



课程报告



Intel 与 AMD 处理器发展历程报告

518021910971 裴奕博

目录

| | |
|---|-----------|
| 1 CPU 发展概述 | 3 |
| 2 Intel 系列处理器发展历程 | 4 |
| 2.1 1968-1978 Intel 公司的创立与 4004 处理器的诞生 | 4 |
| 2.1.1 Intel 的创立 | 4 |
| 2.1.2 Intel 4004 | 5 |
| 2.1.3 Intel 8008/8080 | 5 |
| 2.2 1978-1993 x86 系列处理器与 x86 指令集的开端 | 6 |
| 2.2.1 Intel 8086/8088 | 6 |
| 2.2.2 Intel 80x86 系列 | 6 |
| 2.3 1993-2006 奔腾 (Pentium) 时代 | 7 |
| 2.3.1 Pentium 与 Pentium MMX | 7 |
| 2.3.2 赛扬 (Celeron) 和至强 (Xeon) | 7 |
| 2.3.3 Pentium 系列的后续产品 | 8 |
| 2.4 2006-至今酷睿 (Core) 的又一次辉煌 | 8 |
| 2.4.1 Core 2 Duo: 初代 Core | 8 |
| 2.4.2 i 系列处理器: 更清晰的产品定位 | 9 |
| 2.4.3 14nm 的爆发 | 10 |
| 3 AMD 系列处理器发展历程 | 11 |
| 3.1 1969-1991 AMD 公司的创立和与 Intel 的合作 | 11 |
| 3.1.1 AMD 的创立 | 11 |
| 3.1.2 早期产品: 从仿制开始 | 11 |
| 3.1.3 AMD 与 Intel 的合作 | 12 |
| 3.2 1991-1999 从 AM386 到 K6: 自研 CPU 的初尝试 | 12 |
| 3.2.1 386 的争端 | 12 |
| 3.2.2 K5: AMD 的第一款自研处理器 | 13 |
| 3.2.3 K6: 第一款成功的自研处理器 | 13 |
| 3.3 1999-2006 Athlon 系列: AMD 的崛起和辉煌 | 14 |
| 3.3.1 初代 Athlon: 和 Intel 分庭抗礼的开始 | 14 |
| 3.3.2 Athlon 系列的发展 | 15 |
| 3.3.3 Duron 系列: AMD 的低端系列 | 15 |
| 3.3.4 64 位时代: Athlon 产品线的再分布 | 16 |
| 3.3.5 Athlon 64 X2: AMD 这一时期的巅峰之作 | 17 |
| 3.4 2006-2017 AMD 失落的十年 | 17 |
| 3.4.1 Phenom 系列: 失败的对抗产品 | 18 |

| | |
|--|----|
| 3.4.2 Athlon2: 令人唏嘘的下场 | 18 |
| 3.4.3 FX 系列: 困境中艰难的赌注 | 18 |
| 3.5 2017-至今锐龙 (Ryzen) 系列处理器与 AMD 的重生 | 18 |

1 CPU 发展概述

1947 年 12 月，由美国贝尔实验室的肖克利、巴丁和布拉顿组成的研究小组，发明了晶体管。这种新的材料工艺相比之前的真空电子管，体积小巧、无需预热、耗能极低，很快取代了电子管成为了新一代电子电路的首选。在随后的几十年间，伴随着集成电路的发明，由这种材料制成的电子电路规模越来越大。从小规模、中规模集成电路到大规模、超大规模集成电路。

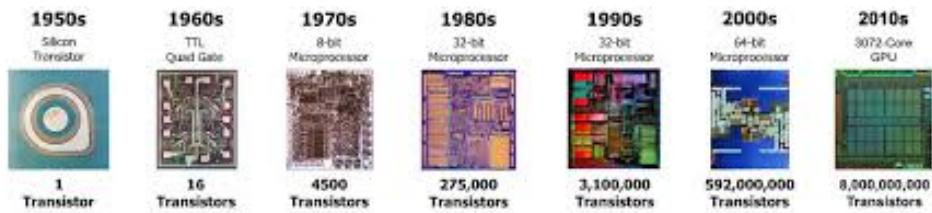


图 1: 集成电路的发展

随着人类对计算机计算能力和便携性的要求不断提升，人们提出了“微型计算机”的概念，要实现这一点，首当其冲的就是将计算机的中央处理单元小型化。1971 年，Intel 公司制造出了第一个商用微处理器即 4004，也宣告了第四代计算机时代的来临。从 1971 年至今的近 50 年间，随着个人计算机（PC）的成熟、发展和普及，作为计算机核心的 CPU 也得以迅猛发展。两家“本是同根生”的半导体公司，Intel 和 AMD，在这几十年间共同促成了 CPU 技术的不断提升，时至今日也是市面上处理器的最主流选择。本报告即梳理了从 1971 年至今，两家公司系列处理器的发展历程。

2 Intel 系列处理器发展历程

1968 年创立的 Intel，是全球目前收入和市值最高的半导体公司，总部位于美国加州圣克拉拉。1971 年，Intel 的工程师发明了世界上第一款 CPU4004。在之后的几十年间，集成电路的制造工艺和架构在不断进化，Intel 却始终在大部分事件都在处理器市场中占据主导地位。本章将详细讲述 Intel 系列处理器的发展历程。



图 2: Intel 系列处理器的发展

2.1 1968-1978 Intel 公司的创立与 4004 处理器的诞生

2.1.1 Intel 的创立

1955 年，晶体管的发明者威廉·肖克利离开贝尔实验室，创建了肖克利半导体实验室，并且吸引了一大批有才华的年轻科学家加入。但很快，由于内部原因，其中 8 名科学家联合辞职创办了仙童半导体公司，其中包括摩尔定律的提出者戈登·摩尔 (Gordon Moore) 和集成电路的联合发明人罗伯特·诺伊斯 (Robert Noyce)。1968 年，两人从仙童半导体公司辞职，在 7 月 16 日共同创办 Intel 公司。其名称来源于集成电路 (Integrated Electronics) 的首字母缩写。



图 3: Intel 公司现在的 logo

起初, Intel 的业务主要来自半导体存储器市场, 主攻 DARM 和 SARM, 在整个 20 世纪 70 年代, CPU 都不是 Intel 最主要业务。1971 年 11 月 15 日, Intel 的工程师霍夫 (Marcian Hoff) 发明了世界上第一块大规模集成电路, 也是第一颗微处理器 Intel 4004。恐怕那时 Intel 公司自己也未曾想到, 这一天将被永远载入史册, 这一“无心之举”也成为了 Intel 在今后几十年绝大部分的收入来源。

2.1.2 Intel 4004

4004 处理器起初只是用于在日本 Busicom 公司生产的计算器中替换一些应用导向集成电路。它只有 4 位, 45 条指令, 最高主频也仅有 740kHz, 甚至比不上 ENIAC。但由于它集成化程度高, 体积小, 为个人计算机的发展铺平了道路, 具有重要的里程碑意义。

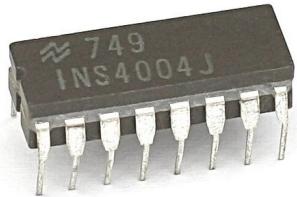


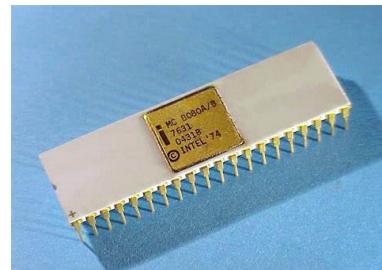
图 4: Intel 4004

2.1.3 Intel 8008/8080

在接下来的几年中, Intel 又推出了 8 位的 8008(1972) 和 8080(1974) 处理器。在研发 8008 的过程中, Intel 还获得了由德州的 Datapoint 公司开发的指令集, 正是这套指令集, 奠定了今天 x86 系列指令集的基础。与此同时, 微处理器的优势也逐渐被人们所认同。尤其是 8080 处理器获得了空前的成功。该处理器主频为 2MHz, 性能是 8008 的十倍。作为人类历史上的第一台个人计算机 Altair 也使用了 8080 处理器作为核心。



(a) Intel 8008



(b) Intel 8080

图 5: Intel 8008/8080

2.2 1978-1993 x86 系列处理器与 x86 指令集的开端

这一阶段，Intel 以 8086 处理器为开端，开创了 x86 指令集架构，这一架构也对未来的处理器发展有着深远影响。

2.2.1 Intel 8086/8088

1978 年，Intel 推出了 8086 处理器。它有 16 位的数据总线，可一次读取 1MB 内存，是 Intel 推出的首个 16 位处理器。与此同时，Intel 还在其上使用了 x86 指令集。从此，x86 也成为了个人计算机的标准平台，也是历来最成功的 CPU 架构之一。

几乎与此同时，Intel 也推出了 8088 处理器，将地址总线提升至 20bit。两款处理器都采用了相同的 16 位 x86 架构。



图 6: Intel 8086

2.2.2 Intel 80x86 系列

随着 PC 市场需求的一步步扩大，CPU 业务逐渐成为了 Intel 的主业。从 1980 年起，Intel 接连推出了一系列基于 x86 架构的处理器，包括 80186(1980)、80188(1980)、80286(1982)、80386(1985) 和 80486(1989)。



(a) Intel 80186

(b) Intel 80486

图 7: Intel 80186 和 80486

其中，80188 和 80186 几乎同时推出，80188 削减了一半的外部数据总线以降低成本。80286 是 Intel 第一款完全兼容前代 CPU 的处理器。

从 1985 年的 80386 开始，Intel 系列处理器进入 32 位时代，32 位的 x86 架构也称为 IA-32。80386 集成了 27 万多只晶体管，规模超过了初代 CPU 4004 的 100 倍，同时也是第一款具有多任务功能的处理器，这也为操作系统的发展有重要影响。

1989 年，Intel 发布了最后一款用数字命名的处理器——Intel 80486。在这一代 CPU 上，Intel 首次将 FPU(浮点计算单元) 集成在 CPU 之内。此外，8KB 的 L1 缓存第一次出现在了 x86 CPU 上。

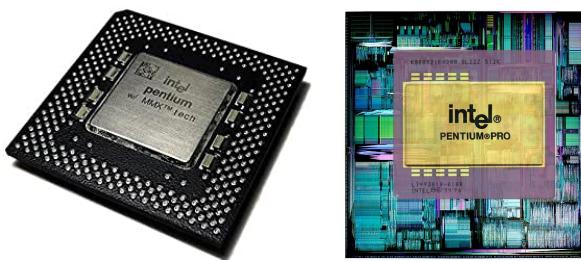
2.3 1993-2006 奔腾 (Pentium) 时代

经过一系列 80x86 处理器，Intel 已经从一家主攻存储芯片的公司，转为 CPU 领域的霸主。1993 年，Intel 发布了以子商标奔腾 (Pentium) 命名的处理器，正式宣告处理器进入奔腾时代。

2.3.1 Pentium 与 Pentium MMX

1993 年，采用 P5 架构的 Pentium 处理器发布，而没有遵循 80x86 号码系统。这是一个划时代的事件。在接下来的十几年间，奔腾几乎成为了家喻户晓的名字，时至今日仍在使用。初代 Pentium 系列将 CPU 的工作电压降至 3.3V，增强了浮点数的运算，新使用的 P5 架构使得它在所有方面都比 80486 快。1994 年，Pentium 处理器被发现在浮点数的计算上出现了瑕疵，Intel 不得不召回大批的 Pentium 处理器。

然而这一事件并未影响 Intel 在 CPU 领域的高歌猛进。1996 年，主攻服务器方向，采用 P6 架构的 Pentium Pro 推出。1997 年 1 月，Pentium MMX 推出。它扩展了 L1 缓存至 16KB，也扩展了新的 MMX 指令集，使得其对多媒体数据的处理更为强大，也因此红极一时。此外，MMX 系列的处理器还拥有较强的超频能力，还能通过提高其核心电压来获得更好的性能。1997 年，同样采用 P6 架构的 Pentium II 发布，L1 缓存已经增加到 16KB 数据缓存 +16KB 指令缓存共 32KB。



(a) Pentium MMX

(b) Pentium Pro

图 8: Pentium 和 Pentium Pro

2.3.2 赛扬 (Celeron) 和至强 (Xeon)

1998 年，随着 AMD 大举入侵低价处理器市场，而同期的 Pentium II 价格昂贵。为了兼顾低端市场，Intel 将 Pentium II 中的两颗 L2 缓存取消，推出了初代 Celeron 处理器，从此诞生了“赛扬”这

一新的产品线。

同时，为区分服务器市场与 PC 市场，英特尔还推出了 Pentium II Xeon 作为 Pentium Pro 的升级产品，从此诞生了 Xeon 处理器。直到 2001 年，Intel 将 Xeon 系列前面的 Pentium 取消，从此独立出面向中高端服务器市场的 Xeon 系列。

时至今日，Celeron 和 Xeon 系列仍然是 Intel CPU 中最低端和高端的代表。而它们都脱胎于当年的 Pentium 系列。

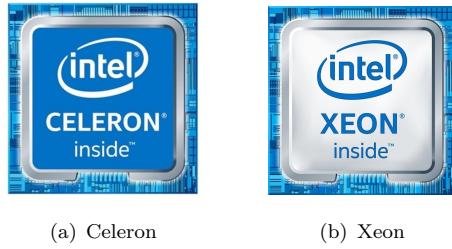


图 9: Celeron 和 Xeon 系列

2.3.3 Pentium 系列的后续产品

世纪之交，Pentium 系列产品的更新迭代还在继续。Intel 相继推出了 Pentium III(1999)、Pentium 4(2000)、Pentium M(2004) 和 Pentium D 处理器。

其中，1999 年推出的 Pentium III 处理器的主频首次突破 1GHz。2002 年，Intel 在 Pentium 4 上首次运用了超线程技术。2005 年，带有两个处理器内核的 Pentium D 推出，开启了 CPU 多内核的时代。以上三点是 Pentium 系列在这几年中主要的创新点。

然而在这一时期，从 Pentium 4 开始使用的 P4 架构“Netburst”出现了功耗和热量问题，在很长一段时间内，Intel 无法将 Netburst 架构的处理器主频升至 2GHz 以上。随后，在此基础上改进的“Prescott”架构（被用于 Pentium D）同样也出现了类似的问题。在一段短暂的时间中，Intel 在 CPU 领域的统治被 AMD 所打破。这也迫使 Intel 放弃 Netburst 架构，转而支持基于 P6 的 Pentium M 设计，这也促成了 Intel 新一代产品酷睿（Core）的诞生。

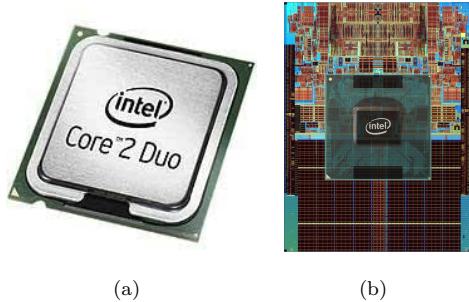
2.4 2006-至今酷睿（Core）的又一次辉煌

随着 AMD 的步步紧逼，Intel 不得不调整自己的策略。从 2005 年开始，Intel 制定了一套“钟摆计划”（Tick-Tock），并在 2006 年推出了新一代酷睿（Core）产品，重新逆转了与 AMD 的竞争局面。时至今日，Core 系列产品仍是广大消费者选择 CPU 的不二之选。

2.4.1 Core 2 Duo: 初代 Core

从 2004 到 2006，Intel 陷入了一段低迷时期。AMD 凭借其 K8 系列，以“真双核”和较好的能效比赚足了世人的眼球。为了从 AMD 手中重新夺回 CPU 市场的主导地位，Intel 启动了 Tick-Tock 计划，即用时钟的声响（Tick, Tock 为拟声词）代表芯片制程和处理器微架构的更新。2005 年，Core 一代

产品发布，标志这 Core 系列处理器的诞生。此时的 Core，架构源自 Pentium M，而新架构的开山之作，即是 2006 年 7 月发布的 Core 2 Duo。



(a)

(b)

图 10: Core 2 Duo

Core 2 Duo 采用了 65nm 制程工艺，Intel 声称它对比上一代产品有 40% 的性能提升，同时减少 40% 的功耗，各项数据均大幅领先当时 AMD 的 Athlon 64X2。从此，Intel 再次夺回了 CPU 的主导权。

究其原因，Core 2 Duo 抛弃了此前出现各种问题的 Netburst 架构，转而对 Pentium M 的微架构进行改进，定名 Core 架构。Core 2 Duo 为双核心 64 位处理器，将双核共享的 L2 缓存提升至 4MB，晶体管总数达到近 3 亿个，此外还加入了对 EM64T 与 SSE4 指令集的支持，使其拥有更强大的寻址空间。Core 微架构的改进，实现了能效比的大幅提升。

此后，由于 Core 架构的巨大成功，Intel 将其也运用到了 Celeron、Pentium 乃至 Xeon 产品线中。

2.4.2 i 系列处理器：更清晰的产品定位

随着 Core 2 Duo 的发布，Intel 的优势再一次被确立，在随后的几年中，Tick-Tock 战略稳步实施。2008 年，Intel 推出的新的 Nehalem 微架构，引入了新的命名方案。共有三个变体，Core i3，Core i5 和 Core i7。2008 年 11 月 17 日，Intel 推出了四核的 Core i7 处理器。2009 年 9 月 8 日，第一款 Core i5 发布。2010 年 1 月 7 日，首款 Core i3 发布。i3，i5 和 i7 分别针对入门级消费者，普通消费者和高端消费者，但不再以核心数等技术指标命名。



图 11: Intel Core i 系列

在此后的几年中，Intel 的 i 系列处理器陆续推出了一代 (Nehalem 微架构，45nm，2008)，二代 (Sandy Bridge 微架构，32nm，2011)，三代 (Ivy Bridge 微架构，22nm，2012)，四代 (Haswell 微架构，

22nm, 2013) 处理器。随着制程和微架构的提升, Core 处理器的性能也稳步提升。其中有几个比较有突破性的进展: 在 Core 一代中的部分处理器首次集成了图形处理单元 (GPU), Core i7 在 2010 年首次发布了六核处理器, Core 二代产品首次支持高性能 DDR3 内存等。经过几年的产品迭代改进, Intel Core 系列在消费级 CPU 中已经形成了一家独大的局面。

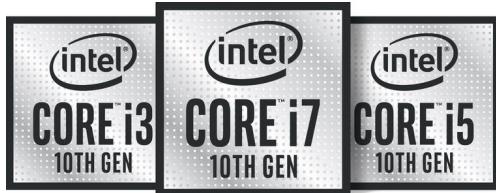
2.4.3 14nm 的爆发

2015 年, CPU 制程已经提升至 14nm, intel 也发布了基于 14nm 制程的 Broadwell 微架构的第五代 Core 处理器。这一代产品的高端型号甚至出现了 8 核甚至 10 核的夸张表现。此后发布的第六代 (Skylake,2015), 第七代 (Kaby Lake,2016), 第八代 (Coffee Lake,2017/Whiskey Lake,2018), 第九代 (Coffee Lake,2018)Core 处理器同样基于 14nm 制程。

在此期间, Intel 两次提升了台式机处理器中的 CPU 核心数和线程数。在 2017 年 5 月, 还发布了全新的 Core i9 系列, 作为 Core 系列的旗舰产品。



(a) Intel Core i9



(b) Intel Core 10th gen

2019 年, Core 系列最新一代产品 Core 十代处理器发布, 包括部分基于 10nm 制程, Comet Lake 架构的处理器。Intel 的处理器制程第一次突破了 14nm。

表 1: Intel 核心数与线程数的发展

| 型号 | 第七代 | 第八代 | 第九代 |
|---------|-------|--------|--------|
| Core i3 | 2C/4T | 4C/4T | 4C/4T |
| Core i5 | 4C/4T | 6C/6T | 6C/6T |
| Core i7 | 4C/8T | 6C/12T | 8C/8T |
| Core i9 | / | / | 8C/16T |

3 AMD 系列处理器发展历程

与从一诞生就开始引领整个 CPU 行业发展的 Intel 有所不同，比 Intel 只晚成立 1 年的 Advanced Micro Devices(AMD) 公司，起初只是 Intel CPU 的代工厂。然而 AMD 通过自身的发展运营，逐步在 Intel 主导的 CPU 市场中占有一席之地，始终与 Intel 处于高强度的竞争之中，甚至有一段时间还盖过了 Intel 的风头。本章接下来就将详细讲述 AMD 处理器的发展历程。

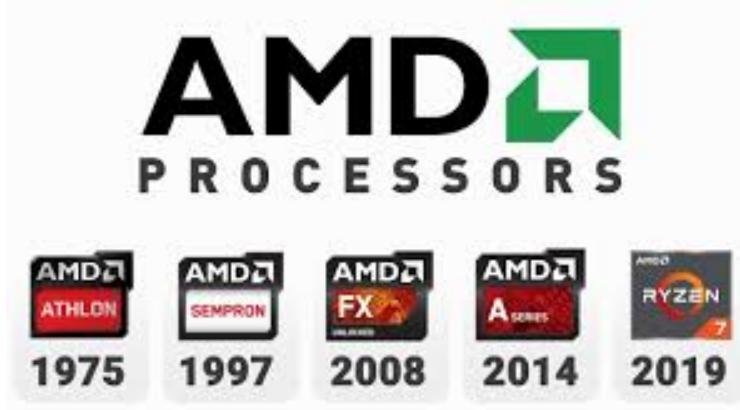


图 12: AMD 处理器的发展历程

3.1 1969-1991 AMD 公司的创立和与 Intel 的合作

3.1.1 AMD 的创立

1969 年，杰里·桑德斯 (Jerry Sanders) 和他的七个同事，一起从仙童半导体公司辞职，创办了 AMD 公司。杰里·桑德斯本人也从仙童半导体公司的营销总监转身变为了 AMD 的创始人。因此，两家公司可谓同源共生。

3.1.2 早期产品：从仿制开始

相比 Intel 创立之初的高声望，AMD 创立之初时略显寒酸，甚至一开始只能在创始人的家中办公。为了弥补技术上的落后，AMD 从创立之初便确立了自己第二供应商的地位，与 Intel 的技术导向不同，走物美价廉的路线尽快占领市场。

1974 年 INTEL 推出了 8080 芯片，一种史上最成功的 8 位处理器。在那时，8080 就是行业的标杆，各国的各大公司纷纷启动仿造，AMD 也不例外。1975 年，AMD 推出了 8080 的仿造版 AM8080，采用了与 Intel 完全相同的设计。



图 13: AMD 的第一款处理器 AM8080

3.1.3 AMD 与 Intel 的合作

1978 年，随着 Intel 8086 处理器的推出，CPU 正式进入 x86 时代，而 AMD 只能等待 Intel 的生产授权。然而，转机发生在 1981 年，IBM 创建了 PC 并想要 Intel 的 x86 处理器，但前提是英特尔必须为其专利的 x86 微处理器提供第二来源的制造商。就这样，在 IBM 的推动下，AMD 与 Intel 签署了长达十年的合作协议，后来又延长至 1995 年。协议的结果是：AMD 成为英特尔的 x86 微处理器和相关芯片的第二制造商，英特尔提供了其 8086, 80186 和 80286 芯片的制造权给 AMD。

有了这一合作协议，AMD 得以继续仿制 Intel 的处理器。1982 年 1 月，AMD 推出了第二款处理器：仿自 Intel 80286 的 AM286。它们有着相同的架构，然而 AMD 将其时钟频率由 12.5MHz 提升到了 20MHz，而且以更低廉的价格占据了更多的市场。此时，Intel 开始意识到，AMD 的地位开始对自己构成了威胁。

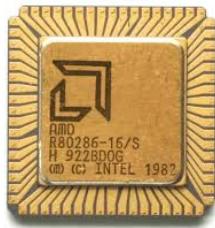


图 14: AMD 的第二款处理器 AM286

3.2 1991-1999 从 AM386 到 K6：自研 CPU 的初尝试

3.2.1 386 的争端

1985 年，Intel 推出了 80386 处理器，感受到威胁的他们单方面撕毁了协议，拒绝给予 AMD 生产授权，AMD 见状只能一纸诉状将 Intel 告上法庭。在与 Intel 在法庭周旋的过程中，AMD 眼看要错过 80386 的黄金时期，在另一边开始了自己自研 CPU 的道路。

时间来到 1991 年，AMD 终于赶在 Intel 80486 发布前，发布了仿制的 AM386 处理器。在 386 处理器上，AMD 同样采取了相同的做法：将主频从 33MHz 上调到了 40MHz。

当 Intel 的 80486 发布，AMD 又仿制了 AM486 和 AMD 5x86 处理器，均是由 80486 提升主频而来。与 Intel 80486 相同，这两款处理器增加了 L1 缓存，并将 FPU 集成到了 CPU 中。

3.2.2 K5：AMD 的第一款自研处理器

20 世纪 90 年代，随着与 Intel 的合作协议到期，AMD 只能转而寻求 CPU 自研。1996 年，AMD 发布了第一款完全在内部设计的 x86 处理器。这是一款采用 RISC 指令集的处理器，解决了传统 X86 架构因为指令码长度大小不一、管线分配不均匀所造成的性能瓶颈。K5 的外部数据总线由原来的 32 位扩大到 64 位，L1 缓存升级到 24KB，并支持主板上的 L2 缓存，大大提高了数据命中率。



图 15: AMD 的第一款自研处理器 K5

然而，正是这样一款技术指标很高的新一代处理器，却遭到了市场的冷遇。其原因是新一代的 K5 处理器与 Intel 同时代的 Pentium 系列处理器并不兼容，这使得厂商需要设计新的主板和接口。对于处理器技术尚未成熟，还只是一个二线厂商的 AMD 来说，这是市场大忌。直到 1996 年，AMD 才推出了与之兼容的 K5 处理器，然而为时已晚，Intel 已经推出了 Pentium Pro 处理器，K5 仅有的优势已经荡然无存。

3.2.3 K6：第一款成功的自研处理器

吸取了之前 K5 的教训，1997 年，AMD 在新一代 K6 架构的处理器上原生支持了 Intel 的 Socket7 接口，还兼容了 Intel 的 MMX 指令集，提升了对多媒体信息的处理能力。此外，还支持 64KB 的 L1 缓存。然而不久，Intel 又推出了 Pentium II 处理器，此时 K6 还未能动摇 Intel 的市场。

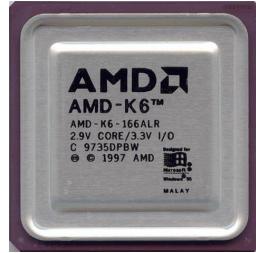


图 16: AMD K6 处理器

然而, AMD 却在其中看到了机会: Intel 在 Pentium II 处理器采用了全新的 Slot1 接口, 封杀了其他兼容厂商。但与此同时, AMD 抓住了消费者不愿为 Pentium II 更换新主板的心理, 于 1998 年推出了 K6-II 处理器。K6-II 在性能指标上提升巨大, 支持了 512KB 到 2MB 的 L2 缓存, 并添加了 3DNow 指令集, 让 K6-2 可以执行浮点 SIMD 指令, 大大增强了 K6-2 的浮点运算和 3D 图形能力。相比 PentiumII, K6-II 以三分之一的价格和超过其三分之二的性能, 取得了巨大的成功, 此时的 AMD, 已经可以在 CPU 市场上与 Intel 有了一战之力。

1999 年, AMD 趁热打铁又推出了 K6-III 处理器。K6-III 首次将主板上的 L2 缓存集成到了 CPU 中, 支持主板上的 512KB 到 2MB 的 L3 缓存, 相比 K6-II 在晶体管数量上提升了超过一倍, 达到了 2130 万个。然而 K6-III 价格比较昂贵, 很快便被后续的 Athlon(速龙) 处理器替代。

3.3 1999-2006 Athlon 系列: AMD 的崛起和辉煌

3.3.1 初代 Athlon: 和 Intel 分庭抗礼的开始

由于 K6-III 价格昂贵, AMD 在 1999 年又推出了新的基于 K7 架构的处理器, 命名为 Athlon(速龙)。这一代处理器抛弃了之前的 Socket7 接口, 是 AMD 第一个具有 SMP(对称多处理器) 技术的桌面 CPU, 用户可以由此构建多处理器的系统。此外, 初代的 Athlon 处理器还拥有 128KB 的 L1 缓存和 512KB 的 L2 缓存。



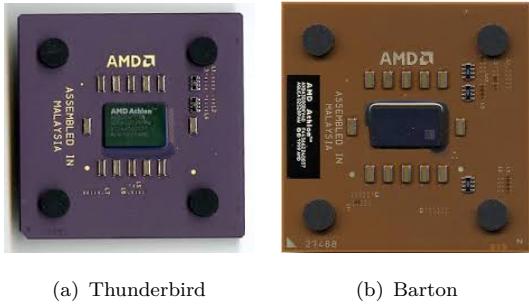
图 17: AMD Athlon 处理器

和同时期的 Pentium III 处理器相比, Athlon 与其不分伯仲, 甚至在浮点数计算和游戏场景中更胜一筹。从此, AMD 终于迎头赶上, 在同一时期与 Intel 形成了几乎对等的竞争。

3.3.2 Athlon 系列的发展

1999 年底，AMD 又推出了 Athlon 系列的改进版，由于采用了 180nm 工艺，CPU 得以在更高的主频上运行。2000 年 3 月，AMD 抢先发布了世界上第一款 1GHz 处理器 Athlon 1000。而 Intel 在同期推出的 1.13GHz PentiumIII 处理器又出现了严重的 bug，不得已强行召回。这是第一次 AMD 在与 Intel 的竞争中占得先机。

2000 年，AMD 推出了 Athlon 系列的第三代产品，代号为 Thunderbird。Thunderbird 将 Athlon 的二级缓存减半，并集成在 CPU 中，同时保持了 AMD 一贯的高频率 (1.4GHz) 和低价格，同期的 PentiumIII 完全不是他的对手，AMD 因此疯狂的占领着市场。



(a) Thunderbird

(b) Barton

图 18: Athlon 系列的后续产品

2001 年，第四代 Athlon(代号为 Palomino) 发布，定名为 Athlon XP，将制程更新到了 130nm。2003 年，代号为 Barton 的第五代 Athlon 发布，集成了 512KB 的 L2 缓存，性能更上一层楼。而且，那时的发烧友正处于超频的黄金时代，而所有的 Barton 系列几乎均可超频至 3GHz 以上，满足了发烧友的要求。

3.3.3 Duron 系列：AMD 的低端系列

1998 年，Intel 在 Pentium 系列的基础上推出了 Celeron 系列处理器，作为应对，AMD 也同样削弱了高端系列 Athlon 的 L2 缓存，推出了主打中低端的 Duron(毒龙) 系列。Duron 系列一经推出，市场反响强烈。虽然 L2 缓存被砍了四分之三之多，然而 Duron 的缓存运行速度更快，更重要的是 Duron 的超频能力十分强大，再加上低廉的价格，成为了当时超频发烧友的不二之选。

关于 Duron 处理器，还有一个小故事：彼时的 Duron 系列由于超频能力过强，甚至在一定程度上影响了 Athlon 系列的销量，AMD 不得已封锁了 Duron 的超频能力。然而不久，发烧友就找到了“锁频 Duron”处理器的破解办法：将 L1 桥重新短接连通，就可以解锁。于是发烧友尝试了锡焊、飞线、液金笔等连接方式均破解成功，最后甚至用铅笔画一道也能成功解锁，“铅笔破解法”从此流传开来，成了超频黄金时代里的一段佳话。



图 19: AMD Duron 处理器

在随后的几年里，AMD 的 Athlon 系列在高端产品线上持续与 Intel Pentium 系列抗衡，而没有推出 Duron 处理器来应对 Celeron D，直到 2003 年新一代 Duron(代号为 Applebred) 处理器发布。与初代 Duron 相同，AMD 同样砍掉了 Athlon 系列部分 L2 缓存。然而，狂热的发烧友却并不满足于此，他们又一次发现，Applebred 只不过是屏蔽了 Athlon 系列上的部分 L2 缓存，玩家们通过短接 L2 桥，实现了“开核”，恢复成了完整的 Athlon XP 处理器！Duron 系列的“开核”能力让它再一次成为了发烧友的绝佳选择。

3.3.4 64 位时代：Athlon 产品线的再分布

随着处理器的不断发展和对处理器寻址能力要求的不断提高，32 位处理器已经不能满足需要。2001 年，Intel 推出了 64 位的 Itanium(安腾) 系列处理器，然而这一并不兼容 x86 架构的处理器并未成为主流，Intel 也始终没有清晰的 64 位处理器计划。

然而，AMD 又一次成功抓住了机会：2003 年 8 月，AMD 发布了新版的 K8 架构处理器，命名为 Athlon 64。同时发布的还有 Athlon 64 FX，又一次震惊世界。而且，这两款处理器与 x86 架构兼容，同时 64 位处理器也使得 PC 的内存不再局限于 4GB，大大提高了 CPU 寻址的上限。时至今日，市面上主流的处理器均为 64 位处理器。



(a) AMD Athlon64 (b) AMD Sempron 系列
 徽标

图 20: AMD 64 位时代的产品

Athlon 64 系列处理器的 L1 和 L2 缓存分别高达 128KB 和 1MB，主频最高达到了 2.4GHz，晶体管数量也突破了 1 亿个，成为了当之无愧的“巨无霸”产品。同时他还向下兼容 32 位的 x86 架构，同

时支持 64 位扩展，这使得原先为 32 位处理器编写的程序可以直接移植到 Athlon 64 上，大大提升了产品的适用性。Athlon 64 系列在市场上也成功接过了 Athlon XP 系列的旗舰位置。

与此同时，AMD 将其 Athlon 系列的产品线进行重新分配：Athlon 64 系列主攻高端，Athlon 64 FX 则为其中的旗舰产品；Duron 系列与之前一样主攻中低端处理器；而原先的 Athlon XP 系列则被下放，以填补两者之间的空缺，同时 AMD 将其更名为 Sempron(闪龙) 系列。

3.3.5 Athlon 64 X2：AMD 这一时期的巅峰之作

2005 年，随着单核 CPU 的主频提升已经接近瓶颈，Intel 和 AMD 不约而同地转向了多核心 CPU 的研发。费劲心思的 Intel 抢先发布了 Pentium D 系列双核处理器，AMD 的 Athlon 64 X2 紧随其后。然而，Intel 的双核方案只是将两个 Pentium 4 的总线相连，使用总线相互连接，又采用了 Netburst 架构，由此产生了巨额的发热和功耗，两个 CPU 核心的协同工作效果低下，因此被戏称为“胶水双核”。这一次的“真假双核”之争上，AMD 以压倒性的优势获得了胜利。



(a) AMD Athlon 64 X2 (b) “真假双核”之争

图 21: Athlon 64 X2 与“真假双核”

初代的 Athlon 64 X2 处理器采用了 90nm 制程，后续又提升至 65nm，提供了每个内核 1MB 的 L2 缓存，主频最高达到了 2.4GHz。在同一块单晶硅上刻出了两个内核，无论是在两个核心的协同工作还是在发热的控制上都远超 Pentium D 系列。不夸张的说，Athlon 64 X2 就是 AMD Athlon 系列的巅峰之作。

3.4 2006-2017 AMD 失落的十年

2005 年-2006 年的 AMD 凭借这 Athlon 64 X2 的强势，在处理器市场上所向披靡。财大气粗的 AMD 于 2006 年 7 月收购了显卡巨头 ATI，然而这是一把双刃剑。AMD 在扩展了显卡业务的同时也陷入了资金流危机，在几年后不得不将其生产部门拆分成为 GlobalFoundries Inc.(格罗方德公司)。同年，Intel Core 2 Duo 系列的推出更是将 AMD 之前在 CPU 上的优势化为乌有。在内部和外部的双重打击下，AMD 几近破产，进入了失落的十年。这一时期 AMD 新推出的产品有 Phenom(羿龙) 系列，Athlon2 系列和 FX 系列。

3.4.1 Phenon 系列：失败的对抗产品

2007 年，为了应对 Core 系列的猛烈攻势，AMD 推出了 Phenon(羿龙) 处理器予以应对。Phenon 系列为四核处理器，除了每个核心独享的 128KB 一级缓存和 512KB 二级缓存外，还集成了共享的 2MB 三级缓存。由于架构上的差距，AMD 在单核性能上完全无法与 Intel 的 Core 系列抗衡，只能堆起核心数。

然而，被 AMD 寄予厚望的 Phenon 系列却在不久后遭遇了滑铁卢：在 Phenon 系列的 B2 步进核心出现了 TLB 错误，会导致 CPU 因自身错误而死机。这种 bug 无法通过软件层面弥补，只能更换 CPU，AMD 的声誉因而跌入谷底。

虽然 2008 年，AMD 重新设计了适用于 Phenon 的 B3 步进核心，却仍然难以与同时期的 Core 2 竞争，只能退守中端市场。2009 年，AMD 的 45nm 制程 PhenonII 推出，然而同时期的 Intel 已经推出了 i 系列处理器。Phenon 只能与最低端的 i3 竞争，面对 i5 和 i7，AMD 毫无办法，用 Phenon 对抗 Core 系列的策略也惨淡收场。

3.4.2 Athlon2：令人唏嘘的下场

2009 年，AMD 在中低端市场推出了 Athlon2 处理器，采用与 PhenonII 相同的 K10 架构，45nm 制程，具有不错的超频能力，也因此在低端市场中占有一席之地，然而在高端产品上，AMD 仍然无法与 Intel 抗衡。Athlon 系列和 Pentium 系列一样，当初作为最新的高端产品推出，最后都被下放到低端产品线，令人唏嘘。

3.4.3 FX 系列：困境中艰难的赌注

3.5 2017-至今锐龙 (Ryzen) 系列处理器与 AMD 的重生