基于专利分析的芯片“卡脖子”问题研究

姜 迪[1] 徐 寅[2] 陈长益[1] 芮雯奕[1]
（1. 江苏科学技术情报研究所，江苏南京 210042；2. 移动集团江苏分公司，江苏南京 210029）

摘要：首先从我国芯片的产业现状和发展格局入手，梳理芯片产业链确定高端芯片制造的EUV光刻技术是生产芯片的“卡脖子”技术。然后分析EUV光刻技术领域的发展趋势、技术分布、竞争态势和专利布局。最后从专利视角挖掘我国大陆EUV光刻技术与发达国家/地区的技术发展差距，提出解决芯片“核芯”技术受制于人问题的对策建议，为相关部门研究制定突破高端芯片“卡脖子”问题的政策措施提供数据和决策参考。

关键词：芯片；极紫外光刻；产业发展；专利分析；国际专利分类号
中图分类号：TN43 **文献标识码：**A **DOI：**10.3772/j.issn.1674−1544.2021.04.002

Research on the “Bottle Neck” Problem of Chips Based on Patent Analysis

JIANG Di[1], XU Yin[2], CHEN Changyi[1], RUI Wenyi[1]
(1. Jiangsu Institute of Scientific and Technical Information, Nanjing 210042; 2. China Mobile Group Jiangsu Company Limited, Nanjing 210029)

Abstract: This article starts with the current status and development pattern of China’s chip industry, sorts out the “chuck neck” link in the chip industry chain, that is, high-end chip manufacturing equipment-EUV lithography machine, and then analyzes the development trend of EUV lithography technology, Technology distribution, competitive situation and patent layout through patents, after that explores the technological development gap between Chinese mainland EUV lithography technology and developed countries/regions from the perspective of patents, finally proposes countermeasures and suggestions to solve the problem of chip “core” technology being restricted by others, and provides data and decision-making reference for relevant departments to formulate breakthroughs in “chuck neck” problem of high-end chip, so this article has a certain practical significance.

Keywords: chip, extreme ultraviolet lithography, industry development, patent analysis, International Patent Classification Number

0 引言

早在 2016 年，国际专利检索公司QUESTEL发布的《芯片行业专利分析及专利组合质量评估》报告指出，中国近 10 年芯片专利增长惊人，已成为芯片专利申请第一大国[1]。然而，虽然我国芯片专利申请量位居世界前列，但据国务院发布的数据显示，2019 年我国芯片自给率却

作者简介：姜迪（1987—），女，江苏省科学技术情报研究所副研究员，硕士，主要研究方向为产业发展、知识产权评议、企业创新（通信作者）；**徐寅**（1986—），男，移动集团江苏分公司通信工程师，硕士，研究方向为移动通信、企业创新、产业经济；**陈长益**（1986—），男，江苏省科学技术情报研究所副研究员，硕士，研究方向为知识产权评议、专利导航；**芮雯奕**（1982—），女，江苏省科学技术情报研究所研究员，博士，研究方向为产业发展、知识产权评议、专利导航、企业创新。

收稿时间：2021 年 3 月 9 日。

仅为30%左右[2]，高端芯片严重依赖进口。随着中美贸易战的加剧，美国对华为芯片实施制裁和打压，全面封锁华为芯片采购，高端芯片的制造已成为我国当下最关心，也是急需解决的“卡脖子”问题。生产芯片的核心设备是光刻机。全球能够生产高端芯片的极紫外（EUV）光刻机的只有荷兰的阿斯麦以及日本的尼康、佳能。现阶段我国只能生产中低端光刻机，难以满足高端芯片制造的需求。

专利记载了发明创造的内容，是技术信息最有效的载体。分析专利文献可以掌握技术发展趋势，实现其特有的经济价值。为探究高端光刻机制造难的原因，有学者从光源、抗蚀剂、防护膜等方面对EUV光刻技术进行了难点分析[3]，但从专利角度进行分析的却很少。通过文献检索发现，只是对光刻机的曝光系统中物镜抛光技术[4]、光刻胶[5]、无掩盖光刻技术[6]、对准技术[7]进行了专利分析，而针对光刻技术特别是EUV光刻技术的专利分析研究却非常少。在这极少的研究中涉及的数据样本还比较陈旧，不能很好地反映EUV光刻技术发展现状[8]。因此，本文将从专利的角度分析EUV光刻技术领域的发展趋势、技术分布、竞争态势和专利布局，挖掘我国大陆EUV光刻技术与发达国家/地区的技术发展差距，提出摆脱芯片“核芯”技术受制于人困境的对策建议。

1　芯片产业发展现状

1.1　芯片产业链

随着我国集成电路产业的发展，芯片产业已具有一定的规模，从芯片设计到芯片应用形成了产业链。从芯片产业链来看，上游主要包括设计、制造、封测等制造环节；中游主要包括功率半导体芯片、射频芯片、WiFi芯片、蓝牙芯片、存储芯片等产品；下游主要包括消费电子（手机、PC平板、可穿戴设备等）、汽车电子（车载摄像头、雷达、传感器等）、新型创新（物联网、虚拟现实技术VR、增强现实技术AR）等应用领域（图1）。

1.2　我国芯片发展格局

长期以来，我国国内芯片集成电路行业产业链中最具竞争力环节是封测产业，目前已具备了规模和技术基础，发展了凸块技术、晶圆级封装和3D堆叠封装等先进技术，设计业自主发展迅速，群雄并起，华为海思、紫光展锐已进入全球前10位。

然而，目前芯片制造业依旧是我国大陆芯片

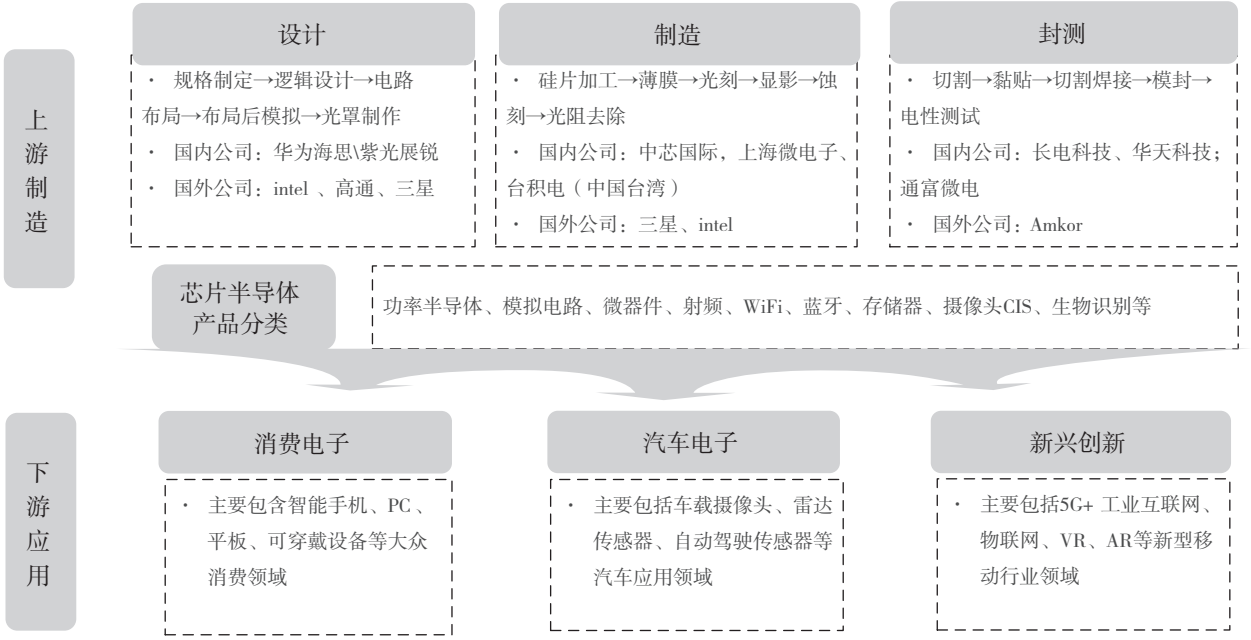


图1　芯片行业产业链示意

产业中最为薄弱的领域。在芯片制造工艺方面，我国台湾的台积电、韩国的三星已演化到最新一代5 nm工艺制程，下一代4 nm、3 nm也在稳步推进之中。而中芯国际作为我国大陆最先进的芯片制造企业，仅有14 nm工艺制程，远落后于国际水平。光刻机是芯片制造的核心设备，被誉为芯片之母。目前我国量产的仍然是90 nm以下的中低端光刻机，而全球拥有制造高端芯片的EUV光刻机技术的只有荷兰ASML以及日本尼康和佳能，这些核心装备用钱是买不来的[9]。从产业链发展格局看，EUV光刻机技术是我国芯片的主要“卡脖子”技术问题。

1.3　我国芯片市场发展情况

从产业结构来看，我国芯片产业结构依然不均衡，制造业比重相对过低，2019年我国芯片设计、制造、封测三业销售收入比重分别为40.5%、28.4%、31.1%，而技术发达国家的设计、制造、封测三业占比一般为3:4:3。从市场份额来看，2013—2018年，我国芯片产业销售额由368.9亿美元增加至约955亿美元，市场规模复合增长率达14.5%，全球市场占比提升至20%，成为全球芯片消费的主要市场（图2）。从芯片自给率来看，2019年我国芯片的进口金额为3 040亿美元，芯片自给率仅为30%左右，芯片制造设备自给率不到20%。

通过以上分析可以看出，芯片制造工艺水平低下是芯片产业链中最为薄弱的环节，芯片自给率低，芯片制造设备严重依赖进口。高端芯片制造的核心设备是EUV光刻机。本文将从专利分析角度对全球EUV光刻技术进行发展趋势、技术分布、竞争态势和专利布局分析，从专利视角挖掘我国大陆EUV光刻技术与发达国家/地区的技术发展差距。

2　全球EUV光刻技术专利分析

本文采用Derwent Innovation专利信息检索分析平台作为芯片技术专利数据的信息来源。根据EUV光刻技术的分类和特点，以“LITHOGRAPHY/ Mask ADJ Aligner”“integrated circuit/IC/chip/microcircuit/microchip”“Extreme Ultraviolet/EUV”等为检索关键词构建检索式，以1990年为检索的起点时间，经清洗和人工筛选后，共得到13 530件专利，其中德温特世界专利索引（Derwent World Patents Index，DWPI）同族数量有4 837件。由于专利申请存在18个月不等的公开滞后，2019—2020年并不代表全年完整数据，

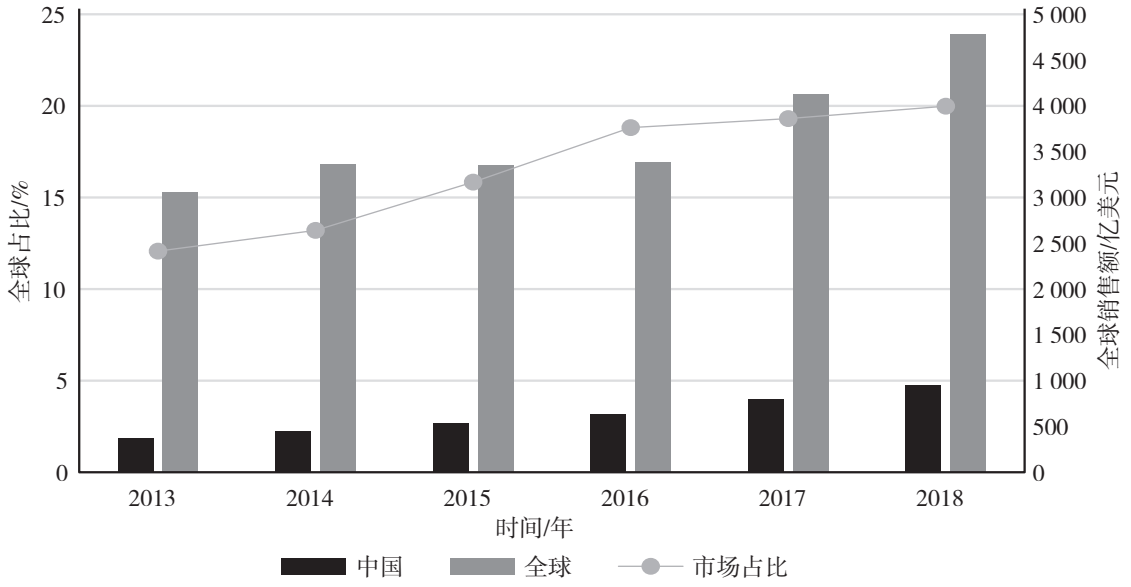


图2　2013—2018年我国芯片产业销售额及全球占比

数据来源：中国半导体行业协会、美国半导体行业协会。

仅作参考[10]。本文专利检索时间为2020年11月28日。

2.1　专利申请趋势

以全部专利数据为数据源分析EUV光刻技术专利申请趋势。由图3可知，1997年之前，EUV光刻技术发展较为缓慢，每年专利申请数量仅为个位数。1998年到2004年期间，由于集成电路行业巨头的关注，EUV光刻技术逐步引起越来越多研发机构的重视，EUV光刻技术申请量开始呈现爆发式增长趋势[7]，2004年申请量是1998年的6.7倍。在2005年到2007年期间，业界对EUV技术的研发远不如预期，相关专利申请量出现了下降趋势。2008年以后，芯片晶体管逐步向22 nm、10 nm、7 nm，甚至更小尺寸发展，传统的浸没式光刻技术无法满足生产要求，且双重光刻等其他光刻技术的成本迅速上升，因此业内人士再次对EUV光刻抱以期望[8]，2013年EUV光刻技术申请量达到884件，比2008年增长了187件。根据摩尔定律，EUV光刻技术达到更小尺寸工艺时也将遇到更大的发展瓶颈，因此2014年以来，EUV光刻技术专利申请量略有下降，每年都在600～800件。

以家族申请量为数据源，分析EUV光刻技术的技术来源国/地区专利申请趋势。从图4可以看出，日本于1990年开始申请EUV光刻技术专利，是申请最早的技术来源国，美国紧随其后，其次是德国、欧专局。而中国大陆作为技术来源国/地区的专利申请起步较晚，晚于发达国家10年以上，同时申请总量排名第五，仅为技术来源国/地区专利申请量最多的日本的1/10。

2.2　主要技术领域

通过表1可知，全球EUV光刻技术的研究主要集中在G03F（半导体器件的加工工艺、感光材料）、H01L（半导体器件）等大组。进一步细分可以发现，热点技术主要分布于G03F 7/20（曝光及其设备）、H01L 21/027（在半导体之上制作掩膜）、G03F 7/039（可光降解的高分子化合物，如正电子抗蚀剂）、G03F 7/004（感光材料），分别占同族专利总数的47.8%、41.1%、16.3%、16.1%。其次是H05G 2/00（专用于产生X射线的设备或方法）、G03F 1/24（反射掩膜及其制备）、G03F 7/038（不溶或非均匀可湿的光敏材料），占比分别为10.2%、9.6%、6.1%。这表明全球EUV光刻技术的研究主要聚焦于曝光设备、掩膜、感光材料、可光降解的高分子化合物、X射线产生设备、光敏材料、光学镜子等技术领域。

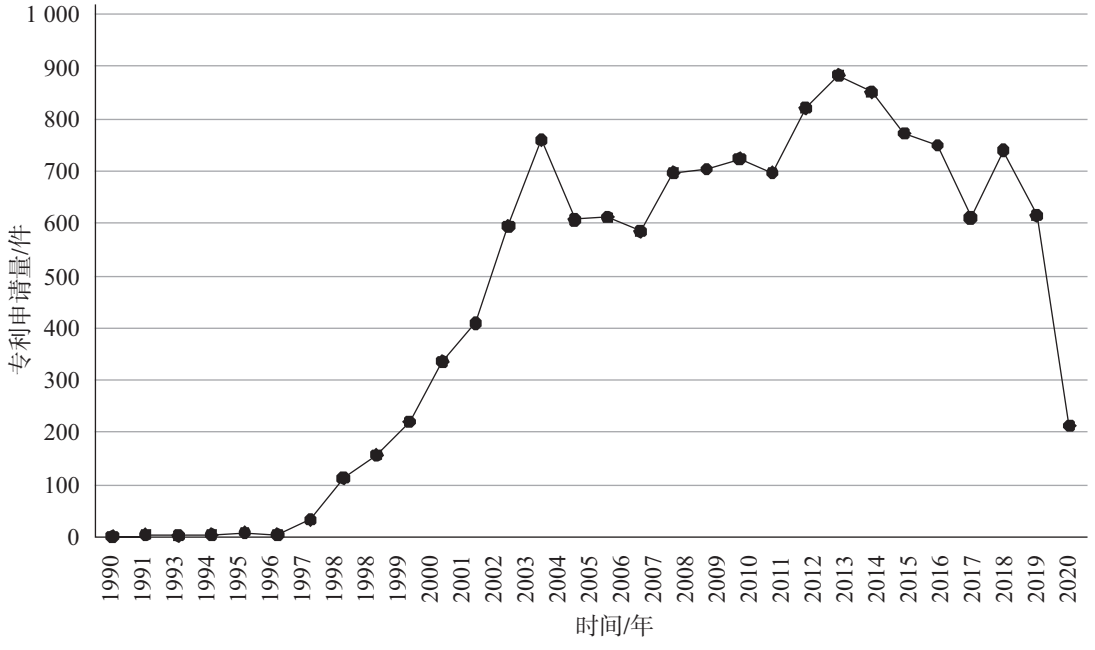


图3　全球EUV光刻技术领域专利申请趋势

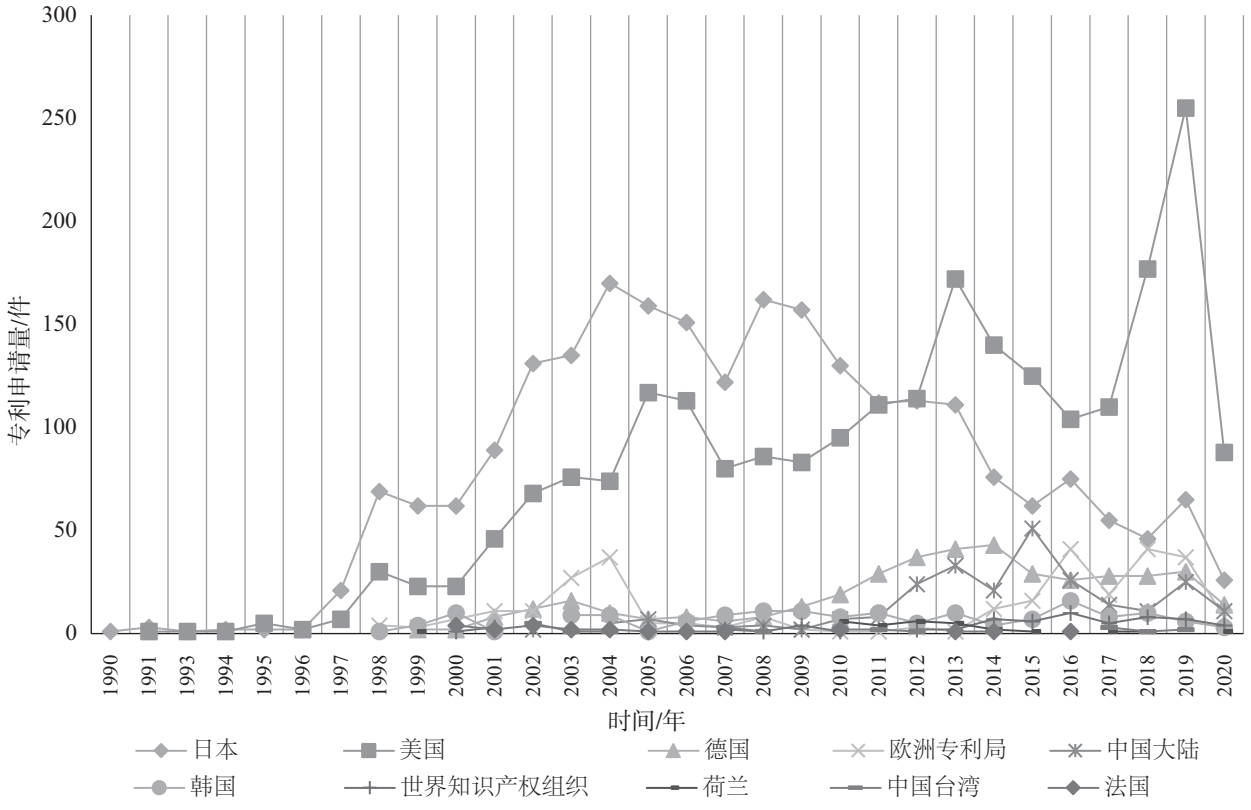


图 4　EUV光刻技术的技术来源国/地区专利申请趋势

表 1　全球EUV光刻领域专利数量前十的热点技术专题

IPC TOP 10	同族专利数量/件	中国大陆占比/%	主要技术领域
G03F 7/20	2 876	47.8	曝光及其设备
H01L 21/027	2 472	41.1	在半导体之上制作掩膜
G03F 7/039	982	16.3	可光降解的高分子化合物，如正电子抗蚀剂
G03F 7/004	970	16.1	感光材料
H05G 2/00	614	10.2	专用于产生X射线的设备或方法
G03F 1/24	578	9.6	反射掩膜及其制备
G03F 7/038	364	6.1	不溶或非均匀可湿的光敏材料
G03F 1/22	351	5.8	用于通过 100 nm或更短波长辐照成像的X射线掩膜、深紫外（EUV）掩膜及其制备
G21K 1/06	260	4.3	应用衍射、折射或反射
G02B 5/08	196	3.3	除透镜以外的光学镜子

从表2来看，各技术方向国内外申请比例不一，但我国大陆在热点技术方向的申请占比均很少，其中占比最多的是G03F 7/20（曝光及其设备），也仅有4.6%，H05G 2/00、G02B 5/08次之。由此可以看出，我国大陆在EUV光刻技术领域的技术实力还远远落后于技术发达国家/地区。

表 2　全球EUV光刻技术专利TOP 10技术方向中国大陆外申请分布

IPC TOP 10	中国大陆占比/%	国外占比/%
G03F 7/20	4.6	95.4
H01L 21/027	0.6	99.4
G03F 7/039	0.7	99.3
G03F 7/004	1.4	98.6
H05G 2/00	2.6	97.4
G03F 1/24	1.0	99.0
G03F 7/038	0.8	99.2
G03F 1/22	1.4	98.6
G21K 1/06	0.8	99.2
G02B 5/08	2.0	98.0

2.3　主要申请人分析

由表3分析可知，全球EUV光刻专利申请量最多的是荷兰的阿斯麦公司；其次是日本的富士、尼康和中国台湾的台积电。从所属国家来

看，在全球前 10 位的申请人中，荷兰有阿斯麦和已经被阿斯麦收购的CYMER，日本占 5 席，德国占 1 席，美国占 1 席。

同时，表 3 还列出了EUV光刻技术领域主要申请人的重点技术方向。全球申请量前 10 位的申请人所研究的技术主要集中在G03F 7/20、H01L 21/027、G03F 7/039、G03F 7/004、H05G 2/00、G03F 1/24 等领域，其中研究最多的就是G03F 7/20（曝光设备）。其中，阿斯麦、台积电、卡尔蔡司在曝光设备方面研发最多，尼康、佳能、IBM重点关注掩膜技术。

图 5 为申请量前 10 位的专利申请人布局图。从图 5 中可以看出，阿斯麦在本国申请的专利特别少，它侧重于在全球主要申请国进行均匀布局，其中在美国的专利申请量占比达 22.9%，而日本的富士和尼康均以本国申请为主，再在其他国家均匀布局。台积电和阿斯麦类似，主要在其他国家/地区进行专利布局，在中国台湾地区申请的专利只有 41 件，是布局在美国专利数量的 1/4。

2.4　区域分布

由EUV光刻技术的全部专利数分析可以得到，排名靠前的申请国家/地区以及组织机构为日本、美国、韩国、中国大陆、中国台湾、世界知识产权组织、欧洲专利局、德国、荷兰。统计分析可以看出（图 6），日本申请量最多，主要来自本国申请，其他主要来自美国、欧洲专利局、德国；美国申请量排名第二，同样也是本国申请量最多，其他主要来自日本、欧洲专利局、德国。美国、日本、德国是申请世界知识产权组织（PCT）专利的主要国家，说明这 3 个国家比较重视EUV光刻专利的全球布局。中国大陆申请量排名第四，只有 18.7% 的专利来自本国申请，申请中国大陆优先权的专利有 275 件，进入其他国

表 3　全球EUV光刻专利申请人前十

申请人	专利申请量/件	所属国家或地区	主要技术领域
阿斯麦	850	荷兰	G03 7/20
富士	559	日本	G03F 7/039
尼康	467	日本	H01L 21/027
台积电	409	中国台湾	G03F 7/20
卡尔蔡司	409	德国	G03F 7/20
佳能	273	日本	H01L 21/027
信越化学	257	日本	G03F 7/004
CYMER（阿斯麦收购）	142	荷兰	H05G 2/00
旭硝子	137	日本	G03F 1/24
IBM	132	美国	H01L 21/027

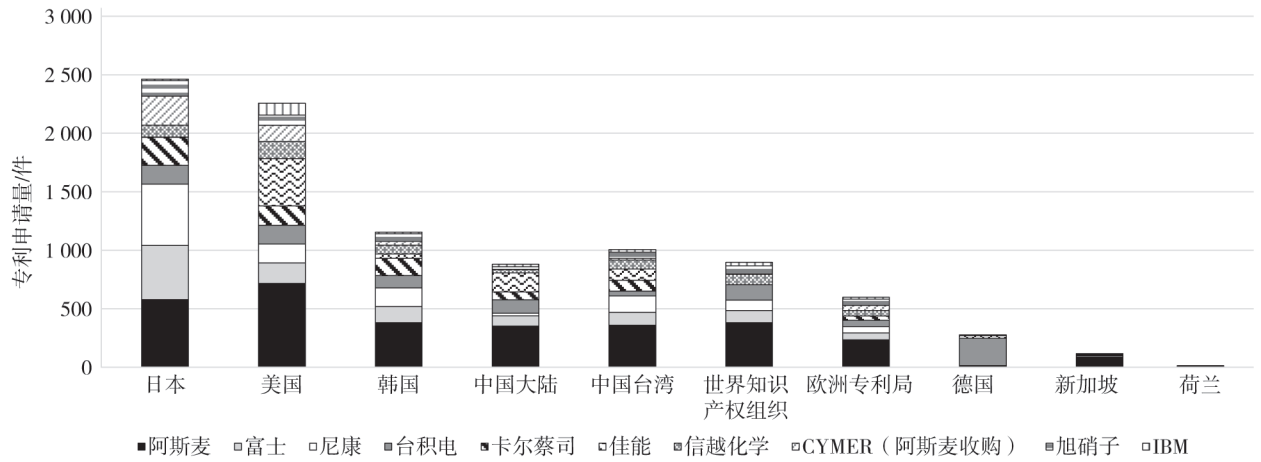


图 5　EUV光刻技术主要申请人的申请国/地区分布

家/地区的只有16件。可以看出，中国大陆的本国申请数量比其他国家/地区在中国大陆布局的专利数量少，同时中国大陆在其他国家/地区布局的专利也微乎其微，说明中国大陆在EUV光刻领域有一些专利申请，但与该领域技术强国的差距很大。这里值得关注的是荷兰。荷兰申请量仅有137件，且主要来自美国、欧洲专利局，荷兰优先权数量也仅有34件，而荷兰拥有世界最先进光刻技术的阿斯麦公司，申请专利高达3 127件，远远超过了荷兰申请量和荷兰优先权数量，说明荷兰主要在国外布局大量专利和申请国外的优先权。

2.5　分析小结

通过专利分析可知，EUV光刻技术正处于平稳发展期。中国大陆作为技术来源国/地区进行专利申请起步较晚，且专利申请量仅有日本的1/10；中国大陆在全球EUV光刻热点技术方向的申请均很少，其中申请最多的是曝光设备方向，全球占比仅有4.6%；在全球专利申请量排名前10的主要申请人中，申请量最多的是荷兰阿斯麦，日本占据5席；在全球EUV光刻技术申请量排名中，中国大陆申请量排名第四，但只有18.7%的专利来自本国申请，其余申请主要来自美国和日本等国的在华申请；在全球EUV光刻技术的专利布局中，荷兰在国外布局大量专利和申请国外优先权，而中国大陆在其他国家/地区布局的专利微乎其微。

3　结论与建议

本文从芯片的产业现状和发展格局入手，梳理出我国芯片产业链上的“卡脖子”环节是“高端芯片制造的EUV光刻技术”，然后从专利角度分析我国大陆EUV光刻技术与发达国家/地区的申请趋势、技术分布、竞争态势和专利布局的差距，得到以下分析结论，并提出相应的对策建议。

（1）通过芯片产业分析得知，我国大陆芯片制造业是芯片产业中最为薄弱的环节，芯片工艺

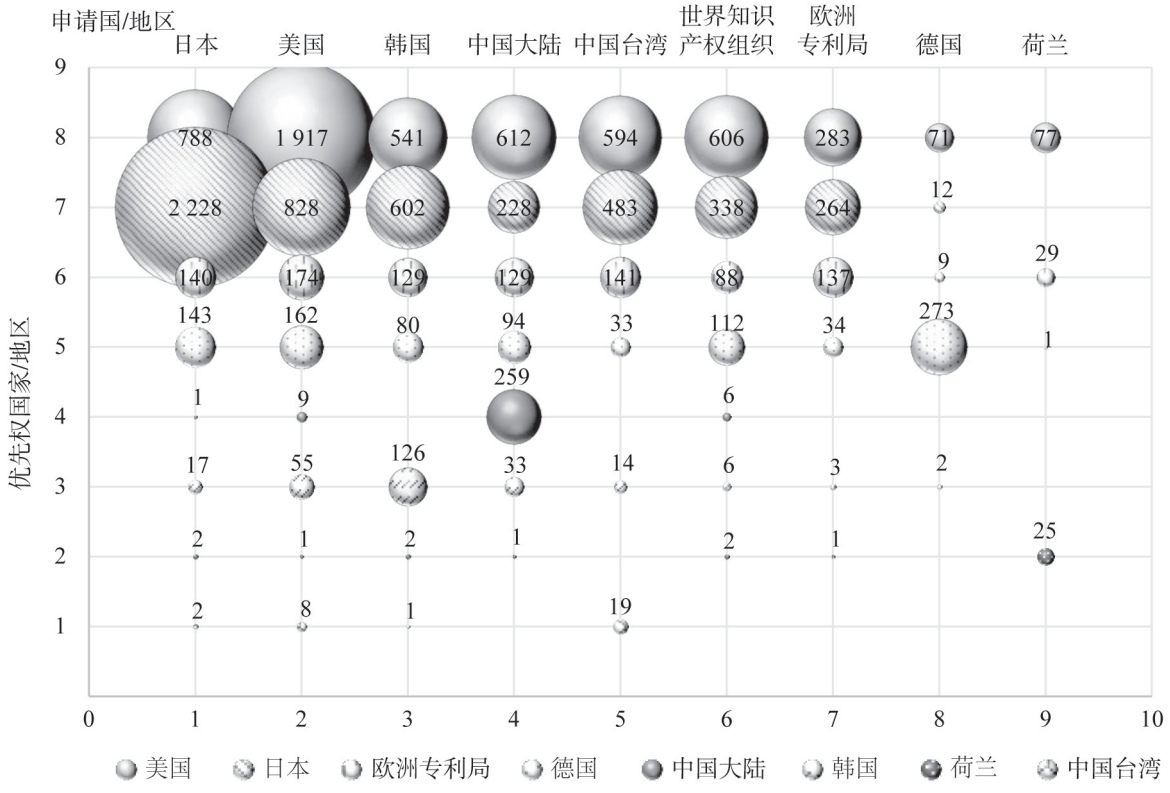


图6　EUV光刻技术主要申请国/地区的技术来源国/地区分布

制程远远落后于国外发达国家/地区水平，生产高端芯片的核心设备光刻机严重依赖进口。通过对EUV光刻技术进行专利分析可知，荷兰、美国、日本等发达国家EUV光刻技术专利申请方面起步较早，在海外布局的专利很多，已经形成了很强的专利壁垒，而我国大陆在EUV光刻各热点技术领域的专利申请量均很少，在海外布局的专利更少，因此我国大陆的芯片制造严重受制于人。

（2）基于以上芯片“卡脖子”问题分析研究，从以下3个方面提出建议：一是积极攻克芯片制造的技术短板问题。建议国家进一步集中科研力量，联合上海微电子等光刻机研发厂家，聚焦EUV光刻技术，推动光刻领域的曝光、光源、镜头、光刻机、掩膜等核心技术的持续创新，尽快突破一系列光刻核心技术难题，逐步实现具有先进工艺制程的光刻机国产化替代。二是深化转型，提升产业协同与集中度。打通芯片生产全产业链，建立设计、制造、封测企业之间良好的沟通渠道，缩短研发周期，提高生产效率，打造可以独立完成设计、制造和封测所有环节的企业；在区位布局上，应推动三业形成产业集聚，积极引导集成电路企业与整机厂商对接，促进协同发展；积极融入全球化进程，在全球范围内加强合作和对外交流，共同打造芯片产业链，使它更加健康可持续发展[11−12]。三是换道超车，突破专利壁垒。加强在芯片制造、计算、应用发展的领域布局，从5G+工业互联网、人工智能等新一代技术等角度寻求新兴领域的突破，避开国外发达国家在芯片传统领域的专利壁垒，实现“换道超车”。

（3）本文仅围绕芯片的其中一个重要“卡脖子”环节即EUV光刻技术进行专利分析。由于篇幅有限，专利分析未能向法律状态信息、引文信息、核心专利等方面深入开展，且仅从专利挖掘信息，研究存在一定的局限性。未来可以进一步从政策、产业、市场、人才、技术等多方面视角进行剖析，也可以从芯片的其他“卡脖子”问题入手，挖掘出更多有价值的情报。

参考文献

[1] 佚名. 中国稳坐芯片专利申请榜首排头兵中兴通讯跻身全球30强[J]. 中兴通讯技术, 2016, 22(3):35.

[2] 镁客网. 中国芯片自给率去年为30%, 目标2025年达到70% [EB/OL]. (2020−08−20) [2021−03−31]. https://ishare.ifeng.com/c/s/7z6uSO8w9pW.

[3] LAPEDUS M. EUV光刻技术的难点分析[J]. 集成电路应用, 2017, 34(11): 47−51.

[4] 张凯华. 光刻机曝光系统中物镜抛光专利分析[J]. 电子元器件与信息技术, 2020, 4(7): 5−6.

[5] 冯刚. EUV光刻胶专利分析及技术热点综述[J]. 现代化工, 2019, 39(7): 11−16, 18.

[6] 刘艳鑫. 无掩模光刻技术综述[J]. 中国战略新兴产业, 2019 (2): 107.

[7] 丁文, 刘艳鑫. 光刻机对准技术的专利概况分析[J]. 电声技术, 2015, 39(z1): 4−6, 9.

[8] 周婧博. 基于专利分析的极紫外光刻现状研究[J]. 科技和产业, 2017, 17(11): 62−66.

[9] 雪球. 我国严重依赖进口的产品分析[EB/OL]. (2020−02−17) [2021−01−25]. https: //Xueqiu.com/2563684299/141419726.

[10] 陈燕黄, 迎燕, 方建国. 专利信息采集与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

[11] LIU Y, YAN Z, CHENG Y J, et al. Exploring the technological collaboration characteristics of the global integrated circuit manufacturing industry[J]. Sustainability, 2018, 10(1): 196.

[12] 李勇. 中国芯发展趋势分析[J]. 机电工程技术, 2018, 49(10): 106−108.