

附件

## 2024 年度山东省自然科学奖专家提名项目

### 一、界面激子调控光电器件性能及物理机制研究

#### (一) 提名者及提名意见

**提名者：**黄维院士，西北工业大学，教授，有机光电子学著名学者

**提名意见：**低维材料因物理尺寸的优势，有望突破摩尔定律的限制。但低维材料在制备高性能光电器件方面仍面临一些挑战，如光吸收差、缺乏光增益机制，暗电流大、光电响应机制不明确等。针对以上问题，该项目在国家自然科学基金面上项目、科技部重点研发项目、山东省自然科学基金的支持下，立足国家和山东省重大发展战略需求，从物理学、材料科学与工程、信息科学等学科交叉入手，通过材料与器件设计、界面激子调控技术，提升光电子器件性能并阐明其物理机制。

项目组制备了不同类型的低维异质结，利用瞬态吸收技术深入研究了界面载流子动力学过程，明确了主要的影响因素和寿命调控手段，建立相关物理模型；利用电场和点-光场协同作用，实现对电荷输运行为和界面激子行为的调控，实现电荷的多级存储及类脑视觉神经元功能的模拟；制备高迁移率 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 新型纳米材料，利用窄带隙特征实现

覆盖通信波段的高灵敏、高速的光子探测，为开发高性能红外探测器开辟新体系。开发空气环境下生长有机单晶的技术，为探索有机晶体的本征光电性能提供了新思路，也为高质量有机/无机异质结器件的构筑提供了可能。该项目的研究工作对低维光电子器件领域不可或缺，获得相关领域专家的关注与高度认可，在相关领域产生了重大影响。

## （二）提名等级

拟提名该项目为山东省自然科学奖二等奖。

## （三）项目简介

该项目基于国家和山东省重大发展战略需求，属于“新一代信息技术”研究领域，是重点支持和发展领域。先进光电器件在高速光通信、信息存储、环境监测等领域具有广阔应用前景，但传统光电传感器已无法满足微型化、轻柔化的应用需求，开发新型光电子器件迫在眉睫。低维材料具有物理尺寸的天然优势，有望延续摩尔定律。当前基于低维光电子器件，面临截面光吸收小、光生载流子寿命短且调控手段匮乏、器件噪声高等系列问题，器件光电响应机理尚不清晰。

针对上述问题，项目组以低维材料及其异质结为研究对象，深入研究异质界面光生载流子寿命的影响因素及调控手段，通过能级匹配设计、电场-光场协同作用调控载流子输运特性，实现光电器件灵敏度和响应速度的协同优化，

实现了视觉神经元新功能拓展，建立相关物理模型和工作机制，主要创新如下：

1、自组装构筑0D/2D、1D/2D低维全碳异质结，采用能级匹配形成内建电场实现对界面激子形成与解离的高效调控，突破了器件响应度与响应速度不兼容关系，阐释了器件灵敏度与增益因子的内在关系；揭示并建立了低维异质结光电性能提升的物理机制和调控策略，实现了高灵敏柔性光电探测及阵列单片集成。

2、物理堆垛一系列低维材料异质结，深入研究Type-I与Type-II型光生载流子动力学过程，建立有效调控载流子寿命的普适性技术手段，阐明主要的影响因素并建立了相关物理模型；通过电场调控缺陷态对电荷的输运特性，实现电荷多级存储性能；通过电-光场协同调控界面缺陷态特性和界面激子行为，首次实现视觉神经突触功能与全光逻辑运算。

3、提出缺陷态诱导自增益效应新理论，制备窄带隙 $\text{Bi}_2\text{O}_2\text{Se}$ 新型纳米材料，实现高灵敏、低噪声的宽谱光电探测，阐释了缺陷态、光功率与灵敏度、响应频率互馈影响的物理机制；开发空气中制备低维有机单晶制备新技术，完成有机晶体本征的光电性能探索，阐明接触势垒和迁移率对光电转化的作用规律，为制备超高性能低维有机探测器提供实验基础。

该项目共发表SCI论文80余篇，5篇代表作被国内外学者在Nature Electronics、Chemical Reviews、Science Advances、Advanced Materials、Chemical Society Reviews、Chemical Reviews、ACS Nano等领域内国际顶级期刊他引372次，引用学者包括国际顶尖纳米物理专家王中林院士、有机电子学顶尖学者鲍哲南院士、纳米领域著名学者段镶锋教授、光电子器件领域著名学者Mark C. Hersam教授、中科院院士张锦、罗先刚等学者。项目组获批科技部重点研发专项2项、国家自然科学基金面上项目4项、青年项目2项、省自然科学基金青年项目2项；培养博士研究生6人，硕士研究生30余人，获山东省优秀硕士论文6篇。

#### (四) 代表性论文专著目录 (限 5 篇)

序号	论文(专著)名称	刊名(出版社)	Doi /ISSN (IS BN)	发表 (出 版) 时间	通讯作者 (含共同)	第一作者 (含共同)	他 引 总 次 数	通讯/一 作(主 编)是否 为第一完 成人	第一署 名单位 是否 为第一完 成单位
1	Robust, flexible and broadband photodetectors based on van der Waals graphene/C <sub>60</sub> heterostructures	Carbon (Elsevier)	10.10 16/j.c arbon. 2020. 06.05 6	2020- 10-15	Shuchao Qin, Wenjun Wang, Fengqiu Wang	Shuchao Qin	11	是	是

2	Sensitive and robust ultraviolet photodetector array based on self-assembled graphene/C <sub>60</sub> hybrid films	ACS Applied Materials & Interfaces (ACS Publication)	10.1021/ac-sami.8b11596	2018-09-12	Fengqiu Wang, Rong Zhang	Shuchao Qin	35	是	否
3	A light-stimulated synaptic device based on graphene hybrid phototransistor	2D Materials (IOP Publishing Ltd.)	10.1088/2053-1583/aa805e	2017-08-02	Fengqiu Wang, Xiaomu Wang, Rong Zhang	Shuchao Qin	173	是	否
4	A reproducible write-(read)n-erase and multilevel bio-memristor based on DNA molecule	Organic Electronics (Elsevier)	10.1016/j.orgel.2015.03.045	2015-03-30	Ruixin Dong	Shuchao Qin	60	是	是
5	Sensitive and ultrabroadband phototransistor based on two-dimensional Bi <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Se nanosheets	Advanced Functional Materials (John Wiley & Sons, Inc.)	10.1002/adfm.201905806	2019-10-03	Weida Hu, Fengqiu Wang, Xuefeng Wang, Rong Zhang, Yongbing Xu	Tong Tong, Yunfeng Chen, Shuchao Qin	93	是	否

### (五) 主要完成人

1. 秦书超 聊城大学 支撑材料：代表性成果1、2、3，是代表性论文1、2、3、4的第一作者，代表性论文5的共同第一作者，兼代表性论文1的通讯作者

2. 杜倩倩 聊城大学 支撑材料：代表性成果1、2，是代表性论文1、2、4的合作者

3. 王枫秋 南京大学 支撑材料：代表性成果1、2、3，  
是代表性论文1、2、3、5的通讯作者

4. 王文军 聊城大学 支撑材料：代表性成果1、2、3，  
是代表性论文1的通讯作者

5. 刘云龙 聊城大学 支撑材料：代表性成果1、2、3，  
是代表性论文1的合作者

#### (六) 主要完成单位

聊城大学、南京大学