

中日高科技发展的比较与思考

——以半导体芯片制造技术为案例

冯昭奎

【内容摘要】 半导体芯片的重要性对于我们国家而言就如同“两弹一星”；对于个人而言就如同身份证。20世纪60—70年代以来，我国芯片制造行业经历重重曲折，克服种种困难，取得了巨大发展和成绩，中国大陆本土厂商的芯片产能占全球总芯片产能的比例不断提高，2021年已上升至8%，但在不可缺少的高端芯片、光刻机等核心技术和装备方面仍然受制于人。如同日本的芯片产业在20世纪80—90年代受美国无情打压一样，如今中国芯片产业正在受到美国更加严厉的打压、限制和“断供”，美国还在积极拉拢其重要伙伴打造“孤立”中国的体系。考察同样受到过美国打压的邻国日本芯片技术和产业的发展和问题，比较中日两国芯片技术和产业经过的不同道路，有助于激发我们继续披荆斩棘推进我国芯片制造技术和产业不断向前发展的政策思考。由于《瓦森纳协定》，长期以来我国与日本之间的高科技合作受到严重阻碍。但日本众多芯片技术相关企业为自身发展不会放弃中国这个巨大市场，道理同样适合于韩国、中国台湾地区乃至美国。芯片产业是全球化的产业，民间企业常常是全球化的重要推动力量，中国与芯片技术先进国家之间的民间交流与合作仍然大有可为。

【关键词】 半导体 芯片技术 日美半导体摩擦 芯片四方同盟

【中图分类号】 F43/47

【文章编号】 1003-4048(2022)03-0001-15

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16496/j.cnki.rbyj.2022.03.001

【作者简介】 冯昭奎，中国社会科学院荣誉学部委员、日本研究所研究员（北京 100007）

科技是第一生产力，是综合国力的最重要组成部分，科技竞争是当代综合国力竞争的核心和前沿。二战结束以来，振兴科技日益成为世界各国强大的国家意志。二战后美国经济增长的四分之三来自技术创新；国土面积相当于中国 1/400、周边环境除了沙漠就是冲突的以色列居然凭借科技先进而跻身发达国家行列。

如今，高科技发展正在给世界带来日新月异的

改变，既改变“和平”的形态（如智能化生活日益进入寻常百姓家），又改变“战争”的形态，如战争“无人化”“智能化”“空天一体化”及“无形化”（网络战、电磁战）。^①战争形态的这种巨大变化在正在进行的俄乌战争中日显端倪。

与此同时，当今高科技竞争本身也日趋激烈，以致在20世纪70—80年代日美半导体贸易摩擦被称之为“日美半导体战争”，近年来超级大国美国

^① 可以预计，无人化、智能化、集群化的新型武器装备很可能会以超出人们预料的速度得到推广和普及，并在与（对方）加强电子干扰手段的矛盾斗争中顽强地向前发展，从而在很大程度上改变未来（10—15年）战争的形态，降低战争的门槛，进而对今后国际安全关系产生深刻影响。

居然对中国民营企业华为公司开打“科技战争”和围追堵截。

2022年8月,美国与日本、韩国和中国台湾结成“芯片四方联盟”,^①它的一个重要目的就是限制中国大陆的芯片产业发展。这个联盟堪称“半导体史上最强大联盟”,它的组成堪称是美国对正在崛起的中国大陆芯片产业乃至对我国高科技发展的一次最严重的挑战和打击。

本文以芯片制造技术和产业为案例,^①通过比较中日高科技发展,就当前我国高科技发展面临的风险和挑战提出一些对策性思考。

一、从芯片的用途看芯片的重要性

晶体管 and 集成电路是美国分别在20世纪40年代末和50年代末研制成功的,20世纪50年代中期日本使用晶体管取代真空管制造便携式半导体收音机(比如五管半导体收音机使用了5颗晶体管)。50年代末美国为了实现军事装备小型化,又开发了集成电路,集成电路就是将晶体管等电子器件高度缩小,集成到如指甲大小的半导体芯片上,从最初在小芯片上刻制数十个,发展到刻制直至数十亿个晶体管等电子器件,形成含有适应各种需要的极为复杂的芯片,因芯片以半导体为主要原材料,集成电路为实现功能的核心,因此常以半导体或集成电路代称。

随着芯片技术的发展,其用途越来越显示出三大特点:其一是日益成为高精度导弹等武器装备不可或缺的器件;其二是被广泛用于航空航天、星际飞行、医疗卫生、交通运输乃至计算机、机器人、汽车电子设备等各行各业的产业链,被认为是取代钢铁的“产业之粮”;其三是芯片的应用又非常贴近人们的生活,被广泛用于手机、电视机、取款机等人们家中或身边用品,比如手机含有一百多块芯片,新能源汽车含有一千多块,尤其是我国的第二代身份证采用射频识别芯片,身

份证内的射频芯片使持有者都能拥有一个微型短波无线电通信收发机,它虽然没有电池(身份证没有充电器),却能借用身份证读卡装置的微弱能量为自己充电。^②

芯片是国之重器,相关制造业是关系国家安全和国民经济命脉的战略性、基础性和先导性产业。鉴于芯片的这种特点,它日益成为世界各大国高度重视的战略技术之一。美国所有的尖端武器装备都建立在极其先进的芯片技术基础之上。从2022年开始,美国众参两院通过议案,决定将在五年内为半导体研发、传统芯片制造、封装研究和微电子开发提供520亿美元的紧急资金,其理由是,虽然美国在芯片设计方面处于领先地位,但全球近90%的芯片制造能力位于其他地方——主要是中国台湾和韩国,这使美国在发生贸易争端、军事冲突时面临供应链中断的重大风险。与此同时,日本执政党国会议员也成立了半导体专项课题小组(2022年7月去世的日本前首相安倍晋三曾担任该小组的资深顾问)。该小组认为,半导体对日本经济安全而言,是不可或缺的,希望将来通过与美国和其他伙伴国家的合作,建立强大的半导体供应链。当然,我国历来高度重视发展芯片技术。笔者认为,对于我国来说,发展芯片技术就如同当年研制“两弹一星”一样,是关系到我国国运的大事。

二、日本芯片制造技术与产业发展问题

20世纪40—50年代,半导体晶体管和集成电路相继在美国诞生。如果说20世纪50年代日本的晶体管工业在很大程度上是以生产具有海量市场需求的大众化消费品——晶体管收音机作为“跳板”而起飞的,那么,60年代日本的集成电路产业在很大程度上是以生产同样具有海量市场需求的大众化消费品——计算器作为“跳板”而起飞的。^③

日本从美国引进军事目的开发的集成电路技术用于民用产品的开发与生产,相当于一次“跨

① 芯片产业包括芯片的设计、制造、封装等环节,本文主要讨论芯片制造环节。

② 第二代身份证是清华大学微电子研究所与公安部合作研制的,其中的芯片则是清华大学半导体专业65届同学陈弘毅团队研制成功的,陈弘毅为此荣获国家科技进步一等奖。

③ 1972年8月日本卡西欧公司推出了世界上第一款个人用计算器,发售仅十个月就突破百万台大关。计算器在日本受欢迎的程度大于其他国家,这是因为日本广大家庭主妇普遍善于精打细算,细心记录每天的家计收支,到超市买东西也要及时记账,计算器在20世纪60年代就成为便于家庭主妇随身携带的记账工具。

国军转民（即军用技术在民用领域的拓展）”。^[2]在美苏冷战时期，美国为了与苏联开展狂热的军备竞赛而把主要精力耗费于发展军事技术，基本上无暇大力发展民用技术；而作为战败国的日本被禁止发展军工产业，但又需要集中力量恢复经济和推动经济增长，因而大力发展民用产品和技术，并通过大众化的比军需市场大得多的民生市场竞争有力地推动了集成电路技术的进一步发展。

20世纪70年代，日本芯片产业通过从美国引进技术完成了初步的技术积累，富士通、三菱电机、东芝、日立、NEC等电子企业迅速发展。1976—1980年，通产省电子技术综合研究所遴选出对芯片技术具备深厚知识功底和较强协调能力的专家，并令其牵头，组织富士通、NEC、日立、东芝和三菱电机五家计算机大公司组成了“超大规模集成电路技术研究组合”（简称“组合”），^①“组合”的主要课题是研究企业共同需要的、无力单扛巨大人力财力的基础课题，以便集中使用研究资源和经费，避免重复劳动，更快取得研究成果。作为一个临时性组织，“组合”在开展共同研究的四年里，共提出了1200多项专利、300多项商业机密技术等，^[3]最终突破1微米加工精度大关，使制造当时最有代表性的集成电路——100万位DRAM（动态随机存取存储器，一种常用电脑内存）超大规模集成电路^②成为可能。

在上述“组合”开始活动时，日本芯片业主要依靠从美国、西欧进口制造设备，随着研究活动的铺开，“组合”日益转向使用国产设备和材料，^③努力促使日本芯片业尽快转变为主要依靠国产设备和材料的独立自主的工业部门。在“组合”开展研究活动期间，“组合”与相关设备生产企业相互配合，共同开发了各种类型的电子束曝光装置（光刻机）、干式腐蚀装置等制造VLSI的关键设备。由于芯片企业掌握着制造芯片的技术窍门和经验，设备制造企业则掌握着制造“制造设备”

的技术窍门和经验，为了研制出高性能的“制造芯片的设备”，最好的办法就是促进双方的技术窍门和经验互补与融合。为“组合”提供芯片制造设备和材料的企业（主要是中小企业）共有50多家，“组合”很善于发现、培养和利用这些企业的专长，将它们原来“各自为战”的努力聚焦于一个共同目标——开发超大规模集成电路，从而形成了一次国产技术大动员。^[4]

随着美国等发达国家计算机行业的发展，对DRAM的需求快速增长，DRAM成为芯片业的主流产品，计算机对芯片的需求增长导致20世纪80年代日制DRAM在全球市场中所占份额不断上升。1980至1986年，美国的芯片占全球芯片市场的比重从61%下降到43%，而日本则由26%上升至44%，超越美国成为全球第一芯片生产大国。^[5]1990年在全球十大芯片公司中，日本占六家，NEC、东芝及日立公司高居前三位，英特尔仅居全球第四，韩国的三星尚未能进入前十。

日本通过引进美国为军事目的的开发、用于军事用途的晶体管和集成电路等军用技术，将其转用于大众化民用产品制造。基于比军需市场大得很多的民生市场竞争有力地推动了日本芯片等高技术的进一步发展，产生了一系列“青出于蓝而胜于蓝”的军民两用高技术，日本芯片业引起了美国军方的高度关注。1983年作为军事技术大国的美国居然要作为民用技术大国的日本提供包括芯片技术在内的16项军民两用技术清单，^[6]这又相当于一次高技术“跨国民转军”。

与此同时，随着日本高技术的迅速发展，日美贸易摩擦愈演愈烈，以致被称为日美“半导体战争”，美国力图通过贸易战迫使日本开放市场和让渡经济利益，从战略上遏制日本对美国的技术追赶。到了80年代末至90年代，遭到美国打压而严重削弱的日本半导体产业又遇到集成电路产品结构 and 集成电路产业结构的两大变化，并因为

① 政府为此提供了16亿美元的资金及免税、低息贷款等。

② 超大规模集成电路是指单块芯片上所容纳的元件数目达到10万的集成电路。

③ 集成电路产业包括集成电路的设计、制造、封装等环节，制造又包括：（1）制造集成电路本身的产业（2）制造“制造集成电路的工艺流程”所需的生产设备的产业（3）制造“制造集成电路的工艺流程”所需的硅单晶等各种材料的产业，其中（2）和（3）相当于（1）的两翼，没有两翼的支撑，（1）是很难腾飞的。本文主要以制造集成电路本身的产业为切入点比较分析中日集成电路产业的发展。

自己的墨守成规而在两大变化的潮流中大大落伍。

(一) 芯片产品结构变化

日本芯片产业的崛起是以主要用于大型计算机内存的 DRAM 为切入口的, 进入 20 世纪 90 年代, 个人计算机取代大型计算机成为计算机市场上的主流, DRAM 的主要消费需求也从大型计算机转向了个人计算机。个人计算机对 DRAM 的要求与大型机有所不同, 重点是价格低, 对质量和可靠性要求不太高, 而日本半导体企业却仍然执着于高质量和价格较高的 DRAM 产品, 这导致日本生产的 DRAM 在成本方面逐渐丧失优势, 日益被韩国、中国台湾地区生产的低价 DRAM 夺走了市场(韩国还从日本半导体企业挖走了很多技术人才), 1998 年韩国取代日本成为 DRAM 第一生产大国。^①另一方面, 个人计算机市场的扩大又导致美国所擅长的技术含量更高的微处理器在集成电路市场上的比重逐渐超过 DRAM, 以致 1993 年美国在整个半导体市场占有率方面反超日本而重新夺魁。

(二) 芯片产业结构变化

1987 年创立的台湾积体电路公司(简称“台积电”)开创了晶圆“代工”(Foundry)新业态, 促使芯片产业从“垂直统合”模式(从芯片设计、制造到封装测试的各个环节都在本企业内部完成)逐渐转向“垂直分工”模式(即半导体公司只搞芯片设计而将芯片制造外包给“代工厂”)。^②众所周知, 随着加工技术越来越“微细”, 芯片制造成本日益提高, 芯片产业的“烧钱”特性日趋突出, 越来越多的企业感到无力承担芯片生产全过程的巨额资金。

将芯片设计和芯片制造分开的“垂直分工”模式提高了需要巨额设备投资的代工厂的运营效率, 降低了“轻设备投资”的芯片设计企业等企业的准入门槛, 很多没有巨额资本去从事芯片制造的企业都可以通过委托代工厂制造的方式来入局集成电路产业(比如设计业等), 从而有力地促进集成电路产业的良性竞争发展。然而, 正是在集成电路产业模式发生重大变化的潮流中, 固守“垂直统合”的日本集成电路产业落伍了。总之, 集成电路产品结构与产业结构的两大变化使得长期以来在产品上以 DRAM 取胜, 在产业结构上以“垂直统合”模式为主的日本半导体产业疲于应对, 输掉了个人电脑芯片、手机芯片等具有海量市场的通用芯片的国际竞争, 导致日本半导体产业在世界市场的占有率一路下滑。美国、韩国以及来自中国台湾的企业开始逐渐成为主角, 2021 年日本在全球半导体^③市场的份额仅为 6%, 美国为 54%, 韩国为 22%, 中国台湾为 9%, 欧洲地区为 6%, 中国大陆地区为 4%。^[7]

面对前所未有的困境, 日本半导体企业与政府相关部门配合, 努力推进大规模结构性改革, 力图挽回颓势。2001 年, 日本政府开启了三个大型“产官学”项目——“MIRAI”“ASUKA”和“HALCA”, 其中“MIRAI”项目由日本经济产业省投资 300 亿日元, 由 25 家企业的研究所和 20 所大学的研究室共同参与研究; “ASUKA”项目由 NEC、日立、东芝等 13 家半导体企业共同出资 700 亿日元, 主要研制电路线宽为 65 纳米的 IC 芯片。日本半导体企业注意着眼于未来的发展方向, 大力发展专用集成电路, 例如作为仅次于中国的

^① 2017 年号称全球 DRAM 三巨头的三星电子、SK 海力士、美国美光三家芯片企业占全球 DRAM 市场份额的 96%, 前两家韩国企业合计占 73%。

^② “代工”模式出现后, 集成电路产业出现了(分解为)四类企业: (1)传统的垂直整合企业, 即从芯片设计、制造到封装测试“一条龙全包”。这类企业规模大、技术全面、资金雄厚, 甚至还有自己的下游整机环节, 如英特尔(Intel)、三星; (2)只做设计的企业, 没有工厂(fab), 被称为“fabless”。这些企业往往不仅从事芯片设计和开发, 还亲自推销, 全球顶尖的设计企业多为美英企业, 如英国的 ARM、美国的高通等; (3)代工企业(foundry), 即只从事生产不做设计, 按照设计企业设计的集成电路图形, 在晶圆上制造集成电路芯片。其代表性企业有台积电(2017 年全球市场份额占比高达 55.9%)、美国的格罗方德、中芯国际等; (4)封装测试企业, 即将晶圆上的几百块小芯片切分开, 给每块芯片连接导线, 封装外壳, 进行测试。

^③ 本文所指的“半导体”系指半导体器件, 包括集成电路、二极管、三极管、光电器件和传感器。2018 年全球集成电路的市场规模占半导体市场规模的 85% 左右。

全球第二大汽车生产国，日本瑞萨、东芝、索尼、索喜等企业自 2015 年加紧发展用于自动驾驶系统和自动驾驶汽车的芯片；物联网相关芯片可能是今后 5—10 年增长最快的芯片之一，其中单芯片 MCU、集成 MCU、无线的单芯系统级芯片（SOC）等是长年致力于开发系统级芯片的日本半导体企业擅长的技术领域；材料技术需要经过漫长年月的反复研究与炼制，半导体材料更是如此，硅晶圆是制造各种芯片的基础，日本信越半导体、胜高科技生产的 200—300 毫米的大尺寸硅片，占全球市场的 70% 以上。包括硅晶圆在内，日本在 14 种半导体重要材料方面在全球市场均占有 50% 以上份额，例如日本企业提供了全球约九成的光阻剂和九成的高纯度氟化氢。^①另一方面，得益于机械制造的良好基础，日本的半导体设备制造实力也很强，在清洗设备、光刻机、匀胶显影设备、离子注入设备、刻蚀设备、热处理设备、晶圆检测设备、芯片测试设备等多数关键领域，日本长期保持竞争优势，为全球提供了大约 37% 的半导体设备，^②是仅次于美国的全球第二大半导体设备出口国。2021 年进入全球前十五的半导体设备厂商榜单中，有 7 家来自日本（包括东京电子公司等），这 7 家日本厂商的出口对象多数是作为当前世界最大半导体设备市场的中国大陆的半导体企业。

2022 年日本宣布将迅速采取行动进行下一代半导体研究，日美政府已同意联合成立一个新的研发中心，研发中心从美国“国家半导体科技中心”引进设备和人才，研发 2 纳米线宽^③的半导体芯片。^④这座研发中心将配备原型生产线，目标是最早于 2025 年开始在国内投产。考虑到中国台湾地区掌握全球 10 纳米以下半导体的九成以上产能，且计划 2025 年底前开始制造 2 纳米芯片。美日两国上述计划如果实现，将实现对台积电等中国台湾代工厂的追赶。

① 生产半导体芯片需要 19 种必须的材料缺一不可，且大多数材料具备极高的技术壁垒；而日本企业在硅晶圆合成半导体晶圆、光罩、光刻胶、药业、靶材料、保护涂膜、引线架、陶瓷板、塑料板、TAB、COF、焊线、封装材料等 14 种重要材料方面均占有 50% 及以上的份额（除了光刻胶。参见上海阿牛信息科技有限公司 [EB/OL].(2021-05-27).<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1700889391325018795&wfr=spider&for=pc>）。

② 线宽指的是在芯片生产过程中，能分辨的图形最小宽度，是衡量制造工艺水平的主要指标。线宽越小，表明分辨率越高，工艺越先进。

三、中国芯片制造技术和产业的发展及其问题

笔者作为出身半导体专业的科技人员，曾在 1968 年参加过从日本引进集成电路生产线的工作，亲身经历过中国芯片技术发展的一段历程，之后也长期关注该领域发展。中国芯片制造技术可以分为以下几个阶段：

（一）自力更生初创期

1956 年在北京成立中国电子科技集团公司第十三研究所（1963 年迁至石家庄市，亦称石家庄第 13 研究所）。1960 年中国科学院成立半导体研究所，于 1962 年组建全国半导体测试中心。1963 年中央政府组建第四机械工业部，主管全国电子工业。1965 年石家庄第 13 研究所成功自主研发集成电路样品。上海元件五厂在生产晶体管的基础上也自行研制集成电路，标志着中国已经制成了自己的小规模集成电路。

1968 年，四川永川 1412 所首次研制成功 PMOS 大规模集成电路，北京组建国营东光电子厂（878 厂，现中国电子科技集团 24 所），主要生产 TTU 电路、CMOS 钟表电路等，这是中国唯一的模拟集成电路研究所。同年上海无线电 14 厂首次研制成功 PMOS 集成电路，上海组建的无线电 19 厂成为中国最早生产双极型数字集成电路的专业工厂。878 厂和上无 19 厂形成当时中国集成电路产业中的“南北两霸”。此外，天津、江苏、贵州、甘肃等省市纷纷建起一批集成电路厂，自力更生地生产小规模集成电路，供国内的计算机和军工单位使用，但所采用的硅圆片尺寸都较小，月产量只有几百片，最多上千片。

1975 年，就在台湾地区刚刚向美国购买 3 英寸晶圆厂时，中国大陆已经完成了 DRAM 核心技术的研发工作。中科院北京 109 厂（现为中科院微电子研究所）生产出中国第一块 1K DRAM（存

存储器芯片)。这一成果尽管比美国、日本晚了四至五年,但比韩国、中国台湾地区要早四至五年。1979年10月中国科学院109厂开始批量生产4K DRAM(比美国晚六年)。

然而,直至1980年前后,发展起点几乎与日本同步并早于韩国和中国台湾地区的中国大陆芯片产业,却被韩国和中国台湾地区反超。在美国技术转移的支持下,韩国直接从16K DRAM起步,实现了DRAM技术突破,1981年韩国的16K DRAM已经比我们领先两年,台湾地区从64K DRAM起步,其后发展步伐越来越大。

在自力更生初创期,中国芯片产业发展主要依靠国家投资,虽然发展比较顺利,但国内企业芯片产量小、水平低,远远不能满足市场需要。随着海外性能和可靠性更好、价格更低廉的芯片大量流入国内,给国内技术进步缓慢的芯片工业带来了严重的打击,国内企业自20世纪80年代中后期陆续亏损,于90年代纷纷倒闭,国内芯片产业逐步变为以三资企业为主的局面。^[10]

(二) 技术引进与大规模集成电路

1972年中美关系缓和,中国抓住这个战略机遇,开始从欧美日大量引进技术。全国建成投产的晶圆厂^①达四十多家。1973年我国有7个单位从国外引进单台设备,期望建成7条当时世界最先进的3英寸晶圆厂(1975年美国英特尔公司才开始建设世界第一条4英寸晶圆厂)。^②但由于欧美技术封锁和中国国内政治变动等原因,最终拖了七年才得以引进3条已经落后的3英寸晶圆生产线,分别投资在北京878厂,西安微电子研究所和贵州都匀4433厂。这个时期虽然大量引进了芯片生产线,但生产线规模和产量都很小。1977年7月国务院集成电路顾问组组长王守武在一次座谈会上说:“全国共有600多家半导体生产工厂,其一年生产的集成电路总量,只等于日本一家大型工厂月产量的十分之一。”

1980年江南无线电器材厂与日本东芝公司合作,引进日本的彩色和黑白电视机集成电路5微米全套生产线。这是中国芯片业内第一次从国外全面引进技术的项目,1984年投产,月产10000片3英寸片,成品年产量达3000万块,成为当时中国技术最先进、规模最大、配套最全的专业化工厂。1982年无锡742厂耗资6600万美元,从日本东芝引进3英寸晶圆生产线,生产为电视机配套用的芯片。1985年该厂制造出中国第一块64K DRAM大规模集成电路(比韩国晚一年)。到20世纪80年代末742厂改为华晶公司后,又从德国西门子公司和日本东芝公司引进2微米—3微米CMOS型数字电路工艺4英寸和5英寸晶圆厂。绍兴华越工厂从日本富士通公司引进一条完整的5英寸芯片生产线,为5微米双极型数字电路工艺技术。1993年,已经改组的无锡华晶电子公司(原无锡742厂),制造出中国第一块256K DRAM(比韩国晚七年)。

改革开放初期我国从国外引进集成电路生产线的热潮中,存在严重的重复引进,且引进之后未能消化、吸收,缺乏管理和运作的能力和经验。一个重要原因是大多数国有电子企业的管理权被转给各个地方政府,出现了各地方政府、国有企业和大学纷纷从国外引进落后的芯片生产线,总计达到33条,最终建成投入使用、具有一定规模的仅有从日本东芝、富士通、德国西门子公司引进的少数几条。为此,时任电子工业部部长的胡启立感叹说:“豪迈的热情煮出了一锅夹生饭。”^[11]1985年电子工业部下放绝大部分直属企业后仅留下的742厂(1989年转为华晶公司),以及后来又收回的绍兴871分厂(后改为华越公司),成为“七五”“八五”期间五大企业中的两家国有企业,前者先后引进了3英寸、4英寸、5英寸和6英寸线,后者则引进了5英寸线。742厂引进的3英寸线双极型电视机电路生产线曾为我国电视机产

① 制造芯片时先要将原材料硅提纯,再切成薄厚均匀、厚度不超过1毫米的大硅片,也称为晶圆,晶圆厂根据芯片设计的电路图纸,将大规模集成电路通过光刻机蚀刻到大硅片上,制成数百块小小的芯片。晶圆越大,意味着在一块大硅片上能制造的芯片越多,成本越低,性能越高,但对材料技术和生产工艺的要求也越高。

② 芯片制造工厂采用的晶圆直径有6英寸、8英寸、12英寸和高于12英寸的规格,一般认为晶圆的直径越大代表着这座晶圆厂有更好的技术。

业发展做出过很大贡献。

为了治理散乱差问题，1986年电子工业部提出“531战略，即“普及5微米技术、研发3微米技术，攻关1微米技术”，并落实南北两个微电子基地。南方集中在江浙沪，北方集中在北京。1988年至1995年，在政策扶持下，中国诞生了五家具具有规模的国有半导体企业：江苏无锡华晶电子（原无锡742厂与永川半导体研究所合并）、浙江绍兴华越微电子（1988年设立中国第一座4英寸晶圆厂）、上海贝岭微电子、上海飞利浦半导体（1991年设立中国第一座5英寸晶圆厂）、北京首钢NEC（1995年设立中国第一座6英寸晶圆厂）。

（三）从合资到独资

引进外资的意义在于既引进国外的先进技术，同时引进国外先进的管理。管理与技术同等重要。1988年上海无线电14厂与美国贝尔电话正式成立贝岭微电子有限公司，建设了中国大陆第一条4英寸芯片生产线，为程控交换机配套专用大规模集成电路做出了贡献。该生产线虽然用的是发达国家的二手淘汰设备，但终于将我国芯片年产量增加到1亿块，意味着我国比日本晚20年进入了“集成电路大规模生产”阶段。^①然而，在80年代乃至90年代，我国在芯片产业上的落后仍是全方位的。

为了加快我国芯片产业发展，1990年我国启动了“908工程”，其主体是无锡华晶电子，同时要上海飞利浦半导体、首钢NEC和上海贝岭进行技术升级，并在浙江绍兴引进一条微米级的晶圆厂。国家投资无锡华晶20多亿元，从美国朗讯科技公司引进0.9微米技术，计划建设月产能1.2万片的6英寸晶圆厂。1990年立项时，国外6英寸线才出现四年，如能两年建成，可望缩小与国外的差距。但其后由于审批和引进时间过长（分别用了两年和三年），建厂再花三年，^②总共耗费了八年时间，导致1998年无锡华晶电子投产即成为落后产能，因为华晶投产时，韩国的芯片技术已经大幅度领先于美国和日本。

而华晶的技术路线是源自日本，所以1997年华晶一投产，不仅在技术上落后于韩国，而且引进的是没有市场的产品，陷入“验收之日便是停线之时”的困境。

芯片产业基本每18个月就会更新换代一次，相应的设备也要升级，当时国内层层审批的制度显然不能适应芯片产业快节奏的特点。与无锡华晶形成鲜明对比的是，1990年新加坡政府投资“特许半导体”公司，只用两年建成，第三年投产，投产后产品有市场，到1998年收回全部投资。

1992年上海元件五厂等与荷兰飞利浦公司洽谈合资后成立的上海飞利浦半导体公司建成中国第一座5英寸直径的晶圆厂，采用3微米双极型模拟电路工艺。1994年北京首都钢铁公司与日本电气公司合资成立首钢日电公司，于10月在北京建成中国6英寸晶圆厂。

1993年3月国家决定将原机械电子工业部分开，成立新的电子工业部，任命胡启立为部长。当时国家领导人参观了韩国三星公司的集成电路生产线，用“触目惊心”四个字来概括我国在集成电路上和韩国的差距，并指出就是“砸锅卖铁”也要把半导体产业搞上去。1995年电子工业部确定搞“909工程”，这是中国电子工业投资最大的工程，同时为了避免“908工程”层层审批耽搁时间的问题，时任国务院总理李鹏表示，“我从总理基金里调一笔美元直接汇到电子部的账号上，等于电子部有了一个活期存折，只要部长签字，不经层层审批即可动用，”^[12]从而使资金使用有足够的灵活性和自主性。同时，国务院决定由胡启立部长直接兼任“909工程”董事长。

经过多方谈判，中方与日本电气公司（NEC）合作谈判成功，于1997年7月合资成立华虹NEC公司。^③1999年2月“909工程”超大规模集成电路芯片生产线比计划提前七个月顺利建成。这是中国第一条8英寸晶圆厂，当时主要生

① 按照当时的通用标准，一个国家的集成电路年产量达到1亿块标志着开始进入工业化大生产。这一标准线美国在1966年率先达到，日本随后在1968年达到。

② 20世纪60—70年代日本不到一年就能建成一座超大规模集成电路工厂。

③ 合资期限20年，注册资本7亿美元，其中，华虹集团出资5亿美元，占有股份71.4%；NEC出资2亿美元，占有股份28.6%，总投资额达12亿美元。

产 64M SDRAM (同步动态随机存储器)^①等,到 2000 年 11 月,月产 8 英寸硅圆片 2 万片,达到国际上规模经济水平,工艺为 0.24 微米的 CMOS 工艺技术。华虹 NEC 公司取得投产当年就盈利的良好业绩,一个重要原因在于“909 工程”在生产线上还没施工前就注意到以市场为导向,多方找市场,包括承接政务系统所需的社保卡、一卡通以及中国移动 SIM 卡等国产化研发需求,为在中国的日本电子企业提供本地化服务等,从而使巨额投资形成的产能得到了比较充分的利用。此外,华虹还为中国培养了众多的芯片业人才。

但是,好景不长。在存储器芯片成为芯片市场的主流产品时期,围绕 DRAM 存储器的国际市场竞争十分激烈,日本的 DRAM 企业在美国打压和美韩“前后夹攻”下遭到严重打击,迫使日本 NEC 公司不得不在 2001 年开始收缩业务,并宣布将在 2004 年前退出 DRAM 领域。这导致缺乏自主开发能力的华虹 NEC 很快陷入亏损,不得不选择了转型,退出 DRAM 行业,转做芯片代工业务。而上述首钢日电 6 英寸厂同样遇到合资方 NEC 的变化却未能转为代工,经过一番周折不得不退出芯片制造业。

到 21 世纪初期,引进外资有了新的发展,外资纷纷来华独资建厂。2004 年韩国海力士公司与欧洲意法半导体公司签订在中国合资建厂协议,2005 年海力士-意法半导体公司在无锡投资 20 亿美元建设 12 英寸厂并迅速投入生产,不久其 12 英寸硅圆片月产量很快达到中国大陆地区最高水平。2007 年美国英特尔公司选择在空气质量较高的港口城市大连投资 25 亿美元建成 12 英寸晶圆厂,采用 90 纳米工艺技术,生产个人电脑部分芯片和 NAND Flash 产品。2012 年韩国三星公司在大连成立三星(中国)半导体公司,投资 100 亿美元,于 2014 年 5 月建成 12 英寸晶圆厂,工艺技术水平达到 10 纳米。2016 年美国万代半导体公司在重庆成立重庆万代半导体公司,建设中国首

家、全球第二家 12 英寸功率半导体芯片制造及封装测试生产基地项目,两年后建成投产。2017 年世界上第二大芯片代工厂格罗方德公司在成都设立格芯(成都)集成电路制造公司,建设 12 英寸晶圆厂,投资 90 亿美元,工艺技术水平为 22 纳米。

(四) 代工工业的发展壮大

大陆最早采用自己不做设计,只做晶圆制造加工的纯粹的代工模式是在无锡华晶公司实现的。1997 年 5 月底由海外华人半导体人士组成香港上华半导体公司,与华晶组成无锡华晶上华合资公司,建立了为国内外设计公司 and 产品公司服务的中性、纯粹的代工厂,开启了中国大陆的代工时代。由于代工企业出现并不断提高产量,带动愈来愈多的设计公司成立,设计公司雨后春笋般地出现在全国各地,主要集中在北京、上海和深圳三个城市。

2000 年张汝京卖掉了他在台湾创办的“世大半导体”公司,带着 300 多名芯片工程师从台湾来到上海,创立中芯国际集成电路制造(上海)有限公司。^②他把当代世界先进的集成电路制造设备和主流工艺技术引入大陆,只用了 3 年时间建立起了 4 条 8 英寸的生产线和 1 条 12 英寸的生产线,一跃成为全球第三的芯片代工厂,工艺技术水平为 0.35 微米到 28 纳米。2010 年面临台积电的诉讼,张汝京被迫离开中芯国际。此后,中芯国际经过继续努力,已经拥有 5 座 8 英寸代工厂和 3 座 12 英寸代工厂(北京 2 座、上海 1 座),其芯片制造技术水平已从建厂时的 0.35 微米提升到 28 纳米、还帮助武汉新芯公司建成一条 12 英寸厂。需要指出,从 8 英寸厂升级到 12 英寸厂不仅仅是硅晶圆的尺寸大了 4 英寸,从综合技术角度看,中间的技术跨越度是很大的。中芯国际的建立,使我国芯片制造技术提升了数代,显著缩短了与世界先进水平的差距。此外,在张汝京的带动下,中芯国际从国外引进了 1000 多名经验丰富的高级专业技术和管理人才,台湾地区和新加坡的大量

^① SDRAM 最高工作速度可达 44MHz,能与时钟同步动作;每块芯片内有 1.34 亿个元件,产品具有大容量、高速度的数据传输特点,现被广泛用作个人电脑和工作站的主内存。

^② 创立之初的中芯国际是一家外资企业。随着中芯国际的不断发展壮大,国有资本开始入股中芯国际,经过多年的发展,如今中芯国际的主要股东都是国有资本,外资成分大大降低。

人才也加入了国内芯片业的发展进程，中芯国际还与北大、清华、上海交大、复旦等大学开展合作，培养了一大批中国芯片业的年轻人才，并取得了许多重要的科研成果。

2016年台积电公司成立台积电（南京）公司，独资建12英寸、16纳米和28纳米的芯片制造工厂，于2018年4月建成投产出片。此外，韩国三星在西安拥有存储芯片制造工厂，SK集团在无锡等地拥有存储芯片制造工厂。

2020年12月美国商务部宣布中芯国际已被正式列入到所谓“实体清单”^①，这意味着未经美国政府许可，中芯国际将无法使用来自美国企业的技术和产品。由于研制14纳米^②、10纳米、7纳米以及更先进的芯片受到美国的阻碍，中芯国际只好致力于扩大成熟工艺（制造28纳米及以上芯片的工艺）。2021年全球半导体成熟工艺（40纳米及以下）市场中，中芯国际的代工产能超过韩国的三星电子名列全球第三，前两名是台积电和联电（中国台湾地区第一家半导体公司，成立于1980年）。^[13]

2022年7月，美国政府宣布将对芯片制造的限制从10纳米扩大到14纳米，意味着更多半导体设备受限。这一限制不仅可能影响中芯国际，还将波及台积电等在中国大陆运营的芯片代工厂。

如前所述，1997年上海华虹与日本电气（NEC）合资组建华虹NEC生产DRAM，后来华虹转为代工厂。2003年11月美国捷智半导体公司和华虹国际公司增资华虹建成两座8英寸芯片代工厂。

另一方面，上海宏力半导体制造公司于2003年建成两座12英寸代工厂。通过在中国设立的运营子公司从事半导体制造，建成一座8英寸芯片代工厂。2010年1月华虹与宏力这两家都地处上海浦东的代工厂联合投资，成立上海华力微电子有限公司，在宏力12英寸厂房内建设1条12英寸线，工艺水平可达到55、40、28纳米。2013年1月华

虹与宏力合并成立上海华虹宏力半导体制造有限公司（简称“华虹宏力”），该公司不仅做芯片代工工业，而且也包括芯片的设计、开发、制造、测试等。华虹宏力自建设中国大陆第一条8英寸代工厂起步，在上海金桥和张江共有三座8英寸代工厂（华虹一、二及三厂），2019年9月建成全国第一条12英寸代工厂（华虹七厂）。华虹宏力的工艺技术覆盖1微米至90纳米各节点，其嵌入式非易失性存储器、功率器件、模拟及电源管理和逻辑及射频等差异化工艺平台在全球业界极具竞争力，并多年成功量产汽车电子芯片。^[14]

（五）实施集成电路“专项”，有力地提升了芯片工艺水平

长期以来，我国芯片业一直受到西方在先进制造装备、材料和工艺引进等方面的种种限制，产业链严重缺失。为实现自主创新发展，2008年国务院批准实施集成电路专项“极大规模集成电路制造装备及成套工艺”，重点进行45—22纳米关键制造装备攻关，开发32—22纳米互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺、90—65纳米特色工艺，开展22—14纳米前瞻性研究，形成65—45纳米装备、材料、工艺配套能力及集成电路制造产业。专项实施前，国内集成电路制造最先进的量产工艺为130纳米，研发工艺为90纳米。经过9年攻关，我国主流工艺水平提升了5代，55、40、28纳米^③三代成套工艺研发成功并实现量产，22、14纳米先导技术研发取得突破，封装企业从低端进入高端，三维高密度集成技术达到国际先进水平，研制成功14纳米刻蚀机、薄膜沉积等30多种高端装备和靶材、抛光液等上百种材料产品，这些工艺制造的智能手机、通讯设备、智能卡等产品大批量进入市场，大幅提高我国信息产业的竞争力。^[15]

总之，经过广大半导体科技工作者的不懈努力，我国芯片制造行业经历重重曲折，克服种种困难，取得了巨大的发展和骄人的成绩，成长起一大

① 美国商务部表示，中芯国际被加入到实体清单的主要依据是中国的军民融合（Military-Civil Fusion，简称MCF），以及中芯国际与中国军工联合体相关实体之间的活动证据（中芯国际正式被美国政府列入到实体清单，参见<https://www.q578.com/s-5-1158775-0/>）。

② 以14纳米工艺为例，其工艺技术水平是在芯片中，线宽最小可以做到14纳米的尺寸，而1颗原子的大小大约为0.1纳米。

③ 纳米数越小，意味着芯片精细度越高，生产工艺越先进，在同样面积的芯片中可以制造更多（亿个）的电子元件，连接线也越细。

批优秀的晶圆厂（本文提及的只是其中的一部分）。按照 2021 年的数据，中国大陆本土厂商的芯片产能占世界总芯片产能的比例已上升至 8%，^[16]但是也需看到，我们在不可缺少、无法替代的微处理器和高端芯片（线宽 14 纳米以下）等核心技术方面仍然受制于人。随着我国日益成为集成电路的最大消费国，对各种集成电路的需求迅速增大，导致 2020 年芯片大幅超过石油、铁矿石成为中国进口最多的商品：芯片（3800 亿美元）、石油（1880 亿美元）、铁矿石（1260 亿美元）。^[17]中国每年消耗全球 30% 以上的芯片，却没有一家中国公司名列全球前 20 位芯片制造商之列。

四、中日芯片技术和产业发展的比较及其启示

（一）以日本企业为榜样，探寻自主研发路径

自 20 世纪 60 年代中期以来，中日两国芯片制造技术和产业的发展走过了十分不同的道路。这主要由三个原因造成。第一是日本的芯片产业是在市场经济体制下发展起来的，政府虽有干预，但不是政府亲自抓芯片业，^①而中国虽然在改革开放 14 年后的 1992 年确立了社会主义市场经济体制的改革目标，但中国的芯片产业从 20 世纪 60 至 90 年代的发展都是以计划经济的手段实现的，包括引进技术和外资，都是各级政府亲自参与实施的。显然，不同的经济体制决定了不同的发展速度。在市场经济体制下，芯片业的发展速度是按照摩尔定律（芯片每 18 个月将更新一代）定义的，速度成为关乎企业生存的重要因素，而计划经济管理程序的速度显然跟不上摩尔定律定义的速度。^[18]

第二是工业化和引进成效的程度不同。日本是一个已经实现工业化的国家，在既有的工业化基础上，做到了对引进技术的迅速消化和进一步改善提高，迅速找到了大市场（如计算器、计算机通信等）。20 世纪 70—80 年代日本建造一座大批量的超大规模集成电路制造工厂只需不到一年时间，迅速实现了大批量生产和低成本。而中国

在当时还远未实现工业化，没有工业化的基础，即使自己研发了一种芯片或引进了一种芯片，也只能小批量生产或“试生产”，以致在 20 世纪 70 年代后期，“全国共有 600 多家半导体生产工厂，其一年生产的集成电路总量，只等于日本一家大型工厂月产量的十分之一”。^[19]对于芯片业来说（除去军用芯片），不能迅速实现大批量和低成本的生产，不能赢得众多的最终用户，就没有什么意义，因为它是中间产品，只有赢得终端用户才能实现它自身的价值。

第三，中日企业文化不同。日本企业强调团队精神，强调员工对企业的忠诚，企业的凝聚力比较强，企业“寿命”比较长，据调查，日本企业的平均寿命是 52 岁，美国为 24 岁，而中国仅为 3 岁。^[20]日本的芯片企业基本上都是 20 世纪 50 年代从晶体管开始做起、接着做集成电路的“半导体老店”，芯片企业及其员工的技术积累时间很长。而芯片业能够取得成功的最重要条件就是从管理者到工程师都有较长期的技术积累。正如张汝京所说：“好的半导体人才需要经历产品周期，可能需要五年、十年，因为基本开发周期两年，到市场上卖两年，再花时间观察和反馈。所以，基本上五年能够小成，十年有可能大成。”^[21]笔者曾考察过许多家日本的中小电子企业，他们身怀绝技，富于团队精神，数十年如一日地刻苦钻研某项专门技术（也许会被人们认为是很小的技术），竟然在该技术产品的世界市场上占据很大份额。有统计表明，截至 2015 年，经营历史超过 150 年的企业在日本有 21666 家，而在中国只有 5 家。^[22]

长期以来，我国的芯片业依照本国国情和发展阶段，基本上走了一条在高科技领域加入国际协作的全球化潮流、加强和扩大与世界各国高科技企业的合作、以引进技术、引进外资、引进台资为主线的发展道路。我国巨大的芯片市场现在已经成了韩国三星、韩国海力士、中国台湾台积电、美国英特尔、美国格罗方德、美国万代半导体、欧洲意法公司、大陆互联网巨头等“百家争

① 日本政府的干预有两个例子：其一是日本的通产省为了保护从 20 世纪 60 年代中期发展起来的日本芯片企业，推迟美国德州仪器公司到日本办独资子公司的日程，而且直到 1974 年才开始实施芯片贸易和资本输入的自由化；其二是通产省在 1976—1980 年组织主要电子大企业搞“超大规模集成电路技术研究组合”。

鸣”的舞台，外企在中国大陆设立的晶圆厂的总产能，与大陆本土厂商的总产能差不多。事实表明，欧洲、美国、中国台湾地区、韩国以及 20 世纪 90 年代日本等国的高科技企业进入中国，其带来的正面影响是多方面的，除了进入中国市场销售产品，在中国投资设厂之外，外资企业为了拓展市场，还会与中国客户、供应商伙伴寻求共同发展，形成芯片行业的良好“生态”。

就像我国举办奥运会，让世界各国选派优秀运动健将到中国来一展身手，有利于我们在扩大对外开放中不断学习创新半导体行业，在与外国队——外资企业同台献技、切磋技艺的过程中促使中国队——中国芯片企业变得日益强大。这种状况正是由中国芯片制造业发展的独特性所带来的结果，也是我国实行和扩大对外开放所导致的必然结果。

（二）加强行业发展治理，提升芯片配套建设

芯片产业是一个“超高技术（现已发展到 5 纳米）、超高投资（现建一座 12 英寸厂高达数十亿美元）、高度风险（搞不好就会亏损）、竞争激烈（跟不上就要出局）的行业”。^[23]为此，建设一座芯片厂（本文提及的晶圆厂、芯片厂、芯片生产线都是一个意思），一定要实行“精准”投资，把数以十亿计的资金投给真正有能力承担投资的可靠的技术团队，这要求从管理者到工程师，都必须是素质好、守纪律、能吃苦耐劳、有协调能力、经历过足够长的技术积累期的，而且芯片厂的每一个工序和环节都必须安排专精人才，缺一不可。在建设动辄耗费数十亿元资金的芯片厂，决不能实施“边干边学”“干中学”“交学费”这种一般行业采用或培训员工的做法，因为在芯片业这样做的成本太大了。

应设立有权威的专家委员会分秒必争地对项目申请、立项、建设乃至成果的审查、评估与监督（应吸取“908 工程”审批时间过长的教训）。要严格防止一些没经验、没技术、没人才的“三无”企业加入芯片行业，防止一些地方对芯片发展的规律认识不够，盲目上项目，搞同质化竞争，低水平重复建设，甚至有个别项目建设停滞、厂房空置，造成资源浪费。要认真排查引进了昂贵却没能得到充分利用甚至不会使用的高技术设备，

要大力推进“芯片廉政”，防止有人在巨额投资的强烈诱惑下以开发芯片的名义弄虚作假，侵吞钱财，以伪造成果骗取国家巨额经费。有专家指出：“从 1990 年到 2020 年中国大陆建造了 32 座生产芯片的超级工厂，而全世界其他地区的超级工厂加起来也只有 24 座”。^[24]我国建立了这么多耗资巨大的“超级工厂”，却没有一家达到能生产先进芯片或高端芯片的水平。

我国既要追赶发展用于手机、笔记本电脑等拥有海量用户的高端通用芯片，建设芯片“超级工厂”，又要专注细分市场，大力发展所需投资要小得多的 MCU、物联网芯片等“（目前的）专用芯片”，若干年后它们很可能转化为拥有超大市场规模的“（将来的）通用芯片”。中国还要促使芯片“需求侧”积极支持国产芯片扩散的商业化过程，进而通过大数据洞悉各种芯片的市场需求，发展多样化的芯片制造能力。要吸取日本超大规模集成电路研究组合的经验，形成政府、国家研究机构、民营企业联合开发的协同创新机制，培育产品制造企业和设备供应商之间的协作关系，共同推进制造设备的研制、工艺材料的开发、芯片制造工艺的改进等。

中国也需要一批中小企业作为“配角”生产晶体管等半导体分立器件，或者为大企业的芯片生产提供防尘服、空气过滤器、高纯气体、洁净水以及其他服务，不要形成人人争当主角的浮夸风；在环境保护方面，对每个项目必须进行严格的环境评估，半导体芯片制程中需使用各种化学物品，包括氢氟酸、腐蚀性极强的王水（浓盐酸和浓硝酸的混合物）等液体化学品及磷、砷、含放射性的硼、氯气等，要严防有害有毒化学品影响员工健康，污染周围环境和水质，依据半导体产业相关的环境标准对废气、废液、土壤等进行多重处理。20 世纪 70 年代，东芝、日本电气、索尼、三菱电机等日本主要电子大企业陆续到日本的九州建设晶圆厂，将九州建成日本主要的集成电路生产基地，号称“硅岛”。日本电子大企业看中九州的不仅是那里的地价低（在当时的日本九州属于不发达地区），自然条件优越，更注意到九州有优良的水源，这是芯片生产在自然条件方面的特殊要求，九州交通运输很便利，可以通过机

场把产品运到国内外各地（芯片厂因为产品轻小，附加价值高，即使空运也很合算，也便于及时将产品送给用户）。此外，晶圆厂必须与已建或将建的铁路或地铁保持足够距离，以免因为车辆行驶引起震动影响芯片制造精度等，这些都是在晶圆厂选址方面值得注意的经验。^①

（三）进一步扩大开放，加强国际交流与合作

据业界人士分析，一些先进芯片的生产包括 1000 多个工序，需要超过 70 次跨境合作来完成。^[25]这意味着芯片产业是一个典型的开放产业链，需要全球各国的供应商共同参与，包括当年发明晶体管和集成电路的美国在内，如今世界上没有一个国家能离开全球产业链的联动，“孤立”地发展本国的芯片技术和产业，没有一个国家能控制芯片制造的全产业链。美国的核心技术优势不只是以其长期的工业化积累和深厚的现代化生态作为后盾，更是以其主导的西方同盟国体系中的日本、荷兰等技术先进国的协助为条件的。高端芯片制造是凝聚着数百数千种技术力量的工艺流程，在一块芯片上刻制数十亿个晶体管等电子器件，不能不说是人类制造技术“奇迹”，而这个奇迹毫无疑问是世界各国半导体人的共同创造。比如作为芯片制造最关键设备的光刻机，堪称迄今为止人类所能制造的最精密设备，涉及精密机械、电子、光学等众多领域。近年来荷兰 ASML 公司从尼康、佳能、ASML “三足鼎立”局面中脱颖而出，成为光刻机“世界老大”，ASML 制造的光刻机已能光刻 3 纳米以下的芯片线宽，这项设备其实是台积电、英特尔、三星等多国和地区企业合作的成果，ASML 本身也是多国公司的合资企业。又比如目前 10 纳米以下的先进芯片制造技术掌握在中国台湾（92%）和韩国（8%）手中，美国对台积电的依赖很深，^②尚若台湾代工厂的生产中断一年，有可能使包括美国在内的全球电子供应链停摆。^[26]

由于《瓦森纳协定》的压力，长期以来我国与日本之间的高科技合作受到严重阻碍。但日本众多芯片技术相关企业为了自身发展不可能放弃

中国这个巨大市场，他们还担心如果过于屈从美国的压力，中国市场就可能被欧洲国家抢去。与此同时，随着中国高科技的发展，很多技术先进的日本民间企业也需要与中国企业开展取长补短的交流与合作，比如随着中国 5G 技术的崛起，日本的很多高技术中小企业积极地为华为公司提供材料和零部件；2019 年华为公司已在日本东京、横滨、大阪建立了 4 个研究所，雇用日本工程师和技术人员达 1500 多人。华为手机共计 1631 个零部件中，日本制造的零部件占到 53.2%。^[27]在一定程度上可以说，华为手机是该公司研发人员与日本研发人员精诚合作的成果。华为的例子说明，如果像我国 5G 这样，在一些重要的技术领域超过日韩美，获取一些重要领域的领先技术，就能够以之作为与芯片技术先进国家进行合作的筹码。

即使是美国，虽然其政府在芯片等高科技领域对中国高科技发展的大力打压、限制和“断供”将是未来中美关系的常态，但应该相信民间企业常常是全球化的重要推动力量，美国政府有其地缘政治逻辑，企业 and 市场则有自己的逻辑，企业做出的产品必须卖出去，这样企业才能搞活。而中国是全球最大的芯片市场，2021 年美国对华出口半导体及其组件金额达 141 亿美元，^[28]是美国对华出口的主要项目，美国芯片技术相关企业不可能无视中国市场。近年来，在美国政府千方百计地打压中国高科技产业的情况下，美国的高科技产业界正在努力寻求改变。包括已经在中国设立晶圆厂的英特尔公司在内的多家美国芯片制造商正与美国政府沟通，希望减少对华设置所谓“技术护栏”，在拟定的“芯片法案”中放开部分在华业务，允许这些半导体公司在华有一定的发展。这说明从北约到《瓦森纳协定》其他成员国，从以色列（该国没有加入《瓦森纳协定》）到日、韩等美国在亚太地区的盟国，都绝非铁板一块，各国都要追求自身的利益，扩大科技产品出口。中国目前是全球最大的而且继续扩大的芯片消费市场，拥有磁铁般的强大市场吸引力，中国要进

① 日本或我国一些高校研究机构还出现了芯片厂或其他高精密设备与地铁线（或铁道）距离太近，拆谁都不行的两难案例。

② 包括 F-35 战机、标枪（Javelin）反战车导弹在内等美军设备，以及美国国家实验室的超级计算机都使用台积电芯片。另外，包括苹果在内等主要消费电子企业也依赖台积电制造的各种半导体。

进一步扩大对外开放,继续放宽市场准入,更加重视知识产权保护,通过大量进口芯片及芯片供应链上的相关产品并继续引进外资,打破美国纠集其盟国在芯片等高新技术领域“孤立”中国的图谋,我们完全有可能在今后十几年逐渐改变核心技术受制于人的现状,不断完善我国芯片供应链的布局。当然也需要中国努力改变地缘政治环境,使得中国在芯片产业上仍然有一定的对外交流空间。

随着互联网的发展,中国有企业家提倡全球电子商务平台(eWTP),通过互联网创造新实体经济,支持日本、美国乃至世界各国的中小企业进入全球市场。^[29]这不仅有助于打破美国的贸易壁垒,而且有助于打破美国的技术壁垒,因为日美欧韩特别是日本的中小企业是先进技术的“宝库”。总之,有效地开展覆盖全球的网上技术引进和交流,对于发展我国高技术具有非常重要的意义。

(四)发展半导体产业,加强军民融合至关重要

发展芯片技术不仅关系到实现“中国制造2025”战略和规划目标,而且关系到我国的军事安全和尖端武器装备的升级与创新。我们既要看到半导体芯片技术是典型的“军民两用技术”,又要看到军用芯片与民用芯片之间存在着很大的区别。战后日本通过以民用为主的技术发展路线,通过以开发大批量、低成本和应对激烈市场竞争的民生芯片技术,超过了美国以军方芯片为主的无需大批量、低成本、无需接受激烈市场竞争的军用芯片技术,于20世纪80年代在半导体芯片等一系列重要高科技领域超过了美国,以致在里根总统提出“星球大战”计划的1983年,作为军用技术大国的美国居然要民用技术大国日本提供包括半导体芯片在内的16项“军事技术”。在20世纪90年代初海湾战争中,美军武器装备中必不可少的半导体芯片有80%是日本生产的。80—90年代以来美国国防部在日本设立常驻机构,持续紧盯并力图发掘日本民间企业会出现哪些可转用于军事的技术,美国尤其注意到日本为家电、计算器等“大众民用电器”生产的高性能、高可靠性半导体芯片具有重要军用价值。由于日本高度发达的民用高技术为美国军方所用,使日本的科技力量成为冷战及冷战后国际安全战略格局中的

重要砝码,日美在军事技术领域的相互支持和相互利用加强了美国的全球军事霸权。^[30]

中国既要大力发展军用芯片技术,又要推进军民融合,促使“军转民”和“民转军”更加通畅。我们要借鉴美国国防部设立专门机构紧盯日本高技术民间企业的经验,从众多民间半导体企业的技术和产品中发现适合军用的、完全是自主研发的半导体技术和产品。其实,很多由退休半导体专家默默创办的各类民间芯片企业规模虽小,其技术水平往往很高甚至具有军用价值。我们应该创立“互联网+半导体”,将分散在全国的半导体中小企业连成网络,纳入数据库,交换各个企业拥有的技术和产品的具体信息,以便军方从众多的半导体民间企业中发现和筛选有军用价值的完全是自主研发的技术和产品,与此同时,也可以通过“互联网+半导体”,将适于民生用途的某些军用半导体技术转用于各种民生应用领域。

(五)加快发展芯片技术,人的因素最重要

芯片技术综合性很强,工艺流程很长,在包括很多工序的前后工程中,只要有一道工序出问题,就可能毁掉前方工程的成果,造成前功尽弃的巨大损失,为此,招聘和使用人才的第一问题就是看年轻人“是否热爱这项工作”,成千上万个充满对工作的热爱和责任感,具有“一辈子专心干好这个专业”的献身精神的高素质人才,无疑是发展芯片技术的最重要因素。我国现有集成电路技术人才缺口很大,数据显示,2020年前后,我国集成电路行业人才需求规模为72万人左右,而我国现有人才存量为40万人,人才缺口达到32万人。^[31]由于我国半导体事业还在向前发展,今后还要加大资金的投入,建设更多的芯片制造工厂,从而必将对我国半导体技术人才的质量和数量提出更高要求。为此,建议有条件的重点高校需扩大半导体专业的招生,加强师资队伍,对半导体理论与实践的基础课程与专业课程进行与时俱进的调整,吸纳有关半导体理论与实践的最新进展内容。要建立全国高校半导体专业的国家精品课程资源网,向全国相关高校提供名师授课的教学视频,对理论功底深厚、教学经验丰富、身体健康且有意愿继续工作的退休教师、研究生导师加大返聘力度。

多年来,我国高校培养的半导体科技人才有很多人往往在毕业后、甚至在获得研究生学位后,或在毕业后立即改行,或在本专业领域工作一段时间后改行(估计改行人数占毕业生总人数的比例高达70%—80%),从事诸如金融、证券等其他行业工作,导致为培养一名半导体人才所花费的大量人力物力财力资源在一定程度上“打了水漂”。如何改变这种状况,如何培养大批像大多数老一辈半导体专业毕业生那样,通过大量阅读文献和大量实验试错,追踪半导体理论和实践的不断发展和迭代,将半导体研发、设计与制造作为毕生为之奋斗、体现人生价值的崇高事业,确实需要我们从大学教育各个环节的管理直到走出学校从事半导体行业的工程师的培训、教育和薪酬合理化方面做出大的改进。

半导体技术,特别是芯片技术是一种需要极大地发扬团队意识和终身学习精神的“集体创新事业”。我们不仅要吸引和支持单个人才,更要重视吸引和支持囊括芯片设计、微细加工、工艺控制、器件测试等多方面的整个技术团队。在芯片的基础技术方面,我们与中国台湾地区和韩国有差距,中国台湾地区和日本的退休工程师有可能成为我们从国外吸引人才乃至人才团队的一个重要来源。

我国改革开放的一个重要方面就是要在高科技教育领域加入国际协作的全球化潮流,不仅企业要积极开展国际科技交流,相关大学也要将学生培养成国际化人才,与诸如美国加州大学伯克利分校、约翰霍普金斯大学、德州大学奥斯丁分校建立学生交流项目,设立双硕士项目等,为学生提供国际化视野和广阔的发展空间。

参考文献

[1] 李晓喻. 商务部谈“芯片四方联盟”:无论什么框架安排都不应歧视排他 [EB/OL]. [2022-07-22]. https://news.youth.cn/gj/202207/t20220722_13862770.htm.

[2] 冯昭奎. 科技革命与世界 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018:199.

[3] Borrus M., Millstein J., and Zysman J., “International Competition in Advanced Industrial Sectors: Trade and Development in the Semiconductor Industry”, 1982 U.S.G.P.O.

[4] 冯昭奎. 日本半导体产业发展的赶超与创新——兼谈对加快中国芯片技术发展的思考 [J]. 日本学刊, 2018(6):11-15.

[5] 搜狐网. 半导体的战争: 产业轮回, 国家命运! [EB/OL]. (2018-04-12)[2022-02-01]. https://www.sohu.com/a/228043589_117959.

[6] 冯昭奎. 科技革命与世界 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2018:173-174.

[7] IIC Insights: 2021 全球半导体市场份额报告日本份额降至 6% [EB/OL]. (2022-04-08)[2022-06-09]. <http://www.199it.com/archives/1416647.html>.

[8] 王兆楠. 卖疯了的日本半导体设备, 创下历史新记录 [EB/OL]. (2022-07-11)[2022-07-11]. <http://news.eeworld.com.cn/manufacture/ic615938.html>.

[9] 潘寅茹. 从打压到联手: 美国携日本发展半导体研发 2 纳米芯片 [EB/OL]. (2022-07-31)[2022-07-31]. <https://news.sina.com.cn/o/2022-07-31/doc-imizmscv4287734.shtml>.

[10] 曹永胜. 中国的“芯”路历程——中国集成电路发展历程回顾 [J]. 中国军转民, 2019(6):6.

[11] 凤凰网科技. 中国芯片往事 [EB/OL]. (2020-03-08)[2022-05-01]. <https://tech.ifeng.com/c/7uwOlzSzTEm>.

[12] 凤凰网科技. 中国芯片往事 [EB/OL]. (2020-03-18)[2022-03-18]. <https://tech.ifeng.com/c/7uwOlzSzTEm>.

[13] 财联社. 报告称中芯国际 2021 年成熟制程市占比将达 11% 位列全球第三 [EB/OL]. (2021-02-03)[2022-05-09]. <https://www.cls.cn/detail/679566>.

[14] 华虹宏力半导体有限公司是国企? [EB/OL]. (2020-03-18). <https://wenda.so.com/q/1638315777210052>.

[15] 惠梦. 国家科技重大专项支持集成电路产业快速崛起 [EB/OL]. (2017-05-26)[2022-04-01]. http://www.cfen.com.cn/cjxw/cy/201705/t20170526_2610228.html.

[16] 只谈科技. 全球芯片产能分布: 亚洲占 80% (2022-03-22) [2022-06-12]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1727982655449451876&wfr=spider&>

[17] 新浪网. 2020 年中国进口最多的三大类商品 [EB/OL]. (2021-04-29)[2022-05-09]. <https://guba.sina.com.cn/?bid=425&s=thead&tid=431684>.

[18] 穆强. 分析: 加入 WTO 后中国半导体业面临拐点 [EB/OL]. (2002-06-28)[2022-03-08]. <https://tech.sina.com.cn/it/e/2002-06-28/123335.shtml>.

[19] 洪雨晗. 中国芯的心酸往事 [EB/OL]. (2020-09-14)[2022-06-08]. <https://news.pedaily.cn/202009/459857.shtml>.

[20] 知日本网. 日本企业为何能保持“百年长寿”, 我们与他们的差距在哪里? [EB/OL].(2020-03-16)[2022-03-10]. <https://www.zhijapan.com/23278.html>.

[21] 半导体投资联盟. 中国半导体行业缺乏人才 [EB/OL].(2019-10-25)[2022-01-10]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1648360214305381404&wfr=spider&for=pc>.

[22] 新浪网. 中国存活 150 年的企业只有 5 家: 为什么日本却有 2 万家? [EB/OL].(2016-07-10)[2020-04-30]. <http://finance.sina.com.cn/review/sbzt/2016-07-10/doc-ifxtwihp9921071.shtm>.

[23] 朱贻伟. 中国集成电路产业 70 年发展艰难历程回顾 [EB/OL].(2018-06-08)[2022-06-02]. https://www.sohu.com/a/234582786_119709.

[24] 观察者网. 中国有望在 2025 年成为全球最大芯片制造国, 美国怎么办? [EB/OL].(2022-06-29)[2022-06-29]. <https://t.cj.sina.com.cn/articles/view/1887344341/707e96d501901a3kb/>.

[25] 中央广电总台国际在线. 美方的芯片法案“护栏”不过是给自己设置的路障 [EB/OL].(2022-07-22)[2022-07-22]. <http://news.cri.cn/20220722/13ecd42c-3a31-64f7-2875->

210c51f12a3c.html.

[26] 芯智讯. 全球 9 成高端芯片来自台湾 [EB/OL].(2021-04-30)[2021-23-12]. <https://tech.ifeng.com/c/85qeNwY1dSB>.

[27] 日本机构拆解华为 [EB/OL].(2020-04-01)[2020-04-01]. <http://bbs.tianya.cn/post-worldlook-1900487-1.shtml>.

[28] 母曼晔. 美中贸委会: 2021 年美对华商品出口增长 21.3% 创历史新高 [EB/OL].(2022-04-06)[2022-04-06]. <http://itaiwannews.cn/2022-04-06/6816bca5-391d-1a2f-9f8f-356398805cfc.html>.

[29] 关键, 郭丽琴. 马云的新平台: 全球电子商务 eWTP [EB/OL].(2016-09-07)[2022-04-09]. https://www.sohu.com/a/113735311_472798.

[30] 冯昭奎. 战后科技革命及其对国际安全的影响 [J]. 国际安全研究, 2015(4):31.

[31] 半导体投资联盟. 中国半导体行业缺乏人才 [EB/OL].(2019-10-25)[2022-05-21]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1648360214305381404&wfr=spider&for=pc>.

(责任编辑 崔岩)

Comparison and Thinking of the Development of High-tech between China and Japan ——Take Semiconductor Chip Manufacturing Technology as An Example

Feng Zhaokui

Abstract: The importance of semiconductor chips for China is like "two bombs and one satellite"; It is like an ID card for individuals. Since the 1960s and 1970s, China's chip manufacturing industry has experienced many twists and turns, overcome various difficulties, and achieved tremendous development and achievements. The proportion of China's chip output value in the world's total sales has continued to increase, from 2.21% in 2009 to 5.85% in 2019. However, it is still under the control of others in terms of core technologies and equipment such as indispensable high-end chips and lithography machines. Just as Japan's chip industry was ruthlessly suppressed by the United States in the 1980s and 1990s, China's chip industry is now being more severely suppressed, restricted and "cut off" by the United States. The United States is still actively attracting its important partners to build a system of "isolating" China. The researchers also investigated the development and problems of chip technology and industry in neighboring Japan, which were also suppressed by the United States. Comparing the different paths of chip technology and industry in China and Japan will help stimulate our policy thinking to continue to push forward China's chip manufacturing technology and industry. Due to the Wassenaar Agreement, the high-tech cooperation between China and Japan has been seriously hindered for a long time. However, many chip technology related enterprises in Japan will not give up the huge market of China for their own development. The same principle applies to South Korea, Chinese Taiwan and even the United States. The chip industry is a globalized industry, and private enterprises are often an important driving force for globalization. The non-governmental exchanges and cooperation between China and chip technology advanced countries are still promising.

Key Words: Semiconductor; Chip Technology; Japan American Semiconductor Friction; Chip4