
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

冯昭奎

内容提要：20 世纪 40—50 年代晶体管和集成电路先后在美国诞生，日本相继引进相关技术，并研发出晶体管收音机和集成电路计算器等大众化个人化产品，以其巨大销路推动了本国半导体产业的迅速发展。日本半导体产业迅速发展的主要原因有：通商产业省对企业引进消化美国先进技术实施了有效的政策引导和扶持，在 60 年代对尚处于初创阶段的集成电路产业实施严格保护；富于团队精神和工匠精神的半导体科技工作者、技能工人和企业经营者，构成了赶超美国先进技术所需各种人才的“绝佳搭配”；在战前及战后的工业化基础上，迅速形成了独立的由集成电路产业、集成电路生产设备产业和集成电路材料产业组成的全产业链。进入 21 世纪，日本顺势而为，推动产业结构改革，开拓新兴技术领域，大力培育半导体产业发展新优势。

关键词：晶体管 集成电路 半导体产业 产业结构改革 创新

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。

中图分类号：F416.6 **文献标识码：**A

文章编号：1002-7874 (2018) 06-0001-29

20 世纪 40—50 年代，使用半导体材料的晶体管和集成电路（integrated circuit, IC）相继在美国诞生。于是，出现了晶体管等分立的半导体元件和将很多晶体管等电子元件刻制在同一块半导体硅芯片上的 IC 等两大类半导体器件产品，半导体产业则发展成了制造晶体管和 IC 的产业、制造“制造晶体管和 IC 所需的”生产设备的机械制造产业以及制造“制造晶体管和 IC 所需的”硅晶圆等多种材料/material 的材料制造产业“三足鼎立”的综合性产业。

2018 年 4 月中兴通讯公司被美国制裁事件，激发了中国广大民众对半导体技术的关注，期待中国在半导体芯片等“核心技术”上取得突破。回顾二战后日本半导体产业赶超美国并实现技术创新的历程，吸取其中所蕴含的经

验、精神和教训，或可能对我们思考如何加快中国的芯片技术发展有一定参考价值。本文拟从日本科技工作者在日本被盟军占领期间如何获知晶体管发明的情报说起。

一、引进美国晶体管技术，开发半导体收音机等 民用产品，促进晶体管工业的发展

1947 年 12 月，美国贝尔实验室的肖克莱、巴丁和布拉顿基于量子力学发明了晶体管，这项发明对电子工业产生了重大影响，被认为是现代历史上最伟大发明之一。1948 年 7 月，美国《时代》杂志报道了这一消息。实际上在这之前，日本电气试验所的渡边宁在拜访盟军总司令部民间通信局时就偷窥到了相关报告。^① 渡边宁等日本电子技术专家在二战期间就从事过电子武器研究，凭借丰富的实践经验和敏锐的技术嗅觉迅速认识到晶体管发明的重大意义，所以尽管当时的日本社会满目疮痍，民众生活十分艰苦，技术专家们却以饱满热情和旺盛斗志学习与晶体管有关的新知识。他们在 1948 年 10 月以电气试验所为中心组成“轮读会”，废寝忘食地集体研读半导体科技资料和理论文献。尔后，“轮读会”规模迅速扩大，电气通信所、大学及民间企业的研究人员也纷纷加入进来。^② 不久后，1951 年电气通信所试制出日本最早的国产品晶体管，1952 年神户工业公司（后并入富士通）也试制成晶体管。

美国为将日本变为“遏制共产主义的防波堤”，在 20 世纪 50 年代中后期积极向日本转移先进技术，在此背景下，日立、东芝、神户工业等企业纷纷从美国引进技术、建设晶体管工厂。“东京通信研究所”（1958 年更名为“SONY”，即索尼）^③，作为一家在百货公司仓库里诞生、只有七八名员工的小公司，也从通商产业省争取到外汇指标，并于 1954 年与美国西屋电气公司（WE）正式交换专利实施许可合同。该公司创始人井深大、岩间和夫等专家

① 鳩山道夫『半導体を支えた人々』、誠文堂新光社、1980 年、83 頁。

② 其中很多人通过这种集体学习活动，日后成长为日本半导体产业界的骨干。参见中国社会科学院日本研究所《日本经济的活力》课题组《日本经济的活力》，北京：航空工业出版社，1988 年，第 267 页。

③ 在美欧消费者对日本企业还感到陌生、疏远的时代，“SONY”这个英文名称会让美欧国家的人们产生一种好像这是一家美欧企业的亲切感，有利于索尼成功打入美欧等海外市场。

利用赴美交涉和签订引进技术合同之机,详细考察了美国半导体工业。特别是岩间和夫,在美国滞留了两个多月,每天深入美国晶体管工厂现场了解生产过程和设备状况,处处留心,不懂就问,回到旅馆后及时回忆记录当天考察收获、绘制见到的各种设备草图,并且隔两三天就向公司发一次报告,密密麻麻地写满十多页信纸。其在国内的同事根据这些资料,并参阅技术杂志上的照片,很快就试制出了一些关键生产设备。进入 50 年代后期,日本各电机电子企业纷纷挑选有专长的技术人员频繁赴美参观学习,以利于日本在建设晶体管工厂过程中及时发现问题。^①

基于技术引进和自主研发,1955 年前后,东京通信研究所与神户工业公司相继推出晶体管收音机。在东京通信研究所的产品开发过程中,曾遇到废品率高等技术难题,面对“‘大量生产’竟转化为‘大出废品’”的困境,以江崎玲于奈为首的研究小组在探讨生产现场问题时发现了“隧道效应”^②。江崎因此与美国科学家贾埃沃、约瑟夫森共同分享了 1973 年度诺贝尔物理学奖。这个在生产现场产生的“诺贝尔奖”令世界轰动,使人们见识到日本科技发展的一大特色,即企业对生产现场非常重视。

晶体管收音机上市后,很快便以青年顾客为中心扩大了销路。这是因为“第一次婴儿潮”(1947—1949 年)出生的人已长成为青少年,他们喜欢外出游玩并钟情于欧美流行音乐,这种比真空管收音机耗电少又便于携带的半导体收音机很受青睐。半导体收音机的大批量生产,反过来又带动了作为“中间产品”的晶体管的大量生产。据记载,当东京通信研究所决心瞄准晶体管收音机大干一场的时候,有人劝井深大说,“(真空管)收音机的普及率已达 74%,收音机已经没有什么搞头”,而井深大表示“74%是以家庭为单位的普及率,而半导体收音机是‘个人用品’,其普及率要以人为单位重新计算,普及还没开始,市场还大着呢!”^③事实证明他的决策是对的,后来日本生产的晶体管大约有 2/3 用于制造收音机,半导体收音机的普及有力地推动了日本晶体管工业发展。东京通信研究所的成功,对东芝、日本电气公司(NEC)

① 神户工业公司的一位技术人员谈及他在美国无线电公司(RCA)实习的体会时说“日本不仅在半导体研究方面落后于美国,而且在生产技术及其外围、辅助技术,甚至所使用的化学药品、盛药品的容器、包装用纸、空气过滤器、树脂材料、工作服等方面都存在很大差距。”参见中国社会科学院日本研究所《日本经济的活力》课题组《日本经济的活力》,第 269 页。

② 江崎玲于奈『限界への挑戦—私の履歴書—』、日本経済新聞出版社、2007 年。

③ 『源流』、ソニー株式会社、1986 年、146 頁。

等其他企业造成了很大冲击，促使各电机电子企业大力加强晶体管生产能力。1957 年，日本的晶体管产量只及美国的 1/5，到 1959 年已能与美国并驾齐驱，并向美国出口半导体收音机 400 万台。^① 日本利用晶体管的各种电子产品进入了包括中国在内的国际市场。在收音机等电子产品发展的刺激下，1960 年日本的晶体管产量突破 1 亿，连续两年超过美国。^②

与日本企业主要发展利用晶体管的大众化耐用消费品形成对比的是，美国半导体企业主要接单军用产品，通过巨额军工订单为发展晶体管技术获取资金来源。1957 年诞生的仙童公司用半导体硅取代昂贵的半导体锗制成硅晶体管，被美国空军用于 XB-70 战略轰炸机和“民兵”洲际弹道导弹的导航计算机。20 世纪 60 年代初，美国对晶体管、IC 的军事需求约占全国半导体产品需求总量的 50%。^③ 然而，这种军用需求量还是远远赶不上民用需求量。虽然一枚导弹及其地面设施需要数万个晶体管等电子元件，而一台半导体收音机仅需五六六个晶体管，但是作为大众化消费品，收音机等民用电子产品拥有数百万销量，对晶体管工业发展的推动作用显然超过军需。这是日本半导体产业在 30 年后超过发明晶体管等半导体技术的美国的最重要原因。

二、以电子计算器等民用电子产品打开集成电路的广阔市场

1958 年，美国德州仪器公司的基尔比为解决陆军通信兵团遇到的数字泛滥问题，成功研制出世界上第一块 IC，即把晶体管、电阻和电容等集成在一块微小平板上，通过热焊把元件以极细导线互连，在不超过 4 平方毫米面积上集成了 20 多个元件。1959 年 2 月基尔比向美国专利局申报专利，这种由晶体管等多个元件构成的微型固体组合件被命名为“集成电路”（IC），但依靠极细导线（飞线）来连接元件的 IC 还不适合工业生产。1959 年 7 月，仙童公

① Electronic Industris Association, *Electronic Market Data Book 1977*, 1977, p. 115. 《日本半导体发展史》，<http://www.dianyuan.com/article/40796-3-1.html> [2018-08-05]。

② 徐静波 《日本人是如何对抗美国独自造“芯”的》，<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1599431939680132914&wfr=spider&for=pc> [2018-08-20]。

③ 中国社会科学院日本研究所《日本经济的活力》课题组 《日本经济的活力》，第 270 页。

公司的诺伊斯等人采用先进的平面工艺^①研制出适于工业生产的 IC。^② 1961 年 4 月,美国专利局授予诺伊斯“平面工艺”专利,而比诺伊斯更早提出申请的基尔比发明却仍处于专利审查阶段。围绕世界上首个 IC 专利“花落谁家”,仙童公司和德州仪器公司展开了法庭斗争,直到 1964 年 6 月基尔比的发明才被美国专利局授予专利。至此,基尔比被认为是 IC 的最早发明者,诺伊斯则被誉为“提出了适于工业生产的 IC 方案”的发明家,虽然基尔比和诺伊斯彼此独立进行研究,却常被认为是 IC 的“共同发明人”。^③ IC 的发明开创了世界微电子学的辉煌历史,是继晶体管后的又一项伟大发明。

在 IC 发明两年后的 1961 年,德州仪器公司仅用九个月时间就研制出第一台 IC 组装的“第三代”计算机,该机共有 587 块 IC,体积不到 100 立方厘米,功率仅 16 瓦。^④ 1962 年摩托罗拉等公司宣布开发出第一批硅 IC 芯片,被第一台使用硅芯片的军用计算机和“民兵”导弹等项目所采用,从而赢得了美国军方的青睐。1966 年夏,仙童公司和德州仪器公司达成协议,通过相互授予生产许可来分享专利所有权,其他想要生产 IC 产品的公司都必须向这两家公司支付专利费。^⑤

(一) 日美 IC 竞争激化

如同 20 世纪 50 年代日本的半导体企业对美国的晶体管技术穷追猛赶一样,进入 60 年代,日本的半导体企业又对美国的 IC 技术展开了新一轮“赶超”。1960 年,三菱电机公司职员访问美国时曾带回一块 IC 样品,公司立即组成研制小组,凭借资料、照片和“解剖样品反求设计”开发出试制品,但

① 平面工艺是在半导体硅芯片上通过氧化、光刻、扩散、离子注入等一系列流程制造 IC 的工艺,由于所制成 IC 中的晶体管等元件都位于芯片表面层附近,整个芯片基本保持平坦,故被称为“平面工艺”,制作出的产品被称为“平面晶体管”(相对于“台面晶体管”而言)。现在平面工艺已成为制造 IC 和各种半导体器件的基本工艺技术。

② 虽然基尔比比诺伊斯早五个月发明了 IC 原型(基于半导体元素锗 Ge),但诺伊斯的发明是基于半导体元素硅(Si)(1955 年高纯度硅单晶提炼技术已成熟,可用来替代昂贵的锗材料)。通过运用平面工艺,诺伊斯发明的 IC 将飞线与硅片连成一体,更好地适应了工业生产的要求,而基尔比的锗 IC 虽然引起美国空军的兴趣,但不适合大批量生产,半导体产业界对此反应并不积极。

③ 2000 年,基尔比在发明集成电路 42 年后成为诺贝尔奖获得者,而诺伊斯于 1990 年去世,未能荣获这一著名奖项。参见“The Integrated Circuit of Jack Kilby and Robert Noyce”, <http://history-computer.com/ModernComputer/Basis/IC.html> [2018-08-22]。

④ “Jack Kilby and the World’s First Integrated Circuit”, <https://www.allaboutcircuits.com/news/jack-kilby-and-the-world-first-integrated-circuit/> [2018-08-22]。

⑤ 随着 IC 技术向大规模、超大规模集成电路发展,与 IC 制造相关的生产工艺多达 600—700 种,与之相关的专利不胜枚举,只有在取得大量专利许可的情况下,批量生产集成电路才被允许。

离实用尚有很大距离。1960 年底，通商产业省综合电气研究所成功试制出 IC。1962 年，NEC 从美国仙童公司获得平面工艺的专利实施权，自 1964 年开始生产大规模集成电路（LSI），该产品在同年举行的东京奥运会电视卫星转播中发挥了重要作用。但是，日本多数企业的 IC 生产是从 1966 年开始的，不仅比美国晚了五年，而且生产规模小，发展速度不快。1966 年，“集成电路”被正式列入通商产业省的产业统计，故有人称该年为日本的“集成电路元年”。

与日本晶体管技术顺利发展的经历不同，20 世纪 60 年代日本半导体企业在引进美国集成电路技术时，很快就面临来自美国半导体企业的强大竞争压力。这是因为晶体管市场被日本迅速超越的经历，使美国感到日本这个竞争对手“不容小觑”。面对严峻竞争，日本半导体企业不得不急切要求通商产业省出面“保护民族工业”，暂停 LSI 等产品的进口。这又引起了使用 LSI 制造台式电子计算机（简称“台式机”）和办公设备等的日本电子企业的抗议。最终，日本政府还是采取了坚决保护民族工业、严格限制 IC 进口的政策，不仅对进口 IC 征收较高关税，而且只允许进口极少数品种，并规定进口限额。这激起了美国半导体企业的反弹，特别是德州仪器公司于 1964 年要求通商产业省同意其在日本设立独资子公司，以此作为向日本公开基尔比专利的交换条件。

如前所述，先后发明 IC 的德州仪器公司与仙童公司分别掌握着基尔比专利与平面工艺专利，这是两个最基本的 IC 专利。根据国际专利法规，其他企业如果不能取得这两个基本专利许可证，即使做出 IC，也不能拿到市场销售，更不能用于出口。因此，仅从仙童公司获得平面工艺专利实施权、未从德州仪器公司获得基尔比专利实施权^①的日本半导体企业，在 IC 基本专利实施权方面实际上处于“瘸腿”状态。德州仪器公司在日本设立子公司的要求令通商产业省感到紧张，因为如果允许该公司进入日本市场，所有的日本 IC 企业都可能不是它的竞争对手，从而导致日本集成电路工业被美国扼杀于摇篮里，但如果完全把德州仪器公司拒之门外，又不能取得基尔比专利权。面对这一两难困境，通商产业省一方面对德州仪器公司进入日本的要求采取拖延策略，

^① 这是因为德州仪器公司与仙童公司对掌握的基本专利采取了不同的做法。1962 年 NEC 之所以能从仙童公司获得平面工艺专利实施权，是因为该公司在 20 世纪 60 年代初就采取了向世界各国出售其平面工艺专利的做法。而德州仪器公司却不肯轻易出售基本专利，而是将其作为打入外国市场的手段。

一方面紧急制定实施扶持本国 IC 工业的各种对策,在已有的《电子工业振兴临时措施法(1957—1971 年)》基础上,制定了包括 IC 研究项目在内的 1966—1971 年“超高性能计算机开发计划”,还对东芝的 IC 自动设计系统、NEC 的硅片工艺自动化、日立的装配工艺自动化等技术开发项目提供资助。针对通商产业省的拖延策略,德州仪器公司多次发起攻势,并警告说如果日本不同意它在日本设立独资子公司,就不向日本公开其有关 IC 的一切专利。该公司还利用西方各国在 20 世纪 60 年代要求日本实行贸易和资本自由化的形势,试图将设立子公司问题“政治化”,以致日本政府内部出现分歧,特别是外务省对通商产业省“过于顽固”表示不满。1967 年,日本一些半导体企业计划向美国出口 IC,德州仪器公司威胁说将利用它的专利地位阻止日本 IC 对美出口。至此,问题到了非解决不可的地步。

通商产业省解决问题的办法是“逐步放开”。首先,利用德州仪器公司与仙童公司之间围绕专利问题的矛盾,声称德州仪器公司出口到日本的美制 IC 产品触犯了仙童公司的专利权,NEC 作为仙童公司在日本的专利代理人,要求德州仪器公司向仙童公司支付专利费,以此压德州仪器公司在设立日本子公司问题上向通商产业省妥协。最后,双方达成妥协,德州仪器公司接受日本政府开出的条件,在 1968 年与索尼公司设立合资企业(双方达成合资期限为三年的默契),并以适当价格对日本公开其关于 IC 构造的基本专利。至 1972 年,索尼将其 50% 股份出让给德州仪器公司,结束了合资关系,德州仪器公司百分之百出资的日本子公司诞生。这意味着,日本通商产业省的拖延策略为保护民族工业争取到长达八年的时间,在此期间,日本 IC 工业迅速成长,大大增强了应对外国竞争对手的能力。1970 年,日本政府撤销了对集成度在 100 个元件以下的 IC 产品的进口限制,1974 年开始实施 IC 贸易与资本输入的完全自由化,并开始正式出口 IC 产品。

美国企业为了夺取对日半导体竞争优势,还向东南亚大举转移生产据点。IC 工序很多、很复杂,大致可分为技术密集型的“前工程”和劳动密集型的“后工程”两类。^① 美国将“后工程”生产转移到东南亚,企图利用当地廉价

^① 在单晶硅大圆片上制成数百块集成电路的工程称为“前工程”,将形成了数百块集成电路的单晶硅大圆片切割成一块块面积只有 100—200 平方毫米的集成电路芯片并进行封装测试等的工程称为“后工程”。

劳动力从事对技能要求不高的生产流程，降低产品成本。^① 美国企业认为以其巨大资本、先进技术与东南亚廉价劳动力相结合，便可制造出世界上最具竞争力的 IC 产品，加之东南亚离日本近，也有利于将美制 IC 产品迅速运往日本市场。与此相对，日本三菱电机、NEC、东芝等大企业纷纷到国内相对落后的九州等地方建设包括“前工程”与“后工程”在内的“一贯工厂”。^② 这意味着美日半导体产业一个走“东南亚路线”、一个走“国内路线”，一个走“后工程路线”、一个走“一贯工程路线”。日本之所以采取与美国企业不同的经营策略，是因为相比东南亚国家，日本是较早走上近代化道路的国家，长期重视发展教育事业，国民受教育水平较高，即使在相对落后的九州等地区也存在文化素质较高的丰富劳动力（特别是大批农家女）。换言之，日本的 IC 生产是以文化素质较高的劳动力为基础而展开的。与此同时，九州等地还有优质水资源和便利机场^③ 等有利条件。日本各大企业相继在九州建成了多家涵盖 IC 全生产流程的一贯工厂，并在开始建厂时即对工人进行入职培训，在生产过程中又大力培养和发扬员工的工匠精神和团队精神。广大员工也能够主动开展质量管理小组活动，围绕“如何保持‘超净车间’的空气清洁”以及“产生废品的原因何在”等问题进行深入讨论和研究，技术管理专家则“一个不漏”地深入到 200 多道工序中每个环节的生产现场，盯住每道工序的成品率，以便达到最佳总成品率，从而提升产品竞争力以获得国际市场认可。质量管理小组活动在九州等地 IC 工厂的盛行，在很大程度上弥补了一般工厂普遍采取的细分化专业分工的缺陷，促使劳动者关心整个生产流程的问题，扩展了他们的活动范围和视野，锻炼了他们多方面的技能和本领。

质量管理小组活动的本质是在提高劳动者“质”的基础上提高产品的

① 美国公司在东南亚容易招募到 IC 后工程所需要的年轻女工（一般 15—25 岁），女工还可以“三班倒”（这有利于提高设备利用率，在发达国家一般是不允许女工上夜班的），有关劳动安全的法规也不严格（这有利于企业减少开支），特别是每小时工资仅为美国工人的 1/20 甚至 1/25。参见：Howard D. Samuel, “Multilateral Trade Negotiations”, *Houring and Urban Affairs*, April 4, 1979。

② 当时日本电子电机大企业也向东南亚地区转移生产能力，但主要是收音机、电视机、冰箱等家用电器的生产或组装工厂，极少有 IC 工厂。这说明在日本半导体企业看来，IC 与家用电器等在技术水平和要求方面不属于一个档次，不宜为了追求廉价劳动力而轻易转移到东南亚等地进行生产。1984 年笔者赴九州考察时，九州已有一贯工厂 13 家，包括封装测试和 IC 材料、生产设备工厂在内的协作厂六七十家，后来发展成 650 家 IC 相关企业协同发展的基地。

③ IC 是典型的“轻薄短小”产品，按每公斤价格计算，IC 的价格是彩电的 60 倍以上。参见：Kunio Yoshihara, *Japanese Investment on Southeast*, Asia University Press of Hawaii, 1978, p. 134。当时未封装的 IC 价值超过相同重量的黄金，因此适于空运（运费仅占产品价值的极小部分）。

“质”，九州（后来被称为“硅岛”）等地的 IC 工厂都积累、整理和归纳了成百上千条改进生产和管理的技术窍门和合理化建议，这些来自生产第一线的大量信息及其背后体现出的众多技术人员和劳动者积极进取的主动精神，成为支撑日本 IC 竞争优势的重要支柱。可以说，在 20 世纪 90 年代以前的日美半导体竞争中，日本之所以能占据优势，一个很重要的因素就是日本在技术人员和劳动者的素质和“精神”方面占优势。另一方面，美国向东南亚转移生产据点的策略产生了一时的效果，以其低价格优势显著提高了美制 IC 产品在日本市场的占有率。然而 1971 年前后，利用这些 IC 产品的日本台式机生产企业接连发生质量事故，其问题正出在东南亚的美制 IC 后工程生产据点。这显示出东南亚地区的劳动力素质和企业管理水平远不如日本国内。大批 IC 产品质量不合格，很多使用美制 IC 产品的日本企业大吃苦头，经营恶化甚至破产倒闭。这不仅是使用美制 IC 产品的日本计算机企业的失败，更意味着美国半导体企业一味追求廉价劳动力而向东南亚转移生产据点的竞争策略的失败。

（二）日本开发个人计算机等民生产品

新技术的发展前途是“用出来的”。IC 与晶体管一样，都不是直接面向市场、为消费者大众所“用”的最终产品，而是“中间产品”，因此迫切需要“用”IC 来制造为消费者大众直接所“用”的最终产品。20 世纪 50 年代，日本半导体企业曾通过开发半导体收音机有力推动了晶体管工业的发展，而在 60 年代前期却未能找到有巨大市场需求的、采用 IC 的最终产品，致使日本 IC 工业多年处于徘徊不前的状态。这表明，日本虽然能从美国引进 IC 技术，却没法借助主要以军事需求推动发展的美国模式来打开 IC 市场。例如 1965 年，军方订单占美国 IC 市场的比重高达 72%，^① 日本当然不可能有这么多的军方订单。

最初的台式机诞生于 1962 年的英国，由于使用真空计数管，经常出故障，而且重量和体积太大，不适合用来办公。1967 年，夏普公司开发出世界上首台全部使用晶体管的台式机，机体及其重量大大缩小，基本满足了办公用计算机的要求。1968 年，日立等企业成功试制出一块芯片上可容纳数百个晶体管等元件的 LSI。如果以 LSI 取代晶体管，可望进一步缩小台式机的体积和重量。虽然日本半导体企业已试制成功 LSI，但成品率很低，不宜贸然转入批量生产，一味追求台式机小型化的夏普公司不得不到美国去寻找 LSI 的供

^① 《日本半导体发展史》，<http://www.eefocus.com/component/409902/p2> [2018-08-24]。

应商。1972 年夏普首次采用“互补金属氧化物半导体”(CMOS) LSI 制造小型台式机,进一步降低了功耗。夏普的这一举措招引了一向以满足军需为主营业务的美国半导体企业争先恐后地生产民用 LSI,向着日本半导体企业的传统地盘——民用 IC 市场“猛扑”。一时间,日本的台式机、游戏机生产企业纷纷转向质优价廉的美制 IC 产品,导致美制 IC 在日本市场上的占有率飙升至 90%。对于日本半导体产业来说,夏普求助于美国半导体企业无异于“引狼入室”,迫使日本的半导体企业不得不“与狼共舞”,夏普公司赴美洽谈 LSI 采购事宜的经理甚至被骂为“国贼”。

其后,在日本 LSI 技术水平不断提高的背景下,另一家富于创新力的日本电子企业卡西欧公司认为“办公用”台式机“前途有限”,便与日立公司合作开发“个人用”台式机,由日立供应 LSI。卡西欧公司认定“个人用计算机”即“计算器”的市场必将大大超过“办公用计算机”,因为“机”与“器”仅一字之差,却意味着台式机从“办公设备”转变为“个人用品”,两者在市场规模上显然不属于一个档次,因此,该公司一开始就计划月产 5 万台,大大超过办公用台式机一般只有三四千台的月产量。在日立公司的全力配合下,卡西欧公司于 1972 年 8 月推出了世界上第一款个人用电子计算器,果然一炮打响,发售仅十个月就突破百万台大关。而且,随着技术的进步,一台电子计算器需用芯片从最初的几十块减少至几块,甚至出现了单芯片电子计算器。这意味着,台式计算机在从真空管台式机到晶体管台式机、LSI 台式机再到电子计算器的“量变”过程中,终于迎来了一个巨大的“质变”,使日本的台式机企业纷纷认识到计算机(器)大众化和个人化已经成为时代潮流。当然,卡西欧公司的这一成功也离不开日本的特殊国情,由于日本广大家庭主妇普遍善于精打细算,细心记录每天的收支,到超市买东西也要及时记账,电子计算器就成为便于家庭主妇随身携带的记账工具,在日本受欢迎的程度远远大于其他国家。

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大量生产晶体管收音机为“跳板”而起飞的,那么在美国人发明了 IC 以后,70 年代初日本又找到了迅速发展 IC 工业的“跳板”——电子计算器。随着电子企业纷纷进入这一大众化的新产品领域,拉动了对电子计算器用 IC 的旺盛需求,以至于有专家说,电子计算器对 IC 的需求成了日本 IC 工业发展的“起爆剂”。^①

① 大道康則『日米半導体戦争』、教育社、1980 年、51 頁。

当然，在 60 年代后期，日本电信电话公社开发出使用 IC 的电子通信交换机，以及通商产业省工业技术院开发出使用 IC 的高性能电子计算机，也对日本 IC 工业发展起了重要推动作用。

三、启动“超大规模集成电路技术研究组合”，实现成功跳跃

20 世纪 70 年代中期，日本半导体产业已取得长足进步，但与美国相比，仍存在不小差距。而在此时，日本得知美国国际商业机器公司（IBM）——一个在世界计算机市场上的占有率相当于日本最大计算机企业富士通的 30 倍的“计算机巨人”，计划在 1978—1980 年推出采用超大规模集成电路（VLSI）、取名为“未来系统”的新型计算机。^①这个消息使仍在使用 LSI 技术的日本半导体产业界乃至通商产业省产生了强烈危机感。“如果不尽快把超大规模集成电路研制出来以迎击 IBM 的‘未来系统’的话，苦心培育起来的日本计算机产业就会在幼儿园阶段被扼杀掉。”^②

于是，1976 年通商产业省从所属电子技术综合研究所遴选出具备对 IC 从设计、生产到测试全过程的综合知识和协调能力的半导体专家，由他们牵头组织日本最大的五家计算机企业富士通、NEC、日立、东芝和三菱电机组成了“超大规模集成电路技术研究组合”（简称“组合”），其最主要目标是开发为制造最先进的 VLSI 存储芯片、特别是 64K 和 256K 动态随机存取存储器（DRAM）所必需的基础技术。该项目的研究期间设定为 1976—1980 年，研究资金总计 737 亿日元，其中五家计算机企业共出资 446 亿日元，日本政府以向成员企业提供免息贷款形式补助 291 亿日元（计划从“组合”研发的技术专利收入和利润中收回贷款）。

IC 产业素有“吞金产业”之称，特别是开发 VLSI，更需耗费巨额资金。鉴于此前各大公司分别进行 VLSI 研究，力量分散，工作重复，有的公司由于承受不了沉重的资金负担而不得不中止一些研究项目，“组合”面对的关键课

① IBM 的“未来系统”（FS）项目于 1971 年 9 月正式启动，随着时间的推移，其他几个研究项目也合并到 FS 项目中或与之挂钩。然而，由于计划实施不顺利，该项目在 1975 年 2 月被取消。日本人对该项目的了解很有限，只是将这个“云里雾里”的项目当作激发人们“同仇敌忾，众志成城”追赶 IBM 的激情的手段。

② 这应该说不是耸人听闻，从 20 世纪 80 年代日美技术摩擦的激烈程度看，美国对被它定位为“挑战者”的国家下手确实够狠。此内容源自笔者 1984 年访问曾任日本“超大规模集成电路技术研究组合”行政负责人的根桥正人的采访记录，以下关于“组合”的未注明出处的信息来源同此。

题是如何处理好“竞争前的合作”与“合作后的竞争”的关系。所谓“竞争前的合作”是指：（1）合作的主攻方向是竞相开发 VLSI 的成员企业共同需要的基础研究，这样做可在很大程度上避免重复劳动，使研究经费得到集中使用；（2）基础研究所需人力、财力及研究难度之大，成员企业单靠自己难以承受；（3）基础研究不直接构成各家企业相互竞争的内容，特别是不包括直接开发 VLSI 产品（这才是成员企业互不相让的竞争焦点）。所谓“合作后的竞争”，就是一旦“组合”完成任务，各成员企业就可以共享“组合”取得的基础研究成果，围绕开发 VLSI 产品展开竞争。为了确定共同开发 VLSI 的基础性技术课题，“组合”经过一年的磋商，最终选定了微细加工及硅晶体性质、IC 设计等一系列课题，特别是微细加工技术所需的制造设备及相关技术被确定为突破 VLSI 的关键性技术^①，其目标是使微细加工精度突破 1 微米（百万分之一米）。

作为一个临时性组织，“组合”必须在 1980 年前完成预定计划，这也是 IBM 公司完成“未来系统”的年份，所以增强了研究人员的紧迫感，为按时完成任务而加班加点甚至通宵工作。在开展共同研究的四年里，“组合”共提出了 1200 多项专利、300 多项商业机密技术，发表了约 460 篇科技论文，其中很多论文在美、欧、日召开的国际会议上发表。最终，“组合”实现了突破 1 微米加工精度大关的目标，这意味着制造 100 万位存储器成为可能。以当时最有代表性的 IC 产品——DRAM 为例，1K 的 DRAM 和 4K 的 DRAM 是美国最先于 1970 年和 1972 年研制出来的，16K 的 DRAM 是美、日同在 1976 年研制出来的，64K 的 DRAM（包含约 15 万个元件，已属 VLSI 产品）是日、美分别在 1977 年和 1979 年研制出来的（市场占有率最大的厂商是日立，意味着日本比美国早两年进入了 VLSI 时代），256K 的 DRAM 是日、美分别在 1980 年和 1982 年研制出来的（日本又比美国早了两年，市场占有率最大的厂商是 NEC），1000K（即 256K 的约四倍或 100 万位）的 DRAM 则是由日本半导体企业在 1984 年率先研制成功（市场占有率最大的厂商是东芝）。20 世纪 80 年代初，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。

^① 1958 年刚发明 IC 时，一块 IC 仅包含两个晶体管，加上电阻、电容等，被“集成”到一块半导体芯片上的元件总共不到十个，换句话说，全世界的 IC 是从集成度 = 10 出发的。到了 20 世纪 70 年代，IC 发展到大规模集成电路，其集成度上千。然而，要实现超大规模集成电路，就要使集成度达到十几万乃至上百万，而容纳如此数量元件的芯片面积与集成度 = 10 的那个时代相比却大不了多少，为此需要非常精细的加工工艺。

由于日制 DRAM 在设计和工艺技术方面领先,在产品质量、价格和交货时间方面均获得很高评价,许多美国电脑制造商也开始采用日制 DRAM,导致 80 年代日制 DRAM 在全球市场中所占份额不断上升,1982 年超过美国,1987 年达到顶峰(80%)。^①当时全球排名前十的芯片制造商中有六家是日本企业,前三名分别是 NEC、东芝和日立。^②但需要注意的是,虽然日本 DRAM 技术的表现很出色,但在微处理器这种更高级的芯片技术方面,优势仍被美国牢牢掌握。^③

另外,如前所述,IC 产业包括(1)制造 IC 的产业、(2)制造 IC 工艺所需的生产设备的产业、(3)制造 IC 工艺所需的硅晶圆等各种材料的产业,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。在“组合”开始活动时,日本 IC 工业依然依靠从美国、西欧进口生产设备,例如最初使用的电子束曝光机就是从西欧进口的。随着研究活动的铺开,“组合”日益转向使用国产设备和材料。这体现了一种战略思想,即以开发 VLSI 为契机,使日本 IC 工业尽快转变为依靠国产设备和材料的独立自主的工业部门。在开展研究活动的四年间,“组合”与相关设备生产企业配合,共同开发了各种类型的电子束曝光装置、干式腐蚀装置等制造 VLSI 的关键设备。其中,电子束曝光机是在富士通已经研制出样机的基础上,与擅长制造电子显微镜的日本电子公司共同研制出来的。此外,拥有光学技术优势的理光和佳能、拥有平版印刷技术优势的大日本印刷公司等企业也都以各自的方式参加了“组合”的研究活动。由于半导体企业掌握着制造 IC 的技术窍门和经验,设备制造企业掌握着制造“IC 生产设备”的技术窍门和经验,为了研制出高性能的“IC 生产设备”,最好的办法就是促进双方的技术窍门和经验互补与融合。过去,日本半导体企业向设备制造企业订货时,只是对设备性能提出要求;设备制造企业则独自承担生产设备的开发与生产。“组合”启动后,相关成员企业积极向设备制造企业反馈在 IC 生产现场使用设备的情况及现场操作人员的建议,与设备制造企业共同制定改进设备的方案。这样,半导体产品生产企业与半导体生产

① “Semiconductor History Museum of Japan”, <http://www.shmj.or.jp/english/index.html>/[2018-08-28].

② Hays J., “Japanese Electronics Industry: History, Semiconductors, Decline and Competition from Apple, China and South Korea”, Facts and Details Database, April, 2012.

③ Okimoto D., Sugano T., Weinstein F., and Flaherty M., *Competitive Edge: The Semiconductor Industry in the U. S. and Japan*, Stanford University, 1984.

设备制造企业间的相互协作有效地促进了高性能生产设备的研发进程,1980 年日本成功开发出高性能的 VLSI 生产设备。此后,生产设备企业又开发出“工艺诀窍附带型”生产设备,成功地将 IC 生产企业的技术窍门和经验“固化”到生产设备的功能之中。当时,为“组合”提供 IC 生产设备和材料的企业(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,使它们原来“各自为战”的努力聚焦于一个共同目标——开发 VLSI,从而形成了一次国产技术大动员。特别值得提及的是日本电子公司,通过与“组合”的合作,发展成为日本制造电子束曝光机的“龙头”企业。这些 IC 设备制造企业不仅能够更好地服务于日本的 IC 产品制造,而且迅速打入了国际市场。例如美国贝尔研究所 1982 年向日本电子公司订购了适用于三英寸硅片的 JBX-5 电子束曝光系统,每台价值 120 万美元。

正如“组合”行政负责人根桥正人所说“刺激和带动了日本各种与 IC 有关联的工业的成长,这是‘组合’未被写上成果清单的重大成果。”美国的观察家认为,从“组合”的研究计划中得到最多好处的不是那些作为“组合”成员的半导体产品制造商,而是为半导体产品制造商提供半导体生产设备的供应商。1976 年“组合”成立时,日制半导体生产设备在日本国内市场上所占份额不到 30%,四年后“组合”结束活动时,这个份额已经超过 50%,作为核心设备的光刻机的供应商还获得了很多海外订单,甚至一时主导了光刻机的世界市场。^①

有美国业界人士认为,只是到了 20 世纪 70 年代中期以后,日本半导体生产商才迎来了真正的成功。^②日本正是通过在 DRAM 产品领域战胜了美国,才成为全球半导体行业的霸主。1980—1986 年,美国制造的半导体产品在全球市场上所占份额从 61% 下降到 43%,而日本占比由 26% 上升至 44%。也有观察家认为,日本之所以能够在 IC 技术领域超越美国,与“组合”在 VLSI 基础性技术方面取得的突破性进展是分不开的,因此可以说“组合”是有成效的。与此同时,打破政府部门和企业的界限选拔优秀管理人才和科技人才,使研究经费落实到真正有能力、有诚信运用的研究集团,也是“组合”留下的一条宝贵经验。还有专家认为,随着集成度向“超大规模”提升,IC 产业的

① Gerald J. Hane, “The Real Lessons of Japanese Research Consortia”, <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02174801> [2018-08-30].

② Okimoto D., Sugano T., Weinstein F., and Flaherty M., *Competitive Edge: The Semiconductor Industry in the U. S. and Japan*, Stanford University, 1984.

“吞金（烧钱）”性质日益增强，20 世纪 70 年代，美国等发达国家出现经济滞胀，迫使美国半导体企业削减了对 IC 事业的投资，而在日本，“组合”起了促使其成员企业在经济状况不好时依然保持对 IC 事业高水平投资的作用。

四、战后日本半导体产业持续赶超美国的影响因素

战后日本半导体技术得以迅速发展，与 20 世纪 50 年代美国为应付苏联威胁的战略需要，对日本半导体产业提供慷慨援助是分不开的（早期美国对日本“技术慷慨”的另一原因是当时美国根本没把日本当作竞争对手）。例如在 20 世纪 50—60 年代，日本工程师被允许频繁参加国际会议和访问美国公司，能相对自由地接触到美国半导体生产现场，而中国的半导体事业却一直受到美国管控出口产品的阻碍。^①与此同时，美苏冷战格局使日本得以趁美国忙于对苏军备竞赛而疏于发展民生技术之际，成功地从美国持续引入先进技术，并凭借开发众多民生产品夺得了对美竞争优势。可以认为，处在战后美苏争霸夹缝之中的日本是冷战格局的最大受益者，冷战格局下的日美同盟关系成为日本的巨大利益源泉。但是，美国早期的“帮助”只能说是日本半导体产业迅速发展的“外因”，更值得关注的是促使日本半导体产业迅速发展乃至赶超美国的主要“内因”。

（一）国家扶持

半导体关系国家经济的整体效益和国家安全，^②围绕半导体技术和产业的竞争带有国家间竞争的性质，因此国家强力干预本国（甚至外国）的半导体技术和产业发展成为普遍现象。如前所述，在日美两国的半导体产业发展过程中，“国家扶持”都起了十分重要的作用。在美国，所谓“国家扶持”，主要体现在美国军方如同抓洲际弹道导弹等顶级战略技术那样狠抓半导体技术发展；而在追赶美国先进技术的日本，“国家扶持”主要体现为通商产业省对民间企业引进和消化美国先进技术进行产业政策引导和扶持。20 世纪 60 年

^① Flamm K., *Mismanaged Trade?: Strategic Policy and the Semiconductor Industry*, Brookings Institution, 1996.

^② 当今，在制造军舰、战车、飞机、导弹、航天器等产品的总成本中，集成电路成本分别占 22%、24%、33%、45%、66%。转引自《集成电路热点问题讨论》，<https://wenku.baidu.com/view/0fe55795581b6bd97f19eaa9.html> [2018-09-29]。可见，国家间的军事实力对比在很大程度上是系统能力和芯片实力的较量。

代，日本政府对尚处于幼稚产业状态的 IC 产业坚决实施严格保护政策，直至其成长到足以同美国产品竞争的水平，才逐步放开本国 IC 市场；70 年代后半期，日本政府又选拔具有出色的综合知识和协调能力的牵头人，将本国主要半导体企业团结起来共同研究 VLSI 基础性技术。显然，如果没有日本政府相关部门的保护和扶持，即便作为美国同盟国的日本，其 IC 产业也会在发展初期遭到美国竞争对手的无情摧残。但必须强调的是，日本半导体产业发展最重要的推动力不在于“国家扶持”，而是日本半导体企业自己“争气”的结果。

（二）人的因素

与美国既依靠本国科技人才、又广泛吸纳包括中国在内的世界各国高科技人才（包括发明家和创新型技术人才）的做法不同，日本半导体技术发展归根到底是依靠本国科技工作者和民间企业付出艰苦卓绝努力的结果。从 1948 年日本电子产业的先觉们组成“轮读会”废寝忘食地集体研读英文资料、紧密跟踪半导体理论和实践的最新发展等事实可以看到，日本科技工作者对发展新技术有一股持久不懈的“着了迷”的劲儿。日本有大批半导体科技工作者将半导体研发、设计与制造作为毕生为之奋斗、体现人生价值的崇高事业，他们奉行“拜技主义”和“终身主义”（一辈子就干这一件事），而不是“拜金主义”、机会主义（为了抓住个人挣大钱的机会而跳槽）。

IC 芯片的制造流程很长，只要有一道工序出问题，就可能毁掉前期成果，造成前功尽弃的巨大损失，因此具有极强的工匠精神、团队精神和敬业精神的的高素质工程师、技能工和企业经营者等“人的因素”无疑是发展芯片技术的最重要因素。在战后，富于工匠精神的日本企业及其员工能数十年如一日地专注于某一技术领域苦心钻研，富于团队精神的工程师与车间工人经常一道追求技术革新、开展合理化建议活动，努力提高成品率（这是提高产品性价比和出口竞争力的关键），而富于敬业精神的企业经营者则善于通过管理将技术革新和合理化建议汇聚成集体智慧的结晶。概言之，优秀的半导体科技工作者、素质良好的技能工人和出色的企业经营者，构成了日本迅速赶超美国先进技术所需的人才队伍的“绝配”。

（三）构筑完整的半导体产业链

为制造大规模乃至超大规模集成电路，需要包括芯片制造工艺及设备、原材料等在内的成百上千种技术，需要众多不同专业的技术围绕制造 IC 这个核心相互衔接和融合，构成高效的半导体全产业链。战后日本依靠长期推进工业化的雄厚技术积累，不仅迅速发展起属于自己的 IC 生产基地，而且迅速扶持

培育出“尼康”“佳能”等制造光刻机等 IC 生产设备的企业，以及“信越化学”等制造硅晶片等半导体材料的企业，从而形成了独立自主、相互衔接的包括“材料—晶圆—设备—制造—封装测试—应用”等环节的全产业链。尤其是经过 1976—1980 年“超大规模集成电路技术研究组合”的推动，IC 产品制造企业与 IC 设备制造企业之间形成了相互协作关系，有效促进了高性能生产设备的研发进程。可见，在完整的半导体产业链中，日本的 IC 产业、IC 生产设备产业、IC 材料产业相互提携，相互促进，共同成长成为面向世界的重要出口产业。

（四）善于运用市场竞争的推动力

由于大众化消费品的市场竞争非常激烈，企业对新产品开发或质量管理稍有懈怠，就会被竞争对手甩在后面甚至被市场淘汰。日本很善于通过开发利用晶体管和 IC 的大众化消费品来促进半导体技术的发展。在市场竞争压力的推动下，日制半导体产品的质量和可靠性日益提高并达到优于美国的水平，不仅赢得了民生产品市场，还吸引了美国军方从日本优秀的民用半导体产品中“选拔”军用半导体产品。而美国追求武器装备小型化、信息化和精确化的需要，又成为推动日本半导体技术进一步发展的新动力。在 20 世纪 90 年代初爆发的海湾战争中，美军所使用的武器装备上必不可少的 IC 芯片有 80% 是日本生产的。这意味着，尽管日本主要依靠民生产品市场促进半导体产业发展，但 80 年代以后美国的军事需求也有力地推动了日本芯片技术发展，而且日本国内对芯片技术的军事需求也有所增长。芯片技术的政治、战略色彩日益浓厚。

五、日本半导体产业面对新形势的创新与发展

随着日本半导体产业日益赶超美国，20 世纪 70—80 年代爆发了日美半导体摩擦，异常激烈且旷日持久，被称为“半导体战争”。美国试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，“从贸易战的议题，到时间，到方式，全都由美国确定。美国还利用市场武器，大量培植对手的对手：在 90 年代中后期，韩国和台湾地区的芯片和电子产品开始大规模涌进美国和世界市场，对日本构成全面挑战”^①。日本半导体产业的崛起是以主要用于大型计算机的 DRAM 为切入口的，进入 20 世纪 90

^① 《美国是如何摧毁日本的芯片产业的？》，http://blog.sina.com.cn/s/blog_593ae7d70102yh13.html [2018-08-06]。

年代,个人计算机(PC)取代大型计算机成为计算机市场上的主导产品,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、高可靠性,加之劳动力成本也比较高,结果丧失了竞争优势,被韩国、台湾地区生产的低价 DRAM 夺走了市场,1998 年韩国取代日本成为 DRAM 第一生产大国。^①而且,早在 1993 年,美国就已经在技术含量更高的微处理器领域夺得对日压倒性优势,在半导体市场占有率方面反超日本而重新夺魁。

同时,全球 IC 产业结构也发生了重大变化。20 世纪 60 年代开始兴起的 IC 产业,一直都采用“垂直整合”(IDM)模式,从芯片设计、制造到封装测试的各个环节都在企业内部完成。随着微细加工技术的进步,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包揽 IC 生产全过程的资金负担太重,从而逐渐向“垂直分工”模式发展。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)新模式,即从芯片设计企业接单专做制造。“代工”模式出现后,IC 产业分化为四类企业:(1)传统的 IDM 企业,即从芯片设计、制造到封装测试“一条龙全包”。如英特尔(Intel)、三星就是典型的 IDM 企业,它们规模大、技术全面、资金雄厚,甚至还有自己的下游整机环节。(2)只做设计的企业,没有工厂(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。^②(3)代工企业,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、台联电等。(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。这种垂直分工模式提升了“重设备投资”的代工企业的生产效率,降低了“轻设备投资”的设计企业和封装测试企业的准入门槛和运营成本,从而推升了整个 IC 产业的运作效率,加快了芯片技术的发展。对于多数 IC 企

① 2017 年号称全球 DRAM 三巨头的三星电子、SK 海力士、美国美光等三家芯片企业,占全球 DRAM 市场份额的 96%,前两家韩国企业合计占 73%。

② 如英国 ARM 公司,全世界超过 95% 的智能手机和平板电脑都采用 ARM 设计的架构;美国 AMD 公司专门为计算机、通信和消费电子行业设计和制造各种创新的微处理器等;美国高通公司为全球 3G、4G 与 5G 技术研发的领先企业,世界上半手机装的是高通的芯片;美国博通公司是苹果手机的芯片供应商,手机芯片供应量排世界第二。

业来说,垂直分工模式是发展的必由之路。

进入 21 世纪,因为日美“半导体战争”实力遭到严重削弱的日本半导体产业,既面临半导体产业结构的巨大变化,又遇到半导体产品市场的深刻调整,诸如智能手机市场迅速扩大。这两大变化使得长期以来在产业结构上以“垂直整合”模式为主、在产品上以 DRAM 取胜的日本半导体产业疲于应对,输掉了手机芯片、电脑芯片等具有海量市场(可依靠极大产量分摊芯片研制和生产成本)的高端通用芯片的国际竞争力,导致日本半导体产业在世界市场上的占有率一路下滑,失去了持续多年的相对优势,外界甚至评价称“日本半导体产业在世界上不再重要”^①。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,以图挽回颓势。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 所大学的研究室参与共同研究“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;“HALCA”项目除进行实用化制造技术的研究外,还进一步研究高速度、节省能源等技术。^② 这些举措对于提升日本半导体产业的竞争力具有一定的效果。

(一) 日本半导体产业推行结构性改革的代表性案例

1. 2003 年,由日立和三菱电机两家公司所属半导体部门合并成立瑞萨公司,2010 年 NEC 又加入进来,成立了新瑞萨公司。该公司已在自动驾驶系统(ADAS)或自动驾驶汽车使用的微控制器(MCU)的世界市场上夺得主导地位,成为汽车用芯片、无线网络芯片、消费与工业制造嵌入式半导体芯片的全球领先供应商。^③ 2011 年,瑞萨在全球 MCU 芯片市场中的占比达 33%,排名第一,荷兰恩智浦公司和美国飞思卡尔公司排名第二和第三。^④ 2016 年,恩智浦与飞思卡尔合并,瑞萨退居第二,占比降至 16%。但是,2018 年瑞萨

^① “Sayonara, Japan Semiconductor Inc”, https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1329418 [2018-08-12].

^② 董毅智《亚洲芯片行业先驱国的芯片发展历程,有哪些值得国产芯片行业借鉴的地方?》, <https://www.pintu360.com/a51327.html> [2018-08-15].

^③ “RENESAS IN \$6.7 BILLION DEAL FOR IDT TO BOOST CHIPS FOR SELF-DRIVING CARS”, <https://www.bitchute.com/video/NGcAC2lneJUi/> [2018-08-15].

^④ “Automotive Chip Manufacturing in Japan Drives Innovation”, <http://www.semi.org/en/automotive-chip-manufacturing-japan> [2018-08-15].

公司又推出了 28 纳米线宽的首款闪存汽车 MCU 样品, 可望进一步增强其 MCU 产品的全球竞争力。^①

2. 索尼公司通过剥离弱势业务, 聚集优质资源开发 CMOS 图像传感器。2012 年, 索尼开发的全球首款“堆叠式结构”系统能将两块芯片叠在一起, 一块捕捉图像像素, 一块是传感器电路。2015 年, 索尼在摄影与智能手机用的高像素芯片领域拿下全球 35% 的市场份额。2018 年, 索尼开发的新传感器将灵敏度提高到 1200 万像素水平, 可获得更明亮、更低噪声的图像。^② 鉴于索尼在 CMOS 传感器方面长期积累的技术优势, 目前主流智能手机大多采用索尼的 CMOS 传感器, 而且 CMOS 传感器的应用范围早已不局限于智能终端, 开始向汽车、医疗、工业以及安保监控摄像等领域延伸。

3. 2011 年东芝在公司内部彻底改革“全能式”产业结构, 着力开发高附加值的特色产品。早在 1984 年, 东芝就发明了 NAND 闪存, 这是一种比硬盘功耗更低、重量更轻、性能更佳的非易失性(断电后仍能保存数据)存储器。作为 NAND 闪存的创始者, 东芝的 IC 部门将大部分精力都花在 NAND 领域。但随着三星电子等企业崛起(2015 年三星电子在 NAND 闪存市场上以 33.6% 称雄, 而东芝仅占 18.6%), 为了在 NAND 闪存领域再度实现突破, 东芝大力开发可进一步扩充存储容量、加快处理速度的 64 层 NAND 闪存, 并希望提前投产 64 层技术, 以实现半导体业务的下一轮高增长。东芝的另一种特色产品是发光二极管(LED)和号称“第三代半导体”^③的氮化镓(GaN, 一种化合物半导体), 特别是氮化镓芯片, 其重要性近年来引起普遍关注, 一片直径约 5 厘米的氮化镓芯片的售价可达 5000—7000 美元, 还供不应求, 加上国际贸易中的技术壁垒, 甚至出现了一片难求的情况。值得注意的是, 军事和太空应用以及电力电子系统等要求半导体器件具有较强的空间辐射耐受能力, 在放射性环境中具有更高稳定性, 这恰恰是具有高速高效特征的氮化镓器件

① “Renesas Electronics Unveils World’s First On-chip Flash Memory Microcontroller Featuring Advanced 28nm Embedded Flash Technology”, <https://www.renesas.com/cn/en/about/press-center/news/2018/news20180327.htm> [2018-08-16].

② “Sony Releases 48MP Stacked CMOS Image Sensor”, <https://securityelectronicsandnetworks.com/articles/2018/07/27/sony-releases-48mp-stacked-cmos-image-sensor/> [2018-08-18].

③ 第一代半导体是硅, 主要解决数据运算、存储的问题; 第二代半导体是以砷化镓为代表, 被应用于光纤通信, 主要解决数据传输的问题; 第三代半导体以氮化镓为代表, 它在电和光的转化方面性能突出, 在微波信号传输方面的效率更高, 所以被广泛应用到照明、显示、通信等各大领域。参见: 《让氮化镓走下神坛》, <https://www.tech-domain.com/article-12144-1.html> [2018-08-18].

的优点。这意味着，一直以来用于汽车电信、消费电子和医疗等行业的氮化镓器件可能在军事和太空等重要领域拓展应用范围。据预测，全球氮化镓器件的市场价值将从2017年的7.7亿美元增至2023年的18.4亿美元，复合年增长率为17.1%，而亚太地区将成为增长最快的氮化镓器件市场。^①此外，东芝还推出了一款新型光电耦合器芯片，可用于电动汽车（EV）和混合动力汽车（HEV）的高速通信。^②

4. 2015年富士通和松下两家公司的系统级芯片（或称“芯片上系统”，“system on a chip”，SoC）部门合并成立索喜（Socionext）公司，该公司提供以系统级芯片为中心的半导体产品和服务，并在视频图像领域和光纤通信网络领域具有竞争优势。该公司开发的360度全景成像系统“OMNIVIEW”可为汽车驾驶员提供视觉辅助，将安装在车辆四个方向的摄影机图像在三维模型上合成，不仅可协助停车，还支持行车中的周围环境监控。^③

事实上，致力于结构性改革的多家日本半导体企业相继进行事业拆分和重组，退出技术含量不高的DRAM竞争，^④而集中开发系统级芯片等高附加值的专用技术产品。由于放弃市场巨大的通用性产品DRAM，日本半导体产业在全球半导体市场中所占份额显著降低，而系统级芯片虽然专用性强，但短期内市场规模不大，对提高日本半导体产业在全球市场上的地位不会很快产生作用。日本半导体产业看似进入衰退期，在全球半导体企业排行榜中名列前茅的日本企业越来越少（2017年“全球半导体十强”中的日本企业只有东芝一家）。但值得注意的是，系统级芯片不乏在今后5—10年成为半导体产业新增长点的可能性，因而相关研究具有“弯道超车”继续赶超美国、打造日本下一代半导体产业模式^⑤的意义。

① “GaN Semiconductor Device Market – Segmented by Type (Power, Opto, RF), Device (Transistors, Diodes, Rectifiers), End – user Industry (Consumer Electronics, Automotive, Aerospace & Defense) and Region – Growth, Trends and Forecast (2018 – 2023)”, <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/gan-semiconductor-devices-market> [2018-08-20].

② “Toshiba Announces New Analog Output IC Photocoupler for Automotive Applications”, <https://toshiba-semicon-storage.com/ap-en/company/news/news-topics/2018/07/opto-20180705-1.html> [2018-08-15].

③ “Socionext Inc. ”, <http://www.socionext.com/cn/download/catalog/AD00-00001-16Z.pdf> [2018-08-20].

④ 2012年2月日本仅存的DRAM生产商尔必达公司因长期亏损而宣布破产，意味着日本在DRAM的竞争中被彻底淘汰。

⑤ 参见崔健、陈庭翰《日本主要电子企业生产经营战略性转变分析》，《现代日本经济》2016年第5期。

(二) 日本半导体产业的新技术优势

通过多年的产业结构性改革,加上既有的技术积累,日本半导体产业借力人工智能技术,正在多个领域夺取世界领先优势,并在半导体材料领域长期保有竞争优势。

据统计,在 2017 年全球芯片市场中,销量排名第一位的是手机芯片,占比为 25%,之后依次为个人电脑芯片(19%)、汽车用芯片(7.8%)、物联网芯片(5.8%)等;2018 年,手机芯片销售额将可能比 2017 年增长 8%,个人电脑芯片销售额将可能增长 5%,汽车用芯片销售额将可能增长 16%,物联网相关芯片销售额将可能增长 16%。^① 依此数据进行趋势预测可以发现,在今后的 5—10 年间,销量最大的很可能依然是手机芯片等,而复合增长率更高的将是汽车用芯片、物联网相关芯片等。在目前和今后的全球芯片市场中存在两类芯片,一类是在当前市场占有率高、今后增长率不高的芯片(如个人电脑芯片的复合增长率只有 5%),一类是在当前市场占有率不高、在未来 5—10 年复合增长率高的芯片(如汽车用芯片和物联网相关芯片)。考虑到 2020 年以后可能出现 4G 手机升级为 5G 手机的一个渐进过程,同时汽车自动化可能不断进展,物联网在各个行业的渗透率将不断提高,可以预计:2019—2020 年以后,全球芯片产业可能出现三个重大增长点:5G 手机芯片^②、汽车自动化芯片和物联网相关芯片。而日本的半导体产业,虽然在“当前市场占有率高”的手机芯片、个人电脑芯片领域呈颓势,但在“当前市场占有率不高而今后增长率高”的汽车用芯片、物联网相关芯片的技术开发与商品化方面已经取得了令人瞩目的进展。

1. 用于自动驾驶系统和自动驾驶汽车的芯片

自动驾驶汽车可理解为一个逐步升级直至实现完全无须人类驾驶员干预的“无人汽车”的“过程”,是一种依靠雷达、激光、全球定位系统、测距仪和计算机视觉来感知和检测周围环境,逐级减少人力操作直到“零操作”的机动车辆。日本是汽车产量仅次于中国的全球第二大汽车生产国(2017 年),日本半导体企业预计自动驾驶汽车是下一个可望引领半导体产业发展的

^① “Foundry Challenges in 2018”, <https://semiengineering.com/foundry-challenges-in-2018/> [2018-08-22]。

^② 5G 手机芯片的开发竞争正在高通公司、英特尔、三星、华为、中国台湾联发科等供应商之间展开,参见《5G 手机芯片供应商竞争加剧》, <http://baijiahao.baidu.com/s?id=1590092643473677160&wfr=spider&for=pc> [2018-08-22]。

新兴应用领域。

从瑞萨、东芝、索尼、索喜等企业的动向可以看出，自 2015 年日本半导体产业非常关注汽车产业对芯片的需求，以期维持未来增长。预计在 21 世纪 20 年代，自动驾驶系统乃至自动驾驶汽车的发展和普及将引发对“汽车芯片”的旺盛需求，而在 MCU、CMOS 传感器等“汽车芯片”技术领域日益确立优势地位的瑞萨等日本半导体企业或有可能大展身手。

2. 物联网相关芯片

2015 年，全球物联网（IoT）市场规模已达 5982 亿美元，有预测表明，到 2023 年全球物联网市场将进一步达到 7242 亿美元，即 2016—2023 年的复合年增长为 13.2%。^① 进一步而言，2025 年将有 750 亿个设备与物联网连接，制造产品的工厂、供应链的所有领域乃至带有传感器的洗碗机都将是物联网的增长点。^② 如前所述，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所擅长的技术领域，物联网可望成为又一个牵引日本半导体产业发展的动力，日本可能成为比较理想的物联网芯片生产基地。

3. 机器人芯片

机器人需用 IC 芯片来收集和处理信息，控制电机和执行器，以及与其他系统联网等。随着全球机器人销量增加（预计工业机器人销量将从 2017 年的 34.6 万台增加到 2025 年的 85 万台，^③ 服务机器人销量将在 2018—2020 年间增至 5500 万台^④），加上每台机器人使用芯片数量的增加和对更先进芯片的需求增长，机器人市场有望产生显著的芯片需求。日本有专家认为，“机器人产业不仅是日本发展战略的关键支柱，也是可望引领日本半导体产业增长的关键应用领域。”^⑤ 日本开发机器人芯片的一大优势在于，其半导体企业可以从

① “IoT Market 2018 Forecast Size”，[https://www.postscapes.com/internet-of-things-market-size/\[2018-08-22\]](https://www.postscapes.com/internet-of-things-market-size/[2018-08-22])。

② “The Fourth Industrial Revolution is Here – and It’s Reshaping Everything”，[https://www.blogs.conduent.com/2018/03/06/the-fourth-industrial-revolution-is-here-and-it-s-reshaping-everything/\[2018-08-25\]](https://www.blogs.conduent.com/2018/03/06/the-fourth-industrial-revolution-is-here-and-it-s-reshaping-everything/[2018-08-25])。

③ 蒋平 《一文带你了解 2018 年全球工业机器人发展前景！》，<https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/180408-df8b1cd6.html> [2018-08-30]。

④ 《2018 全球服务机器人市场专题研究报告》，<http://www.iimedia.cn/61919.html> [2018-09-11]。

⑤ “Robotics and Chip Industries in Japan”，<http://www.semi.org/en/robotics-and-chip-industries-japan> [2018-09-05]。

早期开发阶段就与最先进的机器人企业合作，共同开发最先进的机器人芯片。早在 20 世纪 80 年代，日本即被称为“机器人王国”，至今在全球机器人及其关键零部件领域仍占领先地位，^① 机器人已成为日本的一大出口工业产品^②。2015 年，安川电机、发那科、川崎重工、不二越等日本机器人企业的销售量占全球工业机器人销售量的比例高达 54.5%，^③ 在高精密减速器、力传感器等产品市场上的占比更高达 90%^④。而且，近年来，随着日本大力开展“机器人革命”，^⑤ 其国内市场对服务机器人的需求增长将大大超过工业机器人。领先的生产技术和广阔的消费需求，将从供给和需求两方面推动日本的半导体产业更快发展。

4. 半导体材料技术

各行各业的技术发展都立足于材料，特别是基础性材料。材料技术的特点在于，它不是靠“砸钱”就能很快发展起来的，需要经过漫长年月的反复研究与炼制，半导体产业所需的重要材料更是如此。截至目前，在 14 种半导体重要材料^⑥方面，日本均占有 50% 甚至更多的份额，是全球最大的半导体材料出口国，特别是在硅晶圆领域占有绝对优势。硅晶圆是制造各种芯片的基础，是技术门槛极高的尖端高科技产品，全球只有十数家企业能制造。全球前五大硅晶圆供货商分别是日本信越半导体（市场占有率 27%，其单晶硅可达到纯度 99.99999999%、即所谓“11 个 9”的水平^⑦），制造技术远超其

① 为了宣示日本在机器人技术领域的优异表现，东京将在 2020 年举办夏季奥运会的同时，举办机器人奥运会。参见“Japan's Semiconductor Industry Leads in Robotics”，<https://www.microsi.com/japans-semiconductor-industry-leads-robotics/> [2018-08-30]。

② 从 2015 年到 2016 年，世界上机器人使用量增长最快的是中国，所进口的工业机器人 70% 来自日本，只有 8% 来自国内机器人生产商，参见“Chinese Robots are the Future”，https://www.etftrends.com/robotics-ai-channel/chinese-robots-are-the-future?utm_source [2018-09-05]。

③ “Robotics and Chip Industries in Japan”，<http://www.semi.org/en/robotics-and-chip-industries-japan> [2018-09-05]。

④ 《2020 年全球服务机器人行业市场规模分析预测》，<http://www.chyxx.com/industry/201708/551013.html> [2018-09-05]。

⑤ “Japan's Robot Strategy was Compiled”，http://www.meti.go.jp/english/press/2015/0123_01.html [2018-09-06]。

⑥ 分别是硅晶圆、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、焊线、封装材料等。

⑦ 太阳能电池使用的高纯硅要求达到 99.9999%、即“6 个 9”的水平，中国生产的太阳能电池高纯硅占全球市场一半以上，至于中国使用的“11 个 9”的高纯硅，约 99.97%（2018 年）依赖进口。这是反映中国在全球产业链上位于中低端的一个例子。参见《关于芯片之争，终于有人说出了本质》，<http://www.eeworld.com.cn/mp/EEWorld/a51998.aspx> [2018-09-24]。

他企业)、日本胜高科技(26%)、中国台湾环球晶圆(17%)、德国 Silitronic(13%)、韩国 LG(9%),这意味着日本制的硅晶圆占全球市场的一半以上(53%),尤其是这两家日本企业生产的200—300毫米^①的大尺寸硅片,占全球市场的70%以上。^②

综上所述,经过20世纪80—90年代的日美半导体战争,日本半导体产业(包括设备和材料产业)没有被击垮,也没有中断其坚持赶超美国的努力。经过多年来的大规模产业结构改革^③,日本半导体产业不断摸索“新兴应用领域”,另辟蹊径,弯道超车,展开了新一轮技术创新的进程。

六、结语

早在1965年,英特尔公司创始人之一摩尔就观察到,集成电路上的晶体管缩小速度如此之快,以至芯片上可容纳晶体管等元件的数量大约每隔18—24个月便可增加一倍,性能也提升一倍。换言之,每一美元所能买到的电脑性能,每隔18—24个月会翻一倍以上。^④ IC产业遵循摩尔定律持续发展了几十年,一块芯片上可容纳晶体管等元件的数量已从20世纪70—80年代的100万增加到几亿至几十亿,线宽^⑤尺寸从70年代初的10微米缩小到2017年的10纳米甚至5纳米^⑥,所使用晶圆的直径从3英寸(约76毫米)、8英寸(约200毫米)扩大到12英寸(约300毫米)甚至更大。其中,芯片的线宽尺寸反映了IC技术发展的高度,晶圆的直径尺寸则通过容纳芯片数量体现芯片的价格竞争力,“一块300毫米直径的晶圆,16纳米工艺可以做出100块芯片,

① 目前中国还不具备300毫米硅晶圆的生产能力,一直依赖进口,国内的总需求约为每月45万片,预估到2020年中国300毫米硅晶圆的月需求量为80万—100万片。

② 《全球十大硅晶圆生产厂商排名》, http://www.360doc.com/content/18/0525/17/36743738_756983364.shtml [2018-09-05]。

③ 犬塚正智「半導体産業における日本企業の現状分析と製品戦略マネジメント」, https://www.soka.ac.jp/files/ja/20170419_154259.pdf [2018-08-05]。

④ 2016—2018年时有专家认为,摩尔定律正在消亡,因为将已经缩小到几纳米的晶体管再缩小下去,实在是太难了,“现在是时候任命(摩尔定律的)继任者了”。参见“Moore's Law is Dying - So Where are Its Heirs?”, <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/03/09/moores-law-is-dying-so-where-are-its-heirs/> [2018-09-05]。

⑤ IC的“线宽”通常可理解为所加工的电路图形中最小线条宽度,集成度与线宽有对应关系,即集成度越高,线宽会越小,所以,“线宽”也常用来表示IC制造技术水平的高低。

⑥ “Qualcomm and Samsung Collaborate on 10nm Process Technology for the Latest Snapdragon 835 Mobile Processor”, <http://news.samsung.com> [2017-02-11]。

10 纳米工艺可以做出 210 块芯片，后者价格便宜了一半，在市场上就能压住竞争对手，赚了钱又可做更多研发，差距就这么拉开了”^①。加工精细度达到“纳米级”的芯片技术，堪称人类制造工艺与技术的“奇迹”。然而，从具体应用角度出发，并非各行各业都要使用最高标准的芯片，并非是“芯片线宽越窄越合用”，高端、中端乃至低端的各种芯片其实都各有用途。比如火箭上使用的芯片，对可靠性、稳定性和抗辐射性会有特别高的要求，至于其芯片线宽，不要说“纳米级”，很可能是“微米级”也说不定。又如机器人用传感器、微控制器和功率器件等半导体产品，也不一定要在 300 毫米晶圆上制造，更适于按合理成本在 200 毫米或直径更小的晶圆上制造。日本是世界上 200 毫米或 200 毫米以下晶圆产能极丰富的地区，所以比较适于制造机器人用芯片。总之，各种芯片应“各尽其才”，不宜以线宽和晶圆直径作为判断其优劣的标准。

当今的 IC 产业，是一个“超高技术（已发展到 5 纳米）、超高投资（建造一座 300 毫米晶圆生产工厂耗资高达数十亿美元）、高度风险（搞不好就会亏损）、竞争激烈（跟不上就要出局）的产业”，^②是一个更新换代最快的产业，是难度超过“两弹一星”、竞争异常激烈的产业，是一个对国家安全战略极其重要的高科技产业。为制造超大规模集成电路，需要包括芯片设计、制造、封装测试、设备、原材料等在内的成百上千种技术及相关产业综合协调，通过大力提高成品率，才能制造出具有高性价比和出口竞争力的芯片。从所有这些技术与产业构成的产业链整体来看，中国与美国等技术先进国家相比，估计芯片设计大约相差 5—10 年，芯片制造大约相差 15—20 年，芯片生产设备大约相差 10—30 年。这种差距之所以存在，归根到底在于中国依然是发展中国家，尚未完全实现工业化和现代化，而美国的核心技术优势是以长期工业化积累和深厚现代化生态作为后盾的，是与其西方同盟体系中的日本、荷兰等技术先进国的协助为条件的。还有，美国等发达国家在长期发展芯片技术过程中形成了保护知识产权的完整法律体系，不仅可用来保护自身知识产权，也可成为打击对手的手段，对后来者的发展形成壁垒。

① 《关于芯片之争，终于有人说出了本质》，<http://www.eeworld.com.cn/mp/EEWorld/a51998.aspx> [2018-09-24]。

② 朱贻伟 《中国集成电路产业发展艰难历程回顾》，http://www.eeworld.com.cn/manufacture/article_2018060826306_3.html [2018-09-24]。

中国半导体技术的发展经历了“风浪和危难远超想象”（胡启立语）^①的曲折历程，经过广大“半导体人”的数十年努力拼搏（包括与日美等国家以及台湾地区相关企业的合作^②），中国在半导体芯片设计、中低端 IC（比如电视机等家用电器遥控器使用的部分芯片）制造以及军用、航天用特殊芯片方面取得了很大进展，但在不可缺少、无法替代的高端通用芯片技术方面仍受制于人，整个芯片领域严重依赖进口，近十年的芯片进口额高达 1.8 万亿美元，远远超过原油进口额^③。而且，中国国内生产总值排名全球第二，每年消耗全球 30% 以上的芯片，但在 2017 年全球芯片制造商前 20 名中却没有一家中国公司。^④ 这种局面必须加以改变！

当前，以半导体芯片为代表的“核心技术”竞争成为大国科技竞争的制高点，科技竞争又成为大国战略博弈的制高点。对于美国来说，它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，以芯片技术为代表的“核心技术”的垄断地位，是美国全球霸权的基石，它一定会紧抓不放。对于中国来说，以芯片为代表的“核心技术”则是抓住并用好新一轮科技革命机遇的重要抓手，也一定要紧抓不放。众所周知，中国曾因为一再错失科技革命机遇而陷入落后挨打的悲惨局面，如今中国正努力追赶新一轮科技革命机遇并取得巨大成就。美国不愿意看到中国迅速发展，把中国定位为“战略竞争对手”，力图在核心技术上扼制中国，其战略目标就是干扰和阻挡中国抓住用好新一轮科技革命机遇的前进步伐，并妄图使中国再次沦为历史上那个错失科技革命机遇的国家。为此，我们一定“要像抓‘两弹一星’那样狠抓以

① 转引自《中国芯片的真实情况，这篇文章说透了》，http://tech.ifeng.com/a/20180925/45179288_0.shtml [2018-09-30]。

② 中国曾在 20 世纪 60—80 年代从日本东芝、富士通等公司引进 IC 技术，笔者在 1967—1968 年参加过从日本引进小规模 IC 生产线工作。当时引进采取“交钥匙工程”方式，日方负责设备安装、试车及初步操作运转后，将引进项目的“钥匙”交给中方单位，由中方开始运营。不过刚开始使用这套设备，一名工人用镊子夹住棉花球擦拭光刻机镜头时，不小心把镜头划伤，由于光刻机是全生产线的核心，镜头又是光刻机的核心，结果导致整条引进生产线报废。这是当年中国在引进工作中只注意引进硬件（设备和仪器）而不注重引进软件（技术和管理）导致引进未能发挥应有作用的一个典型例子。其后，中日在集成电路领域也开展过一些较大规模合作，例如 1994 年首钢与 NEC 成立“首钢日电”，1998 年上海华虹微电子公司与 NEC 成立“华虹 NEC”（中国大陆第一条 8 英寸代工生产线）合资公司，另外中国多年从日本进口集成电路及其制造设备和材料等。

③ 《中国十年进口美国等芯片金额高达 1.8 万亿》，<https://www.unjs.com/zuixinxiaoxi/roll/12553.html> [2018-09-24]。又及，2017 年中国芯片进口额为 2601 亿美元，出口仅 669 亿美元。

④ “Leading Semiconductor Companies from 2014 to 2016, by Sales Revenue (in billion U. S. dollars)”，<https://www.statista.com/statistics/283359/top-20-semiconductor-companies/> [2018-09-25]。

IC 为核心的电子信息产业”,^①既要分秒必争,努力奋斗,又要克服急于求成、盲目跟风、轻率投资的浮躁情绪,要“有所为有所不为”;既要立足国内,又要积极开展国际交流合作。另外,日本半导体产业学习强者并超越强者的奋斗精神、毅力及其经验值得重视,尤其是日本一次又一次地开拓应用半导体的、有巨大市场需求的大众消费品来推动半导体工业发展的经验(20 世纪 50 年代的晶体管收音机,70 年代的电子计算器到如今的自动驾驶汽车和物联网)。日本另辟蹊径、弯道超车、发展专用集成电路的做法表明,不宜认为只要不计成本“砸数十亿美元”就能把 CPU 等超大市场规模的高端通用芯片一下子搞上去,而要对芯片行业“山有多高,水有多深”具备洞若观火的预见能力,选准真正有能力承担“数十亿美元”投资的、具备综合技术知识经验和协调能力的技术团队,集中力量追赶发展高端通用芯片,同时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,锤炼“芯片+X”^②的综合能力和创新思维。

归根到底,我们应对美国的根本办法不是费力气跟它对抗,而是集中力量做好自己的事情,进一步推进改革,扩大开放,增进强项,补足短板。近年来,随着中美贸易战的爆发,美国越来越在科技上对中国进行打压,并企图拉拢其盟国构筑在科技上围堵中国的包围圈。面对这个形势,我们一方面要加强自主开发,一方面要争取和改善同欧洲、日本、韩国等科技先进国家的关系,打破美国对中国进行科技围堵的企图。具体到日本,我们应该客观地评估日本作为世界第三经济大国和第二科技大国的地位,伴随中日韩自贸协定和“区域全面经济伙伴关系协定”(RCEP)谈判的进展,进一步加强与日本的科技交流与合作,防止日本成为美国对中国进行科技围堵的一环,争取日本成为中国科技发展的重要合作伙伴,与此同时,对于日本偏离、背离和平发展道路的动向保持高度警惕。

① 马宾 《像老一辈无产阶级革命家抓“两弹一星”一样,下决心把电子信息产业抓上去》, http://www.globalview.cn/html/history/info_26022.html [2018-09-24]。

② X 指为了满足用户需求、解决社会问题的芯片具体应用,如工业机器人、服务机器人、人工智能、物联网、5G 智能手机、智能家居、可穿戴设备、虚拟现实、自动驾驶系统、智能汽车、智慧交通、智慧医疗、智能电视、智能音响、智能安防以及芯片的军事应用等。

The Development and Innovation of Japan's Semiconductor Industry: Some Inspiration Relating to the Development of China's Chip Technology

Feng Zhaokui

During the 1940s and 1950s, transistors and integrated circuits (IC) were invented in the United States. After that, Japan introduced the related technologies from the United States and developed electronic products such as transistor radios and IC calculator, which had promoted the development of Japan's semiconductor industry. As for the reasons for its fast development, Japan's Ministry of International Trade and Industry carried out effective policy guidance in supporting private enterprises for the introduction and digestion of American advanced technology, and implemented strict protection for the Japanese IC industry in the 1960s. Japanese semiconductor technologic experts, skilled workers and business operators worked together and had great cooperation in rapidly catching up with American advanced technology. On the industrial basis, Japan rapidly built up an entire industrial chain consisting of Japan's independent IC industry, IC manufacturing equipment industry and IC materials industry. In the twenty-first century, Japan has made effort in maintaining its industrial strength through accelerating the structural reform and cultivating new technological fields.

日本の半導体産業のキャッチアップとイノベーション
—併せて中国のチップ技術の発展加速について考える—

馮 昭奎

1940—1950年代に、トランジスタと集積回路（IC）が米国で誕生した。日本はこれらの技術を導入し、トランジスタラジオとIC電卓など個人用大衆製品を開発し、それらの巨大な販売量は、日本の半導体産業の急速な発展を促進した。日本の半導体産業が急速に発展した主な理由は、通産省が、民間企業による米国の先進的技術の導入と消化のために効果的な政策指導と支援を実施し、1960年代にまだ創設期にある日本のIC産業を手厚く保護したこと、団結心と職人気質に富んだ半導体技術者・熟練労働者・企業経営者が、米国の先進技術に追いつくために必要なさまざまな人材による「絶妙なチーム」を構成したこと、戦前・戦後の工業化を基礎として、IC産業・IC製造設備産業・IC材料産業からなる日本独自の産業チェーンが形成されたことである。21世紀に入り、日本は業界の流れに沿って産業の構造改革を推進し、新技術分野を開拓し、半導体産業発展の新たな優位性の育成に力を入れている。

（责任编辑：叶琳）