

微电子专业基于新型二维半导体的实验实践教学

万茜 邵枫 蔡正阳 梁峻阁

(江南大学 微电子科学与工程 江苏 无锡 214122)

摘要 微电子技术在21世纪高速发展,已经成为我国高新技术产业的重中之重,其中高校微电子专业的实验室建设对于微电子人才的培养具有重要意义,与此同时,二维半导体作为一种有望广泛应用在微电子领域的新材料,已成为学术界与工业界关注的焦点,作为研究型高校,搭建完善的微电子专业前沿学科实验实践教学平台,对培养学生的创新实践能力以及了解学科前沿的发展方向具有重要意义。江南大学微电子科学与工程专业,在制定与评估二维半导体实验实践教学方案的基础上,通过搭建二维半导体研发实验基地、光刻技术与器件研制实践基地,以及综合性器件测试应用基地,为高年级本科生提供了从本科时期到研究生阶段的良好过渡实验实践平台,提高了微电子专业毕业生的创新意识和实验实践能力,为微电子学科建设与发展打下了良好的基础。

关键词 微电子; 二维半导体; 实验实践教学; 学科建设

DOI 10.12252/j.issn.2096-627X.2021.12.2017

微电子技术是20世纪随着大规模半导体集成电路(IC)的发展而出现的新兴学科,涵盖了从材料制备、器件物理、集成工艺、测试封装、系统设计等多方面的工业技术,而其中广泛涉及的半导体材料,在集成电路(IC)、通信网络、光伏能源、城市照明、消费电子等领域有着广泛应用。进入21世纪,在人工智能、物联网技术快速发展下,芯片计算能力与低能耗要求不断提高,硅基场效应晶体管(FETs)的沟道不断缩小,摩尔定律随晶体管尺寸(5nm)接近物理极限而开始出现停滞,传统半导体材料面临着材料与工艺的诸多限制,新型半导体材料与器件急需发展。而二维材料^[1],包括半金属性的石墨烯(graphene),半导体性的过渡金属硫属化合物(TMDCs),以及绝缘六方氮化硼(h-BN)等以其原子级厚度的天然特性与众多新颖物理属性,目前已经成为学术界与工业界共同关注的焦点,并已进入我国“十四五”发展规划之中。因此,二维半导体将是人类“后摩尔定律”时代半导体工业领域新的突破口^[2]。

基于上述新型二维半导体,微电子科学与工程专业根据《江南大学关于修订2020级本科人才培养方案的指导意见》中提出的“创新人才培养模式,提高人才培养质量,打造具有自身特色的一流本科教育和一流人才培养体系,实现内涵式发展”的教学要求,在充分调研国内外微电子产业,特别是新型二维半导体发展的基础上,通过开展新型二维半导体的实验实践教学,充分培养了本专业高年级本科生理论联系实际的能力,在凸显协同实践的同时,突出创新创造。具体地,微电子专业为深化理实一体的实践教学,使得本专业的教学实践内容更加符合科研与企业的需求,从而设置了以

下三个面向高年级本科学生的实验实践教学目标:

教学目标1: 设计与优化基于新型二维半导体材料与器件实验实践教学的培养方案,有步骤地、系统地、全面地提高学生地实践创新能力,使得教学、科研、生产实践三者相结合。

教学目标2: 建立与实施基于新型二维半导体材料与器件的实验实践教学平台,并形成有效的管理体系,该综合性教学平台计划分为:二维半导体材料研发实验基地(创新性为主导);光刻技术与器件研制实践基地(创新性为主导);综合性器件测试应用基地(创业性为主导)。

教学目标3: 建立健全培养方案与教学平台的评估与审核体系,形成有效的反馈机制,进而完善培养方案,提升教学平台水平。实现全面地评价和提升学生的实践能力和科学素养。

一、实验实践教学实施方案

实践教学的主要内容与方案设计如图1所示,主要内容包括:培养方案,教学平台,评估审核三个方面,具体方案设计如下:

(1) 面向高年级微电子专业本科生,根据《江南大学关于修订2020级本科人才培养方案的指导意见》中的具体要求,结合实际教学资源情况,建设主流、典型工艺技术的二维半导体工艺实验实践线路,并开展理论联系实践的实验教学^[3]。微电子专业在对国内外相关专业中涉及到“新型二维层状半导体材料与器件”的教学体系、教学策略、培养方式等进行了系统研究,并跟踪国内外最新发展与技术动态,结合地方企业与科研院所的需求,制定了相关的实验实践教学培养方案,该培养方案不同于传统单一课程的培养方案,在内容涵盖面上,形式多样化上,体现出创新创业的内涵,特别是针对大四年级的所开展的“校内卓工计划”,毕业设计环节,以及大四本科学学生与一年级研究生之间,在文献调研,仪器操作,数据分析等方面的无缝衔接环节,设计并形成了相关的实验教学培养方案,并基于这一培养方案,在高年级本科生中全面开展实施,并及时形成反馈回路,对培养方案,进行一年一度的优化与修订。

(2) 工欲善其事必先利其器,实验实践教学关键内容在于:面向高年级微电子专业本科生,建立起基于新型二维层状半导体材料与器件的实验实践教学平台。微电子专业通过



图1 实验实践教学的主要内容与方案设计

密切关注“新型二维层状半导体材料与器件”的发展，科学地建立起在包括以下三大创新创业基地的实验实践教学平台：

1. 二维半导体材料研发实验基地，该基地以PECVD等离子体增强化学气相沉积系统，二维材料平面喷墨打印系统等为基础，在高年级微电子专业本科生在完成学习《固体与半导体物理》，《半导体器件物理》等基础课程之后，理论联系实际，在导师与研究生的指导下，独立完成二维半导体材料的研制，例如石墨烯的化学气相沉积制备流程，并为后续基地的实践环节打下了基础。

2. 光刻技术与器件研制实践基地，该基地以无掩膜光刻系统，ALD原子层沉积系统，热蒸发系统为基础，让高年级微电子专业本科生在掌握光刻原理的基础上，熟悉旋涂、曝光、显影等关键性光刻流程，并独立完成基于二维半导体材料的光刻工艺制备金属电极的完整过程，为与信息产业相关企业的实习，研究生研究环节等锻炼实践能力。

3. 综合性器件测试应用基地，该基地以真空变温探针台，AFM原子力显微镜，SEM扫描电子显微镜等前沿技术表征手段为基础，使得高年级微电子专业本科生亲身体验并了解二维半导体材料与器件的测试流程，掌握半导体材料界面介观与微观测试等技术手段，熟悉半导体集成电路模块的测试与应用，培养学生独立研究与思考能力，主动探讨前沿领域的发展，并努力实现二维半导体器件的应用。

目前，微电子专业已经完成了多批开放进入该平台的高年级微电子专业本科生的基础培训，包括实验室安全教育与设备仪器的使用，并形成了相关的管理手册与规范条例，并计划进一步吸收优秀本科生参与其中，切实把实验实践教学落到实处。

(3) 培养方案与教学平台的综合评估与审核：针对培养方案，在院系层面，请相关领域专家进行评估与指导，并及时完成修正与优化；在同行层面，邀请兄弟院校的教授学者，进行实地交流与研讨，并及时修改与修正；此外，针对参与本项目的高年级本科生，采用调研问卷等形式，及时进行反馈与改进。特别地，本项目将针对教学平台中三大基地，制定相关的《仪器设备指导与参考手册》，以供高年级学生学习与掌握，并建立起各个基地相关的《管理手册与规范条例》，《实验室安全守则》等，对学生实验实践的操作环境，实验室安全，实验流程等方面，进行严格的管理与评估。

二、实验实践教学综合指标

人才培养的过程，既要遵循脚踏实地、实事求是，又要有一定的前瞻性，注重国际化人才的培养。根据江南大学微电子科学与工程专业的培养方案，制定基于新型二维半导体材料与器件实验实践教学综合目标如下：

教学指标1：加强德育建设，提升学生的综合素养。了解目前行业发展，特别是二维半导体领域的最新技术动态，紧跟时代潮流。在实验过程中，推动基础理论知识与实践相结合，培养学生学习过程中的主管能动性，优化知识结构，建立起全面完备的知识体系。

教学指标2：着力提高学生的学习能力、实践能力以及创

新能力，掌握二维半导体的材料性质，测试原理和表征方法等基础技能，了解二维半导体材料研发的物理原理和制备过程，加强学生对于仪器安全使用的认识，培养出满足行业需求的微电子技术人才。

教学指标3：在教师示范的基础上，学生通过细节观察、模仿操作，能够独立完成若干基于前沿二维半导体的实训项目，培养学生的工程实践能力^[4]，同时提升学生的自主创新能力，做到实践与创新相结合。

在二维半导体实验实践的教学中，本专业注重培养学生独立思考、团队配合以及操作和矫正仪器设备的能力；鼓励学生在实验过程中提出新的想法，在具备一定的可行性的基础上，导师和研究生会辅佐学生进行探索和实践；同时，基于学生之间在实验实践能力方面存在个体差异，安排不同的实验项目^[5]。在教学过程中，加强传播手段与交流渠道，积极与学生沟通，听取学生的反馈意见，增强学生对本专业的归属感，并不断对教学方法和教学策略进行改进，将培养方案与教学平台的修正和改进措施具体落实到教师和学生。通过三大实验基地的建设，系统优化了半导体实验实训体系，让学生可以充分感受到行业内的最新发展动态和技术手段。培养学生发现问题的发现问题，分析问题，解决问题的能力。在最终考核方面，因为实验实践课的特殊性，最终成绩将由学生独立进行的课程设计的完成度以及专业知识的完备度决定。可以在导师以及研究生提供一定的理论以及实践指导的前提下，独立完成新型二维半导体器件的制备与测试。以学生为本，注重其个性能力发展，实现“知行统一”的教学目标。

结论

微电子科学与工程专业根据《江南大学关于修订2020级本科人才培养方案的指导意见》，将传统微电子技术的实验实践类教学与前沿二维半导体材料相结合，在形成科学有效的实验实践教学方案的前提下，建立起了二维半导体研发实验基地、光刻技术与器件研制实践基地，以及综合性器件测试应用基地等三大创新创业基地，并积极开展了该实验实践教学方案的综合评估与反馈优化，进而极大地培养了高年级本科生从先进半导体制备、物性表征到器件测试的综合实践能力和创新意识，为微电子科学与工程专业的毕业生走向今后的科研和工作岗位奠定了良好的基础。

参考文献

- [1]王欣然，周鹏. 新型二维材料与器件应用专题简介[J]. 中国科学(信息科学)，2019(12)：1660-1661.
- [2]李建军，王姝娅，张国俊. 微电子教学实验室建设的探索与实践[J]. 实验技术与管理，2015(06)：239-242.
- [3]管图华，黄媛媛. 微电子技术实训平台建设与实践探索[J]. 实验室研究与探索，2014(9)：240-243.
- [4]王春兰，宋立勋，翟学军. 半导体材料实验课程教学的实训体系重构[J]. 实验室研究与探索，2020(02)：239-242.

基金项目：江南大学2021年本科教育教学改革研究项目(编号：JG2121815)；江苏省高等教育教改研究重点课题(编号：2021JSJG092)。