



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105070515 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201510512798. 2

(22) 申请日 2015. 08. 19

(71) 申请人 华东理工大学

地址 200237 上海市徐汇区梅陇路 130 号

(72) 发明人 周静红 张梓澜 杨实润 隋志军

钱刚 周兴贵

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

代理人 邓琪 宋丽荣

(51) Int. Cl.

H01G 11/30(2013. 01)

H01G 11/26(2013. 01)

H01G 11/32(2013. 01)

H01G 11/86(2013. 01)

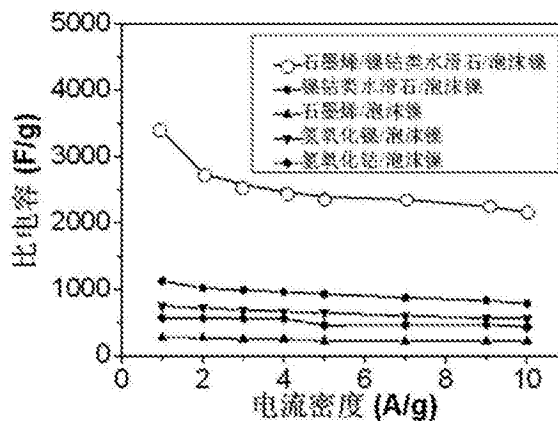
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种制备泡沫镍复合材料的方法和由此获得的泡沫镍复合材料及其应用

(57) 摘要

本发明涉及一种制备泡沫镍复合材料的方法,包括以下步骤:将氧化石墨烯和表面活性剂加入到水和甲醇的混合溶液中进行超声得到氧化石墨烯悬浮溶液;在氧化石墨烯悬浮溶液中加入硝酸镍和氯化钴,搅拌混合,形成均匀悬浮液;将均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 100-200℃ 下进行溶剂热反应,在氧化石墨烯还原为石墨烯的同时,原位生成镍钴氢氧化物于泡沫镍的表面,从而得到表面覆盖石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。本发明还涉及由上述方法得到的泡沫镍复合材料及其应用。本发明的制备方法路线简单、易于控制、成本低,得到的泡沫镍复合材料作为超级电容器电极材料具有较大的比电容和优异的循环稳定性。



1. 一种制备泡沫镍复合材料的方法,包括以下步骤:

S1,将氧化石墨烯和表面活性剂加入到水和甲醇的混合溶液中进行超声得到氧化石墨烯悬浮溶液;

S2,在所述氧化石墨烯悬浮溶液中加入硝酸镍和氯化钴,搅拌混合,形成均匀悬浮液;

S3,将所述均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 100-200℃下进行溶剂热反应,在氧化石墨烯还原为石墨烯的同时,原位生成镍钴氢氧化物于泡沫镍的表面,从而得到表面覆盖石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述步骤 S1 中,所述表面活性剂选自:十六烷基三甲基溴化铵、聚环氧乙烷-聚环氧丙烷-聚环氧乙烷三嵌段共聚物、十二烷基苯磺酸钠、聚苯乙烯磺酸钠。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,在所述步骤 S1 中,所述表面活性剂与氧化石墨烯的质量比为 3-100;甲醇与水的质量比为 50-1;甲醇与氧化石墨烯的质量比为 500-3000。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述步骤 S2 中,所述硝酸镍与氯化钴的摩尔比为 0.5-3.0;氧化石墨烯与硝酸镍的质量比为 0.005-1.300。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,所述步骤 S3 中的泡沫镍在使用前经过如下前处理:取泡沫镍分别用丙酮、盐酸、去离子水以及无水乙醇超声处理。

6. 根据权利要求 5 所述的方法,其特征在于,所述盐酸的浓度为 0.01-7.00M;丙酮、盐酸、去离子水、无水乙醇的超声时间各为 5-60min。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,在所述步骤 S3 中,所述溶剂热反应的温度为 120-180℃,反应时间为 9-39h。

8. 一种根据权利要求 1-7 中任一项权利要求所述的方法得到的泡沫镍复合材料,其特征在于,该泡沫镍复合材料为生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。

9. 根据权利要求 8 所述的泡沫镍复合材料,其特征在于,所述泡沫镍复合材料具有多级孔道结构,同时存在孔径小于 2nm 的微孔、孔径介于 2-50nm 的介孔和孔径 50nm 以上的大孔。

10. 一种根据权利要求 8 或 9 所述的泡沫镍复合材料的应用,其特征在于,该泡沫镍复合材料在电容器上作为电极材料使用。

一种制备泡沫镍复合材料的方法和由此获得的泡沫镍复合材料及其应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电化学材料,更具体地,涉及一种制备泡沫镍复合材料的方法和由此获得的泡沫镍复合材料及其应用。

背景技术

[0002] 当今世界能源的需求主要依赖化工燃料,但化工燃料日益紧缺。人们迫切需要高效、清洁、可循环利用的新型能源。所以新型可再生能源研究是一个热点。但是可再生能源,如风能、太阳能等可再生能源的利用受季节、气象和地域条件的严重影响,因此开发新型储能装置,是有效利用可再生能源的关键问题之一。科学家们先后发展了不同类型的电化学储能器件,如锂离子电池、燃料电池、超级电容器等。

[0003] 超级电容器是新型的储能器件,有显著的优势:能量密度高,充放电时间短,循环寿命长。对于一个电容器而言,其核心部分是电极,而电极材料又是决定电极的电化学性能的关键。根据超级电容器储存能量的原理不同,电极材料大概可以分为三类:碳材料(如活性炭、石墨烯等)、金属氢氧化物或氧化物(如氧化钨、氢氧化镍、氢氧化钴、氧化镍、二氧化锰等)以及导电聚合物(如聚乙炔、聚噻吩等)。

[0004] 石墨烯作为结构特殊的新颖碳材料,具有高比表面积、高导电性、高机械性能等优点,能够缩短离子和电子的传递路径。但是石墨烯片层之间由于强烈的 $\pi-\pi$ 作用使其非常容易团聚,从而减小了比表面积和离子扩散速率,所以石墨烯单独做电极材料时比电容比较低。另一方面,镍钴类水滑石,是一种层状双金属氢氧化物,由于其较高的理论电容量和低廉的成本(与贵金属钨相比较),是很有前景的电极材料,但是其循环稳定性比较差。在超级电容器领域,石墨烯与金属氢氧化物复合材料之间存在协同作用,已经引起了广泛的关注。例如 Gao 等制备的 graphene nanosheet/ $\text{Ni}^{2+}/\text{Al}^{3+}\text{LDH}$ 在 1A/g 时比电容为 781.5F/g (Gao Z, et al. Chemistry of Materials, 2011, 23(15):3509-3516.), Yang 等制备的 $\text{GO}/\text{NiCo-carbonate hydroxide}$ 在 1A/g 时比电容为 1398F/g (Yang J, et al. Advanced Functional Materials, 2015, 25(14):2109-2116)。但是上述方法制得的材料的比电容仍然远远低于理论值,无法达到实际应用的要求。

发明内容

[0005] 本发明旨在提供一种制备泡沫镍复合材料的方法和由此获得的泡沫镍复合材料及其应用,从而获得电化学性能优异的泡沫镍复合材料。

[0006] 本发明提供一种制备泡沫镍复合材料的方法,包括以下步骤:S1,将氧化石墨烯和表面活性剂加入到水和甲醇的混合溶液中进行超声得到氧化石墨烯悬浮溶液;S2,在所述氧化石墨烯悬浮溶液中加入硝酸镍和氯化钴,搅拌混合,形成均匀悬浮液;S3,将所述均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 $100-200^\circ\text{C}$ 下进行溶剂热反应,在氧化石墨烯还原为石墨烯的同时,原位生成镍钴氢氧化物于泡沫镍的表面,从而得到表面

覆盖石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。其中,前面的步骤 S1 和步骤 S2 仅为原料的混合,仅在步骤 S3 中通过醇热反应一锅法 (one-pot conversion) 形成表面覆盖石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料,制备方法简便高效。

[0007] 在所述步骤 S1 中,所述表面活性剂有利于最终泡沫镍复合材料的多级孔道结构的形成。所述表面活性剂优选为十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB)、聚环氧乙烷-聚环氧丙烷-聚环氧乙烷三嵌段共聚物 (P123)、十二烷基苯磺酸钠 (SDS)、聚苯乙烯磺酸钠 (PSS),更优选 CTAB 和 SDS。其中,表面活性剂与氧化石墨烯的质量比优选为 3-100,更优选为 30-50。甲醇与水的质量比优选为 50-1,更优选为 25-3。甲醇与氧化石墨烯的质量比优选为 500-3000,更优选为 800-2000。其中,如果甲醇与氧化石墨烯质量比太小,氧化石墨烯不能很好地分散在溶剂里;如果质量比太大,则单位体积内氧化石墨烯的质量太少,不利于石墨烯片层与镍钴氢氧化物的复合和相互作用,最终得到的泡沫镍复合材料的性能较差。

[0008] 在所述步骤 S2 中,所述硝酸镍与氯化钴的摩尔比优选为 0.5-3.0,更优选为 0.8-2.3。氧化石墨烯与硝酸镍的质量比优选为 0.005-1.300,更优选为 0.01-0.8。其中,硝酸镍与氯化钴的摩尔比可以更好地确保形成层状的类水滑石结构的双金属氢氧化物。氧化石墨烯与硝酸镍的质量比如果太大,则泡沫镍复合材料的比电容会比较低,而如果质量比太小,则泡沫镍复合材料的循环稳定性不好。

[0009] 所述步骤 S3 中的泡沫镍在使用前经过如下前处理:取泡沫镍分别用丙酮、盐酸、去离子水以及无水乙醇超声处理。所述盐酸的浓度优选为 0.01-7.00M,更优选为 3.00-6M。丙酮、盐酸、去离子水、无水乙醇的超声时间各为 5-60min,更优选为 15-30min。其中,上述前处理是为了清理泡沫镍表面的有机物和氧化物,如果泡沫镍足够干净,也可以不进行上述的前处理。

[0010] 在所述步骤 S3 中,所述溶剂热反应的温度优选为 120-180℃。反应时间优选为 9-39h,更优选为 12-30h。该步骤还包括将生长有石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石的泡沫镍取出进行洗涤和干燥的步骤。其中,溶剂热反应的温度选择能够保证甲醇与硝酸根离子反应产生氢氧根离子,从而与镍、钴离子发生沉淀反应,生成类水滑石结构的镍钴氢氧化物,同时保证氧化石墨烯还原为石墨烯。

[0011] 本发明还提供一种由上述方法得到的泡沫镍复合材料,该泡沫镍复合材料为原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。

[0012] 所述泡沫镍复合材料具有多级孔道结构,同时存在孔径小于 2nm 的微孔、孔径介于 2-50nm 的介孔和孔径 50nm 以上的大孔。

[0013] 本发明还提供一种上述泡沫镍复合材料的应用,其特征在于,该泡沫镍复合材料在电容器上作为电极材料使用。通过实验,申请人发现,该泡沫镍复合材料具有优异的电化学性能。

[0014] 本发明提供的泡沫镍复合材料,由于初始原料氧化石墨烯具有较大的比表面积且表面富有含氧官能团,有利于镍离子、钴离子的成核,而且石墨烯本身导电性能比较好,可以减少电极反应的阻力,从而提高电化学性能。镍钴类水滑石为泡沫镍复合材料提供了优异的赝电容。作为集流体(汇集电流的零件)的泡沫镍直接与电极材料活性物质(生长在泡沫镍上的石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石)接触,减小电极阻力。所形成的泡沫镍复合材料的多级结构,有利于电子的传输,从而有利于提升电化学性能。此外,电极的制备

过程中不需要额外的加入导电剂和粘合剂,绿色环保。总之,本发明的制备泡沫镍复合材料的方法路线简单、易于控制、成本低,有利于大规模生产,而所提供的泡沫镍复合材料作为超级电容器电极材料具有较大的比电容和优异的循环稳定性。

附图说明

- [0015] 图 1a 是单独泡沫镍的扫描电子显微图；
[0016] 图 1b 是实施例 1 制得的泡沫镍复合材料的扫描电子显微图；
[0017] 图 2a 是实施例 1 制得的泡沫镍复合材料的透射电镜图；
[0018] 图 2b 是图 2a 的局部放大图；
[0019] 图 3 是分别由实施例 1、对照例 1、对照例 2、对照例 3、对照例 4 制得的泡沫镍复合材料、石墨烯、镍钴类水滑石、单独氢氧化镍、单独氢氧化钴的单电极比电容比较图；
[0020] 图 4 是实施例 1 制得的泡沫镍复合材料作为电极材料的单电极的循环性能图。

具体实施方式

[0021] 在本文中,水滑石是指具有层状结构的镁铝碱式碳酸根盐,常见的分子式为 $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4(H_2O)$ 。

[0022] 类水滑石指的是结构跟水滑石类似的具有层状结构的化合物。

[0023] 层状双金属氢氧化物 (layered double hydroxides, LDHs) 是水滑石和类水滑石材料的统称,其化学组成可以表示为 $[M II_{1-x}M III_x(OH)_2]^{x+}(A^n)_{x/n} \cdot mH_2O$, 其中 M II 为 Mg^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} 等二价金属阳离子; M III 为 Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Sc^{3+} 等三价金属阳离子; A^n 为阴离子,如 CO_3^{2-} , NO_3^- , Cl^- , OH^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , $C_6H_4(COO)_2^{2-}$ 等无机和有机离子以及络合离子。

[0024] 镍钴氢氧化物层状类水滑石是由两种金属氢氧化物构成的混合物,其组成中还含有一定的氢氧根 / 溴离子等插层离子。

[0025] 下面结合附图,给出本发明的较佳实施例,并予以详细描述。

[0026] 实施例 1 泡沫镍复合材料的制备

[0027] (1) 将 0.01g 氧化石墨烯 GO 和 10g 表面活性剂十二烷基苯磺酸钠溶解在 150g 甲醇和 3g 水的混合溶液中,超声形成均匀的氧化石墨烯悬浮液。

[0028] (2) 将 0.81mol 硝酸镍和 0.27mol 氯化钴溶解在上述氧化石墨烯悬浮液中,搅拌 20min,得到均匀悬浮液。

[0029] (3) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、0.01M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 5min。

[0030] (4) 将 (2) 所述的均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 100℃ 下反应 12h。反应结束后将生长有石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石的泡沫镍取出,洗涤、干燥,得到原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极,进行电化学测试。

[0031] 本实施例中所使用的泡沫镍扫描电镜图如图 1a,所得的泡沫镍复合材料的扫描电镜图如图 1b 所示,泡沫镍复合材料是由数十纳米厚和微米级大小的纳米片为花瓣组装成了花状结构,直径为数微米的花状泡沫镍复合材料球均匀分布多孔的泡沫镍骨架上,因此,该泡沫镍复合材料具有多级孔道结构。此处的多级孔道结构是指同时存在孔径小于 2nm

的微孔、孔径介于 2-50nm 的介孔和孔径 50nm 以上的大孔。所得的泡沫镍复合材料的透射电镜图如图 2a 和图 2b 所示,镍钴类水滑石均匀地分散在石墨烯的表面,且能够清楚地看到镍钴类水滑石之间的界面,这说明两者之间的结合比较牢固。

[0032] 实施例 2 泡沫镍复合材料的制备

[0033] (1) 将 0.05g 氧化石墨烯和 0.15g 十二苯磺酸钠溶解在 75g 甲醇和 3g 水的混合溶液中,超声形成均匀的氧化石墨烯悬浮液。

[0034] (2) 将 0.63mol 硝酸镍和 0.27mol 氯化钴溶解在上述氧化石墨烯悬浮液中,搅拌 20min,得到均匀悬浮液。

[0035] (3) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、6M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 30min。

[0036] (4) 将 (2) 所述的均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 200℃ 下反应 43h。反应结束后将生长有石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石的泡沫镍取出,洗涤、干燥,得到原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极,进行电化学测试。

[0037] 实施例 3 泡沫镍复合材料的制备

[0038] (1) 将 0.05g 氧化石墨烯和 1.5g 十二烷基苯磺酸钠溶解在 60g 甲醇和 20g 水的混合溶液中,超声形成均匀的氧化石墨烯悬浮液。

[0039] (2) 将 0.39375mol 硝酸镍和 0.7875mol 氯化钴溶解在上述氧化石墨烯悬浮液中,搅拌 20min,得到均匀悬浮液。

[0040] (3) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 30min。

[0041] (4) 将 (2) 所述的均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 180℃ 下反应 30h。反应结束后将生长有石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石的泡沫镍取出,洗涤、干燥,得到原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极,进行电化学测试。

[0042] 实施例 4 泡沫镍复合材料的制备

[0043] (1) 将 0.05g 氧化石墨烯和 1.5g P123 溶解在 60g 甲醇和 20g 水的混合溶液中,超声形成均匀的氧化石墨烯悬浮液。

[0044] (2) 将 0.63mol 硝酸镍和 0.7875mol 氯化钴溶解在上述氧化石墨烯悬浮液中,搅拌 20min,得到均匀悬浮液。

[0045] (3) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 15min。

[0046] (4) 将 (2) 所述的均匀悬浮液倒入水热釜中,然后把泡沫镍浸入到悬浮液中,在 100℃ 下反应 9h。反应结束后将生长有石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石的泡沫镍取出,洗涤、干燥,得到原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极,进行电化学测试。

[0047] 实施例 5 泡沫镍复合材料的制备

[0048] (1) 将 0.05g G0 和 1.5g P123 溶解在 60g 甲醇和 20g 水的混合溶液中,超声形成均匀的氧化石墨烯悬浮液。

[0049] (2) 将 0.63mol 硝酸镍和 0.42mol 氯化钴溶解在上述氧化石墨烯悬浮液中, 搅拌 20min, 得到均匀悬浮液。

[0050] (3) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 30min。

[0051] (4) 将 (2) 所述的均匀悬浮液倒入水热釜中, 然后把泡沫镍浸入到悬浮液中, 在 120℃ 下反应 24h。反应结束后将生长有石墨烯和镍钴氢氧化物层状类水滑石的泡沫镍取出, 洗涤、干燥, 得到原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极, 进行电化学测试。

[0052] 对照例 1、石墨烯 / 泡沫镍

[0053] (1) 将 0.03g GO 和 1g CTAB 溶解在 24g 甲醇和 6g 水的混合溶液中, 超声形成均匀的氧化石墨烯悬浮液。

[0054] (2) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 15min。

[0055] (3) 将 (1) 所得的悬浮液和 (2) 所得的泡沫镍倒入 100ml 水热釜中 150℃ 反应 12h。将反应物用无水乙醇和水洗涤后, 真空干燥, 得到石墨烯 / 泡沫镍。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极, 进行电化学测试。

[0056] 对照例 2、镍钴类水滑石 / 泡沫镍

[0057] (1) 将 0.63mol 硝酸镍和 0.42mol 氯化钴溶解在 24g 甲醇和 6g 水的混合溶液中, 搅拌 20min, 得到均匀溶液。

[0058] (2) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 15min。

[0059] (3) 将 (1) 所得的溶液和 (2) 所得的泡沫镍倒入 100ml 水热釜中 150℃ 反应 12h。将反应物用无水乙醇和水洗涤后, 真空干燥, 得到镍钴类水滑石 / 泡沫镍。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极, 进行电化学测试。

[0060] 对照例 3、氢氧化镍 / 泡沫镍

[0061] (1) 将 0.63mol 硝酸镍溶解在 24g 甲醇和 6g 水的混合溶液中, 搅拌 20min。

[0062] (2) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 15min。

[0063] (3) 将 (1) 所得的溶液和 (2) 所得的泡沫镍倒入 100ml 水热釜中 150℃ 反应 12h。将反应物用无水乙醇和水洗涤后, 真空干燥, 得到氢氧化镍 / 泡沫镍。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极, 进行电化学测试。

[0064] 对照例 4、氢氧化钴 / 泡沫镍

[0065] (1) 将 0.42mol 氯化钴溶解在 24g 甲醇和 6g 水的混合溶液中, 搅拌 20min。

[0066] (2) 将 1cm×1cm 的泡沫镍分别用丙酮、3M 盐酸、去离子水以及无水乙醇分别超声 15min。

[0067] (3) 将 (1) 所得的溶液和 (2) 所得的泡沫镍倒入 100ml 水热釜中 150℃ 反应 12h。将反应物用无水乙醇和水洗涤后, 真空干燥, 得到氢氧化钴 / 泡沫镍。此泡沫镍复合材料可直接用做工作电极, 进行电化学测试。

[0068] 应用例

[0069] 将实施例 1-5 和对照例 1-4 制备的产物直接用做工作电极。电容测试采用三电极体系,活性物质为工作电极,Pt 电极作为对电极,Hg-Hg₂Cl₂电极作为参比电极,在 6M KOH 溶液中进行恒电流充放电测试,经过计算之后的到电极比电容,结果见表 1。

[0070] 表 1

[0071]

	1A/g 时的 比电容量 (F/g)	1000 圈循 环后保持率 (%)
实施例 1	3100	79
实施例 2	2300	75
实施例 3	2606	78
实施例 4	2283	73
实施例 5	2700	72
对照例 1	1240	81
对照例 2	514	65
对照例 3	748	50
对照例 4	571	68

[0072] 由表 1 的结果可知本发明的原位生长石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料具有较高的比电容和很好的循环稳定性,石墨烯和镍钴类水滑石以及泡沫镍这三者的结合充分发挥了各自的优势。

[0073] 图 3 给出了实施例 1 泡沫镍复合材料、石墨烯 / 泡沫镍、镍钴类水滑石 / 泡沫镍、氢氧化镍 / 泡沫镍、氢氧化钴 / 泡沫镍的比电容比较图。从中可以看出,本发明的泡沫镍复合材料的比电容明显高于另外几个对照样,说明他们的复合能够提高材料的性能。

[0074] 图 4 是根据本发明的泡沫镍复合材料作为电极材料的单电极的循环性能图,由此可知,本发明所提供的泡沫镍复合材料具有优异的循环稳定性。

[0075] 综上所述,本发明的原位生长有石墨烯和镍钴类水滑石层的泡沫镍复合材料具有多级孔道结构和优异的电化学性能。且后处理过程简单,在后续工业应用和工业放大过程中可以大规模应用。

[0076] 以上所述的,仅为本发明的较佳实施例,并非用以限定本发明的范围,本发明的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰,皆落入本发明专利的权利要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

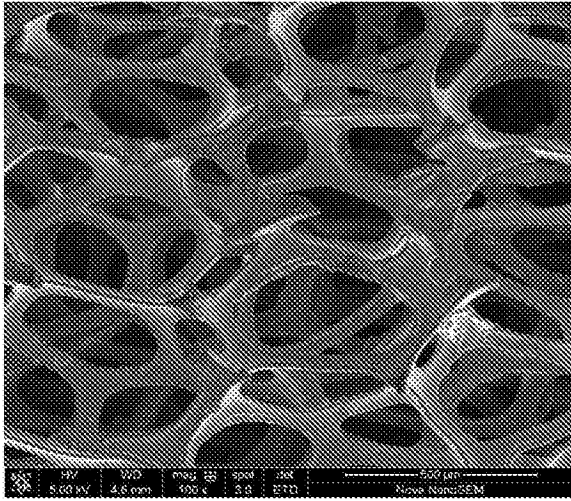


图 1a

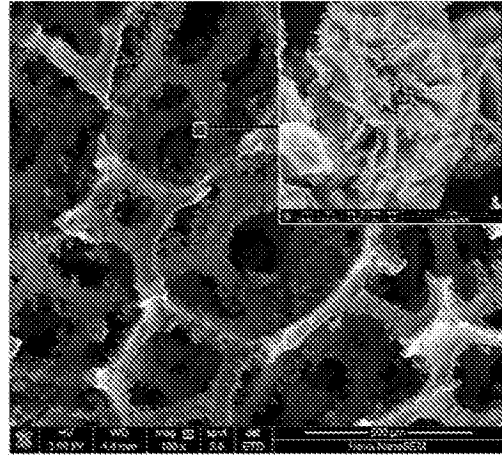


图 1b

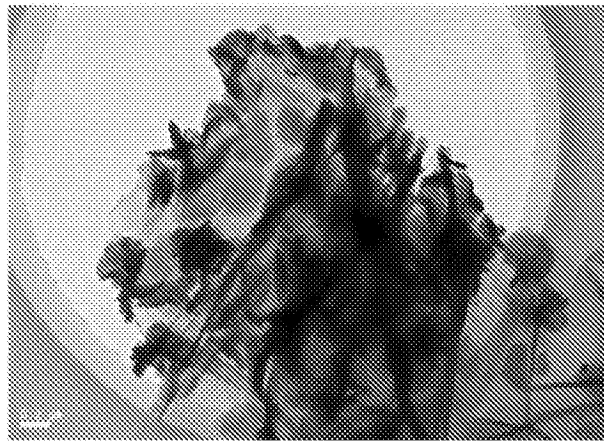


图 2a

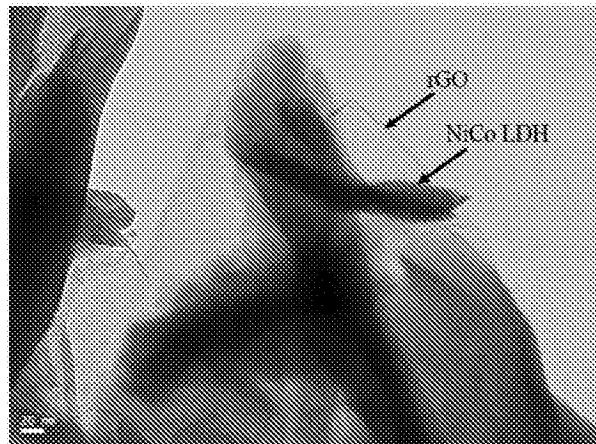


图 2b

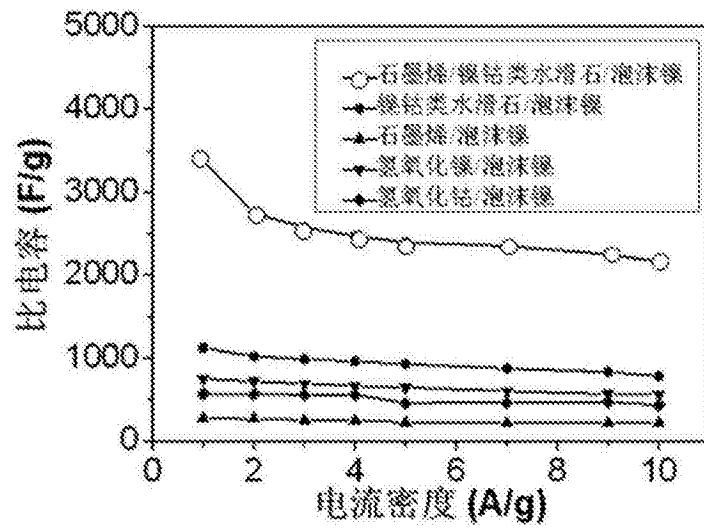


图 3

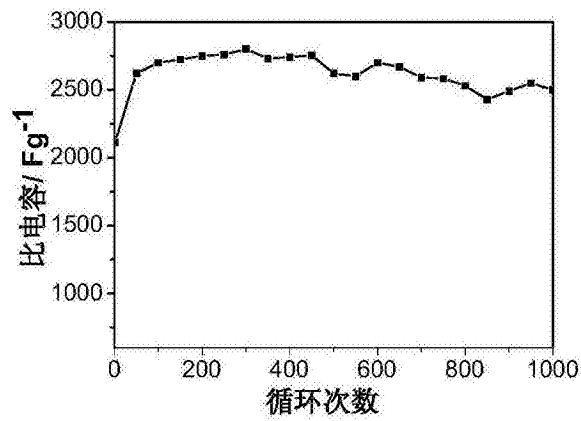


图 4