

2018 年全球半导体领域规划与 发展态势分析*

王立娜** 唐川 房俊民 张娟 田倩飞 徐婧

(中国科学院成都文献情报中心新一代信息技术战略研究中心,成都 610041)

摘要:作为数字社会的重要根基,半导体技术的竞争不仅仅是科技与产业的竞争,还直接影响着各国在政治、经济、国家安全等领域的话语权。本文回顾了 2018 年美国、欧盟、韩国等主要国家和地区在半导体领域的战略规划和项目部署特点,分析了主要研究机构和企业半导体技术研发动态。研究发现:各国纷纷投巨资、抢先实施重大研发计划;集成电路继续向着微型化、低成本、高性能的方向发展;开源成为芯片设计的新趋势。最后,对我国半导体技术的发展提出了建议。

关键词:半导体;战略规划;发展态势

中图分类号:G35 文献标识码:A doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2019.04.004

Analysis on the Development Strategies and Trends of Semiconductors in 2018*

WANG Lina** TANG Chuan FANG Junmin ZHANG Juan
TIAN Qianfei XU Jing

(Center for Strategic Study on New Generation Information Technology, Chengdu Library
and Information Center, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: Semiconductor technology is the important foundation of the digital society. It determines a country's competitiveness in the fields of politics, economy and national security. This paper reviewed the strategic plans and projects launched by the major countries and regions such as the United States, European Union, and South Korea in the semiconductor industry in 2018. The research progresses of semiconductor technology in major research institutions and enterprises were also analyzed. The results showed that those countries had invested heavily to implement the major semiconductor R&D plans, integrated circuits continued to develop toward miniaturization, low cost, and high performance, and open source had become a new trend in chip design. In addition, corresponding suggestions in China were discussed.

Key words: semiconductor; strategy; development trend

自从 1965 年戈登·摩尔提出摩尔定律,集成电路沿着可预测的演进轨迹经历了长达 50 年的漫长发展,芯片上晶体管的数量达到了空前水平,大规模集成电路的特征尺寸从微米级缩小到当前

的纳米级,单个晶体管的价格降低到六十年代的亿分之一^[1]。如今,以摩尔定律为代表的集成电路微型化道路即将触到物理学和经济学的极限,人工智能、物联网、超级计算及其相关应用却提出

* 四川省软科学研究计划(2018ZR0078),成都市科技项目(2017-RK00-00275-ZF)资助

** 通讯作者, E-mail: wangln@clas.ac.cn; Tel: 028-85235075

了更高的性能要求,半导体产业步入亟需转变突破发展的关键点。2018年美国发起的贸易战严重影响全球半导体产业发展,使得中国半导体产业的致命缺陷暴露无遗,美国、欧盟等领先者却没有满足于现有优势,反而不约而同投入巨资、实施重大研发计划,意图抢先控制未来话语权。本文对2018年主要国家半导体技术战略、政策和研发动态进行了研判分析,并提出了一些思考和建议。

1 主要国家和地区的战略规划与项目部署

半导体芯片被喻为国家的“工业粮食”、信息时代的“基石”,多年来一直是世界各国竞相角逐的一个战略制高点。为抢占经济、军事、安全、科研等领域的全方位优势,各国纷纷采取一系列重大举措加速半导体产业的创新节奏。例如,发布半导体发展战略、成立半导体行业协会、制定国际半导体技术路线图、推出国家半导体技术计划、设立集成电路专项等。这些举措将半导体发展提升到国家战略高度,部署了具体的半导体战略实施细则,阐明了半导体技术的具体发展路线,并成立了所需的组织协调机构。

2018年,美国、欧盟、日本、韩国等国家/地区积极部署重大研发计划,瞄准新材料、新体系结构、软硬件设计、新兴半导体制程等方向大举攻关,意图抢先占领未来半导体技术的制高点。

1.1 美国:大力投入推动下一次电子革命

美国一直致力于维护其半导体技术的变革性创新发展优势,持续部署系列重大战略举措,以超越传统器件微型化的局限,在不再持续缩小尺寸的情况下,实现电子器件性能的持续提升。

为解决摩尔定律延续面临的挑战,美国国防部高级研究计划局(DARPA)重金打造了一项具

有国家战略意义的计划,先于2017年6月宣布旨在开启下一次电子革命的“电子复兴计划”(ERI),计划未来五年投入15亿美元,围绕新材料、新体系结构、软硬件设计三大重点研究领域开展技术攻关;继而9月推出“三维单芯片系统”“新式计算基础需求”“特定领域片上系统”“软件定义硬件”“高端开源硬件”“电子设备智能设计”六大研究项目。在此基础上,DARPA又进一步明确了ERI初步实施方案^[2]和ERI第二阶段研究部署^[3],联合国防工业基地、学术界、国家实验室等机构重点解决三大关键问题:打造新型电子制造能力,探索传统互补金属氧化物半导体(CMOS)缩放的补充和替代方案;实现电子组件从设计到应用的可追溯性,开发能抵御安全风险的电子产品;加强ERI基础研究到技术应用间的联系,促进ERI的国防应用。其中,ERI第二阶段部署的首个项目“面向极端可扩展性的封装光子(PIPES)”将探索把光子学带入芯片的技术。此外,下一代氮化镓晶体管、超导电路设计工具、生物基半导体等技术也是美国政府关注的重点。

为适应半导体技术进入发展新阶段,协调政府实验室、学术界、产业界的相关工作,美国电气与电子工程师协会(IEEE)“复兴计算计划”资助了“国际器件与系统路线图(IRDS)”的编制工作。2018年4月发布的2017年版IRDS^[4]提出了未来半导体技术发展总设想,即通过“管芯三维堆叠、层间致密互联、异质异构集成、器件低功率化”等方案变相实现微缩化,借以延续芯片性能增长。随着CMOS的尺寸缩放逐渐接近物理极限,研究人员正在探索新信息处理和存储器件、多功能的异构集成新技术、系统架构的新范式,以延续集成电路的功能扩展节奏。这一目标主要通过延续摩尔定律(More Moore)、超越CMOS(Beyond CMOS)

两大方案来实现。其中,“More Moore”是指通过新技术的异构集成扩展 CMOS 平台的功能,“Beyond CMOS”则是指推动新计算范式的发明,相互间的关系如图 1 所示。

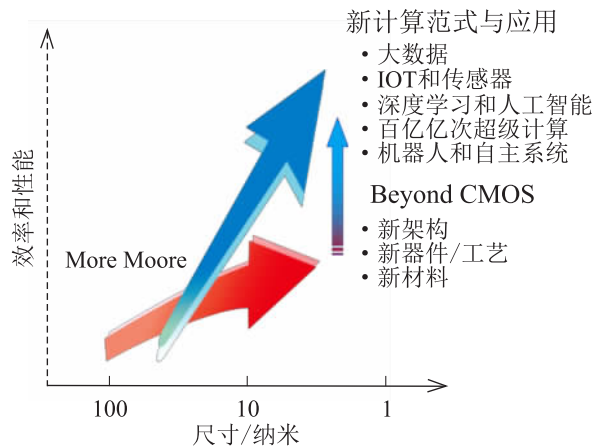


图 1 More Moore、Beyond CMOS、新计算范式与应用之间的关系^[4]

Fig. 1 The relationship of More Moore, Beyond Cmos, and novel computing paradigms and applications^[4]

1.2 欧盟:应用驱动和制造能力建设并举发展

欧盟主要通过巩固强项、聚焦车用电子和新能源等应用领域、推进半导体制造向上下游延伸等策略来维持后摩尔定律时代半导体产业的增值发展,重点关注应用驱动的半导体衍生性(derivatives)技术以及超越摩尔定律的解决方案。欧盟委员会于 2018 年 12 月通过了法、德、意、英四国共同提出的“微电子联合研究创新项目”^[5],并将在 2024 年前向该项目投资 17.5 亿欧元,预计会带动 60 亿欧元的私有投资,用于研发芯片、集成电路、传感器等创新性技术与元器件。该项目针对家电和自动驾驶汽车等消费类设备以及电池管理系统等新能源产业应用领域,重点研发高能效芯片、功率半导体、智能传感器、先进的光学设备、替代硅的复合材料五大技术领域。此外,欧委会还于 2018 年 3 月推出欧洲处理器计划(EPI)^[6],

以协同设计和开发一款低功耗微处理器,并将其纳入欧洲百亿亿次系统和百亿亿次系统。

1.3 韩国和日本:着力强化固有产业链优势

韩国和日本不断强化自身半导体产业的竞争力,通过重大研究计划完善半导体产业生态,力争确立其在全球半导体产业中的枢纽地位。

韩国工业部于 2018 年 7 月表示,将在未来 10 年内投资约合 91 亿元人民币开发新的半导体材料和器件^[7],重点开发存储器芯片、协调 IC 设计厂与晶圆厂的互利共生、吸引全球半导体材料和设备制造商在韩国建立生产中心。12 月,韩国政府又推出一项约 7334 亿元人民币的半导体制造群体计划,参与机构包括 4 家大型半导体制造商和约 50 家上下游零组件或设备生产厂商,存储器巨头 SK 海力士将获资兴建一座新工厂。

为实现社会 5.0 和可持续发展目标(SDGs)等,日本文部科学省于 2018 年 6 月发布《纳米技术和材料科学技术研发战略(草案)》^[8]。该战略指出纳米技术和材料科学技术领域可能会出现新的变化,推进实现社会 5.0 时代的高度网络基础系统所使用的半导体、微电子机械系统(MEMS)/纳电子机械系统(NEMS)、量子科学技术等尖端技术飞跃发展所需的材料革新。

1.4 我国:以举国之力发展集成电路

我国正在以举国之力发展集成电路,从国家到地方政府密集发布关于发展集成电路的相关政策。在 2018 年全国两会上,李克强总理指出要加快制造强国建设^[9],推动集成电路、第五代移动通信、飞机发动机、新能源汽车、新材料等产业发展。集成电路被列为“加快制造强国建设”五大产业之首,位列实体经济发展第一位。我国相关部委也积极推出了系列举措,推动集成电路技术的发展。例如,财政部联合税务总局、发改委、工

信部于2018年3月发布《关于集成电路生产企业有关企业所得税政策问题的通知》，提出一系列优惠政策；工信部于2018年4月发布《2018年工业通信业标准化工作要点》^[10]，指出深入推进军民通用标准试点工作，加强集成电路军民通用标准的推广应用。

1.5 中国台湾地区：积极打造智能终端领域的半导体技术

为强化半导体产业在人工智能终端领域的核心技术竞争力，中国台湾地区科技主管部门于2018年9月启动“半导体射月计划”^[11]，通过产学研合作开发应用于各类终端设备的人工智能芯片，创造台湾地区经济新价值。该计划聚焦前瞻感测元件、电路与系统，下世代存储技术，感知运算与人工智能芯片，物联网系统与安全，无人载员与AR/VR应用之元件、电路与系统，新兴半导体制程、材料与元件技术六大攻关领域，重点突破半导体3纳米制程等挑战2022年智能终端关键技术极限的前瞻技术。

2 技术研发动态

集成电路继续沿着不断提高性能、降低成本和功耗的终极目标发展。随着摩尔定律走向终结，集成电路设计、材料和集成、架构方面的创新研究成为新的突破方向，光子计算、量子计算、生物计算、超导计算等概念成为可供探索的半导体芯片继任者，其中硅光子技术展现出较大潜力，开源芯片成为芯片发展的新潮流。

2.1 集成电路微型化和架构升级仍是主流研究方向

在延续摩尔定律的道路上，诸多集成电路微型化和架构升级的研究成果频现。在不断缩小工艺制程方面，韩国三星于2018年4月首次使用极

紫外光刻技术完成了7 nm新工艺的研发^[12]；美国麻省理工学院和科罗拉多大学研究人员利用新型微加工技术将3D晶体管工艺缩小至2.5 nm^[13]，尺寸不到当今最小商用晶体管的一半，且效率更高。在新材料方面，德国卡尔斯鲁厄理工学院研究人员于2018年8月开发出世界最小单原子晶体管^[14]，可在室温下操作且能耗低；英特尔公司和加州大学伯克利分校的研究人员利用“自旋电子学”技术将当前常见的芯片元件尺寸缩小到五分之一^[15]，降低能耗超过90%，一旦商业成功，有望研发出“超级芯片”，为摩尔定律“续命”，以新材料取代现有晶体管。在架构升级方面，英特尔公司推出下一代CPU微架构—Sunny Cove^[16]，可提高芯片性能并降低功耗，加速人工智能和加密等专用计算任务的运算速度。

2.2 硅光子技术创新如火如荼

硅光子技术通过硅光集成实现用光代替电进行信息传输，有望颠覆传统集成电路产业的发展道路，已成为相关研究机构关注的焦点。2018年，硅光子技术创新层出不穷。美国麻省理工学院、加州大学伯克利分校和波士顿大学于2018年4月研制出光路和电路混合集成芯片新工艺^[17]，在单块芯片上利用现有制造工艺同时集成电子器件和光子器件，研制出可以实际工作的微处理器；7月，美国国家标准与技术研究院研制出能精准分发光信号的全新硅芯片^[18]；9月，美国联合量子研究所制造了一种硅芯片^[19]，可引导光线沿着设备的边缘传输，为量子光源研究开辟了一条新路径。英国国家物理实验室于2018年3月研制出一种全光二极管^[20]，有望为微纳光子学芯片提供廉价高效的光二极管。西班牙巴塞罗那光子科学研究所研究人员于2018年4月创造了利用石墨烯限制光的最新纪录^[21]，成功将光“压缩”在单

个原子大小的空间内,有助于研发超小型光开关、探测器和传感器。

2.3 开源芯片成为芯片发展的新潮流

开源芯片可突破欧美芯片垄断格局,显著降低芯片设计门槛、成本、周期。2018年,RISC-V和MIPS两大架构陆续宣布开源,有可能引发一场开源芯片设计革命。2018年堪称开源CPU架构RISC-V爆发的元年,西部数据、高通、英伟达等多家半导体厂家发布了产品或产品推出计划,谷歌、特斯拉、IBM、三星、高通等芯片巨头纷纷加入RISC-V基金会,中国RISC-V产业联盟也宣告成立。美国Wave Computing公司于2018年12月宣布完全开源MIPS架构^[22],MIPS开源社区将在2019年第一季度上线,届时会免费提供的MIPS IP和技术资源包括:32/64位指令集Releas 6版本、SIMD扩展、DSP扩展、MT多线程、MCU微控制器、VZ虚拟化、microMIPS架构。

3 启示与建议

美国市场研究公司IC Insights报告显示,我国是全球最大的半导体消费市场,内需规模相当于北美、欧洲、日本的半导体市场之和。但我国超过90%的芯片依赖进口,已超过石油成为第一大进口商品。受芯片关键技术的制约,近年我国接连遭遇美国对我国超级计算机芯片出口限制、对中兴通讯公司芯片限供制裁等被动局面。技术受制于人的情况直接阻滞了我国信息产业的发展,进口芯片可能暗藏“后门”也给国家安全留下了重大隐患。2018年全球半导体技术领域的若干战略动向与关键趋势可为我国带来如下启示:

1) 布局一系列关键性新研究领域,匹配集成电路产业创新发展新要求

当今世界驱动未来创新的关键因素在于智能

化和计算系统的互联化,这为全球半导体产业创新发展提出了新要求。因此,应继往开来、未雨绸缪,将集成电路技术研发与应用相结合,尤其是人工智能、增强智能、物联网、超级计算等未来关键创新领域,在推进现有集成电路技术继续升级的同时,积极布局一系列关键性新研究领域,抓住新一轮全球半导体产业发展机遇,积极抢占集成电路技术创新竞争高地。

2) 协同发展相互制约的技术方向,加速现有集成电路技术的升级进程

蓬勃发展的创新应用不断提高着半导体系统的复杂性和多样性,这对集成电路行业持续提高产品能效和性能、降低成本提出了巨大的挑战。为进一步加速现有集成电路技术的升级进程,应加强相互制约集成电路技术方向的协同发展,注重应用系统架构与算法的协同设计、软件和硬件的协同设计,研究与材料和架构发展相匹配的设计和测试能力,开发可支撑材料和器件研究的制造设备等。

3) 自主研发与兼并收购并举,提升关键核心芯片自主可控能力

摩尔定律的失效与中国半导体产业的崛起冲击了国外半导体市场的发展,国际芯片巨头纷纷采取行动封堵中国半导体产业的超越路线,通过一系列史无前例的大并购行动来降低成本、减少中国半导体产业通过并购增强自身实力的机会;通过从低门槛的消费电子市场向增速快、毛利高、门槛相对较高的工业电子等领域转移来拉大国产芯片与国际水平之间的差距。因此,在试错成本高、排错难度大的芯片制造产业中,大力支持自主研发的同时应积极通过对优质企业的并购更快地突破技术壁垒、增强技术实力,加快产业升级发展,提升关键核心芯片的自主可控能力。同时,还

应通过一系列的财税政策来激励国内企业将所需的国外芯片替换为本土芯片,以在庞大的本土市场需求推动下实现芯片制造企业的良性发展壮大。

参考文献

- [1] HUTCHESON G D. Moore's Law, Lithography, and How Optics Drive the Semiconductor Industry [C]. Proceedings Volume 10583, San Jose; Extreme Ultraviolet(EUV) Lithography IX 1058303, 2018:1-14.
- [2] EETimes. DARPA Unveils \$100M EDA Project [EB/OL]. 2018-06-27. https://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1333422.
- [3] Defense Advanced Research Projects Agency. DARPA Announces Next Phase of Electronics Resurgence Initiative [EB/OL]. 2018-11-01. <https://www.darpa.mil/news-events/2018-11-01a>.
- [4] Institute of Electrical and Electronics Engineers. International Roadmap for Devices and Systems (IRDS™) 2017 Edition [R]. Piscataway: IEEE, 2018.
- [5] European Commission. Commission Approves Plan by France, Germany, Italy and the UK to Give 1.75 Billion Public Support to Joint Research and Innovation Project in Microelectronics [EB/OL]. 2018-12-18. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-6862_en.htm.
- [6] European Commission. European Processor Initiative: Consortium to Develop Europe's Microprocessors for Future Supercomputers [EB/OL]. 2018-03-23. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-processor-initiative-consortium-develop-europes-microprocessors-future-su-percomputers>.
- [7] ZDNet. South Korea to Invest \$1.34b in Next-Gen Semiconductor Tech [EB/OL]. 2018-07-30. <https://www.zdnet.com/article/south-korea-to-invest-1-34b-in-next-gen-semiconductor-tech/>.
- [8] 文部科学省. ナノテクノロジー・材料科学技術研究開発戦略(素案) [EB/OL]. 2018-06-28. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2018/07/24/1407207_3.pdf. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. Research on Materials Science and Technology [EB/OL]. 2018-06-28. http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-8/shiryo/_icsFiles/afieldfile/2018/07/24/1407207_3.pdf.
- [9] 国际电子商情. 集成电路列入实体经济发展第一位 [EB/OL]. 2018-03-05. <https://www.esmchina.com/news/201803051537.html>. ESM. ICs is Ranked First Place in the Development of the Real Economy [EB/OL]. 2018-03-05. <https://www.esmchina.com/news/201803051537.html>.
- [10] 工业和信息化部. 工业和信息化部办公厅关于印发《2018年工业通信业标准化工作要点》的通知 [EB/OL]. 2018-04-02. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c6116327/content.html>. Ministry of Industry and Information Technology. Notice of the General Office of the Ministry of Industry and Information Technology on Releasing the Essentials of Standardization Work in the Industrial Communication Industry in 2018 [EB/OL]. 2018-04-02. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c6116327/content.html>.

- n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c6116327/content.html.
- [11] 半导体行业观察. 台湾启动半导体射月计划, 聚焦六大领域的攻关 [EB/OL]. 2018-09-28. <https://mp.weixin.qq.com/s/AtePWCPRYnB3vjjN-YlnoQ>. Icbank. Taiwan Launches Semiconductor Shooting Program to Focus on Six Major Areas [EB/OL]. 2018-09-28. <https://mp.weixin.qq.com/s/AtePWCPRYnB3vjjN-YlnoQ>.
- [12] Samsung. Samsung Tees Up the World's First Commercial EUV Chips [EB/OL]. 2018-04-04. <http://www.samsungsemiblog.com/foundry/samsung-tees-up-the-worlds-first-commercial-euv-chips/>.
- [13] Massachusetts Institute of Technology. Engineers Produce Smallest 3-D Transistor yet [EB/OL]. 2018-12-07. <https://news.mit.edu/2018/smallest-3-d-transistor-1207>.
- [14] XIE Fangqing, PEUKERT A, BENDER T, et al. Quasi-Solid-State Single-Atom Transistors [J]. *Advanced Materials*, 2018, 30:1801225.
- [15] MANIPATRUNI S, NIKONOV D E, LIN Chia-Ching, et al. Scalable Energy-Efficient Magnetoelectric Spin-Orbit Logic [J]. *Nature*, 2019, 565:35-42.
- [16] Forbes. Intel's New 10nm Sunny Cove Architecture Announced; Trouble for AMD Ryzen in 2019? [EB/OL]. 2018-12-12. <https://www.forbes.com/sites/antonyleather/2018/12/12/intels-new-10nm-sunny-cove-architecture-announced-trouble-for-amd-ryzen-in-2019/#7197277b7269>.
- [17] ATABAKI A H, MOAZENI S, PAVANELLO F, et al. Integrating Photonics with Silicon Nanoelectronics for the Next Generation of Systems on a Chip [J]. *Nature*, 2018, 556(7701):349-354.
- [18] CHILES J, BUCKLEY S M, NAM S W, et al. Design, Fabrication, and Metrology of 10×100 Multi-Planar Integrated Photonic Routing Manifolds for Neural Networks [J]. *APL Photonics*, 2018, 3:106101.
- [19] MITTAL S, GOLDSCHMIDT E A, HAFEZI M. A Topological Source of Quantum Light [J]. *Nature*, 2018, 561:502-506.
- [20] LEONARDO D B, JONATHAN M S, MICHAEL T M W, et al. Microresonator Isolators and Circulators Based on the Intrinsic Nonreciprocity of the Kerr Effect [J]. *Optica*, 2018, 5:279-282.
- [21] DAVID A I, SEBASTIEN N, EDUARDO J C D, et al. Probing the Ultimate Plasmon Confinement Limits with a Van Der Waals Heterostructure [J]. *Science*, 2018, 360:291-295.
- [22] 电子创新网. MIPS CPU 架构宣布开源, RISC-V 使命完成了? [EB/OL]. 2018-12-20. <http://www.eetrend.com/article/2018-12/100127399.html>. EETrend. MIPS CPU Architecture Announced Open Source, Has the RISC-V Mission been Completed? [EB/OL]. 2018-12-20. <http://www.eetrend.com/article/2018-12/100127399.html>.