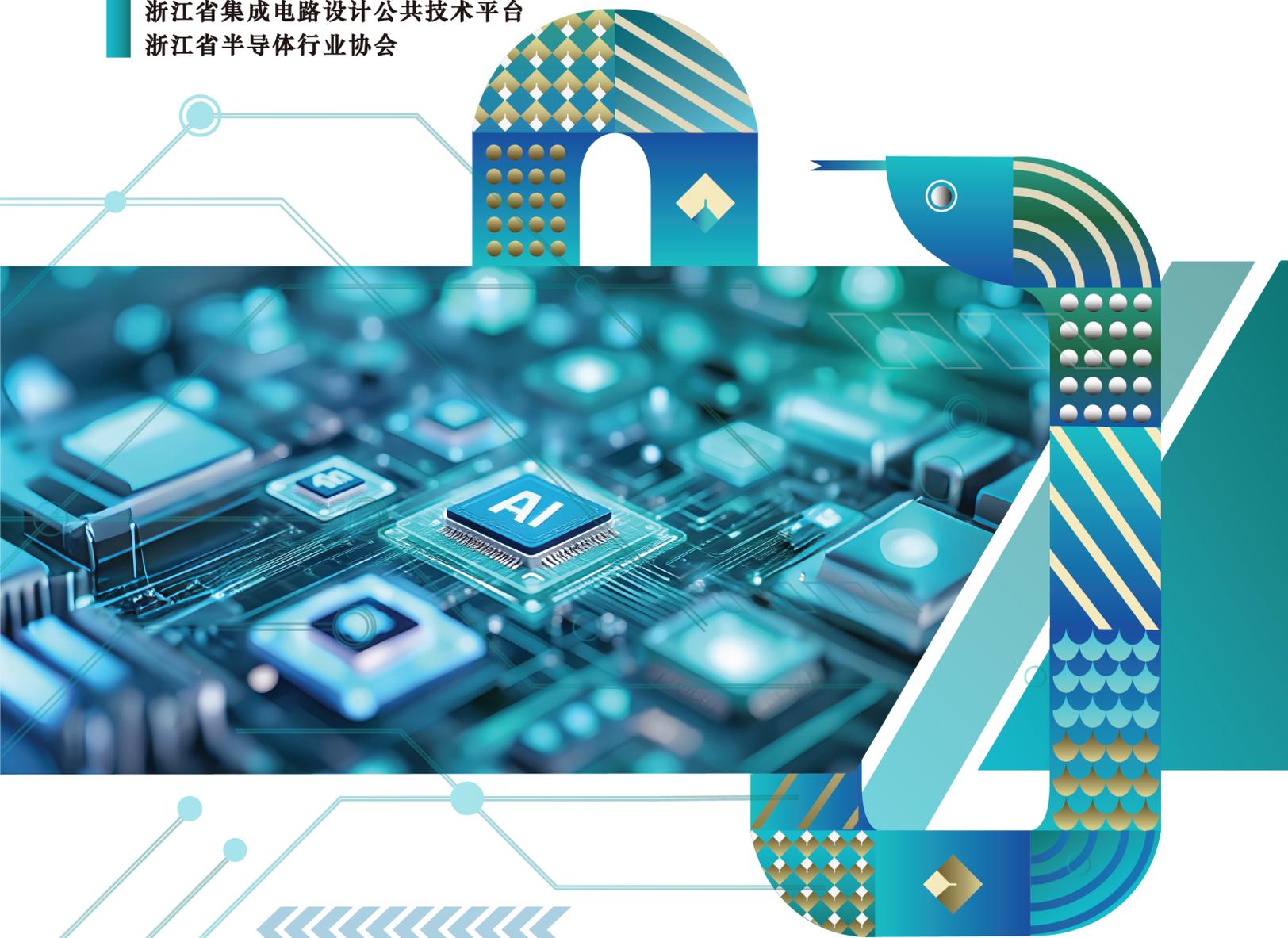


# 天堂之芯

INTEGRATED CIRCUIT NEWS

国家“芯火”双创基地（平台）  
国家集成电路设计杭州产业化基地|孵化器  
浙江省集成电路设计与测试产业创新服务综合体  
浙江省集成电路设计公共技术平台  
浙江省半导体行业协会



# 杭州国家芯火双创基地

National Xinhuo Platform of Hangzhou for Innovation and Entrepreneurship



杭州国家集成电路设计产业化基地有限公司  
杭州国家集成电路设计企业孵化器有限公司

## 引领芯发展 助力芯腾飞

杭州国家“芯火”双创基地(平台)是由国家工信部于2018年3月批复,依托杭州国家集成电路设计产业化基地建设的国家“芯火”平台。平台以产业共性需求为牵引,以公共技术服务为核心,充分整合产业链资源,推动形成“芯片-软件-整机-系统-信息服务”的生态体系,着力提升区域集成电路产业的核心竞争力,推进我国集成电路核心关键技术的自主创新,引导电子信息产业向价值链高端发展。

### 1 平台服务



### 公共技术服务

- 01 EDA**  
提供siemens EDA.Synopsys.Cadence和华大九天等公司全流程的EDA软件服务。
- 02 流片**  
提供台积电、中芯国际、华虹宏力、华润上华、Foundries等流片一站式服务。
- 03 封测**  
提供集成电路测试程序开发、晶圆测试、成品测试、失效分析、芯片封装等服务。
- 04 IP**  
IP设计.验证、测试和集成服务,支持企业进行产业化和应用。

### 2 平台资质

- 国家集成电路设计杭州产业化基地**  
National Integrated Circuit Design Industrialization Base (Hangzhou)  
中华人民共和国科学技术部
- 浙江省中小企业公共服务示范平台**  
Zhejiang Public Service Platform for Small and Medium-sized Enterprises  
浙江省经济和信息化厅
- 浙江省集成电路设计公共技术平台**  
Zhejiang Public Technology Platform for Integrated Circuit Design  
浙江省科学技术厅
- 国家集成电路人才培养基地 杭州培训中心**  
National Integrated Circuit Talents Training Base (Hangzhou)  
中华人民共和国教育部  
中华人民共和国科学技术部
- 浙江省集成电路设计与测试产业创新服务综合体**  
Zhejiang Integrated Circuit Design and Testing Industry Innovative Service Complex  
浙江省科学技术厅
- 浙江省集成电路产业技术联盟 常务副理事长单位**  
Zhejiang Integrated Circuit Industry Technology Alliance Executive Vice President Corporation  
浙江省集成电路产业技术联盟
- 面向半导体芯片领域的产业技术基础公共服务平台**  
Public Service Platform for Semiconductor Industry Technology  
中华人民共和国工业和信息化部
- 杭州国家芯火双创基地(平台)**  
National Xinhuo Platform for Innovation and Entrepreneurship (Hangzhou)  
中华人民共和国工业和信息化部

# 目录

## CONTENTS

### • 芯动态

- ▲2025芯聚九天008期·国产EDA实训班(杭州站)圆满举办 — 01
- ▲集成电路产业链沙龙活动(海康威视专场)顺利举办 — 02

### • 芯企业

- ▲晶瑞电子:投资15亿元新建8英寸SiC项目 — 04
- ▲乾元光电:总投资2亿元的液晶模组项目正式签约嘉兴 — 05
- ▲天数智芯:半导体项目签约落户衢州 — 06
- ▲越芯半导体集成电路先进测试基地成功结顶 — 07
- ▲杭州芯通半导体封测项目,喜结金顶 — 08
- ▲嘉兴南湖:雷鸟光学智造工厂正式投产 — 09
- ▲丽水中欣晶圆:举行12吋抛光片通线仪式 — 09
- ▲斯达功率器件全球制造总部项目落地南湖区 — 10
- ▲朗迅科技:正式启动A股上市进程 — 11
- ▲力积存储:赴港IPO,猛攻HBM量产,供货国产AI芯片和CPU — 13

### • 芯资讯

- ▲Yole 2025:国产混合键合设备上榜 — 17
- ▲国产模拟芯片,崛起前夜 — 19
- ▲龙芯中科发布我国自主研发、自主可控的新一代通用处理器龙芯3C6000 — 22
- ▲全球最小全系统全频点北斗芯片在武汉发布 — 25
- ▲中国正提前布局Q-EDA — 26
- ▲摩根士丹利:中国AI芯片自给率将达80% — 28
- ▲光芯片,即将起飞! — 29
- ▲AI算力新材料,“磷化铟”市场崛起 — 42
- ▲下一个“芯片金矿”——智能眼镜 — 44
- ▲四大EDA巨头:预测未来 — 48
- ▲SIA:发布2025年《美国半导体行业协会行业报告》 — 52

### • 芯政策

- ▲杭州市萧山区人民政府办公室印发《关于促进集成电路产业高质量发展的若干政策》 — 58
- ▲杭州高新开发区(滨江)管委会政府印发《关于全面加强知识产权高质量发展的实施意见》 — 60
- ▲上海市投资促进工作领导小组办公室印发《关于强服务优环境 进一步打响“投资上海”品牌的若干举措》 — 63
- ▲广州开发区黄埔区《支持集成电路产业高质量发展若干政策措施》 — 65

### • 芯观点

- ▲面向“十五五”的半导体装备的挑战与机遇 — 67
- ▲集成电路行业人才需求与职业院校专业设置匹配分析 — 72

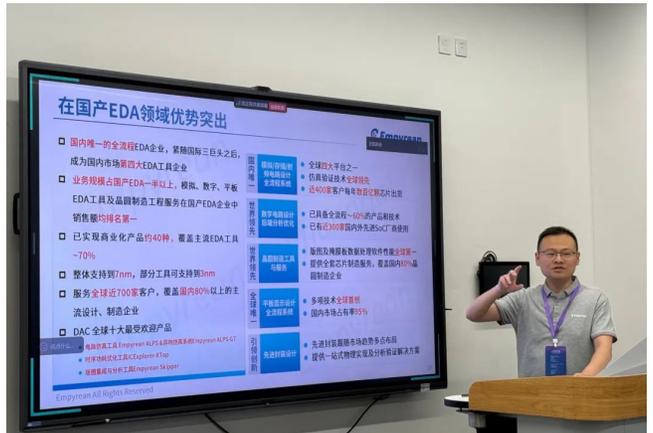
### • 芯伙伴

- 浙江省半导体行业协会 — 81

\*免责声明:

《天堂之芯》杂志转载的文章内容系作者个人观点,仅为传达不同的观点,不代表本杂志对该观点的态度。

## 2025芯聚九天008期·国产EDA实训班（杭州站）圆满举办



为适应高集成化、高安全性、高可靠性的数字电路芯片设计和优化趋势，发展高效多元、设计复杂的集成电路先进工艺技术，加强集成电路产业链交流，了解国内外集成电路设计及高性能优化技术的进展。6月12日至14日，由杭州国家“芯火”双创基地（平台）与国产EDA软件龙头企业华大九天、杭州朗迅科技、慧芯科技、集成电路设计企业孵化器、无锡亚科鸿禹等企业共同举办的“2025芯聚九天008期·国产EDA实训班（杭州站）”成功举行，



吸引了来自集成电路企业、科研院所、高校等 60 余人参加。

此次实训班为期三天，聚焦国产 EDA 工具的应用与创新，课程涵盖模拟全流程芯片设计 EDA 原理及实战、altiSync 国产逻辑综合工具实训、数字电路 FPGA 原型验证实战调试等模块，通过“理论+实践+项目”的教学模式，助力学员有效掌握产业级芯片设计全流程技能。

本次培训课程内容丰富、节奏紧凑，不仅提升学员们对芯片设计与验证流程的实操能力，还通过行业专家的指导和同行间的深度交流，切实解决了实际工作中的技术难题，为后续工作的开展提供了有力支撑。课后交流环节，获得学员们的一致好评。

未来，杭州国家“芯火”平台将持续开展专业化集成电路产业人才培养，链接更多校企资源，开发多元化培训课程，为我国集成电路产业高质量发展提供持续动力。

## 集成电路产业链沙龙活动（海康威视专场）顺利举办



2025年6月10日，由杭州国家“芯火”双创基地（平台）与浙江省半导体行业协会联合举办的集成电路产业链沙龙活动（海康威视专场）在杭州市滨江区顺利举办。此次活动旨在深入探讨数字化转型的前沿趋势，促进集成电路产业链上下游的协同创新，吸引了海康威视、矽力杰、晶华微、东开半导体、科睿微、之江有机硅、赛迪君信、亚德客、中科亿芯、甬晶微电子、新诺微等20余家集成电路产业链上下游企业代表参加。



活动伊始，参会代表们参观了海康威视 AIOT 创新馆，近距离感受了海康威视在物联感知、人工智能、大数据等前沿技术领域的创新成果。通过实地参观，大家直观地看到了数字化技术如何显著提升生产效率、降低运营成本，为参会企业提供了宝贵的转型借鉴。

在专题分享环节，海康威视半导体行业专家结合集成电路上游材料装备等支撑性行业、中游芯片制造行业、下游落地场景应用等特点，围绕海康威视声光感知和 AI 智能识别两大技术栈，从安全生产、辅助管理、设备监测到质量管理等环节，生动形象地介绍了海康威视场景数字化产品所能发挥的价值和作用，让大家深刻感受到数字化技术正在为集成电路整个产业链带来变革。

在交流讨论环节，各企业代表纷纷发言，积极分享自身产品供需情况，并表达了与海康威视深化合作的强烈意愿。海康威视场景数字化部总经理斯瑜彬表示，希望与各参会单位建立长期合作桥梁，携手将数字技术的“创新火花”转化为集成电路产业的“燎原之势”，为产业数字化转型注入强大新动能。

此次沙龙活动的成功举办，不仅为集成电路产业链上下游企业搭建了高效的交流平台，也为推动浙江省集成电路产业的数字化转型提供了有力支持。未来，杭州国家“芯火”双创基地（平台）将继续携手浙江省半导体行业协会，持续搭建企业供需对接平台，集聚更多创新资源，强化产业链上下游深度合作，构建高效协同创新生态，全方位推动企业创新发展，为浙江省集成电路产业高质量发展注入新动力。

### 海康威视简介

海康威视（股票代码：002415）成立于2001年，是一家专注技术创新的科技公司。

秉承“专业、厚实、诚信”的经营理念，践行“成就客户、价值为本、诚信务实、追求卓越”的核心价值观，二十余年来，海康威视以视频技术为起点，逐步构建和完善以物联感知、人工智能、大数据为核心的智能物联（AIoT）技术体系，为千行百业提供安防和场景数字化产品与服务。公司的产品和技术，已在杭州亚运会、G20杭州峰会、北京奥运会、上海世博会、APEC会议、北京大兴机场、港珠澳大桥等重大项目中发挥了重要作用。

海康威视致力于将物联感知、人工智能、大数据技术服务于千行百业，引领智能物联新未来：以全面的感知技术，帮助人、物更好地链接，构筑智能世界的基础；以丰富的智能产品，洞察和满足多样化需求，让智能触手可及；以创新的智能物联应用，建设便捷、高效、安心的智能世界，助力人人享有美好未来。

## 晶瑞电子：投资 15 亿元新建 8 英寸 SiC 项目

2025 年 6 月 20 日，浙江省投资项目在线审批监管平台发布了浙江晶瑞电子材料有限公司年产 60 万片 8 英寸碳化硅衬底片切磨抛产线项目的备案公示。

### 项目基本信息

项目代码	2506-330604-99-02-909011	项目名称	浙江晶瑞电子材料有限公司年产60万片8英寸碳化硅衬底片切磨抛产线项目
------	--------------------------	------	------------------------------------

### 审批事项公示信息

审批部门	审批事项	办理结果	办理时间	审批文号	附件
绍兴市上虞区杭州湾上虞经济技术开发区管理委员会	企业投资(含外商投资)项目备案(技术改造)	已办结	2025-06-20		<a href="#">下载</a>

本项目由浙江晶瑞电子材料有限公司投资扩建，选址于浙江省杭州湾上虞经济技术开发区东二区舜园路 009 号，总投资金额达 15.11 亿元，总占地面积为 54,422 平方米。该项目改造利用现有厂房，购置切磨抛设备、清洗设备、检测设备等，形成年产 60 万片 8 英寸碳化硅衬底片的生产规模。项目建成达产后，预计年新增收入 39 亿，利税总额 6 亿。

### 浙江省企业投资项目备案(赋码)信息表

备案机关：上虞区杭州湾上虞经济技术开发区管理委员会  
备案日期：2025年06月20日

项目代码	2506-330604-99-02-909011		
项目名称	浙江晶瑞电子材料有限公司年产60万片8英寸碳化硅衬底片切磨抛产线项目		
项目类型	备案类(内资技术改造项目)		
建设性质	扩建	建设地点	浙江省绍兴市上虞区
详细地址	杭州湾上虞经济技术开发区东二区舜园路009号		
国标行业	电子专用材料制造(3985)	所属行业	电子
产业结构调整指导目录	电子元器件生产专用材料：半导体、光电子器件、新型电子元器件(片式元器件、电力电子器件、光电子器件、敏感元器件及传感器、新型机电元件、高频微波印制电路板高速通信电路板、柔性电路板、高性能覆铜板等)等电子产品用材料，包括半导体材料、电子陶瓷材料、压电晶体材料等电子功能材料，覆铜板材料、电子铜箔、引线框架等封装和装联材料，以及湿化学品、电子特气、光刻胶等工艺与辅助材料，半导体照明衬底、外延、芯片、封装及材料(含高效散热覆铜板、导热胶、导热硅脂片)等；先进的各类太阳能电池及高纯晶体硅材料(多晶硅的综合电耗低于65kWh/kg，单晶硅太阳能电池的转换效率大于22.5%，多晶硅电池的转化效率大于21.5%，碲化镉电池的转化效率大于17%，铜铟镓硒电池转化效率大于18%)		
拟开工时间	2025年06月	拟建成时间	2027年06月
是否零土地项目	否		
是否包含新增建设用地	否		
总用地面积(亩)	120	新增建筑面积(平方米)	0.0
总建筑面积(平方米)	54422	其中：地上建筑面积(平方米)	54422
建设规模与建设内容(生产能力)	项目改造利用现有厂房，购置切磨抛设备、清洗设备、检测设备等，形成年产60万片8英寸碳化硅衬底片的生产规模。项目建成达产后，预计年新增收入39亿，利税总额6亿。		

项目基本情况

该项目拟在 2025 年 6 月开工，拟建成时间为 2027 年 06 月。

### 浙江晶瑞电子材料有限公司

浙江晶瑞电子材料有限公司(SuperSiC)，是晶盛机电的子公司。公司成立于 2014 年，专注于碳化硅、蓝宝石等化合物半导体材料的研发生产与销售，并已成为全球知名的化合物半导体材料供应商。

晶瑞电子自主设计并研发差异化晶体生长工艺，实现 6 英寸与 8 英寸产品兼容并致力于建设自动化智慧工厂。目前，公司已配备兼容 6 英寸和 8 英寸的晶体生长炉及相应的加工设备，具备快速响应市场需求的能力，确保高效稳定的材料供应。公司已通过 IATF16949 和 ISO9001 质量体系认证，产品获得国内外头部半导体外延及芯片客户的验证并实现量产，其中 2024 年 8 英寸衬底出货量位居国内前列。

(来源：艾邦半导体网)

## 乾元光电：总投资 2 亿元的液晶模组项目正式签约嘉兴



6月15日，浙江嘉兴秀洲区王店镇迎来重大产业发展利好，乾元光电液晶模组项目正式签约落户。该项目总投资2亿元，将在约20000平方米的厂房内，全力打造年产80万套液晶显示模组的研发制造基地。项目建成达产后，预计年产值突破5亿元，将为区域电子信息产业发展注入强大动力。

据消息，当前半导体及显示产业正处于快速变革与发展期，新技术不断涌现，市场需求持续升级。乾元光电此次布

局，高度契合这一行业趋势，其将凭借在柔性线路板、封装测试及显示模组领域的技术积累，为产品提供定制化方案，关键指标达行业领先水平，实现从研发设计到成品生产的全链条贯通。

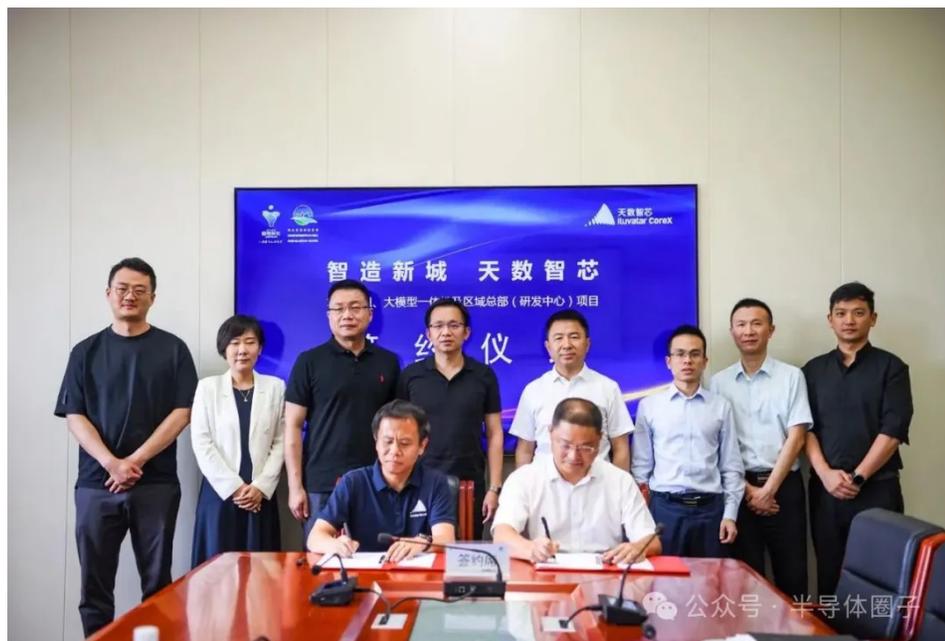
该项目的落地，对王店镇产业发展意义深远。一方面，其将有效补强王店镇在液晶显示模组，特别是中大尺寸模组领域的制造能力，完善电子信息产业链的关键环节，提升区域在电子制造领域的技术水平和竞争力。另一方面，项目的实施有望吸引相关上下游配套企业关注，进一步形成产业集聚效应，壮大产业集群规模，推动王店镇电子信息产业迈向新高度。

值得注意的是，类似乾元光电这样的项目落地并非个例。近期，半导体产业多个项目取得进展，如全磊光电化合物半导体外延片/芯片研发及产业化项目一期工程顺利封顶，该项目对提升我国在化合物半导体领域的核心竞争力意义重大。而乾元光电液晶模组项目，同样将在显示模组细分领域发挥重要作用，为区域产业结构优化升级贡献力量。

王店镇相关负责人表示，后续将为项目提供全方位、高效率的服务，在要素保障、政策支持、营商环境优化等方面持续发力，推动项目早投产、早见效，携手企业共创辉煌未来。此次乾元光电液晶模组项目的落户，不仅是企业自身发展的重要一步，也将成为嘉兴秀洲区王店镇电子信息产业发展的新里程碑，助力区域在半导体及显示产业赛道上加速前行。

(来源：今日半导体)

## 天数智芯：半导体项目签约落户衢州



6月13日上午，衢州智造新城管委会与上海天数智芯半导体股份有限公司（以下简称：天数智芯）举行了一场备受瞩目的签约仪式。此次签约，标志着天数智芯算力模组、大模型一体机及区域总部（研发中心）项目正式落户衢州智造新城，这不仅是天数智芯拓展业务版图的重要一步，更为衢州半导体产业发展注入了全新动能。

天数智芯作为半导体领域的佼佼者，在技术研发和市场

拓展方面成绩斐然。此次将算力模组、大模型一体机及区域总部（研发中心）项目布局于衢州智造新城，是经过深思熟虑的战略选择。算力模组和大模型一体机是当前科技领域的关键技术产品，在人工智能、大数据等前沿领域有着广泛的应用前景。

对于天数智芯而言，衢州智造新城具备得天独厚的发展优势。这里拥有完善的产业配套设施、丰富的人才资源以及政府的大力支持。将区域总部和研发中心设立在此，有助于天数智芯更好地整合资源，加强技术创新，提升产品的市场竞争力。同时，这也为天数智芯进一步拓展市场、服务客户提供了更为便利的条件。

而对于衢州智造新城来说，天数智芯项目的落户是一次难得的发展机遇。半导体产业作为战略性新兴产业，对于推动区域经济高质量发展具有重要意义。天数智芯带来的先进技术和创新理念，将吸引更多相关企业和人才集聚，形成产业集群效应，带动衢州半导体产业的整体升级。此外，该项目的实施还将创造大量的就业机会，促进当地经济的繁荣发展。

在签约仪式上，双方均表达了对未来合作的美好愿景。衢州智造新城管委会将全力为天数智芯项目提供优质的服务和良好的发展环境，协助企业解决在项目建设和运营过程中遇到的问题。天数智芯也表示，将充分发挥自身优势，加快项目建设进度，为衢州半导体产业发展贡献力量。

可以预见，随着天数智芯项目在衢州智造新城的逐步推进，双方将实现互利共赢，共同书写半导体产业发展的新篇章。相信在不久的将来，衢州智造新城将成为半导体产业的新高地，天数智芯也将在这片沃土上实现更大的发展。

（来源：今日半导体）

## 越芯半导体集成电路先进测试基地成功结顶



6月7日上午，越芯半导体集成电路先进测试基地一期工程结顶仪式盛大举行。诸暨市政府领导、朗迅芯云股东及合作伙伴代表、公司管理骨干等一众领导嘉宾齐聚现场，共同见证了这一具有里程碑意义的时刻。

越芯半导体集成电路先进测试基地项目，是半导体领域的一项重点工程，对于推动区域集成电路产业发展、提升我国半导体测试技术水平具有重要意义。一期工程的顺利结顶，标志着项目建设取得了阶段性的重大成果。

在建设过程中，项目团队克服了诸多困难与挑战。他们面对复杂的工程技术难题，组织专业技术人员进行深入研究和反复试验，最终找到了科学合理的解决方案；在时间紧、任务重的情况下，合理安排施工进度，日夜奋战在一线，确保了工程按照预定计划稳步推进。

该先进测试基地一期工程的结顶，为后续的设备安装、调试以及正式投入使用奠定了坚实基础。未来，基地将配备一系列先进的测试设备和技术，能够为集成电路产品提供高精度、高效率的测试服务，满足市场对高质量半导体产品的需求。这不仅有助于提高越芯半导体在行业内的竞争力，也将吸引更多的企业和人才集聚，促进当地集成电路产业的集群化发展。

诸暨市政府领导在仪式上表示，越芯半导体集成电路先进测试基地的建设是诸暨市产业发展的重要战略布局。政府将继续加大对半导体产业的支持力度，为企业提供更优质的政策环境和服务保障，助力企业做大做强。

朗迅芯云股东及合作伙伴代表也对一期工程的结顶表示祝贺。他们认为，与越芯半导体的合作是基于对其技术实力和发展前景的高度认可。此次一期工程的顺利推进，更加坚定了他们合作的信心。未来，各方将进一步加强合作，实现互利共赢，共同推动半导体产业的繁荣发展。

越芯半导体公司管理骨干则表示，将继续秉持精益求精的态度，确保后续工程的高质量完成。他们将以更加饱满的热情和更加严谨的工作作风，投入到接下来的设备调试和运营准备工作中，争取让基地早日发挥效益，为我国半导体产业的自主可控发展贡献力量。

越芯半导体集成电路先进测试基地一期工程的喜封金顶，是半导体行业发展的一个重要节点。它不仅彰显了项目团队的卓越实力和拼搏精神，也预示着我国半导体产业在测试领域将迎来新的突破和发展。

(来源：今日半导体)

## 杭州芯通半导体封测项目，喜结金顶



杭州富春湾新城滨富合作区，一则产业利好消息引发广泛关注。近日获悉，坐落于此的杭州芯通半导体技术有限公司产业化项目喜结金顶，这一关键节点的达成，犹如一颗投入产业湖中的巨石，激起层层涟漪，不仅标志着项目建设取得重大阶段性成果，更推动滨富合作区集成电路产业链迈向新的完善高度，加速“富春芯城”产业地标崛起。

杭州芯通半导体技术有限公司作为专业深耕半导体封装测试领域的高科技企业，在行业内已崭露头角。其产业化项目的稳步推进，一直是滨富合作区产业发展的重要看点。

项目前期，浙江大学科创中心发挥强大科研优势，设立汽车模块的封测试验线。这一举措犹如为项目注入了科技“活水”，为后续的研发与生产提供了坚实的技术支撑。同时，在富春湾新城滨富合作区这片充满产业活力的土地上，一座占地达5万平方的封测园区正拔地而起。该项目总投资超10亿元，如此大规模的投入，彰显了企业对产业发展的坚定信心与宏伟愿景。

未来，杭州芯通半导体技术有限公司将面向相关领域开展产业化业务。随着项目的逐步落成与投产，它将成为滨富合作区集成电路产业链上的关键一环。一方面，将吸引更多上下游企业集聚，进一步完善产业链生态，形成产业集群效应，提升区域产业的整体竞争力。另一方面，也将为当地带来可观的经济效益和大量的就业机会，促进区域经济的蓬勃发展。

“富春芯城”作为滨富合作区重点打造的产业地标，承载着区域产业升级与创新发展的厚望。杭州芯通半导体技术有限公司产业化项目的喜结金顶，无疑是“富春芯城”建设进程中的重要里程碑。它为“富春芯城”的发展注入了新的动力，让这座产业新城的未来轮廓愈发清晰。

在全球半导体产业竞争日益激烈的当下，杭州芯通半导体技术有限公司产业化项目的顺利推进，不仅是滨富合作区产业发展的成果体现，更是我国半导体产业不断发展壮大的一个缩影。我们有理由相信，随着“富春芯城”产业地标的加速打造，滨富合作区将在半导体领域绽放更加耀眼的光芒，为我国半导体产业的发展贡献重要力量。

(来源：今日半导体)

## 嘉兴南湖：雷鸟光学智造工厂正式投产



6月28日，位于嘉兴南湖的「雷鸟光学智造工厂」正式投产。据雷鸟介绍，该工厂未来将负责光学仿真、光机模组设计、自动化设备等研发工作，预计年产能可达105万套光机模组。今年1月，该项目完成集中开工，目标完成年产120万颗Micro LED全彩光引擎光机。今年5月，雷鸟X3 Pro正式发布，为新一代双目全彩Micro-LED衍射光波导AR眼镜，搭载了Micro-LED光引擎萤火光引擎，并使用了RayNeo光波导技术。

据了解，RayNeo光波导通过光刻机在基底上进行雕刻实现，波导片在体积、视觉效果等多项关键指标上都有着显著提升。雷鸟表示，该项目的投产，表现了雷鸟的光学能力不只是技术领先，更开始深入制造。雷鸟将和上下游伙伴一起，参与到AR整机关键部件的定义和设计中，确保产品体验持续提升。

据悉，雷鸟创新作为一家拥有核心光学方案全链路自研及量产能力的AR企业，在Micro LED与光波导技术的结合上，投入了大量研发资源。公司率先解决Micro LED全彩难、量产难等关键技术问题，成功突破了行业普遍采用的单色（绿色）显示局限，于2023年实现了全球首款全彩Micro LED光机量产。

2024年8月，雷鸟创新与无锡市签署合作协议，在惠山经开区落地总投资10亿元的雷鸟XR整机研发制造总部项目。项目将打造XR整机研发中心、XR整机产线和元宇宙生态发展中心，预计2025年上半年一期可陆续完工投产。一期项目达产后，XR整机产品预估实现年产能约在35万台。预计5年内全面达产，达产后将实现年产100万台XR整机的生产能力，年产值将超20亿元。

（来源：今日半导体）

## 丽水中欣晶圆：举行12吋抛光片通线仪式

6月7日，浙江丽水中欣晶圆半导体材料有限公司举行12吋抛光片通线仪式，标志着丽水经开区正式量产全市首批12吋抛光片。这是丽水特色半导体产业在关键材料领域迈出的又一坚实步伐，是经开区推动产业转型升级、打造“万亩千亿”新产业平台的重要里程碑。

“这是值得纪念的一天！”贺贤汉说，“中欣晶圆项目从洽谈到落地再到生产，我们深刻感受到丽水市委、市



政府对企业无微不至的关怀，这样的营商环境让我们非常感动。”他相信在大家的共同努力下，中欣晶圆一定能够在丽水创造出一个半导体产业园的奇迹。

仪式最后，中欣晶圆在丽水生产的首批 12 吋抛光片被缓缓推出生产车间，丽水市副市长周和平与日本磁性技术控股股份有限公司代表取缔役社长、FerroTec（中国）董事局主席贺贤汉共同为其揭幕，标志着浙江丽水中欣晶圆 12 吋抛光片顺利通线。中欣晶圆外延与抛光项目的顺利落地，在丽水形成了产业集聚效应。

浙江丽水中欣晶圆半导体材料有限公司于 2022 年成立，2023 年 6 月桩基动工，同年 12 月 31 日举行封顶仪式。2024 年 12 月 9 日第一根 12 吋完美单晶的成功下线。如今 12 吋抛光片的成功通线，可持续为中国半导体行业的长远发展添砖加瓦，助力硅材料的“中国智造”！

（来源：中欣晶圆、丽水经济技术开发区）

## 斯达功率器件全球制造总部项目落地南湖区



6月18日上午，南湖区上市链主企业深耕嘉兴重大项目签约仪式举行，标志着斯达功率器件全球制造总部项目、卫星化学高性能催化新材料项目正式落地。市委书记陈伟，副市长戴锋出席仪式并见证签约。

重大项目是稳定经济增长的“压舱石”、推动高质量发展的“强引擎”。此次签约的两个项目，充分体现了本

地上市链主企业扎根南湖、深耕嘉兴的信心和决心，符合科技创新和产业创新深度融合要求，契合新质生产力培育发展方向，具有科技含量高、带动能力强、发展后劲足等特点。其中，卫星集团 2024 年营业收入超千亿、利税超百亿，净利润位列浙江民营 A 股上市公司第一位。作为南湖链主头部企业，近年来，卫星集团先后落地卫星全球营销中心、30 万吨高吸收性树脂项目。此次签约的卫星化学高性能催化新材料项目总投资约 30 亿元，将依托企业技术优势，打造高性能催化剂产业化落地、高端新材料集群化发展的一体化产研平台。斯达功率器件全球制造总部项目，是斯达半导体股份有限公司在南湖区先后落地高压特色工艺功率芯片、SiC 芯片研发及产业化等重大项目后，聚焦车规和高端功率芯片、封装的研发和制造，加速推进高端化智造、全球化布局、生态化协同的又一举措。

服务好本土优质企业增资扩产，是招商引资的重要一环。卫星集团是全球前二、国内第一的丙烯酸生产企业，斯达是国内功率半导体行业龙头。一直以来，两家企业与嘉兴携手共进、同频共振，一路拼搏奋斗，一路相伴成长，为培育壮大先进制造业集群、加快建设智造创新强市作出了突出贡献。接下来，市区两级将以新项目签约为契机，一如既往地提供最优质、最高效、最精准的政务服务，全力保障项目的顺利推进，力争实现早开工、早建设、早投产、早见效。

(来源：嘉兴发布)

## 朗讯科技：正式启动 A 股上市进程

6 月 4 日，杭州集成电路测试综合服务商朗讯科技在浙江证监局办理辅导备案登记，正式启动 A 股上市进程，辅导机构为广发证券。



全国一体化在线政务服务平台

中国证券监督管理委员会网上办事服务平台（试运行）

### 公开发行业辅导公示

北京	天津
河北	山西
内蒙古	辽宁
吉林	黑龙江
上海	江苏
浙江	安徽
福建	江西

辅导对象	辅导机构	备案时间	辅导状态	派出机构	报告类型	报告标题
杭州朗讯科技股份有限公司	广发证券股份有限公司	2025-06-04	辅导备案	浙江证监局	辅导备案报告	关于杭州朗讯科技...
江苏永成汽车零部件股份有限公司	东吴证券股份有限公司	2025-06-04	辅导备案	江苏证监局	辅导备案报告	关于江苏永成汽车...
江苏辛巴新材料科技股份有限公司	开源证券股份有限公司	2025-06-04	辅导备案	江苏证监局	辅导备案报告	关于江苏辛巴新材...
长虹塑料集团英派瑞塑料股份有限公司	国元证券股份有限公司	2025-06-03	辅导备案	安徽证监局	辅导备案报告	关于长虹塑料集团...

朗讯科技成立于 2010 年 5 月，注册资本为 4292 万元。其法定代表人、控股股东是朗讯科技董事长、总经理徐振，直接持股 23.15%。

根据官网介绍，朗讯科技由海外留学归国学者创立于 2010 年，是国内领先的集成电路测试综合服务商，专注于集成电路领域研发、高端芯片全流程测试服务及产业人才生态建设，拥有超过 260 项知识产权，日测超 100 万颗高端芯片，团队规模超 2300 人。

辅导对象	杭州朗迅科技股份有限公司		
成立日期	2010年5月14日		
注册资本	人民币4,292.156万元	法定代表人	徐振
注册地址	浙江省杭州市滨江区六和路368号1幢(南)5楼E5029室		
控股股东及持股比例	公司控股股东为徐振,直接持有公司993.7296万股,占比23.15%。		
行业分类	C39计算机、通信和其他电子设备制造业	在其他交易场所(申请)挂牌或上市的情况	无
备注	无		

创芯引领

15年 成立    260+ 知识产权    100万+ 高端芯片日测数量    900所+ 合作单位    2300人+ 公司规模



融资历程

[股东信息 >](#)

- 2022-07-26 ● 融资 数亿元  
C轮 相关新闻 > 毅达资本、广发证券、浙江东翰、瑞芯投资、和丰创投、浙商创投、上海自贸区基金
- 2022-02-22 ● 博通集成、天堂硅谷、湖畔宏盛  
股权融资 股权变更
- 2021-12-03 ● 显盛投资、高新金投集团、天问时代基金、杭州芯火  
战略融资
- 2019-10-11 ● 六和桥创投、绿地吉客网  
战略融资

芯云半导体

XINYUN GROUP



该公司曾承担国家重点研发计划,是国家级高新技术企业、专精特新重点"小巨人"企业、浙江省科技小巨人企业,设有省企业研究院、省市两级高新技术企业研究开发中心、院士工作站。

朗迅科技为半导体产业客户提供端到端的 ATE 测试服务,包括晶圆测试(Circuit Probe Test)、成品测试(Final Test),老化测试(Burn-In Test)和系统级测试(System Level Test)等,同时为客户提供 ATE 软硬件开发、工程实验室、研发实验室运营科技创新平台。

其已在全国多地建设投产高端测试基地、公共测试服务平台和实验室及研发中心,自研建设了先进的 IT 化、自动化的产线体系及严格的质量全生命周期管理生产体系,测试产品覆盖智能终端、核心算力、人工智能(AI)、车载、通讯等主流科技芯片领域。

企业信息查询平台企查查显示,朗迅科技曾经历四轮公开融资。

芯云半导体是朗迅科技的子公司。

朗迅科技为高校、产业、企业等提供一体化集成电路产业人才生态建设解决方案,已与全国 800 余所高校建立合作。

(来源:芯东西)

## 力积存储：赴港IPO，猛攻HBM量产，供货国产AI芯片和CPU

### Zhejiang Zentel Memory Technology Co., Ltd.\*

#### 浙江力積存儲科技股份有限公司

(於中華人民共和國註冊成立的股份有限公司)

[編纂]

[編纂]項下的[編纂]數目：[編纂]股H股(視乎[編纂]行使與否而定)

香港[編纂]數目：[編纂]股H股(可予重新分配)

[編纂]數目：[編纂]股H股(可予重新分配及視乎[編纂]獲行使與否而定)

[編纂]：每股H股[編纂]港元，另加1.0%經紀佣金、0.0027%證監會交易徵費、0.00015%會財局交易徵費及0.00565%聯交所交易費(須於[編纂]時以港元繳足，多繳款項可予退還)

面值：每股H股人民幣1.00元

[編纂]：[編纂]

獨家保薦人：[編纂]、[編纂]、[編纂]及[編纂]



积存储在全球利基 DRAM 市场的中国内地公司中排名第四。其 DDR3 产品占据中国内地电信运营商 WiFi6 & GPON 市场相当可观的市场份额。

IPO 文件显示，力积存储是中国 AI 存算行业的先行者，掌握了 WoW 3D 异构集成核心技术，在积极推进并力争成为率先实现高带宽内存（HBM）产品量产的中国内地公司之一，AI 存算用内存产品的客户包括中国 AI 算力芯片公司江原科技、一家中国高性能异构 AI 算力芯片公司和一家中国 CPU 龙头。

该公司正在开发大型 AI 存算解决方案，以满足超大规模数据中心和超大规模 AI 训练集群的需求，下一代产品预计可提供 18GB 的容量及 57.6TB/s 的带宽，同时维持出色的随机存取 <1pJ/bit 及页面存取 <0.5pJ/bit 的电源效率。

其内存产品已迅速扩展各个领域，包括机器人、智能音箱、Wi-Fi、安防应用、个人计算机工作站、服务器、汽车电子、能源与工业控制系统，成为联想开天等国内领先的计算机及服务器制造商的供应商。

#### 01、创始人是龙芯中科创始人的哥哥，技术人员大多来自日韩存储芯片企业

力积存储的历史可追溯至 2020 年，彼时其创始人、控股股东应伟认识到 DRAM 的潜力，并收购 Zentel Japan 的大部分股权。

Zentel Japan 成立于 2003 年 9 月，已开发出一系列内存产品，包括 110nm、90nm、70nm、63nm、38nm 及 25nm 产品，均由世界顶尖晶圆代工厂之一的力积电制造。以 Zentel Japan 所累积的经验为基础，力积存储已成为国内为数不多拥有从 SDR 到 DDR4 完整内存产品迭代的内存设计公司之一。

力积存储刚成立时，由天津灏鑫、龙芯中科分别持股 95%、5%。龙芯中科为国产 CPU 龙头企业，其创始人胡

5月28日，浙江存储芯片设计公司及 AI 存算解决方案供应商力积存储递表港交所。

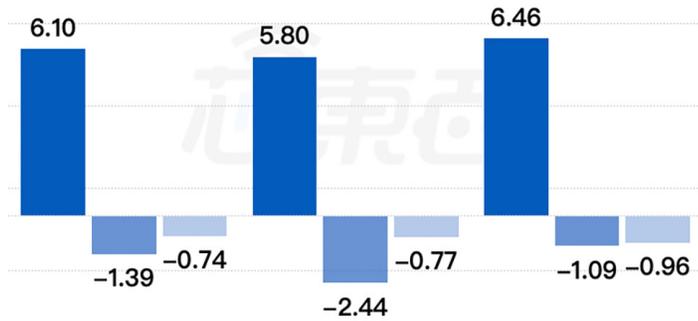
力积存储成立于 2020 年 3 月，注册资本为 1000 万元，是国内少数几家开发出高带宽 3D 堆叠内存技术的公司之一，拥有 DRAM 及存算产品的自主研发技术，并将 AI 存算解决方案视作未来核心竞争力。

2024 年，力积存储售出超过 1 亿颗内存芯片（包括模块及晶圆内含有的芯片），年收入达 6.46 亿元，入选国家级专精特新“小巨人”企业。

根据弗若斯特沙利文的资料，按 2024 年利基 DRAM 收入计，力

## 力积存储营收、年内利润、研发支出变化 (单位: 亿元)

■ 营收 ■ 年内利润 ■ 研发支出



	截至12月31日止年度					
	2022年		2023年		2024年	
	人民币千元	毛利/ (毛损)率(%)	人民币千元	毛利率(%)	人民币千元	毛利率(%)
内存芯片.....	44,088	8.2	40,142	8.3	67,900	14.9
内存模组.....	14	5.9	5,253	11.1	11,949	8.7
内存KGD晶圆.....	9,390	16.7	3,675	7.8	3,945	7.3
其他.....	13,770	85.9	1,818	100.0	515	100.0
毛利(未扣除存货减值 虧損前).....	67,262	11.0	50,888	8.8	84,309	13.0
毛利/(毛損).....	(13,079)	(2.1)	21,204	3.7	60,283	9.3

	截至12月31日止年度			
	2022年	2023年	2024年	
	人民币千元	人民币千元	人民币千元	
已售芯片(包括模组及晶圆内含有的 芯片)数量(百萬).....		74.4	112.5	101.5
已售總存储容量(百萬GB).....		13.8	29.3	34.2

	截至12月31日止年度					
	2022年		2023年		2024年	
	人民币千元	估收入的 百分比(%)	人民币千元	估收入的 百分比(%)	人民币千元	估收入的 百分比(%)
内存芯片....	537,283	88.2	484,164	83.5	454,391	70.2
内存模组....	238	0.0	47,283	8.1	137,467	21.3
内存KGD						
晶圆.....	56,302	9.2	47,081	8.1	54,028	8.4
其他.....	16,028	2.6	1,818	0.3	515	0.1
總計.....	<u>609,851</u>	<u>100.0</u>	<u>580,346</u>	<u>100.0</u>	<u>646,401</u>	<u>100.0</u>

	截至12月31日		
	2022年	2023年	2024年
	(人民币千元)		
非流动資產.....	190,862	115,750	120,123
流动資產.....	291,832	332,178	316,368
資產總值.....	482,694	447,928	436,491
非流动負債.....	6,270	9,258	8,999
流动負債.....	271,484	305,599	375,576
負債總額.....	277,754	314,857	384,575
淨流动資產/(負債).....	20,348	26,579	(59,208)
資產淨值.....	204,940	133,071	51,916
非控股權益.....	16,324	4,952	-

伟武是应伟的弟弟。

应伟现任力积存储的董事会主席兼非执行董事。目前,应伟、Advance Faith Investing Limited、游猎资本有限公司、宁波游猎、宁波鹰溪、杭州鼎辕、田垣力积、鹰溪一号、杭州鹰溪、鹰溪四号、鹰溪五号及 Eaglestream Partners 是力积存储的控股股东。

力积存储的管理层及核心团队拥有深厚的行业经验和丰富的技术积累:

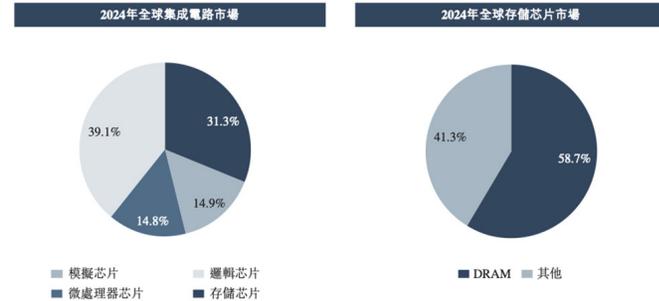
- 执行董事兼总经理于晓,曾在西安紫光国芯担任高级副总裁,副主席兼执行董事林国雄,曾担任力积电子股份有限公司及爱普科技股份有限公司的副总裁;
- 杭州研发部门负责人金峻虎,曾于SK海力士、英飞凌、济州半导体和华邦电子负责监督DRAM的设计和营销,拥有约30年的DRAM设计和管理经验;
- 日本研发中心总监久保贵志,曾在三菱电机和瑞萨电子担任高级工程师,拥有超过25年的DRAM研发经验。

该公司核心技术人员大多来自SK海力士等知名半导体企业。截至2024年12月31日,其研发部门由73名成员组成,占总员工人数的约53.3%,其中杭州研发团队有52名成员,由来自韩国的核心专家领导,专注于开发标准化内存芯片产品;日本研发团队由11名成员组成,专注于定制内存产品和堆叠结构产品(如高带宽内存)。力积存储拥有国际化的研发中心,并在客户集中的区域建立销售和工程支持,已在日本、欧洲等多个主要海外市场布局销售网络。截至最后实际可行日期,力积存储已注册专利69项(包括中国的60项及日本的9项),并在中国注册集成电路布图设计11项。

## 02、三年累计收入18亿,售出2.88亿颗芯片

2022年、2023年、2024年,力积存储的收入分别为6.10亿元、5.80亿元、6.46亿元,年内净亏损分别为1.39亿元、2.44亿元、1.09亿元,毛利率分别为-2.1%、3.7%、9.3%,研发开支分别

	截至12月31日止年度					
	2022年		2023年		2024年	
	销量 (千GB)	平均售價 (每GB 人民幣元)	销量 (千GB)	平均售價 (每GB 人民幣元)	销量 (千GB)	平均售價 (每GB 人民幣元)
內存芯片 . . . . .	12,568.3	42.7	24,426.5	19.8	25,028.2	18.2
內存模組 . . . . .	20.0	11.9	3,012.6	15.7	7,246.1	19.0
內存KGD晶圓 . . . . .	1,207.9	46.6	1,893.2	24.9	1,900.3	28.4



資料來源：世界半導體貿易統計組織、弗若斯特沙利文報告

进一步强化产品测试能力，还计划进一步开拓产业链中的封装测试产能，并适时通过投资并购等方式扩充现有的业务体系，确保稳定高效的产能供应。

### 03、手握四大产品线，寻求并购整合机会

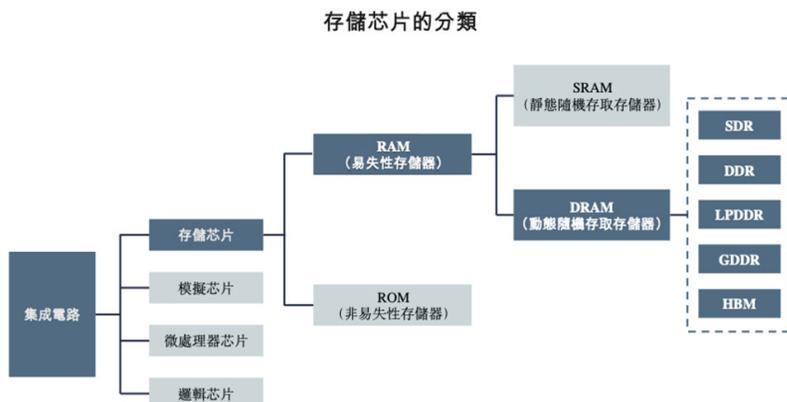
力积存储的核心竞争力在于半导体设计，主要产品包括内存芯片、内存模组、内存KGD晶圆以及AI存算解决方案。

(1) 内存芯片：商业级内存芯片主要应用于消费电子和网络通信（如机器人、智能音响及Wi-Fi设备等），工业级内存芯片则专为更高要求的工业控制应用服务，尤其能够满足极低温环境下的可靠性要求，确保在极端使用条件下的稳定性和长寿命。

(2) 内存模组：由存储芯片颗粒与PCB主板经过精密封装工艺整合而成，广泛应用于高端运算产品，如行业级PC和企业级服务器等。

(3) 内存KGD晶圆：主要为SoC厂商提供定制化内存KGD（已知合格芯片）晶圆。在芯片设计阶段，力积存储针对客户需求进行精准的晶圆测试，并将合格的晶圆交付给下游厂商用于后续封装加工。

(4) AI存算解决方案：涵盖AI存算用存储芯片、AI存算用高带宽WoW 3D堆叠产品、以及AI存算用新型存储器周边产品及服务，可广泛应用于AI推理、边缘计算、智能驾驶等前沿领域，预计可有效缓解数据密集型AI应用的存储瓶颈，尤其是在边缘运算和AI推理等场景中，提升计算效率和存算一体化性能。



資料來源：中國科學院半導體研究所、弗若斯特沙利文報告

为7402.9万元、7724.2万元、9576.2万元。

2023年净亏损增加，主要是由于年内产生大量股份支付费用。其毛利率一直承受原材料成本及库存管理的压力，由2022年的2.1%毛损率改善至2024年的毛利率9.3%。

随着DRAM与AI存算相关行业近期发展，力积存储主要产品的销售收入与销量均整体上升，过去三年，售出总计2.88亿颗芯片，总存储容量共7730万GB。

其中，DRAM芯片销售所产生的收益分别为5.37亿元、4.84亿元、4.54亿元。

同期，力积存储的经营现金流出净额持续收窄。2024年，其经营活动所用现金净额为1820万元，流动负债净额为5920万元，库存为1.53亿元。

力积存储已在浙江金华拥有测试工厂，并计划进一步

当前力积存储正在开发的AI存算解决方案包括：1) 高带宽3D堆叠内存芯片；2) 用于AI应用的以存取为中心的高带宽内存芯片；3) 用于先进封装的硅中介层。

各类产品线的销量（以GB计）及每GB平均售价如下：

力积存储计划逐步提升产业链整合的能力，寻求产业链相关的投资机会。

该公司希望寻求内存处理具有领先技术优势或商业化场景落地的公司，通过并

购，加快推进在高带宽内存领域的布局，通过内部研究与外部投资整合来加快 AI 算力一体产品开发及应用创新。

#### 04、全球利基 DRAM 市场，排名国内第四

2024 年，全球集成电路市场规模达 38065 亿元。其中，存储芯片市场规模为 11897 亿元，占集成电路市场的 31.3%，成为仅次于逻辑芯片的第二大细分领域。按营收市场份额计算，DRAM（动态随机存取存储器）在全球存储芯片市场中占据主导地位，2024 年市场规模达 6979 亿元，使其成为存储芯片市场最大的细分市场，占 58.7% 的

	產品	應用	價格	特點
主流 DRAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>HBM</li> <li>GDDR</li> <li>DDR5</li> <li>DDR4 (超過 8Gb)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>伺服器</li> <li>個人電腦</li> <li>智能手機</li> <li>其他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>價格高，波動性較高</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能</li> <li>產品標準化程度高</li> <li>下游市場高度集中</li> <li>週期性波動高</li> <li>技術迭代快</li> </ul>
利基 DRAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>DDR4 (8Gb 及以下)</li> <li>DDR3</li> <li>DDR2</li> <li>DDR1</li> <li>SDR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>電視機頂盒</li> <li>智能家電</li> <li>機器人</li> <li>網路通訊</li> <li>工業控制系統</li> <li>汽車電子</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>價格低，波動性較低</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性價比</li> <li>存在產品定制化需求</li> <li>下游市場高度分散</li> <li>週期性波動溫和</li> <li>技術相對成熟</li> </ul>

資料來源：弗若斯特沙利文

	64Mb	128Mb	256Mb	512Mb	1Gb	2Gb	4Gb	8Gb
DDR4							1.2V x8/x16 2400/2666/ 3200 Mbps	1.2V x8/x16 2666/3200 Mbps
DDR3					1.35/1.5V x8/x16 1600/1866 Mbps	1.35/1.5V x8/x16 1866/2133 Mbps	1.35/1.5V x8/x16 1866/2133 Mbps	1.35V x8/x16 1600/1866 Mbps
DDR2		1.1V/1.8V x16 1066 Mbps	1.8V x16 1066 Mbps	1.8V x8/x16 1066 Mbps	1.8V x8/x16 1066 Mbps	1.8V x8/x16 1066 Mbps		
DDR1		2.5V x16 400 Mbps	2.5V x16 400 Mbps	2.5V x16 400 Mbps				
SDR	3.3V x16 166 MHz	3.3V x16 166 MHz	3.3V x16 200 MHz					

份額。

DRAM 是一种使用电容存储数据的随机存取存储器（RAM），需要定期刷新以保持数据完整性，成本相对较低且集成度较高。其市场供应侧高度集中，三家头部海外厂商占据约 95% 市场份额，而中国企业仅占极小比例。

DRAM 市场可分为主流和利基型市场。目前市场上的主流型 DRAM 产品为容量 8Gb 以上的 DDR4 以及后代 DRAM。容量 8Gb 及以下的 DDR4 和前代 DRAM 则被视为利基 DRAM。

力积存储专注于利基 DRAM 市场，目前包括 8Gb DDR4 及更早代际的产品，为多种应用提供完整的定制化存储

解决方案。

2024 年全球利基 DRAM 市場中國內地廠商排名 (按營收計算)<sup>(5)</sup>

排名	公司	商業模式	基於全球利基 DRAM 市場的市場份額	基於中國內地廠商所產生總收入的市場份額
1 . . . . .	公司 A <sup>(1)</sup>	無晶圓廠	2.7%	35.5%
2 . . . . .	公司 B <sup>(2)</sup>	無晶圓廠	1.8%	24.4%
3 . . . . .	公司 C <sup>(3)</sup>	無晶圓廠	1.2%	15.6%
4 . . . . .	本公司 <sup>(3)</sup>	無晶圓廠	0.8%	11.3%
5 . . . . .	公司 D <sup>(4)</sup>	整合器件製造	0.5%	6.7%

資料來源：專家訪談、弗若斯特沙利文

附註：

- <sup>(1)</sup> 公司 A 為上市公司，創立於 2005 年，總部位於中國北京。該公司的主要產品包括計算芯片、存儲芯片（利基 DRAM、SRAM 及 Flash）、模擬與互聯芯片等，廣泛應用於汽車電子、工業醫療、通訊設備及消費電子等領域。
- <sup>(2)</sup> 公司 B 為上市公司，成立於 2005 年，總部位於中國北京。該公司的主要產品包括利基 DRAM、Flash、微控制器及傳感器等，廣泛應用於工業、汽車、消費電子及物聯網等領域。
- <sup>(3)</sup> 公司 C 為私人公司，創立於 2006 年，總部位於中國陝西省。該公司的主要業務為利基 DRAM 產品的設計與銷售。其產品廣泛應用於通訊、消費電子、工業控制、汽車電子等領域。
- <sup>(4)</sup> 公司 D 為私人公司，成立於 2016 年，總部位於中國福建省。其為一家專注於 DRAM 研發與製造的先進集成電路企業。其產品廣泛應用於通訊、消費電子、工業控制等領域。
- <sup>(5)</sup> 僅計入整合器件製造廠商自有品牌利基 DRAM 產生的收入，來自其代工業務的收入不納入統計範圍。

2024 年，全球利基 DRAM 市场规模达到人民币 596 亿元，以收入计算，力积存储 2024 年的市场份额为 0.8%。2024 年，中国内地厂商合计实现收入 45 亿元，占全球市场总额的 7.6%。就中国内地厂商的合计收入而言，力积存储排名第四，市场份额为 11.3%。

主流 DRAM 市场由前三大韩国及美国厂商主导，极少数中国内地与台湾厂商实现了技术突破并实现商业化。此类产品具有大容量、高传输速率的特点，主要应用于智能手机、个人电脑、服务器等大规模标准化电子设备。其市场特征表现为标准程度高、市场规模庞大、下游应用集中、周期性显著且技术迭代迅速。

相比之下，利基 DRAM 与主流产品相比性能要求不那么严格，依赖成熟工艺技术，市场规模较小，更注重产品的定制化、更优的性价比、长生命周期支持和可靠性，在满足消费电子、汽车、通讯、工

业应用、医疗设备等行业的多样化需求中扮演关键角色，市场波动比整体 DRAM 市场（尤其是主流 DRAM 市场）更为温和。

中国是全球利基 DRAM 市场中最大的市场，占全球市场的 60% 以上。目前，国际领先企业正逐步退出利基 DRAM 市场，未来竞争环境有望改善。

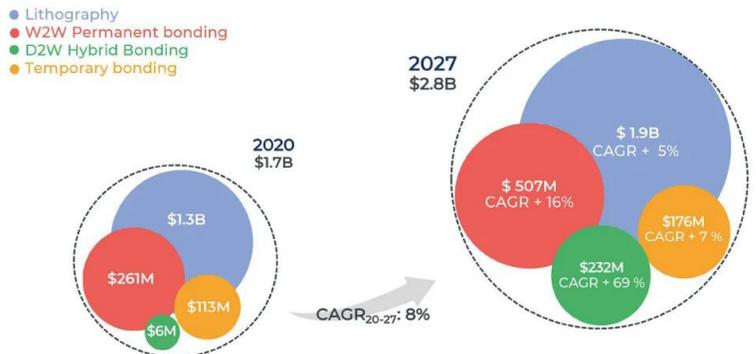
利基 DRAM 市场主要特征为需求差异化，来自韩国和美国的前三大厂商仍占据总市场份额的约 70%，同时中国台湾的多家厂商表现活跃，中国内地厂商正通过聚焦低容量消费电子、汽车、通讯及工业控制等细分市场提升市场份额。

(来源：芯东西)

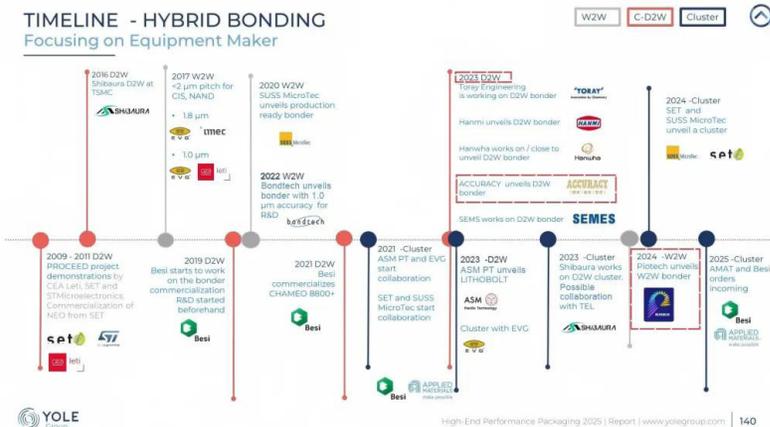
## Yole 2025: 国产混合键合设备上榜

### 2020-2027 EQUIPMENT MARKET FORECAST FOR MORE-THAN-MOORE

Source: Lithography and Bonding Equipment 2022 - Focus More Than Moore report, Yole Intelligence, 2022



### TIMELINE - HYBRID BONDING Focusing on Equipment Maker



在半导体先进封装技术加速迭代的背景下，国产 D2W 混合键合设备首次被 Yole Group 《High-End Performance Packaging 2025》报告收录。

NEO 指出，新推出的 3D X-DRAM 1T1C 和 3T0C 是一种变革性解决方案，旨在为最苛刻的数据应用提供前所未有的密度、功率效率和可扩展性。

### Yole 报告收录，亿级市场空间

混合键合技术是从焊料凸块转向铜-铜直接键合的先进互连工艺，通过无凸点键合实现纳米级精度互联，解决传统微凸点技术在高密度封装中的瓶颈问题。

根据 Yole 公开数据显示，2020 全球混合键合设备市场规模达 3.2 亿美元，预计 2027 年 CoW(D2W)/WoW(W2W) 市场规模将分别攀升至 2.3 亿 /5.1 亿美元，CAGR 高达 69%/16%，凸显该领域强劲增长潜力。

### 混合键合设备供应商

在混合键合设备领域，长期由 EVG、Besi 等国际巨头主导市场格局。Yole Group 最新报告首次收录 2023 年发布 D2W（芯片到晶圆）混合键合设备的艾科瑞思 (ACCURACY)，使其成为该报告中首个被收录的中国 D2W 设备供应商；2024 年发布 W2W（晶圆到晶圆）混合键合设备的拓荆科技 (Piotech) 亦被同步收录。这一进展反应中国半

图66：2028年预计采用混合键合的HBM占比将达到36%



导体设备产业在高端封装领域实现技术突破，具备与国际厂商同台竞技的实力。

### 国际巨头加速布局 中国设备迎头赶上

随着 AI 算力需求爆发对高密度封装的需求增加，混合键合在 HBM、3D IC 等高端封装场景的渗透率持续提升。以 HBM 市场应用为例，据国泰证券引用 Yole 数据，2028 年混合键合在 HBM 市场渗透率将从 2025 年的 1% 跃升至 36%。

#### 国际巨头混合键合领域布局：

三星：2025 年 2 月与长江存储签署混合键合专利许可协议，计划在 2025 年下半年量产下一代 V10 NAND 闪存，采用长江存储的 W2W 混合键合技术实现 420-430 层堆叠，规避专利风险并提升可靠性。

美光：2025 年 4 月成立专门的 HBM 业务部门，加速推进 HBM4 量产计划，预计 2026 年推出采用混合键合技术的 HBM4 产品，并在 2027-2028 年量产 HBM4E，带宽较 HBM3E 提高 60% 以上。

SK 海力士：计划 2026 年将混合键合技术引入 HBM4 生产流程，针对 20 层以上的 HBM5，已明确采用混合键合技术，并联合设备厂商开发适配 400 层以上 NAND 产品的键合方案。

台积电与英特尔：台积电 N2 节点支持 12 层 HBM4 集成，N2P 节点互连密度达 1000 万 /mm<sup>2</sup>，将配套混合键合封装；英特尔在 CoW 领域实现 3μm 间距突破，计划在 A20 工艺应用；

设备厂商：应用材料于 2025 年 4 月收购混合键合 D2W 领头羊 Besi 9% 股份，旨在强化在混合键合设备领域的合作。

在此背景下，中国封装设备企业的技术突破为全球半导体封装产业链提供了多元化的设备选项，推动行业在高密度互连领域的技术竞争向更开放的格局演进。

(来源：芯榜)

## 国产模拟芯片，崛起前夜



1958年，美国德州仪器（TI）的工程师杰克·基尔比成功发明世界上第一块集成电路，这一伟大创举为TI日后成为模拟芯片行业巨头奠定了坚实基础。2011年，TI更是斥资65亿美元并购国家半导体，此次收购不仅吸纳了5000名员工，还收获了“一个极好的开发团队”。同年，TI在模拟市场的份额便超越排名第二的意法半导体（ST），占据全球模拟市场份额的15.4%。

与数字电路相比，模拟电路设计对工程师的经验要求极高，工程师需要深入熟悉大部分元器件的电特性和物理特性。顶尖的模拟设计工程师往往在模拟领域拥有20到30年的丰富经验，这使得模拟芯片行业形成了极高的人才和技术壁垒。

随着中国经济转型的核心驱动力从“人口红利”向“工程师红利”转变，中国制造业也由此从传统的“制造”模式迈向创新“创造”阶段。而模拟芯片行业，正是最能体现“工程师红利”的领域之一。在此时代背景下，近年来国产模拟芯片迎来了快速发展，逐渐在市场上崭露头角。

### 01 什么是模拟芯片？

集成电路主要可分为数字IC和模拟IC两大类。模拟集成电路是由电阻、电容、晶体管等元器件组成，专门用于处理以连续函数形式呈现的模拟信号。在现实世界中，声音、光线、温度、压力等信息经过传感器处理后，会转化为模拟信号，其幅度会随时间连续变化。模拟芯片种类丰富多样，几乎在所有电子产品中都不可或缺，广泛应用于消费电子、汽车、工业、5G等众多领域。与之相对的数字集成电路，则主要负责对离散的数字信号（0和1）进行存储和逻辑运算。

按照定制化程度划分，模拟芯片可以分为专用型芯片（ASSP）和通用型芯片。据IDC数据，专用型芯片占据模拟芯片市场5成左右。根据IDC数据显示，专用型芯片占据模拟芯片市场约50%的份额。专用型芯片具有高度定制化特点，需要依据客户需求以及特定电子系统对产品的参数、性能、尺寸进行特殊设计。相较于通用型模拟IC，专用型芯片不仅设计壁垒高，而且毛利率也更为可观。专用型模拟芯片通常按照下游应用领域进行划分，涵盖通信、消费电子、汽车、工业等多个领域，每个领域又可进一步细分出线性产品、电源管理产品、接口产品等。以射频前端模块为代表的射频器件，就是典型的专用型模拟IC，在专用芯片中占比较高。通用型芯片属于标准化产品，适用于各类电子系统，产品生命周期较长。其设计壁垒相对较低，但细分品类繁多，不同厂家产品的可替代性强，客户

群体也较为分散。

从应用层面划分，模拟芯片可分为信号链路和电源管理两大类。其中，电源管理芯片的市场规模大于通用信号链路芯片。信号链路是指系统中信号从输入到输出的完整路径，主要功能是对模拟信号进行收发、转换、放大、过滤等处理。信号链模拟芯片主要包括线性产品、转换器、接口、隔离器、RF 与微波等。一条完整的信号链，是将自然界中的声、光、电等连续信息，通过传感器采集、放大缩小滤波等处理、模拟 / 数字转换（ADC）变为数字信号，经微处理器系统处理后，再通过数字 / 模拟转换（DAC）输出模拟信号的全过程。在这其中，ADC（模数转换器）因其重要性和技术难度，被誉为“皇冠上的明珠”。

电源管理芯片市场规模更为庞大，主要包括 AC/DC、DC/DC、电池管理、驱动芯片等。由于电子产品各部分正常工作所需电压各不相同，电源管理芯片能够对电池输出的固定电压进行升降压、稳压处理，使其达到各个模块所需的期望电压值，从而满足供电需求。根据不同的应用场景，电源芯片既可以单独使用，也能与外部电子元器件组合成模块，实现电源转换功能。

## 02 模拟芯片难在哪里？

世界半导体贸易统计组织（WSTS）在 2024 年秋季更新的数据显示，预计 2024 年全球模拟 IC 销售额约为 794.33 亿美元，折合人民币接近 6000 亿元。有机构预测，中国模拟市场规模大约在 3000 亿元左右，几乎占据全球模拟芯片市场的半壁江山。然而长期以来，全球模拟芯片市场一直被德州仪器（TI）、亚德诺（ADI）等国际行业巨头牢牢把控。国内厂商大多只能在中低端市场艰难发展。那么，模拟芯片究竟难在哪里？

首先，模拟芯片品类极为丰富，应用场景高度碎片化。以国际巨头 TI 为例，其拥有数万种产品型号，几乎能够覆盖所有应用场景。龙头企业凭借“平台型”产品战略，能够满足客户多样化、一站式的采购需求，从而极大地增强客户粘性。作为后进入市场的参与者，想要满足客户的多样化需求并非易事，唯有不断推出新产品，快速响应下游市场的迭代更新需求。特别是在新能源汽车、AI 等快速发展变化的领域，谁能率先推出符合性能要求且通过验证的新产品，谁就能抢占市场先机。

其次，模拟芯片研发周期漫长，人才壁垒显著。数字芯片基于简单的逻辑 0 和 1，大部分人员相对容易入门。而模拟芯片以硬件为基础，涉及电路物理和化学材料特性，理解难度大，且存在可靠性问题，因此需要大量的经验积累。这意味着培养优秀的模拟芯片工程师和研发人员需要耗费较长时间，对于后发企业来说挑战巨大。虽然模拟芯片不依赖先进制程技术，但严重依赖研发经验的长期积累，这导致模拟芯片开发速度缓慢，一般新产品的开发周期约为 2 年，技术难度高的产品开发时间则更久。

有业内人士指出，“国产模拟芯片企业若想走向‘引领’，必须具备技术突破与高端产品研发能力、产业链协同与生态构建能力、差异化竞争与国际化布局能力，以及人才与管理能力这四大核心能力。”

## 03 国产模拟芯片频频实现技术突破

近年来，我国在模拟芯片领域不断取得技术突破，尤其是在 ADC（模数转换器）领域成绩斐然。长期以来，高速 ADC 市场几乎被 TI、ADI、Maxim 三家公司垄断，占据国内市场超过 95% 的份额。同时，美国的出口管制清单中也包含了部分高分辨率、高速 ADC 产品，例如采样速率 400MSPS 以上的 12 - 14bits ADC。随着国产化需求的日益迫切，国内众多企业积极攻克 ADC 领域的技术难题，推出了一系列可对标海外巨头的产品。

迅芯微电子的高速 ADC 产品表现出色，采样率涵盖 2GSPS、10GSPS，最高可达 30GSPS，精度在 6bits - 8bits 之间。今年，海思推出的 SAR ADC——AC9610，直接对标 ADI 的高端产品 AD4630 - 24，在采样率达到 2MSPS 的情况下，采样精度高达 24bit。成都华微推出的 HWD12B16GA4 更是突破技术极限，实现了 12 位 16GSPS 的超高指标，几乎代表了商业 ADC 技术的最高性能水平。

在超高速 ADC 领域，速度和分辨率往往相互制约。采样率越高，维持高位分辨率就越困难，这主要受制于模拟

带宽、噪声、线性度等因素。12位在16GSPS下是一个兼顾性能与实用性的绝佳平衡点，通常更高分辨率（如14位、16位）的ADC，其采样率会远低于16GSPS。因此，12位/16GSPS的组合成为高速系统追求高动态范围的关键指标。

华为海思的AC9610芯片性能超越欧美同类产品，精度达到24位，采样率高达2M，有望在雷达、医疗器械等高端设备领域广泛应用。随着国内半导体产业的蓬勃发展以及国产替代需求的强劲推动，在ADC领域，国内企业正不断缩小与国际领先水平的差距。近年来，芯海、思瑞浦、圣邦微、纳芯微、联影微电子等众多国内厂商纷纷推出技术指标对标海外领先水平的产品，并已实现大规模出货应用。

此外，成都芯片中试平台与国产EDA龙头企业华大九天携手，共同建立了国内首个模拟电路后仿真云服务联合实验室，进一步推动国内模拟芯片技术的发展。

#### 04 模拟芯片也开始并购整合，打造平台化战略

国内模拟芯片企业除了在新品研发上持续发力，还积极打造平台化战略，通过并购整合来完善产品线。

2024年6月23日晚间，国内电源管理芯片设计企业上海雅创电子集团股份有限公司发布公告，宣布拟以自有及自筹资金2.98亿元收购上海类比半导体技术有限公司37.0337%股权。此次交易价格较三个月前公布的“不超过2亿元”预案大幅提升，标的公司评估增值率高达467.34%。

2024年6月5日，思瑞浦发布公告，拟通过发行可转换公司债券及支付现金的方式购买创芯微100%股权，并募集配套资金，此次交易对价为10.6亿元。交易完成后，创芯微将成为思瑞浦的全资子公司。同时，思瑞浦拟向不超过35名特定对象发行股份募集配套资金。思瑞浦收购创芯微并非简单的产品线补充，而是将电池管理芯片明确纳入其“信号链+电源管理+MCU”三大业务布局中，成功实现了从工业/通信领域向消费电子和可穿戴设备市场的拓展。

2024年6月23日晚间，纳芯微发布公告，公司拟以现金方式收购上海矽睿科技股份有限公司直接持有的上海麦歌恩微电子股份有限公司62.68%的股份，以及矽睿科技通过上海莱睿企业管理合伙企业（有限合伙）间接持有的麦歌恩5.60%的股份，合计收购麦歌恩68.28%的股份，收购对价合计为6.83亿元。

2023年3月15日，晶丰明源公告称，公司拟与凌鸥创芯股东广发信德投资管理有限公司、舟山和众信企业管理咨询合伙企业（有限合伙）签署《购买资产协议》，约定以现金方式收购上述股东持有的凌鸥创芯38.87%股权，股权转让价款合计2.50亿元。截至2022年12月31日，晶丰明源已持有凌鸥创芯22.74%股份，为参股股东。收购完成后，公司将持有凌鸥创芯61.61%股权，凌鸥创芯将纳入公司合并报表范围。通过此次收购，晶丰明源可获取电机控制芯片和方案解决的产业基础、技术储备及销售渠道等资源优势，进一步拓展产品线及应用领域。

国内模拟芯片公司具有规模小、数量多的特点。前几年，随着资本大量涌入半导体行业，众多模拟芯片公司纷纷成立，都希望在芯片热潮中发展壮大。然而，随着资本逐渐降温、监管日益严格，以及第一梯队模拟芯片公司陆续上市，众多未上市模拟芯片企业想要做大做强甚至实现上市目标，面临着巨大挑战。即便国内头部模拟芯片公司，在营收规模、产品种类、产能建设等方面与国际大厂相比，仍存在显著差距。

整合并购无疑是模拟芯片公司实现快速发展壮大的有效途径之一。当前模拟芯片公司的并购活动，大多能够产生多重协同效应，有助于提升公司业务规模，增强持续经营能力和市场竞争力。未来，模拟芯片大企业对小企业的并购、小企业之间的联合，以及大企业之间的并购，都将推动模拟芯片行业巨头的诞生。此外，若大型IDM厂商积极参与并购，还能进一步增强国内模拟芯片厂商的IDM属性。

聚焦模拟和混合信号芯片的上市公司纳芯微董事长王升杨表示，中国芯片市场已经结束周期性震荡波动，企业需要更多参与到产品定义中，引领行业发展。在模拟芯片领域，并购整合已成为行业做大做强的必然趋势。

（来源：半导体产业纵横）

## 龙芯中科发布我国自主研发、自主可控的新一代通用处理器龙芯3C6000

6月26日，龙芯中科在北京举办了“2025龙芯产品发布暨用户大会”，会上龙芯3C6000系列处理器正式发布，包括龙芯3C6000/S/D/Q等。

最新发布的龙芯3C6000采用我国自主设计的指令系统龙架构，无需依赖任何国外授权技术，是我国自主研发、自主可控的新一代通用处理器，可满足通算、智算、存储、工控、工作站等多场景的计算需求。目前，3C6000系列处理器已获《安全可靠测评公告》当前最高等级二级认证，可确保关键领域应用安全。

龙芯3C6000基于LA664架构内核，六发射流水线，通用性能比上代成倍提高。单硅片拥有16核心32线程，频率为2.0-2.2GHz，同时拥有32MB的片上高速缓存（LLC），支持四个72位内存通道，拥有多个PCIe 4x16/8接口，IO性能相比上一代3C5000成数量级提升。

通过龙链技术实现片间互连，双硅片封装即3C6000/D（3D6000），拥有32核心64线程；四硅片封装即3C6000/Q（3E6000），可达60/64核心120/128线程。

其中龙链技术是对标NVLink，用于算力之间的互连，破解Chiplet的关键核心技术，可大幅降低延迟，提高带宽效率。性能方面，16核心的2.2GHz 3C6000/S性能可达Intel第3代至强4314（10nm/16核心32线程/2.4-3.4GHz/24MB/135W）水平。

32核的3C6000D对标至强6338（32核心64线程/2.0-3.2GHz/48MB/205W）；64核心的3C6000/Q更是可以对标至强铂金8380（40核心80线程/2.1GHz/60MB/270W）。

胡伟武表示，从龙芯3C6000系列开始，性价比将逐步取代自主性成为选择龙芯CPU的主要原因。

此次发布的还有龙芯2K3000/3B6000处理器，同样采用自主指令系统龙架构。

龙芯2K3000和龙芯3B6000M是基于相同硅片的不同封装版本，分别面向工控应用领域和移动终端领域。

据官方此前介绍，该芯片集成8个LA364E处理器核，基于主频2.5GHz下的实测SPEC CPU 2006 Base单

核定点分值达到30分。芯片集成第二代自研GPGPU核心LG200，与龙芯2K2000集成的第一代GPU核心LG100相比，图形性能成倍提高。除图形加速外，LG200还支持通用计算加速和AI加速，单精度浮点峰值性能为256GFLOPS，8位定点峰值性能为8TOPS。

芯片还集成独立硬件编解码模块，支持各种主流视频格式，支持eDP/DP/HDMI三路显示接口输出，4K高清处理性能达到60帧；集成安全可信模块，可提供安全可信支持和密码服



## 2025龙芯产品发布暨用户大会



## 龙芯GPGPU研发进展及规划

苏孟豪 龙芯中科技术股份有限公司首席工程师、通用GPU处理器研发总监

务，在 SM2/3/4 硬件算法模块外，还实现了可供软件编程使用的可重构密码模块；集成丰富的 IO 扩展接口，包括 PCIe3.0、USB3.0 / USB2.0、SATA3.0、GMAC、eMMC、SDIO、SPI、LPC、RapidIO 和 CAN-FD 等，满足不同领域的应用需求。

会上，龙芯中科技术股份有限公司首席工程师、通用 GPU 处理器研发总监苏孟豪以龙芯 GPGPU 研发进展及规划为主旨，展开演讲。

苏孟豪提到，龙芯的目标是打造独立于 intel/AA 体系的中国自主信息技术体系和产业生态，这一体系涵盖多个层次的技术，若以三层小楼作比喻：第一层是 CPU 和操作系统技术，第二层是网络和虚拟化技术，第三层是虚拟化技术和智能化技术。楼层越高，技术越先进，但基础的搭建需循序渐进，CPU 和操作系统是根基。

目前，龙芯的 CPU 经过长期发展积累，已具备极高的稳定性，而网络和虚拟化等第二层、第三层的技术需求，将通过 GPU 来满足。

龙芯自 2016 年便启动了 GPU 的预研工作，初衷是为 CPU 提供配套支持。彼时，GPU 行业远不如现在这般火热，在龙芯 CPU 的应用推广过程中，因 GPU 引发的问题不断涌现。例如，进口 GPU 芯片供货渠道不稳

定，嵌入 GPU 在桌面场景不可用等。这些因素致使龙芯电脑在功能、性能和性价比上大打折扣。由此，龙芯总结出规律：凡是做 CPU 的企业，都必须要有自己的 GPU。

起初，龙芯团队在 GPU 领域近乎从零起步，但秉持着“不会比 CPU 还难”的信念开始探索。然而，深入研究后发现，GPU 作为图形应用的加速系统，涉及众多应用层相关背景知识，且缺乏像 CPU 那样明确的资料，入门学习难度极大。为此，团队从图形算法调研入手，历经模拟器架构设计研究、模拟器验证、逻辑设计和功能验证等环节，耗时 5 年才推出第一代图形 GPU 架构。随后，又用 2 年时间进行两次小迭代，升级至龙芯 7A2000 与龙芯 2K2000 并推向市场。

龙芯 GPU 完全从 0 开始研发，无历史包袱，具备后发优势。第一代架构设计对标世界先进水平，跳过传统 GPU 早期的固定功能管线阶段和可编程管线阶段，直接采用传统图形管线与大规模图形计算相结合的统一渲染架构。在 API 支持方面，为满足桌面应用的最低要求，选择 OpenGL 2.1/OpenGL ES 2.0 为标准，成功适配多种系统。截至目前，第一代龙芯 GPU 的用量已达百万片规模，其可靠性和兼容性均通过市场检验，同时大幅降低了龙芯电脑的成本。第一代 GPU 的成功

研发，使龙芯完成了图形处理技术的原始积累，实现从 0 到 1 的突破，团队也对 GPU 架构有了更深刻的理解。

在第一代 GPU 进入产品迭代阶段后，龙芯迅速启动第二代 GPU 架构的升级工作，目标是推动 GPU 迈向发展的第四个阶段，即从图形处理器（GPU）扩展为通用图形处理器（GPGPU）。

在功能方面，API 将从 OpenGL 3.2 逐步升级至 4.0，并考虑支持 Vulkan，同时引入计算 API 支持，从 OpenCL 1.1 起步，逐步升级至 3.0；在性能方面，着重提升两个方向的能力，一是图形流水可扩展、计算性能可扩展；二是提升性能功耗比、性能面积比。为此，龙芯制定了两步走计划：第一步完成基本架构升级、基本功能实现；第二步是功能性能扩展，全面调优。

龙芯从 2021 年下半年开始，经过架构设计、模拟器验证、逻辑设计和功能验证等阶段，历时 3 年，推出第二代架构的首个版本，并集成在龙芯 2K3000 中。

在通用计算架构下，虽然图形渲染仍是 GPU 的核心能力，但设计思路已从以图形为中心转变为以计算为中心。以往是以图形流水线为主，按需调用可编程流处理器，如今则将流处理器资源通用化，图形处理以计算任务形式贯穿流水线。这一转变使得图形 API 能够自然地 Open 标准扩展，但也大幅增加了架构设计的复杂度。在龙芯 GPU 软硬件团队的努力下，相关目标正逐步实现。

在龙芯 2K3000 的研制过程中，团队开始关注智能化技术。人工智能可在 CPU、GPU 或专用 NPU 中实现。在 CPU 中实现 AI 功能，虽能融合到流水线，降低调用外部单元的开销，适合轻量级应用，但难以满足高算力需求；NPU 专注于 AI 应用，在能效和面积上具有优势，但当 AI 应用模式不确定时，专用设计可能存在局限性；而现代 GPU 不仅具备强大的图形处理能力，还拥有不错的通用处理能力，因此在 AI 应用不断创新的当下，选择“GPU + AI”的技术路线成为业界主流，也是龙芯的优先选择。

有了底层硬件基础，算力生态的构建至关重要，这也是龙芯软件生态的最后一环。经过调研，龙芯提出“兼容主流，拥抱开源，应用牵引，迭代发展”的策略。

龙芯加速计算平台提供 OpenCL、CUDA 兼容接口；支撑训练、推理等全场景 AI；支持 OpenGL、Vulkan；支持视频编解码加速；支持云、边、端全领域应用。



### 龙芯未来产品展望

未来产品规划方面，龙芯 9A1000 是龙芯首款 GPU 芯片，定位为支持 AI 加速的入门级显卡，GPU 核全面升级，功能方面，图形 API OpenGL4.0 / OpenCL ES3.2；性能方面，图形流水线 x2，主频提升 25%；面积方面，流处理器面积减小 20%；功耗方面，轻负载功耗降低 70%。GPU 规模 x4（vs 2K3000），



性能提升 5 倍以上，AI 算力达到 40TOPS。

龙芯 9A2000 是龙芯高性能 GPU 芯片，面向中高端显卡，应用于桌面和服务器，通过优化和堆料，做大做强。GPU 核升级到第三代架构，单位面积算力进一步提升，图形 API 支持 OpenGL4.6，加入虚拟化支持，张量单元支持更多数据类型，GPU 规模 x4（vs 9A1000），单精度浮点算力 5Tflops，INT8 AI 算力 160TOPS，内存带宽 256GB/s，支持双片互联，总体性能再翻一倍，达到同工艺代下国际先进水平。

（来源：半导体产业纵横）

## 全球最小全系统全频点北斗芯片在武汉发布

6月26日，梦芯科技新一代北斗芯片在北斗产业突破性发展重大成果发布会上发布。

新发布的高精度系统级芯片分别为逐梦 MX2740A（全系统全频点）和启梦 IV MX2730A（全系统多频点）。同时，梦芯科技在国内首发2颗北斗2.0芯片。长江日报记者在发布会现场看到，逐梦系列芯片不过半个指甲盖大小。据介绍，该芯片采用“北斗优先全系统全频点”技术路线，全面优化北斗信号处理并同时支持全球6大卫星导航系统及所有频率。

“逐梦系列是全球最小尺寸全系统全频点芯片，相比同类产品尺寸缩小50%，功耗降低40%；北斗信号捕获速度提升20倍，冷启动时间优于5秒，指标达到国际领先水平。”梦芯科技常务副总裁张正烜介绍，其凭借5×5毫米的超小体积，能满足高端场景对芯片“体积微型化、性能稳定化”的严苛需求，让高精度定位能无缝嵌入自动驾驶、无人系统等复杂应用中。同时，全球首创的AI芯云融合定位技术，能让车辆、无人机等移动载体在快速运动中也能精准定位。

据了解，成立于2014年的梦芯科技，是一家专业从事北斗高精度定位芯片设计和精准位置服务的高新技术企业，武汉大学教授刘经南担任首席科学家。10年前，该企业研发出国内首颗40纳米量产的北斗导航定位芯片，实现厘米级定位精度。截至目前，其研发的四代北斗芯片、模块等产品已广泛应用于智能驾驶、智慧城市、共享出行等领域，在全球首家实现单年度高精度产品出货量突破百万量级。

北斗产业是卫星导航与位置服务产业的核心组成部分。数据显示，2024年中国卫星导航与位置服务产业总体产值达5758亿元，同比增长7.39%。其中，与卫星导航技术研发和应用直接相关的芯片、器件、算法、软件、导航数据、终端设备、基础设施等在内的产业核心产值同比增长5.46%，达1699亿元，在总体产值中占比为29.51%；由卫星导航应用和服务所衍生带动形

成的关联产值同比增长8.21%，达到4059亿元，在总体产值中占比达70.49%。

在政策持续推动、技术迭代、需求牵引等多重驱动下，2024年，北斗系统在多个领域实现了深度应用与创新突破，其高精度定位、短报文通信、时空信息服务等核心能力，持续赋能千行百业。北斗跨界融合不断深化，与5G、AI、物联网技术结合，催生出无人农场、数字工地等新业态。精度与可靠性不断提升，米级定位、短报文功能已在电力和应急等关键领域成为标配。

具体到芯片的应用方面，北斗芯片在车载导航系统中具有巨大的市场潜力。随着汽车产业的快速发展，车载导航系统成为了许多汽车消费者的标配。而北斗芯片作为一种高精度定位芯片，可以为车载导航系统提供更加准确的导航功能，满足用户对导航体验的需求。此外，北斗芯片还可以与其他车联网技术相结合，实现更多智能化功能，如实时路况提醒、智能电子眼预警等，进一步提升用户的驾驶体验。

其次，北斗芯片在高精度定位领域有着广泛的应用前景。在土地测绘、地质勘察、资源调查等领域，高精度定位技术对数据的准确性和可靠性要求较高。而北斗芯片可以提供厘米级甚至更高精度的定位服务，为这些领域的专业人士提供了强有力的工具。此外，随着物联网技术的发展，北斗芯片在智能农业、智能城市等领域也有着广阔的应用前景。例如，在智能农业中，北斗芯片可以用于精准农业管理，实现水肥一体化、精准施药等，提高农作物的产量和质量。

然而，北斗芯片的应用还面临一些挑战。首先，芯片的成本与性能之间存在着平衡问题。要想实现更高精度的定位，芯片的设计和制造成本往往会增加，这可能限制了一些低端市场的发展。其次，北斗芯片在海外市场的竞争也不容忽视。目前，全球定位系统(GPS)在国际市场占据了主导地位，北斗芯片在国际市场的竞争力还需进一步提升。(来源：半导体行业观察)

## 中国正提前布局 Q-EDA

量子计算机 (quantum computer) 是一类遵循量子力学规律进行高速数学和逻辑运算、存储及处理量子信息的物理装置。广义上, 当某个装置处理和计算的是量子信息, 运行的是量子算法时, 就可称之为量子计算机。

### 01 量子计算机大战正酣

2019 年, 美国谷歌公司研制出 53 个量子比特的计算机“悬铃木”, 在全球首次实现量子优越性, 开启了量子计算的新时代。2024 年底, 谷歌亮出新一代 Willow 芯片, 展现出强大的计算能力, 5 分钟就能搞定传统计算机需 10 的 25 次方年才能算完的题目。

2025 年, 微软发布了全球首款基于拓扑量子比特架构的量子计算芯片 Majorana 1。该芯片采用半导体砷化铟与超导体铝合成的拓扑导体材料, 通过操控马约拉纳粒子实现高稳定性量子位运算。作为微软近 20 年拓扑量子研究的核心成果, Majorana 1 首次验证了单芯片扩展至百万量子位的技术可行性, 被应用于数学问题验证与原型机开发, 有望推动材料科学、人工智能等领域取得重大突破。

在国际上, 其他国家也在积极推进量子计算的发展。

2025 年 3 月, 芬兰国家技术研究中心和 IQM 量子计算机公司推出欧洲首台 50 量子比特超导量子计算机。芬兰于 2020 年 11 月首次公布其在量子计算领域的发展计划, 政府共拨款 2070 万欧元用于开发 50 量子比特量子计算机。该计划分三个阶段, 2021 年研发出 5 量子比特量子计算机, 2023 年研发出 20 量子比特量子计算机, 50 量子比特量子计算机的推出标志着第三阶段完成。

此外, 加拿大 Xanadu 量子技术公司开发出全球首台可扩展光量子计算机原型, 研究人员采用了模块化设计理念来构建这台量子计算机, 初始阶段构建一个包含少量量子位的基本单元, 适用于最基础的应用场景, 随着需求增长, 可以通过添加更多相同类型的单元来扩展

计算能力, 这些单元通过网络协同工作, 共同构成一台大型计算机, 每个新增的单元或量子服务器机架都会增加整体处理能力, 由于整个系统基于光子技术, 因此无需将光子组件与传统电子组件结合使用。

在国内, 2020 年, 潘建伟团队构建 76 个光子的量子计算原型机“九章”, 使中国成为全球第二个实现量子优越性的国家, 在量子计算领域占据了重要一席之地。2021 年, 潘建伟团队再接再厉, 成功研制含 113 个光子的“九章二号”和 66 比特的“祖冲之二号”量子计算原型机, 让中国成为在光学和超导两条技术路线上都实现量子优越性的国家, 进一步巩固了中国在量子计算领域的领先地位。2023 年 10 月 11 日, 量子计算原型机“九章三号”成功构建, 其计算能力令人惊叹, 1 微秒可算出的最复杂样本, 当前全球最快的超级计算机约需 200 亿年才能完成。2025 年 3 月 21 日, 潘建伟院士团队正式发布光子量子计算机“九章 4 号”, 实现了 3000 个光子协同操控, 单比特误差率仅 0.001%, 处理高斯玻色取样任务的速度比超级计算机快  $10^{32}$  倍, 再次刷新了量子计算的速度纪录。

本源量子计算科技(合肥)股份有限公司于 2024 年 1 月 6 日上线运行了我国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”。该量子计算机搭载 72 位自主超导量子芯片“悟空芯”, 是目前先进的可编程、可交付超导量子计算机。科研人员介绍, 超导量子计算机是基于超导电路量子芯片的量子计算机, 国际上, IBM 与谷歌量子计算机均采用超导技术路线。“本源悟空”匹配了本源第三代量子计算测控系统“本源天机”, 真正落地了量子芯片的批量自动化测试, 大大提升了量子计算机的整机运行效率。其搭载的 72 位超导量子芯片“悟空芯”, 共有 198 个量子比特, 其中包含 72 个工作量子比特和 126 个耦合器量子比特。截至今年 6 月 4 日, “本源悟空”已为 143 个国家和地区的用户完成超 50 万个量子计算任务, 全球访问量突破 2900 万次, 刷新中国自主

量子算力服务规模纪录，成为全球量子计算领域的重要参与者。2025年6月，我国首条量子芯片生产线在合肥正式启用，年产能达1000片，标志着量子计算技术从实验室迈向产业化。该生产线由本源量子建设，实现设计、流片到封装测试全流程国产化，关键设备国产化率超90%，突破欧美技术垄断。

中电信量子信息科技集团有限公司于2024年12月正式发布全国单台比特数最多的超导量子计算机“天衍504”，标志着其具备了全球领先的量子计算机制造和交付能力。2023年11月，中国电信发布了全球首个具备量子优越性能力的超量融合云平台——“天衍”量子计算云平台，通过“天翼云”超算算力和176个超导量子比特算力的融合，为各类用户提供便捷简单的量子计算服务。2024年4月，504比特超导量子计算芯片“骁鸿”交付。基于“骁鸿”芯片，中电信量子集团和科大讯飞量子技术股份有限公司联合研发出国内单台比特数最多的超导量子计算机“天衍504”，并通过“天衍”量子计算云平台向全球开放。该平台由一台24比特、两台176比特和一台504比特量子计算机组成国内最大的量子计算集群，并提供5类运算性能世界一流的高性能仿真机和Cqlib量子编程框架，实现了算力规模和算力类型的双重升级。

### 02 量子计算机大规模应用前夜，这是关键

尽管量子计算取得了显著进展，但要研制成功真正的通用量子计算机还有很长的路要走，国际主流观点认为，这至少还需要5年到10年的时间。IBM在2019年提出刻画量子芯片性能的“量子摩尔定律”，即量子芯片的量子体积每年至少增加一倍。随着量子比特数的指数性增长，对于量子电子设计自动化的需求也越来越大，而Q-EDA工具可以有效提升量子芯片研发的效率。

2021年3月，IBM推出了Qiskit Metal，一款基于Python用于超导量子芯片的开源电子设计自动化(EDA)软件。2021年6月，芬兰量子硬件初创公司IQM公布了其开源软件工具KQCircuits，用于超导量子芯片版图的自动化设计，通过该工具可以对芯片版图进行一定程度的检查优化，减少微纳加工的成本。2022年3月，百度量子计算研究所在国际顶会QIP2022上介绍了其在量子芯片自动化设计工具方

面的研发进展，支持2D与3D超导量子芯片的自动化设计和仿真，给定设计任务，能够生成量子芯片的版图以及微纳加工所需的gds文件，并对量子芯片性能进行仿真，整个设计和仿真过程均可自动化地进行，大大提升了量子芯片研发的效率。如今全球各大顶级高科技公司和高校正逐步投入研究力量开展QEDA工具的研发，积极布局未来量子芯片市场，以期在未来量子优势的竞争中抢占先机。

### 03 提前布局Q-EDA，把握下一代机遇

与传统EDA自上而下规范化的集成电路设计检验流程相比，目前业界典型的量子芯片设计非常类似于早期的CAD计算机辅助设计，过度依赖实验经验，量子芯片的设计与研发相对随意，设计人员需要在多个不同的软件之间辗转，手动完成量子芯片设计、布线等工作，此方法在研发小规模量子芯片时勉强够用，但随着量子比特数目的增加，利用人工设计成千上万乃至百万量子比特构成的量子芯片显然是不现实的，因此，量子电子设计自动化工具的研发势在必行。

芯片设计高度依赖EDA软件，如果说光刻机是“芯片之父”，负责将芯片设计付诸物理实现，那么EDA便是“芯片之母”。在量子计算时代，Q-EDA作为量子芯片设计的核心工具，其自主化研发已成为突破技术封锁、抢占产业先机的关键。

但当前在传统芯片EDA领域，我国由于起步晚，一直处于追赶地位，如今量子计算机时代，急需提前布局把握机遇。芯片设计离不开EDA设计软件，为使国内的量子科技公司在与外国科技巨头竞争中不再落后，避免在量子计算机时代再像传统芯片EDA那样受制于人，2022年初，本源量子发布国内首个量子芯片设计工业软件“Q-EDA”本源坤元，它能同时支持超导和半导体量子芯片自动化设计，是高效进行大规模量子芯片工程设计的必要工具。

近日，安徽省量子计算芯片重点实验室发布消息，国产量子芯片设计工业软件Q-EDA“本源坤元”完成第5次技术迭代。此次迭代成功突破大规模量子芯片设计技术瓶颈，为我国量子芯片自主研发及产业化进程注入新动能。

“本源坤元”由本源科仪(成都)科技有限公司

完全自主研发，自 2022 年首次发布并填补国内空白以来，“本源坤元”围绕“大规模、高精度、自动化”目标，已稳步完成 5 次迭代升级。以 72 比特量子芯片设计为例，此次迭代后的“本源坤元”在工艺设计套件的支持下，已实现自动化一站式快速版图生成，仅需 6 分 50 秒即可完成 72 比特芯片的完整版图绘制。

设计量子芯片就像建造房屋，既要精心规划空间布局（量子芯片结构设计），又要优化关键的“水电布线”（量子比特连接）。本源科仪（成都）科技有限公司总经理李舒啸介绍，“本源坤元”第 5 版核心突破在于布线灵活性的全面升级，创新实现了空间极限场景下的全自动布线功能，并灵活提供多种半自动修线工具，

且兼顾了设计效率与操作自由度。安徽省量子计算芯片重点实验室主任郭国平表示，此次软件升级进一步突破了大规模量子芯片设计的技术瓶颈，成功实现千万级网格量的建模和量子芯片参数数值计算，有力增强了我国在量子计算核心环节的竞争力。

在量子计算这场激烈的全球竞争中，中国通过在量子计算机研发和 Q-EDA 工具布局等关键领域的提前规划和持续投入，正逐步在量子计算领域占据领先地位，为未来在量子科技时代的发展奠定了坚实基础。随着技术的不断进步和产业化的推进，中国有望在量子计算领域实现更大的突破，引领全球量子科技的发展潮流。

（来源：半导体产业纵横）

## 摩根士丹利：中国 AI 芯片自给率将达 80%

预计中国人工智能（AI）芯片自给率将在三年内超过 80%。美国严格的半导体出口管制给中国人工智能的“阿喀琉斯之踵”造成了致命打击，但却成为增强中国半导体生态系统实力的催化剂。中国正在通过建设由自主研发的 AI 芯片驱动的数据中心，以及推出搭载国产图形处理器（GPU）的人形机器人，将其“技术独立”的愿景变为现实。

全球投行摩根士丹利最新发布的《中国人工智能：沉睡的巨人觉醒》报告指出，截至去年，中国人工智能芯片自给率仅为 34%，但预计到 2027 年将飙升至 82%。摩根士丹利分析指出，如果没有美国的制裁，中国可能还会继续依赖英伟达等外国芯片，但外部压力促使中国全力实现自给自足，一个自给自足的生态系统正在以比预期更快的速度建立起来。

爆发式增长的最大驱动力是“人才”。全球约有一半的人工智能研究人员在中国。基于此，中国推行了构建自给自足生态系统的系统性战略。在最高级别的芯片供应中断的情况下，中国不仅获得了大量英伟达旗舰 AI 芯片 H20 的降级版本，还致力于通过整合两者来

提升软件技术，从而最大限度地提升性能。开源模型 DeepSeek-R1 象征着一种中国方案，它利用软件的独创性克服了硬件的缺陷，同时以比 GPT-4o 低得多的成本实现了 AI。

中国也投入了资金。它向其人工智能生态系统投入了大量研发资金，并通过“公共机构优先采购”政策，利用其庞大的国内市场支持国内企业。华为正通过由数千块自主研发的人工智能芯片昇腾 910 组成的“超级集群”，展示一个参数超过 1 万亿的人工智能模型训练系统，向英伟达发起挑战。中国最大的晶圆代工企业中芯国际（SMIC）已突破制程工艺壁垒，将华为自主设计的人工智能芯片变为现实。评估表明，通过“利用替代品→打造国内市场→加速自主研发→量产”，中国已经建立了自给自足的良好循环。

“AI 大脑”的独立性正在撼动未来产业的根基，而不仅仅是芯片生产。人形机器人市场就是一个很好的例子，预计到 2050 年将增长到 5 万亿美元（约合 6900 万亿韩元）。摩根士丹利预测，中国将凭借自主采购 AI 芯片和关键零部件所获得的成本竞争力，占据全球人形

机器人供应量的 30%。据估计，如果利用中国供应链生产人形机器人，制造成本将仅为全球供应链的三分之一。

引领中国人工智能崛起的企业遍布整个行业。摩根士丹利指出，不仅华为和中芯国际，推动人工智能平台竞争的阿里巴巴和腾讯，以及机器人和家电公司科沃斯和自动驾驶解决方案公司地平线都在加速人工智能创新。凭借这一强大的生态系统，预计到 2030 年，中国核心人工智能产业的规模将增长至 1 万亿元人民币（约

合 190 万亿韩元）。

中国的案例表明，人工智能霸权战争的成功模式正在发生变化。传统观念认为，获得高规格半导体芯片就意味着市场主导地位，如今竞争的关键变量已不再是“生态系统的力量”，而是将略显不足的硬件与软件和系统有效地编织在一起，从而创造价值。

（来源：chosun）

## 光芯片，即将起飞！

大型语言模型（LLMs）正在迅速逼近当代计算硬件的极限。例如，据估算，训练 GPT-3 大约消耗了 1300 兆瓦时（MWh）的电力，预测显示未来模型可能需要城市级（吉瓦级）的电力预算。这种需求促使人们探索超越传统冯·诺依曼架构的计算范式。

本综述调查了为下一代生成式 AI 计算优化的新兴光子硬件。我们讨论了集成光子神经网络架构（如马赫-曾德干涉仪阵列、激光器、波长复用微环谐振器），这些架构能够实现超高速矩阵运算。同时，我们也研究了有前景的替代类神经设备，包括脉冲神经网络电路和混合自旋-光子突触，它们将存储与计算融合在一起。本文还综述了将二维材料（如石墨烯、过渡金属二硫族化合物，TMDCs）集成进硅基光子平台，用于可调制器和片上突触元件的研究进展。

我们在这种硬件背景下分析了基于 Transformer 的大型语言模型架构（包括自注意力机制和前馈层），指出了将动态矩阵乘法映射到这些新型硬件上的策略与挑战。随后，我们剖析了主流大型语言模型的内部机制，例如 chatGPT、DeepSeek 和 Llama，突出了它们架构上的异同。

我们综合了当前最先进的组件、算法和集成方法，强调了在将此类系统扩展到百万级模型时的关键进展与未解问题。我们发现，光子计算系统在吞吐量和能效方

面有可能超越电子处理器几个数量级，但在长上下文窗口、长序列处理所需的存储与大规模数据集的保存方面仍需技术突破。本综述为 AI 硬件的发展提供了一条清晰的路线图，强调了先进光子组件和技术在支持未来 LLM 中的关键作用。

### 引言

近年来基于 Transformer 的大型语言模型（LLMs）的快速发展极大地提高了对计算基础设施的需求。训练最先进的 AI 模型现在需要巨大的计算与能耗资源。例如，GPT-3 模型在训练期间估计消耗了约 1300 兆瓦时的电力，而行业预测表明，下一代 LLM 可能需要吉瓦级的电力预算。这一趋势与大规模 GPU 集群的使用同时出现（例如，Meta 训练 Llama 4 时使用了超过 10 万个 NVIDIA H100 GPU 的集群）。与此同时，传统硅基芯片正接近其物理极限（晶体管特征尺寸已达约 3 纳米），冯·诺依曼架构也受限于“存储器-处理器”瓶颈，从而限制了速度与能效。这些因素共同凸显出 LLMs 日益增长的计算需求与传统 CMOS 电子硬件能力之间的鸿沟。

这一挑战促使人们探索替代计算范式。光子计算利用光来处理信息，天然具有高带宽、超强并行性与极低热耗散等优势。近期在光子集成电路（PICs）上的进展，使得构建神经网络基本模块成为可能，例如相干干涉仪阵列、微环谐振器（MRR）权重阵列，以及用于执

行密集矩阵乘法与乘 - 加操作的波分复用 (WDM) 方案。这些光子处理器利用 WDM 实现了极致的并行性与吞吐能力。

与此同时，将二维材料 (如石墨烯与 TMDCs) 集成入 PIC 中，催生了超高速的电吸收调制器与可饱和吸收体，成为片上的“神经元”与“突触”。作为光学的补充，自旋电子类神经设备 (如磁隧道结和斯格明子通道) 提供非易失性突触存储和类神经脉冲行为。这些光子与自旋电子类神经元件从物理机制上实现了存储与处理的合一，为能效优化的 AI 计算开辟新途径。

将基于 Transformer 的 LLM 架构映射到这些新型硬件平台上，面临诸多挑战。Transformer 中的自注意力层涉及动态计算的权重矩阵 (query、key 和 value)，这些权重依赖于输入数据。设计可重构的光子或自旋电路以实现这种数据依赖型操作，正成为活跃研究领域。此外，在光子 / 自旋子媒介中实现模拟非线性 (如 GeLU 激活函数) 与归一化仍是重大技术难题。

为应对上述问题，研究者提出了许多“硬件感知”的算法设计策略，如适用于光子计算的训练方法以及能容忍模拟噪声和量化误差的神经网络模型。

本综述余下部分结构如下：

第 2 节：介绍光子加速器架构，包括相干干涉仪网络、微环权重阵列与基于波分复用的矩阵处理器；

第 3 节：探讨二维材料在光子芯片上的集成 (如石墨烯 /TMDC 调制器、光子忆阻器)；

第 4 节：分析替代类神经设备，特别是自旋电子在类神经计算中的应用；

第 5 节：总结主流 LLM 与 Transformer 架构原理，并探讨如何将其映射到光子芯片上，强调在光子与类神经硬件上实现注意力机制与前馈层的策略；

第 6 节：介绍脉冲神经网络的机制与实现算法；

第 7 节：指出系统层面的关键挑战并展望未来方向。

本综述力图为下一代 AI 硬件发展绘制出基于光子与自旋电子技术的完整路线图。

光子神经网络与光子计算的前沿器件

光子神经网络 (PNN: Photonic neural networks) 依托多种光学器件之间的协同作用实现高效计算：微环谐振器利用共振效应进行波长复用与光频梳生成，为

多波长信号处理奠定基础；马赫 - 曾德干涉仪 (MZI: Mach-Zehnder interferometer) 阵列通过相位调制实现光学矩阵运算，是神经网络中核心线性变换的关键元件；超构表面通过亚波长结构调控光波的相位与幅度，能在衍射域内执行高度并行的光学计算；4f 系统通过傅里叶变换在衍射域中实现线性滤波功能；而新型激光器则通过电光转换机制实现非线性激活功能。这些器件集成了光场调控、线性变换与非线性响应能力，构建出高速、低功耗、强并行的全光计算架构。

本节将介绍当前光学神经网络实现中常用的器件。

### 微环谐振器

微环谐振器 (MRRs) (见图 1) 的重要性不仅体现在它们在波分复用 (WDM) 中的作用，还体现在其独特的滤波特性，例如光频梳生成。WDM 允许不同波长的信号在同一波导中同时传播而不会产生干扰：通过设计微环的半径与折射率以支持特定的共振波长，满足共振条件的光将耦合进环形腔体中持续振荡，在透射谱上表现为明显的吸收凹槽。

而光频梳则源于高 Q 值 (低损耗) 微腔中的参量振荡：当注入连续波 (CW) 泵浦激光后，光子会经历非线性效应 (如 Kerr 非线性)，从而自发地产生等间距的光谱线，形成梳状频谱。WDM 与频梳生成的结合，使多波长信号可通过共享波导进行合成与传输，实现波长复用与空间复用的统一。

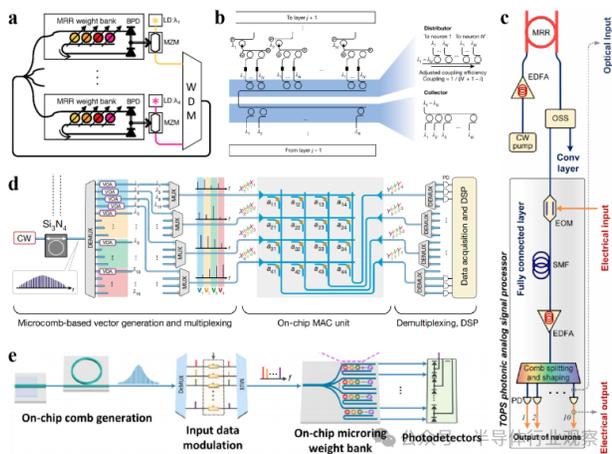


图 1：微环谐振器 a) 通过微环谐振器权重阵列可实现类神经光学神经网络 (ONN)；b) 展示了全光脉冲神经网络的原理与实验设置；c) 开发了一种基于时间 - 波长复用的光子卷积加速器；d) 提出了一种基于微梳与相变材料的片上光计算架构；e) 展示了用于情绪识别的微梳卷积 ONN 芯片设计

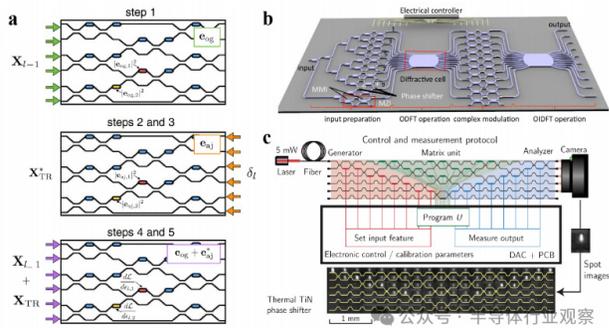


图2: 马赫-曾德尔干涉仪 (MZI) a) 提出了支持实时在线学习的 ONN 训练方法; b) 展示了结合 MZI 与衍射光学元件的集成光子神经网络架构; c) 演示了基于 MZI 阵列的光子神经网络的在线反向传播训练方法

微环的其他特性也得到了利用。例如, 利用微环的热光效应, 在微环上加入了具有激射阈值的相变材料实现了类似神经网络中 ReLU 函数的非线性效果。

### 马赫-曾德尔干涉仪 (Mach-Zehnder Interferometer)

MZI 阵列 (见图 2) 可有效执行光学矩阵-向量乘法 (MVM) 运算: 它由两个光学耦合器/分束器和两个调制器 (可通过外部电路控制) 组成。输入光通过分束器被分成两路, 调制器调节两路之间的相位差, 最后通过光学耦合器重新组合成干涉光。每个 MZI 对光信号执行二维酉变换 (复数域的正交变换), 在数学上等价于一个  $2 \times 2$  的酉矩阵。当多个 MZI 按特定拓扑结构 (如网格) 级联时, 它们的整体行为可对应于高维酉矩阵的分解, 因为任意  $N$  维酉矩阵都可以分解为一系列二维酉变换。因此, MZI 阵列可以实现类似于神经网络中权重矩阵的可编程酉变换。

输出的光信号可进一步通过光电手段进行转换, 并与电子器件集成, 实现非线性激活函数, 从而完成神经网络的前向传播。

### 超表面 (Metasurface)

超表面在神经网络应用中的运行主要依赖于“面”之间的光的衍射与干涉。超表面是一种由亚波长尺度结构单元组成的材料, 能够调制光波的性质, 包括相位、幅度、偏振和频率。这些结构通常具有超薄、轻质和高集成密度 (支持大规模并行) 的特点, 其实现方式多样, 如基于绝缘体上硅 (SOI) 的设计、复合惠更斯超表面、单层全息感知器等。由于衍射和干涉本质上是线性过程, 因此要实现非线性计算需要额外机制, 如利用超表面材

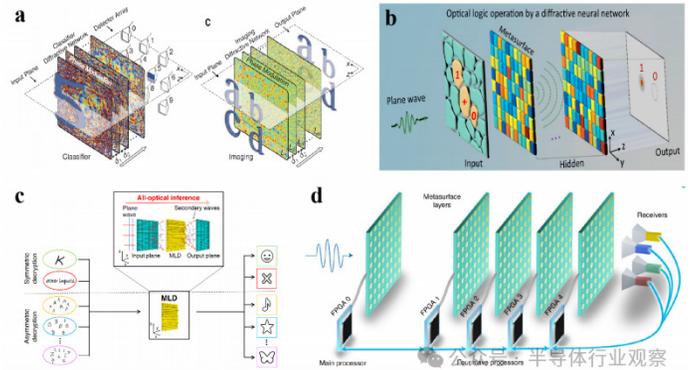


图3: 二维超表面

- 二维衍射深度神经网络 (D2NN) 中推理机制的概念图示。
- 通过衍射光学神经网络 (DONN) 实现逻辑运算的实验配置。
- 纳米打印的光学感知器实现芯片级计算。
- 利用数字型超原子阵列的可重构 DONN 架构。

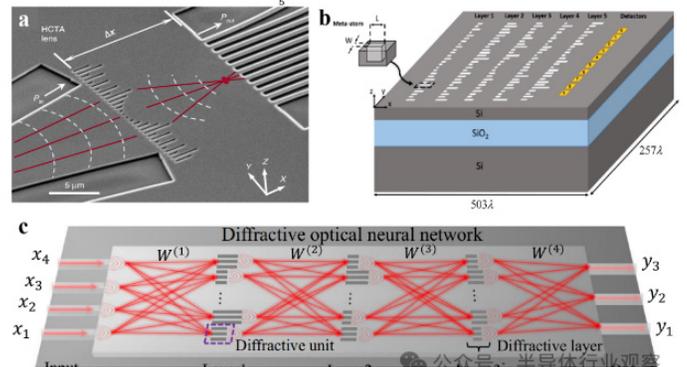


图4: 一维超表面

- 一维 DONN 在光子机器学习中的实验验证。
- 基于仿真的芯片级 DONN 验证, 支持光速计算。
- 介电超表面实现用于傅里叶变换与空间微分的芯片级波前控制。

料的光电效应。

多层衍射架构 (见图 3) 通过堆叠的二维表面作为高密度排列的神经元层实现。通过控制每个衍射层中空间位置处的相对厚度或材料特性, 可调节光的相位和幅度。或者, 在一块平面表面上制造一维高对比透射阵列超表面 (见图 4), 例如, 在标准 SOI 基底上蚀刻空气槽 (后续可填充二氧化硅), 槽的间距 (晶格常数) 和宽度固定, 通过改变槽的长度来控制相位。

4f 系统 (见图 5) 利用光场信号 (如图像) 通过第一枚透镜进行傅里叶变换。在透镜后的傅里叶面上, 调制设备 (如相位掩膜、空间光调制器 SLM) 对频谱进行滤波或加权调整。经调制后的频谱再通过第二枚透镜进行反傅里叶变换, 生成输出光场。超表面材料可替代传统透镜间的调制设备。

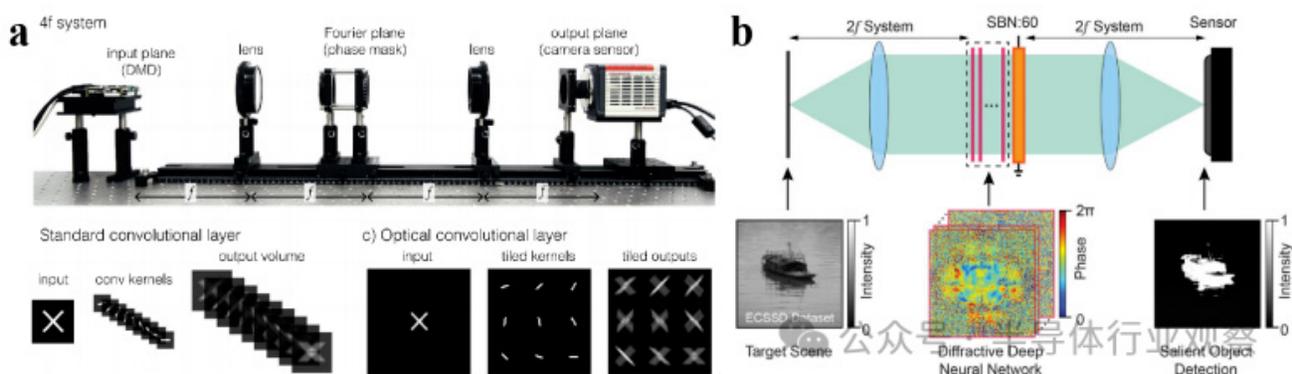


图 5: 4f 系统

- a) 使用 4f 光学系统的混合光电卷积神经网络 (CNN)。  
 b) 完全光学神经网络 (ONN) 架构, 将深度衍射神经网络集成于 4f 成像系统的傅里叶平面上。

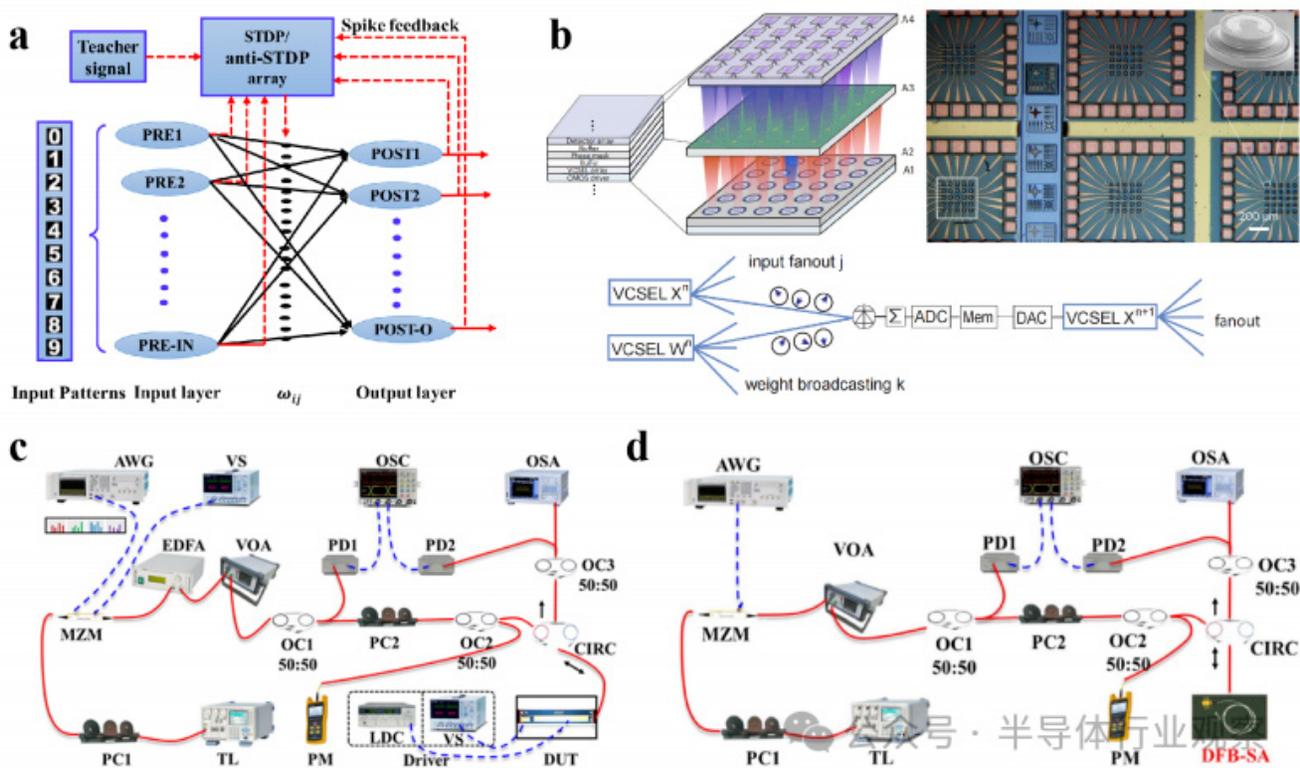


图 6: 其他类型的激光器

- a) 使用垂直腔面发射激光器 (VCSELs) 的全光尖峰神经网络 (SNN) 理论分析。  
 b) 基于 VCSEL 的全光 SNN 进行有监督学习。  
 c) 用于 SNN 中软硬协同计算的 FP-SA 神经元芯片。  
 d) 基于分布反馈 - 饱和吸收 (DFB-SA) 激光器的光子集成尖峰神经元的实验演示

### 其他类型激光器

激光器作为一种具有高相干性、单色性和方向性的独特光源, 也被应用于光神经网络 (ONN) (见图 6)。例如, 垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 在研究中已被理论提出并在实验中验证。在 VCSEL 中, 电流通过电极注入有源区, 电子与空穴在量子阱层中复合, 产生光子。这些光子在两个分布式布拉格反射镜 (DBR) 之间来回反射, 多次穿过有源区并被放大。当增益 (光放大能力) 超过腔体损耗 (吸收、散射等) 时, 达到阈值条件, 激光输出就会产生。一项研究利用了 VCSEL 阵列的特性: 在被主激光器锁模时可以保持相同的初始相位。在该研究中, 特征数据被编码为电信号来调节一个 VCSEL 的泵浦电压, 从而调节其输出光的相位; 同样, 权重矩阵的每一列也被编码为

电信号，调节其他 VCSEL 的输出光相位。利用光束分离器和耦合器，使代表 MNIST 数据的 VCSEL 的输出光与其他 VCSEL 的输出光干涉，光电探测器收集光信号，并将其求和成电信号，作为下一层 VCSEL 阵列的输入，实现前向传播。在最终输出层，输出电信号最强的光电探测器对应于输出标签。

另一个例子是带有腔内可饱和吸收体 (SA) 的分布反馈激光器 (DFB-SA)。DFB 激光器的腔体内含有周期性光栅结构，可提供光反馈以实现单波长输出。可饱和吸收体 (SA) 区域位于激光腔高反射端附近。在低泵浦电平下，SA 吸收光子，抑制激光输出；在高泵浦电平下，SA 释放光脉冲 (Q 开关效应)。因此，当增益电流超过 DFB-SA 的自脉冲阈值时，SA 的周期性吸收调制会产生脉冲输出，其输出频率与泵浦强度呈非线性正相关，可作为脉冲神经网络 (SNN) 的基本单元。在此结构中，DFB 激光器也可以被传统法布里 - 珀罗 (FP) 激光器取代。

### 利用二维材料制造集成光子芯片

集成光子芯片作为下一代 AI 硬件的关键技术之一，正逐步崛起。这类芯片利用光进行计算和通信，具有高速与高能效的优势。为了实现这一应用，将二维 (2D) 材料，主要是石墨烯和过渡金属二硫族化物 (TMDCs)，集成到芯片中，能够显著提升功能与性能。本节将探讨这些材料的特性、集成技术、应用场景以及其在 AI 光子芯片应用中面临的挑战。

#### 石墨烯和 TMDCs 的关键特性

石墨烯因其优异的光学与电子性能，在光子学领域引发革命。尽管其厚度仅为一个原子层，却能在宽光谱范围内吸收约 2.3% 的入射光，这使其在光学调制与探测方面非常有效。此外，石墨烯超快的载流子迁移率支持高速调制与低功耗运行，这对于能效至上的 AI 硬件至关重要。同时，石墨烯表现出强烈的非线性光学特性，可用于频率变换、全光开关及其它高级功能，使其在该领域的重要性进一步提升。

另一方面，TMDCs (如  $\text{MoS}_2$  和  $\text{WS}_2$ ) 以可调带隙和强激子效应补充了石墨烯的不足。这些材料在单层状态下具有直接带隙，增强了光与物质的相互作用，因而特别适用于光电探测器和波导。TMDCs 也展现出强非线性光学响应，能在芯片上实现倍频和参量放大等高级功能。

基于上述材料特性与优势，石墨烯与 TMDCs 显然是推动 AI 光子芯片发展的关键材料。

#### 集成技术

将二维材料集成到光子芯片中涉及多种先进封装工艺，主要包括：

**转印法 (Transfer Printing)：**将二维材料的薄层剥离后转印至硅基底，无需粘合剂，能保持其本征光学性能，并实现对光子结构 (如波导、谐振器) 的精确定位。

**混合集成 (Hybrid Integration)：**将石墨烯或 TMDCs 与现有硅光平台结合，增强光 - 物质相互作用。例如，石墨烯已用于在微环谐振器中实现高速调制器，该混合器件可实现太赫兹级别调制速度，同时保持低功耗。

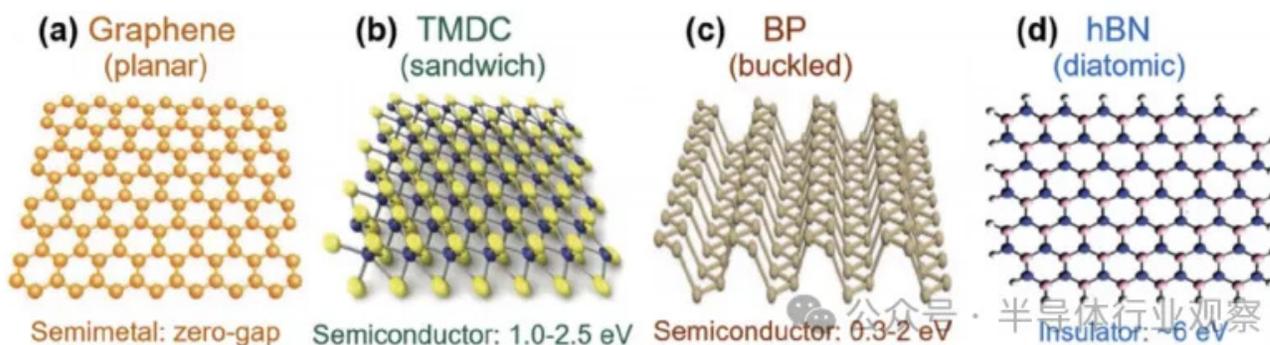
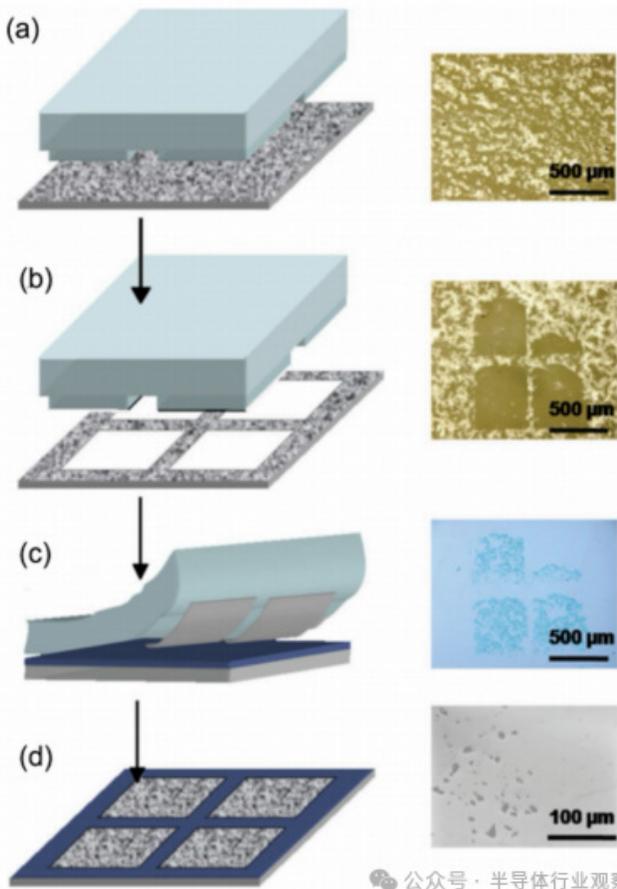


图 7: 晶体结构

a) 石墨烯, b) 过渡金属二硫化物 (TMDC), c) 黑磷, d) 六方氮化硼 (h-BN) 晶体结构图。



公众号·半导体行业观察

图 8: 图示 (左) 与光学显微镜图像 (右) 展示了目前主要的机械方法之一——柔性剥离与转印法的步骤。步骤如下:

- a) 将材料沉积在玻璃基底上,
- b) 小心地将图案化的聚二甲基硅氧烷 (PDMS) 印章“上墨”,
- c) 将“上墨”后的印章接触加热的硅/二氧化硅 (Si/SiO<sub>2</sub>) 基底,
- d) 撕开印章, 留下沉积材料。

范德华异质结构 (Van der Waals Heterostructures) : 通过堆叠不同的二维材料, 形成具有可调带隙和各向异性折射率的异质结构。这些结构被视为优化波导约束因子的理想方案。

近期的研究还表明, 采用与 CMOS 工艺兼容的技术, 可以实现基于石墨烯器件的晶圆级集成。这一突破为大规模生产含二维材料的光子芯片奠定了基础。

### 光子芯片中的应用

集成石墨烯和过渡金属二硫化物 (TMDCs) 的光子芯片在人工智能工作负载中展现出变革性的应用:

#### 一、光调制器

基于石墨烯的调制器已展示出卓越的速度和带宽性能——通过将石墨烯与硅波导集成, 研究人员实现了能够在超过 100 GHz 频率下运行的调制器。这些调制器特别适用于人工智能系统中所需的高速数据传输应用场景。

#### 二、光电探测器

石墨烯在光电探测器中的应用颇为令人惊讶, 由于其频率无关的吸收特性以及在与强吸光材料结合使用时所展现的极高载流子迁移率, 使得其性能优于传统材料 [graphenea]。研究在使用混合石墨烯 - 量子点光电探测器方向取得进展, 这类探测器被作为宽带图像传感器集成到 CMOS 相机中, 以实现高响应率 [graphenea]。

总体而言, 二维材料在波导集成光电探测器方面具有多项优势, 包括尺寸最小化、信噪比提升以及在宽带

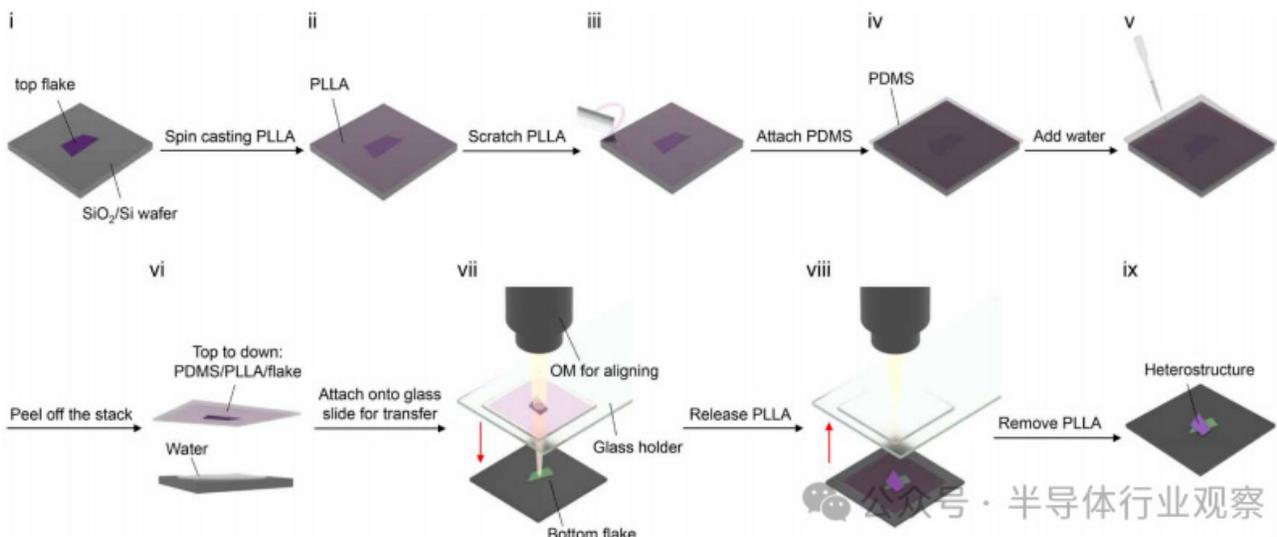


图 9: 不使用腐蚀剂构建范德华异质结构的水浸法流程示意图。

宽和高量子应用中的效率提高。

TMDCs 被用于制造在可见光和红外波段均具有高响应率的光电探测器，利用其物理特性提升探测性能。这类探测器使 AI 驱动的边缘设备能够高效获取数据 [26]。混合石墨烯 - 量子点光电探测器也在研究中，旨在在保持 CMOS 兼容性的前提下进一步增强宽带探测能力 [26]。

### 三、波导

范德瓦尔斯材料的使用使得超薄波导得以实现，并具有低传播损耗的特性。通过将硅光子学与波导集成的石墨烯相结合，实现了全可调性、宽带和高速运行等特性。

总体而言，这种波导应用使光子电路得以小型化，同时保持 AI 硬件所需的性能指标，在该领域推动显著进步。

### 非线性光学

TMDCs 表现出强烈的非线性响应，从而开启了诸如频率转换和全光信号处理等高级功能的大门。这些能力对于

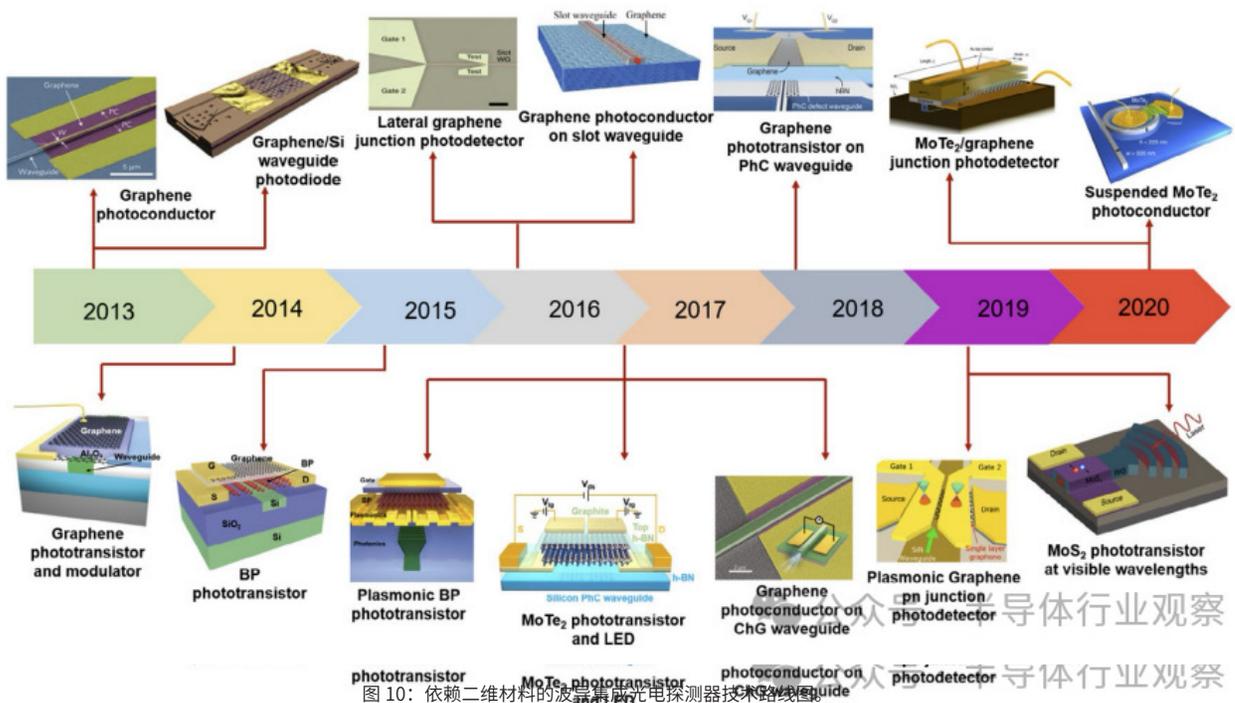


图 10: 依赖二维材料的波导集成光电探测器技术路线图。

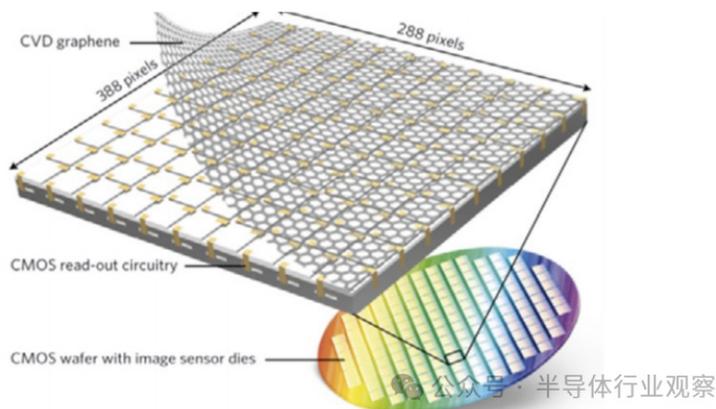


图 11: 集成在 CMOS 电路中的石墨烯 - 量子点光电探测器。

在芯片上直接实现非线性光学功能及实现芯片级量子计算至关重要。

基于石墨烯的器件也展现出在类脑架构如光子神经网络方面的潜力——近期一项研究提出了一种嵌入微环谐振器中的基于石墨烯的突触模型，能够使用多波长技术构建大规模神经网络，这一方法有望显著加速大语言模型的训练过程。

**案例研究：基于光子芯片的 AI 硬件**

集成二维材料的光子芯片因其能够以接近光速的速度执行计算任务，而比现有技术更快，因此在 AI 硬件方面展

Material	$n_2/n_{2Si}$ ( $n_{2Si} = 7.2 \times 10^{-18} \text{ m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ )	Refractive index (at 1550 nm)	TPA (at 1550 nm) [ $\text{m} \cdot \text{W}^{-1}$ ]	$\chi^{(3)}$ [ $\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-2}$ ] @ 1550 nm	$\chi^{(2)}$ [ $\text{m} \cdot \text{V}^{-1}$ ] (emission wavelength)	Band gap (eV)
Si	1	3.5	$0.5 \times 10^{-11}$	$1.6 \times 10^{-21}$	-	1.12
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	0.034	1.9-2.0	None	$2.3 \times 10^{-22}$	-	-
SiO <sub>2</sub>	0.003	1.44	None	-	-	-
WS <sub>2</sub>	291.6	-	$1.58 \times 10^{-9}$	$2.4 \times 10^{-19}$	$68 \times 10^{-11}$ (600 nm)	2.1
MoS <sub>2</sub>	37.5 15.28	-	-	$3.6 \times 10^{-19}$	$2.9 \times 10^{-11}$ (780 nm)	2
WSe <sub>2</sub>	-	-	-	$1.0 \times 10^{-19}$	$0.4 \times 10^{-11}$ (730 nm)	1.75
MoSe <sub>2</sub>	-	-	-	$2.2 \times 10^{-19}$	$5 \times 10^{-11}$ (640-700 nm)	1.7
BP	-	-	-	$1.6 \times 10^{-19}$	-	0.3-2
Graphene	2.08 5.69 10.69 2.78	-	-	$1.0 \times 10^{-19}$	-	Zero-gap
GO	1600-3750	-	-	-	-	-

公众号 · 半导体行业观察

表 1：在技术上具有重要意义的电信波长下，常见二维材料与用于硅及硅混合集成方案中的 CMOS 兼容平台主材的二阶和三阶非线性光学参数。该表表征了多种混合波导的非线性响应，展示了二维材料在当前 AI 背景下的性能潜力。

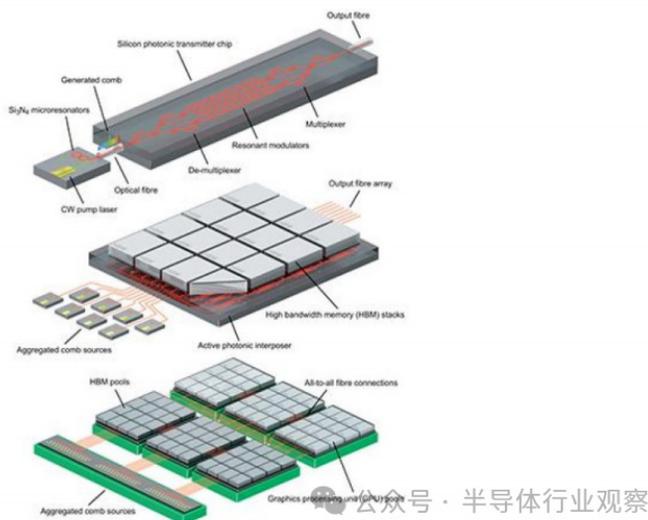


图 12：基于克尔频率梳驱动的硅光子链路的分层结构艺术示意图。

现出极大前景。例如：

麻省理工学院的研究人员展示了一种能够以光学方式执行深度神经网络计算的全集成光子处理器。该芯片通过集成非线性光学功能单元（NOFUs）实现了超低延迟和极低功耗，在不到半纳秒内完成了机器学习分类任务的关键计算，同时准确率超过 92%（与现有技术表现一致）。此芯片还采用商用工艺制造，为这一新技术的规模化铺平了道路。

哥伦比亚大学开发了一种节能的数据传输方法，通过在光子芯片上利用 Kerr 频率梳，使研究人员能够通过不同且精确的光波长传输清晰信号。这一创新提高了带宽密度并降低了能耗，这两者都是提升大型语言模型训练系统可

扩展性的关键因素。

Black Semiconductor 公司新设立了名为 FabONE 的总部，专注于开发基于石墨烯的光子连接解决方案，以实现更快速的芯片间互连。这项技术将推动高性能计算、人工智能、机器人技术、自动驾驶等领域的发展，特别是在 AI 模型的超高速训练过程方面。

这些突破性进展凸显了集成二维材料的光子芯片在加速 AI 基础设施革命方面的潜力，特别是在速度、可扩展性和能效方面的瓶颈突破。

### 挑战与未来方向

尽管潜力巨大，与所有新技术一样，要充分实现二维材料在集成光子学中的价值，还面临诸多挑战：

#### 一、可扩展性

超薄二维材料的脆弱性在大规模制造过程中带来挑战，需要在转印技术和晶圆级合成方面取得进展，才能使这项技术真正具备可扩展性。

#### 二、材料稳定性

包括石墨烯和 TMDCs 在内的一些二维材料在环境条件下会降解。为了让这项技术得到广泛采用，必须开发保护层、封装技术或一般性的保存方法，以保障其长期可靠性 [38]。

#### 三、集成复杂性

要实现与现有 CMOS 工艺的无缝集成，需要在各种技术手段和界面工程上进一步优化，才能使这项新技术顺利进入主流应用。

未来的研究应聚焦于解决上述挑战，同时继续探索与石墨烯和 TMDCs 互补的新型材料系统。二者结合，将推动由电子、光子和基于二维材料的组件构成的混合平台发展，为 AI 硬件和技术带来颠覆性进步铺平道路。

### 用于光子类脑计算芯片的自旋电子学

纳米光子学作为一门新兴的交叉学科，融合了纳米技术和光子学原理，旨在探索和利用纳米尺度结构对光波的调控能力。在光子学领域，主动器件与被动器件均扮演着重要角色，并具有广阔的应用前景。类脑系统通过借鉴神经网络的原理，试图模拟人脑的计算与认知能力。本节将系统探讨自旋电子器件与纳米光子结构在类脑计算中的协同集成。

### 类脑计算的背景与挑战

类脑计算的提出源于传统冯·诺依曼架构的根本性限制。传统计算系统受到“冯·诺依曼瓶颈”的困扰，即处理单元与存储单元的物理分离导致在数据传输中产生过高的能耗与延迟。随着处理器与存储之间性能差距的扩大，这一瓶颈进一步加剧，被称为“存储墙”。现代计算机在模拟基础脑功能时需消耗兆瓦级功率，而生物大脑仅使用 20 瓦功率却能实现惊人的认知能力。

与此同时，半导体产业面临晶体管微缩趋于极限、摩尔定律停滞等生存性挑战。这场架构危机与晶体管缩放危机共同促使人们对类脑计算范式产生浓厚兴趣。

类脑计算通过三项关键创新应对上述挑战：1) 计算与存储的共址；2) 信息的模拟编码；3) 大规模并行连接。尽管神经网络的理论框架可追溯至 McCulloch 与 Pitts 的二值神经元模型（1943 年）以及之后的深度学习发展，但实际实现面临严重的硬件限制。

基于 CMOS 的晶体管阵列实现缺乏非线性动力学、长期可塑性和随机性等基本神经生物特性。新兴的非易失性存储器技术（尤其是忆阻器）使更具生物逼真度的实现成为可能，但材料限制依然存在。阻变 RAM (RRAM)、相变材料和铁电器件在耐久性、速度和可控性之间存在权衡，限制其大规模部署能力。

三代神经网络凸显了硬件需求的不断演进：1) 以阈值操作为核心的第一代感知机；2) 要求连续非线性激活函数的第二代深度神经网络 (DNN)；3) 依赖精确时间编码和事件驱动处理的第三代脉冲神经网络 (SNN)。虽然

DNN 主导当前 AI 应用，SNN 因稀疏、基于脉冲的通信方式而在生物逼真度与能效方面表现更优。

然而，SNN 的硬件实现尤为困难，需要器件能本征地模拟生物神经元的“泄漏积分 - 发放”（LIF）动态，以及突触的“基于脉冲时序的可塑性”（STDP）。当前采用 CMOS 电路或新型忆阻器的解决方案，或缺乏基本类脑特性，或在耐久性与随机控制方面存在局限性。这种硬件 - 算法之间的落差从根本上限制了类脑计算实现类脑效率与适应性的潜力。

### 神经形态计算中的核心优势与关键自旋电子技术

自旋电子器件具备独特优势，使其成为神经形态计算硬件的领先候选。其内在的非易失性、超快动态响应 (>1 GHz) 以及几乎无限的耐久性 ( $10^{15}$  次循环) 能够实现高效、符合生物逻辑的神经网络实现方式。关键在于，自旋电子技术利用磁性和自旋相关现象，天然模拟神经 - 突触功能，同时保持与传统 CMOS 制造工艺的兼容性。其三大核心优势包括：

- (1) 磁化翻转和自旋进动中的随机性可映射为神经元的概率性发放机制，从而实现事件驱动的脉冲神经网络 (SNNs)，具备稀疏编码效率；
- (2) 多态磁化动态（如磁畴壁运动、磁涡旋核化）展现模拟忆阻特性，是调控突触权重的关键；
- (3) 非易失状态保持特性可消除空闲期间的静态功耗。

这些特性有效缓解冯·诺依曼架构瓶颈，并在速度与可靠性方面优于其他忆阻技术。

磁隧道结 (MTJ) 是基础的自旋电子构件，能够在两种运行模式下展现多样神经形态功能。在超顺磁模式下，MTJ 在平行与反平行状态间的随机翻转可生成泊松分布脉冲，应用于概率计算，在 CoFeB/MgO 结构中实现高达 604% 的隧道磁阻比 (TMR)。当作为自旋转矩纳米振荡器 (STNO) 使用时，MTJ 可产生 GHz 级的电压振荡，并与外部刺激同步，用于构建耦合振荡器网络以实现模式识别。自旋轨道转矩 (SOT) 器件通过重金属 / 铁磁体双层结构实现无场磁化翻转，扩展了这些能力。SOT 驱动的自旋霍尔纳米振荡器 (SHNOs) 在二维阵列中可实现互同步，三端结构的 MTJ 则通过读写路径分离增强突触精度 [Fukami2016]。磁纳米线中的磁畴壁运动提供连续的电阻调制，适用于模拟突触，实现每次突触更新能耗为 32 meV。

新兴的拓扑自旋结构如磁涡旋 (skyrmion) 具备类粒子动态，可用于生物启发计算模型。在手性磁体中，直径小于 100 nm 的涡旋的生成与湮灭模拟神经递质释放的概率机制，阈值电流为 10  $\mu$ A。反铁磁 (AFM) 自旋电子学提供 THz 级动态响应和无杂散磁场特性，通过补偿磁矩实现高密度交叉阵列。基于 AFM 的突触展现 100 ps 的翻转速度和高达 200° C 的热稳定性]。

这些技术的融合使得构建“全自旋神经网络”成为可能：结合基于 STNO 的神经元 [Romera2018]、磁畴壁忆阻突触与涡旋概率互连，该硬件生态系统在物理层面协调设计，解决了存储 - 计算分离难题。

### 自旋电子技术在系统层级的应用探索

自旋电子神经形态系统通过基于物理机制的架构创新，在认知计算模式中展现变革潜力。一项前沿实现中，四个同步运行的自旋转矩纳米振荡器 (STNOs) 处于耦合的微波发射状态，用于实时元音识别任务，准确率达到 96%，比等效的深度神经网络高出 17%，且每次分类仅消耗 3 mW 功耗。该事件驱动架构利用 2.4 GHz STNO 阵列的固有频率复用特性，将时间语音信号直接映射到振荡器的同步状态，从而省去了模数转换的开销。

对于大规模实现， $32 \times 32$  元素的自旋霍尔纳米振荡器 (SHNO) 交叉阵列通过传播的自旋波在 100  $\mu$ m 距离上实现互相锁相，从而通过集体动态而非离散突触权重完成模式补全任务。

磁涡旋网络通过拓扑保护的粒子相互作用引入概率计算能力。在手性磁体中，50-100 nm 尺寸的涡旋网络通过核化密度编码概率分布，构建贝叶斯推理引擎，实现气象预测模型中的 92% 准确率，在  $10^5$  个随机状态下进行内存采样。该方案相较于 GPU 实现的蒙特卡洛仿真，能耗减少了 10 倍，通过模拟电流控制的状态重组方式实现。

反铁磁 (AFM) 自旋电子器件具备抗杂散场和 1 THz 动态性能, 可实现超高密度结构。在 IrMn 基交叉阵列中, 每次突触更新的实验能耗为 4 fJ, 权重漂移在  $10^{12}$  次循环内保持在 0.1% 以下。

在储备计算 (Reservoir Computing) 实现中, 系统利用非线性磁化动态进行时间信号处理。单个旋涡型 STNO 通过时间复用进动状态等效于 400 个神经元, 解决 Mackey-Glass 混沌时间序列预测任务时, 归一化均方误差仅为 0.012。基于涡旋的储备结构利用无序磁结构中的新兴相互作用处理 10 MHz EEG 信号, 功耗为 20  $\mu$ W, 成功实现实时癫痫发作检测, 依赖自旋结构动态中的分叉检测机制。

展望大规模部署, 结合 STNO 神经元、磁畴突触与 AFM 互连的“全自旋神经网络”有望实现 >100 TOPS 的认知计算性能, 系统功耗低于 10 mW, 通过在物理层面联合设计神经 - 突触功能结构达成。

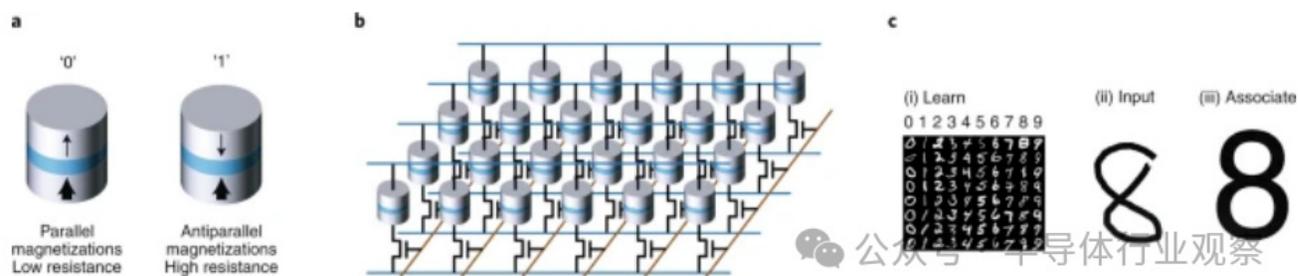


图 13: 用于存储应用的磁隧道结。

- a、一种磁隧道结由两个铁磁层 (灰色) 夹着一层绝缘层 (蓝色) 组成, 其中一层的磁化方向固定, 另一层的磁化方向可与其平行 (低电阻) 或反平行 (高电阻)。标签“1”和“0”分别表示这两种状态。
- b、高密度存储用的磁隧道结交叉阵列 (磁性随机存储器)。通过激活相应的字线 (红色), 允许底部位线与顶部感应线 (均为蓝色) 导通, 从而测量某个特定隧道结的电阻。通过施加足够的电流可以切换磁化方向。
- c、联想记忆: (i) 来自 MNIST 数据集的手写数字用于训练联想记忆; (ii) 训练后输入的测试样本; (iii) 测试输入产生的训练网络输出, 显示成功的联想。

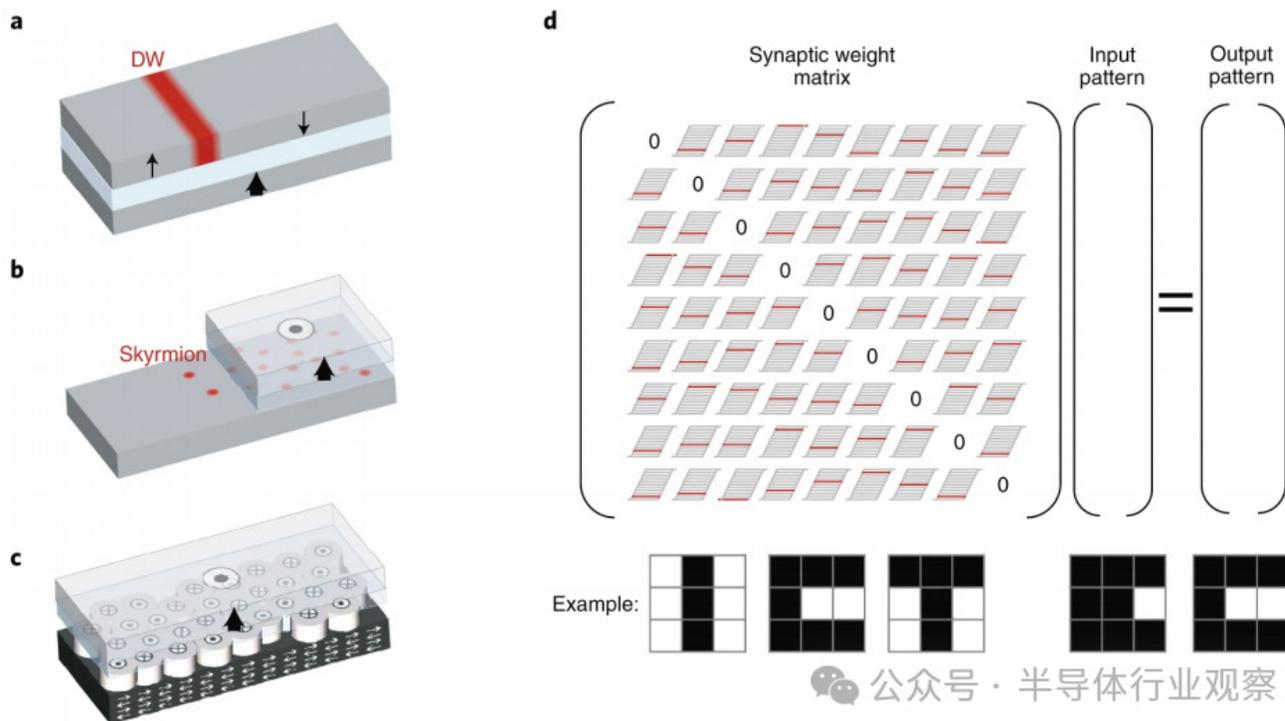


图 14: 基于自旋电子学的忆阻器。

- a、畴壁忆阻器: 磁隧道结的电阻取决于畴壁位置, 从而改变高电阻反平行态与低电阻平行态的相对面积。

- b、基于 Skyrmion 的忆阻器：设备的电阻取决于固定层下方的 Skyrmion 数量。
- c、细磁畴隧道忆阻器：在与多晶反铁磁体耦合的隧道结中，由于各个磁畴的切换特性不同，使得磁畴可以在不同条件下独立翻转。设备的电阻由与固定层磁化方向一致的磁畴所占比例决定。
- d、自旋电子联想记忆：每个非对角矩阵元素的值通过忆阻器的配置存储，用不同的电平表示。这些电平经过训练，使得在矩阵与输入相乘后，结果最接近训练集中的某一元素。乘法运算通过施加对应输入的电压并测量相关忆阻器的输出电流完成。d 图下方的前三个图像为网络训练识别的图像，第四个为其中一个图像的“噪声”版本，第五个为重构后的正确图像。

## 当前挑战与未来方向

### 长上下文窗口与长序列下的内存问题

内存与上下文窗口：光子加速器通常缺乏足够的片上内存来缓存长序列的 tokens。现代 LLM 推理可能涉及上万个 tokens，需要存储激活值、键 / 值对以及整个上下文中的中间状态。由于片上通常缺少大容量 SRAM 或 NVM，光子系统只能将数据流进流出，这重新引入了冯·诺依曼瓶颈。正如 Ning 等人所指出，“数据移动经常成为整个系统的瓶颈”，这一问题不仅存在于传统电子处理器，也同样适用于光处理器。实践中，有限的片上内存迫使光子 LLM 实现从外部 DRAM 或硬盘中获取上下文，从而带来延迟并破坏全光计算流水线。

诸如“检索增强生成”（retrieval-augmented generation）等新兴用例进一步加剧了这一问题：对多 TB 文本语料库进行近实时搜索与分词，又引入一轮高开销的内存访问。简而言之，光子芯片的有限存储能力限制了 LLM 的上下文长度与吞吐量，使得长序列推理成为一个主要挑战。

### 光子计算系统中大规模数据集的存储问题

存储与 I/O 瓶颈：大语言模型及其训练数据或知识库涉及 PB 级甚至更大的数据集。光子加速器仍依赖于高速外部存储与内存来提供这些数据。所需的 I/O 带宽常常超出现有接口的处理能力：即使光核本身运行极快，但如果无法快速供数，也会造成资源浪费。分析人士警告 LLM 面临越来越严重的“内存墙”，数据移动成为主导限制因素。

现实工作负载使情况更为严峻：例如检索增强型 LLM 需反复提取和处理大量文本块，对 I/O 系统造成极大压力。有些提议（如将权重存储与计算单元共置的非易失性存储）可减少 I/O 开销（一项研究报告使用片上 Flash 存储权重可减少 1000 倍 I/O），但考虑到数据集体量，多 TB 语料库的缓存、调度与总线带宽仍将是光子 LLM 系统中的关键瓶颈。

### 精度与转换开销问题

光子计算本质上是模拟的，因此很难表示 LLM 推理所需的高精度张量。当前最先进的光子 Transformer 设计依赖高分辨率 ADC/DAC 来保持精度，而这些转换器消耗了大部分芯片面积与功耗。例如，在某个光子 Transformer 加速器中，ADC/DAC 电路占据了超过 50% 的芯片面积，并成为性能瓶颈。

如何在大幅增加转换开销的前提下减少量化误差是持续的挑战：低比特转换器或共享 ADC 架构可优化面积与能耗，但可能影响模型精度。因此，找到最优的模拟量化方案或混合信号架构（例如使用数字校正少量值）对下一代光子 LLM 芯片至关重要。

### 缺乏原生非线性函数

光子硬件擅长执行线性运算（如通过干涉仪实现的矩阵 - 向量乘法），但在实现激活函数和非线性层方面历来缺乏高效手段。早期集成光子神经网络虽可进行快速矩阵乘法，但激活函数仍依赖电子电路。实践中，许多光子 LLM 加速器仍需转换至 CMOS 以实现 softmax、GELU 等点操作函数。

集成高效的片上非线性元件（如光学可饱和吸收器、光电调制器或纳米光子非线性元件），或开发最小化转换差距的混合光电计算流水线，是实现全光 LLM 推理的重要工程挑战。

### 光子注意力架构

目前的主要研究方向之一是将 Transformer 中的自注意力机制直接实现于光域中。这要求设计可调光学权重元件与可重构干涉仪网络，以光学方式计算  $Q \times K$  及  $V$  加权和。例如，光子张量核（photonic tensor cores）正在开发中，利用马赫 - 曾德尔干涉仪（MZI）网格或其他交叉阵列实现大规模矩阵并行运算。可调权重可以通过相位调

制器、微环调制器，甚至磁光存储单元来实现：有研究提出使用 Ce:YIG 谐振器存储多比特权重，从而实现片上非易失性光学权重存储。

此外，来自储备计算（Reservoir Computing）的基于延迟方案可提供时间上下文：长光延迟线或串联微环已展示出极高的序列记忆能力。未来构想是：实现一个全光 Transformer 模块，其中动态权重矩阵被编程进光学网格，过往 token 状态保存在延迟路径中，使自注意力机制得以光速运行。

最新设计如 Lightning-Transformer（动态运行的光子张量核）与 HyAtten 验证了这一思路：它们实现了高度并行、全范围矩阵运算，同时最大限度减少了片外转换。持续推进集成光学缓存、高带宽调制器以及光学 softmax 逼近将推动该方向的发展。

### 类脑与脉冲光子 LLM

另一条前沿路径是将 LLM 推理重构为类脑、事件驱动范式。SNN 以稀疏的异步事件形式处理数据，天然契合光子的优势。事实上，已有基于相变神经元和激光脉冲的全光脉冲神经网络在芯片上实现。

人们设想可以将 token 流编码为光学脉冲，通过具有突触权重的光子 SNN 实现序列处理。混合光子 - 自旋电子设计在此可发挥作用：自旋电子器件（如磁隧道结、相变突触）可提供紧凑的非易失性权重存储，并可与光神经元接口。

近期关于磁光存储的光子片上权重研究、利用极端稀疏性的光子类脑加速器研究表明，在光子芯片中嵌入非线性、事件驱动组件是可行的。这类架构可利用数据稀疏性（大多数 token 仅弱激活网络），仅在事件发生时更新权重，从而显著降低能耗。

在光子类脑硬件上探索脉冲注意力模型或稀疏 Transformer 变种，是未来低功耗 LLM 推理的令人兴奋的发展方向。

### 系统集成与协同设计

最后，在光子平台上扩展 LLM 需跨层次的协同设计。这包括将光子处理器与先进的光学 I/O 和存储层次结构整合，以及从算法层面匹配硬件特性。例如，近期在商用代工厂制造的全集成光子 DNN 芯片展示了在芯片内全光完成神经网络计算的可能性。

将此类集成扩展到 Transformer 级别模型将需要密集的波分复用（WDM）、片上传输的光学网络架构（NoC）、以及新型封装（如共同封装光学）来提升吞吐量。同时，软件工具链（如量化、并行性、布局）也需适配光子硬件。

关于光电协同封装与存内计算架构的努力提供了路线图：通过将光子张量核与共置的内存和控制逻辑紧密耦合，可缓解冯·诺依曼架构带来的数据瓶颈。

从长远来看，成功可能来自“全球协同设计”——即将 Transformer 算法的稀疏性、低精度、模型分区等特性与非冯·诺依曼的光子芯片能力精确匹配。这些软硬件的协同创新将释放光计算在下一代 LLM 负载中的巨大并行潜能。

### 结论

光子学的进步正在推动计算技术的变革，其中光电器件与光子平台的集成处于前沿。这一集成催生了光子集成电路（PICs），它们作为超高速人工神经网络的构建模块，是新一代计算设备创建的关键。这些设备旨在应对机器学习和人工智能应用在医疗诊断、复杂语言处理、电信、高性能计算和沉浸式虚拟环境等多个领域中所带来的高强度计算需求。

尽管已有诸多进展，传统电子系统在速度、信号干扰和能效方面仍存在局限。神经形态光子技术以其超低延迟的特性，作为一种突破性解决方案出现，为人工智能和神经网络（ONNs）的发展开辟了新的路径。本综述从光子工程和材料科学的角度出发，聚焦神经形态光子系统的最新发展，批判性地分析当前和预期面临的挑战，并描绘出克服这些障碍所需的科学与技术创新图谱。

文章重点介绍多种神经形态光子人工智能加速器，涵盖从经典光学到复杂的 PIC 设计的广泛技术领域。通过详细的对比分析，特别强调其在每瓦操作次数（operations per watt）方面的运行效率。讨论转向诸如垂直腔面发射激光器（VCSEL）/ 光子晶体面发射激光器（PCSEL）和基于频率微梳的加速器等专用技术，突出了在光子调制和波分复用方面的最新创新，以实现神经网络的高效训练与推理。

鉴于当前在实现每瓦千万亿次操作（PetaOPs/Watt）计算效率方面存在的技术瓶颈，本文探讨了提升这些关键性能指标的潜在策略，包括拓扑绝缘体与 PCSELS 等新兴技术，以及提升制造工艺、系统可扩展性与可靠性的手段。本文不仅描绘了当前的技术图景，也预测了神经形态光子技术在推动人工智能能力边界方面的未来发展路径。

总的来说，随着摩尔定律的终结以及光子版“摩尔定律”的起飞，我们预计将在 PIC 的成本、可扩展性、可集成性以及总体计算能力方面看到显著提升。PIC 最终将取代 IC，成为未来计算系统的核心支柱。

（来源：半导体行业观察）

## AI 算力新材料，“磷化铟”市场崛起

在科技飞速发展的当下，AI 技术如汹涌浪潮，席卷全球各个领域，成为推动社会进步与产业变革的核心力量。而在 AI 产业蓬勃发展的背后，半导体材料作为关键支撑，正经历着前所未有的变革与创新。其中，磷化铟材料以其独特的性能优势，在 AI 产业中崭露头角，逐渐成为市场瞩目的焦点。

### 01 什么是磷化铟？

铟，化学符号为 In，原子序数 49，属于 III A 族金属元素。其质地极为柔软，呈银白色并略带淡蓝色光泽，具有良好的延展性，熔点较低，沸点却较高。铟在地球地壳中的含量相对稀少，且并无独立的矿床，主要以杂质形式存在于锌、铅等其他金属矿中。

在半导体行业中，铟化合物——磷化铟（InP）属于第二代半导体。磷化铟晶体具有闪锌矿型结构，其熔点为 1070°C。多晶合成方法一般包含水平布里奇曼法和直接注入法，单晶制备主要采用垂直布里奇曼法（VB）、垂直温度梯度凝固法（VGF）和液封直拉法（LEC），其中单晶生长方法主要有高压液封直拉法（HPLEC）及其改进技术和温度梯度凝固法。

凭借其卓越电子迁移率、出色的耐辐射性能以及宽大的禁带宽度，使得它成为制造高性能光电器件的理想选择。这种材料制作的器件能够有效地放大高频或短波长信号，为光电通讯领域带来了革命性的变革。利用磷化铟芯片制造的卫星接收器和放大器，能够在 100GHz 以上的超高频率下稳定工作，且性能稳定可靠。相较于砷化镓半导体材料，磷化铟的击穿电场更高、热导率更优，同时电子迁移率也更为出色。

磷化铟（InP）作为光通信技术的关键材料，发挥着至关重要的作用。InP 是一种直接带隙材料，特别适用于制造吸收或发射光纤通信光谱中两个关键波长（即 1310nm 和 1550nm 波）的单一或集成器件。这两个波长分别是光纤通讯的两个主要窗口，1310nm 波长用于短距离局域通信网，而 1550nm 波长则适用于长距离高速率的光通信系统。

在光通信系统中，必需的 III-V 族三元合金（如 InGaAs 光电探测器）和四元合金等器件（如 InGaAsP 激光器）都工作在这个波长范围内，而 InP 单晶与这些合金具有晶格匹配性。因此，InP 成为生产光通讯中 InP 基激光二极管

管 (LD)、发光二极管 (LED) 和光电探测器等核心器件的关键材料。这些器件共同实现了光纤通信中的信息发射、传播、放大和接收等功能,奠定了当今高速互联网的基础。

比如,思科 400G 光模块采用磷化铟 EML 激光器,应用于阿里云数据中心,单模块每秒传输数据量达 400Gbps。思科 400G 光模块采用磷化铟 EML 激光器,应用于阿里云数据中心,单模块每秒传输数据量达 400Gbps。

此外,磷化铟哈子探测器领域应用广泛。比如,Luminar Iris 激光雷达搭载磷化铟探测器,250 米距离可探测 10% 反射率目标(如黑色轮胎),应用于蔚来 ET7、沃尔沃 XC90 等车型。恩智浦 UWB 芯片采用磷化铟工艺,实现厘米级定位精度,支持宝马数字钥匙无接触进入功能。中国“吉林一号”卫星的磷化铟红外相机实现 10 米分辨率夜间成像,用于农业监测和灾害应急。

### 02AI 产业带动硅光技术应用,推动磷化铟市场爆发

英伟达在 gtc2025 大会上重磅发布新一代交换机 Quantum-X,这款产品主要面向 800G 和 1.6T 高速数据传输场景,采用先进的硅光技术。硅光技术体系中,外置光源激光器是不可或缺的关键组件,而磷化铟正是制造高速光芯片的核心材料,其重要性不言而喻。

在市场表现方面,Coherent 公司的业绩数据极具说服力。2024 年四季度,该公司磷化铟相关业务实现了同比 2 倍的高速增长。不仅如此,Coherent 还率先建立起全球首个 6 英寸磷化铟晶圆生产线,并制定了雄心勃勃的产能扩张计划,预计在 2026 年前将产能提升至当前的 5 倍。

在全球范围内,磷化铟衬底市场规模快速增长。受 AI 算力、数据中心和 6G 通信驱动,Yole 预测全球 InP 衬底市场规模将从 2022 年的 30 亿美元增至 2028 年的 64 亿美元,年复合增长率达 13.5%。这一增长主要由光通信、5G 与卫星通信、新兴技术等领域推动。例如,100G/200G 光模块需求激增,使得 InP 基激光器芯片成为主流选择;高频器件(如 HEMT、pHEMT)对 InP 衬底的需求也随 5G 网络建设而上升。此外,量子点激

光器、硅光集成等前沿技术的商业化加速,进一步扩大了市场需求。

在数据通信和人工智能应用场景中,基于磷化铟的外调制激光器和高功率连续波激光器发挥着举足轻重的作用。它们推动了适用于超大型数据中心和机器学习集群的收发器解决方案的快速落地。以相干收发器为例,这一高性能主力器件能够跨越数千公里的距离,在单个波长上实现高达每秒 800Gbps 的数据传输速率,充分满足了 AI 时代海量数据高速传输的严苛要求。随着这些应用需求的持续井喷,晶圆厂亟需具备与之匹配的规模生产能力,而向 6 英寸晶圆尺寸的转变无疑是实现这一目标的关键一步。

全球领先的半导体沉积设备供应商爱思强也宣布,其最新 G10-AsP 系统已交付荷兰磷化铟(InP)代工企业 SMART Photonics。该设备将显著提升 SMART Photonics 在 GaAs/InP 材料领域的大规模生产能力,助力其应对快速增长的市场需求。

### 03 更大尺寸的磷化铟晶圆改变行业模式

经济高效、可靠、高速、可持续——除了这些显著优势之外,更大尺寸的磷化铟(InP)晶圆(比如 6 英寸产品)还带来了一些重要益处,这些对半导体技术及其他领域的发展都至关重要。

更大的晶圆意味着每个晶圆上可以制造更多的器件,这使得晶圆厂的整体生产能力得以提升,从而满足不断增长的市场(如人工智能互连、数据通信、电信、汽车、工业和消费电子等领域)对光器件迅速增长的需求,进而增强了竞争力和盈利能力。

向 6 英寸晶圆的转变为生产带来了诸多优化。Coherent 高意公司借助更高产能、更高效的自动化加工工具,在不增加工厂占地面积的前提下,实现了晶圆厂产能的大幅提升。同时,自动化程度的提高有效降低了每个晶圆生产过程中的劳动力成本。多重因素叠加,使得芯片成本降低幅度超过 60%,为半导体产品的大规模应用奠定了坚实的成本基础。

更大的晶圆尺寸还提高了一致性,从而带来更高的良率。同时,它还降低了诸如晶圆认证等活动分摊到每个芯片上的间接成本。

未来,国内 InP 衬底市场将呈现国产加速与生态重

构的趋势。短期内，中低端 2-4 英寸 InP 衬底将实现全面国产化，价格下降 30%-50%；6 英寸衬底进入小批量试产，半绝缘衬底良率提升至 60%。

长期来看，6 英寸衬底将实现量产，半绝缘衬底市占率提升至 30%，切入 100G 以上光模块市场。国内企业将从衬底向外延片、器件延伸，形成“材料-器件-应用”全产业链，在价格和服务上挤压国际厂商份额，但技术壁垒仍需 5-10 年突破。

#### 04 国产厂商也有布局

当前全球 InP 衬底市场高度集中，前三大厂商（日本住友电工、美国 AXT、法国 II-VI）占据 91% 的份额。日本住友电工采用 VB 法生产 4 英寸掺 Fe 半绝缘衬底，技术成熟且良率稳定；美国 AXT 凭借 VGF 法实现 6 英寸 InP 衬底量产，成本优势显著；法国 II-VI 则聚焦高端外延片，在光通信领域占据主导地位。好在国产厂商也在不断突破。

国内替代进程中，头部企业加速技术攻关。如华芯晶电采用垂直梯度凝固法（VGF）突破 4 英寸 InP 衬底制备技术，产品良率达 70%，价格仅为进口产品的 50%，已进入苹果供应链。其子公司立昂晶电通过优化晶体生长工艺，实现大尺寸、低位错衬底量产，填补国内空白。

云南锗业年产 15 万片 4 英寸 InP 衬底，良率提升至 70%，计划扩产至 10 吨/年（全球第一），目标切入华为海思、Wolfsped 等头部供应链。有研新材则布

局 InP 外延片技术，与国内光模块厂商合作推进国产化。

据了解，云南锗业“6 英寸高品质磷化铟单晶片产业化关键技术研究项目”已完成项目研究任务。其控股子公司云南鑫耀半导体材料有限公司化合物半导体材料产品砷化镓晶片（衬底）、磷化铟晶片（衬底）均已批量生产，并已向国内外多家客户供货，磷化铟晶片产能为 15 万片/年（2-4 英寸）。

广东睿晶芯半导体有限公司投资控股的广东睿晶芯半导体科技产业园项目总投资 11 亿元，用地约 100 亩，预计年产 30 万片磷化铟单晶衬底片，年销售总收入预计超过 6 亿元。

此外，国内生产磷化铟衬底的还有北京通美、珠海鼎泰等厂商。北京通美晶于 2022 年申报科创板。招股书显示，北京通美核心团队从事 III-V 族化合物半导体材料业务已逾 35 年，截至 2021 年 9 月 30 日，北京通美拥有发明专利共计 51 项，其中境内发明专利 42 项，境外发明专利 9 项，此外北京通美以 Know-How 方式保有众多工艺及配方类专有技术。珠海鼎泰芯源于 2017 年与中国科学院半导体研究所共同成立“化合物半导体晶体材料联合实验室”，推动技术成果产业化。

（来源：半导纵横）

## 下一个“芯片金矿”——智能眼镜

当夕阳的余晖透过 1950 年纽约的玻璃窗，洒在阿西莫夫伏案疾书的稿纸上。

在发表《我，机器人》的那个遥远的下午，这位科幻巨匠或许未曾料到，自己笔下那些拥有自我意识的机器人，正以另一种形态叩击着人类文明的边界。

“智能眼镜，将会是远超 VR 的产品。”

Meta 创始人扎克伯格在日前的一次访谈中笃定。Meta 的一季度财报也证实了扎克伯格的观点，公司表示 Ray-Ban Meta AI 眼镜月活跃用户是一年前的 4 倍多。一场关于人机交互的革命，在镜片的方寸之间展开。

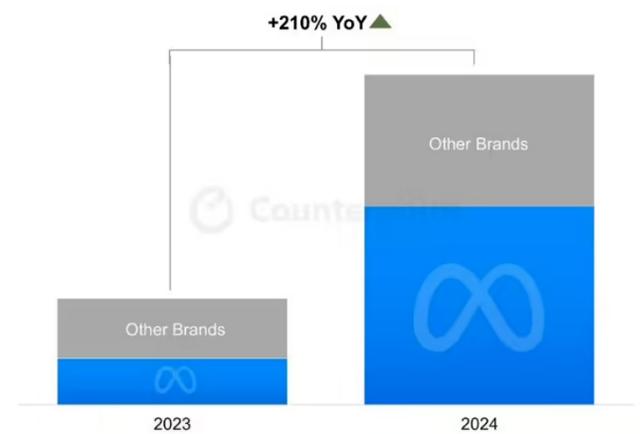
#### 01 等待一阵风

AI 眼镜的火爆，是 Meta 以一己之力将这个品类推

到了 AI 硬件的前端。具体来看，2024 年全球智能眼镜的出货量中，Ray-Ban Meta 一款眼镜就占据了其中的 60%。

4 月初，Meta 官宣代号为 Hypernova 的新眼镜研发计划，价格预计在 1000 ~ 1400 美元区间。据称这款新品将实现从 AI 向 AI + AR 的技术跨越，用户可以体验更加沉浸式的虚拟与现实融合场景。

苹果 CEO 库克早就被爆“一心扑在智能眼镜研发上”，誓要推出一款对标 Meta 的 Ray-Bans 智能眼镜



的产品，计划将在 2026 年底正式推出首款 AI 智能眼镜。

小米已经将 AI 眼镜设立为独立产品线，对标 Ray-ban Meta。华为 2021 年发布了首款搭载 HarmonyOS 的智能眼镜，成为 AI 眼镜探路者。到了今年，最新推出了华为智能眼镜 2，定价 2299 元。

百度智能眼镜的发售时间，也是从预计的 2026 年，直接提到了 25 年上半年。样品还没见到，连百度百科都准备好了。

今年 5 月，已经有 10 款 AI 眼镜上线。

5 月 27 日，雷鸟发布了四款 AI 眼镜新品。在这之前，谷歌在 5 月 20 日与中国公司 XREAL 发布了 Project Aura AR 眼镜。5 月 25 日，李未可发布了搭载高通骁龙 AR1 平台的 AI 拍摄眼镜；5 月中旬，联想也发布了两款 AI 眼镜新品。

除了上述企业，Rokid、影目科技、致敬未知、谷东科技、回车科技、加南科技等旗下皆有 AI 眼镜。

短短数月市场上已经涌现出上百个 AI 眼镜的产品发布或者研发计划。仅是今年第一季度，该领域融资额就突破 20 亿美元，资本亦是疯狂涌入。

但与“百镜大战”形成鲜明对比的，是 AI 眼镜的销售数据。

据洛图科技 (RUNTO) 线上监测数据，2025 年第一季度，智能眼镜 (含 AR 眼镜) 销量大约 11.6 万副。其中，AI 拍摄眼镜仅 1.6 万台。另据 CINNO Research 统计数据，今年第一季度，无显示的 AI 智能眼镜 (含音频) 销量仅为 1.9 万台。

普通用户距离智能眼镜的距离依然很远，真正愿意为智能眼镜买单的消费者可谓寥寥无几。现在入局 AI 眼镜的厂商，都像是准备就绪的猪。已经爬到了“薛定谔”的风口上，就等着下一波风开始吹。

## 02 芯片厂商，已就位

这一轮 AI 眼镜的突破，重点在于硬件功能和 AI 能力的深度融合。

当 AI 眼镜增加了麦克风、摄像头、存储、SoC 等电子零部件，并且实现语音交互、拍照等功能后，用户的体验进一步提升。

随着玩家的不断加入，AI 眼镜厂商正在硬件上达成

## 小度AI眼镜

全球首款搭载中文大模型的原生AI眼镜

小度AI眼镜是**百度**旗下**人工智能品牌小度**推出的“全球首款搭载中文**大模型**的原生AI眼镜”，具备第一视角拍摄、边走边问、识物百科、视听翻译、智能备忘等功能。<sup>[1]</sup>

该款眼镜重量仅有45g；搭载1600万像素超广角摄像头、配备自研的AI防抖算法；结合四阵列麦克风和定制的开放式防漏音扬声器单元，可识别声源方向，区分出佩戴者和其他人；采用低功耗的电路架构设计，能够实现56小时待机，支持连续5小时以上聆听，30分钟可充满电。<sup>[3]</sup>

百度集团副总裁、小度科技CEO**李莹**表示，小度AI眼镜将于2025年上半年正式上市。<sup>[1]</sup>

AI眼镜推出情况

时间	产品	像素	定价
2023年9月	Ray-Ban Meta	1200万像素	约299美元
2024年11月	小度AI眼镜	1600万像素	/
2024年11月	Looktech AI眼镜	1300万像素	约199美元起
2024年11月	INMO Air3	1600万像素	约4999元
2024年11月	Rokid Glasses	1200万像素	约2499元
2024年11月	谷东Star1	4800万像素	/
2024年12月	加南kanaan-k1	500万像素	约1388元
2024年12月	闪极AI“拍拍镜”	1600万像素	约999元
2025年1月	雷鸟V3	1200万像素	约1999元
2025年5月	联想Lecoo斗战者G1	1200万像素	约1999元
2025年5月	雷神AI智能眼镜	1200万像素	约1799元
2025年5月	NSVE BleeqUp AI眼镜	1600万像素	/
2025年5月	李未可View AI拍摄眼镜	1200万像素	约1999元
2025年5月	雷鸟V3 Slim	1200万像素	约1799元



第三种，SoC + MCU。这类方案的优势在于既兼顾了性能，又兼顾了能耗。

SoC 适用于高计算需求的应用，如分时操作系统、人工智能和摄影功能，而 MCU 则适用于低计算需求的应用，如音频处理。但缺点也很明显，成本太高。并且对芯片设计和系统开发的技术要求也较高。

以上三种方案中，恒玄科技市场副总裁高亢、炬芯科技穿戴和感知事业部总经理张天益都认为两年内 ISP+MCU 综合来看会是更优选，能够提供更多的想象空间和落地场景，同时考虑到行业内很多应用生态跟 IP 处理器相关，所以 SoC 也不会被取代。

### AI 眼镜，两种存储方案

AI 眼镜中不断增加的新功能，对于存储性能也提出了更高的要求。一方面，DeepSeek R1 等端侧模型推动 AI 眼镜从云端依赖转向本地化处理，NOR Flash 和 LPDDR5 等低功耗嵌入式存储芯片需求显著增长。另一方面，AI 眼镜在使用场景中往往需要存储如影像、资料等大量数据。IDC 数据显示，2025 年 AI 眼镜平均存储容量将从 8GB 增至 16GB。

“共识”。拆解 AI 眼镜的核心零部件，按照成本排序：SoC、存储芯片、结构件、传感器、摄像头模组、代工组装等。

### 三种 SoC 方案，激烈角逐

目前，AI 眼镜搭载 SOC 芯片共有三种方案。

第一种，系统级 SoC。这类方案的优势在于高度集成与全能性能。

这方面采用 4nm 工艺的高通 AR1 是众多厂商的主要选择，Meta 眼镜使用高通的 AR1Gen1 芯片，续航约四小时；OPPO 在骁龙峰会上也展示了应用了骁龙 AR1 Gen1 芯片开发的 XR 眼镜产品。

第二种，MCU 级 SoC + ISP。这类方案的优势在于极致低功耗与成本控制。MCU（微控制单元）主要负责简单的逻辑控制与基础运算，功耗极低；而 ISP（图像信号处理器）则专注于图像数据处理。

这方面代表性方案有恒玄科技 BES2500YP、紫光展锐的 W517，集成了高性能的 SoC 和 ISP。也有一些 MCU 的方案，国外厂商这边，ST 意法半导体推出了 STM32N6 MCU，表示可以用于 AI 眼镜，国内这边方案包括富瀚微 MC6305、瑞芯微 RK3588/RK356X、炬芯科技 ATS3085 等。

由于 MCU 与 ISP 的技术门槛相对较低，生产成本可控，使得搭载该方案的 AI 眼镜价格亲民，能够快速打开下沉市场。

目前 AI 眼镜中使用的存储方案有两种：eMCP 类存储产品和 ePOP 类存储产品。

eMCP 类存储产品，是将多个芯片（如 DRAM 和 NANDFlash）封装在一起的存储产品，具有体积小、功耗低、性能稳定等特点。这类存储主要布局厂商以兆易创新、普冉股份、东芯股份等为代表。

ePOP 类存储产品，是一种新型的封装技术，将多个芯片封装在一起，形成一个紧凑的存储模块。这类存储产品轻薄小巧、功耗低，非常适合用于 AI 眼镜等智能穿戴设备。这类技术以佰维存储为代表，目前佰维存储的 ePOP 系列产品已成功应用于 Meta 等公司开发的 AI 智能眼镜中。

### CIS 芯片，趋向小型化

当前 AI 眼镜产品主要有 4 种形式：

- 无摄像头无显示，如李未可 Meta Lens，Chat AI 眼镜待机时间最高可达 5 天；
- 无摄像头带显示如魅族 StarV Air2，主要应用场景在 AI 问答、翻译等；
- 带摄像头无显示，如 Ray-Ban Meta，AI + AR 能够有效提升产品的智能属性；
- 带摄像头带显示，如 Rokid AI 眼镜，搭载高通 AR1、12 MP 相机。

当前，带摄像头成为 AI 眼镜的一个刚需，并且也算是 AI 眼镜一大卖点。毕竟，用户能够直接体验的也是摄像功能。目前围绕 AI 眼镜，CIS 企业也展开了小型化竞争。

格科创新了高性能 CIS 封装技术——TCOM（Tiny Chip On Module）封装。相比同规格 COB 封装芯片，模组尺寸缩小 10%。而且，与行业现行的小型化方案相比，具备显著的成本优势和更高的背压可靠性。目前，据了解格科 500 万像素 CIS 已在 AI 眼镜项目量产。

豪威集团目前成功赢得亚马逊 AR+AI 眼镜项目订单。此前，市场仅有索尼的 IMX681 一款产品能满足这些要求，因此索尼在高端 AR/AI 眼镜图像传感器市场占据了主导地位。然而，豪威凭借其在 CIS 领域的技术积累和创新能力，成功研发出专门面向 AR/AI 眼镜的新型图像传感器，并凭借优异的性能获得了亚马逊等国际大客户的青睐。

此外，传音所发布的 AI Glasses 系列，产品配备了型号为豪威 OV50D 的 5000 万像素摄像头，这可能是目前像素最高的 AI 眼镜，相对应的是，该产品采用的是少见的物奇微 WQ7036+ 意法半导体 STM32N6+ISP 方案。

### ODM，布局加速

由于 AI 眼镜涉及精密光学、传感器、芯片模组等复杂组件，代工企业（OEM/ODM）凭借成熟的制造工艺和柔性供应链，成为品牌方快速进入市场的关键。

目前国内 AI 眼镜 ODM/OEM 代工厂比较出色的有：歌尔股份、立讯精密。

歌尔股份是全球代工龙头，占据全球中高端 VR 头显 80% 的市场份额，与 Meta、索尼、PICO 等头部客户深度绑定。其与小米合作代工新一代 AI 眼镜，可能带来超 30 万台订单。同时，公司与 Waveoptics 合作推出轻薄 AR 眼镜样机，具备大视场角和全彩显示功能。

立讯精密与东南大学合作研发了业界首款 PVG 光波导 AR 眼镜“云雀”，该产品具备实时翻译、演讲提词、导航等功能。立讯精密作为苹果供应链的核心厂商，立讯精密有望参与苹果 AI 眼镜的代工生产。苹果计划于 2025 或 2026 年推出采用光波导镜片、钛合金框架的 AI 眼镜，立讯精密或与富士康共同提供支持。

当前，除了上述环节，AI 眼镜赛道还有不少企业做好了准备。

在 4 月 21 日，弘信电子在互动平台透露：“AI 眼镜由于要在较小的镜框里植入柔性电路板功能，难度非常大。凭借我们在研发方面的积累，我们已经取得了客户的订单。”弘信电子是多个智能眼镜产品 FPC（柔性电路板）的重要供应商。

目前部分 AI 眼镜正在探寻采用光波导 +Micro LED 的单色或全彩显示方案来实现轻量化与高显示效果。碳化硅材料的衍射光波导因其高折射率被重点研发，可扩大视场角（FOV），目前单副镜片光学模组成本约 200 美元，预

期随量产成本下降。Meta、苹果等大厂推进反射 / 衍射方案，国内厂商如水晶光电和舜宇光学在光波导技术上重点布局，预计全彩显示眼镜在 2026 年后逐步量产。

### 03 还没开场，就开卷

数据显示，从 2024 年第四季度到 2025 年第一季度，无论是 AI 音频眼镜、AI 拍摄眼镜还是 AI+AR 眼镜，市场均价都出现了数百元不等的降幅，市场竞争火药味十足。

洛图科技数据显示，2024 年 AI 音频眼镜均价 1500 - 1999 元，今年 1 - 2 月降至 1000 - 1499 元；AI 拍摄眼镜从 2024 年的 3000 元以上，降至今年同期的 1500 - 1999 元。仅 AI + AR 眼镜价格相对坚挺，2024 年及今年 1 - 2 月，2500 元以上价位仍占主流。

外观功能类似，能吸引消费者的只能是价格。从已上市产品来看，AI 眼镜价格整体跨度较大，从 1000 元到上万元不等。功能越复杂，价格越高，如“音频 + 拍照 + AR+AI”功能齐全的眼镜，价格普遍较高；而仅具备基础 AI 音频功能的眼镜，价格相对亲民。不过，即使在同一功能路线下，不同品牌间也存在显著价格差，部分厂商希望“以价换量”。

不过，即使现在 AI 眼镜看起来是“百镜大战”，但走到未来可能是一个“赢家通吃”的局面，真正可以存活的品牌可能不会超过 5 家。

有业内人士预测，随着众多巨头加入，参考智能手机行业，智能眼镜最终或形成类似“苹果 + 安卓”的双寡头局面。

雷鸟创新创始人兼 CEO 李宏伟在接受采访时表示，从终局视角看，AI 和 AR 眼镜作为下一代计算平台，兼具平台型产品与时尚属性，预计其市场规模会超越手机，会有七八家企业脱颖而出。

(来源：半导纵横)

## 四大 EDA 巨头：预测未来

人工智能正在渗透整个半导体生态系统，迫使人工智能芯片、用于制造它们的设计工具以及用于确保它们可靠运行的方法发生根本性的变化。

这是一场全球性的竞赛，未来十年几乎每个领域都将重新定义。在过去几个月的演讲和采访中，EDA 的高层管理人员总结了三大趋势，这些趋势将成为可预见的未来关注的焦点：

- 1、人工智能本身正在从严格控制的机器学习扩展到人工智能助手、生成人工智能和代理人工智能。
- 2、这种转变需要处理海量数据，才能创建大型语言模型和算法。由于规模化的限制，它正在推动向多芯片组装的转变。最佳选择是 3D-IC。
- 3、芯片和系统需要在其整个生命周期内进行监控，以确保可靠性。人工智能容易出现幻觉，而充满芯片的复杂系统可能会随着时间的推移以意想不到的方式性能下降，导致数据悄无声息地损坏、软件更新不兼容，以及工作负载变化导致的加速老化。

### 人工智能

EDA 中 AI 的用例已经从简单的模式识别发展到辅助设计和广泛的知识共享，使初级工程师能够更快地上手，资

深工程师能够扩展到新的领域并提高工作效率。

Synopsys 总裁兼首席执行官 Sassine Ghazi 表示：“我们是这样描述的：你有一个 co-pilot，你有‘辅助’（assisted），也有‘创意’（‘creative’）。[辅助]（Assistive）指的是你有一个工作流助手、一个知识助手和一个调试助手，这样你就可以更快地培养初级工程师和专家工程师。他们可以更现代化、更高效的方式与我们的产品交互。然后你就有了创意元素。我们有很多例子，从 RTL 生成、测试平台生成到测试断言，我们都有早期的客户参与，你可以有一个副驾驶来帮助你创建部分 RTL、测试平台文档和测试断言。”

Ghazi 表示，借助创新工具，各种任务的执行时间可以从几天缩短到几分钟。但所有这些都需要严格控制。“我们不能让模型产生幻觉，”他说道。“我们非常谨慎地考虑何时以及如何与客户互动，以确保我们提供的产品成熟度在可接受范围内，同时又不会危及他们工作流程的任何部分。”

随着人工智能的不断发展，工作流程也将随之演变。我们的投资者利益相关者经常问我，何时才能看到人工智能在 EDA 市场中带来变革。我认为，除非他们的工作流程发生改变，否则这种情况不会发生。这意味着你可以以截然不同的方式做某些事情，以便以更快、更有效、更高效的方式交付产品路线图。现在，随着代理人工智能时代的到来，代理工程师将与人类工程师合作，以应对这种复杂性并改变工作流程。”

如果人工智能能够兑现其承诺，这场变革的规模将不容小觑。但这一切发展如此之快，以至于它引发了许多目前尚无明确答案的问题。时间将告诉我们人工智能能够胜任哪些工作，哪些方面需要密切关注，以及风险在哪里。自 20 世纪 50 年代末以来，对人工智能变革能力的预测已被证明过于乐观。但在过去几年里，从 ChatGPT 的推出开始，人工智能似乎终于兑现了其承诺。代理人工智能（Agentic AI）将是下一个重要目标。

西门子数字工业软件首席执行官 Mike Ellow 表示：“如果我们足够自信地相信 AI 具有一定程度的自主性，它通常能够自行做出主动决策，那么代理 AI 是一个有趣的概念。在设计领域，当我们开始讨论代理 AI（agent AI）与代理式 AI（agentic AI）时，这取决于你的谈话对象以及他们希望如何划分不同的术语。从我们的角度来看，对于代理 AI，我们会用一组边界条件定义一项任务，然后让 AI 在边界条件范围内运行以得出解决方案。而对于代理式 AI，你基本上会说，‘这是问题所在。你思考执行它的最佳方法是什么。你想出了那个解决方案。然后你从 EDA 的角度推动实现预期结果。’这就是我们看待 AI 演变为我们的工具的方式。”

### **采用率之高前所未有。在芯片设计领域，很难找到一个人工智能不发挥直接或间接作用的领域。**

是德科技 EDA 软件副总裁兼总经理 Niels Faché 表示：“这对我们行业来说是一场深刻的变革。在模拟领域和物理领域之间切换时，所有这些步骤都会生成数据，并需要收集洞察。这正是人工智能能够大显身手的地方。从模拟的角度看，它可以帮助我们建模，加快模拟速度，为产品增添更多专业知识，帮助设计团队，帮助设计师生成设计方案。人工智能非常强大，具有变革性。几年前，一位客户告诉我，‘我有一个设计团队，但他们花费大量时间处理你们的产品模拟。我希望他们是设计师，而不是模拟器。’产品设计团队不想学习模拟器的工作原理。他们不想花费大量时间设置模拟环境。他们只想思考需求，以及如何根据这些需求创建设计。这就是人工智能的力量。它能够真正帮助客户从产品设计思路转向他们真正想要做的事情。人工智能可以帮助你印刷电路板上布线，或者设计新的拓扑结构。”

Cadence 设计系统公司总裁兼首席执行官 Anirudh Devgan 将人工智能比作 EDA 中三层蛋糕中的一层。“应用程序要想成功，必须具备所有三个部分，”他说道。“首先是人工智能代理和编排（There are the AI agents and orchestration）。其次是主要的模拟，有时人们会忘记它的重要性。它包括真实的晶体管行为、分子行为、流体动力学和热力学。这些是无可替代的。然后，你还需要计算来运行它。”

从计算的角度来看，人工智能似乎更像是一种进化，而非革命。“人工智能刚起步时，是一种密集计算，”德夫根说。但物理世界并不密集，人工智能也不密集。所有神经网络都并非密集。因此，由于设计和需求的复杂性，我们在所

有这些算法上都进行了创新。然后，我们又会面临延迟、分区和层级结构的问题。你可以在顶层的移动抽象层中看到这些创新，也可以在底层的纯算法中看到这些创新。这些算法中有一半是布尔型的——0/1，例如逻辑仿真、形式验证——还有很多是数值型的，例如电路仿真、特性分析和热分析。布尔计算和数值计算都需要加速……

但现在，有了人工智能，我们可以从自然语言和优化的角度，在软件领域实现更高层次的创新。人工智能非常擅长优化，这就是我们多年来一直致力于此的原因。我们有五大人工智能平台——数字、验证、定制、封装和系统分析。这些成果实际上非常惊人……人工智能可以彻底改变芯片设计，这就是我们在这五个平台上投入巨资的原因。”

EDA 供应商如何利用 AI 略有不同，取决于其起点。但 LLM 的优势之一是其能够涵盖不同的数据类型，从而提升整个流程的抽象级别。因此，起点并不像乍看起来那么重要。关键在于他们如何获取和利用数据，以及他们能在多大程度上将数据扩展到设计阶段之外——这在很大程度上取决于未来数据如何共享和保护，以及公司在哪里看到机会。

正如西门子的 Ellow 所解释的那样：“它以生成式人工智能领域为基础，因为这是第一层级，你可以从我们这里获得大量经过验证的数据源以及他们的客户数据。这些数据会进入数据湖，在那里你可以训练 LLM。我们可以使用各种 LLM，客户也可以使用他们自己的 LLM。然后，你可以将其嵌入到基础架构中，并在其基础上使用我们所有的工具。”

鉴于绿地机遇的广阔性（greenfield opportunities），选择合适的机会并非易事。正因如此，最初的起点必须切合实际。“一个人需要多长时间才能成为射频工程师？这是一门艺术，”是德科技的 Faché 说道。“这不是六个月就能学会的，通常需要数年时间。但借助人工智能，我们可以让设计人员更容易地获取信息，并真正缩小经验丰富的射频设计人员与新手工程师之间的生产力差距。聊天机器人就是一个例子，它可以在正确的时间以更好的形式向客户提供信息。”

### 3D 集成电路

人工智能需要大量数据，尤其是用于训练模型。问题在于，由于光罩限制，平面芯片无法快速高效地处理所有数据，因此许多数据中心采用某种多芯片组装技术（例如扇出式或 2.5D 技术），以提升性能并降低功耗（相比平面 SoC）。

但这些基本上只是渐进式的提升。要实现性能和功耗的大幅提升，需要真正的 3D-IC、混合键合和芯片阵列。

Ellow 表示：“2.5D 技术让硅片的结构更加灵活，使其更适应所运行的软件。当完全采用 3D-IC 时，你就能够在不同的芯片之间进行更离散的分区，并利用不同的工艺针对不同的功能进行优化，这为如何更好地适应软件工作负载提供了更多有趣的可能性。它旨在优化，但目前仍处于一个有点远大的目标。”

两个关键挑战是如何管理散热，以及如何确保不同层能够正确粘合在一起，从而使密集排列的互连线完美对齐。此外，3D-IC 中的一些芯片将采用最先进的工艺开发，而其他芯片则可能采用成熟的工艺开发，这使得问题更加复杂。

“客户已经在谈论将数万亿个晶体管集成到一个封装中，而他们的日程安排正在争分夺秒地将流片时间从 18 个月缩短到 16 个月、12 个月甚至更短，以便为这些智能系统提供定制硅片，” Ghazi 说道。“你该如何应对？单芯片技术的复杂性——我们说的是 GAA，以埃为单位来设计硅片——然后你还要将它们集成到一个先进的封装中。”

这是扩展到数千亿甚至数万亿个晶体管的唯一方法，但将它们组合在一起将是一项工程壮举。“一旦你开始扩展到这种复杂程度，你就只能通过提高互连层的效率来实现所需的性能或功耗，” Ghazi 说。“而且芯片可能来自不同的工艺技术和不同的代工厂。如何验证和确认一个架构才能交付这种先进的封装？”

这也为以 chiplet 形式出现的软 IP 和硬 IP 打开了大门。“新的机遇层出不穷，尤其是在 3D-IC 和 AI 发展的情况下，因此我们正在加倍投资 IP，” Devgan 说道。“我们提供的 IP 数量和工艺节点数量都显著增加。IP 现在是 Cadence 最大的研发团队之一，我们将继续投资，不仅在物理 IP 和接口 IP 方面，还将投资于被广泛用作嵌入式处

理器的 Tensilica。”

### 数字孪生

EDA 供应商敏锐地意识到 AI 系统的风险以及 3D-IC 架构中的未知因素。

“需要将设计和测试连接起来，并在从设计到测试的验证过程中引入数字化威胁，” Faché 说道。“现在有一些工具可以管理质量和可靠性。当然，数据管理和分析的需求也日益增长。所有这些工具都需要具备，客户需要从自主研发的工具转向商业工具。但这些工具也相互依存，因此需要一个中心辐射模型，让不同的工具能够对数据进行操作。数据会随着时间的推移而变化。它们可能会消耗数据，也可能会生成数据。IP 是在产品生命周期内开发的。因此，如果我们想要实现真正的数字化转型，我们需要一个基础架构，让客户能够做到这一点。数据管理过程至关重要。”

这个概念仍在不断发展，术语也同样如此。一些供应商称之为数字孪生，而另一些供应商则称之为虚拟孪生。但其基本概念是对系统进行实时监控，以确保其运行符合预期，并根据工作负载尽可能地进行优化，并在出现问题之前采取措施进行修复。

Devgan 表示：“市场对精确的数字孪生有着巨大的需求，尤其是在物理领域以及推动这一需求的相应硅片领域。”这就是我们投资数据中心数字孪生技术的原因——用于模拟整个数据中心。这是一款非传统产品，但它变得至关重要——应用计算流体力学 (CFD)、仿真和人工智能来优化数据中心。我们甚至在内部将其应用于我们自己的数据中心。关于数据中心，需要记住的是，它不仅仅是那些大型云计算公司。企业中有很多数据中心。当我们将它应用于我们自己的数据中心时，我们的电力效率提高了 10%，这意义重大，因为数据中心的设计中应用的科学知识并不多。芯片、机架和所有网络的设计都应用了大量的科学知识。但是，如何布局数据中心？使用了多少池化？它是过度冷却还是冷却不足？您是否定期维护它？这些工作的科学性不如芯片设计那么高。因此，一旦掌握了数据中心的数字化趋势，就可以进行更多优化。

这个概念很容易理解。尽管取得了一些早期的成功，离散数字孪生技术仍在发展中。“数字孪生尚未成为一个可商业化的系统，” Ellow 说道。“它是一系列组件的集合。它包含了软件、半导体、封装和电路板等电子元件。此外，它还涉及电气效应，就像我们在 Mentor 时期所做的那样，我们拥有线束和网络连接等功能。此外，它还涉及机械部件，以及与之相关的更广泛的多物理场产品组合。然后，它还涉及产品生命周期管理，因为所有这些都必须通过物料清单来构建。一家公司能够提供所有这些独立领域的完整性，这让我们能够获得一些洞见。但当你将整个产品组合纳入制造流程模拟等环节时，仍然存在一些差距。如何将所有这些系统集成到最终产品的实际生产中？这其中有很多问题需要解决。”

我们正在取得进展，但这并非一劳永逸的万能解决方案。“作为一个行业，我们已经讨论这个问题有一段时间了，但考虑到实时模拟以及在系统层面进行分析和优化的复杂性，这一点至关重要，” Ghazi 表示，并指出数据中心和汽车等应用是这项技术的关键市场。“随着我们开始深入研究汽车和自动驾驶的复杂性，数字孪生需要同时模拟电子设备和周围环境。就汽车而言，我们必须与生态系统合作。他们还有其他部分需要与芯片虚拟化和电子系统相结合。”

举个例子：新思科技与汽车仿真技术制造商 IPG 的合作。“我们能够虚拟化和建模控制系统以及分区和计算 ECU，使其能够相互通信，” Ghazi 说道。“我们提供电子虚拟化，IPG 则引入了周围的物理世界。在软件开发执行过程中，测试团队可以观察硅片在特定工作负载环境中的行为。这不仅适用于汽车。无人机、数据中心等都可以从虚拟化中受益。如果我们将更贴近硅片，就会发现 3D-IC 或高级封装是一个精密复杂的系统，你需要考虑的不仅仅是电子设计。你可以说，在这种情况下，电子设计是可以理解的。但是，当你开始将芯片堆叠到这种高级封装中时，你将面临一系列其他挑战，包括热、机械、流体和结构。”

## 结论

人工智能革命已经开始。与所有新技术一样，消除其中的矛盾之处并发现问题需要整个科技生态系统多年的努力。

“挑战重重，” Faché 说道。他指出，首先，无论你是设计师、设计团队成员，还是工具提供商，你都必须精通人工智能。学习人工智能是一个全新的领域。这意味着我们需要真正理解工程生命周期的变化。这是对工程生命周期的根本性重新设计。他们需要了解在人工智能世界中模型是如何开发的。机器学习的运营工作流程是什么样的？构建模型需要成本。你需要拥有资源、流程和数据管理结构，才能实现这一点。

(来源：SEMI)

## SIA：发布 2025 年《美国半导体行业协会行业报告》

美国半导体产业是推动美国经济实力、国家安全、全球竞争力和技术领导力的关键动力。半导体技术支撑着我们工作、通信、出行、娱乐、能源开发、疾病治疗以及科学探索所使用的各类系统与产品。

半导体技术诞生于美国，而美国企业至今仍在全球市场中处于领先地位，占据了全球芯片销售额近一半的份额。

为了推动技术创新、确保美国在全球科技领域的持续领先地位，政策制定者应当采取一项全面战略，协同推进产业创新与竞争力，同时保护国家经济与安全。具体行动方向包括：

### 芯片制造激励与研发投入

推进美国芯片制造激励政策，增强对本土创新的投资。

### 税收政策

确保美国在半导体研发、设计与制造方面仍具备全球竞争力的税收环境。

### 科研支持

支持现有研发计划，扩大联邦对半导体研究及物理科学基础研究的投资，以确立美国在未来关键技术领域的领先地位。

### 人才与移民政策

通过人才培养、引进与保留，扩大高技能人才储备。

### 经济安全 —— 贸易与供应链韧性

重建美国在全球贸易中的领导地位，打造强大且互补的全球芯片供应链，拓展新兴市场的准入机会。

### 国家安全 —— 出口管制与技术限制

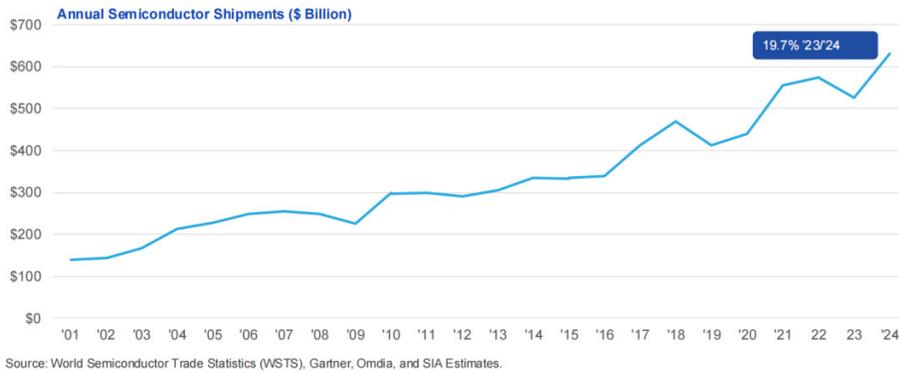
确保政策目标明确、执行有效，并不会损害其原本旨在保护的利益。

### 中国战略

通过在竞争、创新和战略布局上的领先，确保美国半导体产业在未来赢得主动权。

### 环保与能源监管

简化监管与许可流程，促进创新与行业增长，同时保障员工健康、环境安全，并提升美国在国内及全球的能源



实力。

### 第一章：行业概览

全球半导体产业是全球经济中的关键增长领域

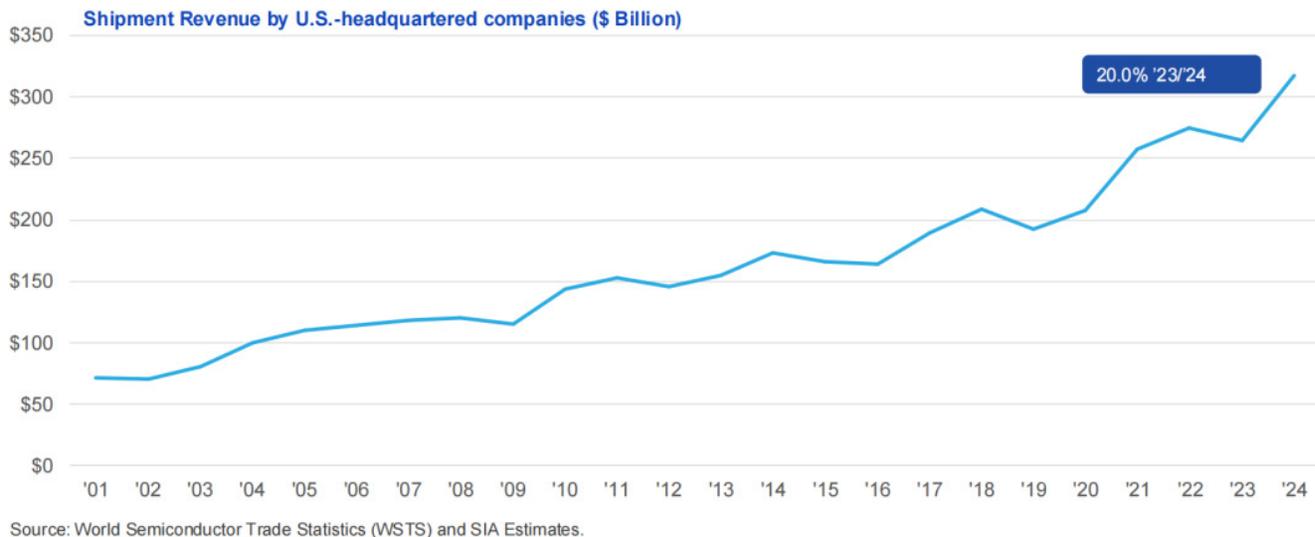
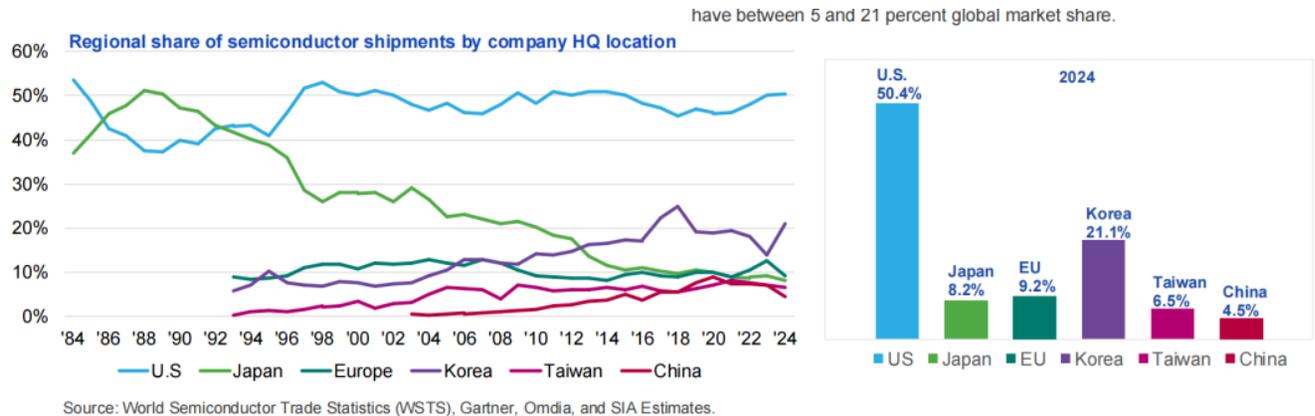
全球半导体销售额从 2001 年的 1390 亿美元增长至 2024 年的 6305 亿美元，年复合增长率为 6.8%。根据世界半导体贸易统计 (WSTS) 2024 年秋季《半导体

产业预测》，预计全球半导体销售额将在 2025 年增长至 6972 亿美元，并在 2026 年进一步增长至 7386 亿美元。

### 美国半导体产业占据全球市场的一半

美国半导体产业在 20 世纪 80 年代曾经经历全球市场份额的重大流失。在 80 年代初，美国企业占据了全球半导体销售额的 50% 以上。然而，受到来自日本企业的激烈竞争、非法“倾销”的影响，以及 1985 至 1986 年期间行业严重衰退的冲击，美国产业共失去了 19 个百分点的全球市场份额，并让出了全球领导地位，被日本半导体产业所取代。

接下来的 10 年中，美国半导体产业强劲反弹，到 1997 年重新夺回了全球市场领导地位，达到 50% 的市场份额，并一直维持至今。



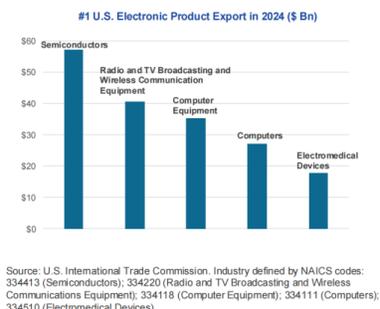
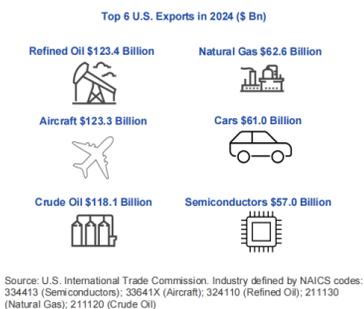
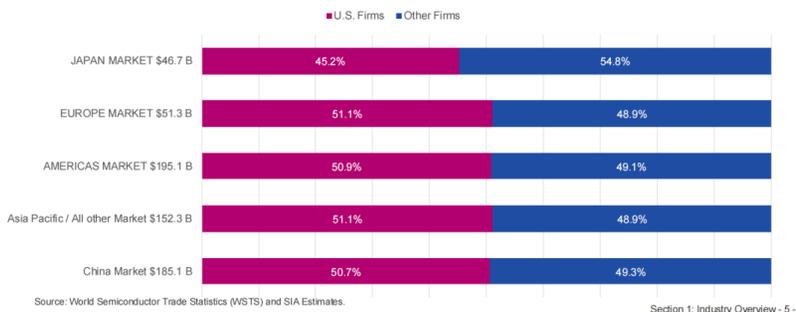
美国半导体企业在微处理器和其他先进芯片领域保持技术领先，同时在多个产品领域持续引领潮流。此外，美国企业在研发、设计与工艺技术方面也保持领先地位。如今，美国本土企业的市场份额为 50.4%，领先于其他国家的产业（其市场份额介于 5% 至 21% 之间）。

### 美国半导体企业的销售额持续稳步增长

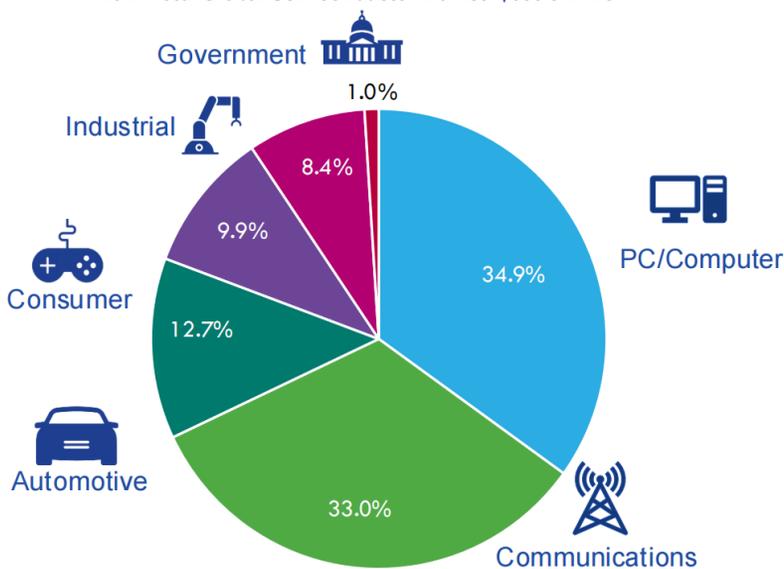
美国总部的半导体企业销售额从 2001 年的 711 亿美元增长至 2024 年的 3182 亿美元，年复合增长率为 6.7%。这一增长趋势也呈现出与整个行业相似的周期性波动特征。

### 美国半导体企业在主要区域市场中保持市场份额领先

2024 年，美国本土半导体企业占据了全球半导体市场总份额的 50.7%，在各国和各地区市场中位居首位。在所有主要国家和地区的半导体市场中，美国总部企业都保持着销售份额的领导地位。



### 2024 Total Global Semiconductor Market: \$630.5 Billion



### 半导体是美国最重要的出口产品之一

2024 年，美国半导体出口额达 570 亿美元，在所有美国产品出口中排名第六，仅次于精炼石油、飞机、原油、天然气和汽车。在所有电子产品类别中，半导体是美国出口额最大的产品。

### 第二章：全球市场

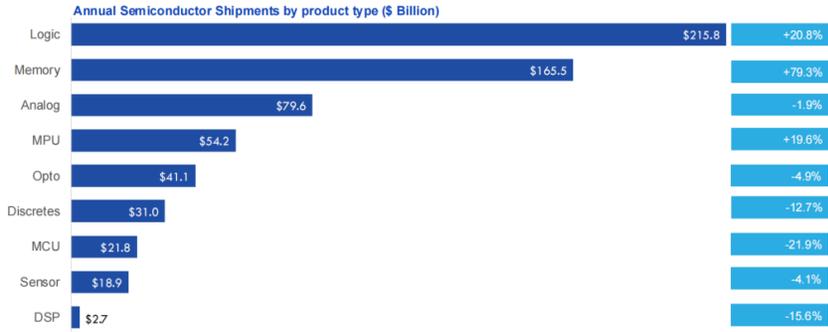
全球半导体销售受消费类终端产品驱动。全球大多数半导体需求来源于最终由消费者购买的产品，如笔记本电脑、智能手机、汽车等。如今，这些消费需求正越来越多地来自亚洲、拉丁美洲、东欧和非洲等新兴市场。

### 全球半导体销售类型多元化

随着行业不断开发更先进的产品和工艺技术以满足终端应用需求，半导体技术迅速演进。近年来，全球半导体产业中占比最大的几个细分产品包括逻辑器件、存储器、模拟器件和微处理器（MPU）。2024 年，这些产品占全球半导体销售额的近 80%。

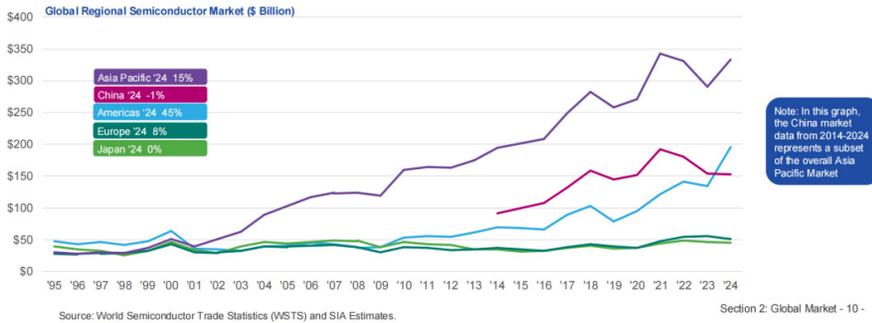
亚太地区是最大的区域半导体市场，中国是最大的单一国家市场。

自 2001 年起，随着电子设备制造向亚太地区转移，该地区的半导体市场销售额超过其他地区。从 2001 年的 398 亿美元增长至 2024 年的 3334 亿美元。其中，中国是亚太市场中最大的国家市场，占亚太市场近 46%、全球市场的 24%。自 2022 年起，由于对高价值半导体的出口管制，以及其他地区增长加快，对中国的出货量有所下降。以



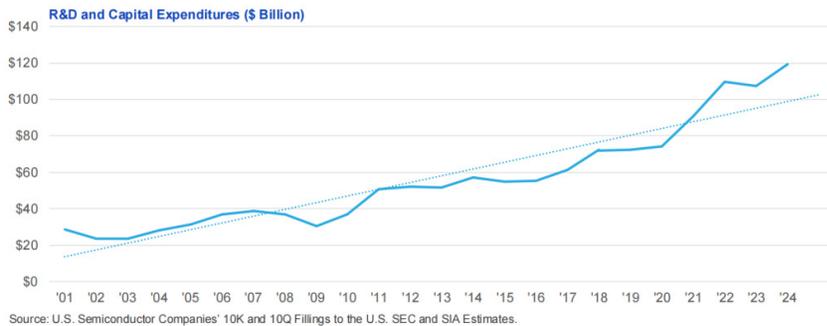
Source: World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) and SIA Estimates.

Section 2: Global Market - 9 -

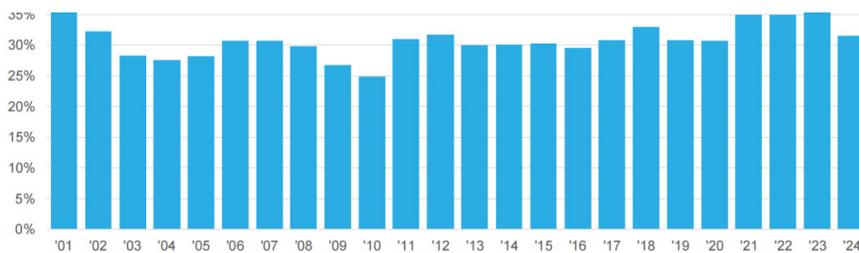


Source: World Semiconductor Trade Statistics (WSTS) and SIA Estimates.

Section 2: Global Market - 10 -



Source: U.S. Semiconductor Companies' 10K and 10Q Filings to the U.S. SEC and SIA Estimates.



Source: U.S. Semiconductor Companies' 10K and 10Q Filings to the U.S. SEC and SIA Estimates.

上数据反映的是发往电子设备制造商的半导体销售额，包含半导体的最终产品随后会出口至全球消费市场。

### 第三章：资本支出与研发投入 行业年度资本与研发投入总额较高

2024年，美国半导体企业（包括无晶圆厂公司）在研发与资本支出上的总投资达1195亿美元。从2001年至2024年，复合年增长率约为6.4%。资本与研发支出占销售额的比例总体上不受市场周期性波动的影响。自2021年以来，美国总部企业的投资水平超过历史平均趋势。

#### 资本与研发投入是维持美国半导体行业竞争力的关键

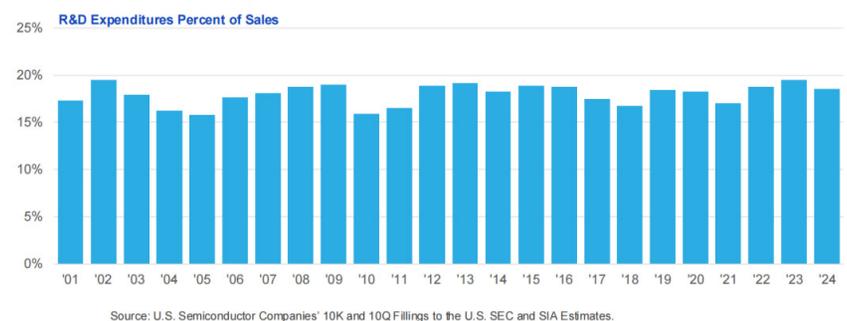
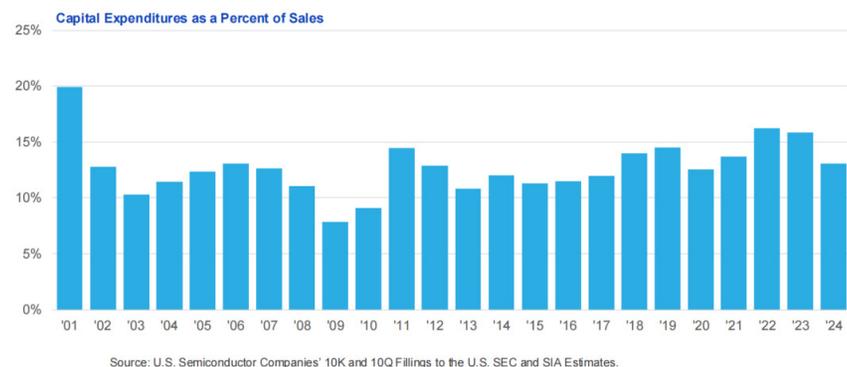
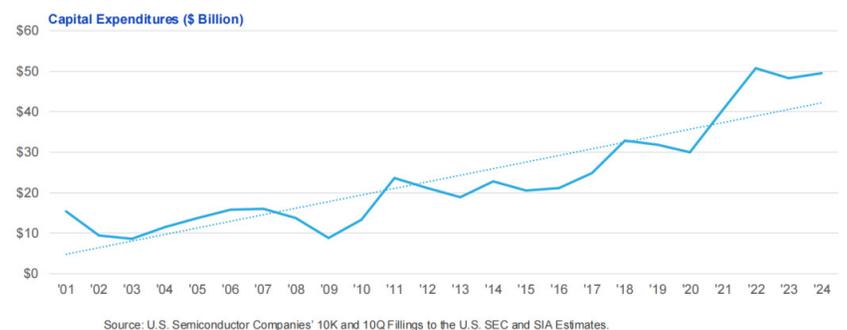
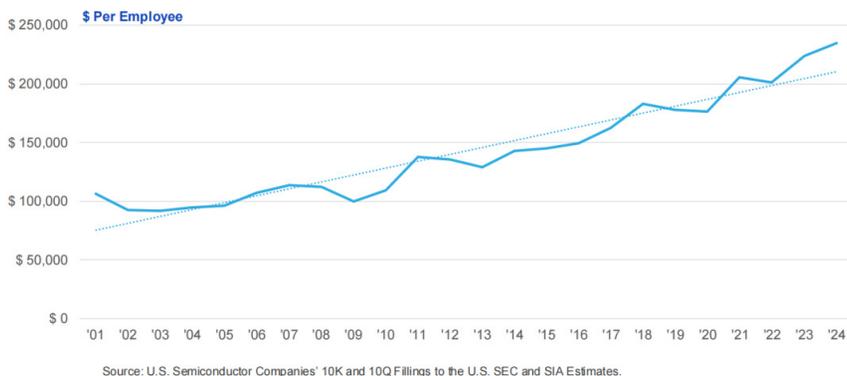
为了在半导体产业中保持竞争力，企业必须持续将大量收入投入研发和新厂房、设备。由于技术更新换代迅速，公司必须开发更复杂的设计与工艺技术，并引进更先进的生产设备，以制造更小特征尺寸的组件。维持最先进半导体设计与制造能力，依赖于持续性的投资承诺。整个行业维持投资约为销售额30%的水平，才能确保技术领先。在2001至2002年，虽然销售额骤降，但研发和资本支出的降幅并不显著，显示出这一点。

#### 2024年美国半导体企业人均资本与研发投入增长至23.5万美元

2001年至2024年，按人均计算的总投资（包括研发和新建厂房设备）年均增长约3.5%。2001年，该指标超过10万美元，但2003年因经济衰退降至约9.1万美元。至2006年再次超过10万美元，尽管2008-2009年全球经济衰退导致2009和2010年人均投资下降，但在2012年恢复增长，并在2024年达到235,007美元。

美国半导体产业高度资本密集，年度资本支出占销售额比重始终较高

2024年，美国半导体行业的总资本支出为495亿美元。2001-2003年，由于1999-2001年间大规模新厂房建设完工以及晶圆代工厂使用率提高，资本支出下降。2004年开始复苏，2005年资本支出占销售额比例趋于平衡。



2009 年因全球经济危机大幅下降，2011 年回升至 237 亿美元。2023 年，资本支出从 2022 年的 507 亿美元略微下降至 482 亿美元，但自 2001 年以来年均增长率达 5.2%。

过去 20 年中，年度资本支出占销售额平均维持在 10% 至 15% 之间

除两年外，过去 20 年美国半导体行业年度资本支出占销售额的比例均超过 10%。这一水平在美国主要制造业中极为罕见。资本支出对于半导体制造企业的竞争力至关重要。由于行业创新节奏迅猛，企业需持续投入资本以生产更先进的器件。

美国半导体行业研发支出长期处于高位，体现出研发对半导体生产的重要性

2001 年至 2024 年，美国半导体行业研发支出年均复合增长率约为 7.5%。无论年销售额周期如何波动，美国半导体企业的研发支出始终维持在高水平，反映出研发对半导体制造的核心价值。2024 年，美国半导体行业研发总投入为 700 亿美元。

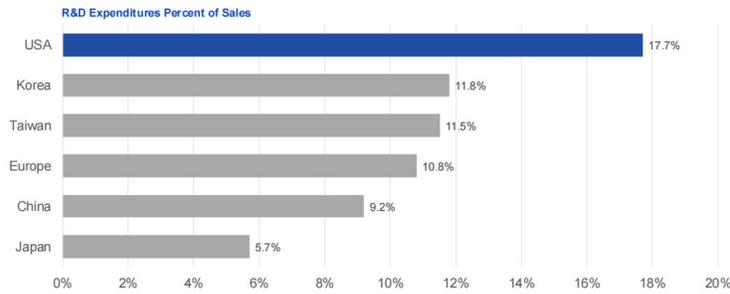
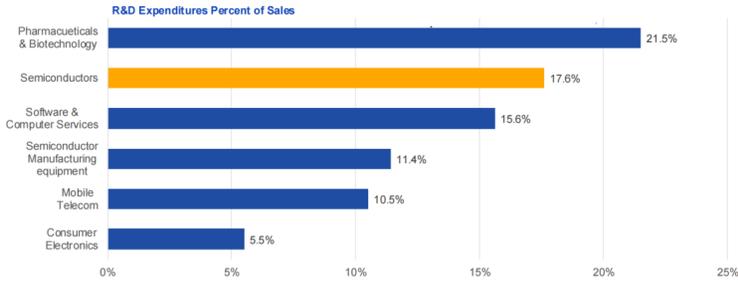
过去 20 年，美国半导体行业研发支出占销售额比例始终超过 15%，为全美制造业最高之一

过去 24 年，美国半导体行业年度研发支出占销售额的比例始终超过 15%，这一比例在美国制造业中几乎无出其右。研发投入是半导体企业竞争力的核心保障。技术更新的快速节奏要求

企业不断推进工艺技术与器件能力的演进。2001 至 2002 年间，尽管经济低迷，研发支出反而增长，体现出企业对技术未来的承诺。2003-2004 年以及 2020-2021 年的研发占比下降，并非研发预算减少，而是由于销售额增长快于预期所致。

### 美国半导体行业在销售占比中的研发支出居全美各大行业前列

在美国高科技制造业中，半导体行业的研发支出占销售额比例处于顶尖位置。根据 2024 年欧盟工业研发投入排行榜（EU Industrial R&D Investment Scoreboard），美国半导体行业在研发支出占销售额比例方面，仅次于美



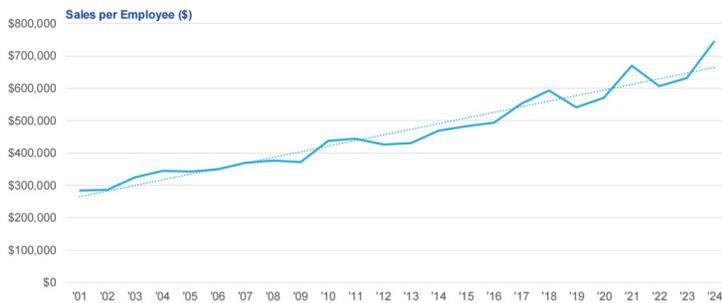
Note: Slight differences in semiconductor industry share from page 16 table due to differences in methodology and source data.  
Source: The 2024 EU Industrial R&D Investment Scoreboard.

**345,000**  
direct jobs in the U.S. semiconductor industry

**ONE**  
U.S. semiconductor job supports

**5.7**  
jobs in other parts of the U.S. economy...

... that's almost **2.0 MILLION ADDITIONAL** American Jobs.



国制药与生物技术行业，排名第二。

美国半导体行业研发支出占销售额的比例领先于全球其他国家

在全球所有国家的半导体行业中，美国半导体企业的研发支出占销售额的比例遥遥领先，无其他国家可比肩。

#### 第四章：美国就业

美国半导体产业直接提供了 25 万个工作岗位，并带动了超过 100 万个间接就业岗位

美国半导体产业中有 345,000 个直接就业岗位。每一个美国半导体岗位可以带动 5.7 个其他领域的就业岗位……也就是说，美国额外新增了近 200 万个工作岗位。

#### 第五章：生产力

过去 20 年，美国本土半导体公司生产力大幅提升

自 2001 年以来，美国半导体产业的劳动生产率提升了两倍以上。这种生产率的提升得益于持续高水平的资本投资和研发支出。2024 年，美国半导体行业的人均销售收入超过 74.4 万美元。

(来源：半导体行业观察)

# 杭州市萧山区人民政府办公室印发《关于促进集成电路产业高质量发展的若干政策》

各镇人民政府、街道办事处，区政府各部门、各直属单位：

《关于促进集成电路产业高质量发展的若干政策》已经区政府研究同意，现印发给你们，请认真贯彻执行。

杭州市萧山区人民政府办公室

2025年5月27日

关于促进集成电路产业高质量发展的若干政策

为深入贯彻落实国家和省市集成电路产业发展战略和任务部署，全面推动我区集成电路产业高质量发展，特制定如下政策。

## 一、扶持范围

本政策适用于在萧山区合法经营，财务管理制度和会计核算体系健全，从事EDA设计、集成电路设计、制造、封测、设备和材料的企业；经认定从事集成电路产业相关的科研机构、功能平台、创新载体等机构。

## 二、扶持政策

### （一）推动关键技术攻关

1. 支持技术攻关。支持围绕集成电路核心器件、关键芯片、关键材料、核心设备、EDA工具等开展重大科技攻关。鼓励企业牵头承担国家、省、市技术攻关任务，对获批国家、省重大项目的，按要求给予配套资金支持。（责任单位：区科技局、区发改局、区经信局）

2. 强化基础支撑。对符合条件的集成电路设计企业，加大关键材料、核心设备和EDA工具的支持。对集成电路关键材料、核心设备等自主研发投入5000万元以上并实现实际销售的，按照不超过其研发投入的15%给予补助，最高补助5000万元。对开展EDA工具技术攻关，自主研发投入1000万元以上并实现实际销售的企业，经评审，按照不超过其年度自主研发投入的15%给予补助，最高补助2000万元。（责任单位：区发改局、区经信局）

3. 加大流片支持。集成电路设计企业对重点支持领域的芯片产品开展流片，首次流片费用1000万元以上的，经评审，按照不超过其流片费用的15%给予补助，其中，对工艺制程大于28nm的，年度补助总额最高300万元；对工艺制程小于等于28nm的，年度补助总额最高1000万元。单家企业年度补助总额最高2000万元。（责任单位：区发改局、区经信局）

### （二）构建产业链协同发展

4. 加大重大项目培育。对符合集成电路制造、封测、装备、材料类产业导向的重大项目，根据其技术产品、工艺水平和市场前景等，经评审，最高按照研发投入的30%（包括流片费用、IP购买费用、租用或购买EDA工具费用等）、设备投入的20%予以补助，最高1亿元。（责任单位：区发改局、区经信局、区科技局、区投促局）

5. 支持公共平台建设。对提供EDA工具和IP核、设计解决方案、先进工艺流片、先进封测服务、测试验证等设备，用于高端芯片支撑服务的集成电路公共技术平台，完工后实际建设投入在1亿元以上的，经评审，按其投资额的6%给予补助，最高1000万元。对向省、市、区创新载体购买技术服务的集成电路企业，给予最高50万元补助。（责任单位：区发改局、区经信局、区科技局）

6. 强化“芯模联动”发展。建设“芯模联动”适配基地，鼓励算力企业主动适配大模型训练、推理需求，加快

提升芯片性能，培育形成具有竞争力的国产算力生态。倡导政府部门、算力中心、经营主体采购或应用国产软硬件。

（责任单位：区发改局、区经信局、萧山经济技术开发区管委会、钱江世纪城管委会、湘湖国家旅游度假区管委会）

7. 鼓励终端应用。支持“芯机联动”，鼓励终端厂商、系统集成商试用非关联集成电路企业自主研发、首次上市的设备、材料、芯片或模组。对使用非关联集成电路企业的首次上市产品，且当年度采购金额累计达 1000 万元以上的企业，按当年使用金额分档给予奖励。（责任单位：区发改局、区经信局、萧山经济技术开发区管委会、钱江世纪城管委会、湘湖国家旅游度假区管委会）

### （三）加强综合要素保障

8. 支持集成电路会展活动。支持集成电路企业参加国际性或国家级展会，强化产业上下游联系。对于获国家、省、市级批复，在萧山区成功举办集成电路领域高端论坛、展会或赛事，经评定对我区集成电路产业发展形象和地位有较大提升作用的，给予最高 300 万元补助。（责任单位：区商务局）

9. 保障重大项目要素供给。对重大集成电路项目，在符合国土空间规划和产业发展导向的前提下，积极保障项目用地、能耗、排污指标。（责任单位：区发改局、规划资源萧山分局、生态环境萧山分局、区经信局）

10. 产业基金联动赋能。有效发挥区级产业基金作用，联动各平台产业基金，吸引社会资本，辐射推动全区集成电路产业发展。（责任单位：区发改局、区科技局、区财政局、区投促局、萧山资本集团、有关平台）

11. 鼓励实施“投补结合”。鼓励各级国有企业加大对集成电路重点企业和重大项目的投资力度。对集成电路重点企业和重大项目，鼓励区、平台两级国有投资平台以跟投模式进行股权投资支持，原则上单次跟投金额不超过 1 亿元，且不超过企业单轮融资额的 20%。（责任单位：区发改局、区科技局、区财政局、区投促局、萧山资本集团、有关平台）

12. 强化人才要素支持。对集成电路产业人才在申报国家、省、市人才政策及落实待遇保障等方面给予支持，经认定，授予符合条件的集成电路企业、科研机构自主人才认定权限。对符合条件的集成电路产业人才，在人才安居、子女教育、授权认定等方面予以支持。对符合条件的高层次人才按相应标准给予购房补贴或最长 5 年的租房补贴。（责任单位：区委人才办、区经信局、区教育局、区人社局、区住建局、区投促局）

### 三、附则

1. 如企业、单位当年因发生安全生产、环境污染、重大责任事故等事项受到行政处罚或被追究刑事责任的，原则上不享受政策补助。

2. 补助资金含市、区两级资金（不包括已明确补助对象的市级资金），上级补助项目要求区级共同承担的，根据上级要求给予补助，同一（同类型）事项按“从高、从优、不重复”和“晋档差额”原则执行。

3. 在国家、省、市相关政策有重大调整时，根据实际情况调整本政策。需要国家行业指导的项目，必须通过后方可给予扶持政策。

4. 本政策自 2025 年 7 月 1 日开始实施。

# 杭州高新开发区（滨江）管委会 政府 关于全面加强知识产权高质量发展的实施意见

各街道办事处，区级机关各部门、各直属单位：

为进一步增强区域自主创新能力，全面推进国家知识产权强国建设示范园区和国家高新技术产业标准化示范区建设，提高企事业单位、社会组织及其他机构知识产权创造、运用、保护和服务水平，根据《知识产权强国建设纲要（2021—2035年）》等文件精神，特制定本实施意见。

## 一、促进知识产权创造

### （一）推进知识产权战略

支持培育高价值专利组合，组合中包括5件以上均具有《专利合作条约（PCT）》同族申请的发明专利的，经认定，每个组合奖励10万元，每个单位每年奖励不超过100万元。

新获得数据知识产权登记证书的，每件奖励1000元，每个单位每年奖励不超过3万元。

### （二）推进品牌战略

新获得中国驰名商标认定的，给予50万元奖励；新获得境外商标注册的，每件奖励不超过其获得商标权所缴纳的规定费用的50%；新获得证明商标、集体商标的，给予10万元奖励；新纳入浙江省、杭州市重点商标保护名录的，分别给予5万元、3万元奖励。

新获得中国质量奖、浙江省人民政府质量奖、杭州市人民政府质量奖、高新区（滨江）政府质量奖的，分别给予200万元、100万元、50万元、20万元奖励；新获得中国质量奖、浙江省人民政府质量奖、杭州市人民政府质量奖、高新区（滨江）政府质量奖提名的（含创新奖、优秀奖、组织奖等），分别给予100万元、50万元、25万元、10万元奖励。

新获得中国标准创新贡献奖一、二、三等奖的，分别给予100万元、50万元、30万元的奖励；新获得浙江省标准创新重大贡献奖、优秀贡献奖和组织奖的，分别给予50万元、30万元、

20万元的奖励；新获得区标准创新奖组织奖、个人奖的，分别给予20万元、5万元的奖励。

新获得“品字标”系列品牌认证的，给予20万元奖励；新获得“品字标”系列品牌认定的，给予10万元奖励；企业、团体标准被认定为“浙江标准”的，给予10万元奖励；新获得“同线同标同质”认证认定的，给予2万元奖励。

### （三）培育知识产权优势单位

首次认定为国家知识产权示范企业和知识产权优势企业的，分别给予30万元、20万元奖励；首次认定为浙江省知识产权示范企业的，给予10万元奖励；首次认定为杭州市专利示范企业和专利试点企业的，分别给予5万元、3万元奖励；对通过开展自主研发活动，首次实现无发明专利“清零”的规上企业给予2万元奖励。

首次认定为国家版权示范单位（园区、基地）的，给予30万元奖励；首次认定为浙江省版权示范单位（园区、基地）的，给予10万元奖励。

新获得国家知识产权局备案机构出具的《企业知识产权合规管理》《高等学校知识产权管理规范》或者《科研组织知识产权管理规范》认证证书的，给予1.5万元奖励；新获得《创新管理—知识产权管理指南（ISO56005）》能力评价一至五级的，分别给予4万元、6万元、9万元、12万元、20万元奖励。

## 二、激励知识产权运用

### （一）鼓励知识产权创新

新获得中国专利（外观设计）金奖、银奖、优秀奖的，分别给予 100 万元、50 万元、20 万元奖励；新获得中国版权金奖（作品奖）的，一次性给予 100 万元奖励；新获得浙江省知识产权大奖的，给予 50 万元奖励；新获得浙江省知识产权门类奖一、二、三等奖的，分别给予 30 万元、20 万元、10 万元奖励。获奖励的权利人应当依法对发明人（设计人、作者）给予一定奖励。

### （二）鼓励标准创新

主导制定、参与制定国际标准并发布的，分别给予 100 万元、50 万元奖励；参与国家标准（前三位）、行业标准（前二位）制定并发布的，分别给予 20 万元、10 万元奖励；牵头开展国家、省、市标准化试点示范项目的，分别给予 20 万元、10 万元、5 万元奖励。同一主体每年奖励不超过 200 万元。

引进国外先进标准组织秘书处、成为国际标准化组织成员单位的，给予 50 万元奖励；引进国家标准化专业技术委员会、分技术委员会的，分别给予 30 万元、20 万元奖励；引进国家、省级标准创新基地（中心）、标准创新联合体等，经考核为优秀的，分别给予 20 万元、10 万元奖励。

获得标准创新型企高级、中级认定的，分别给予 20 万元、10 万元奖励。企业实验室首次通过中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可的，给予 10 万元奖励。

### （三）鼓励知识产权金融创新

对利用知识产权质押获得金融机构贷款的，按照年度银行贷款市场报价利率（LPR）的月均利率的 50% 予以贴息奖励，同一主体年贴息额度不超过 200 万元；对开展知识产权质押贷款的金融机构，质押贷款年度新增日均余额排名前三的，分别给予 30 万元、20 万元、10 万元奖励。

对以企业或其他机构为发行主体，为中小微企业提供知识产权证券化融资服务，且单个项目实际融资额在 1 亿元以上的，按照不超过发行金额 1% 的标准给予奖励，同一主体每年奖励不超过 100 万元。

对知识产权保险每项给予实际支出的 80% 保费奖励，同一主体每年奖励不超过 20 万元。对提供知识产权海外侵权责任保险业务的保险机构，按保费的 3% 给予奖励，每个机构奖励不超过 20 万元。

### （四）鼓励知识产权运营创新

支持开展行业专利数据库建设，开展企业运营类专利导航、专利预警分析，以及重大经济科技活动知识产权评议等知识产权活动，经考核，单项活动经费给予 50% 的奖励，最高不超过 20 万元，同一申请人每年奖励不超过 50 万元。

每年择优开展专利导航项目 10 个，每个项目奖励不超过 30 万元，同一主体至多申报 1 个项目。

支持高等院校（含高校设立的研究院）、科研机构、医疗机构实施知识产权转化工作，对每年度向中小微企业转让或许可专利 20 家以上，或当年累计成交到账金额 100 万元以上的，按不超过实际到账金额 5% 的标准给予奖励，同一主体每年奖励不超过 30 万元。支持中小微企业从国内高等院校（含高校设立的研究院）、科研机构、医疗机构获得专利权转化运用，单个合同实际支付金额达到 500 万元以上的，按不超过实际支付许可、转让金额 5% 的标准给予奖励，同一主体每年奖励不超过 50 万元。

## 三、加强知识产权保护

### （一）鼓励知识产权维权

对在涉外或者具有重大影响的知识产权案件中胜诉或者和解的，按其维权代理费的 50% 给予奖励，最高不超过 50 万元，同一主体每年奖励不超过 100 万元。

### （二）鼓励知识产权行业保护

新成立的知识产权相关的社会团体、社会服务机构正式运作后，经审核同意，给予开办经费补贴 30 万元；支持知识产权相关的社会团体、社会服务机构、知识产权创新联合体开展专利池运营，年度入池发明专利量超过 200 件且实现专利许可 10 件以上的，每年奖励不超过 50 万元；支持建设重点产业知识产权运营中心，经审核，每年参考上年度实际支出成本奖励承建方不超过 100 万元。

### （三）鼓励商业秘密保护

对新建省级、市级商业秘密保护示范基地的，分别给予 10 万元、3 万元奖励。

## 四、提升知识产权服务

### （一）培育引进知识产权服务机构

对具有行业主管部门许可（备案）的合法资质且依法经营的知识产权服务机构，给予三年实际使用面积 80% 的租金补贴，最高补贴 500 平方米。

对新成立的国际知识产权服务机构，经审核符合条件的，给予一次性奖励 20 万元。

知识产权服务机构承建品牌指导服务站且托管服务区内企业 50 家以上的，或者承建海外知识产权公益服务站的，经审核合格，每年分别给予 10 万元、5 万元奖励。

### （二）培育引进知识产权人才

对新引进具有专利代理师资格且申请时在本单位担任中高级管理人员 2 年以上的，给予该单位 3 万元奖励；对新获得专利代理师资格证、知识产权高级技术职称且申请时在本单位连续工作 2 年以上的，给予该单位 2 万元奖励。获奖励的单位应当对相关人才给予一定奖励。

## 五、附则

本意见自 2025 年 6 月 17 日起施行。本意见由区市场监管局负责牵头组织实施。原《杭州高新开发区（滨江）管委会 政府关于进一步加强知识产权高质量发展的实施意见》（杭高新〔2024〕12 号）文件同时废止。

杭州高新技术产业开发区管理委员会

杭州市滨江区人民政府

2025 年 5 月 16 日

## 上海市投资促进工作领导小组办公室印发《关于强服务 优环境 进一步打响“投资上海”品牌的若干举措》

为全面提升本市招商引资和企业服务水平，进一步扩大有效投资，不断优化投资环境，更广泛吸引海内外企业投资上海，全面打响“投资上海”品牌，打造全球投资“首选地”，特制定如下措施。

### 一、政策资源高效对接

1. 实现政策信息集中发布。升级“投资上海”平台功能，汇聚市级、各区和重点产业园区招商资源、政策和信息，建立一站式招商服务信息门户，提供“免申即享”政策清单和政策智能匹配服务功能。建立招商服务“一口一窗”受理通道，线上建立招商服务咨询专窗，企业可申请匹配业务专员，开展“一口”受理业务，并可在线提交项目咨询，实时查看办理进度。线下市、区两级协同办公中心建立实体服务专窗，“一窗”受理企业各类咨询和服务诉求，对企业需求给予帮办服务。（责任单位：市经济信息化委、各区、重点产业园区）

2. 强化区域资源要素保障。优化产业空间布局，突出区域主导产业发展，鼓励各区围绕主导产业以及细分赛道招商，支持企业根据产业链环节和资源价值相匹配原则进行合理布局。提升特色产业园区招商服务能级，搭建高质量区域公共服务平台。推动服务资源和支持政策向重点区域集聚，鼓励优质产业项目向特色产业园区、产业功能区集聚落地。（责任单位：市经济信息化委、各区、重点产业园区）

3. 加强金融资源高效供给。建立国资并购基金矩阵，设立总规模 500 亿元产业转型升级二期基金，用好 1000 亿元三大先导产业母基金，加大对重点产业战略性项目和产业链核心关键环节投资力度。通过“长期资本+并购整合+资源协同”创新机制，用好并购基金，加大对本市战略性新兴产业的金融供给，充分运用科创债、政策性金融工具等，保障优质招商项目资金需求。深化跨境结算、融资、财资管理等金融服务，为企业提供一站式出海金融服务。（责任单位：市国资委、市委金融办、市经济信息化委、各区、重点产业园区）

4. 鼓励引进高层次人才。奖励重点产业项目核心人才，将优质招商引资企业纳入本市人才引进重点机构范围，做好招商引资项目重点产业人才安居服务保障。加强人才引进经费保障和配套支持，按相关规定提供子女教育、医疗健康等方面的优惠政策和特色服务。（责任单位：市人才办、市经济信息化委、各区、重点产业园区）

### 二、项目落地个性化支持

5. 发布重大应用场景。发布 AI 大模型、具身智能、自动驾驶、低空经济等重点应用场景，推动重大应用场景优先向重点企业、重点项目倾斜。组织开展场景路演、场景对接、揭榜赛马等活动，开展场景应用创新大赛，为获奖企业提供高校实验室、低成本办公场地。将优质垂类大模型项目纳入全市公共算力调度体系，对模型推理算力项目实施补贴。（责任单位：市经济信息化委、市发展改革委、市科委、市商务委、市数据局、各区、重点产业园区）。

6. 支持科创成果高效落地。推动科技创新与产业创新融合发展，支持海内外重大科技成果在沪落地，提供场地、设备购置、技术创新等方面条件保障。鼓励科创园区、中试基地等持续完善相关政策和配套设施，加强与高校、科研院所的深度合作，吸引和孵化更多创新企业、概念验证中心、共性技术平台等项目落地。（责任单位：市经济信息化委、市科委、市发展改革委、各区、重点产业园区）

7. 支持产业链联合体项目。加快培育重点产业链，对集成电路、大飞机、船舶海洋、信创产业等重点产业链实施联合体支持政策。支持优质企业以链强链，对于优质项目给予最高产业政策支持，支持产业链上下游重点领域和核心环节项目打包同步落地。（责任单位：市经济信息化委、市发展改革委、市科委、各区、重点产业园区）

### 三、项目推进全方位服务

8. 提高企业注册便利度。推进“上海企业登记在线”数智化升级，强化申请表智能预填、申请材料智能生成、申请条件智能预检等功能，进一步提高申报效率。依托“上海企业登记在线”平台，持续做好开办企业“一站式”服务，推进企业设立、变更、注销全程网办。简化实名认证、电子签名和执照下载操作，为连锁企业分支机构登记提供更多便利。（责任单位：市市场监管局、各区、重点产业园区）

9. 优化投资项目审批。高标准推进建设项目开工“一件事”，巩固和延续“一站式综合竣工验收”，提高综合验收效率。鼓励产业项目规划土地弹性利用，对产业社区或国家公告的开发区，推广应用产业用地融合管理政策。探索开展区域生态空间评价，对未纳入重点项目审批名录且符合管理清单要求的建设项目，可按规定免于办理环评手续。试点施工许可证核发等环节业务协同办理和数据共享。（责任单位：市住房城乡建设管理委、市规划资源局、市生态环境局、各区、重点产业园区）

10. 实施全生命周期服务。强化“管招商、管项目、管企业、管服务”全生命周期服务体系，为重点招商项目匹配服务专员，建立上下贯通、执行有力、高效流转的工作体系，提供全流程招商服务保障。充分发挥招商服务专员作用，为企业开展常态化服务。推动金融、法律、科技、人力资源、创新创业、市场拓展等专业服务包，优质服务资源向高能级企业推送。（责任单位：市经济信息化委、市投资促进工作领导小组成员单位、市民政局、市交通委、市农业农村委、市水务局、市卫生健康委、市应急局、市绿化市容局、市数据局、市贸促会，各区、重点产业园区）

### 四、营造市场化招商氛围

11. 支持重大招商活动。支持在本市举办国际影响力大、产业契合度高的招商引资推介活动，鼓励世界500强企业、大型跨国公司、外国商会和外国投资促进机构在本市举办全球董事会、投资者大会、年度会议等活动，吸引行业峰会、专业论坛活动在上海召开，对重大招商活动场地、举办费用等给予支持。（责任单位：市经济信息化委、市商务委、各区、重点产业园区）

12. 丰富社会化招商渠道。加大与全球招商合作伙伴合作力度，对招商引资成效显著的，授予“优秀招商合作伙伴”称号。对接知名高校校友会资源，为校友会活动提供场地和资源支持。对新引进重大招商项目的社会化服务机构、招商平台公司以及相关个人给予奖励。（责任单位：市经济信息化委、市商务委、各区、重点产业园区）

13. 营造公平市场环境。强化全国统一大市场建设要求，严格落实公平竞争审查制度，为各类市场主体公平竞争营造良好环境。优化临时仲裁制度机制，强化对仲裁的司法支持与监督。加快培育国际一流仲裁机构，支持商事调解组织按照市场化机制提供专业解纷服务。完善招投标和政府采购全过程监管，明确资格预审项目准入范围，在政府采购工程中预留份额专门面向中小企业招标。（责任单位：市市场监管局、市经济信息化委、市高院、市司法局、市贸促会）

## 广州开发区 黄埔区 《支持集成电路产业高质量发展若干政策措施》

为推动集成电路产业加快锻造长板、补齐短板，构建自主可控产业生态，大力实施“广东强芯”工程，根据《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》（国发〔2020〕8号）等文件精神，助力打造中国集成电路产业第三极核心承载区，结合本区实际，制定本政策措施。

### 第一条【推动产业集聚发展】

优化产业发展布局，支持重点项目加快落地，推动优势资源和优质企业向符合产业布局要求的园区集聚，在芯片设计、特色工艺、先进封装测试、EDA工具、装备及零部件等领域实现突破，打造涵盖设计、制造、材料、装备与零部件、封测等环节的全产业链，建设综合性集成电路产业聚集区。（责任单位：各行业主管部门）

### 第二条【提升高端芯片设计能力】

重点突破CPU（中央处理器）、GPU（图形处理器）、FPGA（现场可编程门阵列）等高端芯片设计，大力支持人工智能芯片、光芯片、物联网芯片、存储芯片、射频芯片、基带芯片、车规级芯片、显示驱动芯片等芯片的开发设计，鼓励企业自主开展基于新器件、新材料、新工艺的RISC-V、ARM等高端芯片架构设计。对使用多项目晶圆（MPW）流片进行研发或首次完成全掩膜（Full mask）工程流片的设计企业，以及开展高端传感器首轮流片的智能传感器企业，按照不高于流片费用40%分档给予补助（相关费用按照不含税计算），每家企业每年最高补贴500万元。（责任单位：区工业和信息化局）

### 第三条【支持核心设计工具国产化替代】

鼓励企业面向前沿设计应用开发EDA（电子设计自动化）软件和关键IP（知识产权）核，加强关键核心技术研发，加大国产EDA和IP等推广应用力度，打造具有自主知识产权的工具软件体系，提升产业链供应链安全稳定水平。对企业自行采购符合要求的非关联集成电路企业或机构自主研发设计的EDA工具及IP授权，并实际开展芯片研发的企业，且年采购金额累计50万元以上的，经认定，按其当年实际采购金额最高30%给予补贴，每家企业每年最高补贴100万元。（责任单位：区工业和信息化局）

### 第四条【加快制造能级提升】

支持技术先进的IDM（设计、制造及封测一体化）企业和晶圆代工企业布局研发、生产和运营中心，优先发展特色工艺芯片制造，重点推进模拟及数模混合芯片生产制造，支持先进制程芯片制造，建设高端传感器、光电芯片研发线和生产线，布局碳化硅、氮化镓等宽禁带半导体产线，提升集成电路制造工艺能力。（责任单位：各行业主管部门）

### 第五条【推进材料、设备和零部件强链补链】

鼓励发展光掩模、电子气体、光刻胶、抛光材料、高纯靶材等高端半导体和传感器制造材料。积极引进国内重点基础材料企业，稳步提升关键基础材料供应能力。重点围绕集成电路制造关键部件和系统集成开展持续研发和技术攻关，支持光刻、清洗、刻蚀、离子注入、沉积等设备、关键零部件及工具国产化替代。对于新引进的固定资产投资1000万元以上的产业化项目，且政策有效期内实现小升规的企业，按照不超过其设备和工器具投资额的15%分档给予扶持，最高1000万元。（责任单位：区工业和信息化局）

### 第六条【发展先进封装测试工艺】

支持现有封装测试企业依托市场需求，加快工艺技术升级和产能提升。积极引进先进封装测试生产线和技术研发中心，大力发展晶圆级、系统级、凸块、倒装、3D 封装等先进封装技术，以及脉冲序列测试、MEMS 探针、IC 集成探针卡等先进晶圆级测试技术，推动封装测试业高端化发展。（责任单位：各行业主管部门）

#### **第七条【提升产业创新水平】**

依托产业链部署创新链，深化企业主导、院校协作、多元投资、成果分享的产学研协同创新模式。加快半导体与集成电路公共服务平台建设，提升在 EDA（电子设计自动化）软件、MPW（多项目晶圆）、快速封装、测试验证、失效分析与可靠性评价、成果转化、知识产权等方面的共性技术服务能力。支持重点企业、科研院所等加大研发投入，积极承接国家重大项目，以项目带动产业集聚、产业链配套、关键技术协同攻关。（责任单位：区科技创新局）

#### **第八条【推动产业融通发展】**

支持组建产业促进联合体，加强产业间交流合作、供需对接，促进产业链上下游贯通、产供销配套、大中小协同，提升晶圆制造与设计、材料、设备、封测等环节的衔接协同水平。推动集成电路产业与人工智能、物联网、大数据、云计算、5G、智能终端、智能网联汽车等产业融合发展，共同开展技术研发、市场开拓，实现产品相互支撑，迭代升级。（责任单位：区工业和信息化局）

#### **第九条【加强要素支撑保障】**

建立重点项目协调机制，依法依规强化土地、能耗、环境容量等资源要素保障。完善人才支持政策，提升人才服务水平，加强领军人才、高层次创新创业人才和高技能人才队伍建设。完善投融资环境，争取国家、省、市集成电路基金支持，做好本地项目储备。充分发挥区科技创新创业投资母基金等基金平台作用，支持国企基金等加大与集成电路企业的合作，以投促引、以投促产、以投促创。（责任单位：各行业主管部门）

#### **第十条【附则】**

本政策措施适用于在广州开发区、广州市黄埔区及其受托管理和下辖园区（以下简称“本区”）范围内，依法诚信经营生产经营活动，实行独立核算，符合国家统计规范、税收征管、信用管理等规定的集成电路企业、机构或非法人组织等主体。

本政策措施所称的集成电路企业、机构或非法人组织等主体是指专门从事芯片设计、EDA 及 IP 开发设计、生产、封装测试、装备、材料和零部件、智能传感器等经营活动的相关主体。

本政策措施自印发之日起施行，有效期至 2028 年 6 月 15 日。符合本政策措施规定的同一项目、同一事项同时符合本区其他扶持政策规定的，按照从高不重复的原则予以支持。本政策相关扶持奖励补贴的比例和限额均为上限数额，具体政策扶持兑现视当年度财政预算情况相应调整。因上级法律法规、规章及政策调整导致本政策措施与上级规定不一致的，本政策措施相应条款不再执行。《广州开发区 广州市黄埔区促进集成电路产业发展办法》（穗埔工信规字〔2023〕6 号）和《广州开发区 广州市黄埔区促进集成电路产业发展办法实施细则》（穗埔工信规字〔2024〕4 号）同步废止。

## 面向“十五五”的半导体装备的挑战与机遇

面向“十五五”，我国半导体装备产业面临技术封锁与供应链脱钩的双重挑战，需从“追赶替代”转向“路径创新”，突破对国际技术体系的依赖。文章分析了三大核心需求：支撑自立自强（突破先进制程装备与零部件瓶颈）、构建中国特色创新生态（探索 GAA、3D 集成等新技术路径）、推动智能化升级（融合 AI 与数字化技术）。同时，提出以“再全球化”策略应对逆全球化，通过内循环与国际双循环协同，重塑全球半导体产业链。当前，国产装备在成熟制程取得突破，但高端领域仍被美国、日本、欧洲垄断，且面临低水平重复竞争、供应链“卡脖子”等问题。建议通过系统性科技攻关、上下游协同创新，避免内卷，聚焦非对称技术优势，实现从自主可控到自立自强的跨越。

半导体已经深度渗透到全球经济和社会发展的各个领域，是产业升级、数字化转型、智能化应用和网络信息基础设施的基石，是大国必争的战略制高点。我国半导体产业已成为全球一支不可忽视的力量，遭到美西方前所未有的全方位遏制，成为中美博弈的焦点战场。作为半导体产业的基础支撑，半导体装备是实现半导体技术突破和产业升级的关键。面向“十五五”要求，面对新的国际形势，我国半导体装备需要既在现有赛道攻坚克难，也要主动开展路径创新，支撑起具有中国特色的全球半导体新生态。

### 1、“十五五”期间我国半导体装备需求

半导体制造分为前道制造和后道封装测试两个环节。前道制造装备主要包括光刻、干法刻蚀、掺杂、薄膜、平坦化、热处理、湿法、量测检测、工厂辅助设备等九大类，细分品种总共约 190 种。不同的制造工艺需要配置不同的制造装备。一般而言，每代工艺演进升级需要升级现有装备，并增加 10%—20% 的新品种装备。例如，28 nm 逻辑芯片生产线共有约 120 种装备，14 nm 生产线则需要增加到约 140 种装备。半导体存储制造与逻辑制造主要在掺杂和扩散等工艺方面对装备要求有较大差异，还需要约 30% 不同品种的装备。后道封装测试设备包括减薄设备、划切设备、测试机、分选机等设备。随着芯片集成度的不断提高、制造工艺的不断精进，半导体制造工艺也对装备提出了更高的要求。

面向“十五五”，半导体装备的机遇和需求主要体现在以下 3 个方面。

#### 支撑我国半导体产业从自主可控走向自立自强

从 2016 年开始，美国奥巴马、特朗普、拜登 3 届政府，不顾国际关系准则和贸易规则，连续不断地出台政策手段，以半导体为武器对我国高科技产业进行全方位的限制和打压。2018 年以来，美国更是聚焦半导体产业链，连续推出限制措施，步步紧逼，层层递进，企图打断我国半导体领域的创新发展进程，减缓我国发展速度，限制我国半导体产业向高端发展。

2022 年 10 月 7 日，美国再次推出新的限制措施，进一步针对高端芯片所涉及的技术体系、产业链体系和人才体系中的环节进行打击，妄图对我国实现“高端锁死”。2023 年 10 月 17 日，美国进一步发布对华半导体出口管制升级规则。2024 年 12 月 2 日，美国发布一份临时最终规则，再度加码对我国半导体制造相关物项出口管制限制，重点针对半导体设备企业。目前，主要的半导体设备企业均已经被列入美国实体清单等。

从 2008 年至今，在国家科技重大专项、国家集成电路产业基金、科技攻关计划等十几年的持续支持下，结合科创板等一系列政策扶持措施，我国半导体装备及零部件已经建立基本的保障能力，在成熟制程上初步实现了自主可控。但在先进制程装备及其配套零部件上的弱项需要全面系统、长期持续的攻关，以支撑我国半导体产业走向自立自强。

#### 支撑我国半导体建立中国特色创新生态

全球半导体技术的发展路线正经历着其建立 70 多年来前所未有的大变局。随着器件特征尺寸微缩逐渐逼近物

理极限，晶体管尺寸的进一步缩小变得愈发困难且成本高昂，传统的通过缩小晶体管尺寸来提升性能的方式已愈发困难。为满足半导体性能演进的要求，需要下大力气突破半导体制造工艺及装备技术，尤其是半导体前道工艺设备将继续推动摩尔定律进一步发展。

与此同时，半导体行业正积极探索新的技术路径，例如，三维结构、光子芯片、量子计算等新兴领域，以期突破物理限制，实现性能飞跃。同时，先进封装技术如 2.5D/3D 堆叠集成电路（IC）、嵌入式芯片封装等，也成为提升集成度、增强算力的重要手段，被业界视为“新摩尔定律”。这些技术革新不仅改变了半导体产品的设计和制造方式，还深刻影响着整个电子信息产业的格局。此外，全耗尽型绝缘体上硅（FDSOI）相比现有主流鳍式场效应晶体管（FinFET）具有工艺简单、制造成本低、高速低功耗等优点，对先进光刻机要求低 1—2 代，制造装备种类少 20%，国产装备和材料已具有相对完整的支撑能力，能够为国内高端芯片制造提供新的先进制程。

我国应抓住这一历史性的机遇，在半导体领域开展变革性创新，摆脱路径依赖，探索新的创新发展路径，重塑半导体芯片工业体系，打造新的生态，走出中国特色自主创新之路。在此过程中，半导体装备将在“中国特色摩尔定律”的发展中发挥至关重要的支撑和引领作用。

### 满足半导体对于网络化、数字化、智能化的需求

作为信息技术发展的基础，半导体技术在促进信息技术发展的同时，信息技术也在促进半导体技术发展。近年来，信息技术发展加速推动半导体领域向智能制造发展。智能制造本质上将人工智能（AI）、数字化、网络技术等信息技术与传统制造技术深度融合，通过感知、分析、推理、决策与控制，贯穿于产品设计、生产、管理和服务的各个环节，实现产品需求的动态响应。当前，半导体制造设备的智能化水平持续升级，正逐渐向半导体制造全流程全环节智能化的演进。行业研究机构国际器件与系统路线图（IRDS）的分析显示，未来半导体设备将遵循表 2 所示规划的技术演进路径，分阶段实现更完善的智能化能力。

## 2、半导体装备发展现状

### 全球现状

全球半导体设备市场呈现产品分工高度全球化、单一产品高度垄断的竞争局势，80% 以上的市场份额由美国、日本和欧洲（荷兰）厂商占有，其中，光刻机主要由荷兰和日本厂商提供，干法刻蚀、掺杂、薄膜、平坦化、热处理、湿法、量测检测、工厂辅助设备等主要由中国和美国和日本厂商提供。CINNO IC Research 最新发布的全球半导体设备行业研究报告显示，2024 年全球半导体设备商半导体营收业务前 10 位营收合计超 1100 亿美元，同比增长约 10%。

2024 年全球半导体设备厂商市场规模前 10 位中，荷兰阿斯麦公司（ASML）2024 年营收超 300 亿美元，排名

首位；美国应用材料公司（AMAT）2024 年营收约 250 亿美元，排名第 2 位；美国泛林（LAM）公司、日本 Tokyo Electron 公司（TEL）、美国科磊公司（KLA）分别排名第 3、第 4 和第 5 位。北方华创科技集团股份有限公司作为前 10 位中唯一的中国半导体设备厂商，2023 年首次进入全球前 10 位，2024 年排名由第 8 位上升至第 6 位。

### 我国现状

2008 年之前，我国 12 寸半

时间	工艺节点 (nm)	主要器件结构	关键工艺
2021 年	5.0	FinFET	共形掺杂
2022 年	3.0	FinFET/GAA	置换式金属栅
2025 年	2.1	GAA	侧向/原子级刻蚀
2028 年	1.5	GAA	非铜互联
2031 年	等效 1.0	GAA-3D	超大规模三维集成
2034 年	等效 0.7	GDD-3D	超大规模三维集成

表 1 集成电路逻辑器件技术路线图

时间	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年
晶圆信息追溯(包括位置及工艺状态)	研发	验证			持续提升
设备健康监测	验证			持续提升	
预测性维护	验证			持续提升	
虚拟量测	验证			持续提升	
反映腔动态调节	研发		验证		持续提升
成本可视化及工艺时间报告	验证			持续提升	

表2 半导体设备智能化技术路线图

导体关键设备几乎空白，只有少量 8 寸设备样机，因此国内建造芯片生产线，50% 的工艺设备和检测设备需从美国进口，20% 的设备（主要是光刻机）需从欧洲进口，30% 的设备从日本等其他国家进口。过去十多年，国家科技重大专项、关键核心技术攻关工程等重大科技计划和国家半导体产业基金、科创板等产业政策手段合力，形成了“科技引领、产业跟进、金融支撑”的有效发展模式，开创了产业链、创新链、金融链“三链融合”推动中国半导体高速发展的局面，建立了较为完整的技术创新体系与产业布局，半导体产品设计、制造、封测、装备和材料等五大板块齐整，初步具备了体系化的半导体设备自主供给和创新能力。

在产品的设计方面，国内技术能力大幅提高，处理器（CPU）、现场可编程门阵列（FPGA）、通信系统级芯片（SOC）等取得突破。从制造工艺上看，技术取得长足进展。从封装集成上看，从中低端进入高端，传统封装规模居世界第 1 位，先进封装达到国际先进水平。特别是国家科技重大专项培育了 200 余家集成电路制造、封测、装备、材料和零部件领域的重点骨干企业，其中上市企业近 60 家，构成了支撑全产业链发展的“四梁八柱”。全行业 50 余万从业人才，其中核心创新队伍近 10 万人。总体来看，我国半导体领域形成了技术体系，建立了产业链，产业竞争力大幅提升，差距大大缩小。

在半导体设备方面：前道制造设备中的刻蚀、化学气相沉积、物理气相沉积、化学机械抛光、离子注入、氧化及退火、湿法（清洗 / 涂胶）、测试等 12 寸高端设备已完成研发并批量进入市场，等离子刻蚀机、等离子体增强化学气相沉积（PECVD）等多种产品还在国际一线客户先进工艺中得到应用。表 3 展示了我国半导体装备的主要企业。从市场成长上看，2024 年国产半导体设备企业销售总额约为 853 亿元，较 2008 年 17 亿元规模增长 50.1 倍，极大

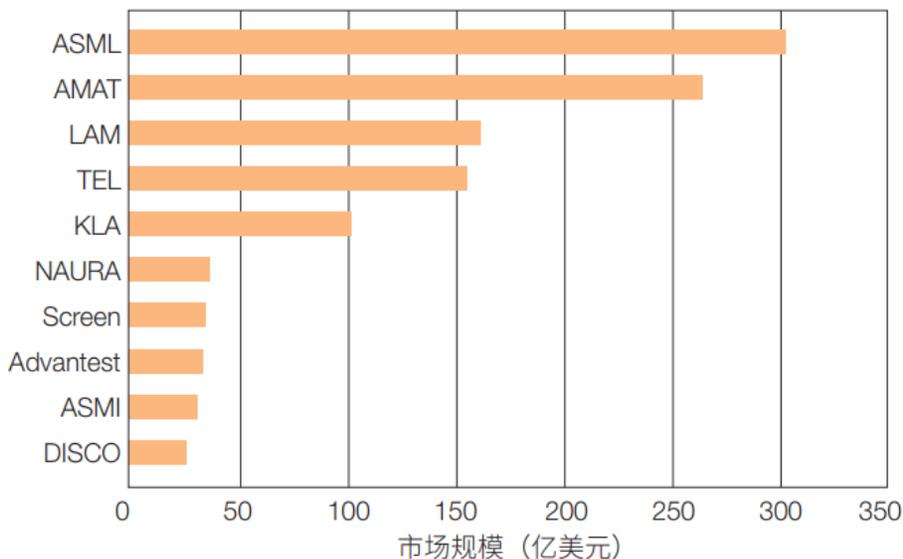


表2 半导体设备智能化技术路线图

改善了国内产线对国外设备的依赖现状。

同时也要看到，中国市场半导体设备竞争格局仍主要被美国、日本和欧洲（荷兰）的厂商占据，特别是高端领域。其中，美国应用材料公司在中国设备市场占比 27.4%、泛林公司占比 14.8%、科磊公司占比 6.8%，日本的东京电子公司占比 16.2%，荷兰阿斯麦公司占比 10.1%，合计市占率超过 70%。

### 3、半导体装备面临的挑战

摆脱路径依赖，开展路径创

## 新，掌握发展主动权

半导体是全球化产业链分工合作模式最成功的实践。过去 20 年间，我国半导体产业积极融入国际大循环，以“追赶”和“替代”为主要策略，在全球化生态中安营扎寨，逐步壮大实力，努力开疆拓土，积累起今天的基础和实力，但客观上也使我们的发展形成了对外路径依赖，这是当前我国处于战略被动地位的主要原因。

必须承认，这是一种对国际化体系高度依赖的发展模式，本质上是“拿别人的方案盖楼，用别人的建材架梁，按别人的方法施工”，在带来“省心省力”之利的同时，不可避免地陷入了竞争受制、发展受限的被动格局。在西方对我国强行脱钩的逆全球化形势下，我国从国外获取先进技术、高端人才、资金等资源越来越困难，继续沿用过去发展策略的基础已逐渐丧失，必须建立新的发展模式，实现“用自己的图纸盖楼，用放心的建材架梁，按拿手的方法施工”，掌握发展的主动权和主导权。

### 破解技术演进对半导体设备提出的更高要求

在沿着摩尔定律和新摩尔定律演进过程中，半导体装备在前道制造和后道制造两方面面临挑战：

在前道制造中，随着工艺节点持续微缩，半导体制造中引入了 GAA 等类型晶体管，这对制造设备提出了更高的挑战。

1. 离子注入工艺需要从传统掺杂转向共形掺杂技术，以实现三维纳米结构中的均匀掺杂分布；
2. 薄膜沉积和刻蚀工艺需实现原子级精度控制，其涉及原子层沉积 (ALD) 和原子层刻蚀 (ALE) 等先进工艺技术；
3. 其他关键工艺设备包括化学机械抛光 (CMP)、电化学沉积 (ECD) 和湿法设备等都需要进行技术升级，以应对更高精度加工、非铜互连材料应用、新型高介电常数金属栅极 (HKMG) (高 k 金属栅) 材料应用等方面的集成需求。

在后道制造中，为持续提升封装效率并优化生产成本，晶圆级封装技术正在经历从传统封装向先进封装发展。例如：矩形板级封装技术要求对现有基于圆形基板设计的工艺装备需适应性改造，以适应矩形基板的几何特性；玻璃基板技术具备低热膨胀系数、良好的介电和光学性能等优势，适合于大算力封装，但也需要研发对应的专用设备；在硅通孔技术 (TSV) 工艺技术方面，需要在设备层面解决高密度、高深宽比刻蚀等问题；在超薄晶圆处理环节，需要解决晶圆翘曲和脆性断裂等问题。

工艺	设备种类	代表企业	所在地
刻蚀	介质刻蚀机(COP)	中微半导体设备(上海)股份有限公司、北方华创科技集团股份有限公司	北京、上海、江苏 鲁汶仪器有限公司
	硅刻蚀机(ICP)	北方华创科技集团股份有限公司、北京屹唐半导体科技股份有限公司、江苏鲁汶仪器有限公司	
薄膜	物理气相沉积(PVD)	北方华创科技集团股份有限公司、鑫天虹(厦门)科技有限公司、江苏鲁汶仪器有限公司	北京、沈阳、江苏、 厦门、上海
	Diffusion/低压化学气相沉积(LP-CVD)	北方华创科技集团股份有限公司	
	原子层沉积(ALD)	北方华创科技集团股份有限公司、拓荆科技股份有限公司、江苏微导纳米科技股份有限公司、上海隆通半导体能源科技股份有限公司	
	等离子体增强化学气相沉积(PECVD)	拓荆科技股份有限公司	沈阳
平坦化	化学机械抛光(CMP)	华海清科股份有限公司	天津
离子注入	Implant	北京烁科中科信电子装备有限公司	
湿法	Wet clean/Dry clean	盛美半导体设备(上海)股份有限公司、上海至纯洁净系统科技股份有限公司、北方华创科技集团股份有限公司、沈阳芯源微电子设备股份有限公司	北京、上海、沈阳
	MASK Clean	常州瑞泽微电子科技有限公司	常州
检测	检测设备	中科飞测股份有限公司、杭州长川科技股份有限公司、东方晶源微电子科技股份有限公司、上海精测半导体技术有限公司	深圳、杭州、 北京、上海
热处理	退火炉、合金炉、单片退火	北京屹唐半导体科技股份有限公司、北方华创科技集团股份有限公司、北京华卓精科科技股份有限公司	北京、上海
光刻	光刻机(Lithography)	上海微电子装备(集团)股份有限公司	上海
	匀胶机(TRACK)	沈阳芯源微电子设备股份有限公司	沈阳

表 2 半导体设备智能化技术路线图

### 解决上游半导体零部件等供应链问题

半导体设备作为由数以万计精密零部件构成的复杂系统，其核心零部件的性能参数、质量水平和加工精度直接决定了整机设备的可靠性与稳定性。半导体零部件主要包括机械类、电气类、机电一体类、气体传输系统、气动液压系统、真空系统、仪器仪表、光学类等类型，产品包括射频电源、流量计、质量计、真空泵、静电吸盘、密封圈等。国内半导体零部件行业起步比较晚，虽然近年来国内半导体零部件市场规模持续扩大，但当前整体技术水平与国际先进存在明显差距，

本土企业在核心技术能力、制造工艺水平、产品精度控制及可靠性验证等方面目前仍难以满足设备和晶圆制造厂商的严苛要求。在全球宏观政治经济日益复杂，美国不断打压遏制我国半导体产业发展的背景下，亟须解决零部件这一半导体装备被“卡脖子”的问题。

#### 解决低水平重复带来的内卷问题

目前，我国在半导体产业链的几乎所有环节都呈现出不同程度的内卷。主要表现为“国产替代”演变为“替代国产”，中低端产品和产能快速扩张并竞争严重，新主体不断涌入半导体领域且抗风险能力差。以装备业为例，几乎每个已经实现国产化的领域，国内企业数量都超过5家以上。

分析原因，从外部因素看，美国限制我国半导体向14nm以下先进工艺发展，企业转向横向扩张；从内部因素看，上市红利和地方政府支持吸引大量资本和大量新企业进入半导体设备领域，高薪挖角、同质竞争等乱象不断显现。某些企业依靠产业链优势，抢占资源，大量重复国内已经成熟的产品，严重浪费了创新资源。

低端内卷造成无序、低水平的、恶性的竞争，导致供给端结构性失衡和资源错配，基础创新“动力不足”，阻碍了技术和产业向中高端迈进，形成低端重复、中高端难以突破的局面，破坏了半导体创新生态。

#### 4、下一步建议

半导体具有技术密集、人才密集、资金密集的特点，技术迭代升级极为迅速，创新研发具有为产业发展引领方向的先导作用，是典型的技术引领型产业。坚持科技创新引领产业发展，是实现半导体全局性、长远性、可持续发展的核心关键。

面向“十五五”，我国需改变以“追赶”和“替代”为主基调的发展模式，坚定开展路径创新，多路并进开辟新赛道，上下游协同培育新生态，形成产品定义、特色制造和供应链可支撑的全产业链创新方案。推动新路径与传统路径的竞争与融合，形成新的主赛道，构建技术制高点，建立非对称技术优势和战略制衡能力，赢得发展主动权。以再全球化对抗逆全球化，建立内循环，引导双循环，重塑半导体国际循环体系。利用好国际资源，着力推行中国标准、中国技术、中国产品、中国应用，鼓励国际产业资源参与内循环生态建设，在国际大循环里形成内循环，促进国内国际双循环，重塑全球产业链。

面向“十五五”，必须坚定布局成体系的半导体装备科技攻关，系统组织产业链上下游协同推进供应链关键产品的验证应用和快速迭代升级，构建完备的半导体装备供应链体系。瞄准先进工艺节点，进一步提升供应链技术水平，形成快速迭代能力，支撑我国半导体产业自主可控良性发展。结合我国超大规模市场优势，打造具有支撑我国独特优势的半导体装备供应链生态。国家相关科技计划要超前部署、梯次布局、聚焦重点、系统攻关，为工艺研发、产业布局和产能建设开路排雷。继续坚持“科技引领、产业跟进、金融支撑”的高效发展模式，建立科技计划与相关产业投资计划紧密互动、高效协同、相互促进的有效机制。在此过程中，破解行业“内卷”，始终将创新放在第1位，有效发挥财政资金的引导作用，避免将有限的资金用于低水平技术的数量扩张；引导地方政府进行半导体产业差异化布局；引导产业链上下游遵守商业规则，行业合作伙伴之间建立好的利益分享机制；完善健全符合半导体产业特点的并购机制。

(来源：中国科学院期刊)

# 集成电路行业人才需求与职业院校专业设置匹配分析

**【摘要】**集成电路产业是支撑国家经济社会发展和保障国家安全的战略性、基础性和先导性产业。通过对我国集成电路行业技术技能人才需求与职业院校人才培养的匹配分析，建议科学合理构建集成电路类职业教育专业体系，引导职业院校合理设置专业，优化集成电路技术技能人才培养路径，加大行业支持力度，助力高质量人才培养，注重专业技能和职业素养高度融合，为集成电路行业技术技能人才培养提供依据和指导。

## 一、集成电路行业技术技能人才需求情况

### （一）集成电路行业发展状况

#### 1. 国家政策引领集成电路行业快速发展

为适应全球集成电路产业快速发展和国际芯片供应环境变化，推动集成电路行业自主创新和高质量发展，“十四五”以来，国家相继出台一系列支持政策，从技术创新、产业应用、人才培养等重点领域提供政策保障。2014年6月，《国家集成电路产业发展推进纲要》印发，为集成电路产业实现跨越式发展、营造良好环境指明了发展方向，也为开展配套集成电路标准化工作奠定了基础。2020年7月，国务院印发《新时期促进集成电路产业和软件产业高质量发展的若干政策》，从国家政策层面为进一步优化集成电路产业和软件产业发展环境、深化产业国际合作、提升产业创新能力和发展质量等方面“保驾护航”。《电子信息制造业2023—2024年稳增长行动方案》则聚焦于提升产业链现代化水平，推动集成电路等重点领域的产业链补链、延链、升链和建链。

在国家政策的大力支持下，我国集成电路行业迎来快速发展期。2014—2023年，我国集成电路产业销售收入翻4倍。到2025年，我国集成电路产业规模有望达到2万亿元，显示出集成电路行业的巨大潜力和发展前景。从国际来看，我国集成电路产业销售收入在世界半导体产业的占比也持续增长。2023年，世界半导体产业销售收入为5201.3亿美元，我国集成电路产业销售收入约合41.4亿美元，占世界半导体产业收入的33.5%。

#### 2. 集成电路产业链全覆盖，推动行业深度转型升级

集成电路产业链逐渐趋于完善，产业链涉及芯片设计、制造、封装测试等主要环节，呈现出明显的分工与层次结构，推动相关职业岗位的多样化和专业化发展。在产业链的上游，集成电路设计师和系统架构师等高端岗位主要集中于设计和研发阶段；中游包括工艺工程师和设备工程师，重点负责制造工艺的改进与优化；而在下游，基础岗位则多集中在封装测试领域，主要负责集成电路设备的操作与维护。

集成电路行业正经历深度转型升级期，传统的集成电路制造方式逐渐向自动化和智能化方向发展。在生产环节，集成电路产业链引入智能化设备提升生产效率，通过大数据和云计算优化生产流程，实现精细化管理。集成电路技术产业转型对集成电路行业的岗位能力提出更高要求。岗位能力素质的要求日益多样化，员工不仅需要掌握前沿技术，还需具备跨学科知识，能够灵活应对技术更新迭代。调研发现，从业者具备系统性思维、数据分析能力以及与不同部门、技术团队高效协作的能力尤为重要。

### （二）集成电路行业技术技能人才需求分析

#### 1. 集成电路行业技能人员从业岗位

集成电路类企业岗位调研显示，集成电路行业技术技能岗位按照人才来源分为本科以上集成电路设计类岗，高职本科集成电路开发类岗，高职专科集成电路设计应用类岗、集成电路制造类岗、集成电路运维类岗，中职集成电路操作类岗。其中，高职专科集成电路设备技术员、测试技术员、工艺技术员分列前三名，占比合计53.05%。高

等职业院校的毕业生主要从事集成电路测试应用类、制造运维类和部分技术开发类岗位，中职毕业生主要从事集成电路操作类岗位。岗位需求人数中，高职本科占比 3.59%，高职专科占比 74.49%，中职占比 3.25%。高等职业教育培养的技术技能人才市场需求空间巨大，应大力发挥集成电路行业高等职业教育主力军作用。

## 2. 集成电路行业技能人员从业规模和学历结构

一是集成电路行业技能人员从业规模上，人才总量不足。根据《中国集成电路产业人才发展报告（2023—2024 年）》，全行业需求缺口超 20 万人，结构性矛盾突出，本科及以上学历占比不足 55%，低于全球平均水平；高技能人才占比仅 12%。同时，人才结构失衡，主要表现在一线操作技能型人才过剩，而设计、研发等高端人才短缺，特别是集成电路设计、制造和封测等核心环节的技术人才供不应求。人才地区分布不均衡，主要集中于长三角、珠三角和京津冀等地区，而中西部地区行业人才储备相对薄弱。

二是学历结构及招聘来源。集成电路行业技术人才供给规模快速增长，应届生求职比例逐年提升。调研显示，2023 年集成电路技术技能人才同比增长 9.64%，增速较 2022 年提升 2.07 个百分点。其中，应届生人数占比由 2020 年的 25.76% 提升至 2023 年的 28.79%。集成电路企业的技术人才招聘主要集中在高职院校毕业生和本科生两个层次，而集成电路行业的快速发展也催生对高职技术技能人才的巨大需求。高职院校在培养中高级技术人才方面起到重要作用，尤其是设备调试、测试及工艺优化等方向，已成为行业技术技能人才的主要供给来源。

## 3. 集成电路行业技术技能人才需求情况

国内集成电路产业蓬勃发展，企业人才需求持续提升。调研显示，2023—2024 年，集成电路企业人才需求数由 16.83 万人增长至 24.36 万人，复合增速达 20.31%；技术技能人才需求数约 14.15 万人，人才供给 11.64 万人，存在约 2.51 万人的需求缺口。技术技能人才的需求缺口中，高职专科占 47.81%，高职本科占 35.46%，中职占 16.73%。

综合考虑各方面因素，集成电路行业技术技能人才需求中，高职本科占比约为 7.46%，高职专科占比约为 85.80%，中职占比约为 6.74%。高职专科人才在集成电路行业中占据绝大多数的需求，而高职本科和中职人才的需求相对较少。

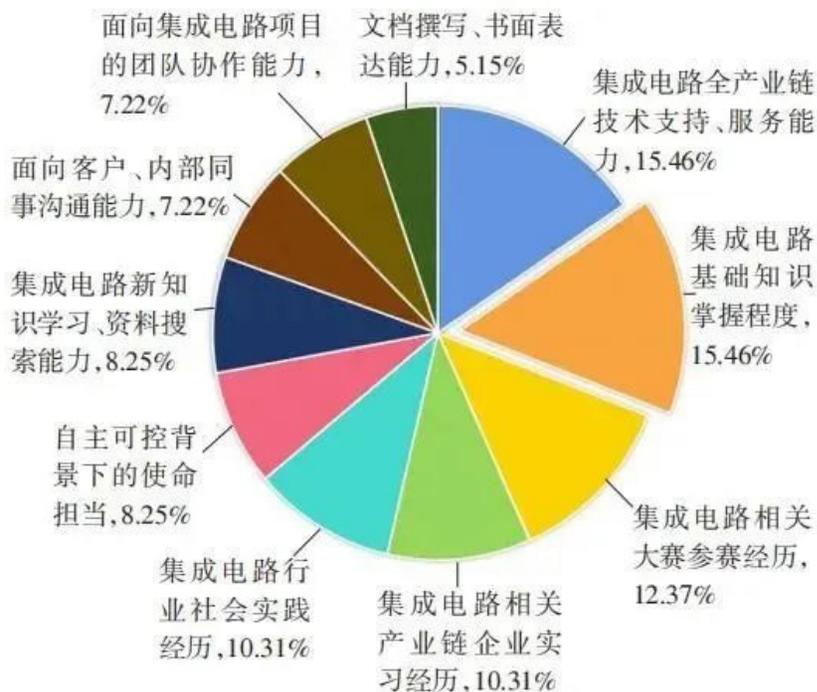


图1 集成电路行业职业能力变化分析

## 4. 集成电路行业技术技能岗位能力素质新要求

一是集成电路行业技术技能型职业岗位多样。由于集成电路不同环节的专业要求共性较强，专业群热门专业包括电气自动化技术、电子信息工程技术、应用电子技术、微电子技术与器件制造等。其中，设计、封装、测试环节热门岗位为测试技术员，对电子信息工程、应用电子技术等专业人才需求较大；制造、设备环节热门岗位分别为设备运维技术员、工艺技术员，对电气自动化、微电子技术与器件制造等专业人才需求较大。

二是集成电路行业职业能力变化。集成电路技术核心工作领域对应典型工

表1 集成电路行业重点领域所对应的集成电路相关专业表

培养层次	代码	专业名称	专业方向举例	对应职业
高职本科	310401	集成电路工程技术	集成电路设计类岗	版图设计师
	310101	电子信息工程技术	集成电路开发类岗	电路设计师
高职专科	510402	微电子技术	集成电路设计应用类岗	版图设计员
	510401	集成电路技术	集成电路运维类岗	应用技术员
	510103	应用电子技术	集成电路制造类岗	工艺技术员
	460306	电气自动化技术	集成电路制造类岗	测试技术员 设备技术员
中职	710401	微电子技术及器件制造	集成电路操作类岗	工艺操作员
	710104	电子材料与元器件制造	集成电路操作类岗	封装操作员
	590201	电子信息技术	集成电路操作类岗	应用操作员



图2 2021—2023年集成电路相关专业布点数

## 人才培养情况

### （一）集成电路类专业设置情况

根据《中等职业学校专业目录（2010）》和《普通高等学校高等职业教育（专科）专业目录（2015）》以及历年专业增补情况，集成电路类专业所对应的高职本科的2个专业、高职专科的4个专业、中职的3个专业（表1），职业院校集成电路相关专业可以分为两大类，即直接相关专业和间接相关专业。直接相关专业包括中职的微电子技术及器件制造专业，高职专科的微电子技术和集成电路技术专业，以及高职本科的集成电路工程技术专业。间接相关专业包括中职的电子材料与元器件制造和电子信息技术专业，高职专科的应用电子技术和电气自动化技术专业，以及高职本科的电子信息技术专业。

国家对集成电路产业发展战略布局不断推进，集成电路产业规模持续扩大，带动职业教育的积极响应。越来越多职业院校意识到集成电路专业人才培养的重要性，高职本科、高职专科集成电路相关专业布点总数持续增长，从2021年的159个增长至2023年的268个（图2）。

如图3所示，集成电路专业的地域布局中，东部长三角地区四个省市拥有80多个专业布点，密度最大；而在珠三角、京津冀地区的院校，也结合产业定位积极布局集成电路相关专业；中西部地区虽然产业规模相对较小，但专业点数增幅明显，反映出各地区对集成电路专业人才培养的重视以及对产业发展的积极布局，旨在为集成电路产业提供有力的人才支撑，实现产业与教育的协同发展。

### （二）职业院校集成电路类专业招生就业情况

#### 1. 招生规模与专业趋势

为应对集成电路行业对技术技能人才需求快速增长，职业院校加大了高职层次的招生力度，特别是在集成电路

作任务与职业能力。在制造和封装领域，典型任务包括工艺流程控制、设备操作与维护、封装设计等。其岗位职业能力需提升实践和动手能力，确保生产效率与质量。在测试和应用领域，技术人员岗位主要任务涉及芯片功能测试、可靠性测试以及应用设计，其岗位职业能力需加强跨领域的专业知识和技能。

三是集成电路行业能力素质新要求。集成电路企业对技术技能人才的能力素质要求涵盖多个方面。人才需具备扎实的集成电路基础知识和全产业链技术支持能力。良好的沟通与团队协作能力、文档撰写和书面表达能力，是企业对技术人才的基本要求。企业倾向于招聘有产业链实习经历和项目经验的人员，尤其是在集成电路相关大赛和社会实践中积累的经验。国产自主可控技术的自主创新能力和使命担当也是关键能力素质。这些岗位能力素质有助于人才在技术研发、项目执行和团队协作中发挥重要作用，如图1所示。

## 二、我国职业院校集成电路类专业设置与

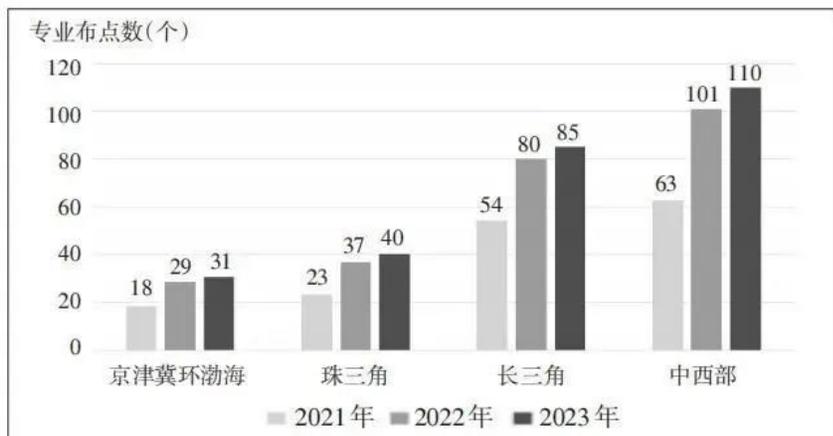


图3 2021—2023年四大区域集成电路相关专业布点数

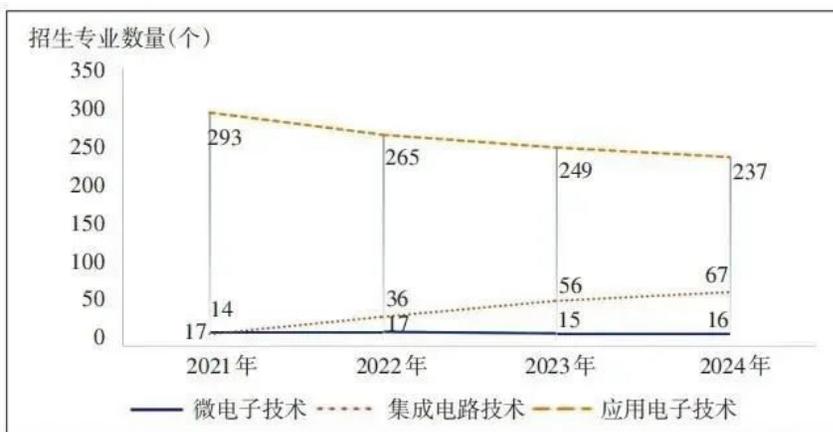


图4 2021—2024年高职层次集成电路相关招生专业数量统计

表2 集成电路行业2023年相关专业招生占比情况

层次	专业	占比
高职本科	电子信息工程技术专业2(间接对口)	1.48%
	集成电路工程技术专业1(直接对口)	0.03%
高职专科	电气自动化技术专业7(间接对口)	58.12%
	应用电子技术专业4(间接对口)	19.27%
	集成电路技术专业2(直接对口)	1.99%
	微电子技术专业1(直接对口)	0.99%
中职	电子信息技术专业3(间接对口)	16.32%
	微电子技术专业1(直接对口)	1.03%
	电子材料与元器件制造专业2(直接对口)	0.77%

测试应用类、制造运维类及部分技术开发类岗位领域。部分专业，如集成电路技术专业招生人数增长迅速，反映出该专业在市场需求推动下的吸引力不断增强；而应用电子技术专业招生呈下降趋势，表明其在专业竞争中面临一定挑战（图4）。整体专业招生规模逐年递增，体现出集成电路类专业在职业教育中的受重视程度不断提高，学生就读意愿也在增强。规模变化与集成电路产业发展态势密切相关。产业规模扩大对专业人才的需求增长，促使院校在招生计划上做出相应调整。

## 2. 学历层次与专业分布

从学历层次分析，相关专业中职在校生有47009人，占比18%；高职本科有3909人，占比2%；高职专科则达到208403人，占比80%。从专业性来看，直接对口专业（如集成电路工程技术、微电子技术及器件制造）人数相对较少，仅占5%，而间接对口专业（如电气自动化技术、电子信息工程技术）人数众多，占比高达95%（表2）。在当前职业院校集成电路人才培养体系中，间接专业在人才培养规模上占据主导地位，与这些专业覆盖的知识面较广、就业适应性较强有关。直接专业作为集成电路核心领域的人才培养方向，其规模相对较小，需要进一步优化和加强，以满足产业对集成电路专业人才的精准需求。

## 3. 专业区域招生差异

集成电路类专业人才培养数量的区域分布并不均衡（图5）。中西部地区人数最多，达63868人，占比47%；长三角地区有33780人，占比25%；珠三角地区为22219人，占比16%；京津冀环渤海地区为17017人，占比

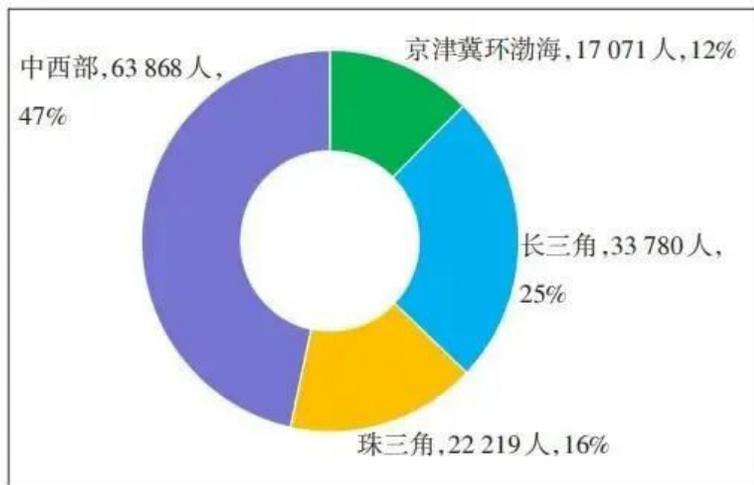


图5 2021—2023年四大区域招生数统计

表3 集成电路行业人才需求最多的TOP9岗位数据

排序	岗位	占比	对应学历层次
1	岗位B.5——设备技术员	26.75%	高职专科
2	岗位B.4——测试技术员	26.25%	
3	岗位B.3——工艺技术员	10.05%	
4	岗位B.1——版图设计员	8.86%	
5	岗位A.3——测试程序开发师	3.25%	中职
6	岗位A.2——版图设计师	2.69%	高职本科
7	岗位C.2——封装操作员	1.41%	
8	岗位C.1——工艺操作员	1.17%	
9	岗位A.1——电路设计师	0.90%	

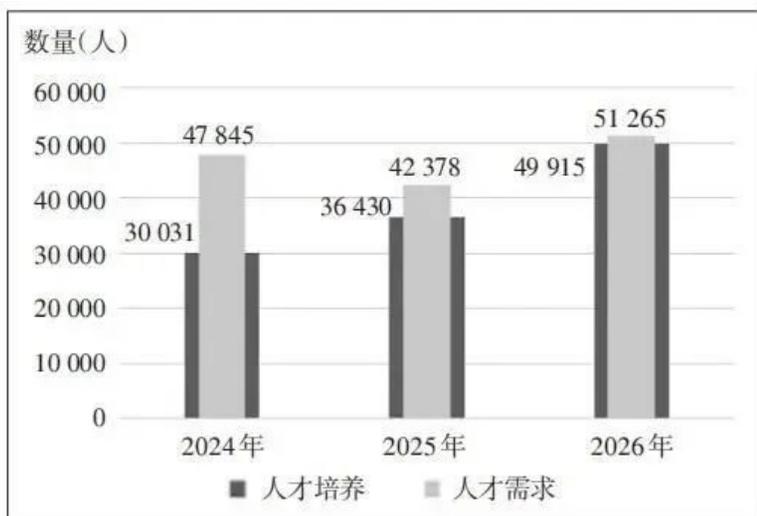


图6 2024—2026年集成电路行业人才供需分析

12%。该区域差异与各地区集成电路产业发展状况密切相关。中西部地区虽然产业规模相对较小，但在人才培养方面投入较大，出于对区域发展的战略布局考虑，通过培养大量专业人才推动当地集成电路产业崛起。而长三角、珠三角和京津冀地区作为我国集成电路产业重要集聚区，产业发达，对人才吸引力强，学生当地就读能够获取更多的实践机会和就业资源，因此也吸引相当数量的学生就读集成电路相关专业。

### (三) 集成电路类专业就业分析

#### 1. 就业岗位需求层次

调研数据显示，未来3年集成电路行业人才需求最多的TOP9岗位对不同学历层次人才需求差异显著（表3）。其中，高职专科层次岗位需求占比高达74.49%，凸显出高职专科教育在集成电路行业技术技能人才培养方面的重要性。高职本科占比3.59%，主要集中在电路设计、版图设计等高阶岗位；中职占比3.25%，主要从事工艺操作员等基础操作岗位。集成电路行业岗位需求呈现出明显的层次性，不同学历层次的人才在产业链中发挥着不同的作用，职业院校在人才培养过程中应根据市场需求合理定位，确保培养出符合岗位要求的专业人才。

#### 2. 岗位需求类型与专业契合度

集成电路行业的岗位需求类型多样，涵盖设计、制造、封装测试、设备维护及应用开发等多个环节。职业院校集成电路类相关专业的设置与这些岗位需求存在一定契合度。例如，高职专科的集成电路技术专业培养的学生可较好满足设备技术员、测试技术员等岗位需求；中职的微电子技术与器件制造专业为工艺操作员岗位输送了大量人才。然而，也存在一些问题，如工艺技术员、版图设计员等岗位对高职专科层次人才需求较大，但目前相关专业的培养规模尚无法完全支撑产业人才需求。

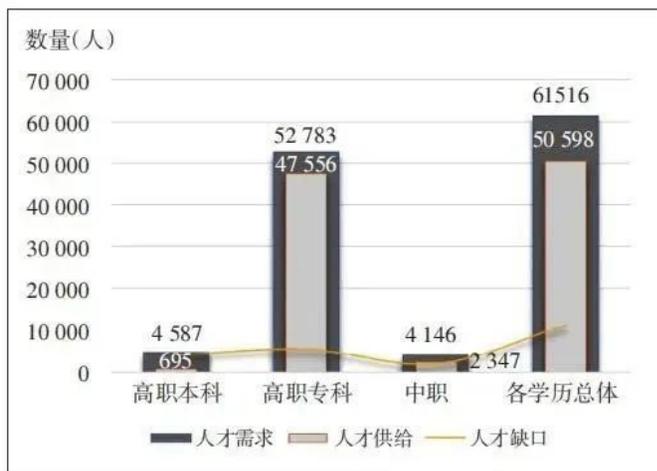


图7 2024—2026年各学历层次人才供需情况分析 教育

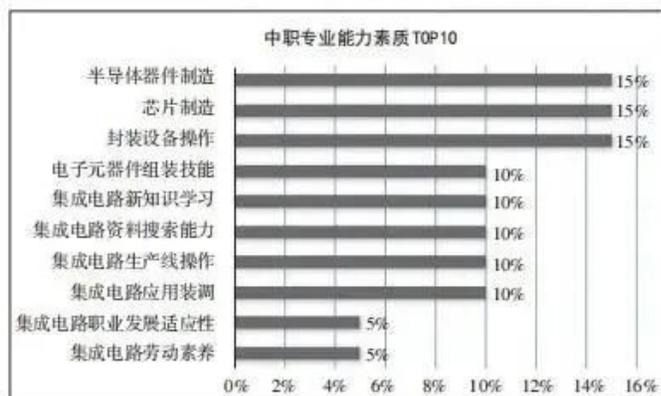
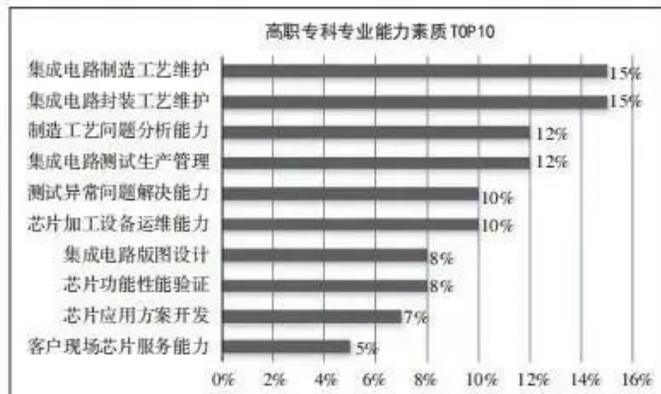


图8 高职本科、高职专科、中职集成电路行业岗位专业素质要求TOP10

### 三、集成电路行业技术技能人才需求与职业院校人才培养匹配分析

#### (一) 集成电路行业技术技能人才需求与职业院校专业设置匹配分析

##### 1. 职业院校专业设置还不能完全支撑集成电路行业岗位需求

从职业院校专业设置情况看，专业群设置从层次、专业定位上还不能完全满足集成电路行业技术技能人才需求。中职层次开设电子信息技术、微电子技术与器件制造等专业，从专业定位上看基本满足中职层次的工艺操作员岗位需求；高职专科开设电气自动化、微电子技术、集成电路技术等专业，对应设备技术员、测试技术员等岗位，但还不足以满足工艺技术员、版图设计员等岗位人才数量的需求；高职本科开设电子信息工程等专业，但还不足以满足集成电路设计、方案开发等岗位需求。高职专科和高职本科专业还不能完全对接岗位群。

##### 2. 专业培养规模与行业人才数量需求间还存在差距

据调研统计（图6、图7），2024—2026年集成电路产业对于职业院校人才的需求总量将超过6万人，其中，对于高职本科的需求占7.46%，高职专科的需求占85.8%，中职的需求占6.74%。而与之相对应的是，在调研院校中，2024—2026年人才供给量约为5万人，其中，高职本科占1.37%，高职专科占93.99%，中职占4.64%。各学历层次人才总缺口较大，供不应求态势较为明显，而当前在校生规模尚不能完全满足集成电路行业企业需求。因此，还需要适当提升职业院校集成电路相关专业技术技能人才培养的规模，特别是扩大集成电路类专业高素质技术技能人才培养规模。

##### 3. 职业院校专业布局与区域产业发展匹配性有待加强

集成电路产业以在长三角和珠三角地区为主，规模最大，特别是沪粤苏地区，集中全国主要的集成电路上市公司，对人才需求量也较大。而从人才培养情况看，长三角和珠三角地区规模比较大；中西部地区开设集成电路相关专业的职业院校数量也在增加；四川、重庆等地区也有较大的人才培养规模，符合近年

来川渝地区集成电路产业发展的需求。从规模占比来看，中西部地区集成电路专业人才培养规模占比为 23.49%，而产业规模占比为 18.07%，表明中西部地区的产业还在发展阶段，有较多人才流向长三角、珠三角地区。同时表明，随着近年来集成电路产业发展，特别是国家支持力度不断加大，各职业院校对于集成电路相关专业的开设也越来越重视。

## （二）集成电路行业技术技能人才需求与职业院校人才培养质量匹配分析

### 1. 专业培养目标与集成电路行业岗位需求间不完全匹配

高职专科集成电路类专业致力于培养面向集成电路企业，掌握版图设计、制造工艺流程、封装测试工艺及设备操作，具备工艺管理与品质管理能力的高素质技术技能人才，可从事相关领域多方面工作，解决复杂问题，兼具创新创业与可持续发展能力及国际视野，面向集成电路技术方向。高职专科以培养掌握集成电路工程技术及专业知识，能在多领域从事集成电路相关工作，具备较强能力的人才为目标。高职本科则着重强化理论知识，提升学生集成电路工程实践与新技术学习能力。

调查显示，随着集成电路新技术的快速发展，岗位对人员的知识技能提出新要求。职业院校虽围绕专业课程培养人才，但集成电路类高职本科课程设置存在不足，如半导体物理与器件、集成电路制造工艺基础等课程内容未涵盖先进半导体制造技术、亚纳米芯片制造技术等行业最新主流技术技能。不少职业院校在集成电路专业定位上未能紧密结合区域发展需求，倾向于培养传统电子信息类人才，偏离区域内集成电路行业实际需求。

### 2. 职业院校毕业生职业素质还不能完全适应岗位要求

从各专业的核心课程设置来看，高职专科集成电路技术、微电子技术，中职微电子技术及器件制造，以及高职本科集成电路工程技术专业的专业核心课程主要是半导体器件与工艺、集成电路测试、集成电路封装、集成电路设计等课程，与岗位需求相关度较大，而其他专业的课程设置不能完全支撑集成电路相关岗位要求。

职业院校毕业生的综合能力与企业需要的复合型人才存在较大差距。集成电路行业岗位对专业素质的要求如图 8 所示。伴随新技术、新设备等广泛应用，集成电路行业发展促使岗位要求提升，产品开发需综合运用全产业链技能技术及业务领域知识，需要大量复合型人才。但职业院校多侧重学生单项技能训练，跨专业领域知识技能训练匮乏，导致综合解决实际问题能力弱，动手操作能力与企业上岗要求差距大，还不足以满足企业人才需求。

企业要求员工技能更加复合化、高技能化，需要有较强的应变能力、团队合作能力等。然而，现在大多数职业院校课程中针对性学生的岗位专业综合素质培养课时较少，不同专业类型所需要的综合素质和职业道德的侧重点也有所不同，与企业的素质需求存在差距。

### 3. 毕业生职业素养与从业要求尚有差距

集成电路行业企业对于员工职业素养的需求度较高，包括沟通能力、团队合作能力、职业道德和自主学习能力等。从用人单位的需求来看，首先，毕业生需要具有较好的协作精神和沟通能力，以适应微电子产业中团队合作的工作特点；其次，集成电路产业作为国家战略性新兴产业快速发展，学生要具有长远发展的职业生涯理念，能够与企业共同成长；最后，面对集成电路产业中不断出现的新技术、新产品、新方法等，学生需具有良好的自主学习能力，以适应当前“互联网+”时代知识结构的快速迭代更新。

如图 9 所示，企业对毕业生职业素养的需求度与满意度之间还存在差距，特别是在职业道德和自主学习两项上的差距较大。企业反映学生就业观念还需要加强，希望院校能够加强对学生职业规划发展、就业理念等方面的培养；同时，还要注重在日常的课程和项目训练过程中培养学生形成终身学习的理念，掌握自主学习方法。

## （三）集成电路行业技术技能人才供求面临的问题与挑战

集成电路行业面临严峻的人才供需矛盾，人才紧缺现象日益凸显。鉴于集成电路企业岗位的高度系统性、复杂性、安全性及专业性，当前技术技能人才的供求状况面临巨大挑战。

### 1. 政策机制不健全，产教融合待深化

校企合作、产教融合作为职业教育重要环节，对于培养集成电路技术技能人才具有关键作用，可以显著提升就业者素质，实现毕业生与就业岗位的“无缝对接”。当前，集成电路企业参与产教融合职业教育的政策机制尚不完善，导致企业参与度低、积极性不足，难以有效整合优化教育资源，影响人才供给质量。为此，需政府及行业协会等在政策上给予支持，提高政策落地的可操作性，推动产教融合模式的创新与发展，实现政、行、企、校多方共赢。

### 2. 师资实践能力不足，制约人才培养质量

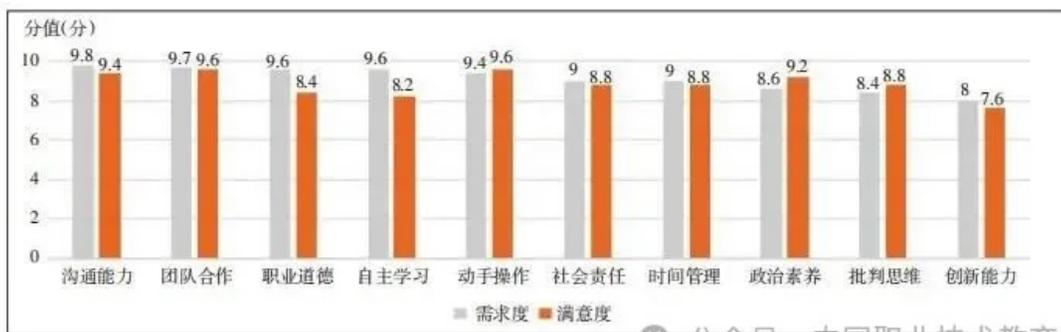


图9 企业对毕业生职业素养需求度和满意度对比

职业院校在培养集成电路高素质人才过程中，师资队伍实践能力至关重要。教师行业实践经验不足，集成电路开发技术与技能实践能力偏弱。部分教师未实际承担过集成电路项目开发，缺乏项目开发与管理经验。尽管职业院校已制定并实施教师下企业实践制度，但由于奖惩机制不到位，实际效果难以保障。师资实践能力的不足严重制约集成电路类专业人才培养质量。

### 3. 技术更新迅速，人才培养体系滞后

调研显示，大多数集成电路职业院校人才培养体系未及时更新与优化，具体表现为人才培养方案、专业课程体系、课程教材内容、实践实训条件及师资能力水平等方面均存在滞后现象。其中，58.1%的院校认为其实训室建设落后或未建立，实训基地的仿真度与规模质量均难以满足新时期人才培养需求。因此，职业院校需加快人才培养体系更新步伐，以适应集成电路行业的快速发展。

## 四、我国职业院校集成电路类专业设置的政策建议

### （一）对接集成电路行业发展战略，优化专业布局结构

建议根据行业技术与岗位的变化，增设高专层次的集成电路相关专业，特别是在微电子技术、集成电路设计、制造和封测等领域。专业建设方面，应合理调整课程结构，提高集成电路设计、主流工艺相关课程的比例，并引入工程设计、项目管理等课程类型。创新授课方式，增加案例教学内容，培养学生的工程思维能力。此外，可设置“IC+设计”“IC+测试”等复合型人才培养方向，特别加强高职本科生的流片和验证能力。

### （二）对接行业人才需求，扩大人才培养规模

为适应集成电路行业对技术技能人才需求的快速增长，职业院校应加大高职层次的招生力度，特别是在集成电路测试应用类、制造运维类及部分技术开发类岗位领域，加大人才培养规模。各区域应根据产业集群分布情况合理调整培养规模，比如在长三角、珠三角等集成电路产业集中的地区，适当增加相关专业的招生人数，满足行业对高质量技术人才的迫切需求。

### （三）对接产业发展新要求，提高人才供给质量

对接集成电路产业发展新要求，高职院校应根据企业发展规划构建多层次人才梯队，优化人才再培养机制，提升技术人才自主性和创新性。积极参与产教融合建设，与高校深入合作推广“订单式”培养模式，形成人才合作及

供需联动机制；推进企业新型学徒制，按照“政府引导、企业为主、院校参与”原则，培养知识型、技能型、创新型高技能人才队伍。

#### （四）推动政策保障，优化集成电路技术技能人才培养路径

建议更多有力政策保障集成电路技术技能人才的培养与发展。加强专业规划与招生就业政策的优化，吸引更多优质生源选择集成电路专业。健全人才激励及保障机制，增加高层次人才在专业建设的参与权与话语权；完善相关的专业教学标准与课程标准，确保职业教育的教学内容能够紧跟行业发展趋势。

#### （五）加大行业支持力度，助力高质量人才培养

行业协会应积极推动校企合作和产教融合，大力支持职业院校与集成电路企业合作共建实践基地、联合开发教学内容。推动“订单式”人才培养模式，确保人才培养与企业需求无缝对接。行业协会应提供更多职业指导意见与政策建议，确保职业院校专业设置更加贴合行业发展需求，助力高质量技术技能人才培养。

（来源：中国职业技术教育）



# 浙江省半导体行业协会

## 一、协会简介

浙江省半导体行业协会成立于2001年12月23日，是由浙江省内从事半导体领域（集成电路、半导体分立器件、LED、半导体材料及太阳能光伏、半导体装备和其它产业链配套等）教学、科研、设计、生产制造及推广应用服务、在省内外具有一定知名度的企事业单位联合发起并由业内许多企事业单位自愿参加组织起来，不以赢利为目的、依法登记、具有独立法人资格的社会团体。

作为政府和企事业单位之间的桥梁与纽带，为浙江省内半导体行业服务，为广大的半导体企事业单位服务，协助政府部门做好行业管理的服务工作，推动浙江半导体产业又好又快发展。

## 二、服务内容

（一）行业咨询服务：接受会员单位上门、电话、网络即时通讯等多种方式的咨询服务；可为企业重大项目提供技术评估咨询、项目决策咨询等服务，必要时可提供专题报告；每年为会员单位提供《浙江省半导体行业发展报告》一份。

（二）行业交流服务：协助会员单位开展本地区、国内外同行业及相关行业之间的联系与交流，以研讨会、座谈会等多种形式广泛开展市场、技术、人才、专业等交流活动，拓展会员单位的服务空间。

（三）政府对接服务：协助企业向行业主管部门反映企业的意见和建议，做好企业与政府之间的桥梁角色；协助企业申报政府项目，享受国家优惠政策核查等服务工作，做好各类调研，必要时可为企业开具符合政府有关要求的情况说明（细分领域数据需由企业提供）。

（四）科技成果服务：促进会员单位科技成果与地方经济相结合，拓展产品市场和企业商机，谋求会员利益最大化。每年开展会员单位优秀产品的评选推荐活动；为会员单位提供产品供需对接信息，协助上下游产业资源互通。

（五）信息互享服务：与国内外同行业在产品技术、专业人才、市场经营等方面信息共享及开展业务合作，及时为会员单位提供国内外和浙江省产业发展动态和资讯，宣传、推广会员单位相关信息。

（六）行业培训服务：每年为会员举办年会暨高峰论坛，为会员单位提供高质量行业学习机会；根据会员单位的需求，不定期举办行业技术、人才、管理、政策、知识产权等方面的培训。

（七）展会和考察服务：提供会员单位行业相关的展会资讯，根据企业需求推荐参展或组织观展，以及参加产业与技术发展论坛，会员单位能享受一些展会布展优惠；根据需求组织会员单位进行国内外各种考察与展览活动，为企业开拓国内市场。

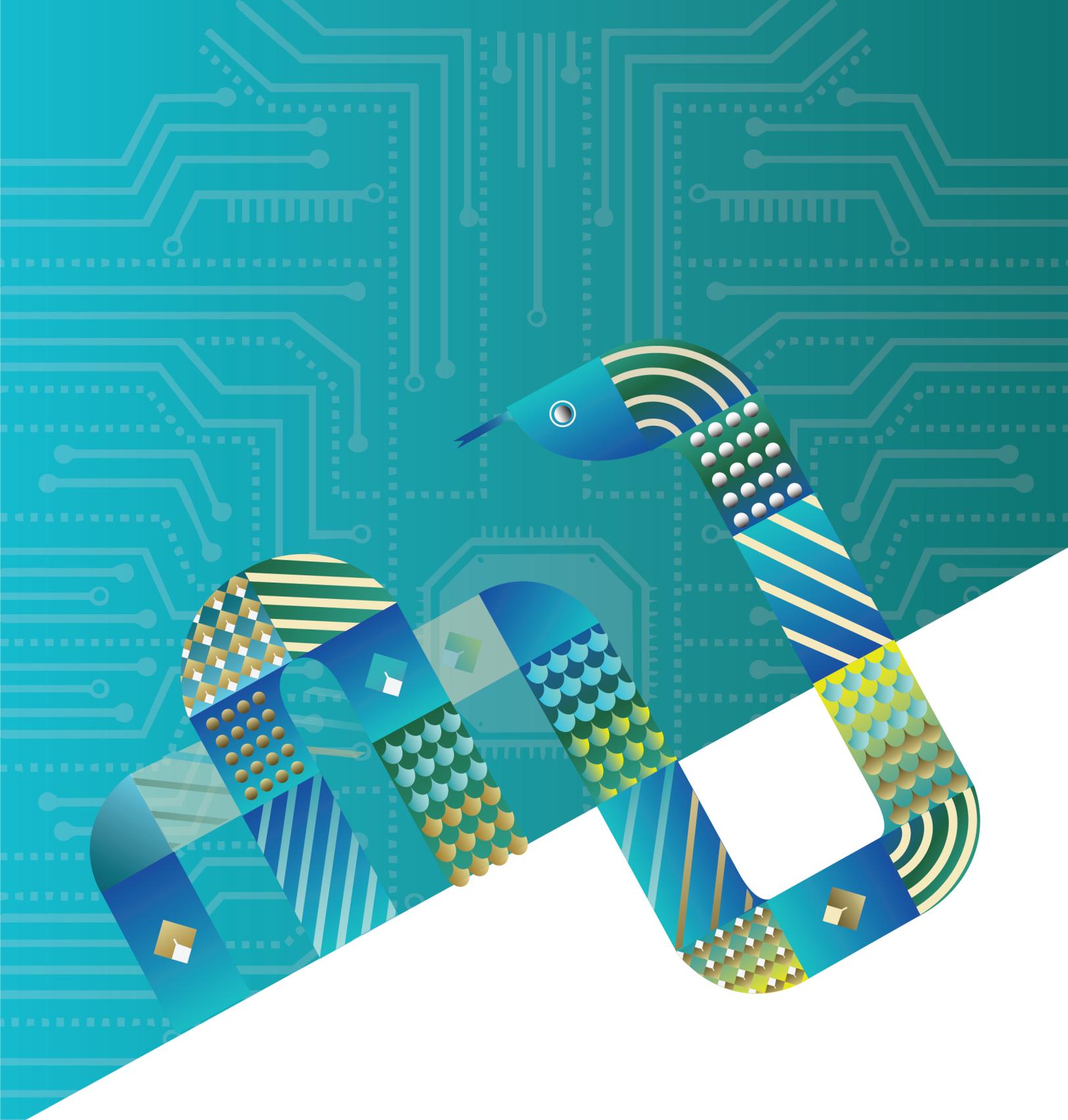
（八）投融资服务：协助企业进行项目落地投资服务，可为企业与招商地市协调方案，组织调研活动；协助企业与大基金、融资租赁等金融公司进行对接，为企业提供资金。

## 欢迎广大半导体企业加入协会！

联系人：萧璿

联系方式：17300929113 854852842@qq.com

地址：杭州市滨江区六和路368号海创基地北楼B4068



杭州国家集成电路设计产业化基地有限公司  
杭州国家集成电路设计企业孵化器有限公司

地址：杭州市滨江区六和路368号海创基地北楼四楼B4092室  
投稿：incub@hicc.org.cn  
官网：www.hicc.org.cn  
电话：86- 571- 86726360  
传真：86- 571- 86726367