2021年度海南省科学技术奖报奖项目清单及公示材料

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目名称 | 主要完成单位 | 主要完成人 | 申报类型及等级 |
| 1 | 多孔金属氧化物储锂材料的节能制备及调控机制 | 海南大学、浙江大学、北京理工大学 | 文伟、吴进明、曹敏花、姜银珠 | 海南省自然科学奖 二等奖 |
| 2 |  |  |  |  |

公示内容：

项目名称：多孔金属氧化物储锂材料的节能制备及调控机制

提名单位：海南大学

提名意见：太阳能和风能等间歇性可再生能源的开发利用和新能源汽车的大规模推广均依赖于锂离子电池等能量存储技术的发展。多孔材料应用于锂离子电池可提高固/液界面的电荷传输效率和离子传质效率；但复杂制备过程成为其产业化应用的瓶颈。如何以低成本制备工艺实现多孔材料的高效储锂是国际难题。

该项目基于溶液燃烧合成等节能制备技术，攻克溶液燃烧法长期存在的燃烧可控性差、形貌可控性差和过程激烈的科学难题，发展出几种节能、简单、低成本的多孔材料制备新思路新机理；提出储能调控新机制，开发高性能储锂材料。取得以下主要原创性成果：国际上首次提出新的燃烧模式—“喷发燃烧”，丰富溶液燃烧理论，显著提升产物孔隙率；基于金属络合改性溶液燃烧，实现多孔氧化物粉末的精细调控和安全宏量制备；实现“介晶TiN@介晶TiO2”分支纳米线等三维多孔阵列的可控制备，发现介晶结构诱导锐钛矿TiO2储锂的赝电容机制。研发的系列多孔金属氧化物的储锂性能指标在同类材料中国际领先。

该项目研究内容高度聚焦，独具特色，取得的重要创新性成果对燃烧合成、多孔材料和锂离子电池等领域均具有十分重要的意义。相关成果受到国内外同领域专家的高度评价和广泛关注。

提名该项目为海南省自然科学奖二等奖。

**项目简介**：提高界面电荷转移和传质效率是能量存储等领域关注的共性关键性科学问题，合理设计的多孔材料是一种有效的解决方案。目前多孔材料主要由模板法制备，过程较复杂、能耗高、周期长。溶液燃烧法具有简单、节能、快速、低成本等优势，但长期以来存在“燃烧过程可控性差”、“产物形貌可控性差”、“燃烧剧烈”等科学难题，无法可控地获取多孔材料。本项目以高性能储锂负极多孔金属氧化物的低成本宏量可控制备为导向，攻克上述溶液燃烧国际科学难题，发展了几种节能、简单、低成本的多孔材料制备新机制新方法；基于成分和多孔结构等设计和调控，显著提升储锂性能，阐明储锂新机制。主要科学贡献如下：

发现点1：针对“燃烧过程可控性差”难题，国际上率先提出溶液燃烧新模式——“喷发燃烧”，揭示燃烧新机制。引入燃烧控制剂，实现类似于自然界火山喷发的燃烧模式。与传统溶液燃烧相比，燃烧过程更连续、可控，产物晶粒尺寸更小、微结构更疏松、比表面积更大、储锂容量更大。揭示了“喷发燃烧”机理，明确了溶液燃烧模式控制剂的选用指南。

发现点2：针对“燃烧产物形貌可控性差”难题，基于金属络合改性溶液燃烧的新机制，实现多孔材料的可控制备；其中基于非晶金属络合物的新方法还解决了“安全性差（燃烧剧烈）”问题。发明同时含气化剂、氧化剂和还原剂的金属络合物，点燃后实现大孔材料一步、快速的可控制备，解耦产物形貌、孔隙率和孔径分布的控制参数，阐明储锂性能与多孔结构的关联机制；突破溶液燃烧惯例，采用远高于推进剂化学计量比的配比，通过“安全温和”燃烧过程获得非晶金属络合物，再通过加热分解或室温下特定分解反应，宏量获得具有高比表面积和优异储锂性能的多孔材料。

发现点3：针对溶液燃烧制备阵列的难题，结合溶液燃烧与其他低温液相技术，实现高储能特性TiO2纳米树阵列的构筑。进一步地，针对多孔三维阵列的精细调控难题，基于低温液相技术实现“介晶TiN@介晶TiO2”型核@壳分支纳米线多孔三维阵列的可控制备；发现介晶结构诱导锐钛矿TiO2以赝电容机制储锂（不同于常规的扩散控制相变）的结构与性能关联新机制。

研发的系列多孔金属氧化物的储锂性能在同类材料中国际领先，提出的新方法通用性好。8篇代表性论著发表被Chem. Rev.、Prog. Energy Combust. Sci.等期刊引用，受国内外同领域著名专家广泛关注。

**代表性论文专著目录**

1. Wei Wen, Jinming Wu, Eruption combustion synthesis of NiO/Ni nanocomposites with enhanced properties for dye-absorption and lithium storage. ACS Applied Materials & Interfaces, 2011, 3, 4112-4119.
2. 文伟, 吴进明, 廖双泉, 溶液燃烧合成及应用, 科学出版社, 2018年7月.
3. Wei Wen, Jinming Wu, Minhua Cao, Rapid one-step synthesis and electrochemical performance of NiO/Ni with tunable macroporous architectures. Nano Energy, 2013, 2, 1383-1390.
4. Wei Wen, Jinming Wu, Minhua Cao, NiO/Ni powders with effective architectures as anode materials in Li-ion batteries. Journal of Materials Chemistry A, 2013, 1, 3881-3885.
5. Wei Wen, Jinming Wu, Minhua Cao, Facile synthesis of a mesoporous Co3O4 network for Li-storage via thermal decomposition of an amorphous metal complex. Nanoscale, 2014, 6, 12476-12481.
6. Wei Wen, Jinming Wu, Yinzhu Jiang, Shenglan Yu, Junqiang Bai, Minhua Cao, Jie Cui, Anatase TiO2 ultrathin nanobelts derived from room-temperature-synthesized titanates for fast and safe lithium storage. Scientific Reports, 2015, 5, 11804.
7. Wei Wen, Jinming Wu, Yinzhu Jiang, Junqiang Bai, Lulu Lai, [Titanium dioxide nanotrees for high-capacity lithium-ion microbatteries](http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/ta/c6ta03331h). Journal of Materials Chemistry A, 2016, 4, 10593-10600.
8. Wei Wen, Jinming Wu, Yinzhu Jiang, Lulu Lai, Jian Song, Pseudocapacitance-enhanced Li-ion microbatteries derived by a TiN@TiO2 nanowire anode. Chem, 2017, 2, 404-416.

**主要完成人情况**

文伟，排名第1，教授。 工作单位：海南大学。完成单位：海南大学。对项目的贡献：总体设计者，提出关键学术思想、理论框架、技术路线和实验方案，并进行了主要的实验操作，总结分析实验结果，撰写论文，申请专利。对发现点1-3做出了决定性的贡献，是代表性论著1-8的作者。

吴进明，排名第2，教授。 工作单位：浙江大学。完成单位：浙江大学。对项目的贡献：提出部分关键学术思想和技术路线，且与第一完成人共同撰写论文、申请发明专利；对发现点1-3做出了重要贡献，是代表性论著1-8的作者。

曹敏花，排名第3，教授。 工作单位：北京理工大学。完成单位：北京理工大学。对项目的贡献：提出部分关键学术思想和技术路线；对发现点2做出了重要贡献，共同提出电池材料的设计思路，并进行部分锂离子电池的组装、测试和分析。是代表性论著3-6的作者。

姜银珠，排名第4，教授。 工作单位：浙江大学。完成单位：浙江大学。对项目的贡献：提出部分关键学术思想和技术路线。对发现点3做出了重要贡献，共同提出电池材料的设计思路，并进行部分锂离子电池的组装、测试和分析。是代表性论著6-8的作者。

**主要完成单位情况及主要学术贡献**

海南大学，排名第1，对本项目主要学术贡献：为第一完成人的工作单位，为第一完成人的部分研究工作提供了各方面的支持，为本项目的顺利进行提供了保障；对发现点1、2、3具有重要贡献。

浙江大学，排名第2，对本项目主要学术贡献：为第二完成人和第四完成人的工作单位，为第二完成人和第四完成人的研究工作提供了各方面的支持；对发现点1、2、 3具有重要贡献。

北京理工大学，排名第3，对本项目主要学术贡献：为第三完成人的工作单位，为第三完成人的研究工作提供了各方面的支持；对创新点2具有重要贡献，尤其在发现点2的电池材料设计思路、性能测试、机理分析方面做出了重要贡献。