



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113097469 B

(45) 授权公告日 2023.04.18

(21) 申请号 202110304882.0

H01M 10/0525 (2010.01)

(22) 申请日 2021.03.22

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 103305965 A, 2013.09.18

申请公布号 CN 113097469 A

US 2014302396 A1, 2014.10.09

US 2015099186 A1, 2015.04.09

(43) 申请公布日 2021.07.09

US 2018269480 A1, 2018.09.20

(73) 专利权人 湖北工程学院

审查员 陈慧君

地址 432000 湖北省孝感市交通大道272号

(72) 发明人 余佳阁 余链 丁瑜 张贤 王锋

(74) 专利代理机构 深圳市世纪恒程知识产权代

理事务所 44287

专利代理师 许青华

(51) Int. Cl.

H01M 4/38 (2006.01)

H01M 4/134 (2010.01)

H01M 4/587 (2010.01)

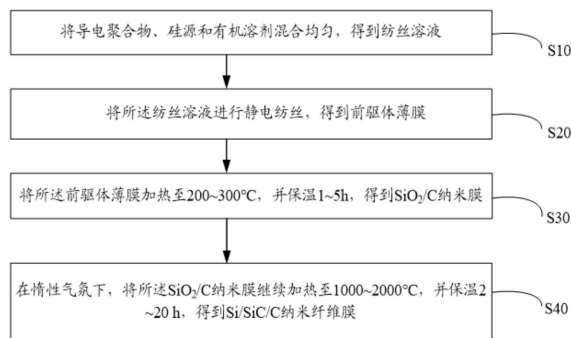
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法、电池负极及锂离子电池

(57) 摘要

本发明公开一种Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法、电池负极及锂离子电池,该制备方法包括以下步骤:S10、将导电聚合物、硅源和有机溶剂混合均匀,得到纺丝溶液;S20、将纺丝溶液进行静电纺丝,得到前驱体薄膜;S30、将前驱体薄膜加热至200~300℃,并保温1~5h,得到SiO₂/C纳米膜;S40、在惰性气氛下,将SiO₂/C纳米膜继续加热至1000~2000℃,并保温2~20h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。通过碳化硅的添加,提高了碳、硅材料的相容性,且能在一定程度上抑制硅材料的体积膨胀效应,从而使制得的Si/SiC/C纳米纤维膜用作锂离子电池的负极时,表现出较高的容量和优异的循环稳定性能;此外,将Si/SiC/C纳米纤维膜用作负极时,直接裁剪成适宜尺寸后即可,使用方便,同时提高了电池的整体能量密度。



1. 一种Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:
S10、将导电聚合物、硅源和有机溶剂混合均匀,得到纺丝溶液;
S20、将所述纺丝溶液进行静电纺丝,得到前驱体薄膜;
S30、将所述前驱体薄膜加热至200~300℃,并保温1~5h,得到SiO₂/C纳米膜;
S40、在氩气气氛下,将所述SiO₂/C纳米膜继续加热至1500~2000℃,并保温2~20 h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。
2. 如权利要求1所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S10中:
所述导电聚合物包括聚丙烯腈、聚酰胺、聚乙烯吡咯烷酮、聚偏二氟乙烯中的至少一种;和/或,
所述有机溶剂包括无水乙醇、丙酮和N,N-二甲基甲酰胺中的至少一种;和/或,
所述硅源包括纳米硅粉、纳米二氧化硅和正硅酸乙酯中的至少一种。
3. 如权利要求1所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S10中:
所述导电聚合物、硅源和有机溶剂的质量比为1:(0.5~5):(5~30)。
4. 如权利要求1所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S10具体包括:
在30~80℃下,将导电聚合物、硅源和有机溶剂均匀搅拌6~24 h,得到纺丝溶液。
5. 如权利要求1所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S20中:
所述静电纺丝的纺丝电压为10~20kv,挤出速度为0.5~1.0mL/min。
6. 如权利要求1所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S30中:
将所述前驱体薄膜以1~10℃/min的升温速率加热至280~300℃;和/或,
保温时间为1~3 h。
7. 如权利要求6所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S30中:
将所述前驱体薄膜以2℃/min的升温速率加热至280℃,并保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。
8. 如权利要求1所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,其特征在于,步骤S40中:
将所述SiO₂/C纳米膜以5~10℃/min的升温速率继续加热至1500~2000℃;和/或,
保温时间为2~5h。
9. 一种电池负极,其特征在于,所述负极为由如权利要求1至8任意一项所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法制得的Si/SiC/C纳米纤维膜。
10. 一种锂离子电池,其特征在于,所述锂离子电池包括如权利要求9所述的负极。

Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法、电池负极及锂离子电池

技术领域

[0001] 本发明涉及锂离子电池技术领域,特别涉及一种Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法、电池负极及锂离子电池。

背景技术

[0002] 当前商业化的锂电池负极材料主要为改性天然石墨和人造石墨,尽管制备技术已相当成熟,但其理论比容量只有 $372\text{mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$,难以满足市场对大容量锂离子电池的需求。

[0003] 硅基材料是在研负极材料中理论比容量最高的研究体系,理论比容量高达 $4200\text{mA} \cdot \text{h} \cdot \text{g}^{-1}$,因其低嵌锂电位、低原子质量、高能量密度,被认为是碳负极材料的替代性产品。然而,硅负极由于其在嵌脱锂循环过程中具有严重的体积膨胀和收缩,造成材料结构的破坏和机械粉碎,从而导致电极表现出较差的循环性能。

[0004] 一直以来硅/碳复合材料的制备和电化学性能探索一直是研究的热点。从理论上来说硅/碳负极材料可以兼具硅、碳材料两者的优势,得到容量相对较高且循环稳定性好的锂电负极材料。然而,经过许多实验后发现在循环过程中这两种材料表现出很差的兼容性,从而影响了硅/碳复合材料的循环性能。

发明内容

[0005] 本发明的主要目的是提出一种Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法、电池负极及锂离子电池,旨在解决现有的锂电池负极材料的循环性能较差的问题。

[0006] 为实现上述目的,本发明提出一种Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,包括以下步骤:

[0007] S10、将导电聚合物、硅源和有机溶剂混合均匀,得到纺丝溶液;

[0008] S20、将所述纺丝溶液进行静电纺丝,得到前驱体薄膜;

[0009] S30、将所述前驱体薄膜加热至 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$,并保温 $1\sim 5\text{h}$,得到 SiO_2/C 纳米膜;

[0010] S40、在惰性气氛下,将所述 SiO_2/C 纳米膜继续加热至 $1000\sim 2000^{\circ}\text{C}$,并保温 $2\sim 20\text{h}$,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0011] 可选地,步骤S10中:

[0012] 所述导电聚合物包括聚丙烯腈、聚酰胺、聚乙烯吡咯烷酮、聚偏二氟乙烯中的至少一种;和/或,

[0013] 所述有机溶剂包括无水乙醇、丙酮和N,N-二甲基甲酰胺中的至少一种;和/或,

[0014] 所述硅源包括纳米硅粉、纳米二氧化硅和正硅酸乙酯中的至少一种。

[0015] 可选地,步骤S10中:

[0016] 所述导电聚合物、硅源和有机溶剂的质量比为 $1:(0.5\sim 5):(5\sim 30)$ 。

[0017] 可选地,步骤S10具体包括:

[0018] 在 $30\sim 80^{\circ}\text{C}$ 下,将导电聚合物、硅源和有机溶剂均匀搅拌 $6\sim 24\text{h}$,得到纺丝溶液。

[0019] 可选地,步骤S20中:

- [0020] 所述静电纺丝的纺丝电压为10~20kv,挤出速度为0.5~1.0mL/min。
- [0021] 可选地,步骤S30中:
- [0022] 将所述前驱体薄膜以1~10°C/min的升温速率加热至280~300°C;和/或,
- [0023] 保温时间为1~3h。
- [0024] 可选地,步骤S30中:
- [0025] 将所述前驱体薄膜以2°C/min的升温速率加热至280°C,并保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。
- [0026] 可选地,步骤S40中:
- [0027] 将所述SiO₂/C纳米膜以5~10°C/min的升温速率继续加热至1400~2000°C;和/或,
- [0028] 保温时间为2~5h。
- [0029] 本发明还提出一种电池负极,所述负极为由如上所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法制得的Si/SiC/C纳米纤维膜。
- [0030] 进一步地,本发明还提出一种锂离子电池,所述锂离子电池包括如上所述的负极。
- [0031] 本发明提供的技术方案中,先采用静电纺丝的方法制备得到了SiO₂/C纳米膜,然后再通过高温原位烧结得到具有异质结结构的Si/SiC/C纳米纤维膜,碳化硅与碳、硅均有较好的相容性,且化学性能稳定,强度高,因此,能提高碳、硅材料的相容性,而且能在一定程度上抑制硅材料的体积膨胀效应,从而使制得的Si/SiC/C纳米纤维膜用作锂离子电池的负极时,表现出较高的容量和优异的循环稳定性能;同时,以导电聚合物和硅源作为原料,而该原料来源丰富,价格便宜,适合大规模制备;此外,该Si/SiC/C纳米纤维膜为柔性自支撑材料,将其用作负极时,不需要添加粘结剂、导电剂等非活性材料,直接裁剪成适宜尺寸后即可用作锂离子电池的负极,使用方便,同时提高了电池的整体能量密度。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅为本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他相关的附图。

[0033] 图1为本发明提出的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法的一实施例的流程示意图;

[0034] 图2为本发明实施例1制得的Si/SiC/C纳米纤维膜的XRD示意图;

[0035] 图3为本发明实施例1制得的Si/SiC/C纳米纤维膜的扫描电镜图;

[0036] 图4为本发明实施例1制得的Si/SiC/C纳米纤维膜在0.1A·g⁻¹电流密度下的循环性能和库伦效率。

[0037] 本发明目的的实现、功能特点及优点将结合实施例,参照附图做进一步说明。

具体实施方式

[0038] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述。实施例中未注明具体条件者,按照常规条件或制造商建议的条件进行。所用试剂或仪器未注明生产厂商者,均为可以通过市售购买获得的常规产

品。

[0039] 另外,全文中出现的“和/或”的含义,包括三个并列的方案,以“A和/或B”为例,包括A方案、或B方案、或A和B同时满足的方案。此外,各个实施例之间的技术方案可以相互结合,但是必须是以本领域普通技术人员能够实现为基础,当技术方案的结合出现相互矛盾或无法实现时应当认为这种技术方案的结合不存在,也不在本发明要求的保护范围之内。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0040] 一直以来硅/碳复合材料的制备和电化学性能探索一直是研究的热点。从理论上来说硅/碳负极材料可以兼具硅、碳材料两者的优势,得到容量相对较高且循环稳定性好的锂电负极材料。然而,经过许多实验后发现在循环过程中这两种材料表现出很差的兼容性,从而影响了硅/碳复合材料的循环性能。

[0041] 鉴于此,本发明提出一种Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法,旨在制得容量较高,且循环稳定性优异的锂电池负极材料。结合图1提出的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法的一实施例的流程示意图,所述Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法包括以下步骤:

[0042] 步骤S10、将导电聚合物、硅源和有机溶剂混合均匀,得到纺丝溶液。

[0043] 本发明不限制所述导电聚合物的具体种类,为了节约成本且保证纺丝溶液的纺丝效果,在本实施例中,所述导电聚合物包括聚丙烯腈、聚酰胺、聚乙烯吡咯烷酮、聚偏二氟乙烯中的至少一种。也即,所述导电聚合物可以为聚丙烯腈、或聚酰胺、或聚乙烯吡咯烷酮、或聚偏二氟乙烯、或聚丙烯腈和聚酰胺的混合物等。

[0044] 对于有机溶剂的具体种类,本发明也不做限制,在本实施例中,所述有机溶剂包括无水乙醇、丙酮和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)中的至少一种,上述有机溶剂为实验常用的溶剂,来源丰富,成本较低。

[0045] 其中,所述硅源包括纳米硅粉、纳米二氧化硅和正硅酸乙酯中的至少一种,可以是纳米硅粉、或纳米二氧化硅、或正硅酸乙酯、或纳米二氧化硅与纳米硅粉的混合物等。

[0046] 在一具体实施例中,步骤S10包括:在30~80℃下,将导电聚合物、硅源和有机溶剂均匀搅拌6~24h,得到纺丝溶液。

[0047] 其中,所述导电聚合物、硅源和有机溶剂的质量比为1:(0.5~5):(5~30),也即三者的质量比可为1:3:5、1:3:10、1:3:8、1:2:12、1:5:12等。在本发明的一优选实施例中,所述导电聚合物、硅源和有机溶剂的质量比为1:(1~3):(5~20)。

[0048] 步骤S20、将所述纺丝溶液进行静电纺丝,得到前驱体薄膜。

[0049] 在一实施例中,将所述纺丝溶液置于高压静电纺丝机里,以10~20kv电压、0.5~1.0mL/min的挤出速度下,进行静电纺丝,得到前驱体薄膜。在另一优选实施例中,所述静电纺丝的的、纺丝电压为15kv,挤出速度为0.8mL/min。可以理解的是,在得到前驱体薄膜之后,还需进行干燥处理,在一实施例中,将所述前驱体薄膜置于50~70℃下真空干燥10~14h,备用。

[0050] 步骤S30、将所述前驱体薄膜加热至200~300℃,并保温1~5h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0051] 步骤S20得到的所述前驱体薄膜为软膜,为了得到具有一定支撑强度的材料,在本实施例中,在空气条件下,将所述前驱体薄膜加热至200~300℃,并保温1~5h,以将所述前

驱体薄膜固化,得到SiO₂/C纳米膜。

[0052] 本发明不限制所述前驱体薄膜的升温速率,在一实施例中,将所述前驱体薄膜以1~20°C/min的升温速率加热至200~300°C,并保温1~5h。需要说明的是,如果升温过快,固化不均匀,得到的SiO₂/C纳米膜材料脆,易碎;如果升温过慢,会导致过度固化,得到的SiO₂/C纳米膜材料柔性不好,因此,在本发明的另一实施例中,将所述前驱体薄膜以1~10°C/min的升温速率加热至280~300°C,再保温1~3h。更优地,将所述前驱体薄膜以2°C/min的升温速率加热至280°C,并保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0053] 步骤S40、在惰性气氛下,将所述SiO₂/C纳米膜继续加热至1000~2000°C,并保温2~20h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0054] 在惰性气氛下,将所述SiO₂/C纳米膜通过高温原位烧结得到具有异质结构的Si/SiC/C纳米纤维膜。本发明不限制所述SiO₂/C纳米膜的升温速率,在本发明的一实施例中,在惰性气氛下,将所述SiO₂/C纳米膜以5~20°C/min的升温速率继续加热至1000~2000°C,保温2~20h。在另一优选实施例中,在惰性气氛下,将所述SiO₂/C纳米膜以5~10°C/min的升温速率继续加热至1400~2000°C,保温2~5h。更优地,在氩气气氛下,将所述SiO₂/C纳米膜以5°C/min的升温速率继续加热至1500°C,并保温2h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。如此,得到的Si/SiC/C纳米纤维膜中的硅、碳和碳化硅之间的比例适宜,使制得的纳米纤维膜的容量和循环稳定性最佳。

[0055] 本发明提供的技术方案中,先采用静电纺丝的方法制备得到了SiO₂/C纳米膜,然后再通过高温原位烧结得到具有异质结构的Si/SiC/C纳米纤维膜,由于碳化硅与碳、硅均有较好的相容性,且化学性能稳定,强度高,因此,通过碳化硅的添加,能提高碳、硅材料的相容性,而且能在一定程度上抑制硅材料的体积膨胀效应,从而使制得的Si/SiC/C纳米纤维膜用作锂离子电池的负极时,表现出较高的容量和优异的循环稳定性能;同时,以导电聚合物和硅源作为原料,而该原料来源丰富,价格便宜,适合大规模制备;此外,该Si/SiC/C纳米纤维膜为柔性自支撑材料,将其用作负极时,不需要添加粘结剂、导电剂等非活性材料,直接裁剪成适宜尺寸后即可用作锂离子电池的负极,使用方便,同时提高了电池的整体能量密度。

[0056] 本发明还提出一种电池负极,所述负极为如上所述的Si/SiC/C纳米纤维膜的制备方法制得的Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0057] 目前,一般制得的负极材料包括导电剂、粘结剂和活性材料,而活性材料即为硅/碳复合材料,将所述负极材料制备成锂离子电池的负极时,需将所述负极材料作为涂层,涂覆于集流体上,形成负极片。因此,目前的活性材料制备锂离子电池的负极时,操作麻烦,且降低了电池的整体能量密度。

[0058] 本发明提供的Si/SiC/C纳米纤维膜,为由静电纺丝制得的纳米纤维膜,本身即为柔性自支撑材料,将其作为锂离子电池的负极时,直接裁剪成合适的尺寸即可,操作简单,并大大提高了电池的整体能量密度。

[0059] 此外,本发明还提出一种锂离子电池,所述锂离子电池包括如上所述的负极。

[0060] 所述负极为Si/SiC/C纳米纤维膜,所述Si/SiC/C纳米纤维膜的具体结构参照上述实施例,由于本发明锂离子电池采用了上述所有实施例的全部技术方案,因此至少具有上述实施例的技术方案所带来的所有有益效果,在此不再一一赘述。

[0061] 以下结合具体实施例和附图对本发明的技术方案作进一步详细说明,应当理解,以下实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0062] 实施例1

[0063] (1) 在70℃下,将聚丙烯腈、纳米硅粉和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)按质量比1:3:5称取,均匀搅拌12h,得到纺丝溶液。

[0064] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以15kv电压、0.8mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于60℃下进行真空干燥12h,备用。

[0065] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以2℃/min升温至280℃,保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0066] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以5℃/min的升温至1500℃,并保温2h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0067] 实施例2

[0068] (1) 在50℃下,将聚乙烯吡咯烷酮、纳米硅粉和乙醇按质量比1:3:10称取,均匀搅拌12h,得到纺丝溶液。

[0069] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以10kv电压、0.5mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于70℃下进行真空干燥10h,备用。

[0070] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以1℃/min升温至280℃,保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0071] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以5℃/min的升温至1500℃,并保温2h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0072] 实施例3

[0073] (1) 在30℃下,将聚酰胺、纳米硅粉和丙酮按质量比1:3:8称取,均匀搅拌12h,得到纺丝溶液。

[0074] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以20kv电压、1mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于50℃下进行真空干燥14h,备用。

[0075] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以1℃/min升温至280℃,保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0076] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以5℃/min的升温至1500℃,并保温2h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0077] 实施例4

[0078] (1) 在80℃下,将聚丙烯腈、纳米二氧化硅和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)按质量比1:5:12称取,均匀搅拌12h,得到纺丝溶液。

[0079] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以15kv电压、0.8mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于60℃下进行真空干燥12h,备用。

[0080] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以1℃/min升温至280℃,保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0081] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以5℃/min的升温至1500℃,并保温2h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0082] 实施例5

[0083] (1) 在80℃下,将聚丙烯腈、正硅酸乙酯和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)按质量比1:5:12称取,均匀搅拌12h,得到纺丝溶液。

[0084] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以15kv电压、0.8mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于60℃下进行真空干燥12h,备用。

[0085] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以1℃/min升温至280℃,保温2h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0086] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以5℃/min的升温至1500℃,并保温2h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0087] 实施例6

[0088] (1) 在70℃下,将导电聚合物(聚丙烯腈和聚酰胺的混合物)、纳米硅粉和N,N-二甲基甲酰胺(DMF)按质量比1:0.5:5称取,均匀搅拌6h,得到纺丝溶液。

[0089] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以15kv电压、0.8mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于60℃下进行真空干燥12h,备用。

[0090] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以3℃/min升温至200℃,保温5h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0091] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以6℃/min的升温至1000℃,并保温20h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0092] 实施例7

[0093] (1) 在60℃下,将聚丙烯腈、硅源(纳米硅粉和纳米二氧化硅的混合物)和有机溶剂(乙醇和丙酮的混合液)按质量比1:5:30称取,均匀搅拌24h,得到纺丝溶液。

[0094] (2) 将上述纺丝溶液置于高压静电纺丝机中,以15kv电压、0.8mL/min推进速度,静电纺丝得到前驱体薄膜,将前驱体薄膜置于60℃下进行真空干燥12h,备用。

[0095] (3) 在空气条件下,将上述前驱体薄膜以10℃/min升温至300℃,保温1h,得到SiO₂/C纳米膜。

[0096] (4) 在氩气条件下,将SiO₂/C纳米膜材料以10℃/min的升温至2000℃,并保温1h,得到Si/SiC/C纳米纤维膜。

[0097] (一) 结构表征

[0098] 将实施例1制得的Si/SiC/C纳米纤维膜经X-ray射线衍射(XRD),结果如图2所示,同时将其用扫描电子显微镜表征(SEM),结果如图3所示。

[0099] 由图2可以看出,本发明实施例1制得的Si/SiC/C纳米纤维膜包括Si、SiC以及C三种物质,由于实施例2-7与实施例1的原理一样,因此制得的纳米纤维膜特类似,也即,本发明提供的制备方法制备得到了包含Si、SiC和C的纳米纤维膜。

[0100] 由图3可以看出,本发明制得的Si/SiC/C纳米纤维膜是以SiC/C为纤维骨架,骨架里包覆有纳米硅颗粒。

[0101] (二) 性能测试

[0102] 将实施例1制得的Si/SiC/C纳米纤维膜在手套箱中组装成锂离子半电池,具体操作如下:依次将正极壳、电极片(由Si/SiC/C纳米纤维膜裁剪所得)、隔膜、锂片、泡沫镍和负极壳,依次叠放,并加入适当电解液后封装,其中采用的电池壳为CR2016型,隔膜为Celgard2400,电解液为1mol/L LiPF₆/EC-DMC(1:1)。测试上述锂离子半电池在不同电流密

度下的循环性能图,其结果如图4所示(其中1表示循环性能,2表示库伦效率)。

[0103] 由图4可以看出,本发明制得的Si/SiC/C纳米纤维膜作为锂离子电池的电极材料时,在 $0.1\text{A}\cdot\text{g}^{-1}$ 电流密度下循环200圈后仍 $1600\text{mA}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1}$ 的容量以及99%的库伦效率,说明该材料的容量较高、循环性能稳定性极好。由此可见,本发明制得的Si/SiC/C纳米纤维膜具有容量高、循环稳定性好的优势。

[0104] 由于实施例2-7的Si/SiC/C纳米纤维膜与实施例1类似,因此,将其作为锂离子电池的电极材料时,其效果也与实施例1差不多,在此不做赘述。

[0105] 以上仅为本发明的优选实施例,并非因此限制本发明的专利范围,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包括在本发明的专利保护范围内。

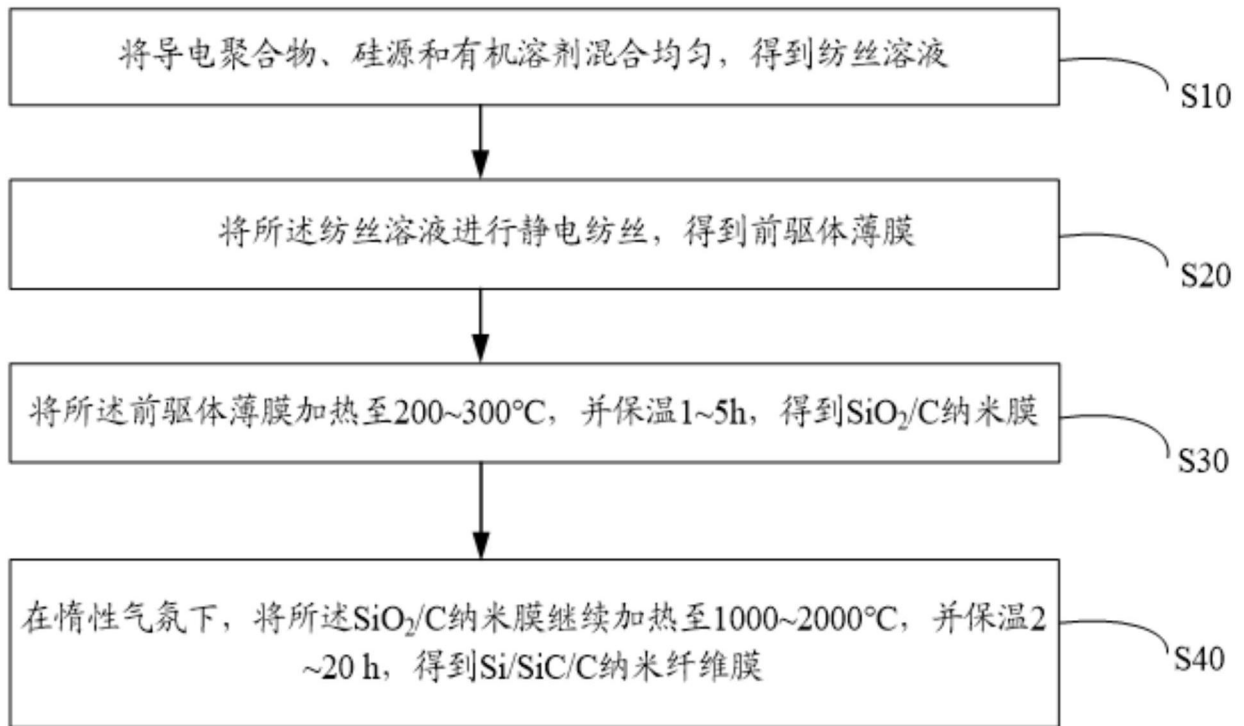


图1

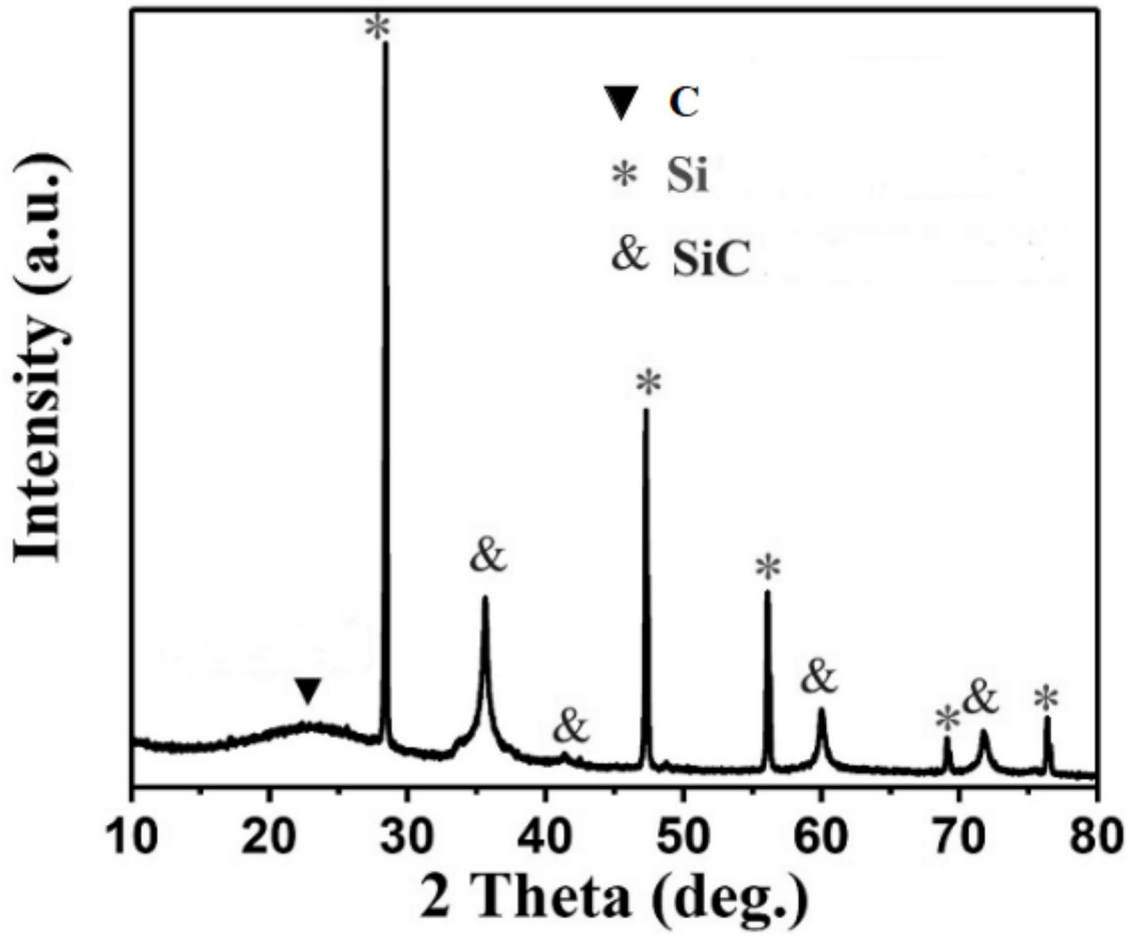


图2

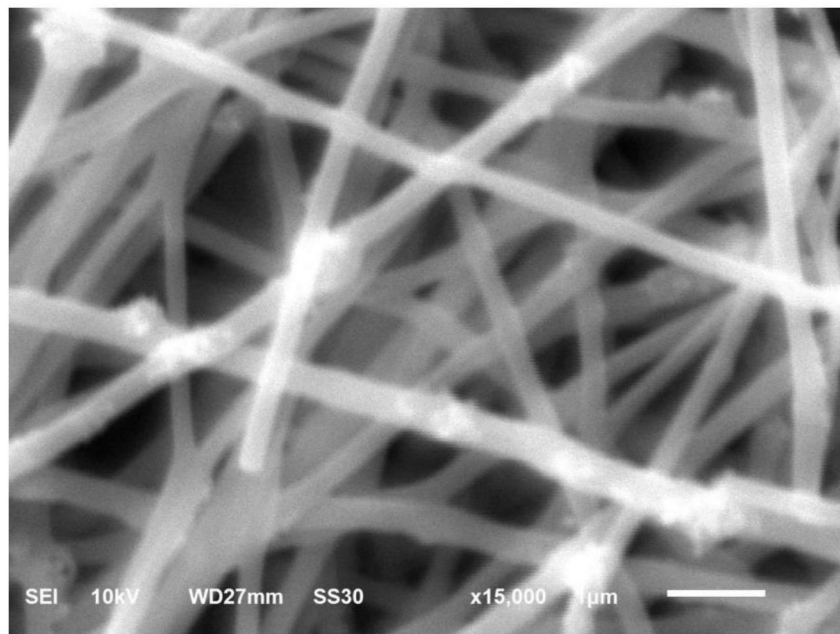


图3

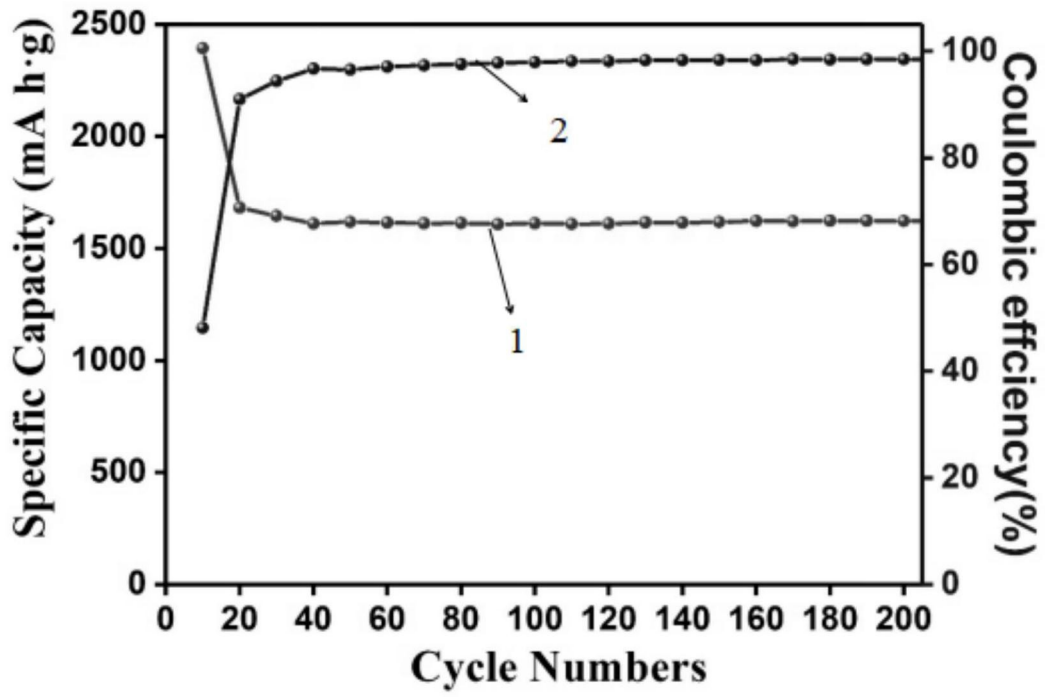


图4