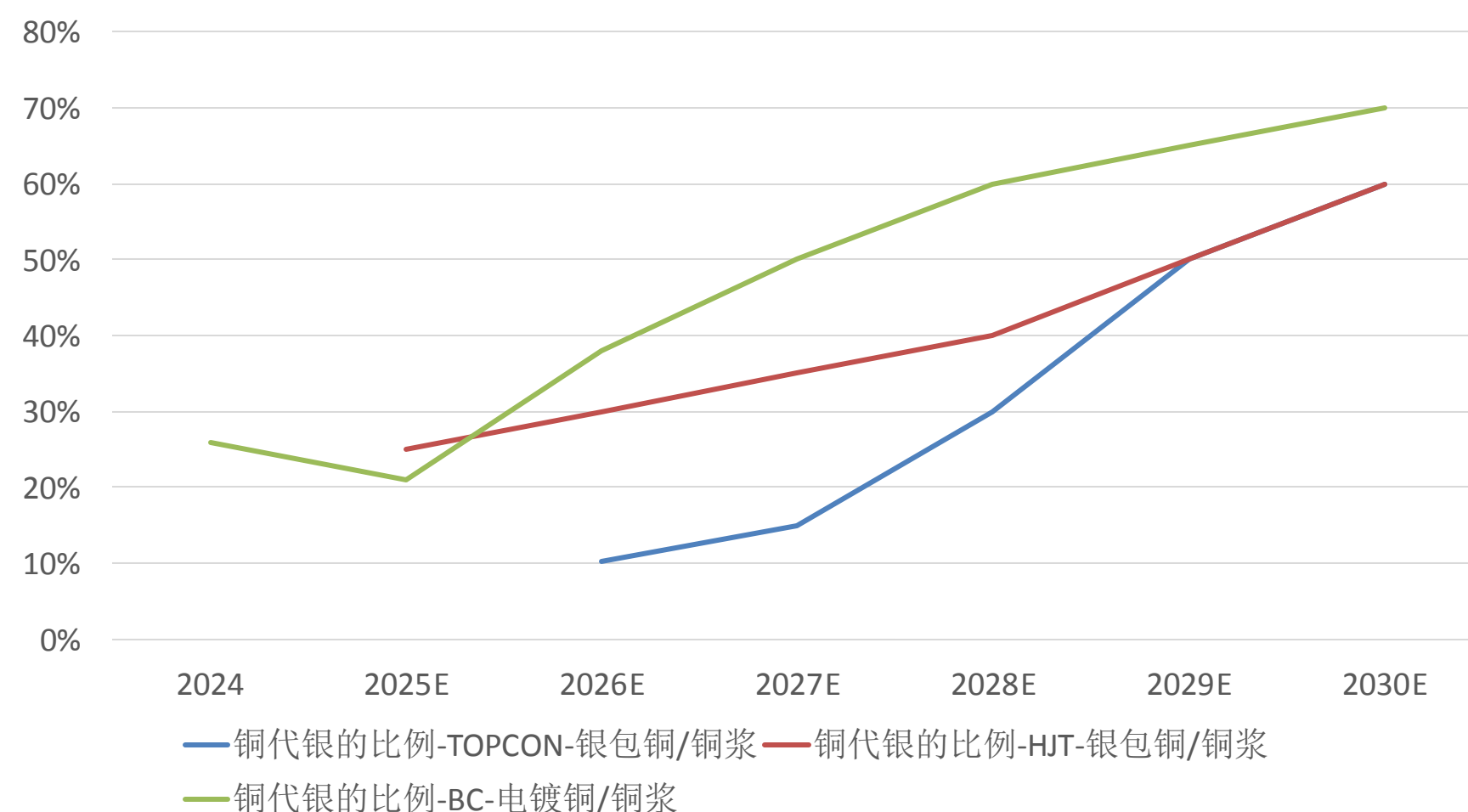
铜浆对中游的影响

3.1 铜浆的产业化节奏

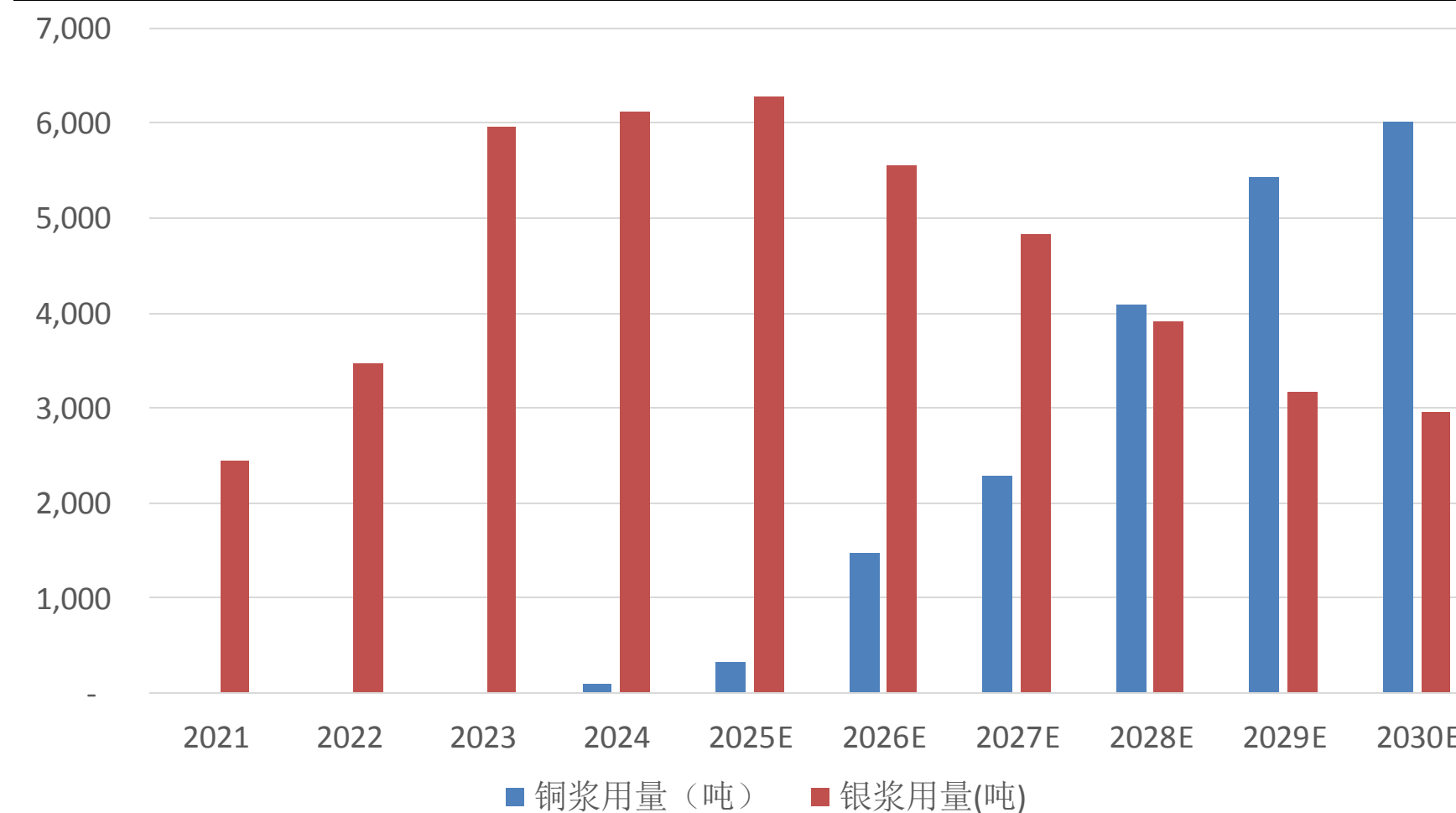
□ 光伏电池铜代银处于早起阶段，铜浆在BC上可能应用较快，TOPCON电池则在铜浆和银包铜浆料上都有推进，我们估计2025~2026年是铜代银的导入期，2027~2028年是快速渗透期。

□ 我们预计，在2030年，光伏铜浆需求达到6000吨左右，同时银浆需求降低到3000吨左右。

图表13：主要光伏电池铜代银比例预测



图表14：光伏电池铜代银对银浆和铜浆的需求预测（吨）



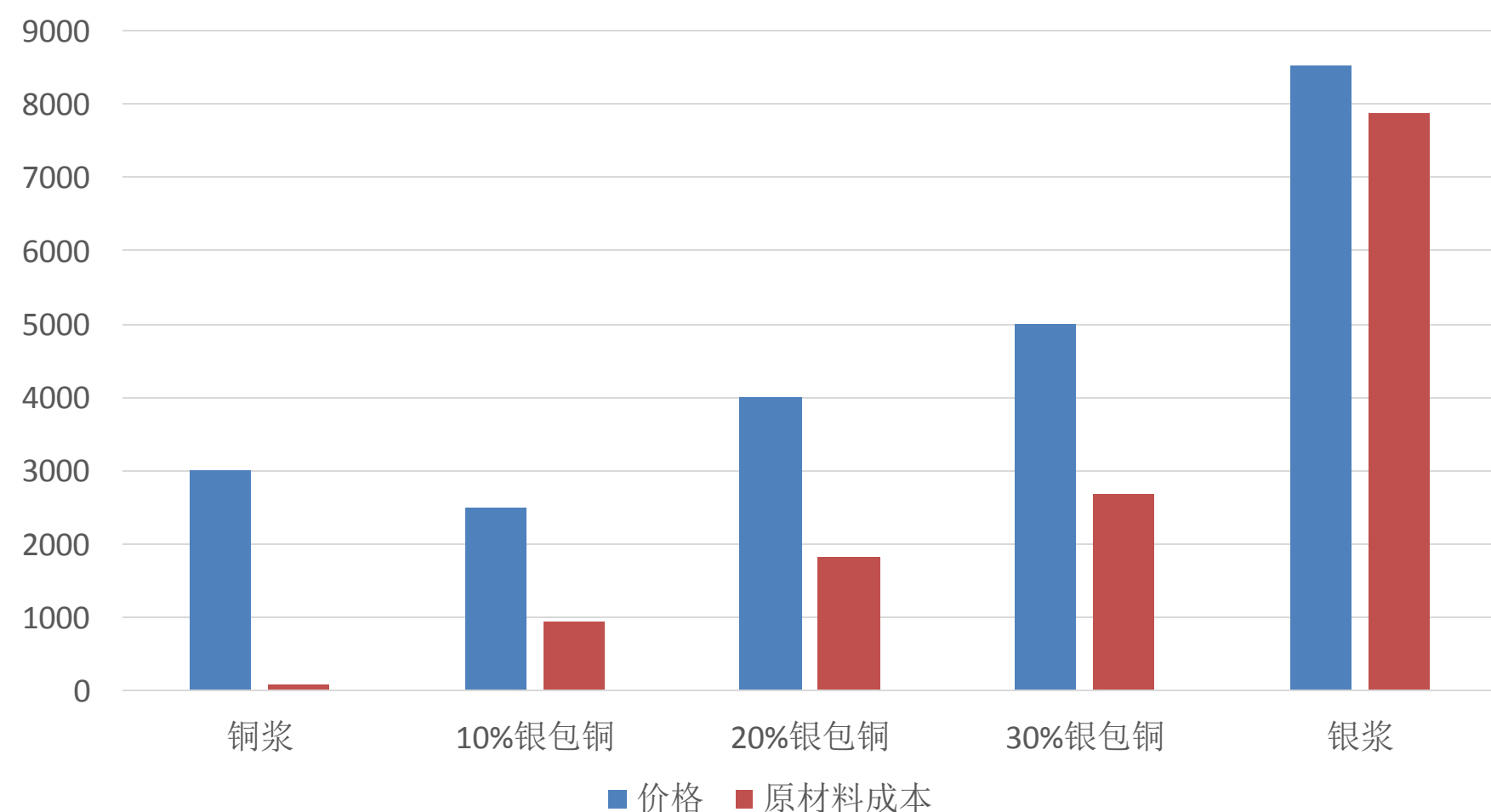
资料来源：Infolink Consulting, CPIA, 五矿证券研究所测算

资料来源：Infolink Consulting, CPIA, 五矿证券研究所测算

3.2 铜浆可以增厚浆料企业盈利

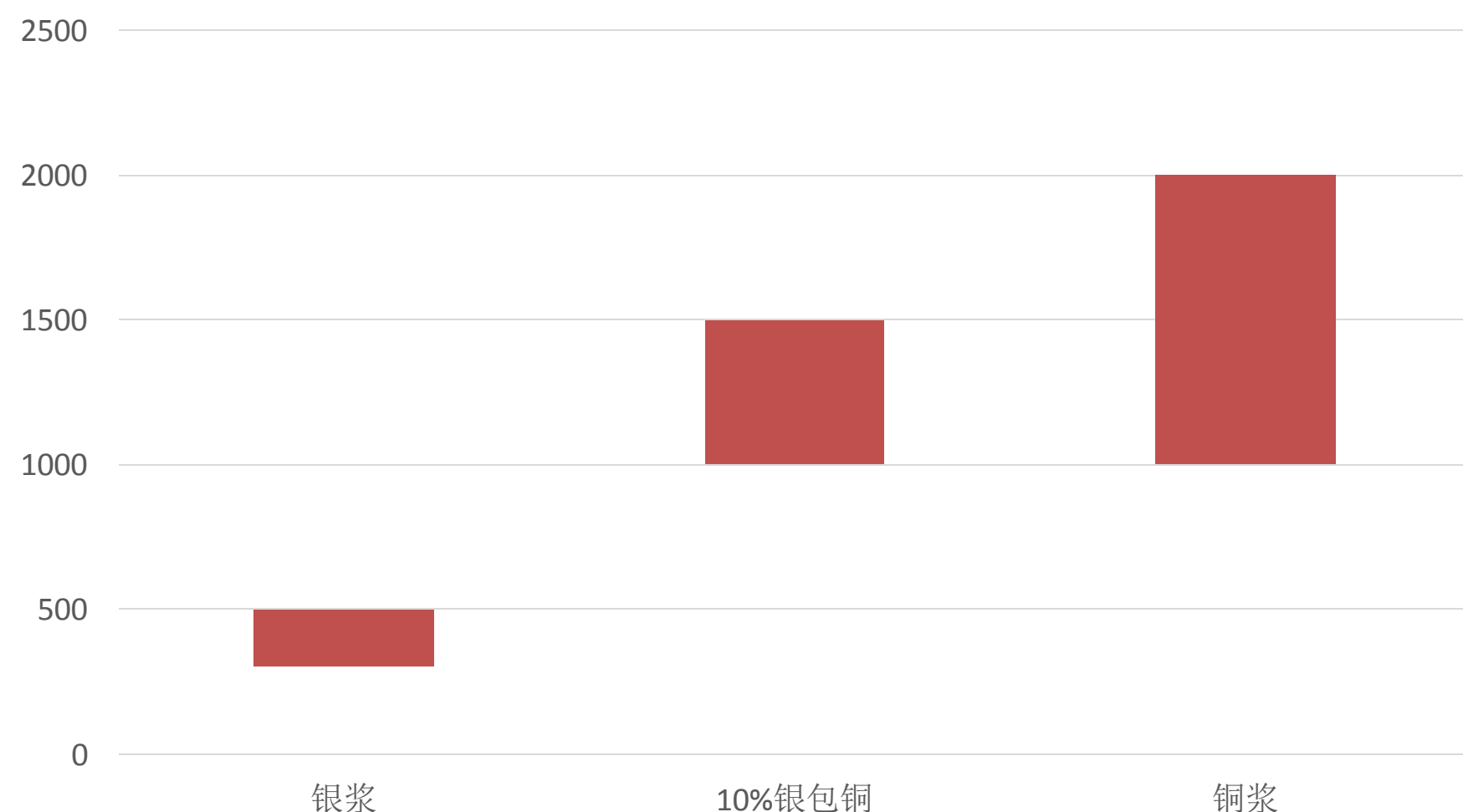
- 铜代银趋势下，虽然没有办法清楚各类浆料的加工成本，但是从目前价格和原材料成本来看，各类浆料的利润空间都被扩大化，这会为浆料企业的加工费带来更多的空间。
- 同时，银包铜及铜浆的加工费水平要比传统银浆高出不少，铜代银浆料的单吨盈利大概率好于传统银浆。

图表15：各种浆料的售价及原材料成本（元/kg）



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所

图表16：主要浆料加工费区间（元/kg）



资料来源：Infolink Consulting，五矿证券研究所测算

3.3 铜浆改变浆料企业竞争格局

- ❑ 银浆企业一开始大规模扩产银粉甚至玻璃粉来加强自己的成本优势，如聚和材料和帝科股份计划自产原材料。
- ❑ 铜浆的壁垒在于：1) 粉体的一致性，给予铜浆更高导电性；2) 抗氧化性，保证电池转化效率不受影响。而银浆在粉体上的难度低于铜浆，因此银浆企业革新生产铜浆，需要将较大的精力分配到铜粉上，粉体的布局不再是一体化降本的目的，也更多带来了铜浆产品的性能稳定。
- ❑ 粉体会逐渐成为浆料企业的重要竞争要素之一，市场格局可能会被拥有粉体技术的企业改变。而目前部分浆料企业也已经开始铜粉布局，或将提升自身在铜浆赛道的竞争力。

图表 17：银浆厂向上游银粉和玻璃粉环节延伸布局

公司	粉体	项目	项目内容	总投资额
聚和材料	银粉	银粉高端光伏电子材料基地项目	年产3000吨电子级银粉产能，并设立全球领先的粉体研发中心	12亿
	银粉	专用电子功能材料工厂及研发中心建设项目	年产300吨玻璃粉产能，并建立起与之配套的材料研发与工艺改进中心。	3亿
	铜粉	聚和材料参股Copprint 30%股权，同时推进铜粉自制	双方在光伏铜粉应用领域建立排他性合作。	
帝科股份	银粉	江苏新沂经济开发区高性能电子材料研发生产基地	年产5000吨硝酸银、1800吨金属粉体等高性能电子材料生产线	4亿
	银包铜粉	现金收购浙江索特60%股权	获得了银包铜浆料相关专利和技术	6.96亿元

资料来源：公司公告，五矿证券研究所

图表 18：主要粉体企业情况

粉体	公司名称	简介
银粉	DOWA	全球最大的太阳能导电浆料用银粉供应商
	贺利氏	产品主要包括钯粉、银-钯粉、银粉和银片、铂粉、金粉和金片、氧化钨粉
	贵研铂业	材料包括金浆、银浆、铂浆、钎浆、银钯浆、铝浆、玻璃浆等
	广东羚光新材料	产品有导电银浆、银粉、表面处理材料、粘合剂、特种陶瓷、贵金属新材料、锂电池正、负极材料等
	中科铜都粉体	主要产品有：硫酸铜、硝酸银、超细银粉、铜及铜合金粉
铜粉	JFE	新材料业务主要涉及超细镍粉、锂镍基氧化物材料等新材料生产
	昭荣化学	银浆、金膏、钯糊剂、钯糊、镍膏、铜膏等
	三井金属	业务涵盖功能工程材料、电子材料制造与销售、有色金属冶炼、矿产资源开发、贵金属回收、原材料相关业务、汽车零部件制造与销售等

资料来源：公司公告，五矿证券研究所

04

结论与风险提示

结论

- 经过多年发展，光伏电池主要以丝网印刷银浆来实现金属化。银价的上涨及多晶硅材料价格的下降，使得银浆在电池成本中占比已经接近硅片的成本，而在非硅成本中占比已经达到43%，电池降本的目光已经转移到贱金属化方案。
- 铜的导电性能在主要电极材料中最为接近银，因此铜代银成为贱金属化的重要趋势，相比银浆方案，其理论上可以有效降低金属化成本。但是铜的活泼属性带来了铜扩散和铜氧化的问题，这阻碍了铜代银的趋势。解决铜迁移主要采用银种子层的方案，解决铜氧化主要采用包覆和气体保护等方案。
- 目前铜代银已经取得了不错进展，2025~2026年是铜代银的导入年份，2027~2028年预计是渗透率快速提高的年份，这在中期维度会带来光伏用银和光伏用铜数量的明显变化。
- 相比银浆，铜浆料加工费更高，在铜代银趋势下，浆料厂的盈利也会更加受益。

风险提示

- 铜浆、银包铜等技术难点克服进展不及预期。
- 光伏行业竞争加剧，带来铜代银技术发展缓慢。

Thank you



欢迎关注微信公众号

五矿证券研究所

上海

浦东新区陆家嘴街道富城路99号震旦国际大厦30楼
邮编：200120

深圳

深圳市南山区滨海大道3165号五矿金融大厦23层
邮编：518035

北京

北京市东城区朝阳门北大街3号五矿广场C座3F
邮编：100010

免责声明

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。作者保证：（i）本报告所采用的数据均来自合规渠道；（ii）本报告分析逻辑基于作者的职业理解，并清晰准确地反映了作者的研究观点；（iii）本报告结论不受任何第三方的授意或影响；（iv）不存在任何利益冲突；（v）英文版翻译若与中文版有所歧义，以中文版报告为准；特此声明。

投资建议的评级标准		评级	说明
报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6到12个月内的相对市场表现，也即：以报告发布日后的6到12个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。	股票评级	买入	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在20%及以上；
		增持	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于5%~20%之间；
		持有	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报介于-10%~5%之间；
		卖出	预期个股相对同期相关证券市场代表性指数的回报在-10%及以下；
		无评级	对于个股未来6个月的市场表现与基准指数相比无明确观点。
	行业评级	看好	预期行业整体回报高于基准指数整体水平10%以上；
		中性	预期行业整体回报介于基准指数整体水平-10%~10%之间；
		看淡	预期行业整体回报低于基准指数整体水平-10%以下。

一般声明

五矿证券有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会批复的证券投资咨询业务资格。本公司不会因接收人收到本报告即视其为客户，本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。本报告的版权仅为本公司所有，未经本公司书面许可，任何机构和个人不得以任何形式对本研究报告的任何部分以任何方式制作任何形式的翻版、复制或再次分发给任何其他人。如引用须联络五矿证券研究所获得许可后，再注明出处为五矿证券研究所，且不得对本报告进行有悖原意的删节和修改。在刊载或者转发本证券研究报告或者摘要的同时，也应注明本报告的发布人和发布日期及提示使用证券研究报告的风险。若未经授权刊载或者转发本报告的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入或将产生波动；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；本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。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，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的作者是基于独立、客观、公正和审慎的原则制作本研究报告。本报告的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证，也不保证所包含信息和建议不发生任何变更。本公司已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，不包含作者对证券价格涨跌或市场走势的确定性判断。在任何情况下，报告中的信息或意见不构成对任何人的投资建议，投资者据此做出的任何投资决策与本公司和作者无关。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构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中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。本公司及作者在自身所知知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

五矿证券版权所有。保留一切权利。

特别申明

在法律许可的情况下，五矿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，投资者应当考虑到五矿证券及/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。