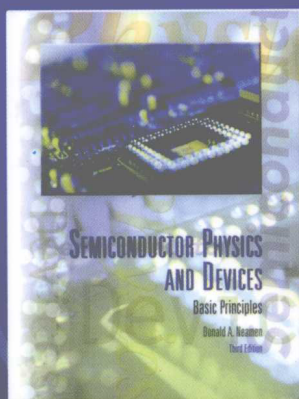


国外电子与通信教材系列

Mc  
Graw  
Hill

# 半导体物理与器件 (第三版)

Semiconductor Physics and Devices  
Basic Principles  
Third Edition



[美] Dona H. Neamen 著  
赵毅强 姚素英 解晓东 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

( 第三版 )

Semiconductor Physics and Devices

Basic Principles

Third Edition

[ 美 ] Donald A. Neamen 著

赵毅强 姚素英 解晓东 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,共分为三部分,十五章。第一部分是基础物理,包括固体晶格结构、量子力学和固体物理;第二部分是半导体材料物理,主要讨论平衡态和非平衡态半导体及载流子输运现象;第三部分是半导体器件物理,主要讨论同质 pn 结、金属半导体接触、异质结及双极晶体管、MOS 场效应晶体管、结型场效应晶体管等。最后论述了光子器件和功率半导体器件。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。全书内容丰富、概念清楚、讲解深入浅出、理论分析透彻。另外,全书各章难点之后均列有例题、自测题,每章末均安排有复习要点、重要术语解释及知识点。全书各章末列有习题和参考文献,书后附有部分习题的答案;部分章末引入了计算机仿真题。

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的参考资料。

Donald A. Neamen: Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles, Third Edition.

ISBN 0-07-232107-5

Copyright © 2003 by the McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc.. All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2010.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2003-1834

### 图书在版编目(CIP)数据

半导体物理与器件:第3版/(美)尼曼(Neamen, D.A)著;赵毅强等译.—3版.北京:电子工业出版社,2010.7  
(国外电子与通信教材系列)

书名原文:Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles, 3e

ISBN 978-7-121-11180-8

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. ①O47②TN303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 117346 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:谭海平

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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:34 字数:870 千字

印 次:2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价:59.00 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 zlt@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很有好处。

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,除了依靠高校的老师 and 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和自由组合使用。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”。

为作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、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
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
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	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、移动通信国家重点实验室主任
	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
	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委员
	郑宝玉	南京邮电学院副院长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 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
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 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委员
	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、秘书长
	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 教育部电子信息科学与电气信息类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学院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长

## 译者序

从 1947 年第一支晶体管诞生,到 1958 年第一块集成电路的出现,直至今天的甚大规模集成电路的不断发展,人类社会已从电子时代步入以微电子技术为基础的信息时代。随着知识经济的到来,作为信息产业强大基础的微电子技术正在迅速成长,同时带动了一批相关产业的崛起和发展。微电子技术比以往任何时候都显示出为世人瞩目的重要性。近年来,我国制定了发展微电子技术的各项优惠政策,世界半导体设计与制造中心正快速地向中国大陆转移,一批投资上百亿的集成电路制造厂在中国相继投产,集成电路设计业快速增长。可以预期,我国必将成为世界微电子强国。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科学研究至关重要。基于此,我们在电子工业出版社的大力支持下,由天津大学在微电子方向长期从事教学的教师们组织翻译该书,作为一门微电子技术入门书籍奉献给读者。本书既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教材,也可作为相关领域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,该书为第三版,是在前两次版本作为教材使用多年的基础上修改而成的,其特点是集量子力学、固体物理、半导体材料物理、半导体器件物理为一体的综合性基础理论教材。书中既讲述了半导体基础知识,也分析讨论了半导体基本器件物理以及小尺寸器件物理问题,具有一定的广度和深度。最后还给出了光子器件和功率半导体器件的内容。全书共 15 章,作者讲解深入浅出,理论分析透彻,重点突出;每个章节的末尾都进行了小结,并列出了重点概念的解释和知识点。为了使读者更好地学习理解,在重点和难点后随即配有相关例题,并给出了多种形式的习题供读者练习和自我测试。对于想要掌握半导体与器件基本理论、研制开发新型半导体器件与集成电路的人们来说,采用该书无疑是一种正确的选择。

参加本书翻译工作的有姚素英、赵毅强、解晓东、王志杰、周津、侯舒志、孙世鹏、孙权、王晓辉、任彤、戴山小等。张生才、李志国、徐江涛、付贤松、路尧等参加了部分书稿的校对与整理工作。

鉴于译者水平有限,书中难免存在不足和疏漏之处,敬请读者批评指正和谅解。

# 序 言

## 宗旨与目标

出版本书第三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的了解。本书有意将量子力学、固体物理、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。

在这本教科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:一旦这些入门知识和材料物理知识被透彻理解,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没有涉及,同时也没有对半导体的制造工艺做详细描述。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

由于本书针对的是大学三年级和大学大四级的学生,因此假设读者已经掌握了微分方程、现代物理导论和电磁学的基础知识。预先修完电子线路基础课程对阅读本书会有帮助。

## 本书的章节安排

本书从基础物理讲起,而后转至半导体材料物理,最后讨论半导体器件物理。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章介绍了量子力学和固体物理,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章讨论了热平衡半导体物理;第5章讨论了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是至关重要的。

第7章到第13章对基本半导体器件物理进行了详细的描述。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章探讨双极型晶体管。第11章、第12章阐述了MOS场效应晶体管理论;第13章则阐述了结型场效应管。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14章介绍了光器件,最后一章对功率半导体器件进行了阐述。



## 本书的使用

本书可作为本科生第三学期或第四学期一个学期的教材。和许多课本一样,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。本序下文给出了两种可供选择的安排,但本书绝不是百科全书。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、双极型晶体管和 MOS 场效应晶体管。其他的一些专题可考虑在学期末学习。

尽管双极型晶体管先于 MOSFET 或 JFET 在第 10 章进行了阐述,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者每个主题的目的。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。第一种方案称为传统方案,是在讲授 MOS 场效应晶体管之前讲授双极型晶体管。然而,由于 MOS 场效应晶体管要在学期末才会讲到,时间的限制可能会缩短讲授这一重要内容所需的课时;第二种方案称为非传统方案,是将 MOS 场效应晶体管先于双极型晶体管讲授,这样做有两大好处。第一是时间充裕时可讲授 MOS 场效应晶体管;第二是读者因为较早接触到“实际的器件”,因而更有动力来继续学习这门课的其他内容。但第二种方案也并非十全十美,读者可能会对从第 7 章跳到第 11 章而感到畏惧,但我们在编写第 11 章和第 12 章时已经考虑到了这种跳跃。

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。

传统方案	
第 1 章	晶格结构
第 2 章、第 3 章	量子力学和固体物理
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
第 7 章、第 8 章	pn 结和二极管
第 9 章	肖特基二极管
第 10 章	双极型晶体管
第 11 章、第 12 章	MOS 场效应晶体管

非传统方案	
第 1 章	晶格结构
第 2 章、第 3 章	量子力学和固体物理
第 4 章	半导体物理
第 5 章	输运现象
第 7 章	pn 结
第 11 章、第 12 章	MOS 场效应晶体管
第 6 章	非平衡过剩载流子
第 8 章	pn 结二极管
第 9 章	肖特基二极管
第 10 章	双极型晶体管

### 第三版特色

- **概述部分:**概述部分在每章的开头对本章做简要介绍。本部分承上启下并阐明该章的目的,比如读者可以从该章获得什么知识等。
- **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。
- **自测题:**自测题贯穿于全书的每一章。这些自测题并未放在章末,而是放在难点之后;这样读者就可以马上测试对刚刚学习的内容的理解程度。同时,我们给出了自测题的答案,读者不必到书末去寻找它们的答案。这些自测题可以使读者在继续学习下一章节前,强化对刚学过的知识的掌握。
- **小结:**每一章的末尾提供了小结部分,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以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:每章之末有一系列复习题,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。
- 习题:按照每章中专题出现的顺序,给出了大量的习题。与第二版相比,习题的数量更多。面向设计或无定解类问题安排在小结和复习题的后面。
- 计算机仿真:许多章末习题中都包含了计算机仿真习题,虽然正文中并未直接包括计算机仿真,但是读者可以浏览使用 MATLAB 进行计算机仿真的网站。该网站给出了大多数章节涉及的计算机仿真。这些计算机仿真有利于强化对理论内容部分的理解。同时该网站也提供了供读者思考的习题。
- 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。

## 图标



计算机仿真。



设计问题和例子。

## 补充材料

支持本书的补充材料如下:

- 纸质或网站上的教师习题解答手册。
- 网站上提供重要图片的 Power Point 幻灯片。
- 网站支持计算机仿真。

## 致谢

几年来,我的许多学生帮助我改进了本书的第三版,当然也包括第一版与第二版。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。还要感谢新墨西哥大学为我提供撰写本书的有益环境。

感谢 McGraw-Hill 公司的许多员工,感谢他们的大力支持。特别要感谢高级编辑 Kelley Butcher,感谢她对细节的关注以及对本书出版工作的热情。还要感谢项目经理 Joyce Watters 在本书出版的最后阶段提供的指导。

感谢如下人员为本书的第三版提供了建设性意见和建议:

Thomas Mantei, 辛辛那提大学  
 Cheng Hsiao Wu, 密苏里大学  
 Kazutoshi Najita, 夏威夷大学  
 John Naber, 路易斯维尔大学  
 Gerald Oleszek, 科罗拉多大学

Marc Cahay, 辛辛那提大学

感谢如下人员为本书的第二版提供了建设性意见和建议：

Jon M. Meese, 密苏里大学

Jacob B. Khurgin, 约翰·霍普金斯大学

Hong Koo Kim, 匹兹堡大学

Gerald M. Oleszek, 科罗拉多大学

Ronald J. Roedel, 亚利桑那大学

Leon McCaughan, 威斯康星大学

A. Anil Kumar, A&M 大学

由于本书第三版来自于第一版,因此在此仍要感谢为本书第一版提供建议的人员,他们是

Timothy J. Drummond, Sandia 实验室

J. L. Davidson, Vanderbilt 大学

Robert Jackson, 麻萨诸塞大学

C. H. Wu, 密苏里大学

D. K. Reinhard, 密歇根州立大学

Len Trombetta, 休斯顿大学

Dan Moore, 维吉尼亚理工学院与州立大学

Bruce P. Johnson, 内华达大学

William Wilson, 莱斯大学

Dennis Polla, 明尼苏达大学

G. E. Stillman, 伊利诺斯大学

Richard C. Jaeger, Auburn 大学

Anand Kulkarni, 密歇根科技大学

Ronald D. Schrimpf, 亚利桑那大学

感谢为本书提供了意见与建议的人们,是你们的建议使得本书越来越好。

Donald A. Neamen

# 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 1 章	固体晶格结构 .....	5
1.1	半导体材料 .....	5
1.2	固体类型 .....	5
1.3	空间晶格 .....	6
1.4	原子价键 .....	11
*1.5	固体中的缺陷和杂质 .....	13
*1.6	半导体材料的生长 .....	14
1.7	小结 .....	16
	重要术语解释 .....	17
	知识点 .....	17
	复习题 .....	17
	习题 .....	18
	参考文献 .....	19
第 2 章	量子力学初步 .....	20
2.1	量子力学的基本原理 .....	20
2.2	薛定谔波动方程 .....	24
2.3	薛定谔波动方程的应用 .....	26
*2.4	原子波动理论的延伸 .....	34
2.5	小结 .....	38
	重要术语解释 .....	38
	知识点 .....	38
	复习题 .....	38
	习题 .....	39
	参考文献 .....	41
第 3 章	固体量子理论初步 .....	42
3.1	允带与禁带 .....	42
3.2	固体中电的传导 .....	51
3.3	三维扩展 .....	59

3.4	状态密度函数 .....	60
3.5	统计力学 .....	64
3.6	小结 .....	69
	重要术语解释 .....	70
	知识点 .....	70
	复习题 .....	71
	习题 .....	71
	参考文献 .....	74
<b>第 4 章</b>	<b>平衡半导体 .....</b>	<b>75</b>
4.1	半导体中的载流子 .....	75
4.2	掺杂原子与能级 .....	83
4.3	非本征半导体 .....	87
4.4	施主和受主的统计学分布 .....	93
4.5	电中性状态 .....	96
4.6	费米能级的位置 .....	100
4.7	小结 .....	104
	重要术语解释 .....	105
	知识点 .....	105
	复习题 .....	106
	习题 .....	106
	参考文献 .....	109
<b>第 5 章</b>	<b>载流子输运现象 .....</b>	<b>111</b>
5.1	载流子的漂移运动 .....	111
5.2	载流子扩散 .....	122
5.3	杂质梯度分布 .....	125
*5.4	霍尔效应 .....	127
5.5	小结 .....	129
	重要术语解释 .....	130
	知识点 .....	130
	复习题 .....	130
	习题 .....	131
	参考文献 .....	135
<b>第 6 章</b>	<b>半导体中的非平衡过剩载流子 .....</b>	<b>136</b>
6.1	载流子的产生与复合 .....	136
6.2	过剩载流子的性质 .....	139
6.3	双极输运 .....	142
6.4	准费米能级 .....	154
*6.5	过剩载流子的寿命 .....	156

*6.6	表面效应	160
6.7	小结	163
	重要术语解释	163
	知识点	163
	复习题	164
	习题	164
	参考文献	168
<b>第 7 章</b>	<b>pn 结</b>	170
7.1	pn 结的基本结构	170
7.2	零偏	171
7.3	反偏	177
*7.4	非均匀掺杂 pn 结	182
7.5	小结	186
	重要术语解释	186
	知识点	187
	复习题	187
	习题	187
	参考文献	191
<b>第 8 章</b>	<b>pn 结二极管</b>	192
8.1	pn 结电流	192
8.2	pn 结的小信号模型	204
8.3	产生-复合电流	212
8.4	结击穿	218
*8.5	电荷存储与二极管瞬态	221
*8.6	隧道二极管	223
8.7	小结	225
	重要术语解释	226
	知识点	226
	复习题	226
	习题	227
	参考文献	231
<b>第 9 章</b>	<b>金属半导体和半导体异质结</b>	232
9.1	肖特基势垒二极管	232
9.2	金属-半导体的欧姆接触	244
9.3	异质结	247
9.4	小结	255
	重要术语解释	255
	知识点	255

复习题	256
习题	256
参考文献	259
<b>第 10 章 双极晶体管</b>	<b>260</b>
10.1 双极晶体管的工作原理	260
10.2 少子的分布	267
10.3 低频共基极电流增益	272
10.4 非理想效应	281
10.5 等效电路模型	292
10.6 频率上限	298
10.7 大信号开关	302
*10.8 其他的双极晶体管结构	304
10.9 小结	308
重要术语解释	308
知识点	309
复习题	309
习题	310
参考文献	316
<b>第 11 章 金属-氧化物-半导体场效应晶体管基础</b>	<b>317</b>
11.1 双端 MOS 结构	317
11.2 电容-电压特性	333
11.3 MOSFET 基本工作原理	339
11.4 频率限制特性	352
*11.5 CMOS 技术	355
11.6 小结	357
重要术语解释	358
知识点	358
复习题	359
习题	359
参考文献	365
<b>第 12 章 金属-氧化物-半导体场效应晶体管:概念的深入</b>	<b>366</b>
12.1 非理想效应	366
12.2 MOSFET 按比例缩小理论	373
12.3 阈值电压的修正	375
12.4 附加电学特性	380
*12.5 辐射和热电子效应	387
12.6 小结	391
重要术语解释	392



	知识点 .....	392
	复习题 .....	392
	习题 .....	393
	参考文献 .....	397
<b>第 13 章</b>	<b>结型场效应晶体管</b> .....	<b>399</b>
13.1	JFET 概念 .....	399
13.2	器件的特性 .....	403
*13.3	非理想因素 .....	414
*13.4	等效电路和频率限制 .....	418
*13.5	高电子迁移率晶体管 .....	420
13.6	小结 .....	425
	重要术语解释 .....	426
	知识点 .....	426
	复习题 .....	426
	习题 .....	427
	参考文献 .....	430
<b>第 14 章</b>	<b>光器件</b> .....	<b>432</b>
14.1	光学吸收 .....	432
14.2	太阳能电池 .....	436
14.3	光电探测器 .....	442
14.4	光致发光和电致发光 .....	449
14.5	光电二极管 .....	452
14.6	激光二极管 .....	456
14.7	小结 .....	461
	重要术语解释 .....	461
	知识点 .....	462
	复习题 .....	462
	习题 .....	462
	参考文献 .....	465
<b>第 15 章</b>	<b>半导体功率器件</b> .....	<b>466</b>
15.1	功率双极晶体管 .....	466
15.2	功率 MOSFET .....	471
15.3	散热片和结温 .....	477
15.4	半导体闸流管 .....	479
15.5	小结 .....	487
	重要术语解释 .....	487
	知识点 .....	488
	复习题 .....	488