

- 引用格式:赵博文,陈东梁,张东胜,等.不同形状的氧化石墨烯-金纳米粒子对对硝基苯酚的表面增强拉曼活性特性分析[J].北京化工大学学报(自然科学版),2019,46(3):22-27.
- ZHAO BoWen, CHEN DongLiang, ZHANG DongSheng, et al. Analysis of SERS characteristics of different Au/graphene oxide materials for the detection of p-nitrophenol[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2019, 46(3): 22-27.

不同形状的氧化石墨烯-金纳米粒子对对硝基苯酚的表面增强拉曼活性特性分析

赵博文¹ 陈东梁^{2*} 张东胜² 马妍²

(1. 河南省水利第二工程局, 郑州 450016; 2. 北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

摘要:通过种子生长法合成了不同形态的金纳米粒子,之后加入至氧化石墨烯水分散液中超声震荡得到不同形状的氧化石墨烯-金纳米粒子复合物。运用扫描电子显微镜、X射线光电子能谱、拉曼光谱等表征手段,探究复合物的表面结构、结合能与电荷状态,通过对对硝基苯酚的检测以表征其拉曼活性,并分析造成不同增强效果的原因。结果表明,氧化石墨烯-金纳米粒子复合物表现出良好的表面增强拉曼活性,可以成功地检测到 10^{-5} mol/L 的对硝基苯酚,且复合物的表面增强拉曼活性因金粒子的形状不同而有所差异。

关键词:氧化石墨烯-金纳米粒子复合物; 表面增强拉曼活性; 对硝基苯酚

中图分类号: X83 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2019.03.004

引言

对硝基苯酚(p-nitrophenol, PNP)是农药、医药、染料等精细化学品的中间体,在工业中有着广泛应用,但它会对人类神经造成伤害,对环境产生不利影响,因此,对 PNP 进行有效检测具有重要意义。

目前对 PNP 的检测有紫外分光光度法^[1]、荧光探针法^[2]、液相色谱法^[3]等,这些检测方法都可以成功检测到 PNP 的存在,但都存在各种不足。紫外分光光度法对检测环境的 pH 要求较高,PNP 的存在状态会随着溶液 pH 的变化而变化,从而影响检测结果的精度;荧光探针法由于采用的分子探针不同,检测结果也会出现偏差;液相色谱法检测效果好,但需要纯物质进行对照,且还需借助质谱、红外等方法,实验要求较高。

表面增强拉曼技术(surface-enhanced Raman spectroscopy, SERS)是一种常用的痕量检测方法,它通过吸附在金属纳米结构表面上的分子与金属表

面发生等离子共振作用,可使拉曼检测效果增强 10^6 甚至 10^{14} 倍^[4]。本文采用 SERS 检测技术,以期高效便捷地实现对 PNP 的检测。首先合成了棒状、方形及球形的金纳米粒子,分别与氧化石墨烯(graphene oxide, GO)以不同配比混合后超声复合,得到 3 种不同形态的氧化石墨烯-金纳米粒子复合物,测试了这 3 种不同形态氧化石墨烯-金纳米粒子(Au/GO)对 PNP 的检测灵敏度并对检测结果作出分析。

1 实验部分

1.1 原料与仪器

石墨, 45 μm , 氯化钡(BaCl_2), 分析纯, 盐酸(HCl), 36% ~ 38%, 硝酸(HNO_3), 65%, Alfa Aesar 化学有限公司; 浓硫酸(H_2SO_4), 95% ~ 98%, 高锰酸钾(KMnO_4), 柠檬酸钠($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 分析纯, 北京化工厂; 氯金酸($\text{HAuCl}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司; 对硝基苯酚($\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_3$), 硝酸银(AgNO_3), 分析纯, 过氧化氢(H_2O_2), 30%, 阿拉丁试剂有限公司; 硼氢化钠(NaBH_4), 分析纯, 天津市华东试剂; 溴化十六烷基三甲基铵($\text{C}_{19}\text{H}_{42}\text{NBr}$, CTAB), 分析纯, 北京伊诺凯科技有限公司; L-抗坏血酸($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$), 分析纯, 北京拜尔迪生物技术有限

收稿日期: 2018-11-26

第一作者: 男, 1993 年生, 硕士

* 通信联系人

E-mail: dongliangchen@foxmail.com

公司;超纯水,18.2 MΩ·cm,北京化工大学。

DF-101S 型集热式恒温磁力搅拌器,上海棱标仪器有限公司;ESJ120-4A 型电子天平,沈阳龙腾电子有限公司;TG16-WS 型台式高速离心机,湘仪实验室仪器开发有限公司;KQ-100DB 型超声波清洗机,昆山舒美超声仪器有限公司;DHG-9023A 型鼓风干燥箱,深圳市良谊实验室仪器有限公司;Free Zone2.5 型台式小型冻干机,美国 Labconco 有限公司;PH-100 笔式 pH 计,上海力辰邦西仪器科技有限公司。

1.2 GO 的制备

基于改良的 Hummers 法^[5]制备 GO。将 3 g 石墨加至 105 mL 浓硫酸中,冰浴搅拌 3 h 后加入 15 g KMnO_4 ,2 h 后换为常温水浴,加入 140 mL 超纯水,继续搅拌 30 min 后,向溶液中滴加 15 mL 过氧化氢溶液。将溶液静置过夜,过滤保留沉淀,6 000 r/min 转速下离心多次清洗,至上层离心液加入氯化钡后无沉淀产生,将产物置于 50 °C 干燥箱中烘干得到氧化石墨。将氧化石墨配制成 1 mg/mL 的水溶液,超声分散后离心,取上层清液冷冻干燥得到 GO。

1.3 不同形态金纳米粒子的制备

采用种子生长法制备棒状、方形及球形的金纳米粒子,过程分别如下。

1.3.1 棒状金纳米粒子

将现制的 4 °C NaBH_4 溶液 (0.01 mol/L, 0.6 mL) 注入到 HAuCl_4 (0.01 mol/L, 0.25 mL) 和 CTAB (0.1 mol/L, 9.75 mL) 的水溶液中,然后快速搅拌 2 min,室温下保存 2 h,得到种子溶液。

依次向 CTAB 溶液 (0.1 mol/L, 40 mL) 中加入 HAuCl_4 (0.01 mol/L, 2 mL)、 AgNO_3 (0.01 mol/L, 0.6 mL)、HCl (1.0 mol/L, 0.8 mL) 和抗坏血酸 (0.1 mol/L, 0.32 mL),将得到的溶液搅拌混合 30 s,得到生长溶液。

向生长溶液中加入 0.3 mL 种子溶液,搅拌混合 2 min,静置过夜后,取 10 mL 与 H_2O_2 (30%, 60 μL) 反应 30 min,生成金纳米棒。在转速 8 500 r/min 下离心 3 次,每次 15 min,除去未完全反应的 H_2O_2 ,然后将所得的金纳米棒分散于水中备用。

1.3.2 方形金纳米粒子

向 9.5 mL 水中加入 HAuCl_4 (0.01 mol/L, 0.25 mL) 和柠檬酸钠 (0.01 mol/L, 0.25 mL),搅拌混合后,加入现制的 NaBH_4 (0.1 mol/L, 0.3 mL),然后快速搅拌混合 2 min。所得溶液室温下保存 3 h,

得到种子溶液。

向 CTAB 溶液 (0.1 mol/L, 7.2 mL) 中加入 HAuCl_4 (0.01 mol/L, 0.225 mL) 和水 (1.575 mL),搅拌混合,再加入现制的抗坏血酸 (0.1 mol/L, 0.05 mL),之后再加入 1 mL 种子溶液,搅拌 30 min,得到生长溶液。

将 HAuCl_4 (0.01 mol/L, 0.225 mL)、水 (1.575 mL) 和 CTAB 溶液 (0.1 mol/L, 7.2 mL) 混合,随后加入抗坏血酸 (0.1 mol/L, 0.05 mL),然后加入 1 mL 生长溶液,并将所得反应混合物静置过夜。将混合物在转速 8 500 r/min 下离心 3 次,每次 15 min,然后将所得的方形金纳米粒子分散于等量水中备用。

1.3.3 球形金纳米粒子

将柠檬酸钠 (2.5×10^{-4} mol/L, 2 mL) 加入到 HAuCl_4 (2.5×10^{-4} mol/L, 20 mL) 中,快速加入现制的 NaBH_4 (0.1 mol/L, 0.1 mL),搅拌 3 min 后,于 25 °C 水浴中恒温 2 h,得到种子溶液。

向 CTAB 溶液 (0.1 mol/L, 20 mL) 中加入 AgNO_3 (5.0×10^{-6} mol/L, 1 mL),再加入 HAuCl_4 (2.5×10^{-4} mol/L, 1 mL),然后加入抗坏血酸 (0.01 mol/L, 0.8 mL),搅拌 2 min 后加入 0.1 mL 种子溶液,搅拌 15 min 后停止,于 25 °C 水浴中恒温 24 h。在转速 8 500 r/min 下离心 3 次,每次 15 min,然后将所得的球形金纳米粒子分散于等量水中备用。

1.4 Au/GO 的制备

将得到的不同形态的金属纳米粒子分别按照 GO、金纳米粒子、乙醇体积比为 1:50:500 混合,超声 30 min 后以 12 000 r/min 的转速离心 3 次,每次 10 min,得到 Au/GO 复合材料^[6]。采用以上步骤合成不同形态的氧化石墨烯-金纳米粒子复合物,分别将球形、棒状、方形金纳米粒子复合物记为 Au/GO1、Au/GO2、Au/GO3。

1.5 测试与表征

采用日本日立的 S4800 扫描电子显微镜 (SEM) 观察 Au/GO 的表面形貌特征。

采用英国赛默飞世尔公司的 ESCALAB 250Xi 型 X 射线光电谱仪进行 X 射线衍射分析 (XPS),表征 Au/GO 中的元素成分及金的存在状态,以 Al 靶 1486.6 eV 的 K_α 射线为激光光源,以 Cls 的 284.8 eV 进行峰位校准。

采用英国雷尼绍公司的 Renishaw in Via plus 型激光拉曼光谱仪分析 Au/GO 的拉曼光谱及对对硝基苯酚进行光谱检测,514 nm 激光源,扫描范围

500 ~ 2 000 cm^{-1} , 积分时间 10 s, 单次叠加。

进行 PNP 检测时, 将等体积的 Au/GO1、Au/GO2、Au/GO3 分别与不同浓度 (10^{-5} mol/L、 10^{-6} mol/L、 10^{-7} mol/L) 的 PNP 充分混合后, 静置过夜, 吸于毛细管中待测。

2 结果与讨论

2.1 Au/GO 复合物的微观形貌

图 1 为直接观察的棒状、方形及球形 3 种金纳米粒子溶液, 分别表现为紫红、粉红和浅黄色。溶液中金纳米粒子的光学特征与其形态及尺寸大小相关^[7], 虽然粒子处于纳米级别, 但是其内仍包含有许多原子, 根据能带理论^[8], 微观原子状态下能带不再连续, 会吸收特定波长的光, 从而表现出不同的颜色。另外, 溶液中粒子间距也会影响粒子的颜色, 当金纳米粒子颗粒间距减小, 即耦合粒子的半径增大时, 其颜色会发生明显改变, 光谱红移。

图 2 为利用种子生长法制备的 Au/GO1、Au/GO2、Au/GO3 以及 GO 的 SEM 图片。从图中可以看出金纳米粒子较为均匀地分散于 GO 表面, GO 中黑色部分为层叠褶皱, 而复合材料中 GO 并无明显的褶皱现象。可以认为, 金纳米粒子的加入有效地抑制了 GO 的褶皱。图 2 中球形金纳米粒子尺度在 10 ~ 20 nm, 方形粒子和棒状粒子尺寸较大, 约为 100 nm, 属于纳米级别, 其中 Au/GO1 及 Au/GO3 中

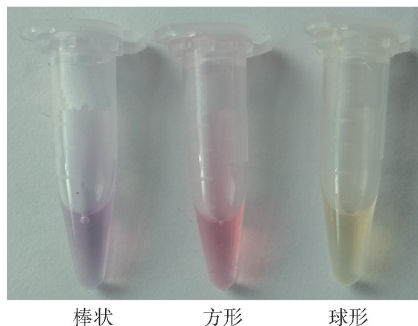


图 1 棒状、方形及球形金纳米粒子

Fig. 1 Images of rodlike, square and ball Au nanoparticles

的金纳米粒子表现出良好的球形及方形, 而 Au/GO2 中的金纳米粒子在表现出棒状的同时, 部分粒子在还发生了弯曲现象, 这可能是由于在生长过程中, 生长时间过长导致粒子过度生长, 长径比过大 (高达 8: 1), 从而在生长方向上不受控制, 发生了弯曲。

2.2 Au 的 XPS 分析

Au 在结合能 84.5 eV、87 eV 和 88.7 eV 处分别存在 Au4f7、Au4f 和 Au4f5 谱峰。由图 3 可知, 3 种 Au/GO 均在上述位置出现谱峰, 且有一定偏移, 具体数据见表 1。谱峰位置之所以出现偏移, 是由于存在不同价态的粒子。据文献报道^[9-11], 在 Au4f7 电子层中存在有 Au^0 (84.0 eV) 和 $\text{Au}^{\delta+}$ ($0 < \delta \leq 3$) (84.8 eV), Au4f5 电子层中存在有 Au^0 (87.7 eV) 和

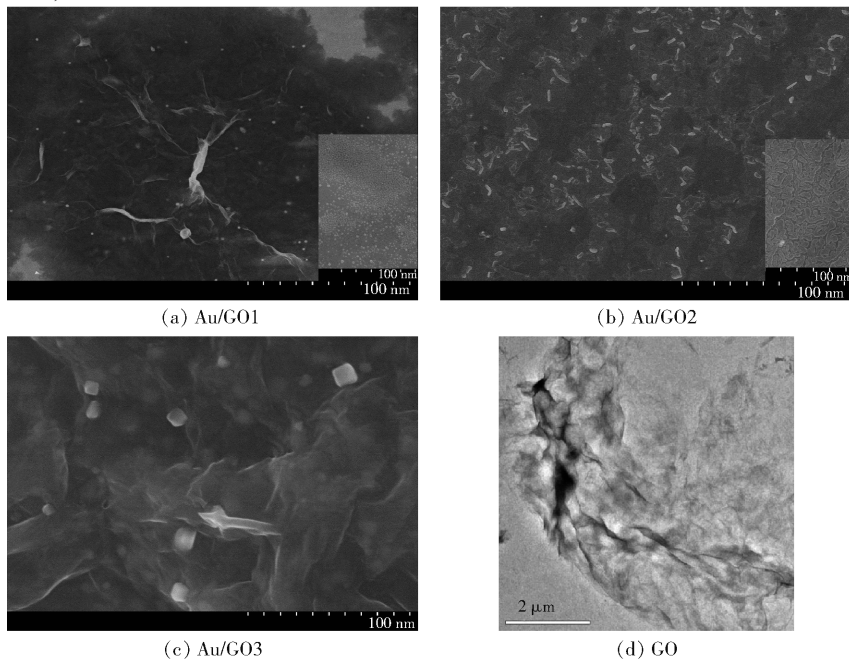


图 2 Au/GO1、Au/GO2、Au/GO3 及 GO 的 SEM 图片

Fig. 2 SEM images of Au/GO1, Au/GO2, Au/GO3 and GO

$\text{Au}^{\delta+}$ (88.4 eV), 其中 Au^0 以金属态存在, $\text{Au}^{\delta+}$ 以离子态存在。

前人研究认为^[12], Au 纳米粒子的催化性能主要受 Au 的离子状态影响, 即主要受 $\text{Au}^{\delta+}$ 影响, 含有 $\text{Au}^{\delta+}$ 的粒子越多, 催化效果越明显。由表 1 峰位偏

移 ΔE_{B} 可知, 3 种 Au/GO 均向 $\text{Au}^{\delta+}$ 方向有较大偏移, 可以认为大多数的 Au 都以离子形态存在, 有较好的催化效果, 而在 Au/GO2 中 Au4f 面积占比最小, 且 Au4f7 和 Au4f5 谱峰向 $\text{Au}^{\delta+}$ 偏移最大, 可以认为 Au/GO2 中离子态的 $\text{Au}^{\delta+}$ 占有最大的比例。

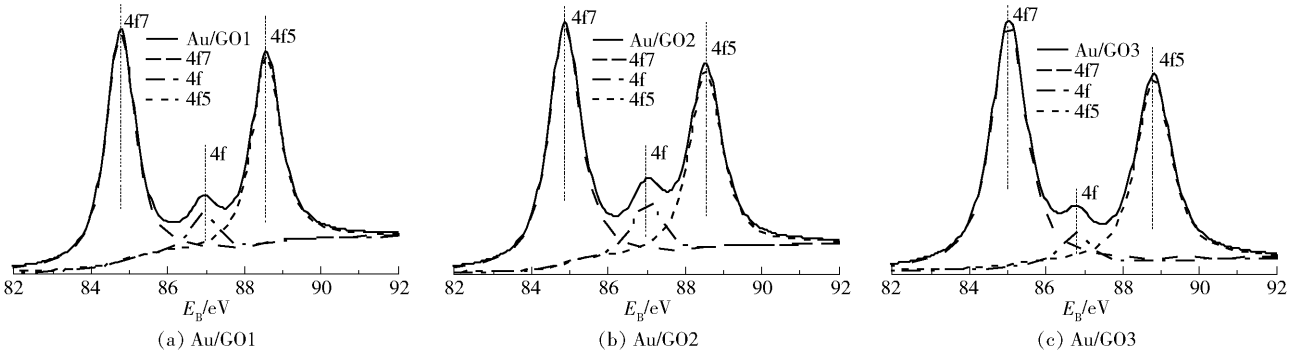


图 3 Au/GO1、Au/GO2 和 Au/GO3 的 XPS 谱图

Fig. 3 XPS spectra of Au/GO1, Au/GO2 and Au/GO3

表 1 Au/GO1、Au/GO2 和 Au/GO3 的 XPS 表征结果

Table 1 XPS results for Au/GO1, Au/GO2 and Au/GO3

电子层	标准结合能 E_{B}/eV	$E_{\text{B}}^{\text{a)}}$ / eV	$\Delta E_{\text{B}}^{\text{a)}}$ / eV	面积占 比 ^{a)} /%	$E_{\text{B}}^{\text{b)}}$ / eV	$\Delta E_{\text{B}}^{\text{b)}}$ / eV	面积占 比 ^{b)} /%	$E_{\text{B}}^{\text{c)}}$ / eV	$\Delta E_{\text{B}}^{\text{c)}}$ / eV	面积占 比 ^{c)} /%
4f7	84.5	84.86	0.36	50.22	85.02	0.52	53.85	84.77	0.27	50.26
4f	87.0	87.01	0.01	11.78	86.80	-0.20	5.69	86.94	-0.06	8.47
4f5	88.7	88.53	-0.17	38.00	88.80	0.10	40.46	88.57	-0.13	41.27

a、b、c 分别表示样品 Au/GO1、Au/GO2 和 Au/GO3。

2.3 PNP 的 SERS 分析

图 4 为 Au/GO1、Au/GO2 和 Au/GO3 3 种复合材料对 10^{-5} mol/L 的 PNP 的 SERS 光谱及 10^{-3} mol/L PNP 的拉曼光谱。 10^{-3} mol/L 的 PNP 因浓度很低, 特征峰强度很弱, 只能得到 3 个较为明显的峰, 分别位于 869 cm^{-1} , 1117 cm^{-1} 和 1343 cm^{-1} 处, 其中 1343 cm^{-1} 处为硝基 ($-\text{NO}_2$) 特征谱峰。3 种不同形态的 Au/GO 复合材料对 10^{-5} mol/L 的 PNP 的检测效果基本一致, 即在 880 cm^{-1} 、 1086 cm^{-1} 、 1118 cm^{-1} 、 1277 cm^{-1} 、 1340 cm^{-1} 和 1456 cm^{-1} 处出现特征峰。与 PNP 的拉曼谱峰相比, 3 种复合材料不仅在 1340 cm^{-1} 处存在有硝基特征峰, 另外在 1277 cm^{-1} 处还出现了亚硝基 ($-\text{NO}$) 的特征峰, 因为 Au/GO 未使 PNP 彻底还原, 生成对亚硝基苯酚 (p-nitrosophenol)。与 10^{-5} mol/L 的 PNP 相比, 3 种 Au/GO 对 PNP 的检测谱图谱峰明显, 可以表明 3 种 Au/GO 复合材料对 PNP 具有良好的检测效果。

利用公式(1)来计算增强因子 G 以表示 3 种复

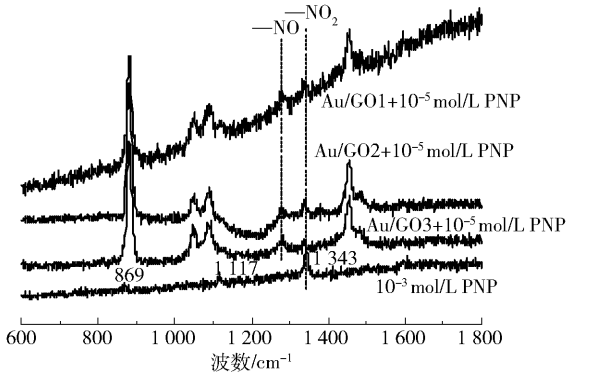


图 4 Au/GO1、Au/GO2 和 Au/GO3 对 10^{-5} mol/L PNP 的拉曼检测谱图

Fig. 4 SERS spectra of 10^{-5} mol/L PNP on Au/GO1, Au/GO2 and Au/GO3

合材料的增强效果^[13]

$$G = (I_{\text{SERS}}/N_{\text{SERS}})/(I_{\text{bulk}}/N_{\text{bulk}}) \tag{1}$$

式中 I_{SERS} 为 SERS 增强后亚硝基的峰面积; N_{SERS} 为 SERS 增强中活性基底上激光所照射到的探针分子数; I_{bulk} 为 10^{-3} mol/L PNP 溶液的硝基峰的峰面积;

N_{bulk} 为 10^{-3} mol/L PNP 溶液中激光能照射到的有效探针分子数。

3 种 Au/GO 的增强因子利用 SERS 增强后的亚硝基峰面积与 10^{-3} mol/L PNP 溶液的硝基峰面积之比进行计算,可以得到 $G_1(\text{Au/GO1}) = 3\,750$, $G_2(\text{Au/GO2}) = 4\,500$, $G_3(\text{Au/GO3}) = 2\,655$ 。可知棒状 Au/GO 的增强效果最好,分别为球形和方形 Au/GO 增强效果的 1.2 倍和 1.7 倍,而 3 种 Au/GO 的检测效果与 PNP 相比均有较大幅度的提高。分析其原因为, Au/GO2 中离子态的 $\text{Au}^{\delta+}$ 比例最高,由于离子态的 $\text{Au}^{\delta+}$ 有着更好的催化效果,从而使得其对 PNP 的检测增强效果最好; Au/GO1 的增强效果优于 Au/GO3,可能是因为 Au/GO1 中金粒子的尺寸更小,从而表现出更好的表面效应和小尺寸效应,使其增强效果更好。

当 PNP 的浓度更低 (10^{-6} 、 10^{-7} mol/L) 时,拉曼谱图中只存在 Au/GO 的特征峰,无 PNP 的特征峰。可以认为,当 PNP 的浓度低于 10^{-5} mol/L 时,3 种 Au/GO 检测不出 PNP 的存在,因此本文方法对 PNP 的检测限为 10^{-5} mol/L。

3 结论

3 种 Au/GO 复合材料对 PNP 的检测限为 10^{-5} mol/L,表明它们有着良好的 SERS 活性,且其活性与 Au 的粒子形态、电荷状态及尺寸大小等因素有关。3 种 Au/GO 的增强效果从高到低依次为 Au/GO2 > Au/GO1 > Au/GO3, Au/GO2 中含有较高含量的具有催化活性的 $\text{Au}^{\delta+}$, Au/GO1 中小尺寸的金纳米粒子由于表面效应具有较高的化学活性,从而使得它们的检测效果都要优于 Au/GO3。

参考文献:

- [1] 高丽雨, 亚森江·库那洪, 魏琳, 等. 紫外可见光谱谱峰归一校正法检测对硝基苯酚[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(2): 111-114.
GAO L L, YASENJIANG K N H, WEI L, et al. Measurement of p-nitrophenol with normalizationally modified UV-vis spectrum methodology in wide pH range wastewater[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(2): 111-114. (in Chinese)
- [2] 任翼飞, 郝红霞, 杨瑞琴. 荧光探针检测 2, 4, 6-三硝基苯酚研究进展[J]. 刑事技术, 2018, 43(2): 104-110.
REN Y F, HAO H X, YANG R Q. Recent progress in research of fluorescent probes for detection of 2, 4, 6-trinitrophenol[J]. Forensic Science and Technology, 2018, 43(2): 104-110. (in Chinese)
- [3] 陈晨, 王翔林, 李阳, 等. HPLC 法同时测定碘硝酚中碘硝酚和对硝基苯酚的含量[J]. 沈阳药科大学学报, 2016, 33(7): 542-546.
CHEN C, WANG X L, LI Y, et al. Simultaneous determination of disophenol and p-nitrophenol in disophenol by HPLC[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2016, 33(7): 542-546. (in Chinese)
- [4] 杨玉东, 刘公召, 徐菁华, 等. 金纳米棒: 合成、修饰、自组装、SERS 及生物医学应用[J]. 中国科学: 化学, 2015, 45(6): 581-596.
YANG Y D, LIU G Z, XU J H, et al. Preparation, modification, self-assembly and surface enhanced Raman scattering of gold nanorods and its biomedical application[J]. Scientia Sinica Chimica, 2015, 45(6): 581-596. (in Chinese)
- [5] 赵博文, 陈东梁, 陈婧, 等. 氧化石墨烯-金纳米粒子复合物的表面增强拉曼活性特性[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2018, 45(4): 36-40.
ZHAO B W, CHEN D L, CHEN J, et al. The SERS activity of gold-graphene oxide nanocomposites[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2018, 45(4): 36-40. (in Chinese)
- [6] 王秀娟, 孟国文, 黄竹林, 等. 修饰有金属纳米粒子的石墨烯复合材料的制备方法: CN 103508449A[P]. 2014-01-15.
WANG X J, MENG G W, HUANG Z L, et al. Preparation of graphene composites modified with metal nanoparticles: CN 103508449A[P]. 2014-01-15. (in Chinese)
- [7] 杨志林, 李秀燕, 胡建强, 等. 金纳米粒子光学性质中的尺寸和形状效应[J]. 光散射学报, 2003, 15(1): 1-5.
YANG Z L, LI X Y, HU J Q, et al. The size and shape effects on the optical properties of gold nanoparticles[J]. Chinese Journal of Light Scattering, 2003, 15(1): 1-5. (in Chinese)
- [8] 殷小玲. 金刚石颜色成因探讨[J]. 超硬材料工程, 2007, 19(2): 53-56.
YIN X L. Genesis of diamond coloration[J]. Superhard Material Engineering, 2007, 19(2): 53-56. (in Chinese)
- [9] IDAKIEV V, YUAN Z Y, TABAKOVA T, et al. Titanium oxide nanotubes as supports of nano-sized gold catalysts for low temperature water-gas shift reaction[J]. Ap-

- plied Catalysis A: General, 2005, 281(12): 149–155.
- [10] CASALETTO M P, LONGO A, VENEZIA A M, et al. Metal-support and preparation influence on the structural and electronic properties of gold catalysts[J]. Applied Catalysis A: General, 2006, 302(3): 309–316.
- [11] ILIEVA L, SOBCZAK J W, MANZOLI M, et al. Reduction behavior of nanostructured gold catalysts supported on mesoporous titania and zirconia[J]. Applied Catalysis A: General, 2005, 291(5): 85–92.
- [12] 海锋, 贾美林, 照日格图, 等. 负载型金催化剂的制备及其性能研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(3): 5–8.
- [13] HAI F, JIA M L, ZHAORIGETU, et al. Preparation of support gold catalyst and its catalytic performance[J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(3): 5–8. (in Chinese)
- [13] DOHERTYM D, MURPHY A, MCPHILLIPS J, et al. Wavelength dependence of Raman enhancement from gold nanorod arrays: quantitative experiment and modeling of a hot spot dominated system[J]. J Phys Chem C, 2010, 114: 19913–19919.

Analysis of SERS characteristics of different Au/graphene oxide materials for the detection of p-nitrophenol

ZHAO BoWen¹ CHEN DongLiang^{2*} ZHANG DongSheng² MA Yan²

(1. Henan Water Conservancy No. 2 Engineering Bureau, Zhengzhou 450016;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: Gold nanoparticles have been synthesized by a seed-growth method, and three types of gold-graphene oxide composites (Au/GO) were prepared from Au nanoparticles and graphene oxide within the dispersed liquid by ultrasonic treatment. Scanning electron microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy and surface enhanced Raman spectroscopy (SERS) were respectively employed to explore the surface characteristics, binding energy, and charge state of Au and SERS activity. The SERS tests were carried out with p-nitrophenol. The underlying SERS enhancement mechanisms are discussed. The results indicate that the Au/GO materials with different particle morphologies all have good SERS activities, with a detection limit of 10^{-5} mol/L p-nitrophenol.

Key words: gold-graphene oxide composites (Au/GO); surface enhanced Raman spectroscopy characteristics; p-nitrophenol

(责任编辑: 吴万玲)