

以前瞻性技术预见等战略分析工具支撑关键核心技术 的战略突破：集成电路领域案例

余江^{1,2}，管开轩^{1,2*}，张越^{1,2}，宋昱晓^{1,3,4}

(1 中国科学院科技战略咨询研究院，北京 100190；2 中国科学院大学公共政策与管理学院，北京 100049；
3 中国科学院大学中丹学院，北京 100049；4 中国-丹麦科研教育中心，北京 100049)

摘要：本文深入分析了国际半导体技术发展路线图（ITRS）在引领全球集成电路产业创新发展中的成功经验，旨在回答如何实现技术预见与产业战略发展和支撑政策制定过程深度融合，发挥技术预见等工具在不断修正对长期性、战略性领域未来发展趋势认识和支撑关键领域突破创新实践上的作用。在此基础上，对我国技术预见与前瞻性技术战略布局、政策制定的趋势发展提出三个思考：一是如何在国家产业技术创新政策决策过程提升战略与系统思维；二是有效整合技术预见与其他决策咨询工具支撑政策全过程；三是以技术预见为核心，构建政府产业技术创新决策咨询分布式网络体系。

关键字：前瞻性技术，技术预见，战略管理，集成电路

1. 引言

科技活动本质上是知识创造活动^[1]。随着科技发展方向的不确定性和复杂性日益增加，国家和地区发展均面临资源有限挑选条件下的关键技术预测、选择以及优化的问题。运用科学的、具有广泛共识的政策支撑方法识别、遴选和规划前瞻性技术的发展、规划知识创造活动的必要性和有效性已经达成国际共识。众多发达国家的发展经验证实：“技术预见”及“类预见”活动无疑是一种有

效的政策和战略管理工具，其对政策问题识别、政策方案产生与选择、征求意见与修订政策方案的科学支撑和资源优化配置的作用不可忽视^[1]。

关于技术预见在政策制定中的功能（function），Da Costa等^[2]认为基本包含六项：
① 为政策提供信息（informing policy），旨在为政策设计和思考提供知识基础；
② 促进政策实施（facilitating policy implementation），即技术预见通过建立对当前形势和未来挑战的共识及构

作者简介：余江，男，博士，教授，研究员，中国科学院科技战略咨询研究院、中国科学院大学公共政策与管理学院，博士生导师，研究方向为国家科技政策、新兴技术与产业化、产业创新管理与竞争战略。

管开轩，女，博士生，中国科学院科技战略咨询研究院、中国科学院大学公共政策与管理学院，研究方向为产业创新管理与竞争战略、AI赋能与数字经济。* 通讯作者。

张越，女，博士，助理研究员，中国科学院科技战略咨询研究院，研究方向为产业创新管理与竞争战略、产业生态系统。

宋昱晓，女，博士生，中国科学院大学中丹学院，研究方向为数字创新与产业创新管理。

基金项目：国家自然科学基金重点项目（项目编号：71834006）；教育部哲学社会科学重大课题攻关项目（项目编号：20JZD022）；中国科协创新战略研究院科研项目“集成电路产业技术预见的相关战略与政策研究”（项目编号：2019ys1-1-2-2）；中科院科技战略咨询研究院院长青年基金A类项目“中国集成电路产业政策的作用机制与效果研究”。

建利益相关者之间的新网络和新愿景, 提高特定政策领域内的变革能力; ③ 嵌入式参与政策制定 (embedding participation in policy-making), 即增加政策制定的流程和过程中社会成员或组织的参与程度, 从而提高透明度和合法性; ④ 支持政策界定 (supporting policy definition), 即联合负责具体政策领域的政策制定者, 将集体过程的结果转化为政策定义和实施的具体选择; ⑤ 重构政策体系 (reconfiguring the policy system), 使其更容易适应及应对长期挑战; ⑥ 信号作用 (symbolic function), 即向公众传递政策是基于合理信息制定的信号。在各国开展的技术预见或“类技术预见”活动中, 技术预见的组织形式因国家不同而不同。美国产业界多次开展了“类预见”活动。日本在政府的主持下形成一整套较为严格的技术调查体系, 截至2020年已经完成11次技术预见活动。除美日外, 韩国、英国、德国、法国、西班牙、丹麦、荷兰等国均陆续依据各自的技术发展情况开展了技术预见活动。

十九届五中全会指出: “当今世界正经历百年未有之大变局, 随着新一轮科技革命和产业变革深入发展, 国际力量对比深刻调整”, 同时指出“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位, 把科技自立自强作为国家发展的战略支撑”。这一重要论断将科技自立自强的重要性提升到历史的新高度。特别是在关键核心技术突破的战略机遇期和攻坚期, 如何通过技术预见等工具有效调控发展未来产业成为重要的课题。从技术预见本身的发展来看, 面向未来的技术分析从最初简单确定性环境下的技术预测, 正逐渐转向复杂不确定性环境下的技术预见^[3]。技术预见已经不仅仅面临在方法上如何提高效率和增强质量的问题, 如何实现技术预见、战略发展和支撑政策制定的深度融合, 进而提高创新单元的绩效; 发挥技术预见在识别及修正长期性、战略性领域的未来发展趋势及增强创新单元之间的耦合水平中的作用同样重要。

2. 以前瞻性技术预见等战略分析工具支撑集成电路关键领域突破实践

集成电路作为信息技术产业乃至整个高技术产业的核心, 对支撑经济社会发展和保障国家安全, 发挥着战略性、基础性和先导性作用。国际经贸摩擦爆发以来, 我国以集成电路为代表的核心关键技术严重受制于人的问题日益凸显, 卡脖子的缺“芯”之痛日益突出。特别是在科技自立自强导向支撑的新发展格局下, 集成电路的技术发展和创新在面向未来经济社会发展规划和战略中的作用愈加不可忽视。因此, 对于国际集成电路产业技术预见活动以及相关战略与政策的深入剖析, 不仅可以科学分析识别集成电路产业核心技术面向后摩尔时代发展的“变革临界点”和“突破切入点”, 同时, 还可以为技术预见融入创新政策制定过程提供思路和建议, 为我国产业技术前瞻性研究布局提供重要战略与决策支撑。

2.1 国内外集成电路发展历程与趋势

2.1.1 国际集成电路发展历程及趋势

集成电路是指在半导体晶圆表面上, 利用半导体工艺制作技术融合晶体二极管、三极管及电阻、电容等元件, 并通过连接和排布实现特定功能的微型电子器件或部件。1947年, 贝尔实验室William Shockley等人发明了晶体管, 成为微电子技术发展中第一个里程碑。随后, 1958年, 仙童公司Robert Noyce与德仪公司的Jack S Kilby间隔数月分别发明了集成电路, 这标志着世界从此进入到了集成电路的时代^[4]。基于硅的集成电路大规模商用得在上世纪60年代实现, 摩尔定律也随之产生。此后, 随着超大规模集成电路的诞生、个人PC电脑的成熟与普及、网络和移动通讯爆发, 集成电路行业延续了指数技术进步的历史模式^[5], 这种历史模式促进了半导体技术快速增长。即集成电路上可容纳的晶体管数量每隔18~24个月增加一倍, 性能提升一倍, 而价格保持不变的摩尔定律。但是集成电路工艺

进入7nm技术节点后，这种发展轨迹显然越来越难以适用，器件特征的物理极限可能摩尔定律逐步失效，半导体领域发展的重点转向降低芯片功耗、扩展芯片功能、寻找新材料等方面，在未来5~10年，集成电路产业将沿着扩展摩尔（more Moore）、超越摩尔（more than Moore）和超越CMOS（beyond CMOS，互补金属氧化物半导体）三个技术路线向前发展^[6]。

(1) 扩展摩尔。通过器件结构、沟道材料、集成工艺等方面的创新，微缩特征尺寸，继续提升集成电路密度，相关技术路线已经规划到近1nm技术节点。

(2) 超越摩尔。以价值优先和功能多样化为目标，不强调特征尺寸的缩小，而是通过功能扩展及多功能集成，发展新功能器件与系统集成，实现应用层面的系统性能提高。

(3) 超越CMOS。通过新材料、新结构、新原理器件的研发推动集成电路的发展，从物理工作机制与技术实现方式上突破传统硅基CMOS场效应晶体管技术限制。显然，扩展摩尔技术路线是实现更小、更快、更高性价比的逻辑与存储新器件的重要技术路径。

2.1.2 国内集成电路产业技术发展现状与趋势

当前，我国集成电路设计、封测领域基本上正在加速跨进全球第一梯队，而相对落后的集成电路制造技术也在稳步前进，一部分装备材料已经可以实现自给自足。在集成电路设计方面：智能移动手机SoC（系统级芯片）的设计水平基本上已达到国际的先进梯队，华为海思的海思5nm麒麟处理器验证情况良好，即将量产；制造工艺方面，14nm工艺已经达到规模量产水平；封装测试领域，先进封测规模所占比例有所提升，可达30%以上；装备材料方面，清洗设备、介质刻蚀机、CMP（化学机械研磨）研磨机、离子注入机、封测设备等均有所发展，实现一定技术和产业突破，8英寸硅片、光刻胶、铜电镀液、CMP研

磨液、金属靶材等部分关键材料得以商用销售，部分细分领域进入国际前列。

当前我国集成电路产业发展尤其是关键核心技术突破面临重要战略机遇期和攻坚期，主要体现在：① 亟须在集成电路大宗进口商品（处理器、存储器等）领域继续推进实现进口替代，实现电子信息产业安全发展。② 努力保障集成电路产业自身的供应链安全，实现关键设备、材料、设计工具等的相对可控，保证集成电路产业安全。③ 亟须提升CPU（中央处理器）、DSP（数字信号处理）、FPGA（现场可编辑逻辑门阵列）、关键网络设备等高端通用芯片的自主掌控能力，提升“党政军”核心业务系统、重要网络基础设施和信息系统的信息安全支撑能力。

2.2 国际集成电路前瞻性技术布局相关经验

2.2.1 国际器件与系统路线图（IRDS）及国际半导体技术发展路线图（ITRS）

技术路线图作为政府或决策者在针对未来技术发展前景进行规划和发布政策的工具，具备思路清晰、可操作性强等众多优点，在许多国家开展的重大技术预见活动中发挥重要作用。由美国半导体工业协会（Semiconductor Industry Association, SIA）联合日本、欧洲、韩国及中国台湾的半导体工业协会共同研究制定并公布的国际半导体技术发展路线图（International Technology Roadmap for Semiconductors, ITRS）及其前身——国际器件与系统路线图（International Roadmap for Devices and Systems, IRDS）对集成电路领域技术发展和产业规划产生巨大影响。该技术路线图旨在预测未来15年全球半导体行业技术趋势和走向，为产业组织包括研发机构和商业性企业的技术研发方向和选择提供参考价值^[7]，该技术路线图为我国集成电路技术态势规划提供了宝贵的经验。张晓沛等^[7]对IRDS/ITRS项目运行的突出特点进行了总结，在此基础上，本文整理更新如表1：

表1 IRDS/ITRS项目运行特点

特点	描述
一家主导, 多家参与	无论从技术还是市场来看, 美国都在全球半导体领域占据着领先的位置。美国半导体行业协会的技术路线图规划也得到了产业内其他主要国家和地区的响应, 形成了一家主导, 多家参与的格局。既保证了美国作为半导体技术先进国家的主导地位, 又能够广泛吸收其他国家和地区专家的前瞻性研究和观点。
跨区域, 跨链条横纵协同	据统计, IRDS/ITRS成员数量将近1300家。这些成员不仅实现了跨区域的信息融合, 也实现了跨产业链条的互通有无。从区域分布上看, 美国占比最高, 达55%。欧洲、日本、韩国和中国台湾地区的占比分别为10%、17%、5%和13%。从产业链条的分布来看, IRDS/ITRS成员即包括业内企业, 也包括大学、研究院所等知识生产组织以及包含投资者在内的其他组织机构。整体来看, IRDS/ITRS成员真正实现了跨区域、跨链条、多主体的交叉融合与广泛协同。
规划周期的技术合理性	IRDS/ITRS每偶数年修订, 每奇数年发布新版, 相当于每两年推出全新的规划版本, 以跟上技术发展节奏, 准确把握和指导本领域的发展。同时, 该报告只聚焦于未来15年的技术发展态势, 使得技术预测既能够保持快速迭代, 又能够保证规划周期的合理性, 也因此成为政府及行业内制造商和供应商共同遵守的“行业规划”。
基于科学的引领性	IRDS/ITRS作为技术路线图, 不仅在推进流程中保证了步骤的科学性、合理性。在对行业信息数据的处理和结果呈现上也保持了科学谨慎的态度和作风。不仅体现了行业技术的发展态势, 也包含许多基于宏观经济学、微观经济学和产业经济学分析的图表, 为企业决定未来的研发投资和生产安排提供决策参考。可以看出, 其引领性正是基于规律总结的科学方法和科学呈现。

表2 欧洲各国近年集成电路前站布局相关举措及代表项目

代表项目	相关举措
德国联邦经济部2017年发布《创新政策重点》	对不同技术方向持开放态度, 加强产学研合作, 完善质量保证基础设施。一是对不同技术方向持开放态度, 让企业自主决定技术领域投资方向; 二是需要资助有利于提升价值创造的未来技术。
德国联邦经济部2017年发布《创新政策重点》	IoSense项目将在英飞凌公司现有制造厂中建造三条工艺制造线, 并通过模块化思路将欧盟现有先进制造能力整合进相应环节, 形成欧盟范围内先进生产能力的网状连接。
欧盟“功率半导体制造4.0 (SemI40)”项目	SemI40项目的总预算为6200万欧元, 被欧盟视为欧盟工业4.0最大的研究项目之一, 专注于“智能制造”和“网络物理生产系统”两个领域, 旨在强化智能制造优势。其中半导体芯片制造商德国英飞凌牵头5个国家共计37个机构, 通过跨国合作实现半导体领域的技术进步与创新发展。
欧盟“Productive4.0”项目	获得1.6亿欧元经费补助, 由英飞凌牵头19个国家100多家合作伙伴和科研机构, 旨在强化欧洲在微电子领域的优势, 建立一个横跨价值链和产业的用户平台, 促进产业的数字化联网发展。
CEA-Leti和Fraunhofer Group联手研发合作	双方共同建立技术平台, 为欧洲的中小型企业、新创公司提供最新技术, 保证欧洲的微电子与半导体产业在持续在欧洲保持生产能力, 共同推动欧洲将微电子技术研发与半导体制造根留本土的愿景。

2.2.2 欧洲各国近年集成电路前瞻性相关举措及代表项目

近年，欧洲在促进集成电路发展更多的是通过设立“传感器”、“功率器件”等欧洲半导体优势领域的大型芯片研发项目¹来继续提高欧洲产业技术竞争力。例如，欧盟“功率半导体制造4.0 (SemI40)”项目、欧盟“Productive4.0”项目等，具体如表2。

整体来看，欧盟集成电路前瞻性布局发展的特点包括：（1）制定发展战略计划，大力促进研究、开发与应用；（2）政府选择并重点扶持有实力的企业，例如，德国政府选择有资金、技术和科研实力的西门子公司作为国家扶植的对象，在集成电路产业发展的关键时刻和关键技术上给予资金和政策方面的大力支持；（3）广泛开展与国际强者的合作，实现显性知识与隐性知识的高效流动；（4）在人才和财政政策上，高度重视集成电路产业的发展，保证欧盟国家的技术优势。

2.3 国内集成电路前瞻性技术布局相关政策及存在问题

2.3.1 国内集成电路前瞻性技术布局相关战略、政策分析

集成电路作为新一代信息技术产业的重要组成部分，是国家未来重点发展的战略新兴产业。国家围绕重点领域产业链，已经在产业布局、技术、资金、人才、税收等方面进行战略布局和出台相关政策，集成电路发展环境和政策体系得到进一步优化，特别是国家集成电路专项发展资金建立，使得我国集成电路产业步入加速成长的阶段。

2000年，国务院印发集成电路产业的核心政策文件《鼓励软件产业和集成电路产业发展若干

政策的通知》，通过政策引导，鼓励资金、人才等资源投向集成电路产业，力争到2010年使我国集成电路产业成为世界主要开发和生产基地之一。2006年，国务院印发实施《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》，确定了“核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品”（01专项）、“极大规模集成电路制造技术及成套工艺”（02专项）在内的16个重大专项²，集成电路产业受到高度重视。2014年，国务院印发《国家集成电路产业发展推进纲要》，加强组织协调、设立大基金和加大金融支持；着力发展集成电路设计业；推进集成电路产业与国际先进水平的差距逐步缩小，到2020年移动智能终端、网络通信、云计算、物联网、大数据等重点领域集成电路设计技术达到国际领先水平，产业生态体系初步形成。2020年8月，国务院印发《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展若干政策的通知》，提出进一步加强高校集成电路和软件专业建设，加快推进集成电路一级学科设置工作，鼓励地方按照国家有关规定表彰和奖励在集成电路和软件领域作出杰出贡献的高端人才以及高水平工程师和研发设计人员，完善股权激励机制。

整体来看，我国二十年的集成电路发展相关战略和政策的主要特征包括：（1）内容上，相关规划和政策主要包含产业发展规划、政策优惠、技术布局、资金扶持、人才培养等方面，但有些方面布局不均衡；（2）有关人才、资金和具体战略技术布局的落地政策相对比较少，缺乏围绕市场端的集成电路技术需求政策和落地规划；（3）从战略总体布局看，当前产业战略重点主要围绕“摩尔定律”的技术演进展开，产业战略重点单一，主要发展制造工艺技术；2010年开始，产业结构规划的政策布局开始全面化，产业链逐渐全

¹ 重点发展半导体优势领域。

² 为了实现国家目标，通过核心技术突破和资源集成，在一定时限内完成的重大战略产品、关键共性技术和重大工程。

面发展, 但是全产业链联通和互动比较脆弱。

2.3.2 国内集成电路前瞻性技术布局问题识别

当前, 中国集成电路产业技术发展正面临着外部环境动荡、关键核心技术受制于人、专业人才供给不足等多方面挑战, 这可能会给国家信息安全、产业安全和提升国家竞争力等方面带来诸多挑战。

外部竞争环境更加严峻。当前集成电路产业链和价值链已深度全球化, 世界经济的不稳定和外部宏观环境的不确定, 将使我国集成电路技术发展中战略规划、人才引进和供应链安全等领域面临诸多挑战。尤其是国际政治经济形势的错综复杂, 使我国面临的外部产业竞争环境更加严峻。

部分关键核心技术领域受制于人。从中国集成电路产业技术整体水平分环节来看, 14纳米工艺制程芯片已经量产, 但与英特尔、三星的领先量产工艺水平比还有差距。特别是以光刻机为代表的核心设备研发与国外差距较大; 一些工业级材料空白, 与国外先进水平相差仍然较大亟须突破。

专业化人才供给不足。根据《中国集成电路产业人才白皮书(2019-2020年版)》相关数据, 截至2019年, 我国集成电路产业从业人员规模约为50.2万人, 同比增长11%。预计到2022年前后, 我国仍然存在25万专业技术人才的缺口。

2.3.3 我国集成电路人才体系的“痛点”思考

人才是当前我国集成电路发展和创新活动的核心战略性资源。“当前和今后一段时期的战略机遇期和攻坚期”不仅要关注集成电路技术发展, 更要关注集成电路人才资源供给。

新形势下我国集成电路行业仍处于人才需求旺盛期, 人才缺口短期难以解决。新形势下

我国集成电路行业仍处于人才需求旺盛期, 人才缺口短期难以解决, 主要体现在: (1) 人才培养基数不足。2015-2018年, 27所示范性微电子学院的招生人数稳中有升。自2018年起, 为了加快培养集成电路产业急需的工程性人才, 教育部下达了微电子专项培养计划, 硕士增加1242名, 博士增加262名¹。无论是本科生扩招还是硕士、博士扩招数量与人才缺口相比都远远不足。加上半导体行业知识架构涉及大量缄默知识, 毕业生还需要经过2-3年专业技能训练才能实现真正的“上岗”^[8]。(2) 现有培养体系并未契合产业发展速度, 加剧人才供需结构矛盾。作为人才培养主要渠道的高等院校, 近年来对于半导体行业人才的培养在目标、方法、模式上出现了与行业或产业发展需求之间的不相配、不契合的结构性矛盾, 在人才数量和质量均未实现充分有效供给。一方面, 国内缺乏有经验的行业专业人才, 尤其是掌握核心技术的领军型创新人才。另一方面, 随着产业升级和人才缺口的持续, 面向产业实际需求的基础复合型人才的培育也同样困难重重。(3) 存在人才流失问题。根据《中国集成电路产业人才白皮书(2018-2019年版)》数据, 2018年, 只有19%的集成电路相关专业毕业生进入集成电路行业从业, 高校人才培养向集成电路产业的输送机制和融合格局尚未真正形成。(4) 存在人才结构问题。领军型、复合型创新人才紧缺, 产业难以实现跨越式发展。现有集成电路人才体系存在结构性问题, 产业难以实现跨越式发展。国内缺乏有经验的行业专业人才, 尤其是掌握核心技术的能够实现产业“从0到1”跨越式发展的国际领军型、复合型创新人才。

新基建带来新机遇, 我国集成电路产业将迎来高速发展期。在国家推动新型基础设施建设的大背景下, 面向高质量发展需要, 提供数字

¹ 数据来源: 各示范性微电子学院官网统计所得。

转型、智能升级、融合创新等服务的基础设施体系。在产业发展的带动下，必然会促进集成电路设计、制造、封测，以及更上游的材料装备产业快速的发展，同时对集成电路产业全链条人才在人才和质量上提出更高的要求，集成电路人才需求将进一步扩增，人才缺口也将进一步扩大。

3. 集成电路前沿布局相关战略和政策建议

从技术供给端逐步到未来的重大需求场景进行战略规划。探索面向芯片自主创新发展的国家重大战略需求，促进我国芯片基础研发水平的逐步提升，推动增强原始创新实力。近期前沿技术追赶和商用化为主，在设计、封测等技术领域全面突破，中期需要在制造、设备和材料构建领域取得明显创新突破；2035年前后，需要聚焦芯片研发的基础科学问题为核心，重点发展全新器件和全新架构，突破芯片算力瓶颈；面向未来芯片算力问题，聚焦芯片领域发展的前沿难点，通过信息、数理、材料、工程等多学科的交叉融合，在新机理、新材料、新方法以及非冯·诺依曼计算新架构等方面争取在信息处理的能耗边界等方面取得新的突破，同时发展重大变革型的基础器件、集成方法和计算架构，提升我国在芯片领域的自主创新能力和国际产业地位。

高度重视并动态调整集成电路技术预见相关战略规划。以国家新一轮中长期科技规划为契机，选取集成电路若干关键领域为试点，持续进行战略规划研究，要重视技术预见过程而不是形成规划文本的结果；在技术预见过程中锻炼形成有国际视野的一流科技战略研究队伍。通过长期关注积累，建立完善行业产业数据库，提升凝练重大关键科技问题的水平，规划发布后还要根据规划实施效果和科技发展态势，及时动态调整和完善规划内容，确保科技始终沿着正确的方向前进。

加强应用基础研究，鼓励原始创新，突出颠

覆性技术创新。增加在新材料、新结构、新原理器件关键技术和基础问题上的研发投入^[9]，为我国发展具有自主可控的集成电路产业提供新途径。加强集成电路关键共性技术研发工作，聚焦围栅纳米线等新器件、极紫外光刻等新工艺研发，打通1nm节点前后集成电路关键工艺，为高端芯片在国内制造企业的成功生产提供重要支撑。

注重人才培育和智力引进，整合打造跨学科大纵深的顶尖研究人才高地。积极推进微电子学科教育建设。针对集成电路制造技术多学科高度融合这一特点，整合政府、高校、科研院所、龙头企业及配套产业链多方力量推动创新创业发展，增添产业活力，有效组织跨领域、融合型的研究团队进行联合攻关。在更大范围、更广领域、更高层次上吸引全球高端科技人才^[10]，锻造一支充满活力的青年科技人才队伍，有效发挥多领域融合的建制化优势，组织跨学科、大纵深、多团队的协同研发。

集中资源，重点突破，培育和扶持具有特色和竞争力强的领军企业。聚焦国际主流产业技术，以龙头企业为牵引，完善集成电路产业链条，扶持与引进国内集成电路配套产业链，加强产业补链和延链。政府通过遴选目前国内集成电路行业的龙头企业，重点扶持和培养一批集成电路龙头产业，以龙头产业为牵引，带动产业链条能力发展的上下游中小企业，以点带线，以线带面，通过产业链上下游企业的技术迭代和升级，实现产业整体的由弱转强。

构建针对预见技术的关键核心技术攻坚体制与生态。从国家层面对集成电路制造技术体系和产业生态^[11]建设进行系统、科学的规划和布局，遵循“一代设备，一代工艺，一代产品”发展规律，加大集成电路关键材料、核心装备、关键工艺和器件工程化的支持力度，构建针对技术预见方向的关键核心技术攻坚体制与生态，重构有利于“关键核心技术突破”的组织模式和治理机制，形成攻克关键核心技术的强大合力。

4. 关于技术预见与前瞻性技术布局战略、政策制定的思考

“技术预见”等战略分析工具已在支撑国内外政策决策过程中起到了重要的作用。科技自立自强导向支撑的新发展格局下, 针对我国技术预见与前瞻性技术突破战略和政策制定的趋势, 思考如下:

一是国家产业技术创新政策决策过程要提升战略与系统思维。加强技术预见和技术路线图等工具在产业创新政策制定的环形循环中的引导作用和影响。技术预见等导向性工具的应用, 不仅提高了国家产业技术创新政策的制定效率, 同时提升了不同创新主体基于同一技术愿景下的运作协调性并有助于达成共识。

二是有效整合技术预见与其他决策咨询工具支撑政策全过程。技术预见并非唯一具有政策支撑作用的技术工具, 在政策制定的过程中, 应充分考虑其他政策决策工具的有效性^[12], 实现技术预见与其他决策咨询工具的有效整合和互相促进, 例如, 技术影响评估、政策评价等工具, 构建政策的制定、颁布和实施的全链条科学透明机制, 实现政策全过程的支撑。

三是以技术预见为核心, 构建政府产业技术创新决策咨询分布式网络。随着物联网、5G、云计算、大数据和人工智能等变革性技术的发展与突破, 我国科技在一些领域即将进入科技发展的“无人区”, 技术预见在政策制定和技术引领中的作用不可忽视。同时, 应当充分重视技术预见支撑政府决策的时效性, 建设以技术预见为核心, 各类工具融合发展, 多种机构错位合作的政府产业技术创新决策咨询分布式网络。

责任编辑: 贺茂斌 校对: 李琦 胡林元

参考文献

[1] 万劲波. 技术预见: 科学技术战略规划和科技政策的制定[J]. 中国软科学, 2002(05):63-67.

[2] Da Costa O, Warnke P, Cagnin C, et al. The impact of foresight on policy-making: insights from the FORLEARN mutual learning process[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2008, 20(3):369-387.

[3] 任中保. 创新政策制订过程融合技术预见方法的思路[J]. 科学学研究, 2008(5):994-999.

[4] B A paturzo, 娄承肇. 集成电路发展史[J]. 世界科学, 1982(7):3-5.

[5] 中国科学院创新发展研究中心, 中国信息领域技术预见研究组. 中国信息领域2030技术预见[M]. 科学出版社. 2020.

[6] 孙玲, 黎明, 吴华强, 等. 后摩尔时代的微电子研究前沿与发展趋势[J]. 中国科学基金, 2020, 34(5):652-659.

[7] 张晓沛, 余和军, 李少帅. 国际器件与系统路线图对我国科技规划的启示[J]. 世界科技研究与发展, 2018, 040(004):422-427.

[8] 苗洪丽. 我国集成电路人才的特点及建立档案的思考[J]. 黄山学院学报, 2020, 22(1):106-109.

[9] 余江, 陈凤, 张越, 等. 铸造强国重器: 关键核心技术突破的规律探索与体系构建. 中国科学院院刊, 2019, 34(03):339-343.

[10] 余江, 刘佳丽, 甘泉, 等. 以跨学科大纵深研究策源重大原始创新: 新一代集成电路光刻系统突破的启示[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(01):112-117.

[11] 吴陆生, 张素娟, 王海兰, 等. 科技创新生态系统论视角研究. 科技管理研究, 2007(03):30-32.

[12] 常静. 技术预见与创新政策过程的融合思路——基于SPI视角[J]. 创新科技, 2012(12):16-18.

Take the frontier technology foresight and other strategic tools to support the strategic breakthrough of the key technology: a case from integrated circuit industry

Yu Jiang^{1,2}, Guan Kai-xuan^{1,2}, Zhang Yue^{1,2}, Song Yu-xiao^{1,3,4}

(1. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2. School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Sino-Danish College, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Sino-Danish Research and Education Center, Beijing 100049, China)

Abstract: Taking the successful experience of IRTS in leading the innovation and development of the global integrated circuit industry as an example, this paper analyzes the breakthrough practice of strategic tools such as frontier technology foresight in key areas, aiming to answer how to realize the deep integration of technology foresight, industrial strategic development and policy-making supporting process, play the role of dynamic adjustment mechanism of technology foresight in constantly revising the understanding of the future development trend of long-term and strategic fields. It also puts forward three thoughts on the development trend of China's technology foresight and cutting-edge technology layout strategy and policy-making: first, the national industrial technology innovation policy decision-making process should enhance strategic and systematic thinking; second, we should effectively integrate technology foresight and other decision-making consulting tools to support the whole policy process; third, taking technology foresight as the core, we should construct the distribution of government industrial technology innovation decision-making consultation network.

Key words: frontier technology; technology foresight; strategic management; integrated circuit

2020年9月18日，由中国科学技术发展战略研究院、中国科学院科技战略咨询研究院、上海市科学学研究所和中国科学学与科技政策研究会技术预见专委会主办，甘肃省科学技术情报研究所和甘肃省科技评价监测重点实验室承办的“第十五届全国技术预见学术研讨会”在甘肃省张掖市召开。我院赵立新副院长、梁帅博士进行了《中国科协开展技术预见的实践与思考》的专题汇报。

