

应用型本科半导体物理课程教学改革探索

孙树祥, 王改青, 梅红樱

黄淮学院, 河南 驻马店

收稿日期: 2022年2月25日; 录用日期: 2022年3月23日; 发布日期: 2022年3月30日

摘要

为了使学生更好地掌握半导体物理的基本内容, 针对半导体物理教学中的问题, 结合我校实际情况, 本文分别对教学内容、教学方法、实验教学和考核方式四方面进行教学改革探究。以提升了学生学习的兴趣并培养学生工程实践能力。

关键词

半导体物理, 教学改革, 工程实践

Exploration on Teaching Reform of Applied Undergraduate Semiconductor Physics Course

Shuxiang Sun, Gaiqing Wang, Hongying Mei

Huanghuai University, Zhumadian Henan

Received: Feb. 25th, 2022; accepted: Mar. 23rd, 2022; published: Mar. 30th, 2022

Abstract

In order to make students to better grasp the basic content of semiconductor physics, aiming at the problems in the teaching of semiconductor physics, combined with the actual situation of our school, this paper carried out teaching reform in four aspects of teaching content, teaching method, experimental teaching and examination mode. Enhance students' interest in learning and cultivate students' engineering practice ability.

Keywords

Semiconductor Physics, Teaching Reform, Engineering Practice

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

半导体物理与器件作为电子科学与技术专业的一门专业必修课，其内容主要包含了半导体物理和半导体器件两大部分的内容。此课程的学习将使学生掌握能带理论、流子输运、PN结、金半异质结和场效应晶体管等理论和器件知识[1]，为接下来的集成电路设计等相关课程奠定基础。然而，半导体器件物理与器件课程涉及能带、载流子输运等微观抽象知识点、晦涩难懂[2]。此外，涉及众多上下游知识，如半导体器件加工、集成电路设计、集成电路测试等，各知识点相辅相成、密不可分，学生知识碎片化，很难形成系统的知识框架。加之传统的半导体物理和半导体器件课程主要以教师讲授的方式为主，相关的理论公式直接以板书的方式进行推导，缺乏直观的认识[3]，因此导致学生很难深刻地理解其背后的相关物理机制变化。

目前，对半导体物理教学改革进行了广泛的研究。如通过选取合适教材使学生能够更好地掌握知识点[4]，但是教学内容未能根据半导体技术发展而及时更新。通过采用混合式教学提升教学质量。然而，只有通过与学生充分的沟通后，才能选取合适的教学方法，使学生能够深刻理解知识点背后的机理，将内容更好地应用到实际工程中。通过优化实验项目，提高学生的实验兴趣[5]。对于半导体器件制备来说，流片的工艺复杂耗时长，所需的设备价格昂贵，实验条件要求苛刻，并且制备过程中还会涉及到腐蚀性溶液[6]。设备需要专门的专业人员维护，这将极大地增加实验设备运行和维护的费用。大部分普通高校难以支持学生进行实际的流片以帮助了解半导体器件的制备工艺的具体过程。因此，大部分高校半导体物理实验教学都是基于现有条件进行优化组合，但不能解决学生对实际半导体器件制造过程的理解。

为了有效促进电子科学技术专业教学质量和学生综合素质的全面提升，实现高水平、高素质集成电路的应用型人才培养目标。本文从教学内容、教学方法、实验教学和考核方式四方面对半导体物理教学进行了相关探索。

2. 半导体物理教学存在的问题

2.1. 半导体物理教学内容存在的问题

随着半导体制备新技术的不断出现，如电子束光刻和分子束外延，器件的结构、机理和性能也发生了相应的改变。传统的半导体物理与器件的教学内容已经不能满足企业需求的专业型半导体人才。传统的半导体物理与器件课程教学内容主要体现为：物理概念比较多，知识点多，且内容抽象，学生不容易理解[7]；并且教师授课内容较为陈旧，在讲授时重点放在了重基础的理论 and 基本器件结构的讲解，如PN结、MOS结构等，然而新的器件结构不断出现，现有内容不能很好的匹配企业的需求。另外，课程涉及的公式推导较多，在理论部分将涉及到薛定谔波动方程的应用、平衡载流子浓度、漂移和扩散方程等[8]。在半导体器件部分同样涉及到大量的公式推导，如MOSFET的直流特性和交流特性。对于这些内容依靠单纯的教师课堂讲解可能很难使学生对内容和公式有深刻的理解。

2.2. 半导体物理教学方法存在的问题

传统的教学手段主要以板书和 PPT 多媒体教学为主。对于应用型本科高校课时少(我校该课程只有 32 学时), 对于公式推导、器件机理等方面很难花大量的时间去详细讲授, 因此在板书和 PPT 教学中学生会更关注结果, 而忽视过程, 导致学生不能很好与实践应用相衔接, 影响教学效果[9]。

地方型应用型本科高校资金有限实验设备少且使用时间长, 实验项目更新缓慢。由于学生较多基本上是几个人作为一组进行试验, 使有些学生处于浑水摸鱼的状态[5]。此外, 实验设备采用模块化, 学生只是按照实验报告进行相应的插线连接, 对内部结构了解较少, 缺乏创新性。

2.3. 半导体物理考核方式存在的问题

目前的考核方式主要以平时成绩 + 期末考试成绩为主, 考核评价方式单一[10]。在平时成绩的考核中, 课堂点名的成绩几乎占了整个成绩的大部分, 而忽略了其他的平时成绩。对于期末试题来说, 因对每年试题的重复率有要求, 所以期末试题只包含了一部分学习内容, 并不能很好的体现每个学生对该课程的真正掌握程度。

3. 改革措施

针对上述实际教学中存在的问题, 结合我校电子科学技术与专业的实践教学实践, 分别从理论教学、教学方法、实验教学和考核方式四方面进行教学改革探究。

3.1. 教学内容的改革

我校定位为应用型本科院校, 培养目标更加注重实践内容的教学, 理论教学的学时较少, 此外, 与该课程相关的前期课程, 如量子力学、固体物理等课程也没有开设, 这进一步增加了教学的难度。在经过认真调研和专家建议, 我校电子科学技术与专业选用的教材为赵毅强等翻译的《半导体物理与器件》第四版。该教材的教学的内容包含三部分内容: 半导体材料基础、半导体器件基础和专用半导体器件。将量子力学、固体量子理论、半导体材料物理和半导体器件综合在一起, 很好补充了相关前置课程的内容, 如量子力学、固体物理等, 对学生学习后续内容至关重要。

在选定教材的基础上, 根据教学大纲和学生特点, 对教学内容进行相应的优化。首先对教材的三部分建立一个的整体知识框架, 并对知识点进行梳理。半导体材料基础和半导体器件基础是该课程的主体部分, 因此教学的重点主要放在这两部分。在教师备课时先将知识点进行梳理, 然后确定课程的主线, 将相关讲解内容围绕这条主线展开。在讲解过程中加强概念和模型与图像相结合的方式, 使学生能够深刻的理解概念和模型的意义。其次, 加强重要公式的推导, 对于重要公式尽可能逐步精细的推导, 能够使学生理解公式到底怎么获得的, 同时在推导增加了学生参与的积极性, 再次, 做好新旧知识的衔接, 与此同时引入新科技前沿内容的讲解。做好新旧知识的衔接, 有利于学生对整个知识体系的理解, 能够在旧知识的基础上递进式增加对新知识的理解。引入新科技前沿内容的讲解, 扩充了教学内容的丰富度, 也能够增加学生的学习热情, 并开阔了学生的知识视野。

以半导体材料基础部分为例。半导体材料基础部分主要为后续学习的基础知识储备, 涉及很多的物理概念及相应的公式推导。在此部分教学中分别以能带理论和载流子输运两个知识点为中心, 将其他知识点串联起来教学。教学从晶体的基本知识开始, 如晶格、能级和载流子, 然后对能带理论相关的知识进行讲解, 同时推导出状态密度函数, 并扩展到半导体, 从而得到导带和价带中的量子状态密度分布函数和费米能级相关知识。以此为基础, 进一步讲解半导体中的载流子并推导出其浓度公式及对掺杂对载流子的影响进行分析。此外, 专门开设关于半导体材料新进展的专题课程, 提升学生对科技前沿的认识。

3.2. 教学方法的改革

随着科技的进步,教学方法呈现出多样性,同时学生对新的教学模式更为感兴趣,因此基于传统教师讲授,学生接收的教学方法不在适用。此外,学生的基础不同,每一个学生教师讲授内容的理解也不同,因此要对教学方法进行相应的改变。在教学实践过程中将传统板书教学、现代多媒体技术、线上线下混合教学及能力拓展教学将结合,以学生为主题的方式展开。例如载流子输运方程中包含了大量的公式推导并且相关公式还有其背后的物理意义,因此,在课堂教学中采用板书和 PPT 相结合的方式,一方面,板书推导能够加强学生从本质上更深入的理解其物理意义,使其能够将其运用到相关问题的解答上;另一方面,PPT 中的动画或者图片等形象的理解载流子在半导体材料中的输运过程。此外,在线下课堂教学完成之后,在线上布置与讲解内容相关问题,让学生自行查找文献进行相关能力的拓展。例如,以基本 MOSFET 的 I-V 特性推导为基础,提出能否推导出半导体材料中的缺陷对器件特性的影响,拓展了学生自行进行相关研究的能力,同时也增加了学生对所学知识的应用起到进一步加深作用。此外,每个研究题目以小组的形式进行研究过程和结果的汇报,提升个人能力的同时提升团队协作能力。这种教学方式以课堂-线上-应用的方式,旨在培育学生将所学知识应用到解决实际问题的能力,使其具有工程意识。

3.3. 实验教学的改革

实验教学是对所学内容的检验,具有及其重要的地位。根据我校实际情况和实验设备情况,将原来把所有实验都设置为必做实验改为必做实验、仿真实验和探究性实验三类。必做实验的主要目的是使学生熟悉并掌握基本的半导体测试设备和测试方法,并能够测试相关参数。为了使能够理解并掌握半导体工艺及相关参数,设置了仿真实验。依托半导体器件的仿真平台,能够复现整个半导体器件的制备过程和后续的测试过程,为学生在实际的工程实践中提供指导。探究性实验为选修性质,主要目的是为了能力较高的学生设置,并且实验的性质偏向科研性质,以提高科学研究的能力。

3.4. 考核方式的改革

针对原有以考试为主的考核方式,在教学实践中增加了实践能力和科研小论文的内容。实践能力的考核以小组的形式进行,在考核对实践项目的过程中提高了学生的动手能力同时也提升了团队协作能力,使其更好的符合应用性人才的培养目标。科研小论文核能够使使学生将所学知识与前沿内容相结合,既培养了科研思维,也能提高学生的写作功底,是一种必要的科研训练。

3.5. 持续改进

通过两学期的教学实践,学生对半导体物理知识的理解程度大大加深,但是由于课程内容由老师选定,导致少数同学依然不能很好的理解。因此,在接下来的教学内容选定将在对学生调研的基础上进行持续更新。通过对实验教学的改革,学生增加了实验的兴趣,实验的完成度更高,同时基于探究性实验,19 级四名同学发表 SCI 期刊一篇,同时还获得“挑战杯”课外科技作品省奖。但是由于探究性实验难度较大,选作学生过少。接下来将进一步对探究性实验内容进行改进,争取更多的同学完成相关探究性实验,提高科研能力。

4. 结语

通过教学内容、教学方法、实验教学和考核方式四方面的改革探索,保证了相关教学内容的完整性,并提升了学生对重要理论和结论的掌握程度。以课堂-线上-应用的教学方式培育学生将所学知识应用

到实际问题中的能力,提升其工程实践意识。将实验教学分为必做实验、仿真实验和探究性实验三类,以提升学生的实验实兴趣和科学研究能力。通过实践能力和科研小论文的考核内容,提高了学生的动手能力和研究能力,使其更好地符合应用性人才。这些措施的实施,提升了学生学习的兴趣和动手能力并培养了学生工程实践能力。但是,实践过程中也存在一些问题,接下来将根据具体情况,进一步对教学内容和实验教学进行改进。

基金项目

中国博士后科学基金项目(2021M700685);河南省高等学校重点科研项目(22A510016);河南省科技攻关项目(222102310286);河南省智慧照明重点实验开放基金项目。

参考文献

- [1] 钟英辉,弓巧侠,李梦珂,马刘红,段智勇.浅谈“半导体器件物理”教学改革[J].电气电子教学学报,2021,43(2):27-29.
- [2] 闫丽娟,陈春雷.“半导体物理与器件”课程教学改革与探索[J].教育现代化,2019,6(31):80-81.
- [3] 叶小娟.微电子科学与工程专业“半导体物理”课程教学的改革与探索[J].无线互联网科技,2020,17(20):140-142.
- [4] 程立文.“中美贸易摩擦”背景下微电子专业“半导体物理学”的教学改革初探[J].物理通报,2021(10):26-29.
- [5] 张超,封先锋,李世光,臧源,马丽.地方院校“半导体物理实验”教学的改革实践[J].电气电子教学学报,2021,43(3):158-161.
- [6] 钟英辉,杨洁,马刘红,李梦珂,段智勇.浅谈集成电路人才培养模式改革[J].电气电子教学学报,2021,43(2):1-3.
- [7] 邹利兰,林聪.半导体物理与器件课程教学改革与实践[J].科技资讯,2021,19(22):106-108.
- [8] 郑雁公,简家文.半导体物理与器件课程的课堂教学模式改革探索[J].高教学刊,2021,7(22):103-108.
- [9] 吕淑媛,刘崇琪,李晓莉,朱海燕,罗文峰,梁猛.以学生为中心,提升课程质量的教学改革初探——以《半导体物理与器件》课程为例[J].高教学刊,2020,6(21):143-146.
- [10] 陈显平,陶璐琪.“半导体物理与器件”教学改革探索[J].教育教学论坛,2021(8):47-50.