附件6

信息科学部重大项目指南

2020年信息科学部共发布8个重大项目指南，拟资助6个重大项目。项目申请的直接费用预算不得超过1800万元/项。

“高速射频模数转换器新架构和电路技术研究”

重大项目指南

模数转换器是自然信号和数字系统间的桥梁，是电子信息系统的核心芯片之一。为满足宽带无线通信、认知雷达等系统应用对高精度高速射频模数转换器的迫切应用需求，本项目研究高速射频模数转换器架构理论与关键技术，解决可重构高速模数转换器新架构和可配置模拟电路的科学技术问题，支撑国家重大装备和产业进步。

一、科学目标

针对现有高速射频模数转换器面临的性能、功耗设计瓶颈，开展高能效新型数字化高速射频模数转换器架构和电路、高度可重构高速模数转换器架构和电路技术、超高速射频模数转换器架构和电路技术等方面研究，提出数字化高速模拟电路和动态可重构模拟电路设计方法，解决低能耗高速射频模数转换器的关键科学技术问题，在国家重大工程系统进行应用验证，为高性能模数转换器设计提供关键基础理论和技术支撑。

二、研究内容

（一）纳米级近阈值混合信号电路及高速模数转换器。

研究纳米级高性能模拟与混合信号集成电路的低功耗设计技术，探索基于近阈值技术的运算放大器等模拟电路单元及其时域化设计方法，提出基于近阈值技术的低功耗与高性能模数转换器架构和电路技术。

（二）高能效数字化高速射频模数转换器架构和电路。

研究纳米级工艺高能效单通道高速模数转换器设计技术，研究噪声整形、时间域等数字化高速模数转换器架构和电路，获得高能效单通道模数转换器新架构和电路技术，12位单通道模数转换器采样率≥3.0GS/s，模拟带宽≥3GHz，功耗小于350mW。

（三）可重构高速射频模数转换器架构和电路技术。

研究可重构模数转换器架构及可配置模拟电路技术，获得高度可重构的射频模数转换器架构、电路和映射方法，可重构电路的精度和采样率范围为10位16GS/s-14位1GS/s，可配置精度为1位，功耗小于1.0W。

（四）超高速射频模数转换器架构和电路技术。

研究纳米级工艺下超高速无源采样、流水线多级采样、高精度片上时钟及校准、随机化子通道及校准等技术，研制12位射频直采模数转换器，采样率≥20GS/s，带宽≥20GHz，功耗小于1.2W，并完成典型应用系统验证。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“高速射频模数转换器新架构和电路技术研究”，申请代码1选择F0402。

“硅基二维半导体材料与器件”重大项目指南

二维半导体材料具有量子效应和独特的光、电、磁等物理特性，它们在硅基上的集成和应用是集成电路技术和产业发展的重要方向之一。本项目开展硅基二维半导体材料的生长、界面调控与器件的制备、功能构造、集成应用等系统研究，解决其未来应用的关键科学问题，取得具有国际影响力的创新性成果，形成具有我国自主知识产权的系列技术，培养优秀人才和有影响力的科研团队，为我国半导体芯片产业未来发展提供理论、技术和人才支撑。

一、科学目标

本项目探索硅基二维半导体材料的制备技术，实现硅基二维半导体材料的均匀可控生长；探究硅基二维半导体材料的界面调控和异质集成机理，实现二维半导体新器件、新结构；研究硅基二维低功耗、多功能、光电集成的器件设计原理，实现感存算一体、光电异质集成等硅基二维半导体新器件制备，为硅基二维半导体器件与芯片的未来产业应用提供新原理和新技术。

二、研究内容

（一）硅基二维半导体材料的可控制备。

 研究硅基二维半导体材料的集成电路工艺兼容、低温生长工艺技术和机制，硅表面设计与钝化，硅基二维材料的掺杂、缺陷、能带调控和匹配，实现硅基二维半导体材料的均匀可控生长。

（二）硅基二维半导体材料的界面调控和异质集成。

研究硅基二维半导体材料的异质转移、异质结（堆砌）构建技术，硅基二维半导体材料光、电、磁等多场性能调控，以及硅基二维界面的能带、层间耦合调控机理。

（三）硅基二维感存算多功能器件设计和制备。

研究高性能硅基二维准非易失存储器件，实现容量不低于1 Kb、单次操作功耗不大于1 pJ的存储应用；研究硅基二维负电容晶体管，实现陡峭亚阈值摆幅不高于40 mV/decade的高性能硅基二维逻辑器件, 建立器件的集成电路仿真（SPICE）模型；研究硅基二维范德华异质结构，实现对数域可调非线性逻辑新原理器件；研究硅基二维多尺度耦合结构的感存算器件，实现模式识别准确率不低于90%、功耗不大于100 fJ的感存算一体器件等。

（四）硅基二维高效耦合、高密度集成光电器件设计和制备。

研究硅基二维铁电、铁磁、能谷激子、转角耦合等物理特性，探索硅基二维发光与光探测新原理器件，研究集光源-光电探测-信号处理系统的原型芯片单元，通过硅基二维片上光电器件互连，实现图像识别和重现功能。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“硅基二维半导体材料与器件”，申请代码1选择F0401。

“精准人工智能学习理论及其应用”重大项目指南

面向重大自然灾害监测预警与防范国家重大战略需求，针对现有人工智能方法在灾害发现中精准度无法保障、可信性存疑等问题，开展内嵌数理规律的精准人工智能基础理论与关键技术的研究及应用验证，突破现有人工智能方法依赖大规模标注数据、难以有效利用先验知识等瓶颈问题，发展一套切实可行的精准人工智能方法，充分挖掘大数据价值、全面提升重大自然灾害防治能力，形成具有国际影响力的人工智能研究团队。

一、科学目标

面向人工智能可解释性瓶颈，围绕内嵌先验知识的数据表述范式、融合科学结构的非线性耦合系统建模、基于系统演化突变的精准智能学习方法、大数据仿真评估和验证平台等方向开展研究，融合复杂性理论和非线性科学方法，提出内嵌先验知识的数据表示范式与科学标注方法、系统结构特征复杂性分类方法，建立基于多数据场耦合解耦的层次划分策略、基于涌现机制的系统行为突变机制、基于局部特征的全局性态分析方法，结合大数据进行应用验证，使大数据分析预测精度达到国际先进水平。

二、研究内容

 （一）大数据中低信噪比科学数据表示理论。

针对当前人工智能在科学数据表征方面的局限性，研究多源高维大数据描述范式与物理结构建模方法，形成内嵌数理规律的真实信号科学识别方法，建立基于数理规律的失真数据重构与数据修补方法。

 （二）非线性多数据场耦合系统建模方法。

针对当前人工智能在非线性系统建模方面的局限性，研究基于局部形态特征的单数据场全局复杂结构分析方法，分析基于非线性作用及微观协同的多数据场耦合机理，发展多数据场耦合结构正确性的判定技术。

 （三）系统动态行为的精准智能学习方法。

针对当前人工智能在系统智能行为分析方面的局限性，建立非线性系统下非平衡态通向平衡态演化路径，研究基于阈值分析系统突变的动态行为演化规律，形成非线性系统动态演化行为分类学习方法。

 （四）基于精准智能的大数据规律发现与评估。

针对特定领域的重大自然灾害监测预警与防范，提出基于大数据的精准智能规律发现方法，建立基于精准智能的自然灾害监测大数据规律发现可靠性评估机制，开展基于精准智能的大数据规律发现仿真验证。

 （五）基于精准智能的大数据示范验证平台构建。

针对特定领域的重大自然灾害监测预警与防范，建立基于精准智能的大数据规律发现应用验证平台，开展基于全国重大自然灾害监测历史数据的应用验证，显著提升我国重大自然灾害监测预警能力，使大数据分析预测精度达到国际先进水平。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“精准人工智能学习理论及其应用”，申请代码1选择F0602。

“处理器芯片敏捷设计方法与关键技术”重大项目指南

面向智能物联网时代应用爆炸式增长对各类处理器芯片的大量需求，针对芯片设计的门槛高、投入大、周期长、工具链被国外大公司长期垄断等难题，开展处理器芯片敏捷设计方法与关键技术的研究及应用验证，为实现大幅降低处理器芯片设计难度和缩短开发周期提供创新方法与关键技术。结合开源芯片发展趋势，构建中国主导的处理器设计技术生态，培养一批有创新能力的处理器设计人才队伍。

一、科学目标

围绕以敏捷度为导向的处理器松耦合设计方法这一总体思路，开展面向对象的体系结构设计方法与关键技术研究。针对处理器芯片设计面临的抽象描述、解耦范式、自动生成等科学难题，实现设计方法及关键技术突破。构建基于面向对象的体系结构的处理器设计平台和处理器芯片敏捷后端工具平台。基于理论成果与开发平台实现通用处理器CPU和专用处理器XPU两类验证原型芯片,验证和评估提出的设计方法和关键技术。

二、研究内容

围绕面向对象的体系结构核心思想，针对设计语言、设计范式和EDA工具链三个方面，开展处理器芯片敏捷设计方法和关键技术研究。主要内容包括如下：

（一）处理器敏捷设计语言与综合。

研究处理器敏捷设计的高层次语言、语法与语义，实现底层硬件体系结构；研究基于高级语言的辅助指导(directive)设计, 实现硬件友好的编译优化技术；研究通用的中间表示形式，兼容不同的底层硬件描述；研究硬件综合技术，可自动地将高层次语言描述转化为底层的硬件实现，探索逻辑资源分配算法和算子调度策略。

（二）面向对象的处理器体系结构设计范式。

研究处理器内部基础硬件模块划分、组合交互和自定义扩展的设计方法；研究处理器基础硬件模块类型抽象及划分方法，面向处理器体系结构的基础算法库自动生成方法；探索不同基础硬件模块的互连方式及规则，研究针对松耦合处理器架构的高层次结构描述、模块互连、时序调整等的编程界面设计，实现松散处理器基础硬件对象的快速组装。

（三）通用处理器CPU快速构建。

研究基于处理器敏捷设计语言构建通用处理器CPU的微体系结构设计模板和基础硬件类库；研究通用处理器自动生成框架，实现基本硬件模块时序关系和结构可配置化描述；研究面向对象的通用处理器体系结构的测试与验证方法，结合开源EDA工具链，完成可配置复杂开源CPU核设计。

（四）专用处理器智能生成。

研究专用处理器（XPU）自动生成方法，探索专用应用领域计算热点的智能提取技术，结合专用领域软件与算法开发人员的专家知识，设计可复用、可重构硬件模板，构建XPU自动开发流程与设计综合工具，支持XPU的硬件设计生成与编译器生成，为实现高能效的专用处理器自动化设计奠定基础。

（五）数据驱动的处理器敏捷物理设计。

研究基于模块可复用性的物理设计方法学，支持面向对象的处理器体系结构的敏捷物理设计；研究敏捷物理设计关键步骤的智能设计与优化算法，建立电路的可预测数据模型，实现数据驱动的智能物理设计；研究敏捷物理设计关键步骤的并行化方法，提高物理设计空间探索效率与版图优化效果。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“处理器芯片敏捷设计方法与关键技术”，申请代码1选择F0204。

“面向移动通信的模块化射频电路基础理论与关键技术”重大项目指南

面向移动通信变革的发展需求，针对支持多场景多频段无线系统面临的射频资源复用性差、利用率低、架构复杂且难以重构等难题，开展大规模射频电路中的硬件资源模块化和可复用基础理论与关键技术研究及验证，取得具有重要国际影响的创新成果，为移动通信系统构建以可复用射频模块为核心的架构，建立自下而上的系统设计理论，提升射频资源利用率，增加系统设计的灵活性、提高设计效率，并且提升谱效和能效，培育优势互补且紧密合作的先进射频材料、器件、电路和系统研究团队。

一、科学目标

瞄准未来移动通信系统支持多场景多频段的需求，围绕模块化集成射频系统、可复用射频电路模块、多域灵活配置通道信号路径、多功能电路一体化融合、多任务高效切换和全路径快速恢复等技术难点，开展基于可复用射频模块为核心的可重构系统架构、多功能可重构前端电路、多模电路电磁学、射频单元和统一资源管理、高速开关及射频材料、线性高效氮化镓器件与电路等研究，建立可复用射频模块化系统的基础理论和设计方法，研制射频验证系统，产生具有国际影响力的引领性创新成果。

二、研究内容

（一）射频系统模块化集成理论与方法。

针对模块化射频集成系统的可重构问题，开展射频多路径的多维互连结构、射频路径拓扑最优化理论、射频系统模块化分解、多路径幅相最优化复用及控制、多任务系统重构、校正和高效切换、复杂封装中电磁场分布等研究，提出基于可复用射频电路模块的器件-模组-系统自下而上的系统设计方法并实现高效可重构系统集成。

（二）多功能电路融合的可复用射频电路模块。

针对射频电路模块化、可复用和多功能融合等问题，开展单路并发多频技术、射频-模拟-数字信号串扰机制和管控方法、可重构天线阵、可配置一体化射频无源/有源前端、多功能器件融合和线路复用、多功能可配置电路拓扑，面向需求的自适应电路匹配方法等研究，提出融合多种功能的可复用射频电路模块。

（三）关键电路及射频材料。

针对可重构系统小型化低成本和大规模节点开关高速、低损耗的需求，开展多功能低功耗电路结构、电磁-热-力分布和版图布局优化方案，射频材料调控规律、多频开关结构优化与构建研究，提出高速开关结构、阵列协同开关及实现方法，为多场景移动通信系统提供高速切换支撑。在通信典型频段开关速度小于5纳秒。

（四）高效率线性氮化镓器件与电路。

针对射频复用系统对氮化镓器件高线性度、高效率、低延时的需求，开展GaN基器件结构及模型研究，建立典型微纳特征尺寸下器件高频模型和器件-电路综合设计方法，提出超宽栅压摆幅、低延迟器件结构和高线性度器件的设计与实现方法，提高电路集成度与能量效率，GaN器件在30GHz以内，功率密度大于4瓦/毫米。

（五）复用系统样机及关键技术综合验证。

开展多维结构复用系统关键技术和综合集成技术研究，研制原理样机，进行综合验证，显著提升电路资源复用能力，原理样机电路资源复用度不小于５，通过复用构建出不少于4种移动通信体制的射频通道。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“面向移动通信的模块化射频电路基础理论与关键技术”重大项目指南，申请代码1选择F0119。

“3-5微米波段大功率全光纤化激光器基础研究”

重大项目指南

3-5微米波段是高透过率大气窗口，在大气遥感、星地通信、医疗健康、环保监控等领域具有重要应用。针对3-5微米光纤激光器存在的激光损伤阈值低、转换效率低、热机械稳定性弱等问题，本项目研究高性能大功率全光纤化激光相关材料及器件，突破制约中红外尤其是4微米以上波段光纤激光输出功率和光束质量性能的瓶颈，实现3-5微米波段光纤激光大功率输出。推进我国半导体激光泵源、红外玻璃光纤及器件性能的提升和制备关键工艺的突破，培养具有国际影响力的研究队伍。

一、科学目标

面向中红外大功率全光纤激光技术应用的迫切需求，开展3-5微米波段半导体激光泵源和高增益光纤新原理、新结构和新器件的系统性研究；揭示890nm半导体激光泵源载流子辐射跃迁动力学机理；探索新型氟化物玻璃、氟碲酸盐和硫系玻璃的光学增益特性、热稳定特性和抗激光损伤等特性与其内在结构基团的关联规律；研究中红外增益光纤的光场控制、模式选取、热特性演化的理论模拟方法，掌握高性能中红外光纤激光器制备技术，研制出大输出功率、高光束质量的中红外光纤激光器。

二、研究内容

（一）高性能半导体激光泵源研究。

开展890nm半导体激光泵源研究，建立高转化效率的新型能带结构设计理论；分析波导结构对光场模式分布及热特性的影响；发展高应变半导体材料的层厚、组分、界面、调制掺杂、应变补偿的协同控制理论和技术。实现高光束质量890nm激光芯片单片基模工作功率>15W，快轴发散角<60°，慢轴发散角<20°。

（二）低损耗、高稳定性的稀土掺杂氟化物光纤研究。

研究稀土掺杂氟化物玻璃的增益特性和热稳定特性与其内在结构基团、稀土掺杂种类和浓度的关联规律，掌握材料的提纯制备和低损耗单模光纤制备技术。实现稀土掺杂（Er3+、Ho3+、Dy3+）氟铝基、氟锆基和氟铟基玻璃光纤背景损耗<0.2dB/m，水溶性<0.3wt％，增益光纤最大稀土掺杂浓度>10mol%。

（三）低损耗、高激光损伤阈值的氟碲酸盐和硫系玻璃光纤研究。

研究氟碲酸盐和硫系玻璃的拉曼增益特性、抗激光损伤特性与其内在结构基团的关联规律，掌握该材料的提纯制备和低损耗单模光纤制备技术。实现氟碲酸盐和硫系玻璃光纤中红外波段传输损耗<0.1dB/m，工作波段的损伤阈值分别达到100GW/cm2和20 GW/cm2。

（四）中红外光纤关键元件制备及性能研究。

研究高功率激光作用下中红外玻璃的拉曼散射、布里渊散射、自相位调制等非线性效应，探究中红外光纤光栅结构优化补偿机制。实现氟化物玻璃光纤、氟碲酸盐及硫系玻璃光纤光栅在3-5微米波段反射率达到98%以上，异质光纤之间熔接损耗<0.2dB。

（五）中红外光纤激光器整机集成及激光性能研究。

探索提高中红外光纤激光电光转换效率的新途径，研制出3-4μm和4-5μm两种波段的高功率光纤激光器样机，且连续输出功率分别大于100W和10W，光束质量M2<1.5。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“3-5微米波段大功率全光纤化激光器基础研究”，申请代码1选择F0503。

“大型冶金系统协同优化的基础理论与关键技术”

重大项目指南

面向钢铁、有色等冶金工业绿色高效安全运行和高质量发展的国家重大需求，针对大型冶金系统综合能效低、环境负荷重、低质化竞争、生产效率低等重大共性问题，开展大型冶金系统协同优化的基础理论与关键技术研究及应用验证，取得具有国际影响力的原创性成果，在提升产品质量的同时显著提高能效，为冶金工业乃至实体经济高质量发展提供理论和技术支撑，促进学科发展，形成具有国际影响力的工业智能研究团队。

一、科学目标

围绕大型冶金系统物料关键信息感知与跟踪、运行工况监测与诊断、协同优化调度、协同优化配料、操作参数协同优化等方向开展研究，提出非均匀性物料的关键信息实时感知方法、运行工况监测诊断方法、全流程协同优化调度方法、多级配料系统的协同优化方法和操作参数协同优化方法，建立大型冶金系统协同优化的基础理论，在大型冶金系统进行应用验证，使冶金产品优质率和单位能耗指标达到国际先进水平。

1. 研究内容

（一）物料关键信息感知与跟踪。

针对冶金系统原料种类多、品位复杂多变、运行环境恶劣、物料运行动态性与非均一性等特征导致物料信息实时感知与跟踪难的问题，研究冶金过程物料的关键信息在线检测与智能跟踪问题，提出多源、多类、非均匀物料的关键信息实时感知理论与方法。

（二）运行工况监测与诊断。

针对多模态和非平衡样本条件下运行工况监测与诊断难的问题，研究核心冶金设备运行状况的动态监测、微小异常工况的早期监测与诊断、多工序耦合的协同集成监测与诊断，提出大型冶金系统运行工况监测与诊断方法。

（三）全流程协同优化调度与配料。

针对多种原料条件、多项生产指标等导致多工序协同优化调度难的问题，研究工艺路径与匹配工艺界面优化方法。针对复杂耦合条件下优化配料难的问题，研究多级配料系统的协同优化方法。

（四）工序操作参数优化。

针对大型冶金系统的多工序关联、多设备冲突，以及参数时空分布、大时滞等特征，研究多工序操作参数优化方法，实现产品质量、能耗与产量的多目标优化。

1. 大型冶金系统工业互联网设计及验证。

设计大型冶金工业互联网系统，构建数字孪生冶金系统实验平台，验证相关的基础理论与关键技术，使冶金产品优质率和单位能耗指标达到国际先进水平。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“大型冶金系统协同优化的基础理论与关键技术”，申请代码1选择F0310。

“激光雷达芯片设计理论与关键技术研究”

重大项目指南

激光雷达是智能装备的重要支撑硬件之一，在智能移动平台、智能交通等领域有广泛的应用需求。为满足车载激光雷达的高速度、低成本、小型化和人眼安全等性能要求，本项目开展以光电子集成芯片为核心的固态相干成像激光雷达研究，突破光源、硅光相控阵、探测器芯片及系统集成等关键技术，为发展我国全固态激光雷达芯片技术提供理论和技术基础。

一、科学目标

面向智能网联车、智能机器人、无人机等领域对人眼安全激光雷达的迫切需求，开展全固态相干成像激光雷达芯片研究。探索大范围多波长可调谐激光器芯片的设计方法和制作工艺，揭示线性调频连续波激光的产生机理和控制规律；探究从激光远场到光学相控阵芯片的逆向设计理论与方法，突破硅基光学相控阵芯片和光电探测器芯片的关键技术；研制出高性能、低成本的全固态激光雷达芯片，实现远距离、高精度、大角度激光扫描功能。

二、研究内容

（一）大范围波长可调谐半导体激光器阵列及集成芯片研制。

建立啁啾量子阱增益谱的理论模型，研究量子阱结构参数与增益光谱的关系，研制出1550nm波段的增益平坦化啁啾量子阱材料。在此基础上研制多波长可调谐单模激光阵列芯片，其中单管功率＞60mW，总波长调节范围≥40nm；研制出硅基集成窄线宽可调谐激光器，本征线宽＜500kHz，总波长调谐范围≥50nm，输出功率＞50mW。

（二）高线性度硅基调频连续波光发射芯片研制。

研究硅基光波导载流子色散效应的移相机制，研制高速大范围可调谐光波导反射器；研究光波频率调制非线性的产生机理及其对相干探测的影响，以及非线性校正技术；设计并研制出高线性度硅基调频连续波光发射芯片，扫频速率>1GHz/μs，线性调频带宽>5GHz，调频线性度<0.1%。

（三）单瓣低损耗大规模硅基光学相控阵芯片研制。

研究从光束远场分布到光学相控阵芯片结构的逆向设计理论和方法，研究高激光损伤阈值的新型硅基光电子集成芯片波导材料与结构，研制出大角度范围单瓣远场扫描的光学相控阵芯片，完成配套控制电路及软件。实现横向扫描角度>120度，纵向扫描角度>15度，光束发散角小于0.2度；可承受>400mW的直流激光功率；芯片调相速度大于1MHz，功耗小于3W。

（四）低暗电流锗硅雪崩光电探测器阵列芯片研制。

研究锗硅雪崩光电探测器暗电流及噪声的产生机理，研制出新型锗硅雪崩光电探测器阵列及其中频读出电路；完成相干成像激光雷达的光路系统。锗硅雪崩光电探测器阵列规模不小于32×32，单管锗硅雪崩光电探测器（光敏面直径~30μm）工作暗电流<10-7A，光响应度>1A/W。激光雷达探测距离不小于100米。

三、申请要求

申请书的附注说明选择“激光雷达芯片设计理论与关键技术研究”，申请代码1选择F0403。

国家自然科学基金委员会办公室 2020年8月26日印发