

面向集成电路设计专业的“半导体器件物理”课程教学改革

万达 陈晨 王文照 张琼娣 程用志

武汉科技大学 电子信息学院

DOI:10.12238/mef.v8i15.16179

[摘要] 集成电路作为现代信息技术发展的核心产业,是促进国家经济增长、保障国家安全的关键性产业之一。然而,受制于强权国家的科技霸权,我国产业链中的“卡脖子”技术仍是综合国力提升的重要障碍。培养集成电路领域的紧缺人才,不仅是突破技术封锁的关键途径,也契合《深化新时代教育评价改革总体方案》提出的“培养一流人才、产出一流成果、主动服务国家需求”的要求。本文结合本人在“半导体器件物理”课程教学中的实践,针对前置课程不足、课程内容与产业需求脱节、教学方法单一、学生实践与创新能力不足等问题展开分析,并以提升学生理论与实践结合能力、强化工程应用导向、培养科研与产业兼备的复合型人才为目标,探讨相应的教学改革路径。本论文提出以夯实基础、激发兴趣、紧跟前沿为核心的课程改革思路,设计《半导体器件物理》课程教学改革的方案。

[关键词] 半导体器件物理; 集成电路; 产业需求; 教学改革

中图分类号: H191 文献标识码: A

Teaching Reform of "Semiconductor Device Physics" Course for Integrated Circuit Design Majors

Da Wan Chen Chen Wenzhao Wang Qiongdi Zhang Yongzhi Cheng

School of Electronic Information, Wuhan University of Science and Technology

[Abstract] The integrated circuit industry, as a core sector driving the development of modern information technology, is one of the critical industries that promote national economic growth and safeguard national security. However, constrained by the technological hegemony of powerful nations, the "bottleneck" technologies in China's industrial chain remain significant obstacles to enhancing the country's comprehensive national strength. Cultivating much-needed talents in the field of integrated circuits is not only a key approach to breaking through technological blockades but also aligns with the requirements outlined in the "Overall Plan for Deepening the Reform of Education Evaluation in the New Era," which emphasizes "nurturing top-tier talent, producing first-rate outcomes, and actively serving national needs." Drawing on my teaching practice in the course "Physics of Semiconductor Devices," this paper analyzes issues such as inadequate prerequisite courses, a disconnect between course content and industry demands, monotonous teaching methods, and students' insufficient practical and innovative capabilities. With the objectives of enhancing students' ability to integrate theory with practice, strengthening engineering application orientation, and cultivating interdisciplinary talents with both research and industry expertise, this paper explores corresponding pathways for teaching reform. This thesis proposes a curriculum reform approach centered on consolidating foundational knowledge, stimulating interest, and keeping pace with cutting-edge developments, outlining a plan for implementing teaching reforms in the "Physics of Semiconductor Devices" course.

[Key words] Semiconductor Device Physics; Integrated Circuits; Industrial Demand; Teaching Reform

引言

集成电路产业作为当下信息技术产业的核心支柱,已然成为推动国民经济发展、捍卫国家安全的战略性关键产业。然而,受强权国家科技霸权主义的掣肘,集成电路产业链中的“卡脖

子”短板技术,成为严重制约我国综合国力提升的关键因素之一。从高端芯片的设计制造到关键设备和材料的供应,我国在多个环节仍面临着技术瓶颈和外部封锁,这无疑给我国信息产业的自主可控发展带来了巨大挑战。从高校教育体系层面审视,

积极培育集成电路专业紧缺人才,不仅契合国家发展的战略需求,是突破欧美国家对我国芯片全面封锁的关键路径,也与中共中央、国务院印发的《深化新时代教育评价改革总体方案》中“培养一流人才、产出一流成果、主动服务国家需求”的要求高度一致。

高校作为人才培养的摇篮和科技创新的源头,肩负着为国家培育栋梁之材的重任。在集成电路产业面临严峻挑战的背景下,高校需要主动担当,积极调整专业设置和人才培养方案,加强集成电路相关学科建设,为产业发展提供源源不断的人才支持。武汉科技大学作为湖北省“国内一流大学建设高校”,积极响应国家和地方政府的号召,始终坚守“厚德博学、崇实去浮”的校训精神,在集成电路人才培养领域持续深耕细作,致力于将学生培养成集成电路产业所需的高素质复合型“新工科”人才。在集成电路相关专业培养方案中,《半导体器件物理》是一门核心必修课程。它巧妙地将半导体物理知识与集成电路知识有机融合,在课程体系中发挥着承上启下的关键作用,对于集成电路产业人才的培养起着举足轻重的影响。因此,探讨当前教学中存在的问题,改革教学过程中的方式方法对促进人才的培养和集成电路产业的发展有重要的意义。通过深化课程改革,不仅能夯实学生“勤恳朴诚”的科研根基,更能激发“厚学致新”的创新潜能,为突破半导体产业“卡脖子”技术培养兼具理论深度与实践能力的复合型人才。

1 半导体器件物理教学中存在的问题

1.1 先修课程缺失导致学生基础知识储备不足,学习积极性不高

对于集成电路设计专业的学生而言,“半导体器件物理”课程通常设置在大三上学期,其课程内容往往涉及到半导体的载流子输运、晶体结构、缺陷密度等相关内容,需要学生具备“原子物理学”、“固体物理”、“量子力学”以及“热力学及统计物理”等多门理论课程的相关知识。然而,由于总课时的限制,集成电路设计专业学生的培养方案中并未加入上述课程,而是将上述课程的内容统统放在“半导体物理”课程中进行讲授,而“半导体物理”课程由于课时的限制且其抽象性强、公式推导繁琐,导致学生学习内容不够,基础知识掌握不足,底子不牢。因此,在针对集成电路设计专业学生开展“半导体材料与器件”教学时,因为先修课程缺失,学生基础知识储备严重不足,在学习课程时难以将知识点进行有效的理解衔接,从而加大了课程的学习难度,导致学生从接触到课程开始便听不懂、看不明白、难理解,学习积极性较差。因此,对于学生基础薄弱、知识储备不足的地方,需要进一步优化课程衔接机制,从而有效解决与先修课程的知识点衔接问题。

1.2 课程知识陈旧,与产业发展脱节

当前“半导体器件物理”主流教材多以经典半导体物理理论及器件为核心,主要内容偏向讲述以硅基材料为基础的PN结器件、双极型晶体管等传统内容。然而,随着器件的特征尺寸不断缩小,特别是器件尺寸进入纳米级以后,新的器件结构在不断

迭代更新,如FinFET、GAAFET等新器件,这些在主流“半导体器件物理”教材中并未体现。此外,新的二维材料及第三代宽禁带半导体材料(如SiC、GaN)在不断发展,这些产业的前沿动态在教材中也没有得到及时反映。课程知识更新滞后,导致课程中目前半导体相关的先进技术缺失,让学生对于所学习知识于现代产业之间的联系缺乏充分认识,甚至使部分学生在学习过程中产生“所学无用”的迷惑,这在一定程度上削弱了学习对课程学习的学习动力,也限制了学生的创新思维。

1.3 实验教学环节薄弱,实践能力培养不足

“半导体器件物理”所教学内容涉及半导体材料到晶体管制备的整个流程,对于晶体管的制备、结构、性能进行了详细的讲解。然而,目前高校所配套的半导体器件物理相关实验内容基本还停留在十年前,主要是最基本的材料参数测量、载流子的扩散、成品双极型晶体管的插管测试等低水平、缺乏系统性和综合性等实验内容,且实验设备陈旧。如实验室的晶体管电学性能测量实验使用的多为目前占市场份额不到5%的双极型晶体管,而目前集成电路主流且占市场份额95%以上的场效应晶体管并未涉及。由于缺乏与半导体器件相关的系统性新设备,导致学生很难直接参与到半导体器件的制备及测试实验过程中,且理论与实际之间脱节,严重削弱了学生对所学知识的应用能力,也限制了他们学以致用、将理论与实际科研和产业相结合的能力。

1.4 教学方式传统,学生主体性未能有效发挥

“半导体器件物理”课程具有公式多及微观物理过程多的特点,注重讲解物理概念和物理模型,课程较为晦涩难懂,对学生的学习能力要求较高。目前课程的授课主要还是以传统理论课程的课堂讲授为主,在教学时间内,授课教师对学生进行“满堂灌”的授课方式进行授课,学生往往是在被动的接受教师讲授的知识,缺少独立思考及自由探索的空间,学生主体性未能有效发挥。如半导体器件中载流子的输运过程往往是一个抽象的运动过程,学生在理解这一概念时容易陷入困惑,导致课堂缺少互动,从而使课堂氛围沉闷,为帮助学生更好地掌握这一核心知识,教学过程需结合多维度策略,将抽象理论转化为直观认知。

2 课程改革策略与思路

针对上述“半导体器件物理”授课过程中遇到的相关问题,围绕“半导体器件物理”与集成电路产业的相结合以及提升学生对课程学习的兴趣点,课程改革的总体目标是:补牢学生理论知识,优化授课方式,虚实结合构筑集成电路制造全流程实验,提升学生课程学习兴趣,紧跟产业发展前沿,强化实践能力,最终达到“培养一流人才、产出一流成果、主动服务国家需求”的目标要求。

2.1 优化课程体系,强化课程衔接,筑牢理论基础

“半导体器件物理”和“半导体物理”两者课程内容呈递进关系,因此,在实际教学过程中,两门课程的授课老师要进行有效的沟通,适当调整课程的重点和难点,使两门课程能进行有效衔接。对半导体物理和半导体器件物理的授课内容进行调整,适当修改课程的重难点,使两门课程的学习在内容上自然衔接,

平稳有序过渡。对半导体物理而言,增加固体物理中晶体结构以及原子物理学和量子力学中关于电子状态的讲解内容,加强学生对物理里面基础理论及基础概念的理解。对半导体器件物理而言,授课教师通过增加学时在讲解半导体器件物理的工作原理之前穿插讲解半导体物理中的金属与半导体接触、半导体与半导体接触内容,减轻半导体物理授课教师的授课内容及授课负担。通过教学课时的增减,教学大纲的调整,以及关键知识点的分层讲解,帮助学生深入掌握半导体相关的物理模型及知识,为半导体器件的学习打下牢固基础,降低课程学习门槛,增加学生学习积极性。

2.2 教学内容紧跟科研及产业发展前沿动向

在保留已有经典半导体器件物理理论教学内容的基础上,根据学时情况适度引入新材料及新器件的前沿研究进展。例如,将二维材料器件,基于SiC、GaN等第三代宽禁带半导体功率器件、高频器件前沿科研及产业研究发展融入到教学内容中,帮助学生建立“基础理论—前沿研究—产业应用”的认知链条,增强学习的现实意义和产业价值感。同时邀请科研工作者或者相关行业研发工程师到校给学生开展前沿研究相关的专题讲座,使学生能充分从科研角度、产业角度来理解授课内容的实际应用价值。

2.3 构筑虚实结合实验环节,提升学习兴趣及动手能力

由于集成电路制造全流程所涉及到的全套实验设备价格昂贵,动辄千万人民币级别,使得实验室硬件资源成为限制实验规模和实验内容发展主要因素之一。此外,集成电路制造所用设备较为高端精密,在使用之前需要进行较长时间的培训,就算学校拥有了一整套的工艺实验仪器,对于实验课程而言,也不能让每个学生都能有机会动手操作参与到其中,往往还是学生通过观看老师操作进行学习。通过学校现有实验设备,搭建虚拟和现实相结合的实验平台,既能解决实验室硬件缺乏的问题,又能让学生都能进行有效的实际操作,能非常完美的解决上述问题。通过虚拟实验平台,复杂的集成电路制造流程可以更直观、形象的展现在学生面前,学生在电脑上利用虚拟软件便能实现每一个步骤的操作,既能激发学生对于课程学习的兴趣,又能够培养学生对问题的分析和解决能力。

2.4 创新教学方式,激发学习兴趣,构建课程思政与价值引领

传统“课件+板书”的方式已无法满足新工科对课程的要求,在课堂教学中需要尝试讨论式和案例式教学方法,并开展翻转课堂活动。对学生开展课前预习、课堂研讨和课后辅导相结合的方式,提高学生在课程学习中的参与度。同时利用信息化学习工具,如雨课堂、学习通、短视频工具等,在授课过程中随时开

展课堂测试和互动环节,及时了解学生对课程内容的掌握程度,构筑“教—学—评”一体化的课堂生态。同时结合国内外成熟半导体产业的相关案例,开展翻转课堂,引导学生对学习内容开展小组研讨,培养学生的自主学习和团队协作能力。此外,授课过程中也可融入国家半导体产业发展战略、“卡脖子”技术攻关案例等教学内容,通过相关课程思政内容的学习,激发学生的使命感与责任感,激发其学习动力和兴趣,激励其投身半导体产业。

3 结语

“半导体器件物理”作为集成电路相关专业的核心课程之一,是相关专业学生学好集成电路的基础,也是决定集成电路由设计图纸走向实体、实现国家芯片自给自足不可或缺的核心课程。本文针对“半导体器件物理”教学过程中面临的教学困难,积极开展教学改革方面的探索,从优化课程体系、增加前沿科研及产业教学内容、构筑虚实结合实验环节、创新教学方式、构建课程思政与价值引领等方面对课程进行改革探索,来夯实学生的理论基础,提升学生对于“半导体器件物理”的学习兴趣,开发学生的科研意识,激发学生科研创新能力,主动服务国家重大需求。未来,课程改革还需在教学资源共享、产学研结合等方面继续开展探索和改革,为集成电路相关产业实现突破与长远发展筑牢坚实根基,为培养高素质复合型“新工科”人才提供有力支撑。

【项目来源】

2023年武汉科技大学教学研究项目; [项目名称]集成电路制造全流程相关课程优化及虚拟实验平台建设; [项目编号]2023X044。

【参考文献】

- [1]汪海波,樊敏,李琛路.新工科背景下“半导体器件物理”课程的教学改革[J].合肥师范学院学报,2023,41(06):82-86.
- [2]谢生,徐江涛,韩旭,等.“现代半导体器件物理”课程改革与探索[J].教育教学论坛,2022,(03):41-44.
- [3]刘紫航,高智勇.面向材料专业需求驱动的半导体器件物理课程改革探索与实践[J].高教学刊,2025,11(7):60-63.
- [4]肖德元,陈国庆.半导体器件发展历程及其展望[J].固体电子学研究与进展,2006,26(4):510-515.
- [5]杨洁.面向产业发展的半导体物理教学改革探索[J].大学,2024,(35):155-158.

作者简介:

万达(1989--),男,汉族,湖北武汉人,博士研究生,副教授,研究方向:微纳电子器件。