

分会场十三：电池材料分会

柔性锌离子电池用的高性能凝胶电解质

姚亚刚*

南京大学

可充电的锌离子电池在低成本的大规模储能中具有重要的应用前景。然而锌负极在水系电解液中存在的枝晶生长、析氢腐蚀和钝化等问题，严重限制了锌离子电池的实际应用。采用含有锌盐的凝胶电解质取代锌盐水溶液一定程度上能缓解锌负极的这些问题，但是较差的机械强度、较低的离子电导率、易盐析和易结冰的性质制约着凝胶电解质在高性能锌离子电池中的应用。南京大学姚亚刚课题组设计了几种多功能凝胶电解质来提升锌离子电池的性能。1) 提出了在高曲率纤维表面限域组装“高流动性/高强度”双层凝胶电解质的新策略，消除了凝胶电解质刚度与柔性的冲突；2) 提出了采用分层结构的水凝胶电解质来调控氢离子在电解质材料的分布，实现了高存储容量和长循环寿命的水系锌锰电池；3) 以棉花为原料，正硅酸四乙酯为交联剂，甘油为防冻剂，开发了简便且经济的方法来构建一种全凝胶电解质。获得的水凝胶电解质具有高离子导电性、优异的力学性能、超低冰点、良好的自愈能力、高附着力和良好的耐热性；4) 成功利用富氧聚氨酯的离子跳跃机制有效提升了水凝胶电解质的离子电导率，均匀化了锌离子流，促进了锌离子均匀沉积。同时，原位生成的SEI层作为脱溶剂和锌离子通量调制层，构建了高机械稳定和高离子电导的界面，实现了局部电荷均匀分布，有效抑制了界面副反应和锌枝晶的生长。此外，富氧聚氨酯中分层H键的作用赋予了水凝胶自修复的性能，可原位修复电池重复充放电过程中电解质的疲劳损伤和裂痕。

关键词 柔性锌离子电池；凝胶电解质；枝晶生长；析氢腐蚀



报告人简介：

姚亚刚，南京大学教授，教育部长江学者，国家优青，海外高层次青年人才。以电子器件散热需求为背景，开展了新型高效热管理材料的研究工作，在高导热绝缘氮化硼纳米管的可控构筑及热管理应用等方面取得了创新成果，其中氮化硼纳米

管高效生长技术已实现成果转化。已在

Nature Mater.、Nature Nanotechnol.、JACS、Adv. Mater.、Nano. Lett. 等杂志发表SCI论文200余篇，论文被他人引用20000余次，H因子65。曾主持科技部重点研发计划项目以及子课题、基金委海外合作和面上项目等。曾获得全国百篇优秀博士学位论文、江苏省双创人才、江苏省优秀博士和硕士论文指导老师。

凝胶化学改性和电池结构改进共同助力高功率密度柔性锌空气电池

商诺^{1,2}、王恒威¹、王克亮^{*1,3}、张瑞¹、钟代源¹、魏满晖¹、裴普成³

1. 北京理工大学机械与车辆学院

2. 北京大学材料科学与工程学院

3. 清华大学汽车安全与节能国家重点实验室

柔性锌空气电池因其理论能量密度高、安全性高和成本效益高而备受认可，是下一代电源的理想候选材料。然而，与凝胶电解质有关的挑战，包括离子电导率低和保水性不足，阻碍了它们的性能和使用寿命。在本研究中，我们开发了一种结合了2-丙烯酰胺基-2-甲基丙烷磺酸（AMPS）和聚丙烯酸（PAA）的双网络凝胶结构，并进一步用KCl和KAc进行了改性，从而解决了这些难题。这种方法使离子电导率达到 $367.9 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ ，并显著提高了保水性，将电池寿命延长至55h以上。此外，我们还引入了最大厚度为0.5mm的凝胶，该凝胶是利用改进的微垂直槽涂层装置制造的，并针对固态锌-空气电池进行了优化。这一改进改善了空气电极结构，有利于更好地传质和电荷转移，并使峰值功率密度达到 $389.1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。这项研究为柔性锌-空气电池的开发，尤其是可穿戴电子设备的开发，提供了宝贵的见解，并通过理论和实验验证，为解决凝胶电解质的关键局限性做出了贡献。

关键词 锌空气电池；水凝胶；电解质；Hofmeister效应

人工智能设计锂电池电解液

陈翔*

清华大学

电解液是锂电池的核心组成之一，主要发挥传输锂离子的功能，显著影响电池实际性能，被形象地誉为“电池血液”。然而，先进电解液设计开发面临着溶液化学规律复杂、电解液分子数目庞大、电解液组分间强关联优化难等挑战。本报告将围绕理解电解液溶剂化学原理和机器学习设计先进电解液研究展开。具体而言，结合第一性原理计算和分子动力学模拟等多尺度模拟方法探究电解液溶剂化学规律，发现离子-溶剂结构的形成是影响电解液界面稳定性的关键因素，从而建立离子-溶剂化学模型；发展介电常数、黏度等多种电解液物性预测方法；集成多种物性计算方法和高通量计算，搭建电解液大数据库，包括25万种分子结构和20余种电解液性质；基于所构建的电解液大数据库，发展机器学习学习模型，定量关联电解液分子结构与理化性质，从而实现电解液分子的高通量筛选与反而设计，得到了十余种新分子体系，进一步开展实验验证。以上研究内容构建了电解液大数据库，发展了人工智能设计先进锂电池电解液的新方法，在上亿分子空间实现了电解液分子的快速、精准设计，推动了下一代高比能电池的实际应用，为实现我国“双碳”目标提供关键技术支撑。

关键词 锂电池；电解液；界面电化学；人工智能；分子机器学习

M-N-C基ORR催化剂稳定性研究

肖梅玲*

中国科学院长春应用化学研究所

金属氮掺杂碳材料（M-N-C）是最有希望替代PGM的非贵金属催化剂之一。尽管部分M-N-C催化剂活性已与贵金属催化剂相当，然而受碳腐蚀、脱金属、活性氧自由基（ROS）氧化等因素的影响，M-N-C催化剂的稳定性仍需进一步提升。利用原位差分电化学质谱，揭示了Fe-N-C催化剂的电位依赖性降解机制。确定了三个具有不同程度性能损失的电位区域：电氧化区间、安全电位区间和ROS诱导氧化区间。在电氧化区间，高电位诱导的碳氧化是导致Fe活性位点降解的主要原因。在ROS诱导氧化区间，降解源于ORR过程中产生的ROS对碳基底的化学氧化，导致活性位点Fe中心的脱金属。相反，在安全电位区间，ROS较少且电势不足以克服热力学障碍，使催化剂在该区间下结构稳定。开发出了具有普适性的，可以提升多种M-N-C催化剂稳定性的新技术——化学气相修饰技术，并借助该技术合成了新型M-N-C类氧还原催化剂。在修饰改性的过程中，上游的氮、碳源驱动Fe原子局域配位环境重整，使活性位点构型发生改变，从而从根本上提高了催化剂的耐久性。

关键词 燃料电池；氧还原；非贵金属催化剂；稳定性

钾基层状锰氧化物正极结构与界面协同调控

赵硕卿*

吉林大学

化石燃料的过度开发和锂矿资源成本的不断上涨促使研究人员们探索新型的电化学储能设备。钾是地壳中储量最为丰富、成本最为低廉的自然资源之一。发展新一代钾基储能技术，在未来大规模应用方面具有资源和环境方面的优势。为此，合理设计具有高比容量、长循环寿命的正极材料，明晰电化学过程中的储钾机制，有助于构筑高性能钾离子电池，推进钾基储能体系的商业化应用。本次报告主要针对钾基层状锰氧化物正极结构的可控制备、改性方法和电极/电解液界面调控，结合多种原位测试技术，阐明层状锰氧化物正极材料微观结构、化学组分和结构相变同储钾机制之间的构效关系。开展从体系选择、器件设计优化到界面性质调控等方面的研究，设计并合成多种新型层状锰氧化物正极材料，为新型钾离子电池体系的开发与应用奠定基础。

关键词 钾离子电池；正极材料；界面调控

面向低温、快充锂电池的负极反应动力学调控

季恒星*

中国科学技术大学

电动汽车和5G通信等多领域技术持续进步，对锂离子电池的快充能力、低温容量保持率和能量密度等综合性能指标提出了更高的要求。例如，美国先进电池联盟提出的目标是在质量能量密度 $>275\text{Wh/kg}$ 的电池体系下，能在15分钟内恢复其80%的额定容量， -20°C 容量保持率 $>80\%$ 。然而，电池的高能量密度和快充能力难以兼得，这主要受限于负极材料的电化学性质。快速充电或低温工作时，负极极化加剧并迅速达到截止电压，致使电极容量无法发挥，电池能量密度降低；另一方面，负极极化容易导致金属锂析出，产生安全隐患。如何突破电极极化对快充、低温条件下电池能量密度和安全性的限制是目前电池技术面临的一个关键难题。我们将介绍课题组近年来在传统石墨负极材料和下一代磷负极材料方面的研究进展。

关键词 锂离子电池、快充、低温

高效MOF电催化剂设计与制备

赵慎龙*

国家纳米科学中心

高效低廉催化剂的制备对于提高新能源技术以及重要化学品生产过程的效率极为关键。过渡金属-有机-无机碳材料，凭借其比表面积大、孔道结构可控、组分可调以及结构明确等显著特性，展现了成为高性能催化材料的巨大潜力。然而，该材料在电催化小分子催化方面的应用容易受到其导电性能差、活性中心易包埋等固有属性的限制，为此我们创建了配位微环境调控新策略，通过对活性位点几何与电子结构的精准调制，从而使催化反应的活性和选择性大幅度提升。基于电荷转移设计理念，提出界面电荷分布催化新体系，大大促进了能源催化反应的高效高速转化。借助于原位谱学技术与计算相结合的策略从原子层面上揭示了催化活性来源、本征构-效关系及增强作用本质。系列性成果不仅实现了过渡金属-有机/无机碳催化剂对传统贵金属（如铂、钌、铱）替代，同时使电催化（如氢/氧/氯析出反应，氧/二氧化碳还原反应等）过程中的能源消耗降低，反应过程中的选择性以及稳定性进一步提高。

关键词 多孔碳，电催化，非贵金属催化剂，纳米材料

硫还原反应动力学与催化活性中心金属Fe原子数目之间的相关性

孔祥华¹、蔡国磊²、季恒星^{*2}

1. 合肥工业大学

2. 中国科学技术大学

锂硫电池是使电池能量密度超过500W×h/kg的关键技术路线之一。这一高能量密度的优势依赖于硫正极的多电子转移氧化还原反应，即：电池放电时，正极的单质硫（S₈分子）被逐步还原，依次形成多硫化锂（Li₂S_n, 4≤n≤8）、硫化锂（Li₂S）；充电时则需要将硫化锂完全氧化成硫单质，完成电化学循环。硫的利用率、反应深度决定了电池的能量密度；硫的电化学反应速率决定了电池的功率密度；硫的电化学反应可逆程度决定了电池的循环稳定性和寿命。其中，硫、（多）硫化锂之间的电化学转化困难是限制电池能量密度、功率密度和循环稳定性/寿命的关键。

金属催化剂的尺寸对于硫正极催化反应效率至关重要。随着催化剂表面金属的聚集形式从纳米颗粒、纳米团簇到原子级分散的变化，其催化性质可能发生巨大变化。单原子催化剂由于其活性位点结构的单一性难以对每一步反应都保持高效选择性。理想情况下，催化剂表面上的活性位点应与各种多硫中间产物中S和Li或S原子之间的距离相匹配，从而避免吸附物质和催化剂之间的应力。因此，对于硫还原反应中S-S或者Li-S化学键的活化或生成，需要特定的金属聚集体提供与之匹配的吸附/活化位点。探索原子尺度上催化剂的尺寸效应对于硫催化反应中电催化剂的理性设计具有重要意义。

本工作系统研究了硫还原反应中催化活性位点的原子结构敏感性。通过向催化剂金属活性中心添加一个、两个和三个Fe原子，观察到硫物种转化过程中的显著动力学变化，揭示了硫还原反应催化活性与金属中心Fe原子数量之间的相关性。研究发现，2Fe-N/C催化剂中的双原子Fe位点具有适中的吸附强度和高效的催化活性，体现出原子利用与位点需求的最优匹配。

关键词 锂硫电池、催化活性、金属催化剂

离子液体高性能电解质材料及其工程应用

陈仕谋*

北京化工大学

开发高性能锂电池已经成为当前学术界和产业界面临的重要挑战和国家重大战略需求。离子液体的高电导率、宽电化学窗口、宽液程及难燃性决定了其在电化学领域应用的先天优势。本课题组长期致力高比能高安全二次电池关键材料研发及产业化，主要包括高电压高安全离子液体电解液，高容量硅碳负极材料，高比能单体电池系统集成等方面。

关键词 离子液体，电解质，锂离子电池，固态电池

无支撑自组装单分子层介导的锂金属电池界面及电池性能调控研究

岳巨鑫、刘育京、陶新永*

浙江工业大学材料科学与工程学院

本文以无支撑自组装单分子层（SAMs）为核心创新点，提出一种直接在聚丙烯（PP）隔膜表面构建硅烷基SAMs（ $C_6H_{17}NO_3Si$ 结构）的轻量化界面调控策略。通过酸腐蚀工艺在PP表面原位引入-OH活性基团[1][2]，无需传统无机涂层支撑，直接在PP隔膜表面构筑SAMs[3]，从根本上消除了无机颗粒导致的质量负载问题，显著提升电池能量密度。实验结果表明，该无支撑SAMs可促进 $LiNO_3$ 分解以调控固态电解质界面膜（SEI）形成富 Li_2O 和 Li_3N 的无机微观结构[4]，实现锂金属电池在 $1mAcm^{-2}$ 、 $1mAhcm^{-2}$ 以及 $2mAcm^{-2}$ 、 $1mAhcm^{-2}$ 的工况条件下稳定循环超过1200h，循环100次后界面阻抗低至 3.4Ω ；SAMs分子结构在长循环中保持完整，经过100圈的循环仍能够稳定存在于隔膜表面；全电池测试中，175次循环容量保持率达83%，较对照组提升28%。此研究为高能量密度、长寿命锂金属电池的界面设计提供了轻量化、高效能的解决方案。

关键词 自组装单分子层；界面修饰；金属锂电池

自组装单分子层构筑动态亲锂位点

赵雨萱、刘育京*、陶新永

浙江工业大学

针对高比能锂金属电池在实际应用中面临的锂沉积不均匀、枝晶生长诱发安全隐患以及无基体金属锂阳极体积膨胀等关键问题，提出并系统验证了一种“银-自组装单分子缓冲层”的界面调控新策略。该策略将银纳米颗粒的可逆固溶体合金化反应与自组装单分子层技术深度融合，通过原位构建长寿命动态亲锂位点，显著降低锂在合金缓冲层中的扩散能垒，同时有效缓解循环过程中的体积膨胀并抑制枝晶生长，从而全面提升电池的循环稳定性和安全性。实验结果表明，在N/P比仅为2.2的条件下， LiFePO_4 全电池循环200圈后的容量保持率达96.8%，而半电池则可实现超过4000小时的超长稳定循环，为下一代高能量密度、长寿命锂金属电池的界面设计提供了可行且可扩展的普适性解决方案。

关键词 自组装单分子层合金负极

新结构高容量氧化物锂电池正极材料

禹习谦*

中国科学院物理研究所

基于O3结构的层状氧化物正极材料（ LiTMO_2 ），如钴酸锂和镍钴锰三元正极，由于具有高体积比能量和质量比能量密度的优势，是消费电子和动力锂电池的重要正极材料。然而，这类材料在高脱锂状态下晶体结构中由于缺乏锂离子的电荷屏蔽，氧离子层间的相互静电排斥容易引起钴-氧八面体层发生层间滑移，从而使得材料晶粒内发生裂纹产生等机械失效，导致相变不可逆程度增加，显著影响材料的电化学循环稳定性。以上因素是限制O3结构层状氧化物正极材料容量进一步提升的瓶颈。本报告将讨论O2等非传统O3结构层状氧化物正极材料储锂过程中的相变机制以及高容量应用时提升结构稳定性的材料设计思路，并介绍其高比能电池体系中的应用。

关键词 正极材料；高容量；高能量密度；晶体结构；锂离子电池

氢燃料电池用关键纳米电催化剂

杨文秀*

北京理工大学

氢燃料电池技术所涉及的电催化ORR过程是由催化剂三相界面处的物质吸/脱附、离子传输、电子转移、电化学反应等步骤串联而成，这就决定了燃料电池是一个多尺度、高精度的复杂系统。具体包含：微米级尺度的气体扩散层和催化层、纳米级尺度的电催化剂和离子聚合物、分子级尺度的电催化反应、原子级尺度的催化剂活性位点、量子尺度的电荷转移等。因此，综合考虑各尺度下的响应程度与机制，构筑新颖的非贵金属纳米多孔材料基催化层，同步满足不同尺度下导电、传质、电催化转化的需求，才能实现燃料电池器件性能的提升。

关键词 燃料电池、氧还原、非贵金属电催化剂、电子结构调控、传质优化

多孔框架离聚体

冯霄*

BeijingInstituteofTechnology, China

质子交换膜燃料电池是实现氢能高效转化的重要方式，其性能取决于催化剂活性和微观三相界面处多物质（质子、氧气、水）的传质短板。针对传统离聚体传质能力单一，存在多物质传输相互制衡的问题，我们聚焦于多物质协同耦合传输机制和构效关系，发展复合纳米通道环境调控物质传输策略，提出了侧链诱导偶极促进堆积和“预成核、慢生长”纳米通道合成策略；开拓了多孔框架离聚物新体系，突破了复杂界面处多物质的耦合传质制约，实现了低温燃料电池功率密度倍增；构建了中温下可快速传输质子的高透氧离聚体，克服了中温燃料电池中离聚体失效的挑战，为严苛条件下的多物质输运提供了设计思路，大幅提升中温燃料电池额定功率密度。

关键词 共价有机框架；多孔框架离聚体；燃料电池

电极材料颗粒尺度扩散动力学的原位光学表征

伦正言*

中国科学院大学

锂离子在电极材料颗粒尺度的扩散与材料的容量、倍率性能及其失效行为密切相关。传统的基于X射线或电子显微学的表征技术虽可通过非原位测试研究过渡金属及其价态在颗粒中的分布来间接反映锂离子的扩散行为，但因其时间分辨率较低、实验复杂、机时稀少等限制难以实时表征工况条件下的颗粒尺度扩散动力学。本报告将重点介绍一种近年来开发的实验室尺度下基于光学干涉散射成像的原位光学表征——充电光度法(Chargephotometry)。通过展示常见正负极材料，如钴酸锂、三元正极等的原位光学响应，本报告将说明充电光度法在研究颗粒尺度相变行为、相分离行为、快充行为及其失效机制等方面的重要应用。

关键词 原位光学表征，扩散动力学，充电光度法，单颗粒成像



张子帅，北京大学环境科学与工程学院研究员、博士生导师，北京大学碳中和研究院研究员；国家海外高层次人才计划入选者（2022），中国工程前沿杰出青年（2024）获得者。其长期从事电化学碳资源化研究，融合分子催化设计、电极界面调控与系统工程策略，揭示跨尺度协同机制，致力于构建高效稳定的碳中和电化学体系；首次提出并发展了直接利用“液态碳”的概念，推动了电化学碳转化领域的理论创新与范式重构。自2023年独立工作以来，以通讯作者发表包括Nature Communications, Energy & Environmental Science, ACS Energy Letters, Advanced Energy Materials等高水平论文。曾获“The Québec Bursary Award”“Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies (FRQNT) Award”等学术奖励。现担任国际知名期刊Advanced Sustainable Systems 和Battery Energy 杂志编委，Applied Energy 客座主编，Nature、Science子刊独立审稿人。

海水碳捕集

海洋作为地球最大的碳汇，其潜力远未被充分开发。现有海洋碳去除技术因高能耗与生态风险而难以实现规模化应用。本研究受珊瑚钙化启发，提出了一种全新的仿生电容脱碳反应器，通过电场与界面调控实现海水中碳酸盐矿化的高效转化。该体系无需化学添加剂，仅依赖海水自身离子与可再生电力，打破了海洋碳去除长期受限于能耗和稳定性的瓶颈。通过独特的空间分层与电吸附策略，我们实现了碳酸盐的定向富集与可控沉积，并构建了与海洋环境相协调的再碱化循环。模型预测显示，这一方法具备在未来数十年承担全球碳去除重要份额的潜力，为应对气候变化提供了一条兼具可持续性与可扩展性的全新途径，展示了海洋碳汇工程化利用的广阔前景。

亚稳相贵金属纳米材料的可控构筑及催化应用

葛一瑶*

北京科技大学，北京，100083

*Email: yiyaoge@ustb.edu.cn

摘要正文： 贵金属纳米材料由于优异的催化活性和突出的化学稳定性，被认为是最理想的催化剂种类之一。研究表明，贵金属纳米材料的相结构对其催化性能有着决定性的影响。因此，通过精细调控贵金属的相结构来实现其性能优化是发展新型高性能催化剂的重要途径，然而却缺乏普适通用的调控思路。以贵金属家族的重要成员——钯（Pd）为例，Pd纳米材料在诸多领域都有着广泛的应用，尤其在多种重要催化反应中扮演着关键角色。尤其，Pd基多金属合金或异质核壳材料由于多组分之间的协同耦合作用，还可展示出比单一组分更加优异的催化性能。然而，虽然科研工作者已针对Pd及Pd基多金属体系开展了大量研究，绝大多数工作均围绕Pd的热力学稳定晶相，即面心立方（fcc）相，开展。制备具有不同于fcc晶相的亚稳相Pd基纳米材料对于开发高性能催化剂至关重要，却极具挑战性。报告人首先借助硫醇配体与贵金属的强相互作用，开发便捷高效的湿化学一锅合成法制备一系列具有非晶结构的Pd及Pd合金纳米颗粒。进而通过精准调节后续热处理条件来改变非晶Pd的相变路径和结晶动力学过程，实现了具有高纯六方密堆（hcp）相的Pd纳米颗粒的合成，并揭示和建立了Pd纳米材料的晶相与催化性能之间的构效关系。报告人进一步将“非晶材料可控相变”的合成理念扩展至钌、铑、铱铂合金等其他贵金属体系，证实了“非晶材料可控相变”这一创新构筑思路的普适性。基于已合成的hcp相Pd纳米晶，创新地提出了“选择性外延生长”的普适构筑策略，利用不同贵金属在亚稳hcp相Pd晶种上独特的晶相/晶面/方向选择性外延生长行为，首次构筑了一系列具有新颖亚稳相结构的Pd基异质核壳纳米材料。此外，报告人还提出了晶种热扩散等的新合成思路，制备了一系列化学组成可控的亚稳相Pd基纳米合金材料。上述系列研究成果为亚稳相贵金属纳米材料的可控构筑提供了独特普适的解决方案，也证实了相结构对于其催化性能的重要调控作用，为高性能催化剂的发展提供了新的思路。

关键词： 贵金属，相结构调控，纳米材料，电催化

参考文献

- [1] J. Am. Chem. Soc. 2020, *142*, 18971-18980;
- [2] Nano Res. 2023, *16*, 4650-4655;
- [3] J. Am. Chem. Soc. 2022, *144*, 547-555;
- [4] Adv. Mater., 2022, *34*, 2206994;
- [5] Adv. Mater., 2022, *34*, 2107399;
- [6] Nat. Sci., 2022, *2*, e20220026;
- [7] J. Am. Chem. Soc., 2021, *143*, 17292-17299;
- [8] Adv. Mater. 2023, *35*, 2302233;
- [9] J. Am. Chem. Soc., 2024, *146*, 24141-2414

报告人/墙报展示人简介:



葛一瑶，男，北京科技大学新金属材料国家重点实验室研究员、博士生导师，国家级青年人才计划入选者。长期围绕热力学亚稳相材料开展研究工作，通过精细调控材料的微观结构来拓展其在催化、能源转化、特种结构材料、热管理复合材料等领域的应用。在 Science、Nature、Nat. Mater.、Adv. Mater.、J. Am. Chem. Soc.、J. Am. Ceram. Soc.、Chem、Nat. Commun. 等国际学术刊物上发表论文80余篇，其中以第一作者或通讯作者身份发表论文40余篇。共提交14项中国专利和4项美国专利申请，部分自主研发的先进粉体制备技术已完成科技成果转化，实现“卡脖子”微晶粉体材料的工业化宏量生产。担任中国体视学学会材料科学分会第八届委员会委员（2023-2027）、中国机械工程学会工程陶瓷专业委员会第六届理事会理事，担任Academia Nano、eScience、Nano-Micro Letters、Carbon Energy、Advanced Powder Materials 等国际期刊的（青年）编委。入选国家级海外青年人才计划、北京科技大学鼎新学者、2024年度全球前2%顶尖科学家榜单、2024年度Journal of Materials Chemistry A Emerging Investigators等。

低成本铝离子电池多尺度界面设计

王伟^{1,2,*}, 朱勇¹, 郭玉玺², 郭轲¹, 关伟², 余智静¹, 焦树强²

¹北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083

²北京科技大学绿色低碳钢铁冶金全国重点实验室, 北京 100083

*Email:wwang@ustb.edu.cn

摘要正文:

铝离子电池具有原料丰富（石墨正极和铝金属负极）、价格低廉、安全性高和可快速充放电等特点，早在2014年我们申请了基于室温熔盐离子液体电解液、石墨正极和铝金属负极的新型铝离子电池体系的专利，并于2015年和斯坦福大学戴宏杰教授团队（*Nature*, 2015, 520, 324）同期报道了铝团簇离子（ AlCl_4^- , Al_2Cl_7^- ）和铝离子共同反应的新型多离子二次电池（铝-碳电池, *Chem. Commun.*, 2015, 51, 11892, 高被引），代表了非水系铝离子电池从0→1的突破，引领了铝离子电池在世界范围内的研究热潮。然而体积较大的离子团簇嵌入空间有限的石墨层（层间距约为0.34 nm），面临的一个瓶颈问题是比容量较低（约60 mAh g⁻¹），限制了电池整体质量能量密度。针对上述问题，研究了一系列高能量密度正极、轻质集流体和固态电解质，并对其晶格结构、多相界面和介观结构进行了多尺度与跨尺度设计与调控，提高了铝离子电池的能量密度、循环稳定性和安全性能。

关键词：铝离子电池；多尺度界面设计；工业大规模储能；室温熔盐

参考文献

- [1] Zhijing Yu, Wei Wang*, et al., Construction of “double reaction zones” for long-life quasi-solid aluminum-ion batteries by realizing maximum electron transfer, *Nat. Commun.*, **2023**, **14**, 5596.
- [2] Wei Guan, Wei Wang*, et al., The reverse of electrostatic interaction force for ultrahigh-energy Al-ion batteries, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2024**, **63**, e2023172.
- [3] Yuxi Guo, Wei Wang*, et al., A bipolar-redox tetraalkynylporphyrin macrocycle positive electrode with 12-electrons-transfer for high-energy aluminum-organic batteries, *Nat. Commun.*, **2025**, **16**, 2794.

报告人简介：



王伟，北京科技大学教授，国家级青年人才，北京市科技新星人才计划，北京市科技新星（交叉项目），河北省产业创新创业团队负责人，小米青年学者，北科鼎新学者，北京航空航天大学青年拔尖人才。北京科技大学-英国剑桥大学联合培养博士毕业，先后为北京大学博雅博士后、美国哈佛大学博士后、北京航空航天大学教授、北京科技大学教授，储能系副主任。主要从事铝/钠/钾二次离子电池电极材料、固态电解质和电化学冶金等研究，在世界上较早开展了低成本室温熔盐铝离子电池系统性研究，面向国家“双碳”战略，构建“绿电-储电-电化学冶金”全新低碳/近零碳工业链条，通过开发基于丰产元素的低成本大规模工业储能电池，驱动低碳电化学冶金过程。发表SCI论文200余篇，其中以第一/通讯作者在Nat. Commun., Adv. Mater., Angew. Chem., Energy Environ. Sci.等发表SCI论文100余篇，引用14000余次，主持国家级、省部级和企业项目等20余项。

固态锂电池的材料基因探索

潘锋

北京大学深圳研究生院新材料学院

*Email: panfeng@pkusz.edu.cn

摘要正文：

发展结构化学方法学，探索锂电池的材料基因和构效关系。创建基于图论的结构化学方法，构建材料结构大数据系统，旨在探索“什么是材料基因？及如何开展锂电池材料基因的研究？”。介绍基于图论的结构化学、材料大数据、锂电池材料基因、过渡金属d轨道的自旋电子超交换相互作用、同步辐射和中子等大科学装置的结构表征等前沿的交叉学科研究进展，探索固态锂电池材料研究新范式，推动锂电池及关键材料的开发与产业应用。

参考文献

1. F. Pan* et al Origin of structural degradation in Li-rich layered oxide cathode, *Nature* 2022, 606 (7913), 305-312 ;
2. F. Pan* et al In situ Raman spectroscopy reveals the structure and dissociation of interfacial water, *Nature* 2021 600 (7887), 81-85;
3. F. Pan* et al Understanding Co roles towards developing Co-free Ni-rich cathodes for rechargeable batteries, *Nature Energy* 2021, 6 (3), 277-286;
4. F. Pan* et al Structural origin for the high voltage instability of lithium cobalt oxide, *Nature Nanotech* 2021, 16 (5), 599-605;
5. F. Pan* et al Ni/Li disordering in layered transition metal oxide: electrochemical impact, origin and control, *Acc. Chem. Res.* (2019), 52, 2201;
6. F. Pan* et al In situ quantification of interphasial chemistry in Li-ion battery, *Nature Nanotech.*, (2019) 14 (1) 50–56

报告人/墙报展示人简介:



潘锋是北京大学讲席教授、国家特聘专家、国家重点研发计划项目负责人，北京大学深圳研究生院新材料学院创院院长、中国化学会会士、《结构化学》执行主编。长期致力于发展结构化学方法学及应用于新材料的研发，创建了基于图论和AI的结构化学理论，建立了基于中子和同步辐射等大科学装置的原位动态结构表征系统，探索并揭示了材料基因与构效关系的规律，在解决锂电池储能密度、功率密度和稳定性等科学难题取得突破性进展。带领团队以通讯作者在《自然》（2篇）、《自然·能源》（1篇）和《自然·纳米科技》（3篇）等知名期刊发表SCI收录460余篇。获中国电化学贡献奖、深圳市自然科学一等奖、美国电化学学会电池科技奖

金属锂电池材料界面微尺度研究

刘育京*

浙江工业大学材料科学与工程学院

浙江省杭州市上城区浙江工业大学朝晖校区 310014

*Email: yujingliu@zjut.edu.cn

摘要正文：

本报告将围绕高比能金属锂电池中功能复合界面的微观构效关系研究，针对界面功能复合结构的形成机理与演变规律等关键科学问题，从纳米尺度讨论并揭示金属锂二次电池中功能复合界面作用机制，展示敏感电池材料微观解析及调控的特色系列研究：1.建立了自组装单分子层构筑高稳定性锂阳极界面的普适性方法，首次发现长程有序分子还原电解质的界面催化作用，解决了电解质不可控分解的突出难题[1, 2]。2.发展了敏感高分子及金属锂界面纳米尺度可视化的表征方法，率先以实验验证了近50年的聚合物固态电解质界面结构的理论预测[3, 4]。3.提出了功能复合结构对界面的稳定机制，获得了最高循环稳定性之一的高比能金属锂电池[5]。

参考文献

1. Y. Liu, X. Tao*, et al. Science, 2022, 375, 739-745.
2. Y. Liu*, et al. Nano Lett. 2024, 25, 1266-1271.
3. Y. Liu*, et al. Adv. Mater. 2020, 32, e2000223.
4. Y. Liu *, et al. Angew. Chem. Int. Edn. 2024, 63, 202402910.
5. Y. Liu*, et al. Nat. Commun. 2020, 11, 488.

报告人/墙报展示人简介:

刘育京，浙江工业大学材料科学与工程学院副院长，教授，博士生导师，国家级青年人才，现任浙江省复合材料学会副理事长，浙江省材料研究学会理事，。主要研究方向为高比能二次电池功能复合界面的纳米尺度结构演变规律与调控机制。以第一作者/（共同）通讯作者身份在Science, Nat. Commun., Adv. Mater., Angew. Chem. Int. Ed., Acc. Chem. Res., Adv. Funct. Mater.等国际知名学术期刊上发表研究论文60余篇，共发表论文126篇，1篇入选中国百篇最具影响国际学术论文，13篇入选ESI高被引论文，被引用7000余次（Google Scholar）。主持国家自然科学基金面上、青年科学基金、浙江省重大科技专项等项目。2021年主讲的《青年科学家“跟着总书记学思维”》之创新思维，被中宣部评为全国优秀理论宣讲微视频。2020年获第五届全国高校青年教师教学竞赛工科组一等奖（全国前五名），2019年获浙江省第十一届高校青年教师教学竞赛工科组特等奖第一名，2023年获第三届全国高校教师教学创新大赛新工科正高组二等奖，2023年获浙江省第三届高校教师教学创新大赛新工科正高组特等奖。



固态电池关键材料

尉海军

¹北京工业大学，北京市朝阳区平乐园100号，100124

*Email: hj-yu@bjut.edu.cn

固态电池因其优异的安全性和高能量密度潜力，被视为下一代高性能储能技术的重要方向。其中，富锂锰基层状氧化物（Li-rich layered oxides, LLOs）凭借其高比容量、低成本和丰富的资源优势，是实现400–500 Wh/kg级能量密度的关键正极材料。同时，固态电解质作为固态电池的核心组成部分，其离子导电性、界面稳定性等关键性能直接影响电池的安全性与循环寿命。本报告将重点介绍我们在LLOs正极材料和固态电解质方向的最新研究进展，聚焦于富锂锰基正极在固态电池中的应用。报告将围绕正极材料的结构稳定性、电化学性能调控及其与固态电解质之间的协同设计展开，为高能量密度、高安全性的全固态电池发展提供理论依据与材料设计思路。

关键词：锂离子电池；富锂锰基层状氧化物；固态电解质

Key Materials for Solid-State Batteries

Haijun Yu^{1,*}

¹Beijing University of Technology, Beijing, 100124

*Email: hj-yu@bjut.edu.cn

Solid-state batteries are regarded as a promising next-generation energy storage technology due to their excellent safety and high energy density potential. Among various candidates, Li-rich layered oxides (LLOs) stand out as key cathode materials for achieving energy densities of 400–500 Wh/kg, owing to their high specific capacity, low cost, and abundant manganese resources. Solid-state electrolytes, as a core component of solid-state batteries, play a crucial role in determining the overall safety and cycling stability through their ionic conductivity and interfacial stability. This report will highlight our recent research progress on LLOs cathode materials and solid-state electrolytes, with a particular focus on the application of Li-rich Mn-based cathodes in solid-state batteries. It will cover structural stability, electrochemical performance optimization, and the integrated design of cathode–electrolyte interfaces. These studies aim to provide theoretical guidance and material design strategies for the development of high-energy-density, high-safety all-solid-state batteries.

报告人简介：

尉海军，教授，博导。教育部“长江学者奖励计划”特聘教授、国家重点研发计划项目负责人，先后入选国家千人、北京杰青和青年北京学者等人才计划、获北京青年“五四奖章”。兼任国家科技部与工信部储能与氢能领域专家、北京市科协委员、欧美同学会成员、IEEE PES储能技术委员会常务理事、国际电化学能源科学院(IAOEES)理事、中国化学学会电化学委员会委员等职。从事先进电池材料与器件研究工作17年，主持国家重点研发计划、国家自然科学基金委重大项目等30余项国家级项目，涉及先进电池材料、电池系统以及电动车应用等领域，组织并协调完成了北京2008年奥运会和北京市2009年为期一年的2辆燃料电池新能源客车运营项目，在锂/钠离子电池、固态电池及铝离子电池等方面取得系统创新性研究成果，提出“晶畴电池材料”学术思想，获全国先进储能技术挑战赛技术创意一等奖1项、北京市自然科学技术二等奖1项、中国材料研究学会科学技术二等奖1项，并实现了下一代高能锂离子电池用富锂锰基正极材料的产业化。



高安全高价离子电池关键材料的开发与应用

胡宇翔

¹北京工业大学材料科学与工程学院材料低碳循环利用国家重点实验室，

地址：北京市朝阳区平乐园100号，邮编：10024

*Email: y.hu@bjut.edu.cn

摘要正文：

本研究针对高价离子电池中高价金属离子（ Zn^{2+} 、 Al^{3+} ）强极化效应导致的动力学迟滞和结构失稳等关键科学问题，通过材料创新设计和反应机制优化取得系列突破性进展。在高熵材料体系方面，我们开发的高熵氧化物（HEOs）正极通过多金属“鸡尾酒效应”显著拓宽d能带（ 10 A g^{-1} 下 136.2 mAh g^{-1} ），其独特的晶格应变场可有效屏蔽 Zn^{2+} 静电斥力；创新设计的高熵普鲁士蓝类似物（HEPBAs）利用长程无序结构实现“晶格呼吸效应”，在 5 A g^{-1} 下循环10,000次容量保持率高达91.2%，解决了传统材料体积膨胀难题。在反应机制创新方面，基于量子限域效应开发的阴离子/阳离子共插层超晶格正极成功激活 O^{2-} 氧化还原，实现 466 Wh kg^{-1} 的高能量密度；针对 Al^{3+} 强极化特性设计的 $\text{Se}_{2.9}\text{S}_{5.1}\text{@MCNF}$ 复合正极，通过精确调控Se-S键合环境使其与 Al^{3+} 轨道匹配，显著提升了反应动力学性能。通过系统的原位表征和理论计算，我们深入揭示了高熵材料的局域应变场屏蔽机制、阴离子氧化还原的可逆反应路径以及 $\text{Se}_x\text{S}_y\text{-Al}^{3+}$ 特异性配位行为。这些创新成果不仅突破了传统电极材料的性能瓶颈，也为发展新一代高价离子电池体系（ Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）提供了重要的理论指导和技术支撑。特别值得关注的是，HEOs和HEPBAs的高熵设计策略为电极材料的结构稳定性提供了新思路，而阴离子氧化还原和界面键合工程的创新则为突破传统嵌入型电极的容量极限开辟了新途径。这些研究成果为开发高性能、长寿命的多价离子电池提供了系统的解决方案，对推动下一代储能技术的发展具有重要意义。

关键词：高价离子电池；高熵材料；阴离子氧化还原；界面键合工程

参考文献

- [1] Kai Du, Yujie Liu, Yunfei Yang, Fangyan Cui, Jinshu Wang, Mingshan Han, Jingwen Su, Jiajun Wang, Xiaopeng Han, Yuxiang Hu, *High Entropy Oxides Modulate Atomic-Level Interactions for High-Performance Aqueous Zinc-Ion Batteries*, *Adv. Mater.*, **2023**, **35**, 2301538.
- [2] Kai Du, Yujie Liu, Yiqi Zhao, Hui Li, Hexiong Liu, Chunhao Sun, Mingshan Han, Tianyi Ma, Yuxiang Hu, *High-Entropy Prussian Blue Analogues Enable Lattice Respiration for Ultrastable Aqueous Aluminum-Ion Batteries*, *Adv. Mater.*, **2024**, **36**, 2404172.
- [3] Fangyan Cui, jingzhen Li, Chen Lai, Changzhan Li, Chunhao Sun, Kai Du, Jinshu Wang, Hongyi Li, Aoming Huang, Shengjie Peng, Yuxiang Hu, *Superlattice cathodes endow cation and anion co-intercalation for high-energy density aluminium batteries*, *Nat. Commun.*, **2024**, **15**, 8108.
- [4] Linlin Li, Yanchen Ma, Fangyan Cui, Yan Li, Deshuang Yu, Xintong Lian, Yuxiang Hu, Hongyi Li, Shengjie Peng, *Novel Insight into Rechargeable Aluminum Batteries with Promising Selenium Sulfide@Carbon Nanofibers Cathode*, *Adv. Mater.*, **2023**, **35**, 2209628.

报告人/墙报展示人简介:

- 个人简介

2021.03-至今 北京工业大学材料科学与工程学院 教授（博导） 国家海外高层次人才计划

2023.12-至今 北京工业大学化学与生命科学学院 副院长 分管科研、安全等



- 国家海外高层次人才，北京市特聘专家，北京市海外人才计划；材料研究学会难熔金属分会执行秘书长；北工大高安全性金属电池创新创业实训基地负责人；北京市科协千人进千企特派员；
- 担任《真空与低温》、《eScience》、《Rare Metals》等国内外期刊编委、青年编委或客座主编，多次主办国际国内学会会议并担任主席。
- 在国际高水平期刊发表**SCI论文70余篇**，其中**第一/通讯作者28篇**，包括*Adv. Mater.* (5篇)、*Nat. Commun.* (2篇)、*Angew. Chem. Int. Ed.* (1篇)、*Adv. Energy Mater.* (2篇)、*Nano-Micro Letters* (2篇)，**被引7600余次**，H因子42，申请/授权国际国内专利20余项。
- 主持国基金面上、青年和重点研发课题和北京市重点项目等。获中国非金淑矿工业协会基础研究一等奖（排名第二）。