



下载APP



01 | 核心概念：从晶体管到集成电路到摩尔定律

2021-05-19 邵巍

[进入课程 >](#)**讲述：邵巍**

时长 18:51 大小 17.27M



你好，我是邵巍。

在一开始做这门课程的时候，极客时间的编辑就问我，“邵老师啊，这芯片和半导体是不是一回事儿呢？怎么我有时候听人说芯片行业，有时候又听人说半导体行业，好像他们说的都是一回事？”

不知道你是不是也有这样的问题。其实啊，这问题很简单，芯片和半导体是同一个事物的两个名字，芯片是半导体产业的产品，半导体是用来做芯片的材料。这个行业，通俗一点，就叫芯片行业，学术一点就叫半导体行业，相当于土豆和马铃薯的区别。



半导体产业是电子产业的一个分支。如果你想入行，可以读电子工程系的微电子专业，或者集成电路专业，前者毕业可以从事芯片制造，后者毕业可以从事芯片设计。而如果你想

入门，那我就凡尔赛一下，你听我的课就足够啦。

今天是咱们整个课程的第一讲，我们不急着发散到芯片的具体技术细节和行业趋势，转而，我想带着你从三个基础概念开始，咱们先把半导体产业发展的底层逻辑弄明白。**这三个概念分别是晶体管、集成电路和摩尔定律。**

我们先从晶体管和集成电路这两个名词解释开始。注意，这可不是简单的两个名词，它们的背后可是两个诺贝尔物理学奖和整个行业发展史。

晶体管

想了解晶体管，你得先了解它的“前身”——电子管。电子管是中文翻译后的名称，英文原文其实是真空管。从这个名字，你可以想象，它其实是把参与工作的金属薄片，也就是电极，封装在一个真空的容器内，真空容器一般指的是玻璃瓶。

如下图所示，电子管长这个样子。它其实是爱迪生发明灯泡时的一个连带发现。

整个电子行业，并不是从芯片开始的，而是从电子管开始。电子管最鼎盛时期的代表作，就是世界上的第一台电子计算机。这台 1946 年诞生的电子计算机，占地 150 平方米，重

达 30 吨，里面的电路使用了 **17468 只电子管**、7200 只电阻、10000 只电容、50 万条线。

这台计算机虽然运算速度不快，但基本具备了现代计算机的主要结构和功能，这也是电子管能达到的最高成就了。其实从上图你也可以看出来，电子管最大的缺点就是，真空容器对于电子产品来说体积太大了。

如果人类停留在电子管技术上，所用的电子设备，就会因为需要多个真空电子管而变得体积庞大，成本昂贵，还需要轻拿轻放。

人类的电子世界，需要另点新的科技树了。

这个时候，科学家们开始积极寻找可以取代电子管的固体元器件材料：一种合适的半导体。

什么是半导体呢？官方说法，半导体是指常温下导电性能介于导体与绝缘体之间的一类材料。简单地说，**导体导电，绝缘体不导电，而半导体，在不同电流控制下可以表现出不同的导电，或者不导电的特性，这个特征和真空电子管做电信号放大器的特性吻合，因此半导体可以被用来做固体电子元器件的材料。**

如果是学习微电子专业的大学生，应该有一门专业基础课叫《半导体物理》，基本上就是讲解半导体材料的结构、电学特性、光学特性等，然后利用这些特性做各种类型的半导体元器件，这是一本充满物理公式的、劝退式的教科书。

不过，这种物理原理就留给专业的人士研究吧。我们普通人，沿着技术发展的主干理解结果就好了。毕竟科学家、技术专家们的工作目的，就是让我们这种普通人也能方便地使用复杂高深的技术。

科学家们对半导体材料的研究结果就是，**半导体晶体管复刻了真空电子管的功能，可以全面地取而代之。**使用半导体材料制成的**晶体管**，最大的优势就是可以不断缩小尺寸，这为电子设备的微型化提供了可能。

更小的体积、更快的速度、更可靠的稳定性，让半导体做的晶体管取代电子管成为了整个电子行业的基本元器件。这也是晶体管被称为是二十世纪最重要发明的原因。发明者肖克

利、巴丁、布拉顿三人因此获得了 1956 年的诺贝尔物理学奖。

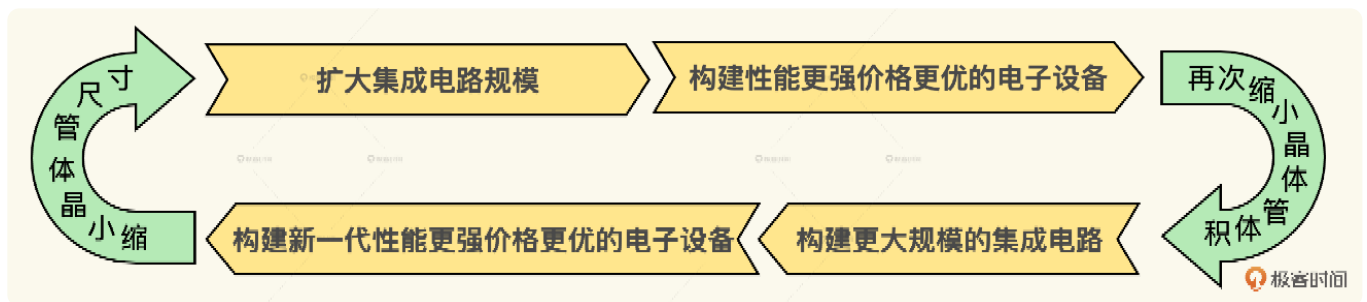
集成电路

有了晶体管，集成电路也就成为可能。

把多个晶体管和其它的电子元器件小型化，微型化集成在一起，以减少电器的大小，这个思路就是集成电路。关于两者的关系，你可以理解为，集成电路就是由大量晶体管搭建的。严谨一点说，集成电路的最小单元是逻辑门，逻辑门是由晶体管搭建而成。可以说，半导体行业，就是拿晶体管去堆集成电路的行业。

现代的集成电路是由德州仪器的工程师杰克·基尔比在 1958 年发明的，当时发明的是锗集成电路，他本人也因此荣获 2000 年诺贝尔物理学奖。这里我还想提一个人，Intel 的第一任 CEO 罗伯特·诺伊斯，他后来发明了现在应用更广的硅集成电路，让集成电路真正进入了商用时代。可惜诺伊斯在 1990 年早逝，没有领到诺贝尔奖。

在点开晶体管、集成电路这个全新的科技树之后，半导体行业，就走上了**缩小晶体管体积 -> 扩大集成电路规模 -> 构建性能更强价格更优的电子设备 -> 再次缩小晶体管体积 -> 构建更大规模的集成电路支持更多功能 -> 构建新一代性能更强价格更优的电子设备的**高速路。



对于集成电路的发展你可以看下图，在最初的 20 年，集成电路的规模迅速扩大，单个集成电路可以集成的晶体管数目从 1 个发展到上百万个，增长了 10 万倍，而且增长势头不减，超大规模集成电路、特大规模集成电路、巨大规模集成电路... .. 形容词都不够用了。

Name	Signification	Year	Transistors number	Logic gates number
SSI	<i>small-scale integration</i>	1964	1 to 10	1 to 12
MSI	<i>medium-scale integration</i>	1968	10 to 500	13 to 99
LSI	<i>large-scale integration</i>	1971	500 to 20,000	100 to 9,999
VLSI	<i>very large-scale integration</i>	1980	20,000 to 1,000,000	10,000 to 99,999
ULSI	<i>ultra-large-scale integration</i>	1984	1,000,000 and more	100,000 and more

后来，业界索性放弃用集成电路的规模来定义行业发展阶段，而改用晶体管的特征尺寸来标识。你现在听到手机芯片的 28nm、20nm、14nm、10nm、7nm、5nm，这些数字都是晶圆工厂的制造工艺的名称，虽然并不直接代表晶体管的尺寸，但也是有所关联的。工艺制程的数字越小，意味着晶体管体积越小，这样单位面积可以集成的晶体管数目就越多，也就是所谓的晶体管密度高。

下图是用制造工艺名称来标识的半导体行业发展路线图。横坐标是时间轴，纵坐标是工艺制程。你可以看到从 1987 年到 2019 年，制造工艺从 3 微米发展到了 5 纳米。



你可能要问，这个制造工艺代表什么呢？我给你举个例子，对于 iPhone12 里用的应用处理器 A14，我们一般都说是 5nm 的工艺。行内的人会留意到这是一个用台积电 N5 工艺生产的，面积为 88mm² 的芯片。N5 工艺指的就是台积电 5nm 工艺。

苹果披露 A14 应用处理器是一颗集成了 118 亿个晶体管的芯片。如果是关心制造工艺的人，就会算一下，台积电 N5 工艺，官方的晶体管密度是 173 MTr/mm²，就是每平方毫

米的面积上可以集成 1.73 亿个晶体管。那么苹果在 88 平方毫米的面积上集成了 118 亿个晶体管，是相当不错的数字了，算是非常高效地利用了最先进工艺带来的高密度。

当然，评价一颗芯片，不能这么简单地只看晶体管密度，至少还要看 PPA 衡量标准，也就是 Power 功耗、Performance 性能、Area 面积，这是后话，在接下来的课程中我会再讲到。

到这里，你已经了解了，半导体的发展得益于晶体管和集成电路的发明，然后集成了芯片，半导体产业发展正式开始或者说拐点到来了。而接下来摩尔定律的提出，则是描绘了半导体产业发展的图景，成为产业发展的推动力。

摩尔定律

看到上面那张图的时候，或者你听到我说 28nm、20nm、14nm、10nm、7nm、5nm 这组数字的时候，你心中或许有疑问，为什么选这些数字？有什么规律么？你问到重点了。基本上这是个相邻两个数字差 0.7 倍的数字序列，你看， $10\text{nm} \times 0.7 = 7\text{nm}$ ， $7\text{nm} \times 0.7 \approx 5\text{nm}$ ，都是这样的规律。如果把晶体管的特征尺寸理解成正方形的边长，边长缩小 0.7 倍， $0.7 \times 0.7 = 0.49$ ，那么一个正方形的面积就相当于小了一半。

这种相差 0.7 倍的数字序列，想表达的意思就是，在 5nm 制造工艺下，晶体管的体积应该是前一代 7nm 工艺的一半，换另一个数据来说就是晶体管密度可以高一倍。前面说台积电 N5 工艺的密度是 173MTr/mm²，N7 是 96.5MTr/mm²。如果再加上时间轴的描述，你会发现台积电在 2018 年开始量产 N7 工艺的芯片，2020 开始量产 N5 工艺的芯片，两年工艺一更新。到这里，恭喜你，你已经自行发现了半导体行业的黄金定律：摩尔定律。

摩尔定律是由英特尔公司联合创始人戈登·摩尔提出的概念，定律本身很简单：**半导体芯片上集成的晶体管和电阻数量将每隔 24 月增加一倍**。从上面的推导过程，你可以知道，是晶体管的特征尺寸每代缩小 0.7 倍，因此单位面积可以集成的晶体管密度可以提高一倍。你可以在行业里的每一条产品线，每一个公司的发展历史，每一次技术革新背后看到摩尔定律的影子。

这里澄清一下，摩尔 1965 年初次发表的时候，说的是每年增加一倍，后来 1975 年正式发布论文的时候，修正为每两年增加一倍。也有行业内的人，重新估算过，18 个月翻倍更准确一点。

写到这里，你可能要说了，定律清晰，数字清晰，但是它的意义是什么呢？多一倍的晶体管密度，意味着什么？对于普通大众来说，其实你应该能感知到电子产品性能和价格的改变：微处理器的性能每隔 2 年提高一倍，或价格下降一半。延展到具体设备层面，就是相同价格所买的电脑，性能每隔 2 年增加了一倍，或者旧电脑型号，每隔两年价格减半。

为此，Intel 公司还给了一个生动的例子：1978 年从纽约飞巴黎需要 7 个小时，花费 900 美金。如果航空公司同样遵循摩尔定律发展的话，当大家选择机票价格不变，飞机的飞行性能每隔两年提高一倍，那么到 2005 年就会只需要 1 秒钟。或者如果大家选择飞机性能不变，即飞行时间仍然是 7 个小时，而机票价格每隔 2 年下降一半，那么到 2005 年，机票就只需 1 美分。

这样你对摩尔定律下的科技发展速度有概念了吗？

其实我们买的电脑，或者手机，基本上是价格不变，但是性能每隔 2 年会增加一倍。只是电脑或者手机性能的提升，没有飞机的飞行时间那么直观罢了。

到这里，我想告诉你，摩尔定律，它不是一个物理定律或者自然界的规律，换句话说，它不是一定会实现的。它是一个关于人类创造力的定律，是具有**经济学基础的对未来的一个预测**。企业按照摩尔定律，提升制造工艺，缩减晶体管尺寸，生产出性能加倍或者价格减半的产品，市场要给予正向的经济回报，让企业有足够的利润投入下一个阶段的研发生产中。这个循环要正向运转起来，才有摩尔定律。

但是很有意思的是，从 1975 年提出摩尔定律之后，半导体行业基本完美地自证了这个定律。你可以看上面那张用制造工艺名称来标识的半导体行业发展路线图，每 2 年都有一代新工艺出现，晶体管的面积尺寸每 2 年都在缩小一半。

再看看下面这张业界著名的摩尔定律图，这张图里横坐标是时间轴，纵坐标是一个实际的芯片产品所集成的晶体管数目，这意味着不仅仅技术上可以制造出密度翻倍的芯片，而且半导体公司能充分使用多出的晶体管，来设计出性能更高功能更强的芯片，并实现其经济价值。

某种程度上，你可以用摩尔定律当尺子丈量半导体行业内的技术进步、产品迭代、公司发展。跟上摩尔定律的，就可以打一个“good”的标签，落后于摩尔定律的，可以给一个“？”，超越摩尔定律的，可以打一个“行业赢家”或者“very good”的标签。

例如台积电一年一次工艺提升的稳定输出，苹果每年一代新的芯片，这些就是“good”的公司。

而以英伟达 Nvidia 为首的 AI 公司，提供的算力以 2 年 10 倍的超摩尔速度增长，可以说“very good”。还有一些公司，开始说“摩尔定律在变慢”，因为它们 5 年才出一代新工艺，属于自己掉队，然后还想通过改规则，掩耳盗铃。嘻嘻，我就不提名字了。

上面我也说了，摩尔定律它不是一个自然规律，而是人类创造力的定律，因此如果我们对自己有信心的话，给摩尔定律续命的方式多得是。例如，在设计和制造两个环节已经被充分挖掘了之后，一直被认为是技术门槛较低的封装环节，也开始技术创新加速。2.5D、3D 等异构封装技术遍地开花。

IT 行业总体来说是一个高速发展的行业，在这个行业中，是摩尔定律推动着我们马不停蹄地前进，不进则退。

总结

学习完这一讲，对于晶体管、集成电路和摩尔定律对半导体产业的意义你有概念了吗？晶体管和集成电路的出现开启了半导体产业的发展，而摩尔定律则推动着这个行业不断向前。

我们再来复习几个重点，希望你能记住，也能给别人讲一讲这些概念：

1. 电子管开创了电子时代，人类的第一台计算机是拿电子管搭建的。半导体晶体管，复刻了电子管的所有功能，但是点开了“可以持续缩小体积”的科技树，即集成电路。
2. 晶体管，集成电路，这是半导体行业的两个基础发明，有两项诺贝尔奖加持。
3. 摩尔定律的背后推手是晶体管尺寸的不断缩小，因此单位面积可以集成的晶体管数目在不断增多。摩尔定律对电子行业的影响就是微处理器的性能每隔 2 年提高一倍，或价格下降一半，再向设备侧延展，就是相同价格所买的电脑，性能每隔 2 年增加一倍。

思考题

如果你时间 OK 的话，可以在评论区给我留言，谈谈你对摩尔定律的理解。比如知乎上就有人说，摩尔定律其实只是一种宣传手段，它是过去几十年间半导体行业内达成共识的一个很好的“噱头”。你认同这种说法吗？你有自己的认知吗？欢迎交流。

10 人觉得很赞 | 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 [开篇词 | 为什么你一定要了解芯片行业](#)

下一篇 [02 | 从一部iPhone手机看芯片的分类](#)

精选留言

写留言

由作者筛选后的优质留言将会公开显示，欢迎踊跃留言。