

证券研究报告

2024年03月01日

行业报告 | 行业深度研究

硅碳负极深度：量产在即，助电芯突破能量密度桎梏



天风证券

[综合金融服务专家]

摘要

一、为什么在当前节点关注硅碳负极？

- 1、**从产业背景层面：电芯研发24年降本增效并重：**2023年产业链的重心在降本，24年更多的重心从“降本”逐步转移至“增效”上，以宁德时代的凝聚态电芯为代表的下一代高能量密度电芯标配硅碳负极，高性能电芯持续推进夯实其全球电芯龙头地位；
- 2、**从应用必要性层面：硅碳负极本身是解决能量密度桎梏的突破口：**现有石墨材料比热容可达365mAh/g，接近上限372mAh/g，硅材料理论比热容为4000mAh/g以上，单体电池能量密度可达843Wh/kg；
- 3、**从产业链进程层面：硅碳负极厂家突破多项瓶颈：**23-24年以天目先导为代表的头部硅碳负极厂解决膨胀率等瓶颈问题，产业化渐进。

二、技术路线选择？

硅氧成熟但上限低，气相沉积法硅碳负极是电池厂中长期的选择方向：当前阶段硅基负极产品中，以硅氧为主，硅氧负极的局限在于首效和能量密度（克容量的上限相对较低）。宁德从中长期提升能量密度的角度，鼓励材料厂商发展硅碳负极，尤其是气相沉积法。基于其一
致性更好，CVD法生成的复合材料膨胀率更低，对应循环性能得到显著提升。从材料厂的选择验证，二级头部企业璞泰来、贝特瑞、胜华
新材，以及一级头部企业天目先导等均在重点布局CVD法硅碳技术。

三、气相沉积法硅碳负极产业链

- 1、**设备工艺：回转窑法气密性差且硅烷利用率低，随着流化床设备成熟度的提升，流化床法成为各家的共同选择**

（1）**回转窑：**回转窑沉积时硅烷极易发生自燃爆炸而存在安全隐患，且由于燃烧产生的固体沉淀导致回转窑中硅烷的使用率低，硅烷的较多浪费使得量产的硅碳产品成本较高；（2）**流化床：**反应物颗粒与气相的接触程度大、包覆均匀性好、成片纯度高。

流化床的具体优势体现在：1）**成本控制：**硅烷利用率较高，降低原料的消耗；2）**可实现性：**流化床设备满足高密闭性、高气压，安全性更好；3）**产品性能：**流化床具有高比容量、高首效、高循环稳定性、高倍率性能等优点。

- 2、**核心材料-多孔炭：从0-1新应用，量产难度大，专业多孔炭企业享技术/成本优势**

多孔炭是与硅碳负极匹配度极高，从0-1的新材料。多孔炭对最终硅碳负极的性能起关键性作用。因此硅碳负极纯品对多孔炭的品质提出了极高的要求。专业的多孔炭厂家具备：1）原料筛选、加工处理等性能优势，2）降低原料单耗、能耗、以及规模效应等降本优势。

3、核心材料-硅烷气：特气市场供需两旺，硅碳新应用打开需求空间

从竞争格局上看：近1-2年市场供给仍以硅烷科技、兴洋科技、中宁硅业等企业为主，和远气体等综合性气体企业若顺利切入本行业，将在未来的市场竞争中占据重要地位。

从供需结构上看：2023年需求侧缺口较大，价格处于高位，2024年起供给大规模产能释放，供不应求有望逐步缓解。

四、投资建议

硅碳负极产业链内原材料/设备当中，流化床设备龙头苏州纽姆特未上市，原材料硅烷产品与其他应用领域无差异，主要取决于硅烷供需本身，我们预计随着24-25年大规模扩产落地，硅烷供不应求有望缓解。**我们认为投资机会在从0-1且对硅碳纯品性能影响大的多孔炭环节。**

重点标的-元力股份：颗粒炭替代煤基炭为主业成长性赋能，新能源碳材料蓄势向上

1、传统主业：活性炭领域国内王者，颗粒炭打开主业成长空间：粉状活性炭元力国内市占率30%，10万吨产能远超国内友商（通常在2万吨以内）。**颗粒炭替代：**1）短期替代煤质炭；2）中期活性炭出海；3）长期国内木质炭需求放量；

2、多孔炭新业务：具备技术的先发优势以及量产后的成本优势，有望占据多孔炭领域龙头地位。

风险提示：新技术兑现不及预期、供需关系变化超预期、测算存在主观性、主要原材料价格存在波动风险、安全生产风险

为什么在当前节点关注硅碳负极

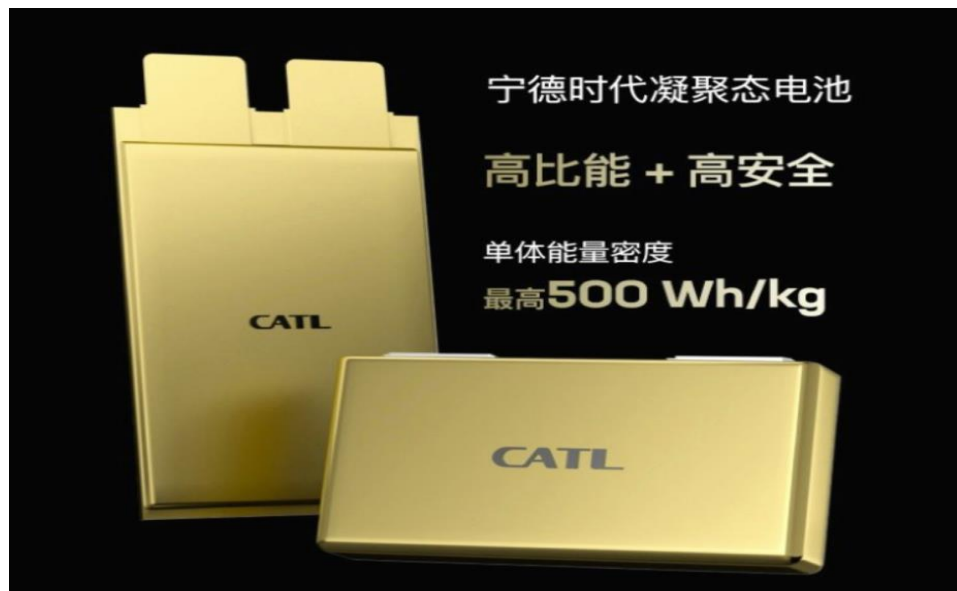
- ✓ 从产业背景层面：电芯研发24年降本增效并重；
- ✓ 从应用必要性层面：硅碳负极本身是解决能量密度桎梏的核心突破口；
- ✓ 从产业链进程层面：硅碳负极厂家突破多项应用瓶颈，具备量产条件

为什么在当前时间点再关注硅碳负极？

1、从产业背景层面：产业链降本影响硅碳负极在23年推广，24年 预计“降本&增效”并重。2023年产业链的重心全部集中于降低材料成本，而硅基负极作为增效（提升能量密度）的关键材料，在降本的大环境下推广受阻。经过2023年产业链端大规模降本，以国内方形磷酸铁锂动力电池为例，从年初的0.83元/Wh降至23年11月底0.43元/Wh，价格降幅达48%。材料厂单位盈利持续收窄，目前继续大幅降本的空间有限。

在此基础上，我们预计电芯将重新将更多的重心从“降本”逐步转移至“增效”上，现有材料体系的电芯技术已发展到了瓶颈阶段，只有在下一代更高性能电芯上占据性能/成本优势，才能夯实电池龙头的产业地位。以宁德时代的凝聚态电芯为代表的下一代电芯技术标准配硅碳负极，助力电芯在能量密度层面实现质的跨越（从目前材料体系的能量密度约300Wh/Kg提升至500Wh/Kg）。

图：凝聚态电池是宁德重点要落地的高性能电芯



：车家号

为什么在当前时间点再关注硅碳负极？

2、从应用必要性层面：硅碳负极是电池增效的重要方向：

- 1) 硅碳材料能大幅提升电池能量密度。现有石墨材料比热容可达365mAh/g，接近上限372mAh/g，硅材料理论比热容为4000mAh/g以上，单体电池能量密度可达843Wh/kg。
- 2) 硅基材料安全性能高。硅负极嵌锂电位适中（0.4Vvs.Li+/Li），在充电嵌锂过程中没有析锂隐患，提高锂离子电池的安全性能。
- 3) 硅资源储量丰富。与石墨相比，硅元素在地壳中含量丰富分布广泛，约为地壳质量的27.6%，是地壳中储量第二丰富的元素。
- 4) 硅材料快充性能优异。能从各个方向提供锂离子嵌入的通道，快充效率高。

表：硅材料相比石墨材料能量密度高倍率性好

类型	天然石墨负极	人造石墨负极	硅基负极
理论容量	340-370mAh/g	310-360mAh/g	400-4000mAh/g
首次效率	> 93%	> 93%	> 80% (部分可 > 90%)
倍率性	一般	一般	较好
成本	较低	较低	较高
优点	能量密度较高，加工性能好	膨胀低，循环性能好	能量密度高，安全性较强
缺点	电解液相容性较差，膨胀较大	能量密度低，加工性能差	膨胀大，首次效率低

表：下游中高端厂商对硅碳产品重点布局

企业名称	硅负极应用/重点布局	
车/手机	特斯拉	4680电池能量密度244Wh/kg（预计二代达到288Wh/kg），已装车ModelY，预计配套新车型Cybertruck；
	蔚来	超高镍正极+预锂化硅碳负极150kWh半固态电池包，能量密度260Wh/kg. 预计24年Q2量产装车；
	华为	拥有硅碳复合材料及其制备方法和锂离子电池发明专利；
	小米	小米13搭载电池容量提升了200mAh，搭载67W快充，能量密度达到了735Wh/L；
	荣耀	Magic5 Pro搭载硅碳负极材料“青海湖电池”，相比上一代Magic4的电池能量密度提高了12.8%；
电池厂	宁德时代	麒麟电池能量密度255Wh/kg
	亿纬锂能	46系大圆柱电池未来规划能量密度在350Wh/kg以上；
	中创新航	硅碳负极搭配高镍电他能量密度达到350Wh/kg；
	比克电池	搭载高镍正极+硅碳负极体系；
	珠海冠宇	公司客户中VIVO、荣耀、华为等手机对电池需求迫切

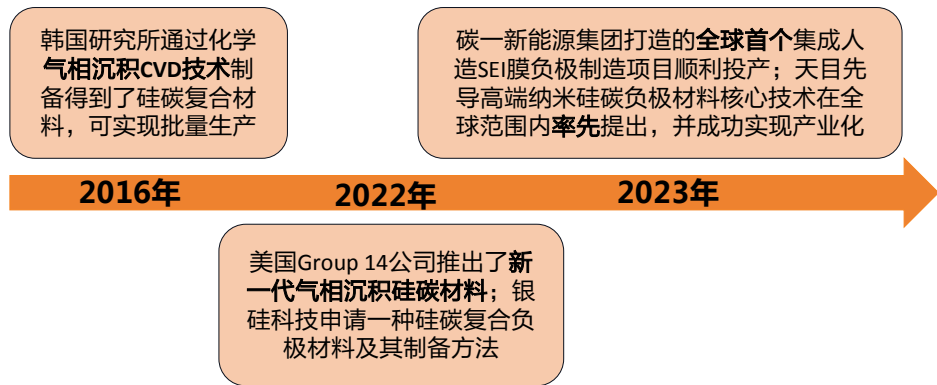
为什么在当前时间点再关注硅碳负极？

3、从产业链进程层面：硅碳负极产品经过近两年的发展，产业链成熟度显著提升：

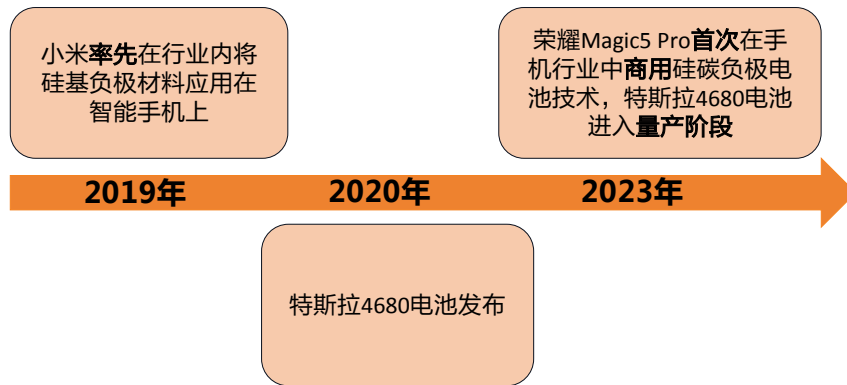
1) 技术层面：2006年，贝特瑞开始进行硅碳负极技术的研究并获得**第一项发明专利**；2016年，韩国研究所（UNIST）通过**化学气相沉积CVD技术**制备得到了硅碳复合材料，可实现**批量生产**；2022年，美国Group 14公司推出了**新一代气相沉积硅碳材料**。银硅科技申请一种硅碳复合负极材料及其制备方法，提高了材料循环性能和倍率性能，并且简化了工艺流程，极大地降低了生产成本；2023年，碳一新能源集团打造的**全球首个集成人造SEI膜负极制造项目**顺利投产。天目先导高端**纳米硅碳负极材料**核心技术由中科院物理研究所在全球范围内**率先提出**，并成功实现产业化，开启了负极材料发展的**新未来**。

2) 行业层面：2019年，小米**率先**在行业内将硅基负极材料应用在智能手机上；2020年，特斯拉4680电池发布；2023年，荣耀Magic5 Pro**首次**在手机行业中**商用**硅碳负极电池技术，特斯拉4680电池进入**量产阶段**，标志着硅碳负极发展进入**新阶段**。

图：硅碳负极近年核心技术突破



图：硅碳负极行业近年关键发展



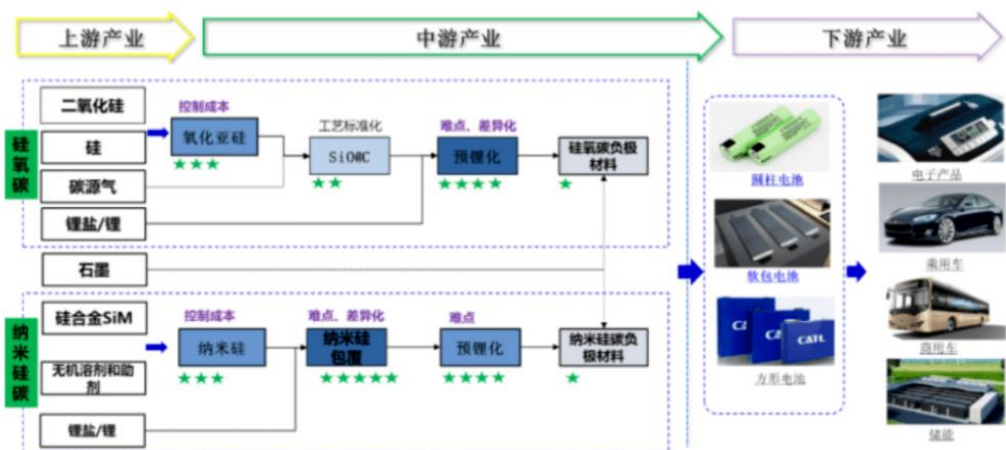
二 技术路线选择

- ✓ 硅氧成熟但上限低，气相沉积法硅碳负极是电池厂中长期的选择方向

目前批量出货以硅氧为主，从中长期考虑偏向硅碳

- 当前阶段硅基负极产品中，以硅氧为主（二代硅氧，大部分出货至海外），本质原因是贝特瑞、杉杉为代表的氧化亚硅产品成熟度较高。硅氧负极需要提升的点在于首效和能量密度。
- 从中长期提升能量密度的角度出发，材料厂商倾向于发展硅碳负极，尤其是气相沉积法下的硅碳路线。本质上是打开能量密度上限、控制膨胀率、提升循环寿命。现有硅碳负极是用传统研磨法生产。研磨法下硅颗粒尺寸较大（通常在100nm以上），膨胀问题难以解决。CVD法通过将硅纳米颗粒沉积在碳基体表面形成复合材料，基于其产品组分均匀、结构致密，CVD法生成的复合材料膨胀率更低，对应循环性能得到显著提升，可以更好的发挥硅碳负极高容量的性能优势，待产品成熟，规模化降本后有望大批量应用。
- 从材料厂的选择验证，头部材料企业倾向于采用CVD法硅碳负极。

表：硅氧硅碳两种技术路线



CVD法提升能量密度幅度高，且膨胀率低，循环性能优异

- **气相沉积（CVD）法核心工艺流程：**气相沉积法是通过多孔碳骨架来储硅，先用高分子材料制造出类似海绵一样具有多孔结构的碳颗粒，然后向多孔碳颗粒的孔隙里通入硅烷气体，通过高温热解使气体沉淀成硅纳米颗粒分散在多孔碳的孔隙里，该方法能对制备的纳米材料实现分子尺度的控制，产品形貌较好，同时沉积产生的硅碳材料组分均匀，结构较为致密，通过多孔碳内部的空隙来缓冲体积膨胀，因此膨胀率低，循环优异。
- ✓ **CVD法的核心优势：**1) 碳骨架具备不错的储锂能力；2) 碳骨架本身密度小质量轻，使得材料能量密度高；3) CVD气相沉积硅所需生产流程短，设备少，理论成本低。
- ✓ **CVD法的核心难点在于多孔碳的选型、沉积设备和沉积工艺：**1) 碳骨架的好坏直接决定产品的量产能力（孔径、孔容、孔隙率均一性）；2) 沉积设备是量产瓶颈（回转窑容易沉积/包覆不均匀、而导致性能较差，且硅烷利用率低；流化床高密闭性、高气压，放量困难）3) 沉积工艺的量产工艺一致性要求极高。

表：CVD法硅碳负极与常规硅碳性能对比

类别	颗粒度（D50）	循环性能	掺硅比例	纯硅粉克容量	复合后克容量
常规硅碳	>100nm	600-1,000 次	5%-8%	1,500-1,800mAh/g	400-450mAh/g
新一代硅碳	<10nm	1,000-1,500 次	10%-15%	1,800mAh/g 左右	500-600mAh/g

三

气相沉积法硅碳负极产业链

- ✓ 设备工艺：回转窑法气密性差且硅烷利用率低，随着流化床设备成熟度的提升，流化床法成为各家的共同选择
- ✓ 核心材料-多孔炭：从0-1新应用，量产难度大，专业多孔炭企业享技术/成本优势
- ✓ 核心材料-硅烷气：特气市场供需两旺，硅碳新应用打开需求空间

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/718075024131006041>