

全球集成电路产业链：分布、技术 经济特征及挑战^{*}

蔡跃洲 韦结余 钟 洲

集成电路产业链虽然全球分布，但真正参与其中的仅限于美国、英国、荷兰、德国、日本、韩国、中国等少数经济体，且各有专长和优势。从历史演化角度来看，这种分布格局很大程度上由美国政府及其本土企业推动形成。从技术和经济特征来看，当前集成电路产业链具有“产业链条超长与产能集中”“资金技术双密集导致前端锁定后端”“细分环节品类利基市场容量有限”“下游需求对上游企业形成财务反制”等特征。在逆全球化背景下，产业链处于一种脆弱的“刃锋平衡”状态。技术持续进步和分工不断细化反而降低了产业链韧性，产业平稳运行变得愈发艰难和脆弱。主要经济体产业技术脱钩风险，推高了数字化转型发展成本。国际社会应摒弃对抗、加强合作，积极营造宽松的产业发展环境。

关键词：集成电路 技术-经济特征 产业链韧性 技术锁定 财务反制

2018年4月，以“中兴事件”为标志，中美贸易摩擦逐步升级，作为数字经济物质技术载体的半导体集成电路（芯片）产业成为相关争议的重中之重。在集成电路领域，从“华为事件”到日本断供光刻胶和特种电子气体的“三星事件”^[1]，

蔡跃洲系中国社会科学院大学应用经济学院教授，中国社会科学院数量经济与技术经济研究所/中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室研究员、数字经济研究室主任，Email: caiyue-zhou@cass.org.cn；韦结余系中国社会科学院数量经济与技术经济研究所/中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室助理研究员；钟洲系中国社会科学院数量经济与技术经济研究所/中国社会科学院经济大数据与政策评估实验室助理研究员。

^{*} 本文系国家社会科学基金重大项目“数字经济高质量发展的创新与治理协同互促机制研究”（项目编号：22&ZD071）的阶段性研究成果。感谢审稿人的意见，当然文责自负。

[1] 2019年7月，日本政府对外宣布限制对韩国公司出口光刻胶、氟化聚酰亚胺和高纯度氟化氢等半导体材料，一度影响韩国三星7纳米制程芯片的量产。三星首席执行官（CEO）李在镕紧急赴日本斡旋，最终日本允许相关日本企业在获得批准后仍可向韩国供货。此次事件也导致此后三星集团改变半导体领域的投资策略，加紧布局半导体材料和设备。

从《无尽前沿法》到《芯片与科学法》，从“芯片四方联盟”到聊天机器人 Chat-GPT 引发的图形处理器（GPU）热，美国、欧盟、中国、日本、韩国等主要经济体间，几乎每年都有标志性事件发生，涉及华为、高通、三星、台积电、英伟达等重要科技企业，在全球范围内引起广泛关注。

从发展态势来看，美国对中国的科技限制，叠加乌克兰危机带来的地缘政治影响，使得包括美国、欧盟、日本、韩国在内的发达经济体在芯片/集成电路产业国际竞争方面都更加重视“国家安全”。对于中国而言，以华为、中兴为代表的科技企业一度陷入困境。重压之下，本土企业围绕“卡脖子”环节，在抓紧寻找国产替代方案的同时不断加大研发攻关力度。在这两类行为的相互推动下，几年来取得了很多可喜的突破，如华为麒麟芯片和 5G 智能手机的浴火重生。然而，很多自媒体为博取流量肆意夸大所取得的成绩，对中美间科技脱钩态势加剧带来的潜在困难和挑战缺乏客观评价。

鉴于全球芯片/集成电路国际竞争中存在的逆全球化趋势，本文拟从全球半导体集成电路产业链分布格局入手，梳理集成电路产业的技术和经济特征，客观展示全球集成电路产业发展状况。据此分析当前国际经济环境下，逆全球化对全球集成电路产业发展带来的风险和挑战，并就改变当前对抗做法、尽快恢复集成电路产业链全球循环提出相关建议。

全球半导体集成电路产业链分布格局^[1]

半导体集成电路产业既是数字经济的重要组成部分，也是数字经济各种新模式新业态赖以运行的物质技术基础。作为国家经济的战略性、基础性、先导性产业，半导体集成电路是人工智能、量子计算、物联网、虚拟现实等新兴数字产业发展的基础构件，支撑着传统产业的转型升级。半导体集成电路产业链具有全球分工的特征，但高技术、高资金门槛决定真正能参与其中的也仅有美国、日本、韩国、中国台湾、中国大陆、英国、德国、荷兰等少数国家和地区。不同国家和地区在全球产业链中所处位置各有侧重，其中，美国作为半导体集成电路的发源地，在设计、加工以及前端的设计软件、加工设备等方面均有领先优势；日本在

[1] 半导体产品主要包括集成电路（芯片）、光电器件、分立器件、传感器四大类，其中，集成电路规模长期占据半导体产值的 80% 以上，因此，从产业角度来讲，集成电路产业基本就能代表半导体产业。另外，芯片是集成电路产业的最终产品，因此，在很多场合芯片就等同于集成电路。

设备和材料上有优势；中国台湾的优势是代工。中国大陆是全球最大的半导体集成电路市场，然而芯片自给率仅为10%左右。不过，中国大陆有一个重要特点，即在半导体集成电路产业链中游和上游几乎每个环节都有布局，尽管每个环节与国际先进水平相比普遍存在较大技术代差，但初步形成了较为完整的产业生态。

（一）半导体集成电路产业链分布结构及演进历程

芯片既是半导体集成电路产业的最终产品，也是下游各类电子设备（产品）最为重要的中间投入品，其加工制作是个复杂冗长的过程。芯片的制造工艺非常复杂，一条生产线大约涉及50多个行业、2000~5000道工序。能否顺利生产出客户所需芯片，不仅取决于中游的制造模块，而且仰赖上游的材料模块和设备模块。每个模块又可以细分为多个环节或品类，其中，制造模块细分为设计、制造、封装测试以及设计软件（EDA）和部分成熟的知识产权（IP）等环节；材料模块至少可以细分为8类，包括硅晶圆、光刻胶、掩模板、电子特种气体、CMP抛光材料、湿电子化学品、溅射靶材和晶圆封装材料；制造模块包括光刻机、刻蚀设备、离子注入机、薄膜生长设备等四类关键设备以及抛光机、检测设备等其他各类设备。^[1]

表1 全球半导体集成电路上游各环节重点企业列表

序号	设备	光刻胶	硅晶圆
1	应用材料（Applied Materials，美国）	捷时雅（JSR，日本）	信越化学（Shin-Etsu，日本）
2	阿斯麦（ASML，荷兰）	东京应化（TOK，日本）	胜高科技（SUMCO，日本）
3	泛林（LAM Research，美国）	信越化学（Shin-Etsu，日本）	环球晶圆（中国台湾）
4	东京电子（Tokyo Electron，日本）	陶氏化学（Dow，美国）	世创（Siltronic，德国）
5	科磊（KLA，美国）	富士化学（Fujifilm，日本）	鲜京矽特隆（SK SILTRON，韩国）
6	迪恩士（Dainippon，日本）	住友化学（SCA，日本）	Soitec（法国）
7	爱德万测试（Advantest，日本）	安智（中国台湾）	合晶科技（中国台湾）
8	ASM国际（荷兰）	东进（Dongjin，韩国）	Okmetic（芬兰）
9	日立高新（Hitachi，日本）	亿光（中国台湾）	嘉晶电子（中国台湾）
10	泰瑞达（Teradyne，美国）	北京科华（中国大陆）	上海新昇（中国大陆）

数据来源：基于WSTS、IPnest、CINNO Research、ChipInsights数据，按照2022年全球销售数据排

[1] 王阳元：《集成电路产业全书》，北京：电子工业出版社，2018年。

序整理。

表2 全球半导体集成电路中游各环节重点企业列表

序号	EDA	IP	设计	代工制造	封测
1	新思科技 (Synopsys, 美国)	安谋科技 (ARM, 英国)	高通 (Qualcomm, 美国)	台积电 (中国台湾)	日月光 (中国台湾)
2	楷登电子 (Cadence, 美国)	新思科技 (Synopsys, 美国)	博通 (Broadcom, 美国)	联电 (中国台湾)	安靠技术 (Amkor, 美国)
3	明导国际 (Mentor, 德国)	铿腾电子 (Cadence, 美国)	英伟达 (NVIDIA, 美国)	格芯 (Global - Foundries, 美国)	长电科技 (中国大陆)
4	安斯科技 (Ansys, 美国)	Imagination (英国)	苹果 (Apple, 美国)	中芯国际 (中国大陆)	力成科技 (中国大陆)
5	矽谷科技 (Silvaco, 美国)	Alphawave (加拿大)	超微 (AMD, 美国)	华虹集团 (中国大陆)	通富微电 (中国大陆)
6	Aldec (美国)	思华科技 (CEVA, 美国)	美满电子 (Marvell, 美国)	力积电 (中国台湾)	华天科技 (中国大陆)
7	图研 (Zuken, 日本)	芯原 (中国大陆)	赛灵思 (Xilinx, 美国)	世界先进 (中国台湾)	京元电子 (中国台湾)
8	华大九天 (中国大陆)	超捷半导体 (SST, 美国)	联发科 (中国台湾)	高塔半导体 (Tower, 以色列)	智路封测 (中国大陆)
9	奥腾公司 (Altium, 澳大利亚)	力旺电子 (中国台湾)	海思半导体 (中国大陆)	晶合集成 (中国大陆)	颀邦科技 (中国台湾)
10	澳汰尔 (Altair, 美国)	蓝铂世 (Ram - bus, 美国)	紫光展锐 (中国大陆)	东部高科 (DB HiTek, 韩国)	南茂科技 (中国台湾)

数据来源：基于 WSTS、IPnest、CINNO Research、ChipInsights 数据，按照 2022 年全球销售数据排序整理。

从表1和表2可以看出，尽管半导体集成电路产业链涉及诸多模块、环节和品类，但全球真正能够参与其中的企业及其所属经济体却非常有限。而且能够参与半导体集成电路产业链中上游的经济体，其擅长领域和优势也存在较大差

异。^[1]从发展历程来看，第二次世界大战后半导体集成电路产业发端于美国硅谷，从20世纪60年代开始，美国本土企业出于降低成本的考虑，将一些在当时看来技术含量和附加值相对低的环节向全球其他地区转移。在此过程中，日本、韩国、英国、德国、荷兰、中国台湾、中国大陆等经济体陆续参与材料、设备、加工等相关环节，培育出若干细分领域的龙头企业，形成了各自在不同模块或细分环节/品类上的优势，其间充满了竞争、矛盾及偶然，并造就了上述产业链全球分布格局。而美国作为半导体集成电路产业的技术策源地，其政府和本土企业在此过程中始终占据主导地位，是产业链布局演化推动者。

1946年，美国贝尔实验室成立由威廉·肖克利（William Shockley）、约翰·巴丁（John Bardeen）和沃尔特·布拉顿（Walter Brattain）组成的固体物理学研究小组，并于1947年12月和1948年1月先后实验成功锗晶体管并提出PN结晶体管理论，为半导体集成电路产业发展奠定了最早的理论基础，也为三人赢得了1956年诺贝尔物理学奖；肖克利还于1955年在旧金山湾区山景城创办了肖克利半导体公司，开启了产业化之路。^[2]1958年，德州仪器的杰克·基尔比（Jack Kilby）发明了第一块锗基集成电路，1959年，仙童半导体的罗伯特·诺伊斯（Robert N. Noyce）发明了硅基集成电路，由此奠定了美国在集成电路领域的技术领先优势。美国作为半导体集成电路的发源地，在上游的材料模块、设备模块和中游的EDA软件、设计、IP等环节，均保持着较为明显的优势，且拥有英特尔（Intel）这样的全球领先垂直一体化企业（IDM）。需要指出的是，诺伊斯本人正是仙童半导体和英特尔的创始人。

晶体管问世不久的1953年，索尼公司创始人盛田昭夫（Akio Morita）便从贝尔实验室获得晶体管技术许可证，开始生产晶体管收音机。20世纪60年代，日本在美苏对抗背景下得到美国支持，从美国仙童半导体、德州仪器等获得多项技术授权，得以较早介入半导体产业；^[3]1971年英特尔公司研发出第一款通用微处理器芯片，为个人电脑发展打下了基础，而个人电脑的发展带来了动态随机存储器（DRAM）需求快速增加。日本顺应上述趋势，于1976—1979年实施超大规模集成电路计划（VLSI），并以此为契机在20世纪80年代超越美国成为全球最大半导体集成电路生产国。为遏制日本，美国于1986年迫使日本签订《日美半导体

[1] 蔡跃洲、马晔风、牛新星：“新冠疫情对集成电路产业的冲击与中国面临的挑战”，《学术研究》，2020年第6期。

[2] 王阳元：《集成电路产业全书》，北京：电子工业出版社，2018年。

[3] 谢志峰、陈大明：《芯事：一本书读懂芯片产业》，上海：上海科学技术出版社，2018年7月。

保证协议》，同时扶持韩国发展半导体集成电路产业，使得日本开始失去其（集成电路制造）优势，逐步将重点聚焦于其擅长的上游材料和设备模块，并形成新的全球竞争优势。^[1]

韩国从20世纪70年代便开始布局半导体集成电路。20世纪80年代，韩国三星集团抓住美国遏制日本的机会，凭借当时三星集团董事长李健熙的坚持，在1987年国际内存价格暴跌情况下逆周期投资，并实现盈利和技术升级。到90年代初逐步占领日本退出的全球DRAM市场。此后，三星又先后经历了20世纪90年代美国提出倾销诉讼、2008年全球金融危机时存储器价格暴跌，但仍坚持逆周期投资，并于2017年超越英特尔成为全球最大半导体垂直一体化厂商。韩国也凭借三星和海力士确立了其在全球半导体集成电路领域的重要地位。^[2]

20世纪70年代，美国本土企业将集成电路制造中技术含量较低的封装环节向东南亚和东亚转移，中国台湾作为承接地之一也由此起步进入全球半导体集成电路产业链中。20世纪80年代，曾担任德州仪器高级副总裁的张仲谋前往中国台湾，出任坐落新竹的台湾工业技术研究院院长，并创立全球第一家专业代工企业“台积电”。此后，一批中小企业走上了专业化代工道路，并成就了中国台湾在集成电路代工环节的全球领先地位。

1997年，美国能源部和英特尔公司，汇集包括劳伦斯·利弗莫尔实验室、劳伦斯·伯克利实验室和桑迪亚国家实验室三大国家实验室以及AMD等企业，发起成立极紫外光刻联盟（EUV LLC）。出于被日本超越的担忧，佳能和尼康被排除在联盟之外，而刚刚成立不久的荷兰企业阿斯麦（ASML）在日美贸易争端中被视为中立。^[3]于是，在向美国政府做出一系列承诺后，阿斯麦得以加入联盟，享受其基础研究成果。此后，阿斯麦于2000年、2013年分别并购美国光刻机巨头硅谷光刻集团（SVGL）和美国准分子激光光源企业Cymer，打通了极紫外光刻机制造产业链，进而奠定了荷兰在光刻机领域的优势地位。当然，由于早年加入光刻联盟承诺的约束，阿斯麦虽为荷兰公司，但其生产经营在很大程度上还受美国影响。

英国的优势在于半导体知识产权，成立于1991年的ARM公司是全球最大的

[1] 马文君、蔡跃洲：“日美半导体磋商对中美贸易摩擦下中国集成电路产业的启示”，《中国科技论坛》，2020年第10期。

[2] 朴常河：《李健熙（从孤独少年到三星帝国引领者）》，北京：中信出版社，2017年。

[3] [美]克里斯·米勒，蔡树军译：《芯片战争：世界最关键技术的争夺战》，浙江：浙江人民出版社，2023年。

半导体IP公司。目前，全球大部分智能手机和平板电脑都采用ARM架构。另外，成立于1985年的幻想科技集团也是颇具影响力的IP供应商。在德国，以英飞凌（Infineon）、戴乐格（Dialog）为代表的本土半导体企业，为其发达的汽车、节能等产业提供配套的芯片制造。在法国，以Soitec为代表的本土企业在先进硅晶圆制造方面具有一定优势。

中国的半导体集成电路产业起步于20世纪50年代，在改革开放前就先后独立研发出锗点接触二极管和三极管、二极管-晶体管逻辑电路、晶体管-晶体管逻辑电路、硅单晶、1KB动态随机存储器等。^[1]改革开放后，开始全面引进海外集成电路生产线，但在“巴黎统筹委员会”（Coordinating Committee for Multilateral Export Controls）和后来的《关于常规武器与两用产品和技术出口控制的瓦森纳协定》（*The Wassenaar Arrangement on Export Controls for Conventional Arms and Dual-Use Good and Technologies*）限制下，只能引进一些在发达国家快被淘汰的设备和技術，因此，与国际先进水平有较大差距。经过改革开放40多年的努力，中国本土企业在三大模块和多个环节品类上都有布局，但仅在制造模块中的封装测试、代工及设计环节具有一定的相对优势。例如，2022年，在制造环节，中芯国际产量位居全球第四；在封装测试环节，全球前10企业中，中国占据一半，封装测试是中国最有可能实现自主可控的领域。

（二）全球半导体集成电路市场规模与结构分析

2003年以来，全球半导体集成电路市场规模，除个别年份（2008年、2012年、2020年）外，整体呈现出稳步上升态势，由2003年的1660亿美元增加到2022年的5740.8亿美元。从不同半导体产品类别来看，集成电路占比基本稳定在82%~85%（见表3）；光电子器件、分立器件、传感器三类产品的占比基本都在个位数。而在集成电路内部，则不存在某个类别产品占据绝大部分份额的情形。以2022年为例，集成电路在全球半导体市场中占比为82.6%，规模达到4744亿美元，光电子器件、分立器件、传感器三类产品占比分别为7.7%、5.9%、3.8%；在集成电路领域，逻辑器件、存储器、模拟器件、微处理器的占比分别为37.2%、27.4%、18.8%、16.7%（见图1）。

[1] 谢志峰、陈大明：《芯事：一本书读懂芯片产业》，上海：上海科学技术出版社，2018年。

表3 全球半导体集成电路产业整体规模（十亿美元）

年份	整体规模	集成电路		年份	整体规模	集成电路	
		占比	规模			占比	规模
2003	166	--	--	2013	305.58	--	--
2004	213	83.90%	178.71	2014	335.84	--	--
2005	227	--	--	2015	335.17	81.89%	274.48
2006	247.7	--	--	2016	338.93	81.60%	276.57
2007	255.6	84.90%	217	2017	412.22	83.25%	343.19
2008	248.6	--	--	2018	468.78	84.03%	401.63
2009	226.31	--	--	2019	490.14	83.56%	409.55
2010	298.32	--	--	2020	440.39	82.10%	361.23
2011	299.52	--	--	2021	555.89	83.29%	463
2012	291.56	81.50%	237.62	2022	574.08	82.64%	474.4

数据来源：WSTS、SIA、PwC、IC Insights、Gartner、CCID Consulting 等及作者整理。

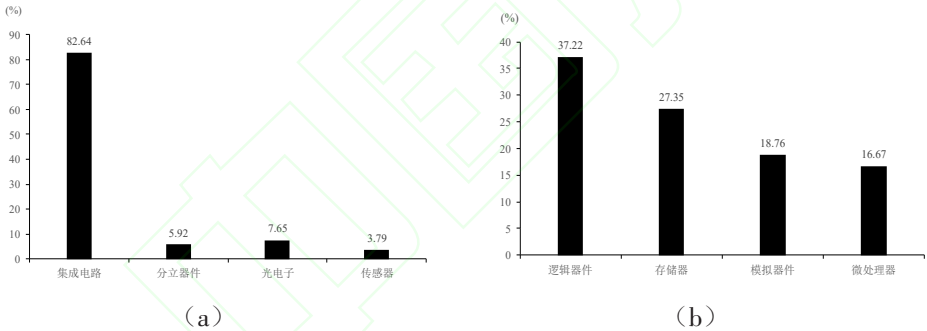


图1 2022年全球半导体集成电路各细分品类市场规模占比

数据来源：WSTS、SIA、PwC、IC Insights、Gartner、CCID Consulting 等及作者整理。

从市场区域分布结构来看，中国、美国、欧洲、日本是全球半导体产品的主要市场。中国作为全球制造业大国，对半导体集成电路产品有着巨大的市场需求。从表4可以看出，早在2005年，中国便成为全球最大的半导体市场；到2012年，中国市场占全球市场份额超过一半，达到52.5%。相比之下，美国、欧洲、日本三个市场占全球份额从2003年到2016年都基本处于持续萎缩态势，从超过或接近20%，逐步下降到10%左右或以下。当然，从2020年开始，美国、欧洲和日本在全球半导体市场中所占比重都有较为明显的提升，这背后有美国加大对华禁售和疫情冲击的双重原因。即便如此，2021年，中国集成电路市场仍占据全

球一半以上份额，规模高达2905亿美元，占比55.8%。

中国成为全球最大的半导体集成电路需求市场，是由其全球制造中心和制造大国的地位所决定的。从2010年起，中国便已成为全球制造业规模最大的国家，被称为“世界工厂”，这与中国最早成为全球最大半导体市场的时间基本吻合。除了服装鞋帽等传统轻工业品外，以手机、电脑为代表的消费电子产品很大部分都在中国生产。近两年来，中国还呈现成为全球最大电动汽车制造国的趋势。无论是手机、电脑还是电动汽车，都需要芯片作为其中间投入品，由此便成就了中國作为全球最大半导体集成电路需求市场的地位。

表4 全球半导体产品市场规模分布情况（十亿美元）

年份	中国		美国		欧洲		日本		世界其他国家和地区	
	占比	规模	占比	规模	占比	规模	占比	规模	占比	规模
2003	18.5%	30.7	19.4%	32.2	19.4%	32.2	23.4%	38.8	19.3%	32.0
2004	20.4%	43.5	18.3%	39.0	18.5%	39.4	21.5%	45.8	21.3%	45.4
2005	24.8%	56.3	17.9%	40.6	17.3%	39.3	19.4%	44.0	20.6%	46.8
2006	28.9%	71.6	18.1%	44.8	16.1%	39.9	18.4%	45.6	18.1%	44.8
2007	34.8%	89.0	16.6%	42.4	16.0%	40.9	19.1%	48.8	13.5%	34.5
2008	39.5%	98.2	16.9%	42.0	13.2%	32.8	12.0%	29.8	18.4%	45.7
2009	42.8%	96.9	15.3%	34.6	11.4%	25.8	10.7%	24.2	19.8%	44.8
2010	41.7%	124.4	15.5%	46.2	11.4%	34.0	11.1%	33.1	20.3%	60.6
2011	46.8%	140.2	14.0%	41.9	13.0%	38.9	8.4%	25.2	17.8%	53.3
2012	52.5%	153.1	12.4%	36.2	11.1%	32.4	7.3%	21.3	16.7%	48.7
2013	55.6%	169.9	11.8%	36.1	9.7%	29.6	6.7%	20.5	16.2%	49.5
2014	56.6%	190.1	11.6%	39.0	9.4%	31.6	5.9%	19.8	16.5%	55.4
2015	58.5%	196.1	12.0%	40.2	6.0%	20.1	5.5%	18.4	18.0%	60.3
2016	60.5%	205.1	11.4%	38.6	9.0%	30.5	5.4%	18.3	13.7%	46.4
2017	60.0%	247.5	--	--	--	--	--	--	--	--
2018	53.1%	249.1	22.0%	103.0	9.2%	43.0	8.5%	40.0	7.2%	33.7
2019	54.0%	222.6	15.4%	75.5	8.2%	40.0	7.3%	35.5	--	--
2020	58.5%	257.7	21.7%	95.4	8.5%	37.5	8.3%	36.5	--	--
2021	55.8%	310.0	21.9%	121.5	8.6%	47.8	7.9%	43.7	--	--

注：在蔡跃洲等学者文章中相关表格基础上补充了3年左右的数据。

数据来源：WSTS、SIA、PwC、IC Insights、Gartner、CCID Consulting，以及作者整理。蔡跃洲、马

晔风、牛新星：“新冠疫情对集成电路产业的冲击与中国面临的挑战”，《学术研究》，2020年第6期。

（三）中国集成电路产业发展状况

中国在半导体集成电路产业链上游材料设备和中游制造的各主要环节（甚至几乎所有环节）都有布局，加上巨大的下游应用市场，已初步形成自主可控链条完整的本土集成电路产业生态体系。^[1]特别是在中游制造环节，结构已呈现出设计、制造和封装测试三业协调发展格局。在集成电路应用领域，中国市场需求仍保持较快增长，产品出货规模继续增长。与此同时，中国半导体产业整体实力快速提升，产业结构不断优化，区域聚集度也不断提高。

中国集成电路产业的聚集度较高，已经形成电路四大集群，主要集中在环渤海、长三角、珠三角及部分西部省区。长三角地区是国内最主要的集成电路开发和生产基地，集成电路制造、设计和封装测试企业占全国一半以上，已初步形成包括研究开发、设计、芯片制造、封装测试在内的较为完整的集成电路产业链。环渤海地区是国内重要的集成电路研发、设计和制造基地，该地区已形成了从设计、制造、封装测试到设备、材料的产业链，相互支撑、协作发展的条件。珠三角地区是国内重要的电子整机生产基地和主要的集成电路器件市场，集成电路市场需求一直占据全国的40%以上，近年来该地区的集成电路设计业发展较快，在国内集成电路产业中所占比重也逐年上升。^[2]

需要特别指出的是，尽管中国集成电路产业发展取得了长足进步，产业规模日益壮大，但是相比庞大的市场需求，中国集成电路对外依存度很高，自给率低于10%。从全球集成电路产业链来看，中国仍然处在产业链的中下游，集成电路80%以上都依赖进口，特别是CPU、存储器、现场可编程门阵列（FPGA）等仍高度依赖进口。近年来，虽然中国集成电路产能有所提升，但是供需矛盾仍然非常突出，本土集成电路自给率仍然非常低。根据进出口数据和产业增加值数据计算得出，2022年中国集成电路总体自给率仅为9.9%，仍有较大的进口缺口。总体来看，2015年以来，中国集成电路自给率虽然呈现上升趋势，但目前仍然处于低位，芯片自给率亟待提升（见图2）。另外，尽管中国本土企业在集成电路产业链上游、中游各模块乃至大部分的细分环节和品类都有涉足和布局，但与国际

[1] 蔡跃洲、马晔风、牛新星：“新冠疫情对集成电路产业的冲击与中国面临的挑战”，《学术研究》，2020年第6期。

[2] “半导体集成电路行业分析报告 一文带你读懂半导体集成电路行业现状与发展前景”，[https://www.colliers.com/zh-cn/research/e22-20220321semiconductor\[2023-12-05\]](https://www.colliers.com/zh-cn/research/e22-20220321semiconductor[2023-12-05])。

领先厂商相比，中国制造工艺与国际先进水平相差至少2代以上。同时，高端光刻机、高端光刻胶和12英寸硅片等产业配套仍未实现国产化。如果将技术差距考虑进来，那么前述10%的芯片自给率仍然存在高估的可能性。

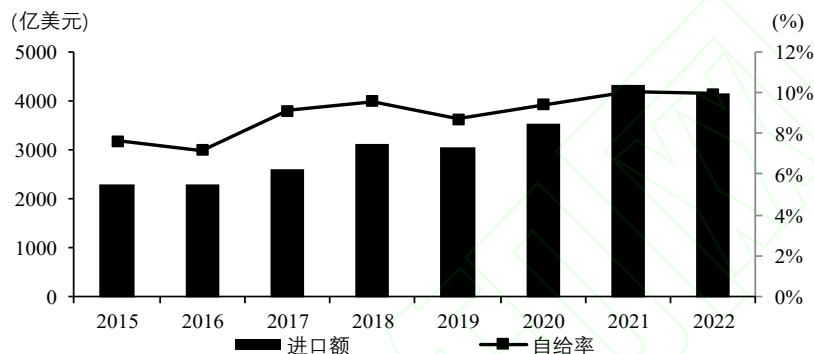


图2 2015—2022年中国半导体进口规模及自给率

数据来源：WSTS、SIA、PwC、IC Insights、Gartner、CCID Consulting等及作者整理。

集成电路产业链技术经济特征

半导体集成电路产业，某种意义上是现代自然科学和工程技术前沿知识集成应用的产物，由此也带来半导体集成电路产业链相较于传统产业不同的技术经济特征。具体而言，大致有以下几方面。

（一）产业链条超长与全球分布产能集中

半导体集成电路产业链涵盖上游材料、设备和中游制造三大模块，每个模块包含若干细分的品类或环节，而每个细分的品类或环节还可以进一步细分为多个品种或工艺。例如，上游材料模块的8大重要品类中，按照性能来分，仅光刻胶就可以细分为G线、I线、KrF、ArF、F2、极紫外光（EUV）等多个品种。又如，设备模块中的光刻机，包括“接触/接近式光刻机”“步进重复光刻机”“步进扫描光刻机”“浸没式光刻机”，其中浸没式光刻机又可细分为“深紫外光刻机（DUV）”和“极紫外光刻机（EUV）”，而每类设备又会涉及更多前端（零部件）供应商。像EUV光刻机这样的顶级设备，包含的零部件甚至可能超过10万个。^[1]

[1] “‘光刻机有10万零件，造光刻机不现实’，中国院士为何这样说？” <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1701082682577190747&wfr=spider&for=pc>[2023-12-05]。

超长的产业链条决定，没有哪个经济体有能力在产业链所有环节布局并取得或保持技术领先，即便美国也无法做到。事实上，美国作为半导体集成电路理论和技术的策源地，出于成本和效率的考虑，早在 20 世纪 60 年代便开始将封装、代工等环节向全球其他地区转移；随着时间的推移，逐步形成了现有全球产业分工和产业链分布格局。同样基于效率和成本的考虑，每个参与其中的经济体，最终都会聚焦于若干有限的模块或环节，通过不断积累优势，最终形成主要模块和重要细分品类环节为个别经济体中少数厂商主导的格局。仍以光刻机为例。根据中商产业研究院数据统计，全球光刻机主要供应商为荷兰阿斯麦（ASML）、日本的尼康（Nikon）和佳能（Canon）。2022 年三家企业光刻机营收分别为 161 亿美元、20 亿美元、15 亿美元，合计接近 200 亿美元，占据全球市场份额的 90% 以上，而阿斯麦在三家企业中的份额则高达 82.1%。

（二）资金技术双密集导致前端锁定后端

半导体集成电路产业链的第二项重要技术经济特征就是，资金技术双密集导致产业链前端环节对后端环节严格锁定。

半导体集成电路产业链是一个庞大的复杂系统，每一个模块、环节或品类都有很高的技术门槛和资金门槛，属于资金技术双密集型行业。特别是代工环节的芯片生产线，通常会涉及数百乃至上千道工序，每道工序都需要高端设备，经过 2 年左右的反复磨合与调试才有望顺利流片。一条先进制程的生产线，从建设到成功流片并实现量产，通常需要投入几十亿、上百亿美元。芯片生产线也因此被称为“吞金兽”。当然，一旦量产，每片芯片的边际成本可以降到近乎为零，“吞金兽”又可以变身为“印钞机”。

高投入和高技术门槛意味着，一旦某条产线调试成功，代工厂商无论是建设新产线，还是维护旧产线，在采购设备和材料时，都会倾向于选择合作过的供应商及其设备材料。毕竟，替换不同厂商的设备、材料，就意味着产线的重新调试，意味着调试过程需要承担非常大的折旧成本。而选择合作厂商的设备和材料，则会大大缩短调试维护时间，从而降低成本。这样，一旦产线建设初期选定了前端设备和材料供应商，后续通常不会轻易改变，从而就形成了前端对后端的锁定效应。锁定效应也使得前端环节竞争中，先发者相比后发者具有绝对优势，即存在显著的“先发优势”。

（三）细分环节品类利基市场容量有限

半导体集成电路超长产业链条中，不少细分环节或品类，基于其自身的技术

复杂性和在生产加工环节所发挥的关键性作用，形成了若干个利基市场（Niche Market）。这些利基市场，一方面在整个产业链中不可或缺；另一方面其整体市场规模不大，加上高技术门槛，对新进入企业而言利润空间有限，通常缺乏较大吸引力。例如2022年，全球硅晶圆、掩膜版、电子特气、溅射靶材的市场规模分别仅为147亿美元、49亿美元、220亿美元、236亿美元。由于市场规模偏小，能够容纳的企业有限，后来者不仅面临技术上的壁垒，而且面临市场空间的限制。于是，既有企业就能不断维持并强化其在利基市场中的优势地位。

不妨以电子设计自动化（Electronic Design Automation, EDA）软件为例。自20世纪60年代开始，在摩尔定律作用下，集成电路设计从大规模到极大规模，再到超大规模，设计规模越来越大，制造工艺越来越复杂，设计师依靠手工难以完成相关工作。EDA便是支撑集成电路设计不可或缺的工具，在集成电路制造模块中发挥着类似“控制性工程”的作用。目前，全球EDA领域有三家领先企业，分别是新思科技（Synopsys）、楷登电子（Cadence）和明导国际（Mentor Graphics）。^[1]根据国际半导体产业协会（SEMI）的数据，2022年新思科技、楷登电子、明导国际三家企业在国际EDA市场中占比分别为37.8%、26.5%、16.8%，合计市场占有率超过80%。与此同时，全球EDA整体规模仅为百亿美元级，与全球半导体集成电路市场规模相比，不足后者的3%（见图3）。与之类似，光刻机作为芯片制造最为关键的设备，全球市场高度集中，规模也仅有200亿美元。

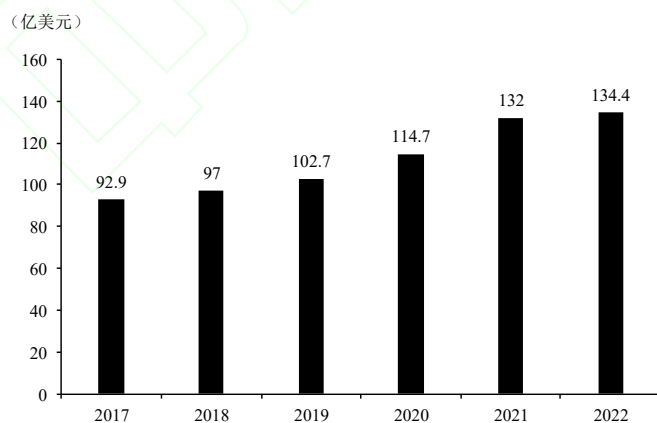


图3 2017—2023年全球EDA市场规模

资料来源：根据SEMI数据整理而来。

[1] 三者原本都是美国公司，但明导国际公司于2016年被德国西门子公司收购。

（四）下游需求也会对上游形成财务反制

半导体集成电路产业链各环节（如晶圆、光刻胶、离子注入机、刻蚀机、光刻机、EDA 等环节）都有很高的技术门槛。要维持技术上的领先地位，跟上产业链整体技术进步的节奏，必须保持高强度的研发投入。^[1]不妨以先进制程芯片生产线为例。作为“吞金兽”的先进制程产线，需要将其边际成本为零的芯片予以销售，才能转化为“印钞机”，从而拥有足够的利润和后续资金来支撑研发，以保持制程工艺的领先地位。如果下游对芯片的需求不足，那么上述良性循环就无法形成，巨额投资形成的产线也会成为企业沉重的财务负担。这不仅会制约企业进一步的投资，甚至可能让企业陷入困境。

2009 年从 AMD 公司拆分独立出来的美国芯片代工厂商格芯（Global Foundry），一度是仅次于台积电的全球第二大芯片代工企业。然而，正是这样一家在领域内处于全球先进行列的公司，却在 2018 年正式宣布放弃 7nm 以及更先进制程的研发。其背后的核心原因在于，格芯自成立以后，在几个重要制程节点上产能都出现滞后，未能有效抓住新的先进制程出现初期的市场需求，导致企业长期处于亏损状态。面对 7nm 制程高昂的研发投入和产线建设成本，格芯在财务上无力承受，只能选择放弃，专注于技术上相对成熟的 14nm 及以上制程，以实现财务状况的改善。

全球集成电路发展面临挑战及中国机遇

链条超长、规模不对称、前端锁定后端、下游反制上游等技术经济特征决定了，全球半导体集成电路产业链处于一种脆弱的“刃锋平衡”状态；保持集成电路产业整体平稳运行，需要产业链上下游各模块、各品类、各环节间的有效衔接和高度协同。^[2]然而，2018 年以来，集成电路产业发展面临的国际环境发生重大变化，突出表现为美国打压中国科技发展不断升级，大幅增加了产业链断裂风险。

[1] 集成电路制造从 20 世纪 60 年代的平面技术发展至今已有 60 多年历史。高级制程的集成电路制造挑战物理极限，数百道乃至上千道工序间需要协同配合，最终产品达到 5 纳米甚至 3 纳米的加工精度，加上良品率的要求，使得分解到每个环节能够容忍的误差都很小，对相关材料、设备都提出了很高的技术标准和要求。

[2] 蔡跃洲、马晔风、牛新星：“新冠疫情对集成电路产业的冲击与中国面临的挑战”，《学术研究》，2020 年第 6 期。

（一）技术经济特征强化与产业链韧性下降

全球半导体集成电路产业链的前述技术经济特征决定了，产业链上下游之间存在非常密切的相互依赖关系。产业整体的平稳运行和供需平衡，需要上下游各模块、各细分环节和品类间实现顺畅的协同对接。一条集成电路生产线的建设周期大约1~2年，而芯片流片过程至少需要三个月（包括原料准备、光刻、掺杂、电镀、封装测试），生产周期较长。其中，代工环节是集成电路产业链上游各环节的交汇点，直接决定芯片的供给。代工环节通常有数百道乃至上千道工序，调试流片成功的产线，每道工序间环环相扣以串行方式运行，这也是整个产业链前端锁定后端的技术工艺根源。每道工序的正常运转都需要由上游设备和材料模块相应品类的顺畅供应作为物质基础。而产业链全球分布且分品类集中的格局表明，要保持代工环节的顺畅运行，前端各模块和各细分品类需要形成有机衔接的供应链体系。由于前端对后端的技术锁定，加上每个细分环节、与品类对应的较小利基市场规模以及非常有限的供应商，一旦某个环节的某个上游供货商在生产经营上出现状况，下游代工环节很难在短时间内找到临时替代的方案，除非代工企业有充足的存货储备，否则短期内寻找新的供货渠道进行调整的空间非常有限，产业链供应链韧性总体而言并不足。与此同时，由资金密集和高投入带来的下游对上游反制特征表明，需求环节出现重大变化也会导致整个产业链运行的大幅波动。如果需求出现大幅增加，中上游各环节很难在短时间内迅速扩大产能，容易造成供应链全线吃紧。而一旦需求出现大幅下滑，那么各环节企业便可能陷入全面亏损，甚至出现财务危机导致产业链断裂。由此可见，全球半导体集成电路产业链的平衡和稳定状况非常脆弱。

自20世纪60年代开始，信息通信技术领域长期处于加速进步状态，细分环节、品类的技术性能呈指数级提升，可以体现为以下几个定律。一是集成电路制造本身遵循摩尔定律（Moore's Law），即单位面积硅片上的元件数量每18~24个月翻一番；二是主干网带宽的拓展遵循吉尔德定律（Gilder's Law），每6个月翻一番；三是数字信号处理器（DSP）每秒可完成百万乘法累加操作所需功耗遵循金帆定律（Gene's Law），DSP功耗/性能比每10年降低2个数量级。上述三大定律的提出时间，最短的也有近20年，最长的有50多年，而且至今依然成立。这意味着整个集成电路产业仍保持着快速的技术进步，产业链中上游各环节的技术门槛和壁垒也在继续提升，由此会巩固既有企业的技术优势和市场地位，并带来各模块中品类的进一步细分，使得产业链条超长、全球分布、集中度高等特征得

到进一步强化。与此同时，更高的技术门槛也会强化前端对后端的技术锁定，而愈发细分的品类则会强化各品类利基市场的特征。利基市场的强化加上技术提升后投入的增加，又会加剧下游对上游的反制。最终的结果就是，产业链韧性进一步降低，产业整体的平稳运行变得愈发艰难和脆弱。

（二）产业发展的国际环境发生重大变化

2018年之后，全球集成电路产业发展所面临的国际环境相比此前发生了重大变化。逆全球化思潮与新冠疫情大流行双重冲击下，许多国家开始强调产业层面的国家安全与科技层面的“小院高墙”。

在所有外部环境变化中，较为突出的特征是国际间的科技合作和技术扩散被一些国家的制裁、国家安全审查所阻碍，大致分为两类：一是出口管制，二是市场禁入。

其中，出口管制所产生的影响最为直接。以美国商务部实体清单为例。根据本文的梳理，从2018年8月1日到2023年6月12日，总共652个中国实体被纳入实体清单。在所有652家实体中，战略性新兴产业相关企业占比近82%。其中，新一代信息技术产业的实体数量最多，为305个，占比为42%；其后分别为高端装备产业（48个，7%）、海洋装备产业（43个，6%）和新材料产业（33个，5%）。新一代信息技术、高端装备、新材料与半导体集成电路都有密切关联，三类合计占比超过50%（见图4）。由此可见，半导体集成电路和数字经济是出口管制的“重灾区”。

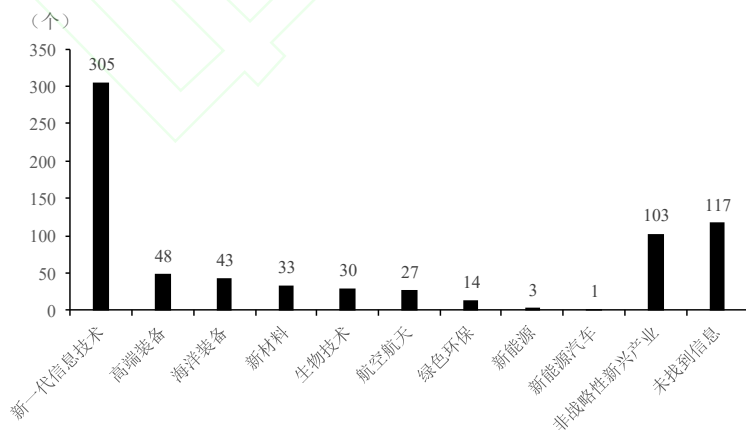


图4 2018年8月至2023年6月进入清单全部实体所属产业分布

注：产业分类主要以中国战略性新兴产业分类为依据。

资料来源：基于美国商务部网站信息等公开资料整理。

相关管制措施将给全球半导体集成电路产业的平稳运行和健康成长带来巨大风险。具体来说，主要体现在以下三点。

一是大幅增加全球集成电路产业链供应链断裂的风险。集成电路产业链的技术经济特征决定，其原本缺乏韧性，处于非常微妙的“刃锋平衡”状态，需要上下游各模块、环节之间高度协同；受影响企业可能因为无法及时找到替代方案而陷入困境，进而导致整个供应链断裂和产业链运转的短期停滞。

二是产业链上众多企业由于供需的人为阻断而陷入财务困难。一方面，处于后端或下游环节的受影响企业由于缺乏前端原材料、设备或中间投入品的供给，生产将陷入停顿；另一方面，上游和前端各环节受影响企业所形成的巨大产能短期内很难找到替代的需求，从而可能因销售收入大幅下降而陷入财务困境。

三是加大主要经济体在集成电路领域的产业技术脱钩风险。从中长期看，在外部环境高度不确定的情况下，上下游企业都会积极寻找替代的供应商或市场，以修复断裂的产业链、供应链，或避免对单一市场、供应商的过度依赖。而照此趋势发展，在不久的将来，半导体集成电路产业将由当下全球范围内的分布协同走向以若干经济体为主导的几个封闭体系，形成主导体系间相互脱钩的局面。如此，既不利于技术交流扩散，也不能发挥全球分工下各自比较优势，迟滞技术进步、增加芯片生产成本，最终提高全球数字化转型成本，进而影响全球数字经济发展进程。

（三）中国本土企业可能的机遇

尽管外部环境对中国企业带来了较大的负面冲击，但也孕育了化危为机的可能性。对于中国企业而言，以往前端锁定后端的产业链技术经济特征，使得很多企业无法介入先进制程，与先进水平长期存在2个以上技术代差。而在逆全球化思潮冲击下，本土企业反而赢得了更多参与更先进制程的机会，在使用中不断迭代、优化，提升技术水平，加上中国在半导体集成电路产业链几乎每个环节都有布局，因此，有望形成自主可控且相对先进的产业链生态体系。从企业实际情况来看，相关企业也开始积极实施国产替代方案，将关键环节设备、零部件进行一定程度的国产替换，为本土产业链上企业提供了更多机会。只有具有充足的需求，企业才能得以生存并有资金财力投入进一步研发，也才能促进产品不断优化和改进。

2023年9月，华为公司经历3年芯片禁售之后，推出搭载“麒麟9000S”的新款5G手机。这意味着，三年来中国本土的集成电路产业链技术水平与最先进

制程相比缩小了至少1个技术代差。这在很大程度上印证了本土企业能够利用禁售后腾出的市场空间，通过迭代优化缩小技术差距，实现化危为机。

结论与建议

本文前述各部分通过相关数据收集整理，对全球半导体集成电路产业链构成分布状况、市场规模结构及中国发展状况进行展示。以此为基础，就全球半导体集成电路产业链的技术经济特征进行提炼，进而分析当前全球集成电路产业链平稳健康发展所面临的挑战及中国潜在机遇。基于前述提炼和分析，就全球集成电路产业链发展状况及未来趋势有以下主要判断。

第一，半导体集成电路产业链涉及制造、材料、设备三大模块以及诸多细分环节和品类，产业链全球分布但真正有能力参与其中的经济体仅限于美国、日本、韩国、英国、中国台湾、中国大陆以及荷兰、德国等少数欧盟国家。其中，美国作为策源地在设计、材料、设备、EDA软件等方面都有较大优势，日本擅长材料和设备，中国台湾专注于代工，英国在IP方面有优势，荷兰则主导了最高端EUV光刻机。这种产业分布格局的形成充满了竞争、矛盾及偶然，而美国政府及其本土企业扮演了主导和推动的角色。

第二，制造业大国的地位决定了中国早在2004年前后便成为全球最大的半导体集成电路市场，2010年芯片需求占全球份额便超过50%；中国本土企业在集成电路产业链上游、中游各模块乃至大部分的细分环节和品类都有涉足和布局，但与国际领先厂商相比，普遍存在2个以上的技术代差。尽管中国集成电路产业发展取得了长足进步，但是相较于庞大的市场需求，产业的对外依存度很高，自给率低于10%。

第三，全球半导体集成电路产业链具有“产业链条超长与产能集中”“资金技术双密集导致前端锁定后端”“细分环节品类利基市场容量有限”“下游需求对上游企业形成财务反制”等技术经济特征。这使得全球半导体集成电路产业链处于一种脆弱的“刃锋平衡”状态。保持集成电路产业整体平稳运行，需要产业链上下游各模块、各品类、各环节间的有效衔接和高度协同。

第四，技术的持续进步和分工的不断细化，使得产业链条超长、产能集中等技术经济特征得到强化。更高的技术门槛也会强化前端对后端的技术锁定，品类细分则强化利基市场特征，从而加剧下游对上游的反制。最终的结果就是，产业

链韧性进一步降低，产业整体的平稳运行变得愈发艰难和脆弱；主要经济体出于产业链安全考量，将着手打造各自自主可控的供应链体系，加速相互间产业和技术的脱钩，增加芯片生产成本，进而推高数字化转型和数字经济发展的成本。

第五，逆全球化思潮改变了全球半导体集成电路产业链运行的外部环境，增加全球集成电路产业链供应链断裂的风险。当然，对于产业链上的中国本土企业来说，虽然短期受到较大冲击，但在长期却可能获得更多迭代优化、缩小差距的机会。

整体而言，上述挑战对全球半导体集成电路产业的发展带来巨大风险。相关经营者应勇于担当，成为平衡半导体产业发展与各国国家安全的“和平大使”，努力消除各国间的矛盾与担忧，而不是片面地追求短期利益，主动推动全球半导体集成电路产业脱钩断链。具体而言，随着逆全球化思潮抬头、“脱钩断链”风险加剧，许多经营者都获得了政府的特定补贴，在短期可能获益。但长远来看，并非如此。半导体行业的逆全球化不利于各经济体充分发挥比较优势，进而可能显著推高半导体产品的成本，使得产品需求面临萎缩风险；为对冲风险，多源采购与本地采购已成为相关企业和下游客户的主流选择，这很可能加剧相关产业的产能过剩风险。回顾全球半导体集成电路产业明显的周期性特征，每5~10年都会出现需求上升、投资扩产到需求萎缩、产能过剩的大震荡。近年来为应对“芯片荒”，主要国家和企业都在不断增加、释放产能。在成本和库存双升情况下，一旦出现需求萎缩，就可能给行业带来巨大的负面冲击，对行业发展造成不利影响。国际社会特别是主要经济体，也应正视当下趋势可能带来的负面影响，积极营造更为宽松的产业发展环境。对于中国而言，应当继续秉持开放合作的态度，积极推动主要经济体在全球产业链各环节间实现更为顺畅的协同。■

（责任编辑：邱静）