

## “新型显示与战略性电子材料”重点专项

### 2021 年度项目申报指南建议

(征求意见稿)

国家重点研发计划启动实施“新型显示与战略性电子材料”重点专项。本重点专项总体目标是：面向国家产业安全、战略产品及重大工程建设需求，以满足关键领域重点电子材料急需为目标，突破新型显示产业应用关键核心技术，打通创新链，突破战略性电子材料制备与应用各环节的共性关键技术，保障我国信息、能源、交通、高端装备等领域核心电子材料和器件的自主供给。

根据本重点专项工作部署，现提出 2021 年度项目申报指南建议。2021 年度指南部署遵循“基础研究、共性关键技术、典型应用示范”全链条创新设计、一体化组织实施原则，拟围绕新型显示材料与器件、第三代半导体及前沿电子材料与器件、大功率激光材料与器件 3 个技术方向，启动 30 个指南任务。

#### 1. 新型显示材料与器件

##### 1.1 蒸镀 OLED 柔性显示产业化应用示范（典型应用示范）

**研究内容：**面对蒸镀 OLED 柔性显示产业化应用，开发新型红/绿光材料、高激子利用率蓝光材料、高性能主体材料、发

光辅助材料、电子/空穴传输材料和光耦合层材料等蒸镀 OLED 关键材料；开发高迁移率、高稳定性、高电流开关比的高性能氧化物半导体新材料和 TFT 器件新结构及制备工艺；开发应用于中小型柔性 OLED 显示触控及大尺寸的光感应显示微系统；开展相应的器件结构优化设计，实现蒸镀 OLED 材料和高性能氧化物半导体材料的批量化制备、柔性 OLED 触控一体化和重大应用示范。

**考核指标：**公斤级量产化蒸镀 OLED 客体材料纯度  $\geq 99.5\%$ ，蒸镀 OLED 其它材料纯度  $\geq 99.9\%$ ，在产线高温蒸镀 240 小时以后没有明显劣变。在电流密度  $10 \text{ mA/cm}^2$  条件下测试，蒸镀 OLED 器件实现如下性能：蓝光在  $\text{CIE-}y < 0.05$  下电流效率  $\geq 8.5 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 1000$  小时，绿光在  $\text{CIE-}y \geq 0.70$  下电流效率  $\geq 170 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 1500$  小时，红光在  $\text{CIE-}x \geq 0.68$  下电流效率  $\geq 68 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 1600$  小时。TFT 阵列器件：场效应迁移率  $\geq 40 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，电流开关比  $\geq 10^9$ ；器件稳定性：正栅压应力下阈值电压漂移  $< 0.5 \text{ V}$  @  $V_{\text{gs}} = 20 \text{ V}$ ， $V_{\text{ds}} = 0.1 \text{ V}$ ，应力时间 1 小时，温度 =  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ；负栅压光照应力下阈值电压漂移  $< 2.0 \text{ V}$  @  $V_{\text{gs}} = -20 \text{ V}$ ， $V_{\text{ds}} = 0.1 \text{ V}$ ，应力时间 1 小时，温度 =  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ，光照（白光 LED） $\geq 10000 \text{ cd/m}^2$ 。光电屏性能指标：传感器阵列  $640 \times 360$ ，可根据屏幕大小进行分辨率扩展；扫描采样频率  $\geq 120 \text{ Hz}$ ；单采样 IC  $\geq 256$  通道，通道响应时间  $< 16 \mu\text{s}$ ，功耗  $< 0.5 \text{ W}$ ，ADC 采样精度 12 bits。蒸镀 OLED 材料和高性能氧化物半导体新材料实现批量化制备，导入量产线应用。申请发明专利  $\geq 50$  件，其中 PCT 专利  $\geq 10$  件。

## 1.2 印刷 OLED/QLED 柔性显示产业化关键技术（共性关键技术）

**研究内容：**研究印刷 OLED/QLED 材料与墨水配制，开发可量产化导入的新型 OLED/QLED 器件结构及印刷工艺；开展具有独立可控自主知识产权的阵列喷头、高稳定性墨液供应控制装置等高性能印刷装备技术的研究，建立 G4.5 RGB 喷墨打印平台与工艺测试系统；实现材料批量化制备并导入高世代面板产线。

**考核指标：**在亮度  $1000 \text{ cd/m}^2$  条件下测试，印刷 OLED 显示器件的性能指标为：蓝光在  $\text{CIE-y} < 0.06$  下电流效率  $\geq 5.5 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 350$  小时，绿光在  $\text{CIE-y} \geq 0.70$  下电流效率  $\geq 125 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 10000$  小时，红光在  $\text{CIE-x} \geq 0.68$  下电流效率  $\geq 48 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 8000$  小时；印刷 QLED 显示器件的性能指标为：蓝光在  $\text{CIE-y} < 0.06$  下电流效率  $\geq 8.5 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 300$  小时，绿光在  $\text{CIE-y} \geq 0.70$  下电流效率  $\geq 120 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 15000$  小时，红光在  $\text{CIE-x} \geq 0.68$  下电流效率  $\geq 60 \text{ cd/A}$ 、寿命  $\text{LT}_{95} \geq 15000$  小时。印刷装备的性能指标为：墨滴落点精度沿打印方向  $< \pm 7 \mu\text{m}$ ，垂直打印方向  $< \pm 10 \mu\text{m}$ ，喷印行走速率  $\geq 200 \text{ mm/s}$ ，高分辨率阵列喷头与控制系统实现  $< 1 \text{ pL}$  液滴，阵列打印  $\geq 600 \text{ ppi}$ ，开发出 G4.5-RGB(基板尺寸  $730 \text{ mm} \times 920 \text{ mm}$ ) 印刷装备，在其上实现 30 寸、分辨率  $\geq 100 \text{ ppi}$  柔性显示样机。印刷 OLED 材料实现批量化制备并导入高世代产线应用，印刷 QLED 材料实现产品化验证。申请发明专利  $\geq 50$  件，其中 PCT 专利  $\geq 10$  件。

### 1.3 Micro-LED 显示外延与芯片关键技术（共性关键技术）

**研究内容：**研究大尺寸衬底上低缺陷密度、高波长均匀性、Micro-LED 外延生长技术，开展小注入条件下 Micro-LED 量子效率的提升机制和实现方法，解决 Micro-LED 尺寸效应、边缘效应以及低损伤刻蚀和钝化修复技术难题，开发高均匀性、高效率的 Micro-LED 外延片和 Micro-LED 芯片；发展驱动芯片与 Micro-LED 芯片集成技术，开发单色 Micro-LED 显示样机。

**考核指标：**大尺寸衬底（ $\geq 6$  英寸）上红、绿 Micro-LED 波长偏差  $< \pm 2$  nm，蓝 Micro-LED 波长  $< \pm 1$  nm；芯片尺寸  $< 5$   $\mu\text{m}$ ，在  $0.1 \text{ A/cm}^2$  下，蓝光、绿光和红光 EQE 分别  $\geq 35\%$ 、 $25\%$  和  $10\%$ ，良率  $\geq 99\%$ ；蓝光（ $465 \pm 5 \text{ nm}$ ）FWHM  $< 20 \text{ nm}$ ，绿光（ $525 \pm 5 \text{ nm}$ ）FWHM  $< 25 \text{ nm}$ ，红光（ $630 \pm 5 \text{ nm}$ ）FWHM  $< 22 \text{ nm}$ ；单色 Micro-LED 显示样机：尺寸  $\geq 0.5$  英寸，分辨率  $\geq 2000$  dpi，亮度  $\geq 6000 \text{ cd/m}^2$ ，灰度等级  $\geq 10$  bits；申请发明专利 25 项，其中 PCT 专利 5 件。

### 1.4 高亮度高对比度全彩 Micro-LED 显示关键技术（共性关键技术）

**研究内容：**开展针对 Micro-LED 显示需求的高效芯片制备工艺研究；发展适用于 Micro-LED 显示的低温共晶金属键合材料和工艺，突破无衬底 Micro-LED 芯片巨量转移和玻璃基驱动背板键合技术；开展非接触 EL 方式实现 Micro-LED 器件高效缺陷检测技术研究，突破高亮度和高对比度的驱动

技术，开发高性能全彩化 Micro-LED 显示屏，并实现工程化应用。

**考核指标：**尺寸 $\geq 13$ 英寸，分辨率 $\geq 1920 \times 1080$ ，像素间距 $< 150 \mu\text{m}$ ，芯片尺寸 $< 30 \mu\text{m}$ ，亮度 $\geq 4000 \text{ cd/m}^2$ ，均匀性 $\geq 80\%$ ，灰度等级 $\geq 10 \text{ bits}$ ，对比度 $\geq 1000000:1$ ；申请发明专利 25 项，其中 PCT 专利 5 件

### **1.5 超高分辨率 LCoS 空间光调制器关键技术( 共性关键技术 )**

**研究内容：**研究超高分辨率、快速响应的空间光调制器设计、制备与封测关键技术，解决像素串扰、材料匹配、驱动控制、时间波动、影像模糊、空间形变等关键问题，制备出高性能相位型和振幅型 LCoS 器件；研究 LCoS 芯片与三基色 LD 的高效率匹配技术；研究基于 LCoS 空间光调制器的光学引擎架构设计和优化，并实现整机集成测试与表征。

**考核指标：**开发出满足激光显示整机应用的超高分辨率 LCoS 空间光调制器，分辨率 4K/8K，像元尺寸 $< 3.5$ 微米，帧频速度 $\geq 120 \text{ Hz}$ ，开口率 $\geq 85\%$ ，器件有效区域 $\geq 0.6''$ （4K）/ $1.2''$ （8K），反射率 $\geq 80\%$ ，对比度 $\geq 2000:1$ ，寿命 $\geq 30000$ 小时。申请发明专利 $\geq 25$ 件，其中 PCT 专利 $\geq 5$ 件。

### **1.6 无载流子注入纳米像元电致发光显示关键材料与器件( 基础研究 )**

**研究内容：**研究无电学接触、无载流子注入纳米像元电致发光器件工作机制，解析限域载流子束包的振荡、跃迁、光子辐射原理；研究面向无电学接触、无载流子注入模式纳米发光

材料的设计制备与纳米尺度图案化技术；开展器件结构优化设计，研发具有高电场耦合系数、高载流子产生率、高载流子增益系数的耦合腔和超表面等纳米倍增结构；突破像元级驱动技术与集成工艺，制备原型样屏；探索无电学接触、无载流子注入工作模式在发光芯片非接触检测领域的示范应用。

**考核指标：**纳米发光材料尺寸 $<300\text{ nm}\times 300\text{ nm}$ ；倍增技术促成器件亮度提升率 $\geq 500\%$ ；研制出红、绿、蓝光单色纳米像元电致发光显示原型样屏， $\text{ppi}\geq 30000$ ，交流驱动电压峰值 $<20\text{ V}$ ，像元尺寸（包含发光单元和驱动单元） $<500\text{ nm}\times 500\text{ nm}$ ；发光芯片无接触检测准确率 $\geq 99.99\%$ ；形成无电学接触、无载流子注入发光器件及纳米发光显示的表征测试与评价方法；申请发明专利 $\geq 25$ 件，其中PCT专利 $\geq 5$ 件。

### 1.7 超薄宽视角光场显示技术与系统（共性关键技术）

**研究内容：**研究面向光场显示的变参量结构设计与构筑方法，解决传统多视角三维显示的视角反转、周期重复性视点排布和色彩漂移问题，突破基于微纳结构的视角调控器件和超薄指向性光源关键技术；研究基于柔性/曲面显示屏的光场显示方法，突破变参量微纳结构光刻核心技术，开发超薄宽视角向量光场显示系统及工程化技术。

**考核指标：**彩色动态三维显示，具有连续运动视差的视角范围 $\geq 150^\circ$ ，显示幅面 $\geq 27$ 英寸，三维显示系统厚度 $<100\text{ mm}$ ；3D图像深度 $\geq 0.4\text{ m}$ ，刷新速率 $\geq 30\text{ Hz}$ ；柔性视角调控器件可弯曲程度 $<1700\text{ R}$ ；自主变参量微纳结构光刻调控精度 $<1\text{ nm}$ ，实现超薄宽视角向量光场显示示范应用。申请发明专利 $\geq 30$ 件，

其中 PCT 专利 $\geq 6$  件。

### **1.8 彩色电子纸显示材料与器件（共性关键技术）**

**研究内容：**研究高性能界面功能材料、印刷电子纸墨水材料和界面耦合机制，开发高可靠电子纸显示器印刷制备工艺和高色域显示器件集成技术及驱动系统；研究高效率、高均一性电子纸显示墨水填充、封装核心设备；突破印刷电子纸显示关键材料瓶颈及印刷制程核心技术，实现广色域、高亮度、低功耗电子纸显示器件。

**考核指标：**彩色电子纸显示器尺寸 $\geq 10$  英寸，彩色显示色域 $\geq 50\%$  NTSC，响应时间 $< 30$  ms，分辨率 $\geq 180$  ppi，能耗 $< 10$  mW/平方英寸，寿命 $\geq 1.5$  万小时；研制自主知识产权的电子纸显示墨水填充封装关键装备：成膜均匀性 $\pm 5\%$ ，封装对位精度 $\pm 5$   $\mu\text{m}$ ；申请发明专利 $\geq 30$  件，其中 PCT 专利 $\geq 5$  件。

## **2. 第三代半导体及前沿电子材料与器件**

### **2.1 面向新能源汽车应用的 SiC 功率电子材料与器件（共性关键技术）**

**研究内容：**针对电动汽车对大电流、高可靠性功率电子材料、芯片的需求，开展车规级 SiC 功率电子外延材料、芯片、封装技术研究及示范应用。研究高质量、低缺陷密度 SiC 外延材料生长和量产技术；开展 SiC MOSFET 和二极管结构优化设计，攻克高可靠栅极氧化、低损伤离子注入等关键器件工艺，开发低比导通电阻、高可靠的 SiC MOSFET/二极管集成功率芯片；研究提升芯片制造良率的方法和技术，攻克大面积 SiC 芯片制备技术，实现批量生产；研究低寄生参数模块设计方法、

高性能散热材料和封装工艺，开发高频、高功率密度、高散热性能、高可靠性 SiC 功率模块；开发基于 SiC 模块的高功率密度车用变流器，提升整车效率和动力性能，实现在新能源汽车中的示范应用。

**考核指标：**实现车规级 SiC 功率电子外延材料、芯片产业化，开发出 1200 V 电压等级的大电流高可靠性 SiC 功率电子芯片，MOSFET 器件阈值电压 $\geq 3$  V，沟道迁移率 $\geq 25$  cm<sup>2</sup>/V·s，短路时间 $\geq 5$   $\mu$ s，比导通电阻 $< 3$  m $\Omega$ ·cm<sup>2</sup>，单芯片导通电流 $\geq 200$  A；开发出 1200V 电压等级大电流、低热阻 SiC 功率模块，电流 $\geq 800$  A；开发出基于 SiC 模块的电机驱动系统，功率密度 $\geq 40$  kW/L，最高效率 $\geq 99\%$ ，实现全国产 SiC 模块在新能源汽车上的示范应用；申请发明专利 $\geq 10$  件，制定国家/行业/团体标准 $\geq 2$  项。

## 2.2 面向大数据中心应用的 GaN 基高效功率电子材料与器件（共性关键技术）

**研究内容：**研究大尺寸 Si 衬底上 GaN 薄膜及其异质结构的大失配外延生长和缺陷/应力控制技术；研究材料中点缺陷、杂质对器件性能的影响规律及其表征方法；研究器件阈值电压漂移机制及栅压摆幅提升技术；研究高耐压、低导通电阻及高可靠性器件设计与产业化制备技术；研究 GaN 基高压桥式电路及其驱动电路集成技术；研究电压/电流振荡抑制技术和电磁干扰改善技术以及高转化效率电路拓扑，推动 GaN 基高效功率电子材料与器件在数据中心服务器领域的应用。

**考核指标：**实现 650V 电压等级国产 GaN 材料和功率器件规模化生产，大尺寸 Si 衬底上 GaN 外延层位错密度 $< 1 \times 10^8$



cm<sup>2</sup>, 异质结构方块电阻 < 300 Ω/sq, 均匀性 < 3%; 电压等级 650 V 的 GaN 基平面结构器件比导通电阻 < 4 mΩ·cm<sup>2</sup>, 导通电阻 < 30 mΩ; 整机功率 ≥ 1.5 kW 的 GaN 基 AC-DC(220 V-48 V) 电源实现系统工作频率 ≥ 300 kHz, 整机最高转换效率 ≥ 98%, 功率密度 ≥ 100 W/in<sup>3</sup>, 输出电压纹波 < 0.5%, 电流 THD < 5%, 实现在数据中心服务器领域的示范应用; 申请发明专利 ≥ 10 件, 制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

### **2.3 5G 移动通讯基站用 GaN 基 Sub-6 GHz 及毫米波材料与器件研发 (共性关键技术)**

**研究内容:** 开展大尺寸半绝缘 SiC 衬底上 GaN 基异质结构外延的工程化研究, 开展以 SiC 为衬底的 GaN 基 Sub-6 GHz 射频电子器件的产业化研究, 提升器件性能及工艺稳定性和一致性; 突破高效率、高线性度和高集成度等技术瓶颈, 研制 26 GHz 和 39 GHz 频段射频前端芯片; 研究适用于 GaN 基射频功放的多通道数字预失真线性化技术和高集成、超宽带、小型化射频电路, 完成系列化 5G 基站用射频功放产品研发, 并实现批量应用。

**考核指标:** 大尺寸 SiC 衬底上 GaN 基异质结构外延片翘曲 < ±50 μm, 方块电阻 < 300 Ω/sq, 不均匀性 < 3%; Sub-6 GHz 功放模块 2515-2675 MHz、3.4-3.6 GHz、4.8-5.0 GHz 漏极效率分别 ≥ 52%、46%、44% @ 39 dBm, 线性增益 ≥ 10 dB, 饱和功率 ≥ 47 dBm; 毫米波前端模块工作频率分别为 24.75~27.50 GHz、37.0~42.5 GHz, 饱和效率 ≥ 20%, 输出功率 ≥ 33 dBm; 申请发明专利 ≥ 10 件, 制定国家/行业/团体标准 ≥ 5 项。

## 2.4 InGaN 基长波段 LED 关键材料与器件技术(共性关键技术)

**研究内容:** 面向下一代无荧光粉纯 LED 照明应用, 研究高 In 组分 InGaN 基材料的外延生长、高效率量子结构设计与高光效黄光与绿光 LED 芯片关键技术, 研究无荧光粉多基色 LED 照明封装技术, 开发无荧光粉纯 LED 健康照明新产品。

**考核指标:** 波长 $\geq 520$  nm 绿光 LED, 20A/cm<sup>2</sup> 电流密度下 WPE $\geq 50\%$ 、流明效率 $\geq 240$  lm/W; 波长 $\geq 565$  nm 黄光 LED, 20 A/cm<sup>2</sup> 电流密度下 WPE $\geq 30\%$ 、流明效率 $\geq 180$  lm/W; 形成 InGaN 基长波段 LED 芯片批量生产能力; 推出无荧光粉纯 LED 健康照明新产品, 色温 $< 2700$  K, 显色指数 $\geq 90$ , 灯珠流明效率 $\geq 150$  lm/W; 申请发明专利 $\geq 10$  件, 制定国家/行业/团体标准 $\geq 2$  项。

## 2.5 新结构、新功能微小尺寸 LED 材料与器件及其在通信/传感领域的应用(共性关键技术)

**研究内容:** 研究高亮度、高复合速率、高调制带宽、高灵敏度的蓝、绿光微小尺寸 LED 材料和器件制备技术; 研究超高速可见光通信、空间精确定位和成像技术; 研究微小尺寸 LED 柔性阵列芯片制备工艺, 实现在光神经调控、血糖实时监测等医疗健康领域的应用; 攻克国产化车规级高功率、高亮度微小尺寸 LED 材料、芯片及光源模组的产业化技术, 实现在人车信息交互数字化车灯系统的应用。

**考核指标:** 蓝、绿光 LED 外延片位错密度 $< 5 \times 10^7$  cm<sup>-3</sup>, 载流子复合衰减时间 $< 300$  ps; LED 通信芯片 3dB 带宽 $\geq 1.5$  GHz, 传输距离 $\geq 10$  m, 微小尺寸 LED 阵列 MIMO 通信速率 $\geq 50$

Gbps, LED 定位和成像系统精度  $< 1 \text{ cm}$ ; 医疗健康用柔性 LED 阵列发光峰强度变化率  $< 5\%$  (曲率半径  $< 20 \text{ mm}$ ); 基于国产材料和微小尺寸 LED 芯片的数字前照灯像素  $\geq 200 \times 60$ , 整灯输出光通量  $\geq 3000 \text{ lm}$ , 感知系统夜间识别距离  $\geq 300 \text{ m}$ , 识别率  $\geq 90\%$ , 雨雾雪天识别距离大于  $100 \text{ m}$ , 识别率  $\geq 80\%$ ; 实现通信传感、医疗健康、智能交通等领域 3 项以上示范应用; 申请发明专利  $\geq 10$  件, 制定国家/行业/团体标准  $\geq 2$  项。

## **2.6 镓系宽禁带半导体新型异质结构高灵敏信息感知材料和器件 (基础研究)**

**研究内容:** 开展镓系宽禁带半导体异质结构材料的高通量计算设计和实验研究, 探索固溶度、微结构、相变、极化、缺陷和杂质等与材料能带结构、载流子输运性质和器件信息感知能力之间的关联规律, 发展材料结构-物理性质-器件性能之间的预测模型; 探索具有超高灵敏度的镓系宽禁带半导体异质结构信息感知材料的可控制备新原理、新方法和新工艺, 研制可用于高场强、强辐射等极端条件下的光电探测、气体传感和生化传感等新型半导体信息感知原型器件。

**考核指标:** 开发出信息感知材料高效设计筛选技术和计算软件, 高通量计算  $\geq 50000$  算例, 筛选准确率  $\geq 90\%$ , 研发出高通量实验装置  $\geq 2$  台 (套); 发现镓系宽禁带半导体新型异质结构材料  $\geq 3$  种, 研制出超高灵敏度半导体信息感知新型原型器件  $\geq 2$  种; 在高通量材料设计和复合结构制备领域发展出具有自主知识产权的新技术  $\geq 2$  项; 申请发明专利或软件著作权登记  $\geq 10$  件。

## 2.7 大尺寸 SiC 单晶衬底制备产业化技术（共性关键技术）

**研究内容：**研究大尺寸 4H-SiC 单晶生长与电学性能控制技术，有效提升电学性质一致性和可靠性；研究 SiC 单晶生长的热力学和动力学特性，研究晶体生长过程中杂质、多相和缺陷控制技术，推进大尺寸、低成本 SiC 单晶的产业化。针对 SiC 衬底加工工艺和表面质量、面型参数等关键技术问题，研究高效、低损耗的加工技术和大尺寸 SiC 单晶衬底表面粗糙度控制技术。

**考核指标：**实现 6 英寸 SiC 衬底材料规模化生产，6 英寸 SiC 衬底（004）晶面的 XRD 摇摆曲线半峰宽  $< 45$  arcsec，TTV  $< 10$   $\mu\text{m}$ ，WARP  $< 30$   $\mu\text{m}$ ，表面粗糙度  $< 0.2$  nm；其中半绝缘 SiC 衬底的微管密度  $< 0.3$   $\text{cm}^{-2}$ ，电阻率  $\geq 1 \times 10^{10}$   $\Omega\cdot\text{cm}$ ；导电衬底的微管密度  $< 0.1$   $\text{cm}^{-2}$ ，电阻率  $< 0.025$   $\Omega\cdot\text{cm}$ ，基平面缺陷密度  $< 1000$  个/ $\text{cm}^2$ ；8 英寸 SiC 单晶直径大于 200 mm，4H 晶型比例大于 95%，使用面积大于 90%，XRD 半峰宽  $< 60$  arcsec；申请发明专利  $\geq 10$  件，制定国家/行业/团体标准  $\geq 2$  项。

## 2.8 基于高性能忆阻材料的红外智能感知器件研制（基础研究）

**研究内容：**针对光电感知终端对高功能密度、低功耗及小型化的需求，研究可室温工作的新型红外探测材料设计及性能调控技术；研究基于高性能忆阻材料的突触、神经元器件及其电路配置方案；研究新型红外探测器、忆阻器与外围电路的集成工艺；研究面向智能感知的神经形态计算网络架构，构建多

场景的硬件演示系统。

**考核指标：**实现忆阻材料体系 $\geq 2$ 种，忆阻器件编程功耗 $< 1$  pJ、编程速度 $< 50$  ns、集成规模 $\geq 16$  Mb；神经元电路具有频率/时序编码、自适应调节和可配置的放电模式；开发 $\geq 2$ 种室温工作的红外探测材料体系，红外传感器探测率 $> 10^{10}$  Jones，红外探测器阵列规模 $\geq 320 \times 256$ ；实现忆阻器与红外探测器的集成；研制感存算一体的红外智能感知硬件系统，实现在探测和目标识别等任务的演示验证；申请发明专利 $\geq 20$ 件，制定国家/行业/团体标准 $\geq 1$ 项。

## 2.9 新型自旋电子材料与高性能存内计算器件研制（基础研究）

**研究内容：**针对传统电荷型存储器的能效和可靠性瓶颈，突破自旋电子材料物理和器件集成关键核心技术；研究自旋轨道矩全电控驱动自旋翻转物理机制统一模型及其对存内计算特性的调控规律，发展临界翻转电流密度不随器件微缩而显著增加的方法；研究反铁磁材料的电学操控技术及构筑反铁磁自旋器件；开发工业量产可行的高电荷流-自旋流转化效率、低电阻率材料体系和制备方法；建立关键自旋轨道矩材料物性对器件性能调控的工艺库标准；实现全电控新型自旋量子器件存内计算单元结构设计和验证。

**考核指标：**实现 CMOS 工艺兼容的高电荷流-自旋流转化效率、低电阻率材料体系 $\geq 2$ 种；实现反铁磁磁矩翻转的临界电流密度 $< 8 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup>，新型反铁磁自旋器件 $\geq 3$ 类；完成自旋轨道矩驱动型磁存储器关键材料工艺集成，隧穿磁电阻率

≥150%，能耗 < 1 pJ/bit，写入次数 ≥  $1 \times 10^{12}$ ，数据保持 ≥ 10 年；实现全电控高能效多态自旋轨道矩驱动磁存储器件单元阵列芯片，演示其读写及高并行存内计算功能；申请发明专利 ≥ 20 件，制定国家/行业/团体标准 ≥ 2 项。

### 3. 大功率激光材料与器件

#### 3.1 高频大功率激光调制器技术与应用（共性关键技术）

**研究内容：**探索新型大尺寸高性能电光、磁光晶体生长技术，提升电光晶体电阻率和高频特性，实现高品质 YIG 晶体及大尺寸 TGG 晶体生长；开展高速大口径电光和声光调制器、高速磁光开关、大口径磁光隔离器技术研究；推动电光、声光在超快激光脉冲选单和再生放大、磁光隔离器在高功率脉冲激光、磁光开关和隔离器在重大工程中的应用。

**考核指标：**BBO 调制器：重频 ≥ 1 MHz，孔径 ≥ Φ4 mm，插入损耗 < 1%、消光比 ≥ 30 dB、损伤阈值 ≥  $1 \text{ GW/cm}^2 @ 1064 \text{ nm}$ ；KTP 调制器：重频 ≥ 1 MHz，孔径 ≥ Φ15 mm，插入损耗 < 1.5%、消光比 ≥ 27 dB、损伤阈值 ≥  $800 \text{ MW/cm}^2 @ 1064 \text{ nm}$ ，室温电阻率 ≥  $10^{13} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$ ；RTP 调制器：重频 ≥ 1 MHz，孔径 ≥ Φ8 mm，插入损耗 < 1.5%、消光比 ≥ 27 dB、损伤阈值 ≥  $800 \text{ MW/cm}^2 @ 1064 \text{ nm}$ 。声光调制器：80 MHz 声光调制器：孔径 ≥ Φ8 mm，透过率 ≥ 99.6%，衍射效率 ≥ 80%，损伤阈值 ≥  $1 \text{ GW/cm}^2$ ；300 MHz 选单声光调制器：上升/下降时间 < 6 ns，插入损耗 < 3 dB，关断消光比 ≥ 50 dB，偏振消光比 ≥ 18 dB，损伤阈值 ≥  $500 \text{ MW/cm}^2$ 。磁光开关、隔离器：TGG 晶体口径 ≥ Φ60 mm，氟化物磁光晶体口径 ≥ Φ50 mm；大口径、大功率磁光隔离器口径 ≥ Φ45 mm，承

受平均功率 $\geq 500$  W、透过率 $\geq 93\%$ 、峰值隔离度 $\geq 33$  dB@1064 nm；YIG 磁光开关响应速率 $< 70$   $\mu$ s，损耗 $< 0.6$  dB，尺寸 $< 5.5 \times 4.5 \times 20$  mm<sup>3</sup>。申请发明专利 $\geq 5$ 项，制定国家/行业/企业标准 $\geq 2$ 项。

### 3.2 高性能 SESAM 材料器件及窄线宽泵浦半导体激光器关键技术（共性关键技术）

**研究内容：**开展可饱和吸收镜（SESAM）外延材料和生长技术研究，优化可饱和吸收镜时间特性，缩短带间弛豫时间，开发低温生长吸收层材料和离子注入工艺，攻克外延材料生长、检测和表征及镀膜封装等关键技术，提高 SESAM 材料器件性能，开发实用化的低弛豫时间、高损伤阈值的 SESAM 器件；开展窄线宽泵浦激光器外延材料设计、波长稳定、非吸收窗口等研究，拓展 766、780、796、852nm 等新波长，提升窄线宽泵浦激光器性能；开展高均匀、低吸收玻璃的折射率调制度调控机制以及不同应用波长锁波体光栅损耗抑制与应用性能测试研究。

**考核指标：**半导体可饱和吸收镜（SESAM）：弛豫时间 $< 500$  fs，损伤阈值 $\geq 3.5$  mJ/cm<sup>2</sup>@1064nm；弛豫时间 $< 12$ ps，损伤阈值 $\geq 10$  mJ/cm<sup>2</sup>@1064 nm，研制实用化高质量外延材料及商用化器件，实现 SESAM 核心器件国产化应用。窄线宽泵浦半导体激光器：766、780、796、852nm 泵浦 LD，功率 $\geq 10$  W，线宽 $< 0.05$  nm，研制的窄线宽 766 nm 等泵浦激光器实现国产化应用。锁波体光栅：光栅厚度 $\geq 5$  mm，反射率 $15\% \pm 5\%$ ，半高宽（FWHM） $< 0.05$  nm，实现国产化应用。应用验证数量每个

品种 $\geq 2$ 只，申请发明专利 $\geq 5$ 件，制定国家/行业/企业标准 $\geq 3$ 项。

### 3.3 千瓦级高功率特种光纤激光器（共性关键技术）

**研究内容：**研究  $1\ \mu\text{m}$  波段单频光纤激光振荡、放大设计与制作、噪声产生及传递演化机理与抑制，突破线宽压窄技术、频率稳定技术、功率协同放大与稳定技术、光束质量优化技术等，研制出千瓦级低噪声窄线宽单频光纤激光器，支撑引力波探测及空间相干测速等领域应用；研究  $2\ \mu\text{m}$  波段光纤激光种子源、Tm/Ho 共掺增益光纤激光功率放大、非线性效应抑制、高效热管理等技术，研制出高可靠千瓦级  $2\ \mu\text{m}$  波段光纤激光器，支撑航空航天发动机燃烧流场诊断等领域的应用。

**考核指标：** $1\ \mu\text{m}$  波段单频光纤激光器：工作波长 $\sim 1.0\ \mu\text{m}$ ，输出功率 $\geq 1\ \text{kW}$ ，线宽 $< 10\ \text{kHz}$ ，频率漂移 $< 1\ \text{MHz}$ ，相对强度噪声 $< -160\ \text{dB/Hz}$ ，功率不稳定性 $< 1\%$ ，光信噪比 $\geq 55\ \text{dB}$ ，光束质量  $M^2 < 2$ 。 $2\ \mu\text{m}$  波段光纤激光器：工作波长  $1.9\sim 2.2\ \mu\text{m}$ ，输出功率 $\geq 1\ \text{kW}$ ，线宽 $< 0.05\ \text{nm}$ ，功率不稳定性 $< 5\%$ ，光信噪比 $\geq 30\ \text{dB}$ ，光束质量  $M^2 < 2$ 。申请发明专利 $\geq 6$ 件，制定团体标准 $\geq 6$ 项。

### 3.4 高功率、高性能极紫外飞秒激光技术（共性关键技术）

**研究内容：**研究高功率飞秒激光系统中的增益、色散与非线性调控，相干合成及非线性压缩技术；研究飞秒激光在空芯光纤中产生高次谐波的优化与稳定机制；研究飞秒激光时频锁定、紫外波段相位控制与可调谐技术。



**考核指标:**飞秒激光器:输出功率 $\geq 1$  kW,脉冲能量 $\geq 100$   $\mu$ J,最大可达 1 mJ,重频 100 kHz~10 MHz,脉宽 $< 300$  fs。EUV 极紫外高次谐波:波长 $< 150$  nm,输出功率 $\geq 1$  mW,脉冲能量 $\geq 1$  nJ。宽调谐紫外飞秒光学频率梳:输出功率 $\geq 250$  mW,光谱调谐范围 200~400 nm。申请发明专利 $\geq 3$  件。

### 3.5 激光材料及器件在线测试与自动化设计技术（共性关键技术）

**研究内容:**开展高置信度、高精度、功率密度 TW 级飞秒激光损伤测试研究,构建损伤测试平台。开展上升沿纳秒、加载高压万瓦级电光晶体开关测试研究,构建电光器件测试平台。开展自由曲面建模、折反光线追迹、智能化光学仿真软件研究,构建异构并行的智能化计算库。

**考核指标:**检测飞秒激光损伤能量密度 $\geq 0.6$  J/cm<sup>2</sup> @515 nm&1030 nm、 $\geq 0.2$  J/cm<sup>2</sup> @343nm,测量不确定度 $< 8\%$ ,脉宽 $< 500$  fs;电光晶体消光比 $\geq 40$  dB@1053 nm&1064 nm,测量不确定度 $< 10\%$ @30 dB,加载电压 0V~10000V(上升沿 $< 15$  ns)。具有包含自由曲面的多种面型、折反光线追迹、智能优化等功能。具有矩阵及数值迭代运算、傅里叶变换、图像卷积等异构并行智能化计算库,含 100 余个核函数。技术成熟度 6 级,对标国外 Zemax、Code V 光学设计软件的核心功能,实现国产化应用。申请发明专利 $\geq 5$  件,软件著作权 $\geq 3$  件,制定国家/行业/企业标准 $\geq 2$  项。

### 3.6 激光与非线性光学晶体高通量制备与表征（基础研究）

**研究内容：**开发激光与非线性光学材料高通量制备和表征技术及设备，开展材料数据的机器学习研究，建立材料化学组成、晶体结构与电子吸收光谱、荧光光谱和非线性光学响应系数等关键性能之间的构效关系，应用于新型深紫外非线性光学晶体、大尺寸低吸收的中远红外非线性光学晶体、大尺寸波长可调谐的黄光激光晶体、大功率高重频人眼安全波段激光晶体与器件和高质量中红外激光单晶光纤等材料的研制。

**考核指标：**研制激光和非线性光学材料高通量制备和表征装置 2 台（套）以上，建立基于机器学习的 2 类材料筛选系统。深紫外非线性光学晶体：截止边 $<200\text{ nm}$ 、尺寸 $\geq 4\times 4\times 5\text{ mm}^3$ ；中波红外晶体器件尺寸 $\geq 8\times 8\times 30\text{ mm}^3$ ， $1.06\mu\text{m}$  处吸收系数 $<0.03\text{ cm}^{-1}$ ， $6\sim 8\mu\text{m}$  波段激光输出功率 $\geq 5\text{ W}$ ；长波红外晶体器件尺寸 $\geq 8\times 8\times 40\text{ mm}^3$ ， $2.05\mu\text{m}$  处吸收系数 $<0.03\text{ cm}^{-1}$ ， $8\sim 14\mu\text{m}$  波段激光输出功率 $\geq 5\text{ W}$ 。黄光激光晶体：尺寸 $\geq \Phi 50\times 50\text{ mm}^2$ ，平均功率 $\geq 5\text{ W}$ ，波长调谐范围  $570\sim 590\text{ nm}$ ； $1.55\mu\text{m}$  激光晶体：尺寸 $\geq 60\times 60\times 40\text{ mm}^3$ ，峰值功率 $\geq 2\text{ kW}$ ，脉宽 $<5\text{ ns}$ ，重频 $\geq 500\text{ kHz}$ ；中红外激光单晶光纤：直径达百 $\mu\text{m}$  级，直径均匀性优于 10%，单根光纤激光输出功率 $\geq 50\text{ W}$ 。申请发明专利 $\geq 5$  件，制定国家/行业/团体标准 $\geq 2$  项。

## 4. 青年项目

### 4.1 基于氮化物半导体的纳米像元发光器件

**研究内容：**研究 Micro-LED 从微米进入纳米尺度、结构从二维进入一维乃至零维的纳米尺度量子结构、光学微腔以及超表面结构的生长与制备方法；研究包括表面等离极化激

元、激子极化激元等准粒子的形成机制与非辐射能量转移机制，探索超自发辐射、受激辐射等发光新机制；研究超高量子效率、超低受激辐射阈值的纳米像元发光器件，探索在微显示方面的应用。

**考核指标：**衬底上（ $\geq 2$  英寸）蓝光纳米像元发光器件：发光单元尺寸 $< 500$  nm，显示分辨率 $\geq 10000$  ppi，发光效率 IQE $\geq 50\%$ ；超辐射发光器件：室温下表面等离子极化激元、激子极化激元的拉比分裂和阈值 $< 1$  kW/cm<sup>2</sup>。申请发明专利 10 项，其中 PCT 2 件。

#### 4.2 纳米像元量子点发光材料与器件研究

**研究内容：**研究新型量子点发光材料制备、结构调控和纳米尺度图案化技术，发展无载流子注入纳米像元量子点发光器件的制备方法与工艺，开展电场调控纳米像元量子点发光器件的性能研究，探索器件工作机理研究，突破纳米像元量子点发光结构与电场驱动关键技术，研制纳米像元量子点发光原型器件。

**考核指标：**单色纳米像元量子点发光器件，分辨率 640 $\times$ 480，发光单元尺寸 $< 800$  nm，亮度 $\geq 1000$  nit，发光效率 $\geq 10\%$ 。申请发明专利 $\geq 10$  件，其中 PCT 专利 $\geq 2$  件。

#### 4.3 中高压 SiC 超级结电荷平衡理论研究及器件研制

**研究内容：**研究 SiC 超级结结构的电荷平衡理论和电场调控机制；研究超级结器件结构参数对器件性能的影响规律和机制，探索具有低比导通电阻的器件结构及实现方法；研究具有高电场调控能力的终端保护结构；研发高深宽比超级结器件关

键工艺技术和实现方法；研制低比导通电阻的 SiC 中高压超级结器件；研究超级结器件的可靠性并进行应用验证。

**考核指标：**建立起 SiC 超级结器件的电荷平衡基础理论，揭示器件结构参数和工艺条件对电荷平衡效果的影响规律和机制；超级结结构深宽比 $\geq 5:1$ ，器件阻断电压 $\geq 3.3$  kV，室温下比导通电阻 $\leq 6$  m $\Omega\cdot\text{cm}^2$ ；申请发明专利 $\geq 5$  件。

#### 4.4 GaN 基宽禁带半导体与 Si 半导体的单片异质集成方法与技术

**研究内容：**研究 GaN 基宽禁带半导体晶圆与 Si 晶圆的高强度异质键合技术；研究大尺寸 GaN 单晶薄膜的剥离与转移技术；研究异质集成晶圆上 GaN 基射频电子器件和 Si 半导体逻辑器件的兼容制造工艺技术；研究单片集成 GaN 与 Si 的材料热兼容性和器件电磁兼容性；研究单片集成的 GaN 基器件和 Si 器件的可靠性及其加固方法。

**考核指标：**GaN 与 Si (100) 半导体单片异质集成晶圆中 GaN 薄膜位错密度 $< 1\times 10^7$  cm $^{-2}$ ，异质结构二维电子气迁移率 $\geq 2000$ cm $^2$ /V $\cdot$ s，方块电阻 $< 400\Omega$ /sq；单片异质集成晶圆上的 GaN 基射频电子器件截止频率 $\geq 40$  GHz, 6GHz 时输出功率密度 $\geq 3.5$ W/mm，功率附加效率 $\geq 50\%$ ；Si (100) NMOS 晶体管的饱和电流 $\geq 100$ mA/mm，开关比 $\geq 10^5$ ；申请发明专利 $\geq 5$  件。

#### 4.5 GaN 单晶新生长技术研究

**研究内容：**开展 GaN 单晶衬底材料的新生长技术探索；研究 GaN 液相生长中的成核、传质输运、结晶生长机制；研究 GaN 中背景杂质控制、应力控制等关键技术；研究 GaN 中位

错产生、湮灭、演化机制；研究 GaN 氨热法生长中的杂质控制与光学、电学性能调控技术；研究 GaN 助熔剂生长中的形核控制与大尺寸生长技术。

**考核指标：**用新生长技术制备的 GaN 单晶直径 $\geq 2$  英寸、厚度 $\geq 1$  cm，在 2 英寸面积范围内位错密度 $< 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ ；n 型 GaN 单晶衬底电阻率 $< 20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ ，半绝缘 GaN 单晶衬底电阻率 $\geq 1 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ ；申请发明专利 $\geq 5$  件。

#### 4.6 面向大功率激光应用的金刚石材料

**研究内容：**开展单晶金刚石钷元素掺杂技术研究，开发钷源高效导入系统，突破高掺杂浓度关键工艺；探索钷掺杂单晶金刚石激光增益机理，开展金刚石基增益介质激光产生基础研究；开展低缺陷密度大尺寸光学级单晶金刚石拉曼晶体生长技术研究，突破大尺寸生长设备优化、应力控制、杂质及缺陷调控等关键技术；开展金刚石和激光增益介质超高真空表面活化技术研究，突破低界面热阻金刚石基复合增益介质异质集成键合技术。

**考核指标：**钷掺杂单晶金刚石材料：钷掺杂浓度 $\geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ，尺寸 $\geq \Phi 50 \times 5 \text{ mm}^2$ ，其晶面（400）的 XRD 摇摆曲线半高宽 $< 50 \text{ arcsec}$ ，金刚石的一阶拉曼位移半高宽 $< 4 \text{ cm}^{-1}$ 。光学级单晶金刚石材料：尺寸 $\geq 20 \times 20 \times 30 \text{ mm}^3$ ，N、Si 等杂质浓度 $< 1 \text{ ppm}$ ，B 杂质浓度 $< 1 \text{ ppb}$ ，晶面（400）的 XRD 摇摆曲线半高宽 $< 50 \text{ arcsec}$ ，金刚石的一阶拉曼位移半高宽 $< 3 \text{ cm}^{-1}$ ，缺陷密度 $< 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 。金刚石和激光增益介质复合晶体：键合口径 $\geq \Phi 30 \text{ mm}$ ，界面热阻 $< 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 。申请发明专利 $\geq 5$  件。

#### 4.7 新型生物敏感材料及单细胞智能感知器件研制

**研究内容：**研究高性能压电薄膜材料的压电极化一致性机制，以及主体化合物合成与制备技术；研究新型压电薄膜材料及关键传感器件的制备及图形化技术；研究新型压电传感材料与微流控芯片技术的片上集成技术，以及基于图像技术的细胞形态学分析技术，实现对单细胞的检测与分选，推动单细胞分析的示范应用。

**考核指标：**实现基于细胞固有生物物理特性的高灵敏度、无标记性、无损检测方法，检测器件达到单细胞检测分辨率，实现对单个细胞 $>5$ 个角度的多角度形态学分析；器件检测通道 $>1$ 万细胞/分钟，细胞识别准确率 $>98\%$ ；细胞分析检测样机 $\geq 2$ 款；实现对至少 $\geq 5$ 种的肿瘤细胞系和 $\geq 3$ 种的临床细胞样品的实时检测与分析，临床验证实验数 $\geq 500$ 例；申请发明专利 $\geq 4$ 件。