

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学号: 20101152099

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

锂离子电池金属氧化物复合负极材料的制  
备及其电化学性能研究

Preparation and Electrochemical Properties of Metal Oxide  
Composite Anode Materials for Lithium Ion Battery

郭鹏飞

指导教师姓名: 郭奇勋 副教授

孙世刚 教授

李君涛 助理教授

专业名称: 能源化学

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩日期: 2013 年 5 月

2013 年 5 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（      ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于      年    月    日解密，解密后适用上述授权。

（      ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月    日

## 摘要

锂离子电池是当代最被看好的化学电源之一。目前,被广泛应用于多种便携式电子器件中,并正进一步扩展到电动车的应用中。但锂离子电池性能仍然无法满足当前社会对它的需求。因此研究者们开展了广泛的有关改善锂离子电池性能的研究。锂离子电池金属氧化物负极材料因理论容量高、制备方法简单、原料来源丰富以及安全性能好等优点受到研究者的广泛关注。但金属氧化物负极材料充放电的循环稳定性较差、首次不可逆容量较大。针对金属氧化物负极材料的循环性能差的问题,本论文通过纳米化、复合碳纳米管、混合  $\text{SnO}_2$ 、包覆碳层等方法对  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{NiO}$  负极材料进行了改性,并研究了其电化学性能。

本论文主要研究内容包括:

(1) 采用水热法制备  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{SnO}_2$ /碳纳米管复合材料。材料在电流密度为 50 mA/g, 电压区间为 0~3 V 的条件下首周的放电容量为 1097 mAh/g, 充电比容量为 849 mAh/g, 充放电效率为 77.5%。循环到第 50 周时, 放电容量保持在 702 mAh/g。材料在电流密度为 200、800 mA/g 充放电条件下循环到 50 周时材料放电比容量分别为 623 mAh/g 和 605 mAh/g, 显示出较好的倍率性能。材料制备过程中通过引入  $\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-}$  做分散剂, 使材料纳米化, 大幅度提高了材料的电化学性能; 同时材料中复合的碳纳米管, 在增加其导电性的同时, 使得材料纳米化程度更高, 分散更均匀, 充放电性能进一步得到优化。

(2) 采用溶液沉淀的方法将  $\text{SnO}_2$  与  $\text{NiO}$  复合, 制备了碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料。材料在电流密度为 50 mA/g, 电压区间为 0~3 V 的条件下, 首周的放电容量达到了 1951 mAh/g, 充电容量为 1256 mAh/g, 首周效率为 64.4%。循环到第 50 周时, 放电容量为 718 mAh/g, 仍保持较高的容量。材料制备过程中, 以碳微球作为模板进行复合, 再经过高温煅烧、碳包覆的方法, 最终得到碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料。材料通过  $\text{SnO}_2$  与  $\text{NiO}$  的复合成功得到了较好的电化学性能; 以使用碳微球为模板实现了材料的纳米化, 其充放电性能得到了提高; 碳包覆的处理增加了材料的导电性能, 优化了材料的电化学性能。

**关键词:** 锂离子电池, 负极材料, 金属氧化物, 纳米材料

## Abstract

Lithium ion battery is one of the most promising chemical power sources at present. It is widely used in a variety of portable electronic devices, and is further extended to the application of electric vehicles. However, the performance of lithium ion batteries still can't meet the current social demand for the chemical power source. The researchers conducted a wide range of relevant improvement of the research of lithium ion batteries. Recently much attention has focused on metal oxide anode materials, due to their high theoretical capacity, simple preparation method, abundant raw material sources and safety performance. However, metal oxide anode materials suffer the poorer cycle performance and lower initial coulombic efficiency. To overcome these disadvantages, some approaches, such as nanosized structure, mixing SnO<sub>2</sub>, doping carbon nanotubes and carbon coated layer, have been carried to improve the electrochemical performance of Fe and Ni oxide anodes.

The main experiments and results of this thesis are given as follows:

(1) The nano-structured Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/carbon nanotubes composite electrode material was prepared by the hydrothermal method. As this oxide material is electrochemically cycled by a current density of 50 mA/g in the potential range 0 and 3.0 V and, the first discharge capacity and charge capacity are 1097 mAh/g and 849 mAh/g, respectively with a coulombic efficiency of 77.5%. Until the 50<sup>th</sup> cycle, the discharge capacity remains 702 mAh/g, verifying a good cycle performance. In addition, this material is cycled at a current density of 200 mA/g and 800 mA/g, the discharge specific capacity of the 50<sup>th</sup> cycle material is 623 mAh/g and 605 mAh/g. The improved electrochemical performance are attributed to: (1) nanosized structure mixture oxide by using Sn(OH)<sub>6</sub><sup>2-</sup> as dispersing agent, (2) the increase of electrical conductivity by the doping of CNTs (carbon nanotubes).

(2) The nano-structured NiO-SnO<sub>2</sub>/carbon composite electrode materials were prepared by the method of precipitation. As this oxide material is electrochemically cycled by a

current density of 50 mA/g in the potential range 0 and 3.0 V and, the first discharge capacity for the material is 1951 mAh/g and the first charge capacity is 1256 mAh/g with a coulombic efficiency is 64.4%. After 50cycles, the discharge capacity presents a higher capacity of 718 mAh/g. The nanosized of NiO-SnO<sub>2</sub> composite that was prepared by using carbon microspheres as the template, and the surface modification of carbon layer were the reason for its enhanced electrochemical performance.

**Key words:** lithium-ion battery; anode materials; metal oxide; nano materials

厦门大学博硕士论文摘要库

# 目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
第一章 绪 论 .....	1
1.1 引言.....	1
1.2 锂离子电池概述.....	1
1.2.1 锂离子电池的发展历史.....	1
1.2.2 锂离子电池的工作原理.....	2
1.2.3 锂离子电池的结构及特点.....	4
1.3 锂离子电池正极材料.....	6
1.4 锂离子电池电解质.....	8
1.5 锂离子电池负极材料研究进展.....	9
1.5.1 碳负极材料.....	10
1.5.2 合金负极材料.....	11
1.5.3 金属氧化物负极材料.....	13
1.6 本论文研究内容.....	15
参考文献.....	16
第二章 实验部分.....	22
2.1 实验药品、试剂及仪器设备.....	22
2.1.1 实验药品及试剂.....	22
2.1.2 实验仪器及设备.....	22
2.1.3 部分实验仪器的介绍、原理.....	23
2.2 材料的表征.....	24
2.2.1 X-射线衍射技术（XRD）.....	24
2.2.2 碳、氢、氮元素分析仪.....	24
2.2.3 低温氮气吸脱附测试.....	25
2.2.4 X-射线光电子能谱技术（XPS）.....	25
2.2.5 扫描电子显微镜（SEM）及电子能谱（EDS）.....	26
2.3 实验电池的制备.....	26
2.3.1 电极片的制备.....	26

2.3.2 扣式电池的组装 .....	27
<b>2.4 材料的电化学性能测试 .....</b>	<b>28</b>
2.4.1 循环伏安技术 (CV) .....	28
2.4.2 充放电测试 .....	28
<b>参考文献 .....</b>	<b>29</b>
<b>第三章 纳米结构 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/碳纳米管复合材料的制备及其电化学性能研究 .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 概述 .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub> 复合材料的研究 .....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> 复合材料的制备 .....	32
3.2.2 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> 复合材料的表征及电化学性能研究 .....	32
<b>3.3 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/碳纳米管复合材料的研究 .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /碳纳米管复合材料的制备 .....	36
3.3.2 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /碳纳米管复合材料的表征 .....	36
3.3.3 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /碳纳米管复合材料的电化学性能研究 .....	38
<b>3.4 不同 Fe/Sn 盐投料比对 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/碳纳米管复合材料的性能影响 .....</b>	<b>45</b>
3.4.1 不同 Fe/Sn 盐投料比制备的 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /碳纳米管复合材料的制备 .....	45
3.4.2 不同 Fe/Sn 盐投料比制备的 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /碳纳米管复合材料的表征 .....	46
3.4.3 不同 Fe/Sn 盐投料比制备的 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /碳纳米管复合材料的电化学性能研究 .....	49
<b>3.5 本章小结 .....</b>	<b>51</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>52</b>
<b>第四章 碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料的制备及其电化学性能研究 .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1 概述 .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 镍-锡复合氧化物材料制备温度的优化 .....</b>	<b>55</b>
4.2.1 不同煅烧温度下的镍-锡复合氧化物材料的制备 .....	55
4.2.2 不同煅烧温度下的镍-锡复合氧化物材料的表征 .....	55
<b>4.3 镍-锡复合氧化物材料的电化学性能研究 .....</b>	<b>57</b>
4.3.1 镍氧化物、锡氧化物与镍-锡复合氧化物材料电化学性能比较 .....	57
4.3.2 镍-锡复合氧化物材料中镍/锡比例的优化 .....	61
<b>4.4 碳微球的制备及表征 .....</b>	<b>65</b>
4.4.1 碳微球的制备 .....	65
4.4.2 碳微球的表征 .....	65



<b>4.5 碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料的制备及其电化学性能研究 .....</b>	<b>68</b>
4.5.1 碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料的制备 .....	68
4.5.2 碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料的表征 .....	69
4.5.3 碳包覆纳米结构镍-锡复合氧化物材料的电化学性能研究 .....	71
<b>4.6 本章小结 .....</b>	<b>76</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>77</b>
<b>第五章 主要结论 .....</b>	<b>78</b>
<b>致 谢 .....</b>	<b>80</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# Table of Contents

<b>Abstract in Chinese</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract in English</b> .....	<b>II</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Preface</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Brief introduction of lithium ion batteries</b> .....	<b>1</b>
1.2.1 History of lithium ion batteries .....	1
1.2.2 Working principle of lithium ion batteries .....	2
1.2.3 Structure and characteristic of lithium ion batteries .....	4
<b>1.3 Cathode materials</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4 Electrolyte</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5 Anode materials</b> .....	<b>9</b>
1.5.1 Carbonous materials .....	10
1.5.2 Alloy anodes.....	11
1.5.3 Transition metal oxides .....	13
<b>1.6 Objectives and contents of research</b> .....	<b>15</b>
<b>References</b> .....	<b>16</b>
<b>Chapter 2 Instruments and experimental methods</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 Reagents and apparatus</b> .....	<b>22</b>
2.1.1 Reagents .....	22
2.1.2 Apparatus.....	22
2.1.3 Introduction of apparatus .....	23
<b>2.2 Characterization techniques</b> .....	<b>24</b>
2.2.1 X-ray diffraction (XRD).....	24
2.2.2 C,H,N elemental analysis .....	24
2.2.3 N <sub>2</sub> Sorption isotherms.....	25
2.2.4 X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) .....	25
2.2.5 Scanning electron microscopy (SEM) & energy dispersive spectrometer (EDS) .....	26
<b>2.3 Assembly of coin cells</b> .....	<b>26</b>

2.3.1 Preparation of electrodes .....	26
2.3.2 Assembly of cells .....	27
<b>2.4 Electrochemical performance tests .....</b>	<b>28</b>
2.4.1 Cyclic voltammetry (CV) .....	28
2.4.2 Galvanostatic charging/discharging tests .....	28
<b>References.....</b>	<b>29</b>
<b>Chapter 3 Preparation and electrochemical performance of nano-structured Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/ CNTs(carbon nanotubes) composite electrode .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Introduction .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub> composite electrode .....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Preparation of Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> composite electrode .....	32
3.2.2 Characteristics and electrochemical performance of Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> composite electrode.....	32
<b>3.3 Nano-structured Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/ CNTs composite electrode .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 Preparation of nano-structured Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /CNTs composite electrode ....	36
3.3.2 Characteristics of nano-structured Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> / CNTs composite electrode .....	36
3.3.3 Electrochemical performance of nano-structured Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /CNTs composite electrode.....	38
<b>3.4 Nano-structured Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SnO<sub>2</sub>/ CNTs composite electrode with different ratio of Fe and Sn .....</b>	<b>45</b>
3.4.1 Preparation of Nano-structured Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> / CNTs composite electrode with different ratio of Fe and Sn .....	45
3.4.2 Characteristics of Nano-structured Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> / CNTs composite electrode with different ratio of Fe and Sn .....	46
3.4.3 Electrochemical performance of nano-structured Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -SnO <sub>2</sub> /CNTs composite electrode with different ratio of Fe and Sn.....	49
<b>3.5 Summary .....</b>	<b>51</b>
<b>References.....</b>	<b>52</b>
<b>Chapter 4 Preparation and electrochemical performance of nano-structured NiO-SnO<sub>2</sub>/carbon composite electrode.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1 Introduction .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2 NiO-SnO<sub>2</sub> composite electrode prepared at different temperature .....</b>	<b>55</b>
4.2.1 Preparation of NiO-SnO <sub>2</sub> composite electrode prepared at different	

temperature .....	55
4.2.2 Characteristics of NiO-SnO <sub>2</sub> composite electrode prepared at different temperature .....	55
<b>4.3 NiO-SnO<sub>2</sub> composite electrode .....</b>	<b>57</b>
4.3.1 Comparison of SnO <sub>2</sub> , NiO and NiO-SnO <sub>2</sub> composite electrode .....	57
4.3.2 NiO-SnO <sub>2</sub> composite electrode with different ratio of Ni and Sn .....	61
<b>4.4 Carbon microspheres.....</b>	<b>65</b>
4.4.1 Preparation of carbon microspheres .....	65
4.4.2 Characteristics of carbon microspheres.....	65
<b>4.5 Nano-structured NiO-SnO<sub>2</sub> /carbon composite electrode.....</b>	<b>68</b>
4.5.1 Preparation of nano-structured NiO-SnO <sub>2</sub> /carbon composite electrode ....	68
4.5.2 Characteristics of nano-structured NiO-SnO <sub>2</sub> /carbon composite electrode	69
4.5.3 Electrochemical performance of nano-structured NiO-SnO <sub>2</sub> /carbon composite electrode.....	71
<b>4.6 Summary .....</b>	<b>76</b>
<b>References.....</b>	<b>77</b>
<b>Chapter 5 Conclusions and Prospect.....</b>	<b>78</b>
<b>Acknowledgements.....</b>	<b>80</b>

# 第一章 绪论

## 1.1 引言

随着全球经济的高速发展，人类社会对于能源的需求也随之增加。当前全球能源主要来自化石燃料，但化石燃料的储量却有限。据专家统计，能源消耗以目前的速度计算，化石燃料会在 200 年内消耗殆尽<sup>[1]</sup>。而且化石能源的使用会引发严重的环境污染和全球气候变暖等生态问题，寻找并使用可再生能源已经成为人类社会可持续发展的重要内容。

随着愈来愈多高效清洁可持续的新能源，包括太阳能、风能、潮汐能生物质能等的开发与利用，能源的转化和储备技术已经变得越来越重要，这也促进了化学电源的发展。锂离子电池是在锂金属电池的基础上进一步发展起来的新型二次电池，可以实现化学能与电能在一定程度上相互转化。锂离子电池具有环境友好、无污染、循环寿命长、比能量高、无记忆效应等优点，是一种非常实用的可再生新能源储能装置。目前，锂离子电池应用已经非常广泛，尤其在电子设备中，包括手机、小型摄像机、MP3、笔记本电脑、电子书等便携式电子产品；在国防工业等领域中，锂离子电池也发展迅速，尤其是伴随混合动力车和电动汽车进入市场，锂离子二次电池已经迎来了第二次发展高潮<sup>[2-4]</sup>。

我国政府非常重视锂离子电池的研发和生产，先后将其列入“863”高科技计划和“九五”、“十五”重点攻关项目，把锂离子电池作为新电子行业的经济增长点。目前，国内的锂离子电池行业发展非常迅速，锂离子电池的产量已经跃居世界首位；但我国的锂离子电池行业与国外发达国家相比仍然还有很大的差距，核心技术基本上还是掌握在日本、美国和韩国等国家的手中<sup>[5]</sup>。因此，要想成为世界电池行业的强国，我国必须要在锂离子电池材料的制备和集成等技术方面拥有自己的知识产权。

## 1.2 锂离子电池概述

### 1.2.1 锂离子电池的发展历史

早在 1912 年，锂便作为电池材料被人们研究；人类真正开始从事锂电池研

究则是在 1958 年，Harris 提出以金属锂作为电池负极（即锂一次电池的设想）之后<sup>[6]</sup>。1973 年，法国 SAFT 公司研制出第一个锂一次电池，锂电池从此开始产业化。锂一次电池具有能量大、电压大等优点，在人们生活中得到了广泛的应用；但是将金属锂用于二次电池时，在经过多次充放电循环后，负极锂金属的表面很容易生成锂金属枝晶，从而可能进一步导致隔膜破裂，引起电池短路，所以以金属锂作为负极的锂二次电池其安全性能并不好，这个问题也限制了锂二次电池的发展<sup>[7]</sup>。

在八十年代，Armand 将“摇椅式”锂离子二次电池的概念提出，他认为可以采用层状化合物作为锂离子二次电池的正负极材料，从而实现储存和交换锂离子的目的<sup>[8]</sup>。1980 年，Goodenough 等提出了采用  $\text{LiMO}_2$  ( $M=\text{Co, Ni, Mn}$ ) 层状氧化物作为锂离子电池的正极材料<sup>[9]</sup>。八十年代末期，Murphy 等人经过不懈的努力，成功发现了石墨可以取代金属 Li 片作为负极材料<sup>[10]</sup>。

1990 年日本 Sony 公司研制出了首个“摇椅式”商品锂离子电池，此锂离子电池以石油焦为负极，层状钴酸锂 ( $\text{LiCoO}_2$ ) 为正极；紧接着 Sony 公司在 1991 年 6 月份正式推出了商品化的 C/ $\text{LiCoO}_2$  锂离子电池<sup>[11]</sup>。这种电池使用碳材料代替了活泼锂作为负极，很好地避免锂枝晶的形成，安全性能得到很大提高；同时锂与石墨化碳材料形成了嵌入化合物  $\text{LiC}_6$ ，其电位与金属锂的电位差不到 0.5V，电压损失不多。这种电池开路电压为 4.2 V，使用电压也达到 3.6 V，AA 型比能量有 190 Wh/L，80 Wh/kg，循环寿命达到了 1200 次，可以 1 小时快充，一个月自放电不超过 12%<sup>[11]</sup>。它的出现在世界范围内掀起了一阵有关锂离子二次电池的研究热潮，锂离子二次电池工业也得到了巨大的推动和发展，锂离子电池的研究从此进入了一个崭新的时代。

通过近二十年的发展，锂离子二次电池已经被广泛应用于移动通信、笔记本电脑、MP3 等电器设备上；在当今，锂离子电池成为了电动汽车最为重要的供能单元，锂离子电池在动力供应方面的应用已成为当今科学技术研究的热点之一，其在国防工业、空间技术等领域同样显示出了良好的经济效益和应用前景<sup>[12-14]</sup>。

### 1.2.2 锂离子电池的工作原理

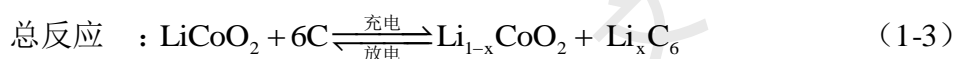
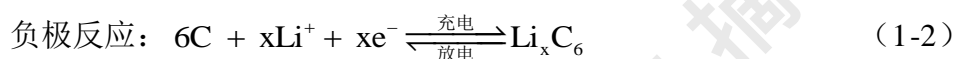
锂离子电池工作的原理是由于锂离子在正负电极两端的浓度不同，形成了具有浓度差的电池。充电时，使用电能让锂离子从低电势一端向高电势一端扩散，

电能转化为化学能储备在电极上。放电时，这种储存的化学能在外电路接通的情况下，从高电势向低电势转移，化学能转化为电能<sup>[15]</sup>。

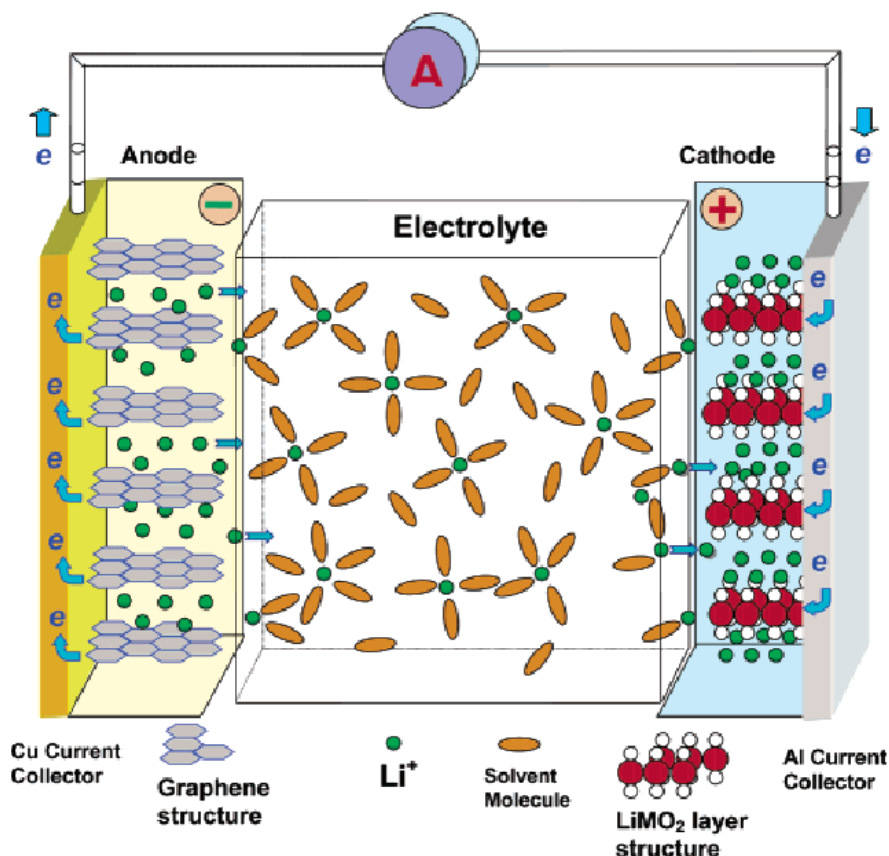
一般来讲，锂离子电池主要是由正极、负极、电解质、隔膜等材料组成的。以当前商品化的锂离子电池举例，其正极使用  $\text{LiCoO}_2$ ，负极使用层状石墨，电解质为 EC(碳酸乙烯酯)、DMC(碳酸二甲酯)和 DEC(碳酸二乙酯)体积比为 1:1:1 配比的 1M  $\text{LiPF}_6$  溶液。该锂离子电池体系的电化学反应式为：



此电池的充放电反应式为：



锂离子电池的工作原理图见图 1.1。锂离子电池正负极采用具有不同电位的可嵌入锂的材料，电池的充放电过程即是锂离子在正负两极间的嵌入和脱出。充电时， $\text{Li}^+$ 从正极活性材料中脱出，通过电解质的传递嵌入负极，从而导致正极处于贫锂状态，负极处于富锂状态，与此同时，电子经过外电路由正极流向负极进行电荷平衡。放电则过程相反， $\text{Li}^+$ 从负极活性材料中脱出，通过电解质的传递嵌入正极，从而导致正极处于富锂状态，负极处于贫锂状态，与此同时，电子经过外电路由负极流向正极进行电荷平衡<sup>[8]</sup>。锂离子电池正是通过锂离子在正负极之间这样反复的嵌入脱出从而实现能源的转化和储备。

图 1.1 锂离子电池工作原理图<sup>[16]</sup>

### 1.2.3 锂离子电池的结构及特点

当前市场上商用的锂离子电池包括了圆柱型、扣式、方型以及聚合物软包装型等多种外形构造，不同形状的锂离子电池一般都包括了以下组成：正极材料、负极材料、电解液、隔膜、集流体、密封材料、绝缘材料、电池外壳以及一些其他的用于安全保护的部件。其中，正负极材料提供了电池的容量，是决定锂离子电池性能最关键的因素；电解液作为锂离子的传递媒介，而且直接和活性材料接触，也很大程度地影响电池性能的好坏；隔膜的作用是在保证电解质中的离子可以很好穿过的条件下，将电池的正负极隔开，防止电池短路<sup>[17]</sup>。图 1.2 为商业化的圆柱形锂离子电池的结构示意图。



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

廈門大學博碩士論文摘要庫