

大学化学实验教学中材料表面性能检测技术的应用

郝蕊*, 刘洋, 张引莉, 于天淼, 刘宇洋

(咸阳师范学院化学与化工学院, 咸阳 712000)

摘要: 材料表面性能检测技术在化学领域的研究和应用中占据着重要地位, 尤其在大学化学实验教学中, 这些技术为学生提供了深入理解材料表面特性、结构和化学行为的机会。本文重点探讨了常用的材料表面性能检测技术, 如扫描电子显微镜 (SEM)、原子力显微镜 (AFM)、X 射线光电子能谱 (XPS)、接触角测量法、表面等离子体共振 (SPR) 和拉曼光谱技术等, 分析了它们在大学化学实验中的实际应用及其对学生实验能力和科研素养的提升作用。通过在实验教学中引入这些先进的检测技术, 不仅可以增强学生对材料表面微观结构和化学反应机理的理解, 还能帮助他们掌握现代科学研究中常用的技术手段, 为未来的科研工作打下坚实基础。

关键词: 检测技术; 化学实验; 扫描电子显微镜; 拉曼光谱

Application of surface property detection technology in university chemistry experiment teaching

HAO Rui*, LIU Yang, ZHANG Yin-Li, YU Tian-Miao, LIU Yu-Yang

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China)

ABSTRACT: Material surface performance testing technology plays an important role in the research and application of chemistry, especially in university chemistry experimental teaching. These technologies provide students with opportunities to deeply understand the surface characteristics, structure, and chemical behavior of materials. This article focuses on the commonly used surface performance testing techniques for materials, such as scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), contact angle measurement, surface plasmon resonance (SPR), and Raman spectroscopy. It analyzes their practical applications in university chemistry experiments and their impact on improving students' experimental abilities and scientific research literacy. By introducing these advanced detection techniques in experimental teaching, not only can students enhance their understanding of the microstructure and chemical reaction mechanism of material surfaces, but they can also help them master the commonly used technical means in modern scientific research, laying a solid foundation for future scientific research work.

KEY WORDS: detection technology; chemical experiments; scanning electron microscope; Raman spectra

0 引言

材料表面性能对材料整体特性具有决定性作用, 广泛影响催化剂、半导体、薄膜材料等领域的应用。现代表面检测技术的进步, 使得研究人员能够精准分析材料表面的结构和元素分布, 为揭示材料性能的本质提供了科学依据。通过将这些技术引入大学教学, 学生不仅可以学习先进的表面分析方法, 还能通过实验培养实践能力、创新思维和科研素养。这对于新材料的开发、优化

以及提升学生的学术竞争力具有重要的实践意义。本文通过探索材料表面性能检测技术在大学化学实验教学中的实践价值, 以加强学生对材料表面微观结构与其性能关系的理解。

1 材料表面性能检测技术概述

1.1 材料表面性能检测的重要性

材料表面性能对整体表现至关重要, 特别是在催化、腐蚀和粘附等应用中。表面原子的排列、化学组成和物理特性直接

基金项目: 钨青铜结构铌酸盐陶瓷的组成设计与性能优化研究; 项目来源: 咸阳师范学院大学生创新创业训练计划项目 (xysfxy2024178)。SNN 基钨青铜结构陶瓷的组成设计与电性能增强研究; 项目来源: 咸阳师范学院大学生创新创业基地项目 (XSYC202429)

Fund: Composition Design and Performance Optimization Research of Tungsten Bronze Structured Niobate Ceramics; Project Source: Xianyang Normal University Student Innovation and Entrepreneurship Training Program (xysfxy2024178). Composition Design and Electrical Performance Enhancement Research of SNN based Tungsten Bronze Structural Ceramics; Project Source: Xianyang Normal University Student Innovation and Entrepreneurship Base Project (XSYC202429)

* 通信作者: 郝蕊, 硕士, 助理实验师, 研究方向为无机非金属材料。E-mail: 1021263538@qq.com

* Corresponding author: HAO Rui, Master, Assistant Experimentalist, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xianyang Normal University, Xianyang 712000, China. E-mail: 1021263538@qq.com

影响功能。例如,催化反应中的表面活性位点数量和质量决定反应速率,表面氧化层(如 Al_2O_3)和微观结构的不均匀性也可能影响反应性和稳定性。摩擦系数和表面粗糙度等物理特性在高性能材料设计中尤为关键。

1.2 材料表面性能检测技术的发展历程与现状

材料表面检测技术从早期的光学显微镜发展到如今的高精度设备,如扫描电子显微镜(SEM)和原子力显微镜(AFM),实现了纳米尺度的表征^[1]。SEM能提供纳米级的分辨率,而X射线光电子能谱(XPS)分析表面元素组成及化学状态,适用于薄膜和涂层分析。AFM精确测量表面形貌和粗糙度,接触角测量法评估表面润湿性。这些技术广泛应用于材料科学和化学工程等领域,为新材料开发提供了数据支持。

1.3 材料表面性能检测技术在相关领域的应用

近年来,材料表面性能检测技术在多个领域的应用研究取得了显著进展,特别是在催化、能源材料、纳米技术和环境监测等领域。X射线光电子能谱(XPS)技术在催化反应中的应用逐渐增多,研究人员通过分析催化剂表面的元素组成及化学状态,更深入地理解了催化剂表面活性位点的变化,从而优化催化性能。在纳米材料研究中,原子力显微镜(AFM)被广泛应用于表征纳米材料的表面形貌与粒子间相互作用,推动了纳米涂层和纳米传感器的发展。

在能源领域,材料表面检测技术同样发挥了重要作用。以锂电池为例,SEM和XPS技术被用于研究电极表面形态和化学反应的变化,这有助于提升电池的充放电效率及其长期稳定性。此外,拉曼光谱技术(Raman Spectroscopy)在环境监测中的应用日益重要,尤其是在有害物质的快速检测方面,通过表面增强拉曼散射(SERS)技术可以高效识别低浓度污染物,为环境保护提供了重要的支持。这些应用研究不仅推动了新型材料的开发,也为相关领域的实际问题提供了有效的解决方案。

2 常见材料表面性能检测技术

2.1 扫描电子显微镜(SEM)技术

扫描电子显微镜(SEM)是广泛应用于材料表面形貌分析的重要工具。通过电子束与样品表面的相互作用,SEM能够生成高分辨率的表面图像,显示样品的微观结构和形貌特征。SEM的分辨率通常可达纳米级,使其能够分析微观尺度下的材料特性,如颗粒分布、裂纹和断裂面等。该技术还能够结合能谱分析(EDS),提供材料表面的元素组成信息。SEM在金属材料、陶瓷、聚合物、薄膜等领域应用广泛,特别适用于催化剂和复合材料的表征与分析。

2.2 原子力显微镜(AFM)技术

原子力显微镜(AFM)是一种纳米尺度的表面形貌检测工具,通过探针与样品表面间的相互作用,AFM可以生成样品表面的三维图像。其分辨率可达到亚纳米级别,适用于分析表面的粗糙度、摩擦力和局部硬度等物理特性^[2]。AFM无需对样品进行导电处理,因此可以应用于导电和非导电材料,包括生物材料、纳米材料和半导体。AFM的高度灵敏性使其成为纳米科技、材料科学及表面工程领域中研究表面特性的常用手段。

2.3 X射线光电子能谱(XPS)技术

X射线光电子能谱(XPS)是一种用于分析材料表面元素组成及其化学状态的技术。通过X射线照射样品表面并测量释放出的光电子的动能,XPS能够提供样品表面的元素信息及其化学键状态。该技术的分析深度一般为3-10纳米,特别适用于薄膜、涂层材料的表征,帮助研究人员了解材料表面化学反应机制。XPS广泛应用于研究催化、腐蚀、氧化、表面修饰等现象,并在分析材料的氧化还原状态和化学结合方面具有重要作用。

2.4 接触角测量法

接触角测量法通过测量液滴在固体表面的接触角,评估材料的表面润湿性和表面能。接触角大小反映了材料对液体的亲

疏水性,接触角较小时表明材料表现为亲水性,而较大时则表明材料具有疏水性。该技术操作简便,适用于各种材料表面的快速评估,广泛用于表面涂层、薄膜材料和纳米材料的表面特性分析^[3]。接触角测量在评估自清洁材料、防污涂层及生物材料表面改性效果中有重要应用。

2.5 拉曼光谱技术

拉曼光谱技术通过检测光与材料表面分子振动的相互作用,提供样品的分子结构和化学成分信息^[4]。增强拉曼散射(SERS)技术在此基础上进一步提高了表面分子探测的灵敏度,特别适合检测表面低浓度物质^[5]。拉曼光谱广泛应用于材料表面的化学结构分析,尤其是在催化剂表面活性位点、应力和变形分析中发挥重要作用。在化学、材料科学和生物医学领域,拉曼光谱为分析表面分子结构和表面反应过程提供了精准的工具。

3 表面性能检测技术在大学化学实验教学中的实践应用

3.1 基于SEM和AFM的材料表面形貌分析实验

在大学化学实验教学中,扫描电子显微镜(SEM)和原子力显微镜(AFM)是常用于观察和分析材料表面微观形貌的重要工具。SEM可以提供高分辨率的表面结构图像,帮助学生观察材料表面的颗粒分布、裂纹、断裂等微观特征。通过样品制备和电导处理,可以大大提高成像质量,进而影响学生对表面特征的理解^[6]。结合能谱分析(EDS),学生不仅能观察表面形貌,还能了解元素的分布和浓度,为表面成分分析提供全面的信息。AFM则以其纳米级分辨率,为学生提供表面形貌、粗糙度、摩擦力等物理特性的详细数据。通过探针扫描,AFM能够生成材料表面的三维图像,使学生能够精确分析材料表面的微观结构和性能。通过这些实验,学生能够深入理解表面结构与材料整体性能之间的关系,增强其对于材料表面调控的认识^[7]。

对于使用SEM和AFM的实验,建议高校进一步增强学生的实验动手能力,通过设置更加灵活的实验任务,让学生不仅仅局限于观察和记录,还要能够进行操作与数据处理。此外,部分高校可能面临设备资源有限的困境,因此可以通过校企合作或共享实验室资源来解决设备瓶颈问题,确保更多学生能够参与到高端仪器的使用中。

3.2 XPS技术在化学实验教学中的应用

X射线光电子能谱(XPS)技术广泛应用于分析材料表面的元素组成及其化学状态。在化学实验教学中,XPS可以帮助学生了解材料表面的元素分布、化学键状态以及氧化还原状态等信息。学生通过XPS实验不仅能够掌握如何解读谱图,还能理解不同元素的结合方式及其在不同环境下的变化^[8]。这对研究材料的反应性和稳定性,特别是催化剂表面活性位点的研究,具有重要意义。XPS谱图分析训练了学生对表面化学反应机制的理解,尤其是在催化反应中,如何通过表面元素的分布和化学态的变化来优化催化剂性能。通过实验,学生能够将理论知识与实际应用相结合,提高其对表面化学和材料行为的认识。

尽管XPS技术在教学中应用广泛,但其设备费用较高,且操作难度较大。建议学校根据实际情况合理安排XPS实验的教学内容,增加数据分析的环节,使学生能够在较短时间内掌握其基本操作和数据处理方法。此外,虚拟仿真技术可以作为补充,帮助学生在没有仪器的情况下提前熟悉XPS技术的应用原理和操作流程。

3.3 接触角测量法在表面自由能实验中的应用

接触角测量法是研究材料亲水性或疏水性的常用方法。在化学实验教学中,学生通过观察液滴在固体表面形成的接触角,可以直观地分析材料表面的润湿性。接触角越小,表面越亲水,反之则越疏水。通过测量不同材料或表面处理后的接触角,学生可以进一步理解表面自由能的变化,尤其是在自清洁材料和防水涂层等应用中,表面润湿性是关键因素之一^[9]。这一实验有助于学生理解表面物理特性在实际应用中的作用,尤其是在在

新型材料设计中的应用。例如, 防污涂层和防水涂层的效果往往依赖于表面的疏水性, 学生通过接触角的测量能够深入理解材料的功能性表面特性^[10]。

建议进一步加强学生在接触角测量法实验中的数据处理能力, 尤其是在多组数据的比较分析中, 培养学生独立分析结果的能力。此外, 随着环境问题的日益严重, 接触角测量技术可以拓展到环保材料的研究中, 例如分析抗污染涂层的效果, 丰富实验内容。

3.4 拉曼光谱与 SERS 技术在表面化学实验中的应用

拉曼光谱技术及增强拉曼散射 (SERS) 技术在表面分子结构分析中具有重要作用。通过拉曼光谱实验, 学生能够了解材料表面分子的振动模式, 从而推断其分子结构信息^[11]。拉曼光谱的应用为学生提供了深入分析材料分子结构的手段, 尤其是分析催化剂表面分子行为和反应机理方面^[12]。SERS 技术通过增强拉曼信号, 能够检测低浓度的表面分子, 尤其适用于微量物质的检测。

拉曼光谱和 SERS 技术的应用在教学中具有重要意义, 建议学校进一步开发相关的实验教材和在线教学平台, 帮助学生更好地理解光谱分析的理论基础和操作方法。此外, 由于 SERS 技术在低浓度检测中的优势, 可以通过与环境监测、药物检测等跨学科项目结合, 拓展实验的应用范围, 提高学生的实践能力和创新思维。

4 表面性能检测技术在实际教学应用中的挑战与对策

4.1 高端设备成本高昂与资源限制的挑战及对策

高端材料表面检测设备如扫描电子显微镜 (SEM)、原子力显微镜 (AFM) 等成本高昂, 维护费用和使用要求也较高。这对许多高校, 尤其是资金有限的普通高校而言, 是一个显著的资源限制^[13]。此外, 设备数量有限导致学生难以充分使用这些仪器进行实践, 影响实验教学的覆盖面和效果^[14]。

应对以上挑战的对策之一是周边高校或科研机构建立共享机制, 联合建设实验中心^[15]。此外, 结合虚拟仿真技术 (Virtual Simulation), 开发设备操作的模拟实验系统, 让学生在虚拟环境中学习复杂仪器的基本操作^[16]。因此, 针对设备成本高的问题, 高校可以通过共享实验室资源来降低设备购置和维护压力, 这既能减少设备负担, 又能提高学生的技能水平。

4.2 学生技术基础不足与教学难度的挑战及对策

材料表面检测技术涉及多学科知识, 包括物理、化学和材料科学等领域。部分学生在学习这些技术时可能因理论基础薄弱而感到困难, 特别是对于复杂的操作步骤和数据分析, 他们往往缺乏独立完成实验的能力。这种技术壁垒可能导致实验教学效果不理想^[17]。

教师可以通过分层教学和模块化设计来降低教学难度。将实验内容划分为基础理论、仪器操作和数据分析三个阶段, 分步引导学生逐渐掌握技术核心。同时, 编写简明易懂的教学手册, 开发在线学习资源, 帮助学生课前预习和课后复习。此外, 增加实验课助教配置, 提供更充分的现场指导, 从而帮助学生克服技术学习的障碍。

4.3 实验时间受限与实践深度不足的挑战及对策

由于课程安排紧凑, 学生在实验课程中通常只有有限的时间接触复杂的表面检测技术。短时间内难以完成从理论到实践的全面学习, 导致实验结果往往停留在表层理解, 难以深入探索材料性能与其微观结构之间的关系。

在时间限制的情况下, 高校可以通过整合教学内容来提高实验效率。例如, 将理论教学和实验教学结合, 采用“边讲边做”的模式, 缩短学生的理论消化时间。同时, 开发开放实验项目, 让学生在课外时间深入使用设备进行自主实验。通过鼓励学生参与科研课题或竞赛, 可以进一步增强实践深度, 弥补课内实验时间的不足。

5 总结

材料表面性能检测技术在大学化学实验教学中发挥了重要

作用, 不仅帮助学生掌握了微观层次的表征方法, 还提升了他们的数据分析能力和科研思维。未来, 随着科学技术的进步, 新型材料表征技术将在化学实验教学中展现更广阔的应用前景。例如, 将人工智能 (AI) 与扫描电子显微镜 (SEM) 等检测技术结合, 可提升数据分析效率和精度; 虚拟现实 (VR) 和增强现实 (AR) 技术的引入, 则能够模拟实验环境, 优化设备操作训练。实验教学还可通过跨学科融合实现创新, 例如结合材料科学和数据科学, 设计多维度实验项目, 帮助学生探索复杂问题。此外, 开放式科研实验和远程实验平台的普及, 为资源共享和个性化学习提供了可能, 这些方向将推动实验教学朝着更加智能化和多元化的方向发展。

参考文献

- [1] 张琳, 要红昌, 李朝辉, 等. 碳布负载氢氧化镍电极材料的合成及其电容性能分析——推荐一个综合化学实验[J]. 大学化学, 2022, 37(02): 204-211.
- [2] 李海玉, 李文雅, 王婉, 等. 夹心式碳纳米管/金复合材料电化学适配体传感器的构建及其对双酚A的检测性能[J]. 分析化学, 2021, 49(03): 415-423.
- [3] 薛沙, 赵蕾, 赵友全, 等. 有序介孔碳负载纳米金属颗粒及其 SERS 性能研究[J]. 材料导报, 2021, 35(18): 18001-18006.
- [4] 杨宇, 杨发展, 姜芙林, 等. 内部结构非对称结构对材料表面的润滑性能分析[J]. 中国表面工程, 2024, 37(01): 240-253.
- [5] 刘云峰, 谭婷, 杨乐之, 等. 表面包覆碳层孔隙对石墨负极材料倍率性能的影响[J]. 矿冶工程, 2024, 44(01): 129-133.
- [6] 杨昕, 张树亮, 梁斌. 应用于化工容器的高强IF钢冲压开裂问题浅析[J]. 冶金与材料, 2022, 14(01): 53-54.
- [7] 刘万涛. 建筑材料性能检测技术的实际应用[J]. 居舍, 2024, (15): 30-32.
- [8] 张骥. 碳纳米纤维混凝土防腐性能试验与检测[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(05): 25-27.
- [9] 郝文静, 周伟芳, 陈曦, 等. Mask 在包装材料气体阻隔性能检测中的应用研究[J]. 包装工程, 2024, 45(11): 234-239.
- [10] 蔺超, 肖伟. 电站锅炉常用的金属材料金相检测研究[J]. 科技资讯, 2024, 22(08): 120-122.
- [11] 陈思齐, 郑学成, 樊维, 等. 温敏型纳米复合材料的研制及驱油性能研究[J]. 现代化工, 2024, 44(07): 186-192.
- [12] 钱锋. 金属材料表面处理对成形性能的影响研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2024, 59(03): 130-133.
- [13] 文欣悦, 葛同乐, 杨瑞. 表面活性剂调控制备 NiMoO₄ 电极材料及其电化学性能研究[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2024, 40(04): 66-69, 85.
- [14] 郭炎飞, 刘博, 郅真真, 等. 短切碳纤维分散方式及对纤维增强石膏基复合材料力学性能的影响[J]. 新型建筑材料, 2024, 51(06): 72-77.
- [15] 赵泽, 马壮, 高丽红. C/SiC 复合材料表面 SiC 过渡层的包埋法制备与性能[J]. 电镀与涂饰, 2024, 43(06): 33-39.
- [16] 闫海波, 陶佳栋, 周子涵, 等. SiC/SiO₂ 复合涂层对碳纤维及其复合材料抗氧化性能影响研究[J/OL]. 复合材料科学与工程, 1-10. [2024-06-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1683.TU.20240618.1709.006.html> [2024-12-23].
- [17] 史姝娟, 李致朋, 马建民, 等. 表面改性对锰基锂电池电极材料电化学性能的影响[J]. 大众科技, 2024, 26(03): 81-84.

作者简介

郝蕊, 硕士, 助理实验师, 研究方向为无机非金属材料。