

关于发布集成电路前沿技术科学基础重大研究计划

2025 年度项目指南的通告

国科金发计〔2025〕6号

国家自然科学基金委员会现发布集成电路前沿技术科学基础重大研究计划 2025 年度项目指南，请申请人及依托单位按项目指南所述要求和注意事项申请。

国家自然科学基金委员会

2025 年 1 月 24 日

集成电路前沿技术科学基础重大研究计划

2025 年度项目指南

“集成电路前沿技术科学基础”重大研究计划面向国家高性能集成电路的重大战略需求，聚焦集成电路的重大基础问题，通过对集成电路的数学基础、信息科学关键技术和工艺集成物理理论等领域的攻关，促进我国芯片研究水平的提升，为发展芯片性能提升的新路径提供基础理论和技术支撑。

一、科学目标

本重大研究计划面向集成电路前沿技术，聚焦在芯粒集成度（数量和种类）大幅提升带来的全新问题，拟通过集成电路科学与工程、计算机科

学、数学、物理、化学和材料等学科深度交叉与融合，探索集成芯片分解、组合和集成的新原理，并从中发展出一条基于自主集成电路工艺提升芯片性能 1-2 个数量级的新技术路径，培养一支有国际影响力的研究队伍，提升我国在芯片领域的自主创新能力。

二、核心科学问题

本重大研究计划针对集成芯片在芯粒数量、种类大幅提升后的分解、组合和集成难题，围绕以下三个核心科学问题展开研究：

（一）芯粒的数学描述和组合优化理论。

探寻集成芯片和芯粒的抽象数学描述方法，构建复杂功能的集成芯片到芯粒的映射、仿真及优化理论。

（二）大规模芯粒并行架构和设计自动化。

探索芯粒集成度大幅提升后的集成芯片设计方法学，研究多芯互连体系结构和电路、布局布线方法等，支撑百芯粒/万核级规模集成芯片的设计。

（三）芯粒尺度的多物理场耦合机制与界面理论。

明晰三维结构下集成芯片中电-热-力多物理场的相互耦合机制，构建芯粒尺度的多物理场、多界面耦合的快速、精确的仿真计算方法，支撑 3D 集成芯片的设计和制造。

三、2025 年度资助的研究方向

（一）培育项目。

基于上述科学问题，以总体科学目标为牵引，2025 年度拟围绕以下研究方向优先资助探索性强、具有原创性思路、提出新技术路径的申请项目：

1. 芯粒分解组合与可复用设计方法。

研究集成芯片和芯粒的形式化描述, 分解-组合理论及建模方法, 研究计算/存储/互连/功率/传感/射频等芯粒的可复用设计方法。

2. 多芯粒并行处理与互连架构。

研究面向 2.5D/3D 集成的高算力、可扩展架构, 计算/存储/通信等芯粒间的互连网络及容错机制, 多芯异构的编译工具链等。

3. 集成芯片的自动化设计工具。

研究面向集成芯片的综合/布局/布线自动化设计工具, 集成芯片的可测性设计等。

4. 集成电路设计技术。

研究面向 2.5D/3D 集成的高速、高效串行/并行、射频/无线、硅光接口电路, 大功率集成芯片的电源管理电路与系统等。

5. 集成芯片 2.5D/3D 工艺技术。

研究大尺寸硅基板 (Interposer) 的制造技术, 高密度、高可靠的 2.5D/3D 集成工艺、材料等, 万瓦级芯片的散热方法, 光电集成封装工艺等。

(二) 重点支持项目。

基于本重大研究计划的核心科学问题, 以总体科学目标为牵引, 2025 年拟优先资助前期研究成果积累较好、交叉性强、对总体科学目标有较大贡献、促进集成芯片开源生态建设的申请项目。鼓励协同自主制造企业参与申请。

1. 三维供电系统与分配网络的设计方法

研究基于硅通孔 (TSV)、深沟槽电容 (DTC) 等三维结构的多级供电拓扑, 探索多相均流且快速响应的供电控制方法和理论, 基于三维工艺实现峰值输出电流不低于 10000A 的多相供电系统, 开发三维供电分配网络电源完整性的分析工具, 验证 10 亿节点以上三维供电分配网络的完整性, 动静态电压降/噪声与供电系统实测误差不超过 10mV。分析工具开源。

2. 大规模光子计算芯粒与异质集成架构

研究可重构片上光子计算芯粒, 探索基于分布式衍射-干涉混合光子计算的权重多次读写和大规模矩阵分解映射方法, 研制高算力、高能效的光算电存集成芯片, 实现生成式大模型在光电集成芯片上的推理原型验证, 支持大模型网络参数规模不低于 1 亿, 光电集成系统算力不低于 5000 TOPS, 能效不低于 150 TOPS/W。

3. 太赫兹高通量超构芯粒互连接口

研究太赫兹高通量高集成超构芯粒互连接口, 探索基于表面等离激元等新型微结构或新机制的传输线模型与多通道传输技术, 研制芯片电路与微结构融合的超构芯片及其太赫兹高速率超构直接调制/解调电路, 实现带宽 ≥ 0.6 Tbps/lane, 能效 ≤ 2 pJ/b 的芯粒互连接口。

4. 超大尺寸玻璃基板的 2.5D 集成工艺与可靠性

研究超大尺寸 ($\geq 510 \times 515 \text{mm}^2$) 玻璃基板制造工艺, 探索全铜互连下铜-玻璃界面的微观结合机制、增强界面结合力的工艺方法及其热/力可靠性失效准则, 开发深径比 $\geq 10:1$ 的电镀玻璃通孔工艺, 铜-玻璃界面结合

强度 ≥ 6 N/cm, 验证 16 颗以上硅基芯粒的 2.5D 玻璃基板集成芯片, 互连最小线宽/线距 $\leq 1\mu\text{m}$ 。

5. 硅基板深槽电容工艺的高介电常数材料

研究兼容硅基板深槽电容工艺的新型高介电常数材料, 揭示高介电常数材料多晶相共存的稳定与调控机制, 探索晶格适配的电容极板层材料, 阐明材料及沉积工艺等因素对深槽电容的击穿电压与漏电流的影响机制, 实现基于新材料深槽电容的基板 (Interposer) 原型, 电容密度 $\geq 2500\text{nF}/\text{mm}^2$, 击穿电压 $\geq 2\text{V}$, 漏电流 $\leq 1\text{nA}/\mu\text{m}^2$ 。

6. 硅桥芯粒嵌入的硅-有机混合介质基板 (Interposer) 工艺

研究硅桥芯粒嵌入的硅-有机混合介质基板的制备工艺, 阐明模塑材料热膨胀系数、芯粒间距、硅桥厚度等因素对集成芯片张力和翘曲的制约机制, 研制包含局部互连硅桥芯粒/RDL/TIV 的混合介质基板, 总面积 $\geq 3500\text{mm}^2$, 通过优化工艺与结构缩小芯粒间距至 $100\mu\text{m}$ 以下, 建立封装后集成芯片的可靠性分析模型并开源。

(三) 集成项目。

1. 异构计算 3.5D 集成芯片

面向大模型等新应用场景, 研究基于 2.5D/3D 混合 (3.5D) 的 CPU+NPU 异构集成芯片的设计方法, 探索多层 DRAM 芯粒与计算芯粒混合键合的集成芯片架构、三维堆叠的热仿真与热管理优化方法, 研制适用于 CPU 和 NPU 的有源硅基板 (Active Interposer) 并在其中验证 2.5D/3D 互连接口、垂直供电电路与硅基板布局布线工具, 实现 3.5D 异构计算集成芯片原型, 集成国产 CPU、NPU 等 4 种以上芯粒, 异构芯粒

总数 ≥ 36 ，总存储 $\geq 1\text{Gb}$ ，CPU 芯粒性能 ≥ 600 （SPEC2017INT），智能计算总算力 $\geq 200\text{TOPS}$ ，三维堆叠界面峰值通信带宽 $\geq 1\text{Tbps}$ ，完成集成芯片在具身智能等场景中的应用验证。

2. 百芯粒级大规模集成芯片

面向下一代超算 CPU 需求，研究和验证大规模集成芯片体系架构与基础关键技术。研究分布式存储架构、容错片上网络架构、芯粒间一致性互连协议和目录机制，突破百芯粒大尺寸基板设计、供电、散热等关键技术并验证电-热-力仿真、基板翘曲模型等工具，构建万核仿真平台。流片研制高性能 CPU 芯粒和 IO 芯粒，具有紧耦合张量计算部件能力，计算芯粒中专用浮点运算部件在科学智能场景下利用率不低于 30%。芯粒间互连最大带宽 $\geq 800\text{Gbps}$ 。实现原型芯片系统，其中主处理器 RISC-V SPEC2006 分数不低于 10 分/GHz，芯粒数量不少于 100 颗，浮点算力高于主流 CPU 厂商使用超前两代工艺的芯片。在第一性原理精度分子动力学模拟场景等科学计算领域形成典型示范。

四、项目遴选的基本原则

（一）紧密围绕核心科学问题，注重需求及应用背景约束，鼓励原创性、基础性和交叉性的前沿探索。

（二）优先资助能够解决集成芯片领域关键技术难题，并具有应用前景的研究项目，要求项目成果在该重大研究计划框架内开源，鼓励重点和培育项目在申请内容中明确开源指标。

（三）重点支持项目应具有良好的研究基础和前期积累，对总体科学目标有直接贡献与支撑，并鼓励研究机构与企业联合申请。

五、2025 年度资助计划

拟资助培育项目 10 项左右，直接费用的平均资助强度约为 80 万元/项，资助期限为 3 年，培育项目申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日-2028 年 12 月 31 日”；拟资助重点支持项目 6 项左右，直接费用的平均资助强度约为 300 万元/项，资助期限为 4 年，重点支持项目申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日-2029 年 12 月 31 日”；拟资助集成项目 2 项，直接费用的平均资助强度约为 1500 万元，资助期限为 4 年，集成项目申请书中研究期限应填写“2026 年 1 月 1 日 - 2029 年 12 月 31 日”。

六、申请要求及注意事项

（一）申请条件。

本重大研究计划项目申请人应当具备以下条件：

1. 具有承担基础研究课题的经历；
2. 具有高级专业技术职务（职称）。

在站博士后研究人员、正在攻读研究生学位以及无工作单位或者所在单位不是依托单位的人员不得作为申请人进行申请。

（二）限项申请规定。

执行《2025 年度国家自然科学基金项目指南》“申请规定”中限项申请规定的相关要求。

（三）申请注意事项。

申请人和依托单位应当认真阅读并执行本项目指南、《2025 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2025 年度国家自然科学基金项目申请与结题等有关事项的通告》中相关要求。

1. 本重大研究计划项目实行无纸化申请。申请书提交日期为 2025 年 3 月 1 日 - 3 月 20 日 16 时。

(1) 申请人应当按照科学基金网络信息系统中重大研究计划项目的填报说明与撰写提纲要求在线填写和提交电子申请书及附件材料。

(2) 本重大研究计划旨在紧密围绕核心科学问题，对多学科相关研究进行战略性的方向引导和优势整合，成为一个项目集群。申请人应根据本重大研究计划拟解决的具体科学问题和项目指南公布的拟资助研究方向，自行拟定项目名称、科学目标、研究内容、技术路线和相应的研究经费等。

(3) 申请书中的资助类别选择“重大研究计划”，亚类说明选择“培育项目”、“重点支持项目”或“集成项目”，附注说明选择“集成芯片前沿技术科学基础”，受理代码选择 T02，并根据申请项目的具体研究内容选择不超过 5 个申请代码。

培育项目和重点支持项目的合作研究单位均不得超过 2 个，集成项目合作研究单位不得超过 4 个。集成项目主要参与者必须是项目的实际贡献者，合计人数不超过 9 人。

(4) 申请人在申请书起始部分应明确说明申请符合本项目指南中的资助研究方向(写明指南中的研究方向序号和相应内容)，以及对解决本重大研究计划核心科学问题、实现本重大研究计划科学目标的贡献。

如果申请人已经承担与本重大研究计划相关的其他科技计划项目，应当在申请书正文的“研究基础与工作条件”部分论述申请项目与其他相关项目的区别与联系。

2. 依托单位应当按照要求完成依托单位承诺、组织申请以及审核申请材料等工作。在 2025 年 3 月 20 日 16 时前通过信息系统逐项确认提交本单位电子申请书及附件材料，并于 3 月 21 日 16 时前在线提交本单位项目申请清单。

3. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标和多学科集成，获得资助的项目负责人应当承诺遵守相关数据和资料管理与共享的规定，项目执行过程中应关注与本重大研究计划其他项目之间的相互支撑关系。

(2) 为加强项目的学术交流，促进项目群的形成和多学科交叉与集成，本重大研究计划将每年举办 1 次资助项目的年度学术交流会，并将不定期地组织相关领域的学术研讨会。获资助项目负责人有义务参加本重大研究计划指导专家组和管理工作组所组织的上述学术交流活动。

(四) 咨询方式。

交叉科学部交叉科学二处

联系电话：010-62329489