

颗粒硅、CCZ、钙钛矿三重奏， 奏响绿色能源新篇章

——协鑫科技首次覆盖报告

■ 核心观点

颗粒硅：前瞻布局，持续突破，扩产迅速，精益求精

穿越本轮周期的核心竞争力——品质与成本的平衡。通过复盘多晶硅历史周期，我们发现之前被迫停产、减产、退出市场的多晶硅产能大多为高成本老旧产能，所以下行周期中低成本是企业的生存保障。而在本轮周期中，N型占比的迅速提高对硅料品质提出更高的要求，受限于上游高品质硅料供给有限，当前整体产能供给过剩但是局部供需矛盾依然存在。因此我们认为拥有兼具高品质与低成本的产品才是多晶硅企业穿越周期的核心竞争力。

协鑫颗粒硅已经实现低成本与高品质的平衡，并且可以推动产业链降碳。当前颗粒硅成本已低于棒状硅近 10%，未来仍有降本空间。颗粒硅生产成本已经降低至 35.9 元/kg，而棒状硅生产成本约 39.12 元/kg，当前颗粒硅成本已经低于棒状硅近 10%。品质仍在持续提升，83%可用于 N 型拉晶。颗粒硅当前 N 型料出货占比已经达到 83%。金属含量在 0.5ppbw 以内的颗粒硅，60%比例投 N 型。同时当前协鑫颗粒硅浊度已经全面控制在 120NTU 以内，100NTU 以下的颗粒硅产品比例高达 70%，未来随着浊度继续下降，断线率情况将会得到继续改善。从材料源头协助产业链降碳。硅料环节碳排放占组件整体碳排放近一半，使用颗粒硅可以明显降低组件碳排放。协鑫颗粒硅已获得法国国家能源署颁发的碳足迹认证证书，每生产 1 千克颗粒硅的碳足迹数值仅为 37 千克二氧化碳当量，推动光伏全产业链继续降低碳排放 28%。

公司全面聚焦颗粒硅，市占率已超 15%，预计 2024 年颗粒硅产能将实现 50 万吨，中东项目有望开工建设。公司已经于 2023 年剥离棒状硅资产，全面聚焦颗粒硅。公司颗粒硅在国内布局四大基地，目前名义产能 42 万吨，预计 2024 年底将实现 50 万吨颗粒硅产能，中东地区产能也将有望于 2024 年开工建设。

CCZ：下一代拉晶技术，引领创新与降本

公司 2023 年 CCZ 持续突破，单台拉晶炉单产已经超过 185 公斤/天，并实现 200MW 中试产能，目前已经实现 CCZ N 型晶棒头部少子寿命均值和氧含量接近同期 RCZ 拉晶工艺水平。我们认为随着 CCZ 技术成熟，结合颗粒硅产品，将进一步推进降本增效，并推动光伏行业自动化与智能化进程。

钙钛矿：新赛道、新起点，效率与量产进展全面领先

钙钛矿作为新的电池技术，拥有优异的光电特性、弱光性能、较低的生产成本以及可以叠层实现更高效等优势，是未来电池技术的发展方向。协鑫光电是国内效率与量产线建设均处于领先地位的钙钛矿企业，已经成功实现可量产 1m*2m 的全球最大尺寸钙钛矿单结组件 19.04%的转换效率和 1.71m²钙钛矿叠层组件 26.36%的转换效率。

■ 投资建议

我们认为公司前瞻布局硅烷流化床法，颗粒硅质量不断提升并得到下游客户认可，产能快速释放、市占率迅速提高。同时布局先进技术 CCZ 与钙钛矿，为长期领先发展打下坚实基础。预计公司 2024-2026 年营业收入分别为 278.17 亿元、346.85 亿元、423.36 亿元，同比分别-17%、+25%、+22%。归母净利润为 26.63 亿元、38.23 亿元、49.67 亿元，同比分别+6%、+44%、+30%。当前股价对应 PE 分别为 13、9、7 倍。首次覆盖，给予“买入”评级。

买入(首次)

行业： 电力设备

日期： 2024年04月14日

分析师： 开文明

E-mail: kaiwenming@yongxinggsec.com

SAC 编号: S1760523070002

分析师： 刘清馨

E-mail: liuqingxin@yongxingse.com

SAC 编号: S1760523090001

基本数据

2024年4月10日收盘价(元)	1.26
12mthA 股价格区间(元)	0.89~2.03
已发行普通股(百万股)	26,938.93
流通市值(亿元)	307.58

最近一年股票与恒生指数比较



资料来源：Wind，甬兴证券研究所

■ 风险提示

下游需求不及预期、市场竞争加剧、钙钛矿研发进展不及预期、客户集中度较高。

■ 盈利预测与估值

单位：百万元	2023A	2024E	2025E	2026E
营业收入	33700	27817	34685	42336
年增长率 (%)	-6%	-17%	25%	22%
归属于母公司的净利润	2510	2663	3823	4967
年增长率 (%)	-84%	6%	44%	30%
每股收益 (元)	0.09	0.10	0.14	0.18
市盈率 (X)	13.09	12.74	8.88	6.83

资料来源：Wind，甬兴证券研究所（2024年04月10日收盘价）

正文目录

1. FBR 颗粒硅：高品质、低成本、低碳排三维一体.....	5
1.1. 平衡成本与品质：穿越本轮周期的关键	5
1.2. 低碳组件是行业发展趋势	10
1.3. 多晶硅出海势在必行	13
1.4. 公司全面聚焦颗粒硅，市占率已超 15%.....	15
2. CCZ+颗粒硅：新一代技术引领自动化与智能化.....	20
2.1. CCZ：拉晶技术的未来.....	20
2.2. 颗粒硅+CCZ：为降本增效赋能	21
3. 钙钛矿：效率与量产进展全面领先	22
3.1. 钙钛矿组件光电特性优异，场景应用多样	22
3.2. 公司钙钛矿组件效率与 GW 线进展领先.....	25
4. 盈利预测与投资建议	28
4.1. 关键假设	28
4.2. 盈利预测	28
4.3. 投资建议	28
5. 风险提示	29

图目录

图 1: 多晶硅进口价格（美元/kg）	5
图 2: 2017 年以来国内致密料报价（元/kg）	6
图 3: N 型占比提高迅速.....	7
图 4: N 型占比提高迅速（元/kg）	7
图 5: 全球光伏新增装机.....	8
图 6: 改良西门子法工艺流程.....	8
图 7: 西门子法还原炉示意图.....	8
图 8: 硅烷流化床法工艺流程.....	9
图 9: 流化床示意图.....	9
图 10: 颗粒硅金属含量下降趋势.....	9
图 11: N 型颗粒硅与致密料少子寿命对比图	9
图 12: 颗粒硅浊度改善趋势图.....	10
图 13: 颗粒硅不同浊度对应同期致密料断线率对比.....	10
图 14: 法国环境与能源控制署颁发的全球第一张 FBR 碳足迹认证证书..	12
图 15: 硅料碳排放占组件碳排近一半	13
图 16: 美国相关法案实施时间线.....	13
图 17: 海外硅料与国内硅料价差较大（美元兑人民币假设为 7:1）	15
图 18: 协鑫股权结构（截至 2023 年年报数据）	15
图 19: 协鑫科技多晶硅发展历程.....	16
图 20: 协鑫颗粒硅产能布局.....	17
图 21: 各产地建设周期（月）	17
图 22: 协鑫颗粒硅成本持续下降.....	17
图 23: 与友商西门子法棒状硅成本对比（元/kg）	17
图 24: 颗粒硅 5 金属元素含量产品占比.....	18
图 25: 颗粒硅浊度水平（NTU）<120 的产品比例	19
图 26: 与棒状硅比较头部少子电阻比（N 型）	19
图 27: 研发高强度投入.....	20
图 28: 专利申请与取得专利授权数量.....	20
图 29: CCZ 拉晶过程	20
图 30: 协鑫 CCZ 发展历程	22
图 31: 弱光性能曲线.....	23

图 32: 两端叠层.....24
图 33: 四端叠层.....24
图 34: 钙钛矿 BIPV 应用25
图 35: 协鑫光电发展历程.....25
图 36: 协鑫钙钛矿单结效率 19.04% @2m² (1m×2m).....26
图 37: 协鑫钙钛矿叠层效率 26.36% @1.71m².....26

表目录

表 1: 颗粒硅投资与营运成本相比较西门子法有所降低.....10
表 2: 碳排放相关政策..... 11
表 3: 国内光伏企业海外产能布局/规划 (不完全统计)14
表 4: RCZ 与 CCZ 对比.....21
表 5: 棒状硅+RCZ 与颗粒硅+CCZ 对比22
表 6: 国内企业量产与中试线进展.....26
表 7: 分业务收入预测.....28

1. FBR 颗粒硅：高品质、低成本、低碳排三维一体

1.1. 平衡成本与品质：穿越本轮周期的关键

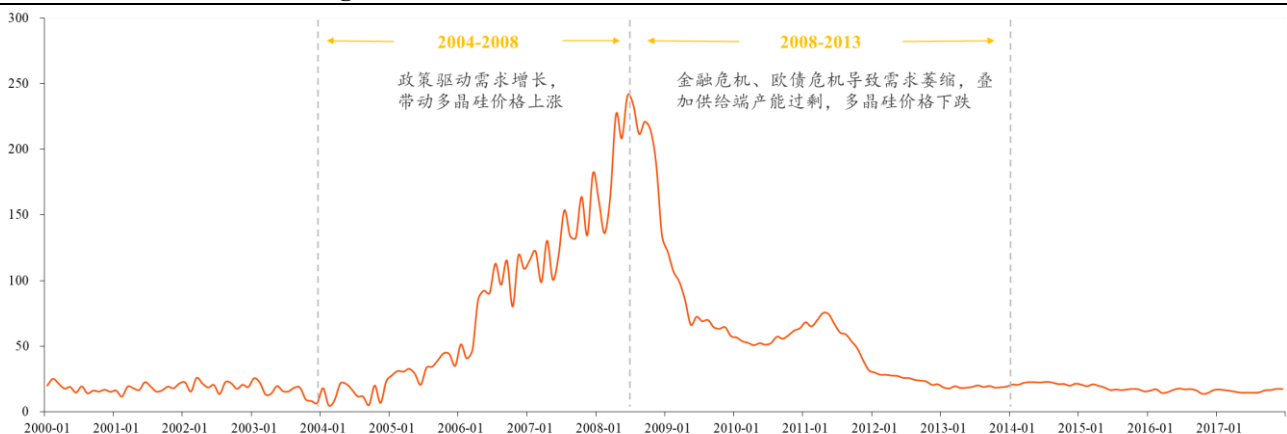
1.1.1 复盘多晶硅历史：需求边际变化是根本原因

2004-2008 年，政策驱动需求增长，带动多晶硅价格上涨。根据 DBM 数据，2004 年之前全球光伏装机稳定，多晶硅价格平稳。2004 年，德国新修订《可再生能源法》，上调光伏补贴力度，随后西班牙、意大利等国也陆续出台补贴政策，驱动欧洲光伏装机大幅增长，进而带动硅料价格快速上涨。2004-2008 年间，随着多晶硅的需求缺口不断扩大，价格最高超过 300 万元/吨。

2008-2013 年，金融危机、欧债危机导致需求萎缩，同时多晶硅新增产能释放，供给过剩引起多晶硅价格下跌，部分企业停产甚至破产倒闭。根据 DBM 数据，2008 年开始的金融风暴导致需求急剧下降，同时我国多晶硅产能不断释放，产能过剩矛盾突出，多晶硅价格快速下跌。根据河海大学可再生能源研究所数据，2009 年下半年后随着市场的升温，多晶硅价格有所回升，但是 2011 年 5 月开始由于欧债危机，市场发展急降，产能短期过剩，多晶硅价格再次持续下降，首次跌破大多数厂家的成本价，同时组件、电池片等也均有 50% 以上的跌幅，随着价格持续下跌，尽管各国光伏电池、组件厂商产品出货量增加，但利润却大幅下降，美国、德国多家光伏企业破产倒闭，国内也有许多企业停产。

2014-2016 年：根据 DBM 数据，由于国内硅料生产成本高，2013-2014 年多数多晶硅企业存在亏损，2015 年在进口低价压制下，国内多晶硅重回跌势。2016 年国内上半年光伏“抢装潮”推动多晶硅需求和价格上涨，随着抢装结束，硅料价格重新下跌。

图1:多晶硅进口价格（美元/kg）



资料来源：Wind，甬兴证券研究所

2017-2019 年，技术迭代推动成本降低叠加需求下滑，部分高成本老产

能退出市场。根据 DBM 数据 2017 年金刚线切割技术全面取代砂浆切割，单晶硅片与多晶硅片成本差距缩小同时硅片企业产能过剩，与硅料企业博弈增加，3-4 月硅料价格下跌，硅料企业停产及单晶硅片组件产能扩张推动价格又重新上涨。2018 年“531 新政”后，需求下滑，硅料价格加速回落。同时在 2018-2019 年国内更低成本多晶硅产能陆续释放，叠加 2019 年新增装机下滑，硅料价格进一步走低，硅料产能扩张步伐放缓，部分旧的高成本产能被迫退出市场。

2020 年至今，疫情后经济恢复，光伏装机量大幅增长，随后欧洲能源危机加速全球光伏装机扩张，多晶硅供不应求，价格大幅上涨。随后随着硅料新增产能释放，供需关系得到缓解，硅料价格从高位回落。

通过复盘多晶硅历史周期，我们认为，多晶硅价格波动的根本原因是需求边际变化带来的供需格局转变，而历史上造成需求边际明显变化主要来自政策的支持或收紧；需求下滑、供给过剩阶段，被迫停产、减产、退出市场的多晶硅产能大多为高成本老旧产能。

图2:2017 年以来国内致密料报价（元/kg）



资料来源: solarzoom, 甬兴证券研究所

1.1.2 区别本轮周期的关键因素：N 型对多晶硅品质的高要求

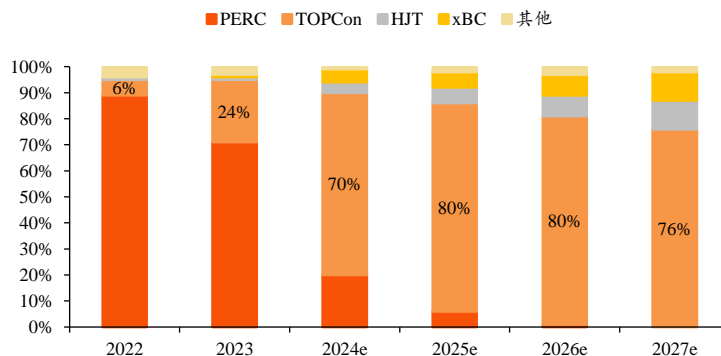
TOPCon 对原材料质量提出更高要求。根据 TCL 中环数据，TOPCon 因为温度高，对电参数敏感，而硅只要过了 950 度，来自于硅片体系的缺陷和原生的氧含量、杂质类型和电阻率的范围产生了非常高的诉求，N 型硅片的高要求进而对硅料质量提出更高的要求。

N 型占比提升超预期，高品质硅料局部供需矛盾存在。根据 PV Infolink 数据，2023 年 P 型和 N 型的占比分别为 71%与 27%，但是预计 2024 年 N 型将占比近 79%，出货量预计高达 492GW。硅片端 N 型占比也随下游需求变化快速提高，2023 年末 N 型硅片渗透率已达 54%，预计 2024 年 3 月比例可高达 70%-75%。但是硅料的产出质量无法完全应对下游 N 型需求。2023 年末全球硅料产能达 210 万吨，然而高品质硅料的供应短时间内难以快速提升，以 2024 年 Q1 为例，新产能增幅约 9.8 万吨/年，其中头部企业能满

请务必阅读报告正文后各项声明

足 N 型拉晶需求的产能占比仅为 20%。因此，虽然整体硅料产能处于过剩状态，但是高品质硅料的供应依然无法充分满足下游 N 型占比快速提升的需求，硅料当前处于局部供需错配状态。

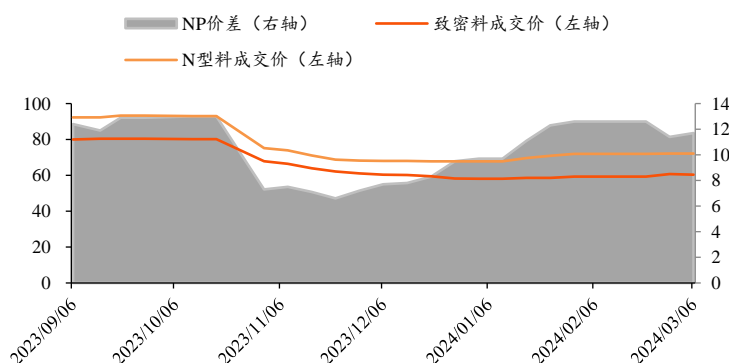
图3:N 型占比提高迅速



资料来源: PV Infolink, 甬兴证券研究所

N 型料与 P 型致密料差价高达约 12 元/kg，高品质硅料依然享受下游需求高增带来的溢价。根据硅业分会数据，2024 年 1 月，NP 硅料价差进一步拉大，N 型硅料供应量不及下游需求增长，出现一定幅度价格上涨，龙头企业对 N 型硅料抬价意愿较强。根据 PV Infolink 数据，在硅料整体供给充足且新增产能陆续投放的背景下，N 型料依然有涨价空间并相较于 P 型料保持较高差价。

图4:N 型占比提高迅速 (元/kg)

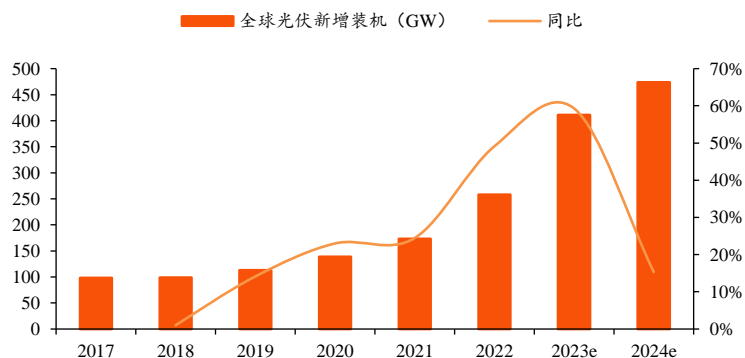


资料来源: PV Infolink (价格截至 2024/03/06), 甬兴证券研究所

多晶硅供给过剩，高成本产能有减产、停产压力，产品兼具高品质与低成本是多晶硅企业核心竞争力。根据集邦新能源数据，预计 2024 年全球新增装机将达到 474GW，同比+16%，预计 2024 年组件需求在 570-620GW。而 24 年多晶硅的产出约 203 万吨，假设硅耗 2.3g/w，大约可支撑 882GW 组件产出，多晶硅供给过剩。未来的 2-3 年内随着老旧产能的出清，同时部分多晶硅企业因提升高品质硅料占比，导致开工率降低，过剩的程度将会逐

步缓和。我们认为在产能过剩，且下游对硅料品质有要求的背景下，低成本已经不是穿越本轮多晶硅周期的唯一要素，能够生产兼具高品质与低成本硅料的企业才能接受周期波动的考验。

图5:全球光伏新增装机

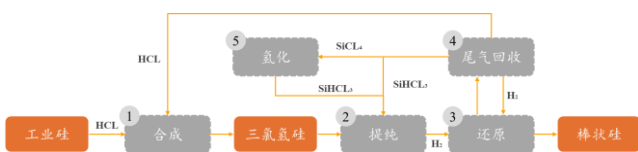


资料来源: 集邦咨询, 甬兴证券研究所

1.1.3 颗粒硅: 实现高品质与成本效益的理想平衡

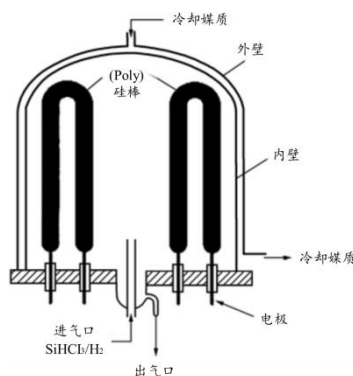
改良西门子法生产棒状硅依然是市场主流技术。改良西门子法核心工艺流程包含“合成-提纯-还原”三大工艺步骤: 先将金属硅与氯化氢反应生成三氯氢硅; 再使用多级分馏塔对三氯氢硅进行提纯, 去除杂质; 最后在还原炉中还原三氯氢硅, 沉积获得多晶硅棒。根据 CPIA 数据, 2023 年棒状硅占比高达 82.7%。

图6:改良西门子法工艺流程



资料来源: SMM, 甬兴证券研究所

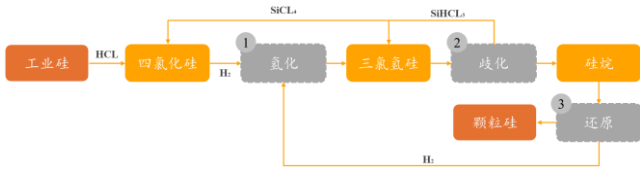
图7:西门子法还原炉示意图



资料来源: 《太阳能级多晶硅生产技术发展现状及展望》龙桂花等 (2008), 甬兴证券研究所

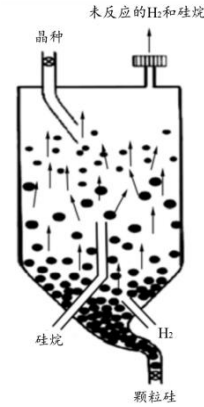
2023 年颗粒硅市占率超过 15%。硅烷流化床法核心工艺流程包含“氢化-歧化-还原”三大工艺步骤: 先将金属硅与氯化氢反应生成三氯氢硅; 再在催化作用下将三氯氢硅转化为硅烷气和其他化合物; 最后将硅烷气在流化床反应炉内连续热分解, 沉积反应后得到颗粒硅产品。随着颗粒硅产能和产量的提升, 2023 年市占率达到 17.3%。

图8:硅烷流化床法工艺流程



资料来源: SMM, 甬兴证券研究所

图9:流化床示意图



资料来源:《太阳能级多晶硅生产技术的发展现状及展望》龙桂花等(2008), 甬兴证券研究所

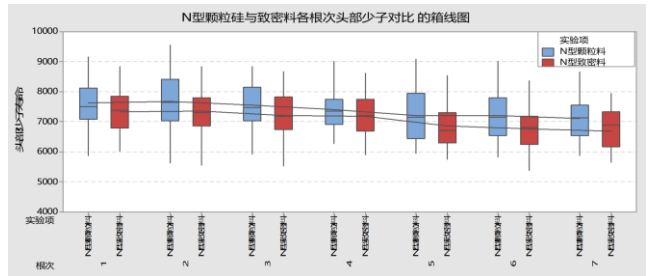
颗粒硅品质不断优化, 已经完全满足 N 型用料需求。从 2023 年 4 月开始, 颗粒硅五种金属杂质含量大都小于 1ppbw, 颗粒硅产品(五种金属小于 0.5ppbw) 少子寿命略高于致密块料。金属含量在 0.5ppbw 以内的颗粒硅, 60%比例投 N 型, 生产指标正常, 客户反馈正常。截至 2024 年 Q1, 协鑫颗粒硅 N 型料占比已经达到 83%。

图10:颗粒硅金属含量下降趋势



资料来源:《颗粒硅在 N 型单晶中的应用分析》周声浪(2023), 甬兴证券研究所

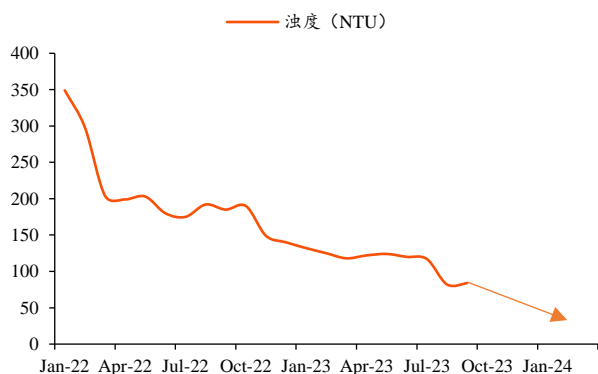
图11:N 型颗粒硅与致密料少子寿命对比图



资料来源:《颗粒硅在 N 型单晶中的应用分析》周声浪(2023), 甬兴证券研究所

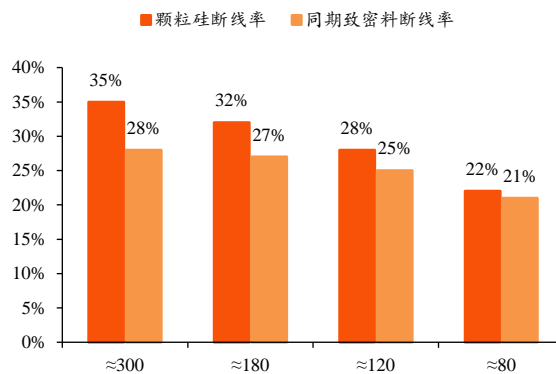
随着颗粒硅浊度的快速下降, 断线率问题也将得到改善甚至优于致密料。颗粒硅浊度的下降会减少加料时硅料扬尘对热场的污染, 延长热场使用寿命, 减少硅液中杂质的引入, 从而降低炉台断线率。根据协鑫科技数据, 从 2022 年初开始至今, 颗粒硅浊度不断改善, 从 300 以上 NTU 快速降低, 目前协鑫颗粒硅浊度已经全面控制在 120NTU 以内, 100NTU 以下的颗粒硅产品比例高达 70%, 并且已实现颗粒硅浊度低于 30NTU 小批量产出。随着浊度的下降, 炉台断线率与致密料炉台断线率的差值在减少, 当浊度下降至 80 左右时, 断线率与致密料接近, 预计浊度低于 50 时, 断线率将优于致密料。

图12:颗粒硅浊度改善趋势图



资料来源:《颗粒硅在N型单晶中的应用分析》周声浪(2023), 甬兴证券研究所

图13:颗粒硅不同浊度对应同期致密料断线率对比



资料来源:《颗粒硅在N型单晶中的应用分析》周声浪(2023), 甬兴证券研究所

颗粒硅量产生产成本已比西门子法棒状硅低近 10%。由于颗粒硅工艺流程较西门子法简单，核心反应温度较低（流化床法 700°C，西门子法 1100°C），反应效率更高，导致流化床法投资和运营成本都相较西门子法更低。根据协鑫科技数据，颗粒硅生产成本已经降低至 35.9 元/kg，而根据 Solarzoom 同期数据，棒状硅生产成本约 39.12 元/kg，颗粒硅成本已经低于棒状硅近 10%。

表1:颗粒硅投资与运营成本相比较西门子法有所降低

	GCL 硅烷流化床法	较西门子法下降幅度
新建用地	60 亩/万吨	60%
工厂投资	6.9 亿/万吨	34%
人力	65 人/万吨	60%
综合电耗	13.8 kWh/kg	77%
水耗	66 吨/吨	49%
氢耗	150Nm ³	57%

资料来源:《协鑫颗粒硅技术创新-N型应用之路》协鑫科技(2023), 甬兴证券研究所

综上所述，我们认为兼具低成本及高品质的多晶硅龙头企业将能穿越本轮周期波动，而颗粒硅作为新技术、新材料，将得益于保持高品质的同时拥有降低成本的能力，实现长期成长。

1.2. 低碳组件是行业发展趋势

碳排放规范趋严，长期来看碳税等碳成本将导致光伏组件成本显著增加。根据 PV Infolink 数据，欧盟境内实施的碳排放规范越来越严格，碳边境调整机制预计 2027 年正式征收。CBAM 和 CCA（清洁竞争法案）会直接垫高产品的生产成本，预计 2030 年之前 CCA 影响会较深但是每瓦增加的成本不会超过 5 美分。但是由于 2030 年是许多目标设定的阶段年，碳价提高的时间节点几乎都设定在这一年，同时 2030 年欧盟免费排放配额会大

请务必阅读报告正文后各项声明

幅下降 26%，使得组件如果出口到欧盟可能会面临成本的增加，预期到 2034 年碳税可能会使每瓦的成本增加 15 美分，碳成本将成为组件成本的主要组成部分。

法国、韩国等国家对组件碳排放提出具体的要求。根据 PV Infolink 数据，法国在公共招标案上会对组件的碳排放进行要求，碳足迹的最低标准为 750 kg CO₂/kW 且须有证明，否则无法参与公共采购招标。另外，法国能源管理委员会 (CRE) 也针对 100 - 500kW 的屋顶型项目提出相关税令，要求使用低碳足迹的组件，CRE4 标准的认证为小于 550 kg CO₂/kW。而在韩国，政府也推出碳认证制度，将组件的碳排放分为三等级，低碳组件可获得优先补贴，且在招标的评分也会较高。我们认为对组件碳排放提出具体要求有望成为未来的趋势，生产过程中应注重减少碳排放，以满足日益严格的市场要求。

表2:碳排放相关政策

地区	时间	政策名称	政策内容
美国	2022 年	《通胀削减法案》	将 3690 亿美元用于应对气候变化和提升能源安全。这些资金将通过税收优惠、赠款和贷款担保等多种方式提供。清洁电力和输电占据最大份额，其次是清洁交通，包括电动汽车 (EV) 激励措施。
	2020 年 3 月	欧盟循环经济行动计划 (CEAP)	制定可持续产品政策框架，提升产品耐用性、重复使用性、可升级性和可修复性，限制一次性产品使用；关注重点产品价值链循环，针对电子产品、电池、汽车等七类产品，出台新的监管框架和强制性要求；设定具体废弃物总量减少目标，发布可持续化学战略，支持二次资源市场发展。
欧洲	2023 年 10 月	《法国绿色工业法案》	法案提出改革环境许可审查和公众咨询程序，以加快行政审批，并为“涉及国家重大利益的工业项目”设立特殊程序以加快其实施。该法案内容还涉及工业用地、绿色产业项目融资、绿色产业税收抵免等。法政府计划 2023 年至 2027 年投资 10 亿欧元用于开发工业用地，并通过绿色产业税收抵免措施，到 2030 年为法国带来 230 亿欧元投资。法经财部长勒梅尔表示，该法案将使法国成为未来欧洲绿色工业领导者和绿色技术孵化地。法政府预计该法案实施后，本土建厂期限将“减半”并有力推动风电、光伏、热泵、电池和氢能等五大脱碳技术发展。
	2027	碳边境调节机制(CBAM)	在实施国内严格气候政策的基础上，要求进口或出口的高碳产品缴纳或退还相应的税费或碳配额。
	2012 年	CCER 中国核证减排量	CCER 体系于 2012 年启动建设，2015 年进入交易阶段。2017 年暂停签发，2024 年 1 月全国温室气体自愿减排交易 (CCER) 重启。自愿减排交易市场与碳排放权交易市场互为补充，共同构成我国完整的碳交易体系。
中国	2023 年 8 月	中国绿色电力证书	绿证核发范围从陆上风电和集中式光伏发电项目扩展到所有已建档立卡的可再生能源发电项目，实现绿证核发全覆盖；对风电、太阳能发电、生物质发电、地热能发电等可再生能源发电项目核发可交易绿证，可交易绿证既可以用作可再生能源电力消费凭证，也可通过参与绿证交易和绿电交易等方式在发电企业和用户间有偿转让；绿证核发原则上以电网企业、电力交易机构提供的数据为基础，同时通过发电企业或项目业主提供的数据进行校核。对自发自用等电网企业、电力交易机构无法提供电量信息的情况，由相应发电企业或项目业主提供绿证核发所需信息。
	2023 年	《绿色低碳先进技术示范工程实施方案》	重点方向包括源头减碳类、过程降碳类、末端固碳类；加强金融税收政策支持，积极发挥碳减排支持工具作用，鼓励各类金融机构按照市场化法治化原则加大融资支持力度。落实好有利于绿色低碳产业发展的税收政策；加强资源环境要素保障，合理测算项目全生命周期能源消耗和碳排放，将碳减排效果作为节能审查的重点考量因素。鼓励地方探索多样化土地供应方式保障用地需求。
	2024 年 3 月	十四届全国人大二次会议《政府工作报告》	提出今年发展主要预期目标为单位国内生产总值能耗降低 2.5% 左右

资料来源：能源基金会，商务部，陈美安 & 谭俊杰 (2021). 碳边境调节机制：进展与前瞻。北京：绿色创新发展中心，中国金融新闻网，国家能源局，国家发改委，北极星太阳能光伏网，协鑫科技，甬兴证券研究所

硅烷流化床法因电力消耗较低、能耗较低，因此相比较西门子法碳排放更少。根据协鑫科技数据，改良西门子法由于还原炉温高于 1080°C 产生

大量电力消耗，西门子法生产多晶硅电耗在 60kwh/kg。而硅烷流化床法实际的炉内温度只需加温至 600~700℃，生产单公斤多晶硅只需要 14kwh/kg 左右，相比较西门子法降低近 80%的电耗。电力消耗的大量降低带来综合能耗的降低，1GW 组件使用颗粒硅降碳 9.52 万吨，全生命周期内 10 万吨颗粒硅可实现碳减排 11.17 亿吨。协鑫颗粒硅已获得法国国家能源署颁发的碳足迹认证证书，每生产 1 千克颗粒硅的碳足迹数值仅为 37.000 千克二氧化碳当量，刷新了德国瓦克每功能单位 57.56 千克二氧化碳当量的全球纪录。

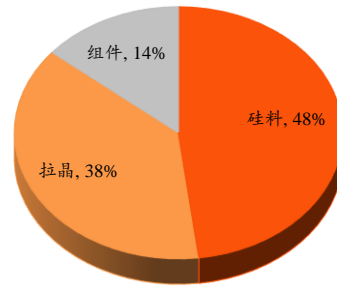
图14:法国环境与能源控制署颁发的全球第一张 FBR 碳足迹认证证书



资料来源：协鑫科技公众号，甬兴证券研究所

根据 PV Infolink 数据，硅料环节碳排放占组件整体碳排放近一半，如果想要降低组件碳排放，一方面需要改善多晶硅材料的使用，另一方面可以通过提高效率降低单 w 碳排放。我们认为颗粒硅作为碳排放远低于棒状硅的原材料，未来将在碳排放定价相关政策落地后拥有较高的竞争优势和溢价能力。

图15:硅料碳排放占组件碳排放近一半



资料来源: PV Infolink (2022 年数据), 甬兴证券研究所

1.3. 多晶硅出海势在必行

根据美国海关与边境保护局数据,2022 年 6 月,UFLPA 法案正式实施,UFLPA 禁止涉疆产品入境美国,限制新疆地区光伏产品出口美国,主要影响新疆地区的硅料使用。据 SMM 统计,2022 年中国多晶硅 44%的产能布局新疆,根据 PV Infolink 数据,受涉疆法案影响,海外客户倾向使用非疆产品。除涉疆法案外,反规避调查进一步加重中国光伏企业布局美国市场的阻碍。2023 年 8 月,反规避调查终判出台,被认定为规避的对象包括 1) 在柬埔寨、马来西亚、泰国或越南生产,并使用中国硅片的光伏电池;2) 使用中国硅片,在上述四国制作电池,且其他 6 种辅材中有 3 种(含)以上为中国生产的组件。反规避关税缓冲期将于 2024 年 6 月 6 日终止,为保证豁免期后顺利进入美国市场,光伏企业须使用非中国硅片或组件满足辅材条件,即可以在东南亚等海外地区建立硅片产能或辅材产能。

图16:美国相关法案实施时间线



资料来源: PV Infolink, 甬兴证券研究所

海外扩产增速高,但上游扩产仍较少。根据 PV Infolink 数据,除了美国的降低通胀法案、东南亚反规避调查,印度的 BCD 关税、ALMM 清单及

生产补贴计划等也开始对光伏产品产地做出限制。在各项补贴政策的推动下，2023 年出现大量海外扩产计划，尤其以美国和印度居多，预计 2024 年底海外组件产能相比较 2023 年初将至少增长约 78%至 270GW。由于资金投入金额较大、难度较高等，上游硅料、硅片环节海外扩产目前较少。

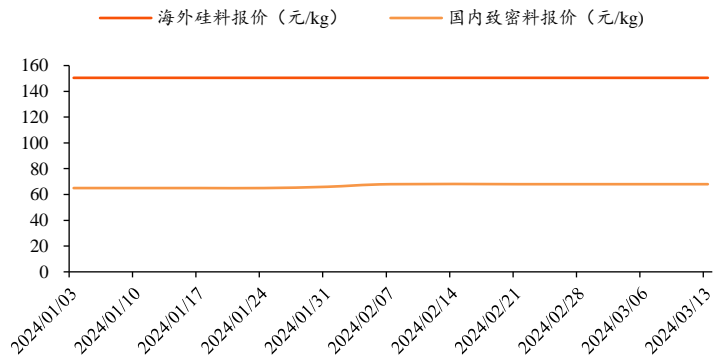
表3:国内光伏企业海外产能布局/规划（不完全统计）

企业	产能地点	产能情况
隆基绿能	马来西亚	6.6GW 单晶硅棒、2.8GW 单晶组件
	越南	年产 3.35GW 单晶电池项目
TCL 中环	沙特阿拉伯	与 Vision Industries 在沙特共同建设晶体晶片项目，一期设计产能为 20GW
晶澳科技	越南	1.5GW 硅片、2.5GW 拉晶及切片、3.5GW 电池组件
阿特斯	泰国	8GW 电池片
	美国	5GW 组件+5GW 电池片
晶科能源	马来西亚	7GW 电池片、组件
	越南	7GW 硅片、8GW 组件、8GW 电池片
东方日升	马来西亚	3GW 电池片、3GW 组件
福莱特	印度尼西亚	2 座日熔化量 1600 吨光伏组件盖板玻璃项目
福斯特	泰国	年产 2.5 亿平方米高效电池封装胶膜项目
	越南	年产 3000 万平方米背板项目
金晶科技	马来西亚	600t/d 薄膜光伏组件玻璃
海优新材	越南	年产 5,000-10,000 万平方米光伏电池封装胶膜项目

资料来源：隆基绿能公告、阿特斯公告、北极星太阳能光伏网、国际能源网等，甬兴证券研究所

海外硅料产能较少，当前售价与国内硅料仍有较大价差，多晶硅海外扩产势在必行。根据 solarzoom 数据，海外硅料产能主要集中在 OCI、瓦克、Hemlock 三家企业，合计产能约 14.1 万吨。按照硅耗 2.3g/W 计算，海外硅料最多满足约 60GW 组件需求。而根据阳光工匠光伏网和人民网数据，仅美国 2023 年装机就达到 35.3GW，考虑 1:1.2 容配比，对应组件需求约 42GW。海外硅料需求旺盛，因此价格居高不下，至今海外硅料与国内硅料仍有超过 80 元/kg 价差。我们认为随着海外一些国家和地区针对中国光伏产品出口政策日趋收紧，硅料企业出海布局或将成为未来趋势。

图17:海外硅料与国内硅料价差较大 (美元兑人民币假设为 7:1)

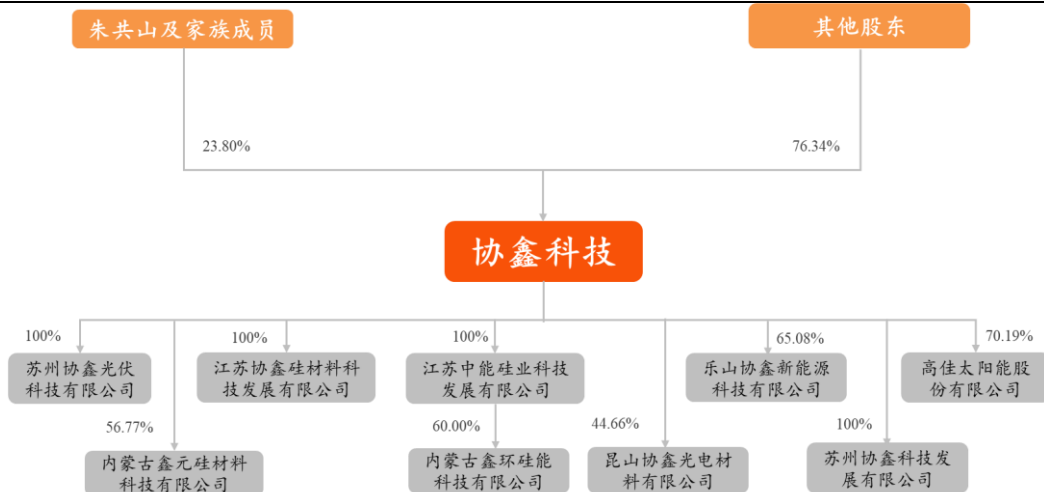


资料来源: PV Infolink, 甬兴证券研究所

1.4. 公司全面聚焦颗粒硅, 市占率已超 15%

朱共山先生及家族是公司实际控制人,通过协鑫集团持有协鑫科技 23.8% 股权,为公司实际控制人。公司 100%持股江苏中能(颗粒硅徐州基地),其余乐山协鑫、内蒙古鑫元、内蒙古鑫环三大基地公司均持有股权 60%左右。

图18:协鑫股权结构 (截至 2023 年年报数据)



资料来源: 协鑫科技公告、企业预警通, 甬兴证券研究所

公司最初采用西门子法棒状硅生产多晶硅。2009 年公司收购江苏中能成为中国最大的多晶硅供应商, 同年在国内率先实现冷氢化技术在多晶硅行业的应用。2011 年公司实现 6.5 万吨多晶硅产能。公司早在 2010 年开始布局颗粒硅产能, 2017 年收购 SunEdison 团队和知识产权。除了布局光伏级多晶硅, 公司在电子级多晶硅同样有布局, 2016 年即建设国内首条最大的 5000 吨电子级多晶硅, 随后呼和浩特地区也布局了 1 万吨电子级多晶硅。

聚焦颗粒硅, 市占率提升至 15% 以上。国内 42 万吨产能, 向中东地区产能扩张。公司已经于 2023 年出售新疆戈恩斯股权, 剥离棒状硅资产, 全面聚焦颗粒硅。公司国内颗粒硅布局四大基地、42 万吨产能, 预计 2024 年

底公司将实现 50 万吨颗粒硅产能。同时公司正寻求在中东国家建设工厂，年产量预计将达到 12 万吨，中东地区项目有望于 2024 年开工建设。颗粒硅在 2023 年已经实现市占率超过 15%，我们认为随着国内产能进一步提高以及中东产能的布局，颗粒硅市占率将得到进一步提升。

图19:协鑫科技多晶硅发展历程


资料来源：协鑫科技公告、协鑫科技官网，甬兴证券研究所

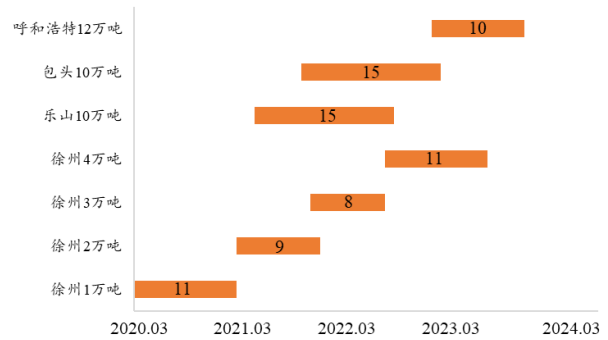
投产周期逐步缩短。乐山：2021年4月乐山协鑫开始开工建设，2022年7月乐山10万吨正式投产，2022年10月乐山协鑫第二个2万吨模块达产。**包头：**2022年11月包头项目首条装置生产线调试成功，2022年12月包头一期10万吨首个2万吨模块投产。**呼和浩特：**2022年4月，协鑫科技与TCL科技以及天津中环半导体签订合作框架协议，将于呼和浩特落实10万吨颗粒硅项目。2022年11月呼和浩特开始开工建设，2023年9月呼和浩特项目正式投产，达产后有效产能将达12万吨。投产周期逐步从约15个月缩短至10个月。

呼和浩特基地建设周期仅10个月，实现模块升级以及拉晶闭环。根据协鑫科技数据，呼和浩特项目从2022年11月21日正式开工建设，建设周期仅10个月，创造10万吨级多晶硅建设速度“全球之最”。从呼和浩特基地开始，颗粒硅从2万吨模块向6万吨模块升级迭代，模块升级将大幅压缩建设周期、降低投资强度、进一步推动光伏行业降本增效。同时内蒙古鑫环（呼和浩特项目）为协鑫与TCL科技合资成立，颗粒硅产线毗邻TCL中环拉晶产线，从生产到出货再到应用在一个园区内实现闭环。

图20:协鑫颗粒硅产能布局

产地		规划产能
江苏中能	徐州	10万吨
乐山协鑫	乐山	10万吨
内蒙古鑫元	包头	10万吨
内蒙古鑫环	呼和浩特	12万吨
合计		42万吨

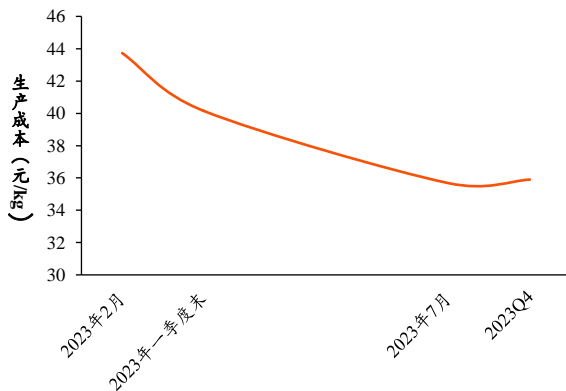
资料来源：协鑫科技公告，甬兴证券研究所

图21:各产地建设周期（月）


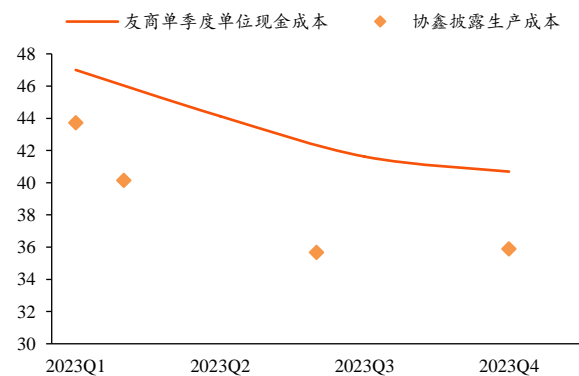
资料来源：协鑫科技公告，甬兴证券研究所

向上游布局工业硅，保障原材料供应稳定性及品质。工业硅作为高能耗产业，我们认为从长远发展角度看，在我国对能耗排放有要求的背景下，工业硅产能的获批将变得越来越难，所以向上游布局工业硅将是保障供应链稳定的重要手段。同时工业硅作为多晶硅生产的主要原料，自建工业硅产能可以通过控制工业硅杂质和纯度进而更准确的控制多晶硅产品质量。

2023年，协鑫颗粒硅成本持续降低，平均制造成本相比较2022年底降低27%。2023年2月徐州基地颗粒硅生产成本为43.73元/kg（含税电价0.65元/kWh），到一季度末徐州基地的颗粒硅成本即下降至40.15元/kg，短短一个月左右的时间，生产成本下降超过8%。2023年7月，乐山协鑫颗粒硅项目生产成本约35.68元/kg。第四季度包头鑫元颗粒硅平均生产成本降低至35.9元/kg。2023年公司颗粒硅平均制造成本相比2022年年底降低27%，并仍然保持下降趋势。我们将公司披露的个别基地的生产成本和友商单季度现金成本比较，发现公司部分地区的生产成本低于友商平均现金成本，这也体现了颗粒硅技术在低成本上的绝对优势。我们认为随着42万吨产能在2024年满产，公司颗粒硅平均生产成本将进一步降低。

图22:协鑫颗粒硅成本持续下降


资料来源：协鑫科技公告，甬兴证券研究所

图23:与友商西门子法棒状硅成本对比（元/kg）


资料来源：协鑫科技公告，大全能源公告，甬兴证券研究所

公司颗粒硅品质持续快速提升，对标N型致密复投料品质产品占比提

请务必阅读报告正文后各项声明

升至约 75%，部分基地接近 90%。2022 年公司用 5 金属杂质元素对产品品质分类，小于 3ppbw 产品从年初占比 18.25%提升至约 3.4 倍至 2022Q4 的 80.29%。2023 年公司进一步提高颗粒硅品质衡量水平至<0.5ppbw，从 2023 年 1 月<0.5ppbw 产品占比仅 10.98%提升约 5.8 倍至 2023Q4 占比 75%，部分基地已接近 90%，该产品可以对标 N 型致密复投料品质。目前公司 5 元素总金属杂质含量≤1ppbw 的产品占比稳定在 90%左右，为了进一步给客户提供更优的产品品质和体验，公司内部对总金属杂质的要求提升至 18 元素。公司颗粒硅 18 元素总金属杂质≤1ppbw 的产品比例由 2023Q2 占比 23%提升至 Q4 的 43%。我们认为随着公司技术的持续提升，颗粒硅的品质也将继续得到改善，18 元素总金属杂质≤1ppbw 的比例也将继续提升。

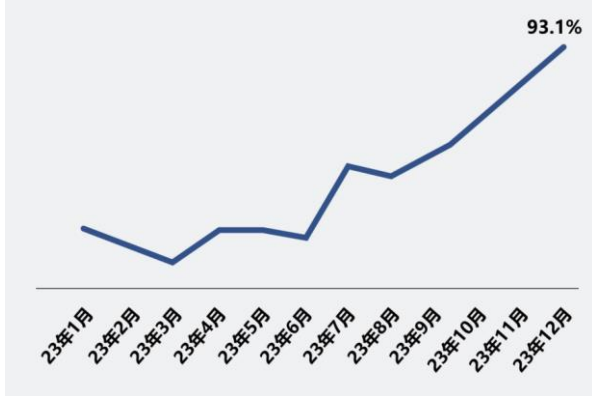
图24:颗粒硅 5 金属元素含量产品占比

	≤0.5ppbw	0.5-1ppbw	1-3ppbw	3-5ppbw	5-8ppbw	>8ppbw
2022Q1		18.25%		9.96%	17.69%	54.10%
2022Q2		21.07%		20.74%	22.60%	35.59%
2022Q3		55.02%		12.45%	8.04%	24.49%
2022Q4		80.29%		11.42%	6.07%	2.21%
2023.01	10.98%	21.53%	49.90%	8.35%		9.24%
2023.02	11.84%	32.42%	42.13%	5.94%		7.67%
2023.03	29.96%	36.09%	25.01%	3.73%		5.21%
2023.04	53.76%	35.69%	8.09%	1.08%		1.38%
2023.05	56.58%	25.95%	12.27%	1.41%		3.79%
2023.06	67.05%	14.41%	11.00%	3.10%		4.44%
2023Q3	74%	15%	11%			/
2023Q4	75%	16%	9%			/

资料来源：协鑫科技公告，甬兴证券研究所

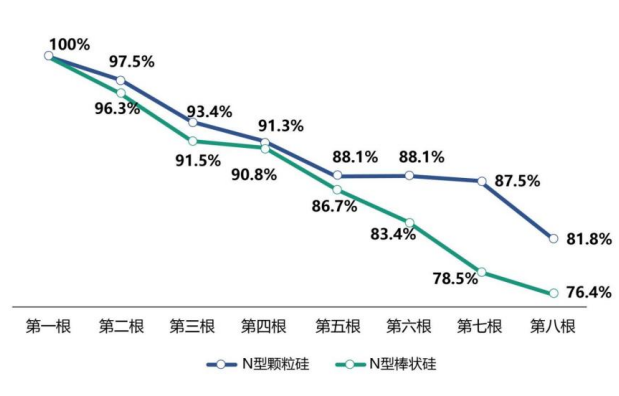
浊度持续优化，N 型客户单产问题得到有效改善。2023 年浊度<120NTU 产品比例接近 95%（不考虑正在爬坡的新基地），<100NTU 产品比例高达 70%，下游 N 型客户单产问题得到改善，并且目前已有低于 30NTU 小批量产出。用颗粒硅拉制晶硅头部少子寿命的表现明显优于同期棒状硅。致密料由于浊度主要影响断线率，我们认为随着浊度继续优化，客户的单产会进一步提高。

图25:颗粒硅浊度水平 (NTU) <120 的产品比例



资料来源: 协鑫科技 2023 年报媒体推介, 甬兴证券研究所

图26:与棒状硅比较头部少子电阻比 (N 型)



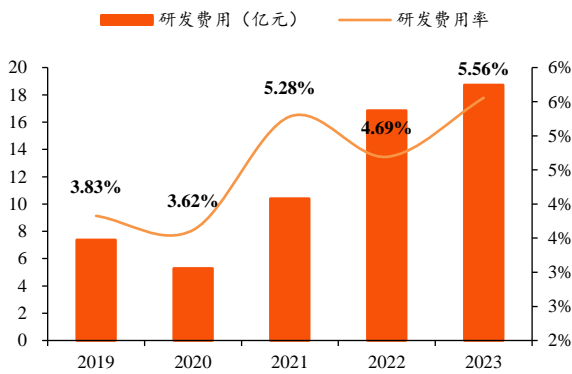
资料来源: 协鑫科技 2023 年报媒体推介, 甬兴证券研究所

公司颗粒硅年产能可节省 186 亿度电, 减少二氧化碳排放约 1059 万吨。协鑫科技现有颗粒硅产能 42 万吨, 年产能较西门子法可以节省 186 亿度电, 每年减少二氧化碳排放约 1059 万吨。同时公司主动抬高低碳要求, 在法国环境与能源控制署认证的 37kgCO₂ 当量颗粒硅碳足迹数据保守估算, 公司在自身大幅减碳的基础上, 推动光伏全产业链继续降低碳排放 28%。

大客户认可度逐渐提升, 核心客户深度捆绑, 提高颗粒硅产品用户黏性。2023 年上半年, 公司颗粒硅向前三大客户出货量分别达 2.3 万吨、1.45 万吨, 0.79 万吨, 约占上半年颗粒硅出货的 63.1%。2023 年, 公司向前五十大颗粒硅客户分别出货 6.44 万吨、3.66 万吨、1.69 万吨、1.55 万吨、1.37 万吨, 前五大客户占颗粒硅出货量的 76%, 即使 2023 年下半年颗粒硅产能加速释放, 全年前三大客户依然占比超过 60%。另外, 隆基绿能及关联公司也将在 2024-2026 年间分别采购公司颗粒硅 12.5 万吨、15 万吨、15 万吨。我们认为, 大客户的高占比意味着对颗粒硅产品的高度认可, 公司与核心客户深度绑定一方面可以保障产品出货另一方面也提高颗粒硅的用户黏性。

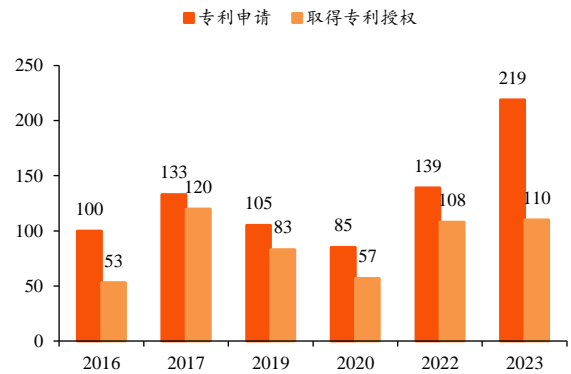
公司在研发持续高强度投入。公司 2023 年研发成本 18.73 亿元, 同比增长 11.10%, 研发费用占比超过 5.5%, 远超同行业其他友商。公司 2023 年新增专利申请 219 件, 数量同比 2022 年增长约 58%, 其中包括发明专利 88 件、实用新型专利 131 件; 获得 110 件专利授权, 其中包括发明专利授权 18 件和实用新型专利授权 92 件。公司在研发上的持续、高度投入与重视将为未来技术持续快速迭代夯实基础, 也是颗粒硅、CCZ 以及钙钛矿等先进技术领先行业的重要保障。

图27:研发高强度投入



资料来源: 协鑫科技公告, 甬兴证券研究所

图28:专利申请与取得专利授权数量



资料来源: 协鑫科技公告, 甬兴证券研究所

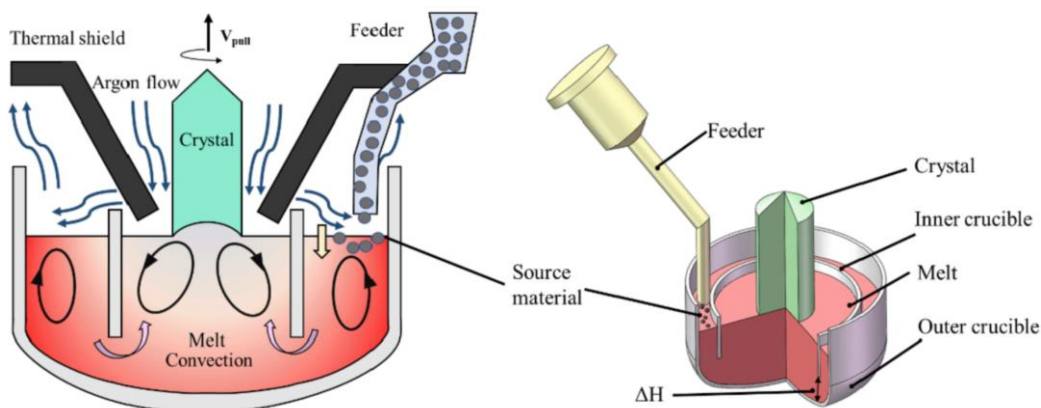
公司未来有望实现 A+H 上市。公司董事会已批准发行 A 股的初步建议。我们认为公司回 A 上市可以增强融资能力, 提高资本市场的多元化、增强资本运作灵活性, 有助公司实现产能快速扩张及长期稳定发展。

2. CCZ+颗粒硅: 新一代技术引领自动化与智能化

2.1. CCZ: 拉晶技术的未来

连续直拉单晶 (CCZ) 是指一遍单晶控制, 一遍加料熔化的拉晶方法, 加料熔化时, 把高纯多晶硅放入加料坩埚, 在单晶炉内熔化, 然后用一根固定在籽晶轴上的籽晶插入熔体表面, 待籽晶和熔体熔合后慢慢向上拉籽晶, 晶体便在籽晶下段生长, 为保证连续拉晶, 在拉晶过程中会持续供料, 以避免生长液面的波动¹。现有的直拉单晶炉, 由于不能够对坩埚内进行持续稳定的原料添加, 因此熔融液面在拉晶过程中会逐渐下降, 导致熔融液内溶质分布不均, 影响结晶质量和纯度²。

图29:CCZ 拉晶过程



资料来源: 《Numerical study on the effects of inner crucible window heights on the growth of silicon in a continuous Czochralski process》Wenjia Su 等 (2023), 甬兴证券研究所

¹ 《连续直拉单晶加料坩埚及单晶炉》北方华创 CN 117210931 A

² 《一种连续直拉单晶装置及其使用方法》北京大学 CN 116200805 B

CCZ 节省生产时间、降低生产成本、获得更高品质的单晶硅同时显著提高生产效率。CCZ 可以在单晶生长中无需停炉即可添加硅原料，节省大量的生产时间。与传统直拉法相比，使用 CCZ 可以显著降低 N 型单晶硅的生产成本，同时由于连续加料，坩埚内部的硅熔体可以一直维持较浅的熔体深度，有助于抑制氧的传输，获得更高品质的单晶硅。CCZ 的应用不仅到了降低单晶氧含量的作用，还可以显著提高生产效率³。

连续直拉单晶技术在降低 N 型硅的成本方面拥有较大潜力，主要因为 CCZ 可以通过在整个铸锭中拉出电阻率和间氧浓度分布紧密的铸锭，从而最大限度利用材料，另外 CCZ 可以通过在同一坩埚中提高产量而降低消耗品成本⁴。CCZ 有效拉晶时长比 RCZ 多 20%，且 N 型电阻率轴线梯度分布减小到±0.1%，整棒氧含量 13~14ppm⁵。

表4:RCZ 与 CCZ 对比

	RCZ	CCZ
拉晶产能	在坩埚寿命内 N 型单晶最多拉制 7 根	节约 17% 的加料时间，增加产出 13%，可拉 8 根以上。拉晶成本降低 10%
电阻率分布	电阻率分布较宽，N 型批量头部和尾部电阻率比值约 3 倍以上	电阻率分布均匀，轴向电阻率波动小于 15%
拉晶功率	M6 拉晶功率 40kW 左右	拉晶功率高 10%
氧含量	氧含量一般小于 14ppm	氧含量较高，氧含量 14-15ppm

资料来源：《HJT 电池技术发展状况》王文静（2023），甬兴证券研究所

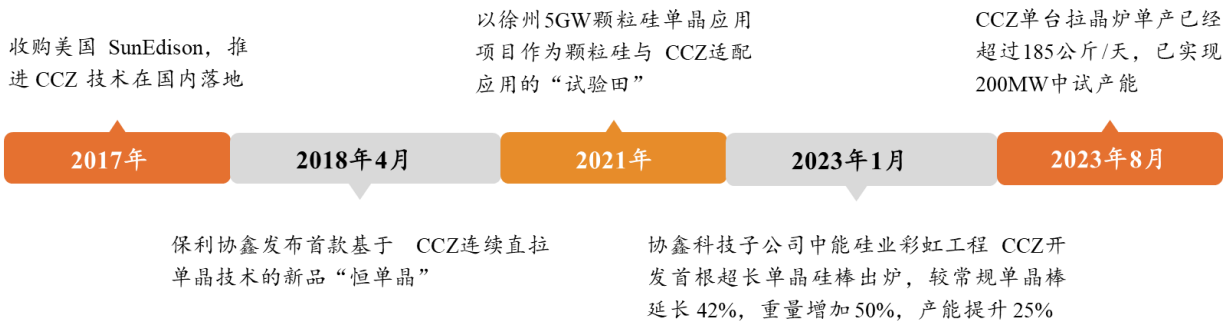
2.2. 颗粒硅+CCZ：为降本增效赋能

公司 2017 年收购 SunEdison CCZ 知识产权，推动了 CCZ 技术在国内落地，2023 年 1 月子公司中能硅业彩虹工程首根超长单晶硅棒出炉，棒体长 5.1 米，重量达 600 千克，较常规单晶硅棒延长 42%，重量增加 50%，产能提升 25%。2023 年 8 月 CCZ 继续取得突破，单台拉晶炉单产已经超过 185 公斤/天，并实现 200MW 中试产能。目前公司 CCZ 已经实现 N 型晶棒头部少子寿命均值和氧含量接近同期 RCZ 拉晶工艺水平，有利于进一步降低拉晶端非硅成本，优化现有拉晶格局，推动光伏行业自动化与智能化进程。

³ 《直拉法单晶硅制备过程控氧技术研究进展》张梦宇等（2022）

⁴ 《一种适用于连续直拉单晶技术的洗料方法》安徽华晟 CN 117265659 A

⁵ 《HJT 电池技术发展状况》王文静（2023）

图30:协鑫 CCZ 发展历程


资料来源: 协鑫科技官网、公司公告、财联社, 甬兴证券研究所

颗粒硅结合 CCZ, 为提效降本进一步赋能。使用颗粒硅用 CCZ 方式拉晶得到的单晶硅电阻率恒定, n 型单晶头尾偏差小于 0.2 欧姆厘米; 由于电池效率集中, 可以实现边皮纵切, 方棒得率提升到 80%; 另外因为省去化料、调温的时间, 理论单产提升 20% 以上。综合以上, 颗粒硅结合 CCZ 有望降低硅片成本 30%。我们认为随着 CCZ 技术继续成熟, 公司颗粒硅产品结合 CCZ 拉晶, 提效降本优势将进一步凸显。

表5:棒状硅+RCZ 与颗粒硅+CCZ 对比

技术路线	技术特征	成本
棒状硅+RCZ	<ul style="list-style-type: none"> TCS 还原温度 1000°C 反应转化率: 10% 棒状硅破碎清洗 复投拉晶 	<ul style="list-style-type: none"> 硅料: 60 元/kg 拉晶: 45 元/kg 合计: 105 元/kg
颗粒硅+CCZ	<ul style="list-style-type: none"> 硅烷分解温度 600°C 反应转化率: 90% 颗粒硅直接投料 连续拉晶 	<ul style="list-style-type: none"> 硅料: 40 元/kg 拉晶: 35~40 元/kg 合计: 75~80 元/kg
CCZ 优势	<ul style="list-style-type: none"> 节省复投化料、保温时间, 单产提高 20% 电阻率均一, 电池效率分布集中 	<ul style="list-style-type: none"> 降本: 25%~30%

资料来源:《协鑫颗粒硅技术创新-N 型应用之路》协鑫科技 (2023), 甬兴证券研究所

3. 钙钛矿: 效率与量产进展全面领先

3.1. 钙钛矿组件光电特性优异, 场景应用多样

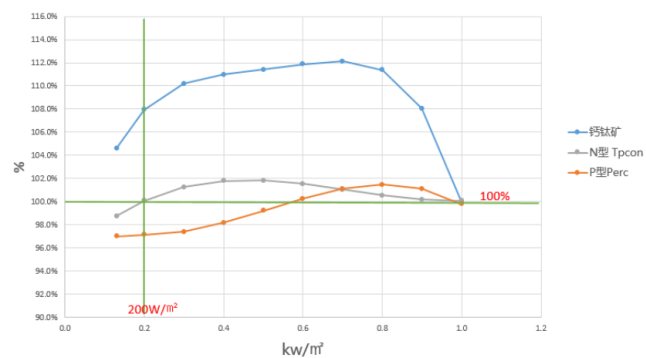
钙钛矿凭借优异的光电特性、高吸收系数、长激子扩散距离、高的载流子迁移率、低的激子结合能等优点有望成为光伏电池的未来发展方向钙钛矿薄膜太阳能电池的理论效率高可达 50%, 理论效率决定了生产成本和使用效率的性价比较高⁶。根据 CBG 资讯数据, 钙钛矿材料具有高吸收系数、长

⁶ 极电光能《钙钛矿太阳能电池及其制备方法》CN 115000308 A

激子扩散距离、高的载流子迁移率、低的激子结合能等优异的光物理性质。

钙钛矿有较好的弱光性能，冬季同等条件下钙钛矿组件相较晶硅多发电 9.3%。根据德护涂膜数据，钙钛矿对光的吸收能力强，光谱吸收范围广，即使在室内等弱光条件下，钙钛矿仍能保持较高的光电转换效率，而传统晶硅电池由于带隙较窄，弱光下的发电效率较低。根据极电光能数据，随着辐照度的降低，钙钛矿组件的相对效率逐渐升高，当光照强度达到 $600\text{W}/\text{m}^2$ — $800\text{W}/\text{m}^2$ 的时候，钙钛矿组件的相对效率达到最高，为标准光照下的 111%。相较于冬季同等条件下的晶硅组件，弱光发电增益能力可为钙钛矿组件带来约 9.3% 的额外发电。

图31:弱光性能曲线



资料来源：极电光能，甬兴证券研究所

相比较晶硅电池，钙钛矿生产链条较短。晶硅产业链较长，各环节进入壁垒高，导致价格波动大、扩产周期长。根据极电光能数据，钙钛矿产业链非常短，在一个工厂内即可完成从原料到组件的全部工序，而且钙钛矿电池材料在纯度方面要求不高，只需要达到 99%~99.9% 就能生产优质电池。

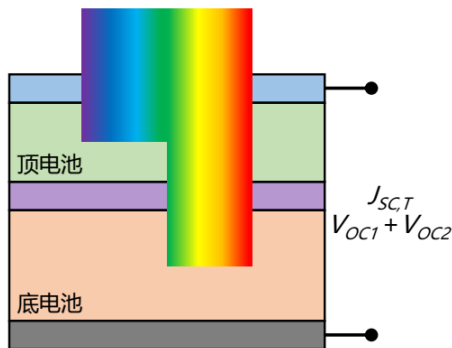
钙钛矿在当前量产效率下的理论成本低于 1 元/W，我们认为钙钛矿成本降低仍有空间。根据相关文献测算，钙钛矿薄膜的生产成本理想状态下可以实现 $2\text{g}/\text{m}^2$ 钙钛矿材料对应 $10\text{元}/\text{m}^2$ 的生产成本、其他界面层薄膜的成本可以实现 $25\text{元}/\text{m}^2$ 、FTO 玻璃可以实现 $40\text{元}/\text{m}^2$ 、后电极 $10\text{元}/\text{m}^2$ 合计 $85\text{元}/\text{m}^2$ 材料成本，假设封装材料合计 $50\text{元}/\text{m}^2$ ，折旧、人工和能源成本合计 $45\text{元}/\text{m}^2$ ，累计钙钛矿组件成本可以在理想状态下实现 $180\text{元}/\text{m}^2$ ⁷。由于目前协鑫大尺寸钙钛矿电池的量产效率已经实现超过 19%，在该效率下对应单平米电池功率约为 190W，所以在当前效率下理想状态下的成本可以实现约 0.95 元/W，和目前晶硅组件的成本相当。

单结钙钛矿电池转换效率仍将受到 SQ 辐射极限的限制，叠层电池可以进一步实现提效。由于理想的单结电池中，电子和空穴仅仅通过辐射复合

⁷ 《Key bottlenecks and distinct contradictions in fast commercialization of perovskite solar cells》Wenguang Liu 等（2023）

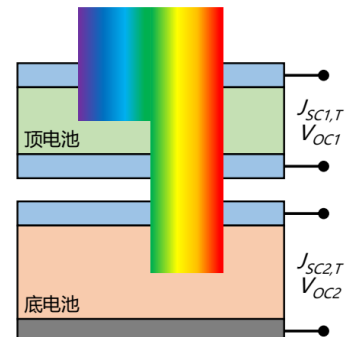
发出光子，理论效率极限称为 Shockley-Queisser 极限，约 31%⁸。而打破 SQ 极限的有效方法之一是制备由仅吸收短波长光能的宽带隙子电池和主要吸收长波长光能的窄带隙子电池组成的叠层太阳能电池⁹。**两端叠层电池制备难度较大，四端叠层更容易实现更高效率。**为了确保两端叠层内部的电子和空穴复合需要制备中间层，而中间层成为影响两端叠层电池效率的关键。叠层电池为了将各单结电池吸收光谱分配合理，以获得更高效，需要解决上下电池匹配度的问题，因此需要在两端串联电池中对带隙、薄膜厚度以及连接层之间进行协同优化。而四端叠层电池的两个子电池具备独立工作的能力，四端电池不需要匹配的电位就可以有效完成分配光吸收的任务，更容易实现比两端串联电池更高的效率¹⁰。

图32:两端叠层



资料来源:《面向产业化的钙钛矿+硅叠层太阳能电池技术开发》通威光伏技术中心 张一峰 (2022), 甬兴证券研究所

图33:四端叠层



资料来源:《面向产业化的钙钛矿+硅叠层太阳能电池技术开发》通威光伏技术中心 张一峰 (2022), 甬兴证券研究所

BIPV 是钙钛矿主要的应用方向。根据仁烁光能，钙钛矿具有可透光、可柔性化生产、可弱光发电等优势，相较于铜铟镓硒、碲化镉等电池更低的成本和更高的效率的优势，BIPV 是天然的应用场景。柔性钙钛矿更是可以应用于新能源汽车、航空航天领域、可穿戴设备中¹¹

⁸ 《基于等效电路模型的钙钛矿太阳能电池效率损失机理分析》徐婷等 (2021)

⁹ 《全钙钛矿叠层太阳能电池的制备及优化》鲁迪 (2022)

¹⁰ 《全钙钛矿叠层太阳能电池的制备及优化》鲁迪 (2022)

¹¹ 《柔性钙钛矿光伏：研究进展、商业化进程和展望》李曼亚等 (2023)

图34:钙钛矿 BIPV 应用

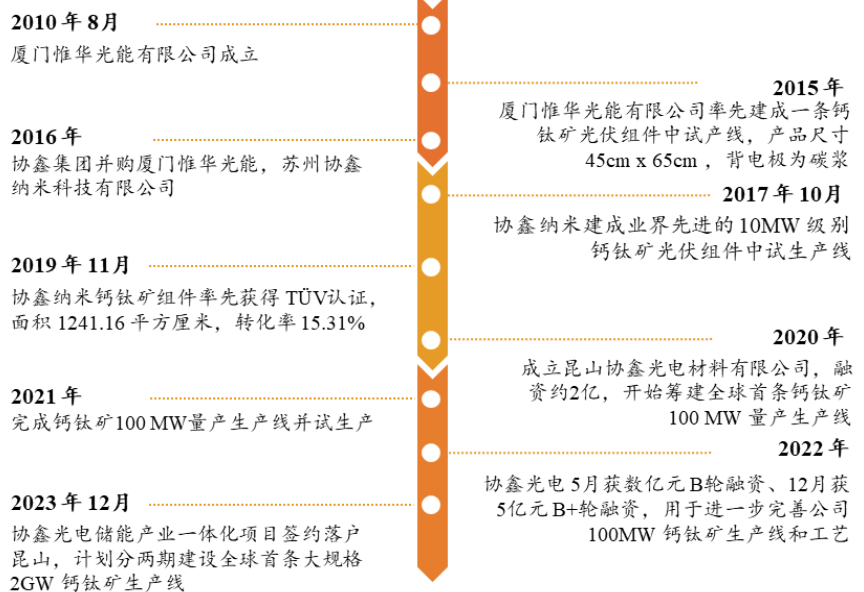


资料来源：仁烁光能，甬兴证券研究所

3.2. 公司钙钛矿组件效率与 GW 线进展领先

协鑫科技持有协鑫光电约 44.66% 股权。2010 年 8 月，厦门惟华光能有限公司成立。2015 年，惟华光能率先建成一条钙钛矿光伏组件中试产线，产品尺寸 45 cm x 65 cm，背电极为碳浆。2016 年底，协鑫集团收购惟华光能 58.5% 股权，在苏州成立苏州协鑫纳米科技有限公司。2017 年 10 月，协鑫纳米投资 7000 万元，公司在苏州建成一条 10 MW 级 45 cm × 65 cm 钙钛矿光伏组件中试产线。2019 年初，协鑫纳米 10 MW 中试线生产工艺开发基本完成。2019 年 11 月，协鑫纳米钙钛矿组件率先获得 TÜV 认证，面积 1241.16 cm²，转化率 15.31%。2020 年底，成立昆山协鑫光电，完成 A 轮融资，融资约 2 亿，开始筹建 100 MW 量产生产线。2021 年中旬，完成 100 MW 量产生产线并进行试生产。2022 年公司获得 B 轮融资，以及 5 亿元 B+ 轮融资。2023 年协鑫光电 2GW 钙钛矿生产线开始建设。

图35:协鑫光电发展历程

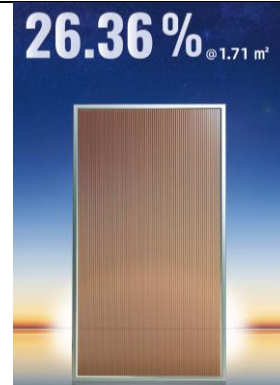


资料来源：协鑫光电，甬兴证券研究所

公司目前已经成功实现可量产 1m*2m 的全球最大尺寸钙钛矿单结组件 19.04% 的转换效率和 1.71m² 钙钛矿叠层组件 26.36% 的转换效率，成果伴随朱雀二号遥三火箭的成功发射进入太空测试。此外，全球最大商用尺寸兆瓦级钙钛矿组件光伏示范项目在华能青海共和光伏电站已全面投建。公司 2024 年目标开发出 26% 以上转换效率商用大尺寸钙钛矿叠层组件。

图36:协鑫钙钛矿单结效率 19.04% @2m² (1m×2m)


资料来源：协鑫光电，甬兴证券研究所

图37:协鑫钙钛矿叠层效率 26.36% @1.71m²


资料来源：协鑫光电，甬兴证券研究所

和国内其他友商相比，协鑫光电是进展最快的企业之一。国内单结钙钛矿电池企业进展较快的为协鑫光电、极电光能和纤纳光电三家。极电光能在 0.72m² 的中试产品上取得了 17.18% 的第三方全面积认证效率，已经有 150MW 生产线投产，并正在建设行业首条 GW 量产线。纤纳光电 19.35cm² 小组件效率 21.8%，100MW 钙钛矿规模化产线实现量产。

表6:国内企业量产与中试线进展

公司名称	产线规模	效率进展
极电光能	<ul style="list-style-type: none"> 2022 年底，极电光能 150MW 生产线投产 正在建设行业首条 GW 量产线 	<ul style="list-style-type: none"> 实验室几十平方厘米的小组件上取得了 22.9% 的第三方认证效率 在 810cm² 的组件上取得了 20.99% 的第三方认证效率（其中稳态效率 18.6%） 在 0.72m² 的中试产品上取得了 17.18% 的第三方全面积认证效率
纤纳光电	<ul style="list-style-type: none"> 2018 年开始建设 20MW 中试线 2022 年年初全球首条 100MW 钙钛矿规模化产线实现量产 	<ul style="list-style-type: none"> 2022 年 9 月 19.35cm² 小组件效率 21.8%。
万度光能	<ul style="list-style-type: none"> 2023 年 1 月 31 日，万度光能钙钛矿光伏组件研发及制造生产基地项目开工。项目全部建成达产后可实现年生产 2000MW 以上太阳能电池。 	
仁烁光能	<ul style="list-style-type: none"> 2023 年 10 月，仁烁光能 150MW 钙钛矿太阳能电池组件项目落地常熟 2024 年 1 月 11 日，仁烁光能 150MW 钙钛矿光伏组件项目顺利竣工投产 	<ul style="list-style-type: none"> 2023 年 9 月，仁烁光能在 30cm*40cm 钙钛矿组件上实现了 19.42% 的第三方认证转化效率。
无限光能	<ul style="list-style-type: none"> 现已建成 10MW 级钙钛矿太阳能电池组件试验线 预计 2024 年建成 100MW 量产线。 	<ul style="list-style-type: none"> 2023 年 2 月，无限光能公司自主研发的 100.53 mm² 钙钛矿太阳能电池最高光电转换效率达到 24.67%。
黑晶光电	<ul style="list-style-type: none"> 2023 年 5 月，黑晶光电 7GW 高效钙钛矿叠层光伏电池项目动工。 	

- 2024年1月30日，7GW 新一代钙钛矿/晶硅叠层电池片及光伏组件高端产线为主的研发、制造一体化基地落户中山火炬工业集团园区。

- 宝馨科技**
- 计划在2023年内启动100MW 钙钛矿叠层线的设计和建设，力争在2025年启动钙钛矿/异质结叠层GW级产线升级

钙钛矿/异质结叠层电池实验室自测效率已超30%

资料来源：极电光能、无锡锡山区人民政府、第1财经、纤纳光电科技、仁烁光能、无限光能、宝馨科技公司公告、北极星太阳能光伏网，甬兴证券研究所

4. 盈利预测与投资建议

4.1. 关键假设

1) 多晶硅业务

公司当前颗粒硅有效产能 34 万吨，名义产能 42 万吨（其中包括徐州 10 万吨、乐山 10 万吨、包头 10 万吨、呼和浩特 12 万吨），预计 2024 年底实现产能 50 万吨。当前已经实现徐州、乐山、包头三大基地产能达产，呼和浩特正在产能爬坡过程中，预计 2024 年 6 月前全部达产。我们通过预测各产地产量、产销率与出货量，预计 24 年公司颗粒硅将合计实现出货约 35 万吨。我们预计 2024-2026 年公司多晶硅业务将实现 187.01 亿元、249.69 亿元、322.20 亿元，同比分别+7.26%、33.52%、29.04%。

2) 硅片与加工费用业务

公司硅片业务包括拉晶和切片代工业务。公司现有拉晶产能 12GW，硅片年产能 58.5GW。我们通过分别预测硅片销售量与硅片单价、代工硅片量与代工单价计算收入。我们预计硅片业务 2024-2026 年收入分别为 70 亿元、76 亿元、80 亿元，同比分别-39.85%、8.57%、5.26%。

表7:分业务收入预测

	2023	2024E	2025E	2026E
多晶硅				
收入	174.35	187.01	249.69	322.20
YoY		7.26%	33.52%	29.04%
硅片				
收入	116.38	70.00	76.00	80.00
YoY		-39.85%	8.57%	5.26%
加工费用				
收入	13.89	14.00	14.00	14.00
YoY		0.77%	0.00%	0.00%

资料来源：协鑫科技公告，甬兴证券研究所

4.2. 盈利预测

预计公司 2024-2026 年营业收入分别为 278.17 亿元、346.85 亿元、423.36 亿元，同比分别-17%、+25%、+22%。归母净利润为 26.63 亿元、38.23 亿元、49.67 亿元，同比分别+6%、+44%、+30%。当前股价对应 PE 分别为 13 倍、9 倍、7 倍。

4.3. 投资建议

公司前瞻布局硅烷流化床法，拥有完善的技术专利，颗粒硅质量不断提升并得到下游客户认可，产能快速释放、市占率迅速提高。除颗粒硅外，公司继续布局先进技术 CCZ 与钙钛矿。我们认为公司作为国内硅料龙头，拥

有新一代多晶硅技术，同时多种先进产品矩阵齐头并进，为长期领先发展打下坚实基础。首次覆盖，给予“买入”评级。

5. 风险提示

下游需求不及预期：宏观经济、政策等均可能行业下游需求产生较大影响，光伏行业整体下游需求面临不及预期风险。

市场竞争加剧：多晶硅整体产能过剩，同时有友商开始布局硅烷流化床法，市场竞争加剧或导致公司多晶硅出货不及预期风险。

钙钛矿研发进展不及预期：钙钛矿电池的效率、降本、稳定性等均与研发的持续推进息息相关，一旦研发进展不及预期将可能影响公司钙钛矿量产推进。

客户集中度较高：公司 2023 年颗粒硅前五大客户占比 76%，客户集中度较高，易受下游客户订单波动影响。

附录：公司财务预测表

资产负债表 (百万元)	2023A	2024E	2025E	2026E
流动资产	34,691	35,837	45,208	56,379
现金	6,821	14,723	18,979	24,556
应收账款及票据	12,115	8,500	10,598	12,936
存货	2,884	2,530	3,022	3,537
其他	12,871	10,085	12,608	15,350
非流动资产	48,077	48,120	47,575	47,458
固定资产	34,784	33,227	31,082	29,365
无形资产	1,658	2,158	2,658	3,158
其他	11,635	12,735	13,835	14,935
资产总计	82,768	83,957	92,783	103,838
流动负债	22,139	19,597	22,959	26,605
短期借款	5,386	5,386	5,386	5,386
应付账款及票据	5,934	5,622	6,716	7,859
其他	10,818	8,589	10,856	13,359
非流动负债	12,312	12,312	12,312	12,312
长期债务	10,027	10,027	10,027	10,027
其他	2,285	2,285	2,285	2,285
负债合计	34,450	31,909	35,271	38,917
普通股股本	2,344	2,344	2,344	2,344
储备	40,243	42,906	46,730	51,696
归属母公司股东权益	42,587	45,250	49,074	54,041
少数股东权益	5,731	6,798	8,438	10,880
股东权益合计	48,318	52,048	57,512	64,921
负债和股东权益	82,768	83,957	92,783	103,838
现金流量表 (百万元)	2023A	2024E	2025E	2026E
经营活动现金流	0	16,260	11,752	13,225
净利润	2,510	2,663	3,823	4,967
少数股东权益	817	1,067	1,641	2,442
折旧摊销	0	7,557	7,145	6,716
营运资金变动及其他	-3,327	4,972	-857	-900
投资活动现金流	0	-8,080	-7,149	-7,225
资本支出	0	-6,500	-5,500	-5,500
其他投资	0	-1,580	-1,649	-1,725
筹资活动现金流	0	-278	-347	-423
借款增加	0	0	0	0
普通股增加	0	0	0	0
已付股利	0	-278	-347	-423
其他	0	0	0	0
现金净增加额	0	7,901	4,257	5,577

利润表 (百万元)	2023A	2024E	2025E	2026E
营业收入	33,700	27,817	34,685	42,336
其他收入	505	200	200	200
营业成本	22,008	20,240	24,179	28,294
销售费用	251	111	139	169
管理费用	2,274	1,252	1,561	1,905
研发费用	1,873	1,530	1,908	2,328
财务费用	178	142	52	44
除税前溢利	4,302	4,566	6,773	9,258
所得税	975	835	1,310	1,849
净利润	3,327	3,731	5,464	7,409
少数股东损益	817	1,067	1,641	2,442
归属母公司净利润	2,510	2,663	3,823	4,967
EBIT	4,480	4,708	6,826	9,301
EBITDA	4,480	12,265	13,971	16,018
EPS (元)	0.09	0.10	0.14	0.18

主要财务比率	2023A	2024E	2025E	2026E
成长能力				
营业收入	-6.21%	-17.46%	24.69%	22.06%
归属母公司净利润	-84.34%	6.11%	43.55%	29.91%
获利能力				
毛利率	34.69%	27.24%	30.29%	33.17%
销售净利率	7.45%	9.57%	11.02%	11.73%
ROE	5.89%	5.89%	7.79%	9.19%
ROIC	5.44%	5.70%	7.55%	9.27%
偿债能力				
资产负债率	41.62%	38.01%	38.01%	37.48%
净负债比率	17.78%	1.33%	-6.20%	-14.08%
流动比率	1.57	1.83	1.97	2.12
速动比率	1.33	1.59	1.72	1.86
营运能力				
总资产周转率	0.40	0.33	0.39	0.43
应收账款周转率	2.17	2.70	3.63	3.60
应付账款周转率	2.48	3.50	3.92	3.88
每股指标 (元)				
每股收益	0.09	0.10	0.14	0.18
每股经营现金流	0.00	0.60	0.44	0.49
每股净资产	1.58	1.68	1.82	2.01
估值比率				
P/E	13.09	12.74	8.88	6.83
P/B	0.78	0.75	0.69	0.63
EV/EBITDA	9.38	2.82	2.17	1.55

资料来源: Wind, 甬兴证券研究所

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉尽责的职业态度，专业审慎的研究方法，独立、客观地出具本报告，保证报告采用的信息均来自合规渠道，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本报告所发表的任何观点均清晰、准确、如实地反映了研究人员的观点和结论，并不受任何第三方的授意或影响。此外，所有研究人员薪酬的任何部分不曾、不与、也将不会与本报告中的具体推荐意见或观点直接或间接相关。

公司业务资格说明

甬兴证券有限公司经中国证券监督管理委员会核准，取得证券投资咨询业务许可，具备证券投资咨询业务资格。

投资评级体系与评级定义

股票投资评级：	分析师给出下列评级中的其中一项代表其根据公司基本面及（或）估值预期以报告日起 6 个月内公司股价相对于同期市场基准指数表现的看法。
买入	股价表现将强于基准指数 20%以上
增持	股价表现将强于基准指数 5-20%
中性	股价表现将介于基准指数±5%之间
减持	股价表现将弱于基准指数 5%以上
行业投资评级：	分析师给出下列评级中的其中一项代表其根据行业历史基本面及（或）估值对所研究行业以报告日起 12 个月内的基本面和行业指数相对于同期市场基准指数表现的看法。
增持	行业基本面看好，相对表现优于同期基准指数
中性	行业基本面稳定，相对表现与同期基准指数持平
减持	行业基本面看淡，相对表现弱于同期基准指数

相关证券市场基准指数说明：A 股市场以沪深 300 指数为基准；港股市场以恒生指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准指数。

投资评级说明：

不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准，投资者应区分不同机构在相同评级名称下的定义差异。本评级体系采用的是相对评级体系。投资者买卖证券的决定取决于个人的实际情况。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，投资者不应以分析师的投资评级取代个人的分析与判断。

特别声明

在法律许可的情况下，甬兴证券有限公司（以下简称“本公司”）或其关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券或期权并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问以及金融产品等各种服务。因此，投资者应当考虑到本公司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。也不应当认为本报告可以取代自己的判断。

版权声明

本报告版权归属于本公司所有，属于非公开资料。本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、转载、刊登和引用本报告中的任何内容。否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、转载、刊登和引用者承担。

重要声明

本报告由本公司

径收到或阅读本报告而视其为本公司的客户。客户应当认识到有关本报告的短信提示、电话推荐及其他交流方式等只是研究观点的简要沟通，需以本公司发布的完整报告为准，本公司接受客户的后续问询。本报告首页列示的联系人，除非另有说明，仅作为本公司就本报告与客户的联络人，承担联络工作，不从事任何证券投资咨询服务业务。

本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，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。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时思量各自的投资目的、财务状况以及特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本公司特别提示，本公司不会与任何客户以任何形式分享证券投资收益或分担证券投资损失，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。市场有风险，投资须谨慎。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司和关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，本公司可发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论或交易观点。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。投资者应当自行关注相应的更新或修改。