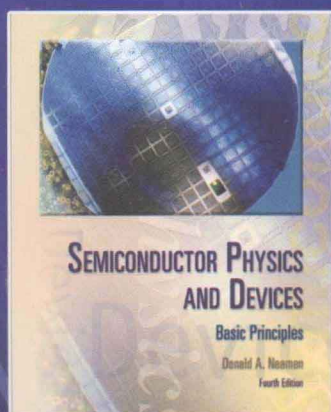


国外电子与通信教材系列

Mc
Graw
Hill
Education

半导体物理与器件 (第四版)

Semiconductor Physics and Devices
Basic Principles
Fourth Edition



[美] Donald A. Neamen 著
赵毅强 姚素英 史再峰 等译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

半导体物理与器件

(第四版)

Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles
Fourth Edition

[美] Donald A. Neamen 著

赵毅强 姚素英 史再峰 等译



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是微电子技术领域的基础教程。全书涵盖了量子力学、固体物理、半导体材料物理及半导体器件物理等内容,分成三部分,共15章。第一部分为半导体材料属性,主要讨论固体晶格结构、量子力学、固体量子理论、平衡半导体、输运现象、半导体中的非平衡过剩载流子;第二部分为半导体器件基础,主要讨论pn结、pn结二极管、金属半导体和半导体异质结、金属-氧化物-半导体场效应晶体管、双极晶体管、结型场效应晶体管;第三部分为专用半导体器件,主要介绍光器件、半导体微波器件和功率器件等。书中既讲述了半导体基础知识,也分析讨论了小尺寸器件物理问题,具有一定的深度和广度。另外,全书各章难点之后均列有例题、自测题,每章末尾均安排有复习要点、重要术语解释及知识点。全书各章末尾列有习题和参考文献,书后附有部分习题答案。

本书可作为高等院校微电子技术专业本科生及相关专业研究生的教材或参考书,也可作为相关领域工程技术人员参考资料。

Donald A. Neamen; Semiconductor Physics and Devices, Basic Principles, Fourth Edition.

ISBN: 0-07-352958-3

Copyright ©2012 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education(Asia) and Publishing House of Electronics Industry. This edition is authorized for sale in China Mainland.

Copyright ©2013 by McGraw-Hill Education(Singapore) PTE. LTD. and Publishing House of Electronics Industry.

版权所有。未经出版人事先书面许可,对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制传播,包括但不限于复印、录制、录音,或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳希尔(亚洲)教育出版公司和电子工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中国大陆销售。

版权©2013由麦格劳希尔(亚洲)教育出版公司与电子工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-3949

图书在版编目(CIP)数据

半导体物理与器件:第4版/(美)尼曼(Neamen,D.A.)著;赵毅强等译. —北京:电子工业出版社,2013.8

书名原文:Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles, Fourth Edition

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-21165-2

I. ①半… II. ①尼… ②赵… III. ①半导体物理-高等学校-教材 ②半导体器件-高等学校-教材

IV. ①O47 ②TN303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 178096 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:李秦华

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:35.25 字数:995 千字

印 次:2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价:79.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

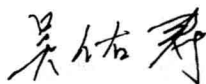
我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老教师和专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委 员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 清华大学深圳研究生院副院长
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘 彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

译 者 序

从1947年第一只晶体管的诞生,到1958年第一块集成电路的出现,微电子技术经过60多年的飞速发展,使得人类社会跨入信息时代,半导体集成电路正影响着我们生活的方方面面。作为信息产业基础的微电子技术的迅速成长,带动了一批产业的崛起与发展,微电子技术越来越受到世人的瞩目和重视。近十几年来,我国制定了发展集成电路产业的优惠与鼓励政策,世界半导体集成电路设计和制造中心正在向中国转移,我国也将逐渐由集成电路的消耗、制造大国,向集成电路的设计、制造强国发展。半导体物理和器件的相关知识是微电子技术的基础,掌握该知识对从事相关工作至关重要。基于此,我们在电子工业出版社的大力支持下,组织天津大学在微电子方向从事教学、科研的教师翻译本书,作为一本微电子入门书籍奉献给读者。本书既可作为高等院校微电子技术相关专业本科生及研究生的教材,也可作为从事相关领域工作的工程技术人员的参考资料。

本书作者有着多年丰富的教学和科研经验,该书为第四版,是在前三版作为教材使用多年的基础上,结合当今微电子器件发展而修订的。除保持原来综合性、基础性的特点外,第四版在章节安排上做了调整,将讲述场效应晶体管(MOSFET)的两章内容提前到双极晶体管(BJT)前面,充分体现了现代半导体集成电路中MOSFET的重要性。其次结合最新技术进展在第15章中增加了微波器件的内容。为了使读者更好学习,在每一章的开始,增加了本章内容的说明。书中主要内容包括量子力学基本知识、能带理论、半导体物理、半导体器件物理和特种半导体器件等,既有一定的广度,又有深入的分析。全书共15章,作者讲解深入浅出,理论分析透彻,重点突出,每一章都配有小结和知识点,并配以大量习题供读者选做。从第三版使用情况看,读者反映良好,对于拟学习半导体物理与器件的读者来说,是一种很好的选择。

第四版的翻译工作是在第三版的基础上补充完善的,参加本版翻译与校对工作的有赵毅强、姚素英、史再峰、盛大力、刘长龙、胡凯、夏璠、刘文娟、盛云、冯紫竹、孙晨、吕增晓、何家骥、岳森、戴鹏、庞瑞龙、刘沈丰、秦月晨、张赟、李雪民等。其中姚素英负责第1章至第3章,赵毅强负责第4章至第9章,史再峰负责第10章至第12章,浙江警察学院体育部的盛大力负责第13章至第15章。

鉴于译者水平有限,书中难免有不足和疏漏之处,敬请读者批评指正和谅解。

前 言

宗旨与目标

出版本书第四版的目的在于将有关半导体器件的特性、工作原理及其局限性的基础知识介绍给读者。要想更好地理解这些基础知识,就必须对半导体材料物理知识进行全面了解。本书有意将量子力学、固体量子理论、半导体材料物理和半导体器件物理综合在一起,因为所有这些理论对了解当今半导体器件的工作原理及其未来的发展是非常重要的。

在本书中所包含的物理知识远远超过了许多半导体器件入门书籍中所涵盖的内容。尽管本书覆盖面很广,但作者坚信:一旦透彻理解了这些入门知识和材料物理知识,那么对半导体器件物理的理解就会水到渠成,而且会理解得更快,学习效率更高。本书对基础物理知识的不惜篇幅,将有助于读者更好地理解甚至可能开发出新型的半导体器件。

既然本书的目的在于为读者奉献一部有关半导体器件理论的入门书籍,因此许多深奥的理论并未涉及,同时也未对半导体的制造工艺做仔细描述。虽然本书对诸如扩散和离子注入等制造工艺有所涉猎并进行了一般性讨论,但仅局限于那些对器件特性有直接影响的工艺和场合。

预备知识

由于本书针对的是电气工程领域大学三年制和四年制的学生,因此假设读者已经掌握了微分方程、大学物理和电磁学的基础知识。当然,了解现代物理知识更好,但这并不是必需的。预先修完电子线路基础课程对阅读本书会有帮助。

章节安排

本书分为三部分:第一部分介绍量子力学初步知识和半导体材料物理;第二部分介绍半导体器件物理的基本知识;第三部分介绍专用半导体器件,包括光器件、半导体微波器件和功率器件。

第一部分包括第1章至第6章。第1章先从固体晶格结构开始,然后过渡到理想单晶半导体材料。第2章和第3章介绍量子力学和固体量子理论,这些都是必须掌握的基础物理知识。第4章到第6章覆盖了半导体材料物理知识。其中,第4章讨论热平衡半导体物理,第5章讨论半导体内部的载流子输运现象。非平衡过剩载流子是第6章的主要内容,理解半导体中的过剩载流子行为对于理解器件物理至关重要。

第二部分包括第7章到第13章。第7章主要讨论pn结电子学;第8章讨论pn结电流-电压特性;第9章讨论整流及非整流金属半导体结和半导体异质结;第10章和第11章阐述MOS场效应晶体管理论;第12章探讨双极晶体管;第13章阐述结型场效应管。在详尽介绍pn结理论后,关于这三种基本晶体管类型的章节,读者可不必按顺序阅读,因为这些章节彼此之间是相互独立的。

第三部分包括第14章和第15章。第14章介绍光器件,如太阳能电池和发光二极管;第15章介绍半导体微波器件和半导体功率器件。

本书末尾是 8 个附录。附录 A 是符号列表,以帮助读者了解各种符号及其含义。附录 B 包含单位转换表与常数表。附录 H 给出了部分习题答案,有助于学生检查自身的学习情况。

使用说明

本书可作为本科生第三学期或第四学期一个学期的教材。和许多教材一样,本书的内容不可能在一个学期内全部讲授完。这就给授课老师提供了一定的自由空间,授课老师可根据教学目的对教材内容进行取舍。下文给出了两种可供选择的安排,但本书不是百科全书。对于可以略过而又不会影响全书连贯性的章节,我们在目录和对应章节中用 * 号予以标记。这些章节尽管在半导体器件物理的发展中很重要,但可以推迟讲授。

新墨西哥大学电子工程专业大三学生的一门课程广泛使用了本书中的材料。建议用略小于半个学期的时间学习前六章;剩余的时间用于学习 pn 结、金属-氧化物-半导体场效应晶体管和双极晶体管。其他的一些主题可考虑在学期末学习。

尽管 MOS 晶体管先于双极晶体管或结型场效应晶体管阐述,但描述三种基本晶体管类型之一的各个章节都是彼此独立的,任何一种类型都可以先讲。

注意事项

本书引入了有关半导体材料和器件物理等理论知识。虽然许多电子工程系的学生更乐于制作电子电路和计算机编程,而不是去学习有关半导体器件的理论,但是本书的内容对于理解诸如微处理器等电子器件的局限性是至关重要的。

数学的应用贯穿全书,这看起来很枯燥,但最后的结论是其他手段不能获得的。尽管有些描述工艺的数学模型看起来很抽象,但它们描述和预言物理过程方向的能力已完全经受住了时间的考验。

作者鼓励读者经常研读每一章的开始部分,以便深刻领会每章或每个主题的目的。这种不断的复习对学习前五章尤为重要,因为它们讲述的是基础物理知识。

还应注意的是,尽管有些章节可以略过且不会影响连贯性,但有些教师还是会选择这些章节。因此,标 * 号的章节并不意味着不重要。

有些问题可能到课程结束时也得不到解答,理解这一点也很重要。虽然作者不喜欢“它可以这样讲”之类的说法,但书中有些概念的推导确实超出了本书的范围。本书对这一科目仅具导论性质。对那些修完课程后还没有解决的问题,我们鼓励读者记下这些问题,或许在后续课程中这些问题就能得到解答。

教学顺序

对于教学顺序,每位教师都有自己的选择,但通常有两种方案。第一种方案称为 MOSFET 方案,是在讲授双极晶体管之前讲授 MOS 晶体管。读者会注意到本书中的 MOSFET 内容放到了 pn 结二极管之后的第 10 章和第 11 章。

第二种方案称为双极型方案,也称为传统方案,是在讨论 pn 结二极管后立即介绍双极晶体管。由于 MOSFET 留在学期末讲授,因此到时可能没有足够的时间来讲授这一重要主题。

遗憾的是,由于时间限制,将每一章中的所有内容在一个学期内都讲完是不可能的。余下的内容可以留到下一个学期讲授或留给读者自学。

MOSFET 方案

第 1 章	晶格结构
第 2 章、第 3 章	量子力学和固体物理选讲
第 4 章	半导体物理
第 5 章	输运现象
第 6 章	非平衡过剩载流子选讲
第 7 章	pn 结
第 10 章、第 11 章	MOS 晶体管
第 8 章	pn 结二极管
第 9 章	肖特基二极管简介
第 12 章	双极晶体管, 其他选讲内容

双极型方案

第 1 章	晶格结构
第 2 章、第 3 章	量子力学和固体物理选讲
第 4 章	半导体物理
第 5 章	输运现象
第 6 章	非平衡态特性选讲
第 7 章、第 8 章	pn 结和 pn 结二极管
第 9 章	肖特基二极管简介
第 12 章	双极晶体管
第 10 章、第 11 章	MOS 晶体管, 其他选讲内容

第四版新内容

排列顺序: 关于 MOSFET 的两章移到了双极晶体管一章的前面。这一改变强调了 MOS 晶体管的重要性。

半导体微波器件: 第 15 章中添加了一小节关于三种专用半导体微波器件的内容。

新附录: 添加了关于有效质量概念的附录 F。教材的许多计算中使用了两个有效质量。该附录给出了每种有效质量的理论知识, 并讨论了何时在特定计算中使用哪一种有效质量。

预习小节: 每章以简介开始, 然后以项目列表的形式给出预习内容。每个预习项均给出了该章的一个特殊目标。

练习题: 添加了超过 100 道练习题, 每道例题后面均提供一道练习题。练习题类似于例题, 以便读者即时测试对刚讲内容的理解程度。每道练习题均提供有答案。

测试理解题: 每章主要小节末尾添加了约 40% 的新测试理解题。通常, 这些练习题比每个例题后的练习题更全面。这些习题将有助于读者在学习新内容前理解所学内容。

章末习题: 添加了 330 多道章末习题, 即这一版中有约 48% 的章末习题是全新的。

第四版特色

- 数学知识更为严密: 保留了清晰理解半导体材料和器件物理的基本数学知识。
- 例题: 书中列举了大量的例子来强化涉及的理论概念, 这种做法贯穿全书。这些例子覆盖了所有分析和设计的细节, 因此读者不必自行补充其忽略的步骤。
- 小结: 每一章的末尾都提供了小结, 它总结了该章得出的结论并复习所描述的基本概念。
- 重要术语解释: 每章的小结之后列出了重要术语解释, 这部分定义并总结了该章所讨论的重要术语。

- 知识点：指出了学习该章应该达到的目的及读者应该获得的能力。在转到后续章节前，这些知识可以用来帮助评估学习的进展。
- 复习题：每章末有一系列复习题，可用做自我测试，以让读者了解自己对该章概念的掌握程度。
- 章尾习题：按照每章中专题出现的顺序，给出了大量的习题。
- 小结和复习题：小结里的习题和复习题是开放式的设计习题，在多数章的末尾给出。
- 参考文献：每章后都附有参考文献，其中那些难度高于本书的参考书用星号标明。
- 部分习题答案：最后的附录给出了部分习题的答案。了解答案会有助于解题。

联机资源

本书的配套网站为 www.mhhe.com/neamen。网站上包含有适用于教师的习题解答手册和图像库。教师也可以访问这一版本的完整联机解答手册组织系统，以生成试题并布置作业、生成定制内容、编辑提供的习题和解答^①。

致谢

几年来，我的许多学生帮助我改进了本书的第四版，当然也包括前几版。在此，对他们的工作表示衷心的感谢，感谢他们的热情与建设性的批评。

感谢 McGraw-Hill 公司的许多员工，感谢他们的大力支持。特别要感谢策划编辑 Peter Massar 和责任编辑 Lora Neyens，感谢他们的鼓励、支持和对细节的关注。还要感谢项目经理们在本书出版的最后阶段提供的指导。

感谢那些审阅过本书前三版手稿并提出过建设性意见的所有人员，还要感谢那样仔细校对新习题解答的人员。最后，感谢本书新版本出版前审阅过本书的人员，他们的贡献和建议对于提升本书很有价值。

第四版的审阅人员

特别感谢如下审阅人员对本书第四版提出的建设性意见与建议：

Sandra Selmic, 路易斯安那工学院

Terence Brown, 密歇根州立大学

Jiun Liou, 中佛罗里达大学

Timothy Wilson, 俄克拉何马州立大学

Lili He, 圣何塞州立大学

Michael Strosio, 伊利诺伊-芝加哥大学

Andrei Sazonov, 滑铁卢大学

^① 有关本书配套的教学辅助资料的获取方法请参阅书后所附“教学支持说明”——编者注。

目 录

绪论 半导体和集成电路	1
历史	1
集成电路(IC)	1
制造	2
参考文献	4

第一部分 半导体材料属性

第1章 固体晶格结构	6
1.0 概述	6
1.1 半导体材料	6
1.2 固体类型	7
1.3 空间晶格	7
1.4 金刚石结构	12
1.5 原子价键	13
*1.6 固体中的缺陷和杂质	15
*1.7 半导体材料的生长	16
1.8 小结	18
重要术语解释	18
知识点	19
复习题	19
习题	19
参考文献	21
第2章 量子力学初步	22
2.0 概述	22
2.1 量子力学的基本原理	22
2.2 薛定谔波动方程	26
2.3 薛定谔波动方程的应用	29
2.4 原子波动理论的延伸	37
2.5 小结	40
重要术语解释	40
知识点	41
复习题	41
习题	41
参考文献	44

第3章 固体量子理论初步	45
3.0 概述	45
3.1 允带与禁带	45
3.2 固体中电的传导	54
3.3 三维扩展	61
3.4 状态密度函数	63
3.5 统计力学	66
3.6 小结	72
重要术语解释	72
知识点	73
复习题	73
习题	73
参考文献	76
第4章 平衡半导体	78
4.0 概述	78
4.1 半导体中的载流子	78
4.2 掺杂原子与能级	86
4.3 非本征半导体	89
4.4 施主和受主的统计学分布	94
4.5 电中性状态	98
4.6 费米能级的位置	102
4.7 小结	107
重要术语解释	107
知识点	108
复习题	108
习题	108
参考文献	112
第5章 载流子输运现象	113
5.0 概述	113
5.1 载流子的漂移运动	113
5.2 载流子扩散	124
5.3 杂质梯度分布	127
5.4 霍尔效应	129
5.5 小结	131
重要术语解释	132
知识点	132
复习题	132
习题	133
参考文献	137

第6章 半导体中的非平衡过剩载流子	139
6.0 概述	139
6.1 载流子的产生与复合	139
6.2 过剩载流子的性质	143
6.3 双极输运	145
6.4 准费米能级	157
*6.5 过剩载流子的寿命	158
*6.6 表面效应	162
6.7 小结	165
重要术语解释	165
知识点	166
复习题	166
习题	166
参考文献	171

第二部分 半导体器件基础

第7章 pn结	174
7.0 概述	174
7.1 pn结的基本结构	174
7.2 零偏	175
7.3 反偏	180
7.4 结击穿	186
*7.5 非均匀掺杂pn结	189
7.6 小结	192
重要术语解释	193
知识点	193
复习题	194
习题	194
参考文献	198
第8章 pn结二极管	199
8.0 概述	199
8.1 pn结电流	199
8.2 产生-复合电流和大注入	212
8.3 pn结的小信号模型	219
*8.4 电荷存储与二极管瞬态	226
*8.5 隧道二极管	228
8.6 小结	230
重要术语解释	231
知识点	231
复习题	231

习题	232
参考文献	236
第 9 章 金属半导体和半导体异质结	238
9.0 概述	238
9.1 肖特基势垒二极管	238
9.2 金属-半导体的欧姆接触	250
9.3 异质结	253
9.4 小结	260
重要术语解释	261
知识点	261
复习题	261
习题	262
参考文献	265
第 10 章 金属-氧化物-半导体场效应晶体管基础	266
10.0 概述	266
10.1 双端 MOS 结构	266
10.2 电容-电压特性	280
10.3 MOSFET 基本工作原理	287
10.4 频率限制特性	300
*10.5 CMOS 技术	303
10.6 小结	305
重要术语解释	305
知识点	306
复习题	306
习题	307
参考文献	313
第 11 章 金属-氧化物-半导体场效应晶体管：概念的深入	314
11.0 概述	314
11.1 非理想效应	314
11.2 MOSFET 按比例缩小理论	321
11.3 阈值电压的修正	323
11.4 附加电学特性	328
*11.5 辐射和热电子效应	334
11.6 小结	338
重要术语解释	339
知识点	339
复习题	340
习题	340
参考文献	344

第 12 章 双极晶体管	346
12.0 概述	346
12.1 双极晶体管的工作原理	346
12.2 少子的分布	352
12.3 低频共基极电流增益	358
12.4 非理想效应	367
12.5 等效电路模型	377
12.6 频率上限	382
12.7 大信号开关	386
*12.8 其他的双极晶体管结构	388
12.9 小结	391
重要术语解释	392
知识点	393
复习题	393
习题	393
参考文献	399
第 13 章 结型场效应晶体管	401
13.0 概述	401
13.1 JFET 概念	401
13.2 器件的特性	405
*13.3 非理想因素	416
*13.4 等效电路和频率限制	418
*13.5 高电子迁移率晶体管	421
13.6 小结	426
重要术语解释	427
知识点	427
复习题	427
习题	428
参考文献	431

第三部分 专用半导体器件

第 14 章 光器件	434
14.0 概述	434
14.1 光学吸收	434
14.2 太阳能电池	437
14.3 光电探测器	443
14.4 光致发光和电致发光	451
14.5 发光二极管	454
14.6 激光二极管	458
14.7 小结	463

重要术语解释	464
知识点	464
复习题	465
习题	465
参考文献	468
第 15 章 半导体功率器件	469
15.0 概述	469
15.1 隧道二极管	469
15.2 耿氏二极管	470
15.3 雪崩二极管	472
15.4 功率双极晶体管	473
15.5 功率 MOSFET	478
15.6 半导体闸流管	483
15.7 小结	491
重要术语解释	491
知识点	492
复习题	492
习题	493
参考文献	494
附录 A 部分参数符号列表	496
附录 B 单位制、单位换算和通用常数	502
附录 C 元素周期表	505
附录 D 能量单位——电子伏特	506
附录 E 薛定谔波动方程的推导	508
附录 F 有效质量概念	509
附录 G 误差函数	513
附录 H 部分习题参考答案	514
索引	521