

江苏省高等学校
大学生创新创业训练计划项目申报表
(创新训练项目)

项目编号			
项目名称	离电活性聚合物压力传感器及其感知性能调控机制研究		
项目主持人	孟天奕	联系电话	15751871858
所在学院	纳米科学技术学院		
学号	2314401081	专业班级	纳米材料与技术 2 班
指导教师	文震		
申请日期	2025 年 4 月 17 日		
起止年月	2025 年 6 月—2027 年 6 月		

苏州大学

填写说明

1. 本申请书所列各项内容均须实事求是，认真填写，表达明确严谨，简明扼要。
2. 申请人可以是个人，也可为创新团队，首页只填主持人。“项目编号”一栏不填。
3. 本申请书为大 16 开本（A4），左侧装订成册。可网上下载、自行复印或加页，但格式、内容、大小均须与原件一致。
4. 申请金额及经费预算根据往届项目资助额度进行估算，实际支持数额以学校实际批复为准。往届项目资助总额为国家级重点支持 40000 元、国家级 20000 元、省级 6000 元。校级项目经费由学院统筹支持。
5. 主持人所在学院认真审核，经初评，签署意见后，将申请书报送苏州大学大学生创新创业综合服务平台科研项目管理系统。

一、 基本情况

项目名称	离电活性聚合物压力传感器及其感知性能调控机制研究						
项目级别	<input checked="" type="checkbox"/> 国家级（推荐）重点支持 <input type="checkbox"/> 国家级（推荐） <input type="checkbox"/> 省级 <input type="checkbox"/> 校级						
项目类型	创新训练项目						
所属学科	学科一级门：工学 学科二级类：材料类						
申请金额	<input checked="" type="checkbox"/> 40000 元（国重） <input type="checkbox"/> 20000 元（国） <input type="checkbox"/> 6000 元（省）		起止年月		2025 年 6 月—2027 年 6 月		
主持人	孟天奕	性别	男	民族	回	出生年月	2004 年 12 月
学号	2314401081	联系方式	邮箱：2314401081@stu.suda.edu.cn 手机：15751871858				
指导教师	文震	联系方式	邮箱：wenzhen2011@suda.edu.cn 手机：15150127007				
项目简介		本项目拟以离电聚合物复合薄膜材料为研究对象，研究离电活性聚合物的离子－电子复合传导机理及力电性能协同机制，目标建					

		立离电敏感结构的压力感知机理及多物理耦合模型，揭示离电压力传感器件的结构－性能影响规律；拟通过引入微纳加工工艺对传感器敏感单元、控制电路以及整体结构进行集成和柔性化封装，重点研究高可靠性敏感器件制备方法，实现离电活性聚合物传感器灵敏度和测量频率范围的调控。通过聚焦离电聚合物传感器这一科学领域，为实现高性能离电材料设计、敏感结构设计、元器件可靠制备及系统集成与应用验证提供了新思路。			
负责人曾经参与科研的情况		1. TaO _x 晶体管存储器氧空位调控机制研究（2024.9-2025.3） 2. 电极材料对溶液法 IGZO 晶体管的性能影响（2025.4 至今）			
指导教师承担科研课题情况		文震教授承担了国家重点研发计划课题 2 项、国家自然科学基金 2 项，入选江苏省高层次人才培养计划“333 工程”、江苏省优青、江苏省科协青年科技人才托举资助工程、江苏省科技副总项目。			
指导教师对本项目的支持情况		文震教授在材料设计和器件工艺上提供专业建议，协助优化多物理耦合模型，并定期组织团队进行技术研讨，确保项目研究方向的科学性和前沿性，依托课题组资源，为团队开放实验室设备使用权，并审核实验数据并提出改进建议，确保项目按计划推进。			
项目 组 主 要 成 员	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目中的分工
	孟天奕	2314401081	纳米材料与技术 2 班	纳米科学技术学院	负责项目整体规划和执行，包括研究方案的确定、实验设计、数据分析及论文撰写，同时负责团队的协调和沟通。
	顾思凡	2314401046	纳米材料与技术 1 班	纳米科学技术学院	负责离电活性聚合物敏感材料的制备及性能研究。
	杜海源	2314401044	纳米材料与技术 1 班	纳米科学技术学院	负责运用 COMSOL Multiphysics 和 ANSYS Workbench 静力学仿真模块中构建传感器结构并分析。
	杨卫栋	2314401034	纳米材料与技术 1 班	纳米科学技术学院	负责离电活性聚合物压力感知机理及阵列式敏感结构设计方法研究。
	张笑铎	2314401037	纳米材料与技术 1 班	纳米科学技术学院	负责文献检索，资料搜集和申请书填写，遇到问题提供参考解决方案，协助实验与论文撰

					写。
--	--	--	--	--	----

二、 立项依据（可加页）

<div>一、研究目的</div> <p>本项目针对离电活性聚合物存在的导电性低、稳定性差的不足，离电敏感器件存在力学传感机理不明、传感性能有限、可靠制备与集成方法欠缺等问题，目标揭示离电活性聚合物在复杂压力条件下的离子-电子耦合传感机制，实现阵列式敏感结构设计和高可靠性制备，开发出高灵敏度、宽频响、低迟滞的压力传感器，实现离电压力传感系统的集成与封装，以满足不同场景应用需求。</p> <div>二、研究内容</div> <p>本项目针对离电活性聚合物存在的导电性低、稳定性差的不足，离电敏感器件存在力学传感机理不明、传感性能有限、可靠制备与集成方法欠缺等问题，针对“离电活性聚合物的离子 – 电子复合传导机制及力电转换性能增强策略”的关键科学问题开展研究，具体内容如下：</p> <div>（一）离子/电子双重传导的离电活性聚合物敏感材料制备及性能研究</div> <p>通过变温离子迁移性质测量和原位表征技术，研究离电聚合物中离子迁移的微观机制，理解其与聚合物结构的关系；探索双交联聚合物网络的构筑原理，结合功能离子液体添加剂，优化聚合物的拓扑结构；研究聚合物基体与功能添加剂之间的相互作用，提出有效的感知性能增强调控策略，旨在实现高电导率和优良稳定性的离电聚合物材料，为高性能离电传感器的设计与制备提供理论与技术支撑。</p>
--

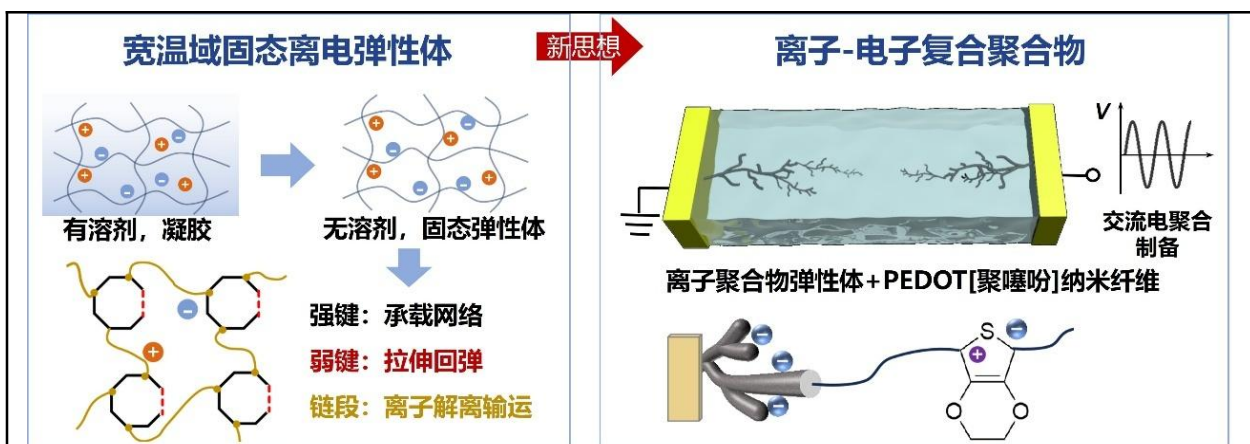


图 1 离子/电子双重传导的离电聚合物敏感材料示意图

(二) 基于机械离子电效应的离电活性聚合物压力感知机理研究

研究离电活性聚合物的机械离子电效应及相应的力－电换能机理，研究离电聚合物在压力激励下的力学响应、离子输运、离子极化行为，建立压力-离子-电的全过程物理模型，阐明材料物性-敏感结构-感知性能间的影响规律；设计动态非对称双电层离电活性聚合物压力敏感结构，优化拓扑结构、表/界面电荷非对称性。

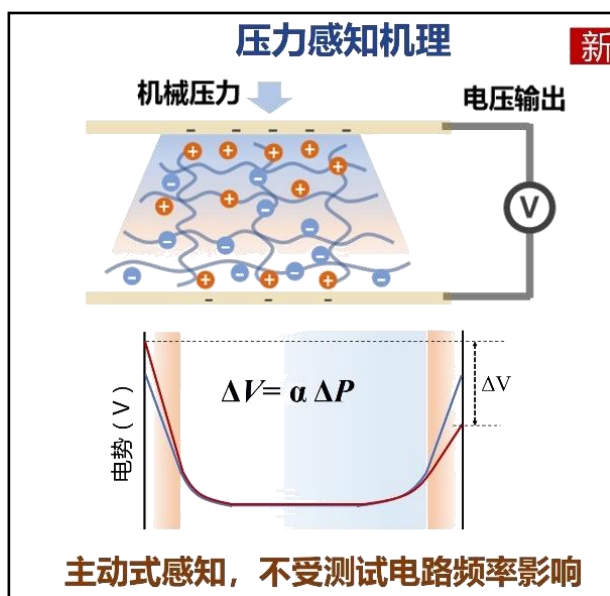


图 2 离电活性聚合物的压力感知机理示意图

(三) 离电传感器可靠制备技术及系统集成应用研究

基于高稳定聚合物材料和微加工工艺，实现柔性敏感元件的整体封装；通过仿真模拟和实验研究，研究超柔性衬底上的布线、元器件尺寸、厚度等因素对柔性及系统特性的影响，设计和优化最优的系统布局方案和最适合应用场景表面安装的封装形式；针对智慧医

疗的应用需求，在人体心血管等不同的应用场景中开展压力传感器的性能测试和迭代优化，实现人体健康的早期预警与诊断。

三、国内外研究现状和发展动态

（一）柔性压力传感技术的价值前景

柔性压力传感技术可通过轻薄柔软的形态实现对压力等物理参量的测量，是当前世界科技前沿的一个新兴研究方向，其研究成果正转化为引领科技发展的重要创新力量，有望带来一场产业技术革命。目前，美日欧均在柔性材料、柔性传感器相关领域加大投入、部署重大战略，其中美国《国家机器人计划 2.0》、欧盟“地平线（Horizon）2020 计划”、日本《机器人新战略》等国家战略研究计划中都把柔性力传感器列为重点主题，力图保持在全球竞争中的领先地位。我国《“十四五”国家科技创新规划》、工信部《人形机器人创新发展指导意见》等都将智能传感器作为物联网、人工智能、机器人触觉等新一代信息技术产业感知层的基础核心元器件，明确其在国家科技创新体系中的重要地位，支持相关领域的快速发展，夺取竞争制高点。

（二）柔性压力传感技术的发展动态

柔性压力传感技术于 2010 年前后，经日本东京大学 Takao Someya 教授、美国斯坦福大学鲍哲南院士等人的推动得以快速发展。2012 年，离电型柔性压力传感技术最早由加州大学戴维斯分校潘挺睿教授提出，是一种基于离子材料-电子材料双电层界面电容的新技术，理论上其检测能力较传感电容型器件有 3~5 个数量级的提升。2017 年，南方科技大学郭传飞教授团队最早在国内开展离电柔性传感器的研究，并于 2020 年报道了一种具有 400 kPa 量程，且全量程压力分辨率达到 0.0056% 的离电型柔性压力传感器，大幅推进领域水平，同时表明了其在风洞模型空气压力测试中应用的可行性。

（三）离电传感技术的国内外研究现状

近年来，离电传感技术在国内外呈爆炸式发展趋势，但因离电活性聚合物仍存在导电性差、稳定性差、力学量传感机理不明、模量难以跨数量级调控等问题，导致该类器件仍无实际应用转化。具体说来，其瓶颈问题包括：一是离电敏感材料和电容式传感器受温度影响极大导致稳定性极差：由于双电层电容受体相离子扩散和界面离子吸附行为控制，而离电材料的离子导电率低，且受温度影响极大，导致测试温度和频率严重影响电容值，现

有的离电传感器灵敏度虚高；二是离电传感器的感知物理模型仍不明确：现有的理解是基于简单的平行板双电层电容模型，电容与双电层厚度成反比，但实际上应力并无法改变双电层厚度，且由于离电聚合物材料为两相多孔介质，在压力作用下，存在应力梯度、孔压力梯度、浓度梯度、电势梯度等多物理场耦合的复杂情形；三是离电敏感元件和基底界面失配导致制备工艺兼容差：离电敏感元件在制备过程中，多次基底应变会导致敏感材料和基底的界面失配，离电活性聚合物的制备工艺与规范的 CMOS 工艺兼容性较差，阵列结构引发信号串扰，这些问题会导致器件灵敏度、分辨力下降，可靠性降低。基于离电聚合物材料的传感器取得了显著进展，但当前离电聚合物传感器仍面临提升材料力学、电学的稳定性，增强敏感结构的高分辨率、宽量程，以及提高灵敏度和稳定性的挑战。

四、创新点与项目特色

（一）创新理论研究

本项目创新性地研究离电活性聚合物的离子-电子复合传导机理及力电性能协同机制。通过耦合应力场、流场、浓度场和静电场，建立机电转换多物理场模型，并通过双向耦合进行数值求解，实现对物理过程的瞬态、动态仿真。弥补离电活性聚合物力学传感机理不明的空白，为实现高性能离电材料设计、敏感结构设计、元器件可靠制备及系统集成与应用验证提供理论基础。

（二）创新方法设计

本项目创新性地开展多种离电活性聚合物敏感结构设计方法研究。对于压力传感，采用拓扑结构和界面电荷非对称性设计，通过调控阴阳离子的解离和迁移差异，放大离子极化和电学输出，提升灵敏度。制备高模量、低回滞、高离子迁移率的离电聚合物，并在电极界面引入化学键合作用，使器件具备无漂移、快响应、低回滞的性能；通过应力或应变引起离电活性聚合物电极界面阴阳离子分布变化，产生离子极化并输出电信号。该举措创新性地实现提高离电活性聚合物各项关键性能，解决目前离电活性聚合物导电性低、稳定性差等问题。

（三）创新应用结合

本项目基于高稳定聚合物材料和微加工工艺，实现柔性敏感元件的整体封装；通过仿真模拟和实验研究，研究超柔性衬底上的布线、元器件尺寸、厚度等因素对柔性及系统特

性的影响，设计和优化最优的系统布局方案和最适合应用场景表面安装的封装形式；针对军事和智慧医疗的应用需求，在水下通讯、人体心血管等不同的应用场景中创新性地开展压力传感器的性能测试和迭代优化，实现人体健康的早期预警与诊断。这创新性地开发离电聚合物材料传感器其在水下通讯，智能制造与智慧医疗等领域的应用潜力。

五、技术路线、拟解决的问题及预期成果

本项目拟面向离电聚合物材料的力-电-稳定性能协同提升的目标，提出了纳米限域聚合的材料设计策略，开发离子-电子复合聚合物新材料；面向离电敏感结构的压力感知机理，提出压力敏感的机械离子电效应；目标实现离电传感器件的高可靠制备与系统集成，开发离电器件原位交流电聚合高可靠制备工艺，实现离电 MEMS 传感系统一体化集成。

（一）本项目的具体研究方案：

1、离子/电子双重传导的离电活性聚合物敏感材料制备及性能研究

对于离子/电子双重传导的离电活性聚合物复合材料，在制备的高性能离子液体凝胶中，通过原位交流聚合生长电子导电的纳米纤维网络（如 PEDOT:PSS 或金属颗粒），形成离子/电子双电导微纳结构。研究其电化学阴/阳离子掺杂，分析压-电换能机制。

2、离电活性聚合物压力感知机理及阵列式敏感结构设计方法研究

对于压力传感，采用拓扑结构和界面电荷非对称性设计，通过调控阴阳离子的解离和迁移差异，放大离子极化和电学输出，提升灵敏度。制备高模量、低回滞、高离子迁移率的离电聚合物，并在电极界面引入化学键合作用，使器件具备无漂移、快响应、低回滞的性能。通过应力或应变引起离电活性聚合物电极界面阴阳离子分布变化，产生离子极化并输出电信号，称为机械离子电效应。通过耦合应力场、流场、浓度场和静电场，建立机电转换多物理场模型，并通过双向耦合进行数值求解，实现对物理过程的瞬态、动态仿真。

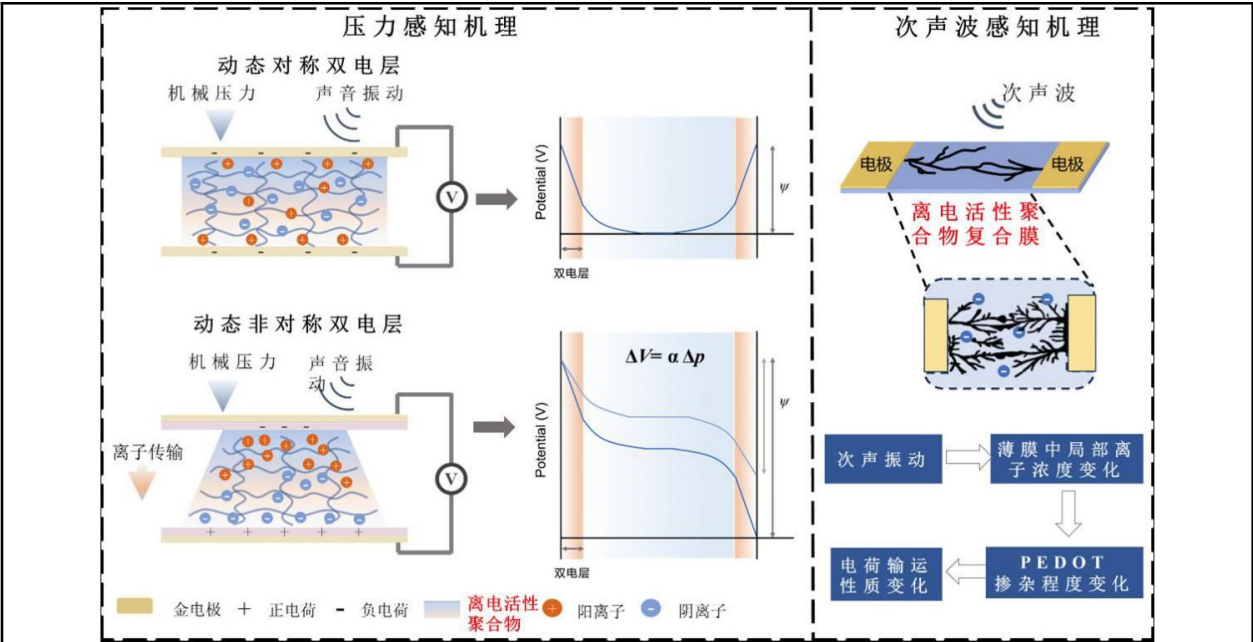


图 3 基于机械离子电效应的压力传感示意图

3、离电活性敏感材料敏感元件高可靠性制备技术

首先，设计压力 MEMS 敏感器件阵列的电极引线布局，像素点间采用独立通道，并行采集，避免干扰。其次，设计压力敏感阵列的工艺路线，主要包括：（i）刻蚀与金电极沉积制备出单个次声波敏感器件窗口；（ii）脉冲电化学聚合制备 PEDOT 纳米级纤维网络、并联合光聚合制备离电聚合物电解质，形成 PEDOT 填充的离电聚合物复合薄膜；（iii）通过仿真模拟和实验验证，研究和设计最适合场景表面安装的封装形式。利用高稳定聚合物材料对压力敏感单元进行封装，探究封装层特征对器件稳定性的影响，优化封装材料、厚度等特性，以开发高稳定器件封装工艺。

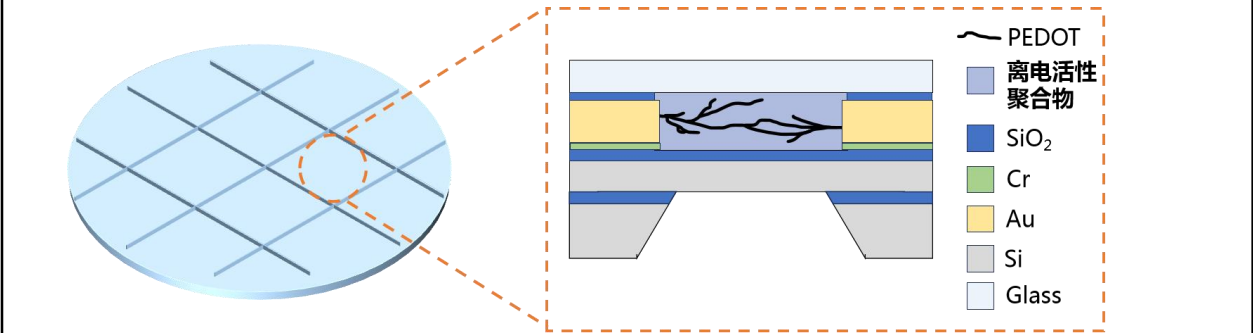


图 4 压力敏感 MEMS 器件结构设计示意图

(二) 拟解决的关键核心问题

1、拟解决的关键科学问题:

- (1) 离电活性聚合物的离子 – 电子复合传导机理及力电性能协同机制
- (2) 离电敏感结构的压力感知机理及多物理场耦合模型
- (3) 离电压力传感器件的结构-性能影响规律与调控增强策略

2、拟解决的关键技术问题:

- (1) 离电活性聚合物材料的高可靠性制备方法
- (2) 离电活性聚合物高灵敏压力敏感机理及阵列式结构设计方法
- (3) 离电活性聚合物阵列式压力敏感元件的高可靠、大面积制备技术

(三) 预期研究成果

1、基础理论成果: 建立压力载荷下离电活性聚合物压力 – 电转换的传感模型, 揭示离电敏感材料压力传感机理。

2、关键技术成果: 掌握高灵敏、快响应、低回滞的离电活性聚合物敏感结构设计技术, 开发离电聚合物压力传感系统 MEMS 集成与封装技术。

3、项目支撑成果: 发表论文 3~5 篇、申请发明专利 1~2 件, 培养研究生 3~5 名, 培育重点重大项目研究基础, 凝练“十五五”重点研发计划研究内容。

六、项目研究进度安排

- 2025 年 6 月 ~ 2025 年 9 月: 探究离电活性聚合物传导机理及感知性能调控机制。在制备的高性能离子液体凝胶中, 通过原位交流聚合生长电子导电的纳米纤维网络, 研究其电化学阴/阳离子掺杂特性。
- 2025 年 9 月 ~ 2025 年 12 月: 探究离电活性聚合物压力感知机理, 设计阵列式敏感结构。尝试拓扑结构和界面电荷非对称性设计, 通过调控阴阳离子的解离和迁移差异, 放大离子极化和电学输出, 提升灵敏度。尝试在电极界面引入化学键合作用, 提升器件性能。
- 2026 年 1 月 ~ 2026 年 5 月: 探究对离电活性聚合物机械离子电效应的瞬态、动态仿真方法。通过耦合应力场、流场、浓度场和静电场, 建立机电转换多物理场模型, 并通过双向耦合进行数值求解, 实现对物理过程的瞬态、动态仿真。
- 2026 年 5 月 ~ 2026 年 12 月: 探索离电活性敏感材料敏感元件高可靠性制备技术。

其次设计制备工艺路线，探索高质量压力敏感器件制备及封装工艺。

- 2027 年 1 月 ~ 2027 年 6 月：整理实验数据，撰写实验论文。

七、已有基础

1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

(一) 指导教师情况：

文震，苏州大学功能纳米与软物质研究院教授、博士生导师、院长助理，主要从事纳米传感材料、微纳传感器件、智能传感系统等方面研究，至今以第一/通讯作者在 Nat. Commun.、Sci. Adv. 等高水平学术期刊发表论文 124 篇，撰写学术专著 2 章，总引用超过 17000 次，h 因子为 71，其中 2 篇入选 ESI 热点论文、13 篇入选高被引论文、18 篇入选封面/封底论文，已获授权中国发明专利 38 项，其中 10 项已转让。近五年承担了国家重点研发计划课题、国家自然科学基金等，入选了江苏省高层次人才培养计划“333 工程”、江苏省优青、江苏省科协青年科技人才托举资助工程、江苏省科技副总项目等，荣获 2024 年中国商业联合会科学技术发明奖、2023 纳米材料杰出青年学者奖、2023 先进纳米能源奖、2022 年度微系统与纳米技术峰会青年科学家奖等；目前担任 Nano Energy 助理编辑、Microsystems & Nanoengineering、Chinese Chemical Letters、Exploration 和 Nano-Micro Letters 等期刊青年编委。

(二) 团队成员情况：

1、**孟天奕（主持人）**：曾参与“TaOx 晶体管存储器氧空位调控机制研究”，“电极材料对溶液法 IGZO 晶体管的性能影响”等课题。熟悉磁控溅射仪、真空蒸镀仪、旋涂仪和半导体参数测试仪等设备的基本操作，熟练掌握 Origin 绘图软件的应用。

2、**杜海源**：已修 Python 数据处理，会使用 Gaussian，对电路有一定了解，在隧穿晶体管项目主要负责制片工作，有丰富的有机电路研发经验，可独立设计柔性器件。

3、**顾思凡**：能熟练使用 Python，FDTD lumerical 等软件，有丰富的仿真经验。

4、**杨卫栋**：已进入实验室学习相关技能，有丰富的理论基础和实验经验，能够熟练运用光刻机、蒸镀仪、半导体参数测试仪等设备。

5、**张笑铎**：曾参与有机单晶生长及高性能 OFET 相关学习研究，能够熟练运用光刻机、蒸镀仪、半导体参数测试仪等设备。

本团队成员成绩优异，已掌握普通物理、电动力学、电工电子学、热力学与统计物理学等相关课程，具备充实的理论知识与实验经历，为本项目的开展奠定了良好基础。

2.已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法

申请团队所依托的苏州大学是教育部与江苏省人民政府共建的国家“世界一流学科建设高校”，国家“双一流”建设高校，国家“211 工程”、“2011 计划”首批入选高校，江苏省属重点综合性大学。所在的纳米科学技术学院是“双一流”学科建设重点依托学院，入选了国家首批认定的“2011 协同创新中心”，获批仿生界面材料科学全国重点实验室、高等学校学科创新引智基地（国家“111 计划”）、两部一省科教结合苏州纳米技术产业创新基地、教育部国际合作联合实验室、江苏省碳基功能材料与器件重点实验室、江苏省先进负碳技术重点实验室等。

申请团队所依托学院自主拥有 100 间超净间，近几年仪器及科研经费总投入超过 3 亿元，已建立起具有国际水平的纳米传感材料制备表征与智能传感器封测平台，配有完备的材料和器件制备设备，包括真空薄膜蒸镀系统（HKVAC3030）、原子层沉积系统（Savannah-100）、电子束蒸发系统（Kurt J. Lesker PVD75）、3D 打印机（Fisnar F5200n）、激光切割机（PLS6.75）、光刻机（SUSS MicroTec MJB4）等，可实现传感材料和器件的制备；同时配备有多种材料表征设备，包括扫描电子显微镜（FEI Quanta 200FEG）、X 射线粉末衍射仪（PANalytical）、X 射线/紫外光电子能谱仪（Kratos Ultra-DLD）、多功能扫描探针显微镜（Cypher S），并装配了开尔文探针力显微镜（KPFM）模块、微米球的胶体探针等，可满足本项目对不同功能层材料的表征及表面电势的精确测试。

申请团队所依托指导教师实验室已配备直线电机驱动系统（WMUB512030-06-D）、激振器（JZK-5）、动态热机械分析仪（TA-Q400）等，可实现施加压力的精确控制；同时配备有低噪声前置电压放大器（SR560）、低噪声前置电流放大器（SR570）、静电计（Keithley 6514）、多功能数据采集卡（NI PC-6259M）和半导体器件参数分析仪（Agilent B1500），可实现摩擦电信号的精确测试；在项目预研究期间，申请人还自主搭建了一套综合力学测试平台，包括数字测力计（Chatillon DFS2-250G）、双范围力传感器

(DFS-BTA) 动态力学测试系统、光学平台、高真空手套箱等，可实现 0.0005 N~2.5 N 和 0.05 N~50 N 的分段压力测试。

综上所述，申请团队依托单位具有良好的科研环境，实验室设备能够满足开展实验的所有需要，能够支撑该项目的顺利完成。

三、 经费预算计划 （往届项目资助总额为国家级重点支持 40000 元、国家级 20000 元、省级 6000 元，实际预算制作及可支出类型以后期财务处要求为准，校级项目经费由学院统筹支持。）

开支科目	预算经费（元）	主要用途	阶段下达经费计划（元）	
			前半阶段	后半阶段
预算经费总额	<input checked="" type="checkbox"/> 40000 元（国重） <input type="checkbox"/> 20000（国） <input type="checkbox"/> 6000 元（省）	文献检索、差旅调研、论文出版、专利申请、材料费等	20000	20000
1. 业务费				
（1）计算、分析、测试费	0	无	0	0
（2）能源动力费	0	无	0	0
（3）会议、差旅费	25000	用于国内/国际会议差旅费、赴外地交通费和住宿费等	12500	12500
（4）文献检索费	1000	资料购置、打印、复	500	500

开支科目	预算经费（元）	主要用途	阶段下达经费计划（元）	
			前半阶段	后半阶段
		印、印刷 费用		
(5) 论文出版费 /申请专利费	7000	论文版面 费（2000 元）和专 利申请费 （2500 元/项，2 项，共计 5000 元）	0	7000
2. 仪器设备购置费	0	无	0	0
3. 实验装置试制费	0	无	0	0
4. 材料费	4000	用于制备 传感器材 料、实验 室常用溶 剂、所需 低值易耗 玻璃仪 器、一次 性消耗 品、实验 用压缩气 体等	2000	2000
学校批准经费				

四、导师推荐意见

	导师（签章）： 年 月 日
--	------------------

五、院系推荐意见

	院系负责人签名： 年 月 日	学院盖章： 月 日
--	-------------------	--------------

六、学校推荐意见

	学校负责人签名： 年 月 日	学校盖章： 日
--	-------------------	------------


苏州大学大学生创新训练计划项目申报 诚信声明

本人保证填报内容的真实性。所提交的用于申请大学生创新训练计划项目的全部材料（包括但不限于学科竞赛获奖、学术论文、科研项目成果、专利创造成果、文学艺术类成果以及创业实践类成果等）均为本人在校期间原创取得，不存在任何侵权、造假等违规行为，项目成员满足《关于做好 2025 年大学生创新训练计划立项工作的通知》规定的申报条件。

本人保证填报内容的有效性。如果获得立项，我与本项目组成员将严格遵守学校的有关规定，按照申报要求和申报计划，真实完成项目研究，按时报送有关材料。

本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。本人所提交的内容如涉嫌违规违法，本人愿意承担相应后果。

申请人签名：孟天奕 顾恩伟 张笑铎 杨卫辉 杜海源

指导（证明）老师签名：

2025年4月17日