

## 数字系统设计在半导体物理课程中的应用

李慧婷<sup>1</sup> 吴俞憬<sup>2</sup>

1 延边大学理学院, 吉林 延吉 133002

2 延边大学工学院, 吉林 延吉 133002

**[摘要]** 半导体物理是涵盖半导体材料的微电子学和固体物理知识的专业基础课程。文章根据半导体物理课程的特点, 通过把数字系统设计相关的系统级芯片设计实验引入到课堂教学, 把传统的教学内容和数字系统设计技术进行有机融合, 加强了理论教学和创新实验的结合, 进一步优化了教学内容, 丰富了教学形式和方法。为培养具有坚实的理论基础和实践能力的半导体人才提供一种新的思路。

**[关键词]** 半导体物理; 数字系统设计; 半导体器件; 组合逻辑电路; 选择器; 计算时间; 延迟时间

DOI: 10.33142/fme.v5i1.12230

中图分类号: G451.2

文献标识码: A

## Application of Digital System Design in Semiconductor Physics Courses

LI Huiting<sup>1</sup>, WU Yujing<sup>2</sup>

1 College of Science, Yanbian University, Yanji, Jilin, 133002, China

2 College of Engineering, Yanbian University, Yanji, Jilin, 133002, China

**Abstract:** Semiconductor physics is a professional foundational course that covers microelectronics and solid state physics knowledge of semiconductor materials. Based on the characteristics of semiconductor physics courses, this article introduces system level chip design experiments related to digital system design into classroom teaching, organically integrating traditional teaching content with digital system design technology, strengthening the combination of theoretical teaching and innovative experiments, further optimizing teaching content, enriching teaching forms and methods, so as to provide a new idea for cultivating semiconductor talents with solid theoretical foundations and practical abilities.

**Keywords:** semiconductor physics; digital system design; semiconductor devices; combination logic circuit; selector; calculate time; delay time

### 引言

半导体物理课程是在量子力学、统计物理、固体物理等物理知识的基础上, 进一步研究半导体材料的原子状态和电子状态、半导体器件的作用机理和制造工艺等内容<sup>[1-2]</sup>。由于该课程内容涵盖了从基础理论知识到测试、设计与应用等领域的众多内容, 导致教学知识点多且抽象、公式推导内容多、缺乏理论与实验的结合等问题。从而产生学生的学习积极性不高, 学生对问题分析和解决问题能力欠缺等现象<sup>[3-5]</sup>。

随着半导体核心技术全面普及应用在智能汽车、5G通信、机器人等领域, 理工类学生对半导体相关课程的关注度比较高。在理论内容方面, 由于半导体物理课程的教材更新比较慢, 教学内容未能跟随半导体核心技术发展而及时更新。在实验方面, 半导体材料相关的实验环境要求比较高, 实验操作流程比较复杂耗时, 实验设备比较昂贵, 所以在课堂内难以组织开展验证性和设计性实验。目前, 国内外大部分高校难以满足给学生提供了解和掌握半导体器件的制作过程, 从而采用在课堂内以教师讲授的方法抽象性地说明实验和制作流程, 导致学生难以深刻理解理论结合实际物理机制变化流程<sup>[6-8]</sup>。本文针对半导体

物理教学中存在的传统问题, 通过数字系统设计技术的理论教学内容和实验教学内容融合应用在半导体物理课程中。从而改善了半导体物理课程的理论和实验教学内容和方法, 有效促进了物理学专业的教学质量和学生的综合素质。

### 1 半导体物理课程的教学现状分析

#### 1.1 教学内容零散, 知识点多

半导体物理课程内容可以分为半导体基础理论部分和半导体器件原理等两个部分。半导体基础理论部分可以分为半导体的原子状态和电子状态研究内容<sup>[9-10]</sup>。半导体的原子状态是基于晶体结构和点阵动力学知识, 进一步研究半导体的晶体结构、晶体生长、晶体中的杂质和不同类型的缺陷等内容。半导体的电子状态是基于固体电子学和能带理论知识, 进一步研究半导体的电子状态、光电效应、热电效应、半导体表面性质、半导体与金属界面性质等内容。半导体器件原理部分包括各种半导体器件的作用机理和制作工艺等内容。因此, 半导体物理课程是涵盖了量子力学、固体物理、电子科学、数字电子技术等内容的重要的专业课程。由于教学内容比较零散、知识点复杂、理论公式推导多、原理和应用比较抽象, 导致教学方式比较枯燥, 学生的主动学习积极性不高。

## 1.2 缺少实验与实践教学

半导体物理是一个理论与实验相结合的学科,但目前教学中往往偏重于理论知识的传授,而缺乏对实验操作和实际应用的深入探讨。这导致学生难以将理论知识与实际情况相结合,理解半导体器件的工作原理和制作过程。同时半导体物理课程的实验内容涉及到高精度的实验操作和昂贵的实验设备,但是大部分学校在实验条件上存在一定的限制。实验设备昂贵且易损坏,实验环境要求高,导致学校很难提供足够的实验资源和条件,这限制了学生对实验操作的深入学习。

另外,传统的教材无法及时反映最新的半导体物理研究进展和技术应用,导致学生无法获取到最新的知识和实践经验是现阶段教学过程中主要存在的问题。教材的难度可能过高或过低,无法满足学生的学习需求。对于本科生来考虑,过于深奥的教材可能会使他们望而却步,而对于有一定基础的研究生来考虑,过于融通的教材却不能满足他们的学习需求。在考核与评价方面,目前考核半导体物理课程时主要采用笔试的方式,这使得考核方式过于单一,往往只能反映学生在理论知识上的掌握情况,而不能全面评价学生的学习效果和水平。缺乏综合评价会导致学生对课程内容的深入理解和应用能力的不足。

## 2 教学改革与实践探索

### 2.1 优化整合知识结构,更新教学理念

在半导体物理课程中,通过引入数字系统设计内容,把传统的半导体理论知识与半导体芯片设计应用知识相结合,提高学生的学习热情。教师将数字系统设计与半导体物理理论知识相融合,设计出结构合理的教学内容。如,通过讲授数字系统设计的基本原理和方法,引入半导体器件的工作原理,让学生了解数字系统如何基于半导体材料实现功能。因此学生可以在学习数字系统设计的同时,深入了解半导体物理的基本概念和原理。

在教学内容方面,争取避开只讲授基于纯理论的知识的公式推导与问题分析等内容,可以有效结合基于数字系统设计相关的演示性、验证性实验案例来拓展讲授。例如,数字组合逻辑电路的设计与优化、CMOS 门电路设计等,通过以上案例展示半导体物理理论知识在实际中的应用<sup>[11-13]</sup>。学生通过对实际案例的分析和讨论,更直观地理解半导体物理理论知识的实际应用价值,从而提高学习兴趣和积极性。另外,可以采用项目式学习的方式,让学生参与到数字系统设计项目中。并通过小组合作与讨论等方式共同设计和实现数字系统,涉及到半导体器件的选型、组合逻辑电路设计、时序仿真与验证等环节。以上实践性学习可以帮助学生将理论知识与实际操作相结合,提高学生的动手能力和问题解决能力。

### 2.2 开展设计性实验教学,培养实践能力和创新精神

在传统的半导体物理课程中,由于实验条件的限制和知识体系的抽象性,往往难以开设设计性实验,导致学生

的实践能力和创新精神得不到有效培养。为了解决这一问题,可以将数字系统设计实验引入到半导体物理课程中,通过开展设计性实验教学,培养学生的实践能力和创新精神。

通过半导体物理的基本理论知识和数字系统设计的设计性实验相结合,确定系统级系统设计的设计性实验内容。如,利用两个四选一选择器和一个二选一选择器来设计一个八选一选择器。图1是八选一选择器的顶层模块图。该八选一选择器是由两个四选一选择器(mux4to1:mux1和mux4to1:mux2)并联排列,并串联一个二选一选择器的结构来组成。其中,四位数的输入信号w[7:0]中选取低四位数的w[3:0]输入到第一个四选一选择器(mux4to1:mux1)的信号输入端,高四位数的w[7:4]输入到第二个四选一选择器(mux4to1:mux2)的信号输入端,在三位数的选择信号s[2:0]中选取低2位数的s[1:0]信号同时输入到两个四选一选择器的选择信号端。从四选一选择器的输出端信号(f)同时输入到二选一选择器的输入信号端,最高位数的一位数的选择信号s[2]输入到二选一选择器的选择信号端。

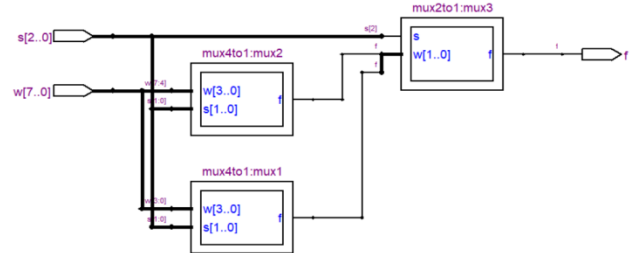


图1 八选一选择器的模块图

图2是四选一选择器的模块图。该四选一选择器是由三个二选一选择器(mux2to1:mux1, mux2to1:mux2和mux2to1:mux3)来组成。其中,两个二选一选择器(mux2to1:mux1, mux2to1:mux2)是并联组成,另一个二选一选择器(mux2to1:mux3)是串联组成。其中,四位数的输入信号w[3:0]中选取低2位数的w[1:0]输入到第一个二选一选择器(mux2to1:mux1)的信号输入端,高2位数的输入信号w[3:2]输入到第二个二选一选择器(mux2to1:mux2)的信号输入端,在2位数的选择信号s[1:0]中选取低位数的s[0]信号同时输入到两个二选一选择器的选择信号端。从二选一选择器的输出端信号(f)同时输入到二选一选择器的输入信号端,最高位数的一位数的选择信号s[1]输入到二选一选择器的选择信号端。

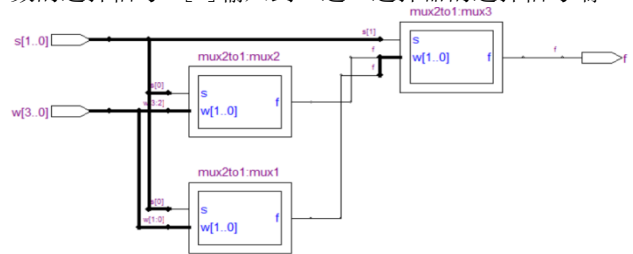


图2 四选一选择器的模块图

图3是二选一选择器的模块图。其中,输入信号 $w[1:0]$ 输入到二选一选择器的输入端,一位数的选择信号 $s$ 输入到二选一选择器的选择信号端。

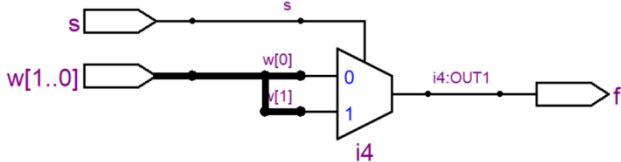


图3 二选一选择器的模块图

图4是二选一选择器的模块图。该二选一选择器是由一个非门、两个与门和一个或门来组成。

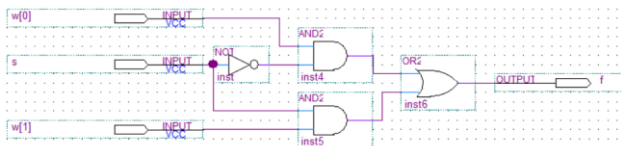


图4 二选一选择器的组合逻辑电路图

在数字系统设计过程中,通常采用自顶向下或自底向上等方式来开发系统。学生通过掌握利用子模块来组合设计成顶层模块的系统级芯片设计方法与技巧,使学生通过实际操作来理解数字系统设计的基本原理和方法<sup>[14-15]</sup>。从微电子领域上考虑,与门、或门、非门等逻辑电路是在硅晶体表面上由NMOS和PMOS等CMOS门电路来组合。因此,不同的数字系统设计方法能直接影响半导体器件的使用数量、耗电量、运算时间和延迟时间等。

在组织开展实验过程中,强调学生关注数字系统的运算时间和延迟时间的变化,通过比较分析理论计算结果和时序仿真结果,培养学生的思考能力和动手实践能力。实验结束后,通过实验小组内分享实验结果,讨论实验过程中遇到的问题和解决方法,总结实验经验,从而帮助学生进一步深入理解实验原理和知识点。

教学考核与评价方式方面,除了传统的笔试形式,还可以采用实验操作、实验报告、项目成果展示、小组讨论等方式进行综合性评价,从而全面考察学生的理论掌握程度、实践能力和团队合作能力。通过以上理论和实验结合的教学方法,进一步优化半导体物理课程的知识结构,更新半导体物理课程的教学理念。从而通过引入数字系统设计内容,将传统的半导体理论知识与半导体芯片设计应用知识相结合,从而提高学生的学习热情,培养其综合应用能力。

通过引入演示性、验证性、设计性实验方式开展设计性实验教学,不仅培养学生的实践能力和创新精神,还可以提高综合应用能力和问题解决能力。

### 3 结语

本文重点关注半导体物理课程中所存在的基础理论知识脱离实践教学的关键核心问题,采用理论知识结合于仿真实验的思想,提出了数字系统设计内容引入到半导体

物理课程的教学方法,从而进一步丰富了半导体物理课程的教学内容和教学方法,进一步提高了学生对半导体器件工程应用的理解能力,激发了学生的学习兴趣 and 创新能力。

基金项目: 延边大学 2024 年度教育教学改革研究课题,以数字化改革提高专业课程的质量以及资源共享的研究(延大教发(2023)53号)。

### [参考文献]

- [1]杨尊先,王嘉祥,郭太良,等.基于理论和实践教学协同效应的半导体物理教学研究[J].大学教育,2022(7):121-123.
- [2]王玫,周晓斌.半导体物理课程教学改革探讨[J].发明与创新,2021(6):66-67.
- [3]张梅玲,李晓晓,任国栋,等.教学与科研融合的半导体物理教学改革与探究[J].教育现代化,2021(57):81-84.
- [4]连晓娟.半导体物理教学改革与实践初探[J].教育现代化,2019(18):49-50.
- [5]刘瑶,陆翔.半导体物理与器件的实验教学分析[J].集成电路应用,2023,40(7):420-421.
- [6]王亮,张师平,王天放,等.半导体物理实验课程的调研与分析[J].物理与工程,2019,29(1):26-29.
- [7]姜璐璐,李颖,李航辉,等.高科技时代背景下的课堂教学改革研究—以“半导体物理与器件”课程为例[J].中国科技期刊数据库,2023(2):130-133.
- [8]赵读亮,王燕飞,余龙宝.应用本科“半导体物理与器件”教学模式探索[J].新教育时代电子杂志(教师版),2021(5):158-159.
- [9]陈显平,陶璐琪.产学研结合背景下的“半导体物理”教学改革[J].教育教学论坛,2021(21):61-64.
- [10]盛英卓,兰伟,张振兴,等.基于创新型人才培养的半导体物理实验教学改革[J].实验室科学,2020,23(2):111-114.
- [11]屈民军,唐奕.“数字系统设计实验”的改革与实践研究[J].工业和信息化教育,2023(7):83-87.
- [12]邓小莺,陈全威,郑能恒.“数字系统设计”教学改革探讨[J].电脑知识与技术,2022,18(21):130-131.
- [13]乔世坤,李明,董光辉.基于自主学习能力培养的数字系统设计实验考核改革[J].实验科学与技术,2022,20(5):123-127.
- [14]贾小涛,王雪岩,杨建磊.“数字系统设计”课程实践型教学设计与探索[J].工业和信息化教育,2021(12):82-85.
- [15]李宇波,叶德信,卓成,等.“数字系统设计”课程的实践教学初探[J].工业和信息化教育,2020(3):39-42.

作者简介:李慧婷(1980-),女,朝鲜族,吉林省和龙市人,理学博士,讲师,研究方向为自旋电子学。