

普通高校“集成电路工艺原理”课程存在问题及计策探讨

刘利芹 曾体贤 孙辉 吴文娟

(成都信息工程大学光电工程学院, 四川 成都 610225)

摘要: 本文探讨了普通高校中“集成电路工艺原理”课程面临的问题: 既包括课程本身特点所带来的挑战, 如遴选贴合社会需求与学情的教材困难、课程涵盖知识面广泛、理论性强、实践性弱, 课程内容更新速度滞后于行业发展; 同时也涵盖了教师与学生方面的因素, 例如教师的教学手段丰富性不足、高水平专业教师队伍的建设困难以及学生自学能力和学习积极性的不足。针对这些问题, 提出具体改进措施: 遴选理论与实践融合性强的教材, 如《半导体制造技术导论》; 优化课程内容结构, 强化实践环节; 及时更新教学内容; 丰富教学手段, 引入科研案例; 强化师资的培训与企业实践; 建立网络学习平台, 激发学生自主性。期望这些措施能提升教学质量, 培养高素质应用型人才。

关键词: 集成电路工艺原理; 课程设置; 教学手段; 教材

一、引言

集成电路因其微型化、低功耗、高可靠性以及广泛的应用领域等优势, 成为现代信息社会的基石。集成电路的技术水平和产业规模, 是衡量一个国家科技水平与综合国力的重要标志。目前, 我国在集成电路科技水平与欧美发达国家相比, 仍存在显著的差距。

集成电路技术涵盖了设计、制造和封装测试这三大环节, 其中制造是其核心和关键环节。制造工艺质量直接决定了芯片的性能和可靠性。集成电路制造工艺是一个复杂且精细的过程, 它涵盖了晶圆的制备以及一系列关键单项工艺的基本原理与方法。

“集成电路工艺原理”课程是集成电路相关专业的核心课程。相关专业主要有电子科学与技术、集成电路设计与集成系统、微电子科学与工程等。开设这些专业的高校既有985/211重点高校, 也有非985/211的普通高校。重点高校通常致力于培养具备创新思维和科研能力的高端创新型人才, 而普通高校则更注重培养具备实践技能和应用能力的应用型人才。不同层次高校的学生在基础知识、学习能力、学习习惯等方面存在较大的差异。为了适应这种差异, 不同高校在“集成电路工艺原理”课程的培养目标、教学内容和方式上都会有所调整。例如, 重点高校会更加注重理论深度和科研方法的传授, 而普通高校则可能更侧重于实践应用的培养。

成都信息工程大学作为普通高校的典型代表, 从2000年开始, 开设了“电子科学与技术”专业, 培养目标: 培养具有健康心智体魄、良好人文素养、系统电子科学与技术专业知识以及扎实实践能力, 能在微电子和微波领域从事产品设计、工艺制造、研究开发、运营维护和技术管理等工作的高素质应用型人才。本论文以非985/211的普通高校成都信息工程大学为例, 分析普通高校“集成电路工艺原理”课程普遍存在的问题, 并对这些问题进行系统的探讨和分析, 提出具体改进措施。

二、普通高校“集成电路工艺原理”课程存在的典型问题



图1. 普通高校“集成电路工艺原理”课程存在的典型问题

根据调研分析和作者自身在课堂教学中的深切体会, 总结出如图1所示的“集成电路工艺原理”课程在普通高校中存在的典型问题。既包括课程本身特点所带来的挑战, 如遴选贴合社会需求与学情的教材困难、课程涵盖知识面广泛、理论性强、实践性弱, 课程内容更新速度滞后于行业发展; 同时也涵盖了教师与学生方面的因素, 例如教师的教学手段丰富性不足、高水平专业教师队伍

的建设困难以及学生自学能力和学习积极性的不足。以下对产生这几方面典型问题的根源进行分析与讨论。

(一) 遴选贴合社会需求和学情的教材困难

由于我国集成电路产业的发展相较于国际水平存在明显的滞后, 高校教师亲身体验集成电路制造全流程的机会十分有限, 导致所编写的教材往往理论内容偏多, 与实践应用的结合相对薄弱。对于像成都信息工程大学这样的普通高校而言, 学生在理解和掌握理论知识方面往往感到吃力, 因此, 要找到一本既符合社会实际需求, 即理论与实践很好结合, 又能适应学生实际学习情况的教材显得尤为困难。

(二) 课程内容知识面广、理论性强、实践性弱

知识面广。“集成电路工艺原理”课程涵盖了晶圆的特性、晶圆的制备与切割、外延、氧化、掺杂、膜层沉积、光刻、刻蚀、金属化、化学机械抛光等一系列工艺过程, 这些内容不仅要求学生掌握相关的基本原理与方法、熟悉所涉及的各类设备, 而且还要能理解工艺对器件电学性能的影响。

理论性强。集成电路工艺原理涉及的基本原理和公式多且复杂, 比如, 热氧化机理中二氧化硅生长速率的推导及影响因素, 离子注入的浓度、深度分布计算等, 学生在理解这些原理和公式时需要大量的推导和计算。特别是在涉及高深物理、化学知识时, 许多学生缺乏足够的背景知识, 难以深入理解课程的核心内容, 这无疑增加了学习难度。图2给出了成都信息工程大学2023年“集成电路工艺原理”课程内容难度调查结果。调查结果显示, 有超过50%的同学认为课程难度偏大。

第7题: 你认为课程内容的难度如何? [单选题]

选项*	小计*	比例
非标准	1	1.79%
有点难	28	49.12%
难度适中	28	49.12%
比较容易	0	0%
本题有效填写人次	57	

图2. 2023年“集成电路工艺原理”课程内容难度调查结果

实践性弱。关键原因在于集成电路相关工艺设备, 如单晶炉、光刻机、刻蚀机、镀膜机、离子注入机等, 设备构造复杂且价格高昂, 且维护成本高, 高校难以负担和配备齐全, 导致学生难以接触和操作这些真实的设备, 学生仅通过教材和听课堂讲授来学习这些内容, 容易产生抽象理解上的困难。

(三) 课程更新滞后于行业发展

教材的编写通常需要数年时间, 而在这期间, 集成电路的技术已经产生了快速的变化。摩尔定律的持续推进, 使得芯片制备工艺不断演变, 技术更新速度远超教材更新速度。仅靠教材无法跟上技

术发展的步伐,这种滞后性给教学内容的设置带来一定的挑战。

(四) 教学手段的丰富性不足

目前,该课程的教学手段大多以讲授为主,教师在课堂上进行知识传授,学生则被动地接受。这种单向的教学模式缺乏互动性和参与性,难以激发学生的学习兴趣 and 主动性。同时,由于集成电路工艺原理涉及的知识点多且复杂,单纯的讲授往往难以使学生深入理解和掌握。能为学生提供更加直观、生动的学习的多样化教学辅助手段:多媒体教学、虚拟仿真、在线学习平台等,课堂过程虽然有涉及,但融合的深度还不够。

(五) 高水平教师队伍的建设困难

高水平教师队伍是落实教学质量与水平的关键环节,然而当前很多高校,尤其是普通高校在“集成电路工艺原理”课程相关的师资力量薄弱。主要原因:(1)专业知识的深度和广度要求高,要求教师具备深厚的理论基础和丰富的实践经验;(2)缺乏实践经验和行业背景:许多教师虽然具备扎实的理论基础,但缺乏实际的行业经验和工艺操作经验;(3)高校教师不仅需要承担教学任务,还需要进行科研工作。在科研与教学的双重压力下,很多教师很难投入充分的精力到教学中;(4)集成电路领域的专业人才往往具有较高的市场价值。然而,由于经费有限或其他原因,很多高校可能无法满足这一需求,导致招聘和留人困难。

三、具体改进策略



图 3. 对典型问题的改进策略

针对以上典型问题,本论文将从教材遴选、课程设置、内容更新、教学手段、教师团队和学生这六个方面出发,提出具体的改进措施,如图 3 所示。

(一) 遴选适合普通高校的优质教材

遴选适合普通高校学生的优质教材。鉴于集成电路技术在欧美发达国家已经发展得相当成熟,长期活跃在教学一线以及企业实践中的教师,具备将理论知识与实践应用有效结合的丰富经验,从而能够编撰出更加贴近实际需求、更易于学生理解消化的教材。

成都信息工程大学的集成电路工艺原理课程教材,优选电子工业出版社出版的萧宏编著的《半导体制造技术导论》第二版。萧宏博士 1995~1998 年在美国应用材料公司任技术讲师;199~2003 年在摩托罗拉公司半导体生产部任高级制造工程师,并在奥斯汀社区大学讲授半导体制造技术。本书内容知识充实,视角新颖,理论与实践有效融合,非常适合普通高校理论基础不是很强的学生。

(二) 优化课程内容结构

针对一般普通高校则更注重培养具备实践技能的应用型人才的特点,优化课程内容结构:适度减少理论知识的比重,强化实践性。

以实践为导向,课程围绕案例来设置教学内容。以使用最为广泛的 CMOS 为例,先整体介绍制造 CMOS 的工艺过程,再逐步展开从衬底到氧化、掺杂、沉积、光刻和刻蚀等单行工艺的介绍。单项工艺的介绍与学校现有的集成电路器件工艺仿真软件相结合,使学生可以在仿真模拟真实的集成电路制作过程,从而更好地理解工艺原理,也更好的将工艺与器件的电学性能相融合。

此外,限于有限的学时,我们重视“质”胜于“量”的原则,避免盲目追求内容的全面性而牺牲教学质量。例如:在离子掺杂章节,可重点且详细讲授离子注入这一主流技术,而对早期发展

的热扩散掺杂则进行简要概述;在热氧化制备二氧化硅章节,重点介绍影响二氧化硅膜层质量的工艺条件,简要介绍需要通过迪尔-格罗夫复杂数学模型来推导二氧化硅的生长速率,因为当今二氧化硅的速率可以由光学椭圆仪来无损高精度的测量。

(三) 及时更新行业发展的最新知识

为确保课程内容与当今集成电路的发展趋势和需求保持同步,需要每年对教学内容进行及时更新。确保教学内容既包含经典知识的基础传承,这是学科基础的基石,而涉及本学科的前沿知识则需在课堂上及时穿插引入,这样新旧知识的有机结合不仅能开拓学生的视野,还能提升其对学科的兴趣和理解深度。

(四) 丰富教学手段

教学内容需要有效的教学手段来实现。制作与完善与课程体系及内容相对应的高质量课程 PPT,利用现代信息技术,改进教学方法,提高教学质量。将多媒体课件演示与教师板书讲解相结合,能够在教学过程中取得更好的效果。板书的简要书写重点知识点,书写过程相对缓慢,使学生有充足的时间进行思考;而 PPT 则通过传递图像信息,增加课堂信息量,从而显著提高教学水平和效果;通过动画、视频等影像资料辅助课堂教学,可以将课程中的一些难点更加直观、高效、生动、形象地表达出来,使教师易于讲解,学生更易于接受,进而提升学生学习的效果和兴趣。

(五) 高水平教师队伍的建设

高水平教师队伍是提升集成电路工艺原理课程教学质量的关键。学校需加强师资引进与培养,吸引和留住优秀人才;建立校企合作机制,增强教师实践经验和行业洞察力;优化教学与科研环境,提供先进的实验设备和科研支持;提高教师待遇与激励,激发工作热情和创新精神;加强团队建设与协作,促进跨学科、跨领域合作。这些措施将共同推动教师队伍整体素质的提升,为集成电路工艺原理课程的教学质量提供坚实保障。

(六) 提升学生自主学习的能力和热情

建立网络自主学习和网络互动交流平台,不仅为学生提供复习和深化理解的资源,更创造了一个师生之间、学生之间自由交流、互助学习的空间。在这个平台上,学生可以提出疑问、分享心得,教师可以及时解答问题、发布补充资料和课后练习。

四、结论

本文分析了普通高校“集成电路工艺原理”课程面临的问题并给出具体的改进策略。问题包括课程本身特性带来的教学困难,也包括教师与学生方面存在的问题。改进措施:遴选理论与实践结合性强的国外优质教材;适度减少理论知识的比重,强化实践性;每年对教学内容进行及时更新;丰富教学手段,深化现代信息教学手段,引入科研案例;通过强师资引进与培养、建立校企合作机制、优化教学与科研环境等方式,提升教师队伍的质量;建立网络自主学习和网络互动交流平台,提高学生的学习自主性和热情。期望这些策略能有效解决“集成电路工艺原理”课程中的典型问题,提升教学质量,培养出更符合社会需求的高素质应用型人才。

参考文献:

- [1] 谢沁芸.我国集成电路产业发展问题及对策探讨[J].通信电源技术,2023,40(7):233-235.
- [2] 王涛.集成电路技术的应用现状和发展趋势[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):35-38.
- [3] 王少昊.中国集成电路产业亟需培养高端人才[J].IT 经理世界,2023(1):35.

项目支持:由成都信息工程大学本科教学工程支持。

作者简介:刘利芹,女,博士,副研究员,主要从事微电子工艺教学和科研工作。