



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107959045 B

(45)授权公告日 2020.05.19

(21)申请号 201711006349.6

(22)申请日 2017.10.25

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107959045 A

(43)申请公布日 2018.04.24

(73)专利权人 西交利物浦大学  
地址 215123 江苏省苏州市工业园区独墅湖高等教育区仁爱路111号

(72)发明人 杨莉 易若玮 赵策州

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有  
限公司 32103  
代理人 范晴 丁浩秋

(51)Int.Cl.  
H01M 10/052(2010.01)  
H01M 10/0585(2010.01)  
B82Y 30/00(2011.01)  
B82Y 40/00(2011.01)

(56)对比文件

CN 104291324 A,2015.01.21,全文.  
CN 104124070 A,2014.10.29,说明书第0004-0032段和图1-3.  
CN 102674321 A,2012.09.19,说明书第0004-0061段和图2-5.  
CN 104350631 A,2015.02.11,全文.  
CN 105938900 A,2016.09.14,全文.  
CN 106159209 A,2016.11.23,全文.  
CN 103956275 A,2014.07.30,全文.  
Haipeng Li等.Enhanced cycle performance of Li/S battery with the reduced graphene oxide/activated carbon functional interlayer.《Journal of Energy Chemistry,》.2017,第26卷(第6期),第1276-1281页.

审查员 陈兴来

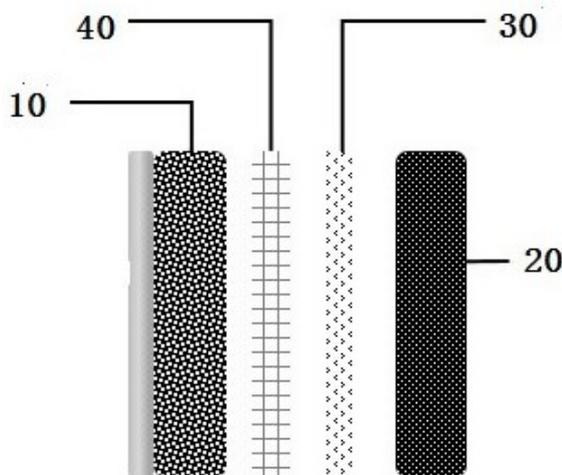
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池

(57)摘要

本发明公开了一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池,包括正极、负极和电解质,所述正极和负极之间设有隔膜,所述正极和隔膜之间设置有氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片。利用石墨烯表面生长的碳纳米棒表面的纳米微孔结构,以及氮原子掺杂所产生的大量的碳-氮活性位,不仅极大地增强了电池充放电过程中物质的传输与交换,而且也极大地提高了正极表面的电子传输能力;并且,氮掺杂的产生的碳-氮活性位与纳米微孔能够有效地吸附正极产生的多硫化物,阻止其向电解质溶液的迁移与溶解,大大提高了锂-硫电池的循环稳定性。



1. 一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池,包括正极、负极和电解质,所述正极和负极之间设有隔膜,其特征在于,所述正极和隔膜之间设置有氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片;所述氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片通过以下方法制备得到,包括:将泡沫石墨烯片(G-foam)浸没于硫酸溶液中,加入苯胺(AN),其质量为泡沫石墨烯片(G-foam)质量的30-90倍,得到的混合溶液A,将过硫酸铵溶液(APS)加入溶液A中,并在-15-0°C下保持一定时间,得到黑色聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam);

将聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)置于氮气气氛保护下,升温至500-800°C,保温一定时间,然后自然冷却至室温,再将其浸没在KOH溶液中一定时间后取出,在氮气气氛保护下,升温至500-800°C,保温一定时间,然后自然冷却至室温,得到氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)。

2. 根据权利要求1所述的氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池,其特征在于,所述氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片叠加有多层。

3. 根据权利要求1或2所述的氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池,其特征在于,所述氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片在氮气气氛保护下组装。

4. 一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的制备方法,其特征在于,包括以下步骤:

S01:制备泡沫石墨烯片(G-foam);

S02:将泡沫石墨烯片(G-foam)浸没于硫酸溶液中,加入苯胺(AN),其质量为泡沫石墨烯片(G-foam)质量的30-90倍,得到的混合溶液A,将过硫酸铵溶液(APS)加入溶液A中,并在-15-0°C下保持一定时间,得到黑色聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam);

S03:将聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)置于氮气气氛保护下,升温至500-800°C,保温一定时间,然后自然冷却至室温,再将其浸没在KOH溶液中一定时间后取出,在氮气气氛保护下,升温至500-800°C,保温一定时间,然后自然冷却至室温,得到氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR);

S04:将氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)设置在锂硫电池的中间层,按照正极、氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)、隔膜、负极的顺序进行组装,最后加装电解质。

5. 根据权利要求4所述的氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的制备方法,其特征在于,所述步骤S01具体包括,在泡沫镍表面通过化学气相沉积法(CVD)沉积石墨烯,得到石墨烯片覆盖的泡沫镍,将石墨烯片覆盖的泡沫镍浸没于盐酸中,60-90°C加热一定时间至镍完全腐蚀溶解;将得到的黑色薄片使用大量去离子水冲洗,直至洗涤液呈中性,然后在45-75°C下真空干燥,得到泡沫石墨烯片(G-foam)。

6. 根据权利要求5所述的氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的制备方法,其特征在于,所述正极由下列步骤制得:

将升华硫粉、导电炭黑(super-P)和聚四氟乙烯粉(PVDF)按照重量比为8:1:1均匀混合搅拌,加入N-甲基吡咯烷酮(NMP)溶剂继续搅拌一定时间,得到均匀的黑色浆料,将该黑色

浆料均匀涂抹在铝箔上,然后在45-75°C下真空干燥,得到硫正极片。

7.根据权利要求4所述的氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的制备方法,其特征在于,所述步骤S04中在氮气气氛保护下组装锂硫电池。

## 氮掺杂多孔碳纳米棒的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种锂硫电池及其制备方法,具体地涉及一种以氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片的锂硫电池及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 锂硫电池是以硫元素作为电池正极的一种二次化学电源,其比容量高达1675mAh/g,远远高于商业上广泛应用的钴酸锂电池的容量( $<300\text{ mAh/g}$ ),对于目前急切需求更大单位质量比容量电源的电动汽车行业具有巨大的吸引力。同时,正极活性材料使用的硫单质是一种对环境友好的元素,毒性极低,而且成本低于传统的锂离子电池正极材料,因此,锂硫电池是一种非常有前景的二次电源。

[0003] 但是硫单质本身的三个缺陷制约了锂硫电池的广泛应用。第一,硫本身为绝缘体,因此电子很难传输到硫表面发生电化学反应,使得电极极化严重,电极的反应效率极低。第二,硫在充电过程中形成了硫化锂,其密度小于硫,使得电极体积发生膨胀,体积膨胀率最大可达80%。充放电过程中反复的体积缩放会使得电极材料发生微观裂纹,最终导致材料发生崩落,使得循环容量降低。最后,硫与锂进行反应的中间产物多硫化锂在有机电解液中容易溶解,并在充放电过程中随着电解液在正负极之间来回穿梭,即“穿梭效应”。这最终导致正极活性材料的不断减少,电池充放电效率的不断降低。

[0004] 为解决这三大缺陷,研究者们采用了许多方法来改善硫电极的性能。例如,人们将硫制备成微粒甚至纳米级颗粒,以减小体积膨胀所带来的内部应力,避免电极材料的崩落失效;同时,与导电率较高的材料进行结合,以改善硫的电导率,加快硫的电化学反应速率,例如将硫与碳颗粒混合形成硫-碳复合材料等;第三,在硫正极材料当中加入多硫化物吸附剂或改变电极结构,抑制多硫化物的溶解;通过将活性物质硫与活性炭、介孔碳、纳米碳纤维(CNF)、多壁碳纳米管(MWCNTs)、石墨烯、聚丙烯腈(PAN)、聚苯胺(PAn)、聚吡咯(PPy)、聚噻吩(PTh)等具有特定结构的基质材料制备硫基复合正极材料,可以显著改善锂硫电池的循环性能和倍率性能。

[0005] 本发明因此而来。

### 发明内容

[0006] 针对上述存在的缺陷,本发明的目的是提出了一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池及其制备方法。利用石墨烯表面生长的碳纳米棒表面的纳米微孔结构,以及氮原子掺杂所产生的大量的碳-氮活性位,不仅极大地增强了电池充放电过程中物质的传输与交换,而且也极大地提高了正极表面的电子传输能力;并且,氮掺杂的产生的碳-氮活性位与纳米微孔能够有效地吸附正极产生的多硫化物,阻止其向电解质溶液的迁移与溶解,大大提高了锂-硫电池的循环稳定性。

[0007] 本发明的技术方案是:

[0008] 一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池,包括正极、

负极和电解质,所述正极和负极之间设有隔膜,所述正极和隔膜之间设置有氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片。

[0009] 优选的,所述氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片叠加有多层。

[0010] 优选的,所述氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片在氮气气氛保护下组装。

[0011] 本发明还公开了一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的制备方法,包括以下步骤:

[0012] S01:制备泡沫石墨烯片(G-foam);

[0013] S02:将泡沫石墨烯片(G-foam)浸没于硫酸溶液中,加入苯胺(AN),其质量为泡沫石墨烯片(G-foam)质量的30-90倍,得到的混合溶液A,将过硫酸铵溶液(APS)加入溶液A中,并在-15-0°C下保持一定时间,得到黑色聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam);

[0014] S03:将聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)置于氮气气氛保护下,升温至500-800°C,保温一定时间,然后自然冷却至室温,再将其浸没在KOH溶液中一定时间后取出,在氮气气氛保护下,升温至500-800°C,保温一定时间,然后自然冷却至室温,得到氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR);

[0015] S04:将氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)设置在锂硫电池的中间层,按照正极、氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)、隔膜、负极的顺序进行组装,最后加装电解质。

[0016] 优选的,所述步骤S01具体包括,在泡沫镍表面通过化学气相沉积法(CVD)沉积石墨烯,得到石墨烯片覆盖的泡沫镍,将石墨烯片覆盖的泡沫镍浸没于盐酸中,45-75°C加热一定时间至镍完全腐蚀溶解;将得到的黑色薄片使用大量去离子水冲洗,直至洗涤液呈中性,然后在45-75°C下真空干燥,得到泡沫石墨烯片(G-foam)。

[0017] 优选的,所述正极由下列步骤制得:

[0018] 将升华硫粉、导电炭黑(super-P)和聚四氟乙烯粉(PVDF)按照重量比为8:1:1均匀混合搅拌,加入N-甲基吡咯烷酮(NMP)溶剂继续搅拌一定时间,得到均匀的黑色浆料,将该黑色浆料均匀涂抹在铝箔上,然后在45-75°C下真空干燥,得到硫正极片。

[0019] 优选的,所述步骤S04中在氮气气氛保护下组装锂硫电池。

[0020] 与现有技术相比,本发明的优点是:

[0021] 该锂硫电池采用氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层,利用泡沫石墨烯独特的多孔结构、氮掺杂多孔碳纳米棒表面大量的纳米微孔结构,以及氮掺杂所产生的大量的氮原子活性位点,不仅极大地增强了电池充放电过程中物质的传输与交换,而且也极大地提高了正极表面的电子传输能力;并且,氮掺杂多孔碳纳米棒能够有效地吸附溶解在电解液中的多硫化物,阻止了正极产生的多硫化物向锂负极的迁移,大大提高了电池的正极活性材料利用率,从而提高了电池的比容量以及循环稳定性。同时并不需要对正极片进行任何改进,可以完全沿用锂离子电池的制造流程,是最接近工业实际生产应用的改良方法之一,具有广阔的应用前景。

## 附图说明

[0022] 下面结合附图及实施例对本发明作进一步描述:

[0023] 图1为本发明氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的结构示意图。

### 具体实施方式

[0024] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明了,下面结合具体实施方式并参照附图,对本发明进一步详细说明。应该理解,这些描述只是示例性的,而并非要限制本发明的范围。此外,在以下说明中,省略了对公知结构和技术的描述,以避免不必要地混淆本发明的概念。

[0025] 实施例1:

[0026] 一种氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片为中间层的锂硫电池的制备方法,包括以下步骤:

[0027] (1)泡沫镍表面上氮掺杂石墨烯(Ni foam@N-G)的制备

[0028] 首先在泡沫镍表面上沉积石墨烯,得到石墨烯片修饰的泡沫镍(Ni foam@G),具体为:面密度为200-400 g/m<sup>2</sup>的泡沫镍在流量为1000 s.c.c.m.的氩气与500 s.c.c.m.的氢气混合气体下,以5°C/min的速度升温至1000 °C,保温5 min,然后通入 50 s.c.c.m. 的甲烷10 min,然后在氩气与氢气混合气流保护下迅速冷却至室温,得到Ni-foam@G。

[0029] 接着,将Ni-foam@G浸没于足量的3 mol/L的盐酸中,80°C加热4h,直至镍完全腐蚀溶解;将得到的黑色薄片使用大量去离子水小心地冲洗,直至洗涤液呈中性,然后在45°C下真空干燥12h以上,得到泡沫石墨烯片(G-foam)。

[0030] (2)聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)的制备

[0031] 将G-foam放入足量的3mol/L的硝酸溶液中加热回流处理12h,以增强G-foam的润湿性。

[0032] 将处理后的G-foam浸没于1mol/L的硫酸溶液中,同时在-15°C下加入苯胺(AN),质量为硝酸处理后的G-foam质量的30倍,得到的混合溶液称为溶液A。

[0033] 然后配置过硫酸铵溶液(APS):称量0.6倍于AN质量的APS,溶解于一定量的1mol/L的硫酸溶液中,得到13.85g/L的APS硫酸溶液,称为溶液B。将溶液B于-15°C下冷却10min后,加入溶液A中,并在-15°C下保持10小时。将得到的黑色聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)小心从溶液中捞出,然后45°C真空干燥12小时。

[0034] (3)氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)的制备

[0035] 将聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)置于氮气气氛保护下,以5°C/min升温至800°C,保温1h,然后自然冷却至室温,再将其浸没在6mol/L的KOH溶液中30min后取出,在氮气气氛保护下,以5°C/min升温至600°C,保温1h,然后自然冷却至室温,得到氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)。

[0036] (4)以氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)为中间层的锂-硫电池的组装

[0037] 制备含硫正极片:将升华硫粉、导电炭黑(super-P)和聚四氟乙烯粉(PVDF)按照重量比为8:1:1均匀混合搅拌,加入N-甲基吡咯烷酮(NMP)溶剂继续搅拌12-48h,得到均匀的黑色浆料。使用刮刀将该黑色浆料均匀涂抹在铝箔上,然后在75°C下真空干燥10h以上,并剪切成一定规则形状,得到硫正极片。

[0038] 以氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)为中间层的锂-硫电池的组装:按照硫正极片10、G-foam@N-CNR中间层40(一层或多层叠加)、隔膜30、锂片负极20的顺序,在氮气气氛保护下组装锂硫电池,其中需在正负极两侧滴加足量的锂硫电池专用电解液。

[0039] 得到的硫锂电池的结构如图1所示,N-G foam中间层层叠数为1层、2层、3层或更多层。

[0040] 采用通行的电池测试仪器与方法测试电池的充放电性能。

[0041] 中间层为1层时,电池平均充放电库仑效率为~91%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~900 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~650 mAh/g;

[0042] G-foam@N-CNR中间层为2层时,电池平均充放电库仑效率为~94%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~900 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~700 mAh/g;

[0043] G-foam@N-CNR中间层为3层时,电池平均充放电库仑效率为~95%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~950 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~740 mAh/g;

[0044] G-foam@N-CNR中间层为4层时,电池平均充放电库仑效率为~98%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~1000 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~800 mAh/g;

[0045] G-foam@N-CNR中间层为5层时,电池平均充放电库仑效率为~99%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~1100 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~850 mAh/g。

[0046] 实施例2:

[0047] (1)泡沫石墨烯片(G-foam)的制备:

[0048] 具体步骤与实施例1相同。

[0049] (2)聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)的制备

[0050] 将G-foam放入足量的3mol/L的硝酸溶液中加热回流处理12h,以增强G-foam的润湿性。

[0051] 件处理后的G-foam浸没于1mol/L的硫酸溶液中,同时在-5°C下加入苯胺(AN),质量为硝酸处理后的G-foam质量的60倍,得到的混合溶液称为溶液A。

[0052] 然后配置过硫酸铵溶液(APS):称量0.6倍于AN质量的APS,溶解于一定量的1mol/L的硫酸溶液中,得到13.85g/L的APS硫酸溶液,称为溶液B。将溶液B于-5°C下冷却10min后,加入溶液A中,并在-5°C下保持10小时。将得到的黑色聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)小心从溶液中捞出,然后60°C真空干燥12小时。

[0053] (3)氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)的制备

[0054] 具体步骤与实施例1相同。

[0055] (4)以氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)为中间层的锂-硫电池的组装

[0056] 具体步骤与实施例1相同。

[0057] 采用通行的电池测试仪器与方法测试电池的充放电性能。

[0058] 中间层为1层时,电池平均充放电库仑效率为~95%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~880 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~690 mAh/g;

[0059] G-foam@N-CNR中间层为2层时,电池平均充放电库仑效率为~96%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~950 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~700 mAh/g;

[0060] G-foam@N-CNR中间层为3层时,电池平均充放电库仑效率为~98%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~980 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~740 mAh/g;

[0061] G-foam@N-CNR中间层为4层时,电池平均充放电库仑效率为~99%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~1100 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~820 mAh/g;

[0062] G-foam@N-CNR中间层为5层时,电池平均充放电库仑效率为~99%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~1150 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~860 mAh/g。

[0063] 实施例3:

[0064] (1)泡沫石墨烯片(G-foam)的制备:

[0065] 具体步骤与实施例1相同。

[0066] (2)聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)的制备

[0067] 将G-foam放入足量的3mol/L的硝酸溶液中加热回流处理12h,以增强G-foam的润湿性。

[0068] 将处理后的G-foam浸没于1mol/L的硫酸溶液中,同时在-5°C下加入苯胺(AN),质量为硝酸处理后的G-foam质量的90倍,得到的混合溶液称为溶液A。

[0069] 然后配置过硫酸铵溶液(APS):称量0.6倍于AN质量的APS,溶解于一定量的1mol/L的硫酸溶液中,得到13.85g/L的APS硫酸溶液,称为溶液B。将溶液B于0°C下冷却10min后,加入溶液A中,并在0°C下保持10小时。将得到的黑色聚苯胺纳米棒阵列覆盖的泡沫石墨烯片(PANI-G-foam)小心从溶液中捞出,然后60°C真空干燥12小时。

[0070] (3)氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)的制备

[0071] 具体步骤与实施例1相同。

[0072] (4)以氮掺杂多孔碳纳米棒覆盖的泡沫石墨烯片(G-foam@N-CNR)为中间层的锂-硫电池的组装

[0073] 具体步骤与实施例1相同。

[0074] 采用通行的电池测试仪器与方法测试电池的充放电性能。

[0075] 中间层为1层时,电池平均充放电库仑效率为~93%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~868 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~680 mAh/g;

[0076] G-foam@N-CNR中间层为2层时,电池平均充放电库仑效率为~95%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~940 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~690 mAh/g;

[0077] G-foam@N-CNR中间层为3层时,电池平均充放电库仑效率为~96%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~970 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~730 mAh/g;

[0078] G-foam@N-CNR中间层为4层时,电池平均充放电库仑效率为~98%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~1080 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~810 mAh/g;

[0079] G-foam@N-CNR中间层为5层时,电池平均充放电库仑效率为~98%(100次循环),0.2C电流下首次充放电比容量为~1130 mAh/g,100次循环后充放电比容量为~850 mAh/g。

[0080] 应当理解的是,本发明的上述具体实施方式仅仅用于示例性说明或解释本发明的原理,而不构成对本发明的限制。因此,在不偏离本发明的精神和范围的情况下所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。此外,本发明所附权利要求旨在涵盖落入所附权利要求范围和边界、或者这种范围和边界的等同形式内的全部变化和修改例。

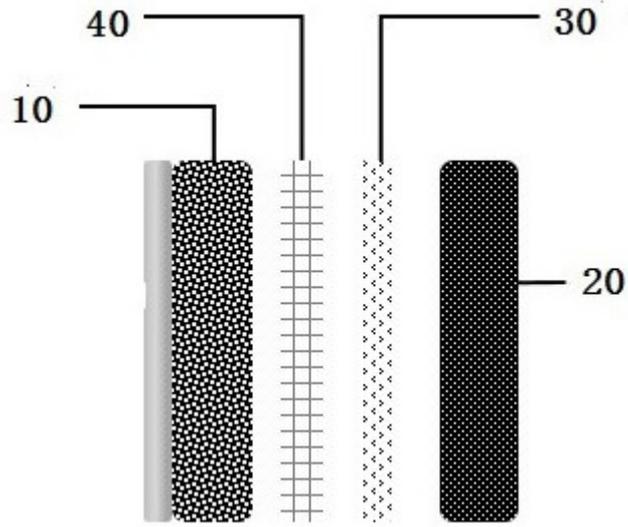


图1