

氧化铁-氧化锡-碳复合纳米带的合成及其在锂电池中的应用

陆君, 彭卿, 李亚栋*

清华大学化学系, 北京 100084

* 联系人, E-mail: ydli@mail.tsinghua.edu.cn

2013-06-21 收稿, 2013-07-11 接受

国家自然科学基金重点项目(21231005)资助

摘要 铁基和锡基材料是两类颇有潜力的锂离子电池负极材料, 其复合纳米结构是近年来锂电池负极材料研究的热点之一. 本工作以 α -FeOOH 纳米带为前驱体, 通过简单的 Na_2SnO_3 水解反应以及葡萄糖热分解反应实现氧化铁-氧化锡-碳(Fe-Sn-C)复合纳米带材料的构筑. 与参照样的性能对比发现, Fe-Sn-C 复合纳米带不但具有 Fe 基和 Sn 基材料的脱嵌锂的电化学活性, 而且具有较小的电荷转移电阻, 因而显示出优异的倍率特性以及较好的容量保持能力.

关键词

锂离子电池
负极
氧化铁
氧化锡
纳米带

纳米复合材料因其兼备组成材料的物理、化学特性和纳米结构的尺寸效应等, 在催化、太阳能转换、生物、锂离子电池等领域得到应用^[1-6]. Fe-Sn 复合纳米结构因其大容量、高安全性的优势而成为很有潜力的负极材料, 近年来逐渐引起了人们的关注^[7-11]. Fe 基氧化物遵循转化储锂机制, 相对于金属锂的储锂电压在 1.0 V 左右; 而 Sn 基材料遵循合金化储锂机制, 储锂电压在 0.5 V 左右. 氧化铁-氧化锡复合纳米材料不但具备 Fe 基氧化物资源丰富、成本低廉和 Sn 基材料导电性好的优点, 而且纳米尺度的结构使其具有良好的电化学活性和结构稳定性^[10-15]. 目前报道的 Fe-Sn 复合结构材料, 包括 Fe_2O_3 @ SnO_2 空心纳米管^[7]、 Fe_2O_3 - SnO_2 六角柱状纳米柱^[9]、 Fe_2O_3 - SnO_2 复合纳米片^[10]和 Fe_3O_4 - SnO_2 -石墨烯纳米复合体^[11]等. 其中, 一维纳米结构的 Fe-Sn 复合结构可以提供一维的电子通道有助于提高电极的倍率特性^[9]. 然而, 由于 Fe_2O_3 较差的导电性, 铁基和锡基材料的复合纳米结构的循环和倍率性能还有待提高. 复合或包覆碳材料可以有效地提高电极材料的导电性, 提高循环稳定性和反应彻底程度^[16,17]. 对 LiFePO_4 等本

征导电性差的电极材料, 碳包覆可以提供表面的电子转移通道, 降低电子传输阻力, 减小电极极化, 提高电极材料的电化学性能^[16]. 本文拟通过三步合成构建 Fe-Sn-C 复合纳米带材料, 提高 Fe-Sn-C 电极材料的导电性、倍率性能和循环稳定性, 为 Fe-Sn 基复合材料循环和倍率问题的解决提供借鉴.

1 实验

(i) Fe-Sn-C 复合纳米带的合成. 实验所用药品均购自国药集团化学试剂有限公司, 所用水均为去离子水. 首先参照文献[18]中 α -FeOOH 纳米带的合成方法, 合成 FeOOH 前驱体作为负载 SnO_2 和碳的基底. 之后参照文献[19]的包覆 SnO_2 的方法, 用改进的方法在 FeOOH 上沉积 SnO_2 , 获得 Fe-Sn 复合的纳米材料. 具体地, 称取 0.15 g FeOOH 纳米带样品在 10 mL 水中超声分散, 加入 0.186 g Na_2SnO_3 并电磁搅拌均匀后, 将混合液转入聚四氟乙烯内衬的反应釜中密封并置于 100 °C 烘箱恒温 5 h. 待冷却后, 用去离子水离心洗涤沉淀多次并在 60 °C 烘箱中烘干, 得到 Fe-Sn 复合纳米带.

引用格式: 陆君, 彭卿, 李亚栋. 氧化铁-氧化锡-碳复合纳米带的合成及其在锂电池中的应用. 科学通报, 2013, 58: 3213-3219

Lu J, Peng Q, Li Y D, et al. Synthesis of iron oxide-tin oxide-carbon composite nanobelts and their applications in lithium-ion batteries (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 3213-3219, doi: 10.1360/972013-732

复合纳米带的碳复合方法, 参考文献[20]. 首先称取 0.2 g 复合纳米带样品分散于 5 mL 水中, 按照(Fe+Sn):C=10:1 的摩尔比例加入定量的一水合葡萄糖, 置于 70 °C 的加热套中并电磁搅拌至干. 刮取烘干后的粉末, 在 Ar 气吹扫下以 3 °C/min 的升温速率升温到 550 °C 并保持 3 h, 得到 Fe-Sn-C 复合纳米带.

(ii) 参比样的合成. 作为对比, 制备了 Fe₂O₃, Fe-C 以及 Fe-Sn 复合纳米带. 将 FeOOH 纳米带和 Fe-Sn 复合纳米带在 Ar 气吹扫下以 3 °C/min 的升温速率升温到 550 °C 保持 3 h, 得到 Fe₂O₃ 和 Fe-Sn 纳米带. 将 FeOOH 纳米带按照 Fe:C=10:1 的比例与葡萄糖混合(方法同 Fe-Sn-C 复合纳米带的合成部分), 在 Ar 气吹扫下以 3 °C/min 的升温速率升温到 550 °C 保持 3 h, 得到 Fe-C 纳米带.

(iii) 表征手段. 在 Rikagu D/max 2500(Cu 靶, 电压 40 kV, 管电流 200 mA)上对得到的 4 个样品进行粉末晶体衍射分析. 在 Hitachi model H-800(电压 100 kV)对材料进行形貌和尺寸表征, 并用附带的 EDS 配件进行元素分析. 为证实复合物中碳的存在, 实用 PerkinElmer RamanStation 400 进行材料的 Raman 光谱表征.

(iv) 电池组装和测试. 以 Cu 箔为集流体, 聚偏二氟乙烯(PVDF)为胶黏剂, 乙炔黑为导电剂, 金属 Li 为对电极, 浓度为 1 mol/L 的 LiPF₆(溶剂 EC:DMC 体积比 1:1)溶液为电解液. 将活性物质、乙炔黑和 PVDF 按照质量比 6:2:2 加入到 NMP 中分散混合, 涂布在 Cu 箔上并预烘干. 之后将涂有电极混合物的铜箔切成 10 mm 圆片转入 110 °C 真空烘箱中干燥 12 h. 干燥后的电极片在充满 Ar 气的手套箱中组装成 CR2016 扣式电池. 在 Neware BST-5V 5 mA 的电池测试仪上进行电池充放电测试, 电压范围 3.0~0.1 V, 充电电流恒定为 100 mA/g, 放电电流从 100 到 1600 mA/g. 对测试后的电池, 在上海辰华 CHI660D 电化学工作站上进行交流阻抗测试(EIS), 频率范围 10⁵~1 Hz, 电压振幅 0.01 V.

2 结果与讨论

图 1 是所得到的 4 个样品的 XRD 结果. 可以发现, 所得产物结晶均良好. Fe₂O₃, Fe-Sn, Fe-C 以及 Fe-Sn-C 4 个材料的 XRD 衍射峰可分别被指标为: 三方相 α-Fe₂O₃, 三方相 α-Fe₂O₃ 和金红石相 SnO₂ 的复合物, 立方相 Fe₃O₄, 以及立方相 Fe₃O₄、四方相 Sn 和金红石相 SnO₂ 复合物. 对比可知, 未进行 C 复合

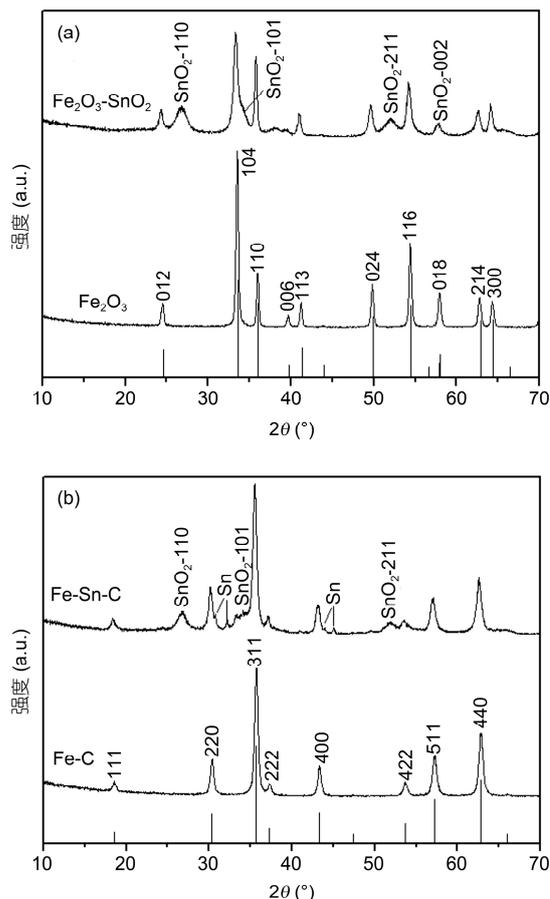


图 1 Fe₂O₃, Fe₂O₃-SnO₂, Fe-C 以及 Fe-Sn-C 纳米结构的 XRD 图

Fe₂O₃的峰参考了 JCPDS#84-0306, Fe₃O₄的峰参考了 JCPDS#88-0866, SnO₂的峰参考了 JCPDS#77-0447, Sn 的峰参考了 JCPDS#86-2264

的材料中 Fe 以 α-Fe₂O₃ 的形式存在, 而复合 C 之后的材料中 Fe 以 Fe₃O₄ 的形式存在, 说明部分 C 与 Fe₂O₃ 发生了碳热还原反应. 复合 Sn 的材料中, Sn 单质及氧化物峰也非常显著. 在 Fe-Sn 和 Fe-Sn-C 复合材料中, SnO₂ 衍射峰的半峰宽较宽, 根据谢勒公式可以推测 SnO₂ 的粒径应较小. 在热处理后, Fe-Sn-C 复合材料中出现金属 Sn 的衍射峰, 表明部分 SnO₂ 被还原.

图 2 是 4 个样品的 TEM 照片. 图 2(a)是 Fe₂O₃ 纳米带的形貌, 长度在 2 μm 左右, 其一维纳米结构清晰可辨. 图 2(b)~(d)分别是 Fe-Sn, Fe-C 以及 Fe-Sn-C 复合纳米带的 TEM 照片. 从产物的尺寸和形貌来看, 三者没有显著的差别, 均为 2 μm 左右长, 200 nm 左右宽的纳米带. 值得注意的是, 图 2(b)和(d)中纳米带表面因细小颗粒的存在而显得粗糙, 推断该纳米粒子应为 SnO₂ 和 Sn. 从放大后的图 2(e)和(f)可以发现,

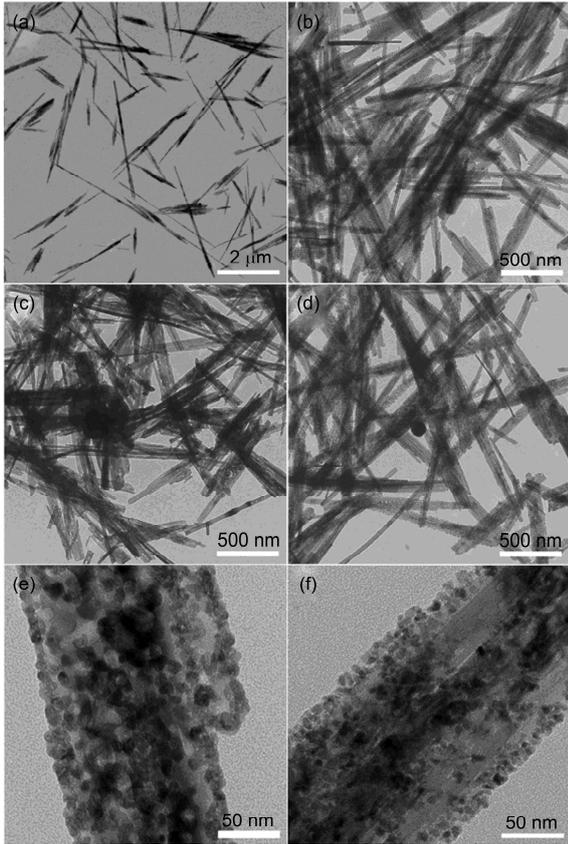


图 2 Fe₂O₃(a), Fe₂O₃-SnO₂ (b)和(e), Fe-C(c)以及 Fe-Sn-C (d)和(f)纳米结构的 TEM 图

Fe-Sn 和 Fe-Sn-C 表面存在的纳米粒子尺寸在 5~10 nm 之间, 其尺寸符合 XRD 的推断. 从图 2(c)和(d)中, 无法观察到明显的碳存在, 可能是由于碳的含量少、衬度低所导致.

进一步对复合材料进行元素分析和 Raman 光谱表征. 图 3(a)是 Fe-Sn 和 Fe-Sn-C 复合纳米带的 EDS 结果, 其中 Fe 和 Sn 的峰非常显著. EDS 元素定量结果显示, Fe-Sn 和 Fe-Sn-C 复合纳米带中 Fe 和 Sn 的原子数比分别为 73.2:26.8 和 77.3:22.7, 两样品的元素组成的相符度较好. 需要说明的是, EDS 图中未标注 C 和 O 的峰, 原因为 C 和 O 的 EDS 峰与 Fe 和 Sn 的 L 峰均在 1 keV 以下出峰, 四者存在一定程度的重叠. 在 Fe-Sn-C 复合纳米带的 Raman 光谱中, 1324 和 1578 cm⁻¹ 处的峰可分别归属为无定型碳(D)和石墨碳(G)的峰^[21,22]. 而 288 和 398 cm⁻¹ 处的峰则为立方相 Fe₃O₄ 的峰, 与 XRD 结果相吻合^[21]. EDS 和 Raman 结果很好地证实了锡和碳元素在复合材料中的存在.

通过恒电流充放电实验, 对 4 个样品进行了电化

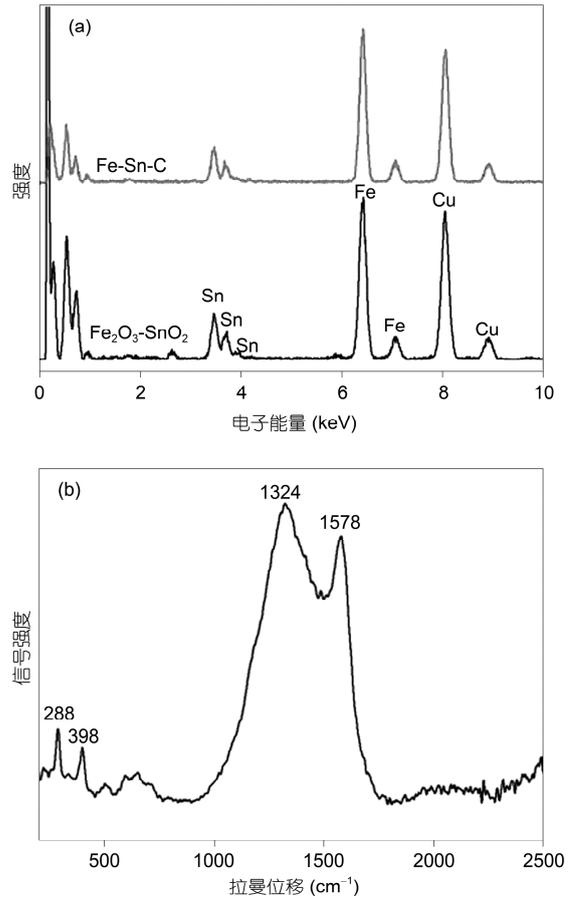


图 3 Fe₂O₃-SnO₂ 和 Fe-Sn-C 的 EDS 图(a)和 Fe-Sn-C 的 Raman 谱(b)

学性能测试. 图 4 中为 4 个样品的倍率和循环测试结果. 在图 4(a)的倍率测试中, 4 个材料在 100 mA/g 的充放电电流下活化两圈, 之后恒定充电电流为 100 mA/g, 放电电流从 200 逐渐升到 1600 mA/g. 对于 Fe₂O₃ 和 Fe-Sn 样品, 两者的初始容量分别达到 1040 和 1140 mAh/g, 并且复合 Sn 后容量略有上升. 但是两者的容量衰减非常显著, 随着循环圈数的增多, 容量呈抛物线型下降. 复合 C 后的 Fe-C 纳米带也有类似的现象, 其初始容量达到 1220 mAh/g, 并且在 200 mA/g 放电电流下的循环稳定性特别优异, 但随着电流的进一步增大, 衰减显著. 上述 3 个材料的容量衰减原因, 首先是材料较差的电化学活性使嵌入的 Li 无法顺利脱出, 导致可逆容量下降; 其次是较差的导电性, 导致了大电流下电极极化增大, 进而引起容量衰减. 而 Fe-Sn-C 复合纳米材料, 则体现出良好的倍率性能, 其初始容量达到 920 mAh/g, 在 400~800 mA/g 的

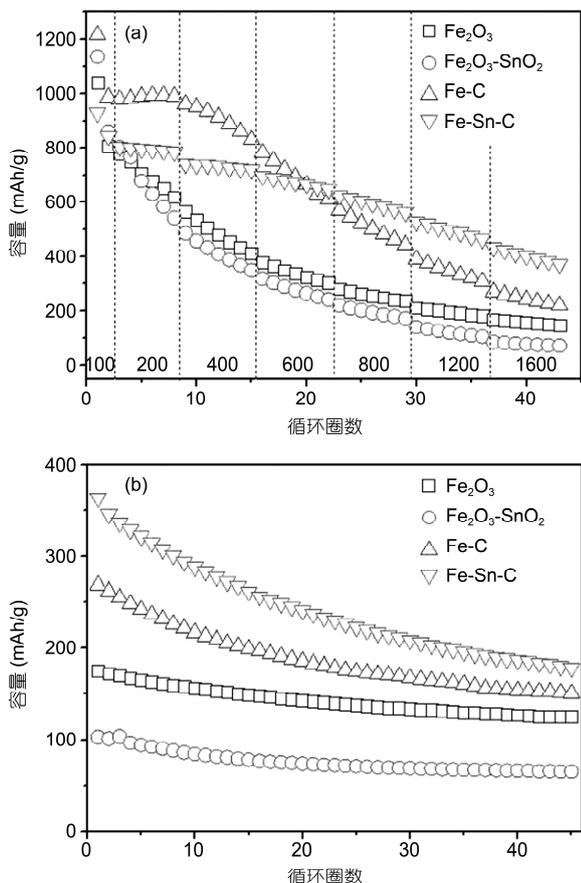


图4 Fe_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$, Fe-C 以及 Fe-Sn-C 纳米结构的倍率(a)和循环(b)结果

倍率测试中容量衰减明显小于其他 3 个材料,且在 800~1600 mA/g 的放电电流下具有最大的放电容量.比较未复合碳和复合碳的材料可知,复合碳后材料的倍率和容量稳定性显著提高.这可能与碳提高电导率,以及 Fe_2O_3 被还原为 Fe_3O_4 有关.比较 Fe-C 和 Fe-Sn-C 可知,Sn 元素也有助于提高材料的倍率性能和容量稳定性,这可能与 Sn 金属具有较好的导电性有关.而容量衰减的原因,其一是由于 Li^+ 离子嵌入材料之后,无法在充电过程中充分脱出导致了可逆容量的下降;其二是因为材料较差的导电性所导致的大电流下容量衰减.为了解材料的循环特性,对倍率测试之后的电池进行了 800 mA/g 放电测试,如图 4(b)所示.从图中可以看到,复合碳之后材料具有最好的容量.然而,复合碳后材料的容量衰减同样比较显著.其原因可能是由于电极不可逆反应以及极化所导致的容量损失.

EDS 分析的结果显示,Fe-Sn 复合纳米带中 Fe:Sn

的比例为 73.2:26.8,而 Fe-Sn-C 复合纳米带中的 Fe:Sn 比例为 77.3:22.7.而复合 C 过程中,初始 C:(Fe+Sn)的摩尔比例为 1:10.由于热处理过程中部分 C 与材料发生碳热反应而逸出体系,故实际得到产物的 C 含量要低于投料值.以 Fe_2O_3 完全被还原为 Fe_3O_4 来估算 C 含量,得 C 的质量分数为 1.3%.以 Fe_2O_3 和 SnO_2 计算 Fe_2O_3 和 Fe-Sn 复合纳米带的理论初始容量,结果为 1006 和 1092 mAh/g,而实际测得的结果分别为 1030 和 1140 mAh/g,实际与理论值吻合良好.以 Fe_3O_4 与 50% SnO_2 和 50%Sn 估算 Fe-C 以及 Fe-Sn-C 复合纳米带的理论初始容量,结果为 912 和 1078 mAh/g,而实际为 1220 和 940 mAh/g,实际与理论值偏差较大.复合 C 之后样品的初始容量误差增大,其可能原因为复合过程中碳热还原的不确定性、极片称量误差以及电极副反应导致的误差.

为了解复合纳米带材料的充放电机理,对各个材料的次圈充放电曲线进行了容量-电压微分曲线分析,如图 5 所示.从放电曲线的 dQ/dV 曲线来看,复合材料具有明显不同于 Fe_2O_3 纳米带的放电特征峰.在 Fe_2O_3 的放电微分曲线(图 5(c))中,1.2 V 附近的强峰对应于 LiFe_2O_3 的形成,而 0.8 V 附近的峰则对应于 Li_2O 和 Fe 的形成^[23].除上述峰以外, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ 复合纳米带在 1.25 和 0.15 V 附近还有两个弱且宽的峰,可归属为 SnO_2 被还原为 Sn 和 Li_2O ,以及 Li-Sn 合金化过程的峰^[24].对 Fe-C 复合材料,其放电峰位置与 Fe_2O_3 纳米带相接近,对应于 Fe_3O_4 转化为 Li_2O 和 Fe 的过程.而 Fe-Sn-C 的峰形,与 Fe-C 接近,不同的是在 0.15 V 附近存在一弱的小峰,对应于 Li-Sn 的合金化过程.对于 4 个材料的充电微分曲线,除了典型的 Fe 向 Fe 氧化物转化的峰以外,还可以观察到 $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ 和 Fe-Sn-C 复合纳米带在 0.5 V 附近的 Li-Sn 去合金化峰.上述分析表明,Fe-Sn-C 复合纳米带同时具有 Fe 基材料和 Sn 基材料的典型脱嵌锂峰.

进一步对 4 种材料所组装成的电池进行测试后的 EIS 分析,结果如图 6 所示.从 Nyquist 图中可以看到,4 个材料的阻抗曲线形状一致,说明 4 个电极材料具有类似的电化学过程.材料的等效电路如插图所示.其中 R_s 代表溶液电阻, R_p 代表表面极化电阻, R_{ct} 表示表面的电荷转移电阻, CPE_p 和 CPE_{ct} 分别表示极化过程和电荷转移过程的恒相位元件, W 表示锂离子在体相迁移过程中的 Warburg 阻抗.通过等效电路拟合各个材料的 Nyquist 图,得到了如表 1 所示的结

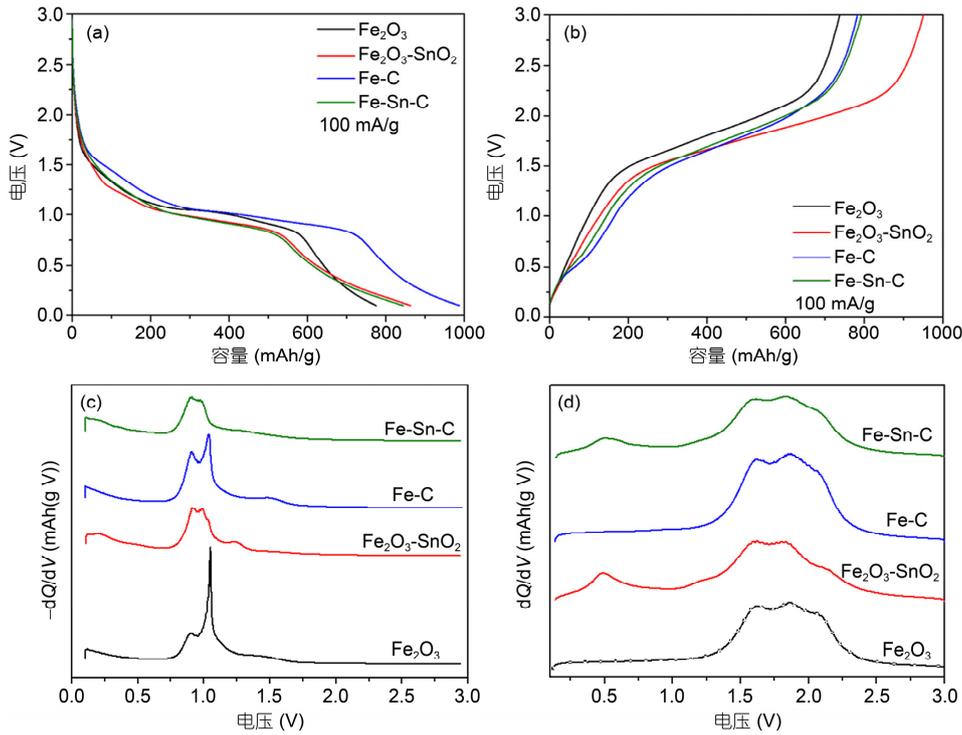


图5 Fe₂O₃, Fe₂O₃-SnO₂, Fe-C 以及 Fe-Sn-C 纳米结构的首次充放电曲线(a)和(b)以及充放电容量微分曲线(c)和(d)

表1 Zview 拟合得到的等效电路元件的阻抗数值

样品	$R_s(\Omega)$	$R_p(\Omega)$	$R_{ct}(\Omega)$
Fe ₂ O ₃	5.58	13.24	114.5
Fe ₂ O ₃ -SnO ₂	3.76	12.25	91.18
Fe-C	4.06	18.66	51.93
Fe-Sn-C	3.84	17.02	37.82

果. 从表 1 可知, 上述材料具有类似的 R_s 电阻, R_p 电阻稍有差别, 但是也比较接近; 差异最大的是 R_{ct} 电阻, 表明各个材料的表面电荷转移过程的阻抗存在非常大的差别. 其中 Fe₂O₃ 和 Fe₂O₃-SnO₂ 体系的 R_{ct} 明显大于 Fe-C 和 Fe-Sn-C 体系, 表明 Fe 的还原和碳复合可能降低了电荷转移的阻力. 同时, Fe-Sn-C 的 R_{ct} 又小于 Fe-C, 表面 Sn 元素的存在有助于提高表面电荷转移的速率. 上述分析很好地解释了倍率测试中各个样品的性能差异.

3 结论

本工作以 FeOOH 纳米带为基底, 通过液相沉积 SnO₂ 以及葡萄糖热分解的手段构建了 Fe-Sn-C 复合纳米带材料. 表征证实了材料中各组成的存在. 在恒电流充放电实验中, Fe-Sn-C 复合纳米带材料体现出比

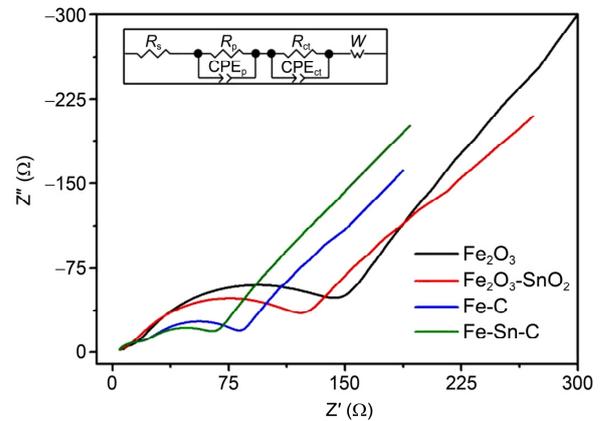


图6 Fe₂O₃, Fe₂O₃-SnO₂, Fe-C 和 Fe-Sn-C 纳米结构的 Nyquist 图以及等效电路示意图

单纯的 Fe₂O₃, Fe₂O₃-SnO₂ 以及 Fe-C 更为优异的倍率性能和更高的循环容量, 并可以归结为复合碳过程以及 Sn 基的复合对材料导电性和电化学活性的提升作用. 通过容量微分曲线证实了材料中 Fe 基和 Sn 基同时发挥了电化学活性, 通过交流阻抗测试很好地说明了复合碳过程和 Sn 基材料的存在对倍率性能的影响. 结果证实, Fe-Sn-C 复合纳米带具有良好的倍率特性和较高的容量, 具有成为锂离子电池负极材料的潜力.

参考文献

- 1 Sun Y K, Myung S T, Park B C, et al. High-energy cathode material for long-life and safe lithium batteries. *Nat Mater*, 2009, 8: 320–324
- 2 Wu Y E, Cai S F, Wang D S, et al. Syntheses of water-soluble octahedral, truncated octahedral, and cubic Pt-Ni nanocrystals and their structure-activity study in model hydrogenation. *J Am Chem Soc*, 2012, 134: 8975–8981
- 3 Liang Y Y, Wang H L, Casalongue H S, et al. TiO₂ nanocrystals grown on graphene as advanced photocatalytic hybrid materials. *Nano Res*, 2010, 3: 701–705
- 4 Lu G H, Mao S, Park S, et al. Facile, noncovalent decoration of graphene oxide sheets with nanocrystals. *Nano Res*, 2009, 2: 192–200
- 5 Law M, Greene L E, Radenovic A, et al. ZnO-Al₂O₃ and ZnO-TiO₂ core-shell nanowire dye-sensitized solar cells. *J Phys Chem B*, 2006, 110: 22652–22663
- 6 Xu C, Xie J, Ho D, et al. Au-Fe₃O₄ dumbbell nanoparticles as dual-functional probes. *Angew Chem Int Ed*, 2008, 47: 173–176
- 7 Lu J, Qi D W, Deng C H, et al. Hydrothermal synthesis of alpha-Fe₂O₃@SnO₂ core-shell nanotubes for highly selective enrichment of phosphopeptides for mass spectrometry analysis. *Nanoscale*, 2010, 2: 1892–1900
- 8 Chen J S, Li C M, Zhou W W, et al. One-pot formation of SnO₂ hollow nanospheres and alpha-Fe₂O₃@SnO₂ nanorattles with large void space and their lithium storage properties. *Nanoscale*, 2009, 1: 280–285
- 9 Zhou W, Cheng C, Liu J P, et al. Epitaxial growth of branched alpha-Fe₂O₃/SnO₂ nano-heterostructures with improved lithium-ion battery performance. *Adv Funct Mater*, 2011, 21: 2439–2445
- 10 Wang Y, Xu J, Wu H, et al. Hierarchical SnO₂-Fe₂O₃ heterostructures as lithium-ion battery anodes. *J Mater Chem*, 2012, 22: 21923–21927
- 11 Lian P, Liang S, Zhu X, et al. A novel Fe₃O₄-SnO₂-graphene ternary nanocomposite as an anode material for lithium-ion batteries. *Electrochim Acta*, 2011, 58: 81–88
- 12 Idota Y, Kubota T, Matsufoji A, et al. Tin-based amorphous oxide: A high-capacity lithium-ion-storage material. *Science*, 1997, 276: 1395–1397
- 13 Arico A S, Bruce P, Scrosati B, et al. Nanostructured materials for advanced energy conversion and storage devices. *Nat Mater*, 2005, 4: 366–377
- 14 Tartaj P, Morales M P, Gonzalez-Carreno T, et al. The iron oxides strike back: From biomedical applications to energy storage devices and photoelectrochemical water splitting. *Adv Mater*, 2011, 23: 5243–5249
- 15 Bruce P G, Scrosati B, Tarascon J M. Nanomaterials for rechargeable lithium batteries. *Angew Chem Int Ed*, 2008, 47: 2930–2946
- 16 Wang Y, Wang Y, Hosono E, et al. The design of a LiFePO₄/carbon nanocomposite with a core-shell structure and its synthesis by an *in situ* polymerization restriction method. *Angew Chem Int Ed*, 2008, 47: 7461–7465
- 17 Li H, Zhou H. Enhancing the performances of Li-ion batteries by carbon-coating: Present and future. *Chem Commun*, 2012, 48: 1201–1217
- 18 Xiao Z, Xia Y, Ren Z H, et al. Facile synthesis of single-crystalline mesoporous alpha-Fe₂O₃ and Fe₃O₄ nanorods as anode materials for lithium-ion batteries. *J Mater Chem*, 2012, 22: 20566–20573
- 19 Zhu Y, Chen W, Nan C, et al. From single-component nanowires to composite nanotubes. *Cryst Growth Des*, 2011, 11: 4406–4412
- 20 Nan C Y, Lu J, Chen C, et al. Solvothermal synthesis of lithium iron phosphate nanoplates. *J Mater Chem*, 2011, 21: 9994–9996
- 21 Sathish M, Tomai T, Honma I. Graphene anchored with Fe₃O₄ nanoparticles as anode for enhanced Li-ion storage. *J Power Sources*, 2012, 217: 85–91
- 22 Zhao X, Xia D, Zheng K. Fe₃O₄/Fe/carbon composite and its application as anode material for lithium-ion batteries. *ACS Appl Mater Interfaces*, 2012, 4: 1350–1356
- 23 Reddy M V, Yu T, Sow C H, et al. Alpha-Fe₂O₃ nanoflakes as an anode material for Li-ion batteries. *Adv Funct Mater*, 2007, 17: 2792–2799
- 24 Lu J, Nan C, Li L, et al. Flexible SnS nanobelts: Facile synthesis, formation mechanism and application in Li-ion batteries. *Nano Res*, 2013, 6: 55–64

Synthesis of iron oxide-tin oxide-carbon composite nanobelts and their applications in lithium-ion batteries

LU Jun, PENG Qing & LI YaDong

Department of Chemistry, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Fe- and Sn-based oxides have been regarded as promising candidates as anode for lithium-ion batteries. Recently, nanostructures composed of Fe- and Sn-based oxides composites have attracted much attention and intensively investigated. Composite nanobelts with carbon, Fe- and Sn-based oxides have been obtained with α -FeOOH nanobelts as the precursor, and applying Na_2SnO_3 hydrolysis and glucose thermal decomposition reactions. Comparing with counterparts, the composite nanobelts with carbon, Fe- and Sn-based oxides delivered excellent rate capability and outstanding cycling stability, due to electrochemical reactivity of Fe- and Sn-based oxides and reduced charge transfer resistance.

lithium-ion battery, anode, iron oxide, tin oxide, nanobelt

doi: 10.1360/972013-732