第 39 卷　第 6 期　世界科技研究与发展　Vol. 39　No. 6
2017 年 12 月　497 – 502 页　WORLD SCI-TECH R&D　Dec. 2017　pp. 497 – 502

集成电路装备产业的全球竞争格局与我国竞争态势分析*

傅翠晓**　全利平
（上海市科学学研究所，上海 200235）

摘　要：在文献综述的基础上，通过产业竞争态势研究，分析全球及我国集成电路装备产业的竞争态势，并在此基础上，分析和提出我国集成电路装备产业的发展建议。研究表明，美国、日本、韩国和荷兰仍是集成电路装备产业发展的强国，且各国政府是推动产业发展的主导力量，但全球市场却趋于向东亚转移。我国集成电路装备产业已形成较为完善的产业链结构和产业配套体系，主要集中于上海与北京等地，已初步具备参与全球竞争的基础，但国家科技计划在部分领域仍有缺失。研究提出，我国应在加快形成龙头引领、强化科技布局等方面进一步发挥基础优势，紧跟国际发展步伐，提升产业竞争力。

关键词：集成电路装备；产业竞争地图；产业发展
中图分类号：F427　**文献标识码**：A　doi：10.16507/j.issn.1006 – 6055.2017.10.001

Analysis on Global Competitive Landscape and Competitive Situation of Integrated Circuit Equipment Industry in China*

FU Cuixiao　**QUAN Liping**
（Shanghai Institute for Science of Science，Shanghai 200235，China）

Abstract：On the basis of literature review，the competitive situations of the global and China's Integrated Circuit Equipment Industry（ICEI） are analyzed based on the industrial competition situation. And then，the development proposals of ICEI in China are put forward. The research shows that the United States，Japan，South Korea and the Netherlands are still leading powers in the development of ICEI，and governments are the dominant force in promoting industrial development，but the global ICEI market is currently moving towards East Asia. The ICEI in China has formed a relatively complete industrial chain structure and industry supporting system，mainly located in Shanghai，Beijing and other places. Foundation has been laid so as to participate in the global competition，but deficiencies still exist in terms of the national science and technology programs in some areas. The study suggests that China should accelerate the formation of leading entities and strengthen the layout of science and technology in order to further play its basic advantages，keep up with the pace of international development，and enhance industrial competitiveness.

Key words：integrated circuit equipment；industrial competitive map；industrial development

1　引言

集成电路产业是推动其它工业繁荣发展的基础性和先导性产业。而集成电路装备是集成电路产业链结构中的重要组成部分，是发展集成电路产业的重要支撑。集成电路装备制造业是集成电路产业的基础之基础，已成为高技术装备产业的典型代表。一个国家的集成电路装备制造业水平，决定着这个国家的集成电路行业水平，继而决定了这个国家的综合竞争力和国际影响力。国家科技重大专项 02 专项“极大规模集成电路制造技术及成套工艺”的实施，对我国集成电路装备产业的发展提供了强有力的支持。中国正在成为世界集成电路制造业的重要区域，同时也将成为集成电路装备制造商们争胜的焦点。但是与集成电路制造业相比，我国的集成电路装备产业，无论是从产业规模和研发水平上，还是从投资强度和人才集聚方面，都尚未形成可支撑自身可持续发展的产业生态。面对全球竞争对手，我国政府和企业如何做到知己知彼，全面掌握全球竞争格局和我国竞争基础，及时准确地掌握竞争对手的动向和产业需求，如何有针对性地优化我国集成电路装备产业格局，构建具有自主发展能力和核心竞争力的产业链，如何为实现我国集成电路产业的可持续健康发展奠定优势基础？这些问题已成为我国集成电路装备产业亟需解决的具有全局性和战略性意义的核心问题，也是本研究需要探讨的问题。

2017-04-19 收稿，2017-10-17 接受，2017-10-23 网络发表
*上海市软科学研究项目（17692108100）资助
**通讯作者，E-mail：cxfu@siss.sh.cn

因此,本研究对推动我国集成电路装备产业的进一步发展,进而提升我国集成电路行业竞争力具有重要意义。

2 文献综述

2.1 有关产业竞争分析

有关产业竞争的一个重要研究方向是从国际竞争力的角度进行研究和分析,其中最具影响力的是美国哈佛大学教授迈克尔·波特(M. Poter)的产业国际竞争力研究成果[1],包括三部具有很高影响力的著作《竞争战略》(1980)、《竞争优势》(1985)和《国家竞争优势》(1990),为竞争力理论的发展做出了重要贡献。随后,汉默尔(Gary·Hamel)等提出了"核心竞争力"理论,认为竞争优势的根源在于组织内部的特有能力,即核心竞争力。有关国际竞争力方面的研究,我国学者开始较晚,自 20 世纪 90 年代始,以狄昂照等承担的"国际竞争力的研究"课题为标志,我国国际竞争力的研究才正式开始,其研究成果《国际竞争力》(1990)一书也成为我国首部国际竞争方面的著作。之后,金暗等承担了"中国工业品国际竞争力的比较研究"课题(1997),从国产工业品的市场占有率和盈利状况,以及直接和间接决定因素的分析入手,建立了产业国际竞争力分析的基本框架。其基本思路是:从竞争力的表现结果和形成原因两个方面分析产业国际竞争力的强弱,把反映结果的指标作为显性指标,反映原因的指标分为直接因素指标和间接因素指标,最终得出我国工业经济已从简单的数量扩张进入国际竞争新阶段的结论[2]。

产业竞争情报是产业竞争研究的另一个主要方向,国外很多文献对产业竞争情报都有相关或类似的实践探索[3-5]。国内也是如此,如湖南省产业竞争情报中心围绕湖南新型工业化重点产业,通过分析国内外主要竞争对手和市场环境等,提出产业经济发展的战略决策建议[6]。而国内较早提出产业竞争情报这一概念的学者陈峰等[7]认为,产业竞争情报即面向产业竞争系统,向本国或本地区产业链条内的企业群体提供其所需的动态性、应对性情报。随后,张立超等[8]对产业竞争情报的内涵、意义和范畴进行了进一步的探析,指出产业竞争情报主要是指采用全球产业竞争视角,从产业全局的角度出发,通过实时监测不同国家或者地区间相同或相似产业的竞争环境,及其对影响该产业领域发展的相关情报要素进行搜集、整理、加工、分析,在此基础上制定相应的产业竞争战略,从而最终为该国或地区整体产业竞争力的提升服务。他认为,开展产业竞争情报研究有助于提升产业整体竞争力、能为产业内部相关企业提供决策支持、有助于促进资源要素的合理配置,并能在一定程度上提供产业预警功能。

2.2 有关集成电路装备产业发展分析

1958 年 9 月 12 日,世界第一块集成电路在美国德克萨斯仪器公司诞生,而真正形成世界集成电路产业则在 20 世纪 70 年代初期。同时,在美国军用需求市场的拉动下,集成电路装备产业也开始初现规模,据统计,1959~1976 年间,仅在硅谷就诞生了 45 家半导体企业,形成了集成电路产业集群,这也是美国集成电路装备产业发展的强大基础。有研究指出,硅谷产业集群成功的主要原因是不仅具有世界一流的研究机构和大学,而且研究机构、创业者、风险投资以及专业机构之间形成了密切协作的网络系统[9]。美国集成电路装备企业的发展基本遵循了从商品输出到直接投资再到技术输出这样的路线[10],即在集成电路设备开发的前几年,通过进行产品输出追求利润最大化,在市场上基本形成垄断地位;随着时间的推移,当逐渐有国外模仿者开始仿制美国设备时,美国企业为了降低成本和提高竞争力,开始在国外进行直接投资,由于他们比竞争对手有更大的技术优势,又能够利用国外廉价的原材料和劳动力,所以美国企业仍能保持强有力的竞争力;随着集成电路装备技术的逐渐成熟,美国设备制造商会开始以技术股入主国外的设备制造企业,而美国的设备制造商又开始新一轮的技术创新,因此,美国集成电路装备企业一直处于优势竞争地位。

二次世界大战后,随着经济的复兴,日本的集成电路装备产业开始加速发展。在集成电路装备产业发展初期,日本企业主要是模仿和仿造美国设备。由于产品生命周期和技术生命周期的存在,美国半导体设备厂家为了追求利润最大化,就把一些落后的设备和技术转让给日本。这促进了日本半导体装备制造业的发展。到上世纪 80 年代时,日本不仅占据了大部分本国的半导体设备市场份额,还逐渐开始争夺美国本土甚至世界各地的半导体设备市场。

除美国和日本外,韩国的集成电路装备产业也从 20 世纪 80 年代前后开始崛起,于 1986 年开始进入存储器的自主开发阶段,初步实现大规模化生产。韩国的三星电子、现代电子和 LG 三大半导体公司在激烈的国际竞争中瞄准了存储器这一目标,在不

到 10 年的时间里使韩国的半导体产业发展到仅次于美国、日本，居世界第三，而存储器的产量居世界第一的强势地位，使得韩国的集成电路工业创造了世界集成电路存储器方面的奇迹。

相比之下，我国集成电路装备业与世界发达国家水平还相差较远，尽管在“02”专项的支持下，已取得可喜的成绩，但面对全球竞争局面，仍存在市场占有率低、产业化进程缓慢等问题[11]；在技术水平上与国外先进水平还有差距，自主创新能力较弱，存在产业发展与市场脱节问题[12]；此外，集成电路装备产业作为集成电路产业的基础，技术门槛和市场壁垒极高，这为我国发展集成电路装备产业带来了极其严峻的挑战。有学者通过分析国际经验指出，我国集成电路装备产业应采取策略联盟战略，推动国内晶圆厂、装备商及相关产业合作研发新技术，提升市场占有率。不仅要推动与相关产业的合作，也要注重与全球领先企业的合作[13]。

总体来看，集成电路产业领域的相关研究较多，但针对集成电路装备产业的研究相对偏少，尤其是在全面分析全球竞争态势方面，还未见有较为系统的分析与研究，因此，本研究在内容上具有一定的创新性，可为这一领域的深入研究提供支撑。

3　全球集成电路装备产业竞争格局

3.1　美国、日本和荷兰的几家集成电路装备企业基本形成寡头垄断

从世界上主要生产集成电路设备的企业分布来看，按销售收入排列的世界前十大集成电路装备制造企业基本都被美国、日本和荷兰等拥有较强高端制造产业链的发达国家企业所囊括，其中美国有 4 家，日本有 5 家，荷兰有 1 家（表 1）。在 2016 年，美国应用材料公司拥有除光刻机外种类齐全的制造设备，年营收达 96.59 亿美元，总收入规模位列第一；由于光刻机的价值较高，专注于该产品的荷兰公司 ASML 以 72.78 亿美元的收入，位居收入规模的第二位；美国的泛林半导体公司以 52.59 亿美元的营收，位居第三。随着近年来全球主要集成电路装备企业不断加快并购重组步伐，美国、日本、荷兰三国的几家厂商已基本形成寡头垄断。

美国的集成电路装备产业之所以能长期占据霸主地位，与其最初的军事需求拉动密不可分。长期以来，美国的政府采购占集成电路产业销售量的 40% 左右，同时，对集成电路的军事需求也极大带动了向民用需求的转化；而美国硅谷里的集成电路产业集群则为集成电路装备产业的发展提供了强大基础。在需求拉动和产业基础的双重作用下，美国企业始终走在技术创新前沿，其产品市场也一直保持高额利润水平。日本作为紧随美国而崛起的集成电路装备产业强国，主要依托于其超大规模集成电路技术（VLSI）的发展拉动，VLSI 合作研究组织为企业发展提供了平台，且在正确的核心竞争力战略实施下，使日本企业赢取了市场竞争优势。而荷兰的阿斯麦公司一直专注于集成电路装备产品中价值最高的产品，光刻机的研发和销售，由于光刻机技术和投资的进入门槛都较高，其他企业很难与其形成竞争，因此荷兰也长期处于集成电路装备产业强国之列。

表 1　全球集成电路装备产业领导厂商分布表（2015 年）[1)]

国家	企业名称	市场份额	
		年营收/亿美元	市场占比
美国	应用材料	64.20	19%
	泛林半导体	48.08	14%
	科磊	20.43	6%
	泰瑞达	16.40	5%
日本	东京电子	43.25	13%
	网屏	9.72	3%
	爱德万	14.53	4%
	日立	14.22	4%
	尼康	7.24	2%
荷兰	阿斯麦	47.31	14%

1）数据来源：各企业网站。

3.2　全球集成电路装备产业市场正在向东亚转移

由 2015 年全球集成电路装备产业市场分布（表 2）来看[14]，市场规模排名前三的均分布于东亚地区，排名第一的为中国台湾，96.7 亿美元；其次是韩国，74.9 亿美元；日本排名第三，54.9 亿美元。而中国和美国的市场规模差距不大，分别为 50.4 亿美元和 50.8 亿美元。从发展趋势来看，2015 年欧洲和美国的集成电路装备产业市场规模同比均有下降，分别降低了 18% 和 38%；相反，中国和日本市场则存在明显增长，分别增长了 15% 和 31%；此外，韩国增长 9%；中国台湾增长 3%；可见，东亚正成为集成电路装备产业市场的主要力量。主要原因在于近年来东亚各国的集成电路产业快速发展，带动装备需求的增长，同时各国纷纷加大行业投资力度，出台有力政策或举措推动集成电路装备产业发展，如我国的《中国制造 2025》明确指出，要将“推动集成电路及专用装备发展”作为重点突破口，加快从制造大国转向制造强国。

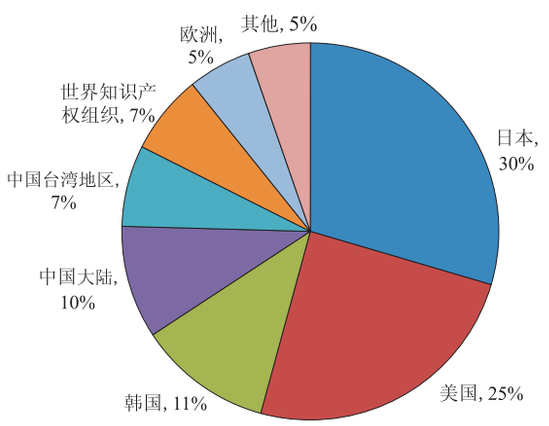
表 2　全球集成电路装备产业市场分布(2015)[14]

国家/地区	市场规模/亿美元	相比 2014 年的增幅
中国台湾	96.7	3%
韩国	74.9	9%
日本	54.9	31%
美国	50.8	-38%
中国大陆	50.4	15%
欧洲	19.5	-18%
东南亚	19.5	-18%

3.3　美国和日本仍是集成电路装备产业专利申请大国,中国大陆和韩国则不相上下

2015 年全球集成电路装备产业专利申请量持续上升,共 16863 项,同比增长 2.3%。地理分布如图 1 所示,日本以 65219 项的申请量位居第一,占全部专利申请量的 30%;其次是美国,申请量为 54499,占比 25%;而韩国和中国大陆的差距并不大,分别以 25432 和 21348 的专利申请量位列第三和第四。美国、日本和韩国一直作为集成电路产业的发展强国,在持续加大投资和战略推动的作用下,技术创新始终表现突出,其专利量占据前列也在意料之中,而我国近年来认识到关键装备技术是集成电路产业发展的支柱和根本,要集中力量提升自主技术水平,因此在国家战略推动下,我国集成电路装备技术创新活力明显增强,与世界强国的技术水平差距正在逐渐缩小。

从专利申请领域来看,光刻机是集成电路装备中最关键的设备,其技术难度最高,待解决的问题最多,也是技术探索最为活跃的领域,因此光刻设备的专利申请量最多,共 71367 项;其次是刻蚀设备,共 60423 项;再次是薄膜淀积设备、清洗和研磨设备,两者的差距不大,专利申请量分别为 52408 和 53012 项。



数据来源:德温特数据库

图 1　全球集成电路装备专利申请量地理分布

3.4　政府主导力量推动世界集成电路装备产业快速发展,合作计划则是推动技术发展的主要动力

世界各国集成电路装备产业的发展都跟政府推动分不开:美国自上世纪 60 年代始,以军用需求带动了集成电路装备产业的发展,政府投入资金支持达数亿美元;日本在 20 世纪 70 年代签署了 VLSI 研究协议,1996 年,政府投入 3.3 亿美元,组建了先进集成电路技术研究所,随后实施集成电路合作计划,先期投资 5 ~ 10 亿美元;2010 年,韩国政府宣布 5 年内投资 1.7 兆韩元,旨在推动集成电路芯片制造和集成电路装备产业发展。

在技术研发方面,各国的合作计划是推进技术进步的关键因素:日本在 1996 年实施了一项为期 20 年的集成电路合作计划,先期 5 年内投资 5 ~ 10 美元开发尖端技术和先进产品;韩国在 1986 年设立“超大规模集成电路技术共同开发计划”,联合韩国三大半导体制造商(三星、LG、现代)和 6 所大学进行结盟开发,并由一个政府研究所(电子与电信研究所,EM)作为协调者。

4　中国集成电路装备产业竞争格局

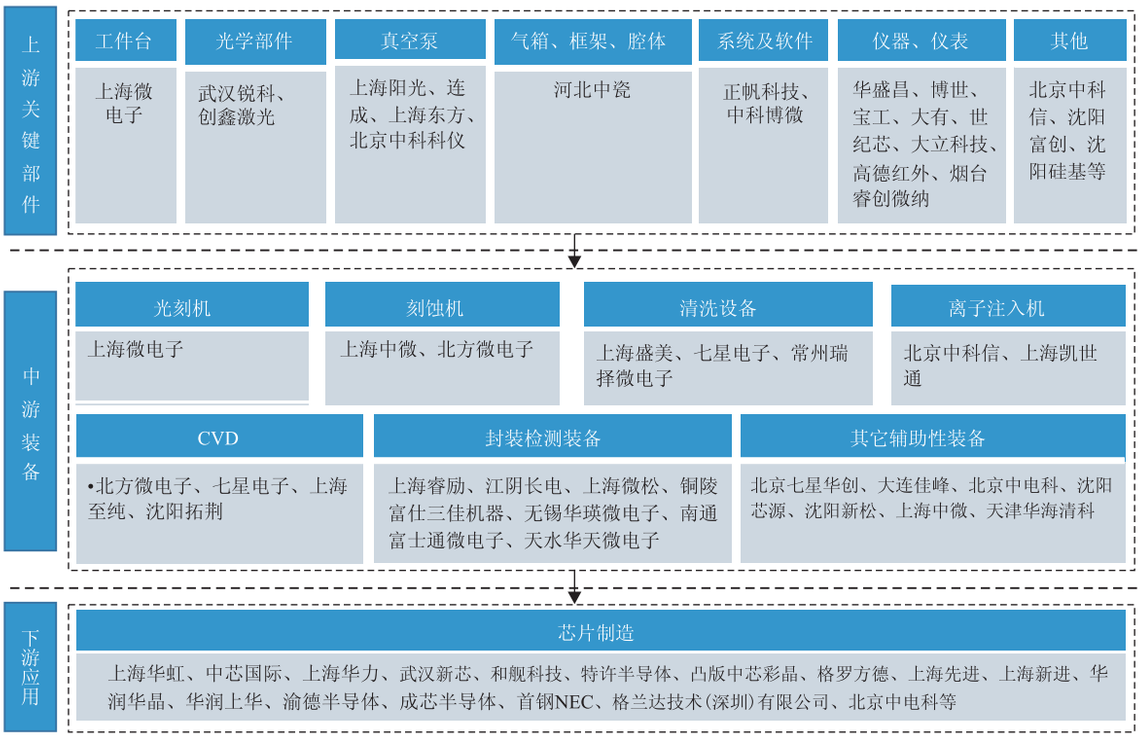
4.1　中国集成电路装备企业主要分布于北京、上海和辽宁等地,其中上海的产业链分布最为完整

目前我国集成电路装备研制单位和生产企业约有 40 余家,主要分布于北京、上海、沈阳等地。从销售规模来看,以刻蚀机和 PVD/CVD 设备为主要产品的上海中微、北方微电子,2015 年分别实现销售收入 5.53 亿元和 3.76 亿元,位居全国前两位;以光刻机为主要产品的上海微电子,2015 以 3.17 亿元的销售收入紧随其后(表 3)。整体来看,上海集成电路装备企业在产业链上的分布较为完整(图 2),产品销售收入占全国总收入的50% 以上,可见,上

表 3　中国集成电路装备产业领导厂商分布表(2015)1)

地区	企业名称	年销售额/亿人民币
北京	七星华创	3.09
	北方微电子	3.76
上海	上海微电子	3.47
	上海中微	5.53
	上海盛美	2.10
	上海睿励	0.39
	上海凯世通	0.33
	上海微松	0.10
辽宁	沈阳芯源	0.59
	沈阳拓荆	0.60

1)数据来源:《2016 年上海集成电路产业发展研究报告》、各企业网站



资料来源:作者根据各企业资料整理

图 2　中国集成电路装备企业在产业链上的分布(非完全统计)

海集成电路装备产业发展仍占据国内绝对优势地位。

4.2　中国集成电路装备相关的研发机构主要分布于北京、上海、东三省等地,其中北京最为集中

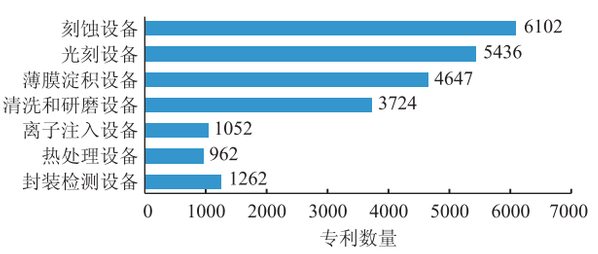
如表 4 所示,我国从事集成电路装备研发的机构(不包括企业)多集中在北京和上海,其余机构零散分布于东北、湖南、山西和陕西等地。从研发机构的产业链分布来看,清华大学、复旦大学、国防科技大学等机构主要从事上游关键部件的研究与开发;中科院光电研究院、中电科技 2 所、中电科技 45 所、西安电子科技大学、上海硅酸盐研究所、中科院微电子研究所等主要从事中游装备产品研发,如中科院光电研究院从事光刻机和封装检测设备方面的研发,中电科技 2 所从事清洗设备的研发。

表 4　中国集成电路装备主要研发机构地理分布

城市	研发机构
北京	清华大学微电子所;中科院光电研究院;中科院微电子研究所;中电科技 45 所;北京钢铁研究院
上海	中科院上海光机所;复旦大学专用集成电路与系统国家重点实验室
长沙	国防科技大学机电工程与自动化学院
哈尔滨	哈尔滨工业大学航天学院
长春	中科院长春光学精密机械与物理研究所
沈阳	中科院沈阳科学仪器研制中心
太原	中电科技 2 所
西安	西安电子科技大学微电子学院

4.3　中国集成电路装备产业专利申请量逐年增长,主要分布于刻蚀、光刻、薄膜淀积、清洗和研磨设备领域

2015 年中国集成电路装备领域专利申请总量为 3785 项,同比增长 24.4%。从中国集成电路装备产业专利总量的分布领域来看,属于刻蚀设备领域的最多,达 6102 项;其次是光刻设备领域,共 5436 项;再次是薄膜淀积设备,共 4647 项;第四是清洗和研磨设备,共 3724 项;而分布于离子注入设备、封装检测设备等领域的则相对较少。



数据来源:德温特数据库

图 3　中国集成电路装备产业重点领域专利分布

4.4　国家科技计划布局几乎覆盖整个集成电路装备产业链,但光刻机的光学系统领域仍存在空白

自国家实施 02 专项“极大规模集成电路制造装备及成套工艺”以来,国家在光刻机、刻蚀机、清

洗机、离子注入机、封装检测设备、PVD/CVD 等产品及其关键部件方面布局了大量的研发项目，使我国集成电路装备技术得到迅速发展，尤其是其中价值最高的光刻机，其技术攻关已进入攻坚阶段。但目前国家对于光刻机技术的布局在投影物镜、激光器和传感器等光学系统方面还存在一定的空白，不利于自主技术攻关的加速突破。

5 结论与建议

本文系统分析了全球集成电路装备产业的竞争格局，丰富了这一领域的研究形式和研究内容。研究发现，全球集成电路装备产业竞争格局中，美国、日本和荷兰的几家企业基本形成寡头垄断，且美国和日本仍是这一产业领域的专利申请大国，但全球市场却呈现向东亚转移的趋势，而且近年来，中国在专利申请方面也正在缩小与世界强国的差距。同时也发现，政府主导力量推动了世界集成电路装备产业的快速发展，而合作计划则是推动技术发展的主要动力；在我国集成电路装备产业竞争格局中，上海的产业链较为完整，而北京的研发机构较为集中。中国专利申请量逐年增长，主要分布于刻蚀、光刻、薄膜淀积、清洗和研磨设备领域。国家科技计划布局几乎覆盖整个集成电路装备产业链，但光刻机的光学系统领域仍存在空白。

在当前全球集成电路装备产业的竞争格局下，我国集成电路装备产业发展势头良好，但在国际竞争中仍有较大的上升空间。为进一步发挥我国产业链较为完整，产业创新环境较优的基础优势，提升集成电路装备产业竞争力，提出如下建议：

1）推动并购重组，加快形成龙头企业优势

近年来，全球主要集成电路装备企业不断加快并购重组步伐，进一步提升产业积聚度和竞争力。我国要在这种全球竞争态势下站稳脚跟，持续提升竞争力，需要形成能参与全球竞争的龙头企业，需要在现在产业基础上，加快推动企业合并和重组。要更好地发挥政府作用，整合本土优质资源，寻求部分骨干企业的深度合作，并着眼于境外优势资源，瞄准行业隐形高端技术、品牌、人才和团队，实施整体收购和控股型并购，加快形成龙头型企业，引领我国集成电路装备产业的进一步发展。

2）强化科技布局，重点支持合作研发

近年来，我国集成电路工艺与装备过多依赖于国家重大专项的支持。但对于具有基础优势、代表核心竞争力，又面临严峻挑战的集成电路装备产业，我国需要在系统制定前瞻性产业发展战略和技术创新规划的前提下，通过技术创新推动产业发展壮大。进一步强化政府引导，加大科技研发投入，整合资源优势，重点支持合作研发计划，可联合国际力量和终端用户、依托企业创新平台、在创新平台机制或者引入国际合作资源配置的合作网络方面给与支持，以形成技术创新合力、提升技术创新实力和效率。

3）加强布局光刻机光学系统研发领域，追赶国际先进水平

光刻机是集成电路装备中最关键的设备，其价值也是整个集成电路装备价值链中最高的一种，占整个装备价值链的 30% ~40%。针对目前我国国家科技计划对于光刻机光学系统领域的支持还不够的现状，应充分发挥自身优势条件，加强布局这一领域的科技研发项目，在政府引导下，通过整合上下游科技资源，形成合力进行技术攻关，加快提升自主技术水平，追赶国际先进水平。

参考文献

[1]迈克尔·波特. 竞争优势[M]. 北京：华夏出版社，1997.

[2]谢海忠. 基于经济周期的中国半导体装备制造业竞争力研究[D]. 北京：北京交通大学，2010.

[3]GEORGE M Z，BETSY D G. Competitive Intelligence Practices of Industrial Marketers[J]. Industrial Marketing Management，1985，14(4)：269-275.

[4]THOMAS F K，JAMES C C，PATRICK J B. Consultant Evaluation for Scientific Competitive Intelligence in the Pharmaceutical Industry[J]. Competitive Intelligence Review，1992，3(3-4)：43-46.

[5]CRAIG S F，DAVID L B. Managing Frontiers in Competitive Intelligence[M]. Connecticut：Greenwood Publishing Group，2001：222-237.

[6]湖南省产业竞争情报中心[EB/OL]. [2017-06-06]. http://www.hnci.gov.cn/.

[7]陈峰，赵筱媛，郑彦宁. 应对国外竞争需要高度倚重产业竞争情报[J]. 情报科学，2009，27(2)：175-178.

[8]张立超，房俊民，高士雷. 产业竞争情报的内涵、意义及范畴界定[J]. 情报杂志，2010，29(6)：152-157.

[9]张景安，亨利. 罗文. 创业精神与创新集群——硅谷的启示[M]. 上海：复旦大学出版社，2002.

[10]齐俊妍. 国际技术转让与知识产权保护[M]. 北京：清华大学出版社，2008.

[11]金存忠. 集成电路装备制造业现状及问题[J]. 集成电路应用，2014(9)：4-5.

[12]田陆屏. 集成电路关键设备市场分析及发展战略[J]. 电子工业专用设备，2006(1)：1-7.

[13]张丞廷，金飞，刘恩廷. 国际半导体装备产业主要发展模式及对我国的启示[J]. 未来与发展，2014(11)：15-17.

[14]上海市经济和信息化委员会，上海市集成电路行业协会. 2016年上海集成电路产业发展研究报告[M]. 北京：电子工业出版社，2016.