国 外 电 子 与 通 信 教 材 系 列

微电子制造科学原理与工程技术

（第二版）

The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication

Second Edition

英文版

[美] Stephen A. Campbell 著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
http://www.phei.com.cn

国外电子与通信教材系列

微电子制造科学原理与工程技术

（第二版）

The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication
Second Edition

［美］Stephen A. Campbell 著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了微电子制造科学原理与工程技术，覆盖了集成电路制造所涉及的所有基本单项工艺，包括光刻、等离子体和反应离子刻蚀、离子注入、扩散、氧化、蒸发、气相外延生长、溅射和化学气相淀积等。对每一种单项工艺，不仅介绍了它的物理和化学原理，还描述了用于集成电路制造的工艺设备。本书还介绍了各种先进的工艺技术，如快速热处理、下一代光刻、分子束外延和金属有机物化学气相淀积等。在此基础上本书讨论了如何将这些单项工艺集成为各种常见的集成电路工艺技术，如CMOS技术、双极型技术和砷化镓技术，还介绍了微电子制造的新领域，即微机械电子系统及其工艺技术。

本书可作为高等学校微电子专业本科生和研究生相应课程的教科书或参考书，也可供与集成电路制造工艺技术有关的专业技术人员学习参考。

Copyright © 2001 by Oxford University Press, Inc.
This reprint of *The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication*, 2nd *edition* originally published in English in 2001, is published by arrangement with Oxford University Press, Inc., U. S. A.
本书英文版由 Oxford University Press, Inc., U. S. A. 授予电子工业出版社出版。未经许可，不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号　图字：01-2003-0585

图书在版编目(CIP)数据

微电子制造科学原理与工程技术 = The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication：第2版/(美)坎贝尔(Campbell, S. A.)著. —北京：电子工业出版社，2003.4
(国外电子与通信教材系列)
ISBN 7-5053-8626-3

Ⅰ. 微…　Ⅱ. 坎…　Ⅲ. 微电子技术—高等学校—教材—英文　Ⅳ. TN405

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第022678号

责任编辑：杨丽娟
印　　刷：北京兴华印刷厂
出版发行：电子工业出版社　http://www.phei.com.cn
　　　　　北京市海淀区万寿路173信箱　邮编 100036
经　　销：各地新华书店
开　　本：787×980　1/16　印张：39.25　字数：1008千字
版　　次：2003年4月第1版　2003年4月第1次印刷
定　　价：56.00元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系电话：(010) 68279077

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、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

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

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委员会委员
徐安士　北京大学教授、博士生导师、电子学系副主任
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委员会委员
阮秋琦　北方交通大学教授、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、电子工程系主任
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导委员会委员
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委员会委员
徐重阳　华中科技大学教授、博士生导师、电子科学与技术系主任
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导委员会委员
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、教材建设委员会主任
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　电子工业出版社副社长

Preface

The intent of this book is to introduce microelectronic processing to a wide audience. I wrote it as a textbook for seniors and/or first-year graduate students, but it may also be used as a reference for practicing professionals. The goal has been to provide a book that is easy to read and understand. Both silicon and GaAs processes and technologies are covered, although the emphasis is on silicon-based technologies. The book assumes one year of physics, one year of mathematics (through simple differential equations), and one course in chemistry. Most students with electrical engineering backgrounds will also have had at least one course in semiconductor physics and devices including *pn* junctions and MOS transistors. This material is extremely useful for the last five chapters and is reviewed in the first sections of Chapters 16, 17, and 18 for students who haven't seen it before or find that they are a bit rusty. One course in basic statistics is also encouraged but is not required for this course.

Microelectronics textbooks necessarily divide the fabrication sequence into a number of unit processes that are repeated to form the integrated circuit. The effect is to give the book a survey flavor: a number of loosely related topics each with its own background material. Most students have difficulty recalling all of the background material. They have seen it once, two or three years and many final exams ago. It is important that this fundamental material be reestablished before studying new material. Distributed through each chapter of this book are reviews of the science that underlies the engineering. These sections, marked with an "°", also help make the distinction between the immutable scientific laws and the applications of those laws, with all the attendant approximations and caveats, to the technology at hand. Optical lithography, for instance, may have a limited life, but diffraction will always be with us.

A second problem that arises in teaching this type of course is that the solution of the equations describing the process often cannot be done analytically. Consider diffusion as an example. Fick's laws have analytic solutions, but they are only valid in a very restricted parameter space. Predeposition diffusions are done at high concentrations at which the simplifying assumption used in the solution derivation are simply not valid. In the area of lithography even the simplest solutions of the Fresnel equations are beyond the scope of the book. In this text a widely used simulation program called SUPREM III[1] has been used to provide more meaningful examples of the sort of real-world dopant redistribution problems that the microelectronic fabrication engineer might face. The software is intended to augment, not replace, learning the fundamental equations that describe microelectronic processing. Typical installations include VAX-, SUN-, Apollo-, and DOS-based microcomputers. The book also enriches the basic material with additional sections and chapters on process integration for various technologies and on more advanced processes. This additional material is in sections marked with a "+". If time does not permit covering these sections, they may be omitted without loss of the basic content of the course.

The second edition has added a variety of topics to keep it current. Most notably a new chapter has been added to reflect new applications for microfabrication processes. Called microelectromechanical

[1]SUPREM III is a trademark of the Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University.

systems (MEMS), this exciting area promises to open up many new areas for microfabrication. The new Chapter 19 was written by Dr. Gregory Cibuzar, who manages the Microtechnology Laboratory at the University of Minnesota and has worked on MEMS for a number of years. If you have questions or comments on this area, you can contact Greg directly at cibuzar@ece.umn.edu.

Finally, one has to acknowledge that, no matter how many times this material is reviewed, it cannot be guaranteed to be free of all the (hopefully) minor errors. In the past, publishers have provided errata when errors were sufficiently numerous or egregious. Even when errata are published, they are very difficult to get to those people who have already bought the book. This means that the average reader is often unaware of most of the corrections until a new or revised edition of the book is released. This book will have an errata file that anyone can access at any time. We will also provide minor additions to the book that were not available at press time. You can access the file by going to the Oxford University Press web site for the book, http://www.oup-usa.org/isbn/0195136055.html. As time goes on I will be adding other minor updates and new topics on this site as well. If you find something that you feel needs correction or clarification in the book, I invite you to notify me at my e-mail address, Campbell@ece.umn.edu. Please be sure to include your justification, citing published references.

Minneapolis **S.A.C.**

目录概览

第1篇　综述与题材
Part I　Overview and Materials

第1章　微电子制造引论 …… 3
An Introduction to Microelectronic Fabrication

第2章　半导体衬底 …… 10
Semiconductor Substrates

第2篇　单项工艺1:热处理和离子注入
Part II　Unit Process 1: Hot Processing and Ion Implantation

第3章　扩散 …… 39
Diffusion

第4章　热氧化 …… 68
Thermal Oxidation

第5章　离子注入 …… 98
Ion Implantation

第6章　快速热处理 …… 127
Rapid Thermal Processing

第3篇　单元工艺2:图形转移
Part III　Unit Processes 2: Pattern Transfer

第7章　光学光刻 …… 151
Optical Lithography

第8章　光刻胶 …… 183
Photoresists

第 9 章　非光学光刻技术⁺ ………………………………………… 205
Nonoptical Lithographic Techniques⁺

第 10 章　真空科学和等离子体 ………………………………………… 236
Vacuum Science and Plasmas

第 11 章　刻蚀 ………………………………………… 258
Etching

第 4 篇　单项工艺 3:薄膜
Part IV　Unit Processes 3: Thin Films

第 12 章　物理淀积:蒸发和溅射 ………………………………………… 295
Physical Deposition: Evaporation and Sputtering

第 13 章　化学气相淀积 ………………………………………… 326
Chemical Vapor Deposition

第 14 章　外延生长 ………………………………………… 355
Epitaxial Growth

第 5 篇　工 艺 集 成
Part V　Process Integration

第 15 章　器件隔离、接触和金属化 ………………………………………… 401
Device Isolation, Contacts, and Metallization

第 16 章　CMOS 技术 ………………………………………… 439
CMOS Technologies

第 17 章　GaAs 工艺技术 ………………………………………… 471
GaAs Technologies

第 18 章　硅双极型工艺技术 ………………………………………… 488
Silicon Bipolar Technologies

第 19 章　微机电系统 ………………………………………… 514
MEMS

第 20 章　集成电路制造 ………………………………………… 559
Integrated Circuit Manufacturing

附录 I　缩写与通用符号 …………………………………………………………… 580
Acronyms and Common Symbols

附录 II　部分半导体材料性质 ……………………………………………………… 585
Properties of Selected Semiconductor Materials

附录 III　物理常数 ………………………………………………………………… 586
Physical Constants

附录 IV　单位转换因子 ……………………………………………………………… 588
Conversion Factors

附录 V　误差函数的一些性质 ……………………………………………………… 591
Some Properties of the Error Function

附录 VI　F 数 ……………………………………………………………………… 595
F Values

附录 VII　SUPREM 指令 …………………………………………………………… 597
SUPREM Commands

索引 ……………………………………………………………………………… 599
Index

试读结束：需要全本请在线购买：　www.ertongbook.com

Contents

Part I Overview and Materials 1

Chapter 1 An Introduction to Microelectronic Fabrication 3

1.1 Microelectronic Technologies: A Simple Example 5
1.2 Unit Processes and Technologies 7
1.3 A Roadmap for the Course 8
1.4 Summary 9

Chapter 2 Semiconductor Substrates 10

2.1 Phase Diagrams and Solid Solubility° 10
2.2 Crystallography and Crystal Structure° 13
2.3 Crystal Defects 16
2.4 Czochralski Growth 21
2.5 Bridgman Growth of GaAs 29
2.6 Float Zone Growth 30
2.7 Wafer Preparation and Specifications 31
2.8 Summary and Future Trends 33
Problems 33
References 34

Part II Unit Process I: Hot Processing and Ion Implantation 37

Chapter 3 Diffusion 39

3.1 Fick's Diffusion Equation in One Dimension 39
3.2 Atomistic Models of Diffusion 41

°This section provides background material.

3.3 Analytic Solutions of Fick's Law 45
3.4 Corrections to Simple Theory 47
3.5 Diffusion Coefficients for Common Dopants 48
3.6 Analysis of Diffused Profiles 52
3.7 Diffusion in SiO_2 59
3.8 Diffusion Systems 60
3.9 SUPREM Simulations of Diffusion Profies 61
3.10 Summary 64
Problems 64
References 65

Chapter 4 **Thermal Oxidation 68**
4.1 The Deal–Grove Model of Oxidation 68
4.2 The Linear and Parabolic Rate Coefficients 71
4.3 The Initial Oxidation Regime 75
4.4 The Structure of SiO_2 76
4.5 Oxide Characterization 77
4.6 The Effects of Dopants during Oxidation and Polysilicon Oxidation 83
4.7 Oxidation-Induced Stacking Faults 86
4.8 Alternative Gate Insulators+ 88
4.9 Oxidation Systems 90
4.10 SUPREM Oxidations+ 92
4.11 Summary 93
Problems 94
References 95

Chapter 5 **Ion Implantation 98**
5.1 Idealized Ion Implantation Systems 99
5.2 Coulomb Scattering° 104
5.3 Vertical Projected Range 105
5.4 Channeling and Lateral Projected Range 110
5.5 Implantation Damage 112
5.6 Shallow Junction Formation+ 116
5.7 Buried Dielectrics+ 118
5.8 Ion Implantation Systems: Problems and Concerns 120
5.9 Implanted Profiles Using SUPREM+ 122
5.10 Summary 123
Problems 123
References 124

+This section contains advanced material and can be omitted without loss of the basic content of the course.

Chapter 6 Rapid Thermal Processing 127

6.1 Gray Body Radiation, Heat Exchange, and Optical Absorption° 128
6.2 High-Intensity Optical Sources and Chamber Design 130
6.3 Temperature Measurement 133
6.4 Thermoplastic Stress° 137
6.5 Rapid Thermal Activation of Impurities 138
6.6 Rapid Thermal Processing of Dielectrics 140
6.7 Silicidation and Contact Formation 141
6.8 Alternative Rapid Thermal Processing Systems 142
6.9 Summary 143
Problems 143
References 144

Part III Unit Processes 2: Pattern Transfer 149

Chapter 7 Optical Lithography 151

7.1 Lithography Overview 151
7.2 Diffraction° 155
7.3 The Modulation Transfer Function and Optical Exposures 158
7.4 Source Systems and Spatial Coherence 159
7.5 Contact/Proximity Printers 165
7.6 Projection Printers 167
7.7 Advanced Mask Concepts+ 172
7.8 Surface Reflections and Standing Waves 176
7.9 Alignment 178
7.10 Summary 179
Problems 180
References 180

Chapter 8 Photoresists 183

8.1 Photoresist Types 183
8.2 Organic Materials and Polymers° 184
8.3 Typical Reactions of DQN Positive Photoresist 186
8.4 Contrast Curves 187
8.5 The Critical Modulation Transfer Function 190
8.6 Applying and Developing Photoresist 191
8.7 Second-Order Exposure Effects 195
8.8 Advanced Photoresists and Photoresist Processes+ 196

8.9 Summary 200
Problems 200
References 202

Chapter 9 Nonoptical Lithographic Techniques+ 205

9.1 Interactions of High-Energy Beams with Matter° 205
9.2 Direct Write Electron Beam Lithography Systems 208
9.3 Direct Write Electron Beam Lithography Summary and Outlook 214
9.4 X-Ray Sources° 216
9.5 Proximity X-Ray Exposure Systems 219
9.6 Membrane Masks 221
9.7 Projection X-Ray Lithography 224
9.8 Projection Electron-Beam Lithography (SCALPEL) 225
9.9 E-Beam and X-Ray Resists 227
9.10 Radiation Damage in MOS Devices 228
9.11 Summary 230
Problems 231
References 231

Chapter 10 Vacuum Science and Plasmas 236

10.1 The Kinetic Theory of Gasses° 236
10.2 Gas Flow and Conductance 239
10.3 Pressure Ranges and Vacuum Pumps 240
10.4 Vacuum Seals and Pressure Measurement 247
10.5 The DC Glow Discharge° 249
10.6 RF Discharges 251
10.7 High-Density Plasmas 252
10.8 Summary 255
Problems 255
References 256

Chapter 11 Etching 258

11.1 Wet Etching 259
11.2 Chemical Mechanical Polishing 264
11.3 Basic Regimes of Plasma Etching 266
11.4 High-Pressure Plasma Etching 267
11.5 Ion Milling 274
11.6 Reactive Ion Etching 277
11.7 Damage in Reactive Ion Etching+ 281
11.8 High-Density Plasma (HDP) Etching 282

11.9 Liftoff 283
11.10 Summary 285
Problems 285
References 286

Part IV Unit Processes 3: Thin Films 293

Chapter 12 Physical Deposition: Evaporation and Sputtering 295

12.1 Phase Diagrams: Sublimation and Evaporation° 296
12.2 Deposition Rates 297
12.3 Step Coverage 301
12.4 Evaporator Systems: Crucible Heating Techniques 302
12.5 Multicomponent Films 304
12.6 An Introduction to Sputtering 305
12.7 Physics of Sputtering° 306
12.8 Deposition Rate: Sputter Yield 308
12.9 High-Density Plasma Sputtering 310
12.10 Morphology and Step Coverage 312
12.11 Sputtering Methods 315
12.12 Sputtering of Specific Materials 317
12.13 Stress in Deposited Layers 319
12.14 Summary 320
Problems 321
References 322

Chapter 13 Chemical Vapor Deposition 326

13.1 A Simple CVD System for the Deposition of Silicon 326
13.2 Chemical Equilibrium and the Law of Mass Action° 328
13.3 Gas Flow and Boundary Layers° 331
13.4 Evaluation of the Simple CVD System 336
13.5 Atmospheric CVD of Dielectrics 337
13.6 Low-Pressure CVD of Dielectrics and Semiconductors in Hot Wall Systems 339
13.7 Plasma-Enhanced CVD of Dielectrics 343
13.8 Metal CVD⁺ 347
13.9 Summary 350
Problems 350
References 351

Chapter 14 Epitaxial Growth 355
14.1 Wafer Cleaning and Native Oxide Removal 356
14.2 The Thermodynamics of Vapor-Phase Growth 360
14.3 Surface Reactions 364
14.4 Dopant Incorporation 365
14.5 Defects in Epitaxial Growth 366
14.6 Selective Growth+ 368
14.7 Halide Transport GaAs Vapor-Phase Epitaxy 369
14.8 Incommensurate and Strained Layer Heteroepitaxy 370
14.9 Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) 373
14.10 Advanced Silicon Vapor-Phase Epitaxial Growth Techniques 378
14.11 Molecular Beam Epitaxy Technology 381
14.12 BCF Theory+ 386
14.13 Gas Source MBE and Chemical Beam Epitaxy+ 391
14.14 Summary 392
Problems 392
References 393

Part V Process Integration 399

Chapter 15 Device Isolation, Contacts, and Metallization 401
15.1 Junction and Oxide Isolation 401
15.2 LOCOS Methods 404
15.3 Trench Isolation 407
15.4 Silicon on Insulator Isolation Techniques 411
15.5 Semi-insulating Substrates 412
15.6 Schottky Contacts 414
15.7 Implanted Ohmic Contacts 418
15.8 Alloyed Contacts 421
15.9 Multilevel Metallization 423
15.10 Planarization and Advanced Interconnect 428
15.11 Summary 432
Problems 433
References 434

Chapter 16 CMOS Technologies 439
16.1 Basic Long-Channel Device Behavior 439
16.2 Early MOS Technologies 441
16.3 The Basic 3-μm Technology 442
16.4 Device Scaling 447

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com