

混合式教学模式在微纳器件与系统课程教学中的实践探索

李顺波 徐溢 陈李 王力

(重庆大学光电工程学院, 重庆 沙坪坝 400044)

摘要:《微纳器件与系统》课程已入选国务院学位委员会第七届学科评议组制定的“仪器科学与技术一级学科研究生核心课程指南”,面向仪器科学与技术学科的硕士研究生和博士研究生开设。该课程专业性强、知识点多、学科交叉明显,但是由于学生专业基础不同,勇士课程的课时数也较少,给教学工作带来不小的困难。为提高教学质量,本文根据课程的内容体系与培养目标,在总结了多年授课经验并且分析了学生特点的基础上,提出将案例式教学、探索式教学和实践教学相结合的混合教学模式融入教学过程中,通过改进教学内容、教学方式和教学安排,同时对授课教师和教学准备提出相应的要求最终达到培养学生理论联系实际的科研能力和创新能力的目的。

关键词:微纳器件与系统;仪器科学与技术;传感器和执行器;混合式教学;PBL教学法;科研能力培养

仪器科学与技术学科作为典型的工程性学科,主要学习仪器设计、仪器运行、仪器计量与校准以及仪器应用等知识,高性能传感器是仪器科学与技术领域的重要内容之一。传感器特别是先进的高灵敏传感器是现代信息科技的基石之一,也是物联网感知端信息的来源,在消费电子、汽车、医疗、物联网等民用领域和国防军工、航空航天等领域占有极其重要的地位,对国民经济和社会发展具有深远影响。据报道全世界有超过2万种传感器,我国仅能生产其中的约1/3,整体技术含量也较低。同时,国内传感器市场需求量上千亿,每年进口额都不低于1700亿人民币,包括汽车或科学仪器等传感器95%以上市场份额都掌握在外资企业手里,成为当前制约数字化转型发展的技术瓶颈之一。为此,在与传感器相关的课程教学中培养我国的创新人才显得尤为重要。

《微纳器件与系统》课程是面向仪器科学与技术学科研究生开设的专业基础课程,以微机电系统(MEMS)和纳机电系统(NEMS)为核心,着重讲授基于微米纳米技术设计和制造的微传感器与执行器,为我国先进传感器技术的发展培养创新人才。《微纳器件与系统》课程涵盖了微电子、微机械、微光学、微流体力学、微热力学、微摩擦学等学科知识,具有明显的交叉学科的特点。课程从微纳器件与系统的基本概念与内涵、应用基础出发,系统讲授相关的基础理论、材料特性、加工工艺、典型器件及其在仪器科学等领域的应用等。课程强调对微纳器件与系统的物理理论与技术的理解和综合运用,并深入分析典型器件及系统在仪器科学相关领域的应用,特别是让学生把握微纳器件与系统在信息科学和国防安全等领域的前沿发展方向。通过本课程的学习,重点使研究生掌握本技术领域的理论、设计、制造和应用方法,同时培养提高研究生的系统设计和创新性思维能力。

一、微纳器件与系统课程教学现状

在教学实践中,《微纳器件与系统》课程的主要特点体现在以下几个方面:(1)学生基础知识较为薄弱、知识储备差异较大。学生以仪器科学和电子科学相关专业为主,也有其他跨专业报考的学生,大多数学生的基础知识以大学物理、模拟/数字电子技术和传感器技术为主,少数同学具有微电子器件加工技术的基础。

专业基础和先修课程的差异造成了学生的知识储备差别较大。(2)本门课程中包含了微电子、微机械、微光学、微流体力学、微热力学等多学科的基础知识,在知识体系的广度和深度方面对学生提出了较高的要求。一方面,在课程教学中如果涉及过多的器件设计、组合加工工艺与系统集成方面的知识,大部分同学很难跟上课程节奏;另一方面,如果大部分时间只讲授基本概念和基本原理,有一定基础的同学会觉得提升有限,达不到良好的教学效果。(3)课程内容丰富,在课时有限的情况下,容易顾此失彼。课程涵盖了器件的设计、加工与封装测试的完整产业链,章节安排上不仅包括尺度效应对器件物理机理的影响、常用材料及其特性、仿真设计等基础设计相关内容,还包括光刻工艺、薄膜制备工艺、刻蚀工艺、纳米加工工艺、键合技术和LIGA工艺等多种加工工艺技术,以及微力学传感器、微光学传感器、微声波传感器、微马达、扬声器等典型的传感器与执行器,还有面向应用需求的微系统集成。另外,近年来随着科学技术的发展和进步,不断有基于新原理、新材料和新结构的器件开发出来,导致课程体系内容变得越来越庞大。(4)课程的实践性较强,单纯的课堂教学效果有限。课程内容具有侧重工艺实现和工程实践的特点,应用所学的设计方法、工艺加工方法和封装测试技术,以满足工程实际需求。然而绝大多数同学没有工艺实践基础和工程经验,灌输性的课堂理论教学较为抽象和枯燥,同时在器件设计与加工工艺教学部分,学生理解知识内容较为吃力。

上述几个方面的特点,给本课程的教学提出了不小的挑战。

二、新教学方法的探索与实践

为解决上述突出问题,我们从教学内容设置、教学模式改革和教学实践安排三个方面进行了新的教学设计。

首先,教学内容上采用贯穿式的内容设置,形成《微纳器件与系统》模块化知识体系,主要包含基础理论模块、加工技术模块、典型器件模块、器件设计仿真模块和系统集成与应用模块五大部分。其中基础理论模块包括微纳尺度效应对物理特性的影响和常用材料两个章节,重点介绍微纳器件与系统涉及的物理规律和常用材料,特别是尺度效应的影响;加工技术模块包括光刻工艺、薄膜制备工艺、刻蚀工艺和先进的纳米加工工艺,重点介绍不同工艺的原理、设备和流程;典型器件模块包括微传感器、微执行器、微光学器件、微能源与微流控芯片,重点介绍典型微纳器件如力学传感器、微光学器件、微流控芯片和微能源器件等的原理和结构;器件设计仿真测试模块包括设计仿真软件、典型器件的设计、工艺版图设计、器件封装方法和器件测试方法,重点介绍典型器件开发的全流程;系统集成与应用模块包括微纳器件与系统的应用领域和前沿,重点结合工程实际问题讲解微纳器件与系统的应用。

其次,基于课程的特点开展了教学手段和教学方法的创新。结合了课堂理论教学、典型案例教学、器件设计与工艺实验教学和工程讨论教学各自的优点,形成了针对《微纳器件与系统》课程的混合式教学新方法。课堂理论教学着重知识的重点概念和基本原理的讲解,让学生牢固掌握课程知识点;典型案例教学把学

生带入特定的微纳器件与系统场景,以提出问题、分析问题、解决问题的思路引导学生将所学知识串联起来,并培养学生将所学知识融会贯通运用的综合能力;器件设计与工艺实验教学利用微纳设计和加工平台,设置针对某些典型器件如压力传感器、加速度传感器的器件设计、工艺版图设计和组合加工工艺实验,将抽象的器件设计和工艺过程具象化,在提升学生学习兴趣的同时加强知识的理解与掌握;工程讨论教学将学生分为不同的项目组,分组的方式完成微纳器件设计、加工、组装、测试全流程的课题,分组讨论激发学生的兴趣,提高他们学习的参与度,并且基于学生不同的知识结构,在互相学习中培养学生团队协作和创新的能力。

再次,针对课程知识点多、课时有限的具体情况,在教学安排充分利用课下的时间。在开课前要求学生完善先修课程重点知识点的学习,主要包括大学物理、工程光学、工程力学、传感器技术和微电子技术,上课前预习授课内容,掌握基本概念和自学相关基础知识;课程中针对重点难点问题集中讲授,让学生更透彻的理解原理与本质;课后主要开展实践教学和项目小组讨论,有意识的引导学生关注微纳器件与系统领域的前沿,让学生查找科技文献,在深入理解课堂理论知识的基础上拓展知识的应用,培养学生的科研素养。例如,针对课程中的压力传感器,要求学生课前自学传感器技术中的压力传感器,掌握典型压力传感器的传感机理,课堂中重点讲授 MEMS 压力传感器与传统压力传感器的差别和加工制备技术难点,课后设置科学研究题目“高温压力传感器的设计与加工”让学生灵活运用所学知识,并且学会科学研究的方法。课前-课中-课后的结合不仅能解决课时短的实际问题,并且能补齐学生基础知识差异大的短板,利用课前时间使学生的知识背景达到几乎相同的水平,还充分发挥了学生的主观能动性,使其广泛参与课程的学习,启发探索研究的意识,培养研究生阶段必需的科学素养。

最后,为适应新的教学安排,督促学生积极主动的完成课前、课中和课后的任务,采用知识点随堂测试,专题口头报告,工艺技术实验和科学研究题目结课论文相结合的考核方式。将考核细化,参考的考核方式包括:考勤 5%,课前知识测试 5%,课中知识测试 5%,专题口头报告 10%,工艺技术实验 15%,小组结课论文 60%。这种考核模式对学生能力进行全方位的考察和评价,有助于促进学生全面提高综合素质。

三、微纳器件与系统课程混合式教学模式对教师 and 教学平台的要求

混合式教学模式与传统知识灌输型教学模式最大的不同在于它以 PBL 教学法为核心,在教师的引导下,以问题为基础,学生以小组的形式独立的收集和学习资料,强调学生的主动学习能力,这种方式对教师 and 教学平台的要求不降反升,因此我们需要明确授课教师如何为课程做充分准备。

混合式教学模式对教师的要求主要体现在:(1)要求教师对涉及的知识融会贯通。相关的知识不仅指课程本身的知识点,还包括先修课程中的核心知识。为补齐学生基础知识的差异,我们提出充分利用课前的时间,让学生自主学习相关知识点,为课堂上深入学习核心知识打下良好的基础,同时也设置了相关的课前知识点考核,因此要求教师对先修课程的相关核心知识点有融会贯通的掌握。(2)灵活运用多种教学手段的能力。在课程中涉及的课前和课中知识点考核可以通过智慧教学软件如雨课堂来完成,

减少了传统纸质试卷印刷的浪费和批改的烦琐程序。课程中的加工技术原理、器件工作原理以及组合工艺的工艺流程图等通过动画的方式展示能加快学生的理解。而仪器使用与仿真软件的使用教学如果通过录制微课视频的方式解决了课堂演示耗时的问题。因此,为达到好的教学效果要求教师对智慧教学软件、动画和微课制作软件达到灵活运用水平。(3)微纳器件与系统领域的科研经验与前沿方向的把握。在案例教学中教师要针对某一种或几种典型器件,引导学生深入思考,讲授器件从设计到测试的全流程,需要微纳器件与系统领域的科研经验支持。设计和加工工艺实践中除了工艺原理也涉及到实际操作过程中的技巧,例如对齐标志的选择与放置、硅片的清洗等等,均需要丰富的设计加工经验。而结课论文中的科研课题强调前沿微纳器件的设计,需要时刻关注本领域的发展随时更新相关课题才能培养出适应社会发展的人才。

混合式教学模式对教学平台的要求主要体现在:(1)器件设计仿真模拟平台。MEMS 器件设计仿真软件包括专业的 Intellisuite 和 ANSYS,也可以使用当前应用广泛的通用仿真软件 COMSOL 代替,实现 MEMS 器件结构和工作原理的仿真。器件加工的掩模版需要 Auto-CAD 或 L-edit 进行版图设计。(2)器件加工设备。课程中典型的加工实验需要依托基于超净室的加工平台,为实现典型器件的加工至少需要用于结构转移的光刻机、电极加工的薄膜蒸发仪或者薄膜溅射仪、典型薄膜生长的化学气相沉积设备、薄膜蚀刻设备、划片机和引线键合机。(3)器件测试平台。为检验器件的性能,需要配置针对典型器件的综合测试仪器,实现压力传感器、加速度计、陀螺仪、流量计等器件静态参数和动态参数的测试。需要指出的是上述模拟仿真软件和设备均为常规的微纳器件研发平台,在保证科研开展的同时为教学服务,学生通过课程的学习能快速掌握仪器的使用,为研究生阶段的科研打下坚实的基础。在缺乏部分设备的院校可以通过校企合作和实习的方式让学生有机会开展实践教学。

四、结语

为解决《微纳器件与系统》研究生课程教学中存在的学生基础薄弱、知识点多、实践性强、课时有限等诸多困境,有效提升教学质量,提出了混合式教学新模式。通过基于案例式教学和探索式教学的教学安排,以及将课前知识学习、课堂重点讲授、课下合作探索和器件加工实践相结合的方法,充分培养研究生的自主学习能力、科研探索能力、创新能力和团队合作精神,使学生知识和能力素质协同发展,达到了良好的教学效果。

参考文献:

- [1] 国务院学位委员会第七届学科评议组. 学术学位研究生核心课程指南(试行)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2020.
- [2] 隋文涛, 赵国勇, 庄须叶, 等. 新时代背景下仪器科学与技术学位点建设的思路与实践[J]. 中国现代教育装备, 2022(1): 84-87.
- [3] 管傲群, 张文栋. “微纳机电系统”课程教学方法探讨[J], 电气电子教学学报, 2014, 36(4): 69-70.
- [4] 石云波, 唐军, 郭涛, 丑修建, 刘俊. MEMS 技术课程群教学改革的实践与探索[J]. 课程教材, 2011(210): 99-100.