



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110299519 A

(43)申请公布日 2019.10.01

(21)申请号 201910526701.1

(22)申请日 2019.06.18

(71)申请人 金雪莉

地址 318000 浙江省台州市椒江区开元路
198号

(72)发明人 不公告发明人

(74)专利代理机构 台州蓝天知识产权代理有限公司 33229

代理人 孙炜

(51)Int.Cl.

H01M 4/36(2006.01)

H01M 4/38(2006.01)

H01M 4/62(2006.01)

H01M 10/0525(2010.01)

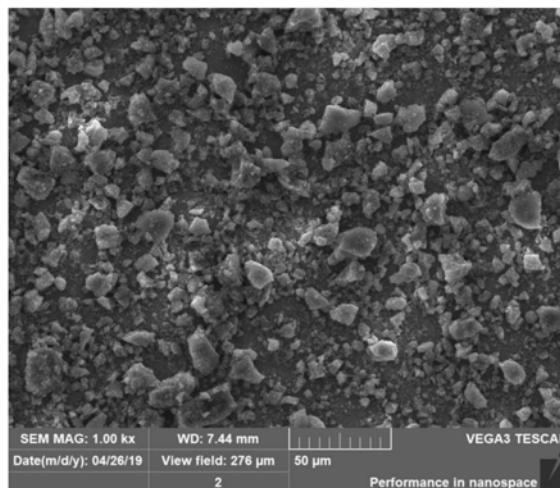
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料及其制备方法

(57)摘要

本发明属于高容量锂离子电池材料的技术领域,涉及一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,所述晶体硅/氧硅采用湿法球磨亚微米硅制得,其内芯为晶体硅,外层为氧硅,所述晶体硅/氧硅的中值粒径D50为 $0.16\mu\text{m}$ - $0.60\mu\text{m}$,优选为 $0.10\mu\text{m}$ - $0.25\mu\text{m}$,含氧量为3%-18%。本发明还提供了其制备方法,经过湿法球磨、混合碳化材料、高温碳化等步骤制备完成。本发明提供的内芯为亚微米晶体硅,外表包覆氧硅层,再在氧硅层外包覆碳的复合材料,满足工业化应用的四个条件,首次放电比容量高,首次库伦效率高,循环性能高以及工业化成本低。



1. 一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,其特征在于,所述晶体硅/氧硅采用湿法球磨亚微米硅制得,其内芯为晶体硅,外层为氧硅,所述晶体硅/氧硅的中值粒径D50为 $0.10\mu\text{m}$ - $0.60\mu\text{m}$,含氧量为3%-18%。

2. 根据权利要求1所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,其特征在于,所述晶体硅/氧硅的中值粒径D50优选为 $0.10\mu\text{m}$ - $0.25\mu\text{m}$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,其特征在于,所述亚微米硅为单晶和/或多晶的硅晶体材料,中值粒径D50为 $1\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ 。

4. 根据权利要求1所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,其特征在于,所述晶体硅/氧硅外包覆有碳包覆层,所述碳包覆层的质量占晶体硅/氧硅质量的25%-75%。

5. 根据权利要求1所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,其特征在于,所述晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料与石墨负极材料混合得到锂离子电池的负极材料,所述晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料与石墨负极材料的质量比为5%:95%-35%:65%。

6. 一种如权利要求1-4中任一项所述的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 将亚微米硅与液体介质均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,进行球磨1.5-24h,得到外层为氧硅层,内芯为晶体硅的复合材料晶体硅/氧硅;

(2) 将上述晶体硅/氧硅加入到均匀分散的含有在高温条件下形成无定型碳材料溶液中,经过干燥得到干燥的混合材料,干燥时间为2-10h;

(3) 将上述干燥混合材料装入密闭良好的高温炉中,在惰性气体的保护下,进行高温碳化处理,碳化温度为500-1000℃,碳化时间为2-24h,得到晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料。

7. 根据权利要求5所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料的制备方法,其特征在于,步骤(1)中球磨的转速为1000-1800转/分钟。

8. 根据权利要求5所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料的制备方法,其特征在于,所述亚微米硅与液体介质的固液比为15%:85%-35%:65%。

9. 根据权利要求5所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料的制备方法,其特征在于,步骤(1)中湿法球磨的液体介质中加入氧化剂,所述氧化剂为双氧水。

10. 根据权利要求9所述的一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料的制备方法,其特征在于,所述双氧水与液体介质的摩尔比为0.001-0.1:1。

一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于高纯纳米材料材料技术领域,涉及到高纯硅纳米线,硅纳米,高纯碳纳米线管,碳纳米,高纯纳米碳化硅材料的装置及其制备方法。

背景技术

[0002] 国家工信部提出,到2020年我国动力电池能量密度需要达到300wh/kg,争取达到350wh/kg,同时制造成本低于1元人民币每瓦,因此给锂离子电池的储锂容量、首次库伦效率、循环次数和成本控制提出了非常高的要求。

[0003] 全球自2008年以来对硅材料应用到锂离子电池负极材料进行了深入研究,我国近百家的科研院校及生产企业也参与硅在负极材料中的应用研究中,这些研究均从硅的纳米化,空心化,多孔化及硅的微观方法来寻找有效包覆突破口,来进行无定型碳包覆,但均无法有效实现,硅纳米线材料在同等中值径d50尺寸及同等的无定型碳量包覆材料的状况下其碳包覆层厚度大大增厚,对硅纳米材料在锂离子电池充电嵌理过程硅的膨胀形成有效的束缚,同时膨胀力随线方向发力,能够工业化的硅碳负极材料具有四个要求:首次放电比容量高,首次库伦效率高,循环性能高以及工业化成本低,四合一中缺一不可。同时满足以上要求严重困扰着高容量锂离子电池产业,以及我国大力发展新能源汽车产业,采用弯道超车来改变我国相对落后的现状传统汽车工业的产业规划。

[0004] 在锂离子电池的负极材料研究过程中,纳米级的晶体硅和氧化亚硅先后成为研究的热门对象。硅基负极材料以巨大的储锂容量(4200mAh/g),略高于碳材料的放电平台,较低的脱锂电位(0.5V)成为下一代锂离子电池负极材料。然而硅在锂离子充放电过程中伴随着300%-350%的体积变化,膨胀系数极高,在锂离子脱嵌充放电过程中极易引起电极的粉化,然后不断形成新SEI膜,大量消耗电池内的电解液。氧化亚硅其理论容量2800mAh/g,在锂离子脱嵌膨胀系数低于晶体硅,约为150%-200%,但该材料可逆容量低。

[0005] 通过深入研究发现,晶体硅材料要真正用于锂离子电池负极材料,其颗粒D50尺寸必须达到100nm以内,才能减少其膨胀力,使碳包覆于硅后有对晶体硅的膨胀达到有效束缚。但三维均达到100nm硅纳米材料制造工艺复杂,能耗很大,制造成本很高。目前三维尺寸D50于100nm,同时参考其形貌结构国内国际及品牌,其价格处于3000-10000元/公斤不等,高昂价格根本无法实际应用到锂离子电池材料中。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供了一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料及其制备方法,使之符合硅锂离子电池负极材料工业化运用的四个条件:首次放电比容量高,首次库伦效率高,循环性能高以及工业化成本低。

[0007] 本发明的目的是通过以下技术手段实现的:

[0008] 一种晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,所述晶体硅/氧硅采用湿法球磨亚微米硅制得,其内芯为晶体硅,外层为氧硅,所述晶体硅/氧硅的中值粒径D50为0.10 μ m-0.60 μ m,

含氧量为3%-18%。

[0009] 上述晶体硅/氧硅的中值粒径D50优选为0.10 μm -0.25 μm 。

[0010] 上述氧硅是指在球磨的过程中晶体硅的外层被氧化,由于氧化程度不同,从而形成不同的含氧量。

[0011] 上述作为原材料的亚微米硅为单晶和/或多晶的硅晶体材料,中值粒径D50为1 μm -100 μm 。

[0012] 当制作较低含氧量的材料时,一般使用粒径较小的亚微米硅进行湿磨,当制作较高含氧量的材料时,一般使用粒径较大的亚微米硅进行湿磨。

[0013] 上述晶体硅/氧硅外包覆有碳包覆层,所述碳包覆层的质量占晶体硅/氧硅质量的25%-75%。

[0014] 上述晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料与石墨负极材料混合得到锂粒子电池的负极材料,所述晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料与石墨负极材料的质量比为5%:95%-35%:65%。

[0015] 本发明还提供了上述的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料的制备方法,包括如下步骤:

[0016] (1) 将亚微米硅与液体介质均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,进行球磨1.5-24h,得到外层为氧硅层,内芯为晶体硅的复合材料晶体硅/氧硅;

[0017] (2) 将上述晶体硅/氧硅加入到均匀分散的含有在高温条件下形成无定型碳材料溶液中,经过干燥得到干燥的混合材料,干燥时间为2-10h;

[0018] (3) 将上述干燥混合材料装入密闭良好的高温炉中,在惰性气体的保护下,进行高温碳化处理,碳化温度为500-1000 $^{\circ}\text{C}$,碳化时间为2-24h,得到晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料。

[0019] 上述步骤(1)中液体介质是指纯化水或者乙醇。

[0020] 上述步骤(1)中球磨的转速为1000-1800转/分钟。

[0021] 上述步骤(1)中的球磨时间可以控制晶体硅/氧硅粒径。当晶体硅/氧硅的D50尺寸越接近100纳米时,每减少单位尺寸需要的球磨时间增加的越多。当接近100纳米时,减少D50尺寸5nm-10nm,就可能需要增加球磨时间12-24小时。

[0022] 上述步骤(1)球磨设备为棒销式球磨机或双动力离心式球磨机。

[0023] 上述步骤(1)中亚微米硅与液体介质的固液比为15%:85%-35%:65%。

[0024] 上述步骤(2)中在高温条件下形成无定型碳材料是指酚醛树脂、聚丙烯腈、聚氟乙烯、聚乙烯醇、缩丁醛、聚乙烯吡咯烷酮、环氧树脂、聚苯胺、聚噻吩、聚吡咯、沥青、葡萄糖、麦芽糖、蔗糖、淀粉中的一种或多种。

[0025] 上述步骤(2)中的干燥时间根据需要干燥物料的数量多寡进行调整。

[0026] 进一步的,为了加快氧化,上述湿法球磨的液体介质中可以加入氧化剂,所述氧化剂优选为双氧水。

[0027] 上述双氧水与液体介质的摩尔比为0.001-0.1:1。

[0028] 上述锂离子电池是指由正极、隔膜、负极和电解质液组成的锂离子电池。

[0029] 上述石墨负极材料为常规的石墨负极材料,包括天然石墨负极、人造石墨负极、中间相石墨负极材料。

[0030] 本发明相对于现有技术的有益效果如下：

[0031] 1、本发明使用成本低廉的亚微米级晶体硅颗粒作为原材料，甚至可以使用半导体晶片或光伏太阳能电池片生产加工过程中产生的废硅粉，相比于现有技术中负极材料直接使用的纳米级硅颗粒，大大降低了生产成本，为低成本的工业化提供了基础。

[0032] 2、本发明采用亚微米晶体硅湿法球磨自外向内形成氧硅层和晶体硅内芯，具有易制造、易分散、外表易均匀包覆无定型碳的特性，利用晶体硅内芯提高储锂容量和首次库伦效率，形成良好的导电性能，利用氧硅的低膨胀系数，形成碳对硅膨胀力的有效束缚，同时无需添加其他碳纳米管等材料。减少了工艺流程，降低了制造成本，易工业化生产。

[0033] 3、本发明通过传统的湿法球磨法生产晶体硅/氧硅，通过控制球磨时间控制氧硅层的含氧量，进而控制晶体硅/氧硅的性质，其工艺简单，反应终点容易控制，保证稳定的产品质量。

[0034] 4、本发明提供的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料，同现有常规石墨负极材料按相对容量配比均匀混合，通过半电池测试，首次放电比容量接近理论值，首次库伦效率88%-92.5%之间，750-1000周循环过程中保持容量率达80%以上，是一种极其理想的硅碳负极四合一优势材料。

附图说明

[0035] 图1是本发明的电镜照片

具体实施方式

[0036] 下面通过具体实施方式的描述对本发明作进一步说明，但这并非是对本发明的限制，本领域技术人员根据本发明的基本思想，可以做出各种修改或者改进，但是只要不脱离本发明的基本思想，均在本发明的范围之内。

[0037] 本发明实施例中所用的各种原料和试剂如无特别说明均为市售购买。

[0038] 本发明的氧含量检测使用氮氧分析仪，具体为北京钢研纳克生产的ON-3000型氮氧分析仪。

[0039] 本发明实施例中采用扣式电池对电池负极材料做性能检测，所使用的方法如下：

[0040] 1) 制浆：将负极材料、导电剂、粘结剂按8:0.95:1.05的质量比称取，加入溶剂调节好浆料粘度，搅拌2.5h。

[0041] 2) 涂布：用刮刀模具将浆料涂布于铜箔集流体上。

[0042] 3) 干燥：在真空干燥箱内于120℃下干燥11小时。

[0043] 4) 裁片：切成直径15mm的圆形电池负极片，称重后放置于干燥箱。

[0044] 5) 组装：在手套箱中以锂片为对应电极装配成2025型扣式电池。电解液为1M的LiPF₆/E₀C:DMC (1:1, Vol) 混合液，隔膜为2300聚丙烯微孔膜。

[0045] 6) 测试：将密封好的电池静置20h，采用电池性能充放电测试和循环性能测试。

[0046] 实施例1：采用市售中值粒径D50为3.3μm的单晶体硅粉为原料。

[0047] 步骤1：称取上述单晶体硅粉1100g，按照15%:85%的固液比均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中，以1000转/分钟的转速进行球磨24小时，得到D50粒径为0.10-0.12μm外表为氧硅层，内芯为单晶硅的材料，干燥烘干得到1050g晶体硅/氧硅，经过检测，其含氧量

为18%。

[0048] 步骤2:称取步骤1中得到的晶体硅/氧硅材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉1200g,酚醛树脂300g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料2300g。

[0049] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于800摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1500g的高容量硅碳负极材料。

[0050] 步骤4:将步骤3所得到的容量负极材料100g同人造石墨900g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0051] 实施例2:采用市售中值粒径D50为10 μ m的单晶体硅粉为原料。

[0052] 步骤1:称取上述单晶体硅粉1100g,按照15%:85%的固液比均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,以1200转/分钟的转速进行球磨12小时,得到D50粒径为0.15-0.17 μ m,外表为氧硅层,内芯为单晶硅的材料,干燥烘干得到1050g晶体硅/氧硅,经过检测,其含氧量为12%。

[0053] 步骤2:称取步骤1中得到的晶体硅/氧硅材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉1200g,酚醛树脂300g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料2300g。

[0054] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于800摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1500g的高容量硅碳负极材料。

[0055] 步骤4:将步骤3所得到的容量负极材料100g同人造石墨900g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0056] 实施例3:采用市售中值粒径D50为30 μ m的单晶体硅粉为原料。

[0057] 步骤1:称取上述单晶体硅粉1100g,按照25%:75%的固液比均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,以1400转/分钟的转速进行球磨5小时,得到D50粒径为0.18-0.20 μ m,外表为氧硅层,内芯为单晶硅的材料,干燥烘干得到1050g晶体硅/氧硅,经过检测,其含氧量为8%。

[0058] 步骤2:称取步骤1中得到的晶体硅/氧硅材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉1200g,酚醛树脂300g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料2300g。

[0059] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于800摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1500g的高容量硅碳负极材料。

[0060] 步骤4:将步骤3所得到的容量负极材料100g同人造石墨900g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0061] 实施例4:采用市售中值粒径D50为50 μ m的单晶体硅粉为原料。

[0062] 步骤1:称取上述单晶体硅粉1100g,按照30%:70%的固液比均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,以1600转/分钟的转速进行球磨2小时,得到D50粒径为0.21-0.23 μm ,外表为氧硅层,内芯为单晶硅的材料,干燥烘干得到1050g晶体硅/氧硅,经过检测,其含氧量为5.1%。

[0063] 步骤2:称取步骤1中得到的晶体硅/氧硅材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉1200g,酚醛树脂300g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料2300g。

[0064] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于800摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1500g的高容量硅碳负极材料。

[0065] 步骤4:将步骤3所得到的的高容量负极材料100g同人造石墨900g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0066] 实施例5:采用市售中值粒径D50为50 μm 的多晶体硅粉为原料。

[0067] 步骤1:称取上述多晶体硅粉1100g,按照25%:75%的固液比均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,液体介质为摩尔比0.01:1的双氧水溶液,以1200转/分钟的转速进行球磨1.5小时,得到D50粒径为0.23-0.25 μm ,外表为氧硅层,内芯为晶体硅的材料,干燥烘干得到1050g晶体硅/氧硅,经过检测,其含氧量为14.5%。

[0068] 步骤2:称取步骤1中得到的晶体硅/氧硅材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉600g,酚醛树脂150g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料1750g。

[0069] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于1000摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1200g的高容量硅碳负极材料。

[0070] 步骤4:将步骤3所得到的的高容量负极材料300g同人造石墨700g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0071] 实施例6:采用市售中值粒径D50为100 μm 的多晶体硅粉为原料。

[0072] 步骤1:称取上述多晶体硅粉1100g,按照25%:75%的固液比均匀搅拌分散加入到湿法球磨机储罐中,液体介质为摩尔比0.02:1的双氧水溶液,以1200转/分钟的转速进行球磨2.5小时,得到D50粒径为0.58-0.60 μm ,外表为氧硅层,内芯为晶体硅的材料,干燥烘干得到1050g晶体硅/氧硅,经过检测,其含氧量为18%。

[0073] 步骤2:称取步骤1中得到的晶体硅/氧硅材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉600g,酚醛树脂150g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料1750g。

[0074] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于1000摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1200g的高容量硅碳负极材料。

[0075] 步骤4:将步骤3所得到的的高容量负极材料300g同人造石墨700g进行均匀混合,得

到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0076] 对比实施例1:

[0077] 步骤1:取市售亚微米晶体硅氧颗粒,D50粒径为0.20-0.22 μm ,含氧量为0.5%。

[0078] 步骤2:称取步骤1中的亚微米晶体硅氧材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉1200g,酚醛树脂300g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料2300g。

[0079] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于800摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1500g的高容量硅碳负极材料。

[0080] 步骤4:将步骤3所得到的的高容量负极材料100g同人造石墨900g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0081] 对比实施例2:

[0082] 步骤1:取市售一氧化硅颗粒,D50粒径为0.20-0.22 μm ,含氧量为36%。

[0083] 步骤2:称取步骤1中的一氧化硅颗粒材料1000g,加入到纯水中进行乳化均匀分散,再加入沥青粉1200g,酚醛树脂300g,进一步均匀分散,将均匀分散的混合物经喷雾干燥,得到干燥混合物料2300g。

[0084] 步骤3:将混合物装入高温密闭的加热炉内,在惰性气体保护条件下,进行碳化处理,温度于800摄氏度,时间为3小时,通过自然降温冷却后取出,得到1900g的高容量硅碳负极材料。

[0085] 步骤4:将步骤3所得到的的高容量负极材料100g同人造石墨900g进行均匀混合,得到锂电池的硅碳负极材料。采用扣式电池对电池负极材料做性能检测,性能检测结果见下表。

[0086]

序号	充电比容量 (mAh/g)	放电比容量 (mAh/g)	首次库伦效率 (%)	衰减保持率 80%充放电循环周数	氧含量 (%)
实施例 1	461.1	521	88.5	1000	18
实施例 2	474.4	531.2	89.3	900	12
实施例 3	485	538.8	90	880	8
实施例 4	491	542.5	90.5	836	5.1
实施例 5	466.7	525	88.9	800	14.5
实施例 6	455.5	517	88.1	750	18
对比实施例 1	500.5	550	91	500	0.5
对比实施例 2	431	501	86	1300	36

[0087] 由上表可知,实施例1-5中,本发明制备的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,氧含量越高,首次库伦效率和电池容量越低,但循环性能越好,在实际制备中可以根据需求选择最佳的含氧量。而实施例6中虽然氧含量很高,但循环性能表现不佳,其原因主要是颗粒尺寸偏大造成的。

[0088] 对比本发明制备的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料 and 对比实施例1中的负极材料,本发明的循环性能要远远好于对比实施例1。对比本发明制备的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料 and 对比实施例2中的负极材料,本发明的电池容量和首次库伦效率均要明显优于对比实施例2。综上,本发明制备的晶体硅/氧硅/碳包覆复合负极材料,其综合性能要优于对比实施例1 and 对比实施例2。

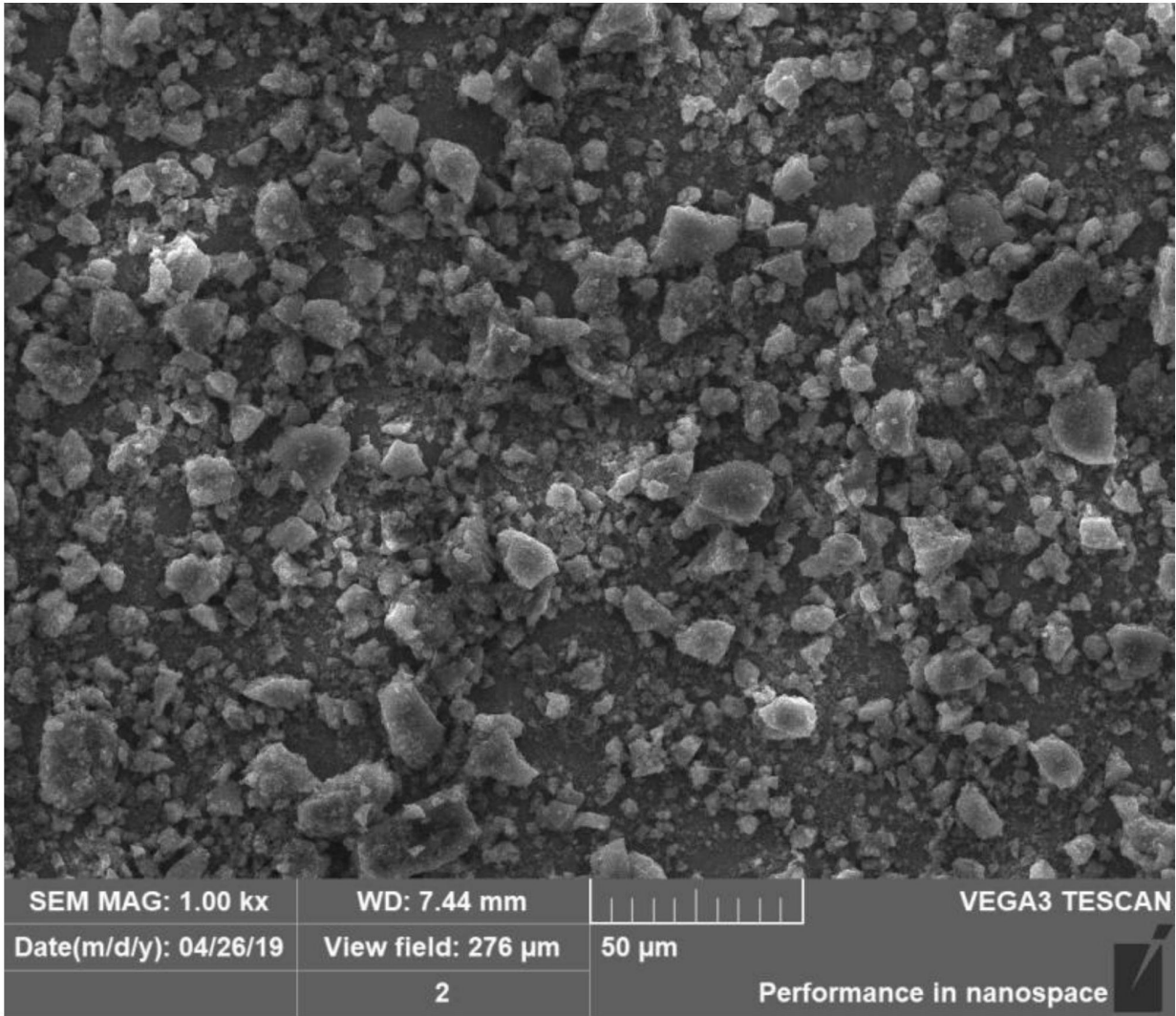


图1