光刻机。

“芯片”制造难度大 点沙成金无捷径

4月16日，太平洋彼岸的一则“禁令”，让国人感受到了一颗芯片的“分量”。美国商务部发布声明称，因中兴通讯公司违反与美国政府去年达成的和解协议，将对该公司执行为期7年的出口禁令。一颗“芯”难倒英雄汉，芯片制造的难点在何处？

排错成本高难度大

互联网我们有BAT可以和Facebook/Google过过招，电子整机有华为中兴可以对抗思科爱立信，IT行业里面为什么独独集成电路，没有能跟美国抗衡的能力？这还要从IC（集成电路）设计产业的特点来说起。IC设计相对于互联网和整机设备，有两个重要特点，试错成本高和排错难度大。互联网做一个App，可以一天出一个版本，有些问题没关系，第2天就可以修复，试错和修改的成本几乎为零。整机硬件的电路板设计周期在1天到1个月之间，生产周期在3天到2周之间，出了错重新投板费用在几百到几千之间，最多数万块钱。而IC设计，不算架构设计，从电路设计开始到投片，最少要半年时间。投片送到工厂加工生产，一般要2个月到3个月。最重要的是一次投片的费用最少也要数十万元，先进工艺高达千万到数千万。如此高的试错和时间成本对一次成功率的要求极高，不得不把流程拖长，反复验证，需要多个工种密切配合，团队中一个人出错，3个月后回来的芯片可能就是一块儿石头。修改一轮，又要3个月。

与试错成本高并存的是排错难度大。互联网编个软件，调试起来几乎可以在程序任意地方设断点，查看变量当时的状态或者打出商标。硬件电路板上，几乎任何一根信号线可以拉到示波器上看波形。而一颗手指甲盖大小的芯片，里面有上亿个晶体管，而最终能在电路板上测量到的信号线却只有十几根到几百根。如何根据这少得可怜的信息，推理出哪个晶体管设计错误，难度不言而喻。

上述两大特点导致对IC从业人员的素质要求极高，试错周期长需要逻辑严谨细致的工作态度，排错难度大需要一套科学的实验方法。而这两方面，恰恰是国内教育的软肋。过分重视知识的记忆，而忽略逻辑和方法。所以当软件工程师们靠自己的聪明和勤奋，不断快速迭代的时候却还是一次次的延后，上市时间依然落后。更有很多bug无法找到原因，反复投片实验也无结果，最后只能以项目失败收场。

高难度的产业背后蕴藏的是巨大的商业价值。集成电路被誉为电子工业的粮食，除了对国家和行业安全有着巨大的意义，利润率也随着技术含量水涨船高。芯片本身的材料是二氧化硅，成本极低，上面凝聚的技术就决定了利润。消费类芯片产品一般毛利率在30%～40%，工业用产品一般能在50%～60%以上。

芯片生产设备研发难

制造芯片的基本原理是：在金属表面覆盖一层光刻胶，然后用光先把光刻胶侵蚀掉，下一步再用化学物质浸泡，这样有光刻胶的那部分金属就不会被侵蚀、没有光刻胶的地方会被侵蚀掉，之后金属表面就形成了设计的形状。

这两个过程就是所谓的光刻和蚀刻，对应的设备就是光刻机和蚀刻机。光刻机的复杂程度远远高于蚀刻机，目前最先进的光刻机制造商是荷兰的ASML，可以说是仅此一家、别无分号（占有80%的市场份额），长江科技斥巨资购入的“喜提”ASML光刻机正是出自这一厂商。现在，ASML使用的光线已经到了极紫外光（EUV），所以可以光刻7nm以下的大规模集成电路。

相比之下，中国的光刻机水平差距较大，还有很长的路要走。相对而言，中国在蚀刻机方面做的相对较好，现在中国最先进的等离子蚀刻机已经制造到了5nm的制程，并且7nm制程的蚀刻机量产并向台积电等厂商供货，这方面中国已经是世界顶尖水平。

人才缺口大

根据工业和信息化部软件与集成电路促进中心（CSIP）2017年5月发布的《中国集成电路产业人才白皮书（2016—2017）》（以下简称白皮书），目前我国集成电路从业人员总数不足30万人，但是按总产值计算，需要70万人，人才培养总量严重不足。

“高校的芯片产业人才储备堪忧。几乎所有人都在做计算机应用的东西，而不是基础的东西。”北京交通大学副教授李滔东很理解计算机基础领域和应用领域之间客观存在的人才差异，“高校讲就业率，学生看市场预期”，但他认为，无论是薪资待遇还是人才总量，目前都相差太大了。

“本质上都是在教学生怎么用计算机，而不是教学生怎么造计算机。就像汽车专业教了一堆驾驶员一样。”谈起芯片人才话题，中国科学院计算技术研究所研究员、“龙芯”处理器负责人胡伟武有很多话说。在他看来，我国的芯片产业人才培养极不平衡，大多数人才都集中在技术应用层面，但研究算法、芯片等底层系统的人才太少。

他随手就举了一个现实的例子：绝大多数互联网公司都在用Java编程，相应的人才储备有数十万甚至上百万，但研究Java虚拟机（在实际的计算机上仿真模拟各种计算机功能的抽象化计算机）的人才非常少，“我2010年办企业的时候连10个人都不到”，而今天全国可能仍不超过100个。

对于这一问题，中国工程院院士、中国计算机学会名誉理事长李国杰归纳为四个字——“头重脚轻”。他谈到，人才储备与培养比较薄弱，是我国芯片半导体产业与国际顶尖水平相比仍有明显差距的一个关键因素。

白皮书指出，1999年到2016年，中国集成电路设计复合年均增长率为44.91%，蓬勃发展。但我国集成电路产业的自主创新能力弱，关键核心技术对外依存度高、人才缺乏等问题依然十分突出。根据《国家集成电路产业推进纲要》，产业规模到2030年将扩大5倍以上，对人才需求将成倍增长。而产业人才的供给与产业发展的增速不匹配，依托高校培养IC人才不能满足产业发展的要求。

白皮书指出，集成电路企业的研发岗专业人才年薪近30万元，生产制造专业人才近20万元。而本科学历的应届生在芯片设计中的平均年薪近15万元，博士学历近30万元。调查表明，80%的企业每年调薪一次，每次调薪比例大都在5%到10%之间。

但这一薪资水平与互联网企业的热门岗位，尤其是大数据、人工智能等岗位的薪资相比，明显逊色不少。拉勾网等互联网人才招聘网站的招聘信息显示，计算机专业本科毕业，且拥有4～5年工作经验的人工智能人才，月薪最高可以拿到4万元，考虑到许多互联网公司都会发12个月以上薪酬，最终年薪可能超过50万元。

（昕葳）

晶体管制程14nm缩减到1nm 突破7nm晶体管物理极限

适用了20余年的摩尔定律，其内容为：当价格不变时，集成电路上可容纳的元器件的数目，约每隔18～24个月便会增加一倍，性能也将提升一倍。换言之，每一美元所能买到的电脑性能，将每隔18～24个月翻一倍以上。这一定律揭示了信息技术进步的速度。近年逐渐有了失灵的迹象。从芯片的制造来看，7nm就是硅材料芯片的物理极限。不过据外媒报道，美国劳伦斯伯克利国家实验室的一个团队打破了物理极限，采用碳纳米管复合材料将现有最精尖的晶体管制程从14nm缩减到了1nm。那么，为何说7nm就是硅材料芯片的物理极限，碳纳米管复合材料又是怎么一回事呢？面对美国的技术突破，中国应该怎么做呢？

XX nm制造工艺是什么概念？

芯片的制造工艺常常用90nm、65nm、40nm、28nm、22nm、14nm来表示，比如Intel最新的六代酷睿系列CPU就采用Intel自家的14nm制造工艺。现在的CPU内集成了以亿为单位的晶体管，这种晶体管由源极、漏极和位于他们之间的栅极所组成，电流从源极流入漏极，栅极则起到控制电流通断的作用。

而所谓的XX nm其实指的是，CPU的上形成的互补氧化物金属半导体场效应晶体管栅极的宽度，也被称为栅长。

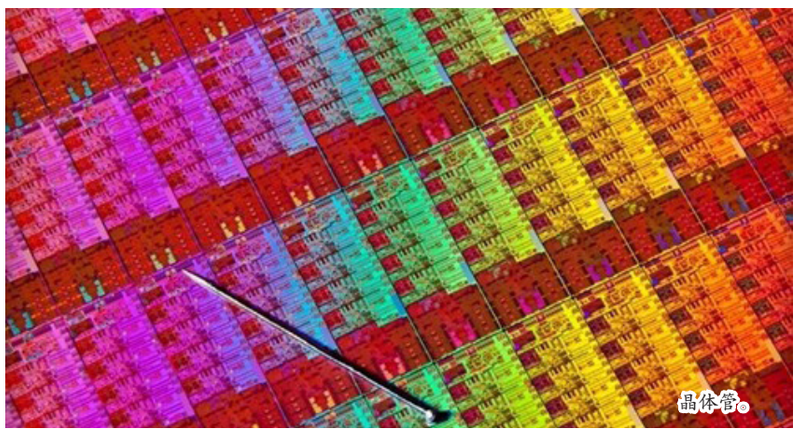
栅长越短，则可以在相同尺寸的硅片上集成更多的晶体管。Intel曾经宣称将栅长从130nm减小到90nm时，晶体管所占得面积将减小一半；在芯片晶体管集成度相当的情况下，使用更先进的制造工艺，芯片的面积和功耗就越小，成本也越低。

栅长可以分为光刻栅长和实际栅长，光刻栅长则是由光刻技术所决定的。由于在光刻中光存在衍射现象以及芯片制造中还要经历离子注入、蚀刻、等离子冲洗、热处理等步骤，因此会导致光刻栅长和实际栅长不一致的情况。另外，同样的制程工艺下，实际栅长也会不一样，比如虽然三星也推出了14nm制程工艺的芯片，但其芯片的实际栅长和Intel的14nm制程芯片的实际栅长依然有一定差距。

为什么说7nm是物理极限？

之前解释了缩短晶体管栅极的长度可以使CPU集成更多的晶体管或者有效减少晶体管的面积和功耗，并削减CPU的硅片成本。正是因此，CPU生产厂商不遗余力地减小晶体管栅极宽度，以提高在单位面积上所集成的晶体管数量。不过这种做法也会使电子移动的距离缩短，容易导致晶体管内部电子自发通过晶体管通道的硅底板进行的从负极流向正极的运动，也就是漏电。而且随着芯片中晶体管数量增加，原本仅数个原子层厚的二氧化硅绝缘层会变得更薄进而导致泄漏更多电子，随后泄漏的电流又增加了芯片额外的功耗。

为了解决漏电问题，Intel、IBM等公司可谓八仙过海，各显神通。比如Intel在其制造工艺中融合了高介电薄膜和金属门集成电路以解决漏电问题；IBM开发出SOI技术——在在源极和漏极埋下一层强电介质膜来解决漏电问题；此外，还有鳍式场效电晶体技术——借由增加绝缘层的表面积来增加电容值，降低漏电流以达到防止发生电子跃迁的目的……


晶体管。

上述做法在栅长大于7nm的时候一定程度上能有效解决漏电问题。不过，在采用现有芯片材料的基础上，晶体管栅长一旦低于7nm，晶体管中的电子就很容易产生隧穿效应，为芯片的制造带来巨大的挑战。针对这一问题，寻找新的材料来替代硅制作7nm以下的晶体管则是一个有效的解决之法。

1nm制程晶体管还处于实验室阶段

碳纳米管和近年来非常火爆的石墨烯有一定联系，零维富勒烯、一维碳纳米管、二维石墨烯都属于碳纳米材料家族，并且彼此之间满足一定条件后可以在形式上转化。碳纳米管是一种具有特殊结构的一维材料，它的径向尺寸可达到纳米级，轴向尺寸为微米级，管的两端一般都封口，因此它有很大的强度，同时巨大的长径比有望使其制作成韧性极好的碳纤维。

碳纳米管和石墨烯在电学和力学等方面有着相似的性质，有较好的导电性、力学性能和导热性，这使碳纳米管复合材料在超级电容器、太阳能电池、显示器、生物检测、燃料电池等方面有着良好的应用前景。此外，掺杂一些改性剂的碳纳米管复合材料也受到人们的广泛关注，例如，在石墨烯/碳纳米管复合电极上添加CdTe量子点制作光电开关、掺杂金属颗粒制作场致发射装置。本次外媒报道的劳伦斯伯克利国家实验室将现有最精尖的晶体管制程从14nm缩减到了1nm，其晶体管就是由碳纳米管掺杂二硫化钼制作而成。不过这一技术成果仅仅处于实验室技术突破的阶段，目前还没有商业化量产的能力。至于该项技术将来是否会成为主流商用技术，还有待时间检验。

技术进步并不一定带来商业利益

技术进步并不一定带来商业利益。在过去几十年中，由于摩尔定律在确实发挥作用，使中国半导体制造技术在追赶西方的过程中始终被国外拉出一段距离。而近年来，芯片制造技术进步放慢，摩尔定律出现失效的客观现象，对于中国半导体产业追赶西方来说是一大利好。摩尔定律失效，一方面既有技术因素——先进光刻机、刻蚀机等设备以及先进芯片制造技术研发技术难度大、资金要求高……另一方面也有商业上的因素。

在制造工艺到达28nm以前，制造工艺的每一次进步都能使芯片制造厂商获得巨额利润。不过，在制造工艺达到14/16nm之后，技术的进步反而会使芯片的成本有所上升——在Intel最先研发出14nm制造工艺时，曾有消息称其掩膜成本为3亿美元。当然，随着时间的推移和台积电、三星掌握14/16nm制程，现在的价格应该不会这么贵。但英特尔正在研发的10nm制程，根据Intel官方估算，掩膜成本至少需要10亿美元。新制造工艺之所以贵，一方面是贵在新工艺高昂的研发成本和偏低的成品率，另一方面也是因为光刻机、刻蚀机等设备的价格异常昂贵。因此，即便先进制造工艺在技术上成熟了，但由于过于高昂的掩膜成本，会使客户在选择采用最先进制造工艺时三思而后行，举例来说，如果10nm制造工艺芯片的产量低于1000万片，那么光分摊到每一片芯片上的掩膜成本就高达100美元，按国际通用的低盈利芯片设计公司的定价策略8：20定价法——也就是硬件成本为8的情况下，定价为20，别觉得这个定价高，其实已经很低了，Intel一般定价策略为8：35，AMD历史上曾达到过8：50……即便不算晶片成本和封测成本，这款10nm CPU的售价也不会低于250美元。同时，相对较少的客户会导致很难用巨大的产量分摊成本，并最终使企业放缓对先进制造工艺的开发和商业应用。也正是因此，28nm制造工艺被部分业内人士认为是非常有活力的，而且依旧会被持续使用数年。

中国应脚踏实地解决现实问题

对于劳伦斯伯克利国家实验室将现有最精尖的晶体管制程从14nm缩减到了1nm，国人不必将其看得太重，因为这仅仅是一项在实验室中的技术突破，哪怕退一步说，该项技术已经成熟且可以商业化，由于其在商业化上的难度远远大于Intel正在研发的10nm制造工艺——其成本将高昂地无以复加，这会使采用该技术生产的芯片价格居高不下，这又会导致较少客户选择该项技术，进而恶性循环……从商业因素考虑，大部分IC设计公司恐怕依旧会选择相对成熟，或者称为相对“老旧”的制造工艺。

对于现在的中国半导体产业而言，与其花费巨大人力物力财力去探索突破7nm物理极限，还不如将有限的人力物力财力用于完善28nm制程工艺的IP库和实现14nm制造工艺的商业化量产。毕竟，对于国防安全领域而言，现有的制造工艺已完全够用（美国的很多军用芯片都还是65nm的），对于商业芯片而言，很多芯片对制程的要求并不高，像工控芯片、汽车电子、射频等都在使用在一些硬件发烧友看起来显得老旧的制程，而对于PC和手机、平板电脑的CPU、GPU而言，14nm/16nm的制造工艺已经能将性能和功耗方面的需求平衡的很好。笔者认为，相对于耗费大量资源去研发新材料突破7nm物理极限，还不如脚踏实地地解决现实问题。

（高翔）

“中国芯”站上云端 寒武纪发布我国首款云端智能芯片

5月3日，寒武纪科技公司在上海宣布：等效理论峰值达到每秒166.4万亿次、峰值功耗不超过110瓦的中国第一款云端智能芯片——Cambricon MLU100诞生。未来它将会在计算机视觉、语音识别翻译等多个领域发挥巨大作用。

MLU100属于云端智能芯片。所谓云端，通俗解释就是一个你看不到的地方：每次打开微博或微信，你所看到的内容不是存在于你手机上的，而是由那个被称为云端的地方推送给你的。MLU100云端智能芯片可以在平衡模式（1GHz主频）和高性能模式（1.3GHz主频）下工作，在平衡模式下的等效理论峰值速度达到每秒128万亿次定点运算，在高性能模式下的等效理论峰值速度更可达每秒166.4万亿次定点运算，功耗仅为80瓦，峰值功耗不超过110瓦。

寒武纪总裁陈天石说，这种云端芯片可以支持各类深度学习和经典机器学习算法，充分满足视觉、语音、自然语言处理、经典数据挖掘等领域复杂场景下（如大数据量、多任务、多模态、低延时、高通量）的云端智能处理需求。

2016年，寒武纪推出第一代终端智能处理器IP产品——寒武纪1A。这里的IP产品指的是寒武纪智能处理器的设计授权，只要客户与寒武纪签约就可使用。寒武纪1A目前已应用于千万个智能终端中（包括华为Mate10、P20和荣耀10等手机）。而3日新发布的寒武纪1M是该公司的第三代产品，其8位运算的效能比达每瓦5万亿次运算，提供三种规模的处理器核，以满足不同应用场景下不同量级的智能处理需求。

寒武纪目前拥有终端智能处理器IP和云端智能芯片两条产品线。2016年推出的寒武纪1A处理器是国际首款商用终端智能处理器，现在推出的MLU100芯片是中国第一款云端智能芯片。因而，寒武纪就成为了中国第一家（也是世界上少数几家）能够同时拥有终端和云端智能处理器产品的商业公司。

（李大庆）

中国北斗芯片实现规模化应用 跨入28nm时代

近日，在第九届中国卫星导航学术年会上，中国卫星导航系统管理办公室主任冉承其透露，中国北斗芯片已实现规模化应用，工艺由0.35微米提升至28纳米，最低单片价格不到人民币6元，总体性能达到甚至优于国际同类产品，实现了基础产品向高端产业的跃升。

据了解，截至2017年4月底，国产北斗导航型芯片模块累计销量已突破6500万片，高精度板卡和接收机天线销量已分别占国内市场份额的30%和90%，并输出到80余个国家和地区。

中国北斗系统在应用产业化已形成完整产业链，在国家安全和重点领域标配化使用，在大众消费领域规模化应用，并融合互联网催生“北斗+”应用新模式。

北斗大众应用正日益走进百姓生活，目前世界主流手机芯片大都支持北斗，国内销售的智能手机中，北斗正成为标配；支持北斗的手表、手环、学生卡也越来越多，将更加方便服务人们日常生活。以北京为例，33500辆出租车、21000辆公交车安装北斗，实现北斗定位全覆盖；1500辆物流货车及19000名配送员，使用北斗终端和手环接入物流云平台，实现实时调度。

（邓孟 邹维荣）