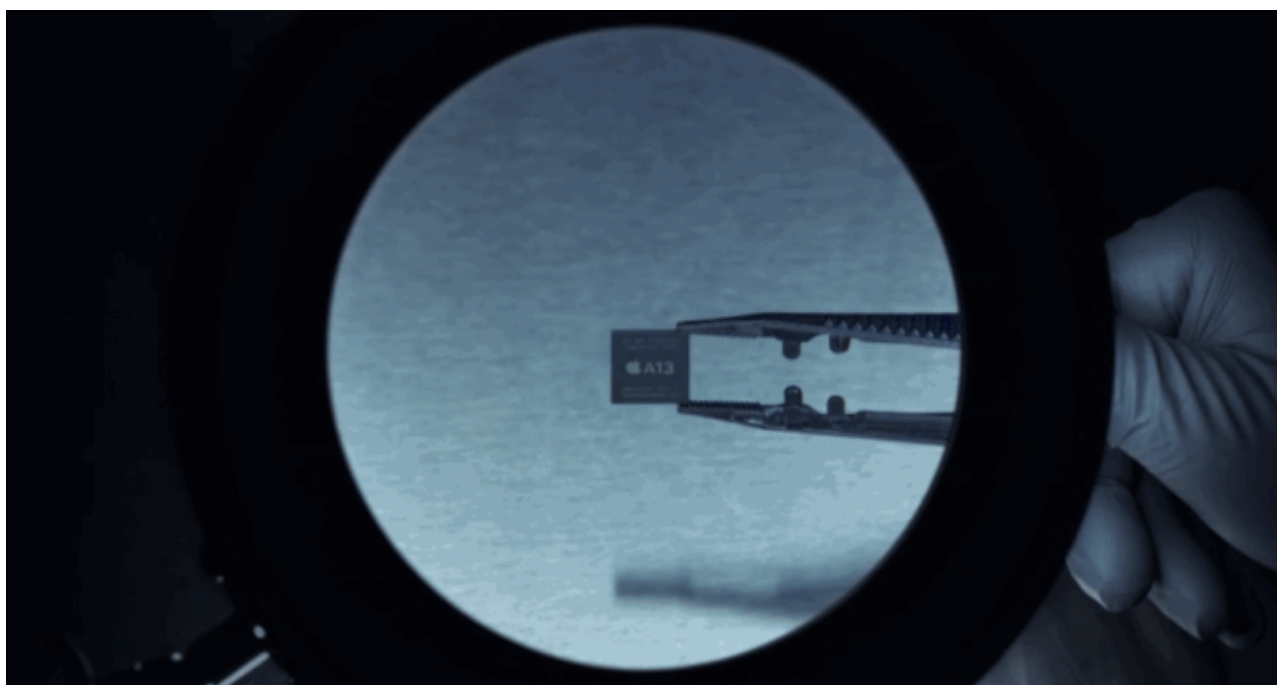


## 苹果的芯片帝国

若不出意外，苹果极有可能在下周的 WWDC2020 上官宣 Mac 电脑的“芯”计划，将要用自研的芯片了，这是一件让乔布斯知道了都会兴奋不已的大事。

目前，苹果公司手里的 iPhone、iPad、AirPods、Apple Watch 等主力产品早就用上了各种各样的自研芯片，从 SoC 到网络连接、安全等等，只剩 Mac 系列电脑。不论是 iMac 还是 MacBook，其芯片上仍然还印着一个大大的“Intel”Logo。

一旦苹果实现了 Mac 芯片自给自足，对英特尔会有多大影响呢？大约每年少卖 36 亿美元，占比 5%。心疼是心疼，但还不够要命，虽然 PC 业务占大头，但英特尔也有超过 36% 的营收都来自于数据中心业务，且增速接近 20%，反观 PC 业务的增长已经陷入瓶颈。但这对于苹果来说，却是一盘打造“苹果芯片全家桶”大棋中的关键一子。补齐 Mac 自研芯片后，苹果就彻底实现了主力产品核心芯片的全自研，[iPhone](#) 所用 A 系列芯片在智能手机领域一枝独秀，而性能略显羸弱的苹果 Mac 芯片终于可以摆脱对英特尔的依赖。



Mac 性能提升是一方面，苹果芯片帝国的崛起则更值得关注。在 10 亿美元收购英特尔基带业务后，苹果又铁了心搞定 Mac 芯片自给，加之 A 系列、W 系列、H 系列、S 系列等多个芯片产品线的完

善，我们不由得要问，苹果造芯的野心到底有多大？这个眼看就要补齐最后一隅的芯片版图是如何从零到一，一步步构建完整的呢？这是本文要探寻的答案。

## 01

### 25 年后，补全苹果“芯”帝国最后一块

苹果 Mac 芯片受制于人，早已不是一年两年。1994 年，苹果公司认定了 [IBM](#) 的 [PowerPC](#) 处理器，一用就是 10 年；2005 年，乔布斯与英特尔 CEO 欧德宁共同登台，宣布 Mac 将采用英特尔处理器，这一用就是 15 年。可以说苹果最辉煌的日子，基本都是英特尔陪着他一起走过的。但商业合作永远逃不了那句老话，没有永远的朋友，只有永远的利益。一旦有一天你拼尽全力也给不了他想要的，他自然会离你而去，更何况，你可能并未拼尽全力。2003 年，乔布斯在推出搭载 PowerPC 处理器的 Mac 时说，十二个月内处理器的频率就会达到 3GHz，但实际上在 24 个月之后，3GHz 的处理器依然不见踪影，没错，消费者被放鸽子了。但这个锅，虽然是 IBM 的，但是却要苹果来背，核心零部件被别人攥在手里，而且是被一个人攥在手里的感觉，就是这么不好受，苹果第一次尝到了关键技术受制于人的滋味。也许在那个时候，苹果就恨为什么芯片不是自己来做。



▲ 曾在苹果 Mac 电脑中使用的 IBM PowerPC 970 处理器后来与英特尔搭伙做饭，苹果吃到了甜头，起码开始十年，英特尔在摩尔定律的催促下，处理器性能虽然是“挤牙膏”，但还多少够看，并且苹果在 Mac 上更看重轻薄、续航，稳定易用的 MacOS 也没有给处理器增加太多负担。如今，摩尔定律的推进逐渐进入瓶颈期，英特尔的“14nm”已经用了六年，不知道其后缀已经添了多少个“+”，虽然今年 10nm 处理器也陆续落地，但其仍旧集中在笔记本市场的移动处理器领域，而代表其消费级最高水平的 10nm PC 处理器仍然遥遥无期。英特尔称自己的 14nm 工艺经过多轮迭代也有性能上的显著提升，但不可否认的是，英特尔与台积电、三星在制程工艺上的差距在越拉越大。AMD 凭借 Zen 2 架构和台积电 7nm 工艺加持，在 PC 市场中连连获得消费者“AMD Yes!”大呼真香。高通、华为等 Arm 架构同门兄弟也对轻薄笔记本 SoC 蠢蠢欲动，在这个看重轻薄、续航，性能“够用就行”的品类里，英特尔处理器绝对性能高的优势愈发得不明显了。同样的功率下，Arm 架构能提供更强的性能。而英特尔在不改变制程工艺的前提下，只靠提升主频来提升性能，已经远远不能满足苹果的需求了。低功耗的 i3、i5 处理器，其性能甚至已经被 iPhone 的 A 系芯片赶超，目前搭载 A12X 的 2018 款 iPad Pro，其 Geekbench 5 单核、多核性能均已超过搭载英特尔酷睿 i5 处理器的 2020 款 MacBook Air。

## STRONG-ARM TACTICS

### Geekbench 5 Single-Core test



### Geekbench 5 Multi-Core test



Tested in Geekbench 5 from Primate Labs.

▲ 搭载 i5 处理器的 MacBook Air 2020 款与搭载 A12X 的 iPad Pro 2018 款基准测试对比，数据来源：Geekbench

更雪上加霜的是，从 2018 年三季度开始，英特尔还时不时地玩缺货，即便在 2018 年底做出承诺提升产能，但缺货的问题直到 2019 年一季度结束仍然没有得到解决。苹果 Mac 业务之前在 IBM 手里就吃过“把鸡蛋放在一个篮子里”的亏，既然好言相劝不奏效，这一次，苹果确实要动真格的了。这一次选择基于 Arm 架构自研，苹果将 Mac 芯片核心技术牢牢把握在了自己手中，变得真正可控，芯片突破性能瓶颈的可能性也随之提高。但在这背后，我们更多看到的是苹果在几十年的隐忍、学习之后，终于有能力去补齐自己芯片版图的最后一块明显短板。建立属于自己的芯片帝国，才是苹果的野心所在。

## 02

### 聚齐硅谷“将相良才”，苹果芯片从 0 到 1

当然，凡事皆有开始，任何伟大的企业、组织，都有一穷二白的早期。苹果想造芯片，当然也不是动动嘴的事情。乔布斯曾认为，一个真正要把软件做到最好的人肯定要自己做硬件，做好“软硬一体”，因此必须自己做芯片。但苹果此前从未涉足芯片领域，所以他们是挑了一个硬骨头啃。苹果 Mac 电脑称霸的年代，可能离我们都有些久远了，不过苹果就是靠着 Mac 起家积累了第一桶金。凭借着原始资本的积累，苹果才有能力找到最初的几块落脚石。首先要造芯片，没有底层架构不行，苹果花费巨资，从 Arm 那里直接买来了当时最高等级架构授权。有了底层架构，接下来就是集齐各路大神在上面搭建起属于自己的芯片。P.A 半导体、Intrinsty，这些耳熟能详的芯片公司自不必说，2008 年那会儿，苹果花了不到 4 亿美元，买下了这两家公司。但公司只是个皮毛，苹果最终要的是技术和人才。这两家公司加在一起，一共 250 位优秀的硅谷工程师被纳入苹果的麾下，其中就包括当时的芯片设计大牛 Sribalan Santhanam 和传奇芯片设计师 Jim Keller。同年曾为英特尔和 IBM 工作的 Johny Srouji 也加入了苹果，另外还有 AMD、ATI、IBM 的一些优秀工程师也相继加入。



▲ Johny Srouji



▲ Santhanam

Santhanam 曾扛起 P.A 半导体的芯片研发重任，带领 P.A 掌握了复杂超低功耗芯片的设计能力；Srouji 则是苹果核心三大件 iPhone、iPad、Macbook 芯片的团队负责人；而被称为“硅仙人”Keller 更是有着那句名言：“我这个人没什么太大成就，你们用过最好的 CPU，都是我设计的。”



▲ Jim Keller

这几个人的名字每一个拿出来都是一段传奇故事，可以说，苹果把 21 世纪初期硅谷芯片界最聪明的几个大脑全都聚到了一起，而他们都成为了苹果芯片业务的灵魂人物。自 2008 年之后，iPhone 4、初代 iPad 等产品的苹果自研芯片就出自这几位大佬所在团队之手。有人说，苹果就是有钱吧，买人，谁不会？但仔细想想，在当时，英特尔、IBM、AMD、ATI、高通，哪一家都是半导体行业的巨头玩家，都有着各自擅长的领域。为什么是苹果将这些人聚在了一起？历史的细节我们无法知晓，我们也不知道乔老爷子究竟跟他们聊过什么。但对于 Sribalan Santhanam、Jim Keller、Johny Srouji 这样的人来说，如果你给了他们一个可以改变世界的机会，那么他们一定会毫不犹豫。在强大团队的基础之上，苹果仅用了两年，就推出了自己的第一款自研芯片 A4，就在 2010 年，iPhone 4 也成为了苹果智能手机发展史上的一座里程碑。虽然 A4 在同等频率下的性能仅略高于同时期的三星 S5PC110，核心结构也与苹果此前使用的三星处理器比较相似，但不可否认的是，苹果第一次将智能手机的命根子攥在了自己手里。2011 年底，苹果又豪掷 3900 万美元收购了以色列闪存控制器设计公司 Anobit。存储芯片是整个手机上，除了 SoC 以外，最值钱的芯片组件，不过苹果收购它们，并不是要造闪存颗粒，而是掌握闪存控制器相关技术，从而优化存储模块和处理器之间

VxWorks 技术分享 <https://www.vxworks.net>

的数据传输效率。2013 年 8 月 1 日，苹果收购擅长低功耗无线通讯芯片的加州 Passif 半导体公司，两年后买下加州一座芯片制造工厂，这也是第一次，苹果拥有了芯片制造的能力，据说工厂地址跟三星半导体挨得很近。



**苹果造芯重要节点：**

| 苹果造芯重要节点（智东西制表）      |                                                      |                     |
|----------------------|------------------------------------------------------|---------------------|
| 时间                   | 事件                                                   | 意义                  |
| 2007年                | 初代iPhone发布，采用三星Arm架构处理器                              | 乔布斯表露出对于芯片自研的执念     |
| 2008年                | 收购P.A半导体                                             | 掌握复杂低功耗芯片设计技术       |
| 2008年                | Sribalan Santhanam, Jim Keller, Johny Srouji三位大神加入苹果 | 拥有硅谷芯片设计核心人才        |
| 2010年                | 收购芯片设计厂商Intrinsity                                   | 积累移动SoC设计技术         |
| 2010年                | iPhone 4问世，第一款苹果自研芯片A4落地                             | 证明苹果自研芯片可行性         |
| 2012年                | A6问世，双核心新能碾压四核安卓机皇                                   | 苹果确立移动SoC霸主地位       |
| 2013年                | A7问世，采用自家Cyclone架构，64位，算力大幅提升                        | 开启移动SoC 64位时代       |
| 2014年                | 初代Apple Watch发布，搭载自研S1芯片                             | 开始涉足低功耗智能穿戴芯片       |
| 2016年                | 初代AirPods发布，搭载自研W1芯片                                 | 低延迟、高传输速率，开启TWS耳机时代 |
| 2016年                | MacBook采用自研T1芯片                                      | 苹果设备安全性获得芯片级保障      |
| 2017年                | A11 Bionic问世，首次采用自研GPU，首次搭载神经网络引擎                    | 开启智能手机AI时代          |
| 2019年                | iPhone X搭载U1芯片                                       | 苹果生态产品连接性提升         |
| 2020年                | iMac将首次采用自研Arm架构芯片                                   | 苹果芯片生态版图基本完成        |
| 备注：根据公开资料整理，如有错漏，望指正 |                                                      |                     |

03

从有芯到强芯，从单点突破到多线出击

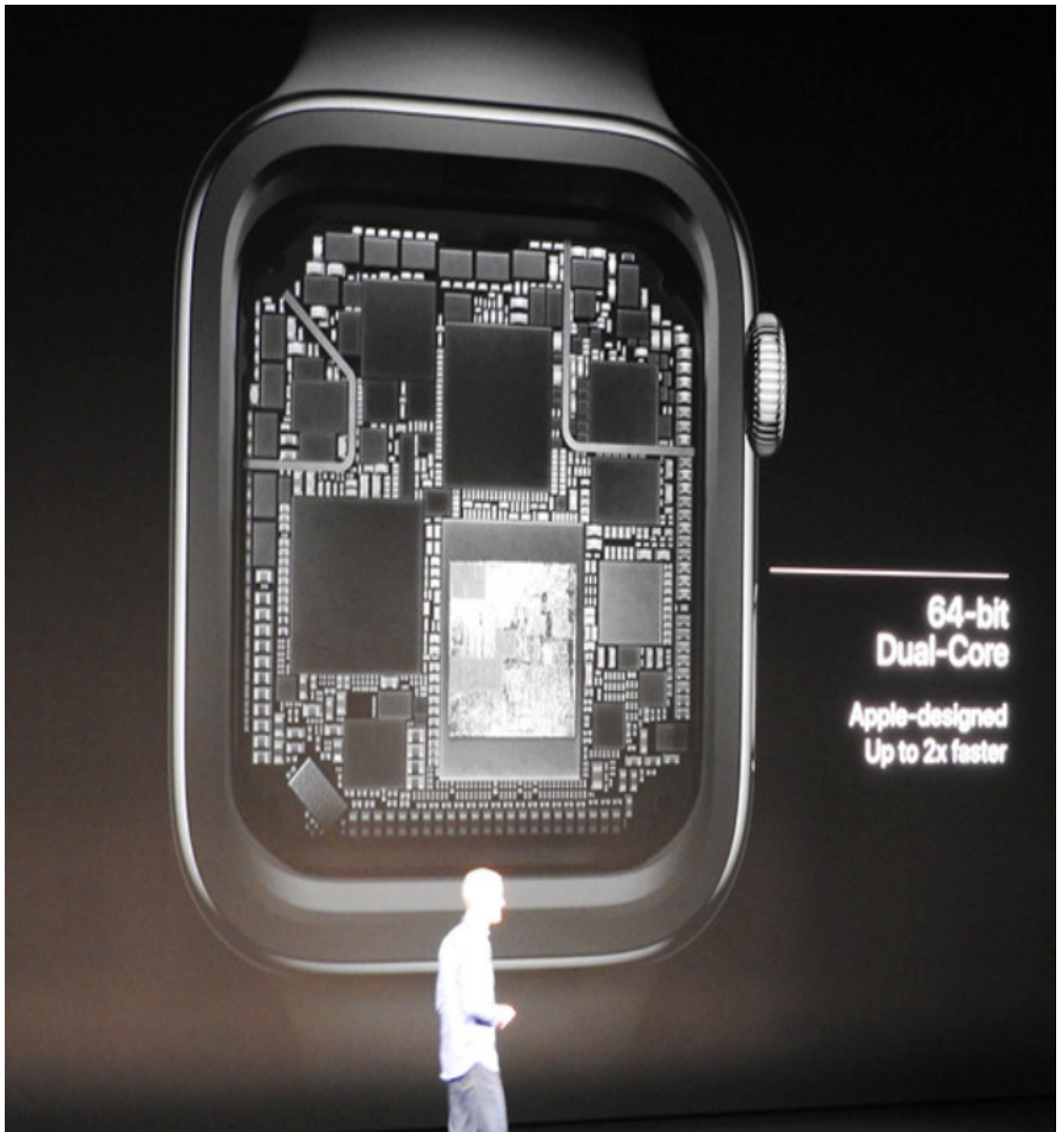
从 0 到 1 是最难的，而在 A4 芯片落地 iPhone 4 系列之后，苹果的芯片之路似乎走的越来越顺了，苹果芯片也逐渐开始踏足更多新的领域。2013 年的 A7 芯片开启了手机处理器的 64 位时代。它使用苹果自家的 Cyclone 架构，采用 28nm 工艺，主频 1.3GHz，其处理器的性能比 iPhone 5 上的 A6 快 2 倍，是初代 A4 的 40 倍，图形能力是初代 A4 的 56 倍。也就是在那一年，苹果 A 系芯片的霸主地位正式确立，一众安卓 8 核旗舰手机被 A7 的 6 核心“按在地上摩擦”，安卓“一核有难，多核围观”的问题暴露无遗。高通、联发科面对苹果 A 系芯片，在当时可以说毫无还手之力。四年

后，A11 Bionic 仿生芯片的推出，让智能手机跨入了 AI 时代，神经引擎的加入，通过算法进一步提升了手机全方位的功能和体验，如 AR、人脸识别、图像合成都成为现实。而也是在 A11 上，苹果第一次采用了自己设计的 GPU 核心。



A11 采用了台积电当时最先进的 10nm 工艺制程，拥有 43 亿个晶体管，大核性能相比 A10 提升 25%，GPU 性能较 A10 性能提升 30%，而功耗则降低了 50%。从芯片自给自足开始，苹果每次都保证自己的 A 系采用当时最先进的制程工艺，从而保证较为出色的能效比。而基于 A 系列芯片研发中积累的技术，以及苹果终端产品的不断丰富，苹果的芯片生态也在不断延展。只要苹果想做什么品类的产品，那么这个产品的核心技术一定要掌握在自己手中。A4 芯片推出的两年后，2012 年，iPad 也第一次用上了苹果自研芯片 A5X，从此，以 X 作为结尾的 A 系列芯片就成为了 iPad 系列产品的专属。芯片性能的发挥，很大程度上受制于设备的散热规格，散热越强，芯片运行主频越高，芯片性能就会随之提升，iPad 得益于更大的体积空间，可以放入更高规格的散热系统，从而也让 X 结尾的 A 系列芯片的性能相较于同代 A 系列又有大幅提升。不久前发布的最新 A12Z 处理器，在 A12X 的基础上又解放了一颗 GPU 内核，其性能已经超过一些轻薄笔记本中所搭载的英特尔处理器。2014 年和 2016 年对于苹果来说也有着里程碑式的意义，2014 年 Apple Watch 的推出和 2016 年 AirPods 的推出让智能手表和智能耳机两个品类的市场被彻底点燃，而这两个品类也成为了苹果日后“家里有粮，出事不慌”的重要支撑。在初代 Apple Watch 中，S1 芯片首次

亮相，虽然没有超低功耗芯片那样的长续航，却帮助 Apple Watch 实现了语音、连接汽车、查询航班信息、地图导航和测量心跳等多种功能。这些功能的实现，都需要 S1 作为性能支撑。



AirPods 中搭载了苹果自研 W1 芯片，正是凭借这块小小的 W1，AirPods 拥有了在当时远超同类产品的低延迟和高数据传输速率，从而让 TWS 真无线蓝牙耳机这个品类真正在消费市场中被引爆。

W1 支持多种无线协议，可以减小音频传输受到的影响。同时它支持音频解码、提供立体声同步、处理用户控制等功能，让 AirPods 与 iPhone 实现更加“无缝”的交互体验。



苹果的 A 系列、W 系列、S 系列芯片构成了智能手机、智能耳机、智能手表三大品类的底层基础，也让这些设备在底层实现打通。苹果的智能穿戴生态，也逐渐枝繁叶茂。

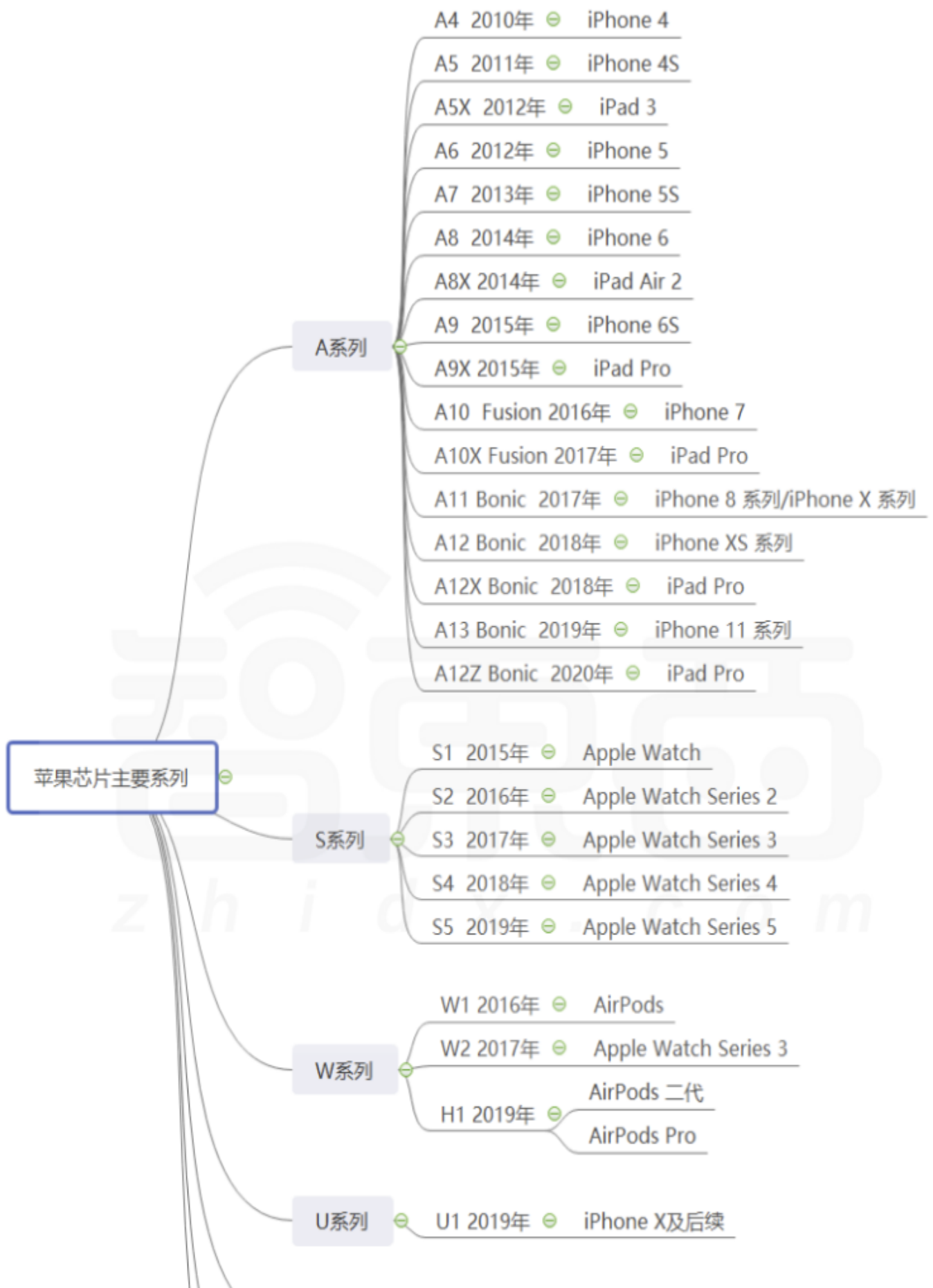
当然，除了这些高光时刻，苹果还有很多芯片是做在“暗处”，其特性不如这三类芯片来的直观，但都是苹果底层芯片生态的一员。比如苹果在 2016 年 MacBook 中所使用的 T1 芯片，专门负责用户的身份验证和安全保护；苹果在 2019 年的 iPhone 11 系列中首次采用的 U1 芯片，负责苹果设备之间的短距离精确数据传输。在下周即将到来的 WWDC 上，有传言称苹果又将推出首款 R 系列芯片 R1，并在落地 AirTag 产品。这很可能将成为苹果无线通信芯片阵营中的又一杀器。



## 前方高能，超在线。

首次全程在线举行的 WWDC，  
将于北京时间 6 月 23 日凌晨 1 点全码力开动，  
来自 Apple Park 的特别活动主题演讲，在线等你。

从智能手机到智能手表、从智能耳机到 Mac、从高性能处理到低功耗通信，苹果的芯片生态俨然已经枝繁叶茂。 **苹果芯片主要系列分布：**



## 04

### 苹果执着的自研芯片到底有多“香”？

苹果辛苦建立的芯片帝国，都给苹果带来了什么呢？显而易见的，就是成本的下降，利润的增长。2019 年第三季度，苹果卖出了 4480 万部手机，排名全球第三，而第三季度苹果却吃下了全球智能手机市场三分之二的利润，约为 80 亿美元。这样的利润为苹果芯片的研发提供了雄厚的资本支持，而资本驱动技术升级则会再次反哺终端产品，苹果的手机芯片战车，就这样隆隆向前。雪球，也越滚越大。性能的绝对优势也是自研的甜头之一。通过自研，芯片性能不必再受制于人，苹果 iPhone 中的 A 系芯片，迭代至今，其性能已经接近部分入门级台式机 CPU。许多人都知道苹果 iOS 系统的流畅体验，但这流畅体验则需要强大的性能作为保障。正如现在做终端的厂商常说的一句话，“一切脱离硬件谈软件的，都是耍流氓。”

## iPhone11,6

Single-Core Score

4822

Multi-Core Score

11508

Geekbench 4.3.0 for iOS AArch64

## HUAWEI LYA-L29

Single-Core Score

3390

Multi-Core Score

10318

Geekbench 4.3.0 for Android AArch64

## QUALCOMM msmnile for arm64

Single-Core Score

3469

Multi-Core Score

10259

▲ 苹果 A12 与同时期高通、华为 SoC Geekbench 测试成绩对比并且更先进的芯片制程工艺也带来了更低的功耗、更轻薄的机身、更持久的续航，这些都是苹果最为看重的产品设计。曾经有苹果工程师透露，当初苹果 AirPower 无线充电板项目最终流产，一部分原因就是苹果执意将温度控制在 36 度以内，

不愿妥协，因为苹果说，这是要给手表充电的，手表热了，那怎么办？苹果对于产品设计的执念，必须要靠强大的硬件做支撑。当然，硬件与软件的打通所带来的流畅使用体验，也是苹果硬件生态的核心竞争力。芯片的架构设计简单来说告诉 CPU 该怎样去执行代码。苹果的芯片是自己设计的，操作系统是自己设计的。两个同根之人用母语交谈，效率自然比异国人用再好的翻译机交流都更加顺畅。



除了给用户带来的体验提升，自研芯片也让苹果核心技术的安全性得到了保障。苹果可以对研发工作掌握十足的自主权，避免了向三星等竞争对手泄密的风险。苹果的芯片，似乎永远像个“黑盒”，苹果也不希望你了解，他只希望你用着“爽”就可以了。就算你执意将小黑盒破拆开，也只会面对数百亿密集排布的晶体管，而无从下手。

## 05

### 二十年执念，从软件到硬件生态帝国

苹果这种对于自研的“执念”，其实是植根于他们基因中的。英特尔前 CEO 欧德宁跟乔布斯打了几十年的交道，他就曾经直接点破说，“这只是乔布斯控制欲的另一个表现，他想控制产品的每一个环节，从芯片到材料。”在乔布斯的时代，软件是苹果的灵魂，也是苹果起家的本领，但苹

果知道软件需要强大的硬件支撑才能带来更好的体验，因此他们开始构建自己软件+硬件的整体生态版图，而芯片，则是沉于硬件下面的一盘大棋。2011 年，库克接棒，他扛起乔老爷子的意志，继续深耕硬件和软件，并集中攻克所剩不多的芯片硬骨头。从 Apple Watch 到 AirPods，从 Swift 编程语言到 iPad OS，而这次拿下 Mac 芯片，则补齐了最后一块短板。

自此，苹果二十多年的软硬件生态版图再次来到新的阶段。

## 06

### 结语：科技圈食物链顶端的生存法则

从苹果造芯的初衷，到他们一步步招兵买马，从 0 到 1 建立自己的芯片帝国并开枝散叶，我们能感受到苹果造芯的决心，我们更可以看到其落地产品为他们自身带来的巨大利益和为消费者带来的优质体验。而这一次，苹果要动真格的，将最后一块被他人掌控的芯片业务重新拿到自己的手里。届时，苹果所有核心硬件产品的芯片都将实现自研。1994 年，苹果 Mac 处理器从摩托罗拉转向 IBM；2005 年从 IBM 转向英特尔。十五年过去了，下一个属于苹果自己的 Mac 芯片时代即将到来。放眼全球科技巨头，将芯片、系统、终端产品都握在手里的，唯有三星、苹果和华为这极少数几家，有意思的是，他们恰好也是全球智能手机行业的头三位玩家。不过三星虽枝叶繁茂，却在智能手机之外的 AIoT 设备领域少有亮眼表现，华为相对全面，但其全球化发展却频频受阻。苹果，在这三个方面的优势则不言而喻。可以说，虽然苹果不可能短时间撼动 PC 界的“[Wintel](#)”生态，但苹果芯片生态帝国的崛起，已经势不可挡。