



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106920962 A

(43)申请公布日 2017.07.04

(21)申请号 201710279447.0

(22)申请日 2017.04.25

(71)申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 张震 刘亚萌

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限公司 44102

代理人 何淑珍

(51)Int.Cl.

H01M 4/52(2010.01)

H01M 4/583(2010.01)

H01M 4/62(2006.01)

H01M 4/36(2006.01)

H01M 10/0525(2010.01)

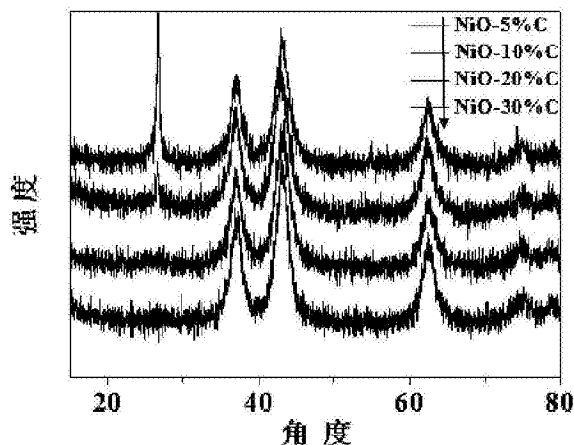
权利要求书1页 说明书8页 附图1页

(54)发明名称

一种用于锂离子电池的氧化镍/石墨复合纳米材料及其制备方法与应用

(57)摘要

本发明公开了一种用于锂离子电池的氧化镍/石墨复合纳米材料及其制备方法与应用,属于锂离子电池材料技术领域。该方法包括以下步骤:先将石墨,无水硝酸钠和浓硝酸混合搅拌,洗涤,干燥得到酸化石墨。再将酸化石墨与氢氧化镍球磨,煅烧,得到氧化镍/石墨复合纳米材料。本发明所得氧化镍/石墨复合纳米材料用于锂离子电池负极时,具有良好的电化学性能,在 200mA g^{-1} 的电流密度下循环50次之后,仍能保持 861mAh g^{-1} 的可逆容量,并且在大电流密度(1200mA g^{-1})的条件下,可逆容量仍然能够保持 602mAh g^{-1} 以上。



1. 一种用于锂离子电池的氧化镍/石墨复合纳米材料的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

(1) 将石墨、无水硝酸钠和浓硝酸混合搅拌,再洗涤,干燥,得酸化石墨;

(2) 将酸化石墨与氢氧化镍球磨,再分离得到的氢氧化镍/石墨复合纳米材料;

(3) 在氮气气氛下,将氢氧化镍/石墨复合纳米材料放置于管式炉中煅烧,得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)所述石墨为天然鳞片石墨、天然石墨和人造石墨中的一种或多种。

3. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)所述搅拌的时间为4-12小时。

4. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(2)所述球磨中球与原料的质量比为20:1-20:10,所述原料包括酸化石墨和氢氧化镍。

5. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(2)所述球磨时的转速为300~500rpm;球磨时间为24-48h。

6. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(3)所述煅烧的温度为250-450℃;时间为2-4h。

7. 由权利要求1-6任一项所述的方法制得的一种氧化镍/石墨复合纳米材料。

8. 根据权利要求7所述的一种氧化镍/石墨复合纳米材料,其特征在于,该氧化镍/石墨复合纳米材料中石墨的质量分数为1~30%。

9. 权利要求7所述的一种氧化镍/石墨复合纳米材料在制备锂离子电池负极中的应用。

10. 根据权利要求9所述的应用,其特征在于,该应用包括以下步骤:将氧化镍/石墨复合纳米材料、碳黑和PVDF混合制浆,然后涂布在铜箔上,得到锂离子电池负极。

一种用于锂离子电池的氧化镍/石墨复合纳米材料及其制备方法与应用

技术领域

[0001] 本发明属于锂离子电池材料技术领域,具体涉及一种用于锂离子电池的氧化镍/石墨复合纳米材料及其制备方法与应用。

背景技术

[0002] 随着能源危机的产生和日益严峻的环境问题,迫切需要一种新型能源代替煤、石油等不可再生能源。可充电锂离子电池可以作为绿色能源的储能载体,引起了人们极大的关注。商业锂离子电池负极材料石墨的理论容量 (372mAh g^{-1}) 较低,已经不足以满足日益增长的能量需求,因此寻找具有价格低廉,循环寿命长,高的能量密度,高的可逆容量,优良的倍率性能和循环稳定性等优点的锂离子电池负极材料显得尤为重要。

[0003] 过渡金属氧化物 (M_xO_y , $\text{M}:\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}$) 拥有较高的理论容量以及特殊的储锂机理: $\text{M}_x\text{O}_y + 2y\text{Li}^+ + 2ye^- \rightarrow y\text{Li}_2\text{O} + x\text{M}$ 因而是最具有开发和应用潜力的新一代锂离子电池负极材料。

[0004] 其中NiO由于它广泛的用途,如催化剂,气体传感器,磁性材料以及锂离子电池负极材料等,得到广泛的研究和关注。作为非常具有吸引力的锂离子电池负极材料NiO,它具有低电位,低成本,低毒性,相比其他过渡金属氧化物更安全和高的理论容量 (717mAh g^{-1}),高的体积能量密度(约为石墨的5.8倍)等众多优势。但在循环过程中,离子导电性差,NiO发生较大的体积膨胀等制约了NiO的电化学性能的发挥。

[0005] 有研究表明,减小NiO的纳米粒径不仅可以缩短 Li^+ 扩散距离,也能增加电极和电解质的接触面积,从而提高循环稳定性。但纳米材料最大的问题就是容易团聚从而引起更多的问题,而加入碳黑或导电聚合物可以使这些问题得到改善。Zhang等人采用水热法得到碳包覆的氧化镍 (NiO-C) 纳米颗粒,并将其用作锂离子电池负极材料。在 100mAh g^{-1} 的电流密度下循环50圈后,可逆容量仍保持在 706.9mAh g^{-1} 。

[0006] 本发明通过简单的球磨工艺,成功合成了均匀负载在石墨片上的纳米氧化镍NiO颗粒。当用于锂离子电池负极材料时,氧化镍/石墨复合纳米材料具有优异的循环稳定性,在 200mAh g^{-1} 的电流密度下循环50圈后,材料能保持 861mAh g^{-1} 的可逆容量,在 1200mAh g^{-1} 的大电流密度下,材料也有 602mAh g^{-1} 的可逆容量。本发明具有工艺简单,原料价格低廉易得,成本低,效率高,环境友好等优点,可以大规模工业应用。

发明内容

[0007] 本发明的首要目的是提供一种氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0008] 本发明的另一目的是提供上述氧化镍/石墨复合纳米材料的低成本、高效率、可大规模制备的方法。

[0009] 本发明的再一目的是提供上述氧化镍/石墨复合纳米材料作为高性能锂离子电池负极材料的应用方法。

[0010] 本发明通过以下技术方案实现。

[0011] 一种用于锂离子电池的氧化镍/石墨复合纳米材料的制备方法,包括以下步骤:

[0012] (1) 将石墨与无水硝酸钠放入反应器中,搅拌下加入浓硝酸,反应后用水洗涤至中性,干燥,得到酸化石墨;

[0013] (2) 将酸化石墨、氢氧化镍与球混合球磨,再分离得到的氢氧化镍/石墨复合纳米材料;

[0014] (3) 在氮气气氛下,将氢氧化镍/石墨复合纳米材料放置于管式炉中煅烧,得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0015] 优选的,步骤(1)所述石墨为天然鳞片石墨、天然石墨和人造石墨中的一种或多种。

[0016] 优选的,步骤(1)所述反应的时间为12小时。

[0017] 优选的,步骤(2)所述球与原料的质量比为20:1-20:10,所述原料包括酸化石墨和氢氧化镍。

[0018] 优选的,步骤(2)所述球磨时的转速为300~500rpm;球磨时间为24-48h。

[0019] 优选的,步骤(3)所述煅烧的温度为250-450℃;时间为2-4h。

[0020] 优选的,一种氧化镍/石墨复合纳米材料的制备方法如下:

[0021] 称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,缓慢加入60ml浓硝酸,搅拌12小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨备用。按不同比例称取酸化的石墨与氢氧化镍,加入锆球,锆球与原料(包括酸化石墨和氢氧化镍)的质量比为20:1,在300~500rpm转速下,球磨48h,分离得到了氢氧化镍/石墨复合纳米材料,在氮气气氛下,放置管式炉中于350℃下煅烧2h,得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0022] 本发明中球磨主要有以下两种作用;(1)有效地减少石墨的层数;(2)使得氢氧化镍均匀地分散在已剥离的石墨片上。

[0023] 由以上所述的方法制得的一种氧化镍/石墨复合纳米材料,优选的,该氧化镍/石墨复合纳米材料中石墨的质量分数为1~30%;进一步优选的,石墨的质量分数为10%。

[0024] 以上所述的一种氧化镍/石墨复合纳米材料在制备锂离子电池负极中的应用。

[0025] 优选的,该应用包括以下步骤:将氧化镍/石墨复合纳米材料、碳黑和PVDF混合制浆,然后涂布在铜箔上,得到锂离子电池负极。

[0026] 优选地,所述应用具体包括以下步骤:称取0.2g氧化镍/石墨粉体、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池。在全电池应用中,则将金属锂对电极换成锂离子电池正极材料制成的电极。

[0027] 与现有技术相比,本发明具有如下优点及有益效果:

[0028] (1) 本发明采用硝酸浸泡石墨,将含氧官能团成功插在石墨片间,从而使石墨通过球磨后能减少层数。

[0029] (2) 本发明采用简单的球磨法,合成了氧化镍/石墨复合纳米材料并成功将其应用于锂离子电池负极材料。氧化镍纳米颗粒分散在剥离的石墨表面,有效缓解了电池循环过程中镍氧化物体积膨胀带来的影响,石墨的加入抑制了氧化镍的团聚,反应接触面积增大,也提高了离子导电性,从而改善了材料的电化学性能。

[0030] (3) 本发明采用简单的球磨法,利用机械剪切力,成功地将天然石墨剥离成少层数的石墨。

[0031] (4) 本发明所用的氢氧化镍是市售的普通试剂,所用的石墨价格低廉,并且本发明所用的方法为球磨法,所以适合较大规模合成。与此同时,本发明还有制备工艺简单,环境友好等优点。因而,本发明具有大规模工业生产的潜能。

[0032] (5) 本发明的氧化镍/石墨复合纳米材料用于锂离子电池负极时具有良好的循环性能:所述的复合纳米材料当石墨质量分数为10%时,在电流密度为 200mA g^{-1} 下充放电50次后,可逆容量为 861mAh g^{-1} ,在 1200mAh g^{-1} 的大电流密度下,材料也有 602mAh g^{-1} 的可逆容量。可见本发明制备的锂离子负极材料循环性能较好,可逆容量较高。

附图说明

[0033] 图1为实施例1-4所得氢氧化镍/石墨复合纳米材料的XRD图。

[0034] 图2为实施例1-4所得氧化镍/石墨复合纳米材料的XRD图。

具体实施方式

[0035] 下面结合实施例对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0036] 实施例1

[0037] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌12小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取0.3596g酸化石墨,8.9904g氢氧化镍,187g锆球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在400rpm下球磨48h,将得到的样品经筛网滤出锆球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温 5°C 的速度升温至 350°C ,保温2h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0038] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0039] 实施例2

[0040] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌12小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取0.7670g酸化石墨,8.5826g氢氧化镍,187g锆球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在400rpm下球磨48h,将得到的样品经筛网滤出锆球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温 5°C 的速度升温至 350°C ,保温2h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0041] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0042] 实施例3

[0043] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌12小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取1.5677g酸化石墨,7.7819g氢氧化镍,187g铅球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在400rpm下球磨48h,将得到的样品经筛网滤出铅球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温5℃的速度升温至350℃,保温2h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0044] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0045] 实施例4

[0046] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌12小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取2.4g酸化石墨,6.9496g氢氧化镍,187g铅球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在400rpm下球磨48h,将得到的样品经筛网滤出铅球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温5℃的速度升温至350℃,保温2h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0047] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0048] 实施例5

[0049] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌4小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取2.4g酸化石墨,6.9496g氢氧化镍,34g铅球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在300rpm下球磨48h,将得到的样品经筛网滤出铅球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温5℃的速度升温至350℃,保温2h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0050] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0051] 实施例6

[0052] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌8小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取2.4g酸化石墨,6.9496g氢氧化镍,18.7g铅球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在500rpm下球磨48h,将得到的样品经筛网滤出铅球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温5℃的速度升温至350℃,保温2h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0053] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0054] 实施例7

[0055] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌4小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取2.4g酸化石墨,6.9496g氢氧化镍,187g锆球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在400rpm下球磨36h,将得到的样品经筛网滤出锆球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温5℃的速度升温至425℃,保温4h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0056] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0057] 实施例8

[0058] 依次称取30g天然鳞片石墨,15g无水硝酸钠放入100ml烧杯中,磁力搅拌下,逐滴加入60ml浓硝酸,搅拌4小时后用蒸馏水洗涤至pH呈中性,干燥得到酸化石墨。依次称取2.4g酸化石墨,6.9496g氢氧化镍,187g锆球(磨介),加入球磨罐中,加入密封圈,在400rpm下球磨24h,将得到的样品经筛网滤出锆球,得到氢氧化镍/石墨复合纳米材料。将所得材料放置于管式炉中,在氮气气氛下,以每分钟升温5℃的速度升温至500℃,保温3h得到氧化镍/石墨复合纳米材料。

[0059] 称取0.2g氧化镍/石墨复合纳米材料、0.025g碳黑、0.025g PVDF,在研钵里充分研磨后转入小玻璃瓶中,加入1ml NMP,磁力搅拌30min后将材料均匀涂布在铜箔上制成电极,采用金属锂作为对电极,在手套箱中组装成CR2016型纽扣电池,再对该CR2016型纽扣电池进行电化学性能测试。

[0060] 性能测试

[0061] 上述实施例1-4制备的氢氧化镍/石墨复合纳米材料与氧化镍/石墨复合纳米材料利用X射线衍射技术(XRD)进行分析,结果见图1和图2所示。

[0062] 上述实施例制备的电池在搁置12h后,采用电池测试仪(深圳新威)和BTS7.5.5软件,测试温度为室温,电流密度为 200mA g^{-1} ~ 1200mA g^{-1} 的情况下,对其进行恒流充放电(放电截止电压为0.01V,充电电压为3V),测试电池的循环性能和倍率性能。本发明各实施例所制备的电池的循环性能与倍率性能测试结果见表1、表2。

[0063] 表1

[0064]

实施例	球料比	球磨时间	石墨的含量	转速	搅拌时间	煅烧温度	煅烧时间	放电比容量
1	20:1	48h	5wt%	400 rpm	12h	350℃	2h	586 mAh g ⁻¹
2	20:1	48h	10wt%	400rpm	12h	350℃	2h	861 mAh g ⁻¹
3	20:1	48h	20 wt %	400rpm	12h	350℃	2h	607 mAh g ⁻¹
4	20:1	48h	30 wt %	400rpm	12h	350℃	2h	725 mAh g ⁻¹
5	20:5.5	48h	10wt%	300rpm	4h	350℃	2h	625 mAh g ⁻¹
6	20:10	48h	10wt%	500rpm	8h	350℃	2h	590mAh g ⁻¹
7	20:1	36h	10wt%	400rpm	12h	425℃	4h	762mAh g ⁻¹
8	20:1	24h	10wt%	400rpm	12h	500℃	3h	693mAh g ⁻¹

[0065] 注:表中“石墨的含量”指氧化镍/石墨复合纳米材料中石墨的质量分数。

[0066] 表2

[0067]

实施例	球料比	球磨时间	石墨的含量	转速	搅拌时间	煅烧温度	煅烧时间	电流密度	循环次数	放电比容量
1	20:1	48h	5wt%	400rpm	12h	350℃	2h	400 mA g ⁻¹	6	502mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	480mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	455mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	432mAh g ⁻¹
2	20:1	48h	10wt%	400rpm	12h	350℃	2h	400 mA g ⁻¹	6	791mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	677mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	640mAh g ⁻¹

[0068]

								1200 mA g ⁻¹	6	602mAh g ⁻¹
3	20:1	48h	20wt%	400rpm	12h	350℃	2h	400 mA g ⁻¹	6	599mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	502mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	460mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	417mAh g ⁻¹
4	20:1	48h	30 wt %	400rpm	12h	350℃	2h	400 mA g ⁻¹	6	617mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	538mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	507mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	472mAh g ⁻¹
5	20:5.5	48h	10wt%	300rpm	4h	350℃	2h	400 mA g ⁻¹	6	596 mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	501mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	439mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	400mAh g ⁻¹
6	20:10	48h	10wt%	500rpm	8h	350℃	2h	400 mA g ⁻¹	6	581mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	544mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	438mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	381mAh g ⁻¹
7	20:1	36h	10wt%	400rpm	12h	425℃	4h	400 mA g ⁻¹	6	735mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	689mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	653mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	537mAh g ⁻¹
8	20:1	24h	10wt%	400rpm	12h	500℃	3h	400 mA g ⁻¹	6	678mAh g ⁻¹
								800 mA g ⁻¹	6	538mAh g ⁻¹
								1000 mA g ⁻¹	6	495mAh g ⁻¹
								1200 mA g ⁻¹	6	386mAh g ⁻¹

[0069] 本发明利用球磨法制备了氧化镍/石墨复合纳米材料,通过改变石墨加入的比例来研究材料的合成条件及石墨投入量在1-30%范围内的最佳比例,并分析了相应材料的循环性能和倍率性能等。通过比较8个实施例,发现石墨原始投入量(相对氧化镍)为10%的样品,具有良好的循环性能,均能够在200mA g⁻¹电流密度下循环50圈之后保持860mA h g⁻¹以

上的可逆容量,在 1200mA h g^{-1} 的大电流密度下,材料也有 602mA h g^{-1} 的可逆容量。

[0070] 实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其它的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

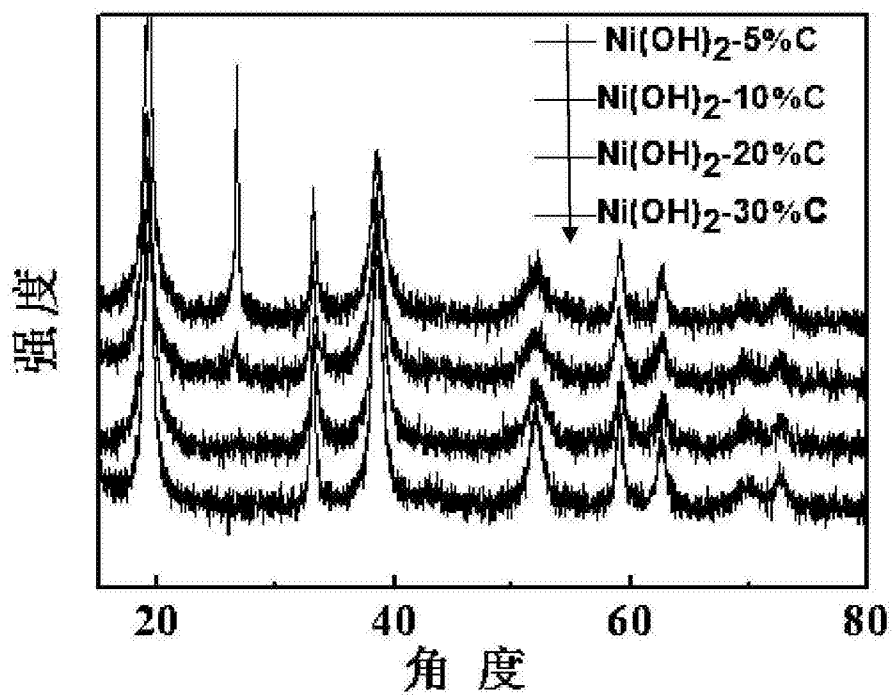


图1

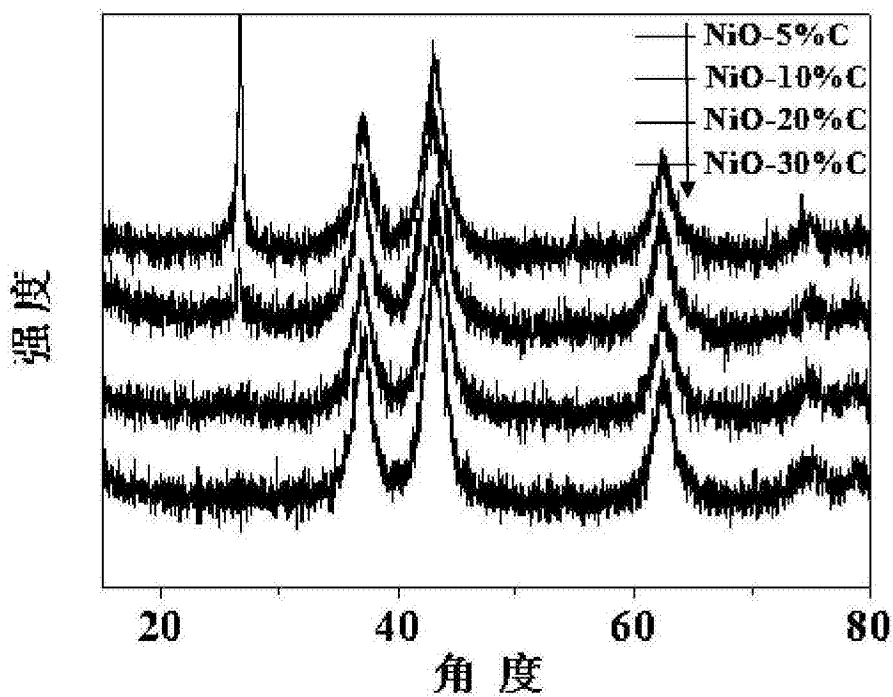


图2