

硅碳：密度提升显卓能，快充革新展新篇

——2024年锂电行业报告

推荐|首次

报告要点：

● 4C 快充技术与能量密度的提升是未来的发展趋势

近年来，我国新能源汽车产业蓬勃发展，市场占有率快速提升；2023年我国新能源汽车销量为949.5万辆，渗透率达到31.6%。随着市场规模的不断扩大，追求长续航和补能效率一直是消费者关心的核心问题和产业发展的方向。高压快充技术作为提升充电效率的重要手段，能够有效缩短充电时间；开发高能量密度电池可提供更长的续航里程，缓解用户里程焦虑；这些技术可大大提升用户对新能源汽车的接受度和满意度，成为行业技术发展的必然趋势。

● 快充和高比能兼备，新型硅碳技术取得新进展

电池快充与高能量密度在材料选型和电池设计上存在差异，往往难以兼得，此消彼长；与石墨材料相比，硅碳材料的克容量（4200mAh/g）和充电电压平台（0.5V）较高，有助于提升电池的能量密度和快充性能，实现二者的兼顾。但是硅负极在充放电过程中膨胀剧烈、易破碎，导致产气严重，循环衰减较快等问题，制约了其商业化发展；新型硅碳采用CVD工艺，通过多孔碳内部的空隙来缓冲硅嵌锂过程中的体积膨胀，可以保持电极界面的稳定性，大幅提高硅负极的循环寿命，在技术上取得了质的突破。

● 一级市场火爆，市场关注度高，规模化放量在即

新型硅碳技术自美国Group 14商业化以来，受到国内市场广泛关注；国内相关企业加快新型硅碳技术的开发，截止到23年底，已有数十家企业开始扩产新型硅碳；风险资本纷纷跟进，投资新型硅碳赛道；以碳什科技为例，从2022年7月成立起，企业在8个月便完成了天使轮和天使+轮融资，仅天使轮融资金额便达到数千万元。随着企业产能的快速落地，新型硅碳有望加速放量，商业化元年开启。

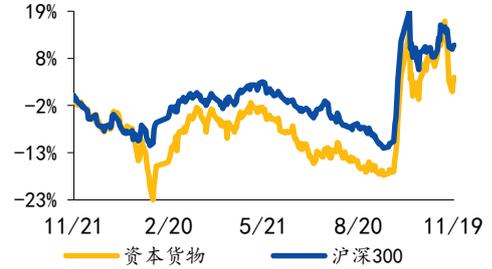
● 投资建议

新型硅碳负极材料因其高倍率、高能量密度以及理论成本较低的特点，成为产业技术发展的新方向。负极龙头企业凭借规模优势、技术储备多样，成本控制优异，有望优先受益，建议关注相关标的：**贝特瑞**，**璞泰来**以及新切入硅碳负极材料的企业：**硅宝科技**；硅烷气是硅碳负极材料的核心原料，是硅颗粒的物料来源，成本占比高达50%以上，有望充分受益于新型硅碳产业的爆发，建议关注相关标的：**硅烷科技**、**兴洋科技**、**和远气体**，**多氟多（中宁硅业）**；多孔碳材料的孔结构对硅颗粒起到抑制膨胀、传输导电的作用，是影响硅碳负极性能的关键材料，建议关注相关标的：**元力股份**、**圣泉集团**。硅碳负极规模化应用，其极片导电添加剂单壁碳纳米管有望受益，建议关注相关标的：**天奈科技**、**道氏技术**。

风险提示

新技术研发进展不及预期，产业化进展不及预期，成本下降不及预期。

过去一年市场行情



资料来源：Wind

相关研究报告

《国元证券行业研究-锂电池 2024 年策略报告：拨云见日，万里可期》2024.01.09

报告作者

分析师 龚斯闻
执业证书编号 S0020522110002
电话 021-51097188
邮箱 gongsiwen@gyzq.com.cn

分析师 张帅峰
执业证书编号 S0020524010003
电话 021-51097188
邮箱 zhangshuaifeng@gyzq.com.cn

目 录

1. 快充：行业发展新趋势，产业布局节奏加快	4
1.1 动力电池技术快速更新迭代，快充成为新趋势	4
1.2 行业进展：800V 快充车型批量上市，快充电池技术不断迭代	5
2. 硅碳：技术取得新突破，资本进入产能快速扩张	8
2.1 人造石墨占据负极材料市场的主流地位	8
2.2 硅碳负极能量密度更高，快充性能更优	9
2.3 新型硅碳技术优势明显，未来前景可期	10
2.4 新型硅碳起源于海外，国内企业快速跟进	13
3. 产业链：设备是产业化的关键，上游材料受益明显	15
3.1 设备端：流化床产品均一性好，行业发展的主要方向	15
3.2 多孔碳：骨架支撑作用，材料特点直接影响负极性能	16
3.3 硅烷气：小众市场，新型硅碳大幅扩容	18
4. 投资建议	20
5. 风险提示	21

图表目录

图 1：动力电池发展历程	4
图 2：400V 与 800V 高压系统结构差异性	5
图 3：800V 高压平台快充技术	5
图 4：负极析锂	7
图 5：2023 年我国锂电池负极材料出货量结构占比	8
图 6：2019-2023 年我国锂电池负极材料出货量（万吨）	8
图 7：二次造粒负极材料 SEM 图	8
图 8：碳包覆提高负极材料的导电性	8
图 9：负极石墨的充放电曲线图	9
图 10：硅负极的充放电曲线图	9
图 11：硅碳负极充放电过程快速膨胀	10
图 12：不同类型硅碳负极制备工艺路线	11
图 13：新型硅碳成本构成	12
图 14：小米 14Ultra 金沙江电池	12
图 15：特斯拉 4680 电池	12
图 16：我国 2020-2030 年硅碳负极出货量预测（万吨）	13
图 17：Group 14 科技	13
图 18：SCC55 TM 结构	13
图 19：新型硅碳产业链框架图	15
图 20：化学气相沉积装备结构图	16
图 21：化学气相沉积炉	16
图 22：回转窑结构图	16

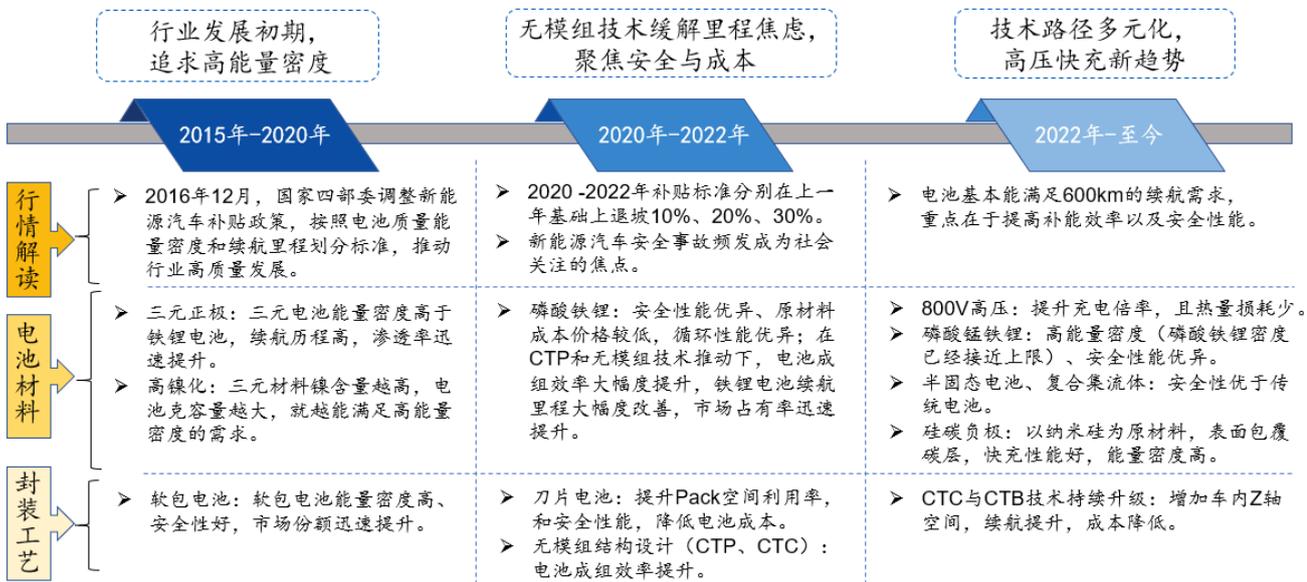
图 23: 回转窑工艺流程图.....	16
图 24: 多孔碳材料的特点.....	17
图 25: 多孔炭材料微观形貌.....	17
图 26: 2022 年硅烷气市场格局.....	18
图 27: 硅烷气应用领域.....	18
图 28: 硅烷科技营业收入情况.....	19
图 29: 硅烷科技归母净利润情况.....	19
表 1: 部分已发布及待发布的支持 800V 高压快充车型.....	5
表 2: 动力电池企业快充产品类型丰富多样.....	6
表 3: 天然石墨、人造石墨与硅碳复合材料性能对比.....	9
表 4: 不同类型硅碳材料性能对比.....	11
表 5: 硅碳负极供应商融资情况.....	14
表 6: 主要材料企业硅负极产能.....	14
表 7: 多孔碳制备方法.....	17
表 8: 元力股份主要产品介绍.....	18

1. 快充：行业发展新趋势，产业布局节奏加快

1.1 动力电池技术快速更新迭代，快充成为新趋势

动力电池技术快速更迭，快充成为未来发展趋势。2015年-2020年，动力电池行业处于初步发展期，为了提高新能源汽车的续航里程，在政策推动下行业重点聚焦于提升电池的能量密度，因此正极主要采用三元材料并逐渐往高镍化发展，封装方式上以软包、方铝为主。2020年-2022年，随着无模组技术（CTP、CTC）开始广泛应用，电池包的成组效率大幅度提升，磷酸铁锂电池的续航大幅度提升。与此同时，新能源汽车安全事故频发，行业重点从单纯追求能量密度转向关注电池安全性与成本控制上，铁锂电池市占率大幅度提升，2023年市场占有率达到65%以上。2022年以来，技术路线开始多元化发展以满足用户多元化需求，其中高压快充成为行业确定性较高的发展方向之一。

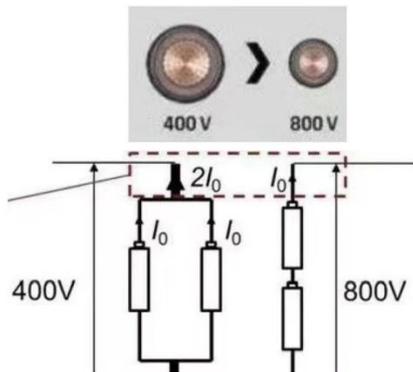
图 1：动力电池发展历程



资料来源：GGII，政府官网，国元证券研究所

快充速率与充电倍率密切相关，800V 高压快充成为优选。充电倍率等于充电电流除以电池额定容量，充电倍率越大，充电时间越短；选择提高电流往往需要较粗的输电导线，电流过高会导致充电枪、线缆及动力电池核心部件等产生大量热损失，损耗较大。因此，通过提高电池包整体电压，减小单一电池容量成为行业发展快充技术的最优解。将电压平台从400V提升到800V甚至更高的水平，实现高压系统的扩容，有利于进行350kW以上的快充。800V高压指整车电气系统电压范围达到550-930V的系统，与400V充电系统相比，其充电功率可达350-400kW，补能效率提升2倍以上，充电时间缩短至10min。

图 2：400V 与 800V 高压系统结构差异性



资料来源：佰事汽车，国元证券研究所

图 3：800V 高压平台快充技术



资料来源：均胜电子，国元证券研究所

1.2 行业进展：800V 快充车型批量上市，快充电池技术不断迭代

800V 高压系统已批量性上车，渗透率快速提升。目前 800V 高压快充基本覆盖 B 级及以上车型,2022 年 800V 高压快充车型在 B 级及以上车型市场渗透率在 5%左右,2023 年多家车企推出 800V 高压快充车型,如比亚迪、理想、小鹏、蔚来、吉利、智己、阿维塔、广汽、合创、极星、北汽等,全年 800V 高压快充车型在 B 级及以上车型市场渗透率有望达到 15%。根据 GGII 预测,2024 年随着 800V 高压平台相关配套设施的建设完善,及车企推出更多 800V 高压平台车型,预计 800V 高压平台车型在 B 级及以上市场渗透率将超 30%。

表 1：部分已发布及待发布的支持 800V 高压快充车型

车企	车型	快充效率	上市时间
比亚迪	海狮 07EV	/	2024 年 5 月
	仰望 U8	/	2023 年 9 月
	汉 EV	/	2024 年 9 月
	海豹	/	2024 年 8 月
理想	MEGA	12min 500km	2024 年 3 月
小鹏	X9	10min 300km	2024 年 1 月
	G6	10min 300km	2023 年 6 月
蔚来	子品牌阿尔卑斯 NT3	/	/
	子品牌乐道 L60	/	2024 年 5 月
奇瑞	智界 S7	5min 215km	2023 年 11 月
	星纪元 ES	/	2023 年 12 月
吉利	极氪 007	/	2023 年 12 月
	银河 E8	5min 180km	2024 年 1 月
智己	智己 LS6	15min 570km	2023 年 10 月
	智己 L6	12min 400km	2024 年 5 月
小米	SU7	5min 220km; 15min 510km	2024 年 3 月
阿维塔	阿维塔 12	/	2023 年 11 月
广汽	昊铂 SSR	/	2023 年 10 月

	昊铂 HT	15min 425km	2023 年 10 月
合创	合创 V09	1s 1km	2023 年 10 月
极星	Polestar5	5min 160km	/
北汽	阿尔法 T5	10min 260km	2023 年 12 月

资料来源：公司官网，国元证券研究所

电池快充技术迭代加速，主流车企打响快充竞速赛。电池企业纷纷布局，不断推出新型快充电池。宁德时代推出神行超充电电池，续航里程达 700 公里以上；孚能科技开发 SPS 动力电池解决方案，仅充电 10 分钟即可续航 400km；中创新航提供“顶流”电池，其电芯能量密度达到 300Wh/kg；巨湾技研研发 XFC 极速电池，能够实现极速充电。除此之外，蜂巢能源、亿纬锂能、国轩高科、欣旺达也紧跟步伐，推出自身独特电池快充方案。快充电池类型丰富多样，配套车型数量众多，应用面广。

表 2：动力电池企业快充产品类型丰富多样

企业	电池产品	产品详情	配套车型
宁德时代	4C 麒麟电池	2022 年 6 月发布 CTP3.0 麒麟电池，支持 5min 快速热启动及 10min 从 10%-80% SOC，具备 4C 快充能力。	极氪 009、极氪 001、新款哪吒 S
	5C 麒麟电池	理想汽车与宁德时代基于麒麟架构对锂离子电池的微观传输速率进行了系统性提升，并拓宽了电池的过流能力边界，实现了电池充电倍率从 4C 跨越到 5C。	理想 MEGA
	神行超充电电池	全球首款磷酸铁锂 4C 超充电电池，实现“充电 10 分钟，续航 400 公里”，突破低温快充限制，做到全温域快充，且续航里程达 700 公里以上	阿维塔、长安、奇瑞、极氪以及哪吒等
	天行 L-超充版	具有 4C 超充能力，拥有 140 度大电量，实际工况下续航里程可达 350km，仅需 12 分钟即可补能 60%SOC 的超快充电速度。	/
中创新航	4C 方形电池	基于 800V 高压平台研制的全新一代铁锂电池和中镍高压三元电池，直充峰值功率高达 280kW，10%-80%补能快至 19min，实现充电 10 分钟，续航 300km。	小鹏 G9
	“顶流”电池	大圆柱电池，电芯能量密度达到 300Wh/kg，可满足 6C 快充场景。	/
孚能科技	3C 快充电池	充电 15 分钟续航 450km	广汽埃安昊铂 GT
	SPS 动力电池解决方案	支持 800V 平台和 4C 快充，充电 10 分钟续航 400 公里。	/
巨湾技研	3C XFC 极速电池	2021 年 9 月，巨湾技研研发并量产的 XFC 极速电池，充电倍率达到 3C。	广汽埃安 AION V Plus70
	6C 三元 XFC 极速电池	6C 充电倍率的三元 XFC 极速电池，实现 8 分钟充电 0-80% SOC，5 分钟充电 30%-80% SOC 的极速快充。	广汽埃安 AION V Plus 70 极速快充版
	凤凰电池	采用 XFC 极速电池技术，在 300-1000 伏整车电压平台范围内均可实现 XFC 极速充电，实现了最高 8C 极速充电，支持 6 分钟 0-80% SOC。	/
蜂巢能源	龙鳞甲电池	龙鳞甲电池可兼容铁锂、三元、无钴等全化学体系方案，续航里程最高可达 1000+KM，覆盖 1.6C-6C 快充体系。	/
	短刀电池	采用飞叠热复合技术和自主研发的第三代磷酸铁锂正极材料，在兼顾 2.2C 快充性能前提下，能量密度仍高达 188Wh/Kg，峰值可以达到 3C 以上，使充电时间缩短至 15 分钟，兼具高能量密度和快充。	/
亿纬锂能	π 电池系统	大圆柱电池 π 系统支持 9 分钟快充，通过 π 型冷却技术，解决快充发热问题	/

国轩高科	开源电池	采用 3C 超充技术，15 分钟即可从 20% 快充至 80% SOC，相较于常规电池，充电时间缩短了 67%。不仅具备脉冲 4C、持续 3C 的放电能力，还将循环寿命提升至 7000 次。	/
	OmniceII 全能电池	具备 6C 快充能力，可实现电动汽车充电 5 分钟续航 300 公里。	/
	L600 启晨电芯	采用了磷酸锰铁锂技术路线，容量为 223Ah，可以实现 240Wh/kg 的质量能量密度，做到 18 分钟快充	/
	G 刻电池	采用 5C 超级快充技术，可实现充电 9.8 分钟补能 80%，充电一刻钟补能 90%，支持纯电、增程混动等全场景应用，涵盖磷酸铁锂、磷酸铁锰锂和三元体系。	/
欣旺达	超充电池 SFC480	2022 年 9 月，4C 超级快充技术，最大充电功率达 480kW，实现充电 5 分钟续航 200km，充电 10 分钟续航 400km	/
	闪充电池	2023 年 4 月，欣旺达发布“闪充电池”，该款动力电池支持电动汽车续航 1000 公里，10 分钟可从 20% 充至 80% SOC	/

资料来源：高工锂电，各公司微信公众号，国元证券研究所

电池快充技术瓶颈在负极，电流过大易导致析锂等问题。锂离子电池在充电时，锂离子从正极脱嵌并嵌入负极，但是快速充电时电流密度较大，锂离子嵌入负极阻力较大，易产生极化，无法嵌入石墨层间的锂离子只能在负极表面得电子，从而形成银白色的金属锂单质，形成“析锂”。析锂导致锂失去活性，加速电池的老化，循环寿命会大幅缩短，并有可能引发燃烧、爆炸等安全问题。

快充与高能量密度此消彼长。能量密度决定着单位质量/体积下可以储存能量的大小，快充速率决定着单位时间电极横截面脱嵌锂离子的多寡。高能量密度通常意味着电池单体活性物质载量比较高，电极比较厚，从而具有较长的锂离子传输路径，然而快充需要活性材料高比表面积，低压实密度和高导电性，这些设计会降低电池的能量密度；因此，在保证高能量密度和长续航的前提下，如何提高快充能力是电池设计开发的关键。

图 4：负极析锂



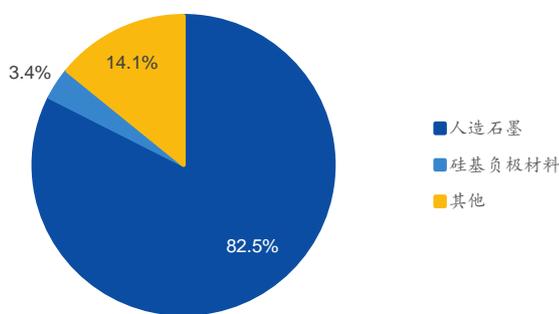
资料来源：言质有锂，国元证券研究所

2. 硅碳：技术取得新突破，资本进入产能快速扩张

2.1 人造石墨占据负极材料市场的主流地位

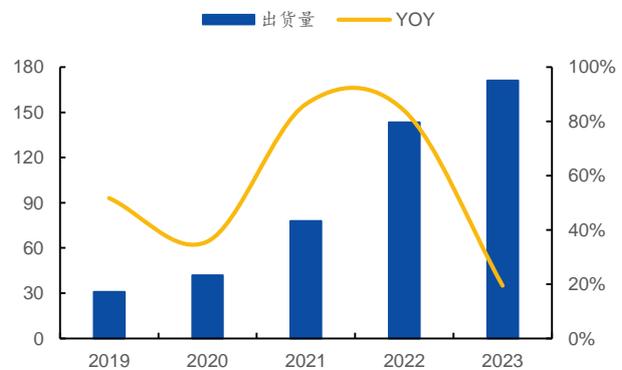
负极材料市场蓬勃发展，人造石墨仍占据主流地位。我国负极材料在全球产业链中占据主导地位，2023年我国负极材料出货量达到171.1万吨，同比增长19.4%，全球市场份额提升至94.1%；负极材料目前最主流的是天然石墨和人造石墨两大类，与天然石墨比较，人造石墨在循环、倍率、高温等方面性能更优。根据EV tank统计，2023年我国人造石墨负极材料仍占据市场主流地位，市场份额高达82.5%。硅基材料作为锂电负极的新一代材料，目前市场份额占比较小仅为3.4%（以石墨和硅碳混掺后计算）。

图 5：2023 年我国锂电池负极材料出货量结构占比



资料来源：EVTank，中商产业研究院，国元证券研究所

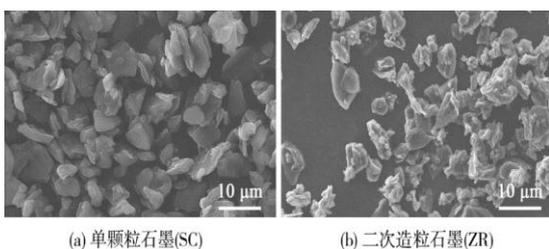
图 6：2019-2023 年我国锂电池负极材料出货量（万吨）



资料来源：EVTank，石墨时讯，国元证券研究所

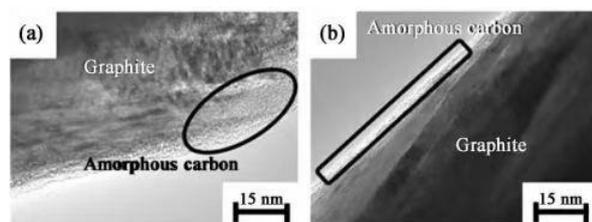
二次造粒和碳包覆有助于提高石墨负极快充性能。造粒是在一定温度和压强下，将物料植入球磨机中进行球磨并筛分，而二次造粒则是将小颗粒粘结成大颗粒；通过造粒制备的二次颗粒兼具大颗粒压实密度高、容量大的优点，及小颗粒比表面积大锂离子脱嵌通道多的优点，同时提高二次颗粒的各向同性度，以兼顾能量密度和倍率性能。碳包覆是以沥青等作为包覆原料与石墨颗粒混合经炭化在石墨表面形成无定型碳包覆，构筑出层状排布的“核壳结构”。无定形碳的碳层之间无序排列，结构各向同性，碳层间距更大，锂离子可以自由移动，并为锂离子嵌入石墨层起到引导作用；而且无定形碳与电解液的相容性更好，可以有效防止大分子有机溶剂的共嵌入，抑制石墨层的剥落，降低快充对石墨材料的破坏。

图 7：二次造粒负极材料 SEM 图



资料来源：王纪威《二次造粒石墨对锂离子电池性能的影响》，国元证券研究所

图 8：碳包覆提高负极材料的导电性



资料来源：粉体网，国元证券研究所

2.2 硅碳负极能量密度更高，快充性能更优

硅碳材料理论克容量较高。与传统石墨不同，硅（Si）负极材料是通过合金化的方式与金属锂结合，实现脱嵌锂反应。硅的理论比容量较高约 4200mAh/g，是石墨克容量的 10 倍；硅碳作为负极材料有望大幅提升电池的能量密度，受到了广泛的关注。

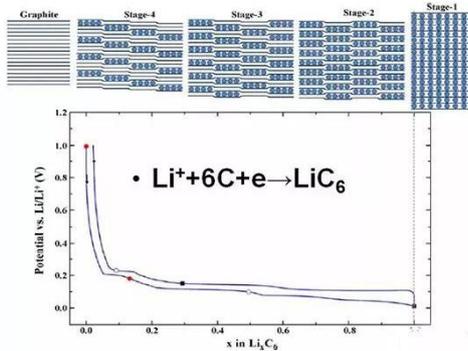
表 3：天然石墨、人造石墨与硅碳复合材料性能对比

性能指标	天然石墨	人造石墨	硅碳复合材料
比容量 (mAh/g)	340-370	310-360	4200
首次效率 (%)	90%	93%	84%
循环寿命 (次)	>1000	>1500	300-500
工作电压	0.2V	0.2V	0.3-0.5V
快充性能	一般	一般	好
倍率性能	差	一般	一般
安全性	良好	良好	差
优点	技术及配套工艺成熟，成本 本低	技术及配套工艺成熟，循环 性能好	理论比能量高
缺点	比能量已到极限，循环性 能及倍率性能较差，安全 性较差	比能量低，倍率性能差	技术及配套技术不成熟，成本 高，充放电体积变形，导电率低
发展方向	低成本化，改善循环	提高容量，低成本化，降低 内阻	低成本化，解决与其他材料的配 套问题

资料来源：中国汽车工业信息网，凯金能源招股说明书，国元证券研究所

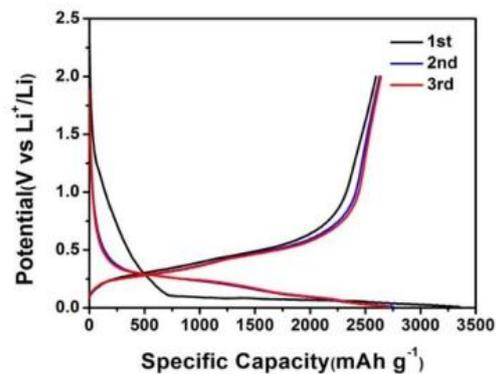
硅碳负极电位平台较高，有助于实现快充。快充时电流比较大容易产生极化，当负极电位低于 0V 时，就容易发生析锂现象；石墨负极整体电位较低，充电末期电位接近 0V，在大倍率快充时，极易发生析锂。根据硅负极的充放电曲线，其充放电平台在 0.3-0.5V 左右，整体高于石墨负极材料。因此，在充电过程中锂离子优先嵌入硅，然后在石墨层间嵌入锂，掺硅整体提高了负极的平均电位，从而降低了发生析锂的概率，利于电池的快充。

图 9：负极石墨的充放电曲线图



资料来源：日月辰官网，国元证券研究所

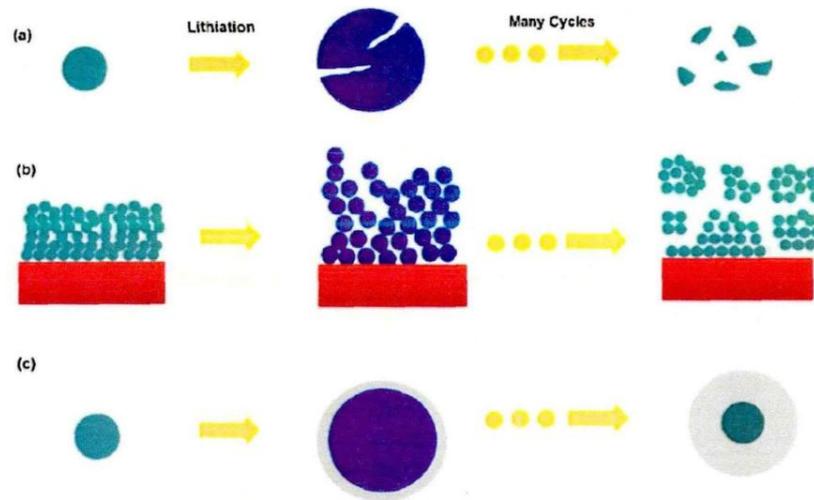
图 10：硅负极的充放电曲线图



资料来源：姚丛《硅碳负极材料的制备，储锂性能及预锂化研究》，国元证券研究所

硅碳材料易膨胀破碎，循环衰减较快。硅碳负极在充放电发生合金化的过程中会发生剧烈的膨胀与收缩；充电过程，硅负极嵌入金属锂后，体积膨胀；放电过程脱出锂离子，体积收缩，从而易导致硅颗粒的破碎以及活性物质在集流体表面脱落；此外，负极表面剧烈的变化，易引起表面 SEI 膜的破裂，导致消耗大量活性锂离子，引起电池快速衰减。

图 11：硅碳负极充放电过程快速膨胀



资料来源：史剑《锂离子电池硅碳负极材料的结构设计与应用研究》，国元证券研究所

2.3 新型硅碳技术优势明显，未来前景可期

工艺技术快速迭代，新型硅碳实现突破。硅负极材料膨胀剧烈，导电性较差，因此工艺上采用纳米化和碳包覆的方式来改善其性能。第一代工艺是采用研磨法制备硅碳负极材料，该路线核心是通过硅颗粒之间的空隙来缓冲材料的综合体积膨胀，为材料膨胀提供了体积变化以及应力释放的空间；但由于其粒径较大，无法有效解决膨胀问题，循环性能一般。第二代采用的是硅氧路线，是目前主流工艺；硅氧或者预锂化硅氧的路线主要是在材料的嵌脱锂过程中通过化学反应使硅氧材料中的单质硅粒径控制在 5nm 以下，颗粒间空隙更丰富，同时提供了更大的应力缓冲空间，降低了材料的整体膨胀系数。然而硅氧首效较低，首次充放电加入锂金属、镁金属等作为预锂剂，能让预锂化后的硅氧负极首效提升，但成本偏高；此外该工艺路线仍有一定程度的膨胀，存在产气现象。CVD 气相沉积硅碳路线即新型硅碳，属于新技术突破的工艺路线。CVD 气相沉积硅碳路线的核心是通过低成本生产的多孔碳骨架来储硅，并通过多孔碳内部的微孔来缓冲硅嵌锂过程中的体积膨胀，从而改善其循环性能。

图 12：不同类型硅碳负极制备工艺路线



资料来源：石墨时讯，国元证券研究所

新型硅碳电化学性能优异。与硅氧相比，硅碳材料采用的是硅颗粒作为活性材料，因此其首圈库伦效率较高，其复合材料克容量可以做到 1750mAh/g 以上。其次，新型硅碳采用 CVD 方法将纳米硅负载在多孔碳中，多孔碳的空腔保留足够的空间利于硅负极的膨胀，电极材料与电解液的界面保持稳定，无剧烈膨胀，循环性能优异。

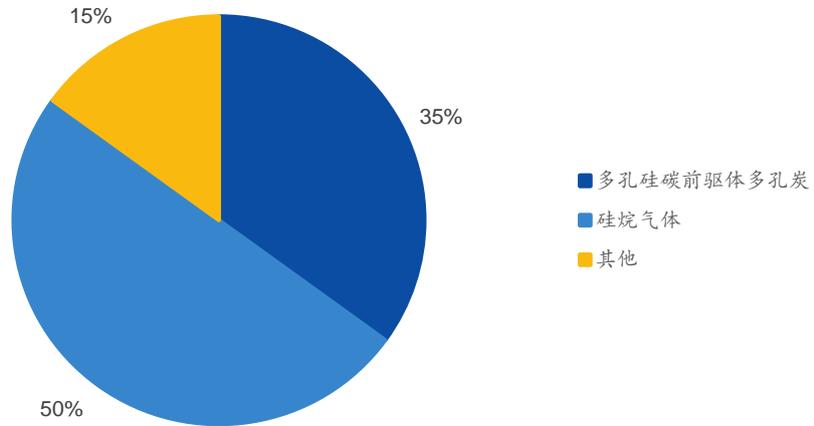
表 4：不同类型硅碳材料性能对比

	传统硅碳负极	预锂化硅氧负极	新型硅碳
制备工艺	球磨	热处理	CVD
结构特征	硅 $\geq 50\text{nm}$ ；颗粒空隙缓冲	硅 $\leq 5\text{nm}$ ；硅酸锂缓冲	硅 $\leq 10\text{nm}$ ；多孔空隙缓冲
克容量	容量低， $\leq 650\text{mAh/g}$	容量较高， $\leq 1450\text{mAh/g}$	容量高， $\geq 1750\text{mAh/g}$
首效	较高	低，需要预锂化	高
循环性能	循环性能差， $\leq 500\text{cls}$	循环性能好， $\geq 1000\text{cls}$	循环性能好， $\geq 1200\text{cls}$
缺点	粒径较大，且容易引入杂质，纯度较低，且粒径分布不能有效控制	氧化亚硅在充放电过程中会产生 Li_2O 等非活性物质，导致 SiO_x 材料首次效率较低（约 70%）	规模化生产一致性难度较大
优势	工艺简单	循环稳定性有较为明显改善	膨胀率低，循环优异。同时由于生产流程短，设备少，理论成本低

资料来源：电池世界在线，炭素邦，国元证券研究所

新型硅碳理论成本较低。新型硅碳主要是由硅烷气、多孔碳制备而成，在其成本构成中，硅烷气体成本占比高达 50%，多孔硅碳前躯体占比约 35%；从质量对比来看，新型硅碳中硅和碳的质量占比约为 1:1，生产 1 吨硅碳负极母料需要 0.6 吨以上硅烷。硅烷目前价格较高，预计未来可能降低至 10 万/吨甚至更低，显示出巨大的降本潜力；另一方面，多孔碳当前价格约为 20 万/吨，预计未来可能降至 8~10 万/吨。因此在制备成本方面，新型硅碳理论制备成本有望控制在 20 万/吨以内。由于新型硅碳材料的克容量是石墨的 5 倍，再加上多孔硅碳规模上量以及技术的进步，在成本上有望于石墨负极材料相媲美。

图 13：新型硅碳成本构成



资料来源：粉体圈，国元证券研究所

硅碳负极用途广泛，满足不同应用需求。硅碳负极凭借其高能量密度与快充的性能优势，在手机、电动工具以及新能源汽车都具有潜在的应用前景。随着手机智能化的进一步提升，对电池高能量密度、长续航提出了更高的要求；2024 年 2 月，小米发布的 14Ultra 手机，利用硅碳负极材料将电池的能量密度提升至 779Wh/L，其中最高硅含量 6%，使电池体积降低了 8%，续航能力提升 17%；在新能源汽车领域，硅碳负极材料目前已经得到了初步的应用，随着新型硅碳技术的成熟，有望加速渗透。

图 14：小米 14Ultra 金沙江电池

图 15：特斯拉 4680 电池

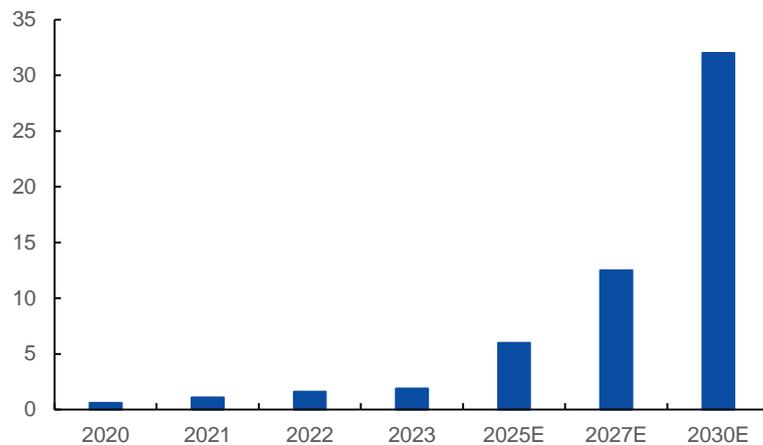


资料来源：公司官网，国元证券研究所

资料来源：特斯拉电池日，国元证券研究所

新型硅碳市场空间巨大，前景可期。传统的硅氧负极材料由于库伦效率较低，膨胀剧烈，需要采用与石墨掺混（硅比例小于 10%）的方式来保障负极的整体性能；新型硅碳首效较高，体积膨胀小，循环性能稳定，可以大比例掺混的方式（20%，30%以上）来提高电池的能量密度，有望大幅提高硅基材料在负极中的渗透空间。硅碳负极在电池的首效、容量、循环、膨胀等均领先于传统硅碳和硅氧材料，是硅基负极材料产业化的重大技术革新，未来发展空间巨大；根据高工锂电数据显示，23 年我国硅基复合材料出货 1.9 万吨，预计 2030 年出货量将超 30 万吨，年复合增长率超 50%。

图 16：我国 2020-2030 年硅碳负极出货量预测（万吨）



资料来源：GGII，国元证券研究所

2.4 新型硅碳起源于海外，国内企业快速跟进

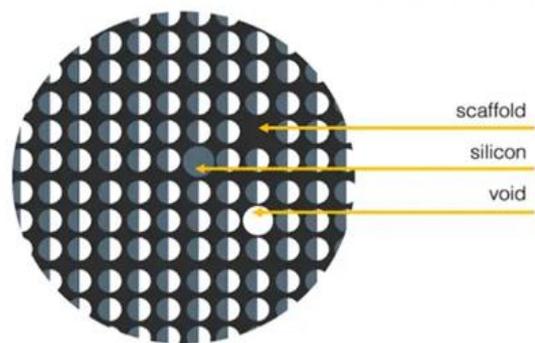
美国 G14 率先在新型硅碳取得突破，产品性能优异。Group14 公司率先采用气相沉积 CVD 法制备出性能优异的新型硅碳复合材料。2021 年 4 月，Group14 旗舰产品“硅碳复合负极材料 SCC55™”在全球首家同类 BAM 工厂（电池活性材料工厂）开始商业化生产，SCC55™ 在内阻、循环、首效等方面性能大幅度提升。公司获得了包括保时捷、ATL、光石、BASF、微软等公司的投资，并分别在华盛顿、韩国扩建产能，以满足未来的市场需求。

图 17：Group 14 科技



资料来源：石墨时讯，国元证券研究所

图 18：SCC55™ 结构



资料来源：公司官网，国元证券研究所

国内一级资本纷纷涌入，新型硅碳企业百花齐放。硅碳负极企业在一二级市场融资备受瞩目，吸引了众多资本的积极投入，不仅为硅碳负极企业提供了充足的资金支持，也进一步加速了新型硅碳技术研发和市场拓展的步伐。以碳什科技为例，从 2022 年 7 月成立起，企业在 8 个月便完成了天使轮和天使+轮融资，仅天使轮融资金额便达到数千万元。

表 5：硅碳负极供应商融资情况

企业名称	融资日期	融资进度	投资方	融资额度	资金用途
兰溪致德	2024-07	D 轮	尚硕资本	/	高能量密度锂电池复合材料领域的研发、生产及销售
碳佳科技	2023-03	Pre-A 轮	IDG 资本独家投资	数千万元	加速布局中试产线，推进产品量产与商业化
格龙新材料	2023-05	A+轮	星航资本(领投)，毅园资本，五源资本、百度风投等跟投	数千万美元	公司加速硅基负极等产品的量产交付
碳什科技	2023-04	天使轮	由险峰长青领投，同创伟业、顺为资本跟投	数千万元	建立苏州母公司及研究院
	2023-07	天使+轮	同创伟业领投，险峰长青、顺为资本、华方资本跟投	数千万元	两个生产基地的设备采购以及补充运营资金
江门和创	2023-08	天使轮	千乘资本领投，源来资本跟投	数千万元	产品迭代、实验条件扩充、现有生产设备的量产放大等
物科金硅	2023-08	A+轮	吉利共创和清流资本领投，同创伟业作为老股东持续追加投资	数千万元	二期产线建设，适当扩大硅基负极产能，完善技术迭代，实现最新型硅碳定型及吨级量产。
索理德	2024-1	A 轮	控股东海和中信建投追投，江峡绿色基金和兴湘科技成果转化基金跟投	数亿元	高性能锂电新材料的研发、产线建设、补充流动资金等
格源	2024-01	天使轮	襄禾资本、武岳峰科创联合领投，麟阁创投跟投	过亿元	/
	2024-09	Pre-A 轮	麟阁创投持续投资、天堂硅谷跟投		
苏州纽姆特	2024-03	A 轮	千乘资本领投	千万元级	/

资料来源：高工锂电，鑫椏资讯，国元证券研究所

硅碳材料行业产能大幅扩张。新型硅碳材料布局者众多，有传统的负极材料领军企业如贝特瑞，杉杉股份，璞泰来；也有新进入硅碳负极产业的公司如致德新能源，天目先导等。行业硅碳产能加速扩张，规模化量产工艺主要以硅氧为主，随着新型硅碳技术的突破，行业扩产向新型硅碳方向转变；据不完全统计，截至目前硅碳和硅氧合计投产产能已经达到 5.3 万吨左右，在建以及规划产能已超过 50 万吨。

表 6：主要材料企业硅负极产能

公司	股票代码	硅基负极产品类别	产能
贝特瑞	835185	硅氧/硅碳	已有 0.6 万吨/年；在建 4 万吨/年
杉杉股份	600884	硅氧/硅碳	已有 20 吨/月(硅氧)；在建 4 万吨
昱瓴新能源		硅氧/硅碳	3 万吨已投产
璞泰来	603659	硅氧/硅碳	在建 1.2 万吨/年
胜华新材	603026	硅碳	已有 0.1 万吨/年；在建 5 万吨/年
翔丰华	300890	硅碳	中试阶段
常州硅源		硅碳	2 万吨 2023 年 11 月份签约
埃普诺		硅碳	30 万吨西昌建设中
华智雄材		硅碳	3 万吨建设中
国佳(内蒙古)		硅碳	10 万吨建设中
硅宝科技	300019	硅碳	已有 50 吨/年；在建 1 万吨/年

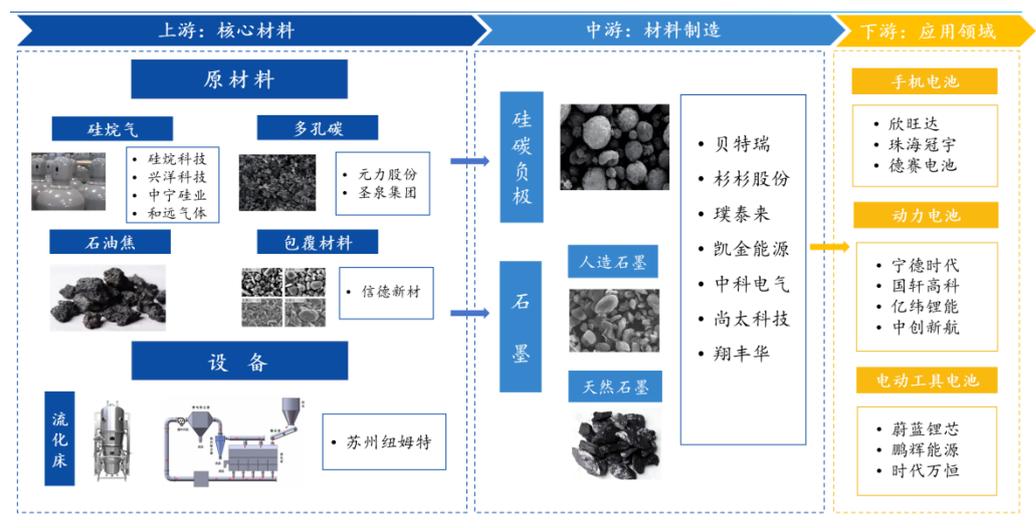
天目先导		硅氧/硅碳	已有 8000 吨/年; 在建 15 万吨/年
凯金能源		硅氧/纳米硅	300 吨/年
杰瑞股份	002353	硅氧/硅碳	在建 2 万吨/年
国轩高科	002074	硅碳	已有 5000 吨/年
金硅科技		硅碳/纯硅	在建 1 万吨/年纯硅、10 万吨以上硅碳负极
大洲电子		硅氧	已有 2000 吨/年; 计划 2024 年底 1 万吨/年
Group 14		硅碳	已有 120 吨/年; 在建 1.2 万吨
Amprion			HESO 已有 400 吨/年, 2025 年达产 2 万吨

资料来源: 石墨时讯, 国元证券研究所

3. 产业链: 设备是关键, 上游材料受益明显

新型硅碳作为电池环节的中游材料, 需要采用和石墨相复合的方式来制备锂电负极材料。上游端, 新型硅碳是由硅烷气和多孔碳制备而成, 合成设备主要是流化床; 下游应用领域为动力电池、手机电池和电动工具等领域。

图 19: 新型硅碳产业链框架图



资料来源: 高工锂电, 锂电前沿, 国元证券研究所

3.1 设备端: 流化床产品均一性好, 行业发展的主要方向

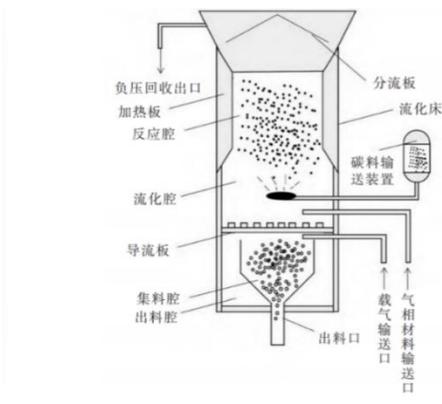
流化床颗粒固化设备, 均一性好。流化床设备是一种通过气体或液体流体化固体颗粒的工艺设备。在硅碳负极的制备过程中, 通过调整流体的流动速度和温度, 使硅颗粒在床层中均匀分布, 进而将硅沉积到多孔碳中, 实现对硅颗粒的碳包覆。在包覆过程中, 通过加热和反应气体的作用, 使硅和碳发生化学反应, 形成稳定的硅碳复合材料。流化床设备的优点: 一是高效包覆, 通过流化床设备, 可以实现对硅颗粒的高效包覆, 确保硅碳复合材料的均匀性和稳定性。二是形态和尺寸控制, 在制备过程中, 可以通过调整流化床设备的工艺参数, 实现对硅颗粒形态和尺寸的控制, 满足不同应用需求。

规模化难度较大, 是行业发展的关键所在。硅烷吸附与裂解需要高压与高温环境以及后端的气固分离, 因此对流化床设备则要求极高的密闭性和高气压以实现小颗粒的

气态包覆，操作难度高。当前业内流化床沉积设备仍以 20kg/炉小型化设备为主，已开发出超过 100kg/炉的设备，并采用多台 20kg/炉设备联用以提升生产效率和产品一致性，但相关设备的验证、改进及工艺优化仍需时间。

图 20：化学气相沉积装备结构图

图 21：化学气相沉积炉



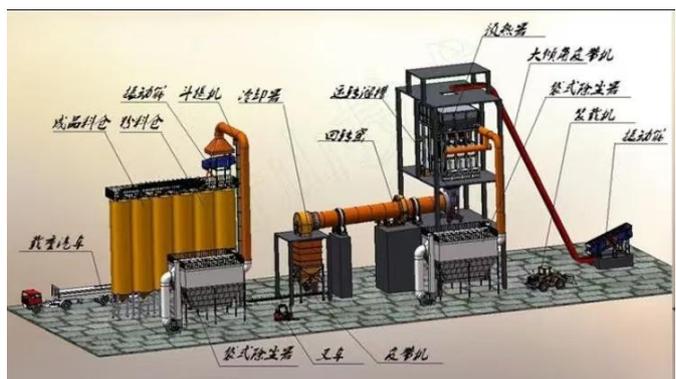
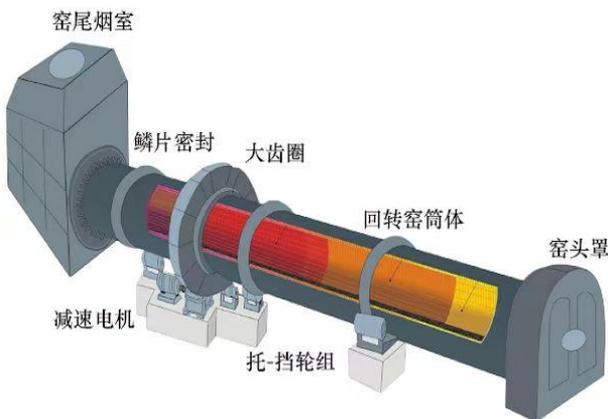
资料来源：付祥南《化学气相沉积法制备硅碳复合负极材料的研究进展》，国元证券研究所

资料来源：晨华科技官网，国元证券研究所

回转窑易于规模放大，产品品质仍需进一步优化。回转窑是一种用于煅烧的设备，通过倾斜和旋转，确保物料均匀加热。在制备硅碳负极材料的过程中，将多孔碳基底材料放入回转窑，通入惰性气体并加热至 450-900℃，引入硅源气体进行气相沉积形成硅层，继续升温至 800-950℃，通入碳源气体进行第二次沉积，形成碳层。通过交替沉积硅碳层，制备出硅碳复合材料。回转窑设备运行稳定，单机产能大、产品容易放大，燃料适应性好，并且近两年技术大幅创新，能耗逐步下降。但是回转窑作为沉积设备容易导致沉积或者包覆不均匀，硅烷利用率低，最终复合后的硅碳性能较差，需要进一步的优化改善。

图 22：回转窑结构图

图 23：回转窑工艺流程图



资料来源：碳达峰智能制造，国元证券研究所

资料来源：SMM 负极石墨，国元证券研究所

3.2 多孔碳：骨架支撑作用，材料特点直接影响负极性能

多孔碳微纳米孔，储硅抑制膨胀。多孔碳材料是以碳为主体的一类具备高度发达的孔隙结构的新型材料，其性能优异具有比表面积大、机械性能强、化学稳定性高、物理

性质优良的特点。根据孔径大小，多孔碳材料通常分为微孔型 (<2 nm)、介孔型 (2~50 nm)、大孔型 (>50 nm)、分级多孔型。在硅碳负极中起到导电、存储硅颗粒，抑制硅膨胀保持 SEI 膜稳定的作用。

图 24：多孔碳材料的特点

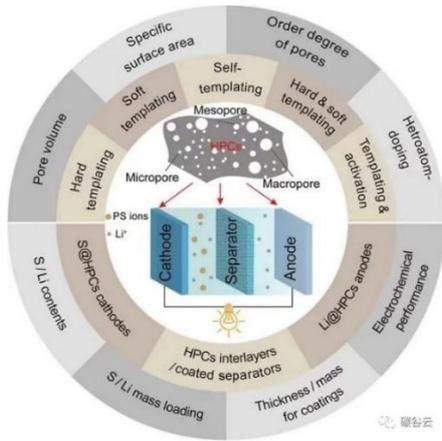
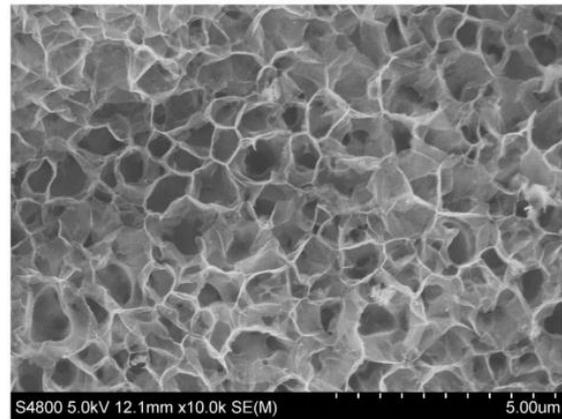


图 25：多孔炭材料微观形貌



资料来源：高端碳材料，国元证券研究所

资料来源：粉体网，国元证券研究所

原材料来源丰富，制备方法多样。多孔碳的原材料主要是有木质素和树脂基两种：木质素基来源丰富且可再生，成本低，性价比较优；树脂基合成的多孔碳孔径分布均匀，有利于硅烷均匀沉积且膨胀率较低，循环性能提升明显。多孔碳的制备方法多样，包括活化法、模板法、溶胶-凝胶法、溶剂热法、化学气相沉积法（CVD）、超声喷雾热分解法等。

表 7：多孔碳制备方法

多孔碳制备方法		活化剂/模板剂	温度/°C	孔隙体积/cm ³ ·g ⁻¹		
				微孔	中孔	大孔
活化法	物理活化法	CO ₂	550		0.1	0.51
	化学活化法	ZnCl ₂	500	0.64	0.15	
模板法	硬模板法	沸石	700	0.126		
	软模板法	NaCl	500	0.12		
	化学模板法	NaOH/NaCl	800	0.43	0.31	
	双硬模板法	Pluronic P123/SiO ₂	900			
微波法	/	KOH		0.7	1.3	
水热法	/	水热: ZnCl ₂	水热: 180	1.4		1.67
		活化: KOH	活化: 700			

资料来源：栗婉婷《木质素基多孔碳材料的制备与应用的研究进展》，国元证券研究所

元力股份：生物质活性炭龙头，有望受益于新型硅碳的放量。公司是全球最大的木质活性炭生产企业，产品矩阵丰富。在活性炭方面，公司深耕木质活性炭领域二十余年，持续朝着全品类的方向发展，主营活性炭产品包括粉末活性炭、柱状活性炭、破碎活性炭、超级活性炭等。此外，公司积极布局储能领域碳基新材料；在硬碳材料方面，利用地处闽北临近全国最大种植面积毛竹林的区域优势，提高硬碳原材料供应稳定性，成本优势明显；多孔碳方面，公司给下游送样测试顺利，未来随着新型硅碳的规

模化放量，公司多孔碳业务有望受益。

表 8：元力股份主要产品介绍

类别	产品	特性	
活性炭	粉末活性炭	吸附速度快，吸附能力使用充分	
	柱状活性炭	高吸附性能、良好的机械强度以及更换维护方便	
	破碎颗粒炭	椰壳炭	有发达的比表面积和孔隙结构、强度高、灰份低等特性
		果壳炭	有发达的比表面积和大孔、中孔、微孔结构，吸附率强
	蜂窝活性炭	风阻小，接触面积大、易再生	
	超级电容炭	具有高比表面、高电容量、高能量密度、高纯度	
新能源材料	硅酸钠	黏结力和强度较高，耐酸性好，耐碱性和耐水性差	
	硅胶	迅速吸附密封包装内的水分、化学性质稳定、无毒无害	
	硬碳负极	一种内部无序的结构，其独特层间结构提供了大量的储钠位点，已知最高容量可达 530mAh/g	
	硅碳负极	以碳为分散基体，硅作为活性物质的新型负极材料	

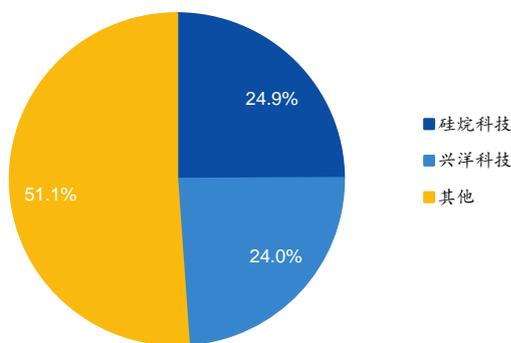
资料来源：元力股份官网，公司公告，国元证券研究所

3.3 硅烷气：小众市场，新型硅碳大幅扩容

硅烷气小细分品种，应用领域广泛。硅烷气，也称为硅烷（化学式 SiH₄），是一种无色、可燃、有毒的气体，主要由硅和氢组成。硅烷在光伏、显示面板、半导体、集成电路、复合材料等新能源和新材料行业有着广泛应用。硅烷气市场规模较小，2022 年硅烷气行业需求约 7301.88 吨，硅烷科技及兴洋科技分别出货 1820、1749.4 吨，市占率分别为 24.9%、24%。

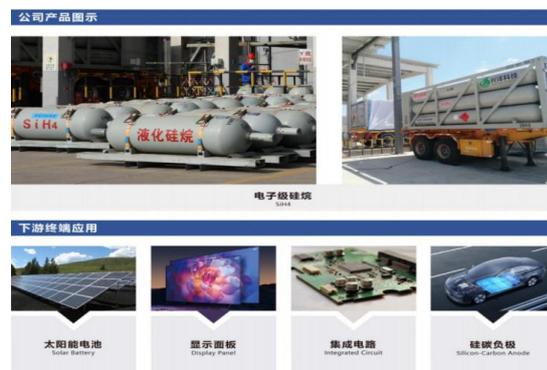
硅烷气应用于新型硅碳领域，前景广阔。随着新型硅碳技术的突破，以及未来在动力电池市场的放量，有望带动硅烷气体市场规模的增长；根据 GGII 的预测，2030 年硅碳负极出货量有望达到 30 万吨，假设有 60% 的比例采用的是新型硅碳，按照一吨新型硅碳需要 0.6 吨的硅烷气制备，则对硅烷气的需求量大约为 10.8 万吨，市场空间大幅扩容。

图 26：2022 年硅烷气市场格局



资料来源：兴洋科技招股说明书，硅烷科技公告，国元证券研究所

图 27：硅烷气应用领域



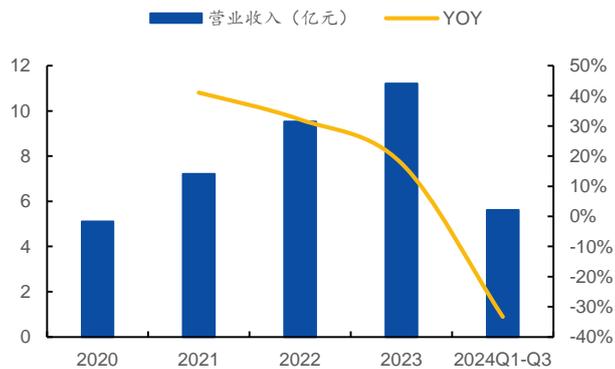
资料来源：兴洋科技招股说明书，国元证券研究所

硅烷科技：深耕硅烷气领域，公司营收稳步增长。公司下游市场覆盖广泛，涉及半导体、显示面板、光伏、尼龙化工等多个行业，目前已积累 TCL 华星、隆基股份、惠

科电子、京东方、爱旭股份、华特气体等一批市场领先的重要客户。近年来，公司电子级硅烷气业务发展迅速，公司营收快速增长，从2020年的5.11亿元增长到2023年11.21亿元。2021年以来光伏行业的快速发展带动电子级硅烷气供不应求，产品价格大幅上涨，公司盈利能力大增，2023年达到3.08亿元；随着行业扩产产能的释放，供需缓解，产品价格下滑，24年前三季度公司归母净利0.88亿元，同比减少了59.8%。

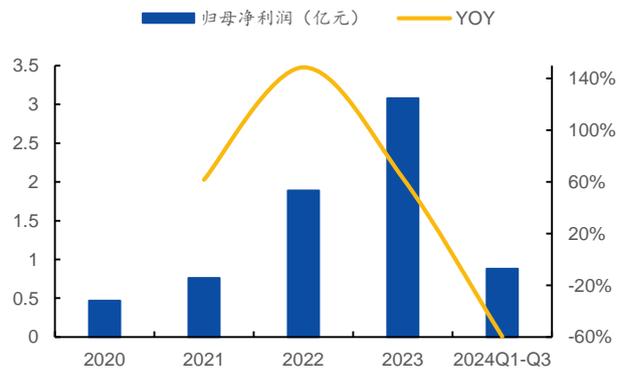
深度绑定天目先导“新一代纳米硅碳负极材料项目”。公司与溧阳天目先导电池材料科技有限公司签订了《战略合作协议》，拟为天目先导或其项目公司长期稳定地提供硅烷供应。天目先导是新型硅碳领军企业，目前规划产能6万吨/年，其中一期产能1万吨/年，建设期为2023年至2024年。一期项目建成达产后，将产生6000吨/年以上的硅烷气采购需求，项目全部建成达产后的远期硅烷气需求量将超过3.6万吨/年。整体来看，此项目的合作有望给公司带来长期稳定的订单需求，拓展公司硅烷气业务，实现产业链条协作和互利共赢。

图 28：硅烷科技营业收入情况



资料来源：iFinD，国元证券研究所

图 29：硅烷科技归母净利润情况



资料来源：iFinD，国元证券研究所

4. 投资建议

新型硅碳负极材料因其高倍率、高能量密度以及理论成本较低的特点，成为产业技术发展的新方向。

- 负极龙头企业凭借规模优势、技术储备丰富多样，成本控制优异，有望优先受益，建议关注**贝特瑞**，**璞泰来**；以及新切入硅碳负极材料的企业：**硅宝科技**。
- 硅烷气是硅碳负极材料的核心原料，是硅颗粒的物料来源，成本占比高达50%以上，有望充分受益于新型硅碳产业的爆发，建议关注相关标的：**硅烷科技**、**兴洋科技**、**和远气体**，**多氟多（中宁硅业）**；
- 多孔碳材料的孔结构对硅颗粒起到抑制膨胀、传输导电的作用，是影响硅碳负极性能的关键材料，建议关注相关标的：**元力股份**、**圣泉集团**。
- 硅碳负极材料添加剂，单壁碳纳米管相关标的：**天奈科技**、**道氏技术**。

5.风险提示

- 1.新技术研发进展不及预期。
- 2.产业化进展不及预期。
- 3.成本下降不及预期。

投资评级说明

(1) 公司评级定义

买入	股价涨幅优于基准指数 15%以上
增持	股价涨幅相对基准指数介于 5%与 15%之间
持有	股价涨幅相对基准指数介于-5%与 5%之间
卖出	股价涨幅劣于基准指数 5%以上

(2) 行业评级定义

推荐	行业指数表现优于基准指数 10%以上
中性	行业指数表现相对基准指数介于-10%~10%之间
回避	行业指数表现劣于基准指数 10%以上

备注：评级标准为报告发布日后的 6 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现，其中 A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数或纳斯达克指数，新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的），北交所基准指数为北证 50 指数。

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或相当的专业胜任能力，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本人承诺报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业操守和专业能力，本报告清晰准确地反映了本人的研究观点并通过合理判断得出结论，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

证券投资咨询业务的说明

根据中国证监会颁发的《经营证券业务许可证》(Z23834000)，国元证券股份有限公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

法律声明

本报告由国元证券股份有限公司（以下简称“本公司”）在中华人民共和国境内（台湾、香港、澳门地区除外）发布，仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。若国元证券以外的金融机构或任何第三方机构发送本报告，则由该金融机构或第三方机构独自为此发送行为负责。本报告不构成国元证券向发送本报告的金融机构或第三方机构之客户提供的投资建议，国元证券及其员工亦不为上述金融机构或第三方机构之客户因使用本报告或报告载述的内容引起的直接或连带损失承担任何责任。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的信息、资料、分析工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的投资建议或要约邀请。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。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。本公司建议客户应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取投资银行业务服务或其他服务，上述交易与服务可能与本报告中的意见与建议存在不一致的决策。

免责条款

本报告是为特定客户和其他专业人士提供的参考资料。文中所有内容均代表个人观点。本公司力求报告内容的准确可靠，但并不对报告内容及所引用资料的准确性和完整性作出任何承诺和保证。本公司不会承担因使用本报告而产生的法律责任。本报告版权归国元证券所有，未经授权不得复印、转发或向特定读者群以外的人士传阅，如需引用或转载本报告，务必与本公司研究所联系并获得许可。

网址：www.gyzq.com.cn

国元证券研究所

合肥

地址：安徽省合肥市梅山路 18 号安徽国际金融中心 A 座国元证券
邮编：230000

上海

地址：上海市浦东新区民生路 1199 号证大五道口广场 16 楼国元证券
邮编：200135

北京

地址：北京市东城区东直门外大街 46 号天恒大厦 A 座 21 层国元证券
邮编：100027