

EDITED BY MERVYN JACK

微电子技术的浪潮

王直华 王淑兰 译 王基奎 校

The Impact of MicroElectronics Technology

电子工业出版社

74-151
623

微电子技术的浪潮

[英] M. A. 杰克 主编

王直华 王淑兰 译

王基奎 校



电子工业出版社

8610506

D-37/16
内 容 提 要

微电子技术是新的技术革命的先导。英国爱丁堡大学组织国际上著名的微电子技术专家撰写的这本书，内容极为丰富。本书介绍了微电子技术的现代发展、微电子电路的制造、微处理机和微计算机，以及微电子技术在工业、办公室、家庭自动化方面的广泛应用；本书还探讨了为适应微电子技术的发展，在教育及职工培养、使用方面应采取的对策。本书有助于各界读者开扩视野，以便推广微电子技术的应用，还可帮助管理干部制定合理的策略，对广大读者还可起指导消费的作用。本书可供具有初等以上文化程度的学生、工人、农民、管理干部及电子学爱好者阅读。

微电子技术的浪潮

〔英〕M. A. 杰克 主编

王直华 王淑兰 译

王基奎 校

责任编辑：吴金生

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

电子外文印刷厂排版 北京科技印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：5.75 字数：127.7千字

1985年3月 第1版 1985年6月 第1次印刷

印数：12600册 定价：1.10元

统一书号：15290·138

前 言

对于微电子技术这样生机勃勃的新技术，各种新发明、新制造工艺、新电路概念、新应用日新月异、层出不穷，因此，任何一个人都面临着一个紧迫的任务，那就是注意知识更新，跟上这些新技术飞速发展的步伐。我们组织有关的作者撰写了这本小册子，向广大读者介绍微电子技术的成就。看来，这是十分必要的。在这些作者当中，有许多名满世界的专家，他们在微电子技术各个不同的领域享有盛誉。所以，由他们撰写各自专长的章节，将使本书内容更为丰富和精彩。

更有意义的是，本书的作者们都是在一道工作的同事，他们都在爱丁堡大学电气工程系及其沃尔夫逊微电子学研究所任职。可以说，世界上任何其他科学机构，都没有如此强有力的研究队伍，没有如此众多的微电子学专家。这使爱丁堡大学引为自豪。本书以其包罗万象的内容深入浅出地介绍了微电子技术的各个领域，使人们对微电子技术本身、它对现代社会的影响、它的意义有一个深刻的印象；从小学生到大学生，乃至一般的群众都能从本书中汲取教益。

J.H. 科林斯

引 论

从七十年代初期开始,爱丁堡大学电气工程系就专门从事微电子技术的教学与科研工作。这个专业化方向发展的一个直接结果,就是诞生了沃尔夫逊微电子学研究所,它是电气工程系附属的研究单位。经过数年的努力,电气工程系和电子学研究所使爱丁堡大学在世界上名声大振,成为英国和国际的微电子学的一个“杰出的中心”。

这个微电子学研究中心的存在,表现于电气工程系和电子学研究所的专家越来越多地应邀讲授微电子学课程或作一般性介绍。他们的听众不仅有对微电子学感兴趣的其他专业的教师和学生,还有工业界以及一般的群众;教学内容不仅有工程技术方面的知识,还包括管理方面的课程。专家们在这些活动中所阐明的观点,便构成了本书的基本轮廓。

本书的每一章都是分别由在该方面具有专长的学者撰写。他们均在爱丁堡大学电气工程系任教或在沃尔夫逊研究所任职。第一章对微电子技术作了全面的概述,强调指出了微电子学与普通电子学的主要区别。在这一章中,作者回顾了从第一台电子计算机直到今天的微电子技术的历史;今天,微电子技术已经发展到这样的阶段,人们着手在一个小小的硅芯片上制造含有一百万个元件的集成电路。在第一章里,作者还把设计集成电路的问题同利用软件定做标准集成电路(如微处理机)的问题作了比较。

第二章题为“微电子电路的制造”,详细地介绍了集成电

路制造过程中的每一个步骤。这些年来，虽然加工技术在不断地改进，但是基本制造原理却没有什麼变化；本章详细地讲述了一些基本的加工工艺，包括制版、光刻、离子注入，等等。第三章介绍了最重要的微处理机，这是一种极为通用的集成电路。由于微处理机的广泛应用，使广大群众对微电子技术的了解大为增加。在这一章中，作者还试图就微处理机在整个微电子技术领域中的地位作出分析，说明迄今出现的几代微处理机在技术方面的发展速度，远远超过它们在各类产品与系统中推广应用的速度。

在介绍了基本技术细节之后，本书转入讲解微电子技术的多种多样的应用，以及采用微电子技术的各类产品的发展。第四章的题目是“家庭计算机与办公室计算机”。这一章介绍了目前可应用于家庭和办公室的计算机的种类及型号，可以说是一份有用的应用指南。本章首先讲解了计算机的基本原理，然后论述个人计算机在家庭中的应用，字处理机、微计算机、小型计算机在办公室中的应用，以及大型主机在大型数据库存储及检索中的应用。

家庭计算机仅仅是一系列新型消费类微电子技术产品中的一个门类，在第五章中评述了几种新型微电子产品，以说明微电子技术对消费类产品的影响及发展趋势。电视机将成为家庭娱乐与信息中心，它的重要性大为提高。本章详细介绍了以家庭计算机为基础的各种设备，叙述了图像数据和电视杂志系统的发展情况，以及盒式磁带录像机和电视唱片的进展。本章还以“会说话的”玩具和电视游戏机为例，说明微电子技术 in 玩具和游戏机方面的应用，并讨论了正在出现的微电子技术在汽车中的一些新应用。

微电子技术 in 医学领域中的应用，也对人们的生活产生

了重大影响。第六章概括了在这个方面取得的一些重要的进展。这一章内容也相当丰富，作者不仅介绍了微电子技术在一些贵重的医学诊断设备（如X射线机、超声扫描机和心电图机）中的应用，而且谈到了微电子技术在记录处方以及为一般开业医生记录病历与诊断情况等方面的应用。

在第七章，我们的视野又转向了工业领域，这一章题为“微处理机在工业过程控制中的应用”。这一章突出地讲述了在复杂的工业过程中微电子技术怎样为人们提供了智能的和自动化的设备。微电子技术应用于状态监控设备，大大提高了可靠性、安全性和效率。读者可以在本章中学到这方面内容。

第八章讨论的是微电子技术的一个最重要的课题——可靠性，即微电子电路和采用微电子技术的产品的可靠性问题。在对各种失效模式进行分析之后，本章进而介绍了提高产品可靠性的方法和在设计寿命期间对产品可靠性进行检验的方法。本章着重讨论了微电子元件本身的可靠性和测试方法。最后一章将本书大部分内容加以归纳，概括了微电子技术对现代社会产生的广泛影响。这一章介绍了微处理机在家庭、学校和办公室中的应用，说明现代社会必须接受微电子技术的挑战，以创造更多的财富。

诚然，我们不能保证微电子技术就是一种未来的技术；但是，我们可以肯定地说，微电子技术是一种具有光辉未来的技术。未来的微电子技术将影响整个社会生活，也必将影响未来社会中的每一个人。这本小册子是爱丁堡大学微电子学专家的一种尝试，它的目标是使整个社会更多地了解微电子技术，使人们对微电子技术意义、它的价值、它的潜力，以及它所受到的限制有一个更深刻的认识。我们希望，这本

书将能使人们对到处渗透着微电子技术的未来社会抱乐观态度。

M.A. 杰克

目 录

前 言

引 论

- 1 微电子技术的现状 (J. 马弗) 1
- 2 微电子电路的制造 (J.M. 罗伯逊)16
- 3 微电子技术 与微处理机 (R.G. 凯利)37
- 4 家庭计算机与办公室计算机 (G.G. 科格希尔)58
- 5 微电子技术在消费产品中的应用 (M.A. 杰克)77
- 6 微电子技术在医学中的应用 (A.R.J. 尼斯)105
- 7 微处理机在工业过程控制中的应用
(R.D.L. 麦凯) 121
- 8 微电子技术与可靠性 (J.R. 乔丹、H.W. 惠廷顿) ... 135
- 9 微电子技术及其对社会的影响 (A.D. 米尔恩) 151

1 微电子技术的现状

微电子技术是一种蓬勃发展的现代技术，通过微电子技术，人们能在一小块芯片上制作复杂的集成电路，完成以往必须由几千个分立晶体管或电子管才能胜任的工作，而且可靠性更高。所以，微电子技术（或集成电路）同过去40年业已建立起来的电子学大相径庭，因为微电子技术的研究重点是硅集成电路或硅芯片。所有的传统的元件，例如晶体管和导线，都能在硅本身内以整体的形式互相联接，此外，大多数其他元件都可以由晶体管来构成。

所有电子技术和微电子技术的目标，都是要生产能实现一定功能的设备或产品，而且这些产品应该体积小、重量轻、价格低。在电子学发展的历程中，一个主要的趋势是不断缩小电路各元件的尺寸，即硬件的小型化，使元件达到小型或微小型。因此，同分立元件组装的设备相比，集成电路电子设备体积更小、重量更轻、耗电更省、价格更低、可靠性更高。集成电路业已广泛应用于各种电子系统中，并且使许多领域发生了根本性变革，这些领域有：工业电子学、医用仪器设备、消费电子学，等等。在消费电子学方面，应用最普遍的袖珍计算器和晶体管收音机都是具有代表性的产品。电子系统（包括上述两种产品在内）可以归结为具有电子智能（由硅芯片提供）的输入输出变换器（如键盘、扬声器、显示器，用来把物理量转换为电学量，或者反之，把电学量转换为物理量）。在集成电路中，已经把实际设计和工程实现

包含在内,因此极大地减少了工业中耗费资金的装配操作。这就使以微电子技术为基础的各种产品的可靠性极高。与集成电路本身的可靠性相比,组装与连接的质量对系统总的可靠性影响更大。

微电子技术与传统电子学之间的实际差别非常大,因此完全可以把微电子学看作是一个崭新的工业部门。微电子技术具有高度的科学性,这使得一些新的公司如果不能吸引高质量的人才,那么它就不能兴旺发达。与这种人力要求的同时,还要有大量的投资,才能高效率地设计、制造和测试所需的微电子电路。的确,一个现代化的微电子电路制造厂的初始投资通常在2千万美元以上,这还不包括建设厂房和它的修理费用。但是,尽管所需要的投资额很大,对管理方面提出的主要要求则是保持高质量人员的必要数量,这些人员包括设计师、应用专家、加工与测试微电子电路的熟练人员。微电子技术涉及许多学科,它需要的知识包括固体物理学、电子技术、物理学、化学,以及机械工程。在今天,我们很难找到一个人具备上述两个以上学科的知识。然而,为了使微电子技术获得不断发展,微电子技术工业中的工程师和科学家应该对这个学科的各个方面有比较全面的了解,这同样是很重要的。

说到电子学的起源,要追溯到20世纪初真空管(或称电子管)的发明。电子管是在简单的电灯泡的基础上发展起来的,电灯的作用只是发光,而电子管却能放大电信号。由于电子管的发明,于本世纪20年代出现了无线电,30年代出现了电视,电子技术首次对人类社会产生了广泛的影响。

大约在这时,人们开始研制第一台电子计算机,这里使用的器件仍然是早已用于收音机的电子管。我们很难确切估

计这些早期计算机的规模，因为它们同今天的计算机毫无相似之处。在第一批真正的电子计算机中，有一台是1946年*于宾夕法尼亚大学展出。这台计算机称为ENIAC，在它足足占满了10米宽、15米长的大厅、重量达30吨，采用了18000只电子管。它的功率消耗也很惊人，相当于180台酒吧电炉。尽管这台计算机如此庞大，但它只能进行一些简单的计算；今天千百万人用袖珍计算器就能完成这些计算，而袖珍计算器重量只有几盎司，价格只有几美元，用电池供电就能工作。

今天，向社会提出最大挑战的，不是借助应用微电子技术而大大改进的无线电和电视，而是飞速发展的计算机和它的微电子技术伙伴——微处理机。由于现有的计算能力的运用，才使人们有可能研制许多新产品。那么，为什么会出现这种可能，迄今为止它又达到怎样的水平呢？要回答这两个问题，关键在于晶体管。1947年，在纽约附近的贝尔电话实验室首次展示了晶体管。同以往电子管相比，晶体管有很多优点，即体积小、耗电省，以及后来实践表明它的可靠性极高。晶体管的发明是一个重大的突破，它给电子工业以推动，在1947年至1958年期间，半导体晶体管工艺不断得到完善，从而诞生了一个崭新的工业部门——半导体工业。到1959年，仅美国就有57家半导体公司，从事着这种劳动密集型工业生产。

的确，双极晶体管的发明，使人们能够生产出比电子管更加轻、小、可靠、价廉以及性能更好的设备，但是它只不过是一场巨大技术革命——单片集成电路——的序幕。集成电路的诞生与发展，使人们能够把电路的一个个元件都制作

* 原文为1940年，实际应为1946年——译者注。

在同一个芯片上，即以一种集成的形式出现。早期的集成电路极其简单，一个芯片上只有几十个元件。六十年代初期所达到的集成度的水平，称为小规模集成（SSI）。到六十年代中期，由于半导体工业的进步，集成度的水平已经提高到几百个元件，达到中规模集成（MSI）。七十年代是大规模集成阶段（LSI），在一个芯片上可集成几千个到二十多万个元件。人们把八十年代看作是超大规模集成（VLSI）的阶段，超大规模集成电路将进入大批生产时期。

半导体工业的开创者之一 G. 穆尔（仙童半导体公司的创立人、英特尔公司的奠基者）在六十年代初期曾经预言，在可以预见的未来，单个集成电路上的元件数目将每年提高一倍。引人注目的是，穆尔的预言被过去20年的发展历史所证实，而且看来在未来若干年内，穆尔定律仍将反映集成电路发展规律。在六十年代初期，单个芯片上只有几个元件；由于技术的进步，今天，在一个复杂的硅芯片上已能集成10万个晶体管。研究工作仍在继续进行，估计在不远的将来，在一个芯片上集成几百万个元件的目标就会实现。尽管晶体管的早期研究与发展，以及适用的生产技术的研究，多是在美国进行的，但是人们认为日本将会在今后十年中作出较大贡献，这是一件有意义的事情。日本已经制定了全国的规划，投入巨额资金进行超大规模集成电路的研究工作，所以上述设想极有可能变成现实。由于半导体工业在军事上和商业方面都有战略重要性，其他国家将会响应日本的挑战，并试图控制微电子学领域的某些方面。

为什么集成电路能够广泛应用于许多部门呢？一个关键性的原因是它们的价格低廉。借助于大量生产工艺技术，能够廉价生产这些复杂的电路，因而微电子技术是自动化和高

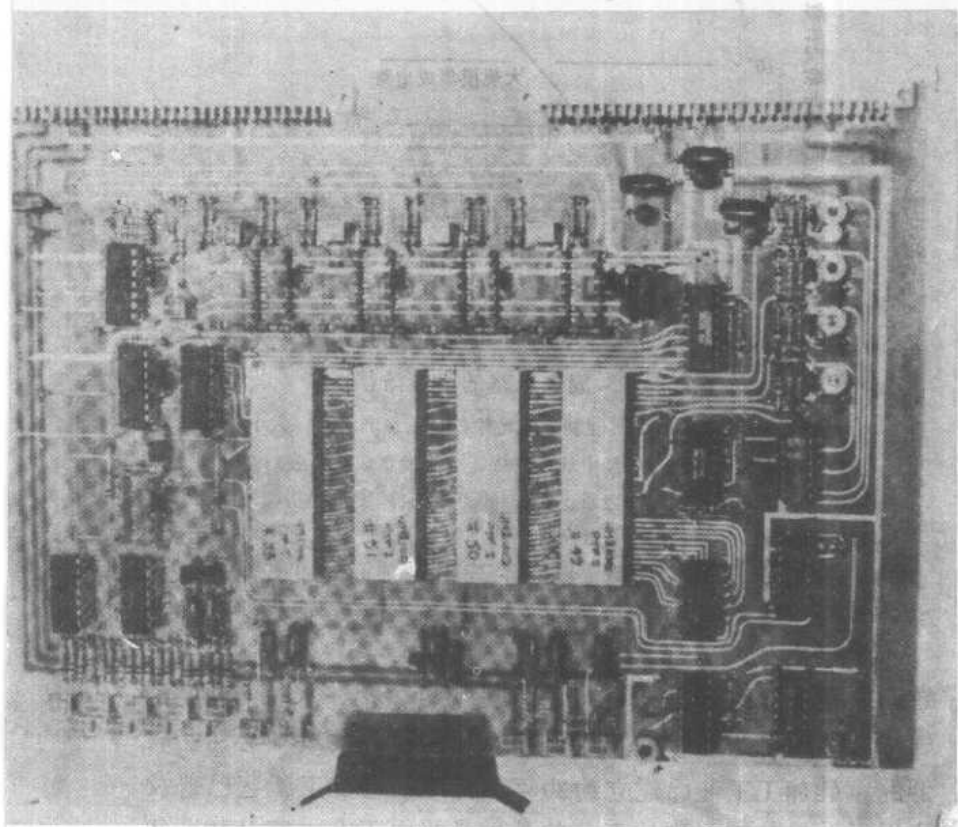


图 1 1 电子电路板

在今天的一块印制电路板上，装有很多个单独的微电子器件。通

常，一块这样的印制电路板含有一些大规模集成微电路（图中大的白色包装外壳）、一些外围的中规模集成电路芯片（黑色包装外壳），以及若干分立元件。图中示出的大规模集成微电路，含有5000个晶体管。这块印制电路板是一种“智能”电子仪器的一个部件。

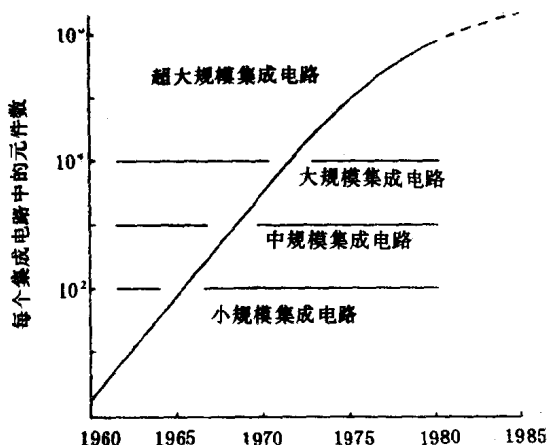


图1-2 集成电路的发展阶段

每一个集成电路上所能制造的元件数目在急剧增长。六十年代初为小规模集成电路，后经中规模集成、大规模集成，发展到今天的超大规模集成电路，每个电路上含有100万个元件。图示的增长规律又称为穆尔定律，它表明电路复杂性大约每两年提高一倍。这种增长规律一部分是由于设计方法改进使人们能采用更大的电路，但主要是因为掌握了越来越小的器件的制造方法，所以在同样的硅面积内能制作更多器件。

效率的范例。生产集成电路的原料是硅、铝、水和一些普通气体，这些都是些极便宜的材料，所以产品的成本必然是较低的。硅加工工业已建立约20年，标准的硅加工工艺已普及应用于世界各国。现代工艺的基础是平面工艺，它是1959年发明的，这是微电子技术发展的重要里程碑。利用平面工艺可以制造单片硅集成电路，所有的电气连接都是在器件的某

一个平面上。早期的器件中，接点应在半导体的两侧，这种作法很难在生产中实现。平面工艺的出现，使得人们能够借助“结”将芯片上的各个元件互相绝缘，借助图案形成工艺确定各元件的位置；这些都是利用硅的自然氧化物的重要特性才实现的。这种氧化物叫做二氧化硅，它是一种玻璃状绝缘体。

细说起来，制造集成电路的过程相当复杂，但若从基本要素来理解，从概念上来认识，又很简单。硅的制备工艺，要对硅的原材料进行一系列的处理。硅的制备是从石英石（二氧化硅）开始的，将二氧化硅还原，脱去二氧化硅中的氧，剩下只有很少杂质的硅晶体。然后，在专用电炉中对硅进行提纯，制成大块的梨晶（单晶棒），它的直径通常为50~150毫米，可达2米长。把上述单晶棒切割成晶片，在晶片上可以同时制作几百个集成电路。每一个晶体管由几个“结”构成，结又是在纯硅材料的基底中掺入少量其他物质（称为杂质）而形成的。每一个结在晶片表面上的位置与尺寸，由照相印刷工艺来确定。如果要在晶片上某个位置形成一个结，就要在二氧化硅保护层上开一个孔，然后晶片在高温下与杂质气体相接触；这时，开孔处的硅就暴露在杂质气体中，便形成了结。这种光刻工艺的困难在于，为了在5毫米见方的面积内形成千、万个晶体管，每一个元件的尺寸必须极其微小。例如，在一些最新型的微处理机中，采用的是特殊的超大规模集成电路，电路里最小的元件的长度只有大约2微米。在我们日常生活中没有这么小的东西，就是人的头发，也要比它大50倍呢！任何对摄影比较熟悉的人都知道，必须保证底片不沾染尘埃；但是，要求制造集成电路的厂房内除去那些几乎看不见的微粒（小于0.5微米），是极为困难的。这就要

求半导体厂的操作人员不仅要穿特制的工作服，而且要戴工作帽、穿工作靴，看上去他们酷似宇宙飞行员。为了在约5毫米见方的集成电路芯片内制作几十万个晶体管，减小元件尺寸是一条最基本的要求；但是另一方面，电路本身却是大批生产的，在一个薄薄的硅晶片内包含了几百个集成电路，经切割后就成为一个个独立的电路芯片了。实际生产中，一批大约生产100个晶片，所以，一批就可得到20000个以上的集成电路或微处理机。一个普通的半导体公司，每周可生产100批以上，所以每年即可生产约1亿片集成电路。为什么集成电路企业能达到如此惊人的生产量呢？原因就在于微电子电路的生产是一种大批量生产的工业，它一次就能生产很多批晶片。生产一片晶片成本约500至1000美元，而每个晶片又能做出200个以上性能优良的集成电路。

在大量生产的条件下，工艺过程长达1个月。在同一时刻，生产线上可能有很多批不同的集成电路晶片在进行作业，因此生产的组织和计划必须十分周密。一个完整的集成电路工艺通常包括100个以上的加工步骤，这些步骤在每个硅晶片上都要进行，每个班、每个工作日都要重复进行这些操作。生产过程完成之后，要在测试仪上对器件性能进行测试，并按其性能优劣分成不同级别。性能良好的集成电路占被测集成电路总数的百分比，称为成品率。一个半导体厂家的经济效益如何，成品率是个重要的指标。总的成品率与集成电路面积和复杂程度有关，例如，小的芯片的面积约几个平方毫米，电路相当简单，仅含有几千个晶体管，它们的成品率可高达99%；而复杂的大规模集成电路的成品率则低于1%。成品率达100%是完全不可能的，这是因为在制造过程中的每一步操作都会稍有变化，造成最终的器件性能总是有些差异。