

新工科及产教融合背景下《集成电路制造原理及其工艺》 课程教学改革研究

李莹, 田甜, 李杨, 刘志福

上海应用技术大学材料技术学部, 上海 201418

DOI:10.61369/EDTR.2026010008

摘 要 : 在新工科建设与产教融合的时代背景下,《集成电路制造原理及其工艺》作为材料物理专业核心课程,面临教学内容滞后、理论实践脱节、产教融合不深、评价体系不完善等挑战。为满足产业对高素质人才的迫切需求,课程教学改革势在必行。改革需以产业需求为导向,重构“基础理论—先进技术—系统集成—前沿拓展”四层课程体系,融入创新项目式、案例式、虚拟仿真等多元教学方法,构建“五级”实践教学体系;通过校企共建产业学院、共享资源等深化协同育人;完善多元评价体系,突出能力导向。未来,课程将向智能化、国际化、终身化、绿色化、跨界融合及数字化转型方向发展,持续为我国集成电路产业发展提供人才支撑。

关 键 词 : 新工科; 产教融合; 课程改革

Research on the Teaching Reform of "Integrated Circuit Manufacturing Principle and Technology" under the Background of New Engineering and Industry-Education Integration

Li Ying, Tian Tian, Li Yang, Liu Zhifu

School of Materials Technology, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418

Abstract : Against the backdrop of new engineering education development and industry-education integration, "Principles and Processes of Integrated Circuit Manufacturing" as a core course for materials physics majors faces challenges including outdated teaching content, theoretical-practical disconnect, insufficient industry-education integration, and imperfect evaluation systems. To meet the urgent demand for high-quality talents in the industry, curriculum reform has become imperative. The reform should be industry-oriented, reconstructing a four-tiered course system of "basic theory-advanced technology-system integration-frontier expansion", integrating diversified teaching methods such as innovative project-based learning, case studies, and virtual simulation, and establishing a "five-level" practical teaching system. Collaboration in talent cultivation will be deepened through joint establishment of industry-academia institutes and resource sharing. A diversified evaluation system emphasizing competency orientation will be improved. In the future, the course will develop in directions of intelligence, internationalization, lifelong learning, green development, cross-disciplinary integration, and digital transformation, continuously providing talent support for China's integrated circuit industry development.

Keywords : new engineering education; industry-education integration; curriculum reform

引言

随着新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起,以人工智能、大数据、物联网、量子计算等为代表的新兴技术深刻改变着全球产业格局和人才需求结构。我国于2017年启动新工科建设,通过“复旦共识、天大行动、北京指南”三部曲推进工程教育改革,旨在培养多元化、创新型卓越工程人才。同时,产教融合也被提升到国家战略高度,2017年国务院办公厅印发《关于深化产教融合的若干意见》,

作者简介:

李莹(1986.12—),女,汉族,上海,博士,实验师,双师双能型教师,从事纳米材料的制备与光电性能研究。

田甜(1985.05—),男,汉族,上海,博士,教授,从事光电功能晶体材料的生长、性能及其应用研究。

李杨(1982.01—),女,汉族,上海,博士,高级实验师,从事光电材料及器件的开发与应用研究。

刘志福(1985.12—),男,汉族,上海,博士,副教授,双师双能型教师,从事柔性传感材料与器件的开发与应用研究。

2018年三部委联合发布相关意见,强调完善多主体协同育人机制。明确提出要提高行业企业参与办学程度,形成教育和产业统筹融合、良性互动的发展格局。二者深度融合为工程教育改革指明了方向,《集成电路制造原理及其工艺》作为专业核心课程,需通过改革培养学生解决复杂工程问题的能力,助力我国集成电路产业高质量发展。

《集成电路制造原理及其工艺》课程是集成电路设计与集成系统、微电子科学与工程、材料物理等专业的核心基础课程,系统讲授从原材料到成品的集成电路完整制造过程,涵盖多学科交叉内容,具有知识密度高、技术更新快、实践性强的特点。通过课程学习,学生可掌握基本原理与方法,具备分析解决实际问题的能力,为从事集成电路设计、制造、测试等工作奠定基础。当前我国集成电路产业快速发展,人才需求迫切,人才缺口巨大,到2025年缺口可能达25万人^[1-2],深化课程改革对满足产业需求至关重要。

而传统教学面临多重挑战:一是教学内容滞后,对FinFET、GAA等先进技术和新兴领域涉及不足^[3-5];二是教学模式单一,理论与实践脱节,实验教学缺乏综合性和设计性,高校实践平台建设受限;三是产教融合深度不够,校企合作机制不健全,教学内容与产业需求差距较大^[6-7];四是评价体系不完善,以期末考试为主,忽视综合能力培养。面对这些问题,加快课程改革势在必行,需打破传统模式,构建适应新工科要求的教学体系。

一、新工科与产教融合对课程教学改革的要求

新工科强调“新理念、新结构、新模式、新质量、新体系”,要求课程树立创新型、综合化、全周期工程教育理念,从以工艺为中心向以产品为中心转变,整合多学科知识,构建跨学科体系,增加智能芯片制造等前沿内容。课程内容按照“基础认知—理论深化—应用实践—拓展创新”模块化、系统化来设计,并要紧跟技术发展前沿,反映从平面工艺到立体结构、从单一材料到多元材料、从传统制造到智能制造的转型趋势。

产教融合要求建立开放共享的教学体系,实现校企双主体协同育人,企业深度参与教学各环节。教学方法上倡导项目式学习、案例式教学等多种方法综合运用,通过引入企业真实项目与案例来提升学生实践能力;资源建设上要共建共享实训基地、开发虚拟仿真平台;评价体系需多元化,纳入企业实践表现、项目完成情况等指标,全面评价学生成效。

企业对人才的核心需求包括:扎实的理论基础与系统思维能力,以应对先进制程下的工艺问题;较强的工程实践与创新能力,以适应工作岗位并推动技术迭代;团队协作与沟通能力,满足复杂系统工程的协作需求;持续学习能力与国际视野,适应技术发展和产业全球化趋势。课程需围绕这些目标,培养学生分析解决工艺问题、适应技术迭代、跨部门协作的综合素养。

二、课程教学改革的主要内容

针对传统课程内容相对滞后、体系松散的问题,重新构建适应新工科要求的课程内容体系,新的课程体系应体现“基础与前沿并重、理论与实践结合、单一与系统统一”的特点。在基础理论模块,保留并强化半导体物理、硅材料特性、基本工艺原理等核心内容,确保学生具备扎实的理论功底,精简传统的已被淘汰的工艺内容,为新技术内容腾出空间,同时注重理论联系实际;先进技术模块应增加FinFET、GAA、环绕栅极晶体管等新型器件结构,以及7nm、5nm、3nm等先进工艺节点的技术特点,涵盖高k栅介质、新型材料与器件、量子器件、先进封装(3D封装、扇出型封装)、智能制造等内容;系统集成模块应打破传统讲授模式,采用“自顶向下”方式,如从完整的CMOS工艺流

程出发,讲解各工艺模块的作用和相互关系。通过典型的CMOS工艺案例,如14nm FinFET工艺,让学生理解从器件设计到工艺实现的完整过程。同时,增加工艺集成的内容,包括工艺兼容性、工艺窗口、工艺偏差控制等,培养学生的系统思维能力;前沿拓展模块应定期更新内容,及时反映产业最新动态。通过邀请企业专家授课、组织学生参观产业园、开展前沿技术讲座等多种方式让学生了解行业最新进展,特别是关注我国在集成电路制造领域的技术突破和产业化进展,增强学生的民族自豪感和使命感,同时提升学生的探索欲、激发创新能力。

传统的教学方法已无法满足新工科人才培养的需求,必须进行全面创新。新型教学方法应体现“以学生为中心、产出为导向、持续改进”的理念,充分调动学生的学习积极性和主动性。大力推行项目式教学,将课程内容分解为材料制备与加工、器件制造、工艺优化、性能提升方案设计等多个项目,学生团队协作完成全过程;通过项目驱动,让学生在实践中学习,在解决问题中成长。应用案例教学法可以增强教学的针对性和实用性,收集整理国内外集成电路制造企业的真实案例,如台积电的先进制程开发、三星的良率提升经验、中芯国际的技术追赶历程等案例分析,让学生了解产业实际,也要注意失败案例的收集,分析失败原因和改进措施,培养学生风险意识和问题解决能力;开展虚拟仿真教学是解决设备昂贵、工艺复杂等问题的有效手段,开发或引进虚拟仿真平台,让学生能够在计算机上模拟完成光刻、刻蚀、薄膜沉积等工艺过程。通过虚拟仿真平台,学生可以反复进行工艺实验,探索不同工艺参数对器件性能的影响,降低实验成本,提高学习效率;采用翻转课堂模式,利用在线资源让学生课前学习理论,课堂聚焦互动环节;实施混合式教学,结合多种教学形式,通过教学平台实现线上线下融合,提高互动性与学习效率。

实践教学是培养学生工程能力和创新能力的关键环节。针对传统实践教学薄弱的问题,必须构建多层次、全方位的实践教学体系。搭建“基础实验—工艺实训—项目实践—企业实习—创新实践”五级体系。开设半导体材料表征、器件结构分析、工艺参数测试等基础实验,让学生熟悉常用的测试设备和分析方法,培养学生的实验操作能力、数据处理能力和问题分析能力;工艺实训过程,考虑到设备成本和安全因素,可采用“虚实结合”的方式,先用虚拟仿真平台进行工艺设计和优化,再在真实设备

上进行验证^[8-9]；通过产教融合，与集成电路制造企业建立长期合作关系，安排学生到企业进行为期 3-6 个月产业实习，让学生在真实的产业环境中锻炼，了解产业运作模式，积累实践经验；设立大学生创新项目，支持学生开展新工艺、新材料、新器件的探索性研究。通过参加学科竞赛、发表学术论文、申请专利等方式，激发学生的创新热情，培养创新能力。

师资队伍是保证教学质量的关键。通过引进高层次产业人才，特别是引进具有产业背景的技术专家，他们不仅具有扎实的理论基础，更重要的是具有丰富的工程实践经验，能够将产业最新动态和实际问题带入课堂。同时，实施教师企业挂职锻炼，专业教师每 5 年到企业连续工作半年，参与实际的工艺开发和技术创新工作。通过企业实践，教师可以了解产业最新技术，积累工程经验。同时，鼓励教师参加学术会议、技术培训，不断更新知识结构。建立“双师型”队伍、加强青年教师培养、完善评价激励机制等措施，提升师资的工程实践能力与教学水平，通过校企师资双向流动，实现校企资源共享，优势互补^[10]。

三、改革实施的保障机制

成立产教融合委员会统筹规划的顶层设计模式，建立产业学院作为实体平台，实行“双主体”育人与“2+2”、“3+1”等培养模式。校企在课程共建、教材共编、师资共享、基地共建、项目共研等方面开展全方位合作，配套完善制度体系与政策支持。

编写前沿性、实用性的立体化教材，建设高水平工艺实验室与区域性共享平台，开发虚拟仿真系统与在线开放课程。建立校企与校企资源共享机制，优化资源配置，降低办学成本。

树立“以学生为中心、以成果为导向、以改进为目标”的评价理念，构建涵盖知识、能力、素质的多元指标体系。采用过程性与终结性评价结合、定量与定性评价结合的方式，吸纳学生、教师、企业、社会多方参与，建立与产业需求对接的动态评价标准。

四、改革实践案例与经验总结

近年来，国内多所高校在《集成电路制造原理及其工艺》课程改革方面进行了积极探索，形成了一批具有示范意义的实践案例。如：清华大学采用“2+2”模式，与企业共建实践基地，学生参与实际工艺开发；浙江大学引入 AI 工艺优化系统与 Mini

MPW 流片课程，借助 FabGPT 赋能教学；上海交通大学推进国际化联合培养，建设 3D 可视化虚拟仿真平台；西安电子科技大学深化企业项目融入，实行学分互认；北京邮电大学开发全流程 VR 虚拟仿真实验，提升沉浸式体验。

以上高校实践改革，使学生们的能力得到了明显提升，毕业生可以更快适应岗位；产学研深化合作，获得良好的成果转化成效；师资队伍结构优化，实践能力增强。基于以上多所高校的改革实践模式及成效，总结发现：（i）顶层设计是改革成功的前提，改革必须从学校层面进行系统规划，同时要争取政府和企业的支持。（ii）产业需求是导向，改革必须紧密对接产业需求，及时了解产业发展趋势和技术前沿，及时调整改革方向和内容。

（iii）校企合作是关键，深化校企合作，建立长期稳定的合作关系，激发企业参与的积极性，实现校企资源的深度融合。（iv）技术创新是动力，充分利用现代信息技术，开发虚拟仿真系统、在线教学平台等，提高教学效果。（v）师资建设是保障，创建“双师型”教师队伍，通过多种途径提升教师的能力和水平。（vi）评价改革是支撑，建立多元化的评价机制，注重过程性评价，强化能力导向，确保改革质量。（vii）开放共享是方向，打破校企壁垒、校企壁垒，建立资源共享平台，实现资源的优化配置，让更多的学生受益于改革成果。

五、结论与展望

经过多年的探索实践，新工科及产教融合背景下的《集成电路制造原理及其工艺》课程教学改革取得了显著成效，实现了从传统的知识传授向能力培养的转变，从单一学科向多学科交叉融合的转变，从封闭式教学向开放式办学的转变。仍存在一些问题需要进一步改进，如：产教融合深度不够、“双师型”教师比例偏低、资源投入不足等问题。需通过加强深化校企合作、优化师资结构、拓宽资金渠道等方向持续改进。

总的来说，新工科及产教融合背景下的《集成电路制造原理及其工艺》课程教学改革是一个长期的、系统的工程，需要政府、高校、企业等多方共同努力。通过持续的改革创新，必将培养出更多适应产业发展需要的高素质人才，为我国集成电路产业的发展做出更大贡献。我们有理由相信，随着改革的不断深入，我国的集成电路人才培养水平将不断提升，为实现集成电路产业的跨越式发展提供强有力的人才支撑。

参考文献

- [1]王蔚,宋加涛.“校企联动、师生互动、思政励动”集成电路人才培养模式探索与实践[J].宁波工程学院学报,2025,37(2):99-104.
- [2]葛芬,王毅,陈未央.集成电路专业产教融合人才培养模式探索与研究[J].华东科技,2024,(04):120-122.
- [3]赵俊霞,杨喆娴.“沉浸式”产教融合人才培养模式的探索和实践——以集成电路设计与集成系统专业为例[J].教育教学论坛,2024(12):185-188.
- [4]芦俊,杨武生,廖海.高职院校集成电路封测技术专业人才培养探索[J].常州信息职业技术学院学报,2021,20(04):22-25.
- [5]潘成亮,夏豪杰,黄亮,等.集成电路测试新工科人才产教融合培养模式探索与实践[J].高教学刊,2024,10(20):51-54.DOI:10.19980/j.cn23-1593/G4.2024.20.013.
- [6]丘聪,许志良,李春霞.“产教科”融合破解高职集成电路人才培养难题的探索与实践[J].中国职业技术教育,2023(25):72-78.
- [7]潘涛,殷佳琪.基于产教融合的高职院校集成电路专业人才培养模式的探索[J].科技资讯,2023,21(05):188-191.DOI:10.16661/j.cnki.1672-3791.2203-5042-9175.
- [8]黄海,于斌,张淑丽,唐光义.集成电路工程卓越工程师培养模式的探索与实践[J].大学教育,2025(16):105-108.
- [9]何强,王潘,缪向水,等.基于工程思维的集成电路专业卓越工程师培养实践探索[J].高等工程教育研究,2023,(06):78-81.
- [10]李伟平,赵子奇,胡子阳,产教融合育英才协同创新谱新篇.经济日报,第07版,2025.3.21.