

锂离子电池

— 科学与技术

Lithium-Ion Batteries

Science and Technologies

[日] 义夫正树 [美] 拉尔夫·J.布拉德 [日] 小泽昭弥 等编

Masaki Yoshio

Ralph J. Brodd

Akiya Kozawa

苏金然 汪继强 等译



化学工业出版社

锂离子电池

— 科学与技术

Lithium-Ion Batteries Science and Technologies

[日] 义夫正树
Masaki Yoshio

[美] 拉尔夫·J.布拉德
Ralph J. Brodd

[日] 小泽昭弥 等编
Akiya Kozawa

苏金然 汪继强 等译



化学工业出版社

· 北京 ·

锂离子电池作为信息化、动力和储能等应用的最重要新能源材料而越来越重要，对其性能要求也越来越高。本书是由世界上锂离子电池首位发明者和奠基者亲自撰写，也是国际上一批享有盛誉的电池行业知名专家所著。

本书共分 23 章，全面介绍了锂离子电池材料、生产工艺、应用及市场等方面的历史、进展及未来趋势，对锂离子电池的市场、应用进行了深入分析，对电池生产工艺及材料技术进行了全面和系统的阐述。全书内容丰富、实用。

本书可以作为我国从事电池、锂离子电池研究、生产和使用的广大科技人员、工程技术人员极具价值的参考书和工具书，同时也可作为各类中、高等院校及电化学及新能源材料专业师生的有益参考书。

图书在版编目(CIP)数据

锂离子电池——科学与技术/[日]义夫正树,[美]布拉德(Brodd, R. J.), [日]小泽昭弥等编; 苏金然等译.—北京: 化学工业出版社, 2014. 10

书名原文: Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies
ISBN 978-7-122-21653-3

I. ①锂… II. ①义… ②布… ③小… ④苏… III. ①锂离子电池-研究 IV. ①TM912

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 193332 号

Lithium-Ion Batteries: Science and Technologies/by Masaki Yoshio, Ralph J. Brodd, Akiya Kozawa

ISBN 978-0-387-34444-7

Copyright©2009 by Springer New York. Springer New York is a part of Science + Business Media. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Springer Science + Business Media

本书中文简体字版由 Springer Science + Business Media 授权化学工业出版社独家出版发行。未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分，违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2013-7927

责任编辑：朱 彤
责任校对：吴 静

文字编辑：刘志茹
装帧设计：刘丽华

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 452 千字 2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：http://www.cip.com.cn

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：88.00 元

版权所有 违者必究

译者前言

《锂离子电池——科学与技术》是由日本的义夫正树、美国的拉尔夫·J. 布拉德、日本的小泽昭弥等国际知名的电池专家撰写的锂离子电池专著。《锂离子电池——科学与技术》是一代锂离子电池研究人员研究成果的总结，对锂离子电池的市场、应用进行了深入的分析，对锂离子电池生产工艺及材料技术进行了全面系统的阐述。

《锂离子电池——科学与技术》共 23 章。全书介绍了锂离子电池材料、生产工艺、应用及市场等方面的历史、进展及未来趋势，内容丰富、知识实用。相信本书可以成为我国从事锂离子电池研究、生产和使用的各类科技与专业人员的一本极具价值的参考书，同时也可以作为各类中、高等院校电化学及材料学相关专业学生的参考书。

参加本书翻译和审校的专家与科技人员均来自天津力神电池股份有限公司和天津电源研究所。天津力神电池股份有限公司是国内投资规模最大的锂离子电池研发生产企业，锂离子电池市场占有率居世界前五位；而天津电源研究所则是国内最大的电池专业研究所。参加本书翻译和审校的专家与科技人员有：苏金然、汪继强、杨秀梅、刘雪省、王响、葛婵、贾红英、高俊奎、金慧芬、熊泳莲等。天津力神电池股份有限公司的相关领导、研究院及质量部部分同事对本书的翻译提供了许多支持和帮助。

在此我们谨向参与本书翻译和相关工作的专家和科技人员表示衷心感谢；向支持本项工作的领导和同事表示衷心感谢。

本书翻译过程中，还得到《锂离子电池——科学与技术》编者之一的世界 IEEE 电池组主席张正铭博士亲自指正，在此深表感谢。

由于译者水平与时间所限，此书难免有不当之处，欢迎读者批评指正。

苏金然 汪继强

2014 年 6 月

我的锂离子电池之路

Yoshio Nishi

自从1966年加入Sony公司，40年来我一直从事电子产品用新型材料的研究与开发工作。在Sony公司，我的科研生涯是从作为一名锌空气电池的研究人员开始的，历经8年的电化学研究之后，我的研究却背离了我的愿望领域，转向电声材料，特别是用于包括扬声器、耳机和麦克风在内的电声转换器的膜片材料，后来研究工作又扩展到扬声器系统的箱体材料。这种逆转最初使我感到很不适应，但却迫使自己投身到了我原先陌生的各种类型材料的研究中，这涵盖了浆纸类、金属类（即钛、铝、铍）、陶瓷类（B₄C、TiN、BN、SiC）、碳材料类（碳纤维、固化碳、人造钻石）、FRP用增强纤维类（碳纤维、芳香族聚酰胺纤维、玻璃纤维、硅化碳纤维、拉伸聚乙烯纤维）、有机聚合物类（聚酰胺、聚乙烯、聚丙烯、聚甲基戊烯、聚酰亚胺、聚砜、聚醚酰亚胺、聚醚砜、PET）、板材类（胶合板、颗粒板）、树脂复合材料类（散装模塑化合物、树脂混凝土、人造大理石）等。我也曾致力于研制采用聚偏二氟乙烯（PVDF）的压电扬声器。在此期间，我从事的研究与开发工作中最显著的成绩就是有机聚合物晶须和细菌纤维素。前者系由M. Iguchi发现的世界上第一种有机晶须，由聚甲醛（POM）构成。有机晶须具有用作扬声器膜片材料的优异特性，即高的弹性模量与低的密度。由此索尼（Sony）公司和Iguchi博士对POM晶须开展了联合研制工作，成功进行了小规模批量生产，并通过晶须和聚乙烯复合材料的开发在扬声器膜片中得到应用。

细菌纤维素是借助在含有单糖和双糖的介质中培养出的木醋杆菌实现生化合成的。我们还开发了由细菌纤维素板构成的耳机膜片，其比弹性模量比低密度的铝和钛箔更高。这项成果曾被日本农用化学品协会授予技术奖。

经过12年的电声材料方面的工作后，1986年起我重新开始了对新型电化学电池的研究。我的研究重点集中于非水溶剂电解质电池，特别是采用碳-锂合金做负极的电池。1990年，索尼公司（Sony）宣布新型高功率可再充电的电池开发完成，该电池采用LiCoO₂正极活性材料，特制的碳材料用于负极。当电池充电的时候，锂嵌入负极碳中，放电时从负极中脱出。我们将这种电池体系称之为锂离子电池（或LIB）。显然前述先进材料的研究经验的广泛积累，对本人新的研究与开发工作是十分有帮助的。因为锂离子电池（LIB）需要各种

不同类型的材料，包括陶瓷 (LiCoO_2)、碳材料 (负极)、聚合物膜 (隔膜)、黏合剂 (正负极黏合材料)、有机溶剂 (电解质)。

例如合成 POM 时，必须将原材料溶液中的水含量控制到一个非常低的水平 (几个 $\mu\text{g}/\text{mL}$)。而当我制备非水电解质时，其水含量要尽可能低，由此我就能将先前的技术加以借鉴。双向拉伸聚乙烯微孔膜作为一种隔膜得到采用，这种材料近似于前面提到的拉伸聚乙烯纤维。PVDF 作为电极活性材料的黏合剂得到了使用，而原先作为一种压电扬声器材料，我就对它非常熟悉。

负极活性材料是 LIB 中最为重要的材料之一。按本人的追溯认知，关于碳/锂负极的介绍最早源于 1978 年 8 月 7 日申请的德国专利。自此，大量关于碳/锂电极的专利及论文涌现出来。

在正极方面，我们曾开发了 AgNiO_2 作为正极活性材料用于氧化银电池中。在充放电反应期间，发现 Ag 在 NiO_2 层中的嵌入与脱嵌。通过对这一现象的类推，我们有了一个妙想，即 LiMO_2 ($M=\text{Ni}, \text{Co}$ 等) 可能用作锂电池的正极活性材料。然而，J. B. Goodenough 先前已经向我们显示， LiCoO_2 和 LiNiO_2 用正极在质子惰性有机溶剂的金属锂/ LiMO_2 电池中的充放电是可逆的。从上述事实不难看出，LIB 体系本身并不是一项原创发明，但却是一种我们已知技术的创新组合。

以我之见，电化学电池开发中最重要的工作就是创造一种办法，使所有的材料 (正负极活性材料、电解质、隔膜、集流体等) 保持在有限的封闭空间内，并使其在没有安全问题情况下，能提供的能量尽可能大。我们于 1991 年 12 月实现了这个目标，成功将锂离子电池投入实际应用中。

第一代锂离子电池的比能量为 $200\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}$ 和 $80\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，仅比同时期的氢镍 (Ni-MH) 电池略高一点。自此之后，锂离子电池 (LIB) 性能持续提升，至今其比能量已达到 $560\text{W} \cdot \text{h}/\text{L}$ 和 $210\text{W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ，甚至更高。

在锂离子电池商品化之前，我们在 1988 年已开始研究与开发采用凝胶型电解质的锂离子电池 (LIB)，并于 1998 年投放市场。这种电池的性能堪与传统锂离子 (LIB) 电池比美，且因为聚合物薄膜封装可以代替金属外壳，使其有更高的质量比能量。我相信，锂离子 (LIB) 电池已经进入到“无处不在”的时代，使得长时间在户外使用移动设备成为了可能。现在在日本，锂离子电池每年制造量近 10 亿只。

自从我在 Sony 公司从事研究与开发工作以来，我追逐的梦想就是使用与欣赏一款新产品，在此产品中使用了我个人所研究的新材料或器件。1976 年末，一款新高保真扬声器系统投入市场，其中采用了本人所研究的新材料膜片，我想买来一套来自用，然而我备感遗憾，二百万日元的价格对我来说实在是太昂贵了！我继而成功地推出了一系列音响设备进入市场，而这些音响设备采用了我研究出的新材料，包括有机聚合物晶须、超拉伸聚乙烯、人造金刚石等；这些产品对我来说也还是很昂贵。1988 年，一种应用细菌纤维素膜片的耳机上市，我希望可以买到一个，因为耳机往往比扬声器便宜。但是当我听到这个耳机要花费 36 万日元时，我立刻哑口无言了。

从价格的角度上来说，锂离子电池 (LIB) 比一个扬声器更便宜，其价格我是可以接受的。然而，不幸的是，单独的电池毫无用处，我必须购买昂贵的移动装置如笔记本电脑、便携式电话、数码相机等。

参考文献

1. M. Iguchi, *Br. Polymer J.*, 5 (1973) 195
2. Y. Nishi, M. Uryu, *New Mater. New Process.*, 3 (1985) 102
3. M. Iguchi, T. Suehito, Y. Watanabe, Y. Nishi, M. Uryu, *J. Mater. Sci.*, 17 (1982) 1632
4. Y. Nishi, M. Uryu, S. Yamanaka, K. Watanabe, K. Kitamura, M. Iguchi, N. Mitsuhashi, *J. Mater. Sci.*, 25 (1990) 2997
5. F. Heinz, German Patent, DE 2834485 C2, filed in 1978
6. A. G. MacDiarmid, A. Heager, P. J. Nigrey, U.S. Patent 4,442,125, filed in 1980
7. R. Yazami, Ph. Touzain, Abstract No. 23, International Meeting on Lithium Batteries, 1982
8. S. Basu, U.S. Patent 4,423,125, filed in 1982
9. F. P. McCullough, Jr., U.S. Patent, filed in 1984
10. T. Nagaura and T. Aida, Japanese Patent S62-11460, filed in 1980
11. J. B. Goodenough, M. Miaushima, P. J. Wiseman, British Patent, filed in 1979
12. Y. Nishi, *Chem. Rec.*, 1 (2001) 406
13. Y. Nishi, *Lithium Ion Batteries*, M. Wakihara, O. Yamamoto, Eds., Kodansha/Wiley-VCH, Tokyo (Japan), 1998, p. 181
14. Y. Nishi, *Advances in Lithium-Ion Batteries*, W. A. van Schalkwijk, B. Scrosati, Eds., Kluwer/Plenum, New York, 2002, p. 233

撰稿人

粟野秀 **Hidekazu Awano**

Nippon Chemical Industrial Co. , Ltd. , 9-11-1, Kameido, Koto-ku,
Tokyo 136-8515, Japan, hidekazu.awano@nippon-chem. co. jp

拉尔夫·J. 布拉德 **Ralph J. Brodd**

Broddarp of Nevada, Inc. , 2161 Fountain Springs Dr. , Henderson, NV 89074,
USA, ralph.brodd@earthlink. net

曹在弼 **Jaephil Cho**

Department of Applied Chemistry, Hanyang University,
Ansan 426-791, South Korea, jpcho@hanyang. ac. kr

尼古拉·迪莫夫 **Nikolay Dimov**

Department of Applied Chemistry, Saga University, 1 Honjo, Saga 840-8502,
Japan, nikjapan@yahoo. com

万马后藤 **Kazuma Gotoh**

Department of Chemistry, Faculty of Science, Okayama University,
Okayama 700-8530, Japan

堀辰雄 **Tatsuo Horiba**

Shin-Kobe Electric Machinery Co. , Ltd. , 2200 Oka, Fukaya, Saitama 369-0297,
Japan, t.horiba@shinkobe-denki. co. jp

彦菊屋 **Kazuhiko Kikuya**

Toda Material Corp. Kyushu, 1-26 Hibiki-machi, Wakamatsu, Kitakyushu,
Kazuhiko_Kikuya@todakogyo. co. jp

小野道之 **Michiyuki Kono**

R&D Division, Dai-Ichi Kogyo Seiyaku Co. , Ltd. , 55, Nishi-Shichijo,
Higashikubo-Cho, Shimogyo-Ku, Kyoto 600-8873, Japan,
m-kono@dks-web. co. jp

小泽昭弥 **Akiya Kozawa**

ITE Aichi Office, 2-15-19 Kamejima, Nakamura-ku, Nagoya 453-0013, Japan

前田真理子 **Mariko Maeda**

Research Center, Kureha Corporation, 16, Ochiai, Nishiki, Iwaki, Fukushima 974-
8232, Japan

森秀 **Hidekazu Mori**

Zeon Co. , Yako 1-2-1, Kawasaki 210-9507, Japan, h. mori@zeon. co. jp

永井愛作 Aisaku Nagai

Research & Technology Division, Kureha Corporation, 3-3-2,
Nihonbashi-Hamacho, Chuo-ku, Tokyo 103-8552, Japan,
a-nagai@kureha.co.jp

西义雄 Yoshio Nishi

1-7-302 Wakabadai, Asahi-ku, Yokohama 241-0801, Japan,
west24440@mmm-keio.net

西田达也 Tatsuya Nishida

Hitachi Chemical Co. Ltd., Japan, 13-1, Higashi-Cho 4-chome, Hitachi City 317-
8555, Japan, t-nishida@hitachi-chem.co.jp

野口秀幸 Hideyuki Noguchi

Department of Applied Chemistry, Saga University, 1 Honjo,
Saga 840-8502, Japan

沼田浩一 Koichi Numata

Mitsui Mining & Smelting Co, Ltd., Corporate R&D Center, 1333-2 Haraichi,
Ageo, Saitama 362-0021, Japan, k_numata@mitsui-kinzoku.co.jp

荻野隆夫 Takao Ogino

Research and Development Division, Bridgestone Corporation, 3-1-1
Ogawa-higashi, Kodaira 187-8531 Tokyo, Japan

小久见善八 Zempachi Ogumi

Department of Energy & Hydrocarbon Chemistry, Graduate School of
Engineering, Kyoto University, Kyoto 606-8501, Japan,
ogumi@scl.kyoto-u.ac.jp

冈田正树 Masaki Okada

Nanyo Research Laboratory, TOSOH Corporation, 4560, Kaisei-cho, Shin-nanyo
746-8501, Japan, okada_m@tosoh.co.jp

冈田重人 Shigeto Okada

Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University, 6-1
Kasuga Koen, Kasuga-shi, Fukuoka 816-8580, Japan,
s-okada@cm.kyushu-u.ac.jp

大泽俊 Toshiyuki Osawa

Kanagawa Industry Technology Center, 705-1, Shimoizumi, Ebina, 243-0435, Japan,
tohsawa@kanagawa-iri.go.jp

史乙木 Masashi Otsuki

Central Research, Bridgestone Corporation, 3-1-1

Ogawa-higashi, Kodaira, Tokyo 187-8531, Japan,

masashi.otsuki@bridgestone.co.jp

朴君宇 Byungwoo Park

School of Materials Science and Engineering and Research Center for Energy

Conversion & Storage, Seoul National University, Seoul, Korea

普瑞蒙兰德·罗摩达斯 Premanand Ramadass

Celgard, LLC, 13800 South Lakes Dr., Charlotte, NC 28273, USA

清水一彦 Kazuhiko Shimizu

Research Center, Kureha Corporation, 16, Ochiai, Nishiki, Iwaki,

Fukushima 974-8232, Japan

迈克尔·E. 斯帕 Michael E. Spahr

TIMCAL Ltd., Strada Industriale, CH-6743 Bodio, Switzerland,

m.spahr@ch.timcal.com

孙阳坤 Yang-kook Sun

Department of Chemical Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

田川一夫 Kazuo Tagawa

Hohsen Corporation, 10-4-601 Minami Semba 4-chome, Chuo-ku, Osaka 542-0081, Japan

宇江誠 Makoto Ue

Mitsubishi Chemical Group, Science and Technology Research Center, Inc.,
Battery Materials Laboratory, 8-3-1 Chuo, Ami, Inashiki, Ibaraki 300-0332,
Japan, 3707052@cc.m-kagaku.co.jp

上田正美 Masami Ueda

Toda Kogyo Corp., 1-26 Hibiki-machi, Wakamatsu, Kitakyushu, Fukuoka 808-0021, Japan

王宏宇 Hongyu Wang

Advanced Research center, Saga university,
1341 Yoga-machi, Saga 840-0047, Japan,
wanghongyu@hotmail.com

山木纯一 Jun-ichi Yamaki

Institute for Materials Chemistry and Engineering, Kyushu University, 6-1
Kasuga Koen, Kasuga-shi, Fukuoka 816-8580, Japan,
yamaki@cm.kyushu-u.ac.jp

山本晴久 Haruhisa Yamamoto

ZEON Corporation, Yako 1-2-1, Kawasaki 210-9507, Japan

Hiroshi Yamamoto Toda Kogyo Corp. , 1-1-1 Shinoki, 41-1-1
Onoda, 756-0847, Japan
xvi Contributors

义夫正树 **Masaki Yoshio**
Advanced Research Center, Saga university,
1341 Yoga-machi, Saga 840-0047, Japan,
yoshio@cc. saga-u. ac. jp

秀哉吉武 **Hideya Yoshitake**
Specialty Chemicals & Products Company, Ube Industries, Ltd., 1-2-1 Shibaura, 第一本第
Minato-ku, Tokyo 105-8449, Japan, 27452u@ube-ind. co. jp

张正铭 **Zhengming (John) Zhang**
Celgard, LLC, 13800 South Lakes Dr. , Charlotte, NC 28273, USA,
johnzhang@celgard. co

引言:**锂离子电池的发展** 1

Masaki Yoshio, Akiya Kozawa, and Ralph J. Brodd

0.1 简介	1
0.2 锂离子电池发展史	1
0.3 锂离子电池历史及专利	2
0.4 电解质添加剂:一种提高锂离子电池能量密度和安全性的方法	3
参考文献	7

第 1 章**锂离子电池市场概况** 8

Ralph J. Brodd

1.1 概述	8
1.2 当前锂离子电池市场	9
1.3 市场特征	10
1.4 消费电子产品	11
1.5 手持电动工具	11
1.6 不间断电源及静态储能	12
1.7 运输工具	12
参考文献	12

第 2 章**锂离子电池正极材料综述** 13

Masaki Yoshio and Hideyuki Noguchi

2.1 正极材料现状	13
2.2 正极材料的结构	13
2.3 充放电过程中的电化学特征及结构变化	16
2.4 正极材料存在的问题(层状材料和尖晶石 LiMn_2O_4 型材料的安全问题)	26
2.5 锂离子电池正极材料的最新进展	28
参考文献	36

第3章

38

碳负极材料

Zempachi Ogumi and Hongyu Wang

3.1 Li-GIC(锂-石墨层间化合物)的阶现象	39
3.2 固体电解质中间相薄膜的形成	39
3.3 碳结构与电化学性能的相关性	41
3.4 碳中 Li ⁺ 的扩散	44
3.5 超高容量的碳	44
3.6 嵌锂碳的热安全性	45
3.7 碳的结构修饰	46
3.8 实用型碳负极材料	46
参考文献	50

第4章

55

功能电解质：添加剂

Makoto Ue

4.1 概述	55
4.2 特定功能的电解质	56
4.3 负极成膜添加剂	56
4.4 正极保护添加剂	62
4.5 过充电保护添加剂	64
4.6 湿润剂	70
4.7 阻燃剂	72
4.8 其他添加剂	74
4.9 结论	75
参考文献	75

第5章

82

锂离子电池的碳导电添加剂

Michael E. Spahr

5.1 概述	82
5.2 石墨粉末	84
5.3 炭黑导电添加剂	93
5.4 石墨还是炭黑?	98
5.5 其他纤维状碳导电添加剂	99
参考文献	100

第6章

104

锂离子电池中聚偏氟乙烯 (PVDF) 相关材料的应用

Aisaku Nagai

6.1 概述	104
6.2 聚合物的电化学稳定性	105

6.3 PVDF 的物理性质	106
6.4 KF 聚合物的产品范围	107
参考文献	108

第 7 章

SBR 黏结剂 (用于负极) 和 ACM 黏结剂 (用于正极) 109

Haruhisa Yamamoto and Hidekazu Mori

7.1 概述	109
7.2 SBR 和 ACM 黏结剂的特性	111
7.3 负极黏结剂:BM-400B	113
7.4 正极黏结剂:BM-500B	117
7.5 总结	120
参考文献	120

第 8 章

锂离子电池的制造过程 121

Kazuo Tagawa and Ralph J. Brodd

8.1 概述	121
8.2 电池设计	121
8.3 圆柱形和方形电池的制造	122
8.4 混浆和涂覆	123
8.5 圆柱形电池的制造	123
8.6 方形电池的制造	125
8.7 锂离子平板电池和聚合物电池的制造	126
8.8 化成及老化	127
8.9 安全性	128
参考文献	128

第 9 章

聚阴离子正极活性材料 129

Shigeto Okada and Jun-ichi Yamaki

9.1 第一代 4V 正极材料	129
9.2 第二代正极材料	130
参考文献	135

第 10 章

金属氧化物包覆的正极材料的过充电行为 138

Jaephil Cho, Byungwoo Park, and Yang-kook Sun

10.1 简介	138
10.2 正极材料过充电反应机理	138
10.3 AlPO ₄ 包覆层的厚度对 LiCoO ₂ 正极的影响	139

10.4	包覆 Al_2O_3 和 AlPO_4 的 LiCoO_2 的比较	141
10.5	包覆 AlPO_4 和包覆 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ 的 LiCoO_2 正极的对比	144
10.6	ZnO 包覆的 $\text{LiNi}_{0.5}\text{Mn}_{1.5}\text{O}_4$ 尖晶石正极	150
	致谢	154
	参考文献	154

第 11 章

金属合金负极材料的发展

Nikolay Dimov

11.1	概述	157
11.2	常温下锂离子电池用锂合金的历史回顾	158
11.3	含硅材料和锂之间的电化学反应机理	160
11.4	硅基负极的制备工艺	161
11.5	硅碳复合电极	168
11.6	总结和展望	169
	参考文献	169

第 12 章

HEV 应用

Tatsuo Horiba

12.1	概述	174
12.2	日本之外的国家	174
12.3	日本	175
12.4	日立/新神户	175
12.5	HEV 电池模组	176
12.6	前景展望	177
	参考文献	177

第 13 章

锂离子电池阻燃添加剂

Masashi Otsuki and Takao Ogino

13.1	概述	178
13.2	磷氮烯化合物	179
13.3	添加剂磷氮烯的优化结构	179
13.4	可燃性的判定方法	181
13.5	热稳定性	183
13.6	电池性能	184
13.7	结论	185

参考文献	186
第 14 章	188
基于石墨正极和活性碳负极的高能电容器	
Masaki Yoshio, Hitoshi Nakamura, Hongyu Wang	
参考文献	192
第 15 章	193
用于二次锂离子电池的 LiCoO_2 的开发	
Hidekazu Awano	
15.1 概述	193
15.2 LiCoO_2 的制造方法和性质	195
15.3 进一步提高 LiCoO_2 的性能	199
15.4 总结	201
参考文献	201
第 16 章	202
正极材料: LiNiO_2 和相关化合物	
Kazuhiko Kikuya, Masami Ueda, and Hiroshi Yamamoto	
16.1 概述	202
16.2 LiNiO_2 的合成工艺	202
16.3 工艺和质量之间的关系	203
16.4 总结	205
参考文献	206
第 17 章	207
锂离子电池锰基正极活性材料	
Koichi Numata	
17.1 概述	207
17.2 尖晶石锰酸锂	207
17.3 层状的含锰材料	209
参考文献	210
第 18 章	211
锂离子电池碳负极材料发展趋势	
Tatsuya Nishida	
18.1 概述	211
18.2 MAG 的粉末特性	211
18.3 MAG 的充放电特性	214

18.4 结论	218
参考文献	218

第 19 章

锂离子电池功能电解质

219

Hideya Yoshitake

19.1 概述	219
19.2 锂离子电池电解质的过去和未来	219
19.3 功能电解质	220
19.4 第二代功能电解质	224
19.5 为正极设计的第三代功能电解质	227
19.6 其他功能电解质	231
19.7 补充说明	233
参考文献	234

第 20 章

锂离子电池隔膜

235

Zhengming (John) Zhang and Premanand Ramadass

20.1 概述	235
20.2 电池及隔膜市场	236
20.3 隔膜与电池	237
20.4 隔膜的要求	238
20.5 锂离子二次电池的隔膜	238
20.6 总结	260
20.7 未来的发展方向	261
参考文献	261

第 21 章

聚合物电解质与聚合物电池

266

Toshiyuki Osawa and Michiyuki Kono

21.1 概述	266
21.2 锂离子电池的聚合物电解质	266
21.3 干式聚合物电解质	267
21.4 凝胶态聚合物电解质	268
21.5 使用纯聚合物电解质的商业聚合物电池	269
21.6 使用凝胶聚合物电解质的商业化聚合物电池	270
21.7 新趋势	273
21.8 前景展望	273