

拟提名 2025 年云南省科学技术奖（自然科学奖）公示材料

一、项目名称：低维半导体材料的光电调控与高性能传感器研究

二、提名者：云南师范大学

三、提名等级：云南省自然科学一等奖

四、项目简介：

传感器是支撑新一代信息技术与数字经济发展的核心元器件，已被列为国家战略性前沿方向。本项目聚焦“复杂环境下低维半导体材料的光电调控与高性能传感器件研究”，围绕高灵敏、宽光谱、稳定探测等核心科学问题，系统开展了低维材料的结构调控、界面设计与功能异质集成研究。项目团队长期聚焦于光电探测与气敏识别两个关键应用场景，创新性引入等离子增强与非线性响应调控机制，实现了在多波段响应、选择性识别与稳定性提升方面的突破。通过构建多类型异质结构与能带调控策略，发展了适用于复杂环境的器件集成方案，建立了材料-机制-器件协同优化的基础研究体系。为人工嗅觉、视觉增强与可穿戴生化传感等“数字五感”应用提供了坚实支撑。项目依托国家自然科学基金 8 项（其中包括 2 项面上项目）及 3 项省部级项目，凝练形成了 4 项具有代表性的原创性科学发现，为发展新一代高性能传感技术提供了坚实的理论基础与技术路径。主要研究成果如下：

发现点 1：实现连续波长调控的纳米带激射与探测材料体系

项目创新性地结合热蒸发与激光烧蚀蒸发技术，成功制备了 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ 纳米带等具备连续波长调控能力的激射材料及光电探测器。针对 II-VI 族单晶薄膜可控制备难的问题，利用纳米技术构筑缺陷少、结构完整的单晶纳米带，有效抑制载流子散射与复合，显著提升响应度、探测率和灵敏度。通过组分调控与“自下而上”策略，系统构建了 $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ 三元合金和高质量 CdS 纳米带，并基于铟掺杂 CdS 构建蓝、红、近红外三波段探测器，提出了掺杂调控实现多波段探测的新路径，为集成光子器件开发提供理论基础与关键材料支撑。

发现点 2：构建高性能有机钙钛矿/无机半导体异质结构光电探测器

项目率先开展有机钙钛矿微米线阵列与 CdSe 纳米带构成的杂化异质结双波段光电探测器研究，通过构建高质量异质界面，有效抑制暗电流，提高光电导增益、外量子效率、比探测率与明暗电流比等关键性能。通过能带工程优化载流子分离与传输路径，并结合第一性原理计算，揭示界面电荷转移、能带调控与光吸收增强的协同机制。进一步引入等离子增强机制，在单层 MoS_2 /银膜结构中实现二次谐波信号三数量级增强，拓展了有机钙钛矿/无机异质器件的非线性响应能力。

发现点 3：提出等离子体增强机制以突破低维材料极限响应能力

针对二维材料在极限厚度下光-物质相互作用弱、器件响应受限等问题，项目提出“LSPs + SPPs”协同耦合增强机制，构建 S 形孔阵列的银膜手性结构，实现近 90° 透射偏振旋转和超 90% 的交叉偏振效率，透射率超过 Bethe 极限，为超薄偏振器件设计提供新方案。在此基础上，深入开展太赫兹 SPPs 与 spoof-SPPs 调控机制研究，设计多种金属-介质结构，实现芯片级 SPPs 的有效耦合与传播，支撑太赫兹频段开关、解复用器、分路器等功能器件发展，拓展等离子体调控在高频响应领域的应用边界。

发现点 4：构建微纳结构与集成纳米酶耦合的多功能传感平台

项目围绕痕量气体响应与体内化学分析两大难题，提出结构与功能协同的新型传感方案。在气敏检测方面，开发高温稳定、室温高选择性材料体系，结合微纳结构与等离子体增强机制，提升对痕量气体分子的识别能力，适应极端环境监测需求。在生化检测方面，创新性将天然酶与人工酶共同封装于 ZIF-8 金属有机框架中构建集成纳米酶，并与微流控平台耦合，实现活体大鼠脑内葡萄糖浓度在

缺血/再灌注过程中的秒级响应与高时空分辨追踪，检测限达 1.7 μM 。该成果为人工嗅觉、神经疾病监测及可穿戴生化传感系统奠定了基础。

项目共发表学术论文 90 篇，其中 8 篇代表性论文累计影响因子达 120，被 SCI 他引 901 次，单篇最高被引 308 次，入选 ESI 高被引论文 2 篇。相关原创性成果被诺贝尔化学奖得主 J·弗雷泽·斯托达特 (J. Fraser Stoddart)，中国科学院院士夏兴华、孙燕 (中国工程院院士)、曲晓刚、阎锡蕴、毛兰群，美国国家发明家科学院院士 Heather A. Clark，欧洲科学院院士 Brigitte Städler 等国内外著名专家引用、采用并给予高度评价。项目执行期间，团队成员 7 人次入选教育部“新世纪优秀人才”、云南省“兴滇英才支持计划”教学名师和中青年学术技术带头人等人才项目，培养博士研究生 5 名、硕士研究生 50 名。项目成果经第三方权威专家鉴定，整体达到国际先进水平。

五、代表性论文专著（不超过 8 篇）

序号	代表性论文专著
1	Yingkai Liu, J.A. Zapien, Y.Y. Shan, C.Y. Geng, C.S. Lee, S.T. Lee*, Wavelength-Control Lasing in $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ Single-Crystal Nanoribbons. <i>Advanced Materials</i> , 2005(17), 1372-1377.
2	Yingkai Liu, J.A.Zapien, C.Y.Geng, Y.Y.Shan, C.S.Lee, Y. Lifshitz, S. T. Lee*. High-quality CdS nanoribbons with lasing cavity, <i>Applied Physics Letters</i> , 2004 (85), 3241-3243.
3	Jiang Ma, Yingkai Liu*, Heng Zhang, Peng Ai, Nailiang Gong, Yuemei Wu, Dapeng Yu. Room temperature ppb level H_2S detection of a single Sb-doped SnO_2 nanoribbon device. <i>Sensors and Actuators B</i> . 2015 (216), 72–79.
4	Wenping Ren, Qihong Tan*, Qianjin Wang*, Yingkai Liu. Hybrid organolead halide perovskite microwire arrays/single CdSe nanobelt for a high-performance photodetector, <i>Chemical Engineering Journal</i> . 2021(406), 126779.
5	Shan Wu, Zhao Zhang, Yi Zhang, Kaiyin Zhang, Lin Zhou, Xuejin Zhang*, Yongyuan Zhu. Enhanced Rotation of the Polarization of a Light Beam Transmitted through a Silver Film with an Array of Perforated S-Shaped Holes, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 2013, 110: 207401.
6	Hanjun Cheng, Lei Zhang, Jian He, Wenjing Guo, Zhengyang Zhou*, Xuejin Zhang,* Shuming Nie,* Hui Wei*. Integrated Nanozymes with Nanoscale Proximity for in Vivo Neurochemical Monitoring in Living Brains. <i>Analytical Chemistry</i> , 2016, 88: 5489-5497.
7	Li Ren, Qihong Tan*, Kunpeng Gao, Peizhi Yang, Qianjin Wang, *Yingkai Liu. Constructing high-quality 1D nano/microwire hybrid structure for high-performance photodetectors based on CdSe nanobelt/perovskite microwire, <i>Nanophotonics</i> , 2023; 12(7): 1347-1357.
8	Ying Zhang, Yuehong Xu, Chunxiu Tian, Quan Xu, Xueqian Zhang, Yanfeng Li, Xixiang Zhang, Jiaguang Han,* Weili Zhang. Terahertz spoof surface-plasmon-polariton subwavelength waveguide, <i>Photonics Research</i> , 2018, 6(1):18-23.

注：代表性论文专著需写明：名称、刊物、出版时间、卷页码、通讯作者、所有作者。

六、主要完成人基本情况：

序号	姓名	工作单位（完成单位）	职称	职务
1	刘应开	云南师范大学	教授	馆长
2	王前进	云南师范大学	教授	副院长
3	谭秋红	云南师范大学	高级实验师	
4	张莹	云南师范大学	副教授	
5	张学进	南京大学	副教授	
6	韩家广	天津大学	教授	
7	侯德东	云南师范大学	教授	