

论坛四十三：钠离子电池论坛

分论坛主席：俞术雷 马紫峰 胡勇胜

43-01

钠离子电池正极材料的设计与性质研究

方永进

武汉大学

钠离子电池由于资源丰富、价格低廉等特点，得到储能领域研究者的广泛关注。聚阴离子材料和氧化物材料是两类主要的正极材料。聚阴离子材料具有稳定的框架结构、较高的工作电压等特点，而氧化物材料具有高的比容量、丰富的可选体系等优势。本报告围绕聚阴离子和氧化物材料的结构调控，从材料设计制备、离子输运调控、电化学性质研究等方面展开讨论，主要包括：（1）对聚阴离子材料的结构进行分析，对影响离子扩散行为的本征原因作出阐述，并从聚阴离子材料的结构设计和表界面修饰入手，实现不同结构聚阴离子电极材料的构建；（2）对元素取代的锰基氧化物材料的阴离子氧化还原反应机制、相变过程、电化学性质、结构演化等方面进行详细探讨。

报告人简介/Biography（附个人照片）：



方永进，武汉大学化学与分子科学学院特聘研究员，博士生导师。担任 InfoMat、J. Energy Chem.、eScience、Chin. Chem. Lett.、Batteries 等杂志青年编委，研究方向为锂/钠离子电池。发表 SCI 学术论文 51 篇，被引 7200 余次，H 因子为 39，21 篇论文入选 ESI 高被引论文。以第一作者/通讯作者在 Sci. Adv.(1 篇)、Angew. Chem. Int. Ed.(8 篇)、Adv. Mater.(4 篇)、Adv. Energy Mater.(3 篇)、Chem(1 篇)、ACS Energy Lett.(1 篇)、Energy Environ. Sci.(1 篇) 等期刊发表论文 33 篇。荣获 2018 和 2020 年 J. Mater. Chem. A 杰出审稿人、2021 和 2022 年 J. Energy Chem. 杰出审稿人、2022 年科睿唯安“全球高被引科学家”、2022 年美国斯坦福大学发布的“全球前 2% 顶尖科学家”等荣誉。

43-02

低成本高电位聚阴离子型钠离子电池正极材料研究进展

陈明哲^{1,*}，俞术雷^{2,*}

1 能源与动力工程学院，南京理工大学，南京 210094

2 碳中和创新技术研究院，温州大学，温州 325035

近年来，作为电网调峰削谷的重要手段之一，大规模电化学储能越来越受到研究者的重视和广泛关注。钠离子电池因其近乎取之不尽用之不竭的钠资源，被认为是大型储能装置的最优解决方案之一。聚阴离子型正极材料与其它正极材料相比，具有循环稳定性好，热稳定性佳，充放电电位较高等优点，因此近年来受到研究者的广泛关注。但因其质量比容量较低，制约了该类材料进一步发展。基于以上科学及经济考虑，低成本、高电位聚阴离子型正极材料领域亟需系统性的研究，包括新材料和新方法的研究与开发及核心技术：（1）发现并首次报道了一种新型铁基钠离子电池聚阴离子型正极材料，丰富了该类铁基材料的化学组成；（2）在聚阴离子型/碳基复合材料微结构方面做出了创新性的工作；（3）设计和制备了具有三维离子扩散路径的高比表面的铁基聚阴离子型纳米颗粒正极材料，提出并发展了新型钠离子超快导体的新定义，扩展了该类新型钠离子超快导体的可选范围和应用前景；（4）发展了一种新型阴离子掺杂技术，丰富了钒基/钛基材料的电化学行为，大幅度提升了其现有工作电位；（5）对于钒基多电子行为在高价态条件下的可逆氧化还原反应进行了深入探究，阐明了高价态钒 电对在一定区间范围内的激发机制，实现高比能电极材料的突破。

关键词：钠离子电池；正极材料；聚阴离子；高电位；体相阴离子掺杂

参考文献：

- [1] M. Chen, W. Hua, J. Xiao *et al.*, *Nat. Commun.*, 2019, 10: 1480.
- [2] M. Chen, W. Hua, J. Xiao *et al.*, *J Am. Chem. Soc.*, 2021, 143: 18091-18102.
- [3] M. Chen, Y. Zhang, G. Xing *et al.*, *Energy Environ. Sci.*, 2021, 14: 3323-3351.
- [4] M. Chen, J. Xiao, W. Hua *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2020, 59: 12076-12083.

43-03

Zr 和 Ni 共掺杂改善锰基层状氧化物正极材料电化学性能研究

张文慧，刘海镇*，黄存可，蓝志强，郭进

广西大学物理科学与工程技术学院，广西南宁，530004

*liuhz@gxu.edu.cn

作为锂离子电池的潜在替代品，钠离子电池(SIBs)因其在成本、安全性和可持续性方面的优势受到广泛关注。然而，锰基材料存在严重的 Jahn-Teller 畸变、相变和界面不稳定，分别导致严重的结构退化、缓慢的钠扩散动力学和较差的循环性能。在本工作中，我们报道了一种高性能的锰基层状氧化物正极材料 $\text{Na}_{0.67}\text{Ni}_{0.1}\text{Zr}_{0.1}\text{Fe}_{0.2}\text{Mn}_{0.7}\text{O}_2$ (NNZFMO)，通过 Zr 和 Ni 共掺杂使该材料在 0.1C 下可提供 161.6mAh/g 的高容量，在 100 个循环内的容量保持率

为 85.7%。结合非原位 XRD 和 EDS 能谱结果，详细解释了 Zr/Ni 掺杂在高电压循环下的改性机理。因此，这种 Zr/Ni 协同掺杂策略为设计高性能的层状氧化物正极材料提供了一种有效且简单的方法。

关键词：锂离子电池；锰基层状氧化物；Zr/Ni 共掺杂

43-04

粉末冶金方法构筑高性能的钠离子电池磷基负极材料

报告人：李维杰

单位：中南大学

高性能的储能系统是实现可再生能源和电动汽车的应用的关键核心系统，目前已经成为限制这两个领域发展的瓶颈。钠离子电池因价格便宜的、资源分布广泛成为目前储能领域的研究热点。虽然，钠离子电池与锂离子电池有着相似的储能机理，但是有些锂电池中的电极材料在钠离子电池中性能极差。例如，商业锂电池负极材料-石墨，在钠离子电池中的比容量非常小 ($\sim 30 \text{ mAh g}^{-1}$)。因此，研发新型的具有高容量的钠离子负极材料显得尤为关键。红磷因其能传输较高的容量 ($\sim 2600 \text{ mAh g}^{-1}$)、价格便宜、环保而被认为是具有商业研发前景的负极材料之一。磷基材料在充放电时，由于存在 $\text{P-Na}_3\text{P}$ 的物相转换，其经历了严重的体积膨胀-收缩过程并产生巨大的应力，出现了材料的粉化及结构破坏。结果磷基电极材料失去电化学活性，从而表现出较差的循环稳定性。如何改善磷基材料的循环性能，且可以适用大量生产需求，是科研工作者亟待解决的问题之一。球磨是粉末冶金方法中一种常用的合成手段，具有制粉产量大，工艺简单的特点，且能制备一些常规方法能合成的化合物材料。因此，利用粉末冶金球磨法可制备难加工的材料的特点，可以制备一系列的不同成分、结构的磷基化合物，研发可产业化的钠离子电池的磷基负极材料。

43-05

NASICON 型钠离子电池正极材料设计

周亮*，麦立强*

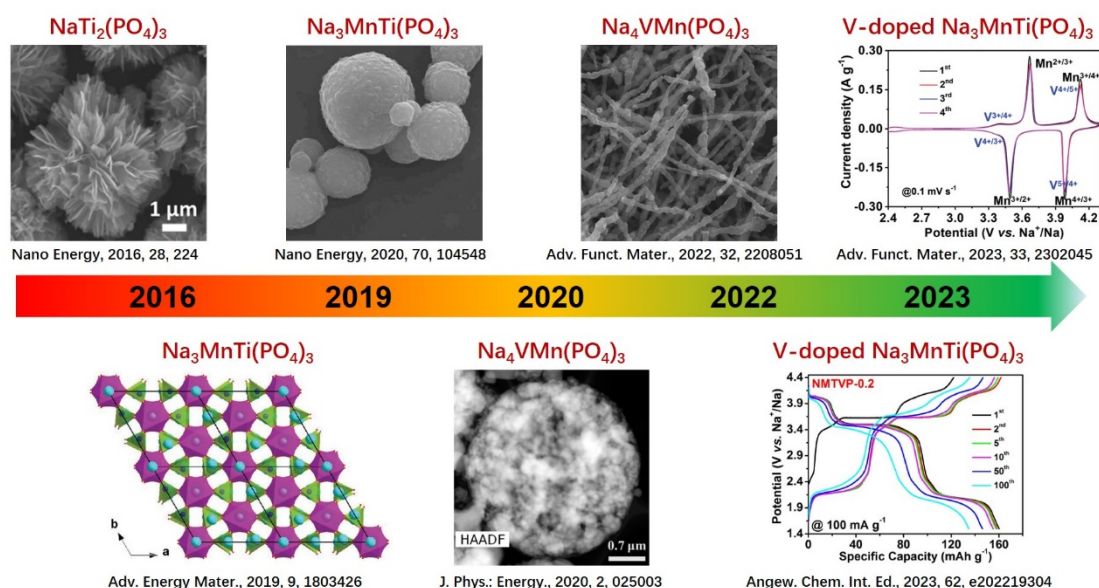
武汉理工大学 材料复合新技术国家重点实验室

钠离子电池在分布式储能、储能电站、低速电动车等领域具有非常广阔的应用前景，也是实现我国碳达峰、碳中和目标的关键支撑。钠快离子导体 (NASICON) 材料具有成本低、骨架稳定性好、钠离子扩散速率快、循环稳定性好、工作电位高等优点，是一类具有广阔应用前景的钠离子电池正极材料。然而 NASICON 型正极材料的导电性较低、容量较低、能量密

度不高。

针对 NASICON 型正极材料容量低、能量密度低的瓶颈，我们设计了一系列具有多电子氧化还原特性的 MnTiV 基 NASICON 材料。通过电化学窗口调控，我们实现了 NASICON 型 $\text{Na}_3\text{MnTi}(\text{PO}_4)_3$ 高度可逆的三电子氧化还原反应。通过进一步的 V 掺杂，我们设计了具有可逆 3.2 电子氧化还原的 NASICON 型 $\text{Na}_{3.2}\text{MnTi}_{0.8}\text{V}_{0.2}(\text{PO}_4)_3$ 。通过进一步在材料中引入高导电性碳纳米管和电解液优化，我们实现了 V 掺杂 $\text{Na}_3\text{MnTi}(\text{PO}_4)_3$ 优异的循环稳定性。

NASICON型磷酸盐钠离子电池正极材料



关键词：钠离子电池；正极材料；钠快离子导体；磷酸盐；聚阴离子化合物

参考文献：

- [1] Zhu T., Zhou L.,* Mai L. Q.,* *et al.*, *Adv. Energy Mater.*, 2019, 9, 1803436.
- [2] Zhu T., Zhou L.,* *et al.*, *Nano Energy*, 2020, 70, 104548.
- [3] Hu P., Zhou L.,* Fan H. J.,* *et al.*, *Adv. Funct. Mater.*, 2022, 32, 2208051.
- [4] Hu P. Zhu T.,* Mai L. Q.,* Zhou L.,* *Adv. Funct. Mater.*, 2023, 33, 2302045.
- [5] Hu P. Mai L. Q.,* Zhou L.,* *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2023, 62, e202219304.

43-06

面向高性能水系钠离子电池的空心 $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3@\text{C}$ 纳米立方体负极材料的制备

报告人：陈立锋（中国科学技术大学）

摘要：

水性可充电钠离子电池（ARSIB）由于其低成本、安全性和环保性被认为是大规模储能

应用中最有希望的候选者。然而，ARSIB 较差的循环寿命和较低的能量密度阻碍了其实际应用。鉴于此，我们通过一种简便、低成本和大规模的水热方法设计并制备中空 $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3$ 纳米立方体负极材料。通过在深共晶电解质中锌金属诱导负极预钠化来补偿钠离子，作为正极材料的 $\text{Na}_{0.44}\text{MnO}_2$ 具有高达 75.16 mAh g^{-1} 的比容量，该碳包裹 $\text{NaTi}_2(\text{PO}_4)_3$ 中空结构纳米立方体显示很好的稳定性和倍率性能。当正极和负极耦合时，该深共晶电解质体系 ARSIB 表现出高达 3500 次循环的超长循环寿命（容量保持率为 90%）、 50.0 Wh kg^{-1} 的超高能量密度和优异的倍率性能（最大功率密度为 1500 W kg^{-1} ）。这种 ARSIB 代表了一种可望用于大规模电化学储能领域的新器件。

43-07

锂/钠离子电池亚稳态新材料的超快制备

Ultrafast Micro/Nano-manufacturing of Metastable Matter for Lithium/Sodium-ion batteries

陈亚楠/Yanan Chen*

天津大学/Tianjin University *yananchen@tju.edu.cn

报告摘要/Abstract:

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，及其在锂/钠离子电池方面的应用研究。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。

报告人简介/Biography（附个人照片）：



陈亚楠，天津大学博士生导师，清华大学“卓越学者”。主要从事新材料制备及其在新能源领域的应用，研究兴趣包括：高温热冲击技术(HTS)、微纳米材料超快速合成（微纳米制造）、亚稳态材料结构调控及宏量制备、能源存储（锂/钠离子电池）。现已在Nature Energy、Nature Comm.(2)、Adv.Mater.(6)、JACS(3)、Angew.Chem.等高影响力期刊上发表研究论文100余篇，论文引用7000余次。研究成果多次被光明网，光明日报，人民日报，中宏网，科技日报，China Daily等媒体报道。主编中文专著《微纳新

能源材料超快速制备》，主编英文专著《High Temperature Shock Technology》。授权国家发明专利、美国发明专利10余项，专利转化多项（转化金额400万）。承担国家科技基金173计划，重大研究计划培育，国家自然科学基金面上项目，中国科协青年人才托举项目，天津市重点项目，天津市青年人才托举项目，企业产学研项目等多项课题。担任中国科协海智计划特聘专家，中国材料研究学会理事，常务副秘书长；中国科技期刊卓越行动计划SCI期刊Progress in Natural Science-Materials International 常务副主编，中国科技期刊卓越行动计划高起点新刊IntelliSys副主编。

参考文献/Reference:

- [1] **Chen, Y. et al**, Ultra-fast self-assembly and stabilization of reactive nanoparticles in reduced graphene oxide, **Nature Communications**, 2016.
- [2] **Chen, Y.* et al**, Ultra-fast non-equilibrium synthesis of cathode materials for Li-ion batteries. **Advanced Materials**, 2022.

43-08

钠离子电池关键正极材料

纪效波*

中南大学 *xji@csu.edu.cn

报告摘要/Abstract:

近些年来，钠离子电池作为锂离子电池的补充品甚至是替代品而受到广泛关注。其中，层状氧化物正极由于具有较高的能量密度和简单的合成工艺被寄予厚望。P2-Na_{2/3}Ni_{1/3}Mn_{2/3}O₂是一种典型的钠离子层状氧化物正极，在较宽电压下（2-4.5V）能提供超过160mAh/g的比容量，但是在钠离子脱嵌的过程中发生P2-O2的相变、Na⁺/空位有序化和高电压下晶格氧反应释放，导致材料拥有较差的循环和倍率性能。在此，我们提出非活性Zn²⁺/Ti⁴⁺离子掺杂策略，Zn²⁺稳定材料结构，Ti⁴⁺平滑电化学曲线并提供高氧化还原电位。原位XRD结果显示Zn²⁺/Ti⁴⁺掺杂后，将体积变化大的P2-O2相变转换成合适的P2-‘Z’相，稳定了结构。对循环前后的材料进行同步辐射软线测试，结果发现空白样品Mn的价态明显降低，这与氧气释放与电解液界面的剧烈反应有关，而Zn²⁺/Ti⁴⁺离子掺杂后Mn的价态变化不大，说明其抑制了晶格氧反应。因此，经过Zn²⁺/Ti⁴⁺掺杂后正极在2.6-4.3V电压区间内能提供107mAh/g的可逆容量，3.62V的高工作电压，优异的循环稳定性（1C倍率240次循环后容量保持率为85.5%）。本工作提供了一种通过掺杂非活性功能化离子来合理设计正极材料以提高钠离子电池性能途径。

报告人简介/Biography（附个人照片）：

纪效波，中南大学化学化工学院副院长、教授、博士生导师，国家优秀青年基金获得者、教育部青年长江学者、科睿唯安全球高被引学者。长期从事钠离子电池基础及应用研究，在Advanced Materials、Angewandte Chemie等国际期刊上发表380余篇SCI论文，他引共计29000余次，H指数为92；获授权中国发明专利65项。担任国际期刊Electrochemistry Communications副编辑、中国有色金属学会冶金物理化学委员会秘书长。主持国家重点研发计划课题、国家自然科学基金等国家级项目6项。曾获湖南省自然科学一等奖（1/6）、全国有色金属优秀青年科技奖、湖南省青年科技奖、湖南省优秀研究生导师、宝钢优秀教师奖、中国有色金属工业科学技术奖一等奖（5/16）、湖南省科学技术创新团队奖（7/15）。

参考文献/Reference：

- [1] Origin of fast capacity decay in Fe-Mn based sodium layered oxides, *Advanced Functional Materials*, 2022, 2212685.
- [2] Orthorhombic $\text{Na}_{2/3}\text{Cu}_{0.1}\text{Mn}_{0.9}\text{O}_2$ cathode: Enhanced Na storage performances with the suppressed Mn-O bond anisotropy, *Chemical Engineering Journal*, 2023, 460, 141744.
- [3] Cationic-potential tuned biphasic layered cathodes for stable desodiation/sodiation, *Science Bulletin*, 2022, 67, 1589.
- [4] Cu-substitution $\text{P2-Na}_{0.66}\text{Mn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}_2$ sodium-ion cathode with enhanced interlayer stability, *Journal of Energy Chemistry*, 2022, 75, 478.
- [5] Reversible OP4 phase in $\text{P2-Na}_{2/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{2/3}\text{O}_2$ sodium ion cathode, *Journal of Power Sources*, 2021, 508, 230324-230334.

43-09**高性能钠离子电池层状氧化物正极的结构调控与性能优化**

刘军*

华南理工大学 材料科学与工程学院, 广东省广州市天河区五山路 381 号, 510641,

*Email: msjliu@scut.edu.cn

钠离子电池相比锂离子电池具有成本低、低温性能好、安全性高等突出优势，在大规模

储能、低速电动车等方面具有重大发展潜力 1-3。开发低成本、长寿命、高比容正极材料是实现钠离子电池规模应用的关键 4。作为一类重要应用前景的正极材料，P2 和 O3 层状氧化物正极材料在循环过程中，随着钠离子的嵌入与脱出，其层状结构会发生滑移，导致相结构的转变。相变的发生通常会导致晶格内应力的产生，进而导致结构的崩塌，正极材料性能急剧下降 5。我们从结构设计角度出发，根据不同相结构的层状氧化物正极材料的特性，设计并合成适合不同应用场景（高容量、高倍率、高工作电压等）的单相或者多相层状氧化物正极材料，重点研究这类材料微观结构对材料性能的影响。通过不同的方法设计具有不同微观结构的层状氧化物正极材料，同时利用不同元素对材料体相或者表面进行改性，探究不同微观结构和元素对层状氧化物离子传输、结构稳定性、氧化还原活性、工作电压等性能的影响，实现具有高能量密度和长循环稳定性的钠离子电池层状氧化物正极材料的设计和合成 6-9。

参考文献/Reference:

- [1] Z. Liu, X. Xu, S. Ji, L. Zeng, D. Zhang, J. Liu, *Chem. Eur. J.* 2020, 26, 7747.
- [2] S. Osman, C. Peng, F. Li, H. Chen, J. Shen, Z. Zhong, W. Huang, D. Xue, J. Liu, *Adv. Sci.* 2022, 9, 2205575.
- [3] S. Osman, C. Peng, J. Shen, F. Li, W. Huang, J. Liu, J. W. Liu, D. Xue, M. Zhu, *Nano Energy* 2022, 100, 107481.
- [4] C. Peng, X. Xu, F. Li, L. Xi, J. Zeng, X. Song, X. Wan, J. Zhao, J. Liu, *Small Structures*. 2023, 10.1002/ssstr.202300150.
- [5] Z. Liu, J. Liu, *ChemNanoMat* 2022, 8, e202100385.
- [6] Z. Liu, C. Zhou, J. Liu, L. Yang, J. Liu, M. Zhu, *Chem. Eng. J.* 2022, 431, 134273.
- [7] Z. Liu, J. Shen, S. Feng, F. Li, Y. Zhu, M. Gu, Q. Liu, J. Liu, M. Zhu, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2021, 60, 20960.
- [8] Z. Liu, J. Wu, F. Li, C. Peng, D. Xue, M. Zhu, J. Liu, *Adv. Energy Mater.* 2023, 13, 2301471.
- [9] Z. Liu, C. Peng, J. Wu, T. Yang, J. Zeng, F. Li, A. Kucernak, D. Xue, Q. Liu, M. Zhu, J. Liu, *Mater. Today*, 2023, 10.1016/j.mattod.2023.06.021.

43-10

钠基层状复合结构正极材料的物相调控与储能机制

王鹏飞, 教授/首席科学家, 15600625308, pfwang@xjtu.edu.cn

西安交通大学/江苏聚峰新能源科技有限公司

近年来钠离子电池由于分布广泛的钠资源和低成本钠盐的显著优势,有望在低速电动工具、储能电站等领域实现广泛应用。作为限制钠离子电池能量密度的关键部件,高比能正极材料的研发极为重要。层状氧化物正极材料比能量高、制备工艺简单、环境友好,是目前最有希望实现商业化的一类正极材料。层状氧化物材料结构化学复杂,P2 相材料具有高电压特点,而 O3 相具有高容量的优势。目前层状正极材料体系普遍面临能量密度与循环寿命不兼容的难题。本报告主要围绕钠离子电池层状氧化物复合结构正极材料的热力学物相调控与电化学反应机理科学问题展开,研究复合结构正极材料体系电化学反应过程中的储能机制,致力于实现高比能、高安全、高稳定的层状正极材料的商业化应用。

王鹏飞,西安交通大学电气学院教授/博士生导师,江苏聚峰新能源科技有限公司首席科学家,国家级/陕西省青年人才,西安交通大学青年拔尖人才/思源学者。近年来一直致力于钠离子电池高比能层状正极材料领域研究,主持/参与过美国能源部、美国能源高级研究计划局、国家重点研发计划重点专项、国家自然科学基金、国家电网指南项目以及企业委托横向课题项目。迄今为止在 Science、Chem. Soc. Rev.、Nat. Energy、Sci. Adv.、Nat. Commun.、J. Am. Chem. Soc.、Angew. Chem. Int. Ed.、Adv. Mater. 等国际知名期刊上发表 SCI 论文 80 余篇,20 篇 ESI 高被引论文,发表论文被他人正面引用 8000 余次,H 因子 45,授权中国发明专利多项。

43-11

高性能钠金属电池的界面调控

王官耀², 朱铭², 黄中依², 吴超^{1, 2*}

¹ 上海理工大学,上海市杨浦区军工路 516 号,200093

² 上海大学,上海市宝山区上大路 99 号,200444

*Email: chaowu@usst.edu.cn

金属钠(Na)具有理论容量大、电化学氧化还原电位低的优点,被认为是大型储能系统中很有前途的负极候选材料。然而,钠金属负极存在枝晶生长以及与电解质之间发生严重的寄生反应等问题,极大地阻碍了其实际应用。为了解决上述极具挑战性的问题,我们开发了一系列面向高性能钠金属电池的界面调控策略,包括人工 SEI 层、电解质改性、有机硫添加剂和纳米结构成核层。例如,有机硫化物添加剂(四甲基硫脲二硫化物 TMTD)提供了一种简单而有前途的方法来克服碳酸酯类电解质中所面临的上述挑战。这种独特的有机硫添加剂可在循环过程中在金属钠表面原位形成富含有机硫化物盐的稳定界面保护层,从而实现高度稳定的电镀/剥离循环。由精心设计的核壳 C@Sb 纳米颗粒(NPs)组成的成核缓冲层使金属钠的电

化学沉积均匀，并能长期循环。这些 C@Sb NPs 可以通过 Sb-Na 合金核增加初始钠成核的活性位点，并通过碳壳保持这些核的稳定。具有该成核层的组装电池可以在 4 mA h cm^{-2} 的高容量下连续重复电镀/剥离循环近 6000 h，平均库仑效率高达 99.7%。这些新的界面调控策略为稳定具有目标性能的钠金属电池开辟了一条有前途的途径。

关键词:Na 金属负极，无枝晶钠沉积，电解质改性，添加剂，成核界面层。

参考文献:

1. Zhu, M.; Zhang, Y.; Yu, F.; Huang, Z.; Zhang, Y.; Li, L.; Wang, G.; Wen, L.; Liu, H. K.; Dou, S.-X.; Wu, C., 2021, 21, 619.
2. Wang, G.; Zhang, Y.; Guo, B.; Tang, L.; Xu, G.; Zhang, Y.; Wu, M.; Liu, H.-K.; Dou, S.-X.; Wu, C., 2020, 20, 4464.
3. Wang, G.; Yu, F.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Zhu, M.; Xu, G.; Wu, M.; Liu, H.-K.; Dou, S.-X.; Wu, C., Nano Energy 2021, 79. 105457.
4. Zhu, M.; Li, L.; Zhang, Y.; Wu, K.; Yu, F.; Huang, Z.; Wang, G.; Li, J.; Wen, L.; Liu, H.-K.; Dou, S.-X.; Yu, Y.; Wu, C., 2021, 42, 145.
5. Zhu, M.; Wang, G.; Liu, X.; Guo, B.; Xu, G.; Huang, Z.; Wu, M.; Liu, H.-K.; Dou, S.-X.; Wu, C., Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 659.

43-12

先进钠离子电池层状正极材料研究

郭少华

南京大学固体微结构物理国家重点实验室，

南京大学现代工程与应用科学学院，南京大学深圳研究院

E-mail: shguo@nju.edu.cn

传统二次电池正极通过过渡金属阳离子的氧化还原进行电荷补偿，其工作电压和能量密度受限于过渡金属离子的氧化还原电势和电荷转移数目。针对大尺寸钠离子嵌入反应所造成的反应活性不足的问题，报告人围绕钠离子电池层状正极的氧化还原机制和晶体结构演化规律开展了创新性研究。（1）提出了阴阳离子协同氧化还原，提高了嵌钠反应活性，得到了高比能量的嵌钠反应体系；（2）研究了元素掺杂与阴离子氧化还原反应稳定性的构效关系，在兼顾阴离子氧化还原活性的同时，发展了高稳定性的嵌钠反应体系。通过电化学光谱技术

以及第一性原理计算等手段，发现了嵌钠反应中氧氧键的形成。该新机制丰富了氧化物材料的插层化学，为高比能钠离子电池的设计提供了新思路。

个人代表性成果或参考文献：

1. S Chu, S Guo* et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, 62, e202216174.
2. J Tian, S Guo*, et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, DOI: 0.1002/anie.202310894.
3. Y Sun, S Guo*, et al., *Energy Environ. Sci.*, **2023**, DOI: 10.1039/x0xx00000x.
4. R Hou, S Guo*, et al., *Adv. Energy Mater.* **2023**, 2300053.
5. H Xu, S Guo*, et al., *Adv. Funct. Mater.* **2020**, 2005164.



郭少华，南京大学教授、博士生导师，国家重大人才工程青年学者、国家重点研发计划青年首席科学家。研究方向为能源材料与能源化学，以第一或通讯作者发表 SCI 论文50余篇，包括Nature Communications、Angewandte Chemie International Edition、Advanced Materials、Joule等。

43-13

低成本钠离子电池用关键电极材料的构筑及器件性能优化

彭波 1，王丰 2，章根强 2

1 安徽工业大学材料科学与工程学院，安徽马鞍山, 243032

2 中国科学技术大学材料科学与工程系，安徽合肥, 230026

pengbo@ahut.edu.cn

由于具有较高的能量密度、良好的高低温性能、价格低廉等优点，钠离子电池被认为是大规模储能设备的理想选择。因为具有高比容量、高能量密度以及成本低的优势，锰基层状氧化物正极（ $\text{P2-Na}_x\text{MnO}_2$ 和 $\text{O3-NaNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ ）作为潜在地实用型钠离子电池正极材料已被广泛研究。然而， $\text{P2-Na}_x\text{MnO}_2$ 存在的 P2-O2 以及 P2-P2' 相变、低 $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ 氧化还原电势、 Mn^{3+} 的 Jahn-Teller 畸变和歧化反应、以及“缺陷相”行为，严重阻碍了其实际应用。而对于 $\text{O3-NaNi}_{0.5}\text{Mn}_{0.5}\text{O}_2$ 正极，同样面临着复杂相结构转变以及低的钠离子扩散动力学。基于此，我们通过构建几种离子掺杂改性策略以及复合结构电极材料，获得了电化学性能的

提升，同时揭示了其相关的结构-性能关系。针对层状正极存在的低扩散动力学，通过晶面设计策略，同步提升了其振实密度和扩散动力学。

关键词：钠离子电池；层状氧化物；离子掺杂；复合结构；晶面设计

参考文献：

[1] B. Peng, G. L. Wan, N. Ahmad, *et al.*, *Advanced Energy Materials*, 2023, 13, 2300334.

[2] F. Wang, B. Peng, S. Zeng, *et al.*, *Advanced Functional Materials*, 2022, 32, 2202665.

[3] B. Peng, Y. X. Chen, L. P. Zhao, *et al.*, *Energy Storage Materials*, 2023, 56, 631-641.

[4] B. Peng, Z. H. Zhou, J. Xu, *et al.*, *ACS Materials Letters*, 2023, 5, 2233-2242.

43-14

高倍率耐低温钠离子电池电极材料

赵玉峰*, 石钦昊, 殷秀平, 陆峙秀

上海大学可持续能源研究院

*yufengzhao@shu.edu.cn

报告摘要/Abstract:

摘要正文：钠离子电池因成本优势、低温性能优势等在大规模储能领域被寄予厚望，但其低温和高倍率性能低于预期。本文分别针对具有产业化前景的层状氧化物正极材料、硬碳负极材料、磷化物负极材料等，通过体相结构及表界面结构调控，实现了正负极材料的倍率性能和循环稳定性得到大幅提高。基于微量 Nb 掺杂的层状正极材料的半电池在室温下倍率性能高达 50 C，在低温（-40 °C）容量保持率达室温的 98%，可以稳定循环 1800 次。与现有文献不同，该工作发现 P2 型层状材料的超高倍率和低温性能，并不总是需要依靠全固溶反应来实现。这一发现可以在构筑层状材料的时候保持高的充放电平台，从而提升在提升倍率性能的同时，无需牺牲全电池的能量密度^[1]。硬碳负极材料低温（-40 °C）容量可达 443 mAh/g，室温倍率可达 117C^[2-3]。

报告人简介/Biography（附个人照片）：



赵玉峰，上海大学理学院/可持续能源研究院教授、博士生导师，英国皇家化学会会士(FRSC)。研究领域：新能源材料与器件，包括钠离子电池、氢能的制备及应用、金属空气电池等。主持河北省杰出青年基金、国家自然科学基金、上海大学高层次人才启动经费、上

海市科委“创新行动计划”高新技术领域专题、河北省高校百名优秀创新人才支持计划等多项科技项目等科技项目。获河北省自然科学一等奖、Nano Research新锐青年科学家奖。迄今为止在Nature Comm、Adv Mater、Angew Chem、Energy Environ Sci等期刊发表论文170余篇，申请国家发明专利30余项。现任国际电化学能源科学院理事、上海市新能源地标委员会委员、中国有色金属学会第八届稀有金属冶金学术委员会委员、中国储能与动力电池及其材料专业委员会委员、上海市氢能和燃料电池创新团队骨干、上海市新一代智能运载装备动力电池氢能燃料电池创新团队骨干、Arab Journal for Basic and Applied Sciences 编辑、Frontiers in Energy Research编辑、Rare Metals编委、《矿物冶金材料学报英文版》青年编委、中国化学学会会员、中国化工学会会员，国家自然科学基金、澳大利亚ARC基金通讯评审专家等。

参考文献/Reference:

- [1] Yufeng Zhao* et al, Zinc Single-Atom Regulated Hard Carbons for High Rate and Low Temperature Sodium Ion Batteries, *Advanced Materials*, **2023**, DOI:10.1002/adma.202211461. (IF: 30.845, 一区)
- [2] Yufeng Zhao* et al., A Stress Self-Adaptive Structure to Suppress the Chemo-mechanical Degradation for High Rate and Ultralong Cycle Life Sodium Ion Batteries, *Angewandte Chemie International Edition*, **2023**, DOI:10.1002/anie.202303875.
- [3] Yufeng Zhao* et al., Niobium-doped layered cathode material for high-power and low-temperature sodium-ion batteries, *Nature Communications*, **2022**, 13:3205.

43-15

先进电子显微学方法及其在功能材料原子尺度结构研究中的应用

王毅*

南京航空航天大学，分析测试中心

Email:wang.yi@nuaa.edu.cn

材料的微观结构决定了材料的物性，材料的微观结构是由原子空间排列所决定的。研究材料的原子占位、原子键合、以及电子结构是理解固体材料物理、化学性质及其性能调控的关键。不断提高原子分辨像的测量精准度和电子能量损失谱的空间、能量分辨率，拓展电镜功能以获取更丰富的材料物性信息是透射电子显微学的研究热点，也是电子显微学家和工程师孜孜不倦的追求。在本报告中，我将介绍我们课题组在发展具有皮米精度的 STEM 量化分

析技术、原子分辨的元素和电子结构分析技术及其在功能材料和纳米能源材料中的应用探索。

关键词：STEM, 4D-STEM, EELS

报告人简介：

王毅，南京航空航天大学教授、博导，分析测试中心主任，航空航天结构力学及控制全国重点实验室固定研究人员。入选国家优秀青年科学基金(海外)和江苏省特聘教授。2012年毕业于法国国家科学研究中心-下诺曼底卡昂大学获凝聚态物理博士学位。2013-2021 在德国马普固态研究所从事透射电子显微学研究，历任博士后、终身职位研究员、高级研究员、课题组组长。研究方向为球差校正(扫描)透射电子显微镜、电子能量损失谱、4D-STEM 等技术开发，及其在功能材料中的应用。在 Nature Materials, Ultramicroscopy 等材料、电镜领域顶级期刊发表论文 100 余篇。

43-16

面向 200Wh/kg 的全固态钠电池关键材料与界面设计

薄首行^{1,*}

1 溥渊未来技术学院未来电池研究中心，上海交通大学，上海 200240

全固态钠电池是一种低成本、高能量密度的潜在新型储能科技。然而，其发展仍然受限于钠离子固态电解质的稀缺以及电极-电解质，电解质-导电剂的界面不稳定性。结合理论计算与实验合成、表征，我们近期对一系列钠离子固态电解质以及正极-电解质，钠金属-电解质界面进行了系统研究。我们论述了在电解质分解以及电极电解质界面反应中热力学与动力学之间的竞争模式，并开展了空间分辨的界面化学表征。由此，我们提出了反向设计固态电池界面的新策略，用以实现钠金属的稳定循环，为实现 200Wh/kg 的全固态钠电池提供重要科学支撑。

关键词：全固态钠电池；界面力电耦合；

参考文献：

- [1] S.-H. Bo *et al.*, Science Bulletin 2022, 67, 2149.
- [2] S.-H. Bo *et al.*, Joule 2019, 3, 1037.
- [3] S.-H. Bo *et al.*, Energy & Environmental Science 2017, 10, 1150.

43-17

氟化物电池体系和关键材料

李驰麟

中国科学院上海硅酸盐研究所 chilinli@mail.sic.ac.cn

李驰麟团队长期致力于新型氟基电池体系和材料的研发工作,提出热致氧自掺杂的结构优化方法和构建固液氟转换通道的策略,制备出能量密度可达 1100 Wh/kg 的氟基正极(Sci. Adv. 7, eabj1491, 2021);提出“共晶合金诱导固固对流”和“液态金属碎化钝化层”模式改性 LLZO/Li 界面的策略,首次构建出长寿命的陶瓷基锂氟转换固态电池(Nat. Commun. 11, 3716, 2020; ACS Energy Lett. 5, 1167, 2020);进而,提出“原位气体清洗-去垢”和“可合金粘流体焊接”的策略,使陶瓷基 Li/FeF₃ 和 Li/CuF₂ 固态电池表现高转换反应容量和倍率性能(Mater. Today 61, 65, 2022; Adv. Funct. Mater. 2208013, 2022)。率先研制出聚合增强型的锂氟转换全固态电池,提出对聚合物电解质和转换正极的双重氟化策略,构建出大尺寸软包型的固态 Li/FeF₃ 电池,其正极能量密度可达 1308 Wh/kg (Nat. Commun. 13, 7914, 2022; Sci. Bull. 66, 694, 2021)。另外,设计了一种基于层状结构固态电解质(KSn₂F₅)和界面改性策略的近室温固态氟离子电池,其初始放电容量达到 442 mAh/g (Adv. Energy Mater. 2203168, 2023)。

43-18

储钾负极材料与原位电镜解析

张桥保^{1*}, 彭栋梁¹

1. 厦门大学材料学院, 厦门 361005;

*zhangqiaobao@xmu.edu.cn

摘要:

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。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;特别是采用先进原位表征手段精准解析电极材料在工况下的动态演化行为与劣化失效机制,从而在更深层次上理解电池中各类构效关系和电化学反应机制,为电极材料和化学电源的设计与优化提供科学依据。

本报告将重点针对储钾关键负极材料在工况下的微观结构动态演化与宏观电化学性能间的构效机制这一关键科学问题,以原位电镜为研究手段,结合理论模拟,深入解析关键电极材料在工况下化学、物理特性的动态演化机制,阐明材料微观结构与宏观电化学性能间的

构效关系，进而“自下而上”地指导多种高性能复合负极材料的构筑，以期为解决目前钾离子电池中存在的瓶颈问题提供新的研究思路。

关键词：储钾负极材料；构效关系；原位透射电镜

报告人简介：



张桥保，厦门大学材料学院教授/嘉庚创新实验室荣誉研究员，国家优秀青年科学基金获得者。长期从事高比能二次电池关键电极材料的设计优化，固态电池及其储能过程中的构效关系解析的基础科学和应用研究。共发表 SCI 学术论文 170 余篇，总引 12000 余次，H 因子 58。以第一或通讯作者（含共同）在 Chem. Soc. Rev., Prog. Mater. Sci., Adv. Mater., Nat. Commun., Energy Environ. Sci., Angew Chem Int Ed.,等重要学术期刊上发表论文 100 余篇。现担任中国材料研究学会青年工作委员会理事，中国电池工业协会新材料分会理事，中国颗粒学会青年理事和国际先进材料协会会士 (Fellow of IAAM); Chin.Chem.Lett. 副主编, Interdisciplinary Materials 和 Rare Metals 学术编辑, J Energy Chem、Rare Metals、储能科学与技术杂志编委, Batteries 杂志顾问编委, InfoMat、e-Science、SmartMat、Nano Research、物理化学学报等杂志青年编委及客座编辑。主持或参与国家自然科学基金重点/优青/面上/青年项目和科技部国家重点研发计划课题等项目。曾获 2023 年柳玉滨青年科研奖 (一等奖), 2022 国际先进材料协会科学家奖 (IAAM Scientist Medal), 2020 中国新锐科技人物卓越影响奖, J. Mater. Chem.A 期刊新锐研究者和福建省高等教育教学成果一等奖等奖项。主编书籍【电池材料—合成、表征与应用 (化学工业出版社)】

43-19

层状氧化物正极材料的储钠性能研究

章根强 中国科学技术大学材料科学与工程系，安徽合肥，230026

*gqzhangmse@ustc.edu.cn

钠离子电池正极材料中，P2 相锰基层状氧化物被寄予厚望。但这类材料也面临着一系列的科学问题：（1）复杂的相结构转变，结构退化；（2）缓慢的钠离子扩散动力学；（3）严重的界面副反应和界面重构；（4）Mn³⁺的姜-泰勒效应；（5）Mn³⁺歧化反应造成的过渡金属

溶解；(6) 首次充放电过程中的缺陷相行为。针对上述问题，我们开展了一系列工作以改善P2 相锰基正极材料的电化学性能。特别关注形貌调控、离子掺杂以及双调控改性手段进行设计，获得了显著改善的电化学性能，基于上述研究基础，我们创新性的开发了一种钠层和碱金属层双位点掺杂的层状氧化物正极材料，提升了该类正极在钠脱嵌过程中的结构稳定性，实现了其长循环寿命。

参考文献：

- [1]. B. Peng, G. Q. Zhang^{*} *et al. Adv. Mater.* 2022, 34, 2103210.
- [2]. F. Wang⁺, B. Peng⁺, G. Q. Zhang^{*} *et al. Adv. Funct. Mater.* 2022, 32, 2202665.
- [3]. B. Peng, G. Q. Zhang^{*} *et al. Energy Storage Mater.* 2021, 35, 620-629.
- [4]. B. Peng, G. Q. Zhang^{*} *et al. Batteries & Supercaps* 2020, 3, 147 –154.
- [5]. B. Peng, G. Q. Zhang^{*} *et al. Batteries & Supercaps* 2021, 4, 456 –463.
- [6]. G. L. Wang, G. Q. Zhang^{*} *et al. Susmat* 2022, Accept.

43-20

新型钠离子电池层状正极材料设计及其储钠机理

周永宁*

复旦大学材料科学系 *ynzhou@fudan.edu.cn

报告摘要：

自上世纪90年代起，移动电子设备和新能源汽车的迅猛发展促进了锂离子电池的大规模应用。然而，受到全球有限锂资源的影响，锂离子电池原材料的成本逐年升高，发展新型二次电池势在必行。近年来，钠离子电池由于其具有与锂离子电池相似的工作机制和电化学性能，成为储能领域一个新的研究热点。钠元素在地球上的含量比锂元素高3个数量级，原材料成本低廉，钠离子电池有望将来在大规模储能领域实现应用。本报告将介绍我们课题组近期设计开发的一系列新型层状结构钠离子电池正极材料，着重讨论这些材料的设计思路，及其在充放电过程中的相变行为和电荷补偿机制与其电化学行为特征之间的关系，并对钠离子电池正极材料未来的发展方向做出展望。

43-21

固态钠电池充放电机理及失效机制的原位研究

唐永福

燕山大学 环境与化学工程学院

tangyongfu@ysu.edu.cn

锂离子电池已经在消费电池、动力电池、分布式储能及大规模储能领域广泛应用。锂资源不足及价格快速增长影响了锂离子电池的进一步规模化应用。相比而言，钠资源丰富，价格低廉使得钠电池的研究近年也收到广泛关注。采用金属钠负极的固态钠电池采用固态电解质，有望避免液态电池易燃易爆等问题，并具有高理论能量密度，是未来最有希望的高比能电池技术之一。目前固态钠电池应用还面临负极枝晶生长、空气正极、硫正极反应动力学慢等诸多问题。探究固态钠电池负极枝晶界面枝晶形成、充放电机理及正负极界面力-电-热-化学失效机制对于设计高性能固态钠电池具有重要意义。

报告基于原位透射电镜、原位扫描电镜、原位光学显微镜、冷冻电镜等表征技术，研究了钠枝晶的形成机理、负极界面演变的力、电、热、化学特性及失效机制[1-2]，以及空气正极、硫正极的充放电机理与失效机制，并根据正负极充放电及界面失效机制提出合适的性能提升和界面稳定化策略[3-5]，为固态电池金属钠负极的保护、正负极界面稳定及正极动力学的提升提供新的思路。

关键词：固态钠电池、钠枝晶、空气正极、原位电镜、冷冻电镜

References

- [1] Q. Liu, L. Zhang*, **Y. Tang***, J. Huang*, et al. *ACS Energy Lett.* 2020, 5, 2546-2559.
- [2] L. Geng, D. Xue, J. Yao, L. Zhang*, **Y. Tang***, S. Zhang*, J. Huang*, et al. *Energy Environ. Sci.* 2023, 16, 2658-2668.
- [3] Q. Liu, **Y. Tang***, L. Zhang*, J. Huang*, et al. *ACS Nano* 2020, 14, 13232-13245.
- [4] L. Zhang, **Y. Tang***, Y. Li, J. Huang*, et al. *Nano Energy* 2020, 77, 105289.
- [5] Q. Liu, T. Yang, C. Du, **Y. Tang***, L. Zhang*, Q. Peng*, J. Huang*, et al. *Nano Lett.* 2018, 18, 3723-3730.

43-22

钠离子电池正负极材料的界面修饰

周倩男¹，李雨^{1,2}，任海霞¹，于承鑫¹，巩玉腾¹，刘明权^{1,2}，白莹^{1,2}，吴锋^{1,2}，吴川^{1,2*}

1 北京理工大学材料学院，北京 100081

2 北京理工大学长三角研究院（嘉兴），嘉兴 314019

随着可再生能源的快速发展和电动交通的普及，市场对高性能、高安全性、低成本的储能技术需求不断增加。而钠离子电池因其具有资源丰富和成本低廉等优势，在可再生能源存

储和电动汽车领域具有广阔的应用前景。正负极材料界面的结构稳定性、离子传输性在决定钠离子电池整体高能量密度和长循环稳定性方面具有关键作用,近年来受到研究者的广泛关注。因此,界面结构的调控及设计亟需系统性的研究。研究团队近期在钠离子电池的界面机制和修饰策略上开展了相关工作:(1)实现了具有表面包覆-体相掺杂双修饰的准零应变 P2 相层状正极材料,构建了稳定的晶体和表界面结构;(2)引入多功能框架材料,实现了快离子导体表面包覆和 Ti 体相掺杂 P2 相层状正极材料的制备,明晰了 NTP 包覆和体相 Ti^{4+} 掺杂作用机制;(3)在硬碳表面设计了具有无序结构的 Al_2O_3 层,构建了“同型异质”结构;设计并制备了具有 ZrO_2 晶体结构包覆层的硬碳材料,实现了硬碳首效的提高及 SEI 的可控形成;(4)对于硬碳与电解液的界面催化作用进行了深入探究,阐述了硬碳含氧官能团的调控及硬碳负极对电解液分解的催化过程,构建了酯基电解液中“类醚 SEI”的界面化学。

关键词: 钠离子电池; 表界面修饰; 电极材料; 电解液。

致谢:

本工作获得国家自然科学基金(21975026 和 22005033)、北京理工大学研究生科研水平 and 创新能力提升专项计划(2023YCX042)支持。

参考文献:

- [1] H Ren, Y Li, Q Li, *et al.*, *Energy Storage Mater.*, 2023, 57: 59-68.
- [2] H Ren, L Zheng, Y Li, *et al.*, *Nano Energy*, 2023, 103: 107765.
- [3] C Yu, Y Li, H Ren, *et al.*, *Carbon Energy*, 2023, 5: e220.
- [4] Y Gong, C Yu, Y Li, *et al.*, *Battery*, 2022, 8: 115.
- [5] M Liu, F Wu, Y Gong, *et al.*, *Adv. Mater.*, 2019, 10: 1480.

43-23

多电子交换、高电压钠离子电池磷酸盐正极材料研究

曹鑫鑫^{1,2,*}, 周一帆¹, 梁叔全^{1,2,*}

¹ 中南大学, 湖南长沙, 410083

² 电子封装及先进功能材料湖南省重点实验室, 湖南长沙, 410083

*Email: caoxinxin@csu.edu.cn; lsq@csu.edu.cn

钠离子电池具有资源储量丰富、功率特性好、温度适应性宽、安全环保的显著优点,在电化学规模储能和低速交通领域中的应用前景广阔。但钠离子电池仍面临能量密度低、循环寿命短等突出问题。当前正着力针对正负极材料优化来提升电池能量密度开展研究,特别是研发新的高电压正极材料。聚阴离子型磷酸盐具有稳定的框架结构、合适的工作电压和快速的离子扩散路径等特征,是一类极具研究价值和应用前景的钠离子电池正极材料。通过理论

计算指导材料组成设计, 结合阴阳离子掺杂调控、表面包覆、微纳米有序组装和多维度导电网络构筑制备多电子交换、高电压磷酸盐正极材料, 包括 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ 、 $\text{Na}_{3+x}\text{Mn}_x\text{V}_{2-x}(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ 、 $\text{Na}_{3+x}\text{Fe}_x\text{V}_{2-x}(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ 、 $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_{2-x}(\text{SiO}_4)_x\text{O}_2\text{F}$ 、 $\text{Na}_4\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2(\text{P}_2\text{O}_7)/\text{C}$ 复合材料等。探索其电化学性能与多层级结构之间的本征关系, 制备出具有优异电化学性能的新型磷酸盐化合物, 实现电极材料电子/离子导电性的提升, 从而有效改善电极体系的综合电化学性能, 并对相关电极材料的充放电反应机理及动力学行为进行系统研究, 在此基础上研发出具有优异电化学性能的钠离子全电池。

关键词: 钠离子电池; 正极材料; 磷酸盐; 高电压; 多电子交换

参考文献:

- [1] Zhou, Y.; Cao, X.; Liang, S.; et al. *Adv. Mater.*, 2023, 2304428.
- [2] Ren, W.; Cao, X.; Liang, S.; et al. *Energy Storage Mater.*, 2023, 54: 776-783
- [3] Zhou, H.; Cao, X.; Liang, S.; et al. *Nano Energy*, 2023, 114: 108604
- [4] Cao, X.; Pan, A.; Liang, S.; et al. *Adv. Energy Mater.*, 2017, 7(20): 1700797.
- [5] Cao, X.; Pan, A.; Liang, S.; et al. *Nano Energy*, 2019, 60: 312-323.

43-24

电纺纤维在原位 TEM 上的应用

陈育明

福建师范大学

yumingc126@126.com

电纺纳米纤维具有孔隙率高、活性位点丰富、直径可控、结构均匀且可设计、机械强度高、抗外部破坏能力强等优良特性, 是原位表征的理想纳米反应器。在各种技术中, 原位透射电镜因其高时空分辨率和出色的灵敏度, 实现了原子水平的操作观察, 这对材料的合理设计和性能改进具有重要意义。首先介绍了原位透射电镜技术的基本知识以及电纺纳米反应器在原位透射电镜表征中的优势; 然后总结了电纺纳米反应器在原位透射电镜研究材料的物理性质、结构演变、相变和形成机制的最新发展; 重点介绍了不同充电电池中碳纳米纤维、金属/金属氧化物纳米纤维和固体-电解质间相的电化学行为; 最后, 讨论了电纺纳米反应器在原位透射电镜表征中面临的挑战, 并提出了推进该领域发展的潜在解决方案。

作者介绍:



陈育明, 福建师范大学闽江学者特聘教授, 国家青千, 香港青年科学家, 本硕毕业于福建师范大学, 随后在 HKPolyU, UT Ausitn, NTU 和 MIT 留学, 师从诺贝尔化学奖得奖者 John B Goodenough 院士和材料科学专家 Yiu-Wing Mai 院士等, 长期致力能源化学应用及其机理研究, 至今以第一作者或通讯作者在 Nature、Chem、Science Advances、Nature Communications

等期刊发表 50 余篇论文，相关工作被 *Science* 和美国能源部等专题评述；担任国家重点研发计划评审专家；主持国家高层次人才项目、国家自然科学基金和省产学研项目等。