

导读

本文为中国科学技术大学副研究员、知名科普达人袁岚峰老师在观传媒举办的 2020《答案》年终秀上的演讲。

中国芯片的正道何在？非常多的人低估了这个挑战的难度，经常可以见到许多错误理解。中国芯片业的落后，看似是一个点，其实反映的是一大片。所以唯一的正道，就是把所有这些门类的基础都补上，都达到世界顶端。



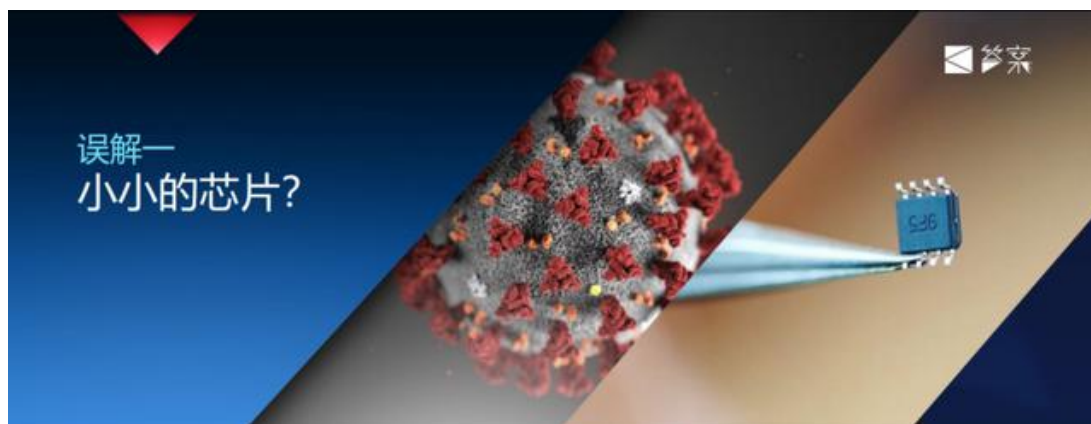
人人都知道的，我国被卡脖子最严重的领域是芯片。我发现，非常多的人低估了这个挑战的难度，经常可以见到许多错误理解。

例如，有人认为中国在两年内就可以造出高端芯片

实际上，这是个大大过头的估计。目前我们没法给出个时间表。如果我们能在十年内造出现在最高水平的芯片，就是很大的成功了。

又如，经常有人说“小小的芯片”，难道我们连小小的芯片都搞不定吗？

对此的回答很简单：新冠病毒也只是个“小小的病毒”，你觉得它容易搞定吗？



再如，经常有人说，芯片再难，有两弹一星难吗？

实际上，这两者的难度不是同一类的。**芯片的难度在于精密制造**，而一个国家能不能造出核武器，在很大程度上取决于核材料的生产。看一个国家有多少离心机就能判断出他们离造出原子弹有多远，所以你会看到各个大国三天两头跟伊朗的离心机扯皮。



还经常有人说，统一台湾，拿下台积电，就能解决芯片问题

在这些人的想法中，统一台湾这种国家大事居然成了解决一个技术问题的手段。这本身就是轻重不分，十分搞笑。另外，还有一个显而易见的问题：如果荷兰 ASML 公司不给台积电提供最先进的光刻机，你不还是被卡住吗？



还有一种常见的说法是，中国的芯片本来跟世界差距不大，甚至是先进的

实际上，当时我们的芯片水平绝不是领先，甚至也不是差距不大，而是差距非常大。

我看过一篇文章，纪念我国半导体科技的奠基人之一王守武院士，其中有这样一个故事：



王守武院士

1977 年，国际上开始工业生产 16K 的芯片，64K 的芯片也已经做出样品。同时中国只有少数单位仿照国外产品，做出了接近 1K 的芯片。但成品率极低，不能投入生产，只能作为样品。1K 对 64K，这就是当时的差距。

然后，中国科学院提出，要在一年内拿下 4K 芯片。但经过一年的研究，成品率仍然很低。

1978 年 10 月，中科院请王守武全面负责这一任务。他带领团队奋战一年，到 1979 年 9 月，终于把 4K 芯片的成品率提高到了.....20%以上。

这是什么概念？量产的芯片成品率至少要达到 90%以上，否则难以收回成本。可是当时王守武的这 20%成品率就已经是重大进步了，获得了中国科学院科技成果一等奖。



在分析完这些错误理解后

我们来讲正确的理解

最基本的问题是，芯片是什么？

我来给大家出道题。下面这些哪些属于芯片，哪些不属于芯片：电脑处理器，手机处理器，机械硬盘，固态硬盘，电脑内存，手机存储卡，U 盘，液晶显示器？



请大家思考一下。如果你能答对，你的知识水平就超过了 90%的人。

答案是：这些几乎都属于芯片，只有两个不是。一个是液晶显示器，另一个是电脑硬盘中的一类，机械硬盘。机械硬盘是用磁来存储的，不是半导体。而电脑硬盘中的另一类，固态硬盘，却属于芯片。固态硬盘、电脑内存、手机存储卡和 U 盘都是用半导体来存储的，它们都属于芯片。



其实，液晶显示器跟芯片也是近亲，因为它用半导体元件控制的，而且它的制造过程与芯片也十分相似。因此，液晶显示这个行业又被称为半导体显示。

芯片的力量何在？它实际上是来自半导体

知道这个，你的知识水平就超过了 99%的人。

为什么半导体这么神通广大？

原因在于，只有半导体有变化。跟半导体相对的，导体永远是导电的，绝缘体永远是不导电的，它们都没有变化。

只有半导体，可以在导电和不导电之间转换。我们可以控制这种转换，办法有很多。用导电和不导电表示 0 和 1，就可以计算，可以存储，产生无穷的变化。

那么，半导体是怎样在导电与不导电之间转换的？

这里的基本元件是三极管。我见过的对三极管原理最好的描述，来自这本书《图解芯片技术》，作者是清华大学材料学院田民波教授。

三极管好比一个带水闸的水路。左边有个水源，右边有个水泵在抽水。但中间有个水闸，在水闸关闭时，是没有水流的。



然后我们逐渐把水闸升起。一开始，水闸的底部仍然在水槽里，所以还是没有水流。当水闸底部升到水槽之上，就开始有水流了。水闸升得越高，水流就变得越大。

把水流换成电流，这就完全是对三极管的描述。左边的水源、右边的水泵和中间的水闸，就对应三极管的三个极，源极、漏极和栅极。水闸的高度，就对应栅极上的电压。

【注释：源极、漏极和栅极实际上是场效应管的三个极，三极管的三个极叫做发射极、集电极和基极。不过《图解芯片技术》的原文就是如此，我理解这是因为场效应管和三极管在逻辑上的作用相同，都是通过某种方式控制导电与不导电之间的转换，所以田民波教授采用了一种简化的解释，以方便初学者。】

芯片的 28 纳米、14 纳米、7 纳米等等究竟是什么意思？

其实这就是栅极的厚度，专业的名称叫“栅长”。如果你能记住这些多少纳米是栅长，那么你的知识水平就超过了 99.9% 的人。

纳米成为常用单位，这是非常神奇的一件事。一纳米是 10 的-9 次方米，大约只有 10 个原子的长度，一根头发丝直径的几万分之一。现在一粒芝麻的面积上（小于一平方毫米）能排列上亿个三极管，这是多么惊人的奇迹！

由此就引出了芯片的一个特征：它是目前人类精密制造的最高水平。

这就是为什么我们不能制定一个太乐观的时间表，因为精密制造正是中国跟世界先进水平相差最远的方向。有一句话很形象：中国制造在西方的商场里，德日制造在中国的工厂里，美国制造在中国的实验室里。



芯片制造难在哪里呢？

其实每一步都很难，没有容易的。芯片制造分为五个阶段。



芯片制造的五个阶段

第一，把沙子，也就是二氧化硅，转化成多晶硅。

第二，把多晶硅提炼成单晶硅，再把单晶硅切成一个个圆盘，也就是晶圆。

第三，在晶圆上制造各种器件。

第四，把芯片封装起来。

第五，做最后的测试。

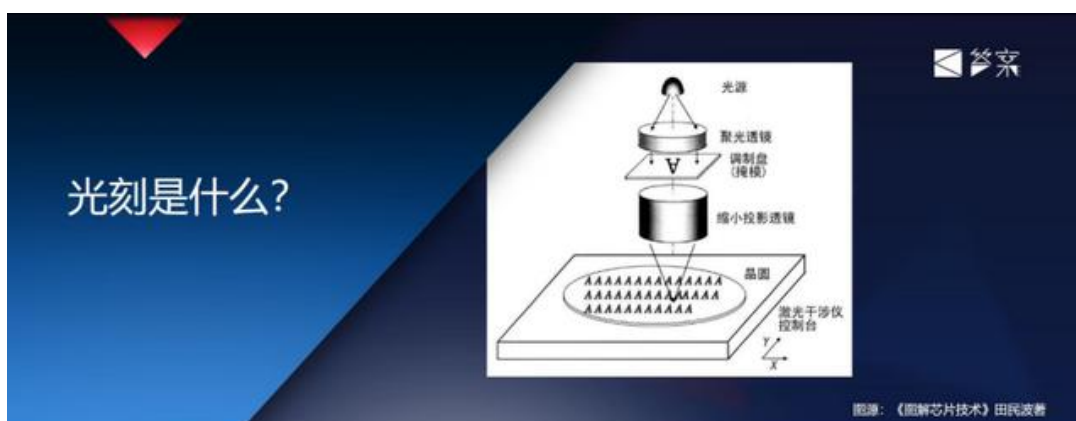
例如第一个阶段，多晶硅的纯度要达到 11 个 9，即 99.999999999%。我们平时说的纯金，只不过是 4 个 9，99.99% 而已。

第二个阶段，晶圆要做得非常平，连它自身的重量导致的弯曲，都是要控制的。如何控制这些晶体缺陷，是各个厂商从长期的经验教训中总结出来的，是他们高度重视的技术秘密。

前两个阶段都很难，第三个阶段又是难中之难。**光刻就是其中的核心技术。**

光刻是什么？

其实就好比传统的胶片照相技术，包括曝光、显影、定影等等。具体的操作是这样的。



首先，在晶圆表面涂一层光刻胶。

然后，在晶圆上面放一层掩膜，要刻的图案就画在掩膜上。

然后，用光通过掩膜去照射下面的晶圆。这里的关键在于，光刻胶遇到光会发生化学反应。这样，图案就转移到了光刻胶上。

然后，把光刻胶去掉。但发生过化学反应的地方，就留下了。

最后，对没有光刻胶的地方进行刻蚀。这样，图案终于转移到了晶圆上。真正在晶圆上刻出东西来，是在这一步。

大家可能听说过，有个东西叫做刻蚀机，而且中国的中微半导体在刻蚀机方面是世界领先的。这当然很好，不过在很多其他步骤上我们就是落后的，就有非常多的缺陷。比如说，一般人都知道我们没有高端的光刻机，其实刚才提到的那个光刻胶，我们也还没有高质量的。

近年来，每当报道一个中国在芯片方面的技术进展，立刻就有很多人欢呼可以取代光刻了，可以摆脱卡脖子了。其实这完全是误解。

光刻真正的厉害之处，在于它保持这么高精度的同时，还能有很高的生产效率

如果单说分辨率能达到纳米级的技术，那么这样的技术其实有很多。我发的论文里就有不少是关于这些技术的，例如我们实验室 2001 年在《Nature》上的文章，那里用到的技术叫做扫描隧道显微镜。



袁岚峰等人 2001 年在《Nature》上的文章

但这些技术都是一个原子一个原子去操作。它们跟光刻的对比，就好像抄书跟印刷术的对比，实在是太慢了。所以这些技术都是用于基础研究的，而不是工业生产。



抄书对印刷术

现在制造一个芯片，需要经过 300 至 500 道工序，涉及精密机床、精密化工、精密光学等几乎所有领域的尖端技术。如果说芯片是现代工业技术的皇冠，那么它就是在其他好几顶皇冠的基础上累加起来的，是皇冠上的皇冠。



皇冠上的皇冠

中国芯片业的落后，看似是一个点，其实反映的是一大片。所以唯一的正道，就是把所有这些门类的基础都补上，都达到世界顶端。

我们经常说危机既是危，也是机。每当美国打压我们，都有人欢呼危要转化成机了。但这绝不是必然的。危转化成机，关键是我们自己要努力，要做出改革，包括科研体制、教育体制、市场机制、思想文化等很多层面的改革。



很多层面的改革

如果我们只是在嘴上说说，指望事情自动变好，老想着走捷径，或者淡化困难，或者委过于人，那么危就是危，不会转化成机。我们该做的事情做够了吗？我看远远不够。

这就是我希望传递给大家的最重要的信息。我们要走正道，付出巨大的努力，做出巨大的改革。这不但是为了我们自己，也是为了全人类。

