

# 我国集成电路领域重要技术发展趋势和技术预见浅析

余文科, 李 芳, 程 媛, 赵 琦

(中国电子学会, 北京 100036)

**摘 要:** 集成电路对国家科技创新发展、新旧动能转换、经济转型升级具有重大意义。本文对集成电路领域发展愿景、产业现状需求进行了分析, 以文献分析、专利计量分析和对其他国家预见成果的吸收提炼作为研究基础, 结合专家研讨, 确定备选技术预见初步清单。通过德尔菲调查和统计分析, 对集成电路领域技术的重要性、实现时间、研发水平和制约因素进行分析, 提出面向2035年集成电路领域的关键领域和重要技术群, 为开展面向未来的集成电路领域技术发展战略研究提供重要的参考。

**关键词:** 集成电路, 技术预见, 技术清单

## 1. 引言

当前, 中美贸易摩擦之下, 集成电路领域一些技术如光刻、EDA技术作为领域至关重要的技术, 自主化程度较低, 存在“卡脖子”现象, 对我国信息技术发展带来一定挑战。集成电路技术是信息领域发展的基础和核心所在, 半导体芯片广泛应用于信息领域各类应用当中。习近平总书记指出, 科技事业发展要坚持“四个面向”——面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康。在集成电路领域开展技术预见至关重要, 具体而言, 要对关键技术进行追踪分析, 预判发展态势, 也应精准把握领域国际发展形势, 考虑未来国际技术战略政策情况, 研判可能产生重大科技突破的技术方向,

提出对国家安全、产业发展影响最突出的技术选择, 研判各领域关键技术突破和社会应用的应用条件, 筛选关键技术, 为研究提出重点技术发展路径提供依据和支撑, 为我国集成电路领域发展战略研究奠定基础。

技术预见活动最初起源于美国, 之后也被日本、英国、法国和德国等国家广泛使用。技术预见的研究方法包括定性分析方法和定量分析方法两大类, 两类方法各有优缺点<sup>[1]</sup>, 具体包括文献计量、德尔菲、情景分析等多种研究方法, 其中德尔菲调查也称为专家规定程序调查法, 是一种非见面形式的专家意见收集方法和高效的通过专家群体交流沟通来解决复杂问题的方法<sup>[2]</sup>。

本文通过文献计量与预见成果分析, 得出技

---

**作者简介:** 余文科, 男, 博士, 高级工程师, 中国电子学会学术交流中心主任, 研究方向为云计算、物联网、人工智能等新一代信息技术等相关领域。

李 芳, 女, 硕士, 工程师, 中国电子学会咨询师, 研究方向为集成电路、新一代信息技术等相关领域。

程 媛, 女, 硕士, 工程师, 中国电子学会高级咨询师, 研究方向为新一代信息技术等相关领域。

赵 琦, 男, 硕士, 工程师, 中国电子学会咨询师, 研究方向为新一代信息技术等相关领域。

**基金项目:** 中国科协创新战略研究院科研项目“集成电路产业技术预见研究”(项目编号: 2019ysl-1-2-1)。

术预见备选清单后进行德尔菲调查，得出关键技术预见清单，并针对德尔菲调查结果提出了技术发展路径建议和保障技术发展的建议，以期为集成电路发展规划提供参考。

## 2. 集成电路发展愿景

(1) 摩尔定律持续放缓，工艺技术向超摩尔方向演进，带来弯道超车机遇。

摩尔定律的持续放缓，使得工艺技术开始向超越摩尔方向发展，技术处于相对落后的阵营有较好的机会弯道超车。制程微缩已接近物理极限，以摩尔定律为经济动力的半导体产业必须另寻多种经济效益动力引擎。3D封装早已进场，3D制程在NAND flash正在加速演出，而以材料科学制作新的元件或工作机制也开始入场，如量子计算和硅光子等。领域的应用都与未来的科技大趋势有关，譬如AI、大数据、量子通讯、5G、IoT、量子计算等，将成为未来弯道超车重点方向。

(2) 集成电路企业形态向更精细化分工演进，我国集成电路行业有望实现规模倍增。

集成电路技术始终在沿着两条不同的路径发展，纵向是沿着摩尔定律的芯片特征尺寸不断缩小，横向则是特色工艺的器件特征不断多样化。除了技术的演变，产业格局也在不断发生变化，半导体企业的形态也在随之演变。到2035年，有望推动集成电路等三大先导产业规模倍增。形成具有国际竞争力的高端集成电路产业，突破一批核心部件、推出一批高端产品、形成一批中国标准。

(3) 产业核心要素由欧美等地向中国转移，我国集成电路设计、材料领域逐步迈入第一梯队。

近年来，在政策大力扶持之下，我国集成电路设计与材料领域保持较好发展势头。同时中国智能手机、平板电脑、汽车电子、智能家居等物联网市场的快速发展也刺激了集成电路的需求。未来，总体趋势是中国作为全球第一大电子生产和消费国家的地位不会变，且对半导

体的需求将逐年提升。虽然我国半导体产业起步比较晚，与海外龙头公司相比在技术制程等综合实力方面有较大差距，但中国正凭借庞大的市场需求以及强有力的政策支持，扮演着第三次集成电路产业转移承接者的角色，随着我国半导体产业布局不断完善，集成电路产业向中国转移趋势不可阻挡。

## 3. 研究方法

### 3.1 集成电路技术预见方法体系

集成电路技术作为我国技术与产业创新发展的核心技术，对于国家科技、经济发展的重要战略意义愈发突出，考虑到因科技自身的快速发展，国际科技合作、经济、地缘政治的变化等因素，集成电路技术预见采用沙漏模型，预见模型尽可能多地考虑到多方面因素对未来技术发展的影响<sup>[3]</sup>，从而确定未来将影响国家集成电路产业发展以及国家安全、社会发展等多方面因素的关键技术选择。

图1为此次集成电路技术预见的模型。研究从我国国家战略规划、世界其他国家发展愿景等方面展开，以往预见成果及战略规划作为研究基础，同时按照集成电路产业上下游划分确定领域和重点子领域，综合国内外技术预见成果，通过大量文献分析、专利计量，结合产业界研发热点和技术需求确定细分重点技术点并收缩形成技术群，作为技术预见备选清单，进行德尔菲调查。模型的核心目标在于助力集成电路产业发展，产业升级，指导未来几十年重点发展领域<sup>[4]</sup>。研究以此为核心，所有研究素材收集和分析、所有技术项目的挖掘和论证，都是以是否有利于核心目标的实现为判断标准，通过专家研判形成技术预见备选清单。

集成电路产业技术预见研究聚焦于集成电路领域关键技术，在方法与流程设计 and 应用中，最终目的聚焦在集成电路关键课题及发展战略，同

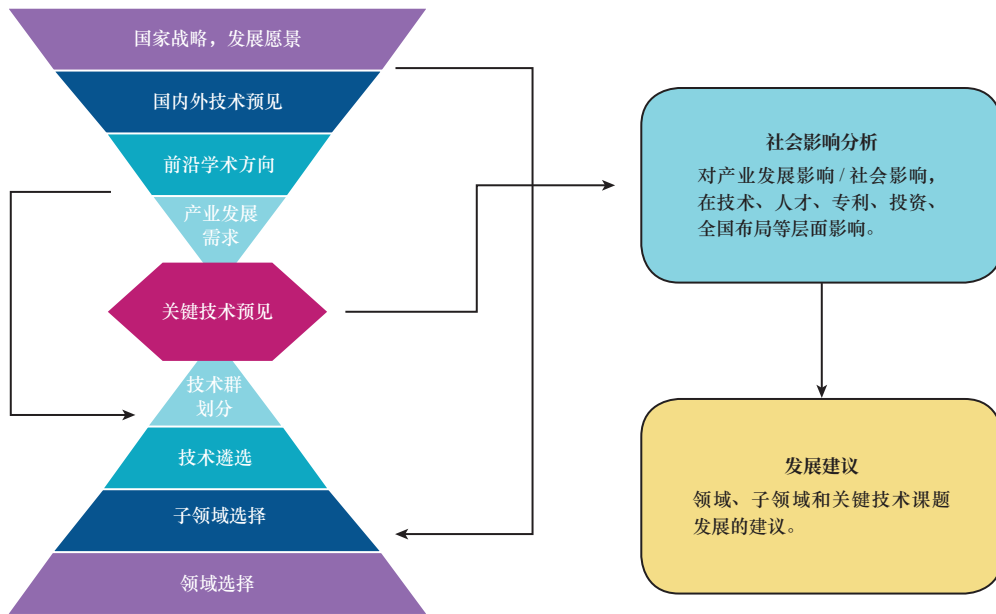


图1 集成电路技术预见的模型

时按照集成电路产业上下游划分确定领域和重点子领域, 结合产业界研发热点和技术需求确定细分重点技术点并收缩形成技术群确定备选技术清

单并完成问卷设计, 在流程设计中, 需体现技术预见并完成发展愿景, 与现状需求相结合的特点<sup>[5]</sup>。集成电路产业技术预见流程如下图2所示。

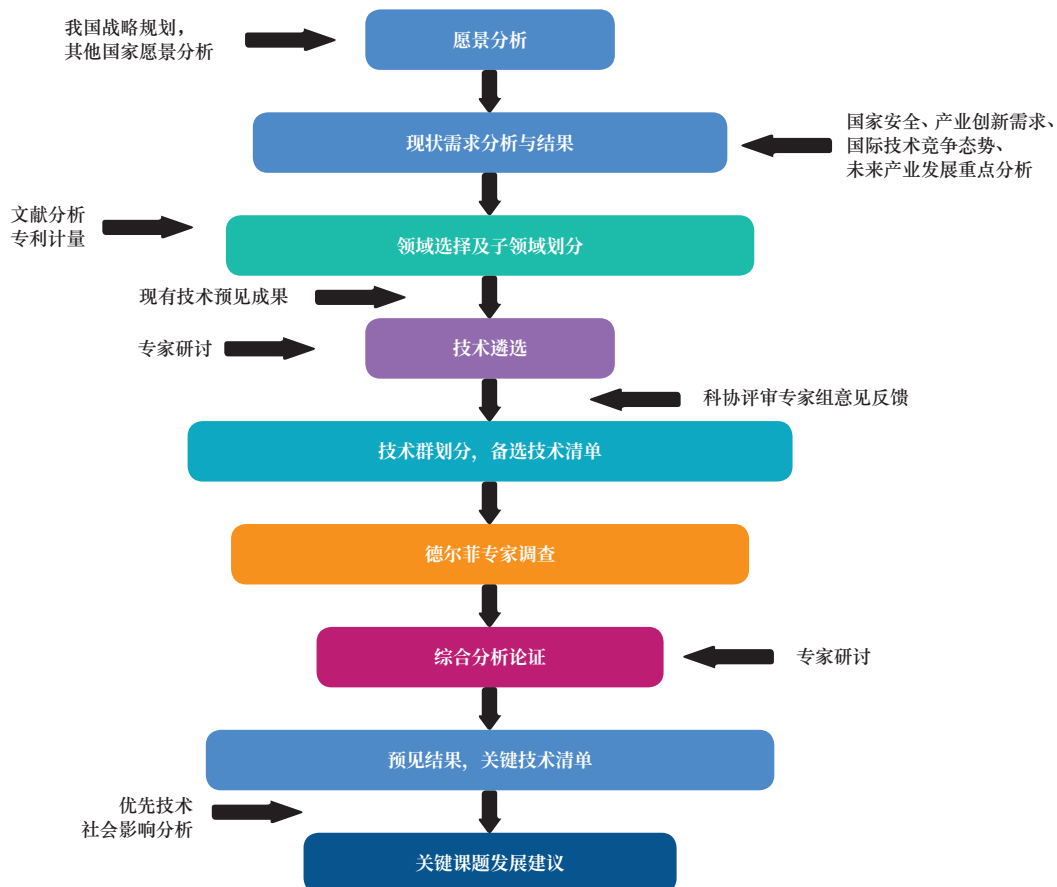


图2 集成电路产业技术预见流程图

前期研究中，通过文献计量，得到领域内热点关键技术发展情况，对技术前沿与相关预见成果展开分析。通过调研近年来集成电路重要著作、优秀论文，结合专家预判，归纳得到集成电路设计、封装、制造、材料四大领域技术关键词，再通过检索结果回溯关键词，扩充范围。在Web of Science文献数据库检索论文40万余篇，中国知网检测专利15万余项。梳理美国、日本、英国、韩国技术预见报告，国际器件与系统路线图（IRDS）等，归纳技术预见共性子领域与技术。

### 3.2 形成调查技术清单

首先形成备选技术预见清单，备选项不仅要符合国家经济社会发展的战略目标，同时也应符合世界科技发展前沿方向。技术预见备选项应当

可预见未来十至二十年内取得有效进展，有望取得大规模应用<sup>[6]</sup>，且在现阶段具备相当的研究和应用基础，有一定的竞争力。备选应覆盖有可能成为颠覆性技术的技术以及有可能实现大规模应用的技术<sup>[7]</sup>。

通过对领域发展愿景、产业现状需求进行分析，通过文献分析和专利计量分析以及对现有其他国家预见成果的吸收提炼，形成了备选调查技术清单。备选技术清单制定按照“领域-子领域-技术群（技术项）”划分，如表1所示。共划分为5个领域：设计、封装、制造、材料、其他前沿技术领域及技术，9个子领域和44个备选技术群。各子领域包含技术群个数如下图3所示。

### 3.3 评价指标体系与调查过程

集成电路产业技术预见的问卷设置的主要评价指标有：技术重要性、国际领先程度、领域影响程度、技术实现时间、技术发展制约因素。

此外根据专家熟悉程度进行设置答卷权重，将熟悉程度进行权重划分，为使德尔菲调查结果更加可靠并提高问卷结果的权威性，去掉选择不熟悉项目的评分。

调查技术课题的实现时间时，设立“2021-2025、2026-2030、2031-2035、无法预见”四

表1 集成电路产业技术预见领域划分

领域	子领域
设计	先进计算技术、新型存储技术、器件模拟与设计软件
封装	先进封装技术
制造	先进工艺制程技术、集成电路设备
材料	新型半导体材料
其他前沿技术领域及技术	新型结构器件、新型集成电路方向

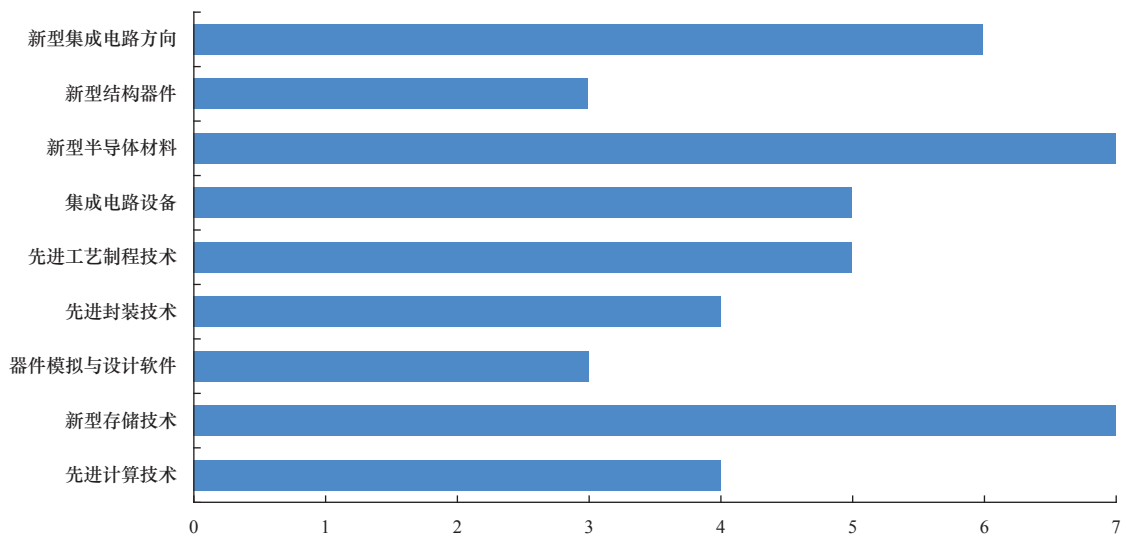


图3 各子领域技术群个数



个备选项。采用均值法, 对每个选项赋值为2023、2028、2033、2038, 每个选项专家选择占比为 $P_{2023}$ 、 $P_{2028}$ 、 $P_{2033}$ 、 $P_{2038}$ 。最终实现时间计算公式为:

$$\text{最终实现时间} = 2023 \times P_{2023} + 2028 \times P_{2028} + 2033 \times P_{2033} + 2038 \times P_{2038} \quad \text{式(1)}$$

通过网页问卷和专家研讨方式进行德尔菲调查, 调查群体包括高校院所、科研机构和集成电路企业行业的专家学者等。调查时间为2020年8月初至9月中旬。

最终技术清单包括技术重要程度最高的前10个技术群, 技术重要程度包括0-10分值可供专家选择。基于预见调查结果, 去掉偏差项<sup>[8]</sup>, 得到了德尔菲调查的统计分析结果。技术群对领域的影响程度这一问题包括“国家安全、产业升级、社会

发展、生活质量”四个领域, 参调专家选择该技术产生影响最大的两个领域, 对某领域最重要的技术课题清单包括对该领域影响占比最大的前10个技术群。

## 4. 技术预见调查结果分析

### 4.1 技术重要性分析

结合前期的发展愿景分析, 分析行业发展技术需求和前沿技术热点文献, 在行业专家多次修正下, 得到初步技术预见清单后, 通过德尔菲调查得到关键技术预见清单(表2)。

### 4.2 技术课题的实现时间分析

集成电路产业关键技术的实验室发明时间较

表2 集成电路产业关键技术清单

排名	子领域	技术群	技术重要程度
1	先进工艺制程技术	光刻技术: 极紫外光刻 (Extreme-UV lithography, EUVL)、多电子束直写/光刻技术 (Multiple-e-beam maskless lithography/M-EBDW)、纳米压印技术 (Nanoimprint lithography, NLL)、多重图形技术 (Multiple-pattern lithography)、定向自组装 (Directed Self-assembly, DSA)、离子束光刻 (Ion beam lithography)、高端光刻设备、光刻胶 (Photoresist) 技术	9.43
2	器件模拟与设计软件	EDA软件: 半导体技术计算机辅助设计、云端EDA设计技术	9.31
3	器件模拟与设计软件	纳米尺度半导体器件模拟: 蒙特卡洛器件模拟、准弹道运输	8.78
4	先进封装技术	三维集成封装技术: TSV (硅通孔技术)、2.5D Interposer (2.5D硅转接板)、WoW (多晶圆堆叠技术, Wafer-on-Wafer)、3D IC (3D集成技术)、Chiplet模块化与接口技术	8.71
5	集成电路设备	刻蚀设备: 栅刻蚀机、介质刻蚀机、CMP化学机械抛光	8.71
6	集成电路设备	沉积设备: 原子层沉积、等离子体化学气相沉积 (PECVD)、气相外延设备 (Epi)、PVD物理气相沉积	8.64
7	新型集成电路方向	神经网络集成电路	8.61
8	新型半导体材料	宽禁带半导体材料: 氮化镓 (GaN) 材料、碳化硅 (SiC) 材料、氧化锌材料 (ZnO)、氧化铝材料	8.60
9	先进工艺制程技术	高介质金属栅工艺	8.59
10	新型存储技术	3D NAND技术	8.54

为乐观，德尔菲调查结果认为关键技术实验室实现时间均在未来5到10年内（表3）。10个集成电路产业关键技术群的实验室平均实现时间在2029年。

集成电路社会推广时间普遍较实验室实现时

间晚2到3年，主要推广时间在2028至2033年，如表4所示，平均社会推广时间在2031年。

### 4.3 技术的影响分析

集成电路是国家信息产业发展的关键和基

表3 关键技术清单的实验室实现时间

2026	2027	2028	2029	2030
3D NAND技术群	宽禁带半导体材料技术群	刻蚀设备技术群	沉积设备技术群	高介质金属栅工艺技术群
	神经网络集成电路技术群	EDA软件技术群	三维集成封装技术群	纳米尺度半导体器件模拟技术群
				光刻技术群

表4 关键技术清单的社会推广时间

2028	2029	2030	2031	2032	2033
3D NAND技术群	宽禁带半导体材料技术群	神经网络集成电路技术群	EDA软件技术群	高介质金属栅工艺技术群	光刻技术群
		沉积设备技术群		纳米尺度半导体器件模拟技术群	
		刻蚀设备技术群			
		三维集成封装技术群			

础，关键技术课题的自主化研发确保信息技术产业发展不受制于人，集成电路领域对国家安全有重要影响的技术课题为当前自主化程度较低而应用占比程度却非常高的技术如EDA、光刻技术，以及最新的技术发展方向如量子集成电路、全光计算等。从对产业升级的影响程度看，最重要的技术为集成电路设备领域的过程检测技术群（表5）。

### 4.4 技术发展的制约因素

#### (1) 实验室技术实现的制约因素分析

制约集成电路产业领域实验室技术实现的因素如图4所示。其中制约集成电路产业领域实验室技术实现程度最大的因素为高层次人才及团队，其次是科学原理突破因素。其中受科学原理突破

制约最大的技术群是全光计算技术群，受相关学科发展情况制约最大的是纳米线材料技术群，受学科交叉程度制约最大的是过程检测技术技术群，受高层次人才及团队制约最大的是EDA软件技术群，受研发资金制约最大的是先进晶圆/基板封装技术群，受研发设施设备制约最大的是先进晶圆/基板封装技术群，受产学研合作制约最大的是边缘式计算技术群，受国内政策支持制约最大的是新型DRAM技术群，受国外竞争限制制约最大的是EDA软件技术群。

#### (2) 技术应用推广和普及的制约因素分析

制约集成电路产业领域技术应用推广和普及的因素如图5所示。制约集成电路产业领域技术应用推广和普及程度最大的是产业链配套能力其次是社会或风险资金。其中受社会或风险资金制约

表5 对各领域影响最大的10项技术

对保障国家安全最重要的10项技术课题	对促进产业升级最重要的10项技术课题	对促进社会发展最重要的10项技术课题	对提升生活质量最重要的10项技术课题
EDA软件技术群	过程检测技术群	超低介电常数和空气隙技术群	柔性半导体器件技术群
量子集成电路技术群	高介质金属栅工艺技术群	拓扑绝缘体技术群	3D NAND技术群
光刻技术群	宽禁带半导体材料技术群	三维集成封装技术群	边缘式计算技术群
先进并行计算技术技术群	碳纳米管技术群	可重构计算集成电路技术群	新型DRAM技术群
新架构计算技术群	扩散离子注入技术群	PRAM技术群	先进晶圆/基板封装技术群
全光计算技术群	鳍式场效应晶体管技术群	先进晶圆/基板封装技术群	FRAM技术群
沉积设备技术群	石墨烯与二维金属硫化物材料技术群	存算一体化芯片技术群	PRAM技术群
宽禁带半导体材料技术群	等离子体掺杂技术群	集成微系统技术群	RRAM技术群
鳍式场效应晶体管(FinFET)技术	刻蚀设备: 栅刻蚀机、介质刻蚀机、CMP化学机械抛光	碳纳米管技术群	三维集成封装技术群
太赫兹集成电路技术群	沉积设备技术群	FRAM (铁电存储器)	神经网络集成电路

最大的是认知无线电集成电路技术群, 受成果转化中试基地制约最大的是碳纳米管技术群, 受产业链配套能力制约最大的是低维半导体材料技术群, 受科技中介服务制约最大的是三维集成封装技术群, 受公众需求制约最大的是技术群, 受市场竞争程度制约最大的是新型DRAM技术群, 受危害性或伦理风险制约最大的是认知无线电集成电路技术群, 受国内示范推广制约最大的是碳纳

米管技术群, 受国外限制竞争制约最大的是光刻技术群。

#### 4.5 我国技术课题领先程度分析

根据德尔菲调查结果, 目前我国集成电路领域在国际上整体领先程度处于中低程度(表6)。我国相对领先的技术是碳纳米管, 其次是低维半导体材料、纳米线材料。从领域上看, 我

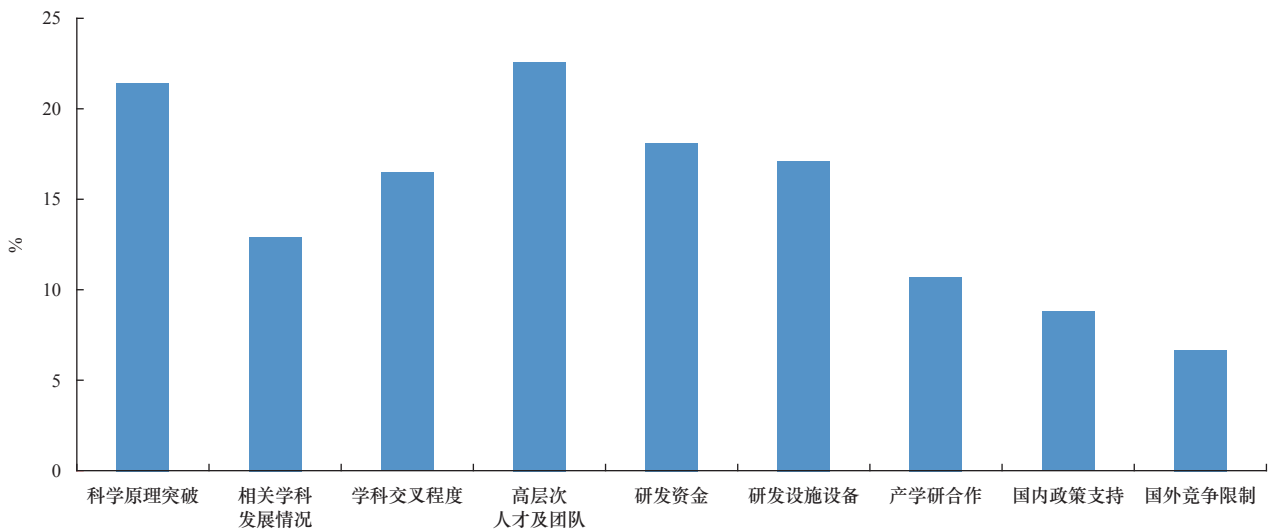


图4 实验室技术实现的制约因素占比分布

国相对领先的技术主要为新型半导体材料方向，具体技术分别是碳纳米管、低维半导体材料、纳米线材料、石墨烯（Graphene）与二维金属硫化物材料、拓扑绝缘体、宽禁带半导体材料。

目前我国最接近国际水平的技术是柔性半导体器件，其次是边缘式计算技术和新架构计算技术。从领域上看，先进计算技术领域接近国际水平程度较高，技术有3项，分别是边缘式计算技术、新架构计算技术、先进并行计算技术。

目前我国落后国际水平程度最高的技术是

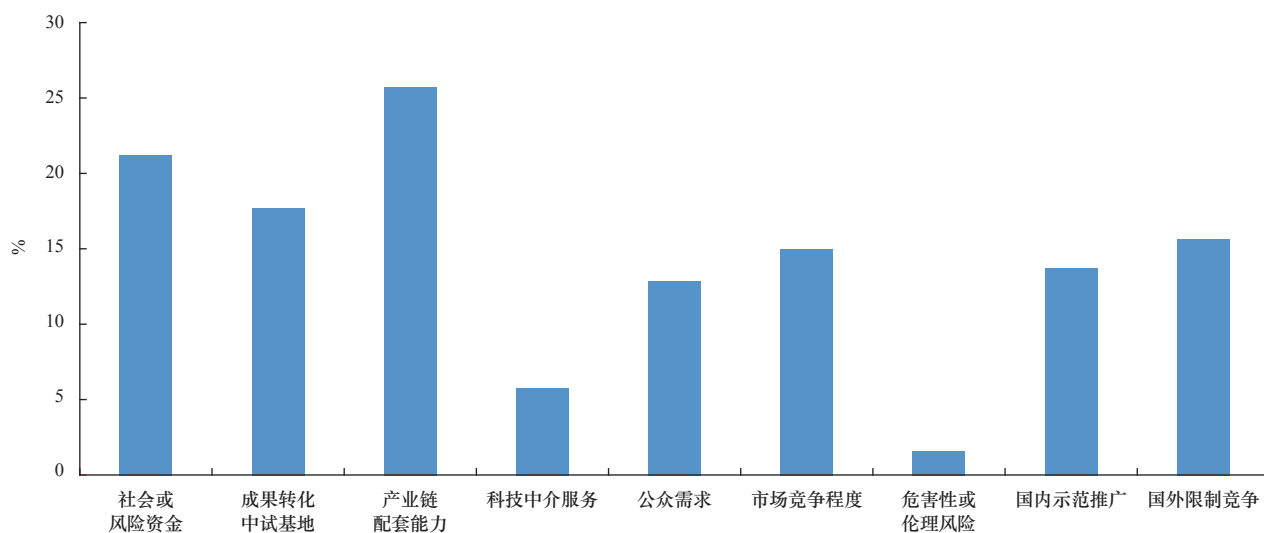


图5 技术应用推广和普及的制约因素占比分布

EDA软件，其次是超低介电常数和空气隙技术、过程检测。器件模拟与设计软件和先进工艺制程技术领域落后程度较高，分别有3项技术入选。

## 5. 发展建议

### 5.1 关键技术的发展路径建议

(1) 集中力量重点突破光刻技术，统筹推动发展半导体EDA等“卡脖子”技术。

光刻技术当前应重点发展方向是IC前道光刻机，由于技术最为复杂、难度最大，因此需求量

表6 我国集成电路领域技术发展水平

我国领先国际平均水平的10项技术课题	我国接近国际平均水平的10项技术课题	我国落后国际平均水平的10项技术课题
碳纳米管技术群	柔性半导体器件技术群	EDA软件技术群
低维半导体材料技术群	边缘式计算技术群	超低介电常数和空气隙技术群
纳米线材料技术群	新架构计算技术群	过程检测技术群
石墨烯与二维金属硫化物材料技术群	PRAM技术群	微粒模拟技术群
边缘式计算技术群	先进并行计算技术群	纳米尺度半导体器件模拟技术群
神经网络集成电路	先进晶圆/基板封装技术群	等离子体掺杂技术群
拓扑绝缘体技术群	石墨烯与二维金属硫化物材料技术群	全光计算技术群
新型结构场效应晶体管器件技术群	量子集成电路技术群	高介质金属栅工艺技术群
宽禁带半导体材料技术群	3D NAND技术群	FRAM技术群
RRAM技术群	神经网络集成电路技术群	鳍式场效应晶体管技术群



和价值量在所有光刻机中都是最高的, 中国目前与国外先进水平存在不小差距, 也是亟须突破的关键领域。国内光刻机市场, 除了应用于IC前道的光刻机在不断发展之外, 封装光刻机以及LED/MEMS/功率器件光刻机的市场也处于不断发展壮大中。

当前, 国产EDA软件在国内已被集成电路行业争相开发。EDA软件在一定程度上推动了EDA国产化进程。但同时开发方众多, 存在四处开花、不能互通、开发无序等低层次竞争, 不利于行业整体发展。面对这一局面, 统一规范国产EDA软件开发, 设立相应的规范势在必行, 例如, 可以制定功能模块、数据库、用户交互界面等开发规范。同时, 增加面向超算平台和云平台的云上架构。

#### (2) 创新发展先进封装和三维集成封装技术。

发展集成电路封装技术, 首先要针对我国集成电路封装的发展战略, 制订相应的发展规划。其次应当塑造集成电路封装的科研与生产的有效体系。并且应倡导和大力发展属于我国自主知识产权的原创技术。面对当前众多种类的三位集成需要, 应不断创新发展先进封装技术。优先发展当前封装领域先进技术, 如倒装芯片Flip-Chip、晶圆级封装WLCSP、Fan-Out、Embedded IC、3D WLCSP、3D IC等封装热点技术。同时还应该大力发展有关工艺和相关支撑技术, 比如微凸点、再布线、植球、C2W、W2W、拆键合、TSV工艺等。

(3) 努力推动刻蚀、沉积等集成电路设备水平提升。

刻蚀设备是集成电路制造过程中复制掩模上图案的关键步骤, 是实现制造的重要技术手段。应优先发展当前主流的刻蚀手段如高密度等离子体刻蚀。近些年, 我国的刻蚀设备有了较好的发展, 技术程度已经具备相当水平。在65nm到7nm的尺度上都有一定的应用, 且取得了一定产业化进展。刻蚀设备在今后的一段时期应实现7nm、

5nm的相关刻蚀应用。为进一步接近国际水平, 今后应当培育刻蚀设备领域的下游应用和推广, 推动技术进步。

沉积设备的发展关键在于提升设备的国产化率, 实现自主化。目前我国沉积设备的国产化率非常低, 只有2%, 严重依赖进口。沉积设备是集成电路内晶圆制造产出过程中重要的一环。沉积设备技术群中, 应当优先发展原子层沉积、等离子体化学气相沉积(PECVD)、气相外延设备(Epi)、PVD物理气相沉积等沉积环节关键技术。

(4) 重视人工神经网络等新架构计算, 助力集成电路领域弯道超车。

人工神经网络集成电路应将突破点放在半监督的学习方法, 同时应注重其与大数据技术的结合发展, 这是由于附带标签的大数据是当前深度卷积神经网络技术所必需的元素之一。应重点关注半监督、无监督深度卷积网络。同时这类深度卷积神经网络还应具备“特征提取+知识推理”的特点, 这将成为未来神经网络可能的突破点并具有很大应用前景。应大力推进深度强化学习技术发展, 深度强化学习技术可以匹配最优策略的函数, 从而进行决策。同时, 这种技术也无须依赖完备大数据, 深度强化学习在认知层面进行探索, 在未来有非常好的发展潜力和应用前景, 发展意义非常重大。

(5) 布局推动新型半导体材料与先进集成电路器件研发, 夯实关键工艺。

加大对第三代半导体衬底和外延材料设备及成套工艺的开发。着重对第三代半导体功率器件制造中关键工艺进行开发, 并联合设备厂商加快配套集成工艺设备的研制, 使实际器件工艺开发和设备研制形成有效反馈。建设第三代半导体制造工艺中试线, 着重攻克单个器件和单片集成中的工艺整合难点。建设第三代半导体功率系统可靠性测试平台, 促进和产业界合作, 对器件、模块及系统的失效机制进行系统研究。建立第三代

半导体功率系统测试标准。

上游设计和系统集成方面，扶持早期第三代半导体相关芯片设计公司，鼓励系统应用厂商敢于大规模试用，验证第三代半导体在系统上的优势，并反馈给器件和芯片设计公司用以加速技术迭代。鼓励初创公司大胆进行各种参考设计，例如，先进模块设计以及围绕第三代半导体功率器件的外围电路设计，加快第三代半导体在各个可能领域的试验与应用。

## 5.2 保障集成电路领域发展的建议

(1) 完善产业政策环境，加大知识产权的保护力度，推动要素资源自由流动。

加快知识产权体系建设，采取更严格的知识产权保护制度对集成电路领域有不可忽视的重要性。集成电路由于行业特性，很多知识产权需要企业集中大量优秀人才长时间投入和研发才能成功，研发和创新的成本极高，但仿制侵权成本很低。如果创新企业的知识产权不能得到有效保护，企业前期投入就没有办法得到应有的市场回报，技术创新不能形成正向循环，从而创新企业没有办法进行持续投入，最终，导致产业就不能持续健康发展。

(2) 加快专业人才和技术团队的培养，推动产学研用深度融合发展。

人才作为集成电路产业发展的第一资源，受到了中央和各级政府部门的高度重视，《国家集成电路产业发展推进纲要》《教育部等七部门关于加强集成电路人才培养的意见》等系列政策文件对集成电路产业发展中如何解决好人才培养和配套的问题提出了明确的目标要求。做好我国集成电路产业人才现状的统计和分析，摸清我国集成电路产业的“人才家底”，对于加快我国集成电路产业人才队伍建设具有重要的现实意义。

(3) 集中资源、重点投入，实施强强联合大企业策略。

积极参与国际竞争。国际上集成电路设备的

集中度越来越高，技术难度越来越大，对人才团队、研发投入、企业实力等方面要求很高，如果没有强大的综合实力和产业规模，就很难与国际龙头企业竞争。设备厂商与芯片制造商应提高软硬件结合能力，优化现有设备，最大化发挥现有设备作用。

(4) 利用有限的资金、技术和人才，选择突破口，重点发展基础芯片。

就芯片行业的整个生态体系而言，我国与美国的差距还很大。若想完全摆脱美国的控制，尚需要经历相当长的时间才可能实现。因此从战略上考虑，要利用有限的资金、技术和人才，选择突破口，从芯片产业的某几个领域尽快实现技术的突破，达到量产，抢占市场；然后利用所积累的技术和资金再扩大战果，最终完全摆脱美国的控制，实现全面的突破。

(5) 充分发挥市场优势，引导产业链的上下游协同创新，带动全产业链发展。

要按照市场化的原则，持续优化产业环境，推动协同创新，加快人才培养，深化国际合作，加快集成电路的产业发展。发挥企业创新的主体作用，推动产学研用深度融合发展，推动集成电路领域相关制造业创新中心的建设，加快关键共性技术的研发，加大人才引入力度。充分发挥市场优势，引导产业链的上下游协同创新，带动全产业链发展。推动开放发展，加强国际合作。

## 6. 结语

本文通过德尔菲调查的方法对集成电路领域关键技术展开预见，通过前期文献专利计量与分析，分析总结其他国家预见成果和集成电路领域前沿热点技术，得出集成电路领域44项技术群作为预见调查备选技术清单，通过问卷调查和统计分析，对技术重要性、技术课题的实现时间、技术的影响、制约技术实验室推进和应用的制约因素以及技术课题的目前领先国家和地区进行了分析，得出了集成电路领域关键技术群清单和预计

实现时间, 对国家安全、产业升级、社会发展、生活质量领域影响最大的技术清单。根据集成电路预见结果, 综合分析技术重要性与当前我国技术水平、约束条件, 针对10个关键技术群, 提出了发展路径建议。

责任编辑: 李琦 校对: 贺茂斌 李琦

#### 参考文献

- [1] 曹学伟, 高晓巍. 技术预见主要研究方法综述及可实施路径分析[J]. 今日科苑. 2020(1):1-9.
- [2] 中国工程未来20年技术预见研究组, 中国未来20年技术预见[M]. 科学出版社, 2008.
- [3] 王伟军, 王金鹏. 科学知识图谱在技术预见中的应用探析[J]. 情报科学. 2010(8):1127-1131.

[4] 孙胜凯, 魏畅, 宋超, 裴钰. 日本第十次技术预见及其启示[J]. 中国工程科学. 2017(1):133-142.

[5] 王崑声, 周晓纪, 龚旭, 胡良元等. 中国工程科技2035技术预见研究[J]. 中国工程科学. 2017(1):34-42.

[6] 许守任, 安达, 梁智昊. 面向2035的信息与电子领域技术预见分析[J]. 《中国电子科学研究院学报》. 2016(4):366-370.

[7] 穆荣平, 王瑞祥. 技术预见的发展及其在中国的应用[J]. 中国科学院院刊. 2004(4):259-263.

[8] 韩秋明, 王革, 袁立科. 韩国第五次国家技术预测工作的创新及启示[J]. 科技管理研究. 2018(18):16-20.

## Analysis on the development trend and technology foresight of national integrated circuit technology

Yu Wen-ke, Li Fang, Cheng Yuan, Zhao Qi

(Chinese Institute of Electronics, Beijing 100036, China)

**Abstract:** Integrated circuits are of great significance to national technological innovation and development, the transformation of kinetic energy from old to new, and economic transformation and upgrading. This article analyzes the development vision of the integrated circuit field and the needs of the industry's current situation. It uses document analysis, patent measurement analysis, and the absorption and extraction of existing predictions from other countries as the research basis, combined with expert discussions, and determine a preliminary list of alternative technologies. Through Delphi survey and statistical analysis, the importance, implementation time, R&D level and restrictive factors of the technology in the integrated circuit field are analyzed, and key areas and important technologies in the integrated circuit field for 2035 are proposed to provide important reference for the strategic development research of the future-oriented integrated circuit field technology.

**Key words:** integrated circuit; technology foresight; technology list