

# 2021 年度国家自然科学基金区域创新发展 联合基金项目指南 (北京节选)

## 四、新材料与先进制造领域

(一) 围绕北京地区在新材料与先进制造领域的关键科学问题, 开展相关基础研究。

集成项目直接费用平均资助强度约为 1 000 万元/项, 研究方向:

### 1. 高时空分辨电子显微系统关键技术及功能体系动力学过程研究(申请代码 1 选择 E01、E02 或 E13 的下属代码)

围绕新型量子体系和低维纳米材料系统的研究需求, 研究高时空分辨电子显微镜的关键核心技术和功能体系动力学过程, 解决脉冲电子束产生、脉宽压缩、显微成像等关键科学技术问题, 发展多时域、多维度的飞秒-亚纳米电子显微成像方法和解析理论。

研究内容包括:

#### (1) 高时空分辨电子显微镜系统关键技术

研制适合超快电镜的高性能电子源, 提高脉冲电子束发射性能, 发展具备超快时间分辨及高空间分辨的电子显微学表征新方法。

#### (2) 量子体系动态过程研究

研究新型量子体系中的电荷序、轨道序及自旋磁涡旋结构的动态变化规律; 研究多重序飞秒时域的演变规律; 研究低维量子材料电子态的超快电子响应和弛豫过程。

#### (3) 等离激元纳米体系超快动力学研究

研究亚纳米光腔的结构及等离激元特性, 实现光子局域态的高时空分辨成像; 研究等离激元局域场增强超快过程、原位光催化和界面电荷转移的物理机制; 研究超快电子束激发纳米体系的电致光谱和激发态光谱。

本集成项目的申请应包含上述 3 个研究内容, 紧密围绕项目主题“高时空分辨电子显微系统关键技术及功能体系动力学过程研究”开展深入和系统研究, 预期成果应包含原理、方法、技术、器件以及专利等。

### 2. 复杂微系统的标准化设计与验证(申请代码 1 选择 E05 的下属代码)

微系统设计制造涉及机、光、电等多学科交叉, 微系统的复杂化、智能化进一步增加了系统设计的挑战。突破功能单元的标准化设计制造等技术瓶颈, 建立典型异质异构集成等工艺, 为微系统的设计软件工具提供关键理论基础与技术支撑。

研究内容包括:

#### (1) 跨尺度多场耦合建模与仿真

开展微系统跨尺度下力、电、光、热等多场仿真建模方法研究, 解决多层次系统网格划分、边界条件传递、收敛性和优化效果等基础问题, 为微系统功能单元的建立、分级和标准化提供理论支撑。

#### (2) 功能单元的单片标准化设计与验证

建立功能单元的标准化特征参数抽取与传递方法, 基于片上标准功能单元的系统级建模仿真方法, 研究典型架构微系统和功能组件的多域解析模型与参数化数字模型。

### (3) 基于标准功能单元的异质/异构集成工艺

研究多个标准功能单元兼容性三维集成方法和互联互通过程中的电磁干扰及热力学干扰问题；构建微系统标准工艺库以及工艺参数化规则检查与良率评估方法。

### (4) 面向典型场景的软硬件原型验证

构建复杂微系统组件数据库和标准功能单元软件数据库，建立典型材料、结构、器件、微系统的多物理场仿真设计示例数据库，对接相关工艺平台，实现微系统研制的全流程验证。

本集成项目的申请应包含上述 4 个研究内容，紧密围绕项目主题“复杂微系统的标准化设计与验证”开展深入和系统研究，预期成果应包含原理、方法、技术、器件以及专利等。

重点支持项目研究方向：

#### 1. 仿生移动机器人关节电机减速器一体化设计研究（申请代码 1 选择 E05 的下属代码）

针对仿生移动机器人关节电机减速器的一体化集成需求，构建减速器内部零件的承载接触分析模型，研究关节电机一体化结构参数对传动系统振动响应的影响规律，以质量轻、结构小、寿命长、耐冲击为目标，开展整机机构参数优化设计方法研究，形成仿生移动机器人关节电机减速器的一体化设计理论。

#### 2. 全固态锂电池关键材料与应用研究（申请代码 1 选择 E02、E03 或 E13 的下属代码）

开展全固态锂电池关键材料研究，设计开发高能量、高安全和长循环的全固态锂电池。包括高稳定性正极材料、高性能离子导电膜材料及高容量复合金属锂负极材料的制备与加工、性能表征，以及新型材料在全固态锂电池中的应用，探索全固态锂电池固-固界面兼容性新思路，研究全固态锂电池中正负极材料匹配设计及界面离子传输机制。

#### 3. 高纯度半导体碳纳米管批量制备研究（申请代码 1 选择 E02、E03 或 E13 的下属代码）

碳纳米管电子学的核心问题在于难以获得高纯度批量化半导体碳纳米管，当前常用的共轭高分子提纯法存在共轭高分子分子量和分布难以控制，批次间差异性大等问题。围绕共轭高分子体系的结构设计、合成工艺等基础科学问题开展研究，合成批次差异性可控的共轭高分子体系，为获得高纯度半导体碳纳米管奠定理论基础。

#### 4. 基于超表面结构的光学器件设计和制造基础研究（申请代码 1 选择 E05 的下属代码）

为推动增强/虚拟现实显示技术发展，开展超表面结构光学器件研究，设计开发宽光谱、高效率、集成化超表面结构光学器件。包括大口径、宽光谱超表面光学器件相位调制机理、单元结构设计、加工与制备技术，及其在 AR 显示系统中的应用研究，探索超表面结构透镜 AR 显示新方案，改善传统光学元件重量大、结构冗余的不足，揭示超表面结构与光的相位、振幅等特性的构效关系。

#### 5. 利用新型铁电材料和器件进行低温 4K 原位震动探测与震动主动控制的关键问题研究（申请代码 1 选择 A20 的下属代码）

针对扫描显微、光学、量子信息领域对低温，低震动以及便捷性的共性需求，研究低温强磁场环境下新型铁电材料和器件响应特性，并在此基础上发展低温原位高灵敏震动探测与控制方法；研制基于新型铁电材料和器件的传感与促动方案，开发低温原位精确震动探测技术。

**6. 车用燃料电池催化剂的原子尺度原位表征和机理研究（申请代码 1 选择 B09 的下属代码）**

针对车用燃料电池催化剂对高活性和高耐久性的技术要求，研究和开发新型低维高质量活性和高低电压稳定性的贵金属氧还原催化剂，在原子尺度下用原位方法表征催化剂表面结构和原子迁移过程，阐明催化剂表面原子结构与催化活性的构效关系、催化剂稳定性机制，制备满足高活性和长循环需求的燃料电池氧还原催化剂。

**7. 新型硅基异质结太阳能电池研究（申请代码 1 选择 E02 的下属代码）**

面向新一代高效廉价的光伏技术，围绕太阳能电池材料、器件结构、制备工艺和理论创新，开展新型硅基异质结太阳能电池研究，实现光电转换效率大于 25% 新结构硅基太阳能电池技术，建立适用于新型硅基太阳能电池光电转换效率测试系统。

**8. 高功率器件热电传输微结构调控机理的研究（申请代码 1 选择 E13 的下属代码）**

围绕高端散热模块和精密封装导体，开展多尺度界面及两相换热对变热流密度时间-空间特性调控机制和微介观尺度导体尺寸效应的研究，建立三维集成模块固-固耦合与微流体相变传热和微介观尺度下材料组织性能演变的理论模型，实现高功率器件散热的微结构调控。

以上研究方向鼓励申请人与北京地区具有较好研究实力和研究条件的企业开展合作研究。

## **六、电子信息领域**

（一）针对北京人工智能领域发展需求，开展信息器件、智能芯片、核心算法、底层架构、智能交通等相关基础研究。

重点支持项目研究方向：

**1. 面向智能计算系统的编程语言与编程库研究（申请代码 1 选择 F02 的下属代码）**

为提升智能计算系统的应用开发效率和智能处理能效，开展面向智能计算系统的编程语言及编程库模型研究。重点研究智能计算硬件抽象、智能计算编程语言的模型定义及编译优化、编程语言与编程库混合编程等技术，以解决当前智能计算系统的编程方法难以同时满足高开发效率和高能效的问题。

**2. 脉冲神经网络训练方法及异构融合类脑架构研究（申请代码 1 选择 F06 的下属代码）**

为提升脉冲神经网络的训练效率和应用前景，开展脉冲神经网络训练方法及计算架构研究。重点研究超大规模、超深层、多尺度脉冲神经网络的批归一化方法、在线直接训练算法及异构融合类脑计算模型和架构，解决超大规模深度神经网络和脉冲神经网络融合模型的训练问题，并在类脑芯片上进行验证。

**3. 可编程高效神经计算架构研究（申请代码 1 选择 F06 的下属代码）**

为满足边缘智能计算场景对芯片的可编程性和处理能效等需求，开展可编程高效神经计算架构研究。重点研究融合非易失存储的可编程/可重构存算一体架构、敏捷架构设计开发方法、编译优化技术等，以提升边缘计算架构的可编程性、迭代效率和处理能效。

**4. 混合工艺芯片系统集成的自动化设计及工艺方法基础研究（申请代码 1 选择 F04 的下属代码）**

为解决多材质及混合工艺芯片间的微米尺度互联与高速通信等关键难题，开展混合

工艺芯片系统集成等相关基础研究，突破数字模拟融合、存算功能一体、多芯片封装集成等关键技术，探索多种工艺不同材质芯片系统集成方法，研发混合工艺集成芯片的自动化设计基础工具技术。

**5. 面向异构智能芯片的算法与硬件架构协同自动化设计研究（申请代码 1 选择 F04 的下属代码）**

为提升异构智能芯片的设计自动化程度，开展面向异构智能芯片的算法与架构协同的自动化设计研究。重点研究多领域融合算法与异构计算架构设计空间联合建模、基于强化学习等方法的设计空间搜索、异构芯片片上网络架构设计等，提出面向不同优化目标的软硬件一体化协同设计方法。

**6. 适用于低温工艺的低功耗片上三维多功能集成芯片关键技术研究（申请代码 1 选择 F04 的下属代码）**

为解决片上三维多功能异质集成的关键难题，探索适用于低温工艺的低功耗晶体管、新型存储器与传感器研究，研究感存算等异质器件的晶圆级三维集成基础方法与关键共性技术，突破片上器件工艺兼容性瓶颈，实现低功耗片上三维多功能异质集成芯片原型验证。

**7. 视觉信息可解释相似性度量学习理论与方法研究（申请代码 1 选择 F06 的下属代码）**

针对大规模视觉数据的相似性计算难题，开展视觉信息的可解释相似性度量学习理论与方法研究，提升视觉信息相似性度量方法的精度、鲁棒性和解释性，为在智能安防、智能手机和智能机器人领域验证、应用奠定基础。

**8. 面向工业应用的智能无线组网机理与关键技术研究（申请代码 1 选择 F01 的下属代码）**

以 5G 及后续移动通信网络赋能垂直行业应用为目标，深度融合移动网、工业控制网与人工智能技术，研究面向工业应用的按需连接的智慧无线网络架构，包括确定性无线接入网、自适应路由、软件定义全解耦骨干网等瓶颈问题；研究按需联接的与工业互联网一体化融合的无线网络切片机制及基于网络内生智能的动态资源调控方法，探索面向工业应用等典型场景的高可靠、极低时延、超大连接和低功耗组网方法，开展移动网络赋能垂直行业典型场景的性能仿真和评估验证。

**9. 面向关节置换机器人手术的智能手术规划研究（申请代码 1 选择 F03 的下属代码）**

针对医学影像自动分割精度低、噪点大和人工标记差异大的难题，研究关节置换机器人智能手术规划中的多任务深度学习影像分割技术、自动手术规划优化方案及评估方法，突破关节置换智能机器人手术与临床医学失配瓶颈，为智能手术规划及临床实证提供基础理论和通用方法。

**10. 复杂骨折复位路径智能规划关键技术研究（申请代码 1 选择 F03 的下属代码）**

面向复杂骨折精确复位手术，研究骨折特征识别技术、骨折分型方法、骨折复位路径规划技术和人机协同控制技术，解决骨折智能诊断、最优化复位路径设计和精确复位操作等问题，为骨折复位机器人设计提供理论和方法。

**11. 道路交通场景的环境目标三维状态感知与验证（申请代码 1 选择 F06 的下属代码）**

以复杂道路交通场景的环境目标为对象，依托性价比高的单目摄像头和国产智能芯片，研究解决智能汽车前向道路环境的三维解析与建模问题，提出道路动态目标的三维状态检测与高精度测距方法，搭建原型系统并进行性能验证，为 L4 级自动驾驶汽车的单目视觉三维感知奠定基础。

**12. 智能网联汽车的高实时车控操作系统关键技术研究（申请代码 1 选择 F02 的下属代码）**

车控操作系统是智能网联汽车的核心组成，其实时性是制约系统性能的瓶颈。针对自动驾驶对车控操作系统的性能要求，研究多应用任务的实时调度机制，开发特权层代码的时空隔离、最坏执行时间分析和中断延迟时间保证技术，建立智能网联汽车软硬件一体化的形式化表征方法，为解决汽车操作系统的国产化难题奠定基础。

**13. 基于北斗与 5G 网络的轨道交通列车可信融合定位方法研究（申请代码 1 选择 F01 或 F03 的下属代码）**

面向新型轨道交通列控系统的定位需求，构建适用于复杂定位观测条件无缝定位的时空基准模型，研究以北斗为核心、多感知源 PNT（定位、导航和授时）机理互补的可信列车定位方法，开发面向列控系统的 5G+北斗跨系统融合定位互操作技术，研制列车定位系统原型样机，面向典型轨道交通运营场景开展试验验证。

**14. 车联网环境的智能汽车多模式高精度融合定位（申请代码 1 选择 F01 的下属代码）**

智能汽车的网联化为高精度定位提供了全新途径。围绕自动驾驶汽车的城市道路行驶需求，研究大规模车辆群体的协同定位理论及其关键技术，探索车与车之间状态信息的分布式共享机制，建立卫星定位、SLAM 定位与无线网联定位的多模式信息融合方法，解决城市道路环境下高楼、桥隧遮挡导致的卫星或静态目标物不足的难题，以进一步提升自动驾驶车辆的连续精准定位能力，推动 5G 在智能汽车定位领域的应用。

**15. 基于车云融合的新能源汽车动力电池云端管控研究（申请代码 1 选择 E12 的下属代码）**

针对新能源汽车动力电池运行过程中性能衰减及安全稳定性下降的应用需求，开展基于车云融合的动力电池全生命周期智能管控与关键技术研究。基于动力电池工况下云端关键信息，开展“端-边-云”分布式计算架构与协同信息处理技术研究，构建多层次精细云端模型，建立动力电池动态安全、健康边界评估方法，实现基于车云融合的动力电池安全预警、寿命评估及优化管理，为新能源汽车安全稳定运行提供云端理论和技术支撑。

**16. 轨道交通分布式数据共享计算方法研究（申请代码 1 选择 F06 的下属代码）**

针对以北京市为代表的大型城市轨道交通系统的数据共享计算效率低下，缺乏有效的数据访问控制手段等问题，开展轨道交通系统中分布式数据存储与共享访问控制方法研究，研究所需要的数据分布式机器学习算法，分布式数据共享激励方法，以及相应的信息安全防御策略，为城市轨道交通系统的数据共享计算提供理论依据和技术支撑。

以上研究方向鼓励申请人与北京地区具有较好研究实力和研究条件的企业开展合作研究。

## 七、人口与健康领域

(一) 针对北京人口与健康领域发展需求, 开展疫苗、创新药物、免疫治疗、医学影像等相关基础研究。

重点支持项目研究方向:

### 1. 肿瘤冷热复合治疗免疫效应研究 ( 申请代码 1 选择 H18 的下属代码 )

以增强肿瘤冷热复合治疗的协同免疫效应为目标, 开展针对免疫响应机制的相关基础研究, 挖掘肿瘤免疫逃逸的相关机理和治疗靶点。通过阐述肿瘤冷热复合治疗前后肿瘤微环境的特征演变, 评估抗肿瘤免疫应答及其响应规律, 为基于真实解剖结构的精准输送治疗方案的优化提供科学依据, 最终提高肿瘤冷热消融治疗临床疗效。

### 2. 基于锥形束 CT 的智能成像和辅助诊断关键技术研究 ( 申请代码 1 选择 H27 的下属代码 )

为提高锥形束 CT 系统成像性能与质量, 开展超低剂量和高精度快速三维图像重建方法、三维数据智能检测和诊断方法等基础研究, 研究用于锥形束 CT 的系统方案和优化配置、大尺度单体数据的大数据处理和计算平台, 链接 CT 图像和文本的智能辅助诊断系统, 用以解决锥形束 CT 在辐射剂量、精确成像、智能诊断等领域的关键问题。

### 3. 膝关节退行性病变智能诊疗关键技术研究 ( 申请代码 1 选择 H06 或 H27 的下属代码 )

为实现膝关节退行性病变的个性化诊断和精准治疗, 开展膝关节退行性病变自动识别与定量分析研究, 研究基于病史、体征、X 线片和 MRI 影像学检查等临床大数据的智能诊疗系统, 准确评估其严重程度, 提出个性化治疗建议并进行临床验证, 用以解决目前临床膝关节退行性病变诊断不精准的问题。

### 4. 复发难治恶性血液肿瘤的新型细胞免疫治疗药物设计、功能评价和机制研究 ( 申请代码 1 选择 C08 或 C21 的下属代码 )

针对复发难治恶性血液肿瘤尚无有效治疗药物的现状, 通过鉴定新型肿瘤靶点和设计新型细胞免疫治疗药物或方案, 开展抗肿瘤功能、安全性和分子作用机制的相关基础研究, 解决复发难治恶性血液肿瘤缺乏安全有效的治疗靶点、治疗方法有限和细胞免疫治疗难以维持长期疗效等关键问题。

### 5. 肿瘤特异性抗原的发现与鉴定 ( 申请代码 1 选择 H18 的下属代码 )

开展针对实体肿瘤特异性抗原和新生抗原相关研究, 重点解析新发现肿瘤特异性抗原或新生抗原的免疫识别机制 ( 表位 ), 并通过体外和体内功能验证, 完成新型潜在治疗性靶点的鉴定, 为发展抗体以及细胞免疫治疗方案设计提供理论和实验基础。

### 6. RSV 重组腺病毒载体疫苗免疫策略和免疫效力研究 ( 申请代码 1 选择 H11 的下属代码 )

以开发呼吸道合胞病毒 ( RSV ) 疫苗为目标, 通过提高抗原蛋白的免疫原性和稳定性等方法, 构建具有更强诱导中和抗体活性的新型腺病毒载体疫苗, 利用动物模型研究腺病毒载体疫苗的免疫策略和免疫效力, 为获得具有自主知识产权的 RSV 载体疫苗临床前数据和临床试验许可奠定基础。

**7. 蛋白多肽类药物递释系统设计与转运机理研究 ( 申请代码 1 选择 H34 的下属代码 )**

以显著提高蛋白多肽类药物口服吸收生物利用度为目标,开展蛋白多肽类药物递释系统的新辅料设计、载体分子组装机制和处方工艺优化,以及递送载体跨生物膜吸收转运机理和药物代谢动力学-药物效应动力学相关性的基础研究,突破蛋白多肽类药物口服递送的瓶颈关键技术。

**8. 多发性脱髓鞘疾病发病机制和分子分型研究 ( 申请代码 1 选择 H09 的下属代码 )**

利用北京地区多发性脱髓鞘疾病临床样品以及家系样品资源,开展多发性脱髓鞘疾病的发生、发展机制研究,为多发性脱髓鞘疾病的诊治提供理论基础。

**9. 神经退行性疾病发病机制、潜在药物靶点和生物标记物研究 ( 申请代码 1 选择 H09 的下属代码 )**

在建立新型动物模型的基础上,综合利用病理学、影像学、单细胞转录组学、蛋白组学、代谢组学等方法,进行神经退行性疾病发病机制研究,鉴定新型药物靶点和分子标记物,并对现有药物研发策略进行检验和判定。

**10. B 淋巴细胞转运蛋白的代谢调控和免疫功能研究 ( 申请代码 1 选择 C08 或 C11 的下属代码 )**

以调控 B 淋巴细胞中能量与物质交换的重要调控分子转运蛋白为研究对象,运用多组学、高分辨动态成像技术、单细胞分析技术等多种手段,明确转运蛋白的内源性生物活性底物、转运和代谢调控机制,阐明其在 B 淋巴细胞中的免疫调节功能,为 B 细胞分化发育和类别转换提供创新性的应用基础理论,发现用于治疗新型自身免疫病和 B 细胞淋巴瘤等疾病的新靶点。

**11. 面向 CT 成像应用的新型光子计数探测器专用芯片关键技术研究 ( 申请代码 1 选择 F05 的下属代码 )**

面向 CT 成像应用,解决光子计数探测器芯片高通量密度及多能量阈值等关键技术难题,研究低剂量新型光子计数探测器专用芯片核心技术,突破现有稀土陶瓷二次转换探测器的低通道密度及能量分辨能力,探索新型专用 ASIC/晶体/半导体材料等芯片内互连方式,研制适用于低剂量的低功耗、高分辨率、高通量密度、能量阈值可灵活配置的光子计数探测器专用芯片。

**12. 骨科陶瓷材料动态性能关键技术研究 ( 申请代码 1 选择 E02 的下属代码 )**

针对人工关节假体等骨科陶瓷存在的设计不合理、材料可靠性不高、失效机制不清等问题,围绕骨科陶瓷材料的动态性能及长期稳定性能开展基础研究,并进行仿真研究,通过优化陶瓷粉体合成及关节假体结构设计与制备工艺等基础研究和关键技术研究,降低诸如骨溶解、假体断裂、松动、脱位等并发症的发生率,解决人工关节领域面临的关键科学问题和技术难题。

**13. 超高场磁共振多核代谢成像研究 ( 申请代码 1 选择 H27 的下属代码 )**

面向人体超高场 ( $\geq 7$  T) 磁共振临床应用,解决重大疾病代谢图像灵敏度低的关键难题,研究与质子相结合的钠、磷等双核或多核成像原理,并研制其射频发射接收线圈及链路主要功能部件,发展多通道并行发射接收和双核采集等核心技术;研究超短回波 UTE 成像序列和新型图像重建方法。

**14. 基于新型原子磁力计脑磁图信号的脑机接口原理研究 ( 申请代码 1 选择 H27 的下属代码 )**

研究基于可穿戴的原子磁力计脑磁图信号和脑电图融合的高场磁共振图像引导的新型脑机接口原理和系统,研究脑磁图高时空分辨率的信号特性和多模态互补融合约束的特性,研发新型脑机接口信号采集、信息传输和信息解码方法。

**15. 基于多能干细胞的器官打印研究（申请代码 1 选择 H28 的下属代码）**

围绕神经、肌肉等复杂组织器官的构建及功能调控，通过多能干细胞的定向诱导、生物材料的可控调节、3D 成型策略的开发优化以及体外功能的动态维持，突破多能性

干细胞生物 3D 打印和器官构建中的技术瓶颈，实现多能干细胞在定制微环境中的精准可控分化和工程化操控、体外重构、功能器官模拟，发展新型修复和治疗策略。

以上研究方向鼓励申请人与北京地区具有较好研究实力和研究条件的企业开展合作研究。