

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	不填		
项目名称	汗液驱动的可拉伸电子皮肤 与 AI 智能健康监测-反馈系统		
项目主持人	高腾	联系电话	13951639336
所在学院	纳米科学技术学院		
学号	2314401043	专业班级	纳米材料与技术专业 1 班
指导教师	孙宝全		
申请日期	2025 年 4 月		
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	汗液驱动的可拉伸电子皮肤与 AI 智能健康监测-反馈系统						
项目级别	<input type="checkbox"/> 国家级（推荐）重点支持 <input checked="" 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 type="checkbox"/> 40000 元（国重） <input checked="" 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	高腾	性别	男	民族	汉	出生年月	2004 年 9 月
学号	2314401043	联系方式	邮箱：2538814620@qq.com 手机：13951639336				
指导教师	孙宝全	联系方式	邮箱：bqsun@suda.edu.cn 手机：13815269751				
项目简介		<p>汗液作为人体重要的生理信号，蕴含丰富的水分动态与电解质信息，为实现连续、无源健康监测提供了天然驱动力。近年来，基于汗液驱动水伏效应的柔性电子皮肤逐渐兴起，展现出在皮肤湿度感知与智能健康反馈中的巨大潜力。该方向契合《健康中国 2030》规划纲要关于促进疾病预防、健康管理和智能医疗发展的战略需求，也呼应“十四五”国家科技创新规划中对柔性电子、智能传感与生物健康交叉技术的重点部署。</p> <p>然而，当前系统仍面临两大核心挑战：一方面，汗液成分复杂、动态变化剧烈，导致界面离子迁移与电荷分离效率不足；另一方面，器件在拉伸、弯曲等动态变形下性能易退化，限制了长期稳定输出与舒适佩戴。</p> <p>本项目拟受竹节状结构仿生启发，设计并制备周期性界面调控的竹节状碳化硅纳米线（SiC NWs）功能层，结合柔性基底构建高拉伸性自驱动湿度传感器。计划通过竹节状微纳结构在微观尺度上引导离子迁移与能量转换，同时在宏观尺度上缓冲应力、抑制裂纹扩展，从而实现高应变条件下的电学稳定性与器件耐久性，满足皮肤自然运动环境下的连续湿度监测需求。</p> <p>此外，项目将引入多亲水性、多孔电极材料，模拟天然界面的湿度调控机制，构建不对称湿度梯度，进一步优化汗液离子迁</p>					

		<p>移路径，提升机械柔韧性与电学响应性能。结合神经网络算法，拟建立皮肤湿度状态动态识别与个性化健康反馈模型，提升监测精度与响应智能化水平，助力智能健康管理系统的</p> <p>发展。</p> <p>本研究将提出基于竹节状仿生结构的新型策略，系统提升汗液驱动水伏效应与器件可拉伸性能，推动碳化硅材料在柔性自驱动健康监测系统中的应用，支撑健康中国和智慧医疗体系建设，为新一代智能可穿戴技术的发展奠定坚实基础。</p>			
负责人曾经参与科研的情况		<p>项目负责人曾参与相关科研课题的实验工作，承担具体研究任务，积累了初步的实践经验与项目推进能力。在科研实践过程中，已系统接受实验室操作培训，掌握了必备的实验技能与安全规范，具备较好的实验操作基础与问题处理能力。与此同时，负责人系统学习了科研信息检索、论文阅读与科学写作等基本技能，能够熟练获取和整理项目相关领域的前沿信息。通过广泛阅读水伏发电与可穿戴传感器器件领域的综述与研究论文，已对相关研究方向形成了较为清晰的理解。此外，负责人积极参与创新创业活动，曾在校级“创新创业创意”大赛中荣获二等奖，展现出较强的创新意识与项目执行能力。</p>			
指导教师承担科研课题情况		<p>主持国家级基金 13 项，国家自然科学基金委面上项目 6 项，国家重点研发计划项目 1 项，国家重点研发计划课题 1 项，科技部 973 项目 1 项，科技部国际(地区)合作与交流项目 2 项，自然科学基金委-加拿大魁北克省合作交流项目 1 项，教育部博士点基金 1 项；江苏省双碳课题 1 项，江苏省高等学校自然科学基金重大项目 1 项；江苏省六大人才高峰 1 项，苏州产业前瞻性项目 1 项；个人累计经费超过 2000 万。</p>			
指导教师对本项目的支持情况		<p>本项目依托于科研条件优越、研究方向契合的课题组平台。课题组在柔性拉伸电子器件领域具有深厚的研究基础与丰富的技术积累，相关技术体系成熟，能够为本项目在材料设计、器件构建及性能测试等环节提供有力支撑。指导教师科研经验丰富，学术造诣较高，注重学生的科研能力与创新思维培养，将为本项目提供系统的学术指导与实践训练保障。同时，课题组配备了完善的实验设备与充足的科研资源，能够满足项目实施过程中对设备、耗材及实验环境的各项需求，确保项目高质量推进。</p>			
项目组主要成员 (含主持人在内不	姓名	学号	专业班级	所在学院	项目中的分工
	高腾	2314401043	纳米材料与 技术	纳米科学 技术学院	碳化硅纳米线薄膜的制备 数据的分析处理、科研画图 器件性能测试和各项表征

超过 5 人)	宋陈希	2314401027	纳米材料与 技术	纳米科学 技术学院	电极与功能层的有效封装和透湿透气表征
	陈志	2309401026	纳米材料与 技术	纳米科学 技术学院	电极与功能层的有效封装和透湿透气表征
	颜旭	2312411037	会计学+人工 智能	商学院	神经网络模型构建、数据库建立和模型的训练
	席知然	2329409050	智能制造	机电工程 学院	神经网络模型构建、数据库建立和模型的训练

二、 立项依据（可加页）

<p>（一）研究目的</p> <p>本项目的主要目标是开发一种基于竹节状碳化硅纳米线的自驱动柔性皮肤湿度传感器，优化其设计、可穿戴性以及自驱动发电机制。旨在通过深入研究竹节状碳化硅纳米线的水伏发电特性，探索影响发电效率的因素，同时提升传感器的舒适性和长期佩戴稳定性。通过系统的测试与优化，确保器件在实际应用中的性能、稳定性与可靠性，为可穿戴健康监测设备的创新提供技术支持。通过对神经网络的开发应用，提升对皮肤湿度识别的精确度。</p> <p>（二）研究内容</p> <p>(1) 优化设计与可穿戴性能：调研并设使用可拉伸多孔上下电极，提高传感器的柔性 with 舒适性。评估并优化传感器的透湿透气性，测试传感器的生物相容性，确保皮肤表面的长期使用安全。</p> <p>(2) 自驱动发电机制研究：建模竹节状碳化硅纳米线的水伏发电特性，分析液体流动、温湿度等因素对发电效率的影响。通过拉伸测试研究材料在不同应力条件下的发电稳定性，为优化发电机制提供数据支持。</p> <p>(3) 性能评估与稳定性测试：进行器件拉伸、耐久性和稳定性测试，评估其在实际使用中的表现。测试电学性能、湿度传感能力及其在不同环境条件下的稳定性，确保传感器的高效运行。</p> <p>(4) 神经网络模型开发与训练：针对本器件的电信号与湿度对应关系，进行神经网络模型开发，有针对性建立数据库并对该模型进行训练，达到高精度的健康反馈。</p> <p>（三）国、内外研究现状和发展动态</p> <p>近年来，湿气发电技术通过利用材料表面或界面上的湿度梯度，驱动离子扩散和电荷转移以产生电势差，已在多种功能材料体系中取得进展。例如，基于双层聚电解质薄膜的异质湿气发电机（HMEG）可在 25–85% RH 环境下产生 0.95–1.38 V 电压，并通过折纸式集成实现千伏级输出^[1]；炭黑纳米结构材料在常温常湿条件下可稳定输出高达 1 V 电压和 0.7 μW/cm² 功率^[2]；蛋白纳米纤维网络薄膜则在 30–90% RH 梯度下实现约 0.5 V、</p>

17 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 的持久发电^[3]。然而，多数器件在湿度循环（干湿交替）与机械变形（拉伸、弯曲）条件下会出现 20—40% 的功率衰减^{[4] [5]}，且在低湿差（<10% RH）环境下输出迅速降低，这些因素严重制约了其实用化。

在可穿戴集成方面，研究者通过采用 PDMS、TPU 等柔性基底与超薄多孔封装，提高了器件的贴合性与透气性；同时，借助微结构纹理和纤维织构设计，增强了机械耐久性与湿度扩散效率^{[6] [7]}。尽管如此，现有器件往往因弹性模量不匹配（器件 100 - 500 kPa vs. 皮肤 \sim 50 kPa）、封装防护不足导致汗液渗入，以及难以维持稳定的湿度梯度，在长时佩戴时易产生信号漂移与舒适性问题^{[7] [8]}。因此，当前皮肤湿度传感器在柔性、舒适性和稳定性方面仍存在显著不足，难以满足长期佩戴与高精度监测的需求^[9]。此外，大多数传感器仍依赖外部电源，限制了其使用便捷性与可持续性，亟需结合自驱动能量收集技术以突破现有瓶颈。

- [1] Wang, H. Y. et al. Bilayer of polyelectrolyte films for spontaneous power generation in air up to an integrated 1,000 V output. *Nat. Nanotechnol.* **16**, 811–819 (2021).
- [2] Xue, G.-B. et al. Water-evaporation-induced electricity with nanostructured carbon materials. *Nat. Nanotechnol.* **12**, 317–321 (2017).
- [3] Liu, X.-M. et al. Power generation from ambient humidity using protein nanowires. *Nature* **578**, 550–554 (2020).
- [4] Zhang, W. et al. Sustainable power generation for at least one month from ambient humidity using unique nanofluidic diode. *Nat. Commun.* **13**, 1234 (2022).
- [5] Tan, J. et al. Self-sustained electricity generator driven by the compatible integration of ambient moisture adsorption and evaporation. *Nat. Commun.* **13**, 31221 (2022).
- [6] Li, S. J. et al. Green moisture-electric generator based on supramolecular hydrogel with tens of milliamp electricity toward practical applications. *Nat. Commun.* **15**, 47652 (2024).
- [7] Wang, H. X. et al. Moisture adsorption–desorption full cycle power generation. *Nat. Commun.* **13**, 30156 (2022).
- [8] Zhao, F., Guo, Y., Zhou, X., Shi, W. & Yu, G. Materials for solar-powered water evaporation. *Nat. Rev. Mater.* **5**, 388–401 (2020).
- [9] Tao, P. et al. Solar-driven interfacial evaporation for sustainable water treatments. *Nat. Energy* **3**, 1031–1041 (2018).

（四）创新点与项目特色

1. 仿生竹节状结构设计，赋能高可拉伸性与结构稳定性

本项目借鉴竹节状微纳结构，设计周期性界面调控的碳化硅纳米线（SiC NWs），通过局部应力分散与可控形变引导，显著提升材料柔韧性、器件可拉伸性及耐疲劳性，实现皮肤动态变形条件下的长期稳定输出与舒适佩戴。同时，结合低成本、可扩展制备工艺，增强器件的制造可行性与产业化潜力。

2. 水伏效应与电极界面优化，提升自驱动性能与传感灵敏度

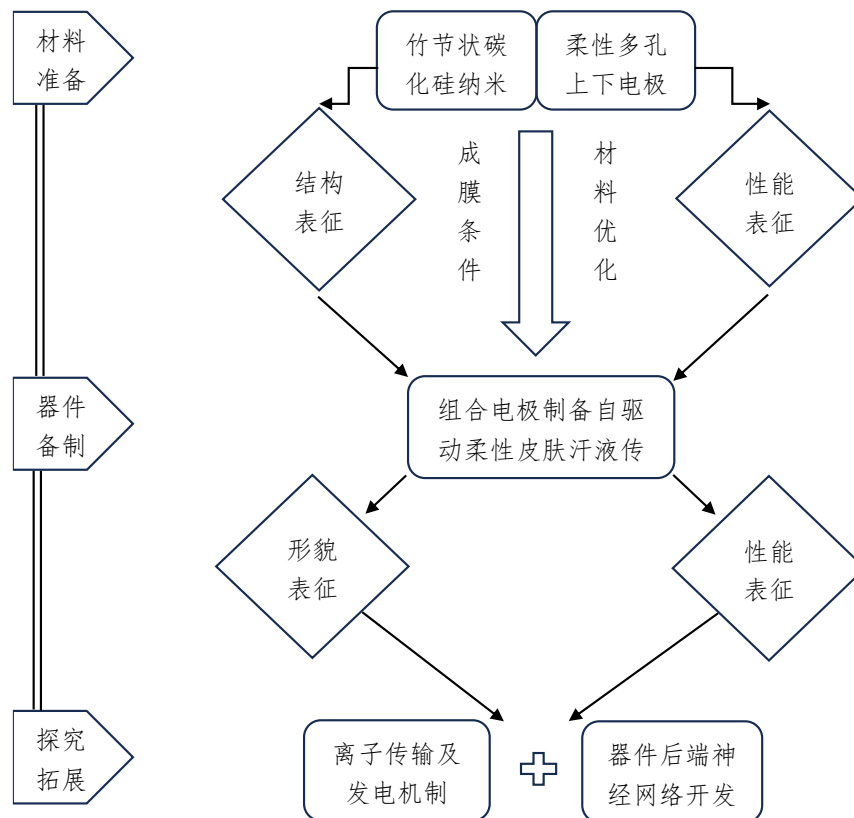
通过微纳尺度梯度结构优化汗液驱动的水伏发电效应，增强湿度梯度诱导的离子迁移与电荷分离效率；并创新性引入多孔、不对称亲水性柔性电极材料，模拟天然界面湿度调控机制，优化离子输运路径，显著提高器件的信号输出幅度、响应速度与

电学稳定性，实现高灵敏、可靠的皮肤湿度实时感知。

3. AI 智能赋能，实现闭环健康监测与反馈系统

项目将构建基于神经网络的皮肤湿度动态识别与健康状态预测模型，结合自驱动能量系统，实现连续数据采集、实时健康监测与个性化早期预警，打造闭环式智能反馈体系，推动柔性可穿戴传感器向智能化、自适应、长周期使用方向发展。

（五）技术路线、拟解决的问题及预期成果



(1) 研究不同条件下碳化硅纳米线（SiC NWs）成膜特性，通过系统表征分析，优化成膜浓度、厚度等关键参数，获得最佳成膜工艺方案。

(2) 开展不同上下电极材料的筛选与性能测试，结合拉伸透气性实验，确定最优电极材料体系，提升器件整体柔性适配性与界面稳定性。

(3) 基于优化制备的碳化硅纳米线薄膜与电极材料，构建高拉伸性自驱动湿度传感器件，系统测试开路电压、短路电流、响应速率及拉伸性能等关键性能指标，并制备 $2 \times 2 \text{ cm}^2$ 尺寸的器件样品用于中期成果展示。

(4) 分析不同环境因素（温度、湿度）、盐溶液成分及外界压感刺激对器件性能的影响，推测离子迁移机制与界面能量转换规律，基于实验现象提出有效的离子传输模型，并通过

设计对比实验或数值模拟进行验证。

(5) 基于传感器输出数据，应用人工智能方法（如神经网络算法）建立皮肤湿度动态识别与健康状态预测模型，初步实现数据智能处理与特征提取。

(6) 构建自驱动智能健康监测-反馈系统，结合传感器件与 AI 算法，实现皮肤湿度连续监测、状态识别与个性化反馈机制，搭建原型系统用于闭环功能验证。

(7) 整理各阶段实验与建模数据，申请相关专利或撰写高水平科研论文，推动研究成果的转化与学术交流。

（六）项目研究进度安排

计划研究时间	计划进度
2025.06－2026.01	碳化硅纳米线薄膜的可控制备及表征 上下电极的批量制备与表征
2026.01－2026.11	电极与功能层的有效封装和透湿透气表征 组合电极的传感器件形貌与性能表征
2026.11－2027.06	神经网络模型构建、数据库建立和模型的训练 整理实验数据，申请专利或发表论文

（七）已有基础

1. 与本项目有关的研究积累和已取得的成绩

(1) 竹节状碳化硅纳米线制备与表征

- i. 成功合成具有周期性节段结构的 SiC NWs，SEM/TEM 分析验证了三维交联结构和微纳梯度的形成；
- ii. XRD 测试确认了碳化硅相组成及表面官能团，为后续湿气发电性能提供了基础材料保障。

(2) 功能层与电极体系构建

- i. 基于亲水/疏水复合多孔电极，优化了湿度梯度下的离子扩散通道；

(3) 湿度梯度 - 电压响应测试

- i. 在 20-90% RH 梯度条件下，测得开路电压、短路电流；
- ii. 通过系统化测试，建立了湿度梯度与输出信号的定量关系，为后续传感标定和数

据处理奠定基础。
(4) 专利与技术成果
i. 已申请针对汗液离子浓度监测的发明专利（审查中）
2. 已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法
(1) 材料与结构方面
已具备：成熟的竹节状 SiC NWs 合成工艺及完整表征手段。
尚缺少：更高比表面积的纳米线阵列以加快湿气吸附与离子传输；表面超亲水功能化以缩短响应时间。
解决思路：尝试在纳米线表面接枝羟基/羧基等亲水官能团。
(2) 器件封装方面
已具备：柔性基及基础组装流程。
尚缺少：兼顾防汗渗透、超薄透气和与皮肤应变匹配的封装材料与工艺。
解决思路：设计对应掩模版，以喷涂方式进行封装。
(3) 数据处理与算法方面
已具备：电压信号采集以及初步的特征提取方法。
尚缺少：涵盖不同湿度梯度、汗液成分和机械变形条件的标注数据集，以及高效的轻量级神经网络模型。
解决思路：构建多场景实验数据集，采用 MobileNet 等轻量化网络进行训练，并结合迁移学习加速模型收敛。

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 type="checkbox"/> 40000 元（国重） <input checked="" type="checkbox"/> 20000 元（国） <input type="checkbox"/> 6000 元（省）	材料费	12000	8000
1. 业务费	6000	论文版面费 申请专利费	3600	2400
（1）计算、分析、测试费	500	神经网络模型 算力购买	300	200
（2）能源动力费	500	能源动力	300	200
（3）会议、差旅费	1500	会议、差旅	900	600
（4）文献检索费	1000	查新报告等	600	400
（5）论文出版费	2500	版面专利等	1500	1000
2. 仪器设备购置费	3000	喷枪、湿度计等	1800	1200
3. 实验装置试制费	1000	实验装置试制	600	400
4. 材料费	10000	SiC 纳米线液态金属等	6000	4000
学校批准经费	不填			

四、导师推荐意见

<p>同意推荐。</p> <p>高腾同学团队围绕仿生竹节状碳化硅纳米线材料，针对课题组内关键技术难题展开研究，致力于开发可穿戴性更强、舒适性更高的自驱动皮肤湿度传感器。项目创新性地结合人工智能算法，构建健康监测与反馈系统，旨在实现智能化、自适应的人体生理状态感知与分析，体现出鲜明的前沿性与应用导向。本项目紧密结合新一代信息技术与先进材料科学，具有明显的学科交叉特征，符合国家在智能医疗、柔性电子与人工智能融合发展的战</p>

略方向。研究内容详实，技术路线清晰，方案设计具有较强的创新性与可行性，团队具备较好的科研基础与实践能力。

综合考量项目选题价值、创新潜力与团队执行力，特推荐高腾同学团队申请国家级大学生创新训练项目。

导师（签章）：孙宝全
2025 年 4 月 17 日

五、院系推荐意见

院系负责人签名：_____
年 月 日
学院盖章：_____
日

六、学校推荐意见

学校负责人签名：_____
年 月 日
学校盖章：_____

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。所提交的用以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:

高博 宋陈希 陈志 顾旭 席知然

指导(证明)老师签名:

王加九

2025年4月17日