

引用格式: 余江, 郭玥, 李世光. 原创性颠覆性创新如何引领现代化产业体系: 新一代芯片前沿制造科技革命的启示. 中国科学院院刊, 2025, 40(0): 1-8, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20241218003.

YU Jiang, GUO Yue, LI Shiguang. How original and disruptive innovation leads modern industrial system: Insights from revolutionary frontier of next-generation chip manufacturing technology. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2025, 40(0): 1-8, doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20241218003. (in Chinese)

# 原创性颠覆性创新如何引领 现代化产业体系: 新一代芯片 前沿制造科技革命的启示

余江<sup>1,2</sup> 郭玥<sup>1,2</sup> 李世光<sup>3</sup>

1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190

2 中国科学院大学 公共政策与管理学院 北京 100049

3 中国科学院微电子研究所 北京 100029

**摘要** 原创性颠覆性创新是打赢关键核心技术攻坚战, 培育和发展新质生产力的基础。文章选择芯片前沿制造科技领域典型的原创性颠覆性创新——芯片3D制造工艺FinFET(鳍型场效应晶体管)技术; 其突破既延续了摩尔定律, 更驱动半导体制造从二维到三维结构的革命和芯片性能大跃升, 大大促进了包括新一代人工智能在内的全球高科技产业突飞猛进, 芯片前沿制造科技也因此成为全球科技竞争的重中之重。文章梳理了FinFET技术重大突破创新历程, 包括“科学发现—技术新轨道形成—新技术体系化”的发展阶段。研究发现其突破动力主要源自战略科学家团队的突出作用; 基于政府和产业支持的前沿研究网络形成政产学研深度融合的协同机制; 同时, 各类创新主体通过创新竞赛, 有力推动了技术的体系化迭代与持续突破。文章围绕研究原创性颠覆性创新的发展规律为我们抢占科技制高点, 建设科技强国, 引领现代化产业体系提供了理论和实践启示。

**关键词** 科技制高点, 原创性创新, 颠覆性创新, 芯片制造工艺革命

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20241218003

CSTR 32128.14.CASbulletin.20241218003

\*通信作者

资助项目: 国家自然科学基金(72334007、72204227、71834006), 中国科学院战略性先导科技专项(XDA0380000)

修改稿收到日期: 2025年3月25日; 预出版日期: 2025年9月5日

2024年1月，习近平总书记在主持中央政治局第十一次集体学习时强调，“必须加强科技创新特别是原创性、颠覆性科技创新，加快实现高水平科技自立自强，打好关键核心技术攻坚战，使原创性、颠覆性科技创新成果竞相涌现，培育发展新质生产力的新动能”。2023年中央经济工作会议也指出“要以科技创新推动产业创新，特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业、新模式、新动能，发展新质生产力”。可见，原创性、颠覆性科技创新成为培育发展新质生产力的重要战略机遇<sup>[1]</sup>。

我们看到，颠覆性技术创新模式不再是传统的线性和链式模式<sup>[2]</sup>，而呈现出间断性和跨越性的特征，并逐步演变为多元主体协同的创新模式。颠覆性技术通过全新的科学发现和对已有技术轨道的迁移<sup>[3]</sup>，对该产业格局造成“创造性破坏”并培育了新的市场需求<sup>[4]</sup>。

当前全球科技竞争趋于白热化。芯片前沿制造工艺作为全球高科技创新体系中的关键位置和控制点，并和关键集成电路设备一起成为“科技制高点中的制高点”。芯片前沿制造工艺因其强大的战略引领作用，一旦取得突破，将对相关经济领域乃至整个经济社会发展产生全局性的深远影响<sup>[5]</sup>。2022年，美国和欧盟分别推出了《创造有益的半导体生产激励措施(CHIPS)和科学法案》和《欧盟芯片法案》，其核心战略目标都是推动先进半导体制造技术和先进产能发展。

在集成电路的发展史中，FinFET（鳍型场效应晶体管）是在硅体系内进行的具有颠覆性、原创性的突破，实现了革命性的架构变化，它使得全球人工智能、智能手机、高性能计算、未来网络和汽车电子等相关产业得到了突飞猛进的赋能发展。特别值得一提的是，2020年5月英伟达公司发布了基于7 nm FinFET工艺的A100旗舰图形加速器（GPU）芯片，后来成为赋能新一代ChatGPT大模型的算力平台，开启了人

工智能新时代。2024年基于最新的3 nm FinFET工艺技术，英伟达等企业又推出了具有超强算力性能的一代AI芯片。

当前，芯片前沿制造工艺已成为人工智能时代国际上遏制我国高科技发展的最强“杀手锏”之一，因此研究FinFET的创新历程对激发原创性颠覆性创新，引领我国现代化产业体系建设，推动实现高水平自立自强具有重要现实意义。

## 1 FinFET突破历史

摩尔定律推动了集成电路行业的本身发展，从而也改变了世界。半导体前沿制造工艺技术研发是一个高度复杂、不断迭代的创新过程，具有高投入、长周期、知识嵌入性强、技术复杂度高特征，其技术重大突破高度依赖产业创新体系。FinFET重大突破创新的背后动力是巨大的产业需求潜力。在28 nm以下工艺，由于短沟道效应（SCE）等物理限制，产业界普遍意识到平面晶体管在设计和制造芯片时芯片性能已经接近极限<sup>[6]</sup>。为了打破技术极限，FinFET晶体管架构将传统晶体管的平面结构变为立体结构，类似鱼鳍的叉状3D架构，让晶体管空间利用率得到跃升。

### 1.1 1980—2000年：科学发现，从原创想法到功能性技术提出

FinFET的重大突破起源于日本和美国科学家设想创新思路。为突破全球产业技术发展瓶颈，构建其社会和知识领先地位，战略科学家逐步推动其从原创想法到功能性技术开发的实现。

**原创科学想法的提出。**三维晶体管技术的突破理念不是凭空而来的，1980年日本电子技术综合研究所的Yutaka Hayashi申请专利（申请号：JP, 1980-085706），提出将传统的平面结构迁移到全新的三维晶体管平台。1984年，Y. Hayashi和日本研究者T. Sekigawa发表了第1篇关于双栅MOS（DGMOS）晶体管以降低短沟道效应的文章。1989年，日立

(Hitachi) 公司研究员 Digh Hisamoto<sup>①</sup>对传统的平面型结构作出改变，提出了将二维 MOSFET 设计扩展到三维的概念，并报告了一个垂直沟道超薄体 SOI 晶体管的三栅配置，将其称为 DELTA (Depleted Lean-Channel Transistor) 晶体管，这与后来的三栅 FinFET (Fin Field Effect Transistor) 的结构已经十分相似。

**FinFET 理念提出与概念验证。** FinFET 的工艺技术与传统平面型 MOSFET 的工艺技术完全不同，其工艺创新难点是形成鱼鳍 (Fin) 的形状。1998 年胡正明团队在三维结构的 MOS 晶体管与双栅 MOSFET 结构的基础上进一步提出了自对准的双栅 MOSFET 结构，因为该晶体管形似鱼鳍，所以称其为 FinFET 晶体管，引人注目的是他成功研发并做出了可用于生产的器件。1998 年，胡正明团队成功制造出首个 n 型 FinFET，该晶体管栅长度只有 17 nm，沟道宽度 20 nm，鳍 (Fin) 的高度 50 nm；1999 年，该团队再次取得了突破，成功制造出首个 p 型 FinFET。除了提出 FinFET 晶体管，胡正明还在 PD-SOI (Partially Depleted Silicon On Insulator) 技术的基础上，创新性地提出了 UTB-SOI (Ultra-Thin Body SOI) 技术路线。

## 1.2 2000—2010 年：技术新轨道形成，从原型产品到商用产品

颠覆性创新技术从实验室突破到转化为能够被主流市场所接受的新产品、技术或服务，并催生新产业、新赛道，不是一蹴而就的<sup>[7]</sup>。在 2011 年 FinFET 技术成功实现量产之前，由于其刚刚被发明出来，是否能成为未来的主导量产技术前景不明。因此，这一时期多种高密度 IC 技术研发路线并行发展，竞争激烈。在此期间，FinFET 技术方面在材料、器件及检测等领域攻克了一系列核心科技问题，并阐释了众多新机制和新机理并最终其因良品率高、成本低、具备更优的

功耗性能比和工艺可扩展性，在各种技术路线中胜出，这是产业界与学术界的深度合作、互动融合的结果。正是技术与经济的有机结合，催生了新的技术轨道，进而影响了产业发展的演进路线。

从产业界深入 FinFET 工程研发的过程来看，有关 FinFET 和 UTB-SOI (Ultra-Thin-Body Silicon-On-Insulator, 超薄体硅绝缘体上硅技术) 的技术论文发表以后，英特尔 (Intel)、IBM、台积电和三星 (Samsung) 等芯片巨头迅速行动起来，尝试转化和运用相关研发项目取得的重大科学成果。UTB-SOI 虽然在低功耗和抗辐射等特种领域具有独特优势，但当时的半导体厂商没有技术能力可以制造出顶层硅薄膜厚度 6 nm 的 SOI 晶圆，难以实现 UTB-SOI。相比之下，FinFET 具有更高的性能、成熟的量产工艺和更低的单位成本，所以主要半导体厂商开始倾向 FinFET 技术。从专利来看，在 2000 年加州伯克利大学申请第 1 个 FinFET 专利后，2001 年，IBM、台积电等企业都迅速申请了 FinFET 专利。专利布局重点是将当时各种平面晶体管所涉及的核心技术整合到 FinFET 上，例如，2003 年韩国首尔大学申请基于体硅的 FinFET 的专利。这些进展使得诸如 SOI 衬底、体硅刻蚀、体硅外延等技术都被用到新兴的 FinFET 技术体系中。

在这一阶段，FinFET 成为未来芯片量产工艺的最有力竞争者，在 2001 年实现了 15 nm 节点的突破；2002 年 10 nm FinFET 被制造出来；2004 年，HKMG FinFET 被制造出来；同年，韩国三星公司证明了基于三栅 FET 的 20 MB SRAM 阵列的可制造性。在持续的迭代突破创新过程中，具备研发实践经验的主要公司 (以 IBM 和英特尔为代表) 的研究人员通过跨企业组织，带动了跨越产学研界限的知识流动，从而使知识以非正式方式在行业生态的各个合作伙伴间扩散和

<sup>①</sup> Hisamoto D, Kaga T, Kawamoto Y, et al. A fully depleted lean-channel transistor (DELTA)—A novel vertical ultra thin SOI MOSFET// Proceedings of the International Electron Devices Meeting. Washington, DC: IEEE, 1989: 833-836.

溢出。

**面向规模量产的商用研发阶段。**FinFET相关核心技术知识以正式和非正式方式扩散到行业中主要研发企业后，3D架构逐步成为晶体管主导技术。在巨大市场前景的驱动下，通过不同学科知识界面的协同、隐性和显性知识的整合，以及产学研不同组织间学习，充分发挥高效实现前沿成果潜在价值转化的优势，实现器件极限尺寸不断缩小，激励产业伙伴加大工程开发和技术战略布局，在2011年英特尔宣布全面战略性转向FinFET<sup>②</sup>技术，加速推动新一代FinFET技术面向规模量产的商用研发。

### 1.3 2011年后：新技术体系化，重塑产业版图

在这一阶段，FinFET技术从若干潜在竞争芯片工艺技术中胜出，并且跨产业链的整体技术方案成熟，正在成为主导的芯片量产工艺。相关企业的相关核心专利申请量上升，FinFET技术迅速成为全球主流芯片制造商的“不二之选”。

**技术主导设计形成。**依托FinFET的前沿研究网络激发了大量的研发活动，并促进了整个半导体设计生态系统成员的深层次合作，领军的英特尔公司于2011年5月在其Ivy-Bridge处理器（22 nm节点）首先采用了FinFET（英特尔称之为Tri-Gate FET）。英特尔公司总裁Paul Otellini表示：“英特尔的科学家和工程师通过采用3D结构，再一次实现了晶体管的革命。随着我们把摩尔定律推进到新的领域，3D结构将帮助我们打造令人惊叹且能改变世界的全新产品。”<sup>③</sup>

**创新竞赛激发突破性创新生态形成。**同在2011年，iPhone引发全球智能手机市场呈现爆发趋势，苹

果、三星等全球智能手机巨头急需兼备卓越性能和超低功耗的新一代手机处理器芯片。但是由于英特尔采用的是半封闭的垂直整合制造（IDM）商业模式，所以其研发的FinFET工艺技术主要服务于自己的个人计算机（PC）处理器产品的定制。而要真正形成服务下游智能手机产业的全球开放FinFET创新生态，需要实现贯通知识产权（IP）、设备、材料、设计、制造、封测各产业环节厂商协同的量产工艺创新。而为了争夺苹果和高通等手机处理器的“世纪大单”，全球芯片制造代工巨头台积电和三星的研发团队展开了你追我赶的研发创新竞赛，试图抢先构建FinFET量产工艺创新生态。在此阶段，他们动员电子设计自动化（EDA）软件厂商、制造设备商持续进行新工艺动态测试适配与调试（Debug），通过在创新试错过程中不断完善工艺生态，攻克了在良率与稳定可靠性方面的各种技术难点，一个完整的产业技术生态快速形成。

2014—2015年，台积电发布了首款16 nm FinFET技术的网络处理器芯片；同期三星推出了第1代14 nm（14LPE低功耗）芯片，并于2015年成功量产。2015年，苹果公司宣布其iPhone 6s智能手机搭载的A9处理器将首次采用台积电和三星基于FinFET技术的芯片双供货，由于新芯片整体性能比上一代提升了70%<sup>④</sup>，引发了全球市场震动。

颠覆性创新需要与之匹配的商业生态才能使创新扎根<sup>[8]</sup>，得到FinFET先进工艺的强大赋能后，芯片制造实现了从22 nm到3 nm快速迭代发展，这也使得苹果、英伟达、高通和AMD等国际芯片设计巨头业务井喷式发展，直接推动全球人工智能、高端移动计

② Intel Corporation. Intel reinvents transistors using new 3-D structure. (2011-05-04)[2024-11-24]. <https://www.intc.com/news-events/press-releases/detail/655/intel-reinvents-transistors-using-new-3-d-structure>.

③ TechPowerUp. Intel reinvents transistors using new 3-D structure. (2011-05-04)[2024-11-24]. <https://www.techpowerup.com/145201/intel-reinvents-transistors-using-new-3-d-structure>.

④ 36氪. 英伟达发布GPU旗舰A100,采用7nm工艺,性能提升20倍。(2020-05-15)[2024-11-24]. <https://new.qq.com/rain/a/20200515A035Z700>.

算、网络通信、消费电子和汽车电子等产业发展进入了全新阶段。

## 2 原创性颠覆性科技创新引领现代化产业体系的机制分析

FinFET从原创的科学想法（Hayashi 专利）<sup>[9]</sup>到功能性技术的概念验证与工程原型产品（胡正明和 Hisamoto）<sup>[10]</sup>经过了10余年时间，然后再到规模化产业化量产又经历了10多年的过程，这一创新的历史进程具有重要研究价值，值得深入分析。

### 2.1 动力机制：战略科学家团队的突出作用

在原创性颠覆性科技创新中，战略科学家的深厚科学素养、开阔战略视野、前瞻性判断力、跨学科大纵深的领导能力尤其重要<sup>[11]</sup>。胡正明在 FinFET 突破创新过程中，作为战略科学家发挥了突出作用。2000年，胡正明团队在美国国防部高级研究计划局（DARPA）资助下<sup>[12]</sup>，发表了有关 FinFET 和 FD-SOI 的里程碑文章，正式提出革命性的 3D 晶体管结构，克服了传统平面工艺的极限障碍。胡正明团队在完成 DARPA 研发项目过程中，也得到了 Semiconductor Research Corporation（SRC）和 AMD 等企业的资助。同时，胡正明在 2001—2004 年还受聘担任台积电的首任技术执行长。正是他横跨科研与产业界的经历，与产业界有着广泛的深度合作经验，使得他的团队能率先攻克了前沿底层科学难题和技术“瓶颈”。2020年，国际电气与电子工程学会（IEEE）决定授予胡正明 IEEE 荣誉勋章（IEEE Medal of Honor），以表彰他在全球半导体核心科技突破和应用方面作出的重要贡献。

### 2.2 协同机制：产业支持的前沿研究网络

在 FinFET 的突破历程中，在创新路径、创新成果和时间成本等方面存在高度不确定性的情境下，研究型大学、国家实验室及大型公司的研发机构等前瞻技术研究主体深度参与，构建了基础研究、应用研究和

产业化研究前后端紧密衔接的链条，推动了深度融合创新。一方面，这些知识联系是多维度交织的，FinFET 研发团队（以加州大学伯克利分校为核心）从行业指导和直接研发援助中受益匪浅，最终实现了对行业具有巨大价值的突破性技术；另一方面，美国科技政策办公室、能源部、商务部和国家自然科学基金会等也发挥了战略支撑作用，FinFET 技术的发展历程凸显了这些联邦机构在 2000 年代半导体行业中的持续影响和重要性。FinFET 晶体管的设计和制造研究起始于 1996—1998 年，从侧重理论工作到制造专业知识探索，呈现出思想与人才跨越国界、学术界与工业界之间的流动与融合，在此期间至少有 18 名博士生、博士后和来自业界的科学家作出了突出贡献<sup>[13]</sup>。

DARPA 的支持在 FinFET 初创阶段起到了较好的推动作用，体现了其战略眼光和资源整合能力。以加州大学伯克利分校为核心，联合加州理工学院、斯坦福大学和劳伦斯伯克利国家实验室等机构，组成了前沿研究网络，研究网络秉承既与产业界保持密切互动，又追求长期导向学术研究战略组合（而不被工业的短期需求牵制）。同时借助地理临近优势，这些研究力量充分利用了包括斯坦福大学和劳伦斯伯克利国家实验室等设施在内的先进设备和资金资源，进一步推动了芯片制造创新研究的深入开展。在这期间联邦政府与产业支持的“大学—国家实验室研究网络”进行深入的科学原理研究，形成长期导向的学术研究自由的战略组合和知识交流。

可以看到，在 FinFET 创新攻关中，政府、产业和大学共同探索如何协同推动知识生产和技术创新，在攻关中共享彼此的资源、专业知识与技术，分担成本和风险，并最大化利用各参与方的学科专业优势，以便科技成果能够最终转化为实际应用。

### 2.3 竞合机制：创新竞赛与体系化迭代突破

集成电路（IC）产业界很早就关注 FinFET 技术，以英特尔和 IBM 为代表的创新企业与前沿研究网络，

共同分担研发风险，积极面对各种不确定性、模糊性。依托原创性颠覆性创新，将高度复杂的新技术、实验室“样品”和原理样机在中试和产线实践中不断试错测试来积累经验数据，持续迭代优化，提高产品良率。例如，早期 FinFET 面临的“鳍片图形化误差”“应力工程”“寄生电容控制”等问题，均在不断优化的 EDA 设计、光刻工艺（EUV 引入）、制造材料（如高介电栅氧化物）及自动化测试体系中得到改善。

从专利申请来看，2000 年加州伯克利大学申请了第一个 FinFET 专利，2001 年 IBM、台积电等企业都迅速申请了 FinFET 专利。IC 产业界开始起到了更直接的推动作用，FinFET 专利的全球主要申请人包括 IBM、台积电（TSMC）、格罗方德、三星、英特尔（Intel）。然后基于此，通过台积电和三星、英特尔等领军研发企业的创新竞赛，在与应用场景和客户需求长期优化迭代过程中，推动基于集成电路全产业链协同的商用解决方案体系不断完善。FinFET 技术的最终商用成功，不仅依赖于单点技术突破，更是全球创新竞赛、体系化研发与工程实践深度融合的体系化结果。

### 3 讨论

FinFET 重大突破的成功案例表明，在原创性颠覆性创新的过程中会面临前所未有的复杂挑战。而在新的科学原理发现突破以后，战略性科学家团队、前沿基础研究网络及突破性创新生态重构和领军企业间的创新竞赛等在持续创新过程中发挥了关键的联动作用。

当前人工智能的新发展给科技创新范式提供了新的可能，迫使科研人员深入探索前人未涉足的领域，以突破现有的产业技术路线。面对全球科技领域激烈竞争和高度动态性的科技突破研究，需要强化跨领域、跨学科深度融合，而大学—国家实验室网络不仅是学术和知识的生产者，也成为前沿技术转化的赋

能平台，依托产学研深度协同，从松散式的科学原理探索研究，转化为面向未来产业愿景协同攻关与科技领军企业的创新竞赛并存的突破创新态势，才能激发原创性、颠覆性技术供给，以点的突破引领带动系统能力跃升。

原创性颠覆性创新在创新路径、创新成果和时间成本等方面存在较高的风险与不确定性，需要从创新系统整体视角出发，进行高水平的技术趋势研判、创新方向选择、创新领域前瞻布局和针对性的创新政策扶持。科研机构与产业紧密衔接以及推动领军企业需要提前参与前瞻研究探索，有助于产生迭代的、体系化的重大成果，形成引领性优势创新突破。

当前我们要推动原创性颠覆性创新引领现代化产业体系，就要以重大战略需求和重大科学问题为牵引，动态调整优化科研力量整体布局，打破学科、领域、组织的边界壁垒，鼓励科学家洞察科技趋势和敏锐捕捉潜在重大突破机会。这种与产业前沿的密切联系将促进包括隐性知识在内的信息流动，推动理论与实践的双向渗透与协同创新。这需要依托国家实验室、国家科研机构、高水平研究型大学及科技领军企业等战略科技力量，围绕科技制高点形成多主体全链条的深度融合创新，把创新链上下游的研究力量协同贯通起来，最终形成基于科学新发现，以技术新轨道和产业新方向于一体的“大纵深”突破来引领现代化产业体系发展。

### 参考文献

- 1 周文, 许凌云. 论新质生产力: 内涵特征与重要着力点. 改革, 2023, (10): 1-13.  
Zhou W, Xu L Y. On new quality productivity: Connotative characteristics and important focus. Reform, 2023, (10): 1-13. (in Chinese)
- 2 Christensen C M, Raynor M E. The Innovator's Solution: Creating and Sustaining Successful Growth. Boston, MA: Harvard Business Review Press, 2013.

- 3 张立超, 刘怡君. 技术轨道的跃迁与技术创新的演化发展. 科学学研究, 2015, 33(1): 137-145.  
Zhang L C, Liu Y J. Study on the transition of technology trajectory and the evolution of technological innovation. Studies in Science of Science, 2015, 33(1): 137-145. (in Chinese)
- 4 Christensen C M. The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Boston, MA: Harvard Business Review Press, 2015.
- 5 余江, 陈凤, 郭玥. 现代化产业体系中科技创新与产业创新的深度融合: 全球新一代光刻系统的启示. 中国科学院院刊, 2024, 39(7): 1141-1152.  
Yu J, Chen F, Guo Y. Deep integration of technological innovation and industrial innovation in modern industrial system: Inspiration from global new generation lithography systems. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(7): 1141-1152. (in Chinese)
- 6 黄如, 黎明, 安霞, 等. 后摩尔时代集成电路的新器件技术. 中国科学: 信息科学, 2012, 42(12): 1529-1543.  
Huang R, Li M, An X, et al. New device technologies of integrated circuit in post-Moore era. Scientia Sinica (Informationis), 2012, 42(12): 1529-1543. (in Chinese)
- 7 方晓霞, 李晓华. 颠覆性创新、场景驱动与新质生产力发展. 改革, 2024, (4): 31-40.  
Fang X X, Li X H. Disruptive innovation, scenarios-driven, and the development of new quality productive forces. Reform, 2024, (4): 31-40. (in Chinese)
- 8 Kapetaniou C, Rieple A. The role of business ecosystems in the building of disruptive innovations// Academy of Management Proceedings. Briarcliff Manor, NY: Academy of Management. 2017: 15200.
- 9 Hisamoto D, Kaga T, Kawamoto Y, et al. A fully depleted lean-channel transistor (DELTA)-a novel vertical ultra thin SOI MOSFET// International Technical Digest on Electron Devices Meeting. Washington, DC: IEEE, 1989: 833-836.
- 10 Huang X J, Lee W C, Kuo C, et al. Sub 50-nm finfet: Pmos// International Electron Devices Meeting. Washington, DC: IEEE, 1999: 67-70.
- 11 余江, 刘佳丽, 甘泉, 等. 以跨学科大纵深研究策源重大原始创新: 新一代集成电路光刻系统突破的启示. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 112-117.  
Yu J, Liu J L, Gan Q, et al. Major original innovation based on interdisciplinary research: International insights from breakthrough of new generation of lithography system. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(1): 112-117. (in Chinese)
- 12 曹晓阳, 魏永静, 李莉, 等. DARPA 的颠覆性技术创新及其启示. 中国工程科学, 2018, 20(6): 122-128.  
Cao X Y, Wei Y Z, Li L, et al. Enlightenment of disruptive technological innovation of DARPA. Strategic Study of CAE, 2018, 20(6): 122-128. (in Chinese)
- 13 O'Reagan D, Fleming L. The finfet breakthrough and networks of innovation in the semiconductor industry, 1980-2005: Applying digital tools to the history of technology. Technology and Culture, 2018, 59(2): 251-288.

# How original and disruptive innovation leads modern industrial system: Insights from revolutionary frontier of next-generation chip manufacturing technology

YU Jiang<sup>1,2</sup> GUO Yue<sup>1,2</sup> LI Shiguang<sup>3</sup>

- (1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;  
2 School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3 Department of Achievement Transformation, Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract** Original and disruptive innovation is the foundation for tackling key technological challenges and nurturing the development of new forms of productive forces. The breakthrough of FinFET (Fin Field-Effect Transistor) technology, a frontier manufacturing process for chips, represents a typical example of original and disruptive innovation. This breakthrough extended Moore's Law, catalyzed the transition of semiconductor manufacturing from 2D to 3D structures, and significantly advanced the global high-tech industry, positioning it at the core of international technological competition. This paper reviews the breakthrough journey of FinFET technology, specifically focusing on its development stages from "scientific discovery—formation of new technological pathways—systematization of new technologies". The study identifies that the driving mechanism behind the breakthrough of FinFET technology largely stems from the pivotal role of strategic scientific teams. Additionally, by building an advanced research network supported by government and industry, a deep integration of government-industry-academia collaboration was formed. Furthermore, various innovation competitions between different entities fostered cooperation, promoting the systematization, iteration, and continuous breakthroughs of the technology. The development laws of original and disruptive innovation provides both theoretical and practical insights for China to seize the technological high ground and build a strong technological nation.

**Keywords** commanding heights of science and technology, original innovation, disruptive innovation, chip manufacturing process revolution

余江 中国科学院科技战略咨询研究院研究员,中国科学院大学公共政策与管理学院教授、博士生导师。主要研究领域:数字技术与产业化、产业创新管理与竞争战略。E-mail: yujiang@casisd.cn

**YU Jiang** Professor at Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences (CAS), Professor at the School of Public Policy and Management, University of Chinese Academy of Sciences. His research interests include digital technology and industrialization, industrial innovation management and competitive strategy. E-mail: yujiang@casisd.cn

■责任编辑:张帆

---

\*Corresponding author