

新材料与新技术

尿素辅助高性能 LiFePO_4 正极材料的制备及
电化学性能研究

孙 锴 王 鑫 邓 腾 杜振强 牛 瑶 王 娟*

(西安建筑科技大学机电工程学院陕西省纳米材料与技术重点实验室,西安 710055)

摘 要 通过尿素辅助软模板法研究了表面活性剂亲油基的链长对 LiFePO_4/C 复合材料形貌及其电化学性能的影响。结果表明,在尿素作用下,亲油基的链长对颗粒生长和成型起到了关键作用,在室温下,样品 LFP-DTAB-urea 在 0.1C 倍率下首次放电比容量达到了 153.1mAh/g,50 次循环后放电比容量保持在 123mAh/g,容量保持率为 84.9%;10C 倍率下放电比容量达到 79.5mAh/g。该研究结果为其他锂二次电池甚至新型二次电池电极材料的研究提供了参考,同时表明软模板法在纳米材料合成中具有广阔的应用前景。

关键词 磷酸铁锂,锂离子电池,软模板法,电化学性能

Preparation of LiFePO_4 anode assisted by urea and
its electrochemical property

Sun Kai Wang Xin Deng Teng Du Zhenqiang Niu Yao Wang Juan

(School of Mechanical and Electrical Engineering,Xi'an University of Architecture and
Technology,Shaanxi Key Laboratory of Nanomaterials and Technology,Xi'an 710055)

Abstract The effect of the chain length of the surfactant lipophilic group on the morphology and electrochemical properties of LiFePO_4/C composites was studied by the urea-assisted soft template method for the first time. The results shown that the chain length of the lipophilic group played a crucial role in influencing the particles under the actions of urea. At room temperature, the initial discharge specific capacity of LFP-DTAB-urea reached 153.1mAh/g at the rate of 0.1C, the discharge specific capacity remained 123mAh/g after 50 cycles, the capacity retention rate was 84.9%, and the discharge specific capacity reached 79.5mAh/g at 10C. The results provided a reference for the research of other lithium secondary batteries and even new secondary battery electrode materials, and shown that the soft template method had a broad application prospect in the synthesis of nano-materials.

Key words lithium iron phosphate, lithium ion battery, soft template method, electrochemical performance

锂离子电池由于具有高比能量、高功率、安全、长寿命和无记忆效应等诸多优点,被公认为是最具有开发潜力的二次电池。在电池的应用和电极材料的发展中, LiFePO_4 作为一种锂离子电池正极材料,因绿色、无毒、成本低、充放电平台高、比容量大、循环性能好等优点备受关注^[1-3]。 LiFePO_4 有较宽的电压范围(2.5~4.0V),循环性能好,在充放电过

程中结构稳定,因而作为正极材料被应用于锂离子电池中。然而,其存在导电性差、电荷转移阻抗大等缺点,循环性能也有待提高^[4-5]。近年来,研究者对这些问题采取了以下改进方法:稀土离子掺杂、金属离子掺杂、金属氧化物包覆等。张丽等^[6]用两步加热高温固相法合成了掺杂稀土 Nd 离子的 $\text{LiFe}_{1-x}\text{Nd}_x\text{PO}_4/\text{C}$ 正极材料,发现稀土 Nd 的掺杂

基金项目:国家自然科学基金(51202179);陕西省科技厅资助项目(2018GY-166,2019TD-019);陕西省教育厅自然科学基金(16JS058,18JS058);西安市科技局资助项目[201805033YD11CG17(7),2019219914SYS014CG036]

作者简介:孙锴(1979-),女,副教授,主要从事新型储能材料的研究工作。

联系人:王娟(1978-),女,教授,博士生导师,主要从事锂离子二次电池电极材料的研究工作。

不仅不会影响 LiFePO_4 晶体结构,还可以细化晶粒。习小明等^[7]采用固相法制备了掺杂稀土 La 的 LiMn_2PO_4 ,发现稀土 La 的掺杂提高了 Mn 的平均化合价,稳定了正极材料的结构,减弱了 Jahn-Teller 效应。Chung 等^[8]首先对 LiFePO_4 材料进行了金属离子 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Ti^{4+} 、 Nb^{5+} 、 W^{6+} 的掺杂研究,使材料的电导率得到了提高。武聪等^[9]研究了铈掺杂 LiFePO_4 的电化学性能,结果表明,稀土的掺杂可以极大改善 LiFePO_4 材料的电化学性能。崔妍^[10]对 LiFePO_4 材料进行了 CuO 包覆,当 CuO 含量为 1.5% 时,材料的电化学性能最佳;1C 放电时,材料的放电比容量最高达到 125mAh/g,20 次循环后仍维持在 123mAh/g,容量损失率仅为 1.6%。

表面活性剂作模板属于软模板法的一种,它在材料表面的吸附是通过静电作用来实现的,这种静电作用减少了颗粒之间的相互接触和团聚,从而控制纳米颗粒的形貌和尺寸。此外,表面活性剂中亲油基团的属性如碳氢键的长度会使得 LiFePO_4 样品的性能产生差异。Bazzi 等^[11]使用不同链长的脂肪酸(十二酸、十四酸与十八烯酸)为表面活性剂合成了 LiFePO_4/C 正极材料,该材料粒径小、团聚少、碳涂层均匀,改善了其循环稳定性。

烷基季铵类表面活性剂根据碳氢链的长度分为十二烷基三甲基溴化铵(DTAB)、十四烷基三甲基溴化铵(TTAB)、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)和十八烷基三甲基溴化铵(STAB)。本研究以尿素为添加剂,分别以 DTAB、TTAB、CTAB、STAB 为表面活性剂,采用溶剂热法制备了 LiFePO_4/C 复合材料,研究了表面活性剂亲油基的链长以及尿素和表面活性剂共同作用对 LiFePO_4/C 复合材料的影响。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

氢氧化锂($\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$)、硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)、柠檬酸和氨磷酸二氢铵($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$),均为分析纯,购自天津市科密欧化学试剂有限公司;TTAB 和 STAB,均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司;DTAB(分析纯),天津市福晨化学试剂厂;CTAB(分析纯),天津市光复细化工研究院;乙二醇(分析纯),天津市天力化学试剂有限公司;尿素($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$),分析纯,沈阳试剂五厂。

X 射线衍射仪(XRD, XRD-7000 型),日本岛津;扫描电子显微镜采用(SEM, JEM-2100F 型),日

本精工;透射电子显微镜(TEM, FEI Quanta 200 型),荷兰 FEI 公司。

1.2 LiFePO_4/C 复合材料无尿素添加剂的制备

首先将 2.78g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、1.15g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、0.63g $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、2.10g 柠檬酸和一定量的表面活性剂(DTAB、TTAB、CTAB、STAB)溶于乙二醇中,使溶液混合均匀,反应物中 $\text{Fe}:\text{P}:\text{Li}$ 的摩尔比为 1:1:1.5,表面活性剂与 Fe 的摩尔比为 1:1;然后,将溶液转移至聚四氟乙烯内衬的高压反应釜中密封,于 180℃ 下分别反应 12h;静置冷却后,用无水乙醇和水分别洗涤数次,再在真空干燥箱中于 100℃ 下干燥 10h;最后将上述前驱体产物研磨成粉末送入真空管式炉中,在 N_2 保护下 350℃ 预烧 4h,然后继续 700℃ 煅烧 10h,冷却后研磨得到最终产物 LiFePO_4/C 粉末,根据表面活性剂的不同,分别记为 LFP-DTAB、LFP-TTAB、LFP-CTAB、LFP-STAB

1.3 LiFePO_4/C 复合材料含尿素添加剂的制备

首先将 2.78g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、1.15g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、0.63g $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、2.10g 柠檬酸和一定量的表面活性剂(DTAB、TTAB、CTAB、STAB)和尿素溶于乙二醇中,使溶液充分溶解,反应物中 $\text{Fe}:\text{P}:\text{Li}$ 的摩尔比为 1:1:1.5;然后将溶液转移至聚四氟乙烯内衬的高压反应釜中密封,于 180℃ 下分别反应 12h;静置冷却后,用无水乙醇和水分别洗涤数次,在真空烘箱中 100℃ 干燥 10h;最后将上述前驱体研磨成粉末送入真空管式炉中,在 N_2 保护气氛下,350℃ 预烧 4h,然后 700℃ 煅烧 10h,冷却后研磨得到最终产物 LiFePO_4/C 粉末,分别记为 LFP-DTAB+urea、LFP-TTAB+urea、LFP-CTAB+urea、LFP-STAB+urea。

1.4 材料表征

X-射线粉末晶体衍射是表征材料结构的常用方法,可用来研究材料的晶体结构和空间群等^[12]。本研究采用日本岛津 XRD-7000 型 X 射线衍射仪对样品进行 XRD 表征,工作电压和电流分别为 40kV 和 40mA,扫描角度为 10~90°,选用 Cu 的 $\text{K}\alpha$ 射线^[13]。扫描电子显微镜采用日本 JEM-2100F 型,加速电压为 30kV,可以对样品的形貌和结构进行分析。扫描电子显微镜是采用二次电子信号成像来获取 SEM 图片,它可以清楚地看到目标产物的颗粒尺寸和形貌^[14]。为了进一步研究材料的微观形态,采用 FEI Quanta 200 型透射电子显微镜进行 TEM 测试。透射电子显微镜是通过样品的电子束

来提取样品的内部信息,经过集中、放大,将材料的内部结构等信息投射到显示屏上,可以更加清楚地观察样品的微观结构、形貌及包覆层的厚度等^[15]。

1.5 电极制备与电池组装

以 *N*-甲基吡咯烷酮(NMP)作为溶剂,聚偏氟乙烯(PVDF)作为粘结剂。先取 PVDF 加入 NMP 中,搅拌均匀;再按正极材料:炭黑:PVDF=8:1:1 的比例称取 LiFePO_4/C 样品、炭黑加入到上述溶剂中,密封并搅拌过夜;然后将其均匀涂布在铝箔上,在真空干燥箱中 120°C 下干燥 10h,用手动冲片机冲压成直径为 10mm 的圆片作正极;再以锂片作为负极,隔膜(Celgard 2400)直径为 16mm,在充满氩气的手套箱中组装成 CR2032 纽扣电池,静置 12h 待测。其中,电解液(1mol/L LiPF_6 的碳酸乙烯酯/碳酸二甲酯,体积比为 1:1)的总量为 $70\mu\text{L}$ 。

1.6 电化学性能测试

材料的所有性能测试均在室温下进行。恒电流充放电测试采用新威电池检测系统,充放电倍率为 0.1C(1C=170mAh/g),电压测试范围为 2.0~4.2V,在该条件下测试所有样品的电池。循环伏安(CV)和交流阻抗(EIS)测试均在普林斯顿 PARSTAT 2273 标准下进行,其中 CV 测试电压区间为 2.5~4.2V,扫描速度为 0.5mV/s,EIS 测试频率范围为 10mHz~100kHz,振幅为 5mV。

2 结果与讨论

2.1 XRD 谱图分析

图 1 为不同表面活性剂下 LiFePO_4/C 复合材料的 XRD 谱图,图 2 为表面活性剂和尿素共同添加下的 LiFePO_4/C 复合材料的 XRD 谱图。对照 LiFePO_4 的标准卡片(JCPDS no. 83-2092)可看出,本研究制备出了纯相 LiFePO_4/C 复合材料,说明表面活性剂和尿素的加入并没有改变 LiFePO_4 的晶体结构,所得到的 LiFePO_4/C 复合材料纯度高,结晶度好。此外,表面活性剂亲油基的链长对衍射峰强度的影响不大。

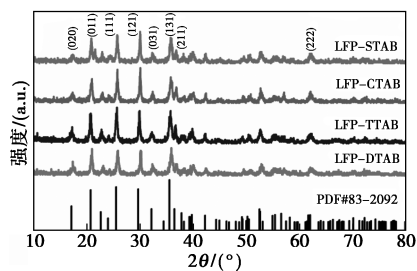


图 1 添加不同表面活性剂的 LiFePO_4/C 复合材料的 XRD 谱图

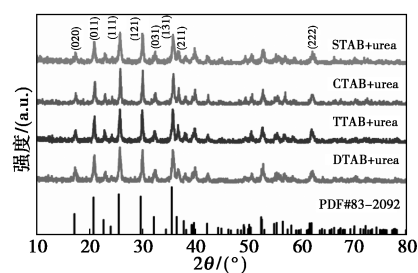


图 2 共同添加尿素和表面活性剂的 LiFePO_4/C 复合材料的 XRD 谱图

2.2 SEM 形貌分析

图 3 和图 4 为溶剂热法制备的 LiFePO_4/C 的 SEM 图。由图 3 可以看出,仅仅加入表面活性剂就对材料形貌产生了很大的影响。由图 3(a)、(b)、(c)、(d)可知,随着表面活性剂碳氢链的长度的增加,合成的 LiFePO_4/C 的片状结构越明显,甚至 LFP-CTAB 样品呈现出片状堆叠的花状结构;比表面积越来越大,直到 LFP-STAB 样品片状结构消失

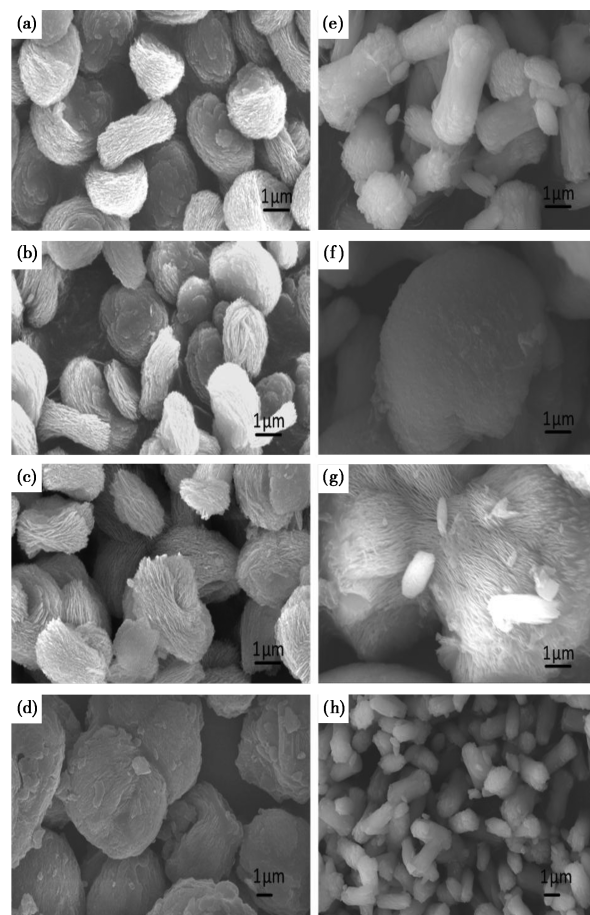


图 3 不同条件下制备的 LiFePO_4/C 复合材料的 SEM 图

[(a) LFP-DTAB; (b) LFP-TTAB; (c) LFP-CTAB; (d) LFP-STAB; (e) LFP-DTAB+urea; (f) LFP-TTAB+urea; (g) LFP-CTAB+urea; (h) LFP-STAB+urea]

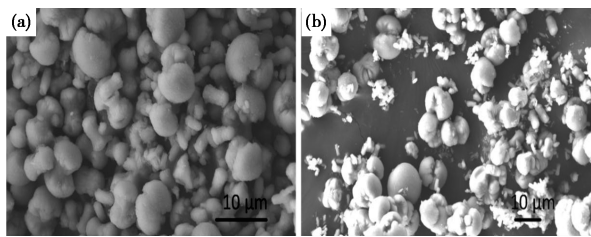


图 4 低倍镜下 LiFePO₄/C 复合材料的 SEM 图
[(a)LFP-TTAB+urea;(b)LFP-CTAB+urea]

了,颗粒尺寸也变大了将近一倍。继续观察图 3 (e)、(f)、(g)、(h),发现共同加入尿素和表面活性剂时,颗粒形貌的变化和预期的不太一样,在尿素作用下碳氢链的长度对颗粒的影响与无尿素时截然不同。由图可见,较短和较长的碳氢链和尿素的共同作用使得 LFP-DTAB+urea [图 3(e)] 和 LFP-STAB+urea[图 3(h)]样品呈现出类似的结构,由一些短的棒状结构组装成一束一束的颗粒,尺寸相差不多。但是,LFP-TTAB+urea[图 3(f)]和 LFP-CTAB+urea[图 3(g)]样品的颗粒尺寸较大,从图 4 中的低倍镜 SEM 图可以看出,它们均类似哑铃状结构,只是 LFP-CTAB+urea 颗粒保留了 LFP-CTAB 的片状结构,而 LFP-TTAB+urea 的表面较为平整。

3 电化学性能分析

3.1 恒流充放电测试

图 5 为仅添加不同表面活性剂时的 LiFePO₄/C 样品在 0.1C 倍率条件下的首次充放电曲线图和循环性能图,表 1 为相应的电化学性能数值。由图

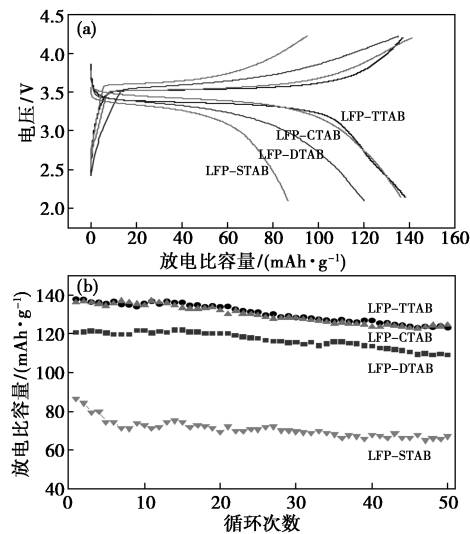


图 5 添加不同表面活性剂的 LiFePO₄/C 首次充放电曲线图(a)和循环性能图(b)

表 1 不同表面活性剂 0.1C 倍率下 LiFePO₄/C 复合材料的电化学性能

样品	首次充电 比容量/ (mAh·g ⁻¹)	首次放电 比容量/ (mAh·g ⁻¹)	容量保持率 (50 次循环后)/ %
LFP-0	124.7	122.0	76.2
LFP-DTAB	135.1	120.1	90.8
LFP-TTAB	137.2	138.0	89.2
LFP-CTAB	141.1	136.2	91.4
LFP-STAB	94.8	86.6	77.5
LFP-TTAB+urea	98.1	97.6	76.9
LFP-CTAB+urea	114.0	105.2	79.0
LFP-STAB+urea	141.8	141.4	78.0
LFP-DTAB+urea	153.6	153.1	84.9

和表可见,在 0.1C 倍率下,未加入表面活性剂的样品(LFP-0)的首次充电比容量为 124.7mAh/g,放电比容量为 122.0mAh/g。加入表面活性剂后,随着碳氢链的长度逐渐变长,样品的首次充放电比容量呈上升的趋势,充放电电压差减小,同时表现出良好的容量保持率,这可能是因为随着表面活性剂的碳氢链长度的增加,表面活性剂的表面张力减小,从而很好地抑制了粒径的生长,更容易形成细小的磷酸铁锂颗粒,提高材料的振实密度,进而样品的比容量提高。然而当添加 STAB 时,比容量却明显大幅降低,甚至低于原始样品^[16],这可能由于当碳链长度过长时会导致表面活性剂的溶解度降低,不能发挥出抑制粒径生长的作用,材料振实密度较低,因而比容量出现降低。这一点从添加不同表面活性剂的 LiFePO₄ 的 SEM 图也可以看出,添加 STAB 的 LiFePO₄ 粒径最大,而其他样品的粒径尺寸都明显较小,说明不同表面活性剂的添加对 LiFePO₄ 粒径生长的抑制程度不同,较大尺寸粒径的 LiFePO₄ 颗粒降低了材料的振实密度,因而首次放电容量较低。

图 6 为共同添加尿素和表面活性剂时的 LiFePO₄/C 样品在 0.1C 倍率条件下的首次充放电曲线图和循环性能图。通过对比,发现共同添加尿素和表面活性剂时的样品并没有表现出期望中的优良电化学性能,反而有些样品的电化学性能很差,如 LFP-TTAB+urea 样品的放电比容量仅有 97.6mAh/g。对比仅加入表面活性剂时的样品(图 5),发现共同添加尿素和表面活性剂时样品的充放电平台较为平稳,平台压差较小,说明该组样品在充放电时的极化较小。

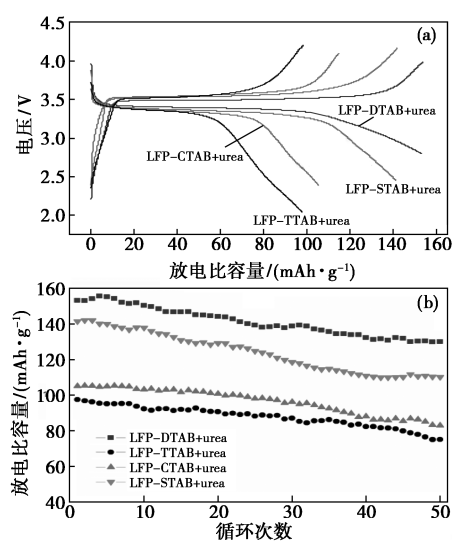


图 6 共同添加尿素和表面活性剂的 LiFePO_4/C 首次充放电曲线图(a)和循环性能图(b)

此外,观察图 5 和图 6 的循环性能图,可以看出在循环初期,有些样品的放电比容量略有上升,这是因为刚刚组装好的电池没有完成活化过程,在前几次的充放电过程中,电池的內部形成了固定的锂离子的迁移通道^[17]。

不同条件下 LiFePO_4/C 样品的首次充放电图和循环性能图都表明,在仅添加表面活性剂的情况下,CTAB 对 LiFePO_4 性能的改善最佳,并且 LFP-CTAB 样品具有该情况下最好的电化学性能;在共同添加尿素和表面活性剂的情况下,尿素和 DTAB 对 LiFePO_4 的改性最佳,并且 LFP-DTAB+urea 样品具有最优异的电化学性能^[18]。这一结论通过测试不同条件下样品的倍率性能得到了进一步的验

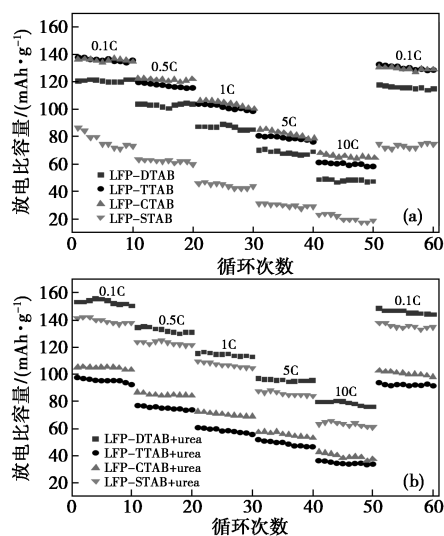


图 7 不同条件下 LiFePO_4/C 复合材料的倍率放电曲线
[(a)添加表面活性剂;(b)共同添加尿素和表面活性剂]

证(图 7)。由图 7(a)可知,尽管 LFP-TTAB 样品在 0.1C 倍率下的放电比容量较 LFP-CTAB 样品略高,但在较高的电流密度下,LFP-CTAB 样品的比容量均较其他样品高,说明 CTAB 的加入对 LiFePO_4 倍率性能的提高有益。通过观察图 7(b)中的样品表现,并且比较图 7(a)中倍率性能最好的 LFP-CTAB 样品可知,LFP-DTAB+urea 样品在各个倍率测试下都具有最高的放电比容量,尤其在较大倍率(10C)下进行充放电测试时,放电比容量仍然可以达到 79.5mAh/g ,而在此倍率下 LFP-TTAB+urea 样品放电比容量仅有 36.2mAh/g 。以上测试结果表明,尿素和 DTAB 的共同作用有利于 LiFePO_4 倍率性能的提升,对电池的极化影响最小。

3.2 循环伏安和交流阻抗测试

图 8 为最优化条件下的 LFP-DTAB+urea 样品的循环伏安图(a)和交流阻抗图(b)。由图 8(a)可见,在 50 次充放电循环后 LFP-DTAB+urea 样品具有较高的氧化还原峰,氧化电位和还原电位分别为 3.37V 和 3.58V ,电位差仅为 0.21V ,表明其在这两个电位处发生锂离子的嵌入与嵌出反应。相比该样品首次充放电的电压平台,电压的变化较小,电极的极化现象较弱。继续观察交流阻抗图[图 8(b)]可见,该样品的电荷转移阻抗值为 386Ω 。比较 LFP-0 原始样品发现,LFP-DTAB+urea 样品阻抗值明显降低,说明尿素和表面活性剂的共同作用更有利于提高电极反应过程中的电荷转移速率。

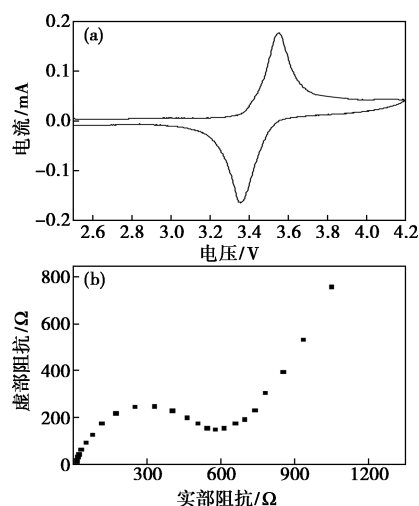


图 8 LFP-DTAB+urea 样品的循环伏安图(a)和交流阻抗图(b)

4 结论

(1)加入 CTAB 的样品 LFP-CTAB 在 0.1C 倍

率下的比容量最高,倍率性能也是最好的。主要原因是其独特的花状结构增大了比表面积,有利于纳米颗粒与电解液的充分接触。

(2)进一步研究尿素和表面活性剂的共同作用对 LiFePO_4/C 复合材料性能的影响,发现同时加入尿素和 DTAB 的样品的氧化还原电位差仅为 0.21V,电荷转移阻抗值较空白样品也低很多可见;而且样品 LFP-DTAB+urea 在具有较高的放电平台(3.4V)的同时,也表现出很好的倍率性能。

(3)对比仅加入表面活性剂与共同加入尿素和表面活性剂时 LiFePO_4/C 复合材料的性能,发现表面活性亲油基的链长对样品形貌的影响没有相同的规律,同时对电化学性能的影响也没有相同的规律,表明尿素会影响表面活性剂的作用。然而,不可否认的是,在尿素作辅助添加剂的情况下,确实减小了纳米颗粒的尺寸,提升了 LiFePO_4/C 复合材料的电化学性能。

参考文献

- [1] 闫金定.锂离子电池发展现状及其前景分析[J].航空学报,2014,35(10):2767-2775.
- [2] 冯国彪,邓宏.锂离子电池正极材料磷酸铁锂研究进展[J].无机盐工业,2011,43(3):14-17.
- [3] Jugovic D, Uskokovi D. A review of recent developments in the synthesis procedures of lithium iron phosphate powders [J]. Journal of Power Sources, 2009, 190: 538-544.
- [4] 李华成,钟胜奎,李普良,等.溶胶-凝胶法制备 LiFePO_4/C 及其电化学性能[J].矿冶工程,2014,34(1):103-106.
- [5] Wang J, Ren B, Hojamberdiev M, et al. Sodium gluconate-assisted hydrothermal synthesis, characterization and electrochemical performance of LiFePO_4 powders [J]. Advanced Powder Technology, 2014, 25: 567-573.
- [6] 张丽,赵敏寿,王丹丹,等. Nd^{3+} 掺杂 LiFePO_4 结构及电化学性能的改善[J].无机化学学报,2009,259(10):1724-1728.
- [7] 习小明,王双才,湛中魁,等. Li^+ 、 La^{3+} 掺杂对尖晶石 LiMn_2O_4 的电化学性能影响[J].矿冶工程,2009,29(6):85-88.
- [8] Chung S Y, Bloking J T, Chiang Y M, et al. Electronically conductive phosphor olivine as lithium storage electrodes[J]. Nature Materials, 2002, 1(2):123-128.
- [9] 武聪,罗绍华,田勇,等.稀土铈掺杂 LiFePO_4 正极材料的电化学性能研究[J].硅酸盐通报,2009,28(S):153-156.
- [10] 崔妍.金属氧化物与碳共包覆 LiFePO_4 正极材料高倍率电化学性能研究[D].天津:天津大学,2010.
- [11] Bazzi K, Mandal B P, Nazri M, et al. Effect of surfactants on the electrochemical behavior of LiFePO_4 cathode material for lithium ion batteries[J]. Journal of Power Sources, 2014, 265(11):67-74.
- [12] 闫印习.锂离子电池富锂三元正极材料 $\text{Li}[\text{Li}_{0.2}\text{Mn}_{0.54}\text{Ni}_{0.13}\text{Co}_{0.13}]\text{O}_2$ 的制备与改性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.
- [13] 邓龙征.磷酸铁锂正极材料制备及其应用的研究[D].北京:北京理工大学,2014.
- [14] 蒿豪.锂离子电池正极材料 $\text{Li}_2\text{FeSiO}_4/\text{C}$ 的合成与改性研究[D].上海:复旦大学,2012.
- [15] 吴译晨.水热合成磷酸铁锂的碳包覆工艺研究[D].天津:河北工业大学,2013.
- [16] Gao Y, Chen K, Chen H, et al. Surfactant assisted solvothermal synthesis of LiFePO_4 nanorods for lithium-ion batteries [J]. Journal of Energy Chemistry, 2017, 26(3):564-568.
- [17] 朱承龙. LiFePO_4 /石墨烯正极材料的制备工艺与性能研究[D].南京:南京理工大学,2016.
- [18] Yanagisawa K, Matamoros-Veloza. Urea decomposition enhancing the hydrothermal synthesis of lithium iron phosphate powders: effect of the lithium precursor[J]. Advanced Powder Technology, 2017, 28:1593-1602.

收稿日期:2018-11-23

修稿日期:2019-02-27

上海硅酸盐所在仿皮肤柔性传感用于盲文智能识别研究中取得进展

近日,中国科学院上海硅酸盐研究所王家成研究员和复旦大学微电子学院卢红亮教授和张卫教授研制了一种仿皮肤式柔性压力传感器,基于此传感器,有望实现盲文的智能识别。

在该研究中,基于人体皮肤结构,科研人员提出了一种仿皮肤式的柔性压力传感器,并将其应用于智能盲文识别。该传感器由三个主要部分组成,分别对应于人体皮肤的三个部分(表皮、真皮和皮下组织)。顶部基质为荷叶棘突随机高斯分布的力信号感知层,与表皮结构形态相似。这种

微结构对于提高灵敏度、测量和识别弱力是必不可少的。中间导电填料为力信号处理层,由多层 $\text{Ti}_2\text{C-MXene}$ 膜形成,可在外力加载和卸载下压缩和释放。底部基板是力信号转换层,其能够将力信号转换为电信号。

利用 COMSOL 多物理模拟和密度泛函理论(DFT)计算,阐明了高斯随机分布棘突和 $\text{Ti}_2\text{C-MXene}$ 膜在柔性触觉传感器中的作用机理。该传感器灵敏度可达 507kPa,显著优于报道的其他同类器件。此外,利用随机森林算法(RDFA),首次实现了实时盲文的有效识别。(新型)