

锂离子电池正极材料的研究进展

徐海军

浙江友山新材料科技有限公司 浙江 嘉兴 桐乡 314500

摘要: 锂离子电池正极材料的研究进展对于电池性能和循环寿命的提升起到了重要的推动作用。通过改进正极材料的晶体结构、化学组成,以及掺杂和杂化技术等,可以提高电池的能量密度、循环稳定性和安全性。此外,表面涂层和二次粒子改性、粒径和形貌控制等方法也被广泛应用于正极材料的改进研究中。尽管在正极材料的改进中存在能量密度与循环寿命的平衡问题,但通过综合考虑这两个方面的因素,研究人员正在努力寻找最优化的正极材料,以推动锂离子电池技术的发展和應用。

关键词: 研究进展; 正极材料; 锂离子电池

1 锂离子电池正极材料的分类及特点

锂离子电池正极材料是锂离子电池中起到储存和释放锂离子的关键组成部分,其性能对电池的能量密度、循环寿命和安全性等方面有着重要影响。根据正极材料的化学组成和结构特点,锂离子电池正极材料可以分为多种不同类别。

1.1 三元正极材料

三元正极材料是目前锂离子电池中应用最广泛的类型之一。常见的三元材料包括锰酸锂(LiMn_2O_4)、镍酸锂(LiNiO_2)和钴酸锂(LiCoO_2)等。这些材料具有较高的比容量和较好的循环寿命,能够提供较高的放电电压。同时,三元材料也面临着一些问题,如容量衰减和热稳定性较差等。

1.2 磷酸铁锂材料

磷酸铁锂(LiFePO_4)是一种较常见的锂离子电池正极材料。它具有较高的安全性、热稳定性和良好的循环寿命。相比于三元材料,磷酸铁锂的比容量较低,但充放电平台较平稳,有利于提高电池的安全性能。

1.3 镍钴锰酸锂材料

镍钴锰酸锂($\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$)是一种新型的锂离子电池正极材料。它通过调控镍、钴和锰的比例,实现了高容量、高能量密度和较好的循环寿命。由于不含钴或含钴较低,镍钴锰酸锂材料在降低成本、增加可持续性方面具有一定优势。

1.4 硅基材料

硅基材料是近年来研究的热点之一,具有非常高的理论比容量,远远超过传统正极材料。然而,硅的体积膨胀硅基材料是近年来研究的热点之一,具有非常高的理论比容量,远远超过传统正极材料。然而,硅的体积膨胀问题导致在充放电过程中会出现大幅度的体积变

化,容易导致电极疲劳和失效。为了解决这一问题,研究人员通过多种方法进行改性,如制备纳米结构的硅材料,通过纳米尺寸的粒子减少体积膨胀带来的影响;或者将硅与其他材料复合,形成复合材料来改善其电化学性能和结构稳定性^[1]。

除了以上常见的正极材料类别,还有许多其他新型正极材料被研究和开发,如钒酸盐材料、镍钴铝酸锂材料等。这些材料在电池性能、循环寿命和安全性方面都有着不同的特点和优势。总的来说,锂离子电池正极材料的分类及特点多样化。不同类别的正极材料在能量密度、循环寿命、安全性等方面存在差异。因此,在锂离子电池的应用中,选择适合特定需求的正极材料非常重要,同时也需要通过改性和优化研究,提高正极材料的性能和稳定性,以推动锂离子电池技术的进一步发展。

2 锂离子电池的工作原理

锂离子电池是一种通过锂离子在正负极之间的嵌入和脱嵌来完成充放电过程的电池。它主要由正极、负极、电解质和隔膜组成。在锂离子电池的充电过程中,正极材料(通常为锂化合物如 LiCoO_2)中的锂离子会从电解液(通常是含有锂盐的有机溶液)中脱嵌出来,进入电解液中,并通过电解质中的离子传输至负极材料(通常为石墨)。同时,充电过程中电池的负极材料也发生嵌入反应,锂离子从电解液中进入负极材料。这样,正负极材料之间的锂离子传输和嵌入脱嵌过程完成了充电过程。在放电过程中,正极材料中的锂离子会离开电解质,再次嵌入正极材料中,而负极材料则释放出嵌入在其中的锂离子,通过电解质传输至正极材料,完成电池的放电过程。电池的放电过程会产生电子流动,可以通过外部电路供应电力给设备。锂离子电池的工作原理是基于正负极材料中锂离子的嵌入和脱嵌过程,通

过这种方式实现电荷的存储与释放^[2]。由于锂离子电池具有高能量密度、较低的自放电率和较长的循环寿命等优点，因此被广泛应用于移动电子设备、电动车辆和储能等领域。同时，锂离子电池的工作原理也为进一步研究和开发新型材料和技术提供了基础。

3 聚合物锂离子电池正极材料

聚合物锂离子电池正极材料是锂离子电池领域中的一种新型材料。相比于传统的无机材料，如锂钴氧化物、磷酸铁锂等，聚合物锂离子电池正极材料具有独特的优势和特点。首先，聚合物锂离子电池正极材料具有较高的离子传输速度和电导率。其分子结构中含有大量的可移动空间，有利于锂离子的快速嵌入和脱嵌，从而提高电池的充放电速率和倍率性能。其次，聚合物锂离子电池正极材料具有良好的机械柔韧性。相比于传统的无机材料，聚合物材料具有较高的拉伸和弯曲性能，能够适应电池在使用过程中的形变和应力分布，降低电池的机械损伤和失效概率。聚合物锂离子电池正极材料还具有较高的安全性。由于其无机-有机复合结构，聚合物材料在高温或极端条件下，能够保持较好的稳定性和化学惰性，降低电池的热失控和火灾爆炸的风险^[3]。总体来说，聚合物锂离子电池正极材料作为一种新兴材料，在提高电池性能、安全性和柔性化方面具有巨大的潜力。通过进一步的研究和创新，可以开发出更先进、更高性能的聚合物正极材料，推动锂离子电池技术的发展。

4 锂离子电池正极材料的改进研究

4.1 三元层状过渡金属氧化物正极材料的改进研究

为了提高锂离子电池正极材料的性能和循环寿命，研究人员一直在进行改进和优化研究。其中，三元层状过渡金属氧化物正极材料的改进研究备受关注。传统的三元正极材料主要是钴酸锂（ LiCoO_2 ），然而其资源稀缺和价格昂贵，使得人们更加关注替代材料。近年来，一些新型的三元层状过渡金属氧化物材料，如钴锰酸锂（ $\text{LiCo}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_2$ ）和镍钴锰酸锂（ $\text{Li}(\text{NiCoMn})\text{O}_2$ ）等得到了广泛研究和应用。改进研究的一个关键是提高材料的电导率和离子扩散速度。这可以通过合成技术进行控制，如调控晶体结构、控制结晶尺寸和形貌等方式，增强电子和离子的传导能力。此外，添加导电剂或利用导电涂层技术也可以改善材料的电导率。另一个改进研究的方向是提高材料的容量和循环寿命。为了提高容量，研究人员通过合成纳米颗粒、控制粒径分布、增加晶体缺陷等方法来提高电极材料的比表面积，增加可嵌入的锂离子数量。同时，通过添加表面涂覆材料，如二氧化硅、碳纳米管等，来提高材料的稳定性和防止材料与电

解液之间的直接接触，也可以改善材料的循环寿命。此外，针对三元层状过渡金属氧化物材料的局限性，如容量衰减和结构不稳定性，研究人员还通过掺杂、杂化等方法来改善材料的性能。例如，将锰酸锂与钛酸盐材料复合，形成杂化结构，可以提高材料的离子传输速率和结构稳定性。

4.2 氧化钒锂离子电池材料的改进优化

氧化钒锂材料作为一种有潜力的正极材料，正受到广泛关注和研究。在氧化钒锂正极材料的改进研究中，提高材料的容量和循环寿命是一个重要的目标。一方面，通过改进材料的微观结构和晶体缺陷，如通过调控合成方法和控制烧结条件等，可以增加材料的比表面积和可嵌入锂离子的数量，从而提高材料的容量。另一方面，添加表面涂层材料或者进行复合改性，可以增强电极材料的结构稳定性和抑制材料与电解质的副反应，从而减少容量衰减，提高循环寿命。除了容量和循环寿命的改进，提高材料的离子传输速率也是改进研究的重点之一。针对氧化钒锂材料导电性较差、离子扩散速率较慢的问题，研究人员通过掺杂杂化、导电剂添加等方式来增强材料的导电性和离子传输速率，提高电池的充放电速率和倍率性能。提高氧化钒锂材料的安全性也是改进研究的重要方向^[4]。通过调控材料的微观结构和添加阻燃剂等方式，可以减缓材料在高温或外部损伤下的热失控反应，提高电池的安全性能。通过改进研究氧化钒锂锂离子电池正极材料的合成方法、微观结构调控、添加表面涂层材料、掺杂杂化和导电剂等方式，可以提高其容量、循环寿命、离子传输速率和安全性，从而进一步推动锂离子电池技术的发展。

4.3 提高新型正极材料性能的影响因素

锂离子电池正极材料的改进研究是锂离子电池技术发展的关键领域之一。通过改善和优化正极材料的性能，可以提高电池的能量密度、循环寿命和安全性能。以下是一些影响新型正极材料性能提高的重要因素：

- （1）晶体结构和化学组成：正极材料的晶体结构和化学组成决定了其电化学性能，如容量、循环稳定性等。通过在原材料合成过程中控制晶体结构和化学组成，可以优化材料的离子扩散速率、电荷传输能力和稳定性。
- （2）掺杂和杂化技术：通过引入掺杂元素或与其他化合物进行杂化（heterostructure）可以改善正极材料的电导率、稳定性和循环寿命。掺杂和杂化技术可以优化材料的晶格结构，增强材料的离子传输和电子导电性能。
- （3）表面涂层和二次粒子改性：正极材料经过表面涂层或二次粒子改性可以改善其与电解质之间的界面稳定

性,并增加材料的循环稳定性。涂层或改性层可以防止氧化和电解质溶剂的转化,从而减少电池的容量衰减和循环寿命损失。(4)粒径和形貌控制:通过控制正极材料的粒径和形貌,可以增加其比表面积,提高嵌锂离子的能力。较大的比表面积可以提供更多的活性位点,增加电池的容量,并提高电极与电解质之间的接触面积,提高电荷传输速率。(5)能量密度与循环寿命的平衡:在发展新型正极材料时,必须平衡电池的能量密度和循环寿命。高能量密度的材料往往面临容量衰减和循环寿命降低的问题,而具有更好循环稳定性的材料往往会牺牲能量密度。因此,在设计新的正极材料时,需要综合考虑这两个方面的因素,以获得最优化的性能^[5]。

5 锂离子电池正极材料研究对电池性能和可持续发展的意义

锂离子电池作为一种高能量密度、长循环寿命和环保的能源存储装置,广泛应用于移动电子设备、电动车辆和储能等领域。其中,电池的正极材料被认为是决定电池性能和循环寿命的关键因素之一。因此,对锂离子电池正极材料的研究具有重要的意义。第一,研究和开发新型的锂离子电池正极材料可以提高电池的能量密度。能量密度是衡量电池储能能力的重要指标,通过开发合适的正极材料,可以增加电池储存能量的容量,提供更长的使用时间和更大的功率输出。第二,改进正极材料可以提高电池的循环寿命和安全性能。目前锂离子电池的主要问题之一是容量随循环次数的衰减,也就是所谓的容量衰减。通过改善和优化正极材料的结构和性能,可以减缓容量衰减的速度,延长电池的使用寿命。此外,正极材料的结构稳定性和耐温性的提高也有助于减少电池在异常情况下的热失控和火灾爆炸的风险。第三,对锂离子电池正极材料的研究有助于推动电池技术的可持续发展。随着全球对可再生能源和清洁能源的需求不断增加,对于电池储能的要求也在不断提高。通过研究和改进正极材料,可以提高电池的能量效率、资源利用率和环境友好性,推动可持续能源的发展和应用。

第四,锂离子电池正极材料的研究也有助于促进相关产业的发展和经济增长^[6]。随着电动车辆、智能手机和可再生能源等市场的快速增长,对电池的需求也在不断增加。通过不断改进正极材料的性能和可靠性,可以提高电池产品的竞争力和市场份额,进一步促进相关产业的发展和经济增长。同时,通过降低电池成本和提高电池性能,可以推动电池技术的商业化应用,创造更多的就业机会和经济效益。

结束语

锂离子电池正极材料的研究进展已经取得了一系列令人瞩目的成果。通过不断改进正极材料的性能,我们可以实现电池能量密度的提升、循环寿命的延长,从而满足日益增长的储能需求与清洁能源应用。但同时,我们也需认识到改进研究的挑战与限制,并努力寻找解决方案以实现更高效、更可持续的电池技术。未来,我们可以期待正极材料研究的进一步突破和创新,为电池领域的发展带来更多的可能性,推动电动交通和可再生能源等领域的可持续发展。

参考文献

- [1]曹远鹏,张艺博,段建国,董鹏.废旧锂离子电池钴酸锂正极材料回收研究进展[J].中国有色冶金,2022,51(05):23-31.
- [2]常毅.锂离子电池高容量层状正极材料研究进展[J].广东化工,2022,49(19):88-92.
- [3]梁兴,高国华,吴广明.氧化钒作锂离子电池正极材料的研究进展[J].材料导报,2018,32(01):12-33+40.
- [4]宋刘斌,李新宇,肖忠良,曹忠,朱华丽.锂离子电池正极材料LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O₂研究进展[J].功能材料,2017,48(12):12023-12029+12035.
- [5]夏兰,朱利敏,张海燕,艾新平.一种可为锂二次电池提供过热保护的 正温度敏感系数电极[J].科学通报,2016(27).
- [6]胡仁宗,刘辉,曾美琴,刘江文,朱敏华.锂离子电池Sn基薄膜负极材料的研究进展[J].科学通报,2017(27).