

原子级制造基础研究重大研究计划

2026 年度项目指南

原子级制造是指在原子尺度控制材料的结构与成分，其核心是通过原子的精确操控来获得特定功能，突破传统制造技术的精度极限，实现物质的原子级转化与高效利用。原子级制造的科学基础是在原子尺度下优化物质转化与能量利用，实现物质结构和材料性能的按需订制，为实现颠覆性技术、升级战略性新兴产业和提升国家安全竞争力奠定科学与技术基础。

一、科学目标

本重大研究计划围绕批量原子操控这一核心目标，聚焦原子尺度下物质与能量的相互作用原理，实现材料成分和结构的原子级构筑和测量表征，构建原子级制造核心技术体系，为亚纳米芯片制造、量子计算、新能源材料以及航空航天等领域提供原子级精度的制造解决方案，抢占尖端制造领域制高点，为国家培养和储备未来制造战略人才，为实现科教兴国战略和中华民族伟大复兴提供独特的技术支撑。

二、核心科学问题

本重大研究计划围绕以下三个核心科学问题展开研究：

（一）原子级结构基元与能场的相互作用机制。

厘清原子、分子、团簇、原子层等原子级结构基元与能场的相互作用机制，发展克服能场/能束扩展性的限域调控方法，建立能场均布性与批量原子精确操控的对应关系，实现原子级基元的批量可控迁移、一致去除和精准改性。

(二) 限域空间内原子级结构基元传质与组装机理。

揭示限域空间内外场协同作用下原子级结构基元的可控扩散迁移和能量传递机制，建立表面局域性质调控的原子级结构基元精准合成和组装机理，实现三维异质异构结构的原子级精度高效构筑与缺陷最小化。

(三) 原子级形性参量探测的敏感机制及其增强方法。

研究探测能场对原子级形性参量的敏感机制及其增强方法，探索跨尺度原子级高精高效测量的新原理新方法，解决原子级结构与缺陷探测中精度与效率难以同时提高的问题。

三、2026 年度资助研究方向

为更好的理解拟资助研究方向的科学内涵，建议申请人参阅由“原子级制造基础研究”重大研究计划指导专家组编撰发布的《原子级制造技术白皮书（第一版）》（下载网址：<http://sklt.tsinghua.edu.cn/info/1082/3467.htm>）。

(一) 培育项目。

围绕上述科学问题，以总体科学目标为牵引，对于探索性强、选题新颖、前期研究基础较好的申请项目，将以培育项目的方式予以资助，具体研究方向如下：

1. 原子级制造物质科学原理。

主要包括但不限于：1) 批量原子操控原理; 2) 能场/能束与物质的原子尺度作用原理。

2. 原子级去除与改性原理。

主要包括但不限于: 1) 原子精准一致去除; 2) 批量原子定域改性; 3) 原子级缺陷控制; 4) 原子级加工工艺。

3. 原子级构筑原理与方法。

主要包括但不限于: 1) 多能场辅助原子级构筑; 2) 原子精准团簇的构筑和宏量制备; 3) 原子层有序生长与界面构筑; 4) 原子级三维构筑与定向组装; 5) 新型原子级器件构筑; 6) 原子级构筑工艺。

4. 原子级制造测量原理与方法。

主要包括但不限于: 1) 原子级测控一体前沿; 2) 超分辨动态观测; 3) 原子级制造的物性表征; 4) 原子级结构测量; 5) 原子级缺陷检测。

(二) 重点支持项目。

围绕前沿科学问题和产业重大需求, 对总体科学目标有较大贡献的申请项目, 将以重点支持项目的方式予以资助, 鼓励与企业联合申报, 具体研究方向如下:

1. 原子级制造物质科学原理。

聚焦能束与材料相互作用的原子级机理研究, 探索激光、电子束等典型能束与材料原子间的基础作用机制, 研究能束作用下材料原子的行为响应规律, 揭示非平衡条件下能束与材料体系的耦合作用本质, 以及这一过程中能量传递、弛豫现象的跨尺度演化规律。阐明能束驱动下原子迁移、重组及调控的原子级操控核心原理, 为基于能束的原子级加工及材料创制提供基础理论支撑。

2. 原子级去除与改性原理。

(1) 高温合金材料原子级缺陷调控。开展能场对高温合金材料及部件的原子级缺陷调控研究，阐明其对材料内部位错、晶界、相界面等缺陷的作用机理，揭示异常原子有序重排、原子级缺陷修复、材料强度延性协同提升机制，确立高温合金材料原子级缺陷调控规律，突破合金部件服役性能与寿命提升瓶颈。

(2) 跨尺度表面原子级切削新方法及去除原理。开展可稳定去除原子层的微纳切削工具制造原理研究，揭示原子尺度下工具与切削表面相互作用中的晶格动态响应规律及原子层的可控一致性迁移去除原理，阐明从连续介质力学主导向量子效应显现的物理过渡机制与尺度效应，建立跨尺度原子级切削的实验方法与基础理论体系。

(3) 单/多层原子的高效可控去除原理。开展关键半导体材料高确定性束逐原子层加工的原理与方法研究，发展异质界面原子的层级迁移与能控原理，构建界面材料加工中的电声耦合响应原子模型，揭示原子沉积、迁移与选择性去除的协同调控规律，突破核心器件表面单/双原子层限域加工的共性技术瓶颈。

(4) 拓扑光子异质结构的原子级制造与高性能拓扑光子器件。建立拓扑光子结构与器件的原子级制造新方法，探索异质结构转角精度、界面和侧壁粗糙度等对拓扑光子结构与器件的影响。研究原子级界面与缺陷对拓扑光子态的调控机制，揭示从原子结构到宏观光学响应的规律。研制出高鲁棒、高性能的拓扑光子器件，促进其在量子信息等领域的应用。

(5) 陶瓷曲面原子级制造及形性调控原理。开展陶瓷曲面原子级精度抛光及宏观形性调控方法研究，揭示硬脆性陶瓷材料原子级高效去除机理，

阐明去除过程中表面及亚表面缺陷的诱发及演化规律，形成宏微观表面形貌及曲面面型创成方法，突破陶瓷材料原子级精度可控去除及宏观控形控性技术瓶颈，推动关键零部件精密制造。

3. 原子级构筑原理与方法。

(1) 三维芯片互连的原子级填充原理与工艺方法。探究限域空间内原子/分子级前驱体的传质与表面反应动力学机制，揭示异质界面在原子尺度的诱导结晶相变与应力演化规律。发展跨尺度异质界面元素分布、微纳结构、三维形貌及局域应力场分布的高通量表征技术。建立超高深宽比纳米互连结构原子级可控填充与界面匹配的理论方法体系，突破下一代三维芯片互连的原子级精度填充可靠性技术瓶颈。

(2) 有序构筑埃米级调控高能效原子层器件。开展原子层半导体/介电材料界面、原子层半导体/金属界面的亚纳米级纵横向调控研究，提升原子层器件制造效率。揭示范德华异质堆叠界面的埃米级间隙动态调控和开关机制，发展二维金属及合金的有序生长与界面构筑技术，建立成分-相结构-物性的精准关联，提升非线性光学响应和光电响应。

(3) 互连金属的原子层构筑机制与工艺方法。研究金属原子级构筑过程的反应热力学与动力学微观机制，构建无孕育期原子级组装原理和方法。研究多场耦合下通孔金属填充的微观动力学过程和构效关系，建立传质与反应耦合的定量化沉积模型，揭示纳米结构中原子尺度薄膜形核-生长的演化图像，研究局域互连中电场-热场作用下电迁移物理机制，突破局域互连关键金属的原子级批量制造瓶颈。

(4) 原子级光学反射器件的制造和性能调控。构建微纳波导-单原子阵列腔量子动力学系统，实现光与原子的强耦合作用、手性光子传输及原子级光场精准调控。在一维波导表面组装单原子阵列，构筑具有集体耦合效应的原子级“光学镜片”，实现可控高反射特性及多层反射结构的可控制备。研发基于强相互作用宏观原子体系的高稳定传感系统，突破传统传感单元的退相干与扩展性瓶颈。

(5) 新型耐高温半导体材料的原子级构筑原理与批量制造技术。研究耐高温半导体器件中多组分材料的原子级构筑以及批量制造原理，建立功能基元序构的设计理论，实现原子级基元及异质结构的精准图案化构筑。研究多场耦合作用下异质材料的原子级界面构筑与集成方法，揭示异质界面向原子级平整收敛的演化规律及其与宏观性能的构效关系，支撑耐受极端环境的关键材料与新原理器件制造。

(6) 多元氧化物原子级协同加工与界面缺陷精准调控研究。探究多元氧化物半导体稳态界面的原子级构筑机理与演化规律，构建原子层沉积/刻蚀等协同加工工艺与装备耦合作用下的缺陷生成机制及主动抑制理论模型，实现亚纳米尺度稳态界面结构与低缺陷态密度的精准可控调控，突破高性能氧化物阵列器件的界面物理瓶颈，为新一代高性能集成电路芯片的研发提供支撑。

4. 原子级制造测量原理与方法。

(1) 原子级结构基元的精准力学操控和势能面测量。针对多物理场下原子级基元精准操纵的关键科学问题，建立具有原子尺度空间分辨与皮牛级力灵敏度的扫描探针测量技术，实现对基元在表面的扩散势垒、吸脱附

能等关键热力学参数的原位精确测量，构建具有毫电子伏级分辨率的三维势能面，揭示界面力学响应和能量传递的微观机制。

(2) 原子级精度制造的测量表征信息与宏观表面成形跨尺度关联机理。开展原子尺度制造过程的测量表征与宏观表面演化的关联性研究，揭示材料去除及表面演化进程中原子级特征的跨尺度传递规律，阐明其对宏观表面形貌与性能的调控机理。建立原子尺度测量表征信息与宏观表面成形质量的关联模型，为实现原子级精度制造的可控表面成形提供支撑。

(3) 基于近场离子发射的原子级机电系统（AEMS）测控方法及离子动力学原理。针对 AEMS 等新一代系统与器件制造问题，开展近场单离子可控发射方法及原理研究，建立离子动力学模型，研究级联发射及靶端离子缓冲定位机制，实现单离子位置及三维结构的原子级构筑与测控，实现感算一体中单链埃级传感与多链突触权重的动态调控。

(三) 集成项目。

围绕核心科学问题，对于前期研究成果积累丰富、对总体目标有重大贡献、具有重大应用转化价值的申请项目，将以集成项目的方式予以资助。本计划 2026 年度拟资助集成项目的研究方向如下：

面向高端芯片的原子级精度表面加工基础研究。开展多场协同原子级加工的新原理与新方法研究，揭示外场作用下表面原子层精准、一致去除的定域定势调控机理，提升多源能场和耦合能束的精准控制能力，通过将能量精准作用于原子及原子层尺度材料，突破同质表面的原子层无损精准去除、异质/异构表面的原子级同步去除、以及复杂曲面全频段的原子级精

准可控加工等核心关键技术，形成加工精度、缺陷控制及误差逼近物理极限的原子级精度表面去除工艺体系。

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）优先资助能够解决原子级制造中的基础科学难题并具有应用前景的研究项目。

（三）重点支持项目和集成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。

五、2026 年度资助计划

拟资助培育项目 40 - 50 项，直接费用资助强度约为 60 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“2027 年 1 月 1 日 - 2029 年 12 月 31 日”；拟资助重点支持项目 10 - 15 项，直接费用资助强度约为 280 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“2027 年 1 月 1 日 - 2030 年 12 月 31 日”；拟资助集成项目 1 项，直接费用资助强度约为 1000 万元/项，资助期限为 4 年，集成项目申请书中研究期限应填写“2027 年 1 月 1 日 - 2030 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科学技术人员不得作为申请人进行申请。

(二) 限项申请规定。

执行《2026 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、《2026 年度国家自然科学基金项目指南》和《关于 2026 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 2026 年 3 月 1 日 - 2026 年 3 月 20 日 16 时。

2. 项目申请书采用在线方式撰写。对申请人具体要求如下：

(1) 申请人应当按照科学基金网络信息系统(以下简称“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核心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) 项目申请人在信息系统中选择“在线申请”—“新增项目申请”—“申请交叉科学部项目”进行项目申报。

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“**原子级制造基础研究**”，受理代码选择 T02，根据申请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（写明指南中的资助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（上述描述不少于 800 字）。

(5) 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。

3. 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，于 2026 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。**未按时提交项目清单的申请将不予接收。**

4. 其他注意事项。

(1) 为实现重大研究计划总体科学目标 and 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, 并认真开展学术交流。

(四) 咨询方式。

国家自然科学基金委员会交叉科学部交叉科学部二处

联系电话: 010-62329489