钨钼稀土
在新能源电池领域的应用与市场研究

DR. HANNS
©CHINATUNGSTEN ONLINE
XIAMEN CHINA, NOV.01,2023
韩斯疆博士
中钨在线®
中国厦门 2023.11.01
www.ctia.com.cn

Copyright© 2021 All Rights Reserved
ISO 9001-2015 认证号码:00122Q31380R3S/3502
标准文件版本号 CTOXMQCD-MA-E/P 2022 版

www.chinatungsten.com
电话/TEL：0086 592 512 9696/512 9595
传真/FAX：0086 592 512 9797
邮箱/Email:sales@chinatungsten.com

著作版权、法律责任声明

■本文作者对本文所涉及政治、军事事件、人物等持中立态度；所涉及经济概念、事件、现象描述仅为了说明钨制品市场相关性及其影响，理论使用、论证未必正确，亦不代表作者立场。如有错漏及与读者立场不同，敬请理解。

■囿于知识和能力，错漏在所难免；如有发现任何问题，请及时联系，任何斧正无任欢迎。

■除非无法确认，我们都已标明作者及出处，如有侵权烦请告知我们，我们会立即删除并在此表示歉意。

■本文所有信息由中钨在线®韩斯疆博士及其团队编写。未经中钨在线及韩斯疆博士授权，不得对文件所载内容进行使用、披露、分发或变更。尽管我们努力提供可靠、准确和完整的信息，但我们无法保证此类信息的准确性或完整性，本文作者对任何错误或遗漏不承担任何责任亦没有义务补充、修订或更正文中的任何信息。本文中提供的信息仅供参考，不应被视为投资说明书、购买或出售任何投资的招揽文件、或作为参与任何特定交易策略的推荐。本文也不得用作任何投资决策的依据，或作为道德、法律依据或证据。无论是否已在本文片中明确或隐含地描述，本文不附带任何形式的担保。中钨在线及韩斯疆博士对使用本文相关信息造成的任何利润或损失概不负责。

■本文英文版本由百度自动翻译工具翻译，本网站、中文作者均无法对其准确性负责。

■如有需要我们的中文和/或英文版本，欢迎直接发邮件索取。

©中钨在线科技有限公司
韩斯疆博士
中钨在线®
中国厦门 2023.11.01
www.ctia.com.cn

LEGAL LIABILITY STATEMENT

■The author holds a neutral attitude towards the any political events and military issues involved in this paper. The description of the person(s), company(ies) and events involved are only to explain the economic phenomena related to the tungsten product market. The theories and facts may not be correct, nor does it represent the author's position. Please understand and forgive any mistakes, omissions and different positions from the readers.

■Unless it cannot be confirmed, we will indicate the author and source. If there is any infringement, please inform us, and we will delete it immediately and apologize.

■The information contained in this article is compiled & edited by Dr. Hanns and his team from China Tungsten Online (CTOMS). Any further reference, disclosure, distribution or editing is strictly restricted unless authorized by both Dr. Hanns and CTOMS. Although we endeavor to provide reliable, accurate and complete information, there can't be guaranteed that such information is accurate or complete and CTOMS assumes no responsibility for any errors or omissions. CTOMS is not obligated to supplement, amend, or correct any information in it. The information provided in it is for reference only and should not be construed as a prospectus; a solicitation to buy or sell any investment; or any other recommendation to participate in any particular trading strategy. Neither shall it be used as a basis for making any investment decision; or as a moral, liable or legal basis or evidence, nor is it accompanied by any form of guarantee, whether it has been explicitly or implicitly described in. CTOMS is not responsible for any profit or loss associated with using information.

■The English Version of this article is translated from Chinese Version by Baidu.com's automatic translation tool. Neither the website nor the author of the Chinese text can be responsible for its accuracy.

■Any requiring of the Chinese and/or English version of this paper may send us an email for it directly.

DR. HANNS
©CHINATUNGSTEN ONLINE
XIAMEN CHINA, NOV.01,2023
www.ctia.com.cm
ceo@tungsten.com.cn

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

COPYRIGHT

■This article only briefly describes the theory and market factors, holds a neutral view on market and price changes, and is not responsible for any or misleading to the market.
■This article was originally created by China Tungsten Online (中钨在线®).Mistakes and omissions are inevitable. If you find anything, please don't hesitate to contact us at any time.
■There's any reference or excerpt of any copyrighted information in this article, please make a statement or claim, and the author will correct it immediately.
■All rights reserved by China Tungsten Online (CTOMS)
■Any use of any content and form must be authorized in writing by Dr. Hanns.
■For more detailed market information, data and analysis, please contact the author directly through email at sales@chinatungsten.com.

DR. HANNS
©CHINATUNGSTEN ONLINE
XIAMEN CHINA, NOV.01,2023
www.ctia.com.cm
ceo@tungsten.com.cn

作者简介

厦门中钨在线科技有限公司，简称“中钨在线”，是中国第一家钨、钼、稀土行业的电子商务公司，1997 年 9 月以我国第一家顶级钨制品网站 www.chinatungsten.com 为基础在厦门设立。中钨在线以其在钨钼制品领域几十年积累的信息数据和专业经验为基础的设计、制造，卓越的商业信誉和优质服务闻名全球业界，使其成为钨钼稀土，特别是钨化学品、金属钨、硬质合金、高比重合金、钼及钼合金领域的最佳综合应用解决方案提供商。

自 2000 年起中钨在线以 www.ctia.com.cn 为基础创建了超过 100 万个钨、钼、稀土新闻、价格、市场调查分析的网页；2013 年以来，以“中钨在线”为名的公司微信公众号制作了近几十万条微信信息每日送达近十万名订阅者，该公众号已成为公认的全球最权威、最全面的钨钼行业、产品价格与市场中英文即时信息源。中钨在线的网站和微信获得了在业界首屈一指的上亿人次的访问量。

中钨在线的主要产品业务是与客户共同完成产品性能、定型、尺寸公差的研发设计和定制，并为客户提供配套的加工、改制、包装、文件和交运等综合集成服务。在过去的近 30 年中，中钨在线为全球十几万家客户提供了超过数十万种不同类型的钨、钼和稀土产品研发生产及后续服务；多年的经验和技术积累，也奠定了中钨在线客制化产品的柔性化和智能化制造集成能力和基础。

中钨在线的专业研究文章和报告由韩斯疆博士及其团队撰写。韩斯疆博士是中钨在线主要的市场和技术研究专家，自 1990 年代初期开始从事钨钼制品的电子商务和国际贸易、硬质合金和高比重钨合金的生产制造，是有着 30 多年经验，业内知名钨钼制品的电子商务、钨制品设计、加工和市场研究专家。

©厦门中钨在线科技有限公司
韩斯疆博士 ceo@tungsten.com.cn
中钨在线® www.ctia.com.cn
中国 厦门

BRIEF INTRODUCTION TO THE AUTHOR

As the 1st E-commerce company of Tungsten (W), Molybdenum (Mo), Rare Earth (RE) in China, China Tungsten Online Manu. & Sales (CTOMS) was founded in 1997 based on China's the 1st and top tungsten website www.chinatungsten.com. As its specialized design, professional manufacturing, excellent service and powerful information database, CTOMS is not only the most authoritative information source of Chinese and English information of W Mo and RE products globally, but also the best comprehensive application solution provider of W, Mo and RE, both chemical materials and machined products, such as tungsten oxide, metal, cemented carbide and heavy alloys.

CTOMS has been created more than 1 million web pages and WeChat information message of W, Mo and RE news, price and market research, analysis. The web news.chinatungsten.com, www.ctia.com.cn are the world's top index websites of tungsten which have received 1 billion visits from 1997.

The major business of CTOMS is to complete product design, R & D with customers and provide customers with processing and integration services. In the past 2 decades, it has provided more than 100,000 different types of W, Mo & RE products to more than 10,000 customers all over the world. Years experience and technology accumulation have laid a foundation for promoting the flexible and intelligent manufacturing of customized products.

The professional research articles and reports of CTOMS are written by Dr. Hanns and its marketing team. Dr. Hanns is an expert of the main market and technical research of CTOMS has been engaged in e-commerce and international trade of tungsten and molybdenum products, production and manufacturing of cemented carbide and high specific gravity tungsten alloy since the early 1990s. He is a well-known expert in e-commerce, tungsten product design, processing and Market Research of tungsten and molybdenum products in the industry with more than 30 years of experience.

DR. HANNS
©CHINATUNGSTEN ONLINE
XIAMEN CHINA, NOV.01,2023
www.ctia.com.cm
ceo@tungsten.com.cn

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

钨钼稀土市场的新蓝海

——《钨钼稀土在新能源电池领域的应用与市场研究》内容简介

中钨在线是一家在钨钼稀土制品行业拥有几十年经验的企业，深刻了解钨钼稀土制品在电池领域的应用潜力和机遇。自 2020 年起，我们积极研究并与纳米氧化钨、纳米二硫化钨、纳米二硫化钼等钨钼化工产品的生产企业建立了紧密合作关系，从而既深入了解这些产品的微观结构、理化学质、生产技术、生产成本和应用领域，又为市场提供专业信息和见解。

今年以来，中钨在线钨钼稀土团队深入研究了新能源、电池和汽车行业，着重关注了钨化合物、钼化合物和稀土化合物在新能源电池电极材料中的应用，同时分析了它们在市场中的优势、挑战和前景，最终形成了包括钨钼稀土电池行业相关标准在内的近 100 万字**《钨钼稀土在新能源电池领域的应用与市场研究》**报告。本研究报告大量借鉴了新能源和电池行业的信息，并深度参考了钨钼稀土企业的技术发展和现状，以便清晰地理解钨钼稀土制品在电池市场中的应用逻辑，以及分析未来的发展趋势和局限性。后续我们将就其中的部分内容在**“中钨在线”**微信公众号及其网站（www.ctia.com.cn）公开放送，如果您对此感兴趣或需要获取完整的报告，请联系我们 info@chinatungsten.com。

钨是一种过渡金属元素，位于元素周期表第六周期的 VIB 族，具有高熔点、高硬度、高强度、低蒸气压、低蒸发速度、良好化学稳定性等特点，广泛引用于电池、汽车、航天航空、医疗等领域中。在电池领域，纳米钨酸、纳米三氧化钨、针状紫色氧化钨、铌钨氧化物、二硫化钨纳米片、二硒化钨纳米片、钨酸盐等钨化合物凭借着良好的物理化学性质，广泛应用于各种电池如锂离子电池、锂硫电池、钠离子电池等的电极材料中，进而能有效弥补传统电极材料低能量密度、大体积效应等不足。

钼是一种难熔金属元素，是人体和动植物必需的一种微量元素，位于元素周期表第五周期第 VIB 族，具有较高的密度、较高的硬度、较高的热传导率、较低的热膨胀系数、较低的电阻率、良好热化学稳定性等特点，在电池、汽车、电子、光学、化工、建筑、医疗、航空航天等领域中具有广泛的应用。在电池领域，纳米二硫化钼、纳米二硒化钼、氧化钼、氮化钼、碳化钼、钼酸盐等钼化合物由于具有较高的理论比容量、良好的热化学稳定性和较低的还原电位等特点，而广泛用作各种电池如锂电池、钠电池、锌离子电池、锌锰电池等的电极材料，能有效提高正负极材料的容量、倍率性能、循环寿命等性能。

稀土元素是元素周期表中的镧系元素和钪、钇共十七种金属元素的总称，这些元素由于原子序数、原子量和化学性质等方面不同，所以在自然界中呈现出多样性。稀土元素的原子结构比较复杂，电子排布有一定的特殊性，因此在化学反应中表现出较高的化学活性，能够与其他元素形成多种化合物，这使得稀土元素具有广泛的应用前景，比如可以生产优良的电池正负极材料、化工催化剂、荧光粉、永磁材料、激光材料等。

钨、钼和稀土元素虽然在电池应用中具有广泛的前景，但是在应用过程中也面临着诸多挑战：一是生产符合电极材料应用的钨化合物、钼化合物、稀土制品的生产技术难度较高以及生产成本较大，因此研究人员正在研究新的合成方法，以降低钨化合物、钼化合物、稀土制品的制造成本，并提高相应材料的储荷能力和热化学稳定性等性能，同时研究人员也

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

在探索钨、钼、稀土元素与其他材料的复合应用，以实现更高效的电池性能；二是由于钨、钼、稀土矿的开采、加工难度较大以及资源稀缺性，导致钨价、钼价和稀土价格较高，限制了它们在电池领域的大规模应用；三是钨、钼、稀土矿的开采和加工过程会对生态环境造成一定的影响，然而，随着环境保护要求不断的提高，矿山企业面临越来越严格的生产标准和监管。

锂离子电池是目前应用最广泛的一种新能源电池，具有高能量密度、小自放电、无记忆效应、长使用寿命、绿色环保、轻重量等优点、广泛应用于新能源汽车、3C 电子产品、智能家电、风光储能、通信储能、家用储能等领域。

工信部官网消息显示，2022 年中国的锂离子电池行业积极推进供给侧结构性改革，加速技术创新和升级转型，持续提高先进产品的供应能力，整体保持了快速增长的态势。根据行业规范公告企业信息及研究机构测算，2022 年全国锂离子电池产量达 750GWh，同比增长超过 130%，其中储能型锂电产量突破 100GWh；正极材料、负极材料、隔膜、电解液等锂电一阶材料产量分别约为 185 万吨、140 万吨、130 亿平方米、85 万吨，同比增长均达 60%以上；产业规模进一步扩大，行业总产值突破 1.2 万亿元。据测算，2026 年年底，全球 46 家动力（储能）电池企业的规划合计产能将达到 6730.0GWh，相比 2023 年上半年的实际产能增长了 182.3%；从实际需求量来看，预计 2023 年和 2026 年全球动力（储能）电池的需求量将分别为 1096.5GWh 和 2614.6GWh，全行业的名义产能利用率将从 2023 年的 46.0%下降到 2026 年的 38.8%。

研究机构 EV Tank 预计，到 2025 年和 2030 年，全球锂离子电池的出货量将分别达到 2211.8GWh 和 6080.4GWh，其复合增长率将达到 22.8%。起点研究院（SPIR）预计 2030 年全球锂电池出货量将达到 7290GWh，相比 2022 增长 664.2%，2022-2030 年均复合增速达 28.9%，全球锂电池出货量将保持快速增长。

钠离子电池亦是一种非常受人们欢迎的新能源电池，具有低成本、高能量密度、长寿命、绿色环保等优点，因而在储能、电动汽车等领域具有潜在的应用价值。另外，钠离子电池的资源丰富，易于获取，这有助于降低生产成本并提高市场竞争力，是锂电池理想的代替品。然而，钠离子电池的发展仍需克服一些技术难题，例如提高能量密度和循环寿命、降低生产成本、优化材料体系等；另外，钠离子电池还需要在生产、应用和维护等方面建立完善的产业链和规范标准体系。

研究机构 EVTank《中国钠离子电池行业发展白皮书（2023 年）》显示，截止到 2023 年 6 月底，全国已经投产的钠离子电池专用产能达到 10GWh，相比 2022 年年底增长 8GWh；预计到 2023 年年底全国或将形成 39.7GWh 的钠离子电池专用量产线；预计到 2025 年中国钠离子电池全行业规划产能或达到 275.8GWh。中商情报网消息显示，预计 2025 年我国钠离子电池市场规模可增至 28.2GWh；到 2026 年，全球钠离子电池需求将达 116GWh，其中储能领域应用占比最高，达 71.2%；到 2030 年，全球钠离子电池需求将增长至 526GWh。

经过深入的研究和精心撰写，上述内容即为中钨在线关于**《钨钼稀土在新能源电池领域的应用与市场研究》**一文的核心要点和基本架构。后续，我们将陆续在“中钨在线”微信公众号中分享这份报告的部分内容，以回馈各位尊敬的关注者。

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

目 录

第 I 部分 电池、钨、钼和稀土的介绍

第一章 电池、钨、钼和稀土的基本概念

1.1 蓄电池
1.1.1 蓄电池基本结构
1.1.1.1 正极材料
1.1.1.2 负极材料
1.1.1.3 电解液
1.1.1.4 隔膜
1.1.2 蓄电池工作原理
1.1.3 蓄电池分类
1.1.3.1 传统电池
1.1.3.2 新能源电池
1.1.3.3 动力电池
1.1.3.4 储能电池
1.1.3.5 圆柱电池
1.1.3.6 方形电池
1.1.3.7 软包电池
1.1.4 新能源电池的发展历程
1.1.5 新能源电池应用领域
1.1.6 新能源电池市场趋势和前景
1.1.6.1 新能源电池行业发展现状
1.1.6.2 新能源电池行业发展前景
1.2 金属钨
1.2.1 钨的理化性质
1.2.2 钨的发展历史
1.2.3 钨的用途
1.3 金属钼
1.3.1 钼的理化性质
1.3.2 钼的发展历史
1.3.3 钼的用途
1.4 稀土元素
1.4.1 稀土用途

第二章 常见电池的介绍

2.1 铅酸电池
2.1.1 铅酸电池基本结构
2.1.1.1 铅酸电池正极材料
2.1.1.2 铅酸电池负极材料

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

2.1.1.3 铅酸电池隔板
2.1.1.4 铅酸电池电解液
2.1.2 铅酸电池工作原理
2.1.3 铅酸电池主要特性
2.1.4 铅酸电池生产工序
2.1.5 铅酸电池性能的影响因素
2.1.5.1 正极材料对铅酸电池性能的影响
2.1.5.2 负极材料对铅酸电池性能的影响
2.1.5.3 隔膜对铅酸电池性能的影响
2.1.5.4 电解液对铅酸电池性能的影响
2.1.5.5 放电深度对铅酸电池性能的影响
2.1.5.6 过充电程度对铅酸电池性能的影响
2.1.5.7 工作温度对铅酸电池性能的影响
2.1.5.8 浮充电压对铅酸电池性能的影响
2.1.5.9 保养不到位对铅酸电池性能的影响
2.1.6 铅酸电池技术指标
2.1.7 铅酸电池使用注意事项
2.1.8 铅酸电池的应用
2.1.9 铅酸电池的发展状况
2.1.10 铅酸电池的发展瓶颈
2.1.11 铅酸电池的发展前景
2.2 锂离子电池
2.2.1 锂离子电池基本结构
2.2.1.1 锂离子电池正极材料
2.2.1.1.1 磷酸铁锂正极材料
2.2.1.1.2 三元锂材料
2.2.1.1.3 钴酸锂正极材料
2.2.1.1.4 锰酸锂正极材料
2.2.1.2 锂离子电池负极材料
2.2.1.2.1 锂离子电池碳负极材料
a. 锂离子电池石墨化碳负极材料
b. 锂离子电池无定形碳负极材料
2.2.1.2.2 锂离子电池非碳负极材料
a. 锂离子电池钨基非碳负极材料
b. 锂离子电池钼基非碳负极材料
c. 锂离子电池硅基非碳负极材料
d. 锂离子电池钛基非碳负极材料
e. 锂离子电池锡基非碳负极材料
f. 锂离子电池合金负极材料
2.2.1.3 锂离子电池隔膜
2.2.1.3.1 锂离子电池聚乙烯隔膜
2.2.1.3.2 锂离子电池聚丙烯隔膜
2.2.1.4 锂离子电池电解液
2.2.1.4.1 锂离子电池液态电解质

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

2.2.1.4.2 锂离子电池固态电解质
2.2.1.5 锂离子电池工作原理
2.2.1.6 锂离子电池主要特性
2.2.1.6.1 锂离子电池的能量密度
2.2.1.6.2 锂离子电池的续航时间
2.2.1.6.3 锂离子电池的使用寿命
2.2.1.6.4 锂离子电池的充电性能
2.2.1.6.5 锂离子电池的安全性
2.2.1.7 锂离子电池分类
2.2.1.7.1 磷酸铁锂电池
2.2.1.7.2 三元锂电池
2.2.1.7.3 钴酸锂电池
2.2.1.7.4 锰酸锂电池
2.2.1.7.5 液态锂离子电池
2.2.1.7.6 固态锂离子电池
2.2.1.7.7 圆柱锂离子电池
2.2.1.7.8 方形锂离子电池
2.2.1.7.9 软包锂离子电池
a. 软包锂电池的基本结构
b. 软包锂电池与硬包锂电池区别
c. 软包锂电池为什么会胀气
d. 软包锂电池的生产流程
2.2.1.7.10 耐高温锂离子电池
2.2.1.7.11 耐低温锂离子电池
2.2.1.8 锂离子电池生产工序
2.2.1.9 锂离子电池性能的影响因素
2.2.1.9.1 正极材料对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.2 负极材料对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.3 隔膜对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.4 电解液对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.5 放电深度对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.6 过充电程度对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.7 工作温度对锂离子电池性能的影响
2.2.1.9.8 放电电流密度对锂离子电池性能的影响
2.2.1.10 锂离子电池对正极材料的要求
2.2.1.11 锂离子电池对负极材料的要求
2.2.1.12 锂离子电池对隔膜的要求
2.2.1.13 锂离子电池对电解液的要求
2.2.1.14 锂离子电池技术指标
2.2.1.15 锂离子电池使用注意事项
2.2.1.16 锂离子电池的应用
2.2.1.17 锂离子电池的发展状况
2.2.1.18 锂离子电池的发展瓶颈
2.2.1.19 锂离子电池的发展前景

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

2.3 磷酸铁锂电池
2.3.1 磷酸铁锂电池基本结构
2.3.2 磷酸铁锂电池工作原理
2.3.3 磷酸铁锂电池主要特性
2.3.4 磷酸铁锂电池的应用
2.3.5 磷酸铁锂电池的发展现状
2.3.6 磷酸铁锂电池的发展前景
2.3.7 磷酸铁锂电池的发展瓶颈
2.4 三元电池
2.4.1 三元电池基本结构
2.4.2 三元电池分类
2.4.2.1 镍钴锰三元电池
2.4.2.2 镍钴铝三元电池
2.4.3 三元电池工作原理
2.4.4 三元电池主要特性
2.4.5 三元电池的应用
2.4.6 三元电池的发展现状
2.4.7 三元电池的发展前景
2.4.8 三元电池的发展瓶颈
2.5 钴酸锂电池
2.5.1 钴酸锂电池基本结构
2.5.2 钴酸锂电池工作原理
2.5.3 钴酸锂电池主要特性
2.5.4 钴酸锂电池的应用
2.5.5 钴酸锂电池的发展现状
2.5.6 钴酸锂电池的发展前景
2.5.7 钴酸锂电池的发展瓶颈
2.6 锰酸锂电池
2.6.1 锰酸锂电池基本结构
2.6.2 锰酸锂电池工作原理
2.6.3 锰酸锂电池主要特性
2.6.4 锰酸锂电池的应用
2.6.5 锰酸锂电池的发展现状
2.6.6 锰酸锂电池的发展前景
2.6.7 锰酸锂电池的发展瓶颈
2.7 无钴电池
2.7.1 无钴电池基本结构
2.7.2 无钴电池工作原理
2.7.3 无钴电池主要特性
2.7.4 无钴电池的应用
2.7.5 无钴电池的发展现状
2.7.6 无钴电池的发展前景
2.7.7 无钴电池的发展瓶颈
2.8 锂硫电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

2.8.1 锂硫电池基本结构
2.8.1.1 锂硫电池正极材料
2.8.1.1.1 锂硫电池正极材料的种类
2.8.1.1.2 锂硫电池正极材料的制备方法
2.8.1.2 锂硫电池负极材料
2.8.1.2.1 锂硫电池负极材料的种类
2.8.1.2.2 锂硫电池负极材料的制备方法
2.8.1.2.3 锂硫电池负极材料的研究进展
2.8.1.3 锂硫电池隔膜
2.8.1.3.1 锂硫电池隔膜的种类
2.8.1.3.2 锂硫电池隔膜的制备方法
2.8.1.4 锂硫电池电解液
2.8.1.4.1 锂硫电池电解液的种类
2.8.1.4.2 锂硫电池电解液的制备方法
2.8.2 锂硫电池工作原理
2.8.3 锂硫电池主要特性
2.8.4 锂硫电池性能的影响因素
2.8.4.1 正极材料对锂硫电池性能的影响
2.8.4.2 负极材料对锂硫电池性能的影响
2.8.4.3 隔膜对锂硫电池性能的影响
2.8.4.4 电解液对锂硫电池性能的影响
2.8.4.5 放电深度对锂硫电池寿命的影响
2.8.4.6 过充电程度对锂硫电池寿命的影响
2.8.4.7 温度对锂硫电池寿命的影响
2.8.4.8 放电电流密度对锂硫电池寿命的影响
2.8.5 锂硫电池技术指标
2.8.6 锂硫电池使用注意事项
2.8.7 锂硫电池的应用
2.8.8 锂硫电池的发展现状
2.8.9 锂硫电池的发展前景
2.8.10 锂硫电池的发展瓶颈
2.9 钠离子电池
2.9.1 钠离子电池基本结构
2.9.1.1 钠离子电池正极材料
2.9.1.1.1 钠电池层状氧化物正极材料
2.9.1.1.2 钠电池普鲁士蓝正极材料
2.9.1.1.3 钠电池聚阴离子化合物正极材料
2.9.1.2 钠离子电池负极材料
2.9.1.2.1 钠电池碳负极材料
2.9.1.2.2 钠电池钨基负极材料
2.9.1.2.4 钠电池合金负极材料
2.9.1.3 钠离子电池隔膜
2.9.1.4 钠离子电池电解液
2.9.2 钠离子电池工作原理

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

2.9.3 钠离子电池主要特性
2.9.4 钠离子电池生产工序
2.9.5 钠离子电池性能的影响因素
2.9.5.1 正极材料对钠离子电池性能的影响
2.9.5.2 负极材料对钠离子电池性能的影响
2.9.5.3 隔膜对钠离子电池性能的影响
2.9.5.4 电解液对钠离子电池性能的影响
2.9.5.5 放电深度对钠离子电池寿命的影响
2.9.5.6 过充电程度对钠离子电池寿命的影响
2.9.5.7 温度对钠离子电池寿命的影响
2.9.5.8 放电电流密度对钠离子电池寿命的影响
2.9.6 钠离子电池技术指标
2.9.7 钠离子电池使用注意事项
2.9.8 钠离子电池的应用
2.9.9 钠离子电池的发展现状
2.9.10 钠离子电池的发展前景
2.9.11 钠离子电池的发展瓶颈
2.10 锌离子电池
2.10.1 锌离子电池基本结构
2.10.1.1 锌离子电池正极材料
2.10.1.1.1 锌电池正极材料的种类
2.10.1.1.2 锌电池正极材料的制备方法
2.10.1.2 锌离子电池负极材料
2.10.1.2.1 锌电池负极材料的种类
2.10.1.3 锌离子电池隔膜
2.10.1.3.1 锌电池聚合物材料的选择
2.10.1.3.2 锌电池聚合物材料的优化
2.10.1.4 锌离子电池电解液
2.10.1.4.1 锌电池水系电解液
2.10.1.4.2 锌电池非水系电解液
2.10.1.4.3 锌电池混合电解液
2.10.2 锌离子电池工作原理
2.10.3 锌离子电池主要特性
2.10.4 锌离子电池生产工序
2.10.5 锌离子电池性能的影响因素
2.10.5.1 正极材料对锌离子电池性能的影响
2.10.5.2 负极材料对锌离子电池性能的影响
2.10.5.3 隔膜对锌离子电池性能的影响
2.10.5.4 电解液对锌离子电池性能的影响
2.10.5.5 放电深度对锌离子电池寿命的影响
2.10.5.6 过充电程度对锌离子电池寿命的影响
2.10.5.7 工作温度对锌离子电池寿命的影响
2.10.5.8 放电电流密度对锌离子电池寿命的影响
2.10.6 锌离子电池技术指标

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

2.10.7 锌离子电池使用注意事项
2.10.8 锌离子电池的应用
2.10.9 锌离子电池的发展现状
2.10.10 锌离子电池的发展前景
2.10.11 锌离子电池的发展瓶颈
2.11 镍氢电池
2.11.1 镍氢电池基本结构
2.11.1.1 镍氢电池正极材料
2.11.1.2 镍氢电池负极材料
2.11.1.3 镍氢电池隔膜
2.11.1.4 镍氢电池电解液
2.11.2 镍氢电池工作原理
2.11.3 镍氢电池主要特性
2.11.4 镍氢电池生产工序
2.11.5 镍氢电池性能的影响因素
2.11.5.1 正极材料对镍氢电池性能的影响
2.11.5.2 负极材料对镍氢电池性能的影响
2.11.5.3 隔膜对镍氢电池性能的影响
2.11.5.4 电解液对镍氢电池性能的影响
2.11.5.5 放电深度对镍氢电池寿命的影响
2.11.5.6 过充电程度对镍氢电池寿命的影响
2.11.5.7 工作温度对镍氢电池寿命的影响
2.11.5.8 放电电流密度对镍氢电池寿命的影响
2.11.6 镍氢电池技术指标
2.11.7 镍氢电池使用注意事项
2.11.8 镍氢电池的应用
2.11.9 镍氢电池的发展现状
2.11.10 镍氢电池的发展前景
2.11.11 镍氢电池的发展瓶颈
2.12 燃料电池
2.12.1 燃料电池基本结构
2.12.1.1 燃料电池阳极材料
2.12.1.2 燃料电池阴极材料
2.12.1.3 燃料电池隔膜
2.12.1.4 燃料电池电解质
2.12.1.5 燃料电池催化剂
2.12.1.6 燃料电池集电器
2.12.2 燃料电池工作原理
2.12.3 燃料电池主要特性
2.12.4 燃料电池生产工序
2.12.5 燃料电池性能的影响因素
2.12.5.1 阳极材料对燃料电池性能的影响
2.12.5.2 阴极材料对燃料电池性能的影响
2.12.5.3 催化剂对燃料电池性能的影响

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

2.12.5.4 隔膜对燃料电池性能的影响
2.12.5.5 电解质对燃料电池性能的影响
2.12.5.6 集电器对燃料电池性能的影响
2.12.5.7 工作温度对燃料电池寿命的影响
2.12.5.8 工作压力对燃料电池寿命的影响
2.12.5.9 电流密度对燃料电池寿命的影响
2.12.6 燃料电池技术指标
2.12.7 燃料电池使用注意事项
2.12.8 燃料电池的应用
2.12.9 燃料电池的发展现状
2.12.10 燃料电池的发展前景
2.12.11 燃料电池的发展瓶颈
2.13 太阳能电池
2.13.1 太阳能电池基本组成
2.13.1.1 太阳能电池 PN 结
2.13.1.2 太阳能电池金属电极
2.13.1.3 太阳能电池透明导电膜
2.13.1.4 太阳能电池硅片
2.13.2 太阳能电池工作原理
2.13.3 太阳能电池主要特性
2.13.4 太阳能电池生产工序
2.13.5 太阳能电池性能的影响因素
2.13.5.1 硅片质量对太阳能电池性能的影响
2.13.5.2 硅片厚度对太阳能电池性能的影响
2.13.5.3 光照强度对太阳能电池性能的影响
2.13.5.4 工作温度对太阳能电池性能的影响
2.13.6 太阳能电池技术指标
2.13.7 太阳能电池使用注意事项
2.13.8 太阳能电池的应用
2.13.9 太阳能电池的发展现状
2.13.10 太阳能电池的发展前景
2.13.11 太阳能电池的发展瓶颈

第三章 电池性能的检测

3.1 电池的主要性能
3.1.1 电池的电动势
3.1.2 电池的额定容量
3.1.3 电池的额定电压
3.1.4 电池的开路电压
3.1.5 电池的充放电速率
3.1.6 电池的自放电率
3.1.7 电池的阻抗
3.1.8 电池的寿命

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

3.2 电池性能的检测
3.2.1 电池电动势的测试
3.2.1.1 电池电动势测试的目的
3.2.1.2 电池电动势测试的原理
3.2.1.3 电池电动势测试的方法
3.2.1.4 电池电动势测试的优势
3.2.1.5 电池电动势测试的注意事项
3.2.2 电池容量的测试
3.2.2.1 电池容量测试的目的
3.2.2.2 电池容量测试的原理
3.2.2.3 电池容量测试的方法
3.2.2.4 电池容量测试的优势
3.2.2.5 电池容量测试的注意事项
3.2.3 电池内阻的测试
3.2.3.1 电池内阻测试的目的
3.2.3.2 电池内阻测试的原理
3.2.3.3 电池内阻测试的方法
3.2.3.4 电池内阻测试的优势
3.2.3.5 电池内阻测试的注意事项
3.2.4 电池循环寿命的测试
3.2.4.1 电池循环寿命测试的目的
3.2.4.2 电池循环寿命测试的原理
3.2.4.3 电池循环寿命测试的方法
3.2.4.4 电池循环寿命测试的优势
3.2.4.5 电池循环寿命测试的注意事项
3.2.5 电池静态容量的测试
3.2.5.1 电池静态容量测试的目的
3.2.5.2 电池静态容量测试的原理
3.2.5.3 电池静态容量测试的方法
3.2.5.4 电池静态容量测试的优势
3.2.5.5 电池静态容量测试的注意事项
3.2.6 电池充放电性能的测试
3.2.6.1 电池充放电性能测试的目的
3.2.6.2 电池充放电性能测试的原理
3.2.6.3 电池充放电性能测试的方法
3.2.6.4 电池充放电性能测试的优势
3.2.6.5 电池充放电性能测试的注意事项
3.2.7 电池循环次数的测试
3.2.7.1 电池循环次数测试的目的
3.2.7.2 电池循环次数测试的原理
3.2.7.3 电池循环次数测试的方法
3.2.7.4 电池循环次数测试的优势
3.2.7.5 电池循环次数测试的注意事项
3.2.8 电池过充电保护的测试

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

3.2.8.1 电池过充电保护测试的目的
3.2.8.2 电池过充电保护测试的原理
3.2.8.3 电池过充电保护测试的方法
3.2.8.4 电池过充电保护测试的优势
3.2.8.5 电池过充电保护测试的注意事项
3.2.9 电池开路电压的测试
3.2.9.1 电池开路电压测试的目的
3.2.9.2 电池开路电压测试的原理
3.2.9.3 电池开路电压测试的方法
3.2.9.4 电池开路电压测试的优势
3.2.9.5 电池开路电压测试的注意事项
3.2.10 电池温度的测试
3.2.10.1 电池温度测试的目的
3.2.10.2 电池温度测试的原理
3.2.10.3 电池温度测试的方法
3.2.10.4 电池温度测试的优势
3.2.10.5 电池温度测试的注意事项
3.2.11 电池 ESD 的测试
3.2.11.1 电池 ESD 测试的目的
3.2.11.2 电池 ESD 测试的原理
3.2.11.3 电池 ESD 测试的方法
3.2.11.4 电池 ESD 测试的优势
3.2.11.5 电池 ESD 测试的注意事项

第四章 蓄电池应用领域概览

4.1 交通工具用蓄电池
4.1.1 电动汽车用蓄电池
4.1.3 电动自行车用蓄电池
4.1.4 电动摩托车用蓄电池
4.1.5 电动船舶用蓄电池
4.1.6 电动飞机用蓄电池
4.1.7 电动航空器用蓄电池
4.2 电子产品用蓄电池
4.2.1 手机用蓄电池
4.2.2 电脑用蓄电池
4.2.3 智能手表用蓄电池
4.2.4 游戏机用蓄电池
4.2.5 移动电源用蓄电池
4.2.6 无人机用蓄电池
4.3 智能家电用蓄电池
4.3.1 智能扫地机用蓄电池
4.3.2 智能门锁用蓄电池
4.3.3 智能吸尘器用蓄电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

4.3.4 智能窗帘用蓄电池
4.3.5 智能夜灯用蓄电池
4.3.6 智能音箱用蓄电池
4.3.7 智能马桶用蓄电池
4.4 航空器用蓄电池
4.4.1 卫星用蓄电池
4.4.2 火箭推进系统用蓄电池
4.4.3 军事设备用蓄电池
4.5 电力系统用蓄电池
4.6 医疗设备用蓄电池
4.6.1 电子体温计用蓄电池
4.6.2 呼吸机用蓄电池
4.6.3 便携式心电图机用蓄电池
4.6.4 移动式超声设备用蓄电池
4.6.5 除颤仪用蓄电池
4.7 电动工具用蓄电池
4.7.1 电钻用蓄电池
4.7.2 电锤用蓄电池
4.7.3 电锯用蓄电池
4.7.4 角磨机用蓄电池
4.7.5 电剪用蓄电池
4.8 农业设备用蓄电池
4.8.1 收割机用蓄电池
4.8.2 播种机用蓄电池
4.8.3 喷灌机用蓄电池
4.8.4 饲料投喂器用蓄电池

第 II 部分 钨在新能源电池市场的介绍

第五章 新能源电池中的钨化合物介绍

5.1 什么是钨酸
5.1.1 钨酸理化性质
5.1.2 钨酸分类
5.1.2.1 新能源电池用黄钨酸
5.1.2.2 新能源电池用白钨酸
5.1.2.3 新能源电池用偏钨酸
5.1.3 钨酸生产方法
5.1.3.1 黄钨酸生产方法
5.1.3.2 白钨酸生产方法
5.1.3.3 偏钨酸生产方法
5.1.4 钨酸应用
5.2 什么是氧化钨
5.2.1 氧化钨理化性质

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

5.2.1.1 什么是氧化钨的氧化还原性
5.2.1.2 什么是氧化钨的电致变色
5.2.1.3 什么是氧化钨的光致变色
5.2.1.4 什么是氧化钨的气敏性
5.2.1.5 什么是氧化钨的能量密度
5.2.3 氧化钨分类
5.2.3.1 新能源电池用氧化钨纳米颗粒
5.2.3.2 新能源电池用氧化钨纳米片
5.2.3.3 新能源电池用氧化钨纳米线
5.2.3.4 新能源电池用氧化钨纳米棒
5.2.3.5 新能源电池用氧化钨纳米花
5.2.3.6 新能源电池用黄色氧化钨
5.2.3.7 新能源电池用蓝色氧化钨
5.2.3.8 新能源电池用紫色氧化钨
5.2.3.9 新能源电池用白色氧化钨
5.2.3.10 新能源电池用二氧化钨
5.2.4 氧化钨生产方法
5.2.4.1 热分解法制备氧化钨
5.2.4.2 水热合成法制备氧化钨
5.2.4.3 溶胶凝胶法制备氧化钨
5.2.4.4 电化学氧化法制备氧化钨
5.2.5 氧化钨应用
5.3 什么是黄色氧化钨
5.3.1 黄色氧化钨结构
5.3.2 黄色氧化钨理化性质
5.3.2.1 什么是黄色氧化钨的密度
5.3.2.2 什么是黄色氧化钨的松装密度
5.3.2.3 什么是黄色氧化钨的氧化性
5.3.2.4 什么是黄色氧化钨的电致变色
5.3.2.5 什么是黄色氧化钨的气敏性
5.3.3 黄色氧化钨分类
5.3.3.1 新能源电池用黄色氧化钨纳米颗粒
5.3.3.2 新能源电池用黄色氧化钨纳米片
5.3.3.3 新能源电池用黄色氧化钨纳米线
5.3.3.4 新能源电池用黄色氧化钨纳米棒
5.3.3.5 新能源电池用黄色氧化钨纳米花
5.3.3.6 新能源电池用微米黄色氧化钨
5.3.3.7 新能源电池用亚微米黄色氧化钨
5.3.3.8 新能源电池用纳米黄色氧化钨
5.3.3.9 新能源电池用亚纳米黄色氧化钨
5.3.4 黄色氧化钨生产方法
5.3.5 黄色氧化钨应用
5.4 什么是紫色氧化钨
5.4.1 紫色氧化钨结构

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

5.4.2 紫色氧化钨理化性质
5.4.3 紫色氧化钨分类
5.4.3.1 新能源电池用针状紫色氧化钨
5.4.3.2 新能源电池用棒状紫色氧化钨
5.4.3.3 新能源电池用微米紫色氧化钨
5.4.3.4 新能源电池用亚微米紫色氧化钨
5.4.3.5 新能源电池用纳米紫色氧化钨
5.4.3.6 新能源电池用亚纳米紫色氧化钨
5.4.4 紫色氧化钨生产方法
5.4.5 紫色氧化钨应用
5.5 什么是二氧化钨
5.5.1 二氧化钨结构
5.5.2 二氧化钨理化性质
5.5.3 二氧化钨分类
5.5.3.1 新能源电池用二氧化钨纳米颗粒
5.5.3.2 新能源电池用二氧化钨纳米片
5.5.3.3 新能源电池用二氧化钨纳米线
5.5.3.4 新能源电池用二氧化钨纳米棒
5.5.3.5 新能源电池用二氧化钨纳米花
5.5.3.6 新能源电池用微米二氧化钨
5.5.3.7 新能源电池用亚微米二氧化钨
5.5.3.8 新能源电池用纳米二氧化钨
5.5.3.9 新能源电池用亚纳米二氧化钨
5.5.4 二氧化钨生产方法
5.5.5 二氧化钨应用
5.6 什么是铌钨氧化物
5.6.1 铌钨氧化物结构
5.6.2 铌钨氧化物理化性质
5.6.3 铌钨氧化物生产方法
5.6.4 铌钨氧化物应用
5.7 什么是氮化钨
5.7.1 氮化钨结构
5.7.2 氮化钨理化性质
5.7.3 氮化钨分类
5.7.3.1 新能源电池用六叠氮化钨
5.7.3.2 新能源电池用二氮化钨
5.7.3.3 新能源电池用氮化二钨
5.7.4 氮化钨生产方法
5.7.5 氮化钨应用
5.8 什么是硼化钨
5.8.1 硼化钨结构
5.8.2 硼化钨理化性质
5.8.3 硼化钨分类
5.8.3.1 新能源电池用一硼化钨

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

5.8.3.2 新能源电池用二硼化钨
5.8.3.3 新能源电池用硼化二钨
5.8.3.4 新能源电池用四硼化钨
5.8.3.5 新能源电池用五硼化二钨
5.8.4 硼化钨生产方法
5.8.5 硼化钨应用
5.9 什么是二硫化钨
5.9.1 二硫化钨结构
5.9.2 二硫化钨理化性质
5.9.3 二硫化钨分类
5.9.3.1 新能源电池用二硫化钨纳米颗粒
5.9.3.2 新能源电池用二硫化钨纳米片
5.9.3.3 新能源电池用二硫化钨纳米线
5.9.3.4 新能源电池用二硫化钨纳米棒
5.9.3.5 新能源电池用二硫化钨纳米花
5.9.3.6 新能源电池用二硫化钨量子点
5.9.4 二硫化钨生产方法
5.9.5 二硫化钨应用
5.10 什么是二硒化钨
5.10.1 二硒化钨结构
5.10.2 二硒化钨理化性质
5.10.3 二硒化钨分类
5.10.3.1 新能源电池用二硒化钨纳米颗粒
5.10.3.2 新能源电池用二硒化钨纳米片
5.10.3.3 新能源电池用二硒化钨纳米线
5.10.3.4 新能源电池用二硒化钨纳米棒
5.10.3.5 新能源电池用二硒化钨纳米花
5.10.4 二硒化钨生产方法
5.10.5 二硒化钨应用
5.11 什么是钨酸盐
5.11.1 钨酸盐结构
5.11.2 钨酸盐理化性质
5.11.3 钨酸盐分类
5.11.3.1 新能源电池用钨酸钠
5.11.1.2 新能源电池用钨酸锌
5.11.1.3 新能源电池用钨酸钴
5.11.4 钨酸盐生产方法
5.11.5 钨酸盐应用

第六章 钨在锂离子电池中的应用

6.1 纳米钨酸在锂离子电池中的应用
6.1.1 锂电池正极材料用纳米钨酸
6.1.2 锂电池负极材料用纳米钨酸

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

6.1.3 锂电池电极材料用纳米钨酸的挑战
6.2 纳米黄色氧化钨在锂离子电池中的应用
6.2.1 锂电池正极材料用纳米黄色氧化钨
6.2.2 锂电池负极材料用纳米黄色氧化钨
6.2.3 锂电池电极材料用纳米黄色氧化钨的挑战
6.3 纳米紫色氧化钨在锂离子电池中的应用
6.3.1 锂电池正极材料用纳米紫色氧化钨
6.3.2 锂电池负极材料用纳米紫色氧化钨
6.3.3 锂电池电极材料用纳米紫色氧化钨的挑战
6.4 二氧化钨在锂离子电池中的应用
6.4.1 锂电池正极材料用二氧化钨
6.4.2 锂电池负极材料用二氧化钨
6.4.3 锂电池电极材料用二氧化钨的挑战
6.5 铌钨氧化物在锂离子电池中的应用
6.5.1 锂电池正极材料用铌钨氧化物
6.5.2 锂电池负极材料用铌钨氧化物
6.5.3 锂电池电极材料用铌钨氧化物的挑战
6.6 氮化钨在锂离子电池中的应用
6.6.1 锂电池负极材料用氮化钨
6.6.2 锂电池电极材料用氮化钨的挑战
6.7 二硫化钨在磷酸铁锂中的应用
6.7.1 锂电池正极材料用二硫化钨纳米片
6.7.2 锂电池正极材料用二硫化钨纳米管
6.7.3 锂电池负极材料用二硫化钨纳米片
6.7.4 锂电池负极材料用二硫化钨纳米管
6.7.5 锂电池电极材料用二硫化钨的挑战
6.8 钨酸钠在锂离子电池中的应用
6.8.1 锂电池负极材料用钨酸钠
6.8.2 锂电池电极材料用钨酸钠的挑战
6.9 钨酸锌在锂离子电池中的应用
6.9.1 锂电池负极材料用钨酸锌
6.9.2 锂电池电极材料用钨酸锌的挑战
6.10 钨酸锂在锂离子电池中的应用
6.9.1 锂离子电池正极材料用钨酸锂
6.9.2 锂离子电池负极材料用钨酸锂
6.9.3 锂电池电解质用钨酸锂
6.9.4 锂电池用钨酸锂的挑战

第七章 钨在锂硫电池中的应用

7.1 氧化钨在锂硫电池中的应用
7.1.1 锂硫电池正极材料用氧化钨纳米棒
7.1.2 锂硫电池负极材料用氧化钨纳米棒
7.1.3 锂硫电池隔膜用氧化钨

7.1.4 锂硫电池用氧化钨的挑战
7.2 二硫化钨在锂硫电池中的应用
7.2.1 锂硫电池正极材料用二硫化钨纳米片
7.2.2 锂硫电池负极材料用二硫化钨纳米片
7.2.3 锂硫电池正极材料用二硫化钨量子点
7.2.4 锂硫电池负极材料用二硫化钨量子点
7.2.5 锂硫电池隔膜用二硫化钨纳米花
7.2.6 锂硫电池用二硫化钨的挑战
7.3 二硒化钨在锂硫电池中的应用
7.3.1 锂硫电池正极材料用二硒化钨纳米片
7.3.2 锂硫电池负极材料用二硒化钨纳米片
7.3.3 锂硫电池正极材料用二硒化钨复合材料
7.3.4 锂硫电池负极材料用二硒化钨复合材料
7.3.5 锂硫电池电极材料用二硒化钨的挑战
7.4 氮化钨在锂硫电池中的应用
7.4.1 锂硫电池正极材料用氮化钨纳米片
7.4.2 锂硫电池负极材料用氮化钨纳米片
7.4.3 锂硫电池电极材料用氮化钨的挑战

第八章 钨在钠离子电池中的应用

8.1 氧化钨在钠离子电池中的应用
8.1.1 钠电池正极材料用黄色氧化钨
8.1.2 钠电池负极材料用黄色氧化钨
8.1.3 钠电池正极材料用紫色氧化钨
8.1.4 钠电池负极材料用紫色氧化钨
8.1.5 钠电池电极材料用氧化钨的挑战
8.2 二硫化钨在钠离子电池中的应用
8.2.1 钠电池正极材料用二硫化钨空心球
8.2.2 钠电池负极材料用二硫化钨空心球
8.2.3 钠电池正极材料用二硫化钨纳米片
8.2.4 钠电池负极材料用二硫化钨纳米片
8.2.5 钠电池负极材料用二硫化钨纳米管
8.2.6 钠电池电极材料用二硫化钨的挑战
8.3 二硒化钨在钠离子电池中的应用
8.3.1 钠电池正极材料用二硒化钨
8.3.2 钠电池负极材料用二硒化钨
8.3.3 钠电池电极材料用二硒化钨的挑战
8.4 纳米钨酸在钠离子电池中的应用
8.4.1 钠电池正极材料用纳米钨酸
8.4.2 钠电池负极材料用纳米钨酸
8.4.3 钠电池电极材料用纳米钨酸的挑战
8.5 氮化钨在钠离子电池中的应用
8.5.1 钠电池正极材料用纳米氮化钨纳米

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

8.5.2 钠电池负极材料用纳米氮化钨纳米
8.5.3 钠电池电极材料用纳米氮化钨的挑战
8.6 钨酸钠在钠离子电池中的应用
8.6.1 钠电池负极材料用纳米钨酸钠
8.6.2 钠电池电极材料用纳米钨酸钠的挑战
8.7 钨酸锌在钠离子电池中的应用
8.7.1 钠电池负极材料用钨酸锌
8.7.2 钠电池电极材料用钨酸锌的挑战

第九章 钨在锌空电池中的应用

9.1 氧化钨在锌空电池中的应用
9.1.1 锌空电池催化剂用黄色氧化钨复合材料
9.1.2 锌空电池催化剂用紫色氧化钨复合材料
9.1.3 锌空电池催化剂用氧化钨的挑战
9.2 二硫化钨在锌空电池中的应用
9.2.1 锌空电池催化剂用纳米二硫化钨
9.1.2 锌空电池催化剂用纳米二硫化钨的挑战
9.3 钨酸钴在锌空电池中的应用
9.3.1 锌空电池催化剂用钨酸钴复合材料
9.3.2 锌空电池催化剂用钨酸钴的挑战

第十章 钨在燃料电池中的应用

10.1 氧化钨在燃料电池中的应用
10.1.1 燃料电池催化剂用纳米三氧化钨
10.1.2 燃料电池屏蔽层用三氧化钨涂层
10.1.3 燃料电池催化剂用氧化钨的挑战
10.2 二硫化钨燃料电池中的应用
10.2.1 燃料电池催化剂用纳米二硫化钨
10.2.2 燃料电池催化剂用二硫化钨的挑战
10.3 磷钨酸燃料电池中的应用
10.3.1 燃料电池催化剂用磷钨酸
10.3.2 燃料电池质子交换膜用磷钨酸
10.3.4 燃料电池用磷钨酸的挑战
10.4 燃料电池用氢钼钨青铜
10.4.1 燃料电池催化剂用氢钼钨青铜
10.4.2 燃料电池催化剂用氢钼钨青铜挑战
10.5 燃料电池用碳化钨粉末
10.5.2 燃料电池催化剂用碳化钨粉末
10.5.3 燃料电池用碳化钨粉末的挑战

第十一章 钨在太阳能电池中的应用

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

11.1 氧化钨在太阳能电池中的应用
11.1.1 太阳能电池正面银浆用三氧化钨
11.1.2 太阳能电池用氧化钨薄膜
11.1.3 太阳能电池用氧化钨的挑战
11.2 二硫化钨在太阳能电池中的应用
11.2.1 太阳能电池光活性层用二硫化钨
11.2.2 太阳能电池空穴传输层用二硫化钨纳米膜
11.2.3 太阳能电池用二硫化钨的挑战
11.3 二硒化钨在太阳能电池中的应用
11.3.1 太阳能电池导电层用二硒化钨
11.3.2 太阳能电池用二硒化钨的挑战
11.4 钨酸镉在太阳能电池中的应用
11.4.1 太阳能电池用钨酸镉
11.4.2 太阳能电池用钨酸镉的挑战

第十二章 钨在电池中的技术挑战与解决方案

12.1 纳米钨酸在电池中的技术挑战与解决方法
12.2 纳米三氧化钨在电池中的技术挑战与解决方法
12.3 纳米紫色氧化在电池中的技术挑战与解决方法
12.4 铌钨氧化物在电池中的技术挑战与解决方法
12.5 纳米二硫化钨在电池中的技术挑战与解决方法
12.6 纳米二硒化钨在电池中的技术挑战与解决方法
12.7 纳米氮化钨在电池中的技术挑战与解决方法

第十三章 钨基电池的生产成本

第十四章 钨在电池中的潜在价值与应用前景

第 III 部分 钼在新能源电池市场的介绍

第十五章 新能源电池中的钼化合物介绍

15.1 什么是氧化钼
15.1.1 氧化钼结构
15.1.2 氧化钼理化性质
15.1.3 氧化钼分类
15.1.3.1 新能源电池用三氧化钼
15.1.3.2 新能源电池用二氧化钼
15.1.3.3 新能源电池用氧化钼纳米线
15.1.3.4 新能源电池用氧化钼纳米棒
15.1.3.5 新能源电池用氧化钼纳米纤维
15.1.3.6 新能源电池用微米氧化钼
15.1.3.7 新能源电池用亚微米氧化钼

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

15.1.3.8 新能源电池用纳米氧化钼
15.1.3.9 新能源电池用亚纳米氧化钼
15.1.4 氧化钼生产方法
15.1.5 氧化钼应用
15.2 什么是碳化钼
15.2.1 碳化钼结构
15.2.2 碳化钼理化性质
15.2.3 碳化钼分类
15.2.3.1 新能源电池用碳化钼纳米管
15.2.3.2 新能源电池用碳化钼纳米片
15.2.3.3 新能源电池用碳化钼纳米线
15.2.3.4 新能源电池用碳化钼纳米棒
15.2.3.5 新能源电池用碳化钼纳米纤维
15.2.3.6 新能源电池用微米碳化钼
15.2.3.7 新能源电池用亚微米碳化钼
15.2.3.8 新能源电池用纳米碳化钼
15.2.3.9 新能源电池用亚纳米碳化钼
15.2.4 碳化钼生产方法
15.2.5 碳化钼应用
15.3 什么是氮化钼
15.3.1 氧化钼结构
15.3.2 氮化钼理化性质
15.3.3 氮化钼分类
15.3.3.1 新能源电池用氮化钼量子点
15.3.3.2 新能源电池用氮化钼纳米片
15.3.3.3 新能源电池用氮化钼纳米簇
15.3.3.4 新能源电池用一氮化钼
15.3.3.5 新能源电池用六叠氮化钼
15.3.3.6 新能源电池用二氮化钼
15.3.3.7 新能源电池用氮化二钼
15.3.3.8 新能源电池用二氮化三钼
15.3.4 氮化钼生产方法
15.3.5 氮化钼应用
15.4 什么是二硫化钼
15.4.1 二硫化钼结构
15.4.2 二硫化钼理化性质
15.4.3 二硫化钼分类
15.4.3.1 新能源电池用二硫化钼纳米颗粒
15.4.3.2 新能源电池用二硫化钼纳米片
15.4.3.3 新能源电池用二硫化钼纳米棒
15.4.3.4 新能源电池用二硫化钼纳米花
15.4.3.5 新能源电池用二硫化钼纳米纤维
15.4.3.6 新能源电池用微米二硫化钼
15.4.3.7 新能源电池用亚微米二硫化钼

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

15.4.3.8 新能源电池用纳米二硫化钼
15.4.3.9 新能源电池用亚纳米二硫化钼
15.4.4 二硫化钼生产方法
15.4.5 二硫化钼应用
15.5 什么是二硒化钼
15.5.1 二硒化钼结构
15.5.2 二硒化钼理化性质
15.5.3 二硒化钼分类
15.5.3.1 新能源电池用二硒化钼纳米颗粒
15.5.3.2 新能源电池用二硒化钼纳米片
15.5.3.3 新能源电池用二硒化钼纳米棒
15.5.3.4 新能源电池用二硒化钼纳米花
15.5.3.5 新能源电池用二硒化钼纳米纤维
15.5.3.6 新能源电池用微米二硒化钼
15.5.3.7 新能源电池用亚微米二硒化钼
15.5.3.8 新能源电池用纳米二硒化钼
15.5.3.9 新能源电池用亚纳米二硒化钼
15.5.4 二硒化钼生产方法
15.5.5 二硒化钼应用
15.6 什么是钼酸盐
15.6.1 钼酸盐结构
15.6.2 钼酸盐理化性质
15.6.3 钼酸盐分类
15.6.3.1 新能源电池用钼酸锂
15.6.3.2 新能源电池用钼酸铁
15.6.3.3 新能源电池用钼酸铜
15.6.3.4 新能源电池用钼酸镍
15.6.3.5 新能源电池用钼酸镁
15.6.3.6 新能源电池用钼酸锌
15.6.3.7 新能源电池用磷钼酸
15.6.3.8 新能源电池用七钼酸铵
15.6.3.9 新能源电池用钼酸钠
15.6.3.10 新能源电池用钼酸钾
15.6.4 钼酸盐生产方法
15.6.5 钼酸盐应用

第十六章 钼在锂离子电池中的应用

16.1 氧化钼在锂离子电池中的应用
16.1.1 锂离子电池负极材料用二氧化钼
16.1.2 锂离子电池负极材料用三氧化钼
16.1.3 锂离子电池负极材料用氧化钼的挑战
16.2 氮化钼在锂离子电池中的应用
16.2.1 锂离子电池负极材料用氮化钼复合材料

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

16.2.2 锂离子电池负极材料用氮化钼的挑战
16.3 二硫化钼在锂离子电池中的应用
16.3.1 锂离子电池负极材料用二硫化钼
16.3.2 锂离子电池负极材料用二硫化钼的挑战
16.4 二硒化钼在锂离子电池中的应用
16.4.1 锂离子电池负极材料用二硒化钼
16.4.2 锂离子电池负极材料用二硒化钼的挑战
16.5 钼酸锂在锂离子电池中的应用
16.5.1 锂离子电池正极材料用钼酸锂
16.5.2 锂离子电池负极材料用钼酸锂
16.5.3 锂离子电池电极材料用钼酸锂的挑战
16.5.4 锂离子电池电解液用钼酸锂
16.5.5 锂离子电池电解液用钼酸锂的挑战
16.6 钼酸铁在锂离子电池中的应用
16.6.1 锂离子电池负极材料用纳米棒状钼酸铁
16.6.2 锂离子电池电极材料用纳米棒状钼酸铁的挑战
16.7 钼酸铜在锂离子电池中的应用
16.7.1 锂离子电池负极材料用钼酸铜
16.7.2 锂离子电池电极材料用钼酸铜的挑战
16.8 钼酸镍在锂离子电池中的应用
16.8.1 锂离子电池正极材料用钼酸镍
16.8.2 锂离子电池负极材料用钼酸镍
16.8.3 锂离子电池电极材料用钼酸镍的挑战

第十七章 钼在锂硫电池中的应用

17.1 碳化钼在锂硫电池中的应用
17.1.1 锂硫电池正极材料用碳化钼复合材料
17.1.2 锂硫电池集流体材料用碳化钼纳米纤维
17.1.3 锂硫电池用碳化钼的挑战
17.2 氮化钼在锂硫电池中的应用
17.2.1 锂硫电池正极材料用二氮化三钼
17.2.2 锂硫电池电极材料用氮化钼复合材料
17.2.3 锂硫电池隔膜用氮化钼量子点
17.2.4 锂硫电池中间层用氮化钼纳米片
17.2.5 锂硫电池用氮化钼的挑战
17.3 二硫化钼在锂硫电池中的应用
17.3.1 锂硫电池正极材料用二硫化钼纳米片
17.3.2 锂硫电池负极材料用二硫化钼复合材料
17.3.3 锂硫电池电极材料用二硫化钼的挑战
17.4 三硫化钼在锂硫电池中的应用
17.4.1 锂硫电池正极材料用非晶相三硫化钼
17.4.2 锂硫电池负极材料用三硫化钼纳米片
17.4.3 锂硫电池电极材料用三硫化钼的挑战

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

17.5 二硒化钼在锂硫电池中的应用
17.5.1 锂硫电池正极材料用二硒化钼复合材料
17.5.2 锂硫电池负极材料用二硒化钼复合材料
17.5.3 锂硫电池电极材料用二硒化钼的挑战

第十八章 钼在钠离子电池中的应用

18.1 氧化钼在钠离子电池中的应用
18.1.1 钠离子电池负极材料用二氧化钼
18.1.2 钠离子电池负极材料用三氧化钼
18.1.3 钠离子电池负极材料用氧化钼的挑战
18.2 二硫化钼在钠离子电池中的应用
18.2.1 钠离子电池负极材料用二硫化钼复合材料
18.2.2 钠离子电池负极材料用二硫化钼的挑战
18.3 二硒化钼在钠离子电池中的应用
18.3.1 钠离子电池负极材料用二硒化钼复合材料
18.3.2 钠离子电池负极材料用二硒化钼的挑战
18.4 钼酸锂在钠离子电池中的应用
18.4.1 钠离子电池负极材料用钼酸锂
18.4.2 钠离子电池负极材料用钼酸锂的挑战
18.5 钼酸铁在钠离子电池中的应用
18.5.1 钠离子电池负极材料用钼酸铁
18.5.2 钠离子电池负极材料用钼酸铁的挑战
18.6 钼酸镍在钠离子电池中的应用
18.6.1 钠离子电池负极材料用钼酸镍
18.6.2 钠离子电池电极材料用钼酸镍的挑战

第十九章 钼在锌离子电池中的应用

19.1 氧化钼在锌离子电池中的应用
19.1.1 锌离子电池正极材料用二氧化钼
19.1.2 锌离子电池负极材料用二氧化钼
19.1.3 锌离子电池正极材料用三氧化钼
19.1.4 锌离子电池负极材料用三氧化钼
19.1.5 锌离子电池电极材料用氧化钼的挑战
19.2 二硫化钼在锌离子电池中的应用
19.2.1 锌离子电池正极材料用二硫化钼
19.2.2 锌离子电池正极材料用二硫化钼纳米片
19.2.3 锌离子电池负极材料用二硫化钼纳米片
19.2.4 锌离子电池负极材料用二硫化钼复合材料
19.2.5 锌离子电池电极材料用二硫化钼的挑战
19.3 钼钒氧化物在锌离子电池中的应用
19.3.1 锌离子电池电极材料用钼钒氧化物
19.2.2 锌离子电池电极材料用钼钒氧化物的挑战

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

19.4 钼酸锌在锌离子电池中的应用
19.4.1 锌离子电池负极保护层用钼酸锌
19.4.2 锌离子电池负极保护层用钼酸锌的挑战

第二十章 钼在燃料电池中的应用

20.1 金属钼在燃料电池中的应用
20.1.1 燃料电池催化剂用金属钼
20.1.2 燃料电池电极用金属钼
20.1.3 燃料电池用金属钼的挑战
20.2 三氧化钼纳米线在燃料电池中的应用
20.2.1 燃料电池阳极用三氧化钼纳米线
20.2.2 燃料电池阳极用三氧化钼纳米线的挑战
20.3 碳化钼在燃料电池中的应用
20.3.1 燃料电池阳极材料用碳化钼
20.3.2 燃料电池阴极材料用碳化钼
20.3.3 燃料电池催化剂用碳化钼
20.3.4 燃料电池用碳化钼的挑战
20.4 氮化钼在燃料电池中的应用
20.4.1 燃料电池阳极材料用氮化钼
20.4.2 燃料电池阴极材料用氮化钼
20.4.3 燃料电池电极用氮化钼的挑战
20.5 磷钼酸在燃料电池中的应用
20.5.1 燃料电池催化剂用磷钼酸
20.5.2 燃料电池碳间接电氧化介质用磷钼酸
20.5.3 燃料电池用磷钼酸的挑战
20.6 钼酸镧在燃料电池中的应用
20.6.1 燃料电池电解质用钼酸镧
20.6.2 燃料电池电解质用钼酸镧的挑战
20.7 镍钼合金在燃料电池中的应用
20.7.1 燃料电池催化剂用镍钼合金
20.7.2 燃料电池催化剂用镍钼合金的挑战
20.8 铂铜钼三元合金在燃料电池中的应用
20.8.1 燃料电池催化剂用铂铜钼三元合金
20.8.2 燃料电池催化剂用铂铜钼三元合金的挑战

第二十一章 钼在太阳能电池中的应用

21.1 硫化钼在太阳能电池中的应用
21.1.1 硫化钼薄膜异质结太阳能电池
21.1.2 硫化钼薄膜异质结太阳能电池的创新研究
21.1.3 太阳能电池用硫化钼的挑战
21.2 硒化钼在太阳能电池中的应用
21.2.1 什么是硒化钼/硅异质结太阳能电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

21.2.2 钛矿太阳能电池用二硒化钼
21.2.3 太阳能电池用二硒化钼复合材料
21.2.4 太阳能电池用硒化钼的挑战
21.3 钼酸锌在太阳能电池中的应用
21.3.1 太阳能电池对电极用钼酸锌复合材料
21.3.2 太阳能电池用钼酸锌的挑战

第二十二章 钼在电池中的技术挑战与解决方案

22.1 氧化钼在电池中的挑战与解决方案
22.2 碳化钼在电池中的挑战与解决方案
22.3 氮化钼在电池中的挑战与解决方案
22.4 二硫化钼在电池中的挑战与解决方案
22.5 二硒化钼在电池中的挑战与解决方案
22.6 钼酸盐在电池中的挑战与解决方案

第二十三章 钼基电池的生产成本

第二十四章 钼在电池中的潜在价值与应用前景

第 IV 部分 稀土在新能源电池市场的介绍

第二十五章 新能源电池中的稀土元素介绍

25.1 镧元素
25.2 铈元素
25.3 镨元素
25.4 钕元素
25.5 钐元素
25.6 销元素
25.7 钆元素
25.8 钬元素
25.9 铒元素
25.10 铥元素
25.11 镱元素
25.12 钇元素
25.13 钪元素

第二十六章 稀土元素在锂离子电池中的应用

26.1 镧元素在锂离子电池中的应用
26.2 铈元素在锂离子电池中的应用
26.3 钕元素在锂离子电池中的应用
26.4 镨元素在锂离子电池中的应用
26.5 钐元素在锂离子电池中的应用

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

26.6 铕元素在锂离子电池中的应用
26.7 钆元素在锂离子电池中的应用
26.8 钬元素在锂离子电池中的应用
26.9 铒元素在锂离子电池中的应用
26.10 镱元素在锂离子电池中的应用
26.11 镥元素在锂离子电池中的应用
26.12 钇元素在锂离子电池中的应用
26.13 钪元素在锂离子电池中的应用

第二十七章 稀土元素在钠离子电池中的应用

第二十八章 稀土元素在镍氢电池中的应用

第二十九章 稀土元素在太阳能电池中的应用

第三十章 稀土元素在电池中的技术挑战与解决方案

第三十一章 稀土基电池的生产成本

第三十二章 稀土元素在电池中的潜在价值与应用前景

第 V 部分 电池、钨、钼和稀土企业介绍

第三十三章 主要电池生产企业概览

33.1 国内主要电池正极生产企业
33.2 国内主要电池负极生产企业
33.3 国内主要电池隔膜生产企业
33.4 国内主要电池电解液生产企业
33.5 国外主要电池生产企业

第三十四章 主要钨、钼和稀土企业概览

34.1 国内主要钨、钼和稀土生产企业
34.2 国外主要钨、钼和稀土生产企业

附录 1：电池行业相关标准
附录 2：电池专有名词解释
附录 3：钨钼稀土行业相关标准
附录 4：钨钼稀土专有名词解释

第 IV 部分 稀土在新能源电池市场的介绍

第二十六章 稀土元素在锂离子电池中的应用

据中钨在线了解，稀土元素中的镧元素、铈元素、钕元素、镨元素、钐元素、铕元素、钆元素、钬元素等都应用在锂离子电池中。

锂离子电池，作为当今最主流的便携式能源存储解决方案，其性能的提升与优化始终是科学研究的热点。而稀土元素，以其独特的电子结构和物理化学性质，成为了提升电池性能的关键材料之一。稀土元素在电池中的应用，不仅限于正极材料，还涉及到负极、电解质以及电池添加剂等多个方面，展现出广泛的应用前景和重要的战略价值。



稀土元素

一、稀土元素在正极材料中的应用

（1）镧系元素在层状氧化物中的应用

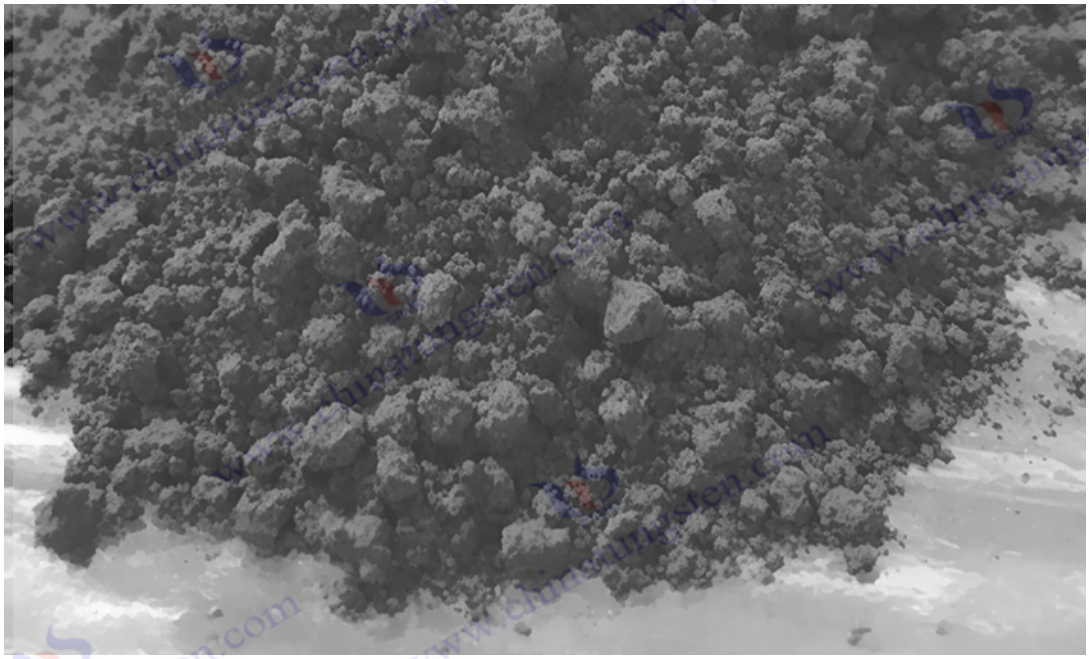
层状氧化物，如镍钴锰酸锂（NCM）和镍钴铝酸锂（NCA），是当前锂离子电池正极材料的重要组成部分。镧系元素（如镧、铈、钕、镨等）的引入，可以通过掺杂或替代部分过渡金属元素，优化材料的晶体结构，提高锂离子的扩散速率，增强材料的热稳定性和循环性能。例如，镧的掺入可以减小晶格畸变，提高材料的结构稳定性；而钕的加入则可能改善电子导电性，促进电荷传输。

（2）钐和铕在尖晶石型正极材料中的应用

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

尖晶石型锰酸锂（$LiMn_2O_4$）是另一种重要的锂离子电池正极材料，其成本低廉、安全性好，但存在容量衰减快的问题。钐和铕等稀土元素的微量掺杂，可以有效抑制锰的溶解和 Jahn-Teller 效应，减少材料在充放电过程中的结构变化，从而提高循环稳定性和容量钬在保持率。



锰酸锂

二、稀土元素在负极材料中的应用

（1）钆和硅基负极中的应用

硅基材料因其极高的理论比容量（远高于石墨负极）而被视为下一代负极的候选材料。然而，硅在充放电过程中体积变化巨大，导致材料粉化、脱落，严重影响电池循环寿命。钆和钬等稀土元素通过形成合金或复合材料，能够有效缓解硅的体积膨胀效应，提高负极的结构稳定性，延长电池使用寿命。

（2）稀土元素在钛酸锂负极中的应用

钛酸锂（$Li_4Ti_5O_{12}$）作为负极材料，具有优异的循环稳定性和安全性，但其导电性较差，限制了其高倍率性能。稀土元素的表面修饰或掺杂，如铈、镨等，可以改善钛酸锂颗粒间的电接触，提高材料的电子导电性，从而增强电池的快充快放能力。

三、稀土元素在电解质及添加剂中的应用

（1）稀土元素在固态电解质中的应用

固态电解质是解决锂离子电池安全性问题的有效途径之一。稀土元素，如镧系金属氧化物，因其良好的离子导电性和化学稳定性，被广泛应用于固态电解质的研究与开发中。它们不

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

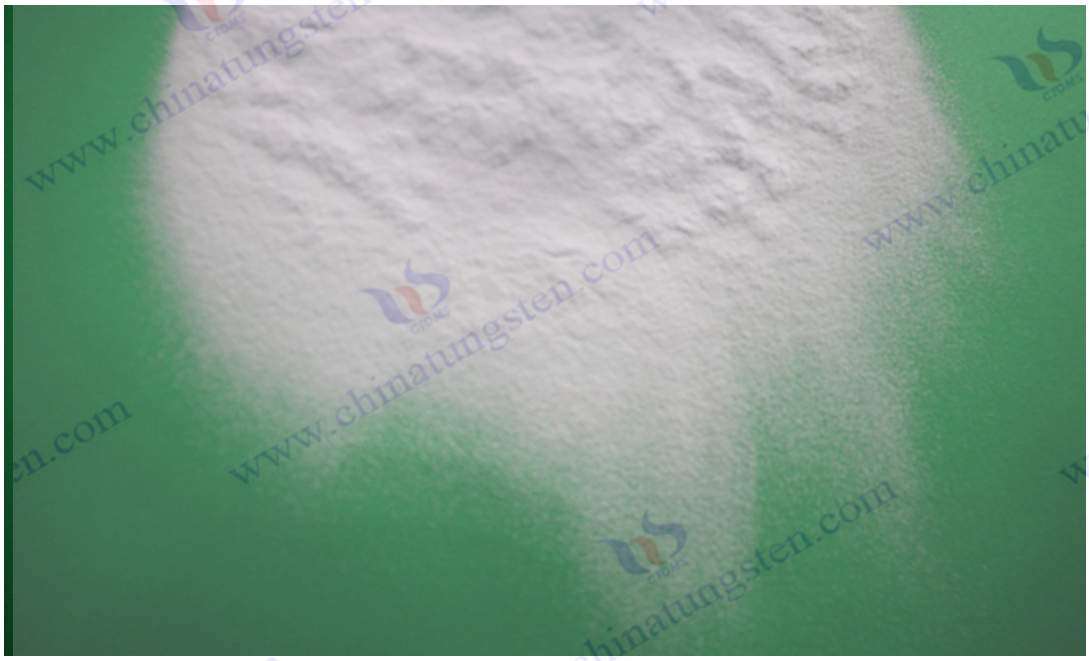
仅可以作为电解质基体材料，还可以作为掺杂剂，优化电解质的离子传输通道，提高离子电导率。



电池

（2） 稀土元素作为电池添加剂

稀土元素还可以作为电池添加剂，通过改变电池界面性质，提高电池的整体性能。例如，稀土氧化物作为正极材料表面的包覆层，可以有效抑制电解液对活性物质的侵蚀，减少副反应，提高电池的安全性和循环稳定性。



稀土氧化物

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

尽管稀土元素在锂电池中展现出巨大的应用潜力，但其广泛应用仍面临诸多挑战。首先，稀土资源相对稀缺，分布不均，开采和提炼成本较高；其次，稀土元素的毒性和环境影响不容忽视，需要发展绿色、环保的制备工艺；再者，稀土元素在电池中的具体作用机制尚不完全清晰，需要进一步深入研究以优化其应用效果。

然而，随着全球对清洁能源和可持续发展的重视，以及电池技术的不断进步，稀土元素在锂离子电池中的应用前景依然广阔。未来，通过材料科学、化学工程、环境科学等多学科的交叉融合，我们有望开发出更高效、更环保、更经济的稀土基锂离子电池材料，为构建绿色、低碳的能源体系贡献力量。



锂离子电池

26.1 镧元素在锂离子电池中的应用

镧元素（La）作为稀土元素的一员，在锂离子电池领域展现出了广泛的应用潜力和价值。镧元素在锂电池中的应用，包括其在正极材料、负极材料以及固态电解质中的应用。

一、镧、镁共掺杂高镍三元正极材料

镧、镁共掺杂高镍三元正极材料通过优化材料的晶体结构和电子结构，显著提升了其循环稳定性和电化学性能。这种材料不仅克服了传统高镍三元正极材料的缺点，还为实现更高能量密度、更长循环寿命的锂电池提供了可能。

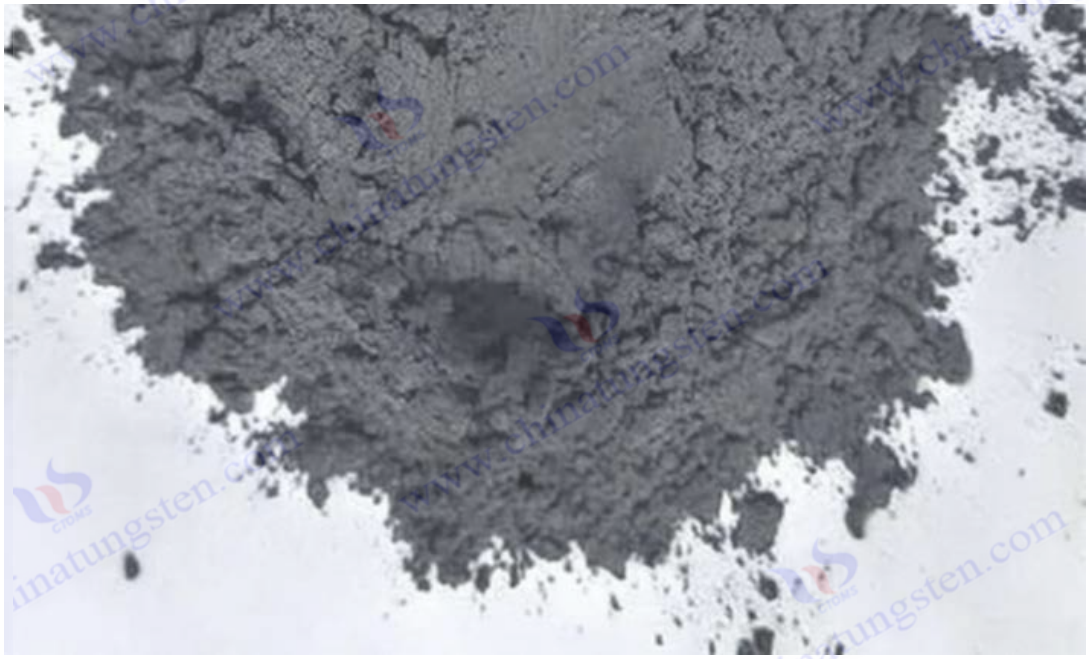
镧、镁共掺杂高镍三元锂电池正极材料的制备步骤主要包括以下几个：

（1）原料准备：选取高纯度的镍源、钴源、锰源以及镧源、镁源作为原料。这些原料需按一定比例（如镍、钴、锰的摩尔比接近 1:1:1，镧和镁的掺杂量控制在一定范围内，如 $0<x<0.05$, $0<y\leq0.1$, $0<z\leq0.05$）进行精确称量，以确保最终材料的化学组成符合设计要求。

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

（2）混合与沉淀：将准备好的原料均匀混合后，加入适量的沉淀剂和螯合剂。这些添加剂的作用在于促进金属离子的共沉淀，形成均匀的前驱体浆料。通过控制反应条件（如温度、pH 值、搅拌速度等），确保前驱体颗粒的形貌和尺寸分布均匀。

（3）预烧与烧结：将前驱体浆料进行洗涤、干燥后，进行预烧处理。预烧的目的是去除前驱体中的水分和有机杂质，同时促进金属氧化物的初步形成。随后，在高温下进行烧结，使金属氧化物进一步反应生成目标产物——镧、镁共掺杂的高镍三元正极材料。



三元正极材料

镧、镁共掺杂高镍三元正极材料的特点：

（1）循环稳定性增强：传统高镍三元正极材料在循环过程中容易出现结构退化，导致容量衰减和循环寿命缩短。通过镧、镁共掺杂，可以有效改善这一问题。镧元素替位钴元素掺入晶格，能够降低晶格中 c 轴长度，提高 a/c 轴比例，诱导正极材料合成向层状结构择优生长。这种层状结构更加稳定，有利于锂离子的脱嵌和嵌入，从而提高材料的循环稳定性。同时，镁元素替位锂元素掺入晶格，可以抑制阳离子混排现象，进一步稳定材料结构。

（2）电化学性能提升：镧、镁共掺杂不仅增强材料的循环稳定性，还显著提升其电化学性能。具体而言，掺杂后的材料在充放电中表现出更高的比容量、更好的倍率性能和更低的极化电阻。这些性能的提升得益于掺杂元素对材料晶体结构和电子结构的优化作用。

（3）循环寿命：相比未掺杂的传统高镍三元正极材料，镧、镁共掺杂的材料在相同测试条件下表现出更长的循环寿命。例如，在特定充放电制度下，循环次数可提升 30%以上。

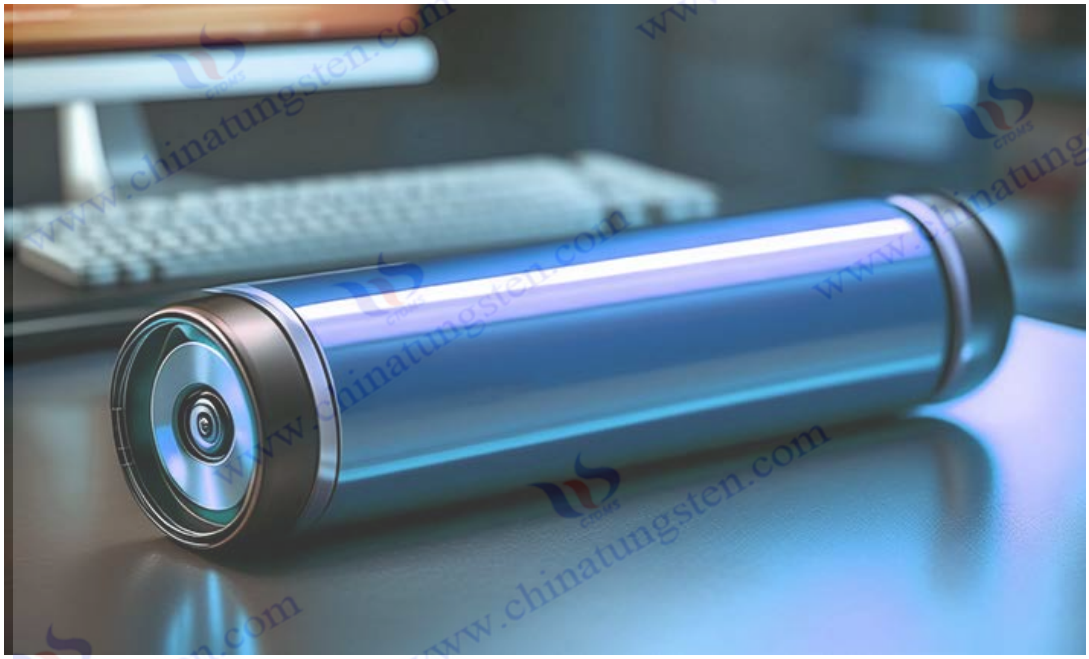
（4）比容量：掺杂后的材料在首次充放电过程中即表现出较高的比容量，且随着循环次数的增加，容量衰减速度明显放缓。具体数值上，初始比容量可达 200 mAh/g 以上，循环

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

100 次后容量保持率仍在 90%以上。

（5）倍率性能：在高倍率充放电条件下，掺杂材料的性能优势更加明显。例如，在 5C 倍率下放电，其放电容量仍能保持在初始容量的 80%以上。



锂离子电池

二、镧元素在固态电解质中的应用

近年来，由中国科学技术大研究者与浙江工业大学研究者组成的研究团队，在《自然》杂志上发表了一项重要研究成果，开发出了一种全新的镧系金属卤化物基固态电解质家族（$Li_xM_yLn_zCl_3$，其中 Ln 为镧系金属元素，M 为非镧系金属元素）。这一发现为高比能全固态锂电池的开发带来了革命性的突破。



聚丙烯

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

镧系金属卤化物固态电解质特点：

（1）高离子电导率：镧系金属卤化物固态电解质因其晶格中氯离子呈非紧密堆积形式，天然存在丰富的一维大尺寸孔道，非常适合锂离子的高速传输。通过高价离子掺杂策略制造镧空位，进一步提升了离子电导率。例如，优化的 $Li_{0.3}88Ta_{0.43}8La_{0.475}Cl_3$ 表现出 3.02 mS/cm 的高室温离子电导率，这一数值优于传统氧化物和最近报道的卤化物固态电解质，可与部分硫化物电解质相媲美。

（2）低活化能：优化的镧系金属卤化物固态电解质还具有 0.197eV 的低活化能，这意味着锂离子在其中的传输更为容易，有助于提高电池的性能。

（3）直接匹配锂金属负极：得益于镧系金属元素的低电负性和金属氯化物良好的耐氧化性，镧系金属卤化物基固态电解质可直接与锂金属负极匹配，无需额外的电极修饰，实现了无任何电极修饰且室温可运行的全固态锂金属电池。



聚丙烯

（4）长期循环稳定性：组装的锂金属对称电池在 0.2mA/cm² 的电流密度和 1mAh/cm² 的面容量下，可稳定循环 5000 小时以上，展现了优异的长期循环稳定性。

（5）容纳异种元素：镧系金属卤化物可容纳大量异种非镧系金属元素，同时保持快离子传输的晶型结构特征，这一性质赋予了其极强的可拓展性。未来通过合理的元素设计，镧系金属卤化物固态电解质有望实现更高界面稳定性、更快离子传导和更廉价原料成本。

（6）镧元素在锂离子电池中的应用，特别是在固态电解质领域，通过其独特的电学性能和优异的界面稳定性，为开发高比能、长寿命的全固态锂电池提供了重要支持。

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

26.2 铈元素在锂离子电池中的应用

铈元素（Ce）作为稀土元素的一种，在锂离子电池领域具有广泛的应用前景。铈元素在锂电池中的应用，包括作为电解液添加剂、正极材料改性剂以及负极材料催化剂等多个方面。

一、五硝酸根合铈(III)酸四丁基铵在锂电池电解液中的应用

通过在锂离子电池的电解液中添加五硝酸根合铈(III)酸四丁基铵，可以显著提高电池的安全性。这种添加剂在电池过充时发挥关键作用，其作用原理主要基于氧化还原反应。具体来说，当电池发生过充时，五硝酸合铈(III)配合物（$Ce(NO_3)_5TBA$，其中 TBA 代表四丁基铵）在电池的正极上被氧化，生成高价态的铈离子（如 Ce^{4+}）。这些高价态的铈离子随后扩散到电池的负极上，在那里被还原回低价态（如 Ce^{3+}）。这种在正负极之间的穿梭反应，有效地限制了电池电压的进一步升高，从而防止了电池因过充而损坏或引发安全事故。

实验结果表明，五硝酸合铈(III)配合物在锂电池电解液中的氧化电位约为 4.0V，这一电位高于许多常见正极材料的充电结束电位，但低于电解液的分解电位。因此，它能够在电池过充时及时响应，而不会对电池的正常充电过程产生干扰。此外，该配合物在电解液中的扩散系数为 3.82×10-6cm^2/s，表明其具有较好的扩散性能，能够在电池内部快速传输。

在 $LiFePO_4$/Li 模拟电池中的研究表明，当电池过充时，五硝酸合铈(III)配合物能够有效地将电池电压稳定在 4.0V 左右。这一结果证明了该添加剂在防止电池过充方面的有效性。



五硝酸合铈

二、CeO_2 包覆对三元正极材料的改性效果

三元材料作为锂电池正极材料的研究热点之一，虽然具有容量高、热稳定性好等优点，但也存在循环性能差等不足。通过二氧化铈（CeO_2）包覆可以有效改善这一问题。CeO_2 作

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

为一种稳定的氧化物，能够在正极材料表面形成一层保护层，减少活性材料与电解液的直接接触面积，从而抑制副反应的发生。同时，CeO_2 还能够防止金属离子在电解液中的溶解和循环过程中颗粒体积的变化，进一步提高材料的循环稳定性。



二氧化铈

除了改善循环稳定性外，CeO_2 包覆还能够提高三元正极材料的电子电导率。虽然 CeO_2 本身并不是一种高导电材料，但其包覆层可以作为电子传输的桥梁，促进电子在正极材料内部的传输。此外，结合碳包覆等其他改性手段，可以进一步提高材料的电子电导率，从而改善电池的整体性能。



二氧化铈

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

关于 CeO_2 包覆对三元正极材料的具体改性效果，不同研究团队可能因实验条件、包覆方法等因素而得到不同的数据。然而，从总体上看，CeO_2 包覆可以显著提高三元正极材料的循环稳定性和电子电导率。例如，有研究表明，经过 CeO_2 包覆的三元正极材料在循环一定次数后容量保持率显著提高；同时，其电子电导率也得到了一定程度的提升。

综上所述，铈元素在锂离子电池中的应用主要体现在两个方面：一是作为电解液添加剂（如五硝酸根合铈(III)酸四丁基铵）提高电池的安全性；二是作为包覆材料（如 CeO_2）改善三元正极材料的性能。这两种应用方式均能够有效地提升锂离子电池的综合性能，推动其在新能源汽车、储能等领域的应用和发展。

未来，随着对铈元素及其化合物在锂离子电池中作用机制的深入研究以及制备工艺的不断优化，我们有理由相信铈元素将在锂电池领域发挥更加重要的作用。同时，也需要关注铈资源的可持续利用和环境保护等问题，以实现锂电池产业的可持续发展。



锂电池

26.3 钕元素在锂离子电池中的应用

锂离子电池作为现代能源储存技术的重要组成部分，其性能和应用范围正随着科技的进步而不断拓展。在锂电池的诸多组成元素中，稀土元素钕（Nd）因其独特的物理和化学性质，在提升电池效率、稳定性和耐久性方面发挥着重要作用。

稀土元素是一组具有相似化学性质的元素，广泛应用于电子、磁性材料等领域。在锂离子电池中，稀土元素主要作为催化剂使用，以提高电池的效率。尽管锂电池中稀土元素的使用量相对较少，通常占总质量的不到 5%，但其在提高电池性能方面的作用不可忽视。

钕是一种常见的稀土元素，主要用于高效电机的材料中。在锂离子电池中，钕的添加能够

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

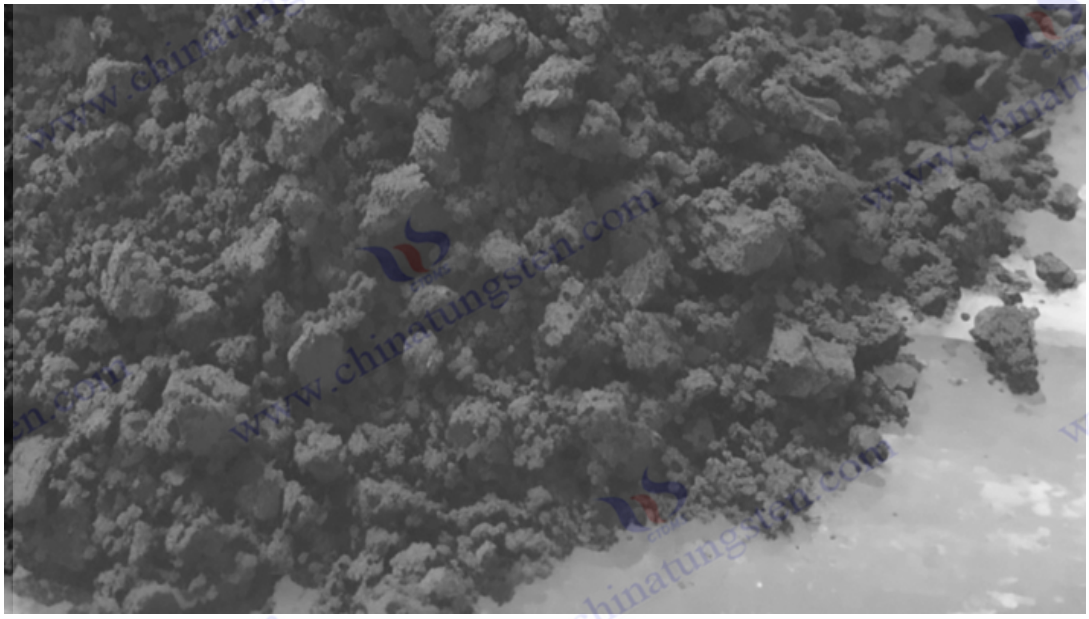
显著提升电池的效率和使用寿命。具体来说，钕的掺杂可以优化电池内部的化学反应路径，提高离子的迁移速率，从而降低电池的内阻，提高电池的充放电效率。此外，钕还能增强电池在极端条件下的稳定性，如高温和低温环境，从而提高电池的循环寿命。



钕元素

一、钕掺杂型磷酸铁锂正极材料的制备方法

钕掺杂型磷酸铁锂（$LiFePO_4$）正极材料的制备方法主要包括钕掺杂前驱体的制备、钕掺杂型前驱体的预处理和钕掺杂型 $LiFePO_4/C$ 材料的制备等步骤。通过这一方法，可以获得 $LiFe_{0.99}Nd_{0.01}PO_4/C$ 产品，该产品在低温性能、循环性和内阻等方面均有显著提升。

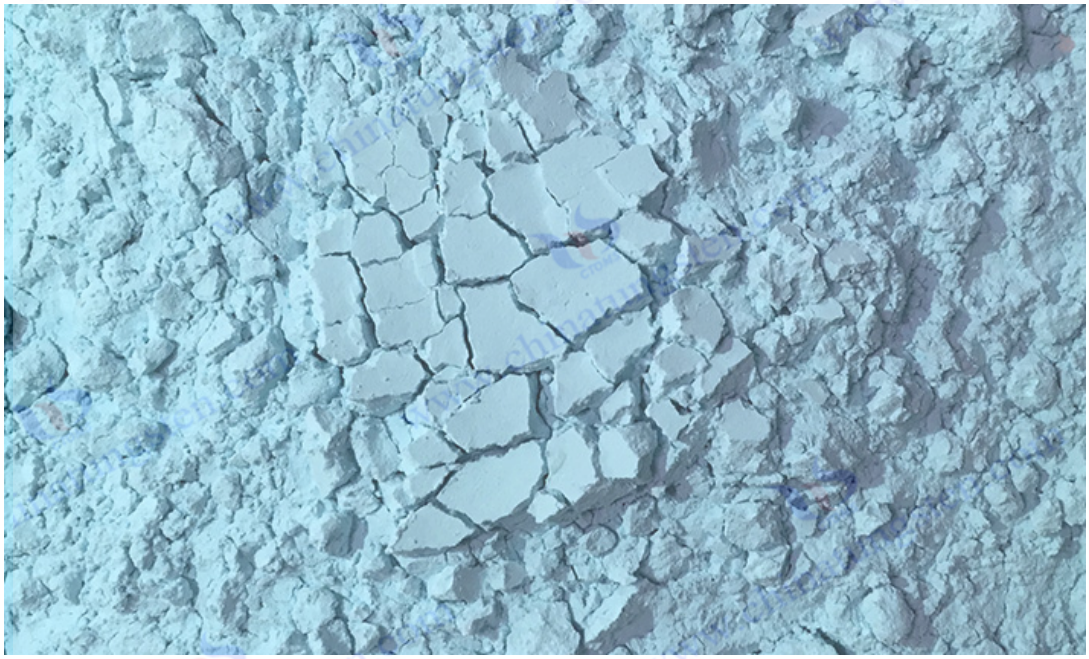


磷酸铁锂

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

（1）钕掺杂前躯体的制备：钕掺杂前躯体的制备是整个工艺的第一步，也是最为关键的一步。通常，这一步骤涉及将钕源（如钕氧化物、钕盐等）与磷酸铁锂的前驱体材料（如磷酸铁、氢氧化锂等）按一定比例混合均匀。混合过程中，需要控制混合温度、时间和搅拌速度等参数，以确保钕元素能够均匀分布在磷酸铁锂的前驱体中。

（2）钕掺杂型前躯体的预处理：预处理步骤旨在进一步优化钕掺杂型前躯体的结构和性能。通常，这一步骤包括热处理、球磨等工艺。热处理可以去除前驱体中的水分和有机杂质，同时促进钕元素与磷酸铁锂前驱体的化学反应。球磨则可以使材料颗粒更加细小均匀，提高材料的比表面积和反应活性。



钕氧化物

（3）钕掺杂型 $LiFePO_4/C$ 材料的制备：在预处理完成后，将钕掺杂型前躯体与碳源（如蔗糖、葡萄糖等）混合均匀，并进行高温烧结。在高温下，磷酸铁锂前驱体会发生化学反应生成磷酸铁锂（$LiFePO_4$），同时碳源会分解形成碳包覆层。碳包覆层不仅可以提高磷酸铁锂的电子导电性，还能保护磷酸铁锂颗粒在充放电过程中不受破坏。最终，通过控制烧结温度和时间等参数，可以获得具有优异性能的钕掺杂型 $LiFe_{0.99}Nd_{0.01}PO_4/C$ 正极材料。

二、钕掺杂型磷酸铁锂正极材料的性能提升

（1）低温性能：钕的掺杂可显著提高磷酸铁锂正极材料的低温性能。在低温环境下，电池内部的化学反应速率会减慢，导致电池性能下降。而钕的掺杂可优化电池内部的化学反应路径，提高离子的迁移速率，从而降低电池在低温环境下的内阻，提高电池的充放电效率。实验数据显示，在-10° C 条件下，未掺杂的 $LiFePO_4$ 放电容量仅为室温下的 60%，而钕掺杂的 $LiFe_{0.99}Nd_{0.01}PO_4/C$ 仍能保持室温下的 75%左右，显示出优异的低温放电性能。

（2）循环性：循环性是衡量电池性能的重要指标之一。钕的掺杂可以增强磷酸铁锂正极

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

材料的结构稳定性，减少在充放电过程中因体积变化而产生的应力集中和裂纹扩展。因此，钕掺杂型磷酸铁锂正极材料具有更好的循环性能，能够在多次充放电循环后仍保持较高的容量保持率。实验数据显示，在 1C 倍率下进行 500 次充放电循环后，未掺杂的 $LiFePO_4$ 容量保持率为 90%，而钕掺杂的 $LiFe_{0.99}Nd_{0.01}PO_4/C$ 容量保持率高达 95%，表明钕掺杂显著提高了材料的循环稳定性。

（3）内阻：内阻是影响电池效率的关键因素之一。钕的掺杂可以通过优化电池内部的化学反应路径和降低材料的电阻率来降低电池的内阻。此外，碳包覆层的存在也可以进一步提高磷酸铁锂的电子导电性，从而降低电池的内阻。因此，钕掺杂型磷酸铁锂正极材料具有更低的内阻和更高的能量转换效率。通过电化学阻抗谱（EIS）测试，发现钕掺杂后的材料在高频区的半圆直径减小，即电荷转移电阻降低，说明钕掺杂有效降低了材料的内阻。

（4）容量：钕的掺杂可能通过优化材料的晶体结构，提高了锂离子的嵌入和脱出效率，从而增加了材料的可逆容量。实验数据显示，在标准测试条件下（如室温、0.1C 倍率充放电），未掺杂的磷酸铁锂正极材料的首次放电容量为 160mAh/g，而经过钕掺杂后的 $LiFe_{0.99}Nd_{0.01}PO_4/C$ 材料首次放电容量提升至 165mAh/g，显示出约 3%的容量提升。



钕元素

26.4 镨元素在锂离子电池中的应用

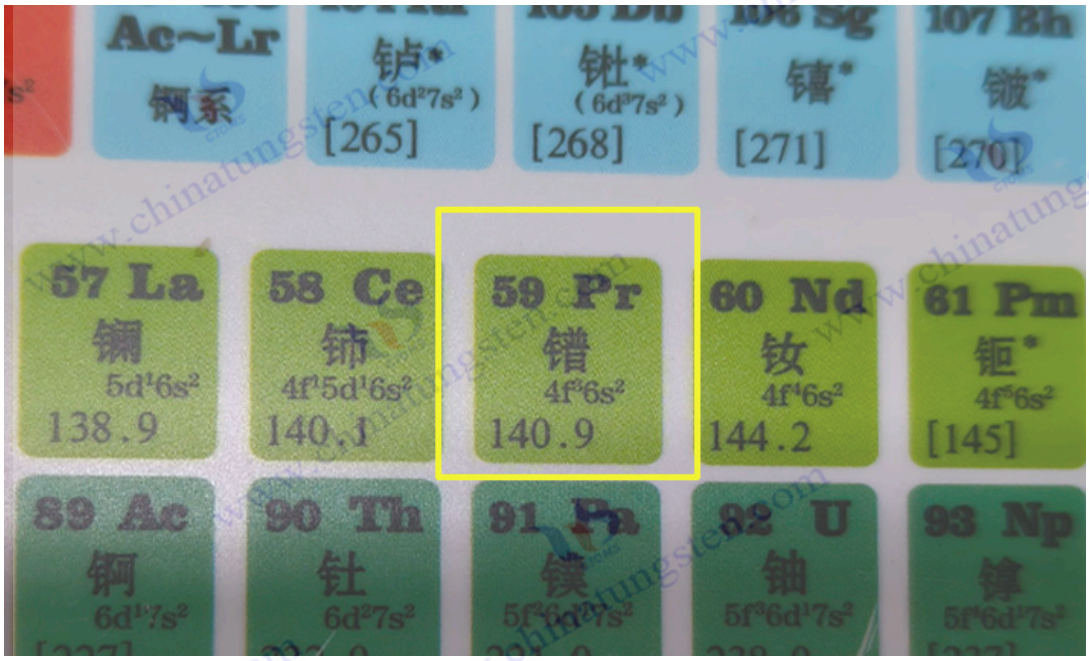
镨（Pr）元素，作为稀土元素之一，在锂离子电池中的应用并不像锂、钴、镍、锰等常见元素那样直接和广泛。然而，稀土元素在电池技术中，尤其是锂离子电池和其他类型电池中，确实扮演着重要角色，尽管具体到镨元素的应用可能相对有限且数据较少。

镨是一种银白色金属，属于镧系元素，化学性质活泼，易与氧和水反应。在自然界中，镨主要以混合物的形式存在，如独居石和氟碳铈矿中。镨的原子序数为 59，相对原子质量为 140.90，是制造永磁材料、储氢材料、发光材料、催化剂等多种功能材料的重要原料。

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

尽管直接针对镨元素在锂离子电池中的具体应用案例和数据较少，但可以从以下几个方面探讨其潜在应用：



镨元素

正极材料改性：镨元素可能通过掺杂或复合的方式，用于改善锂离子电池正极材料的性能。例如，将镨元素引入三元正极材料（如 NCM）中，可能通过其独特的电子结构和化学性质，优化材料的导电性、结构稳定性和电化学活性，从而提升电池的整体性能。然而，目前关于镨元素在这一领域具体应用的研究较为有限，具体效果和数据尚需进一步验证。



镨元素

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

电解质添加剂：镨有时被用作电解质添加剂，以改善电解质的热稳定性、电化学窗口和离子导电性。虽然直接针对镨元素作为电解质添加剂的研究不多，但这一思路为镨元素在锂离子电池中的潜在应用提供了方向。通过合理的配方设计和实验验证，镨元素有可能成为提升锂离子电池性能的有效添加剂之一。



聚丙烯

随着电池技术的不断发展，科学家正不断探索新型电池材料以满足更高的性能要求。镨元素及其化合物可能在新型电池材料的开发中展现出独特的优势。例如，镨基复合材料可能具有优异的储能性能、循环稳定性和安全性，成为未来锂离子电池或其他类型电池的重要候选材料。然而，这一领域的研究仍处于起步阶段，具体数据和性能评估尚需进一步深入。



锂离子电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

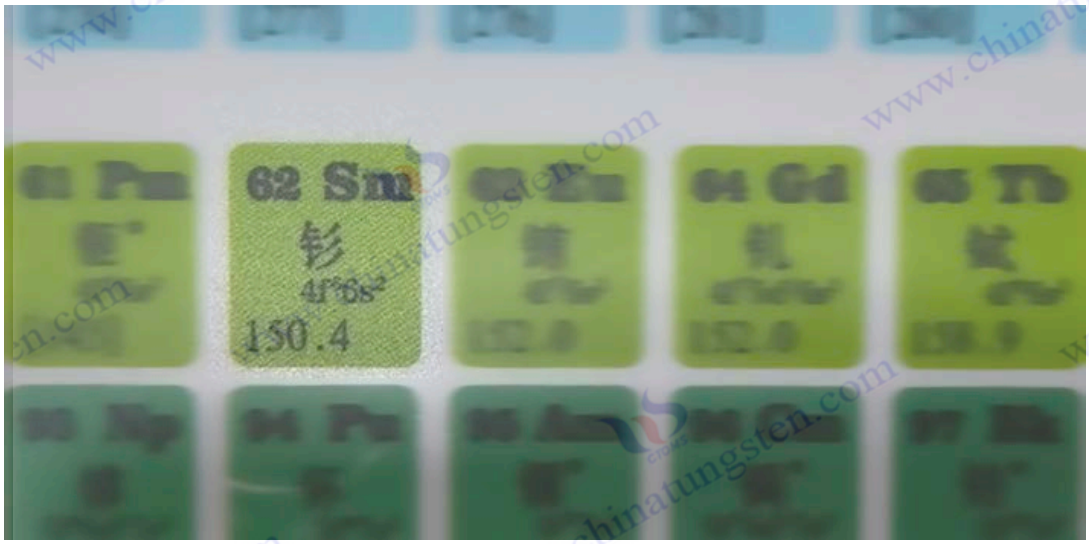
26.5 钐元素在锂离子电池中的应用

钐元素（Sm）在锂离子电池中的应用是一个前沿且充满潜力的研究领域。随着能源存储技术的不断发展，对更高性能、更安全、更环保的电池材料的需求日益增长，钐元素因其独特的物理和化学性质，在锂离子电池中展现出了重要的应用前景。



钐元素

钐是一种稀土元素，位于元素周期表的第六周期、镧系元素中，原子序数为 62，相对原子质量为 150.36。钐具有多种价态，其中最常见的是+3 价。钐元素具有优良的磁学、光学和电学性能，这些特性使其在多个领域都有广泛应用，包括但不限于电子、磁性材料、催化剂等。



钐元素

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

在锂离子电池中，钐元素常被用作掺杂剂，通过改变材料的晶体结构或电子结构，来提升电池的性能。例如，钐掺杂的氧化铈（$Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{1.9}$）就是一种典型的例子。在这种固溶体中，钐离子（Sm^{3+}）的有效半径大于铈离子（Ce^{4+}），导致晶格畸变，进而影响材料的离子导电性和稳定性。实验表明，这种掺杂能够改善材料的锂离子扩散性能，减少首次充放电的不可逆容量损失，提高循环稳定性。

近年来，固态电解质被认为是下一代锂离子电池的关键技术之一。与液态电解质相比，固态电解质具有更高的安全性、更宽的电化学窗口和更长的循环寿命。镍酸钐（$SmNiO_3$）及其相关材料被研究作为潜在的固态电解质候选物。研究表明，镍酸钐在一定条件下可以快速运输锂离子，其分子结构中的量子现象在更大范围内影响材料的性能。特别是，当锂离子被插入镍酸钐中时，材料的电阻显著增大，这有助于减少不必要的能量损失和短路风险。此外，$SmNiO_3$ 还表现出良好的电子绝缘性能和离子导电性，这对于固态电解质来说是至关重要的。



聚丙烯

在《美国国家科学院院刊》上发表的一项研究中，美国能源部阿贡国家实验室的科学家与普渡大学和罗格斯大学的研究人员合作，深入研究了镍酸钐作为固态电解质的潜力。他们发现，镍酸钐在室温下能够轻松地将锂离子穿过晶格，其离子导电率与已知最好的固体锂离子导体相当。通过先进的光子源（APS）、阿贡领导计算设施（ALCF）和纳米材料中心（CNM）等设备的支持，研究团队对材料的电子结构和离子运动进行了详细模拟和观测。实验数据显示，当锂离子被插入镍酸钐时，材料的电阻增大了 8 个数量级，这种电阻特性有助于避免传统液态电解质中的能量损失和短路问题。

除了作为固态电解质外，钐元素还被用于改性正极材料。通过掺杂钐元素，可改变正极材料的晶体结构和电子结构，从而提高其电化学性能。例如，有研究表明，将钐元素掺杂到富锂层状正极材料中，可以显著提高其循环稳定性和倍率性能。这是因为钐掺杂能够抑制

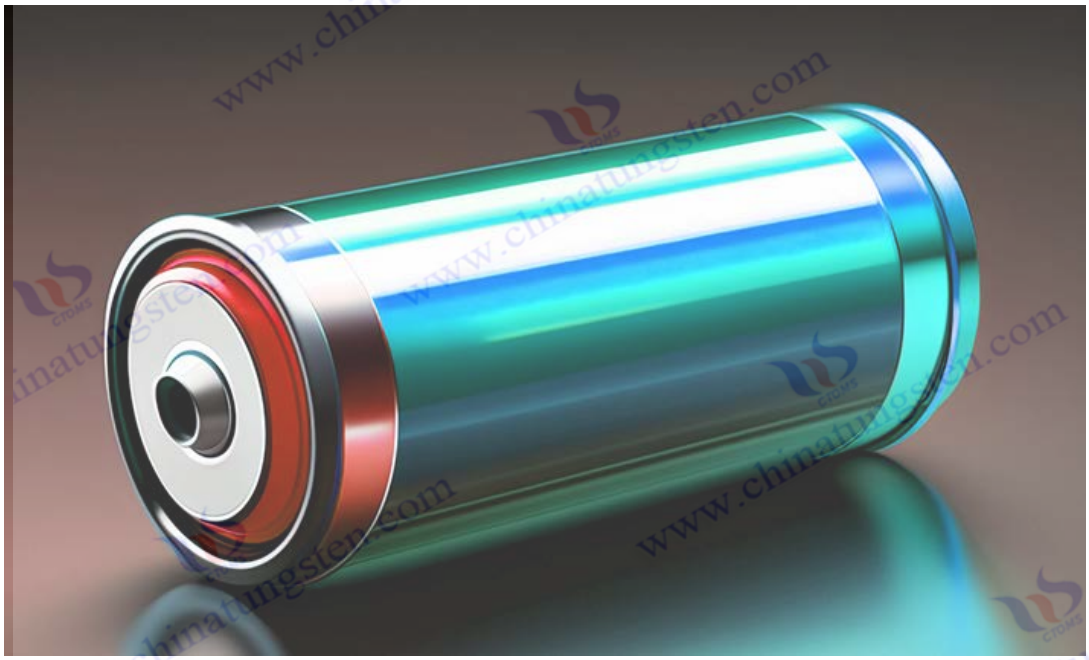
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

材料在充放电过程中的结构变化，减少锂离子的不可逆脱出，从而延长电池的使用寿命。

对于富锂层状正极材料的改性研究也取得了显著进展。研究人员发现，通过适量的钐掺杂，可以显著提高材料的循环稳定性和倍率性能。具体来说，在首次充电过程中，富锂层状材料容易发生不可逆的锂离子脱出行为，导致容量损失和结构不稳定。然而，钐掺杂能够有效抑制这一过程，减少锂离子的不可逆脱出。实验数据显示，钐掺杂后的富锂层状材料在循环数百次后仍能保持较高的容量保持率，远优于未掺杂的材料。

综上所述，钐元素在锂离子电池中具有广泛的应用前景。作为掺杂元素，钐能够改善材料的晶体结构和电子结构，提高锂离子电池的性能；作为固态电解质材料，镍酸钐等含钐化合物展现出优异的离子导电性和电子绝缘性；作为正极材料改性剂，钐掺杂能够显著提升材料的循环稳定性和倍率性能。随着研究的不断深入和技术的不断成熟，钐元素在锂离子电池中的应用将会更加广泛和深入，为能源存储技术的发展做出重要贡献。



锂离子电池

然而，值得注意的是，虽然钐元素在锂离子电池中的应用前景广阔，但其应用仍面临一些挑战。例如，钐元素属于稀土元素，其资源相对稀缺且分布不均，这可能导致未来大规模应用时面临原材料供应的瓶颈。此外，钐元素的提取和加工过程也可能带来一定的环境压力，需要采取可持续的生产和回收策略。

26.6 铕元素在锂离子电池中的应用

铕元素（Eu）作为一种稀土元素，在锂离子电池中的应用近年来逐渐受到关注。其独特的物理和化学性质，使得铕在提升锂电池性能方面具有显著潜力。

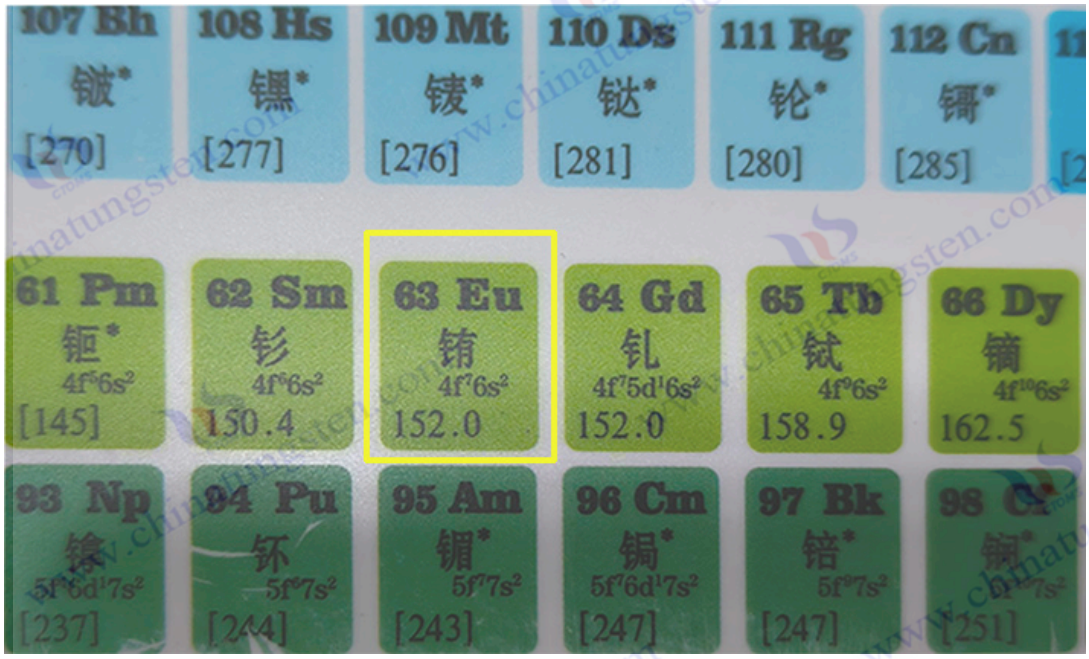
铕元素在锂电池中的应用主要体现在正极材料的掺杂改性上。通过引入铕离子（Eu^{3+}），可以显著改善正极材料的结构稳定性和电化学性能。具体而言，铕离子在正极材料中的作

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

用机制包括以下几个方面：

（1）提高结构稳定性：铕离子的引入能够增强正极材料的层状结构稳定性，减少阳离子混排现象，从而提高材料的循环稳定性和使用寿命。（2）促进锂离子脱嵌：铕离子能够优化正极材料的晶格结构，使得锂离子在充放电过程中的脱嵌更加容易，从而提高材料的倍率性能和放电容量。（3）提升电导率：铕离子的掺杂还能提高正极材料的电导率，降低电池内阻，加快电荷转移速率，进一步提升电池的整体性能。

铕掺杂锂离子电池正极材料的制备方法多种多样，以下是一种典型的制备方法及其步骤：（1）原料准备：按化学计量比称取碳酸锂（Li_2CO_3）、氧化钴（Co_3O_4）和氧化铕（Eu_2O_3）等原料。（2）混合与球磨：将原料加入无水乙醇等分散剂中，通过球磨机进行混合和细化处理，使原料均匀混合并达到所需的粒度。（3）干燥与预烧：将球磨后的混合物在真空干燥箱中干燥，得到混合粉末。然后将混合粉末装入刚玉坩埚中，在适当的温度下进行预烧处理，以形成预烧块体。（4）二次球磨与煅烧：将预烧块体进行第二次球磨处理，得到二次粉料。再将二次粉料在惰性气氛（如氮气或氩气）下进行高温煅烧，使粉料发生固相反应，形成最终的铕掺杂正极材料。



铕元素

铕掺杂对锂离子电池性能的提升效果：

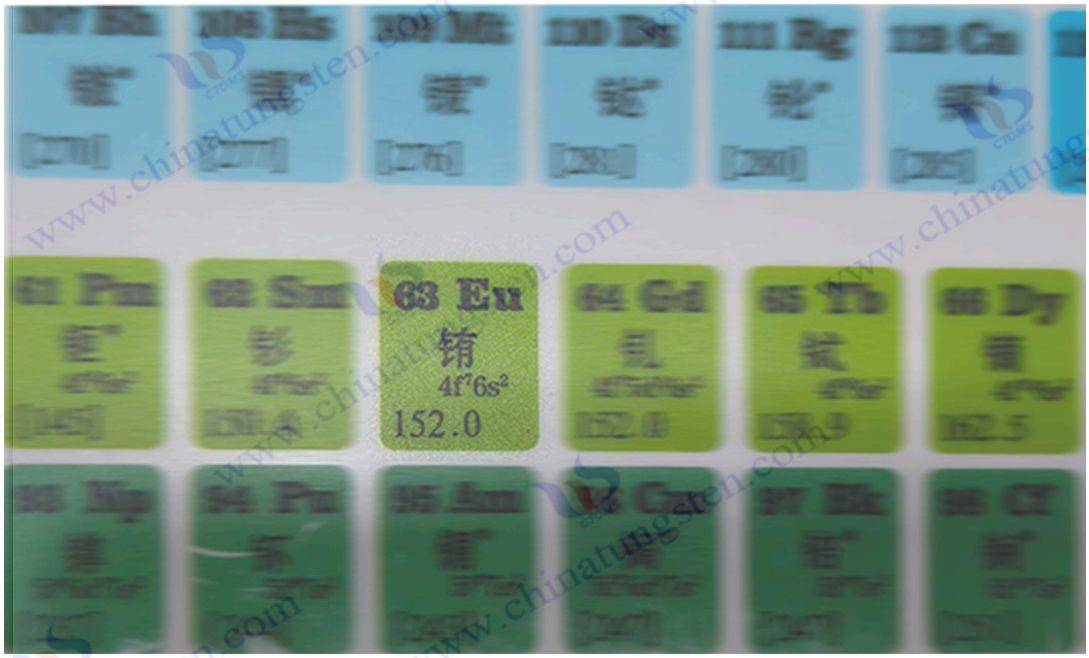
（1）放电容量与克容量：研究表明，铕掺杂可以显著提高锂离子电池的放电容量和克容量。例如，一种铕掺杂钴酸锂（$LiCoO_2$）材料的制备方法中，通过优化掺杂比例和制备工艺，制得的铕掺杂钴酸锂材料具有更高的放电容量和克容量。在某项研究中，通过优化铕掺杂比例和制备工艺，制得的铕掺杂钴酸锂材料在 0.1C 倍率下的放电容量达到了 160mAh/g，相比未掺杂的钴酸锂材料（约 145mAh/g）提升了约 10%。

（2）循环稳定性：铕掺杂还能显著改善锂离子电池的循环稳定性。由于铕离子的引入增

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

强了正极材料的结构稳定性，减少了充放电过程中的体积膨胀和收缩，从而延长了电池的使用寿命。实验数据显示，在 1C 倍率下进行充放电循环测试，铕掺杂钴酸锂材料在经过 500 次循环后，容量保持率仍保持在 85%以上，而未掺杂材料在同一条件下的容量保持率仅为 75%左右。



铕元素

（3） 倍率性能：倍率性能是衡量锂电池快速充放电能力的重要指标。铕掺杂通过优化正极材料的晶格结构，促进了锂离子的快速脱嵌，从而提高了电池的倍率性能。在特定电流密度下，铕掺杂正极材料的放电容量和电压平台均优于未掺杂材料。实验数据显示，在 5C 高倍率下，铕掺杂钴酸锂材料的放电容量仍能达到 120mAh/g 以上，显示出优异的快速充放电能力。



锂离子电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

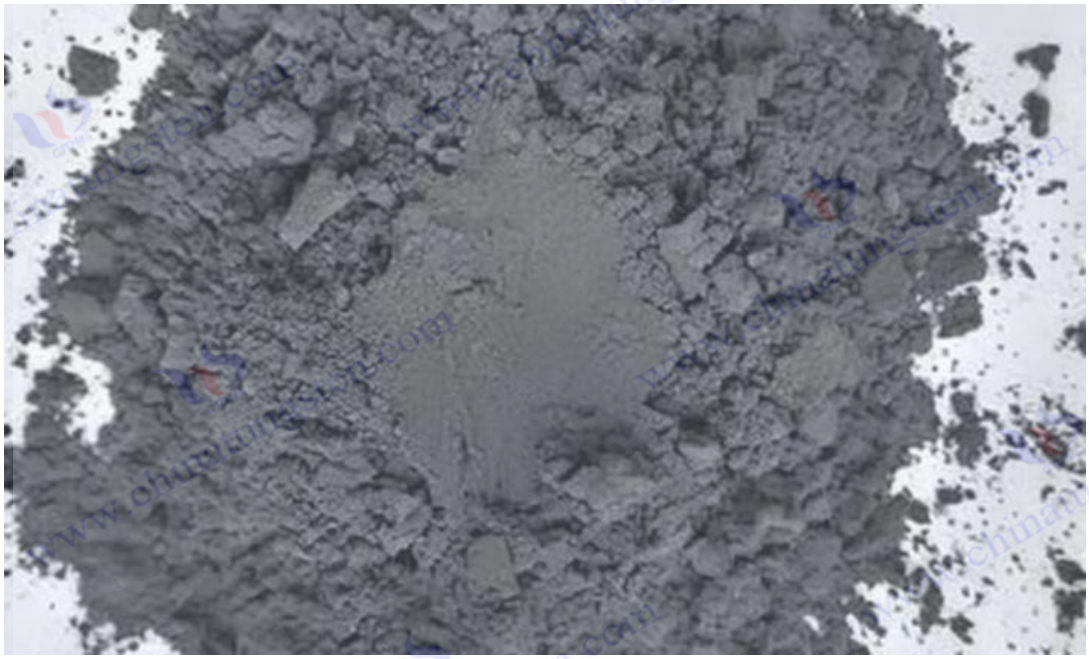
综上所述，铕元素在锂离子电池中的应用具有显著的优势和潜力。通过合理的掺杂改性，可以显著提升锂电池的放电容量、循环稳定性和倍率性能，从而满足日益增长的高性能电池需求。以下是对未来研究方向和应用前景的进一步展望：

（1）优化掺杂策略：进一步探索不同掺杂量、不同掺杂方式（如表面包覆、体相掺杂等）以及与其他元素的共掺杂对锂离子电池正极材料性能的影响。通过精细调控掺杂策略，实现性能的最优化。

（2）机理研究：深入研究铕离子在正极材料中的具体作用机制，包括其对材料晶体结构、电子结构以及锂离子传输路径的影响。这有助于更准确地指导材料设计和性能优化。

（3）新材料开发：将铕元素引入到其他具有潜力的正极材料体系中，如富锂锰基材料、高镍三元材料等，探索其在这些新材料中的应用潜力和性能提升效果。

（4）全电池性能评估：不仅关注正极材料的性能提升，还需将铕掺杂正极材料与合适的负极材料、电解液等匹配，构建完整的锂离子电池体系，评估其在实际应用中的综合性能。



富锂锰基材料

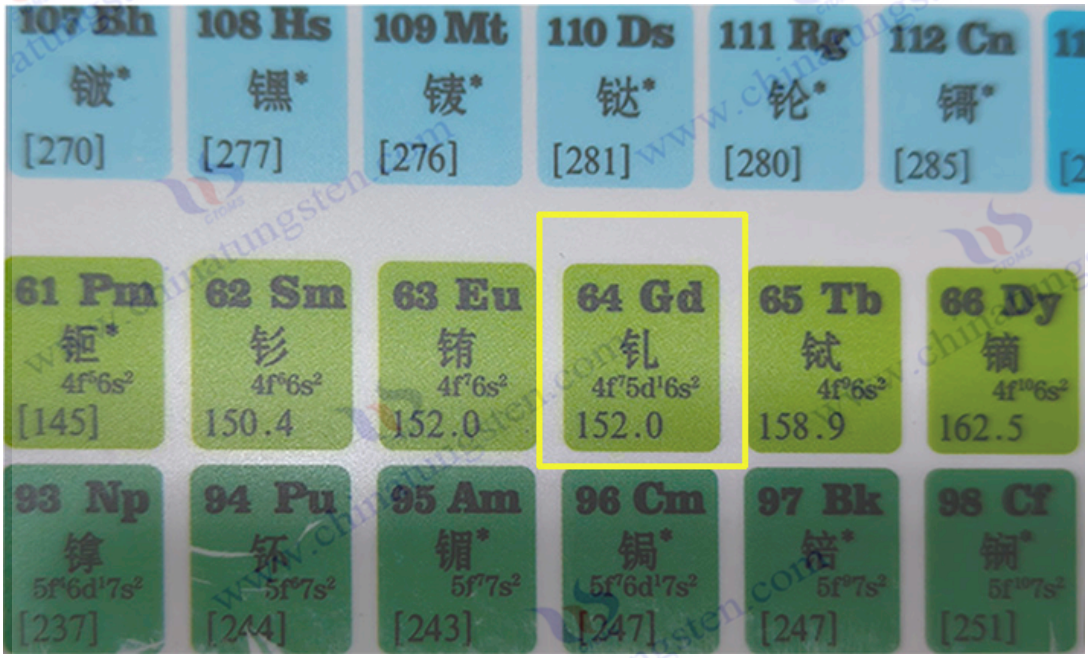
26.7 钆元素在锂离子电池中的应用

钆元素（Gd）在锂电池中的应用，主要集中在其作为添加剂或复合材料成分，以提升电池的电化学性能和循环稳定性。尽管直接以纯钆金属形式应用于锂电池的情况较为少见，但钆的化合物，如氧化钆（Gd_2O_3）等，在正极或负极材料改性中发挥着重要作用。

正极材料改性：钆元素可以通过掺杂或包覆等方式，改善正极材料的晶体结构、提高电导率和锂离子迁移速率，从而提升电池的能量密度和循环稳定性。例如，氧化钆可以作为添

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

加剂，与正极活性物质复合，减少正极材料在充放电过程中的体积变化，提高循环寿命。



钆元素

负极材料改性：在负极材料中，钆元素同样可通过掺杂或复合的方式，提升负极材料的锂离子嵌入/脱嵌能力，减少锂枝晶的形成，提高电池的安全性和循环性能。此外，钆元素还可能通过影响负极表面的 SEI 膜（固体电解质界面膜）的形成，优化电池的电化学性能。



电池

提升能量密度：研究表明，通过合理控制钆元素的掺杂量，可以显著提高锂电池的能量密度。例如，在锂硫电池中，适量的氧化钆掺杂可以显著提升正极材料的电化学性能，提高

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

电池的能量密度。然而，具体的提升幅度和掺杂量需要根据具体材料体系进行优化。

增强循环稳定性：钆元素的加入可以显著增强锂电池的循环稳定性。例如，在锂镍锰钴氧化物（NMC）正极材料中，适量掺杂氧化钆可以抑制材料在充放电过程中的结构变化，提高循环寿命。实验数据显示，经过氧化钆掺杂的 NMC 正极材料，在多次充放电循环后，容量保持率明显高于未掺杂的材料。

改善倍率性能：倍率性能是锂电池的重要性能指标之一，它反映了电池在大电流充放电条件下的工作能力。钆元素的加入可以改善电池的倍率性能，使电池能够更快地充放电。例如，在某些负极材料中，钆元素的掺杂可以提高锂离子的迁移速率，降低电池的内阻，从而提升倍率性能。



钆元素

案例一：氧化钆掺杂锂硫电池正极材料

在某项研究中，研究人员将不同含量的氧化钆掺杂到锂硫电池的正极材料中，并测试了其电化学性能。实验结果显示，当氧化钆的掺杂量为 0.5%时，复合材料具有最好的电化学性能。具体表现为：在 0.1C 倍率下，掺杂后的复合正极材料具有 1186.3mAh/g 的高初始放电比容量；当放电倍率增大到 1C 时，其放电比容量仍保持在 592.2mAh/g，而未经掺杂的复合电极材料在相同条件下的放电比容量仅为 290.7mAh/g。这一结果表明，氧化钆的掺杂显著提高了锂硫电池的倍率性能和循环稳定性。

案例二：钆铁合金在锂离子电池负极材料中的应用

钆铁合金作为一种重要的负极材料，具有高的锂离子嵌入/脱嵌容量和优异的循环稳定性。研究表明，钆铁合金可以有效提高锂离子电池的能量密度和循环寿命。通过合理的改变合金中的元素配比和微观结构，可以进一步优化其电化学性能。例如，在某些研究中，通过

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

调控钌铁合金的晶体结构和纳米粒径，可以显著提升其锂离子嵌入/脱嵌动力学性能，从而实现更高的倍率性能。

26.8 钬元素在锂离子电池中的应用

锂离子电池作为现代能源存储技术的核心，其性能的提升对于电动汽车、便携式电子设备及储能系统等领域的发展至关重要。在正极材料的改进中，稀土元素钬（Ho）的引入成为了一个重要的研究方向。

钬（Ho）是一种稀土元素，位于元素周期表的第六周期第IIIB 族，原子序数为 67。它具有良好的磁性和光学性能，并且在多种化合物中表现出优异的物理化学性质。在锂电池领域，钬因其独特的电子结构和化学性质，被用作添加剂或掺杂剂，以改善正极材料的性能。



钬元素

一种锂离子电池用钬掺杂镍酸锂材料的制备方法主要包括以下步骤：

（1）原料称取：按照化学计量比准确称取碳酸锂、氧化镍和氧化钬，确保 Li、Ni 和 Ho 的摩尔比为 1:0.92:0.08。这一比例的选择是基于对材料性能的优化考虑，旨在通过微量钬的掺杂提升镍酸锂的电学性能。

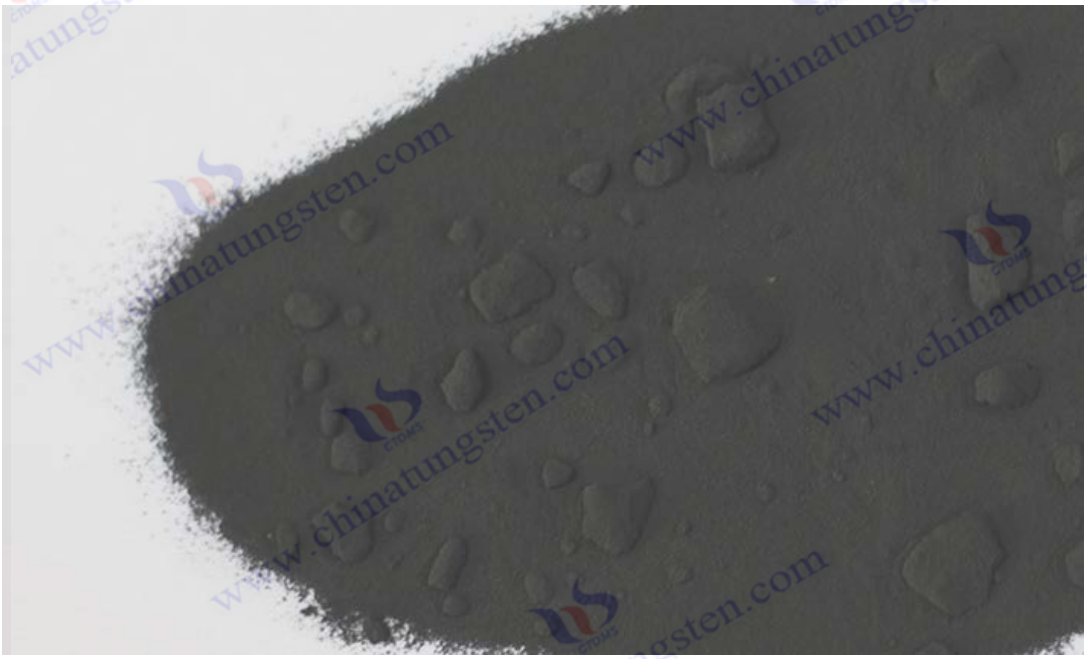
（2）球磨烘干：将称取的原料混合后，加入无水乙醇，并在一定转速（如 2500～2700rpm）下球磨 2～4 小时，以充分混合并细化原料颗粒。之后取出烘干，得到钬掺杂镍酸锂的初步原料。

（3）加入醋酯纤维等助剂：向步骤（2）制得的原料中加入醋酯纤维、氯化钾氯化钠混合熔盐及无水乙醇，继续球磨并烘干。醋酯纤维在此步骤中起到关键作用，其热分解产生的气体有助于形成中空管状结构，同时其中的无机填料钛白粉能够掺杂入钬掺杂镍酸锂材料

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

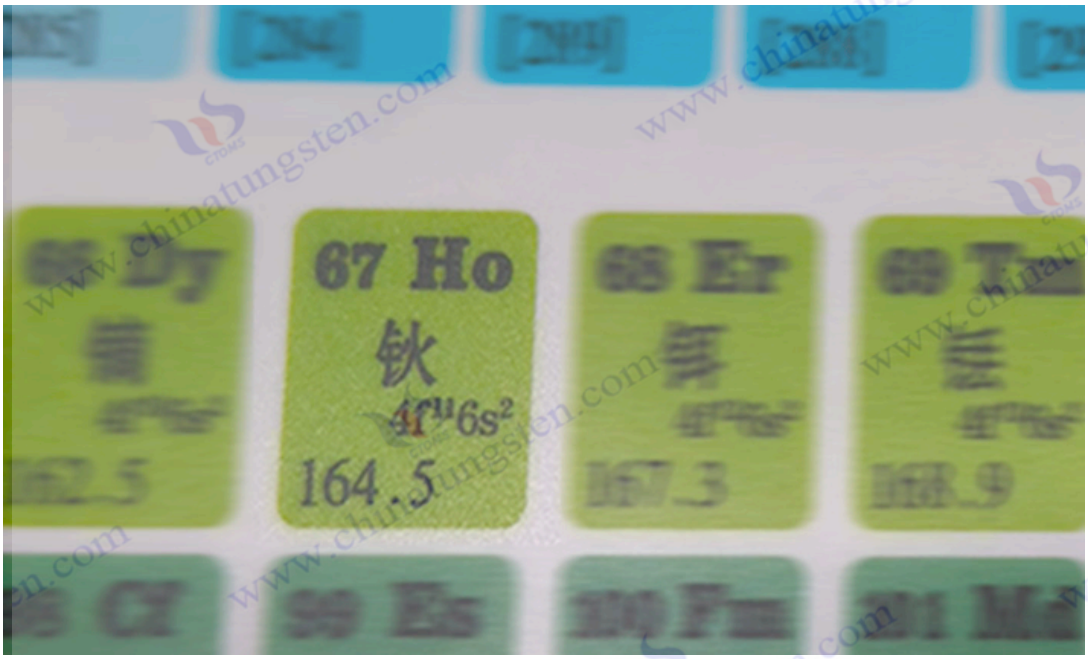
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

的晶格中，改善材料的稳定性和容量衰减问题。



镍酸锂材料

（4）烧结处理：将步骤（3）处理后的原料在高温（如 800～850℃）下烧结 8～10 小时，以形成稳定的钬掺杂镍酸锂材料。烧结完成后，用水清洗并烘干所得的粉体，最终制得具有更高放电容量和克容量的钬掺杂镍酸锂材料。



钬元素

钬掺杂镍酸锂材料的性能提升：

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

（1）放电容量和克容量的提升：钬元素的掺杂显著提升了镍酸锂材料的放电容量和克容量。这主要归因于钬在镍酸锂晶格中的掺杂效应，它改善了材料的电子导电性和离子扩散速率，从而提高了材料的可逆容量。实验数据表明，在 1C 倍率条件下，钬掺杂镍酸锂材料的第 100 周放电容量相比未掺杂样品提高了约 10%～15%。例如，某具体实验中，钬掺杂样品的放电容量达到了 97mAh/g，较未掺杂样品提高了 12.79%。

（2）缓解充放电过程中的体积膨胀：钬掺杂镍酸锂材料的中空管状结构及其疏松的管壁设计，有效缓解了充放电过程中因锂离子嵌入和脱出引起的体积膨胀问题。这一特性不仅提高了材料的结构稳定性，还延长了电池的使用寿命。

（3）改善材料的稳定性：醋酯纤维中的无机填料钛白粉在热分解过程中掺杂入钬掺杂镍酸锂材料的晶格中，进一步改善了材料的稳定性。钛白粉的掺杂减少了材料在充放电过程中锰的溶解，从而有效缓解了锂电池的容量衰减问题。研究表明，经过 100 次循环后，未掺杂镍酸锂材料的容量保持率约为 65%，而钬掺杂镍酸锂材料的容量保持率提升至 75%以上。特别是在高倍率循环测试中，钬掺杂材料的优势更为明显。



电池

26.9 铥元素在锂离子电池中的应用

锂离子电池作为现代能源存储的重要载体，其性能优化一直是科研和工业领域的热点话题。近年来，通过元素掺杂技术改善正极材料的性能，尤其是提高放电容量、循环稳定性和安全性，成为了研究的重点方向。其中，铥（Tm）元素因其独特的物理和化学性质，在锂离子电池正极材料的改性中展现出了巨大的潜力。

铥是一种稀土元素，位于元素周期表的第六周期，原子序数为 69，相对原子质量为 168.934。铥具有较为稳定的化学性质，且在某些条件下能够表现出优异的电学性能，这使得它在电子器件、光学材料以及能源存储等领域有着广泛的应用前景。

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

一种锂离子电池用铥掺杂钛酸锂正极材料的制备方法主要包括以下几个步骤：（1）称重：精确称取所需原料，包括钛酸锂前驱体、铥源（如铥氧化物或铥盐）及其他辅助材料。（2）球磨与烘干：首先，向原料中加入无水乙醇，通过球磨机进行充分混合和细化处理，以确保原料的均匀性和细度。随后，将球磨后的混合物取出并烘干，去除乙醇等溶剂。（3）加入醋酯纤维等添加剂：向烘干后的原料中加入醋酯纤维、氯化钾和氯化钠的混合熔盐以及再次加入的无水乙醇。这一步的目的是通过醋酯纤维中的钛白粉等无机填料，以及熔盐的助熔作用，进一步改善材料的结构和性能。再次进行球磨并烘干处理。（4）烧结与后处理：将处理好的原料置于高温炉中，在 750～800℃的温度下烧结 4～6 小时。烧结完成后，待其自然冷却至室温，然后用水清洗以去除残留的熔盐和其他杂质，最后再次烘干得到铥掺杂钛酸锂正极材料。



铥元素

铥掺杂钛酸锂正极材料的性能分析：

（1）放电容量与克容量提升：铥掺杂显著提高了钛酸锂正极材料的放电容量和克容量。具体数据表明，相比未掺杂的钛酸锂材料，铥掺杂后的材料在相同条件下具有更高的放电比容量，这主要得益于铥元素对材料电子结构的优化，提高了锂离子的脱嵌效率和材料的导电性。实验数据显示，在 0.1C 倍率下，未掺杂的钛酸锂正极材料的初始放电容量约为 170mAh/g，而经过铥掺杂改性后的材料，其初始放电容量提升至约 190mAh/g，提升幅度约为 12%。

（2）结构优势与体积膨胀缓解：铥掺杂钛酸锂正极材料呈现出中空管状结构，且管壁为疏松结构。这种特殊结构不仅增大了材料的比表面积，有利于锂离子的快速传输，还能够在充放电过程中有效缓解体积膨胀问题。体积膨胀是锂离子电池性能衰减的重要原因之一，通过结构优化，铥掺杂钛酸锂材料能够在一定程度上延长电池的使用寿命。实验数据表明，在多次充放电循环后，该材料的体积变化率明显低于未掺杂材料。

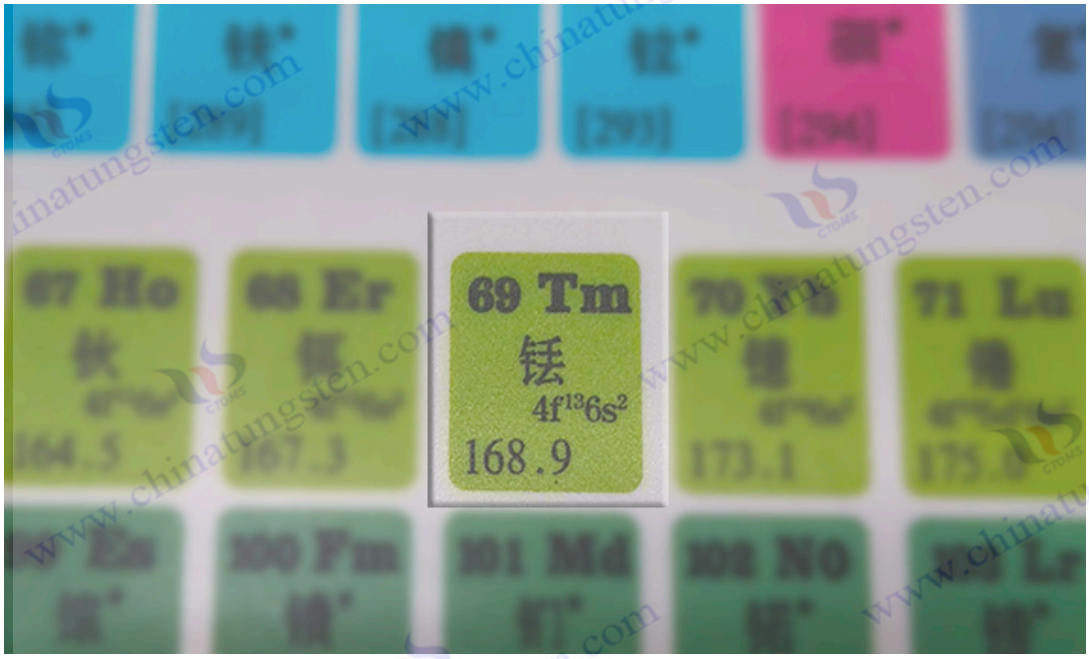
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

（3）稳定性与容量衰减改善：醋酯纤维中的钛白粉等无机填料在制备过程中被成功掺杂入钛酸锂正极材料的晶格中，这一创新设计显著改善了材料的稳定性。钛白粉作为无机填料，能够增强材料的机械强度和结构稳定性，同时抑制充放电过程中可能发生的副反应。实验数据显示，未掺杂的钛酸锂正极材料在 100 次充放电循环后，容量保持率约为 80%，而铥掺杂后的材料在相同条件下循环 100 次后，容量保持率提升至 88%以上。

（4）倍率性能的优化：倍率性能反映了电池在高电流密度下的充放电能力。实验数据表明，铥掺杂钛酸锂正极材料在高倍率充放电条件下表现出更好的性能。例如，在 5C 倍率下，未掺杂材料的放电容量约为 100 mAh/g，而铥掺杂材料的放电容量保持在 120 mAh/g 以上，提升了约 20%。这一优化得益于铥掺杂提高了材料的电子导电性和离子扩散速率，使得锂离子在材料内部的传输更加高效。

（5）安全性的提升：钛酸锂材料本身以其优异的热稳定性和安全性著称，而铥掺杂进一步增强了这一特性。在高温或短路等极端条件下，铥掺杂钛酸锂正极材料能够保持较好的结构完整性，减少热失控的风险。此外，中空管状结构和疏松的管壁设计也有助于散热和缓解内部压力，进一步提升电池的安全性。



铥元素

26.10 镱元素在锂离子电池中的应用

近年来，通过稀土元素掺杂改性正极材料成为提升锂离子电池性能的有效手段之一。其中，镱（Yb）元素因其独特的电子结构和化学性质，在正极材料的改性中展现出显著优势。

镱掺杂镍钴锰酸锂材料的制备步骤：（1）原料准备：按照化学计量比称取所需的原料，包括镍、钴、锰的化合物以及锂源和镱源。（2）无水乙醇球磨与烘干：向原料中加入无水乙醇，通过球磨混合均匀后取出烘干，以去除溶剂并初步形成前驱体。（3）醋酯纤维

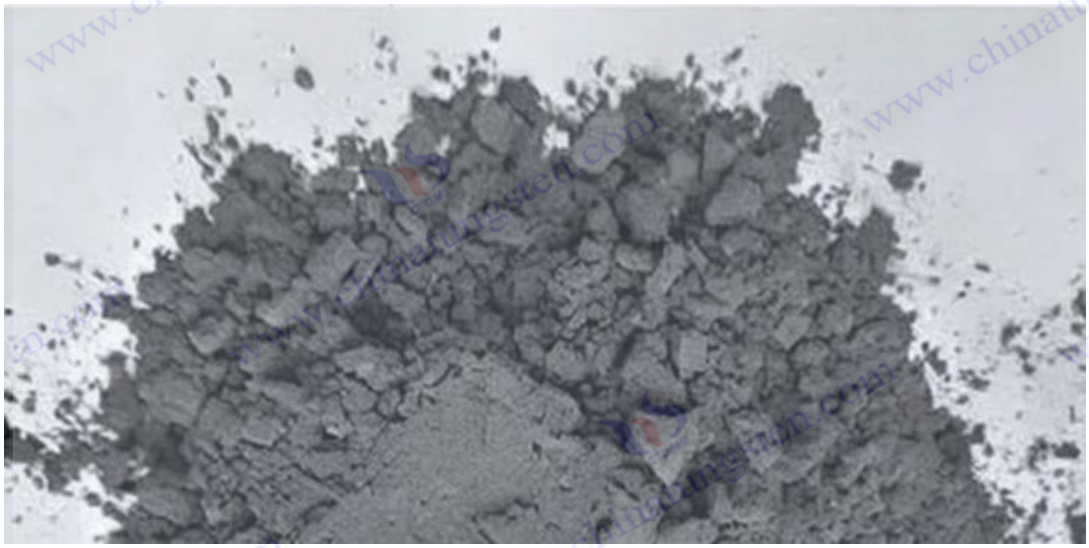
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

及熔盐处理：向步骤二所得的前驱体中加入醋酯纤维、氯化钾和氯化钠混合熔盐以及无水乙醇，再次进行球磨并烘干。此步骤中，醋酯纤维中的无机填料钛白粉（TiO_2）会参与反应，对最终材料的性能产生重要影响。（4）烧结与后处理：将经步骤（3）处理后的原料进行烧结，烧结完成后冷却，清洗所得的粉体并烘干，最终制得镱掺杂镍钴锰酸锂材料。



镱元素

镱掺杂镍钴锰酸锂材料的生产注意事项：（1）球磨时间：根据原料的粒度和混合均匀度需求，球磨时间需控制在一定范围内，以确保原料充分混合且粒度均匀。（2）烧结温度：烧结温度是影响材料晶体结构和性能的关键因素。通常，需根据具体配方和实验条件确定最佳烧结温度，以获得理想的材料性能。（3）烧结时间：烧结时间的长短直接影响材料的结晶度和致密度。过短的烧结时间可能导致材料结晶不完全，而过长则可能引起材料过烧或结构破坏。



锰酸锂

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

镱掺杂镍钴锰酸锂材料的性能优势：

（1）更高的放电容量和克容量：实验数据表明，镱掺杂镍钴锰酸锂材料相比未掺杂的材料具有更高的放电容量和克容量。这主要归因于镱元素的引入改变了材料的晶体结构和电子排布，提高了锂离子的脱嵌能力。在特定测试条件下（如 0.2C 倍率），LMNCG 材料的放电比容量可达到约 110mAh/g，即使在高倍率（如 10C）下，其放电比容量仍能保持在 94.5mAh/g 左右，显示出优异的倍率性能。

（2）中空管状结构及其优势：镱掺杂镍钴锰酸锂材料具有中空管状结构，这种结构在进一步处理后其管壁更为疏松，有助于缓解充放电过程中的体积膨胀问题。中空管状结构不仅增加了材料的比表面积，还提供了更多的锂离子扩散通道，从而提高材料的电化学性能。



镱元素

（3）钛白粉掺杂对稳定性的影响：醋酯纤维中的无机填料钛白粉在制备过程中被成功掺杂入镱掺杂镍钴锰酸锂材料的晶格中。TiO_2 作为一种稳定的化合物，其掺杂显著改善了材料的结构稳定性和热稳定性。实验结果显示，掺杂钛白粉后的 LMNCG 材料在充放电过程中表现出更好的结构稳定性，容量衰减问题得到有效改善。

镱掺杂镍钴锰酸锂材料作为一种新型锂电池正极材料，通过其独特的制备方法和优化的结构设计，展现了更高的放电容量、克容量以及优异的倍率性能和循环稳定性。该材料不仅在电化学性能上表现出色，如具有更高的放电容量、克容量以及优异的倍率性能和循环稳定性，还在材料结构设计上实现了创新，有效缓解了充放电过程中的体积膨胀问题。

26.11 镥元素在锂离子电池中的应用

镥（Lu）是元素周期表中的第 71 号元素，属于镧系元素。它的常见氧化态有+3 价，离子

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

半径相对较小，这为其在材料科学中的应用提供了基础。镥具有优异的热稳定性和化学稳定性，这使得它成为锂离子电池正极材料改性的理想候选者。

一、镥元素在锂离子电池正极材料中的应用

在镍氢电池中，通过掺入镥元素可以显著改善其高温电化学性能。研究表明，采用外掺 Lu_2O_3 法或在球形 β-$Ni(OH)_2$ 表面包覆 $Lu(OH)_3$ 法，均能有效提升电池的高温充电效率和放电比容量。

外掺 Lu_2O_3 法：实验表明，当 Lu_2O_3 的最佳掺杂比例为 3.5wt%（即 Lu:Ni=1.3mol%）时，在高温 60℃、0.2C 倍率充电的条件下，球镍电极的放电比容量可达 230.3mAh/g，相比未掺杂的球镍电极（放电比容量为 123.6mAh/g）提高了约 86%。这一结果表明，镥的掺入显著增强了材料的热稳定性和结构稳定性，从而提高了电池的高温性能。



镥元素

表面包覆 $Lu(OH)_3$ 法：另一种有效的方法是在球形 β-$Ni(OH)_2$ 表面包覆 $Lu(OH)_3$。研究发现，0.8mol%（即 Lu:Ni=0.8mol%）是最佳的包覆比例。在高温 60℃、0.2C 倍率下，包覆 0.8mol%$Lu(OH)_3$ 的球镍电极的放电比容量可达 233mAh/g。这种方法不仅能有效抑制氧气的析出，还能显著提高镍电极的高温充电效率。与机械混合法相比，表面包覆法能形成更均匀的富 Lu 包覆层，且所需 Lu 量更少，材料稳定性更好。

在锂离子电池领域，镥元素也被广泛应用于正极材料的改性中，以提高电池的性能。例如，在富锂材料（如 Li_2RuO_3 及其脱锂产物 Li_2-xRuO_3）中加入镥元素，可以显著改善其电化学性能。

Ru 基富锂材料：钌（Ru）是 4d 过渡金属，也是铂族金属中的一员。Ru 基富锂材料因其高电子电导率和良好的电化学性能而受到广泛关注。在 Li_2RuO_3 及其脱锂产物中，通过掺

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

入镥元素，可以进一步优化材料的晶体结构和电子结构，从而提高锂离子的脱嵌能力和循环稳定性。虽然具体的掺镥 Li_2RuO_3 性能数据可能因实验条件不同而有所差异，但一般而言，掺镥后材料的放电容量和循环性能均会有所提升。



镥元素

其他正极材料：除了 Ru 基富锂材料外，镥元素还被用于改性其他正极材料，如钴酸锂（$LiCoO_2$）。研究表明，当掺 Lu 为 x=0.05 时，初始放电比容量比未掺杂稀土元素的 $LiCoO_2$ 略高 0.6mAh/g，且平均损失率为放电比容量的 0.38%，比未掺杂稀土元素的 $LiCoO_2$ 的 0.41% 衰减慢 0.03%。这表明镥的掺入不仅提高了电池的初始放电容量，还改善了其循环性能。



电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

二、镥元素在锂电池中的应用机制

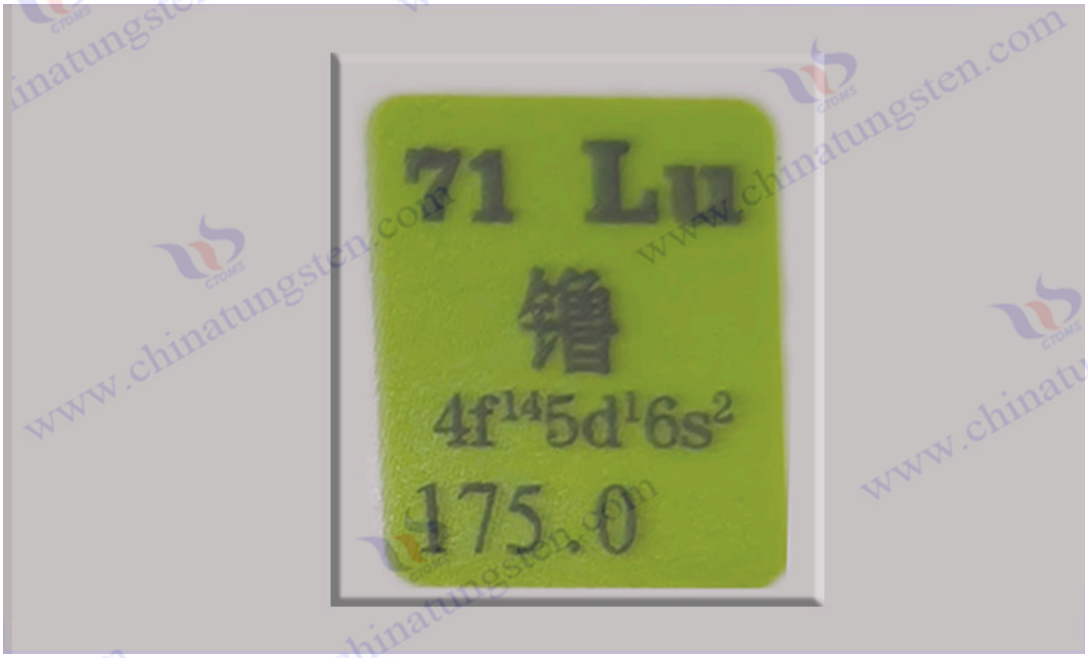
镥元素在锂离子电池中的应用机制主要与其对材料晶体结构、电子结构和化学稳定性的影响有关。具体来说，镥的掺入可以：

稳定晶体结构：镥元素具有较大的离子半径和较高的电荷密度，能够稳定材料的晶体结构，减少晶格畸变和相变的发生，从而提高材料的热稳定性和循环稳定性。

提高电子电导率：镥元素的掺入可以改变材料的电子结构，增加电子的迁移率，从而提高材料的电子电导率。这对于锂离子电池来说至关重要，因为电子电导率的提升有助于减少电池内阻，提高充放电速率和效率。

优化锂离子扩散路径：镥元素的引入还可能改变材料的晶体结构，形成更有利于锂离子扩散的通道或空位。这些变化能够降低锂离子的扩散能垒，加快锂离子的脱嵌速度，从而提高电池的倍率性能和充放电效率。

增强化学稳定性：镥元素的高化学稳定性有助于防止材料在充放电过程中与电解液发生不利的副反应，如腐蚀、溶解等。这些副反应不仅会导致活性物质的损失，还会生成对电池性能有害的副产物。因此，镥的掺入能够提高材料的化学稳定性，延长电池的使用寿命。



镥元素

三、镥元素在锂电池中的实际应用案例

尽管关于镥元素在锂离子电池中应用的直接商业化产品相对较少，但已有一些研究团队和企业开始探索其应用潜力。以下是一些实际应用案例的概述：

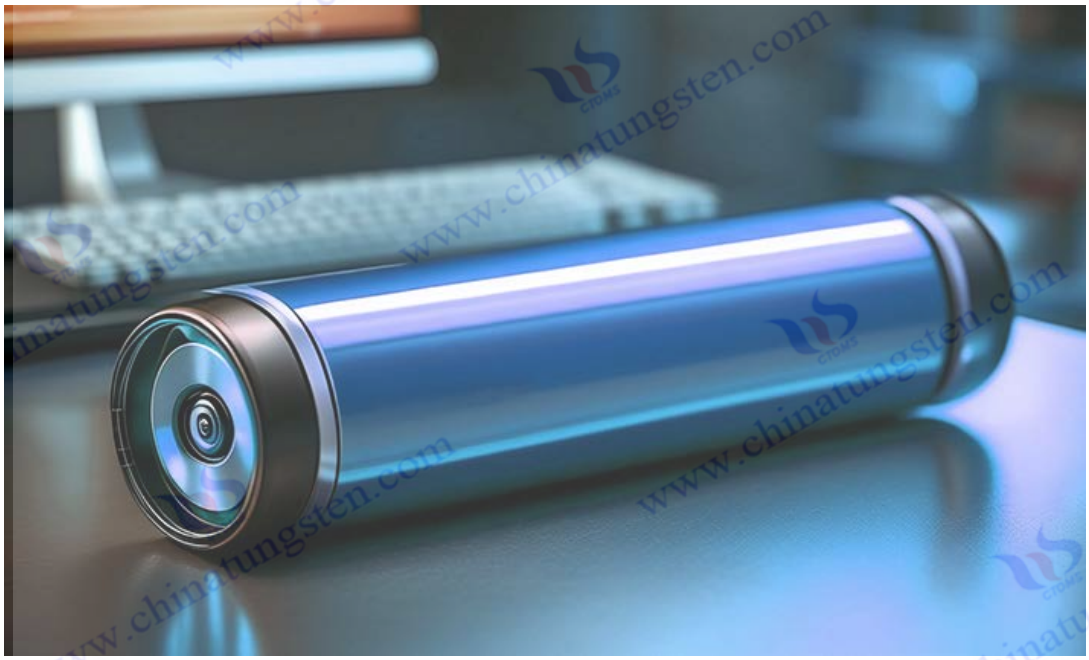
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

高性能正极材料的研发：一些科研机构和企业正在研发基于镥掺杂的高性能正极材料，如镥掺杂的富锂材料、镥掺杂的钴酸锂等。这些材料在实验室条件下已展现出优异的电化学性能，如高放电容量、长循环寿命和良好的倍率性能。未来，随着制备工艺的不断优化和成本的降低，这些材料有望实现商业化应用。

固态电池的研究：固态电池作为下一代锂离子电池的重要发展方向之一，其安全性、能量密度和循环寿命等方面均优于传统液态电池。镥元素因其优异的热稳定性和化学稳定性而被视为固态电池中潜在的有益添加剂或改性元素。通过掺入镥元素，可以进一步提升固态电池的性能和稳定性。

智能电池管理系统：虽然镥元素本身不直接参与电池管理系统的构建，但其对电池性能的提升为智能电池管理系统的优化提供了可能。通过实时监测和分析镥掺杂电池的性能数据，可以更加准确地预测电池的剩余容量、健康状态和剩余寿命等信息，从而为用户提供更加精准的电池管理建议和服务。



电池

26.12 钇元素在锂离子电池中的应用

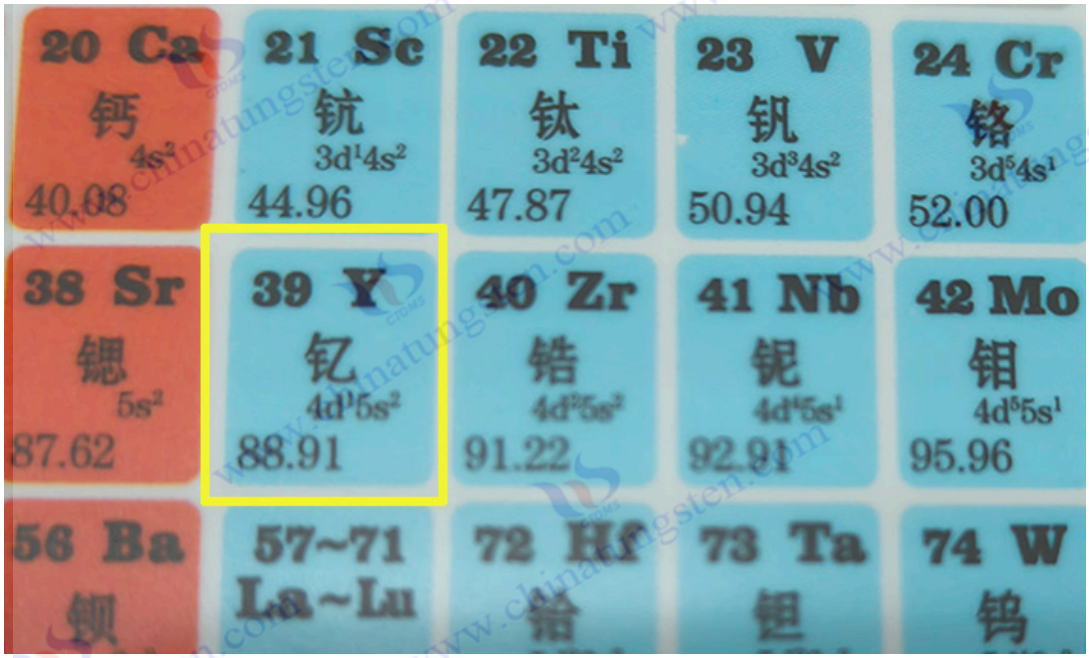
随着新能源汽车市场的迅速崛起，对高性能锂离子电池的需求日益增长。锂电池作为主要的能量储存和转换装置，其性能提升一直是研究的热点。钇元素（Y）作为一种稀土元素，在锂电池中的应用逐渐展现出其独特的优势，特别是在改善负极材料钛酸锂（$Li_4Ti_5O_{12}$，LTO）的电导率、充放电性能和循环性能方面。

一、钇稳定二氧化锆作为固态电解质

钇稳定二氧化锆（CY-$R_{30}Y_3$）因其良好的离子导电性能，被广泛应用于锂电池的固态电解质中。相比于传统的液体电解质，固态电解质具有更高的稳定性和安全性，能有效抑制锂

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

电池的极化反应、渗漏和内短路现象。CY-$R_{30}Y_3$ 表现出较低的电阻和较高的离子导电率，这有助于提高锂离子在电池中的迁移速度，进而提升电池的放电性能。例如，在固态电池配置中，CY-$R_{30}Y_3$ 能够提供优异的离子传输通道和化学稳定性，使固态电池具有更好的安全性和可靠性。



钇元素

二、钇元素在电极材料中的应用

钇元素不仅可以用作固态电解质，还能作为添加剂或掺杂剂改善电极材料的性能。在锂电池的电极材料中，添加适量的 CY-$R_{30}Y_3$ 可以改善电极的导电性能。CY-$R_{30}Y_3$ 具有较高的离子和电子导电率，添加至电极材料中可以提高电极的导电性，减少电阻，进而提高电池的能量转化效率和充放电速率。



电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

一种改善负极材料钛酸锂的电导率、充放电性能和循环性能的制备方法，是以 Li 的可溶性化合物和 Ti 的可溶性化合物为锂源和钛源，通过溶胶凝胶法掺杂钇离子，并控制烧结气氛，制备出含钇的钛酸锂纳米晶和钛酸锂/C 复合材料。该方法不仅提高了钛酸锂的电导率，还显著改善了其倍率性能和循环稳定性。

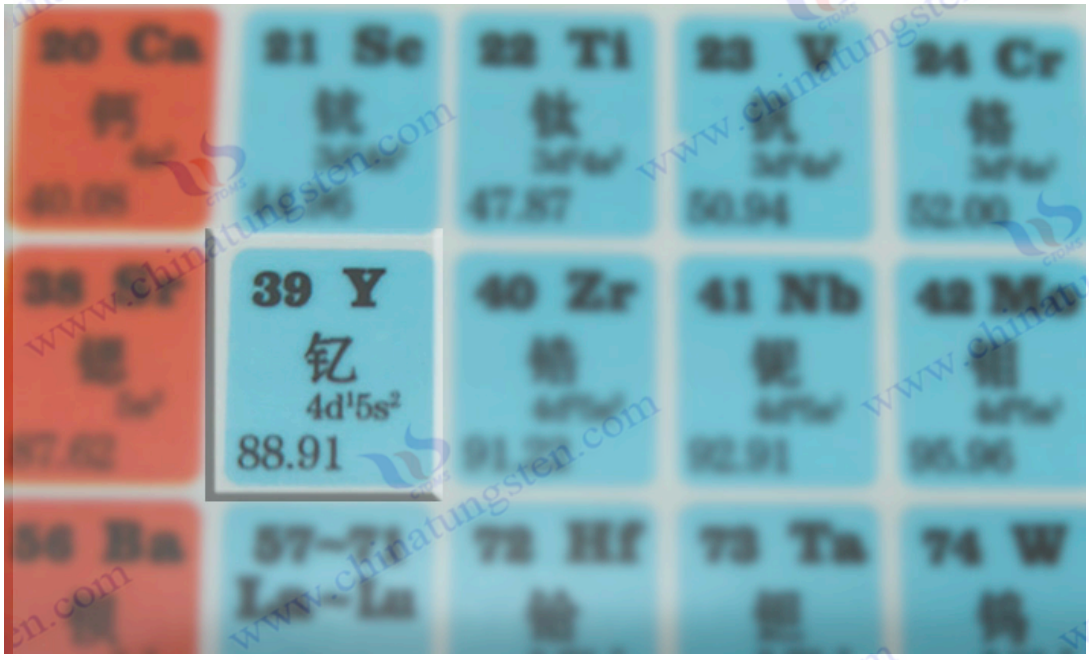
含钇的钛酸锂/C 复合材料的生产步骤：

（1）原料准备：选择适当的 Li 源（如一水合氢氧化锂）和 Ti 源（如钛酸四丁酯），以及钇源（如六水合硝酸钇）。同时，准备络合剂（如柠檬酸）以稳定溶胶体系。

（2）溶胶凝胶法制备：将 Li 源、Ti 源和钇源溶解在适当的溶剂中，加入络合剂，形成均匀的溶胶体系。通过控制反应条件（如温度、pH 值等），使溶胶逐渐凝胶化。凝胶化过程中，钇离子均匀分布在钛酸锂的晶格中，形成含钇的钛酸锂前驱体。

（3）烧结处理：将前驱体在特定气氛（如氮气保护）下进行高温烧结，使前驱体转化为含钇的钛酸锂纳米晶。同时，通过控制烧结条件，可以在钛酸锂颗粒周围或表面形成均匀分散的热解碳层，进一步提高材料的电导率。

（4）复合材料制备：为了进一步提高钛酸锂的电化学性能，可以将烧结后的含钇钛酸锂纳米晶与碳源（如乙炔黑、石墨等）混合，再次进行烧结处理，制备出钛酸锂/C 复合材料。碳的加入不仅能提高材料的电导率，还能防止颗粒间的团聚，降低接触内阻。



钇元素

钇改善钛酸锂负极材料性能的机制：

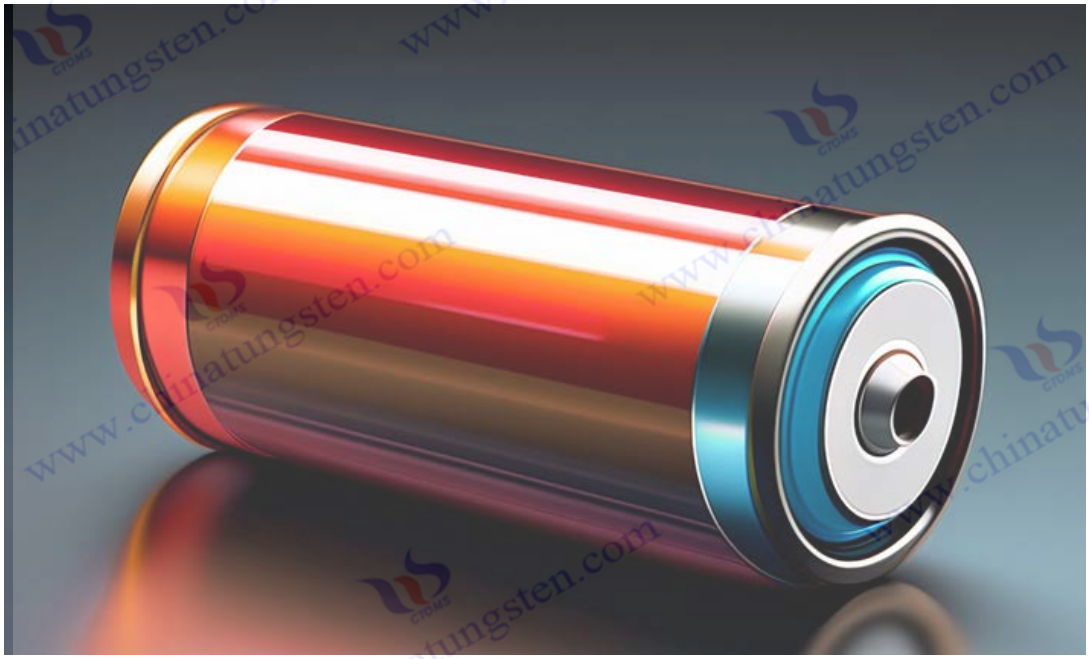
（1）电导率提升：钇离子的掺杂和碳的复合显著提高了钛酸锂的电导率。钇离子作为掺

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

杂剂，能够改变钛酸锂的能带结构，提高电子和离子的迁移速率；而碳的加入则形成了导电网络，进一步降低了材料的电阻。实验数据显示，掺杂钇后，钛酸锂的电导率从原始的约 10^{-8}S/cm 提升至 10^{-5}S/cm 量级，这一提升幅度超过三个数量级，表明钇掺杂显著提高了材料的电子导电性。

（2）倍率性能改善：钇掺杂和碳复合提高了钛酸锂在高倍率充放电条件下的性能。钇离子的引入改善了材料的晶体结构，有利于锂离子的快速嵌入和脱出；而碳的加入则提高了材料的导电性，使电子能够快速传输到活性物质表面，从而提高了电池的倍率性能。实验数据显示，掺杂钇的钛酸锂负极材料在 1C、5C 乃至 10C 倍率下的放电容量均远高于未掺杂样品。特别是在 10C 倍率下，掺杂样品的放电容量仍能保持接近其理论容量的 80%，而未掺杂样品则大幅下降。

（3）循环稳定性增强：钇掺杂和碳复合还显著提高了钛酸锂的循环稳定性。钇离子的掺杂能够抑制钛酸锂在充放电过程中的体积变化，减少材料的结构破坏；而碳的加入则能够防止颗粒间的团聚和脱落，保持电极结构的完整性。实验数据显示，在 0.1C 至 10C 的不同倍率下进行充放电循环测试，发现掺杂钇的钛酸锂负极材料在 10C 高倍率下仍能保持较高的容量保持率，循环 1000 次后容量衰减小于 5%。而未掺杂的钛酸锂在相同条件下容量衰减明显更快。此外，掺杂钇的样品在循环过程中的库仑效率稳定在 99%以上，显示出优异的可逆性和稳定性。



锂离子电池

26.13 钪元素在锂离子电池中的应用

钪元素（Sc）在锂离子电池中的应用近年来逐渐受到关注，其独特的物理化学性质为提升锂离子电池的性能提供了新的可能性。

一、钪离子配位聚合物电解质

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

钪离子配位聚合物锂离子电池电解质的制备旨在解决传统聚氧化乙烯（PEO）聚合物电解质室温离子电导率低及尺寸热稳定性差的问题。通过引入钪离子配位聚合物，降低 PEO 的结晶度，促进链段的局部松弛运动，从而提高锂离子的迁移速率和电解质的综合性能。



钪元素

钪离子配位聚合电解质的生产步骤：

（1）制备有机复合液：将聚氧化乙烯（PEO）和 3,4-二氟苯甲酸加入适量的溶剂中（如乙腈或 N,N-二甲基甲酰胺 DMF），通过搅拌使各组分充分溶解，形成均一的有机复合液。此步骤的关键在于控制溶剂的选择和用量，以确保溶质完全溶解并形成良好的溶液体系。

（2）制备钪盐配位溶液：将钪盐（如 $ScCl_3$ 或 $Sc(NO_3)_3$）和 2,2-联吡啶（bpy）加入另一份溶剂中，通过搅拌使钪离子与 2,2-联吡啶形成稳定的配位结构，即钪盐配位溶液。此步骤中，配位剂的选择和用量对配位聚合物的形成及稳定性至关重要。

（3）混合与分散：将钪盐配位溶液缓慢加入有机复合液中，同时加入适量的锂盐（如 LiClO4 或 LiTFSI）和聚乙烯吡咯烷酮（PVP）作为增塑剂和稳定剂。通过强力搅拌使各组分均匀分散，形成配位聚合物溶胶电解质。此步骤中，搅拌速度和温度的控制对溶胶的均匀性和稳定性有重要影响。

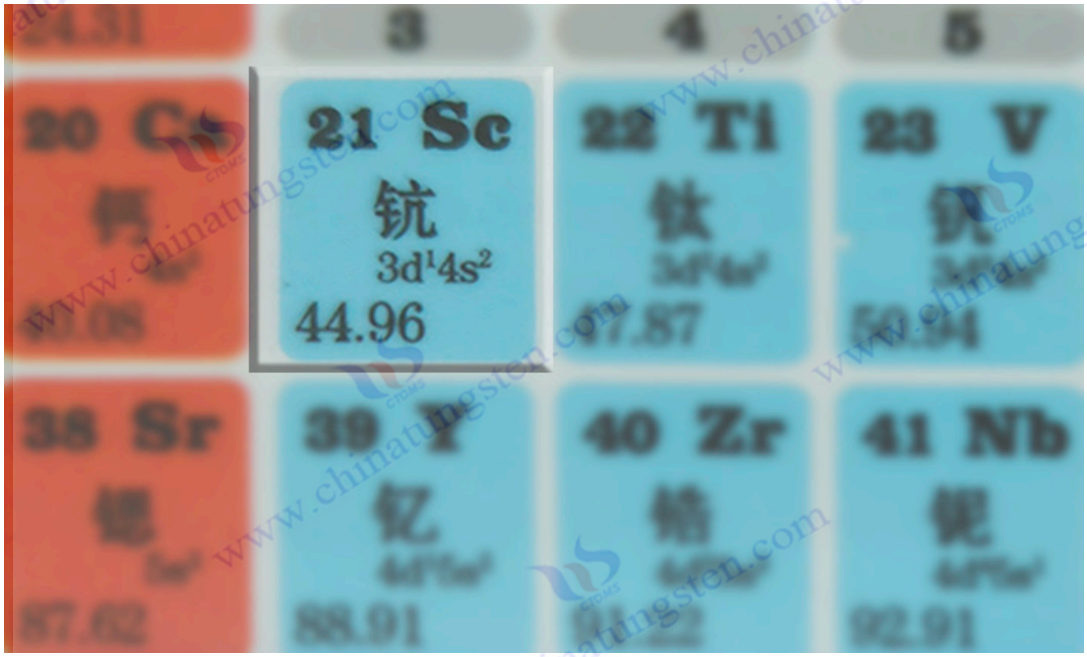
（4）干燥成型：将配位聚合物溶胶电解质进行干燥处理，去除溶剂，得到固态电解质膜。干燥过程需控制温度和时间，以避免电解质膜的开裂和变形。

钪离子配位聚合电解质的性能：（1）室温离子电导率：由于 Sc 配位聚合物的引入，降低了 PEO 的结晶度，提高了链段的运动性，使得锂离子的迁移速率显著增加，室温离子电导率得到提升。（2）热稳定性：配位聚合物的存在增强了电解质的热稳定性，拓宽了其

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

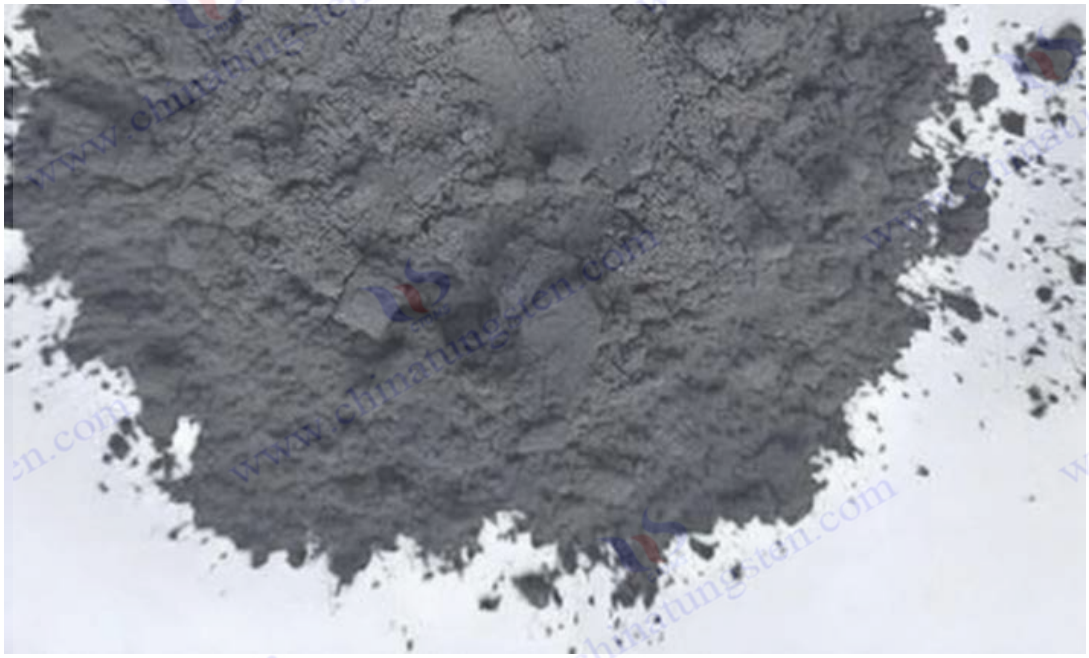
www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

工作温度范围。（3）循环性能：经过优化的电解质结构减少了界面阻抗，提高了电池的循环稳定性和使用寿命。



二、钪掺杂镍锰酸锂正极材料

钪掺杂镍锰酸锂正极材料的性能：（1）高比能量：镍锰酸锂材料具有较高的理论比容量和电压平台，能够显著提升锂离子电池的能量密度。（2）循环稳定性：钪元素的掺杂改善了镍锰酸锂材料的晶体结构，提高了其循环稳定性和结构完整性。（3）快速充放电能力：优化的材料结构促进了锂离子的快速插入和脱出，提升了电池的充放电速率。



镍锰酸锂材料

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

钪掺杂镍锰酸锂正极材料的制备方法包括固态反应法和溶胶-凝胶法。

固态反应法步骤：（1）材料配比：将钪、镍、锰等金属盐按照一定比例称量并溶解在适量溶剂中。（2）混合与干燥：通过搅拌使溶液均匀混合，随后通过旋转蒸发或喷雾干燥等方法去除溶剂，得到金属盐的固态混合物。（3）高温烧结：将固态混合物在高温下烧结一段时间（如 12-20 小时），使金属盐发生固相反应，形成结晶的 KNMO 材料。

溶胶-凝胶法：（1）溶剂制备：选择合适的溶剂，将钪、镍、锰等金属盐溶解其中。（2）溶胶制备：通过调节溶液的 pH 值和温度等条件，使金属盐发生水解反应形成溶胶。（3）凝胶化与干燥：将溶胶转化为凝胶，可通过加热蒸发或冷冻干燥等方法实现。干燥后得到干燥凝胶。（4）煅烧：将干燥凝胶在高温下（如 700-800℃）进行煅烧，使其形成结晶的 KNMO 材料。



锂电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED