

电气设备

硅基负极：下一代产业趋势，特斯拉电池新技术或加速

硅基负极：下一代产业趋势。目前锂电池负极商业化以人造/天然石墨为主，但已接近其理论比容量极限（372mAh/g）。硅理论比容量高达4200mAh/g，是目前石墨类负极材料的10倍以上，不存在析锂隐患，安全性好于石墨类负极材料，且储量丰富，成本低廉，是最具潜力的下一代锂电池负极材料。然而由于硅材料在充放电过程中与锂合金化反应，存在严重的体积效应（膨胀率可达300%），导致循环性能及库伦效率恶化，需改性方能应用。

硅基负极商业化应用有硅碳/硅氧负极两种，日韩电池厂商应用相对领先。硅基负极改性主要包括纳米化、氧化亚硅及碳包覆等三种手段形成硅碳复合材料减小体积效应对硅颗粒及SEI膜破坏。目前硅基负极材料商业化主要以掺混石墨类负极方式应用，主要产品包括硅碳（Si/C）负极材料及硅氧（SiO/C）负极材料两种。其中**1）硅碳负极商业化应用容量在450mAh/g以下，成本较低，虽然首效相对较高，但循环寿命较差，主要用于3C数码领域。****2）硅氧负极商业化应用容量主要在450-500mAh/g之间，成本较高，虽然首效相对较低，但循环性能相对较好，主要用于动力电池领域。**

硅基负极应用中，国际厂商领先，松下2017年已批量应用于动力电池，供应特斯拉。三星、LG化学硅基负极目前主要应用于消费电池领域，动力电池在未来1-2年有望导入。国内动力电池相对靠后，龙头电池厂商亦开始逐步导入。材料厂商中，日立化成全球领先，国内贝特瑞硅基负极已进入松下供应链，为特斯拉的动力电池配套，领先国内同行。

特斯拉电池新技术推进，有望加速硅基负极应用。特斯拉动力电池自产项目“Roadrunner”已正式启动，预计5月电池日将公布细节。通过合作和并购，特斯拉完成了从前沿基础研究到大规模量产所需的工艺和设备的全面布局。新型电池技术预计除了正极、电解液方面的性能优化以外，采用干电极+预补锂技术有望加速硅碳负极的商业化应用。**1）干电极技术**采用固体粘接剂PTFE，弹性好，可有效解决硅碳负极膨胀导致极片脱离的问题，循环寿命将数倍提升；**2）预补锂技术**在干电极技术下可以实施，可以解决硅碳负极首次效率低的问题，有望加速硅碳负极应用，扩大市场空间。

硅基负极单价高，盈利能力强，且技术壁垒高，率先突破批量出货有望获得超额收益。硅基负极以容量定价，最低端的硅基负极价格均在10万以上，毛利率40%以上，单价、盈利能力均高于目前的石墨类负极材料。且硅基负极制备工艺复杂，无标准化工艺，技术壁垒高，难度主要在于硅材料纳米化及与硅碳复合材料的制备工艺，属于know-how技术，需要持续摸索，超额收益持续期长。主流厂商硅基负极电池产业化稳步推进，叠加特斯拉电池新技术，硅基负极规模化应用有望加速，我们预计2022年市场超35亿。

投资建议：关注中国宝安（持有贝特瑞75.48%股权）、璞泰来。

风险提示：特斯拉电池新技术进展不及预期；硅基负极产业化应用不及预期。

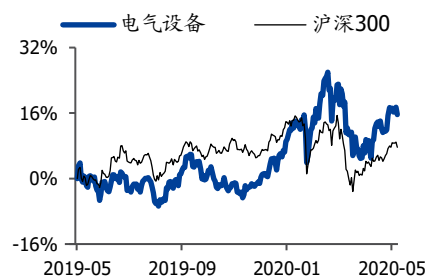
重点标的

股票代码	股票名称	投资评级	EPS（元）				PE			
			2019A	2020E	2021E	2022E	2019A	2020E	2021E	2022E
603659	璞泰来	增持	1.50	2.10	2.79	3.58	52.58	37.56	28.27	22.03

资料来源：贝格数据，国盛证券研究所

增持（维持）

行业走势



作者

分析师 王磊

执业证书编号：S0680518030001

邮箱：wanglei1@gszq.com

分析师 孟兴亚

执业证书编号：S0680518030005

邮箱：mengxingya@gszq.com

分析师 吴星煜

执业证书编号：S0680520030001

邮箱：wuxingyu@gszq.com

相关研究

- 1、《电气设备：4月新能源车产量继续回升，四省公布超6GW光伏平价项目》2020-05-10
- 2、《电气设备：疫情不改长期趋势，行业景气逐季提升》2020-05-06
- 3、《电气设备：国内需求启动促光伏电池片涨价，特斯拉Q1业绩超预期》2020-05-05



内容目录

一、硅基负极：下一代产业趋势	4
1.1、石墨类负极接近容量极限，硅基材料是下一代负极	4
1.2、固有性能劣势掣肘应用，材料及电池体系优化是关键	6
1.3、硅基负极规模商业化时点临近	9
二、特斯拉电池新技术推进，有望加速硅基负极应用	12
2.1、合作+并购，特斯拉推进电池新技术量产	12
2.2、干电极+预补锂，有望突破硅基负极规模应用瓶颈	12
三、硅基负极厂商有望受益	13
3.1、中国宝安（持有贝特瑞 75.48% 股权）	14
3.2、璞泰来	16
四、风险提示	17

图表目录

图表 1：主要负极材料种类	4
图表 2：主要负极材料性能特征对比	5
图表 3：人造石墨及天然石墨是目前负极市场主流	5
图表 4：人造石墨及天然石墨占负极出货 97.1%	5
图表 5：硅基负极是下一代负极材料	5
图表 6：硅基材料充放电体积膨胀收缩巨大	6
图表 7：巨大的体积效应造成颗粒破碎，与极片分离，SEI 膜增厚	6
图表 8：硅基负极应用需材料改性及电池体系优化	6
图表 9：硅基材料结构分类	7
图表 10：硅基负极材料发展历程	8
图表 11：硅基负极主要工艺	8
图表 12：电池体系优化缓解硅基材料体积膨胀问题	9
图表 13：宁德时代规划 2020 年（E）开始逐步导入硅基负极	10
图表 14：比克规划硅基负极电池逐步放量	10
图表 15：国内主要厂商硅碳负极产品	11
图表 16：干电极技术工艺	13
图表 17：maxwell 具备干电极技术专利	13
图表 18：maxwell 干电极技术优势	13
图表 19：石墨类负极及硅基负极单价对比	14
图表 20：石墨类负极及硅基负极毛利率对比	14
图表 21：硅基负极市场规模预测预测	14
图表 22：贝特瑞历年分业务营收（亿元）	15
图表 23：贝特瑞负极贡献主要营收及毛利（2019）	15
图表 24：负极出货量连续多年第一	15
图表 25：人造石墨出货排名第 4，市占率稳步提升	15
图表 26：天然石墨市占率遥遥领先，稳固第一	15
图表 27：2019 年前五大客户	16
图表 28：盈利能力领先同行（毛利率）	16
图表 29：璞泰来历年分业务营收（亿元）	16
图表 30：璞泰来负极及涂覆隔膜贡献主要盈利（2019）	16
图表 31：璞泰来人造石墨出货量第一	17

图表 32: 产品定位高端, 单价领先同行 (万元/吨)	17
------------------------------------	----

一、硅基负极：下一代产业趋势

1.1、石墨类负极接近容量极限，硅基材料是下一代负极

负极材料在锂电池充电过程中主要起储锂作用，其脱嵌锂电压和比容量对电池能量密度影响较大。优异的负极材料需同时具备低的脱嵌锂电压、高的比容量以及良好的倍率特征和循环性能。

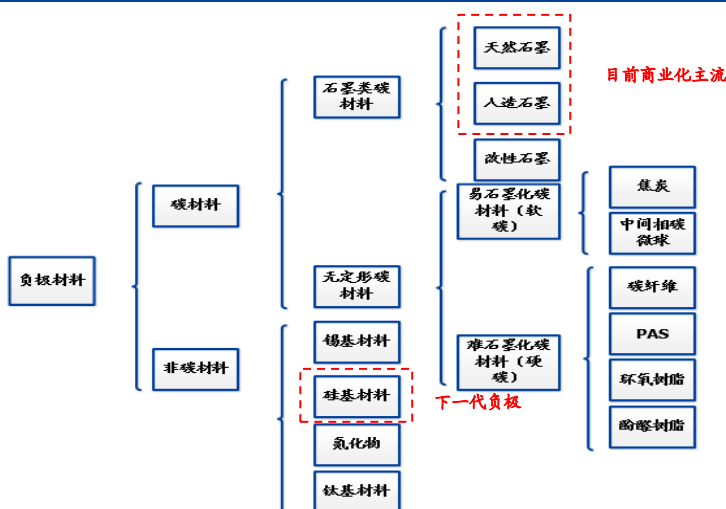
$$\text{电池的能量密度: } E_m = Q_c * Q_a / (Q_c + Q_a) * (U_c - U_a) * K$$

其中， E_m 、 Q_c 、 Q_a 、 U_c 、 U_a 、 K ，分别为电池的能量密度、正极比容量、负极比容量、正极平均电压、负极平均电压以及正负极活性材料的质量与电池总质量比值。

负极材料种类较多，可分类碳材料和非碳材料两大类。前者包括人造石墨、天然石墨等石墨类碳材料以及软碳、硬碳等无定型碳材料；后者包括硅基、锡基、钛基等合金型材料。不同材料性能特征差异明显：

- **石墨类碳材料为插入型负极材料**，储锂过程锂离子以固溶或者一阶相变进入材料的主体结构，主体结构基本不变，具有较好的放电循环稳定性，目前商业化应用以人造石墨及天然石墨为主。
- **无定型碳材料应用较少，包括硬碳及软碳材料**。其中硬碳材料首周效率低、低电位储锂倍率性能差、全电池满充电态易于析锂、压实密度低。软碳材料首周不可逆容量较大，对锂平均电位较高，压实密度低，能量密度偏低。
- **非碳材料为合金化型负极材料**，储锂过程通过合金化反应，因此比容量高，但由于锂离子通过与材料加成反应形成合金相，造成材料相结构变化，导致颗粒粉碎及其表面的固相电解质层重复形成而引起容量的损耗和循环性能较差等问题，目前商业化应用主要通过纳米化及碳包覆等技术形成复合材料。**硅基负极材料在合金类负极材料中具备最高的比容量、最低的脱嵌锂电压，且储量丰富，最具备大规模商业化应用前景。**

图表 1：主要负极材料种类



资料来源：GGII，国盛证券研究所

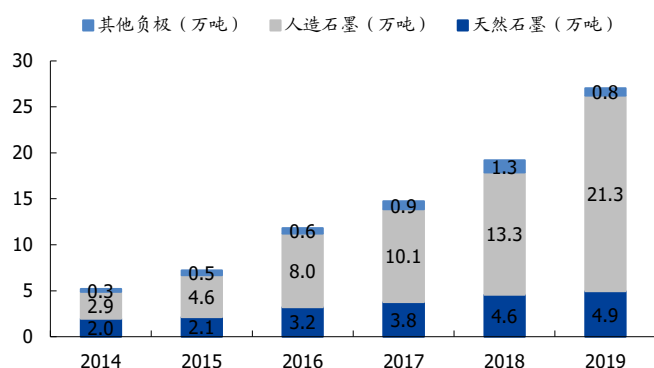
图表2: 主要负极材料性能特征对比

负极材料	比容量 mAh/g	首周效率%	振实密度 g/cm ³	压实密度 g/cm ³	工作电压 V	循环寿命次	安全性	倍率性能
天然石墨	340-370	90-93	0.8-1.2	1.6-1.85	0.2	>1000	一般	一般
人造石墨	310-370	90-96	0.8-1.1	1.5-1.8	0.2	>1500	良好	一般
MCMB	280-340	90-94	0.9-1.2	1.5-1.7	0.2	>1000	良好	良好
软碳	250-300	80-85	0.7-1.0	1.3-1.5	0.52	>1000	良好	良好
硬碳	250-400	80-85	0.7-1.0	1.3-1.5	0.52	>1500	良好	良好
LTO	165-170	98-99	1.5-2.0	1.8-2.3	1.55	>30000	优秀	良好
硅基材料	380-950	60-92	0.6-1.1	0.9-1.6	0.3-0.5	300-500	良好	良好

资料来源: GGII, 国盛证券研究所

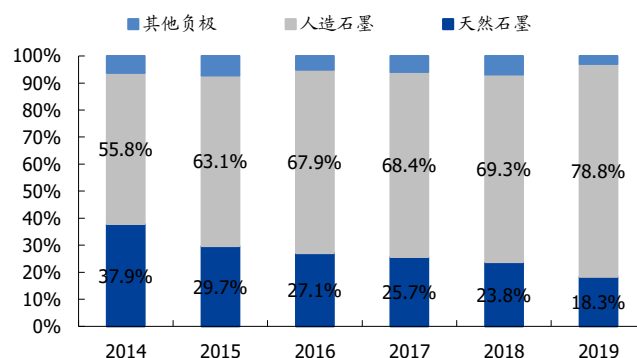
人造石墨及天然石墨为目前商业化应用主流, 硅基负极为下一阶段产业趋势。经过二十多年发展, 现阶段商业化石墨负极材料已经接近其理论比容量极限 (372mAh/g), 为进一步提升电池能量密度, 寻找更高比容量负极材料成为产业研究重点。硅在常温下与锂合金化, 理论比容量高达 4200mAh/g, 是目前石墨类负极材料的十倍以上, 不存在析锂隐患, 安全性好于石墨类负极材料, 且储量丰富, 成本低廉, 是最具潜力的下一代锂电池负极材料。

图表3: 人造石墨及天然石墨是目前负极市场主流



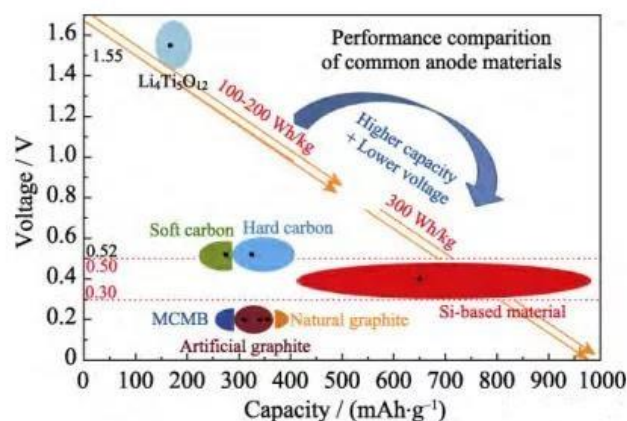
资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表4: 人造石墨及天然石墨占负极出货 97.1%



资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表5: 硅基负极为下一代负极材料



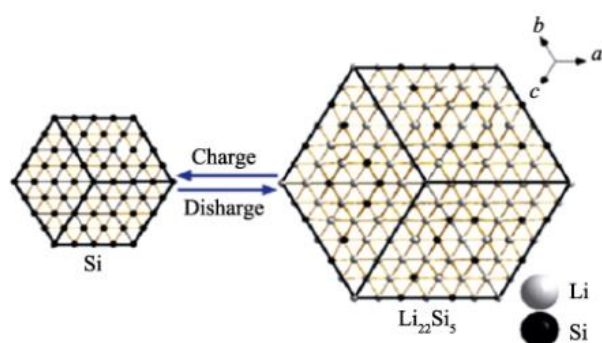
资料来源: 新材料在线, 国盛证券研究所

1.2、固有性能劣势掣肘应用，材料及电池体系优化是关键

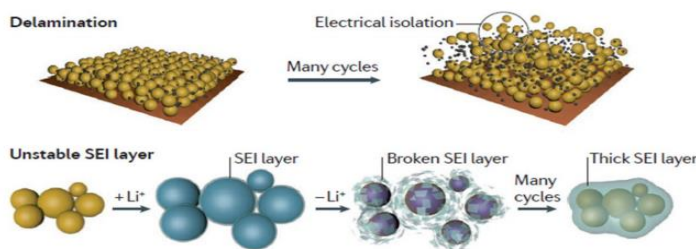
由于硅材料在充放电过程中与锂合金化反应，存在严重的体积效应，导致循环性能及库伦效率较差，大规模商业化仍存掣肘。硅材料在储锂过程与锂离子加成反应形成合金相，因此存在严重的体积效应。在充电过程中膨胀率可达 300%（碳材料只有 16%），放电时体积收缩，反复的体积变化容易引致硅颗粒破裂、材料粉化、极片脱落等问题，从而导致循环性能较差。

同时在膨胀过程中容易导致负极表面的 SEI 膜（固体电解质界面膜，避免因溶剂分子共嵌入对负极材料造成破坏）破碎，而在放电过程中 SEI 膜重新形成。因此硅表面的 SEI 膜始终处于破坏-重构的动态过程中，最终导致 SEI 膜厚度持续增加，界面阻抗升高，活性物质消耗，致使容量衰减，库伦效率较差。

图表 6：硅基材料充放电体积膨胀收缩巨大



图表 7：巨大的体积效应造成颗粒破碎，与极片分离，SEI 膜增厚



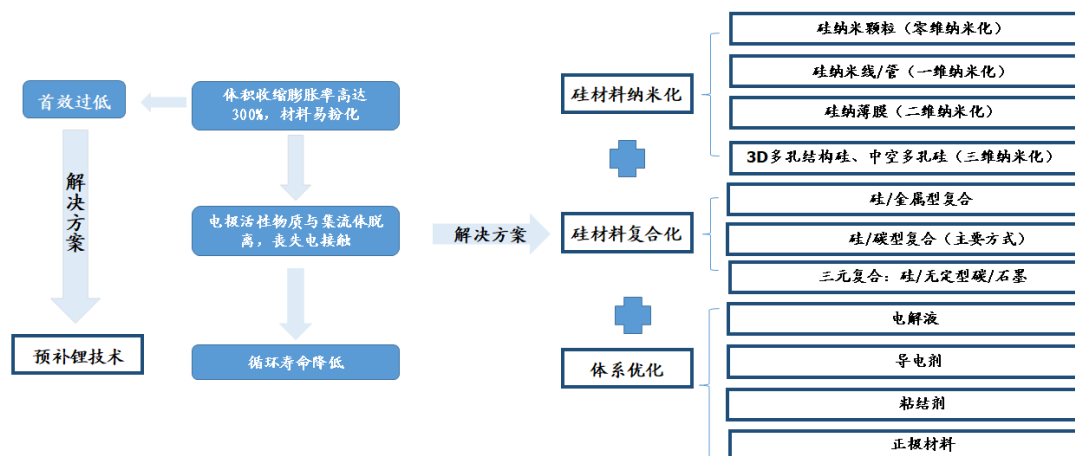
资料来源：高比能量锂离子电池硅基负极材料研究进展，国盛证券研究所

资料来源：高比能量锂离子电池硅基负极材料研究进展，国盛证券研究所

通过材料改性及电池体系优化，提升循环寿命及首次效率是硅基材料大规模商业化应用的关键。

- 材料改性：主要包括结构化改性和碳包覆改性。通过纳米化、氧化亚硅及碳包覆等手段形成硅碳复合材料减小体积效应对硅颗粒及 SEI 膜破坏从而提升循环性能。
- 电池体系：除了粘结剂、导电剂、电解液的综合匹配以降低硅基材料体积膨胀的负面影响外，干电极技术及预补锂技术有望成为突破的关键。

图表 8：硅基负极应用需材料改性及电池体系优化



资料来源：锂电池用硅基负极材料发展现状及展望，国盛证券研究所

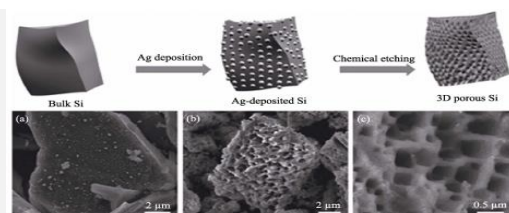
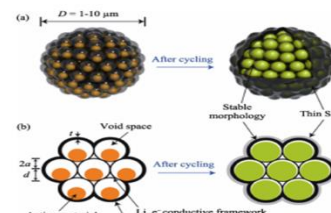
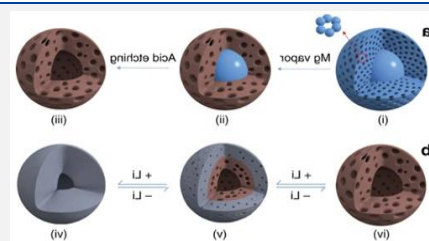
- **纳米化**: 颗粒尺寸小有利于应力释放, 当硅颗粒粒径 $< 150\text{nm}$ 时, 体积效应减弱, 纳米硅在充放电过程中会膨胀但不容易破碎, 可提升循环性能。**主要包括纳米颗粒、纳米线、纳米片等**, 可以提高材料的结构稳定性, 缓冲材料的体积膨胀, 并且可以增加材料的活性界面。
- **碳包覆**: 由于纳米硅比表面积较大, 容易团聚, 压实密度低, 以及硅材料巨大的体积效应, 将纳米硅与碳分散复合则是一种较好的技术方案。碳包覆可提升硅颗粒导电性, 提升倍率性能, 防止纳米硅团聚, 完整的碳包覆可减小硅材料与电解液直接接触, 抑制 SEI 膜过度生长, 稳定界面, 提升库仑效率。
- **氧化亚硅 (SiO_x , $0 < x < 2$)**: 由于 SiO_x 首次嵌锂的过程中会生成金属锂氧化物 Li_xO 及锂硅化合物, 可有效缓冲脱嵌锂产生的体积膨胀, 提高循环性能。但同时 Li_xO 及锂硅化合物的产生是不可逆过程, 进一步加剧首效过低的问题, 低于纳米硅, 且比容量也相对较低 (SiO 为 2680mAh/g , Si 为 4200mAh/g)。不过相比而言, 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, 因此更具发展前景。

根据不同的硅碳复合方式, 硅基负极材料按结构类型主要分为:

- **包覆型硅基负极**: 包覆型硅基负极材料将不同纳米结构的硅材料进行碳包覆, 这类材料以硅为主体提供可逆容量, 碳层主要作为缓冲层以减轻体积效应, 同时增强导电性, **碳包覆层通常为无定形碳**。
- **负载型硅基负极**: 负载型硅基负极材料通常是在不同结构的碳材料 (如碳纤维、碳纳米管、石墨烯等) 表面或内部, 负载或者嵌入硅薄膜、硅颗粒等, 这类硅碳复合材料中, 碳材料往往起到结构支撑的力学作用, 它们良好的机械性能有利于硅在循环中的体积应力释放, 形成的导电网络提高了电极整体的电子电导率。
- **分散型硅基负极**: 分散型硅基负极材料是一种较为宽泛的复合材料体系, 包括硅与不同材料的物理混合, 也涵盖硅碳元素形成分子接触的高度均匀分散复合物体系。事实证明将硅材料均匀分散到碳缓冲基质中, 可以一定程度抑制硅的体积膨胀。

图表 9: 硅基材料结构分类

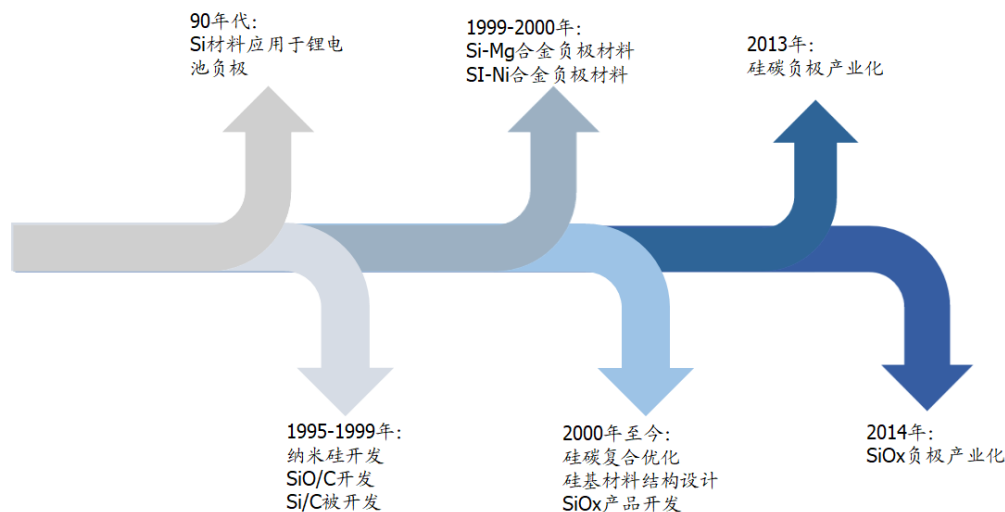
类型	结构描述	特性
多孔型	多孔硅结构	多孔结构提供离子传输通道, 大表面积提供反应活性, 利于快充
包覆结构	核壳型	硅颗粒为核, 碳层为壳 碳层提高导电率且缓冲硅的体积效应; 减少硅与电解液直接接触, 提高电池循环性
	空心核壳型	核壳改进版-内核外壳中有间隙 空腔对硅体积膨胀可以容纳, 保护固态电解质膜
分散结构	硅碳元素形成分子接触、高度均匀的复合物体系	抑制硅的体积膨胀
负载结构	硅颗粒分散在碳载体, 碳载体作为支架, 提供电子离子通道	循环性好, 但硅含量低, 比容量低



资料来源: 新材料在线, 国盛证券研究所

目前硅基负极材料商业化应用主要有硅碳（Si/C）负极材料及硅氧（SiO/C）负极材料两种。90年代开始研发硅材料应用于锂电池负极，直至2013、2014年才分别实现硅碳负极、硅氧负极的产业化，真正产业化历程相对较短。

图表 10: 硅基负极材料发展历程



资料来源: 新材料在线, 国盛证券研究所

- **硅碳负极材料:** 将纳米硅与基体材料通过造粒工艺形成前驱体，然后经表面处理、烧结、粉碎、筛分、除磁等工序制备而成。目前商业化应用容量在 450mAh/g 以下，成本较低，虽然首效相对较高，但循环寿命较差，主要用于 3C 数码领域。
- **硅氧负极材料:** 将纯硅和二氧化硅合成一氧化硅，形成硅氧负极材料前驱体，然后经粉碎、分级、表面处理、烧结、筛分、除磁等工序制备而成。目前商业化应用容量主要在 450-500mAh/g，成本较高，虽然首效相对较低，但循环性能相对较好，主要用于动力电池领域，特斯拉即使用硅氧负极掺混人造石墨方式应用。

硅基负极材料的制备工艺复杂，无标准化工艺，技术壁垒高。硅基负极材料的技术难度主要在硅材料纳米化及与硅碳复合材料的制备工艺方面。由于硅基材料的固有缺陷，材料层面需纳米化、碳包覆等综合处理，工艺复杂，目前行业仅少数企业掌握，且各家工艺均不同，目前没有标准化工艺，要保证高一致性、高安全性、高循环性和低膨胀的同时，稳定批量生产难度大。当前采用较普遍的制备方法主要有化学气相沉积法、机械球磨法、溶胶凝胶法、高温热解法，其中前两者适合于工业化生产。

图表 11: 硅基负极主要工艺

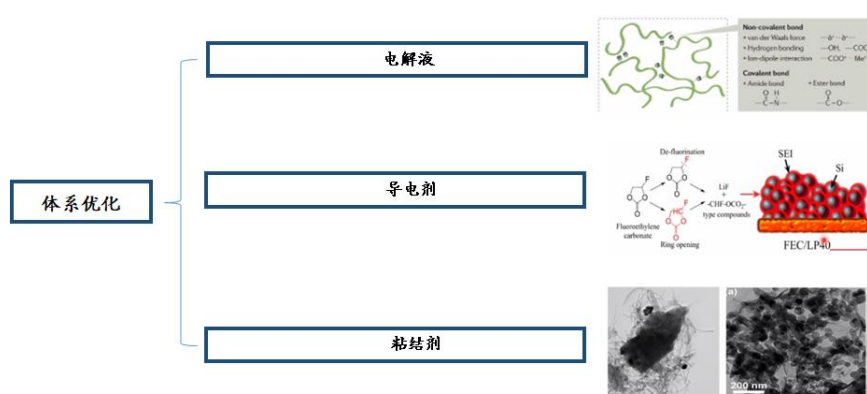
制备方式	技术特点
化学气相沉积法	硅碳两组分间连接紧密、结合力强，充放电过程中活性物质不易脱落，具有优良的循环稳定性和较高的首次充放电效率，碳层均匀稳定、不易出现团聚现象。此种制备方法对设备要求简单，反应过程环境友好，复合材料杂质含量少， 适合工业化生产 。
溶胶凝胶法	该方法能够实现硅碳材料的均匀分散，而且制备的复合材料保持了较高的可逆比容量。但是碳凝胶较其它碳材料稳定性能差，在循环过程中碳壳会产生裂痕并逐渐扩大，导致负极材料结构破裂；且凝胶中氧含量过高会生成较多不导电的 SiO ₂ ，导致负极材料的首次充放电效率较低。
高温热解法	此种方法合成的复合材料中碳的空隙结构一般较大，能较好的缓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。
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/碳复合材料具有工艺简单、成本低、效率高， 适合工业生产 ；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。

资料来源: 贝特瑞申报材料, 国盛证券研究所

电池体系优化：由于硅基负极的膨胀特性，电池体系需针对优化，如 PAI/PTFE 新型粘结剂，以及 VC、FEC 等新型电解液添加剂的使用。

- **粘结剂：**由于硅基材料巨大的体积效应，粘结剂应具有较高的导电性和机械延展性，以保持循环过程中负极结构的完整性，同时保持电极的高导电性。高模量的粘结剂有利于硅基材料的循环性能。
- **电解液：**由于硅基材料巨大的体积效应，会导致材料表面的 SEI 膜不断破碎-重构，消耗锂离子，从而导致材料的循环性能降低。FEC 添加剂可在硅基负极形成紧致且具备优异导锂性能的 SEI 膜，高含量的 FEC 添加剂可以有效提升性能。
- **导电剂：**导电剂需要具有良好的导电性能的同时还需要较大的长径比，在电极体系中形成三维导电网络，在循环过程中硅基负极不会与导电剂发生脱离，保持电极高导电性。

图表 12: 电池体系优化缓解硅基材料体积膨胀问题



资料来源：锂电池用硅基负极材料发展现状 & 展望，国盛证券研究所

1.3、硅基负极规模商业化时点临近

硅基负极应用中，国际厂商领先，日韩电池厂率先实现应用，国内厂商跟进。目前硅基材料应用仍主要以掺混石墨类负极为主。松下应用最为领先，已批量应用于动力电池，供应特斯拉。三星、LG 化学硅基负极目前主要应用于消费电池领域，动力电池在未来 1-2 年有望导入。国内动力电池相对靠后，龙头电池厂商亦开始逐步导入。

国际厂商：

- 2012 年，松下发布 NCR18650C 型号电池，容量达 4000mah，并于 2013 量产，最早将硅碳负极应用于锂电池。
- 日本汤浅电池已推出硅基负极材料电池，应用在三菱汽车上；
- 2015 年，日立 Maxell 开发出硅氧负极电池，应用于智能手机等产品中；
- 2017 年，松下将硅基负极应用于特斯拉的 Model 3 电池中，在传统石墨负极材料中加入 10% 的硅，电池容量增加到 550mAh/g 以上，单体能量密度达 300wh/kg 以上。

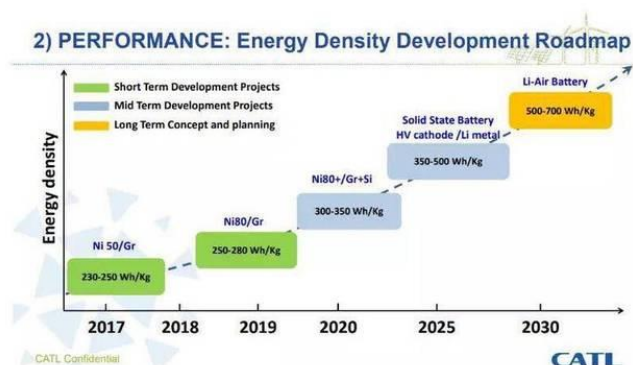
国内厂商：


宁德时代、力神、国轩高科、比亚迪、比克动力等电池企业正在加快硅基负极电池的研发和试生产。其中承接国家科技部 300wh/kg 高能量密度重大科技专项的宁德时代、力神、国轩高科均已通过项目中期验收。从宁德时代、比克等厂商规划来看，2020 年有望开始小规模起量。

- **宁德时代**: 2018年9月,“新一代锂离子动力电池产业化技术开发”项目通过中期检查,采用高镍正极和硅碳负极开发出比能量 $\geq 304\text{Wh/kg}$ 的锂离子电池样品,样品容量 65.9Ah ,常温 $1\text{C}/1\text{C}$ 循环580次后容量保持率97%。
- **力神**: 2018年9月,“高比能量动力锂离子电池开发与产业化技术攻关”通过中期检查,完成了高镍正极材料的开发,可逆克容量达到 213mAh/g ,首次效率达到91.4%;完成了硅碳复合负极材料开发,可逆克容量达到了 754.8mAh/g ,首次效率达到89.87%;开发了高比能量电池单体,比能量达到了 303Wh/kg 。
- **国轩高科**: 2018年10月,“高比能量动力锂离子电池的研发与集成应用”通过中期检查,已完成Ni80-Ni90系列高镍正极材料的开发,可逆克容量达到 220.5mAh/g ,首次效率达到90.27%;完成了硅碳复合负极材料开发,可逆克容量达到了 803.3mAh/g ,首次效率达到89.2%;采用高镍正极和硅碳负极开发出了高比能量电池单体,比能量为 300.38Wh/kg ,常温 $1\text{C}/1\text{C}$ 循环553周后容量保持率88.6%。

图表 13: 宁德时代规划 2020 年 (E) 开始逐步导入硅基负极

图表 14: 比克规划硅基负极电池逐步放量



Roadmap—Cylindrical													Type								
Model (1C)	2016				2017				2018					2019				2020			
	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q		1Q	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
18650-2.15Ah	NMC 7.9Wh 176wh/kg 468Wh/L (1C 2.15Ah 7.7Wh 172wh/kg)												Mid rate								
18650-2.4Ah	NMC 9Wh 191Wh/kg 523 Wh/L (1C 2.4Ah 8.6Wh 184wh/kg)												Mid rate								
18650-2.75Ah	Hi-Ni 10.4Wh 218wh/kg 631Wh/L (1C 2.75Ah 9.8Wh 206Wh/kg)												energy								
18650-3.0Ah	Hi-Ni+Si 11.9Wh 253wh/kg 719Wh/L (1C 3.0Ah 10.8Wh 220Wh/kg)												energy								
18650-3.3Ah	Hi-Ni+Si 12.6Wh 260wh/kg 762Wh/L (1C 3.3Ah 11.9Wh 242Wh/kg)												energy								
21700-4.5Ah	Hi-Ni+Si 17.3Wh 258wh/kg 714Wh/L (1C 4.5Ah 16.2Wh 242Wh/kg)												energy								
21700-4.95Ah	Hi-Ni+Si 18.9Wh 263wh/kg 781Wh/L (1C 4.95Ah 17.8Wh 248Wh/kg)												energy								
21700-5.7Ah	Hi-Ni+Si 21.6Wh 277wh/kg 893Wh/L (1C 5.7Ah 20.5Wh 263Wh/kg)												energy								
<div><div>Mass Production</div><div>Under Development</div><div>Under Consideration</div></div>																					
confidential																					
																					

资料来源: 第一电动网, 国盛证券研究所

资料来源: 电车汇, 国盛证券研究所

材料企业:

国际厂商: 主要包括日立化成、三菱化学、昭和电工、信越化学、韩国 GS 公司等企业, 其中日立化成最为领先, 最先匹配松下供应特斯拉。

国内厂商: 贝特瑞硅基负极性能最为领先, 已进入松下供应链, 为特斯拉的动力电池配套, 领先同行。杉杉股份、正拓能源等具备了生产能力, 除此之外, 江西紫宸、星城石墨、斯诺等也都在积极推进硅碳负极的产业化, 各自也有产品。

- **贝特瑞**: 硅基负极材料研发 2006 年起步, 在国内率先实现技术突破, 2013 年通过三星认证并开始批量出货。公司同时供应松下、LG、三星, 并已进入特斯拉供应链, 是特斯拉核心供应商。目前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。公司硅基产品具备高容量、低膨胀和长循环的特点, 技术领先国内同行 2-3 年, 目前硅基负极产能 3000 吨。
- **杉杉股份**: 硅基负极材料研发始于 2009 年, 2017 年硅基负极实现量产, 目前圆柱电池用硅氧材料正在进行中试, 计划进入海外圆柱电池客户, 可用于电动工具和电动汽车。EV 用硅氧材料已进入整车企业测试, 2017 年底硅基负极产能 4000 吨。
- **璞泰来**: 积极推进硅氧/硅碳等新产品的性能改善、首次效率提升和制作工艺研发。已与相关单位签署了硅碳专利合作和使用授权, 重点推进硅碳、硅氧的研发和产业化。
- **正拓能源**: 2014 年开始研发硅碳负极材料, 2018 年产能达 2000 吨。

- **星城石墨**: 已建设完成中试产线, 进行成品试生产。
- **斯诺实业**: 目前比容量 400~450mAh/g 的产品已完成小试开发, 处于中试和量产准备阶段。

图表 15: 国内主要厂商硅碳负极产品

	产品名称	D50 (μm)	振实密度 (g/cm ³)	比表面积(m ² /g)	压实密度 (g/cm ³)	容量(mAh/g)	首次效率 (%)
贝特瑞-硅系	S400	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.5-1.8	400-499	92-94
贝特瑞-硅系	S500	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.5-1.7	500-599	90-92
贝特瑞-硅系	S600	15.0-19.0	0.8-1.0	1.0-4.0	1.4-1.7	600-650	89-90
贝特瑞-硅氧	S420-2A	16.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥420	92.5±1.0
贝特瑞-硅氧	S450-2A	15.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥450	91.5±1.0
贝特瑞-硅氧	S500-2A	15.0±2.0	0.9±0.1	<2.0	≥1.7	≥500	90.0 ±1.0
江西紫宸	Si/C-380mAh/g	17.0-19.0	0.85-0.95	1.4-1.6		375-385	90-92
江西紫宸	Si/C-400mAh/g	15.0-17.0	0.85-0.95	1.5-1.7		395-405	89-91
江西紫宸	Si/C-420mAh/g	14.0-16.0	0.75-0.85	1.7-1.9		415-425	87-89
江西紫宸	Si/C-450mAh/g	17.0-19.0	0.75-0.85	1.9-2.1		440-460	86-88
江西紫宸	Si/C-600mAh/g	12.0-14.0	0.65-0.75	2.9-3.1		590-610	83-85
江西紫宸	Si/C-950mAh/g	15.0-17.0	0.65-0.75	2.9-3.1		590-610	83-85
杉杉-硅氧	G1S-C420	10.0-20.0				≥ 420	≥ 91
杉杉-硅氧	G1S-C450	10.0-20.0				≥ 450	≥ 90
杉杉-硅氧	G1S-C500	10.0-20.0				≥ 500	≥ 89
杉杉-硅氧	G1S-C600	10.0-20.0				≥ 600	≥ 88
斯诺实业	SN-SC1	20-23	0.8-1.0	1.0-3.0	1.6-1.7	≥450	≥ 87
斯诺实业	SN-SC2	10-13	0.8-1.0	20-25		≥ 1000	≥ 70
星城石墨	GCM-450	20.334	1.6	3.22	1.6	450	90.2
星城石墨	GCM-600	22.524	1.5	4.58	1.5	600	88.7
正拓能源	SIC450	12-16	≥ 1	1.0-2.0		≥450	≥ 90
正拓能源	SIC420	12-16	≥ 20.9	1.0-2.0		≥ 420	≥ 91
正拓能源	SIC400	15-18	≥ 1	1.5 ± 0.5		≥ 400	≥ 92

资料来源: 各公司官网, 国盛证券研究所

二、特斯拉电池新技术推进，有望加速硅基负极应用

2.1、合作+并购，特斯拉推进电池新技术量产

特斯拉动力电池自产项目“Roadrunner”已正式启动，预计 5 月电池日将公布技术细节。纵观特斯拉自产电池业务布局主要分为三步：

1) 与松下合资积累电池大规模量产经验。特斯拉与松下合作始于 2009 年，创新将圆柱电池应用于汽车，能量密度遥遥领先同行。2014 年 7 月，为保障动力电池供应并降低成本，特斯拉与松下共同投资 50 亿美元在美国内华达州建设超级工厂 Gigafactory，并于 2017 年开始量产，产能逐步爬坡，目前产能约 35GWh。通过与松下合资建厂，特斯拉积累了动力电池大规模量产经验。

2) 前沿基础研究通过新型配方实现电池性能优化。2016 年，特斯拉与杰夫·戴恩（Jeff Dahn）团队达成独家电池研究协议，杰夫·戴恩是三元材料技术开创者，主要集中于高镍正极及电解液性能优化，论文中包括高镍正极的包覆改性以及新型电解液添加剂开发降低副反应，改善循环性能。通过与杰夫·戴恩的合作，为自产电池性能优化奠定基础。

3) 工艺与设备一体，通过收购解决自产电池量产的最后一步。新工艺环节，2019 年 5 月特斯拉完成超级电容器厂商 maxwell 的收购，maxwell 在干电极及预补锂技术领域具备领先的工艺经验和专利优势，有望大幅提升动力电池性能。设备环节，2019 年 10 月完成加拿大 Hibar Systems 收购，Hibar Systems 以精密计量泵业务起家，具备锂电池设备生产线研发和制造能力。工艺和设备息息相关，尤其对于新工艺技术量产，设备的配合至关重要。

通过合作和并购，特斯拉完成了从前沿基础研究到大规模量产所需的工艺和设备的全面布局。新型电池技术预计除了正极、电解液方面的性能优化以外，采用干电极+预补锂技术有望加速硅基负极的商业化应用。

2.2、干电极+预补锂，有望突破硅基负极规模应用瓶颈

干电极相比湿电极的技术区别主要在于：

- **湿电极技术：**将活性材料、导电剂、粘结剂添加溶剂（通常为 NMP）高速搅拌混合均匀，再用涂布机将浆料涂在集流体上并烘干，在涂布过程中溶剂被蒸发去除。NMP 有毒，需回收、纯化和再利用。
- **干电极技术：**干电极工艺更简单，不使用溶剂，将活性材料、导电剂、固体粘结剂（PTFE）通过挤出做成薄膜，再通过热辊压模式与铜箔复合。

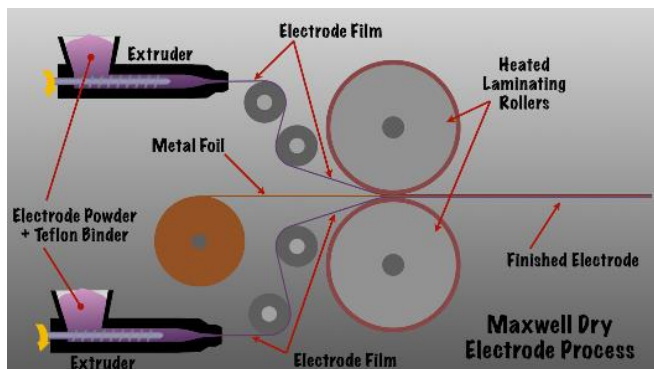
干电极技术可有效解决硅基负极的商业化应用瓶颈。**硅基负极的商业化应用主要问题在于：****1) 循环寿命短：**主要因体积效应造成的硅基负极颗粒破碎、与极片脱离；**2) 首次库伦效率低：**主要因首次反应导致的锂离子永久性损失。采用干电极技术这个关键问题将得到有效改善：

- **硅基负极电池循环寿命得以提升：**干电极技术采用的固体粘接剂 PTFE，具备弹性，可有效解决硅基负极膨胀导致与极片脱离的问题，循环寿命将数倍提升。
- **预补锂技术有望实施，首效低问题得以有效解决：**在湿电极技术下，由于 NMP 为极性溶剂，与金属锂会反应，预补锂无法实现。而采用干电极技术无需添加溶剂，预补锂技术可以顺利实施。添加的锂可以弥补在初始充电时形成 SEI 膜所消耗的锂，

从而提升首次库伦效率，可提升电池能量密度。同时由于在电池充放电过程中，SEI膜会以微小的速度继续增长，消耗锂离子，因此负极补锂亦可提升电池循环寿命。

根据特斯拉收购的 **Maxwell** 干电极技术方案，电池性能有望大幅提升。采用干电极技术电池能量密度有望提升到 500Wh/kg，循环寿命将延长 1 倍，生产效率提升 16 倍，相比最先进的湿电极技术成本可下降 10-20%。Maxwell 干电极电池原计划 2022 年量产，在被特斯拉收购后，这一时间点有望提前。

图表 16: 干电极技术工艺



资料来源: maxwell, 国盛证券研究所

图表 17: maxwell 具备干电极技术专利



资料来源: maxwell, 国盛证券研究所

图表 18: maxwell 干电极技术优势

Dry Battery Electrode: Completing Major Performance Milestones
Transformational Battery Technology Enabling Electric Vehicle Megatrend

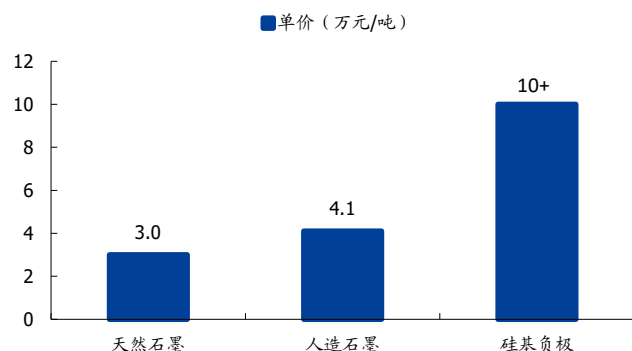
- Energy Density:**
>300 Wh/kg Demonstrated with Path to >500Wh/kg identified
- Extended Battery Life:**
Improved Durability; Extending Battery Life up to 2x
- Cost Reduction:**
16x Production Capacity Density Increase;
10-20%+ Cost Reduction versus State-of-the-Art Wet Electrodes
- Technology Enablement & Environmentally Responsible:**
No Solvents, Next Gen Materials, Cobalt-Free, Solid State

资料来源: maxwell, 国盛证券研究所

三、硅基负极厂商有望受益

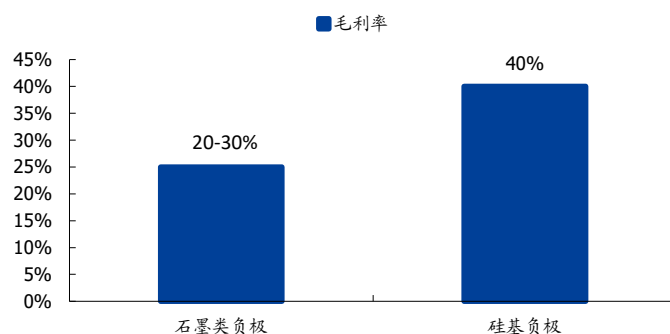
硅基负极以容量定价，最低端的硅基负极价格均在 10 万以上，毛利率 40% 以上，单价、盈利能力均高于目前的石墨类负极材料。国内外电池厂商硅基负极电池产业化稳步推进，叠加特斯拉电池新技术，硅基负极规模化应用有望加速，我们预计 2022 年硅基负极市场需求将超 3 万吨，市场规模预计超 35 亿。

图表 19: 石墨类负极及硅基负极单价对比



资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表 20: 石墨类负极及硅基负极毛利率对比



资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表 21: 硅基负极市场规模预测预测

	2019	2020E	2021E	2022E
特斯拉销量 (万辆)	36.8	56.1	82.2	120.2
特斯拉动力电池需求 (GWh)	29.3	42.0	63.2	95.7
特斯拉负极需求 (万吨)	3.51	5.04	7.59	11.49
硅碳负极渗透率	10%	10%	15%	20%
特斯拉硅碳负极需求 (万吨)	0.4	0.5	1.1	2.3
其他车企销量 (万辆)	195.4	229.8	332.5	419.2
其他车企动力电池需求 (GWh)	76.2	95.0	141.3	178.3
其他车企负极需求 (万吨)	9.90	12.35	18.37	23.18
硅碳负极渗透率	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%
其他车企硅碳负极需求 (万吨)	0.1	0.2	0.6	0.9
合计硅碳负极需求 (万吨)	0.45	0.75	1.69	3.22
单价 (万元/吨)	14.00	13.50	12.50	11.00
市场规模 (亿元)	6.30	10.13	21.11	35.47
YOY		60.8%	108.3%	68.0%

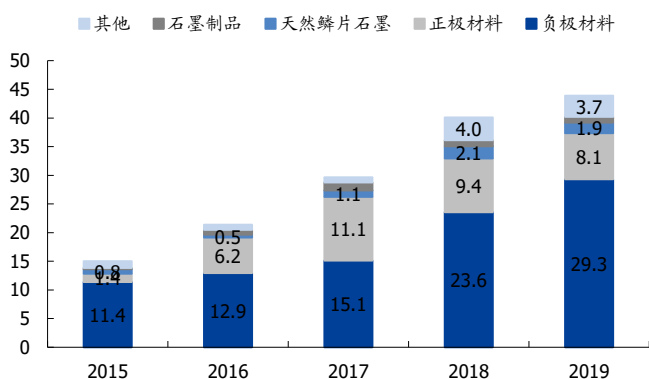
资料来源: GGII, 国盛证券研究所

3.1、中国宝安（持有贝特瑞 75.48%股权）

中国宝安定位控股平台型企业，拥有多家 A/H/新三板上市公司股权。产业布局上有高新技术（新能源汽车为主）、生物医药、房地产以及其他产业（项目投资、物业管理等）四个业务板块。由于其他产业板块亏损以及母公司费用对利润蚕食较多，整体盈利能力一般。其中两个主要子公司贝特瑞（新三板上市，202 亿）、马应龙（A 股上市，74 亿）对应股权市值 174 亿。

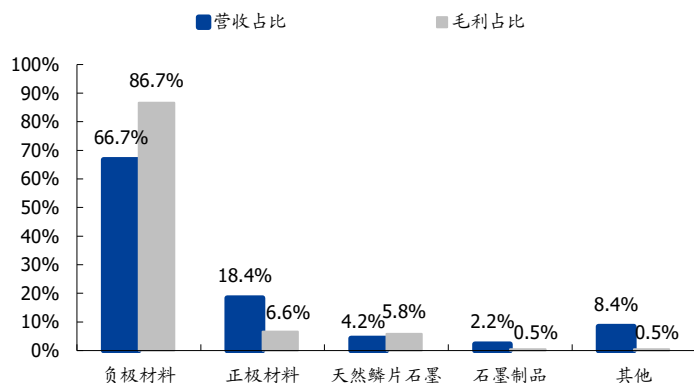
贝特瑞主营锂电池负极及正极业务，其中负极业务贡献主要利润，正极业务亏损。2019 年公司负极出货量约 6 万吨，市占率 22.6%，出货量已连续多年第一。公司在天然石墨负极领域具备绝对优势，成本、性能领先，2019 年市占率 63.3%；人造石墨起步相对较晚，但部分工艺相同，产品定位中高端，市占率稳步提升，2019 年市占率 11.3%，行业排名第四。

图表 22: 贝特瑞历年分业务营收 (亿元)



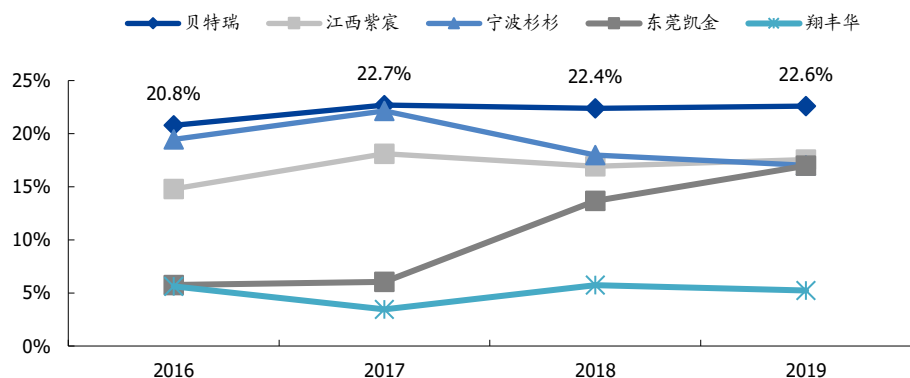
资料来源: 公司财报, 国盛证券研究所

图表 23: 贝特瑞负极贡献主要营收及毛利 (2019)



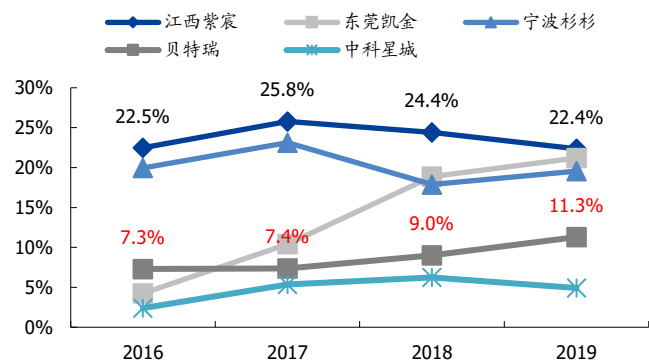
资料来源: 公司财报, 国盛证券研究所

图表 24: 负极出货量连续多年第一



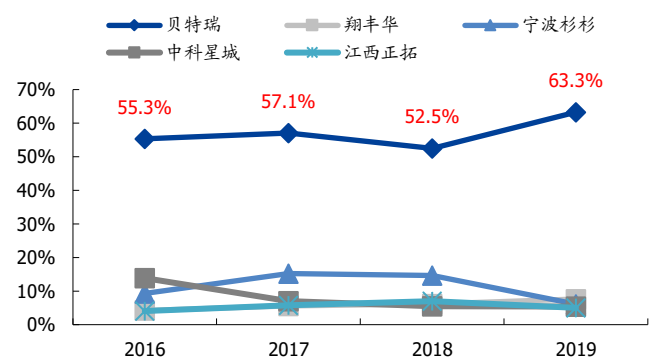
资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表 25: 人造石墨出货排名第 4, 市占率稳步提升



资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表 26: 天然石墨市占率遥遥领先, 稳固第一

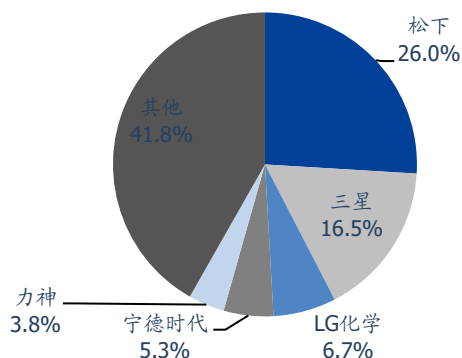


资料来源: GGII, 国盛证券研究所

2019 年前三大客户分别为松下、三星及 LG, 三者营收占比 49.1%。其中对松下收入规模增长最快, 从 2017 年的 2.31 亿增长至 2019 年的 11.40 亿。三星持续攀升, 从 2017 年的 2.77 亿增长至 2019 年的 7.22 亿。垂直一体化布局, 负极材料业务涵盖矿山开采、

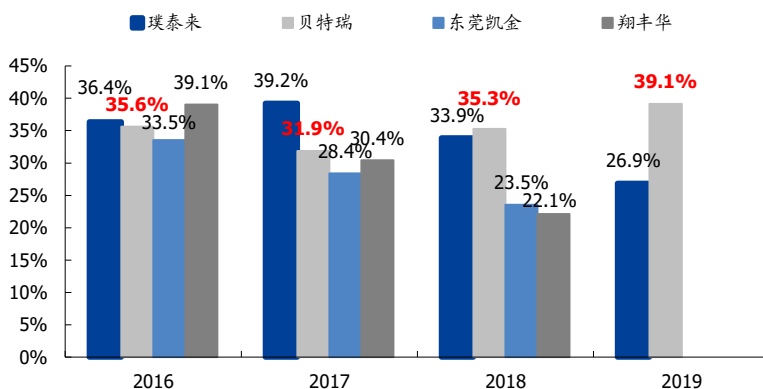
浮选到负极材料成品一体化的全产业链，盈利能力领先同行，

图表 27: 2019 年前五大客户



资料来源: 公司财报, 国盛证券研究所

图表 28: 盈利能力领先同行 (毛利率)



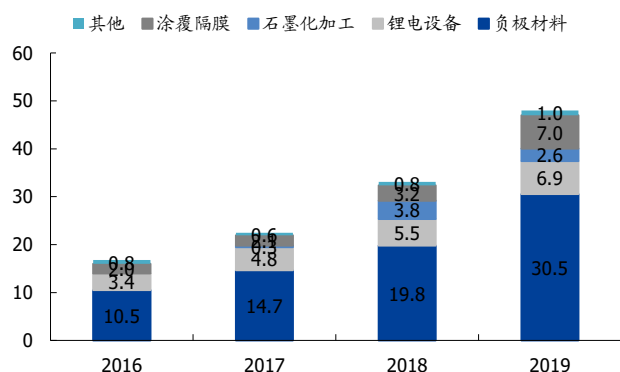
资料来源: 各公司财报, 国盛证券研究所

贝特瑞硅基负极材料 2006 年起步，在国内率先实现技术突破，2013 年通过三星认证并开始批量出货。公司同时供应松下、LG、三星，并已进入特斯拉供应链，是特斯拉核心供应商。目前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。公司硅基产品具备高容量、低膨胀和长循环的特点，技术领先国内同行 2-3 年，目前硅基负极产能 3000 吨。

3.2、璞泰来

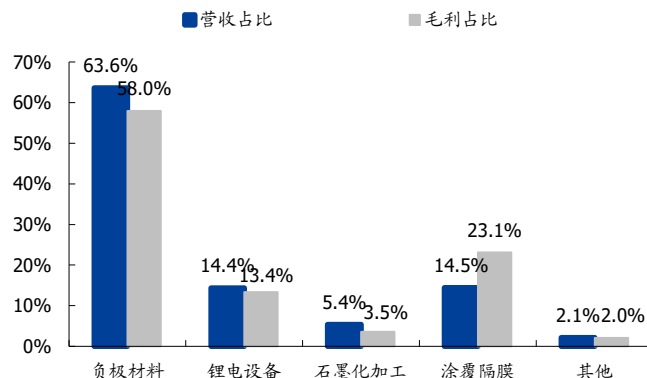
璞泰来以负极材料业务起家，通过外延并购逐步实现涂布机、涂覆隔膜及铝塑膜等业务板块布局，目前业务结构中，负极及涂覆隔膜贡献主要利润及增量。公司全资子公司江西紫宸是人造石墨负极龙头厂商，2019 年人造石墨出货量约 4.6 万吨，市占率 22.4%，在人造石墨负极领域市占率第一。人造石墨技术领先，产品定位高端，单价领先同行。切入 LG、三星、ATL、宁德时代等国内外锂电巨头供应体系，是 LG 和 ATL 核心供应商。LG 全球车企订单第一，以大众为代表的国际车企第一轮产品周期开启，增长确定。涂覆隔膜与宁德时代深度绑定，稳步增长，持续放量，新增产能稳步释放，成长可期。

图表 29: 璞泰来历年分业务营收 (亿元)



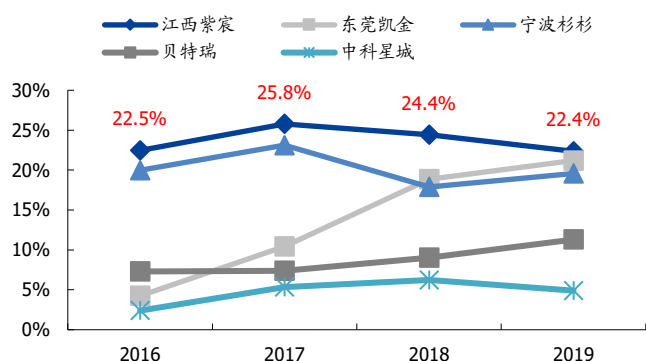
资料来源: 公司财报, 国盛证券研究所

图表 30: 璞泰来负极及涂覆隔膜贡献主要盈利 (2019)



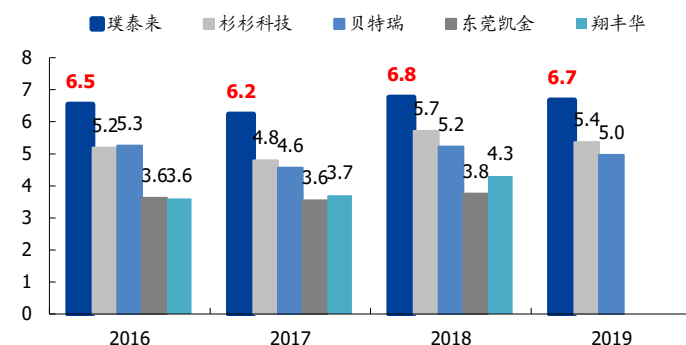
资料来源: 公司财报, 国盛证券研究所

图表 31: 璞泰来人造石墨出货量第一



资料来源: GGII, 国盛证券研究所

图表 32: 产品定位高端, 单价领先同行 (万元/吨)



资料来源: 各公司财报, 国盛证券研究所

公司稳步推进产能扩张的同时不断深化产业链垂直整合, 一体化布局初显成效。隔膜业务通过参股、收购已完成从基膜到涂覆材料、涂布设备和涂覆隔膜的全线布局。负极材料业务石墨化、炭化产能释放, 毛利率有望企稳, 通过参股针状焦环节的振兴炭材, 将于 2020 年开始贡献业绩。在硅基负极上, 正积极推进硅氧/硅碳等新产品的性能改善、首次效率提升和制作工艺研发。已与相关单位签署了硅碳专利合作和使用授权, 重点推进硅碳、硅氧的研发和产业化。

四、风险提示

特斯拉电池新技术进展不及预期。特斯拉采用的新电池技术面临着设备、工艺、材料的变化, 在量产过程中存在较多的不确定性。特斯拉电池新技术进展不及预期可能导致硅基负极的应用进度低于预期。

硅基负极产业化应用不及预期。硅基负极应用上仍需要在材料、电池体系级别的进一步优化, 存在着一定的不确定性, 产业化应用上可能不及预期。

免责声明

国盛证券有限责任公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告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。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及其研究人员对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，可能会随时调整。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有本报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司正在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。

本报告版权归“国盛证券有限责任公司”所有。未经事先本公司书面授权，任何机构或个人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。任何机构或个人如引用、刊发本报告，需注明出处为“国盛证券研究所”，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。

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，本报告所表述的任何观点均精准地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法，结论不受任何第三方的授意或影响。我们所得报酬的任何部分无论是在过去、现在及将来均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。

投资评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
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 股市场以沪深 300 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；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普 500 指数或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	相对同期基准指数涨幅在 15%以上
		增持	相对同期基准指数涨幅在 5%~15%之间
		持有	相对同期基准指数涨幅在 -5%~+5%之间
		减持	相对同期基准指数跌幅在 5%以上
	行业评级	增持	相对同期基准指数涨幅在 10%以上
		中性	相对同期基准指数涨幅在 -10%~+10%之间
		减持	相对同期基准指数跌幅在 10%以上

国盛证券研究所

北京 地址：北京市西城区平安里西大街 26 号楼 3 层 邮编：100032 传真：010-57671718 邮箱：gsresearch@gszq.com	上海 地址：上海市浦明路 868 号保利 One56 1 号楼 10 层 邮编：200120 电话：021-38934111 邮箱：gsresearch@gszq.com
南昌 地址：南昌市红谷滩新区凤凰中大道 1115 号北京银行大厦 邮编：330038 传真：0791-86281485 邮箱：gsresearch@gszq.com	深圳 地址：深圳市福田区福华三路 100 号鼎和大厦 24 楼 邮编：518033 邮箱：gsresearch@gszq.com