

同行专家业内评价意见书编号： 20250855111

附件1

**浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）
同行专家业内评价意见书**

姓名： 何滔涛

学号： 22260404

申报工程师职称专业类别（领域）： 机械

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年03月20日

填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

一、个人申报

(一) 基本情况【围绕《浙江工程师学院(浙江大学工程师学院)工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】

1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

在电化学传感器领域，系统掌握了无酶检测的核心理论，包括电化学催化反应机理、纳米材料表面修饰技术以及电子传递动力学原理。通过《电化学分析技术》等课程学习，深入理解了纳米复合材料(如镍基材料)的合成方法、结构表征(如SEM、XRD)及其对葡萄糖氧化反应的催化增强机制。针对熔盐法制备纳米材料的工艺优化，结合热力学与动力学分析，掌握了材料形貌控制与性能调控的关键理论，为无酶传感器的灵敏度与选择性提升奠定了理论基础。

在技术实践层面，熟练运用丝网印刷电极的制备工艺，结合电化学工作站(如CHI760E)实现传感器的微型化与批量化生产设计。通过实验验证，创新性地将镍基纳米复合材料与碳基电极结合，优化了电子转移路径，解决了传统酶传感器稳定性差、成本高的问题，发表SCI论文1篇，研究成果形成发明专利2项。

依托校企合作项目，作为项目主要负责人，参与开发便携式血糖检测原型设备，将理论成果转化为实际应用。本人在生物传感器领域具备扎实的理论基础与技术创新能力，研究成果兼具学术价值与工程应用潜力，符合工程师职称评审对“知识掌握”与“专业技术能力”的核心要求。

2. 工程实践的经历(不少于200字)

工程实践单位为宁波康和生物科技有限公司，该公司是一家从事终端生化分析仪器(Point of Care System, POCS)为主的公司，主打产品为血糖测试系统、血压计、红外额温计等等。本人工程实践内容介绍：传统的葡萄糖测试是检测血液中的葡萄糖，这种方式是侵入性的，容易引起感染，给患者带来不便，并且不能连续实时检测，不利于糖尿病患者的自我管理。目前市面上有微创的连续监测血糖水平的产品，但是成本过高，且发展不成熟。因此，迫切地需要开发出一种可穿戴的生物传感器，能够以无创的方式对人体葡萄糖水平进行实时检测。该方法不仅能够极大的减轻患者的痛苦，缓解心理压力，实现血糖浓度的随时检测以及管理，同时还能为糖尿病的治疗提供更加科学和精确的数据。

主要实践内容为：针对无酶无创检测葡萄糖的目标，本研究设计新型便携式工程样机，以检测汗液中的葡萄糖浓度。具体工作内容为：1. 制备纳米材料修饰工作电极。通过合成过渡金属纳米材料并制备传感器，测试这些材料对微量葡萄糖的选择性和催化活性。2. 制作微流控汗液收集芯片。利用3D打印技术加工微流体通道，实现微量汗液的快速精准收集，从而实现快速检测。3. 集成汗液葡萄糖传感器。将微流控装置、检测电极、柔性电路板等构件集成，完成汗液传感系统的合成。

3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例(不少于1000字)

一、项目背景与工程问题分析

糖尿病患者的血糖实时监测需求迫切，但传统血糖检测依赖指尖采血，存在侵入性感染风险且无法连续监测。市场上虽有微创连续血糖监测设备(如皮下植入式传感器)，但其成本高昂(单次使用费用超千元)、使用寿命短(7-

14天)且易引发组织排异反应。针对这一复杂工程问题，本人在宁波康和生物科技有限公司工程实践中主导研发“无创可穿戴汗液葡萄糖传感系统”，需同步解决三大核心难题：

1. 低浓度葡萄糖检测灵敏度不足：汗液葡萄糖浓度(20-200 μM)仅为血液的1/10-1/100，需开发高催化活性纳米材料以提升传感器灵敏度；

2.

汗液采集与反应环境稳定性差：汗液易蒸发、易受皮肤表面污染物干扰，需设计可长期稳定运行的微流控芯片；

3.

系统集成与数据可靠性瓶颈：柔性电子器件与移动端数据链路的协同设计需平衡功耗、精度与穿戴舒适性。

二、跨学科技术融合与创新解决方案

基于电化学、材料科学及机械微流体力学的跨学科知识体系，提出系统性解决方案：

1.

熔融盐法合成高活性纳米催化材料：利用熔盐法合成掺杂碳的镍基复合纳米新材料，并使用该材料作为葡萄糖传感器的电极材料。通过熔盐法成功制备了石墨烯包覆的硫化镍纳米球（Ni₃S₂@Graphene Nanospheres, Ni₃S₂@G

NSs），随后分析了该材料的形貌结构和组成，并且对硫化镍玻碳电极（Ni₃S₂@G

NSs/GCE）的葡萄糖电催化性能展开了研究。结果显示，电极的线性检测范围为 $4 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \sim 5000 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $R^2 = 0.998$ ，电极灵敏度为 $932.5 \mu\text{A} \cdot \text{mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，在信噪比 $S/N = 3$ 的条件下，检测限 $\text{LOD} = 3.3 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

1. 为了推动该材料在葡萄糖检测方面的进一步应用，制作了丝网印刷电极，并制备了硫化镍丝网印刷电极（Ni₃S₂@G

NSs/SPE）电极，并研究其葡萄糖电催化性能。最后，为了实现可穿戴汗液葡萄糖传感器的未来应用，设计了基于Ni₃S₂@G NSs/SPE

电极的传感系统，还设计了便携式快速汗液收集装置和葡萄糖传感器。

2.

利用微流控设计，探索便携式无酶电化学汗液葡萄糖传感器设计方案，从而实现微量汗液准确检测的目标。设计了一种便携式快速汗液收集装置，用于汗液的快速收集和检测，并通过丝网印刷电极片插口进行汗液葡萄糖的检测。专用汗液检测设备可以接入汗液检测部进行检测，设计的毛细阀为多个通道，正常流道长度为1 cm，底部直径为0.8 mm，顶部直径为1.4 mm，也可根据患者毛孔大小或者手臂宽度进行不同尺寸及数量进行特殊设计。通过汗液收集层、发热层和空气隔绝膜的协同作用，能够有效促使用户在短时间内快速出汗，并且能够迅速收集汗液，方便后续的检测分析。利用前述的便携式快速汗液收集装置进行汗液收集，通过

Ni₃S₂@Graphene丝网印刷电极与汗液葡萄糖进行反应并产生电流，再设计硬件电路作为葡萄糖检测设备和数据传输设备。集成后的检测样机其外形总尺寸为 $8.5 \text{ cm} \times 5$

cm，整个化学反应体系共 $100 \mu\text{L}$ 溶液，且只需一滴汗液即可检测葡萄糖浓度。

三、工程验证与产业化推进

1.

真实汗液测试实验中，志愿者8人，通过人体运动出汗，如跑步、椭圆仪、拳击等方式收集汗液，然后将该汗液进行葡萄糖含量测试，通过算法计算后输出血糖浓度，同时通过指尖采血的方式进行血糖测试。测试结果来看，实际应用环境测试的精度有待提高，需要更多的测试样本，矫正汗糖与血糖的数值换算关系，这也是现阶段的研究重点。

2. 知识产权方面，基于该项目，已申请3项发明专利，其中1项已授权。

（二）取得的业绩（代表作）【限填3项，须提交证明原件（包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等）供核实，并提供复印件一份】					
1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】					
成果名称	成果类别 [含论文、授权专利（含发明专利申请）、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/ 授权或申请时间等	刊物名称/ 专利授权或申请号等	本人排名/ 总人数	备注
便携式无创汗液收集及检测装置	授权发明专利	2024年09月06日	专利号：ZL2024 10144999.0	2/7	
一种基于PDMS碳化导电骨架的自支撑葡萄糖电催化材料及其制备方法和应用	发明专利申请	2024年03月08日	申请号：2024102651299	2/8	
Innovative Material-Based Wearable Non-Invasive Electrochemical Sweat Sensors towards Biomedical Applications	权威期刊	2024年05月14日	NANOMATERIALS	2/8	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 90 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 84 分
本人承诺	
个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！ 申报人签名：何沼涛	

22260404

二、日常表现考核评价及申报材料审核公示结果

日常表现 考核评价	非定向生由德育导师考核评价、定向生由所在工作单位考核评价： ☒ 优秀 ☐ 良好 ☐ 合格 ☐ 不合格 德育导师/定向生所在工作单位分管领导签字（公章）：  2022年7月20日
申报材料 审核公示	根据评审条件，工程师学院已对申报人员进行材料审核（学位课程成绩、专业实践训练时间及考核、学位论文、代表作等情况），并将符合要求的申报材料在学院网站公示不少于5个工作日，具体公示结果如下： ☐ 通过 ☐ 不通过（具体原因： 工程师学院教学管理办公室审核签字（公章）：) 年 月 日

浙江大学研究生院

攻读硕士学位研究生成绩表

学号：22260404		姓名：何滔涛		性别：男		学院：工程师学院			专业：机械				学制：2.5年		
毕业时最低应获：26.0学分				已获得：28.0学分				入学年月：2022-09				毕业年月：			
学位证书号：					毕业证书号：					授予学位：					
学习时间		课程名称		备注	学分	成绩	课程性质	学习时间		课程名称		备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期		智能物联网与嵌入式应用			1.0	87	专业学位课	2022-2023学年冬季学期		现代测试与控制技术			2.0	91	专业选修课
2022-2023学年秋季学期		创新设计方法			2.0	通过	专业选修课	2022-2023学年春季学期		自然辩证法概论			1.0	90	专业学位课
2022-2023学年秋季学期		工程技术创新前沿			1.5	92	专业学位课	2022-2023学年春季学期		新时代中国特色社会主义思想理论与实践			2.0	91	专业学位课
2022-2023学年秋季学期		工程伦理			2.0	88	专业学位课	2022-2023学年春季学期		研究生论文写作指导			1.0	98	专业选修课
2022-2023学年秋冬学期		高阶工程认知实践			3.0	88	专业学位课	2022-2023学年春季学期		优化理论基础			2.0	95	专业选修课
2022-2023学年冬季学期		智能装备设计制造			2.0	95	专业学位课	2022-2023学年夏季学期		海洋机电装备技术			2.0	86	专业选修课
2022-2023学年秋冬学期		研究生英语			2.0	96	专业学位课	2023-2024学年夏季学期		研究生英语基础技能			1.0	免修	公共学位课
2022-2023学年冬季学期		产业技术发展前沿			1.5	89	专业学位课			硕士生读书报告			2.0	通过	

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制(通过、不通过), 五级制(优、良、中、

及格、不及格)。

2. 备注中“*”表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人：张梦依

打印日期: 2025-03-20



证书号第7351729号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：便携式无创汗液收集及检测装置

专利权人：浙江大学宁波“五位一体”校区教育发展中心
宁波康和长晟科技有限公司

地址：315100 浙江省宁波市鄞州区钱湖南路1号

发明人：汪倩倩;何滔涛;张晟;李子健;刘辰;胡海明;周海滨

专利号：ZL 2024 1 0144999.0

授权公告号：CN 117814790 B

专利申请日：2024年02月01日

授权公告日：2024年09月06日

申请日时申请人：浙江大学宁波“五位一体”校区教育发展中心
宁波康和长晟科技有限公司

申请日时发明人：汪倩倩;何滔涛;张晟;李子健;刘辰;胡海明;周海滨

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨





国家知识产权局

315100

宁波市鄞州区首南街道学士路 536 号金东大厦 901 室 宁波市鄞州盛
飞专利代理事务所(特殊普通合伙)
洪珊珊(0574-88014220)

发文口:

2024 年 03 月 08 日



申请号: 202410265129.9

发文序号: 2024030801032520

专利申请受理通知书

根据专利法第 28 条及其实施细则第 43 条、第 44 条的规定,申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下:

申请号: 2024102651299

申请日: 2024 年 03 月 08 日

申请人: 浙江大学宁波“五位一体”校区教育发展中心,宁波康和长晟科技有限公司

发明人: 张晟,何滔涛,汪倩倩,章叶开,李子健,刘辰,胡海明,周海滨

发明创造名称: 一种基于 PDMS 碳化导电骨架的自支撑葡萄糖电催化材料及其制备方法和应用
经核实,国家知识产权局确认收到文件如下:

权利要求书 1 份 2 页,权利要求项数: 10 项

说明书 1 份 8 页

说明书附图 1 份 3 页

说明书摘要 1 份 1 页

专利代理委托书 1 份 2 页

发明专利请求书 1 份 5 页

实质审查请求书 文件份数: 1 份

申请方案卷号: AJ2412175

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后,认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时,可以向国家知识产权局请求更正。

2. 申请人收到专利申请受理通知书之后,再向国家知识产权局办理各种手续时,均应当准确、清晰地写明申请号。

审查员: 自动受理

联系电话: 010-62356655

审查部门: 初审及流程管理部



200101
2023.03

纸件申请,回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西上城路 6 号 国家知识产权局专利局受理处收
电子申请,应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外,以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。



Innovative Material-Based Wearable Non-Invasive Electrochemical Sweat Sensors towards Biomedical Applications

Sheng Zhang ^{1,2,3,4,*}, Zhaotao He ^{1,5,†}, Wenjie Zhao ^{1,2}, Chen Liu ^{1,3}, Shulan Zhou ^{1,5}, Oresegun Olakunle Ibrahim ^{1,2}, Chungue Wang ⁶ and Qianqian Wang ^{1,4,*}

¹ Ningbo Innovation Center, Zhejiang University, Ningbo 315100, China; szhang1984@zju.edu.cn (S.Z.); 22260404@zju.edu.cn (Z.H.); 22125146@zju.edu.cn (W.Z.); liuchen@nit.zju.edu.cn (C.L.); 22360469@zju.edu.cn (S.Z.); 12125126@zju.edu.cn (O.O.I.)

² State Key Laboratory of Fluid Power and Mechatronic Systems, School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

³ Faculty of Science and Engineering, University of Nottingham Ningbo China, Ningbo 315100, China

⁴ School of Biological and Chemical Engineering, Ningbo Tech University, Ningbo 315100, China

⁵ Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310015, China

⁶ School of Mechanical and Energy Engineering, Ningbo Tech University, Ningbo 315100, China; wangchungue@nit.zju.edu.cn

* Correspondence: qqwanggood@zju.edu.cn

† These authors contributed equally to this work.

Abstract: Sweat is an accessible biofluid that provides useful physiological information about the body's biomolecular state and systemic health. Wearable sensors possess various advantageous features, such as lightweight design, wireless connectivity, and compatibility with human skin, that make them suitable for continuous monitoring. Wearable electrochemical sweat sensors can diagnose diseases and monitor health conditions by detecting biomedical signal changes in sweat. This paper discusses the state-of-the-art research in the field of wearable sweat sensors and the materials used in their construction. It covers biomarkers present in sweat, sensing modalities, techniques for sweat collection, and ways to power these sensors. Innovative materials are categorized into three subcategories: sweat collection, sweat detection, and self-powering. These include substrates for sensor fabrication, analyte detection electrodes, absorbent patches, microfluidic devices, and self-powered devices. This paper concludes by forecasting future research trends and prospects in material-based wearable non-invasive sweat sensors.

Keywords: innovative materials; sweat sensor; non-invasive; wearable; biomedical application

Citation: Zhang, S.; He, Z.; Zhao, W.; Liu, C.; Zhou, S.; Ibrahim, O.O.; Wang, C.; Wang, Q. Innovative Material-Based Wearable Non-Invasive Electrochemical Sweat Sensors towards Biomedical Applications. *Nanomaterials* **2024**, *14*, 857. <https://doi.org/10.3390/nano14100857>

Academic Editor: Antonella Macagnano

Received: 29 March 2024

Revised: 26 April 2024

Accepted: 9 May 2024

Published: 14 May 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Over the past decades, wearable sensors have garnered significant attention due to their versatile applications in the realms of motion recognition, wellness monitoring, disease diagnosis, and digital health monitoring, particularly amid the COVID-19 pandemic [1–8]. After some significant breakthroughs in innovative materials, wearable sensors that promote non-invasive monitoring with relevance spanning a wide array of personalized medical applications have become more popular due to the soft physical construct and thin, lightweight design of these sensing systems [9–12]. The sensors, electronic circuits, wireless power modules, and communication components are combined together to form ultra-thin, lightweight, stretchable, and low-modulus membranes [13,14]. As a result, wearable sensors exhibit numerous advantageous features, including wireless connectivity, lightweight design, flexible form factor, and compatibility with human skin [15,16].

The rapid development of wearable sensors allows the non-invasive detection of analytes in accessible biofluids, providing a window into the overall dynamic biomolecular