

美国重塑半导体产业链的逻辑^[1]

吴泽林 尚修丞

【内容提要】在美国对华发起全面竞争，以及新冠肺炎疫情大流行和乌克兰危机的叠加影响下，全球半导体产业链遭受重大冲击，美国等主要大国均开始构建自主可控的半导体产业链。美国半导体产业基础较强，但在制造能力特别是先进制程工艺上较为薄弱，严重依赖东亚地区，这被美国认为可能引发一系列风险，重塑半导体产业链成为拜登政府执政后的重要议题。为此，美国政府通过动态精准打压对华半导体供应链、强化技术研发并推动先进半导体企业赴美建厂、构建半导体产业链联盟等方式，试图弥补制造能力的短板并掌控尖端芯片技术。2022年8月正式出台的《芯片和科学法案》成为实现这些目标的重要举措。但占据芯片尖端制造技术优势的美国也较难摆脱对东亚地区的依赖，加之联合盟友对华遏制的困难，美国重塑半导体产业链的雄心面临较大挑战。

【关键词】半导体产业链 中美竞争 《芯片和科学法案》

【作者简介】吴泽林，上海社会科学院国际问题研究所副研究员；尚修丞，上海社会科学院国际问题研究所硕士研究生。

【中图分类号】D815

【文献标识码】A

【文章编号】1006-6241 (2022) 06-0071-23

[1] 本文受国家社会科学基金青年项目“美欧新一轮全球基础设施投资计划对共建‘一带一路’影响的比较研究”(22CGJ041)资助。

在近年美国对华发起全面竞争、加之新冠肺炎疫情（以下简称“疫情”）大流行和乌克兰危机的叠加影响下，全球半导体供应链和产业链遭受重大冲击，在生产和运输方面不断受创，全球“缺芯”现象长时间延续。这造成芯片价格上涨，交货期限延长，企业大量囤积，对全球多个行业造成极大影响。对此，主要半导体大国纷纷出台战略举措，增强技术研发和供应链韧性。韩国政府于2021年5月发布《K-半导体战略》，提出未来10年将斥资4500亿美元建设全球最大的芯片制造基地，使出口总额增加到2000亿美元，并建成全球顶级半导体供应链。2021年6月，日本政府宣布确立半导体数字产业战略，将加强与海外合作，联合开发尖端半导体制造技术并确保生产能力；加快数字投资，强化尖端逻辑半导体设计和开发；优化国内半导体产业布局，加强产业韧性。^[1]2022年2月，欧盟推出《芯片法案》（A Chips Act for Europe），拟动用超过430亿欧元建立完整、有弹性的半导体产业链，使其当前所占市场份额到2030年时翻番至达到20%，推动实现半导体的自主可控。此外，德国、西班牙、印度等国也先后宣布加强投资或补贴力度，以发展本土芯片产业。

“缺芯”对美国多个行业的影响尤为突出。美国商务部副部长唐·格雷夫斯（Don Graves）指出，美国半导体行业面临两大危机，一是半导体供应短缺扰乱了汽车、消费电子等多个关键行业，造成企业裁员和经济复苏放缓；二是美国在半导体供应链上的“长期领导力”面临威胁。^[2]拜登政府认为，这些危机对美国经济和国家安全已造成重大威胁，因此上台伊始就签署行政令要求对包括半导体在内的四大关键领域供应链进行审查。2021年6月发布了《建立弹性供应链，振兴美国制造业，促进基础广泛增长：第14017号行政命令下的百日供应链审查报告》，其中第一部分就对中美

[1]《日本确立半导体数字产业战略》，新华网，http://www.xinhuanet.com/2021-06/04/c_1127530985.htm。

[2] 林子涵：《美国“黑手”伸向全球芯片产业》，载《人民日报（海外版）》2021年11月27日，第7版。

两国在半导体领域的优势、弱势及发展趋势进行了全面评估和研究，并提出应对之策。由此，拜登政府将重塑半导体产业链视为一项重要议程。

作为一个标志性的举措，经过美国参众两院一年多的协商，2022年7月，《芯片和科学法案》(CHIPS and Science Act)从参议院2021年6月通过的《创新与竞争法案》和众议院2022年2月通过的《竞争法案》中分离出来进行单独立法。8月9日，美国总统拜登签署法案，使其正式成为法律。根据该法案，美国政府将在未来几年为人工智能、机器人技术、量子计算等前沿科技提供2000亿美元的科研经费支持。在半导体领域，将在5年内提供527亿美元资金，其中为美国芯片基金提供500亿美元，为“芯片国防基金”提供20亿美元，为“芯片国际科技安全和创新基金”“芯片劳动力和教育基金”分别提供5亿美元和2亿美元。法案也将为企业提供总额为240亿美元的税收抵免。此外，法案禁止接受联邦政府资助的企业在“对美国构成国家安全威胁”的国家建设或扩大先进制程晶圆厂。由此可见，美国政府已重拾曾遭其严厉批判的产业政策，强力干预前沿技术领域，以期持续巩固技术优势。同时，该法案将“对抗中国”(counter China)写进标题里，将针对中国并限制其技术发展的企图昭然于天下，地缘政治色彩浓厚。

一、美国半导体产业基础及其风险

2001—2021年，美国半导体企业的销售额从711亿美元增至2575亿美元，复合年增长率为6.65%，占全球市场份额的46%，处于全球领先地位；半导体产品是美国第五大出口产品，其2021年出口额高达620亿美元^[1]，半导体产业的发展对美国经济的重要性可见一斑。但从其发展历程看，虽然发明和大规模生产来自于美国硅谷，但拉动这一需求迅速上升的是美国政府和军方。正是基于美苏冷战和太空军备竞赛的需要，20世纪50—60年

[1] SIA, *2022 Fact Book*, pp.3-4, <https://www.semiconductors.org/resources/factbook/>.

代，美国军方大量采购半导体设备，峰值时接近全部产出的一半，才由此奠定了美国半导体工业在国际技术与产业中的王者之尊。^[1]美国半导体产业虽然在20世纪80年代曾一度遭到日本的挑战和赶超，但在对日本进行打压并对本国半导体产业大力扶持之后，其再度复兴并保持领先优势至今。

经济全球化和国际分工的深化，使包括美国在内的发达国家将制造业向广大发展中国家转移，半导体产业中附加值较低的制造和封测等环节也逐步与设计环节分离，呈现出全球分散和区域集中的特征：一方面从全球分布看，美国在半导体设计环节占据主导地位，在设备和材料领域具有优势，制造和封测环节则由东亚国家主导；另一方面，由于半导体产业在资金投入、人才需求、资源禀赋、科技环境、集群生态等方面要求严苛，虽然2021年全球半导体市场规模达到5560亿美元，但能在其中扮演重要角色的国家并不多，总体上就是美、日、中、韩、德、法、意、越、泰、马来西亚、新加坡等国，表现出区域集中的特点。基于专业化分工，半导体产品的整个生产过程需要跨越各国边境70次以上，全程达到100天。也正是源于这一流程，美国半导体产业在不同环节呈现出不同的发展态势。

（一）美国半导体产业基础

半导体产业基础可以分为设计、制造、封测、设备、材料5个方面。美国半导体设计能力全球领先，全球前三大设计公司高通、博通、英伟达皆为美国公司。作为芯片设计的基础，电子设计自动化（EDA）基本上被美国企业新思科技（Synopsys）和铿腾电子（Cadence）主导。根据美国半导体行业协会（SIA）和波士顿咨询公司（BCG）的报告，2019年美国在电子设计自动化和IP核领域的市场份额达到74%。^[2]

[1] 李寅：《重塑技术创新优势？——美国半导体产业政策回归的历史逻辑》，载《文化纵横》2021年第4期，第51-52页。

[2] BCG and SIA, *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*, p.5, <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>.

美国的制造设备同样具有优势，全球前五大半导体设备商中有3家是美国企业，即美国应用材料公司（Applied Materials）、泛林集团（Lam Research）和美国科磊公司（KLA Corporation），3家企业的市场份额占到37.6%。此外，与芯片设计具有高集中度相似，大多数设备制造的市场份额也都集中于一家或几家头部企业。比如，应用材料公司在物理气相沉积设备领域具有垄断优势，占比达到85%，在氧化炉、离子注入机、化学气相沉积设备、抛光机等领域也具有较强的技术和市场优势；泛林集团在刻蚀机市场的占比超过50%。虽然光刻机领域由荷兰阿斯麦公司（ASML）占主导并垄断了极紫外（EUV）光刻机市场，但美国可以凭借《瓦森纳协定》干预其出口，对光刻机的流向具有较强的话语权。

在材料领域，美国企业也占有可观的市场份额。比如，美国公司占据了40%的掩膜版市场份额。^[1]慧瞻材料（Versum Materials）、艾万拓（Avantor）、霍尼韦尔（Honeywell）等公司在电子气体和湿电子化学品方面都具有一定的行业实力和地位。

支撑美国半导体设计、设备和材料优势地位的是规模庞大的研发支出。2000—2020年，美国半导体行业研发支出的年复合增长率约为7.2%，2021年的研发支出为502亿美元，占销售额的比重高达19.5%，仅次于制药和生物产业，也高于其他国家的半导体产业。^[2]美国企业是技术研发的主体。企业市场规模和研发投资规模的良性互动使公司能获得足够的利润回报，现有研发的专业知识积累也构成了后来者进入和追赶的自然障碍，导致供应商市场份额愈发集中，最终形成“强者恒强”的局面。在科研方面，美国与中国是近10年半导体领域科学论文发表数量最多的两个国家，但美国每

[1] The White House, *Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering Broad-based Growth: 100-Day Reviews under Executive Order 14017*, p.47, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>.

[2] SIA, *2022 Fact Book*, p.18, <https://www.semiconductors.org/resources/factbook/>.

项半导体专利的平均被引用量是其他国家的3—6倍，凸显其学术生态系统的实力。高度集聚的头部企业配合强大的科研实力，美国得以留住和招徕大量人才，全球顶级半导体公司雇佣的工程师中，约有50%在美国工作。

美国半导体产业的弱势凸显在制造环节，主要囿于国际产业分工和建设及运营成本的大幅上升。上世纪80年代，随着半导体行业垂直分工的加剧，美国企业逐步放弃自营的晶圆厂，将资金集中投入到更具竞争优势和利润空间的设计环节。同时，半导体制造技术更新迭代迅猛，高涨的费用迫使诸多美国企业放弃对先进晶圆厂的持续投资。当今，一个5纳米晶圆厂的建设成本至少为120亿美元，更先进的3纳米工厂的成本可能超过200亿美元且后续运营成本更为昂贵。此外，芯片制造还需要消耗大量的水和电，对芯片厂的周边环境要求很高。因此，美国逐渐放弃制造环节，从21世纪初至今，美国半导体制造的市场份额已从37%下降到12%^[1]，落后于中国台湾地区和韩国等地。过去10年，美国以外地区芯片产出的增长速度是美国的5倍。^[2]当前美国有33家企业在18个州建有71座晶圆厂，涉及27.7万个高薪岗位，额外支持160万个就业岗位。即便如此，其生产能力仍在不断削弱。目前，美国仅存的先进制程工艺是英特尔运营的10纳米晶圆厂，其7纳米工艺预计到2023年可实现量产。至于更先进的5纳米工艺，只有台湾积体电路制造股份有限公司和韩国三星集团具备生产能力，美国在先进制程上的技术优势已基本丧失。此外，随着各国对先进封装的需求增加，其已成为半导体产业的新增长点，但美国在封装环节的全球占比仅为3%，主要份额仍在东亚地区。

[1] The White House, *Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering Broad-based Growth: 100-Day Reviews under Executive Order 14017*, p.22, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>.

[2] SIA, *2021 State of the U.S. Semiconductor Industry*, p.23, <https://www.semiconductors.org/state-of-the-u-s-semiconductor-industry/>.

（二）美国半导体产业链风险

审视美国半导体产业基础，其在设计、设备和材料等领域有较强的技术和竞争优势，对全球半导体产业链有较强的主导力和控制力，但在尖端制造和先进封装等环节较为薄弱，特别是在 10 纳米以下制程的制造能力上处于空白。从发展上看，到 2030 年美国的产能份额将进一步下降到 10%^[1]，而亚洲产能将增加到 83%，再加上不少国家正加大支持力度，出台各类资金补助、补贴、税收抵免等优惠政策，这些都使美国感受到极大的危机感和紧迫性，迫使其关注潜在风险，防止可能出现的风险点造成供应链的中断。对追求“绝对安全”的美国来说，半导体制造集中于东亚会带来一系列风险，一是自然灾害风险。东亚处于环太平洋地震带，2011 年日本大地震曾致使数家晶圆厂关闭长达数月，25% 的硅片供应因此受到影响；2021 年，中国台湾地区遭受旱情，台积电的用水虽得到全力保障，但无疑暴露出生产中的脆弱性。二是地缘政治风险。东亚各国原本存在一些尚未解决的领土争端和非传统安全风险，近年来随着世界各国投入巨大资源介入，更是成为大国博弈的前沿。2019 年韩日两国的政治紧张使日本限制向韩国出口光刻胶等 3 种半导体关键材料，影响了韩国每月大约 70 亿美元的半导体出口。三是公共卫生风险。由于半导体产业链在全领域的高集中度，新冠疫情不仅影响相对高技术的制造环节，技术水平相对较低的环节如出现风险，也会引发全球芯片危机。2021 年，全球封测“基地”——马来西亚为控制疫情采取“全面封锁”政策之后，美国几家工厂被迫停工，全球“缺芯”状况随即加剧。此外，还包括基础设施破坏、网络攻击等其他风险。

在设计、研发、设备、材料等多领域有较强技术和竞争优势的美国，很难容忍在制造环节“受制于人”，也极力避免某一风险点对整条供应链带来的较大影响。虽然中国与美国在半导体全产业链诸多环节上存在很大

[1] SIA, *2021 State of the U.S. Semiconductor Industry*, p.10, <https://www.semiconductors.org/state-of-the-u-s-semiconductor-industry/>.

差距，但基于拜登政府已明确把中国视为首要挑战者，中国无疑就成为美国眼中半导体产业链的最大风险点：一是中国对各环节的巨大投入将使其成为半导体产业的全球领导者；二是美国对中国市场的巨大依赖。基于这一认知，拜登政府发布的《临时国家安全战略方针》提出“美国必须恢复其持久的优势，以便能够以强大的实力迎接今天的挑战”。^[1]2022年7月，美国商务部长雷蒙多（Gina Raimondo）和国防部长奥斯汀（Lloyd Austin）联名致信国会指出：“中国决心成为未来产业的全球领导者，美国首次面对这样一个战略竞争对手，如果不参与竞争，中国将有能力和资源做到这一点。”^[2]可见，科技霸权对于维持美国国际领导地位至关重要，是其进行国际政治斗争的有力手段和维持国际威望、世界影响的重要保证。^[3]

二、美国重塑半导体产业链的举措

美国重塑半导体产业链的目标不仅是弥补制造能力短板，解决芯片短缺问题，更在于掌握和控制尖端芯片技术，实现先进技术研发与产业能力提升之间的融合，促进美国新兴领域的经济大循环。此举一方面能够确保美国关键基础设施^[4]的应用安全，即对尖端芯片制造能力的扶持能够维持“最小可行产能”（minimum viable capacity），以最低限度应对产业链风险，提高产业链弹性并保障经济和国家安全；另一方面，芯片是未来产业的核心，

[1] The White House, *Interim National Security Strategic Guidance*, p.1, <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/03/NSC-1v2.pdf>.

[2] U.S. Department of Commerce, “Commerce Secretary Raimondo and Defense Secretary Austin Stress National Security Imperative to Pass Domestic Semiconductor Manufacturing Bill in Letter to Congress,” July 13, 2022, <https://www.commerce.gov/news/press-releases/2022/07/commerce-secretary-raimondo-and-defense-secretary-austin-stress>.

[3] 姜志达、崔越：《数字霸权与美国对华科技遏制的的影响》，载《和平与发展》2021年第5期，第21页。

[4] 这些设施包括航空航天和国防系统、核心电信网络、超级计算机以及政府、能源、交通、医疗和金融服务等关键领域的数据中心，其消费份额大约占美国市场的9%。

掌握尖端技术能够确保美国今后的技术霸权，并在对华竞争中取得优势地位。为达到目标，美国重塑半导体产业链主要采取三大措施：一是动态精准打压对华半导体产供应链，二是强化技术研发并推动先进半导体企业赴美建厂，三是构建半导体产业链联盟。

（一）动态精准打压对华半导体产供应链

自特朗普政府时期美国就开启了对华半导体产业“脱钩”策略。2018年8月，美国商务部以维护国家安全和外交利益为由，将44家中国企业列入出口管制“实体清单”，正式开始对中国的技术封锁。2019年5月，美国商务部将华为及其114家海外关联公司列入“实体清单”，向华为出口美国产品的公司必须获得许可证。2020年9月，美国对华为的新制裁禁令正式生效，所有使用美国技术的厂商向华为供货必须获得美国政府的许可。这使华为无法再通过代工或采购的方式获得高端芯片。11月，总统特朗普签署行政令，禁止美国投资者向包括华为、海康威视在内的“与中国军方有关联”的31家中国企业投资。12月，美国商务部将中芯国际列入“实体清单”，限制其获取美国关键技术的能力。拜登政府上台后，美国继续升级对中国半导体产业打压的范围和力度。2021年3月，美国联邦通信委员会和国土安全局将华为、中兴、海能达、海康威视、大华科技列入“不可信供应商名单”，将在美国拆除这些公司生产的部分产品。同年7月和12月，美国商务部又分别将23家和34家中国实体列入“实体清单”，均涉及半导体企业。

在持续升级打压之下，美国也更加积极地采取动态精准策略，即制裁范围不限于先进技术工艺，而是将所有中国大陆无法掌握的技术工艺都纳入制裁范围，并根据技术工艺的发展进行动态调整。比如，美国此前已禁止在未经许可的情况下出口10纳米以下技术的芯片设备，但美国当前认为中国掌握的技术水平是14纳米及以上工艺，因此正考虑修补“漏洞”，将制裁范围从之前的10纳米以下提高到14纳米以下。2022年8月，半导体

设备巨头美国科磊公司称，已收到美国政府限制出口中国大陆 14 纳米以下先进半导体设备的备忘录。

鉴于美国并非在半导体产业所有领域都拥有先进技术，美国也正积极同其他国家探索半导体技术协同共管的可行性，推动在对华“脱钩”议题上的一致。特朗普政府时期，美国就多次在国际场合游说其他国家在 5G 网络建设中排除华为产品，并建立排除中国的信息通信技术产业联盟。拜登政府继续在多边机制和双边合作中开展半导体关键技术出口管制合作。目前对半导体的出口管制以“瓦森纳安排”^[1]为主，由 42 个成员国组成。美国已在该框架内着手对半导体领域的元器件、设备、材料、软件和技术进行修订。2021 年 12 月，美国推动各国就电子设计自动化、金刚石和氧化镓控制达成共识，于 2022 年 8 月实施出口管制。同时，拜登政府以技术和民主价值观、供应链韧性等为借口，拉拢欧盟部分成员国、日本、中国台湾地区等，探索双边合作机制。例如，2021 年 6 月的美欧峰会成立了美欧贸易和技术理事会（TTC），下设出口管制工作组。该理事会于 2022 年 5 月召开第二次部长级会议并发布联合声明，强调美欧双方将与第三国在半导体等关键技术出口管制方面进行制度层面的合作。此外，荷兰已表示，可采纳美国商务部的最终用户名单方式，并计划对非清单物项实施“全面管制”。日本也表达了修改出口管制体制、同美国构建新多边机制的意向。荷日两国也已同美国达成非正式谅解，将就极紫外光刻机出口许可政策进行协同，三方对许可否决情况进行信息共享，以达到协同否决、不留技术漏洞的空间。^[2]此前，为限制中国先进芯片制造能力，在美国的施压下，荷兰光刻机巨头阿斯麦（ASML）未向中方提供最先进的极紫外光刻机。2022

[1] 全称为“关于常规武器与两用物品和技术出口控制的瓦森纳协定”。

[2] SIA, “SIA Encourages the United States and Europe to Collaborate on Export Control Policy,” January 20, 2022, <https://www.semiconductors.org/sia-encourages-the-united-states-and-europe-to-collaborate-on-export-control-policy/>.

年以来，美国政府认为主要用于 10–130 纳米的深紫外光刻机对华同样属于先进设备，并可能被用来实现技术突破，持续向荷兰施压，要求阿斯麦对华禁售这一并不属于尖端技术的光刻机。此举是对美国滥用国家力量、惯施技术恐怖主义行径的最佳诠释——意图将中国规锁在其所期望的范围内，长期保持与美国的技术代差，并由此限制中国高端民用技术和先进军事技术的发展。这一做法也正在向人工智能等其他新兴领域推开。

（二）强化技术研发并推动先进半导体企业赴美建厂

一直以来，美国半导体公司的研发支出及其占总营收的比重领先于其他国家。2021 年，全球半导体公司研发支出的 56% 来自美国公司，仅英特尔的研发支出就占到 19%。^[1]但美国联邦政府的资金支持力度不足，落后于很多国家。由于半导体行业具有高投入、高风险、长周期等特点，且中国半导体产业的快速发展及政府的大力投入也引发了美国的担忧，诸多政府高官、企业和行业协会呼吁联邦政府加大支持力度，增强美国半导体生态优势。为此，拜登政府把加大对科学技术、基础研究和人才建设的投入也作为重要议题，决心重拾产业政策，深度参与新兴技术研发，扭转联邦政府研发资金多年来的下滑趋势，并扩充科学、技术、工程和数学领域的人才储备。

为科学统筹半导体发展布局，拜登政府聘请美国超威半导体公司（AMD）总裁兼首席执行官、半导体设备和高性能处理器专家苏姿丰（Lisa T. Su）作为总统科学技术顾问委员会（President's Council of Advisors on Science and Technology）成员，就半导体创新政策提供建议。从《创新与竞争法案》到《竞争法案》，再到正式出台的《芯片和科学法案》，美国参众两院始终要求联邦政府对包括半导体产业在内的新兴领域加大资源投入，以确保

[1] IC Insights, "Americas' Chip Suppliers Continue to Dominate R&D Spending," July 20, 2022, <https://www.icinsights.com/news/bulletins/Americas-Chip-Suppliers-Continue-To-Dominate-RD-Spending/>.

美国的全球领导地位，其中对芯片法案始终拥有较大共识。根据《芯片和科学法案》，美国政府将在5年内为包括国家半导体技术中心和国家先进封装制造在内的研究项目拨款110亿美元，前者将成为美国半导体人才、知识、投资、设备和工具的中心；后者意味着美国政府已经意识到，虽然封装属于技术含量相对较低的环节，但先进封装也可能实现“卡脖子”功能，这是美国补齐另一块短板、完善半导体产业生态的又一举措。

为提高半导体制造能力并掌控尖端技术，特朗普政府时期就开始大力推动先进半导体企业赴美投资建厂。2021年以来，半导体行业已宣布到2025年在美国新增投资近800亿美元，包括三星、英特尔、台积电、德州仪器（TI）、格芯（GF）、韩国SK集团、美光（Micron）等都已宣布新建工厂或研发中心。^[1]其中，美国政府的重点是促进全球仅有的有能力生产7纳米以下芯片^[2]的台积电和三星赴美建厂。在《芯片和科学法案》为芯片产业提供的527亿美元中，390亿美元将用于芯片制造，但其中仅有20亿美元用于成熟芯片，两者相差近20倍，可见尖端芯片才是美国技术发展的重点。该项资金将主要用于补助台积电、三星和英特尔的在美建厂项目：台积电选址亚利桑那州凤凰城，投资120亿美元，计划2024年量产，每月生产2万片5纳米工艺芯片；三星选址德克萨斯州泰勒市，投资170亿美元，计划2024年投产；英特尔将投资200亿美元在俄亥俄州建厂。

第一，利用和增强市场依赖

2010年以来，半导体行业快速发展，美国消费市场发展尤为迅速。2019年，美国在大型个人电脑和信息通信基础设施应用市场占据全球约

[1] The White House, *Fact Sheet: Biden-Harris Administration Bringing Semiconductor Manufacturing Back to America*, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/01/21/fact-sheet-biden-harris-administration-bringing-semiconductor-manufacturing-back-to-america-2/>.

[2] 2019年，台积电在10纳米以下节点的市场份额达到92%，三星为8%。

45% 的市场份额，在智能手机和工业设备方面的份额约 30%。^[1] 行业的飞速发展和美国消费市场的快速增长，推动了对芯片的需求，推高了晶圆代工厂的营收。2010—2021 年，台积电的营收从 4195.4 亿新台币上升到 1.59 万亿新台币，其最大市场是美国，2021 年来自美国的营收突破 1 万亿新台币，占总营收的 64%，而来自中国大陆的营收为 1645.5 亿新台币，份额仅为 10%。^[2] 2021 年，苹果继续保持台积电第一大客户的地位，营收占比高达 25.4%，其他客户包括超威、联发科等，营收占比仅在 7%—9.2% 之间。^[3] 可以看到，台积电的客户主要来自美国且苹果就占到 1/4。同样情形也在三星电子得到复制。2022 年第一季度，三星电子在美国智能手机市场的占有率为 28%，创近 8 年新高。^[4] 因此，这也使美国拥有了更大的话语权。

美国基于对最终消费市场的把控，对晶圆代工业务产生直接影响，其作为一种常量，在近年来也作为一种变量，发挥了重要作用。就常量而言，台积电和三星在美国的营收一直保持较高比重，是企业利润和研发下一代技术工艺的重要来源；今后半导体消费市场也主要集中于中美两国，欧洲、日本等其他地区所占比重均不会太高。就变量而言，一是美国制裁华为，中止了华为与台积电和三星在尖端芯片方面的代工合作，但对两家企业营收的影响较小——华为的份额已很快被美国客户所取代；二是英特尔为确保供应链安全，已开始与台积电合作且将持续到 2025 年后的 2 纳米时代，这一合作已使英特尔在台积电的客户排名从 2020 年的第 11 位跃迁至 2021

[1] BCG and SIA, *Strengthening the Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era*, p.12, <https://www.semiconductors.org/strengthening-the-global-semiconductor-supply-chain-in-an-uncertain-era/>.

[2] 台积电:《台湾积体电路制造股份有限公司民国一百一十年度年报(一)》,第 54 页, https://investor.tsmc.com/static/annualReports/2021/chinese/pdf/c_all.pdf。

[3] 《台积电 2022 年产能订单:5nm 爆发,4nm 已提前下单》,国际电子商情, <https://www.esmchina.com/trends/37906.html>。

[4] 《三星手机第一季度全美市占率 28% 创近 8 年新高》,韩联社, <https://cn.yna.co.kr/view/ACK20220504004000881>。

年的第7位；三是三星积极寻求与美国的技术合作，与台积电争夺美国客户，力争在2030年赶上台积电。因此，在美国对华发起全面竞争，特别是对华为制裁的背景下，无论从常量还是变量看，美国一直并将继续是台积电和三星最重要的市场。巨大的市场份额成为两家企业赴美设厂的重要因素——台积电和三星在尖端芯片领域的代工业务已由过去对中美两国的双重依赖转变为近年及今后较长时期对美国的单一依赖。

第二，提供激励政策

晶圆制造作为资本密集型行业，其建设和运营需要大量资金投入，制程越先进，投资额越大。美国半导体行业协会的研究表明，政府的激励措施通常会减少企业的建设和经营支出，有效的政策激励可以抵消新工厂15%—40%的总资本支出。^[1]正是由于高昂的成本和缺乏有效的激励措施，台积电董事长刘德音曾多次表示，赴美设厂“资金、运营成本是挑战”。美国政府对此也有清晰的认知，《芯片和科学法案》的出台，正是以《竞争法案》《创新与竞争法案》、2020年的《美国晶圆代工法案》、2021年的《促进美国制造的半导体法案》等多部涉及对半导体工厂的建造和运营提供补贴或税收减免的法案为基础的。此外，除了联邦政府的政策激励，地方政府也给予了较大幅度的优惠措施。台积电选址的亚利桑那州具有税赋低廉、法规简便、投资优惠措施到位、半导体生态完整等优点，凤凰城还将为其提供2.05亿美元的市政基金，以改善工厂的基础设施。而三星选址的泰勒市将为其提供10亿美元的税收减免。^[2]这对晶圆制造来说是极为重要的。

[1] Antonio Varas, Raj Varadarajan, Jimmy Goodrich, and FalanYinug, *Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing*, p.17, <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/09/Government-Incentives-and-US-Competitiveness-in-Semiconductor-Manufacturing-Sep-2020.pdf>.

[2] 朴信映：《三星斥资170亿美元在美建芯片厂加速追赶台积电》，韩国经济新闻，<https://www.kedglobal.com/cn/%E5%8D%8A%E5%AF%BC%E4%BD%93/newsView/ked202111240010>。

第三，将议题政治化

半导体产业已被美国政府高度政治化，提高到了国家安全的战略层面。拜登总统和商务部长雷蒙多等官员多次强调半导体产业涉及美国经济和国家安全。在引导台积电赴美设厂过程中，美国将议题政治化、武器化，以胁迫性施压迫使其不得不赴美设厂。台积电董事长刘德音曾坦言，赴美设厂是由客户的政治推动而促成的。^[1]

从 2019 年起，美国政府便开始向台积电施压，五角大楼联系其多家客户，警告它们依赖台湾公司所带来的安全隐患。^[2]2020 年以来，美国政府、国会议员、美国在台协会等多次就半导体供应链与台湾当局会谈，表示会共同支持美台企业的半导体供应链合作。同时，美国媒体也不断向台积电喊话施压。2020 年 5 月，美国商务部和国防部更正式“约谈”台积电。而台积电在与其最大客户苹果公司讨论后，正式宣布赴美建厂。该决定宣布几小时后，美国商务部再度追加对华为的禁令，彻底阻断了台积电在与美国合作的同时仍向华为出售尖端芯片的想法。在美国的胁迫下，台积电从“没有在美建厂计划”，到担心“高昂成本”、尚无“具体计划”，到最后确定建厂，从其态度转变中不难看出政治因素所发挥的作用。

美国政府同样对三星施加了胁迫性压力。因向韩国前总统朴槿惠和其亲信崔顺实行贿，三星电子副会长李在镕于 2021 年 1 月被判入狱。在韩国商会因担心此事影响三星赴美建厂计划，积极游说和敦促韩国政府将其赦免，甚至警告称“如果三星不能充分参与支持拜登的努力，韩国作为美国战略合作伙伴的地位将受到威胁”。^[3]同年 8 月，李在镕获得假释，并

[1] Charlie Campbell, “Inside the Taiwan Firm That Makes the World’s Tech Run,” October 1, 2021, <https://time.com/6102879/semiconductor-chip-shortage-tsmc/>.

[2] 邱枫:《台积电赴美建厂始末及影响》，载《两岸关系》2020 年第 7 期，第 27 页。

[3] “US Companies Lobby South Korea to Free Jailed Samsung Boss,” Financial Times, <https://www.ft.com/content/26d77bfe-b55a-4edb-bc57-7370b6c6a670?list=intlhomepage>.

于11月访问美国并决定建厂计划。

（三）构建半导体产业链联盟

美国除在本土构建半导体全产业链之外，也与盟友和伙伴积极构建半导体产业链联盟，一方面促进各国半导体技术优势互补，进一步提高研发实力和先进制造能力；另一方面试图以产业链闭环将中国排除在先进半导体技术之外。其举措主要包括以下方面。

第一，强化同日本和韩国的技术合作。美日两国已同意建立先进半导体联合研发中心，开发2纳米芯片，并计划在2025年前投产。美韩在2022年5月拜登总统访问韩国时宣布建立“技术同盟”，在半导体、6G、人工智能等新兴领域加强合作。

第二，美国发起、推动与韩国、日本和中国台湾地区建立芯片“四方联盟”（Chip4），旨在利用美国的芯片设计能力和设备、韩国和中国台湾地区的制造能力、日本的材料、元器件和设备方面的优势，掌控半导体产业的上中下游，建立起稳定和闭环的产业链。

第三，增进美欧的合作与协调。2021年成立的美欧贸易和技术理事会力图通过联合研发先进技术，打造以美国为主导的技术治理多边体系。在同年9月的对话中，双方表示将共同采取措施提高半导体供应链的透明度，识别差距、共同弱点和机遇来加强半导体研发和制造生态。^[1]

第四，以美日印澳“四边机制”为基础构建半导体供应链。美日印澳在2021年9月的峰会上发起半导体供应链倡议，意在加强半导体及其关键部件的供应链安全。2022年5月的峰会发布了《关键技术供应链共同原则的声明》，提出推动半导体和其他关键技术合作，以形成多样化和具有竞

[1] The White House, “FACT SHEET: U.S.-EU Establish Common Principles to Update the Rules for the 21st Century Economy at Inaugural Trade and Technology Council Meeting,” September 29, 2021, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/29/fact-sheet-u-s-eu-establish-common-principles-to-update-the-rules-for-the-21st-century-economy-at-inaugural-trade-and-technology-council-meeting>.

争力的半导体市场。

第五，基于“印太经济框架”（IPEF）建立符合美国价值观、经贸规则和技术标准的“小圈子”。2022年5月，美国宣布启动旨在争夺亚太经济影响力的“印太经济框架”，强调要提高供应链的透明度、多样性、安全性和可持续性，以确保半导体等关键技术的可获得。

第六，美国于2022年8月与中国台湾地区启动所谓“美台21世纪贸易倡议”谈判。此举或将助力美台半导体产业链合作，助长中国台湾地区与中国大陆的经济“脱钩”态势。

可以看到，美国以增强供应链韧性为借口，通过构建美日、美韩、美欧、美台、芯片“四方联盟”“四边机制”“印太经济框架”等多圈层的产业和技术联盟，试图在先进半导体供应链上形成封闭的经济循环，这种阵营化的手段使美国参与的芯片合作呈现出浓厚的地缘政治色彩。从长远看，半导体行业的发展机遇有赖于人工智能、物联网、量子计算等新兴技术的发展融合，因此美国有意将同盟友和伙伴的合作进一步拓展到这些前沿应用领域。如此一来，配合美国对供应链的监管，美国将依托半导体产业联盟，在全球建立起将政府、企业、研究机构、人才和物流有机联系在一起的圈层体系：在体系内，美国掌握半导体尖端技术，确保先进制造和优先供应，避免供应链风险；对体系外的国家实现技术封锁，将其锁定在低端环节，以此强化对半导体全产业链的控制力和领导力。

三、美国重塑半导体产业链面临的挑战

2020年以来，全球半导体需求持续增加。美国半导体行业协会预测，2020—2030年，全球半导体生产能力将增加50%以上。^[1]而台积电、三星、

[1] Antonio Varas, Raj Varadarajan, Jimmy Goodrich and FalanYinug, *Government Incentives and US Competitiveness in Semiconductor Manufacturing*, p.1, <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2020/09/Government-Incentives-and-US-Competitiveness-in-Semiconductor-Manufacturing-Sep-2020.pdf>.

英特尔等企业在美国本土建厂将使它们可能进入重获先进生产能力的机遇期。不过，要真正增强美国半导体的制造能力，占据半导体制造技术的领先地位，美国还面临一系列挑战。

（一）《芯片和科学法案》难以使美国摆脱对东亚的依赖，也难以使其占据芯片尖端制造技术

应当说，《芯片和科学法案》的出台有力地推动了英特尔、台积电、三星等企业的赴美建厂计划，预期建成后将迅速提升美国芯片制造的技术工艺，缩小与台积电和三星最先进制程工艺的差距，确保美国关键基础设施所需要的先进芯片，同时会吸引更多企业加大对美国的投资。但是，要大规模地将制造尖端芯片的生产能力带回美国、彻底摆脱对东亚的依赖，并达到遏制中国半导体产业发展的目的，恐怕还是难遂其意。

首先，美国本土生产的先进芯片很难具备成本优势。随着制程工艺的复杂和进步，晶圆厂的建设成本迅速提高。现在，建设一家先进的芯片工厂并运营10年，在美国所花费的成本将比中国台湾地区、韩国或新加坡高30%，比中国大陆高50%。^[1]对于先进制程晶圆厂的建设运营来说，《芯片和科学法案》所提供的资金仅能基本满足台积电、三星和英特尔的工厂建设，很难如该法案所设想的——将国内外其他制造商和上游供应商都纳入补贴范围，各家企业在补贴额度上面临竞争。除建设成本外，美国上下游物料、运输等成本同样较高，劳动力成本比中国台湾地区高出2—3倍，24小时待命、半夜加班的企业文化在美国社会恐也难以复制。^[2]这就使美国工厂的运营成本也会大幅提升。由于建设和运营成本较高，美国生产的先进芯片很难具备成本优势，这势必会推高芯片价格，特别是针对美国客户。但是对供应链成本管控严苛的苹果、高通等公司很难接受较高的代工费用，

[1]《亚洲多个经济体竞相扶持芯片产业美投入巨资谋求提升市场份额》，中国经济网，http://intl.ce.cn/sjji/qy/202208/05/t20220805_37936788.shtml。

[2] 陈经：《〈美国竞争法案〉对美芯片业作用不应高估》，观察者网，https://www.guancha.cn/chenjing/2022_01_31_624326_s.shtml。

在比较成本后，仍可能选择台积电的台湾工厂和三星的韩国工厂进行代工。

其次，高昂的成本将影响企业的后续投资计划。目前，台积电、英特尔、三星都正在评估赴日本、印度、欧洲建厂的可能性。与其他国家相比，美国联邦政府的补贴未必具有竞争力，提供巨额补贴和税收减免等优惠措施的可持续性也值得商榷。相较于台积电台湾工厂5纳米芯片的月产能在2021年初就达到了9万片，其美国工厂预计到2024年量产时，5纳米芯片的月产能也仅为2万片，占台积电总产能的比重为2%左右。同时，将120亿美元投资分散于2021—2029年间，反映了台积电在美国设厂主要是迫于政治因素驱动下的被动“试水”——建造一座规模有限的工厂，其先进芯片的主要产能仍然留在中国台湾地区。

最后，美国希望在芯片制造环节处于全球领先地位的期待难成现实。目前，三星和台积电已开始争夺2纳米先进工艺，均计划到2025年实现量产。彼时美国工厂的5纳米工艺已然不算最先进。即使台积电创始人张忠谋在2022年11月证实，正在评估美国的5纳米晶圆厂实现量产后，在亚利桑那州建造一座3纳米晶圆厂，但台积电不太可能改变“N-1”模式，即最先进的技术工艺保留在中国台湾地区，在其他地区生产落后一代或几代的技术工艺。因而，美国只有实现技术跨越，才能在先进芯片制造方面占据领先地位。由于不具备成本优势，先进芯片的产供应链虽然会呈现出一定的区域化发展趋势，但全球分布、相互依赖的局面很难被改变。美国以政治力量推动半导体产业链转移和重塑，夺回半导体产业主导权的难度较大。

（二）美国缺乏先进封装能力，补齐半导体全产业链仍存短板

芯片制造后需封装测试才能交付给下游客户。虽然技术含量较低，但也是必不可少的环节，先进封装更是未来半导体产业竞争力的关键。然而，美国半导体封装能力薄弱，基本依靠东亚，这就使其必须同时提升本土的先进封装能力。否则，台积电、三星和英特尔的美国工厂投产后，芯片仍须运回东亚封装测试后才能交付，这不仅增加了额外成本，也延长了供应链周期，削弱了本土芯片的市场竞争力。然而，台积电和三星对于美国希望转移封装能力的回应并不积极。刘德音明确表示，“3D IC封装厂不会放

在美国亚利桑那州”，“晶圆制造与封测地点可以在不同地方，这样是完全没有问题的”。^[1]无独有偶，英特尔于2021年12月宣布投资约70亿美元，以强化先进封装能力，但厂址选在了马来西亚。企业不愿把封装环节转移到美国的主要原因，是其比尖端芯片制造的转移更加缺乏经济回报。美国虽然在鼓励先进封装公司赴美投资，重建美国先进封装能力，《芯片和科学法案》也为此提供了资金支持，但目前看激励政策的效果可能比较有限。

（三）美国高技能工人短缺的困局难破

美国寻求扩大制造业产能，但也面临缺少足够劳动力来支撑的窘境。根据美国劳工部劳工统计局发布的数据，2022年6月美国半导体与相关电子元件就业人数达到38.23万人，创2012年7月以来新高，连续6个月呈现扩增之势，但仍较2001年1月的71.45万人减少了46.5%。^[2]大多数半导体企业高管认为，该行业面临严重的人才短缺。一家晶圆厂的日常运营需要大约4000—6000人，人才短缺将严重制约企业的经营和发展。人才管理公司Eightfold AI的一份报告估计，到2025年，美国必须在2020年的水平上增加约7—9万甚至更多的工人，才能满足晶圆厂扩张的关键劳动力需求。^[3]

美国缺少高技能工人，特别是本土工人，这已成为美国半导体企业的困扰。多年来，美国电气工程专业入学率直线下降^[4]，高技能工人和微电子工程师的缺口只能依靠外国移民来填补。数据显示，美国大约40%的高

[1] Refinitiv, 2330. *TW - Q2 Taiwan Semiconductor Manufacturing Co Ltd Earnings Call*, pp.19-20, https://investor.tsmc.com/english/encrypt/files/encrypt_file/reports/2022-07/185efaefea866a5e944499cda9eeec65315449c/TSMC%202Q22%20Transcript.pdf.

[2] 《美国芯片就业人数：较最高峰下降了46.5%》，半导体行业观察，http://www.semiinsights.com/s/electronic_components/23/46193.shtml。

[3] Stephanie Yang, “Chip Makers Contend for Talent as Industry Faces Labor Shortage,” January 2, 2022, <https://www.wsj.com/articles/chip-makers-contend-for-talent-as-industry-faces-labor-shortage-11641124802?mod=djemalertNEWS>.

[4] Dylan Martin, “America's chip land has another potential shortage: Electronics engineers,” July 8, 2022, https://www.theregister.com/2022/07/08/semiconductor_engineer_shortage.

技能半导体行业人才出生在国外。^[1]2020年，国际学生约占半导体相关研究生项目注册人数的60%。长期以来，美国凭借一流科研院校和头部企业的吸引力，从全球网罗人才，但随着半导体行业需求的急剧增长及各国相继追求自主化生产，各国和企业对人才的争夺异常激烈。台积电年度报告显示，2021年底，台积电在全球共有65152名员工，2021年聘用超过12000人。^[2]受企业“砸钱扩招”的影响，芯片企业的平均工资已创新高，跳槽薪资涨幅超50%。随着各大半导体企业对人才的争夺日趋白热化，人才流失将是美国不得不面对的挑战。

（四）美国很难通过半导体产业链联盟实现盟国间步调一致

从企业的全球布局看，韩国的芯片公司在大陆有大规模投资：SK海力士在无锡有其最大的全球存储芯片工厂，产能占SK海力士全球DRAM产能的47%；三星在西安建有唯一的海外NAND FLASH存储芯片工厂。部分由于韩国企业的在华利益，韩国尹锡悦政府希望在中美之间取得平衡，主张将芯片四方联盟作为资讯和技术交流的平台，而不应排除和限制与特定国家的合作。阿斯麦也反对美国对华禁售深紫外光刻机，强调额外的出口管制可能会进一步扰乱全球芯片供应链。同时，美国半导体协会在评估相关国家的出口管制后发现，它们在出口管制范围、实施和立法层面都同美国所预想的状态有一定差距：欧盟虽然已有相关立法但尚未有具体实践；韩国对半导体的出口管制只限于维护与韩国产业竞争力相关的技术；荷兰虽然同意了美国对极紫外光刻机的限制，但不采取驳回许可申请的办法，而是搁置许可，即不回复许可申请或对许可使用设置条件，留有一定回旋余地。

此外，美国重塑半导体产业链还面临其他挑战，包括美国本土缺乏12英寸晶圆制造厂，唯一来自环球晶圆股份有限公司的投资要到2025年才

[1] 周秣沫：《深度解析拜登刚刚签署的〈芯片与科学法案〉》，国际金融报网，<http://www.ifnews.com/news.html?aid=394146>。

[2] 台积电：《台湾积体电路制造股份有限公司民国一百一十年度年报（一）》，第93页，https://investor.tsmc.com/static/annualReports/2021/chinese/pdf/c_all.pdf。

投入生产；基于半导体启动成本较高，与基于平台的科技公司相比，市场潜力有限，因此美国风险投资和天使投资人正逐渐减少对半导体行业的投入；振兴美国半导体行业需要对整个电子生态系统进行平衡投资，包括组装和测试，以及印刷电路板，但美国政府过度强调对芯片制造的补贴，忽略了这些环节，等等。

结 语

2019年，麦肯锡全球研究院（MGI）在追踪调查43个国家23条价值链后指出，未来全球价值链的分布将走向区域化，美国跨国公司将率先有所作为。企业在综合评估经济效率与效益时，把追求产业链的安全程度和灵活性作为优先参考指标，追求“社会成本的最低化”。^[1]近年来，美国对华发起全面竞争、新冠疫情大流行和乌克兰危机更是加速了部分产业链和供应链向区域化、近岸化、本地化方向发展。作为国家间长期竞争的战略产业，美国、中国、德国、西班牙、日本、印度等国，都在吸引世界上先进的半导体厂商投资建厂，构建更加自主和完整的半导体产业链，半导体制造成为其中的重点内容。美国重塑半导体产业链的举措，特别是《芯片和科学法案》的出台，在一定程度上能够提高美国的先进半导体制造能力以及对尖端技术的控制力，满足美国关键基础设施领域的市场需求、供应稳定和经济安全。但法案同时禁止接受联邦政府资助的企业在中国等国建设或扩大先进制程晶圆厂，这种极端“去全球化”政策将给全球贸易和投资带来破坏性影响，包括大大降低半导体产业链的整体效率，迫使其他国家和半导体企业在中美之间“选边站队”，加剧芯片补贴竞赛和人才竞争，使贸易和技术合作深受地缘政治影响，加速各国半导体产业链本土化进程，等等。实际上，在推动半导体制造业回流之前，美国曾一度推动汽车产业

[1] 章婕好、步少华：《美墨制造业产业链“近岸外包”的进展、动因和影响》，载《拉丁美洲研究》2021年第4期，第8页。

回流，但效果不甚理想。美国退而求其次，将部分制造业回流墨西哥等周边国家，在《美墨加协定》助益下，墨西哥汽车产业发展迅速。

对于中国半导体产业来说，自美国制裁华为开始，半导体产业的“去美国化”和国产化就迅速提上了日程。在政府的大力支持以及国家集成电路产业投资基金一期和二期的投资下，半导体产业链涉及的设计、制造、封测、设备、材料等各个环节目前都有中国企业在攻克并加速追赶，涌现出了中芯国际、三安光电、华虹宏力、长江存储、合肥长鑫、北方华创、上海微电子、韦尔、华润、长电科技、通富微电、中微、中环股份、芯原微电子等众多优秀企业，在封测环节和一些半导体设备、材料等方面已缩小了与全球领先企业的差距。2021年集成电路产业的总营收首次突破了万亿元。不过，中国工业品进口最多的仍是集成电路，2021年进口量达到6355亿块，进口额达4326亿美元，^[1]继续保持增长态势，意味着中国进口替代的能力依然较弱，尤其是在10纳米以下先进工艺节点的半导体制造环节还有很大差距。由于半导体是高技术和知识密集型行业，在全产业链寻求100%的国产替代并不现实。中国可集中精力攻占几个技术制高点，在某些核心技术和产品上做到最高端，以此提升反制美国“卡脖子”策略的能力。为此，半导体产业的发展不仅需要依托大型企业，也需要政府扶持在特定领域具有技术优势的中小微企业和“隐形冠军”企业，充分激发各类企业的创新潜能。同时，应进一步加强同各国，特别是发达国家的经济技术合作，扩大开放、广纳人才，逐步缩小发展差距。

【收稿日期：2022-08-19】

【修回日期：2022-10-12】

（责任编辑：邢嫣）

[1] 中华人民共和国海关总署:《2021年12月进口主要商品量值表》,2022年1月18日, <http://www.customs.gov.cn//customs/302249/zfxgk/2799825/302274/302277/302276/4127373/index.html>。