

文章编号: 1000-5862(2015)03-0474-06

石墨状聚萘的合成及其作为锂离子电池正极材料

熊云奎 廖维林* 涂媛鸿

(江西师范大学化工研究中心, 江西 南昌 330027)

摘要: 导电聚合物材料具有原料价格低廉、比重轻、具可塑性、微结构便于控制等优点, 在锂离子电池方面具有应用的潜力。聚萘是一种良好的导电高分子, 它具有许多优良的光电性能。该文以 3,4,9,10-二苯四甲酸酐为原料, 在一定条件下, 经高温煅烧合成一种石墨状聚萘, 并以这种石墨状聚萘为锂离子电池正极材料, 对其进行探索性研究。通过红外光谱、拉曼光谱、热失重、扫描电镜等分析手段, 对合成的石墨状聚萘做了相应的结构和外貌表征; 利用恒流充放电、循环伏安和交流阻抗等电化学方法来研究石墨状聚萘的电化学性能。结果表明, 通过上述合成方法, 成功合成了石墨状聚萘, 经电化学性能测试发现石墨状聚萘有较大的放电容量、良好的循环稳定性, 在电流密度为 $100 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$ 的条件下, 首次放电容量高达 $281.3 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$, 100 次循环后, 容量仍保持在 $188.4 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$, 容量保持率高达 66.97%。因此, 石墨状聚萘是一种较为理想的锂离子电池的正极材料。

关键词: 导电聚合物; 3,4,9,10-二苯四甲酸酐; 聚萘; 锂离子电池; 正极材料

中图分类号: O 646 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2015.05.07

0 引言

进入 21 世纪以后, 互联网和通讯服务等行业得到了迅猛的发展, 移动手机、手提电脑、数码相机摄像电子设备也得到了广泛的应用, 复合型电动车和零污染电动车已开始进入生产阶段。当今社会, 能源市场的应用前景极为广阔, 基于此因, 人们对储能设备的要求也越来越高。锂离子电池具有高电压、高容量的重要优点, 且循环寿命长、安全性能好, 成为近年来广为关注的研究热点。

导电高分子材料^[1-6]具有原料价格低廉、比重轻、可塑性强、微结构便于控制等优点, 可作为锂离子电池的电极材料, 因而聚苯胺、聚吡咯、聚噻吩等导电聚合物的锂离子电池相继被报道^[7-12]。文献[13]报道美国已经研究出一种正负极、电解质均为导电高聚物的“全塑”离子电池, 其正负极材料均采用聚吡咯。

众所周知, 聚萘^[14-19]是一种导电高分子, 是具有大 π 键的共轭聚合物, 无需掺杂就有良好的导电性, 这与聚苯胺、聚吡咯、聚噻吩等导电高分子有明显的区别。因为聚萘具有良好的导电性、独特的光学

性质而得到了广泛应用。关于聚萘的相关合成, 黄美荣等^[20]做了较为详细的介绍, 本文在文献[20]的基础上, 对此合成方法稍加改进。由该方法合成的聚萘, 在结构上与一般聚萘有明显的差异, 外貌类似于石墨, 文献[21]报道此种石墨状聚萘的导电率可达到 $250 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ 。由于石墨具有上述优点, 本文特把此石墨状聚萘作为锂离子电池的正极材料, 并对其电化学性能进行探索性研究。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

3,4,9,10-二苯四甲酸酐(GC 纯度 98%, Acros 公司, 简称为 PTCDA); 铜粉(分析纯, 天津市福晨化学试剂); 聚偏氟乙烯(山东德宜新材料有限公司, 简称为 PVDF); *N*-甲基吡咯烷酮(分析纯, 阿拉丁公司); 双三氟甲基磺酸酐亚胺锂(GC 纯度 99.5%, 上海迈瑞尔化学技术有限公司); 乙二醇二甲醚(分析纯, 上海迈瑞尔化学技术有限公司); 1,3-二氧戊环(分析纯, 上海迈瑞尔化学技术有限公司); FTIR (IRAffinity-1, SHIMADZU); Raman (Spex-1877 型, Jobin-Yvon 公司); TGA (Perkin Elmer, Pyris1, 升温

收稿日期: 2015-01-06

基金项目: 国家自然科学基金(2014BAE13B02, 2012BAE07B00)和江西师范大学青年成长基金[2013]12号)资助项目。

通信作者: 廖维林(1963-), 男, 江西临川人, 教授, 博士生导师, 主要从事精细化学品研究开发工作。

速率 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ (N_2 保护); SEM (S-3400N, 日本日立公司); 四探针测试仪 (SX1934B, 苏州市百神科技有限公司)。

1.2 实验过程

1.2.1 石墨状聚萘的合成 把 1 g 3,4,9,10-二苯四甲酸酐与 0.5 g 铜粉放置于研钵中研匀, 放置于 35 cm 长, 口径为 25 mm 的小石英管中, 接着把此小石英管放置于管式电炉中部, 安装好管式电炉, 对此管式电炉进行抽真空、充氩气, 如此置换 3 次, 然后通氩气, 氩气流速控制为 $100\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$, 设置管式电炉程序, 按所设程序工作, 最后得到石墨状聚萘。

管式电炉程序设置如下: 在常温下, 以 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 的升温速率升至 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并在此温度保持 60 min (以便除去原料及装置中的水), 接着升温至 $530\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并在此温度保持 8 h , 继续升温至 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$, 并在此温度下保持 5 h , 然后, 自然降温至常温。

1.2.2 正极片的制备 将制得的石墨状聚萘、聚偏氟乙烯 (PVDF) 按 $8:2$ 的质量比进行混合, 然后以 N -甲基-2-吡咯烷酮 (NMP) 为溶剂制成浆液, 接着均匀涂布在集流体 Al 箔上。涂层需放置在真空干燥箱中 12 h , 真空干燥箱的温度保持在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 烘干后, 通过裁切机把涂层裁成一个直径为 11 mm 的圆片电极。

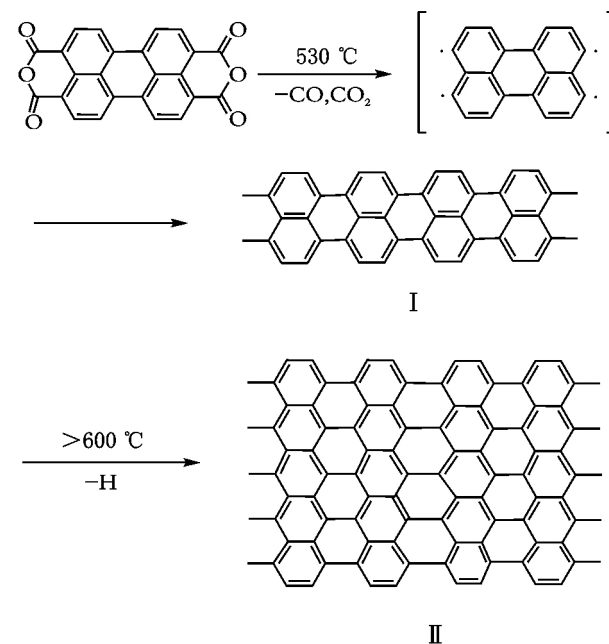
1.2.3 电池的装配与电化学测试 电池的装配在干燥的充满氩气的手套箱 (SG1200/750TS, 威格高纯气体设备科技有限公司) 内进行。以上述制备的聚萘电极为正电极, 金属锂片为对电极, Celgrad230 为隔膜, $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 双三氟甲基磺酸酞亚胺锂 (LiTFSI) / 乙二醇二甲醚 (DME) 和 1,3-二氧戊环 (DOL) (体积比 $2:1$) 为电解液组装成 CR22025 扣式电池。电池的恒流充放电采用 Land 测试系统, 充放电区间为 $1.0\sim3.0\text{ V}$, 充放电电流密度为 $100\text{ mA}\cdot\text{g}^{-1}$ 。循环伏安和交流阻抗在 CHI660a 电化学工作站上进行测试, 循环伏安电压扫描范围为 $1.0\sim3.0\text{ V}$, 扫描速率为 $0.1\text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$, 交流阻抗频率范围为 $10^{-2}\sim10^5\text{ Hz}$, 振幅为 $\pm 5\text{ mV}$ 。

2 结果与讨论

2.1 二苯四甲酸酐生成聚萘的过程图及其热失重谱图

据 M. Murakami 等^[22]报道, 聚萘的合成过程如 Scheme1 所示, 3,4,9,10-二苯四甲酸酐 (简称为 PTCDA) 在 $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下失去 CO 、 CO_2 生成自由基,

从而形成中间产物 I, 然后在高于 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下形成产物 II。在本文中, 这步反应控制在 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。



Scheme 1 聚萘的合成路线

图 1 为 PTCDA 的热失重谱图, 图 1 是以温度作为横坐标、质量百分数为纵坐标作图而得。从图 1 中, 可以明显看出 PTCDA 的分解温度为 $524.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这与 M. Murakami 等^[23]报道的非常接近, 即在 $524.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, PTCDA 开始失去 CO 和 CO_2 , 生成自由基, 即在 $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 形成中间产物 I。

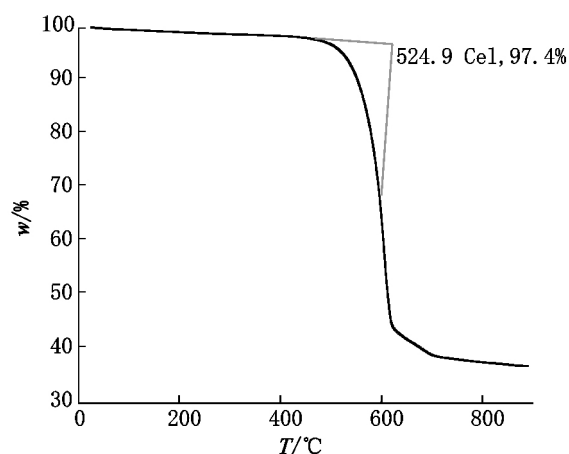


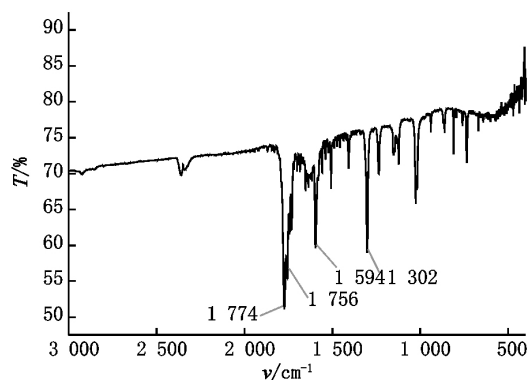
图 1 PTCDA 的热失重谱图

2.2 聚萘的表征

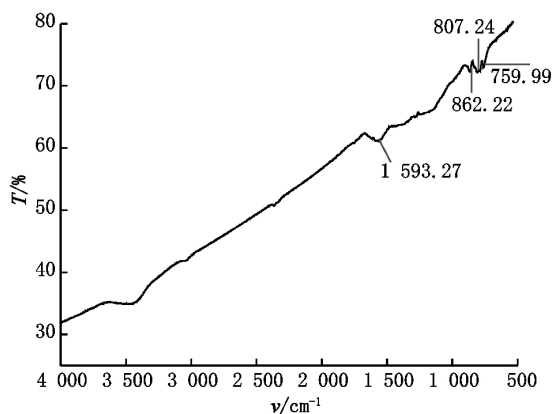
2.2.1 3,4,9,10-二苯四甲酸酐和聚萘的红外谱图

图 2 为 PTCDA 红外谱图 (a) 与 PTCDA 在 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 煅烧后产物 II 的红外谱图 (b), 在图 2(a) 中明显看到酸酐中的 $\text{C}=\text{O}$ 特征吸收峰位于 1774 cm^{-1} 和 1756 cm^{-1} , 酸酐中 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ 的特征吸收峰在

$1\,302\text{ cm}^{-1}$ 萘环上的 $\text{C}=\text{C}$ 特征吸收在 $1\,594\text{ cm}^{-1}$; 而在图 2(b) 中, $1\,774$ 、 $1\,756$ 和 $1\,302\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰消失了, 分别在 $1\,593.27$ 、 862.22 、 807.24 和 759.99 cm^{-1} 出现吸收峰, $1\,593.27\text{ cm}^{-1}$ 这个吸收峰是聚萘的 $\text{C}=\text{C}$ 键的特征峰, 862.22 、 807.24 和 759.99 cm^{-1} 是聚萘 $\text{C}-\text{H}$ 的弯曲振动特征峰, 与文献 [24] 报道基本一致. 但在红外谱图 2(b) 中, 并未见到 $\text{C}-\text{H}$ 的伸缩振动峰, 可能生成的聚萘氢含量低所致. 通过图 2 及结合合成步聚图 (scheme 1) 可以得出结论: 在 $530\text{ }^{\circ}\text{C}$ 煅烧的过程中, PTCDA 失去羧基, 释放出 CO 、 CO_2 , 变成自由基, 发生聚合反应, 生成中间产物 I, 然后, 在 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温条件下失去部分氢, 生成产物 II.



(a) IR spectrum of the PTCDA

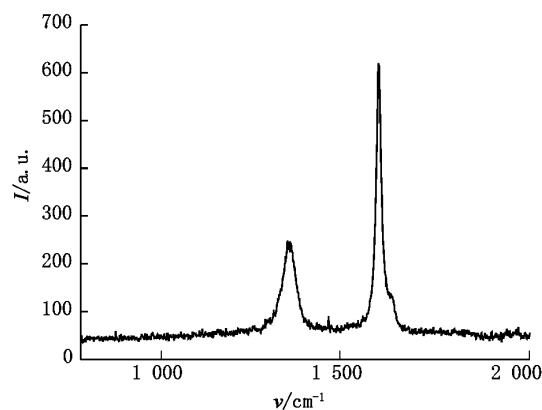


(b) IR spectrum of the product II

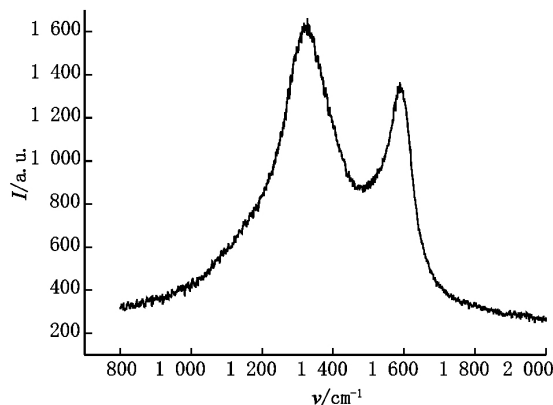
图 2 3,4,9,10-二苯四甲酸酐和聚萘的红外谱图

2.2.2 拉曼光谱和电导率的测试 因在 M. Murakami 等发表的多篇文献 [22-26] 中曾提到通过上述合成方法可以得到类似石墨状的聚萘, 为了证明这一点, 笔者特意做了石墨和产物 II 的拉曼谱图, 进行对比分析. 图 3 为石墨的拉曼光谱 (a) 和产物 II 的拉曼光谱 (b), 从图 3(a) 和图 3(b) 图中可以看出石墨与产物 II 吸收峰的位置基本相同, 这说明产物 II 与石墨在结构上相似. 图 3(b) $1\,280\text{ cm}^{-1}$ 的峰是聚萘

环上 $\text{C}-\text{H}$ 振动引起的, 这是聚萘的一个特性 [24-26], 而 $1\,600\text{ cm}^{-1}$ 的峰又恰好说明了萘环的存在. 因此, 可以推断: 通过上述合成方法, 本课题组成功合成了石墨状的聚萘.



(a) 石墨的拉曼光谱



(b) 产物 II 的拉曼光谱

图 3 拉曼光谱和电导率的测试

通过压片, 用 4 探针测试, 计算得到产物 II 的电导率为 $56\text{ s}\cdot\text{cm}^{-1}$, 尽管本文所测电导率没达到文献所报道的 $250\text{ s}\cdot\text{cm}^{-1}$ [21], 这主要是因为电导率与实际合成的聚萘形貌及纯度有关, 但与聚苯胺、聚吡咯、聚噻吩等导电高分子相比较而言, 本文中所合成的石墨状聚萘的电导率还是较高的.

2.2.3 聚萘的电子扫描电镜 图 4 是石墨和聚萘的扫描电镜图. 图 4(A')、图 4(B') 是石墨的扫描电镜图, 从图 4 可以明显看出石墨为片状结构, 侧面有明显的层状结构. 图 4(A)、图 4(B)、图 4(C) 和图 4(D) 为聚萘不同倍率的扫描电镜图, 从电镜图来看, 聚萘也是片状, 且侧面也有明显的层状结构. 图 4(C)、图 4(D) 为聚萘的侧面扫描电镜图. 因而, 从聚萘与石墨的扫描电镜来看, 本文成功合成了石墨状的聚萘, 这与图 3 所得的结论一致.

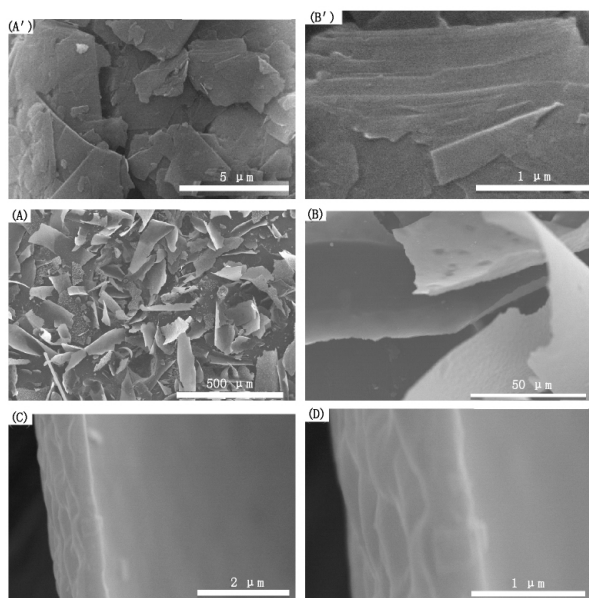


图4 聚萘的电子扫描电镜谱图

2.3 聚萘的电化学性能测试

2.3.1 聚萘的充、放电曲线,循环伏安曲线 图5是聚萘电极在电压为1.0~3.0 V、电流密度为 $100 \text{ mA} \cdot \text{g}^{-1}$ 的条件下进行恒流充、放电的前3次充、放电曲线。从图5可见聚萘电极有2个充电平台和2个放电平台,充电平台分别为1.85 V和2.27 V,放电平台为1.65 V和2.13 V。对于聚萘的充、放电机理,祖革等^[15]已做过相应报道,聚萘的充、放电机理是锂的嵌入与脱嵌,锂的电化学嵌入反应不仅在电极表面反应,还包括在电极内部的扩散,当锂在电极物质中的扩散系数比较小时,锂在电极物质中的扩散将成为整个嵌入反应的控制步骤。从这前3次的充、放电曲线,也能清楚地看到聚萘电池的第2次、第3次充、放电曲线比较接近,与首次充、放电曲线有明显的区别,这主要是首次充、放电过程中会形成SEI膜^[27-30],而第2次、第3次充、放电曲线比较接近,这说明聚萘电极结构基本稳定。

图6是聚萘电极的3次循环伏安曲线图,扫描速率为 $0.1 \text{ mV} \cdot \text{s}^{-1}$,电压范围为1.0~3.0 V。从图6可以看出聚萘电极有2个还原峰,这2个峰的位置分别在1.65 V和2.13 V,与图5中的放电平台相一致;除此之外,聚萘电极还有2个氧化峰,这2个氧化峰分别在1.85 V和2.27 V处,与图5的充电平台相符。从图6中可以明显看到第2次和第3次循环伏安曲线重叠处明显增多,氧化峰与还原峰的间距有缩小之势,这就说明聚萘电极在首次循环的过程中SEI膜基本形成,电极结构趋于稳定。

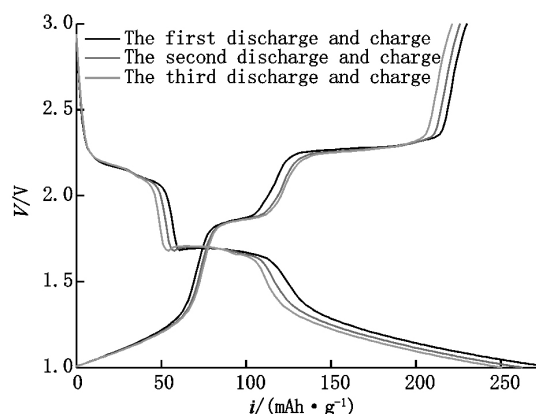


图5 聚萘的充、放电曲线,循环伏安曲线

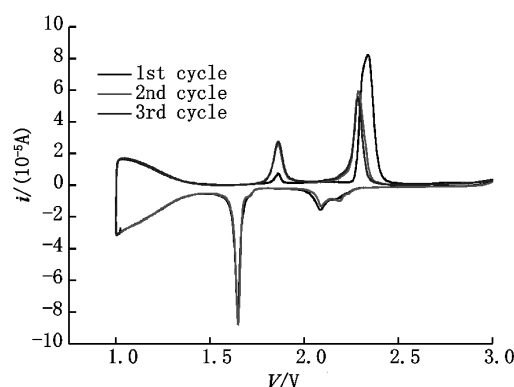


图6 聚萘电极的3次循环伏安曲线图

2.3.2 聚萘的循环稳定性 图7是聚萘电极前100次的循环稳定性图。从图7中可见聚萘电极首次放电容量为 $281.3 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$,第2次放电容量为 $262.7 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$,第3次放电容量为 $250.5 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$,在循环次数为95、96、97、98、99、100时,放电容量分别为188.5、188.6、188.9、188.3、188.2和 $188.4 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$,这说明聚萘电极在循环到95次时,放电容量基本保持不变,非常稳定。聚萘电极在循环到100次时,容量保持率高达66.97%。这充分说明聚萘电极有良好的循环稳定性。本文中的聚萘电极与文献报道的聚苯胺、聚吡咯、聚噻吩等电极材料相比,有更大的放电容量^[7-12]。

2.3.3 聚萘的电化学阻抗 电化学过程和扩散过程共同作用决定了离子在聚萘电极上的行为。于是电池充放电后,在高频区会出现表面膜阻抗,且阻抗值随着循环次数增加而增大,而中频区的阻抗是电荷在传递过程中产生的。图8是聚萘电极在充、放电前,循环50次后及循环100次后的交流阻抗谱,充、放电前,聚萘电极约为 50Ω ,这说明聚萘电极电阻较小,聚萘具有良好的导电性。当聚萘电极循环50次、循环100次后,电极电阻明显增大,说明在充放

电过程中表面膜结构可能发生了变化,而且电化学极化逐渐增强,锂离子通过表面膜以及在聚萘中的嵌入与脱嵌变得困难,这与电极容量随循环次数增加而衰减一致。

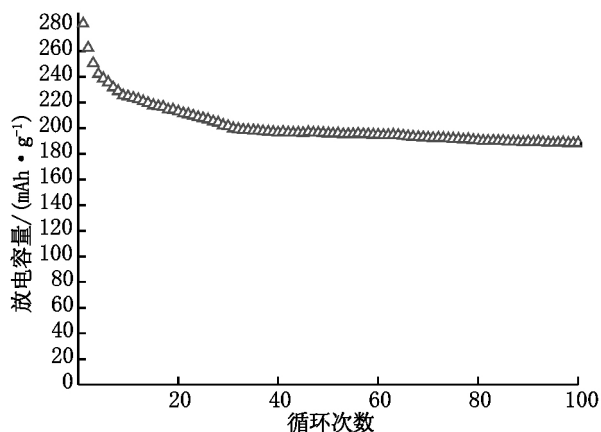


图7 聚萘电极前100次的循环稳定性图

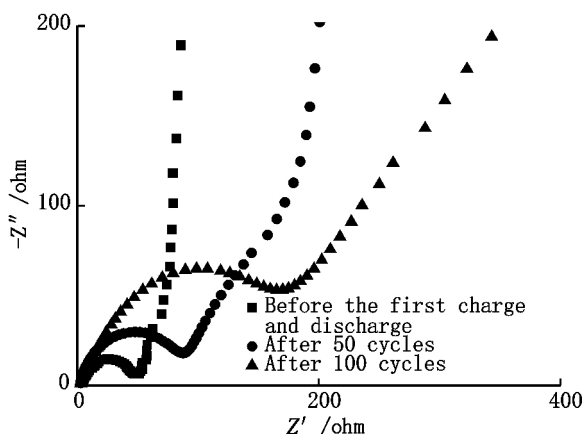


图8 聚萘电极在充、放电前,循环50次后及循环100次后的交流阻抗谱

3 结论

聚萘属于高分子化合物,由于它的结构特点及良好的导电性,引起了广大研究人员的兴趣.本文通过一种较为简易的方法成功合成了石墨状的聚萘,并把此种聚萘作为锂离子电池正极材料做了探索性的研究.通过研究,发现这种聚萘作为锂离子正极材料具有较大的放电容量、良好的循环稳定性,在 $100 \text{ mA} \cdot \text{g}^{-1}$ 的电流密度下,首次放电容量可达到 $281.3 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$,100次循环后,容量仍保持在 $188.4 \text{ mAh} \cdot \text{g}^{-1}$,容量保持率高达66.97%.与文献报道的聚苯胺、聚吡咯、聚噻吩等导电高分子电极相比具有明显的优势.因此,石墨状聚萘作为锂离子电池的正极材料有较大的潜力。

4 参考文献

- [1] 田乃林. 导电高分子材料的研究与应用现状 [J]. 承德石油高等专科学校学报, 2003, 5(3): 19-26.
- [2] Ramasamy M S, Mahapatra S S, Cho J W. Fabrication and characterization of dry conducting polymer actuator by vapor phase polymerization of polypyrrole [J]. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 2014, 14(10): 7553-7557.
- [3] Park K, Cho J H, Shanmuganathan K, et al. New battery strategies with a polymer/ Al_2O_3 separator [J]. Journal of Power Source, 2014, 263: 52-58.
- [4] Mallya A N, Kottokkaran R, Ramamurthy P C. Conducting polymer-carbon black nanocomposite sensor for volatile organic compounds and correlating sensor response by molecular dynamics [J]. Sensors and Actuators B, 2014, 201: 308-320.
- [5] Ucan D, Kanik F E, Karatas Y, et al. Synthesis and characterization of a novel polyphosphazene and its application to biosensor in combination with a conducting polymer [J]. Sensors and Actuators B, 2014, 201: 545-554.
- [6] Venugopal V, Zhang Hao, Northcutt R, et al. A thermodynamic chemomechanical constitutive model for conducting polymers [J]. Sensors and Actuators B, 2014, 201: 293-299.
- [7] 穆绍林. 聚苯胺电池的充放电特性 [J]. 科学通报, 1988, 33(19): 1484-1486.
- [8] 张爱勤, 王力臻, 张勇. 锂离子电池正极材料聚吡咯的性能 [J]. 电池, 2008, 38(2): 109-111.
- [9] Ryu K S, Lee Y, Han K S, et al. The electrochemical performance of polythiophene synthesized by chemical method as the polymer battery electrode [J]. Materials Chemistry and Physics, 2004, 84(2/3): 380-384.
- [10] Wang Li, Lu Xingping, Lei Shengbin, et al. Graphene-based polyaniline nanocomposites: preparation, properties and applications [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2014, 2(13): 4491-4509.
- [11] Lee W W, Lee Jongmin. Novel synthesis of high performance anode materials for lithium-ion batteries (LIBs) [J]. Journal of Materials Chemistry A, 2014, 2: 1589-1626.
- [12] Guerfi A, Rottier J, Boyano I, et al. High cycling stability of zinc-anode/conducting polymer rechargeable battery with non-aqueous electrolyte [J]. Journal of Power Source, 2014, 248: 1099-1104.
- [13] Killian J G, Coffey B M, Gao F. Polypyrrole composite electrodes in an all-polymer battery system [J]. Journal of

- the Electrochemical Society ,1996 ,143(3) : 936-942.
- [14] Tasch S ,Graupner W ,Leising G ,et al. Red-orange electroluminescence with new soluble and air-stable poly(naphthalene-vinylene) s [J]. Advanced Materials ,1995 ,7(11) : 903-906.
- [15] 祖革 罗维克 吴浩青. 锂在共轭双键高分子中的电化学嵌入反应: Ⅲ. 锂在聚萘中的电化学嵌入反应 [J]. 化学学报 ,1999 ,57(5) : 465-471.
- [16] Hara S ,Toshima N. Electrochemical polymerization of naphthalene using a composite electrolyte of aluminum chloride and copper (I) chloride [J]. Chemistry Letters ,1990 ,19(2) : 269-272.
- [17] Zhang Jiaxin ,Liu Chen ,Shi Gaoquan ,et al. Theoretical and experimental studies on the Raman spectra of electrosynthesized polynaphthalene [J]. Journal of Polymer Science ,Part B: Polymer Physics ,2005 ,43(2) : 241-251.
- [18] Mori T ,Kijima M. Synthesis and optical properties of polynaphthalene derivatives [J]. Optical Materials ,2007 ,30(4) : 545-552.
- [19] Miao Changcheng ,Zhi Jian ,Sun Shiyuan ,et al. Formation of conjugated polynaphthalene via Bergman cyclization [J]. Journal of Polymer Science ,Part A: Polymer Chemistry ,2010 ,48(10) : 2187-2193.
- [20] 黄美荣 高鹏 李新贵. 聚萘的合成及其光电器件 [J]. 化学进展 ,2010 ,22(1) : 113-118.
- [21] Kaplan M L ,Schmidt P H ,Chen C H ,et al. Carbon films with relatively high conductivity [J]. Applied Physics Letters ,1980 ,36(10) : 867-869.
- [22] Murakami M ,Yoshimura S. Synthesis of one-dimensional graphite polymer ,poly-peri-naphthalene ,by vapor phase polymerization [J]. Molecular Crystals and Liquid Crystals ,1985 ,118: 95-102.
- [23] Murakami M ,Yoshimura S. Synthesis of poly-peri-naphthalene by vapour-phase polymerization: an approach to a one-dimensional graphite [J]. J Chem Soc ,Chem Commun ,1984 ,24: 1649-1650.
- [24] Murakami M ,Iijima S ,Yoshimura S. Morphology and structure of a one-dimensional graphite polymer ,poly-peri-naphthalene [J]. Journal of Applied Physics ,1986 ,60: 3856-3863.
- [25] Murakami M ,Yoshimura S ,Iijima S. Structural properties of graphitized poly-peri-naphthalene whiskers [J]. Applied Physics Letters ,1986 ,48(6) : 390-392.
- [26] Nishio S ,Mase R. Preparation of amorphous organic semiconductor thin films with polyperinaphthalene structure on temperature-controlled substrates by excimer laser ablation of 3 ,4 ,9 ,10-perylenetetracarboxylic dianhydride [J]. Applied Surface Science ,1998 ,127: 589-594.
- [27] Aurbach D ,Markovsky B ,Shechter A ,et al. A comparative study of synthetic graphite and Li electrodes in electrolyte solutions based on ethylene carbonate-dimethyl carbonate mixtures [J]. Journal of Electrochemical Society ,1996 ,143(12) : 3809-3820.
- [28] Aurbach A ,Zaban Y ,Ein-Eli Y ,et al. Recent studies on the correlation between surface chemistry ,morphology ,three-dimensional structures and performance of Li and Li-C intercalation anodes in several important electrolyte systems [J]. Journal of Power Source ,1997 ,68(1) : 91-96.
- [29] 刘宇 王保峰 解晶莹 等. 二次锂电池中 SEI 膜的电化学性能表征 [J]. 无机材料学报 ,2003 ,18(2) : 307-312.
- [30] 郑明森 马军 董全峰 等. 正极材料表面的 SEI 膜形成及锂离子扩散动力学 [J]. 电池 ,2007 ,37(3) : 199-200.

The Synthesis of Graphite-Like Polynaphthalene and Its Electrochemical Properties as Cathode Material for Lithium-Ion Battery

XIONG Yunkui ,LIAO Weilin* ,TU Yuanhong

(Chemical Engineering Research Center ,Jiangxi Normal University ,Nanchang Jiangxi 330027 ,China)

Abstract: Conductive polymer materials with the raw material price is low ,the proportion of light plasticity ,the advantage of easy to control microstructure ,and etc ,promising as electrode materials for lithium-ion secondary battery. Based on this purpose ,polynaphthalene as the research object was chosen. Polynaphthalene is a kind of good conducting polymer ,it has many excellent photoelectric properties. The synthesis of polynaphthalene is variety ,while this paper chose a relatively simple synthetic method: a tubular furnace at 530 °C ,3 ,4 ,9 ,10-perylenetetracarboxylic (下转第 550 页)

The Convergent Trading Behavior of Institutional Investors and Stock Return Synchronicity

HU Caihong¹ ZENG Jianfeng²

(1. School of Finance, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China;

2. Journal of Periodical Office, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330027, China)

Abstract: From the convergent perspectives of the trading behavior of institutional investors, this study uses the panel data of A-shares capital market of 2010 ~ 2012 to investigate the effects of the convergent trading behavior of institutional investors on stock price synchronicity and the influence of institutional holdings on the relationship between them. Result shows that there is a reverse-U pattern relation between the convergent trading behavior of institutional investors and stock price synchronicity and that this positive correlation between them decreases with the ratio of institutional holdings.

Key words: institutional investors; convergent trading behavior; stock return synchronicity

(责任编辑: 曾剑锋)

(上接第 479 页)

dianhydride (PTCDA) long time of heating to release of CO and CO₂, stripped of acid anhydride to generate free radicals, which undergo polymerization to produce an intermediate product I, and then the intermediate product I at 650 °C further heated to lose part of hydrogen, the product II of good electrical conductivity is generated. Combined with the reaction mechanism of the relevant literatures, PTCDA thermal gravimetric analysis, infrared and IR, Raman, SEM of the product II and graphite related test, These evidences are enough to prove that graphite-like polynaphthalene is synthesized. The graphite-like polynaphthalene electrode is the constant current charge and discharge test, cyclic voltammetry and Ac impedance test, through these tests, the first clear the charge and discharge platform of the polynaphthalene electrode and find that the electrode has a larger discharge capacity and good cycle stability. The first discharge capacity is 281.3 mAh · g⁻¹, the 100th cycle, the discharge capacity remains 188.4 mAh · g⁻¹, the capacity retention rate is as high as 66.97%. Therefore, it can be deduced the graphite-like having great potential as cathode material of lithium ion battery.

Key words: conductive polymer; 3,4,9,10-perylenetetracarboxylic dianhydride; polynaphthalene; lithium ion battery; cathode material

(责任编辑: 刘显亮)