

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2022.02.004

聚吡咯 / 石墨烯复合气凝胶制备及超电容性能

宋慧敏,王召莹,王全璐,李文青,韩永芹

(山东科技大学材料科学与工程学院,山东青岛 266590)

摘要: 为充分利用导电聚吡咯独特的掺杂结构与石墨烯气凝胶丰富的多孔结构,研究了氧化还原活性剂对聚吡咯 / 石墨烯气凝胶的结构及电化学性能的影响,并制备性能优异的电极复合材料。以对苯醌作为氧化还原活性剂,使用一步水热法制备聚吡咯 / 石墨烯水凝胶,冷冻干燥后制备得到氧化还原活性复合气凝胶。扫描电子显微镜结果表明,引入对苯醌后有利于获得有序的三维网络结构。傅里叶变换红外光谱、X 射线衍射测试结果表明,复合材料中吡咯被成功聚合的同时氧化石墨烯被还原为石墨烯。电化学测试结果表明,对苯醌浓度为 5 mmol/L 时,复合气凝胶可获得最佳电化学性能,比电容可达 304.0 F/g,循环 10 000 次后可保持初始比电容的 79.88%。将其与活性炭组装成非对称超级电容器,可获得高的能量密度 (41.56 Wh/kg) 与功率密度 (400 W/kg)。

关键词: 超级电容器; 石墨烯; 气凝胶; 聚吡咯; 对苯醌

中图分类号: TQ152 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2022)02-0021-06

Preparation of Polypyrrole/Graphene Composite Aerogel Material and Its Supercapacitance Performance

Song Huimin, Wang Zhaoying, Wang Quanlu, Li Wenqing, Han Yongqin

(School of Materials Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract : In order to make full use of the unique doped structure of conductive polypyrrole and the rich porous structure of graphene aerogel, the influence of redox activators on the structure and electrochemical performance of polypyrrole/graphene aerogel was studied, and electrodes composite materials with excellent performance were prepared. P-benzoquinone was used as the redox active agent to prepare polypyrrole/graphene hydrogel by one-step hydrothermal method, and then redox active composite aerogel after freeze-drying was prepared. Scanning electron microscope analysis shows that an ordered three-dimensional network structure can be obtained after the introduction of p-benzoquinone. Fourier transform infrared spectral and X-ray diffraction tests results show that pyrroles in the composite material are successfully polymerized, while graphene oxide is reduced to graphene. The electrochemical test results demonstrate that the best electrochemical performance can be obtained when the concentration of p-benzoquinone reaches 5 mmol/L. A specific capacitance of 304.0 F/g can be obtained at a current density of 1 A/g, 79.88% of the initial specific capacitance can be maintained after 10 000 charging-discharging cycles. The asymmetric supercapacitor device assembled by the composite aerogel and active carbon can provide a high energy density and power density of 41.56 Wh/kg and 400 W/kg respectively.

Keywords : supercapacitor ; graphene ; aerogel ; polypyrrole ; p-benzoquinon

聚吡咯 (PPy) 具有易合成、导电性高、成本低廉等优点,广泛应用于超级电容器电极材料方面^[1-3]。但是其力学强度差,电化学稳定性弱^[4]。为了克服这一缺陷,研究者们通常采用掺杂或复合的方法来提高导电聚合物的循环稳定性,如染料掺杂^[5]、有机酸掺杂等^[6-7],也可采用与碳纳米管^[8]、石墨烯^[9]等

电极材料进行复合的方法。石墨烯气凝胶具有孔隙率高、比表面积大、力学性能稳定以及电子传输能力快等特点^[10-11],然而它的导电能力较弱、易产生不可逆的团聚和堆叠^[12]使其作为电极材料时无法发挥该材料的优势。因此,为了减少石墨烯片层的团聚,提高其电化学性能,通常将其与 PPy 复合,

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (52173258)

通信作者: 韩永芹,副教授,博士生导师,主要研究方向为导电高分子复合材料

收稿日期: 2021-12-02

引用格式: 宋慧敏,王召莹,王全璐,等. 聚吡咯 / 石墨烯复合气凝胶制备及超电容性能 [J]. 工程塑料应用, 2022, 50(2):21-26.

Song Huimin, Wang Zhaoying, Wang Quanlu, et al. Preparation of polypyrrole/graphene composite aerogel material and its supercapacitance performance[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(2):21-26.

实现优势互补成为了目前超级电容器电极研究的主要目的。喻航达^[13]通过一步水热法合成了 PPy/氧化石墨烯(GO)复合水凝胶,反应中引入四硼酸钠,自然风干后制备得到复合气凝胶材料质量比电容可达 239 F/g,在 1 000 次充放电之后电容器仍能保持 93% 的电容。Lyu 等^[14]将 PPy 沉积到高度可压缩 GO 气凝胶中,获得了高性能可压缩电极材料,组装成全固态超级电容器,其体积比电容高达 108 F/cm³,3 500 次充/放电循环后,体积电容保留率为 85%。陈健^[15]以单宁酸作为活性剂,制备得到的三维网状 PPy/GO 气凝胶,质量比电容最高达到 282.5 F/g,经过 3 000 次充放电循环稳定性保留率为 79%。

笔者以对苯醌(BQ)作为氧化还原活性剂,采用先水热后冷冻干燥制备 PPy/GO 水凝胶,冷冻干燥后得到复合气凝胶,通过改变 BQ 的浓度探究其对复合气凝胶的结构和性能的影响,BQ 是一种含有醌基的苯环结构,在反应过程中,一方面起着氧化吡咯(Py)的作用,促进 Py 的聚合,另一方面氧化过程中 BQ 被还原为对苯二酚^[16],可以在水热的条件下进一步还原氧化石墨烯,可以作为氧化还原活性介质,提供赝电容,进一步提高 PPy/GO 气凝胶复合材料的比电容。

1 实验部分

1.1 主要原材料

对苯醌、吡咯:分析纯,山东西亚化学股份有限公司;

石墨粉:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

硫酸:分析纯,成都市科隆化学品有限公司;

乙醇:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司。

1.2 主要设备及仪器

高分辨扫描电子显微镜(SEM): Apreo S HiVac 型,美国赛默飞世尔公司;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪: Nicolet iS50 型,美国 Thermo Fisher 科技公司;

X 射线衍射(XRD)仪: Rigaku Ultima IV X 型,日本 Rigaku 公司;

电化学工作站: CHI760E 型,上海辰华仪器有限公司;

蓝电电池测试系统: CT2001A 型,武汉市蓝电电子股份有限公司。

1.3 石墨烯/聚吡咯复合气凝胶的制备

据文献^[16]制备了 GO 溶液,称取 0.008 7 g (0.08 mmol) BQ,将其溶解于 15 mL GO (3.74 mg/

mL) 溶液^[17],超声分散均匀后注入 145 μ L (2 mmol, 140 mg) Py,磁力搅拌 10 min,再次超声分散均匀后倒入 20 mL 反应釜中,置于 180℃烘箱进行水热反应 8 h,冷却至室温后得到水凝胶样品,在去离子水中浸泡 24 h 置换杂质,冷冻干燥 48 h 得到气凝胶,命名为 GBP5 (5 表示 BQ 的浓度)。为探究最佳实验配比,改变 BQ 含量(见表 1),按照上述同样的方法,将所获的产物分别命名为 GP, GBP1, GBP3, GBP5, GBP8。

表 1 不同气凝胶样品实验配比

样品	Py/mg	GO/mg	BQ/mg	溶液总体积/mL	BQ 浓度 / (mmol · L ⁻¹)
GP	140	56	0	15	0
GBP1	140	56	2.2	15	1
GBP3	140	56	4.3	15	3
GBP5	140	56	8.7	15	5
GBP8	140	56	13.0	15	8

1.4 工作电极的制备及器件的组装

标准三电极体系制备:工作电极:将 85% 气凝胶 (3.2 mg)、10% 乙炔黑和 5% 聚四氟乙烯 (PTFE) 混合均匀压制在不锈钢网上。以 Ag/AgCl 为参比电极,铂电极为对电极,1 mol/L H₂SO₄ 为电解质。

非对称超级电容器器件组装:以 85% (3.2 mg) 气凝胶(正极)或活性炭(负极)、10% 乙炔黑和 5% PTFE 的混合浆料涂在碳布上,60℃干燥 1 h,以聚乙烯醇(PVA)/H₂SO₄ 作为固体电解质,组装得到非对称超级电容器。

采用电化学工作站进行循环伏安(CV)测试、恒流充放电(GCD)测试和交流阻抗(EIS)测试,蓝电电池测试系统进行循环稳定性测试。利用以下公式,根据恒电流充放电曲线计算比电容、能量密度、功率密度。电极材料的质量比电容(C_m , F/g)可由 GCD 曲线根据式(1)计算:

$$C_m = \frac{It}{m \Delta V} \quad (1)$$

其中, I 为恒电流充放电的电流,A; t 为放电时间,s; m 为活性物质的质量,g; ΔV 为恒电流充放的电压窗口,V。能量密度(E , Wh/kg)和功率密度(P , W/kg)可以按照下列公式(2)和(3)计算:

$$E = \frac{C_m (\Delta V)^2}{(2 \times 3.6)} \quad (2)$$

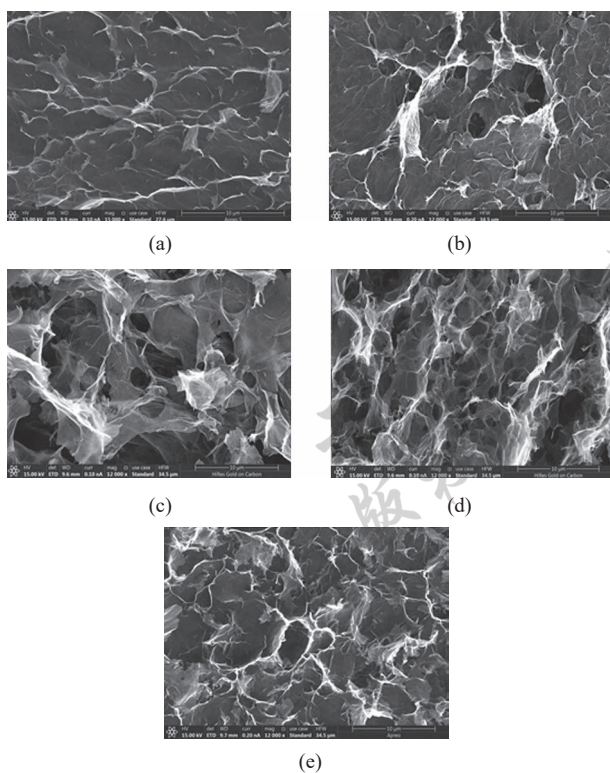
$$P = \frac{3600E}{t} \quad (3)$$

其中, C_m 为质量比电容值,F/g; ΔV 为恒电流充放的电压窗口,V; t 为放电时间,s。

2 结果与讨论

2.1 材料表征

利用 SEM 对所制备的气凝胶进行形貌表征,如图 1 所示。图 1a 为 GP 的 SEM 照片,可以看出石墨烯片层呈褶皱状,但未见明显的多孔结构。图 1b~图 1d 示出,随着 BQ 含量的增加,复合气凝胶呈现出明显的三维多孔结构,孔隙率逐渐增加,孔洞逐渐规则排列,这有利于提高其与电解液的接触比表面积,从而实现比电容的提高,说明 BQ 的加入,有利于气凝胶三维多孔结构的构筑。图 1e 示出,过量 BQ 的加入会导致三维网络结构部分破坏及孔洞坍塌,不利于气凝胶材料电化学性能的提高。



a—GP; b—GBP1; c—GBP3; d—GBP5; e—GBP8

图 1 不同气凝胶样品的 SEM 照片

为了研究气凝胶复合材料的化学和掺杂结构,对样品进行了 FTIR 测试,如图 2 所示。由图 2 可知,纯 PPy 在 1556 cm^{-1} 和 1472 cm^{-1} 左右的吸收峰分别对应对称和反对称吡咯环的伸缩振动峰,位于 1199 cm^{-1} 附近的峰为吡咯环—C—N 键的伸缩振动峰,位于 1048 cm^{-1} 处附近的峰为 N—H 键的面内变形, 923 cm^{-1} 处附近的峰归属于 =C—H 键的面外振动^[18-19], PPy 的大部分特征峰均在气凝胶材料中体现,说明复合气凝胶中 Py 被成功聚合。值得注意的是,在 $1472, 1048\text{ cm}^{-1}$ 处特征峰分别红移

至 $1441, 1025\text{ cm}^{-1}$,这可能与 BQ 的引入与 PPy 分子链产生了氢键作用和 $\pi-\pi$ 共轭效应有关^[16]。复合气凝胶材料中未发现 GO 的—OH (位于 $3430, 1400\text{ cm}^{-1}$)、C—O ($1720, 1225\text{ cm}^{-1}$) 特征峰^[20-21],说明复合材料中 GO 的含氧官能团脱除。另外在复合气凝胶材料中 $1350, 1305\text{ cm}^{-1}$ 处出现明显特征峰,可归因于对二苯酚苯环上的 C—OH 键的伸缩振动,说明气凝胶材料反应过程中 BQ 的成功氧化吡咯并形成对二苯酚。

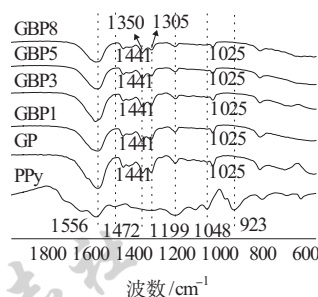


图 2 PPy 和气凝胶样品的 FTIR 图

图 3 为 GO, PPy 以及气凝胶样品的 XRD 图,由图像分析 PPy 在 $2\theta=16^\circ$ 和 $2\theta=23^\circ$ 左右有较宽的特征峰,说明 PPy 分子为无定型结构,复合气凝胶样品中出现 PPy 的特征峰,说明复合气凝胶材料中吡咯单体已经成功聚合为 PPy。另外 GO 位于 $2\theta=12^\circ$ 左右的衍射峰,在复合气凝胶未检测到,说明 GO 被成功还原。

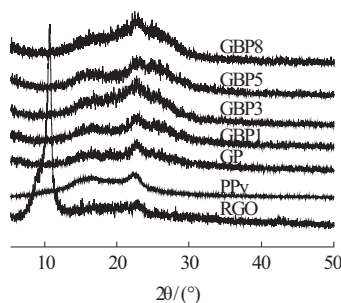


图 3 GO, PPy 以及气凝胶样品的 XRD 图

2.2 三电极体系电化学性能

对气凝胶材料进行了三电极电化学测试,如图 4 所示。图 4a 为气凝胶样品的 CV 曲线,由图可见,加入 BQ 后, CV 曲线封闭面积都有所增加,具体顺序为: $\text{GBP5} > \text{GBP3} > \text{GBP8} > \text{GBP1} > \text{GP}$,随着 BQ 含量的增加,气凝胶材料的比电容先增后减,在 GBP5 时达到峰值,并且出现了氧化还原峰,源于 BQ 的法拉第赝电容。图 4b 为 GBP5 在不同扫描速率下 ($5 \sim 100\text{ mV/s}$) 的 CV 曲线图,从图中看出,

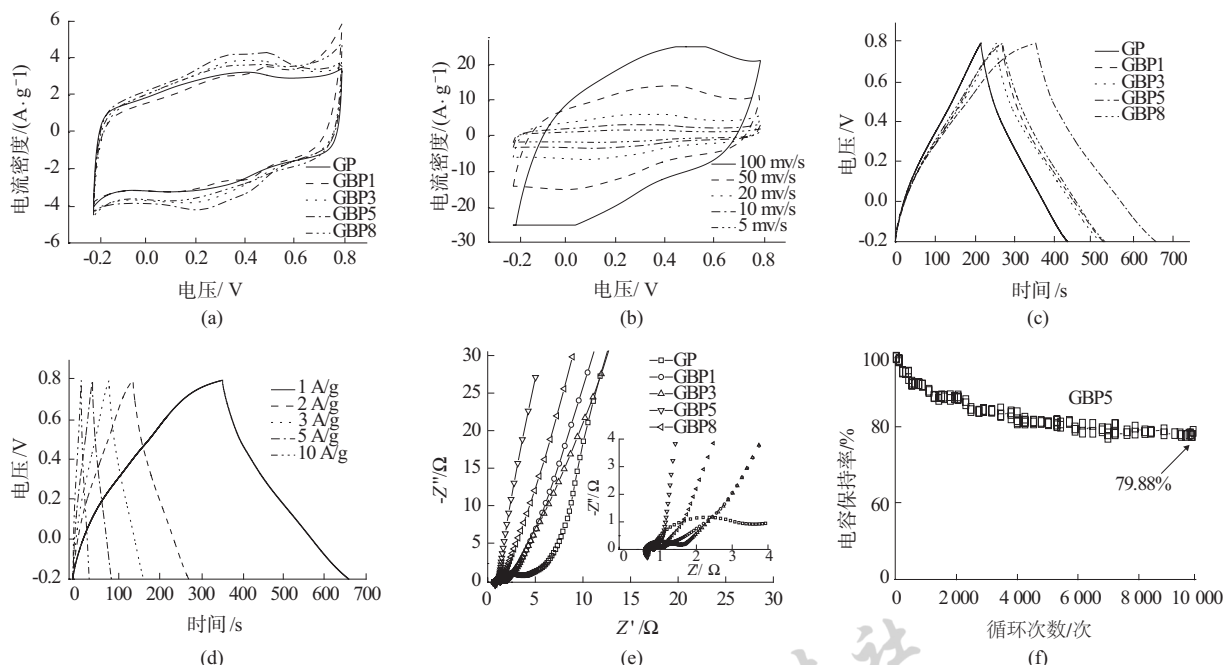


图4 气凝胶样品在标准三电极体系下的电化学性能
a—气凝胶样品在 10 mV/s 扫描速率下 CV 曲线; b—GBP5 在不同扫描速率下 CV 曲线; c—气凝胶样品在 1 A/g 电流密度下 GCD 曲线;
d—GBP5 在不同电流密度下 GCD 曲线; e—气凝胶样品的 EIS 曲线; f—GBP5 在 10 A/g 电流密度下 10000 次循环稳定性测试曲线

图4 气凝胶样品在标准三电极体系下的电化学性能

随着扫描速率的增大,响应电流增加, CV 曲线的形状对称,说明该电极材料具有理想的电容特性。图 4c 为各气凝胶样品的 GCD 曲线,计算可以得到, GP, GBP1, GBP3, GBP5, GBP8 的比电容分别为 221.1, 257.1, 264.7, 304.0, 260.1 F/g, 说明 BQ 引入后,复合气凝胶的比电容值增加,但过量的 BQ 引入,因破坏了气凝胶材料三维网络结构,导致比电容减小。图 4d 为在不同电流密度时 GBP5 样品的 GCD 曲线,在 10 A/g 的电流密度下仍然能保持良好的三角形对称形状且比电容为 190.0 F/g,电容保持率为 62.5%,说明 GBP5 材料具有优异的倍率性能。图 4e 为气凝胶样品的 EIS 曲线,从高频区可以看出, GBP5 的半圆直径最小,表明其电荷转移内阻较低并且具有较小的等效内阻 (0.75 Ω),同时在低频区 GBP5 的阻抗谱线斜率接近 90°,表明离子扩散阻抗小且具有良好的电容特性^[4]。图 4f 为 GBP5 三电极系统在 10 A/g 电流密度下循环 10000 次后保持 79.88%,说明其具有良好的循环稳定性。

2.3 非对称超级电容器的电化学性能

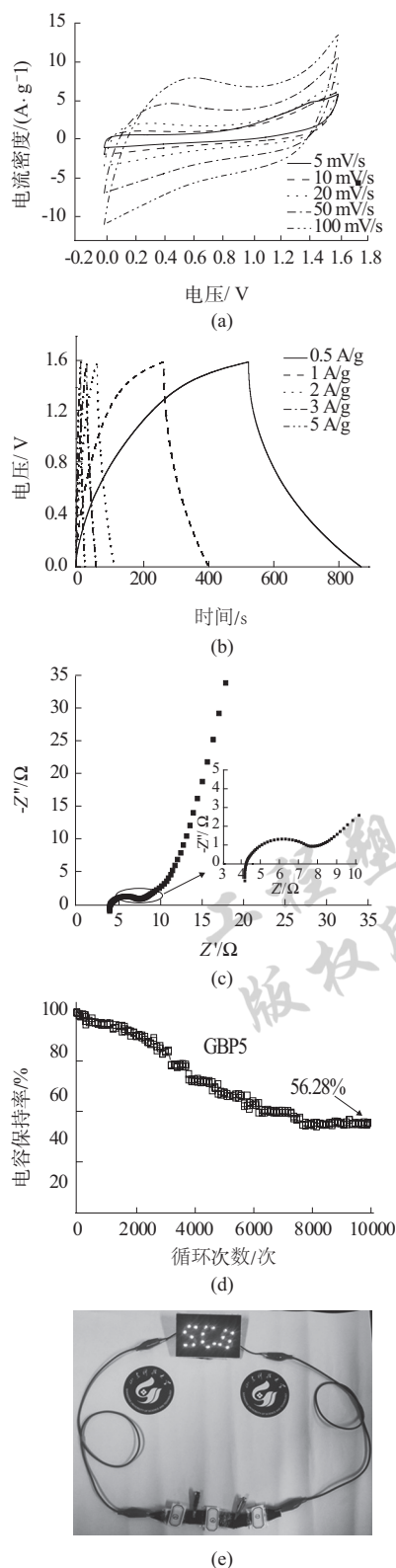
为了进一步评估气凝胶材料的超级电容器性能,将 GBP5 样品与活性炭组装成非对称超级电容器电极器件,测试其电化学性能,如图 5 所示。图 5a 为 GBP5 器件在 5 ~ 100 mV/s 的扫描速率下的

CV 曲线,电压区间为 0 ~ 1.6 V。随着扫描速率的增加, CV 封闭曲线面积不断增加,电流密度也随之提高,说明该气凝胶材料具有理想的电容性能。图 5b 为 GBP5 器件在 0.5 ~ 5 A/g 的电流密度下的恒流充放电曲线,电流密度为 5 A/g 时,充放电曲线仍保持良好的对称三角形形状,电容保持率为 45%,表明材料具有理想的倍率特性。根据公式 1 ~ 公式 3 计算其比电容 C_m 、能量密度 E_m 和功率密度 P_m (见表 2)。由表 2 可知,当电流密度为 0.5 A/g 时,能量密度为 41.56 Wh/kg,功率密度为 400 W/kg。

表 2 GBP5 器件在不同电流密度下的电容性能

项目	电流密度 / (A · g ⁻¹)				
	0.5	1	2	3	5
C_m / (F · g ⁻¹)	116.88	86.88	64.75	53.63	39.31
E_m / (Wh · kg ⁻¹)	41.56	30.89	23.02	19.07	13.98
P_m / (W · kg ⁻¹)	400	800	1600	2400	4000

图 5c 为 GBP5 器件的 EIS 曲线,高频区半圆直径较小说明其电荷传递电阻较小,与实轴交点说明等效内阻为 4.1 Ω ,在低频区曲线斜率接近垂直,表明 GBP5 材料具有优异的超电容特性。图 5d 为 GBP5 器件在 5 A/g 电流密度下循环 10000 次后电容保持为 56.28%,表明 GBP5 器件循环稳定性还有进一步提升的空间;另外 GBP5 器件可成功点亮 LED 灯牌,表明其优异的储能特性。



a—GBP5 器件在不同扫描速率下 CV 曲线; b—GBP5 器件在不同电流密度下 GCD 曲线; c—GBP5 器件气凝胶样品的 EIS 曲线; d—GBP5 器件在 5 A/g 电流密度下 10 000 次循环稳定性测试; e—GBP5 器件点亮 LED 电路板照片

图 5 气凝胶样品非对称器件的电化学性能

3 结论

采用一步水热法将 Py 与 GO 进行聚合,引入氧化还原活性物质 BQ,冷冻干燥后制备得到 PPy/GO 复合气凝胶材料,研究了 BQ 浓度对复合气凝胶材料结构和电化学性能的影响。结果表明,随着 BQ 浓度的增加,气凝胶材料的比电容先增后降,当 BQ 浓度达到 5 mmol/L 时,即 GBP5 可获得最佳的比电容,CV 曲线所围面积最大,电流密度为 1 A/g 时,比电容可达 304.0 F/g,充放电循环 10 000 次后电容保持率为 79.88%。与活性炭组装成非对称超级电容器,能量密度可达 41.56 Wh/kg,功率密度达 400 W/kg,并可成功点亮 LED 灯牌,其作为超级电容器电极材料展现出良好的应用潜力。

参考文献

- [1] Cao A, Chen Z, Wang Y, et al. Redox-active doped polypyrrole microspheres induced by phosphomolybdic acid as supercapacitor electrode materials[J]. Synthetic Metals, 2019, 252:135–141.
- [2] 宋慧敏,李雅菲,韩继源,等. 石墨烯/导电聚合物复合材料研究进展[J]. 胶体与聚合物, 2020, 38(4):195–199.
Song Huimin, Li Yafei, Han Jiyan, et al. Research progress of graphene/conductive polymer composites[J]. Colloids and polymers, 2020, 38(4):195–199.
- [3] Li Y, Louarn G, Aubert P H, et al. Polypyrrole-modified graphene sheet nanocomposites as new efficient materials for supercapacitors[J]. Carbon, 2016, 105:510–520.
- [4] Cao A, Li Y, Chen Z, et al. Polymerization of polypyrrole nanospheres on carbon nanotubes with PMo12-xWx as oxidant and redox dopant for supercapacitor[J]. Polymer, 2020. DOI:10.1016/j.polymer.2020.122829.
- [5] 李亮,陈旭,艾建连. 偶氮染料掺杂聚吡咯纳米/微米结构材料的制备[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(4):55–60.
Li Liang, Chen Xu, Ai Jianlian. Preparation of polypyrrole nano/micro structure material doped with azo dye[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2013, 35(4):55–60.
- [6] Navale S T, Mane A T, Ghanwat A A, et al. Camphor sulfonic acid (CSA) doped polypyrrole (PPy) films: measurement of microstructural and optoelectronic properties[J]. Measurement, 2014, 50:363–369.
- [7] Rajesh M, Raj C J, Kim B C, et al. Supercapacitive studies on electropolymerized natural organic phosphate doped polypyrrole thin films[J]. Electrochimica Acta, 2016, 220:373–383.
- [8] Han Y, Gao X, Wang T, et al. Organic sulfate modified carbon nanotube/polypyrrole core-shell nanocomposites with improved electrochemical performance[J]. Synthetic Metals, 2016, 217:288–294.

- [9] 王全璐,韩继源,李雅菲,等. 石墨烯/聚吡咯复合电极材料超电容性能研究进展[J]. 化学推进剂与高分子材料,2021,19(1):8-15. Wang Quanlu, Han Jiuyan, Li Yafei, et al. Research progress on supercapacitor properties of graphene/polypyrrole composite electrode materials[J]. Chemical Propellants and Polymer Materials,2021,19(1):8-15.
- [10] Liu T, Song W L, Fan L Z. Alcohol-dependent environments for fabricating graphene aerogels toward supercapacitors[J]. Electrochimica Acta,2015,173:1-6.
- [11] 单双. 超级电容器应用中石墨烯气凝胶制备、改性与掺杂的研究[D]. 成都:电子科技大学,2020. Shan Shuang. Research on preparation, modification and doping of graphene aerogel in supercapacitor application[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2020.
- [12] 宋慧敏,王全璐,韩永芹,等. 3D 石墨烯/导电聚合物气凝胶复合材料在超级电容器中的研究进展[J/OL]. 化学推进剂与高分子材料,2021. DOI:10.16572/j.issn1672-2191.202109077. Song Huimin, Wang Quanlu, Han Yongqin, et al. Research progress of 3D graphene/conductive polymer aerogel composites in supercapacitors[J/OL]. Chemical Propellants and Polymer Materials,2021. DOI:10.16572/j.issn1672-2191.202109077.
- [13] 喻航达. 石墨烯-导电高分子复合凝胶的制备与性能研究[D]. 武汉:武汉工程大学,2019. Yu Hangda. Study on the preparation and properties of graphene-conductive polymer composite gel[D]. Wuhan:Wuhan University of Technology,2019.
- [14] Lyu P. Highly compressible graphene/polypyrrole aerogel for superelastic pseudocapacitors[J]. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures,2018,26(1):23-29.
- [15] 陈健. 聚吡咯复合材料的制备及其石墨烯气凝胶的电化学性能研究[D]. 桂林:桂林理工大学,2017. Chen Jian. Preparation of polypyrrole composite material and study on electrochemical properties of graphene aerogel[D]. Guilin: Guilin University of Technology,2017.
- [16] Han Y, Zhang Z, Yang M, et al. Facile preparation of reduced graphene oxide/polypyrrole nanocomposites with urchin-like microstructure for wide-potential-window supercapacitors[J]. Electrochimica Acta,2018,289:238-247.
- [17] 李阳,邱唯楚,蔡卓,等. 聚吡咯/石墨烯复合水凝胶的制备与性能[J]. 武汉工程大学学报,2018,40(5):530-533. Li Yang, Qiu Weichu, Cai Zhuo, et al. Preparation and properties of polypyrrole/graphene composite hydrogel[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology,2018,40(5):530-533.
- [18] Han Y, Wang T, Li T, et al. Preparation and electrochemical performances of graphene/polypyrrole nanocomposite with anthraquinone-graphene oxide as active oxidant[J]. Carbon,2017,119:111-118.
- [19] Li J, Feng J, Yan W. Excellent adsorption and desorption characteristics of polypyrrole/TiO₂ composite for Methylene Blue[J]. Applied Surface Science,2013,279:400-408.
- [20] Park S H, Bak S M, Kim K H, et al. Solid-state microwave irradiation synthesis of high quality graphene nanosheets under hydrogen containing atmosphere[J]. Journal of Materials Chemistry,2011,21(3):680-686.
- [21] Wang Q, Song H, Li W, et al. Facile synthesis of polypyrrole/graphene composite aerogel with Alizarin Red S as reactive dopant for high-performance flexible supercapacitor[J]. Journal of Power Sources,2022. DOI:10.1016/j.jpowsour.2021.230737.

第三届 CHINAPLAS x CPRJ 塑料回收再生与循环经济论坛暨展示会

继 2018 年 1 月欧盟推出“欧洲塑料战略”(EU Plastic Strategy)后,“新塑料经济全球承诺”(The New Plastics Economy Global Commitment)、“清除塑料废弃物行动联盟”(Alliance to End Plastic Waste, AEPW)产业链内领域组织均应声而出,中国、东南亚国家纷纷宣布禁塑,政府、企业纷纷行动起来,从产品全生命周期出发,减少浪费,实现循环经济与可持续发展。

雅式集团继成功举办两届 CHINAPLAS & CPRJ 塑料回收再生与循环经济论坛暨展示会后,2022 年计划将探讨更多国际热门话题。本次论坛预计 400+ 行业精英参与、60%+ 终端/目标生产商、50+ 场演讲和 50+ 赞助商,规模较上届有所扩大。

特设专题讨论会,初拟主题如下:

碳中和、PCR/PIR 再生塑料、海洋再生塑料、单一材料、生态/循环设计、化学回收、塑料回收创新方案、再生材料的新技术。

拟邀请全球领先塑料回收再生领域先进企业(包括化工及机械设备商等)展示最新材料、工艺、自动化等相关方案,由专业人士介绍最新产品技术与观众交流。

面对面与目标买家沟通,提供相关解决方案:

- 展示公司风采,树立公司形象
- 开拓新商机并与老客户建立更牢固关系
- 会见业内专家,收集有价值信息

听众查询请咨询叶扉鸾小姐,联系电话为 +86 755 2354 7188,电邮地址为 event@adsale.com.hk。