



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115133009 A

(43) 申请公布日 2022. 09. 30

(21) 申请号 202211003280.2

H01M 10/054 (2010.01)

(22) 申请日 2022.08.19

(71) 申请人 南木纳米科技(北京)有限公司  
地址 102600 北京市大兴区海鑫路8号院五  
号楼三层

(72) 发明人 申彤 张新华 周建飞 翁启东  
李婷

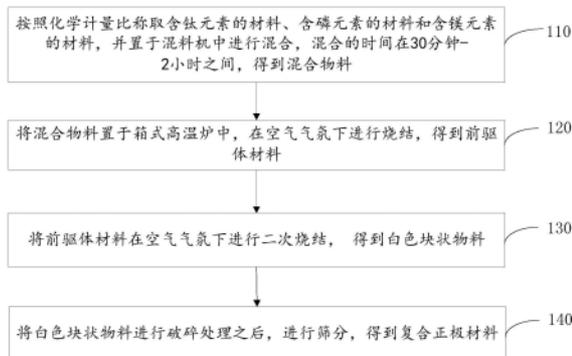
(74) 专利代理机构 北京慧诚智道知识产权代理  
事务所(特殊普通合伙)  
11539  
专利代理师 殷炳蕾

(51) Int. Cl.  
H01M 4/36 (2006.01)  
H01M 4/58 (2010.01)  
H01M 4/136 (2010.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称  
一种复合正极材料及其制备方法和应用

(57) 摘要  
本发明公开了一种复合正极材料及其制备方法和应用,复合正极材料包括:Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁;复合正极材料的化学通式为  $Ti_{1-0.5x}Mg_xP_2O_7/Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ , 其中  $0.01 \leq x \leq 0.015$ ; Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为 [7-9]:[1-3]; 复合正极材料由含钛元素的材料、含磷元素的材料和含镁元素的材料通过固相二次烧结法制备得到,其中,含镁元素的材料过量2%; 镁元素占复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%; 复合正极材料的X射线衍射图中的最强特征衍射峰与次高特征衍射峰的峰强比为1.95。



1. 一种复合正极材料,其特征在于,所述复合正极材料包括:Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁;所述复合正极材料的化学通式为 $Ti_{1-0.5x}Mg_xP_2O_7/Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ ,其中 $0.01 \leq x \leq 0.015$ ;

所述Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为[1-3]:[7-9];

所述复合正极材料由含钛元素的材料、含磷元素的材料和含镁元素的材料通过固相二次烧结法制备得到,其中,所述含镁元素的材料过量2%;

所述镁元素占所述复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%;

所述复合正极材料的X射线衍射图中的最强特征衍射峰与次高特征衍射峰的峰强比为1.95。

2. 根据权利要求1所述的复合正极材料,其特征在于,所述钛元素占所述复合正极材料的质量百分比为20%-30%;

所述磷元素占所述复合正极材料的质量百分比为15%-30%;

所述氧元素占所述复合正极材料的质量百分比为40%-55%。

3. 根据权利要求1所述的复合正极材料,其特征在于,所述复合正极材料的粒径 $Dv_{50}$ 在 $2\mu m-5\mu m$ 之间。

4. 一种上述权利要求1-3任一所述的复合正极材料的制备方法,其特征在于,所述制备方法为固相二次烧结法,包括:

按照化学计量比称取含钛元素的材料、含磷元素的材料和含镁元素的材料,并置于混料机中进行混合,混合的时间在30分钟-2小时之间,得到混合物料;

将所述混合物料置于箱式高温炉中,在空气气氛下进行烧结,得到前驱体材料;

将所述前驱体材料在空气气氛下进行二次烧结,得到白色块状物料;

将所述白色块状物料进行破碎处理之后,进行筛分,得到复合正极材料;

所述复合正极材料的化学通式为 $Ti_{1-0.5x}Mg_xP_2O_7/Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ ,其中 $0.01 \leq x \leq 0.015$ ;所述Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为[1-3]:[7-9];所述镁元素占所述复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%;

所述含镁元素的材料过量2%。

5. 根据权利要求4所述的复合正极材料的制备方法,其特征在于,所述含钛元素的材料包括:二氧化钛和/或四氯化钛;

所述含磷元素的材料包括:磷酸、磷酸钠盐,磷酸二氢铵、磷酸氢二铵中的一种或多种;

所述含镁元素的材料包括:氧化镁、碳酸镁、氯化镁、氢氧化镁中的一种或多种。

6. 根据权利要求4所述的复合正极材料的制备方法,其特征在于,所述烧结的条件包括:烧结的温度为 $600^{\circ}C-800^{\circ}C$ ,升温速率为 $2^{\circ}C/min-5^{\circ}C/min$ ,保温时间为5小时-10小时;

所述二次烧结的条件包括:二次烧结的温度为 $300^{\circ}C-500^{\circ}C$ ,升温速率为 $2^{\circ}C/min-5^{\circ}C/min$ ,保温时间为2小时-5小时;

所述破碎处理的过程具体为:将所述白色块状物料使用鄂破机或对辊机进行初级破碎,得到白色颗粒材料;将所述白色颗粒材料再通过气流磨进行粉碎处理。

7. 根据权利要求4所述的复合正极材料的制备方法,其特征在于,所述钛元素占所述复合正极材料的质量百分比为20%-30%;

所述磷元素占所述复合正极材料的质量百分比为15%-30%;

所述氧元素占所述复合正极材料的质量百分比为40%-55%;

所述复合正极材料的粒径 $Dv50$ 在 $2\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$ 之间。

8. 一种正极极片,其特征在於,所述正极极片包含上述权利要求1-3任一所述的复合正极材料。

9. 一种镁二次电池,其特征在於,所述镁二次电池包含上述权利要求8所述的正极极片。

## 一种复合正极材料及其制备方法和应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及镁电池材料技术领域,特别涉及一种复合正极材料及其制备方法和应用。

### 背景技术

[0002] 镁作为地球上储量最丰富的轻金属元素之一,由于其良好的物理化学、机械等性能被广泛用于各个领域。磷酸钛镁的NASICON结构较为稳定,且层间距较大,有利于镁离子的脱嵌,但其容量相对较低,作为正极材料的报道较少,专利文献CN102931403A,一种磷酸钛镁在可充镁电池正极材料中的应用方法,虽然将磷酸钛镁作为正极材料应用于可充镁电池中,但是其容量较低,根据该专利实施例1和附图2的记载,其第27圈的放电容量仅为 $48.6\text{mAh} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

[0003] 焦磷酸钛的化学式为 $\text{TiP}_2\text{O}_7$ ,是一种聚阴离子型化合物,它是由 $\text{TiO}_6$ 正八面体和 $\text{P}_2\text{O}_7$ 双四面体通过顶角连接;这种结构十分稳定,使得焦磷酸钛材料具有优异的热稳定性。但是目前关于焦磷酸钛作为镁二次电池正极材料的报道罕见,且电化学性能不佳。

[0004] 通过元素掺杂后来提升材料的电子电导率,改进材料的电化学性能,是常用的技术手段,例如NASICON型的 $\text{LiM}_2(\text{PO}_4)_3$  (M为Ti、Ge、Zr)材料,目前文献中报道了各种提高 $\text{LiM}_2(\text{PO}_4)_3$ 性能的方式,主要包括包覆导电材料、或通过恰当的合成方式减少材料的尺寸、或是元素掺杂,其中通过元素掺杂能够大幅度提升电子电导率,改进材料的电化学性能。

[0005] 因此,寻找合适的掺杂元素改善焦磷酸钛的性能,并且复合改性,使其应用于镁二次电池中可以具有优良的电化学性能,是我们目前的研究方向之一。

### 发明内容

[0006] 本发明实施例提供一种复合正极材料及其制备方法和应用,通过将含钛元素的材料、含磷元素的材料和过量的含镁元素的材料,进行固相二次烧结法,得到镁掺杂焦磷酸钛与磷酸钛镁复合正极材料,其中,在第一次烧结过程中,微量的Mg就可以使掺杂Mg后的焦磷酸钛材料具有高的导电性能,镁元素替代部分钛元素位掺杂到焦磷酸钛中,不改变焦磷酸钛材料的晶型结构,改善焦磷酸钛材料的电化学性能的同时具有电化学稳定性;另外,通过二次烧结生成的磷酸钛镁材料,磷酸钛镁材料的NASICON结构具有足够大的层间距使镁离子可以在磷酸钛镁中进行可逆的嵌入与脱出,并且,即使在大量镁离子脱嵌过程中,磷酸钛镁的晶体结构依然稳定,可提高电池的充放电性能;本发明的复合正极材料,由于镁掺杂焦磷酸钛与磷酸钛镁材料的复合,可发挥二者的协同作用,提高电池的初始容量、循环容量,并提升电池的快充性能及放电电压。

[0007] 本发明提供的复合正极材料制备方法简单,适用于批量生产,成本低,可以促进焦磷酸钛材料和磷酸钛镁材料在电池材料领域的广泛应用。

[0008] 第一方面,本发明实施例提供了一种复合正极材料,所述复合正极材料包括:Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁;所述复合正极材料的化学通式为 $\text{Ti}_{1-0.5x}\text{Mg}_x\text{P}_2\text{O}_7/\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3$ ,

其中 $0.01 \leq x \leq 0.015$ ;

[0009] 所述Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为[1-3]:[7-9];

[0010] 所述复合正极材料由含钛元素的材料、含磷元素的材料和含镁元素的材料通过固相二次烧结法制备得到,其中,所述含镁元素的材料过量2%;

[0011] 所述镁元素占所述复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%;

[0012] 所述复合正极材料的X射线衍射图中的最强特征衍射峰与次高特征衍射峰的峰强比为1.95。

[0013] 优选的,所述钛元素占所述复合正极材料的质量百分比为20%-30%;

[0014] 所述磷元素占所述复合正极材料的质量百分比为15%-30%;

[0015] 所述氧元素占所述复合正极材料的质量百分比为40%-55%。

[0016] 优选的,所述复合正极材料的粒径 $D_{v50}$ 在 $2\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$ 之间。

[0017] 第二方面,本发明实施例提供了一种上述第一方面所述的复合正极材料的制备方法,所述制备方法为固相二次烧结法,包括:

[0018] 按照化学计量比称取含钛元素的材料、含磷元素的材料和含镁元素的材料,并置于混料机中进行混合,混合的时间在30分钟-2小时之间,得到混合物料;

[0019] 将所述混合物料置于箱式高温炉中,在空气气氛下进行烧结,得到前驱体材料;

[0020] 将所述前驱体材料在空气气氛下进行二次烧结,得到白色块状物料;

[0021] 将所述白色块状物料进行破碎处理之后,进行筛分,得到复合正极材料;

[0022] 所述复合正极材料的化学通式为 $\text{Ti}_{1-0.5x}\text{Mg}_x\text{P}_2\text{O}_7/\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_2(\text{PO}_4)_3$ ,其中 $0.01 \leq x \leq 0.015$ ;所述Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为[1-3]:[7-9];所述镁元素占所述复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%;

[0023] 所述含镁元素的材料过量2%。

[0024] 优选的,所述含钛元素的材料包括:二氧化钛和/或四氯化钛;

[0025] 所述含磷元素的材料包括:磷酸、磷酸钠盐,磷酸二氢铵、磷酸氢二铵中的一种或多种;

[0026] 所述含镁元素的材料包括:氧化镁、碳酸镁、氯化镁、氢氧化镁中的一种或多种。

[0027] 优选的,所述烧结的条件包括:烧结的温度为 $600^\circ\text{C}$ - $800^\circ\text{C}$ ,升温速率为 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ - $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ,保温时间为5小时-10小时;

[0028] 所述二次烧结的条件包括:二次烧结的温度为 $300^\circ\text{C}$ - $500^\circ\text{C}$ ,升温速率为 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ - $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ,保温时间为2小时-5小时;

[0029] 所述破碎处理的过程具体为:将所述白色块状物料使用鄂破机或对辊机进行初级破碎,得到白色颗粒材料;将所述白色颗粒材料再通过气流磨进行粉碎处理。

[0030] 优选的,所述钛元素占所述复合正极材料的质量百分比为20%-30%;

[0031] 所述磷元素占所述复合正极材料的质量百分比为15%-30%;

[0032] 所述氧元素占所述复合正极材料的质量百分比为40%-55%;

[0033] 所述复合正极材料的粒径 $D_{v50}$ 在 $2\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$ 之间。

[0034] 第三方面,本发明实施例提供了一种正极极片,所述正极极片包含上述第一方面的复合正极材料。

[0035] 第四方面,本发明实施例提供了一种镁二次电池,所述镁二次电池包含上述第三

方面所述的正极极片。

[0036] 本发明实施例提供一种复合正极材料及其制备方法和应用,通过将含钛元素的材料、含磷元素的材料和过量的含镁元素的材料,进行固相二次烧结法,得到镁掺杂焦磷酸钛与磷酸钛镁复合正极材料,其中,在第一次烧结过程中,微量的Mg就可以使掺杂Mg后的焦磷酸钛材料具有高的导电性能,镁元素替代部分钛元素位掺杂到焦磷酸钛中,不改变焦磷酸钛材料的晶型结构,改善焦磷酸钛材料的电化学性能的同时具有电化学稳定性;另外,通过二次烧结生成的磷酸钛镁材料,磷酸钛镁材料的NASICON结构具有足够大的层间距使镁离子可以在磷酸钛镁中进行可逆的嵌入与脱出,并且,即使在大量镁离子脱嵌过程中,磷酸钛镁的晶体结构依然稳定,可提高电池的充放电性能;本发明的复合正极材料,由于镁掺杂焦磷酸钛与磷酸钛镁材料的复合,可发挥二者的协同作用,提高电池的初始容量、循环容量,并提升电池的快充性能及放电电压。

[0037] 本发明提供的复合正极材料制备方法简单,适用于批量生产,成本低,可以促进焦磷酸钛材料和磷酸钛镁材料在电池材料领域的广泛应用。

## 附图说明

[0038] 下面通过附图和实施例,对本发明实施例的技术方案做进一步详细描述。

[0039] 图1是本发明实施例提供的复合正极材料的制备方法流程图;

[0040] 图2是本发明实施例1制备的复合正极材料的X射线衍射图谱(XRD);

[0041] 图3是实施例1提供的复合正极材料制备的电池和对比例1焦磷酸碳材料、对比例2磷酸钛镁材料作为正极材料制备的电池的放电循环曲线图。

## 具体实施方式

[0042] 下面通过附图和具体的实施例,对本发明进行进一步的详细说明,但应当理解为这些实施例仅仅是用于更详细说明之用,而不应理解为用以任何形式限制本发明,即并不意于限制本发明的保护范围。

[0043] 本发明实施例提供了一种复合正极材料,复合正极材料包括:Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁;复合正极材料的化学通式为 $Ti_{1-0.5x}Mg_xP_2O_7/Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ ,其中 $0.01 \leq x \leq 0.015$ ;Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为[1-3]:[7-9];

[0044] 其中,镁元素占复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%;钛元素占复合正极材料的质量百分比为20%-30%;磷元素占复合正极材料的质量百分比为15%-30%;氧元素占复合正极材料的质量百分比为40%-55%。

[0045] 复合正极材料的粒径 $D_{v50}$ 在 $2\mu m$ - $5\mu m$ 之间;复合正极材料的X射线衍射图中的最强特征衍射峰与次高特征衍射峰的峰强比为1.95。

[0046] 本发明实施例提供了一种上述第一方面的复合正极材料的制备方法,制备方法为固相二次烧结法,如图1所示,具体步骤包括:

[0047] 步骤110,按照化学计量比称取含钛元素的材料、含磷元素的材料和含镁元素的材料,并置于混料机中进行混合,混合的时间在30分钟-2小时之间,得到混合物料;

[0048] 其中,含钛元素的材料包括:二氧化钛和/或四氯化钛;

[0049] 含磷元素的材料包括:磷酸、磷酸钠盐,磷酸二氢铵、磷酸氢二铵中的一种或多种;

[0050] 含镁元素的材料包括：氧化镁、碳酸镁、氯化镁、氢氧化镁中的一种或多种；含镁元素的材料过量2%。

[0051] 步骤120,将混合物料置于箱式高温炉中,在空气气氛下进行烧结,得到前驱体材料;

[0052] 具体的,烧结的条件包括:烧结的温度为600℃-800℃,升温速率为2℃/min-5℃/min,保温时间为5小时-10小时。

[0053] 步骤130,将前驱体材料在空气气氛下进行二次烧结,得到白色块状物料;

[0054] 具体的,二次烧结的条件包括:二次烧结的温度为300℃-500℃,升温速率为2℃/min-5℃/min,保温时间为2小时-5小时。

[0055] 步骤140,将白色块状物料进行破碎处理之后,进行筛分,得到复合正极材料;

[0056] 其中,破碎处理的过程具体为:将白色块状物料使用鄂破机或对辊机进行初级破碎,得到白色颗粒材料;将白色颗粒材料再通过气流磨进行粉碎处理;

[0057] 制备得到的复合正极材料的化学通式为 $Ti_{1-0.5x}Mg_xP_2O_7/Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ ,其中 $0.01 \leq x \leq 0.015$ ;Mg掺杂焦磷酸钛和磷酸钛镁的质量比为[1-3]:[7-9];镁元素占复合正极材料的质量百分比为0.1%-0.5%;钛元素占复合正极材料的质量百分比为20%-30%;磷元素占复合正极材料的质量百分比为15%-30%;氧元素占复合正极材料的质量百分比为40%-55%;复合正极材料的粒径 $Dv50$ 在 $2\mu m$ - $5\mu m$ 之间。

[0058] 本发明实施例提供的复合正极材料可用于正极极片中作为正极极片的活性材料,该正极极片可应用于镁二次电池中。

[0059] 为更好的理解本发明提供的技术方案,下述以具体实例分别说明本发明复合正极材料的制备过程及特性。

[0060] 实施例1

[0061] 本实施例提供了一种复合正极材料制备过程,具体步骤如下:

[0062] 1)按照化学计量比称取二氧化钛431.1g、磷酸二氢铵1341.2g和氯化镁28.37g,并置于混料机中进行混合,混合30min,得到混合物料。

[0063] 2)将混合物料置于箱式高温炉中,在空气气氛下,以2℃/min的升温速率升温至600℃,保温10小时,进行烧结,得到前驱体材料。

[0064] 3)将前驱体材料在空气气氛下进行二次烧结,以2℃/min的升温速率升温至300℃,保温5小时,进行烧结,得到白色块状物料。

[0065] 4)将白色块状物料放入鄂破机中进行初级破碎,得到白色颗粒材料,然后将白色颗粒材料通过气流磨进行粉碎处理,再进行筛分,得到粒径 $Dv50$ 为 $2\mu m$ 的复合正极材料,化学式为 $Ti_{0.9925}Mg_{0.015}P_2O_7/Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ 。

[0066] 本实施例制备的复合正极材料的XRD图,如图2所示,其中,纵坐标为衍射峰强度(Intensity),可以看到材料的衍射峰与焦磷酸钛( $TiP_2O_7$ )标准卡片PDF#38-1468相对应,说明本实施例制备的复合正极材料中的镁掺杂焦磷酸钛与焦磷酸钛的纯相结构相同,Mg元素的掺杂对焦磷酸钛材料的纯度和晶型没有影响;另外,部分衍射峰与磷酸钛镁( $Mg_{0.5}Ti_2(PO_4)_3$ )标准卡片PDF#82-0297相对应,说明本实施例制备的复合正极材料中含有磷酸钛镁材料。

[0067] 使用本实施例制备的复合正极材料制备扣式电池并进行测试:

[0068] 以现有方法制备扣式电池即可,将上述制备的复合正极材料与炭黑、聚偏二氟乙烯,按照8:1:1质量比混合均匀后制备浆料,涂布于铝箔集流体上,烘干、裁片,得到正极极片;以金属镁作为负极,以单层聚乙烯薄膜做隔膜,1mol的LiClO<sub>4</sub>的乙酸乙酯溶液做电解液,并在充满氩气的手套箱内组装成扣式半电池。

[0069] 使用充放电仪对制备的扣式半电池进行恒流充放电模式测试,放电截止电压为2.0V,充电截止电压为4.0V,第1周到第100周的充放电测试均在1C电流密度下进行,测试初始容量和循环100周的容量数据见表1。

[0070] 本实施例制备的扣式半电池放电循环曲线图,如图3所示,其中纵坐标表示比容量(Special Capacity),横纵标为循环圈数。

[0071] 实施例2

[0072] 本实施例提供了一种复合正极材料制备过程,具体步骤如下:

[0073] 1) 按照化学计量比称取四氯化钛189.67g、磷酸816.4g和氧化镁18.91g,并置于混料机中进行混合,混合1小时,得到混合物料。

[0074] 2) 将混合物料置于箱式高温炉中,在空气气氛下,以5°C/min的升温速率升温至800°C,保温5小时,进行烧结,得到前驱体材料。

[0075] 3) 将前驱体材料在空气气氛下进行二次烧结,以5°C/min的升温速率升温至500°C,保温3小时,进行烧结,得到白色块状物料。

[0076] 4) 将白色块状物料放入对辊机中进行初级破碎,得到白色颗粒材料,然后将白色颗粒材料通过气流磨进行粉碎处理,再进行筛分,得到粒径Dv50为4μm的复合正极材料,化学式为Ti<sub>0.994</sub>Mg<sub>0.012</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/Mg<sub>0.5</sub>Ti<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>。

[0077] 使用本实施例制备的复合正极材料制备扣式电池并进行测试,组装方法和测试方法同实施例1,测试数据详见表1。

[0078] 实施例3

[0079] 本实施例提供了一种复合正极材料制备过程,具体步骤如下:

[0080] 1) 按照化学计量比称取二氧化钛625.95g、磷酸氢二铵1190.62g和氢氧化镁2.68g,并置于混料机中进行混合,混合2小时,得到混合物料。

[0081] 2) 将混合物料置于箱式高温炉中,在空气气氛下,以3°C/min的升温速率升温至700°C,保温8小时,进行烧结,得到前驱体材料。

[0082] 3) 将前驱体材料在空气气氛下进行二次烧结,以3°C/min的升温速率升温至300°C,保温4小时,进行烧结,得到白色块状物料。

[0083] 4) 将白色块状物料放入对辊机中进行初级破碎,得到白色颗粒材料,然后将白色颗粒材料通过气流磨进行粉碎处理,再进行筛分,得到粒径Dv50为5μm的复合正极材料,化学式为Ti<sub>0.995</sub>Mg<sub>0.01</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/Mg<sub>0.5</sub>Ti<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>。

[0084] 使用本实施例制备的复合正极材料制备扣式电池并进行测试,组装方法和测试方法同实施例1,测试数据详见表1。

[0085] 为更好的说明本发明实施例的效果,以对比例同以上实施例进行对比。

[0086] 对比例1

[0087] 使用未掺杂Mg元素的焦磷酸碳材料作为正极材料制备扣式电池并进行测试,制备方法和测试方法同实施例1,测试数据详见表1。

[0088] 本对比例制备的扣式半电池放电循环曲线图,如图3所示。

[0089] 对比例2

[0090] 使用磷酸钛镁材料作为正极材料制备扣式电池并进行测试,制备方法和测试方法同实施例1,测试数据详见表1。

[0091] 本对比例制备的扣式半电池放电循环曲线图,如图3所示,通过图3可以看出,本发明实施例1复合正极材料制备的扣式半电池的放电比容量远大于对比例1和对比例2的放电比容量。

[0092] 表1是实施例1-3和对比例1制备的扣式电池测试的初始容量和循环100周的容量值。

编号	初始容量 (mAh/g)	循环 100 周的容量 (mAh/g)
实施例 1	254.0	239.5
实施例 2	263.5	243.4
实施例 3	265.6	252.1
对比例 1	114.5	107.6
对比例 2	154.3	144.7

[0095] 表1

[0096] 通过表1的测试结果实施例1-3采用复合正极材料制备的扣式电池的初始容量和循环容量均优于对比例1-2的扣式电池,说明本发明实施例提供的镁掺杂焦磷酸钛与磷酸钛镁复合正极材料制备的电池具有更优的电化学性能,这是因为,通过掺杂镁元素后的焦磷酸钛材料,提高了材料初始容量和循环容量,改善了焦磷酸钛材料的电化学性能;同时,本发明在复合正极材料制备过程中,加入过量的含镁元素的材料,通过二次烧结生成磷酸钛镁材料,磷酸钛镁材料的NASICON结构具有足够大的层间距使镁离子可以在磷酸钛镁中进行可逆的嵌入与脱出,并且,即使在大量镁离子脱嵌过程中,磷酸钛镁的晶体结构依然稳定,可提高电池的充放电性能;本发明通过镁掺杂焦磷酸钛与磷酸钛镁材料复合后,可发挥二者的协同作用,提高电池的初始容量、循环容量,并提升电池的快充性能及放电电压。

[0097] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

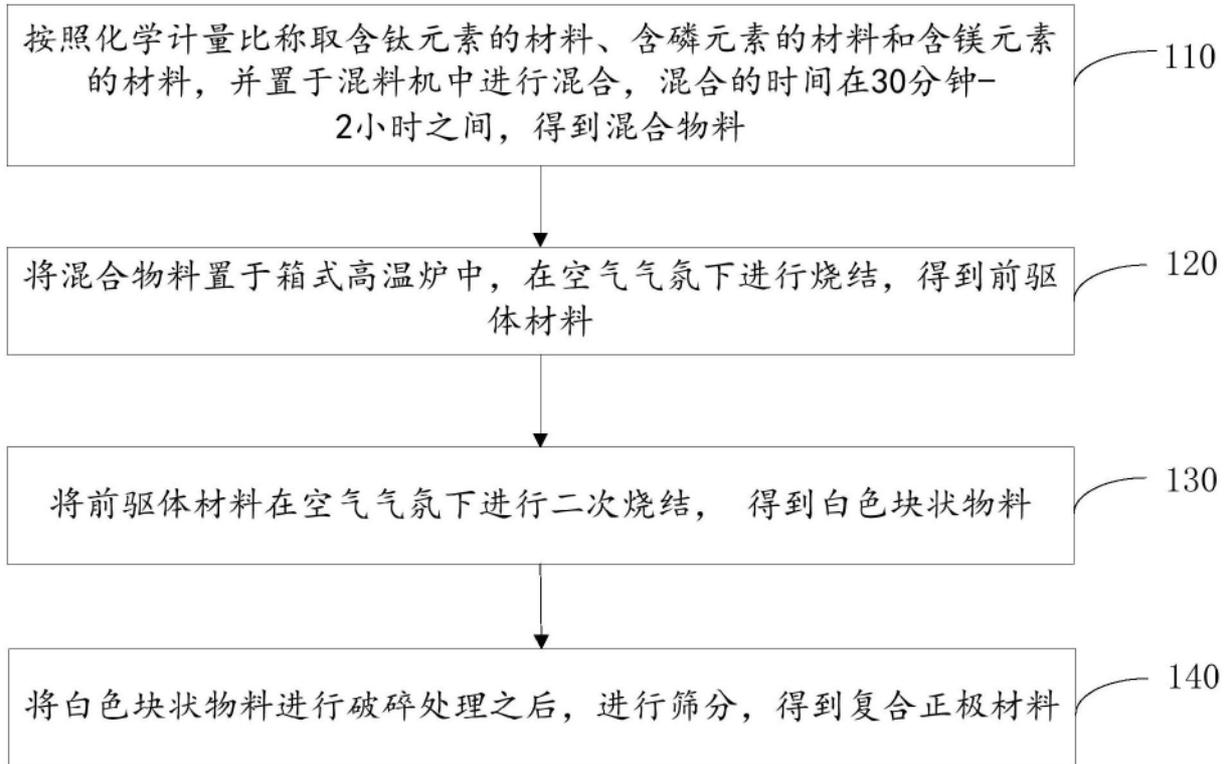


图1

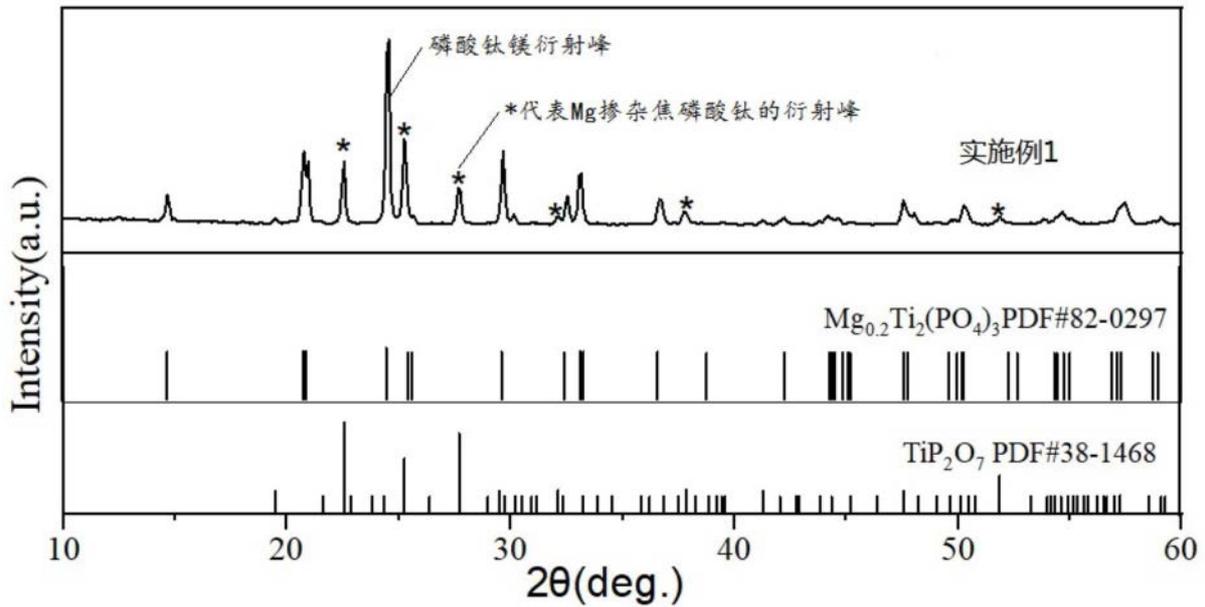


图2

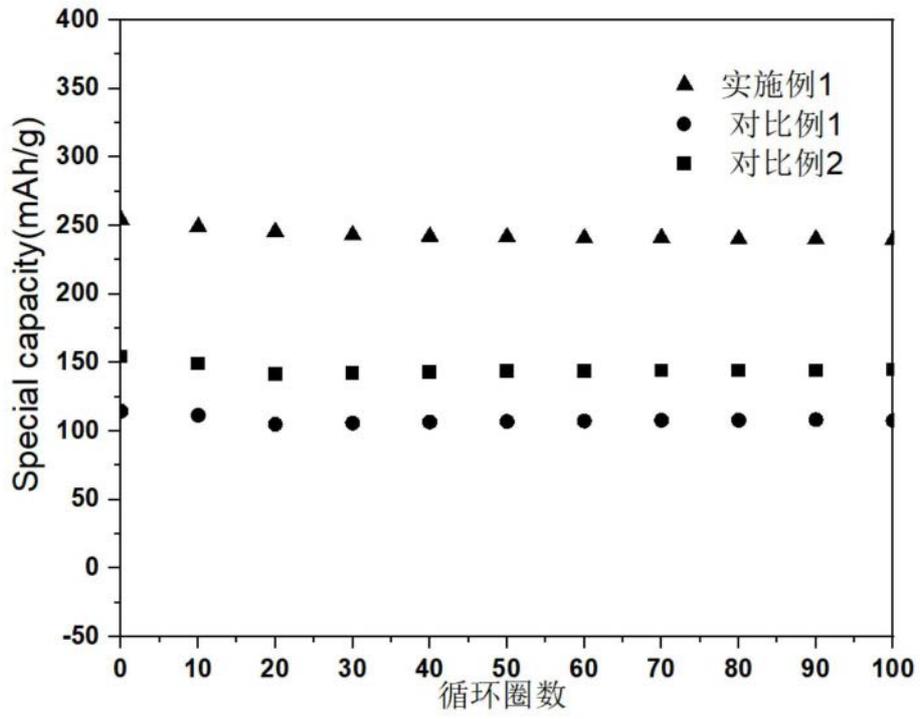


图3