



XILINX大学合作计划指定教材

Step By Step现场可编程门阵列 设计入门与进阶

■ 郑 川 编著

XILINX



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

XILINX 大学合作计划指定教材

Step By Step 现场可编程 门阵列设计入门与进阶

郑 川 张卫军 编著

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书由浅入深地介绍了基于 XILINX 现场可编程门阵列的数字集成电路设计方法,着重讲述了硬件表述语言作为数字集成电路设计工具与一般软件语言的区别,以及与基本电路构造之间的紧密联系。本书首先对元器件基本单元进行说明,然后对各种电路模块和语言模板加以比较,再引入电路设计中的时序概念,同时对同步/异步问题做了详细分析,最后对 XILINX 的设计工具进行了简要说明。

数字集成电路设计方法只有通过不断的实践才能真正掌握,本书还配有相关习题集,所有试验均在华桑电子教育平台上验证通过。华桑电子教育平台可参考网站 http://www.inrevium.jp/pm/education_board/ts102.html。

本书可作为数字集成电路前端设计工程师的参考用书,也可用作有志于成为数字集成电路工程师的高等院校高年级本科生和研究生的相关专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

Step By Step 现场可编程门阵列设计入门与进阶/郑川等编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2008.10

XILINX 大学合作计划指定教材

ISBN 978-7-5606-2064-0

I. S… II. ① 郑… ② 张… III. 现场可编程门阵列—系统设计—高等学校:技术—教材
IV. TP332.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 080827 号

策 划 戚文艳

责任编辑 张 玮 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 12.375

字 数 289 千字

印 数 1~4000 册

定 价 19.00 元

ISBN 978-7-5606-2064-0/TN·0435

XDUP 2356001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

现今可编程逻辑器件(PLD)技术发展迅速,采用可编程逻辑器件实现系统已成为一种趋势。援引可编程逻辑器件的发明厂商赛灵思(XILINX)的情况说明:XILINX公司在半导体行业中增长最快的领域之一——可编程逻辑器件(PLD)市场中雄居领先地位。根据 iSuppli 的数据,2006年XILINX公司占有可编程逻辑器件市场超过一半以上的份额。由于PLD器件具有的灵活性,以及在产品制造完成后仍可进行功能修改,因而PLD在半导体芯片市场中具有巨大的发展潜力。XILINX PLD市场占有率(大于50%)超过其竞争对手占有率的总和。在范围更大的价值160多亿美元的ASIC市场(其中包括PLD)中,XILINX是全球第二大供应商(数据来源:2005年iSuppli将ASIC和PLD作为同一个组别进行研究分析)。

本书力求在作者多年从事针对XILINX可编程逻辑器件的设计开发与教学实践工作的基础上,对现场可编程门阵列设计的基础知识和基本过程进行介绍,使读者能够由浅入深地逐步掌握可编程逻辑器件的基本设计方法。同时,根据作者在公司和高校使用XILINX器件进行开发的经验,本书所阐述的内容对于正在探讨、应用可编程逻辑器件(PLD)的电子设计人员和其他科技工作者也有很好的参考价值。

全书共8章。第1章对现场可编程门阵列和专用集成电路做比较,重点介绍了现场可编程门阵列的特点,解释了现场可编程门阵列能迅速发展的原因。第2章为现场可编程门阵列架构基础,详细说明了现场可编程门阵列的内部结构,为可编程逻辑器件设计的实现做了基本解释。第3章为开发环境初步,讲述了可编程门阵列开发工具的使用方法,从而方便读者迅速掌握可编程逻辑器件的设计方法。第4章为硬件描述语言初步,通过大量的例程具体讲述了硬件描述语言的编写方法,以方便读者迅速掌握硬件描述语言。第5章为XILINX IP,详细讲述了XILINX的可复用设计资源,以方便读者利用可复用设计资源迅速实现复杂系统。第6章为用户约束基础,引入了设计时序约束的概念,讲述了数字电路设计的基本概念。第7章为同步/异步设计原理,进一步深化了设计时序的概念,真正实现了数字电路设计入门。第8章为ISE的综合开发平台和设置,补充了XILINX公司开发工具的一些设置选项。

在编写本书的过程中,得到了上海华桑电子有限公司许多同事的支持和帮助。公司技术总监杨鲲鹏老师自始至终全力支持、无私帮助,对全书内容不仅给予了关键性的指导,而且提出了详尽的修改意见。还要特别感谢XILINX公司的谢凯年老师和西安电子科技大学出版社的威文艳老师,正是他们的深情相邀才有本书的面世。

编 者

2008年3月

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~国家级、部级重点教材~~~~~

计算机系统结构 (第四版) (李学干)	25.00
雷达对抗原理 (赵国庆)	15.00
雷达原理 (第三版) (丁鹭飞)	23.00
通信网的安全——理论与技术 (王育民)	42.00
模拟电子线路基础 (傅丰林)	16.00
移动通信 (第四版) (李建东)	30.00

~~~~~计算机提高普及类~~~~~

计算机应用基础 (第三版) (丁爱萍)	22.00
计算机文化基础 (高职) (游鑫)	27.00
计算机文化基础上机实训及案例 (高职)	15.00
计算机科学与技术导论 (吕辉)	22.00
计算机应用基础 (高职) (赵钢)	29.00
计算机应用基础——信息处理技术教程	31.00
计算机应用基础 (高职) (冉崇善)	

(Windows XP & Office 2003 版) 23.00

《计算机应用基础》实践技能训练

与案例分析 (高职) (冉崇善) 18.00

办公自动化设备的使用和维护

(第二版) (陈国先) (高职) 18.00

~~~~~计算机网络类~~~~~

计算机网络管理 (雷震甲)	20.00
网络安全技术 (高职) (廖兴)	19.00
网络安全技术 (高职) (李卓玲)	17.00
网络信息安全技术 (周明全)	17.00
动态网页设计实用教程 (蒋理)	30.00
Windows网络程序设计 (夏靖波)	26.00
局域网组建实例教程 (高职) (尹建璋)	20.00
Windows Server 2003组网实训教程 (高职)	27.00
Windows Server 2003组网技术	
(含光盘) (高职) (陈伟达)	30.00
综合布线技术 (高职) (王趾成)	18.00
计算机网络应用基础 (武新华)	28.00
计算机网络 (张璟)	26.00
计算机网络 (第二版) (袁家政) (高职)	26.00

计算机网络 (第三版) (蔡皖东)	27.00
计算机组网实验教程 (王宣政)	23.00
计算机网络基础及应用 (高职) (向隅)	22.00

~~~~~计算机技术类~~~~~

计算机应用基础教程 (第四版) (陈建铎)	
(for Windows XP/Office XP)	30.00
计算机系统结构 (陈智勇)	26.00
计算机系统结构与组成 (吕辉)	26.00
计算机系统安全 (第二版) (马建峰)	30.00
计算机信息检索实用教程 (高职) (张晓芳)	15.00
电子商务概论 (宋沛军) (高职)	20.00
电子商务基础与应用 (第五版) (含盘)	39.00
《电子商务基础与应用 (第五版)》	
学习指导与练习 (杨坚争)	20.00
电子商务基础与实务 (第二版) (高职)	16.00
数据结构——使用 C++ 语言 (第二版) (朱战立)	23.00
数据结构 (高职) (周岳山)	15.00
数据结构教程——Java 语言描述 (朱振元)	29.00
计算方法与实习 (高职) (田祥宏)	11.00
算法设计与分析 (霍红卫)	15.00
编译原理教程 (第二版) (胡元义)	18.00
离散数学 (马光思)	22.00
离散数学 (武波)	24.00
软件工程 (第二版) (邓良松)	22.00
软件技术基础 (高职) (鲍有文)	23.00
信息系统分析与设计 (高职) (卫红春)	20.00
信息系统分析与设计 (第二版) (陈圣国)	15.00
人工智能技术导论 (第三版) (廉师友)	24.00
~~~~~计算机辅助技术类~~~~~	
电子工程制图 (含习题集) (高职) (童幸生)	25.00
机械制图与计算机绘图 (含习题集) (高职)	40.00
计算机绘图 (第二版) (许社教)	25.00
DSP应用技术 (高职) (赵明忠)	25.00
电子线路 CAD 实用教程 (潘永雄) (第三版)	27.00
AutoCAD 基础教程 (高职) (石高峰)	15.00

机械工程科技英语(程安宁)	15.00	模具制造技术(高职)(刘航)	22.00
机械设计基础(张京辉)(高职)	24.00	模具设计(高职)(曾霞文)	18.00
机械基础(安美玲)(高职)	20.00	冷冲压模具设计(高职)(刘庚武)	21.00
机械CAD/CAM(欧长劲)	21.00	塑料成型模具设计(高职)(单小根)	37.00
机械CAD/CAM 上机指导及练习教程	20.00	液压与气动技术(第二版)(朱梅)	23.00
机械制图(含习题集)(高职)(孙建东)	29.00	液压传动技术(高职)(简引霞)	23.00
机械设备制造技术(高职)(柳青松)	33.00	发动机构造与维修(高职)(王正键)	29.00
机械制造工艺装备(高职)(朱派龙)	22.00	汽车典型电控系统结构与维修(李美娟)	31.00
机械制造技术(高职)(邵堃)	24.00	汽车机械基础(高职)(娄万军)	29.00
机械制造基础(高职)(郑广花)	21.00	汽车底盘结构与维修(高职)(张红伟)	28.00
机械加工技术(高职)(魏康民)	24.00	汽车车身电气设备系统及附属电气设备	
数控编程与操作--SINUMERIK 数控系统	15.00	(高职)(颜培钦)	23.00
数控加工与编程(第二版)(高职)(詹华西)	22.00	汽车单片机与车载网络技术(于万海)	20.00
数控加工工艺(高职)(赵长旭)	24.00	汽车故障诊断技术(高职)(王秀贞)	19.00
数控加工工艺课程设计指导书(赵长旭)	12.00	汽车及配件营销(边伟)(高职)	25.00
数控加工工艺(高职)(刘长伟)	22.00	汽车营销技术(高职)(孙华宪)	15.00
数控加工实训教程(高职)(胡相斌)	24.00	汽车使用性能与检测技术(高职)(郭彬)	22.00
数控加工编程与操作(高职)(刘虹)	15.00	汽车电工电子技术(高职)(黄建华)	20.00
数控编程与操作(高职)(周虹)	19.00	汽车电气设备与维修(高职)(李春明)	25.00
数控机床故障分析与维修(高职)(潘海丽)	19.00	汽车车身结构与维修(高职)(吴兴敏)	26.00
数控机床电气控制(高职)(姚勇刚)	21.00	汽车使用与技术管理(高职)(边伟)	25.00
现代数控机床(高职)(刘瑞己)	25.00	汽车空调(高职)(李祥峰)	16.00
数控应用专业英语(高职)(黄海)	17.00	汽车概论(高职)(邓书涛)	20.00
机床电器与PLC(高职)(李伟)	14.00	现代汽车典型电控系统结构原理	
电机及拖动基础(高职)(孟宪芳)	17.00	与故障诊断(高职)(徐生明)	25.00
电机拖动与控制(高职)(刘保录)	25.00	有色金属材料焊接技术(高职)(袁国义)	24.00
电机与电气控制(高职)(冉文)	23.00	互换性与技术测量(高职)(屈波)	19.00
电机原理与维修(高职)(解建军)	20.00	互换性与几何量测量技术(张帆)	30.00
供配电技术(高职)(杨洋)	25.00	电子CAD(Protel 99 SE)实训指导书(高职)	12.00
电切削加工技术(高职)(詹华西)	13.00	Pro/ENGINEER应用教程(高职)(朱玉红)	23.00
金属切削与机床(高职)(聂建武)	22.00	安全评价技术(张乃禄)	23.00
模具CAD/CAM 实用教程——		安全检测技术(张乃禄)	28.00
Pro/ENGINEER Wildfire2.0(高职)	18.00		

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

通信地址: 西安市太白南路2号

西安电子科技大学出版社发行部

邮 编: 710071

邮购业务电话: (029) 88201467

传 真: (029) 88213675

# 目 录

第 1 章 现场可编程门阵列和专用集成电路 .....	1
1.1 现场可编程门阵列及专用集成电路的优点 .....	1
1.2 现场可编程门阵列及专用集成电路的设计流程 .....	2
1.3 集成电路发展趋势 .....	3
1.4 现场可编程门阵列的种类 .....	3
1.5 静态随机存储现场可编程门阵列 .....	3
1.6 XILINX 现场可编程门阵列 .....	4
第 2 章 现场可编程门阵列架构基础 .....	6
2.1 现场可编程门阵列结构 .....	6
2.2 可配置逻辑模块 .....	7
2.2.1 四输入查找表 .....	8
2.2.2 进位链和专用控制 .....	9
2.2.3 存储单元 .....	11
2.3 块存储器 .....	12
2.4 乘法器模块 .....	15
2.5 全局时钟网络 .....	17
2.5.1 时钟分布资源 .....	17
2.5.2 全局时钟输入 .....	18
2.5.3 时钟输出 .....	19
2.6 数字时钟管理 .....	19
2.7 布线资源 .....	20
2.8 输入/输出模块 .....	22
第 3 章 开发环境初步 .....	24
3.1 数字电路开发工具集快速教程 .....	24
3.1.1 准备工作 .....	24
3.1.2 新建工程 .....	25
3.1.3 编写源文件 .....	26
3.1.4 综合工具 .....	29
3.1.5 编写用户约束文件 .....	37
3.1.6 设计实施 .....	37
3.2 仿真工具快速教程 .....	38

3.2.1 新建测试工作台.....	39
3.2.2 启动.....	39
3.2.3 设置工作目录.....	39
3.2.4 编译.....	41
3.2.5 仿真.....	42
<b>第4章 硬件描述语言初步.....</b>	<b>44</b>
4.1 逻辑电路基础.....	44
4.1.1 基本门电路.....	44
4.1.2 组合逻辑.....	50
4.2 时序电路基础.....	73
4.2.1 D 触发器.....	73
4.2.2 移位寄存器.....	78
4.2.3 串并转换器.....	83
4.2.4 二进制计数器.....	88
4.2.5 微分回路.....	92
4.3 状态机.....	96
4.3.1 状态机分类.....	96
4.3.2 状态机写法.....	97
4.3.3 状态机编码.....	102
<b>第5章 XILINX IP.....</b>	<b>104</b>
5.1 核生成工具.....	104
5.1.1 存储器.....	104
5.1.2 先进先出堆栈.....	109
5.2 架构向导.....	114
5.3 直接例化.....	122
<b>第6章 用户约束基础.....</b>	<b>124</b>
6.1 约束概要.....	124
6.1.1 时序约束概要.....	124
6.1.2 布局布线指导约束概要.....	127
6.2 用户约束文件.....	133
6.2.1 组的约束.....	133
6.2.2 时间约束概要.....	137
6.2.3 布局布线指导.....	141
<b>第7章 同步/异步设计原理.....</b>	<b>145</b>
7.1 亚稳态.....	145

7.1.1 亚稳态的概念 .....	145
7.1.2 亚稳态的危害 .....	145
7.2 同步电路的亚稳态问题 .....	146
7.3 异步电路的亚稳态问题 .....	147
7.3.1 信号解决方案 .....	147
7.3.2 脉冲解决方案 .....	148
7.3.3 总线解决方案 .....	151
<b>第 8 章 ISE 的综合开发平台和设置 .....</b>	<b>153</b>
8.1 编码风格 .....	153
8.1.1 电路实现 .....	154
8.1.2 目标器件 .....	155
8.1.3 逻辑和寄存器的区分 .....	156
8.1.4 时间约束的满足 .....	157
8.1.5 锁存器的避免 .....	158
8.1.6 状态机 .....	159
8.2 综合工具和设定 .....	162
8.3 布局布线工具及其设定 .....	178
8.3.1 编译选项 .....	178
8.3.2 映射选项 .....	180
8.3.3 布局布线选项 .....	181
8.3.4 编译报告 .....	183
8.3.5 映射报告 .....	184
8.3.6 布局布线报告 .....	187

# 第 1 章 现场可编程门阵列和专用集成电路

FPGA 是一种可编程逻辑器件,起源于美国的 XILINX 公司,该公司于 1985 年推出了世界上第一块 FPGA 芯片。在这 20 多年的发展过程中, FPGA 的集成度迅速提高,从最初的 1200 个可用门, 90 年代时的几十万个可用门,发展到目前数百万门至上千万门的单片 FPGA 芯片。与此同时,硬件体系结构在不断地完善,且软件开发工具也日趋成熟。FPGA 结合了微电子技术、EDA 技术与电路技术,使设计者可以集中精力进行所需逻辑功能的设计,这样不仅缩短了设计周期,也提高了设计质量。

专用集成电路(ASIC)与现场可编程门阵列(FPGA)有着各自的优点,下面通过具体的分析与比较介绍 FPGA 的特点与用途。

## 1. 全定制、半定制、可编程芯片的集成电路世界

集成电路(Integrated Circuit, IC)已经是现代电子产品中不可或缺的一部分,它们融入到了世界上几乎所有的工业领域。集成电路从定制类型上可分为全定制(Full-custom)、半定制(Semi-custom)、可编程芯片等。其中,全定制芯片与半定制芯片为 ASIC 的形式;可编程芯片包括 SPLD、CPLD 和 FPGA 三大类, SPLD 的全称是 Simple Programmable Logic Device, CPLD 的全称是 Complex Programmable Logic Device, FPGA 的全称是 Field Programmable Gates Array。

## 2. ASIC 芯片的特点

ASIC 的全称是 Application Specific Integrated Circuit,中文译为“专用集成电路”。ASIC 的特点是:高性能、低功耗和低成本(高产量时)。从设计角度来讲, ASIC 需要对其所有结构体进行物理层布局设计,用时较长,开发费用较高,而且一般只能由半导体制造厂构造完成。

## 3. FPGA 芯片的特点

FPGA 芯片的特点是:开发成本低,上市时间短,而且可以进行重构或升级。从设计角度来讲, FPGA 没有物理层布局,芯片本身已经是即用的成品,设计结尾用比特流配置器件,而且设计者可以自行配置芯片内部构架。

## 1.1 现场可编程门阵列及专用集成电路的优点

现场可编程门阵列(FPGA)的设计优点如下:

- 快速市场响应(Faster time-to-market)。
- 不需要版图、掩膜等生产工艺。
- 没有非经常性发生的生产费用(No upfront NRE)。
- ASIC 生产成本中大部分为非经常性发生的开支。

- 开发流程简单(Simpler design cycle)。
- 由开发工具解决布局、布线和时序问题。
- 可预测项目周期(More predictable project cycle)。
- 减少了大量不可预测的设计流程。
- 现场可再编程(Field reprogramability)。

专用集成电路(ASIC)的设计优点如下:

- 全客户定制(Full custom capability)。
- 完全根据客户要求要求进行生产制造。
- 单片价格低廉(Lower unit costs)。
- 产量大,降低了单片价格。
- 更小的裸片面积(Smaller form factor)。
- 全客户定制设计生产,没有冗余。
- 更高速的内部时钟(Higher raw internal clock speeds)。

## 1.2 现场可编程门阵列及专用集成电路的设计流程

现场可编程门阵列、专用集成电路设计流程见图 1-1。

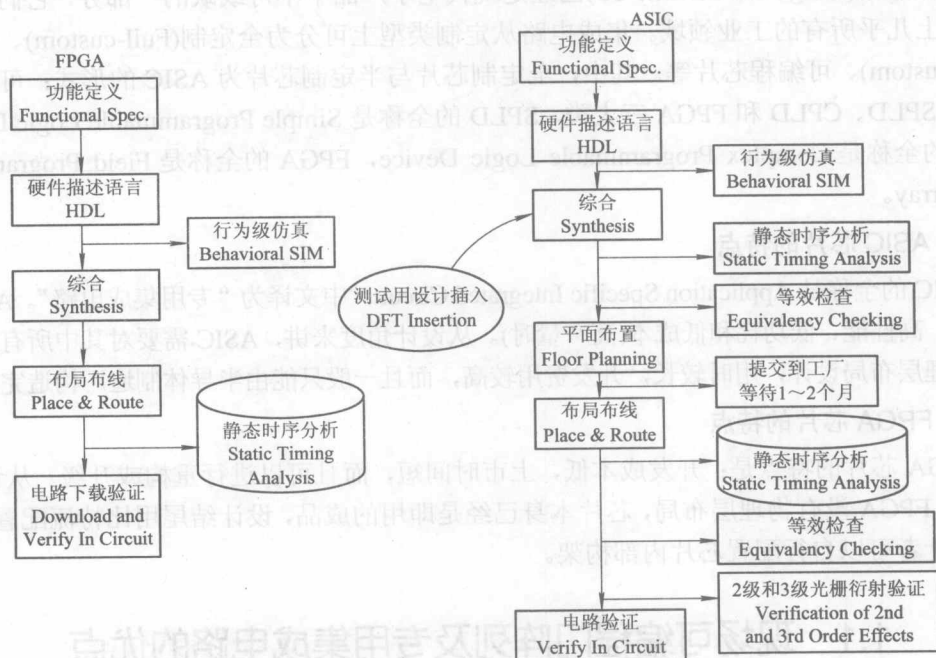


图 1-1 现场可编程门阵列、专用集成电路设计流程

FPGA 设计流程中没有复杂的、耗费时间的工序,如元件平面布置(Floor Planning)、掩膜(Mask)、重新设计(Respin)等。综合后的设计逻辑可以直接放到已经验证好的 FPGA 芯片中。当然, XILINX 等厂商还提供了先进的布局布线、时序分析等设计辅助工具来帮助用户最大化性能,从而满足大多数的设计需求。

ASIC 与 FPGA 技术将在今后一段时间内共同存在, 高性能曾经是 ASIC 超出 FPGA 的优势, 但随着制造工艺从 180 nm 发展到 90 nm 甚至 65 nm, FPGA 的性能已经能够满足大多数应用的需要, 而密度水平则达到逻辑设计的 80%。ASIC 的优势在于超高的性能、密度和单位容量, 但是这种产品的市场风险很大, NRE(不可回收性工程成本)和开发成本是非常高的。所以目前在很多项目中, 综合考虑到开发和 NRE 成本等因素, 对 FPGA 的选择倾向超过 ASIC。

Antifuse FPGAs 的制造商有 Actel 公司和 Quick Logic 公司等。

### 1.5 静态随机存储现场可编程门阵列

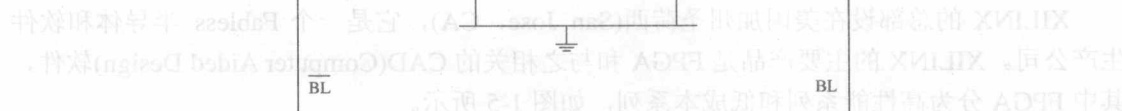


图 1-2 6 晶体管 CMOS SRAM 单元

开关控制由多个 SRAM 单元组成,即可形成 SRAM 控制路由(SRAM Controlled Switch)。举例来说,两个逻辑块的连接如图 1-3 所示。

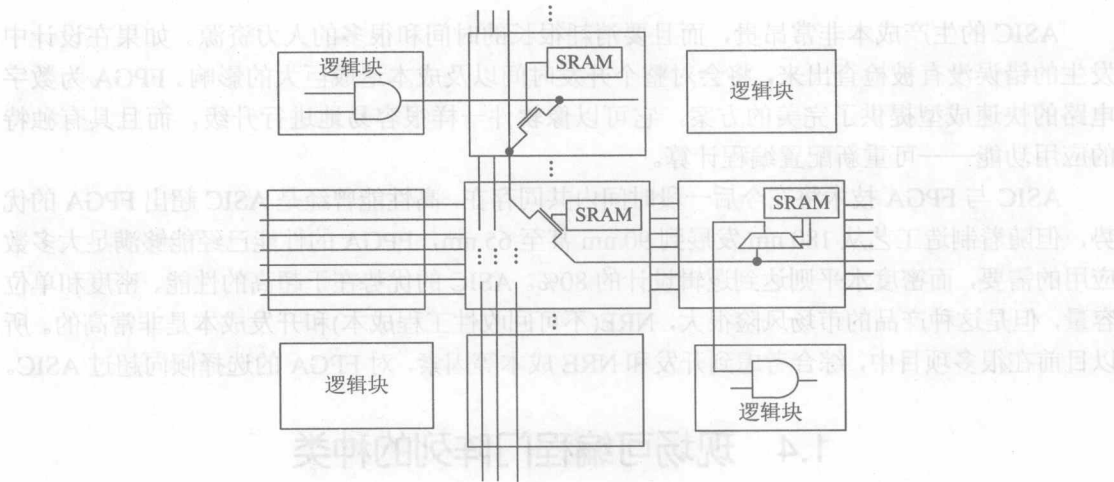


图 1-3 可编程 SRAM 控制路由

在图 1-3 的左上方和右下方各有一个逻辑块(与门表示),它们通过两个晶体管开关和一个多路选择器连接到一起,所有这些都由 SRAM 单元控制。

Antifuse 中文译为“反熔丝”,它可在编程时打开具有低电阻的电路。反熔丝是用修改过的 CMOS 技术制成的。

图 1-4 所示是 Actel 公司 FPGA 的反熔丝结构,反熔丝位于两条线网之间,右边共三层,上下两层是导体,中间一层是绝缘体。编程前上下两层导体被中间的绝缘体隔离,编程后绝缘体变成低电阻的连接,实现对应的逻辑功能。

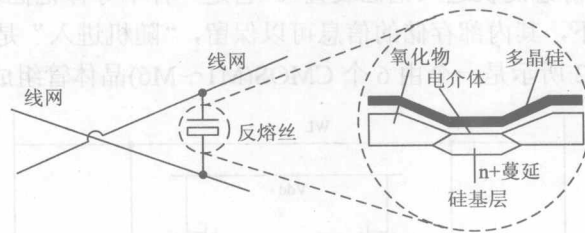


图 1-4 反熔丝结构

## 1.6 XILINX 现场可编程门阵列

XILINX 的总部设在美国加州圣荷西(San Jose, CA),它是一个 Fabless 半导体和软件生产公司。XILINX 的主要产品是 FPGA 和与之相关的 CAD(Computer Aided Design)软件,其中 FPGA 分为高性能系列和低成本系列,如图 1-5 所示。

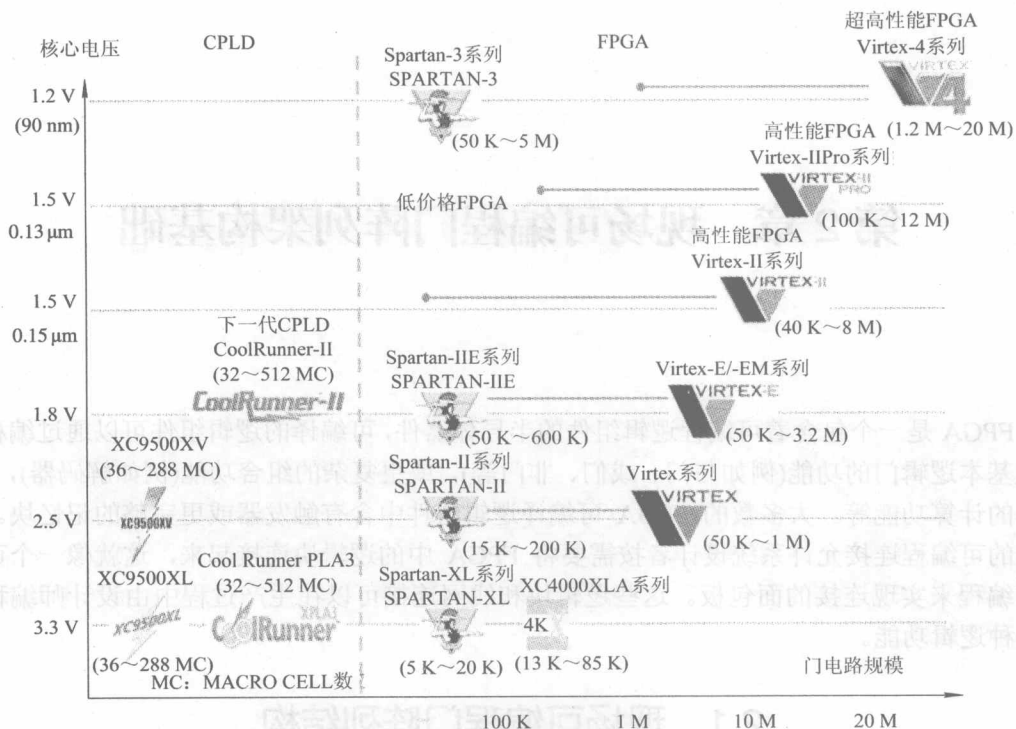


图 1-5 XILINX FPGA

### 1. XILINX 的高性能系列

Virtex 系列是 XILINX 的高性能系列，其中主要包括如下型号：Virtex (0.22  $\mu\text{m}$ )、Virtex-E、Virtex-EM (0.18  $\mu\text{m}$ )、Virtex-II，Virtex-II PRO (0.13  $\mu\text{m}$ )、Virtex-4 (0.09  $\mu\text{m}$ )、Virtex-5 (65 nm)。

### 2. XILINX 的低成本系列

Spartan 系列是 XILINX 的低成本系列，其中主要包括如下型号：Spartan/XL-derived from XC4000、Spartan-II-derived from Virtex、Spartan-II E-derived from Virtex-E、Spartan-3、Spartan-3A、Spartan-3AN、Spartan-3A DSP。

## 第2章 现场可编程门阵列架构基础

FPGA 是一个包含着可编程逻辑组件的半导体器件, 可编译的逻辑组件可以通过编程来实现基本逻辑门的功能(例如与门、或门、非门等), 或更复杂的组合功能(例如解码器), 或简单的计算功能等。大多数的 FPGA 可编译逻辑组件中含有触发器或更完整的记忆块。层次化的可编程连接允许系统设计者按需要将 FPGA 中的逻辑块连接起来, 这就像一个可以通过编程来实现连接的面包板。这些逻辑块和线网连接可以在生产过程中由设计师编程完成各种逻辑功能。

### 2.1 现场可编程门阵列结构

FPGA 的大体结构如图 2-1 所示, CLB(Configurable Logic Block)是可编译逻辑块, IOB(I/O Block)是输入/输出块, BRAM(Block RAM)是随机进入储存记忆块。如图 2-2 所示, 一圈 IOB 围绕在一个规则的 CLB 阵列周围。

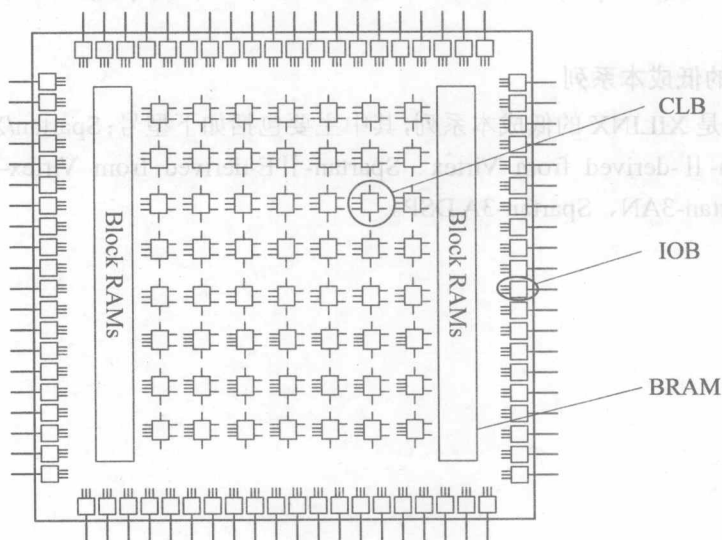


图 2-1 FPGA 的大体结构

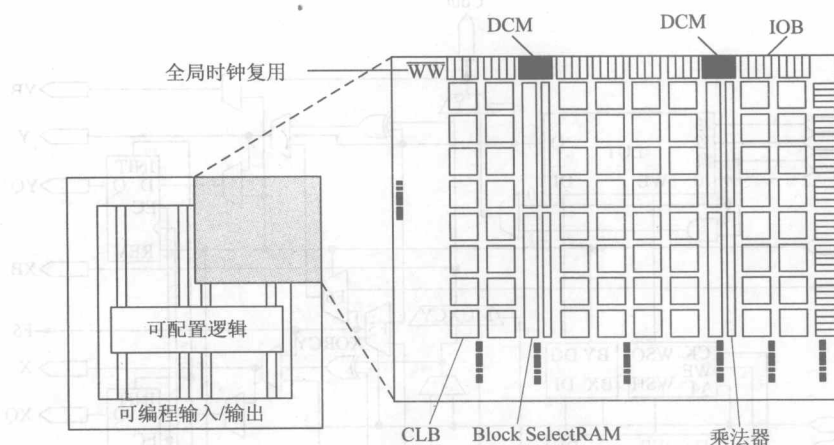


图 2-2 FPGA 结构图

## 2.2 可配置逻辑模块

可配置逻辑模块(CLB)含有 RAM-based LUTs (Look-Up Tables), 从而实现逻辑和存储单元, 这些可用来构成触发器和锁存器。CLB 可通过编程来实现广泛多样的逻辑功能, 同样也可储存数据。CLB 的结构见图 2-3。

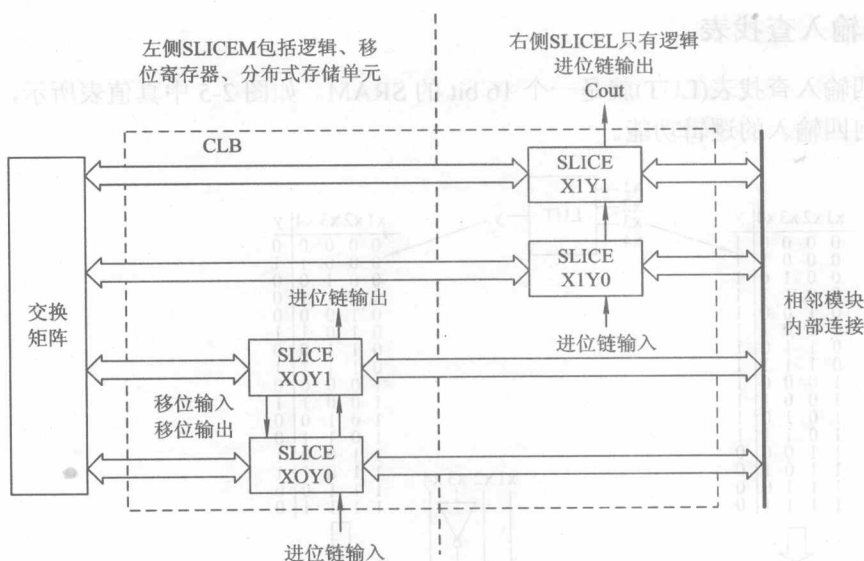


图 2-3 CLB 结构图(Spartan-3 家族)

CLB 是根据面积与速度优化而实现的紧凑而高性能的设计; CLB 由四个薄片(Slice)组成以实现组合或时序电路。每个薄片包含两套 4 输入的 LUT 和触发器(DFF)、多路选择器(MUX)、算术逻辑、进位控制逻辑以及专用的内部路由。薄片的结构如图 2-4 所示。

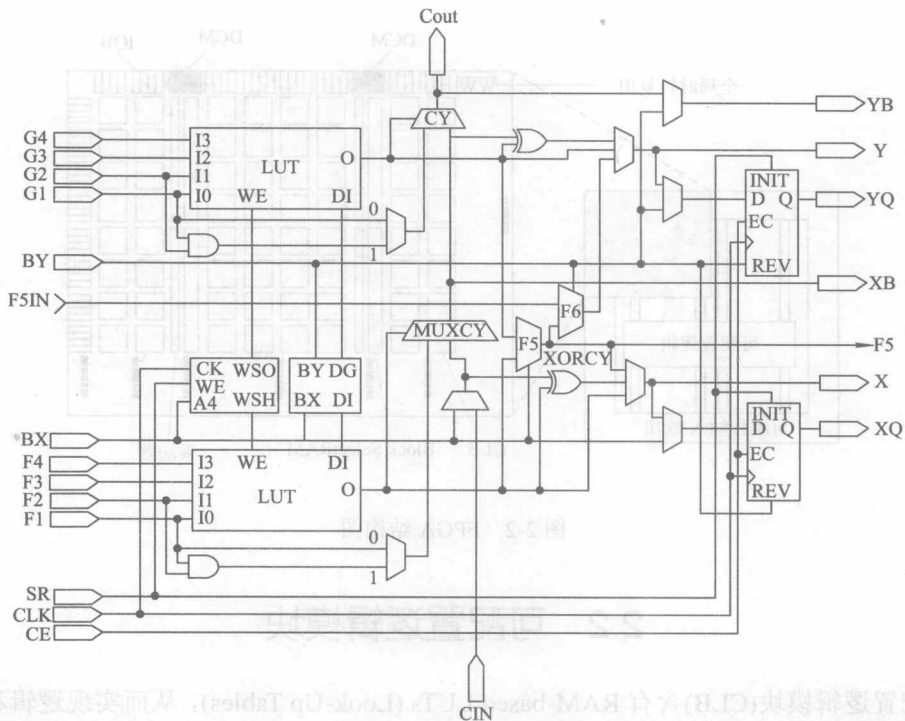


图 2-4 CLB Slice 结构图

### 2.2.1 四输入查找表

一个四输入查找表(LUT)就是一个 16 bit 的 SRAM。如图 2-5 中真值表所示，每个 LUT 能实现任何四输入的逻辑功能。

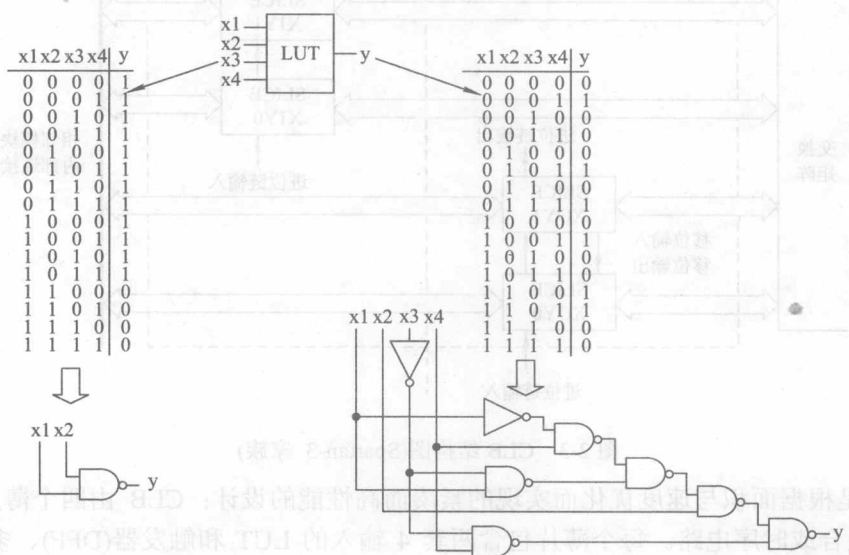


图 2-5 LUT 示意图