

# 拓展赛道 力争引领下一代半导体技术发展

北京理工大学前沿交叉科学研究院  
副院长 王业亮

面对新冠肺炎疫情影响的新形势，为实现国家新基建、大物流、数字经济、信息强国等战略布局，我国的半导体产业必须提供强大的韧性支撑。

## 我国半导体市场消费能力 仍远高于生产能力

根据世界半导体贸易统计组织（WSTS）的数据，2019年世界半导体市场规模达到了4540亿美元。2021年东亚区域的半导体制造市场预计会成长1330亿美元。

我国半导体产业起步较晚，但是发展迅速。根据统计，中国半导体工业市场在2018年仅850亿美元，而在2019年增长25%左右，达到1100亿美元。由于半导体产业具有的环境复杂、开发成本高、研发周期长等特征，并且其发展需要多个产业相互结合促进，尤其需要强大的精密工业制造基础，这导致了我国半导体产业目前发展不均衡，消费能力仍远高于生产能力，并且差距还在逐年递增。

从新技术发展和新产品开发来看，国际顶级大公司仍处于霸主地位。为了抢占未来市场份额与知识产权，这些公司还在不断提出新的技术与发展规划。例如多家公司基于传统MOS技术，采用先进的Fin-FET技术架构，逐步实现了从22nm工艺到5nm工艺的更替，并向着3nm制程挺进。其中，三星于2019年提出了针对3nm技术节点的全栅工艺（GAA-FET）。

回顾过去，我国半导体产业仍没有走出“迭代卡脖子”的怪圈，其根源在于核心装备的缺失。半导体产业的发展是一个多产业

- *半导体产业的发展是一个多产业综合促进的过程,尤其以国家精密设备制造业为重。*
- *近年来,以二维材料、量子点为代表的纳米尺度新材料的出现,为发展新的加工制造技术提供了基础。*
- *发展“自下而上”的变革性制造技术,对于提升国家核心竞争力也具有战略意义。*

综合促进的过程，尤其以国家精密设备制造业为重。工业母机是整个工业体系的基石和摇篮，但我国对工业母机这种“制造设备的设备”重视程度不够，并且没有形成统一的公共工业基准，加上国际出口限制，导致我国半导体产业相关制备设备发展滞后，关键装备及核心技术依然落后。另外，由于我国高端技术发展起步较晚，导致相关技术（专利）壁垒已经形成。

回顾过去，我国半导体产业仍缺少核心技术专利。新概念、新思路的提出一直是技术发展的先决条件，也是帮助相关领域发展赢在起跑线的基础。指导信息领域和半导体产业的新概念和思路，如“冯·诺依曼”架构、“摩尔定律”、类脑计算、量子芯片等概念，均由西方国家率先提出，中国在创建主导领域发展的概念与思路方面仍然有较大差距，没有形成核心技术专利。核心技术专利在国外，导致我国在高端技术领域发展上难以占得先机。国际半导体大公司平均研发投入长期保持在营业额的20%，但是我国半导体企业迫于生存压力，难以投入充足的研发资金，这也造成了人才吸引力度不够，半导体人才缺乏的后果。因此，造成了技术落后、市场窄、利润低、人才短缺的恶性循环。

## 新材料和新器件 不断面市

立足当前，基于新理念的新材料和新器件将不断被提出。当前半导体电路集成度越来越高，器件尺寸越来越小，如芯片的功耗过高和量子尺寸效应等新的科学问题，已经成为世界科技前沿研究的热点和难点，解决途径之一是探索新材料及新原理器件。基于新理念的新材料和新器件也被提出，以满足未来信息器件低能耗、高效率、高可靠性的要求。

作为电子信息领域的基础，半导体信息技术为信息领域提供了大量的工业设备与核心元件。随着5G通信、人工智能、物联网等技术的发展，半导体信息技术正朝着低能耗、高效率、高可靠性的方向迈进。为满足未来信息器件低能耗、高效率、高可靠性的要求，在国际前沿科学研究来看，新概念新原理新器件在不断提出。

立足当前，在面向未来信息器件的新材料和新理念方面，中国在国际上具有较大的影响力。例如，过去几年，中国科学家发表在国际顶级刊物论文逐年增加。但

是，我们必须保持清醒的头脑，高端学术论文还只是研究成果的表现形式，还没有对前期投入产出倍增效益。如果论文成果没有转化为新技术，没有从实验室走向生产线，“科研和技术两张皮”现象没有克服，就难以改变半导体技术和产业落后的局面。

当前，新型二维材料在电子学、光学和磁学等方面表现出新奇特性，被称为“未来材料”或“变革性材料”。具有高迁移率、高光电响应、自旋量子效应等性能的新型二维材料开发、新原理器件探索、与现有硅基微电子器件的互补、智能芯片的设计等，处于世界研究前沿，正在成为国际新兴研究领域。量子计算器件是实现低功耗、高效率、高可靠性的新兴概念之一。类脑计算及器件被认为是下一代人工智能的重要方向，借鉴人类大脑并行处理信息数据和具备自主学习能力，并且有着超低功耗和高集成，得到业内的广泛支持。

## 力争引领 下一代半导体技术发展

展望未来，我国需加大对新的颠覆性技术研究的支持力度，拓展赛道，引领前

# 打造IDM领头羊 带动集成电路产业高速发展

中国电子科技集团公司第五十八研究所  
副所长 于宗光

集成电路作为聚集创新资源与要素的投资密集型朝阳产业，是当前全球创新最活跃、投资最密集、带动性最强、渗透性最广的产业，已经成为当今智能化社会发展的重要驱动力，也是新基建的基础和先导性产业。我国“十四五”要加快形成国内国际双循环相互促进的新发展格局，集成电路产业自然成为国内国际双循环不可分割的一部分，担负起加快我国从制造大国向制造强国转变的重要历史使命。

要推动移动互联网、云计算、大数据、物联网等领域的深度发展，关键是要尽快突破高端芯片核心技术，聚焦集成电路设计工具、装备和工艺、关键材料、基础软件、工业软件、应用软件的关键核心技术研发，力争在5到10年整体赶上国外先进技术水平。

## 统筹规划各类项目 鼓励社会资本参与技术创新

“十一五”以来，在各级政府科技创新项目的支持下，我国集成电路的整体研发生产水平不断提升，基本实现了高端装备和材料从无到有，制造工艺与封装集成由弱渐强，创新发明不断涌现，技术创新协同机制建立的良好局面。但在高端集成电路方面我们和先进国家相比，差距依然很大。FPGA方面，国内千万门级产品已经达到实用阶段，亿门级FPGA处于研发阶段，而国外已进入7nm制程，逻辑规模最高达4亿门；国内DSP性能达千亿次浮点运算，达到国际先进水平，控制类DSP实现了规模化应用，但在高端嵌入式DSP方面差距还很大；存储器方面，除NOR Flash国内技术与国外接近外，DRAM、NAND Flash基本呈国外垄断格局，且短时间内很难追赶。

现在集成电路迎来了新的机遇，国家已同意设立集成电路一级学科，全社会逐步认识到集成电路的重要性和制造难度，大力发展集成电路已形成共识。目前正是“十四五”及后续发展的谋划期，建议在认真总结发展经验的同时，以企业为主导，创新运行模式，多吸收研究所、企业专家参与发展规划，以企业作为创新主体，采取定向发布和邀标的方式，让确实有能力的单位承担项目。同时通过吸收各方面的

- *积极引导产业项目投资方向和热度,进一步完善“政府引导、市场主导、全社会参与”的产业发*
- *应该注意发挥各方面的力量,整合资源,避免低水平上重复竞争。*
- *在学科支持上要加大对于集成电路及基础学科领域支持力度。*

资金，优化投资结构，积极引导产业项目投资方向和热度，进一步完善“政府引导、市场主导、全社会参与”的产业发

## 发挥国有企业主导地位 充分调动各方面积极性

国有企业是国民经济建设的主力军，央企更是经济建设的核心力量。央企技术力量雄厚，生产能力强、市场占有率高，聚集了大量的尖端人才和技术，具有不可替代性。目前，中国电科等央企已初步建立涵盖集成电路设计、制造、封装等产业链各环节，并且在带动全产业链技术创新等方面取得了良好成效。以中科芯集成电路有限公司刘岱董事长为代表的中科芯人提出“沉下心来，耐住寂寞，保持定力，成就伟业”的“集成电路精神”，埋头苦干，实现了连续5年的快速增长。

未来应当发挥国有企业，尤其是央企的主力军作用，整合国内民企、高校、科研院所和企业等各方资源，协同攻关。2019年，中科芯集成电路有限公司双创中心获批国家专业型集成电路众创空间，积极探索“专业型集成电路众创空间”的营运模式，凝聚力量，培育孵化高端集成电路设计企业。

在发挥国有企业主导地位的同时，应该注意发挥各方面的力量，整合资源，避免低水平上重复竞争。当前我国集成电路设计公司

千企业的引领情怀和责任担当，促进了集成电路封测产业技术进步和高速发展。因此，要充分发挥行业协会、学会、联盟的作用，不断创新体制机制，发挥其桥梁和纽带作用，促进行业发展。

## 积极打造IDM领头羊 引领集成电路产业高速发展

集成电路产业主要有三种运作模式，即IDM（整合设备制造）、Fabless（无生产厂半导体公司）和Foundry（晶圆厂、代工）模式。近几年无生产厂半导体公司（Fabless）在中国快速崛起，市场份额迅速提升，诞生了包括紫光展锐、华为海思、卓胜微等著名集成电路设计公司，对我国集成电路产业持续发展起到了重要作用。

IDM模式即芯片从设计到成品的整个过程都由一个企业负责，这种模式虽然规模庞大，资本回报率低，但具有设计、制造等环节的协同优势，能通过终端需求牵引，优化上游设计，发展高端制造，又能将设计作为龙头与制造、封测融合发展，为下游提供生产保障和技术指导，保证产品从设计到制造环节的一体化。随着集成电路发展到纳米阶段，这种早期的IDM模式又重新受到行业关注：一是整体势力大，可以满足亿元级研发费用的支出要求；二是集成电路产业链各阶段互相渗透，IDM模式能适应快速市场变化需要；三是便于整体技术的统一规划布局。

目前，中国市场IDM的产业份额很小，中国台湾地区为2%，中国大陆则小于1%，大陆IDM龙头企业主要包括华润微、中科芯、士兰微等。而美国IDM市场份额占46%，韩国也高达37%。集成电路发展到纳米级，投资巨大，一款7nm芯片的研发费用要1亿元以上，而且需要各方

面的密切配合。国内高端设计公司基于7nm/14nm先进工艺做出高端芯片，但工艺依赖境外，没有实现完全自主可控。建议集中投资，尽快培养几家巨无霸型的集成电路IDM企业，这样才能经得起风浪，成为国之重器的担当者，同时通过骨干IDM，带动整个产业的高质量发展。

## 加大高层次人才培养力度 探索校企人才联合培养新模式

目前，全球集成电路产业面临人才匮乏问题，中国的集成电路人才缺口尤为紧迫。虽然各级政府推出一系列优惠政策和措施，但产业人才培养仍需要时间来夯实。集成电路高端人才缺乏问题日显突出，建议在学科支持上要加大对于集成电路及基础学科领域支持力度，国家已经设立集成电路一级学科，可根据需求适当扩大集成电路硕博学位名额，在坚持培养标准的同时，注重解决实际问题的能力，鼓励大企业与高校、科研院所协同建设育人平台。

中科芯集成电路有限公司结合自身的特点，成立中科芯微电子学院，通过联合国内设计示范性微电子学院的高校，设立“中科芯特色班”，在知名高校设立奖学金，选派高水平的研究人员担任高校的校外研究生导师，发挥高校的技术引领和企业的产业基础优势，培养高层次人才。南京最近成立“南京集成电路大学”也为集成电路高层次人才

## 加强基础性、前沿性技术研究 扎实做好原创性技术专利布局

集成电路是多学科交叉的领域，具有基础性、战略性、前瞻性的特点，超越摩尔成为当下业内一致的共识。2017年，美国

沿技术发展，避免出现“迭代卡脖子”现象。目前，信息器件及系统的制造采用“自上而下”加工技术，精度达到纳米尺度。然而，在纳米尺度下，加工制造遇到了原理性的瓶颈和壁垒，探索和发展新的信息器件制造技术势在必行。近年来，以二维材料、量子点为代表的纳米尺度新材料的出现，为发展新的加工制造技术提供了基础。发展原子精度的加工制造技术，发展“自下而上”的变革性制造技术，实现器件的图案化、自组装及系统的集成，对于提升国家核心竞争力也具有战略意义。

展望未来，我国需加快引领下一代半导体技术的发展。当前，新兴二维电子信息材料、新奇拓扑物性、基于超快光学的新应用这三个国际重大前沿方向分别于2010年、2016年、2018年被授予了诺贝尔奖。把这些处于国际前沿方向的技术作为突破口，有望制备具有拓扑电子态的新型二维电子材料，发掘电子能谷极化等新现象，有望构建基于谷电子的新原理器件。一方面，拓扑材料具有新奇性质，其电子运动方向具有选择性，可显著降低传导电子间的散射、减小宏观电阻、降低热耗。另一方面，利用二维层间近邻效应，有望在材料中引入新奇特性例如局域电场和磁场，产生光电流不需要外加电场，响应速度快到飞秒级，可望研究出无需外加电场或者磁场的低功耗高速器件以及新原理性器件，例如低功耗自旋电子器件、高容错性量子计算器件、超快光电响应器件以及光电互联器件等。这些新型信息器件不仅对于基础科学具有重大意义，而且有望牵引信息、材料、生物、医学和能源等多个领域的发展，对于提升国家核心竞争力具有战略意义。若在诸如此类的多个方面取得国际重大影响力的突破，相信不久的将来，我国将引领下一代半导体技术及产业的发展。

DARPA重启“后摩尔时代”电子复兴计划；2018年，欧盟提出由29家欧洲公司参与“后摩尔定律时代半导体增值策略”。中国电子信息产业发展研究院每年一度的“中国芯”评审活动，已经连续办十五届，对我国集成电路产业的创新起到了积极的促进作用，但国内急功近利的短期效益思想根深蒂固，注重通过应用型投入以期实现立竿见影的效果，而不愿意对基础科研开展深入的创新研究，知识产权保护工作重视程度也不够。中共中央政治局最近召开会议，专门研究加强知识产权保护工作，为集成电路产业的知识产权保护指明了方向。

集成电路产业作为高技术含量的产业，知识产权布局和保护尤为重要，而作为一个典型的基础科研性产业，集成电路产业的知识产权保护工作在过去很长一段时间内都未得到重视，导致原创性技术的专利布局也一直滞后，与国外的技术差距越来越大。建议重视科学领域重大基础前沿问题，在新科技变革的可能突破方向发力，寻找新动能和新的增长点。要加强集成电路产业的知识产权布局，加强知识产权保护工作的宣传，开展体制机制创新，着力提升致命短板技术、关键共性技术、前沿引领技术和颠覆性技术的突破能力，实现集成电路产业跨越式发展。

## 不断完善上下游可信供应链 积极防范“断链”风险

加强产业链的合作，集成电路设计是龙头，也是创新的领头羊，带动集成电路工艺、封测产业链的发展，尤其是不断为先进工艺、先进封装提出新需求。同时集成电路的先进工艺、先进封装也不断为集成电路设计产业提供新的发展空间。

从硅片制造，到晶圆，再到封装，整个产业链需提供相应的材料和设备，有着巨大的市场空间，但目前这些领域存在严重短板，导致中国制造“全而不强”，存在供应链“断链”的风险。当前高端半导体材料，如硅晶片、光刻胶、CMP抛光液以及溅射靶材等主要被欧美日韩等垄断。自主生产的硅片以8或6英寸为主，12英寸的大尺寸晶圆基本依赖进口，光刻胶、电子气体等高端半导体材料国内自给率也均不足30%，关键技术亟待提升。

当前国内发展集成电路产业的热情很高，各地投资项目此起彼伏，应加强规划，结合集成电路发展规律，合理安排项目，避免盲目重复低效建设，不断完善集成电路可信供应链体系。