

1+X

职业技术·职业资格培训教材

集成电路 制造工艺员

中级

JICHENG DIANLU
ZHIZAO GONGYIYUAN

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业培训指导中心

组织编写



中国劳动社会保障出版社

1+X

职业技术·职业资格培训教材

集成电路 制造工艺员

中级

JICHENG DIANLU
ZHIZAO GONGYIYUAN

主 编	邓善修
执行主编	孙芝仪
编 者	陈康民 姜杰 罗佳
主 审	王龙兴

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

集成电路制造工艺员：中级/邓善修主编. —北京：中国劳动社会保障出版社，2006
职业技术·职业资格培训教材
ISBN 978-7-5045-5871-8

I. 集… II. 邓… III. 集成电路工艺 IV. TN405

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 121823 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出版人：张梦欣

*

北京人卫印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.5 印张 227 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

定价：21.00 元

读者服务部电话：010-64929211

发行部电话：010-64927085

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010-64911344

内 容 简 介

本教材由劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心依据上海 1+X 职业技能鉴定细目——集成电路制造工艺员（国家职业资格四级）组织编写。本书从强化培养操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握中级集成电路制造工艺的核心知识与技能有直接的帮助和指导作用。

本教材在编写中根据本职业的工作特点，从掌握实用操作技能，以能力培养为根本出发点，采用模块化的编写方式。全书分为四个单元，主要包括：绪论、半导体基础知识、集成电路制造工艺和集成电路制造相关设备及操作入门等。为便于读者掌握本教材的重点内容，每一单元后附有思考题，用于检验和巩固所学知识 with 技能。

本教材可作为集成电路制造工艺员（国家职业资格四级）职业技能培训与鉴定考核教材，也可供中、高等职业院校相关专业师生，以及相关从业人员参加岗位培训、就业培训使用。

前 言

职业资格证书制度的推行,对广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能,提高就业能力、工作能力和职业转换能力有着重要的作用和意义,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

随着我国科技进步、产业结构调整以及市场经济的不断发展,特别是加入世界贸易组织以后,各种新兴职业不断涌现,传统职业的知识和技术也愈来愈多地融进当代新知识、新技术、新工艺的内容。为适应新形势的发展,优化劳动力素质,上海市劳动和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面做了积极的探索和尝试,推出了1+X的鉴定考核细目和题库。1+X中的1代表国家职业标准和鉴定题库,X是为适应上海市经济发展的需要,对职业标准和题库进行的提升,包括增加了职业标准未覆盖的职业,也包括对传统职业的知识 and 技能要求的提高。

上海市职业标准的提升和1+X的鉴定模式,得到了国家劳动和社会保障部领导的肯定。为配合上海市开展的1+X鉴定考核与培训的需要,劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照1+X鉴定考核细目进行编写,教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的最新核心知识与技能,较好地体现了科学性、先进性与超前性。聘请编写1+X鉴定考核细目的专家,以及相关行业的专家参与教材的编审工作,保证了教材与鉴定考核细目和题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现我会做什么,而不只是我懂什么。每个模块单元所附思考题用于检验

学习效果，使受培训者巩固提高所学知识与技能。

本教材结合上海市对职业标准的提升而开发，适用于上海市职业培训和职业资格鉴定考核，同时，也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作，由于时间紧迫，不足之处在所难免，欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

劳动和社会保障部教材办公室

上海市职业培训指导中心

目 录

● 第1单元 绪论

- 1.1 集成电路产业发展的历史 3
- 1.2 我国集成电路产业发展的历史和现状 6
- 思考题 9

● 第2单元 半导体基础知识

- 2.1 半导体物理基础知识 13
- 2.2 晶体管原理 37
- 思考题 44

● 第3单元 集成电路制造工艺

- 3.1 半导体衬底制备 47
- 3.2 氧化工艺 53
- 3.3 光刻工艺 61
- 3.4 掺杂工艺 72
- 3.5 淀积和刻蚀 80
- 3.6 多层金属化 88
- 3.7 工艺集成 95
- 思考题 105

● 第4单元 集成电路制造相关设备及操作入门

- 4.1 集成电路制造环境和安全生产 109
- 4.2 氧化工艺设备及操作入门 116

目 录

4.3 光刻工艺设备及操作入门	126
4.4 掺杂工艺设备及操作入门	134
4.5 淀积与刻蚀工艺设备及操作入门	139
4.6 金属化工艺设备及操作入门	155
思考题	160

附录A 集成电路制造工艺员（中级）理论知识题库

1. 单项选择题	1.5
2. 多项选择题	2.5
3. 判断题	3.5

附录B 集成电路制造工艺员（中级）操作技能题库

1. 单项选择题	1.5
2. 多项选择题	2.5
3. 判断题	3.5
4. 简答题	4.5
5. 计算题	5.5
6. 操作题	6.5
7. 综合题	7.5

附录C 集成电路制造工艺员（中级）理论知识题库

1. 单项选择题	1.5
2. 多项选择题	2.5

1

前言

第 1 单元

绪 论

- 1.1 集成电路产业发展的历史 /3
- 1.2 我国集成电路产业发展的历史和现状 /6

引 导 语

集成电路自 20 世纪 50 年代末发明以来，在短短的几十年时间里迅速普及并深刻地改变了人类的生活方式。从电子手表、家用电器、手机到个人计算机，可以说没有集成电路就没有今天的信息社会。

本单元从集成电路的发明开始，回顾了国内外集成电路产业发展的简短历史。通过本单元的学习，读者可以了解国内外集成电路产业发展过程中的一些重要事件以及为此做出了卓越贡献的著名科学家们。

1.1 集成电路产业发展的历史

1.1.1 晶体管和集成电路的诞生

1947年圣诞节前夕,美国贝尔实验室的两位科学家巴丁(John Barden)和布莱登(Walter Brattain)在进行场效应晶体管的研究工作时,偶然观察到了点接触式的锗双极型晶体管的功率放大特性,他们当时并不清楚其中的奥秘。但是,他们两人的上司威廉·肖克莱(William Shockley)通过圣诞节假期里的研究工作,解决了这种双极型晶体管的工作原理问题,并于1948年将研究结果公布。在贝尔实验室诞生的世界上第一个点接触式的锗双极型晶体管,如图1-1所示。



图1-1 在贝尔实验室诞生的第一个点接触式的锗双极型晶体管

此后,肖克莱又提出了面结型双极晶体管的理论,面结型是为了区别于点接触结构而言的。由于对晶体管发明所做出的杰出贡献,巴丁、布莱登和肖克莱3人于1956年获得了诺贝尔物理学奖。

在晶体管发明之后的10年间,由于具有体积小、功耗低、速度快等特点,以锗为原料的晶体管很快地取代了真空管,特别是在高纯度的半导体单晶材料的生产技术问世后,更大大地加速了晶体管的普及应用。在整个20世纪50年代,半导体工业为大量的电子产品(如收音机、电子计算机)和许多其他民用及军用产品提供了半导体器件。

在集成电路发明以前,所有的半导体器件都是分立式的。所谓的分立式器件就是一种电子元件,如电阻、电容、二极管或晶体管等,每一个个体中只包含一个元件。1958年,美国德州仪器公司(TI公司)一位年轻的工程师杰克·基尔比(Jack Kirby)注意到大多数分立式器件,如电阻、电容、二极管和晶体管等,都可以由同一种材料制成,因此有可能将这些分立式器件做在同一块半导体基片上,再将它们连接在一起组成一个电路。如此一来便可以制造出更小的电路以降低电路的成本。基尔比的第一个集成电路制作在锗条上,上面有3个电阻、1个电容和1个晶体管,他用白金线将这些器件连接在一起,如图1-2所示。

与此同时,任职于仙童公司(Fairchild)的罗伯特·诺伊斯(Robert Noyce)也正致力于低成本电路的研究。不同于基尔比用真正的金属线来连接集成电路上的不同器件,诺伊斯的芯片是利用刻蚀淀积在半导体表面的铝薄膜层所形成的铝线来连接各个器件的。图1-3所示就是诺伊斯于1960年制作在硅基片上的第一个集成电路。该集成电路是由一个0.4 in直径的硅片制成,诺伊斯采用了现代集成电路制造的最基础的工艺,因而该集成电



图 1—2 德州仪器公司的杰克·基尔比在锗条上制造的第一个集成电路

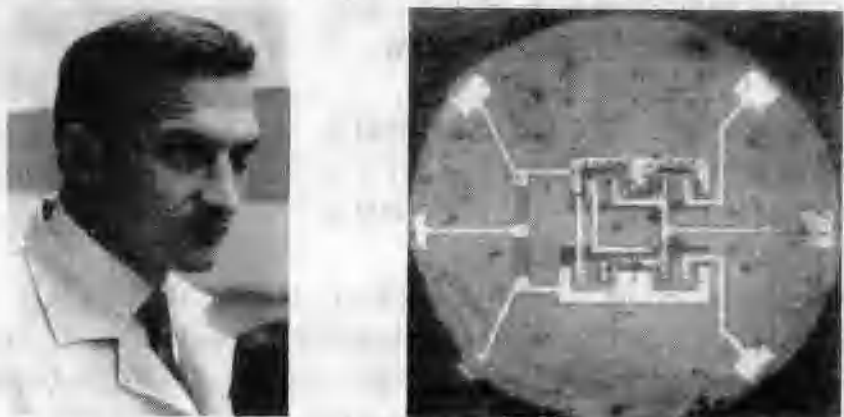


图 1—3 仙童公司的罗伯特·诺伊斯在硅片上制作的第一个集成电路

路也成为所有后续集成电路的原型。

经过多年的专利权诉讼之后，德州仪器公司和仙童公司最终同意互相授权彼此的技术来解决纠纷，由杰克·基尔比和罗伯特·诺伊斯共同分享发明集成电路的专利。1968 年罗伯特·诺伊斯和安德鲁·格洛夫及戈登·摩尔共同成立了英特尔公司（Intel）。

集成电路的发明，同汽车、飞机等发明一起，在 20 世纪彻底地改变了人类的生活方式。正是因为集成电路对人类生活产生的如此巨大的影响，在集成电路问世 40 多年之后的 2000 年，集成电路的发明者杰克·基尔比被授予了诺贝尔物理学奖（由于当时集成电路的另一共同发明者罗伯特·诺伊斯已经去世 10 年，所以只颁发给了基尔比）。

1.1.2 集成电路的发展和摩尔定律

自 1958 年世界第一块集成电路诞生起，全球集成电路产业经过 40 多年的发展，已经渗透到社会经济和生活的各个领域。小到电子表、计算器，大到导弹、航天飞机，简单如

玩具芯片,复杂如手机、超级计算机等,集成电路无处不在。集成电路技术的发展不仅成为经济增长的重要推动力,同时也促进了其他高新技术产业的发展。集成电路产业不仅是国民经济的基础产业,而且也是当代最具活力和渗透力的战略性产业。集成电路技术和集成电路产业的持续、快速发展已使其成为当今技术更新最快、技术创新最多的产业。

40多年来,集成电路在由小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)向着特大规模集成电路(ULSI)发展的过程中,显示出了集成电路发展的总趋势。集成电路规模的分类见表1—1。

表 1—1 集成电路规模的分类

规 模	缩写	器件数目
小规模集成电路 (Small-scale Integration)	SSI	2~50
中规模集成电路 (Middle-scale Integration)	MSI	50~5 000
大规模集成电路 (Large-scale Integration)	LSI	5 000~10 ⁵
超大规模集成电路 (Very large-scale Integration)	VLSI	10 ⁵ ~10 ⁷
特大规模集成电路 (Ultra large-scale Integration)	ULSI	10 ⁷ ~10 ⁹

在 20 世纪 60 年代,美国集成电路逐步走向产业化的过程中,时任仙童半导体公司研发部门主管,后成为英特尔公司创始人之一的戈登·摩尔博士,根据他对集成电路技术发展的观察经验,于 1965 年提出了深刻影响集成电路产业的“摩尔定律”。摩尔在 1965 年 4 月 19 日出版的《电子学》杂志上,发表了题为“给集成电路塞上更多元件”的文章。在这篇文章中,摩尔预示在今后 10 年中集成电路的集成度将每年翻一番,在 1975 年以后,经过实践的检验,摩尔将预测的数值关系改为每 18 个月。于是,摩尔定律的简化形式变为“芯片集成的元器件数量每 18 个月翻一番”。从此以后,人们普遍地将摩尔定律作为提高集成电路集成度的技术发展规律。

摩尔定律正是抓住了集成电路芯片特征尺寸不断缩小的特点,来预测通过缩小集成电路中元器件的面积能够增加集成电路芯片的集成度,从而提高集成电路性能,降低集成电路成本。微处理器和动态存储器芯片的集成度随时间变化的具体情况见表 1—2。40 年来摩尔定律的预测情况和实际情况的对比,如图 1—4 所示。

表 1—2 微处理器和动态存储器 (DRAM) 芯片集成度随时间变化的具体情况

微处理器			动态存储器		
年份	型号	集成元件数	年份	容量	工艺水平 (μm)
1971	4004	2 250	1970	1 K	
1972	8008	2 250	1974	4 K	10
1974	8080	5 000	1976	16 K	5
1978	8086	29 000	1979	64 K	3
1982	286	120 000	1983	256 K	1.5

续表

微处理器			动态存储器		
年份	型号	集成元件数	年份	容量	工艺水平 (μm)
1985	386	275 000	1986	1 M	1.2
1989	486	1 180 000	1989	4 M	0.8
1993	Pentium	3 100 000	1992	16 M	0.5
1997	Pentium II	7 500 000	1995	64 M	0.35
1999	Pentium III	24 000 000	1998	256 M	0.25
2000	Pentium IV	42 000 000	2000	1 G	0.11

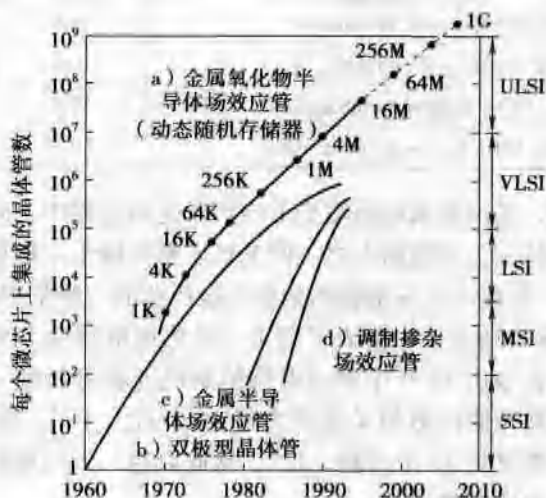


图 1—4 摩尔定律预测情况和实际情况对比图

但是，任何技术及其所形成的产业，都有自己的生命周期。随着特征尺寸逐步进入纳米量级，MOS 晶体管的物理参数也会达到一个极限，在超过极限后，MOS 晶体管就会失效。这时，以硅 MOS 晶体管为基础的集成电路就失去了进一步发展的可能性，摩尔定律也就自然而然的失效了。目前，在未来可以预见的 5~10 年的时间里，集成电路产业还会继续按照摩尔定律预测的情况向前发展，然而，随着集成电路技术不断取得新的突破，摩尔定律的有效时间或许会进一步延长。

1.2 我国集成电路产业发展的历史和现状

我国的半导体研究起步于 1956 年。在自力更生、艰苦创业的基础上，1965 年我国第一代实用化集成电路诞生了。在国家和政府各级主管部门的大力支持下，20 世纪 70 年代，我国已经初步形成了集成电路产业的基础。之后，随着我国改革开放的深入发展，我国集

集成电路产业经历了行业的调整阶段。2000年后,我国集成电路产业进入了前所未有的高速发展时期。

1958年我国建立了第一批半导体晶体管厂,如上海元件五厂、成都970厂等。1961年前后,我国的一些半导体研究机构先后开展了硅平面工艺技术的研究工作。与此同时,中国科学院北京半导体研究所和国防科工委十院十三所建立了集成电路研制课题组,上海技术物理研究所、复旦大学和上海元件五厂等单位也成立了集成电路联合攻关组。这些我国集成电路技术的先驱者在一无设备、二无资料、三无经验的情况下克服了难以想象的种种困难,自力更生,艰苦奋斗,研制出了我国第一代集成电路,并在1965年通过了技术鉴定,为开创我国集成电路发展史写下了光辉的一页。

我国研制成功第一代集成电路以后,一方面在半导体工厂迅速转入生产,另一方面在电子整机中积极推广应用,形成了我国集成电路发展的第一个热潮。与此同时,我国的硅材料行业和半导体专用设备行业都相应地有了很大的发展。此外,还有若干个颇具规模的国家级研究机构和许多高等院校也纷纷设置了半导体专业。

1978年我国实行改革开放之后,我国封闭了多年的集成电路产业终于打开了大门,与世界集成电路产业开始交流。为了迅速发展我国集成电路产业和提升集成电路技术水平,我国一些大中型集成电路企业,在国家资助下,纷纷从境外引进集成电路生产设备,甚至整条生产线。据统计,在此阶段,我国引进的集成电路芯片生产线达33条之多。但由于当时缺乏对引进先进技术和先进企业管理方法的重要性的认识,这些引进的生产线所发挥的作用有限。

在这阶段中,由于境外集成电路产品也源源不断地进入国内市场,使得生产基础比较薄弱的国内产品无论在价格上还是在质量上均无法与进口产品相竞争,从而严重地冲击了国内产品的市场。国内大多数集成电路企业处于十分艰难的境地,整个产业进入了调整状态。我国长期处于封闭式经济环境中发展起来的集成电路产业,第一次向国际环境开放,第一次经受国际市场的竞争和考验。在这一阶段中,虽然许多企业经历了一段痛苦的时期,但是对推动我国集成电路产业融入世界经济发展环境还是有意义的。

经过产业调整阶段的探索和实践,我国集成电路产业的主管部门和企业逐步吸取了世界集成电路企业发展的一些有益经验,开始转入重点企业培养发展阶段,如1986年由国家重点投资、在江苏省无锡市建立的中国华晶电子集团公司。在此阶段,一方面,利用我国境内建立中外合资企业的优惠政策;另一方面,按照国际上集成电路企业模式,在国内首先建立了若干个重点的集成电路制造企业。其中,上海贝岭微电子制造有限公司是我国集成电路产业中第一个中外合资企业,在建立之初不仅从国外引进了成套的生产设备和生产技术,同时还引进了国外先进的企业管理方法。几乎与此同时,在北京建立了中外合资首钢日电电子有限公司(SGNEC),在上海建立了中外合资的上海先进半导体制造有限公司(ASMC)。

在此阶段,电子工业部还先后重点实施了“908工程”和“909工程”。在这两项工程

中，国家重点投资了上百亿元，目的是为了全面改善重点集成电路企业的生产装备，提升技术水平，增强市场竞争能力。通过“908工程”和“909工程”的成功实施，我国一些重点集成电路制造企业已经达到了亚微米和深亚微米级的生产水平，建立和支持了国内的一些主要设计企业。同时，集成电路的掩模制造企业和封装测试企业也有了长足的发展。在上海浦东新区建立了中外合资的上海华虹 NEC 电子有限公司，建成了我国第一条 8 in 0.35 μm 集成电路生产线。

至 20 世纪 90 年代后期，我国集成电路产业形成了包括六个主干制造企业（首钢日电、上海贝岭、上海先进、上海华虹 NEC、无锡华晶和绍兴华越）、十几个主要封装测试企业（上海阿法泰克、上海松下、南通富士通等）和二十几个主要设计企业（中国华大、杭州士兰等）的基本产业格局。

在这个阶段中，我国集成电路产业的特点是：从资金、技术、企业管理等各方面，全面引进了境外的成功经验，在国内重点建立集成电路制造企业、封装测试企业和设计企业。同时按照国际集成电路的发展模式，开始尝试设计企业（Fabless）和代工企业（Foundry）的垂直分工体制，从而推动我国集成电路产业向国际模式发展。

2000 年 6 月 24 日，国务院颁布了《鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》（国发 18 号文件）。该文件的颁布，为我国集成电路产业的发展创造了一个具有吸引力的、良好的投资环境。文件发布之后，掀起了对集成电路产业的投资热潮，逐步形成了一个市场引导、政策扶持、多方参与的产业投资格局。在国务院和各级地方政府的帮助下，许多跨国公司和境外产业人士纷纷到中国内地投资设厂，有力地推动了世界集成电路产业向中国内地转移。与此同时，国内集成电路产业的投资体系也发生了根本性的变化，改变了原来投资主体为单一的国家投资的方式，转为以国内企业为主，社会各方面和个人共同参与的局面。

2001 年，全球集成电路市场销售量下滑了 32%，而我国集成电路销售量还略有增长。2002 年，全球集成电路销售量只回升了 2%，而我国集成电路销售量却增长了 34%。在近几年中，我国境内建成和在建的 6 in 及 8 in 集成电路生产线共 30 余条，一批具有国际先进水平的集成电路制造企业，例如上海中芯国际、上海宏力和无锡上华等也应运而生，我国集成电路芯片制造水平也迅速地从 0.35 μm 提升至 0.13 μm ，集成电路设计企业由 2000 年的 100 余家发展至 2005 年的 400 余家。与此同时，一批具有国际先进水平及规模的封装测试企业，例如星科金朋、日月光半导体（上海）和安靠封装测试（上海）也相继成立。至此，我国集成电路产业已具有一定规模，产业链也初步形成。长江三角洲地区、京津环渤海地区和珠江三角洲地区，由于原来的产业基础好，同时又具有经济自然条件优越、交通便捷、人才集中等有利条件，迅速成为我国集成电路产业最为集中的产业基地，中西部一些相对条件较好的城市，例如，西安、成都等地的集成电路设计业、制造业和封装测试业也有了很大的发展。“十五”期间，我国集成电路产业由小到大得到了长足的发展。可以预计，在“十一五”期间，我国集成电路产业还将持续高速发展，继续做大，加速做强。

职业技能鉴定要点

行为领域	鉴定范围	鉴定点	重要程度
理论准备	集成电路的发明	晶体管的发明	★
		集成电路的发明	★
		摩尔定律	★★★
		集成电路按规模大小的分类	★
	集成电路产业的发展	CMOS 技术	★
		集成电路制造工艺的发展	★★
		我国集成电路产业发展概况	★

思 考 题

1. 第一个晶体管是在何时何地由何人发明的?
2. 什么是“摩尔定律”?
3. 集成电路是由哪两个人共同发明的?
4. 请例举至少 3 家国内的集成电路制造企业。
5. 请描述一下集成电路产业的大致产业分工情况。