

锂离子电池新型正极材料 LiFePO_4 的研究进展

沙 鸥, 赵敏寿, 翟 静, 张 丽, 王丹丹

(燕山大学, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 橄榄石结构的 LiFePO_4 作为锂离子电池的一种新型正极材料, 具有原料来源广泛、价格低廉、对环境友好、能量密度和理论容量高、放电电压稳定、热稳定性和循环性好等优点, 是下一代锂离子电池正极材料有力的竞争者。本文介绍 LiFePO_4 正极材料的结构与性能以及存在的问题; 综述制备 LiFePO_4 的各种方法, 即固相合成和液相合成两类, 比较各种方法的优缺点; 探讨近年来国内外对于改善 LiFePO_4 电化学性能所进行的研究工作, 并对其发展前景进行了展望。

关键词: 磷酸亚铁锂; 锂离子电池; 正极材料; 合成方法

中图分类号: TM 912.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2009)11-2060-05

近年来, 随着碳负极材料性能不断得到改善和提高, 电解质的研究取得了很大进展。相对而言, 正极材料的发展较为滞后, 成为制约锂离子电池整体性能进一步提高的主要因素。因此, 研究和开发高性能的正极材料成为锂离子电池发展的关键。1997年, Goodenough小组^[1]首次报道了橄榄石型的 LiFePO_4 。 LiFePO_4 具有较高的可逆比容量($170 \text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$)和比能量密度($550 \text{ Wh}\cdot\text{g}^{-1}$), 其充、放电电位为 3.4 V (vs. Li^+/Li), 电压平台稳定并低于大多数电解液的分解电压, 从而保证了良好的安全性。此外, 其原材料来源广泛, 无环境污染, 循环性和热稳定性优良, 被认为是最有前途的锂离子电池正极材料。

1 LiFePO_4 的结构

LiFePO_4 在自然界中以锂铁磷酸盐矿的形式存在, 它具有有序的正交晶系橄榄石结构, 属 pnma 空间点群。

在 LiFePO_4 晶体结构中, 氧原子占据稍有扭曲的六面紧密堆积结构的空位; 磷原子在氧四面体的 $4c$ 位形成 PO_4 四面体(图 1); 铁原子、锂原子分别在氧八面体的 $4c$ 和 $4a$ 位形成 FeO_6 和 LiO_6 八面体。在 b - c 平面上, FeO_6 八面体通过共点连结, LiO_6 八面体则在 b 轴方向上通过公共边相接成链。1 个 FeO_6 八面体与 2 个 LiO_6 八面体和 1 个 PO_4 四面体共棱, 而 1 个 PO_4 四面体则与 1 个 FeO_6 八面体和 2 个 LiO_6 八面体共棱。锂离子在 $4a$ 位形成平行于 c 轴的共棱的连续直线链,

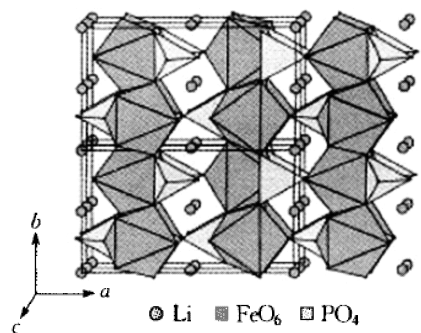


图 1 橄榄石型 LiFePO_4 的结构示意图^[2]

Fig.1 Scheme of crystal structure of olivine-type LiFePO_4

使其具有二维可移动性, 充放电时能自由脱嵌^[2]。此外, 强的 $\text{P}-\text{O}$ 共价键形成离域的三维立体化学键, 使 LiFePO_4 具有很强的热力学和动力学稳定性。

与其他正极材料相比, LiFePO_4 虽然有许多性能优势, 但由于自身结构的限制导致其导电率很低、倍率放电性能差、不适宜大电流放电, 从而阻碍了该物质的实际应用。因此, 继续对其进行深入研究并找出克服这些问题的办法成了广大科学工作者关注的焦点^[3]。

2 LiFePO_4 的合成方法

目前, LiFePO_4 正极材料的制备大体可分为固相合成和液相合成两类。

2.1 固相合成

收稿日期: 2008-12-20

基金项目: 稀土资源利用国家重点实验室; 中国科学院长春应用化学研究所基金项目

作者简介: 沙 鸥, 女, 1983 年生, 硕士生, 燕山大学环境与化学工程学院, 河北 秦皇岛 066004, 电话: 0335-8515935, E-mail: shaou1102@sina.com

2.1.1 高温固相法

高温固相法是一种比较成熟的制备LiFePO₄技术,可分为一步、二步和三步加热法。施志聪等^[4]以LiOH·H₂O、FeC₂O₄·2H₂O和NH₄H₂PO₄为原料,采用一步加热法在高纯氮气保护下于600℃恒温36h得到性能较好的LiFePO₄,产物在0.1C倍率下放电,初始放电容量为147mAh·g⁻¹。此外,C. H. Mi等^[5]采用一步加热法得到包覆碳的LiFePO₄,其在30℃,0.1C倍率下的初始放电容量达到160mAh·g⁻¹。

S. S. Zhang等^[6]采用二步加热法,以FeC₂O₄·2H₂O和LiH₂PO₄为原料,在氮气保护下先于350~380℃加热5h形成前驱体,再在800℃下进行高温热处理,成功制备了LiFePO₄/C复合材料,产物在0.02C倍率下的放电容量为159mAh·g⁻¹。

A. S. Andersson等^[7]采用三步加热法,将由Li₂CO₃、FeC₂O₄·2H₂O和(NH₄)₂HPO₄组成的前驱体先在真空电炉中于300℃下预热分解,再在氮气保护下先于450℃加热10h,再于800℃烧结36h,产物在放电电流密度为2.3mA·g⁻¹时放电,室温初始放电容量在136mAh·g⁻¹左右。

高温固相法设备和工艺简单,便于工业化生产,但该法的制备周期较长,产物颗粒较大^[8,9],粒度分布较宽,此外,在烧结过程中需要耗费大量的惰性气体来防止亚铁离子的氧化,这也是高温固相法明显的缺点之一。

2.1.2 机械化学法

机械化学法通过机械力的作用使颗粒破碎,从而增大反应物的接触面积和新生表面活性,便于离子的迁移并促进电化学反应的进行。Sylvain Franger等^[10]将Fe₃(PO₄)₂·5H₂O、Li₃PO₄和蔗糖球磨混合24h后,在氮气气氛中热处理仅15min就合成出LiFePO₄,产物在0.2C倍率下的初始放电容量为150mAh·g⁻¹。此外,Jae-Kwang Kim等^[11]也通过机械化学法得到平均粒度为80nm的LiFePO₄。

Sang Jun Kwon等^[12]将原料以15:1的球料比高速球磨混合4h后在真空管式炉中于600℃烧结10h,直接得到LiFePO₄及其碳复合材料。电化学性能测试表明,在0.05C倍率下,LiFePO₄的放电容量为135mAh·g⁻¹,而LiFePO₄/C复合材料的放电容量则达到156mAh·g⁻¹。

机械化学法虽然工艺简单,但制备的产物物相不均匀且粒度分布范围较宽^[8],因此还有待于进一步改进。

2.1.3 微波法

微波合成是指将微波转变成热能,从材料的内部

对其整体进行加热以实现快速升温的过程。研究^[13,14]表明,采用微波加热可以快速简便地制备出性能良好的LiFePO₄及其碳复合材料。K. S. Park等^[15]采用工业微波炉在不通保护气的情况下合成了LiFePO₄,在0.1C倍率下,产物的初始放电容量为151mAh·g⁻¹。

Min-Sang Song等^[16]将一定摩尔比的Li₃PO₄和Fe₃(PO₄)₂·8H₂O混合,以乙炔黑为碳源高速球磨30min后压片,并置于装满活性炭的坩埚中以家用微波炉加热2~5min便得到包覆碳的LiFePO₄。产物在0.1C倍率下的初始放电容量达到161mAh·g⁻¹,为理论容量的94.7%。

微波合成法具有反应时间短(2~20min)、能耗低、合成效率高等优点。但该法合成的产物粒度通常只能控制在微米级左右,粉末形貌稍差。

2.1.4 碳热还原法

碳热还原法是一种能降低生产成本和颗粒大小,提高产物纯度和电导率的新型制备方法。P. P. Prosini等^[17]以(NH₄)₂Fe(SO₄)₂和NH₄H₂PO₄为原料首先合成FePO₄,然后用LiI还原Fe³⁺,并在还原性气氛下(Ar:H₂=95:5)于550℃加热1h后合成了最终样品,其在0.1C倍率下的室温初始放电容量为140mAh·g⁻¹。

童汇等^[18]采用碳热还原与机械球磨相结合的方法,以LiH₂PO₄和Fe₂O₃为原料,在混入一定量的碳后于无水乙醇介质中高速球磨3h,将干燥后的前驱体在氩气保护下于750℃烧结15h得到电化学性能良好的LiFePO₄/C复合材料,产物以17mA·g⁻¹的电流密度充放电,初始放电容量为141.8mAh·g⁻¹,经80次循环后的容量仍可达137.7mAh·g⁻¹,容量保持率为97.1%。

综上所述,固相合成虽然是较成熟的制备方法,但对于合成LiFePO₄仍存在许多问题。首先,反复高温烧结和研磨虽然能改善产物的均匀度,但产物颗粒较大,不利于其电化学性能的提高;此外,合成过程中需要使用大量惰性气体和还原气体,能源消耗较大,给大规模生产操作带来不便,因此,从商业化角度考虑也需要进一步改进固相法或寻找能替代固相法的合成方法。

2.2 液相合成

2.2.1 溶胶-凝胶法

Zhahui Xu等^[19]将一定摩尔比的H₃PO₄、Fe(NO₃)₃、CH₃COOLi和柠檬酸溶于去离子水,加入一定量的聚乙烯后用氨水调节pH值,缓慢搅拌并蒸发水分后形成凝胶,将其在氮气保护下于600℃煅烧24h后制得球形的LiFePO₄/C复合材料,产物的平均粒度为100nm,其在放电电流密度为15mA·g⁻¹下的初始放电容量为162mAh·g⁻¹,达到理论容量的95.3%。

Daiwon Choi等^[20]先将等摩尔 FeCl_2 与 P_2O_5 的乙醇溶液混合,再加入 CH_3COOLi 溶液和月桂酸,在高纯氩气保护下反应4 h后,再在气体($\text{H}_2:\text{Ar}=10:90$)保护下于 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 加热5 h,得到多孔纳米结构的 LiFePO_4 。产物的粒度分布较窄($100\sim 300\text{ nm}$),其在高倍率(10 C)下的放电容量仍可达 $123\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

溶胶-凝胶法具有化学均匀性好、凝胶热处理温度低、粉体粒度小且分布窄等优点,但此法干燥收缩大、合成工艺较复杂,若要工业化生产尚有一定难度。

2.2.2 共沉淀法

K. S. Park等^[21]将 $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 H_3PO_4 的水溶液加入到 LiOH 的水溶液中,在氮气流下搅拌10 min后形成绿色沉淀,将沉淀洗涤干燥后与高表面积炭黑混合,再在氮气保护下于 $600\text{ }^\circ\text{C}$ 煅烧5 h后合成了最终产物,该 LiFePO_4/C 复合材料在0.1和 1 C 倍率下放电,初始放电容量分别为125和 $110\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 。此外,K. S. Park等^[22]还采用共沉淀法用硝酸银溶液对 LiFePO_4 进行表面改性,得到含有 $1\% \text{ Ag}$ (质量分数)的 LiFePO_4 。

Mu-Rong Yang^[23]以 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 、 LiNO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 和抗坏血酸维生素C为原料,采用共沉淀法得到包覆碳的 LiFePO_4 ,产物在 $50\text{ }^\circ\text{C}$ 下以 1 C 倍率充放电,循环100次后的放电容量仍保持在 $143\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 左右。

共沉淀法不仅可以缩短反应时间、减少能耗,而且其制备的材料活性大、粒度小且分布均匀。但此方法也因不同原料要求具有相似的水解或沉淀条件而限制原料的选择,影响其实际应用。

2.2.3 水热法

水热法是通过高温高压在水溶液或水蒸汽等流体中进行化学反应制备出粉体材料的一种方法。Shigehisa Tajimi等^[24]以 H_3PO_4 和 $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为前驱体,混合化学计量比的 LiOH 溶液和少量聚氧乙烯后,在高压容器中于 $150\sim 220\text{ }^\circ\text{C}$ 加热一段时间得到前驱体,再在氮气保护下于 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 加热1 h得到性能良好的 LiFePO_4 ,其粒度分布在 $0.5\sim 1.5\text{ }\mu\text{m}$,产物在 $0.5\text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ 电流密度下充放电,初始放电容量为 $143\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 。同时Kaoru Dokko等^[25]也采用水热法合成了平均粒度为 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 的样品,其在 0.1 C 倍率下的放电容量为 $150\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

庄大高等^[26]将 LiOH 、 FeSO_4 和 H_3PO_4 溶于去离子水,搅拌使其充分反应后,放入密闭反应釜中,在 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 下加热15 h后得到纯度高、结晶好的纳米 LiFePO_4 ,其粒度为 800 nm ,经 $550\text{ }^\circ\text{C}$ 下聚丙烯裂解碳包覆处理后的 LiFePO_4/C 复合材料在0.01和 0.5 C 倍率下的放电容量分别为163和 $144\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

水热法具有物相均一、产物粒度小等优点,但该方法只限于少量粉体的制备,若要扩大制备量将会受到诸多限制,特别是大型的耐高温高压反应器的设计制造难度较大,造价也很高。

从以上叙述可以看出,与固相合成相比,液相合成的物料混合均匀、热处理时间短且温度低、得到的前驱体粒度稍小。同时,该法制备的产品具有结晶度高、粒度小且分布均匀等特点。然而,液相合成因受到原料和工艺条件等诸多因素的影响而限制了其实际应用,因此还有待于进一步的改进以适应工业化生产。

3 LiFePO_4 的改性研究

LiFePO_4 用作锂离子电池正极材料虽然有很大的优越性,但在合成和实用化过程中仍存在着许多问题,如: Fe^{2+} 易被氧化;高温合成过程中易发生团聚现象;产物电导率低,高倍率充放电性能较差等。要解决这些问题需要做到以下几点:优化合成工艺以得到纯相产物;合成产物的粒度分布均匀、具有纳米尺度颗粒和高比表面积的材料,以提高活性材料的利用率并减小锂离子的扩散距离;通过 LiFePO_4 表面包覆碳或添加导电剂形成复合材料及掺杂高价金属离子等方式来提高其电导率。

3.1 优化合成工艺

L. N. Wang等^[27]将由 $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{FePO}_4\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和聚氧乙烯组成的前驱体在氩气保护下于 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 烧结12 h后直接得到平均粒度为 216 nm 的 LiFePO_4/C 复合材料,其在 0.1 C 倍率下的初始放电容量为 $157\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$,循环40次后容量几乎没有衰减。该方法的优点在于:首先,采用三价铁盐为原料,降低了生产成本;其次,省去中间体的制备、预烧结和后处理等工序,简化了合成工艺,是一种既简单、廉价又能获得优良电化学性能的制备方法。此外,文献[28]指出,采用碳热还原法也可以得到纯度高且性能优良的 LiFePO_4 正极材料。

3.2 控制产物晶粒尺寸

LiFePO_4 粒子半径的大小对其电极容量有很大的影响,粒子半径越大,锂离子的固相扩散路程越长,脱嵌越困难,其容量的提高也就越受限制。因此,有效调控 LiFePO_4 的晶粒尺寸是改善 LiFePO_4 电化学性能的关键。

Croce等^[29]在制备 LiFePO_4 的前驱体中混入平均粒度为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 的金属粉(Cu 或 Ag)作为成核剂,有效抑制 LiFePO_4 颗粒的长大;Huang等^[30]将导电碳凝胶加入到由 $\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 及 CH_3COOLi 组成的前驱体中,制得粒度为 $100\sim 200\text{ nm}$ 的 LiFePO_4/C 复合材料,其性能优于Prosini等人^[31]采用炭黑作成核剂所得到的

LiFePO₄/C复合材料。这些研究结果均表明:用原位形成的超细导电颗粒作成核促进剂是获得较细粉体、提高产物电导率的有效方法。

此外,适宜的烧结温度有利于减少颗粒团聚,控制粒度;同时,采用低温液相等均相前驱体合成法,可得到具有纳米尺寸且分布均匀的粉体材料。

3.3 提高电子导电性

LiFePO₄ 电子导电性的提高目前主要有两种方式,即:包覆碳或添加导电剂以提高表面电导率;掺杂金属离子进入LiFePO₄晶格以提高本体电导率。

3.3.1 包覆碳或添加导电剂

常用的导电添加剂主要是碳材料,碳不仅可以作为还原剂防止Fe³⁺杂质的生成;还可以作为导电剂改善粒子间的导电性;同时,填充到颗粒中可以有效抑制粒子的团聚。到目前为止,添加的含碳物质主要还有:石墨^[32]、炭黑、乙炔黑、葡萄糖、蔗糖、乙基纤维素、聚丙烯^[5]以及β-环糊精^[33]等。

赖春艳等^[34]以β-环糊精为碳源,采用高温固相法制备性能良好的LiFePO₄/C复合材料,该材料的平均粒度与未添加碳源的LiFePO₄相比大大降低,其在0.1 C倍率下的放电容量为147 mAh·g⁻¹,相对于纯净的LiFePO₄提高了68 mAh·g⁻¹。此外,C. H. Mi等^[35]以聚丙烯为碳源制备LiFePO₄/C复合材料,其在0.05 C倍率下的放电容量可达169 mAh·g⁻¹,几乎接近理论容量。

3.3.2 掺杂高价金属离子

少量高价金属离子的掺杂造成了LiFePO₄晶格中Li和Fe的缺陷,有利于锂离子的脱嵌,从而有效提高LiFePO₄本体的导电性。

C. H. Mi^[36]以FePO₄·4H₂O、LiOH·H₂O、NH₄H₂PO₄、Mn(CH₃COO)₂·4H₂O和聚丙烯为原料,采用高温固相法合成球状LiFe_{0.4}Mn_{0.6}PO₄与纳米碳网的复合材料,产物的粒度分布在100~200 nm之间,平均放电电压在3.65 V左右,初始放电容量为143 mAh·g⁻¹,表现出良好的电化学性能。Zhang Ming等^[37]同样采用高温固相法,以FeC₂O₄·2H₂O、LiNO₃、MoO₃、(NH₄)₂HPO₄和蔗糖为原料,制备了性能优良的Li_{0.99}Mo_{0.01}FePO₄/C复合材料,其在0.2 C倍率下的初始放电容量为161 mAh·g⁻¹。

陈学军等^[38]以LiOH·H₂O、FePO₄·4H₂O和Nb₂O₅为原料,聚丙烯为还原剂和碳源,采用一步固相法合成具有纳米尺度的Li_{0.99}Nb_{0.01}FePO₄/C复合材料,其粒度分布在100~500 nm,在2和4 C倍率下的放电容量分别为130和105 mAh·g⁻¹,循环100次后容量几乎没有衰减。

3.4 其他改性方法

研究表明^[39]:掺杂稀土元素也可以很好地改善LiFePO₄的电化学性能。此外,提高LiFePO₄的堆积密度也是不容忽视的,目前国内报道的LiFePO₄堆积密度大都在1.0~1.4 g·cm⁻³之间,远低于商业化的LiCoO₂(2.4~2.6 g·cm⁻³)^[40],材料堆积密度的改善有利于电池容量和比能量的提高,是改善LiFePO₄性能的有效途径。

4 展 望

橄榄石型LiFePO₄用作锂离子电池正极材料虽然具有许多性能优势,但电导率低、高倍率放电性能差、不适宜大电流放电等缺点阻碍了其实际应用。因此,通过优化合成工艺、添加导电剂及掺杂高价金属离子等方法来改善LiFePO₄的电化学性能成为推动其实用化的关键所在。另外,从简便制备工艺、节约时间和能耗角度来看,球磨-微波加热法具有原料混合均匀、加热时间短等优点,且只用碳粉覆盖前驱体以造成还原气氛,无需惰性气体保护,这对于固相法或其它最终需要在惰性气氛下长时间烧结的方法构成了强有力的挑战,是一种应该深入研究并尽快推向实际的方法。作者已采用该方法合成出性能较好的LiFePO₄样品,进一步的研究工作尚在进行中。

参考文献 References

- [1] Padhi A K *et al.* *Journal of the Electrochemical Society*[J], 1997, 144(4): 1188
- [2] Zhao Xinbing(赵新兵), Xie Jian(谢 健). *Chinese Journal of Mechanical Engineering*(机械工程学报)[J], 2007, 43(1): 69
- [3] Yang S *et al.* *Electrochemistry Communications*[J], 2001(3): 505
- [4] Shi Zhicong(施志聪), Li Chen(李 晨), Yang Yong(杨 勇). *Electrochemistry*(电化学)[J], 2003, 9(1): 9
- [5] Mi C H *et al.* *Materials Letters*[J], 2005, 59: 127
- [6] Zhang S S *et al.* *Journal of Power Sources*[J], 2005, 147: 234
- [7] Andersson Anna S *et al.* *Solid State Ionics*[J], 2000, 130(1~2): 41
- [8] Zhang Jing(张 静) *et al.* *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*(无机化学学报)[J], 2005, 21(3): 433
- [9] Yamada A *et al.* *Journal of the Electrochemical Society*[J], 2001, 148(3): A 224
- [10] Franger Sylvain *et al.* *Journal of Power Sources*[J], 2003, 119~121: 252
- [11] Kim Jae-Kwang *et al.* *Materials Letters*[J], 2007, 61: 3822
- [12] Sang Jun Kwon *et al.* *J Power Sources*[J], 2004, 137: 93
- [13] Wang Xiaojian(王小建) *et al.* *Chinese Journal of Inorganic*

- Chemistry*(无机化学学报)[J], 2005, 21(2): 250
- [14] Feng Hongbo(冯宏波), Tian Yanwen(田彦文), Zhong Canyon(钟参云). *Rare Metals and Cemented Carbides*(稀有金属与硬质合金)[J], 2007, 35(1): 10
- [15] Park K S *et al.* *Electrochemistry Communications*[J], 2003, 5(10): 839
- [16] Song Min-Sang *et al.* *Journal of Power Sources*[J], 2007, 166: 260
- [17] Prosini P P *et al.* *J Electrochem Soc*[J], 2002, 149(7): A 886
- [18] Tong Hui(童汇)*et al.* *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*(无机化学学报)[J], 2006, 22(12): 2159
- [19] Xu Zhihui *et al.* *Materials Research Bulletin*[J], 2007, 42: 883
- [20] Choi Daiwon, Kumta Prashant N. *Journal of Power Sources*[J], 2007, 163: 1064
- [21] Park K S *et al.* *Materials Research Bulletin*[J], 2004, 39: 1803
- [22] Park K S *et al.* *Solid State Communications*[J], 2004, 129(5): 311
- [23] Yang Mu-Rong *et al.* *J Power Sources*[J], 2005, 146: 539
- [24] Tajimi Shigehisa *et al.* *Solid State Ionics*[J], 2004, 175: 287
- [25] Dokko Kaoru *et al.* *J Power Sources*[J], 2007, 165: 656
- [26] Zhuang Dagao(庄大高)*et al.* *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2005, 15(12): 2035
- [27] Wang L N *et al.* *J Power Sources*[J], 2007, 167: 200
- [28] Barker J *et al.* *Electrochemical and Solid-State Letters*[J], 2003, 6(3): A 53
- [29] Croce F, Epifanio A D. *Electrochemical and Solid-State Letters*[J], 2002, 5(3): A47
- [30] Huang H *et al.* *Electrochemical and Solid-State Letters*[J], 2001, 4(1): A 170
- [31] Prosini P P *et al.* *Electrochimica Acta*[J], 2001, 46: 3517
- [32] Shin Ho Chul *et al.* *Electrochimica Acta*[J], 2006, 52: 1472
- [33] Zhong Canyon(钟参云) *et al.* *Rare Metals and Cemented Carbides*(稀有金属与硬质合金)[J], 2005, 3(2): 241
- [34] Lai Chunyan(赖春艳) *et al.* *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2004, 14(3): 350
- [35] Mi C H *et al.* *J Alloy Compd*[J], 2006, 424: 327
- [36] Mi C H *et al.* *Mater Sci Eng*[J], 2006, B129: 8
- [37] Zhang Ming *et al.* *Solid State Ionics*[J], 2006, 177 : 3309
- [38] Chen Xuejun(陈学军)*et al.* *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报)[J], 2006, 16(10): 1665
- [39] Qu Tiao(曲涛) *et al.* *Journal of Functional Materials*(功能材料)[J], 2005, 36(5): 694
- [40] Ying Jierong *et al.* *J Power Sources*[J], 2006, 158: 543

Research Progress on LiFePO₄—a New Type of Cathode Materials for Lithium-Ion Battery

Sha Ou, Zhao Minshou, Zhai Jing, Zhang Li, Wang Dandan
(Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: As a new type of cathode materials for lithium-ion battery, the olivine LiFePO₄ has many advantages, such as abundant resources, low cost, environmental friend, higher energy density and theoretical capacity, steady discharge voltage, good thermal stability and excellent cycling performance, to be a strong competitor for the next generation cathode materials for lithium-ion battery. In this paper, the structure, properties and existing problems are briefly introduced and various synthetic methods for preparation state-of-the-art are summarized for LiFePO₄, such as solid-state reaction methods and liquid-state synthetic methods. The advantages and drawbacks of each methods are compared and analyzed at the same time. The research progresses on improving electrochemical property of LiFePO₄ at home and abroad in recent years are discussed, and the developing trend of LiFePO₄ is also prospected.

Key words: lithium iron phosphate (LiFePO₄); lithium-ion battery; cathode material; synthetic method

Biography: Sha Ou, Candidate for Master, College of Environment and Chemical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, P. R. China, Tel: 0086-335-8515935, E-mail: shaou1102@sina.com