

钠离子无负极固态电池材料的研究与应用进展

王洪

湖北文理学院, 湖北襄阳

摘要: 钠离子无负极固态电池作为一种新型的电化学储能设备, 因其高比能、低成本等优势, 在储能领域展现出巨大的应用潜力。本文综述了钠离子无负极固态电池材料的应用进展, 重点关注了硬碳设计、无负极技术、低温性能优化以及全固态电池的研究动态。通过分析现有研究成果和面临的挑战, 本文旨在为钠离子无负极固态电池的进一步发展和应用提供参考。

关键词: 钠离子电池; 无负极技术; 固态电池; 硬碳; 低温性能

Research and Application Progress of Sodium-Ion Anode-Free All-Solid-State Battery Materials

Wang Hong

Hubei University of Arts and Sciences, Xiangyang, Hubei Province

Abstract: Sodium-ion all-solid-state batteries without anode, as a new type of electrochemical energy storage device, have shown great application potential in the field of energy storage due to their high specific energy and low cost. This paper reviews the application progress of sodium-ion all-solid-state battery materials without anode, focusing on the design of hard carbon, anode-free technology, optimization of low-temperature performance, and research trends in all-solid-state batteries. By analyzing the existing research achievements and challenges, this paper aims to provide a reference for the further development and application of sodium-ion all-solid-state batteries without anode.

Keywords: Sodium-ion batteries; Anode-free technology; Solid-state batteries; Hard carbon; Low-temperature performance

一、钠离子无负极固态电池的概述

随着全球能源需求的不断增长和环境保护的日益重视，新型电化学储能技术的研究与应用成为当前科学的研究热点。钠离子电池作为一种重要的电化学储能设备，因其资源丰富、成本低廉、环境友好等优势，逐渐成为锂电池的重要补充。特别是在无负极技术和固态电解质的应用方面，钠离子电池展现出独特的应用前景。

（一）钠离子电池的基本原理

钠离子电池的工作原理基于钠离子在正负极材料之间的可逆嵌入和脱嵌。在充电过程中，钠离子从负极材料中脱出，通过电解质迁移到正极，同时电子通过外部电路从负极流向正极。放电过程则相反，钠离子从正极回到负极，电子通过外部电路从正极流向负极。这一过程伴随着正负极材料体积的变化和相变，从而实现电能与化学能的相互转换。

钠离子电池的核心组成部分包括正极材料、负极材料、电解质以及隔膜。正极材料通常是过渡金属氧化物或磷酸盐，负极材料则多为碳基材料。电解质是保证钠离子顺利迁移的介质，而隔膜则用于隔离正负极，防止短路。

（二）无负极技术的优势和应用前景

无负极技术是钠离子电池领域的一项创新。在这种设计中，传统的负极材料被金属钠直接取代，金属钠在电池运行过程中充当活性物质。这种技术的优势主要体现在以下几个方面：

1. 提高能量密度

由于金属钠的原子量较低，相同质量的金属钠可以提供更多的电荷，从而显著提高电池的能量密度。

2. 简化电池结构

无负极设计省去了传统负极材料的制备和应用，简化了电池制造过程，降低了成本。

3. 增强安全性

无负极电池在理论上减少了因负极材料损坏或失效导致的电池短路风险，提高了电池的安全性。

无负极技术的应用前景广阔，尤其是在便携式电子设备、电动交通工具、大规模储能系统等领域。然而，无负极技术的商业化应用还面临一些挑战，如金属钠的稳定性、界面问题、循环寿命等。

（三）固态电解质在钠离子电池中的应用

与传统液态电解质相比，固态电解质在钠离子电池中的应用具有显著优势。固态电解质不仅能够提高电池的安全性能，减少漏液风险，还能拓宽电池的工作温度范围，提高电池的长期稳定性。

1. 提高安全性

固态电解质不易燃烧，可以有效防止因电解质泄漏或热失控引起的火灾和爆炸。

2. 增强机械性能

固态电解质具有良好的机械性能，可以使电池在弯曲、压缩等条件下依然保持稳定工作。

3. 提高循环稳定性

固态电解质能够有效抑制电极材料的体积膨胀和收缩，从而提高电池的循环稳定性。

尽管固态电解质在钠离子电池中具有诸多优势，但其商业化应用仍面临一些技术难题，如离子导电率低、界面阻抗大、制备工艺复杂等。为了克服这些难题，研究者们正在探索新的材料体系和制备方法，以期实现高性能固态钠离子电池的商业化应用。

二、硬碳材料在钠离子无负极固态电池中的应用

硬碳材料作为一种重要的负极材料，在钠离子无负极固态电池中扮演着关键角色。其独特的结构和性能使其成为提高电池整体性能的关键

因素。

（一）硬碳材料的结构与性能

硬碳材料是一种具有高度无序结构的碳材料，其结构特点主要体现在以下几个方面：

1. 微孔结构

硬碳材料具有丰富的微孔结构，这些微孔为钠离子的存储提供了大量的空间，从而提高了材料的比容量。

2. 层状结构

硬碳材料的层状结构有利于钠离子的快速扩散，这有助于提高电池的充放电速率。

3. 无定形碳

硬碳材料主要由无定形碳组成，这种无定形结构有助于缓解钠离子嵌入和脱嵌过程中材料的体积膨胀，从而提高电池的循环稳定性。

硬碳材料的性能主要体现在其较高的比容量、良好的循环稳定性和优异的倍率性能。这些性能使其成为钠离子电池负极材料的理想选择。

硬碳负极在钠离子电池中的应用

在钠离子电池中，硬碳负极的应用主要体现在以下几个方面：

1. 高比容量

硬碳负极材料能够提供较高的比容量，这主要归功于其微孔结构和层状结构，使得钠离子能够在其内部进行有效的存储。

2. 良好的循环性能

硬碳负极在长期的充放电循环中表现出良好的稳定性，这主要得益于其无定形结构和良好的结构稳定性。

3. 优异的倍率性能

硬碳负极材料由于其独特的结构，能够在高倍率下仍然保持较高的容量，这使得硬碳负极适用于需要快速充放电的应用场景。

（二）硬碳材料改性及其对电池性能的影响

为了进一步提升硬碳材料在钠离子电池中的应用性能，研究者们对其进行了多种改性研究，

主要包括以下几种方法：

1. 元素掺杂

通过在硬碳材料中掺杂其他元素（如氮、硼等），可以改变其电子结构和表面性质，从而提高其电化学性能。掺杂可以增加硬碳材料的比容量，改善其循环稳定性和倍率性能。

2. 表面改性

通过在硬碳材料表面引入功能性基团或涂层，可以改善其与电解质的相容性，降低界面阻抗，提高电池的整体性能。

3. 结构调控

通过调控硬碳材料的微观结构，如孔径分布、层间距等，可以优化钠离子的存储和传输路径，从而提高电池的充放电效率和稳定性。

这些改性方法对硬碳材料在钠离子电池中的性能产生了显著影响：

1. 提高比容量

通过元素掺杂和结构调控，硬碳材料的比容量得到了显著提升，使其能够存储更多的钠离子。

2. 改善循环稳定性

表面改性和结构调控有助于减少硬碳材料在循环过程中的体积膨胀和结构破坏，从而提高了电池的循环稳定性。

3. 增强倍率性能

通过优化硬碳材料的微观结构，提高了钠离子的扩散速率，使得电池在高倍率下仍能保持良好的性能。

综上所述，硬碳材料在钠离子无负极固态电池中的应用前景广阔。通过对硬碳材料的深入研究和技术改进，可以有效提升钠离子电池的整体性能，为钠离子电池的商业化应用奠定坚实的基础。

三、无负极钠离子固态电池的研究进展与挑战

无负极钠离子固态电池作为一种新兴的储

能技术，其研究和发展受到了广泛关注。以下是对其在低温条件下的研究进展、全固态钠电池的设计与优化，以及面临的主要挑战和解决策略的探讨。

（一）低温条件下无负极钠电池的研究进展

在低温环境下，传统电池的性能通常会显著下降，这主要是由于电解质离子传导率降低和电极材料反应动力学变慢。无负极钠电池在低温条件下的研究进展主要体现在以下几个方面：

1. 电解质优化

研究者们通过选择或合成具有较低熔点和较高离子导电率的固态电解质，以改善无负极钠电池在低温下的性能。例如，一些新型离子导体在低温下仍能保持较高的离子传导率。

2. 界面修饰

低温下，电极与电解质之间的界面阻抗会增加，通过界面修饰技术，如引入界面涂层或使用表面活性剂，可以降低界面阻抗，提高电池的低温性能。

3. 电极材料改进

通过优化电极材料的微观结构和组成，可以提高其在低温下的电化学活性，从而提升电池的整体性能。

（二）全固态钠电池的设计与优化

全固态钠电池以其更高的安全性和潜在的高能量密度而受到重视。其设计与优化主要包括以下几个方面：

1. 固态电解质的选择

选择合适的固态电解质是全固态钠电池设计的关键。理想的固态电解质应具有高的离子导电率、良好的电化学稳定性和机械强度。

2. 电极材料的设计

电极材料需要具有良好的电化学活性、稳定的结构和高容量。通过元素掺杂、复合材料的构建等方法，可以优化电极材料的性能。

3. 电池结构的设计

全固态电池的结构设计对电池的性能至关重要。通过优化电极和电解质的界面接触，减少界面阻抗，可以提高电池的功率密度和循环稳定性。

（三）面临的主要挑战及解决策略

无负极钠离子固态电池在研究和应用过程中面临以下主要挑战：

1. 离子导电率低

固态电解质的离子导电率普遍低于液态电解质，这限制了电池的功率输出。解决策略包括开发新型高性能固态电解质和优化现有材料的制备工艺。

2. 界面问题

电极与电解质之间的界面问题，如界面阻抗大、界面不稳定等，是影响电池性能的关键因素。通过界面修饰、使用界面涂层材料等方法，可以改善界面相容性。

3. 循环寿命短

无负极钠电池在循环过程中可能由于钠的沉积和剥离导致结构破坏，从而缩短电池寿命。通过优化电极结构、改善钠的沉积行为等措施，可以提高电池的循环稳定性。

4. 制备工艺复杂

全固态钠电池的制备工艺相对复杂，成本较高。开发简单、高效、低成本的制备工艺是推动其商业化进程的关键。

总结而言，无负极钠离子固态电池在低温性能、全固态设计等方面取得了一定的研究进展，但仍面临诸多挑战。通过材料创新、结构优化和工艺改进，有望克服这些挑战，推动无负极钠离子固态电池的实际应用。

参考文献

[1] 吴希,孙博,刘银东,等.钠离子电池沥青基碳负极材料制备技术研究进展[J].化工学报,2024,75

- [4]:1270-1283.
- [2]吴吉昊,陈涛,刘思宇,等.双功能活化制备沥青基硬炭用于钠离子电池负极[J].化工学报,2024,75(3):1019-1027.
- [3]赵毅伟,张福华,颜顺,等.普鲁士蓝类钠离子电池正极材料导电性研究进展[J].储能科学与技术,2024,13(5):1474-1486.
- [4]张玲玲,董欢欢,何祥喜,等.中空碳材料用于钠离子电池负极的研究进展[J].高等学校化学学报,2023,44(1):194-207.
- [5]谢金明,庄容,杜宇轩,等.硫掺杂炭材料在钠离子电池负极中的研究进展[J].新型炭材料(中英文),2023,38(2):305-316.
- [6]杨翠云,杨成浩.钠离子电池硬炭负极材料的研究进展[J].高等学校化学学报,2023,44(5):129-144.
- [7]黄思,邱学青,王才威,等.生物质基炭负极材料在钠离子电池中的应用[J].新型炭材料,2023,38(1):40-72.
- [8]舒伟平,赵淑宁,汪丽莉,等.钠离子电池锰基正极材料的元素替位掺杂改性研究进展[J].现代化工,2024,44(7):84-87.
- [9]魏一帆,夏会聪,张佳楠.钠离子存储器件中界面效应作用机制研究[J].材料导报,2024,38(8):35-43.
- [10]刘泽宇,黄文泽,肖阳,等.全固态无负极锂金属电池纳米化复合集流体构筑[J].物理化学学报,2024,40(3):60-68.
- [11]张宇昊,钱涛,刘杰.无负极锂金属电池的研究进展[J].有机化学研究,2023,11(4):245-262.
- [12]许柳燕,宋远强,李亚利,等.硅-石墨化/无定形碳复合负极的制备及性能[J].电池,2023,53(1):19-23.
- [13]北京希倍动力科技有限公司.一种无负极全固态电池:CN202311767474.4[P].2024-03-22.
- [14]艾福平.有机/无机复合界面层稳定锂金属负极的研究[D].安徽:中国科学技术大学,2022.
- [15]中国科学院长春应用化学研究所.一种无负极的极简式高比能电池:CN202310141748.2[P].2023-04-28.

版权所有©2024本文作者和香港科技出版集团。

本作品根据知识共享署名国际许可证(CC BY 4.0)获得许可。

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access