

附件 2

“纳米科技”重点专项 2017 年度项目申报指南

为继续保持我国在纳米科技国际竞争中的优势，并推动相关研究成果的转化应用，按照《国家中长期科技发展规划纲要（2006-2020）》部署，根据国务院《关于深化中央财政科技计划（专项、基金等）管理改革的方案》，科技部、教育部、中国科学院等部门组织专家编制了“纳米科技”重点专项实施方案。

“纳米科技”重点专项的总体目标是获得重大原始创新和重要应用成果，提高自主创新能力及研究成果的国际影响力，力争在若干优势领域率先取得重大突破，如纳米尺度超高分辨表征技术、新型纳米信息材料与器件、纳米能源与环境技术、纳米结构材料的工业化改性、新型纳米药物的研发与产业化等。保持我国纳米科技在国际上处于第一梯队的位置，在若干重要方向上起到引领作用；培养若干具有重要影响力的领军人才和团队；加强基础研究与应用研究的衔接，带动和支撑相关产业的发展，加快国家级纳米科技科研机构和创新链的建设，推动纳米科技产业发展，带动相关研究和应用示范基地的发展。

“纳米科技”重点专项将部署 7 个方面的研究任务：1. 纳米科学重大基础问题；2. 新型纳米制备与加工技术；3. 纳米表

征与标准；4.纳米生物医药；5.纳米信息材料与器件；6.能源纳米材料与技术；7.环境纳米材料与技术。

2016年，纳米科技重点专项围绕以上主要任务，共立项支持43个研究项目（其中青年科学家项目10项）。根据专项实施方案和“十三五”期间有关部署，2017年，纳米科技重点专项将围绕新型纳米制备与加工技术；纳米表征与标准；纳米生物医药；纳米信息材料与器件；能源纳米材料与技术；环境纳米材料与技术等方面继续部署项目，拟优先支持28个研究方向（每个方向拟支持1~2个项目），国拨总经费10.3亿元（其中，拟支持青年科学家项目不超过10个，国拨总经费不超过5000万元）。

申报单位根据指南支持方向，面向解决重大科学问题和突破关键技术进行一体化设计。鼓励围绕一个重大科学问题或重要应用目标，从基础研究到应用研究全链条组织项目。鼓励依托国家重点实验室等重要科研基地组织项目。项目应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。

项目执行期一般为5年。一般项目下设课题数原则上不超过4个，每个项目所含单位数控制在4个以内。

青年科学家项目可参考重要支持方向组织项目申报，但不受研究内容和考核指标限制。

1. 新型纳米结构材料与功能材料

1.1 新型纳米金属结构材料

研究内容：纳米金属结构材料结构设计、制备原理与多级构筑方法，以及力学性能、理化性能、结构稳定性和疲劳、磨损、腐蚀等使役行为。

考核指标：面向纳米金属结构材料关键科学问题及重要工业应用，实现结构特征尺寸 $<50\text{ nm}$ 的纳米金属结构材料可控制备和多级构筑技术；建立金属材料的极小尺寸（特征尺寸 $<10\text{ nm}$ ）结构-性能关系、变形与失效规律；材料屈服强度-均匀延伸率之积提高 $>30\%$ ，疲劳寿命和磨损率分别提高10倍；发展纳米金属结构材料在2~4种工业部件生产中的关键技术。

1.2 有机纳米光子学材料的可控组装与器件集成

研究内容：具有光开关、光调制、光电耦合等功能的有机晶体纳米材料的可控自组装方法；可调谐宽光谱有机微纳激光阵列等大面积光子学集成器件的加工技术。

考核指标：面向有机纳米材料在柔性光子和光电子集成器件中的应用，阐明有机纳米材料的结构与光子学功能的构效关系，激发态动力学过程对材料光子学行为的调控机制；有机纳米光电子材料的载流子迁移率 $>40\text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ，荧光量子产率 $>50\%$ ；有机微纳激光阵列的发射波长在 $400\sim 800\text{ nm}$ 范围可调，光泵浦激光阈值 $<60\text{ nJ}/(\text{cm}^2\cdot\text{pulse})$ ；有机微纳电控光开关响应时间 $<3\text{ ns}$ ，光控开关器件增益 >10000 ；有机光子学集成器件尺寸 $>15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 。

1.3 面向空间应用的纳米复合材料制备及实用化

研究内容：宏观尺度纳米组装体系—纳米复合材料的可控宏量制备方法和组装原理，界面对物质、能量传输规律的影响；宏观尺度纳米结构单元及组装体的应用及其稳定性与服役性能。

考核指标：面向纳米复合材料在空间技术领域的应用，建立功能可调的宏观尺度纳米复合材料的构筑与构效关系；制备可满足空间应用的轻质纳米复合材料，包括：宽频段吸收特性的超黑表面涂层，对太阳光的吸收大于 0.98；高灵敏度压力传感复合涂层，检测力低于 15 Pa；用于航天飞行器的高强度低密度数据电缆，质量比传统电缆减少至少 25%；用于航天飞行器隔热防火的轻质、高强材料，室温下导热系数 $<0.03 \text{ W}/(\text{m K})$ ，燃烧等级达到难燃或不燃。

1.4 高迁移率有机半导体纳米功能材料的可控制备与性能调控

研究内容：新颖共轭分子自组装基元的设计合成；有机半导体纳米结构的自组装和性能调控；高迁移率有机半导体纳米功能材料在柔性电子器件应用中的关键技术。

考核指标：建立高迁移率有机半导体纳米功能材料的设计与合成方法；发展维数可控、大面积、高有序有机半导体纳米结构的自组装方法和性能调控技术；获得空穴迁移率 $>50 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 的 p-型半导体、电子迁移率 $>15 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 的 n-型半导体、以及空穴迁移率 $>5.0 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 和电子迁移率 >5.0

$\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 的双极性有机半导体纳米功能材料；实现有机半导体场效应器件集成。

2. 纳米结构的表征与检测技术

2.1 新型纳米材料高效结构优化与功能预测

研究内容：全局结构和反应路径优化搜寻以及性能评估理论和计算方法；新型纳米光催化材料、相变纳米记忆存储材料、低维自旋电子器件材料等的结构、生长机理、稳定性及物性的优化与预测。

考核指标：优化搜索周期短于1周（168小时），并行任务数超过100，1000个以上纳米体系的快速结构及相变路径预测，同期实现50个以上体系催化活性动力学高效评估；筛选预测3种以上新型可见光光解水、低碳能源转化催化材料的结构，生长机理和稳定性；预测2种以上新型相变纳米记忆存储材料、低维自旋电子器件材料的稳定结构及生长机理。

2.2 单分子器件的原位高灵敏测量技术

研究内容：高精度、高稳定性、高度集成的单分子异质结构筑方法，单分子尺度的新奇物理化学现象及其调控规律。

考核指标：实现单分子异质结的可控精准构造，单分子水平光学、电学、磁学等性质的高灵敏检测，并将测量灵敏度推进到单电子、单光子极限水平，实现纳秒级时间分辨率，实现信噪比大于1000的整流/开关比，实现1000个单分子器件集成阵列的演示；与基于第一性原理的理论新方法结合，

实现电学、光学、磁学等外场对单分子新奇效应的调控，建立器件中分子物性的综合测量技术。

2.3 纳米基元结构及其基本物理相互作用的高分辨表征与谱学表征技术

研究内容：高空间分辨和时间分辨的力学、电学和光学测量技术，原子和分子尺度上纳米结构基元的几何和电子结构、原子和分子间基本物理相互作用及过程。

考核指标：在单键水平测量原子、离子、分子间（弱）相互作用，达到原子尺度、空间取向分辨、小于 10 皮牛力的测量精度，揭示组装体系中分子间作用力的特征及本质；确定纳米基元结构中点缺陷的原子配位、构型以及电子态特征，实现原位飞秒时间分辨的谱学测量、原子结构分辨的电学表征；亚分子尺度的稳态和激发态探测，实现分子内电荷、自旋的轨道分布成像；揭示单原子催化反应中分子化学键演化的基元步骤。

3. 纳米医学诊疗新方法 with 纳米药物研制

3.1 病原体的纳米检测及体外诊断新方法

研究内容：荧光纳米材料的制备及性能调控；荧光纳米材料标记检测技术和方法；病原体（如流感病毒等）快速检测及感染机制。

考核指标：1~2 种用于病原体快速检测的荧光纳米材料的规模化（克级）制备方法，实现材料化学组成、尺寸、结构和性质（荧光性质、表界面性质、能量转移和跃迁等）的精准调控；复杂生物样品中 1~2 种特定病原体检测技术，检

测灵敏度达到单个病原体颗粒水平；1~2 种病原体感染机制研究的动态示踪方法；2~3 种经 CFDA 批准的使用纳米材料标记的临床检测试剂和试剂盒。

3.2 纳米技术在恶性肿瘤等重大疾病临床诊疗中的应用

研究内容：临床应用的术中分子影像技术，针对胃癌或乳腺癌或肝癌的诊断和手术治疗的纳米材料、分子影像技术与装备。

考核指标：建立符合生物安全性的无机纳米材料标记的快速检测技术和方法，针对胃癌或乳腺癌或肝癌，实现高灵敏、高组织穿透的原位检测和实时示踪，灵敏度达到单分子或单细胞水平；发展 1~2 种安全有效的近红外发光纳米材料和相应的分子影像检测技术与装备，满足临床分子影像与手术导航的要求；实现纳米技术在人体分子影像与临床应用的突破。

3.3 恶性肿瘤早期诊断的体外检测用纳米材料、器件及技术

研究内容：针对恶性肿瘤（如肺癌、胰腺癌、肝癌、胃癌等）早期检测的、可部分替代活检的临床血液与体液等纳米检测技术和方法。

考核指标：待测物中痕量的特定细胞（包括循环肿瘤细胞、细胞团等）、外泌小体、蛋白质、核酸等的检测灵敏度达到单细胞或单分子水平；发展 1~2 种痕量细胞定量纳米分离检测新技术，满足重大疾病早期检测与术后监测、恶性肿

瘤转移机制研究等的需求;研制 3~5 种采用纳米材料或器件、经 CFDA 批准的临床用检测试剂和试剂盒。

3.4 抗肿瘤新型纳米药物及制备关键科学问题

研究内容: 针对乳腺癌等肿瘤的纳米药物抗肿瘤转移和耐药理论; 抗肿瘤纳米药物的规模化制备、在线质量控制、制备过程的自动化与智能化控制等关键技术。

考核指标: 建立自动化与智能化控制的抗癌纳米药物规模化制备技术发展原创性抗乳腺癌等药物的纳米输送技术, 揭示纳米药物抗肿瘤转移和耐药的作用原理与分子机制; 研发 3 种以上注射级纳米材料获得生产许可, 采用纳米技术提高 10 个抗癌候选药物的成药性, 3~4 种具有抗肿瘤转移或耐药功效的纳米新药获得 CFDA 临床试验许可。

3.5 纳米材料类酶效应及其在血液系统疾病临床诊疗中的应用

研究内容: 纳米酶设计与构建及其生物效应与原理, 细胞内氧化—还原微环境检测与调控, 血液系统中以新型多肽、抗体、适配体等为基础的纳米生物诊疗技术和纳米类酶诊疗技术。

考核指标: 系统阐明纳米酶生物效应; 建立纳米酶检测相关技术标准; 与纳米生物传感和造血组织成像等技术相结合, 揭示 1~2 种造血系统重大疾病的致病及耐药机制; 获得 2~3 种经 CFDA 批准, 可投入临床应用的纳米酶检测试剂盒, 1~2 种纳米诊疗技术进入临床前实验。

3.6 纳米技术对肿瘤微环境调控及新型纳米药物

研究内容：针对肝癌、胰腺癌等危害性较高、微环境作用明确的恶性肿瘤，研究纳米技术在肿瘤微环境调控，改善肿瘤恶性表型和提高疗效等方面的机制，以及新型纳米药物和药物载体材料。

考核指标：运用生物分子或高生物相容性分子精准自组装、靶向识别等技术，发展新型纳米药物和药物载体，提出和完善 3~种基于肿瘤微环境调控的纳米技术抗肿瘤新策略，发展 2~4 种解析纳米药物在细胞和活体的吸收、转运、代谢机制和安全性评价的创新方法，获得 2~3 种基于肿瘤微环境调控、肿瘤综合治疗的新药临床批件或新药证书。

4. 高性能纳米光电器件

4.1 表面等离子激元高效光—热转换机理及原型器件

研究内容：表面等离子激元纳米结构中光致热载流子产生、调控机理及其在光-热、光-电、热-光、热-电转换中的应用；纳米结构光致热载流子增强效应及其相关光电信息器件原理；利用光致热载流子原理的中红外光源和探测器件原型。

考核指标：阐明表面等离子激元光致热载流子产生及调控过程的机理，建立和发展热载流子提高光—热、光—电、热—光、热—电转换效率的新方法和新技术；获得超宽谱（400nm~20 μ m）吸收且平均效率高于 95%的纳米结构光吸收器，获得品质因子高于 100、输出功率调控范围大于 10 dB、热辐射能量利用效率突破传统黑体辐射效率的中红外

(3~12 μm) 纳米结构窄带热辐射器；利用表面等离子激元光致热载流子突破传统半导体探测器光子能量探测极限，拓展到中红外波段；研制光致热载流子中红外光源和探测原型器件。

4.2 高时空分辨生物信息微纳电极阵列及光电系统集成

研究内容：采用新结构和新材料的高灵敏高速生物信息微纳电极阵列及其光电系统集成，生理活性分子的高灵敏高选择性传感器。

考核指标：面向神经系统重大疾病检测诊疗与调控干预、高时空分辨活体分析等应用，建立纳米颗粒和高分子纳米功能薄膜修饰的微纳电极阵列检测方法、基于光开关纳米组装体技术的对特定细胞精准靶向的光调控干预方法；实现化学信号/电生理信号活体同步实时记录；从组织切片到活体细胞生理、化学定量检测与调控干预的关键技术，检测分辨率达到单细胞水平，时间分辨率达 0.03 ms；发病机制应用研究以及定位诊断、手术规划临床前试验，获得 2 种以上可经 CFDA 批准的微纳电极阵列和微纳电极阵列检测系统。

4.3 X 射线衍射光谱与成像纳米器件及集成

研究内容：面向高能光谱与成像的应用需求，研究光谱分光调控和成像相位分布的物理机制，设计与研制高分辨 X 射线涡旋成像与光谱分辨的纳米器件；研究 X 射线辐射引起的器件失效机理及加固方法，发展应用于 X 射线衍射光谱与成像系统的新型纳米器件。

考核指标：X 射线衍射纳米器件的线密度大于 6000 线/mm、结构高宽比大于 300，应用能量范围 100eV-12 keV，编制微纳结构检测国家标准 1-2 项。实时衍射成像分辨率优于 30 nm，实现可控的涡旋嬗变；一级光谱色分辨率大于 20000 且高次谐波小于 0.5%。实现在同步辐射、激光聚变等领域的创新应用。

4.4 高密度交叉阵列结构的新型存储器件与集成

研究内容：高性能纳米选通器件新材料和新结构相关的物理问题，与选通管兼容的存储结构设计与研发；与标准 CMOS 工艺兼容的关键集成技术；新一代嵌入式存储芯片。

考核指标：面向交叉阵列结构存储器的嵌入式应用，实现纳米选通器件单元尺寸小于 $0.036 \mu\text{m}^2$ ，驱动电流大于 400 μA ，漏电流小于 50 pA，疲劳特性大于 10^9 ，研制存储容量为 128 Mb 的高密度存储芯片，并在物联网以及移动通信上实现示范应用。

4.5 纳米逻辑运算器件

研究内容：兼容 CMOS 技术的非易失逻辑新材料、纳米结构和集成方法；非易失逻辑器件性能调控方法与非易失性布尔逻辑运算原理，及相应的信息处理应用。

考核指标：面向存储与计算融合的新型计算架构，研制与 CMOS 兼容的小尺寸 ($\leq 100 \text{ nm}$)、高速 ($\leq 100 \text{ ns}$)、低功耗 ($\leq 1 \text{ pJ}$) 非易失逻辑器件；完成 16 种基本布尔逻辑运算与逻辑级联；实现非易失逻辑器件和 CMOS 电路混合集成的

模拟计算加速原型芯片，其中非易失逻辑器件集成规模大于4K。

4.6 低维异质结构的磁性和输运性质调控及其微纳器件

研究内容：少层二维电子材料和少层磁性材料的制备，及在原子、分子层次的堆垛组装；自旋量子效应下的低维磁性异质结构的设计合成；强磁场下磁性低维异质纳米结构的表面磁性结构以及动力学行为；电子—声子相互作用，自旋—轨道耦合效应在磁性低维异质纳米结构中的作用；具有磁性低维异质纳米结构的微纳器件制备及其磁性和输运性质，磁性调控的高迁移率器件与多功能材料的关键技术。

考核目标：发展磁性低维异质纳米结构可控制备技术，提出异质表界面构筑的新规律；实现 2—8 层二维材料的精确堆垛，堆垛角度分辨率 ≤ 5 度，位移精度 ≤ 2 微米，制成磁性多功能异质纳米结构材料；实现低于 $10^{15}\sim 10^{16}/\text{cm}^3$ 的载流子浓度、高于 $6\times 10^3 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 的迁移率的表面电输运性质；阐明门电压调控电子迁移率、弹道输运行为、界面折射率等物理性质；分形量子霍尔效应等物理现象下的新奇特性；磁性低维异质纳米结构在高迁移率器件与应用的关键技术。

4.7 微纳结构硅基混合集成宽带高速光访存芯片

研究内容：硅基混合微纳结构中光子与电子的相互作用，高增益激光阵列、超高带宽硅基调制/复用新器件、波长相关和低损耗 AWG 路由器、高响应度高速硅基探测器阵列及其集成技术。

考核指标：围绕未来高密度光集成技术需求，实现信息光电子技术与 CMOS 技术的高度兼容，支持 DWDM 光互连的硅基 III-V 激光器及 16 阵列、硅基 100 Gbps 高阶调制 / 复用及阵列、硅基 32 路波导阵列 AWG 复用 / 解复用 / 循环寻址核心器件，突破大数据信息访存墙，实现单路 100 Gbps 的硅基光收发能力、1.6 Tbps 的硅基波分复用集成光引擎、达到 51.2 Tbps 的数据吞吐量。

5. 能源转换与存储纳米材料与技术

5.1 化学能源转换的关键纳米材料与器件

研究内容：基于碳基催化剂的化学能转换为电能的纳米功能材料设计、宏量可控制备、表界面可控功能化及器件。

考核指标：阐明高效碳基纳米催化材料的转换过程、反应动力学、转换速率与稳定性演变规律，以碳基纳米催化剂组装的化学能源转换器件的功率密度 $\geq 1 \text{ W/cm}^2$ ，耐久性 ≥ 1000 小时，能量转换效率 $\geq 50\%$ 。

5.2 高效有机纳米薄膜光伏材料和大面积器件制备

研究内容：有机太阳能电池中的关键材料制备；功能层中的纳米结构表面/界面特性调控；高性能有机纳米薄膜太阳能电池制造技术。

考核指标：发展新型高效率有机光伏材料体系；建立电池多功能层纳米结构与光电特性的控制方法；系统阐明有机纳米薄膜太阳能电池的工作机理；提高新型有机纳米薄膜太阳能电池光伏效率和稳定性，面积大于 4 平方毫米的实验室电池效率 15%或世界最高水平；面积大于 25 平方厘米的小

型组件效率达到实验室电池效率之 80%；封装池稳定性达 3 年以上；典型器件实现应用示范。

5.3 新型化学能源存储的纳米材料及新体系

研究内容：高能量密度化学能源存储器件的纳米电极材料的构筑、材料结构与电池性能之间的本征关系，实时监测与原位表征技术，能量密度、循环寿命、安全性协同提升策略。

考核指标：提升新型储能电池的综合性能，发展具有应用价值的高比容量新型纳米电极材料，新型电池能量密度 $\geq 500 \text{ Wh/kg}$ ，循环寿命 ≥ 300 次。

5.4 高附加值精细化工产品的多相纳米催化材料与工程化

研究内容：纳米催化活性中心结构与碳—氧键高效构建与重组之间的构效关系和反应机理，纳米催化剂规模化制备技术。

考核指标：突破碳—氧键高效构建与重组制高附加值精细化工产品的多相纳米催化剂的基础理论和技术瓶颈，研发纳米催化剂规模化制备共性技术及多相催化绿色生产工艺，形成基础研究、技术开发、生产示范的全链条技术解决方案。创制 5~8 种新多相纳米催化剂，建立 4~6 种国内紧缺、附加值高的精细化工产品如乙二醇、甲基丙烯酸甲酯、二羟基丙酮等的工业示范装置。

5.5 仿生能量转换的纳米材料及器件

研究内容：仿生纳米孔道结构的能量转换机制，纳米孔道的结构、组成等对能源转换效率的影响，一体化能源转换器件的集成与封装，人工光合作用及盐差发电等领域的应用示范。

考核指标：揭示生物离子通道高效能量转换的机制；研发适应不同应用需求的纳米结构基元，如纳米级光催化剂及纳米孔道结构膜材料（功率密度 $\geq 5 \text{ W/m}^2$ ）；纳米孔道膜材料能量转换体系及器件的表征新方法，表征能量转换过程中离子传输的动态过程；纳米孔道结构一体化的能量转换器件；小型人工光合作用器件和大型盐差发电的产业示范。

6. 环境纳米材料与治理技术

6.1 用于土壤有机污染阻控与高效修复的纳米材料与 技术

研究内容：用于农田土壤有机污染阻控和有机污染场地土壤高效修复的纳米材料与技术。

考核指标：围绕农田土壤有机污染阻控和有机污染地土壤高效修复示范应用的关键科学问题，研发吸附、固定及消除土壤中典型有机污染物以阻控农作物吸收积累的新型实用功能纳米材料，揭示污染物在土壤—农作物系统中迁移积累的界面过程及阻控机制；发展降解去除场地土壤中有机污染物的新型实用功能纳米材料和一体化修复技术；阐明功能纳米材料在土壤中的迁移转化过程与生物生态效应。

6.2 用于典型污染物检测的纳米材料与 技术

研究内容：用于环境中痕量持久性有毒污染物检测及毒性甄别的纳米材料与技术；用于高危险有机化学品检测的功能化纳米材料与超高灵敏传感技术。

考核指标：围绕典型污染物检测示范应用的关键科学问题，发展环境中痕量持久性有毒污染物的被动采样、分离富集、现场检测及毒性甄别的纳米技术与装置，检测下限低于 1 ppb，研发用于水体痕量持久性有毒污染物高通量筛查的纳米材料与技术，研发可快速、同时检测痕量重金属和有机污染物的集成式纳米器件；研发用于高危险有机化学品的超高灵敏度与选择性的原位、快速纳米检测技术，阐明不同目标物与纳米材料的相互作用原理及检测机制；完成上述纳米材料及器件的批量生产，实现真实环境下目标污染物检测的示范应用。

6.3 水中污染物深度处理的纳米材料与技术

研究内容：农村饮用水中微量有毒污染物深度处理的纳米材料与技术

考核指标：围绕农村饮用水中污染物深度处理示范应用的关键科学问题，研发用于农村饮用水中微量有毒污染物高效吸附与氧化还原消除的纳米材料与技术；阐明目标污染物与纳米材料表/界面的相互作用机理及反应机制，揭示纳米材料的构-效关系原理；形成 2 项以上的实用化技术及农村饮用水深度净化综合处理方案，并实现典型地区农村饮用水净化示范应用，出水水质达到国家《生活饮用水卫生标准》的各项指标。

7. 纳米科技重大问题

目前已在纳米科学前沿取得国际公认的重大创新突破，
通过从基础研究到应用研究的全链条一体化设计，经过3—5
年研究，有望在纳米科技重要应用领域培育形成颠覆性技术
的重大问题。