

附件

2023 年度山西省重点研发计划（半导体与新材料领域）重点支持方向信息

1.显示驱动芯片 COG 智能封装技术及设备研发

研究内容：面向智能手机、车载显示、智能穿戴等半导体显示领域驱动芯片微米级封装需求，开展 COG 封装工艺技术研究。主要包括封装工艺核心控制系统；ACF 贴附、预压、本压、工作台等关键机械零部件优化设计及制造；精密封装机械运动控制系统；靶标抓取、图像识别与处理、对位补偿算法技术；预压工艺视觉对位系统；高频高速启停伺服控制、信号交互及实时反馈、设备故障及诊断技术；快速封装智能控制系统；显示驱动芯片 COG 智能封装设备。拟在 3C 电子、汽车电子、AR\VR 等智能终端显示驱动芯片封装大规模制造领域实现国产化替代及应用。

核心技术指标：适应显示屏产品尺寸 7-17 英寸；适应芯片封装模式：单边单颗/多颗、双边多颗；图像对位精度 $\leq \pm 1 \mu\text{m}$ ；封装效率 ≤ 3 秒/粒；热压头与支撑平台平面度偏差 $\leq \pm 2 \mu\text{m}$ ；温度调节范围 40~320℃；压力调节范围 200~400 N；封装精度 $\leq \pm 3 \mu\text{m}$ (3σ)；设备良率 $\leq 99.5\%$ 。

2.深紫外固态半导体光源集成封装技术研究与应

研究内容：面向深紫外杀菌技术在医疗、食品、水质检测、

污染检测等领域对环境卫生和安全要求，开展深紫外固态半导体光源集成封装技术研究。主要包括大功率深紫外 LED 热场分布，结温调控及散热管理，集成封装模组的散热技术，评价测试模组寿命方法；与芯片发光模式相匹配封装结构，结合反射涂层表面透镜结构，深紫外 LED 全模式光提取增强技术。拟解决深紫外 LED 单位面积光功率低，热管理能力差，光电转换效率低等问题，突破封装结构中光子传输和损耗机理以及构建芯片、热界面材料、基板、热沉的高效导热技术，在公共卫生安全消杀领域实现应用。

核心技术指标：光输出：采用芯片尺寸 $\leq 1.5\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ 制作的大功率模组，输入总功率不超过 110 W 的前提下，辐射通量 $\geq 5\text{ W}$ ；波长 270~280 nm；模组的外量子效率 $\geq 5\%$ ；模组的光功率密度 $\geq 50\text{ mW/cm}^2$ ，模组生产选用的芯片要求电压偏差不超过 $\pm 0.1\text{ V}$ ，光功率偏差不超过 $\pm 2\text{ mW}$ ，保证其均匀性；寿命：参考 LM-80 的标准， $L_{90} > 1000\text{ h}$ 。

3.大尺寸氧化镓外延薄膜生长与大功率 SBD 器件制备技术研发

研究内容：面向新能源车、光伏、风电、5G 基站、高铁等领域对耐高压、耐高温、低功耗及大功率电力电子器件的需求，开展大尺寸氧化镓外延薄膜生长及大功率 SBD 器件制备技术研究。主要包括基于 HVPE/MOCVD 技术的 2/4 英寸氧化镓薄膜同质/异质厚外延薄膜生长机制，背景载流子调控、Si/Sn 掺杂的 n

型可控掺杂机理，SBD 新型终端设计、低欧姆接触制备、低界面态处理、高压复合终端关键技术，在新能源电动汽车、高速列车、光伏产业、通航产业等领域实现应用。

核心技术指标：研制出耐高压超过 2000 V 的氧化镓基 SBD 器件，氧化镓外延薄膜背景电子浓度 $< 1 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ ，XRD 摇摆曲线半高宽 < 90 弧秒，掺杂电子浓度在 $10^{16} \sim 10^{19} / \text{cm}^3$ 范围内可控，室温电子迁移率 $\geq 110 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{S}^{-1}$ ，2/4 英寸衬底外延氧化镓薄膜表面粗糙度 $\leq 1.8 \text{ nm}$ ，SBD 的击穿电压 $\geq 2000 \text{ V}$ ，正向导通电流 $\geq 10 \text{ A}$ ，导通电阻 $\leq 20 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ，功率品质因素 $\geq 1.8 \text{ GW} / \text{cm}^2$ 。

4.有机半导体阻抗检测芯片关键制备技术研究及应用

研究内容：面向癌症等重大疾病诊断中对于单细胞高精度、非标记检测的需求，开展有机半导体阻抗检测芯片制备关键技术研究。主要包括基于短沟道结构与溶剂化聚合方法的有机电化学晶体管（OEECT）跨导与响应速度协同优化；基于有机/无机异质材料 OEECT 微流控芯片微纳集成制造工艺；高速、多频、多通道、低噪声采样电路设计与正弦信号产生电路片上集成。拟通过 OEECT 技术解决阻抗检测中电化学噪声随电极尺寸降低而迅速增大的问题，突破微纳尺度细胞精准检测难题，在面向癌症液体活检的稀有循环肿瘤细胞检测领域实现应用。

核心技术指标：OEECT 器件电极特征尺寸 $\leq 20 \mu\text{m}$ ，静态跨导 $\geq 100 \text{ mS}$ ；微流控芯片通量 $5 \sim 2500 \mu\text{L} / \text{min}$ ，检测适用细胞尺寸 $5 \sim 50 \mu\text{m}$ ；接口电路频率 $0.001 \sim 2 \text{ MHz}$ ，单通道功耗 $\leq 5 \text{ mW}$ ，

激励信号 ≤ 100 mV，精度 $\leq 3\%$ ；细胞检测通道 ≥ 4 ；器件尺寸 ≤ 10 cm²；使用环境温度 10~40 °C；适用于 3 种以上肿瘤细胞，鉴别准确率 $>95\%$ ，对照测试方法为流式细胞术。

5.宽禁带半导体芯片工况参数扫描成像测试仪器研发

研究内容：面向 5G/6G 芯片可靠性及信号/路径完整性等测试技术应用需求，开展宽禁带半导体芯片工况参数测试仪器研究。主要包括低噪声/宽频带微波探针结构设计及制备，探针夹持与耦合系统设计，扫描微波成像控制，微波场信息解算及图像处理；高尖锐度探针针尖修饰、探针微小振动测试与闭环控制；微波信号有效加载及芯片表面工况参数提取；半导体芯片工况参数扫描成像测试仪器制备；拟解决芯片表面物理场高分辨无损检测难题，在半导体芯片设计与可靠性测试领域实现应用。

核心技术指标：研制宽禁带半导体芯片工况参数扫描成像测试仪器样机，空间分辨率： ≤ 5 nm；最小检测微波功率： ≤ 1 nW；频率响应范围：优于 1 GHz~20 GHz；成像范围： ≥ 80 $\mu\text{m} \times 80$ μm 。

6.铋化物超晶格外延材料制备技术及应用

研究内容：面向红外探测领域，开展用于中短波双色红外探测的铋化物超晶格外延材料研究。主要内容包含具有噪声抑制的铋化物超晶格外延材料结构；应变平衡 InAs/InAsSb 超晶格材料高质量外延技术与特性研究；二类超晶格探测器外延材料表征技术研究；中短波双色红外探测器单元器件工艺研究。拟解决红外探测器工作温度低、使用寿命短、单波段探测器探测效果差、应

用范围单一等问题，在各类可燃气体探测、森林防火系统、无人驾驶技术领域以及其他特殊环境探测实现应用。

核心技术指标：外延材料实现 2-4 英寸 GaSb 基衬底上 InAs/InAsSb 超晶格超材料高质量生长；在 $10\ \mu\text{m}\times 10\ \mu\text{m}$ 的测试面积条件下，晶圆表面粗糙度不高于 0.2 nm；材料残留应变不高于 0.3%。单元器件：短波段，在 175 K 工作温度下，实现 $3.0\ \mu\text{m}$ 的响应截止波长；暗电流 J_{th} 不高于 $5.0\times 10^{-6}\text{A}/\text{cm}^2$ ；探测率 D^* 达到 $1.0\times 10^{13}\text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ 。中波段，在 175 K 工作温度下，实现 $4.5\ \mu\text{m}$ 的响应截止波长；暗电流 J_{th} 不高于 $5.0\times 10^{-3}\text{A}/\text{cm}^2$ ；探测率 D^* 达到 $1.0\times 10^{11}\text{cm}\cdot\text{Hz}^{1/2}/\text{W}$ 。

7. 高压碳化硅 MOSFET 栅极氧化物材料研发与应用

研究内容：面向新能源和新能源汽车领域对高压大电流碳化硅器件的需求，开展高压碳化硅 MOSFET 栅极氧化物材料制备工艺及应用研究。主要包括适合 1200 V 以上器件的新型栅氧材料及结构，制备高质量栅极氧化物的工艺方法，提高 MOSFET 性能和可靠性的工艺参数优化，栅氧界面工程的调节和改进，栅氧层的介电强度、耐热性和热稳定性提升技术。拟解决碳化硅 MOSFET 由于栅氧层质量引起的电学性能和可靠性变差问题，在新能源与新能源汽车领域实现应用。

核心技术指标：对于 1200 V、80 mΩ SiC 功率 MOSFET 量产工艺包，栅氧层在费米能级附近，SiC/SiO₂ 界面缺陷密度降低至 $2.0\times 10^{12}\text{cm}^{-2}\text{eV}^{-1}$ ，击穿电场达 10 MV/cm。器件导通损耗

$E_{OSS} \leq 26 \mu J$ (0~800 V), 动态损耗 $E_{DYN} \leq 4 \mu J$ (0~800V); 输出电荷损耗 $Q_{OSS} \leq 96 \text{ nC}$ (0~800V), 栅极电荷 $Q_g \leq 50 \text{ nC}$, 最大反向电流 $I_{AS} \geq 29 \text{ A}$, 反向恢复时间栅极电容 $T_{rr} \leq 34 \text{ nS}$, 反向恢复电荷 $Q_{rr} \leq 100 \text{ nC}$, 漏电流、耐压能力、温度稳定性通过 AEC-Q101 标准测试。

8.晶圆静电卡盘激光打孔工艺研发

研究内容: 面向晶圆生产制造对关键核心部件晶圆静电卡盘的打孔工艺需求, 开展大尺寸规格、极低的热效应影响、极低厚膜开孔锥度高精度精密激光打孔工艺研究。主要包括脉冲激光陶瓷材料烧蚀机理, 激光低锥度低热效应切割机制, 平台和激光振镜联动的高精度运动控制技术, 多目相机关联视觉标定及定位技术。拟解决在晶圆静电卡盘制造过程中的复杂多层结构打微孔、开异形腔等技术问题, 最终实现低热效应、极低开孔锥度、高边缘一致性激光打孔技术在晶圆静电卡盘生产制造领域的应用。

核心技术指标: 加工幅面 $400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$, 统 XYZ 平台运动轴精度 $\leq \pm 1 \mu m$, 激光单振镜扫描精度 $\leq \pm 3 \mu m$, 打孔速率 $\geq 60 \text{ 孔/s}$, 最小开孔孔径 $60 \mu m$, 同一特征点重复视觉定位精度 $\leq 2 \mu m$, 通孔锥度不超过测试片厚度的 5%。

9.交安可视监控用发光力敏材料关键制备技术及应用研究

研究内容: 面向“交通强国”战略和“智慧交通”决策背景下交安领域“安全隐患精准识别”及交通运输信息“看得见、听得着、能指挥”的要求, 开展新型可视、可涂装的交安可视监控

用发光力敏关键材料体系及相应涂层关键技术（制造-检测考核-应用验证）研究。主要包括无源发光力敏材料分子设计、合成技术与深层发光机制，材料微观结构-发光特性构效关系，发光涂层制备与外增敏技术，基于发光力敏材料的可视监测后端智能信号处理系统技术。拟解决交安可视监控用无源发光力敏材料及其涂层的高效可控发光问题，突破相关涂层的交安可视监控适用及工程化应用技术，并在桥梁隧道实现监测应用。

核心技术指标：发光强度 $>120\text{ mCD/m}^2$ ，测力量程 $10\text{-}300\text{ MPa}$ ，测力时间分辨率 $\leq 0.03\text{ s}$ ，最小应力分辨率 $<3.5\%\text{FS}$ ，涂层耐温变 3 次循环无异常、粉化 ≤ 1 级、变色 ≤ 2 级，在至少 10 座以上混凝土桥梁、5 座以上钢桥梁、5 道以上隧道结构健康可视化监控进行应用验证（桥梁隧道分布在至少 4 个地级市以积累不同地质、地貌下交通结构监控应用数据）。

10.利用煤矸石与赤泥制备水泥基电磁波吸收关键工程材料与应用研究

研究内容：面向信息安全电磁防护和空间电磁净化领域对建筑用电磁波吸收材料的需求，开展煤矸石与赤泥固相反应制备陶瓷复合吸波粉体及其用于水泥基吸波材料的研究。主要包括体系中煤矸石与赤泥配比，固相反应工艺对陶瓷复合吸波粉体构效关系作用规律及微波损耗机制，陶瓷复合粉体与水泥复配比例对水泥砂浆凝结时间、流动性、电磁特性的影响规律，水泥基吸波板材、吸波混凝土的力学性能、耐候性以及电磁波吸收性能综合

评价技术。拟解决传统水泥基复合吸波材料密度大、吸波能力弱、成本高等问题，在信息安全和电磁防护领域实现应用。

核心技术指标：水泥砂浆厚度为 30 mm 时，在 2 ~ 40 GHz 范围内的电磁波反射率低于-15 dB；水泥基吸波板材和吸波混凝土在 2~40 GHz 范围的平均反射率均低于-15 dB。水泥基吸波板材和吸波混凝土的抗压强度大于 40 MPa, 抗折强度大于 5 MPa。吸波水泥砂浆、水泥基吸波板材和吸波混凝土的价格为对应普通水泥砂浆、板材和混凝土的 2 ~ 3 倍。吸波水泥砂浆、水泥基吸波板材和吸波混凝土中掺入陶瓷复合粉体填料的质量比为 20% ~ 50%。

11. 灌注式半柔性再生沥青路面关键材料设计及应用

研究内容：面向道路材料资源高效循环利用以及道路荷载承受能力和服役寿命提升的需求，开展废弃沥青混凝土与水泥制备高承载高耐久再生半柔性路面材料研究。主要包括高性能灌浆材料设计及性能，微观-宏观性能关联机制；大空隙母体再生沥青混合料设计及性能；高性能高黏沥青改性再生剂制备技术；半柔性路面材料的制备及性能，裂纹发展规律及沥青-灌浆料界面强化及机理。拟解决老化改性沥青再生效率低、性能差，大空隙再生沥青混凝土骨架空隙型结构点接触沥青胶浆粘聚力不足、设计方法精度低，半柔性路面材料系统力学行为、破坏机理、疲劳特征、服役特性等研究尚不完整等问题，并在各级公路特别是重载交通领域进行应用验证。

核心技术指标：再生沥青软化点 $\geq 75^{\circ}\text{C}$ ， 5°C 延度 $\geq 30\text{ cm}$ ， 25°C 弹性恢复率 $\geq 85\%$ ，韧性 $\geq 15\text{ N}\cdot\text{m}$ ，粘韧性 $\geq 20\text{ N}\cdot\text{m}$ ，再生沥青流变性质（应力控制试验） 70°C 时原样沥青 $G^*/\sin\delta \geq 1.0\text{ kPa}$ ，薄膜烘箱残留物 $G^*/\sin\delta \geq 2.2\text{ kPa}$ ，压力老化残留物 $G^*\sin\delta \leq 5000\text{ kPa}$ 。再生沥青混凝土空隙率为 $20\% \sim 30\%$ ，废弃沥青混凝土掺量 $\geq 40\%$ 。再生半柔性路面材料 60°C 动稳定度 $\geq 15000\text{ 次/mm}$ ，马歇尔稳定度 $\geq 15\text{ kN}$ ，冻融劈裂强度比 $\geq 80\%$ ， -10°C 低温弯曲试验破坏应变 $\geq 1500\text{ }\mu\epsilon$ ，抗拉弯强度 $\geq 6\text{ MPa}$ ，72 h 热氧加速老化（ 135°C ）与 240 h 紫外加速老化（ 40 mW/cm^2 ）后再生半柔性路面材料的性能未出现衰减。铺筑再生半柔性路面试验段 50 公里。

12.高性能空心玻璃微球制备关键技术及产业化

研究内容：面向国家战略复合材料领域对先进基础无机材料空心玻璃微球的需求，开展高强度、低密度、窄粒度分布的高性能空心玻璃微球制备工艺及装备技术研究。主要包括：调整原料配料组分和优化比例，依据化学原理，科学筛选，形成高化学稳定性的硼硅酸盐体系配方；结合配方化学组成及其物化性质，研究超重力原理强化液-固混合新机制；研发专用超重力设备，优化工艺参数，获得多组分均质化的原料液；调控原料液的表面张力和粘度，优化雾化造粒耦合送风干燥工艺，实现胚体粒度及其分布控制；计算模拟分析热辐射成球炉温度场、胚体停留时间等因素对成球率及性质的影响，优化玻化气化烧结技术。

核心技术指标：（1）创新研发制备 4 个型号产品，分别是：HN60、HN46HS、HN60HS 和 HN18K，其中，HN60、HN46HS 两个产品的抗压强度要求在 68.9 MPa ~ 83 MPa 之间、真密度为 $0.44 \text{ g/cm}^3 \sim 0.62 \text{ g/cm}^3$ 、粒径 $D_{50}=30 \mu\text{m}$ ；另外，HN60HS、HN18K 两个产品的抗压强度要求在 14000 MPa ~ 18000 MPa 之间、真密度为 $0.58 \text{ g/cm}^3 \sim 0.62 \text{ g/cm}^3$ 、粒径 $D_{50}=30 \mu\text{m}$ 。

13.3D 打印用长碳纤维增强聚酰胺线材制备及应用研究

研究内容：面向 3D 打印制造领域对于高性能 3D 打印碳纤维复合材料的应用需求，开展长碳纤维增强聚酰胺复合线材的制备及应用研究。主要包括碳纤维表面处理和热塑性上浆对纤维表面结构、表面状态及表/界面模量梯度的作用机制；连续热塑性上浆碳纤维制备技术；碳纤维含量、长度、分散特性和取向度对聚酰胺高温熔融特性和结晶动力学影响规律，长碳纤维/聚酰胺界面结构热成型机制；长碳纤维/聚酰胺复合线材吨级中试规模制备以及力学和热性能演变规律；长碳纤维/聚酰胺复合线材 3D 打印工艺性和稳定性，3D 打印热成型效率和工艺参数对复合材料结构件的打印精度、孔隙率及力学性能的影响规律。实现高性能 3D 打印长碳纤维复合材料在航空航天、新能源汽车、机器人和工装夹具等领域广泛应用。

核心技术指标：碳纤维/聚酰胺复合线材中碳纤维含量 $\geq 20 \text{ wt\%}$ ；3D 打印复合材料拉伸强度(x-y) $\geq 120 \text{ MPa}$ ，拉伸强度(z) $\geq 50 \text{ MPa}$ ，杨氏模量(x-y) $\geq 7800 \text{ MPa}$ ，杨氏模量(z) $\geq 3800 \text{ MPa}$ ，断裂伸

长率 1% ~ 3%，弯曲 强度(x-y)≥150 MPa，弯曲模量(x-y)≥7000 MPa，简支梁冲击强度≥8 kJ/m²；3D 打印复合材料热变形温度≥150℃，玻璃化转变温度≥70℃；连续打印时长不低于 60 小时。

14.石墨烯电磁屏蔽复合织物的规模化制备及应用技术研究

研究内容：面向电磁防护领域对于轻质高性能柔性电磁屏蔽复合织物的需求，开展基于新型碳纳米材料（石墨烯）的功能性屏蔽织物研究。主要包括石墨烯本征性能和含量对石墨烯掺杂高分子母料（锦纶）复合纤维构效关系的影响规律，三维石墨烯复合纤维导电织物编织结构工艺及结构中导电网络形成机理，基于石墨烯印刷涂层和涂层后整理工艺搭建的功能层/增强层复合结构模型和最优性能模型。拟解决传统金属类电磁屏蔽材料大质量、高成本、易氧化、弯折性差等问题，实现石墨烯电磁屏蔽复合织物在电磁防护工程（保密会议室、暗室等）场景的应用。

核心技术指标：电磁屏蔽性能 > 60 dB (30 MHz ~ 18 GHz)，水洗（GB/T 8629-2017 A1 型洗衣机洗涤，A 法干燥）20 次后，电磁屏蔽效能的降低值小于 10%、尺寸变化不大于±3%。机械性能：织物断裂强力≥250 N，胀破强度≥250 kPa，定负荷 80 N 条件下纱线抗滑移≤3 mm（符合悬挂类用织物最高等级——优等品质量要求）。阻燃性能：织物需达到 1 级阻燃性：极限氧指数≥32.0；损毁长度≤150 mm，续燃时间≤5 s，阴燃时间≤5 s；燃烧滴落物未引起脱脂棉燃烧或阴燃；烟密度等级（SDR）≤15；产烟毒性等级不低于 ZA₂ 级。耐候性：日晒色牢度 5 ~ 6 级；经过低温试验

-55°C/24 h、高温试验 125°C/48 h 试验后，材料无破损。

15.精准释放氮养分脲醛生物降解高分子化肥制备技术和应用研究

研究内容: 面向化肥农药使用量负增长的国家目标要求以及山西以煤为基的氮肥产业实现减量增效和“双碳”目标的迫切需求，开展精准释放氮养分脲醛精简制备技术研究和示范线建设。主要包括脲醛生物降解高分子化肥精简制备关键技术，反应挤出工艺与宏-介-微观结构间的关联模型以及影响机理，对土壤理化性质和微生物学性状的影响规律以及相关机理机制，在土壤-作物系统中的氮养分流通路径以及高效转化利用的机理机制，最佳生产工艺流程和操作规范。拟解决现有脲醛肥制备工艺复杂、成本较高、养分利用率低等问题，在智能氮肥领域实现应用。

核心技术指标: 建成精准释放氮养分脲醛生物降解高分子化肥百吨级示范生产线，实现精准释放氮养分脲醛生物降解高分子化肥的量产。制得适用于中短生长周期作物（如番茄、黄瓜）精准释放氮养分脲醛生物降解高分子化肥，肥料成本<4000 元/吨，45 天氮累积释放率<50%、90 天氮累积释放率>80%，一次施肥不追肥的施肥模式下作物生长全周期肥料氮养分利用率>60%，同等施肥量下比常规缓控释肥增产率>5%、产投比>5；制得适用于长生长周期作物（如小麦、玉米）精准释放氮养分脲醛生物降解高分子化肥，肥料成本<4000 元/吨，60 天氮累积释放率<30%、120 天氮累积释放率 50~70%、150 天氮累积释放率>80%，一次

施肥不追肥的施肥模式下作物生长全周期肥料氮养分利用率>60%，同等施肥量下比常规缓控释肥增产率>5%、产投比>3。

16.抗水解 PBAT 钛系催化剂开发及产业化

研究内容: 面向 PBAT 生物降解塑料领域的催化剂稳定性需求,开展抗水解钛系催化剂的制备和工业化应用研究。主要包括: PBAT 抗水解催化剂的成分设计及制备技术,醇类、有机酸、稀土元素等助剂对 PBAT 产品力学性能、色值等指标的影响机制,酯化工艺反应温度、时间与催化剂使用量的平衡关系及优化,抗水解催化剂在工业应用上的测试和数据采集,催化剂配比对 PBAT 产品稳定性的影响和应用评价,拟解决目前 PBAT 工业化合成中有机钛类催化剂易水解以及因此可能导致的产品品质问题,在 PBAT 可降解聚酯制备领域内实现应用。

核心技术指标: 开发出有自主知识产权的 PBAT 抗水解钛系催化剂,断裂伸长率 600 ~ 800%,熔点 115 ~ 130℃,羧基含量 ≤ 40 mol/t,特性粘度 ≥ 0.6 dL/g,色值 L 值 ≥ 70 、A 值 ≤ 5 、B 值 ≤ 8 。吨产品催化剂使用量(相对于现行生产线设计使用量)降低 20%。

17.基于材料基因工程的高熵陶瓷固态电解质性能优化及应用研发

研究内容: 面向高熵陶瓷基固态电池的高能量密度和高安全性能等需求,开展材料基因组学平台关键技术研究。主要包括:材料实验与计算数据的认知与知识提取算法和技术,数据库的自动存储技术;建立基于材料热力学/动力学计算与实验测试

数据关联的材料成分-加工工艺-组织-性能数据库平台；多尺度耦合组织结构模拟算法，训练和评估具有各种超参数的 ML 模型，筛选出预测的高性能固态电解质材料，进行精准的实验合成、表征与模型迭代优化。解决高熵陶瓷固态电解质的研发周期长、成本高和“试错式”材料合成以及难以辅助设计新材料等问题，实现高熵陶瓷基固态电解质在能源储存和转换领域的应用，并为山西新能源储能材料产业提供材料基因技术平台奠定技术基础。

核心技术指标：基于材料基因组学方法设计制备的高熵固态电解质应用于电池中，可稳定循环到大于 500 圈，首圈库伦效率大于或等于 85%（行业指标 80%）；临界电流密度（CCD）大于 1.2 mA cm^{-2} （行业指标 1 mA cm^{-2} ）；迁移活化能达到 0.35 eV （行业指标 0.38 eV ）；电化学窗口到达 5 V （行业指标 4.5 V ）；离子电导率高于 $2 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ （行业指标 $1.22 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ ）。建立基于材料设计和加工工艺数据库平台，建成有效支撑设计加工全流程模拟的专用数据库，形成高熵材料的构效数据 10000 条以上。建立材料成分-工艺-结构-性能的构效关系模型，形成数据与知识的传递和反馈技术，提出评价准则，并实现工业化的示范应用。

18.水性环氧改性乳化沥青研发及在公路薄层罩面中的应用

研究内容：面向公路超薄冷罩面所需高性能胶结料的需求，开展水性化环氧沥青胶结料在公路超薄冷罩面工程中的适应性研究。主要研究水性环氧树脂及配套固化剂合成机理，改性乳化沥青固化体系设计及性能评价，固化体系在沥青改性过程中的性

能变化规律；水性环氧体系、乳化沥青与矿料的配伍性，石料级配曲线，胶结料性能与混合料性能相关性；优化施工工艺，进行工程验证，研究其在不同路段、路况及不同病害路面的适应性以及施工工艺。拟解决现有超薄冷罩面胶结料性能差、粘接强度不足等问题，在公路路面养护工程领域实现规模化应用。

核心技术指标：水性环氧树脂及固化剂固含量 $\geq 50\%$ ，固化物拉伸强度 $\geq 10\text{ MPa}$ ，抗剪强度 $\geq 4\text{ MPa}$ ；水性环氧树脂改性乳化沥青固含量 $\geq 60\%$ ，凝胶时间 $\geq 45\text{ min}$ ，蒸发残留物拉伸断裂强度 $\geq 0.5\text{ MPa}$ （ 23°C ），断裂伸长率 $\geq 100\%$ （ 23°C ），与矿料裹附面积 $\geq 60\%$ ；水性环氧改性乳化沥青稀浆混合料可拌合时间 $\geq 120\text{ s}$ ，固化完全后粘聚力 $\geq 10\text{ N}\cdot\text{m}$ ，1 h 湿轮磨耗值 $\leq 200\text{ g/m}^2$ ，6d 湿轮磨耗值 $\leq 300\text{ g/m}^2$ ，抗滑性能较传统微表处提升 $\geq 30\%$ ，BPN ≥ 60 。

19.2:17 型高性能钕钴稀土永磁材料的关键制备技术

研究内容：面向航空航天，轨道交通，雷达通讯等领域对高性能稀土永磁体的需求，开展富铁 2:17 型钕钴磁体中功能基元的高通量筛选和磁体制备。采用高通量材料设计方法，研究钕钴磁体中各磁性相功能基元的稳定存在条件及内禀磁性，获得功能基元相结构和内禀磁性随成分和温度演变规律；研究高铁含量 2:17 型钕钴永磁材料的高效制备方法，构筑具有完整纳米胞状组织结构的高铁含量钕钴磁体；研究热处理工艺对 2:17 型钕钴磁体矫顽力和磁能积的影响，揭示胞状组织结构的形成演变机制和

铁掺杂对磁性能的贡献机理。拟解决高内禀矫顽力、高剩磁富铁 2:17 型钐钴磁体的关键技术问题，在电子通讯、航空航天，高性能牵引电机等领域实现应用。

核心技术指标：通过高通量技术筛选 ≥ 60 种钐钴材料成分，获得 ≥ 2 种稳定的单一钐钴基元磁性相：所得 2:17 型钐钴磁体的铁含量 $\geq 18\%$ （质量百分比），内禀矫顽力(H_{cj}) $\geq 2.5 \times 10^4$ Oe，剩磁(B_r) $\geq 1.15 \times 10^4$ Gs，磁能积 ≥ 32 MGOe，实际磁能积不低于最大理论值的 55%。

20.特超级 Fe-Cr-Mo 耐蚀合金薄板关键制备技术研发

研究内容：面向极端腐蚀工业领域对低成本、高耐蚀、高成形性、低析出脆性耐蚀合金薄板的迫切需求，开展特超级 Fe-Cr-Mo 耐蚀合金制备理论与制备关键技术研究。主要包括合金化机理与成分设计，脆性析出相抑制机理及韧化机制，纳米级 Laves 相加速析出机制及其演化规律，Laves 相析出对再结晶行为、力学性能及腐蚀性能的影响，变形与再结晶织构演变规律与 γ -织构增强机理。拟解决钢中因脆性相析出引起的韧脆转变温度(DBTT)高、冷塑性加工性差等限制其工业化生产及塑性加工的瓶颈问题，在制酸、海水淡化、海洋建筑等工业领域实现应用。

核心技术指标：抗拉强度 ≥ 610 MPa，屈服强度 ≥ 490 MPa，显微硬度 ≥ 240 HV，断后伸长率 $\geq 27\%$ ，DBTT $\leq -20^\circ\text{C}$ ，临界点蚀温度 $\geq 70^\circ\text{C}$ ，在硫酸环境中均匀腐蚀率（沸腾 10% H_2SO_4 ）不超过 0.025 g/h。热导率（ 100°C ） ≥ 17.6 W/m $\cdot^\circ\text{C}$ ，在 20~100 $^\circ\text{C}$ 下的

热膨胀系数 $\leq 9.8 \mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ ， σ -相鼻尖温度附近析出时间 $\geq 8 \text{ h}$ 。

21. 光伏支架用轻量化及免涂装超级耐候钢制备关键技术

研究内容：针对光伏支架用超级耐候钢的轻量化及免涂装等技术需求，开展超级耐候钢化学成分、组织结构、性能一体化均衡设计及制备关键技术研究。主要包括 Cu、Ni 等含量及耐蚀性最优化设计，超级耐候钢力学性能及构件腐蚀行为，长周期腐蚀寿命评价准则，构件承载性能与稳定性协调控制模型，超级耐候钢连铸坯析出相及纹裂控制，薄规格高强钢轧制板形控制，超级耐候系列光伏支架焊接与成型关键技术。解决传统光伏支架耐蚀性差、强度低、易损耗的问题，在光伏支架领域实现产品应用。

核心技术指标：420MPa 级超级耐候钢： $R_{p0.2} \geq 420 \text{ MPa}$ ， $R_m = 530 \sim 680 \text{ MPa}$ ， $A \geq 22\%$ ， $-20^{\circ}\text{CKV2} \geq 47 \text{ J}$ ， 180° 弯曲试验 $d=a$ 合格；耐腐蚀指数 $I(\text{ASTM G101}) \geq 6.0$ ，按 TB/T 2375 腐蚀试验，试验周期 72 h，相对腐蚀速率 $\leq 55\%$ （Q355B 为 100%）。620 MPa 级超级耐候钢： $R_{p0.2} \geq 620 \text{ MPa}$ ， $R_m = 720 \sim 880 \text{ MPa}$ ， $A \geq 15\%$ ， $-20^{\circ}\text{CKV2} \geq 47 \text{ J}$ ， 180° 弯曲试验 $d=2a$ 合格；耐腐蚀指数 $I(\text{ASTM G101}) \geq 6.0$ ，按 TB/T 2375 腐蚀试验，试验周期 72 h，相对腐蚀速率 $\leq 55\%$ （Q355B 为 100%）。形成材料供货技术标准、应用技术指南，实现 1 项以上光伏发电示范工程应用。

22. 超级奥氏体不锈钢异形法兰辗扩精确成形关键技术研发

研究内容：面向海洋工程领域高端装备核心构件强度和耐蚀性高的要求及生产工艺精确控制的需求，开展超级奥氏体不锈钢

异形法兰辗扩精确成形关键技术研究。主要包括 F44 超级奥氏体不锈钢热变形塑性行为及热锻开裂控制技术，材料热变形过程中锻透致密及组织细匀化机理，高颈法兰异形环件辗扩成形理论及关键工艺，固溶热处理过程中 F44 不锈钢组织与性能的演变机制，拟解决超级奥氏体不锈钢粗大凝固组织热变形细匀化控制难题、及高颈异形法兰环件辗扩成形失稳、开裂等问题，在国内石油化工行业、海洋工程领域实现应用。

核心技术指标: $R_{p0.2} \geq 350 \text{ Mpa}$, $R_m \geq 700 \text{ Mpa}$, $A \geq 35 \%$, $Z \geq 55\%$; 锻件切向拉伸或屈服强度的波动值 $\leq 25 \text{ Mpa}$, 硬度值在同一圆弧表面 $\leq 30 \text{ HB}$, 在同一母线 $\leq 40 \text{ HB}$; 在锻件中心 $1/2R$ 范围以外部分, 当量直径 $\leq \Phi 2 \text{ mm}$ 密集缺陷面积不超过检测总面积的 5% ; 晶粒度 5-6 级, 级差不超过 3 级; 锻件外缘向内 $1/4$ 厚度位置按照 ASTM G48 方法 A 进行腐蚀试验, 20 倍放大倍率下无点蚀, 减重小于 4.0 g/m^2 。建成年产能 10000 吨的超级奥氏体不锈钢法兰锻件精确成形制造产业化应用示范线。

23. 基于脉冲电磁过程调控的高塑性镁合金铸轧-温/冷轧工艺开发

研究内容: 面向轨道交通、汽车等领域轻量化对高塑性镁合金板带提出的迫切需求, 开展基于脉冲电磁调控的短流程、低成本、成形/成性兼备的高塑性镁合金铸轧-温/冷轧制技术研究。主要包括基于 Mg-Al、Mg-Zn 系新型高塑性镁合金的成分设计准则; 合金元素对层错能、塑性变形的影响规律与调控机制; 基于

高效脉冲电磁分区定向均匀化镁合金熔体及细化铸轧板带晶粒作用机制；高精度（前箱液位差 $\pm 1\text{ mm}$ ）稳流铸轧转液系统与全板宽同步流动铸嘴布流系统；温度分区控制铸轧辊与镁合金铸轧专用分段脉冲电磁装置；铸轧区分区脉冲电磁调控最佳工艺模型，温/冷轧电致塑性最佳控制工艺。拟解决镁合金铸轧板带生产过程中存在的边裂、组织性能不均一、板凸度与厚差控制难、铸轧工艺稳定性差等技术瓶颈，在航空航天、轨道交通、新能源汽车、医疗器械等高端领域实现应用。

核心技术指标：板带抗拉强度均不低于 250 MPa 、延伸率不低于 20% ，板材各向异性指数小于 1.2 ；全宽幅同步流动铸嘴布流系统的同步差 $\pm 10\text{ mm}$ ；温度分区控制铸轧辊温控精度 $\pm 10^\circ\text{C}$ ；综合成材率提高 10% 左右；开发基于脉冲电磁过程调控的 300 mm 镁合金铸轧-温/冷轧制生产试验线，实现宽幅 600 mm 镁合金铸轧-温/冷轧制高塑性镁合金的高效生产技术成套；铸轧-温/冷轧后板带宽幅 600 mm ，厚度 0.5 mm 以下同板差可控制在 $\pm 0.03\text{ mm}$ ，厚度 $0.5 \sim 1\text{ mm}$ 同板差可控制在 $\pm 0.04\text{ mm}$ ，厚度 1 mm 以上同板差可控制在 $\pm 0.05\text{ mm}$ ；宽幅达到 600 mm ，厚度 1 mm 以下平整度 $\leq 0.3\text{ mm}$ 、厚度 1 mm 以上平整度 $\leq 1\text{ mm}$ 。

24.特种车辆防护用高氮高强韧不锈钢板材研发及应用

研究内容：面向特种车辆防护对高强高韧材料的应用需求，开展高氮不锈钢板材的冶炼、轧制、焊接加工工艺以及相应组织和性能等方面的研究。主要包括经济型增氮工艺及氮含量精确控

制，高氮含量下钢质低氧与高纯净化机理，高氮不锈钢控轧控冷过程型性控制及组织演变规律，高氮奥氏体不锈钢高速冲击硬化机理，高氮不锈钢焊接熔池冶金机制与接头组织性能控制等研究。拟解决高氮不锈钢板材批量化制造与工程应用方面的高效精准增氮及夹杂物控制、板材强韧性匹配和焊接性能调控等问题，实现高氮不锈钢在特种车辆上规模化应用。

核心技术指标：高氮不锈钢板热轧厚规格 $\geq 15\text{ mm}$ ，冷轧薄规格 $\leq 12\text{ mm}$ ；高氮不锈钢氮含量 $\geq 0.60 \sim 0.65\%$ ，杂质氧含量 $\leq 35\text{ ppm}$ ；高氮不锈钢板 $R_m \geq 1000\text{ MPa}$ ， $A \geq 20\%$ ， $R_{p0.2} \geq 700\text{ MPa}$ ， $A_{kv}(-40^\circ\text{C}) \geq 30\text{ J}$ （按全厚度 $10 \times 10 \times 55\text{ mm}$ 折算）；板材焊接接头强度系数 ≥ 0.7 ；高氮不锈钢板制造成材率 $\geq 60\%$ 。

25. 艺术铸造用高镍白铜特种成型关键技术研发

研究内容：面向工艺美术领域和电子产业、医疗高端器械、海洋石油开采等领域需求，开展含镍 $40 \sim 70\%$ 高镍白铜反重力铸造成型的研究。主要包括不同镍含量（ $40 \sim 70\%$ ）对凝固组织、合金相及含量、铸造流动性影响规律，合金相与凝固组织对材料样品色泽的影响机理；合金材料成分、焊接工艺、焊条材质等对焊缝性能和色泽度的影响；可控压力对熔体流动、型腔反压及铸件凝固补缩的影响规律；高镍白铜铸件反重力铸造的工艺；反重力铸造工艺参数对铸件成型完整性及铸造缺陷的影响规律；高镍白铜合金液反重力充型与凝固过程的精确化控制技术。在工艺美术领域、电子产业、医疗高端器械、化学工业、海洋设备制造、

海洋石油开采等领域实现应用。

核心技术指标：含镍量 40 ~ 70%，雕塑艺术品尺寸大于 1 m 小于 10 m，成品率 95 ~ 98%，密度 $\geq 8.5 \text{ g/cm}^3$ ，硬度 $\geq 120 \text{ HB}$ ， $R_m \geq 550 \text{ MPa}$ ， $R_{p0.2} \geq 350 \text{ MPa}$ ，成品颜色呈纯白色。