

附件

2021-2022 年度山西省重点研发计划 (半导体与新材料领域) 申请项目信息

1. 铟化物单模大功率激光芯片的研制与应用

研究内容：应力、光、电、热场对铟化物 (AlGaIn) AsSb 单模大功率激光芯片的光学模式、功率、线宽影响机理；铟化物单模大功率激光芯片缺陷、应力等导致的失效机理及抑制方法；铟化物单模大功率激光芯片的研制及在量子通信领域的应用。

技术指标：铟化物单模大功率激光芯片， $1.95\mu\text{m}$ 室温连续功率达到 0.5 W，线宽达到 0.05 nm；铟化物单模大功率激光芯片在量子通信领域的应用示范。

2. 短波 APD 红外探测器芯片制备技术研发

研究内容：倍增与吸收分区的 InGaAs-APD 多层结构理论分析；InGaAs-InP 材料关键结构参数系统分析；符合性能要求的 InGaAs-InP 材料制备工艺；器件光电流、暗电流等测试分析；材料设计、材料生长及器件工艺反馈和优化；材料和器件制备最佳参数；高性能 InGaAs APD 短波红外探测器原理器件生产工艺。

技术指标：光谱响应范围 900nm~1700nm；响应度 ≥ 10 A/W @ $\lambda=1.55\mu\text{m}$ ；最大可用增益 ≥ 50 @ $\lambda=1.55\mu\text{m}$ ；暗电流密度 $\leq 5\times 10^{-4}$ A/cm²；反向击穿电压 ≥ 50 V；工作温度

≥250K；原理样管 5~10 个。

3. MicroLED 超微显示集成产业化技术研发

研究内容：Nin1、COB、GOB 等封装形式与关键技术；适应 Micro LED 的有源寻址驱动或无源有源寻址驱动相结合的半有源驱动方式；适用于 Mini/Micro LED 的巨量芯片转移方式；晶元光色一致性提升方法；巨量测试方案开发；高效键合工艺。

技术指标：Nin1 Mini 封装器件 IV-R（18~50mcd/5mA）、IV-G（45~100mcd/3mA）、IV-B（6~20mcd/3mA）；满足 NTSC 标准色域，可实现 DCI-P3 的影院标准定制；耐温度循环 150 次，耐冷热冲击 500 次，耐湿热交变 20 次；Mini/Micro COB 模块 IV-R（15~30mcd/5mA）、IV-G（32~60mcd/3mA）、IV-B（4~18mcd/3mA）；300~1200CD/m² 可调；满足 NTSC 标准色域；4K 高清尺寸 ≤110 吋；8K 超清尺寸 ≤160 吋；耐温度循环 200 次，耐冷热冲击 500 次，耐湿热交变 30 次，厚度误差 < 0.2mm，颜色偏差 < 3%；有源或半有源寻址驱动，功耗 ≤500W/m²，对比度 100000:1，观看角度：≥160°。

4. 铝镓氮（AlGaN）基量子阱材料外延及器件研发

研究内容：高 Al 组分 AlGaN 量子结构材料的应变设计与缺陷调控、载流子输运、光子传输之间的相互作用机理；AlGaN 薄膜及其低维量子结构的材料质量的大幅度改善方法；高效载流子复合和高效出光的新型深紫外量子结构；

Al(Ga)N 大失配异质衬底上缺陷抑制机理与应力调控机制；基于纳米图形衬底的侧向外延生长动力学和缺陷控制途径，应力调控、高效位错抑制的更高效途径和作用规律；深紫外 LED 内部光子的近场耦合、传输、散射、损耗的调控方法以及取光增强结构的设计；协同外延优化和量子阱有源区的 TE/TM 偏振发光模式调控；具有高光提取效率的深紫外 LED 器件研制。

技术指标：AlGaIn 量子结构以 TE 发光模式为主，波长短于 280 nm，内量子效率提高至 85%；深紫外 LED 波长短于 280 nm，在 20 mA 电流下电光转换效率突破 10%。

5. 基于新型二维半导体垂直多层存储器研发

研究内容：每层厚度为 5~10 纳米 2 寸晶圆掺杂钼薄膜制备机理与工艺；金属、介电交替同心沟道环碲化钼复合多层膜工艺和结构参数优化方式；3D 垂直交叉连接机制；层数可控、2H-1T 金属半导体相交叉互联碲化钼同心沟道环 3D NAND 原型存储器构效关系；新型闪存器件性能表征和可靠性评估。

技术指标：碲化钼单晶多层膜 10 层以上、最高 32 层，每层厚度不超过 5nm；设计加工 3D NAND 原型器件；基于二维半导体碲化钼的 3D NAND 存储器 bit line 和 word line 的垂直互联；原型器件存储密度超过 1Gb/mm²。

6. Doped-Si/SiO₂ 柔性纤维制备及其在可穿戴半导体气体传感中的应用研究

研究内容：基于光纤拉丝工艺的 Doped-Si/SiO₂ 柔性纤维的制备技术；气敏金属氧化物在纤维侧面的原位生长技术；可穿戴半导体气体传感的传感器集成与检测技术；传感器在智能消防和智能健康领域的应用推广。

技术指标：Doped-Si/SiO₂ 柔性纤维直径 < 120μm，其中 Doped-Si 直径 > 10 μm，纤维长度 > 1m；传感器最大可折叠曲率半径 ≤ 50 mm，最大折叠次数 ≥ 1000 次（电阻变化量 ≤ 5%）；CH₄ 探测灵敏度 ≥ 100 ppm，CH₃COCH₃ 探测灵敏度 ≥ 0.5 ppm。

7. 航空级力学量 MEMS 抗恶劣环境高温压力传感器制造技术研发

研究内容：航空飞行器及其涡轮发动机运行过程中健康状态监测的需求的宽温度范围、高固有频率、无引线技术的压力传感器设计、工艺技术；无引线气密性封装与高精度温度补偿的关键技术；满足航空测控需求的耐高温 SOI 压力传感器设计和制造技术。

技术指标：传感器工作温度范围 -55~482°C；零位偏移量 ≤ ±20 mV；满量程输出 ≥ 70 mV；频响范围 0~2 kHz；综合非线性和迟滞 ±0.25% FSO(Max.)；压力量程 1MPa；工作温度 -55~482°C；综合非线性和迟滞 0.25%FS。

8. 基于 OLED 发光单元的可视化红外光柔性探测器件研发

研究内容：选用红外光波段光敏材料或红外光上转换

材料，设计、开发红外光到电信号或光信号的高效光电转换器件；多功能红外光敏/发光器件及红外光上转换/发光器件设计、制备以及结构优化；红外光辐射下，红外光敏层产生电信号到 OLED 发光单元的电荷传输机制；红外光到可见光及时、精确的可视化探测；大面积、柔性可视化红外光探测器件的设计、工艺、工作机理探索及可控制备。

技术指标：可视化红外光探测器件波长范围在 800 nm~1200 nm、亮度超过 10000 cd/m² 及上转换效率达到 10% 以上；可视化红外光探测器件的大面积、柔性制备，有效探测面积达到 30×30 mm²，且器件弯曲 1000 次以上，亮度仍达到原始值的 80% 以上。

9. 柔性半导体 3D 增材批量化制造新装备研发

研究内容：满足多场景使用需求，具有温控功能的多功能、多口径打印机喷头设计；提高 3D 打印装备位置伺服精度的全反馈位置伺服方法；基于 FPGA 的并行架构，利用其可编程能力以及对神经网络的加速能力的控制系统速度和精度实现方法。

技术指标：柔性半导体增材制造的 3D 打印装备，打印精度 0.05mm，打印速度≥20mm/s，装备重复定位精度≤50μm，成型空间≥100×200×100mm³；3D 打印装备具有 5 个以上打印机通道数，喷头具有点喷或挤出式等多种工作方式，注射压力 0.1~9.0bar，喷嘴直径 0.1~0.5mm；喷头集成有温控功能，温度控制范围 0~70℃，精度达到 0.3℃；打印

平台具有温控功能，温度控制范围 0~70°C；3D 打印装备具备光固化和热固化两种工作模式，并集成有雾化电路实现均匀固化。

10. 氮化镓基单晶半导体传感材料外延生长及传感芯片制造关键技术研究

研究内容：多因子调控（缺陷浓度、偏压值和掺杂水平）对氮化镓传感芯片吸附能量、电子微观特性影响机理；氮化镓基传感芯片可控外延生长工艺优化方法；基于 MEMS 技术制备传感芯片的敏感层与目标检测物的能级匹配状况分析方法；综合传感效应中多因子间相互影响机制，多因子协同选择性增敏机理、构效关系构建及有效性验证。

技术指标：核心敏感材料面积占比 $\geq 80\%$ ，特异性识别种类 ≥ 10 种；氮化镓基传感芯片阵列 $\geq 50 \times 50$ ；传感芯片使用寿命 $> 40000\text{h}$ ，响应时间 $< 10\text{ s}$ ，测量误差 $\pm 5.0\%$ ，功耗 $< 10\text{ mW}$ ；芯片尺寸 $< 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ，工作温度范围 $20^\circ\text{C} \sim 350^\circ\text{C}$ ，湿度范围 $0 \sim 95\% \text{ RH}$ ，连续工作模式；集成芯片阵列具有温控功能，温控范围 $20 \sim 120^\circ\text{C}$ ，控温精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

11. 智能高精度微型压力采集系统芯片设计与制造技术研发

研究内容：工业化应用场景分析与压力采集芯片设计需求分析；压力采集芯片高精度、高可靠敏感模型及敏感结构设计，高可靠电气连接方案及加工关键技术，低温度

漂移设计方案及加工关键技术，性能精准验证考核及优化方法，批量化生产关键技术及质量分析考核方法；工业化应用场景分析与信号调理和传输芯片设计需求分析；信号调理芯片和传输的全芯片架构设计；低温度漂移的关键技术，高可靠性量产的关键技术。

技术指标：标准电压或电流信号输出，量程：300KPa、2MPa 系列传感器样机，综合总精度： $\geq 0.5\%FS$ ，工作温度 $-40^{\circ}C \sim 105^{\circ}C$ ，量程误差 $< 0.05\%$ ，线性误差 $< 0.003\%$ ，预期完成的信号传输芯片工作电压范围 7.5V~40V。信号调理芯片管芯面积 $< 9mm^2$ ，信号传输芯片具备高输出误差检测与输出禁用能力，高可靠性以及可靠的故障诊断功能，芯片管芯面积 $< 5mm^2$ 。

12. 芯片级纳米光谱分光器关键技术及制备工艺研发

研究内容：针对薄片化光谱分光新概念、新结构、光谱成像系统微小型化发展的需求，研究双色 InGaAs 探测器光敏元表面集成像素级多谱段分光器件制备方法，分光器件的像元与探测器的像元一一对应匹配方式；可调谐透射光谱，滤波器件、光敏单元与读出电路集成，分光和探测可探，以及子阵列成像的功能、快速对关注目标成像方法；超构表面结构的光子调控共振增强滤光机理；新型像素级滤波片上分光技术；多谱段光谱分光芯片的集成和光学特性定标。

技术指标：双色 InGaAs 探测器多谱段分光芯片的可见

光-近红外波段工作波长范围为 400nm~1700nm，谱段数>100，可见光波长范围光谱分辨率 $\leq 10\text{nm}$ ，近红外波长范围内光谱分辨率 $\leq 20\text{nm}$ 。高光谱芯片滤波消光比 $18.9<EXT<75.6$ 。

13. 医用 MEMS 声学传感芯片关键技术研究

研究内容：建立基于声-振耦合效应的人体微弱声信号理论模型，优化 MEMS 声传感芯片非对称异形敏感结构参数；开发多用途、高可靠 MEMS 声传感芯片标准工艺制程，实现低成本、高效率制备；研究声-力-电多物理场耦合声阻抗匹配结构模型与封装设计方法，突破声信号在多层介质传导时引起的传输损耗与畸变失真问题，实现对人体不同部位声信号的指向性采集；研究不同病症、不同位置声信号特征识别与剥离方法，构建多特征融合深度学习声-症识别算法模型，研制基于声传感芯片构建的集成声信号采集测试系统，并实现医疗听诊示范应用。

技术指标：灵敏度 $-35\text{dB}@\text{kHz}$ ；频率响应 20Hz~1kHz；非线性误差 $\leq 0.5\%$ ；声信号采集信噪比 $\geq 35\text{dB}$ ；芯片尺寸 $\leq 3\times 3\times 2\text{mm}$ ；人体声信号拾取装备 5 台；软件系统 1 套；应用性测试采集病例数据 ≥ 1500 例；人体异常声信号识别模型测试集验证准确度达到 80%以上。

14. 高温超材料无线多参数集成传感器设计、制造与应用研究

研究内容： Al_2O_3 宽禁带半导体高温热力学特性，高温

环境下 Al_2O_3 半导体电子迁移模型构建；热防护薄膜应力匹配特性，多层薄膜特性参数获取。超材料电磁特性和周期性结构特征映射关系， Al_2O_3 半导体微腔、微梁结构力学、电学高温特性，建立热-电、力-电转换模型；湿法刻蚀、高温热压键合关键工艺，温度、压力、应变敏感单元与射频天线一体化集成制造工艺。超材料拓扑结构模型构建，高温高压环境下力热参数获取；多参数微波射频信号解耦算法，多参数解耦模型构建。

技术指标：温度测量范围 25~1200°C，分辨率 15°C；压力测量范围 0~1MPa，分辨率 0.01MPa；应变测量范围 $\leq \pm 2000\mu\epsilon$ ，分辨率 20 $\mu\epsilon$ ；无线传输距离 $\geq 0.3\text{m}$ ；响应时间 $\leq 10\text{ms}$ ；高温稳定性 $\geq 1\text{h}$ @1200°C。

15. 基于低维钙钛矿半导体材料的类脑运算器件与芯片制备技术研发

研究内容：在器件与系统层面开展基于低维钙钛矿半导体材料的信息探测、编码以及深层次加工和理解的类脑计算芯片研究。具体包括：低维钙钛矿半导体材料制备以及结构、形貌与性质表征；基于低维钙钛矿半导体材料的忆阻器制备、性能测试及工艺条件优化；模拟短/长时程塑性（STP/LTP）、脉冲时序依赖塑性（STDP）和脉冲速率依赖塑性（SRDP）等现实生物行为；在一个类脑芯片单元中实现光信息解码、数模转换、计数、逻辑运算与存储功能集成，并实现向量矩阵乘法等大规模并行运算；探究器

件在多种物理场作用下的演化过程及宏观电输运特性，深入理解现实生物行为与实际器件/芯片功能之间构效关系。

技术指标：实现 $2\times 2\text{cm}^2$ 大面积均匀低维钙钛矿薄膜的成熟制备；项目研发的低维钙钛矿忆阻器将实现模拟电阻状态达 32 态/5 位；高开关比（最大开关比 $>10^4$ ）；高线性度与对称度；低功耗（单个元器件功耗 $< 20\text{PJ}$ ）；响应速度 $< 100\text{ns}$ ；时间保持性（ $10^3\sim 10^8\text{s}$ ）；器件循环耐受性达到 10^8 次。

16. 面向高性能太阳能电池的新型 VA 族二维半导体材料研发

研究内容：VA 族二维材料制备的关键影响因素（温度、气氛、表面配体等）与绿色高效制备工艺；VA 族二维材料结构调控系统理论、关键技术与结构精确调控工艺；二维材料应用于有机和钙钛矿太阳能电池中的异质构建机理和物理化学机制；基于二维材料的高效太阳能电池的应用示范。

技术指标：低成本、稳定地实现 VA 族二维材料的制备，年产量达到吨级；所制备材料的空穴和电子迁移率达到 $1\times 10^3\text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ；光学带隙（ $1.0\text{eV}\sim 2.0\text{eV}$ ）可调；厚度 $< 1\text{nm}$ ；建立太阳能电池用关键 VA 族二维材料结构数据库，按照 VA 族二维材料的基本结构特征和内禀性质进行等级划分和标号规范，推出具有特定结构和功能的系列 VA 族二维材料；构建新型有机/二维材料杂化太阳能电池，小面积电池光电

转换效率 $\geq 23\%$ (面积 $\geq 0.5\text{ cm}^2$)；大面积 (电池模组面积达到 100 cm^2 以上)，稳态化光电转换效率 $\geq 20\%$ ，光照 1000 小时后 (光照条件：室温 $25\text{ }^\circ\text{C}$ ，AM 1.5，光强 1000 W/m^2)，效率衰减 $\leq 8\%$ 。

17. 原子层沉积 (ALD) 氧化镓基薄膜及其紫外光电探测器研发

研究内容：ALD 低温 ($< 300\text{ }^\circ\text{C}$) 可控生长 Ga_2O_3 基薄膜的制备技术和工艺优化方法；元素掺杂对 Ga_2O_3 薄膜的改性作用和能带调控机理； Ga_2O_3 基高性能超短波探测器关键制备技术；影响 Ga_2O_3 基超短波长探测器探测效率和响应度的关键因素。

技术指标：利用 ALD 技术开发出基于 Ga_2O_3 材料体系制备技术，实现 Ga_2O_3 薄膜制备的组分、厚度和带隙的精确调控带隙可调 ($-3.4\sim 5.2\text{ eV}$)；基于 Ga_2O_3 薄膜制备出高性能超短波探测器，其中一定偏压下 254 nm 波长 UV 探测器响应度大于 100 AW^{-1} ；X 射线探测灵敏度 $> 240\mu\text{C mGy}_{\text{air}}^{-1}\text{cm}^{-2}$ 。

18. 三维化二维石墨烯制备与应用研究

研究内容：添加电、磁协同场的等离子增强化学气相沉积设备优化改进；设备尺寸和连续生产方式设计；精细化三维化二维石墨烯生产工艺；沉积过程中关键活性粒子在电、磁协同场中的控制方法；具有阵列式光陷阱结构以及极致广谱光吸收能力的三维化二维石墨烯设计控制方法

及机理。

技术指标：单个三维化二维石墨烯面积 $\geq 150 \text{ cm}^2$ （6寸晶圆）；每台设备每天（24小时）可生产12批次三维化二维石墨烯；三维化二维石墨烯微观三维结构可控，单个三维化二维石墨烯结构均一性高于90%；膜厚可控，控制精度优于 $1 \mu\text{m}$ ；重复性良好，成品率80%以上；可应用于高灵敏分光光度计、显微镜、望远镜、成像芯片等光学仪器的三维化二维石墨烯超薄超高光吸收膜，膜厚 $< 10 \mu\text{m}$ ，可见光范围内垂直吸收率 $\geq 99.999\%$ ，积分球内垂直入射光吸收率 $\geq 99.7\%$ ，积分球内 45° 入射光吸收率 $\geq 99.5\%$ ；应用于红外测温系统校准的黑体辐射三维化二维石墨烯薄膜，辐射率优于0.99。

19. 特种高熵陶瓷结构调控及应用研究

研究内容：针对高熵掺杂方法构建单相化合物的稳定机制，设计高熵氧化物（氮化、碳化）陶瓷的结构；高效制备微观可控的高熵陶瓷材料超快加热等方法；制备工艺对高熵陶瓷理化性质影响；相关晶体动力学模型；高熵材料焓-熵之间的关系，熵稳定机制对单相固溶体形成的作用机制；各组分基元对目标产物多元素高熵氧化物物相组成影响；高熵材料晶格畸变、多组分转变规律，高熵陶瓷高混合熵效应、界面与性质的构效关系；高熵陶瓷动力学过程，高熵陶瓷材料中离子高效扩散路径，晶格状况和长程无序对热力学稳定性影响；高熵陶瓷电磁波响应特性，高

熵陶瓷生产工艺包。

技术指标：高熵氧化物硬度 ≥ 47.2 GPa，磨损率 $< 1.89 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-1}$ ；高熵氧化物热导率 $< 1 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ，耐高温 $\geq 1200^\circ\text{C}$ ；高熵氧化物应用于储能器件中可稳定循环到 > 500 圈，首圈库伦效率 $\geq 85\%$ ；在氢能催化方面CO的氧化产率 $> 45\%$ ，CO₂的氢化转化率 $> 45\%$ ，耐高温达到 260°C 。

20. CFB 灰渣制备路面基层缓凝膨胀水泥技术及应用研究

研究内容：CFB 灰渣细度（粉磨时间）等影响因素对磨细 CFB 灰渣水泥净浆标准稠度用水量、凝结时间和安定性的影响，探明水化机理；CFB 灰渣细度（粉磨时间）等影响因素对磨细 CFB 灰渣水泥胶砂抗折强度、抗压强度、线性膨胀率的影响，探明膨胀和强度发展机理；研究 CFB 灰渣细度（粉磨时间）等影响因素对磨细 CFB 灰渣水泥胶砂抗冻性的影响；缓凝膨胀水泥稳定碎石路面基层配比；缓凝膨胀水泥稳定碎石路面基层力学和耐久性。

技术指标：路面基层缓凝膨胀水泥强度等级为32.5；初凝时间 $\geq 180\text{min}$ ，终凝时间范围 300~600min；水泥净浆 7d 线性膨胀率 $\geq 0.1\%$ ；固废总掺量 $\geq 60\%$ ；水泥稳定碎石路面基层混合料 7d 无侧限抗压强度达到 3.5MPa 以上，达到高速公路路面基层要求；其它性能指标满足规范要求；路面基层耐久性能，如抗冻、干缩、温缩、抗疲劳等指标，符合

规范要求。

21. 低成本高效大面积有机太阳能电池关键技术研发

研究内容：不同能级和拓扑结构高迁移率非富勒烯受体分子结构与吸收光谱、电子能级、聚集态结构和电子迁移率的关联机制；高性能有机光活性层分子结构与器件性能间的构效关系；金属氧化物（ZnO、SnO₂、NiO_x和MoO₃等）纳米粒子最佳制备工艺和溶液配方，薄膜形貌调控技术和方法；器件制备工艺条件、界面修饰和器件结构对非富勒烯有机太阳能电池器件光伏性能的影响规律；高效小面积器件的最佳工艺参数；基于绿色高沸点溶剂的活性层刮涂成膜工艺和给受体形貌调控方法；高性能大面积有机太阳能电池和组件制备工艺。

技术指标：高性能界面半导体材料迁移率不低于 $5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 的电荷萃取结构；高效率有机太阳能电池 20 cm^2 大面积有机薄膜的均匀可控制备； 0.02 cm^2 小面积有机太阳能电池器件光电转换效率 17% 以上； 20 cm^2 大面积有机太阳能电池器件光电转换效率达到 13% 以上；有机太阳能电池稳定工作 1 千小时后光电转换效率保有初始光电转化效率的 80% 以上。

22. 基于碳纤维可控定向分布的柔性热界面材料研发

研究内容：碳纤维的微结构控制，碳纤维表面磁响应结构优化以及导热碳纤维在磁场中响应机制建立；磁场强度、磁场距离、碳纤维尺寸、分散介质粘度等因素下，碳

纤维在磁场极化力矩与纤维间范德华力、热运动、粘滞阻力的综合物理场作用机制，磁场强度、碳纤维磁性与碳纤维取向度之间的关系，碳纤维的可控定向方法；基于碳纤维有机硅凝胶基体中分散界面优化、诱导取向和固化成型的最佳工艺参数。

技术指标：导热系数 $\geq 20\text{W/m}\cdot\text{K}$ ；密度 $2.2\pm 0.2\text{g/cm}^3$ ；硬度(shore 00) ≤ 60 ，拉伸强度 $\geq 0.3\text{MPa}$ ，伸长率 $\geq 20\%$ ；体积电阻率 $\geq 1\times 10^5\Omega\cdot\text{cm}$ ，击穿电压强度 $\geq 0.5\text{kV/mm}$ ；相对取向度 $\geq 80\%$ ；阻燃性 V-0。

23. 风电叶片用碳纤维梁拉挤成型工艺研发

研究内容：碳梁结构的设计和模拟；碳纤维、树脂及助剂的最优匹配型号；拉挤成型工艺制备碳梁过程中牵引力、牵引速率、成型温度等对碳梁性能的影响关系；碳梁力学性能、耐候性的技术评价方法；增强材料、树脂基体及掺杂物等对碳梁力学性能的影响规律；长标矩大尺寸碳梁的稳定化生产工艺。

技术指标：碳梁拉伸强度 $\geq 1800\text{MPa}$ ，拉伸模量 $\geq 150\text{GPa}$ ，压缩强度 $\geq 1000\text{MPa}$ ，弯曲强度 $\geq 900\text{MPa}$ ，层间剪切强度 50MPa ；涵盖碳梁结构、构效关系、拉挤成型技术等内容的工艺包；形成碳梁力学性能、耐候性的技术评价方案；基于拉挤成型工艺建设碳梁生产线。

24. 先进冷再生、聚合物改性沥青关键技术研发

研究内容：双模乳化沥青的生物基再生剂组分中双或

多官能度室温反应性低聚物的添加，与老化 PMB 中的降解高聚物组分在沥青中原位反应网络结构生成机理；双模乳化沥青的再生剂/反应性组分在原沥青表面再生修复机理及性能评价；SBS 改性沥青中聚合物含量对老化程度的影响评价方法；室温反应性低聚物与老化 PMB 中老化聚合物的反应机理；分子内交联结构微米级聚合物橡胶颗粒微凝胶在沥青中的溶胀对沥青的耐低温开裂、耐疲劳老化等影响及机理；含可降解组分的表面活性剂，如可生物降解的纤维素或淀粉、可紫外降解的等规聚环氧丙烷等制备工艺。

技术指标：100%回收改性沥青路面冷再生，平均孔隙率 < 3%；平均断裂负荷 > 120kgf，平均拉伸强度 > 175kPa；混合料的室温断裂能 $\geq 500\text{J/m}^2$ ；再生沥青针入度 60~80dmm，针入度指数 $\text{PI} \geq -0.4$ ，5°C延度 $\geq 30\text{cm}$ ，软化点 $\geq 55^\circ\text{C}$ ，25°C弹性恢复 $\geq 65\%$ ，残留针入度比 $\geq 65\%$ ，5°C残留延度 $\geq 20\%$ ，弗拉斯脆点 $\leq -10^\circ\text{C}$ ；冷再生沥青胶结料胶体稳定性指数 0.2~0.6，沥青质含量 $\leq 30\text{wt.}\%$ ，再生沥青二次老化性能优于原老化沥青。

25. 硅碳负极材料应用及规模制备技术研发

研究内容：不同碳包覆方法（液相包覆、气相包覆及固相包覆）及包覆厚度对硅基负极材料的性能影响规律；硅基负极微纳结构并明确材料的构效关系；粘结剂对硅基活性材料电化学性能的影响及原位和异位合成方法；“电极-活性物质”、“活性物质-活性物质”及“活性物质-电解液”三维

交联网络；粘结剂、导电剂种类和配比对电极片的孔隙率、孔径分布的影响的多孔电极模型；硅基负极与正极材料和电解液的匹配关系及性能演变规律；不同电池服役条件下硅基负极组成结构演变、表界面稳定性及电化学性能。

技术指标：硅碳负极材料容量在 $450\sim 1700\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 可调；克容量为 $500\text{ mAh}\cdot\text{g}^{-1}$ 产品，1000 次容量保持率达到 80% 以上，10C/0.2C 的容量保持率达到 80% 以上；建成年产 50 吨硅碳复合负极材料的示范性生产线。

26. 功能石墨烯改性硅气凝胶制备与应用技术研发

研究内容：石墨烯的层数、横向尺寸、尺寸分布、改性方式、改性程度对石墨烯的分散影响；凝胶工序石墨烯引入所带来的分散和凝胶化问题；石墨烯对成品 SiO_2 气凝胶工艺改性；石墨烯稳定包覆，低成本高性能石墨烯改性 SiO_2 气凝胶的制备；石墨烯的添加量，在对复合材料切片性能的影响。

技术指标：石墨烯-二氧化硅气凝胶导热系数 $\leq 0.018\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；石墨烯-二氧化硅气凝胶的接触角 140° 以上；石墨烯-二氧化硅气凝胶孔隙率 90% 以上；石墨烯-二氧化硅气凝胶复合锦纶切片含水率 $\% \leq 0.08$ ，热水可萃取物含量 $\% \leq 0.5$ ，相对粘度： $M1 \pm 0.04$ （ $M1$ 为特性粘度中心值）；氨基含量/ (mmol/kg) ： $M2 \pm 4$ （ $M2$ 为氨基含量中心值）；羧基含量/ (mmol/kg) ： $M3 \pm 4$ （ $M3$ 为羧基含量中心值）；外观（异状）/ $(\text{粒}/100\text{g}) \leq 5$ ；熔点： $215\sim 225^\circ\text{C}$ 。

27. 低成本高韧性环氧树脂增韧剂及树脂体系研发

研究内容：与液体模塑成型所用中温环氧树脂有良好相容性的热塑性高聚物增韧材料合成；增韧材料与中温环氧树脂混杂分散后的相态分布及其增韧机理；增韧剂与中温环氧树脂二元体系复配，实现高韧性环氧树脂制备的工艺；高韧性中温环氧树脂的性能评价。

技术指标：增韧剂玻璃化转变温度 $\geq 165^{\circ}\text{C}$ ，拉伸强度 $\geq 80\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 12\%$ ，弯曲强度 $\geq 110\text{MPa}$ ，弯曲模量 $\geq 2800\text{MPa}$ ；环氧树脂产品的凝胶时间 $\leq 20\text{min}$ ，粘度 $\leq 15000\text{mPa}\cdot\text{s}$ ，玻璃化转变温度 $\geq 145^{\circ}\text{C}$ ；增韧剂用量为 5%；环氧树脂产品临界应力强度因子 (K_{IC}) $0.70\text{MPa}/\text{m}^{3/2}$ ，临界应力强度因子 K_{IC} 提升比例 66%；冲击强度 $15.2\text{KJ}/\text{m}^2$ ，冲击强度提升比例 184%；弯曲强度 114MPa ，弯曲强度提升比例 27%。

28. 碳基复合材料气相沉积及纯化技术研发

研究内容：碳基复合材料气相沉积工艺技术；高纯石墨制品杂质元素多种手段表征方法；各种杂质元素的特点，具有相同特性或去除方法的杂质元素分类、分档方法；不同类、不同档杂质元素的不同处理温度、压力、气体流量等工艺参数设置原理及方法；杂质的纯化工艺主路线；特种石墨中指定元素的定向去除工艺。

技术指标：碳基材料沉积、石墨化、纯化系列装备研发，以满足半导体行业对高纯炭基材料的需求，替代进口。

碳碳气相沉积：工艺周期 ≤ 300 小时，沉积密度 $\geq 1.4\text{g/cm}^3$ ；
石墨化纯化处理：有效工作空间 $\geq 2200 \times 2200 \times 5000\text{mm}$ ，最高温度 2400°C ，石墨纯化杂质总量 $\leq 50\text{ppmw}$ ，碳碳制品纯化杂质总量 $\leq 50\text{ppmw}$ ；高温纯化处理：有效工作空间 $\geq \Phi 1300 \times 800\text{mm}$ ，最高温度： 250°C ，石墨纯化杂质总量 $\leq 5\text{ppmw}$ ，碳碳制品纯化杂质总量 $\leq 10\text{ppmw}$ ，硼含量 $\leq 30\text{ppbw}$ ，铝含量 $\leq 10\text{ppbw}$ 。

29. 高分子纤维气凝胶制备工艺研发

研究内容：纺丝液最优复配参数，均质稳定的刚/柔聚合物复配纺丝液的制备方法；不同种类纺丝液的最优纺丝区间；高湿诱导射流快速相分离技术；射流动态相分离固化成纤速率对纤维气凝胶体型结构的影响规律；纺丝区域的温度、湿度与电场强度靶向调节方式；高分子纤维气凝胶的静电直喷蓬松成型工艺。

技术指标：气凝胶孔隙率 $> 95\%$ ，1000次压缩后（50%应变）塑性形变 $< 10\%$ ；高分子纳米纤维气凝胶体积密度 $5 \sim 20\text{mg/cm}^3$ ；高分子纳米纤维气凝胶热阻 $\geq 0.4\text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ （产品克重 120g/m^2 ）；实现高分子纤维气凝胶的可控制备，气凝胶中单纤维平均直径 $\leq 5\mu\text{m}$ ，气凝胶断裂伸长率 $\geq 10\%$ ，蓬松度 $\geq 30\text{cm}^3/\text{g}$ ，压缩强度 $\geq 0.5\text{kPa}$ ，压缩率 $\geq 40\%$ ，回复率 $\geq 70\%$ 。

30. 可降解塑料改性及产业化关键技术研发

研究内容：降解期可控的 PBAT/PLA 专用料及其廉价化改性专用料制备工艺及产业化：根据使用地区气候的降解专用料的使用期、降解期可控方法，及其廉价化改性、低成本制备工艺；降解薄膜制品和注塑制品制备工艺及产业化：使用降解专用料进行制膜和注塑配方和加工工艺；可降解发泡制品制备工艺：发泡剂的制备工艺和使用工艺及发泡制品制备工艺。

技术指标：专用料拉伸强度大于 18MPa，断裂伸长率 >300%；制品达到相关制品使用性能指标，产品保质期（力学性能不低于制品初始值 80%）12 个月；降解性能符合 GB/T 20197：降解塑料的有机物成分（挥发性固体含量）≥51%，生物分解率≥60%；膜类制品成本不高于纯降解制品成本的 70%，其它制品成本不高于纯降解制品成本的 85%。

31. 高透光柔性聚氨酯材料制备工艺研发

研究内容：原料分子量、配比、合成工艺、NCO 含量等对预聚物性能影响；醇类扩链剂的官能度、扩链系数、物料温度、硫化温度、后熟化温度和时间对透光聚氨酯性能影响；聚氨酯材料的硬度、透光率、拉伸强度、撕裂强度、断裂伸长率、磨耗等与聚氨酯的原料配比、制备工艺之间的关系构建，微相分离和氢键对制品性能影响；原料配比、催化剂用量、温度、停留时间等对热塑性高透光柔性聚氨酯性能影响。

技术指标：透光率 $\geq 88\%$ ，硬度 $\geq 90A$ ，拉伸强度 ≥ 25 MPa，折光指数 ≥ 1.60 ，撕裂强度 ≥ 85 KN/m，磨耗 ≤ 65 mm³。

32. 电子束直写诱导石墨烯纳米阵列结构生长技术研发

研究内容：高能粒子与有机高分子碰撞过程对碳基结构形成的影响机制；超高分辨加工能力（束斑尺寸：1~3nm）电子束直写技术；原位辐照诱导铜金属表面固态碳源机制；碳原子蜂窝状晶格结构驱动形成机理；石墨烯晶格结构的进一步修复管式炉真空退火工艺（900°C，30min）；优化石墨烯结构加工版图的临近效应修正方案；石墨烯微纳结构的表面形貌及元素组成等指标分析评估。

技术指标：特征线宽 ≈ 50 nm，纵向粗糙度 ≤ 2 nm，横向粗糙度 ≤ 5 nm，缺陷峰 $I_D:I_G \leq 0.5$ ，石墨烯厚度层数 ≤ 10 的石墨烯纳米阵列结构可靠制造，且石墨烯薄膜电阻率 $\leq 5.0 \times 10^{-3}$ $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

33. 基于基因组技术的高强度高模高延伸率碳纤维研发

研究内容：聚合物链段、序列结构与碳纤维制备过程、碳纤维性能相关性；共聚物链段结构优化；端基断链形成类石墨结构的缺陷抑制；新型纺丝技术—凝胶干喷湿纺技术；碳化张力和温度协同机制，同步提高碳纤维强度和模量的碳化工艺；碳纤维数据库、高通量计算设计、高通量制备与表征新技术；碳纤维高通量计算设计方法；面向碳纤维计算的全链条算法工具集成技术；碳纤维结构跨尺度的高通量表征新算法，材料成分-结构-性能关联关系构建。

技术指标：纤维规格 6K 或 12K；纤维直径及截面形态 $\geq 5.5\mu\text{m}$ （圆形）；纤维拉伸强度 $\geq 5770\text{MPa}$ ，弹性模量 $\geq 377\text{GPa}$ ，断裂延伸率 $\geq 1.5\%$ ；基于元素、结构特征的碳纤维性能预测模型目标性能与计算匹配度不低于 80%；晶态结构、表面官能团等结构基因识别，建立结构模型。

34. 基于石墨烯二维导电薄膜的光透明超材料天线研发

研究内容：单晶化、富电子元素掺杂对石墨烯二维薄膜导电性和透光率的影响规律；基于 CVD 法等离子气相掺杂技术的高导电石墨烯透明薄膜制备工艺；石墨烯薄膜导电性与透光率互相制约机理；石墨烯薄膜透明天线电磁模型构建与优化方法；导电薄膜光电性能对天线阻抗与辐射性能的影响规律；基于超材料电磁调控原理的增益补偿技术；基于激光刻蚀的微米级超精细透明薄膜图形化制备工艺。

技术指标：可见光透过率 $\geq 80\%$ ，增益 $\geq 1.5\text{dB}$ ；电压驻波比 $\text{VSWR} \leq 2$ ，工作频段 3.5GHz，相对带宽 $\geq 5\%$ 。

35. 炭基材料纳米微晶改性技术研发

研究内容：炭基骨架材料对微晶改性剂承载能力提高的改性处理工艺；纳米微晶形成过程控制，及反应活性中心的高通量设计；毒剂分解脱除机理；客体分子的吸附能力，浸渍液体系的浸润能力，定向的孔径调控和表面修饰；微晶担载工艺，考虑工程化应用问题的负载体系的高度分散、微晶尺寸及反应活性；载体在浸入可溶性而又易分解

的盐溶液浸渍并干燥和焙烧过程中微晶形成机制；浸渍液体系依靠两相表面张力在载体孔道内的浸润、扩散、沉积机制；活性组分（微晶）沉积在活性炭表面合适的位点上，纳米微晶组分的高分散高反应性形成过程。

技术指标：重点突破广谱防护浸渍炭制备技术、酸性/碱性有毒有害气体的平衡防护等关键技术，进一步拓展吸附材料的防护谱系，具备对氯化氰、氢氰酸等经典毒剂和氨、二氧化硫等酸性/碱性有毒有害气体的综合防护能力。具体指标为：氨气防护时间 ≥ 30 min；氢氰酸防护时间 ≥ 35 min；氯化氰防护时间 ≥ 25 min；硫化氢防护时间 ≥ 40 min；二氧化硫防护时间 ≥ 30 min；氯乙烷防护时间 ≥ 27 min。与现有 ASZM-T 体系相比，对以氨气为代表的碱性有毒气体防护能力有了显著的提升，同时进一步增加了综合防护性能。

36. 高性能阻燃型生物树脂产业化关键技术研发

研究内容：反应型阻燃剂、阻燃型固化剂改性生物树脂开发阻燃型生物树脂的最优工艺条件；秸秆生物获得酶解木质素炼制以及与含磷硅元素等化合物制备反应型木质素阻燃剂工艺路线。生物树脂的阻燃机理以及与碳纤维复合时的界面优势；以阻燃型生物树脂系列产品为基体的国产碳纤维结合阻燃碳纤维复合材料生产工艺。

技术指标：利用反应型阻燃剂、阻燃型固化剂改性生物树脂开发阻燃型生物树脂，拉伸强度 90~100MPa，弹性模量 3.5~3.8GPa，断裂延伸率 2.2~2.4%，弯曲强度 130~140

MPa，弯曲模量 3.2~3.4GPa，冲击强度 18 kJ·m⁻²；树脂阻燃级别达到 UL94-V0；以阻燃型生物树脂与国产碳纤维匹配制备高端碳纤维复合材料，弯曲强度 1750MPa，弹性模量 122GPa，层间剪切强度 90MPa，0°拉伸强度 2200 MPa，0°拉伸模量 122GPa，0°压缩强度 1200 MPa；及阻燃级别达到 EN45545-2/R7/HL2，满足城市轨道交通使用标准。

37. 吸波-吸声超复合材料结构宽带耦合及协同调控研究

研究内容：超复合材料结构多物理场对偶调控原理；吸波-吸声宽带耦合及协同调控物理机制；吸波-吸声超复合材料结构约束性建模技术；约束性模型优化与分析方法；结构几何、电磁、声等各项参数对吸波-吸声超复合材料结构性能的影响规律；电磁超材料、声学超材料拓扑结构优化；吸波-吸声功能集成设计技术、精准成型技术。

技术指标：吸波-吸声超复合材料结构原理样件厚度 ≤50mm；面密度 ≤3kg/m²；反射率 $R \leq -10\text{dB}$ （8GHz~18GHz）；吸声系数 ≥0.8（1kHz~2kHz）；阻燃性能：V-0 级；低温试验：-55°C/24h；高温试验：70°C/48h。

38. 海底光缆设备用高压绝缘导热橡胶制品设计、关键工艺及应用研究

研究内容：针对海底通信光缆设备对高绝缘、高导热性能的新产品需求，开展碳纳米导热绝缘填料设计、高精度控制成型工艺、电气老化寿命评价研究，突破导热绝缘填料的绝缘改性、微纳米级跨尺度 3D 导热通路构筑、胶料

流程控制等关键技术，实现高压绝缘导热制品实现在海底光缆中继器、分支器等设备的工程应用示范。

技术指标：热导率 $\geq 1.2\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ；直流击穿电压强度 $\geq 70\text{kV}/\text{mm}$ ；硬度 75~85 ShoreA；拉伸强度 $\geq 3\text{MPa}$ ，断裂伸长率 $\geq 150\%$ ；撕裂强度 $\geq 12\text{N}/\text{mm}$ ；外径尺寸 309mm~311mm，壁厚 5.8mm~6.2mm；电气老化寿命达到 25 年。

39. 精准释放氮养分生物降解高分子材料制备及性能调控研究

研究内容：精准释放氮养分生物降解高分子材料结构设计以及制备关键技术；精准释放氮养分生物降解高分子材料构效关系以及氮养分释放机理、对土壤理化性能和微生物学性状影响规律；生物降解高分子材料的氮养分精准释放机理以及高效利用机制。

技术指标：氮养分释放期 30 ~ 60 天的生物降解高分子材料：主要用于短周期作物，如油菜、小白菜等。24 小时氮累积释放率 $< 20\%$ ，10 天氮累积释放率为 20 ~ 40 %，30 天氮累积释放率为 60 ~ 80 %，60 天氮累积释放率 $> 90\%$ ，全周期作物氮养分利用率 $> 60\%$ 。氮养分释放期 90 ~ 120 天的生物降解高分子材料：主要用于中等生长周期的作物，如番茄、黄瓜等。24 小时氮累积释放率 $< 10\%$ ，30 天氮累积释放率为 20 ~ 30 %，60 天氮累积释放率为 40 ~ 60 %，90 天氮累积释放率为 60 ~ 80 %，120 天氮累积释放率 $> 90\%$ ，全周期作物氮养分利用率 $> 60\%$ 。氮养分释放期 150~180 天

的生物降解高分子材料：主要用于长生长周期作物，如水稻、小麦、玉米等。24 小时氮累积释放率 $< 10\%$ ，30 天氮累积释放率为 $10\sim 20\%$ ，60 天氮累积释放率为 $20\sim 30\%$ ，90 天氮累积释放率为 $30\sim 50\%$ ，120 天氮累积释放率为 $50\sim 70\%$ ，150 天氮累积释放率为 $70\sim 80\%$ ，180 天氮累积释放率 $> 90\%$ ，全周期作物氮养分利用率 $> 60\%$ 。

40. 光伏玻璃增透膜的可控制备技术研发

研究内容：镀膜溶胶中添加 MgF_2 、 Ta_2O_5 、 TiO_2 等成分调整对膜层太阳光光谱波长（ $380\sim 1100\text{ nm}$ ）范围内的折射率，太阳光透射比、光谱波长范围内更高透过率增益的影响规律；调整溶胶凝胶成分与增透膜良好效成分浓度梯度形成，对良好的折射率梯度获得，增透膜透光率增益效果提升的影响；溶胶液与玻璃界面反应，玻璃/增透膜界面层作用，玻璃与增透膜的结合度及膜层附着力提高方法；通过 TiO_2 等掺杂、薄膜表面钝化处理等工艺设计；增透膜表面增强技术，固化工艺对膜层结构、膜层/玻璃的界面结构调控的影响规律。

技术指标：太阳能透过率增益： $\geq 2.5\%$ （相较于玻璃基底而言太阳光透过率提高 2.5% ，即原片玻璃的透光率为 91% ，则镀有增透膜的光伏玻璃的透光率大于 93.5% ）；膜层硬度 $\geq 3H$ ，1L 镀膜液可施涂面积 $\geq 220\text{ m}^2$ ，接触角 $\leq 6^\circ$ ；增透膜耐候性及膜层附着力大幅高于《太阳能光伏组件用减反射膜玻璃》（JC/T 2170-2013）标准，即能经受耐湿热性

能测试或耐酸性能测试或耐磨性能测试或耐紫外性能或抗霉变性能测试后，太阳能透过率下降值不应大于 1%，且膜层无明显脱落、剥离、起皱现象。

41. 高容量高倍率人造石墨负极材料的中试和产业化

研究内容：原料和掺杂剂的理化性质以及热处理工艺参数对高性能人造石墨微球结构和组成的影响规律；喷雾干燥设备的工艺参数对掺杂沥青微球和人造石墨微球的粒径、振实密度和比表面积等的调控规律；掺杂剂的作用机制以及元素转移机制；可实现高性能人造石墨微球稳定规模生产的工艺参数和对各性能的影响规律。研究喷雾干燥工艺和后续热处理工艺参数等对人造石墨负极材料倍率性能的影响规律；OCHNs 的尺寸大小、含量（浓度）等对人造石墨微球储锂容量、首次库仑效率、倍率性能等的影响规律，形成 OCHNs 对人造石墨微球储锂性能提升的机理机制。

技术指标：形成一次性生产数十公斤级的工艺包，包括掺杂剂的规模化制备设备的选型、工艺参数的调控；掺杂沥青的规模化制备设备的选型，原料配比、反应过程参数以及尾气处理；喷雾干燥工艺制备掺杂沥青微球的规模化制备工艺参数，及设备的选型，浆料的配置参数、喷雾过程参数的调控；后续热处理包括碳化、石墨化参数以及对副产品的处理工艺参数。产品克比容量 $\geq 380\text{mAh/g}$ （0.1C 充放电）；倍率性能达到 6C~10C，实现 6~10min 充满电；

首次库仑效率 92%以上；循环寿命 1000 次以上；产品粒径 10~20 μm ，产品比表面积 1~4 m^2/g ；压实密度 1.7~2.0 g/cm^3 。

42. 能源采掘用高强可溶镁合金材料研发及关键制备技术

研究内容：利用机器学习方法，研究促进镁合金溶解元素及稀土元素对铸造合金微观组织的协同影响；挤压合金晶粒尺寸、相组成、织构、动态再结晶、形变孪晶、缺陷状态等组织结构演变规律；温度、压力、溶解液介质等因素对可溶镁合金的力学性能和溶解性能的影响机理；合金强化微观机理和高温高压下材料的腐蚀热/动力学、电化学行为及腐蚀保护膜的形成与破坏机理；化学成分-组织结构-工艺参数-性能之间的基本关系；能源采掘用高强可溶镁合金材料关键制备技术。

技术指标：含 LPSO 结构相的镁合金材料，屈服强度(σ_s)>320 MPa，抗压强度(σ_{bc})>450 MPa，室温腐蚀速率(R)>1 mm/d，93°C条件下，腐蚀速率(R')>5 mm/d；低成本快速降解镁合金材料，屈服强度(σ_s)>300 MPa，抗压强度(σ_{bc})>420 MPa，室温腐蚀速率(R)>1 mm/d，93°C条件下，腐蚀速率(R')>5 mm/d。

43. 新一代 Fe-Mn-Al-C 系轻质钢制备技术研发

研究内容：锰铝元素含量精确控制、钢液流动性改善，解决水口结瘤问题以及低铸坯成分偏析程度的冶炼工艺流程中关键参数制定；加热温度、保温时间、应变速率、变

形程度等对不同相组成 Fe-Mn-Al-C 轻质钢动态应力应变响应、组织流变特性、再结晶动力学、组织均匀性等的影响规律；不同部位微观组织应力演变规律；相组成、分布与微观裂纹萌生之间的内在联系；裂纹扩展模型；疲劳裂纹的产生机理和影响因素，维持钢件长寿命的合理方法；冶炼-热加工-热处理全流程关键制备技术；微观组织与宏观力学性能之间的关联性。

技术指标：钢液浇注过程中水口结瘤轻微或不结瘤，钢锭中各合金元素低倍偏析评级不高于 C 级；经热冷加工及热处理后 Fe-Mn-Al-C 系轻质钢钢板屈服强度在 1000~1200MPa 之间，抗拉强度在 1600~2000MPa 之间，伸长率区间为 30~50%，室温冲击功大于 50J，密度值介于 6.5~7.4g/cm³ 之间。完成 Fe-Mn-Al-C 轻质钢中试生产环节，建立起工业化生产所需的关键技术参数数据库。

44. 含氮马氏体不锈钢轴承钢的制备工艺研发

研究内容：氮元素在含氮马氏体不锈钢中的存在形式及含氮相的析出热力学与动力学规律；各含氮相在不同热处理工艺（退火、淬火和回火）中的析出和转化规律；含氮马氏体不锈钢中微观组织演变与力学性能之间的关联机制；含氮相的大小、形貌、分布和类型的变化与钢的力学性能之间的内在关联规律及强化机制；氮元素及其含量对含氮马氏体不锈钢腐蚀行为的影响与腐蚀机理。

技术指标：含氮马氏体不锈钢轴承钢氮质量分数为

0.10~0.20 wt.%，抗拉强度 ≥ 2000 MPa，屈服强度 ≥ 1700 MPa，硬度值 ≥ 58 HRC；经 100 h 的盐雾腐蚀，表面腐蚀面积 $< 0.8\%$ ；在 3.5%NaCl 溶液中的自腐蚀电位高于无氮马氏体不锈钢轴承钢（-0.30V）。

45. 烧结钕铁硼永磁辐射环一体成型优化技术研究

研究内容：微量元素如 Al、Cu、Co、Ga、Cr、Zr、Ti、Mn 等对铸片结构的影响；满足钕铁硼辐射环产品成分及成型取向要求的磁体的显微组织结构；氢处理过程中的定量吸氢工艺；不同规格尺寸辐射环产品与粉体 SMD 的最佳匹配关系；提升产品性能一致性的磁场取向工艺；减少磁体开裂、变形，提高产成品率的热处理工艺。

技术指标：细粉粒度分布 SMD 控制在 $3.0\sim 3.2\mu\text{m}$ ， $X_{90}/X_{10}\leq 4.5$ 、 $(Q_{3lg})_{\text{max}}\geq 1.8$ ；氢处理后粉体氢含量控制在 1000-1200ppm；优化保证本工序氧增量 ≤ 150 ppm，最终磁环的氧含量控制在 1000~1500ppm 之间。批量化生产钕铁硼永磁辐射环外径 10~130mm，壁厚 2.5~20mm，高度 < 65 mm；钕铁硼永磁辐射环可实现任意极数充磁，表面磁场呈现正弦波分布，极间表面磁场峰值偏差 < 200 Gs；产品加工精度达到公差范围 0.03mm 以内，同轴度 0.05mm 以内；产成品率达到 92%以上。

46. 含锂高强韧铸造 AlCuMg 合金制备技术研发

研究内容：Li 对铸造 Al-Cu 合金凝固特性、显微组织影响及其强韧化机理研究；Cu、Mg、Zn、Zr 等主要合金化元

素对含锂铸造 Al-Cu 合金微观组织、力学性能和铸造性能影响；多物理场作用下 Al-Cu-Li 合金凝固特性、显微组织和力学性能演变规律；Al-Cu-Li 合金复杂的时效析出行为以及多种析出相之间的竞争演变关系；高强韧铸造 Al-Cu-Li 合金热处理工艺优化。

技术指标：缩小铸造铝铜合金凝固温度区间，减小铸造铝铜合金热裂倾向，实现 HCS \leq 40；合金密度降低 3%~5%，室温拉伸强度 $R_m \geq 420$ MPa，断裂延伸率 $A \geq 5\%$ ；高温拉伸强度 $R_m(300^\circ\text{C}) \geq 180$ MPa，满足兵器、航空航天、城市轨道交通等领域高性能铸造铝铜合金使用标准。

47.3D 打印用高强耐蚀金属粉末的制备及应用研究

研究内容：依据换热器用途及实际服役工况下各合金元素对基体的强化作用优化合金成分及配比；合金成分配比；合金粉末熔炼、均匀化处理工艺；全新优化设计方法及流程，新型结构拓扑优化设计方法。增材制造技术（梯度复合材料打印）的化工换热器（煤气化）制备设计；打印工艺与性能之间的联系；增材制造换热器在化工领域的适用性性能测试与评估方法。

技术指标：3D 打印用金属粉末粒度分布 15~53 μm ，霍尔流速 ≤ 18 s/50g，振实密度 $5.0 \geq \text{g/cm}^3$ ，氧含量 ≤ 350 ppm，抗拉强度 1000 ± 50 MPa；NSS 试验 ≥ 400 h；3D 打印换热器相对原换热器的热效率提高 $\geq 15\%$ ，使用寿命提高 $\geq 20\%$ ，重量减轻 $\geq 10\%$ 。

48. UNS N06625 镍基合金焊接热裂纹形成机制及其控制技术研究

研究内容：镍基合金焊接热裂纹形成机理；合金中 S、P、B、Nb 等主要合金化元素对结晶裂纹的影响；合金焊接冶金反应机理、接头微观组织、力学性能以及抗腐蚀性能；不同的热处理工艺参数（温度、热处理时间、热处理区域）对接头组织与综合性能的影响规律；优选局部热处理工艺参数，热处理专家库系统；采用人工智能技术对焊接过程和成型质量进行在线精确检测和实时控制方法；传感器特征信号的提取方法，焊接过程特征；融合信息与焊接理论、焊接经验相结合实时传递焊接智能补偿控制机制；接头组织在不同工艺条件下的组织演变和性能变化规律；工艺参数、微观组织和综合性能间的内在联系。

技术指标：等级 1（退火态）屈服强度 $R_{p0.2} \geq 414 \text{MPa}$ ，抗拉强度 $R_m \geq 827 \text{MPa}$ ，延伸率 $A \geq 30\%$ ；等级 2（固溶态）屈服强度 $R_{p0.2} \geq 276 \text{MPa}$ ，抗拉强度 $R_m \geq 690 \text{MPa}$ ，延伸率 $A \geq 30\%$ ；导向弯曲试验合格；点蚀试验按照 ASTM G48 的方法 A 进行，试样失重率小于 3g/m^2 ；晶间腐蚀试验过程按照 ISO9400 执行，试样腐蚀速率小于 0.5mm/y 。建成高效和清洁的智能化金属焊管示范生产线，产能 2000 吨以上；与传统焊管焊接生产工艺相比，高速高效焊接新技术生产成本降低 25%，合格率提升 20%以上。

49. 单体抗直流铁基非晶纳米晶磁芯关键制备技术研发

研究内容：过渡金属元素和类金属元素的微量添加对合金非晶形成能力、热稳定性、软磁性能以及晶化动力学机制的影响规律；合金成分、张力退火工艺对动态磁化过程的影响机理；抗直流磁芯在不同直流偏置条件下的磁导率变化规律。

技术指标：发出成本低、抗直流能力强且具有自主知识产权的张力敏感型铁基非晶纳米晶合金，实现抗直流特性的可控化。带材厚度 20~35 μm ；磁感应强度 $B_{800}/\text{T} \geq 1.2$ ；矫顽力 $H_c(\text{A/m}) \leq 10$ ；铁损 $P_{0.5\text{T}/20\text{K}}(\text{W/kg}) \leq 40$ ；相对磁导率 $\mu(1\text{kHz}) \geq 20000$ ；密度 $\rho(\text{g/cm}^3)$ 为 7.1~7.3；单体非晶纳米晶抗直流磁芯指标：剩磁比=0.005~0.01；矫顽力 $H_c(\text{A/m}) \leq 5$ ；相对初始磁导率 μ_i 为 500~1500；在直流偏场 400A/m 条件下，交流频率为 1 kHz~100 kHz 时，交直流叠加相对磁导率为 1200~1600。

50.低温高强韧高熵合金的开发及应用性能研究

研究内容：Fe-Mn-Cr-Ni(C)高熵不锈钢生成焓、价电子浓度、弹性常数等参数的第一性原理密度泛函理论计算；高组元合金相图 CALPHAD 软件计算；基于相形成规律（包括电负性理论、Omega 指标等）的成分-构型熵-相结构之间的定量关联；Fe-Mn-Cr-Ni(C)高熵不锈钢的优化热机械处理工艺；10mm 板材的热冷轧工艺流程优化；室温和液氮低温下、高应变速率加载时（应变速率大于 1000/s），Fe-Mn-Cr-Ni(C)高熵不锈钢的变形和强韧化机制；在海水中的腐蚀

行为；高熵不锈钢的海洋服役电机护环应用性能。

技术指标：50 公斤的铸锭中，获得具有简单面心立方结构的高熵固溶体 Fe-Mn-Cr-Ni(C)高熵不锈钢；经过热机械处理，室温准静态拉伸强度超过 400MPa，塑性超过 30%，冲击功达到 100J；液氮低温（77K）准静态加载下，拉伸强度超过 550MPa，塑性超过 40%；室温高速率（应变速率大于 1000/s）动态拉伸强度超过 600MPa，拉伸塑性超过 30%；液氮低温（77K）动态加载（应变速率大于 1000/s）下，拉伸强度超过 800MPa，拉伸塑性超过 30%；大铸锭表现为无磁性、电阻率至少达到固溶态 Ti6-Al4-V 合金的 2/3；在海水中腐蚀性能优于高锰钢和 304 不锈钢。

51. 高性能铝合金差压铸造成分-工艺-性能基因组智能设计研究

研究内容：基于基因组技术的铝合金差压铸造过程智能推理技术及工艺方案推理模型；高稳定性和高精度的铝合金高通量熔炼装置和预测模型设计；铸造工艺设计系统功能规划，铝合金高性能铸件基因组工程智能平台搭建；成分-组织-工艺-性能一体化基因组工程平台搭建及应用；高通量熔炼装置和工艺，高效率、高稳定性和高精度的成分和工艺筛选；高性能铝合金高通量实验设计及合金制备。

技术指标：高通量熔炼装置工位 ≥ 12 个、稳定性 $\geq 92\%$ ，机器学习推理模型预测精度 $\geq 95\%$ ，材料研发时间大幅缩短。机器学习设计高性能铝合金材料性能指标：室温抗拉强度

≥380MPa，屈服强度≥260MPa，断后伸长率≥6.5%；以大型复杂铝合金壳体进行差压铸造，铸件毛坯尺寸达到：外径>543mm，高度>750mm；铸件性能指标：本体取样，室温抗拉强度≥355MPa，屈服强度≥235MPa，断后伸长率≥6%。形成知识驱动铝合金成分-组织-工艺-性能一体化平台，实现工艺设计领域数据互通，模型准确度≥85%，产品开发周期降低60%以上，实现产品设计开发及生产制造一体化管理；依托基因组智能设计和机器学习，减少50%-70%的原料损耗。

52. 轨道交通用高强镁合金型材及锻件制备与产业化

研究内容：基于 Mg/Zn/Al/Mn/Sn/Cu 体系的热/动力学计算的新型低成本高强高延展性 Mg-Zn-Al-Mn/Sn/Cu 镁合金设计；大规格镁合金锭坯的脉冲电磁细晶均质半连续铸造技术；低成本高强 Mg-Zn-Al-Mn/Sn/Cu 变形镁合金型材结构和模具设计有限元计算优化；低成本高强镁合金热处理与低温快速挤压成形工艺；低成本高强变形镁合金锻件强韧化与尺寸精度协同调控技术；塑性变形的基面织构调控技术与基于控温控轧/挤的缺陷控制技术，及其与镁合金板材轧制技术的集成；镁合金/铝合金等异种金属连接构件表面整体防护层的防腐机理、绿色表面整体防护处理技术。实现轨道交通用大规格镁合金产品的产业化。。

技术指标：低成本无稀土高强高延展性镁合金，抗拉强度≥420 MPa，屈服强度≥320 MPa，延伸率≥10%；大规格

挤压型材，最小截面积 $\geq 4000 \text{ mm}^2$ ，抗拉强度 $\geq 360 \text{ MPa}$ ，屈服强度 $\geq 280 \text{ MPa}$ ，延伸率 $\geq 8\%$ ，断裂韧性 $\geq 15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ；型材和锻件防护处理后，中性盐雾腐蚀试验达到 1200 h 以上。轨道交通用型材产品生产规模达到 3000 件/年，板材生产规模达到 200 吨级/年。

53. 基于船用钛合金焊管制造过程关键性技术研发

研究内容：针对钛合金成型变形特征的焊管成型机组辊型优化设计模型；直缝钛合金管弯曲变形机理，与最终产品参数相关初始设定系统模型；直缝钛合金焊管辊式弯曲机理，辊位参数与弯曲成型质量的数学模型，工艺参数初始设定的工艺模型；研究压力成型（JCO、UOE）弯曲成型机理，弯曲工艺参数与弯曲质量的数学模型，工艺参数初始设定工艺模型；基于目标曲率状态的各成型方式在线调整模型；不同的热处理工艺参数（温度、热处理时间、热处理区域）对接头组织与综合性能的影响规律；焊接坡口、焊接工艺参数、保护气体、填充材料等对焊缝组织与性能的影响；不同焊接工艺条件下的钛合金焊接接头微观组织及性能演变；工艺参数、组织结构和性能之间的内在联系。

技术指标：获得优选焊接、局部热处理工艺参数，并建立系统优化的热处理专家库工艺参数；焊缝的化学成分、抗拉强度、屈服强度、延伸率及弯曲性能均满足 ASTM B265 标准要求；以 TA2 钛合金为主，抗拉强度 $\geq 345 \text{ MPa}$ ，

屈服强度 275MPa~450MPa，延伸率 $\geq 20\%$ ；弯曲试验合格；耐腐蚀性能满足标准 ASTM G48 A 法要求；高速高效焊接新技术生产成本降低 25%，合格率提升 20%以上。

54. 镁合金智能化电弧增材成形技术研发

研究内容：电弧增材复杂平面生长结构的路径规划技术，电弧增材复杂空间曲面生长结构的路径规划技术；电弧增材过程缺陷识别检测获取算法，缺陷空间坐标获取算法；非平衡快速凝固到固态相变的全过程演化规律，高温移动熔池表/界面行为及熔体润湿及冶金缺陷控制机理，构件变形开裂的物理模型及开裂判据；电弧功率、送丝速度、气体保护、搭接率等工艺参数对成形过程组织、性能的影响规律。

技术指标：实现镁合金电弧增材大型复杂构件空间曲面路径自动规划；镁合金电弧增材过程中构件内缺陷分类精度 $\geq 96\%$ ；镁合金电弧增材成形效率 $\geq 500 \text{ cm}^3/\text{h}$ ；镁合金电弧增材成形件内部质量满足 GB/T13820-2018 镁合金铸件标准；电弧增材成形镁合金构件常温抗拉强度 340MPa，伸长率 6%；160°C抗拉强度 320MPa，伸长率 $\geq 10\%$ 。

55. 新型高性能轻质耐磨钢材料基础及应用技术研发

研究内容：新型轻质耐磨钢低密度、高强、高硬、高塑韧、高耐磨综合性能调控方法、机理与成分-组织优化设计；铸钢件超纯净高效电炉冶炼及真空处理、大单重均质化模铸与低热应力控制缓冷等关键先进制造技术；冶炼过

程 Al 元素加入控制技术；铸钢件固溶-时效热处理关键技术；轻质原子固溶及耐磨纳米析出相调控与综合性能优化；铸钢产品冶炼、热处理工艺、产品标准编制及实现示范应用。

技术指标：新型轻质耐磨钢密度降低到 7.0g/cm^3 以下，实现材质轻量化 10% 以上；提高材质耐磨性，较普通高锰钢材质，耐磨性提升至少 30% 以上；性能指标： $R_m \geq 850\text{MPa}$ ， $R_{eL} \geq 450\text{MPa}$ ， $Z \geq 40\%$ ， $A_{KV}(-40^\circ\text{C}) \geq 47\text{ J}$ ；制定产品工艺和标准，实现示范应用。

56. 锆基多元金属共掺杂吸附材料制备技术与应用性能研究

研究内容：以富羟基氢氧化锆为反应性基底材料，借助全电子量化计算和分析表征手段，设计不同金属活性组分掺杂的配方体系，研究锆基多元金属吸附材料对典型工业化学品的广谱防护技术；高通量担载金属组分的晶体相变和毫米级颗粒成型技术，重点考察原位担载、相变赋活、干法/湿法成型等关键过程对材料综合性能的影响机理；锆基多元金属自组装沉积富孔吸附材料的工艺技术设计和工程化设计，实现一定的产业化能力。

技术指标：粒度 12~30 目；二氧化氮防护时间 $\geq 30\text{ min}$ ；氯气防护时 $\geq 30\text{ min}$ ；二氧化硫防护时间 $\geq 40\text{ min}$ ；硫化氢防护时间 $\geq 30\text{ min}$ ；氢氰酸防护时间 $\geq 30\text{ min}$ ；氯化氰防护时间 $\geq 30\text{ min}$ 。

57. 集成电路用超高强度高导铜钛合金板材研发

研究内容：多元微合金化元素在 Cu-Ti 合金中的存在形式及其对合金沉淀析出行为、相变顺序和组织结构演变的影响规律；微量合金元素与 Cu、Ti 元素间的耦合作用机理；不同轧制工艺参数对过时效阶段（多相组织）合金变形机制的影响；析出相和 Cu 基体间的协同变形机制；板材在制备过程中的残余应力分布对板材的表面质量（平整度、卷曲）等影响机理；显微组织、热处理工艺、轧制工艺参数与综合性能之间的内在关系；热处理、轧制工艺对合金性能影响规律及最优参数制定。

技术指标：铜钛合金导电率 $\geq 30\%$ IACS；硬度 ≥ 360 HV，拉伸强度 ≥ 1000 MPa，延伸率 $\geq 5\%$ 。