

### 附件 3

## “高端功能与智能材料”重点专项

### 2023 年度项目申报指南

(仅国家科技管理信息系统注册用户登录可见)

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“高端功能与智能材料”重点专项。根据本重点专项实施方案的部署，现发布 2023 年度项目申报指南。

本重点专项总体目标是：以国家重大需求为导向，支撑新一代信息技术、智能制造、新能源、现代交通、深海/深空/深地探测等重要领域的发展，补短板与建优势并举，解决高端功能与智能材料的重大基础原理、核心制备技术与工程化应用等关键问题。

2023 年度指南部署坚持问题导向、分步实施、重点突出的原则，围绕先进能源材料、关键医用与防疫材料、高端分离膜及催化材料、机敏/仿生/超材料、特种与前沿功能材料和材料基因工程应用技术 6 个技术方向，按照基础研究类、共性关键技术类、应用示范类三个层面，拟启动 44 项指南任务，拟安排国拨经费 5.4 亿元。其中，拟部署 13 个青年科学家项目，拟安排国拨经费 3900 万元，每个项目 300 万元。应用示范类项目要求由企业牵头，配套经费与国拨经费比例不低于 1:1。

项目统一按指南二级标题（如 1.1）的研究方向申报。除特殊

说明外，每个方向拟支持项目数为 1~2 项，实施周期不超过 3 年。申报项目的研究内容必须涵盖二级标题下指南所列的全部研究内容和考核指标。基础研究类项目下设课题不超过 4 个，项目参与单位总数不超过 6 家；共性关键技术类和应用示范类项目下设课题数不超过 5 个，项目参与单位总数不超过 10 家。项目设 1 名项目负责人，项目中每个课题设 1 名课题负责人。

青年科学家项目不要求对指南内容全覆盖，不再下设课题，项目参与单位总数不超过 3 家。项目设 1 名项目负责人，青年科学家负责人年龄要求，男性应为 1985 年 1 月 1 日以后出生，女性应为 1983 年 1 月 1 日以后出生。原则上团队其他参与人员年龄要求同上。

指南中“拟支持数为 1~2 项”是指：在同一研究方向下，当出现申报项目评审结果前两位评价相近、技术路线明显不同的情况时，可同时支持这 2 个项目。2 个项目将采取分两个阶段支持的方式。第一阶段完成后将对 2 个项目执行情况进行评估，根据评估结果确定后续支持方式。

## **1. 先进能源材料**

### **1.1 中温释氢镁基复合储氢材料研发（共性关键技术类，定向委托）**

研究内容：面向大规模氢储运对高效、安全、经济型镁基储氢材料的需求，针对镁基材料释氢温度高的问题，发展镁基复合储氢材料性能的理论预测模型，开发高容量、安全、长寿命中温释氢镁基复合储氢材料；开发成分和相结构可控的镁基复合储氢材料的

低成本稳定化制备技术;研究镁基复合储氢材料的吸放氢机制及热/动力学性能与稳定化方法;确定镁基复合储氢材料在服役过程中成分和相结构的演变及其对材料综合储氢性能的影响机制。

考核指标: 建立镁基复合储氢材料性能的理论预测模型, 开发新型镁基复合储氢材料。其中, 质量储氢密度  $\geq 4.8 \text{ wt.}\%$ , 放氢温度  $\leq 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 释放理论储氢量 90 %所需时间  $\leq 15 \text{ min}$ , 放氢纯度  $\geq 99.999\%$ , 吸氢压力  $\leq 3.0 \text{ MPa}$ , 放氢压力  $\leq 0.1 \text{ MPa}$ , 循环 2000 次后有效储氢密度  $\geq 4.0 \text{ wt.}\%$ ; 形成百吨级储氢镁合金生产能力, 合格率  $\geq 95\%$ ; 建立分布式储能纯化示范装置。

有关说明: 由重庆市科技局作为推荐单位组织申报。

关键词: 镁基复合材料, 固态储氢, 中温释氢, 储氢性能

## **1.2 高效低能耗电源用软磁合金集成技术开发(应用示范类)**

研究内容: 围绕通讯及新能源领域对先进处理芯片随功率提升导致功耗增加的问题, 满足配电模式从横向到垂直供电、再到芯片异质集成的发展趋势, 开发感抗类高频低损耗磁性材料及高功率密度铁芯; 开发基于软磁材料的异质集成或模块集成技术; 研制出通讯及新能源用高频电源模块样机, 实现示范应用。

考核指标: 磁粉芯 1MHz 下有效磁导率  $\geq 50$ , 损耗  $P_{cv}(3\text{MHz}, 50\text{mT}) \leq 18\text{W}/\text{cm}^3$ ; 电感用磁芯饱和磁感应强度  $\geq 1.2\text{T}$ , 有效磁导率  $\geq 40000(100\text{kHz})$ ; 通讯芯片供电用 800W 以上电源异质集成样机相比横向供电效率提升 1%; 新能源友好并网用 200kW 以上电源样机效率  $\geq 98\%$ , 功率密度相比原有软磁材料方案提升

5%，并实现示范应用。

关键词：低损耗磁性材料，异质集成，高频电源，芯片供电

### 1.3 失效电池正负极材料结构与功能修复关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对大量失效锂离子电池回收流程长、效率低、成本高等问题，开发失效电池正负极材料功能与结构直接修复再利用关键技术。研究电池正负极材料性能衰减和结构劣变等失效机理，开发失效电池智能化检测与性能评估新技术；研究正负极活性物质与集流体之间精准高效剥离技术及机理；研究在分子尺度上修复失效正极材料功能与结构的原理与方法，实现正极材料的直接修复再利用；研究失效石墨负极中有机质材料的去除和结构修复方法，开发石墨负极高效修复再生技术。

考核指标：失效锂离子电池电极活性物质剥离后的损耗率 $\leq 0.5\%$ ；在同样测试条件下，直接修复的正极材料的初始容量与循环性能经过安时级单体电池验证，达到同种商业化正极材料平均水平（磷酸铁锂：0.2C 倍率时首次放电容量 $\geq 155 \text{ mAh/g}$ ，循环次数 $\geq 5000$ ；三元正极材料容量 $\geq 180 \text{ mAh/g}$ （4.2V），循环次数 $\geq 2000$ ）；再生石墨负极材料的回收率 $\geq 90 \text{ wt}\%$ ，再生石墨固定碳含量 $\geq 99.5\%$ ，0.2C 倍率时首次放电容量 $\geq 350 \text{ mAh/g}$ ，首次库仑效率 $\geq 93\%$ 。实现年处理百吨级的失效锂离子电池正、负极活性物质的直接修复再生中试生产示范线各 1 条。

关键词：失效电池，正负极材料，精准剥离，材料直接修复，

高效再生

#### 1.4 塑性及宽温域热电材料宏量制备与器件集成技术（共性关键技术类）

研究内容：面向柔性电子/物联网等新兴领域和太空/海洋等应用环境对自维持免维护能源技术的迫切需求，研究开发室温附近高性能塑性无机热电材料和宽温域高稳定性热电材料，探索电热输运调控新方法，发展宏量制备技术；揭示热电材料与电极优化集成方案及复杂工况下界面微结构和性能演化规律，建立面向全温区、多场景下热电器件的设计模型与规模化集成制造技术；解析复杂工况下热电器件性能衰减机制，提出全面提升无机热电材料的热、电、力等综合使役性能的方法。

考核指标：获得室温附近高性能塑性无机热电材料，热电优值  $zT \geq 0.6$ ，功率因子  $\geq 20 \mu\text{W}/\text{cmK}^2$ ；开发 400—1000 K 平均  $zT$  值  $\geq 1.4$  的宽温域高性能热电材料，在 1000 K 不分解不软化；实现公斤级材料宏量制备；研制归一化功率密度  $\geq 40 \mu\text{W}/\text{cm}^2\text{K}^2$  的面外型柔性热电器件，厚度在 (0.3—1) mm、1000 次弯曲后性能衰减  $\leq 5\%$ ；研制的宽温域热电发电器件在 400—1000 K 温区能量转换效率  $\geq 10\%$ 、功率密度  $\geq 3 \text{ W}/\text{cm}^2$ ；热电发电器件输出功率年衰减率  $\leq 2\%$ 。

关键词：热电材料，器件集成，电热输运，制备技术

#### 1.5 高比能长寿命镁二次电池关键材料与技术（基础研究类）

研究内容：面向国家对储能的迫切需求，利用我国高丰度资

源，开发具有自主知识产权的镁二次电池关键材料。研究能够快速脱嵌镁离子的新型正极材料，从原子尺度探明其储镁机理与镁离子脱嵌动力学调控机制；研究防钝化的镁合金负极材料，探索镁负极无枝晶沉积的本征规律，揭示超薄塑性成形机理与钝化抑制机制，发展镁合金负极箔材加工技术；探索镁离子的传输以及在电极/电解液界面的去溶剂化机制，揭示电极/电解液界面演变规律，开发与正负极材料适配的新型镁电解质体系；开发纤维素类复合隔膜，研究其与电解质的浸润性、镁离子的扩散性能；基于所开发的材料设计并构筑全电池，通过电池材料及结构的优化，实现高比能和长寿命，推进实际应用。

考核指标：开发的储镁正极材料比容量 $\geq 170 \text{ mAh/g}$ ，在 5C 下循环寿命 $\geq 3000$  次。负极材料在  $3 \text{ mA/cm}^2$  电流密度下循环寿命 $\geq 3000$  次、平均库仑效率 $\geq 99.5\%$ ，厚度 $\leq 50 \text{ }\mu\text{m}$ 。研发出可同时兼容正负极的镁电解质体系，电位稳定窗口 $\geq 3.5 \text{ V}$ 、离子电导率 $\geq 4.0 \text{ mS/cm}$ 。研制的安时级镁二次电池单体能量密度 $\geq 150 \text{ Wh/kg}$ ，循环 2000 次后，放电容量保持率 $\geq 80\%$ 。

关键词：镁二次电池，无枝晶镁负极，储镁正极，电化学储能

## 1.6 高性能超导薄膜及电子学应用（青年科学家）

研究内容：针对高灵敏度新型超导器件研制的需求，研究高性能高温超导超薄膜在沉积过程中的结晶和生长机理，开发纳米级厚度高温超导超薄膜的制备技术。设计高温超导光电薄膜器件，开发出适用的微纳加工技术。研究高温超导超薄膜的光响应特性，

探索高温超导材料在光激发过程中光子—电子相互作用。

考核指标：获得 2 类以上不同衬底上纳米级厚度高温超导超薄膜的制备工艺；薄膜厚度  $\leq 10\text{ nm}$ ，超导转变温度  $T_c \geq 25\text{ K}$ ，转变温度宽度  $\Delta T_c \leq 1\text{ K}$ ；构建 1 个高温超导薄膜中光子—电子相互作用理论模型，设计并制备至少 1 种高温超导光电探测器件，对 500—5000 nm 的单光子探测效率达到 50% 以上。

关键词：高温超导，超薄膜，电子学，光响应

### 1.7 高性能介观电子传输层材料研究（青年科学家）

研究内容：面向新一代钙钛矿太阳能电池的应用需求，发展稳定性高、界面兼容性好、迁移率合适的电子传输层材料及其载流子浓度和能级调控策略；研制均匀分布的高结晶性、单分散、尺寸可控的纳米级电子传输层材料；开发高质量电子传输层浆料与介观电子传输层薄膜的制备技术，实现大面积均匀介观电子传输层薄膜的可控制备。

考核指标：提供新一代电子传输层材料，传输层材料纳米颗粒粒径为 30 nm 左右，电子传输层薄膜迁移率  $\geq 1\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ，电子传输层膜厚超过 2 微米的光伏器件光电转换效率  $\geq 26\%$ ；面积不小于  $1\text{ m}^2$  基底上均匀介观电子传输层薄膜厚度差异  $\leq 10\%$ ；85 度全光谱光照 1000 小时，介观电子传输层薄膜性能衰减  $\leq 1\%$ 。

关键词：太阳能电池，电子传输层材料，制备技术

### 1.8 体温调控与发电一体化的热电纤维织物（青年科学家）

研究内容：针对便携式电子设备的可持续电源供给方面的需

求，开发柔韧可编织热电纤维的新型宏量拉丝技术，研制高性能单根热电纤维材料与器件；发展热电织物的规模化特种编织技术，研制高性能可穿戴体热发电及体温调控一体化的热电纤维织物系统。

考核指标：单根高柔韧热电纤维连续拉丝长度 $\geq 50$  m，抗拉强度 $\geq 40$  MPa，热电优值 $zT \geq 0.8$ ；热电织物温差发电方面，在热电织物两面温差为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，发电功率 $\geq 4\text{ W/m}^2$ ；热电织物制冷方面，在环境温度 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，实现热电制冷降温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，持续降温时间 $\geq 4$  小时；热电织物的柔性及耐久性：在环境温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，织物的弯曲半径 $\leq 2\text{ mm}$ ，弯曲循环稳定性 $\geq 1000$  次；耐水洗稳定性 $\geq 30$  次，满足织物的热湿舒适性穿着需求。

关键词：柔性纤维，热电织物，发电，制冷

## 2. 关键医用与防疫材料

2.1 生物适配型抗菌材料及其表面功能化关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对临床量大面广的骨、口腔、软组织修复材料及各种外科手术引起的细菌感染难题，研究具有高抗菌性、多功能化并能够促进组织功能修复的生物适配型抗菌材料及其功能化表面构建关键技术；研究修复体和/或功能化表面材料的降解性能、抗菌性能及促组织修复性能，实现正常及感染等不同微环境下性能的精准可控；研究修复过程中材料抗菌性能与促组织修复性能的选择性表达规律和协同作用机制；综合评价材料体内生物适配性能及组织修复效果。



考核指标：获得不少于 5 种生物适配型抗菌修复材料，抗菌生物活性分子层厚度在 100 纳米以内，稳定性大于 30 天，生物降解周期 180 天以内；功能化表面构建过程中，材料力学性能变化率在 5% 以内；功能化材料表面能够适应高酶、变温、动态湿润等复杂生理环境，对微环境中 pH、温度等参数变化的响应时间少于 1 分钟；响应循环次数超过 20 次；骨、软组织等修复材料对临床常见耐药菌的杀菌率大于 98%，生物被膜抑制率大于 85%；口腔修复材料的细菌粘附率降低 80% 以上，生物被膜抑制率大于 85%；材料植入体内后无炎症、排异反应，促进组织愈合和生长能力不低于材料改性前；完成 3—5 种修复材料的动物体内抗菌性能和促组织修复疗效评价。

关键词：骨修复材料，口腔修复材料，软组织修复材料，抗菌材料，生物适配

## 2.2 近红外二区光学诊断材料与探针（共性关键技术类）

研究内容：面向恶性肿瘤精准诊疗需求，发展光学性能精准调控新策略，开发系列原创性的近红外二区光学材料体系；建立近红外二区光学材料的合成生产工艺，实现高可控性量产制备；开发近红外二区成像检测新技术，及多源生理、病理信号的多重实时动态检测新方法；开发近红外二区光学诊断试剂在肿瘤精准检测诊断和肿瘤免疫治疗中的应用。

考核指标：获得 5—8 种高性能量子点、稀土纳米发光粒子、荧光染料等近红外二区材料，波长 1000—1700 nm，荧光寿命 1 ns

—20  $\mu\text{s}$  可调, 绝对荧光量子效率  $> 30\%$  或峰值摩尔吸光系数  $> 10^6 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ , 以保证荧光亮度  $> 2 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ; 建立 2 种以上近红外二区光学材料规模化制备技术, 分子或颗粒化学纯度  $> 95\%$ ; 建立近红外二区荧光强度、荧光寿命、波长等多维度、多通道、跨尺度成像技术方法, 时间分辨率  $> 20 \text{ Hz}$ ; 实现  $> 5$  通道多重成像检测, 宏观成像时活体穿透深度  $> 1 \text{ cm}$ , 光学空间分辨率  $< 100 \mu\text{m}$ , 显微成像时组织穿透深度  $> 1 \text{ mm}$ , 光学空间分辨率  $< 10 \mu\text{m}$ ; 完成不少于 50 例的肿瘤术中快速病理检测, 检测的灵敏度和特异性均  $> 90\%$ 。

关键词: 近红外二区光学材料, 荧光成像, 寿命成像, 肿瘤诊疗

### 2.3 构建软组织修复体的功能材料及关键技术 (共性关键技术类)

研究内容: 针对血管、心瓣膜等软组织损伤修复需求, 研究具有抗凝血功能的软组织修复功能材料及修复体构建关键技术; 研究功能材料与血液界面相互作用; 评价功能材料体内生物相容性及再生修复效果。

考核指标: 获得 2—3 种用于血管、心瓣膜修复的功能材料; 血管材料本体拉伸强度大于  $15 \text{ MPa}$ , 顺应性大于  $1\%/100 \text{ mmHg}$ , 血管爆破压大于  $2000 \text{ mmHg}$ , 弹性模量  $> 5 \text{ MPa}$ , 断裂伸长率  $> 65\%$ , 缝合保持力  $> 2 \text{ N}$ , 体内植入 3 个月后内皮化率大于  $60\%$ ; 获得 1—2 种可用于制备组织工程瓣膜的基质材料, 极限拉伸强

度大于 3 MPa，拉伸模量大于 5 MPa，瓣膜表面一个月内实现自体上皮化率大于 60%，制备人工心脏瓣膜器件的体外脉动流试验性能符合 ISO 5840 或 GB12279 标准，疲劳试验可通过大于 5000 万次耐久性测试；完成 1—2 种上述软组织修复功能材料在实验动物水平的功能性评价。

关键词：软组织修复，抗凝血材料，血管，心瓣膜

## 2.4 高活性骨组织修复材料研发（共性关键技术类）

研究内容：针对骨组织修复材料生物活性低的难点问题，研发仿天然骨拓扑微纳和多级孔结构的高活性骨组织修复材料，用于超临界尺寸骨缺损的修复；研究功能活性成分在骨组织修复体的分布对调控免疫细胞、内源性干细胞招募、成骨性能、成血管和修复效率的影响和构效关系，研究骨组织修复材料调节免疫、促进骨组织修复的综合性能和成骨机制。

考核指标：研发 2~3 种用于修复骨缺损的高活性骨组织修复材料，生物相容性符合 ISO10993 或 GB/T16886 标准，孔隙率  $\geq 60\%$ ，孔径  $\geq 200\ \mu\text{m}$ ，初始抗压强度  $\geq 30\ \text{MPa}$ ，压缩弹性模量 200—2000 MPa，体内 3—6 个月完全降解，超临界尺寸骨缺损完全修复，修复部位力学强度达正常宿主骨的 70%，成骨量  $\geq$  商用无机骨修复材料（硫酸钙，Wright）的 120%，抑制促炎型免疫细胞  $\geq$  商用无机骨修复材料（硫酸钙，Wright）的 150% 以上，招募内源性干细胞数量  $\geq$  商用无机骨修复材料（硫酸钙，Wright）的 10 倍以上，促进血管化  $\geq$  商用无机骨修复材料（硫酸钙，Wright）

的 2 倍以上；完成上述高活性骨组织修复材料在大动物水平的评价。

关键词：高活性骨修复，超临界尺寸骨缺损，免疫调节

## **2.5 分子影像探针材料（青年科学家）**

研究内容：围绕肾功能精准评估与检测需求，研发具有可经肾有效清除的肾功能分子影像探针材料以及肾脏过滤、重吸收、外排等重要生理功能的无创灵敏检测方法，建立分子水平对肾脏功能定性与定量评估的技术；研究肾功能分子影像探针在多种肾脏疾病早期诊断及治疗跟踪上的应用。

考核指标：研发 3—5 种用于肾功能评估与无创检测的计算机断层扫描（CT）成像探针，探针尺寸 $<6\text{ nm}$ ，探针材料 X 射线（100 KeV）吸收系数 $>4.0\text{ cm}^2/\text{g}$ ，24 小时内肾脏清除率 $>50\%$ 注射剂量（ID），7 天内肾脏清除率 $>90\%$  ID，肝脏总摄取量 $<10\%$  ID；探针成像性能优于临床 CT 碘造影剂，达到相同肾脏皮髓质对比度所用探针剂量比临床碘造影剂剂量低 2 倍以上；探针检测肾功能损伤灵敏度优于常用的血清尿素氮和肌酐肾功能指标；完成至少 3 种肾病小动物模型的早期检测与肾功能实时监测，并利用探针阐明关键调控生物分子及细胞变化和肾病发生与发展的关系。

关键词：探针材料，分子影像，肾功能检测

## **2.6 生物大分子水凝胶材料（青年科学家）**

研究内容：面向难愈合消化道溃疡等组织损伤修复的需求，研究基于聚氨基酸、多糖等的生物大分子水凝胶，发展响应性快

速凝胶化技术；研究生物大分子水凝胶对生物活性分子的控制释放、组织湿粘接和密封能力，及促组织修复能力。

考核指标：获得 3~4 种可注射生物大分子水凝胶，储存稳定性大于 1 年，在 32~37 °C 或 pH 1.0~4.0 条件下凝胶化时间小于 10 秒，湿粘接强度（pH 1.0~4.0 条件下）大于 30 kPa，且 1 周内粘接强度下降小于 10%；弹性模量在 30~60 kPa 可调，匹配消化道弹性模量；在消化道组织损伤模型中，水凝胶创面停留时间大于 2 周，抵抗胃壁周期性运动（10 kPa/次）且爆破压大于 20 kPa，阻止消化道内容物溢出大于 1 周，组织修复炎症期小于 1 周，实现受损组织再生修复。

关键词：生物大分子水凝胶，智能响应，组织湿粘接，组织损伤修复

### **3. 高端分离膜与催化材料**

#### **3.1 耐温型有机复合膜研制及膜接触器技术（共性关键技术类）**

研究内容：面向化纤、医药等工业对耐温型有机复合膜的应用需求，研究膜材料耐温机理及失效机制，开发耐温型复合纳滤膜、反渗透膜等膜材料及关键制备技术；研究耐温型膜元件成型工艺及封装方法，开发耐温型有机复合膜的应用技术与成套装备，开展高温下膜运行稳定性评价研究；研究膜接触器传质分离机制，开发膜接触器的应用技术。

考核指标：开发出 2 种耐温型复合纳滤膜，截留分子量  $\leq 200$  Da，MgSO<sub>4</sub> 脱除率  $\geq 96\%$ ，耐温  $\geq 70$  °C，在 10 wt% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 10

wt% NaOH 环境中，稳定运行时间  $\geq 90$  天，性能衰减率  $\leq 5\%$ ，建成处理能力为千吨级/日的膜应用装置；开发 1 种耐高温复合反渗透膜，NaCl 脱除率  $\geq 99.5\%$ ，研发的膜材料在温度  $\geq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$  的体系中稳定运行时间  $\geq 1$  年，溶胀率、性能衰减  $\leq 10\%$ ，建成  $\geq 100$  万  $\text{m}^2$ /年的耐温型反渗透膜规模化生产能力；开发 2 类膜接触器，在温度  $70^{\circ}\text{C}$  下，膜接触器传质效率提高 20%，建成处理能力不小于 10 吨/日的中试装置，1000 h 运行后膜性能衰减  $\leq 10\%$ 。

关键词：耐温型有机膜，耐温型纳滤膜，耐温型反渗透膜，膜接触器

### 3.2 反应过程强化用结构化催化剂关键技术与应用示范（应用示范类）

研究内容：针对绿色液相选择氧化、固体酸催化等重要化工生产反应过程强化传热、传质和突破反应平衡限制的需求，开发结构化催化剂结构优化方法、活性位的精细结构调控方法及规模化制备技术；研制面向己内酰胺高效绿色生产的微纳结构化钛硅分子筛催化剂、面向苯二酚高效绿色生产的整体式结构化钛硅分子筛催化剂、面向马来酸二甲酯绿色生产的催化—分离一体化结构化固体酸催化剂，开发相应的反应工艺并进行工业示范。

考核指标：整体式结构化催化剂载体的开孔孔隙率  $\geq 70\%$ 、抗压强度  $\geq 10\text{ MPa}$ 、导热系数  $\geq 10\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，生产能力百吨级/年规模以上；形成环己酮氨肟化微纳结构化催化剂、苯二酚合成整体式结构化催化剂和马来酸二甲酯合成整体式结构化催化剂 100

吨/年生产能力。其中，①微纳结构化钛硅分子筛催化剂在 10 万吨/年己内酰胺水体系氨肟化—溶剂重排生产装置中实现工程应用，环己酮转化率和环己酮肟选择性均  $\geq 99.9\%$ ，较传统的以叔丁醇为溶剂的反应工艺，时空收率提高  $\geq 20\%$ 、溶剂安全绿色化；②整体式结构化钛硅分子筛催化剂在 1000 吨/年苯二酚生产装置中实现工程应用，苯酚有效转化率  $\geq 85\%$ ，较传统淤浆床工艺，时空收率提高  $\geq 20\%$ 、节能  $\geq 20\%$ ；③整体式结构化固体酸催化剂在 1000 吨/年马来酸二甲酯生产装置中实现工程应用，较传统先反应后精馏工艺，时空收率提高  $\geq 20\%$ 、节能  $\geq 20\%$ 。催化剂寿命考核时间均  $\geq 1000$  h，性能衰减小于 1%。

关键词：结构化催化剂，过程强化，绿色液相选择氧化，固体酸催化

### 3.3 高装填密度无机微孔膜的制备与应用技术（共性关键技术类）

研究内容：针对石化行业低碳烃分离能耗高的问题，研究用于低碳烃高效分离的无机微孔膜材料，开发高强度高装填密度无机载体，研究载体构型对膜机械强度和分离性能的影响；研究膜微结构的调控方法，开发先进微孔膜材料，探究烃分子选择性分离机理；开发高装填密度微孔膜的放大制备技术及膜应用装置，开展微孔膜在典型低碳烃分离中的中试评价。

考核指标：开发出高强度无机载体材料，三点抗弯载荷力  $\geq 2000$  N。开发出金属有机框架、沸石分子筛等 3 种以上高填装密

度无机微孔膜材料，填装密度 $\geq 300 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。微孔膜应用于低碳烃体系的分离因子 $\geq 100$ ，渗透速率 $\geq 100 \text{ GPU}$ 。建设  $1000 \text{ m}^2/\text{年}$ 的多通道微孔膜中试生产线，单个膜元件面积 $\geq 0.2 \text{ m}^2$ ，膜组件面积 $\geq 2 \text{ m}^2$ 。开发不同应用体系的微孔膜中试应用装置 3 套，日处理量 $\geq 100 \text{ Nm}^3/\text{套}$ ；开展应用性能评价，运行考核时间 $\geq 1000$  小时，烃产品纯度 $\geq 99\%$ ，分离能耗较精馏技术节 50%以上。

关键词：微孔膜，烃分离，高装填密度，无机膜

### 3.4 典型污染物治理用催化剂及成套技术示范(应用示范类)

研究内容：针对化工、钢铁等行业多污染物协同治理和源头治理的应用需求，开发高效环境催化剂及反应器技术。研究污染物转化过程的强化技术和多污染物协同催化机制，开发高净化效率和高能源效率的有机物富集回收—高效催化燃烧技术；研究临氧裂解催化剂技术，开发多污染物协同净化与过程强化技术；研究高稳定性的高效水解催化材料，开发源头脱除羰基硫的催化固定床反应器；开展典型难降解污染物高效治理的工程应用示范。

考核指标：研制典型高效环境催化材料及化工多污染物催化净化新技术，运行温度 $<400 \text{ }^\circ\text{C}$ ，有机废弃物降解效率 $\geq 99.9\%$ ，催化燃烧反应热回收利用率 $\geq 50\%$ ；净化后尾气非甲烷总烃浓度 $\leq 60 \text{ mg/m}^3$ 、 $\text{NO}_x < 30 \text{ mg/m}^3$ ，净化后尾水 COD $\leq 50 \text{ mg/L}$ ，化工无机废盐 TOC 降至  $100 \text{ mg/L}$  以内；研制的高效羰基硫水解催化剂用于模拟高炉煤气的净化，在温度不高于  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 下，羰基硫转



化率  $\geq 95\%$ ，硫化氢选择性  $\geq 95\%$ ；建立多污染物协同治理催化净化示范装置 2 套，稳定运行 1000 h 以上，催化性能下降  $< 10\%$ ，运行成本下降 10%。

关键词：环境催化剂，多污染物协同治理，源头脱硫

### 3.5 高效水净化膜材料制备关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对水中微污染物高效脱除的应用需求，研究微液滴多尺度成膜结构单元与成膜反应界面调控机制的协同耦合技术，开发具有纳米级复合结构的分离膜材料可控制备新技术；研究膜化学组成、孔道结构和微观形貌对膜分离性能的影响规律，开发分离膜增材制造规模化制备技术及中试生产线；研究混合基质浆料快速成膜方法，研制具有梯度孔结构的超微滤膜，开发微污染地表水膜法净化工艺与成套装备。

考核指标：开发 3 种以上分离膜材料的可控制备新技术，研制的膜产品较商品化同类型膜产品分离性能提升 20%；复合膜对分子量 200 Da 以下微污染物去除率  $\geq 99\%$ ，水渗透系数  $\geq 10 \text{ L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$ ；超微滤膜孔径在 10—500 nm 范围内可调，对应的水渗透系数为 500—2000  $\text{L}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{bar}^{-1}$ ；建成增材制造膜中试线，膜幅宽  $\geq 0.5 \text{ m}$ ，制膜工艺的溶剂使用量降低 80% 以上；开发出 2 种以上典型微污染水处理的膜集成工艺，建成处理量  $\geq 100 \text{ t/d}$  的应用装置，连续运行时间大于 1000 h，膜性能衰减  $\leq 5\%$ ，运行成本下降 10%。

关键词：膜材料，微污染物水处理，膜制备技术

### 3.6 微孔离子筛膜材料的关键技术（青年科学家）

研究内容：面向盐湖卤水、海水等直接提锂的应用需求，研制离子型共价有机框架、仿生离子通道等微孔离子筛膜。研究膜材料设计合成方法，开发仿生离子通道精密构筑关键技术，揭示一价离子在膜通道内水合一去水合行为及多尺度流固耦合关系，探索离子竞争性传递机制及其主动调控方法，开展微孔离子筛膜的验证性应用研究。

考核指标：开发出微孔离子筛膜制备关键技术，研制出 2 种以上具有自主知识产权的微孔离子筛膜，膜的锂离子通量  $\geq 10 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{h}$ ，锂镁混合体系选择性  $\geq 500$ ，锂钾混合体系选择性  $\geq 20$ ，膜性能考核时间  $\geq 100 \text{ h}$ 。

关键词：离子筛膜，微孔膜，锂镁分离，锂钾分离

### 3.7 多孔聚离子液体催化剂及应用技术（青年科学家）

研究内容：针对  $\text{CO}_2$  捕集与转化的应用需求，开发对  $\text{CO}_2$  具有高效捕集与催化转化的多孔聚离子液体；发展新型高效  $\text{CO}_2$  催化转化反应路线；研究离子液体多活性位点和孔道特性与反应物间相互作用及协同调控反应新机制；探索离子液体强静电微环境活化 C-O 键及 C-H、C-C 化学键重构机理；开发多孔聚离子液体的结构精准控制方法和制备技术。

考核指标：研制出 4~6 种多孔聚离子液体催化材料；开发出 2~3 个  $\text{CO}_2$  高效捕集与催化转化体系，其中  $\text{CO}_2$  与水电催化反应制备单一产物（甲烷、乙烯、乙醇等）的法拉第效率高于 80%，电流密度高于  $300 \text{ mA/cm}^2$ ，稳定考核 100 h 以上； $\text{CO}_2$  耦合工艺

制碳酸二甲酯、碳酸二乙酯的产率大于 80%；构建 CO<sub>2</sub> 捕集与催化转化平台；掌握多孔聚离子液体材料公斤制备技术。

关键词：聚离子液体，多孔，CO<sub>2</sub> 转化，工程制备技术

### **3.8 高性能碱性离子交换膜制备技术（青年科学家）**

研究内容：针对碱性环境下电解水制氢关键膜材料稳定性的问题，研究螺环和扭曲结构对离子交换膜材料稳定性的影响规律，开发低电阻、高化学稳定性碱性离子交换膜材料，研制高性能碱性离子交换膜，建立膜材料结构、离子传导与电解水制氢效率间的构效关系，评估碱性离子交换膜在电解水制氢中的稳定性。

考核指标：碱性离子电导率  $\geq 0.08 \text{ S/cm}$  (25°C) 和  $\geq 0.18 \text{ S/cm}$  (80°C)，氢气透过率  $\leq 0.02 \text{ mL/min}\cdot\text{cm}^2$ ，纵横向溶胀率  $\leq 10\%$ ，机械强度  $\geq 40 \text{ MPa}$ ，断裂伸长率  $\geq 50\%$ ，阳离子降解  $\leq 5\%$  (1 M NaOH 中 80 °C 下浸泡 6000 h)，厚度  $\leq 50 \mu\text{m}$ ，单张膜面积  $\geq 2 \text{ m}^2$ 。

关键词：离子交换膜，碱性离子电导率，电解水

## **4. 机敏仿生超材料**

### **4.1 面向下一代移动通信应用的高性能电磁屏蔽复合材料（共性关键技术类）**

研究内容：面向以 6G 为代表的下一代移动通信技术对高性能电磁屏蔽材料的重大需求，开展空基通讯和地基通讯电磁防护材料关键技术研究：发展 GHz/THz 多频谱兼容智能屏蔽/吸波材料设计方法，揭示材料组成及结构与宽频电磁屏蔽/吸波之间的构效关系，开发高强韧、高导热、耐高低温、耐原子氧剥离等特殊

空天地服役环境下高效电磁屏蔽复合材料，阐明力—热—电—磁多物理场耦合作用机理；研究典型模拟服役条件下材料电磁屏蔽/吸波性能演变规律以及性能稳定机制；在典型星载和地面通信设备中进行应用演示验证。

考核指标：开发的星载通信用的电磁屏蔽材料在 0.5 GHz~3 THz 频率区间和 4.3 THz 频点下材料电磁屏蔽效能  $\geq 100$  dB（工作温度范围：-196~300 °C），模拟空天典型环境下屏蔽效能保持率  $\geq 90\%$ ；地面设备用电磁屏蔽材料在（0.5~75 GHz）屏蔽效能  $\geq 60$  dB；有效吸波频段（吸收强度高于 10 dB） $\geq 50$  GHz，最大吸收强度  $\geq 40$  dB，具备优良的电连接能力。轻质材料密度低于 0.5 g/cm<sup>3</sup>，压缩率  $\geq 50\%$ ；结构材料密度  $\leq 1.8$  g/cm<sup>3</sup>，拉伸强度  $\geq 90$  MPa，材料断裂延伸率  $\geq 5\%$ ，热导率高于 15.0 W/(m·K)。在星地通信设备中实现演示应用。

关键词：6G 通讯，电磁屏蔽，复合材料

#### 4.2 用于磁共振成像图像增强的共形超构材料（共性关键技术类）

研究内容：针对磁共振成像因信噪比低而导致图像质量差和检测效率低等核心问题，开展基于人体形态学的共形超构材料磁共振图像信噪比增强机理研究；揭示非线性超构材料的频率响应规律及其对射频接收场的增强机理，发展基于非线性响应理论的超构材料智能场调控技术；开发基于低损耗材料体系与无磁性电子元件集成的超构材料，在磁共振成像设备中实现演示应用。

考核指标：开发出用于磁共振成像增强超构材料：用于膝关节、肘关节、腕关节成像的超构材料在 1.5T 成像时信噪比达到或超过目前正在使用的通用设备原配 4 通道线圈 2 倍；用于甲状腺和眼球成像的曲面型超构材料实现在 1.5 T 成像甲状腺的信噪比  $\geq$  头颈联合线圈单独使用的 2 倍，3.0 T 成像眼球的信噪比  $\geq$  头线圈单独使用的 2 倍。

关键词：图像增强，智能调控，超构材料，核磁共振

#### **4.3 无线通信中继用信息超构材料及器件（共性关键技术类）**

研究内容：研究信息超构材料对空间电磁波的散射机理和波束赋形方法，探索信息超构材料与环境的一体化建模及仿真技术；研究信息超构材料单元的快速、智能设计技术，实现以编程的方式调控电磁波特性和实现信息超构材料在无线系统中大流量、低时延的快速协同通信。

考核指标：研制出无线通信中继系统用信息超构材料，单元数大于 4000 个，每个单元可独立控制，调相范围大于等于 300 度，调制时间小于 500 ns；用于无线中继基站，在 Ka 波段水平方位角覆盖 -60~60 度，无线链路用户端接收信噪比提高 10 dB 以上，技术成熟度达到 4 及以上。

关键词：信息超构材料，无线通信，中继

#### **4.4 智能光限幅吸波体超构材料（青年科学家）**

研究内容：面向高铁、新能源汽车等高端装备对具有屏蔽和防护作用的节能型光限幅透明材料的重大需求，发展基于智能光

限幅吸波体的超构材料多物理场协同设计理论，阐明智能光限幅组装体对光子光电子输运转转换的调控机制，开展智能光限幅吸波一体化超构材料制备及应用验证研究。

考核指标：提出光限幅透明超构材料智能调控理论。研制智能光限幅吸波体超构材料，外形尺寸不小于  $350 \times 400 \text{ mm}$ ，对入射光的入射角度不敏感，在正入射及大角度入射均保持可见光透过率  $> 70\%$ ，可承受辐照剂量  $\geq 130 \text{ J/cm}^2$ ，透过辐照剂量  $\leq 7 \text{ J/cm}^2$ ，响应时间  $\leq 150 \text{ ms}$ ，X 波段吸收效能  $\geq 10 \text{ dB}$ 。

关键词：光限幅吸波体，智能玻璃，外场调控

#### 4.5 自供能异质集成芯片用金刚石材料（青年科学家）

研究内容：针对深空、海底油井等对耐高温、耐辐射、十年以上自供能运行的传感芯片的重大需求，开发高性能增强型金刚石 pMOS 器件，实现高性能金刚石同位素电池供能单元与金刚石芯片异质集成，完成高性能金刚石与门、非门搭建，获得以电子级高定向金刚石晶圆材料为载体的、集成金刚石同位素电池与 CMOS 器件的芯片样件，并对其在高温、辐射等特殊场景进行应用验证。

考核指标：电子级高定向金刚石晶圆直径  $\geq 100 \text{ mm}$ ，杂质含量（氮、硼、硅、钨、钽、镍） $\leq 50 \text{ ppb}$ ，拉曼半峰宽  $\leq 2 \text{ cm}^{-1}$ ，高取向晶面 XRD 摇摆曲线半峰宽  $\leq 100 \text{ arcsec}$ ，氢终端方阻  $\leq 1000 \text{ } \Omega/\square$ 。金刚石场效应晶体管导通电流密度  $\geq 1000 \text{ mA/mm}$ ，增强型金刚石场效应晶体管  $V_{th} < 0 \text{ V}$ 。n 型场效应晶体管导通电

流密度  $\geq 1000 \text{ mA/mm}$ 。CMOS 电压增益  $\geq 100$ 。金刚石同位素电池开路电压  $\geq 2 \text{ V}$ ，输出功率  $\geq 1000 \text{ nW}$ 。在环境温度  $-30$  到  $50^\circ\text{C}$  范围内，相对于  $25^\circ\text{C}$  下，同位素电池的输出功率衰减  $\leq 10\%$ 。在辐射粒子通量  $\geq 1 \times 10^{12} \text{ p/cm}^2$  条件下，同位素电池输出功率衰减  $\leq 10\%$ ，且开路电压保持在  $1 \text{ V}$  以上，nMOS 导通电流密度衰减  $\leq 10\%$ 。

关键词：金刚石晶圆，耐温耐辐射，场效应

## 5. 特种及前沿功能材料

### 5.1 高功率密度多孔介质燃烧用介质材料研制及应用（应用示范类，定向委托）

研究内容：针对燃气取热领域为实现双碳战略目标对高效、清洁燃烧技术的迫切需求，打破中、高温多孔介质燃烧技术在我国应用推广中无材可用的局面，研制适用于高功率密度多孔介质燃烧工况的多孔介质材料。研究材料微观组织/宏观拓扑结构与燃烧应用性能之间的构效关系，强化材料基础性能；开发材料表面防护技术，提升耐高温烟气腐蚀能力；开展多孔介质材料在燃烧过程中的应用性能及使役行为研究，评估材料的稳定可靠性和寿命；开发多孔介质材料工程化制备技术，并在钢铁行业热工装备上进行示范应用。

考核指标：多孔介质材料压缩强度  $\geq 15 \text{ MPa}$ ，弯曲强度  $\geq 10 \text{ MPa}$ ，热导率  $\geq 12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ；耐热冲击， $1300^\circ\text{C}$ ~室温（风冷）循环 200 次不破坏。用于燃烧器时，燃烧面可达温度  $\geq 1400^\circ\text{C}$ ，

功率密度 $\geq 1.5 \text{ MW/m}^2$ 。形成多孔介质材料规模化生产能力，生产规模 $\geq 100 \text{ m}^3/\text{年}$ 。开发多孔介质燃烧装置，并在 2 个以上的钢铁生产流程中进行示范应用，较常规燃烧技术节气 10%~20%， $\text{NO}_x$  排放 $\leq 50 \text{ mg/Nm}^3$ ，考核时间 $\geq 2000$  小时。

有关说明：定向委托辽宁材料实验室牵头组织实施。

关键词：多孔介质燃烧，介质材料，高功率密度，燃烧器

## **5.2 核聚变装备用难熔金属粉体材料制备产业化关键技术 (共性关键技术类)**

研究内容：围绕核聚变装备对高纯纳米难熔金属粉体材料的迫切需求，研究纳米难熔金属粉体材料及其碳化衍生产物的普适制备技术与原位耦合机制；研究高纯难熔金属粉体材料及其氟化衍生产物的协同配位提纯技术与深度分离机制；研究钨基材料的构效关系并揭示其在高热负荷、协同辐照等极端环境中的长寿命运行机制；开展钨基材料在核聚变装备中的示范应用。

考核指标：短流程制备技术适用于多源原料并推广至 5 种以上难熔金属产品，粉体及其气体制品纯度均达到 6N 级，金属碳化物粉体粒径小于 50 nm；新型钨合金瞬态热冲击裂纹萌生阈值较 ITER 级钨提高 30%以上， $20 \text{ MW/m}^2$  稳态热疲劳寿命超过 2000 次，中子辐照损伤指标优于 ITER 级钨；基于难熔金属的新型电极材料延伸率不低于 5%，激光泵浦灯点灯 50 发次后透光率不低于 90%；建成吨级多源原料适配的高纯纳米难熔金属粉体材料制备示范生产线，实现部件在核聚变装备中极端苛刻条件下的示范应用。



关键词：难熔金属材料，高纯粉体，纳米粉体，核聚变

### 5.3 聚酰亚胺特种纤维材料系列化和规模化制备关键技术 (共性关键技术类)

研究内容：针对航空航天等领域对耐辐照、耐高温等特性聚酰亚胺（PI）特种纤维材料的迫切需求，研究 PI 化学结构—可纺性—纤维性能之间的关系，建立 PI 分子精准设计方法和高效可控的聚合反应体系；研究高强高模 PI 纤维制备关键技术及其增强复合材料界面调控方法；攻克 PI 纤维干法纺丝过程中催化环化反应机制及高效生产工艺；开发高色牢度 PI 纤维的着色新方法及量产关键技术；研究高温、辐照、极寒条件下 PI 纤维材料的服役行为与失效机制，实现极端环境应用的产品迭代。

考核指标：高强高模 PI 纤维材料的断裂强度  $\geq 30$  cN/dtex，初始模量  $\geq 1000$  cN/dtex，起始分解温度  $\geq 550$  °C，耐紫外线辐照强度保持率 85% 以上，建成 200 吨/年生产示范线，技术成熟度达到 6 级；耐高温 PI 纤维材料的断裂强度  $\geq 5.5$  cN/dtex，起始分解温度  $\geq 560$  °C，建成 3000 吨/年产业化示范线；着色 PI 纤维材料的断裂强度  $\geq 3.5$  cN/dtex，极限氧指数  $\geq 33\%$ ，黑色、藏青、橘红等主要品种色牢度 4~5 级，纤维编织材料的续燃时间和阴燃时间均  $\leq 2$  秒，导热系数  $\leq 0.03$  W/(m·K)；完成 PI 纤维材料在卫星热控系统、平流层飞艇、紧急救援等领域 2~3 个典型场景的应用示范。

关键词：聚酰亚胺纤维材料，高强高模，纤维着色，耐候性

#### 5.4 高能激光系统用光功能透明陶瓷材料的研制（共性关键技术类）

研究内容：围绕高能激光系统对大尺寸、低光学损耗和高光学均匀性的光功能透明陶瓷材料需求，研究高纯度、高烧结活性陶瓷粉体的批量化制备技术和陶瓷微结构调控技术；揭示陶瓷粉体—制备工艺—微观结构—光学质量—光功能特性之间的相互关系；研究光功能透明陶瓷中影响光学损耗和光学均匀性的主要因素及作用机理；研究激光服役条件下透明陶瓷中微缺陷、光损耗、光畸变等产生与演变机制；开展光功能透明陶瓷在激光系统中的应用研究。

考核指标：Yb:YAG 激光陶瓷：尺寸  $\geq 200\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ ，单程光学损耗  $\leq 0.15\% \text{ cm}^{-1}$ ，光学均匀性达  $10^{-6}$  量级，在 高能固体激光平台上获得应用验证并实现单链陶瓷激光输出功率  $\geq 16\text{ kW}$ ；铽铝石榴石（TAG）磁光陶瓷：尺寸  $\geq F5\text{ mm} \times 15\text{ mm}$ ，光学总损耗  $\leq 0.2\% \text{ cm}^{-1}$ ，消光比  $\geq 35\text{ dB}$ ，在高功率法拉第光隔离器上获得应用验证；电光陶瓷：尺寸  $\geq F100\text{ mm}$ ，光学均匀性  $\Delta n \leq 5 \times 10^{-5}$ ，光学透过率  $\geq 69\% @ 1030\text{ nm}$ ；激光输出窗口用透明陶瓷：尺寸  $\geq 400\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ ，光学散射损耗  $\leq 0.2\% \text{ cm}^{-1}$ ，光学吸收损耗  $\leq 0.05\% \text{ cm}^{-1}$ 。

关键词：透明陶瓷，低光学损耗，光功能，高能固体激光

#### 5.5 超纯纳米铜粉制备及应用关键技术（共性关键技术类）

研究内容：针对高密度 PCB 互连领域先进线路集成工艺以

及风电、冶金等领域轴承、齿轮等高载荷部件润滑对超纯纳米铜粉的需求，突破超纯纳米铜粉可控制备、表面抗氧化和抗团聚关键技术。研制适用于高可靠性、高密度 PCB 互连领域的纳米铜基浆料，考察纳米铜粉特性对烧结体性能的影响规律，验证其在工况条件下的电气性能以及在下一代 5G 通信产品中的可靠性。研究超纯纳米铜粉结构、形貌、尺寸与润滑性能间关系规律，开发高性能纳米铜粉润滑油添加剂并实现其在高端装备领域的应用。

考核指标：超纯纳米铜粉金属基纯度  $\geq 99.997\%$ ，金属粉体平均粒径范围 5~30 nm，粒径分布可控，满足  $D_{10}/D_{50} \geq 0.1$ ， $D_{90}/D_{50} \leq 1.9$ ；建设可批量化工程应用的超纯纳米铜粉生产示范线；实现纳米铜粉关键材料在高密度 PCB 互连和高端油脂等领域的示范应用。纳米铜浆料烧结温度  $\leq 220^{\circ}\text{C}$ ，烧结体电阻率  $\leq 50 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ ，界面强度  $\geq 15 \text{ MPa}$ ，满足  $-55^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$  高低温循环 1000 次的可靠性。超纯纳米铜基润滑油摩擦系数降低 20%，抗磨性能提高 30%，FZG 承载等级大于 12 级，在风力发电等高端装备领域实现示范应用不少于 2 项。

关键词：纳米铜粉，可控制备，PCB 互连，润滑

## 5.6 顺电高介陶瓷粉体与高容多层陶瓷电容器器件研制（基础研究类）

研究内容：围绕高性能电子、通讯等设备对高容多层陶瓷电容器（MLCC）提出的更高容量、更小尺寸的需求，研究探索顺

电高介电材料配方组成与微结构调控制备方法；研究介质材料的抗还原特性、介温特性（TCC）、偏压特性 DC-bias、DC-aging 特性等与材料组成及微结构关联机制；研究基于顺电高介电材料的典型高容量、小型化多层陶瓷电容器的制备技术；开展技术验证。

考核指标：MLCC 用顺电高介陶瓷配方粉：介电常数，1500；TCC 满足在 -55~125 °C 范围内  $\leq \pm 15\%$ ；介电常数在直流偏压 2 V/ $\mu\text{m}$  下变化率小于 5%，在直流偏压 2 V/ $\mu\text{m}$  下老化率小于 5%；粉体粒径，100—150 nm，适合  $\text{N}_2\text{-H}_2$  还原性气氛烧结，能够匹配镍内电极制作 MLCC。相比传统钛酸钡体系 0805-47  $\mu\text{F}$  MLCC，利用上述粉体制备的同规格样品在相同工作电压下（ $> 5\text{ V}$ ）有效容量具备 2 倍以上优势。

关键词：高容量，MLCC，顺电介质，镍内电极

### 5.7 低成本气凝胶材料及制品制备与典型应用关键技术（应用示范类）

研究内容：针对建材、建筑领域碳达峰碳中和对高性能绝热新材料的迫切需求，研发低导热、耐高温、耐燃烧气凝胶胶粒构筑网络结构的生长演变机制与调控方法；攻克高性能气凝胶低成本规模化制备关键技术；研发建筑节能防火用气凝胶涂料、板材等系列产品/制品及其应用技术；研发高温窑炉节能隔热用气凝胶复合材料体系及其应用技术。构建全流程性能评价标准与应用技术规程体系，实现规模化生产与工程应用。

考核指标：开发系列气凝胶材料与制品，其中  $\text{SiO}_2$  气凝胶涂

覆节能系统的热阻  $\geq 0.75 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  且隔热温差  $\geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ，石膏基  $\text{SiO}_2$  气凝胶制品等典型节能建材的导热系数降低 20%，高温窑炉用气凝胶制品  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  导热系数  $\leq 0.06 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ；建成产能不低于 1 万  $\text{m}^3$ /年的气凝胶生产示范线，其批次稳定性  $\geq 90\%$  且成本比现有产品降低 15%；建成规模不低于 5000 万  $\text{m}^2$ /年气凝胶节能建材生产示范线；实现在建材及建筑领域示范应用不少于 2 项；编制国家/行业/团体标准 10 项以上。

关键词：气凝胶，低成本制造，建筑节能，窑炉节能

### **5.8 先进防伪技术用聚合物光学加密材料研制（应用示范类）**

研究内容：针对传统薄膜防伪加密程度低、易仿冒等问题，开发新型光敏单体、聚合物合成、聚合物表面高精度微结构光控制制备方法、表面微结构图案化的光学加密编码与原位多图像切换技术；开发外场刺激变色聚合物的多重光学响应调控以及聚合物多重加密防伪器件制备技术；开发光敏聚合物及加密薄膜批量化制备技术，开展典型场景防伪应用。

考核指标：开发出 2 种光敏聚合物（1 种透光率  $> 90\%$ ，1 种耐高温  $> 300 \text{ }^\circ\text{C}$ ）、1 种可见光光致变色/热恢复聚合物（褪色时间  $\leq 10 \text{ s}$ ，褪色后  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  完全恢复时间  $\leq 80 \text{ s}$ ）、3 种光热力刺激颜色变化聚合物（双开关荧光，受力发射波长变化  $> 40 \text{ nm}$ ，温度变化 3 种颜色变化），建成 1000 吨/年光敏单体及聚合物合成示范线；开发出 1 套极限线宽  $\text{CD} \leq 1.5$  微米、原位叠加 4 个图案的加密集成技术，形成 4 种光热力刺激图像变化防伪产品，建成 5000 平

方米/年防伪薄膜示范线，完成 2 种日常消费品防伪示范应用。

关键词：光敏聚合物，光学加密，防伪，薄膜

### **5.9 智能仿生软材料制备与典型应用（青年科学家）**

研究内容：面向航空航天领域中关键功能器件对可调变形、可控响应智能软材料的迫切需求，研发基于仿生原理的新型智能软材料：解析仿生软材料在耦合物理场中智能响应行为的动态演化规律及关键影响因素；建立智能软材料非线性变形的本构关系；探索智能仿生软材料异质异性界面稳定连接新策略；开发响应灵敏、驱动高效、耐久可靠的智能仿生软材料设计制备新方法。

考核指标：设计研制 3~4 种适用于柔性蒙皮、变形结构的基于仿生原理的新型智能软材料，满足亚音速飞行器巡航需求；宽温域（10℃~100℃）循环服役 20 次弯曲性能衰减 $\leq 10\%$ ；刺激响应时间 $\leq 100\text{ ms}$ ，可重复变形次数 $\geq 50$  次；单次加载断裂韧性 $\geq 8\text{ kJ/m}^2$ ；实现不少于 3 种感知驱动响应，变形温度下应变 $>100\%$ ，器件驱动应力 $>2\text{ MPa}$ ，仿生软体驱动材料具有高空间自由度和可适应复杂环境连续变形的行为。

关键词：智能，软材料，仿生设计，可控制备，功能集成

## **6. 材料基因工程应用技术**

### **6.1 高端集成电路铜合金材料数字化加工制备关键技术及产业化（共性关键技术类）**

研究内容：围绕高端集成电路对高性能铜合金材料的需求，开发基于集成计算等材料基因工程技术、大数据与人工智能交叉

融合的高性能铜合金材料短流程、数字化制备加工关键技术；发展数据驱动的高端集成电路铜合金材料成分—工艺—组织—性能一体化设计与优化方法，阐明短流程制备加工过程组织演化与性能提升机理；发展铜合金材料短流程制备加工多尺度/全过程数字建模方法，构建铜合金材料短流程制备加工全过程数字主线，形成数字孪生模型及系统。

考核指标：形成成分—短流程工艺—组织—性能一体化设计和制备加工过程数字孪生等成套关键技术；建成铜合金材料短流程制备加工数字孪生系统 1 套，具备工艺调优和质量智能分析的功能，关键参数计算实时响应达到秒级，实现制备加工工艺高效智能优化和产品质量数字化精确控制。短流程数字化制备加工工艺与技术至少在 2 种高端集成电路铜合金材料生产中实现产业化应用，带材产品厚度 0.08 ~ 0.3 mm，宽度  $\geq 620$  mm，铸坯单卷重量  $\geq 5$  吨，性能指标满足高端集成电路铜合金带材产品标准要求；与传统制备加工技术相比，产品研制周期缩短 25%，工艺流程缩短 30% 以上，综合生产效率提升 20%，能耗降低 15%，成材率提高 10% 以上，产品质量一致性提高 20%，生产成本降低 15%。

关键词：铜合金，数字化制造，数据驱动，短流程，数字孪生

## **6.2 超高强韧涂层高通量制备及断裂韧性高效表征技术和装备（共性关键技术类）**

研究内容：鉴于高端精密制造对合金表面硬质涂层服役性能的迫切需求，针对陶瓷涂层与金属基体因物性突变而严重影响涂

层性能与服役寿命的核心技术问题，从材料基因工程理念出发，进行多元多层、多尺度界面的高强韧涂层材料设计；并基于多场物理气相沉积原子自组装技术原理，开发高通量制备超高强韧微纳涂层技术与国产工程化装备。开发面向亚微米、微米厚度涂层断裂韧性高效表征技术及装备，阐明高强韧涂层微观失效机制。

考核指标：建立涂层设计—制备—表征平台与数据库，满足  $\geq 10^3$  并发访问；实现多模式高强韧涂层的模型高效创建与高通量制备，涂层种类  $\geq 5$  种/流程，制备效率提升 1 倍以上；筛选和优化 2 种以上微纳高强韧涂层，筛选效率提升 30% 以上；服役寿命 3 倍于传统涂层；涂层—基底结合力 HF1 级，纳米压痕硬度大于 35 GPa，断裂韧性  $K_{IC}$  大于  $3 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ；800 °C 下纳米硬度大于 25 GPa，蠕变速率小于  $20 \text{ nm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。开发涂层断裂韧性等力学性能的高效表征技术及装备，实现至少 1 种示范应用，形成行业标准 1 项。

关键词：高强韧涂层，高通量制备，高效表征技术

### 6.3 数据驱动的取向可控功能有机高分子材料的高效开发与典型应用（基础研究类）

研究内容：面向国家在智能建筑节能、高频高速通讯以及变革性空间光调制技术等领域的重大应用需求，发展取向可控功能有机高分子材料的高效计算、高通量制备和大数据技术。以“介晶基元”作为功能有机高分子材料的关键“基因”，开展数据驱动的材料化学成分、分子取向、微观结构和物理性能等的相关性和



预测方法研究，阐明材料分子结构—化学组成—凝聚态结构—微观结构—性能之间的关联规律；研发智能调光、超低介电、高双折射、超快响应等功能有机高分子材料的高通量制备和性能高效评价技术，发展出具有自主知识产权的新型高性能取向可控功能有机高分子材料，实现典型示范应用，推动相关产业的发展。

考核指标：实现 $\geq 10^2$ 级的并发式高通量计算，建立功能有机高分子材料专用信息数据库，包含超过 $10^4$ 种配方，满足 $\geq 10^3$ 并发访问；研制出不少于3种分子取向可控功能有机高分子材料，介电常数小于3，介电损耗小于 $2 \times 10^{-3}$ ，双折射率大于0.4，吸收系数小于 $1 \text{ cm}^{-1}$ （1064 nm — 1550 nm），温度灵敏度小于 $0.5^\circ\text{C}$ ，电场响应时间小于1毫秒；建立长度 $\geq 50 \text{ m}$ 、幅宽 $\geq 1.5 \text{ m}$ 和核心层厚度 $\leq 15 \mu\text{m}$ 的取向可控功能有机高分子薄膜卷对卷连续化加工技术；实现在6G通讯天线、卫星车载相控阵器件和全智能化建筑节能门窗贴膜中的至少2种典型示范应用。

关键词：数据驱动，功能有机高分子，取向可控，高通量制备，典型应用

#### **6.4 基于材料基因工程的可降解生物锌合金设计与血管支架研制（共性关键技术类）**

研究内容：针对不可降解血管支架植入后血管再狭窄和晚期血栓的问题，基于材料基因工程技术，研发可生物降解锌合金材料及血管支架。构建多源异构锌合金材料数据库，基于机器学习算法结合材料计算模型，研究生物锌合金“成分—工艺—组织—

性能”构效关系；开发锌合金的机器学习力场，构建生物学性能评价的计算模型；开发促进血管内皮化新技术；研究锌合金微细管材反向挤压与轧制工艺，获得成分与组织均匀的细径薄壁锌合金支架，并进行临床前验证。

考核指标：建立心血管支架锌合金数据库 1 个，构建 2—3 类成熟可靠的锌合金机器学习力场，实现 2—3 项体液环境下锌合金降解/疲劳性能评价的描述符及计算算法，基于小样本数据的锌合金典型性能预测误差小于 15%；开发 2 种以上具有自主知识产权的锌合金材料，锭坯主合金化成分标准偏差在 $\pm 0.2 \text{ wt}\%$ ；屈服强度 $\geq 260 \text{ MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 320 \text{ MPa}$ ，延伸率 $\geq 20\%$ ；1 年内锌合金自然时效强度衰减 $\leq 5\%$ 。微细锌合金管材表面光洁度：内表面  $R_a \leq 0.1 \mu\text{m}$ ，外表面  $R_a \leq 0.05 \mu\text{m}$ ，管材平直度 $\leq 4 \text{ mm/m}$ 。锌合金血管支架满足：壁厚 $\leq 0.10 \text{ mm}$ ，径向回弹 $\leq 5\%$ ，径向抗挤压性能 $\geq 100 \text{ KPa}$ ，疲劳寿命 $\geq 3 \times 10^7$  次，血管支架降解速率控制在  $0.04—0.06 \text{ mm/y}$  范围内、内皮化时间小于 1 个月。锌合金支架产品完成临床前试验许可申请。

关键词：锌合金，血管支架，多源异构数据，机器学习力场，血管内皮化

## **6.5 高通量生物打印仿生多相材料/细胞用于复杂组织再生（共性关键技术类）**

研究内容：针对骨—软骨、骨—肌腱、皮肤等复杂多层次组织的修复难题，利用机器学习与高通量制备技术，研究用于复杂

组织再生的多相材料/细胞体系的组成、结构和拓扑形貌，阐明多种不同组织细胞的化学信号、结构信号和微力学信号的传递规律；开发多组分材料与多细胞的仿生结构组织工程支架的高通量制备技术，研究多相材料/细胞体系中多种材料对多细胞的分布、增殖、分化的影响规律；研究多相材料/细胞体系与复杂组织再生关联评价的机器学习方法，开展大动物体内评价。

考核指标：实现>100 级的并发式高通量动态模拟计算；研发出具有 2 种以上仿生组织工程材料，每种材料具有至少 2 种组织相容性功能，高通量制备仿生组织工程材料 $\geq 30$  个/流程，技术成熟度达到 4；细胞的存活率 $\geq 80\%$ 、存活时间 $\geq 14$  天，完成在骨—软骨、骨—肌腱、皮肤等复杂组织修复中的临床前研究，大动物体内植入后 12 周新组织生成率 $\geq 30\%$ 、26 周新组织生成率 $\geq 60\%$ ，形成一个仿生结构组织工程材料的数据分析平台。

关键词：高通量制备，生物打印，机器学习，多相材料细胞，复杂组织再生

## **6.6 基于人工智能的超材料跨尺度高效计算方法开发与应用 (青年科学家)**

研究内容：针对超材料设计自由度高、功能灵活多样的特点，利用人工智能算法和先进拓扑优化技术，发展跨尺度、高效率的超材料设计方案。针对亚波长结构单元及空间排布设计，发展大规模、非周期结构超材料性能高效评估模型；基于专业领域知识和数据挖掘技术，耦合高效数值计算，构建数据驱动的超材料设

计参量与性能特征的机器学习模型；研究梯度优化算法、遗传算法等多目标优化算法与深度学习算法的协同机理，形成多模型、多算法融合的自适应优化理论、系统和软件，可用于电磁/光学/力学/声学/热学响应的正向预测和面向性能的逆向设计；利用基于人工智能的超材料设计开发平台，研发出多功能复合超表面、超紧凑片上超材料、超灵敏生物传感超材料、高性能光学超表面透镜等高性能超材料器件与系统。

考核指标：建成多算法融合、跨尺度超材料智能设计平台，形成完整的软件服务，其中超材料数据量>100 万条，算法模型数 $\geq 10$  种。针对项目所研发的典型超材料器件与系统，超材料周期单元逆向设计和性能预测时间<100ms，性能预测精度相比于全波仿真误差<5%；对大规模、非周期结构超材料，仿真规模不少于200 个波长，在性能预测精度误差<10%的前提下计算耗时低于全波仿真2 个数量级。基于超材料智能设计平台研发出4 种具有自主知识产权的高性能超材料，包括多功能复合超表面（全息显示独立通道数 $\geq 10$ ）、超紧凑片上超材料（信道复用通信带宽 $\geq 400\text{Gbps}$ ）、超灵敏生物传感超材料（生物分子检测极限 $\leq 1\text{aM}$ ）、高性能光学超表面透镜（无畸变成像视角 $>120^\circ$ ）；申请软件著作权登记不少于5 件。

关键词：人工智能，超材料，跨尺度，机器学习，自适应

## **6.7 MEMS 材料智能腐蚀芯片及传感器（青年科学家）**

研究内容：针对材料腐蚀基因工程研究中材料服役失效评价

对腐蚀数据原位实时高通量在线采集及挖掘分析的需求，研究 MEMS 材料智能腐蚀传感器芯片设计、制备及应用技术，实现具备低功耗、高稳定性及高通量采集功能的材料腐蚀芯片方案；设计具有低噪声、高精度的材料腐蚀微电流信号采集与放大电路，通过分布式网络系统实现 MEMS 腐蚀传感器的高通量数据采集、放大与运算；设计基于机器学习的智能腐蚀芯片算法，挖掘材料—环境因素—腐蚀行为规律复杂内禀关联；在电力电网、通讯系统及耐蚀新材料研发等领域应用验证。

考核指标：形成融合机器学习功能的材料智能 MEMS 腐蚀芯片及传感器，MEMS 材料腐蚀敏感元器件平面尺寸  $\leq 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ ；材料腐蚀速率检测范围  $0.1 \sim 100\text{ }\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$ ，分辨率优于  $0.1\text{ }\mu\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$ ，精度优于  $0.5\%\text{FS}$ ；MEMS 材料智能腐蚀芯片集成的机器学习模型数量  $\geq 5$  种，用于机器学习训练的材料腐蚀失效数据库条数  $\geq 100$  万条；MEMS 材料智能腐蚀传感器在耐蚀新材料研发和工程装备材料安全服役等领域实现 1~2 项示范应用。

关键词：腐蚀芯片，传感器，MEMS，人工智能