




高等院校电子科学与技术专业系列教材

微电子器件 与IC设计

刘刚 何笑明 陈涛 编著

 科学出版社
www.sciencep.com

高等院校电子科学与技术专业系列教材

微电子器件与 IC 设计

刘 刚 何笑明 陈 涛 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为教育部“电子科学与技术”教学指导委员会推荐用书。

本书主要讲述微电子器件及集成电路设计的基本理论。主要内容有：电子器件的物理基础、PN结、双极晶体管、结型场效应晶体管、MOSFET、异质结器件、双极型集成电路、MOS集成电路。

本书可作为高等院校电子、通信、计算机、自动控制、光电子等专业本科生的教材，也可供微电子科学、电子器件、集成电路等领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微电子器件与IC设计 / 刘刚, 何笑明, 陈涛编著. —北京: 科学出版社, 2005

(高等院校电子科学与技术专业系列教材)

ISBN7-03-014916-5

I. 微… I. ①刘…②何…③陈… III. ①微电子技术—电子元件—高等学校—教材 ②集成电路—电路设计—高等学校—教材 IV. TN4

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第010042号

责任编辑: 马长芳 资丽芳 贾瑞娜 / 责任校对: 朱光光
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年3月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2005年3月第一次印刷 印张: 24 1/2

印数: 1—4 000 字数: 470 000

定 价: 30.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<双青>)

《高等院校电子科学与技术专业系列教材》编委会

- | | | |
|-----|-----------|----------|
| 主 编 | 姚建铨 | 天津大学 |
| 副主编 | 金亚秋 | 复旦大学 |
| | 陈治明 | 西安理工大学 |
| | 吕志伟 | 哈尔滨工业大学 |
| 委 员 | (按姓氏音序排列) | |
| | 曹全喜 | 西安电子科技大学 |
| | 崔一平 | 东南大学 |
| | 傅兴华 | 贵州大学 |
| | 郭从良 | 中国科技大学 |
| | 郭树续 | 吉林大学 |
| | 黄卡玛 | 四川大学 |
| | 金伟琪 | 北京理工大学 |
| | 刘纯亮 | 西安交通大学 |
| | 刘 旭 | 浙江大学 |
| | 罗淑云 | 清华大学 |
| | 马长芳 | 科学出版社 |
| | 毛军发 | 上海交通大学 |
| | 饶云江 | 重庆大学 |
| | 张怀武 | 电子科技大学 |
| | 张在宣 | 中国计量学院 |
| | 周乐柱 | 北京大学 |
| | 邹雪城 | 华中科技大学 |
| 秘 书 | 资丽芳 | 科学出版社 |

序 言

21 世纪,随着现代科学技术的飞速发展,人类历史即将进入一个崭新的时代——信息时代。其鲜明的时代特征是,支撑这个时代的诸如能源、交通、材料和信息等基础产业均将得到高度发展,并能充分满足社会发展和人民生活的多方面需求。作为信息科学的基础,微电子技术和光电子技术同属于教育部本科专业目录中的一级学科“电子科学与技术”。微电子技术伴随着计算机技术、数字技术、移动通信技术、多媒体技术和网络技术的出现得到了迅猛的发展,从初期的小规模集成电路(SSI)发展到今天的巨大规模集成电路(GSI),成为使人类社会进入信息化时代的先导技术。20 世纪 60 年代初出现的激光和激光技术以其强大的生命力推动着光电子技术及其相关产业的发展,光电子技术集中了固体物理、波导光学、材料科学、半导体科学技术和信息科学技术的研究成就,成为具有强烈应用背景的新兴交叉学科,至今光电子技术已经应用于工业、通信、信息处理、检测、医疗卫生、军事、文化教育、科学研究和社会发展等各个领域。可以预言,光电子技术将继续微电子技术之后再次推动人类科学技术的革命和进步。因此,本世纪将是微电子和光电子共同发挥越来越重要作用的时代,是电子科学与技术飞速发展的时代。

电子科学与技术对于国家经济发展、科技进步和国防建设都具有重要的战略意义。今天,面对电子科学技术的飞速发展,世界上发达国家像美国、德国、日本、英国、法国等都竞相将微电子技术和光电子技术引入国家发展计划。我国对微电子技术和光电子技术的研究也给予了高度重视。在全国电子科学技术的科研、教学、生产和使用单位的共同努力下,我国已经形成了门类齐全、水平先进、应用广泛的微电子和光电子技术的科学研究领域,并在产业化方面形成了一定规模,取得了可喜的进步,为我国科学技术、国民经济和国防建设做出了积极贡献,在国际上也争得了一席之地。但是我们应该清醒地看到,在电子科学与技术领域,我国与世界先进水平仍有不小的差距,尤其在微电子技术方面的差距更大。这既有历史、体制、技术、工艺和资金方面的原因,也有各个层次所需专业人才短缺的原因。

为了我国电子科学与技术事业的可持续发展和抢占该领域中高新技术的制高点,就必须统筹教育、科研、开发、人才、资金和市场等各种资源和要素,其中人才培养是极其重要的一环。根据教育部加强高等学校本科教育的有关精神,电子科学与技术教学指导委员会和科学出版社,经过广泛而深入的调研,组织出版了这套电子科学与技术本科专业系列教材。

本系列教材具有以下特色:

1. 多层次。考虑到多层面的需求(普通院校、重点院校或研究型大学、应用型大学),根据不同的层次,有针对性地编写不同的教材,同层次的教材也可能出版多种面向的教材。

2. 延续传统、更新内容,基础精深、专业宽新。教材编写在准确诠释基本概念、基本理论的同时,注重反映该领域的最新成果和发展方向,真正使教材能够达到培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”人才的目的。

3. 拓宽专业基础,加强实践教学。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强培养人才的适应性;注重实践环节的设置,以促进实际动手能力的培育。

4. 适应教学计划,考虑自学需要。教材的编写完全按照教学指导委员会最新的课程要求和课程要求的指示精神,同时给学生留有更大的选择空间,以利于学生的个性发展和创新能力的培养。

5. 立体化。教材的编写是立体的,包括主教材、学习辅导书、教师参考书和多媒体课件等等。

本系列教材的编写集中了全国高校的优势资源,突出了多层次与适应性、综合性与多样性、前沿性与先进性、理论与实践的结合。在教材的组织和出版过程中得到了相关学校教务处及学院的帮助,在此表示衷心的感谢。

根据电子科学与技术专业发展战略的要求,我们将对这套系列教材不断更新,以保持教材的先进性和适用性。热忱欢迎全国同行以及关注电子科学与技术领域教育及发展前景的广大有识之士对我们的工作提出宝贵意见和建议。

教育部“电子科学与技术”教学指导委员会主任
中国科学院院士,天津大学教授

前 言

21 世纪初,大学本科教育逐渐呈现“厚基础、宽口径”的新特点。电子信息科学技术也由昔日那种元器件与电路系统互相分割的局面走向相互融合的态势,特别是大规模、超大规模集成电路的飞速发展与广泛应用,使电子、通信及计算机等领域在小型化、多功能化及智能化方面获得了全面推进,导致 FPGA, ASIC 等 IC 设计技术成了 IT 专业人才的必备知识及新的追求。顺应这一新趋势,我们向通信、自动化、光电子、计算机及电子科学与技术等专业的本科生开设了“微电子器件及 IC 设计”这一课程,以拓宽 IT 类学生在集成电路方面的基础理论知识,并且在多年教学实践的基础上,编写了这本《微电子器件与 IC 设计》教材。

该教材涵盖了半导体物理、双极晶体管、场效应晶体管、异质结器件、双极与 MOS 集成电路,以及微电子工艺等方面的基础理论。要真正掌握 IC 设计技术,必须对微电子器件的结构、工作原理及其特性有一定理解。本书不像微电子概论那么简约,也不像晶体管原理一类专业书那么深入;而是较为系统地论述了电子器件的物理基础,基本器件的结构原理、特性,以及集成电路的单元电路结构,IC 设计的方法、步骤,版图设计规则等知识;重在基本原理与方法的分析,同时兼顾传统与现代的不同理念,具有“简明、适中、新颖、实用”的特点。学生只要具有普通物理和电子电路基础,通过本书的学习,就能较为全面地了解与掌握集成电路设计的基本理论与方法。考虑到各专业学生知识背景不尽相同,学习能力与兴趣也相差甚远,教师在使用本书时可依据具体要求做出适当安排。对微电子学、电子科学与技术等专业学生,可主要讲授第 2~7 章有关器件方面的内容;对通信、光电子、自动化及计算机等专业学生,可重点讲授第 1、2、3、6 与第 8、9 章的基础内容。对于所有有志于 IC 设计的本科生及研究生,本书能为他们提供该领域内系统而广泛的基础理论与技术方面的知识。

本书由刘刚教授任主编,负责大纲的制订及全书的协调、统稿、审阅等工作,并编写了第 3、4、5、6、7 章及附录等内容;第 1、2 章由陈涛副教授编写,第 8、9 章由何笑明副教授编写。

在编写的过程中,我们参考了大量国内有关电子器件、晶体管原理、集成电路等方面的传统教材,同时也参考了国际上在该领域内的许多新教材,其中主要的文献资料已详细列于书后,但难免会有未顾及到的,在此一并表示衷心感谢。

在该教材成书过程中,得到了多位同行、学生及家人的大力支持,限于篇幅,不

能将他们的名字一一列举,谨此表示深深的谢意。

迫于教务繁忙,时间仓促,书中疏漏乃至谬误之处在所难免,敬请广大读者不吝赐教。

刘 刚

2005年2月1日于喻家山

符 号 表

A	PN 结面积	D_{ne}	发射区电子扩散系数
A_e	发射结面积	D_{pe}	发射区空穴扩散系数
A_c	集电结面积	D_{nb}	基区电子扩散系数
a	线性缓变结杂质浓度梯度; 冶金沟道半厚度; 晶格常数	D_{pb}	基区空穴扩散系数
BV_{EBO}	集电极开路时, 发射极-基极击穿电压	D_{nc}	集电区电子扩散系数
BV_{CBO}	发射极开路时, 集电极-基极击穿电压	D_{pc}	集电区空穴扩散系数
BV_{CEO}	基极开路时, 集电极-发射极击穿电压	E	电场强度
BV_{DS}	漏源击穿电压	E_b	基区内建电场
BV_{GS}	栅源击穿电压	E_e	发射区内建电场
b	沟道半厚度	E_{bn}	大注入基区内建电场
C_T	PN 结势垒区电容	E_m	PN 结空间电荷区最高场强
$C_T(0)$	零偏 PN 结势垒区电容	E_F	费米能级
C_D	PN 结扩散电容	E_{Fn}	电子准费米能级
C_{TE}	发射结势垒区电容	E_{Fp}	空穴准费米能级
C_{TC}	集电结势垒区电容	E_i	本征能级
C_{DE}	发射极扩散电容	E_c	导带底能量
C_{DC}	集电极扩散电容	E_v	价带顶能量
C_{ox}	单位面积栅氧化层电容	E_g	禁带宽度
C_G	栅极总电容	E_s	半导体表面电场强度
C_{ds}	漏源寄生电容	E_{sw}	功率-延迟积
C_{gs}	小信号栅源电容	f_T	特征频率
C_{gd}	小信号栅漏电容	f_{β}	共发射极正向电流增益截止频率
C_{LT}	MOS 输出端对地总电容	f_{α}	共基极正向电流增益截止频率
D_n	电子扩散系数	f_{gm}	跨导截止频率
D_p	空穴扩散系数	f_M	最高振荡频率
		F_m	晶格失配系数
		G_p	功率增益
		G_v	电压增益
		G_{pm}	最大功率增益

G_0	冶金沟道电导	I_{sb}	基区表面漏电流
g_D	PN 结二极管电导	I_{EBO}	集电极开路时,发射极-基极反向 电流
g_i	输入电导	I_{CBO}	发射极开路时,集电极-基极反向 电流
g_o	输出电导	I_{CCH}	高电平输出时,从电源 V_{cc} 吸收的 电流
g_{μ}	反馈电导	I_{CCL}	低电平输出时,从电源 V_{cc} 吸收的 电流
g_m	跨导	I_{CEO}	基极开路时,集电极-发射极反向 电流
g_{ms}	饱和区跨导	I_{CM}	集电极最大电流
g_{ml}	线性区跨导	I_{CS}	集电极饱和电流
g_{mb}	衬底跨导	I_{BS}	临界饱和和基极电流
g_d	漏源电导	I_{BX}	过驱动基极电流
g_{ds}	饱和区漏源电导	I_G	栅极电流
h_{FE}	共发射极正向电流增益	I_{DSat}	饱和漏极电流
h	栅耗尽区厚度	I_{DSS}	最大饱和和漏极电流
I_n	电子电流	I_{DSub}	亚阈值电流
I_p	空穴电流	i_D	PN 结二极管瞬态电流;漏极瞬 态电流
I_D	PN 结二极管电流;漏极电流	i_d	PN 结二极管小信号电流;漏极 小信号电流
I_{DS}	MOSFET 漏源电流	i_{ds}	漏源小信号电流
I_0	PN 结二极管饱和电流	i_E	发射极瞬态电流
I_F	PN 结二极管正向电流	i_e	发射极小信号电流
I_R	PN 结二极管反向电流	i_B	基极瞬态电流
I_E	发射极电流	i_b	基极小信号电流
I_B	基极电流	i_C	集电极瞬态电流
I_b	瞬态基极电流	i_c	集电极小信号电流
I_C	集电极电流	J_n	电子电流密度
I_{nb}	基区电子电流	J_p	空穴电流密度
I_{nc}	集电结电子电流	J_{pe}	发射区空穴电流密度
I_{ne}	发射区电子电流	J_{nb}	基区电子电流密度
I_{pe}	发射区空穴电流		
I_{pc}	集电区空穴电流		
I_{rb}	基区复合电流		
I_{re}	发射结势垒复合电流		
I_{rg}	势垒反向产生电流		
I_{rd}	反向扩散电流		
I_s	双极晶体管表面漏电流		

J_{pc}	集电区空穴电流密度	n	电子密度
J_{pb}	基区空穴电流密度	n_i	本征载流子密度
K_{vc}	共模电压增益	n_{ie}	有效本征载流子密度
K_{vd}	差模电压增益	n_{e0}	发射区热平衡电子密度
K	绝对温度; I - V 特性系数	n_{n0}	N型区热平衡电子密度
K_V	MOSFET 电压放大系数	n_{p0}	P型区热平衡电子密度
k	玻尔兹曼常量; 同比缩小系数	n_{ob}	基区热平衡电子密度
L_{Di}	本征德拜长度	n_{c0}	集电区热平衡电子密度
L_{De}	非本征德拜长度	n_p	P型区非平衡电子密度
L_n	电子扩散长度	n_e	发射区非平衡电子密度
L_p	空穴扩散长度	n_b	基区非平衡电子密度
L_{pe}	发射区空穴扩散长度	n_c	集电区非平衡电子密度
L_{pc}	集电区空穴扩散长度	P	P型区
L_{nb}	基区电子扩散长度	p	空穴密度
L_E	发射极总周长	p_{p0}	P型区热平衡空穴密度
l_e	发射极条长	p_{e0}	发射区热平衡空穴密度
l_{eff}	发射极有效条长	p_e	发射区非平衡空穴密度
L_e	发射极引线电感	p_{b0}	基区热平衡空穴密度
L_b	基极引线电感	p_b	基区非平衡空穴密度
L	沟道长度	p_c	集电区非平衡空穴密度
L_{eff}	有效沟道长度	p_{c0}	集电区热平衡空穴密度
M	倍增系数	Q_N	PN结中性N区过剩载流子电荷
N	N型区	Q_P	PN结中性P区过剩载流子电荷
N_C	导带底有效态密度, 集电区杂质浓度	Q_D	PN结中性扩散区过剩载流子电荷; JFET 栅 PN 结 N 区耗尽层 离化施主电荷
N_V	价带顶有效态密度	Q_E	发射区非平衡载流子总电荷
N_D	施主杂质浓度	Q_B	基区非平衡载流子总电荷, MOS 单 位面积表面耗尽区电荷
N_A	受主杂质浓度	Q_{BS}	基区超量储存电荷
N_B	基区杂质浓度	Q_{CS}	集电压超量储存电荷
N_{BC}	衬底杂质浓度	Q_X	超量储存电荷
N_E	发射区杂质浓度	Q_G	单位面积栅电荷
N_S	扩散杂质表面浓度	Q_{GT}	栅极总电荷
N_{ES}	发射区扩散杂质表面浓度		
N_{BS}	基区扩散杂质表面浓度		

Q_{BM}	单位面积最大表面耗尽区电荷	t_{ch}	MOST 沟道渡越时间
Q_{ox}	单位面积二氧化硅层电荷	t_{tr}	MOST 总渡越时间
Q_n	单位面积表面反型层电子电荷	U	电子-空穴净复合率
Q_{nT}	沟道总电子电荷	V_D	PN 结内建电势或接触电势差
Q_C	JFET 沟道载流子电荷	V_{DE}	发射结内建电势
q	电子电量	V_{DC}	集电结内建电势
$R_{\square b}$	内基区方块电阻	V_A	PN 结二极管外加电压
$R_{\square B}$	外基区方块电阻	V_{EA}	Early 电压
$R_{\square e}$	发射区方块电阻	V_F	PN 结二极管正向电压
r_b	基极电阻	V_R	PN 结二极管反向电压
r_{b1}	内基区电阻	V_{Dn}	异质结空间电荷区净掺杂 N 型部分内建电势差
r_{b2}	外基区电阻	V_n	外加电压在异质结空间电荷区 N 型部分压降
r_{bc}	基极接触电阻	V_{Dp}	异质结空间电荷区净掺杂 P 型部分内建电势差
r_{cs}	集电极串联电阻	V_p	外加电压在异质结空间电荷区 P 型部分压降
r_e	发射结电阻	V_{IH}	开门电平
r_{es}	发射极串联电阻	V_{IL}	关门电平
R_D	漏极串联电阻	V_N	噪声容限
R_G	栅极串联电阻	V_{OH}	输出高电平
R_{on}	沟道导通电阻	V_{OL}	输出低电平
R_S	源极串联电阻	V_J	外加在 PN 结空间电荷区上的电压
S	表面复合速率; 饱和深度; 栅电压摆幅	V_t	热电势
S_e	发射极条宽	V_B	PN 结雪崩击穿电压
S_b	基极接触条宽	V_{BE}	基极-发射极电压
S_{eb}	发射结边缘-基极接触边缘距离	V_{CB}	集电极-基极电压
t_d	延迟时间	V_{CE}	集电极-发射极电压
t_{dn}	MOSFET 导通延迟时间	V_{JE}	发射结外加电压
t_{df}	MOSFET 关断延迟时间	V_{JC}	集电结外加电压
t_r	上升时间	V_{PT}	穿通电压
t_s	储存时间	V_{CES}	饱和压降
t_f	下降时间		
t_{on}	开启时间		
t_{off}	关断时间		
t_{ox}	二氧化硅层厚度		

V_{GS}	栅源电压	β_0	共发射极直流及低频电流增益
V_{DS}	漏源电压	β	共发射极高频电流增益 MOSFET
V_{BS}	衬源电压		增益因子
V_T	阈电压	β_0^*	基区输运系数
V_{TN}	N 沟道阈电压	β_F	共发射极正向电流增益
V_{TP}	P 沟道阈电压	β_R	共发射极反向电流增益
V_{DSat}	饱和漏源电压	γ_0	发射结直流发射效率
V_S	表面势	γ	发射结交流发射效率 MOSFET
V_{FB}	平带电压		衬偏调制系数
V_{OX}	二氧化硅层电压降	Δp_n	N 区过剩空穴密度
V_{on}	导通电压	Δn_p	P 区过剩电子密度
V_P	夹断电压	ΔE_g	禁带变窄量
v_{sl}	载流子极限漂移速度	ϵ_0	绝对介电常数
W	沟道宽度	ϵ_s	硅相对介电常数
W_b	有效基区宽度	ϵ_{ox}	二氧化硅相对介电常数
W_{b0}	冶金基区宽度	η	基区电场因子
W_c	集电区宽度	λ	沟道长度调制系数
W_{cib}	电流感应基区宽度	μ_n	电子迁移率
W_{eff}	有效沟道宽度	μ_p	空穴迁移率
W_e	中性发射区宽度	μ_{ne}	发射区电子迁移率
W_{epi}	外延层厚度	μ_{pe}	发射区空穴迁移率
W_N	PN 结二极管中性 N 区宽度	μ_{nb}	基区电子迁移率
W_P	PN 结二极管中性 P 区宽度	μ_{pb}	基区空穴迁移率
x_m	PN 结空间电荷区宽度	μ_{nc}	集电区电子迁移率
x_j	结深	μ_{pc}	集电区空穴迁移率
x_{je}	发射结深度	μ_{eff}	有效迁移率
x_{jc}	集电结深度	μ_s	低场表面迁移率
α_0	共基极直流及低频电流增益	ρ	电阻率
α	共基极高频电流增益	σ_n	电子电导率
α_F	共基极正向电流增益	σ_p	空穴电导率
α_R	共基极反向电流增益	τ_n	电子寿命
α_n	电子电离率	τ_p	空穴寿命
α_p	空穴电离率	τ_{nb}	基区电子寿命
		τ_{pe}	发射区空穴寿命

τ_{pc}	集电区空穴寿命	τ_c	集电结延迟时间
τ_{ne}	发射区电子寿命	τ_d	集电结空间电荷区渡越时间
τ_s	晶体管饱和时间常数	τ_t	JFET 小信号延迟时间
τ_S	SHR 寿命	$q\phi_{ms}$	金属半导体功函数差
τ_A	Auger 寿命	$q\phi_m$	金属功函数
τ_{eff}	大注入有效寿命	$q\phi_s$	半导体功函数
τ_B	基极时间常数	ϕ_{sb}	肖特基势垒接触势
τ_b	基区渡越时间	χ	电子亲和势
τ_E	发射极时间常数	φ_F	费米势
τ_e	发射极延迟时间	φ_{FP}	P 型材料费米势
τ_C	集电极时间常数	φ_{FN}	N 型材料费米势

目 录

第 1 章 半导体物理基础	1
1.1 半导体的形成与能带	1
1.2 本征半导体	5
1.3 杂质半导体	10
1.4 半导体的导电性	12
1.5 非平衡载流子	22
思考题 1	29
习题 1	29
第 2 章 PN 结	31
2.1 平衡 PN 结能带图及空间电荷区	31
2.2 理想 PN 结的伏安特性	36
2.3 实际 PN 结的特性	43
2.4 PN 结的击穿	52
2.5 PN 结的电容	62
思考题 2	65
习题 2	65
第 3 章 双极晶体管(1)	67
3.1 双极晶体管的结构	67
3.2 双极晶体管的放大原理	73
3.3 双极晶体管电流增益	77
3.4 反向直流参数及基极电阻	96
3.5 双极晶体管直流伏安特性	102
思考题 3	110
习题 3	110
第 4 章 双极晶体管(2)	112
4.1 交流小信号电流增益	112
4.2 双极晶体管频率特性参数	122
4.3 双极晶体管的开关原理	127
4.4 双极晶体管的开关时间	133
4.5 双极晶体管大电流特性	140

4.6 晶体管耗散功率及安全工作区	150
思考题 4	153
习题 4	154
第 5 章 结型场效应晶体管	155
5.1 JFET 结构与工作原理	156
5.2 MESFET	161
5.3 JFET 直流特性	165
5.4 直流特性的非理想效应	167
5.5 JFET 交流小信号特性	170
思考题 5	175
习题 5	175
第 6 章 MOSFET	177
6.1 MOS 结构及其特性	177
6.2 MOSFET 结构及工作原理	180
6.3 MOSFET 阈值电压	185
6.4 MOSFET 直流特性	193
6.5 MOSFET 小信号特性	208
6.6 MOSFET 开关特性	216
6.7 短沟道效应及按比例缩小规则	219
思考题 6	226
习题 6	226
第 7 章 异质结器件	228
7.1 异质结	228
7.2 HBT 的工作原理与特性	234
7.3 HBT 的工艺、结构与设计	240
7.4 HEMT 的原理与特性	246
7.5 HEMT 的结构和设计	252
思考题 7	258
习题 7	258
第 8 章 双极型集成电路	259
8.1 集成电路简介	259
8.2 双极型集成电路中的元件结构与基本制造工艺	261
8.3 双极型数字集成电路中的门电路	271
8.4 双极型模拟集成电路中的基本单元电路	281
8.5 双极型集成电路的版图设计	295

思考题 8	300
习题 8	301
第 9 章 MOS 集成电路	304
9.1 MOS 集成电路简介	304
9.2 MOS 集成电路中的基本单元电路	309
9.3 半导体集成电路设计方法和步骤	339
9.4 MOSIC 单元电路的版图设计	345
思考题 9	364
习题 9	364
参考文献	367
附录	369