附件2

2023年度北京市自然科学基金-小米创新

联合基金项目指南

**重点研究专题指南**

**一、先进制程手机芯片封装可靠性研究**

**研究内容**：针对14 nm以下先进制程手机芯片在0-1级封装中的芯片-封装交互作用（CPI）可靠性问题，优化相关力学性能表征方法，建立先进制程手机芯片关键封装表界面材料的物理和材料模型以及超低介电常数（ELK）等材料的本构模型；基于小尺寸芯片（小于5×5 mm）建立并验证先进制程芯片封装失效问题的高精度数值预测方法和模型，并推广至大尺寸芯片（大于10×10 mm）进行可靠性评估；基于全流程工艺平台，开展先进制程芯片在0-1级先进封装CPI可靠性关键因素的实验设计，并与数值预测结果对比验证。

**研究目标：**准确表征先进封装的表界面材料在制造过程中的行为特征，建立失效检测和数值预测的材料可信数据基础；提出高精度数值模拟方法，实现大尺寸芯片在0-1级先进封装失效问题的高精度预测；构建影响CPI可靠性问题的关键参数权重并开展实验设计，完整分析实验设计的动态工艺结果，并与数值预测结果相对照，制订芯片后段铜互连结构与先进封装的交互可靠性预测与相关设计及工艺准则。

**二、智能手机电磁兼容正向仿真设计系统构建与验证**

**研究内容：**针对智能手机整机系统日益严重的自干扰等电磁兼容问题，研究复杂系统电磁干扰机理，建立电磁兼容模型；设计跨层级电磁兼容仿真算法，明晰高速数字电路电磁敏感特性及射频接收机电磁敏感特性，构建跨层级电磁兼容正向仿真设计系统；发展模块级、系统级电磁敏感特性测试方法，并开展模块级及系统级电磁敏感特性仿测一致性、可靠性验证与评价。

**研究目标：**构建电磁兼容正向仿真设计系统，系统精度应达到模块级±3dB、系统级±6dB的精度。仿测一致性精度达到模块级±3dB、系统级±6dB的精度。

**三、面向无源物联网的多源环境能量收集融合系统关键技术研究**

**研究内容：**面向大规模自由部署的物联网智能终端灵活、自由的电能供给需求，突破现有以电池人为充电为主的电能供给体系，构建基于多源环境能量（电磁波、光源、热源以及振动源等）的复合能量收集模型；研究多源环境能量收集与调控机理；针对不同来源能量特性差异显著的问题，研究多源环境能量高效变换、融合与管理策略，探索合理有效的多能合一控制方法，在收集自然环境中的机械能、光能、温差能等环境能量的同时，通过互补性实现能源混合调度；开展多源电能管理与优化，搭建智能化多源环境能量收集融合原型系统并在智能家居等场景中进行验证。

**研究目标：**搭建体积小于10 cm3的多源环境能量收集融合原型系统，实现3种及以上环境能量的收集（包括电磁波、光源、热源以及振动源等），原型系统在自然使用场景下，功率密度不低于100 μW/cm3，实现所收集能量的超低功耗及智能化管理，并在智能家居等场景中进行验证，实现物联网智能终端的自供电长期运行。

**四、快充型高能量密度软包锂离子电池及关键材料研究**

**研究内容：**针对手机等智能终端用锂离子电池，研究高能量密度、快充型、长循环寿命、高安全锂离子电池及关键材料，开展具有高离子传输特性的电池结构设计；研究高电压高压实正极材料、长循环稳定的高克容量和低膨胀负极材料、高离子电导率和高电压稳定的快充电解质材料、电极-电解液界面层及新型预锂技术；研究材料和电池的电化学和安全性失效机制。

**研究目标：**研制基于上述关键材料的Ah级软包锂离子电池，揭示快充型高能锂离子电池的离子输运机制和失效机理，并达到以下关键指标：电芯能量密度≥900 Wh/L、充电倍率≥3C、常温循环寿命≥1000圈（容量保持率80%）、45℃高温循环寿命≥500圈（容量保持率80%）。

**五、面向离散制造的边缘智能管控关键技术研究**

**研究内容：**针对3C等离散制造行业多源异构数据利用率低、现场管控智能化水平低、应用部署周期长等问题，建立边缘智能管控架构，研究多源异构多模态数据基于语义交互的快速互联集成新方法；面向边缘侧，研究基于机理-数据双驱动的计算控制融合模型、受限环境下的资源调度策略及边云协同的高效决策机制；研究制造系统抽象建模及生产过程可视化动态配置新方法，提出智能管控低代码生成、工业APP快速生成等灵活部署新技术；搭建边缘智能管控原型平台，并在3C等典型应用场景开展集成验证。

**研究目标：**建立端-边-云分布式智能管控架构；提出多源异构多模态数据的融合及基于OPC UA的语义互联集成新方法；构建人工智能与应用控制融合模型，提出边缘侧设备资源调度和边云协同决策新方法，构建制造系统模型（含5个以上加工、装配、检测等典型装备），搭建基于Linux开源操作系统的边缘智能管控原型平台（含边缘智能模型/知识库5个以上），支持控制与工业智能融合组态，实现生产现场管控的可视化快速配置与部署，并在3C等典型应用场景进行集成验证（验证环境覆盖装配、检测等环节，含5种以上异构模型）。

**六、机电感控一体化智能多指灵巧手研制及其灵巧操作控制**

**研究内容：**面向3C电子制造、汽车装配等行业智能制造需求，研制机电感控一体化的智能多指灵巧手，研究视、触、力、位多模融合感知方法，机器人臂手协调作业智能控制方法及机器人灵巧精准操作技能学习与迁移方法，基于数字孪生，完成对应的训练仿真环境搭建，并在3C电子制造、汽车装配等行业场景进行原型系统集成与验证。

**研究目标：**机电感控一体化的智能多指灵巧手应具备3种及以上传感功能（包含视觉、触觉、力等），其中，触觉感知空间分辨率优于1 mm，形变感知灵敏度优于0.1 mm；力测量范围不小于50 N，最小检测力优于0.5 N，感知数据更新频率不低于50 Hz；实现对复杂接触状态（法向力、剪切力、形状、纹理、软硬等）及操作状态（接触位姿、滑动等）的检测。智能多指灵巧手负载优于3kg，操作3种以上工具类型（包括但不限于3C产线半自动螺钉锁附机/MES系统扫码枪/电动吸盘）。建立面向工业场景的作业操作的复杂技能算法库（如手机抓取操作、工具操作等）。面向紧固件、异型零件、柔性线缆等3C电子制造、汽车装配典型装配场景开展验证，其中，实现插拔、旋拧、线束布线、工具使用等精准操作技能不少于4种，可装配紧固件不少于2种，异型零件不少于2种，不同截面和硬度的线缆不少于3种。

**七、新型轴向磁通电机关键技术研究**

**研究内容：**面向新能源汽车主驱电机中央集中式、轮毂分布式两种应用需求，研究轴向磁通电机在多场景下的共性关键技术及不同应用需求的适配性技术。研究轴向磁通电机的新型拓扑构架，明确高性能材料及制造工艺对电机性能提升的规律，提出轴向磁通驱动电机电磁-结构-热-声等多物理场全链式多目标综合设计方法；研究在复杂环境和紧凑空间内的电机损耗、热特性与高效散热冷却技术；明晰高性能轴向磁通电机构架与电磁振动噪声耦合规律及抑制方法；研究电机定子、绕组、转子等关键部件的加工装配新工艺，并开展电机综合性能测试与评价。

**总体目标：**基于关键材料与创新拓扑构架，研制高效率、高效冷却、高比功率的中央集中式轴向磁通电机样机1套以上和高效率、高效冷却、高比转矩轮毂分布式轴向磁通电机样机1套以上，并达到以下关键指标：中央集中式轴向磁通电机峰值转速≥18000 rpm，功率密度≥7 kW/kg(基于额定电压400 V，重量为不包含机壳但包含轴的主材质量)，最高效率≥97%，电机超过80%的高效区占比93%，空载噪声声压级≤75 dBA；轮毂分布式轴向磁通电机峰值转速≥1700 rpm，扭矩密度≥30 Nm/kg(重量为不包含机壳但包含轴的主材质量)，最高效率≥94.5%，电机超过80%的高效区占比93%，空载噪声声压级≤75 dBA。

**八、面向图文理解和生成的多模态大模型构建与评价（项目执行期2年）**

**研究内容：**基于海量多模态数据集，研究多模态数据编码融合方法，设计、优化自监督学习与训练策略，搭建面向图文理解和生成的多模态融合大模型；研究大模型能力涌现、思维链推理、灾难性遗忘被克服等机制，开展单任务精调与多任务联合精调，并在人工智能答题等典型场景中对大模型性能进行测试与评价。

**研究目标：**多模态融合大模型应具备深度理解、复杂指令遵循、上下文学习、思维链推理及相应的多模态生成能力；解答问题类型包括但不限于单项选择、多项选择、是非判断、填空、问答、作文、解应用题、解几何题、绘图等；项目结题当年，在高考、中考试题中选择3门科目（须包含1门理科）对大模型性能进行测试，按照考试阅卷标准打分，最终效果达到SOTA的85%以上水平。

**九、面向心血管疾病监测的多模态多维度可穿戴智能感知系统研究**

**研究内容：**针对心肌缺血、心律异常等心血管疾病的日常监测需求，研究可穿戴智能系统监测机理，通过常规佩戴处的位点信息采集，实现心电等指标的无创非侵入式持续监测感知；针对心脏活动、生化学等生理信号监测，发展光、声、电等可穿戴感知新技术和协同感知新方法，研制多模态多维度可穿戴智能感知设备；研究心肌缺血、心律异常等心血管疾病辅助诊断、综合风险评估及早期筛查新技术，建立多模态融合的多源数据算法模型，构建新型可穿戴智能感知原型系统，并开展多中心临床验证。

**研究目标：**研制符合相关医学标准、兼容现有可穿戴设备（手环、手表、耳机等）的高适用性、高实时性、高精度的智能感知原型系统，融合多种感知模态，能够清晰连续记录心电等生理参数的动态变化，且与传统医疗级设备达到90%以上的一致率，实现以连续多导联为基础的心肌缺血、心律异常等心血管疾病的无感连续监测和风险筛查，并在国内开展多中心临床验证（不少于3家三甲医院和不少于5家社区健康服务中心，不少于1000人）。

**前沿项目指南**

**1.室内空气污染物长效净化新技术研究**

针对室内空气颗粒物/生物气溶胶/常见气态污染物的长效净化需求，研究可与家用3C电器耦合的高效、低阻、安全的室内空气多污染物净化新材料、新技术。

**2.高比强度、高比模量绿色环保复合材料研究**

面向消费电子产品，针对绿色环保复合材料增强纤维制备、基体与纤维界面性能以及复合材料弯折模量提升等问题，开展绿色环保复合材料增强纤维制备及改性方法，基体与纤维界面改性增强机理以及高比强度、高比模量绿色环保复合材料弯折性能评价方法与损伤机理等研究。

**3.多频多源6G终端设备电磁曝露评价方法研究**

针对6G无线通信设备电磁辐射剂量准确评价需求，研究真实曝露场景下体内剂量分布规律及生物效应，明晰6G关键技术参数影响及适配的精细化人体模型，建立融合测量和高性能电磁仿真的混合新方法，并进行方法验证。

**4.面向6G终端的高效电磁辐射测试新理论新方法**

针对毫米波/太赫兹终端电磁辐射高效测试需求，研究感应场电磁辐射快速测试新理论与新方法，揭示电磁超材料对感应场的耦合机理以及透射远场与感应场的转换规律，提升6G终端电磁辐射测试灵敏性和准确性。

**5.面向移动终端的新型有源电小天线技术研究**

针对移动终端天线高效率、宽频带特点，建立电小天线的等效电路模型，设计有源阻抗匹配网络，提出无源电小天线与有源电路的阻抗协同匹配方法，实现宽频带稳定匹配的有源电小天线。

**6.无线电能传输系统能量路径全域金属异物检测新技术新方法**

面向无线电能传输系统安全需求，对功率传输路径全域潜在发热金属异物检测开展研究，提出高精度、高灵敏度的低成本检测新技术与新方法，提升无线电能传输系统安全。

**7.消费级先进封装芯片散热及优化研究**

针对主流手机/平板SoC芯片HBPoP封装形式，研究三维结构热阻模型分析方法和内部各层结构传热热阻，提出散热结构优化策略，实现目标芯片热阻Rjc或Rjb的优化。

**8.神经形态融合传统图像的计算摄像方法研究**

研究神经形态与传统图像融合的计算摄像方法，实现图像强度和事件/脉冲信号的联合滤波，获取高分辨率、强鲁棒性、具有真实色彩表观的高动态范围图像与视频。

**9.基于微结构的多尺度结构失效行为仿真技术研究**

针对手机盖板玻璃失效行为仿真需求，建立基于盖板玻璃微结构的本构模型，发展多尺度的测试与仿真方法，阐明盖板玻璃在冲击下的失效模式与行为，揭示材料多尺度损伤演化规律，实现手机盖板玻璃失效行为的有效预测。

**10.几何模型清理和带缺陷模型的体网格生成技术研究**

面向智能手机及相关产品设计仿真需求，根据不同仿真场景和尺度要求，建立对应的几何自动清理算法；针对细小且不易清理的缺陷，研究具有缺陷容错能力的高质量体网格生成算法。

**11.智能终端用高比能快充型电池健康智能管理策略与评价**

面向智能终端用高比能快充型电池健康智能管理的需求，建立电池析锂监测、寿命预测与延长、故障诊断等算法模型，优化全生命周期快速充电策略，实现电池安全性能、循环寿命、充电速度等性能的智能管控和提升。

**12.基于纯视觉的足式机器人深度感知能力研究**

面向足式机器人三维环境感知需求，规划视觉传感器布局策略，研究基于深度学习的高效视觉处理算法，实现作业场景的高精度实时感知。

**13.四足机器人多机协同定位与建图关键技术研究**

面向复杂工业环境下机器人执行任务的导航定位需求，研究四足机器人多机协同定位与建图技术，基于多机器人智能协作，实现多机器人在三维复杂环境下可通行区域的导航及集成验证。

**14.面向可穿戴产品的低致敏弹性体材料关键技术研究**

针对可穿戴产品（智能手表、手环等）佩戴过程中引起的皮肤过敏问题，突破现有致敏检测技术灵敏性低、可靠性差的难题，建立具有一定普适性的材料致敏性检测方法；探究材料致敏机理，设计制备新型皮肤低致敏弹性体材料，并进行评价。

**15.基于多模态信息融合的预测模型构建与评价**

基于电动汽车驾驶员、乘客等行为信息，开展听觉、视觉、触觉等多模态信息感知、理解及生成关键技术研究，建立高精度、高鲁棒性的司机、乘客行为预测模型。

**16.电动汽车****轻薄型长寿命降噪声学超材料研究**

针对电动汽车车内噪声特性，基于声学超材料领域前沿理论，突破传统声学材料质量、厚度限制，设计研制轻薄型（密度≤0.02 g/cm3、厚度≤30 mm）长寿命声学超材料，在中低频段内实现优异的宽带吸隔效果。

**17.车规级新型无铅锡基焊料设计制备与评价**

针对车载电子组装焊点高性能高可靠服役的需求，基于ICME、机器学习等方法，设计新型锡基无铅焊料及助焊剂。研究焊点微观组织演变规律，揭示合金组分对焊接可靠性的强化机理，实现多元合金焊料均质化关键制备技术的突破。评价焊点蠕变及-40℃至150℃冷热疲劳等性能，建立长期服役条件下的焊点寿命预测模型，为高可靠焊料的国产替代奠定基础。

**18.适用于高速轮毂驱动的新型电驱构型研究**

针对电动汽车高速工况（>200 km/h）驱动特性，研究集成制动、转向、悬架模块的新型轮毂驱动构型，开展新构型的电磁、机械、热耦合及动力学仿真优化，提升整车高速特性。