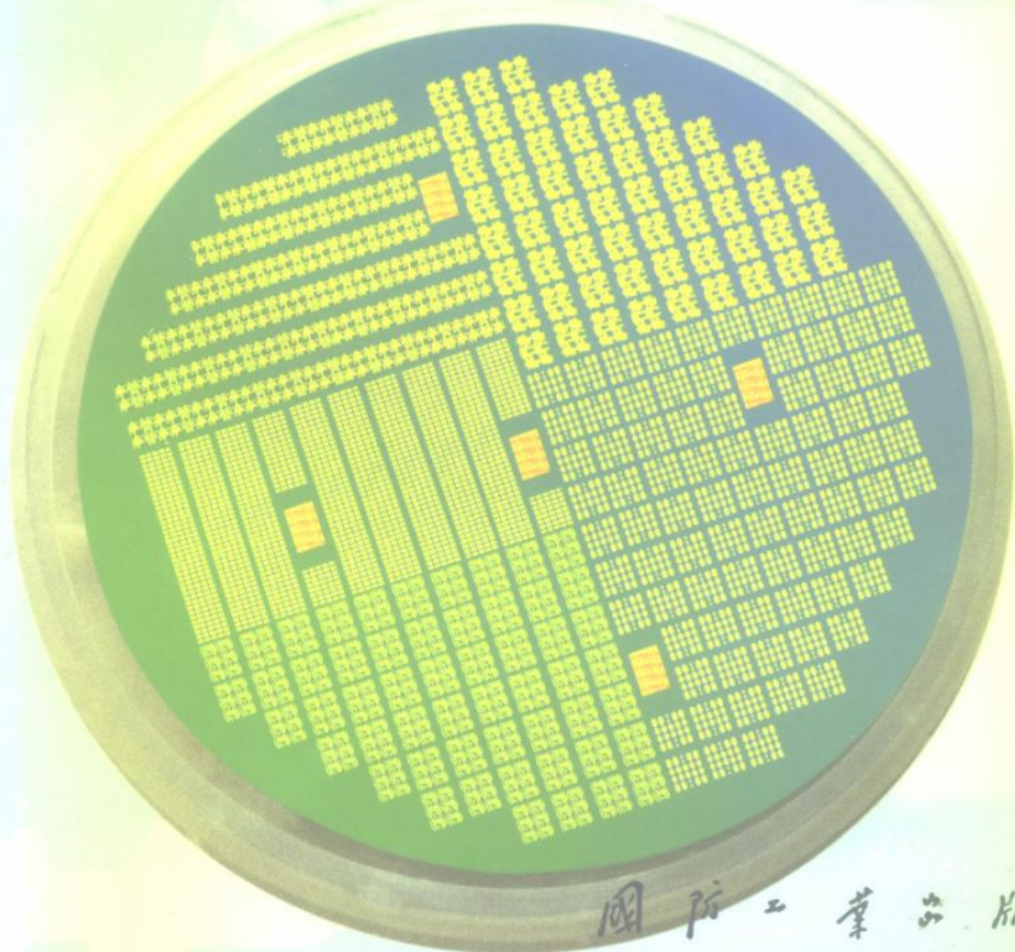


现代电子信息技术丛书

微电子技术

—— 信息装备的精灵

主编 毕克允 副主编 林金庭 梁春广 巫向东



国防工业出版社

N4
B64

455497

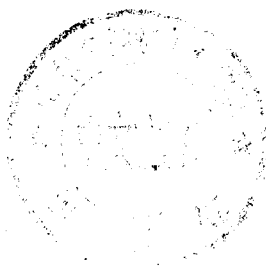
电子科学研究院组织编著

现代电子信
息技术丛书

微 电 子 技 术

——信息装备的精灵

主 编 毕克允
副主编 林金庭 梁春广
巫向东



00455497

国防工业出版社

·北京·

311.90/10

图书在版编目(CIP)数据

微电子技术:信息装备的精灵/毕克允主编.-北京:
国防工业出版社,2000.2
(现代电子信息技术丛书)
ISBN 7-118-02162-8

I.微… II.毕… III.微电子技术 IV.TN4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41294 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 427 千字

2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《现代电子信息技术丛书》编审委员会

名 誉 主 任 胡启立 曹刚川

主 任 王金城 吕新奎

常务副主任 童志鹏

副 主 任 汪致远 王小谟 毕克允 殷鹤龄 于安成

 安卫国 熊和生 徐步荣 张仁杰 邱荣钦

委 员 王 政 夏乃伟 程淑清 杨星豪 侯印鸣

 何非常 黄月江 干国强 杨天行 石书济

 廖复疆 梅遂生 陈景贵 陈光禧 沈能珏

 张立鼎 瞿兆荣 徐泽善

《现代电子信息技术丛书》总编委

总 编 童志鹏

副 总 编 邱荣钦 王晓光

委 员 李德珍 张国敏

《微电子技术》分册编著人员

主 编 毕克允

副 主 编 林金庭(常务) 梁春广 巫向东

编著人员 (按姓氏笔划排序)

王 红 汤小川 李佑斌 李涵秋 杨功铭

苏世民 陈克金 邹永达 邵 凯 袁明文

钱小工 徐世晖 薛舫时

序

信息技术是一个复杂的多层次多专业的技术体系,粗略地可以分为系统和基础两个层次。属于系统层的一般按功能分,如信息获取、通信、处理、控制、对抗(简称为 5C 技术,即 Collection, Communication, Computing, Control, Countermeasure 五个词的第一个字母)等;基础层技术一般按专业分,如微电子、光电子、微波真空电子等。

信息技术革命的火炬是由微电子技术革命点燃的,它促进了计算机技术、通信技术及其他电子信息技术的更新换代,迄今,尚未有尽期。信息技术革命推动产业革命,使人类社会经历了农业、工业社会后进入了信息社会。

大规模集成电路的集成度是微电子技术革命的重要标志,它遵循摩尔(Moore)定律,每 18 个月翻一番,预计可延伸到 2010 年。届时,每个芯片可包含 100 亿(10^{10})个元件,面积可达到 10cm^2 ,作为动态存储器的存储量可达 64Gb(吉比特),接近理论极限 10^{11} 个元件和 256Gb 存储量。微处理器芯片的运算速度每 5 年提高一个数量级,到本世纪末,每个芯片运算速度可达 $10\sim 100$ 亿次每秒,有人认为,实现 2000 亿次的单片微处理器在技术上是可能的。与此相适应,每芯片比特存储量与每 MIPS(兆指令每秒)运算量的成本将呈指数式下降,现在一个 100 兆指令/s 专用数字信号处理芯片只售 5 美元。如果飞机的价格也像微电子那样呈指数式下降的话,70 年代初买 1 块比萨饼的费用在 90 年代就可以买 1 架波音 747 客机。3 年内 1 部电话机将只用 1 块芯片,5 年内 1 台 PC 机的全部功能可在 1 个芯片上实现,6 年内 1 部 ATM 交换机的核心功能也可用 1 个单片完成。由于微处理器芯片价格持续不断地下降,构成了它广泛应用的基础。现在,在一般家庭、汽车和办公室中,就有 100 多个微处理器在工作,不仅是 PC 机,而且在电话机、移动电话机、电视机、洗衣机、烘干机、立体声音响、家庭影院中也有。1 辆高档汽车中包含 20 多种可编程微处理器,1 架波音 777 客机含有 100 多万行的计算机程序代码。

通信技术的进步还得力于光子技术的进步。光通信速率(比特每秒)每两年翻一番,现在实验室中已可做到 10^{12}b/s ,即可将全世界可能传输的全部通信量于同一时刻内在 1 根光纤中传送,或相当于 1s 内传输 1000 份 30 卷的百科全书。通信速率的提高和通信容量的增大,使光通信成本也不断降低,与 80 年代相比,降低了两个数量级。

因特网是全球信息基础设施的雏形,其发展速度惊人。现在每 0.4s 增加

一个用户,每4min增加一个网络。1996年联网数大于10万,联网主机数大于1000万,用户数大于7000万(预计到本世纪末,将大于2亿),PC机总量将达5亿,联网主机达3000万,信息量每5年翻一番。越来越多的公司、团体、机关、个人通过信息网络相互联接,其应用范围从单纯的电子函件通信扩大到远程合作(包括教育、诊断、办公、会议、协作等)、按需点播、多媒体文娱、电子商务、银行、支付等,人类社会生存与发展的另一维空间,即信息空间或称为赛博空间(Cyberspace)正在形成。如果说工业社会是建筑在汽车与高速公路上的话,信息社会则是建筑在信息与信息高速公路上的。政府、军队、经济、金融、电力、交通、电信等关键部门都要依赖于信息基础设施的正常运行。信息技术和信息产业的水平已成为综合国力的重要标志,也是国际竞争力的焦点与热点。

信息技术的飞跃发展及其渗透到各行各业的广泛应用,不仅推动了产业革命,而且也深刻地改变了人们的工作、学习和生活的方式。信息技术不仅扩展了人的视觉、听觉等感知能力,而且还渗透到思维领域,减轻或部分地替代人的脑力劳动,提高思维的效率和质量,实现人的思维能力的延伸,增强人的认知能力。信息作为事物的属性与相互关系的状态的表达是客观存在的,但不是显在的,很多是潜在的,有的是深埋的,有待挖掘与提炼。信息技术大大地丰富了信息采集的内容,提高了信息处理的能力,为人们对客观事物及其规律的认识提供了创新的工具,也为人们正确认识与有效改造主观世界和客观世界提供了源泉,将使社会的物质文明与精神文明建设得到极大的发展。

信息、能源与物质是人类社会赖以生存与发展的三大支柱。在信息社会中,信息是最重要的支柱和最重要的产业,它影响着其他两个支柱的健康发展,包括生产、传输、分配、运行、减少损耗、改善管理、提高效率、降低成本等等;同时,它还能不断地培育与发展新物质和新能源的发明与生产,不断地改善生态环境,从而使人类社会进入可持续发展的健康轨道。

信息革命在带动产业革命的同时也带动军事革命,使得军事技术、武器装备、作战思想、作战方式、战争形态、军事原则、军事条令与部队编成等都将发生深刻的变化。如果农业社会是冷兵器时代,工业社会是热兵器时代,那么信息社会则是信息兵器时代。信息、信息系统与信息化平台、武器与弹药成为战场上的主战兵器。信息优势成为传统的陆地、海洋、空中、空间优势以外的新的争夺领域,并深刻地制约着传统领域的战斗胜负,从而构成信息化战争的新形态。在这种战争中,战争胜负决定于敌对双方掌握信息与信息技术的广度与深度。信息不仅是兵力倍增器,它本身就是武器和目标,是双方必争的制高点。1991年初的海湾战争,被称为硅片战胜钢铁的战争,即源于这样的认识。它开启了赛博空间战、网络战、信息战等簇新的作战方式。

以信息优势为核心的军事革命是建筑在先进的指挥、控制、通信、计算机、情报、监视、侦察及其一体化的信息战能力的基础上的,这个众系之系(系统的系统)我国称为综合电子信息系统,与美军后来提出的 C⁴ISR/TW 相当,它由以下 6 部分组成。

1. 鲁棒的多探测器信息栅格网络。为作战部队提供作战空间感知优势。
2. 先进的指挥控制与作战管理栅格网络。为部队提供作战的先期规划、胜敌一筹的作战部署,执行作战指挥控制与一体化兵力管理能力。
3. 从探测器到射击器的栅格网络。为部队提供精确制导武器的动态目标管理、分配与引导,协同作战,一体化防空,快速战损评估和再打击能力。
4. 联合的通信、导航与定位栅格网络。提供可靠、安全、大容量与高精度的信息,以支持部队的机动行动,确保全面优势。
5. 信息进攻能力。采取侵入、操纵与扰乱等手段,阻碍敌人作战空间感知、认知与有效用兵能力。
6. 信息防护能力。保证我方信息系统的安全,防护敌方对我信息网络的利用、干扰和破坏。

这个系统的系统涉及众多先进的信息技术的横向与纵向的有机集成,它包括雷达和光电的有源与无源探测技术、有线和无线及固定和移动通信技术、计算机硬件和软件技术、精确导航定位技术、航天航空测控技术、信息安全保密技术、电子战技术等横向专业技术的集成;也涉及微电子技术、光子与光电子技术、真空电子技术、压电与传感器技术等先进元器件技术,电子材料技术、电源技术、测试技术、先进制造技术等纵向基础技术的集成。当代军事革命要求在创新的军事思想指引下,发展有层次多专业的纵横集成的信息技术;同时,又要求在先进的信息技术驱动下,培育与发展新的军事思想,并在此基础上推动作战原则、军事条令与部队编成的变革,形成军事革命与信息革命的有机结合。

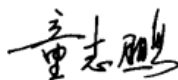
我们正处于世纪之交,党的第十五次代表大会的胜利召开,启动了有中国特色的社会主义事业在邓小平理论的指引下全面进入 21 世纪。我国的国防与军队现代化建设的跨世纪历史进程已经开始。为了适应军事革命环境下的高新技术军事斗争的需要,我军必须拥有信息优势,必须拥有以先进的综合电子信息系统为基础结构的性能优良的武器装备,必须提高部队素质,把人才培养推上新的台阶。

江泽民总书记非常重视人才的培养,他多次指示,要用高新技术知识武装全军头脑。在未来的信息化战场上,知识将成为战斗力的主导因素,敌对双方的较量将更突出地表现为高素质人才的较量。本丛书的编写出版就是为贯彻这个伟大号召提供系统基础知识。全书以先进的综合电子信息系统为龙头,

多层次、全方位地介绍相关的各项先进信息技术,既包括系统技术,也包括基础技术,共17个方面,荟萃成17个分册。丛书的编写以普及先进信息技术知识为目标,以中专以上文化程度,从事军、民用电子信息技术有关业务的技术人员和管理干部为主要对象,努力做到深入浅出,雅俗共赏,图文并茂,引人入胜,文字简练,语言流畅,学术严谨,论述准确,使其具有可读性、可用性、先进性、系统性与权威性。参加丛书各分册撰写的作者都是长期从事现代信息技术研究与发展的专家,他们在繁重的业务工作的同时,废寝忘食,长期放弃节假日的休息,辛勤耕耘,鞠躬尽瘁,为本丛书做出了卓越的贡献。他们以自己的模范行动,“努力成为先进思想的传播者、科学技术的开拓者、‘四有’公民的培育者和优秀精神产品的生产者”。我谨代表总编委向他们致以衷心的感谢!

本丛书的编写出版得到原国防科工委与原电子工业部领导的大力支持,得到国防工业出版社领导及责任编辑们的积极推动与努力,借此之机,向他们表示由衷的感谢!

中国工程院院士
原电子工业部科技委常务副主任



前 言

本书是《现代电子信息技术丛书》的一个分册,是为那些渴望了解微电子技术的读者而编写的。

半个世纪以来,以微电子技术为核心的信息化技术革命正以迅雷不及掩耳之势推动着世界经济和社会向前发展,我们赖以生存的地球正在发生无比深刻的变化。从目前发展态势来看,21 世纪将是信息化的世纪。微电子技术以其神秘莫测的力量推动着科学技术和生产力的发展,创造了空前的信息文明。与此同时,人们意识到战争模式将发生变化,信息兵器时代将不同于冷兵器和热兵器时代,信息时代的战争将是兵器信息化和信息兵器化的高科技战争,其核心将是高强度地使用微电子技术。处于信息化变革之中的社会,到处充满着信息硬件和软件,因此人们从各个角度希望学习和了解有关微电子技术的知识。为了满足这种要求,我们组织了从事微电子研制的资深专家和工程技术人员编写这本科技读物——《微电子技术》,以飨读者。

参加本书编写的单位有电子科学研究院,南京电子器件研究所(原电子工业部五十五所)林金庭、薛舫时、徐世晖、李涵秋、陈克金和邵凯(负责编写一、二、三、八、十二章),河北半导体研究所(原电子工业部十三所)钱小工、苏世民、袁明文(负责编写九、十、十一章),四川固体电路研究所(原电子工业部二十四所)杨功铭、邹永达(负责编写四、五、六、七章)。全书共分十二章,第一、二、三章分别讲述了微电子的战略地位,发展微电子的物理基础,晶体管和集成电路的发明;第四、五、六、七章主要讲述微电子的逻辑推理、运算和记忆,以及集成电路是如何处理各种各样信息的;第八章介绍射频微波集成电路的功能和应用;第九、十章介绍节能半导体及微电子大家族;第十一章展示集成电路是怎样制造出来的;第十二章展望 21 世纪初微电子的发展趋势。

本书涉及的知识面非常广泛,编写过程中力求用比较通俗的语言,深入浅出地把微电子的主要知识介绍给读者,但由于水平和篇幅所限,时间又较紧迫,恐有违初衷。本书初稿完成后,虽进行了多次修改,但不当和错误之处在所难免,敬请读者不吝批评指正。

在编写过程中,参考了大量专著和文献,但限于篇幅未能一一列出,在此深表歉意。对支持编写本书的单位领导和有关专家深表谢意!

梁克允

目 录

第一章 概论	1
1.1 微电子是社会信息化的基础	1
1.2 微电子是兵器信息化的核心	2
1.3 认识微电子、使用微电子	4
第二章 揭开半导体的秘密	6
2.1 五彩缤纷的固体世界	7
2.1.1 石器时代、铜器和铁器时代	7
2.1.2 绝缘体、导体和半导体	7
2.1.3 半导体的怪脾气	7
2.2 经典的固体导电理论	8
2.2.1 德鲁特的自由电子导电模型	8
2.2.2 经典物理的困惑	8
2.3 微观世界的奥秘	8
2.3.1 微观世界的量子特性	8
2.3.2 波粒二象性和测不准原理	9
2.3.3 波动性和量子力学	10
2.3.4 本征态和量子数	10
2.3.5 不相容原理和费米—狄拉克分布	11
2.4 晶体电子的能带和导电性能	12
2.4.1 晶体的周期性和电子能带的形成	12
2.4.2 导带、满带,电子、空穴	13
2.4.3 固体电子的导电模型	14
2.4.4 半导体能带中载流子的准经典运动	14
2.4.5 半导体中的光跃迁	16
2.5 半导体中的杂质	17
2.6 微电子的基础材料——取之不尽用之不竭的硅	17
2.7 多种多样的半导体	18
2.7.1 化合物半导体	18
2.7.2 半导体混晶	19
2.7.3 耐高温半导体	19
2.7.4 超晶格半导体和纳米半导体	20
2.7.5 非晶半导体	20
2.8 PN结和异质结	20
2.8.1 PN结的平衡能带图	20

2.8.2 PN 结的伏安特性	22
2.8.3 重掺杂 PN 结中的隧道电流	22
2.8.4 PN 结的电容	24
2.8.5 半导体异质结	24
2.9 金属—半导体接触和 MOS 结构	24
2.9.1 金属—半导体接触势垒和伏安特性	24
2.9.2 欧姆接触	25
2.9.3 MOS 结构中的积累层、耗尽层和反型层	25
2.9.4 MOS 结构的电容	26
参考文献	26
第三章 晶体管的发明和集成电路的出现	27
3.1 20 世纪最重要的发明之一——晶体管	27
3.1.1 晶体管的诞生	27
3.1.2 晶体管的基本特性	29
3.1.3 后来居上的场效应晶体管	33
3.1.4 功能各异的二极管	35
3.2 第一块集成电路的出现	36
3.2.1 20 世纪最具影响的发明	36
3.2.2 集成电路优于晶体管的特点	38
3.3 集成电路从 SSI、MSI、VLSI 到 GLSI	38
3.3.1 大规模和超大规模集成电路的诞生	38
3.3.2 集成电路的发展阶段与摩尔定律	39
3.3.3 大规模和超大规模集成电路使微电子技术进入新阶段	40
3.3.4 集成电路的发展趋势及其特点	41
3.4 集成电路的分类	42
3.4.1 形形色色的集成电路	42
3.4.2 数字集成电路	44
3.4.3 模拟集成电路	44
3.4.4 微波集成电路	45
3.4.5 半导体集成电路、膜集成电路和混合集成电路	46
第四章 存储百科全书的芯片	47
4.1 表示“0”和“1”的半导体集成电路	47
4.2 机器思维的逻辑方法及基本逻辑电路	50
4.2.1 什么是逻辑代数?	50
4.2.2 逻辑函数的常用表示方法	51
4.2.3 “与”、“或”、“非”是最基本的逻辑运算	52
4.2.4 最简单的逻辑门电路	53
4.2.5 复合门电路举例	55
4.3 组合逻辑电路与时序逻辑电路	56
4.3.1 什么是组合逻辑电路?	56
4.3.2 主要的组合逻辑电路	57
4.3.3 什么是时序逻辑电路?	58

4.3.4 时序电路举例	58
4.3.5 形形色色的触发器	61
4.4 能藏万卷书的半导体存储器电路	64
4.4.1 什么是存储器	65
4.4.2 半导体存储器的主要指标和类型	65
4.4.3 存储器的基本组成	66
4.5 半导体存储器大家族中的主要成员	67
4.5.1 随机存取存储器(RAM)	67
4.5.2 只读存储器(ROM)	70
4.5.3 闪烁只读存储器(Flash ROM)	72
4.5.4 铁电存储器(FRAM)	73
4.6 可存储万卷书的芯片	74
4.7 21 世纪的存储器	75
4.7.1 飞速发展的半导体存储器	75
4.7.2 新原理、新材料微电子存储器举例	76
第五章 千变万化的信息处理电路	78
5.1 模拟信号与模拟电路	79
5.1.1 种类繁多的模拟集成电路	80
5.1.2 模拟集成电路的特点和基本单元电路	81
5.2 常用模拟集成电路	83
5.2.1 线性模拟集成电路	83
5.2.2 非线性模拟集成电路	85
5.2.3 集成稳压器与集成基准源	88
5.3 模拟和数字转换电路	91
5.3.1 A/D、D/A 转换器在现代电子信息技术中的地位和作用	91
5.3.2 集成 A/D、D/A 转换器的发展和应用简介	92
5.4 多种多样的 A/D、D/A 转换器	93
5.4.1 D/A 转换器	93
5.4.2 A/D 转换器	95
5.5 数字信号处理电路	99
5.5.1 数字信号处理	99
5.5.2 数字信号处理器	100
5.5.3 数字信号处理技术的应用	101
5.6 神经网络芯片	102
5.6.1 人脑与人工神经网络	103
5.6.2 人工神经网络芯片	104
5.6.3 人工神经网络的用途及其发展	104
参考文献	105
第六章 将计算机做在小硅片上	106
6.1 没有集成电路就没有微型计算机	106
6.1.1 计算机迅猛发展的 50 年	106

6.1.2 没有集成电路就没有微型计算机	107
6.1.3 与微电子技术比翼齐飞的微型机	108
6.2 微型计算机的基本结构及其基础微电路	110
6.2.1 运算数据的几种基础电路	110
6.2.2 构成微型计算机的“五大件”	112
6.2.3 微型计算机用的其他微电路举要	115
6.3 微型机之核心是微处理器	117
6.3.1 绚丽多姿的微处理器	117
6.3.2 从 4 位到 64 位微处理器芯片	117
6.4 精简指令微型机芯片	121
6.5 带 MMX 功能的 MPU	122
6.6 形形色色的微控制器(MCU)	123
6.7 信息革命大潮中的微处理器	124
6.7.1 无处不在的微器件	124
6.7.2 伴您走遍天下的微处理器——IC 卡	125
6.8 仿脑神经网络的计算机芯片	127
6.8.1 为什么要研究人工神经网络计算机	127
6.8.2 能模仿人脑的人工神经网络计算机	129
6.9 21 世纪的微电脑电路芯片	131
6.9.1 沿着现代微电子技术继续攀高	131
6.9.2 另辟蹊径	132
第七章 特殊用途的集成电路	134
7.1 特殊用途的 IC 就在你身边	134
7.2 电子产品竞争的关键——ASIC	136
7.3 专用集成电路分类	138
7.4 全定制 ASIC 和半定制 ASIC	139
7.5 门阵列和门海	142
7.5.1 门阵列与结构单元	143
7.5.2 门阵列与母片结构	144
7.5.3 门阵列的设计与 ASIC 的定制	146
7.5.4 我国军用门阵列产品的研制开发简介	146
7.5.5 门阵列发展趋势展望	147
7.6 标准单元	148
7.6.1 标准单元及标准单元设计法	148
7.6.2 积木式与嵌入式	150
7.6.3 我国采用标准单元设计技术研制的 ASIC 简介	151
7.7 可编程逻辑器件	151
7.7.1 PLD 及其编程	152
7.7.2 各类 PLD 简介	153
7.7.3 现场可编程逻辑器件	153
7.7.4 专用逻辑集成电路	155

7.8 模拟 ASIC 和模—数 ASIC	155
7.8.1 模拟集成电路的特点及其与模拟 ASIC 和模—数 ASIC 的关系	156
7.8.2 模拟 ASIC 和模—数 ASIC 设计方法简介	157
7.9 特别用途的专用集成电路	159
7.9.1 抗核辐射专用集成电路	159
7.9.2 武器信息化促成特别用途的集成电路异彩纷呈	162
参考文献	163
第八章 现代兵器的灵巧耳目——砷化镓单片微波集成电路	164
8.1 单片微波集成电路(MMIC)历史演义	164
8.1.1 难识庐山真面目	164
8.1.2 微波技术的三次变革	165
8.1.3 MMIC 的技术经济双重优势	166
8.1.4 MMIC 技术的发展前沿	167
8.2 MMIC 技术概览	168
8.2.1 巧夺天工的有源器件	171
8.2.2 玲珑剔透的无源元件	174
8.2.3 独具匠心的设计考虑	176
8.2.4 险象环生的工艺流程	177
8.3 MMIC 军用要求	178
8.3.1 有源阵应用需求	180
8.3.2 电子战应用需求	181
8.3.3 灵巧武器应用需求	183
8.3.4 军事通信应用需求	184
8.4 MMIC 民用前景	186
8.5 MMIC 发展动向	189
参考文献	191
第九章 半导体中的节能功臣	192
9.1 三个阶段,三代产品	193
9.1.1 电力电子器件的三个发展阶段和三代产品	193
9.1.2 电力电子器件的分类	194
9.2 在节能中起重要作用的电力电子技术和第二代电力电子器件	195
9.2.1 电力电子技术是机电一体化的关键接口	195
9.2.2 第二代电力电子器件开创了节能新局面	195
9.3 各种电力电子器件的基本结构、特点和功能	196
9.3.1 BJT(GTR)	196
9.3.2 功率 MOSFET	196
9.3.3 IGBT	198
9.3.4 SIT、BSIT 和 SITH	200
9.3.5 SCR 和 GTO	201
9.3.6 MCT	203
9.4 智能功率技术	204

9.4.1 SPIC	204
9.4.2 IPM	206
9.5 电力电子器件的典型应用	207
9.5.1 采用高频电子镇流器的节能灯	207
9.5.2 轻小节能的开关电源	209
9.5.3 能实现安全、环保和节能的汽车电子装置	211
第十章 日益兴旺的微电子家族	216
10.1 方兴未艾的混合集成电路	218
10.1.1 厚膜混合电路	218
10.1.2 薄膜混合电路	221
10.1.3 混合电路的市场概况	222
10.1.4 薄膜和厚膜工艺的比较	223
10.1.5 混合集成电路在现代技术武器中的重要作用	224
10.2 电子组装业的一场革命——表面安装技术	225
10.2.1 表面安装技术的历史背景	225
10.2.2 表面安装技术的基本概念以及在微电子领域中的重要地位	225
10.2.3 表面安装技术的未来发展趋势	228
10.3 阻碍半导体集成电路发展的主要障碍	230
10.3.1 现代电子产业对封装的要求	230
10.3.2 封装技术发展的各个阶段	232
10.3.3 电子封装技术的现状	233
10.4 微电子技术的一颗新星——多芯片模块	237
10.4.1 MCM的特点、起源与定义	237
10.4.2 MCM的现状	238
10.4.3 MCM的典型应用及关键技术	239
10.4.4 MCM的发展趋势	240
10.4.5 MCM在军事上的应用	242
第十一章 从5、3、1到0.5、0.3、0.1——看集成电路的发展	243
11.1 集成电路是怎样制造出来的	243
11.1.1 IC制造工艺概述	243
11.1.2 数字IC和模拟IC的功能及工艺特点	244
11.1.3 制造IC实例	245
11.2 一代设备、一代工艺、一代产品	249
11.3 IC生产线	250
11.3.1 IC生产线模式	250
11.3.2 标准加工线用户	251
11.3.3 模拟工厂	252
11.4 集成电路设计	252
11.4.1 设计流程	253
11.4.2 正向设计与逆向设计	255
11.5 制造工艺	255
11.5.1 外延	256

11.5.2 掺杂	257
11.5.3 本征氧化	259
11.5.4 淀积	260
11.5.5 腐蚀	262
11.5.6 光刻	264
11.5.7 组装和封装	267
11.5.8 测试	270
11.6 微电子制造技术发展趋势	272
参考文献	273
第十二章 信息化高潮期的微电子	274
12.1 21 世纪将是信息化高潮期	274
12.2 集成电路将持续发展	276
12.2.1 集成电路进入技术进步新时代	276
12.2.2 新产品不断涌现	277
12.2.3 微电子产业全球增长	278
12.3 微电子技术新领域	280
12.3.1 微电子机械系统	280
12.3.2 纳米电子技术	282
12.3.3 超导微电子技术	285
12.3.4 有机微电子技术	286