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

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
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

2.3 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
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

2.9.3 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
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

3.2 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
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

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

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

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

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
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

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 二硫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硫化钼复合材料
18.1.2 钠离子电池负极材料用二硫化钼复合材料的优势
18.1.3 钠离子电池负极材料用二硫化钼复合材料的挑战
18.2 二硒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硒化钼复合材料
18.2.2 钠离子电池负极材料用二硒化钼复合材料的优势
18.2.3 钠离子电池负极材料用二硒化钼复合材料的挑战
18.3 钼酸镍在钠离子电池中的应用
18.3.1 钠离子电池阳极材料用钼酸镍
18.3.2 钠离子电池电极材料用钼酸镍的优势
18.3.3 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 二硫化钼在锌离子电池中的应用
19.1.1 锌离子电池负极材料用二硫化钼复合材料
19.1.2 锌离子电池负极材料用二硫化钼的优势
19.1.3 锌离子电池负极材料用二硫化钼的挑战
19.2 钼酸锌在锌离子电池中的应用
19.2.1 锌离子电池锌负极保护层用钼酸锌
19.2.2 锌离子电池锌负极保护层用钼酸锌的优势
19.2.3 锌离子电池锌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 碳化钼在燃料电池中的应用
20.1.1 燃料电池阳极用碳化钼
20.1.2 燃料电池阴极用碳化钼
20.1.3 燃料电池电极用碳化钼的优势
20.1.4 燃料电池电极用碳化钼的挑战
20.2 氮化钼在燃料电池中的应用
20.2.1 燃料电池阳极用氮化钼
20.2.2 燃料电池阴极用氮化钼
20.2.3 燃料电池电极用氮化钼的优势
20.2.4 燃料电池电极用氮化钼的挑战
20.3 磷钼酸在燃料电池中的应用

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

第二十一章 钼在太阳能电池中的应用

第二十二章 钼在电池中的技术挑战与解决方案

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

第二十六章 稀土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

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

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

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

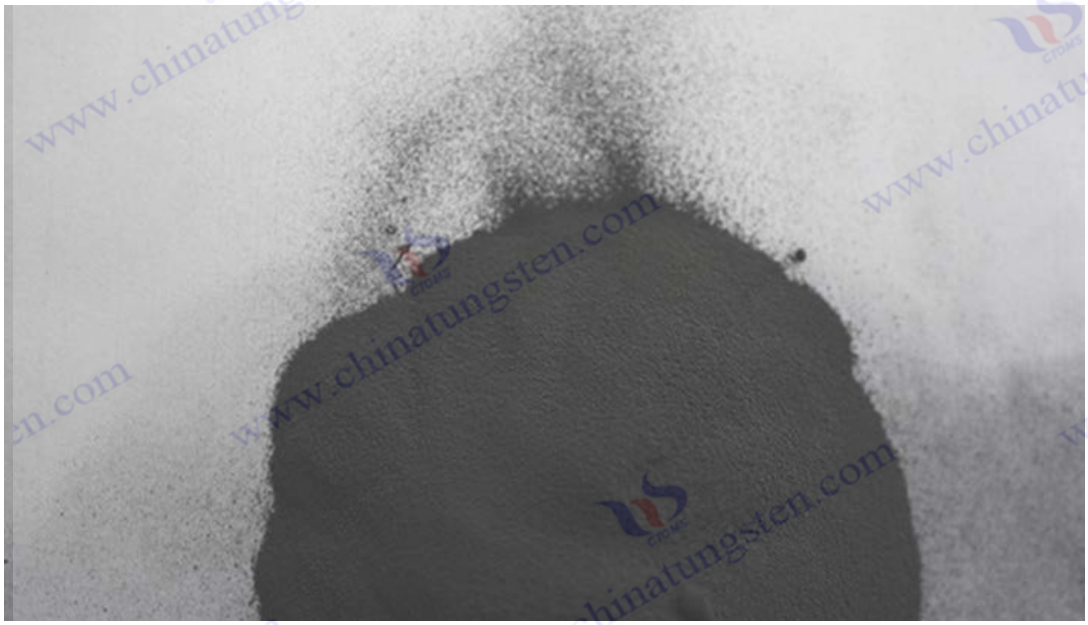
第Ⅲ部分 钼在新能源电池市场的介绍

第十七章 钼在锂硫电池中的应用

据中据中钨在线/中钨智造了解，碳化钼、氮化钼、二硫化钼、三硫化钼和二硒化钼等钼化合物作为锂硫电池电极材料的应用，是为这一技术增添了新的活力。这些钼化合物不仅具有优异的导电性和稳定性，还能有效提高锂硫电池的能量密度和循环寿命，从而使其在众多领域展现出广阔的应用前景。



二硫化钼



二硒化钼

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

电动汽车领域是锂硫电池的重要应用领域之一。传统的锂电池虽然在一定程度上满足了电动汽车的能源需求，但其能量密度和续航里程仍有待提升。而锂硫电池以其高能量密度的优势，有望为电动汽车提供更长的续航里程和更短的充电时间。此外，钼化合物的应用还可进一步提高锂硫电池的性能稳定性，降低成本，从而推动电动汽车市场的普及和发展。

锂硫电池在航空航天领域也有着巨大的应用潜力。航空航天器对能源系统的要求极高，需要电池具备高能量密度、轻量化和长寿命等特点。而锂硫电池正好符合这些要求，其高能量密度和轻量化的特性可以提高航空航天器的性能，同时降低整体重量，有助于实现更高效、更环保的飞行。钼化合物的应用可以进一步提升锂硫电池的性能，使其在航空航天领域发挥更大的作用。



锂硫电池

锂硫电池在可再生能源储存领域也具有广阔的应用前景。随着可再生能源的不断发展和普及，如何有效地储存这些不稳定的能源成为了一个亟待解决的问题。锂硫电池以其高能量密度和长寿命的特性，可以有效地储存太阳能和风能等可再生能源，实现能源的平衡和可持续利用。钼化合物的应用可以提高锂硫电池的储能效率和稳定性，为可再生能源的储存和利用提供更好的解决方案。

未来，随着技术的不断进步和研究的深入，锂硫电池的性能和可靠性将得到进一步提升。目前，锂硫电池还存在一些技术难题，如容量退化和循环寿命短等问题。然而，通过新材料和新技术的开发，这些问题有望得到解决。例如，通过优化钼化合物的结构和性能，可以进一步提高锂硫电池的能量密度和循环寿命；通过改进电池的设计和制造工艺，可以降低电池成本并提高生产效率。

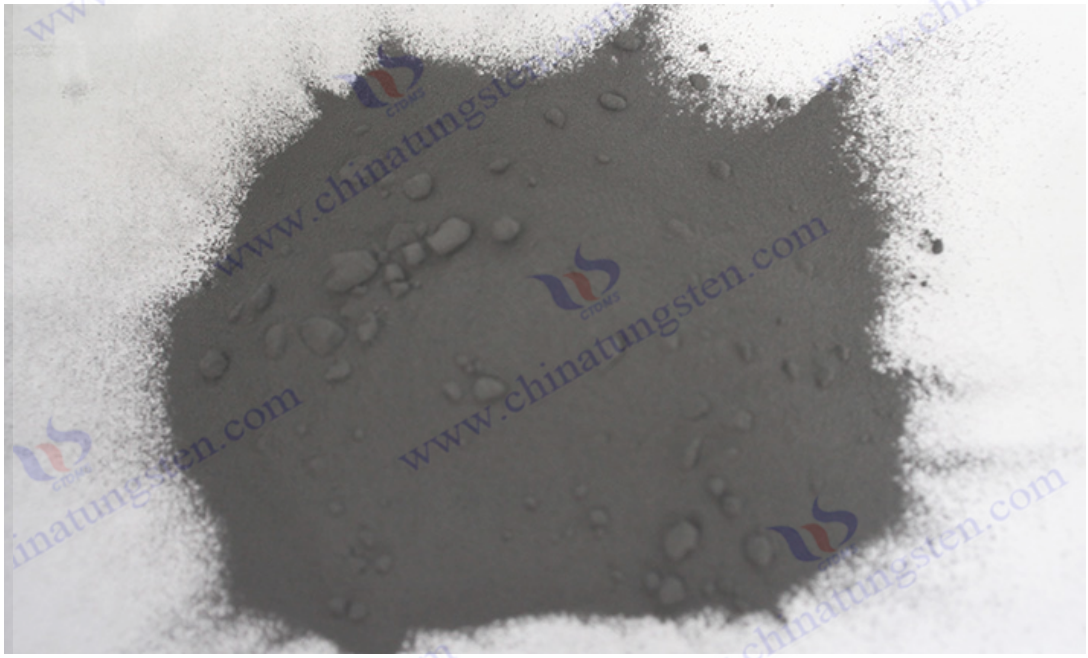
17.1 碳化钼在锂硫电池中的应用

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

碳化钼，英文名为 Molybdenum Carbide，化学式为 MoC，是一种由金属钼与非金属碳共同组成的化合物，结构为密排六方晶格，MoC 凭借着独特的物理和化学性质，已经在多个领域展现出广泛的应用潜力。特别是在锂硫电池领域，MoC 的应用更是引起了研究者们的极大兴趣。

碳化钼具有灰色粉末的外观，熔点高达 2692℃，显示出其出色的热稳定性。它不溶于水和碱液，但微溶于硝酸、硫酸和氢氟酸，这些特性为其在各种极端条件下的应用提供了可能。更重要的是，MoC 具有大硬度和良好的机械稳定性、耐磨性以及抗腐蚀性，使其能够在各种严苛环境中保持稳定的性能。



碳化钼

除此之外，碳化钼还具有类似贵金属的电子结构和催化特性。这种特性使得 MoC 能够催化多种重要的化学反应，包括加氢氢解反应、异构化反应、加氢脱硫反应、加氢脱氮反应、氨合成反应以及烃类转化与合成反应等。这些催化特性为 MoC 在能源转换和存储领域的应用提供了广阔的空间。

众所周知，锂硫电池以其高能量密度和低成本优势，被视为下一代储能技术的有力候选者。然而，硫正极的导电性差、充放电过程中的体积膨胀以及穿梭效应等问题，一直是制约锂硫电池性能提升的关键因素。MoC 的出现，为解决这些问题提供了新的可能。

碳化钼可以作为硫正极的导电添加剂。其优良的导电性能可以有效提高硫正极的电子传输效率，从而提升电池的放电性能。同时，MoC 的高硬度和良好的机械稳定性也可以在一定程度上抑制硫正极在充放电过程中的体积膨胀。

碳化钼的催化性使其在促进硫的氧化还原反应方面具有潜在优势。通过优化 MoC 的微观结构和分布，可以实现对硫氧化还原反应的高效催化，从而提高锂硫电池的能量转换效率。

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

碳化钼在锂硫电池中的应用前景广阔。随着制备技术的不断进步和成本的降低，碳化钼有望在锂硫电池领域发挥更大的作用。然而，目前碳化钼在锂硫电池中的应用仍面临一些挑战。例如，如何进一步优化碳化钼的微观结构和分布，以实现对硫氧化还原反应的高效催化；如何降低碳化钼的制备成本，以推动其在锂硫电池中的大规模应用等。



锂硫电池

17.1.1 锂硫电池正极材料用碳化钼复合材料

锂硫电池正极材料的研究与应用是近年来电池技术领域的热点之一。目前，锂硫电池的正极材料主要由一种或多种锂硫化合物构成，例如常见的 li_2S、li_2S_2 和 li_2S_5 等。这些材料具有高理论比容量和比能量，其理论比能量可以达到约 2600wh/kg，是传统锂离子电池的 2~3 倍。此外，锂硫电池正极材料不含有重金属等环境污染物，环保且成本低廉，因此具有较大的市场潜力。

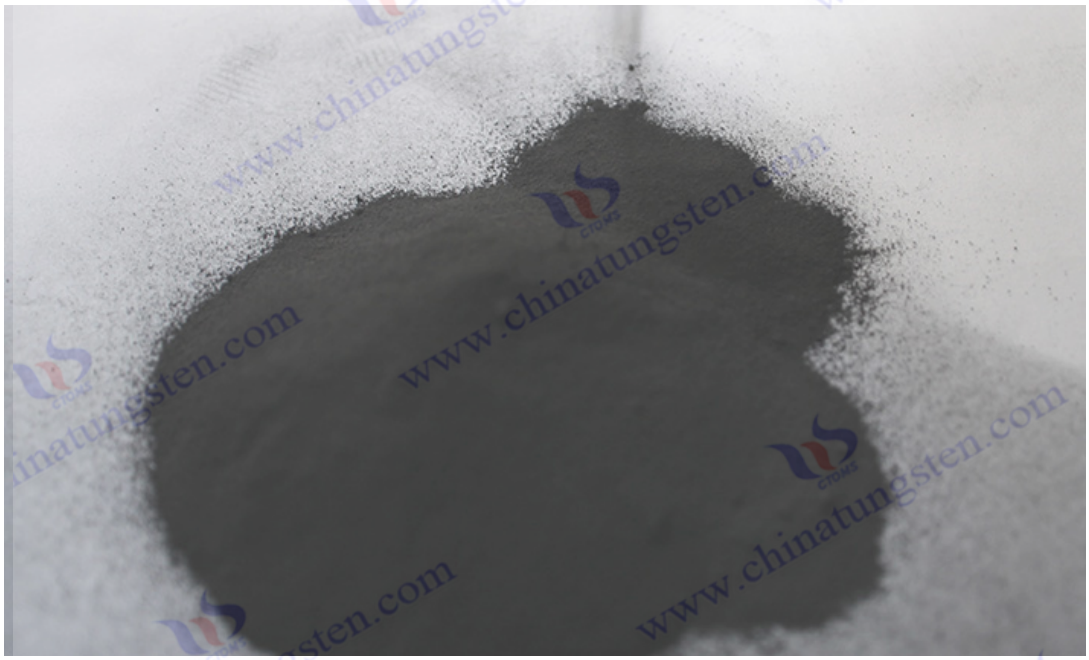


碳化钼

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

然而，锂硫电池正极材料在应用过程中也面临一些挑战。首先，硫的导电性较差，这会导致正极的能量密度降低。其次，硫在充放电过程中存在穿梭效应和体积效应，这会导致电池自放电严重，并影响电池的循环稳定性。具体来说，硫在充放电过程中的体积膨胀和收缩幅度较大，这不仅会影响导电效率，还会增加正极结构变化的风险。此外，锂硫电池的正负极材料是最需要克服的技术阻碍。

为了克服这些不足，研究者们开始探索使用碳化钼复合材料作为锂硫电池的正极材料。Mo_2C 的引入主要基于其独特的物理和化学性质。MoC 不仅具有良好的导电性，可以提高硫正极的电子传输效率，还能通过其催化特性促进硫的氧化还原反应，从而提高能量转换效率。此外，MoC 的高硬度和机械稳定性有助于抑制硫正极在充放电过程中的体积膨胀。



碳化钼

以一项具体的研究为例，研究者采用原位化学转化法将硫封装在空心薄壁 C/Mo_2C 载体的约 7nm 空腔中，制备了核壳结构 $S@C/Mo_2C$ 正极材料。这种材料中，纳米级别的 $S@C/Mo_2C$ 一次粒子相互连接构成微米级二次颗粒，形成连续的导电网络。这种结构不仅促进了锂离子和电子的传输，而且微孔 C/Mo_2C 壳可通过物理限域和化学吸附作用减缓多硫化物向外扩散。更重要的是，C/Mo_2C 能有效催化多硫化物的转化，从而显着增强氧化还原动力学。

在实验中，这种 $S@C/Mo_2C$ 正极材料表现出了优异的性能。在 0.5C 电流密度下，其可逆比容量高达 1210mAh/g，并且在高倍率下也能保持较高的比容量。此外，该正极材料还表现出良好的循环稳定性，经过 300 次循环后，每圈比容量衰减率仅为 0.127%。

然而，尽管碳化钼复合材料在锂硫电池正极材料中的应用取得了一定的进展，但仍存在一些挑战需要克服。例如，如何进一步优化 Mo_2C 的微观结构和分布，以实现更高的催化效率和更稳定的性能；如何降低碳化钼复合材料的制备成本，以推动其在锂硫电池中的大规模应用等。

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

17.1.2 锂硫电池集流体材料用碳化钼纳米纤维

电池集流体材料是锂离子电池和锂硫电池等电化学储能器件中的重要组成部分。它主要的作用是连接电池的正负极，传递电荷和热量，并充当电解液的扩散介质。集流体通常采用导电性好的金属材料制成，如铜箔、铝箔等，其厚度和面积大小对电池的性能有重要影响。例如，集流体的面积越大，电池内部的电流密度就越小，从而减小了电池的内阻，提高了电池的放电性能。

集流体在电池中的作用可以细分为以下几个方面：（1）电阻：集流体的电阻是电池内部电阻中的一个重要组成部分。集流体的导电性能越好，电池的内阻就越小，电池的性能表现就越好。（2）耐腐蚀性：由于电池中的电解质是高浓度的强酸或强碱，集流体需要很高的耐腐蚀性能。（3）机械强度：集流体需要具有一定的机械强度，能够承受电池内部的应力和变形，避免短路等问题的发生。



锂硫电池

然而，传统集流体材料在某些方面仍存在不足。特别是在锂硫电池中，由于活性硫材料的电子电导率和离子导率都很低，因此对集流体的电子传导和集流能力提出了更高的要求。此外，锂硫电池中的电解液通常含有腐蚀性较强的添加剂，如硝酸锂，这就要求集流体必须在强腐蚀环境下稳定工作。

为了解决这些问题，研究者们开始探索新型集流体材料。其中，碳化钼三维结构纳米纤维作为一种新型材料，被寄予厚望。

碳化钼（MoC）具有良好的热力学和电化学性能，以及大硬度、良好的热稳定性、机械稳定性和催化特性等特点。2018 年 9 月，南方科技大学卢周广教授课题组和华南师范大学商超群博士联合设计并制备了 MoC 三维结构纳米纤维。这种材料作为锂硫电池的三维集

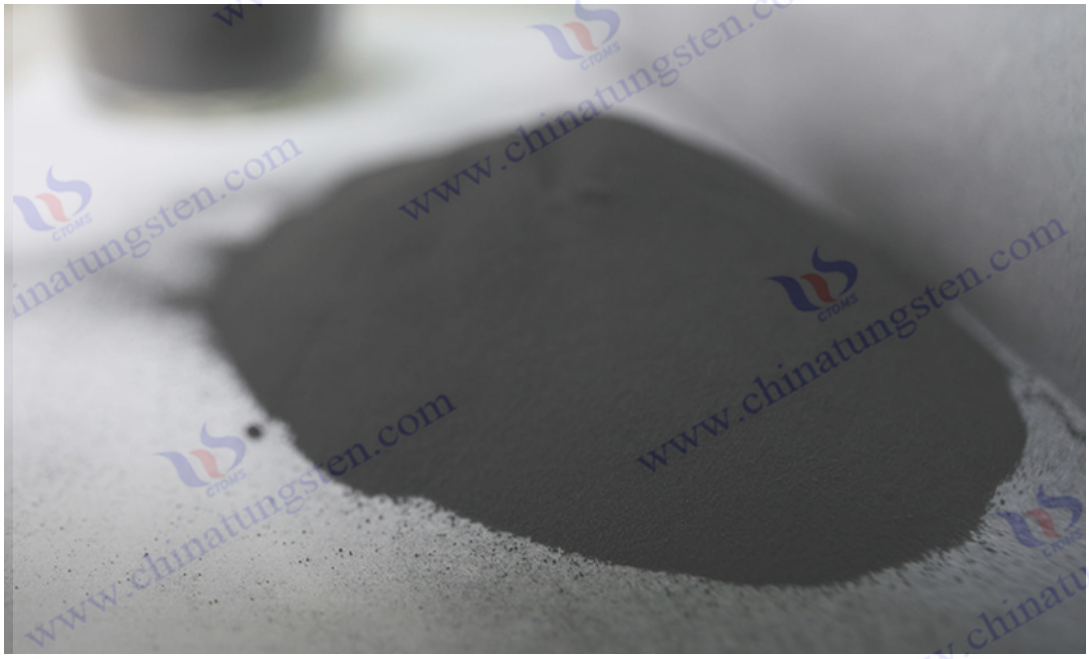
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

流体材料，具有以下优势：

（1）其三维结构能够提供更大的表面积，从而增加与活性物质的接触面积，降低电池内阻，提高电池性能。（2）纳米纤维的形态有助于电子和离子的快速传输，进一步提高电池的充放电效率。（3）碳化钼的高耐腐蚀性和机械强度使得这种集流体能够在恶劣的电池环境中稳定工作，延长电池的使用寿命。

最重要的是，采用这种新型材料制备集流体与传统制备硫电极的浆料涂膜法相比，避免了非活性组分如黏合剂、导电剂、铝集电体产生的“死体积”问题。这不仅提高了锂硫电池的体积、质量、能量密度，还有助于解决锂硫电池量产的瓶颈问题。

综上所述，碳化钼三维结构纳米纤维作为一种新型锂硫电池集流体材料，具有广阔的应用前景。随着相关技术的不断进步和优化，相信它将在未来为锂硫电池的性能提升和商业化应用做出重要贡献。同时，也期待更多研究者能够深入探索新型集流体材料，推动电池技术的持续发展和创新。



碳化钼

17.1.3 锂硫电池用碳化钼的挑战

锂硫电池是一种具有极高理论能量密度的电池体系，而碳化钼作为一种新型集流体材料，在锂硫电池中展现出了良好的应用前景。然而，尽管 MoC 在锂硫电池中具有诸多优势，但也存在一些不足之处，这些不足限制了其在实际应用中的广泛推广。

（1）锂硫电池用碳化钼存在的不足

导电性能有待提升：尽管碳化钼本身具有一定的导电性，但与传统的集流体材料相比，其导电性能仍有待进一步提升。在锂硫电池中，集流体的导电性能直接影响到电池的充放电

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

效率，因此提高 MoC 的导电性能对于提升锂硫电池的性能至关重要。

稳定性问题：锂硫电池在充放电过程中会产生多硫化物，这些多硫化物可能会与碳化钼发生反应，导致集流体的稳定性下降。此外，长期循环使用可能导致 MoC 的结构发生变化，进一步影响其稳定性。

制备成本较高：目前，碳化钼的制备工艺相对复杂，需要较高的温度和压力条件，这导致了其制备成本较高。高昂的成本使得 MoC 在锂硫电池中的大规模应用受到一定限制。

与电解液的兼容性问题：锂硫电池中使用的电解液可能对碳化钼产生腐蚀作用，从而影响其使用寿命和性能。因此，在选择电解液时需要考虑到与 MoC 的兼容性。



锂硫电池

（2）解决方案

提高碳化钼的导电性能：通过掺杂其他元素或化合物，改善碳化钼的电子结构，提高其导电性能。优化 MoC 的制备工艺，控制其微观结构和晶粒尺寸，以获得更高的导电性能。

增强碳化钼的稳定性：在碳化钼表面包覆一层保护层，防止其与多硫化物发生反应。通过掺杂或合金化等方法，改善 MoC 的化学稳定性，提高其抗腐蚀能力。

降低制备成本：研究新的制备方法和工艺，降低碳化钼的制备温度和压力条件，减少能源消耗。开发规模化生产技术，提高 MoC 的产量，降低单位成本。

优化电解液的选择：选择与碳化钼兼容性好的电解液，减少腐蚀作用。研究新型电解液添加剂，改善电解液的性能，提高其与 MoC 的兼容性。

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

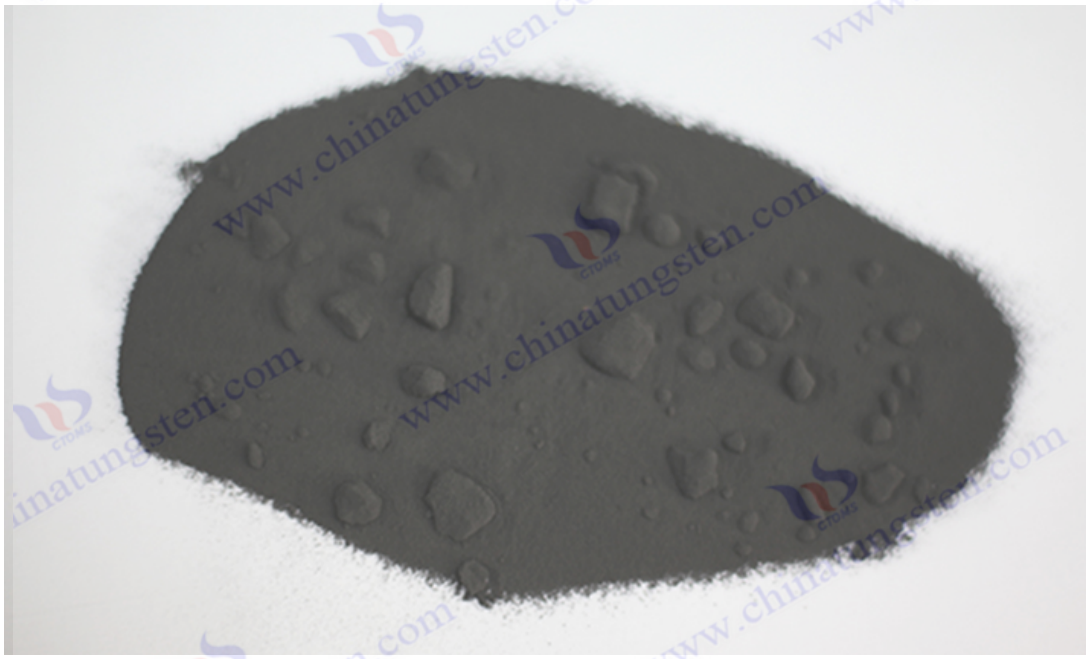
www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

此外，为了充分发挥碳化钼在锂硫电池中的优势，还可以从以下几个方面进行改进：

优化电池结构：通过改进电池的正负极结构、隔膜材料和电解液配方等，提高锂硫电池的整体性能。

探索新型复合材料：将碳化钼与其他材料（如碳纳米管、石墨烯等）进行复合，形成具有优异性能的复合材料，进一步提升锂硫电池的性能。

加强基础研究：深入研究碳化钼在锂硫电池中的反应机理和性能影响因素，为优化其性能提供理论支持。



碳化钼

17.2 氮化钼在锂硫电池中的应用

氮化钼是一种深灰色化学物质，是由钼原子和氮原子组成的化合物，化学式为 MoN。由于钼原子的半径相对较大，氮原子通常填充于钼原子之间的间隙中。根据氮原子和钼原子的比例不同，氮化钼有多种形式，其中 Mo_2N 和 MoN 是较为常见的两种。

氮化钼具有高的化学稳定性、导电性、导热性以及优良的催化性能。此外，它还具有良好的充放电和电容特征。结构上，氮化钼与碳化钼相似，表现出类似于铂族金属的电子结构。

氮化钼的晶体结构是复杂的，并受到制备方法和条件的影响。一般而言，氮化钼的晶体结构紧密，原子排列有序，这为其优异的物理和化学性质提供了基础。

氮化钼的制备方法多种多样，其中一种常见的方法是在干燥氨气流中，将钼粉加热至700℃，经过长时间的氮化反应制得。另一种制备方法是利用氨水作为溶剂，将钼酸铵与六亚甲基四胺按一定比例混合，经过干燥和焙烧等步骤制得。这种制备方法所获得的氮化

钼纯度高，制备工艺简单，有效降低了产品中的氧含量。

氮化钼的用途

锂硫电池：氮化钼的强化学键合和色散相互作用，能够阻挡多硫化锂的扩散，从而锂硫电池抑制穿梭效应。此外，氮化钼的刘易斯酸性表面能够通过共价-活化机制降低硫化锂中锂-硫键的结合，促进硫化锂的分解，这进一步提升了锂硫电池的电化学性能。采用氮化钼中间层的锂硫电池，在单次充电的续航时间和循环稳定性方面都有显着提升。



锂硫电池

催化剂：氮化钼作为一种有效的非均相催化剂，广泛应用于合成氨、加氢脱氮、加氢脱硫及某些烃类的异构化等反应中。其特殊的催化性能使得氮化钼在这些反应中能够发挥出色的作用，提高反应效率和产物纯度。

电磁波吸收材料：氮化钼在电磁波吸收领域具有广泛的应用。由于其优异的吸波性能，氮化钼被广泛应用于雷达隐身、电磁波屏蔽和微波吸收等方面。通过调控氮化钼的化学组成和微观结构，可以实现对其吸波性能的调节和优化，从而提高战斗机等军用装备的隐身性能，防止电磁波对电子设备的干扰，以及提高微波器件的性能。

切割刀具与防腐器件：氮化钼具有特殊的机械性能和电学、磁学性质，因此在切割刀具、防腐器件等领域有着广泛的应用前景。其高硬度和良好的耐腐蚀性使得氮化钼成为制备高性能刀具和防腐器件的理想材料。

超导材料：氮化钼在高温超导材料领域也具有一定的应用潜力。其独特的电子结构和优异的物理性质使得氮化钼在高温超导领域具有潜在的研究价值和应用前景。

17.2.1 锂硫电池正极材料用二氮化三钼

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

二氮化三钼（Mo_3N_2）是由钼原子和氮原子按照 3:2 的比例组成的化合物，具有优异的导电性和化学稳定性。其晶体结构紧密，氮原子填充在钼原子之间的间隙中，形成稳定的化学键合。这种结构赋予了二氮化三钼高硬度、高熔点以及优良的机械性能。Mo_3N_2在锂硫电池正极材料领域展现出巨大的应用潜力。

二氮化三钼的制备方法多种多样，其中常用的方法包括氨解法、化学气相沉积法、固相反应法等。这些方法的基本原理都是通过一定的化学反应条件，使钼源与氮源发生反应，生成二氮化三钼。具体的制备过程可能因方法的不同而有所差异，但都需要精确控制反应条件，以获得高质量的 Mo_3N_2材料。

在制备二氮化三钼的过程中，通常涉及高温氮化反应。具体的化学方程式如下：$3Mo+2N_2 \rightarrow Mo_3N_2$。该反应在高温下进行，通常需要一定的时间和温度条件来实现钼的完全氮化。反应温度通常在 1000℃以上，反应时间根据具体条件而定。

锂硫电池作为一种具有高能量密度、低成本和环保优势的新型电池体系，其性能的提升一直是研究的重点。二氮化三钼作为锂硫电池正极材料的应用，主要得益于其独特的物理和化学性质。



锂硫电池

二氮化三钼具有优异的导电性，能够有效提高硫正极的电子传输能力，降低电池的内阻，从而提高电池的放电性能和循环稳定性。Mo_3N_2对多硫化物具有较强的吸附作用，能够有效抑制多硫化物的溶解和穿梭效应，减少活性物质的损失，提高电池的容量保持率。Mo_3N_2的多孔结构能够为硫提供足够的储存空间，并限制硫在充放电过程中的体积膨胀，从而保持电极结构的稳定性。

在锂硫电池的应用中，二氮化三钼与硫之间可能发生复杂的相互作用。当硫与 Mo_3N_2接触

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

时，硫原子可能被吸附在 Mo_3N_2的表面，形成稳定的化学键合。这种相互作用有助于抑制硫在充放电过程中的溶解和穿梭效应，提高电池的循环稳定性。

肇庆市华师大光电产业研究院提供一种用于锂硫电池正极材料的单晶介孔 Mo_3N_2 的制备方法，首先通过水热法制备单晶 MoO_3 纳米线，再以单晶 MoO_3 纳米线为起始材料，采用拓扑反应法制备了高比表面的单晶介孔 Mo_3N_2 纳米结构。通过该方法制备得到的单晶介孔 Mo_3N_2 用于锂硫电池的正极材料，克服了现有技术中锂硫电池正极材料中硫的有效负载量低，锂硫电池的体积膨胀效应显着以及电池的电化学性能不稳定的缺陷，同时很好的吸附了多硫化物，抑制了多硫化物的穿梭效应。



二氮化三钼

17.2.2 锂硫电池电极材料用氮化钼复合材料

锂硫电池作为一种具有极高理论能量密度的电池系统，在电动汽车、储能站等领域展现出了巨大的应用潜力。然而，硫正极的导电性差、充放电过程中的体积膨胀以及多硫化物的“穿梭效应”等问题一直是制约其商业化的瓶颈。为了克服这些挑战，研究者们不断探索新的电极材料。其中，氮化钼复合材料因其独特的物理化学性质，成为了锂硫电池电极材料研究的热点之一。

氮化钼是一种具有优异导电性和催化活性的材料，其独特的电子结构使得它在电化学反应中能够发挥重要作用。当氮化钼与二硫化钼结合形成异质结构复合材料时，两者之间的协同作用能够进一步提升电极材料的性能。

二硫化钼/氮化钼异质结构复合材料的生产方法：首先采用水热合成法，以商业化碳纳米管为主体，使 MoS_2 生长在碳纳米管上。碳纳米管作为一种优良的导电材料，不仅能够提高电极的导电性，还能为 MoS_2 提供稳定的支撑结构，防止其在充放电过程中的体积膨胀导致结构破坏。接下来，使用化学气相沉积法将部分二硫化钼氮化为氮化钼。化学气相沉

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

积法是一种常用的制备氮化物的方法，其基本原理是在高温下，通过气态前驱体与基底材料发生化学反应，生成所需的氮化物。在这个过程中，MoS_2 与氮气反应，部分硫原子被氮原子取代，从而形成了二硫化钼/氮化钼异质结构。

这种制备方法工艺简单、成本低、可重复性好，适用于商业化锂硫电池电极材料的应用。通过精确控制反应条件和参数，可以实现对复合材料组成和结构的精细调控，从而优化其电化学性能。

实验数据显示，制备的二硫化钼/氮化钼异质结复合材料在 0.2C 电流下（1C=1672mA·g）的可逆放电容量为 1100mAh·g。这一数值远高于传统硫正极的放电容量，表明该复合材料具有优异的电化学性能。此外，经过 100 次循环后，容量保持率仍高达 93.9%，显示出良好的循环稳定性。



氮化钼

这种优异的电化学性能主要归功于二硫化钼/氮化钼异质结构的协同作用。一方面，氮化钼的引入提高了电极的导电性，促进了电子和离子的传输；另一方面，氮化钼的催化活性能够加速多硫化物的氧化还原反应，减少多硫化物的穿梭效应，从而提高电池的循环稳定性和能量密度。

此外，碳纳米管作为支撑材料，不仅能够增强电极的结构稳定性，还能通过其独特的导电性能进一步提升电极的整体性能。这种三维结构的复合材料不仅具有优异的电化学性能，还具有良好的机械强度和稳定性，能够满足商业化锂硫电池电极的应用需求。

然而，尽管本发明已经取得了显著的成果，但仍需进一步深入研究。例如，可以探索不同比例的二硫化钼和氮化钼对复合材料性能的影响；优化制备工艺，提高复合材料的产量和纯度；以及研究该复合材料在其他类型电池中的应用可能性等。

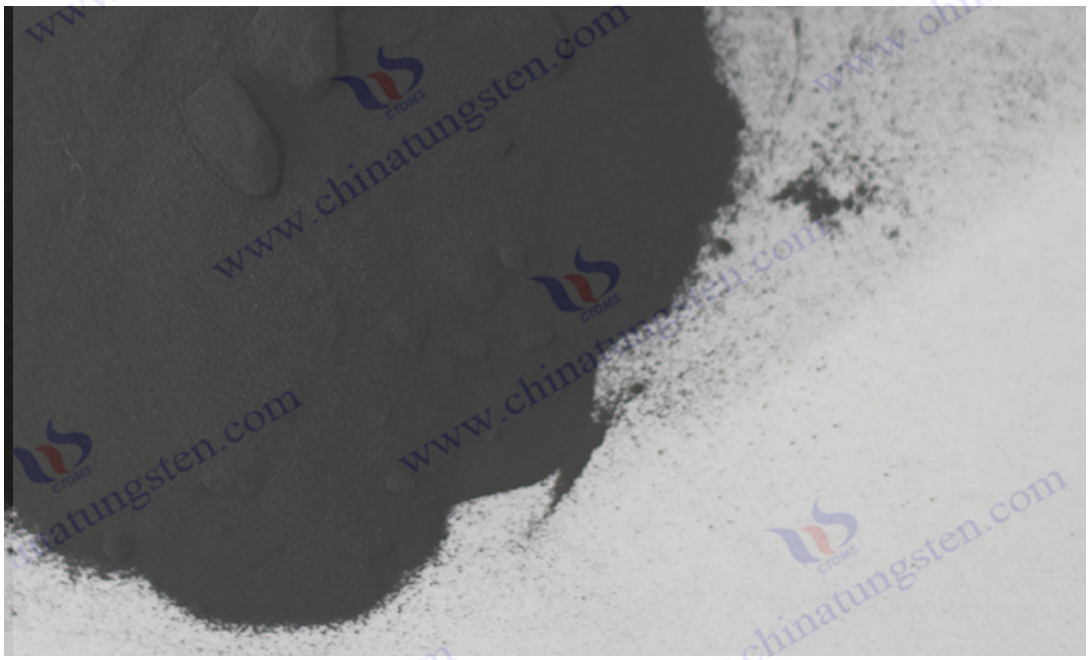
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

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

综上所述，本发明通过水热合成法和化学气相沉积法成功制备了具有优异电化学性能的二硫化钼/氮化钼异质结构复合材料。该复合材料在锂硫电池电极中展现出高放电容量、良好的循环稳定性和优异的电化学性能，有望为锂硫电池的商业化应用提供新的解决方案。

17.2.3 锂硫电池隔膜用氮化钼量子点

氮化钼量子点（Mo_2N QDs）作为一种新兴材料，近年来在能源存储领域特别是锂硫电池隔膜材料中引起了广泛关注。其独特的物理化学性质使其在提高锂硫电池性能方面展现出巨大的潜力。



氮化钼

氮化钼量子点是一种纳米尺度的材料，具有极高的比表面积和量子限域效应。由于其尺寸小至纳米级别，氮化钼量子点表现出独特的电子、光学和催化性质。此外，氮化钼量子点还具有优异的化学稳定性和热稳定性，这使得它在高温、高湿等恶劣环境下仍能保持良好的性能。

氮化钼量子点的合成方法多种多样，主要包括化学气相沉积、溶液法、模板法等。其中，溶液法因其操作简便、成本低廉而受到广泛关注。在溶液法中，研究者通常将钼源和氮源溶解在适当的溶剂中，通过控制反应温度、时间和 pH 值等条件，使钼原子与氮原子发生化学反应，形成氮化钼量子点。

锂硫电池作为一种具有高能量密度和低成本优势的电化学储能系统，在电动汽车、智能电网等领域具有广阔的应用前景。然而，硫正极的导电性差、充放电过程中的体积膨胀以及多硫化物的“穿梭效应”等问题限制了锂硫电池的商业化应用。氮化钼量子点作为一种新型隔膜材料，为解决这些问题提供了有效途径。

氮化钼量子点在锂硫电池应用的优势

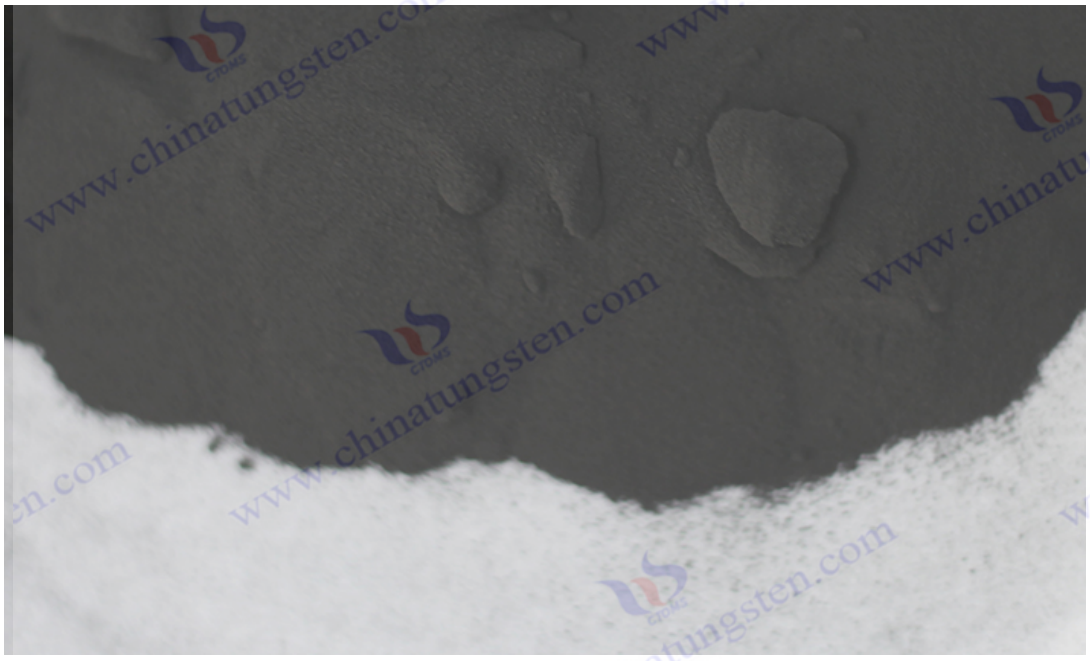
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

氮化钼量子点具有优异的导电性，将其添加到硫正极中可以显著提高硫正极的导电性能。这有助于降低电池内阻，提高电池的放电性能和倍率性能。



电池

多硫化物的穿梭效应是锂硫电池性能衰减的主要原因之一。氮化钼量子点具有丰富的活性吸附位点，能够有效吸附并固定多硫化物，防止其穿过隔膜进入负极区域。这有助于减少活性物质的损失，提高电池的循环稳定性和能量密度。



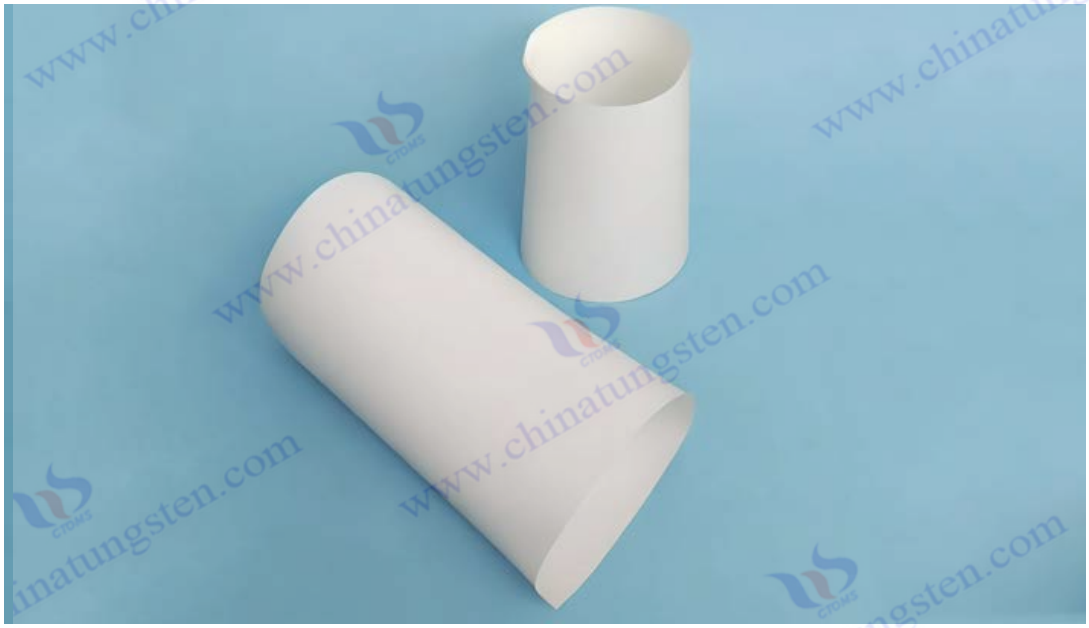
氮化钼

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

氮化钼量子点还具有良好的催化活性，能够催化多硫化物的转化反应。通过加速多硫化物的氧化还原反应，氮化钼量子点有助于减少多硫化物的积累，进一步提高电池的性能。

氮化钼量子点改性隔膜的制备

近期，电子科技大学和西藏大学的研究者共同提出了一种简易构建氮化钼量子点修饰 N 掺杂石墨烯纳米片作为双功能界面层（Mo_2N@NG，用于改性聚丙烯（PP）隔膜的方法。这种改性隔膜在锂硫电池中展现出了优异的性能。



隔膜

研究者首先通过溶液法合成氮化钼量子点，然后将其与 N 掺杂石墨烯纳米片进行复合，形成 Mo_2N@NG/PP 双功能界面层。随后，将 Mo_2N@NG/PP 界面层涂覆在 PP 隔膜上，制得 Mo2N@NG/PP 改性隔膜。



隔膜

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

实验结果表明，Mo_2N@NG/PP 改性隔膜在锂硫电池中表现出了显著提高的倍率性能、循环稳定性和能量密度。这主要归功于氮化钼量子点对多硫化物的有效吸附和催化转化作用，以及 N 掺杂石墨烯纳米片对锂离子传导性能的改善。

此外，Mo_2N@NG/PP 改性隔膜还具有良好的机械强度和化学稳定性，能够适应锂硫电池在充放电过程中的体积变化和恶劣环境。

总的来说，氮化钼量子点作为一种新型锂硫电池隔膜材料，具有独特的物理化学性质和优异的性能表现。通过将其应用于锂硫电池中，可以有效解决硫正极导电性差、多硫化物穿梭效应等问题，提高电池的整体性能。未来，随着对氮化钼量子点合成方法和应用机理的深入研究，相信其在锂硫电池及其他电化学储能领域的应用将会更加广泛和深入。



隔膜

17.2.4 锂硫电池中间层用氮化钼纳米片

锂硫电池，是以硫元素作为正极，金属锂作为负极的一种锂电池。其理论比能量高达2600Wh/kg，远超目前主流的三元电池，因此被视为新能源汽车领域的一大潜力股。然而，硫及其还原产物多硫化合物的导电性不佳，导致活性物质利用率低下，倍率性能受损。更为严重的是，循环过程中产生的可溶性多硫化物会引发“穿梭效应”，这不仅降低了硫活性物质的利用率，还造成了锂硫电池不可逆容量的损失。因此，如何有效抑制多硫化物的穿梭效应，成为了提高锂硫电池综合性能的关键所在。

为了解决这一难题，张乃庆课题组经过深入研究，成功研制出了一种石墨烯负载氮化钼纳米片结构的中间层。这一创新性设计在一定程度上能够显著缓解锂硫电池所面临的问题。

具体来看，氮化钼与多硫化锂之间存在着强烈的化学键合和色散相互作用。这种相互作用

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

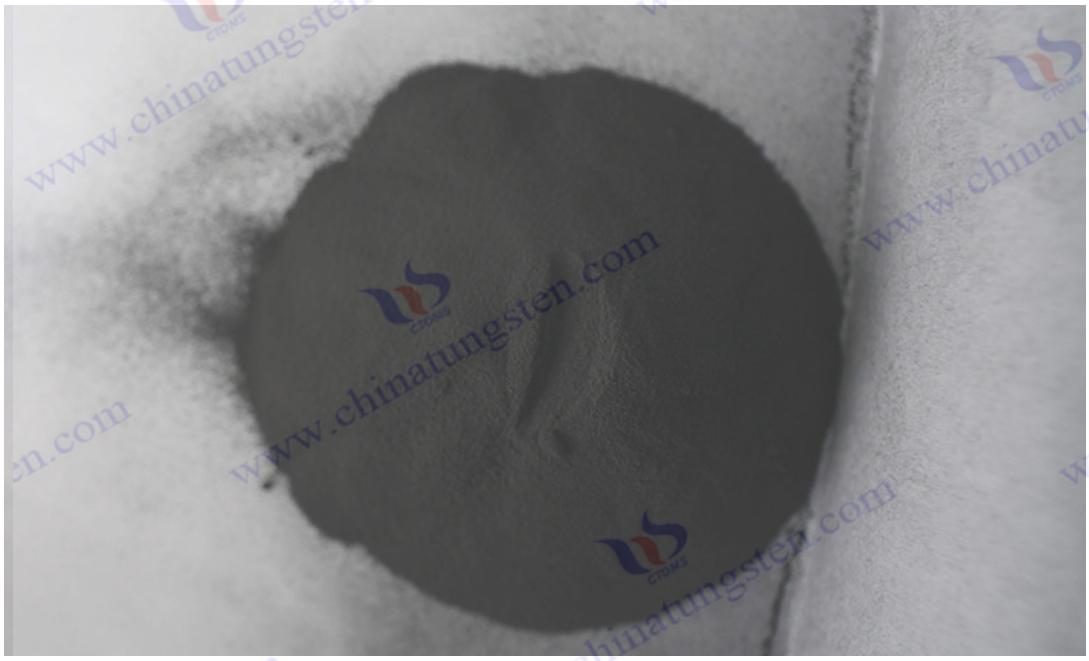
www.chinatungsten.com
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

能够有效阻止多硫化锂在电池内部的扩散，从而减少了“穿梭效应”的发生。此外，氮化钼的路易斯酸性表面能够通过共价-活化机制降低硫化锂中锂-硫键的结合能，进而促进硫化锂的分解。这一特性不仅提高了活性物质的利用率，还有助于提升电池的倍率性能。



锂硫电池

实验数据充分证明了该中间层设计的优越性。在 1C 倍率下，使用石墨烯负载氮化钼纳米片结构中间层的碳-硫复合正极循环 1500 次后，容量衰减率仅为每次循环 0.023%。这意味着电池在经过长时间的使用后，仍能保持良好的性能稳定性。此外，在 7mg/cm² 的高硫负载面密度下，0.1C 倍率下循环后仍有 6.02mAh/cm² 的面积比容量。这一数据进一步证明了该中间层在提升锂硫电池电化学性能方面的显著效果。



氮化钼

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

从反应机理的角度来看，氮化钼纳米片与多硫化锂之间的相互作用是一个复杂的过程。当多硫化锂接触到氮化钼纳米片时，由于强化学键合和色散相互作用的存在，多硫化锂分子被有效地吸附在氮化钼表面。同时，氮化钼的路易斯酸性表面通过共价-活化机制降低了硫化锂中锂-硫键的结合能，使得硫化锂更容易发生分解反应。这一过程中涉及的化学反应方程式可以表示为：

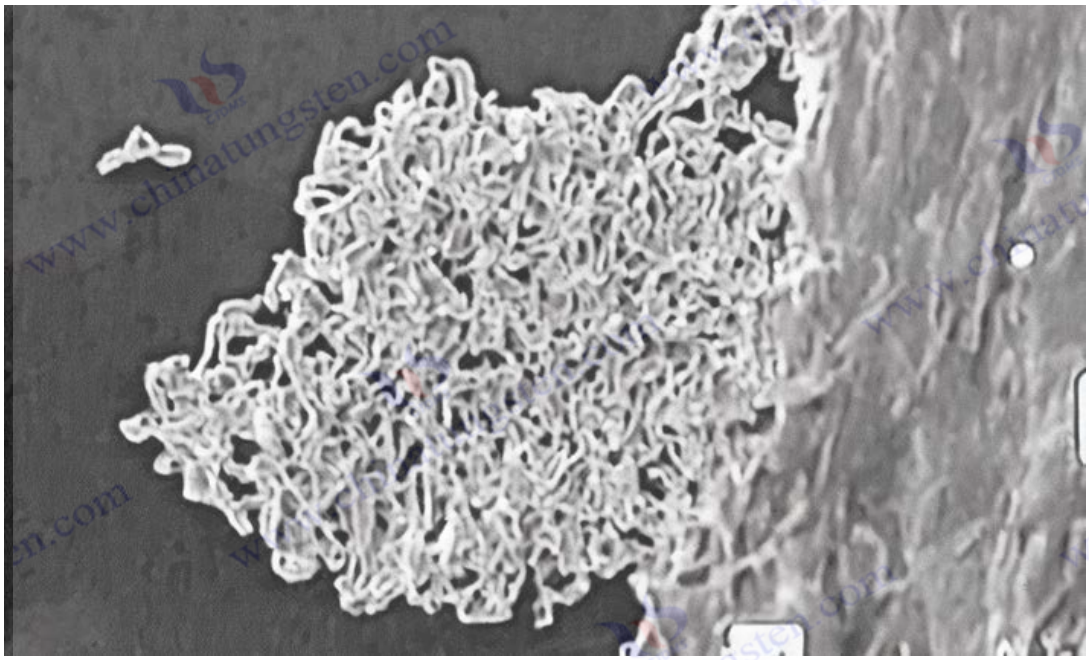
$MoN_x+Li2S_x \rightarrow MoN_x\text{-}Li_2S_x$
$MoN_x\text{-}Li2S_x \rightarrow MoN_x+Li_2S+xS$

其中，MoN_x 代表氮化钼纳米片，$Li2S_x$ 代表多硫化锂分子，$MoN_x\text{-}Li2S_x$ 则表示多硫化锂分子被吸附在氮化钼纳米片表面所形成的复合物。通过这一系列反应，氮化钼纳米片成功地阻挡了多硫化锂的扩散并促进了硫化锂的分解，从而实现了对锂硫电池性能的优化。

总的来说，张乃庆教授研究团队所设计的石墨烯负载氮化钼纳米片结构中间层为锂硫电池的性能提升开辟了新的途径。这一创新性设计不仅能够有效解决锂硫电池面临的“穿梭效应”等问题，还有望推动新能源汽车领域的技术进步和市场发展。随着研究的深入和技术的不断完善，相信未来锂硫电池将在新能源汽车领域发挥更加重要的作用。

17.2.5 锂硫电池用氮化钼的挑战

锂硫电池以硫元素作为正极，金属锂作为负极。硫在地球中储量丰富，价格低廉且环境友好。其理论容量和电池理论比能量分别高达 1675mAh/g 和 2600Wh/kg，远高于商业上广泛应用的钴酸锂电池。然而，锂硫电池的商业化应用仍面临诸多挑战，包括以下几个方面：



显微电镜下的锂枝晶

（1）可溶性多硫化物的穿梭效应：在充放电过程中，硫与锂反应生成的中间产物多硫化

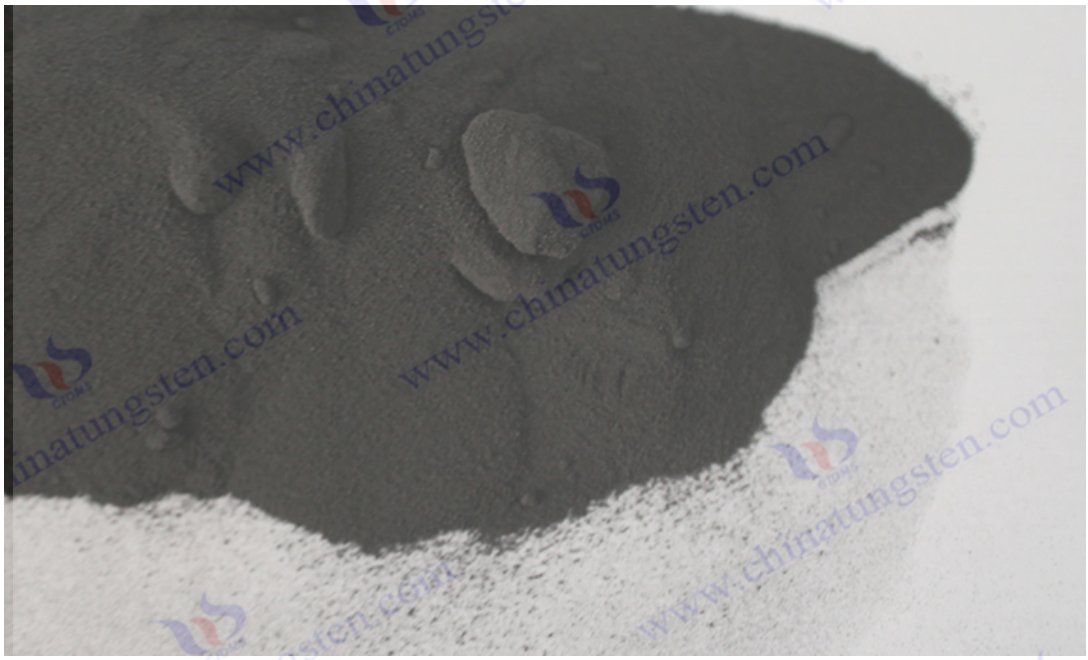
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

物易溶解于电解质中，导致活性物质损失和容量衰减。

（2）单质硫及放电产物的绝缘性：硫及硫化锂等放电产物具有较差的导电性，影响了电池的充放电性能。

（3）锂负极的枝晶生长：锂金属在充放电过程中易发生枝晶生长，可能刺穿隔膜导致电池短路。

氮化钼作为一种深灰色化学物质，具有坚硬而难熔的特性。在锂硫电池中，氮化钼可能作为正极添加剂、负极材料或电解质添加剂等角色出现，以改善电池性能。然而，其应用也面临一系列挑战：



氮化钼

（1）材料制备与表征的挑战：氮化钼的制备过程需要高温和高真空条件，且制备过程中可能产生有毒气体，对环境和操作人员构成潜在威胁。此外，MoN_x 的微观结构和性能表征也面临一定难度，需要借助先进的表征手段进行深入研究。

（2）与硫正极的兼容性挑战：氮化钼作为正极添加剂时，需要解决其与硫正极的兼容性问题。MoN_x 的加入可能会影响硫正极的导电性和结构稳定性，进而影响电池的充放电性能。此外，MoN_x 与硫之间的化学反应也可能导致电池性能下降。

（3）负极的稳定性挑战：若将氮化钼用作锂硫电池的负极材料，其稳定性将是一个重要问题。锂金属在充放电过程中易发生枝晶生长和体积膨胀，可能导致 MoN_x 负极的结构破坏和性能衰减。此外，MoN_x 与锂之间的界面反应也可能影响电池的循环稳定性和安全性。

（4）电解质添加剂的影响与挑战

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

氮化钼作为电解质添加剂时，需要考虑其对电解质性能的影响。MoN_x 可能改变电解质的离子传导性能、稳定性和安全性等方面。同时，MoN_x 与电解质之间的相互作用也可能导致电池性能的不稳定。

针对上述挑战，可以从以下几个方面进行解决：

（1）优化 MoN_x 的制备工艺和条件，降低制备过程中的能耗和环境污染，提高材料的纯度和性能。

（2）深入研究氮化钼与硫正极、负极及电解质的相互作用机制，优化材料配比和结构设计，提高电池的循环稳定性和安全性。

（3）开发新型复合材料和界面工程策略，提高氮化钼在锂硫电池中的应用效果。例如，通过引入碳材料、导电聚合物等构建复合正极或负极材料，提高电极的导电性和结构稳定性；通过界面修饰或涂层技术改善 MoN_x 与电解质之间的界面性能。



锂硫电池

17.3 二硫化钼在锂硫电池中的应用

二硫化钼，化学式为 MoS_2，是一种无机化合物，具有黑色固体粉末的形态，并带有金属光泽。它的熔点高达 2375℃，密度为 4.80g/cm³（在 14℃时测量）。此外，二硫化钼不溶于水、稀酸和浓硫酸，但溶于王水和煮沸的浓硫酸。这种化合物的特性使其在多个领域具有广泛的应用，特别是在能源存储领域，如锂硫电池。

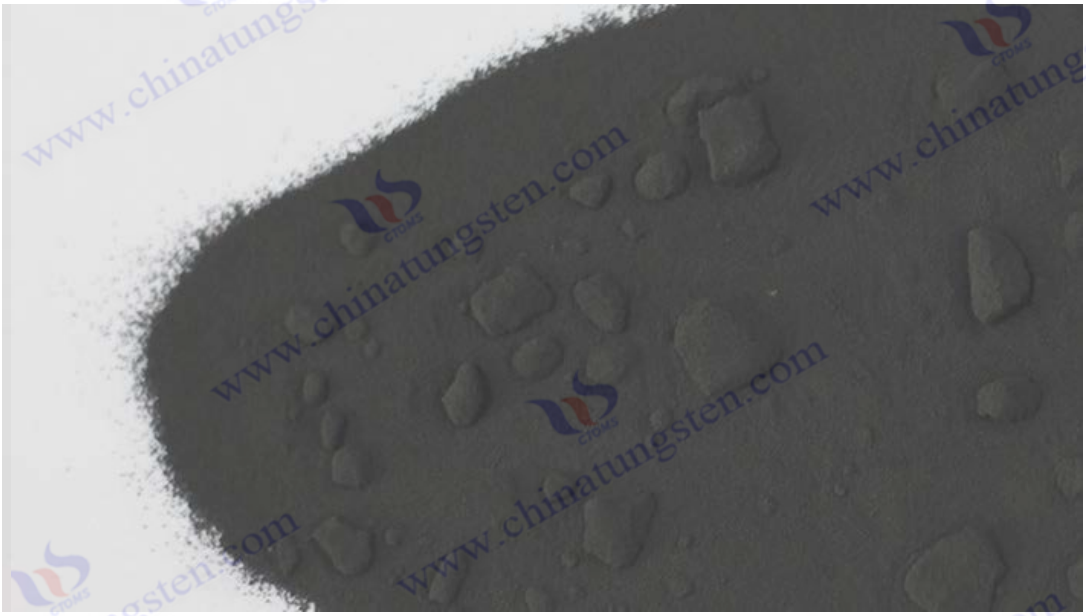
锂硫电池是一种具有极高理论能量密度的电池技术，其正极通常采用硫材料，负极则使用金属锂。然而，锂硫电池在实际应用中面临多个挑战，如多硫化物的穿梭效应、硫正极的导电性差等。二硫化钼的出现为解决这些问题提供了新的可能性。

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

在锂硫电池中，二硫化钼的应用主要体现在以下几个方面：

作为正极涂层材料：通过涂覆二硫化钼在硫正极上，可以提升硫的导电性，从而提高硫的利用率。这种策略可以有效减少充放电过程中硫的损失，进而提升锂硫电池的能量密度和循环稳定性。



二硫化钼

作为负极材料：尽管二硫化钼作为锂离子电池负极材料时存在易分解和与电解液发生副反应的问题，但其在锂硫电池中的应用可能具有不同的表现。一些研究表明，通过合理设计结构和界面工程，MoS_2有可能成为一种有效的锂硫电池负极材料。



锂硫电池

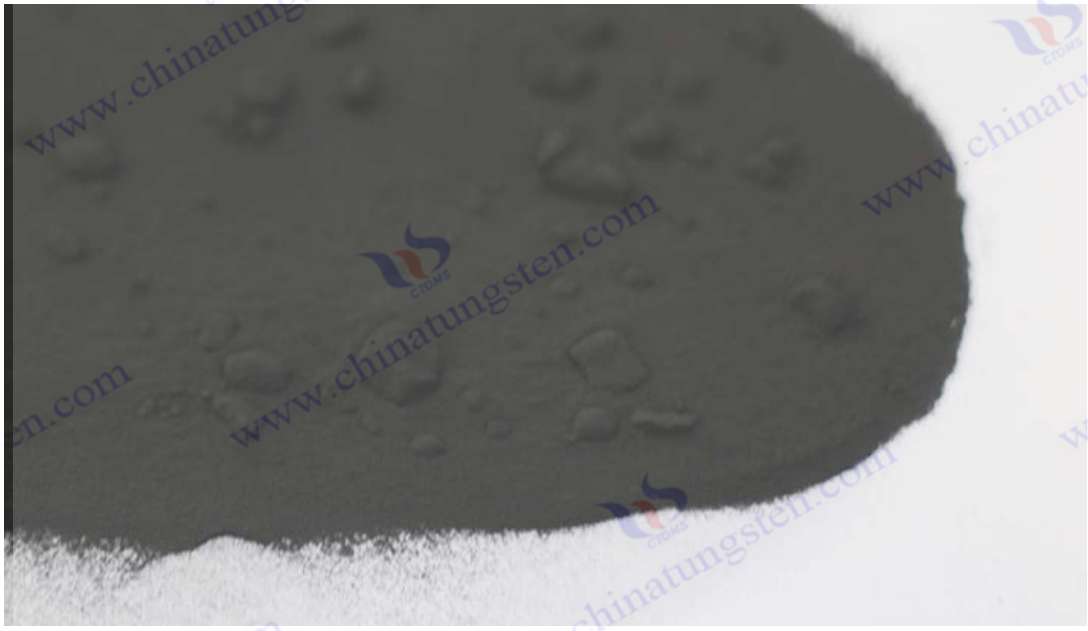
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

作为隔膜修饰材料：二硫化钼与碳材料的复合可以作为隔膜修饰材料，通过吸附和催化电解液中的多硫化物，有效抑制穿梭效应，从而提高电池的循环稳定性和安全性。MoS_2在锂硫电池中的应用还远未达到其潜力上限。研究者们正不断探索和优化其在电池中的应用方式，以进一步提升锂硫电池的性能。



隔膜

具体来说，研究者们正在通过调控二硫化钼的微纳结构，以获得更多的活性边缘位点，这有助于增强对多硫化物的吸附和催化能力。此外，研究者们还在探索将 MoS_2与其他材料（如碳材料、导电聚合物等）进行复合，以协同增强电池的性能。



二硫化钼

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

尽管二硫化钼在锂硫电池中的应用取得了显著的进展，但仍存在一些挑战需要克服。例如，如何进一步提高 MoS_2在电池中的稳定性，以及如何优化其与其他材料的复合方式，以实现更好的性能等。

总的来说，二硫化钼作为一种具有独特物理和化学性质的材料，在锂硫电池中展现出了广阔的应用前景。随着研究的深入和技术的进步，相信未来 MoS_2将在锂硫电池中发挥更加重要的作用，推动锂硫电池技术的商业化进程。

需要注意的是，虽然二硫化钼在锂硫电池中的应用具有潜力，但实际应用中还需要考虑其成本、生产工艺、环境友好性等多方面因素。因此，未来还需要进一步深入研究，以推动MoS_2在锂硫电池中的实际应用。



17.3.1 锂硫电池正极材料用二硫化钼纳米片

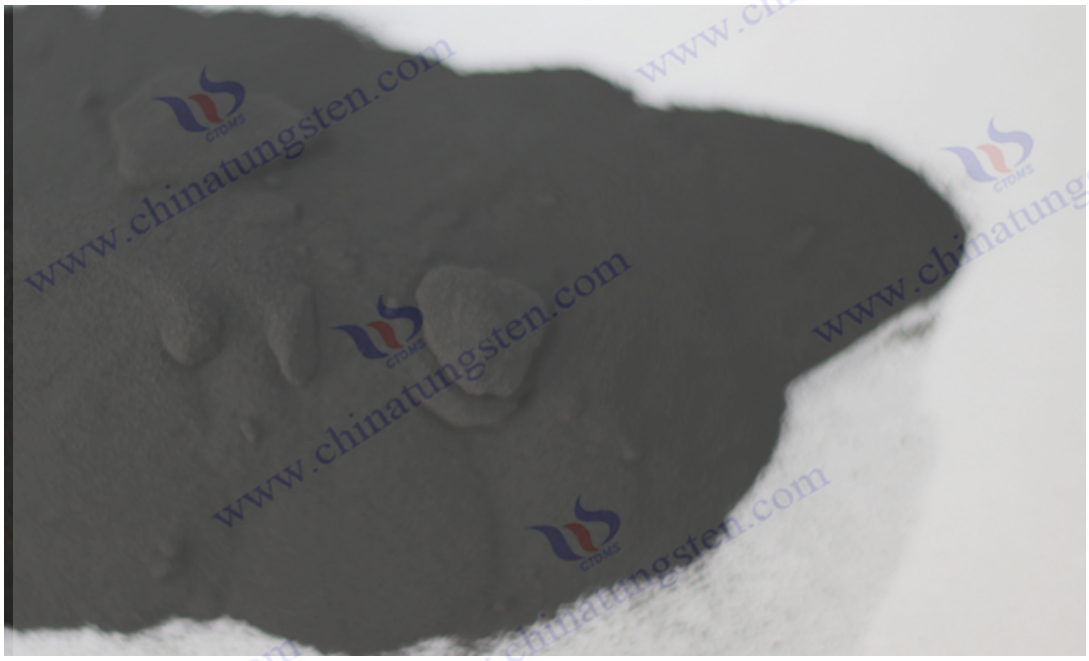
锂硫电池作为一种新兴的高能量密度电池技术，近年来受到了广泛关注。与传统的锂离子电池相比，锂硫电池以转换反应为基础，克服了插入式氧化物阴极和石墨阳极的局限性，从而实现了更高的能量密度。锂硫电池的核心组成部分是硫阴极和锂金属阳极，其中硫的电绝缘性质是一个亟待解决的问题。为了克服这一挑战，研究者们不断探索各种导电材料作为硫的宿主，以提高硫的利用率和电池的整体性能。

近期，剑桥大学的 Chhowalla Manish 和 Yang Jieun 团队报道了一项创新性的研究，他们使用锂化金属 1T 相二硫化钼（Li_xMoS_2）纳米片作为承载硫的无粘结剂导电阴极，成功实现了高性能锂硫电池。这一研究不仅为锂硫电池的实用化提供了新的可能性，也为高性能电池材料的设计提供了新的思路。

二硫化钼（MoS_2）是一种具有层状结构的化合物，其层间通过弱范德华力相互连接。这

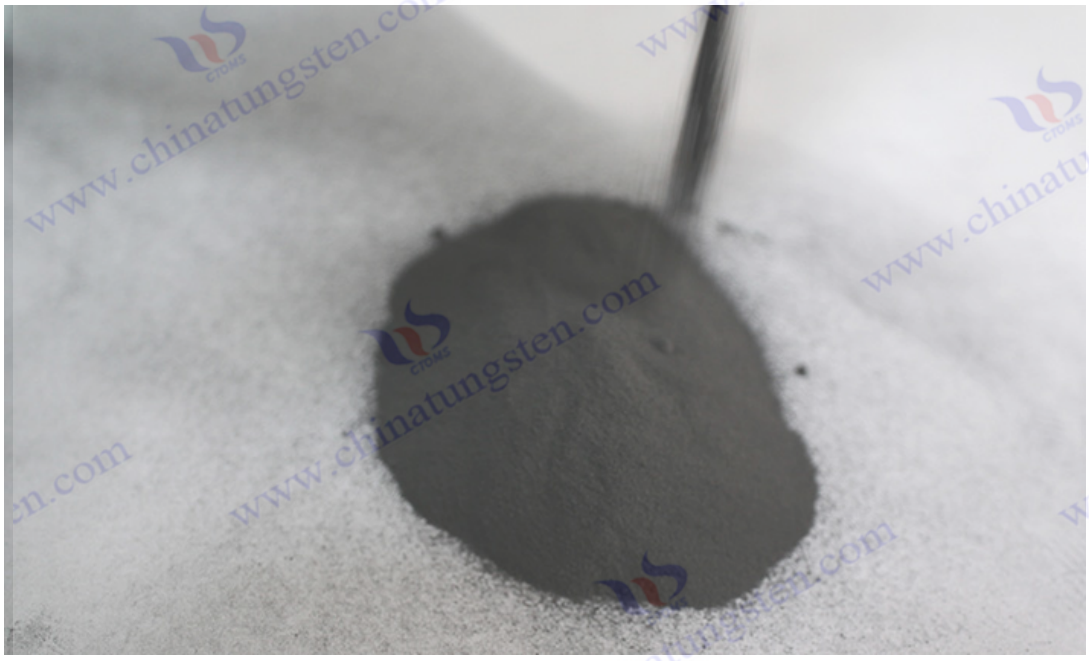
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版
中钨智造® 中钨在线®
电话/TEL: 0086 592 512 9696
邮箱/Email: sales@chinatungsten.com

种结构使得 MoS_2 具有优异的导电性和亲液性。特别是 1T 相 MoS_2，其金属性使得它具有较高的电导率和催化活性。通过化学剥离的方法，研究者们成功制备了锂化金属 1T 相 MoS_2 纳米片，这些纳米片具有单层结构，能够在溶剂中形成稳定的分散体。



二硫化钼

具体制备过程如下：首先，采用丁基锂化学方法对 MoS_2 进行化学剥离，使其从半导电相转化为金属相。随后，将得到的金属相 Li_xMoS_2 在溶剂中超声处理，形成稳定的分散体。最后，通过适当的工艺，将 Li_xMoS_2 纳米片从分散体中剥离出来，得到单层结构的纳米片。



二硫化钼

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

在锂硫电池中，二硫化钼纳米片作为硫的宿主材料，展现出了诸多优势。首先，由于其高导电性，MoS_2 纳米片能够有效地提高硫的利用率，减少硫在电解质中的溶解和流失。其次，MoS_2 纳米片的亲液性使得它能够与电解质形成良好的浸润，从而促进了离子的扩散和传输。此外，MoS_2 纳米片还具有优异的催化活性，能够加速多硫化物的转化反应，提高电池的电化学反应动力学。

为了研究基于 Li_xMoS_2 的阴极在锂硫电池中的电化学性能，研究者们制备 Li_xMoS_2/硫复合材料（硫含量>70wt%），并将其组装到带有锂金属阳极的纽扣电池中进行测试。这一设计使得硫能够均匀地分布在 Li_xMoS_2 纳米片的表面和内部，从而充分利用了 Li_xMoS_2 的高导电性和催化活性。

研究者们对基于 Li_xMoS_2 的锂硫电池进行了的电化学性能测试。实验结果表明，该电池展现出了优异的性能。具体来说，Li_xMoS_2 阴极在 0.1C 的电流密度下，比容量达到了 1428mAh/g，远高于由半导电的 2H MoS_2 制成的阴极。这一容量表明硫的利用率为 85.2%（100%硫利用的理论容量为 1672mAh/g），显示出 Li_xMoS_2 对硫的高效利用。



锂硫电池

此外，Li_xMoS_2 阴极还表现出较低的极化电压间隙和较好的速率能力。在充电/放电过程中，由于电催化活性的提高，阳极/阴极反应更早发生。同时，Li_xMoS_2 阴极在 1C 的电流密度下循环 500 次后的容量保持率高达 90%，远高于对照样品，显示出其优异的循环稳定性。

为了更深入地了解 Li_xMoS_2 在锂硫电池中的作用机制，研究者还对其进行反应动力学分析。结果表明，Li_xMoS_2 纳米片能够改善对多硫化锂的吸附，增强 Li^+ 的传输，从而加速电化学反应动力学。此外，其卓越的多硫化物转化的电催化活性也有助于提高电池的整体性能。

在锂硫电池中，硫与锂的反应是一个复杂的转换过程，涉及到多个中间产物和反应步骤。硫在放电过程中与锂发生反应，首先形成长链的多硫化锂（Li_2S_x，x>2），然后逐渐转化

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

为短链的多硫化锂（Li_2S_2 和 Li_2S）。这些反应是锂硫电池能量释放的主要来源。

而 Li_xMoS_2 纳米片在这个过程中起到了关键作用。它不仅能够作为导电基底提高硫的利用率，还能够通过吸附和催化作用促进多硫化锂的转化。这种在锂硫电池的充放电过程中，硫与锂的反应是核心的电化学反应。具体反应方程式可以表达为：

放电过程：$S_8+16Li^++16e^-\rightarrow 8Li_2S$

这个总反应实际上是由一系列连续的多步反应组成的，其中包括了多硫化锂（Li_2S_x，其中 x 的数值逐渐减小）的形成和转化。

Li_xMoS_2 纳米片的存在对于促进这些反应起到了关键作用。它不仅能够作为硫的载体，提供高导电性，使得硫在充放电过程中能够高效地进行电子交换，同时还能够通过其催化作用，加速多硫化锂的转化，减少穿梭效应，从而提高电池的循环稳定性。



电池着火

17.3.2 锂硫电池负极材料用二硫化钼复合材料

锂硫电池作为一种极具潜力的下一代高比能电池，其高比能量密度、低成本和环境友好性等特点使其备受关注。然而，锂硫电池在充放电过程中面临的多硫化物穿梭问题一直是制约其实际应用的关键难题。多硫化物的溶解和穿梭不仅导致电池容量的快速衰减，还引发严重的自放电和低的库伦效率等问题。因此，如何有效抑制多硫化物的穿梭效应，提高锂硫电池的性能，成为当前研究的热点。

近年来，二硫化钼/碳复合材料作为一种有效的锂硫电池隔膜修饰材料，受到了广泛关注。这种复合材料通过结合二硫化钼的催化活性和碳材料的导电性，能够有效吸附和催化电解液中的游离多硫化物，从而抑制穿梭效应。

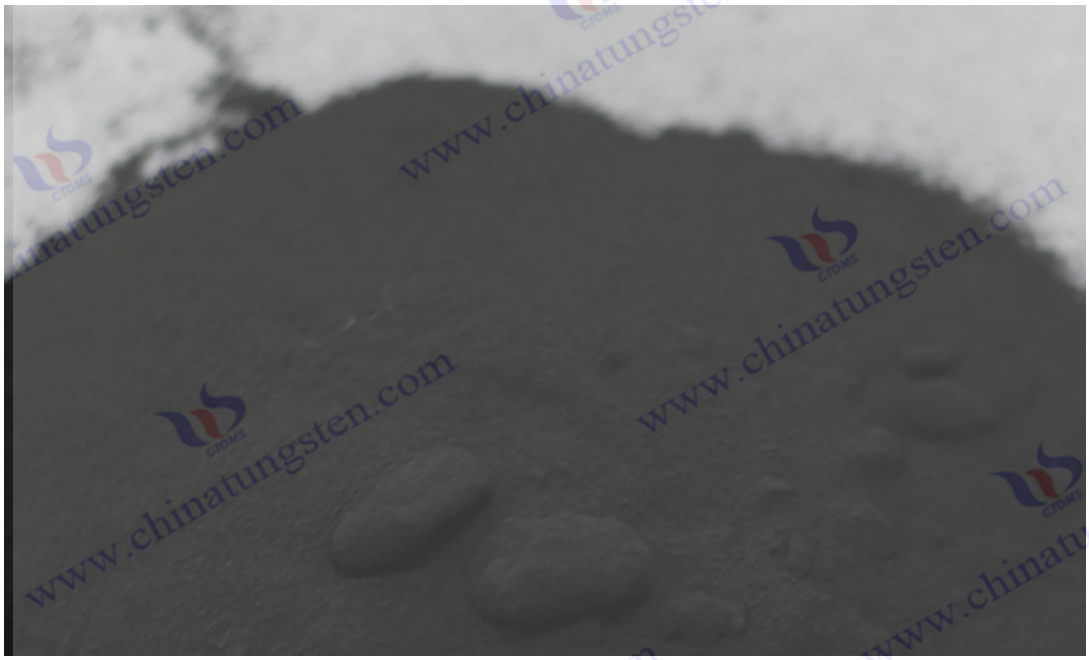
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

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

研究证明了在二硫化钼与氮掺杂碳之间形成 Mo-O-C 键可以有效提高两者之间的电子传输效率。这种共价耦合作用不仅增强了二硫化钼边缘位点对多硫化物液-固双向转换的催化能力，还提高了复合材料的整体性能。基于这一理论发现，研究团队成功制备了纳米花状 MoS_2 与 3D 碳基体（氮掺杂还原氧化石墨烯和碳化三聚氰胺泡沫）通过 Mo-O-C 键共价耦合而成的复合材料(MoS_2@CF-NRGO)。

MoS_2@CF-NRGO 复合材料在锂硫电池中展现出了优异的性能。其高比表面积和优异导电性的 3D 氮掺杂碳基体为电子和离子的传输提供了良好的通道，而纳米花状的 MoS_2 则具有丰富的边缘活性位点，能够有效吸附和催化多硫化物。更重要的是，Mo-O-C 键的共价耦合作用进一步增强了复合材料对多硫化物的催化转化能力，从而有效抑制了穿梭效应。

为了验证 MoS_2@CF-NRGO 复合材料的性能，研究团队将其应用于锂硫电池的隔膜修饰层。实验表明，该复合材料能够有效提高电池的比容量、循环稳定性和库伦效率。通过电化学-原位拉曼技术，研究团队还揭示了 Mo-O-C 键共价耦合的 MoS_2@CF-NRGO 复合材料在放电过程中有效抑制多硫化物穿梭的机理。



锂硫电池

17.3.3 锂硫电池电极材料用二硫化钼的挑战

锂硫电池，以其高理论比电容、环境友好和价格低廉等优势，被视为下一代能源存储系统的有力候选者。然而，要实现锂硫电池的商业化应用，仍需克服诸多技术挑战。其中，二硫化钼（MoS_2）作为潜在的电极材料，在锂硫电池中的应用同样面临着诸多挑战。

首先，二硫化钼的导电性问题是其作为电极材料的一大障碍。尽管 MoS_2 具有独特的结构和化学性质，但其本征电导率偏低，这直接影响了其在电池中的电子传输效率。低导电性会导致电池内阻增大，进而影响电池的充放电性能。为了提高 MoS_2 的导电性，研究者们

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

尝试了各种方法，如与导电碳材料复合、掺杂改性等，但这些方法往往带来成本上升和工艺复杂化的问题。

其次，二硫化钼的结构稳定性也是其作为电极材料需要克服的难题。在电池充放电过程中，MoS_2 的结构容易发生变化，甚至发生分解，这会导致电池性能下降，循环寿命缩短。为了增强 MoS_2 的结构稳定性，研究者们试图通过优化合成方法、调控微观结构等手段来改善其稳定性，但效果并不理想。

此外，二硫化钼与多硫化物的相互作用也是影响其作为电极材料性能的关键因素。在锂硫电池中，多硫化物的溶解和穿梭效应是导致电池容量衰减和自放电的主要原因。MoS_2 虽然具有一定的吸附和催化转化多硫化物的能力，但其效果并不显著，难以完全抑制穿梭效应。因此，如何进一步提高 MoS_2 对多硫化物的吸附和催化转化能力，是其在锂硫电池中应用的关键挑战。



二硫化钼

除了上述挑战外，二硫化钼作为电极材料还面临着制备工艺复杂、成本高等问题。目前，制备高性能的 MoS_2 电极材料通常需要采用复杂的合成方法和精细的调控手段，这不仅增加了制备成本，还限制了其大规模生产和应用的可能性。

针对这些挑战，研究者们正在积极探索新的解决方案。一方面，通过优化合成方法和调控微观结构，可以提高 MoS_2 的导电性和结构稳定性；另一方面，通过与其他材料复合或掺杂改性，可以增强 MoS_2 对多硫化物的吸附和催化转化能力。此外，研究者们还在探索新的制备工艺和降低成本的方法，以期实现 MoS_2 电极材料的大规模生产和应用。

17.4 三硫化钼在锂硫电池中的应用

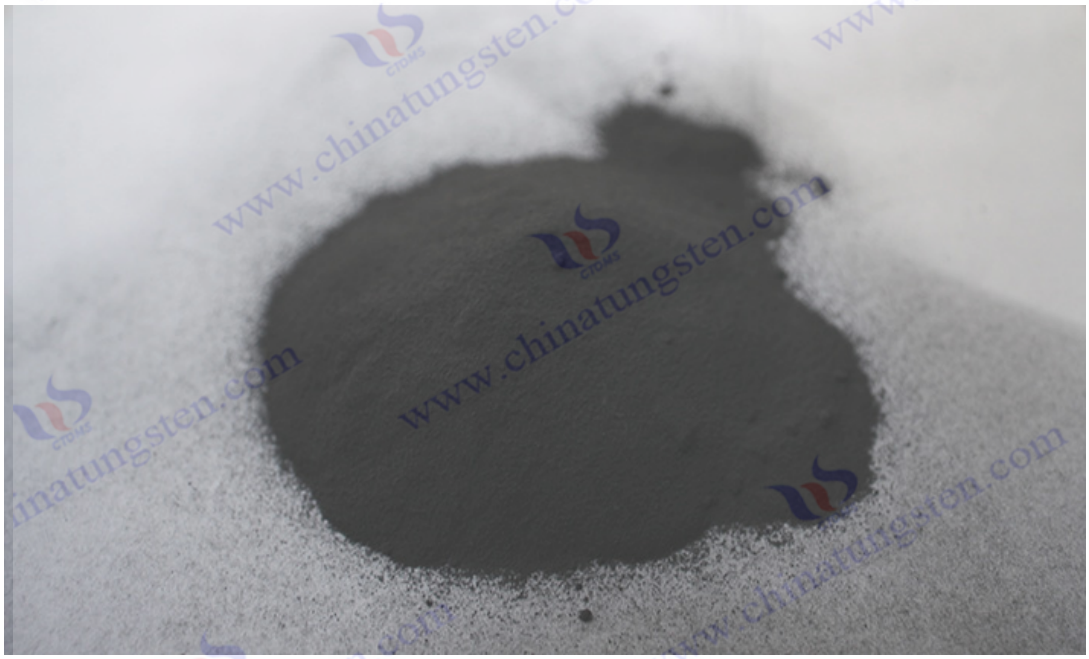
三硫化钼，作为一种无机化合物，近年来在锂硫电池领域受到了广泛关注。其独特的物理

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

化学性质、晶体结构以及制备方法使得它在电池正极材料方面展现出巨大的潜力。

三硫化钼，化学式为 MoS_3，是一种棕黑色片状固体或粉末。它在自然界中并不常见，通常需要通过特定的化学反应来制备。MoS_3 具有不稳定性，不溶于冷水，但能溶于热水和硫化物水溶液，生成硫化钼酸盐。

三硫化钼的物理化学性质十分独特。首先，它具有较高的高温稳定性，即使在高温环境下也能保持其结构和性质的稳定。这一特性使得 MoS_3 在高温润滑剂和涂料领域有着广泛的应用。其次，MoS_3 是一种有效的催化剂，能够催化多种化学反应，如氢解反应和氧化反应等。此外，MoS_3 还具有半导体性质，能够在电子器件中用作电极材料。



三硫化钼

三硫化钼的晶体结构是其性能和应用的基础。它呈现出一种层状结构，这种结构使得 MoS_3 在物理和化学性质上表现出独特的特点。层状结构有利于离子和电子在材料中的传输，从而提高电池的性能。同时，这种结构也使得 MoS_3 在催化反应中能够更有效地与反应物接触，提高催化效率。

三硫化钼的制备方法多种多样，其中一种常见的方法是通过硫化钠与钼酸钠水溶液的反应来制备。首先，将硫化钠加入钼酸钠水溶液中，得到硫化钼酸钠。然后，通过冷却、加乙醇、加硫酸等步骤，形成沉淀并进行过滤、洗涤。最后，经过干燥处理，即可得到 MoS_3。这种制备方法简单易行，适合大规模生产。

除了上述方法外，还有其他一些制备三硫化钼的方法，如向硫代钼酸铵溶液中加入盐酸或将 H2S 通入微酸性的钼酸盐溶液中，析出沉淀即得 MoS_3。这些方法各具特点，可以根据实际需求和条件选择合适的制备方法。

三硫化钼的用途广泛，涉及多个领域。在锂硫电池领域，MoS_3 作为一种非晶相正极材料，

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

能够有效提高电池的循环稳定性和能量密度。其独特的层状结构和半导体性质使得它能够更有效地存储和释放锂离子，从而提高电池的性能。此外，MoS_3 还可以作为耐磨材料、润滑剂和催化剂等，在机械、化工等领域发挥重要作用。

17.4.1 锂硫电池正极材料用非晶相三硫化钼

随着电动汽车、可穿戴设备以及移动通讯技术的飞速发展，对高性能、高能量密度的电池需求日益增长。锂硫电池以其高能量密度、低成本和环保性等优点，被认为是下一代高能量密度电池的有力候选者。然而，锂硫电池在实际应用中仍面临诸多挑战，其中正极材料的穿梭效应导致的循环性能降低是亟待解决的问题。



电动汽车

非晶相三硫化钼的制备过程主要包括四硫代钼酸铵的酸性处理、多孔碳球的吸附、煅烧和退火等步骤。首先，将四硫代钼酸铵加入去离子水溶液中，调节 pH 至酸性环境。接着，利用多孔碳球对硫代钼酸根离子进行吸附，并蒸干溶剂。随后，将吸附后的碳球置于氢气/氩气混合气氛中进行煅烧。最后，经过退火处理，得到碳包覆的非晶相 MoS_3 正极材料。具体的反应方程式如下：

四硫代钼酸铵的酸性处理：$(NH4)_2MoS_4+H^+ \rightarrow H_2MoS_4+2NH_4^+$

碳球的吸附：$H_2MoS_4+C \rightarrow C\text{-}MoS_4+H_2$

煅烧过程中的化学反应：$C\text{-}MoS_4 \rightarrow MoS_3+C$

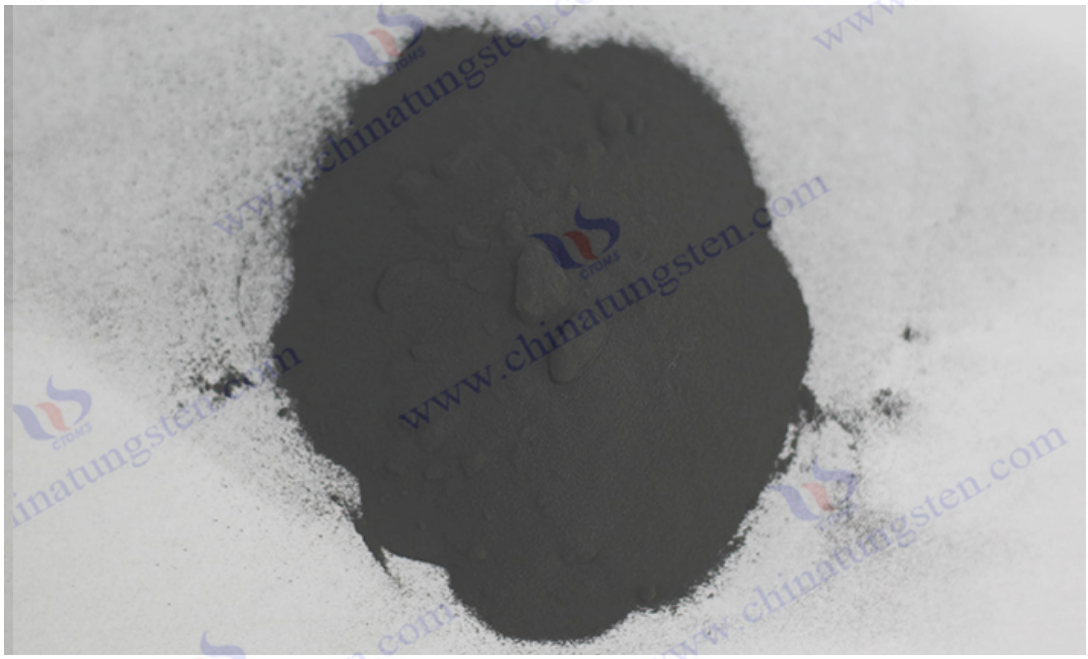
非晶相三硫化钼具有独特的物理化学性质。其非晶态结构使得材料中的 S-S 键易于断裂，形成短链低硫化物。在与锂离子复合过程中，这些短链低硫化物不易溶解于电解液中，从而有效降低了硫化物的穿梭效应。此外，碳包覆的结构不仅提高了材料的导电性，还有助

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

于抑制硫化物的溶解和扩散。

将非晶相三硫化钼作为锂硫电池的正极材料，可以显著提高电池的循环性能和能量密度。在充放电过程中，非晶相 MoS_3 与锂离子发生复合反应，生成硫化锂等产物。由于非晶相 MoS_3 的 S-S 键易于断裂，且短链低硫化物不易溶解于电解液中，因此硫化物的穿梭效应得到有效抑制。这不仅提高了电池的循环稳定性，还降低了电池的内阻和极化现象。

通过对比实验发现，采用非晶相 MoS_3 正极材料的锂硫电池在循环性能、能量密度和库仑效率等方面均优于传统正极材料。此外，非晶相 MoS_3 还具有良好的热稳定性和化学稳定性，使得电池在高温和恶劣环境下仍能保持良好的性能。



三硫化钼

17.4.2 锂硫电池负极材料用三硫化钼纳米片

近年来，三硫化钼作为一种新型负极材料，因其独特的物理化学性质和电化学性能而受到广泛关注。特别是纳米尺度的 MoS_3，由于其高比表面积、优异的电子传导性和良好的化学稳定性，展现出在锂硫电池负极材料中的巨大潜力。

三硫化钼纳米片具有独特的物理化学性质。首先，其纳米尺度的结构使得材料具有极高的比表面积，有利于增加电极与电解液的接触面积，提高电池的充放电性能。其次，MoS_3 纳米片具有良好的电子传导性，有助于降低电池的内阻，提高能量转换效率。此外，MoS_3 纳米片还表现出优异的化学稳定性，能够在充放电过程中保持结构的稳定性，延长电池的使用寿命。

三硫化钼纳米片的制备通常采用化学合成法。具体步骤包括：将硫化钠加入钼酸钠水溶液中，得到硫化钼酸钠；通过调节反应条件，如温度、pH 值等，使硫化钼酸钠发生水解反应，生成 MoS_3 沉淀；最后，通过过滤、洗涤、干燥等步骤，得到 MoS_3 纳米片。在制备

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

过程中，可以通过控制反应条件、添加表面活性剂或模板剂等方法，实现对 MoS_3 纳米片形貌、尺寸和结构的调控。此外，还可以采用物理方法如球磨、超声等辅助手段，进一步提高纳米片的分散性和均匀性。

将三硫化钼纳米片作为锂硫电池的负极材料，可以显著提高电池的性能。首先，MoS_3 纳米片的高比表面积和优异的电子传导性有助于提高电池的容量和倍率性能。其次，MoS_3 纳米片在充放电过程中能够抑制硫化物的溶解和扩散，降低穿梭效应，从而提高电池的循环稳定性和能量密度。此外，MoS_3 纳米片还具有良好的机械性能和化学稳定性，能够抵抗电池在充放电过程中的体积膨胀和化学腐蚀，进一步延长电池的使用寿命。

为了验证三硫化钼纳米片在锂硫电池中的性能表现，我们进行了一系列的电化学性能测试。实验结果表明，采用 MoS_3 纳米片作为负极材料的锂硫电池在容量、循环稳定性和能量密度等方面均表现出优异的性能。与传统负极材料相比，MoS_3 纳米片负极材料具有更高的容量保持率和更低的容量衰减率。



锂硫电池

17.4.3 锂硫电池电极材料用三硫化钼的挑战

锂硫电池以其高能量密度、低成本和环保性等优点，被认为是下一代高能量密度电池的有力候选者。作为锂硫电池的关键组成部分，电极材料的选择和性能优化对于电池的整体性能至关重要。三硫化钼作为一种新型负极材料，在锂硫电池中展现出优异的性能表现，然而，其在实际应用过程中仍面临诸多挑战。

三硫化钼的制备过程涉及多个复杂的化学反应步骤，其中反应条件的控制对于获得高质量、高纯度的材料至关重要。首先，制备 MoS_3 的原料选择和配比需要精确控制，以确保反应能够顺利进行并生成所需的 MoS_3。然而，由于原料中的杂质和反应过程中的副产物等因素，很难完全避免杂质的引入，从而影响材料的纯度和性能。

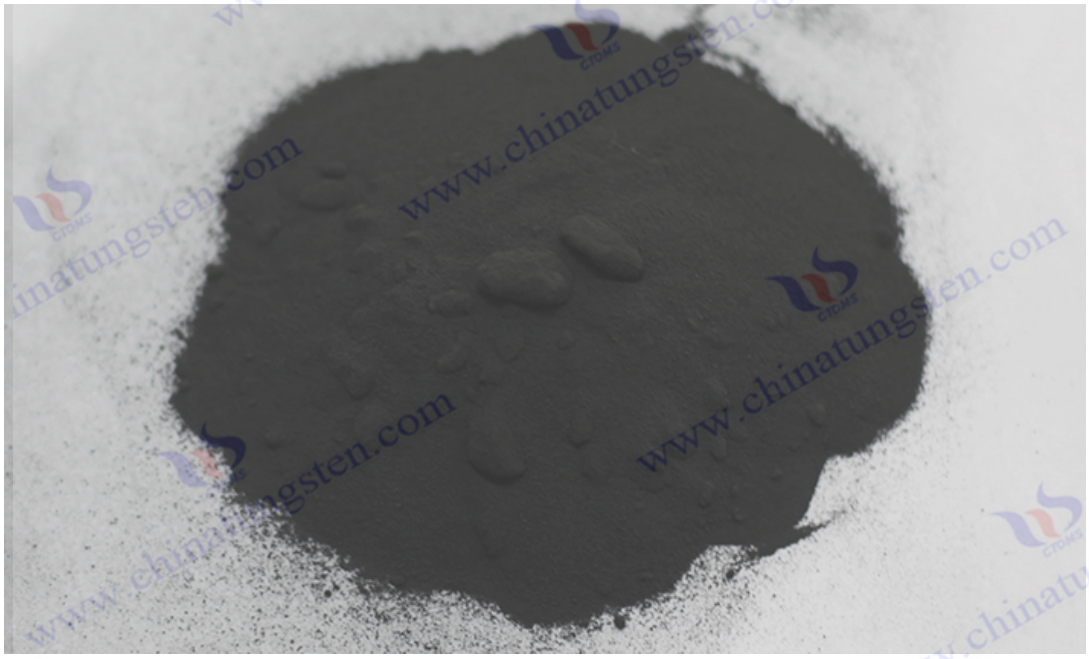
COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED
ISO 9001-2015 认证号码: 00122Q31380R3S/3502
标准文件号 CTOMSQCD-MA-E/P-A-20-2024 版

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

此外，制备过程中的反应温度、反应时间、气氛等条件也对 MoS_3 的形貌、尺寸和晶体结构产生重要影响。例如，反应温度过高可能导致材料烧结团聚，降低其比表面积和电化学性能；反应时间过短则可能导致反应不完全，影响材料的纯度和结构。因此，优化制备工艺以获得理想的三硫化钼材料是一个重要的挑战。

尽管三硫化钼在锂硫电池中展现出较高的电化学性能，但其性能仍有待进一步提升。首先，MoS_3 的导电性相对较差，这限制了其在高倍率充放电条件下的性能表现。为了提高 MoS_3 的导电性，可以考虑与导电基材进行复合，如碳纳米管、石墨烯等。这些导电基材不仅可以提供优异的电子传输通道，还可以改善 MoS_3 的结构稳定性，从而提高其电化学性能。

其次，MoS_3 在充放电过程中容易发生体积膨胀和收缩，导致电极结构破坏和性能衰减。为了解决这个问题，可通过纳米结构设计、表面修饰等手段来改善 MoS_3 的循环稳定性。例如，利用多孔结构或纳米复合材料来缓解体积变化带来的应力，提高电极材料的结构稳定性。



三硫化钼

在应用中，三硫化钼作为锂硫电池电极材料还面临一些挑战。首先，MoS_3 与正极材料、电解液之间的相互作用机制尚不完全清楚。深入理解这些相互作用机制对于优化电池性能具有重要意义。因此需进一步加强相关的基础研究，揭示 MoS_3 在锂硫电池中的作用机理。

其次，电池在长时间充放电过程中的性能衰减机理也是一个亟待解决的问题。性能衰减是影响电池寿命和稳定性的关键因素之一。为了解决这个问题，需要深入研究 MoS_3 在长时间充放电过程中的性能变化规律，揭示其性能衰减的机理，并寻找有效的解决方法。

此外，三硫化钼的生产成本也是限制其实际应用的一个重要因素。尽管 MoS_3 具有较高的电化学性能，但其制备过程相对复杂且成本较高，这限制了其在大规模生产中的应用。因

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

此，降低 MoS_3 的生产成本是推动其实际应用的关键之一。

为了验证三硫化钼在锂硫电池中的性能表现，我们进行了一系列的电化学性能测试。实验数据表明，在优化后的制备条件下，三硫化钼作为锂硫电池负极材料展现出了较高的比容量和优异的循环稳定性。然而，与商业化的负极材料相比，MoS_3 的性能仍有一定的提升空间，需要进一步优化制备工艺和电极结构。

除了比容量和循环稳定性，我们还对三硫化钼电极的倍率性能进行了测试。在高倍率充放电条件下，三硫化钼电极的性能表现相对较差，这与其较低的导电性有关。为了改善这一问题，我们尝试了将 MoS_3 与碳纳米管进行复合。实验结果表明，通过复合后的 MoS_3 电极在高倍率下的性能得到了显著提升，显示出良好的应用前景。



锂硫电池

此外，我们还对三硫化钼与正极材料、电解液之间的相互作用进行了初步研究。通过电化学阻抗谱和循环伏安法等手段，我们观察到了 MoS_3 与正极材料之间的良好兼容性以及与电解液之间的稳定界面。这些结果为我们进一步优化电池性能提供了有益的启示。

尽管我们在三硫化钼作为锂硫电池电极材料的研究方面取得了一些进展，但仍存在诸多挑战需要克服。例如，如何进一步提高 MoS_3 的导电性和结构稳定性，以满足高能量密度和高功率密度的需求；如何降低三硫化钼的成本，以推动其在实际应用中的广泛使用；如何深入揭示 MoS_3 在锂硫电池中的作用机理和性能衰减机理，为电池性能的优化提供理论指导等。

为了克服这些挑战，我们需要进一步加强基础研究，深入探索 MoS_3 的制备工艺、性能优化以及实际应用等方面的问题。同时，我们还需要加强与其他领域的交叉合作，共同推动锂硫电池技术的发展和应用。

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

17.5 二硒化钼在锂硫电池中的应用

二硒化钼，作为一种无机化学品，是金属钼与非金属硒的化合物，分子式 $MoSe_2$。外观为灰色或灰黑色粉末晶体状，具有六边形晶体结构，并展现出半导体性质。这种化合物具有特殊的层状结构，可剥离得到二维材料，从而在多个领域，如晶体管、二极管、光调制器、光电探测器、微电子、光电子、锂离子电池、太阳能电池等，展现出广泛的应用前景。



太阳能电池

在锂硫电池中，二硒化钼的应用尤为引人注目。锂硫电池因其高能量密度和低成本而被视为下一代高性能电池的有力候选者。然而，锂硫电池在实际应用中仍面临一些挑战，如硫正极的穿梭效应、容量衰减以及多硫化物的溶解等问题。$MoSe_2$ 的出现，为解决这些问题提供了新的可能。

首先，二硒化钼作为固体润滑剂，可以有效地减少电池内部的摩擦，提高电池的循环效率和稳定性。此外，其优异的结构刚性和热力学性能使其在高温和高压条件下仍能保持稳定的性能，这对于提升电池的整体性能具有重要意义。

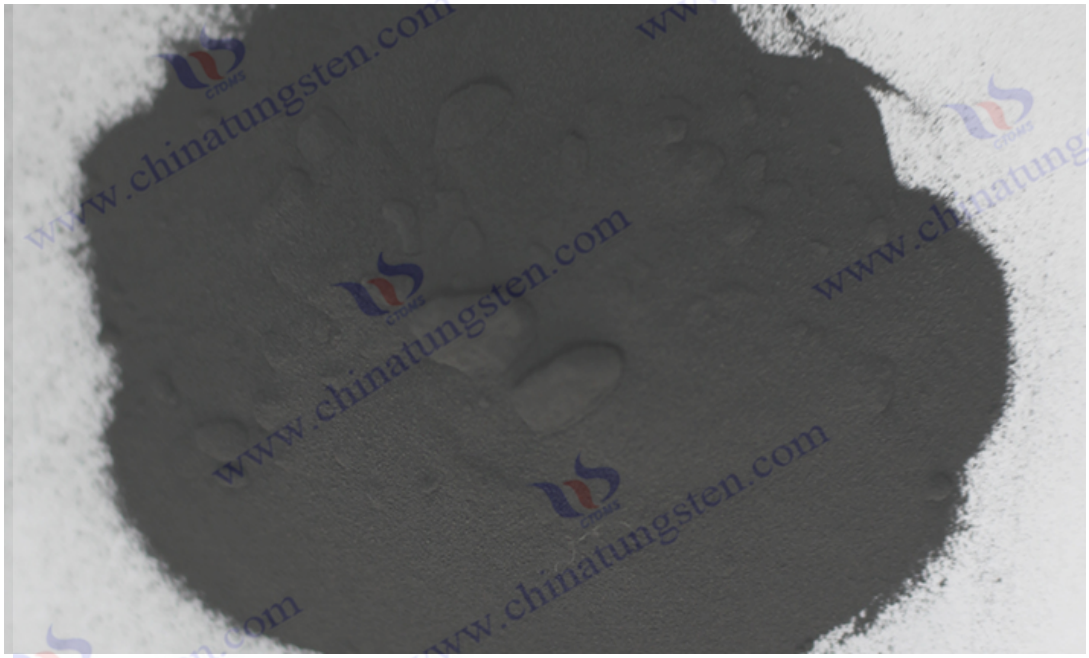
其次，二硒化钼作为光催化剂和光电材料，可以有效地促进电池内部的电化学反应。在锂硫电池中，$MoSe_2$ 可以催化硫和多硫化物的转化，加速反应动力学，从而提高电池的充放电速度和能量密度。同时，其光电性能也有助于提高电池的光电转换效率，进一步提升电池性能。

此外，二硒化钼的二维材料形式在锂硫电池中展现出独特的优势。二维材料具有较大的比表面积和优异的电子传输性能，这有助于增强电池正极与电解液之间的接触面积，提高硫的利用率，并减少多硫化物的溶解和穿梭效应。因此，将 $MoSe_2$ 二维材料应用于锂硫电池中，有望显著提高电池的性能和稳定性。

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

然而，尽管二硒化钼在锂硫电池中的应用前景广阔，但仍需解决一些关键问题。例如，如何优化 $MoSe_2$ 的制备工艺，提高其纯度和结晶度；如何调控 $MoSe_2$ 的微观结构，以更好地适应锂硫电池的工作环境；如何与其他材料进行有效复合，以进一步提高电池的性能等。这些问题都需要进一步的研究和探索。



二硒化钼

总的来说，二硒化钼作为一种具有优异性能的新型材料，在锂硫电池中展现出巨大的应用潜力。随着研究的深入和技术的进步，相信二硒化钼在锂硫电池领域的应用将会更加广泛和深入，为未来的能源存储技术带来革命性的突破。



锂硫电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED

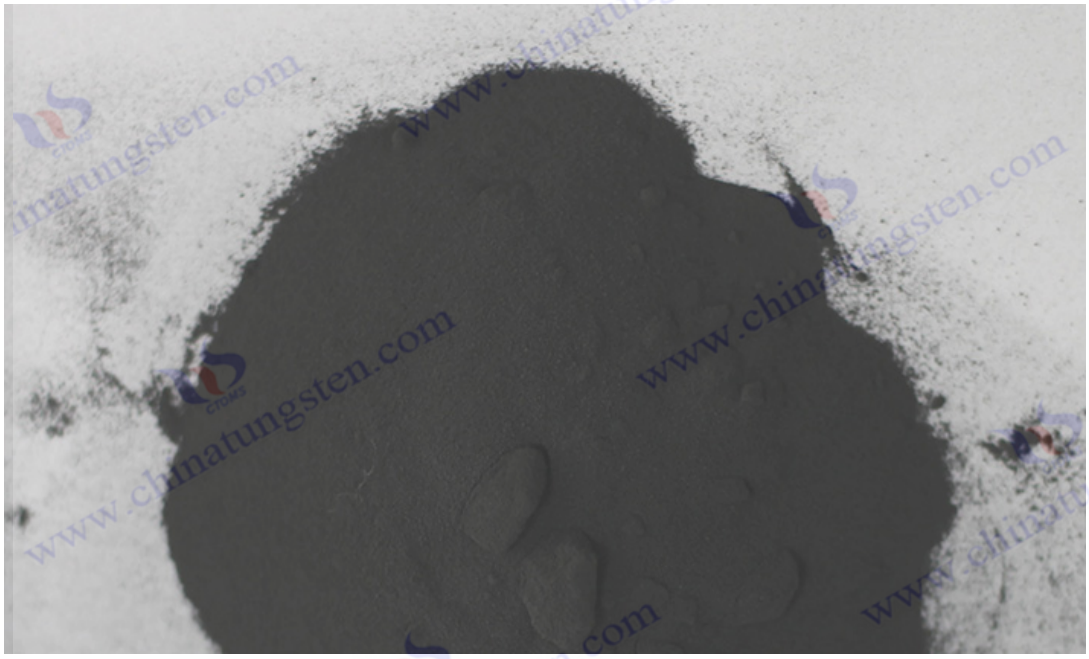
需要注意的是，虽然二硒化钼在锂硫电池中的应用前景看好，但实际应用中仍需考虑其成本、制备工艺以及与其他材料的兼容性等问题。未来的研究应更加注重二硒化钼在锂硫电池中的实际应用效果，以推动其在实际生产中的广泛应用。

此外，随着新型电池技术的不断发展，二硒化钼可能会与其他新型材料结合，形成更加高效的复合材料。这些复合材料将有可能进一步提高锂硫电池的性能，推动其向更高能量密度、更长寿命和更安全的方向发展。

17.5.1 锂硫电池正极材料用二硒化钼复合材料

二硒化钼（$MoSe_2$）是一种具有独特物理和化学性质的化合物，近年来在能源存储领域，特别是锂硫电池中引起了广泛关注。作为一种二维层状材料，$MoSe_2$ 具有优异的电子传输性能和较大的比表面积，使其在作为锂硫电池正极材料时展现出独特的优势。

二硒化钼是一种典型的过渡金属二硒化物，其晶体结构由钼原子和硒原子交替排列而成，形成了一种类似于“三明治”的层状结构。这种结构使得 $MoSe_2$ 在电子传输和离子扩散方面表现出色，为其在电池材料中的应用提供了可能。



二硒化钼

在锂硫电池中，二硒化钼作为正极材料的应用主要基于其以下几个方面的优势：

（1）强化学吸附能力：二硒化钼对多硫化物具有较强的化学吸附能力，可以有效抑制多硫化物的“穿梭效应”，从而提高电池的循环稳定性和容量保持率。

（2）高导电性：二硒化钼具有较高的电子迁移率，这有助于提升电池的正极反应速率，提高电池的充放电性能。

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）大比表面积：二硒化钼的二维层状结构使其具有较大的比表面积，这有利于增加正极材料与电解液的接触面积，提高硫的利用率。

为了进一步提高 $MoSe_2$ 在锂硫电池中的性能，研究者们通常将其与其他材料进行复合，形成复合材料。例如，将 $MoSe_2$ 与石墨烯进行复合，可以充分利用石墨烯的高导电性和大比表面积，进一步提高复合材料的电化学性能。

在制备二硒化钼复合材料的过程中，研究者们通常采用水热法、溶剂热法等方法。这些方法可以有效地控制二硒化钼的形貌和尺寸，从而优化其电化学性能。

锂硫电池的制备

锂硫电池制备方法：从原料混合到最终电池组装的完整流程。以下是对该制备方法：

（1）原料混合与超声分散：将钼酸钠和硫脲加入溶剂中，搅拌均匀形成混合液。随后，在混合液中加入 5mg/ml 的氧化石墨烯（GO）溶液。GO 作为一种二维材料，具有优异的导电性和大比表面积，能够显著提高复合材料的电化学性能。通过超声分散，GO 能够均匀分散在混合液中，形成分散液 A。



钼酸钠

（2）硒源溶液的制备：将硒粉分散于水合肼溶液中，形成溶液 B。水合肼的用量控制在 1-2ml，以确保硒粉能够充分溶解并均匀分散在溶液中。

（3）水热反应与冷冻干燥：将分散液 A 和溶液 B 混合后，进行水热反应。水热反应是一种在高温高压条件下进行的化学反应，能够促进原料之间的充分反应和结晶。经过水热反应后，得到石墨烯/钼硫硒复合材料水凝胶。随后，通过冷冻干燥技术，将水凝胶中的水分去除，得到复合材料气凝胶材料。冷冻干燥时间控制在 5-45 小时，以确保材料能够充

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

分干燥并保持其多孔结构。

（4）正极与负极材料的制备：将复合材料气凝胶材料通过熔融法载硫，载硫温度为 155℃。在这个温度下，硫能够充分渗透到复合材料的气凝胶结构中，形成锂硫电池的正极材料。同时，将复合材料气凝胶材料通过电化学方法嵌锂，嵌锂电流密度为 2mA/cm²，得到锂硫电池的负极材料。这种方法能够确保锂能够均匀且稳定地嵌入到复合材料中。

（5）电池组装：将步骤（4）中制备的正极材料和负极材料按照锂硫电池的组装工艺进行组装，得到完整的锂硫电池。



锂硫电池

与现有技术相比，该锂硫电池的生产方法具有如下有益效果：

（1）强化材料性能：二硫化钼与多硫化物具有较强的相互作用，有助于抑制锂硫电池的穿梭效应，提高活性物质利用率和循环稳定性。然而，MoS_2 的导电性较弱。通过引入 $MoSe_2$ 并与导电性较强的石墨烯复合，本发明成功提高了复合材料的导电性。这种复合材料不仅具有高导电性，还兼具亲硫性和亲锂性，使其在锂硫电池的正负极应用中具有显著优势。

（2）一步法合成：通过选择合适的硫源和硒源，本发明采用一步法合成带有阴离子空穴的钼硫硒。该方法简化了合成过程，提高合成效率，同时也有利于控制材料的结构和性能。

（3）提高吸附能力：合成的含硒掺杂的二硫化钼作为锂硫电池的硫载体材料，大大提高了对多硫化物的吸附能力。这有助于减少多硫化物的溶解和穿梭效应，从而提高电池的循环稳定性和容量保持率。

（4）改善亲锂性：钼硫硒同样可以用作锂硫电池的锂负极载体材料，显著提高了材料的亲锂性。这有助于减少锂枝晶的产生，提高电池的安全性和循环寿命。

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）优化材料结构：钼硫硒/石墨烯（RGO）复合材料中的钼硫硒纳米片垂直生长在石墨烯上。这种结构有利于电子和离子的传导，促进电化学反应的进行，从而提高电池的性能。

（6）高比表面积与稳定性：复合电极材料具有很高的比表面积和结晶性，使得材料在充放电过程中能够保持稳定的结构和性能。同时，阴离子缺陷的引入进一步提高了电池的循环稳定性和抑制锂枝晶的能力。

（7）绿色环保与工业化生产：本发明的方法绿色无污染，对设备的要求简单，适合工业化大规模生产。这有利于降低生产成本，推动锂硫电池的商业化应用。



锂硫电池

17.5.2 锂硫电池负极材料用二硒化钼复合材料

锂硫电池作为一种新型的高能量密度电池，具有广阔的应用前景。然而，锂硫电池在实际应用中仍面临一些挑战，如多硫化物的穿梭效应和硫转化动力学缓慢等问题。为了解决这些问题，研究者们不断探索新的负极材料。近期，扬州大学的研究者们设计出了一种包埋于多孔氮掺杂碳（NC）纳米骨架中的多界面二硒化钼复合材料——二硒化钼/二硒化钴异质结构（$MoSe_2/CoSe_2$@NC），并将其作为锂硫电池的多功能阴极宿主材料。本文将详细探讨这种二硒化钼复合材料在锂硫电池负极材料中的应用。

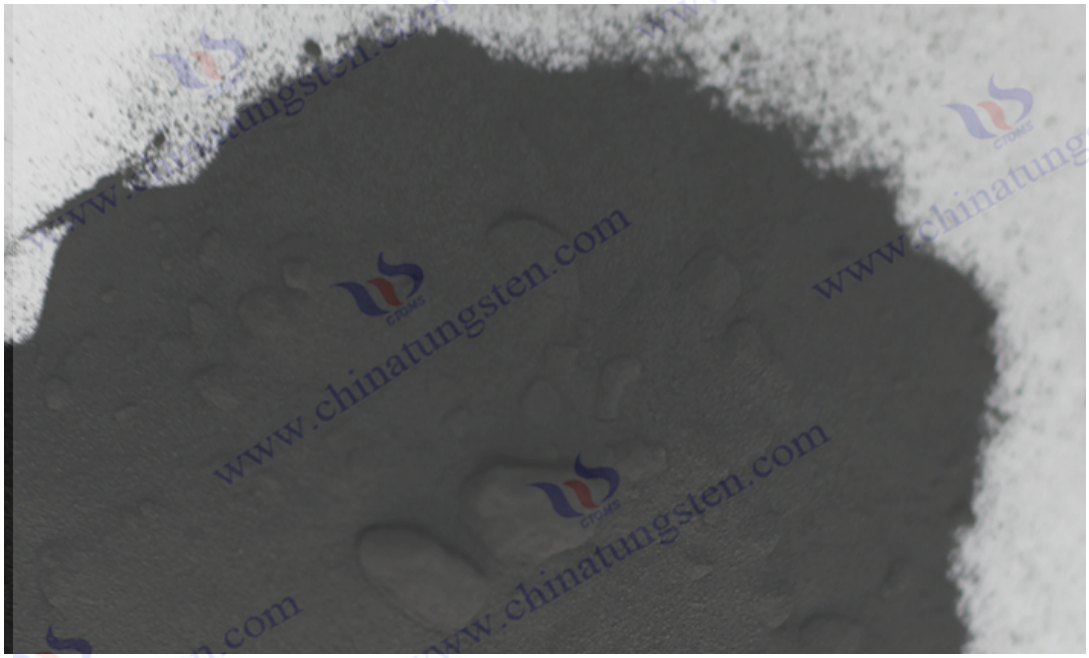
二硒化钼复合材料是通过特定的化学合成方法制备的。其制备过程包括前驱体的合成、热处理以及后续的化学处理等步骤。通过这种方法，研究者们成功地将 $MoSe_2$ 和 $CoSe_2$ 嵌入到多孔氮掺杂碳纳米骨架中，形成了 $MoSe_2/CoSe_2$@NC 复合材料。

该复合材料具有优异的导电性、独特的亲硫特性和催化效应。这些特性使得 $MoSe_2/CoSe_2$@NC 复合材料在锂硫电池负极材料中能够发挥出重要作用。首先，该复合材

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

料能够有效地吸附多硫化物，从而抑制穿梭效应，减少活性物质的损失，提高电池的循环稳定性。其次，其优异的导电性和催化效应能够加快硫转化动力学，提高电池的放电容量和能量密度。此外，该复合材料还具有较好的机械稳定性和化学稳定性，能够在长时间的充放电过程中保持稳定的性能。



二硒化钼

实验结果表明，使用 $MoSe_2/CoSe_2$@NC 的锂硫电池在循环稳定性、放电容量和能量密度等方面均表现出显著的优势。具体而言，在相同的测试条件下，使用 $MoSe_2/CoSe_2$@NC 复合材料的电池相比传统负极材料的电池，其循环寿命可延长数倍，放电容量和能量密度也有显著提升。

在锂硫电池中，负极材料的主要反应是锂离子的嵌入和脱出。当电池充电时，锂离子从正极迁移到负极，与负极材料发生反应；当电池放电时，锂离子从负极脱出，回到正极。对于 $MoSe_2/CoSe_2$@NC 复合材料而言，其反应方程式可以表示为：

充电过程：$xLi+MoSe_2/CoSe_2@NC \rightarrow Li_xMoSe_2/CoSe_2@NC$
放电过程：$Li_xMoSe_2/CoSe_2@NC \rightarrow xLi+MoSe_2/CoSe_2@NC$

综上所述，二硒化钼复合材料作为一种新型的锂硫电池负极材料，具有优异的导电性、亲硫特性和催化效应。将其应用于锂硫电池中，可以显著提高电池的循环稳定性、放电容量和能量密度。

17.5.3 锂硫电池电极材料用二硒化钼的挑战

锂硫电池作为下一代高能量密度存储技术的优选替代品，具有能量密度高、价格低廉、原料易得和对环境友好的显著优势。然而，尽管二硒化钼（$MoSe_2$）作为锂硫电池的电极材

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

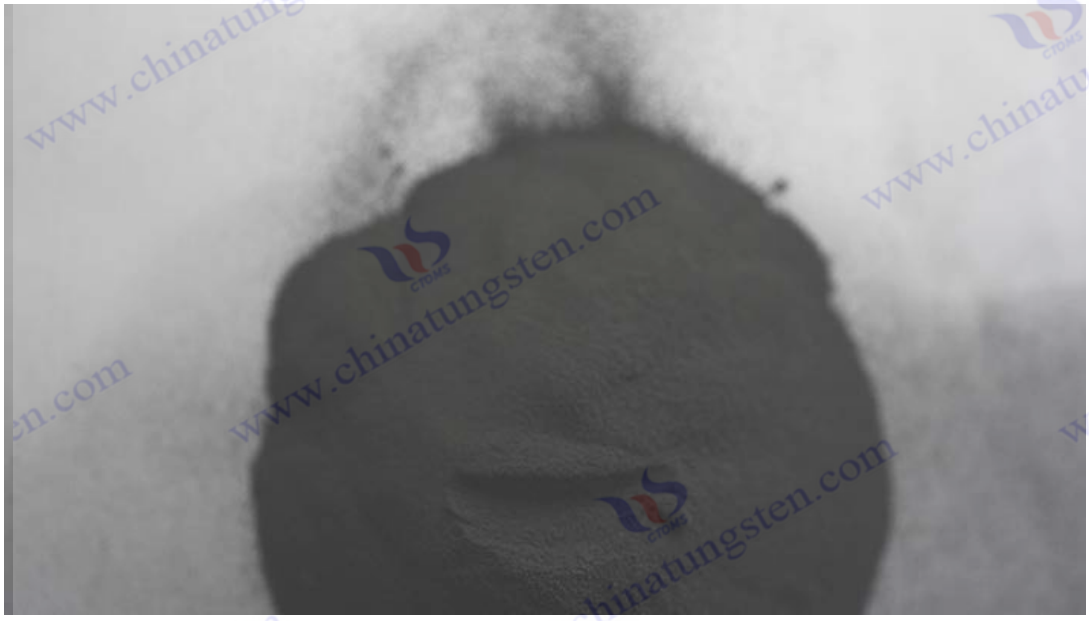
料展现出了一定的潜力，但在实际应用中仍存在一些不足之处。



电池着火

首先，二硒化钼的导电性虽然较好，但与某些碳基材料相比仍有一定的差距。在锂硫电池中，电极材料的导电性对电池的性能至关重要，它直接影响着电池的充放电速率和能量密度。因此，$MoSe_2$ 的导电性不足可能会限制其在高功率密度应用中的表现。

其次，二硒化钼在充放电过程中可能会发生体积膨胀和收缩，导致电极结构的破坏和容量的衰减。这种体积变化是由于锂离子的嵌入和脱出引起的，而 $MoSe_2$ 的晶体结构在锂离子的作用下容易发生变形。这种结构不稳定性会降低电池的循环寿命和可靠性。



二硒化钼

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

此外，二硒化钼与多硫化物之间的相互作用较弱，难以有效抑制多硫化物的穿梭效应。多硫化物的穿梭效应是锂硫电池中普遍存在的问题，它会导致活性物质的损失和电池性能的下降。虽然 $MoSe_2$ 具有一定的亲硫特性，但其与多硫化物的结合能力仍有限，无法完全解决穿梭效应带来的问题。

另外，二硒化钼的制备工艺相对复杂，成本较高。目前，制备高质量、高纯度的 $MoSe_2$ 材料仍需要一定的技术和设备投入。这增加了锂硫电池的生产成本，限制了其在市场上的广泛应用。

此外，二硒化钼在电池工作过程中可能会与电解液发生不良反应，导致电池性能下降。电解液是锂硫电池中的重要组成部分，它与电极材料的相容性对电池性能具有重要影响。然而，$MoSe_2$ 在某些电解液中可能会产生副反应，这会影响电池的稳定性和安全性。

最后，二硒化钼的负载量也是限制其在锂硫电池中应用的一个因素。尽管研究者们通过改进制备方法和结构设计来提高 $MoSe_2$ 的负载量，但目前的技术水平仍难以满足高能量密度电池的需求。



锂硫电池

COPYRIGHT© 2005-2024 ALL RIGHT RESERVED