

超大规模集成电路 计算机辅助设计技术

洪先龙 刘伟平 边计年 等著

国防工业出版社

超大规模集成电路计算机 辅助设计技术

洪先龙 刘伟平 边计年 等著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

超大规模集成电路计算机辅助设计技术/洪先龙等著.
北京:国防工业出版社,1998.6
ISBN 7-118-01815-5

I. 超… II. 洪… III. 超大规模集成电路-计算机辅助
设计 N. TN472

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 17373 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

河北三河市腾飞胶印厂

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 21¼ 486 千字

1998 年 6 月第 1 版 1998 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—2500 册 定价:31.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是:负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第二届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模		
主任委员	黄 宁		
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允
	曾 铎		
秘 书 长	刘琯德		
委 员	尤子平	朱森元	朵英贤
(按姓氏笔划为序)	刘 仁	何庆芝	何国伟
	何新贵	宋家树	张汝果
	范学虹	胡万忱	柯有安
	侯 迁	侯正明	莫梧生
	崔尔杰		

序

纵贯古今,在人类文明发展的历史长河中,横亘东西,在人类繁衍生息的每一寸土地上,无数的实践都在体现和印证着这样一个朴素的真理:科学技术是人类认识世界和改造世界的革命力量。科学技术在经济增长和社会进步中所起的巨大作用已逐渐成为人类社会的共识;“科学技术是第一生产力”的英明论断在和平与发展的大潮中更加熠熠生辉。18世纪中叶的工业革命将人类历史从农业时代带到了工业时代;近50年,由于电子产业的崛起,人类又开始向信息时代迈进。集成电路是电子产业的基石,是电子产品的核心,是科技发展的杰出代表。集成电路正是在通过林林总总、异彩纷呈的各种产品进入我们的生活,正在营造着“Video 与 Audio 齐飞,3A 共 3C 一色”(Factory Automation, Office Automation, Family Automation; Computer, Communication, Control)的大千世界,我们的经济、文化、军事和社会发展无不受惠于集成电路的贡献。如果以单位质量的“钢”对国民生产总值的贡献为1计,则小轿车为5,彩电为30,计算机为1000,而集成电路则高达2000。因此,有志自立于世界民族之林的国家都在倾力发展自己的集成电路产业,以期在21世纪的竞争中争得有利的席位。

集成电路产业是以市场、设计、制造、应用为主要环节的系统工程。设计是连接市场和制造之间的桥梁,是集成电路产品开发的入口。成功的产品来源于成功的设计;成功的设计取决于优秀的设计工具。CAD 的出现,使得集成电路设计向着更广(产品种类越来越多)、更快(设计周期越来越短)、更准(一次成功率越来越高)、更精(设计尺寸越来越小)、更强(工艺适应性和设计自动化程度越来越强)的方向发展。方兴未艾的各种设计公司,从垂直集成的产业架构中脱颖而出,呈现一派勃勃生机,并由此形成了设计、制造相对独立、相互支撑的局面。

竞争是人类社会发展的永恒主题。如果说产品的初期竞争是价格和质量,则今后产品的竞争主旋律将表现为设计。因此培养自己的设计人才是提高技术含量、拥有知识产权的必经之途。

熊猫系统是中国集成电路计算机辅助设计精英共同孕育的结晶。

熊猫系统的诞生和研制、应用的过程,汇聚了科技工作者的智慧与辛勤劳动,汇聚、锻炼了我们自己的 IC CAD 科技队伍。

本书的作者都是亲身参加熊猫系统研制和推广应用的专家,是我国自主知识产权的、商品化的大型工具软件的实现者。他们,以及全体研制人员的实践,已经构成了一部 IC CAD 系统开发与应用技术的教科书,一部把科技成果转化为生产力的教科书,一部弘扬爱国主义和团结拼搏精神的教科书。

《超大规模集成电路计算机辅助设计技术》一书是作者实践经验和成果的总结,因而理论与应用融会贯通、通俗易懂,适用于较广泛的人员,包括在校的理工科学生及需要了解和学习 IC CAD 知识与技能的工程技术人员学习。在国家将 CAD 技术的应用推广作为

发展经济重要手段之一的今天,我们推出这本书,将有积极的现实意义。

《超大规模集成电路计算机辅助设计技术》是给今人和后人留下的一笔宝贵财富,人们能够从本书汲取到丰富的知识。看到作者孜孜不倦工作的情景,听到他们渴望迅速发展我国集成电路产业的心声,感到他们自立自强、奋发向上的精神,这是我,相信也是广大读者共同为之骄傲并寄与热望的缘由。

以上,权作序言。

王芹生

1997年5月5日

前 言

当今信息时代,电子技术作为强大的社会生产力,在推动经济的发展、社会产业结构和生活方式的变革中的作用日益增长。其中,被喻为现代工业“食粮”的集成电路(IC),起着十分重要的作用,它是电子信息技术发展的核心和基础。据报导,世界国民生产总值增值部分的65%与IC有关。电子信息技术和IC产业的水平已经成为衡量一个国家综合国力的重要标志。

自从1958年集成电路诞生以来,经历了小规模、中规模、大规模的发展过程,目前已进入超大规模(VLSI)和甚大规模集成电路(ULSI)阶段,是一个“System on Chip”的时代。以目前最普遍的个人计算机微处理器为例,第一代16位的8086芯片中,共容纳了约2.8万个晶体管,到了现在32位以上的586级计算机微处理器(如“奔腾”),芯片内的晶体管数目则高达500万以上。目前商业化半导体芯片的线宽为 $0.5\mu\text{m}$,今后发展的趋势是 $0.35\mu\text{m}$ 、 $0.15\mu\text{m}$ 甚至 $0.1\mu\text{m}$ 以下,即集成电路已进入深亚微米工艺时代。集成电路技术迅速向着更高集成度、超小型化、高性能、高可靠性的方向发展,一个芯片上将可集成高达几亿到几十亿个晶体管。之所以如此,除了工艺技术、设备和材料等因素外,计算机辅助设计(CAD)技术的进步是一个不可忽视的原因。并且,随着集成度的提高,芯片内部晶体管数目越来越多,使得集成电路设计的复杂性也越来越高。人们已经从实践中得到了一个毋庸置疑的结论:VLSI的进一步发展离开设计自动化(DA)和计算机辅助设计将寸步难行。

我国从“六五”开始,由国家组织国内有关高校、研究机构和企业进行IC CAD技术的科技攻关。几年来完成了第一代、第二代和第三代IC CAD系统的开发,取得了显著的成果。熊猫系统是我国在80年代后期自主开发的第三代系统,它是一个面向全定制和半定制大规模集成电路设计的、具有支持10万元件规模设计能力的大型集成电路计算机辅助设计系统,是国家“七五”和“八五”重点科技攻关项目攻关成果的结晶。有近20个高等学校、研究所和工厂企业的上百名优秀专家、教授、科技工作者和工程技术人员参加了研究和开发。经过3年多的开发和3年多实用化维护约7年的时间,熊猫系统共推出了1.0~2.2等7个版本。各个版本的改造都适应了应用和技术发展的需求,使系统在实用性、完善性和可靠性等方面得到了大幅度提高。另一方面,为了适应VLSI不断发展的需要和在国际EDA产业竞争中提高系统的技术水平,我们在系统实用化的同时,进行了新算法的研究和新系统的开发。因此,熊猫系统是开放的、不断发展及不断扩充的。

由于系统开发的成功和在我国集成电路产业发展中所起的作用,熊猫系统先后获得了“七五”和“八五”重大科技攻关成果奖、电子工业部科技进步一等奖、国家科技进步一等奖。它是我国第一个采用软件工程方法自行开发的、具有自主知识产权的、集成的、功能齐全的大型IC CAD系统。

本书以熊猫系统为背景,系统而全面地阐述VLSI CAD技术,包括一个VLSI CAD系统的结构、系统设计目标和特点、各个子系统的算法及系统的应用。限于篇幅我们不能把

VLSI CAD 技术所涉及的所有内容都包含在本书的范围内。感兴趣的读者可参阅每章后面所附的参考文献和相应的文档资料。为了使读者对 VLSI CAD 技术有更进一步的了解,也使本书对读者有更大的帮助,我们不限于熊猫系统目前现有的技术,还特别注意到把作为下一代熊猫系统开发目标的最新研究成果纳入本书。

本书的编著由洪先龙和刘伟平统筹和组织,由洪先龙、边计年、刘伟平、柳西玲、孙坚、邱源镔、贾永波、单庆伟、涂信明和乔长阁等人参加编写。洪先龙编写了第一、七、八、十章,边计年编写了第三、四章,刘伟平编写了第二章和第八章的一部分,柳西玲编写了第九章,孙坚编写了第十一章,邱源镔编写了第六章,贾永波编写了第五章,单庆伟和涂信明参加了第八章部分内容的编写,乔长阁参加了第十章部分内容的编写。全书最后由洪先龙和边计年负责整理和统编。本书的著述得到了中国华大集成电路设计中心王芹生总裁和原熊猫系统总设计师连永君博士的支持和关心;得到了清华大学计算机系设计自动化教研室的支持和帮助;倪兵承担了本书的插图制作和复印工作,在此一并表示衷心的感谢。

著 者

内 容 简 介

本书以我国第一个自行开发设计,并拥有自主版权的大型集成电路计算机辅助设计(CAD)系统——熊猫系统为背景,系统论述了超大规模集成电路设计过程及关键技术,其中包括:设计输入,设计验证,VLSI 版图交互编辑器——LE,版图验证,半定制版图设计工具——Tiger,任意模块自动布图工具——FRACT,数据库——DB,熊猫系统的进一步扩展及实用设计举例等。

读者对象:从事集成电路 CAD 技术研究和开发或应用集成电路 CAD 系统进行集成电路设计的工程技术人员,以及相应专业的高等学校的教师、研究生和本科生。

目 录

绪论	1
第一章 超大规模集成电路设计过程及 CAD 技术	4
1.1 VLSI 设计过程	4
1.2 集成电路制造过程和工艺设计规则	6
1.3 集成电路设计过程中要注意的与工艺制造有关的其他因素	10
1.4 VLSI 设计模式和设计策略	12
1.5 VLSI CAD 技术概述	20
1.6 CAD 技术的发展历史、现状与趋势	24
参考文献	27
第二章 熊猫系统综述	28
2.1 系统概述	28
2.2 数据库与用户界面	29
2.3 系统的设计工具组成	32
2.4 设计流程	36
2.5 熊猫系统的应用	37
参考文献	37
第三章 设计输入	38
3.1 不同层次的设计输入和方法	38
3.2 逻辑图输入和编辑器——SE	39
3.3 硬件描述语言 VHDL	42
3.4 可视化设计输入系统——VDE	57
参考文献	62
第四章 设计验证	63
4.1 模拟验证技术	63
4.2 门和功能块混合级模拟器——SIM	65
4.3 开关级模拟——SWSIM	71
4.4 VHDL 模拟器——VSIM	79
4.5 电路分析与模拟程序——SPICE	91
参考文献	95
第五章 VLSI 版图交互编辑器——LE	96
5.1 版图交互设计技术	96
5.2 LE 系统结构和特点	98
5.3 交互命令设计和命令解释器	106

5.4 LE 的设计管理	110
5.5 甚大规模版图编辑的问题	120
参考文献	121
第六章 版图验证	122
6.1 概述	122
6.2 版图图形的运算与分析	125
6.3 几何设计规则检查	131
6.4 网表与参数提取	135
6.5 ERC 检查	144
6.6 逻辑等价验证	148
参考文献	152
第七章 半定制版图设计工具——Tiger	153
7.1 双层 CMOS 门阵列和标准单元设计系统 Tiger	153
7.2 基于数学规划的布局算法	154
7.3 多端点多商品流总体布线算法	161
7.4 基于垂直通道的走线道分配算法	168
7.5 基于总体分析的通道布线算法	175
7.6 实验结果及结论	179
参考文献	179
第八章 任意模块自动布图工具——FRACT	182
8.1 熊猫系统中的 BBL 布图工具 FRACT	182
8.2 布图规划和布局算法	182
8.3 总体布线	192
8.4 布线区域的调整	197
8.5 布线区划分和排序	202
8.6 无网格可变宽度通道布线	205
8.7 通孔优化和特定层上连线长度优化算法	213
8.8 FRACT 的扩展——FE	221
参考文献	221
第九章 熊猫系统数据库——DB	223
9.1 工程数据库的特点	223
9.2 VLSI CAD 数据特点及数据要求	224
9.3 熊猫系统数据库 DB 的设计目标	225
9.4 DB 的总体结构	226
9.5 DB 的模式设计	227
9.6 数据库管理系统的功能划分	235
9.7 DB 的并发控制	236
9.8 DB 的版本管理	239
9.9 DB 的物理实现	240

9.10 DB 的网络传输	243
9.11 DB 与设计软件工具的接口	243
9.12 DBMS 的运行	247
9.13 DB 的保护	249
第十章 熊猫系统的进一步扩展	250
10.1 FPGA 自动设计工具	250
10.2 时延驱动标准单元和门阵列布图系统——Tiger-T	268
10.3 适于多层布线工艺的算法	291
参考文献	303
第十一章 熊猫系统实用举例	308
11.1 用熊猫系统进行全定制集成电路设计	308
11.2 用熊猫系统进行半定制设计	321

绪 论

IC CAD 技术的出现最早要追溯到 50 年代,当时有人尝试用计算机去设计滤波器这样的线性电路。也就是说,CAD 最早是用于电路分析。随后,有人用于保存设计文档。随着图形显示设备的出现,交互式的版图编辑软件开始应用。60 年代末 70 年代初,美国 Calma、Applicon 和 Computer Vision 等公司推出了第一代 CAD 系统,其主要功能是交互图形编辑和设计规则检查,硬件是一个 16 位的小型机,如 NOVA 和 PDP—11 计算机。80 年代以 Mentor、Daisy 和 Valid 等公司为代表的一些 CAD 公司推出了第二代 CAD 系统。它们建立在 32 位工作站上,包括逻辑原理图输入、逻辑模拟、测试码生成、电路模拟、用于设计全定制芯片的图形编辑和版图验证以及用于半定制的门阵列和标准单元布图系统,该系统并有适合各种工艺条件的单元库支持。另一家美国的 ECAD 公司推出了十分实用的版图验证软件 DRACULA,它包括了几何设计规则检查 DRC、电学规则检查 ERC、版图网表及寄生参数提取 LPE 和版图网表一致性检查 LVS 等。目前 CAD 工具已进入第三代,称之为 EDA(electronics design automation)系统或 ESDA(electronics system design automation)系统。其主要标志是系统级设计工具的推出(包括目前已广泛流行的硬件描述语言 VHDL 和 Verilog 及其模拟器)和逻辑设计工具的广泛应用。

目前的 EDA 系统功能覆盖了电子产品的设计全过程,从系统描述输入、综合、模拟、布图、验证、测试到 CAM 都有各种各样的 CAD 工具,且有方便、美观的用户界面,有开放的环境和标准化的数据接口,如静态数据交换标准 EDIF、动态数据交换标准 CFI 和版图级的标准 CIF 和 GDS2 等。由于有标准化的数据交换接口,因此允许用户将多个不同 CAD 公司的工具集成在一个 EDA 系统中。目前系统的设计能力可达每个芯片几十万到上百万门。

虽然 CAD 工具已具有相当高的水平,并广泛用于电子产品设计的各个阶段,但设计技术仍落后于工艺的发展,CAD 工具仍落后于设计的要求。目前的集成电路工艺线条宽度可达 $0.5 \sim 0.2 \mu\text{m}$,单片集成可达几十万门。当使用 $0.8 \mu\text{m}$ 工艺时,连线延迟已与门延迟相当,布图时如不考虑连线延迟就很难保证芯片电路性能,但目前的布图工具都只考虑芯片面积、布通率和布图时间。新推出的设计方法和组装技术,如现场可编程门阵列 FPGA 和多芯片模块 MCM,也提出了新的 CAD 算法和工具的要求。此外,更多的系统设计师希望有实用化的系统级 DA 工具。因此,VLSI CAD 技术的进一步研究和 EDA 产品的开发仍然是当前微电子产业的一个重要方面。在美国,仅硅谷地区就有几百家 EDA 公司从事 VLSI CAD 产品的开发和销售,几乎所有稍有名气的美国大学都设有 VLSI CAD 方面的专业或研究方向。

本书所论及的熊猫(PANDA)系统包含 6 个子系统,覆盖了集成电路设计的全过程,包括基于语言的和基于图形的设计输入、各个级别的设计正确性的验证、交互式的和全自动的物理版图设计、版图正确性验证、可测性分析和测试码生成以及 CAD 数据库。它已开

始在国内集成电路设计行业得到应用,目前共有 30 多家国内客户和 4 家国外用户。据不完全统计,仅在中国华大集成电路设计中心使用熊猫系统所完成的集成电路设计品种已有 300 多种。熊猫系统在其应用中自身也得到了考验与发展,系统的总体性能已日趋完善。

为了使读者对集成电路的整个制造、设计过程和 CAD 技术有一个全面的了解,本书在第一章简明而系统地介绍了集成电路制造工艺、设计过程、设计模式、CAD 技术等有关方面的基本知识,并概述了 VLSI CAD 技术的现状和发展趋势。

第二章给出熊猫系统的概貌,简要地介绍了系统的设计目标、特点、系统结构和设计流程。从第三章到第九章,逐章叙述各个熊猫子系统的结构、主要算法和实现技术。

第三章是熊猫系统的设计输入工具。我们在这一章里介绍了原理图输入、硬件描述语言 VHDL 和可视化的 VHDL 编辑环境 VDE,它是熊猫系统的入口。硬件描述语言 VHDL 是 IEEE 审定的作为工业标准的硬件描述语言,它连同可视化的 VHDL 编辑环境 VDE,为系统设计师提供了功能完备、使用方便而直观的设计输入手段。这也是熊猫系统的一个重要的扩充,使得它向国际上流行的真正的第三代 CAD 系统靠拢。

第四章介绍熊猫系统中几个不同级别的模拟验证工具,功能和门混合级逻辑模拟器 SIM、VHDL 模拟和调试器 VSIM 以及电路级模拟器 SPICE。其中 VSIM 是和 VDE 配套的系统级的模拟工具,它也是第三代 CAD 系统不可缺少的组成部分。

第五章介绍熊猫系统中的版图交互编辑器 LE。它是一个功能完善、使用方便的交互式的版图设计工具。书中详细介绍了系统的特点、交互命令的设计和实现、数据管理和存储管理。

第六章介绍熊猫系统的版图验证工具,包括设计规则检查 DRC、电学性能规则检查 ERC、版图和原理图对照检查 LVS 及网表和寄生参数提取 NPE。版图验证工具是熊猫系统中较为成功的一个模块,它的功能、处理能力和处理效率都可和国际上最先进的商品软件相媲美。我们在本章较详细地叙述了其算法、数据结构和实现技术。

熊猫系统有两个版图自动设计工具,用于半定制版图设计的 Tiger 和任意形状模块的布图工具 FRACT。Tiger 是熊猫系统的新成员,它将进一步提高系统的半定制芯片的设计能力。第七章介绍 Tiger 的系统概貌、基于数学规划的布局算法、多端点多商品流总体布线算法、走线道分配算法和基于总体分析的通道布线算法。这些算法都曾发表在世界性的国际学术会议和学报上,有很高的学术价值。我们还在书中给出了这些算法的实验结果及与国际上其他同类算法的比较。

第八章介绍 BBL 模式的自动布图工具 FRACT。它是在美国加州大学 Berkeley 分校开发的 BEAR 的基础上进行改进、扩充和实用化后完成的一个 BBL 布图工具。BBL 是一个难度极大的布图模式,由于它的灵活性和高布图质量,吸引了众多学者和工程技术人员去研究和开发,但目前还没有见到一个有效而实用的 BBL 布图工具提供给用户使用。我们尝试研究和开发这一工具,为进一步开发下一代熊猫系统打好基础。这一章中介绍了 FRACT 的布图规划和布局算法、总体布线算法、总体布线的动态调整、布线区的划分、无网格可变线宽的通道布线算法和通孔优化算法。它们也都曾发表在世界性的国际学术会议和学报上。

第九章叙述熊猫系统的数据库。熊猫系统采用了集中的数据库管理技术,以保证数据

的一致性和集成性,提高设计效率和减少错误。它提供了四个层次的管理:公用数据库、项目数据库、个人数据库和工艺数据库,并具有版本管理、并发控制和一定的安全保护功能。本章详细地介绍了数据库的设计思想及其实现技术。

第十章介绍熊猫系统的进一步扩充。这是针对深亚微米工艺的发展和 VLSI 广泛应用的需要而研究和开发的新成果。这一章首先介绍了 FPGA 设计工具。FPGA 是目前兴起的广泛用于系统级设计的 VLSI 技术,我们介绍了 FPGA 的一般原理、实现技术和 CAD 工具。第二部分是时延驱动的布局、总体布线和单线网布线等算法。在亚微米和深亚微米工艺下,互连线延迟已占芯片延迟的 70%以上,布图时如不考虑连线延迟就很难保证芯片的电路性能。本章介绍了我们提出的几种考虑互连线延迟的布图算法,它们都曾发表在世界性的国际学术会议和学报上。在本章的第三节介绍了与多层布线工艺有关的布图算法,如过点分配算法和多层区域布线算法。这些算法和软件包是下一代熊猫系统的不可缺少的组成部分。

第十一章给出了几个应用实例,它们都是用熊猫系统中的设计工具设计完成的。

第一章 超大规模集成电路设计过程及 CAD 技术

集成电路从 60 年代开始,经历了小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)到目前的超大规模集成(VLSI)。单个芯片上可以制作几百万个晶体管的一个完整的数字系统或数模混合的电子系统。它的迅速发展已经改变了电子技术的面貌,并且对一系列科学技术,甚至人们的日常生活都发生了强烈的影响。

集成电路的发展表现在它的集成度、性能和可靠性不断提高,应用面不断扩大,价格不断下降。就集成度为例,几乎以每二三年四倍的速度增长,1Kb、4Kb、16Kb、64Kb、256Kb、1Mb、...,到目前已是甚大规模集成电路(ULSI)。

集成电路之所以如此迅速发展,除了工艺技术、设备、原材料等方面的不断改进以外,设计技术的革新也是其重要原因之一。这一革新主要表现在全面采用了计算机辅助设计(CAD)或设计自动化(DA)技术。目前,几乎在集成电路的每个设计环节和整个设计过程都普遍使用 CAD 技术。要在几十平方毫米硅片上完成线条只有零点几个微米的上百万个器件的整个电子系统设计,只靠手工设计是完全不可能的,必须借用设计自动化或者计算机辅助设计技术和工具。

本章我们将简单介绍 VLSI 的设计过程、集成电路制造工艺和设计规则、VLSI 设计模式以及 VLSI CAD 技术的基本内容。使得读者对 VLSI 设计有一个基本了解,并对 VLSI CAD 有一个概括了解。

1.1 VLSI 设计过程

VLSI 设计过程从给出芯片的设计要求开始,到芯片封装要经过若干步骤。我们简要概括如下:

1. 系统规范说明(system specification)

同其他设计一样,首先要给出待设计系统的规范说明,包括系统功能、性能和物理尺寸。此外,还需要考虑选择什么样的设计模式和制造工艺。最终结果是确定芯片尺寸、工作速度、功耗和系统功能。

2. 功能设计(function design)

这一步主要是考虑系统的行为特性。常用的方法是时序图或者各子模块的关系图。利用这些信息以改进整个设计过程和简化后续的设计步骤。

3. 逻辑设计(logic design)

此步是得到一个表示系统功能的逻辑结构并反复测试其正确性。通常用文本、原理图或逻辑图表示这个设计;有时也用布尔方程表示。在设计过程中,我们还对它进行模拟以验证其正确性,并对其进行优化设计或称之为谓逻辑最小化。