

虚拟仿真技术在集成光学课程教学中的应用

任若静

上海理工大学 上海市 200093

【摘要】光量子信息技术的发展需要有光量子集成技术的支持,而集成光学课程是培养光量子集成技术人才的重要载体,其教学质量会对人才质量以及行业发展产生一定影响。虚拟仿真技术作为先进的技术措施,能优化教学手段和内容,有利于提升教学质量,能提高人才质量,为行业发展输送高质量人才。基于此,本文分析集成光学课程教学中,虚拟仿真技术的作用以及在基础原理可视化、虚拟实验操作、复杂系统设计等方面的应用。

【关键词】虚拟仿真技术;集成光学;应用

DOI:10.12417/2982-3803.25.03.009

1 前言

在集成光学课程中,光波导是基础内容,研究的主要内容是光信号的产生、探测、传输等功能集成技术,且该技术主要应用在光传感、光通信、量子信息等领域,是信息技术产业升级、发展所需的核心学科之一。因此,在集成光学课程教学中,需灵活应用虚拟仿真技术,增加教学趣味性与科学性,为学生创造良好的学习氛围,促进学生主动学习,强化其教学质量,从而为光量子信息技术的发展培养专业的人才,促进学生与行业的协同发展。

2 虚拟仿真技术在集成光学课程教学中的作用

2.1 突破传统教学局限

集成光学课程中有很多的复杂数学模型、微观物理过程,传统的口头教学、静态图片,很难让学生直观的理解这些内容。而使用虚拟仿真技术教学可转化抽象的理论知识,使其变为动态化的、直观的可视化场景,能深化学生对理论知识的理解和记忆。同时,使用虚拟仿真技术,能为学生创造交互式学习的机会,学生可在虚拟仿真系统中调整各种设备的参数,观察实验现象和结果变化,进而在理论推导、参数调节和验证实验现象方面形成闭环学习^[1]。这样的教学改变了“教师主导、学生被动”的传统教学模式,能让学生对教学内容产生浓厚的兴趣,在主动探索的基础上,加深学生的知识点理解程度,提升其实验操作能力。可见,虚拟仿真技术的合理应用,能突破传统教学局限,提升教学质量。

2.2 弥补实验资源不足

集成光学的教学对实验室的环境、实验设备的要求极高,完成的实验设备需有光刻设备、镀膜设备、封装以及测试设备等,每个设备的成本都很高,维护也比较复杂,并且实验室需具备超净条件,大多数学校都很难满足大规模的教学要求;加上部分基础实验存在一定安全风险,或者实验使用的耗材有限,不适合让所有学生实验,更加不能反复训练。但教学中应用虚拟仿真技术,则能使用没有损耗且成本相对较低的虚拟实验平台,复刻完整的实验流程和现象。学生可通过虚拟平台操作集成光学的各种设备,不需担心设备会被损坏、消耗大量的耗材,还能反复操作,便于学生掌握操作技能。同时,虚拟平台可模拟极端条件,很难在现实环境中实施的实体实验也可顺利进行,能增加实验教学内容。

2.3 便于实现远程教学

随着信息技术的发展及其在教育领域中的应用,普及了在线教育,促使远程教育成为教学的重要补充形式,满足学生不同内容、不同时间的学习需求。虽然集成光学具有很强的实践性,远程教学无法满足学生实验操作的学习需求,但在虚拟仿真技术的辅助下,远程教学时可利用网络平台,共享虚拟实验资源,学生只需使用平板或者电脑等终端设备登录账号即可,使实验操作不再受到时空限制。同时,教师还可通过虚拟仿真平台查看学生实验操作步骤、实验进度等学习数据,在线解答学生疑问;学生也可在虚拟平台的辅助下,积极通过协作进行实验探究,模拟科研活动中的团队协作。

作者简介:任若静(1993年11月—),女,汉,天津市和平区,博士研究生,讲师,研究方向:光子集成,光学人工智能,量子信息。

本文系2024年度“上海高校青年教师培养资助计划(10-24-112-005-038)”,“课题名称:新时代量子信息革命下《量子光学基础实验》课程教学的探索与实践”的研究成果。

等^[2]。可见,虚拟仿真技术的应用,打破了时空限制,让不同地区、不同学校的学生都有机会使用相同的资源学习,在实现远程教学的基础上,提高教育公平性。

3 虚拟仿真技术在集成光学课程教学中的应用

3.1 基础原理可视化教学

集成光学课程中有光波导理论、调制原理等很多的原理,是教学的重难点,而传统教学因为没有从直观的角度讲解这些内容,导致学生难以理解这些原理。应用虚拟仿真技术教学,可采取可视化建模与交互式演示结合方式,将原本抽象的原理转化成具有观察性、操作性的虚拟场景,实现可视化教学,进而提升教学有效性。

例如,讲解光波导传输原理时,可使用 Virtual Lab Fusion 虚拟仿真平台结合 COMSOL、Lumerical 等软件教学,其中有理论性讲解、光学系统搭建、实例分析、建模等内容,学生在使用该平台学习时,能观察光场分布、传输损耗以及模式数量等非常关键的物理量。在教学时,教师可组织学生提前通过虚拟仿真平台预习,观看光波导传输原理的视频讲解、动画演示等内容,让学生对其传输规律、光场约束等内容有初步了解^[3]。同时,在课堂互动环节,教师将该系统投屏到多媒体电视上,利用问题引导学生参与各类参数的调节,观察不同参数条件下光场形态变化,如芯层折射率比包层折射率低时,光场此时不能被约束,能让学生直观的看到“全反射条件”在光波导传输中的重要性,让学生对其传播全反射条件有直观的了解。在课后巩固环节,学生可自主在该平台上操作,完成教师布置的“特定参数下模式数量计算”等任务,且平台根据学生任务完成情况生成报告,将学习效果及时反馈给学生和教师。在虚拟仿真技术的支持下,学生能直观的理解光波导传输原理等知识,改变学生死记硬背的学习模式,加上可通过平台操作,能深化学生对知识点的理解,提升可视化教学质量。

3.2 虚拟实验操作训练

集成光学课程教学中,实验是非常重要的一部分,其目的在于培养学生实验操作能力、发展其科研思维,那么在应用虚拟仿真技术时,就可借助技术优势复刻实验流程、实验现象等,能在低成本且安全的基础上组织学生进行实验操作^[4]。

例如,制备集成光学调制器并测试其性能时,可应用虚拟仿真技术进行实验教学。在光通信系统中,集成光学调制器是核心部件,其制备操作涉及光刻、镀膜、制作电极等流程,如果要进行实体实验,需在超净实验室中完成,实验操作极为复杂,并且成本很高。而使用虚拟仿真技术进行实验,既能满足教学要求,又能降低成本,且不需极高的实验环境。

在实验操作时,学生需明确“理解调制原理、掌握工艺要点、学会正确使用示波器和光谱分析仪等设备”是训练的主要目标。在虚拟复刻操作中,使用的光波导虚拟仿真调试系统,可按照 1 : 1 还原光刻机、光刻胶涂布机等设备的外观以及操作界面,所有设备的操作逻辑要与真实的设备保持一致。操作过程中,需进行衬底预处理。衬底使用 SiO_2 ,借助虚拟系统完成衬底的清洗和烘干等操作,注意系统提示;接下来进行光刻胶涂布,调整涂布时间和转速,观察光刻胶厚度,如果参数不合适,系统给出对应的故障提示;光刻曝光,即对齐衬底和掩模板,设置合适的曝光剂量,模拟在紫外光条件下的曝光过程,而后进行显影和定影处理,得到波导图案;镀膜并制作电极,此时在波导区域内使用溅射镀膜机,促进铌酸锂薄膜沉积,调节好镀膜的时间和功率,保证得到厚度合适的薄膜,然后在系统中制作金属电极,顺利完成结构制备。完成制作后需测试性能,在测试系统中接入虚拟的集成光学调制器,驱动电压以及输入波长调节到合适的参数,而后使用光谱分析仪重点观察输出光强,并记录此时的消光比和调制宽带等参数,绘制曲线。

3.3 复杂系统设计

集成光学课程的教学中,会涉及光开关矩阵、光分束器阵列等比较复杂的系统设计,此时可借用虚拟仿真平台中的设计工具、仿真验证功能,满足学生创新性设计需求。

例如,可使用 Virtual Lab Fusion 系统设计光分束器阵列系统,并且验证设计方案的可行性。虚拟仿真软件平台上需有定向耦合器、Y 型分束器等基本组件,学生可通过拖拽等方式将这些组件搭配起来,构建不同的阵列结构;同时,要使用分束角和弯曲半径等支持调节组件尺寸、折射率等材料参数,并满足预览实时结构的需求;在仿真验证模块中,以光束传播法为基础,在光场传输过程中,能针对各端口的光功率分配比、传输时产生的损耗等进行快速计算;还要具备优化建议功能,即设计方案出现缺陷时,系统给出提示,并给出优化方向。学生在此基础上进行复杂系统设计:学生分组设计光分束器阵列,设计时的方案为“Y 型分束器级联”,在设计时调整波导宽度和分束角,保证输出端口光功率均匀性;借助虚拟仿真平台观察阵列中光场的传输过程,若是发现有的弯曲波导区域出现了损耗过大等问题,则要采取加大弯曲半径等方式优化原有设计。在此基础上,通过调整联级分束器参数的方式解决仿真结果中存在的问题,最终减少各端口光功率的偏差,降低传输损耗。接下来组织学生展示设计成果:学生利用虚拟仿真系统的功能,自动生成设计报告,保证结构示意图、参数、仿真曲线等都在报告中,而后进行演示汇报、分享,师生共同点评。

3.4 故障诊断及解决

集成光学课程使用虚拟仿真技术教学时，需针对常见故障的诊断及解决措施设计教学活动，培养学生实践技能，并且保证学生诊断和解决故障实践的安全性。

例如，教师利用虚拟仿真系统模拟集成光路故障。结合教学内容设计不同的场景，且每个场景对应不同的故障，保证学生在虚拟仿真系统中通过实验操作、检测器件性能等操作诊断并解决故障。可设计如下故障：其一，诊断和解决光波导耦合故障。模拟光纤与波导耦合的场景，操作时由于对准偏差造成了光功率耦合效率偏低。其二，调制器性能故障。模拟电极接触不良场景，此时出现了消光比降低和调制宽带下降问题。其三，工艺缺陷故障。故障场景可设计为光刻过程中掩模板错位，此时会造成波导结构变形，光场传输过程中的损耗也会随之增大。其四，模拟测试设备故障场景，即设置的光谱分析仪参数错误，造成了测试数据失真。其五，模拟系统集成故障，即在光开关矩阵中，光路连接出现错误，信号传输被中断。在此基础上，指导学生使用虚拟仿真系统熟悉排查故障的基本流程：学生需使用示波器、功率计等虚拟测试设备获取集成光路异常运行的图像和数据，针对故障现象进行详细分析。如，排查耦合故障时，可使用功率计得到耦合效率，参考波导和光纤对准情况，诊断故障类型。接下来，制定科学的排查方案。参考故障现象制定排查的具体流程；随后，在虚拟仿真系统中操作相关设备，通过调整参数、重新连接电极等方式排除故障。排除故障后，教师带领学生一起填写故障诊断与解决报告，针对故障原因、解决方法以及方法等展开分析，提高学生知识记忆效果和实践能力。

3.5 教学反馈机制

集成光学课程的传统教学中，大多数时候都依赖课后作业、期中和期末考试等途径获得教学反馈，周期比较长，也缺少针对性。应用虚拟仿真技术教学，可实时采集学生学习的各类数据，方便构建多维度反馈机制，进而实现精准教学，提升学生专业能力与素养^[5]。

例如，以虚拟仿真平台带有的反馈系统为依据，在理论教学中采集学生观看视频、动画等理论学习素材的时长、互动测试的准确性等数据；在实验教学中获取学生实验步骤的

完成度、每个步骤的完成顺序、实验操作时的错误次数和类型等数据；同时，采集学生设计复杂系统方案的调整次数、仿真测试次数、复杂系统成果的性能。平台在反馈时，需在教师端和学生端给予反馈：教师端的反馈，主要是教师主动查看学生学习产生的后台数据，了解班级整体学习情况，掌握学生薄弱点，进而调整教学侧重点，并且针对共性问题进行集中讲解；教师还要查看学生个人学习情况，针对学生个体问题进行个性化指导。学生端的反馈，是在完成各项学习任务后，系统会针对学生的个人学习情况生成报告，标注出有哪些薄弱的知识点、实验操作易错点，并推荐合适的资源，帮助学生解决问题。

4 总结

虚拟仿真技术具有交互性、可视化、无损耗以及成本低等优势，为集成光学教学创新提供了新的方向和途径，有效解决了传统教学中理论知识抽象、实验资源不足的问题，还能实现远程教学。同时，在使用虚拟仿真技术时，与实践案例结合，能转化理论教学内容为直观的实验现象或者场景等，可让学生在真实、灵活且安全的环境下掌握知识、积累经验，能加深学生对知识的理解深度，还能提升其实践能力。因此，教师可结合集成光学课程的教学内容和需求，合理应用虚拟仿真技术。

参考文献

- [1] 彭慧.融合服装三维虚拟仿真技术的混合式教学模式研究 [J].西部皮革, 2025, 47 (17): 82-84.
- [2] 李娜, 贺惠.虚拟仿真技术在案例课程实训教学中的应用 [J].电子技术, 2025, 54 (08): 264-265.
- [3] 杨威, 孙钟, 于海辉, 何爱民, 程欣, 王楠, 贾若琨.构建虚拟仿真技术平台实践教学体系的研究与实践 [J].造纸技术与应用, 2025, 53 (04): 52-54.
- [4] 霍莉, 吴燕华.基于PLC的智能机器人虚拟仿真教学系统研究 [J].自动化与仪器仪表, 2025, (06): 193-196+201.
- [5] 王艳, 胡章芳.《集成光学》课程教学改革探索 [J].科学咨询 (教育科研), 2009, (24): 40.