

附件 4

“信息光子技术”重点专项 2023 年度项目申报指南 (征求意见稿)

为落实“十四五”期间国家科技创新有关部署安排，国家重点研发计划启动实施“信息光子技术”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现提出 2023 年度项目申报指南。

本专项总体目标是：积极抢抓新型光通信、光计算与存储、光显示与交互等信息光子技术发展的机遇，重点研发相关核心芯片与器件，支撑通信网络、高性能计算、物联网等应用领域的快速发展，满足国家战略需求。专项实施周期为 5 年（2021~2025 年）。

2023 年度指南部署坚持需求导向、问题导向和应用导向，拟围绕光通信器件及集成、光计算与存储、光显示与交互三个技术方向，启动 27 项指南任务。

1. 光通信器件及集成技术

1.1 智能光操控超表面芯片及新型光无线通信系统（基础研究类）

研究内容：针对光无线通信系统对传播环境实现智能化感知的应用需求，研究大衍射角、传输空间光束指向自由驾驭的智能超表面的机理、架构、设计和验证；研究晶圆级超表面光芯片的

批量制造工艺；研制基于光操控超表面芯片的智能化、高速双工光无线通信系统，形成原理样机。

考核指标：1) 超表面芯片有效尺寸不小于 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ ，像素数不低于 4000 万。2) 超表面芯片的物理通道数不少于 9，单通道光束的强度从 0 到最大值之间自由可调。3) 通信系统全波段 (O/S/C/L)、双工工作，下行最高通信单波速率不低于 1Tbps，上行通信单波速率不低于 100Gbps，总通信容量不低于 10Tbps，传播距离不小于 2m。4) 光束指向的角度覆盖范围不低于 $70^\circ \times 70^\circ$ ，且动态可调，角分辨率不低于 $2' \times 2'$ 。

关键词：超表面，光无线通信，智能光操控，双工，光广播。

1.2 面向下一代宽带无线系统的射频光子器件及应用技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对 Sub15GHz 黄金频谱下高能效高功率宽带无线系统的应用需求，突破高效率高功率模拟射频前传和光电探测器直驱天线的微波光子核心器件关键技术，研究高电光转换斜率的宽带高线性度半导体激光器；研究高能效的高饱和射频输出功率光电探测器；研究高效率的高功率半导体光放大器；研究高功率低插损波分复用器；研究直驱天线的高功率射频光子链路技术，实现全新形态的高能效射频光子无线系统样机。

考核指标：1) 高能效直调半导体激光器，支持 3dB 带宽 $\geq 20\text{GHz}$ ，芯片斜效率 $\geq 0.4\text{W/A}$ ，线性饱和输入射频功率 (1dB 压缩点) $\geq 20\text{dBm}$ ，O 波段。2) 高能效高功率光电探测器，支持 3dB 带宽 $\geq 20\text{GHz}$ ，线性饱和输出电流 (1dB 压缩点) $\geq 250\text{mA}$ ，

正弦波直流转换效率（射频输出功率/直流电源功率） $\geq 45\%$ ，响应度 $\geq 0.8\text{A/W}$ ，O 波段。3) 高功率半导体放大器，饱和输出光功率 $\geq 26\text{dBm}$ ，电光功率转换效率 $\geq 20\%$ ，O 波段。4) 高功率波分解复用器，输入光功率 $\geq 5\text{W}$ ，通道数 ≥ 4 ，单通道插入损耗 $\leq 1\text{dB}$ ，O 波段。5) 射频光子无线系统覆盖频段 Sub15GHz，支持多频带，信号 800MHz 带宽，EVM $\leq 3.5\%$ ，高功率链路 RF 输出平均功率 $\geq 27\text{dBm}$ ，PD 直驱天线，规模 16TR，具备扩展能力，16TR 塔上功耗 $\leq 100\text{W}$ 。实现系统演示验证。

关键词：高能效，高功率，射频光子链路，下一代无线系统。

1.3 高速光纤通信传感一体化系统与关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对大规模既有光纤网络高效利用和智慧升级的重大需求，研究单模光纤场景下高速通信与分布式传感一体化系统与关键技术。研究基于同一单模光纤、同频共用波长信道的光纤通信传感一体化系统架构与综合性能表征方法；研究同频共用通感一体化信号的设计理论与产生方法，建立涵盖一体化信号共生、共传和解耦接收的理论模型并开发仿真软件；研究通信传感一体化系统的多维传输损伤机制，探索低串扰通感解耦方法、损伤补偿与串扰抑制技术；研制面向通信传感一体化的窄线宽光源等关键器件；研究面向既有光纤网络的通信和传感相互增强技术，并研发兼顾高速率通信功能、通信状态监测功能和高分辨高灵敏分布式传感功能的应用系统。

考核指标：1) 研制 C 波段通感一体光源，线宽不大于 1KHz，

稳定性优于 $10\text{MHz}/\text{min}$ 和 $25\text{MHz}/\text{h}$ ，波长切换时间不大于 $1\mu\text{s}$ ，载噪比不低于 40dB 。2) 接入网场景下距离不低于 20km ，单波通信速率不低于 50Gb/s ，传感空间分辨率优于 3m 、应变灵敏度达到 $n\epsilon$ 量级且频率响应不低于 20KHz 。3) 城域网场景下距离不低于 80km ，单波通信速率不低于 100Gb/s ，传感空间分辨率优于 10m 且应变灵敏度达到 $n\epsilon$ 量级；在重点行业（轨道交通、石油化工、电力电网等）的既有单模光纤通信系统中完成示范应用。提交相关行业标准提案不少于 2 项。

关键词：通信传感一体化，高速光纤通信，分布式光纤传感。

1.4 12 英寸光电融合单片集成技术与平台（共性关键技术类）

研究内容：面向超高速、超宽带、低功耗、超短时的通信需求和光计算、光传感市场潜在需求，开展 12 英寸光电融合单片集成技术与平台开发。重点研究可嵌入 CMOS 工艺的高精度低损耗波导成型、高质量锗选区外延等硅光工艺技术；研究单片集成的硅光子关键器件，包括高速电光调制器和波导型锗探测器；研究单片集成的微电子关键器件，包括高性能晶体管、高品质射频无源器件；研究硅通孔工艺技术；研究异构集成的光电融合建模和仿真技术，形成标准化高性能的光电器件库；基于光电融合工艺平台设计实现高速互连芯片，单片集成探测器和调制器等光路器件，以及 TIA、驱动和 CDR 等电路器件；支撑光通信、传感、计算领域企业流片，为产业界建设供应链可控的硅光芯片加工平台。

考核指标：建设 12 英寸硅光集成芯片加工工艺平台，实现稳定的工艺流程，对关键科研院所和企业开放。具体考核指标包括：1) 高加工精度硅波导，最小加工尺寸 $\leq 65\text{nm}$ ，条型波导损耗 $\leq 1\text{dB/cm}$ ，在晶圆上的良率 $\geq 80\%$ 。2) 提供 ≥ 2 层的氮化硅波导，O 波段波导损耗 $\leq 1\text{dB/cm}$ ，在晶圆上的良率 $\geq 80\%$ 。3) 硅基电光调制器，带宽 $\geq 35\text{GHz}$ ，热光调制效率 $\leq 25\text{mW}/\pi$ ；硅基锗探测器，暗电流 $\leq 100\text{nA}$ ，响应度 $\geq 0.8\text{A/W}$ ，带宽 $\geq 35\text{GHz}$ 。4) 晶体管最小栅长 $\leq 65\text{nm}$ ，截止频率 $\geq 150\text{GHz}$ ；提供片上射频电感和电容，自谐振频率 $\geq 100\text{GHz}$ ，典型品质因子 ≥ 10 。5) 硅通孔刻蚀深度 $\geq 100\mu\text{m}$ ，深宽比 $\geq 10:1$ 。6) 建立光电融合集成工艺开发套件 (PDK) 1 套。7) 单片光电融合集成互连收发芯片，每个通道速率 $\geq 56\text{GBaud}$ ，通道数 ≥ 8 ；发射端 (驱动+调制器) 调制消光比 $\geq 3\text{dB}$ ，能耗效率 $\leq 5\text{pJ/bit}$ ；接收端 (PD+TIA+CDR) 光电级联带宽 $\geq 35\text{GHz}$ ；完成光互连功能演示验证。平台外单位客户不少于 3 家 (以加工合同和加工费拨付凭证为准)，支撑 3 项以上“信息光子技术”专项项目的研发。

关键词：硅光，光电融合，单片集成平台，12 英寸。

1.5 新型光放大技术与核心芯片 (共性关键技术类)

研究内容：研究高功率大模场 980nm 单模泵浦激光器芯片技术；研究高阶 Raman 光纤放大器技术；研究超宽谱低噪声 SOA 芯片技术；研究基于掺稀土元素的集成式波导光放大器芯片技术。攻克 4 项以上新型光放大技术与核心芯片相关新机理、新结

构与新工艺,为光通信网络扩容和大规模光子芯片提供可行的光放大解决方案,研制支撑下一代光纤传输和大规模光子集成的系列高性能光放大技术及芯片,填补相关高性能放大器芯片的国内空白。

考核指标: 完成波长范围覆盖 C 波段和 L 波段的系列新型光放大技术与核心芯片研制。1) 研制出泵浦激光芯片, 单模线性出纤光功率 $\geq 600\text{mW}$, 中心波长 $974\pm 1\text{nm}$, 阈值电流 $\leq 60\text{mA}$, -13dB 谱宽 $\leq 0.7\text{nm}$, 支撑商业化 C+L 全波段光纤放大器技术。2) 研制出高阶 Raman 光纤放大器, 增益 $\geq 25\text{dB}$, 等效噪声指数 $\leq -3\text{dB}$ 。3) 研制出超宽谱低噪声 SOA 芯片, 增益谱中心波长满足 $1310\pm 20\text{nm}$; 增益 $\geq 20\text{dB}$, 偏振相关增益 $\leq 1.2\text{dB}$, 噪声指数 $\leq 6.0\text{dB}$, 增益带宽 $\geq 50\text{nm}$, 饱和输出功率 $\geq 15\text{dBm}$ 。4) 研制出基于掺稀土元素的集成式波导光放大器, 增益谱中心波长满足 $1550\pm 20\text{nm}$, 增益 $\geq 20\text{dB}$, 饱和输出功率 $\geq 5\text{dBm}$, 噪声指数 $\leq 5.0\text{dB}$ 。完成应用示范, 提交相关行业标准提案不少于 2 项。

关键词: 光放大器, 泵浦激光器, 光纤放大器, Raman, SOA, 波导型光放大器。

1.6 骨干网单载波 800Gb/s 集成相干关键光芯片与模块(共性关键技术类)

研究内容: 针对骨干网传输容量提升对高速率相干关键光芯片与模块的迫切需求, 研究超高速超高集成度的相干光收发芯片。重点研究支持单通道 128Gbaud 的电光调制器及驱动器、光电探测器及跨阻放大器的集成技术; 研究光电芯片高速互连技

术, 光芯片和电芯片协同设计及先进的光电共封装技术; 研制单载波 800Gb/s 相干光收发模块; 研究超强传输性能的先进调制及解调算法, 并实现骨干网示范应用。

考核指标: 1) 研制出超高速单片集成相干光收发芯片, 片上集成调制器、探测器、偏振分(合)束器、偏振旋转器、90°混频器等功能。其中调制器速率 $\geq 128\text{Gbaud}$, 静态消光比 $\geq 30\text{dB}$; 探测器速率 $\geq 128\text{Gbaud}$; 混频器相位误差 $\leq \pm 5^\circ$, 共模抑制比 $\geq 30\text{dB}$ 。2) 研究相干光芯片 driver、TIA 的协同设计及先进封装技术, 光电共封装后速率 $\geq 128\text{Gbaud}$ 。3) 研制出 800Gb/s 相干光收发模块, 模块形态为 CFP 或 CFP2 等商用可插拔模块, 单载波传输净荷速率 $\geq 800\text{Gb/s}$ 。4) 实现光收发模块在高性能长途骨干网中的示范应用, 传输距离 $\geq 800\text{km}$, 具备小批量生产能力并推广应用。提交相关行业标准提案不少于 2 项。

关键词: 相干光芯片, 光电共封装, 光收发模块, 骨干网。

1.7 城域单载波 1.2Tb/s 相干光传输集成芯片与模块(共性关键技术类)

研究内容: 面向城域高速大容量通信应用需求, 研究超高速集成相位调制器和相干接收机。重点研究支持带宽 65GHz 的新型电光调制器、光电探测器技术; 探索硅基异质异构的超高速光电子芯片技术及其光电协同方法; 研究高波特率、高频谱效率的先进调制及解调算法; 研究高速信号的光电芯片间互连技术, 光芯片和电芯片协同设计、制备与集成封装技术; 研制单载波 1.2Tb/s 相干光传输集成芯片与模块, 并在数据中心或城域光通

信网中实现示范应用。

考核指标: 1) 超高速相干光调制器芯片带宽 $\geq 65\text{GHz}$, 静态插损 $\leq 13\text{dB}$, 偏振隔离度 $\geq 35\text{dB}$, 工作波长覆盖 C 波段。2) 超高速相干光接收机芯片带宽 $\geq 65\text{GHz}$, 混频器相位误差 $\leq \pm 5^\circ$, 接收机总体响应度 $\geq 0.03\text{A/W}$, 工作波长覆盖 C 波段。3) 完成相干光芯片与驱动器、跨阻抗放大器的一体化封装, 封装后带宽 $\geq 65\text{GHz}$, 工作波长覆盖 C 波段。4) 1.2Tb/s 相干光收发集成模块, 单载波传输速率 $\geq 1.2\text{Tb/s}$, 传输距离 $\geq 80\text{km}$; 实现 1.2Tb/s 相干光模块在城域光通信网络中的示范应用。提交相关行业技术标准或 MSA 提案不少于 2 项。

关键词: 城域光通信网, 光电共封装, 相干光收发集成模块。

1.8 单片集成 SOA 的高带宽大功率 EML 激光器芯片（青年科学家项目）

研究内容: 研究集成 SOA (半导体光放大器) 的高带宽大功率 EML (电吸收调制激光器) 激光器芯片制备技术。研究集成 SOA 的高带宽大功率 EML 的工作机理研究和结构设计, 高质量 EML 外延材料生长机理研究和调控制备, EML 与 SOA 单片集成方式及集成机理的研究及工艺优化, 集成 SOA 的高带宽大功率 EML 激光器芯片制备技术。探索和攻克 SOA 和 EML 单片集成的新原理、新技术和新方法, 获得实用化高带宽大功率 EML 芯片设计和工艺技术。探索三五族材料的单片集成和高速调制技术, 获得大功率高带宽 EML 芯片, 支撑未来 PON 技术的演进发展。

考核指标: 完成基于三五族材料的 EML 和 SOA 芯片的设计和工艺开发, 集成 SOA 的高带宽大功率 EML 芯片, 波长范围 $1342\text{nm}\pm2\text{nm}$, 出纤调制光功率大于 10dBm , 边模抑制比大于 35dB , 电带宽大于 45GHz , 消光比 $\text{ER} > 8\text{dB}@-3\text{V}$, 满足实际应用要求。提供满足指标的芯片不少于 30 颗, 对应的器件不少于 10 只。关键性能指标达到国际领先水平, 实现典型示范应用。

关键词: 半导体光放大器, 电吸收调制激光器, 无源光网络 PON, 50G PON。

1.9 高速高效非线性光子器件 (青年科学家项目)

研究内容: 针对光通信、光子信息处理对高效高速集成光子器件的需求, 解决非线性光子器件功耗与速率间的矛盾, 开展弱光至单光子下的高速高效非线性光子器件关键技术研究。研究基于新型高非线性材料或结构的极大非线性场增强光子器件, 探索非厄米系统下非线性光子器件的光谱调控机理, 突破现有非线性光子器件的效率带宽极限。研究高效非线性光子器件在高速高阶多维多路光子信息处理与安全光通信领域的典型应用, 突破现有光学介质信息处理性能指标, 实现多功能多维度光子灵活操控芯片, 构建可片上集成的多参量联合操控的安全光通信系统。

考核指标: 研制出突破传统效率带宽极限的超低功耗超高速率非线性光子器件, 实现连续光、单光子脉冲下的基于二阶、三阶非线性光子器件, 信息处理带宽 $\geq 50\text{GHz}$, 单比特处理功耗低于 100fJ/bit , 三阶非线性转换效率可达 -10dB , 单片信息处理功能 ≥ 3 种, 光子矢量操控维度 ≥ 4 个 (波长、幅度、相位、偏振等),

单片光子信息处理波长数 ≥ 8 路，单片光子信息处理总容量 $\geq 1\text{Tb/s}$ 。实现典型示范应用。

关键词：非线性光子器件，非厄米系统，光子信息处理。

1.10 高光束质量光子晶体激光器（青年科学家项目）

研究内容：针对光纤和固体激光泵源，以及直接半导体加工模块对高光束质量半导体激光的应用需求，研究高功率输出下光子态和电子态的联合调控机制；研究光子晶体微结构对垂直方向模场调控技术；研究侧向复合腔模场调控技术；研究载流子注入与侧向高阶模式抑制技术；研究高抗损伤阈值腔面膜制备技术，并进行器件制作，开展技术验证。

考核指标：建立高功率输出下基于光子晶体微结构对光子态和电子态联合调控模型，激光波长 $976\text{nm}\pm 5\text{nm}$ ，输出功率 $\geq 6\text{W}$ ，垂直方向光束质量 $M^2\leq 1.4$ ，垂直方向发散角 $\leq 20^\circ$ （FWHM），侧向光束质量 $M^2\leq 4$ ，电光效率 $\geq 55\%$ 。

关键词：半导体激光器，光子晶体，模式调控，光束质量。

1.11 基于奇异点的光子感知芯片（青年科学家项目）

研究内容：面对物联网、公共卫生、医疗产业对气体感知芯片的需求，开展基于奇异点的气体感知芯片的技术研究。研制片上奇异感知芯片的制备与封装，识别不同气体，实现高灵敏度气体传感；研究用于感知的光学微腔；研究片上微腔的奇异点实现；研究光学微腔与波导的耦合；研究低损耗波导的制备；研究光学微腔及其波导的封装；设计并测试封装奇异光学微腔的感知性能。

考核指标：可识别不同的气体；气体检测极限 $<1\text{ppm}$ ；气体检测响应时间 $<1\text{s}$ ；片上微腔的 Q 值 $>1\text{E}8$ ；封装后的微腔的 Q 值 $>1\text{E}7$ 。应看到明显的奇异点以及奇异点传感增强效应；光学微腔做到小型化，不大于 100 微米；光学微腔与波导的耦合效率应达到或接近临界耦合，耦合效率 $>95\%$ ；制备超低损耗的波导，波导损耗 $<0.3\text{dB/cm}$ 。

关键词：光子感知芯片，奇异点，光学微腔，光学波导。

1.12 基于克尔孤子光梳的集成化太赫兹源（青年科学家项目）

研究内容：针对 6G 通信等重大应用需求，聚焦太赫兹波段通信关键技术，研制出低噪声、高速调制、集成化的太赫兹源。研究基于光学微结构的光学微腔和太赫兹混合波导的物理机理和技术方案；研究光生太赫兹产生技术和调制的物理机理；研制可用于太赫兹波产生的集成化克尔微腔光孤子光频梳；突破传统太赫兹波产生方式的噪声和调制带宽限制，研制窄线宽、低噪声光生太赫兹源。

考核指标：太赫兹波频率 280GHz-380GHz，相位噪声（300GHz 载频） $-100\text{dBc/Hz}@10\text{kHz}$ ，噪声基底 -125dBc/Hz ，调制速率 100Gbps，实现太赫兹源的集成化封装和典型应用场景验证。

关键词：克尔孤子光梳，光生太赫兹源。

1.13 面向复杂环境的新体制平面光学成像技术（青年科学家项目）

研究内容: 围绕光波衍射对望远成像分辨率的原理限制, 研究新体制平面光学理论方法, 探索远距离超衍射、穿云透雾和非视域等颠覆性光学成像机理; 揭示光场在大气等随机介质中的传输规律, 研究时域和空域跨尺度矢量光场调控技术, 发展大口径平面透镜高效制备工艺以及感算一体成像技术; 研制新体制平面光学成像系统, 支撑光电态势感知、目标识别、灾害救援等领域的国家重大需求。

考核指标: 研制大口径、轻量化平面光学主动成像系统, 具备复杂环境下高分辨成像和非视域成像能力。平面光学透镜最大口径 $\geq 200\text{mm}$; 衍射效率 $\geq 95\%$; 在 3km 以上距离实现2倍以上超衍射成像; 轻度雾霾和湍流条件下非视域成像距离 $\geq 3\text{km}$ 。实现典型示范应用。

关键词: 平面光学成像, 矢量光场调控, 光电态势感知。

1.14 低噪声单纵模量子点激光器及多波长阵列（青年科学家项目）

研究内容: 面向数据互联、光载无线通信等应用对低噪声、单纵模、多波长光源芯片的需求, 研究超低线宽增强因子的量子点增益材料, 研究不同光栅结构对半导体激光器强度及相位噪声的抑制机理, 研制具有低相对强度噪声、窄线宽、可直接调制的O波段单纵模半导体量子点激光器及多波长阵列芯片, 掌握相关材料生长、激光器器件结构设计与关键制造技术。进一步研究提高电光转换效率、缩小器件尺寸的新机制, 探索超小尺寸、低阈值电泵量子点激光器实现方法。

考核指标: 实现 O 波段 (1310nm) 量子点 DFB 激光器, 单管输出光功率大于 10mW, 边模抑制比 ≥ 50 dB, 相对强度噪声 ≤ -165 dB/Hz, 线宽 ≤ 500 kHz, 工作温度高于 90°C。实现 O 波段量子点 DFB 激光器的直接调制, 小信号调制 3dB 带宽大于 13GHz, 1dB 压缩点调制信号功率大于 16dBm。实现满足 CWDM4 要求的多波长阵列芯片, 片上信道间隔 20nm、波长覆盖范围大于 70nm (4 信道)。进一步演示模式体积小于 2 倍波长立方的电泵量子点激光器。

关键词: 量子点激光器, CWDM, 多波长阵列。

1.15 极低功耗高密度可寻址电光存储器阵列 (青年科学家项目)

研究内容: 为满足新一代光计算系统对低功耗和高密度光存储器的需求, 探索基于微纳光子学结构和量子点材料的新型电光存储器阵列, 实现极低功耗的大规模电控光存储阵列。利用量子点材料增强系统的非线性效应, 研制光子晶体微腔的高密度光存储器阵列, 降低光存储器阵列功耗; 研究光子晶体与 p-i-n 结的集成方法和制备工艺, 实现电控光存储器阵列; 探索基于量子点-光子晶体微腔系统的极低功耗光存储器阵列的实现方案。

考核指标: 研制基于光子晶体微腔的电光存储器阵列, 开关时间 ≤ 100 ps, 存储时间 ≥ 10 ns, 存储器阵列单元数量 ≥ 25 , 存储器阵列单元密度 $\geq 4 \times 10^4 / \text{cm}^2$ 。研制基于量子点-光子晶体微腔系统的极低功耗光存储器, 功耗 $\leq 5 \mu\text{W}/\text{单元}$, 斯塔克位移 $\geq 7 \text{meV}/\text{V}$ 。完成基于所研制的电光存储器阵列的系统演示验证。

关键词: 光子晶体微腔, 电光存储器阵列, 量子点。

1.16 光控毫米波相控阵集成芯片 (青年科学家项目)

研究内容: 面向下一代无线通信毫米波空域信息处理需求, 解决大规模毫米波相控阵时延控制的精确性瓶颈, 研究光控毫米波波束引导机理及芯片架构, 突破光调制、探测、真延时线片上集成技术, 实现大规模光控相控阵。研究片上延迟网络结构, 实现对工艺容差鲁棒的阵列设计。研制大规模光控毫米波波束引导片上系统, 实现超大容量毫米波波束引导通信系统。

考核指标: 研制出光子集成相控阵芯片, 工作频率 30GHz, 实现不少于 16 路输出 (16 个天线单元) 的线性相位离散调控, 离散波束数量 ≥ 16 , 波束覆盖范围超过 60° , 延时精度不低于 7bit, 波束切换时间不大于 100 微秒, 光延时线插入损耗不超过 7 dB, 速率 100Gb/s 的光生、光载、光控毫米波波束引导的光纤无线通信系统。完成典型应用示范。

关键词: 波束成形, 光子集成, 光生毫米波, 光载无线系统。

1.17 高精度混合集成光频率合成器 (青年科学家项目)

研究内容: 面向大容量卫星通信, 环境大气监测, 深空物理, 高分辨光谱卫星等对光频率合成器的需求, 开展高精度混合集成光频率合成器研究。研究集成非线性光电器件制备与色散动态调控和宽带耦合关键技术; 研究倍频程集成光梳简易产生方法; 研究高效率片上倍频器; 研究片上可调谐激光器与光梳反馈锁定技术。

考核指标: 研制出高精度混合集成光频率合成器, 调谐频率

分辨率 $\leq 10\text{Hz}$ ，在1秒平均时间频率稳定度 $\leq 1\times 10^{-13}$ ，中心输出波长1550nm，频率调谐范围为32nm。实现典型示范应用。

关键词：集成光子学，非线性光学，微波光子学，精密测量。

1.18 基于低维材料的视觉本能反应型光电子器件（青年科学家项目）

研究内容：面向物联网中数据密集型前端的高速图像信号处理需求，基于低维材料优异的光电响应特性，研究感算一体的神经形态人工视觉系统，简化硬件架构的同时提高数据处理效率。开发基于低维材料的大规模智能像元阵列设计、加工和集成技术；探索感算一体硬件与先进智能算法高效耦合的技术方案；针对空间光形态下的图像数据，研究基于神经网络算法的模拟域加速计算方法。

考核指标：研制基于低维材料的感算一体神经形态光电子器件，阵列像元规模不小于 8×8 ，数据并行处理通道数 ≥ 64 ，器件响应频率 $\geq 100\text{Hz}$ ，重构开关功耗 $< 10\text{pJ}$ ；在前端硬件层面，支持可自定义操作数的模拟域图像卷积计算，使用器件对三类噪声图像的平均分类精度大于90%，实现典型示范应用。

关键词：低维材料，感算一体神经形态光电子器件。

1.19 光子引线键合混合集成光收发芯片（青年科学家项目）

研究内容：针对异质异构混合光子集成中的光互连挑战，研究基于双光子吸收聚合的光子引线键合（PWB）光互连技术，研究双光子吸收固化材料及其光学折射率调控方法，验证其环境适应性和长期稳定性；研究典型应用场景中光子引线键合的建模

仿真、波导设计与制备技术；研究 III-V 族、硅基、氮化硅和薄膜铌酸锂等多种材料体系光电子芯片的低损耗光子引线互连技术，研制多通道混合集成光收发芯片。

考核指标：光子引线感光材料折射率在 1.4~1.6 之间可调；3D 打印光子引线波导传输损耗 $\leq 3\text{dB/cm}$ ；芯片与芯片间光子引线连接损耗 $< 2\text{dB}$ ，包含 III-V 族、硅基、氮化硅和薄膜铌酸锂等 4 种以上材料体系芯片；光纤与芯片间光子引线连接损耗 $< 1.5\text{dB}$ ；实现基于光子引线键合技术的 8 通道 400Gb/s ($8 \times 50\text{Gb/s}$)混合集成光收发芯片及模块，满足距离 2 公里以上光通信需求；满足 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 环境温度，湿度 $\leq 85\%$ 条件下使用，长期可靠性不小于 5000 小时。实现典型示范应用。

关键词：光子引线键合，混合集成光收发芯片。

2. 光计算与存储技术

2.1 光学矩阵运算芯片及其算术逻辑器件和系统（基础研究类）

研究内容：瞄准未来计算机工程领域低时延、低功耗和高吞吐量的场景，开展光学矩阵运算芯片及其在算术逻辑器件和推理系统中的应用研究。研究基于光学矩阵运算的大规模、低功耗光学算术逻辑运算器件架构，实现全光数字算术逻辑运算位宽和能效的大幅提升；开展大规模多通道光馈入与互联技术，研制大规模高速、高阶光调制驱动电路，实现高通量并行输入；研究基于光学矩阵运算的全集成全光深度神经网络芯片，探索光学非线性新材料和新机制，实现片上非线性激活函数功能；研究大规模光

电芯片封装和集成技术，研制光计算芯片系统原型机，完成高精度高位宽算数逻辑运算、分类推理等系统的示范应用。

考核指标：1) 研制面向数字逻辑运算的二进制加法器和乘法器功耗不高于 1pJ/bit 操作，关键路径延迟不高于 0.1ns ，误码率优于 $1\text{E-}5$ 。2) 加法器和乘法器操作数数据位宽 32bit ，工作频率不低于 1GHz ，算术逻辑运算输出消光比 10dB 以上。3) 全光神经网络芯片网络深度不少于 3 层，计算总时延小于 1ns ，激活函数工作带宽 $>1\text{GHz}$ ，输入单维向量规模不少于 64，推理或者识别系统的示范应用不少于 3 项。

关键词：矩阵运算，光电计算，算术逻辑运算，光学神经网络。

2.2 超大规模光学矩阵多芯粒加速计算系统(共性关键技术类)

研究内容：针对人工智能推理应用对于线性运算超大矩阵规模和低延迟的需求，研究高速率、低功耗、小尺寸的光计算主动器件的设计原理和调制机制，实现包括光源、模拟芯片、数字芯片、光矩阵链路在内的同步设计和多芯粒综合集成方案；开展超大规模、高集成度的光学矩阵多芯粒计算系统的制造工艺与封装关键技术研究；研制超大规模光学矩阵多芯粒计算原型系统，并开展服务器适配技术验证；研发适配硬件系统的软件栈，并在人工智能及高性能计算等领域开展示范应用。

考核指标：1) 研制出混合集成的超大规模光学矩阵多芯粒加速计算系统，单芯粒支持不低于 128 单维向量规模输入，计算

系统支持不小于 256×256 规模矩阵，目标精度 8bit，单通道时延小于 1ns，光计算能效比高于 20TOPS/W。2) 研制高密度、低损耗的光互连通道，芯粒间互连通道波导密度 $\leq 20 \mu\text{m}$ ，通道连接损耗 $\leq 1\text{dB}$ 。3) 完成光电混合芯粒系统 3D 封装和控制，实现光中介层尺寸 $\geq 1200 \text{mm}^2$ ，硅通孔密度 $\geq 160/\text{cm}^2$ 。4) 研制多芯粒光计算编译配套软件，完成应用于 Imagenet 数据集的 Resnet50 神经网络性能演示，每秒处理图像数量不小于 10000 帧，并探索适用于该系统的高性能计算应用场景。

关键词：光学计算，光电混合集成，光学神经网络。

3. 光显示与交互技术

3.1 先进光谱分析与成像芯片集成技术（基础研究类）

研究内容：面向宽带、高分辨、阵列化和多功能复合化光谱分析技术的应用需求，开展先进光谱分析与成像芯片集成技术研究。研究适合芯片集成的宽光谱范围光谱分析方法和芯片实现方法，研制宽光谱范围光谱测量与分析芯片；研究微腔光频梳光谱分析技术，包括集成微腔阵列的加工制备与封装，孤子双光梳的产生，光谱的快速检测，以及结合并发展不同的光谱分析原理，实现宽带、高速、高分辨的片上光谱检测；研究芯片级光谱分析仪的大规模阵列化技术，在可见光和近红外波段研制实现高光谱动态视频记录的光谱成像芯片；研究适合芯片集成的多维度光场信息测量和光谱分析技术，研制多光场维度光谱信息测量和分析芯片及其测量物质/物体线性、非线性光谱信息和空间信息的光学系统。

考核指标: 1) 研制出宽光谱范围的光谱测量和分析芯片, 工作波段 400-1600nm, 实现在可见光波段 (400-780nm) 分辨率不低于 3nm, 在近红外和短波红外波段 (780-1600nm) 分辨率不低于 0.3nm。2) 研制出微腔光频梳光谱分析芯片, 波长覆盖范围超过 100nm, 光谱检测速度采样率超过 1MHz, 在光通信波段光谱分辨率不低于 0.2nm。3) 研制出可见光和近红外波段的高光谱成像芯片, 单个芯片的光谱像素数大于 1000×1000 , 在不大于 300nm 的光谱范围内每个光谱像素的波长分辨率优于 5nm, 光谱成像速度达到 30 帧/秒, 实现动态视频记录。4) 研制出不少于 3 个光场维度的光谱信息测量与分析芯片及其光学系统, 可同时检测待测物的线性、非线性光谱信息和空间信息, 在可见光和近红外波段光谱波长分辨率优于 5nm, 空间分辨率优于 $3.5\mu\text{m}$ 。实现不少于 3 个典型示范应用。

关键词: 光谱分析, 光子集成, 微腔光频梳, 高光谱成像。

3.2 大场景沉浸式虚实融合交互技术与系统(共性关键技术类)

研究内容: 研究基于阵列式光电薄膜的交互传感器件, 构建满足虚实融合空间所需的多尺度、多模态、大范围的交互信号采集; 研究面向大场景沉浸式虚实融合空间的环境感知核心器件装置, 实现大范围空间建模和人体局部精度; 研究基于光电信息传感的用户行为和情境信息数据在虚实融合空间中的交互原语表示和交互意图推理, 结合交互任务特性和用户运动特性优化用户模型, 研究虚实融合系统中的用户感知-认知-运动机制; 研究光、

电、声传感与交互应用的有效结合，满足符合交互动态、分布、多样等特征的感知，支持用户在虚实融合空间中自然的交互行为，实现面向虚实融合空间的手-眼-听协同的 3D 多模态交互范式；研究大场景虚实融合交互系统，集成、驱动和连接光电声交互传感器件和装置，并实现多空间、多用户协同交互；将沉浸式虚实融合交互技术和系统在教育、医疗、航天等典型场景中开展示范应用。

考核指标：1) 研制阵列式光电薄膜交互传感器件，器件厚度不大于 1 毫米，传感单元分辨率不少于 20×20 ，支持微手势检测和情境感知，微手势类型不少于 15 种，动作位移精度不大于 1 厘米。2) 大范围虚实融合空间的建模误差不超过 2 厘米，人体局部精度达到毫米级。3) 构建基于光电传感信息的面向虚实融合交互的可计算感知-认知-运动模型，对虚实融合系统中的交互行为进行描述和预测，预测准确率不低于 90%。4) 构建手-眼-听协同的三维多模态交互范式，支持虚实融合场景和任务下多模态交互技术不少于 5 个，多通道信号协同响应延迟不大于 10 毫秒。5) 研究虚实融合交互系统，支持多空间、多用户协同交互，多用户协同交互响应延迟小于 30 毫秒。在教育、医疗、航天等典型场景应用示范。

关键词：光电薄膜交互器件，大场景沉浸式，虚实融合，3D 交互。

3.3 面向移动终端的虚实协同技术与系统（共性关键技术类）

研究内容: 研制具有高配准精度的轻量级虚实融合移动终端设备, 支持 3D 虚实内容的无缝匹配显示和场景交互功能; 研究支持开放空间下虚实融合移动终端设备的高性能超低能耗的显示器件和计算部件; 研究基于轻量级虚实融合移动终端设备的 3D 场景语义理解、多用户行为准确理解、场景和行为记忆与反馈、多用户下的虚实协同交互等技术; 实现端云协同的三维多通道虚实协同装置与系统, 在办公、教育、医疗等典型场景应用。

考核指标: 1) 实现轻量级便携式虚实融合移动终端, 单目视场角不低于 55 度, 光显示分辨率不低于 1920×1080 , 显示对比度不低于 600:1, 3D 空间定位实现厘米级, 以及 1 度以内定位精度, 整机重量不高于 100 克。2) 具备基于移动终端的 3D 虚实融合呈现机制, 2D 和 3D 图像实时像素级自动配准, 成像帧率达到 75 帧/秒。3) 具备 3D 光声同步呈现机制, 角度分辨率不高于 5 度。4) 支持 5 种以上复杂三维场景感知, 在移动终端中实现场景实时分割和分类, 准确率高于 85%。5) 具有基于移动终端的多通道融合交互能力, 至少覆盖光声通道, 开放空间下用户一次性交互意图理解的准确率不低于 95%。基于虚实融合移动终端的虚实协同系统在办公、教育、医疗等典型场景应用示范。

关键词: 轻量级虚实融合终端, 3D 配准, 终端交互。

3.4 基于 LCD 平板裸眼 3D 显示系统 (共性关键技术类)

研究内容: 面向下一代 3D 显示技术, 突破基于 LCD 平板的裸眼 3D 显示关键共性技术, 提升裸眼 3D 的显示体验。研究适用于裸眼 3D 显示的高分辨率、高对比度以及高开口率的

TFT-LCD 面板；研究可见光调制的超快响应显示液晶分子材料；研制基于 Mini/Micro LED 的精密控制准直背光技术；攻克裸眼 3D 显示的集成成像光场深度增强技术；研制基于高性能 TFT-LCD 面板的裸眼光场 3D 显示屏。

考核指标：1) LCD 屏的像素开口率 $\geq 80\%$ ，对比度 $\geq 2000:1$ ，刷新率 $\geq 120\text{Hz}$ ，液晶响应（灰阶切换，GTG）时间 $< 3\text{ms}$ ，灰阶偏移量 ≥ 0.2 。2) 4-6 英寸 LCD 屏的分辨率 ≥ 16588800 像素，亮度 $\geq 400\text{cd}/\text{m}^2$ ，3D 显示屏的深度 $\geq 0.07\text{m}$ ，3D 显示屏的视角 ≥ 30 度，实现 3D 显示屏水平垂直方向皆有立体效果，观看前后人眼融合范围变化值 5 屈光度，双目串扰 $< 8\%$ 。3) 31-85 英寸 LCD 屏的分辨率 ≥ 66355200 像素，亮度 $\geq 700\text{cd}/\text{m}^2$ ，3D 显示屏的深度 $\geq 0.35\text{m}$ ，3D 显示屏的视角 $\geq 90^\circ$ ，观看前后人眼融合范围变化值 5 屈光度，双目串扰 $< 8\%$ 。4) 基于 Mini/Micro LED 的精密控制准直背光技术，实现测试区域（0.5m-4m 观看距离，观看视角 ≥ 30 度内，20mm 灯条宽度内）top-hat 照明分布，照度均匀性 $\geq 80\%$ ，背光中心亮度 $\geq 30000\text{nits}$ ，光条宽度（ $< 20\text{mm}$ ）与设计误差 $< 10\%$ ，相邻模组间亮度串扰 $< 3\%$ ，大尺寸背光模组（31-85 英寸）厚度 $< 50\text{mm}$ ；小尺寸背光模组（ < 31 英寸）厚度 $< 15\text{mm}$ 。基于上述指标至少实现两种尺寸的 LCD 平板裸眼 3D 显示系统；实现典型示范应用。

关键词：裸眼 3D 显示，LCD，3D 显示驱动，3D 显示编解码。

3.5 基于 Micro-LED 平板裸眼 3D 显示系统(共性关键技术)

类)

研究内容: 研究针对裸眼 3D 显示的 Micro-LED 芯片阵列的低功耗有源驱动硬件和高效微米级 Micro-LED 组件, 实现适用于裸眼 3D 显示的高分辨大屏以及虚像显示使用的高亮度小屏; 攻克适用于裸眼 3D 显示屏的高性能微透镜阵列的设计和加工技术; 研制基于高分辨率 Micro-LED 的裸眼光场 3D 显示屏和驱动软硬件, 实现 3D 显示屏水平垂直方向皆有立体效果。

考核指标: 1) 适用于裸眼 3D 和虚像显示的 Micro-LED 芯片阵列与专用驱动硬件, 其中: 裸眼 3D 显示高清大屏尺寸满足对角线 ≥ 3.5 英寸, RGB 全彩, 分辨率 $\geq 3840 \times 2160$, 亮度 $\geq 2000 \text{cd/m}^2$, 灰度等级 $\geq 10 \text{bits}$, 色域 (NTSC 标准) $\geq 120\%$, 刷新率 $\geq 120 \text{Hz}$; 虚像显示高亮小屏尺寸满足对角线 ≤ 0.37 英寸, RGB 全彩直显, 分辨率 $\geq 1280 \times 720$, 灰度等级 $\geq 10 \text{bits}$, 色域 (NTSC) $\geq 120\%$, 亮度 > 100 万 nits, 刷新率 $\geq 120 \text{Hz}$ 。2) 基于上述指标的 Micro-LED 裸眼光场 3D 显示屏和驱动软硬件, 其中: 3D 显示水平垂直方向皆有立体效果, 3D 显示深度 $\geq 0.05 \text{m}$, 3D 显示视角 $\geq 20^\circ$, 观看前后人眼融合范围变化值 ≤ 5 屈光度。在手机、平板或虚像显示等场景中实现典型裸眼 3D 显示示范应用。

关键词: Micro-LED, 裸眼 3D 显示。

3.6 3D 显示专用驱动技术 (共性关键技术类)

研究内容: 研究低功耗 3D 显示实时渲染技术, 研发 3D 显示专用驱动渲染算法、高性能高带宽光信号传输器件等, 适配超高分辨率显示面板的高性能驱动; 研究深度动态调控的大景深关

键技术，解决 3D 显示临境感不足问题，实现超清晰 3D 物体对焦与智能景深调控，突破低功耗主动选址驱动、高分辨高速显示刷新率、高时钟频率芯片等技术；瞄准超高分辨率场景，研究 3D 显示编解码技术，突破传统 3D 显示编解码技术的局限，研究结合语义信息的 3D 显示编解码；研发 3D 显示专用的高速计算硬件，支撑超高分辨显示图像计算和数据处理，以及高性能低功耗 3D 呈现。

考核指标：在 6 英寸 8K、15 英寸 16K 或 32 英寸 24K 分辨率的显示面板上，实现超高分辨率的 3D 显示解码，研制出适配 6K、8K、16K、24K 分辨率的 3D 显示处理器件，实现 100Gbps 以上数据信号传输，支撑 3D 显示刷新率 ≥ 60 FPS；3D 呈现器件的数据处理时延 ≤ 100 ms，显示同步呈现时延 ≤ 100 ms；聚焦 3D 显示物体的空间频率达到兆级别；3D 显示编解码算法与 HEVC 算法相比，节省的比特率提升一倍以上。实现典型应用。

关键词：3D 显示驱动，3D 显示编解码，大景深，高带宽。