

高质量发展如何从“芯”突破？

■ 魏少军



魏少军
清华大学微电子所所长

谁缔造了芯片奇迹？

集成电路是一种芯片，我们天天都在用，如果打开家用电器，可以看见内部有很多黑黑的方块，这些方块就是芯片。

芯片里有大量的集成电路的基本元件，叫晶体管，一个芯片可能有几十亿支甚至上百亿支。晶体管的原理非常简单，但是把晶体管发明出来，人类还是经过了长时间的探索。

世界上第一台电子计算机是1945年在美国的宾夕法尼亚大学发明的，当时用的是电子管，直径在两公分左右，高度五六公分。这个电子计算机用了17500支电子管。电子管的可靠性差，六分多钟就烧坏一支，需要频繁断电更换，导致计算机使用效率非常低，因此迫切需要找到一种能代替电子管的元器件。

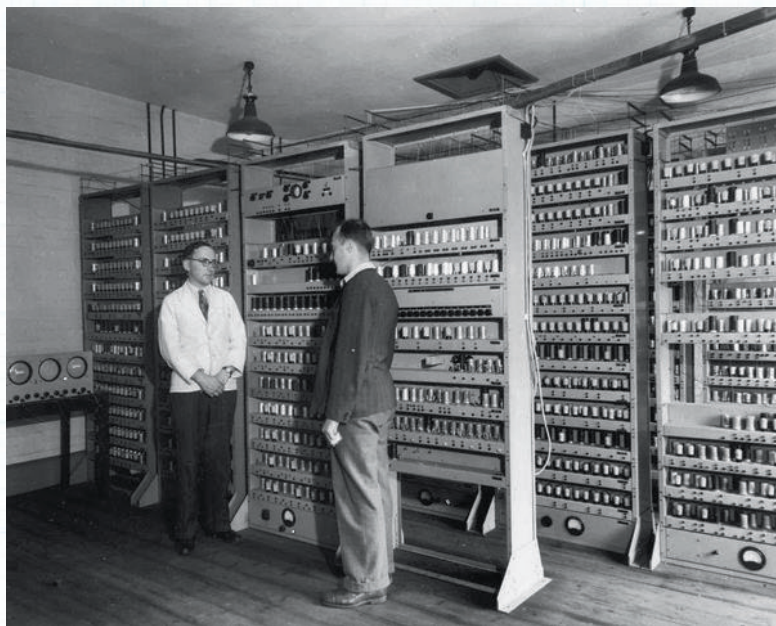
1947年，在美国贝尔实验室，肖克利、巴丁、布莱坦这三位科学家发明了后来称之为晶体管的新元器件。晶体管比起电子管小很多，可靠性高，而且反应速度快。1954年，美国贝尔实验室用800支晶体管组建了世界上第一台晶体管计算机。

晶体管已经很好用了，但大家还在想，能不能把晶体管做得更小？而且晶体管有焊点，可能会发生虚焊，有了虚焊以后可靠性就会变差，能不能找到可靠性更好的东西？因此就出现了集成电路，也就是芯片。

1958年9月12日，美国德州仪器公司的工程师杰克·基尔比发明了集成电路的理论模型。1959年，仙童公司的鲍勃·诺伊斯，也是后来英特尔公司创始人，发明了今天我们都在用的集成电路的制造方法——掩膜版曝光刻蚀技术。我们现在仍然在用六十年前发明的技术，只是今天不断在规模上、精度上变小而已。这两位科学家发明的集成电路对人类的影响是巨大的。

1981年，IBM在佛罗里达开发了一个影响全世界、全人类的重大产品——个人电脑，后来称为PC。集成电路和芯片就这样不断进步，从原来的政府应用到民间应用，从军事应用到一般民用，从常规的市场商业应用进入到老百姓家里。

芯片领域有一个著名的摩尔定律：当价格不变时，集成电路上可容纳的元器件的数目，



世界上第一台电脑及两位发明人

约每隔 18-24 个月便会增加一倍，性能也将提升 40%。半个多世纪以来，芯片制造工艺水平的演进不断验证着这一定律，持续推进的速度不断带动信息技术的飞速发展。

现阶段芯片技术发展到了什么水平？未来的发展是否会遇到极限？摩尔定律还能继续有效吗？芯片产业的奇迹还能延续多少年？

芯片技术有多神奇？

今天的芯片技术到底有多神奇？它在不断地缩小，现在芯片已经可以做到 7 纳米，估计明年、后年就到了 5 纳米。人类红血球的直径是 8 微米，就是 8000 纳米。按照我们今天的技术，14 纳米工艺制造的芯片大概是 40 个纳米大小，也就是说我们可以在一个红血球的直径上放 200 支晶体管。正是因为它小，所以能够把大量的东西集成在单个的芯片上。

按照现在的发展趋势，芯片可以走到 5 纳米，再往下走到 3 纳米，还能不能再走下去呢？可能

某种技术到了一定的时候就会停下来，但是并不代表新技术不会出现。前两年德国科学家就发明了一种称之为分子级晶体管的新器件。

但是任何技术都有极限，芯片有哪些极限呢？

一个是物理的极限，它尺寸太小了，因此导致的还有功耗的极限。举个例子，家用电熨斗的功率密度是每平方厘米 5 瓦。5 瓦很小，但是电熨斗已经很烫手了，我们绝对不敢拿手去直接碰它。而一般的芯片功率密度都在每平方厘米几十瓦，所以芯片上

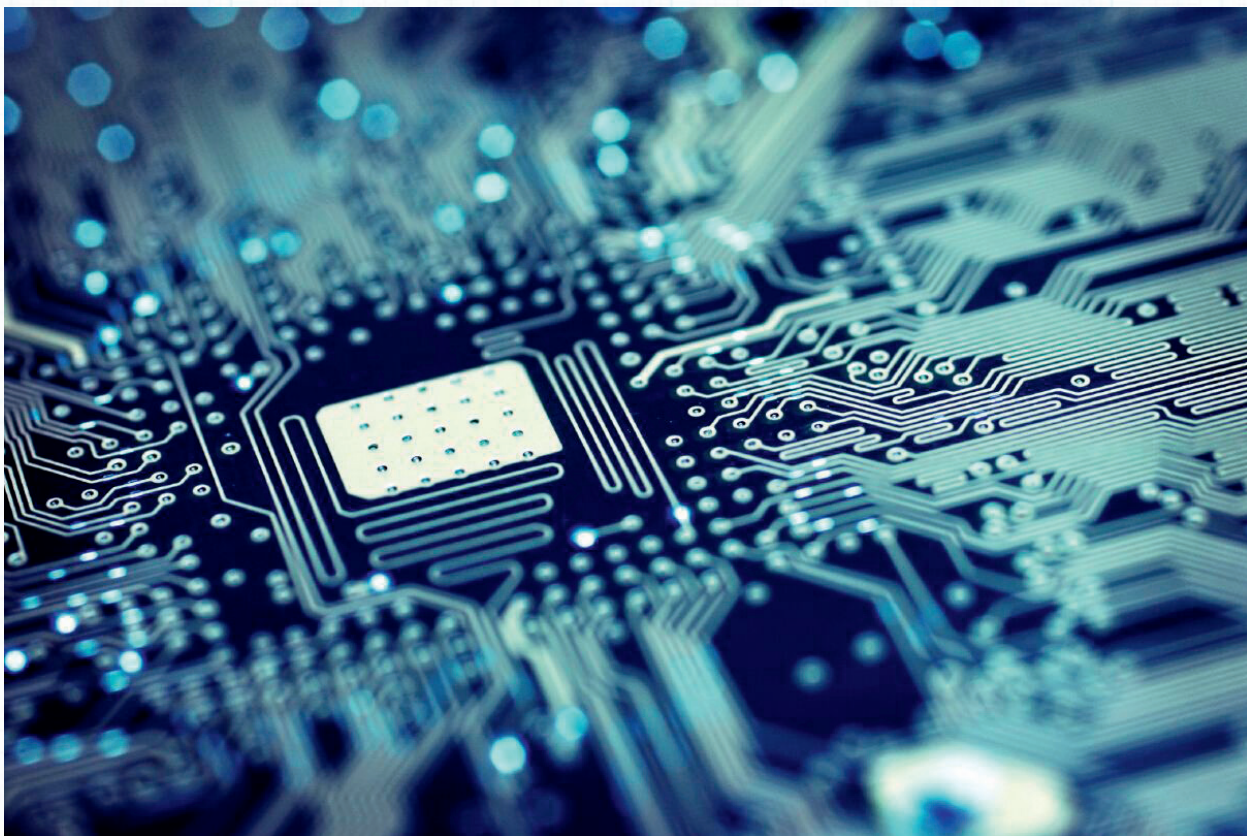
往往要背一个散热器，上面还有一个风扇。

当功率密度达到每平方厘米 100 瓦以上的时候，风冷已经不行了，要换成水冷。超级计算机当中要通水，这边凉水进去，那边就变成温水出来。

这种热效应如果不加控制，在 2005 年前后，芯片的温度已经达到了核反应堆的温度，2010 年大概已经可以达到太阳表面的温度了，这么热的东西能用吗？不可能。所以人们想了一个办法把功耗降下来，即把原来的单核变成双核。

后来延伸到手机，就出现了一个有意思的现象，大家去买手机的时候售货员说，买这个手机吧，这个手机是 4 核的，功能强大。另一个人说，别买 4 核的，我这里有 8 核的，8 核比 4 核更好。实际上他们对这个问题不理解，是因为我们做不成单核，才把它做成双核、4 核、8 核。

从可编程性来说，单核是最好的，但是如果要达到四个核的功率，单核的功耗要做得很高，芯片太热了。所以我们只好把它拆开，实际上这



集成电路

是以系统的复杂性为代价来解决功耗问题。所以，功耗问题成为制约芯片发展的一个大麻烦。

第二是工艺难度非常大。

在集成电路制造过程中，它的掩膜层数在不断变化，7纳米的85层掩膜如果每层跑一天的话，要八十八天才能跑完。所以现在芯片的制造要花费很长时间。万一有一个闪失，这个芯片可能就报废了，所以它的工艺复杂程度非常高。

第三是设计复杂度很高。

正是因为有如此多的晶体管放在一个芯片上，它的通用性变得越来越差，出现了所谓“高端通用芯片”，要寻找更通用的解决方案，就得把软件引进来。不论在教学中还是工作中，都要把芯片、软件两者有机地结合起来。

所有这些工艺问题还都是技术问题，最重

要的是经济问题。在摩尔定律 50 多年的发展过程中，集成电路大概有 55 年的时间是处在降价中的，直接效益就是电子产品很便宜，便宜到很多年轻人每半年换一部手机，现在大家不敢换了，因为手机变得贵起来了。

原因就是芯片的发展由于投入的增加、复杂度的增加，成本其实是在缓慢增加的，28 纳米之前芯片的成本在不断下降，28 纳米之后成本在逐渐上升。

可以预测一下，未来电子产品不再会像前几年那样不断降价，估计会缓慢地涨价。所以芯片技术的发展到今天为止，仍然没有看到终点。

芯片技术的不断突破带动芯片产业持续发展。2018 年，全球芯片市场的产值高达 4688 亿美元，我国不仅是全球芯片最重要的消费市场之

一，也正在竭尽全力，向全球芯片产业的第一梯队进发。我国芯片产业到底处在怎样的发展阶段？追赶过程中，我们面临哪些严峻挑战？

谁是全球芯片市场最大的买家？

据预测，以2014年为节点，到2020年这6年中计算机增长46%，手机增长81%，消费类电子还要增长48%。电子产品的增长将越来越多、越来越快。在我们有生之年，如果找不到能代替半导体的东西，现在的电子产品还会按照这种方式继续走下去。我们会一直享受电子产品带来的各种便利，但是它背后的根本因素在于芯片技术的突破。正因为有如此强劲的需求，全球芯片产业发展得非常快。

在半导体市场的分布中，中国市场占了全球市场的34%，1584亿美元。同时，2018年中国也是增长最快的半导体市场，中国半导体市场增长了20.5%，可以想象中国要买多少集成电路。

需求旺盛，供给不足，我国芯片产业如何发力？

有人也许会觉得，我国的芯片产业发展似乎不那么好，大家有这种感触是很正常的。但芯片的发展有它的客观规律，既没有大家想象得那么好，也没有像大家想得那么坏。中国现在还不能满足市场需求，但只要坚持不懈走下去，就一定可以发展到我们所希望的水平上去。

中国的芯片产业发展速度非常快，从2004年的545亿元涨到了2018年的6532亿元，这个增长速度是当期全球增长速度的四倍左右。6500多亿元是我们的设计、封测业和芯片制造业三业叠加的结果。其中芯片的设计业产值去年达到了2500多亿元，这是真正意义上的产品，而封测业的2190亿元和芯片制造业的1800多亿元，更多

的是一种加工。

设计、封测、芯片的制造这三者之间是什么关系？举个例子，设计业就是相当于作家写书，制造业相当于印刷，封测业相当于装订。

中国的企业经过这么多年发展，无论是设计制造还是封测都已经进入世界前列，在全球的集成电路设计行业中，前十位有两家中国企业。在全球的代工企业当中，前十位也有两家。而在全球的封测企业当中，前十位当中有三家中国企业。

但是我们跟国际先进水平相比还有相当大的差距。以设计业为例，1999年国内全行业只有3亿元人民币，到去年已经达到了2519亿，合370亿美元左右，已经做到世界第二大。虽然很大，但是产品在全球占比只有7.9%，中国市场1500多亿美元占全球市场的34%，而这里面我们自己能生产的只有7.9%，其他26%就要靠进口。

我国芯片产业发展面临哪些问题？

国内芯片产业与需求差距大

芯片产业面临的挑战非常多，它是个庞大的系统工程。从产品角度看，现在的产品结构与需求之间还是出现了一些失配的现象。

去年有同事打电话给我，说网上有一张图非常不客观，显示了很多0，希望我来辟谣。看到图以后我笑了，因为这张图是我做的。

图表里有很多0%，但这个0%不是绝对值的0，是市场占有率。市场占有率讲百分比，0.5%以下基本上就可以四舍五入，我们在市场上确实引不起别人重视。

举个例子，中国全年大概要进口使用的CPU可能有10亿只。假如有一个企业生产了100万只，已经很多了，但是100万只跟10个亿比，其实只有0.1%，这个占比在市场上看不见。所以我们看



全球半导体市场分布，红色是中国，紫色是美洲市场，蓝色是欧洲市场，灰色是日本市场，绿色是除了中国和日本之外的亚洲其它市场

全球及中国半导体资本支出

这些数据的时候，不能简单地看绝对值，要看它的相对值，也就是市场占有率。

可以看到，无论是服务器还是个人电脑，可编程逻辑设备、数字信号处理设备，以及终端当中用到的一些IP核、存储器，大量的市场占有率都是0，这意味着我们的产业结构、设计企业的产品结构跟需求之间还有相当大的差距。

唯一有两个大于10%甚至15%的是移动通信的终端，这是我们在国际上比较强的地方，占了全球市场的大概五分之一。

发展滞后 投入不够

目前我国芯片产业发展的制造能力和设计需求之间失配。制造业要花很多的钱，而且发展还是慢。

大陆最先进的集成电路制造商，14纳米的芯片大概2019年一季度投产，而台湾台积电的16纳米芯片早在2015年的第四季度就投产。这中间就有三年的差距。

除了我们不够快之外，还有一个致命的问题

是产能不够。

集成电路芯片发展需要投资，这是一个天文数字。如图可知，全球在半导体投资上的统计，除了少数几个年份之外，大部分时间都在400亿美元以上，最近这几年甚至都在600亿美元以上。红线是我们国家在半导体的投资，在图表最下面。

为什么之前投资很少呢？应该说我们对这个产业的了解还是有限，比较早地做出了一个错误的决断，认为中国的半导体芯片产业可以通过市场配置资源来良性发展。

所幸在这张图上，红线这几年都在上升。但是芯片是需要高强度投资的产业，我们虽然到了百亿规模，但是投了很多家，投资强度不够，而且刚刚两三年，要连续投很多年才能看出结果。

现在集成电路的发展已经成为全中国人民都认同的一件事，这也带来了一个副作用，就是全民大造集成电路。

集成电路并不是一个能够遍地开花的事情。一些地方政府对集成电路非常热心，我能体会他

系统	设备	核心芯片	国产芯片占有率
计算机系统	服务器	MPU	~ 0%
	个人电脑	MPU	~ 0%
	工控计算机	MCU	2%
通用电子系统	可编程逻辑设备	FPGA/EPLD	~ 0%
	数字信号处理设备	DSP	~ 0%
通信装备	移动通信终端	Application Processor	~ 18%
		Communication Processor	~ 22%
	核心网络设备	Embedded MPU	~ 0%
		Embedded DSP	~ 0%
存储设备	半导体存储器	DRAM	~ 0%
		Nand Flash	~ 0%
		Nor Flash	~ 5%
显示及视频系统	高清/智能电视	Image Processor	10%
		Display Driver	~ 0%

一张被评价为“不客观”的图表

们对于地方经济的发展倾注了全部心血。地方政府可以看到建立集成电路厂、芯片厂很快会带来就业，带来周边环境、周边生态的配套，能带来一个大产业，但是他们对于芯片发展的艰巨性了解不多。

芯片产业链要力争上游

我国芯片产业发展还面临资源的错配。

目前我们的芯片制造业超过 50% 的客户是海外客户，封测大概也有将近一半是海外客户，我们在给别人加工。设计业是最需要资源的，我们还要满世界找加工的资源，因为制造业和封测业的技术水平跟我们的需求还有距离。

原来的产业是以对外加工为主，现在要变成自主创新为主，就要做产业结构的调整。中央提出要供给侧的结构性改革，对芯片来说，我们就面临这样的改革。

我们在发展中还面临着产业模式的问题。

芯片的发展已经有几十年的历史，过去叫系统集成厂商模式，所有的事情都自己做，后来集成电

路每 18 个月产能翻一番，自己用不了，出现了所谓集成器件制造模式，再往后就出现了设计代工模式。

这三种商业模式实际上带来的是不同的结果。从中国大陆情况看，主要是设计代工模式。但如果中国总是做加工这种产业链中下游的事情，就把自己框在了产业链的中下游位置。现在中央提出来要创新发展，创新发展在上游，我们要往上游走。

人才不足

芯片设计是一种高科技产业，人才就成为一个重要的制约因素。

目前的瓶颈在于不仅人才质量难以满足需求，连数量都难以满足需求，最直接的表现就是现在整个半导体产业都在互相挖人。

前两年我们在人才培养上遇到一个问题，很多学生毕业后去做投资、金融。当你真正深入了解芯片、集成电路以及它对外的发展影响，就会知道掌握集成电路芯片能够带来多么大的主动权。这是一项非常值得投身其中的事业。

需求旺盛、供给不足是中国芯片产业面临的一个挑战，这是现实问题，也是我们下一步做供给侧结构性改革的一个关注点。

相信大家从我的文章中至少可以掌握到以下两点：

第一，芯片的发展不以人的意志为转移，它还会成长一百年。

第二，芯片的发展不是那么简单的，需要高额的投资，需要长期坚持。一百年不仅仅是一个数字、一个年份，长期坚持才会有结果。

(转载自微信公众号“中国经济大讲堂”)