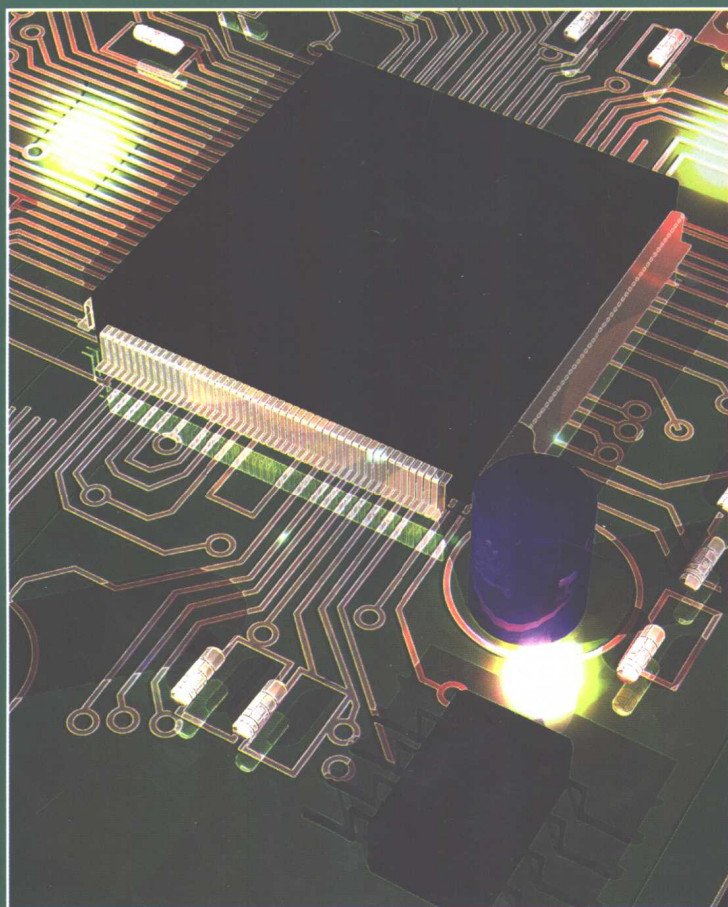


高等院校计算机与信息技术

应用新技术教材

微处理器（CPU）的结构与性能

易建勋 编著



清华大学出版社

高等院校计算机与信息技术应用新技术教材

微处理器(CPU)的 结构与性能

易建勋 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书全面地论述了整个 X86 系列 CPU 产品的结构与性能。书中以丰富的第一手资料和详细的图例,生动地说明了 CPU 的内部秘密与外部特性。书中讨论了 CPU 的发展历史和有关 CPU 的基本知识,并且以层次结构的观点,分层次讨论了 CPU 的工作原理、设计技术、系统结构、加工工艺和技术指标;对市场上的主流 CPU 产品,进行了系统结构分析和技术性能讨论;对 CPU 目前和今后发展的趋势,也进行了探讨。

本书适用于计算机工程、信息科学、电子工程等专业的学生、教师,对于 IT 行业的工程技术人员来说,也是一本很好的技术参考书籍;本书同样适用于那些希望了解 CPU 更多知识的读者。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

微处理器(CPU)的结构与性能/易建勋编著. —北京:清华大学出版社, 2003.9
(高等院校计算机与信息技术应用新技术教材)

ISBN 7-302-07131-4

I. 微… II. 易… III. 微处理器—结构性能—高等学校—教材 IV. TP360.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 073600 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社总机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 丁岭

文稿编辑: 闫红梅

封面设计: 付剑飞

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所\清华大学出版社出版发行

开 本: 185×260 印张: 27 字数: 668 千字

版 次: 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07131-4/TP·5214

印 数: 1~4000

定 价: 35.00 元

前 言

读者对象

本书适用于计算机工程、信息科学、电子工程等专业的学生、教师和 IT 行业的工程技术人员。它同样适用于那些希望了解 CPU 更多知识的读者。在内容上，它不仅涵盖了最早的 CPU 产品，还介绍了目前最为先进的安腾 CPU 产品。本书由浅入深地介绍了 CPU 各个方面的基础知识与设计技术，有助于了解它的基本结构与性能。

目标

在本书中，作者试图以层次结构的观念，对 CPU 的行为特性、工作过程、体系结构等进行详细的描述，并探讨 CPU 技术发展的最新成果。作者将尽可能清晰地、完整地介绍 CPU 的性能与特征。尽管 CPU 领域发展迅速，但是基本原理始终没有太大的改变。可以预见这些基本原理和技术在目前和今后还将继续发挥作用。

作者力图以严肃认真的态度进行分析与讨论，但是也不免会掺杂一些个人不成熟的看法，它可能与目前的某些观点不尽相同。例如本书关于 CPU 六个层次结构的划分，只是作者个人不成熟的看法。如此等等，只是一家之言，期望专家学者批评指正。

本书的结构

本书分为三部分，第一部分(第 1~2 章)主要讨论 CPU 的发展历史和有关 CPU 的一些基本知识。第二部分(第 3~13 章)主要以层次结构的观点，分层次讨论 CPU 的工作原理、设计技术、功能结构、加工工艺以及技术参数。第三部分(第 14~18 章)讨论主流 CPU 的系统结构和外部性能，以及今后发展的趋势。

在本书的第二部分中，作者将 CPU 的体系结构划分为以下 6 个层次进行讨论：行为规格层次(第 3、4、5、11、12、13 章)、功能结构层次(第 6 章)、数字部件层次(第 8 章)、逻辑电路层次(第 7 章)、元件版图层次(第 9 章)、硅片加工层次(第 10 章)等，各个层次之间是相互嵌套和相互联系的。这种分层的观点，简化了问题的复杂性。

讨论范围

本书主要以英特尔 X86 系列产品为蓝本，对它的结构与性能进行各个方面的描述。

虽然英特尔 4004、4040、8008、8080、8085 等型号的 8 位 CPU 得到了市场应用，但是它们都属于 CPU 应用的起步阶段，影响相对较小，因此本书将不讨论这些早期的 CPU 产品，而从 8086 CPU 开始进行讨论。对于 8046、8051、8096、860、80186 等型号的英特尔 CPU，由于与英特尔 X86 系列产品不兼容，因此也不在本书讨论范围之内。

IBM 等公司的 CPU 产品也得到了一定范围的应用，虽然本书有些章节也进行了这方面的技术探讨，但它们不是本书讨论的重点。RISC 与 X86 的不兼容主要体现在设计思想

和指令系统上存在差异,如果进入到更深的层次,它们之间的差异越来越小。在硅元件的物理组成层次方面,它们几乎不存在差异。

工作的困难

在计算机应用日益普及的今天,CPU 在计算机中的核心地位是不言而喻的。而探讨 CPU 的结构和性能是一项具有挑战性的工作,存在多方面的困难。虽然如此,作者还是愿意做一项抛砖引玉的工作,以期更多的专家学者对这个问题进行深入的讨论。

目前计算机书籍可谓是遍地开花,但是真正深入到系统内部的技术资料非常缺乏。造成这种状况的原因是多方面的,第一是基于技术壁垒方面的原因,各家 CPU 公司都处于激烈的市场竞争中,不可能无偿地公开自家的所有技术细节。第二是由于知识产权的限制,即使技术专家们愿意公布 CPU 核心技术,但也受到了知识产权法律方面的限制。第三是 CPU 设计和生产技术非常复杂,要进行完整的论述需要涉及多方面的知识。第四是 CPU 加工技术发展迅速,技术探讨落后于市场是不可避免的。

因为本书的讨论都是基于公开的学术著作及技术资料,因此作者将尽可能真实地描述 CPU 的体系结构和工作过程。对于同一结构或者同一技术参数有不同的说法,这种情况是经常遇到的。作者以权威技术参考资料或者厂商的公开说法为依据。本书提供的某些资料及观点可能落后于技术的发展,这些问题将在再版时解决。

致谢

本书的探讨是建立在大量技术专家辛勤工作的基础上,没有他们的技术积累,作者是无法完成这项工作的。本书在写作过程中,作者深受 John P. Uyemura 著、陈怒兴等译的《数字系统设计基础教程》一书的影响。John P. Uyemura 教授对数字系统层次的观点和论述方法,使作者受益匪浅,本书也引用了 John P. Uyemura 教授的某些结论与论述。在此作者对 John P. Uyemura 教授和译者陈怒兴老师表示真诚的致谢。

在本书的编辑出版过程中,丁岭老师、闫红梅老师对书稿进行了认真仔细的阅读,提出了很多宝贵的修改意见。对他们辛勤努力的工作,作者表示衷心的感谢。

期待您的反馈

CPU 技术发展日新月异,书中所介绍知识难免有不足与错误之处,作者非常珍惜您的建议与批评,您可以通过以下电子邮件地址与作者进行联系。

E-mail: yjx_yjx@hotmail.com

易建勋

于长沙理工大学

2003 年 7 月 4 日

目 录

第 1 章 CPU 的发展	1	4.6 MMX 指令技术	72
1.1 CPU 发明前的技术准备	1	4.7 SSE 指令扩展系统	76
1.2 第一个 CPU 的诞生	2	4.8 3DNow! 扩展指令集	79
1.3 对 CPU 进行程序控制	5	第 5 章 CPU 系统设计技术	80
1.4 英特尔公司 CPU 产品的发展	5	5.1 高速缓存技术(Cache)	80
1.5 CPU 制造工艺的发展	8	5.2 流水线技术	90
1.6 CPU 生产厂商	9	5.3 复杂指令系统技术 CISC	97
1.7 CPU 的分类	10	5.4 精简指令系统技术 RISC	99
1.8 CPU 产品的识别	14	5.5 精确并行指令计算技术(EPIC)	102
第 2 章 CPU 基本概念	17	5.6 超线程技术(HT)	105
2.1 二进制数	17	5.7 其他局部性处理技术	108
2.2 逻辑函数	22	5.8 CPU 电源管理	109
2.3 电子信号	24	5.9 CPU 温度控制技术	113
2.4 CPU 工作频率	28	5.10 对称处理技术(SMP)	116
2.5 硬件描述语言 VHDL	31	第 6 章 CPU 功能单元结构	118
2.6 度量单位	32	6.1 CPU 系统结构	118
2.7 CPU 的层次结构	34	6.2 总线接口单元(BIU)	119
2.8 基本假定	35	6.3 高速缓存单元(Cache)	121
2.9 本书的一些约定	36	6.4 指令预取单元(IFU)	128
第 3 章 CPU 工作原理	40	6.5 分支预测单元(BPU)	131
3.1 计算机的基本模型	40	6.6 解码单元(DEC)	133
3.2 CPU 指令执行流程	41	6.7 寄存器分配单元(RAT)	135
3.3 CPU 的结构与组成	43	6.8 重排序单元(ROB)	136
3.4 CPU 处理方法	46	6.9 分配单元(DIS)	137
3.5 CPU 周期	49	6.10 保留站(RS)	137
3.6 CPU 工作模式	53	6.11 算术逻辑单元(ALU)	138
3.7 CPU 启动过程	56	6.12 浮点处理单元(FPU)	139
3.8 CPU 对 I/O 接口的控制方法	59	6.13 退出单元(RET)	142
第 4 章 CPU 指令系统	61	6.14 控制单元(CU)	142
4.1 CPU 指令格式	61	6.15 寄存器组(RU)	145
4.2 数据寻址方式	65	6.16 CPU 检查体系	149
4.3 程序寻址方式	67	6.17 CPU 性能监测	151
4.4 内存分页机制	68	6.18 三大总线	152
4.5 X86 指令系统	70		

第7章 CPU 逻辑电路结构	158	10.11 绝缘物硅芯片技术(SOI)	217
7.1 CMOS 电路结构与工作原理	158	第11章 CPU 技术指标	218
7.2 非逻辑电路结构(NOT)	160	11.1 提高 CPU 性能的方法	218
7.3 与非逻辑电路结构(NAND)	161	11.2 性能参数	219
7.4 或非逻辑电路结构(NOR)	162	11.3 电气参数	223
7.5 CMOS 结构的应用	163	11.4 工艺参数	226
7.6 组合逻辑 CMOS 电路设计	164	11.5 CPU 兼容性指标	227
7.7 异或逻辑电路结构(XOR)	165	11.6 CPU 性能测试	231
第8章 CPU 数字部件结构	166	第12章 CPU 散热技术	237
8.1 数字部件	166	12.1 发热对 CPU 的影响	237
8.2 半加器数字部件	166	12.2 CPU 发热保护电路	242
8.3 全加器数字部件	167	12.3 热传导的基本方式	244
8.4 并行加法器数字部件	169	12.4 风冷散热系统	245
8.5 减法器数字部件	170	12.5 热管散热系统	250
8.6 乘法器数字部件	172	12.6 水冷散热系统	251
8.7 相等比较器数字部件	173	12.7 半导体散热系统	254
8.8 译码器数字部件	174	12.8 液氮散热系统	256
8.9 锁存器数字部件	175	12.9 软件降温	257
8.10 寄存器数字部件	177	第13章 CPU 超频技术	258
8.11 移位寄存器数字部件	178	13.1 超频的可行性	258
8.12 SRAM 数字部件	178	13.2 简单的超频方法	259
第9章 CMOS 晶体管结构	180	13.3 超频 CPU 的选择	260
9.1 硅晶体的电气特性	180	13.4 解除 AMD CPU 锁频的方法	262
9.2 MOS 晶体管工作原理	182	13.5 提高 CPU 工作电压	266
9.3 MOS 晶体管的技术参数	184	13.6 超频对外设的要求	268
9.4 CMOS 晶体管的物理组成	185	13.7 超频可能产生的问题	271
9.5 MOS 晶体管版图	186	第14章 Intel CPU 结构与性能(1) ...	272
9.6 MOS 电路设计规则	188	14.1 8086 CPU 结构与性能	272
第10章 CPU 制造工艺	194	14.2 80286 CPU 结构与性能	279
10.1 CPU 制造工艺的发展	194	14.3 80386 CPU 结构与性能	282
10.2 CPU 生产环境	195	14.4 80486 CPU 结构与性能	287
10.3 CPU 制造材料	196	14.5 Pentium CPU 结构与性能	292
10.4 CPU 光刻技术	198	14.6 Pentium Pro CPU 结构与性能	298
10.5 CPU 芯片基本加工技术	199	14.7 Pentium II CPU 结构与性能	301
10.6 CPU 制造主要工艺流程	201	14.8 Pentium III CPU 结构与性能	306
10.7 CPU 芯片测试技术	209	第15章 Intel CPU 结构与性能(2) ...	312
10.8 CPU 线宽制程技术	210	15.1 Pentium 4 CPU 结构与性能	312
10.9 CPU 内部连线技术	211		
10.10 CPU 封装技术	212		

15.2 赛扬 CPU 性能	316	17.14 CPU 主要生产厂商	378
15.3 迅驰 CPU 性能	323	第 18 章 CPU 技术未来的发展	380
15.4 至强 CPU 性能	329	18.1 贫基底晶体管技术	380
15.5 Itanium CPU 结构与性能	334	18.2 高 K 栅极绝缘体晶体管技术	381
第 16 章 AMD CPU 结构与性能	341	18.3 万亿次晶体管技术	381
16.1 AMD 公司早期 CPU 产品	341	18.4 CPU 光刻技术的发展	382
16.2 AMD K5	342	18.5 IBM CPU 技术的突破	382
16.3 AMD K6	343	18.6 CPU 纳米晶体管技术	383
16.4 AMD K7	346	18.7 量子计算机的发展	384
16.5 Athlon XP	349	18.8 DNA 分子芯片	385
16.6 AMD 64 位 CPU	353	18.9 CPU 并行技术的发展	385
第 17 章 其他厂商 CPU 产品	358	18.10 微机发展对 CPU 的要求	386
17.1 VIA Cyrix CPU	358	附录 1 CPU 典型工作频率与 时钟周期	387
17.2 Crusoe(全美达)	364	附录 2 英特尔 CPU 代码对照表	388
17.3 IDT WinChip C6	368	附录 3 英特尔系列 CPU 技术参数 比较	391
17.4 RISE MP6	368	附录 4 指令系统	395
17.5 NS Geode	369	附录 5 英特尔系列 CPU 有关数据	405
17.6 Compaq Alpha	370	附录 6 CPU 发展大事记	407
17.7 Sun UltraSPARC	370	附录 7 CPU 名词术语	410
17.8 SGI MIPS	371	附录 8 其他表格	418
17.9 HP - PA	371	主要参考资料	419
17.10 PowerPC	372		
17.11 ARM	374		
17.12 中国“龙芯”	376		
17.13 玻璃底板 CPU	377		

第 1 章 CPU 的发展

CPU 是英文 Central Processing Unit(中央处理器)的缩写,由于它小巧玲珑,工艺精致,有时也称为微处理器(Microprocessor),或者直接叫它处理器(Processor)。对于 CPU,我们感到既熟悉又陌生,我们经常听说它如何如何重要,但是对它的了解知之甚少。这是由于它的应用领域越来越广泛,它的功能越来越强大,而它的内部结构也越来越复杂。

CPU 是计算机系统中最重要的一個部件,它是整个计算机系统的控制中心。它严格按照规定的脉冲频率工作,一般来说,工作频率越高,CPU 工作速度越快,能够处理的数据量也就越大,功能也就越强。CPU 是计算机的核心,在讨论计算机配置时,首先要确定选择什么样的 CPU,只有 CPU 确定了,才能选择与它匹配的主板、内存等其他配件。CPU 不但广泛应用于各种计算机系统之中,而且在工业控制系统、军事设备、通信设备、办公自动化、电子商务、家电产品等各个领域中都得到了广泛应用。

1.1 CPU 发明前的技术准备

微机产业的腾飞借助于几項最重要的发明,它们是贝尔实验室威廉·肖克利(William Shockely)等人发明的晶体管,基尔·凯勃(Jack St. Clair Kilby)和鲍勃·诺伊斯(Bob Noyce)发明的集成电路,特德·霍夫(Ted Hoff)发明的 CPU,卡里·基尔达尔(Cary Kill-dal)发明的对 CPU 进行微程序控制。

1. 晶体管的发明

威廉·肖克利(William Shockely)1910 年生于英国伦敦,被称为晶体管之父。贝尔实验室研制的新一代电子管,具体由肖克利负责。1947 年圣诞节前两天的一个中午,肖克利和他的两位同事用几条金箔片、一片半导体材料和一个弯曲的纸架制成了一个小模型,它可以传导、放大和开关电流。他们把这一发明称为“点接晶体管放大器”(Point-Contact Transistor Amplifier),这就是后来引发一场电子革命的晶体管(如图 1-1 所示)。早期的晶体管如图 1-2 所示。

肖克利和另两位同事荣获了 1956 年度诺贝尔物理学奖。这是一种代替电子管的新型电子元件,被媒体和科学界称为“20 世纪最重要的发明”。1949 年,肖克利提出一种性能更好的结型晶体管的设想,通过控制中间一层很薄的基极上的电流,实现信号放大作用。1950 年,结型晶体管研制成功。1955 年,高纯硅的工业提炼技术已成熟,用硅晶片生产的晶体管收音机也问世。

2. 集成电路的发明

1958 年,美国物理学家基尔·凯勃(Jack St. Clair Kilby)发明集成电路。同年 TI(德州

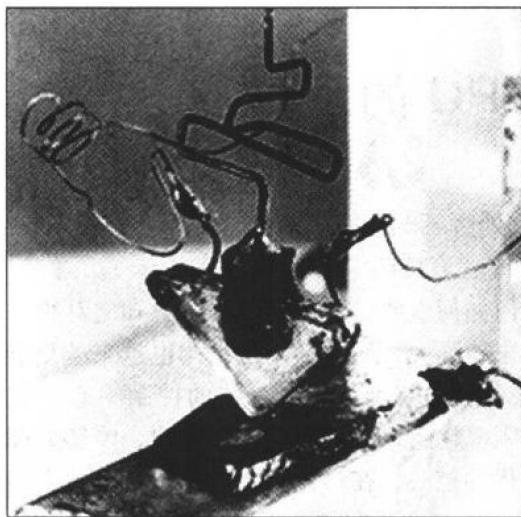


图 1-1 肖克利等人发明的晶体管原型(1947 年)

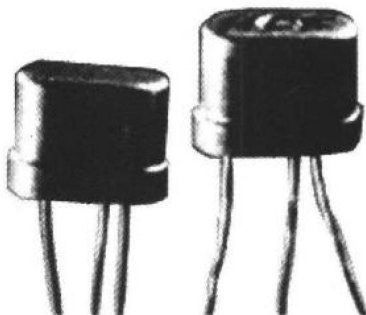


图 1-2 早期的晶体管

仪器)公司制成第一个半导体集成电路,它包含了 6 个晶体管,晶体管之间不用导线进行连接,而是用半导体材料进行连接。另一位科学家鲍勃·诺伊斯(Bob Noyce)也在同时期制造出半导体硅片集成电路,后来法院判决凯勃和诺伊斯为集成电路的共同发明人,集成电路的专利权属于凯勃,集成电路内部连接技术专利属于诺伊斯,他们都因此成为微电子学创始人。

在 20 世纪 60 年代,美国仙童(Fairchild)公司在半导体工业发展史上留下了无数辉煌:1959 年,制造出了一种双扩散基型晶体管,用硅材料取代了当时常用的锗材料,并成功攻克了氧化、照相、刻蚀、扩散等技术难关,发明了半导体平面处理等技术。1964 年,仙童公司的高登·摩尔(Gordon Moore)在一篇很短的论文里断言:“每 18 个月,集成电路的性能将提高一倍,而其价格将降低一半”,这就是著名的摩尔定律。这是半导体发展史上意义最深远的定律,集成电路近 40 年的发展历史也准确无误地验证了这一定律。

仙童公司最让世人瞩目的地方在于:它为整个半导体业培养了数不尽的优秀人才,是名副其实的半导体业的摇篮。可以毫不夸张地说,几乎所有后来半导体产业的主导人物都在仙童公司接受过培训。他们在一家公司学习,获得经验后,自己再去创办一家新公司,这在后来几乎成了硅谷企业发展的重要途径。这些学习者成立的公司后来成为仙童公司最强劲的对手,并最终将仙童公司远远地甩在了身后。

1.2 第一个 CPU 的诞生

1. 第一个 CPU 的发明

1968 年 7 月 18 日,罗伯特·诺伊斯(Robert Noyce)、戈登·摩尔(Gordon Moore)、安德鲁·葛洛夫(Andrew Grove)三人创建了英特尔公司,主要进行集成电路、存储器方面的研究和制造。公司创始人诺伊斯搜罗到了英特尔未来的设计者:特德·霍夫(Ted Hoff)。

1969年6月,日本商事公司(Busicom)委托英特尔公司设计一套集成芯片,用来制造他们的可编程计算器。日本人提出了六种极其复杂的芯片设计方案,这些设计对当时的英特尔公司来说太复杂了。

英特尔公司的霍夫过去曾设想把一台计算机放在一个芯片里,如今这个想法又浮现出来,他回忆到:“我凝视着PDP-8型计算机,凝视着商事公司的设计方案。我纳闷,他们这种计算器为什么要搞得这么复杂?”霍夫的灵感来了,他设计出世界上第一个CPU,把所有功能集成在一个芯片上,并把两个存储芯片附加上去,一个存储数据,另一个装有驱动CPU的程序。这样不但使计算器变得简单,而且成本也大为降低,但是日本商事公司对这一设想不以为然。

1971年11月,英特尔公司推出了世界上第一个微处理器芯片。当时还没有CPU这个概念,英特尔公司称它为“微处理器芯片”,这个名称也一直沿用至今。产品定名为4004型,第一个“4”是指以4位为单位的设计思想,后一个“4”是指由英特尔公司制造的第4种专用芯片(4004 CPU如图1-3所示)。

4004 CPU用8位指令来处理4位数据,指令和数据存储是分开的,分别有4096个4位宽的指令存储单元和1KB 4位宽的数据存储单元,最大寻址范围是640KB。4004 CPU有46条指令,工作时钟为108kHz。它采用P沟道MOS晶体管技术制造,核心大小为3mm×4mm(如图1-4所示),有2250个晶体管,晶体管的线宽是10 μ m,每秒运算6万次,市场售价为200美元左右。

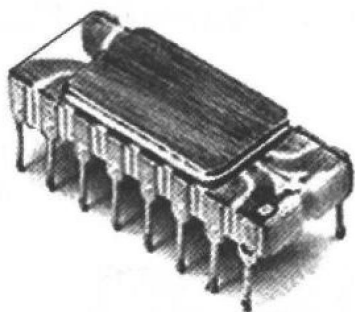


图 1-3 Intel 4004 CPU 外观(1971 年 11 月)

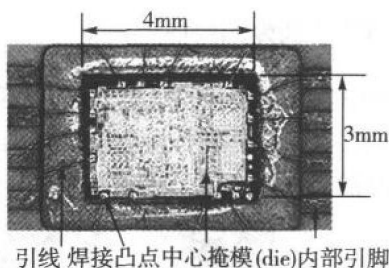


图 1-4 Intel 4004 CPU 内部核心组成

2. 市场对第一个 CPU 的反应

1971年初,4004型芯片送到日本商事公司,立即遭到拒绝。当时计算器市场大面积降价,商事公司要求重新协商价格。为了降低价格,日本商事公司同意放弃它对4004型芯片的控制权,而英特尔公司则返还日本商事公司投资的6万美元。这样,日本企业与CPU的发展失之交臂。

但是英特尔公司销售部人员并不认为微处理器是一种有销路的产品,他们认为不值得花代价生产和推销。在霍夫等人的不断催促下,1971年英特尔公司终于在《电子新闻》上刊登了一则4004型微处理器芯片的广告:“一个集成电子新纪元的到来——能把一个微型程序控制计算机放进一块半导体芯片”。但电子行业对4004型芯片反应谨慎,秋季计算机产品展览会(Comdex)上,一位顾客说英特尔公司胆大妄为,竟敢声称把一台计算机放进

了一个芯片里，公司技术人员给他看了芯片，他才很勉强地同意这玩意可以叫计算机。

1972 年，霍夫巡回到一些公司举办讨论会，人们最常向他提的问题是：“如果坏了，你们怎么修理它。”人们无法想象计算机竟然也可以像电灯泡一样，用坏后一扔了之。还有的顾客冷言嘲讽：“你们怎样确保它是在工作呢？”的确，让人们接受 CPU 这个新生事物并非易事。1972 年，技术报刊才首先注意到它。1978 年初，电子学杂志才开始刊登介绍这一奇迹的文章。人们习惯地认为计算机是一种巨型而昂贵的机器，因此一定要保护它、看守它，小心地对待它、高效率地使用它。

3. 发明者的故事

与晶体管的发明者和集成电路发明者不同，CPU 的发明人霍夫既没有享受到巨大的经济财富，也没有因此获得什么特别的荣耀，迄今，这位发明人还没有得到公众的充分认识。但是霍夫的发明如此重要，使他可以无愧地跻身于 20 世纪最伟大的科学家之列。对于自己的成就，霍夫一向保持着低姿态。他认为，一种不为公众所瞩目的形象更有助于他继续从事新产品的开发。但这种谦逊的态度并不能改变这项发明的重大意义。

1982 年底，霍夫宣布他将离开自己工作了 14 年的英特尔公司，这震动了整个计算机行业。他说需要变换一下工作环境。他接受了硅谷另一家公司——阿塔里 (Atari) 公司的聘请，担任公司副总裁，负责产品研发工作。因为阿塔里公司有志将计算机推向家庭，而消费市场正是霍夫最感兴趣的领域。但这步棋没走好，1984 年 7 月，也就是他加入阿塔里公司 18 个月后，该公司就被卖掉了。霍夫便开始从事一些独立的咨询和研究工作。

4. CPU 的发明的历史地位

4004 CPU 在当时的确是非常了不起的成就。CPU 核心部分只有一粒米大小 ($3\text{mm} \times 4\text{mm}$)，但是居然具有与世界上第一台计算机“爱尼亚克”(ENIAC) 相同的功能。而爱尼亚克占地 170m^2 、拥有 1.8 万个晶体管 (如图 1-5 所示)。

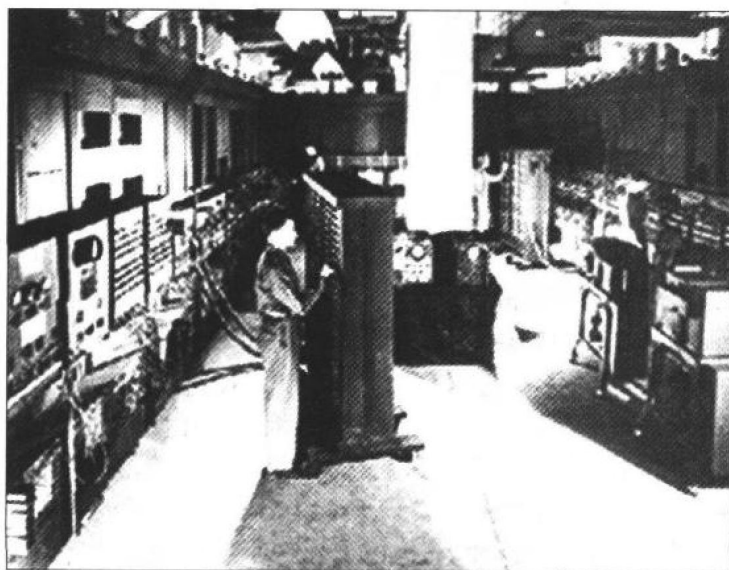


图 1-5 第一台通用电子计算机“爱尼亚克”

1.3 对 CPU 进行程序控制

卡里·基尔达尔(Cary Kilddal)1942年生于美国西北部的西雅图。他敏锐地发现,4004微处理器上有一个很小的存储器,可以用来编制程序。基尔达尔突然想到:“能不能在这里编制微机程序呢?”这种思想导致了微程序(Microprogram)设计技术的诞生。基尔达尔马上开始填补这一空白,在DEC公司的PDP-10小型机上为英特尔4004微处理器创建新的“微语言”。英特尔公司闻讯后,马上聘请基尔达尔为技术顾问。在基尔达尔的主持下,创建了微机发展史上革命性的微处理器程序设计语言PL/M(Programing Language for Microprocessor)。这一新的语言随着Intel 8008、8080微处理器的进展,对微机的革命起着巨大的推动作用。

如果没有基尔达尔这一贡献,英特尔公司的CPU说不定还会在计算器里沉沦许久,正是基尔达尔打开了CPU和微机之间的通道。在微机的发展过程中,有着基尔达尔的历史性贡献。

基尔达尔的另一贡献是在微机操作系统开发上。1974年,英特尔8080问世,性能要比8008高出10倍,基尔达尔大受鼓舞。这时,他刚好遇上IBM公司8英寸软盘的发明人艾伦·舒加特,经过一起的讨论,他们开发出了微机控制程序CP/M(Control Program/Microcomputer),这是世界上第一个磁盘操作系统,也是DOS操作系统的前身,最重要的是从此确立了在微机上由软件控制硬件的基本设计思想。

1.4 英特尔公司 CPU 产品的发展

20世纪60年代的美国很混乱,各种潮流都有,有黑人运动、嬉皮士等等。英特尔公司创始人之一的戈登·摩尔当时说:“只有我们做的信息产业才是真正的革命”。40年后证明,其他都已经成为历史,只有信息产业改变了整个世界!

1. 早期 CPU 产品的发展

1971年英特尔公司生产的4004芯片是一个里程碑式的产品,它带来了一个计算机的全新时代。但在当时,这款芯片仅仅用于计算器样品研制中,以后又生产了改进的4040型。

1972年计算机终端公司找上门来,要求英特尔公司为他们生产一种专用芯片。于是霍夫和麦卓尔共同设计了8008型微处理器芯片。它的数据处理宽度为8位,可寻址空间为16KB,它的运行频率为200kHz,运算速度为每秒5万条指令,采用10 μ m技术,微处理器的晶体管总数已经达到了3500个。计算机爱好者们把它应用于终端设备上。

1973年8月,霍夫等人继续对微处理器加以改进,推出了8080微处理器芯片,它的运行频率为2MHz,它每秒能执行50万条指令,可寻址范围为64KB,8080成为有史以来最成功的微处理器之一。

8080 微处理器最初主要用于控制交通信号灯,但是计算机爱好者们对这种芯片的潜力再一次发生了浓厚的兴趣。首先是 MITS 公司,后来的主角则是苹果(Apple)公司,利用这款微处理器芯片设计个人微机。1974 年,发明家爱德华·罗伯茨(E. Roberts)宣布第一台 Altair 8800(牛郎星)个人微机的诞生,它的核心是 8080 微处理器芯片。为 Altair 8800 微机编写的 BASIC 语言是由如今大名鼎鼎的比尔·盖茨(Bill Gates)开发的。Altair(阿尔泰)微机有 256 字节的存储器,销售价格为 375 美元。

当时最原始的微机没有键盘、鼠标、显示器、数据存储设备,也没有软件,用户输入数据是通过拨动开关来进行,输出用闪烁的红灯来拼出二进制代码的答案,它虽然很原始,但在当时还是非常受欢迎。CPU 设计大师霍夫说:“我对微处理器在个人计算机中的应用也感到非常惊讶。我没有想到人们会仅仅为了业余的爱好而买微机,随着影像游戏机的发展,个人计算机成为人们又一种娱乐工具。任何一位发明家如果能够创造出什么来提供给人们娱乐,他就能获得成功。”

2. 16 位 CPU 的发展

1978 年 6 月,英特尔公司推出了第一个 16 位 CPU 芯片 8086。它的主频为 4.77MHz,具有 16 位数据通道,内存寻址能力为 1MB,处理器性能大幅提高。很快 Zilog 公司和摩托罗拉公司也宣布计划生产 Z8000 和 68000 微处理器芯片。

1979 年,英特尔公司又推出了 8088 CPU,它的主频为 4.77MHz,具有 16 位数据处理通道,内存寻址能力为 1MB。1981 年 8 月 12 日,IBM 公司推出了第一台 16 位个人计算机:IBM PC 5150。这台微机采用英特尔 8088 作为 CPU,工作频率为 4.77MHz,内存为 16KB,一个 160KB、5.25 英寸的软盘驱动器,11.5 英寸的单色显示器,没有硬盘,操作系统为 DOS 1.0,价格为 3045 美元。这时微机终于突破了只为个人爱好者所使用的状况,迅速地普及到工程技术领域和商业领域中。IBM 公司推出的第一台 16 位个人计算机 IBM PC 5150 如图 1-6 所示。

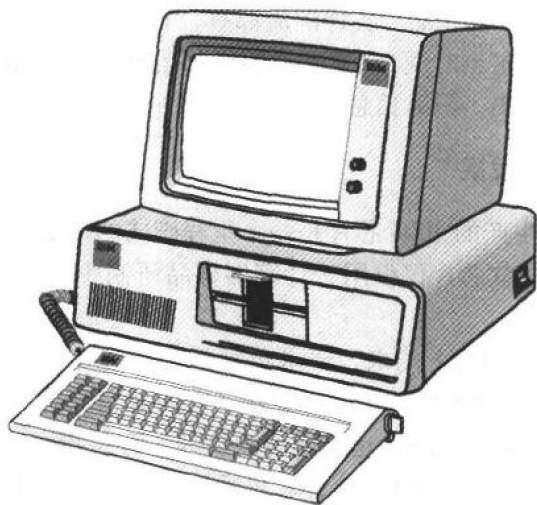


图 1-6 第一台 16 位个人计算机 IBM PC 5150(1981 年 8 月)

以后英特尔公司又生产了 80186 CPU, 但是这种 CPU 没有用于微机设计, 主要用在网卡、打印机等设备上, 作为核心处理芯片。

1982 年 2 月, 英特尔公司研制出了 80286 CPU, 它集成了 13.6 万个晶体管, 最初运行频率为 10MHz, 在 CPU 内部和外部均采用 16 位数据工作, 使用 24 位地址实现内存的寻址, 内存寻址能力为 16MB。IBM 公司将 80286 CPU 用在 IBM AT 微机中, 引起了极大的轰动。它的软件与先前的 CPU 兼容, 它支持更大的内存, 能够同时运行多个任务, 在处理速度等方面有显著的改进。

3. 32 位 CPU 的发展

1985 年 10 月问世的 80386 CPU, 工作频率为 20MHz, 它采用新的 32 位结构, 内装 27.5 万个晶体管, 芯片每秒钟可完成 5 百万条指令, 最大寻址范围为 4GB。它是 X86 家族中第一款 32 位芯片。

1989 年 4 月, 经过四年开发和 3 亿美元资金投入的英特尔 80486 推出。这款芯片在当时引起了极大的轰动, 它突破了 100 万个晶体管的界限, 80486 内部集成了浮点处理器, 工作频率为 33MHz, 采用了流水线和高速缓存设计技术。

在这期间, 一些其他公司也开始进入兼容 CPU 领域, 在 486 时代, 兼容英特尔 X86 的产品有 TI 486DX、Cyrix 5x86、AMD 5x86 等。全球知名的美国德州仪器公司(TI)在 486 时代异军突起, 代表产品 DX2-80 因较高的性价比一度成为当时主流产品之一, 但其后, 德州仪器公司却再也没有涉足 CPU 市场。而 AMD 公司和 Cyrix 公司则借助各自产品开始逐渐引人注目。

1992 年 10 月 20 日, 在纽约第十届 PC 用户大会上, 葛洛夫正式宣布英特尔公司第五代 CPU 命名为奔腾(Pentium), 而不是 586, 出乎许多人预料。在此之前, 由于 386、486 系列产品性能出众, AMD 公司与 Cyrix 公司生产的 CPU 也以这些数字命名, 英特尔公司虽然大为不满, 却又无可奈何。因为按照法律, 数字不能用作商标名称, 是无法注册的。一场极其广泛的命名活动拉开了帷幕。英特尔公司一共征集到 3300 多个名称, 其中甚至有 586NOT、iCUCyrix 等十分滑稽有趣的名字。最后敲定的三个候选名称是 igence、RADAR1 和 Pentium。据说当时将新一代 CPU 命名为“igence”的呼声颇高, 但后来公司高层对它们的最终投票却使得 Pentium 脱颖而出。为什么叫这样一个名字? 葛洛夫解释说: “它是一个来自古希腊语的商标, Pent 在希腊文中表示‘5’, ium 看上去是某个化学元素的词尾, 用在这里可以表示处理器的强大处理能力和高速性能。”

1993 年 3 月, 第一代 Pentium CPU 问世, AMD 公司和 Cyrix 公司也分别推出了 K5 和 6x86 CPU, 但是由于奔腾 CPU 的性能最佳, 英特尔公司逐渐占据了大部分市场。由于奔腾 CPU 使计算机能够轻而易举地处理语音、音频、图形和图像, 面市不久, 它就迅速成为家喻户晓的明星。

1995 年 11 月, 英特尔公司又推出了高能奔腾处理器 Pentium Pro CPU。它内装 550 万个晶体管, 这种新的芯片内部封装了二级高速缓存, 使 CPU 的性能进一步提高到惊人的水平, 运算速度达到 300MI/s(百万条指令每秒)。

1997 年 5 月, 英特尔公司推出了包含 750 万个晶体管的 Pentium II CPU。这款新产品集成了英特尔 MMX 媒体增强技术, 专门为高效处理视频、音频和图形数据而设计。

1999年2月,英特尔公司推出了Pentium III CPU,它最重要的技术创新之一是SSE指令集(单指令多数据扩展指令集),芯片具有70条SSE指令,极大地提升了微机在高级图形、三维动画、数据流、音频、视频、语音识别应用等方面的性能。

2000年8月,英特尔公司的第一款64位CPU——安腾(Itanium)问世了,这款产品从研制到诞生花费了长达7年之久的时间,目前主要用于服务器主机。目前由于这款CPU价格太高,暂时无法面向普通用户,但是它展示了今后CPU的发展方向。

2001年7月,容纳4200万个晶体管的Pentium 4处理器诞生了,就CPU的核心架构技术而言,Pentium 4仍然属于第6代结构(简称P6结构)。它最重要的优势在于突破主频提升的瓶颈,使得Pentium 4可以利用现有的制造工艺达到更高的频率。

CPU的出现是一次伟大的工业革命,从1971年到2003年,在短短30多年内,CPU发展日新月异,令人难以置信。1981年用于第一台PC机的8088 CPU运行主频为4.77MHz,而Pentium 4 CPU运行主频达到了3000MHz以上,工作频率提高600倍以上。可以说,人类的其他发明都没有CPU发展得那么神速、影响那么深远。英特尔CPU工作频率发展进程如图1-7所示。

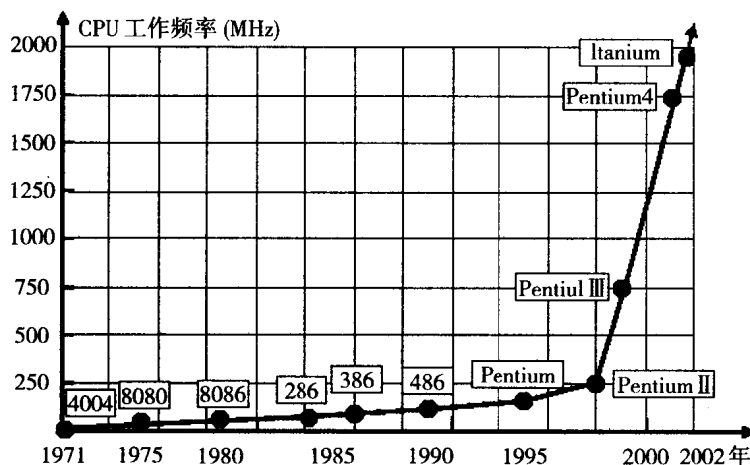


图 1-7 英特尔 CPU 工作频率发展进程

1.5 CPU 制造工艺的发展

要提高CPU的运算性能,就必须在CPU内部集成更多的晶体管。而CPU的尺寸受到了限制,因此必须尽量减少CPU内部晶体管制造线宽,达到集成更多晶体管的目的。

1971年问世的英特尔4004采用 $10\mu\text{m}$ 技术,8080则采用 $6\mu\text{m}$,8086突破到了 $3\mu\text{m}$ 。1985年,英特尔80386问世,新的记录是 $1.5\mu\text{m}$ 。1989年4月,这个记录依然由英特尔80486保持在 $1\mu\text{m}$ 。1990年6月,50MHz的80486将记录提高到了 $0.8\mu\text{m}$ 。此后该记录沉睡了4年,直到1994年3月英特尔486DX4 CPU将这一记录改写为 $0.6\mu\text{m}$ 。此后IBM公司与英特尔公司将竞争推向了白热化。1995年,当奔腾133问世时,创造了 $0.35\mu\text{m}$ 的世界记录,此后不甘示弱的IBM公司将记录提高到了 $0.29\mu\text{m}$ 。不过1997年,英特尔公司又

扬眉吐气，记录被他们提高到 $0.25\mu\text{m}$ 。2002 年英特尔 Pentium 4 制造线宽为 $0.13\mu\text{m}$ ，而英特尔公司与 IBM 公司的竞争仍在继续。CPU 晶体管集成数量的发展进程如图 1-8 所示。

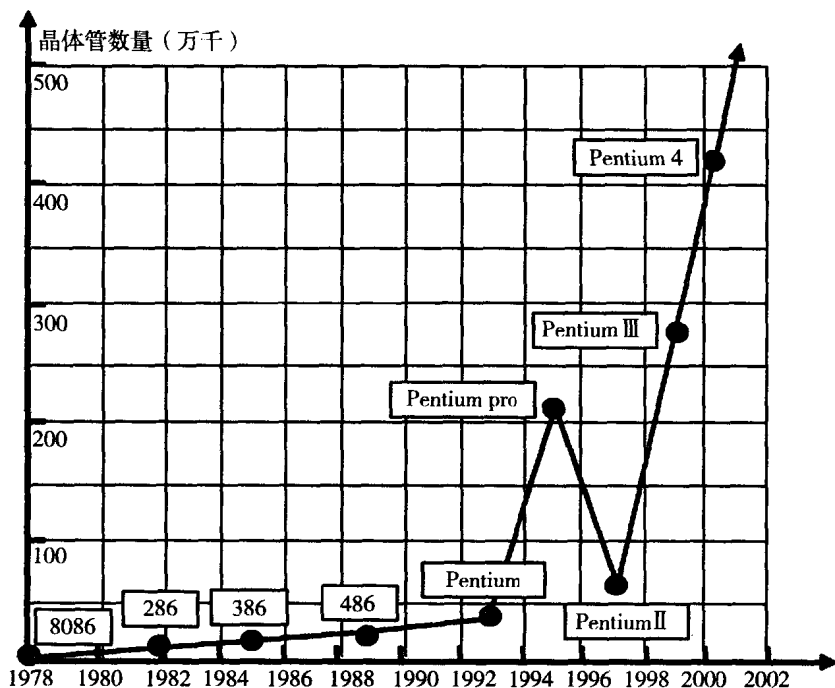


图 1-8 英特尔 CPU 晶体管集成数量的发展

1.6 CPU 生产厂商

1. 早期其他 CPU 产品

CPU 可用来完成较大的计算任务，价格又便宜，这一优势很快被人们认可，于是半导体公司竞相生产 CPU 芯片。曾经名噪一时的 Zilog 公司生产了比英特尔 8080 功能更为强大的 Z80 CPU，这是一块直到今天仍然被尊为经典的 CPU。在我国，这款 CPU 主要用于工业控制系统中。以后 Zilog 公司又研制了 Z8000 CPU，但是终究抵挡不住英特尔公司的市场进攻，Zilog 公司的产品也逐步淡出市场。而另一家大名鼎鼎的摩托罗拉公司，则诞生了 6800 CPU，从此拉开了摩托罗拉 MC 68 × × × 系列和英特尔 X86 系列的竞争。

2. 英特尔公司

在 CPU 技术和市场上，英特尔公司一直是领头人。英特尔公司强调，英特尔公司在业界里是一个“建筑模块”提供商，只做零部件。为了把市场做大，英特尔公司与其他软件和硬件开发商合作，不断开发新产品。英特尔公司认为市场需要一定的引导，即引导人们去使用计算机。英特尔公司做了很多市场宣传工作，但不是在宣传买英特尔芯片，而是介绍说计算机不光可以打字，还可以用于语音输入、开远程视频会议等多媒体功能，这样