普通高等教育“十五”国家级规划教材
高等院校微电子专业丛书

微电子学概论
（第二版）

张兴　黄如　刘晓彦　编著

北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书是在2000年1月北京大学出版社出版的《微电子学概论》一书的基础上形成的。本书主要介绍了微电子技术的发展历史,半导体物理和器件物理基础知识,集成电路及SOC的制造、设计以及计算机辅助设计技术基础,光电子器件,微机电系统技术和纳电子器件等的基础知识,最后给出了微电子技术发展的一些规律和展望。本书的特点是让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学能有一个总体的、全面的了解;同时让内行的人读完之后不觉得肤浅,体现出了微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。

本书可以作为微电子专业以及电子科学与技术、计算机科学与技术等相关专业的本科生和研究生的教材或教学参考书,同时也可以作为从事微电子或电子信息技术领域工作的科研开发人员、项目管理人员全面了解微电子技术的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

微电子学概论(第二版)/张兴,黄如,刘晓彦编著. —北京:北京大学出版社,2005.6
(高等院校微电子专业丛书)
ISBN 7-301-08145-6

Ⅰ. 微… Ⅱ. ①张…②黄…③刘… Ⅲ. 微电子技术—概论—高等学校—教材 Ⅳ. TN4

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第112554号

书　　名:**微电子学概论**(第二版)
著作责任者:张兴　黄如　刘晓彦　编著
责 任 编 辑:沈承凤
标 准 书 号:ISBN 7-301-08145-6/TP·0031
出 版 发 行:北京大学出版社
地　　址:北京市海淀区成府路205号　100871
网　　址:http://cbs.pku.edu.cn　电子信箱:zpup@pup.pku.edu.cn
电　　话:邮购部62752015　发行部62750672　编辑部62752038
排　版　者:兴盛达打字服务社　82715400
印　刷　者:北京大学印刷厂
787mm×1092mm　16开本　23.5印张　541千字
2005年6月第1版　2005年6月第1次印刷
定　　价:33.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,翻版必究

序　言

本书的三位作者都是北京大学的青年教师，也都是我和韩汝琦教授的学生。为他们即将出版的书写序言，自然有一番格外的喜悦。江山代代自有人才出，这原是客观规律，只有后浪推前浪，才能形成“不尽长江滚滚来”。

微电子科学技术和产业发展的重要性，首先表现在当代的食物链上，即国民经济总产值（GNP）每增加 100～300 元，就必须有 10 元电子工业和 1 元集成电路产值的支持。而且据相关数据表明，发达国家或是走向发达的国家过程中，在经济增长方面都有这样一条规律：电子工业产值的增长速率是 GNP 增长速率的 3 倍，微电子产业的增长速率又是电子工业增长速率的 2 倍。因此可以毫不夸张地说，谁不掌握微电子技术，谁就不可能成为真正意义上的经济大国，对于像我们这样一个社会主义大国更是如此。

发展微电子产业和微电子科学技术的关键在于培养高质量的人才，因此让广大理工科特别是信息技术学科的大学生掌握微电子的相关知识是十分重要的，由张兴、黄如、刘晓彦三位年轻教授编著的《微电子学概论》正是出于此目的，为非微电子专业的学生讲授关于微电子的相关基础知识，这必将有助于培养出更多的微电子发展综合人才，促进我国微电子产业规模和科学技术水平的提高。

如何组织这些相关知识，还有待于在实践中探索研究。我个人认为还是要包含微电子科学技术的主要内容，包括半导体器件物理、系统行为级的设计考虑、制造过程、测试封装的关键技术以及发展方向，如目前发展潜力巨大的微机电系统技术，等等，并且应当把“Top to Down”的设计方法学作为重点内容之一。

我相信，在他们三位的努力下，《微电子学概论》这本书的质量一定会越来越好。我期待着《微电子学概论》早日出版，尽快与广大读者见面，使更多的人从中受益。

王阳元

1999 年春于燕园

第二版前言

微电子学科的生命力就体现在她是一个发展极为迅速的学科。从1999年我们完成《微电子学概论》第一版的时间算起已经过去5年了。在这五年里,微电子科学技术也得到了突飞猛进的发展,系统集成芯片(SOC: System On Chip)技术迅速崛起,光电子技术发展日新月异,纳电子技术也开始取得重要的突破性进展。

另外,近五年也是我国微电子科学技术及产业迅速崛起的5年。记得5年前还有很多人怀疑我国的微电子技术到底该如何发展,现在随着中芯国际12英寸大规模集成电路生产线等一批高水平集成电路制造企业的出现,我国的微电子产业进入了黄金发展时期。

为了感谢广大读者对《微电子学概论》一书的厚爱,同时也为了适应微电子科学技术快速发展的特点和我国微电子科学技术及产业快速发展的现状,使广大读者能够对微电子技术的最新进展有一个更为全面的了解,我们组织人员编写了《微电子学概论》的第二版。

在编写第二版时,我们继续坚持了编写第一版时制定的两个原则:(1) 让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学能有一个总体的、全面的了解;(2) 让内行的人读完之后不觉得肤浅,要体现出微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。除此之外,我们着重考虑了要力求能够较为全面地反映近5年来微电子科学技术的最新进展。由于我们的水平和篇幅所限,肯定还会有很多遗漏,但由于时间的关系,只好等以后再逐步完善了。

在第二版中,新增加了第十章纳电子器件,该章主要介绍了纳电子器件的基础知识和一些新型的纳电子器件;将原来的SOC部分从第一版中的第五章独立出来,扩充成为第七章;重新改写了原来的特种微电子器件一章,改造成为现在的第八章光电子器件;补充了微机电系统一章中的内容;同时对其他章节也都进行了修改、补充和完善。

第二版的《微电子学概论》一书共分为11章。第一章简述了微电子技术的发展历史,第二章讨论了半导体物理和器件物理基础,第三章介绍集成电路基础,第四章介绍了集成电路制造工艺,第五章介绍集成电路设计,第六章阐述了集成电路计算机辅助设计技术,第七章介绍了SOC的相关知识,第八章简要介绍了光电子器件,第九章讨论了微机电系统技术,第十章介绍了目前极具发展潜力的纳电子器件,第十一章给出微电子技术发展的一些规律和展望。其中第七章由黄如教授、蒋安平博士编写,第八章由王金延博士编写,第十章由傅云义博士编写,第九章由吴文刚博士重新编写,第四章由关旭东教授进行了重新编写,第一、十一章由甘学温教授进行了修改补充,第五、六章由黄如教授进行了修改,第二、三章由刘晓彦教授进行了修改,最后由张兴教授对全书进行了审核。

王阳元院士对本书的再版提出了许多建设性的意见,我们三人及本书的主要人员大多

是王老师的学生,我们取得的任何成绩都是与王老师的亲切教诲所分不开的,在此作者向王老师表示最诚挚的感谢。

韩汝琦教授、吉利久教授、康晋锋教授、郝一龙教授、张大成教授、赵宝瑛教授、张天义教授、陈中建博士、于敦山博士等审阅了部分手稿,并与作者进行了多次有益的讨论,提供了一些原始资料,使我们受益匪浅,在此,向他们表示衷心的感谢。

张兴、黄如、刘晓彦
2004 年秋于北京大学

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

自本世纪50年代晶体管诞生以来,微电子技术发展异常迅速,目前已进入甚大规模集成电路和系统集成时代,微电子已经成了整个信息时代的标志和基础。可以毫不夸张地说,没有微电子就没有今天的信息社会。

各种电子系统都需要大量的集成电路和集成系统芯片,这样,除了从事微电子专业的人员之外,其他相关专业如计算机、电子学、自动控制、通讯等领域的人员都非常需要和渴望了解微电子知识。正是在这种情况下,北京大学开设了《微电子学概论》这门新课。该课程的主要目的是使学生对微电子学的基本知识有一个比较系统、全面的了解和认识。这对于培养新型信息领域的人才是非常重要的。该课程的另一个目的是使刚入校不久的微电子专业的学生了解什么是微电子、微电子的研究领域是什么,通过该课程对微电子有一个总体的全面的了解,培养对微电子的兴趣。在北京大学,微电子学概论已经列入校级主干基础课。

目前国内有关微电子学概论方面的教材很少,很难找到一本合适的教材,为此,我们组织人员编写了《微电子学概论》教材。该书由张兴博士、黄如博士和刘晓彦博士共同编著。

在编写这本教材时,我们制定了两个原则:第一是让外行的人能够看懂,通过阅读这本书能够对微电子学能有一个总体的、全面的了解;第二是让内行的人读完之后不觉得肤浅,要体现出微电子学发展极为迅速的特点,将微电子学领域中的一些最新观点、最新成果涵盖其中。现在这本书写完了,再回过头来看这本书,似乎这两个要求并没有完全体现出来,特别是第一点,实现起来似乎更加困难。但由于时间的关系,只好等以后再逐步完善了。

全书共分为9章,第一章简述微电子技术的发展历史,第二章讨论半导体物理和器件物理基础,第三章介绍集成电路基础,第四章介绍了集成电路制造工艺,第五章介绍集成电路设计,第六章阐述了集成电路计算机辅助设计技术,第七章简要介绍了几种重要的微电子器件,第八章讨论了目前极具发展潜力的微机电系统技术,最后在第九章将给出微电子技术发展的一些规律和展望。其中第一、四、七、八、九章由张兴博士执笔,第二、三章由刘晓彦博士执笔,第五、六章由黄如博士执笔,最后由张兴博士对全书进行了审核。

王阳元院士在百忙之中亲自为本书写了序言,并为本书提出了许多建设性的意见,我们三人都是王老师的学生,我们取得的任何成绩都是与王老师的亲切教诲所分不开的,在此作者向王老师表示最诚挚的感谢。

韩汝琦教授、吉利久教授、倪学文教授、关旭东教授、李映雪教授、郝一龙副教授、张大成

高级工程师、赵宝瑛副教授、甘学温副教授、张天义副教授、蒋安平博士、康晋峰博士、李志宏博士、万新恒博士等审阅了部分手稿，并与作者进行了多次有益的讨论，提供了一些原始资料，使我们受益匪浅，在此，向他们表示衷心的感谢。

张兴、黄如、刘晓彦
1999 年春于北京大学

目　　录

序言 …… (1)
第二版前言 …… (1)
前言 …… (1)

第一章　绪论 …… (1)
1.1　晶体管的发明 …… (4)
1.2　集成电路的发展历史 …… (7)
1.3　集成电路的分类 …… (9)
1.3.1　按器件结构类型分类 …… (9)
1.3.2　按集成电路规模分类 …… (10)
1.3.3　按结构形式的分类 …… (10)
1.3.4　按电路功能分类 …… (11)
1.3.5　集成电路的分类小结 …… (12)
1.4　微电子学的特点 …… (13)
第二章　半导体物理和器件物理基础 …… (15)
2.1　半导体及其基本特性 …… (15)
2.1.1　金属-半导体-绝缘体 …… (15)
2.1.2　半导体的掺杂 …… (16)
2.1.3　半导体的电导率和电阻率 …… (17)
2.1.4　迁移率 …… (19)
2.2　半导体中的载流子 …… (23)
2.2.1　半导体中的能带 …… (23)
2.2.2　多子和少子的热平衡 …… (27)
2.2.3　电子的平衡统计规律 …… (29)
2.2.4　过剩载流子 …… (32)
2.3　pn 结 …… (33)
2.3.1　平衡 pn 结 …… (35)
2.3.2　pn 结的正向特性 …… (37)

2.3.3 pn 结的反向特性 …… (39)
2.3.4 pn 结的击穿 …… (41)
2.3.5 pn 结的电容 …… (43)
2.4 双极晶体管 …… (44)
2.4.1 双极晶体管的基本结构 …… (44)
2.4.2 晶体管的电流传输 …… (46)
2.4.3 晶体管的电流放大系数 …… (48)
2.4.4 晶体管的直流特性曲线 …… (50)
2.4.5 晶体管的反向电流与击穿电压 …… (53)
2.4.6 晶体管的频率特性 …… (55)
2.5 MOS 场效应晶体管 …… (56)
2.5.1 MOS 场效应晶体管的基本结构 …… (57)
2.5.2 MIS 结构 …… (58)
2.5.3 MOS 场效应晶体管的直流特性 …… (61)
2.5.4 MOS 场效应晶体管的种类 …… (64)
2.5.5 MOS 场效应晶体管的电容 …… (65)

第三章 大规模集成电路基础 …… (68)
3.1 半导体集成电路概述 …… (68)
3.2 双极集成电路基础 …… (70)
3.2.1 集成电路中的双极晶体管 …… (70)
3.2.2 双极型数字集成电路 …… (73)
3.2.3 双极型模拟集成电路 …… (76)
3.3 MOS 集成电路基础 …… (76)
3.3.1 集成电路中的 MOSFET …… (77)
3.3.2 MOS 数字集成电路 …… (78)
3.3.3 CMOS 集成电路 …… (83)
3.4 BiCMOS 集成电路基础 …… (86)

第四章 集成电路制造工艺 …… (90)
4.1 双极集成电路工艺流程 …… (90)
4.2 MOS 集成电路工艺流程 …… (93)
4.3 光刻与刻蚀技术 …… (97)
4.3.1 光刻工艺简介 …… (97)
4.3.2 几种常见的光刻方法 …… (98)

4.3.3　超细线条光刻技术 ……（99）
4.3.4　刻蚀技术 ……（101）
4.4　氧化 ……（102）
4.4.1　SiO_2 的性质及其作用 ……（102）
4.4.2　热氧化形成 SiO_2 的机理 ……（103）
4.4.3　SiO_2 的制备方法 ……（104）
4.5　扩散与离子注入 ……（106）
4.5.1　扩散 ……（106）
4.5.2　扩散工艺 ……（107）
4.5.3　离子注入 ……（108）
4.5.4　离子注入原理 ……（109）
4.5.5　退火 ……（110）
4.6　化学气相淀积(CVD) ……（111）
4.6.1　化学气相淀积方法 ……（111）
4.6.2　单晶硅的化学气相淀积(外延) ……（112）
4.6.3　二氧化硅的化学气相淀积 ……（113）
4.6.4　多晶硅的化学气相淀积 ……（114）
4.6.5　氮化硅的化学气相淀积 ……（114）
4.7　接触与互连 ……（114）
4.7.1　金属膜的形成方法 ……（115）
4.7.2　难熔金属硅化物栅及其复合结构 ……（116）
4.7.3　多层互连 ……（118）
4.8　隔离技术 ……（118）
4.8.1　双极集成电路隔离工艺 ……（119）
4.8.2　MOS 集成电路隔离工艺 ……（121）
4.9　封装技术 ……（122）
4.10　集成电路工艺小结 ……（124）

第五章　集成电路设计 ……（126）
5.1　集成电路的设计特点与设计信息描述 ……（126）
5.1.1　设计特点 ……（126）
5.1.2　设计信息描述 ……（127）
5.2　集成电路的设计流程 ……（130）
5.2.1　功能设计 ……（132）
5.2.2　逻辑与电路设计 ……（133）

5.2.3 版图设计 …… (134)
5.3 集成电路的设计规则和全定制设计方法 …… (136)
5.3.1 集成电路的设计方法 …… (136)
5.3.2 集成电路的设计规则 …… (136)
5.3.3 全定制设计方法 …… (140)
5.4 专用集成电路的设计方法 …… (142)
5.4.1 标准单元设计(SC)方法和积木块设计(BBL)方法 …… (142)
5.4.2 门阵列设计方法(GA 方法) …… (147)
5.4.3 可编程逻辑电路设计方法 …… (152)
5.5 几种集成电路设计方法的比较 …… (157)
5.6 可测性设计技术 …… (159)
5.7 集成电路设计举例 …… (162)
5.7.1 四位运算器的设计流程 …… (163)
5.7.2 多路开关的设计实现过程 …… (164)

第六章 集成电路设计的 EDA 系统 …… (168)
6.1 集成电路设计的 EDA 系统概述 …… (168)
6.2 高层级描述与模拟——VHDL 及模拟 …… (169)
6.2.1 VHDL 的基本概念及主要作用 …… (169)
6.2.2 VHDL 建模机理的特点 …… (170)
6.2.3 VHDL 的模拟算法 …… (173)
6.2.4 VHDL 模拟环境的特点 …… (174)
6.3 综合 …… (175)
6.4 逻辑模拟 …… (176)
6.4.1 逻辑模拟的基本概念和主要作用 …… (177)
6.4.2 逻辑模拟模型的建立 …… (177)
6.4.3 逻辑模拟算法 …… (180)
6.5 电路模拟 …… (181)
6.5.1 电路模拟的基本概念 …… (181)
6.5.2 电路模拟的基本功能 …… (182)
6.5.3 电路模拟软件的基本结构 …… (183)
6.5.4 电路描述 …… (186)
6.5.5 开关级模拟 …… (187)
6.6 时序分析和混合模拟 …… (188)
6.6.1 时序分析和混合模拟的主要作用 …… (188)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

6.6.2　时序分析的基本原理 …… (188)
6.6.3　混合模拟 …… (190)
6.7　版图设计的 EDA 工具 …… (191)
6.7.1　版图设计的基本概念 …… (191)
6.7.2　版图的自动设计 …… (191)
6.7.3　版图的半自动设计 …… (197)
6.7.4　版图的人工设计 …… (197)
6.7.5　版图检查与验证 …… (198)
6.7.6　制版 …… (200)
6.7.7　版图数据交换的格式 …… (201)
6.8　器件模拟 …… (201)
6.8.1　器件模拟的基本概念 …… (201)
6.8.2　器件模拟的基本原理 …… (202)
6.8.3　器件模拟的基本功能及所用模型 …… (202)
6.8.4　器件模拟的输入文件 …… (204)
6.9　工艺模拟 …… (207)
6.9.1　工艺模拟的基本概念 …… (207)
6.9.2　工艺模拟的基本内容 …… (208)
6.9.3　工艺模拟的输入文件 …… (209)
6.10　计算机辅助测试(CAT)技术 …… (212)
6.10.1　故障模型 …… (213)
6.10.2　计算机辅助测试技术 …… (213)

第七章　系统芯片(SOC)设计 …… (217)
7.1　系统芯片的基本概念和特点 …… (218)
7.2　SOC 设计过程 …… (221)
7.3　SOC 关键技术及目前面临的主要问题 …… (222)
7.3.1　软硬件协同设计 …… (222)
7.3.2　IP 复用技术 …… (223)
7.3.3　SOC 验证 …… (226)
7.3.4　SOC 测试 …… (228)
7.3.5　SOC 的物理设计考虑 …… (231)
7.3.6　FPGA SOC …… (232)
7.4　SOC 的发展趋势 …… (233)

第八章　光电子器件 …… (236)
8.1　固体中的光吸收和光发射 …… (236)
8.1.1　固体中的光吸收过程 …… (237)
8.1.2　固体中的光发射过程 …… (238)
8.2　半导体发光二极管 …… (240)
8.2.1　半导体发光二极管的工作原理 …… (241)
8.2.2　半导体发光二极管的材料 …… (243)
8.2.3　半导体发光二极管的结构 …… (246)
8.3　半导体激光器 …… (247)
8.3.1　半导体激光器的工作原理 …… (248)
8.3.2　半导体激光器的结构和特性 …… (251)
8.4　光电探测器 …… (252)
8.4.1　基本的光电效应 …… (253)
8.4.2　光电导探测器 …… (254)
8.4.3　光电二极管 …… (254)
8.4.4　光电晶体管 …… (257)
8.4.5　电荷耦合器件 …… (258)
8.5　半导体太阳能电池 …… (261)
8.5.1　光生伏特效应 …… (261)
8.5.2　光电转换效率 …… (264)
8.5.3　异质结和非晶硅太阳能电池 …… (266)

第九章　微机电系统 …… (269)
9.1　微机电系统的基本概念 …… (269)
9.2　几种重要的 MEMS 器件 …… (272)
9.2.1　微加速度计(Micro-Accelerometer) …… (272)
9.2.2　微陀螺(micro-gyroscope) …… (275)
9.2.3　MEMS 光开关(MEMS Optical Switch) …… (277)
9.2.4　射频 MEMS 器件(RF MEMS) …… (280)
9.2.5　生物 MEMS(BioMEMS) …… (285)
9.2.6　微马达 …… (287)
9.3　MEMS 加工工艺 …… (289)
9.3.1　硅微机械加工工艺 …… (289)
9.3.2　LIGA 加工工艺 …… (293)
9.4　MEMS 技术发展的趋势 …… (295)

9.5　纳机电系统 …… (297)

第十章　纳电子器件 …… (301)
10.1　纳电子器件概述 …… (301)
10.2　碳纳米管和半导体纳米线 …… (303)
10.3　量子电、量子线 …… (308)
10.4　单电子晶体管 …… (312)
10.5　分子结器件 …… (317)
10.6　场效应晶体管 …… (321)
10.7　逻辑器件及其电路 …… (329)
10.8　小结 …… (336)

第十一章　微电子技术发展的规律和趋势 …… (339)
11.1　微电子技术发展的一些基本规律 …… (339)
11.1.1　摩尔定律 …… (339)
11.1.2　按比例缩小定律 …… (341)
11.2　微电子技术发展的一些趋势和展望 …… (343)
11.2.1　21 世纪初仍将以硅基 CMOS 电路为主流 …… (344)
11.2.2　集成系统是 21 世纪初微电子技术发展的重点 …… (345)
11.2.3　微电子与其他学科的结合诞生新的技术增长点 …… (346)
11.2.4　近几年将有重大发展的一些关键技术 …… (348)

附录 A　微电子学领域大事记 …… (353)
附录 B　微电子学常用缩略语 …… (357)

第一章　绪　　论

综观人类社会发展的文明史，一切生产方式的重大变革都是由新的科学发明而引发的，科学技术作为革命的力量，推动着社会向前发展. 史前的摩擦生火、驯养动物、栽培植物、畜牧业的发展等，可以认为是农业社会中科学技术对生产力发生影响的最初例子. 18 世纪 60 年代到 19 世纪 40 年代，以伽利略自由落体定律、开普勒行星运动三大定律和牛顿在《自然哲学和数学原理》中建立的完整力学体系为科学准备，由纺织机改革引起的动力需求导致了 1774 年英国格拉斯哥大学的修理工瓦特发明蒸汽机，触发了第一次产业革命，产生了近代纺织业和机械制造业，使人类进入利用机器延伸和发展人类体力劳动的时代. 19 世纪 70 年代到 20 世纪 20 年代，以 1820 年奥斯特发现的电磁现象（电动机原理）、1831 年法拉第发现的电磁感应定律（发电机原理）和 1840 年麦克斯韦发现的电磁波理论为理论准备，1866 年德国科学家西门子利用电磁铁制成了实用的发电机并于 1875 年应用于工业，引发了以电气化为代表的第二次技术革命.

当前，我们正在经历着一场新的技术革命，虽然第三次技术革命包含了新材料、新能源、生物工程、海洋工程、航空航天技术和电子信息技术等等，但影响最大、渗透性最强、最具有新技术革命代表性的乃是以微电子技术为核心的电子信息技术. 微电子技术发展的理论基础是 19 世纪末到 20 世纪 30 年代期间建立起来的现代物理学. 这期间的重要发现包括 1895 年德国科学家伦琴发现的 X 射线、1896 年贝克勒尔发现放射性、1897 年英国科学家汤姆孙发现电子、1898 年居里夫人发现镭、1900 年普朗克建立量子论、1905 和 1915 年爱因斯坦提出狭义相对论和广义相对论等. 正是这一系列发明和发现揭示了微观世界的基本规律，导致了海森堡、薛定谔等建立起量子力学的理论体系，为现代电子信息技术革命奠定了理论基础.

信息是客观事物状态和运动特征的一种普遍表现形式，是继材料和能源之后的第三大资源，是人类物质文明与精神文明赖以发展的三大支柱之一. 目前我们正处在一场跨越时空的新的信息技术革命中，它将比历史上的任何一次技术革命对社会经济、政治、文化等带来的冲击都更为巨大，它将改变我们的生产方式、生活方式、工作方式以及治理国家的方式.

实现社会信息化的关键是各种计算机和通讯设备，但是其基础都是微电子. 1946 年 2 月在美国莫尔学院诞生了第一台名为电子数值积分器和计算器（Electronic Numerical Integrator and Computer）的计算机，即 ENIAC，如图 1.1 所示. 当时的 ENIAC 由 18000 个电子管组成，占地 150 m^2，重 30 t，耗电 140 kW，足以发动一辆机车，然而这个庞然大物的运行速度只有每秒 5000 次，存储容量只有千位，平均稳定运行时间只有 7 分钟. 设想一下，这样的计算机能够进入办公室、企业和家庭吗？所以当时曾有人认为，全世界只要有 4 台 ENIAC 就足够了. 可是现在全世界的计算机拥有量已经多达数亿台. 造成这个巨大变革的技术基础就

是微电子,可以说没有微电子就没有今天的电子信息社会. 现在,电子信息产业已经成为世界第一大产业,毫无疑义,21 世纪将是信息化的世纪,因此 21 世纪的微电子技术也必将得到高速发展.

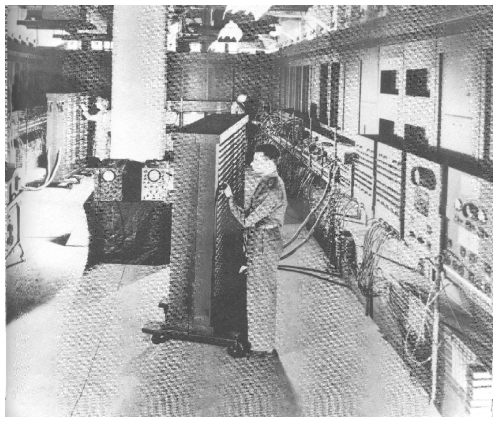


图 1.1　世界上第一台电子计算机 ENIAC

微电子产业对国民经济的战略作用首先表现在当代食物链关系上,现代经济发展的数据表明,GDP 每增长 100 元,需要 10 元左右电子工业增加值的支撑,而其中就包含 2 ~ 3 元的集成电路产品. 又据有关资料测算,集成电路对国民经济的贡献率远高于其他门类的产品,如以单位质量钢筋对 GDP 的贡献为 1 计算,则小汽车为 5,彩电为 30,计算机为 1000,而集成电路的贡献率则高达 2000. 所以一个日本经济学家认为,谁控制了超大规模集成电路技术谁就控制了世界产业;英国人则认为,如果哪个国家不掌握半导体技术,哪个国家就会立刻加入不发达国家行列.

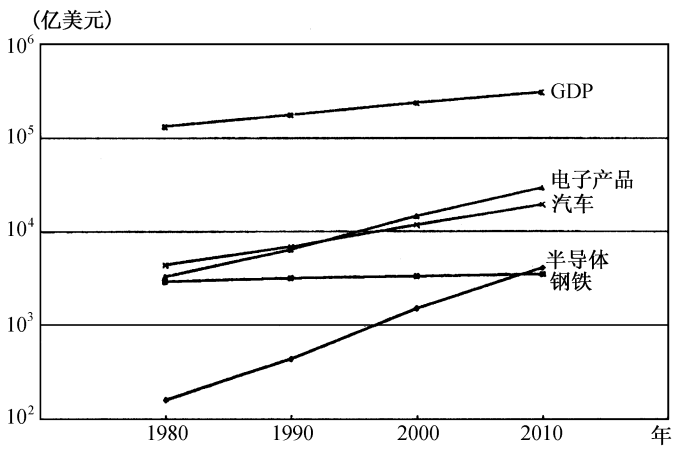


图 1.2　全世界 GDP 和一些主要产业的发展情况

在发达国家的发展过程中还体现出一条重要规律,即电子工业增长速率一般为 GDP 增长速率的 3 倍,而集成电路工业增长速率又是电子工业增长率的两倍. 照此估算,如果今后 17 年我国 GDP 增长速率保持在 5% ~6%,到 2020 年我国集成电路市场总额将达到 2000 亿美元以上,约占当时世界集成电路总销售额的 25%. 图 1.2 给出了 GDP 和一些主要产业的发展情况,可以看出,微电子产业的发展速度是最快的. 几十年来,世界集成电路业的产值以大于 13%,集成度以 46% 的年增长率持续发展,世界上还没有一个产业能以这样高的速度持续增长. 预计在 2007 年左右,微电子产业的产值将超过钢铁工业.

微电子产业发展的如此之快,除了微电子工业本身对国民经济的巨大贡献之外,还与它极强的渗透性有关. 几乎所有的传统产业只要与微电子技术结合,用微电子芯片进行智能改造,就会使传统产业重新焕发青春. 例如火电厂的锅炉给水泵送风机、引风机占了电厂全部耗能的 72%,而全国各行业的风机、水泵的总耗电量占了全国发电量的 36%,仅仅对风机、水泵采用变频调速等电子技术进行改造,每年即可节电 659 亿度,相当于三个葛洲坝电站的发电量;采用交流传动改造后,电力机车可节电 20% ~40%,内燃机车可节油 12% ~14%;对白炽灯进行高效节能改造,并假设推广应用 6000 万只(约为全国白炽灯总产量的 1/18),所节省的电能相当于三座大亚湾核电站的发电量. 若全国一半中等以上城市的自来水公司不同程度地在管网自动检测和生产调度中使用计算机控制,可以使自来水流失率降低 50%.

微电子技术不仅在节能、节材等方面能够使传统产业升级换代,而且还可以使传统产品结构、性能等方面发生革命性的质的变化. 例如当采用微机统一控制的轴-电机装置替代传统的蜗轮、蜗杆、齿轮传动时,汽车将不再是单纯的机械产品,汽车的电子化将导致汽车革命;另外数字化机械加工设备、数字通讯技术以及今后的数字地球等等都是以微电子产品作为基础的.

目前,电子信息技术已经广泛地应用于国民经济、国防建设、乃至家庭生活的各个方面. 在美国每年由计算机完成的工作量超过 4000 亿人年的手工工作量. 在日本每个家庭平均拥有约 100 个芯片,集成电路芯片如同细胞组成人体一样,已成为现代工农业、国防装备和家庭耐用消费品的细胞.

由于集成电路的原材料主要是硅,因此有人认为,从 20 世纪中期,人类进入了继石器时代、青铜器时代、铁器时代之后的硅器时代(Silicon Age). 通过对全世界 4000 多种学术刊物的统计,自 1968 年开始,发表的以硅技术为代表的信息技术领域的学术论文首次突破了以钢铁技术为代表的机械领域的学术论文,如图 1.3 所示,因此可以认为从 1968 年开始我们已经进入硅器时代.

目前,微电子技术已进入甚大规模集成电路和系统集成时代,微电子技术已经成了整个信息时代的标志和基础. 现在各种信息电子系统都需要大量的集成电路和系统集成芯片,这样,除了从事微电子专业的人员之外,其他相关专业如计算机、电子学、自动控制、通讯等领域的人员都非常需要了解微电子知识. 正是在这种情况下,我们编著了《微电子学概论》一

需要全本请访问 www.ertongbook.com