

国外电子与通信教材系列



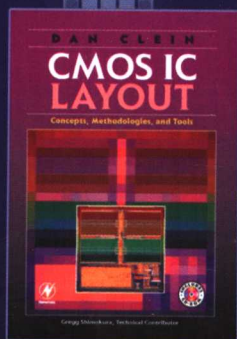
CMOS

集成电路版图

——概念、方法与工具

CMOS IC Layout

Concepts, Methodologies, and Tools



[加] Dan Clein 著

邓红辉 王晓蕾 耿罗锋 等译
高明伦 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

CMOS 集成电路版图

——概念、方法与工具

CMOS IC Layout

Concepts, Methodologies, and Tools

[加] Dan Clein 著

邓红辉 王晓蕾 耿罗锋 等译
高明伦 审校

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以循序渐进、深入浅出的方式,系统地介绍了CMOS集成电路版图设计的基本概念、设计理念和各种方法技巧。全书共分10章,阐述了版图设计技术的基本概念和设计理念,当今流行的几种基本设计流程,专用模块的版图设计技巧,版图设计的高级技术和深层次概念,版图设计的基本工具类型,工具的特性和典型用法。与其他IC设计教程相比,本书注重理论与工程实践的结合,书中提供了大量实例来帮助读者正确理解版图设计的基本概念和关键设计理念,生动形象,简明易懂,可读性强。

无论对版图设计工程师,还是对电路设计工程师、CAD人员、学习IC设计的学生,本书都是一本非常不错的参考指南和培训教程。

CMOS IC Layout: Concepts, Methodologies, and Tools, Dan Clein, Technical contributor: Gregg Shimokura, ISBN: 075067194-7. Copyright ©2000 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor. ISBN: 981-259-599-6.

Copyright ©2006 by Elsevier(Singapore Pte Ltd). All rights reserved.

Printed in China by Publishing House of Electronics Industry under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由电子工业出版社与Elsevier (Singapore) Pte Ltd.在中国大陆境内合作出版。本版仅限在中国境内(不包括香港特别行政区及台湾)出版及标价销售。未经许可出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

版权贸易合同登记号 图字:01-2006-0900

图书在版编目(CIP)数据

CMOS集成电路版图——概念、方法与工具/(加)格雷(Clein, D.)著;邓红辉等译.

北京:电子工业出版社,2006.3

(国外电子与通信教材系列)

书名原文:CMOS IC Layout: Concepts, Methodologies, and Tools

ISBN 7-121-02303-2

I. C... II. ①格... ②邓... III. 集成电路-设计-教材 IV. TN402

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第012210号

责任编辑:赵红燕 特约编辑:詹文军

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:16.25 字数:373千字

印 次:2006年3月第1次印刷

定 价:29.00元(附光盘1张)

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为作好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘彩	中国通信学会副理事长、秘书长
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长

译者序

无论数字集成电路设计还是模拟/混合集成电路设计,版图设计都是必不可少的重要设计环节。随着芯片规模的不断增长,工艺的不断进步,设计复杂度的不断提高,版图设计越来越凸显出它的重要性并逐渐成为IC设计的一个新兴领域,它直接影响着芯片流片是否成功,芯片性能的好坏,芯片的成本以及面市时间。

我国的集成电路(IC)产业近年来发展非常迅速,对IC设计人才的需求日趋膨胀,尤其在版图设计方面的人才更是紧缺,因此,版图设计人才的培养就变得越来越迫切。然而,国内这方面的教材和科技读物屈指可数,这给广大有志于从事版图设计工作的读者带来了诸多不便。我们很高兴能与电子工业出版社合作,翻译出版《CMOS集成电路版图——概念、方法与工具》这本国外IC版图设计的经典教材,希望能够对广大读者有所帮助。

本书作者Dan Klein是MOSAID技术有限公司半导体分部的IC版图设计经理,也是一位资深设计工程师。本书将他十几年来积累的丰富设计经验浓缩于其中,以循序渐进、深入浅出的方式,系统地介绍了CMOS集成电路版图设计的基本概念、设计理念和各种方法技巧。

与其他IC设计教程相比,本书覆盖面非常广,不仅系统地阐述了版图设计的基本概念和相关技术,还讨论了IC版图设计所面临的挑战。本书也注重理论与工程实践的结合,书中提供了大量实例来帮助读者正确理解版图设计的概念和关键设计理念,生动形象、简明易懂、可读性强。

无论对版图设计工程师,还是对电路设计工程师、CAD人员、学习IC设计的学生,本书都是一本非常不错的参考指南和培训教程。

本书的翻译工作由合肥工业大学的高明伦教授主持,邓红辉翻译了前言、第2到4章、第10章和附录,王晓蕾翻译了第5章和第8章,耿罗锋翻译了第1章和第7章,刘聪翻译了第6章,章伟翻译了第9章。全书由高明伦教授审校。在翻译本书的过程中,孙华波、圣应山、张俊、许海辉、于冰、何伟、侯宁、何亚军、瞿美霞、梁上泉、张文婷、沈斌等给予了大力支持。另外,黄敏和李慧娟参加了本书的校对工作,在此向他们表示感谢。最后感谢潘剑宏副教授、王锐老师、林微老师的帮助和支持,感谢合肥工业大学微电子设计研究所全体师生的关心和支持。

由于时间仓促,加上译者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

前 言

从前，大约是1988年，在摩托罗拉半导体以色列公司（MSIL）成功完成一项颇有压力而又十分成功的项目后，整个团队被邀请参加一个特别的午餐会。所有人都为提前完成项目感到高兴，聚在一起欢庆交付流片的成功。和平时分开坐不同，这一次IC电路设计工程师、CAD技术支持人员以及IC版图设计工程师都围着圆桌坐在一起。我有幸坐在当时公司的首席执行官Zvi Soha旁边。饭后，在上甜点之前，Zvi问我们，怎样才能使每一个人都心情愉快，效率更高，也就是说，怎样提高生产率。一时间，众说纷纭：

IC设计工程师要求有更快的工作站、更多的仿真软件和更多的工程师。

IC版图设计工程师要求有更快的机器和布局布线工具、更多的人手和CAD组更多的支持。

CAD组的代表说他们需要的是更多的人手，因为他们想为摩托罗拉公司提供一套完整的软件解决方案，利用这套软件，首席执行官只要按一个键，一个完整的芯片就能在瞬间准备好。也就是说，如果Zvi需要一款新的芯片，这套软件就会弹出一张表，他只需要在表上的相应栏中填上特定参数，然后按回车键，就能得到最终设计。这个CAD代表继续解释说：“有了这种功能强大的软件，就不需要这些总是要求更多软件和更快硬件的设计工程师和版图设计工程师了。”

几分钟之后，Zvi的回答是：“很好，但如果有功能这么强大的软件的话，我也不需要你们CAD组了……”

这个现实生活中的故事的寓意就是，在10年前，大多数人普遍认为，使用先进和高尖端的软件就能解决所有的主要问题。

一个不可否认的事实是，随着器件的栅长变得越来越小，芯片的集成度逐渐增加，设计复杂度也逐渐增加，而产品的面市时间则要求更短，因此，设计团队必须寻求一种新方法来应对这些挑战。

对于设计自动化人员来说，他们难以理解的是，当一种新的自动化设计工具被普遍采用时，原有的挑战就已经发生了变化。

例如，当模块的大小和设计复杂度增长到靠手工难以完成其版图设计时，版图规划工具和布局布线工具就被引入进来，从而使版图设计过程自动化。

开始的时候，这些工具都是由基于电路图的设计方式驱动的。但是随着电路的复杂度和规模不断增长，就开始采用CAD，并且出现了综合工具。

下一步是采用布局布线工具等进行综合。如果我们分析所有自动化软件的发展，可以发现，所有的发展都是由那些做好充足准备、深知事物发展方向、有能力为新问题寻求新解决方

案并进行变革的人驱动的。驱动所有工具发展的是那些为改变做好准备的人，而不是那些通晓事物的原理并且有能力为新问题寻求新解决方案并进行变革的人。

诚然，自动化有助于改进设计——但是改变和改进设计的人，往往是那些懂得基础概念、尝试新方法的人，而且他们还推动着 CAD 软件设计者们继续开发新软件。

正是出于这个原因，我将帮助所有感兴趣的设计者，无论电路设计工程师还是版图设计工程师，以及 CAD 开发人员，了解更多版图的真实情形。这也就是本书之所以花大量篇幅讲述概念、方法学以及与 CMOS 版图设计有关的工具的原因。

几年前，在设计自动化会议上，我被邀请观看了一种新的布局布线工具的演示。在试映厅进行的 10 分钟的演示过程中，该工具的卓越性能给我留下了深刻的印象，所以私下我又要求观看了一遍 40~50 分钟的演示。

在试映厅里，有 5 个来自不同公司的人。那个软件开发者，对他的性能卓越的工具十分自豪，他开始解释有关工具的所有特性。大概过了 30 分钟，他开始在不同层次的集成环境上演示许多充满版图规划选项的屏幕镜头，这使我们所有人都大吃一惊。这个功能强大的工具给每个人都留下了深刻的印象。

在最后 5 分钟，这个软件开发者试图请我们这些潜在的软件用户提些问题。屋子里很安静……在问了一个非常老套的问题之后，每个人都快速地离开了。

当我和这个软件开发者单独在一起的时候，我问他一些问题，记录如下：

在开发这个工具的过程中，是否有人考虑过潜在的用户——他们是谁？他们的软件知识水平怎样？从他们需要设置的参数的数量来看，使用这种工具并不是一件很容易的事。假设是软件背景知识有限的人使用这个工具，可能有 200 个以上的参量需要手工完成，其他一些参量则会自动设置。只有如此之后，才能按一下按钮得到理想的结果。可如果设计需要更多的调整，其用户可能只有向专家咨询，或者尝试掌握该工具的高级特性和功能。

回答是，“我们没有考虑过这个问题……”

这种工具的推销倘若仅重视宣传该工具的高级功能，是远远不够的。使用的简易性是一个非常关键却容易被忽视的问题！

我曾建议开发团队设一个顾问委员会，其成员应来自不同公司的潜在用户组成，他们会采用不同的方法，会有不同的需求。我问，你们有这样的顾问委员会吗？

在问过几个类似的问题之后，我意识到这个由 20 名软件工程学博士组成的开发小组，只具有非常有限的有关物理版图的知识 and 经验，他们是基于规范开发出这个功能强大的工具的，完全没有和潜在的用户沟通过，也没有得到任何的反馈。

这就是我在构思本书的时候所思考的一些问题：如果不了解有关版图的概念和方法，要设计和构建出一个版图设计工具是非常困难的。

正是基于以上这些原因，我非常遗憾地说，这个“很棒的”工具至今尚未投放市场，用户当然也无从受益（很抱歉，这里我们省去该公司的名字）。

这些年来,类似的事情发生过很多次,所以,我决定对这些工具开发人员伸出援手。的确,我们需要更好的工具,但作为用户我们也必须帮助工具开发者更多地了解工具所涉及的领域内的基本原理。同时,也必须对工具的基本原理有更多的了解。一旦决定开发一项工具,负责制定规范的技术市场部必须明确一些东西,并使之得以体现在最终的工具中。

作为用户,使用新的工具意味着我们必须调整自己的思路和方法以适应新工具。关于这一点,专用集成电路(ASIC)的设计流程就是最好的例子。由于这种流程上的新趋势,随之产生了各种复杂多样的工具,只有那些一切都从头开始或者根据新的设计流程和方法学而专门成立小组的公司,才能更好地解决改变原有设计方式,用各种复杂工具进行设计所带来的问题。

由于ASIC流程使得许多新公司能够进入IC和系统设计市场,因此,使用这些新工具所要求的资金投入比以前要少,而所要求的专业知识亦更少。

许多大公司都有针对各个层次设计的培训课程,有内部的CAD组来开发设计工具,以及许多研究资源;但小公司也有优势:小公司可以更快地适应新的趋势、新的方法学和设计流程。

小公司没有内部工具程序开发的开销,它必须在资源有限的条件下更富创造性地找到问题的解决方案。小公司必须适应外界开发商所提供的工具,比如Cadence、Mentor、Synopsys和Avant。

这些开发商所开发的工具不是为任何人定制的,它比公司内部开发的CAD工具更能反映市场趋势。而工具开发商并不是完全无约束地进行开发:如果一个公司买了1000套软件包,而另一个公司只买了20套,那么,第一个公司的发言理所当然地更能影响这个工具的新特征。正因为竞争的威胁无处不在,所以只有抢得先机,才能……

让我们简要地列出如今CMOS集成电路设计工程师所面临的主要挑战。我希望把这个前言称为“伞”章,因为从一个工程到下一个工程所出现的问题就像倾盆大雨一样。希望我写的这本书,有助于你们免受淋雨之苦。下面是本书的组织结构介绍。

基础知识

版图设计在芯片开发过程中具体处于何处呢?第1章给出了整个开发过程非技术性的概述,从而使我们能够了解版图设计工程师所起的作用。

IC版图设计者的任务就是创建芯片各个部分的版图掩模,这个版图掩模要符合工程制图要求、网表或者仿真结果以及工艺设计规则的要求。为了理解和遵守工程制图要求,设计者需要了解基本的电学规则以及有关门级版图的概念。这些内容将在第2章中阐述。

第3章讲述了生产工艺和层的定义。在理解了分层是如何被用来组合产生器件和连线后,我们还将学习设计规则,为了确保可以可靠地生产芯片,有一些必须遵守的制造工艺规则。工

艺工程师规定了可生产的最小栅格、多边形、层与层之间的最小间距等。所谓设计规则就是和工程制图、网表等因素一起，从根本上决定芯片结构的一些因素的规则。

版图设计方式

设计者如果不遵守设计要求，芯片就无法工作；如果不遵守设计规则，芯片就可能无法离开原型阶段。优秀的版图设计工程师的高超艺术体现在：在考虑完成时间、最终尺寸、质量等有关工程的常规问题的同时，还能把设计要求和设计规则两者完美地结合起来。

如今，刚才提到的所有芯片里没有一个仅使用了一种设计方式，因此在第5章，我们将讲述设计中的专门技术。我们将讨论在当今IC设计领域中全定制、标准单元、门阵列和其他技术类型，以及各自的优缺点。我们将讲述使用于专用复杂芯片中的各种技术和方法学。所讲述的东西很多，但是有些只是时钟发生器、数据通道或者寄存器组、I/O单元、存储器类型。在第5章的最后还将介绍芯片结尾技术。

高级篇

第6章的议题是与大规模芯片的针对充分连接和电源布线要求相关的，我们将学习针对这些要求的方法学，并讨论布局对布线、版图规划技术和结果、预先规划的信号的影响等。

第7章假设我们已经有了了一定的基础并开始解决模拟问题，例如电容器、电迁移和45°版图设计等。

特定工艺要求将在第8章中讲述，既然已经掌握了最复杂的工艺规则，在这一章中，我们将学习宽金属开槽、台阶覆盖、门锁效应和特定的设计规则。

如果设计环境是不确定的，也就是说，还未定义好工艺或者设计仿真覆盖率没有达到100%，这时版图设计人员会面临新的挑战。这就是学习第9章的原因，在这一章中我们将学习将接触孔作为单元、测试pad、备用逻辑和备用线，以及在进行版图设计时记住随时修改。

商业工具

最令人兴奋的可能是第10章。在这一章中，我们分析了所要掌握的各种EDA版图设计工具，以面对各种版图设计所带来的挑战。从生成简单多边形到布局布线，从生成工具及硅编译工具到验证工具，从打印设备及软件到转换格式，我们试图理顺这些名称、概念、方法学以及使用方法。尽管没有评估或者推荐某种特定工具，但仍试图帮助初学者对市场中的商业工具做出恰当选择，并使初学者明白这些工具是怎样适应不同方法学的，或者反之，这些方法学是怎样适应不同工具的。

在世界上,各个公司和工具的名称一直在改变,每年的热门话题各不相同,每年在设计自动化会议上的权威们都会宣布新的重要问题和解决方法,EDA 开发商也因此不断地提出大量更复杂的设计方法学。写本书目的是帮助读者适应这些方法学,不至于迷失其中。

举个例子,第一代机器的内存是非常小的(CALMA),但随着UNIX的出现则需要更大的内存。还有,伴随验证工具、参数提取工具,以及新名词如深亚微米(DSM)的出现,产生了布局布线工具等。即使这些工具能够解决目前大部分的问题,市场需求(价格)也会造成新的“难以解决的问题”。

本书旨在帮助读者理解这些基础和深层的概念,学会如何分析新方法学以及了解新工具的基本原理。希望本书对所有读者都有所帮助。若有任何批评和建议,笔者将倍感荣幸,来信请寄:

Dan Clein
826 Riddell Avenue North
Ottawa, Ontario
Canada
K2A 2V9
cometic@ieee.org

致 谢

本书与其他书的不同之处在于,在写作的过程中,大家主动花许多时间来解释事情为什么是这样或那样的,它是大家共同交流商讨的结果。我已经尽量列出了所有的“贡献者”,在过去的15年当中,他们帮助我学习理解版图设计中的概念、方法和工具。本书不仅仅是我的书;也是他们的书,因为他们相信教会别人不但可以使自己的生活更愉悦,还可以帮助公司获得更大的成功。这份清单是按年代排序的,与我从他们那里接受信息的数量和重要性未必相关。我对下面这些人致以谢意:

Miriam Gaziel-Zvuloni (英特尔-以色列公司),她看到了我的潜在能力,雇佣我为IC版图设计工程师,尽管那时我几乎不知道希伯来语。就版图知识而言,她是我的第一个老师。

Zehira Sitbon-Dadon,在5年多的时间里,她一直是我的经理,是她促使我进一步学习和研究了更深层的版图概念。她给了我成为版图设计教师、管理项目、负责所有的版图设计工具以及与供应商、工程师、摩托罗拉(以色列)公司CAD小组联系的机会。

Nathan Baron (摩托罗拉-以色列公司),电路设计工程师,他第一个花时间教版图设计工程师在设计电路图时应考虑希望什么、怎样实现、为什么这样。他面对任何新问题最喜欢说的是“首先让我们坐下,慢慢地、慢慢地找到任何问题的解决方法。”

Israel Kashat (摩托罗拉-以色列公司),工程主管,他总是帮忙解决所有进行中的问题,并且总是说:“这是一个多么好的问题啊。我们发现问题是好现象,如果不发现问题、不解决问题,凭什么让别人付给我们工资呢?”

Steve Upham (Cadence-英格兰公司),一个非常热情的应用工程师,他在摩托罗拉(以色列)公司花了5个月的时间去推进新的工具和方法学,他首次向我详细介绍了符号编辑工具和布局布线工具的基本原理。

Carina Ben-Zvi、Nachshon Gal 和 Eshel Haritan (以前摩托罗拉以色列公司的雇员),他们是CAD工作人员。他们曾和我一起开发各种用于版图设计的内部工具,并多次向我解释软件的局限性、设计理念和基本原理。他们使我对各个行业的软件开发商有了更好的了解。

Jean-Francois Côté (以前 MOSAID 加拿大公司的雇员),是第一个给我介绍动态随机存储器(DRAM)版图设计技巧的加拿大工程师。他的方法是“我教他人怎样去做我所知道的一些东西,我教得越多,我就要花更多的时间去学习新东西。”我真地相信他说的是对的。

Graham Allan 和 Cormac O'Connell (MOSAID 加拿大公司), 是我的存储器设计的指导专家。我今天所知道的与模拟版图有关的版图概念, 一些特殊的 DRC 规则以及 DRAM 工艺要求多数都来自他们。

Ed Fisher, Mentor Graphics 公司在 IC 图像多边形编辑工具方面的“权威”, 他使我提高了在使用这些工具的能力方面的知识, 包括我第一次遇到的器件生成工具。

Jim Huntington 是 Cadence 公司验证工具方面的“专家”, 他帮助我基于 16 Mb 的芯片学习、安装并成功地使用了 DRACULA 工具。

Glenn Thorsthensen, Mentor Graphics 公司的应用工程师, 他花了许多时间向 MOSAID 版图设计组解释布局布线工具和压缩工具的使用技巧。

Michael McSherry (Mentor Graphics 公司), 技术营销人士, 他向我介绍了层次化验证的概念和实现。

Steve Shutts (Rockwell 公司), 第一个比 ROSE 工具解释得更多的软件开发人员, 他向我说明了符号版图工具和版图综合工具是如何使 IC 设计工程师的工作产生差异的。

Dennis Armstrong (Motorola-Austin 公司), 版图设计工程师, 他后来转向工具的标准检查程序和性能的提高。在过去的 10 年里, 他帮助我理解了各种各样的工具。最初是我在摩托罗拉工作的时候, 从那时开始, 我们就一直在谈论、交流工具信息。

Dan Asuncion, 是位于加利福尼亚 Santa Clara 的商业与技术学院 (IBT) 的版图教师, 他慷慨地和我共享版图教学经验和他所讲的课程。他是不断鼓励我去写本书的人之一, 并且(他)向我保证会将它作为他所教班级的参考书。

Mark Swinnen, 是 Silvar-Lisco 公司以前的应用软件工程师, 他帮助我理解了关于布局工具、布线工具以及在布局布线环境中要考虑的模拟和数字量的更多内容。

Ron Morgan, 是 GERED 公司的老板, 他毫不吝啬地提供给我们他们自己培训班的教(课)程, 这样就使我能够在已成型(制定)的北美风格的基础上写出加拿大人自己的 IC 版图教程。

Roger Colbeck 是 MOSAID 公司半导体分部主管工程的副总, 他给了我机会去管理和在加拿大建立第一个经过培训的 IC 版图设计团队。

Tad Kwasnivski 和 Martin Snelgrove, 是位于渥太华的 Carleton 大学的教授, 他们鼓励我去教 VLSI 学生一些工业上必须了解的知识。这促使我开始了艰苦的写作本书的工作。

Simon Klavey, 来自 Sagantec 的应用程序工程师, 他向我介绍了应用工具方面的所有技巧, 并提供了光盘上的演示资料。

Jim Lindauer, 来自 Tanner Research, 他向我免费提供了一套 L-Edit 软件, 用于本书的写作。特别感谢 Tanner Research 提供的一套版图编辑器的演示版本, 包括典型的浏览器, 这会使读者对 IC 版图设计有更直观的了解。

但是我最感谢的是 Gregg Shimokura, 本书的技术支持者。我们一起在 MOSAID 工作的时间超过 5 年, 他总是乐于帮助我和其他人去了解更多的关于 VLSI 的设计知识。在我们一起工作的 5 年间, 他成为了 IC CAD 技术部的经理, 我们在一起探索能提高设计能力的新方法。写本书的想法由来已久, 可真正动笔却是源于他主动向我提供了不少帮助。尽管本书最初是由我执笔的, 但却是由 Gregg 对所有的内容加以排序, 他还修正了我的英语, 增加了一些与他的工作密切相关的素材: Gregg 给这本书增加了工程上的观点。我希望这些观点能帮助学生更多地了解版图的工作结果, 从而理解怎样去成为一名更好的工程师。再一次感谢 Gregg 辛勤的工作, 他促成了本书的出版。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 专业历史	1
1.2 什么是版图设计	2
1.3 IC 设计流程	4
第 2 章 电路图基础	6
2.1 MOS 晶体管: 基本电路结构	6
2.2 逻辑门	9
2.2.1 反相器	9
2.2.2 两输入与非门 (NAND)	10
2.2.3 两输入或非门 (NOR)	11
2.2.4 复杂逻辑门	12
2.3 传输门	14
2.4 理解电路图连接关系	15
2.5 回顾基本电学定律	16
2.5.1 欧姆定律	16
2.5.2 基尔霍夫电流定律	17
2.5.3 电阻	18
2.5.4 电容	18
2.5.5 延时计算	19
第 3 章 版图设计	20
3.1 CMOS VLSI 制造工艺简介	20
3.2 分层和连接	22
3.2.1 多边形	23
3.2.2 线形	23
3.3 晶体管版图简介	25
3.3.1 基底连接	28
3.3.2 导体和接触孔	30
3.3.3 反相器版图	31

3.4	工艺设计规则	32
3.4.1	宽度规则	32
3.4.2	间距规则	33
3.4.3	交叠规则	35
3.5	纵向连接图	37
3.6	通用设计步骤	38
3.7	准备开始	40
3.7.1	制定版图规划	40
3.7.2	棒形图	42
3.7.3	层次化设计	42
3.8	通用准则	46
3.8.1	电源线版图设计准则	47
3.8.2	信号线版图设计准则	47
3.8.3	晶体管版图设计准则	48
3.8.4	层次化版图设计准则	53
3.8.5	质量度量标准	54
3.9	设计的实现	55
3.9.1	单元版图设计	56
3.9.2	模块版图设计	57
3.9.3	芯片版图设计	57
3.10	验证	58
3.10.1	设计规则检查	58
3.10.2	版图电路图对比检查	59
3.10.3	电学规则检查	60
3.11	最终步骤	60
3.11.1	验证	61
3.11.2	核查	62
3.11.3	交付步骤	62
第4章	版图设计流程	63
4.1	什么是流程	63
4.2	微处理器设计流程	66
4.3	专用标准产品	67
4.3.1	DSP	68
4.3.2	ASIC	68