DOI 10.15302/J-SSCAE-2023.01.002

我国半导体硅片发展现状与展望

张果虎*，肖清华，马飞

（集成电路关键材料国家工程研究中心，北京 100088）

摘要：硅片是半导体关键的基础材料，我国半导体硅片对外依存度较高，增强硅片的自主保障能力，对提升我国半导体产业整体水平至关重要。本文重点围绕市场主流的8 in、12 in硅片，分析了全球半导体硅片的技术和产业发展现状，研判了全球半导体硅片产业未来的发展趋势，重点分析了我国半导体硅片的发展现状，指出我国半导体硅片在当前市场需求、宏观政策、配套能力、研发投入等利好因素下迎来难得的发展机遇，同时提出我国半导体硅片产业发展面临挑战，在此基础上，从进一步加强顶层设计和宏观规划、强化政策落实和政策持续性、协调支持产业链协同发展、布局研发集成电路先进制程用半导体硅片等方面提出对策建议，以期为推动我国半导体硅片向更高质量发展提供参考。

关键词：半导体硅片；8 in；12 in；产业协同；先进制程

中图分类号：TB383　　**文献标识码：**A

Progress and Prospect of Semiconductor Silicon Wafers in China

Zhang Guohu*, Xiao Qinghua, Ma Fei

(National Engineering Research Center for Key Materials of Integrated Circuits, Beijing 100088, China)

Abstract: Silicon wafers are fundamental materials for semiconductors. China's semiconductor silicon wafers are highly dependent on foreign trade. Enhancing the independent guarantee capability of silicon wafers is significant for improving the overall level of China's semiconductor industry. This study focuses on the market-dominant 8-inch and 12-inch silicon wafers, analyzes the development status of the global semiconductor silicon wafer technologies and industry, and prospects the development trend of the industry. The study specifically focuses on the development status of China's semiconductor silicon wafer industry, and points out that the industry in China is currently facing critical developing opportunities considering the market demand, macro policies, supporting capacities, R&D investment, and other favorable factors; meanwhile, it still faces challenges. Furthermore, the following measures and suggestions are proposed: (1) further strengthening top-level design and macro planning, (2) strengthening policy implementation and sustainability, (3) supporting the coordinated development of the industrial chain, and (4) developing semiconductor silicon wafers for advanced processing of integrated circuits, hoping to provide a reference for the higher-quality development of China's semiconductor silicon wafer industry.

Keywords: semiconductor silicon wafer; 8 inches; 12 inches; industry synergy; advanced processing

收稿日期：2022-12-08；**修回日期：**2023-01-06

通讯作者：*张果虎，集成电路关键材料国家工程研究中心正高级工程师，研究方向为半导体硅材料；E-mail: zhangguohu@gritek.com

资助项目：中国工程院咨询项目“我国先进有色金属材料发展战略研究”(2022-XZ-20)

本刊网址：www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

半导体是电子信息产品的“心脏”，在国民经济和社会生活各方面的应用越来越广泛，对国家经济成长、国防安全、核心竞争力提升至关重要[1]，促进了通信、计算、医养健康、军事系统、物流、新能源行业的发展，引导人工智能、大数据、自动驾驶等新产业的兴起，支撑着数字经济不断发展[2]，并在新冠疫情防控等重大社会问题应对方面发挥了关键作用[3]。随着半导体在各领域应用日趋广泛和深入，2020 年开始半导体供应紧张局面更加凸显[4]。各国正积极采取措施，增强和完善本国的半导体产业链[5]。

半导体产品主要包括集成电路、光电子器件、分立器件和传感器件，其中集成电路在半导体产业中占比最高，超过 80%。2021 年全球集成电路销售额为 4608.14 亿美元，传感器件销售额为 187.9 亿美元，光电子器件销售额为 432.29 亿美元，分立器件销售额为 301 亿美元，集成电路占比达到 83%。根据世界半导体贸易统计组织（WSTS）数据，2022 年全球集成电路占比将达 84.22%，光电子器件、分立器件、传感器占比分别为 7.41%、5.10% 和 3.26%。

集成电路是最重要的半导体产品，硅片是集成电路最重要的基础材料，处于集成电路产业链前端，在集成电路芯片制造材料中占比达 30% 以上，90% 以上的集成电路芯片是基于硅片制成[6~9]。中国在全球半导体产业链中参与程度较低，硅片等关键材料对外依存度较高[10]。近年来，大国博弈加剧，国际政治经济环境恶化，地震和火山爆发等自然灾害频发，新型冠状病毒感染等流行疾病蔓延，产业生态发生变化，《关于常规武器与两用产品和技术出口控制的瓦森纳协定》新增 12 in 硅片技术管制[11]，增强硅片等关键材料的自主保障能力，提升我国半导体产业链安全性成为重要课题。

本文分析了当前全球半导体硅片的发展现状与发展态势，我国半导体硅片的市场需求、技术进步、产业现状及发展趋势，提出我国半导体硅片产业未来一段时间面临的发展机遇和挑战，并给出发展建议。8 in 及 12 in 硅片的出货面积占全部半导体硅片的 93% 左右，因此本文重点对 8 in 及 12 in 硅片的情况进行分析。

二、全球半导体硅片的发展现状及发展态势

（一）全球半导体硅片的发展现状

1. 全球半导体硅片的市场规模

集成电路芯片制造材料多达数百种，按类别划分主要包括硅片、光掩膜、光刻胶及配套试剂、电子气体、工艺化学品、溅射靶材、抛光材料等，总体采购中硅片占比始终最高（见图 1）。根据国际半导体产业协会（SEMI）数据，2021 年硅片在集成电路芯片制造材料中的采购金额占比达到 33% 左右[12]，是最主要的关键功能材料，100 多亿美元的半导体硅片支撑了 5000 多亿美元的半导体产业规模。

近年来，随着全球半导体市场规模的持续增长，全球半导体硅片出货面积稳步提升（见图 2）。2012 年全球半导体硅片出货面积为 8.8×10^9 in^2，2021 年突破 1.4×10^{10} in^2。全球半导体硅片销售额由 2012 年的 87 亿美元增长到 2021 年的 126 亿美元，从 2018 年开始连续 4 年超过 110 亿美元。根据 SEMI 统计，2022 年全球半导体硅片出货面积将增长 4.8%，达到 1.4694×10^{10} in^2。预计到 2025 年，全球半导体硅片出货量将增至 1.649×10^{10} in^2[13]。

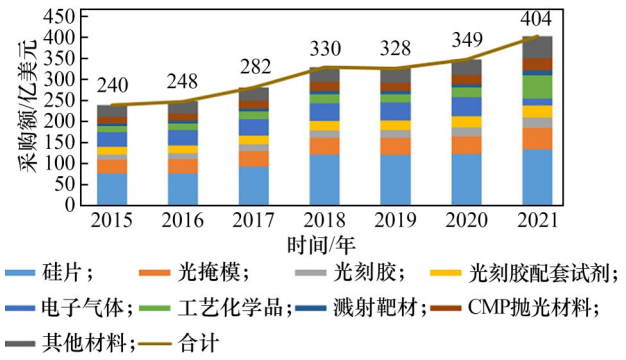

图 1　2021 年全球集成电路芯片制造材料分类占比

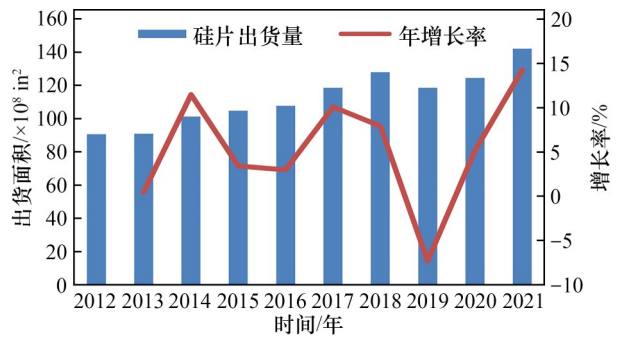

图 2　2012—2021 年全球硅片出货面积及增长率

2. 半导体硅片需求结构

近10年来，6 in及以下尺寸硅片需求基本保持稳定，全球半导体硅片新增需求主要集中在8 in和12 in硅片，尤其是12 in硅片增速最快（见图3）。12 in硅片年出货量自2012年的5.302×10^9 in^2增长至2021年的9.598×10^9 in^2，其出货面积占全部半导体硅片比例接近70%；8 in硅片出货面积也稳步增长，从2012年的2.378×10^9 in^2增长至2021年的3.443×10^9 in^2。2021年，12 in和8 in硅片出货面积分别同比增长12.85%和16.87%。

12 in硅片主要应用于90 nm及以下半导体制程范围，用于制造逻辑电路、存储器等高集成度的芯片，多在大计算量、大存储量或便携式终端上应用，如大数据、智能手机、计算机、人工智能等领域。8 in硅片主要应用于90 nm以上制程范围的模拟电路、功率芯片、互补金属氧化物半导体（CMOS）图像传感器、微控制器、射频前端芯片、嵌入式存储器等芯片，应用场景包括微机电系统、电源管理、汽车电子、工业控制、物联网等领域（见表1）。

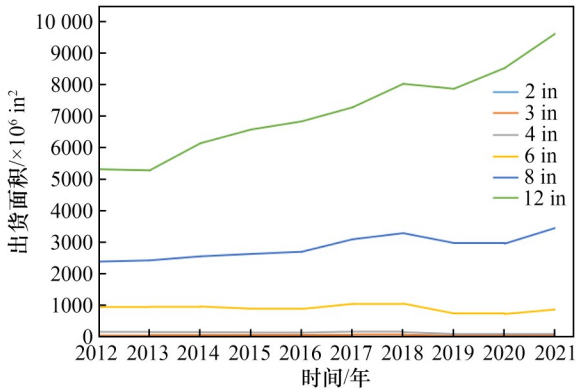

图3　2012—2021年不同尺寸硅片出货面积

8 in硅片在特色芯片产品上拥有性价比优势，尤其在微机电系统、硅上化合物半导体、射频及功率芯片等领域优势明显。近年来，一些新应用场景特色芯片会率先在8 in芯片上出现，而后逐步向12 in芯片转移。预计未来8 in硅片和12 in硅片将在各自特定领域发挥作用，长期共存。

3. 硅片产业集中度高的局面基本保持

半导体硅片产业起始于美国，美国孟山都化学公司成立的孟山都电子材料公司曾引领技术发展，在20世纪60年代获得80%的市场份额。随着半导体制造业的东移，其后期连续亏损，孟山都化学公司在1989年将孟山都电子材料公司出售给了德国化工企业，并于2016年被中国台湾的环球晶圆股份有限公司收购。20世纪50年代末，日本通过技术引进，开始布局半导体产业，在超大规模集成电路研究计划的推动下，日本半导体产业快速发展，其中存储器在20世纪80年代超过美国，硅片厂商也在此期间获得黄金发展期，最终经过多次整合并购形成信越化学工业株式会社和胜高科技株式会社两家国际半导体硅片巨头，2001年信越化学工业株式会社在全球率先量产12 in半导体硅片。日本半导体硅片产业从20世纪90年代超过美国后，至今仍在

表1　8 in、12 in硅片在不同制程的应用情况

尺寸	制程	应用产品
12 in（先进制程）	≤10 nm	高端智能手机主处理器、高性能计算等
	16/14 nm	智能手机处理器、存储芯片、高端显卡、个人电脑、服务器处理器等
	20~22 nm	存储芯片、中低端智能手机处理器、数字电视、移动影像等
12 in（成熟制程）	28~32 nm	Wi-Fi蓝牙芯片、音效处理芯片、存储芯片、FPGA芯片、ASIC芯片等
	45~65 nm	DSP处理器，传感器，射频芯片，Wi-Fi、蓝牙、GPS、NFC等芯片，非易失性存储芯片等
	65~90 nm	物联网MCU芯片、模拟芯片、功率器件、射频芯片等
8 in	90 nm~0.13 μm	物联网MCU芯片、汽车MCU芯片、射频芯片、基站通信设备DSP、功率器件、模拟芯片等
	0.13~0.15 μm	指纹识别芯片、影像传感器、通信MCU、电源管理芯片、功率器件、LED驱动IC、传感器芯片等
	0.18~0.25 μm	MOSFET、IGBT等功率器件，嵌入式非易失性存储芯片等

注：Wi-Fi为无线网络；FPGA为现场可编程逻辑门阵列；ASIC为专用集成电路；DSP为数字信号处理；GPS为全球定位系统；NFC为近场通信；MCU为微控制单元；LED为发光二极管；IC为微型电子器件；MOSFET为金属–氧化物半导体场效应晶体管；IGBT为绝缘栅双极型晶体管。

全球占据主导地位。20 世纪 90 年代半导体产业从日本向韩国和中国台湾地区转移，韩国和中国台湾地区硅片企业得以成长，并逐步在全球占有一席之地。当前，日本信越化学工业株式会社、胜高科技株式会社，中国台湾环球晶圆股份有限公司，德国世创电子材料股份有限公司，韩国 SK 集团等五大厂商占据全球 90% 左右的市场份额，尤其是在 12 in 硅片方面占据绝对市场地位。五大厂商近几年产能扩张主要集中在 12 in 硅片，2015 年，全球只有日本信越化学工业株式会社和胜高科技株式会社的 12 in 硅片月产能超过 1×10^6 片，至 2021 年年底，前 5 大厂商 12 in 硅片月产能都有显著增加，其中日本信越化学工业株式会社月产能超过 3.1×10^6 片，胜高科技株式会社的月产能约为 1.9×10^6 片，中国台湾环球晶圆的月产能约为 1.3×10^6 片，德国世创的月产能约为 9.9×10^5 片，韩国 SK 集团的月产能约为 9×10^5 片。

4. 硅是重要的半导体材料

半导体材料经历了以硅为代表的第一代半导体材料，以砷化镓为代表的第二代半导体材料和以碳化硅与氮化镓为代表的第三代半导体材料[14,15]。相比于其他半导体材料，硅材料易于制备较大尺寸晶体、晶体结构完整性相对易控制、纯度相对易实现，在集成电路平面工艺制程的应用技术更加成熟且更具有规模效益，有着更大的应用领域与需求量，因此，90% 以上的芯片都是基于硅材料制造而成，这赋予了硅材料不可替代的行业地位。但是，硅材料也存在一定局限性，无法满足高功率、高频率和高压等苛刻特性，不具备发光特性，等二代半导体材料、等三代半导体材料在这些方面具备独特优势。硅材料与第二代、第三代半导体材料的结合将是一种选择，以硅材料为衬底，化合物材料在硅材料上外延生长制成单晶片以满足射频芯片和功率器件对高频、高压、高功率的需求，比如硅基氮化镓。这几代半导体材料并不是完全替代关系，在未来相当长的时期内它们还将并存，并在不同的应用领域发挥各自的作用、占据各自的市场份额[16]。

（二）全球半导体硅片的发展态势

1. 全球半导体硅片产业东移，亚太地区成为主要的制造区域

全球半导体产业起源于美国，1958 年，德州仪器设计出第一款微型电子器件（IC），至 20 世纪 70 年代，半导体产业在美国完成技术积累，同样的硅材料产业也起源于美国，至 20 世纪 80 年代，全球领先半导体硅材料企业仍是美国的孟山都电子材料公司。随着半导体产业第一次转移到日本，互联网时代半导体转移至韩国，日本索尼公司、韩国三星集团等企业得到快速发展，在这个阶段，日本、韩国的硅材料产业逐渐兴起，日本信越化学工业株式会社、胜高科技株式会社、小松电子材料公司以及韩国 SK 集团等不断壮大。日本更是在 1996 年开始布局“超级硅”计划，期望在未来占据硅材料领域的领先地位。进入 21 世纪，日本信越化学工业株式会社率先实现 12 in 硅片商业化，并成为全球第一大半导体硅材料供应商，随后胜高科技株式会社和小松电子材料公司合并，成为第二大半导体硅材料供应商。目前为止，日本企业的硅材料供应能力占全球比例过半。随着台湾环球晶圆股份有限公司的壮大，韩国 SK 集团的扩张，以及德国世创电子材料股份有限公司将 12 in 硅片产业重点布局在新加坡，全球近 90% 的硅片产出分布在亚太地区。中国近年来加大硅片产业的布局和投资，到 2025 年 12 in 硅片规划总产能超过 4×10^6 片/月，亚太地区成为全球半导体硅片制造的重要区域。

2. 全球半导体硅片需求持续增长

近年来，随着数字经济拉动，大算力需求不断增加，半导体在各领域的渗透日益增强，硅片需求将保持持续增长。SEMI 在 2022 年 10 月最新报告中预计，到 2025 年，汽车和功率半导体的晶圆厂产能以 58% 的速度增长，其次是微机电系统、代工和模拟，其晶圆厂产能增长速度分别为 21%、20% 和 14%。汽车和功率半导体、微机电系统等领域的产能扩张带动 8 in 硅片需求的增长，2025 年全球 8 in 硅片需求预计将达到 7×10^6 片/月[17]。

SEMI 在 2022 年 10 月报告中预计，到 2025 年，12 in 晶圆厂按照产品类型划分的年复合增长率中，功率器件相关产能增长为 39%，模拟器件为 37%、代工为 14%、光电为 7%，存储为 5%。到 2025 年，全球半导体制造商 12 in 晶圆制造厂产能将以接近 10% 的年复合增长率增长，对 12 in 硅片的需求将达到每月 9.2×10^6 片。

3. 海外企业积极扩产

全球半导体硅片供应已连续几年处于紧张局面。为应对需求，抢占市场，全球主要硅片厂商积极扩

充产能。德国世创电子材料股份有限公司在2022年投资11亿欧元，在新加坡建设12 in硅片厂，估算产能约为3×10^{5}片/月；韩国SK集团宣布未来3年内将投资1.05万亿韩元扩建12 in半导体硅片厂，估算产能约为2.5×10^{5}片/月；台湾环球晶圆股份有限公司2022年3月发布消息，计划在意大利新建12 in硅片厂，同时拟投资50亿美元在美国德州新建12 in硅片厂，最高产能超1.2×10^{6}片/月；日本胜高科技株式会社宣布也将斥资2287亿日元建设新厂，扩产12 in硅片，估算产能将超过5×10^{5}片/月。

预计到2025年海外厂商新增12 in硅片产能将超过2×10^{6}片/月。随着产能释放，12 in硅片供需紧张的情况将得到有效缓解。

4. 半导体硅片技术发展趋势

摩尔定律推动了半导体行业50余年的快速成长，集成电路芯片技术不断向更先进制程发展，借助极紫外（EUV）光刻等先进技术，正在向3 nm甚至更小的节点演进，但硅基集成电路工艺的发展愈发趋近于其物理极限，单纯靠缩小线宽已经越来越困难，半导体行业逐步进入了后摩尔时代。

后摩尔时代集成电路芯片技术发展呈现出两个主要特点：一是继续延续摩尔定律，以集成电路制程微细化为特征，技术上满足更先进制程，提高集成度和功能，同时兼顾性能及功耗。二是通过先进封装等手段，整合高压功率芯片、模拟电路芯片、射频芯片、传感器芯片等多种功能，实现器件功能的融合和产品的多样化。

后摩尔时代对半导体硅片提出更高的技术要求，一是随着集成电路先进制程技术的不断发展，对硅片的要求愈发严格，28 nm及以下先进制程硅片产品指标全面升级，包括单晶晶体缺陷、晶体中氧碳及掺杂物质的均匀分布、平整度等加工精密度参数、体金属浓度和表面金属浓度等纯度指标。指标升级给硅片制备技术带来巨大挑战，超导水平磁场拉晶等技术采用。二是功率半导体方面正呈现由8 in向12 in加速转移，12 in硅片已用于功率半导体领域，需要开发12 in重掺单晶生长技术、背面沉积二氧化硅薄膜技术及相应的翘曲度控制技术。同时为了解决硅材料性能的局限性，与其他材料的整合成为重要路径，比如结合键合工艺开发的绝缘体上硅（SOI）、通过应变引入实现能带调制的应变硅、硅基氮化镓等都已实用化，未来硅与磷化铟、石墨烯、硫化钼等材料的结合可能是后摩尔时代硅材料的重要发展方向。

5. 12 in硅片为市场主流，更大尺寸硅片商业化搁置

根据过往半导体行业规律，前一代硅片变成市场主流，支持大约40%左右芯片制造能力时，新一代硅片将会出现并商业化应用。但12 in硅片之后，这个规律被改变。2011年前，英特尔公司、三星集团和中国台湾积体电路制造股份有限公司等都曾积极推动和准备以推进下一代晶圆和硅片的研发和商业化，美国、欧盟、以色列曾分别成立G450C、EEMI450、Metro450，但因为投资极大、技术难度极高、产品性价比等多种因素，18 in设备、硅片、芯片均搁置，半导体产业没有迎来18 in时代。当前12 in硅片已占据全部硅片出货面积比例近70%，技术节点已经达到3 nm，以往产业规律没有延续。

18 in硅片产业的搁置，一方面为12 in硅片需求规模持续增长提供了广阔的空间和持久的产品周期；另一方面为我国12 in硅片技术及产业发展提供了难得的发展机遇。根据目前半导体硅片产业现状，我们认为，12 in硅片应用周期会延续相当长时间，未来18 in硅片出现的可能性减小。

三、我国半导体硅片的发展现状与发展态势

（一）我国半导体硅片的发展现状

1. 我国半导体及硅片市场

2015年至2020年，我国半导体市场规模从824亿美元增长至1638亿美元，年均复合增长率约为14.74%。2021年，我国半导体市场销售额达到1925亿美元。

从区域结构来看，中国已经连续多年成为全球最大的半导体消费市场，2021年中国市场占比达到34.6%，美国、欧洲、日本和其他国家的市场份额分别为21.9%、8.6%、7.9%和27.0%。

2021年中国集成电路全行业销售额达到10 458亿人民币，增幅达到19%，增速全球第一。中国作为全球最大的半导体消费市场对国内集成电路产业及半导体硅片产业的成长提供了市场基础和广阔的国产替代空间。

近年来，得益于国内半导体产业投融资环境的持续改善，国内半导体硅片市场需求随着下游芯

片厂的扩产而持续增加，2018 年我国半导体硅片市场规模为 172.1 亿元，2021 年达到 250.5 亿元（见图 4）[18]。根据测算，2021 年国内半导体硅片市场仍有 130 亿元依赖进口，国产替代空间巨大。未来随着国内半导体产业的发展和产业生态的持续完善，市场规模将进一步扩大，预计到 2025 年我国半导体硅片市场规模将超过 400 亿元人民币。

2. 需求环境改善、配套能力显著提升

半导体硅片的发展依赖于下游需求牵引及上游装备和配套材料的支撑。近年来国内产业链下游发展迅速，设计 – 制造 – 封装三业结构显著改善。在国际贸易冲突加剧的大背景下，下游集成电路厂商对本地硅材料供应商认可度增强，同时得到政策鼓励，采购国产材料的意愿大大提升，国内半导体硅片进入下游市场壁垒减小。同时，产业配套方面，国内硅材料装备制造业快速发展，单晶炉、切片机、研磨机、清洗机等关键设备进入半导体硅片企业；多晶硅、石英坩埚、石墨材料、抛光液、切削液等关键原辅材料进入生产线得到批量应用，本地化配套能力显著增强。目前 8 in 硅片生产所需装备和材料基本实现全面国产化，12 in 硅片生产单晶炉、滚磨机、截断机、中间清洗机、研磨机、倒角机、精抛机、单片清洗机等已经开展国产化应用，多类原辅材料进入生产线[19-22]。随着制造装备及原辅材料的国产化，国内半导体硅片产业的投资成本、制造成本有望持续下降，产品竞争能力逐步增强。

3. 硅片制造关键技术取得重大进展

近年来，我国半导体硅片行业在加快产能建设的同时，12 in 硅片关键技术研发取得了长足进步。在国家重大专项的持续支持下，上海硅产业集团股份有限公司实现了面向先进制程工艺节点应用的 12 in 硅片批量供应，成功研发出 19 nm 动态随机存取存储器（DRAM）用 12 in 硅片，取得突破性进展。TCL 中环新能源科技股份有限公司在 12 in 硅片关键技术、产品性能质量提升方面取得重大突破，已量产供应国内主要逻辑芯片、存储芯片生产商。西安奕斯伟材料科技股份有限公司研发出集成电路先进制程使用的 12 in 硅片，应用于逻辑芯片、闪存芯片、动态随机存储芯片、图像传感器、显示驱动芯片等领域。有研半导体硅材料股份公司建立 12 in 硅片研发中心，超导磁场下单晶生长技术取得突破，硅片加工技术稳定，满足先进制程工艺节点的需要，产品批量进入市场。在各企业高强度研发投入下，目前国内成熟制程、功率半导体硅片技术可以支撑批量生产，满足下游需要，先进制程硅片技术正在加速突破。

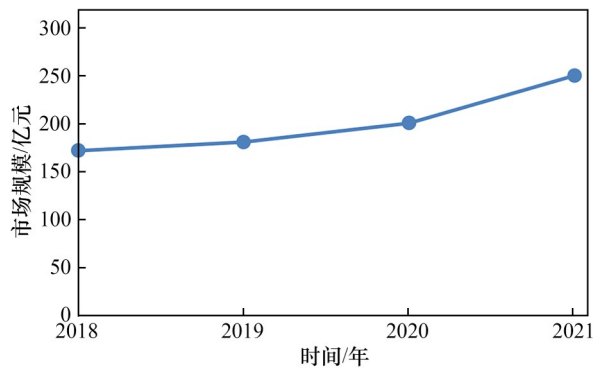

图 4　2018—2021 年中国大陆半导体硅片市场规模

（二）我国半导体硅片的发展态势

1. 我国半导体硅片市场需求将保持增长

根据 SEMI 统计，2021 年我国 8 in 晶圆产能占全球的比例为 18%，2022 年达到 21%，预计 2025 年我国 8 in 晶圆产能增长将达 66%，领先全球，产能将达到 1.8×10^6 片/月[11]。2021 年我国 12 in 晶圆厂的全球产能份额为 19%，预计到 2025 年将增至 23%，达到 2.3×10^6 片/月。

基于我国半导体市场的现实需求，以及当前贸易摩擦下建设自主可控半导体产业链的迫切需要，中国发展半导体产业链的决心更为坚定。截至 2022 年年底，在建及运行的 12 in 芯片厂产能超过 1.7×10^6 片/月（见表 2），晶圆厂产能建设保持强劲增长。

下游 8 in、12 in 晶圆厂产能的扩充叠加国产替代的现实需要，将拉动国产半导体硅片需求的快速增长。

2. 我国产业政策支持硅片产业发展

近年来，在国家高度重视下，工业和信息化部、科学技术部等部门陆续出台发布了半导体硅片研发、税收优惠与产业化系列政策，将半导体硅片产业纳入集成电路整体产业支持中。2020 年颁布的《关于促成集成电路产业和软件产业高质量发展企业所得税政策的公告》中规定：国家鼓励的集成电路设计、装备、材料、封装、测试企业和软件企业，自获利年度起，第一年至第二年免征企业所得

表2　中国12 in晶圆厂数据汇总

公司名称	工厂名称	位置	月设计产能/（×10⁴片）
中芯国际集成电路制造有限公司	S2A	上海	1
中芯国际集成电路制造有限公司	B1	北京	5
中芯国际集成电路制造有限公司	B2	北京	4
台湾积体电路制造股份有限公司	FAB16	南京	2
联芯集成电路制造（厦门）有限公司	FAB12X	厦门	5
长江存储科技有限责任公司	—	武汉	12
武汉新芯集成电路制造有限公司	—	武汉	3
上海华虹宏力半导体制造有限公司	FAB7	无锡	4
上海华力微电子有限公司	Fab5	上海	3.5
上海华力微电子有限公司	Fab6	上海	4
合肥晶合集成电路股份有限公司	—	合肥	10
英特尔半导体（大连）有限公司	FAB68	大连	6
SK海力士半导体（中国）有限公司	HC1	无锡	15
SK海力士半导体（中国）有限公司	HC2	无锡	18
合肥长鑫集成电路有限责任公司	—	合肥	12
合肥长鑫集成电路有限责任公司	—	北京	10
韩国三星集团	—	西安	12
韩国三星集团	—	西安	13
华润微电子有限公司	—	重庆	3
华润微电子有限公司	—	深圳	4
厦门士兰集科微电子有限公司	—	厦门	10
广州粤芯半导体技术有限公司	—	广州	3
重庆万国半导体科技有限公司	—	重庆	2
闻泰科技股份有限公司	—	上海	3
北京燕东微电子股份有限公司	—	北京	4
杭州富芯半导体有限公司	—	杭州	5
浙江海芯微半导体科技有限公司	—	海宁	5

税，第三年至第五年按照25%的法定税率减半征收企业所得税。2020年颁布的《财政部 海关总署 税务总局关于支持集成电路产业和软件产业发展进口税收政策的通知》中规定：集成电路用光刻胶、掩模版、8 in及以上硅片生产企业，进口国内不能生产或性能不能满足需求的净化室专用建筑材料、配套系统和生产设备（包括进口设备和国产设备）零配件，免征进口税。上述政策极大地鼓舞了相关企业加快发展、积极参与国际竞争。

3. 硅片企业投资力度空前、产能建设加快

近年来，国家成立了集成电路产业基金，资本市场推出科创板，地方及社会资本积极参与，集成电路产业融资渠道畅通，半导体硅片企业融资难问题得到有效解决。上海硅产业集团股份有限公司、浙江立昂微电子股份有限公司、有研半导体硅材料股份公司登陆资本市场，募集资金发展半导体硅片产业。西安奕斯伟材料科技股份有限公司、杭州中欣晶圆半导体股份有限公司等取得社会资本支持，同时积极争取科创板上市。在资本的强力支持下，国内半导体硅片骨干企业得到了快速发展，形成了相当好的产业基础，对国内半导体产业的支撑保障能力显著增强。

上海硅产业集团股份有限公司12 in硅片已实现批量供货，规划在现有每月3×10^5片产能基础上再增3×10^5片产能，同时每年新增3.12×10^6片8 in半导体抛光片产能[23]。TCL中环新能源科技股份有限公司在12 in硅片1.7×10^5片/月、8 in硅片7.5×10^5片/月产能基础上，规划到2023年年底建成12 in硅片

6×10^5片/月、8 in硅片1×10^6片/月的产能[24]。西安奕斯伟材料科技股份有限公司在12 in硅片5×10^5片/月产能基础上，规划2022—2026年新增5×10^5片/月产能。浙江立昂微电子股份有限公司已建成8 in抛光片2.7×10^5片/月，12 in硅片1.5×10^5片/月的产能，在建年产1.8×10^6片12 in硅片、年产1.2×10^6片8 in硅片项目[25]。杭州中欣晶圆半导体股份有限公司已建成4×10^6片/月8 in硅片产能，在建年产1.2×10^6片8 in、年产2.4×10^5片12 in外延片项目。有研半导体硅材料股份公司完成了集成电路大硅片产业基地建设，8 in硅片批量供货，其3×10^5片/月12 in硅片规模化产线正在建设。

目前国内8 in硅片技术已可以满足国内需求，正处于产能释放阶段，国产化率不断提高；12 in硅片已批量进入市场，技术水平逐步提高，产业配套能力显著增强。

四、我国半导体硅片的发展机遇与挑战

近年来，在政策和资本的强力支持下我国半导体用8 in和12 in硅片产业快速发展，培育了一批骨干企业，突破了核心技术[26~28]，自主保障能力显著提升，形成良好发展态势。经过多年的积累，当前，半导体硅片处于关键发展机遇期和重要的窗口期，是实现高质量发展、全面提升竞争能力的关键时期，机遇和挑战并存。

（一）我国半导体硅片的发展机遇

（1）市场需求广阔、国产替代加速。中国是全球需求最大的半导体市场，市场容量已超过全球市场的三分之一，是国际上最快切入第五代移动通信技术（5G）、手机支付、大数据、新能源汽车等新兴领域的国家之一，并在着力推进第六代移动通信技术（6G）、工业制造数字化转型、自动驾驶、元宇宙等。在半导体产业短期波动、总体趋势向好的情况下，中国对半导体的需求将保持旺盛态势，为下游半导体硅片产业发展提供良好市场机遇。与此同时，国产替代趋势愈发加速，长期以来我国半导体硅片严重依赖进口，受制于人，当前下游国产替代需求强烈，在市场需求及国产替代双重拉动下，国产硅片必将加速进入市场。

（2）宏观政策持续支持、融资渠道打通。近年来，国家持续支持半导体产业发展，特别是“十四五”规划明确将重点培育集成电路产业体系、大力推进先进半导体等战略新兴产业。密集出台了《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》等推动半导体产业发展，集成电路企业在所得税率、加计扣除等方面获得特殊支持。当前，我国正在加快建设制造业强国，半导体产业作为现代制造业的典型代表，在自主可控的大背景下，预计国家将持续支持半导体硅片产业。

针对半导体产业投资大、回报周期长的特点，国家成立集成电路产业基金带动地方基金，推出科创板上市平台，社会资本积极参与，投融资环境大为完善，打通了发展半导体硅片产业的资本渠道，解决了企业发展融资难问题。

（3）产业链配套能力大大增强。在国家宏观政策、重大专项的支持下，伴随国内半导体硅片企业的成长，硅片关键设备制造能力、原辅材料配套能力显著提升，过去严重依赖进口的局面得到极大改善，产业链不断完善和夯实。国产设备和原辅材料能力的提升，对推动投资成本、制造成本的下降，提高产品竞争能力起到积极的作用。这必将为国内硅片企业追赶国际厂商，逐步形成竞争优势提供重要的保障。

（4）研发投入加大，技术能力显著提升。随着融资渠道的拓宽、资本实力的加强，相关企业的研发投入大大增加，骨干企业均成立大硅片研发中心，相关技术加速突破。功率芯片用重掺8 in硅片、12 in硅片技术水平与国际水平相当，逻辑芯片、存储芯片等各类半导体需求的硅片技术水平达到28 nm半导体制程要求，实现批量供货，先进制程用硅片得到验证和应用。半导体硅片制造相关技术如连续拉晶、金刚线切割、单片清洗等部分制造工序正在形成比较优势，智能制造开始应用。

（二）我国硅片产业发展面临的挑战

（1）产业环境发生重大变化。美国芯片法案和出口管制新规陆续出台，先进半导体设备和技术受到严格管制，不仅美国公民，美国永久居民、美国庇护民以及依照美国法律设立的法人实体（包括外国分支机构）均纳入涉及中国的特定半导体活动的限制。

历史上半导体硅片一直是全球市场、需求端和

供应端互相依存，从硅片制造来看，供应我国半导体硅片产业所需关键检测设备、关键零部件、关键原辅材料供应可能受影响，关键人才引进难度更大，同时产品进入美国等供应体系预计将受到较大限制，国内硅片企业在国际上的竞争力受到影响。

（2）国内企业的产业规模、技术水平、盈利能力等方面与国际领先企业仍存在很大差距。从产业规模看，国外主要企业的12 in硅片产能在1×10^6片/月以上，其中日本信越化学工业株式会社的产能达到3.1×10^6片/月，而且连续多年稳定出货，技术水平可以覆盖全部下游技术节点，产品种类包括抛光片、外延片、退火片等，可以满足所有半导体产品需要，综合毛利率长期保持在40%以上，具有稳定良好的盈利能力。截至2022年年底，国内企业目前单一产出不超过3×10^5片/月，先进制程产品仍以研发为主，技术水平与国外领先水平尚有较大差距，产品品种少，质量稳定性仍需提高，中国企业的12 in硅片尚未进入三星等全球前10的半导体芯片制造公司。与此同时，12 in硅片公司大多仍处于亏损状态，尚不具备良好的回报，盈利能力不强。

（3）12 in硅片投资大、产品验证周期长，产能爬坡速度慢，企业经营面临较大压力。按照目前的投资测算，建设3×10^5片12 in硅片生产线须投入60亿元以上资金，同时产品验证、产能爬坡需要几年时间，企业需要承担较长时间亏损，达产之后销售收入仅可达到20多亿元，折旧费用高，盈利水平不强。与此同时，半导体产业周期性强，当面临半导体下行周期时，企业经营压力更大，存在长期亏损的风险。对企业综合经营能力和抗风险能力有极高的要求。

（4）产业基础仍存短板，尤其12 in硅片制造所需关键颗粒测试设备、最终抛光液、包装片盒等关键设备和原辅材料依然依赖进口，国内企业差距大，存在被“卡脖子”风险，产业链安全存在一定风险，这些因素也导致12 in硅片产业关键环节投资大、运行成本高。已国产化设备、原辅材料的质量性能仍有差距，在12 in硅片产线的推广使用少，制约国内12 in硅片产业的竞争力。

五、发展建议

近几年，我国半导体硅片产业取得长足进步，技术水平大幅提升，产业布局基本形成，实现了8 in及12 in硅片的批量产出，缩小了与国外先进水平的差距，基本支撑了国内集成电路产业发展需求。当前，国家宏观政策的支持及市场国产替代的需要等有利于国产半导体硅片加快进入市场，市场空间逐步打开，资本市场的支持解决了产业发展的资金需要，国内半导体硅片产业迎来新的发展机遇。为加快发展，彻底解决我国半导体硅片受制于人的局面，做好以下几点尤为重要。

（一）进一步加强顶层设计和宏观规划

近几年国家发展和改革委员会及工业和信息化部通过“窗口指导”的方式对国家集成电路产业进行整体布局安排，重点支持有发展基础的区域和企业发展半导体硅片产业，避免重复投资和无效投资，起到了非常好的效果。我们建议这一政策继续延续，同时对已列入国家集成电路产业布局的重点企业加强动态监控，要求相关地方和企业按照规划达产，在政策支持方面也应重点支持这些企业，帮助企业加快项目建设，落实支持政策，实现产业化目标。

（二）强化政策落实和政策持续性

近两年国家出台了《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》等，将半导体体硅片企业纳入集成电路企业一并支持。目前我国半导体硅片企业仍处于投资期、建设期、产能爬坡期，产品竞争能力不突出，叠加半导体行业周期性强的特点，与国外企业竞争仍然面临诸多困难，建议相关部门进一步研究政策，在相关税收优惠政策结束之后，对重点企业固定资产投资、税收继续支持，扶持培育具有国际竞争力的企业。

（三）协调支持产业链协同发展

从半导体硅片发展历史来看，硅片产业的发展需要关键设备和原辅材料协同发展。半导体硅片强国日本、德国的本土关键设备和原辅材料企业完全可以满足其国内半导体硅片产业的发展需求。对于中国这样具有巨大半导体市场的国家，发展全产业链的配套能力更为重要和迫切，国家相关部门和协会应认真梳理集成电路产业、半导体硅片产业国内配套能力，按照行业总体发展要求，支持上下游企

业补齐短板，打通内循环的卡点、堵点，全面提升产业链竞争能力。

（四）布局研发集成电路先进制程用半导体硅片

对于中国半导体硅片企业而言，首先要满足国内集成电路成熟制程对硅片的需求，这样既可以保障国内下游基本需要，同时也能够提高企业自身经营能力，夯实发展基础。但同时我们应该看到集成电路产业技术迭代快，一代芯片一代材料，以日本信越化学工业株式会社为代表的国际知名企业在技术能力上已能够覆盖全部技术节点产品，国内硅片企业需要提前布局、加大投入、持续研发。建议国家重点项目、研发计划保持对 12 in 半导体硅片的支持，同时探索任务承担机制，以期国家相关研发成果能够使行业重点企业同时受益，同步发展，良性竞争，推动行业的整体进步。

当前，我国半导体硅片行业发展态势良好，关键技术加速突破，产业化能力逐步提升，产业生态明显改善，虽然国际环境的不确定性和半导体行业周期的起伏给相关企业发展带来新的挑战，但国内半导体硅片的发展趋势已经确定，相信在政策的持续支持下，国内硅片产业必定加快发展，满足全面自主可控需要，未来伴随全产业链能力的提升，国内硅片产业竞争能力必定会领先世界。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: December 8, 2022; **Revised date:** January 6, 2023

Corresponding author: Zhang Guohu is a professor-level senior engineer from the National Engineering Research Center for Key Materials of Integrated Circuits. His major research field is semiconductor silicon materials. E-mail: zhangguohu@gritek.com

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of Advanced Nonferrous Metal Materials in China” (2022-XY-20)

参考文献

[1] Semiconductor Industry Association. Building American innovation technology [R]. Washington, DC: Semiconductor Industry Association, 2021.

[2] 王玮. 芯片与数字经济, 短期与长期利益的平衡 [J]. 芯财富时代, 2021 (5): 7–8.
Wang W. Chip and digital economy, balance of short-term and long-term interests [J]. Times of Fortune, 2021 (5): 7–8.

[3] Semiconductor Industry Association. State of the US industry report [R]. Washington, DC: Semiconductor Industry Association, 2021.

[4] Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association. Strengthening the global semiconductor supply chain [R]. Boston: Boston Consulting Group & Semiconductor Industry Association, 2021.

[5] 张巍, 徐武明. 国内集成电路产业特点、问题、趋势及建议 [J]. 承德民族师专学报, 2011, 31(2): 9–11.
Zhang W, Xu W M. The characteristics, problems, trends and suggestions of the domestic integrated circuit industry [J]. Journal of Chengde Teachers’ College for Nationalities, 2011, 31(2): 9–11.

[6] 焦丛, 王龙奇. 2021 年军事电子基础领域发展综述 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17(4): 351–353.
Jiao C, Wang L Q. An review of the development of military electronics in 2021 [J]. Journal of CAEIT, 2022, 17(4): 351–353.

[7] 蒋荣华, 肖顺珍. 半导体硅材料最新发展现状 [J]. 半导体技术, 2002 (2): 3–6.
Jiang R H, Xiao S Z. Development and trend of semiconductor Si material [J]. Semiconductor Technology, 2002 (2): 3–6.

[8] 王龙兴. 全球半导体材料市场分析[J]. 集成电路应用, 2019, 36(1): 1–4.
Wang L X. Analysis of global semiconductor materials market [J]. Applications of IC, 2019, 36(1): 1–4.

[9] 闫志瑞, 库黎明, 白杜娟, 等. 半导体硅片制备技术及产业现状 [J]. 金刚石与磨料磨具工程, 2020, 40(4): 5–11.
Yan Z R, Ku L M, Bai D J, et al. Industry status of semiconductor silicon wafers [J]. Diamond & Abrasives Engineering, 2020, 40(4): 5–11.

[10] 袁剑琴. 数字经济背景下我国半导体产业链安全研究 [J]. 信息安全研究, 2021, 7(7): 640–645.
Yuan J Q. Reserch on industrial chain security of semi-conductor on the background of digital economy [J]. Journal of Information Security Research, 2021, 7(7): 640–645.

[11] 杨道州.《瓦森纳协定》封锁下的中国集成电路产业“卡脖子”问题分析及应对策略 [J]. 创新与创业管理, 2020 (2): 8–18.
Yang D Z. “Bottlennecked” Chinese integrated circuit industry under blockade of the wassenaar arrangement: Problem analusis and strategies [J]. Management of Innovation and Entrepreneurship, 2020 (2): 8–18.

[12] SEMI. Materials market data subscription [R]. Washington, DC: SEMI, 2021.

[13] SEMI. Silicon wafer market monitor [R]. Washington, DC: SEMI, 2022.

[14] Fletcher A S A, Nirmal D. A survey of gallium nitride HEMT for RF and high power applications [J]. Superlattices and Microstructures, 2017, 109: 519–537.

[15] Kumar M, Singh V P, Dubey S, et al. GaN nanophosphors for white-light applications [J]. Optical Materials, 2018, 75: 61–67.

[16] 黄晓艳, 吕学谦. 抢占第三代半导体战略制高点——访中国工程院院士屠海令 [J]. 高科技与产业化, 2017 (1): 26–33.
Huang X Y, Lyu X Q. Seize the strategic commanding height of the third generation semiconductor—Interview with Tu Hailing academician of the CAE Member [J]. High-tech And Industrialization, 2017 (1): 26–33.

[17] SEMI. Prospect of 8 inch wafer factory in 2025 [R]. Washington, DC: SEMI, 2021.

[18] 集成电路材料产业技术创新联盟. 中国半导体支撑业发展状况

报告 [R]. 北京: 中国半导体行业协会半导体支撑业分会, 2022.
Technology Innovation Alliance of Integrated Circuit Materials Industry. Report on the development of China's semiconductor support industry [R]. Beijing: Semiconductor Support Industry Branch of China Semiconductor Industry Association, 2022.

[19] 吴小四, 朱银锋, 唐梦雨, 等. 直拉式单晶硅生长炉超导磁体研究 [J]. 安徽建筑大学学报, 2022, 30(3): 67–72.
Wu X S, Zhu Y F, Tang M Y, et al. Study on superconducting magnet for czochralski single crystal silicon growth [J]. Journal of Anhui Jianzhu University, 2022, 30(3): 67–72.

[20] 林晓杰, 刘丽君, 王维升. 半导体硅片清洗设备研究进展 [J]. 微处理机, 2012 (4): 25–28.
Lin X J, Liu L J, Wang W S. The advances in the equipments of the silicon wafer cleaning [J]. Microprocessors, 2012 (4): 25–28.

[21] 朱祥龙, 康仁科, 董志刚, 等. 单晶硅片超精密磨削技术与设备 [J]. 中国机械工程, 2010, 21(18): 2156–2164.
Zhu X L, Kang R K, Dong Z G, et al. Ultra-precision grinding technology and grinder of silicon wafer [J]. China Mechanical Engineering, 2010, 21(18): 2156–2164.

[22] 张洪斌, 闫 涛, 李鹏飞, 等. 电子级多晶硅生产技术分析 [J]. 新材料与新技术, 2022, 48(4): 75–78.
Zhang H B, Yan T, Li P F, et al. Analysis of electronic grade polysilicon production technology [J]. New Material and New Technology, 2022, 48(4): 75–78.

[23] 上海硅产业集团股份有限公司. 2021 年年度报告 [R]. 上海: 上海硅产业集团股份有限公司, 2021.
Shanghai Silicon Industry Group Co., Ltd. 2021 annual report [R]. Shanghai: Shanghai Silicon Industry Group Co., Ltd., 2021.

[24] TCL 中环新能源科技股份有限公司. 2021 年年度报告[R]. 天津: TCL 中环新能源科技股份有限公司, 2021.
TCL Zhonghuan Renewable Energy Technology Co., Ltd. 2021 annual report [R]. Tianjin: TCL Zhonghuan Renewable Energy Technology Co., Ltd., 2021.

[25] 杭州立昂微电子股份有限公司. 2021 年年度报告 [R]. 杭州: 杭州立昂微电子股份有限公司, 2021.
Hangzhou Lyon Microelectronics Co., Ltd. 2021 annual report [R]. Hangzhou: Hangzhou Lyon Microelectronics Co., Ltd., 2021.

[26] 宁永铎, 周旗钢, 钟耕杭, 等. 半导体硅片酸腐蚀后形状实验研究 [J]. 稀有金属, 2019, 43(10): 1062–1067.
Ning Y D, Zhou Q G, Zhong G H, et al. Experimental study on shape of semiconductor wafers after acid etching [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2019, 43(10): 1062–1067.

[27] 张伟, 周建伟, 刘玉岭, 等. 硅片研磨表面状态的改善和研磨液的改进 [J]. 半导体技术, 2006 (10): 758–761.
Zhang W, Zhou J W, Liu Y L, et al. The improvement of wafer surface condition and polishing slurry in the process of wafer polishing [J]. Semiconductor Technology, 2006 (10): 758–761.

[28] 钟耕杭, 宁永铎, 王新, 等. 化学腐蚀对半导体硅片抛光后局部平整度的影响 [J]. 稀有金属, 2018, 42(11): 1186–1192.
Zhong G H, Ning Y D, Wang X, et al. Site flatness of as-polished wafers with etching process [J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2018, 42(11): 1186–1192.