

引用格式:李先军,龙雪洋.新形势下中国集成电路产业链韧性与安全:演进态势、主要风险与对策建议[J].技术经济,2024,43(7):18-27.

LI Xianjun, LONG Xueyang. The Resilience and Security of China's IC Industry Chain under the New Situation: Evolution Trend, Main Risks and Countermeasures[J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(7): 18-27.

新形势下中国集成电路产业链韧性与安全： 演进态势、主要风险与对策建议

李先军¹, 龙雪洋²

(1. 中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100006; 2. 中国移动国际有限公司, 北京 100140)

摘要:提升中国集成电路产业链韧性和安全,是保障数字智能时代我国经济安全 and 国家安全的基础。在总结全球集成电路产业链发展新态势的基础上发现,美国以安全之名对全球集成电路产业实施“长臂管辖”并强化本国制造能力,全球集成电路产业进入前所未有的动荡期,加之美国对华“脱钩”和联合盟友孤立中国,中国集成电路产业面临严峻的断链和断供风险,集成电路产业的周期性波动进一步加剧了竞争风险。但是,着眼于科技自立自强和前沿技术突破,中国集成电路产业链上的技术和产品加速突破,有效地缓解了外部力量的影响,产业链的韧性和安全得到有效缓解。未来,在美国进一步强化“脱钩”威胁、全行业在人工智能牵引下加快复苏、国内技术实力和设备材料限制下,提升中国集成电路产业链韧性和安全需要发挥国家的主动行为能力强化政策供给,大力推动先进制程突破和成熟制程产能扩张,以长期的战略部署引领产业创新发展,加速“划时代产品”培育以及产业生态的建设,保障极端条件下的安全运行,驱动产业的高水平安全 and 高质量发展,构建数字智能时代的国家竞争优势。

关键词:集成电路产业; 产业链; 韧性; 安全

中图分类号: F43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2024)07-0018-10

DOI:10.12404/j.issn.1002-980X.J24010602

一、引言

作为数字经济的根基,集成电路的产业链韧性和安全对于经济安全 and 国家安全至关重要。在智能技术革命和数字产业变革加速的现实背景下,各国竞相强化自身对集成电路产业链的控制力,全球集成电路产业竞争持续加剧并引发新的风险。为此,关注新形势下全球集成电路产业链韧性和安全的新态势,分析影响我国集成电路产业链安全的主要风险和因素,并提出有针对性的建议,以为进一步提升中国集成电路产业链韧性和安全提供参照。

二、全球集成电路产业链韧性与安全的新态势

延续近年来对华的打压政策,近期美国进一步强化对华集成电路产业的打击,尤其是强化盟友合作机制形成对中国集成电路的“全面围剿”,各国也强化了对产业发展的国家干预,产业的国际分割更为突出^[1]。以 ChatGPT, Sora 为代表的人工智能应用场景涌现 and 商业化加速,引发了对智能芯片需求的爆发式增长,进一步加剧了产业的全球竞争。然而,由于集成电路产业的周期性特征,行业的超周期投资和库存抬升强化了行业竞争,也导致集成电路产业在近期面临较为严峻的“过剩”压力,产业的韧性和安全在牺牲全球分工效率的前提下得以提升。其中,美欧日强化其本土制造能力企图构建本土完善的产业链体系,韩国强化其产业链的前端配套

收稿日期: 2024-01-06

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“智能制造关键核心技术国产替代战略与政策研究”(21&ZD132); 中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心 2024 年度重点项目“新发展格局下统筹内生创新和应对外部冲击的政策框架:理论和经验”(2024XYZD02); 中国社会科学院登峰战略企业管理优势学科建设项目 (DF2023YS25)

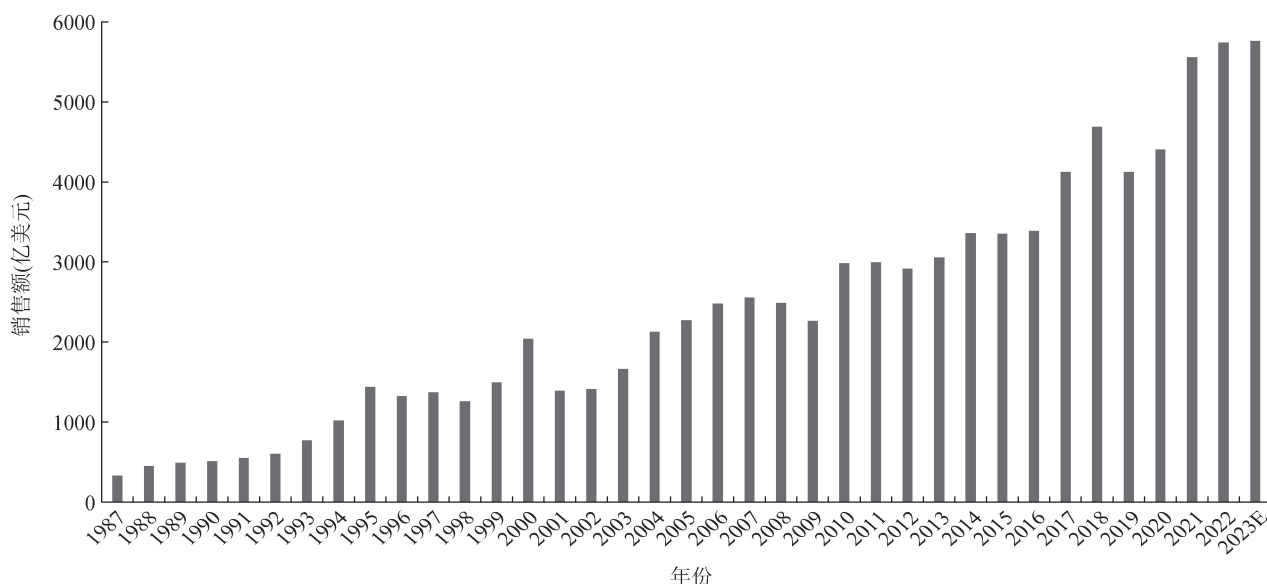
作者简介: 李先军,博士,中国社会科学院工业经济研究所副研究员,研究方向:中小企业创新与经济发展,经济体制改革,关键核心技术创新的组织与政策研究等;龙雪洋,硕士,中国移动国际有限公司商务助理,研究方向:企业创新和产业竞争。

能力提升其国内产业链安全,中国在被动压力下不断推动产业“卡脖子”问题的有效突破。

(一)“逆全球化”加速,美联合盟友“去中国化”加速全球产业链“异化”

自 20 世纪 50 年代末集成电路被发明以来,全球化大分工推动了集成电路的产业效率提升和技术进步,也逐步形成了当前美国、日本、欧洲、韩国、中国等分居价值链不同位势的全球分工和合作的格局。然而,进入数字经济时代以来,美国为保持和强化其领先优势,在保证其对集成电路产业关键领域、环节和技术控制力的同时,企图将后发进入者排除在集成电路全球大分工体系之外,尤其是强化对中国的全面遏制,形成美国主导下联合其盟友的“逆全球化”新浪潮。从 2018 年制裁中兴和 2019 年打压华为以来,美国不断强化对中国集成电路产业的全面打击,目前基本完成对中国集成电路产业的全方位围堵。美国的具体做法主要有如下几方面:一是着眼于未来的现时打击,尤其是对先进制程、大算力芯片(含人工智能芯片、超算芯片、服务器芯片等)、前沿知识的“排华”战略,实现对中国集成电路产业未来发展的全面扼杀。从限制先进制程设备,到高端图形处理器(GPU)禁止出口,再到新修订的《出口管制条例》等,完成了对美国产品、美国技术和“美国人”与华交流和合作的限制,美正全力阻断集成电路领域对华合作的技术、产品、信息和人才流动,也间接地导致中国人工智能、量子计算、大数据、超算、智能驾驶等领域发展受限。二是立足于全场域的精准打击,形成对中国集成电路产业链的多处“卡脖子”。从对中兴、华为的精准打击开始,到实施实体清单,再到出台《芯片与竞争法案》和修改《出口管理条例》,以及实施各类“实体清单”,美国已经形成对中国集成电路产业从设计、制造、封测到设备、软件形成全场域的精准打击,并已联合日本对高端设备和材料出口实施管控,并要求阿斯麦等高端设备制造企业进一步收缩对华出口,甚至要求终止已销售设备的后续运维服务。这些措施是完全违背集成电路产业半个多世纪以来全球大分工的技术经济规律^[2-3],不仅极大程度上限制了集成电路及相关产业的发展,也损害了全球大分工对产业带来的效率提升和技术进步。

在美国“逆全球化”系列政策下,全球集成电路产业自 2022 年下半年以来显著萎缩。根据世界半导体贸易统计组织(WSTS)2023 年 11 月的预测,2023 年全球半导体市场萎缩 9.4%,预计市场规模降至 5201.26 亿美元,尽管在 2024 年出现强劲增长 13.1%至 5883.64 亿美元,但也仅仅略高于 2022 年 5740.84 亿美元的水平(图 1)^[4]。另据 Gartner 在 2023 年 12 月的预测,由于 GPU 等人工智能芯片的强劲需求,全球半导体收入预计在 2023 年下降 10.9%;2024 年增长 17%,总额达到 6240 亿美元,其中内存芯片收入将增长 66.3%^[5]。由于美国推动的“去中国化”以及美国企业在人工智能领域的技术优势,集成电路产业的结构性问题更加突出,集成电路产业链的整体韧性并未得到显著改善。



资料来源:世界半导体贸易统计组织(WSTS)

图 1 1987—2023 年全球半导体产业销售额

(二) 各国发挥自身优势强化国家干预,产业链割裂更为突出

在美国强化对集成电路产业国家干预、破坏全球大分工的“割裂”政策影响下,各国为争夺在数字时代的技术主导权,都出台政策强化对集成电路产业的有效控制,主要通过打压中国、加速产业链本地化和友岸化等方式,并通过政府直接补贴方式强化对产业的直接支持。具体来看,美国通过出台《2022年美国竞争法案》吸引台积电、三星、英特尔等在美增设先进制造基地,要求盟友合作以强化对中国的极限打压,近期美国商务部长吉娜·雷蒙多更是提出要推出“芯片法案2.0”以强化对美国芯片企业的补贴。欧洲同样出台《欧洲芯片法案》,并利用其在汽车芯片领域的领先优势强化本国芯片供应。日本也出台相关刺激措施,吸引台积电等晶圆厂到日本投资强化其制造领域优势。2021年11月台积电与索尼半导体解决方案公司宣布在熊本县合资设立日本先进半导体制造公司(JASM),并于2024年2月开业,提供6纳米和7纳米等先进制程芯片制造,其中日本政府已为熊本工厂建设提供多达4760亿日元(约227.57亿元)的补贴。韩国在首尔地区建立“K半导体带”,通过税收激励、基础设施支持和对研发的投资等多种措施,并凭借其在存储半导体领域的优势扩展到系统半导体,寄希望于打造最为领先的集成电路制造基地。

2023年以来,美国进一步强化对中国集成电路产业的制造,尤其是进一步以多种“莫须有”缘由强化对中国企业的精准打击,并通过强化其与亚太盟友之间对中国的“合谋打击”。2023年3月3日、3月28日和6月12日,美国商务部产业安全局分别将28家、5家和31家中国实体企业列入“实体清单”;2023年6月10日,美国国土安全部(DHS)增加了对华2个实体和其8个分支机构的实体清单。2023年4月26日,美韩签署包括《关于建立韩美下一代核心—新兴技术对话的联合声明》在内的6份文件,韩国成为美国打击中国集成电路产业的新力量,且韩国通过部署“K产业带”集群加速其全产业链的国产化。2023年5月23日,日本经济产业省发布《外汇法法令修正案》,将先进芯片制造设备等23个品类纳入出口管制。此外,在美国“去中国化”推动下,大量集成电路产业向东南亚和南亚转移。2023年6月22日,美印达成一系列半导体合作协议,以利用印度的补贴将先进技术制造引入印度,目前美光、泛林、应用材料均表示将在印度加大半导体领域的相关投资。美光、博世、西部数据、泛林集团等在马来西亚槟城加大投资,例如,博世宣布投资6500万欧元在槟城建设测试中心,英飞凌宣布在原来20亿欧元的基础上再投资50亿欧元在居林建造迄今为止最大的8英寸碳化硅功率半导体工厂,英特尔正在马来西亚槟城建设其最大的先进3D芯片封装基地。根据国际半导体产业协会(SEMI)的数据显示,越南2022—2027年半导体产业复合年增长率为6.12%,尤其是在封测领域表现亮眼。三星已于2023年中在越南量产芯片,英特尔正在扩大其组装、测试和包装(ATP)工厂,安靠投资16亿美元在河内建设封测厂,新思科技正在将电子设计自动化软件(EDA)设计活动从中国转移到越南。新加坡更是利用其资本和技术优势,强化其从设计到制造、封装的全产业链,美光、台积电、美满科技、环球晶圆、联华电子、世创电子等主要芯片跨国公司都在新加坡有所布局,应用材料公司已在新加坡投资6亿新元(4.5亿美元)新建工厂,环球晶圆投资40亿美元扩建新加坡制造工厂。

在各国加强集成电路全产业链配置和“圈子化”发展的背景下,集成电路产业的全球大分工遭遇严峻挑战,各国产业的自主发展能力显著提升,但效率却未能延续摩尔定律按照预期方向的进化,全球产业韧性和安全有所改善,但产业的效率改善却落后于产业的技术进步预期。

(三) 行业的超周期投资和库存抬升加剧了行业竞争,产业竞争白热化

受经济周期和技术周期的影响,全球集成电路产业的市场需求表现出周期性波动特征,但产业的国家竞争推动全球集成电路产业居于超高投资水平。根据国际半导体产业协会(SEMI)2022年12月12日的数据,2019—2022年全球兴建晶圆厂分别达到17家、17家、23家、33家,预计2023年依然有28家晶圆厂开工建设。从区域分布来看,2021—2023年北美地区将新建晶圆厂18家,中国将新建20家,欧洲和中东地区有17家,中国台湾地区新建14家,日本和东南亚地区6家,韩国4家。2021—2023年开始建设的84个芯片制造设施上预计投资超过5000亿美元^[6]。从近期来看,受个人电脑、手机等传统数字产品需求放缓,2023年全球集成电路产业总体需求收缩,而人工智能产业的兴起以及各国的政府干预,集成电路产业的供给能力和产能进一步提升,极大地缓解了产业的供应紧张局面。但近年来,受美国影响,集成电路产业“去中趋美”转移将成为常态,尤其是制造环节从中韩向美欧转移已成为美国保证其产业安全的重要举措,美欧将成为

与中韩并列的集成电路制造中心。台积电、英特尔、三星新建产能也大量集聚在美欧地区,2022—2023 年,台积电共开工建设 10 家新厂,包括 5 家位于中国台湾地区的晶圆厂和 2 家先进封装厂、3 家海外晶圆厂(美国、德国和日本);英特尔在欧洲新建和扩产 3 家晶圆厂,在美国新建和扩产 4 家晶圆厂,在以色列新建 1 家晶圆厂;三星也预计在韩国国内新建 5 个晶圆厂;中芯国际新建 4 座晶圆厂,产能规模达 34 万片。大厂新建产能将进一步加剧行业过剩局面,未来行业竞争和区域竞争更激烈。另据 2024 年 1 月 2 日国际半导体产业协会(SEMI)发布的《世界晶圆厂预测报告》显示,2023 年全球半导体晶圆产能增长 5.5%至 2960 万片/月,预计 2024 年将进一步增长 6.4%并首次突破每月 3000 万片(以 8 英寸当量计算),预计到 2024 年将有 18 家新晶圆厂投产。

尽管美欧强化其本土制造能力,并借此提高了其在集成电源产业的控制力。但是,由于集成电路超过半个世纪以来形成的全球化分工格局,在产业进入下行期但各国加大产业投资,市场需求未能明显增长的背景下,集成电路产业的全球竞争将更为激烈,尤其是过剩引发的价格下跌,将会导致产业的部分企业面临生存危机,产业的健康发展面临严峻挑战。从行业龙头企业情况来看,英特尔 2023 年营业收入为 542 亿美元,同比下降 14%;净利润为 44 亿美元,同比下降 36%。台积电 2023 年营业收入为 693.92 亿美元,同比下降 4.5%;营业利润约 298.32 亿美元,同比下降 20.5%。三星电子 2023 年营业收入为 258.16 万亿韩元,同比减少 14.58%;营业利润约为 6.54 万亿韩元,同比减少 84.92%。而在人工智能芯片需求快速的背景下,英伟达 2023 年营业收入逆势增长,2023 年实现营收 609.22 亿美元,同比增长 126%;净利润为 297.6 亿美元,同比增长 581%。与之形成鲜明对照的是,2023 年中芯国际营收为 63.22 亿美元,同比减少 13.1%;净利润为 9.03 亿美元,同比下滑 50.4%。尽管行业龙头收入和利润总体上表现出下降的态势,但与其相比,中国企业总体收益和利润较小,后发赶超的资源供给面临较大的压力,在各国纷纷强化国家竞争的背景下面临更为严峻的生存压力。

三、新形势下中国集成电路产业链面临的主要风险

在美国打压、各国强化国家竞争的大背景下,中国集成电路产业链韧性和安全面临严峻的非市场风险。与此同时,由于中国集成电路产业总体上处于追随地位,产业在技术和产业竞争力上的差距使得中国面临效率损失和进步受阻的竞争风险。然而,正是在外部非市场压力下,中国集成电路产业的自主突破和自立自强成效显著,成为缓解风险的重要内生力量。

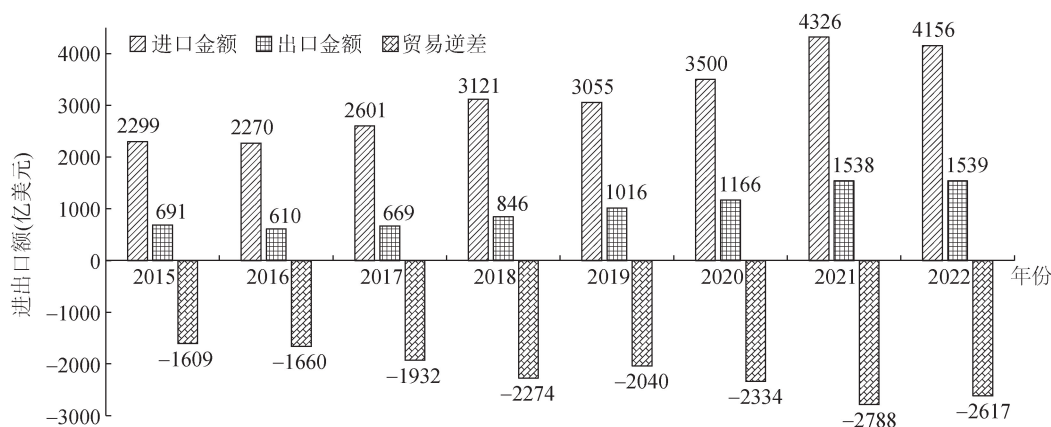
(一) 美国主导的脱钩政策加剧了产业风险,但也倒逼中国集成电路产业的高质量发展

集成电路产业“逆全球化”的关键特征是美国对中国的“定点狙击”和“全域打击”,意图中断中国在数字经济时代的后发赶超路径。在此背景下,中国集成电路产业面临严峻的“被脱钩”风险,但也倒逼产业升级、国产替代和技术路线创新。

1. 进出口贸易受影响显著,倒逼产业升级

受美国的极限打压,中国集成电路产业进出口受到显著影响,不仅设备、软件、材料和高端 GPU 被“断供”,而且面临领先企业的低价倾销。然而,也正是在严峻的外部压力下,中国集成电路产品的国产替代加速、行业发展质量显著提升。2022 年中国集成电路的进出口量显著下降,但进出口产品价值却大幅提升。根据海关总署的数据显示,2022 年中国集成电路进口数量总额 5384 亿块,同比下降 15.3%^①;出口数量总额 2734 亿块,同比下降 12%;贸易逆差 2650 亿块,同比下降 18.4%。从价值量来看,2022 年中国集成电路进口总额 4156 亿美元,比上年下降 3.9%;出口总额 1539 亿美元,增长 0.3%;贸易逆差 2616 亿美元,下降 6.1%^[7](图 2)。对比来看,中国集成电路产品进出口的单品价值有较大增幅,尤其是出口在数量大幅下降的情况下金额却有所增长,中国集成电路产业的发展质量在有序提升,体现了产业质量的提升。

^① 中国海关总署官网最新数据显示,2023 年中国集成电路产品的进口进一步下降,2023 年中国累计进口集成电路 4795 亿颗,较 2022 年下降 10.8%;进口金额 3494 亿美元,同比下降 15.4%。此外,2023 年中国二极管和类似半导体组件进口量也下降 23.8%。



数据来源:中国半导体行业协会

图2 2016—2022年中国集成电路产业进出口额

2. 重要设备和软件断供风险加剧,倒逼国产替代加速

为阻碍中国集成电路产业的升级,2022年10月美国商务部修订了《出口管理条例》,重点强化对美国技术的产品、技术和人才的进一步限制,以阻碍中国企业获取先进计算芯片、超级计算机、特定半导体制造软件、设备及其相关技术的能力。在其中的“商业控制清单”(CCL)中新增四项“美国产品”物项,分别对应高性能计算芯片(出口管制商品编码为3A090,传输速度>600GB/s、性能大于4800TOPS,对标英伟达A100GPU)、超级计算机及部件(出口管制商品编码为4A090,超过3A090指标的计算机,或者千亿次浮点运算能力)、开发生产前述计算机、电子组建或元件的专用软件(出口管制商品编码为4D090)以及特定先进半导体制造设备(出口管制商品编码为3B090,被用于16纳米以下鳍式场效应晶体管(FinFET)或全环绕栅极场效应晶体管(GAAFET)逻辑芯片、18纳米以下动态随机存取存储器(DRAM)、128层以上闪存(NAND)芯片的设备。并通过严控“美国技术”、实施“美国人”条款,中国通过正常的商业往来与美国在集成电路产业的技术交流被中断,采购美国的先进设备、软件、材料、产品等的渠道已被美国单方面“中断”。

此外,为形成对中国集成电路产业的“全面围剿”,美国利用其“长臂管辖”联合集成电路产业链的重要国家和企业对中国实施管制和禁运政策。例如,进一步升级对先进光刻机出口中国的限制,从禁止荷兰对华出口极紫外(EUV)光刻机到企图对相对较低技术水平的深紫外(DUV)光刻机的干预。日本已于2023年5月23日公布《外汇法法令修正案》,正式将先进芯片制造设备等23个品类纳入出口管制。安谋(ARM)除了停止对华为授权V9版本的架构之外,在美英政府的干预下,已经拒绝向中国企业出售其最先进的IP架构Neoverse V1和V2。

在被以美国为首的发达国家和地区“围堵”的背景下,自主突破的自立自强是中国集成电路产业发展唯一选择,也是基于当期生存和长期发展视角下的必然要求。具体来看,在先进产品、设备和软件等方面也取得了显著成效。例如,在美国限制存储芯片的背景下,长江存储的192层闪存(NAND)芯片实现有效突破,华为的麒麟9000s芯片实现有效量产,国产的光刻机、刻蚀机等设备快速进步并加快在产线的试用和迭代升级,实现在被限制背景下的国产替代。

3. 制程和技术被阻隔风险加剧,倒逼工艺和技术路线创新

在摩尔定律驱动下,全球集成电路产业延续可预计的技术路线不断成长,并在此过程中推动集成电路制造工艺的有序升级和跃迁。然而,随着美国在集成电路设计和制造领域强化对中国的“卡脖子”,中国集成电路产业嵌入全球产业链体系并实现赶超发展的路径被强行“阻断”,倒逼中国探索新的工艺和技术路线,保障在新形势下的产品有序供应并支撑数字经济时代对集成电路的现实需求。

实际上,在集成电路进入纳米时代以来,领先企业也在探索技术路线和工艺上的创新,不仅是为了进一步延续摩尔定律,更重要的是寄希望于在新的技术路线下构筑行业的“护城河”。例如,佳能和应用材料推出的纳米压印技术和图案塑性技术,就是为了破解阿斯麦极紫外光技术的垄断地位并解决7纳米以上制程

的高制造成本问题；英特尔、台积电等加快推动的芯粒封装工艺是将封装工艺前移到设计和制造环节以解决先进光刻所带来的成本和良率问题。这些工艺和技术路线的创新也为中国破解集成电路产业被美国等阻断和打压过程中创造了重要的机会窗口，相关企业快速涌现，例如，为避免芯片架构被英特尔、安谋等“卡脖子”的问题，大量新创企业采用开源指令集（RISC-V）架构，以异质开源架构保障产品的可用性。

（二）高波动性和竞争性加剧了企业经营风险，迫切需要强化协同提升产业的整体发展效率

在国家力量和产业周期的叠加下，全球集成电路产业面临更显著的波动特征。对于后发国家来说，在产业进入下行期往往也是机会窗口期，但也可能制造新的赶超陷阱，如加剧了行业的投资风险、原有的市场份额被龙头企业进一步蚕食。为此，迫切需要国家进一步强化资本、用户对集成电路企业的支持，以有效的产业协调来提升产业的整体发展效率。

1. 行业波动加剧了投资风险，威胁行业的长期发展

在美国“逆全球化”扰乱全球集成电路产业大分工的背景下，下游企业在短期内加大了集成电路产品的采购和备货，上游制造企业大量新建产能，形成短期需求和投资旺盛的上升态势。然而，随着需求端库存趋于饱和以及新产能的逐步投产，集成电路产业的整体供给趋于过剩，产业迅速进入下行期。根据《中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报》的数据显示，2022 年中国集成电路产量为 3241.9 亿块，同比下降 9.8%^[8]，但 2023 年产量恢复到 3514 亿块。

在产业“两头在外”的市场格局下，中国集成电路新建产能的设备供货周期远远超过美欧日韩，导致新建产能的投产期延后，项目的投资回收期进一步延长。在行业下行期逐步投产的产能面临需求不饱和、价格下跌、投资回收期长等多重压力，中国集成电路产业的投资风险上升。进一步地，在收益率下降和回收期延长的背景下，产业对市场的投资吸引力下降，可能威胁行业的长期发展。

2. 市场份额被龙头企业挤占，赶超进程面临龙头企业的狙击风险

由于在集成电路价值链分工中的地位，中国集成电路企业在设备、材料、软件采购中议价能力较弱，面临苛刻的价格、质量、付款条件等条款，相对于行业的龙头企业来说，本身处于不平等的竞争地位。由此，尚处于赶超阶段的中国集成电路企业，在与龙头企业的竞争中面临严峻的经营风险。一是龙头企业利用其在位能力进一步稳固客户，提高了后进入者进入市场的门槛和成本。龙头企业与需求方具有长期的合作关系，彼此建立了长期的信任，在下行期更容易“抱团取暖”，后发者进入十分困难，从汽车芯片“短缺”阶段各大采购商和整车制造商强化与传统芯片制造商的合作可见一斑。二是龙头企业具有更强的资金实力和抗风险能力，在面临下行阶段时有更高的降价空间，形成对后发者的有效威慑。例如，2023 年 5 月份以来以德州仪器为首的芯片龙头企业开启的大幅度降价，对中国电源芯片的初创企业形成巨大的压力。三是龙头企业具有独特的创新能力，可以利用下行阶段的资金和技术优势，进一步拉大与追赶者的差距，增加追赶者的技术风险。在龙头企业独居优势的现实背景下，国内企业在全球市场乃至国内市场的市场份额面临被挤压的风险，且作为后发展的追赶企业，可能在与龙头企业竞争中面临被精准狙击的竞争风险。

为应对行业龙头企业精准狙击风险，集成电路产业链上下游强化协同合作，下游用户开始重视对集成电路初创企业、国内企业的有效支持，以应用来支持其产品的迭代和技术工艺的进步，进而支撑产业链的系统突破和成长。

3. 经营成本劣势明显，市场竞争中面临较高的生存风险

从产业生命周期来看，集成电路产业已经进入成熟期但依然处于快速增长的阶段，但具有成本优势的制程阶段依然是 22 纳米，这也是当前一般电子产品所使用的主流制程，为此，大力发展成熟制程满足绝大多数场景的需要是保证中国集成电路产品成本优势和竞争力的必然选择。但在先进制程方面，中国集成电路产品的成本劣势明显，其从根本上源于中国集成电路产品（包括中间产品）的国际竞争力弱。在美国极限打压背景下，中国集成电路产业未能实现在全球大分工和摩尔定律下的同步技术进步，设备、材料、软件采购的优先级处于最低层次，先进产品被断供或出口管制，中国集成电路企业在采购市场上缺乏谈判能力，导致中国集成电路企业的建厂成本更高，建厂周期和平均摊销周期更长，在生产制造环节的平均成本劣势也就更为严峻。与此同时，由于美国联合盟友对中国集成电路的极限打压，会导致用户对中国集成电路产品产

生“不信任”问题,导致企业的销售成本更高,进一步加剧了中国集成电路产业的成本劣势。

从具体的数据来看,除封测环节成本劣势不明显外,中国集成电路产业链的其他环节和领域面临严峻的成本劣势问题:生产成本和管理成本普遍高于行业龙头企业,管理人员薪酬占比较高且普遍高于研究人员薪酬,研发强度总体高于行业龙头企业但研发费用在数量上远不及行业龙头企业。综合成本的劣势将进一步掣肘中国集成电路产业的全球竞争提升,尤其是在动荡的国家和市场竞争逻辑下加剧了集成电路企业的生存风险。

(三) 技术差距较大且面临被“卡脖子”风险,技术“脱钩”加剧了不信任风险

中国集成电路产业在关键技术和工艺上与美国和欧日韩等存在较大的差距,在美国主导中国“脱钩”的背景下,产业链被“卡脖子”的现实风险加大,且被排除出产业体系引致的不信任风险加剧。

1. 产业链自主可控能力较低,威胁经济安全和国家安全

从集成电路产业链的总体情况来看,中国在设计、制造、设备、软件、材料等依然表现出显著的劣势。在全球竞争日益激烈、美国及其盟友强化对华打压的背景下,中国的比较优势难以发挥,比较劣势变成“卡脖子”内容,中国集成电路产业所支撑的产业安全面临较高的风险。一是电子设计自动化软件(EDA)和知识产权(IP)核领域面临领先企业主导的竞争生态优势、“产品-用户”技术路线锁定的用户生态、国家干预下的排他性生态等“生态围栏”困境,不仅软件产品的使用受限,在使用中也面临“安全漏洞”和“芯片后门”的风险。尤其是在人工智能芯片领域,不仅面临传统的设计工具“短板”,还面临封闭架构和美国企业独占生态的巨大风险^[9]。二是制造环节的优势在中低端制程,迈向高端制程的演化之路在美国的极限打压下发展缓慢。尽管是集成电路代工领域的重要企业,但中芯国际在与台积电、三星等2~3纳米制程相比也落后于约5代10年的差距。尤其是在美国通过“实体清单”等直接工具禁止领先企业为华为等企业代工芯片的背景下,中国在先进产品的制造和获取上面临较高风险。三是设备的整体国产化水平低,表现出极为突出的“工序倒挂”特征。尽管在各类设备上均有一些布局,但总体能力相对较低,尤其是光刻、刻蚀、镀膜设备这三大前道关键设备的国产化极低,这也成为美国及其盟友打压中国集成电路产业的重要聚焦点^[10]。四是材料同样表现出显著的“供需倒挂”特征,日本、美国和欧洲是全球集成电路材料供给的主导者,中国则是最大的消费国,中国集成电路材料自给能力严重不足,重要产品的国产化水平较低,面临极高的断供风险^[11]。

这些产业链核心环节的“短板”,在数字经济时代下成为威胁经济安全和国家安全的重要风险。一是底层技术和产品的可控性不足容易导致数据安全和产业安全问题;二是关键领域竞争力弱在面临“断供”威胁时缺乏反制措施,经济的系统性风险普遍较高;三是技术的“脱钩”会削弱中国在数字经济时代的优势,影响产业的数字化转型和数字的产业化发展。

2. 与国际脱钩的长期风险

集成电路产业的超复杂技术、超长产业链、全球化特征等决定了其技术的“黑箱”特征^[12],为此,在产业演化过程中,行业组织、龙头企业、研究机构等紧密合作,通过路线图指引、标准制订、行业交流等多种方式,避免产业链中的信息堵塞导致的“黑箱”和不安全问题。然而,在中美竞争的大背景下,美国不仅在技术、产业、经济等方面将中国孤立在全球分工体系之外,还利用意识形态等工具来对中国集成电路企业“污名化”。中国集成电路产业在赶超发展和国产替代的进程中,容易面临产业不信任以及技术脱钩产生的“加拉帕戈斯化”风险,同时会在游离于全球化之外推高产业的总体运行成本,产业竞争力会在竞争中进一步损失乃至下降。

四、提升中国集成电路产业链韧性和安全的对策建议

在面临美国“脱钩”和打压、行业周期波动、国内技术实力限制的现实背景下,提升中国集成电路产业链韧性和安全不仅需要发挥国家的主动行为能力,更需要全行业的创新发展,形成国家和行业共同推动的行业高质量发展力量。

（一）强化国际竞争的政策供给，破解封锁困境

美国的“脱钩”“断链”“封锁”等政策本质上是对后发者打压的国家选择，具有长期性和必然性，寄希望短期内美国调整相关政策的可能性较低。此外，鉴于集成电路产业全球分工过程中高度标准化构建的互信体系，一国（地区）全产业链发展模式容易造成“技术黑箱”并降低产业内的互信问题。而在美国“污名化”的背景下过度强调“国产替代”会导致国外对中国芯片的不信任问题，将在一定程度上加剧中国集成电路产品的市场风险。为此，在当前美国主导的集成电路产业发展趋势下，在总体思路要进一步坚定深化对外开放的基本国策，强化多边合作，创新国际竞争的政策供给，寻求从商业和民间力量来强化中美合作，进一步推动集成电路产业的全球化发展。具体来看，一是尽最大可能加大与美国政府、政党、行业协会、企业、学术机构等主体的有效沟通，巩固中国改革开放以来的中美合作成果，强化在集成电路供应链体系中的多国共存和技术路线的相互融入，进一步强化业界和学界的互信，为强化国家互信进一步创造条件。二是探索与美国及其盟友在其他领域的利益交换和重复博弈，以争取有效开放和合作共赢。利用中国超大规模市场优势维持对欧美日韩的吸引力，强化与美国盟友国家的全方位合作，如强化与欧洲在学术交流、标准共建、市场互惠等方面的合作，深化与日韩在能源、资源等方面的合作，以开放透明的合作增强多边互信。三是强化对美企和行业协会的商业沟通和合作，鼓励行业龙头企业、标准化组织、学术团体等加强与美国等相关组织的联系和沟通，增进商业互信，提高商业外交能效。四是预判美国对中国集成电路及相关行业的遏制和打击政策，提高应对能力。美国对中国集成电路产业的逐级压制、层层加码和精准遏制，对中国企业造成巨大预期冲击，深化研究国家竞争和产业竞争的内在逻辑，做好战略预判和断供预防^[13]。

（二）关注行业投资的国家竞争，加速产能扩张

在国家力量嵌入到产业发展逻辑过程中，各国都在强化产业发展的固定资产投资和产能扩张，逆产业周期投资已成为集成电路产业发展过程中的博弈结果。为保证中国集成电路产品对国内需求的有效满足，巩固和提升中国集成电路产品的市场份额，需要在推动制程进步的同时加大成熟制程投资，以产能扩张来保证产品的有效供给。一是鼓励金融机构和产业基金加大对晶圆厂的信贷和股权支持，扩大中国在智能芯片、存储芯片、逻辑芯片（28~14 纳米）、功率器件等领域的产能，防范下行周期下美韩加大投资对中国集成电路产能的挤出效应，确保市场份额稳定和极端情况下自主供应。二是吸引国外龙头企业加大对中国成熟制程和下一代半导体产能投资。意法半导体和三安光电在重庆合作投资 8 英寸碳化硅晶圆厂，体现了当前情境下中外集成电路领域的合作依然有发展的空间。建议由民间资本与相关企业洽谈合资，避免在美国主导产能转移背景下中国被全球产业界所孤立。三是以加快投资为契机，作为补足制造环节以及设备、材料、电子设计自动化软件（EDA）等领域“短板”的重要发展机会并推动制程进步。以国内大市场和大投资加大集成电路材料（如大尺寸硅片、光刻胶、掩模版、电子气体、湿化学品、溅射靶材、化学机械抛光材料等）、制造设备（光刻机、刻蚀机、镀膜设备、量测设备、清洗设备、离子注入设备、化学机械研磨设备、快速退火设备等）、制造环节（制造高端逻辑和存储芯片的大型制造企业以及制造特殊设备的中小制造企业）、电子设计自动化软件（EDA）和知识产权（IP）核领域等全流程的投资，尤其是在特定领域形成一些优势企业和环节，形成投资牵引下的集成电路产业系统突破。

（三）重视长期发展的战略部署，指引创新发展

尽管目前产业界和决策层已形成加大支持集成电路产业发展的共识，但从目前的政策行动来看，大量资源用来支持短期内产品和设备的“国产替代”，对关系产业未来发展的基础性、原创性技术支持不足，对于支撑产业发展的材料、软件工具、人才等重视度不够，从长期视角推动产业创新发展的重视度不足。要立足于集成电路产业创新发展和后发赶超的长期目标，强化产业链战略部署，从创新链视角强化基础研究、人才培养和技术转化，尤其是发挥新型举国体制优势，从全球视野、整合全球人才和知识，以新建国家实验室为契机，参考美国极紫外光（EUV）技术联盟模式、日本“超大规模集成电路技术研究组合”^[14]，打造用于行业各类创新主体合作的联合实验室，创新合作机制，发挥创新平台的底层技术供应优势，激发中小企业的边缘创新优势。

为推动产业的基础创新，要切实发挥企业作为创新主体的功能和角色，尤其是要构建促进企业强化基

础研究的激励机制^[15-16]。鼓励大企业建设行业基础研究示范平台,吸引中小企业与大企业联合创新,推动产业链和创新链上的协同创新;推动企业原始创新的多主体授权模式,加速创新成果的商业化;加大企业创新投入的加计扣除力度,尤其是放大基础研究的扣除比例;强化校企合作,为集成电路相关企业提供化学、材料、物理、电磁等基础学科的教育和培训,注重产业工人中“工匠”的培养和成长,避免教育和科研工作的过度商业化和工程化。

(四) 创新产品开发和场景培育,加速后发赶超

在关注产业链安全的过程中,要切实将发展作为驱动和保障安全的重要力量。利用国内超大规模市场和全球市场,创新集成电路集成产品的创造和商业化,打造具有划时代意义的产品,拉动中国集成电路产业的创新发展。从集成电路产业发展的历史经验来看,美国利用军方在导弹、雷达、航空航天等领域的采购需求、日本利用收音机快速普及的机会、中国台湾地区利用电子手表低成本普及的机遇、韩国利用电脑内存升级的市场契机等,都实现了在集成电路产业特定机会下的赶超发展,技术创新窗口、产品创新 and 市场需求窗口的完美结合是后发产业实现赶超的必由之路。为此,需要在当前创新快速涌现的背景下,加速划时代产品的创新和培育,为中国集成电路产业的后发赶超创造“机会窗口”。一是抢抓穿戴设备、智能网联汽车、智能制造装备等划时代产品爆发的机遇期,充分发挥企业数字化转型中的工业互联网平台、智能示范工厂作为工业应用示范和场景培育的作用,以需求牵引相关技术突破。二是创新政府采购制度,针对关键核心技术清单和具有重大创新价值的企业和项目强化政府采购支持。鼓励国有企业率先试用国产芯片、软件、设备及材料,发挥国有企业在产业生态打造中的重要牵引作用。三是强化芯片和产品协同开发。鼓励芯片企业聚焦特定类属产品,强化集成电路设计、制造、封测、原材料、设备、软件以及整机厂、最终用户等协同开发,打磨跨时代产品,实现技术领先、使用便利、价格的有效平衡。四是强化需求端创新对产业发展的牵引作用,以需求牵引产业成长,并在成长中推动产业的迭代升级和高质量发展,形成以场景牵引下的产业壮大目标。

(五) 建设协同发展的产业生态,提升产业链韧性

充分发挥超大规模市场优势,变被动应对“外部封锁”为主动推动“内部协同”,利用大规模市场培育和完善的产业生态。从全产业链贯通、全供应链协同视角,强化集成电路产业链从软件、设备、材料等支撑领域到设计、制造、封测等产业链环节的竞争力,以全产业链突破来破解各环节和各领域“卡脖子”困境,保障集成电路产业的安全^[17]。一是结合设计领域的多应用情境和分散式发展特征,创新专利授权和收益模式,打造公用云平台、知识产权(IP)核公共池等,以财政支持和用户协同等支持电子设计自动化软件(EDA)和知识产权(IP)核供应和使用。二是制造环节切实提升晶圆厂产线效率并加速其迭代升级,加速特色产品的工艺创新,加速成熟产能复制夯实主流技术基础知识,打造以晶圆厂为核心的集成电路产业技术和工艺升级的“创新平台”。三是结合芯粒封装等先进封装朝着晶圆厂发展的趋势,考虑构建产业化平台来牵引封装企业和制造企业在额外产线的封装创新和合作,缩小与英特尔、台积电等领先企业制造和封装一体化优势的差距。四是设备领域要强化晶圆厂的需求牵引和协同开发机制,加速显示面板等低制程设备的高制程化演化,加速专用重点设备的试用迭代,打造可产业化的设备供应体系。五是材料领域发挥大型化工企业的力量优势,调动专业化企业在细分领域的积极性,利用好科研院所的技术力量,打造材料产业发展的生态系统,破解安全环保监管对材料产业创新的“桎梏”。

(六) 做好极端条件下的策略应对,保障安全运行

在面临外部“断供”的现实背景下,短期内要注重策略创新来保障中国集成电路产品、设备、材料、软件等有序供应,防范极端条件下的“停摆风险”。一是加快投资进度,加大财政支持力度。继续加大成熟产线的建设和布局,形成对关键制造能力这一环的补足,并在运行过程中逐步形成在软件、材料、设计、封测的完整闭环。二是深化前瞻性预判,密织信息情报网络。参照美国工业和安全局(BIS)组建经济安全局,吸引智库、专家参与具体行业、领域、重点企业的长期跟踪,了解动态提前预判并采取前瞻性安排形成周期性专项报告^[18]。三是强化国内企业的协同,避免各自为战。发挥行业协会、产业联盟等组织的协调功能,支持产业链协同创新和有效合作,避免美国遏制战略对国内企业在寻求第三方备件、服务等方面价格攀升、服务质量下降的次生灾害。

参考文献

- [1] 金泽虎, 钱前. 科技遏制导向对中国创新发展构成威胁吗? 基于美国对华经贸政策的事实与验证[J]. 技术经济, 2023, 42(8): 39-52.
- [2] 李巍, 李琦译. 解析美国的半导体产业霸权: 产业权力的政治经济学分析[J]. 外交评论(外交学院学报), 2022, 39(1): 22-58, 5-6.
- [3] 葛阳琴, 陈悦. 进口竞争与中国制造业就业动态: 基于中国从美国进口的经验分析[J]. 技术经济, 2022, 41(7): 120-131.
- [4] WSTS. WSTS semiconductor market forecast fall 2023[R]. Morgan Hill: WSTS, 2023. <https://www.wsts.org/76/Recent-News-Release>.
- [5] GARTNER. Gartner forecasts worldwide semiconductor revenue to grow 17% in 2024[R]. Stamford: Gartner, 2023. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2023-12-04-gartner-forecasts-worldwide-semiconductor-revenue-to-grow-17-percent-in-2024>.
- [6] SEMI. Global chip industry projected to invest more than \$ 500 billion in new factory construction starts by 2024[R]. Milpitas: SEMI 2022. <https://semi.org/en/news-media-press-releases/semi-press-releases/global-chip-industry-projected-to-invest-more-than-%24500-billion-in-new-factories-by-2024-semi-reports>.
- [7] 中国电子信息行业联合会. 2022 年电子信息行业经济运行报告[R]. 北京: 中国电子信息行业联合会, 2023.
- [8] 国家统计局. 中华人民共和国 2022 年国民经济和社会发展统计公报[R]. 北京: 国家统计局, 2023.
- [9] 李先军, 刘建丽, 张任之. 以多层生态战略破解先发者主导优势: 以 EDA 为例[J]. 技术经济, 2023, 42(5): 79-90.
- [10] 李先军, 刘建丽, 闫梅. 我国集成电路设备的全球竞争力、赶超困境与政策建议[J]. 产业经济评论, 2022(4): 46-61.
- [11] 李先军, 刘建丽. 产业基础领域强基战略: 中国集成电路材料领域的竞争与发展[J]. 产业经济评论, 2023(6): 1-11.
- [12] 李先军, 刘建丽. 中国集成电路产业发展: “十三五”回顾与“十四五”展望[J]. 现代经济探讨, 2021(3): 87-96.
- [13] 黄烨菁, 孙美露, 窦钱斌. 中国集成电路产业跨国供应链风险、成因及发展趋势[J]. 亚太经济, 2022(3): 119-128.
- [14] 徐博, 王蕾. 日本半导体产业链升级的再思考——三个关键、二元悖论与政治工具[J]. 日本学刊, 2022(6): 104-124, 151.
- [15] 曲永义, 李先军. 创新链赶超: 中国集成电路产业的创新与发展[J]. 经济管理, 2022, 44(9): 5-26.
- [16] 杨雅雯, 郭本海, 王丹丹. 中国集成电路产业技术创新路径优化[J]. 科学学研究, 2023, 41(2): 369-384.
- [17] 闫梅, 刘建丽. 赶超与发展: 我国集成电路产业链布局与优化对策[J]. 齐鲁学刊, 2023(6): 125-136.
- [18] 张勇, 路娟. 美国芯片霸权的内在逻辑与演进机制[J]. 宏观经济管理, 2023(1): 83-90.

The Resilience and Security of China's IC Industry Chain under the New Situation: Evolution Trend, Main Risks and Countermeasures

Li Xianjun¹, Long Xueyang²

(1. Institute of Industrial Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006, China;
2. China Mobile International Limited, Beijing 100140, China)

Abstract: Improving the resilience and security of China's integrated circuit (IC) industry chain is the basis for ensuring China's economic security and national security in the era of digital intelligence. On the basis of summarizing the new development trend of the global IC industry chain, it was found that the United States exercises “long-arm jurisdiction” over the global IC industry and strengthens its own manufacturing capabilities under the name of security, leading the IC industry into an unprecedented period of turmoil. Coupled with the U.S. “decoupling” and isolate China from its allies. China's IC industry faces unprecedented risks, and the new industrial cycle's downturn phase further intensifies the competitive risks. However, China's acceleration in technological and product breakthroughs in the IC industry has effectively mitigated the impact of external forces, and the resilience and security of China's IC industry have been effectively alleviated by enforcing technological independence and breakthroughs in cutting-edge technologies. In the future, enhancing the resilience and security of China's IC industry chain and building a national competitive advantage not only requires the active capability of the nation to strengthen policy supply, but also the advanced chips breakthroughs and mature chips capacity expansion, long-term strategic deployment, cultivation of “epoch-making products” and the construction of industrial ecology, safe operation under extreme conditions, and construction of the industrial ecosystem are necessary to drive the high-level security and high-quality development of the IC industry.

Keywords: IC industry; industrial chain; resilience; security