中国材料大会 2025
暨新材料科研仪器与设备展

7 月 5-8 日, 2025

福建 厦门

A010-电池快充技术及关键材料

主办单位

中国材料研究学会

会议网址: https://cmc2025.scimeeting.cn

A10. 电池快充技术及关键材料

分会主席：梁正、明军、张桥保、刘翔、庞全全、陈亚楠

A10-01

低成本钠离子电池电极材料及性能研究

李福军*

南开大学

由于钠元素丰度显著高于锂、且钠与锂的氧化还原电势接近，钠离子电池（SIBs）有望实现可持续发展和发挥低成本优势，广泛应用于大规模储能电站、低速电动车等领域。开发低成本、高容量、长循环寿命的正极材料是发展 SIBs 的关键。层状锰基氧化物（Na_xMnO_2）由于其结构多样性和丰富的资源被广泛用作 SIBs 正极。目前，关于 Na_xMnO_2 的研究虽然取得一定进展，但仍然面临以下关键科学问题：（1）Na^+ 脱出/嵌入过程会改变过渡金属层间静电作用力，引起过渡金属层滑动，致使相变发生，进而影响材料的循环稳定性；（2）Mn^{3+}的姜-泰勒效应引起晶胞参数变化和体积波动，造成层状结构坍塌和电极失活。针对上述问题，我们结合层状氧化物正极方面的研究基础，开展了如下研究：（1）在 Na 层掺入具有大离子半径的金属离子，调控过渡金属层间局部化学环境，增强层间静电作用力，抑制过渡金属层的滑移，消除相变，提升层状正极的循环寿命；（2）在过渡金属层中引入金属离子（Li^+、Ni^{2+}、Ti^{4+}等）调控 Mn 的电子结构及 Mn-O 键的化学环境，在循环过程中，削弱由 Mn^{3+}的姜-泰勒效应引起的 MnO6 八面体畸变，进而改善其循环稳定性。报告将重点介绍课题组在层状锰基氧化物正极材料结构调控与构效关系研究方面的进展，并重点阐述不同掺杂元素的作用机制。

A10-02

金属空气电池关键材料

徐吉静*

吉林大学

金属−空气电池拥有 2-10 倍于锂离子电池的能量密度，并可同时拥有可再充电池和燃料电池的优点，是应对当前日益严峻的能源和环境问题的优选方案。但目前该电池体系还面临正极反应动力学缓慢、电解液分解、负极锂枝晶等诸多挑战，制约了其实际性能发挥和产业化应用。针对这些问题，本课题组重点开展了以下工作：（1）以提高固态电解质稳定性为导向，研发了基于多孔材料的新型固态电解质，提出“多孔材料基固态电解质”新概念，揭示了锂离子“分子孔道传输”机制，解决了液态金属−空气电池中电解液挥发/分解和固态电池中电解质稳定性差的难题，构筑了高安全、高稳定固态金属−空气电池器件；（2）在国际上率先提出了“外场辅助”提升金属−空气电池反应动力学的新策略，开发了多种 “外场辅助”空气正极材料，揭示了外场增强正极反应动力学机制，构筑了高性能外场辅助金属−空气电池器件。

A10-03

电解液的热力学竞争平衡设计

李峰*

中国科学院金属研究所

电解液作为电池中离子传输的介质是必不可少的非活性物质。电池中的电化学反应发生在电解液-电极界面，反应过程均与溶剂-溶质相互作用密切相关。目前，尚缺少从能量角度来认识电解液中发生过程认识。为此，本报告利用热力学理论认识电解液，阐述了阳离子-溶剂相互作用和阳离子-阴离子相互作用之间规律，重点关注了焓和熵之间形成的热力学竞争平衡，溶质溶解和各种溶剂化结构形成的过程。在此基础上，深入理解电池中电解液中传质与传荷的过程，溶剂与阳离子之间形成氧键过程，探索电解液中盐解离过程控制，与氧相互作用对于电化学过程影响规律，提出来了对于电解液设计的一般规律，以期获得特定溶剂化结构及独特性能电解液，并促进溶液体系的理论发展。

A10-04

快充钠离子混合电容器

温珍海*

中国科学院福建物质结构研究所

针对钠离子电池的功率密度低、循环性能差等问题，设计钠离子混合电池。钠离子混合电池是指正、负极以不同离子（其中之一为钠离子）作为反应载流子的电化学电池。通过以不同离子作为正、负极的储存载流子，其可以缩短载流子的迁移路径，调节两级反应动力学，均衡配置两级容量，为提高电池的电化学性能提供可能。钠离子混合电池主要包括钠离子混合电容器和钠基双离子电池等。近年来，我们课题组在电极材料设计构建、优化钠离子混合电池正、负极材料、调控钠离子电池正、负极间的兼容性等方面取得了系列成果。例如，我们采用 3D 打印技术实现了活性材料的高负载（高达 16.25 mg cm-2），使得该电极在实际应用水平上（大于 10 mg cm-2）提供高能量密度和功率密度。另外，我们设计了纳米电缆结构的碲化物复合物，通过阴离子掺杂等策略，提高了钠基双离子电池的容量和循环性能。钠离子混合电池有望成为未来实际应用中具有极大潜力的能源存储技术。

A10-05

高性能硫化物基全固态电池进展——固-固界面调控强化固态电池快充性能

崔光磊*

中国科学院青岛生物能源与过程研究所

锂离子电池技术的迅猛发展持续推动了电池能量密度的提升，从而显著提高了新能源汽车的续航能力。当前主流新能源汽车的续航里程已突破 500 公里，但其充电时间通常仍需超过 1 小时，这使得用户关注点逐渐从“续航焦虑”转向“充电焦虑”。这一转变对电池的快充性能提出了更高的要求。然而，大倍率充放电过程中容易引发锂枝晶生长和电池热失控等安全性问题，这些问题在新能源汽车狭小且封闭的空间内尤为严峻。固态锂电池凭借其卓越的安全性能，在动力和储能领域展现出广阔的应用前景。发展具备快充特性的固态锂电池有望实现储能装置“功”“能”兼备同时兼顾安全性。为此，我们从影响电池及材料快充性能的关键因素出发，提出了一系列强化固态电池快充性能的策略：通过设计均质化电极材料以提高化学扩散系数；优化电极材料颗粒尺寸以缩短载流子传输路径；开发兼具高电子和离子电导的正极材料以实现载流子协同高效传输；提出结晶质自组织异质纳米畴的新机制以提升电解质材料的离子电导率；并通过表面包覆技术构建兼容性良好的固-固界面，促进载流子的跨界面快速传输。基于上述解决策略及所开发的干法或湿法成膜工艺，制备的硫化物基固态锂电池展现出优异的倍率性能并兼顾能量密度和安全性。目前正在与上下游产业方合作，加速技术的研发和验证过程，力争率先实现硫化物全固态电池批量化生产。

A10-06

全固态电池中结构与界面的多尺度研究

邹如强*[1,2]、高磊 [2]

1. 北京大学

2. 北京大学深圳研究生院

全固态电池因具备优异的安全性、长循环寿命及潜在的高能量密度，被广泛认为是下一代储能技术的重要发展方向。实现多尺度下高效且稳定的离子传输，是突破全固态电池关键技术瓶颈的核心科学问题。本报告将介绍课题组近年来围绕固态电解质的晶体结构、晶界特性及电池界面等多个尺度所开展的系统研究。在结构尺度，揭示了固态电解质晶体结构中团簇取代现象及其对离子迁移行为的促进机制；在晶界尺度，开拓了氯氮化物非晶电解质体系，并提出基于其晶界离子输运优势的低温电池设计理念；在界面尺度，构建了“化堵为疏”的固态电解质界面调控策略，有效缓解锂枝晶的生长问题，提升了电池界面的稳定性与安全性。

A10-07

MXene 的电化学储能应用

徐斌*

延安大学/北京化工大学

MXene 由于具有类金属的导电性、丰富的表面端基和良好的机械性能，在超级电容器、锂/钠/钾离子电池、锂硫电池、水系电池等各种电化学储能领域具有广阔的应用前景。针对二维 MXene 纳米片易于堆叠的问题，通过原位模板法、静电诱导法等将其构筑为三维结构，显著改善了其比容量和倍率性能。利用 MXene 独特的二维片层结构和类金属的导电性，将金属氧化物/硫化物等活性物质组装在 MXene 材料表面，制备出一系列兼有高容量和优异循环性能的 MXene 基复合电极材料。发展具有化学吸附能力和高催化活性的 MXene，作为硫载体或隔膜涂层材料，可提高锂硫/钠硫电池的电化学性能。以 MXene 诱导均匀可逆的锌溶解/沉积，提高锌负极的稳定性和可逆性。提出了以二维 MXene 纳米片为多功能导电粘结剂的电极成型新工艺，制备的电极不仅具有很好的柔性，而且电化学性能也显著由于传统电极。

A10-08

多孔高分子材料的功能化设计及其锂电池应用

吴丁财*

中山大学

在本次报告中，我将重点介绍我们课题组近年来在多孔高分子材料的先进功能结构设计及其在锂金属电池应用方面的重要研究进展。例如，我们提出了功能多孔高分子助力能量高效输运与存储的新思路，揭示了刚柔并济多功能骨架和快速传质多层次孔道的荷质转移与存储规律，发展了功能隔膜/固态电解质超薄强韧、锂金属负极超强防护和硫正极超高负载的设计策略，实现了锂电池高容量、长周期稳定循环。

A10-09

快充锂离子电池电解液设计

范修林*

浙江大学

锂离子电池经过 30 余年的发展，能量密度已优化近理论极限，如何进一步提升其快充性能成为最近的研究热点。在本论文中，我们通过优化电解液的组分，实现了电解液离子电导率的提升、界面脱溶剂化能垒的大幅降低，以及 SEI 对石墨基负极材料的良好匹配。基于此，锂离子电池的快充性能得到大幅提升。对于微米级石墨，小载量情况下，可以突破 50 C 快充性能；高载量情况下也可以突破 6C 快充性能。

A10-10

不对称锂盐赋能快充锂电池

刘凯*

清华大学

高能锂电池的倍率性能受制于电解液。我们设计了一类新型超分子锂盐，它的特殊分子和超分子结构能够使得碳酸酯电解液具有大的表观给体数（DN）和 Li+转移数，这赋予了其新颖的 SEI 成膜机制，产生富无机物种的致密膜结构、高质量的 CEI 电解质界面层，因此赋予了高能锂金属电池的高循环性和超快速充电/放电性能。例如使用新型超分子锂盐的电解液可以保障 Li||NCM811 全电池在 5.2mA/cm2 的极高电流密度下允许以 86.5%的容量保留率进行 100 次循环，在工业 Li||NCM811 袋式电池同时实现了高能量密度和高放电功率密度。本报告中，我们将介绍其他一系列新型功能锂盐的设计原则及性能和机理研究，揭示新型锂盐分子构型-超分子结构的重要性。同时，也将介绍其他系列新型高倍率电解液体系的设计和结果。

A10-11

硫电化学与金属-硫基二次电池

庞全全*

北京大学

可充电电池是支持清洁能源高效利用及交通电气化的重要一环，这于碳中和目标至关重要。硫储量丰富成本低廉，且具有高理论比容量（1675 mA h g-1），以硫为正极的硫基电池是理想的下一代动力及储能电池。本次报告将总结我们在三个方面的研究（1）传统锂硫电池的高性能电解液设计，（2）基于硫化物电解质的全固态锂硫电池；（3）低成本、高安全铝硫电池的构筑。本报告将重点介绍高性能硫基电池的化学设计原则，调节硫电化学反应路径的策略以及实现该策略的材料设计准则，并将举例说明最终如何实现高性能硫基电池。

A10-12

高比能锂离子电池快充析锂调控

梁正*

上海交通大学

锂离子电池快充技术是产业界和学术界共同追求的目标。对于工作电位较低的石墨负极而言，快充过程往往伴随析锂，带来安全隐患和容量衰减。锂离子电池快充包含多个过程单元，其决速步骤难以被准确识别且会随循环条件（倍率、荷电状态和温度等）的变化在多个过程之间发生动态迁移，从而导致针对某一个步骤的动力学优化策略效果大打折扣。因此有观点认为在复杂工况下石墨快充析锂很难避免。在这种情况下，将之前聚焦的“抑制快充析锂”转变为“调控快充析锂”，通过一系列调控策略使析锂分布均匀、形貌规则、高度可逆，或许是一个对现有策略的有效补充。

A10-13

二维有机/无机杂化界面构筑及其在快充水系锌电池中的应用

王义展*

吉林大学

水系锌离子电池因其高安全性、低成本和环境友好性而备受关注[1–2]。然而，在弱酸性水系电解液中，金属锌电极易发生枝晶生长与副反应，显著限制循环寿命和倍率性能。为解决这一难题，我们采用离子层外延技术，制备了一系列用于保护金属锌电极的二维有机/无机杂化界面。该技术利用离子型表面活性剂在水/空气界面形成的单分子层作为模板，诱导无机纳米材料在界面上定向生长，从而精确构建厚度可调的二维有机/无机杂化薄膜。杂化薄膜中，无机骨架含有丰富的锌亲和位点，促进锌离子的均匀、快速传输；有机链段则提供连续的疏水屏障，有效隔绝腐蚀性水分子。二者协同降低电极极化并实现致密均匀的锌沉积[3–4]。即便在 150C 的超高倍率条件下，电池仍能长周期稳定运行，证明该二维有机/无机杂化界面在快充场景下的适配性，为高功率水系锌金属电池提供了可扩展的材料策略。

A10-14

电化学界面和界相：多尺度模拟与机器学习

程涛*

苏州大学

阐明电化学界面和界相的原子结构对于推进我们对各种电化学过程的理解至关重要。我们的研究引入了先进的多尺度模拟方法和多种混合算法，用于在工况条件下准确模拟电解质/电极界面和电化学反应[1]。这些方法使我们能够阐明在铜表面上进行二氧化碳还原的反应机制，并详细描述了锂/钠金属电池中固态电解质界相（SEI）的纳米级原子结构[2,3]。通过将机器学习（ML）与物理模型相结合，我们显著提高了表面光谱计算的效率和准确性，并提供了界面结构和反应的新见解[4]。多尺度模拟结合机器学习显著加速了材料设计和下一代电化学系统的发展[5]。

参考文献

[1] Cheng, T.; Goddard WA* et al., PNAS, 2019, 116, 18193

[2] Cheng, T.; Fortunelli A; Goddard WA*, PNAS, 2019, 116, 7718

[3] Liu, Y.; Cheng, T.* et al., ACS Energy Lett. 2021, 6, 2320

[4] Sun, Q.T.; Cheng, T.* et al., J. Phys. Chem. Lett. 2022, 13, 8047

[5] Jie, Y.L.; Wang, S.Y.; Weng, S.T., Liu, Y.; Cheng, T.*; Wang, X.F.*; Jiao, S.H.*; Xu, D.S., Nat. Energy, 2024, 9, 987

A10-15

高能量密度/快充二次电池关键材料

李国兴*

山东大学

电动汽车的大规模普及需要大幅提升动力电池的能量密度和快充性能。传统锂离子电池因电极材料内部锂离子传输动力学缓慢，快充条件下会引起巨大的电压极化和严重的析锂问题，大大降低电池快充性能。鉴于此，本系列工作从电池的能量密度和快充性能入手，在快充电池电极材料方面展开研究。在快充锂金属电池方面，通过高 zeta 电势多孔材料构筑驱动电动效应，以及稳定 SEI、人工保护膜的设计制备解决锂金属负极所面临的的问题，提升锂金属电池快充性能。在快充锂离子电池方面，从提升负极材料离子传输动力学的角度出发，通过官能团层间调制、自扩张离子传输通道构筑、电极材料空位工程以及建立离子抽运特性的异质结界面等策略调控离子在电极材料中的传输行为，加速离子的传输，从而在宽温域内让锂离子电池实现优异的快充性能。

A10-16

材料-运维协同的超充电池关键技术研究

杨晓光*

北京理工大学

电池的充电焦虑和安全焦虑是制约电动汽车和电化学储能行业发展的关键挑战。现有的锂离子电池存在活性和稳定性的矛盾，单一层级的创新往往难以满足电池多方面的指标要求。本演讲将介绍一种多层级协同的设计理念，从高安全电池材料开发、先进器件结构设计、智能运维调控策略研究等多个层面协同攻关，提升动力与储能电池系统的充电速率、寿命与安全性。

A10-17

快充锂电池负极

孙永明*

华中科技大学

当前锂离子电池很难在不牺牲能量密度、循环寿命和安全性的情况下实现快速充电。负极材料表面缓慢的电化学反应过程以及电极结构内部迟缓离子传输极大限制了电池的充电速率。在研究中，作者研究了不同负极固态电解质界面（SEI）组分对锂离子去溶剂化的影响规律，揭示了无机 SEI 组分能够在界面处诱导形成低配位数锂溶剂化结构。作者优化了无机 SEI 组分，构筑了超薄、连续结晶的高离子导电 SEI，协同电子/离子混合导电剂设计，提升了负极的电化学反应动力学。与三元高镍正极匹配组装的软包电池实现了极速快充（例如，石墨||高镍软包电池 10 分钟可充满 91.2%的电量），并在快充条件下展现出优异的循环性能（10 分钟快充下，2000 次循环容量保持率 82.9%）。此外，作者还展开了下一代锂电池用快充合金和锂金属负极的研究，通过调控载流子在负极中的多尺度、跨界面快速传输，实现了电池快充性能的提升。

A10-18

基于中子衍射技术的固态电解质离子传输机制研究

高磊*[1]、韩松柏[2]、邹如强[1,3]

1. 北京大学深圳研究生院

2. 南方科技大学

3. 北京大学

全固态电池因其具备优异的安全性和潜在的高能量密度，被广泛认为是下一代储能技术的重要发展方向。固态电解质作为其中的核心组成部分，其离子传导性能直接决定了电池的整体性能与可行性。当前固态电解质的离子传输机制仍面临诸多问题，如离子电导率较低、结构–性能关系不明确、传输机制理解不足等，需要从材料的微观结构层面深入解析其离子迁移行为。中子衍射因其对轻元素（如锂、氧、氢等）的高灵敏性，已成为表征固态电解质晶体结构和离子传输机制的关键工具。通过获取晶体结构空间群、局域结构、温度因子、原子占位、缺陷态分布及扩散路径信息，中子衍射能够揭示固态电解质材料内部的本征离子迁移机制。我们通过中子衍射技术对固态电解质展开以下研究：（1）发现了固态电解质结构中的团簇阳离子取代机制[1]；（2）阐明了固态电解质晶格缺陷是调控其离子电导率的重要因素[2]；（3）揭示了阴离子基团的“桨轮效应”可显著降低固态电解质结构中的离子迁移势垒[3,4]。以上研究探讨了固态电解质结构调控与离子电导率之间的构效关系，为新一代高性能固态电解质材料的设计与开发提供理论依据与实验范式。

参考文献：

[1] L. Gao, S. Han*, R. Zou* et al., Nature Communications, 2023, 14 (1), 6807.

[2] J. Pan, L. Gao*, S. Han* et al., Inorganic Chemistry, 2024, 63 (7), 3418-3427.

[3] H. Ni, L. Gao*, S. Han* et al., Chemistry of Materials, 2025, 37, 278-289.

[4] L. Gao, R. Zou* et al., Journal of Materials Chemistry A, 2020, 8 (40), 21265.

A10-19

基于电场弛豫的锂离子电池析锂调控

韩学冰*

清华大学

析锂是导致锂离子电池安全性下降和寿命衰退的共性关键问题，析锂后的有效调控策略对于缓解电池性能恶化极为关键。传统的析锂调控方法包括析锂-放空电后静置或者受控放电等，通常难以同时解决固体电解质界面膜（SEI）的快速生长和死锂产生两个问题。针对此问题，本研究发现析锂后的电场弛豫期间 SEI 的生长呈现出先无机-后有机的生长规律，同时锂枝晶形貌发生平滑化，通过控制析锂后的静置时间在电场弛豫时间常数附近，可以同时抑制 SEI 的增生和死锂的生成。基于这一机制，我们提出了一种基于短期弛豫的方法来进行析锂后的调控，在商业电池 3 C 倍率（每小时等效时间）快充-析锂模式下，可将 100 圈循环容量保持率从 80% 提升至 95%。本研究阐明了合理利用析锂后电场弛豫过程对于实现安全、长寿及快充锂离子电池的重要性。

A10-20

锂电池中的磁共振：从核磁共振到顺磁共振成像

胡炳文*

华东师范大学

提高电池性能的关键之一是了解其电化学反应和结构变化间的关系。我们联用 EPR 与核磁共振（NMR）对二次电池进行分析。

（1）EPR 成像：铜/铝集流体难以被光或电子穿透；因此大多数表征技术都是从侧面观察锂沉积。我们开发了原位高分辨率 X 波段 EPR 成像，可以用前视图方式观察锂沉积。通过光谱空间成像，还可以区分沉积在集流体表面的块状锂和树枝状锂。[1] 我们还用 EPR 研究了 KJB 碳涂层的铜箔上的钠沉积，用于无负极钠电池；发现在铜箔上会发生钠的不断聚集；但是在 KJB 涂层上，钠的沉积会逐步自己平整，称为自平整。[2] 我们还研究了石墨上锂枝晶的生长，发现过充会形成长枝晶，易于造成刺穿。[3]我们还为全固态电池开发了原位 EPR 成像，表明在没有压力的情况下，锂枝晶会生长并渗透到固体电解质中，而压力会抑制锂枝晶的生长。[4] 在 L 波段 EPR 成像的指引下，发现全固态电池中环状锂片负极的性能大大优于传统的圆形锂片负极。[5]

（2）EPR 和 NMR：流行的 RIXS（共振非弹性 X 射线散射）方法可能无法区分捕获的 O2 和 Ru-O2

（δ-）；而我们在强弱耦合并存的 Li2RuxSn1-xO3 系统中，EPR 被证实能够检测正极中捕获的 O2，并区分这两个态。[6]。此外，在强耦合体系 Li2RuO3 中，我们发现强的磁阻挫驱动了氧气和 O2n-的生成 [7]。采用 EPR 和 NMR 研究了 P2-Na0.66[Li0.22Mn0.78]O2，证明了 O2 和 O2n-的存在。使用高氟化电解质，O2 将被抑制，Li 或 Na 离子的损失也将大大抑制。[8] 此外，将 EPR 应用于富锂体系，发现 O3 型材料 Li1.2Ni0.2Mn0.6O2 和 O2 型材料 Li1.033Ni0.2Mn0.6O2 在 4.8V 高压下都会产生捕获的 O2；尽管以前的报告认为只有 Mn 面内迁移的 O2 型材料在高压下是稳定的、不会产生 O2。[9]

参考文献

[1] Geng, F.; Yang, Q.; Li, C.; Shen, M.; Chen, Q.; Hu, B., Chemistry of Materials 2021, 33, 8223-8234.

[2] Kang, N.; Geng, F.; Li, Z.; Jiang, Y.; Shen, M.; Lou, X.; Hu, B., ACS Energy Lett. 2024, 9, 1633–1638

[3] Kang, N; Lou, X.; Shen, M.; Geng, F.; Hu, B. J. Phys. Chem. Lett. 2024, 15, 12248−12256.

[4] Jiang, Y.; Lu, G.; Kang, S.; Geng, F.; Hu, B., J. Phys. Chem. Lett. 2023, 14 (20), 4682-4687.

[5] Lv, J.; Jiang, Y.; Lu, G.; Lou, X.; Hu, B., The Journal of Physical Chemistry Letters 2025, 16, 917-923.

[6] Wu, X.; Liu, H.; Lou, X.; Geng, F.; Li, J.; Li, C.; Hu, B. J. Phys. Chem. Lett. 2023, 14 (34), 7711-7717.

[7] Wu, X.; Lou, X.; Hu, C.; Geng, F.; Shen, M.; Li, C.; Hu, B., ACS Energy Lett. 2025, 10, 459−468

[8] Zhao, C.; Li, C.; Liu, H.; Qiu, Q.; Geng, F.; Shen, M.; Tong, W.; Li, J.; Hu, B., JACS 2021, 143, 18652.

[9] Liu, H.; Li, C.; Zhao, C.; Tong, W.; Hu, B., Energy Storage Materials 2022, 50, 55-62.

A10-21

宽温域 Li-SPAN 电池电解液设计

陶占良*

南开大学

基于丁基甲基醚（BME）溶剂用于 Li-SPAN 全电池可宽温域工作的新型弱溶剂化电解液。仅有单个醚氧键的 BME 具有较低的溶剂化能，对应电解液溶剂化结构富含阴离子，可在放电过程为 SPAN 正极衍生稳固的正极-电解质界面（CEI）层，有效地抑制多硫化物向电解液中溶解/扩散，实现 SPAN 在醚类电解液进行可逆的“固-固”转化。

A10-22

快充长寿命微纳铋/碳储钠负极材料

张桥保*

厦门大学材料学院，厦门，361005

发展高能量密度、高功率密度和长循环寿命二次电池是当前国内外前沿研究热点，也是能源电化学材料研究的核心[1-4]。先进电极材料开发是实现高比能二次电池的关键前提，这迫切需要对现有电极材料进行优化并探索新型高性能电极材料，同时借助清晰、精确的先进实验表征手段对新机理、新材料和新设计进行深入探讨，以形成系统的科学认识。

本报告将围绕快充长寿命钠离子电池用铋/碳复合负极的结构设计及性能提升的机理解析而展开，以先进显微和谱学表征为研究手段，深入解析其微观结构与宏观电化学性能间的构效关系，以期为解决目前快充长寿命钠离子电池存在的瓶颈问题提供新的研究思路

A10-23

快充电解液及分子界面模型

明军*、李茜

中国科学院长春应用化学研究所

快充电解液是实现动力电池快速充电的关键因素，其性质直接决定了电池充电速度、循环寿命和安全性。然而，实现快充电解液设计仍缺乏理论指导。本研究 1）在分子尺度上解析了不同电解液基团在界面处的动态演化过程，并构建了正、负极模型，阐明了电解液组分溶剂化行为及配位环境差异对电池快充性

能的重要作用，基于此设计了一种不燃全氟阻燃快充（5C）电解液；2）基于溶剂化结构及分子界面模型，提出了溶剂化学定量调控溶剂种类与含量，并考虑成膜因素等，实现了快充电解液的定量设计，并将其应用于新型硬碳-硅碳混合负极（HC-Si/C）||高压钴酸锂（LiCoO2）电池体系，实现了 283.9 Wh kg-1 的能量密度、5C 快充特性，证明了基于溶剂化学设计快充电解液的应用前景。该系列研究通过构建分子界面模型，系统阐述电解液组分的微观行为与电池快充性能的关系，为设计快充电解液提供了一个深入的视角。

A10-24

高温热冲击：焦耳热驱动超快合成，亚稳态加速材料研发

陈亚楠*

天津大学

课题组多年来瞄准双碳重大战略目标，以清洁能源重大需求为牵引，重点研究先进能源存储与转换过程中的关键能源化学，材料，器件及系统。报告主要介绍课题组高温热冲击技术的研发历程，亚稳态微纳材料结构调控，及其在新能源和交叉科学方面的应用研究。通过大幅度调控材料合成过程的相变速率，精准调控亚稳态新材料结构，揭示亚稳态新结构与电化学性能的构效关系，提出了亚稳态材料的设计原则。将超快合成技术和人工智能技术深度融合，进一步大大加速了新材料的研发进程。

A10-25

快充型智能电池的新型集流体设计

叶玉胜*[1,2]

1. 能源与环境系，北京理工大学材料学院
2. 能源交通学域，北京理工大学（珠海）

随着低空经济的快速发展和技术的不断进步，电池快速充电的重要性日益凸显。[1] 电池内部中，锂离子的离子传输动力学是限制快充的关键因素之一。此外，在保证快充效率的同时，如何有效避免或最大限度地降低负极析锂风险，已成为电池研究的核心难题。

在这个报告中，我将汇报我们通过开发新型的多孔复合集流体，缩短离子传输路径，提升锂离子电池的充电速率。[2,3] 我还将介绍我们最新研发的智能无损原位监测技术，能够实现对析锂形核与生长过程的高精度、快速捕捉。[4] 结合电池管理系统（BMS），该技术能够动态调节快充过程，有效抑制析锂行为，提升电池充电速率与安全性能。此外，基于对电池快充机制深入理解，我们提出的一系列新型快充设计策略。[5] 相关研究成果有望为未来电池极限快充提供全新可能，同时为快速充电条件下电池电化学行为的分析开辟新的视角，助力电动汽车的可持续发展。

参考文献

1 Viswanathan, V. et al. The challenges and opportunities of battery-powered flight. Nature 601, 519-525 (2022).

2 Ye, Y. et al. Quadruple the rate capability of high-energy batteries through a porous current collector design. Nat. Energy 9, 643-653 (2024).

3 Porous current collector for fast-charging lithium-ion batteries. Nat. Energy 9, 639-640 (2024).

4 Huang, W. et al. Onboard early detection and mitigation of lithium plating in fast-charging batteries. Nat. Commun. 13, 7091 (2022).

5 Ye, Y. et al. Cold-Starting All-Solid-State Batteries from Room Temperature by Thermally Modulated Current Collector in Sub-Minute. Adv. Mater. 34, 2202848 (2022).

A10-26

锂电池关键材料热失效机理与调控策略

刘翔*

北京航空航天大学

安全的储能技术是支撑可再生能源规模化发展，实现碳中和目标的基石。然而对于锂离子电池衰减及安全相关机理，目前国内外尚缺乏系统认识。近年来，我们重点研究了电池热失效过程中的正极材料的晶体结构、电子结构和物质变化等演化过程，揭示了储能器件热失控新机理；厘清了高镍三元正极材料中镍、钴、锰元素对正极释氧的影响和相互作用机制；揭示了嵌锂石墨负极的热衰减模式和安全危害；通过机理研究开发了具有更高安全性的正负极材料和固态电池材料等。

A10-27

动力学解耦合成层间膨胀硬碳快充负极

姚永刚*

华中科技大学

传统的碳化工艺通常能耗高、耗时长，且子过程紧密耦合，导致结构难以调控，性能受限。本研究提出了一种动力学解耦的碳化策略，用于钠离子电池碳负极材料的制备。该工艺先在较低温度下热解实现温和的杂质去除，随后通过瞬态高温处理（1,950 ℃，22 s）快速诱导碳结晶，同时抑制过度石墨化。这一方法不仅显著降低能耗（约80%），还成功制备出具有层间扩张结构的碳材料（EC），其晶粒尺寸更大、层间距更宽，展现出优异的电化学性能——高比容量、卓越的倍率性能及超长循环稳定性（10 C电流密度下循环超过6,000次）。机理研究表明，EC材料在2–0.01 V的宽电位范围内可实现钠离子的可逆嵌入，且避免了有害的钠团簇形成，从而支持快速充放电和结构稳定性。本研究为精准、高效设计高性能碳基材料提供了新思路，适用于电池及其他先进能源存储领域。

A10-28

基于多维度剪裁的高功率储能器件关键电极材料的设计原理

杜菲*

吉林大学

发展安全、清洁、高效的现代能源技术，不仅是面向世界科技前沿的重大科学问题，更是关乎国家能源安全和经济可持续发展的重大战略需求。作为评估二次电池的三大核心指标之一（功率密度、能量密度与成本），电池的快充特性在规模储能、电动汽车和低空经济等现代科技与经济发展中发挥着至关重要的作用。现有的二次电池体系面临诸多严峻挑战：离子在电极材料中的扩散速率较低，导致倍率性能不足；在快充过程中，电极材料易发生显著的体积膨胀和晶体结构破坏，从而严重缩短循环寿命。此外，过度添加导电助剂，往往导致电池难以兼顾体积能量密度与循环寿命。这些问题亟需通过材料创新和电极结构优化加以解决，以实现电池性能的全面提升。本研究围绕高功率密度型储能器件的关键科学问题，在电极材料设计原理、反应机理解析及器件构筑等方面取得了突破性进展。这些成果为开发下一代高性能储能技术奠定了重要基础，推动了储能领域的技术进步与创新发展。

A10-29

电池表界面原位电化学谱学表征与电解液调控

邹业国、乔羽*

厦门大学

二次电池的界面反应多发生于分子尺度，且随电化学过程剧烈变化，导致对关键反应中间体/产物的原位表征及界面关键信息的捕获面临巨大挑战，严重制约了新型电解液的设计与发展。针对此难题，报告人团队原创搭建了适配二次电池表界面研究的原位谱学表征平台。利用原位傅里叶变换红外光谱（In-situ FTIR）技术，成功实现了在分子层面上对表界面溶剂化结构演变的实时原位监测，系统揭示了：1）高电压正极与高活性金属负极界面处“浓-稀”溶剂化结构演变对界面膜（SEI/CEI）组分与结构的调控规律；2）水系锌电池中锌负极界面析氢反应（HER）与金属锌沉积的竞争机制。基于上述分子层面的深刻理解，我们提出了针对性的表界面优化策略，并据此设计出新型功能导向型电解液。同时，创新性地结合原位表面增强拉曼光谱（In-situ SERS）技术，我们首次揭示了富锂正极表面高活性氧物种（O_2-/O_2^{2-}）与电解液组分间的关键亲核反应机制，提出了构筑超高比容正极界面膜的新方法，实现了高稳定性界面膜的精准设计

与调控。本研究发展的先进原位光谱表征方法学及由此衍生的电解液精准调控策略，为深刻理解复杂电池界面过程提供了强大工具，并将为未来设计更高性能（如超快充、高安全、长循环寿命）的下一代二次电池提供重要的理论支撑与技术指导。

A10-30

湿法刻蚀助力高效回收高倍率单晶

苏新*

哈尔滨工业大学（威海）

碳中和背景下，电动车和储能市场快速增长，综合考虑环境保护、锂资源区域约束、贵金属价格因素，废旧锂离子电池(LIBs)回收再利用是一项必要工作[1-2]。国内目前回收三元锂电池的方法是把正极材料酸溶解，除杂完后用化学沉淀法回收 Ni、Co、Mn 和 Li 等贵金属，但实际操作中存在污染大，能耗高和循环周期长等主要缺点[3]。直接回收被认为是进一步在非破坏性条件下处理废 LIBs 的一种可能的替代方法[4-5]，然而，大多数现有的直接再生方法仅仅集中在修复正极上，并未进一步提升其性能。

本工作基于磷酸定向蚀刻法将报废的三元 NCM 多晶材料直接再生为单晶材料，同时在升级回收过程中，在单晶 NCM 材料表面实现了包覆和离子的掺杂。得益于单晶结构和表面改性的协同效应，升级的单晶 LiNi0.65Co0.2Mn0.15O2 表现出优异的电化学性能，包括出色的倍率性能（10C 下~142 mAh g-1）以及优异的循环稳定性（0.33C 下 100 次循环后~99%的保持率）。鉴于这种升级回收方法的简单性和有效性，提供了一种可持续的、节约资源的、高价值的报废 LIBs 回收处理新思路。此外，改性后的单晶回收材料能够有效减轻循环过程中的相不均匀性、结构坍塌和化学机械降解，有望克服现有正极材料的电压上限，提高锂的利用率和电池的循环寿命，为实现高压材料的应用提供了关键的指导意义[6]。

参考文献：

[1] T. Yang, D. Luo, A. Yu, Z. Chen, Adv. Mater. 2023, 35, e2203218.

[2] X. Xiao, L. Wang, Y. Wu, Y. Song, Z. Chen, X. He, Energy Environ. Sci. 2023, 16, 2856.

[3] Z. Liang, C. Cai, G. Peng, J. Hu, H. Hou, B. Liu, S. Liang, K. Xiao, S. Yuan, J. Yang, ACS Sustainable Chem. Eng. 2021, 9, 5750.

[4] R. E. Ciez, J. F. Whitacre, Nat. Sustainability 2019, 2, 148.

[5] Y. Jin, T. Zhang, M. Zhang, Adv. Energy Mater. 2022, 12, 2201526.

[6] K. Wang, H. Zhang, W. Dou, K. Wang, T. Wang, X. Su, Adv. Funct. Mater. 2024, 2418866

A10-31

钠离子电池的快充硬碳负极设计

汤育欣*

福州大学

硬碳负极凭借其独特的微观结构赋予的快充潜力与高比容量优势，成为钠离子电池领域发展的重要研究方向。然而，硬碳负极平台区的钠沉积风险与较低的钠离子扩散速率等问题，制约其快充性能的进一步提升。

为突破这些瓶颈，我们围绕硬碳结构优化与界面调控，实施了一系列理性设计：1) 提出“局部结构叠加”的概念，通过一系列的局部结构重排，实现了硬碳从斜坡型到平台型的转变，发现平台容量的增加主要与临界层间距控制向石墨畴尺寸控制的转变相关，并受限于硬碳的闭孔体积；2) 改善传统硬碳的制备方案，通过“晶格重构”策略构筑界面与体相的钠离子快速传输通道，实现硬碳负极的快充性能与长循环稳定性的协同提升；3) 基于“低温催化活化”理论，通过精准调控前驱体分子结构，构建出具有纳米孔道的

硬碳负极，优化钠离子扩散路径，实现钠离子传输速率的显著提升；4) 引入深度氧化修饰技术，改善硬碳颗粒表面的缺陷密度，优化硬碳的闭孔体积，实现高倍率硬碳负极的设计。

A10-32

基于第一性原理计算的硫基固态电解质快充技术研究

郝伟*

上海交通大学

硫基固态电解质凭借其杰出的离子传导能力和界面兼容性成为推动全固态电池商业化进程的核心材料。构建有效的硫基固态电池快充体系，不仅有望加速电极界面循环稳定性的提升，还能有效推动硫基固态电解质在电池领域的广泛应用。本研究运用第一性原理计算方法，结合从头算分子动力学模拟，从原子级剖析了硫基固态电解质在负极界面的失效机制，并细致研究了电解质衰退过程的结构演化与性能劣化，为提升负极界面稳定性、优化界面电阻以提升快充性能奠定了坚实的理论基础。进一步地，本研究提出耦合了电压势能和化学生成能的离子能级作为锂元素价态定量描述符，实现了电解质内锂原子沉积的定量计算预测，表征了锂枝晶扩展与电解质内部裂纹形成之间的协同效应，构建了电解质内锂枝晶生长模式。本研究不仅为硫基固态电解质的快充技术优化提供了科学依据，还开创性地探索了通过电解质结构设计提升快充速度的新途径，为实现其商业化应用提供了坚实的理论基础与技术支撑。

A10-33

快充下锂离子电池负极析锂的抑制与调控策略

徐雪娇*

上海交通大学

锂离子电池（LIB）负极在快速充电过程中易发生危险的锂沉积现象。传统解决策略聚焦于识别速率限制步骤并降低其动力学势垒。基于这一原则，我们设计了两类硅基负极：一类采用先进多孔结构，另一类为新型 “硅 - 豆腐” 架构，两者均展现出优异的倍率性能。尽管这些设计取得了一定效果，但业界逐渐认识到，精准定位速率限制步骤仍存在挑战，这阻碍了锂沉积问题的彻底解决。这一挑战促使我们在抑制锂沉积方面寻求范式转变。我们开发了局部高浓度电解液（LHCE），以实现锂沉积可逆的石墨负极，在快充循环中以高可逆性调控锂的沉积 / 溶解过程。通过原位研究锂沉积前后固体电解质界面膜（SEI）的演变，揭示了锂化行为与电化学界面极化的直接关联。当锂沉积贡献总容量的 40% 时，稳定的富 LiF 型 SEI 层在 240 次循环中实现了 99.9% 的平均库伦效率和 99.95% 的锂沉积可逆性。自制的 1.2 Ah NMC532 / 石墨软包电池在 7.2 A（6 C）电流下循环 150 次后仍保留 84.4% 的初始容量，为插层型负极与可逆锂沉积的结合提供了桥梁，助力高性能快充电池的发展。尽管 LHCE 效果显著，但其高盐浓度增加了材料成本，且稀释剂分解会导致高压下正极侧稳定性不足。为解决这些局限，我们开发了一种集成三甘醇二甲醚（G3）-$LiNO_3$协同添加剂（GLN）的商用碳酸酯电解液。该添加剂体系在石墨负极表面构建了具有均匀锂离子通量的弹性 SEI 膜，实现了大电流密度下无枝晶且高可逆的锂沉积。这些研究系统探索了应对快充锂离子电池锂沉积挑战的策略，为快充电池技术的突破性进展铺平了道路。

A10-34

锂离子电池正极材料面缺陷的离子扩散调控机制研究

曾炜豪，木士春*

武汉理工大学

锂离子在正极氧化物材料中的扩散可以通过几种不同的机制进行，均受到材料晶体结构和化学环境的影响。晶体缺陷，包括点缺陷、面缺陷和体缺陷等，会导致晶格中产生局部畸变，从而影响 Li+离子的扩散通道，并改变 Li+离子与结构的相互作用。堆垛层错是一种二维面缺陷，其形成源于局部层状结构从有序密堆积转变为无序堆积。堆垛层错通常在六方最密堆积（hcp）和面心立方（fcc）晶体的生长和塑性变形过程中观察到。本文以两种典型的锰基氧化物正极材料，具有六方结构的 Li1.2Ni0.13Co0.13Mn0.54O2 和具有立方结构的 LiMn2O4 为研究对象，揭示了其中晶体生长过程中原生堆垛层错缺陷以及锂脱嵌过程

中的塑性变形所形成的堆垛层错缺陷对锂离子扩散的不利作用，并分别设计了相应的调控策略来改善层错缺陷的形成，从而提升正极材料的倍率性能。

A10-35

面向锂离子电池快速充电的超润湿电解质工程

张强、万佳雨*

上海交通大学

锂离子电池（LIBs）已经成为普遍存在于便携式电子设备和电动汽车（EVs）中的主流储能技术。尽管 LIBs 得到了广泛的应用和相关的优势，但它们在循环稳定性、安全性和快速充电能力方面仍面临着显著的挑战。本研究提出了一种通用的电池界面工程的分步注液策略，该策略利用二次注液，首先使用超低浓度的超润湿电解质达到实现石墨负极上 SEI 层的均匀且完全覆盖。该电解质在低电流形成过程中会引起较高过电位，从而形成富含无机成分的 SEI 层。因此，采用超湿润电解质的锂离子电池表现出卓越的循环稳定性和 5 C 的高倍率性能（容量为 166 mAh g-1），这一特性在软包电池中也得到了验证。这种分步注液，同时利用低浓度电解质诱导高过电位。本研究引入了一种简单有效的策略，为 LIB 实现了最优化的 SEI 层，这种策略可随时扩展到其他电池系统。

A10-36

钠离子电池普鲁士蓝正极及功能性电解液的设计及性能研究

乔芸*，陈建，樊思伟，高云，常相雾，刘逸杰，徐春梅，郭旭峰，刘阳*

上海大学

钠离子电池凭借其资源丰富、成本低廉及环境友好等优势，成为极具前景的下一代储能技术。普鲁士蓝（PB）及其类似物（PBAs）因其开放的 3D 框架结构、丰富的氧化还原位点和低成本，被视为理想的正极候选材料之一。然而，其固有的晶格缺陷、结晶水、低振实密度、较差的电子/离子电导率以及结构稳定性不足等问题，严重制约了其高倍率充放电性能。因此，亟需通过精准的材料工程策略（如缺陷调控、结晶水抑制、形貌优化、表面改性及导电复合等）提升 PB/PBAs 的结构稳定性和离子/电子传输动力学，以实现优异的高倍率储钠性能。[1-5]同时，电解液作为电池的关键组分，其与高倍率 PB/PBAs 正极的兼容性至关重要。设计开发耐高压、耐高温、阻燃、宽温域且与 PB/PBAs 材料高度兼容的功能性电解液，能够有效稳定电极/电解液界面，抑制副反应，协同提升电池的高倍率性能、循环寿命及本征安全性，从而加速钠离子电池的商业化进程。[6-8]

[1] J. Peng, Y. Gao, H. Zhang et al., Angewandte Chemie International Edition, 2022,61(32): e202205867.

[2] S. W. Fan, Y. J. Liu, Y. Gao et al., ACS Energy Letters, 2025, 10: 1751.

[3] Y. J. Liu, S. W. Fan, Y. Gao et al., Small, 2023, 19(43): e2302687.

[4] C. Xu, J. Peng, X. H. Liu et al., Small Methods, 2022,6(8): 2200404.

[5] S. W. Fan, Y. J. Liu, Y. Gao et al., SusMat, 2023,3(6): 749.

[6] J. Chen, Z. Yang, X. Xu et al., Advanced Materials, 2024,36(28): 2400169.

[7] X. F. Guo, Z. Yang, Y. F. Zhu et al., Small Methods, 2022,6(6): 2200209.

[8] X. W. Chang, Z. Yang, Y. Liu et al., Energy Storage Materials, 2024,69: 103407.

A10-37

钠基快充电池的界面调控策略研究

胡翔、温珍海*

中国科学院福建物质结构研究所

随着能源危机和环境污染问题日益严峻，开发安全、高效、低成本的新型能源储能技术已成为当前亟需解决的重要课题。钠离子电池因其资源丰富、成本低、安全性高以及优异的低温性能，正逐步成为替代锂离子电池的有力竞争者，尤其契合我国推动新能源产业高质量发展的战略需求。然而，在电动车等高功率应用场景中，钠离子电池的充电速率仍存在显著瓶颈，严重制约了其实际应用进程。主要原因在于高倍

率充放电条件下电极材料中普遍存在的多级极化问题，包括电子传导受限引起的欧姆极化、离子输运能力不足导致的浓差极化，以及反应动力学迟滞造成的电化学极化。为解决上述问题，本研究聚焦电极材料的界面工程调控，系统提出并实施了三类策略：其一，通过缺陷化学界面重构提升材料电子导电性，结合异质原子掺杂与阴离子缺陷调控，优化电子结构与传导路径，缓解欧姆极化；其二，构建具有不同配位环境的单原子催化位点，利用界面催化提升电极反应动力学，降低反应势垒与极化电压，成功实现了基于碳载单原子正负极材料的钠离子混合电容器在高倍率下稳定循环超过一万次；其三，基于非晶化界面耦合策略，利用非晶材料的无序结构缩短钠离子扩散路径，提升离子输运效率，实现了 198 Wh/kg 的高能量密度和超过 8000 次的循环稳定性，上述多界面协同策略为实现钠离子电池的快充能力提供借鉴。

A10-38

快充条件下锂电池力-电化学耦合失效机理的多尺度研究

陆宇阳*[1]、常力戈[2]、牛欣亚[2]、倪勇[2]

1. 北京理工大学

2. 中国科学技术大学

高能量密度锂电池在快速充电条件下电极颗粒容易产生裂纹，降低实际容量，研究快充条件下锂电池力-电化学耦合失效机理至关重要。然而，电极颗粒内锂的扩散，应力演化和裂纹扩展相互耦合影响，为多尺度优化设计电极颗粒和极片微结构提出了很大挑战。本研究将力-电化学耦合的多尺度模型与实验表征相结合，系统研究了从电极颗粒到极片的断裂行为。在电极颗粒尺度：通过对不同形貌单晶颗粒的断裂行为研究发现取向依赖的脱锂路径会导致颗粒内部相变非均匀分布；高倍率充电条件下致使裂纹优先在颗粒侧面形核并沿层状方向扩展，形成特征性的层状裂纹形貌。在极片尺度：研究了不同充电倍率条件下电极不同深度位置膨胀应力对电化学反应速率的影响，分析了不同深度位置颗粒的力学失效模式。进一步，本研究提出了一种普适性匹配理念，通过将电极微结构（包括导电网络、孔隙率和粒径）分别与电子、离子及反应驱动通量的本征梯度进行梯度化匹配，从而优化电极内部电子/离子传输与反应传质的动态平衡，实现了快速充电性能与机械稳定性的协同提升。本研究开发的基于实验表征的电化学-力学耦合模型为超级快充锂电池的开发和应用提供了坚实的基础。

A10-39

无损电修复赋予快充条件下退化锂电池多重生命周期

李方琰[1]、焦一丁[1]、杨朔[1]、茆伟[1]、陶前途[1]、白辰昱[1]、何儿[1]、李录河[1]、叶婷婷[1]、李亦冉[1]、王嘉诚[1]、任俊烨[1]、王远贞[1]、高睿[1]、栗乾明[1]、卢江[1]、宋杰[1]、马晶[1]、邓昱[1]、王鹏[2]、张晔*[1]

1. 南京大学

2. University of warwick

为了满足电动汽车和便携式电子设备日益增长的需求，对于锂离子电池中高性能阴极的开发已经成为了当下的热点。在众多阴极材料中，$LiMn_2O_4$ 具有独特的八面体的尖晶石结构，可为锂离子的快速扩散提供稳定的三维框架，这使得其成为锂离子电池特别是在高倍率工作中具有应用前景的阴极材料。然而，在电池进行快充时，晶体结构的不可逆演化，使得 $LiMn_2O_4$ 阴极在正常的充放电工作中会发生严重的容量衰减，这极大的限制了其最终的实际应用并造成严重的资源浪费。在这里，我们开发了一种原位电化学修复策略以恢复电极容量从而延长其循环寿命。该策略主要由恒电流充电和恒电压充电两个过程组成，其可在无需拆卸电池且对电池的各个组分均无损的情况下将已经衰退的电极容量恢复至其初始状态。最终，经过多次电化学修复操作，$LiMn_2O_4$ 阴极的循环寿命由最初的 600 圈提升至 4800 圈，电池的生命周期增加了 8 个，相应的放电总能量也获得大幅度提高。更进一步的机理研究表明 $LiMn_2O_4$ 电极容量下降的原因主要是循环过程具有氧化还原活性的尖晶石相转变为氧化还原惰性的岩盐相。而电化学修复过程则又将这些钝化相重新转换为初始的活性相，从而恢复电极反应过程中锂离子的扩散活性。这以转变过程也得到了电子显微镜和密度泛函理论模拟得证实。该策略简捷高效，且已在软包电池中得到更进一步得应用，这体现了其在提高锂离子电池阴极性能方面巨大的应用潜力。

A10-40

Optimization of Graphite Susceptor Structure for Silicon Carbide Crystal Growth via Liquid-Phase Method

李昊楠 a,邓鼎城 a，陈秀华 a,c*,马文会 b, c*,陈正杰 d，李绍元 e, 李琛 b

a 云南大学材料与能源学院，昆明 650504

b 云南大学现代工学院，昆明 650504

c 云南大学国家光电能源材料国际联合研究中心，昆明 650504

d 昆明理工大学冶金与能源工程学院，昆明 650093

e 昆明理工大学复杂有色金属资源清洁利用国家重点实验室/云南省高校硅冶金与硅材料工程研究中心，昆明 650093

Silicon carbide (SiC) crystals have been widely used in high-power devices due to their unique properties such as relatively high thermal conductivity, wide bandgap, and high critical electric field strength. Although the Physical Vapor Transport (PVT) method is the most mature technique for preparing silicon carbide (SiC) crystals, it produces crystals with a relatively high defect density. Therefore, the liquid-phase method (LPM) is required to reduce the defect density. In the field of SiC crystal growth via the LPM, there have been no research reports on the structure of graphite susceptors used for seed crystal bonding. In this study, the finite element analysis method was employed to optimize the radius of the graphite susceptor, the radius of the thermal insulation layer on the graphite susceptor, and the structure of the graphite felt attachment on the insulation layer. According to the simulation results of the global thermal field in the crystal growth furnace, carbon diffusion at the boundaries, and temperature distribution at the seed crystal, when the seed crystal radius is 7.5 mm, the optimized parameters are as follows: graphite susceptor radius of 17.5 mm, thermal insulation layer radius of 7.5 mm, and optimal height of the graphite felt attachment on the thermal insulation layer of 2.5 mm. This optimization resulted in a 17.6% increase in the average crystal growth rate and a 62.5% reduction in the maximum growth rate difference at the growth interface.

A10-41

锂离子电池快充隔膜设计

丁罗义*

华东师范大学

锂离子电池快充性能提升依赖隔膜的功能化设计。聚亚胺基电池隔膜凭借优异的热稳定性与机械强度，为快充体系提供结构支撑，其分子链刚性骨架可抑制高温下的尺寸形变，同时通过调控亚胺环间距优化离子传输通道。分子筛隔膜修饰策略则通过引入 ZSM-5、MOFs 等分子筛材料，利用其规则孔道结构筛分锂离子，减少溶剂分子共嵌，同时表面羟基基团可增强电解液浸润性。二者结合时，聚亚胺基体与分子筛的协同作用既能提升隔膜的离子电导率（如通过分子筛孔道快速传导），又能抑制锂枝晶生长（借助聚亚胺的力学约束），为高功率快充锂离子电池的隔膜设计提供新思路。

A10-42

快充电池材料的先进原位镜谱连用表征方法

张羽青*

上海炭索检测技术有限公司

快充电池材料的性能研究亟需先进表征技术。纳米红外技术将纳米尺度研究与红外光谱结合，能在纳米精度对材料分析成像，在半导体、生物医学、环境科学等领域广泛应用。而红外 - AFM - 拉曼连用技术，集原子力显微镜的纳米尺度表面形貌测量、拉曼光谱的物质化学组成分析于一体，可在纳米尺度同时提供样品形貌等物理信息与化学信息，还能借助 TERS 实现纳米尺度化学成像。这些先进原位镜谱连用表征方法，为深入探究快充电池材料的结构与性能关系提供关键技术支撑。

A10-43

快速构建动力学增强界面实现高压快充锂离子电池

方明明*

上海交通大学

高压锂离子电池被认为是下一代储能技术的潜在解决方案。然而，其实际应用受到电极/电解质界面有害副反应的限制，特别是在高电压（≥ 4.5 V 对 Li/Li^+）条件下。在此研究中，我们通过调控溶剂与锂盐之间的相互作用，设计并优化了一种基于磺酸盐且具有强溶剂化结构的电解质。该电解质表现出富电子的溶剂化环境，并在 3.7 V 时展现出优先氧化特性，能够在 30 皮秒内快速形成富含无机成分（如 Li_2SO_4 和 LiF）的异质正极电解质界面（CEI）。值得注意的是，这种电化学增强的 CEI 展现出优异的 Li^+传输能力，有效弥补了强溶剂化体相电解质固有的动力学不足。因此，采用该电解质的 4.7 V 充电 5-Ah 石墨||NCM811 软包电池表现出显著提升的循环稳定性和倍率性能，能量密度高达 347.6 Wh kg^{-1}，在 350 次循环后容量保持率为 94.5%，同时具备 5 C 快充能力。我们认为，所提出的策略为开发适用于实际应用的高电压、快充型锂离子电池提供了新的方向。

A10-44

高离子电导氧化物固态电解质及界面修饰

刘廷虎*

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

在钠金属电池体系中，高离子电导氧化物固态电解质的开发对提升电池性能至关重要。NASICON 系电解质因优异离子传导性成为研究热点，但其与钠金属负极的界面稳定性问题制约应用。通过界面修饰策略可改善界面相容性：表面包覆 Li/Al 等元素掺杂的氧化物层，能抑制钠枝晶生长；构筑梯度界面结构，可调节离子传输动力学；引入有机 - 无机复合界面层，能降低界面阻抗。这些策略通过优化界面化学组成与微观结构，增强电解质 - 负极界面稳定性，为 NASICON 系电解质在钠金属电池中的实际应用提供关键技术路径，推动高安全、高能量密度钠电池体系的发展。

A10-45

基于氢键调控实现电解液溶剂化结构优化及电池快充性能提升

张欣然、梁正*

上海交通大学

随着电动汽车和高功率电子设备对锂离子电池（LIB）快充需求的增加，提升电池的充电速度与稳定性成为关键挑战之一。目前锂离子电池快充的主要障碍之一在于石墨的低反应动力学，容易在其表面析锂，导致枝晶生长和容量快速衰减。基于此，本研究创新性地利用电解液分子间特异性相互作用，通过在传统 LiFSI 基电解液中引入 2,2,2-三氟乙基甲烷磺酸酯（TFMS）共溶剂，TFMS 与主溶剂碳酸酯二甲（DMC）形成氢键相互作用，削弱了 DMC 对 Li^+的配位作用，使得更多的 FSI^-阴离子参与到溶剂化结构中，将电解液溶剂化结构转为富阴离子型。这一变化一方面有效减少了自由 FSI^-阴离子对铝集电体的攻击，从而抑制电池在高电压下的铝腐蚀问题；另一方面，富阴离子溶剂化结构衍生的正负极界面有效抑制界面处的副反应，同时，富 Li_xSO_y, LiF 和 Li_3N 等无机组分的 SEI 有利于 Li^+在界面的快速传导，提升了电池的充放电速率和循环效率。这一界面的优化使得电池在高电压和快充条件下表现出更优异的电化学性能。该研究不仅解决了高电压应用中的铝腐蚀问题，还为未来的快充电池技术提供了重要电解液设计思路。

墙报

A10-P01

Screening of F-containing electrolyte additives and clarifying their decomposition routes for stable Li metal

anodes

Jijiang Liu*

Shanghai Jiao Tong University

Constructing a LiF-rich solid electrolyte interphase (SEI) is a feasible strategy for inhibiting lithium (Li) dendrites of Li metal anodes (LMAs). However, selecting appropriate F-containing additives with efficient LiF contribution is still under active research. Herein, a series of fluorinated additives with diverse F/C molar ratios are investigated, and we demonstrate that the hexafluoroglutaric anhydride (F6−0) holds the best capability to derive the LiF-rich SEI in regular carbonate electrolytes (RCEs). To ameliorate the decomposition kinetics of the F6−0, LiNO3 (LNO) as an adjuvant is further introduced in the system. As a result, the reduction efficiency of F6−0 is increased to 91% under the F6−0/LNO synergistic effect, enabling the LMA with a uniform LiF-rich SEI in the RCE with merely 4 vol. % F6−0/LNO (F6L) addition. The LiNi0.8Co0.1Mn0.1O2||Li-20μm full-cell with the F6L also showcases better cycling and rate performances than the cases with other F-containing additives.

A10-P02

Mechanically Interlocked Interphase with Energy Dissipation and Fast Li-Ion Transport for High-Capacity Lithium Metal Batteries

Zhangqin Shi*

Shanghai Jiao Tong university

Constructing an artificial electrolyte solid interphase (ASEI) on Li metal anodes (LMAs) is a potential strategy for addressing the dendrite issues. However, the mechanical fatigue of the ASEI caused by stress accumulation under the repeated deformation from the Li plating/stripping is not taken seriously. MIMs in polymeric scaffolds could exhibit enhanced energy dissipation capacity due to the intramolecular motions of the mechanical bonds. Therefore, MIMs could endow ASEI with an energy dissipation function. Previous work from Liang’s group presented a robust MINs-derived ASEI featuring densely rotaxanated backbones, and they demonstrated the role of energy dissipation in stabilizing the chemical structure of the ASEI throughout the safety operation1. However, the small-scale molecular movements of densely rotaxanated backbones and the weak coordination of benzo-21-crown-7 (B21C7) to Li-ion essentially limit the ion transport in ASEI, resulting in an unfavorable kinetic and rate performance of LMAs. In this work, a mechanically interlocked [an]daisy chain (DC) network (DCMIN) ASEI was proposed under a stringent design specification to realize effective energy dissipation and fast Li-ion transport.

A10-P03

Balancing the Ion/Electron Transport of Graphite Anodes by a La-Doped TiNb2O7 Functional Coating for Fast-Charging Li-ion Batteries

Yeliang Sheng*

Shanghai Jiao Tong University

A functional coating layer (FCL) is widely applied in fast-charging lithium-ion batteries to improve the sluggish Li+ transport kinetics of traditional graphite anodes. However, blindly increasing the Li+ conductivity for FCL reduces the overall electron conductivity of the anodes. Herein, we decoupled the effect of La-doping on TiNb2O7 (TNO) in terms of the phase evolution, Li+/electron transport, and lithiation behavior, and then proposed a promising La0.1TNO FCL with balanced Li+/electron transport for a fast-charging graphite anode. By optimizing the doping concentration of La, more holes are introduced into the TNO as electron carriers without causing lattice distortion, thus maintaining the fast Li+ diffusion channel in TNO. As a result, the graphite with La0.1TNO FCL delivers an excellent capacity of 220.2 mAh g−1 (96.3% retention) after 450 cycles at 3 C, nearly twice that of the unmodified one.

A10-P04

Hard carbon with customizable microstructure for high power sodium-ion batteries

Zongfu Sun1,2,Yihao Cheng1,2,Huawei Liu1,2,Biao Chen1,2,Chunnian He*1,2

1. School of Materials Science and Engineering, Tianjin Key Laboratory of Composite and Functional Materials, Key Laboratory of Advanced Ceramics and Machining Technology (Ministry of Education), Tianjin University, Tianjin, 300350, P. R. China.

2. National Industry-Education Platform of Energy Storage, Tianjin University, 135 Yaguan Road, Tianjin, 300350, P. R. China.

The development of novel hard carbon (HC) materials is essential for promoting the use of large-scale sodium-ion battery (SIB) energy storage systems in smart grids. However, HC still faces bottlenecks in ion diffusion kinetics and irreversible sodium storage site imbalance. Herein, we propose the HC with customizable microstructure, mainly including: (1) low SSA (< 21.0 m2 g-1), moderate d002 (0.373-0.395 nm), and ID/IG (0.99-2.08) are identified as key microstructure compositions for high-performance HC via a data-driven model of “data mining and machine learning”. (2) A thermal-force coupled carbonization strategy is used to remodel the HC microstructure compositions at low temperatures to validate the predicted results. Notably, the HC-10 at a low carbonization temperature of 900 ℃ and a pressure of 10 MPa achieves high ICE, high plateau capacity, excellent rate performance, and outstanding cycling stability, which is significantly better than the HC prepared by 1300 ℃. Besides, the assembled 1.46-Ah-level sodium-ion pouch cell exhibits high power densities of 542.3 W kg-1 and a capacity retention of 99.2%. The abundant carbon layer and nanopore structure create conditions for reversible insertion and filling of Na+, and a few defects provide adsorption sites of Na+ to improve diffusion kinetics. This work provides novel ideas, methods, and mechanistic insights for achieving high-performance HC modulation and preparation at low carbonization temperatures, which contributes to advancing the practical applications of high-power SIBs.