



陕西出版资金资助项目



西电学术文库图书

混合信号 专用集成电路设计

Mixed-signal ASIC Design

来新泉 主编 ●

王松林 叶 强 史凌峰 参编 ●
李先锐 邵丽丽



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>



陕西出版资金资助项目
西电学术文库图书

混合信号专用集成电路设计

主编 来新泉
参编 王松林 叶 强 史凌峰
李先锐 邵丽丽

西安电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

混合信号专用集成电路设计/来新泉主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2014. 1

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3123 - 3

I. ①混… II. ①来… III. ①混合信号—集成电路—电路设计 IV. ①TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 287175 号



策划编辑 李惠萍

责任编辑 李惠萍

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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

开 本 787毫米×960毫米 1/16 印张 22.5 彩插 2

字 数 459千字

印 数 1~3000册

定 价 45.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3123 - 3/TN

XDUP 3415001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

陕西出版资金资助项目
西电学术文库图书

前 言

笔者自 1983 年开始集成电路设计的学习，至今，一直从事集成电路的教学、科研及工程实践工作。在这 30 年间，IC 技术的发展日新月异，从方方面面改变和优化着社会产业架构。自行设计专用电路，尤其是数字集成电路已经成为了学术界和工业界的一致需求。作为教师和设计人员，我们在备感欣慰与自豪的同时，也愈发觉得肩上责任之重：很有必要将现有的工程实践结合理论基础系统地总结出来，以引导和启发更多有潜力和有热情的年轻人参与到混合信号集成电路的设计中来。这正是我们编写本书的初衷。

无理论基础会造成内里空虚，而缺乏实践则是纸上谈兵。集成电路设计是一门涉及多项学科的实践性技术，在掌握扎实的电路电子学、微电子学、系统知识、计算机语言的同时，辅以大量具体设计实例练习和上机验证，才能真正学到设计商品 IC 而非样品 IC 的技术精华。因此，本书中给出了大量翔实的电路实例，这些设计实例均来自作者科研团队近年来的科研项目和探索项目。通过这些项目实例，我们希望能够系统化、理论化和合理化地介绍混合信号专用集成电路设计技术及设计流程。

我们团队先后设计了通信 SDH 芯片、CMOS、Sensor、小数分频器、照相机专用 IC、摄像机专用 IC、清纱机专用 IC；电源管理与电池管理系列 IC，如 LDO、DC - DC、AC - DC、DC - AC、Charge、Battery Management、Charge Pump、Class AB 和 Class D 音频处理芯片；IED Driver、LED Control；Light Sensor 光传感芯片、红外接收 IC、光电耦合 IC；G-Sensor 和各类专用接口电路等，涵盖了 Bipolar、CMOS、BiCMOS、CDMOS、BCD、GeSi 等工艺，工作电压从 1 V 到 700 V，以上这些工作基本都是数模混合专用集成电路设计。正是这些 IC 设计工程实例为本书的撰写奠定了基础。

在教学和科研方面，我们培养了集成电路设计方向博士研究生 30 多名，硕士研究生 500 多名；申报国内外发明专利 110 余项，发表 SCI/EI 检索文章超

过 180 篇。

我们依次走过从学术到工程实践，再到学术研究，再到工程和学术并举的道路；也依次走过纯数字、纯模拟、模拟为主数字为辅和数字为主模拟为辅的专用集成电路设计之路；我们同时也依次承载了集成电路性能越来越高、功耗越来越低、芯片面积越来越小、线条越来越细、规模越来越大的巨大压力；承受了集成电路设计周期从 1~2 年压缩至 1 个月，甚至一周的极限挑战；见证了服务器数据从 100 MB 到 10 TB 的发展。这一路走来我们方知什么是百炼钢化绕指柔。

在科研与教学的同时，我们团队先后已出版了五本专用集成电路方面的系列书籍，均受到了广大读者的认同。这五本书依次为：软件与 CAD 方面的《电子系统及专用集成电路 CAD 技术》，系统集成基础方面的《电子系统集成设计导论》，系统集成设计方面的《电子系统集成设计技术》，模拟电路集成基础方面的《专用集成电路设计基础教程》，模拟电路集成实践方面的《专用集成电路设计实践》。本书是第六本，主要介绍混合信号(数模混合)集成电路设计，偏重实践和实用性，理论与实践结合，不仅可用做研究生教材，也可供工程技术人员学习、参考。其内容讲解浅显易懂、循序渐进，但由于篇幅所限，书中对很多大型电路的工程实践步骤做了相应删减，阅读起来稍感跨越较大。

本书的编写过程中，来新泉教授规划了基本框架和主要内容，提供了全书的科研素材及工程设计实例。来新泉教授、王松林教授、叶强、史凌峰、李先锐、邵丽丽等老师参与了全书的编写。李祖贺、姚土生、侯晴、王学德、孔德立、刘宁、李敬华、陈建龙、申瑞和郭希训等参与了书稿的录入、插图的绘制和校对工作。在此对同事们的大力协助与支持表示感谢。

限于编者水平，书中难免有不妥和疏漏之处，敬请广大读者批评赐教。来信请寄西安电子科技大学电路 CAD 研究所 376 信箱(邮编 710071)，或通过以下邮箱或网址联系我们：

王松林：slwang@mail.xidian.edu.cn

来新泉：xqlai@mail.xidian.edu.cn

网 址：<http://see.xidian.edu.cn/iecad>

来新泉

2013 年 12 月

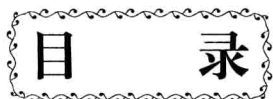
内 容 简 介

本书系统地介绍了混合信号集成电路的基本知识和设计方法，重点是数字集成电路、音频集成电路和光电传感器芯片设计，兼顾了基础理论和实践，工程举例都是作者最新科研成果和集成电路投片(Tape out)结果。

全书共分十章，分别为：概述；集成电路的基本制造工艺，包括双极、CMOS、BiCMOS和BCD工艺；数字集成电路后端设计，包括逻辑综合、版图设计、形式验证、静态时序分析、DRC原理验证和LVS原理；数字I/O接口设计，包括状态机、I²C接口、UART接口和SPI接口；音频处理器芯片的数字系统设计；一款兼容MCS-51指令的8位微控制器设计；GPIB控制芯片设计；光传感芯片系统的设计；数字集成电路软件的使用，包括ModelSim、Quartus II、DC、PrimeTime和Encounter；集成电路设计实例。

本书可作为高等院校电子信息及微电子技术等专业研究生的教材，也可作为高年级本科生学习数字集成电路设计的教材。对数字集成电路设计领域的工程技术人员来说，本书更是一本非常有益的参考书。

本书若与西安电子科技大学出版社前期出版的《专用集成电路设计实践》配套使用，效果更好。



目 录

第一章 概述	(1)
1.1 集成电路的发展过程	(1)
1.1.1 重大的技术突破	(1)
1.1.2 集成电路的分类	(2)
1.1.3 集成电路的发展历史	(3)
1.1.4 集成电路发展展望	(4)
1.1.5 发展重点和关键技术	(5)
1.2 专用集成电路的发展过程	(8)
1.2.1 专用集成电路的概念及发展概况	(8)
1.2.2 专用集成电路的分类	(9)
1.2.3 专用集成电路的优点	(10)
1.3 IP 技术概述	(11)
1.4 集成电路的设计方法与设计流程	(13)
1.4.1 CAD 技术发展的必然趋势——EDA	(13)
1.4.2 数字系统设计方法的发展	(14)
1.4.3 数字集成电路层次化设计方法	(14)
1.4.4 数字系统设计规划	(15)
1.4.5 数字集成电路设计流程	(16)
第二章 集成电路的基本制造工艺	(18)
2.1 集成电路的基本制造工艺概述	(19)
2.2 双极工艺	(21)
2.3 CMOS 工艺	(26)
2.4 BiCMOS 工艺	(31)
2.4.1 以 CMOS 工艺为基础的 BiCMOS 工艺	(32)

2.4.2 以双极工艺为基础的 BiCMOS 工艺	(33)
2.5 BCD 工艺的发展趋势	(35)
第三章 数字集成电路后端设计	(37)
3.1 逻辑综合	(38)
3.1.1 逻辑综合概述	(38)
3.1.2 综合库的说明	(40)
3.1.3 约束的设定	(41)
3.1.4 综合策略	(44)
3.2 版图设计	(45)
3.2.1 版图设计文件准备	(47)
3.2.2 布局规划	(49)
3.2.3 时钟信号和时钟树的综合	(52)
3.2.4 布线	(55)
3.2.5 布局布线出现的问题及解决方法	(55)
3.3 形式验证的基本原理	(56)
3.4 静态时序分析基本原理	(58)
3.5 DRC 原理验证	(62)
3.6 LVS 原理	(64)
第四章 数字 I/O 接口设计	(66)
4.1 状态机描述	(67)
4.1.1 状态机基本设计步骤	(68)
4.1.2 状态图	(68)
4.1.3 时序图	(70)
4.1.4 状态机描述方法	(71)
4.2 I ² C 接口设计	(73)
4.2.1 I ² C 接口总线概述	(73)
4.2.2 I ² C 接口总体框图和信号描述	(76)
4.2.3 起始和停止信号的产生	(78)
4.2.4 I ² C 接口的状态机描述	(80)
4.2.5 I ² C 接口的动态模拟仿真	(82)
4.3 UART 接口设计	(86)
4.3.1 UART 接口工作方式概述	(86)

4.3.2	UART 接口发送机	(88)
4.3.3	UART 接口接收机	(91)
4.4	SPI 接口介绍	(97)
4.4.1	SPI 接口总线概述	(97)
4.4.2	SPI 接口工作模式与协议	(100)
4.5	三种接口芯片的特点	(102)
第五章	音频处理器芯片的数字系统设计	(103)
5.1	数字音频处理器简介	(103)
5.2	数字音频处理关键技术研究	(104)
5.2.1	音频信号数字化过程	(104)
5.2.2	音效均衡器的设计	(107)
5.2.3	动态范围控制器的设计	(111)
5.2.4	去加重模块的设计	(119)
5.2.5	直流滤波器的设计	(119)
5.2.6	采样率转换技术	(120)
5.2.7	sigma-delta 调制技术	(126)
5.3	系统整体功能仿真	(130)
5.3.1	Modelsim 与 MATLAB 联合仿真方法	(130)
5.3.2	系统功能仿真	(133)
5.4	系统后端设计	(139)
5.4.1	逻辑综合	(139)
5.4.2	版图设计	(146)
5.4.3	功能验证	(149)
5.4.4	物理验证	(151)
第六章	一款兼容 MCS-51 指令的 8 位微控制器设计	(154)
6.1	微控制器概述	(154)
6.1.1	微控制器的发展历史	(154)
6.1.2	微控制器的应用	(155)
6.1.3	微控制器的发展趋势	(156)
6.2	微控制器的结构及其指令说明	(156)
6.2.1	微控制器的构架	(157)
6.2.2	微控制器的结构	(158)

6.2.3	并行输入/输出端口	(167)
6.2.4	存储器系统	(169)
6.3	MCS-51 指令系统	(172)
6.3.1	汇编器	(173)
6.3.2	MCS-51 指令	(173)
6.4	微控制器的模块规划及其设计实现	(175)
6.4.1	微控制器模块的规划	(175)
6.4.2	微控制器模块的设计	(179)
第七章	GPIB 控制芯片设计	(195)
7.1	GPIB 接口系统概述	(195)
7.1.1	GPIB 接口系统的发展背景及意义	(195)
7.1.2	用 CPLD 实现 GPIB 控制芯片的意义	(196)
7.1.3	GPIB 控制芯片设计的总体思路	(197)
7.2	GPIB 总线技术特点及状态机实现	(198)
7.2.1	IEEE-488 总线协议介绍	(198)
7.2.2	接口功能与设备功能	(199)
7.2.3	接口功能的设计	(201)
7.2.4	GPIB 总线系统中的信息	(201)
7.2.5	状态机设计	(202)
7.3	GPIB 控制芯片内部寄存器的设置	(212)
7.3.1	GPIB 控制芯片内部寄存器概述	(212)
7.3.2	GPIB 控制芯片的组织结构与系统级仿真	(218)
7.3.3	总体功能仿真与调试	(219)
7.3.4	GPIB 控制芯片的 FPGA 原型验证	(222)
7.4	GPIB 控制芯片的低功耗与可测性设计	(224)
7.4.1	数字 IC 的低功耗设计方法	(224)
7.4.2	数字 IC 的可测性设计	(230)
7.5	本系统的后端设计	(234)
7.5.1	电路的综合	(234)
7.5.2	静态时序分析	(235)
7.5.3	自动布局布线	(241)
第八章	光传感芯片系统的设计	(246)

8.1	光电传感器设计考虑因素	(246)
8.2	光电转换	(247)
8.2.1	光电转换器件的常用参数	(247)
8.2.2	光电二极管	(250)
8.3	电信号的放大与处理	(252)
8.3.1	A/D 转换器原理	(252)
8.3.2	A/D 转换器主要性能指标	(253)
8.3.3	主要 A/D 转换技术	(254)
8.4	光传感芯片系统概述	(259)
8.5	光传感芯片系统框图及模块划分	(259)
8.6	光传感器模拟部分的设计	(262)
8.6.1	I ² C 接口模块	(262)
8.6.2	带隙基准电压源	(264)
8.6.3	基准电流	(269)
8.6.4	红外 LED 驱动模块	(271)
8.6.5	光电检测模块	(273)
8.6.6	模数转换与噪声消除	(275)
8.7	光传感芯片数字部分的设计	(280)
8.7.1	数字部分功能描述	(280)
8.7.2	前端设计	(281)
8.8	数字部分的仿真验证	(288)
8.8.1	功能仿真	(288)
8.8.2	时序仿真	(291)
8.8.3	FPGA 验证	(292)
8.8.4	静态时序分析验证	(293)
8.8.5	形式验证	(294)
第九章	数字集成电路软件的使用	(296)
9.1	仿真软件 ModelSim 的使用方法	(296)
9.2	用 Quartus II 软件完成 FPGA 验证方法	(298)
9.3	DC 综合原理及 DC 软件使用方法	(302)
9.3.1	DC 综合原理简介	(302)
9.3.2	DC 软件使用方法	(304)

9.4 静态时序分析与 PrimeTime 软件使用方法	(307)
9.4.1 静态时序分析	(307)
9.4.2 用 PrimeTime 进行静态时序分析	(308)
9.5 形式验证	(312)
9.6 Encounter 布局布线流程	(319)
第十章 集成电路设计实例	(325)
10.1 TFT-LCD 面板驱动芯片相关实例	(325)
10.1.1 应用背景	(325)
10.1.2 电路优点	(327)
10.1.3 电路机构及工作原理	(327)
10.2 电子镇流器相关实例	(333)
10.2.1 应用背景	(333)
10.2.2 电路优点	(334)
10.2.3 电路结构及工作原理	(334)
10.3 线性充电器相关实例	(338)
10.3.1 应用背景	(339)
10.3.2 电路优点	(340)
10.3.3 电路结构及工作原理	(340)
参考文献	(343)

第一章 概 述

1.1 集成电路的发展过程

1.1.1 重大的技术突破

近 100 年来,在微电子技术的发展历程中实现了几次重大的技术突破,这些突破加快了微电子技术的发展速度。

1. 从真空到固体

20 世纪初(1905 年)世界上第一个真空电子管的发明,标志着人类社会进入了电子化时代,电子技术实现了第一次重大的技术突破。这是通过控制电子在真空中的运动规律和特性而产生的技术成果。从此产生了无线电通信、雷达、导航、广播、电视和各种真空管电子仪器及系统。第二次世界大战后,人们发现真空管存在许多问题,如仪器设备的体积大、重量大、耗电大、可靠性和寿命受限制等。因此,研究新型电子管的迫切需求被提了出来。正是在这种情况下,1946 年 1 月,基于多年利用量子力学对固体性质和晶体探测器的研究以及对纯净晶体生长和掺杂技术的掌握,贝尔(Bell)实验室正式成立了固体物理研究小组和冶金研究小组,其中固体物理小组由肖克莱(W. Schokley)领导,成员包括理论物理学家巴丁(J. Bardeen)和实验物理学家布拉顿(W. H. Bratain)等人。该研究小组的主要工作是组织固体物理研究项目,“寻找物理和化学方法控制构成固体的原子和电子的排列及行为,以产生新的有用的性质”。在系统的研究过程中,肖克莱发展了威尔逊的工作,预言通过场效应可以实现放大器;巴丁成功地提出了表面态理论,开辟了新的研究思路,兼之他对电子运动规律的不断探索,经过无数次实验,第一个点接触型晶体管终于在 1947 年 12 月诞生。一个月后被誉为电子时代先驱的科学家肖克莱发表了晶体管的理论基础——PN 理论。此后,结型晶体管研制成功,晶体管进入实用阶段。晶体管的发明为微电子技术揭开了序幕。为表彰三位科学家的重大贡献,他们共同获得 1956 年的诺贝尔物理学奖。

2. 从锗到硅

晶体管发展初期是利用锗单晶材料进行研制的。实验发现,用锗单晶制作的晶体管漏电流大,工作电压低,表面性能不稳定,随温度的升高性能下降,可靠性和寿命不佳。科学家通过大量的实验分析,发现半导体硅比锗有更多的优点。在锗晶体管中所表现出来的缺

点,利用硅单晶材料将会产生不同程度的改进,硅晶体管的性能有了很大的提高。特别是硅表面可以形成稳定性好、结构致密、电学性能好的二氧化硅保护层,这不仅使硅晶体管比锗晶体管更加稳定,性能更加优越,而且更重要的是在技术上也大大前进了一步,即发明了晶体管平面工艺,为20世纪50年代末集成电路的问世准备了可靠的基础,这是微电子技术的第二次重大的技术突破。

3. 从小规模到大规模

微电子技术发展过程中最令人惊奇的是从1958年到1987年近30年间集成电路的集成度从10多个元件的数量提高到10万个元件,这是微电子技术的第三次重大的技术突破。

4. 从成群电子到单个电子

美国电话电报公司的贝尔实验室于1988年成功研制出隧道三极管。这种新型电子器件的基本原理是在两个半导体之间形成一层很薄的绝缘体,其厚度在1~10 nm之间,此时电子会有一定的概率穿越绝缘层。这就是量子隧道效应。由于巧妙地利用了量子隧道效应,所以器件的尺寸比当时的集成电路小得多(约为1/100),而运算速度提高了1000~10 000倍,功率损耗只有传统晶体管的1/1000~1/10 000。显然,体积小、速度快、功耗低的崭新器件,对超越集成电路的物理限制具有重要的意义,是微电子技术的第四次重大技术突破。随着研究工作的深入发展,近年已成功研制出单电子晶体管,只要控制单个电子就可以完成特定的功能。

1.1.2 集成电路的分类

集成电路(Integrated Circuit, IC)是指通过一系列特定的加工工艺,将多个晶体管、二极管等有源器件和电阻、电容等无源器件,按照一定的电路连接集成在一块半导体单晶片(如硅或GaAs等)或陶瓷等基片上,作为一个不可分割的整体执行某一特定功能的电路组件。

根据集成电路中有源器件的结构类型和工艺技术可以将集成电路分为三类,它们分别为双极型、MOS型和双极-MOS混合型(即BiCMOS)集成电路。

1. 双极型集成电路

这种结构的集成电路是半导体集成电路中最早出现的电路形式,1958年制造出的世界上第一块集成电路就是双极型集成电路。这种电路采用的有源器件是双极型晶体管,这正是取名为双极型集成电路的原因。双极型晶体管则是由于它的工作机制依赖于电子和空穴两种类型的载流子而得名。在双极型集成电路中,又可以根据双极型晶体管的类型不同而将它细分为NPN和PNP型双极型集成电路。

双极型集成电路的优点是速度高,驱动能力强;缺点是功耗较大,集成度相对较低。

2. 金属-氧化物-半导体(MOS)集成电路

这种电路中所用的晶体管为MOS晶体管,故取名为MOS集成电路。MOS晶体管是由金属-氧化物-半导体结构组成的场效应晶体管,它主要靠半导体表面电场感应产生的导

电沟道工作。在 MOS 晶体管中,起主导作用的只有一种载流子(电子或空穴),因此有时为了与双极型晶体管对应,也称它为单极型晶体管。根据 MOS 晶体管类型的不同, MOS 集成电路又可以分为 NMOS、PMOS 和 CMOS(互补 MOS)集成电路。

与双极型集成电路相比, MOS 集成电路的主要优点是:输入阻抗高,抗干扰能力强,功耗小(约为双极型集成电路的 $1/10 \sim 1/100$),集成度高(适合于大规模集成)。因此,进入超大规模集成电路时代以后, MOS,特别是 CMOS 集成电路已经成为集成电路的主流。

3. 双极-MOS(BiCMOS)集成电路

同时包括双极和 MOS 晶体管的集成电路被称为 BiCMOS 集成电路。根据前面的分析,双极型集成电路具有速度快、驱动能力强等优势, MOS 集成电路则具有功耗低、抗干扰能力强、集成度高等优势。BiCMOS 集成电路则综合了双极型和 MOS 器件两者的优点,但这种电路具有制作工艺复杂的缺点。同时,随着 CMOS 集成电路中器件特征尺寸的减小, CMOS 集成电路的速度越来越高,已经接近双极型集成电路,因此,目前集成电路的主流技术仍然是 CMOS 技术。

1.1.3 集成电路的发展历史

晶体管发明以后不到 5 年,即 1952 年 5 月,英国皇家研究所的达默(G. W. A. Dummer)就在美国工程师协会举办的座谈会上发表的论文中第一次提出了集成电路的设想。文中说到:“可以想象,随着晶体管和半导体工业的发展,电子设备可以在一个固体块上实现,而不需要外部的连接线。这块电路将由绝缘层、导体和具有整流放大作用的半导体等材料组成。”之后,经过几年的实践和工艺水平的提高,1958 年以德克萨斯仪器公司的科学家基尔比(C. Kilby)为首的研究小组研制出了世界上第一块集成电路,并于 1959 年公布了该结果。该集成电路是在锗衬底上制作的相移振荡和触发器,共有 12 个器件;器件之间的隔离采用的是介质隔离,即将制作器件的区域用黑蜡保护起来,之后通过在每个器件周围腐蚀出沟槽,形成多个互不连通的“小岛”,在每个“小岛”上制作一个晶体管;器件之间互连采用的是引线焊接方法。

集成电路与由分立元器件组成的电路相比较,有体积小、重量轻、功耗低、速度快、可靠性强和成本低等优点,即性能价格比大幅度提高,因而引起学术界和工业界的极大兴趣和关注。从此,逐步形成新兴工业技术,成为整个电子工业技术的重要组成部分。微电子技术作为现代高新技术的重要支柱,经历了若干发展阶段。20 世纪 50 年代末发展起来的小规模集成电路(SSI),集成度在 100 个元器件;60 年代发展了中规模集成电路(MSI),集成度在 1000 个元器件;70 年代又发展了大规模集成电路(LSI),集成度大于 1000 个元器件;紧接着 70 年代末进一步发展了超大规模集成电路(VLSI),集成度在 10^5 个元器件以上;80 年代更进一步发展了特大规模集成电路(ULSI),集成度又比 VLSI 提高了两个数量级,达到 10^7 个元器件以上。随着集成电路集成度的提高,版图设计的线宽不断减小。1985

年, 1 兆位特大集成电路的集成度达到 200 万个元器件, 要求线宽为 $1\ \mu\text{m}$; 1992 年, 16 兆位芯片的集成度达到 3200 万个元器件, 线宽减到 $0.5\ \mu\text{m}$, 即 $500\ \text{nm}$; 1995 年, 64 兆位的集成电路, 其线宽已达 $0.3\ \mu\text{m}$, 即 $300\ \text{nm}$; 1998 年, 256 兆位集成电路的线宽为 $0.25\ \mu\text{m}$, 即 $250\ \text{nm}$ 。进入 21 世纪, 集成电路的性能更加优越, 其线宽更细, 集成度更大, 在计算机记忆芯片上可集成数十亿个晶体管。

目前, 不同国家划分集成电路规模采用的标准并不一致, 表 1-1 给出的是通常采用的标准。

表 1-1 集成电路规模的划分标准

类别(以规模分)	数字集成电路(晶体管个数)		模拟集成电路 (晶体管个数)
	MOS IC	双极 IC	
SSI	<100	<100	<30
MSI	$10^2 \sim 10^4$	$100 \sim 500$	$30 \sim 100$
LSI	$10^3 \sim 10^5$	$500 \sim 2000$	$100 \sim 300$
VLSI	$10^5 \sim 10^7$	>2000	>300
ULSI	$10^7 \sim 10^9$	—	—
GSI	$>10^9$	—	—

1.1.4 集成电路发展展望

2000 年以来, 在国务院[2000]18 号文件精神的鼓舞下, 我国半导体产业坚持“以 IC 设计业为突破口, 以芯片制造业为主体”的战略方针, 抓住世界产业转移的机遇, 迎难而上, 取得了举世瞩目的成绩。中国内地正在成为全球半导体产业发展最快的地区之一。

IC 设计开发应面向四个方面: 首先是移动通信市场, 包括 2.5G 和 3G 芯片等; 其次是数字和平板高清电视市场以及信息家电; 第三是功率电子市场; 还有信息安全系统方面的应用。新一代的电子设备采用越来越多的半导体, 以便能提供更多的特色应用功能, 支持消费类电子产品的数字化, 并符合世界各地的节能新规范。

微电子技术是目前蓬勃发展的高新技术之一。作为信息技术的基础, 它推动着计算机、通信和消费电子产品的不断更新换代。在过去几十年中, 以半导体为代表的电子科学技术的蓬勃发展将世界带进了信息时代, 彻底改变了人类的生活方式和思维模式。

人类带着信息时代的特征跨入 21 世纪, 在强劲的市场推动下, 特大规模集成电路(ULSI)技术的发展一直遵循着“摩尔定律”, 即每个芯片上集成的元件数每 18 个月提高一倍。硅基 CMOS IC 的特征线宽已达到 $0.13\ \mu\text{m}$, 并向 $0.1\ \mu\text{m}$ 和亚 $0.1\ \mu\text{m}$ 推进, 即所谓深亚微米和超深亚微米芯片, 批量生产时采用的晶圆片直径也已达 $305\ \text{mm}$ 。

为满足高速移动通信、宽带数据传输的需求和信息家电、多媒体系统智能处理的需