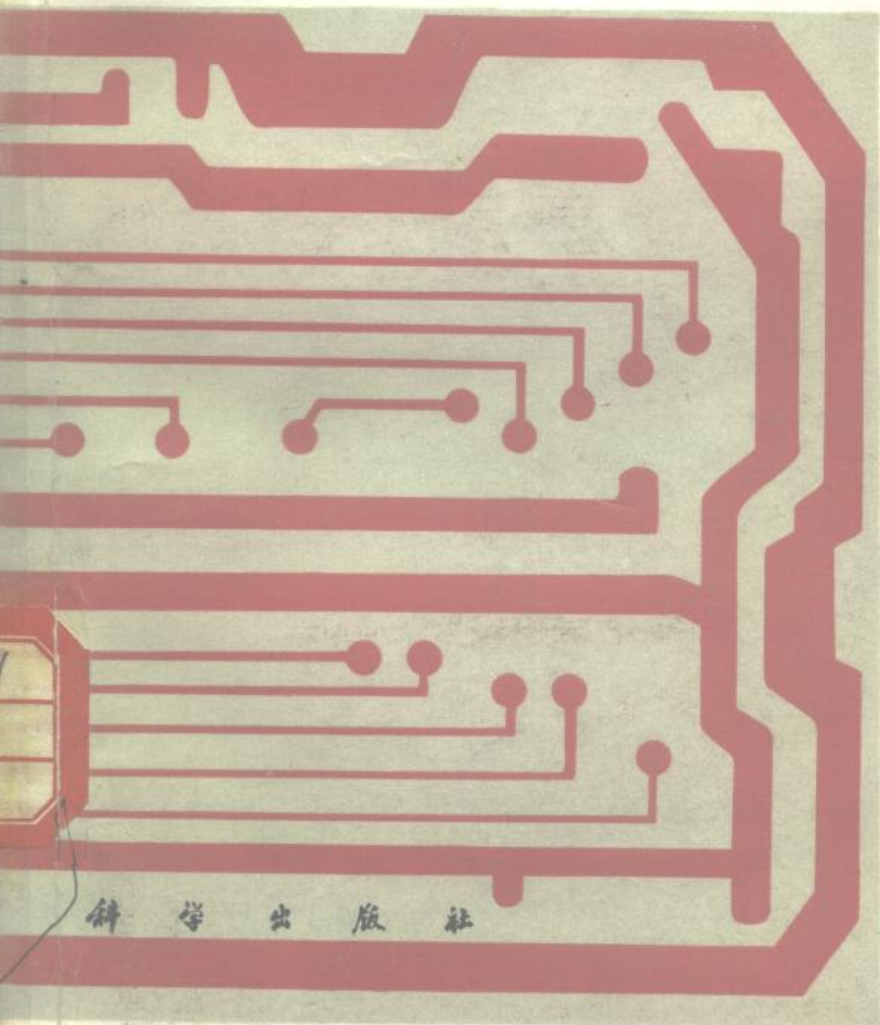


大规模集成电路 技术

〔日〕大规模集成电路技术编辑委员会 主编



科学出版社

大规模集成电路技术

〔日〕大规模集成电路技术编辑委员会 主编

陈金阁 田友臣 译

李超云 校

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书系统地介绍了大规模集成电路技术的现状及最新发展。全书共分七章,分别介绍了大规模集成电路的器件与电路技术、制造技术、组装技术、测试技术、设计自动化技术及大规模集成电路技术的应用。各章之后均附有大量参考文献,可供想深入了解某项内容的读者查阅。

本书可供从事大规模集成电路设计、制造的工程技术人员、大专院校有关专业师生及想了解大规模集成电路技术的科技人员阅读参考。

LSI 技術編集委員会監修

LSI 技術

電子通信学会編

大规模集成电路技术

〔日〕大规模集成电路技术编辑委员会 主编

陈金阁 田友臣 译

李超云 校

责任编辑 魏 玲

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年6月第一版 开本:787×1092 1/32

1985年6月第一次印刷 印张:11 3/4

印数:0001—13,500 字数:263,000

统一书号:15031·652

本社书号:4004·15—7

定价: 2.75 元

《大规模集成电路技术》编辑委员会

渡边 诚	林 丰	三和一朗
福川 幸夫	佐佐木 元	垂井 忠明

各 章 执 笔 者

渡边 诚 (第一、四章)	本多 进
林 丰 } (第二章)	金井久雄 } (第四章)
森野明彦 }	清水京造 }
三和一朗 (第三章)	须藤常太 } (第五章)
林田哲哉 (第一、四章)	一宫善近 }
桥木哲一	可児贤二 (第六章)
前田和夫	田丸啓吉
中根靖章	松村富广 } (第七章)
右高正敏 } (第三章)	大和田允彦 }
中村 正	伊藤充利 }
小宫啓义	
武石嘉幸	

译 者 序

电子技术是先进的新兴技术，随着世界新的技术革命和我国“四化”建设的发展，电子工业面临着继往开来大发展的新形势。大规模集成电路是电子设备的基础，也是当代电子工业的基础，在我国大力发展基础电子工业的今天，希望本书的翻译出版能对广大读者有所裨益。

本书全面论述了大规模集成电路的有关技术，其中包括大规模集成电路的特点和存在的问题、器件技术、电路技术、制造工艺、外壳和组装技术、测试技术、自动化设计技术以及应用技术等。

为编写本书，日本电子通信学会专门成立了编辑委员会，由六位著名的大规模集成电路专家和学者分别担任各个章节的编审工作。并分别由二十一位工作在研究第一线的优秀专家执笔撰写。因而，使本书能以较少的篇幅全面地论述了大规模集成电路的有关技术内容，是一本较好的参考书。

本书的翻译曾得到段又力同志的大力协助，中国科学院半导体研究所刘盘泉同志参加了全稿的校订工作，在此仅致谢意。

由于译者水平有限，错误与不当之处在所难免，请读者批评指正。

译者

1984年1月

序 言

集成电路原是为超小型电路的一个分支而诞生的，而超小型电路正是要求小型化、轻量化的宇航设备及军用设备所追求的目标。然而，当集成电路问世以后，由于其优点具有普遍性，因此被广泛应用于一切电子线路之中。

具体地说，集成电路的优点在于：作为电子设备的基本构成单位，它不是完成电容器、电阻器和晶体管等单个元件的功能，而是完成一个电路的功能甚至完成几个电路的综合功能，并以此谋求降低成本、提高性能和改善可靠性。因此，小型化本身并非目的，而是手段。集成电路之所以具有这种优点，主要是因为，作为基本单位的不是一个个分立元件，而是具有某种功能的电路。以往的元件安装和连接，不管自动化程度多高，总要用自动机械把元件一个一个地放到正确的位置才行。集成电路则采取一种全新的成批加工方式，只利用一次照相技术，就能决定数十万个元件的位置，元件之间的连接一次就能完成。而且集成度愈高，其优点发挥得愈充分。正是由于这种原因，才使得集成度不断得到提高，并迎来了今天的大规模集成时代。

今后进一步提高集成度的主要手段是用超精细加工技术缩小每一元件所需的面积。但是，光学照相技术的分辨能力已接近于由光波波长决定的极限。因此目前正研究利用其波长比光波波长短的电子束或X射线加工和复印集成电路图形。电子束图形加工现已开始部分实用。在此，用电子束形成图形也不单是为了实现超精细加工，由于它具有研制周期

短等特点,所以被认为是一种有多种优点的加工方法。因而,电子束图形加工可能普遍地应用于大规模集成电路的生产过程。展望未来,采用突破光波波长极限的超精细加工技术制造的集成电路再也不会是什么特殊的东西了,它将逐步向普遍应用的阶段迈进。

大规模集成电路由于采用了所有的现代工业技术而不断发展,作为电子器件的主流,它将对今后的以计算机、信息传输和信息处理等为代表的广泛的现代工业革命做出贡献。

综上所述,我深信,大规模集成电路的应用范围将越来越广,大规模集成电路将在电子工业中占据主流地位,这将是一个大有发展前途的重要领域。该领域中的专家几乎全部是电子通信学会的会员,现由该学会组织目前在第一线从事研究工作的第一流作者编写此书,这是一件非常可喜之事,我相信,这将对日本电子工业的发展做出极大贡献。

垂井康夫

1979年2月

引 言

世界经济转入缓慢发展时期,然而,电子工业依然欣欣向荣.尤其是大规模集成电路,其集成度每年要翻一番,这是公认的既成事实,而且毫无疑问,这种趋势今后还将继续保持下去.此外,不仅日本,全世界也都认识到,大规模集成电路不但是电子工业的基础元件,也是整个工业的基础元件.因此,对大规模集成电路的议论、注目和期望都是理所当然的.

然而,这种惊人发展的原动力何在?推进这种发展的技术是什么?回答这两个问题的专著和说明性书籍却出人意外地少.这大概是由于第一线的技术铺得过于广泛,因而难以把握其全部内容,且各项技术之间的关系错综复杂,再加上这一领域的专家工作繁忙无暇执笔完稿等原因造成的吧.

考虑到上述情况,本书特地聘请活跃在第一线的专家组成编辑委员会,由各个委员分别负责主编各章,澄清各个领域各种技术之间的相互关系,并系统地说明各种技术.为此做出了巨大努力,从制造工艺到大规模集成电路的应用,对在此范围内的各种技术都做了论述,并力求把这些技术彼此联系起来,例如以同一图面为基础分别说明器件和电路等.因此,读者能够据此把握既有联系又独立发展的大规模集成技术的全貌.在举世瞩目大规模集成电路的今天,愿本书能对读者了解大规模集成技术有所帮助.

本书的出版得到了许多人士的适当指导和帮助.我们特别要向电子通信学会出版委员会的前委员长末武国弘、现委员长高原靖现和学会编辑部的许多人士致以深深的谢

意。

大规模集成技术编辑委员会代表 渡边 诚

1979年2月

目 录

第一章 大规模集成电路技术总论	1
1.1 大规模集成电路出现的必然性	1
1.2 大规模集成电路的优点	2
1.2.1 显著的经济效果	2
1.2.2 优异的性能	2
1.2.3 高可靠性	3
1.3 大规模集成化中的问题	4
1.3.1 品种增加和数量减少	5
1.3.2 电路复杂化带来的各种问题	5
1.3.3 电路、器件等存在的问题	6
1.4 大规模集成电路技术	6
1.4.1 器件和电路技术	7
1.4.2 制造技术	7
1.4.3 封装、组装技术和测试技术	8
1.4.4 大规模集成电路应用技术	8
1.5 大规模集成电路的动向	10
1.6 结束语	13
第二章 器件技术和电路技术	14
2.1 概论	14
2.2 器件技术	16
2.2.1 MOS 基本技术	16
2.2.2 MOS 技术的发展	30
2.2.3 双极型基本技术	42
2.2.4 双极型技术的发展和新技术	57
2.3 典型基本电路模块	59

2.3.1	工作速度和功耗的最佳设计	60
2.3.2	加法器	66
2.3.3	寄存器、移位寄存器	74
2.3.4	只读存储器 (ROM).....	78
2.3.5	可编程序逻辑阵列 (PLA)	84
2.3.6	输出电路	88
	参考文献.....	93
第三章	大规模集成电路制造工艺.....	97
3.1	概论	97
3.2	掩模制作工艺	99
3.2.1	掩模制作工艺	100
3.2.2	掩模材料和处理工艺	104
3.2.3	采用电子束曝光的掩模制作工艺	105
3.3	MOS 集成电路的制造工艺	106
3.3.1	光刻工艺	108
3.3.2	氧化、扩散技术.....	110
3.3.3	化学汽相淀积(CVD)技术	112
3.3.4	镀膜技术	113
3.3.5	清洗技术	114
3.3.6	硅片和划片	116
3.4	MOS 集成电路、大规模集成电路制造技术的新发展...	118
3.4.1	离子注入技术	118
3.4.2	选择氧化技术	119
3.4.3	多晶硅电极工艺	121
3.4.4	新型器件制造工艺	123
3.5	双极型集成电路的制造工艺	127
3.5.1	外延工艺	129
3.5.2	光刻工艺(刻蚀技术)	130
3.5.3	氧化扩散工艺	131
3.6	双极型集成电路制造工艺的进展	133

3.6.1	双极型集成电路的新工艺	133
3.6.2	浅层化技术(浅结技术)	135
3.6.3	自对准工艺	136
3.6.4	新隔离工艺	137
3.6.5	外延层自掺杂	142
3.6.6	无需隔离的器件	143
3.7	电极布线技术	143
3.7.1	集成电路用的电极布线材料	143
3.7.2	铝材料的改进	144
3.7.3	多层布线结构	146
3.8	钝化技术	147
3.8.1	钝化的意义和目的	147
3.8.2	氧化膜的改善	148
3.8.3	气相生长的钝化膜层	150
3.8.4	最外层保护膜	151
3.9	超微细加工技术	152
3.9.1	电子束曝光	152
3.9.2	远紫外线复印技术	160
3.9.3	X 射线复印技术	162
3.9.4	干法腐蚀技术	166
	参考文献	171
第四章	外壳和封装技术	179
4.1	概论	179
4.2	大规模集成电路的封装技术和发展动向	181
4.2.1	封装技术中的各种问题	181
4.2.2	封装结构和芯片封装方法	188
4.3	大规模集成电路封装技术的详细说明	193
4.3.1	载带方式	194
4.3.2	倒扣方式	200
	参考文献	205

第五章 大规模集成电路测试技术	207
5.1 概论	207
5.2 测试的种类	208
5.2.1 测试项目和测试条件的决定	208
5.2.2 直流特性测试	209
5.2.3 交流特性测试法(脉冲测试法)	210
5.2.4 逻辑功能测试	210
5.3 逻辑型大规模集成电路的测试方法	211
5.3.1 逻辑功能测试方法	211
5.3.2 测试图形产生法	217
5.4 大规模集成电路存储器的测试法	232
5.4.1 测试图形的种类	232
5.4.2 大规模集成电路存储器测试存在的问题	238
5.5 测试仪	241
5.5.1 测试仪的发展史	241
5.5.2 测试仪的分类	242
5.5.3 测试仪的结构及概要	244
5.5.4 测试仪存在的问题及展望	246
参考文献	247
第六章 设计自动化技术	251
6.1 概论	251
6.1.1 设计自动化的必要性	251
6.1.2 设计自动化的适用范围	252
6.1.3 设计自动化的课题	256
6.2 器件模拟和器件模型	258
6.2.1 器件模拟	258
6.2.2 器件模型	261
6.3 电路模拟	268
6.3.1 电路方程式的定型化和解法	268
6.3.2 电路分析程序	272

6.4	逻辑模拟	275
6.4.1	逻辑模拟的方法	275
6.4.2	逻辑模拟程序	277
6.5	配置布线设计	279
6.5.1	母片方式的配置布线	279
6.5.2	积木式配置布线	281
6.5.3	MOS 门的列配置布线	283
6.5.4	配置布线程序	285
6.6	原图处理	286
6.6.1	原图处理系统	286
6.6.2	原图检验	289
	参考文献	290
第七章	大规模集成电路及其应用	294
7.1	概论	294
7.2	大规模集成电路存储器	296
7.2.1	存储器的种类	296
7.2.2	动态随机存储器	298
7.2.3	静态随机存储器	304
7.2.4	只读存储器	308
7.2.5	CCD 存储器	310
7.2.6	存储器的动向	311
7.3	微处理器	312
7.3.1	微处理器的历史及种类	312
7.3.2	体系结构	315
7.3.3	系统结构	319
7.3.4	应用范围	322
7.3.5	软件	323
7.4	消费性产品的大规模集成电路	324
7.4.1	计算器用大规模集成电路	324
7.4.2	电视游戏机用大规模集成电路	327

7.4.3	数字控制调谐系统用大规模集成电路	329
7.4.4	钟表用大规模集成电路	331
7.5	通信和信号处理用大规模集成电路	332
7.5.1	通信与大规模集成电路	332
7.5.2	频率合成器用大规模集成电路	333
7.5.3	调制-解调用大规模集成电路	334
7.5.4	运算处理用大规模集成电路	337
7.5.5	图象传感器	343
7.6	模/数、数/模接口电路	344
7.6.1	大规模集成电路和模/数、数/模转换技术	344
7.6.2	数/模转换器	346
7.6.3	模/数转换器	353
参考文献		357

第一章 大规模集成电路技术总论

1.1 大规模集成电路出现的必然性

早在集成电路(IC)问世之初,就有人指出将来必然会出现大规模集成电路(Large Scale Integration, 简称为LSI)。IC的芯片(形成电路的小块硅片)随着面积的增大,合格率将会降低,与此同时,芯片装配、外壳封装和测试等的成本也将相应下降。考虑到这些因素,当时的预测曾计算了具有电路功能的IC的成本,结果表明,随着技术的提高,将许多功能集成在一块芯片内可获得良好的经济效果。

此后,技术的进步,从多方面促进了大规模集成化。第一是MOS电路的出现。因其每个门电路所占面积小,工艺简单,而在LSI中占据了主流地位。第二是微细加工技术的进步。由于器件尺寸出乎意料的缩小,从而使MOS和双极型电路均能将许多功能集成在一个小面积内。再者,晶体技术和工艺技术的进步,也提高了芯片合格率。只要是在光学透镜系统等的容许范围以内,即使增大芯片面积也照样能获得较高的合格率。此外,电路技术和测试技术也对大规模集成化发挥了重大作用。

在分析今后的动向时,不能期待芯片面积仍按过去的比例增加,也不能期望器件和电路技术有太多的革新。于是,提高集成度将主要依靠缩小器件尺寸。目前芯片上的标准线宽,生产水平为 $5\mu\text{m}$;研究水平为 $2\mu\text{m}$ 。实际上已达到了制造光刻掩模和曝光技术的极限。为了得到更微细的线条,必

须采用电子束制作掩模、X 射线曝光以及不使用掩模的电子束直接曝光等方法。这些新技术可适用于 $1\mu\text{m}$ 以下的线宽,能够克服提高集成度的巨大障碍。因此,这些新技术称为超微细加工技术;以此制成的 LSI 称为超 LSI。

1.2 大规模集成电路的优点

1.2.1 显著的经济效果

LSI 的最大优点是其显著的经济效果。经济效果包括两个方面。一是 LSI 本身每个功能的成本降低;二是用 IC 组装的系统总成本降低。前者是大规模集成化的直接效果。在 LSI 制造过程中,是以硅片为单位进行处理,加工费用与其所含的电路数关系不大,用同样工艺加工出来的硅片,不管其中电路多少,成本基本相同。硅片分成芯片后的工艺费用,则按芯片计算,彼此并无多大差别。所以,如果采用微细加工技术来增加单位面积的功能,同时也用加大芯片尺寸的方法来增加功能,那么,在合格率不变的情况下可以降低每个功能的成本。

后者,即大规模集成的系统总成本降低,也非常重要。因为,用 LSI 组装系统能降低装配和调试费用,减少印刷电路板和接插件,减小系统的体积和重量。从 IC 台式计算器发展到单片 LSI 袖珍计算器,这一历史过程充分说明了大规模集成化的巨大经济效果。计算器价格降低了一个数量级以上,接近两个数量级,使生产量猛增。今后,大规模集成化仍将是整机系统降低成本的最大推动力。

1.2.2 优异的性能

大规模集成化能提高速度、降低功耗,或者大幅度减小作