

学科专业评审组：化学

项目名称：锂硫电池正极材料的构筑及储能机理研究

提名单位：黑龙江省科技厅

提名单位意见：

我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。发展高电化学性能的锂硫电池正极材料及合成方法，提高正极的导电性和硫的负载量，抑制中间产物的穿梭效应，是锂硫电池中的基础科学问题，直接决定电池的性能、成本和寿命。该项目围绕上述基础科学问题，在多项国家自然科学基金项目资助下，通过深入研究，基于碳纳米材料对硫的物理吸附和化学键合作用，构建了一系列具有优异电化学性能的锂硫电池用多维硫/碳基复合正极，解决了硫正极导电性差和中间产物穿梭的难题。8篇代表性研究论文被国内外学者在*Nat. Mater.*、*Chem. Soc. Rev.*、*Adv. Mater.*等本学科具有影响力的SCI期刊他引379次，单篇SCI他引最高127次，其中1篇为ESI高被引论文。部分研究成果获2019年黑龙江省科学技术一等奖。

提名该项目为国家自然科学奖二等奖。

项目简介

该项目属电化学、新材料与纳米技术交叉领域。锂-硫电池具有高理论比容量和能量密度、无污染、价格低等优点，是最具前景的储能系统之一。发展高性能硫正极，提高正极的导电性和硫的负载量，抑制中间产物的穿梭效应，是锂硫电池中的基础科学问题，直接决定电池的性能、成本和寿命。该项目从成分、结构与性能的关系，通过系统深入的研究，发现了碳与硫之间的协同作用规律，阐明了提高锂硫电池电化学性能的新机制，为提高锂硫电池的电化学性能提供了理论依据与新思路，主要科学发现如下：

(1) 构建了锂硫电池用自支撑高硫负载三维石墨烯基复合材料。该材料保持了三维石墨烯相互连接的介孔结构，具有高导电性、高孔隙率和良好的机械结构稳定性，可以适应充放电过程中体积变化，对多硫化物进行吸附，抑制了“穿梭效应”，保证了良好的循环稳定性和高比容量，解决了负载量和电化学性能之间的矛盾。德国科学院 Stefano Passerini 院士在发表的 *Nat. Mater.* 专题评述中认为“我们合成的石墨烯-硫正极材料体系具有优异的电化学性能”；美国德克萨斯大学奥斯汀分校 Arumugam Manthiram 教授等人在发表的 *Nat. Commun.* 中肯定了我们“采用三维石墨烯提高硫单位面积负载量的设计思路”。

(2) 提出利用石墨烯和碳纳米管的协同增效效应制备具有高活性物质负载量的柔性高性能硫/碳基复合正极。利用石墨烯表面活性位点原位生长活性物质，以碳纳米管为机械增强体，提供兼具短程和长程的多级导电网络，构造柔性电极材料，有效提高了材料的导电性、柔性和机械性能。国际电化学学会会长、美国劳伦斯国家实验室 Elton J. Cairns 教授等人发表 *J. Am. Chem. Soc.* 认为“我们合成的碳/硫基正极材料可有效克服现有硫正极材料的固有缺点”。

(3) 提出利用化学原位键合的方式在活性物质表面气相沉积超薄氧化物，抑制中间产物的穿梭效应，提高锂硫电池电化学性能。利用金属氧化物分别与多硫化锂间形成了锂-氧键和金属-硫键，有效吸附多硫化锂，从而限制其溶解，提升了正极的循环性能。国家杰青 Qiang Zhang 教授等人在发表的 *Chem. Soc. Rev.* 中认为“我们采用气相沉积制备的氧化物可通过物理和化学的双重限域作用，提升硫正极材料的循环稳定性”。

完成人：秦伟、卢松涛、李杨

完成单位：哈尔滨工业大学

代表性论文目录：

- [1] Chen Yan, Lu Songtao, Wu Xiaohong, Liu Jie. Flexible Carbon Nanotube-Graphene/Sulfur Composite Film: Free-Standing Cathode for High-Performance Lithium/Sulfur Batteries. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2015, 119, 10288-10294.
- [2] Lu Songtao, Chen Yan, Wu Xiaohong, Wang Zhida, Li Yang, Three-Dimensional Sulfur/Graphene Multifunctional Hybrid Sponges for Lithium-Sulfur Batteries with Large Areal Mass Loading, *Scientific Reports*, 2014, 4, 4629.
- [3] Wang Huanhuan, Lu Songtao, Chen Yan, Han Lu, Zhou Jia. Wu Xiaohong, Qin Wei, Graphene/Co₉S₈ nanocomposite paper as a binder-free and free-standing anode for lithium-ion batteries, *Journal of Materials Chemistry A*, 2015, 3, 47,23677-23683.
- [4] Lu Songtao, Wang Huanhuan, Zhou Jia, Wu Xiaohong. Qin Wei. Atomic layer deposition of ZnO on carbon black as nanostructured anode materials for high-performance lithium-ion batteries. *Nanoscale*, 2017, 9, 1184-1192.
- [5] Chen Yan, Lu Songtao, Zhou Jia, Wu Xiaohong, Qin Wei, Ogoke Ogechi, Wu Gang. 3D graphene framework supported Li₂S coated with ultra-thin Al₂O₃ films: binder-free cathodes for high-performance lithium sulfur batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, 2017, 5, 102-112.
- [6] Lu Songtao, Chen Yan, Wu Xiaohong, Wang Zhida, Lv Lingyuan, Qin Wei, Jiang Lixiang. Binder-free cathodes based on sulfur-carbon nanofibers composites for lithium-sulfur batteries. *Rsc Advances*, 2014, 4(35), 18052.
- [7] Qin Wei, Lu Songtao, Wang Zhida, Wu Xiaohong. Edge-functionalized acetylene black anchoring sulfur for high-performance Li-S batteries. *Journal of Energy Chemistry*, 2017, 26, 448-453.
- [8] Qin Wei, Fang Baodong, Lu Songtao, Wang Zhida, Chen Yan, Wu Xiaohong, Han Lu. Improving the performance of Li-S batteries by reinforced PPy wrapping over acetylene black-coated sulfur. *Rsc Advances*, 2015, 5(17), 13153-13156.