

# 多孔球形五氧化二铌的制备及其在超级电容器中的应用

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.05.002

陈 晗 刘敬强 朱裔荣  
周 伟 向楷雄

湖南工业大学  
冶金与材料工程学院  
湖南 株洲 412007

**摘 要:** 采用水热法制备了球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  活性材料, 再经煅烧得到了多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  活性材料, 将两种活性材料作为超级电容器的正极材料; 通过 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜对两种活性材料形貌和微观结构进行了研究。研究表明, 两种活性材料均是球形结构, 且多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  具有更丰富的孔洞和通道, 这使得该材料具有优异的电化学性能。通过比较两种活性材料的电化学性能, 结果发现多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  的电化学性能更优, 在 0.5 A/g 的电流密度下其比容量达到 351 F/g, 且具有良好的倍率性能, 在 5.0 A/g 的电流密度下比容量仍有 225 F/g, 在电流密度为 2.0 A/g 下经过 3 000 次循环后容量保持率高达 92%。

**关键词:** 电化学; 超级电容器; 五氧化二铌

**中图分类号:** O614.5; O646

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2018)05-0007-06

## 0 引言

现代社会对能源的需求日益提高, 全球能源危机日益加剧, 尽管科学家们正在不断地研究和开发新能源以解决化石能源面临枯竭的问题, 但是如果能量转换和存储技术跟不上时代的脚步, 那么能源危机的警钟将会一直回响。因此, 对储能材料的研究同样至关重要<sup>[1-2]</sup>。

超级电容器是一种新型绿色储能器件<sup>[3-4]</sup>, 它兼具传统电容和电池的双重特性<sup>[5-6]</sup>, 具有快速充放电、功率密度高、循环寿命长、可靠性好和绿色环保等优点, 因此备受关注<sup>[7-10]</sup>。电极材料是决定超级电容器电化学性能的关键因素之一, 而制备具有高性能的电极材料也是目前研究的热点和难点<sup>[11]</sup>。

金属氧化物因其在充放电过程中能发生氧化还原反应而作为超级电容器的电极材料<sup>[12-14]</sup>, 但作为锂离子电池的电极时, 大多数金属氧化物会出现

体积过度膨胀的现象, 从而导致电池的固体电解质层不稳定和损失电触点等问题出现。五氧化二铌 ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) 由于其安全环保、高倍率特性、高循环稳定性<sup>[15-16]</sup>、极小的体积膨胀比 (小于 5%)<sup>[17-18]</sup> 等特性, 被广泛应用于电池的电极材料。

在第一次放电反应前,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  是无定形的, 且在放电过程中离子脱嵌反应与电容反应是同时发生的, 因此,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  作为电极材料可以显示出更高的容量<sup>[19]</sup>; 相较于  $\text{TiO}_2$  (比容量为 168 mA·h/g) 和  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (比容量为 175 mA·h/g),  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  的理论比容量可达到 200 mAh/g<sup>[17, 20]</sup>。但  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  的电导率较低, 且细化后会导致容量衰减<sup>[17-18]</sup>, 限制了材料本身的性能。为了改善  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  的电化学性能, 国内外研究者们主要采用以下两种方法: 一是与导电性更好的材料复合, 如添加导电剂炭黑等, 但这种方法会因减少活性物质的比例而降低电极材料的整体能力; 二是从微观结构入手合成不同的纳米结构, 该方法不仅可以

收稿日期: 2018-06-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51572079)

作者简介: 陈 晗 (1974-), 男, 湖南汨罗人, 湖南工业大学教授, 博士生导师, 主要从事能源材料方面的教学与研究,  
E-mail: lzdxnchh@126.com

提高  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  的电导率还能解决其容量衰减问题<sup>[20-21]</sup>。

本课题组通过水热法和煅烧法制备了球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  和多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  两种活性材料,通过 X 射线衍射仪、扫描电子显微镜对活性材料进行了研究,并测试了其作为超级电容器电极的电化学性能,以期对  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  电极材料的研究提供理论参考。

## 1 实验部分

### 1.1 实验试剂、设备与仪器

#### 1) 实验试剂

草酸铌、2-甲基咪唑,分析纯,广东翁江化学试剂有限公司;乙炔黑、聚偏氟乙烯、N-甲基吡咯烷酮,分析纯,深圳科晶智达科技有限公司;甲醇,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;无水乙醇,分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;去离子水,实验室自制。

#### 2) 实验设备与仪器

多头磁力加热搅拌器, HJ-4A 型,常州国华电器有限公司;100 mL 特氟龙反应釜,上海鹰迪仪器设备有限公司;鼓风干燥箱, DHG-9023A 型,上海精宏实验设备有限公司;真空干燥箱, DZF-6021 型,上海精恒仪器制造有限公司;电化学工作站, CHI660D 型,上海辰华仪器有限公司;X 射线衍射仪 (X-ray power diffraction, XRD), D8 Venture 型,德国布鲁克分析仪器公司;扫描电子显微镜 (scanning electron microscopy, SEM), 日立 S-4800 型,日本日立公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 活性材料的制备

1) 首先,将 5 mmol 草酸铌加入到 80 mL 甲醇中,将 20 mmol 2-甲基咪唑加入到 80 mL 去离子水中,分别在常温下磁力搅拌 1 h;将这两种溶液混合,继续搅拌 24 h;然后将混合溶液加入反应釜中,在 180 °C 下反应 20 h 后,自然冷却至室温;产物经离心、过滤后,用去离子水和无水乙醇反复洗涤,所得沉淀物于 60 °C 鼓风干燥箱内干燥 12 h,即得球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  样品。

2) 取一部分上述制得的球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  样品,在氩气保护下以 5 °C/min 的速度升温至 700 °C,煅烧 3 h,自然冷却至室温,即得多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  样品。

#### 1.2.2 泡沫镍的制备

将活性材料、乙炔黑、聚偏氟乙烯按质量比 7:2:1

加入到适量的 N-甲基吡咯烷酮中,充分混合后,涂抹在泡沫镍上,先后在 60 °C 下鼓风干燥箱和真空干燥箱中各干燥 12 h,即可制得工作电极。两种活性材料各制备一组泡沫镍。

### 1.3 测试与表征

#### 1) 结构表征

使用 X 射线衍射仪对两种活性材料进行 X 射线测试,采用  $\text{CuK}_\alpha$  射线,  $\lambda=0.15416$  nm,辐射角度为 50°,工作电压和工作电流分别为 40 kV 和 40 mA;使用扫描电子显微镜对两种活性材料的表面形貌进行测试,工作电压为 20 kV。

#### 2) 电化学测试

在室温下,使用 CHI660e 型电化学工作站对两种活性材料进行电化学性能测试。测试过程中使用三电极系统,以铂片为对电极,汞/氧化汞为参比电极,泡沫镍 (完全浸入 2 mol/L 的 KOH 溶液中) 为工作电极。对两种活性材料进行了循环伏安、恒电流充放电、交流阻抗以及循环性能的测试,测试电压范围均为 0~0.5 V。循环伏安测试分别采用 5, 10, 20, 50, 100 mV/s 的扫描速度;恒电流充放电测试分别采用 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 A/g 的电流密度;交流阻抗测试在 0.01 Hz~100 kHz 的频率范围内进行。

## 2 结果与讨论

### 2.1 结构表征分析

图 1 是球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  和多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  两种活性材料的 XRD 图谱。从图中可以看出,两种活性材料的峰值几乎相同,都与数据库 PDF#07-0061 中  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  的特征峰完全对应,因此可以表明两种活性材料确实是  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  晶体。

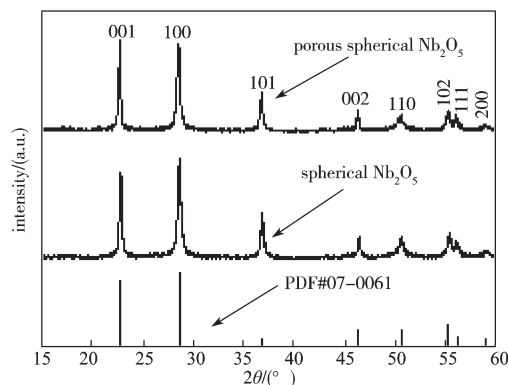
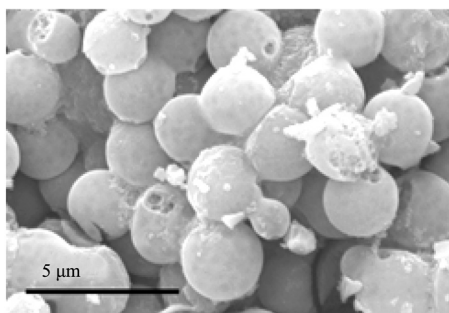


图 1 两种活性材料的 XRD 图谱

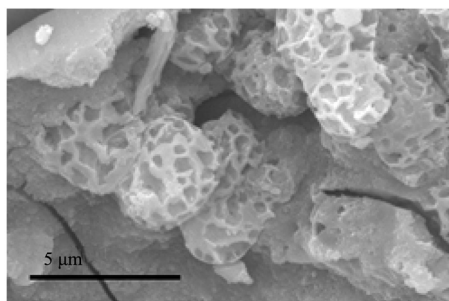
Fig. 1 XRD patterns of two activated samples

图 2 是球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  和多孔球形  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  两种活性

材料的 SEM 图。



a) 球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



b) 多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

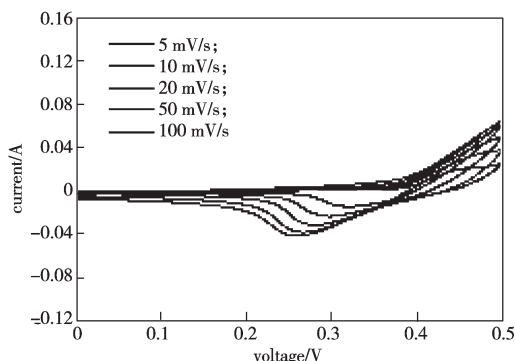
图 2 两种活性材料的 SEM 图

Fig. 2 SEM images of two activated samples

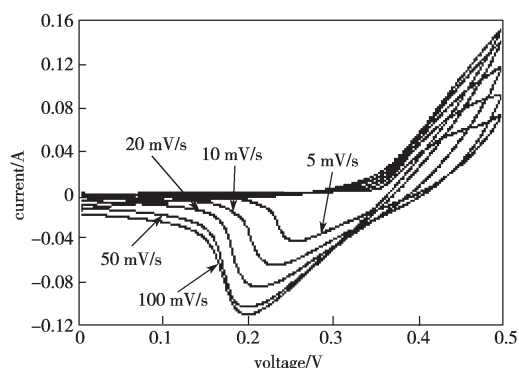
从图 2a 可以看出, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 球体直径大多分布在 2~3 μm, 且小部分球体表面有少许破损, 通过破损的球体可以看到其内部有孔洞和通道的存在。从图 2b 可以看出, 多孔 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 球体表面大部分破损, 其内部具有丰富的孔洞和通道, 可以有效提高材料的比表面积, 且球体体积相较于图 2a 有所增大。比表面积越大活性材料的比容量越大, 因此, 通过对比图 2a~b 可以预测多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 将具有更好的电化学性能<sup>[22]</sup>。

## 2.2 电化学性能分析

图 3 是球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 两种活性材料在不同扫描速度下的循环伏安曲线图。



a) 球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



b) 多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

图 3 两种活性材料在不同扫速下的循环伏安曲线

Fig. 3 Cyclic voltammetry curves of two activated samples at different scanning speeds

从图 3 中可以看出, 球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 均存在明显的氧化还原峰, 这表明两种活性材料都具有赝电容特性; 随着扫描速度的增大, 两种活性材料的氧化还原峰各保持着相似的形状, 表明两种电极具有良好的电导率, 这是因为在循环伏安测试的过程中, 电流随着扫描速率的增大而增大, 而内阻增大电荷传递的完成度就降低, 循环伏安曲线也就无法保持与之前相似的形状。

通过对比图 3a~b 可以看出, 多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 比球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 具有更明显的氧化还原峰, 而且随着扫描速度的增大其峰值面积增大更明显, 这意味着多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 具有更高的电化学性能, 这与 SEM 分析所得的结论相吻合。

图 4 是球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 两种活性材料在不同电流密度下的恒电流充放电曲线图。由于 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 氧化还原反应的存在, 曲线与典型的双电层电容器曲线有所区别。

比容量( $C$ )可以作为容量的表征指标, 通过式(1)进行计算:

$$C = It / (Vm), \quad (1)$$

式中:  $I$  是电流;  $t$  是充放电时间;  $V$  是电压,  $m$  是活性电极质量。

结合图 4 曲线与式(1)可得, 当电流密度为 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 A/g 时, 球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的比容量分别为 310, 286, 258, 232, 180 F/g, 多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的比容量分别为 351, 335, 306, 279, 225 F/g。通过对比数据可知, 相同电流密度下多孔球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的比容量比球形 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 有明显的提升; 随着电流密度的增加, 两种活性材料的比容量不断减小, 这是由于低电流密

度下, 电解液中的离子可以充分扩散到电极的表面和近表面, 因此使活性材料具有更大的电容量, 在高电流密度下, 短时间内离子很难充分扩散到电极的近表面, 因此容量会有部分损失。

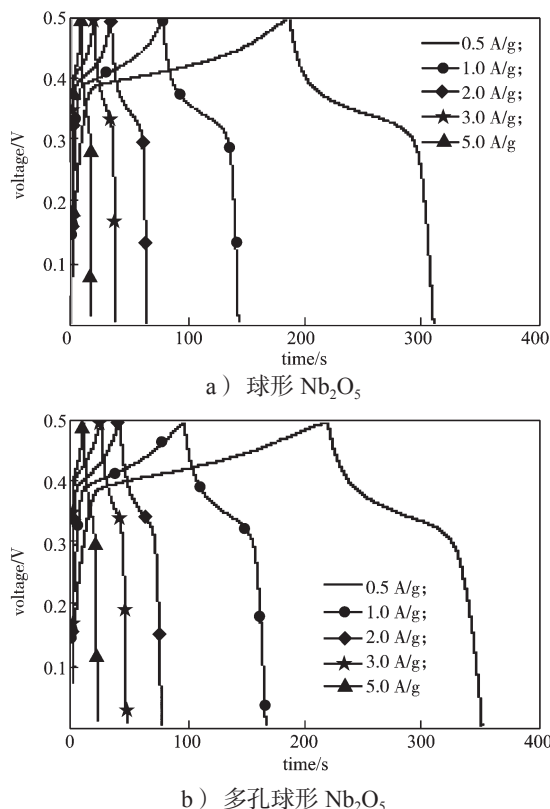


图4 两种活性材料在不同电流密度下的恒电流充放电曲线

Fig. 4 Galvanostatic charge/discharge curves of two activated samples at different current density

图5是球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 两种活性材料的交流阻抗图。Nyquist曲线由高频区的半圆, 中频区的过渡段, 以及在低频区的直线段构成。其中高频区的半圆表示电阻和电容并联的部分, 半圆的半径越大, 内阻越大; 中频区的过渡段是一条倾角为 $45^\circ$ 的直线, 是由电解质离子在电极材料表面和电解液中扩散/转移引起的, 这是多孔电极阻抗曲线的典型特征<sup>[23]</sup>; 低频区直线的斜率越大, 表明材料具有更好的电容特性<sup>[24-26]</sup>。由图5分析可知, 两种活性材料都具有较高的能量密度和功率密度, 且多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 更具优势。

图6是球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 两种活性材料的循环性能图, 在电流密度为 $2\text{ A/g}$ 下经过3000次循环, 球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 的比容量保持率为90%, 多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 的比容量保持率为92%, 两种活性

材料均具有稳定的循环性能。

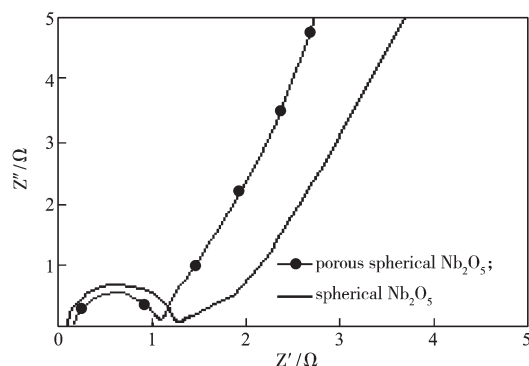


图5 两种活性材料的交流阻抗图

Fig. 5 Electrochemical impedance spectra of two activated samples

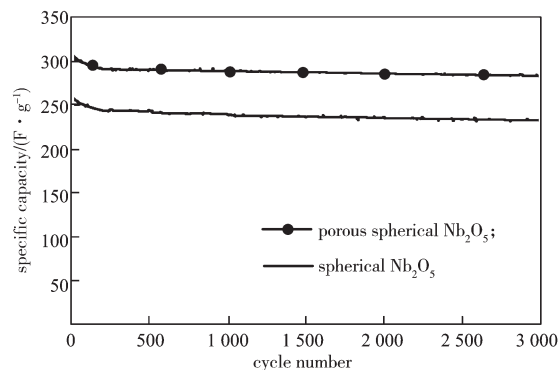


图6 两种活性材料的循环性能图

Fig. 6 Galvanostatic charge/discharge cycle performance of two activated samples

### 3 结语

采用水热法制备了球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , 进一步利用煅烧法得到了多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 。通过对球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 两种活性材料进行结构表征和电化学测试, 比较两种活性材料和表面形貌, 讨论了多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 结构的优越性。结果表明, 球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 具有良好的电化学性能, 而经过煅烧处理后,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 球体表面及内部形成更多的孔洞, 可以有效地提高材料的比表面积, 增加离子通道和介孔, 实现 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 活性材料的多维度接触, 因此使多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 的电化学性能相较于球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 得到了明显提升。多孔球形 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 具有良好的结构和电化学性能, 是超级电容器电极的潜在材料。

### 参考文献:

- [1] WANG G P, ZHANG L, ZHANG J J. A Review



- of Electrode Materials for Electrochemical Supercapacitors[J]. Chemical Society Reviews, 2012, 41(2): 797–828.
- [2] LI H S, ZHU Y, DONG S Y, et al. Self-Assembled Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Nanosheets for High Energy-High Power Sodium Ion Capacitors[J]. Chemistry of Materials, 2016, 28(16): 5753–5760.
- [3] CONWAY B E. Transition from “Supercapacitor” to “Battery” Behavior in Electrochemical Energy Storage[J]. Journal of the Electrochemical Society, 1991, 138(6): 1539–1548.
- [4] ÖZKAN S, NGUYEN N T, HWANG I, et al. Highly Conducting Spaced TiO<sub>2</sub> Nanotubes Enable Defined Conformal Coating with Nanocrystalline Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and High Performance Supercapacitor Applications[J]. Small, 2017, 13(14). doi: 10.1002/sml.201603821.
- [5] SUN H T, MEI L, LIANG J F, et al. Three-Dimensional Holey-Graphene/Niobia Composite Architectures for Ultrahigh-Rate Energy Storage[J]. Science, 2017, 356(6338): 599–604.
- [6] 高书燕, 范 豪. 基于金属氧化物的赝电容器[J]. 化学通报, 2013, 76(3): 202–209.  
GAO Shuyan, FAN Hao. A Review on the Metal-Oxide-Based Pseudocapacitors[J]. Chemistry, 2013, 76(3): 202–209.
- [7] LIU M N, YAN C, ZHANG Y G. Fabrication of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Nanosheets for High-Rate Lithium Ion Storage Applications[J]. Scientific Reports, 2015, 5. doi: 10.1038/srep08326.
- [8] DENG B H, LEI T Y, ZHU W H, et al. In Plane Assembled Orthorhombic Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Nanorod Films with High-Rate Li<sup>+</sup> Intercalation for High-Performance Flexible Li-Ion Capacitors[J]. Advanced Functional Materials, 2017, 28(1). doi: 10.1002/adfm.201704330.
- [9] ZHANG L L, ZHAO X S. Carbon-Based Materials as Supercapacitor Electrodes[J]. Chemical Society Reviews, 2009, 38(9): 2520–2531.
- [10] 焦 琛, 张卫珂, 苏方远, 等. 超级电容器电极材料与电解液的研究进展[J]. 新型炭材料, 2017, 32(2): 106–115.  
JIAO Chen, ZHANG Weike, SU Fangyuan, et al. Research Progress on Electrode Materials and Electrolytes for Supercapacitors[J]. New Carbon Materials, 2017, 32(2): 106–115.
- [11] 蔡挺威. 超级电容器用多孔碳材料的制备与性能研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2014.  
CAI Tingwei. Mesoporous Carbon Used as Supercapacitor Electrode Material[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2014.
- [12] 文建国, 周震涛, 阮湘元, 等. 金属氧化物电极材料赝电容特性研究[J]. 电子元件与材料, 2007, 26(5): 55–57.  
WEN Jianguo, ZHOU Zhentao, RUAN Xiangyuan, et al. Study on Pseudocapacitance Characteristics of Metal Oxide Electrode Materials in Electrochemical Capacitors[J]. Electronic Components and Materials, 2007, 26(5): 55–57.
- [13] 庄玉贵. 镍基赝电容器的研究进展[J]. 福建师大福清分校学报, 2008(5): 20–25.  
ZHUANG Yugui. Research Progress of Nickel Based Pseudopotential Capacitors[J]. Journal of Fuqing Branch of Fujian Normal University, 2008(5): 20–25.
- [14] 吴艳波. 混合型超级电容器负极材料 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 的制备及性能研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2017.  
WU Yanbo. Study on Preparation and Properties of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> for Hybrid Supercapacitor Anodes Material[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2017.
- [15] LÜBKE M, SUMBOJA A, JOHNSON I D, et al. High Power Nano-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Negative Electrodes for Lithium-Ion Batteries[J]. Electrochimica Acta, 2016, 192: 363–369.
- [16] WANG X L, LI G, CHEN Z, et al. High Performance Supercapacitors Based on Nanocomposites of Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Nanocrystals and Carbon Nanotubes[J]. Advanced Energy Materials, 2011, 1(6): 1089–1093.
- [17] SHI C F, XIANG K X, ZHU Y R, et al. Preparation and Electrochemical Properties of Nanocable-Like Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Surface-Modified Carbon Nanotubes Composites for Anode Materials in Lithium Ion Batteries[J]. Electrochimica Acta, 2017, 246(20): 1088–1096.
- [18] CHEONG J Y, KIM C, JUNG J W, et al. Formation of a Surficial Bifunctional Nanolayer on Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> for Ultrastable Electrodes for Lithium Ion Battery[J]. small, 2017, 13(19). doi: 10.1002/sml.201603610.
- [19] 李和顺, 高立新, 张大全, 等. 片状五氧化二铌的制备及作为超级电容器电极材料的应用[J]. 化工新型材料, 2017, 45(4): 159–161.  
LI Heshun, GAO Lixin, ZHANG Daquan, et al. Preparation of Niobium Pentoxide Flakes and Their Application as Supercapacitor Electrode[J]. New Chemical Materials, 2017, 45(4): 159–161.
- [20] 李和顺, 高立新, 张大全, 等. 多孔碳负载五氧化二铌及其在超级电容器中的应用[J]. 化工学报, 2016, 67(7): 3071–3077.  
LI Heshun, GAO Lixin, ZHANG Daquan, et al.

- Preparation of Niobium Pentoxide Loaded on Porous Carbon and Its Application in Supercapacitors[J]. CIESC Journal, 2016, 67(7): 3071–3077.
- [21] SHI C F, XIANG K X, ZHU Y R, et al. Box-Implanted  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  Nanorods as Superior Anode Materials in Lithium Ion Batteries[J]. Ceramics International, 2017, 43(15): 12388–12395.
- [22] JIANG J, LI Y Y, LIU J P, et al. Recent Advances in Metal Oxide Based Electrode Architecture Design for Electrochemical Energy Storage[J]. Advanced materials, 2012, 24(38): 5166–5180.
- [23] WU Q F, HE K X, MI H Y, et al. Electrochemical Capacitance of Polypyrrole Nanowire Prepared by Using Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) as Soft Template[J]. Materials Chemistry and Physics, 2007, 101(2/3): 367–371.
- [24] 孙雅茹, 张微微, 李海全. 含铌电容材料的制备及其性能 [J]. 应用化学, 2016, 33(2): 221–228.  
SUN Yaru, ZHANG Weiwei, LI Haiquan. Preparation and Properties of Niobium-Containing Capacitor Material[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2016, 33(2): 221–228.
- [25] LIN Y M, ABEL P R, HELLER A, et al.  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Nanorods as Anode Material for Lithium Ion Batteries[J]. The Journal of Physical Chemistry Letters, 2011, 2(22): 2885–2891.
- [26] ZHAO J, LAI H W, LYU Z Y, et al. Hydrophilic Hierarchical Nitrogen Doped Carbon Nanocages for Ultrahigh Supercapacitive Performance[J]. Advanced Materials, 2015, 27(23): 3541–3545.

## Preparation of Porous Spherical Niobic Oxide ( $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ) and Its Application in Supercapacitors

CHEN Han, LIU Jingqiang, ZHU Yirong, ZHOU Wei, XIANG Kaixiong

(School of Metallurgy and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Spherical  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  was synthesized by hydrothermal method, and further calcined into porous spherical  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ . Two activated samples were used as cathode materials for pseudo-capacitors. The morphology and structure of two samples were studied by X-ray and scanning electron microscopy. Both samples were of spherical structure, and porous spherical  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  had abundant ion channels and mesoporous which made it be equipped with excellent electrochemical properties. Two activated samples were used as cathode materials for pseudo-capacitors, the electrochemical properties were compared. The results showed that the porous spherical  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  was better than spherical  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ , and porous spherical  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  displayed high specific capacitance of 351 F/g at the current density of 0.5 A/g, good rate capacity of 225 F/g at the high current density of 5.0 A/g and impressive capacitance retention of 92% after 3 000 cycles at the current density of 2.0 A/g. This  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  nanomaterial proved to have certain reference and application value.

**Keywords:** electrochemistry; supercapacitor; niobic oxide