

证券研究报告

2022年03月30日

行业报告 | 行业深度研究

# 新技术系列报告 ——高镍+高电压+大圆柱

## 放量拐点，看好硅负极及衍生新材料投资机会

作者：

分析师 孙潇雅 SAC执业证书编号：S1110520080009



**天风证券**

[综合金融服务专家]

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

**我们认为当前锂电池有两大技术路线，以方形铁锂为代表的高性价比路线和以三元高镍大圆柱为代表的高性能路线。**

- ✓ 近两年，方形铁锂得益于CTP、刀片电池的技术进步，在续航里程600公里及以下乘用车市场性价比十足。根据鑫椤锂电数据，22年3月25日铁锂方形动力电芯均价为0.77元/wh，同期三元方形动力电芯均价在0.84元/wh。得益于刀片电池技术，比亚迪LFP版车型能量密度达140Wh/kg，续航里程达565km，突破了铁锂续航里程天花板。
- ✓ 往后看，高镍+硅基负极+大圆柱三者优劣势互补主打高能量密度，更适配600公里续航以上市场。大圆柱的优势是不易热失控和弧形表面更耐膨胀。高镍三元优势是能量密度高，劣势是成本高+热稳定性差，成本高的改变可依赖三元一体化镍冶炼投放降低镍的成本，热稳定性差可搭配圆柱封装形式改善。硅基负极优势是能量密度高+适合快充，劣势是成本高+易膨胀，我们认为成本高是初期，可依赖规模化降本，易膨胀可搭配圆柱封装形式。

**本篇报告系高镍+高电压+大圆柱“系列新技术报告——从硅负极说起新材料的投资机会，并引申出周边新材料投资机会，如单壁碳纳米管、补锂剂、PAA粘结剂，有望得以受益于低基数+渗透率提升，未来几年市场空间增速可观，得益于技术溢价，龙头利润空间有望可观。**

**硅是负极材料进步的方向，放量在即。**目前主流石墨负极企业比容量可做到355-360mAh/g，接近理论比容量372mAh/g，负极材料急需升级，硅材料理论比容量达4200mAh/g，是石墨的10倍以上。受制于膨胀率高（硅在300%，石墨在12%），硅负极产业化受阻，目前硅基负极主要应用在高端3C数码、电动工具、高端动力电池领域，在负极渗透率不足2%。特斯拉自产电池大圆柱明确表示采用硅负极，此外车企电池厂如松下、三星、广汽、蔚来等也宣布采用硅负极。

**硅负极一般通过掺杂的形式到人造石墨中以实现产业化（目前掺杂比例在5%左右），根据硅材料选择的不同分为硅碳、硅氧两条技术路线。**

- ✓ **硅碳负极：**采用纳米硅和石墨材料混合，目前商业化容量在450mAh/g以下，首效高，但体积膨胀系数过大，导致其循环差，一般在500-600周，一般用于消费电池。
- ✓ **硅氧负极：**采用氧化亚硅和石墨材料混合，目前商业化应用容量主要在450-500mAh/g，首效相对较低，但循环性能相对较好，既可用于消费也可用于动力。

# 摘要

硅碳负极的制备的核心在于球磨，硅氧负极制备的核心在于氧化亚硅的改性。正如硅负极有纯品和复合品的概念（我们所说的硅基负极指的是复合品），硅负极的制备也有两段工序，我们将其分为前端的纯硅制备和后端的与石墨复合，我们认为核心是在前端的纯硅制备。硅碳的核心是制备纳米硅，一般采用机械球磨法，硅氧的核心是制备氧化亚硅，且需要改性处理，一般采用化学气相沉积法（CVD）进行碳包覆。

硅基负极的单价、CAPEX明显高于石墨负极。石墨负极的价格一般在3-6万元/吨，据我们测算硅负极纯品价格一般在30-70万元/吨，复合品价格一般在8-12万元/吨。人造石墨负极一体化产能单万吨固定自产投资一般在2亿元左右，硅基负极的特别是前端纯品硅的单万吨固定资产投资一般在10亿元左右。

硅负极目前处于行业发展初期，海外日本信越较为领先，国内贝特瑞研发、量产、客户端全面领先同行。

- ✓ **海外：**日韩企业在硅基负极上领先多是在专利层面，如日本信越化学硅氧负极专利数行业领先，但其主营半导体等，量的层面未见领先。
- ✓ **国内：**贝特瑞于2010年取得硅基负极材料的技术突破，并于2013年实现批量出货，客户系松下、三星。贝特瑞产品持续更新迭代，高代产品比容量、首次效率明显领先同行。贝特瑞现有硅负极产能3000吨（我们预计为纯品），规划产能4万吨。而同行尚处于百、千吨中试线水平，未见大批量出货。

硅基负极放量为衍生材料带来放量契机，典型如单壁碳管、补锂剂、负极粘结剂。

- ✓ **单壁碳管：**可在材料内部形成发达网络，覆盖在硅颗粒表面并在硅颗粒之间建立高度导电和持久的连接，显著提升硅负极循环寿命。
- ✓ **补锂剂：**硅负极表面SEI膜的形成需消耗大量锂源，这使得硅基负极的首次效率显著低于石墨，石墨材料有5%~10%的首次不可逆锂损耗，而硅的不可逆容量损失达15%~35%，故硅负极一般需要搭配补锂剂使用。
- ✓ **PAA粘结剂：**对于充放电循环中具有极高体积膨胀的硅基负极，合理设计粘结剂可大大改善其循环寿命。

前文以硅基负极为主线，衍生出单壁碳纳米管、补锂剂、PAA粘结剂，25年硅负极市场空间有望达300亿+，其他材料有望在50亿左右，21-25年复合增速在100%左右。

# 摘要

21年负极全球产量88万吨，预计21-25年锂电池复合增速40%，硅基负极渗透率我们预计在23年迎来放量拐点达6.5%，25年达14%（渗透率的假设和大圆柱放量相匹配）。单价硅纯品价格和人造石墨价格按照加权平均而得，纯品硅掺杂比例22年在5%，预计25年达8%，纯品硅价格22年在45万元/吨，25年降至30万元/吨，人造石墨22年在6万元/吨，25年降至4万元/吨，则硅基负极（复合品）22年单价在8万元/吨。

25年降至6.1万元/吨。基于以上逻辑和假设，我们对四大新材料25年市场空间、龙头公司利润空间预测如下：

- ✓ **硅基负极**：全球需求量达52万吨，市场空间319亿元，21-25年复合增速135%。我们预计龙头系贝特瑞，市占率达40%，20%净利率下利润空间在19亿元。
- ✓ **单壁碳管粉体**：全球需求量达524吨，市场空间42亿元（多壁市场空间在200亿），21-25年复合增速153%。我们预计龙头系天奈科技，市占率50%，40%净利率下利润空间在7.3亿元。
- ✓ **补锂剂**：全球需求量达1.8万吨，市场空间44亿元，21-25年复合增速157%。我们预计单吨净利润25年在5万元（对应17%净利率），市占率在50%下，利润空间在4.8亿元。
- ✓ **PAA粘结剂**：全球需求量达5.1万吨，市场空间54亿元。21-25年复合增速94%。我们预计龙头30%净利率（茵地乐毛利率60%），市占率在50%下，利润空间在8.4亿元。

## 投资建议

- 1、**大圆柱**：推荐【亿纬锂能】。预计23年出货5GWh，贡献利润3.2亿元，占比总利润5%。
- 2、**硅基负极**：推荐龙头【贝特瑞】。我们预计23年出货5万吨（混合品），单吨净利1.4万元，贡献利润7.1亿元，占比总利润18%。
- 3、**衍生材料**：1）单壁碳纳米管推荐【天奈科技】。我们预计天奈23年单壁管出货20吨，单吨净利润400万元，贡献利润0.8亿元，占比总利润7%。2）PAA粘结剂推荐【璞泰来】，其参股公司茵地乐（26%股权）在PAA上行业领先。3）补锂剂建议关注【德方纳米】，其已公告4.5万吨补锂剂项目，后续有望放量增利。

**风险提示：电动车销量不及预期、大圆柱进展不及预期、硅负极进展不及预期、产能扩建不及预期、测算具有主观性**

# 前言：从电池新技术看新材料投资机会

20H2至今，具备高性价比的“方形铁锂”电池搭配CTP/刀片技术在600公里及以下续航的电动车市场大放异彩。

往后看，电动车不仅是提续航也需提快充，电池不仅依赖低成本材料也需增效降本，我们认为在600公里+市场，高镍三元+硅基负极+大圆柱更为适配。

- ✓ 高镍三元优势是能量密度高，劣势是成本高+热稳定性差，成本高的改变可依赖三元一体化镍冶炼投放降低镍的成本，热稳定性差可搭配圆柱封装形式改善。
- ✓ 硅基负极优势是能量密度高+适合快充，劣势是成本高+易膨胀，成本高是初期，可依赖规模化降本，易膨胀可搭配圆柱封装形式。
- ✓ 此外，随着硅基负极的放量+高性能电动车市场对快充的需求提升，相关辅材如单壁碳纳米管、补锂剂、负极粘结剂也有望受益。

## 锂电池技术路线既有三元、铁锂之争，又有方形、圆柱、软包之争

□ 锂电池的技术路线按正极材料划分可分为三元和铁锂，三元主打高性能（能量密度高），铁锂主打经济性（成本低）。

□ 锂电池的技术路线按形状分可分为方形、圆柱、软包。软包能量密度最高，方形成组效率最高，圆柱生产效率最高。

表：不同技术路线正极材料性能对比

项目	磷酸铁锂（LFP）	镍钴锰酸锂（NCM）
比容量（mAh/g）	130-140	150-220
循环寿命（次）	>2,000	1,500-2,000
安全性	好	较好
成本	低	较低
优点	成本低 高温性能好	电化学性能好 循环性能好 能量密度高
缺点	低温性能差	部分金属价格昂贵

表：不同形状动力电池的主要技术指标对比

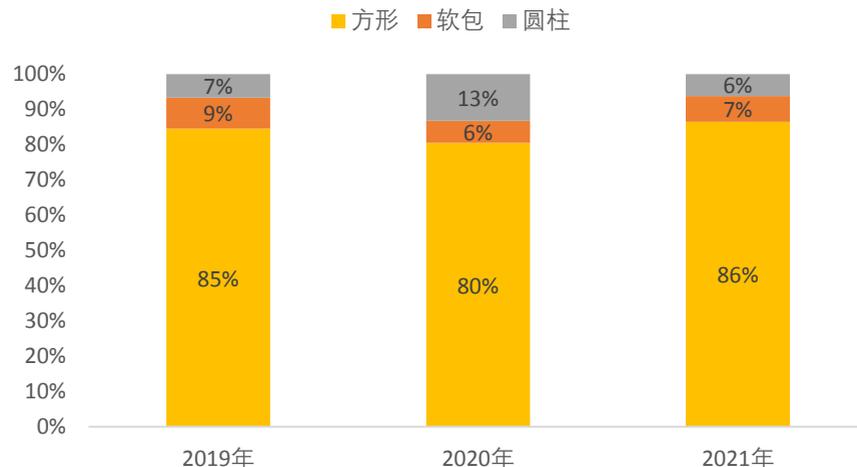
项目	三元软包	三元方形	三元圆柱	磷酸铁锂方形
正极材料	三元材料	三元材料	三元材料	磷酸铁锂
壳体	铝塑膜	钢壳或铝壳	钢壳或铝壳	钢壳或铝壳
制造工艺	软包叠片	方形卷绕、叠片	圆柱卷绕	方形卷绕
平均能量密度（wh/kg）	260	240	250	180
工作电压（V）	3.71	3.71	3.65	3.2
循环寿命（次）	2000	2000	1500	3000
工作温度范围	-30℃至 55℃	-30℃至 55℃	-30℃至 55℃	20℃至 55℃
低温容量（-20℃/25℃）	85%	85%	85%	60%
成组效率	70%	75%	65%	80%

# 近两年来，铁锂&方形表现强势，21年国内占比近90%

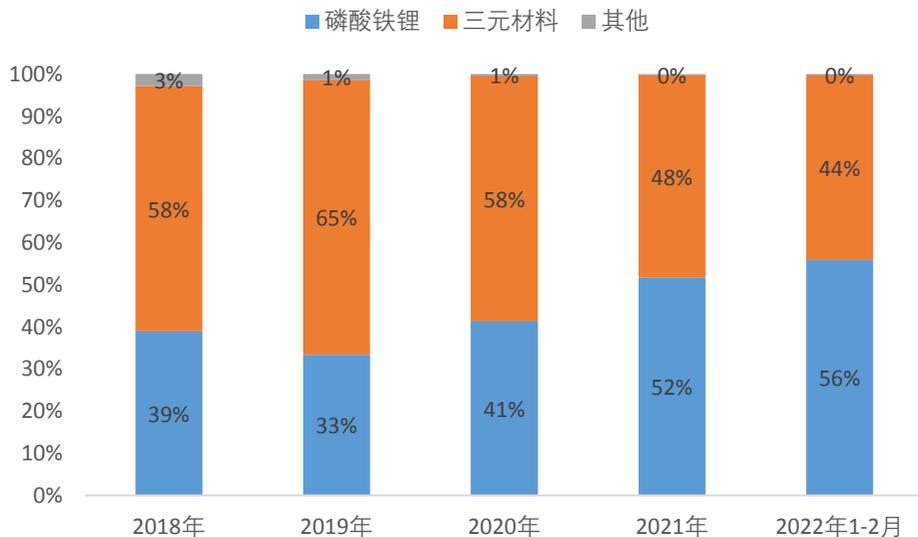
□20H2开始铁锂电池强势反攻三元，目前占比过半。18-20H1是铁锂的淡季，在动力市场装机占比下降至33%，20H2开始崛起，到22年1-2月占比达56%。

□方形是全球动力电池的主流，我们预计21年全球占比超50%。  
18-19年全球方形电池占比达57%，20年略有下降我们认为系LGES占比提升所致。21年国内方形电池占比达86%，较20年提升6pct。

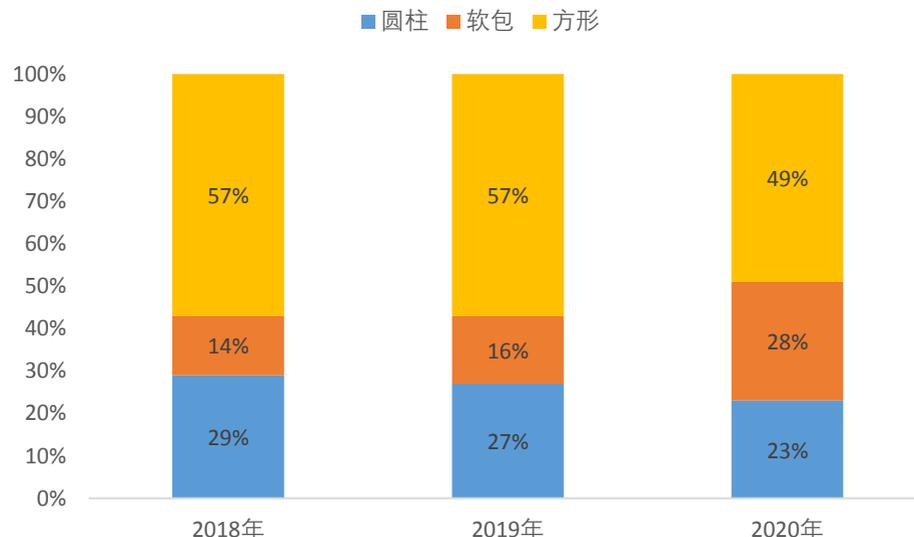
图：国内动力电池形状占比（%）



图：中国动力电池市场不同材料种类电池装机量对比（%）



图：全球动力电池形状占比（%）



# 为何铁锂、方形表现强势？成本低+CTP/刀片技术带来能量密度提升

□ 铁锂电池成本明显低于三元，方形电池成本低于圆柱、软包。（从瓦时成本看，已经考虑了能量密度不同带来的差异）

✓ 根据鑫椤锂电数据，22年3月25日铁锂方形动力电芯均价为0.77元/wh，同期三元方形动力电芯均价在0.84元/wh。

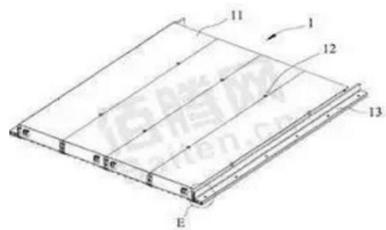
✓ LGC供应的三元软包电池包2019年价格约为1.54元/Wh，同期宁德时代的三元方形电池包价格为1.14元/Wh，松下的圆柱单体电芯价格约为0.96元/Wh。

□ CTP、刀片新技术明显提升铁锂电池续航天花板。CTP、刀片通过大幅减少单体连接线束以及相关的流程工艺成本，从而大幅度提高成组效率（能量密度）。2020年第10批新能源汽车推广目录显示，比亚迪LFP版车型能量密度达140Wh/kg，续航里程达565km。从实际应用端看，小鹏P7的铁锂版较三元版便宜3.9万元，续航低100公里，此处重要的是消费者对于续航里程边际效用递减，480公里可以满足大部分通勤需求。

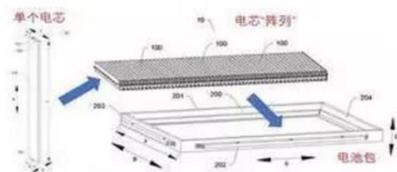
图：小鹏P7 铁锂版和三元版对比

项目	小鹏P7 480N	小鹏P7 586N
补贴后售价（万元）	23.99	27.09
电池类型	磷酸铁锂电池	三元锂电池
续航里程（公里）	480	586
带电量（kwh）	60.2	70.8

图：宁德时代CTP&比亚迪刀片电池



宁德时代CTP电池成包布局



比亚迪“刀片”电池单体及成包布局

表：刀片电池技术+磷酸铁锂的电池包与普通三元能量密度对比

	单体		系统	
磷酸铁锂-刀片 电池	190Wh/kg	370Wh/l	152Wh/kg *	247Wh/l*
三元-普通	245Wh/kg	550Wh/l	160Wh/kg	247Wh/l

刀片电池（质量基于80%集成效率，体积基于传统三元电池包集成效率45%的1.5倍为67%估计）

## 三元表现弱势原因？成本居高不下且续航里程和铁锂相比优势不大

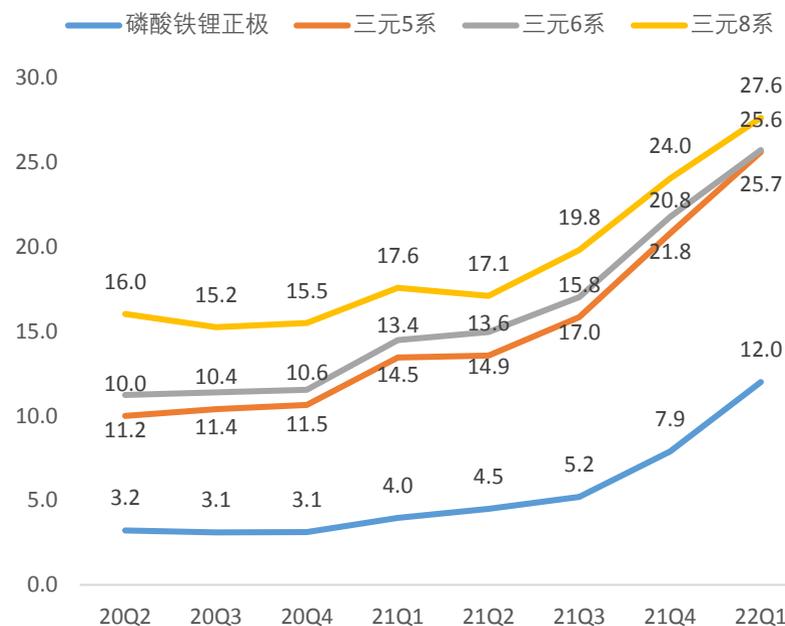
□三元正极成本明显高于铁锂正极。以22Q1数据为例，三元8系、5系、铁锂正极不含税成本分别为27.6、25.6、12.0万元/吨，按照单GWh单耗1600、1700、2500吨计算，单GWh成本分别为4.42、4.37、3.00亿元。

□近三年来，三元电池配套车型续航里程提升明显慢于铁锂。根据工信部发布的《道路机动车辆生产企业及产品公告》，我们统计了19-21年的乘用车系统能量密度和续航里程，发现铁锂续航里程提升迅速，21年已经可达到600公里。三元电池配套的车辆续航里程最大值从605提升至708公里，铁锂最大值从450提升至600公里。

表：2019-2021年工信部乘用车配套车型系统能量密度、续航里程变化

项目	2019年	2020年	2021年
三元能量密度最大值 (wh/kg)	182	180	190
三元能量密度最小值 (wh/kg)	95	142	135
铁锂能量密度最大值 (wh/kg)	144	144	141
铁锂能量密度最小值 (wh/kg)	100	95	95
三元最大行驶里程 (公里)	605	706	708
铁锂最大行驶里程 (公里)	450	605	600

图：正极材料不含税价格走势（万元/吨）



## 往后看，三元大圆柱是实现高能量密度+强快充性能的重要技术路线

□大圆柱更适配三元高镍+硅负极，且可实现更高能量密度。

✓ 大圆柱不易热失控和高镍三元热稳定性差相互补。圆柱电池优势是应对热失控，劣势是成组效率低，和高镍三元结合正好扬长避短，高镍三元的优势是高能量密度；劣势是热稳定性差，4680搭配高镍三元可充分发挥二者高能量密度和安全性。

✓ 大圆柱弧形表面更耐硅负极的膨胀。硅材料易膨胀，膨胀率高达300%，而石墨材料在12%，但硅材料理论克容量是石墨材料的10倍以上。

□ 800V高电压成为实现电动车快充的重要方式。当前电动车的痛点是续航焦虑，解决的办法一方面可提升电池能量密度，从而提升续航里程，另一方面可提升快充性能。快充和充电功率有关，功率越大，充电时间越短，而提升功率有两个方式：1) 提高电流，2) 提升电压。提升电压较提升电池更为容易，故当前产业趋势为发展高电压，如800V 电压平台搭配 350kW 超级充电桩，充 30 度电约 5 分钟，接近燃油车在加油站的使用体验。

□大圆柱更适配800V高电压。

✓ 高电压需要大量串联单个电芯↻串联个数越多对电芯一致性要求越高↻圆柱电池一致性最好↻圆柱电池更适配高电压。

✓ 单体容量过大如方形不好平衡串联和并联（800V已经需要200个电芯串联），单体容量过小如2170圆柱，需要电芯总数较多，增加结构件等成本，故4680等大圆柱更适配高电压。

图：表：不同形状三元电池单体容量对比

形状	18650	21700	46800	方形	软包
单体容量 (Ah)	3.5	4.8	30	100-300	30-80

# 一体化镍冶炼降材料成本+4680量产在即，代表高性能的三元大圆柱技术路线放量拐点已至

- 三元成本端**：三元趋势是高镍，未来成本大头是镍，随着前驱体厂商红土镍矿冶炼项目路线在22年将投产期，23年大规模量产，三元高镍正极成本有望显著降低。
- 性能端**：4680 大圆柱路线与 2170 电池相比，单体带电量提升 5 倍，减少结构件等非活性物质占用体积，整体续航里程提升 16%，无极耳（全极耳）设计大幅提升了电池功率，带来更快充电速度。
- 截至22年2月特斯拉已生产100 万颗4680电池，松下日本扩产大圆柱，以及产业链公司恩捷、诺德陆续收到海外车企订单来看，我们预计4680大圆柱量产在即。

图：特斯拉4680大圆柱电池构想



## 总结：看好提升能量密度、快充性能的电池、材料产业链

- 近两年，锂电池市场比较偏好低成本的技术路线，加上CTP、刀片新技术一定程度上弥补了能量密度短板，方形铁锂大行其道。不可否认，方形铁锂在600公里及以下续航里程乘用车上具备高性价比，但同时我们认为也不应忽视代表高性能的高镍三元路线，搭配大圆柱，有望成为未来600公里以上续航乘用车的主流技术路线。
- 大圆柱可弥补高镍三元稳定性的劣势，亦可弥补硅负极易膨胀的劣势，实现更高的能量密度和快充性能。
- 三元高镍大圆柱趋势下，利好以下产业链（考虑弹性）：
  - ✓ 电池：看好大圆柱进展领先的【亿纬锂能】。
  - ✓ 负极：看好硅负极量产领先的【贝特瑞】。
  - ✓ 硅负极衍生辅材：1）单壁碳纳米管推荐【天奈科技】。我们预计天奈23年单壁管出货20吨，单吨净利润400万元，贡献利润0.8亿元，占比总利润7%。2）PAA粘结剂推荐【璞泰来】，其参股公司茵地乐（26%股权）在PAA上行业领先。3）补锂剂建议关注【德方纳米】，其已公告4.5万吨补锂剂项目，后续有望放量增利。
- 本篇报告系高镍+高电压+大圆柱“系列新技术报告——从硅负极说起新材料的投资机会，主要分析了硅负极的起量原因、技术路线、行业属性、竞争格局、市场空间，并引申出周边新材料投资机会（介绍原因，市场空间和相关标的弹性，具体细分赛道供给研究见各自行业/个股报告）

# 1

硅是负极材料进步的方向，放量在即

## 硅材料克容量、快充性能优异，是负极材料发展进步的方向

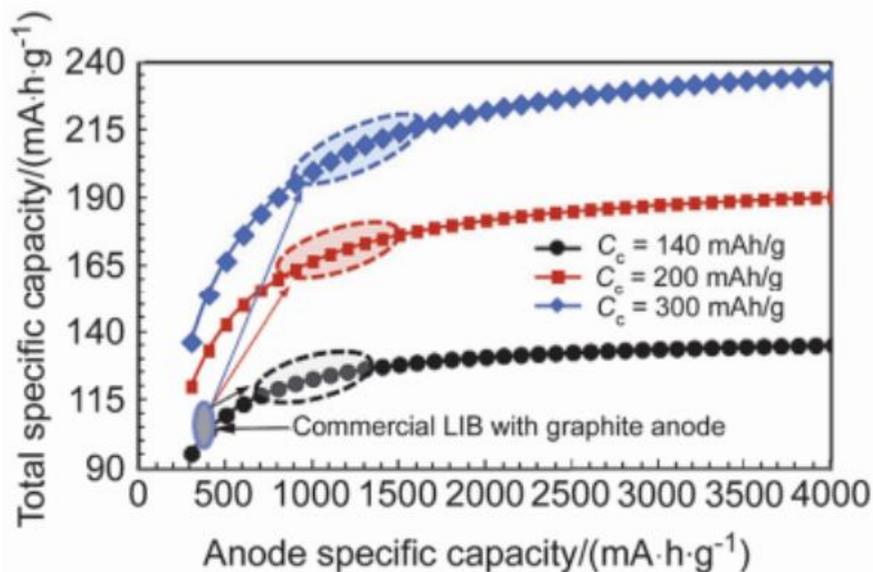
□高镍三元&人造石墨已接近理论克容量上限，未来提升电池能量密度依赖硅材料。电池比容量受正负极比容量影响，目前三元正极已经迭代至8系，甚至9系，模拟计算表明，在当前正极材料基础上，在 $1200\text{ mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$ 以内提升负极材料的比容量对提高整个电池的能量密度仍然有较大贡献。目前主流负极企业比容量可做到 $355\text{--}360\text{mAh/g}$ ，接近理论比容量 $372\text{mAh/g}$ ，负极材料急需升级，硅材料理论比容量达 $4200\text{mAh/g}$ ，是石墨的10倍以上，我们认为有望成为下一代负极材料。

□除了追求高能量密度带来高续航，快充也是锂电池进步的一大方向，决定快充性能更多在负极材料，硅负极快充性能更优。锂离子电池充电的时候，锂离子向负极迁移，快充电芯实际上重要的技术难点为锂离子在负极的嵌入问题。硅从各个方向提供锂离子嵌入和脱出的通道，而石墨只能从层状的端面方向提供锂离子嵌入和脱出的通道，因此硅负极快充性能更优。

表：负极材料性能对比

类型	天然石墨	人造石墨	硅基负极
理论容量	340-370mAh/g	310-360mAh/g	<b>400-4000mAh/g</b>
首次效率	>93%	>93%	>77%
循环寿命	一般	较好	较差
安全性	较好	较好	一般
倍率性	一般	一般	<b>较好</b>
成本	较低	较低	较高
优点	能量密度高、加工性能好	膨胀低，循环性能好	能量密度高
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、循环性能差

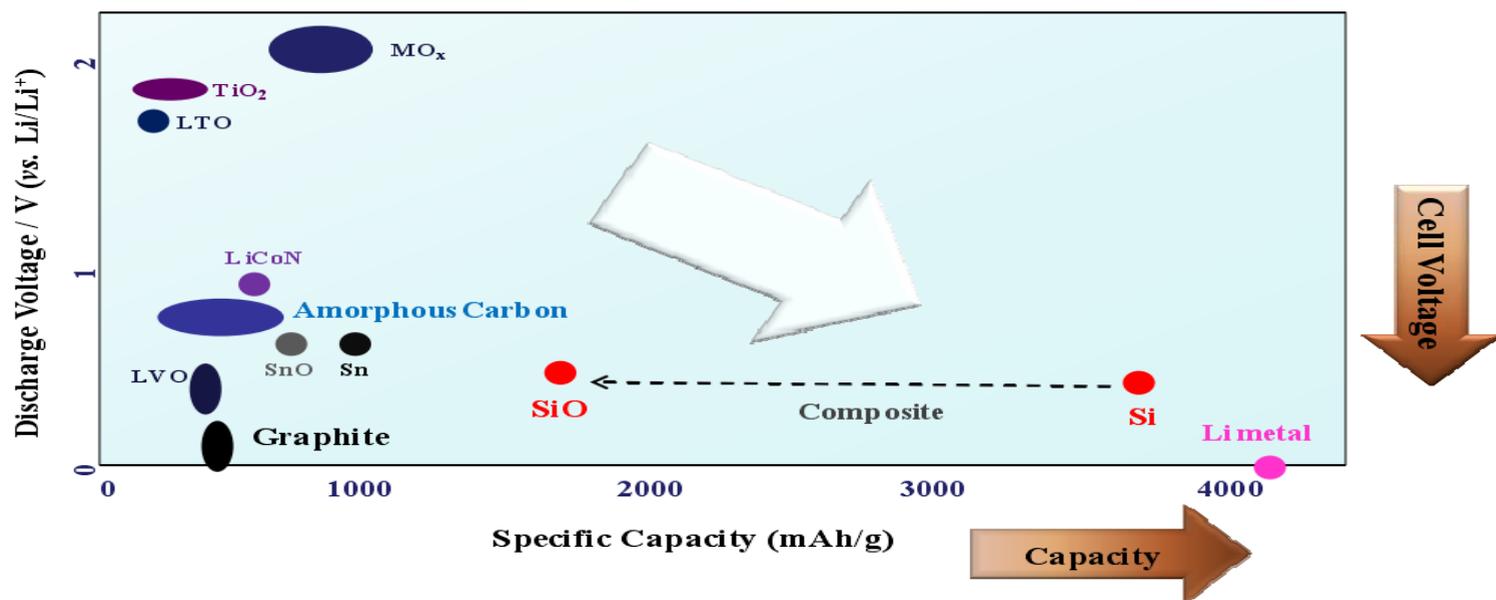
图：正负极比容量和全电池比容量关系图



## 导电性差、体积膨胀等问题制约了硅材料在负极上的商业化应用

- 硅材料属于半导体材料，电子导电性和离子导电性差，不利于材料电化学性能的发挥。
- 硅嵌/脱锂过程中伴随着巨大的体积变化，从而影响循环寿命。Si材料在与Li进行合金化的过程中体积膨胀可达300%以上（石墨材料在12%），容易导致颗粒的粉化和破碎、SEI膜的破坏，从而严重影响锂离子电池的循环寿命。
- 硅易与其他物质发生反应，造成能量快速衰减。锂盐 LiPF<sub>6</sub>分解产生的 HF 会与 Si 反应，Si 负极与电解液的界面不稳定，Si 负极材料表面形成的固体电解质膜（SEI 膜）不能适应 Si 负极材料在脱嵌锂过程中的巨大体积变化而破裂，使Si 表面暴露在电解液中，导致固体电解质膜持续生成、活性锂不断消耗，最终造成容量损失。

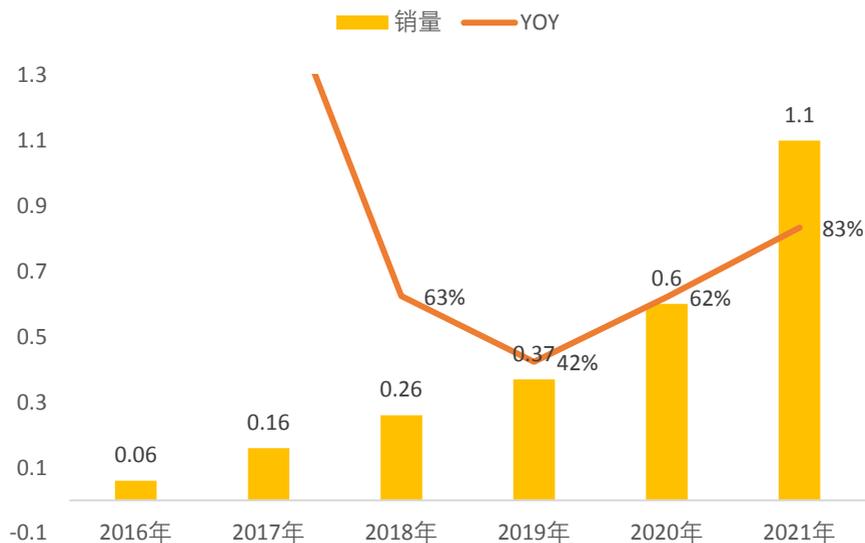
图：常见锂离子电池负极材料的比容量和电压平台



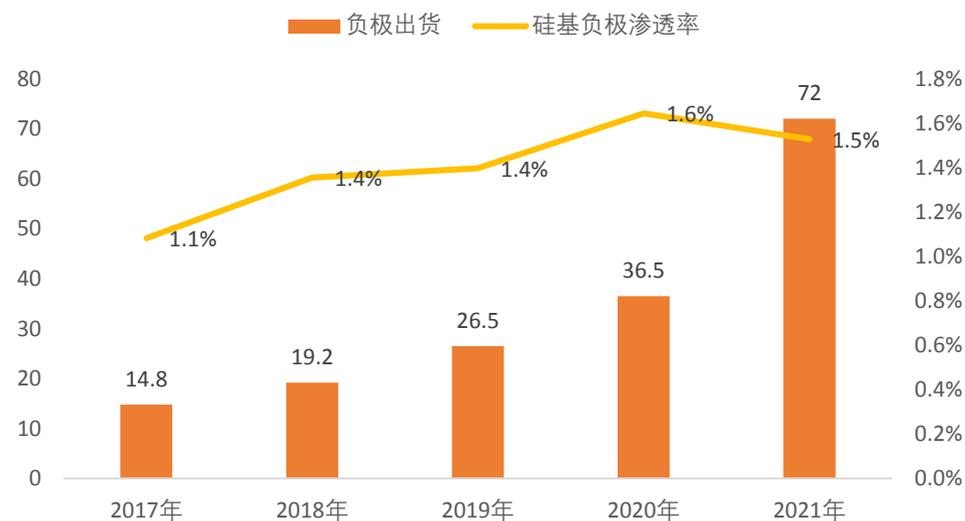
## 目前，硅基负极尚处于发展初期，近些年在负极的渗透率尚不足2%

□ 硅基渗透率仍较低，2021年国内出货在1.1万吨左右，渗透率在1.5%。2021年国内负极出货量72万吨，其中硅基负极出货1.1万吨，渗透率仅为1.5%，发展空间较大。

图：国内硅基负极出货量、增速（万吨、%）



图：国内硅基负极在负极渗透率（万吨、%）



## 往后看，硅基负极将在高端数码、电动工具、动力电池领域持续放量

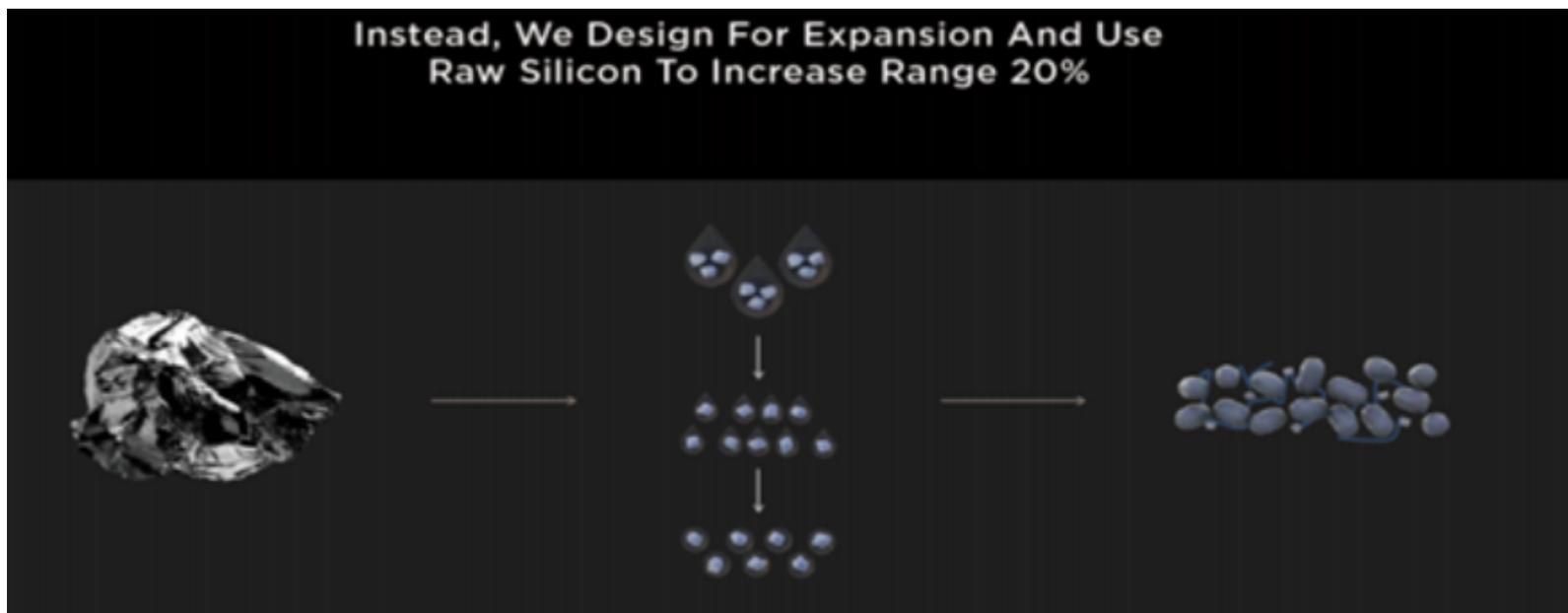
□目前，硅基负极主要应用在高端3C数码、电动工具、高端动力电池领域。

- ✓ **高端3C数码**：5G技术推广带来的智能手机终端需求、民用无人机、智能可穿戴设备等市场或用到硅基负极。
- ✓ **电动工具**：电动工具锂电池头部供应商表示，根据客户对电池性能的需求，部分容量2500–2600mAh的高倍率圆柱电池有硅基负极应用需求，而容量上到3000–3350mAh及3500mAh的产品绝大部分必须用到硅基负极。GGII统计数据显示，受全球电动工具市场增长带动，2021年全球电动工具锂电池出货量为22GWh；预测未来2026年出货规模增至60GWh，相比2021年仍有2.7倍的增长空间。受此带动，硅基负极也将迎来持续增长机会。
- ✓ **动力电池**：下游客户对快充性能、续航时间提出更高要求，高能量密度电池受到市场青睐，硅基负极优势更加凸显。

## 特斯拉4680自产电池明确表示采用硅负极方案

- 圆柱天生更适合用硅负极，其各向同性的特点使得圆柱电池更耐膨胀（硅负极最大问题是膨胀）。
- 特斯拉自产4680电池明确表示采用硅负极：2020年9月22日，特斯拉明确表示计划采用冶金硅作为原料，通过离子导电高分子进行涂覆、以及特殊胶粘剂（Binder）混合的形式，通过包覆方法以及改进粘结剂的方式来提升性能。

图：特斯拉硅负极方案



# 2

## 硅负极如何商业化?

以掺杂的形式到人造石墨中，目前看硅氧更为主流

硅基负极主要是指石墨掺硅复合材料掺杂产品包括硅碳（Si/C）负极材料及硅氧（SiO/C）负极材料，主流掺硅比例在5%左右。

## 技术路线：根据硅来源的不同分为硅碳和硅氧

□ 硅材料理论容量高达4000mAh/g，但膨胀率高达300%，商业化应用时一般采用以下方式缓解膨胀效应：

- ✓ **纳米化**：硅纳米化后可明显缩小体积，提高循环性能，但纳米粒子合成工艺复杂，粒径大小和形貌不易控制。
- ✓ **与石墨复合**：碳材料的体积变化较小、循环性能良好，硅材料体积膨胀大、循环性能差而比容量最大，将两种材料复合可得到具有高容量、体积变化较小、循环性能较好的硅碳复合材料。
- ✓ **采用氧化亚硅**：硅氧材料较硅单质有效缓解了体积膨胀，提升了循环性能，但降低了首次效率。由于氧化亚硅（ $\text{SiO}_x$ ,  $0 < x < 2$ ）首次嵌锂的过程中会生成金属锂氧化物 $\text{Li}_x\text{O}$ 及锂硅化合物，可有效缓冲脱嵌锂产生的体积膨胀，从而提高循环性能， $\text{SiO}_x$ 材料在嵌锂过程中的体积膨胀仅为118%左右，但带来的副作用是 $\text{SiO}$ 使得Li在首次嵌入到材料的过程中会生成没有电化学活性的 $\text{Li}_4\text{SiO}_4$ 材料，且该过程是不可逆的，导致 $\text{SiO}_x$ 材料的首次效率远远低于石墨和硅碳材料，并且比容量相对硅碳及纳米硅也较低，只有1700Ah/g，但仍然远高于石墨，而且相比而言，具有更小的体积膨胀和更好的循环稳定性对于动力电池更为重要，因此在动力电池领域该路线更具发展前景。

□ 硅材料产业化时一般和石墨材料复合（也就是说均采用上述的与石墨复合，硅的选择纳米化或者采用氧化亚硅），根据硅来源的不同分为硅碳（ $\text{Si/C}$ ）负极材料及硅氧（ $\text{SiO/C}$ ）负极材料两种：

- ✓ **硅碳负极**：采用纳米硅和石墨材料混合，目前商业化容量在450mAh/g以下，首效高，但体积膨胀系数过大，导致其循环差，一般在500-600周，无法达到国标规定的动力电池循环1000周的标准，一般用于消费电池。
  - ✓ **硅氧负极**：采用氧化亚硅和石墨材料混合，目前商业化应用容量主要在450-500mAh/g，成本较高，首效相对较低，但循环性能相对较好，既可用于消费也可用于动力。
- 故我们一般提到的硅负极都不是纯品硅产品，是人造石墨材料和硅材料的复合产品，本文以硅基负极表示人造石墨+硅复合后的材料，复合材料根据硅的不同分为硅碳负极和硅氧负极。（若为纯品，本文会以纯品硅表示）

## 应用：硅氧路线因膨胀更低+循环性能优异，在动力领域应用更为主流

□从下游应用来看，硅氧负极商业化领先于硅碳，且在动力领域应用更为主流。硅材料应用于锂电负极的研发始于上世纪90年代，直至13、14年才分别实现硅碳负极、硅氧负极的产业化。现阶段，动力电池领域主要用硅氧负极，虽然硅氧负极容量不如硅碳，但循环性能相对较好，而循环寿命对于动力电池更为重要。硅碳负极由于循环性能劣势，目前主要用于电动工具以及消费电子等领域。

✓ **消费**：2013年成功应用到三星电动工具。

✓ **动力**：2017年，松下将硅氧负极应用于特斯拉的Model3电池中，在传统石墨负极材料中加入10%的氧化亚硅，电池克容量增加到550mAh/g以上，单体能量密度达300wh/kg以上。

表：不同材料负极对比

负极	原材料	理论克容量 (mAh/g)	体积膨胀	循环寿命	首次效率 (%)
石墨负极	天然鳞片石墨、沥青焦、石油焦、针状焦	372	12%	高	90%以上
硅碳负极	纳米硅 (150nm以下)+基体材料	4200	300%	低	两者之间
硅氧负极	SiO+基体材料	1800	118%	中	70%以下

## 生产工序：核心难点在前端工序，即硅材料的处理，硅碳核心是研磨，硅氧核心是改性

- 前文提到硅负极的应用一般是和人造石墨复合（称作硅基负极），故可将生产工序分为：1) 前端工序：硅材料处理。2) 后端工序：和人造石墨复合，我们认为难点是在前端工序。
- 硅基负极分为硅碳和硅氧两条路线，硅碳的核心是制备纳米硅，硅氧的核心是制备氧化亚硅。
  - ✓ 硅碳负极：纳米硅制备核心是研磨，此处一般耗能较大。
  - ✓ 硅氧负极：氧化亚硅可直接外购，也可通过购买硅粉和二氧化硅自行制备，但直接购买的氧化亚硅也无法直接和人造石墨复合制备硅氧负极，需进行处理。
- 从制备方式上看，硅负极生产可分成机械球磨法、化学气相沉积法、高温热解法、溶胶凝胶法，我们认为机械球磨和化学气相沉积法在工业化量产中更为主流。

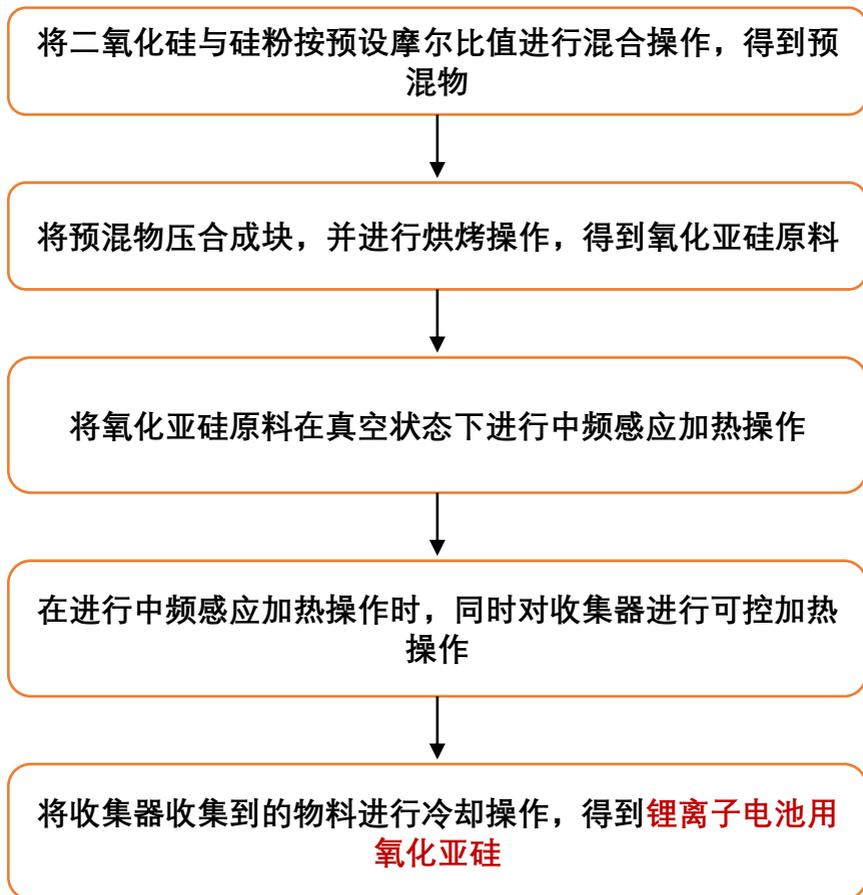
表：硅基负极制备方法

制备方式	技术特点
机械球磨法	机械球磨法制备的复合材料颗粒粒度小、各组分分布均匀，而且机械球磨法制备硅/碳复合材料具有 <b>工艺简单、成本低、效率高，适合工业生产</b> ；但是该法是两种反应物质在机械力的作用下混合，颗粒的团聚现象难以解决。
化学气相沉积法	硅碳两组分间连接紧密、结合力强，充放电过程中活性物质不易脱落，具有优良的循环稳定性和较高的首次充放电效率，碳层均匀稳定、不易出现团聚现象。 <b>此种制备方法对设备要求简单，反应过程环境友好，复合材料杂质含量少，适合工业化生产。</b>
高温热解法	此种方法合成的复合材料中碳的空隙结构一般较大，能较好的缓解硅在充放电过程中的体积变化。但是，高温热解法产生的复合材料中的硅的分散性较差，碳层会有分布不均的状况，并且颗粒容易产生团聚等现象。
溶胶凝胶法	该方法能够实现硅碳材料的均匀分散，而且制备的复合材料保持了较高的可逆比容量。但是碳凝胶较其它碳材料稳定性能差，在循环过程中碳壳会产生裂痕并逐渐扩大，导致负极材料结构破裂；且凝胶中氧含量过高会生成较多不导电的SiO <sub>2</sub> ，导致负极材料的首次充放电效率较低。

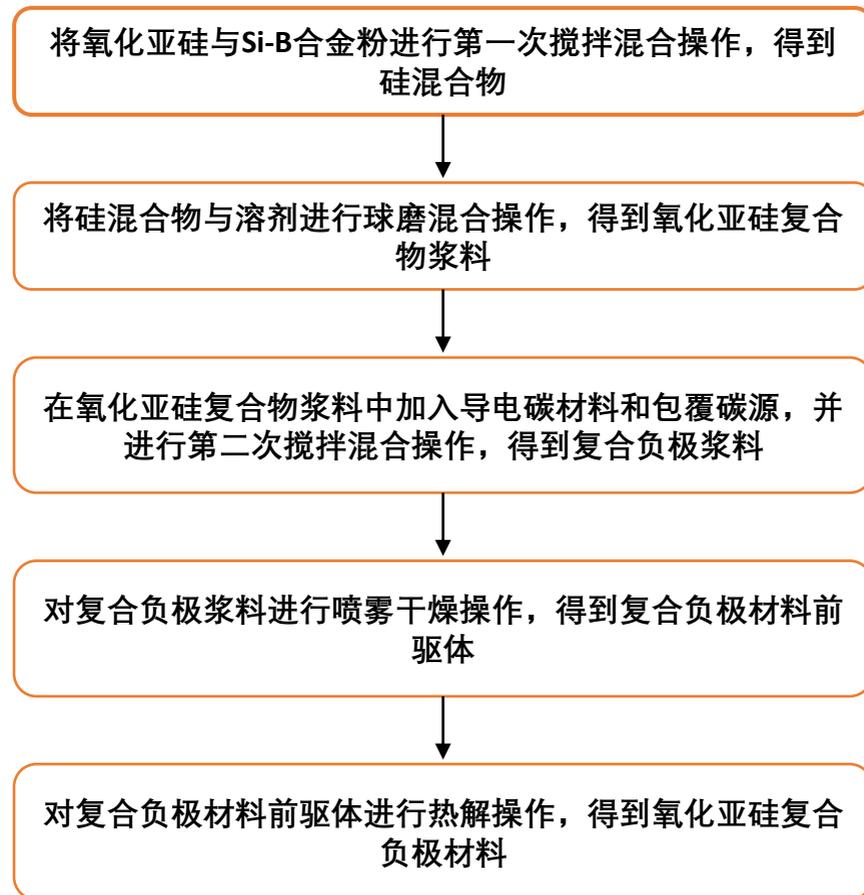
## 生产工序-硅氧负极：核心是对硅氧的改性处理

□ 从工序上讲，硅氧负极的制备和硅碳负极类似，共同的工序为球磨、碳包覆、造粒，差别为硅碳负极需经过两次球磨再加入石墨负极，而硅氧负极是一次球磨，但其前端制备锂电用氧化亚硅是重点。

图：锂离子电池用氧化亚硅制备流程



图：硅氧负极生产流程



## CAPEX：我们预计硅基负极前端投资较大，后端投资和人造石墨类似

- 石墨负极一体化的产能单万吨固定投资一般在2-3亿元，硅负极投资额差距较大，贝特瑞的高达8.8亿元，而非负极企业扩产如石大胜华、硅宝在2亿元左右。
- 我们预计可能系贝特瑞为硅基负极一体化的产能，硅原料多为自己处理，考虑到一般石墨负极一体化固定资产投资额在2亿元左右（公告数据一般会偏大一点），我们预计前端工序（纯品制备）投资额在十亿元/万吨左右。

表：硅负极扩产CAPEX对比

公司	产品	项目产能（万吨）	项目总投资（亿元）	固定资产投资（亿元）	单万吨固定资产投资（亿元）
贝特瑞	硅负极	4	50	35	8.8
	石墨负极一体化	5	24	16	3.3
中科电气	石墨负极一体化	10	25		
石大胜华	硅负极	2	7.3	3.6	1.8
硅宝科技	硅负极+粘结剂	1万吨硅负极+4万吨粘结剂，总投资5.6亿元，固定资产投资4.6亿元			

## 硅基负极单价：人造石墨和纯品硅按比例加权平均，我们预计在8-12万元/吨

- 硅基负极系人造石墨和硅的复合产品，故我们认为定价可能是人造石墨和硅材料按用量加权平均。故硅负极的价格有两个口径，一个是纯品硅的价格，一个是复合后的价格。
- 结合贝特瑞和凯金能源硅负极相关数据，我们预计纯品硅不含税价格在30万元-70万元/吨，复合后的价格在8-12万元/吨。
- ✓ 贝特瑞：公司17-19年新型负极价格在20-23万元，其中新型负极以硅基负极为主，此外还包括硬碳等，我们认为这里面既有以纯品硅出售，又有复合石墨后出售。
- ✓ 凯金能源：21H1公司披露了硅基负极收入情况，其中纯品硅收入1164万元，出货量38.41吨，则单价在30万元/吨，硅石墨复合后收入4.48万元，出货量0.56吨，则单价在8万元/吨。
- ✓ 此外，部分纯品硅产品会进行预锂化处理，产品价格会更高，我们预计在70万元/吨。

表：硅基负极单价测算（万元/吨）

单位：万元/吨		纯品硅单价	人造石墨单价	硅基负极单价
硅掺杂比例3%	情形1	30	6	6.7
	情形2	40	6	7.0
	情形3	50	6	7.3
	情形4	70	6	7.9
硅掺杂比例5%	情形1	30	6	7.2
	情形2	40	6	7.7
	情形3	50	6	8.2
	情形4	70	6	9.2
硅掺杂比例8%	情形1	30	6	7.9
	情形2	40	6	8.7
	情形3	50	6	9.5
	情形4	70	6	11.1
硅掺杂比例10%	情形1	30	6	8.4
	情形2	40	6	9.4
	情形3	50	6	10.4
	情形4	70	6	12.4

# 3

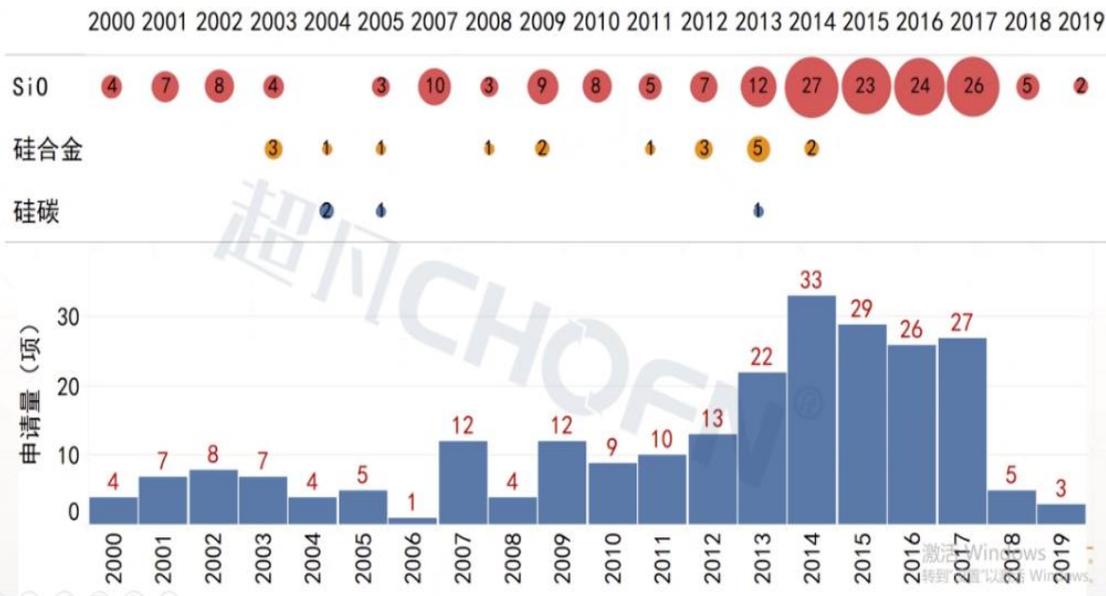
## 竞争格局

行业发展初期，目前国内仅有贝特瑞大批量供货

# 海外：日本信越化学在硅氧负极上技术较为领先

- 日韩企业在硅基负极材料领域处于行业领先地位，如日本信越化学、大阪钛业、日立化成、昭和电工和韩国大洲等。
- 日本信越化学主营半导体、有机硅和高分子等产业，硅氧负极专利数行业领先。截至2019年，信越化学关于硅负极在全球申请了210项专利，其中硅氧负极187项，这说明信越的研究重心是硅氧。信越化学硅氧最早专利申请时间是在2000年，2007年开始加大专利申请速度，在2017年达到顶峰。
- 信越化学主业在半导体领域，硅负极只是其细分板块有机硅一个应用下游，公司是发展多年的技术型公司，对应硅负极更多是技术领域内领先，且公司不做人造石墨，故我们认为公司产能扩张和出货量相对有限。

图：信越在SiO负极领域的专利申请



图：信越化学业务板块



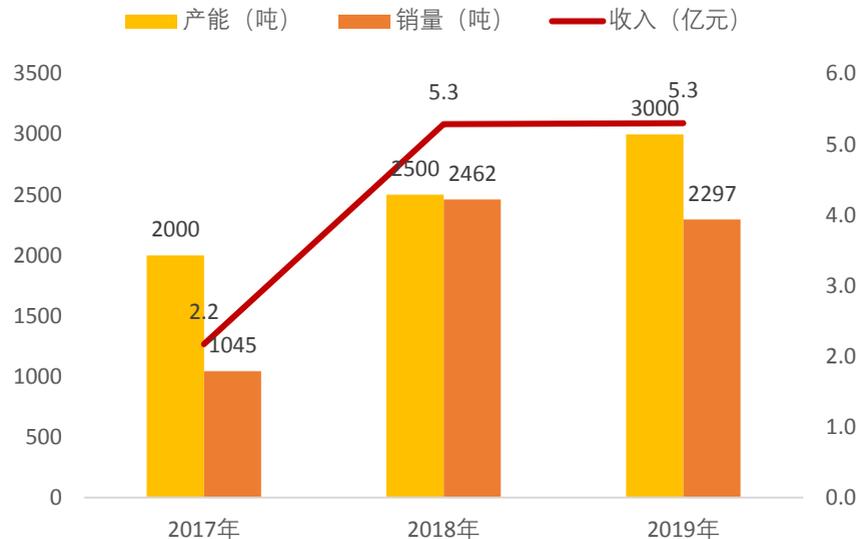
# 国内：贝特瑞在硅负极研发、量产、客户端全面领先同行

□贝特瑞研发和量产供货领先同行。公司2010年取得硅基负极材料的技术突破，并于2013年实现批量出货，客户系松下、三星。

□贝特瑞硅碳、硅氧两手抓，且在持续更新迭代。截至20年，公司硅碳负极已开发至第三代产品，比容量从第一代的650mAh/g提升至第三代的1500mAh/g，正在开发第四代硅碳负极材料产品，**硅氧负极部分产品比容量达到1600mAh/g以上。**

□近期拟扩产4万吨硅负极，我们预计公司硅负极放量拐点或至。22年2月17日，公司拟扩产4万吨硅基负极，加上现有的3000吨产能，总产能在4.3万吨。

图：贝特瑞新型负极（主要系硅基负极）产能、出货量、收入（吨、亿元）



表：贝特瑞硅负极核心技术

技术名称	技术阶段	技术来源	技术表征	涉及专利情况
氧化亚硅表面改性技术	已经实现量产	自主研发	采用先进表面处理技术，改善材料导电性及电解液兼容性，改善电池的放电倍率和循环行为。	硅基材料相关专利15项
高容量硅碳产品开发技术	已经实现量产	自主研发	产品具有高容量、高倍率、长循环特性。	硅基材料相关专利26项
高首效氧化亚硅技术	处于中试阶段	自主研发	采用材料结构调整的工艺，提高材料的首次库伦效率，同时为纳米硅提供有效保护层，提升循环、降低膨胀。	硅基材料相关专利16项

# 贝特瑞在高代产品性能上领先国内同行

- 衡量硅负极性能的指标有振/压实密度（越大越能量密度越高）、比表面积（越小循环寿命越高），容量（越高能量密度越高）、首次效率越大越好。
- 负极企业在普通硅负极产品性能上差距不大，如400mAh/g容量首次效率均可达90%，但高代产品上贝特瑞更优秀，首次效率在90%左右，杉杉、璞泰来也有类似产品如，但首次效率低于90%。

表：国内企业硅负极产品对比

项目	硅碳产品	D50 (μm)	振实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面积 (m <sup>2</sup> /g)	压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.1C容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
贝特瑞	S400	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.5-1.8	400-499	92-94
	S500	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.5-1.7	500-599	90-92
	S600	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.4-1.7	600-650	89-90
	硅氧产品	D50 (μm)	振实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面积 (m <sup>2</sup> /g)	压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	首次容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
	S420-2A	16.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥420	92.5±1.0
	S450-2A	15.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥450	91.5±1.0
	S500-2A	15.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥500	90.0±1.0
项目	产品名称	D50 (μm)	振实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面积 (m <sup>2</sup> /g)	压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	首次容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
中科电气	产品1	15.0±1.0	≥0.9	<4.0	≥1.6	420±5	92.0±1.0
项目	产品名称					首次容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
杉杉股份	G1S-C420					420	91
	G1S-C450					450	90
	G1S-C500					500	89
	G1S-C600					600	88
项目	产品名称	D50 (μm)	振实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	比表面积 (m <sup>2</sup> /g)		首次容量 (mAh/g)	首次效率 (%)
璞泰来	Si/C composites—400mAh/g	16.0±1.0	0.9±0.05	1.6±0.1		400±5	90.0±1.0
	Si/C composites—450mAh/g	18.0±1.0	0.8±0.05	2.0±0.1		450±10	80.0±2.0
	Si/C composites—600mAh/g	13.0±1.0	0.7±0.05	3.0±0.1		600±10	84.0±1.0
	Si/C composites—950mAh/g	16.0±1.0	0.7±0.05	3.0±0.1		600±10	84.0±1.0
项目	产品名称	D50 (μm)			压实密度 (g/cm <sup>3</sup> )	首次容量 (mAh/g)	
翔丰华	SCX-1	12.0-17.0			1.65-1.75	450-460	

## 国内其他负极企业亦有布局，其中璞泰来、杉杉股份进展较快

- ▣ **璞泰来**：硅碳核心技术起源于中科院物理所，中科院物理所自1996年就开始了在锂离子纳米硅碳负极发研究，1997年发表了世界上第一篇纳米硅专利。璞泰来与中科院物理所展开合作，已经具备中试规模的硅碳和硅氧能力，根据市场需要会加大规模。
- ▣ **杉杉股份**：最新一代快充类产品（3C、5C）已经在全球主流消费类企业试产，预计2022年全面导入，公司快充消费类产品将继续领先市场。在动力电池应用领域已经通过主流车企的多轮评测，同时新一代硅氧负极材料项目已经落地。
- ▣ **凯金能源**：氧化亚硅材料已经开发至第三代，首次效率从一代的77%（容量大于1600mAh/g）提升至三代的90%（容量大于1400mAh/g，公司已有小试和中试平台，同时建有年产300吨纯品的生产线，已实现对宁德时代的批量出货（21H1在9.8吨）。

图：负极公司硅负极进展

公司	最早专利时间	产能	客户
贝特瑞	2006年	目前3000吨，拟扩产4万吨	松下、三星
璞泰来	2014年	1000吨，硅碳/硅氧都有	
杉杉股份	2009年		电动工具和动力测试中
凯金能源	2019年	300吨	21H1出宁德9.8吨

# 4

硅基负极放量为衍生材料带来放量契机，  
典型如单壁碳管、补锂剂、负极粘结剂

## 硅负极放量为衍生材料带来放量契机，典型如单壁碳管、补锂剂、PAA粘结剂

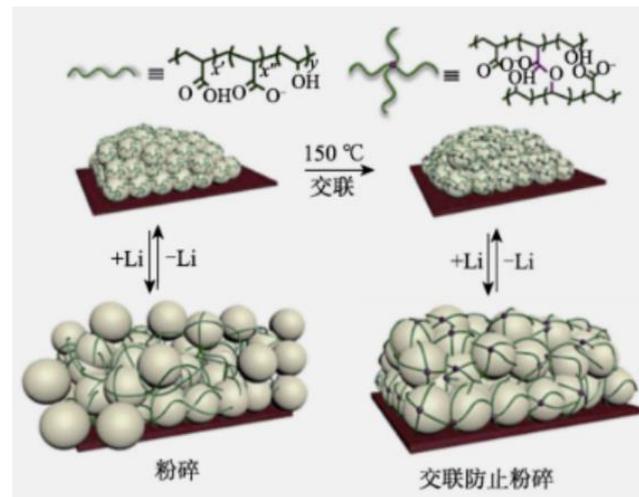
□传统石墨负极无需导电剂，硅负极一定要加导电剂碳纳米管。

- ✓ CNT优异的导电性弥补了硅原子带来的不足；
- ✓ 硅碳负极需要解决热膨胀问题才可使用，因此其束缚结构稳定性至关重要，而碳纳米管具有很好的化学稳定性；
- ✓ 极大的比表面积可以有效的缓解硅基负极在锂离子脱嵌过程中硅材料结构的坍塌。

□硅负极增加对补锂剂的需求。硅基负极表面SEI膜的形成需消耗大量锂源，氧化亚硅也由于锂硅氧化物的不可逆形成进一步消耗锂源，这使得硅基负极的首次效率显著低于石墨，现有的石墨材料有5%~10%的首次不可逆锂损耗，而对于高容量负极材料，首次锂损耗甚至更高；硅的不可逆容量损失达15%~35%，故硅负极一般需要搭配补锂剂使用。

□对硅基负极性能的改进可通过改进粘结剂进行。粘结剂对电极的电化学性能起着重要的作用，尤其是对于充放电循环中具有极高体积膨胀的硅基负极，合理设计粘结剂可大大改善其循环寿命。同时也有利于硅负极的大规模生产。

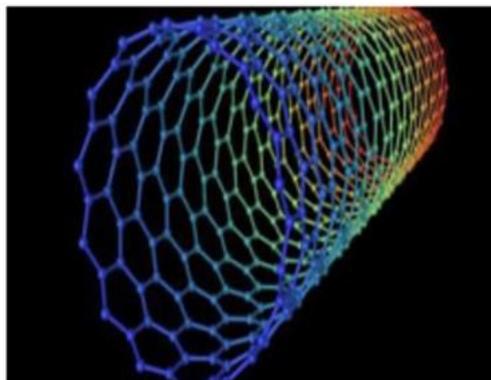
图：PAA与PVA复合粘结剂用于硅负极的原理示意图



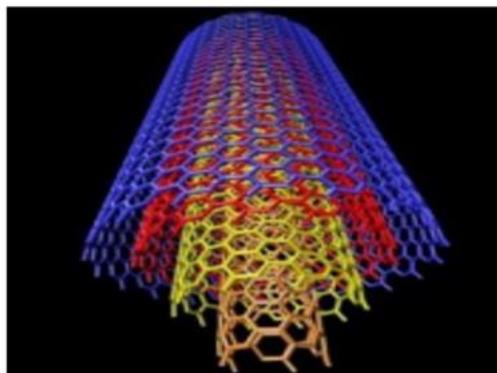
## 单壁碳管：高性能材料，天奈科技有望在23年放量

- 碳纳米管(CNTs)是一种新型的石墨材料，分为单壁、双壁和多壁。碳纳米管是由石墨片层卷曲而成的圆柱形结构，直径范围一般为一纳米至几百纳米，管状纤维的长度变化范围很大，一般为几微米到几千微米，因此碳纳米管的长径比（长度与直径的比值）范围为一千到十万。碳纳米管可以分为单壁、双壁和多壁碳纳米管，其主要差别在于碳纳米管结构中石墨片层的数目。
- 单壁碳管是碳纳米管的发展方向，但目前价格高昂。单壁碳纳米管直径更小、长径比更大，理化性能更优、导电性能更好、添加量更少、对能量密度和循环寿命提升效果更为明显，且更适用于硅基负极材料中，因此成为各碳纳米管生产企业未来的重点研究方向。
- ✓ 世界上第一家量产单壁碳管的企业是OCSIAL。创立于2010年，在单壁碳纳米管产业化取得了突破性进展，可应用于锂电池、树脂、轮胎等。作为一种广泛适用的添加剂，只增加材料0.001%~0.1%的重量就可以为材料性质带来极大的提升。但其价格高昂，根据其官网数据，价格高达1800-4000元/毫克。
- ✓ 中国科学院成都有机化学所有单壁碳管产品，但价格高昂。超高纯单壁碳管价格在900-1200元/克，多壁碳管价格在15-70元/克。
- 天奈正瞄准单壁碳管产业化市场，有望在23年实现量产供货松下、三星等。我们预计天奈单壁碳管粉体量产供货后单价有望降至1000万元/吨（10元/克），天奈目前多壁管粉体单价在50万元/吨（0.5元/克）。

图：单壁碳纳米管模拟结构示意图



图：多壁碳纳米管模拟结构示意图



## 正极补锂兼具提高首效+高安全性+低成本优势，成为产业界预锂化“新宠”

- 预锂化是目前提高硅基负极首次库伦效率最直接也是效果最明显的方法。对全电池而言，化成时负极界面形成的SEI膜会消耗掉从正极脱嵌的锂离子，并降低电池的容量，而预锂化是指在电极正式充放电循环之前，预先嵌入少量的锂，来增加额外的锂源，补充副反应和SEI膜生成对正极的锂消耗，提高首次库伦效率。
- 正极补锂兼具低成本和更安全优势，比负极补锂更容易实现量产。预锂化按照技术路线分为正极补锂和负极补锂：
  - ✓ 负极补锂：开发时间较早，一般选取锂单质如锂粉和锂箔作为外来锂源，但受制于工艺繁琐、锂单质活泼致安全风险大以及产线改造成本高等原因，一直难以大规模应用。
  - ✓ 正极补锂：技术选用富锂化合物如富锂镍酸锂（LNO）和富锂铁酸锂（LFO）等作为补锂剂，在搅浆环节与正极一起混合使用，无需改造现有电芯产线，工艺兼容性及安全性较好，成为目前产业界“新宠”。

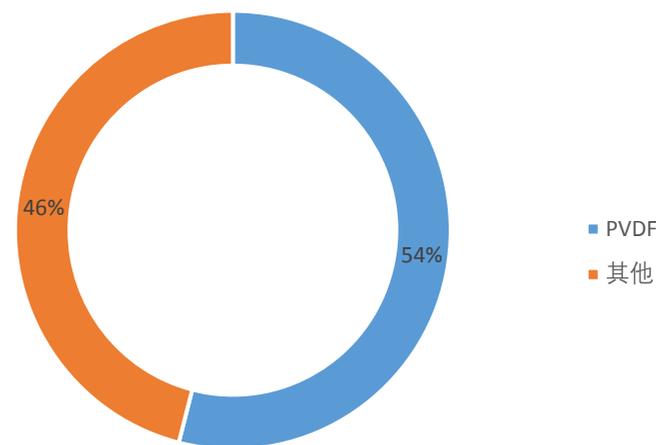
## 目前锂电用粘结剂以油系的PVDF为主，硅负极起量有望提升水系PAA占比

- 锂电池粘结剂是锂离子电池电极片中的重要组成材料之一，其主要作用是连接电极活性物质、导电剂和电极集流体，使电极活性物质、导电剂和集流体间具有整体的连接性，从而减小电极的阻抗，是锂离子电池材料中技术含量较高的附加材料。
- 锂电池粘结剂根据溶剂的不同分为油性（以有机物为溶剂）和水性（以水为溶剂），油性典型如PVDF，水性如SBR、PAA。
- 目前油系的PVDF在锂电粘结剂领域占据主流，随着硅负极的放量有望提升PAA等水系粘结剂放量。
- ✓ 锂电池粘结剂品类有多种，目前PVDF应用范围最广。2020年PVDF在国内占比54%，其他粘结剂占比46%。
- ✓ PVDF是一种油性粘结剂，其溶剂对环境有害，且PVDF中含有氟，容易与嵌锂石墨等发生反应，故我们认为水系粘结剂或有更大发展空间，且对于硅基负极来说，如聚丙烯酸及其盐（PA系）的分子链中同样具有许多含氧基团(-COOH)，能够与硅碳活性材料表面形成氢键用途，赋予活性颗粒与集流体之间较强的结合力，同时还具有缓解硅基材料体积膨胀的用途，改善电池的循环性能。

表：锂电池粘结剂介绍

主要品类	功能
聚偏氟乙烯（PVDF）	聚偏氟乙烯（PVDF）是一种具有高介电常数的聚合物材料，具有良好的化学稳定性和温度特性，具有优良的机械性能和加工性，对提高粘结性能有积极的用途，被广泛应用于锂离子电池中，作为正负极粘结剂。
丁苯橡胶（SBR）	丁苯橡胶（SBR）是一种水性粘结剂，一种高分子材料，具有良好的耐水和耐老化性能。
聚丙烯酸（PAA）	聚丙烯酸（PAA）是一种水溶性链状聚合物，可以与许多金属离子形成聚丙烯酸盐，如聚丙烯酸及其盐的分子链中同样具有许多含氧基团(-COOH)，能够与硅碳活性材料表面形成氢键用途，赋予活性颗粒与集流体之间较强的结合力，同时还具有缓解硅基材料体积膨胀的用途，还能够改善电池的循环性能，提高电池的寿命。聚丙烯酸钠易溶于水，具有增稠的用途，可用于锂离子电池料浆的增稠剂。

图：2020年国内锂电池粘结剂占比



## PAA粘结剂正处于国产替代中，技术溢价带来高毛利，典型企业如茵地乐

□ 锂电粘结剂正经历国产替代过程。锂电用PVDF主要由法国（阿科玛）、日本（吴羽）企业垄断，负极粘结剂SBR、CMC主要由日本企业垄断。正负极粘结剂正经历国产替代过程，正极粘结剂国内企业主要有东岳集团、东阳光（璞泰来持股55%）等，负极粘结剂国内企业有长兴材料（台湾企业，产品为PA系）、茵地乐（产品为PA系）、研一新材料（产品为PA系）。

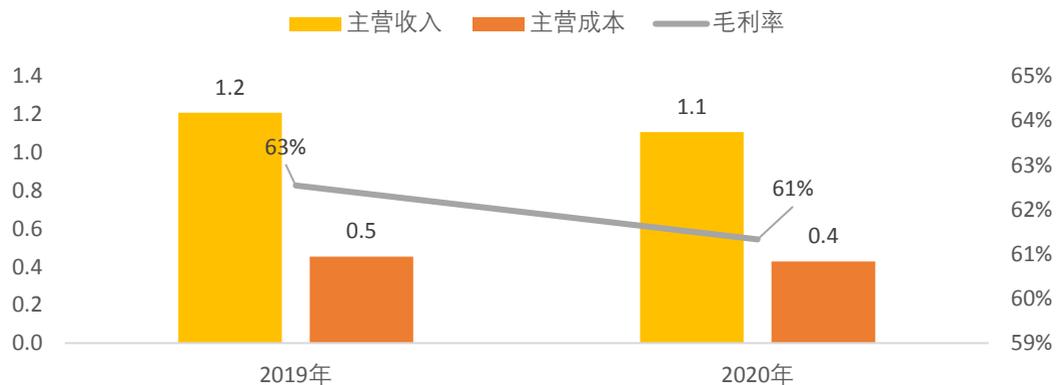
□ 国产替代+技术溢价给粘结剂企业带来高毛利，典型如茵地乐（璞泰来参股26%）。

✓ 20余年辛勤耕耘，茵地乐水性粘结剂成为行业资深品牌。成立于2000年，多年的专注与辛勤耕耘，建立了独特的锂离子电池专用粘合剂结构理论和制备技术，拥有多项发明专利。所生产的LA型水性粘合剂，LA132、LA133已成为行业资深品牌。

✓ 茵地乐产品毛利率高达60%+。公司2020年营业总收入1.1亿元，主营业务毛利率61%，净利润0.16亿元，净利率15%，毛利率和净利率差距较大系0.27亿元管理费用所致（主要是职工薪酬925万+研究开发896万），主要客户为宁德时代（从应收账款看出）。

✓ 茵地乐正处于加速扩产中。公司现有年产万吨级锂电池【电极】专用水性粘结剂和千吨级锂电池【隔膜】功能层水性涂覆浆料的产能，在建产能5万吨（20年拿下环评审批）。

图：茵地乐营收、成本、毛利率（亿元、%）



# 5 投资建议

# 全球硅基负极市场空间：25年有望达300亿+，21-25年复合增速135%

□我们预计23/25年全球硅负极需求量有望达12/52万吨，市场空间88/319亿元。核心假设如下：

- ✓ **负极需求**：根据鑫椏锂电数据，21年负极全球产量88万吨，我们预计22年增速在55%，后续在40%。
- ✓ **硅基负极渗透率**：21年为历史数据，我们预计硅负极在23年迎来放量拐点预计渗透率达6.5%，25年达14%，渗透率的假设和大圆柱放量相匹配。21年大圆柱未放量下硅负极渗透率在1.5%，23-25年大圆柱驱动下，硅负极渗透率分别在6.5%、9.5%、14%。
- ✓ **硅基负极单价**：根据硅纯品价格和人造石墨价格按照加权平均而得，纯品硅掺杂比例在提升22年在5%，预计25年达10%，纯品硅价格22年在45万元/吨，25年降至30万元/吨，人造石墨22年在6万元/吨，25年降至4万元/吨。我们预计**硅基负极（复合品）22年**单价在8万元/吨。25年降至6.1万元/吨，价格下降但性能显著提升（硅掺杂比例在提升）。

表：大圆柱产量预测

项目	单位	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
特斯拉产量	GWh	8	25	40	70
松下产量	GWh		5	20	40
LG产量	GWh		5	10	30
亿纬锂能产量	GWh		5	20	40
宁德时代产量	GWh		5	10	30
比克产量			5	10	20
其他				5	20
<b>大圆柱合计</b>	<b>GWh</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>115</b>	<b>250</b>
电池装机总需求	GWh	686	988	1419	2060
装机产量比	%	80%	80%	85%	85%
电池产量	GWh	858	1235	1669	2423
<b>大圆柱占比</b>	<b>%</b>	<b>1.2%</b>	<b>5.1%</b>	<b>8.1%</b>	<b>12.1%</b>

表：硅基负极市场空间预测

全球硅负极	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
负极需求（万吨）	88	136	191	267	374
YOY	63%	55%	40%	40%	40%
纯硅添加比例	5%	5%	6%	7%	8%
纯硅需求量（吨）	660	1705	7447	17778	41920
纯硅价格（万元/吨）	45	45	40	35	30
纯硅市场空间（亿元）	3	8	30	62	126
硅基负极（复合后）渗透率（%）	1.5%	2.5%	6.5%	9.5%	14%
硅基负极（复合后）需求量（万吨）	1.3	3.4	12.4	25.4	52.4
YOY	53%	158%	264%	105%	106%
硅基负极（复合后）单价（万元/吨）	8.0	8.0	7.1	7.1	6.1
复合的人造石墨单价（万元/吨）	6.0	6.0	5.0	5.0	4.0
硅基负极（复合后）市场空间（亿元）	10	27	88	180	319
YOY	47%	158%	225%	105%	77%

## 全球单壁碳管粉体市场空间：25年有望达42亿元，21-25年复合增速153%

□我们预计23/25年全球单壁碳管粉体需求量有望达124/628吨，市场空间12/42亿元。核心假设如下：

- ✓ 单壁碳管单耗：占负极材料的0.1%左右。
- ✓ 单壁碳管渗透率：和硅负极渗透率一致。
- ✓ 单壁管单价：23年前多为海外企业供应，价格在1000万元/吨+，23年开始国内企业开始突破，我们预计单价在1000/800万元/吨。

□以上测算仅计算了单壁碳纳米硅粉体的市场空间，而目前多壁多以浆料形式出售，在单壁管放量初期为粉体形式出售，但后续不排除也会以浆料形式出售，届时市场空间有望显著扩容。

表：单壁碳纳米管粉体市场空间预测

全球单壁碳纳米管粉体	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
负极需求（万吨）	88	136	191	267	374
单壁碳管添加比例	0.07%	0.10%	0.10%	0.10%	0.10%
单壁碳管渗透率	1.5%	2.5%	6.5%	9.5%	14.0%
单壁碳管需求（吨）	9	34	124	254	524
YOY	53%	269%	264%	105%	106%
单壁碳管单价（万元/吨）	1100	1100	1000	900	800
单壁碳管市场空间（亿元）	1.0	3.8	12	23	42
YOY	40%	269%	231%	84%	83%

# 全球多壁碳管浆料市场空间：25年有望达202亿元

□我们预计23/25年全球多壁碳管浆料需求量有望达24/56万吨，市场空间96/202亿元，21-25年复合增速56%。

表：全球多壁碳纳米管粉体市场空间预测（亿元）

全球正极用CNT浆料需求	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
锂电池装机量（GWh）	439	687	989	1421	2063
动力	297	480	698	1014	1452
国内	136	236	339	483	674
海外	161	244	359	532	778
消费	81	87	95	100	105
储能	32	84	153	254	444
电动工具	11	13	15	18	20
两轮车	17	22	28	35	42
装机产量比	80%	80%	80%	80%	80%
CNT渗透率					
动力	36%	45%	52%	56%	59%
国内	60%	70%	75%	80%	80%
海外	15%	20%	30%	35%	40%
消费	25%	30%	32%	35%	40%
储能	5%	5%	5%	5%	5%
电动工具	15%	20%	25%	30%	40%
两轮车	5%	2%	5%	5%	5%
LFP单GWhCNT浆料用量（吨）	750	750	600	600	600
三元单GWhCNT浆料用量（吨）	500	486	389	389	389
消费单GWhCNT浆料用量（吨）	233	233	233	233	233
动力CNT浆料需求量（万吨）	8	16	22	35	52
其他CNT浆料需求量（万吨）	0.9	1.4	1.7	2.4	3.4
<b>合计需求（万吨）</b>	<b>8.8</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>37</b>	<b>56</b>
单价（万元/吨）	3.9	4	4	3.8	3.6
<b>市场空间</b>	<b>34</b>	<b>71</b>	<b>96</b>	<b>141</b>	<b>202</b>
YOY	177%	108%	35%	48%	43%

# 全球补锂剂市场空间：25年有望达57亿元，21-25年复合增速157%

□我们预计23/25年全球补锂剂需求量有望达0.38/1.9万吨，市场空间13/57亿元。核心假设如下：

- ✓ 补锂剂在正极添加量：占正极材料的2%。
- ✓ 补锂剂渗透率：硅负极一般需添加补锂剂，此外对循环要求高的产品也有可能添加补锂剂，故补锂剂渗透率按硅基负极渗透率+原有渗透率构成，预计合计23年渗透率在7.5%，25年达19%。
- ✓ 补锂剂单价：单价和锂价相关，我们预计20年在30万元/吨，21、22年随着锂价上涨有所涨价，预计23年随着锂价回落开始回落，我们预计后续单价回落至30万元/吨。

表：全球补锂剂市场空间预测

全球补锂剂	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
正极需求（万吨）	118	183	257	359	503
YOY	106%	55%	40%	40%	40%
硅负极驱动的补锂剂渗透率	1.5%	2.5%	6.5%	9.5%	14.0%
补锂剂原有渗透率	0.1%	0.2%	1.0%	3.0%	5.0%
补锂剂渗透率	1.6%	2.7%	7.5%	12.5%	19.0%
补锂剂在正极添加量	2%	2%	2%	2%	2%
补锂剂需求量（吨）	378	990	3849	8980	19110
YOY	93%	162%	289%	133%	113%
补锂剂单价（万元/吨）	35	40	35	30	30
补锂剂市场空间（亿元）	1	4	13	27	57
YOY	126%	199%	240%	100%	113%

## 全球PAA粘结剂市场空间：25年有望达67亿元，21-25年复合增速94%

□我们预计23/25年全球PAA粘结剂需求量有望达0.9/3.4万吨，市场空间21/67亿元。核心假设如下：

- ✓ PAA在负极添加量：占负极材料的1-3%左右，硅负极添加量在3%，随着硅负极放量添加比例有所提升。
- ✓ PAA粘结剂在负极渗透率：目前负极粘结剂以SBR为主（依赖进口企业），我们认为随着国内企业的发展+PAA更适配硅负极，PAA占比逐渐提升。
- ✓ PAA粘结剂单价：SBR单价一般在10万元/吨，PAA性能优于SBR，我们预计在20-30元/万吨。

表：全球PAA粘结剂市场空间预测

全球PAA粘结剂	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
负极需求（万吨）	88	136	191	267	374
YOY	63%	55%	40%	40%	40%
PAA添加量	1.2%	1.5%	1.5%	1.8%	1.8%
PAA粘结剂渗透率	15%	20%	30%	40%	50%
PAA粘结剂需求（万吨）	0.2	0.4	0.9	1.9	3.4
PAA粘结剂单价（万元/吨）	30	25	25	20	20
PAA粘结剂市场空间（亿元）	5	10	21	38	67
YOY	63%	115%	110%	79%	75%

## 硅基负极、单壁碳管龙头明显，预计25年有望贡献贝特瑞、天奈科技利润19/7.3亿元

□前文以硅基负极为主线，衍生出单壁碳纳米管、补锂剂、水性粘结剂，从市场空间看硅基负极最大，25年达300亿+，其他材料在50亿左右；从增速看除水性粘结剂外，21-25年均超100%；从壁垒看，我们认为硅基负极和单壁碳管较高。

□硅基负极、单壁碳纳米管龙头较为明显，我们预计是贝特瑞、天奈科技：

✓ **贝特瑞**：预计占据硅基负极40%市场份额，23/25年出货量达5、21万吨（混合品概念），20%净利率有望贡献7.1/19.1亿利润。

✓ **天奈科技**：受制于公司产能，我们预计公司23年出货20吨，16%市占率，25年提升至50%，23/25年40%净利率有望贡献0.8/7.3亿利润。

表：四大新材料对比

项目	硅基负极	单壁碳管粉体	补锂剂	PAA粘结剂
23年市场空间（亿元）	88	12	13	21
25年市场空间（亿元）	319	42	57	67
21-25年市场空间复合增速	135%	153%	157%	94%

表：贝特瑞市场空间、利润空间测算（亿元）

全球硅基负极	2023年E	2024年E	2025年E
贝特瑞出货量（万吨）	5.0	10.2	21.0
贝特瑞市占率（%）	40%	40%	40%
贝特瑞市场空间（亿元）	35	72	127
贝特瑞净利率（%）	20%	18%	15%
贝特瑞净利润（亿元）	7.1	13.0	19.1
YOY		84%	47%

表：天奈科技市场空间、利润空间测算（亿元）

全球单壁碳纳米管粉体	2023年E	2024年E	2025年E
天奈出货量（吨）	20	76	262
天奈市占率（%）	16%	30%	50%
天奈市场空间（亿元）	2	7	21
天奈净利率（%）	40%	40%	35%
天奈净利润（亿元）	0.8	2.7	7.3
YOY		243%	167%

## 预计补锂剂、PAA粘结剂25年龙头利润空间有望达4.8/8.4亿元

□补锂剂和水性粘结剂市场目前还未看出明显龙头，我们预计龙头公司市占率在50%利润空间测算如下：

- ✓ **补锂剂**：由于补锂剂本质也是锂的氧化物，锂价波动大，故我们预计单吨净利润，23年预计在8万元/吨（对应23%净利率），25年降至5万元（对应17%净利率），则龙头23/25年利润空间有望达1.5/4.8亿元。
- ✓ **水性粘结剂**：预计23年龙头30%净利率（茵地乐毛利率60%），25年降至25%，则23/25年龙头公司利润空间有望达3.2/8.4亿元。

表：补锂剂龙头市场空间、利润空间测算（亿元）

全球补锂剂	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
国内龙头市占率（%）	60%	60%	50%	50%	50%
国内龙头出货量（吨）	227	594	1924	4490	9555
国内龙头单吨净利润（万元）	8	10	8	6	5
国内龙头净利润（亿元）	0.2	0.6	1.5	2.7	4.8
YOY	209%	227%	159%	75%	77%

表：PAA粘结剂龙头市场空间、利润空间测算（亿元）

全球PAA粘结剂	2021年E	2022年E	2023年E	2024年E	2025年E
龙头市占率（%）	50%	50%	50%	50%	50%
国内龙头市场空间（亿元）	2	5	11	19	34
国内龙头净利润率（%）	30%	30%	30%	30%	25%
国内龙头净利润（亿元）	0.7	1.5	3.2	5.8	8.4
YOY	116%	115%	110%	79%	46%

## 重点推荐【贝特瑞】、【天奈科技】，【璞泰来】，建议关注【德方纳米】

- 硅基负极市场高增下，首推硅基负极龙头【贝特瑞】，假设23年出货5万吨（复合品），单吨净利1.4万元，贡献利润7.1亿元，占比总利润18%。
- 单壁管市场兴起下，首推【天奈科技】，我们预计天奈23年单壁管出货20吨，单吨净利润400万元，贡献利润0.8亿元，占比总利润7%。
- 补锂剂目前上市公司仅有德方纳米公告扩产了4.5万吨，建议关注。
- PAA粘结剂现有璞泰来参股子公司茵地乐主营，且璞泰来硅负极进展较为领先，重点推荐。

表：相关公司盈利弹性预测

2023年E	单位	贝特瑞	天奈科技
归母净利润	亿元	39	12
新产品贡献利润	亿元	7.1	0.8
新产品出货量	万吨	5.0	0.0020
新产品单吨净利润	万元	1.4	400
新产品利润弹性	%	18%	7%

## 风险提示

- 电动车销量不及预期**：负极企业及周边产品业绩依赖对全球电动车销量的判断，若电动车销量不及预期，将影响整个行业的发展。
- 4680大圆柱进展不及预期**：硅基负极的放量依赖大圆柱的放量，若大圆柱进展不及预期，将影响我们的判断。
- 硅负极进展不及预期**：硅负极是下一代负极，我们认为硅负极或迎来放量拐点，若硅负极进展不及预期，将影响我们对公司盈利及市场空间的判断。
- 产能扩建不及预期**：我们报告中有对龙头公司的相关产品做利润预测，若产能进展不及预期将影响判断。
- 测算具有主观性**：本文涉及大量关于市场空间的测算，相关假设有一定主观性，仅供参考。

## 分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们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，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

## 一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的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，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。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，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。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，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、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和/或交易观点。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

## 特别声明

在法律许可的情况下，天风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，投资者应当考虑到天风证券及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。

## 投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS