

电子技术

ELECTRONIC TECHNOLOGY

第一卷
VOLUME 1

(创刊号至第六期)
(七九年八月至八〇年六月)

(No. 1 — No. 6)
(August 1979 — June 1980)

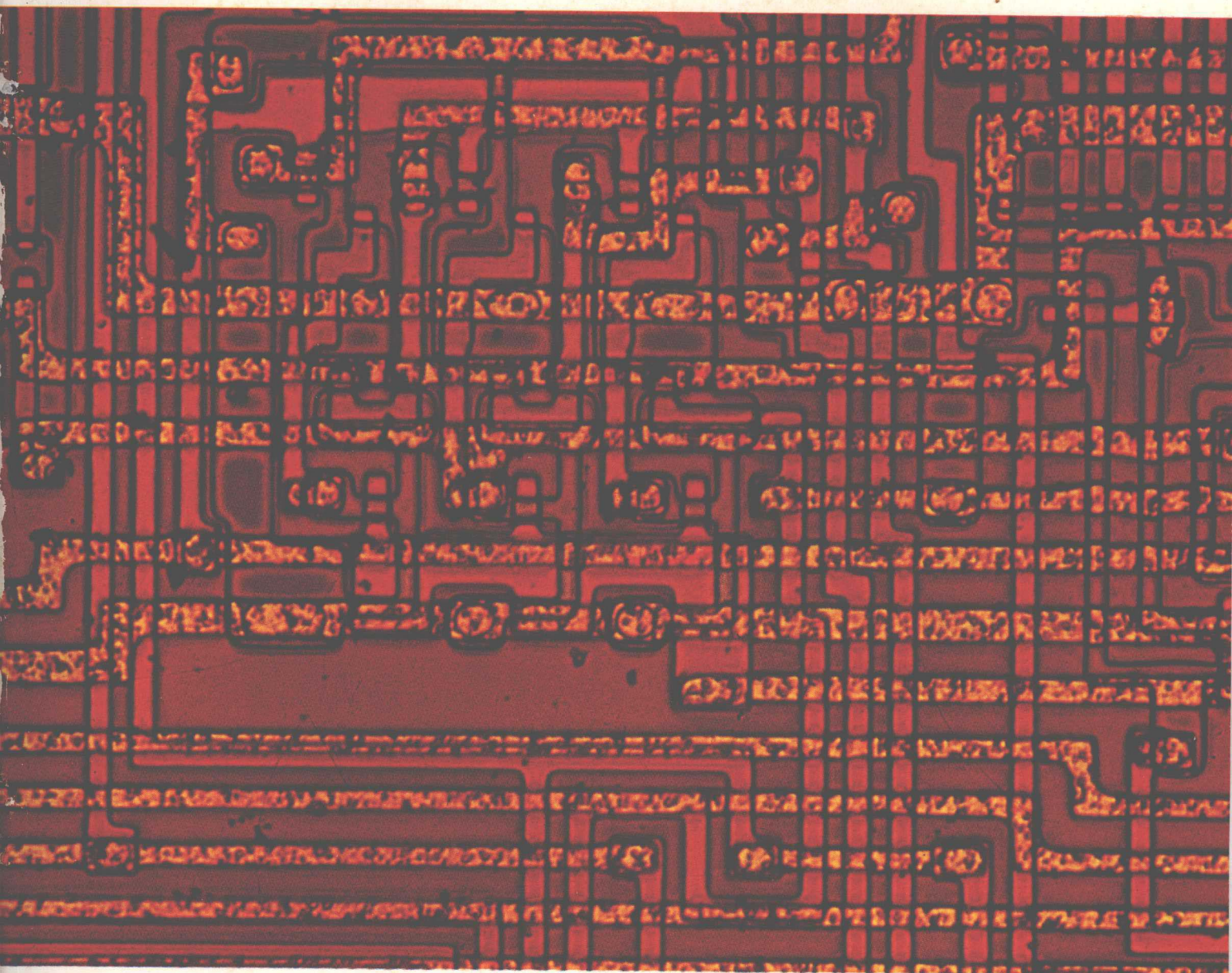
学术出版有限公司
ACADEMIC PRESS LTD.

电子技术

8/79

ELECTRONIC TECHNOLOGY

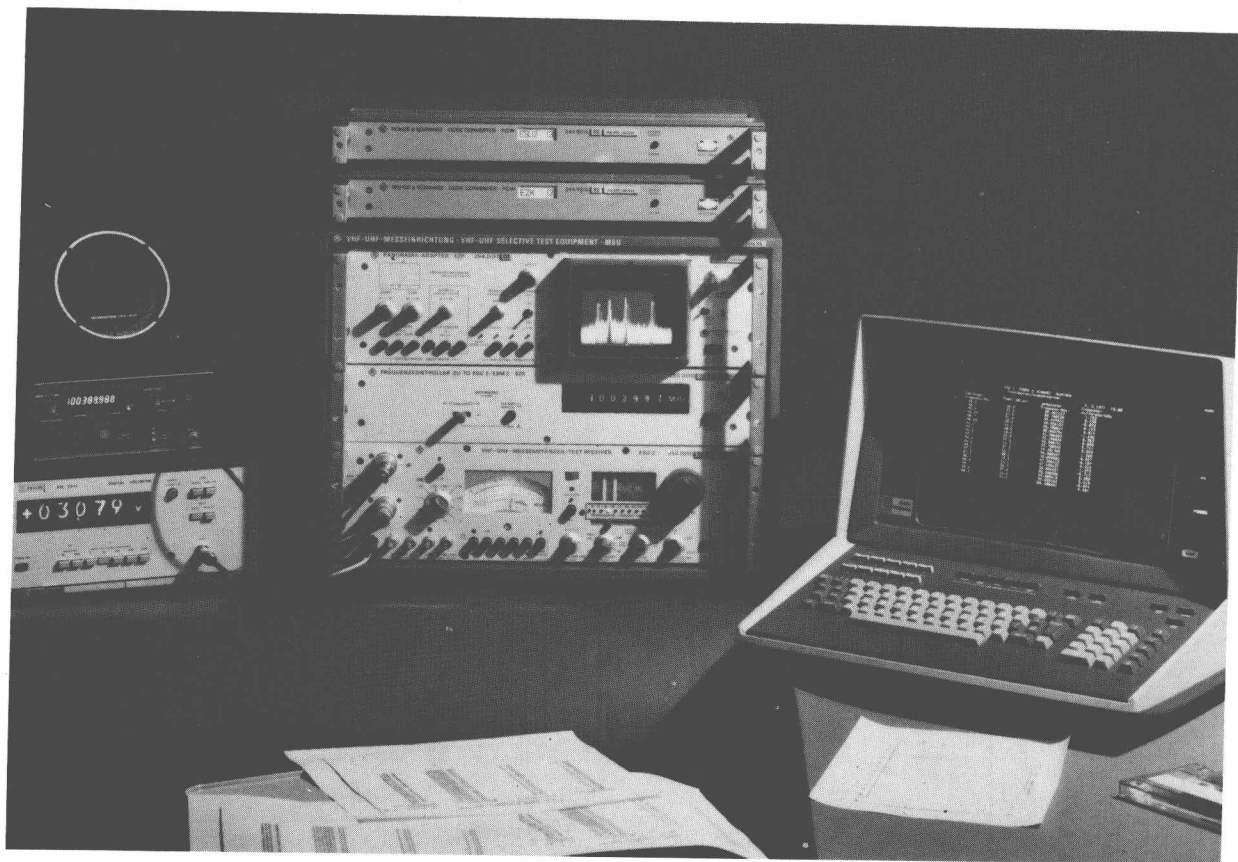
双月刊
BIMONTHLY



- 《微电子学》
- 《微电子电路的制造》
- 《计算机在制造行业上的应用》
- 《微处理机在香港工业的应用》

创刊号

计算器控制之 无线电信号及干扰测量仪



这是一种甚高频—超高频的自动化测量仪，附有基本应用交互程序及软件，用于编制用户程序。其测量范围从25到1000MHz（兆赫），由TEKTRONIK 公司出产之 4051 型台式计算器通过 IEC 接口总线进行控制。测量结果以数字和图象显示在存储屏幕上。

这种甚高频—超高频之选择测试设备（MSU），加上测试接收器（ESU-2）、频率控制器和扫调附加器等器件，便可进行自动和人工测量无线电信号和干扰，实验室工作及监测任务。

4051型计算器控制例常操作、测量及校验工作，并进行运算，通过屏幕显示测试读数和图象。

交互程序之基本应用如下：

- 以电平测量方法进行无线电监测；并且首次根据 CCIR 第 272-3 号报告进行频率遙测（使用频率计数器）。

- 用检索程序探测信号。
- 测量信号和干扰场强度，其结果用于确定天线系数。
- 测量干扰强度之标准均合乎军用（MIL）及 VG 规格。
- 测量无线电干扰强度之方式（使用计算器控制，此属创举），均与 CISPR 和 VDE 相符。
- 实验室之应用：测量通过四端器之电波消散和增益、谐波和交调。

Rohde & Schwarz
Postfach 80 14 69
D-8000 München 80
Fed. Rep. of Germany
(西德，慕尼黑)

独立公司（1933年成立）
代表机构遍布八十个国家。

专门生产电子测量仪器及无线电通信设备。
业务包括研究、制造、销售和维修服务。
以“电子精密产品”驰名于世。

欢迎函索详细资料，请注明：
ESU-2 Calculator—Controlled



ROHDE & SCHWARZ

电子技术

ELECTRONIC TECHNOLOGY

双月刊

BIMONTHLY

创刊号1979年8月

FIRST ISSUE, August, 1979

顾问：

马蒙教授 (香港大学中文系系主任)
郭张海伦女士 (香港大学英文系系主任)
黄肅亮博士 (香港理工学院电子工程系系主任)
黄兆杰博士 (香港大学中文系高级讲师)
陈张美美女士 (香港大学英文系高级讲师)
何振辉博士 (香港大学电机工程系高级讲师)
黄富贤博士 (香港大学机械工程系高级讲师)

社长：

吴钟大

编辑部：

总编辑： 陈志雄博士
(香港理工学院电子工程系高级讲师)

编辑： 蔡忠辉
(香港大学荣誉文学士)

营业经理： 李庆生
(香港大学荣誉文学士)

Advisors:

Professor Ma Meng
(Head of the Chinese Department, H.K.U.)
Mrs. Helen Kwok
(Head of the English Department, H.K.U.)
Dr. Joshua S.L. Wong
(Head of the Electronic Engineering Department, H.K. Polytechnic)
Dr. S.K. Wong
(Senior Lecturer of the Chinese Department, H.K.U.)
Mrs. Mimi Chan
(Senior Lecturer of the English Department, H.K.U.)
Dr C.F. Ho
(Senior Lecturer of the Electrical Engineering Department, H.K.U.)
Dr. Philip F.Y. Wong
(Senior Lecturer of the Mechanical Engineering Department, H.K.U.)

Publisher:

C.T. Ng.

Editorial Board:

Chief Editor: Dr. Edmond C.H. Chan
(Senior Lecturer of the Electronic Engineering Department, Hong Kong Polytechnic)
Editor: Paul C.F. Choi
(H.K.U. B.A. Hons.)
Promotion Manager: Simon H.S. Li
(H.K.U. B.A. Hons.)



学术出版有限公司

(翻译服务中心)

地址：香港湾仔洛克道369号
国家大厦六〇二室
电话：五—七三〇八〇〇
五—七三〇七九二

ACADEMIC PRESS LTD.
(Translation Service Centre)

Address: Rm. 602 Federal Building,
369, Lockhart Road,
Wanchai, Hong Kong.
Telephone: 5-730800
5-730792

目 录

TABLE OF CONTENTS

创刊词 Introductory Editorial.....	3
献词 Messages to the First Issue.....	3
微电子学 Microelectronics	4
微电子电路的制造 The Fabrication of Microelectronic Circuits	12
计算机在制作行业里的应用 Computer Applications in a Manufacturing Environment	23
计算机在香港工业中的应用： 潜在市场和实例研究 The Microprocessor in Hongkong Industry: Potential Market and a Case Study	24
FORTRAN IV 程序设计入门 Introduction to FORTRAN IV	30
新产品介绍 New Products	35
新书介绍 New Book Introductions	37

学术出版有限公司 (翻译服务中心)

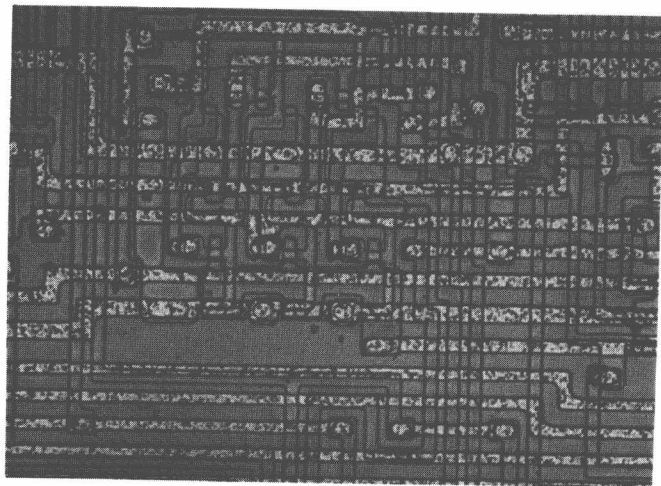
◁ 本书一切内容, 未经出版者书面
准许, 不得翻印或转载 ▷

© Academic Press Ltd.
(Translation Service Centre)
All rights reserved.

编者的话

本期所刊登的重要内容着重于微电子技术近年来的进展。读者首先可由“微电子学”中得知微电子学发展过程的历史, 从早期的电子管电子计算机至当前的大规模集成电路均在文中做了概括的说明。在“微电子电路的制造”一文中比较详尽地介绍了微电子电路的制作过程, 可使对这行业没有多大认识的读者也可以领略到制造微电子电路所需要的精确技术, 从而启发年青一代对这门先进技术的兴趣。在应用和行政方面, “计算机在制造行业上的应用”和“微处理机在香港之应用: 潜在市场和实例研究”这两篇文章亦提供了有关的资料。值得一提的是“计算机在制造行业上的应用”作者李鹏飞先生是香港极有名望的企业家, 亦是电子制造业管理方面的权威人士。从他的文章里, 我们可以了解到利用电子计算机作出企业管理方法的大纲, 及一般人可能对计算机作用的误解, 这是不可多得的参考资料。

目前在國內, FORTRAN 电子计算机语言极为流行, 为普及这个软件知识, 在创刊号及以后数期里, 我们将连载 FORTRAN 语言的入门, 以供有兴趣的读者阅读和学习。以后我们亦会陆续刊登其它有关电子技术的基础知识和资料。



封面图片: 显微镜下的大规模集成电路之一部分, 这集成电路是应用于电子计算器中。

创刊词

陈志雄博士

(香港理工学院电子工程系高级讲师)

电子业在本世纪中发展的速度可算是史无前例。电子制成品不单普及全世界每一个角落,而且电子业在短短的几十年里已变成了有些国家经济中一个重要环节。电子业的快速发展是由很多因素所造成的。首先,在六十年代初期,太空宇航的发展,奠定了电子业的基石。随着电子计算机的改进,电子业的需求大增,在这技术领域的投资有如雨后春笋。从消费者方面看,自晶体管发明后,电子制成品更日新月异,从视听器材,微波焗炉到私人的电子计算机,无不是对现代家庭有一定的影响。但电子业的进展神速并非全因需求而起的,正好相反,电子业是在创造这种需求。回顾近数十年来,虽然全世界性通货膨胀,电子产品的性能又日益增进,但其价格却节节下降,促使需求量增加,进而刺激生产。所以电子业成长的最大动力是竞争。为了扩大市场,各制造商便推陈出新,革新技术以降低成本。在这循环巨轮的推动下,电子业的突飞猛进,就不是其它行业所能比拟的了。

从制造厂商和电子专业人士的角度来看,电子行业并不是一件容易做的工作。在新产品日新月异的情况下又须千方百计地降低成本。笔者可以断言,三两年的停滞不前,便足使制造厂商失去竞争能力而被淘汰。《电子技术》双月刊便是针对这个问题而发,希望对祖国的四个现代化计划有所贡献。

《电子技术》双月刊是专门供给电子技术工程人员和在电子制造行业工作的行政人员阅读的。本刊内容主要是精选文章的译文,为电子制造行业提供先进及有意义的阅读资料。《电子技术》的重要目的为求电子科技能够现代化及普及化。但需

要强调的是本刊并不是为基本理论研究而设的,所以内容只限于入门性质,使对电子业未深入研究的人士也可从容阅读。虽然如此,本刊内容偏重于电子工程方面的资料,如对某一产品的制造过程、机件操作的评论、新产品的介绍等等。读者还可以从本刊的广告中获知国外厂家的情况进而了解国外电子业的进展,此外,也可借此比较一下准备在外国购买的各种设备和元件。从广告所得的资料对电子工程人员来说是有相辅相成之效。对行政人员来说,国外产品及其发展方向的情况也可作为本国电子业去向的参考。

本刊设有“读者服务表”。如读者对刊中任何产品有兴趣,只要在表上圈出特定的号码寄回本中心,本刊人员定会通知该产品的制造厂商,以便他们寄上该产品的详细资料。

本刊内容及方针的审定工作并非易事。编辑人员的工作极其艰巨。一方面要了解西方技术进展的背景和步伐,另一方面更要明瞭国内的情况和需求。前者资料的搜集比较容易,但后者则较为困难。所以国内读者的宝贵意见将会受到重视,务要使读者获得最先进又适合中国电子业发展路线的知识。

为使本刊能达到专业水平,技术方面的问题是不容忽视的;如翻译的人选及文章的鉴定等。我们的翻译员不仅要在文字上下工夫,更要对电子科技有相当认识。在校对方面,我们的责任亦极为重大;一方面要注意内文资料概念的准确性,另一方面更要保持科技专有名词的一致性。在这方面,我们非常感谢各方面学者和电子专业人士的支持和协助,更令我们感到鼓舞的是本刊得到国内有关方面的接纳和支持,得以在国内发行,达到为祖国四个现代化作出贡献的目的。

最后,我在此仅代表本刊全体工作人员衷心感谢香港大学中文系主任马蒙教授、英文系主任郭张海伦女士、理工学院电子工程系系主任黄肅亮博士及香港大学高级讲师黄兆杰博士、陈张美美女士、何振辉博士、黄富贤博士等作为我们的后盾,使《电子技术》创刊号能顺利完成。

陈志雄

献词

马蒙教授

(香港大学中文系系主任)

几位香港大学中、英文系毕业的同学来找我,告诉我们和一些朋友准备成立一间学术出版有限公司,并且计划出版一种关于电子技术的期刊,介绍先进国家在这方面的最新发展。这真是一个令人振奋的消息。

现代科技跟电子技术的关系非常密切。环顾世界各先进国家,电子技术不断推陈出新,我国在这方面正需要加速步伐。因此,加深我国科技人员对电子技术的认识,实在是刻不容缓的事情。目前这份《电子技术》双月刊正好满足这种需要,它对促进我国科技的发展,无疑将会有很大的贡献。

我谨在此预祝这些青年朋友一切进展顺利,并希望这份刊物只是一个开端,将来会有更多同类的刊物涌现,使与科学技术有关的出版更趋蓬勃。

马蒙

郭张海伦女士

(香港大学英文系系主任)

I wish to extend my congratulations to the editors of **Electronic Technology** on the publication of the first issue of the journal. The aim, that of introducing the latest in western technology to Chinese readers, is certainly a laudable one, and our graduates are to be commended for attempting this task.

我以万二分喜悦之心情祝贺「电子技术」双月刊创刊号出版。此期刊之宗旨是向中国读者介绍西方最新之科学技术,这种有意义之工作是值得我们的毕业生去努力尝试的。

郭张海伦

微电子学

MICROELECTRONICS

作者：罗伯特·N·诺伊斯
(ROBERT N.
NOYCE)

译者：李少柔

介绍电子技术革命中重要之环节，在这环节里，这种技术成功地将大量的电子元件造在“硅片”上，从而大大提高电子设备的功效。

近十年来，电子技术的演变非常迅速，有时竟被称为革命。这种说法是否合理？答案是肯定的。虽然已见到的变化在某种程度上说，是一种稳定的量变：电子元件日益细小，却担负着越来越复杂的职能，操作速度与日倍增，成本则越发低廉。然而，还有一种真正的革命：微电子集成电路这种技术的质变，引起了人类智能的实质性变化。

倘若在过去十年里，大部分科技成就有赖于微电子技术的成就。这种说法并非夸张。比如，把人送上月球以及火星探险的复杂系统里，细小而又可靠的传感和控制设备都是必不可少的元件。在左右国际政治的洲际武器中，它们更不用说也起类似的作用。此外，上自通讯卫星，下至袖珍计算机和数字电子表等新产品也都是以微电子器件作为其基本部件。微电子装置在计算器方面所起的作用，将会更加显著。因为它能大大提高计算机存储、处理和显示信息的功能。更重要的是，计算机可分散安装在各种场地，便于就地操作或应用其输出以控制自动打字机、仪器或工业设

备等，满足多种用途。

微电子技术的革命，远未完成其历程。我们仍在发展新理论，设计效能更高的新型电路，并以此方法继续探索如何挖掘集成电路的潜力。我们还在缓慢地领悟私人计算机对于智能和社会的影响。这种计算机可存储大量资料，使用户具有使用和补充这些资料及与别人交流信息的能力。

本文拟说明的要点是：微电子技术的演变如何显示了科技与经济之间持续的相互作用。微电子装置的细小体积在应用上极其重要，但这门新技术的主要作用还在于它使电子功能块更易复制，更加可靠，价钱更廉宜。这门技术所取得的每一次进展，都能使成本下降，而愈益低廉的成本又进一步扩大其应用范围。经济竞争的需要，推动了技术的进展，这种进展反过来又从经济上的得益获得补偿。

三十年前晶体管的研制触发了微电子革命。晶体管是一种体积小，用电量低的放大器，它取代了体积大，耗电量大的真空管。几乎同时面世而且可存储程序的数字计算机，则为晶体管提供了巨大的潜在市场。新元件与新用途之间，无独有偶，一拍即合，引起各自的爆增。计算机是晶体管以及由之产生的固态集成电路的理想市场。与电子在通讯设备中之传统应用所能提供的市场相比，晶体管要大得多。因为比起诸如无线电那种具有模拟放大功能的设备，数字系统需要为数极多的有源电路。在数字电子设备中，就某个特定元件而言，不是导通就是截止，全看输入而定。即使大量电子元件级联在一起，其输出也仍然是导通或者截止而已。换言之，假使各级的增益是一，将数级联起来，其增益仍然是一。相反，模拟电路则需一律将输入放大。例如，如果每个放大器的增益均为10的话，只要把数级串联起来，其增益就会达到电子元件电压的实际极限值。因此，模拟设备无法应用大量微电路，而数字设备则大量地需要它们。比如，一个袖珍计算机里的晶体管数量，是收音机或电视机里的一百倍。

尽管微电子元件和计算机有内在的相容性，历史事实却说明，电子元件微型化

的早期努力并非计算机工程师们发动的。诚然，人们并不是很快就认识到数字计算机的巨大潜力，甚至第一位计算机的发明者也觉得，只要四台计算机大致就可以满足全世界的计算需求哩！然而，多种导弹及卫星规划，迫切需要复杂的电子系统，它们又必须安装在体积、重量及功率规格都受到严格限制的设备中。因此，微型化的努力可以说是军事和宇航部门所推动的。

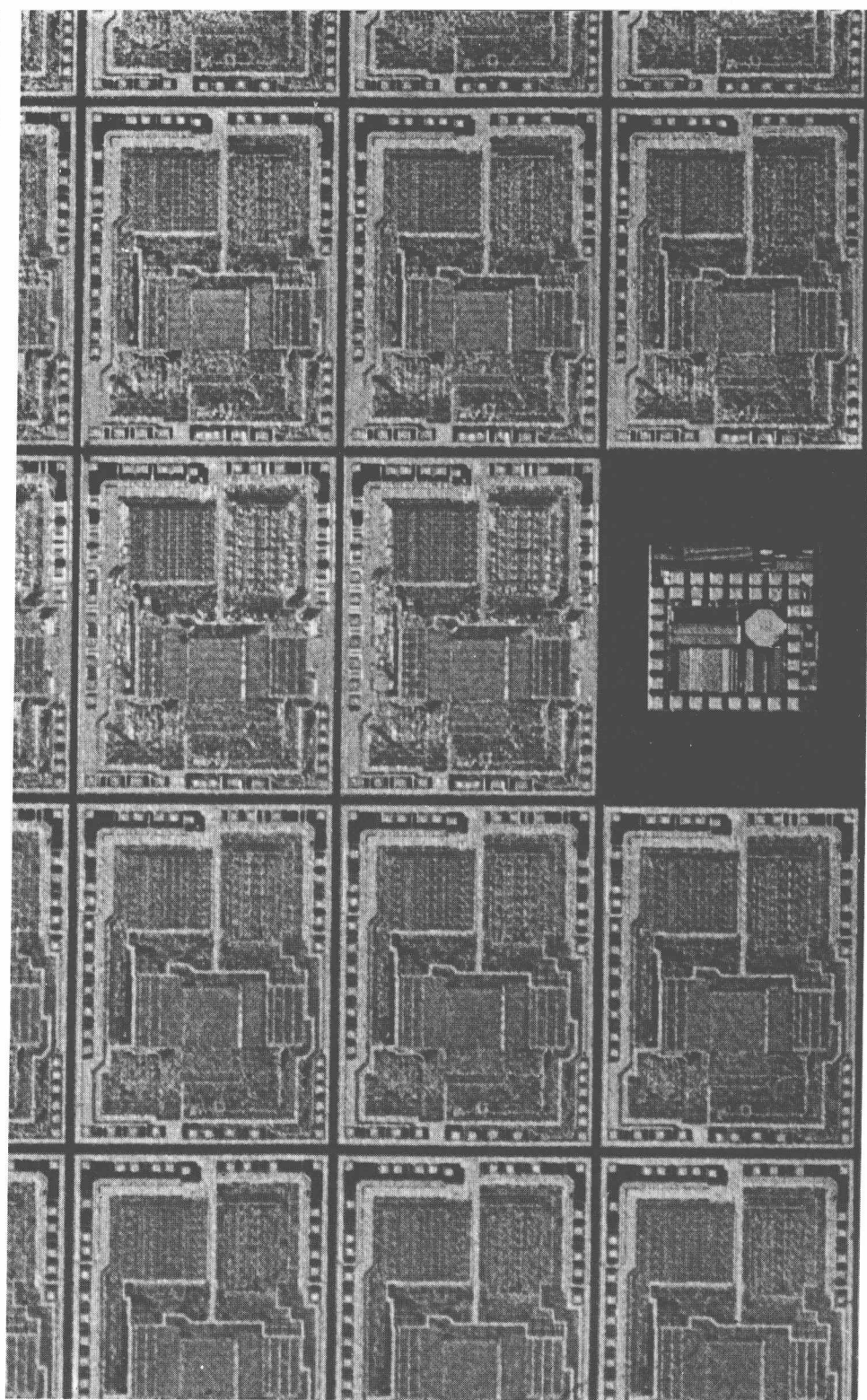
最初的办法是力图把传统元件微型化。其中一个规划是国家标准局（美国）制定的《‘丁克托依’规划》（“PROJECT TINKERTOY”），其目标是将各种电子元件按标准形状包装成长方（矩）形，因这种形状可比传统的园柱形包装得更紧凑。另一个办法称为《‘分子’工程》（Molecular Engineering）。晶体管取代真空管的事例启发了人们去设计类似的代用品：他们认为，应该可以发现或研制一种新材料，借助其固态的性质有可能在一个单块固体中发挥除了放大以外的电子功能。虽然这些努力大都失败了，但是这种微型化的需求却因之公诸于世，它们也使各界明白，一旦某种形式的微电子元件发展成功，就会获得潜在的益处。科技界有很多部门密切关注如何解决这个难题，因为，现成的市场显然正期待着成功的发明者。

最终使这个难题迎刃而解的是半导体集成电路。半导体集成电路的概念在晶体管发明若干年之后就已开始形成。有些研究人员发现，用于制造晶体管的锗和硅的半导体特性是可以进一步利用的。半导体物体电阻及可在半导体里制成的p型区与n型区连接之电容，可以与晶体管结合在同一材料中，制成一个有电阻、电容和放大器的全电路。1953年，美国无线电公司的哈威克·约翰逊（Harwick Johnson of the Radio Corporation of America）曾就将移相振荡器制成在一块锗片上的技术申请专利权。这个概念继而由下列人士加以发展，即英国皇家雷达企业的G. W. A. 达默和得克萨斯仪器企业的杰克·S·基尔比及钻石军械信管实验室的杰·W·拉斯洛普（G. W. A. Dummer of the Royal Radar Establishment in England, Jack · S · Kilby of Texas Instruments Incorporated & Jay · W · Lathrop of Diamond Ordnance Fuze Laboratories）。

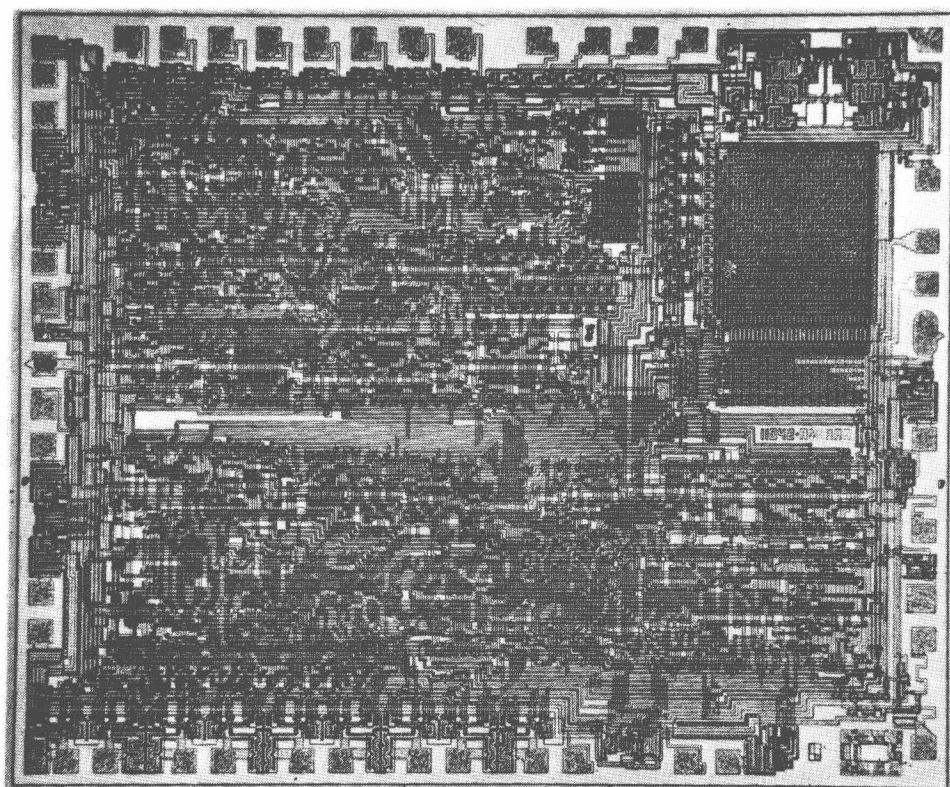
然而，某些关键性的研究有待完成，否则就无法挖掘集成电路令人鼓舞的潜力。五十年代中期，工程师们学到了如何用光刻法来确定晶体管的布局（译者按：光掩模），并且发展了固体扩散法掺杂制造pn区。把一大块单晶锗或单晶硅，分割成一块块薄薄的“晶片”，然后在其上成批地加工制造多个晶体管，这种工艺开始取代了较早时单个地加工晶体管的工艺。这些晶体管，几百或几千个精确地寄存在一块晶片上，它们仍须用人工加以分离，用细小的金属线个别装配在保护性外壳里，随后再装配在电路中。

1959年我们在快捷半导体厂（Fairchild Semiconductor）构思和研制的集成电路，实现了晶体管与其他电路元件之间的分离和连接工序。分离工序是以引入只容许电流流向一个方向的pn二极管或整流器的方法而完成的。库尔特·李赫沃克（Kurt Lehovec）在斯布拉克电子公司（Sprague Electric Company）时获得了这种工艺的专利权。那是将电路元件用气化金属制成的导电薄膜连接起来，并用光刻法在导电薄膜上刻出合适的连接图形。除了需要连接的位置以外，还须有一片绝缘层把底下的半导体与金属薄膜隔开。吉思·荷尔尼（Jean Hoerni）于1958年在快捷半导体厂研究并完成这道绝缘工序。当时他发明了平板型晶体管。他所采用的绝缘体，是众所周知最好的一种，即二氧化硅薄层。这是在晶片加工完成之后，而又在气化金属附上之前，在晶片表层上形成的。

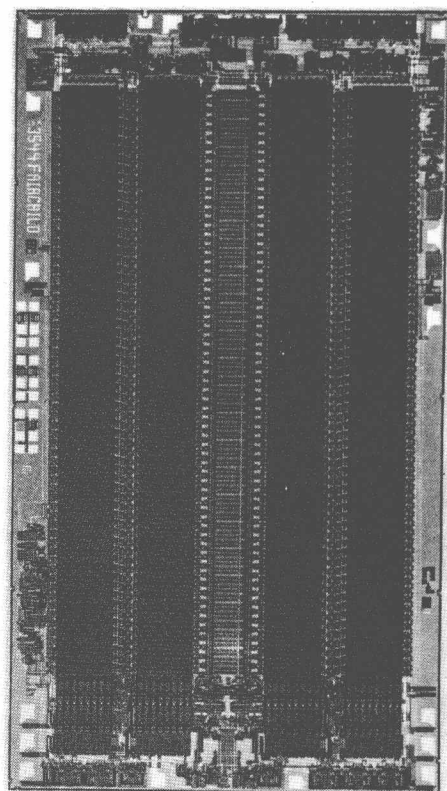
此后，相继发展了多种附加工艺，给集成电路的设计者提供了更多灵活性，但基本方法是到了1960年才取得，并从此开辟了集成电路的时代。从那时起，集成电路的进展速度是惊人的，即使我们这些惯于在不断演变的科技领域里工作的人，也感到惊讶。现在，设在一块也许不过是 $\frac{1}{4}$ 平方吋的晶片上的单个集成电路，其中所容纳的电子元件，远比1950年制成的最复杂电子设备所含元件为多。今日的微计算机可能只值三百美元，但与首台大型电子数字积分计算机（ENIAC）相比，其计算能力要大得多，运算速度快廿倍，存储容量较大，可靠程度高几千倍，耗电量只及一盏灯泡所需而非后者要动用一台火车头所需之电力，此外，它只佔后者体积



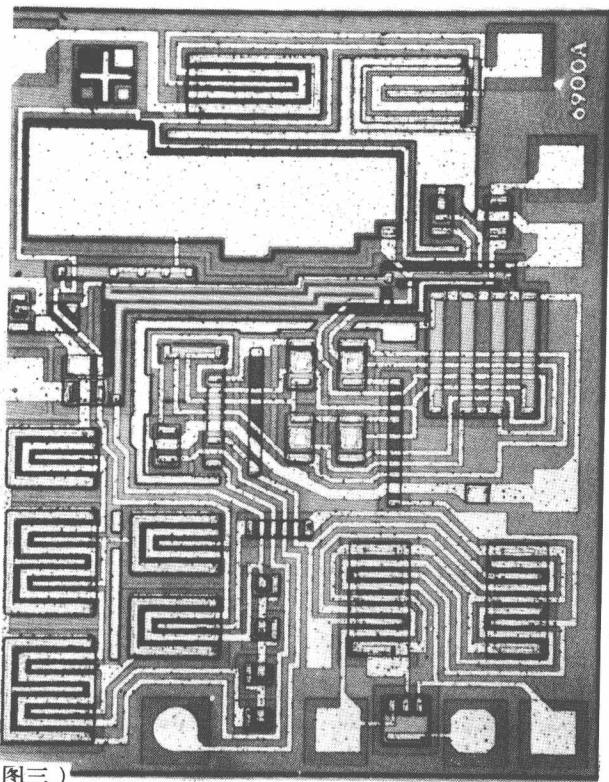
排列图中的微电子装置是微处理机，每个相当于一个小计算机的中央处理机。全图所显示的是一块“晶片”的一部分。晶片是硅薄片，上述装置就是在其上加工制成的。该图所看到的是实物大小的十倍。每个装置的实际大小则如这则说明词左方的小图形（ 0.164×0.222 吋）。微电子装置制成并经测试后，即分划成小片，连上引线及封装。此微处理机是英特尔公司生产的8085型微处理机，这是一种含6,200个晶体管的通用装置，每秒能执行77万个指令。图右侧见到的小片是用在其制造过程中在几个不同阶段测试整个晶片。



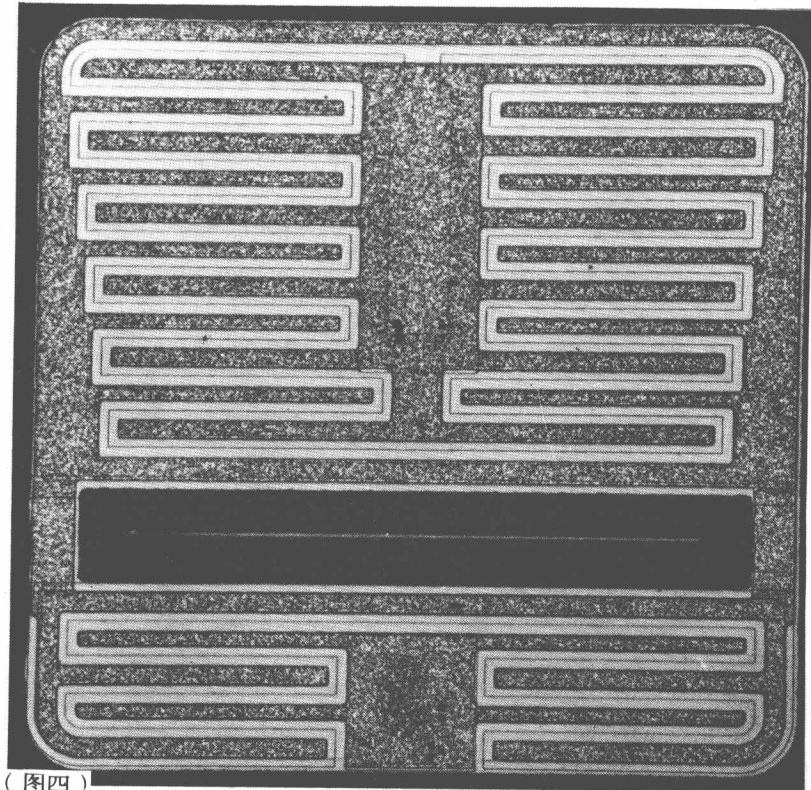
(图一)



(图二)



(图三)



(图四)

这四个不同的小片提示了微电子装置的广泛用途及这些用途的图形。

图(一)是大规模集成电路。这是洛克威尔国际公司(Rockwell Int. Corp.)制造的微处理机。除中央处理机的逻辑元件外,它把输入—输出电路及只读存储器(图(一)中右上方有规则区域)结合起来。

图(二)是另一个大规模集成电路。这是快捷半导体厂(Fairchild Semiconductor)制造的半导体存储器,有规则图形是该存储装置的特点。

图(三)是小规模集成电路。这是RCA企业公司制造的“运算放大器”,简称“op amp”。此为可变放大器,其输出连接输入,使它在各种反馈运算中能用作可自适应的积木块。

图(四)是一个电源装置,即万力半导体公司(Motorola Semiconductor Products Inc.)制造的高增益“达灵顿晶体管”(high-gain “Darlington transistor”)。其中两个晶体管就能供应足够功率来开动电视接收机的水平偏转电路。

的三万分之一，成本只及一万分之一。这种微计算机可以邮购或在各地业余爱好者用品店里买到。

自1959年生产平板型晶体管以来，先进的集成电路中的元件数量逐年成倍增长，《快捷》(Fairchild)的研究所负责人，戈登·E·穆尔，注意到这种情况，于1964年首先预告了集成电路的未来发展情况。他预料，集成电路的复杂性每年将持续倍增。当前，我们已能买到容纳 2^{18} 即(262,144)个电子元件的集成电路，尽管可装在集成电路的元件数量不能按指数计算的增长量永远增长下去，但仍未看到任何现象，足以说明这种状况已显著偏离穆尔法则，也没有任何迹象表明这个过程正在缓慢下来。

微电子工业的成长，说明了投资科研事业能创造就业以及为美国开拓出口市场。自60年代初集成电路面世以来，全世界集成电路的总销量即有了迅速增长，1970年已接近十亿美元。到1976年，全球集成电路总销量增长了三倍多，达到三十五亿美元，其中，以美国为基地的公司生产了价值廿五亿美元以上的集成电路，或者，佔约70%，其中，约十亿美元价值的产品出口外销。然而，集成电路对电子工业的影响却远远大于这些数字所包含的意义。在电子设备里，集成电路本身的价值还不及总价值的百分之十：一台值一万美元的小型计算机里集成电路的价值不到一千美元，一架值三百美元的电视机里集成电路所占的成本还不值三十美元。当前，全球总资产达八百亿美元的电子工业，绝大多数离不开集成电路。

微电子装置代替了离散的元件因而降低了成本，这并不是因为微电子装置本身较便宜，而是因为其它多种原因。首先，集成电路本身在许多方面自行连结，以往则需个别加以连接，因而节省了劳力和原料。集成电路中的连接比电焊接或连结器可靠得多，而且还节约了保养维护费用。集成电路比它所取代的元件，在耗电量和体积上均小得多，因而有可能在配套设备，如机壳、支架、变压器和冷却扇等方面节省成本。由于具有综合性质的集成电路，出厂前早已检验其确切效能，生产过程中就无需多次测试半成品。最后，用户时都需要节省设备所占场地空间、节约电

力及冷却设备。这意味着，即使集成电路的价格与它所取代的元件的相等，由于它促使其它方面节省经费，人们无疑会选择简化但更精密的集成电路。

微电子工业的最显著特点一向是，实现某种特定电子功能的成本不断地、迅速地降低。手持计算器就是一个戏剧性的例子，在过去十年里，其成本下降到百分之一。成本的迅速下降，部分可借用“学习曲线”予以说明：一个工业部门的经验愈丰富，它就变得愈有效率。就大多数工业而言，每当累积产量翻一翻，其成本便降低百分之二十至三十。研究了半导体工业的资料之后，我们发现，每当该工业的经验增加一倍，集成电路的成本就降低百分之廿八。由于这个新兴工业成长迅速，成本下降的步伐比已成熟的工业快得多，电子工业的经验是几乎每年成倍地提高。由于在价格下降的同时，集成电路的复杂性不断提高，所以实现每一特定电子功能的成本就比集成电路本身的成本下降得更迅速。例如，1970年以来，随机存取之存储器，按比特多寡计算成本，则每比特(指二进制制)的成本每年平均降低百分之三十五，这是指半导体存储器件已经大量采用时的情况而言。成本的此种下降率得以实现，不单是由于采用了传统的工艺程序，也因为在每个集成电路里集合了更多比特。1970年间，已有了变化，每个集成电路由原来只能存储256比特增至1024比特，现在存储数量正由4,096比特跃增至16,384比特的过程中。

自从发展了集成电路以来，电子元件的价格下降了一百倍，这是独一无二的。因为其它工业尽管也呈现了相似的经验增长曲线，但不同的是，集成电路工业产量每年翻一番，且这种状况持续较前者为多。集成电路工业供应的市场，不是一般地只是随国民生产总值或人口的增加而增长，而是因为应用范围不断扩大而正在扩散中。每一种新的应用方式不但使用了更多的微电子装置，更因此而累积得更多经验，导致成本进一步下降，而使集成电路的市场更广阔。1960年集成电路未面世前，晶体管制成品总数约五亿个。假设每个晶体管代表一种电路功能，即可以与集成电路中的一个逻辑“门”或其存储器里的一个比特等同的功能，那么，其应用范围在以往

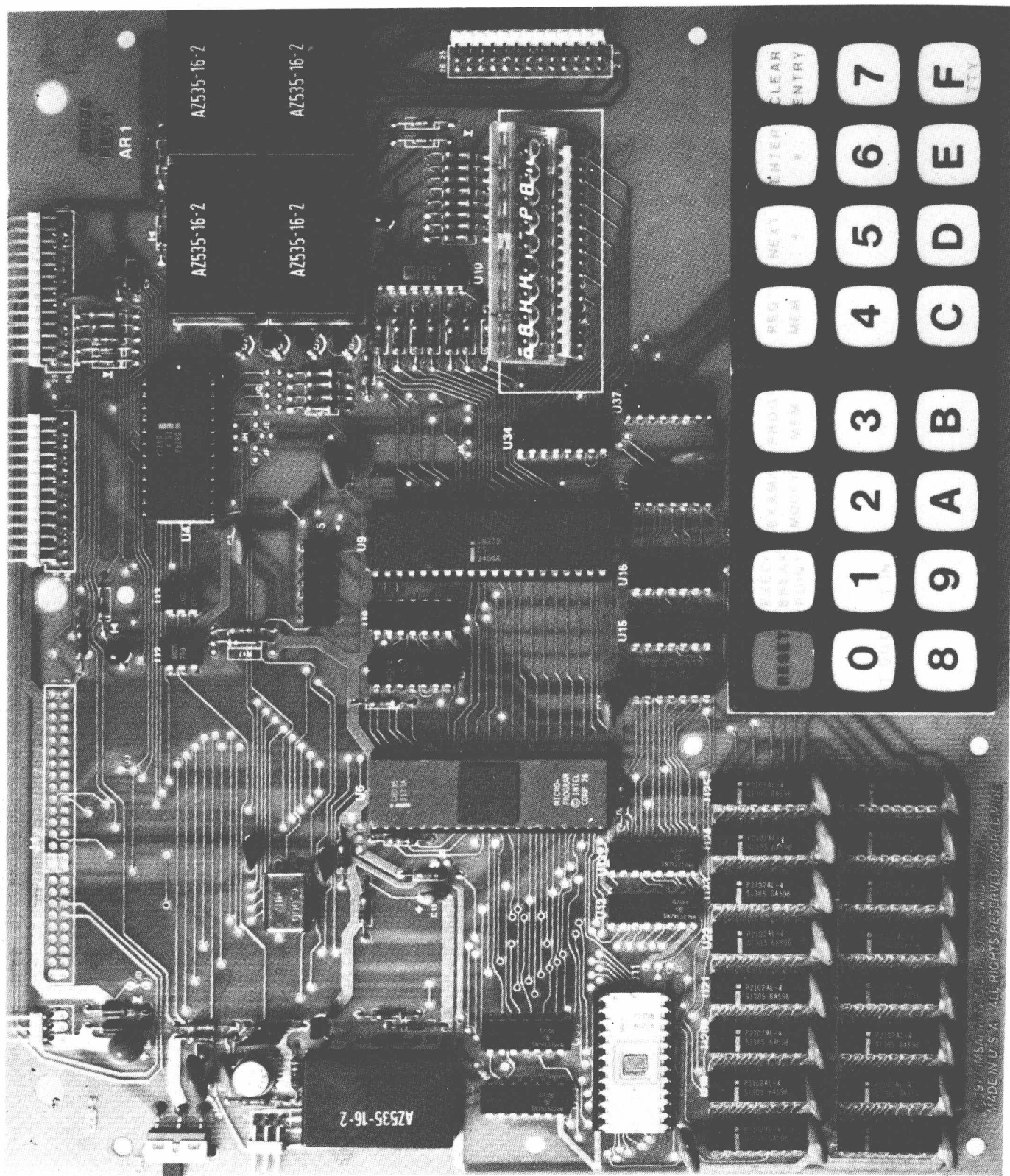
十七年来，每年增加2000倍，或者翻一翻达十一次，这种惊人的增幅促使成本持续下降。

降低成本的首要方法，一直就是发展日益复杂的电路，使每个功能的成本，无论是对于电路生产者还是电子设备制造厂来说都下降了。就技术而言，要在每个电路上获得更多功能，主要障碍是废品百分比。电路复杂性越高，其装置越大，存在瑕疵的可能率也增大，因而废品率百分比越高。若剔除废品的费用超过随后进行装配和测试时省下的资金，那么，每一功能的成本反而有增无减。最符合低成本高效率的设计是在昂贵的装配费(只在电路集合程度低时才发生)和在昂贵的剔除废品费(只在电路集合程度高时才发生)之间作到协调平衡。

不管采用的是减少废品所占比重还是缩小体积的方法，技术上的各项研究均首先集中在产品的“产量”。在减少废品方面，有必要特别注意加工过程的控制和场地洁净。在关键性加工过程中掺入一粒微尘就足以使一个组件报废，所以绝大多数工序都是在“净室”里进行。基本线路元件体积的缩小，和能够将更多的电路集中在一个特定面积里，都是借助于光刻法加工精细度的改善。现在由于电路图形大小已缩小到只及光波的几个波长，因此也达到了用光可缩小的极限。为此，现正研究用电子束或X光来代替可见光的光刻方法以便进一步缩小体积。(参见威廉·G·欧尔哈姆著的《微电子电路的制造》。《The Fabrication of Microelectronic Circuits》by William·G·Oldham.)

电路元件体积缩小，不仅减少了成本也改善了器件的基本性能。时间延迟是与电路元件的体积直接成正比的，所以电路体积越小，工作速度越快。与此相同，电路面积越小，功率消耗也减少了。在未达到任何基本极限之前，路元件的长度仍有可能缩小到目前的五分之一。

在一种产品价格每年下降百分之廿五的工业里，显然会有强烈动力进行研究和开发。推出新产品或应用新加工方法，在一年内可为公司获得百分之廿五盈利或节省同比例的成本，增强了与其它公司的竞



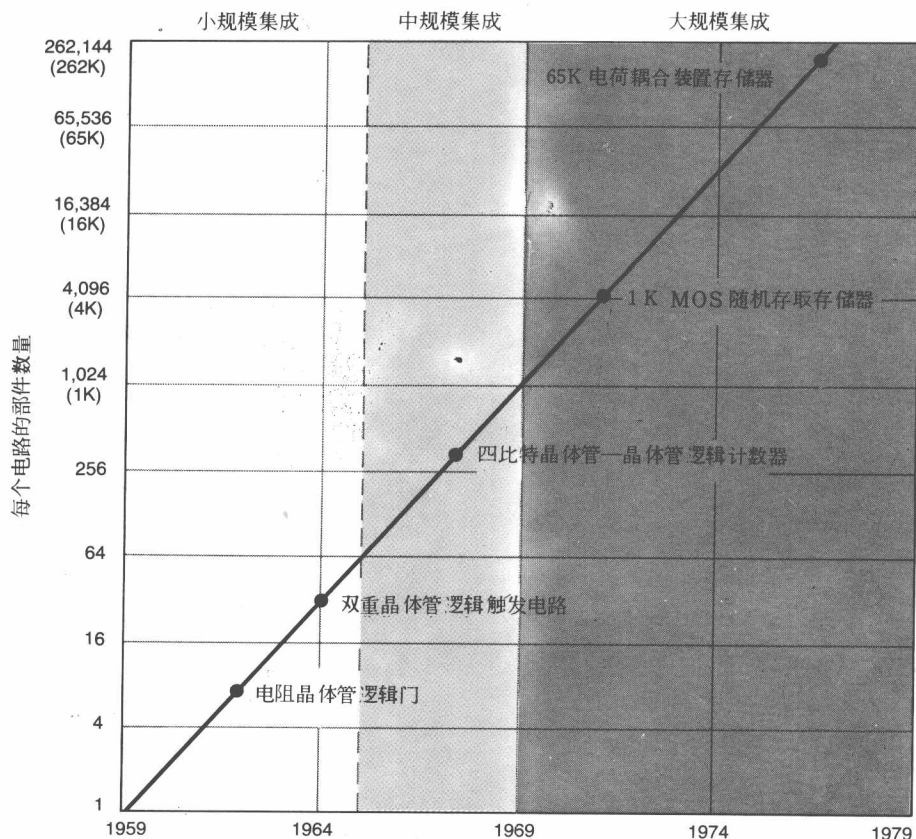
意姆萨依8048微计算机是由意姆萨依企业公司制造的,这是在一块8×10吋板上将集成电路与其它装置装配起来。微处理机是装在下起约三分之一的浅灰色组件中间的一个小片。右下方的十六个组件构成了一个2 K 字节(16,384比特,或二进制的位)的随机存取存储器。相邻的浅色

部件,除了微处理机中的1 K 字节存储器外,还提供了可编制程序的2 K 字节只读存储器。此外有九个发光二极管(键盘左边)提供了字母数字显示器。这是一台控制计算机,其功用,例如,监测一道工序并以强电流继电器(图中黑色大盒)操纵开关。

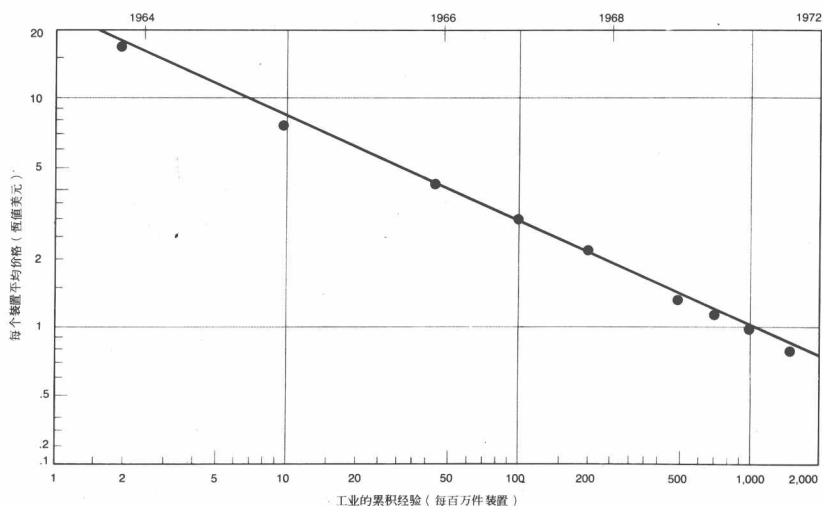
爭能力。反之，落后了一年，就立刻使该公司在竞争上处于显著劣势。产品的发展是公司营业战略的关键，而产品的废弃是日常生活的实际状况。在研究和发展方面投资得当，所带来的益处是巨大的，一旦失败，所受损失也同样是巨大的。集成电路主要制造厂家均从其销售盈利中拨出约百分之十用于研究和发展。因此，不妨可以这样说，按恒值美元计算，投资研究和发展，好比每出一块钱，一年内可获得两块半收入。这笔收入，大部分由集成电路购买者享受，或者反映在价格的降低上，这是拓展新市场的必备条件，关于这一点，是显而易见的。

在市场这样急速成长的环境下，技术的迅速演变和发展新产品或新加工工艺所带来的高额利润，创造并发掘了大量的创业机会。有趣的是，尽管在发展新技术并使新技术商业化过程中，都是美国带头，但集成电路的发展，却并非是那些在真空管制造业上有领导地位的公司。在1955年曾是美国十大真空管制造业的厂家中，只有两家可归入当前美国十大半导体制造厂家的行列。在这十大公司中，有四家是在1955年后才建立的。在此市场领域里，他们只是极小一部分。市场的急速成长，一而再地使现存的公司扩大市场和生产线方面手忙脚乱，穷於应付，虽然这些公司早已致力开拓更富投机性的新市场或新技术。所以，进行新探索的机会仍然大门敞开，这通常是由（应说：至少应由）俱备进行研究和拓展市场经验的企业家领头，因他们对于新的市场和技术满怀信心，敢下赌注。幸运的是，美国经济界在50年代后期及60年代初期，不乏资金来资助这些工业发展，因而成立了约一百家公司，从事生产半导体器件，其中有多家对微电子产品的发展作出了巨大贡献。与我直接有关的两大贡献，其一是快捷公司（Fairchild）发展的平板型晶体管和平板型集成电路，那时该公司成立才两年。其二是英特尔公司（Intel Corporation）所研制的微处理器，此乃该公司成立才两年后的事。此外，尚有许多事例可以援引。在美国，从事企业化革新创举的条件，是其它工业国无法比拟的，这是美国在此领域起带头作用的一个主要因素。

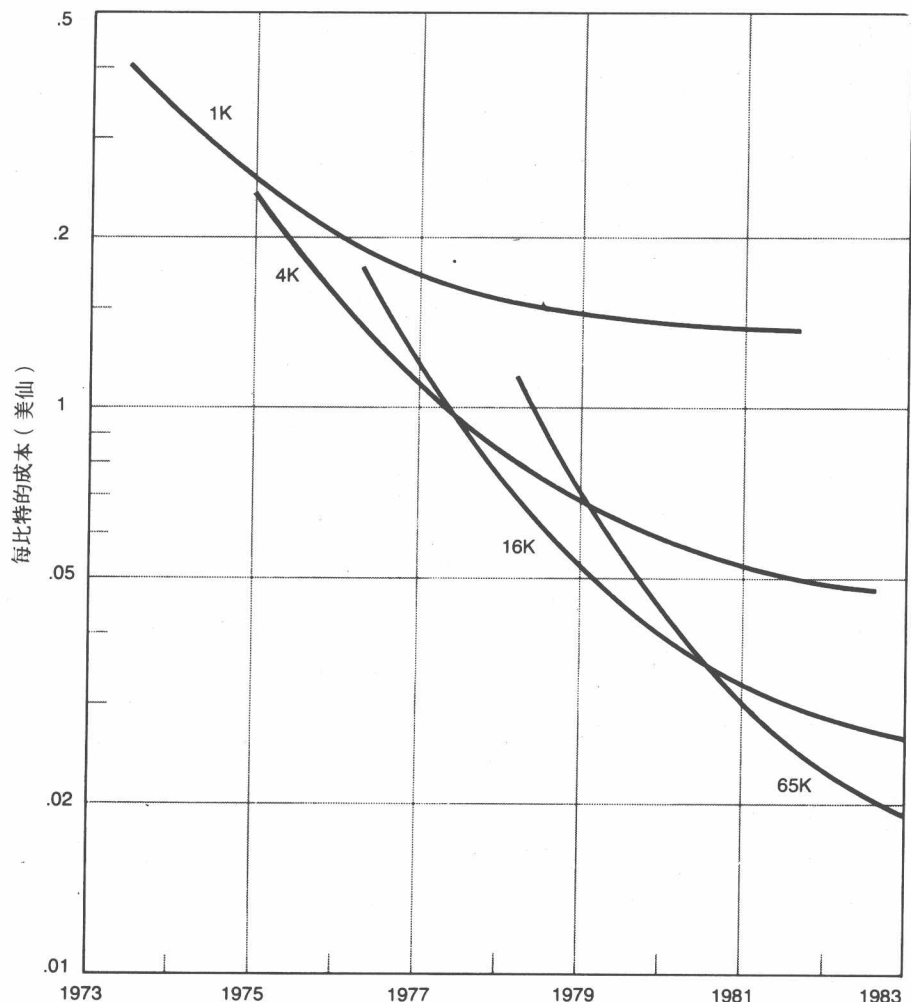
微电子工业的成长反过来又创造了不少就业机会。为满足集成电路制造厂家的需要，许多公司相继成立了。这些公司所供应的，由单晶硅一直到计算机控制的设



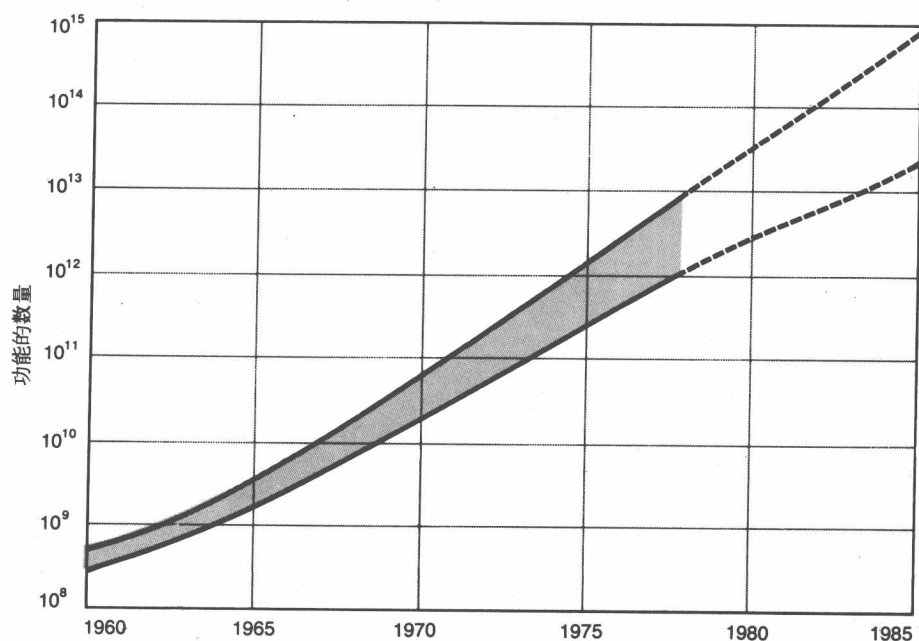
1959年平板型晶体管研制出来后，在每个最先进的集成电路中的电子元件数量每年成倍增长。当时在快捷半导体厂工作的戈登·E·穆尔在1964年注意到了这个趋势，并预言这种情况将持续。



集成电路的价格符合多种工业普遍存在的经验曲线，即有关工业的累积经验（按装置产量计算）每增长一倍，价格就下降约28%。微电子工业发展特别迅速，价格下降率显得比其它工业的下降率高。



计算机存储器每比特的成本已下降，并将继续降低，犹如此图表所示之连续几代的随机存取存储器电路，它们能够处理由1,024 (1K) 至65,536 (65K) 比特的存储量。提高集成电路的复杂性是使成本下降的主因，但比较不复杂的电路的成本也继续降低。



自从1960年研制了集成电路以来，电子功能块（晶体管、逻辑门和存储器的比特）在全世界利用量，每年增加大约二千倍。在未来的十年中，其使用量预计可再增加一百倍。

计程序，即专门用于自动化测试设备和特殊工具的程序等等，林林种种，样样俱全。由于微电子工业的发展而出现的新消费品常常是新公司带头制造并推出市场，这是不乏其例的，如数字电子表及电视游戏设备就属此列。

当集成电路尚处于幼婴时代，得克萨斯仪器企业的巴特立克·E·哈格蒂 (Patrick·E·Haggerty, Texas Instruments) 就提请大家注意电子工业与日俱增的渗透性，并预言电子技术将不断地取代其它控制方式，无孔不入地深入我们生活的各个方面。实际上，目前正在发生的恰恰就是这种推陈出新的过程，它之可能发生并正在发生，首先是因为微电子工业已能做到，以日益低廉的成本制成越发精密的功能元件。计算器和手表的机械元件已由集成电路取代，后者既更廉宜，也提供更多灵活性。目前，自动售货机，弹球机及交通灯的电气机械功能正由计算机取代。在不久的将来，汽车引擎也将由计算机控制，改进结果必会提高效率，减少废气。所有这些应用，只是把电子设备的传统应用法扩大，令它承担处理测量资料、通讯和处理数据的工作。人们常说，工业革命使人类能运用和控制比其自身大得多的物质力量，那么，也可以说，电子设备的应用延伸了人类的智能。微电子技术的运用则进一步伸展这种智能。

到1986年，预料集合的电子功能会比当前的多一百倍。经验预示，到那时，实现每个功能的成本将降到1976年的廿分之一，即每年下降百分之廿五。按这样的价格，利用电子设备的范围将更加广泛，如，增加邮递服务、扩大图书馆，使其藏书资料较易借阅、提供娱乐、传播教育智识，并更多地担负起家庭和办公室里的日常事务。真正的微电子技术革命将显示出的是，以微电子技术制成的产品种类及它们所提供的服务项目，正以指数的速率扩大。

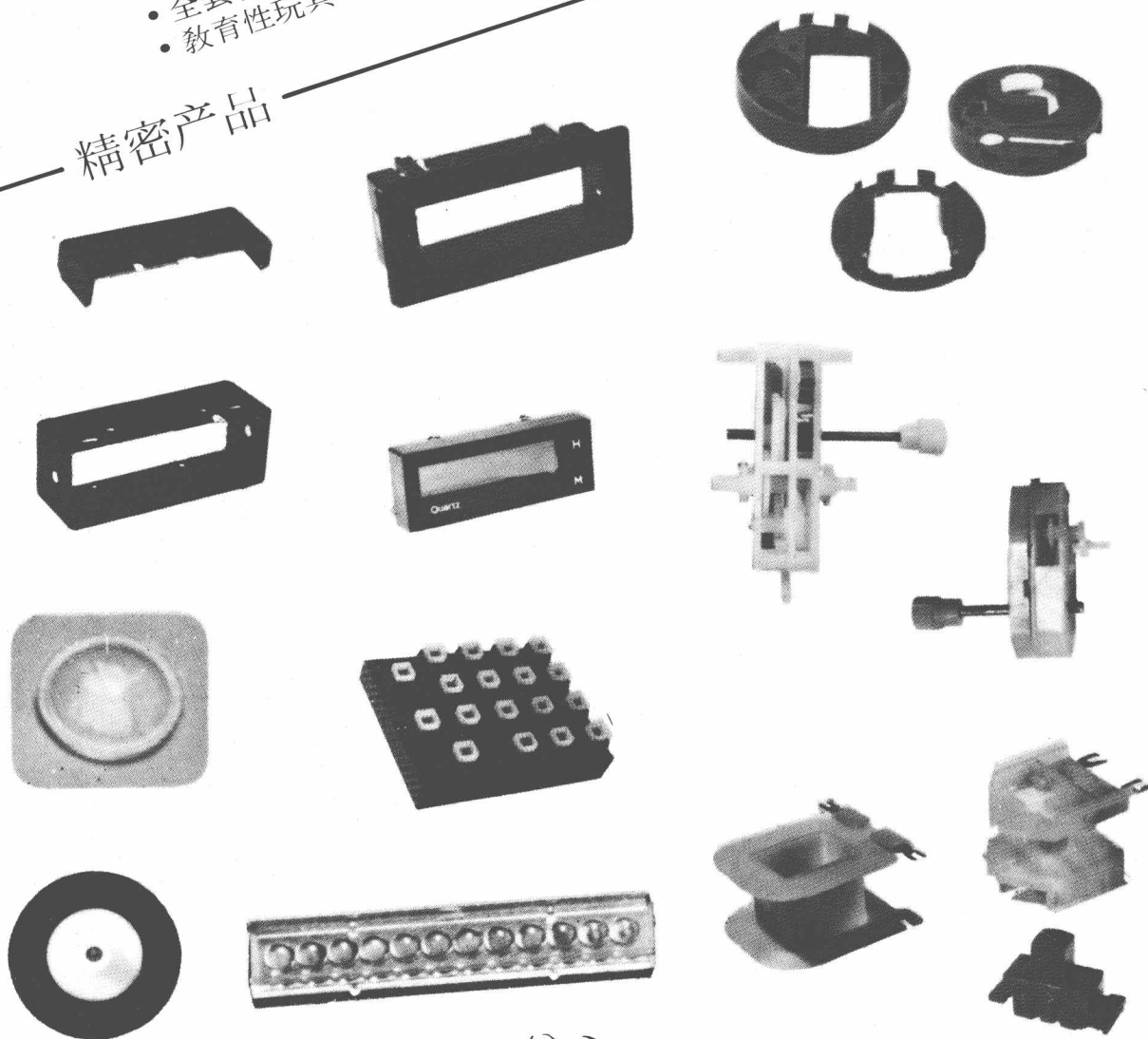
(译者按：上文原文是英文，於1977年发表。1953年，著者在美国马萨诸塞理工学院获博士学位，随后在数家著名公司及工厂从事半导体的科研设计工作，并于1957年协助建立快捷半导体公司，上文发表时他出任英特尔公司董事长。)

最先进之
塑料及金属产品
工厂，為閣下提供优良之
产品设计、工具制作、
零件制作及一切装配设备。

范围包括：—

- 电子及电子计测机之塑料及金属精密零件制作。
- 机械及电子装配之工程。
- 全套特许工程之制作。
- 教育性玩具、电动机械器具及一切新颖产品之设计与制作。

精密产品



艺美达实业有限公司

香港九龙官塘伟业街227號七樓
电话：三一四二二八六一七
电报：HKAUTOMAN



AUTOMATIC MANUFACTURING LTD.

227 WAI YIP STREET., 6/F, KWUN TONG. HONG KONG.
TEL: 3-422286-7
CABLE: HKAUTOMAN

微电子电路 的制造

THE FABRICATION OF MICROELECTRONIC CIRCUITS

作者：威廉·G·欧尔哈姆
(WILLIAM
G. OLDHAM)

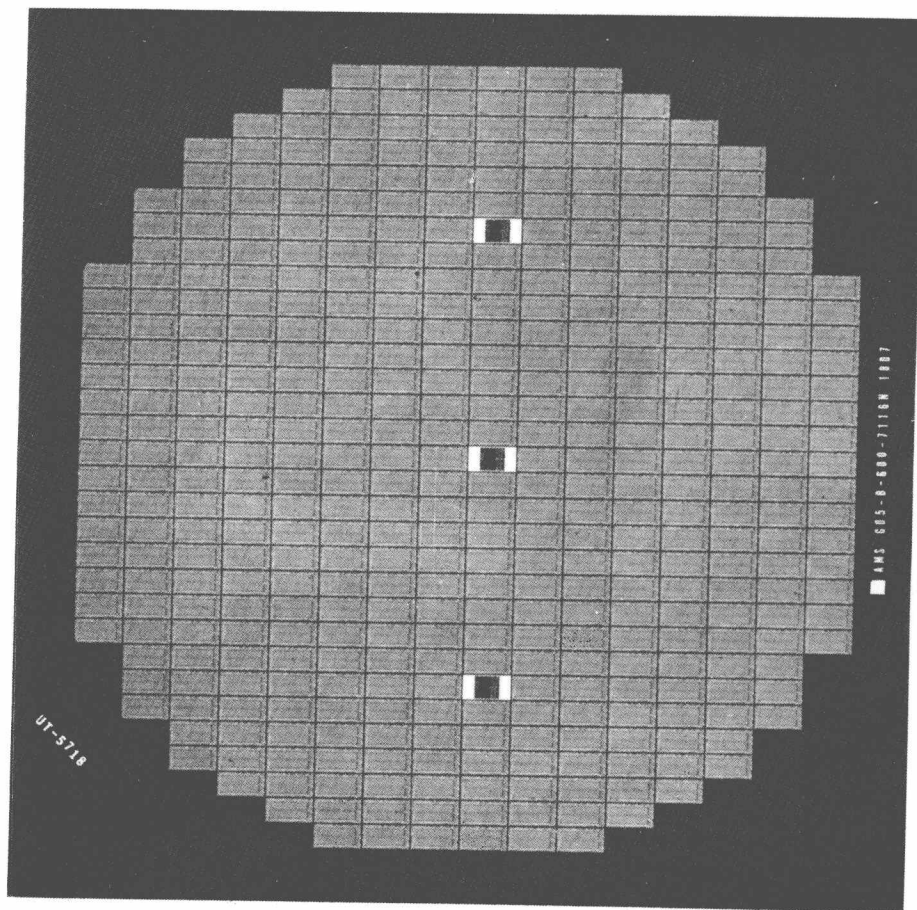
译者：王匡佳

集成电路图形先用大比例绘制，然后用光学照相方法将图形印在一块小片上。此种制造方法的目的，是在生产小片时，使每个功能的成本减至最低。

制造大规模集成电路的主要目标是尽量降低每一电子操作功能的成本。微电子工业采用的制造工序的主要特点，正是可以从这一目的性里加以充分理解。这些特点包括：一次制造大量电路（这是大量生产的突出例子）电路尺寸尽量缩小和加工工艺尽量简化。

过去数年来微电子电路成本的剧降，并非因为制造工艺方面有新的重大突破。事实上，五年来或更长一段时期里，微电子工业大部分基本生产工序，仍旧受到广泛应用。近来制造成本的剧降则是在普遍的经济通货膨胀时期形成的。硅“晶片”是微电子电路在其上制成的基片，其加工成本已有所增加，但晶片可用面积增加得更快，每四年约扩大一倍，因此每一单位面积的加工成本实际上是下降了。同时，某个特定电子功能块所需的面积，每十八个月左右就缩小一半。这种尺寸上的减小不仅由于设计简单电路和简单技术工序方面之精巧，也是由于电路元件及其互连不断缩小的结果。此外，各个生产步骤中所出现的瑕疵逐渐消除，也使净额制造成本大大下降。废品率降低，每块晶片的好电路产量也就增加了。

当前生产微电子电路的发展步伐给予的提示是，降低生产成本方面的进展将会持续下去。实际上，每一个生产阶段——从光刻到封装——不是正在处于重大进展之中，便是已接近这一状况。



此两图是光掩模。右图是实物（直径）放大十倍而复制的。上图所示掩模的大小与实物同。这个光掩模是用玻璃作基片，上有集成电路一个层面的图形。这个图形是以刻蚀玻璃表面铬薄膜制成的。此图所示的光掩模，是用来制造具有16,384比特的随机存取存储器的掩模，是英特西尔公司的产品。

大规模集成电路含有数万个元件，但每个元件都很小，因此典型的完整电路边长还不到四分之一吋。用来制造电路的纯单晶硅片则大得多，现有的直径三至四吋。制造微电子电路的关键性节约措施之一，是在单块晶片上并列地同时制造数百个电路。而在更大规模上进行大量生产的作法是在生产的几个阶段里，每批一齐加工多达100个晶片。于是人工和设备经费便由几千个电路分摊，使每个电路的成本能够降到极低。这就是微电子学的特点。

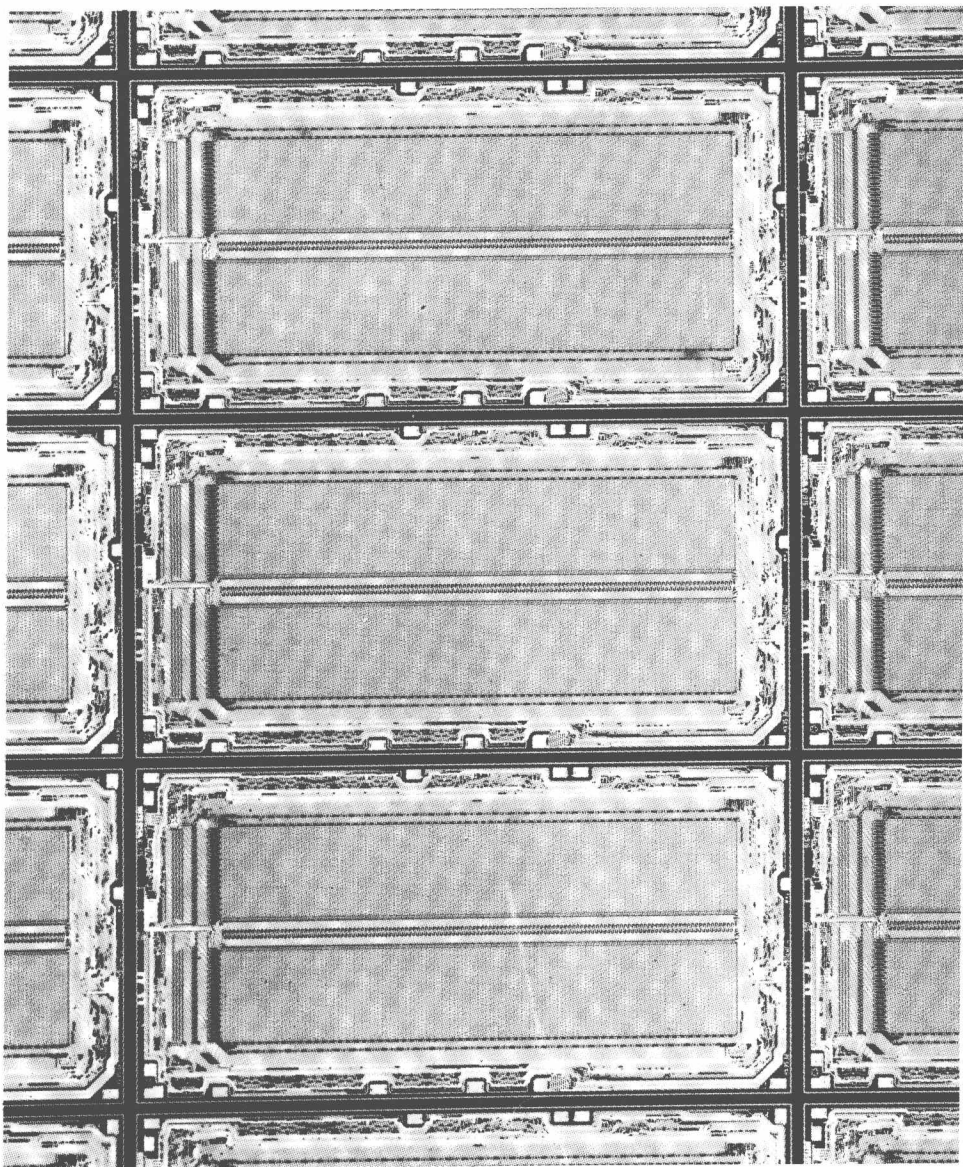
硅晶片通过制造阶段后便分割成小片或小块，每一个都是完整的微电子电路。但不是所有电路都能工作。晶片中有瑕疵是不可避免的，而且只要有一个瑕疵，整个电路便报废。如，几微米长的划痕就足使电流断路。从形体上或经济上看，有瑕疵的电路是无法修复的，唯有废弃。

可以料想，小片的面积越大，出毛病使电路失效的机会越多。合格产品数量（每个晶片上的合格电路数量）与每个小片的面积成反比例。因为小片面积大一些，

晶片所能提供的位置就少一些，而且大规模电路也比较容易掺合瑕疵。

起初看来，制造非常简单因而也是非常小的电路最经济，所据理由是合格产品数量会多一些。小型电路事实上不贵，简单逻辑电路也随时可以买到，价格低到每个仅值美元一角。然而，电路成品的测试、封装和装配到电子系统的成本也必须加以考虑。晶片一旦分割成小片，电路分开了，每一小片就必须个别处理。此后诸如封装或测试工序所需费用就不是由数百或数千个电路来分摊了。实际上，中规模集成电路的封装与测试经费往往高于其它生产成本。

典型的微电子系统所包含的电路中大规模两者都有。随着电路数量的增加，设计和制造此类系统的成本也迅速增高。为了把系统的成本总额降到最低水平，理想的方法是使用少量大功能电路（每个电路必须是大规模的），或使用大量廉价电路（每个电路必须是小规模的）。许多复杂系统的成本总额能降至最低水平，是因为使用昂贵但大规模电路，换句话说，单价



接近十美元的电路用量比单价约只及一美元的电路多一些。如果使用功能小和便宜的电路,就需要多得多的电路来制造这类系统,测试和装配费也势必增高。另一方面,如果在一个电路里集合太多电子功能,小片的尺寸变大,结果,每个晶片的(合格集成电路)单位产量降低,使每个电路的成本高得令人无法接受。

假定一个大规模集成电路的售价是十美元,就可以往回溯并估计小片最佳尺寸。(电路的售价必须既能补偿直接制造成本,又能收回科研、研制、推入市场和一般管理等费用。因此把直接制造成本定得很低,比方说,约五美元,是合理的)。不管每个小片尺寸大小,只计加工一个硅晶片的成本的话,大约是一百美元。如果把测

试和封装费包括在内,制造成本可能会提高一倍。因此,若某个集成电路的制造成本是五美元,那么小片最佳尺寸应以每个硅晶片在制成后具有约四十个好电路为原则。就边长五毫米左右的小片而言,当前要达到这个产量是有可能的。耐人寻味的是,上例所举合格电路的百分比还是比较低的。因为每个直径为一百毫米的单块晶片可以制造二百五十个电路,而上举的合格电路产品数量只有四十个。

集成电路的结构,无论是表面图形还是内部组合,都是复杂的。这种组件里的每个元件都是交错的三维结构,它们必须一模一样地在电路里准确地予以复制。这种结构是多个层面构成的,而每一层面都是一个精细图形。有些层面处在硅晶片内,

其余的则层叠在上。构成这些按序层面的制造工序必须与电路设计师的计划完全吻合。

在研究这些层面如何构成之前,若将电路设计师的概念变为实物的过程全面观察一下是很有帮助的。研制新型微电子电路的第一阶段是:由构思新产品的设计师,规定该组件的功能特性和选择制造过程所需的加工步骤。第二阶段才开始实际设计工作,即估计每个电路元件的大小和近似位置。这个初步设计工作大部分借助计算机进行。

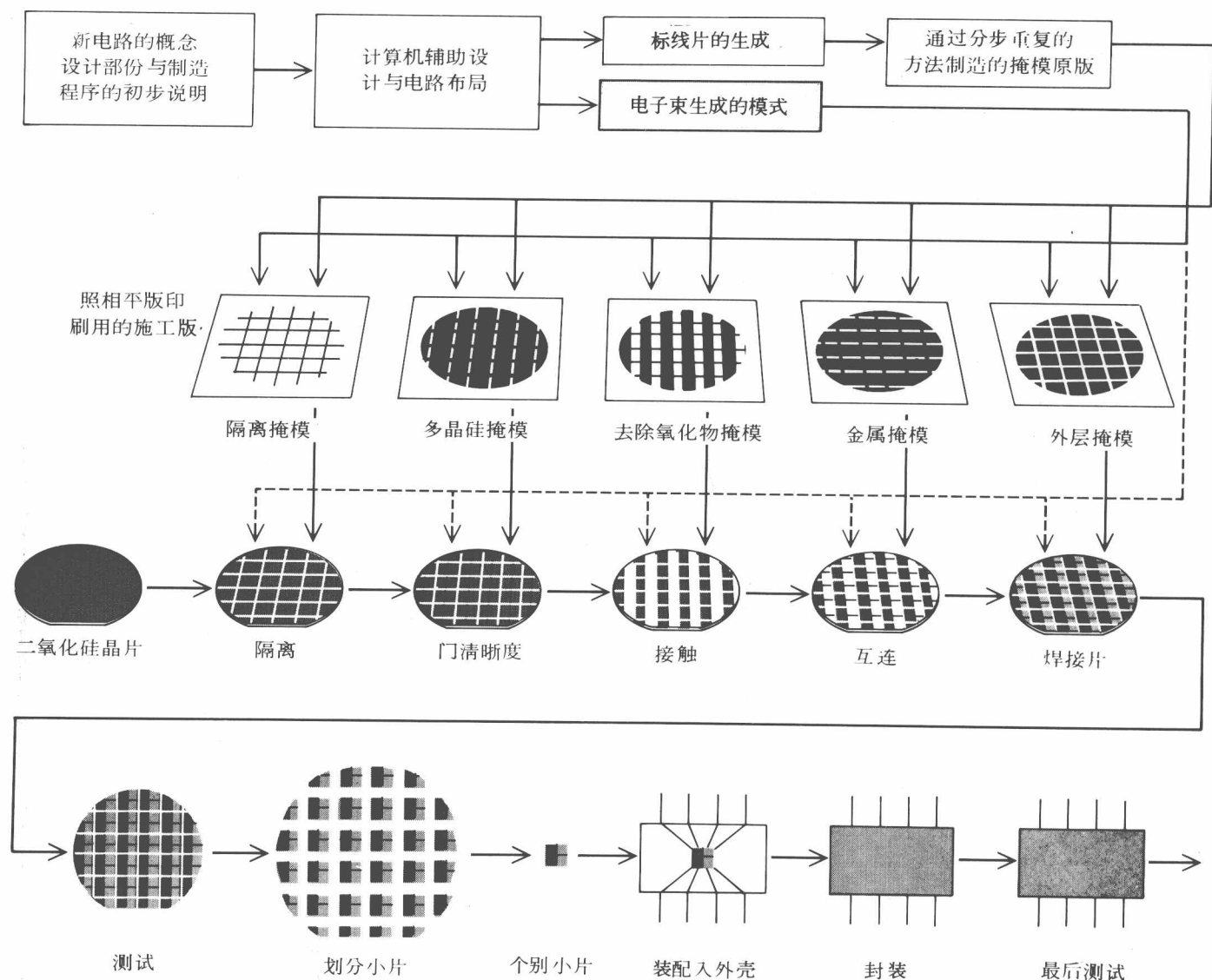
计算机能够模拟电路的工作,其方式与电视电子游戏机模拟乒乓球赛或太空战争的动作大致相同。电路设计师可用计算机监测电路的电压变化,并调整电路元件直至满意为止。用计算机模拟要比装配和测试由个别电路元件组成的“实验电路板”节省,且更精确。不过模拟的主要好处是在于设计师只需使用键盘打入指令便可改变电路元件,而且还能立即观察改变电路特性后的效果。

确定各种电路元件精确位置的最后布局图,也由计算机辅助制定。设计师在计算机终端,一面观察阴极射线管显示器上放大了数百倍的布局图,一面把电路元件放置和移动到正确位置。布局图规定集成电路每个层面的图形。而布局目的是使每个电路占据最小空间又获得预想的功能。人工绘制电路布局图的老方法还未完全被计算机取代。大规模集成电路的许多部分,还要经人工绘制,方可输入计算机。

在这个过程中的每个阶段,包括整个电路制成前的最后阶段里,布局图均是用计算机绘制的详细绘图校验。由于单个电路元件可能仅几微米宽,所以校验用的绘图必须放大许多倍,一般来说是电路实际尺寸的五百倍。

电路的性质不同,完成电路设计和布局图所需时间也不同。微处理机的线路设计最困难,其设计与布局工作可能要费数年时间。其它装置,诸如具有重复模式的静态存储器的设计和布局工作,可以进行得快一些,有的只需数月。

新电路的设计与布局工作做完,计算机存储器同时也存贮了该电路里每一元件精确位置表。根据计算机存储器所作的描述可制成一整套的板,称为光掩模。每个掩模含有电路的一个层面的图形。由于电路很小,可在一个硅晶片上同时并排制造许多个。因此每一个光掩模,通常是边长



此图简要说明了大规模集成电路的制造过程。电路设计工作由计算机辅助，以决定最省空间的电路元件布局。这个布局图用来制造光掩模组。每个光掩模含有一个层面的图形。一般来说，先把每个层面放大十倍，称作标线片，经校验、纠正和再行生成直至完善。用照相缩影法把标线片图象缩小，再用“分步重复”工序复制数百幅，用以制造实际大小的一套掩模原版，从中便复制出大批施工版。（以电子束制造图形的方法已开始取代用光学方法制造掩模的方法，因而有可能免去两个摄影步骤，以计算机存储器存贮的信息直接在施工版上绘制图形，未来还可

能用电子束平版印刷术直接制造电路。）用作电路基片的硅“晶片”是把长条硅单晶体锯成薄片而得的。这些薄片必须磨光，擦净和氧化供制造图形第一加工步骤。（沿晶体一边研磨成一个“平面”，因此每个硅晶片都有一个“参考边”与天然晶体结构平行。）以上简述了掩模的五道制造工序。此后，硅晶片便要经过测试的过程，以确定哪些电路是合格的。有毛病的电路都标以墨迹。然后把晶片上含有合格电路的小片分开，个别地封装，经过最后测试以保证封装了的电路能正常工作。

约五吋的玻璃板，板上只有一种图形，但复制多幅并排其上。

光掩模的制作过程本身已经十分引人入胜，通常如下：先由计算机存储器制成电路每一层面的完整图形。这是用计算机控制的光点，在感光片上扫描出相应的图形。这个初步图形称作标线片，先经校验以便发现错误并加以纠正，或再行生成，直至完善。典型的标线片较诸电路实际大

小大十倍。因此要把标线片图象缩成原来的 $\frac{1}{10}$ ，再用光学方法投射在最后掩模上。这幅图象用一种称作“分步重复”的工序，并列地复制数百幅。在这道工序里，对机械系统和摄影系统的要求均十分严格，每一元件的大小必须准确而且置于大约1微米内的位置上。用分步重复摄影机制成的原版，再用直接接触印刷术，复制一系列副原版。每一副原版又再大量复制，这

些复制版称为施工版，用于实际制造过程。这种施工版即可以用普通摄影感光乳剂形成固定图象，也可以用玻璃基片上的铬薄膜蚀刻出较耐用的图形。

一整套正确无误的掩模，是微电子电路研制过程中设计阶段的顶点。这些掩模版，随后送往加工晶片的工厂，按预定的图形次序，用来制造实体结构。这类厂的来料是硅晶片、加工用化学品和光掩模。