

电气设备

2020年09月22日

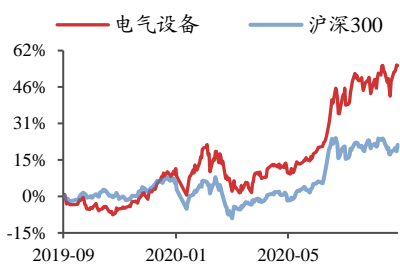
投资评级：看好（维持）

锂电池行业深度系列报告（二）：

从充放电本质看材料创新，龙头共进化

——行业深度报告

行业走势图



数据来源：贝格数据

相关研究报告

《行业周报-景气度扩散，关注量价齐升的弹性环节》-2020.9.20

《新能源行业投资策略-新能源，新机会》-2020.9.17

《行业周报-长期预期提升，景气度加速向上》-2020.9.13

刘强（分析师）

liuqiang@kysec.cn

证书编号：S0790520010001

李若飞（分析师）

liruofei@kysec.cn

证书编号：S0790520050004

● 锂电材料体系是电池性能不断进化的核心

终端新能源车对动力电池的诉求主要在能量密度、循环寿命、安全性能三个方面，当前产业界围绕这三大目标进行了一系列的锂电池创新，我们认为其中最核心的创新在于锂电材料。锂电材料体系的创新基于电池充放电本质，其中正负极选材是提升电芯能量密度的关键，电解液添加剂是改善电池循环寿命的有效手段。对于锂电产业链而言，往往是具有强大研发基础与资金实力的头部企业引领行业的技术创新与工艺进步。在技术持续迭代的背景下，我们推荐具有强大研发实力的锂电龙头宁德时代。同时，新技术的需求者与发明者特斯拉、提前布局硅基负极技术的贝特瑞、拥有多项电解液添加剂技术的新宙邦、在四元前驱体有研发经验的格林美、实现单晶、高镍量产的容百科技、当升科技等具备技术先发优势的公司将受益。

● 正负极选材是提升电芯能量密度的关键与核心

电芯能量等于正负极电势差与电芯容量的乘积。提高电芯的能量密度的本质是提高正负极电势差与理论比容量，而电势与理论比容量由材料自身特性决定。因此，正负极材料的选择较为关键。当前商业化的正极体系的创新集中在对三元材料的改性方面。三元体系的技术发展可概括为无钴化与单晶化。目前无钴化尚处于实验室探究阶段，代表路线是：1）使用 Mg/Al/Mn 元素直接取代钴元素，造出新三元或二元材料，实现完全去钴化；2）在 NCM 三元体系中添加铝元素制备四元 NCMA，将钴含量进一步稀释，实现材料低钴化。单晶化已经在中镍材料中广泛应用，高镍材料单晶化尚需进一步的工艺探索。负极材料创新集中在高克容量的硅体系，代表路线是：1）硅纳米线等纳米结构；2）硅碳复合材料；3）硅氧碳复合体系。目前两种技术路线处于导入期。我们认为，材料体系的创新着眼于锂电池充放电本质，是解决当前锂电池痛点最有效的手段，也将成为颠覆行业格局的重要推手，具有前瞻性布局的企业最为受益。

● 开发新型电解液添加剂是改善电池循环寿命的有效手段

动力锂离子电池的失效直接影响电池的使用寿命与安全性。而失效的诱因通常是一连串的“反常”反应，而且多数难以避免。当前有效阻止连锁反常反应继续发生的关键材料在于电解液添加剂。电解液添加剂的使用是一种低成本、高效率提升电池循环寿命与安全性的方法。少量的添加剂就可起到改善效果。不过，当前电解液添加剂技术的难点在于：1）添加剂与溶剂、锂盐的配比调节问题；2）电解液添加剂的功能性取舍问题。我们认为，锂离子电池的循环寿命和安全性是终端消费者购车的主要考量指标，电解液添加剂对上述性能的改善立竿见影，若添加剂的配比与功能平衡问题得以解决，将是材料层面落地速度最快的技术创新。

● 风险提示：新技术转化不及预期、新能源汽车销量不及预期等

目 录

1、 降本提质倒逼技术不断进化	4
1.1、 能量密度是衡量电池性能的核心标准	4
1.2、 锂离子电池仍存有成本下降空间	5
1.3、 锂电失效是汽车电动化进程的拦路虎	6
2、 材料创新：抓住锂电池充放电本质	8
2.1、 正极：现有三元体系的无钴化、单晶化	8
2.1.1、 无钴化：安全性尚待验证	8
2.1.1、 单晶化：制造壁垒高、量产难度大	12
2.2、 硅基负极：复合化和结构改性最具量产潜力	15
2.2.1、 硅纳米线：成本是制约其发展的主要问题	16
2.2.2、 硅碳复合材料：硅基材料中最先量产的材料	17
2.2.3、 硅氧负极：性能介于硅、石墨之间	19
2.3、 电解液：添加剂是提升循环寿命的一剂“良药”	20
3、 受益公司	21
3.1、 特斯拉：降本增效极致追求者	21
3.2、 宁德时代：行业创新引领者	21
3.3、 贝特瑞：有望迎来硅碳负极风口	21
3.4、 新宙邦：电解液添加剂提升产品附加值	22
3.5、 格林美：高镍低钴前驱体材料的先行者	22
3.6、 容百科技：单晶与高镍技术的先行者	22
3.7、 当升科技：高镍单晶产品性能领先同业	22
4、 风险提示	23

图表目录

图 1： 现有锂电体系的电芯能量密度最高可达 304Wh/kg（单位：Wh/kg）	4
图 2： 宁德时代短期规划已实现，中长期追随国家规划	5
图 3： 锂离子电池体系未来或将向全固态锂电、锂空发展	5
图 4： 锂离子电池包价格逐年下降	6
图 5： 在电池包成本拆分中，正极占比 21%	6
图 6： 在电池包原材料成本拆分中，正极占比 38%	6
图 7： 锂离子电池失效原因复杂	7
图 8： 锂离子电池热失效最终表现为电解液燃烧	7
图 9： 电芯能量密度提升方法	8
图 10： 硫酸钴价格在三种前驱体中最高（单位：万元/吨）	8
图 11： NCM523 价格受硫酸钴价格影响较大（单位：万元/吨）	8
图 12： NCA9055、NA955、NMn955 的克容量相差不大	10
图 13： Mg/Al/Mn 掺杂可以有效延缓 LNO 升温速率	10
图 14： NCMA89 的循环性能、高温性能均优于 NCA89 与 NCM90	11
图 15： NCMA89 的首圈放电容量与 NCM90 相当	11
图 16： NCMA89 的热分解温度最高	11
图 17： 蜂巢能源四元 NCMA 电池循环寿命高于三元 NCM 电池	12

图 18: 三元材料的热稳定性、循环寿命随着镍含量的增加而降低.....	12
图 19: 三元材料比二元材料的容量保持率低	12
图 20: 多晶材料在多次循环后逐渐粉碎	13
图 21: 单晶材料在多次循环后几乎无粉碎现象	13
图 22: 容百科技高电压单晶 NCM523 合成工序	13
图 23: 烧结温度和锂化比对晶粒尺寸影响较大	14
图 24: 单晶 NCA 比多晶 NCA 粒径小且光滑	14
图 25: 单晶 NCA 的循环寿命优于多晶 NCA	15
图 26: 硅负极特点及改性方法	16
图 27: 硅纳米线结构呈一维针状	16
图 28: 利用 PECVD 制备的硅纳米线形貌不均一	17
图 29: 当沉积形貌不均一时, 循环寿命大打折扣	17
图 30: 硅碳复合材料可以是核壳形貌、三明治形貌等.....	18
图 31: 国内负极厂商在硅碳负极领域的专利布局	18
图 32: 硅基负极生产工序与石墨类负极生产工序不同.....	19
图 33: J.D.团队单晶 NCM523/Graphite 电池循环寿命远高于其他同类型电池.....	21
图 34: J.D.团队单晶 NCM523/Graphite 电池在 20℃下工作 25 年后的容量保持率依然高于 90%.....	21
表 1: 全球锂电领先国家和企业提出动力电芯能量密度发展规划 (单位: Wh/kg)	4
表 2: 从 NCM811 到 NCM9055, 钴元素度电成本边际减少量为 14.06 元/kWh.....	9
表 3: 蜂巢能源 NM 二元无钴电池能量密度与 NCM811 电池相当	10
表 4: 从贝特瑞相关专利来看, 目前硅基负极材料多以碳材料为基底.....	19
表 5: 锂离子正极材料的不稳定问题多与电解液有关	20
表 6: 各类电解液添加剂功能性强	20
表 7: 锂电产业链公司估值对比	23

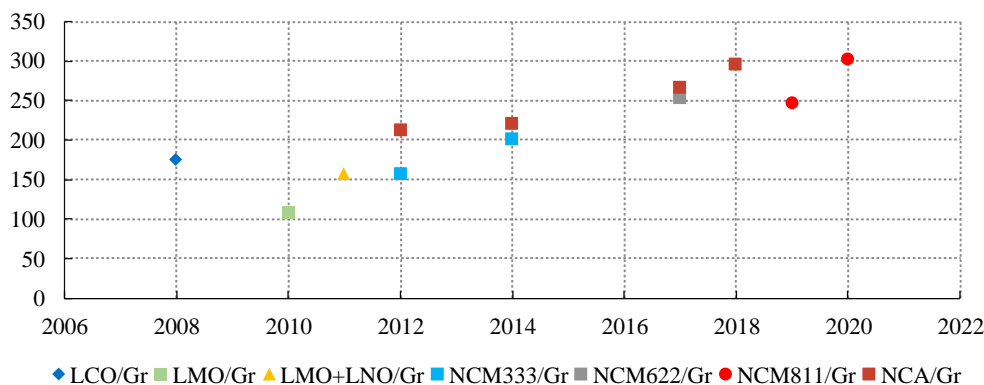
1、降本提质倒逼技术不断进化

动力电池堪称电动汽车的心脏，对动力电池的研发是新能源汽车行业的核心。从目前现状来看，动力电池的研发主体是电池企业与车企，他们从“降低成本+提升能量密度+提升循环寿命与安全性”三个目标出发，在材料、工艺、电池体系上做出很多突破。核心产品力决定动力电池企业的行业地位。本文将对目前各企业在材料技术储备做详细梳理。

1.1、能量密度是衡量电池性能的核心标准

第一只商业化锂离子电池出现在 1991 年，这款索尼开发的锂离子电池的能量密度只有 80Wh/kg，而如今，随着电池材料的更新换代以及制造工艺的日趋成熟，锂离子电池电芯的能量密度已经可以达到 300Wh/kg。锂离子电池的应用领域也从单一的消费电子领域逐步向电动汽车和储能装置渗透。在动力电池领域，系统的能量密度与电动汽车的续航里程直接挂钩，高能量密度几乎成为市场衡量电池性能的绝对标准。

图1：现有锂电体系的电芯能量密度最高可达 304Wh/kg（单位：Wh/kg）



数据来源：BloombergNEF、开源证券研究所

目前，多国政府和企业对动力电池能量密度提出发展规划。从国家规划来看，韩国的规划相对激进，提出电芯能量密度在 2030 年达到 600Wh/kg。美国先进电池联合会提出在 2020 年电芯能量密度提升至 350Wh/kg。日本新能源产业技术综合开发机构提出在 2020/2030 年电芯能量密度分别达到 250/500Wh/kg。中国的目标最为稳健，计划在 2020/2025/2030 年分别达到 300/400/500Wh/kg。

表1：全球锂电领先国家和企业提出动力电池能量密度发展规划（单位：Wh/kg）

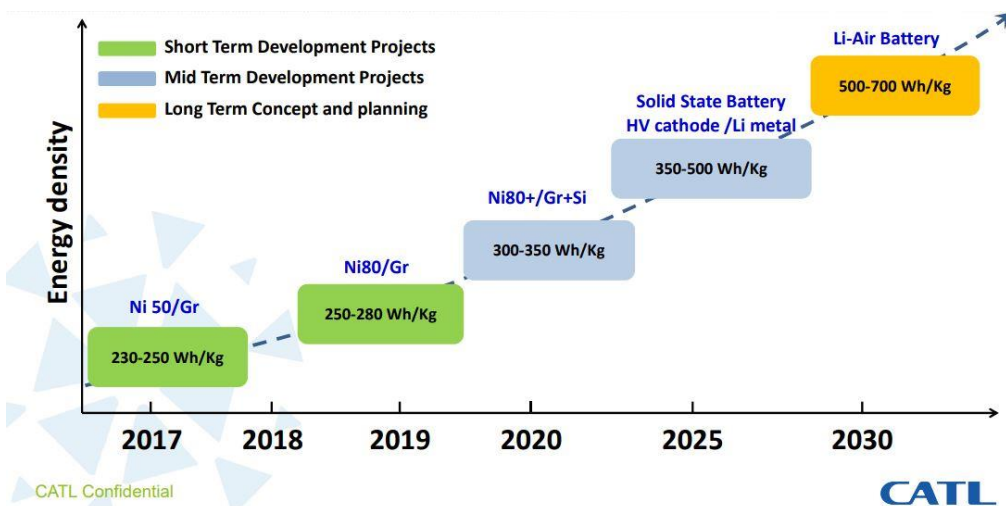
国家/企业	2020	2025	2030
中国	300	400	500
日本	250	-	500
美国	350	-	-
韩国	300	-	600
宁德时代	300-350	350-500	500-700
特斯拉	385		500

数据来源：中国汽车工程学会、NEDO、高工锂电、开源证券研究所

龙头公司带动行业技术创新。落实到企业层面，动力电池新技术开发的主力除了动力电池巨头外，还有新能源车企。特斯拉是全球电动化的引领者，一直以来和松下合

作研发动力电池,其规划是在2020年实现电芯密度385Wh/kg,2025年实现500Wh/kg。宁德时代对能量密度的追求一直是“稳准快”。从宁德时代2017年的技术展望中可以看出,公司2020年之前的目标已经基本实现,2019年NCM811已经实现量产,单体电芯能量密度达到304Wh/kg。2020年以后,CATL对电芯能量密度的规划与国家步调较为一致。

图2: 宁德时代短期规划已实现, 中长期追随国家规划



资料来源: 宁德时代官网

国内外动力电池的能量密度平均水平离设定目标尚有差距,新技术、新体系将推动行业竞争格局良性改变。目前成熟的锂电池体系的能量密度天花板已现。对于电芯而言,能量密度提升的本质在于提高正负极材料的比容量以及正负极材料的电势差。短期可以通过调节材料元素成分或改善制备工艺提高现有体系的能量密度,如无钴高镍技术、干电极技术;长期看,现有锂电成熟体系的能量密度天花板已现,未来十年里,固态电池、锂空/锂硫电池等新体系的开发或将成为重点。

图3: 锂离子电池体系未来或将向全固态锂电、锂空发展



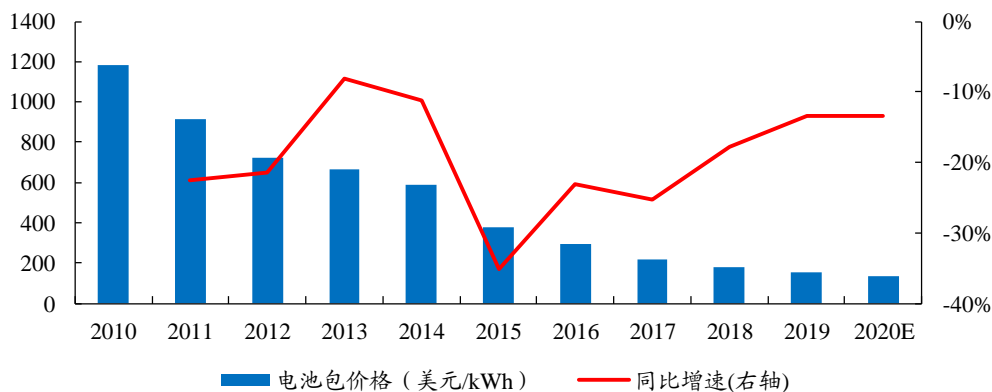
资料来源: 《overview of battery cell technologies》

1.2、 锂离子电池仍存有成本下降空间

降低成本是电动汽车对锂离子电池行业发展提出的另一需求。电动汽车的造价成本一般比传统燃油车高。而电动汽车中动力电池成本占比在40%左右,动力电池成本

的降低对整车降本贡献最大。而且锂离子电池成本下降空间一直存在。自从大规模工业化应用以来，锂离子电池的制造成本呈现急速下降趋势。根据 BloombergNEF 数据，2019 年全球动力锂离子电池包价格在 156 美元/kWh，预计到 2024 年降至 93 美元/kWh，到 2030 年进一步降至 61 美元/kWh。

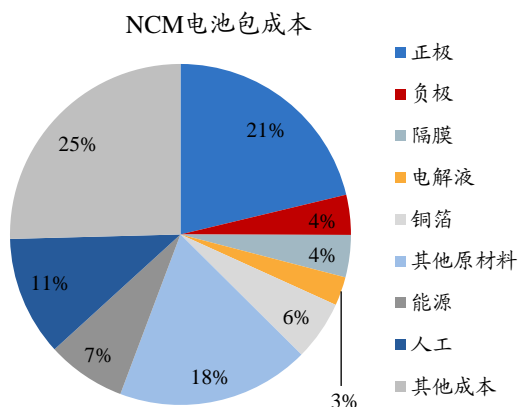
图4: 锂离子电池包价格逐年下降



数据来源: BloombergNEF、开源证券研究所

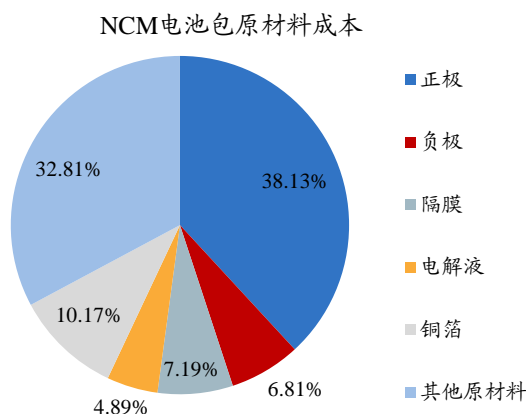
降本方式主要从电芯四大材料与新工艺着手。从电池包的成本结构来看，电芯原材料成本占比最大。进一步拆分电芯成本，发现正极材料占比最大。三元电芯的正极材料成本占比达 38%。降低正极材料的成本对整个电池包降本效果最佳。而目前成熟的正极材料的价格已经随着规模化生产显著降低，市场供需关系基本稳定，进一步大幅降价的可能性较小。因此寻找新材料、新工艺成为降本新方向。各企业对降本的热情不竭，从材料到电池包零部件，已经涌现出许多新技术。合成三元材料的平价替代、研制新的制备装配工艺等是各个公司研发的热点。

图5: 在电池包成本拆分中，正极占比 21%



数据来源: 开源证券研究所 注: 该数据根据宁德时代 2019 年成本测算得到

图6: 在电池包原材料成本拆分中，正极占比 38%



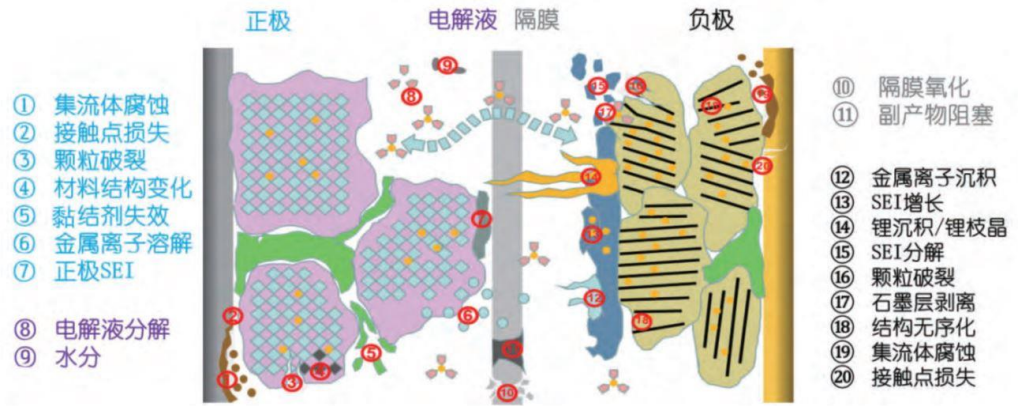
数据来源: 开源证券研究所 注: 该数据根据宁德时代 2019 年成本测算得到

1.3、锂电失效是汽车电动化进程的拦路虎

锂离子电池失效诱因复杂。锂离子电池的失效分为性能失效与安全性失效。性能失效指锂电池容量衰减、循环寿命短、倍率性能差、一致性差、易自放电、高低温性能衰减等。安全性失效包括热失控、胀气、漏液、析锂、短路等。失效的内因较为复杂，

电芯四大材料皆存在失效导火索。概括起来就是电芯内部发生一系列“反常反应”导致四大材料的损伤。

图7：锂离子电池失效原因复杂

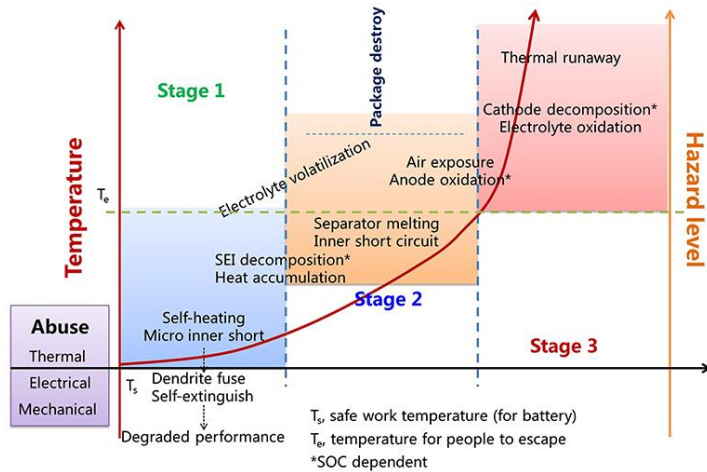


资料来源：《锂电池失效分析与研究进展》

动力锂电池的失效直接影响电池的使用寿命与安全性。动力电池使用寿命的评价标准通常是循环圈数与容量保持率。目前商业化动力电池的循环寿命在 2000 周左右，意味着一辆续航里程为 400km 的纯电动车在 100%的放电深度下，全生命周期运行里程为 80 万 km。一辆纯电动乘用车正常通勤情况下年均里程为 2.5 万 km，则该纯电动乘用车使用寿命为 32 年。但实际上，在电芯充放电过程中可能会发生“反常反应”，降低电芯循环圈数与容量保持率，从而减少电动汽车的使用寿命。改善电芯使用寿命的主要方法是对电解液改性。

安全性失效是锂离子电池发生较多的一种失效，来源于电池在充放电过程中的热失控问题。目前成熟的锂离子电池体系使用的电解质为有机物，当电池内部发生一系列“反常”反应而放出大量热，有机电解质有可能在高于其燃点而燃烧，并在密闭空间内释放气体，最终导致电池包爆炸。电池内部“反常”反应的诱因相对复杂且不可控，因此从材料角度而言，有效解决电池热失效问题主要思路为：1) 使用阻燃添加剂防止有机电解质燃烧；2) 开发不易燃的固态电解质。

图8：锂离子电池热失效最终表现为电解液燃烧

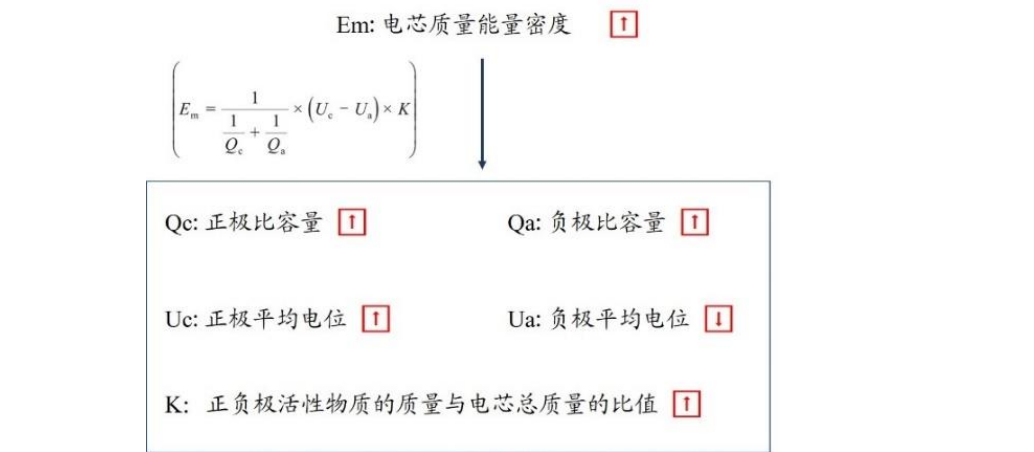


资料来源：《Safety issues in lithium ion batteries: materials and cell design》

2、材料创新：抓住锂电池充放电本质

材料层面的技术创新着眼于电芯的充放电机理。从提高能量密度的角度看，电芯能量密度等于正负极电势差与电芯容量的乘积。提高电芯的能量密度的本质是提高正负极电势差与理论比容量，而电势与理论比容量由材料自身特性决定。因此，正负极材料的选择较为关键。从提高循环稳定性与安全性的角度看，电解液的改性可以有效避免电解液与正负极之间的副反应。从降低成本角度看，选择新型正极材料或将使电芯度电成本下降。

图9：电芯能量密度提升方法



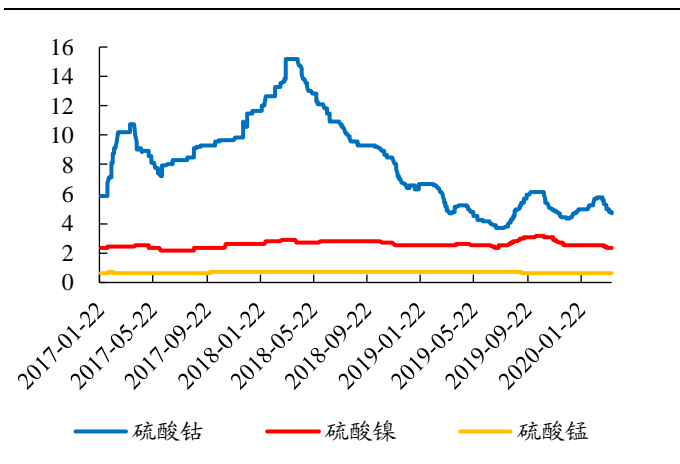
资料来源：CNKI、开源证券研究所

2.1、正极：现有三元体系的无钴化、单晶化

2.1.1、无钴化：安全性尚待验证

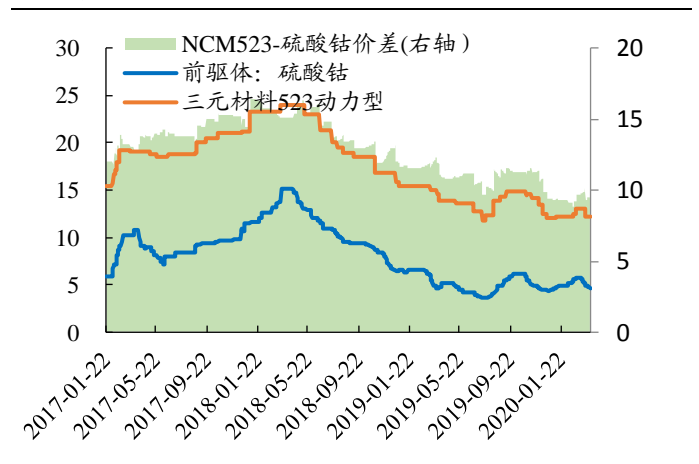
高价钴元素掣肘正极材料降本。在三元材料中，三种元素各司其职：镍主要用来提供容量，钴主要用来稳定结构，而锰/铝主要用来改善材料的导电性。但三种元素中钴的价格最高且易波动。以NCM523材料为例，NCM523正极材料的价格波动与硫酸钴的价格走势高度一致，钴价的波动性严重影响了正极材料的价格。

图10：硫酸钴价格在三种前驱体中最高(单位：万元/吨)



数据来源：Wind、开源证券研究所

图11：NCM523价格受硫酸钴价格影响较大(单位：万元/吨)



数据来源：Wind、开源证券研究所

现有三元体系进一步降钴的可能性较小。目前已有企业宣布量产高镍9系。我们根
请务必参阅正文后面的信息披露和法律声明

据三元材料钴含量的质量分数 NCM 三元系列的钴元素度电成本做出测算，可以发现，从 NCM811 到 NCM9055，钴元素度电成本边际减少量为 14.06 元/kWh，假设单车带电量为 50kWh，则单车成本减少量仅为 703 元。如果进一步降低 NCM9055 的钴含量，单车成本边际降幅将更低。我们认为，牺牲三元材料的稳定性换取成本的小幅下降不可取，单纯以提升镍含量的方式降低钴含量的可能性较小。

表2: 从 NCM811 到 NCM9055, 钴元素度电成本边际减少量为 14.06 元/kWh

正极材料	钴元素含量 (wt%)	正极材料度电单耗 (kg/kWh)	钴元素度电单耗 (kg/kWh)	国产钴粉单价 (万元/吨)	钴元素度电成本 (元/kWh)	钴元素度电成本边际减少量 (元/kWh)
NCM333	20.28%	1.90	0.39	28.96	111.56	
NCM523	12.21%	1.79	0.22	28.96	63.28	48.28
NCM622	12.16%	1.65	0.20	28.96	58.10	5.18
NCM811	6.06%	1.55	0.09	28.96	27.19	30.91
NCM9055	3.02%	1.50	0.05	28.96	13.13	14.06

数据来源: CNKI、Wind、开源证券研究所 注: 钴粉单价采用 2019 年钴粉市场均价

寻找替代钴的平价元素是三元材料去钴化的基本思路。钴在三元中的主要作用有两个，其一是阻碍 Li-Ni 混排提高材料的结构稳定性，其二是抑制充放电过程中的多相转变。因此寻找钴元素的平替或从不含未成对的电子自旋的特定元素着手，降低 Li-Ni 混排，或掺杂 M-O 键能大的元素，稳定结构。由此衍生出两条路线: 1) 使用 Mg/Al/Mn 元素直接取代钴元素，造出新三元或二元材料，实现完全去钴化; 2) 在 NCM 三元体系中添加铝元素制备四元 NCMA，将钴含量进一步稀释，实现材料低钴化。

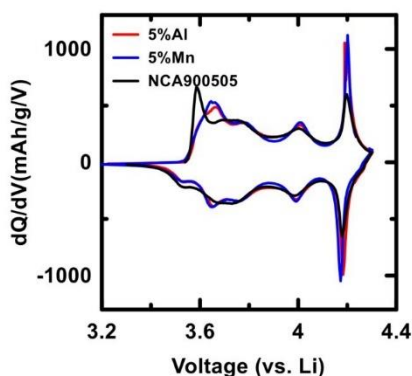
①二元材料

特斯拉致力于引领无钴化进程。在正极材料的选材方面，特斯拉一直都是高能量密度的先行者。特斯拉一直以来与日本的松下公司合作研究高镍电池，目前三元锂电池的钴含量已经降到 5% (马斯克 2018 年推特原文数据 2.8% 应是钴元素占整个电芯的质量比例，经换算，钴元素在正极材料的质量占比为 5% 左右)。在无钴材料的研究方面，特斯拉与三元锂电的发明者 Jeff Dahn 教授合作较多。

从 Jeff Dahn 教授 2019 年 9 月发表在 Journal of Electrochemical Society 的一篇文章来看，无钴高镍材料有了重要突破。该项研究表明，在抑制三元材料相变方面，当 NCA 中钴元素含量小于 5% 时，钴元素不再有抑制相变的作用。相比之下，在 LiNiO₂ 掺杂 5% 的铝或镁或锰元素 (即 NA955、NMg955、NMn955) 可以有效抑制相变。在稳定材料结构方面，NA955、NMg955、NMn955 与 NCA9055 作用相当。此外，NA955、NMg955 与 NMn955 相比 NC955 而言，其热升温速率更慢。

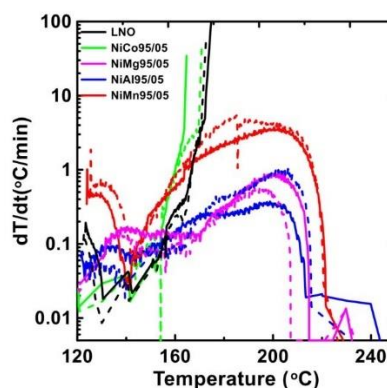
综合来看，在 Ni90 系、Ni95 系三元材料中，钴元素对材料的稳定作用已经相对弱化。直接在 LiNiO₂ 材料中掺杂铝/镁/锰元素得到电化学性能与 NCA9055 相当。三元材料完全去钴化已经成为可能。但目前二元材料 NA、NMn、NMg 尚处于实验室研究阶段。

图12: NCA9055、NA955、NMn955 的克容量相差不大



资料来源:《Is cobalt needed in Ni-rich positive electrode materials for lithium ion batteries?》

图13: Mg/Al/Mn 掺杂可以有效延缓 LNO 升温速率



资料来源:《Is cobalt needed in Ni-rich positive electrode materials for lithium ion batteries?》

国内率先推出无钴电池概念的企业是蜂巢能源。从蜂巢能源的关于无钴电池的公开专利来看,无钴电池所用正极材料为 $\text{Li}_{1+x}\text{Ni}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ ($0.8 \leq y \leq 0.9$),配合电解液成膜添加剂,解决了正极材料较差的容量衰减问题。在三种实施案例中,无钴 NM_x 电芯的能量密度可与 NCM811 相当。该无钴电池或将于 2021 年实现量产。

表3: 蜂巢能源 NM 二元无钴电池能量密度与 NCM811 电池相当

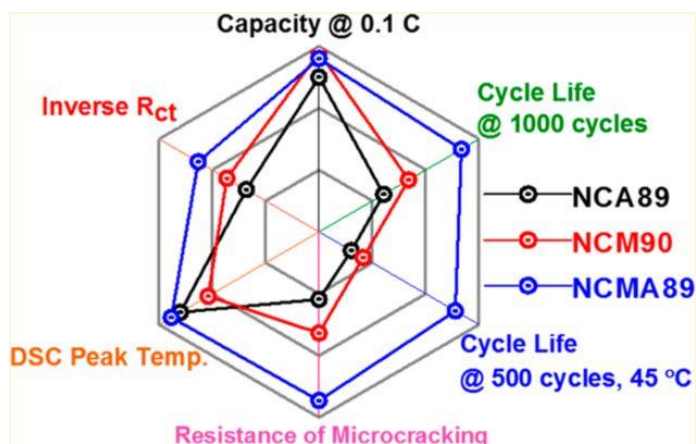
正极材料	电芯能量密度/(Wh/kg)	平均电压/V	1C 容量保持率 (500 圈)
$\text{Li}_{1.02}\text{Ni}_{0.88}\text{Mn}_{0.12}\text{O}_2$	270	3.59	95.0%
$\text{Li}_{1.05}\text{Ni}_{0.85}\text{Mn}_{0.15}\text{O}_2$	279	3.59	93.5%
$\text{Li}_{1.10}\text{Ni}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$	268	3.59	96.0%
$\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$	265	3.65	

数据来源:国家知识产权局(申请公布号:CN109904447A)、电池联盟、开源证券研究所 注:NCM811 数据来自电池联盟

②NCMA 四元材料

NCMA 电池循环寿命相较 NCM 更长。韩国汉阳大学 Sun Yang-Kook 课题组在 2016 年合成出 NCMA 四元正极材料 $\text{LiNi}_{0.6}\text{Co}_{0.121}\text{Mn}_{0.272}\text{Al}_{0.007}\text{O}_2$, 2019 年进一步合成出高镍 NCMA89 四元正极 $\text{LiNi}_{0.89}\text{Co}_{0.05}\text{Mn}_{0.05}\text{Al}_{0.01}\text{O}_2$, 其技术路线是在 NCM 三元材料中添加少量铝元素,强化 NCM 晶界,减少循环中的颗粒粉化和破碎,以提升材料的循环寿命。此外,铝元素的加入可提升正极的放热峰值温度、降低正极的放热热量,减少高镍材料安全性失效的发生。

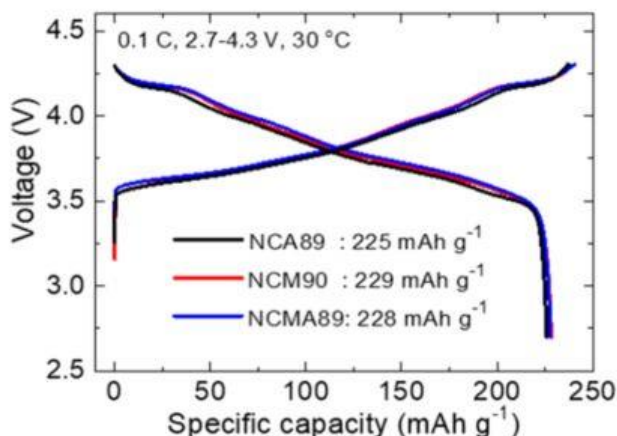
图14: NCMA89 的循环性能、高温性能均优于 NCA89 与 NCM90



资料来源:《Quaternary layered Ni-rich NCMA cathode for lithium-ion batteries》

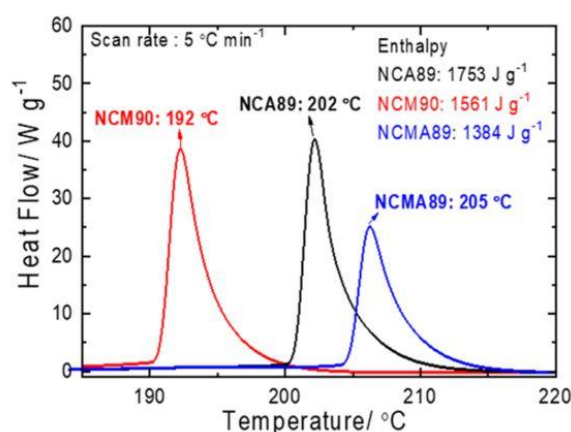
从高镍三元材料与高镍四元材料的电化学性能对比来看, NCMA89 的首圈放电容量高于 NCA89, 与 NCM90 相当。NCMA89 的循环稳定性相比 NCA89、NCM90 有较大改善。文章数据显示, NCMA89/Gr 在 1C 的倍率下循环 1000 圈后的容量保持率为 84.5%, NCM90/Gr、NCA89/Gr 仅为 68.0%、60.2%。NCMA89 的放热峰值温度比 NCM90、NCA89 高, 说明 NCMA90 的安全性更有保障。

图15: NCMA89 的首圈放电容量与 NCM90 相当



资料来源:《Quaternary layered Ni-rich NCMA cathode for lithium-ion batteries》

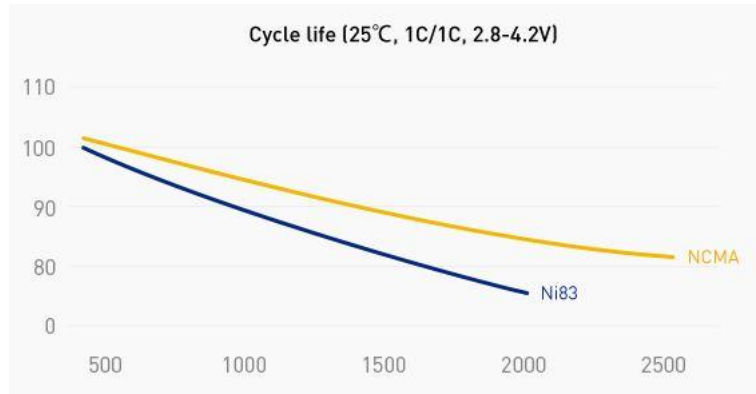
图16: NCMA89 的热分解温度最高



资料来源:《Quaternary layered Ni-rich NCMA cathode for lithium-ion batteries》

NCMA 或将于未来两年实现量产。 LG 化学、宁德时代、比亚迪、格林美、国轩高科、容百科技、蜂巢能源均有布局 NCMA。LG 化学与通用汽车合作研究 NCMA 四元材料, 预计将于 2022 年推出搭载 NCMA 四元电池的新车型。国内的新进企业蜂巢能源宣布将于 2021 年实现 NCMA 量产。根据蜂巢能源官网资料, NCMA 电池的容量为 265Wh/kg。NCMA 四元电池在 1C/1C 的循环寿命约为 2500 圈, 较之于 NCM 三元电池提升 25%。

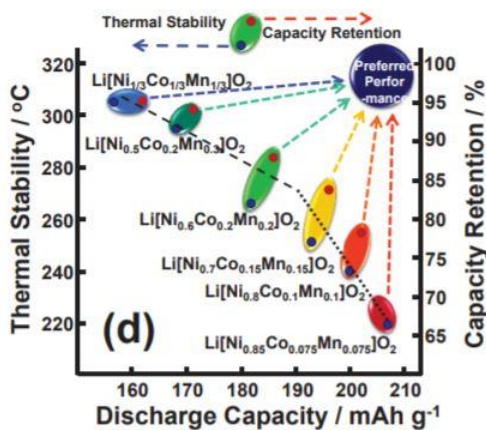
图17: 蜂巢能源四元 NCMA 电池循环寿命高于三元 NCM 电池



资料来源: 蜂巢能源官网

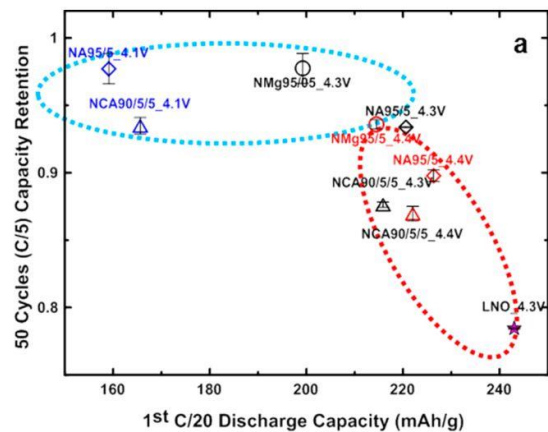
但总的来说, 热稳定性差、循环寿命短是推进正极材料无钴化进程的主要拦路虎。高镍无钴材料仍然面临许多问题。在三元材料中, 增镍降钴虽然可以提高材料的克容量, 但同时也在循环过程中结构稳定性差, 导致循环寿命短、热稳定性低。这些问题使得无钴高镍技术得不偿失, 也是科研和工业重点攻关的对象。

图18: 三元材料的热稳定性、循环寿命随着镍含量的增加而降低



资料来源: 《Nickel-rich and lithium-rich layered oxide cathodes: progress and perspectives》

图19: 三元材料比二元材料的容量保持率低



资料来源: 《An unavoidable challenge for Ni-rich positive electrode materials for lithium-ion batteries》

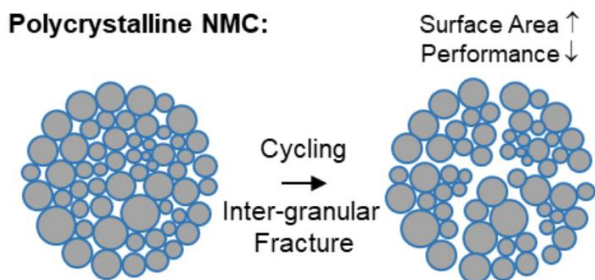
2.1.1、单晶化: 制造壁垒高、量产难度大

多晶材料在多次循环后会产生微裂纹, 影响循环寿命。目前三元正极材料厂家所生产的材料多为细小晶粒团聚而成的二次球形颗粒。但二次球形颗粒在高压实密度、高压下易发生副反应, 导致材料形成微裂纹, 造成循环寿命与能量密度损失。根据 Jeff Dahn 教授的研究, 二次球形材料产生微裂纹的主要原因是随着充放电循环次数的增加, 由于二次球中的一次颗粒有着不同的晶面取向和滑移面, 晶粒间晶格膨胀和收缩的各向异性, 导致其在循环后期可能会出现二次颗粒的破碎, 并在一次颗粒间产生微裂纹, 最终导致电池容量衰减。

单晶技术可提升三元材料的循环稳定性。单晶型三元材料内部没有晶界, 可以有效应对晶界破碎及其导致的性能劣化问题。此外, 单晶三元正极具有以下优点: 1) 机械强度高, 高压实密度下不容易破碎; 2) 比表面积低, 减少副反应的发生; 3) 表面

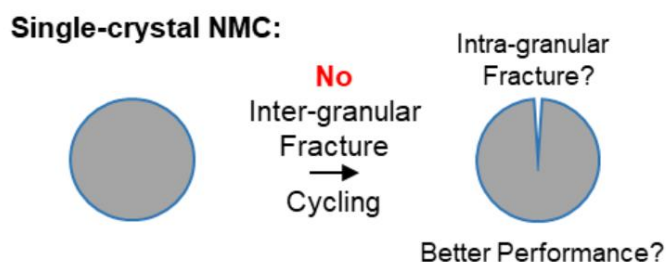
光滑，利于锂离子传输。

图20: 多晶材料在多次循环后逐渐粉碎



资料来源：《Single-Crystal Nickel-Rich Layered-Oxide Battery Cathode Materials: Synthesis, Electrochemistry, and Intra-Granular Fracture》

图21: 单晶材料在多次循环后几乎无粉碎现象

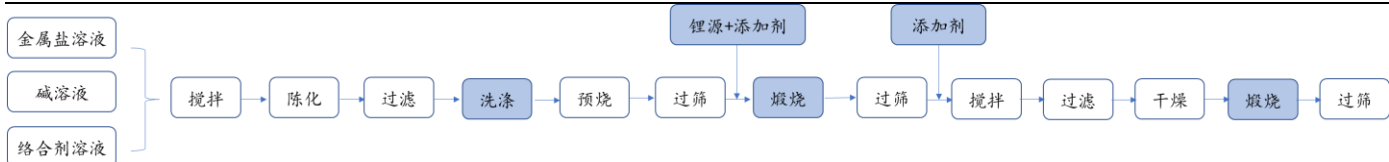


资料来源：《Single-Crystal Nickel-Rich Layered-Oxide Battery Cathode Materials: Synthesis, Electrochemistry, and Intra-Granular Fracture》

单晶和多晶的晶体学概念相对抽象，我们可以从凝固理论理解单晶和多晶的区别：从微观结构看，材料从液态转变为固态需要先经过晶粒成核、长大。如果在这个过程中仅形成一个核并长大，那么最终只有一个晶粒，也就是单晶。如果有多个核形成并长大，那么会生成多晶。

因此，单晶和多晶的合成区别主要在于结晶过程的控制。单晶 NCM 的合成不是对现有多晶 NCM 合成技术（共沉淀-烧结）的颠覆，而是在煅烧温度、锂化比、水洗工艺等反应参数上进行优化。容百科技是国内最早一批突破单晶三元制备技术的公司，从其专利披露的单晶 NCM523 合成工序来看，与常规三元的两次煅烧并无较大差别，但在烧温度、锂化比等参数上有较大差别。

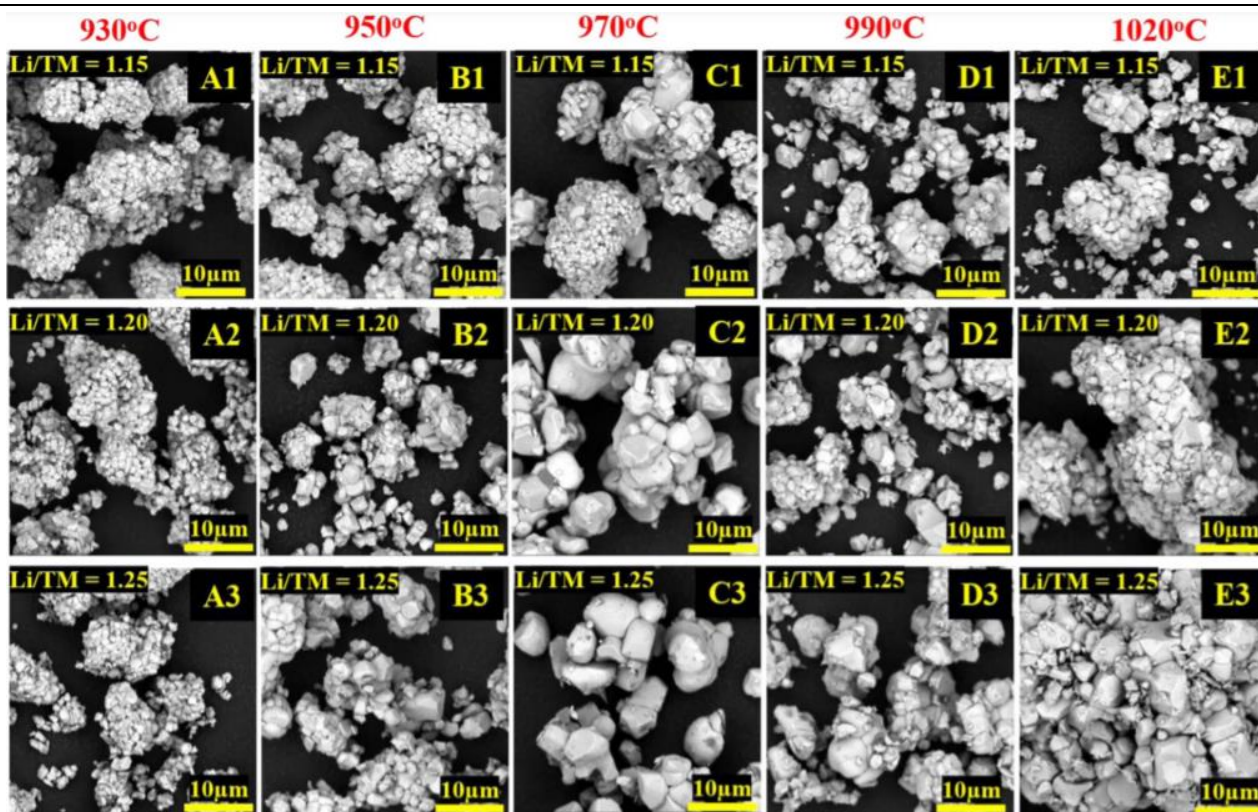
图22: 容百科技高电压单晶 NCM523 合成工序



资料来源：CN104134791B、开源证券研究所

国外三元材料专家 Jeff Dahn 教授在一篇文章《Comparison of Single Crystal and Polycrystalline $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ Positive Electrode Materials for High Voltage Li-Ion Cells》中探究了烧结温度和锂化比这两个参数对合成晶粒尺寸的影响。该文章的合成方法也是共沉淀-烧结法，并在 930°C - 1020°C 的烧结温度范围、1.15-1.25 的锂化比范围内进行正交试验。结论是当烧结温度等于或低于 970°C 时，固定 Li/TM 比值，则晶粒尺寸随烧结温度的增加而增加；当烧结温度高于 970°C 时，晶粒尺寸不再随烧结温度的变化而变化，此时提高锂含量会使晶粒尺寸增大。

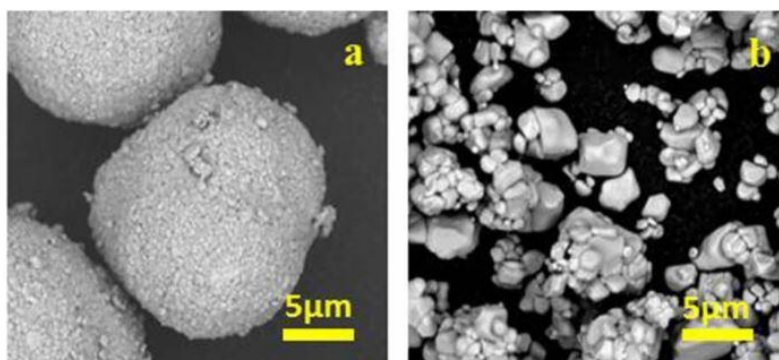
图23: 烧结温度和锂化比对晶粒尺寸影响较大



资料来源:《Comparison of Single Crystal and Polycrystalline $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2$ Positive Electrode Materials for High Voltage Li-Ion Cells》

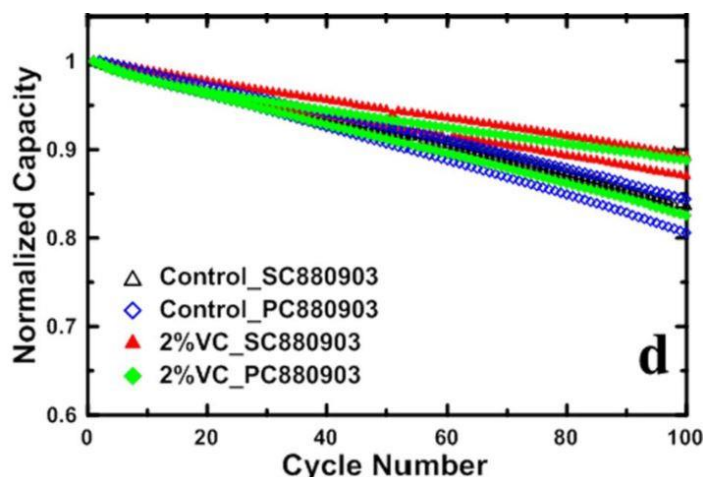
单晶 NCA 比多晶 NCM 的合成更为困难, 原因主要在于合成过程中易生成副产物 Li_5AlO_4 。Jeff Dahn 研究团队于 2019 年提出“两步锂化法”合成单晶 NCA, 2020 年 4 月获得专利授权(申请单位为特斯拉公司)。通过降低常规单晶 NCA 合成温度及分两次锂化, 消除常规单晶 NCA 合成方法中的副产物 Li_5AlO_4 , 提高了单晶 NCA 的纯度。在添加 2%VC 的电解液添加剂的条件下, 单晶 NCA 循环 100 圈后的容量保持率优于多晶 NCA。

图24: 单晶 NCA 比多晶 NCA 粒径小且光滑



资料来源:《Synthesis of Single Crystal $\text{LiNi}_{0.88}\text{Co}_{0.09}\text{Al}_{0.03}\text{O}_2$ with a Two-Step Lithiation Method》

注: 图 a 为多晶 NCA, 图 b 为单晶 NCA

图25: 单晶 NCA 的循环寿命优于多晶 NCA


资料来源:《Synthesis of Single Crystal LiNi_{0.88}Co_{0.09}Al_{0.03}O₂ with a Two-Step Lithiation Method

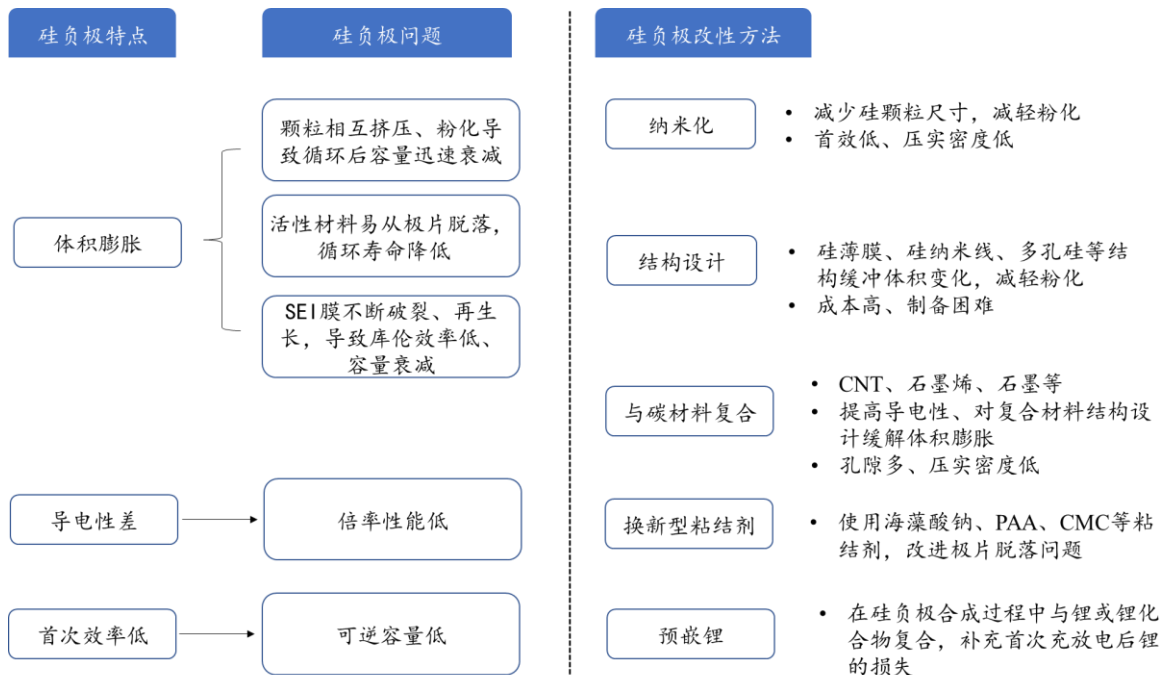
注: SC880903 为单晶 NCA, PC880903 为多晶 NCA

2.2、硅基负极: 复合化和结构改性最具量产潜力

硅负极理论克容量是石墨的 10 倍以上。目前主流的负极材料是石墨类负极, 目前人造石墨和改性天然石墨的实际克容量基本达到石墨的理论克容量 372mAh/g, 提升空间有限, 因此新一代负极材料的研发热点集中在硅基材料。硅的理论克容量为 4200mAh/g, 超过石墨类材料的 10 倍以上。此外, 硅是地球上储量排名第二大的元素, 资源丰富。

硅材料储锂的缺点是体积膨胀大、导电性差。但由于硅材料储锂的机制是合金化反应, 不同于石墨材料的插脱嵌反应, 在充放电过程中, 硅材料体积变化达 300%-400%。硅材料的体积膨胀一方面会导致材料从电极片上脱落, 进而导致循环寿命缩短。另一方面体积膨胀带来的应力不均匀会造成单个硅颗粒开裂, 循环过程中不断产生新的表面, 进而导致 SEI 膜持续形成, 持续消耗锂离子造成电池整体容量持续衰减。此外, 硅的导电性相对较差, 导致倍率性能低。因此为解决硅材料的体积膨胀问题, 有三种改性路线: 1) 纳米化硅; 2) 与 CNT、石墨烯、石墨等碳材料复合; 3) 设计薄膜、纳米线等新结构。

图26: 硅负极特点及改性方法

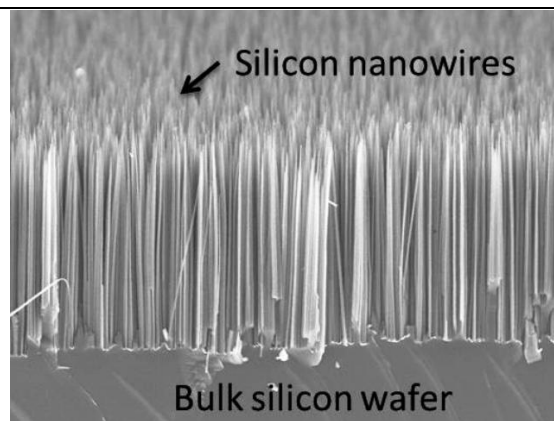


资料来源: CNKI、开源证券研究所

2.2.1、硅纳米线: 成本是制约其发展的主要问题

纳米线是一维纳米结构, 长径比高, 通常可以构建无需粘结剂的自支撑 (free-standing) 电极。这种结构的优势在于: ①与电解液接触位点增多, 提高了材料的利用效率; ②缩短离子扩散路径, 提升倍率性能; ③降低电荷转移阻抗, 提升倍率性能; ④弱化材料在嵌入/脱出锂离子的体积膨胀效应等。因此将硅负极制备成纳米线形貌成为研究热点。

图27: 硅纳米线结构呈一维针状

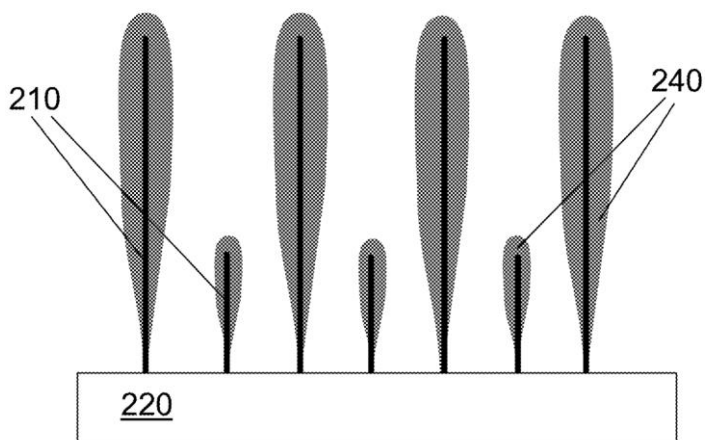


资料来源: 《Silicon Nanowire Arrays》

制备结构均匀的形貌是工艺难点。斯坦福大学华人教授崔屹在硅负极材料研究较多, 并在 2008 年成立 Amprius, 进行硅纳米线负极的商业化, 2018 年建成第一条硅纳米线中试线。但至今硅纳米线仍没能在工业大规模应用, 原因主要在于合成困难且成本高。CVD (化学气相沉积) 是目前学术界主流的制备硅纳米线的方法。从 Amprius 在 2018 年申请的一篇专利可以看到, 利用 PECVD 法制备出的硅纳米线可能会呈现

如“水滴型”不均一的形貌与尺寸。

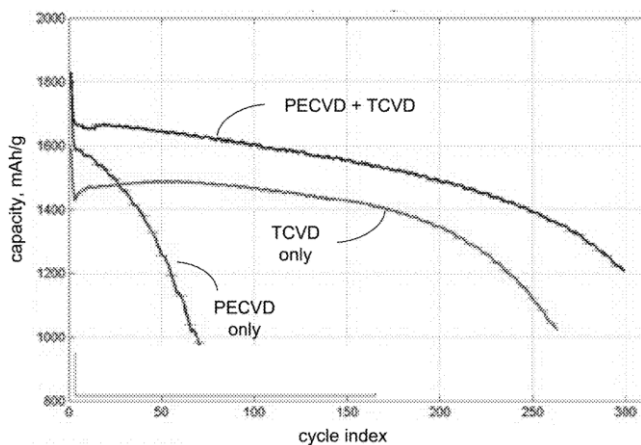
图28: 利用 PECVD 制备的硅纳米线形貌不均一



资料来源: 美国专利局 (US201815887809)

不均一的硅纳米线形貌一方面导致根部的材料基本成了“死区”，材料自身利用率下降，导致克容量低，另一方面，电池的循环寿命大大降低。该专利为了解决上述问题，利用先 PECVD 后 TCVD (热 CVD) 的复合合成法制备出硅纳米线，循环 200 圈后，容量保持率在 80% 以上。

图29: 当沉积形貌不均一时，循环寿命大打折扣



资料来源: 美国专利局 (US201815887809)

虽然可以通过改进制备工艺有效改善沉积形貌的均一性，但放大规模生产后的形貌可控性尚待考量。此外，CVD 法的制造成本问题以及生产效率问题也是产业界主要考虑的问题。

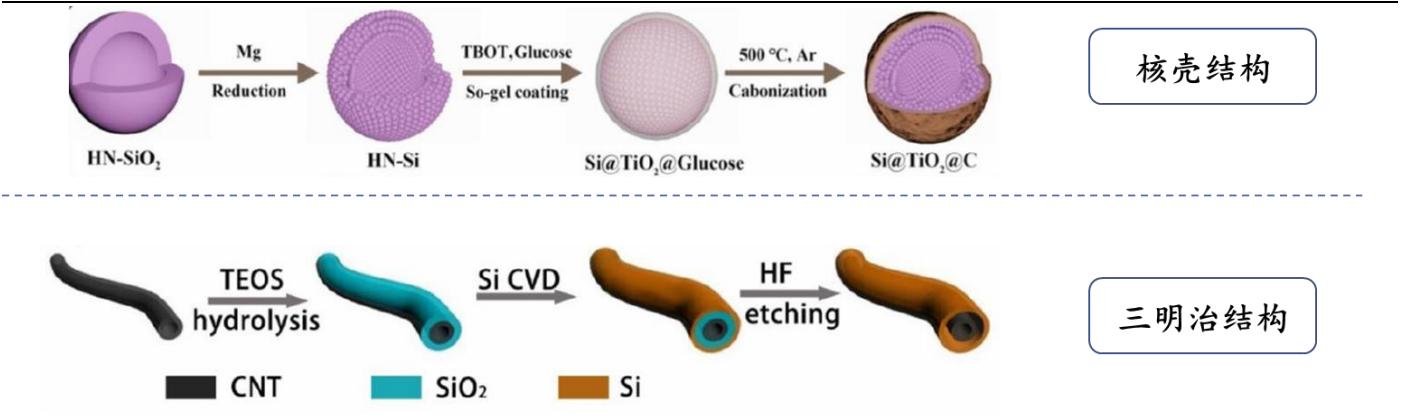
2.2.2、硅碳复合材料: 硅基材料中最先量产的材料

硅碳复合具有协同效应。复合材料的设计初衷通常是两种或两种以上材料优势互补，从而发挥协同效应。硅负极材料较差的导电性限制其在锂电池负极材料的应用，而碳材料通常具有优异的导电性，硅碳复合将赋予其较好的导电性。同时，对复合材料进行结构设计也可减轻硅在充放电过程中的体积膨胀。

硅碳复合材料的碳源可以是无定形碳、多孔碳、CNT、石墨、石墨烯等，通过喷雾热

解法、CVD 法、化学液相法、高温热解法、高能球磨法等方法可以设计出核壳形貌、三明治形貌等。

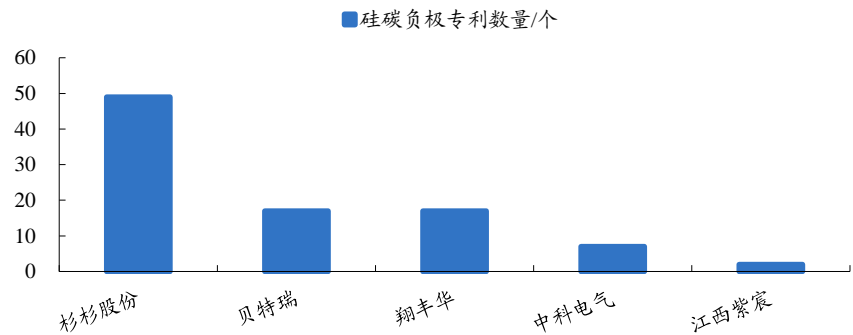
图30: 硅碳复合材料可以是核壳形貌、三明治形貌等



资料来源: CNKI、开源证券研究所

硅碳负极在所有硅基负极中率先实现量产。当前学术界和产业界对硅碳负极的研究进展较多,硅碳材料在产业界的量产也在加速进行。国内负极主流厂商杉杉股份、贝特瑞、翔丰华等公司在硅碳负极领域的专利数量均超过个位数。其中龙头厂商贝特瑞和三星 SDI 合作,在 2013 年便实现硅基负极的量产,用于动力及消费电池。贝特瑞目前已经开发出三代硅碳负极材料。根据其公开转让说明书,第三代硅碳负极材料的克容量达 1500mAh/g。

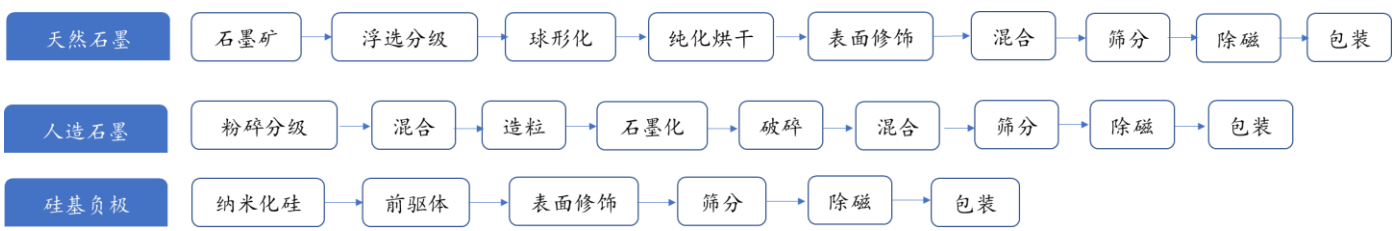
图31: 国内负极厂商在硅碳负极领域的专利布局



数据来源: Lindenpat、开源证券研究所

从生产工艺看,硅基负极的生产工艺和石墨类材料差别较大,现有石墨负极厂商并不具备技术先发优势。不过,从贝特瑞硅碳负极的专利来看,目前硅碳负极基本上还是以碳材料为基底,在碳材料中掺杂硅,而不是硅材料掺杂少部分碳,因此当前负极厂商相对新进企业来说仍有一定优势。

图32: 硅基负极生产工序与石墨类负极生产工序不同



资料来源: 贝特瑞公告、开源证券研究所

表4: 从贝特瑞相关专利来看, 目前硅基负极材料多以碳材料为基底

类型	专利公开号	专利内容
以硅材料为主	CN103474667A	所述硅碳复合负极材料由内至外依次包括纳米硅/石墨颗粒、第一碳包覆层和有机裂解碳层
	CN102376944B	将纳米硅粉分散在有机溶液中,形成均匀的纳米硅悬浮液,将硅烷偶联剂加入到纳米硅悬浮液中,碳包覆,热处理
	CN102394287B	硅碳复合材料由碳纳米管和/或碳纳米纤维沉积到纳米硅粉颗粒表面和/或嵌入到纳米硅粉颗粒之间形成核,在核的表面包覆有碳层
	CN102496701A	本发明的锂离子电池用硅碳合金负极材料以粒度 20~250nm 的硅粉颗粒为基体,基体表面包裹有碳纳米管和无定型碳,碳纳米管和无定型碳的厚度为 100~300nm
	CN109817897A	本发明的硅碳复合材料中纳米硅、氧化亚硅均匀附着在石墨颗粒表面,外层为热解碳均匀包覆,其中硅引起的体积膨胀由石墨和热解碳材料共同承担。
	CN109037601A	核壳结构的内核包括导电剂、硅/无定型碳一次颗粒以及粘结剂热解碳,核壳结构的壳层为包覆碳源热解碳。
	CN104638234B	负极活性物质为表面含有含氧有机官能团的碳材料,或该碳材料与硅或/和锡通过机械融合形成的碳-硅或/和碳-锡复合材料中的种或至少两种的组合
以碳材料为主	CN106848268A	催化分解产生的纳米级的硅颗粒和/或硅薄膜均匀地附着在碳基底材料的表界面,得到碳-硅复合材料
	CN103367727A	所述石墨聚合物由颗粒状石墨组成,纳米硅嵌夹在颗粒状石墨空隙之间或附着在颗粒状石墨的表面,有机物裂解碳包覆纳米硅/石墨聚合物
	CN102651476A	本发明的锂离子电池硅碳复合负极材料由以下质量比组份组成:石墨 85~75%,硅颗粒 15~25%,纳米硅颗粒分散在石墨载体上形成核壳结构,粒度为 5~16 μ m。
	CN102637872A	所述硅碳复合材料中的硅材料为 1-30 份,碳材料为 30-120 份,热解碳为 10-80 份
	CN102394288A	本发明由硅碳复合材料与石墨粉组成,质量比组份为:纳米硅粉 1~20%,碳材料前驱体 1~40%,其余为石墨粉
CN1913200B	本发明的材料以硅相粒子和碳相粒子的复合颗粒为基体,呈球形或类球形,外包覆有碳包覆层	

资料来源: 国家知识产权局、开源证券研究所

2.2.3、硅氧负极: 性能介于硅、石墨之间

硅氧负极原则上和硅负极并不属于同一体系,但广义上可以归类于硅基负极。硅氧负极的活性材料是 SiO_x。相比于硅负极而言,非活性元素氧的引入显著降低了脱嵌锂过程中活性材料的体积膨胀率,硅氧材料的体积膨胀率一般为 160%左右,可逆容量在 1400-1740mAh/g。因此其体积膨胀率和克容量介于硅和石墨材料之间,是目前来看,最具商业化前景的第三种负极材料。

但硅氧负极导电性极差, SiO 的室温电导率为 1.77 $\times 10^{-10}$ S/cm,几乎接近绝缘。如果

要用作电极材料，必须对其进行复合改性或者添加大量的导电添加剂。相比于在混料时加入大量添加剂并以物理方式混合，对硅氧材料复合改性与结构设计是更有效的方法。与硅负极改性类似，硅氧负极所需的复合材料通常选择导电性优异的碳材料。

从国内主流的几家负极厂商的专利来看，硅氧负极材料基本上都采用 $\text{SiO}_x/\text{Si}/\text{C}$ 体系。贝特瑞已完成多款氧化亚硅 (SiO) 产品的技术开发和量产工作，部分产品的比容量达到 1600mAh/g 以上。

2.3、电解液：添加剂是提升循环寿命的一剂“良药”

电解液添加剂可改善电池循环稳定性。电池在循环过程中发生一系列副反应会影响电池的循环稳定性，而循环稳定性与电池在充放电循环的容量保持率直接相关。因此若要在多次充放电循环中保证较好的容量保持率，改进电解液或是一种低成本、高效率的选择。

目前商业化电芯中，正极材料和电解液的副反应是影响电芯循环寿命的主要原因。磷酸铁锂、锰酸锂、三元材料、富锂材料均存在各类副反应问题。针对正极材料存在的问题设计合适的电解液添加剂可以有效解决电芯循环寿命。按功能分，电解液添加剂可分为成膜类添加剂、阻燃类添加剂、高压类添加剂、抑酸类添加剂等。

表5: 锂离子正极材料的不稳定问题多与电解液有关

正极材料	主要问题
LiFePO4	高温循环 Fe 溶解、容量衰减
	高温下电解液分解
	高倍率或低温下循环容量损失
LiMn2O4	电极在碳酸酯基电解液中不稳定
	脱锂态尖晶石结构不稳定
	Mn ³⁺ 歧化生成 Mn ²⁺ 和 Mn ⁴⁺ ，导致 Jahn-Teller 效应
NCM	安全性差
	电解液易在电极表面氧化分解
Li-rich	过渡金属溶解并伴随氧气生成
	电极材料的不稳定性造成循环性能差
	金属溶解，结构发生变化

资料来源：《动力电池电解液用添加剂的研究进展》、开源证券研究所

表6: 各类电解液添加剂功能性强

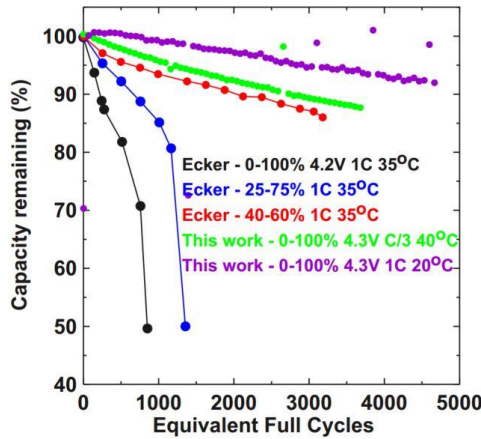
添加剂种类	添加剂功能	常用材料
高压类	避免电解液在高压下分解	LiBOB、LiBF ₄ 、TMSB、TFEOP、MPC、DPC
成膜类	优先在正极表面氧化成膜，避免正极溶解	TFEP、TPP、TMSP、TMP
阻燃类	避免电解液在电池热失控时燃烧	TMP、TEP
抑酸类	中和酸性产物，避免正极溶解	HMDS、H7DMS

资料来源：《高安全性锂电池电解液研究与应用》、《动力电池电解液添加剂的研究进展》、开源证券研究所

特斯拉研究团队在电解液添加剂方面有许多进展。特斯拉在电解液添加剂的专利一共有 13 项，第一发明人均均为 Jeff Raymond Dahn，主要涉及新型电解液添加剂的制备以及二元添加剂的组合。在 2019 年 9 月发表的一篇关于电解液添加剂文章中指出，

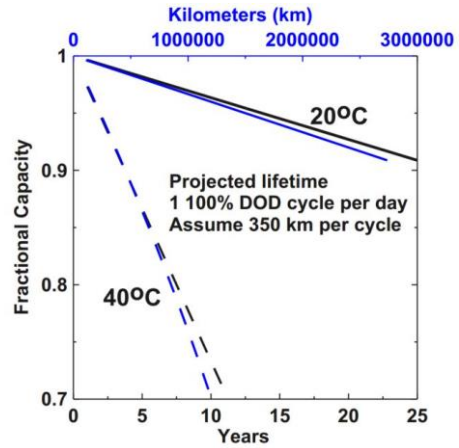
在商用单晶 NCM523/石墨体系中，添加 2%VC+1%DTD 复合型电解液添加剂，1C 条件下循环 5300 圈后容量保持率在 97%。即在 100%放电深度的情况下，配套 NCM523 电芯的纯电动续航为 300km-400km，使用寿命可达 159 万 km-212 万 km。

图33: J.D.团队单晶 NCM523/Graphite 电池循环寿命远高于其他同类型电池



资料来源:《A wide range of testing results on an excellent lithium-ion cell chemistry to be used as benchmarks for new battery technologies》

图34: J.D.团队单晶 NCM523/Graphite 电池在 20°C 下工作 25 年后的容量保持率依然高于 90%



资料来源:《A wide range of testing results on an excellent lithium-ion cell chemistry to be used as benchmarks for new battery technologies》

电解液添加剂的使用是一种低成本、高效率提升电池循环寿命与安全性的方法。少量的添加剂就可起到改善效果。电解液添加剂技术的难点在于 1) 添加剂与溶剂、锂盐的配比调节问题; 2) 电解液添加剂的功能性取舍问题。我们认为，锂离子电池的循环寿命和安全性是终端消费者购车的主要考量指标，电解液添加剂对上述性能的改善立竿见影，若添加剂的配比与功能平衡问题得以解决，将是材料层面落地速度最快的技术创新。

3、受益公司

3.1、特斯拉：降本增效的极致追求者

降本增效的极致追求者。早年与松下合作开发高能量密度的电池，是全球最先使用硅碳负极与 NCA 正极的车企。如今考虑自产电池，一系列新技术、新材料、新工艺被其技术研究团队提出。在新材料方面，无钴、单晶、新型电解液添加剂、硅纳米线等新技术均有布局相关专利。特斯拉是动力电池产业链新技术的需求者，更是发明者与引领者。

3.2、宁德时代：行业创新引领者

技术创新推动龙头加速成长。宁德时代虽然是中游电池制造商，但其对上游锂电材料的理解也相当深刻。公司在四大材料正极、负极、电解液、隔膜领域专利达 1800 余项，占公司专利总量约 50%。由于具备强大的人才储备、资金实力，公司常与上游供应商合作开发新型材料与技术，带领行业共同进化，是行业技术进步的最大受益者。

3.3、贝特瑞：有望迎来硅碳负极风口

贝特瑞是负极材料技术突破的先行者。2000 年贝特瑞掌握天然鳞片石墨的球形化技术，一举实现天然石墨国产化，贝特瑞在天然石墨市场的市占率常年保持在 50%以

上。公司凭借技术优势逐步打入三星、LG 化学、三洋、松下、索尼等日韩主流电池企业。

公司目前拥有硅基负极产能 1000 吨/年，且已经用于动力及消费电池。不过在负极领域，硅碳材料膨胀问题与首圈效率较低问题仍待解决，其应用规模相对石墨负极较小。未来若干电极技术转化成功，负极补锂技术将凭借干电极技术得到大规模应用。届时高比容量的硅碳负极的应用市场将完全打开，硅碳负极业务有望为贝特瑞贡献业绩新增量。

3.4、新宙邦：电解液添加剂提升产品附加值

新宙邦在电解液领域布局广泛。公司是国内锂离子电池电解液龙头，在电解液溶剂、锂盐、电解液添加剂领域均有布局。目前公司拥有锂离子电池电解液产能 6.5 万吨/年，在建电解液产能 6.0 万吨/年。在电解液添加剂方面，公司于 2014 年收购国内主流电解液添加剂供应商张家港瀚康化工，涉足成膜添加剂 VC、FEC 领域。目前子公司淮安瀚康的 VC 产能为 1000 吨/年、FEC 产能为 1000 吨/年，子公司南通新宙邦 VC+FEC 添加剂产能共 1000 吨/年。

电解液添加剂是体现公司产品差异化的核心，可提升电解液产品溢价值。公司在电解液添加剂方面加大研发，不断推出添加剂新产品。目前公司已拥有新型添加剂 300 余种，其明星产品正极成膜添加剂 LDY196、负极成膜添加剂 LDY269、低阻抗添加剂 LDY234 等显著改善锂离子电池高低温性能、循环性能等。

3.5、格林美：高镍低钴前驱体材料的先行者

格林美在三元前驱体领域具备客户资源优势与成本优势。公司是动力电池三元前驱体材料龙头企业，并积极布局废旧电池回收业务，打造“电池回收-原料再造-材料再造-电池包再造-新能源汽车服务”循环产业链，降低前驱体生产成本。此外，公司具有优质的客户资源，客户多集中在容百科技、Ecopro 等三元正极材料龙头与宁德时代、LG 化学等动力电池龙头。

格林美在 NCMA 四元材料开发具有先发优势与核心技术优势。公司三元前驱体产品定位在高镍、单晶等高端产品，目前已经全面掌握高镍(NCA、NCM8 系、NCM9 系)及单晶三元正极前驱体生产工艺。公司已在高镍低钴前驱体材料领域积累较多产业经验，形成较高的技术壁垒。格林美 NCMA 四元前驱体材料已在进行客户吨级认证，在 NCMA 四元前驱体开发方面具备先发优势。

3.6、容百科技：单晶与高镍技术的先行者

研发实力雄厚，率先突破单晶与高镍技术。在三元正极领域，容百科技一直是技术先行者，公司于 2017 年实现了 NCM811 和单晶高电压 NCM622 产品的大规模量产，并在 2018 年末实现了高镍 NCA 及单晶高电压 NCM811 产品小规模量产。客户资源方面，公司包揽宁德时代、比亚迪、LG 化学、天津力神等国内外主流锂电池厂商，目前是宁德时代 NCM811 正极的独供。2019 年由于比克电池坏账影响，以及高镍技术推广不及预期，公司业绩短期承压，长期看，公司强大的技术研发实力将带领公司业绩走出低谷期。

3.7、当升科技：高镍单晶产品性能领先同业

正极材料龙头，海外业务加速放量。当升科技是国内最早一批实现钴酸锂正极材料出口的公司，2008 年进军动力锂电市场后又率先开发日韩客户，并在海外优质客户

发高标准、严要求下不断开发新产品。公司的单晶 Ni > 85 产品比容量达 211mAh/g, 极片压实密度达 3.55g/cm³, 领先同业。

表7: 锂电产业链公司估值对比

公司	评级	收盘价/元	归母净利润/亿元				P/E		
		2020/9/21	2020E	2021E	2022E	2020E	2021E	2022E	
宁德时代	买入	197.93	49.05	67.63	89.52	92.92	69.45	51.28	
特斯拉*	未评级	442.15	5.67	20.65	36.50	726.32	199.53	112.87	
贝特瑞*	未评级	47.39	7.99	11.76	16.16	28.45	19.32	14.06	
新宙邦*	未评级	60.36	4.88	6.21	8.00	50.81	39.94	30.98	
格林美*	未评级	5.22	8.09	10.98	14.24	30.87	22.76	17.54	
容百科技*	未评级	30.50	1.96	3.95	5.23	69.10	34.19	25.87	

数据来源: Wind、开源证券研究所 注: 标*公司的预测来自 Wind 一致预期; 特斯拉股价及归母净利润单位分别为美元、亿美元

4、风险提示

新技术转化不及预期、新能源汽车销量不及预期

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R4（中高风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20%以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在 -5%~+5%之间波动；
	减持	预计相对弱于市场表现 5%以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的6~12个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中A股基准指数为沪深300指数、港股基准指数为恒生指数、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）、美股基准指数为标普500或纳斯达克综合指数。我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于机密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

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。本报告所载的资料、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金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，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。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。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。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。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。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

开源证券股份有限公司

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼10层
邮编：200120
邮箱：research@kysec.cn

北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座16层
邮编：100044
邮箱：research@kysec.cn

深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层
邮编：518000
邮箱：research@kysec.cn

西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层
邮编：710065
邮箱：research@kysec.cn