

银纳米三角传感阵列在生化物质检测方面的应用分析

周锴文^{1*}, 徐鹏飞²

(1. 哈尔滨工程大学, 哈尔滨 150001; 2. 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150006)

摘要: 在纳米技术发展推动下, 银纳米材料凭借其催化性能、导电性能、光学特性, 被广泛应用在传感领域中。银纳米三角传感阵列在多组分同时检测、高灵敏度等性能支撑下, 成为生化物质检测领域的研究热点。本文基于此, 总结银纳米三角的合成方法、特性以及传感阵列的研究进展, 并重点介绍比色传感阵列、表面增强拉曼散射等技术在生化物质检测中的实际应用, 为相关领域的研究和实践提供有益的参考。

关键词: 银纳米三角; 传感阵列; 生化物质检测; 比色传感; 表面增强拉曼散射

Application analysis of silver nano triangular sensing array in biochemical substance detection

ZHOU Kai-Wen^{1*}, XU Peng-Fei²

(1. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China)

ABSTRACT: Driven by the development of nanotechnology, silver nanomaterials are widely used in the field of sensing due to their catalytic performance, conductivity, and optical properties. The silver nano triangular sensing array has become a research hotspot in the field of biochemical substance detection, supported by its performance in multi-component simultaneous detection and high sensitivity. Based on this, this article summarizes the synthesis methods, characteristics, and research progress of sensing arrays of silver nano triangles, and focuses on the practical applications of colorimetric sensing arrays, surface enhanced Raman scattering, and other technologies in biochemical substance detection, providing useful references for research and practice in related fields.

KEY WORDS: silver nano triangle; sensing array; biochemical substance testing; colorimetric sensing; surface enhanced Raman scattering

0 引言

随着纳米科技进步, 银纳米材料因独特物理和化学性质, 在传感技术中展现巨大潜力。特别是银纳米三角, 其特殊形貌和优异光学性能, 使基于其构建的传感阵列在生化物质检测中表现出色^[1]。近年来, 由于传统生化物质检测方法操作繁琐、

耗时较长, 银纳米三角传感阵列则提供快速、简便且高效的检测手段, 科研人员高度关注银纳米三角传感阵列在生化物质检测方面的应用^[2]。

1 银纳米三角的合成与特性

银纳米三角本质是纳米材料, 但是其形貌和尺寸均较为独

*通信作者: 周锴文, 硕士, 研究方向为分子电子器件, 离子凝胶电极检测生物分子技术。E-mail: zhokaiwenhrb@163.com

*Corresponding author: ZHOU Kai-Wen, Master, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China. E-mail: zhokaiwenhrb@163.com

特, 在科研领域备受关注。在合成银纳米三角期间, 实验人员多采用湿化学法合成实现, 借助于还原剂将银离子还原成银原子, 从而形成特定形貌的银纳米三角^[3]。银纳米三角的形貌特征主要包括尖锐的顶角和边缘, 赋予其独特光学性质和电磁场增强效应, 使其在传感应用中表现优异^[4]。具体来说, 尖锐的顶角和边缘可以引发强烈的局部表面等离子体共振 (Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR) 效应, 使银纳米三角在特定波长下具有强烈的吸收和散射能力。同时, 当入射光与银纳米三角相互作用时, 其尖锐的顶角和边缘会引发强烈电磁场增强, 从而显著提高周围分子拉曼散射信号, 使银纳米三角成为优良的表面增强拉曼散射 (Surface Enhancement of Raman Scattering, SERS) 基底, 适用于检测和分析低浓度样品^[5]。

除了光学性质和电磁场增强效应外, 银纳米三角还展现出良好的生物相容性和稳定性, 使其在生化物质检测中具有广阔的应用前景。例如, 高效结合银纳米三角与特定的生物分子, 构建高选择性和灵敏度的传感阵列, 应用于疾病诊断、环境监测等领域^[6]。

2 银纳米三角传感阵列的构建

2.1 传感阵列的构建

构建传感阵列, 依赖于有效结合银纳米三角与特定识别分子, 其中, 抗体、酶、DNA 片段等识别分子能与目标物质发生特异性相互作用。将识别分子修饰在银纳米三角的表面, 可构建出具有特异性识别功能的传感单元^[7]。传感单元在阵列中按规律排列, 形成能同时检测多种目标物质的传感阵列。构建传感阵列期间, 还需综合考虑阵列密度和均匀性。阵列的密度决定能同时检测的目标物质种类数, 而均匀性则保证每个传感单元都能均匀与目标物质接触, 从而提高检测准确性^[8-9]。

2.2 信号的转导与放大

在设计传感阵列期间, 转导与放大信号是关键环节, 目标物质与传感单元相互作用时, 会产生一系列物理或化学变化, 此为可检测的信号。为提高检测灵敏度, 需有效放大信号。在银纳米三角传感阵列中, 信号放大可通过多种方式实现。例如, 利用银纳米三角的光学性质, 借助表面等离子体共振效应增强信号^[10-11]。此外, 还可采用电化学方法、荧光标记等技术放大信号。

3 比色传感阵列在生化物质检测中的应用

3.1 银纳米三角与比色传感阵列的结合

3.1.1 制备银纳米三角

利用化学还原法合形成貌规整、尺寸均一的银纳米三角,

即在特定的反应条件下, 利用还原剂将银离子还原成银原子, 并控制其生长成三角形结构。制备过程中, 需精确控制反应温度、时间、还原剂和稳定剂的浓度等参数, 以获得理想的银纳米三角^[12]。

3.1.2 传感阵列的构建

将制备好的银纳米三角作为敏感元件, 构建比色传感阵列。在传感基底上均匀固定银纳米三角, 并保持其良好的分散性。在此过程中, 实验人员可采用物理吸附、化学交联或电化学沉积等方法固定^[13]。固定完成后, 需表征传感阵列, 控制其具有良好的光学性能和稳定性。

3.1.3 目标物质的检测

构建完成传感阵列后, 便可用于目标物质的检测。在传感阵列中引入待检测物质, 观察其与银纳米三角相互作用后引起的颜色变化。这种颜色变化可肉眼直接观察, 也可用光谱仪精确测量^[14-15]。优化检测条件, 调整 pH 值、温度、反应时间, 实现目标物质高灵敏度和高选择性检测, 提高传感阵列响应性能。

3.1.4 数据分析与解读

分析、解读检测过程中获得的数据, 比较不同浓度目标物质引起的颜色变化程度, 建立标准曲线以定量测定目标物质的浓度, 评估传感阵列的选择性、灵敏度和稳定性等性能指标^[16]。数据分析可深入了解银纳米三角与目标物质的相互作用机制, 并为优化传感阵列设计提供依据。

3.2 银纳米三角比色传感阵列的应用领域

3.2.1 生物分子检测

在生物分子检测领域, 银纳米三角比色传感阵列展现出巨大潜力。银纳米三角修饰抗体、适配体等特定的识别分子, 可检测蛋白质、核酸等生物分子特异性。这种检测方法无需复杂的仪器设备和繁琐的操作步骤, 便可快速获取检测结果, 对早期诊断疾病和筛查生物标志物具有意义^[17]。

3.2.2 环境监测

环境监测是银纳米三角比色传感阵列的另一个重要应用领域。环境中污染物种类繁多, 且浓度范围广泛。银纳米三角比色传感阵列具有高灵敏度和高选择性特点, 能同时检测多种污染物。此外, 该技术还可用于监测环境中的重金属离子、有机污染物等有害物质, 为环境保护和污染治理提供支持^[18]。

3.2.3 食品安全检测

在食品安全检测中, 银纳米三角比色传感阵列也具有广泛的应用前景。例如, 可用于检测食品中的添加剂、农药残留、

细菌毒素等有害物质。简单的颜色变化,便可快速判断食品的安全性,为保障公众健康提供有力手段。

4 表面增强拉曼散射在生物物质检测中的应用

4.1 药物筛选

在药物研发过程中,高效、准确的药物筛选方法对于缩短研发周期、降低研发成本具有举足轻重的地位。传统的药物筛选方法往往繁琐且耗时,无法满足现代药物研发对速度和精度的要求。银纳米三角增强的拉曼散射技术以其高灵敏度和高分辨率的特点,为药物分子与靶标分子相互作用的检测提供前所未有的便利。在药物筛选过程中,研究人员可以利用该技术对药物分子在银纳米三角表面的拉曼信号变化进行实时监测^[19]。对这些信号变化进行深入分析,研究人员能够快速筛选出与靶标分子具有强相互作用的药物候选物,从而大大提高药物筛选的效率和准确性。银纳米三角增强拉曼散射技术还可用于研究药物分子构效关系,对比不同药物分子在银纳米三角表面的拉曼信号,研究人员把握药物分子结构与活性之间的关系,为药物设计和优化提供有力支持。

4.2 环境污染物检测

随着工业化和城市化的快速发展,环境污染问题日益严重。为有效应对环境污染,对污染物的快速、准确检测显得尤为重要。银纳米三角增强的拉曼散射技术以其高灵敏度和高分辨率的特点,在环境污染物检测领域展现出广阔的应用前景。

利用该技术,研究人员可以实现环境中痕量污染物的快速检测,如重金属离子、有机污染物等。这些污染物往往对环境和人体健康造成严重危害,因此对其进行准确检测具有重要意义。识别和分析污染物分子拉曼信号,研究人员能够了解污染物种类、浓度和分布情况,为环境监测和污染治理提供有力支持。银纳米三角增强的拉曼散射技术还可用于研究污染物的迁移转化规律^[20]。监测污染物在不同环境介质中的拉曼信号变化,帮助分析污染物的迁移途径和转化。

4.3 生物医学诊断

在生物医学领域,疾病的早期诊断和治疗对于提高患者生存率和生活质量具有重要意义。传统的生物医学诊断方法往往存在灵敏度低、特异性差等问题,无法满足现代医学对诊断精度和速度的要求。银纳米三角增强的拉曼散射技术作为一种新兴的生物医学诊断工具,正受到广泛关注。

利用该技术,研究人员快速、准确检测肿瘤标志物、病毒

等生物标志物。这些生物标志物往往与特定疾病的发生和发展密切相关,因此对其进行准确检测对于疾病的早期诊断和精准治疗具有重要意义。分析患者样本拉曼信号,研究人员了解生物标志物的种类、浓度和变化情况,为疾病的早期发现和精准诊断提供有力支持。银纳米三角增强的拉曼散射技术还用于研究疾病的发病机制和药物疗效评估,基于监测疾病相关生物分子在银纳米三角表面的拉曼信号变化,研究人员了解疾病的发生和发展过程以及药物对疾病的治疗作用机制。

5 结束语

银纳米三角因其特殊的形貌所引发的强烈局部表面等离子体共振效应,在传感领域表现突出。其合成灵活,可精确调控形貌和尺寸,从而优化光学和电磁场性质。在传感阵列中,银纳米三角与识别分子结合,能高灵敏、高选择性地检测多种物质。比色传感阵列利用银纳米三角,颜色变化快速判断目标物质及其浓度,广泛应用于生物分子、环境和食品安全检测,为快速获取结果提供支持。此外,银纳米三角增强的拉曼散射技术在药物筛选、环境污染物检测和生物医学诊断中潜力巨大,其高灵敏度和高分辨率有助于深入研究分子相互作用,为科研和技术创新提供工具。

参考文献

- [1] 杨帆. 银纳米三角传感阵列在生物物质检测方面的应用进展[J]. 山东化工, 2023, 52(07): 94-97.
- [2] 刘智颖, 周如悦, 葛颂, 等. 基于多孔金银纳米片的肿瘤标志物超灵敏 SERS 检测方法研究[J]. 生物化工, 2023, 9(01): 1-6.
- [3] 马嵩, 杨俏春, 肖港, 等. 基于金纳米棒增强的银纳米团簇光电化学传感器在多巴胺检测方面的研究[J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2022, (001): 055.
- [4] 李圆圆, 杨龙坤, 李志鹏. 银纳米线三角片耦合结构发射光的偏振依赖特性[J]. 中国激光, 2023, 50(01): 8.
- [5] 何颖冰, 陈燕宏, 李鳧亭, 等. 基于海藻酸钠-银纳米粒比率型探针的尿酸比色法检测研究[J]. 分析测试学报, 2023, 42(04): 456-463.
- [6] 郭贺媛熙, 李利军, 冯军, 等. 基于 DNA 杂交指示剂和银纳米棒阵列芯片构建氯霉素 SERS 适配体传感器的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(11): 3445-3451.
- [7] 张嘉伟, 徐凡, 耿永康, 等. 酪蛋白-金银合金纳米簇的制备

- 及其对金霉素的荧光检测 [J]. 河南化工, 2024, (01): 041.
- [8] 李金鹏, 唐飞宇, 王斌, 等. 一种银纳米团簇荧光复合膜的制备及其在检测重金属中的应用. CN202211266642.7 [2024-04-26].
- [9] 李曹龙, 尹淑怡, 王飞. 基于交叉网状银纳米线 AgNW 检测海洋毒素 GYM 的表面增强拉曼光谱的检测方法 [P]. CN113418905B [2024-04-26].
- [10] 李华春, 蔡立佳, 邓茂, 等. 基于免标记银纳米粒子与硫脲高选择性比色法检测水中 Hg^{2+} [J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2023, 41(05): 85-89.
- [11] 李丹靓, 周朴帆, 刘璐瑶, 等. 脱氧核糖核酸-银纳米簇荧光探针用于沙眼衣原体的定量检测 [J]. 理化检验: 化学分册, 2023, 59(05): 506-511.
- [12] 徐梦蕾, 高宇, 朱琳, 等. 基于银纳米粒子的局域表面等离子体共振效应提高草甘膦基于茚三酮间接检测的灵敏度 [J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(01): 4.
- [13] 刘春. 复方甲硝唑栓联合纳米银抗菌水凝胶治疗阴道炎的效果分析 [J]. 实用妇科内分泌电子杂志, 2023, 10(03): 65-67.
- [14] 李盼楨, 黄哲, 伍思远, 等. 化学还原法制备纳米银粒子的研究进展 [J]. 中国有色金属学报, 2023, (12): 33.
- [15] 张浩, 赵影, 姜大伟. 荧光银纳米簇免标记分子信标检测 DNA 序列 [J]. 分子科学学报, 2022, (15): 86-87.
- [16] 熊磊, 丁洪伟, 李光元. 银纳米粒子阵列中衍射诱导高品质因子的四偶极晶格等离子体模式 [J]. 物理学报, 2022, 71(04): 237-243.
- [17] 章艳松, 郑照婷, 李静, 等. 基于三角形银纳米片构建高性能汞离子光热传感器 [J]. 化学研究与应用, 2022, (07): 034.
- [18] 陈耀忠, 刘雁军, 陈建明, 等. 氧化锌/银纳米复合物对新型根尖充填材料性能影响的研究 [J]. 实用口腔医学杂志, 2022, (05): 38.
- [19] 李秋昀, 赖艳琼, 杨新杰, 等. 基于单链 DNA-银纳米簇荧光探针检测微囊藻毒素-LR 的检测研究 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2022, 44(01): 7.
- [20] 王瑞, 王钦华. 基于石墨烯银纳米狭缝阵列的近红外偏振调控器及其调控方法 [P]. CN202210166940.2 [2024-04-26].

作者简介



周锴文, 硕士, 研究方向为分子电子器件, 离子凝胶电极检测生物分子技术。



徐鹏飞, 博士, 研究方向为电镀低应力镍磷合金材料分析。