

微纳加工技术的虚拟仿真教学探索

高文帅

(安徽大学 物质科学与信息技术研究院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 随着科技的不断进步, 微纳加工技术在诸多领域发挥着至关重要的作用。然而, 由于微纳加工技术的复杂性、高成本以及对实验环境的严格要求, 传统教学方式面临诸多挑战。微纳加工技术虚拟仿真课程建设旨在为培养高素质的微纳加工技术人才提供新的教学模式和方法。通过虚拟仿真课程建设, 学生能够在安全、高效的虚拟环境中掌握微纳加工技术的理论知识和实践技能, 提高学习效果和创新能力, 为推动微纳加工技术的发展和应用奠定坚实的基础。

关键词: 微纳加工; 虚拟仿真; 教学模式

中图分类号: G642 **文献标志码:** A

Exploration of Virtual Simulation Courses for Micro-Nano Fabrication Technologies

GAO Wenshuai

(Institutes of Physical Science and Information Technology, Anhui University, Hefei Anhui 230601, China)

Abstract: With the continuous advancement of technology, micro-nano fabrication technologies plays a crucial role in various fields. However, traditional teaching methods face numerous challenges due to the complexity, high costs, and strict environmental requirements of micro-nano fabrication technologies. The construction of virtual simulation courses for micro-nano fabrication technologies aims to provide new teaching model and methods for cultivating high-quality talents. Through virtual simulation courses, students can master the theoretical knowledge and practical skills of micro-nano fabrication technologies in a safe and efficient virtual environment, enhancing their learning outcomes, innovative abilities, and lay a solid foundation for the development and application of micro-nano processing technology.

Key words: micro-nano fabrication; virtual simulation; teaching model

“微纳加工技术”是一门多学科交叉、理论与实践紧密结合的专业课程, 随着全球科技的不断进步, 其在半导体芯片制造和生物医学器件研发等领域的应用日益广泛, 社会对具备微纳加工知识和技能的人才需求快速增长^[1-3]。同时, 微纳加工技术在中国实现科技创新和推动制造业发展的战略目标中占据着极为重要的地位。中国高度重视科技创新在国家发展中的核心驱动作用, 制造业作为国民经济的重要支柱, 微纳加工技术

的发展对于提升制造业的高端制造能力、实现产业升级等方面具有重要意义。然而, “微纳加工技术”的传统线下教学面临诸多挑战: 设备昂贵且操作复杂, 学生难以获得充分的实践机会; 实验资源消耗大且存在安全风险; 在讲授微观加工过程时较为抽象, 学生理解困难等。

虚拟仿真实验教学可以有效应对上述挑战, 它突破了时间和空间的限制, 可以让学生随时进行实验操作, 无需担心设备损坏或资源浪费^[4]。

通过虚拟场景,学生可以直观观察微纳加工的微观过程,清晰理解复杂原理和工艺。虚拟仿真还能模拟不同工艺参数下的加工结果,并设置多种实验场景和故障情况,培养学生解决问题的能力 and 创新思维,提升教学质量,满足社会对微纳加工专业人才的需求。

一、“微纳加工技术”虚拟仿真教学优势

微纳加工技术的传统教学面临设备昂贵、维护成本高、学生操作机会有限等问题,且由于微观领域的复杂性,传统教学难以直观呈现其工艺和原理,导致学生理解困难,实验准备烦琐且存在安全风险。虚拟仿真课程通过提供虚拟操作环境,消除了设备损坏的风险,不产生资源消耗,显著增加了学生的实践机会。同时,虚拟实验规避了现实实验中的安全隐患,保障了学生安全。通过三维建模和动画展示,虚拟仿真将微纳加工过程直观化,帮助学生更好地理解复杂的微纳技术。虚拟课程突破了时间和空间的限制,学生可随时在线学习,增强了灵活性和自主性。此外,虚拟仿真技术通过直观展示和互动体验,显著提高了教学效果,增强了学生的学习热情和主动性。可重复的操作过程不仅加深了学生对工艺的理解,还培养了他们控制工艺参数的技能。虚拟仿真还为学生提供了自由探索和创新的机会,鼓励他们设计和优化微纳器件,并通过团队协作提高综合能力,培养了创新思维和实践能力,为未来在微纳加工领域的工作奠定了坚实基础。

近年来,计算机、虚拟现实和多媒体技术的迅速发展为微纳加工技术虚拟仿真课程奠定了坚实的技术基础。计算机的高性能支持复杂微纳加工过程的模拟,虚拟现实技术构建了逼真的操作环境,多媒体技术通过高清动画生动展示设备结构和工艺流程。这些技术的结合使虚拟仿真课程更加成熟,满足了教学需求^[5]。专业虚拟仿真软件和平台也为课程开发提供了重要支持,学校可根据教学目标定制高质量的虚拟课程。在资源方面,大量的专业教材和参考资料为课程提供了理论依据,高校与科研机构长期积累的实验数据和实际案例则增强了课程的实用性和针对性。同时,经验丰富的微纳加工技术教师在课程设计和教学环节的安排上提供了专业指导,确保课程内容贴合专业标准并有效传授知识。计算机技术人员与多媒体制作人员则通过技术支持与生动展示,保障虚拟仿真平台的稳定运行,教师与技术团队的

合作推动了课程的顺利开发与实施。

二、虚拟仿真教学的设计原则

虚拟仿真教学中需遵循科学性、实用性、互动性和创新性原则。首先,课程内容必须准确可靠,开发团队应与技术专家紧密合作,确保知识点的科学严谨性,利用动画清晰呈现复杂原理,并结合互动环节让学生深入理解技术本质;其次,课程要注重实用性,结合半导体制造和微机电系统等实际应用,通过实际案例培养学生解决问题的能力,并提供虚拟设备操作训练,提升实践技能,互动性方面,简洁明了的操作界面和及时反馈机制帮助学生顺利完成实验,获取操作结果评估和改进建议,优化学习效果;最后,课程需具备创新性,通过问题导向和项目式学习,学生自主完成微纳加工项目,运用虚拟工具解决问题。同时,引入增强现实技术增强沉浸感,结合人工智能提供个性化学习建议,激发学生创新能力并实现精准教学。

三、教学内容

1. 微纳加工技术的基础知识

(1) 概念、发展与应用。课程首先阐述微纳加工技术的概念,强调其在微观和纳米尺度上对材料进行加工和制造。随后,回顾技术的发展历程,从早期的简单微加工到高精度纳米加工,展示技术的不断进步。课程还全面介绍微纳加工技术在各领域的应用,如电子信息领域的高性能芯片制造,航空航天领域的轻量化零部件,以及生物医学领域的新型医疗器械和诊断工具的研发,帮助学生认识该技术的重要性和广泛影响力。在此基础上,通过案例分析向学生展示中国在微纳加工领域的重大成就,比如在半导体芯片制造工艺的某些关键环节取得的突破,在生物医学微纳器件研发方面的创新性成果等。让学生深刻了解微纳加工技术领域的发展态势,增强学生的民族自豪感和责任感。

在讲解微纳加工技术相关知识时,适时引入关键设备的情况介绍。以光刻机、刻蚀机、离子注入机和薄膜沉积设备四大关键设备为例,先介绍它们在微纳加工技术中的重要作用。光刻机是制造芯片等微纳器件的核心设备,通过将设计好的电路图案精确转移到硅片等衬底上,决定了芯片的集成度和性能;刻蚀机用于对材料进行选择性的去除,实现精细图案刻画;离子注入机能够将

特定的杂质原子注入材料中,改变其电学性能;薄膜沉积设备则可在衬底上沉积各种功能薄膜,如绝缘膜、导电膜等,为器件的制造提供基础。

通过对设备国内外厂商情况以及差距的介绍,让学生清晰了解中国在微纳加工关键设备领域面临的挑战,即部分核心设备仍存在“卡脖子”技术环节,如高端光刻机的技术瓶颈等。同时,也让学生看到相关设备研发和国产化替代方面所取得的成绩,激励学生努力学习,为突破这些关键技术、提升中国微纳加工技术水平贡献自己的力量,进一步增强学生的爱国情怀和报效国家的责任感。

(2) 基本原理与方法。课程深入讲解光刻、刻蚀和薄膜沉积等核心工艺。光刻部分解释光学曝光原理、光刻胶的感光特性及图案转移方法;刻蚀则说明干法刻蚀的物理、化学机制与湿法刻蚀的化学反应过程。薄膜沉积方面,介绍物理气相沉积(如溅射、蒸发)和化学气相沉积(如热CVD、PECVD)的原理、特点及应用场景,使学生掌握各工艺的原理差异与应用选择。

(3) 设备与工具。介绍微纳加工中常用的设备和工具,如光刻机的结构和工作原理,包括光源系统、物镜系统、对准系统等功能和作用。刻蚀机的类型和特点,以及薄膜沉积设备的不同种类和操作要点。让学生了解这些设备的关键参数和操作规范,为后续实验操作和应用打下基础。

2. 微纳加工技术的实验操作

(1) 光刻实验。在虚拟仿真环境中,学生可以进行光刻胶的涂覆操作,学习如何均匀地将光刻胶涂在基片上,掌握涂覆的厚度和均匀性控制。曝光环节,学生可以设置不同的曝光参数,如曝光时间、剂量等,观察对光刻图案质量的影响。显影操作则让学生了解如何将曝光后的光刻胶进行显影,得到所需的图案,并且通过虚拟显微镜观察显影后的图案效果,分析可能存在的问题,如曝光不足或过度等情况。

(2) 刻蚀实验。干法刻蚀操作中,学生可以选择不同的刻蚀气体、功率和时间等参数,观察刻蚀速率和刻蚀效果。了解等离子体刻蚀过程中离子的作用和化学反应机制。湿法刻蚀实验则让学生体验不同的刻蚀溶液对材料的刻蚀特性,学习如何控制刻蚀时间和温度以达到预期的刻蚀深度和形状。通过对比干法和湿法刻蚀的结果,学生可以更深入地理解两种刻蚀方法的优缺点和适用范围。

(3) 薄膜沉积实验。物理气相沉积实验中,学生可以操作溅射设备或蒸发设备,设置沉积参数如靶材功率、沉积时间、基片温度等,观察薄膜的生长过程和质量。化学气相沉积实验则让学生了解不同反应气体的流量、温度和压力对薄膜沉积质量的影响,学习如何通过调整参数制备高质量的薄膜。同时,学生可以通过虚拟的测试设备对沉积的薄膜进行性能测试,如薄膜厚度测量、硬度测试等,进一步理解薄膜沉积工艺与薄膜性能之间的关系。

3. 微纳加工技术的综合应用

(1) MEMS 器件的设计与制作。课程引导学生设计 MEMS 加速度计和压力传感器,依据工作原理和性能要求进行结构设计,考虑微纳尺度下的力学、电学特性。通过虚拟仿真完成光刻、刻蚀、薄膜沉积等工艺,构建 MEMS 器件的微结构。最终进行性能测试与优化,调整工艺和结构参数提升性能,培养学生的系统设计和工程实践能力。

(2) 纳米材料的制备与应用。学生学习纳米颗粒、纳米线、纳米管等纳米材料的制备方法,通过虚拟环境控制反应条件(如温度、压力、浓度)进行合成。例如,利用化学气相沉积法调整参数观察碳纳米管生长。同时,学生了解纳米材料在药物传递、电子器件等领域的应用,培养跨学科思维和创新能力。

(3) 微纳加工技术在生物医学领域的应用。学生在虚拟仿真中设计并制作微流控芯片和生物传感器。微流控芯片设计需考虑微通道的尺寸和布局,实现对生物样本的精准操控。制作过程中进行流体模拟和实验验证。生物传感器则涉及微纳结构与生物分子的相互作用,学生学习固定生物识别元件以实现高灵敏度检测。通过这些案例,学生掌握微纳加工技术在生物医学领域的应用与挑战,提升解决实际问题的能力。同时,结合生物医学微纳加工领域的相关成果进行讲解,让学生进一步了解中国在该领域的贡献以及微纳加工技术对于推动中国生物医学产业发展的重要性。

四、教学方法、教学评价与挑战

在微纳加工技术虚拟仿真课程中,采用问题导向学习法、项目式学习法和案例教学法等创新教学方法,能够显著提升学生的学习效果。问题导向学习法通过提出相关问题,引导学生进行思考和探索,教师先激发学生的兴趣,再让学生查阅资料和观看视频进行自主学习,最终以小组讨

论形式分享成果,共同解决问题,教师则对讨论结果进行总结与评价,深化学生对知识的理解。项目式学习法强调实际项目的实施,以提高学生的综合素养。教师根据课程内容和学生兴趣确定项目选题,鼓励学生小组合作进行项目规划、实验操作和数据处理,最后以小组展示成果,教师对项目进行评价并提出改进建议,帮助学生总结经验。案例教学法提供真实应用背景,增强学习的实用性,教师引导学生分析与微纳加工技术相关的案例,如MEMS器件和纳米材料,鼓励学生以小组讨论分享观点,教师对讨论结果进行总结与评价,进一步加深学生的理解。此外,在教学过程中,还应介绍国内外在微纳加工领域做出杰出贡献的科学家,讲述他们的奋斗故事和创新精神,比如讲述中国科学家在攻克微纳加工关键技术难题时所展现出的坚韧不拔精神和创新思维,以及国外相关领域科学家在推动技术发展过程中的卓越贡献。通过这些内容激励学生追求卓越,培养学生的科学精神和创新意识。通过这些多样化的教学方法,学生不仅在知识层面得到提升,还能在实际操作和团队协作中积累重要经验,为今后的学习和工作打下坚实基础。

在微纳加工技术虚拟仿真课程中,建立有效的评价体系至关重要,涵盖评价内容、方法和反馈三个方面,以提升学生的学习效果^[6]。评价内容包括知识掌握、技能水平、创新能力和团队合作。教师需评估学生对微纳加工理论知识的理解,确保他们掌握核心概念,同时关注学生在实验操作中展现的技能,确保其能熟练应用所学知识。此外,教师还应评价学生在虚拟实验中表现出的创新思维和团队合作能力,以培养沟通能力和团队精神。评价方法采用多种形式,包括在线测试、实验报告和项目成果综合评价,快速评估理论知识、锻炼总结归纳能力,并重点关注创新性和技术难度。反馈应及时、个性化且具有鼓励性,帮助学生了解学习进度和问题,同时激励他们保持学习兴趣。通过此综合评价体系,能够有效提升学生在微纳加工技术领域学习效果与综合素质。

当然,虚拟仿真课程的开发也面临一些挑战。首先,从技术方面来看,课程开发需要较高的技术水平和专业知识,这对教师和技术人员提出了较高要求;其次,在教学资源方面,虚拟仿真课程建设需要大量的教材、实验数据和案例,资源的收集与整理难度较大;最后,教学管理方面,虚拟仿真课程的管理模式与传统课程有所不同,需要建立新的教学管理体系和评价标准。针对这

些挑战,可以采取一系列对策。第一,加强师资培训,组织教师参加虚拟仿真技术培训,以提高他们的技术水平和教学能力;第二,通过加强与企业和科研机构的合作,整合教学资源,为虚拟仿真课程的建设提供支持,确保资源的丰富性和可用性;第三,建立完善的教学管理体系,包括教学计划、教学大纲和教学评价等方面,以确保课程的教学质量和实施效果。这些对策将有助于推动虚拟仿真课程的顺利开展和持续发展。

五、结 语

微纳加工技术的虚拟仿真课程建设是一项重要的教学改革举措,旨在为学生提供一个安全、高效、互动的学习环境,从而提高教学效果,培养创新能力。在课程建设过程中,需遵循科学性、实用性、互动性和创新性原则,合理设计教学内容和方法,并建立完善的教学评价体系。同时,要积极应对课程建设中的挑战,强化师资培训、整合教学资源,建立有效的教学管理体系,以确保虚拟仿真课程的顺利实施。通过在课程中融入国家关于科技创新和制造业发展的战略目标,展示中国在微纳加工领域的重大成就,介绍杰出科学家的奋斗故事等内容,进一步激发学生的学习热情和爱国情怀,培养学生的社会责任感和创新精神。在广大教育工作者的共同努力下,微纳加工技术的虚拟仿真课程将取得更丰硕的成果,为培养高素质的微纳加工技术人才做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 崔锋.微纳米加工技术及其应用[M].北京:高等教育出版社,2020.
- [2] 顾长志.微纳加工及在纳米材料与器件研究中的应用[M].北京:科学出版社,2013.
- [3] 严利人,周卫.集成电路制造工艺技术体系[M].北京:科学出版社,2017.
- [4] 关寿华,张萍,刘德弟.大学物理实验线上教学的探索[J].大连民族大学学报.2023,25(3):271-273.
- [5] 崔连敏,周群,贾宁,等.虚拟仿真的大学物理实验线上线下教学模式探讨[J].实验室科学,2022(1):155-158.
- [6] 刘金库,张敏,张浩然.强化虚拟仿真实验教学课程内涵的举措及课程评价[J].化学教育(中英文),2024,45(20):102-107.

(责任编辑 赵环宇)