

附件

## 2022 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. 5G 基站用 6 英寸高纯半绝缘型碳化硅单晶衬底产业化关键技术

研究内容：单晶生长热动力学；晶面弯曲控制及电阻率均匀性调控技术；高效率低成本碳化硅单晶生长；高效低损伤加工技术；外延材料生长；衬底及外延层表征；SiC 单晶衬底表征与评价体系。

技术指标：电阻率 $\geq 1E10 \Omega \cdot \text{cm}$ ；95%有效面积微管密度 $\leq 0.1 / \text{cm}^2$ ；杂质浓度：B 元素浓度 $\leq 1E+15 \text{ cm}^{-3}$ ；Al 元素浓度 $\leq 1E+15 \text{ cm}^{-3}$ ；TTV/BOW/WARP  $\leq 10/20/30 \mu\text{m}$ ；Ra $\leq 0.15 \text{ nm}$ ；大于  $0.3 \mu\text{m}$  的颗粒密度 $\leq 0.1 \text{ cm}^{-1}$ ；衬底直径  $150 \pm 0.1 \text{ mm}$ ；单锭产量 $\geq 20$  片；年产能 $\geq 20000$  片。

### 2. 高速芯片超材料多端口吸波去耦技术

研究内容：导电薄膜图案化新型材料双频段、强谐振的电磁特性对芯片间隔度影响机理；40Gb/s 以上高速率传输芯片典型频段的去耦机制；用于电磁兼容（EMC）的薄膜图案化新型材料综合设计方案；导电薄膜图案化新型材料精密制备工艺；新型材

料与芯片管壳共形制备工艺；芯片间隔离度性能测试技术；芯片用新型材料样件性能评估及装机验证。

技术指标：研制 40 Gb/s 以上高速率传输芯片典型双频谐振新型材料，要求样件的雷达波反射率 $\leq -10$  dB~-15 dB，导电薄膜厚度 $\leq 0.1$   $\mu\text{m}$ ，芯片的隔离度提升  $S_{ij} (i \neq j) \geq 10$  dB，工作温度-40°C~+105°C，明确新型材料结构组成和产品形态，完成新型材料在高速传输芯片领域中试量产，达到 100~500 套/年。

### 3. 碳化硅晶圆抛光用纳米活性氧化铝抛光液研发与应用

研究内容：基于晶种成核、表面诱导生长包覆、分子级原位掺杂等方法的高性能纳米活性氧化铝晶体可控制备技术；纳米活性氧化铝的晶相、形貌、粒径、比表面积、活性元素特性等物化指标与碳化硅抛光速率和表面质量之间的构效关系；综合多羧基多羟基螯合剂分子技术及过氧化氢等无污染氧化体系设计的绿色环保型抛光液配方优化；基于摩擦催化氧化协同机制的碳化硅“高效、高精度”抛光机理。

技术指标：抛光液物化指标：活性磨粒含量 10~20%，pH 值 8~9，比重 1.05~1.15 g/cm<sup>3</sup>、粘度 1~10 MPa·s，粒度 0.4~0.6  $\mu\text{m}$ ；抛光液性能指标：导电型晶圆硅面抛光速率 $\geq 2$   $\mu\text{m}/\text{h}$ ，碳化硅抛光后表面原子力显微镜测量 10  $\times$  10  $\mu\text{m}$  范围内粗糙度 $\leq 0.2$  nm，光学显微镜下观测无划痕、美国 KLA Candela 检测 6 英寸碳化硅晶圆上大于 50 mm 的划伤 $\leq 2$  条、划伤累计长度不超过 150 mm。

#### 4. 中低压碳化硅肖特基二极管芯片

研究内容：1200V SiC SBD 的有源区和终端设计优化；离子注入能量、剂量、注入步骤对芯片反向性能的影响；高温退火温度、时间对激活率的影响机理；高温退火前碳膜保护制备技术及对芯片性能影响；肖特基接触金属的选择与退火条件；背面减薄和激光退火工艺及其对芯片工作电压的影响；可靠性和失效机理分析。

技术指标：室温条件下，直流反向峰值电压  $V_{DC} \geq 1200 \text{ V}$ ；室温条件下，反向电压  $V_R = 1200 \text{ V}$  条件下，反向电流  $I_R \leq 10 \text{ uA}$ ；室温条件下，正向电流  $I_F = 10 \text{ A}$  条件下，正向电压  $V_F \leq 1.7 \text{ V}$ ；室温条件下，反向电压 = 800 V，频率 = 1 MHz 条件下，总电容  $C < 50 \text{ pF}$ ；管芯面积小于  $2 \times 2 \text{ mm}^2$ ；产品良率  $\geq 90\%$ 。

#### 5. 变革性钼基二维原子晶体半导体存储器件

研究内容：大面积 N、P 型掺杂钼基半导体薄膜制备机理与工艺；均一性 N、P 型晶体管工艺与结构参数优化方式；10000 个晶体管的碲化钼 CMOS 存储器原型设计和表征；垂直多层存储器设计和抗辐照特性测试表征。

技术指标：晶圆级 N、P 型半导体  $\text{MoTe}_2$  薄膜器件良率达 95%，均一性达 90%，开关比大于 1000；设计 10000 个晶体管的碲化钼 CMOS 存储器，存储密度大于  $0.1 \text{ Gb/mm}^2$ ；抗辐射评估条件达到总剂量  $> 1 \text{ Mrad}$ 、单粒子效应  $\text{LET} > 70 \text{ MeV/mg/cm}^2$ ；

演示 3 层以上 CMOS 垂直扩容原型存储器件。

## 6. 宽带无时延 InP 基单片集成混沌激光器芯片

研究内容：微米级短腔产生宽带无时延混沌激光物理机制；InP 基单片集成混沌激光器结构设计与原理性论证；InP 基单片集成芯片关键集成工艺；InP 基单片集成混沌半导体激光器封装工艺；单片集成芯片混沌性能评估及表征体系；InP 基单片集成混沌半导体激光器芯片在分布式光纤传感领域的应用。

技术指标：C 波段混沌频谱带宽 $\geq 20$  GHz，混沌频谱平坦度 $\leq \pm 5$  dB，混沌信号自相关曲线旁瓣水平 $\leq -20$  dB(@1 秒时间序列长度)，输出平均光功率 $\geq 1$  mW；芯片尺寸  $12.5 \times 0.8$  mm<sup>2</sup>；实现 InP 基单片集成混沌激光器芯片在分布式传感领域的应用示范。

## 7. 超高纯石英关键提纯及芯片加工应用技术

研究内容：原料石英砂中包裹体赋存状态和石英晶格中杂质元素的分布；真空-压力烧结工艺中关键参数对高纯石英性能的影响；石英砂中包裹体和晶格杂质在烧结过程中的转移和转化机制及超高纯石英纯化机理；超高纯石英制品在半导体 IC 芯片生产过程关键环节的应用研究，包括氧化（高温+酸性）、刻蚀（酸性+高真空）、扩散（高真空+高温）、沉积（高真空+高温+化学反应）等环节。

技术指标：超高纯石英的 SiO<sub>2</sub> 含量 $\geq 99.9991$  wt%，其中超高纯石英的主要金属杂质含量：锂、钠、钾元素含量低于 0.5ppm，

过渡金属元素含量低于 0.2ppm，硼元素含量低于 0.05 ppm，超高纯石英羟基 $\leq 5$ ppm。超高纯石英（制品）的导热系数 $\leq 1.35$  W/(m·K)(300K)，热膨胀系数 $\leq 5.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ （0~1000 $^{\circ}\text{C}$ ），软化点 $\geq 650$   $^{\circ}\text{C}$ ，退火点 $\geq 1200$   $^{\circ}\text{C}$ 。

## 8. 高压钛酸锶陶瓷材料及芯片电容器

研究内容：晶粒半导化、晶界绝缘化和电极欧姆接触对 STO（ $\text{SrTiO}_3$ ）陶瓷材料及芯片电容器的介电常数、损耗、电容量、温度稳定性和使用频率的影响；STO 瓷片电子掺杂和受主掺杂的杂质种类的甄选及含量控制；利用有限表面源扩散掺杂、纳米晶涂层和电热处理等方法研制高压、高介电性能、高一致性的 STO 瓷片；制备具有高绝缘电阻值、高压、高频使用的 STO 芯片电容器。

技术指标：瓷介使用频率 10 kHz ~ 10 GHz，介电常数覆盖 10000 ~ 30000，介电损耗 $\leq 0.025$ ，体积电阻率  $> 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ，容量温度变化率（-55  $^{\circ}\text{C}$  ~ 125  $^{\circ}\text{C}$ ） $\leq \pm 22\%$ ；电容使用频率 10 kHz ~ 10 GHz，电容器容量范围 960 pF ~ 1600 pF,容值精度 $\pm 20\%$ ；工作温度范围 - 55  $^{\circ}\text{C}$  ~ 125  $^{\circ}\text{C}$ ，额定电压 63 V ~ 100 V，介质耐压值为 2.5 倍额定电压，25 $^{\circ}\text{C}$ 绝缘电阻 $\geq 104 \text{ M}\Omega$ ，125 $^{\circ}\text{C}$ 绝缘电阻 $\geq 102 \text{ M}$

## 9. 连续玄武岩纤维高性能、稳定化制备技术研究及生产示范

研究内容：多相玄武岩复配熔炼拉丝成纤技术；玄武岩矿石熔融均化过程中熔体结构、粘度、组成与温度关联机理；低能耗快速熔融均化理论体系；窑炉结构优化设计；原料加热、熔融、均化、拉丝等全流程工艺参数智能监控体系；实现连续玄武岩纤维生产过程参数的可调可控并完成拉丝漏板优化结构设计；实现纤维整体性能提升的智控装置设计。

技术指标：高性能玄武岩纤维直径 7~13  $\mu\text{m}$ ，浸胶纱强度 2800~3200 MPa，浸胶纱模量  $\geq 90$  GPa；在现有的基础上节能 10~20%，纤维成丝率  $\geq 80\%$ （目前  $\geq 65\%$ ），线密度波动  $\leq 7\%$ （目前  $\leq 10\%$ ）；形成低能耗高性能连续玄武岩纤维生产的理论体系和智控生产装置，实现高性能 CBF 的稳定、连续、智能化生产，建立年产 1000 吨连续纤维生产示范工程。

#### 10. 复杂污水实时处理用矿物与半导体纳米复合材料产业化

研究内容：矿物材料与纳米材料的界面复合反应机理；矿物纳米复合材料的精准调控和宏量制备技术；合结构与吸附-催化耦合效应的构效关系；光声、光热、光电多场协同催化和声-光-电多级催化现场处理污水技术方案；复杂污水处理机制；环境因素与实验室污水现场处理性能的量化关系；矿物纳米复合材料实验室废水高效现场处理工艺优化。

技术指标：适用于单一污水处理的矿物纳米复合材料  $\geq 6$  种，复杂污水处理的宽谱复合材料  $\geq 3$  种；比表面积  $\geq 20$   $\text{m}^2/\text{g}$ ，矿物材

料占比 $\geq 90\%$ ，吸附率 $\geq 30\%$ ；开发光热、光声、光电协同催化及声-光-电多级催化关键技术方案，机电耦合系数 $\geq 100 \text{ pC/N}$ ，光热转化效率 $\geq 30\%$ ，光电转换效率 $\geq 10\%$ ，协同因子 $\geq 1.5$ ，总自由基表观量子产率 $\geq 15\%$ ；单级污水处理中复合材料用量 $\leq 1 \text{ g/L}$ ，回收率 $\geq 90\%$ ，节约成本 $\geq 80\%$ ；抗生素和有机染料降解率 $\geq 85\%$ 、杀菌率 $\geq 90\%$ 、重金属离子去除率 $\geq 95\%$ 、持久性有机污染物去除率 $\geq 80\%$ ；COD、BOD、SS、色度等指标达到城镇污水二级排放标准。

#### 11. 半导体高温炉用高性能酚醛基隔热碳毡百吨级工业示范关键技术

研究内容：可纺酚醛树脂合成纯化工艺在放大过程中的质量均匀性；低分子量酚醛树脂聚合物熔纺/熔喷工艺的工程放大和原丝质量一致性；树脂原丝固液两相高温固化交联工艺的工程放大以及交联充分性与均匀性；高质量酚醛碳毡的原丝成毡和高温炭化技术。

技术指标：高温热导率 $\leq 0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}(@1550^\circ\text{C})$ ；纯度 $\leq 100 \text{ ppm}$ ；纤维直径 $\leq 12 \text{ }\mu\text{m}$ ；纤维强度 $\geq 500 \text{ MPa}$ ；密度 $0.05\sim 0.15 \text{ g/cm}^3$ ；厚度 $5\sim 15 \text{ mm}$ ；热导率离散系数 CV 值 $\leq 10\%$ ；单条生产线产能 $\geq 100 \text{ 吨/年}$ ；开发酚醛基隔热碳毡工业示范线核心装备。

#### 12. 两相不相容体系分离用纳米纤维净化芯制备及应用

研究内容：高油/水分离膜堆积结构的精确控制技术和单体

原位自聚合理论及技术；稳定导油孔道结构，表面能网格/微球功能层构筑方法；射流集束控制、喷头-接收基板对电压控制及油水分离滤纸高速制备装备集成技术；高效油水分离净化芯的中试生产与自动检测设备开发及集成技术。

技术指标：两相体系分离效率 $> 95\%$ ；分离后双氧水中溶剂含量 $< 100 \text{ ppm}$ ；燃油/水分离效率 $\geq 97\%$ ，油水分离通量 $\geq 800 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ （ $3 \text{ MPa}$  驱动压力下）；油水分离滤纸中试生产线生产节拍（收卷速度计算） $\geq 60 \text{ m h}^{-1}$ ，良品率 $\geq 85\%$ ；高效油/水分离净化芯自动检测与加工的中试生产线，年产能  $20 \times 10^4 \text{ m}^2$ ，生产节拍（以制备净化芯所需工业滤纸打折前放卷速度计算） $\geq 30 \text{ m h}^{-1}$ ，良品率 $\geq 85\%$ 。

### 13. 高性能碳基导热吸波复合材料设计、制备及应用技术

研究内容：短切碳纤维本征参数、表面改性、空间排布形式对其热、电性能的影响机制；多组分、多形态、各向异性复合材料结构模型；材料微纳结构对其电磁参数、界面阻抗匹配及电磁波吸收性能的影响规律；具有取向结构的碳基导热吸波复合材料成型工艺与性能优化；构建基于应用平台的材料性能评价体系。

技术指标：厚度  $1.0 \text{ mm}$ ；规格  $30.0 \times 30.0 \text{ mm}^2$ ；热导率 $\geq 6.0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ；电磁波衰减系数 $\geq 20 \text{ dB/cm}$ （ $20 \sim 40 \text{ GHz}$ ）；硬度(shore 00) $\leq 70$ ；密度 $< 3.2 \text{ g/cm}^3$ ；体积电阻率 $> 1 \times 10^{10} \Omega\cdot\text{cm}$ ；经过低温试验  $-55^\circ\text{C}/24 \text{ h}$ 、高温试验  $125^\circ\text{C}/48 \text{ h}$  试验后，样品无开裂、

破损；突破碳基复合材料的高效热传导/电磁波强吸收协同设计、高效便捷可控制备等关键技术，实现材料在微波组件、微系统模块等设备的典型工程应用示范。

#### 14. 新型碳量子点递送系统在软骨组织中的应用

研究内容：靶向软骨组织碳量子点制备技术；携带生物学因子/小分子药物碳量子点制备技术；基于碳量子点的细胞荧光染料及可用于体外和体内成像的造影剂制备技术；新型碳量子点在骨关节炎早期诊断及治疗中的应用。

技术指标：新型碳量子点体系粒径 $< 60\text{ nm}$ ，荧光稳定性（体外保存 90 天，荧光衰减率 $< 10\%$ ），离体细胞转染率 $> 90\%$ ；细胞存活率 $> 90\%$ ，对细胞增殖、凋亡、坏死等生物学过程无影响；在体新型碳量子点体系可穿过软骨组织浅表层致密结构进入软骨细胞（细胞浆及细胞核），软骨细胞转染率 $> 90\%$ ，无明显心、脑、肝、肾等重要脏器损伤；构建在体可视化分子影像早期诊断试剂，建立早期诊断软骨组织损伤新技术。

#### 15. 高韧性快速固化环氧树脂体系研发及产业化

研究内容：液晶环氧树脂增韧材料的分子结构设计、合成与表征；液体成型用高韧性快速固化环氧树脂的相容性；高韧性快速固化环氧树脂的固化体系设计，树脂组成成分间相互作用对树脂粘度特性和固化反应特性的影响；反应热力学和动力学参数，固化反应动力学模型及等温粘度特性预测模型；高韧性快速固化

环氧树脂体系配方设计与优化；树脂结构、组成、工艺、固化物性能的关联机制建立与增韧机理；高韧性快速固化环氧树脂工业化生产评价和工艺优化及产品性能评价。

技术指标：未固化环氧树脂的凝胶时间 $\leq 15$  min、粘度 $\leq 1000$  mPa·s、试用期 $\geq 20$  min，成型温度 $\leq 150$  °C、成型时间 $\leq 30$  min；环氧树脂固化物的玻璃化转变温度 $\geq 150$  °C、临界应力强度因子( $K_{IC}$ ) $\geq 0.85$  MPa/m<sup>3/2</sup>、冲击强度 $>15.5$  KJ/m<sup>2</sup>、弯曲强度 $>115$  MPa。

#### 16. 轻质碳纳米吸波/防隔热复合材料关键技术研究

研究内容：系列平板和异形结构轻质碳纳米吸波、防隔热复合材料配方设计与优化；异形结构碳纳米吸波防隔热复合材料原位复合技术；碳纳米复合材料的微观结构组成与吸波、隔热性能之间的关系规律；不同配比、工艺参数、结构特征和吸波隔热特性之间的对应关系；碳纳米复合材料吸波-防隔热协同效应研究，碳纳米吸波隔热复合材料应用验证。

技术指标：实现 2~3 种平板和异形结构典型样件长宽尺寸 $\geq 180$  mm  $\times$  180 mm，密度 $\leq 0.5$  g/cm<sup>3</sup>、1 GHz-18 GHz 反射率 $\leq -10$  dB、带宽 $\geq 10$  GHz、导热系数 $\leq 0.07$  W/(m·K)的核心技术指标，完成该材料不少于 5 m<sup>2</sup> 的应用验证。

#### 17. 基于多级纳米纤维结构的耐油性气溶胶过滤材料制备技术

研究内容：气溶胶过滤材料的结构设计与仿真模拟；气体流

过滤材纤维结构时的流场特征和气溶胶捕集形式；气溶胶过滤材料多级孔结构制备技术，优化的多级梯度结构方案；气溶胶过滤材料的工程化制备技术；气溶胶过滤材料耐油雾性能的评价研究，过滤材料耐油雾性能的评价方法。

技术指标：过滤效率 $\geq 99.995\%$ （面流速为 5.3 cm/s）；过滤阻力 $\leq 150$  Pa（面流速为 5.3 cm/s）；纵向抗张强度 $\geq 1.0$  kN/m；油性气溶胶承载量 $\geq 50$  g/m<sup>2</sup>；研制滤材成品 $\geq 100$  m<sup>2</sup>。

## 18. 低成本长寿命全氟磺酸离子膜的关键技术研发及产业化

研究内容：全氟离子膜及相关材料的连续成膜制备技术、工艺及装备；铸膜溶液综合流变性能和加工性能；复合增强技术和表面改性技术；全氟磺酸离子膜的检测和应用评价平台，在氢能和储能应用中的测试、数据采集和分析评价理论及技术。

技术指标：形成离子膜连续化工业生产技术，膜宽幅大于 1 m，长度大于 300 m，离子膜成品率大于 90%，规模不小于 20 万 m<sup>2</sup>/年；制备出适用于电解水制氢领域的全氟磺酸离子膜，要求拉伸强度 $> 36$  MPa、断裂伸长率 $> 160\%$ 、电导率 $> 0.09$  S/cm，水电解过程中库伦效率 $> 96\%$ 、电压效率 $> 88\%$ 、能量效率 $> 85\%$ ；制备出适用于液流电池储能领域的全氟磺酸离子膜，要求断裂伸长率 $> 160\%$ ，拉伸强度 $> 32$  MPa；在钒电池中进行测试，要求钒电池容量衰减到 80%时的循环次数 $> 700$  次；完成离子膜技术标

准建设和应用评价平台建设，能够测试各种器件运行参数对膜性能影响。

### 19. 食药软包装印刷油墨用水性脲基聚氨酯关键技术

研究内容：原料的分子量、结晶性、配比、亲水扩链剂及中和度、合成工艺对产品干燥速度的调控；功能单体优选-改性对产品的附着牢度、耐温性、颜料分散性能影响；脲基结构及含量与醇/水复溶性的平衡关系；水性脲基聚氨酯树脂在食药软包装印刷油墨中应用性能（如细度、粘度、初干性、复溶性、附着力、浅网转移等）评价；食药软包装印刷油墨用水性脲基聚氨酯的中试生产技术。

技术指标：固体含量(40–45)%；粘度 200~500 mPa·s/25°C；pH 值 7.5~8.5；附着牢度 PET > 95%、NY > 95%、PE > 85%、OPP > 85%；油墨复溶性(乙醇：水)合格；复合强度 $\geq 1.2$  N/mm；油墨初干性 $\geq 20$  mm/30 s；印刷速度（不改机，不改版）150–250 m/min；121°C 蒸煮 30 min，墨层无变化。

### 20. 高比容量钠离子电池关键电极材料的研究

研究内容：具有稳定晶体结构、高比容量、高电压、高稳定性聚阴离子型钠离子电池正极材料的宏量制备；过渡金属离子掺杂对于正极材料的结构稳定性、材料本征电子电导性以及钠离子在材料本体中的扩散系数的影响；高比容量、高首效且循环性能优异的钠离子电池负极无定型碳材料的改性及规模化制备；以聚

阴离子型材料为正极、无定形碳材料为负极构建钠离子全电池及制备工艺优化；从材料到实用储能器件的统筹优化的钠离子全电池制备。

技术指标：钠离子电池正极材料的初始放电容量能够达到  $135 \text{ mAh g}^{-1}$  以上，1 C 倍率下稳定循环 100 周容量保持率 98% 以上，20 C 倍率下稳定循环 1000 周容量保持率 85% 以上；负极材料初始充电容量  $> 320 \text{ mAh g}^{-1}$ ，首周效率能够达到 80% 以上，1 C 倍率能够稳定循环 500 周且容量保持率 85% 以上；所组装的钠离子全电池室温下能够稳定循环 500 周以上且容量保持率在 80% 以上。

## 21. 无烟煤基锂离子电池快充负极材料研发

研究内容：煤中有机质向无机炭材料转变过程中的有机质转化、结构演变、化学组分变迁的逆熵转化演变规律；相关组分的扩散逃逸机制和碳骨架结构形成机制；石墨化过程中微晶/微畴物相转变行为规律，碳基质相图的演变规律和调控理论；电化学使役条件下，层间距、孔隙结构、微区畴结构、界面动态演变规律与限域空间内电子/离子的快速储运机制与失效机制，建立“缺陷-孔隙-颗粒”多维度快充负极材料构筑方法。

技术指标：实现 5 吨/年煤基快充型锂电负极材料中试技术突破，项目开发的煤基快充型锂电负极材料平均粒径(D50)  $\leq 15 \mu\text{m}$ 、比表面积  $\leq 5.0 \text{ m}^2/\text{g}$ 、振实密度  $\geq 0.9 \text{ g}/\text{cm}^3$ 、灰分  $\leq 0.03 \text{ wt}\%$ 、

磁性物质 $\leq 0.1$  ppm; 锂电池首次库仑效率 $\geq 90\%$  (基于半电池测试); 首次放电比容量 $> 360$  mAh/g; 5C/1C 的容量保持率达到 80% 以上。突破煤基炭材料宏量化制备中的高效脱灰、分质提纯、热场分布、挥发分逸出机制等共性问题, 形成 5 吨/年煤基快充型锂电负极材料中试示范线。

## 22. 建筑用铝模板脱保一体化涂层产品研发及产业化

研究内容: 满足渐变疏水性能连续(或离散)变化功能梯度、高分子复合涂层脱保一体化产品制备工艺; 材料界面的微米/纳米复合粗糙结构和界面化学组成的协同效应; 涂层材料强度、韧性、刚度等特性强化, 铝模板工程应用中涂层既脱又保的关键理论与技术; 脱保一体涂层的智能化生产设备。

技术指标: 一次涂刷改产品可实现场内 30 次以上周转 (使役周期); 甲醛含量: 0 g/L; 硬度: 3H; 耐水性: 48 小时无异常; 耐碱性: 48 小时无异常; 耐磨性: 小于 0.05 g; 耐冲击性: 50 冲击试验无异常; 粘结力: 0 级; 干燥时间: 表干 2 小时, 实干 12 小时; 无可溶性重金属; 涂层厚度 20~30  $\mu\text{m}$ ; 专用涂装设备刮涂/喷涂高度可调、喷涂流量可控、刮刀/喷头耐有机溶剂腐蚀; 设备加热温度可调(90~120 $^{\circ}\text{C}$ )、设备传输速率可调(0.3~0.5m/s)、产品循环收集利用率大于 95%。获得具有优异使役性能的铝模板脱保一体涂层产品及成套技术设备, 推动铝模板在工程应用中的提质增效发展。

### 23. 超重力强化活性炭改性及催化降解有机废水技术

研究内容：超重力法改性活性炭催化剂设备及工艺，超重力强化活性炭改性机理；活性炭催化臭氧处理煤化工有机废水过程负载过渡金属组分分布不均、活性位点少、臭氧利用率低等解决方案；开发适用于超重力废水处理体系催化剂载体的活性炭类型；调控超重力等条件，结合分析测试方法，活性炭负载过渡金属与有机物矿化的构效关系。

技术指标：建成公斤级水平的超重力法制备活性炭改性催化剂设备和工艺；研发适用于超重力废水处理体系催化剂载体的活性炭类型，活性炭机械强度 $>95\%$ 、粒径 $>2\text{ mm}$ 、比表面积 $>1000\text{ m}^2/\text{g}$ 、漂浮损失率 $<5\%$ ；与传统方法相比，超重力技术制备活性炭催化剂时间缩短不少于 $20\%$ ，负载量增加不少于 $10\%$ ，有机废水中特征污染物苯酚的脱除率大于 $95\%$ ，TOC 的去除率不低于 $80\%$ 。

### 24. 高性能低成本动力电池浸没式热交换液研发及应用

研究内容：基础油官能团分子结构与热交换液绝缘、导热、抗氧等性能的关系；煤基基础油组分切割、深度精制和组分调控工艺条件；浸没式动力电池热交换液核心配方体系，添加剂种类和组成对热交换液服役性能的影响机制；浸没式热交换液高低温性能、针刺、挤压和过充等性能测试；动力电池热交换液性能验证台架和数值模拟模型；不同工况条件下车辆热管理策略和传热

强化及实际测试。

技术指标：动力电池浸没式热交换液 40°C 运动黏度不大于 8.0 mm<sup>2</sup>/s；开口闪点大于 120°C；-40°C 布氏粘度小于 15000 mPa·s；空气释放值小于 5.0 min；析气性小于+5 μL/min；25°C 体积电阻率大于 100 MΩ·m；25°C 击穿强度大于 25 kV/mm，导热系数大于 0.10 W/(m·K)；热交换液与电池组内金属材料和高分子相容性良好；动力电池组减重不低于 15%；动力电池低温(-15°C)续航里程提升大于 20%；-15°C 温度下 30%充电到 80%，充电时间减少 20%以上；高倍率充电情况下(4 C 以上)，电池组温度相较于水/乙二醇间接冷却温度下降 25%以上；单节电池热失控导致的整包燃烧或爆炸时间大于 30 min；成本相较于氢氟醚类化合物降低 60%以上。对油基浸没式热交换液相关仪器、台架及测试方法和产品进行标准化和规范化。

## 25. 高渗透、加固型界面剂的关键技术研究及应用

研究内容：基于硅溶胶、硅醇钾、氟硅酸镁等无机粘结剂增效补强的关键技术、水性环氧树脂增韧改性技术；组分设计和过程控制，有机-无机复合界面剂的设计、制备和研发；涂层材料与基材的结合界面的微观结构表征，分析其物理与化学性能影响，调控渗透、加固型界面剂的性能，提高新旧混凝土（旧墙体）界面粘结性能；涂层材料与基材的结合性能持久性表征，完善有机-无机相互作用机理，从宏观试验的角度进行旧墙翻新工程应用

验证。

技术指标：按《GB/T1733》、《GB/T9265》进行测试，耐水性 $\geq 96$  h，耐碱性 $\geq 96$  h，透水性 $\leq 0.5$ ；按《JG/T 210-2018》方法进行测试，抗盐碱析出性 $> 120$  h 无异常；按《JC/T 907-2018》标准进行测试，拉伸粘结强度 $\geq 0.7$  MPa；经冻融循环、热处理、浸水处理后，强度保持率 $> 80\%$ ；按《GB18582-2008》进行测试，VOC $\leq 120$  g/L；游离甲醛 $\leq 100$  mg/kg。

## 26. 大型复杂薄壁铝合金构件半固态高速修复技术

研究内容：铝合金高速半固态修复材料成分设计及制备；铝合金高速半固态修复送料精度/速度控制；铝合金高速半固态修复粉末流半固态区温控及数字化工艺过程控制；铝合金修复层与基体界面结合性能调控；铝合金半固态修复层服役性能评价。

技术指标：修复层厚度 0.2–0.8 mm 时，修复效率 $\geq 0.8$  m<sup>2</sup>/h；修复热影响区 $\leq$ 损伤区 100%，成分偏析 $\leq 5\%$ ，稀释率 $\leq 3\%$ ；修复体与基体界面强度不低于基材的 80%；修复体强度不低于基体的 90%；样件取样室温力学性能  $R_m \geq 300$  MPa， $R_{0.2} \geq 200$  MPa， $A \geq 5\%$ ；修复后表面粗糙度  $R_a \leq 1.6$   $\mu\text{m}$ ；修复后服役寿命不低于新品。

## 27. 超薄壁不锈钢无缝管精密成形工艺与形性调控

研究内容：超薄壁管热轧金属流动特性与工艺优化，超薄化或大应变热轧变形区高剪切应力及高塑性状态形成机理和超薄

化应力状态条件，以及工艺参数对组织性能、成形稳定性的影响规律；超薄壁不锈钢无缝管旋轧工艺形性调控技术，研究基于晶界效应的多道次冷旋轧超细晶增塑效应，基于平面应力状态的旋轧过程马氏体有害相产生与抑制机制；超薄壁不锈钢无缝管大变形无中间退火低碳旋轧及最终热处理工艺，控制超细晶材料再结晶后晶粒尺寸和马氏体逆相变规律；超薄壁不锈钢无缝管旋轧工艺装备机电液成套开发，大长径比管件旋轧直线度保障机构、开发超薄化旋轧变形几何均匀性保障机构和模具系统；压下、进给机构精密电液控制和基于变形速度的多工艺环节协同调控模型。

技术指标：超薄壁不锈钢无缝管外径  $\phi 3\text{ mm}\sim\phi 108\text{ mm}$ ，极限壁厚  $0.03\sim 0.3\text{ mm}$ ，表面光洁度  $0.6\sim 2.5\ \mu\text{m}$ ，长度  $500\sim 5000\text{ mm}$ ；常温下，晶粒度达到 8 级，抗拉强度提高 30%~50%，轴向和周向（环向）抗拉强度比  $1.2\sim 1.5$ ； $-190\sim 400^\circ\text{C}$ ，随温度的降低，材料的塑性变化低于 20%，在此温度范围内，晶粒尺寸稳定，无析出，无显著相变；在坯料壁厚  $\leq 3\text{ mm}$ ，成品壁厚  $\geq 0.05\text{ mm}$  的区间内，无中间退火，一次性加工完成；建立满足  $\phi 108\text{ mm}$  以下尺寸规格超薄管生产的机电液、控制和工艺集成连续化试制生产线，最高旋轧设备效率  $0.6\sim 2\text{ m/min}$ ，形成  $\phi 610\text{ mm}$  以下规格超薄管设备与工艺技术包。

## 28. 航空航天用大规格高性能细晶均质铝合金铸锭研发与产业化

研究内容: 电磁外场作用下大体积铝合金熔体凝固的形核机制与控制原理; 电磁外场作用下大体积铝合金熔体凝固过程多物理场耦合作用机制; 电磁外场作用下大体积熔体控制凝固与控制成形模型构建; 电磁外场作用下大体积铝合金熔体处理工艺; 高强韧铝合金大规格铸锭流变铸造工程化制备技术。

技术指标: 开发出具有工业应用价值的大规格高强韧铝合金(2XXX 或 7XXX)熔体电磁外场耦合处理新技术, 电磁频率 5~30 Hz, 熔体处理效率 $\geq 200$  Kg/min, 熔体温度均匀性 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ; 制备出直径大于 500 mm 的高强韧铝合金(2XXX 或 7XXX)铸锭, 铸锭组织低倍晶粒度 1 级, 主元素成分偏析率 $\leq 5\%$ , 疏松等级 1 级; 建成年产能 1000 吨的大规格高强韧铝合金(2XXX 或 7XXX)铸锭产业化应用示范线, 产品在航空航天领域得到应用。

## 29. 高压气态、低温液态氢储存容器用不锈钢制备关键技术

研究内容: 高压气态、低温液态氢储存容器用不锈钢成分设计; 镍铬当量对奥氏体组织稳定性的影响规律; 提升奥氏体稳定性关键元素配比; 力-热多场耦合条件下热塑性演化规律及动态再结晶特性; 氢储存容器用不锈钢合理的热加工窗口; “热处理工艺-组织-性能”耦合匹配机制, 热加工工艺参数; 材料室温至 $-269^{\circ}\text{C}$ 区间低温拉伸、低温冲击性能的变化规律。

技术指标: 高压气态氢容器用不锈钢: 镍当量  $\text{Ni}_{\text{eq}} = 12.6\text{C} + 0.35\text{Si} + 1.05\text{Mn} + \text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.95\text{Mo} \geq 28.5\%$ , 室温抗拉强

度  $R_m \geq 525\text{MPa}$ 、屈服强度  $R_{p0.2} \geq 240\text{MPa}$ 、伸长率  $A \geq 50\%$ 、断面收缩率  $Z \geq 70\%$ ，在氢气和空气中的断面收缩率之比  $\geq 0.9$ ；液态氢容器用不锈钢：奥氏体稳定系数  $\Delta = \text{Ni} + 0.5\text{Mn} + 35\text{C} - 0.0833 \times (\text{Cr} + 1.5\text{Mo} - 20)^2 - 12 \geq 0$ ，马氏体低温转变温度  $M_s = \{75 \times (14.6 - \text{Cr}) + 110 \times (8.9 - \text{Ni}) + 60 \times (1.33 - \text{Mn}) + 50 \times (0.47 - \text{Si}) + 3000 \times [0.068 - (\text{C} + \text{N})] - 32\} \times 5/9 \leq -254^\circ\text{C}$ ， $-269^\circ\text{C}$  下抗拉强度  $R_m \geq 1200\text{MPa}$ 、屈服强度  $R_{p0.2} \geq 500\text{MPa}$ 、伸长率  $A \geq 40\%$ ， $-269^\circ\text{C}$  条件下冲击功吸收能量  $KV_2 \geq 120\text{J}$ ，侧膨胀值  $LE \geq 0.76$ 。实现高压气态、低温液态储氢容器用不锈钢工业化生产。

### 30.高性能 Cr-Ni-Mo-V 钢纯净均质制造技术研究及其在高端装备转子中的应用

研究内容：Cr-Ni-Mo-V 系转子锻件纯净均质高性能制造技术；Cr-Ni-Mo-V 转子大型钢锭纯净化冶炼和低偏析控制技术；高效压实锻透致密化成形工艺、均质化和细匀化制坯技术；Cr-Ni-Mo-V 系转子钢成分、热变形力学行为和微观组织演变与工艺参数关联模型；冶炼-成形-热处理全过程微观结构演变及组织遗传特征；绿色高效控性热处理技术。

技术指标：Cr-Ni-Mo-V 转子钢  $P + S + [\text{H}] + [\text{O}] + [\text{N}] \leq 100\text{ppm}$ ；A、B、C、D、Ds 类夹杂物均  $\leq 0.5$  级；屈服强度 ( $R_{0.2}$ )  $\geq 760\text{MPa}$ 、室温拉伸断裂强度  $\geq 860\text{MPa}$ 、延伸率  $\geq 17\%$ 、断面收缩率  $\geq 53\%$ 、 $-20^\circ\text{C}$  冲击功  $KV_2 \geq 81\text{J}$ （纵向/径向）、韧脆转变温

度 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ ; 布氏硬度 260 ~ 300, 布氏硬度值在同一圆弧表面 $\leq 30$ , 在同一母线 $\leq 40$ ; 锻件切向拉伸或屈服强度的波动值 $\leq 70\text{ MPa}$ ; 全区域有 $> \phi 1.0\text{ mm} \sim < \phi 1.6\text{ mm}$ 的密集区 $\leq 3$ 个, 单个密集区轴向长度 $\leq 38\text{ mm}$ , 且每个密集区之间的距离应 $\geq 120\text{ mm}$ ; Cr-Ni-Mo-V 系转子新产品 $\geq 2$ 项, 制定产品相关标准 $\geq 2$ 项。

### 31. 高性能碳化钨-钴基纳米硬质合金产业化技术

研究内容: 最终纳米硬质合金孔隙度小于 A02 级纳米的粉体球磨混合料球化率提升方法; 纳米硬质合金  $\alpha$  晶粒度控制方法; 适用于纳米硬质合金加工刀具的产品刃型、涂层工艺; 纳米硬质合金产品产业化性能稳定性工艺优化;

技术指标: 纳米硬质合金产品  $\alpha$  相晶粒度 $\leq 0.2\text{ }\mu\text{m}$ , 横向断裂强度 $\geq 4500\text{ MPa}$ , 硬度 $\geq 2000\text{ HV3}$ , 实现稳定化量产; 纳米硬质合金涂层刀具寿命超过普通刀具的 10 倍以上。

### 32. 经济型双相不锈钢板材关键技术开发及应用

研究内容: 铸坯低氧、少夹杂、高等轴晶比例的高质量冶炼连铸技术; 高温条件下的两相组织演变行为及动态软化机理, 两相共存条件下的热加工技术; 温度、时间对组织、性能的影响规律研究, 组织性能良好匹配的热处理工艺技术; 冷轧薄板高强化工艺, 满足车体结构轻量化的设计需求; 满足工程化的不同经济型双相不锈钢板材的焊接工艺。

技术指标: 铸坯 $[\text{O}] \leq 35\text{ ppm}$ ; S32101 经济型双相不锈钢铁素

体比例 50~60%， $PREN \geq 25$  ( $PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$ )，性能满足 ASTM A240/A240M 要求；基于 S32101 成分的高强双相不锈钢冷板（钢号待定） $R_{p0.2} \geq 600MPa$ 、 $R_m \geq 750MPa$ 、延伸率  $A_{50} \geq 20\%$ ；S32001 双相不锈钢板材满足 ASTM A240/A240M 要求；实现 S32101、S32001 等经济型双相不锈钢板材在城市交通车辆车体、煤矿井下水管示范应用。

### 33. 低成本超塑性钛合金的开发及应用

研究内容：基于高通量实验、高通量计算和机器学习等手段，辅助钛合金成分设计，建立合金成分-性能的对应关系；使用低成本原料（Fe、Si 等）替代高成本原料（Cr、V 等），使合金原料成本降低的工艺；超塑性机理和超塑性条件，新的热加工工艺，及合金成分-工艺-组织之间的相互联系；制备低成本超塑性钛合金铸锭，结合其热加工特性，合金成分-工艺-组织-性能之间的对应关系。

技术指标：开发 3~5 种低成本超塑性钛合金材料，使合金原材料成本降低不低于 10%；钛合金在温度 500~600°C，应变速率  $10^{-3} \sim 10^{-1} s^{-1}$  范围内变形，延伸率不低于 500%；研发的低成本超塑性钛合金抗拉强度  $\geq 900 MPa$ ，屈服强度  $\geq 830 MPa$ ，延伸率  $\geq 8\%$ ，且总体性能不低于同状态 TC4 合金。

### 34. 深度饱和扩散及晶界调控稀土永磁材料研发与应用

研究内容：颗粒镀膜和原位扩散技术；晶粒边界熔渗扩散工

艺参数—微观结构—磁性能的构效关系；工艺条件下的晶界与主相之间的边界修复工艺；优化晶界相成分的低温烧结技术；新型晶界组织分布和铁磁性调控技术；不同的稀土元素、过渡族元素在晶界扩散后对磁体性能及微观组织的影响；磁体耐腐蚀性和机械特性改善的工艺方法。

技术指标：通过原位扩散技术开发出充磁方向大于 40 毫米的大规格钕铁硼磁体，重稀土渗透量 $\leq 0.5\%$ 的前提下， $B_r$ 降幅 $\leq 0.2$  kGs、渗镨  $H_{cj}$  增幅 $\geq 6$  kOe 或渗铽  $H_{cj}$  增幅 $\geq 10$  kOe；对含重稀土甩片，制备出大规格磁体综合磁性能  $(BH)_{max} + H_{cj} > 85$ ，测样 D10\*10 在 200°C 下 H-B 为直线、内禀矫顽力温度系数 $< -0.4\%/^{\circ}\text{C}$ 、250°C \*8H 磁通不可逆损失 $< 1\%$ ；120°C 100%RH 饱和 96 小时失重 $< 0.1$  mg/cm<sup>2</sup>；抗弯强度 $> 350$  MPa；研发连续颗粒镀膜和低温烧结等新装置，并申请发明专利大于 3 项；开发成套工艺技术，包括粗粉颗粒连续镀膜技术、颗粒晶界扩散技术、细粉晶粒包覆技术、低温烧结技术。

### 35. 空间核系统用氧化物弥散强化（ODS）合金关键制备技术

研究内容：新型 ODS 合金成分优化设计与制备工艺优化；微量轻质元素对 ODS 合金相变行为及氧化物纳米颗粒尺寸、形貌、分布和类型的影响机理；ODS 合金成型过程中相界面、晶界与氧化物纳米颗粒的耦合作用机理；新型 ODS 合金微观组织特

征、高温力学行为及抗辐照性能之间的关联性；新型 ODS 合金固相连接技术工艺优化。

技术指标：建立 ODS 合金相变过程中界面处自由能守恒模型；新型 ODS 合金中氧化物纳米颗粒密度 $\geq 5 \times 10^{23} / \text{m}^3$ ；室温抗拉强度 $\geq 1000 \text{ MPa}$ ，延伸率 $\geq 10\%$ ； $650^\circ\text{C}$  抗拉强度 $\geq 350 \text{ MPa}$ ，延伸率 $\geq 20\%$ ；DBTT $\leq -20^\circ\text{C}$ ； $300^\circ\text{C}$  下  $\text{Fe}^{2+}$  的辐照硬化率 $\leq 15\%$ ， $500^\circ\text{C}$  下  $\text{Fe}^{2+}$  的辐照硬化率 $< 10\%$ 。ODS 合金固相连接接头强度不低于母材。

### 36. 基于复杂工况的高性能耐磨材料的研制与推广

研究内容：W、Mo 合金高锰钢复合变质的热力学条件，动力学条件及触媒效应；成分优化设计，晶粒细化机理与组织控制；W、Mo 元素在奥氏体基体中形成的共格团簇对材料加工硬化性能的促进作用；高强度、高硬度、高韧性、高耐磨综合性能调控方法与机理；产品冶炼、浇铸及热处理工艺关键技术。

技术指标：初始硬度 HB  $> 250$ ；屈服强度  $> 500 \text{ MPa}$ ；冲击韧性  $> 290 \text{ J/cm}^2$ ；产品成品率  $> 90\%$ ；相对耐磨  $> 2$ ；制定产品工艺和标准，实现示范应用。

### 37. 新型储能元件集流体微孔铝箔研发与应用

研究内容：不含酸、碱且对环境友好的中性腐蚀剂对铝箔性能；腐蚀剂、电场强度和箔材带速等因素对箔材孔的大小和密度的影响规律；研究孔参数与箔材强度之间的关系，开发出抗拉强

度满足生产要求的微孔铝箔。

技术指标：微孔铝箔孔洞 200 ~ 3000 个/cm<sup>2</sup>，通孔率≥80%，孔径为 5 ~ 50 μm；微孔铝箔的抗拉强度不低于原铝箔抗拉强度的 90%；微孔铝箔的电阻率增加≤2%；电解液浸润性提高 3 倍以上；离子电池的容量提高 3 ~ 5%。