

数 字 系 统 集 成 技 术 丛 书 XILINX®

XILINX

数字系统现场集成技术

主编 朱明程

东 南 大 学 出 版 社

数字系统现场集成技术丛书

XILINX

数字系统现场集成技术

主编 朱明程

参编 张建慧 陈 旭 刘元成

MJS 166

东南大学出版社

内 容 提 要

本书系统介绍了 FPGA(用户现场可编程门阵列)集成电路的发明者——美国 Xilinx 公司的 FPGA、CPLD 器件产品的结构原理、功能特征及应用设计技术。

本书第 1 章,提出了现代数字系统单片化实现以工艺集成和现场集成来分类的新概念,阐述了数字系统现场集成技术的重要性;第 2、3 章介绍了 Xilinx 的主流 FPGA、CPLD 器件的结构原理、功能特征、开发工具及设计流程;第 4 章介绍了现代数字系统设计的主流方式——VHDL 设计技术,系统归纳了 VHDL 硬件描述语言结构、语法规则及电路设计方法;第 5、6 章针对数字系统现场集成设计中的技术特征,介绍了有关的电路设计技巧、器件选择原则及系统性能改进方法,并给出了若干典型的应用设计实例。

本书内容丰富,技术新颖,实用性强。对于通信技术、计算机应用、航空航天仪器仪表、自动化应用领域从事数字系统设计及单片化集成的设计工程师、科研人员、大专院校相关专业的研究生、高年级本科生,都是一本具有指导和实用价值的技术参考书。

本书可作为高等院校信息工程类等相关专业的高年级本科生及研究生的《数字系统设计技术》课程教材,也可作为工程师继续教育的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

XILINX 数字系统现场集成技术/朱明程主编. —南京:
东南大学出版社,2001.9
(数字系统现场集成技术丛书)
ISBN 7-81050-848-2

I. X… II. 朱… III. 现场可编程门阵列
IV. TP331.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067182 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 通州市印刷总厂印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:23.75 字数:476 千字

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

定价:33.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换。电话:025-3792327)

前 言

《Xilinx 数字系统现场集成技术》一书的问世,是数字系统现场集成技术从出现、发展到成熟应用的产物。如果说在 20 世纪 90 年代初,以 FPGA 为技术基础的数字系统现场集成技术的应用在国内还处在萌芽状态(由于器件价格昂贵,集成规模小,开发工具缺乏,设计方法不成熟,而导致该技术应用处在可望而不可及的状态)。那么 10 年后的今天,随着 VLSI 工艺技术、计算机技术、软件工具技术的高度发展,FPGA 器件已从单片规模只有数万门发展到数百万门,数字系统设计在 EDA 工具的支持下,从图形积木构造向着 VHDL 行为级,甚至模型化的概念级设计方式进步。

记得在 1995 年,深圳大学在深圳市科技局支持下建立 EDA 技术中心时,许多人还在问何谓“EDA”。今天,EDA 技术平台已成为现代电子设计的不可缺少的基本平台,EDA 技术课程在国内重点院校中已成为相关专业学生必选和争相选修的技术课程。在 FPGA 技术、EDA 技术应用的推动下,当 21 世纪来临之际,数字系统现场集成技术已发展成和工艺集成相对应的系统集成技术,在电子应用产业界获得了长足的推广和普及。今天,对于一名电路硬件设计工程师和有志成为数字系统硬件设计工程师的学生而言,如果不了解 EDA 技术,没有进修过《数字系统现场集成技术》课程,则会有技术“落伍”之感。一些专修过本课程的学生,在去英国继续深造,进入导师要求的研究课题时,来函感叹“在深圳大学所学的 VHDL 和 FPGA 的知识和训练,对于进一步深造和从事研究工作,是多么的重要”。正是在这样的技术发展和应用需求的背景下,我们有幸承担该书的编撰工作,为推动数字系统现场集成技术的应用普及贡献力量,感到由衷高兴。在本书出版之际,谨向本书出版的组织和策划者——深圳市亚科希资讯公司及美国 Xilinx 公司致以诚挚的感谢;向对我们的工作提供支持和指导的深圳大学名誉教授、中科院半导体所王守觉院士致以深深的谢意。向给予我们工作大力帮助和鼓励的深圳大学领导、同事、朋友致谢。

本书由深圳大学信息工程学院朱明程教授主编。其中第 1、4、5 章由朱明程执笔;第 2 章由陈旭执笔;第 3 章由刘元成执笔;第 5 章部分内容及第 6 章由张建慧执笔。全书由朱明程统稿。在本书编写过程中,深圳大学 EDA 技术中心工程师李昆华、周华辉,研究生涂磊、刘慧给予了协助和支持,我们还参阅并引用国内出版的 FPGA 应用设计、VHDL 设计技术的有关著作的部分描述和设计实例,在此一并表示感谢。

由于编写时间仓促,同时限于编者理论水平和实践经验,书中不足和错误之处在所难免,恳望读者不吝指正,并欢迎技术上的切磋和研讨。(Email: zhumc@szu.edu.cn)

编 者

2001 年 9 月于深圳大学

致读者

Xilinx(美国赛灵思公司)是全球领先的可编程逻辑完整解决方案的供应商之一,Xilinx研发、制造并销售范围广泛的高级集成电路、软件设计工具以及作为预定义系统级功能的 IP(Intellectual Property)核。

Xilinx 成立于 1984 年,首创了现场可编程逻辑阵列(FPGA)这一创新性的技术,并于 1985 年首次推出商业化产品。多年来 Xilinx 不断地丰富其产品,其中包括 Virtex 系列和 Spartan 系列等在内的产品,已占全世界对 FPGA 产品需求份额的 50%以上,同时还开发出互联网软件解决方案和核心解决方案等软件产品,以及复杂可编程逻辑器件(CPLD)等产品。Xilinx 还积极开发了一些新的技术,例如 FPGA 平台,以及通过任意网络(包括互联网)可对 Xilinx 系统硬件进行远程升级的技术等。在推出先进产品的同时,Xilinx 不断完善其服务和技术支持。Xilinx 的在线升级系统,可以使客户通过网络将基于 FPGA 产品的硬件进行升级,增加新功能,扩大系统容量或修正问题:Xilinx 推出的英文及一些地区的本土语言的网站,如中文网站 www.xilinx.com/cn,为设计人员和工程师提供信息和在线支持。另外,为加速消费产品设计和开发的计划,Xilinx 还在全球首家推出了 Xilinx eSP 计划,为设计人员提供强有力的解决方案和信息。

先进的产品和优质的服务使 Xilinx 的业务突飞猛进。Xilinx 在全世界拥有 7000 多家客户。Xilinx 是半导体行业中管理最佳、财务状况最好的高科技企业之一。2001 年,在商业周刊(Business Week)评出的 50 家最好企业中,Xilinx 名列第 17;在财富(FORTUNE)杂志挑出的 100 家最好的企业中,Xilinx 也榜上有名。市场研究公司 Dataquest,将 Xilinx 列为世界第五大 ASIC 供应商。

可编程逻辑在全球的发展十分强劲。目前在全球整个半导体行业发展中,可编程逻辑的发展仅次于闪存存储器的发展,处于第二的位置。2000 年全世界可编程逻辑器件的销售额比上一年增长 60%,达到 40 亿美元。逻辑产品,包括门阵列和标准单元 ASIC 在内,2000 年的总销售额达到 230 亿美元,其中可编程逻辑所占的比重上涨了 3 个百分点,从 15%涨到了 18%。这表明在

可编程逻辑与固定逻辑解决方案(如标准单元和门阵列)之间,市场越来越倾向于选择可编程逻辑解决方案。

随着 FPGA 技术的不断发展,该产品的集成度和性能不断提高,而价格却逐步降低。这使得 FPGA 产品可以完成更加复杂的工作,其应用领域扩展到数据处理、网络、仪器、工业控制、军事以及航天航空等更广泛的领域。同时, FPGA 产品的高度集成化、系统化,以及 FPGA 厂商日益完善的远程控制方案,大大缩短和简化了工程人员设计和升级的过程,提高了工作效率。

希望通过本书使对数字系统设计技术感兴趣的广大读者能更深入地了解 Xilinx 公司的产品及其应用技术,也希望通过本书的编写出版,能大力促进中国的数字系统现场集成技术的应用普及和推广。

在此,对编写本书的朱明程先生、张建慧女士、刘元成先生、陈旭女士等,对进行组织策划的深圳市亚科希资讯有限公司,以及为本书顺利出版提供大力支持的东南大学出版社等一并表示诚挚的感谢。

XILINX ASIA PACIFIC

2001 年 9 月

目 录

1 概述	(1)
1.1 数字系统与专用集成电路(ASIC)	(1)
1.1.1 现代信息产业的特征——数字化	(1)
1.1.2 数字系统的核心——专用集成电路(ASIC)	(2)
1.2 数字系统的工艺集成技术与现场集成技术	(5)
1.2.1 工艺集成技术	(5)
1.2.2 现场集成技术	(17)
2 Xilinx 现场可编程逻辑器件的结构原理	(37)
2.1 Xilinx 可编程逻辑器件的分类	(37)
2.1.1 高密度型和低成本型的可编程逻辑器件	(37)
2.1.2 SRAM 编程型和 FLASH 编程型的可编程逻辑器件	(39)
2.1.3 器件向低功耗、大规模、系统级方向发展	(42)
2.2 Xilinx 低成本普及型 FPGA 的结构及工作原理	(43)
2.2.1 Spartan – XL 系列 FPGA	(43)
2.2.2 Spartan – II 系列 FPGA	(61)
2.3 Xilinx 高密度系统级 FPGA 的结构与工作原理	(68)
2.3.1 Virtex™ – E 1.8V 系列 FPGA	(68)
2.3.2 Virtex™ – E 系列 FPGA 先进的结构特征	(74)
2.3.3 Virtex™ 2.5V 系列 FPGA 的结构和功能原理	(78)
2.3.4 专门单元的设计及使用原理	(81)
2.4 Xilinx CPLD 的基本结构与工作原理	(91)
2.4.1 低功耗的 Cool Runner CPLD 结构原理	(91)
2.4.2 XC9500 系列 CPLD 结构和工作原理	(96)
3 开发系统与设计流程	(110)
3.1 概述	(110)
3.2 FPGA 现场集成的设计流程	(110)
3.3 Foundation 开发系统	(111)
3.3.1 Foundation 项目管理器	(112)
3.3.2 设计输入工具	(114)

3.3.3 设计综合/实现工具	(120)
3.4 开发系统的环境设定	(131)
3.4.1 软件工具的环境要求	(131)
3.4.2 系统的目录结构及文件	(132)
3.4.3 环境配置	(134)
3.4.4 关于设计项目结构	(135)
3.4.5 关于 Foundation 的库资源	(137)
3.4.6 开发工具属性的设定	(137)
3.5 IP Core 资源的使用及 Core Generator 工具	(141)
3.5.1 概述	(141)
3.5.2 Core Generator 工具介绍	(141)
3.5.3 VHDL 输入设计时 Core Generator 系统的应用	(143)
3.6 设计实例	(147)
3.6.1 实例的功能说明	(147)
3.6.2 设计输入过程	(148)
3.6.3 设计仿真过程	(157)
3.6.4 设计实现过程	(160)
3.6.5 编程和测试	(161)
3.7 ISE 开发系统	(161)
3.7.1 运行 Foundation Series ISE 软件	(162)
3.7.2 项目导航器	(162)
3.7.3 设计输入	(165)
3.7.4 设计综合	(166)
3.7.5 设计约束	(167)
3.7.6 设计实现	(168)
3.7.7 设计仿真	(171)
3.7.8 器件编程	(172)
4 VHDL 设计方法	(173)
4.1 概述	(173)
4.1.1 VHDL 的能力	(174)
4.1.2 VHDL 的不足之处	(175)
4.1.3 VHDL 的设计步骤	(175)
4.2 VHDL 的模型结构	(176)
4.2.1 设计实体	(176)

4.2.2	实体说明	(176)
4.2.3	构造体	(178)
4.3	VHDL 语言的基本要素	(181)
4.3.1	标识符	(181)
4.3.2	数据对象	(183)
4.3.3	数据类型和子类型	(186)
4.3.4	运算符	(193)
4.4	VHDL 基本描述语句	(199)
4.4.1	并行语句	(200)
4.4.2	顺序语句	(208)
4.4.3	其他常用语句	(215)
4.5	VHDL 设计的库、程序包和配置	(228)
4.5.1	VHDL 设计的库资源	(228)
4.5.2	VHDL 设计的程序包	(229)
4.5.3	VHDL 的元素配置	(237)
4.6	VHDL 的基本设计	(241)
4.6.1	组合逻辑电路的设计	(241)
4.6.2	同步逻辑电路(Synchronous Logic)	(248)
4.6.3	典型设计实例	(257)
4.6.4	建立测试平台	(266)
5	数字系统设计与现场集成技巧	(272)
5.1	同步电路设计技巧	(272)
5.1.1	同步电路与异步电路的基本概念	(272)
5.1.2	FPGA 现场集成中常见的问题	(274)
5.1.3	同步逻辑电路设计中的基本技巧	(279)
5.2	多级逻辑设计技巧	(281)
5.2.1	FPGA 实现中的基本时延	(282)
5.2.2	流水线的基本概念	(283)
5.2.3	流水线应用的设计	(284)
5.3	数字系统的 FPGA 现场集成设计中的基本问题	(286)
5.3.1	数字系统现场集成的系统级设计过程	(286)
5.3.2	现场集成设计中的仿真	(287)
5.3.3	可编程器件的选择方案	(288)
5.3.4	低功耗设计	(295)

5.4	FPGA 应用设计中的技巧	(297)
5.4.1	阶层化设计	(297)
5.4.2	为优化逻辑而进行复制	(300)
5.4.3	状态机设计	(302)
5.4.4	标签的使用	(303)
5.5	高速电路设计	(304)
5.5.1	高速电路的定义	(304)
5.5.2	输入输出阻抗影响电路的负载能力	(305)
5.5.3	阻抗匹配	(305)
5.5.4	电源对系统的干扰	(306)
5.5.5	接地	(307)
5.5.6	串扰抑制	(307)
6	现场集成技术的应用	(309)
6.1	锁相环技术在现场集成设计中的应用	(309)
6.1.1	时钟延时和相位偏移	(309)
6.1.2	锁相环基本原理	(311)
6.1.3	DLL 单元库及设计考虑	(312)
6.1.4	应用实例	(313)
6.2	线性反馈移位寄存器 LFSR 的现场集成设计	(322)
6.2.1	Virtex™系列 FPGA 中的 CLB 结构	(322)
6.2.2	扩频码的产生	(324)
6.2.3	线性反馈移位寄存器 LFSR	(324)
6.2.4	实现方法	(326)
6.3	PCI 总线接口的现场集成设计	(327)
6.3.1	用 FPGAs 实现 PCI 接口的灵活性	(328)
6.3.2	PCI 总线接口结构	(329)
6.3.3	PCI 接口的设计原理及系统构造	(330)
6.3.4	采用 IP 核资源的系统现场集成设计	(334)
6.3.5	实例的设计流程	(336)
6.3.6	设计技巧	(340)
6.4	1.6GB/s DDR SDRAM 控制器的现场集成设计	(343)
6.4.1	DDR SDRAM 的设计原理及系统结构	(343)
6.4.2	DDR SDRAM 的实现	(352)
6.4.3	线路板设计分析	(354)

6.4.4 线路板布局设计	(357)
附录	(359)
附录一 Xilinx FPGA 和 CPLD 一览	(359)
附录二 Xilinx FPGA(CPLD)开发系统一览	(362)
调查表	(363)
参考文献	(365)

1 概 述

1.1 数字系统与专用集成电路(ASIC)

1.1.1 现代信息产业的特征——数字化

高速发展的半导体技术使各种复杂的数字技术得以广泛应用,传统的计算机、通信和消费电子产品日趋采用同一种数字技术。我们可以发现,几乎每一种电子应用都会和数字化融合,例如机顶盒(STB)、DVD 播放机、MP3 播放机、数码相机、数字电视等。

过去 20 多年中,在半导体技术的推动下,数字处理技术被电子工业广泛采用,主要反映在:

(1) 数字技术的实用性和渗透力在计算机领域首先得到反映,其结果是创建了崭新的大众化 PC 市场,使电脑成为现代家庭和办公不可或缺的近似于消费类的产品。

(2) 伴随着微处理器的性能提高与价格降低的步伐,在其他领域,数字技术也正在取代模拟技术,并开创了全新的应用局面。首先是音频处理的数字化,然后是视频处理的数字化。今天,从 CD 到 MP3,音频几乎全面数字化。从 MPEG 图像广播、数字摄像机到 DVD,视频也开始全面数字化。与此同时,数码相机的出现改变了传统的照相方法,甚至玩具也在采用数字技术。

(3) 数字电视广播正在全球如火如荼地被开发。在英国,已经出现了数字卫星、有线数字电视和数字地面电视。交互电视和标准清晰度电视(SDTV)将是推动行业向数字电视和数字电视装置转变的主要动力。

(4) 数字技术已给通信工业,如数字蜂窝电话、ISDN 或利用普通电话线传输数据的 XDSL,带来了巨大变革,并且开创了全新的个人通信时代,如 GSM 和 PDA。与之融合并行发展的是:爆炸性增长的联网趋势。现在,电脑、电话、手持设备、电视、音响及其他家电设备开始相互连在一起,并且这种趋势有增无减。随着 Internet、USB、IEEE 1394 和 Bluetooth 的出现,我们将进入一个大连接的时代,几乎任何产品都能互相连接,无论是通过有线还是无线方式。

过去,电子设备工业被分成泾渭分明的五大类,即计算机、电信、消费电子、汽车电子 and 工业电子,它们每一类都有自身的技术和市场特点。但随着数字技术的扩散,产品之间的界限已变得模糊。无论一个终端产品是移动电话、汽车引擎控制器,还是工业机器人、

DVD 播放机,设计人员不仅需要与数字数据和软件算法打交道,而且还要采用微处理器和 DSP。以前用来区分传统界限的功能,现在可以混合起来使用,即使某种产品的价格暂时昂贵,也关系不大,因为那只是时间问题。例如,语音识别已经变成一种功能,被嵌入到玩具、微波炉、移动电话、门卫控制系统和售货机中。

数字技术之所以无所不在,是因为半导体技术进步神速。著名的“摩尔定律”指出,每 18 个月,单片集成电路的晶体管的数目就会翻一番。在过去 20 多年中,这条定律一直有效,而且至少还会有效 10 年。数字系统远比模拟系统灵活,因为数字系统可以由软件而不是仅由硬件来控制的。从产品开发时间和产品定义的角度来看,采用数字技术,将使制造设备的速度大大加快。同时,数字系统不容易受到干扰,没有信号失真、衰变等缺陷,因此备受消费者欢迎。当数字技术能达到规模效益时,数字产品的受欢迎程度将会更加提高。

1.1.2 数字系统的核心——专用集成电路(ASIC)

纵观信息产业的进步,一切数字化产品高度发展的核心,应该归功于基于半导体技术高度发展的专用集成电路,归功于系统的单芯片集成技术——SoC(System on Chip)。在半导体技术的推动下,数字系统的性能、功能、体积和电源消耗不仅得到显著改善,而且价格不断降低。数字系统的半导体技术含量不断增加。例如,硅芯片的价格将占据 DVD 播放机和机顶盒成本的 40%。今天,计算、通信和其他功能之间的融合正以前所未有的速度自由发展,价格也逐渐向消费电子产品靠近。对设备制造商来说,虽然很难预测未来哪种融合产品会成为最后的赢家,但可以相信,在半导体技术的推动下,产品的功能、成本和开发时间将会有质的飞跃。在未来的两年内,我们将看到一种价格和现在手机差不多的便携设备,它融合了 PDA、数字相机、视像会议和高速数据传输的功能。同样,在相同的时间段内,也会出现某种带平板显示器的固定设备,它可能是结合 TV、PC 和 Web 浏览器且具有强大交互功能的产品,也可能是具有更高速数据连接、视频电话、无线通信,以及可录式数字视频、游戏机,甚至家电功能的产品。其价格可以和今天的 TV 相媲美。另一方面,汽车电子产品也会发展到集 TV、DVD、Web 浏览、手机、GPS 和导航等多种功能于一身。而所有这些构想的实现,依赖于综合了这些功能的超大规模专用集成电路系统芯片的成功。

当前,由于复杂电路的单芯片集成技术日臻完善,使得把整个系统集成在一起成为可能。因此,系统级芯片(SoC)正在出现并改变着整个工业结构;知识产权(IP)成为关键的资源;新的市场动力来自灵活变通和新构想,而不是对市场趋势的预测。传统的电子价值链让路给全新的商业模式;SoC 供应商将充当核心角色。

SoC 技术将遵循这样的游戏法则:力求将两个独立应用所开发的 IP 在第三个应用中重复使用。因此,诸如 STB、TV、DVD、PC、HDD、游戏机、手机、Internet 设备和数字相机等现

有技术都可通过相互组合创造出全新的应用。诸如 PC + TV 和 STB + HDD、STB + Web、STB + 游戏、DVD + STB 和 DVD + 游戏等融合产品正在涌现。交互式 DVD 可望面市；具有 DVD 刻录功能的 TV 亦可望诞生。由于 SoC 能将客户所要求的任何功能变成现实，因此，对半导体制造商来说，最大的挑战就是无法预测哪种融合功能会成为最后的赢家。

在系统级芯片的时代，设计和制造 SoC 与传统的设计构建“电路块”的方式截然不同。首先，由于消费电子产品的生命周期非常短，半导体制造商必须以最快的速度、最具经济效益的手段设计出复杂的 SoC。这就要求尽可能地重复利用以往的电路模块、软件算法和 IP。其次，设计 SoC 时，脑海中要有整个系统的蓝图。这意味着，半导体制造商不仅要具有深厚的硅片设计经验，而且要具有设备制造商广博的系统知识。两者须紧密有效地结合起来。最后，要将服务提供商、第三方 IP 提供商等有关方面纳入到芯片设计的流程中来。

同样，当硅片变成一个系统时，SoC 技术将带来这样一个重要后果：电子价值链更加复杂。在过去，半导体制造商和原设备制造商(OEM)打交道；而 OEM 与运营商(如电信公司)打交道。在 SoC 时代，芯片供应商、OEM、运营商和服务提供商都对芯片的设计有自己独到的贡献，因此，他们之间的界限将不那么明显。这对整个工业结构，特别是对芯片供应商有深远的影响。

传统的芯片制造商在电子价值链上扮演单一角色，他们主要围绕系统设备所需“电路块”的设计和营销环节忙碌。在 SoC 时代，芯片供应商必须积极地投身到系统和软件的设计开发中。由于整个系统几乎是通过一块芯片实现的，因此，大部分系统装配工作是在芯片制造商手中完成的。结果，SoC 技术拉近了芯片制造商和最终用户的距离，使 SoC 供应商成为工业的核心；芯片供应商不仅将与 OEM、运营商、IP 供应商、标准组织联手，甚至最终要和用户打交道。

图 1.1 为典型的 SoC 芯片的内部结构示意图。

芯片就是系统，系统实现单片化，SoC 技术的发展给芯片供应商及半导体工业重组提出了新的挑战，系统单片化集成的成功实施要求我们进一步注重如下 3 个要素：

1) 人才要素

为加速发展提供强有力的开发机制，应考虑全球化的设计与生产策略。随着全球化工业进程的推进，SoC 生产商必须能够与世界各地的客户紧密合作，甚至广招跨地域的虚拟设计团队，形成一个极富效率与活力的生产机器，不管一个系统集成产品采用多么复杂的技术，消费市场总是需要最低的成本。由于硅产品相当程度地代表该产品的价值，因此芯片的成本直接地影响着成品的价格。现代技术发展告诉我们，从事系统单片化设计需要的是既有数字系统设计理论和经验，又具备微电子技术知识，同时还能熟悉各种 EDA 设计工具，具有计算机编程能力的复合型设计人才。

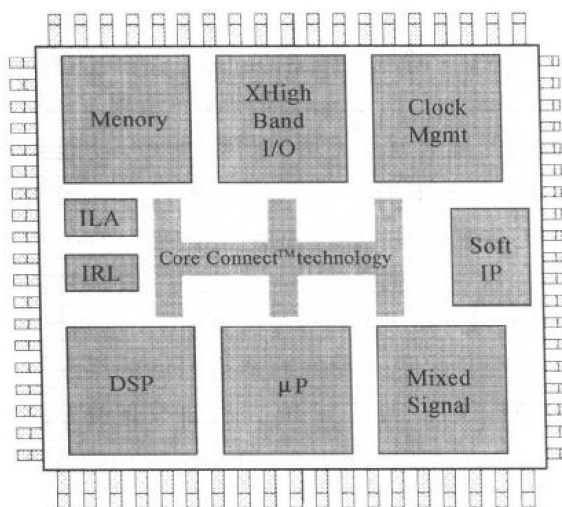


图 1.1 典型的 SoC 芯片内部结构

2) 工具要素

现代的设计工具与设计方法,在系统单片化集成设计过程中尤为重要。现代的消费电子市场,产品的生命周期往往不到1年,而传统的产品开发周期却往往会超过1年。产品上市时间成为一个关键因素。除需要提供先进的仿真平台,以便客户可以发挥对未来产品的设想之外,SoC生产商还必须能够尽快有效地将客户的设想转换成非常实用的硅产品。因此,SoC供应商必须在1年前预先为产品的推出提供一个技术支撑平台。现代EDA工具在SoC产品的开发中起着至关重要的作用。

3) 库的要素

对于具体的系统单片集成,尤要注重将不同应用中的相同功能与多种功能集于一体,来构建新的系统。对于设计者,任何系统,从内核逻辑到接口单元,都完全自行设计和自行优化,从知识上而言,是不可能的;从技术上来讲,也是不必要的;从产品上市的时效性来看,更是不允许的。因此,对于任何用户系统的设计,善于引用和寻求IP库资源,至关重要。例如:各种处理器内核、连接技术(以太网,Bluetooth,XDSL,QPSK等)、成像技术(如MPEG,3D图像,CMOS图形传感器与图形处理)以及操作系统界面、电子商务、语音识别及其他应用程序的软件IP,还有公司从第三方购买IP或获得使用许可证,都可以应用。通常,IP资源的大部分必须从传统计算机、通信、消费电子的专业市场获得。这三个市场的融合为那些在这三个领域中都拥有专业技术的公司带来了机会,而对于那些缺少其中一个或几个领域专业技术的公司是一种严峻的挑战。对涉及工艺的库资源提出要求,不仅要包括主流的数字CMOS技术,还需要具有射频(RF)、功率晶体管、非易失存储器等功能的混合信号CMOS技术的资源。特别要深入地理解专业技术,确保IP有效地延续到下一

代。例如,经过验证,要保证 CMOS 设计从 $0.25\ \mu\text{m}$ 转移到 $0.18\ \mu\text{m}$,不会出现信号不完整问题,必须发展自己的 IP 库及深入研究深亚微米技术。充分认识系统集成,不仅仅要选择 IP 块并把它们组合在一起,而且必须懂得权衡产品成本与时效的关系。

1.2 数字系统的工艺集成技术与现场集成技术

数字系统单片化的具体体现是专用集成电路系统。过去,我们常以定制电路和半定制电路来分类,其中半定制电路又可分为门阵列、标准单元、现场可编程 IC。随着现场可编程 IC 技术的发展和应用的成熟,现场可编程 IC 设计和应用成本不断降低,器件规模和品种不断增加,在越来越多的领域和产品中,特别是生产批量小,转型更新快的数字化系统产品中,直接采用 FPGA、CPLD 为代表的现场可编程 IC 来实现硬件单片集成,已成为时尚。因此,对于专用集成电路系统,以其实现途径——工艺集成与现场集成来分类,将成为众多设计者新的共识。

1.2.1 工艺集成技术

所谓数字系统工艺集成技术,是指采用半导体掩膜工艺的方法来实现数字系统的单片物理结构。其中,主要电路的加工工艺技术为 CMOS 工艺。而主要电路的设计方式,可分为门阵列设计、标准单元设计和全定制电路设计等。不同的设计方式和不同的加工工艺流程互为规范和制约,为了实现不同的电路性能成本指标,需要不同的电路设计规范和工艺设计规范,并要制定合理的加工工艺流程。

对于 VLSI 电路,电路的最终行为特征只有在它的几何结构、互连关系确定之后才能了解。VLSI 设计是行为级、电路级、几何级反复迭代的设计过程。因此,作为从事数字系统的设计者,有必要了解芯片设计中的工艺基础知识,才能根据工艺技术的特点优化电路设计方案。对于电路和系统设计者来说,设计中更多关注的是:工艺制造的能力而不是工艺的具体实施过程。

1) CMOS 工艺制作流程

CMOS(互补金属-氧化物-硅)电路,由于其具有静态功耗低、工艺较简单、易于实现高集成度等优点,在当今乃至未来 VLSI 硅电路系统中,都占据着主导地位。CMOS 工艺则是指 CMOS 电路的加工工艺。CMOS 工艺基础是常规的半导体平面工艺,由氧化工艺、扩散工艺(热扩散和离子注入)、光刻工艺、金属化工艺等构成。CMOS 工艺有多种形式,它们是 P 阱工艺、N 阱工艺、双阱工艺和绝缘衬底上的硅(SOI)工艺。以下我们将通过对简化了的 P 阱 CMOS 工艺步骤的概述,说明 CMOS 电路的制作过程。了解 CMOS 工艺基本知识,可以帮助和引导设计者较好地理解电路及版图设计思路。

P 阱 CMOS 工艺的原始硅片是中等掺杂的 N 型衬底硅片,为了制造出 N 型 MOS 管,