

中国科学院大连化学物理研究所
优秀博士后奖励基金申请表

申请人: 董琰峰

研究组: DNL21T3

学科专业: 物理化学

合作导师: 吴忠帅、包信和

填表日期: 2016年11月2日

中国科学院大连化学物理研究所制

姓 名	董琰峰	性 别	男
出生日期	1985. 5. 5	民 族	汉
学历/学位	研究生/博士	专业技术职务	博士后
毕业院校	大连理工大学	专 业	化学工程与技术
(拟) 入站 时间	2016.6	入站性质	<input checked="" type="checkbox"/> 统招统分 <input type="checkbox"/> 在职人员
E-Mail	dongyanfeng@dicp.ac.cn	联系电话	13478643751
学 习 简 历	起止年月	所在单位/专业	所获学位
	2012.9-2016.6	大连理工大学/化学工程与技术	博士
	2008.9-2011.4	同济大学/纳米材料与技术	硕士
	2004.9-2008.7	沈阳建筑大学/材料科学与工程	学士
工 作 经 历	起止年月	所在单位	职务
	2016.6 至今	中国科学院大连化学物理研究所	博士后
博 士	博士论文题目	石墨烯基高性能锂电材料结构设计与界面调控	
	指导教师姓名	赵宗彬 教授、邱介山 教授	

(限 800 字)

目前锂电材料难以满足电动汽车长续航与快速充放电的要求,因此研制高性能锂电材料具有重要的科学意义与实用价值。本论文基于高比容量电化学物质(金属氧化物或硫)与二维石墨烯构筑高性能电极材料,针对金属氧化物结构稳定性差及硫正极的穿梭效应,注重纳米结构设计及界面调控,发展了石墨烯/CoO 复合气凝胶负极、空心金属氧化物/石墨烯负极、石墨烯/SnO₂/聚苯胺负极以及功能化石墨烯/硫正极、石墨烯基碳/S/聚吡咯复合正极。研究内容如下:

(1) 通过吡咯辅助氧化石墨烯水热自组装-冷冻干燥-热处理策略制备出石墨烯组装体负载均匀生长的 CoO 纳米线或海胆型纳米球,可直接制备成无粘结剂电极,100 次循环后比容量均高于 550 mAh g⁻¹, 优于 CoO 粉末电极性能。

(2) 成功开发了聚吡咯烷酮-硝酸盐涂覆氧化石墨烯-炭化还原-低温氧化的技术路线,可普适制备多种空心过渡金属氧化物与石墨烯的复合结构,所得复合物电极均显示在 15 A g⁻¹ 下高于 300 mAh g⁻¹ 的高倍率性能。

(3) 通过 Sn²⁺还原氧化石墨烯实现 SnO₂ 在石墨烯表面上的原位生成与锚定,在植酸辅助下实现 SnO₂ 纳米颗粒的聚苯胺包覆。SnO₂ 纳米颗粒埋覆在导电高分子层和石墨烯中间,显著提高 SnO₂ 的导电性与结构稳定性,所得电极表现出高达 700 mAh g⁻¹ 的比容量以及 700 次的长循环寿命。

(4) 开发了乙二胺官能化-液相载硫-硫熔融扩散的技术路线,制备出乙二胺功能化石墨烯(EFG)/硫正极,实验表征和理论计算结果表明 EFG 可实现对硫及放电产物硫化锂的强吸附,同时石墨烯的物理限制作用及良好的机械性能均有利于电极结构稳定。

(5) 以氧化石墨烯为前躯体通过纳米铸造、硫熔融扩散和聚吡咯涂覆的路线成功将硫封装在聚吡咯和石墨烯基介孔碳片之间,三明治式纳米片有利于提高硫的导电性、利用率和电解液的扩散,并缓冲硫在充放电过程中的体积变化,从而有利于电极的结构稳定,所得电极 400 次循环测试中每圈容量衰减率仅为 0.05 %。

入 站 前 期 科 研 情 况 简 介	1、主持或参与项目情况:					
	序 号	项目名称	项目来源	项目金额	起止年度	角色
	1	新结构高性能多尺度复合炭素材料的设计、合成及其海水淡化性能研究	国家自然科学基金重点项目	310 万	2014.01-2018.12	参与者
	2	新结构储能功能材料	国家自然科学基金优秀青年基金项目	130 万	2016.01-2018.12	参与者
	3	基于煤基多环芳烃石墨烯及其复合结构的可控合成及其应用	国家自然科学基金面上项目	38 万	2011.1-2013.12	参与者
	2、论文发表情况: (已发表或已接收发表)					
	序 号	论文题目	期刊名	影响因子	发表年度/ 卷期/页码	排序
	1	A top-down strategy towards 3D carbon nanosheet frameworks decorated with hollow nanostructures for superior lithium storage	Advanced Functional Materials	11.382	DOI:10.1002/adfm.201603659	1
	2	Enhancing lithium-sulphur battery performance by strongly binding the discharge products on amino-functionalized reduced graphene oxide	Nature Communications	11.470	2014, 5: 5002	2(共同一作)
3	Rational design of metal oxide hollow nanostructures decorated carbon nanosheets for superior lithium storage	Journal of Materials Chemistry A	8.262	2016, DOI: 10.1039/C6TA06945B	1	
4	Sulfur-infiltrated graphene-backed mesoporous carbon nanosheets with conductive polymer coating for long-life lithium-sulfur batteries	Nanoscale	7.76	2015, 7: 76569-7573	1	
5	Dually fixed SnO ₂ nanoparticles on graphene nanosheets by polyaniline coating for superior lithium storage	ACS Applied Materials & Interfaces	7.145	2015, 6: 3242-3249	1	

6	Compressible graphene aerogel supported CoO nanostructures as binder-free electrode for high-performance lithium-ion batteries	RSC Advances	3.289	2015, 5: 8929-8932	1
7	Nitrogen-rich carbon coupled multifunctional metal oxide/graphene nanohybrids for long-life lithium storage and efficient oxygen reduction	Nano Energy	11.553	2015, 12: 578-587	2
8	Towards efficient electrocatalysts for oxygen reduction by doping cobalt into graphenesupported graphitic carbon nitride	Journal of Materials Chemistry A	8.262	2015, 3, 19657-19661	2
9	Nitrogen-doped graphene nanoribbons for high-performance lithium ion batteries	Journal of Materials Chemistry A	7.443	2014, 2: 16832-16835	3
10	Self-assembled sulfur/reduced graphene oxide nanoribbon paper as a free-standing electrode for high performance lithium-sulfur batteries	Chemical Communications	6.567	2016, 52: 12825-12828	3
11	Ultrafine Fe ₃ O ₄ quantum dots on hybrid carbon nanosheets for long-life, high-rate alkali-metal storage	ChemElectroChem	新杂志	2016, 3: 38-44	3
12	Low temperature plasma synthesis of mesoporous Fe ₃ O ₄ nanorods grafted on reduced graphene oxide for high performance lithium storage	Nanoscale	7.349	2014, 6: 2286-2291	4
13	Interlayer expanded MoS ₂ enabled by edge effect of graphene nanoribbons for high performance lithium and sodium ion batteries	Carbon	6.198	2016, 109: 461-471	4

14	Facile one-step synthesis of highly graphitized hierarchical porous carbon nanosheets with large surface area and high capacity for lithium storage	RSC Advances	3.289	2015, 12: 578-587	4
3、专利情况:					
序号	专利名称	授权/申请	授权/申请号	起始日期	排序
1	一种片状纳米多孔碳与碳纳米管复合材料的制备方法	申请	201610281333.5	2016.4.29	2
2	一种四氧化三钴纳米中空球镶嵌碳片花状复合材料的制备方法及其应用	申请	201610417236.4	2016.6.13	3
3	一种内嵌金属氧化物中空纳米颗粒的氮掺杂纳米泡沫碳的合成方法	申请	201510448651.1	2015.12.2	4
4、获奖情况:					
序号	奖励名称	奖励等级	授奖单位	奖励年度	排序
1	博士研究生国家奖学金	国家级	中华人民共和国教育部	2015.10	1
2	辽宁省优秀自然科学论文二等奖	省级	辽宁省自然科学学术成果奖评审委员	2015.7	1
3	大连理工大学博士研究生优秀博士论文单项奖学金	校级	大连理工大学	2015.7	1
4	大连理工大学优秀毕业生	校级	大连理工大学	2015.11	1
5	大连理工大学优秀研究生	校级	大连理工大学	2014.9	1
博士后研究题目: 二维能源材料可控制备、定向组装及新型电池应用探索					

博士 后 工 作 的 研 究 计 划	<p style="text-align: center;">(简述研究计划的可行性、先进性和创新性, 理论和现实意义)</p> <p>一、研究背景、内容及可行性分析</p> <p>1 研究背景</p> <p>随着化石能源的消耗与不清洁利用, 能源与环境问题是当今世界所面临的主要挑战, 发展新能源是解决该问题的有效途径, 如新能源电动汽车可消耗风能或太阳能等清洁能源转换的电能, 减少交通对石油的依赖, 被认为是解决能源与环境问题的有效策略之一。在众多能量储存与转换器件中, 新型电池(锂/钠离子电池)比电容器具有更高的能量密度、无记忆效应和更安全的特点, 已广泛应用在大部分的便携式电子设备, 如智能手机、笔记本电脑和数码相机等。随着电动汽车等大型设备对锂离子电池能量密度与功率密度的要求不断提高, 商业化的锂离子电池难以满足电动汽车长续航与快速充放电的特点, 如 Nissan Leaf 电动汽车以 140 Wh kg^{-1} 的锂电材料为动力只能行驶 160 km, 而关键在于目前锂电材料的低容量与低倍率性能。此外锂资源日益紧缺, 相应锂电池价格昂贵, 因此解决以上问题可通过以下两种方式: (1) 新型高性能锂电池材料的开发; (2) 新型高性能钠离子电池的研制。钠离子电池由于钠资源丰富、成本低、能量转换效率高、循环寿命长、维护费用低等特点, 使其在大规模储能中应用具有很大优势。综上所述, 新型高性能电池电极材料的研制具有重要的战略意义。</p> <p>作为典型的二维原子晶体, 石墨烯(Graphene)具有独特的纳米结构与物理性质, 如超薄厚度(0.34 nm)、高光透过率(97%)、高载流子浓度($1000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)、高热导率(3000-5000 W/mK)、高理论比表面积($2620 \text{ m}^2/\text{g}$)等, 已成过去 10 多年凝聚态物理、材料科学领域的研究前沿和热点。石墨烯作为二维导电网络可极大地提高电化学活性物质导电性、抑制充放电过程中的体积膨胀, 显著改善电池电化学性能。石墨烯的快速发展带动了类石墨烯二维材料的研究热潮, 如 MoS₂、BN、MXene、层状双金属氢氧化物(LDH)等。但目前二维材料不同制备方法 & 课题组制备差异性大, 具体表现在二维材料的层数、尺寸及缺陷等结构参数分布范围广, 因此很难通过对二维纳米材料的结构调控来实现能源存储器件电化学性能的优化。此外, 以二维材料纳米片作为基本的构筑单元可以堆叠组装成一维纤维、二维薄膜及三维网络宏观体, 而杂乱堆叠行为严重阻碍能源存储器件中的离子传输, 从而难以实现最优电化学性能, 而二维材料的定向组装将为研发高性能能源存储器件提供重要的科学基础与理论依据。综上所述, 二维能源材料的可控制备、定向组装及新型电池应用探索研究具有较强的科学意义与应用价值。</p> <p>2 研究内容</p> <p>2.1 二维能源材料的可控制备</p> <p>1) 自上而下 (Top-down): 以二维层状块体材料(包括石墨、MAX、LDH、MoS₂等)为前躯体, 通过液相剥离、电化学剥离、机械化学剥离等方法, 持续剥离直至获得单层或少层二维纳米片, 理解剥离机制并优化剥离工艺, 以求实现对层数、形貌、大小、产率等参数有效控制。其中电化学剥离制备二维能源材料可根据本研究组离子液体研究基础, 选择合适的离子液体作为电解液进行研究。</p> <p>2) 自下而上 (Bottom-up): 由制备二维纳米材料的基本组成单元或前躯体生长成二维纳米材料, 如化学气相沉积(CVD)、水热生长等, 深究二维纳米材料的结晶成核、生长行为, 进而通过催化剂选择、前躯体选用、反应问题及时间的控制来有效调控二维纳米材料的尺寸、层数、缺陷及产率等关键参数。</p>
--	--

3) 造孔: i) 原位造孔。在以上制备体系中, 如水热制备方法, 加入表面活性剂(阴离子型、阳离子型或中性), 依靠前躯体材料与表面活性剂的相互作用, 可使二维纳米材料在表面活性剂胶束聚集体内成核生长, 通过后续表面活性剂去除得到多孔二维纳米材料; ii) 后续造孔。将二维纳米材料与化学活化试剂混合反应, 对二维纳米材料反应刻蚀, 从而实现造孔。

2.2 二维能源材料的定向组装

1) 力场诱导: 二维纳米材料分散液在多孔收集基体上侧, 通过真空抽滤等方式在多孔收集体上下两侧构建力场差, 从而实现二维纳米材料的平铺式组装, 该方法具有一定普适性, 关键在于二维纳米材料稳定分散液的调制。

2) 电磁场诱导: i) 原位垂直式组装。将二维纳米材料通过电化学沉积或者电弧等离子体沉积等方式在导电基体上制备垂直生长的二维纳米材料; ii) 后续垂直式组装。将二维纳米材料进行电荷离子化, 进而在电场作用下将其进行取向排列, 并将其结构保持。

2.3 二维能源材料的新型电池应用研究

1) 二维能源材料的纳米结构对新型电池性能的影响

系统研究二维能源材料层数多少、层间距大小、尺寸大小及孔洞效应对新型电池性能的影响, 建立二维能源材料纳米结构与新型锂/钠离子电池性能间的构效关系。此外, 也可根据层间距较小的二维能源材料选择锂离子存储应用, 层间距较大二维能源材料选择较大离子半径的钠离子存储应用。

2) 二维能源材料的不同组装行为对新型电池性能的影响

系统研究二维能源材料的三种组装行为(无序组装、平铺式组装、垂直式组装)对新型电池性能的影响, 深入研究造成性能差异的原因, 建立电池性能最优化二维能源材料组装模型。

3 可行性分析

3.1 博士期间研究基础

申请人博士期间在新型碳基复合材料的制备及能源存储与转换方面的应用研究做了大量相关工作并有良好的积累, 具体如下:

1) 石墨烯基复合材料的可控制备。 申请人熟悉石墨烯的化学氧化制备、还原、功能化过程, 如传统 Hummers 法制备氧化石墨烯(GO), 吡咯辅助水热自组装 GO-冷冻干燥制备石墨烯气凝胶 (*RSC Advances*, 2015, 5: 8929-8932), 通过乙二醇与 GO 低温水热制备乙二醇官能化石墨烯 (*Nature Communications*, 2014, 5: 5002), 通过 Sn^{2+} 离子对 GO 的原位还原过程制备 SnO_2/G 复合纳米片 (*ACS Applied Materials & Interfaces*, 2015, 6: 3242-3249), 此外, 通过双亲性高分子在石墨烯上调控制备空心金属氧化物纳米结构 (*Journal of Materials Chemistry A*, DOI: 10.1039/C6TA06945B)。

2) 类石墨烯二维碳纳米片的可控制备。 由于氧化石墨的传统化学氧化过程涉及多种高氧化试剂、强腐蚀性试剂, 同时制备过程繁琐耗时, 申请人采用有机高分子为前躯体采用发泡法一步合成类石墨烯二维碳片 (*Advanced Functional Materials*, DOI: 10.1002/adfm.201603659)。另外申请人以二维纳米空间限域生长的金属有机骨架纳米片为前躯体碳化制备多孔纳米片 (*Energy Storage Materials*, 审稿中)。

3) 锂电池及其它新型电池的组装与测试。 申请人博士期间熟练掌握锂离子电

	<p>池、锂硫电池、钠离子电池的极片制备、纽扣电池组装及电池性能的测试及相关数据的分析，如锂硫电池相关测试结果发表在 <i>Nanoscale</i> 杂志上 (Nanoscale, 2014, 6: 2286-2291)。</p> <p>3.2 大连化物所科研平台</p> <p>申请人所在的研究团队主要从事二维材料的控制制备、组装、结构调控及其在能源存储与转化等应用方面的基础研究。尤其在石墨烯宏量控制制备、孔石墨烯结构设计及组装，及其在不同种类超级电容器、锂离子电池等方面研究上有着良好的工作基础，并积累了丰富的经验。例如，成功获得了硼氮共掺杂三维孔石墨烯网络、大孔和介孔相融合三维石墨烯网络、金属氧化物/氮掺杂三维孔石墨烯网络等能显著提高超级电容器的电化学性能；发展了一系列石墨烯薄膜、硼氮共掺杂石墨烯薄膜、活化石墨烯薄膜、以及石墨烯和聚合物复合薄膜应用于平面化、薄柔超级电容器等。</p> <p>在实验测试与表征上，大连化物所洁净能源国家实验室和催化基础国家重点实验室两个具有国际水平的科研平台优势。同时，在实验技术上，申请人所在包信和院士团队和二维材料与能源器件研究组 (DNL21T3) 拥有多种先进的表征设备和电化学测试系统，在原位研究和理论计算方面有丰富的研究基础，为研究的科学性及深度提供了保障。</p> <p>二、研究计划的先进性及创新性</p> <p>1) 二维能源材料是当前基础研究的热点，也被认为最有可能取得革命性、颠覆性科技进步的先进材料，但制约其快速发展的瓶颈在于二维纳米材料产品可控性差、产率较低，因此本研究提出二维能源材料的可控制备，针对不同领域对二维纳米材料结构的要求可控定制相应产品；</p> <p>2) 首次提出二维纳米材料的定向组装的概念，系统研究和构建新型电池性能最优化二维纳米材料理想模型。</p> <p>三、理论和现实意义</p> <p>二维能源材料是凝聚态物理与材料研究的热点领域，其不同结构特点的二维能源材料的开发为发现新物理现象提供实验基础，也为研究结构与存储器件性能间构效关系提供了研究依据，有利于发现新型电池中的新机理、新现象，从而加深对新型电池器件工作原理的认识，并推动新型电池的实际应用；同时，二维能源新材料的开发为便携式电子装置和混合动力汽车的发展迫切需求的寿命长、环境友好的高效储能装置提供新的思路。</p>
本人承诺	<p>本人承诺：申请表所填内容均真实可靠。对因虚报、伪造等行为引起的后果及法律责任均由本人承担。</p> <p>本人签字： 董琰峰 2016年 11月 1日</p>