

曾义方 张彦仲 编著

信号处理单片机及应用

(上册)



航空工业出版社

信号处理单片机及应用

(上册)

曾义方 编著
张彦仲

航空工业出版社

1996

内容提要

本书是根据国内外有关单片信号处理器(DSP)的各方面资料和作者多年工作经验,进行加工整理,提炼编著的一部系列化、知识化、实用性、指导性强的高科技工程应用工具书。可作为电子技术领域实际工程应用的工作指南。

全书共有44章,分上、下册出版,全书介绍有关新技术、新方法、新产品及其在多种科技领域中的工程应用。并配有700多幅插图和300多张技术数据表,以高度提炼其综合完整性,可供从事信号处理技术、计算机技术、多媒体技术、自动化技术、通讯工程技术等领域的专家、教授、大专院校师生和有关工程技术人员、公司开发人员、新技术推广人员、信息管理、咨询服务人员应用参考。

在版编目(CIP)数据

信号处理单片机及应用 上册/曾义方等编著. —北京:航空工业出版社,1996.10
ISBN 7-80134-000-0

I. 信… II. 曾… III. 信号处理; 单片式计算机-计算机应用 IV. TN911.7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 06570 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号100029)

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经营

1996年10月第1版 1996年10月第1次印刷

开本:787×1092 1/16 字数:1001.6千字

印数:1~1500 印张:39.125 定价:69.00元

前 言

关于信息实质的争论虽未得出结论,但多数人认为“只要有物质就存在信息”。信息的第一层是物理性信号,可见信息是一个广阔的范围,信号也在其中,所以信息处理是一个大范围,信号处理在其中是一个部分。

信号(如电信号、光信号、声信号等)处理是一门多学科,跨部门的应用科学。其过程包括了信号的获取、传输、转换、分析、变换、处理、检测、显示和应用等过程。其主要过程就是对各种类型的信号进行分析和变换。所谓变换就是根据一定的理论方法,对信号的数学模型进行快速运算;而信号分析就是根据一定的理论方法,采用一定的手段和设备,对信号的特征、参数进行测量、显示和记录的过程,它对信号本身的信息结构没有损失。而信号处理在筛选、编辑、压缩信号的加工中,对信号本身的信息结构有所改变或丢失。所以两者有所区别,只不过信号处理是包括了信号分析在内的一个大范围过程。

信号处理总的目的是按照一定的理论方法和步骤,从它的各个过程中提取有用信息或变为所期望和易于识别的形式,以便将结果应用于各个领域之中。

目前信号处理已形成了一套比较完整的理论和方法,并且还在不断发展和深化。不管是模拟信号处理;或模拟与数字式混合信号处理;还是全数字式信号处理,都是按最基本的滤波、谱估计和数据压缩三种理论方法进行数学运算,对信号进行分析和处理的。

滤波技术先后出现了各种模拟滤波和理想滤波技术,逐步发展到数字滤波最优化技术。谱估计方法包括:傅里叶变换法(即离散傅里叶变换 DFT;快速傅里叶变换 FFT;以及各种提高速度、减少乘法的各种变换算法);相关分析法;最大和最小谱估计;最大似然谱估计;自协方差谱估计等。数据压缩是在保存原始信号统计特性的情况下,去掉多余的信息量,以压缩系统的数据量,为实现一维和多维数据压缩,可采用离散沃尔什变换、离散哈达马变换、数论变换、斜变换、哈尔变换等理论方法来实现。信号的变换域,可以是时域、频域、列率域或空间域,或两域之间进行一维、二维以及多维信号变换处理。近年来发展起来的神经网络理论、模糊分析技术和小波分析等新理论和变换算法,人们也在积极研究,应用前景也在不断的探索。总的来说,信号处理是要以各种方法理论为基础,以软、硬件为工具,以达到快速、简便、形象、直观和深刻的观察动态信号和提炼有用信息并加以应用为目的。

信号处理的专用、通用的软、硬设备是信号处理的理论方法与微电子学、大规模和超大规模集成电路、数字电路、电子计算机,特别是微型计算机(包括单板机、单片机)相结合的结果。

部分大、中、小型计算机,特别是中高档次微型机除配有阵列和数组处理的硬件外,还有专门的信号处理程序包;部分 PC 机、微型机和兼容机系统配有信号处理的功能软件包;通用的信号分析或处理设备也多以软件实现各种功能。信号处理通用算法软件在国内有很大发展,也表现了较高的水平,它们主要包括有:数字信号处理程序库;各种专用图形、图象处理软件包、化工、地质、石油勘探、医学等信号处理应用软件包,以及以单片 DSP 芯片为核心的系统的软件包等,为信号处理在多种领域的应用提供了有力的工具。

目前,国外有美、日、英、法、丹麦等国 30 多家公司,以及香港地区和国内 10 多家厂家研制、生产了近百种不同型号的信号处理设备。产品名称如:频谱分析仪;动态分析仪;信号分析

仪;频率响应分析仪;相关分析仪;FFT 分析仪;数字信号分析系统;多功能信号处理系统;振动信号分析系统等。但 80%以上的设备或系统,多采用快速傅里叶变换(FFT)算法实现信号处理的各种功能。

信号分析和处理设备的外围装置也在相应的配套和完善。外围装置包括前端:如多种类型传感器、滤波器、A/D 变换及数据采集装置、及记录装置;终端包括多种 D/A 变换装置、单色和彩色显示器、打印机、X-Y 记录仪、绘图仪等。这些外围装置大多数是计算机的通用外设装置,同时也可作为信号处理的专用外设装置,因此便于配套和选用。

现代信号处理系统设备具有运算功能多、表示参数丰富、计算速度快、实时能力强、精度高、分辨率好,以及操作、显示、存贮、复制、扩展、再处理方便和灵活的特点。因此,在国民经济高科技领域中有较广泛的应用。

信号处理主要的应用领域包括:雷达、声纳、通信、电视广播、仪器仪表、航天航空、遥感遥测、数字和数据通讯、保密通讯、电子侦察、电子对抗、火炮试验、军事设施、舰船识别、自动控制、化工设备、水利工程、建筑工程、机械工业、地质和石油勘测、地震预报、生物医学工程以及医学、核医学、声学、力学、光学、地球物理学、语音学等。此外,在数学解题、地脉动学、流体力学、气象学、天文学、海洋学等方面,以及与信号处理紧密相关的模式识别、文字识别、人工智能和系统辨识、神经网络计算机,多媒体电脑以及“信息高速公路”等方面也有广泛的应用。

信号处理单片机是实现信号处理和完成信号处理系统设备的重要手段和物质基础。它使系统设备更具先进性、实用性、经济性。它为进一步推动信号处理技术在众多实际工程领域中的应用奠定了基础。它不断更新换代,使高科技的开发应用面貌一新。本书着重介绍世界上有代表性的信号处理单片机的特征、结构、指令与工程应用,重点编辑了在国内工程领域中应用所取得的成果;与信号处理技术有关的多媒体技术;全球卫星定位技术;并行处理技术;并行计算机和便携机、笔记本型微机和微机单片机;以及其它方面的新技术,新器件等均有一定的介绍,以使读者跟踪目前国内外高科技发展的水平,了解更多更新的信息。

本书编写过程中得到许多从事信号处理技术专家的帮助和支持,在此特别向李昌立、毛士艺、俞高峰、陈章龙、孟宪元、国澄名、诸维明、毛二可、侯朝焕、柯有安、何振亚、赵荣椿、王开西、袁保宗、白玉海、于林、沈世青、洪刚、曲建国、王跃科等同志致谢。

由于编辑工作量大,跨专业面广,作者水平所限,错误之处望读者批评指正。

编著 者 1995 年 10 月

目 录

第一章 微电子技术的进展	(1)
第一节 大规模集成电路的工艺进展	(1)
第二节 体系结构进展	(3)
第二章 LSI/VLSI 电路的现状和发展动向	(6)
第一节 VLSI 工艺技术的进展	(6)
第二节 LSI/VLSI 电路设计技术的现状	(7)
第三节 LSI/VLSI 电路的发展趋势	(7)
第三章 单片微波集成电路的发展状况	(11)
第一节 单片微波集成电路的一般概况	(11)
第二节 微波与毫米波集成电路的进展	(11)
第三节 单片微波集成电路的发展方向	(12)
第四节 集成电路几种封装形式	(13)
第四章 模拟和数字信号处理器	(17)
第一节 模拟和数字信号处理器综述	(17)
第二节 CCD 器件	(18)
第三节 声表面波器件	(19)
第四节 开关电容滤波器	(20)
第五节 单片数字信号处理器(DSP)	(26)
第五章 当代最新集成电路芯片	(49)
第一节 单片神经网络简介	(49)
第二节 单片神经网络(NLX420)	(50)
第三节 ADS420(超过 10 亿电路/秒)	(51)
第四节 采用神经网络制作的产品举例	(52)
第五节 模糊逻辑芯片及开发工具	(52)
第六节 当代生物集成电路芯片	(74)
第六章 单片微型机系列及应用	(75)
第一节 单片微型计算机概述	(75)
第二节 单片机的发展简介	(75)
第三节 部分典型单片机的功能简介	(76)
第四节 单片机的开发和应用	(87)
第七章 微型计算机的状况和最新进展	(90)
第一节 新一代的微处理器	(90)
第二节 RISC 与 CISC	(97)
第三节 微型计算机的最新进展	(102)
第八章 并行处理技术及并行计算机	(116)

第一节	并行处理技术	(116)
第二节	美国并行计算机公司及计算机	(120)
第三节	并行 7000 系列	(122)
第四节	并行 8000 系列	(127)
第五节	部分工程应用介绍	(134)
第六节	新型 MAXION 多处理器系统	(140)
第七节	中国“曙光-1000”大规模并行计算机	(141)
第九章	通信工程信号处理系统	(143)
第一节	导航星全球定位系统(GPS)	(143)
第二节	美国 Nict010 天宝导航公司的 GPS 设备	(146)
第三节	长城计算机通用集成技术公司的 GPS 设备	(148)
第四节	北京弗蓝卡数字有限公司的 GPS 设备	(151)
第五节	通信工程中 DSP 的设计工具	(160)
第十章	多媒体技术及工程应用	(173)
第一节	多媒体技术的发展、关键技术及应用系统	(173)
第二节	多媒体计算机及系统	(175)
第三节	专用多媒体 VLSI 芯片	(182)
第十一章	多媒体产品制作技术	(210)
第一节	基本知识简述	(210)
第二节	多媒体产品的制作	(212)
第三节	多媒体部分产品介绍	(220)
第四节	多媒体技术与其它技术的关系	(236)
第十二章	TMS32010 芯片的开发与系统研制	(241)
第一节	TMS32010 芯片的特征与结构	(241)
第二节	TMS32010 的开发工具	(246)
第三节	采用 TMS32010 芯片研制的系统和装置	(254)
第十三章	TMS32020 芯片的开发与系统研制	(262)
第一节	TMS32020 芯片的特征与结构	(262)
第二节	TMS32020 的开发工具	(271)
第三节	采用 TMS32020 芯片研制的系统和装置	(276)
第十四章	TMS320C25 芯片的开发与系统研制	(283)
第一节	TMS320C25 芯片的特征与结构	(283)
第二节	TMS320C25 的开发工具	(295)
第三节	采用 TMS320C25 芯片研制的系统和装置	(299)
第十五章	TMS320C30 芯片的开发与系统研制	(310)
第一节	TMS320C30 芯片的特征与结构	(310)
第二节	TMS320C30 的开发工具	(321)
第三节	TMS320C30 开发板与系统研制	(328)
第四节	TMS320C31 芯片及系统开发	(336)
第十六章	TMS320C5X 芯片的开发与系统研制	(342)

第一节	TMS320C5X 芯片特征与内部结构	(342)
第二节	管脚图及信号说明	(347)
第三节	指令集摘要	(352)
第四节	TMS320C5X 开发工具	(356)
第十七章	TMS320C4X 芯片的开发及系统研制	(367)
第一节	TMS320C4X 芯片的特征及内部结构	(367)
第二节	管脚图及信号说明	(373)
第三节	指令集摘要	(380)
第四节	TMS320C40 开发工具	(388)
第五节	TMS320C80DSP 多媒体视频处理器(MVP)简介	(393)
第十八章	TMS320 系列芯片其它方面的开发应用	(403)
第一节	仿真开发系统	(403)
第二节	数据采集与处理系统	(407)
第三节	多处理器系统与装置	(415)
第四节	其它方面	(421)
第十九章	TMS320 系列芯片在语音信号处理中的应用	(429)
第一节	语音编码	(429)
第二节	语音识别	(436)
第三节	语音分析与检测	(448)
第四节	语音合成	(450)
第五节	语音声谱图仪及语音工作站	(457)
第二十章	TMS320 系列芯片在通信工程中的应用	(467)
第一节	调制解调器(MODEM)	(467)
第二节	短波通信	(477)
第三节	保密通信	(482)
第四节	数据与数字通信及其它	(485)
第二十一章	TMS320 系列芯片在雷达工程领域中的应用	(506)
第一节	概述	(506)
第二节	芯片在实现 DMTD 方面的有关问题研讨	(506)
第三节	TMS32010DSP 在雷达中的应用	(509)
第四节	TMS32020DSP 在雷达中的应用	(513)
第五节	TMS320C25DSP 在雷达中的应用	(515)
第二十二章	TMS320 系列芯片在声纳工程领域中的应用	(527)
第二十三章	TMS320 系列芯片在图象处理领域中的应用	(537)
第一节	图象处理系统	(537)
第二节	图象识别	(550)
第三节	图象数据压缩编码	(555)
第二十四章	TMS320 系列芯片在其它领域中的应用	(562)
第一节	TMS320 系列芯片在算法理论上的应用	(562)
第二节	TMS320 系列芯片在振动工程中的应用	(573)

第三节 TMS320 系列芯片在仪器仪表工业中的应用	(581)
第四节 TMS320 系列芯片在地质、地震方面的应用	(597)
第五节 TMS320 系列芯片在医学和生物学方面的应用	(603)
参考文献	(607)

第一章 微电子技术的进展

第一节 大规模集成电路的工艺进展

一、一般概述

自 60 年代至今,先后开发了 TTL、ECL、E²L 和 MOS 工艺技术,实现了各种规模的集成电路(IC)。60 年代为中、小规模集成电路时期:小规模集成(SSI)元件数为 2~100 个之间/片;中规模集成(MSI)为 100~1 000 个/片。70 年代为大规模集成(LSI),元件数为 1 000~10 000 个/片。80 年代发展到超大规模集成电路(VLSI)元件数为 $10^4 \sim 10^5$ 个/片,至(ULSI)元件数为 $10^5 \sim 10^6$ 个/片,向特大规模集成(SLSI),元件数为 $10^6 \sim 10^7$ 个/片,以及巨大规模集成电路(GLSI), $10^7 \sim 10^8$ 以上个/片方向发展。

各种集成电路的发展与微电子技术的进步,特别是材料的改进、工艺革新和检测手段的发展、设计和制造的自动化的提高以及应用领域的推广等等分不开的。仅对 LSI 来说,其工艺主要有两种类型:一类为双极型晶体管工艺,其中包括 TTL、ECL、I²L 三种;另一类为金属氧化物半导体工艺(简称 MOS 工艺)。MOS 工艺已成为 80 年代集成电路工艺的主流了。

二、MOS 工艺技术

MOS 工艺技术无论在存储器以及类似微处理器的逻辑电路方面都正在蓬勃发展。 n -沟 MOS 正在占领主机高速缓冲器和控制存储器用的静态 RAM;高性能的 HMOS 工艺也向高速双极 RAM 进行了冲击,Intel 公司宣称的 HMOS II 可以在任何 HMOS 生产线上进行大量生产,这种技术的改革是与早期工艺相容的,只是把高速晶体管的沟长限制在 $2\mu\text{m}$ 而已。 n -沟 MOS 的另一种新工艺就是 V 型槽 MOS 工艺,VMOS 工艺不仅能满足 64K 静态 RAM 所要求的集成度,而且,很有可能以同样的价格制造出比 n -沟 MOS 速度还高的器件来,美国微系统公司制成的 64K 动态 RAM 显示了 VMOS 工艺在集成度方面的优越性(芯片尺寸远小于 30000 平方密耳)。互补型 MOS(即 CMOS)工艺由于制成的电路速度更快、功耗更低(待用功耗很小—微瓦级),还能抗拒 α 粒子轰击引起的软差错,因此将成为制造微处理器最流行的工艺技术。CMOS 工艺其缺点在于封装密度较低,为克服这一缺点,目前正在发展新型的 CMOS 工艺。如加拿大米特尔公司生产适于制造逻辑电路的隔离 P 阱工艺、以及专用阵列高速芯片的等平面隔离 CMOS 工艺;美国微系统公司生产适于制造存储器的公用 P 阱工艺;逻辑威尔公司制做专用的 A/D 和计数器芯片而采用的在蓝宝石衬底上制做的 CMOS 工艺等等,都展现了 CMOS 工艺的光明前景。

三、双极工艺技术

目前双极工艺仅在高速和实用方面还保持它的牢固地位。仙童公司,为了按比例缩小双极电路,开始了所谓的等平面 S 计划的第一期工程:也就是包括缩小最小线宽的光刻;寻求互连

的金属化合物系统(如正在研究的金属的淀积技术);不降低速度情况下进一步降低功耗(如正在发展一种新型的 pnp 结构),以期实现新型的双极电路。日本 NEC 公司为解决高速双极电路的高功耗而采用了多晶硅自对准工艺(简称 PSA),采用此种工艺不仅因寄生电容小及多晶硅电阻的阻值高而能降低功耗,而且还能制造面积相当小(2000 平方微米或 3 平方密耳)的门电路,因此,封闭密度高。

由于双极电路与 TTL 兼容的 RAM 和逻辑电路的速度极限,用 ECL 作高速度高集成度而廉价的存储器将有较大的发展。

集成注入逻辑的变种之一,叫做集成肖特基逻辑在高速和低功耗方面具有很大潜力,而且驱动能力也很强因此受到重视。

砷化镓制造的逻辑电路器件竞争力很强,它只是采用相当简单的平面工艺、肖特基二极管及耗尽型(常通型)金属半导体场效应晶体管,就达到了高集成度和前所未有的低开关能量及延迟时间。一种称为肖特基二极管一场效应晶体管逻辑(SDFL)的工艺完全可将砷化镓电路的集成度扩大到大规模集成的范围。

总之,大规模集成电路的工艺进展,为制造新品种的微处理器和单片微型计算机奠定了坚实的基础。

表 1.1 为大规模集成电路工艺种类与特点表格;表 1.2 为各种工艺特性的比较。

表 1.1 大规模集成(LSI)电路工艺种类与特点

双极型工艺	①晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)	a)低功耗肖特基 TTL(LPS TTL) 特点:功耗低		工作时钟频率 5~10MHz 典型例:①Intel:两位片 μ P3000 系列 ②AMD:四位片 μ P2900 系列
		b)一般肖特基 TTL(STTL) 特点:速度快		
	②射极耦合逻辑电路(ECL)	特点:工作速度最快,工作频率可达 20MHz;门电路延迟 1ns 左右 典型例:①Motorola:四位片 μ P10800 系列;②Airchild:八位片 μ PECL100K 系列		
	③集成注入逻辑电路(I ² L)	I ² L	特点:集成度高,功耗低,工艺简单,速度慢。 典型例:Texas Instruments,SBP0400(4 位),SBP9900(16 位)	
平面隔离型 I ² L(I ² PL)		特点:集成度高,功耗低,工艺复杂,速度快,工作频率可达 10MHz 典型例:Fairchild: μ P9940(16 位)		
金属氧化物半导体晶体管工艺(MOS)	①PMOS	特点:工艺容易,电源电压较高,工作速度快,时钟频率一般在 1MHz 以下 典型例:Intel:4004,4040,8008 μ P		
	②NMOS	特点:耗尽型负载工艺的晶体管电路开启电压较低,电源电压用 5V,电路逻辑电平与 TTL 匹配,时钟频率一般为 2~4MHz		
	③HMOS	特点:沟道非常短,只有 2~3 μ m,晶体管面积缩小,集成度高,工作速度快,门电路延时只有 2~3ns,时钟频率可达 5~8MHz 典型例:Intel 16 位 μ P8086		
	④CMOS	a)CMOS	特点:功耗低,抗噪声,抗电源起伏,抗温能力强	
		b)SOS	特点:具有 CMOS 优点外,速度快,沟道长为 6 μ m 时,门延时达 2~3ns 日本 16 位高性能 μ P PULCE 就是一例	
	⑤VMOS	特点:是一种集成在一个三维面上的 NMOS 逻辑结构,高密度,高性能,低成本(正在研制中)。		
	⑥DMOS	特点:单元电路的速度可达高速,可实现高密度集成,器件沟道可窄到 1 μ m,但工艺复杂,成品率低(阈值电压难于控制造成)		
	⑦D-V-MOS	特点:把 DMOS 和 VMOS 相结合的新型结构,因此具有高速,低功耗和高集成度,短沟道等优点,而且克服了阈值电压难于控制的缺点		
CCD 单元结构	CCRA 单元	特点:与单管 NMOS 单元相容,因而设计上较灵活,可实现高密度集成,可放宽对光刻的要求,成品率可提高		

表 1.2 各种工艺特性的比较

项 目	现 代 技 术 (1979~1985 年)								(1986~1990 后)	
	T ² L	LST ² L	ECL	I ² L	P-MOS	n-MOS	CMOS		蓝宝石上 外延硅	砷化镓 (GaAs)
							硅片内	蓝宝石上 外延硅		
工艺的相对成熟度(1~10度)	10 (8*)	9(4~5)*	8~9 (3~5)*	4	10	9	8	4	2	1
工艺的复杂程度(工序)	18~22**	18~13**	19~23**	13~17	8~14	9~15	14~17	14~20	14~20	2
逻辑的复杂程序(每个2输入门的元件数)	12	12	8	3~4	3	3	4	4	3~4	2
封装密度(门/毫米 ²)	10~20	2040	15~20	75~150	100~200	40~90	100~200	200~500	300~1000	
典型门延迟(毫微秒)	6~30 (10)	2~10 (5)	0.7~2 (2)	7~50 (20)	30~200 (100)	4~25 (15)	10~35 (20)	4~20 (10)	0.2~0.4 (0.3)	0.05~0.1 (0.7)
功率延迟积(微微焦耳)	30~150	10~60	15~18	0.2~2.0	50~500	5~50	2~40	0.5~30	0.1~0.2	0.01~0.1
典型电源电压(伏)	+0.5	+5.0	-5.2	+0.8~ -1.0	-15~ 20	+5.0	+10.0	10.0	2.0	+1.2
信号摆幅(伏)	0.2~3.40	0.2~3.4	-0.8~-1	0.72~ 0.08	0~-15.0	0.2~3.40	~10.00	0.0~10.0	0.0~2.0	0.0~0.8
保证噪声容限(伏)	0.3~0.40	0.3~0.4	0.125	<0.1	1~2	0.5~2.03	5~4.5	3.5~4.5	0.2~0.8	0.2~0.3

注:(*)为对氧化物隔离的估计值;**为另加氧化隔离工序

第二节 体系结构进展

一、微处理器的演变

从 1971 年美国 Intel 公司 4 位微处理器(Intel4004)问世以来,经过几代的发展,无论在品种、质量、性能上都有很大的发展和提高,1975 年左右 8 位微处理器已经成熟,1980 年又出现了带有 32 位内部通道和 16 位外部通道的微处理器,1981 年出现了 Intel 公司的 iAPX-432 第一片 32 位微处理器,其它厂家也随着时间的推移而逐步推出多种 32 位微处理器芯片,几乎所有新的芯片均有虚拟存贮器,总的寻址空间达千兆位数量级,在微处理器成本下降的情况下可提供越来越多的功能,被加强的功能有处理能力;外围设备支持和软件,这种趋势正在向高级方向发展。

在短短的十多年时间里,微处理器芯片的管子数增加了 100 倍,芯片面积各增大了 8 倍,门延迟时间由几十毫微秒降到 100 微微秒。存贮器片所含晶体管数增长速度比微处理器快,而存贮器每位平均价格大约以每年 40%的速度降低,近年来微处理器价格大幅度下降,促进了微处理器的广泛应用和发展,微处理已从 1→4→8→12→16→32 位方向更新和发展。

微处理器的时钟由几兆赫提高到 20~40 兆赫,几乎每 2.25 年把微处理器速度提高一倍。这主要是由于半导体制造工艺水平的提高,集成电路速度的增快和集成度增大,以及微处理器

体系结构和总线结构的改进所取得的。微处理不仅速度提高了,而且还增强了功能和扩大了应用范围。通用的、指令固定的(FIS-Fixed Instruction Set)微处理器进展的同时,另一类可编程微处理器也得到了相应的发展,由于体系结构的数据和指令线是分开的,克服了 FIS 微处理器的瓶颈(Von Neumann)问题,可达到很高的速度,一直受到人们的重视。

特别值得一提的是最近广泛采用的精简指令系统计算机 RISC(Reduced Instruction Set Computer)结构,其含义是计算指令系统仅包括使用频率较高的指令,同时这些指令的控制和实现又比较简单,然后优化实现这些指令并使其速度最快。它与传统的复杂指令系统计算机 CISC 结构等微处理器形成了完全不同的风格。

表 1.3 为 32 位 μP 性能一览表。

表 1.3 32 位 μP 性能一览表

型 号	厂 家	数据字长	直接寻址 范 围	基本指令 条 数	指令字长 (位)	时钟频率 (MHz)	功率要求 (瓦)	工艺及芯片尺寸
		地址字长						
LAPX432	Intel	32	16m 字	221	32	8	功耗 2.5	1/1.5 μm MNOS 10 ⁵ 密耳,64 引脚
NS-16032	NS	32	224	82	32	10	功耗 1.12	3.5 μm NMOS,84 $\times$ 10 ³ 密耳,引脚为 10
MS-32032	NS							1.5 μm CMOS
MC68020	Motorola	32/32			32	20		HMOS
Bellmac32	Bell	32/32	232	169	32	10 (40)	功耗 0.7	2.5 μm CMOS16 $\times$ 10 ⁴ 密耳 84 引脚
IBM320	IBM	32/32			32			
HP32bit	HP	32/32	229	230	32	18(36)	功耗 4	1/1.5 μm NMOS38.4 $\times$ 10 ³ 密耳 83 引脚
Z-80000	Zilog	32/32	232			10		2.5 μm NMOS,68 引脚

二、存贮器的进展

半导体存贮器的发展也是非常迅速的。各种存贮器中以动态存贮器(DRAM)的存贮容量为最大,使用最为普遍,十多年来它的存贮器容量扩大了 250 倍,存取数据的速度提高了 3 倍,集成度也越来越高,从 1970 年 1K 位发展到 1973 年 4K 位,1975 年为 16K 位,1978 年为 64K 位,1980 年为 256K 位,1984 年为 1M 位,1986 年为 4M 位,1988 年达 16M 位。目前 4M 位 DRAM 还处于年产 400 万只的批量生产阶段。韩国三大半导体厂家第三代 64M DRAM 将于 1997 年年底生产,64M DRAM 世界市场到 1999 年将高达 6 亿只。日美大公司合作开发的 4000MB DRAM 将预计到 2004 年问世。发展中有以下趋势:CHMOS 工艺代替 NMOS 工艺以降低功耗;缩小器件尺寸,外围电路仍采用 ECL 结构以提高存取速度,同时提高集成度;存贮器从平面 Hi-C 改为深沟式,保证尺寸减少后的电荷存贮量,以提高可靠性;电路设计中简化外围电路结构,注意降低噪声、运用冗余技术以提高质量和成品率;工艺中采用多种新技术;使 DRAM 在十多年间存贮容量稳步上升,并为今后继续开发 64M 位和 256M 位的新电路奠定基础。

半导体存贮器达到的性能水平见表 1.4。

几种典型的动态随机存贮器的比较见表 1.5。

表 1.4 半导体存贮器目前的性能水平

名 称		存 贮 容 量 (K 位)	取 数 时 间 (ns)	功 耗 (mW)	备 注
双极型静态 RAM CSRAM		16	15		
		64	25	270	
MOS 型	SRAM	16	50	600	
		64	50	125	日本松下
	动 态 RAM CDRAM	64	<80		
		256	<100	200~300	
	ROM	1M 位	每字节 150		日文公司
	EPROM	288	150	100	日本富士通
	PROM	64	40		日本富士通
	EEPROM	16			Inte12817
砷化镓 IC 研制的 SRAM		1	2.6	290	日本富士通

表 1.5 几种典型的动态随机存贮器的比较简表

厂 家	日本 NTIS	日本 HIACHI	美国 AT&T	日本 TOSHIBA	日本 National	日本 NEC
推出时间(年)	1980	1984	1985	1986	1988	1995
存贮器容量	256Kb	1Mb	1Mb	4Mb	16Mb	256Mb
存贮单元尺寸(μm)	5.7×12.5	3×7	3.5×10.5	3×5.8	1.5×2.2	
存取数据时间 (ns)	160	90	85	80	65	
使用工艺	NMOS	NMOS	双阱 CMOS	双阱 CMOS	N 阱 CMOS	CMOS
线宽(μm)	1.5	1.6	1.3	1	0.5	0.25
功耗(mw)	230	300	160	300	450	68

注:存贮器容量的 K=1024

第二章 LSI/VLSI 电路的现状和发展动向

70 年代末集成电路已从大规模进入超大规模(VLSI)阶段。目前以 VLSI 电路为主体的微电子技术已成为信息社会的基础, VLSI 电路不断推陈出新, 性能、集成度、可靠性、功耗不断改进, 应用领域也愈加广阔。

第一节 VLSI 工艺技术的进展

VLSI 电路集成度的迅速增长主要取决于以下两个因素: 首先是完美晶体生长技术已达到极高的水平; 其次是制造设备不断完善, 加工精度、自动化程度和可靠性的提高足以使器件尺寸进入亚微米级领域。目前硅单晶制造技术可使晶体径向参数均匀, 体内微缺陷减少, $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 大小的缺陷平均可以少于 0.15 个/ cm^2 。对电路加工过程中诱生的缺陷理论模型也有了较为完整的认识, 由此发展了一整套完美晶体的加工工艺。目前生产电路用的硅片直径已发展为 $203.2 \sim 254\text{mm}$ ($8 \sim 10$ 英寸), 并将进一步增到 304.8mm (12 英寸), 因此生产效率超大幅度提高, 微缺陷的减少使芯片成品率大大增加。此外砷化镓单晶及其异质结晶体的制备也达到很高的水平。

离子注入技术掺杂取代了传统的扩散工艺, 不仅掺杂范围和杂质剂量可以精确控制, 器件的尺寸及某些参量(如 MOS 晶体管的阈值电压, 负载电阻等)也可以得到控制; 快速退火技术不仅使硅片的加工温度有所降低, 同时也使其加工质量和激活率增高很多, 这些都有利于 VLSI 电路的开发与研制。

光刻技术中, 过去的接触/接近式曝光或 $1:1$ 投影曝光, 由于分辨率过低, 而且在大面积硅片前遇到硅片变形和调焦等困难, 已不适应微米级电路的要求。目前的方法是采用电子束曝光设备制造掩模板(也可直接曝光), 有了掩模板再用 X 射线曝光或用分步重复投影曝光(DSW)。DSW 设备多次改型, 1988 年采用新的准分子激光器又将 DSW 的分辨率提高到 $0.5 \mu\text{m}$ 。近年来在发展高速偏转系统、调整束流改进象素曝光率及电子散射效应、提高扫描图形精度及计量、研究高灵敏材料等方面取得了进展, 电子束曝光设备也几经改型, 在精度、效率、实用性和可靠性几方面作了改进。

曝光后, 细线条和纵向深沟腐蚀也是制作 VLSI 电路的重要环节。近几年采用干法腐蚀, 特别是几种干法腐蚀中的反应离子腐蚀用于 $2 \mu\text{m}$ 以下的线宽时效果最好, 在此基础上又改进成为磁增加反应离子腐蚀, 除保持原有工艺的优点外又进一步提高了腐蚀速率、改善了均匀性, 颇有利于硅片上的深沟和厚膜腐蚀。

VLSI 电路上有多层绝缘膜和导电薄膜, 它们分别用物理淀积和化学淀积方法来实现。淀积多晶硅、 SiO_2 、 Si_3N_4 和磷硅玻璃等无定形介质膜, 过去常采用化学气相淀积法, 现已被低压气相淀积法(LPCVD)所取代, 为改进薄膜生长质量、提高薄膜生长速度、淀积设备作了多次改型。近年来已由低电阻高稳定性的难熔金属硅化物(如 Wsi_2 、 Tisi_2 、 Mosi_2 等)取代了导电膜中的铝。

计算机辅助制造(CAM)和测试(CAT)在 VLSI 电路生产中愈来愈占有突出的地位。现在

的工艺模拟程序已能进行三维结构电路工艺的模拟了。

上述的工艺进展为 VLSI 的开发研制打下了坚实的基础。近年来随着硅片尺寸增大、集成度提高,对加工工艺的环境洁净条件要求显著提高,因此已有不少关于全密封式无人操作的 VLSI 加工生产线的设想,现已经有个别由机器人和高度自动化的工艺设备所组成的这种全密封的无人操作工艺线在试验运行之中了。

第二节 LSI/VLSI 电路设计技术的现状

在电路设计的计算机辅助设计(CAD)基础上发展了集成 CAD 或 LSI/VLSI 电路设计技术。LSI/VLSI 电路发展的关键取决于微细加工技术和 LSI/VLSI 电路设计技术的发展。

LSI/VLSI 电路设计的内容包括:器件(双极型、MOS 型)设计,单元电路的直流和瞬态模拟。逻辑设计(包括逻辑合成与逻辑模拟),芯片电路布局的设计,掩模版图设计(包括半通用设计与专门设计),芯片检测序列的设计以及根据产量、产品、芯片尺寸、设计人力和其它因素进行成本分析等。

LSI/VLSI 电路设计的指导思想有两个:①开发电路结构(如体系结构,设计规则),尽量节省芯片面积;②采用多种多样的 CAD 来处理复杂的设计问题,主要是强调缩短设计周期,抢占新产品市场,但芯片面积稍大些。

LSI/VLSI 电路设计的方法主要有:①新电路设计法,即对电路结构设计要有新的设计思想或对原设计有所改进,即缩小尺寸 20%;②反设计法,其实质是仿制,有的在仿制过程中略有一点改进。

LSI/VLSI 的基本设计程序是:①首先是对电路进行计算机模拟(包括电路模拟、逻辑模拟和工艺模拟);②用 CAD 系统进行版图设计。完成后通常要打印出彩色草图,进行一次人工校验;③校验后的版图由专门的制版公司用电子束制版机或图形发生器制成掩模板。目前美国基本的设计程序采用三种:Spice I (II) 程序主要用于器件和电路分析设计;Suprem III (IV) 程序主要用于工艺制作设计;Logcap 程序主要用于逻辑设计。一般每个程序本身要占用 50~70K 的内容存量。

目前集成电路的集成度速度几乎是两年翻一番,其次是普及型 8 位芯片的功能在不断增强,16 位芯片正在加速扩充 32 位的能力,单片 μC 与多片 μP 争夺市场。现阶段复杂功能电路的掩模版图的产生还是薄弱的一环,但对特定的电路模块(如存贮器、PLA 等)采用专用的计算机程序就能得到最佳的设计版图。

第三节 LSI/VLSI 电路的发展趋势

LSI/VLSI 技术和高级计算机体系结构结合,与高级算法和软件系统结合,以阶层化、结构化、模块化的基本思路来高效率的设计 LSI/VLSI 的芯片;并经济地实现超小型化、数字化、多功能化的高速信号处理系统。LSI/VLSI 的发展趋势如下:

- (1) 集成电路(IC)正在向集成系统(IS)方向发展;
- (2) 从 CPU、RAM、ROM 等器件的集成发展到单片 μC 的集成;
- (3) 提高外设用的 LSI 产品的各种功能,以减小体积、提高性能、降低价格;
- (4) 除少数 VLSI 芯片外,通用电路开始转向专用电路(如信号处理器)系统的开发,而且

每年以 25% 的产值增长。

(5) VLSI 设计方法开始摆脱传统的低层次(如随机逻辑)手段而转向层次化、结构模块化(如标准单元、巨单元、门阵列等)方向发展;

(6) 以先进的工艺和 CAD 技术来开发数字和模拟相结合的信号处理器芯片;

(7) 经济地开发 VLSI 芯片极大地依赖 CAD、CAM、CAT 技术的发展;

(8) 高性能计算系统的数据结构和算法必须受到 VLSI 技术本身特点的约束,但电路结构复杂、图形尺寸缩小和开发周期缩短、性能价格比增高的势头还不见尽头;

(9) 高速、高频率、大功率、低功耗高电压等电路领域还在继续开拓;

(10) 设计、制造、测试等自动化程度愈来愈高。

总之,要保持高速发展的势头,用户与开发生产部门之间、电路设计与工艺制造人员之间、加工设备与实际使用单位之间紧密合作的新关系更加密切。未来的 VLSI 和 VLSI 技术将会取得更大的成就。

表 2.1 为世界上 LSI/VLSI 的发展情况;表 2.2 为美、日 80 年代、90 年代 LSI/VLSI 的发展水平;表 2.3 为 LSI 元件技术的预测(批量生产水平);表 2.4 为几种浮点 ALU(运算器)和乘法器;表 2.5 为几种 4 位 ALU;表 2.6 为几种 16 位和 32 位 ALU(VLSI 器件)。

表 2.1 世界上 LSI/VLSI 的未来发展预测

年 代	1985 年	1990 年
最小条宽 DRAM	1.5~1 μ m 0.5~1 NMOS/CMOS	1~0.5 μ m 0.5 μ m 1M~4M 4~16M NMOS/CMOS CMOS
SRAM	128K~256K CMOS/NMOS	0.5M~1M 1M~4M CMOS CMOS
EPROM	128K~0.5M NMOS/CMOS	1M~2M 2M~4M NMOS/CMOS CMOS
E ² PROM	128K/0.5M	1~2M 2M~4M NMOX/CMOS CMOS
μ P/ μ C	32 位/64 位(NMOS/CMOS)① MOTOROLA 的 μ C6800 增强设计 32 位 μ P 的功能似 IBM 的 370/158② Intel iAPX432 单片化每秒执行上万条指令。	32 位/64 位(NMOS/CMOS)32 位或 64 位类似于大型主机的单片,系统芯片内存容量达 M 位除微操作系统外含多功能系统软件,自含多种接口功能,每秒执行亿条指令。

表 2.2 美、日 80 年代、90 年代 LSI、VLSI 水平及估计

年 代	1980	1981	1982	1985	1990	
水 平	16K SRAM	64K SRAM	256K DRAM	0.5~1M DRAM	1~4M	4~16M DRAM
工 艺	H MOS- II	H MOS- III	NMOS/CMOS	NMOS/CM CMOS	NMOS/CMOS	CMOS
最 小 条 宽	2 μ m	集成度 10 万/片 2~1.5 μ m	集成度 50 万/片 2~1.5 μ m	1.5~1 μ m	1~0.5 μ m	$\leq$ 0.5 μ m
生 产 公 司		NEC, 日立 松下, 东芝	日立, 东芝, MEC, BELL IBM, MOTOROLA			