



全國高科技重點圖書·微電子技術領域

集成電路大全

存储器集成电路

國防工業出版社

R73 711.072
140

中国集成电路大全

存储器集成电路

《中国集成电路大全》编委会 编



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

中国集成电路大全:存储器集成电路/《中国集成电路大全》编委会编. —北京:国防工业出版社,1995.9
ISBN 7-118-01403-6

I. 存… II. 中… III. 半导体存储器 IV. TP333.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 15260 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)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 41¼ 950 千字
1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月北京第 1 次印刷
印数:1—5000 册 定价:53.40 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

0100159

《全国高技术重点图书》出版指导委员会

主 任 朱丽兰

副主任 刘 杲 卢鸣谷

委 员 (以姓氏笔划为序)

王大中	王为珍	王守武	牛田佳	卢鸣谷
叶培大	刘 仁	刘 杲	朱丽兰	孙宝寅
师昌绪	任新民	杨牧之	杨嘉墀	陈芳允
陈能宽	张钰珍	张效详	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	赵忠贤	顾孝诚	谈德颜	龚 刚
梁祥丰				

总干事 罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书·微电子技术领域》

编审委员会

主 任 王守武

委 员 (以姓氏笔划为序)

王阳元 王守觉 李志坚 林兰英 龚兰芳

《中国集成电路大全》丛书编委会

(九—十六分册)

主 编

赵保经

常务编委

(以姓氏笔划为序)

王晓光 吴征明 郑敏政

编委会成员

(以姓氏笔划为序)

王先春	王朔中	王晓光	朱家维
陈 瑜	吴征明	张建人	郑敏政
周祖成	赵保经	高葆新	徐葭生

《存储器集成电路》分册

主 编

徐葭生

编 者

王五祥 郭志先 周润德 岳振五

序 言

从本世纪 50 年代末开始,经历了半个多世纪发展历史的无线电电子学正在酝酿着一场新的革命。这场革命掀起的缘由是微电子学和微电子技术的兴起,而这场革命的旋涡中心则是集成电路和以其为基础的微型计算机。

集成电路的问世,开辟了电子技术发展的新天地,而其后大规模和超大规模集成电路的出现,则迎来了世界新技术革命的曙光。由于集成电路的兴起和发展,创造了在一块小指甲般大小的硅片上集中数千万个晶体管的奇迹;使过去占住整幢大楼的复杂电子设备缩小到能放入人们的口袋中,从而为人类社会迈向电子化、自动化、智能化和信息化奠定了最重要的物质基础。无怪乎有人将集成电路和微电子技术的兴起看成是跟火和蒸汽机的发明具有同等重要意义的大事。

我国的集成电路已经历了 20 多年的应用和生产实践。鉴于国内的迫切需求,早在 1981 年 6 月,经当时的电子工业部领导同意,中国电子器件工业总公司组织了《中国集成电路大全》的编写工作,并组成《中国集成电路大全》(以下简称《大全》)前八分册编写委员会,其后由国防工业出版社陆续出版了近 800 万字的《大全》下述八个分册:

TTL 集成电路。

集成运算放大器;

CMOS 集成电路;

接口集成电路;

ECL 集成电路;

集成稳压器与非线性模拟集成电路;

微型计算机集成电路;

HTL 集成电路。

《大全》前八分册的出版,受到了广大读者的欢迎并得到国内外的好评,以致在短时期内各分册多次重印。与此同时,不少读者也对《大全》今后的编写出版工作提出了宝贵建议,并寄予新的期望。

为适应我国集成电路生产和应用的新形势,满足读者的要求,我们一方面将加快《大全》后续诸分册的编写工作,另一方面还将对《大全》后续诸分册增加有关内容并扩大选材范围,特别是在重点反映和阐述国产集成电路的基础上,增加一些国内现已广泛采用或行将推广应用的国际集成电路通用系列产品及其应用实例,以及有关微电子应用技术的內容。

为了搞好《大全》后续各分册的编写工作,在机电部微电子与基础产品司的指导与支持下,在中国电子器件公司的支持与协助下我们组成了新的编委会。今后,该编委会将根据实际需要与可能,在编写《集成电路封装》分册之后,继续组织编写《可编程序控制器》、

《高速 CMOS 集成电路》等分册,陆续向读者介绍集成电路新品种、新应用。

《大全》后续诸分册仍将保留前八分册的特点,即本《大全》既不同于集成电路产品手册,又有别于一般的教科书,它是紧紧围绕具体产品来阐明原理的。除了比较系统地介绍各类集成电路的系列品种、型号命名和特性外,还分门别类地简明阐述电路的功能特点、作用原理、典型应用和标准测试方法,力图将集成电路的特性、原理与应用三者结合起来,这样,读者阅后就可留下一个比较完整而清晰的概念,从而在实际应用集成电路时能举一反三,触类旁通。

在《大全》的编写工作中,我们遵循如下指导思想:资料丰富实用;内容简明扼要;格式便查易读。我们热切希望各有关单位、专家和广大读者继续为《大全》的进一步完善提出意见和建议。

在此,谨向积极支持或协助本书编写出版工作的众多单位(诸如中国华晶电子集团公司等)和有关人士致以敬意!向热情关心《大全》并积极提出建议的广大读者表示感谢!

《中国集成电路大全》编委会

《存储器集成电路》编写说明

本书是《中国集成电路大全》中的一个重要分册。其原因在于,一方面,半导体存储器在整个集成电路家族中产量最大、使用面最广;另一方面,它代表着当代最先进的集成电路工艺技术和最高集成度。

半导体存储器的应用和需求的高速增长推动了半导体集成电路工艺技术的发展,使单片的集成容量不断增加,速度不断提高,从而带动了整个集成电路家族的飞速发展。

与此同时,半导体存储器的新品种也不断涌现。不但有大家熟知的随机存取存储器(RAM)、掩膜编程只读存储器(ROM)和串行移位寄存器(S. R.),而且还有其他多种可编程的只读存储器、PROM、EPROM、E²PROM 以及新型的快闪存储器(Flash ROM)。在RAM 的基础上发展起来按内容寻址的存储器 CAM 及专用于显示器的 Vedio—RAM 等。最近又发展起来一种用铁电薄膜及金属—氧化物—半导体器件结合起来的新型铁电随机存取存储器(FRAM)。

本书全面介绍各种半导体存储器的基本结构、工作原理、系列品种、功能、特性、测试和使用方法。读者从中可了解各种存储器的内部结构及工作方式,知道应如何正确挑选产品、如何检测、如何应用存储器于不同的工程系统或整机之中。

全书共分四个部分,要点如下:

第一部分介绍各种存储器的几何物理构成和电学工作原理,并在各种存储器中选用一个典型产品为例,详细说明它们的单元结构、单元阵列、外围电路的形式和工作原理以及产品的参量指标;同时还介绍半导体存储器技术的新发展和新品种。

第二部分系统阐述国际上各类主流存储器系列产品的性能和特点及其生产厂家(主要有美国、日本和南朝鲜的几家最著名的集成电路公司等),其中以用量最大的 DRAM 为主,同时包括 SRAM、EPROM、专用 RAM 等,可供读者参考选用。

第三部分讲述存储系统的组织,即如何用存储芯片构造容量更大、速度亦能满足指标的存储器子系统。在讲述了存储器的分类、性能指标、存储芯片的逻辑特点及其使用方法之后,着重介绍了典型的存储系统:ROM、PROM、SRAM 和 DRAM 子系统,并分别给出了实例。为适应越来越高的容量和速度要求以及在多机系统中的应用,本部分还较详细地介绍了并行存储器系统。最后是存储器的可靠性措施——检错和纠错,以及存储器工程设计的要点。

第四部分介绍半导体存储器的测试技术。在详细分析 RAM 失效机理的基础上,介绍 RAM、ROM 的静态参数、动态参数和功能测试的原理和方法,以及对超大规模 RAM 的测试策略。另外,本部分还详细说明半导体存储器测试设备的硬件和软件构成。

本书的主要特点是内容全面、新颖。纵向看,从器件原理、合理选择、组成系统,一直到存储器在数字系统中的应用实例;横向看,几乎包括现有的各种实用半导体存储器品种。

全书由清华大学徐葭生教授主编,清华大学微电子研究所和中国科学院计算所的五位专家共同编写。具体划分是:第一部分,徐葭生编写;第二部分,周润德和岳振五编写;第三部分,王玉祥编写;第四部分,郭志先编写。

书中不妥之处,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第一部分 存储器分类及原理

第一章 动态随机存储器	
1.1 概述	(2)
1.2 单元电路	(3)
1.3 总体结构	(6)
1.4 一种CMOS DRAM 电路实例	(10)
1.5 性能指标	(16)
参考文献	(20)
第二章 静态随机存储器	
2.1 概述	(21)
2.2 单元电路	(22)
2.3 总体结构	(28)
2.4 读写过程和性能指标	(32)
2.5 几种新技术	(35)
一、地址变化探测	(35)
二、自刷新	(36)
三、字线分割技术	(37)
四、片内电压转换技术	(38)
参考文献	(40)
第三章 只读存储器	
3.1 概述	(41)
3.2 掩膜 ROM	(42)
一、单元电路	(42)
二、总体结构	(43)
三、主要电路形式	(43)
四、性能指标	(47)
五、应用举例	(49)
3.3 可编程只读存储器	(54)
一、单元电路	(54)
二、总体结构	(55)
三、性能指标	(55)
3.4 可擦除的可编程只读存储器	(57)
一、单元电路	(57)
二、总体结构	(59)
三、性能指标	(62)
3.5 电可擦可编程只读存储器	(63)
一、单元电路	(63)
二、单元阵列和工作方式	(65)
三、总体结构	(67)
四、性能指标	(72)
五、单5V 电源的E ² PROM	(73)
六、MNOS结构的E ² PROM	(79)
3.6 快闪存储器	(82)
一、单元结构	(82)
二、总体结构	(84)
参考文献	(88)
第四章 其他存储器和技术	
4.1 按内容寻址的存储器(CAM)	(89)
4.2 视频随机存储器(Video RAM)	(92)
4.3 移位寄存器(S. R.)	(97)
一、两相动态有比移位寄存器	(97)
二、两相动态无比移位寄存器	(98)
三、静态移位寄存器	(100)
四、单相时钟移位寄存器	(102)
五、串行存储器	(103)
4.4 铁电不挥发随机存取存储器 (FRAM)	(104)
一、铁电存储单元	(104)
二、存储器结构	(106)
4.5 冗余和容错技术	(108)
一、成品率与缺陷的关系	(108)
二、冗余技术	(108)
三、容错技术	(110)
参考文献	(114)

第二部分 存储器系列介绍

第五章 动态存储器

- 5.1 通用动态存储器 (116)
 - 一、动态存储器的数据存取方式 (116)
 - 二、动态存储器的刷新方式 (120)
 - 三、动态存储器的软错和硬错失效 (123)
 - 四、动态存储器系统设计中的几个问题 (124)
 - 五、动态存储器产品举例 (125)
- 5.2 准静态随机存储器 (136)
 - 一、准静态存储器的读和写操作 (136)
 - 二、准静态存储器的刷新 (137)
 - 三、准静态存储器产品举例 (140)
 - 四、准静态存储器的应用举例 (147)
- 5.3 视频随机存储器 (148)
- 5.4 动态存储器系列品种及特性
 - 汇总 (151)

第六章 静态存储器

- 6.1 通用静态存储器 (165)
- 6.2 高速缓存器(CACHE) (171)
 - 一、高速缓存器的作用和分类 (171)
 - 二、用于Cache的静态存储器举例 (173)
- 6.3 同步静态存储器 (181)
 - 一、同步静态存储器的特点 (181)
 - 二、同步静态存储器产品举例 (184)
- 6.4 多口静态存储器 (190)
- 6.5 静态存储器系列品种及特性
 - 汇总 (199)

第七章 不挥发存储器

- 7.1 掩膜只读存储器 (246)
- 7.2 熔丝编程存储器 (249)
 - 一、肖特基 DEAP 工艺 PROM (250)
 - 二、肖特基 DEAP 工艺带输出寄存器 PROM (255)
- 7.3 电编程存储器 (264)
 - 一、富士通公司 MBM27C128 UV EPROM (264)
 - 二、富士通公司 MBM27C128P 一次性编程 EPROM (269)
- 7.4 电擦除电编程存储器 (269)
- 7.5 快闪存储器 (275)
 - 一、概述 (275)
 - 二、应用前景 (276)
 - 三、快闪存储器产品举例 (278)
- 7.6 不挥发存储器系列品种及特性汇总 (292)

第八章 特殊存储器

- 8.1 内容寻址存储器 (321)
- 8.2 先进先出存储器 (330)
 - 一、概述 (330)
 - 二、FIFO 产品举例 (332)
 - 三、其他先进先出存储器产品 (341)
- 8.3 Cache 地址标签比较器 (341)
- 8.4 特殊存储器系列品种及特性
 - 汇总 (351)

第三部分 半导体存储系统的组织

第九章 存储技术概述

- 9.1 半导体存储器的分类 (363)
 - 一、随机访问存储器 (363)
 - 二、只读存储器 (363)
 - 三、其他功能型存储器 (364)
- 9.2 存储器的性能指标 (365)
 - 一、存储容量 S (365)
 - 二、访问时间 t_A 和访问周期 t_M (365)
 - 三、存储器的频带宽度 B_m (366)

- 四、功耗、体积和组装密度 (366)
- 五、成本和价格 (366)
- 六、可靠性 (367)
- 七、信息的可保持性 (367)

第十章 存储芯片的逻辑结构及其使用方法

- 10.1 存储阵列结构及其编址原理 (369)
 - 一、一维编址的存储阵列 (370)

二、二维编址的存储阵列·····	(371)	二、基本工作方式·····	(434)
三、存储阵列的编址方法小结·····	(373)	三、编址和寻址方法·····	(435)
10.2 存储芯片的地址通路和数据通路·····	(374)	12.3 并行存储系统概述·····	(436)
一、地址通路·····	(374)	一、多体—单总线结构·····	(437)
二、数据输入/输出通路·····	(374)	二、多体—多总线结构·····	(438)
10.3 存储芯片对外接口·····	(375)	三、多体—单总线二维结构·····	(438)
一、地址码 (A)·····	(375)	四、单体—单总线二维结构·····	(438)
二、数据输入端 (D、I、DI 或 D_{in})·····	(375)	12.4 多体—单总线交叉访问存储器实例·····	(439)
三、数据输出端 (Q、O、QO 或 D_{out})·····	(375)	一、存储芯片和存储体结构·····	(440)
四、双向数据端 (DQ 或 IO)·····	(376)	二、存控结构及原理·····	(440)
五、片选(择) ($\overline{CS}$ 或 $\overline{S}$)·····	(376)	三、存储控制器的工作流程·····	(448)
六、写使能信号 ($\overline{WE}$ 、 $\overline{W}$ 或 $R/\overline{W}$)·····	(378)	四、存储控制中的一些细节·····	(451)
七、片使能信号 ($\overline{CE}$ 或 $\overline{E}$)·····	(378)	12.5 多体—双总线并行存储系统·····	(452)
八、输出使能信号 ($\overline{OE}$ 或 $\overline{G}$)·····	(378)	一、总体特点·····	(452)
10.4 存储容量的扩充·····	(379)	二、最优先和次优先的两个入口排队器·····	(454)
一、位向扩展·····	(379)	三、总线和总线缓冲栈·····	(455)
二、字向扩展·····	(379)	四、页式存储和地址映像·····	(455)
三、双向扩展·····	(380)	五、缓冲寄存器 R_k 和访体/输出排队器·····	(457)
第十一章 基本结构存储器的组织		12.6 多处理机系统中的共享存储器·····	(460)
11.1 非挥发性存储器——只读存储器·····	(381)	一、共享存储器多处理机系统简介·····	(460)
一、非挥发性存储芯片的分类和选型·····	(381)	二、共享存储器的仲裁(排队)器·····	(461)
二、非挥发性存储器应用示例·····	(385)	三、交叉开关网络·····	(463)
三、微程序控制存储器·····	(389)	12.7 无冲突存储器及其地址变换·····	(466)
11.2 静态随机访问存储器·····	(405)	一、存储体的访问冲突·····	(466)
一、存储芯片的选择和存储阵列的结构·····	(405)	二、地址变换·····	(467)
二、地址和寻址逻辑·····	(406)	第十三章 存储器的检错和纠错	
三、数据通路·····	(410)	13.1 奇偶校验码·····	(474)
四、内部时钟系统·····	(410)	一、奇偶校验的概念和定义·····	(474)
五、存储器的总框图·····	(417)	二、奇偶校验的实现·····	(475)
11.3 动态随机访问存储器·····	(417)	13.2 编码理论·····	(478)
一、DRAM 的刷新·····	(418)	一、线性分组码及其一致校验矩阵——H 矩阵·····	(478)
二、IBM PC/XT 系统板 DRAM 的组织·····	(422)	二、汉明重量 W 和汉明距离 d·····	(480)
第十二章 并行存储器系统		三、最小距离译码法·····	(481)
12.1 前言·····	(432)	四、线性分组码的性质及纠错、检错能力·····	(482)
12.2 多体并行交叉访问存储器·····	(433)		
一、基本结构·····	(433)		

五、症状码 S 和错误模式向量 E	(483)	14.2 存储系统的交流噪声	(498)
13.3 常用的纠错码	(484)	一、线间串扰	(498)
一、汉明码	(485)	二、传输线的反射	(499)
二、奇权码	(488)	三、供电系统的噪声	(501)
三、带字节校验的纠 1 检 2 码简介	(493)	14.3 存储器工程特点及设计考虑	(504)
第十四章 存储器的工程设计		一、插件的划分	(504)
14.1 噪声、噪声容限和抗噪能力	(496)	二、存储板的供电环节	(504)
一、噪声	(496)	三、存储阵列的驱动	(507)
二、噪声容限	(496)	参考文献	(508)
三、交流噪声容限	(498)		

第四部分 半导体存储器测试技术

第十五章 半导体存储器件测试原理		16.4 存储芯片的动态参数测量	(568)
15.1 概述	(510)	一、动态参数体系	(568)
一、半导体存储器件的发展及其对测试技术的要求	(510)	二、测量动态参数的方法	(575)
二、测试分类及测试内容	(513)	三、刷新时间的测试方法	(580)
15.2 随机存取存储器件的工作原理	(516)	16.5 半导体只读存储器编程与测试	(586)
一、静态 RAM 的工作原理	(516)	一、半导体只读存储器结构特点及其现场编程	(586)
二、动态 RAM 的工作原理	(518)	二、只读存储器的测试	(593)
15.3 存储器件的故障模式	(521)	16.6 存储器件测试中的几个问题及测试策略	(596)
一、硬失效	(522)	一、存储芯片内部的拓扑排列	(596)
二、软失效	(525)	二、空周期与半周期	(600)
参考文献	(527)	三、测试系统总定时精度与产品合格率	(601)
第十六章 半导体存储器件的性能测试		四、测试环境	(602)
16.1 直流参数测量	(528)	五、测试时间危机及测试策略	(602)
一、直流参数体系	(528)	参考文献	(607)
二、直流参数测试方法	(529)	第十七章 集成电路测试系统	
16.2 半导体存储器件功能测试	(533)	17.1 集成电路测试系统概述	(608)
一、功能测试方法	(533)	一、集成电路测试系统的发展	(608)
二、功能检测的环境	(537)	二、集成电路测试系统与制造工艺技术的关系	(609)
16.3 算法生成测试图形	(539)	三、测试系统的分类	(609)
一、选址方法	(539)	17.2 数字集成电路测试系统的硬件结构	(611)
二、N 型算法测试图形	(540)	一、系统控制器	(613)
三、 N^2 型算法测试图形	(548)		
四、 $N^{3/2}$ 型算法测试图形	(555)		
五、 $N \log_2 N$ 型算法测试图形	(561)		
六、算法功能测试小结	(566)		

二、定时子系统.....	(614)	三、测试运行系统.....	(634)
三、功能子系统.....	(617)	四、应用调试程序.....	(636)
四、格式化子系统.....	(625)	五、应用分析系统.....	(636)
五、直流(DC)子系统	(627)	六、诊断工具软件包.....	(637)
六、测试台子系统.....	(629)	七、自校准工具软件包.....	(637)
17.3 集成电路测试系统的软件		八、仿真器.....	(639)
环境	(631)	九、扩充系统.....	(639)
一、操作系统.....	(631)	参考文献	(639)
二、测试语言环境.....	(633)		

存储器分类及原理

第一章 动态随机存储器

1.1 概 述

半导体动态随机存储器(DRAM)具有写入、读出数据和保持信息的功能,是当代超大规模集成电路(VLSI)和特大规模集成电路(ULSI)发展的焦点产品,主要原因有两点:

(1)产量和用量最大。尤其是随着计算机软件技术和运行速度的不断进步,要求它的内存容量不断增加。以个人计算机(PC)为例,在80年代初的IBM/XT的内存容量为640K字节,而目前一般的PC486要求配置16M字节以上的内存。容量增加了25倍。

(2)它是当代最先进工艺技术的代表。由于随机存储器的用量多,必然要求它的集成度高,否则整机难以小型化。此外,由于它是规则结构,每个存储单元的电路和版图都是完全重复一致的,比较容易设计,不像其他高集成度芯片设计那么麻烦和容易出错,因此它是作为先进工艺技术的开发先导产品。正是因为它应用了最先进的工艺技术,特别是最细的光刻线条,使半导体随机存储器达到最高的集成密度。

由于集成电路工艺技术的飞速进步,随机存储器的集成容量每二年约增加四倍。表1-1列出从1977年以来研制成的动态随机存储器的容量及工艺特征尺寸(最细线条)。

表 1-1 DRAM 的技术发展

年度(年)	77	79	81	83	85	87	89	91
容量(位)	4K	16K	64K	256K	1M	4M	16M	64M
最小线宽 (μm)	7	4	3	2	1.2	0.8	0.6	0.35

回顾一下半导体存储器的发展历史,它起始于60年代的中期,当时的计算机的存储器都是磁芯阵列板。由于磁芯板体积大、速度慢及安装困难等原因,就有人试图用半导体存储器来代替它们。第一个半导体存储器是双极型16位静态存储器,集成度太低,所以显示不出它的重要优点^[1]。

从70年代起MOSFET技术有了突破性的进展。由于MOS集成电路具有自隔离等优点,集成密度大大优于双极型电路,因此,采用MOS工艺制作半导体存储器成为主要的追求目标。初期的产品都是用PMOSFET制做。与此同时,美国IBM公司积极开发NMOS工艺技术。由于NMOS比PMOS快2至3倍,使用电源电压也较低(一般为5V),因此在70年代中期很快淘汰了PMOS存储器,代之以NMOS存储器。NMOS工艺延续了一段时间(约5至6年)后,80年代CMOS技术进入了成熟大发展阶段。它比NMOS存储器有维持功耗低、电路结构简单和可靠性好等优点,很快又淘汰了NMOS存储器。应该说CMOS随机存储器的维持时间比较长,至今它还是半导体存储器及其他品种的超大规模

2000/10/17