

邱宏伟,董俊玲,何花,等.聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管气敏传感器的制备及性能研究[J].江西师范大学学报(自然科学版) 2023 47(5):460-465.

DI Hongwei ,DONG Junling ,HE Hua et al.The exploration and practice of teaching research integrated polymer chemistry comprehensive experiment course based on core literacy promotion [J].Journal of Jiangxi Normal University(Natural Science) 2023 47(5):460-465.

文章编号:1000-5862(2023)05-0460-06

聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性 碳纳米管气敏传感器的制备及性能研究

邱宏伟,董俊玲,何花,张楠,范超,王雅婷,曹江平*

(宁夏师范学院化学化工学院,六盘山资源工程技术研究中心,宁夏 固原 756000)

摘要:该文以乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管为导电填料,以 *N*-乙烯基吡唑为聚合单体,采用原位溶液聚合方法,在引发剂偶氮二异丁腈作用下聚合制得聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管复合导电胶糊(PVK/VTEO-MWCNT-OH)。通过红外光谱测其化学结构,通过扫描电镜观察聚合物包覆碳纳米管情况。研究结果表明:聚乙烯吡唑包覆在碳纳米管上,改善了碳纳米管的分散性。用制得的复合导电胶糊涂覆在电极片上,制得气敏传感元件,并测其在不同的有机溶剂中的气敏响应性。实验结果表明:制备的气敏传感薄膜对四氢呋喃蒸汽响应强度最好。

关键词:高分子气敏传感器;聚乙烯吡唑;乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管;气敏传感性能

中图分类号:TP 311 文献标志码:A DOI:10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2023.05.03

0 引言

近年来,人类非常关注自己的生产、生活环境的改善,因此对空气中各种环境污染物的检测越来越重视。正是在这种背景下,可用于执行特定环境气体监测、溶剂泄漏监测等任务的高灵敏度的气敏传感器具有良好的应用前景。传感器的核心部分是敏感材料,它决定了传感器的选择性、灵敏度、线性和稳定性等。因此新型敏感功能材料的开发和应用一直是传感器研究的热点^[1-8]。碳纳米管是目前制备敏感材料广泛使用的导电填料,具有独特的结构和显著的物理性能,如高比表面积和长宽比、纳米级尺寸、低电阻率等^[9-10]。然而,碳纳米管由于其强范德

华力而易于团聚,所以其分散性差,这限制了有效导电网络的形成,并影响传感器元件的再现性和稳定性^[7]。如何改善导电填料的分散性是制备聚合物/碳纳米管导电复合传感材料的关键技术。研究人员采用各种方法来增加碳纳米管的化学相容性和分散性,从而改善气敏元件的响应性。如碳纳米管的表面改性、功能化、原位聚合、化学共价接枝聚合、物理混合等^[11-14]。这些研究因其检测能力显著而被证明优于传统的仪器分析方法。

四氢呋喃被广泛应用于树脂溶剂、反应溶剂、化学中间产物、色谱溶剂中。四氢呋喃高度易燃,可能生成爆炸性过氧化物,刺激眼睛和呼吸系统。为了防止和消除四氢呋喃蒸汽对人体健康的影响及燃烧爆炸危险,必须通过开发具有良好响应性能的新

收稿日期:2023-03-11

基金项目:宁夏自然科学基金(2020AAC03261)、宁夏高等学校一流学科建设(教育学学科)课题(NXYLXK2017B11)、宁夏科技支撑计划(宁科计字[2015]26号文件)和宁夏师范学院化学化工学院科学研究课题(HGZD21-14)资助项目。

作者简介:邱宏伟(1976—),男,黑龙江牡丹江人,教授,博士,主要从事功能高分子材料研究。E-mail: dihongweix@163.com

通信作者:曹江平(1984—),男,陕西陇县人,讲师,主要从事样品前处理技术开发和色谱分析研究及相关实验教学。E-mail: jiangpingcao@126.com

型气体/蒸汽传感材料来制造传感器以监测四氢呋喃蒸汽的泄漏和扩散. 本文选取 *N*-乙烯吡唑为聚合单体、乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管为导电填料, 采用原位溶液聚合方法制备了 PVK/VTEO-MWCNT-OH 导电聚合物纳米复合材料, 研究了 MWCNT 的分散性和覆盖率, 并评估了其对四氢呋喃蒸汽的响应. 由多壁碳纳米管 and 聚乙烯吡唑组成的气敏传感器具有快速响应和恢复的性能, 这种简单的技术可以克服复杂的化学反应, 并同时保持良好的分散性和成膜性能. 更重要的是, 它们的响应性在暴露于四氢呋喃蒸汽时不会损失.

1 实验部分

1.1 实验材料和试剂

羟基多壁碳纳米管, 中科时代纳米材料有限公司; 乙烯基三乙氧基硅烷, 分析纯, 上海泰坦科技有限公司; *N*-乙烯吡唑, 分析纯, 上海阿拉丁生化科技有限公司; 偶氮二异丁腈, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 甲醇、氨水、石油醚、二氯甲烷、四氢呋喃、丙酮、乙酸乙酯、乙酸、二甲基亚砜, 以上溶剂均为分析纯, 购自国药集团化学试剂有限公司.

1.2 实验仪器和设备

电子天平(FA2204B), 上海精科天美科学仪器有限公司; 电动搅拌机(JB200-D), 上海圣科仪器设备有限公司; 恒温磁力搅拌器(S10-2), 上海司乐仪器有限公司; 循环水真空泵(SH2-3), 郑州长城科工贸有限公司; 数显式电热恒温水浴锅(HHS-11-3), 常州诺基仪器有限公司; 超声波清洗器(SK3300HP), 上海科导超声仪器有限公司; 真空干燥箱(DZF-6020), 上海一恒科学仪器有限公司; 数字式万用表(VC9808), 深圳胜利仪表厂.

1.3 乙烯基三乙氧基硅烷(VTEO)改性羟基多壁碳纳米管(VTEO-MWCNT-OH)

在 250 mL 三颈烧瓶中, 加入 2.0 g 羟基碳纳米管(MWCNT-OH)、30 mL 无水乙醇及 1 mL 去离子水, 在室温下超声振荡 1 h, 使碳纳米管分散均匀. 然后在三颈烧瓶里加入 15 mL 氨水后固定于水浴锅中, 再安装电动搅拌器、冷凝管和连接氮气袋的氮气管, 启动搅拌装置并开始通氮排氧. 在 15 min 后将水浴加热至 60 °C, 在搅拌下由恒压漏斗滴加 8 mL 乙烯基三乙氧基硅烷入三颈烧瓶中, 控制滴加速度, 保持反应平稳进行. 在滴加完毕后, 在 60 °C 下

恒温反应 4 h, 反应结束冷却至室温, 拆除反应装置, 取出反应产物, 用水和乙醇反复离心洗涤 3~4 次; 当测得上清液的 pH 值为 7 时停止清洗, 将离心后的沉淀物放入真空烘箱中于 40 °C 下干燥 24 h, 得到乙烯基三乙氧基硅烷改性的碳纳米管(VTEO-MWCNT-OH). 化学反应过程如图 1 所示.

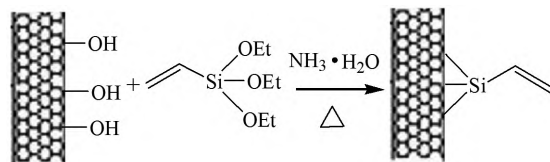


图1 乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管化学反应过程

1.4 聚乙烯吡唑(PVK)的合成

将 100 mL 三颈烧瓶固定于水浴锅里, 安装电动搅拌器、冷凝管和连着氮气袋的玻璃导气管. 称取 0.0778 g *N*-乙烯吡唑放入三颈烧瓶中, 再加入 10 mL 无水乙醇, 在搅拌下加入 0.014 g AIBN(AIBN 作为引发剂), 通氮排氧的同时将水浴升温至 80 °C, 反应 12 h. 将产物冷却至室温后加入甲醇, 在静置几分钟后产物沉淀, 然后离心分离, 倒出上清液, 再加入甲醇, 用玻璃棒搅拌, 再离心分离. 此操作重复进行 3 次. 最后将产物放入真空干燥箱中在 40 °C 下干燥 24 h, 得淡黄色的聚乙烯吡唑. 化学反应方程式如图 2 所示.

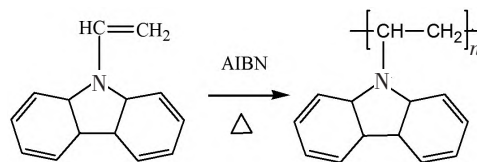


图2 聚乙烯吡唑的合成反应方程式

1.5 原位溶液聚合法制备聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料(PVK/VTEO-MWCNT-OH)

在一个干燥且盛有 20 mL 无水乙醇的 250 mL 三颈烧瓶里加入准确称量的 1.40 g *N*-乙烯吡唑和 0.28 g 乙烯基三乙氧基硅烷改性的羟基多壁碳纳米管, 在超声波清洗仪内超声 30 min. 将三颈烧瓶固定于水浴锅中, 安装电动搅拌器、球形冷凝管及氮气管, 加入 0.014 g AIBN. 启动电动搅拌, 通氮排氧, 将水浴升温至 80 °C, 恒温反应 12 h. 待产物降至室温后加入甲醇沉淀, 并进行离心分离. 重复操作 3 次, 最后在 40 °C 下真空干燥 24 h. 化学反应方程式如图 3 所示.

1.6 红外光谱测试

采用傅里叶变换红外光谱仪(美国赛默飞世尔

科技公司,型号: nicolet summit) 研究 PVK/VTEO-MWCNT-OH 导电复合材料的化学结构特征,光谱范

围为 $400 \sim 4\,500\text{ cm}^{-1}$,分辨率优于 0.2 cm^{-1} ,透过率精度优于 $0.1\%T$,信噪比高于 $3\,600:1$.

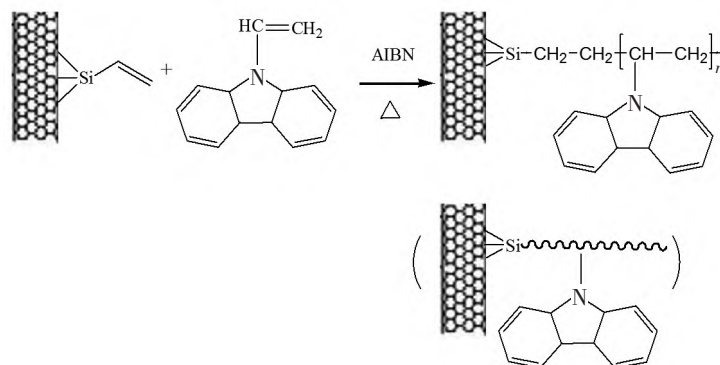


图3 原位溶液聚合 PVK/VTEO-MWCNT-OH 化学反应方程式

1.7 X-射线衍射分析

将制得的 P(St-co-AN)/MWCNT-OH 复合材料采用日本理学公司的 Rigaku D/max 2000PC 型全自动 X-射线衍射仪进行分析, Cu 靶 $K\alpha$ 射线, 波长 $\lambda = 0.154\text{ nm}$, 扫描范围为 $5^\circ \sim 80^\circ$, 工作电压为 40 kV , 工作电流为 40 mA , 扫描速率为 $2(^\circ) \cdot \text{min}^{-1}$.

1.8 扫描电镜测试

将制备的 PVK/VTEO-MWCNT-OH 复合材料用环境扫描电子显微镜(JSM-7610F 型, 日本电子公司)观测其形貌, 加速电压为 10 kV .

1.9 气敏性能测试

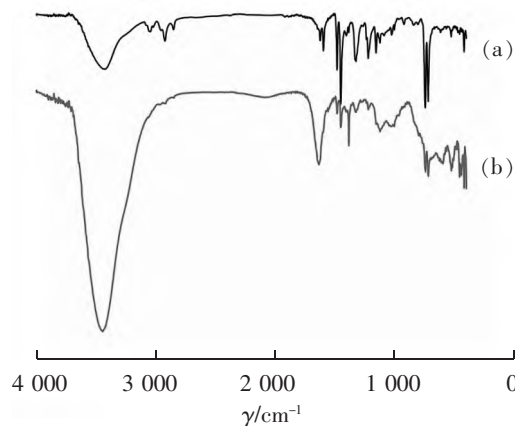
将制得的 PVK/VTEO-MWCNT-OH 高分子导电胶糊均匀地涂覆在自制的梳状电极片上, 然后将制好的梳状气敏元件晾干后, 再将其放到盛有饱和有机溶剂蒸汽的锥形瓶中, 并用塞子塞紧瓶口, 使该气敏元件与锥形瓶中的有机溶剂的液面相隔 2 cm , 将气敏元件的 2 根电极导线与万用表相连, 在室温下测量涂有 PVK/VTEO-MWCNT-OH 复合材料的电极片的电阻值随时间的变化, 待电阻值趋于稳定后, 记下稳定电阻值(R_{max}), 然后将该电极片快速取出, 观察记录其电阻值在空气中随时间的变化, 等到万用表的数据趋于平稳之后, 记下其稳定之后的电阻值(R_0), 更换有机溶剂, 测量各种有机溶剂蒸气的气敏响应性.

2 结果与分析

2.1 红外光谱分析

图 4(a) 是聚乙烯吡咯的红外光谱图, 图 4(b) 是聚乙烯吡咯/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料的红外光谱图. 从图 4(a) 中可以看

出: 在波数 $3\,045\text{ cm}^{-1}$ 处的特征峰归属于苯环 C—H 键的伸缩振动峰, 在 $1\,593\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\,488\text{ cm}^{-1}$ 处的特征峰为苯环骨架的伸缩振动峰, 在 $1\,332\text{ cm}^{-1}$ 处的特征峰归属于 C—N 键的伸缩振动峰^[15-16], 在 $1\,159\text{ cm}^{-1}$ 处的特征峰为主链骨架 C—C 键的伸缩振动峰. 在图 4(b) 上含有上述聚乙烯吡咯的特征吸收峰, 这表明聚乙烯吡咯包覆到了乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管上, 得到预期结构的聚乙烯吡咯/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料.

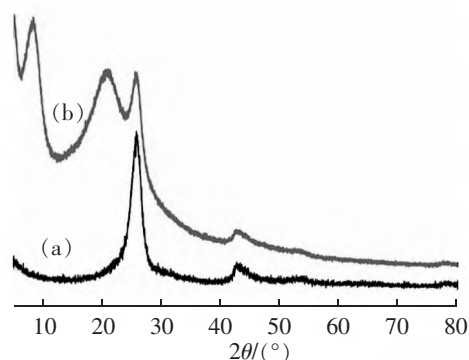


注: (a) 聚乙烯吡咯/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料; (b) 聚乙烯吡咯.

图4 红外光谱图

2.2 X-射线衍射(XRD)分析

不同样品的 XRD 谱图如图 5 所示. 图 5(a) 为 MWCNT-OH 的 XRD 图, 羟基多壁碳纳米管的结晶特征峰在 25.80° 和 42.75° 处, 对应碳纳米管晶格的 (002) 、 (100) 晶面^[17-18]. 图 5(b) 为 PVK/VTEO-MWCNT-OH 的 XRD 图, 由图 5(b) 可以看出: 在 $2\theta = 8.3^\circ$ 和 20.5° 处所对应的特征峰为聚合物 PVK 的衍射峰^[19], 在 25.80° 和 42.75° 处还有 MWCNT-OH 的结晶特征峰, 但特征峰强度减弱, 这是碳纳米管表面包覆聚合物 PVK 的结果.

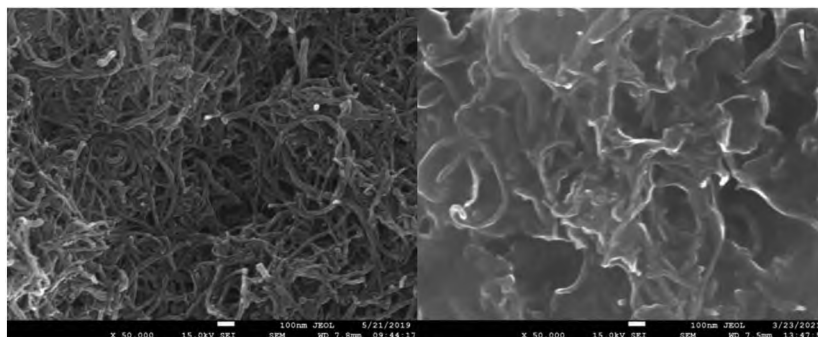


注: (a) MWCNT-OH; (b) PVK/VTEO-MWCNT-OH.

图5 X-射线衍射图

2.3 扫描电镜分析

用扫描电子显微镜观测聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料形貌. 由图 6(a) 可以明显发现: 碳纳米管多数是团聚并缠绕在一起的, 细长且弯曲, 层与层之间距离非常小; 图 6(b) 是通过原位溶液聚合法制备的聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料的扫描电镜图. 对比分析图 6(a) 和图 6(b) 可以看出: 碳纳米管分散性较好, 不易聚集成束, 表面明显包覆了一层聚合物. 上述红外光谱已经证实了该聚合物是聚乙烯吡唑, 这说明聚乙烯吡唑已包覆在乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管上.

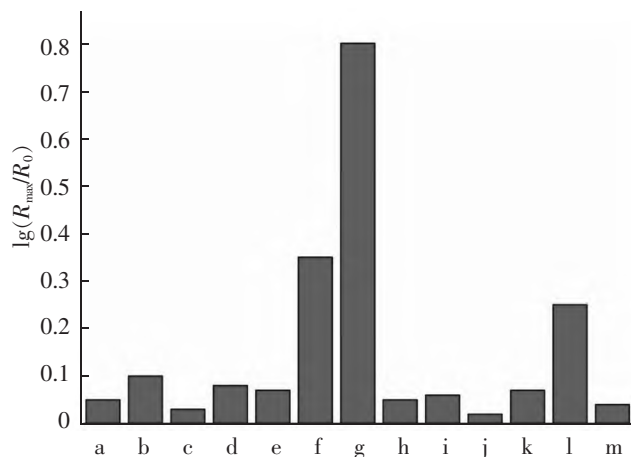


注: (a) 乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管; (b) PVK/VTEO-MWCNT-OH 导电复合材料.

图6 扫描电镜照片

2.4 气敏性能分析

本文通过测定聚乙烯吡唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管气敏传感薄膜在不同溶剂中的电阻值变化来判断气敏响应性(见图7). 测量响应强度的公式为 $I = R_{\max}/R_0$ [20], 其中 R_{\max} 为在不同有机溶剂中导电复合材料的电阻最大值, R_0 为在空气中导电复合材料的电阻值.



注: (a) 甲醛; (b) 甲醇; (c) 苯; (d) 丙酮; (e) 二甲苯; (f) 氯仿; (g) 四氢呋喃; (h) 乙酸; (i) 乙醚; (j) 石油醚; (k) 乙酸乙酯; (l) 二氯甲烷; (m) 二甲苯亚砷.

图7 气敏传感薄膜对不同溶剂蒸气的响应强度

由图7气敏响应强度柱状图可以看出气敏传感薄膜对不同有机溶剂蒸汽的响应强度不同, 其中对四氢呋喃的响应强度最强, 这种电阻变化主要是由碳纳米管之间的距离在“解吸”和“膨胀”的过程中发生了变化引起的^[21]. 在薄膜上的聚合物放置在有机溶剂上方后, 随着时间推移, 在碳纳米管上包覆的聚合物PVK吸附有机溶剂蒸汽, 引起体积膨胀, 导致碳纳米管层与层的间距增大, 破坏了原有的导电结构, 电阻值随之增大; 当吸附足够的蒸汽达到饱和状态时, 间距达到最大限度, 电阻值达到最大值且稳定, 此为“膨胀”. 在将它取出在空气中晾干后, 导电结构因碳纳米管间距的恢复而趋于原始状态, 电阻值也随之降低, 此为“解吸”. 在溶剂中若电阻值变化越大, 则该溶剂的响应性越强.

2.5 PVK/VTEO-MWCNT-OH 导电复合材料在 THF 和 CHCl₃ 蒸汽气氛中的气敏响应速率

图8是PVK/VTEO-MWCNT-OH气敏传感薄膜在THF和CHCl₃蒸汽气氛中的气敏响应速率(比电阻变化速率)图. 由图8可知: 将导电复合材料分别置于THF和CHCl₃氛围中, 导电复合材料在THF中比在CHCl₃蒸汽中的响应速率更快. 当复合材料除去溶剂蒸汽置于空气中时, 复合材料基本恢复它们

最初的电阻水平.在恢复后的电阻稍高于原始值,这是因为吸收溶剂蒸气导致了 PVK 分子链和/或 MWCNT 网络的重排,从而使得导电通路重建.

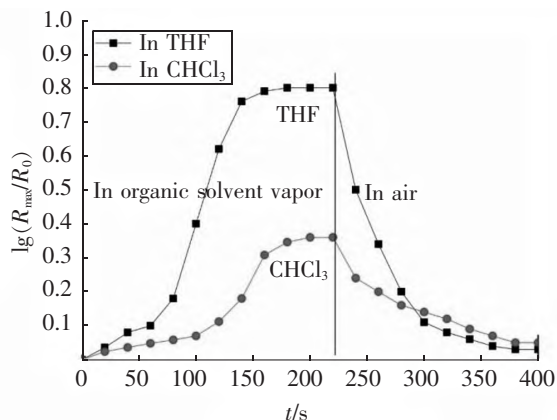


图8 气敏传感薄膜分别在 THF 和 CHCl_3 蒸汽气氛中的气敏响应速率

2.6 PVK/VTEO-MWCNT-OH 导电复合材料在 THF 蒸汽气氛中的重复响应性

重复性和稳定性是传感器的另一个重要性能参数.通过反复和交替地将传感器样品暴露在四氢呋喃蒸汽和干燥空气中(见图9).很明显,制备的 PVK/VTEO-MWCNT-OH 复合薄膜的响应值在5次循环期间波动很小,响应时间和恢复时间没有明显变化,电阻可以从原始值恢复.这些结果表明由 PVK/VTEO-MWCNT-OH 复合材料制成的传感元件在多次循环后表现出良好的再现性和稳定性,因此它们可以用作在环境保护中检测某些特定溶剂蒸汽或气体污染物的潜在传感器材料.

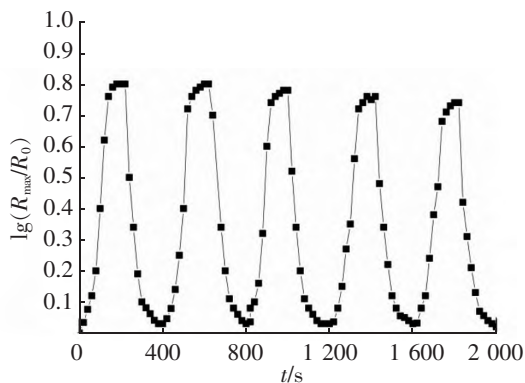


图9 气敏传感薄膜在 THF 蒸汽气氛中的重复响应性

3 结论

本文以 *N*-乙烯基咔唑为聚合单体、乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管为导电填料,通过原位聚合得到聚乙烯咔唑/乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管导电复合材料.经改性后的碳纳米管导电复合材

料的分散性较好,团聚情况有了很大的改善.结构表征和表面形貌观察实验结果表明聚乙烯咔唑已经成功包覆到乙烯基三乙氧基硅烷改性碳纳米管上.气敏性研究发现制备的气敏薄膜对有机溶剂四氢呋喃能产生较好的响应,响应强度最大.因此,该导电复合材料适合用来制作检测四氢呋喃蒸汽的气敏传感器.

4 参考文献

- [1] KUMAR B, CASTRO M, FELLER J F. Tailoring the chemo-resistive response of self-assembled polysaccharide-CNT sensors by chain conformation at tunnel junctions [J]. Carbon 2012, 50(10): 3627-3634.
- [2] KAR P, CHOUDHURY A. Carboxylic acid functionalized multi-walled carbon nanotube doped polyaniline for chloroform sensors [J]. Sensors & Actuators B: Chemical, 2013, 183: 25-33.
- [3] LI Zhijie, HUANG Yanwu, ZHANG Shouchao, et al. A fast response & recovery H_2S gas sensor based on $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles with ppb level detection limit [J]. Journal of Hazardous Materials 2015, 300: 167-174.
- [4] PISSIS P, GEORGIOUSIS G, PANDIS C, et al. Strain and damage sensing in polymer composites and nanocomposites with conducting fillers [J]. Procedia Engineering, 2015, 114: 590-597.
- [5] WANG Yanyan, LIU Yanhua, YUAN Lei, et al. Gas sensors based on deposited single-walled carbon nanotubes-polypyrrole networks for ammonia detection [J]. Advanced Materials Research 2013, 815: 501-507.
- [6] DI Hongwei, ZHANG Xueyin, CAO Jiangping, et al. Synthesis, characterization and vapor sensing properties of a novel P(St-co-AN)/MWCNTs-VTES nanocomposite thin film as a gas sensor [J]. European Polymer Journal, 2019, 116(7): 508-514.
- [7] ZHANG Jun, LUO Yanling, XU FENG, et al. Novel poly(*N*-vinylcarbazole) grafted multi-walled carbon nanotube nanocomposites based on a nucleophilic reaction: synthesis, fabrication of thin films, and sensing properties [J]. Chemical Engineering Journal 2016, 298: 136-145.
- [8] WEI Xuepeng, LUO Yanling, XU Feng, et al. Sensitive conductive polymer composites based on polylactic acid filled with multiwalled carbon nanotubes for chemical vapor sensing [J]. Synthetic Metals 2016, 215: 216-222.
- [9] JEONGWOO L, EUN J P, JAEWON C, et al. Polyurethane/PEG-modified MWCNT composite film for the chemical vapor sensor application [J]. Synthetic Metals 2010, 160: 566-574.

- [10] MANOSO E S ,HERRERA-BASURTO R ,SIMONET B M , et al. A quartz crystal microbalance modified with carbon nanotubes as a sensor for volatile organic compounds [J]. *Sensors and Actuators B* 2013 ,186: 811-816.
- [11] GONG Chunli ,XUE Zhigang ,WANG Xiaoen ,et al. Poly (ethylene glycol) grafted multi-walled carbon nanotubes/ LiFePO₄ composite cathodes for lithium ion batteries [J]. *Journal of Power Sources* ,2014 ,246: 260-268.
- [12] XIE Haifen ,SHENG C ,CHEN X ,et al. Multi-wall carbon nanotube gas sensors modified with amino-group to detect low concentration of formaldehyde [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2012 ,168: 34-38.
- [13] WAN QING ,TIAN JIANWEN ,LIU Meijing ,et al. Surface modification of carbon nanotubes via combination of mussel inspired chemistry and chain transfer free radical polymerization [J]. *Applied Surface Science* ,2015 ,346: 335-341.
- [14] ZHAO Zhiyuan ,YANG Zhanhong ,HU Youwang ,et al. Multiple functionalization of multi-walled carbon nanotubes with carboxyl and amino groups [J]. *Applied Surface Science* 2013 ,276: 476-481.
- [15] AYDIN H ,GÜNDÜZ B ,AYDIN C. Surface morphology , spectroscopy , optical and conductivity properties of transparent poly (9-vinylcarbazole) thin films modified with graphene oxide [J]. *Synthetic Metals* ,2019 ,252: 1-7.
- [16] 祝一锋 ,黄小钢 ,朱文仙 ,等. 原位光催化聚合制备聚 (*N*-乙烯基咔唑) /TiO₂ 纳米复合材料及其光催化性能 [J]. *材料导报* 2020 ,34(2) : 2147-2152.
- [17] ZHANG Bin ,XU Yiting ,ZHENG Yifang ,et al. A facile synthesis of polypyrrole/carbon nanotube composites with ultrathin uniform and thickness-tunable polypyrrole shells [J]. *Nanoscale Research Letters* 2011 ,6(1) : 431-431.
- [18] YIM Y J ,RHEE K Y ,PARK S J. Electromagnetic interference shielding effectiveness of nickel-plated MWCNTs/ high-density polyethylene composites [J]. *Composites Part B: Engineering* 2016 ,98: 120-125.
- [19] TAUNAUMANG H ,POLUAKAN C ,TAMBUWUN A. Investigation of physical structure of sudan III/PVK film composite exposure to acetone and alcohol vapor by using XRD method [J]. *Journal of Physics Conference Series* , 2018 ,1120: 012080.
- [20] DU Xiaosong ,ZHOU Yong , JIANG Yadong ,et al. Gas sensors based on multiple-walled carbon nanotubes-polyethylene oxide films for toluene vapor detection [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical* 2014 ,191: 24-30.
- [21] ABDULLA S ,MATHEW T L ,PULLITHADATHIL B. Highly sensitive ,room temperature gas sensor based on polyaniline-multiwalled carbon nanotubes (PANI/ MWCNTs) nanocomposite for trace-level ammonia detection [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical* ,2015 , 221: 1523-1534.

The Exploration and Practice of Teaching Research Integrated Polymer Chemistry Comprehensive Experiment Course Based on Core Literacy Promotion

DI Hongwei ,DONG Junling , HE Hua ,ZHANG Nan , FAN Chao ,WANG Yating ,CAO Jiangping*
(College of Chemistry and Chemical Engineering , Engineering and Technology Research Center of Liupanshan Resources ,
Ningxia Normal University , Guyuan Ningxia 756000 , China)

Abstract: In this paper ,the composite conductive paste of polyvinylcarbazole/vinyl triethoxysilane modified carbon nanotubes(PVK/VTEO-MWCNT-OH) is prepared by in-situ solution polymerization with vinyl triethoxysilane modified carbon nanotubes as the conductive filler , *N*-vinyl carbazole as the polymerization monomer , and azodiisobutyronitrile as the initiator. After a part of it is taken out and dried in vacuum , its chemical structure is measured by infrared spectroscopy. The results show that the dispersion of carbon nanotubes is improved by coating polyvinylcarbazole on carbon nanotubes. The gas sensing element is prepared by coating the prepared composite conductive adhesive paste on the electrode plate and its gas sensitivity is measured in different organic solvents. The results show that the prepared gas sensing film has the best response strength to tetrahydrofuran vapor.

Key words: comprehensive experiment of polymer chemistry; PVK; VTEO-MWCNT-OH; gas sensing performance

(责任编辑: 刘显亮)