2021年度湖北省自然科学奖提名公示信息

项目名称、提名者及提名意见、项目简介、代表性论文专著目录、主要完成人（完成单位）

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 基于新型二维半导体的能带调控机理、器件构筑方法及电学性能研究 |
| 提名单位 | 华中科技大学 |
| 提名意见 | （不超过600字，对科学发现点的原创性、科学价值、国内外科学界公认度以及推动学科发展的作用进行概述）本人认真审阅了该提名材料，确认提名材料真实有效，完成人排序无异议，相关栏目符合填写要求。该项目属于电子、通信与自动控制技术领域。该项目面向国际前沿及芯片等重大需求和“卡脖子”难题，选择新型二维半导体的电学输运机理、器件构筑方法及性能调控开展研究工作。该项目针对其中的共性关键科学问题，进行了深入系统的研究，发展了一种离子诱导二维材料化学键整体扭转的能带调控方法，提出了超薄层状半导体材料的载流子量子隧穿与热发射两种机制相互竞争的物理机制，并且创建了新的逻辑态控制方法，拓展了现有的布尔逻辑体系。工作具有创新性和国际影响力。推荐申请湖北省科学技术奖励自然科学奖。提名该项目为2021年度湖北省自然科学奖一等奖 |
| 项目简介 | 该项目属于电子、通信与自动控制技术领域。当代信息技术及微电子产业的基石是传统硅基半导体，目前正面临进一步性能提升所需要的持续尺寸缩小的重大挑战。与此同时，新一代信息技术如物联网云计算需要更高性能更低功耗的晶体管器件。以超薄体为标志的新型层状半导体材料被认为是未来最重要的信息材料之一，有望解决芯片面临的尺寸和功耗瓶颈，对后摩尔时代微纳电子器件的发展具有重大意义。该项目在国家自然科学基金等项目的支持下，项目组针对后摩尔时代新器件技术的基础研究在新材料、新结构、新原理等一系列关键科学和技术问题，开展了新材料的晶体结构调控方法研究，揭示新型层状半导体材料异质结构的界面物理新效应，拓展层状半导体材料物理基础理论体系等方面创新性研究。主要科学发现如下：1. 发展了一种离子诱导二维材料化学键整体扭转的能带调控方法，实现了层状二硫化钼晶体结构2H相和1T相之间的可控相变方法，首次利用氩离子在二硫化钼中实现了快速、可控的2H-1T的局域相变的马赛克结构，基于该发现成功构建了基于图形化技术在指定区域发生相变的异质结构。2.发现超薄层状半导体材料的载流子量子隧穿与热发射两种机制相互竞争的物理机制，建立了新型欧姆掺杂模型，揭示了三维金属-准二维沟道负势垒奇特现象机理，确立了超薄层状半导体材料光生载流子产生、复合、传输与调控规律，实现了宽频谱高灵敏的响应。3.发现了平面范德华异质结多端能带调控中负跨导的规律，建立了带带隧穿新机理及能带组合实现静电混合调控的模型，揭示了费米能级与能带弯曲的混合协同调控机制，首次实现了输出逻辑态可调的三进制逻辑门电路，创建了新的逻辑态控制方法，拓展了现有的布尔逻辑体系。基于上述3个科学发现，设计和制备了系列二维半导体新型结构与电子器件，解决了制约二维半导体电学输运特性的能带调控瓶颈问题，显著提升了二维半导体器件与异质结的输出特性、大幅提升了其功能性，为后摩尔新型半导体器件的构筑和调控提供了新的思路，为实际应用打下了基础。5篇代表作发表在《自然-纳米技术》等杂志上，其中高被引文献2篇，WOS他引522次。成果被多名国际著名学者在Nature及其Nature子刊等权威期刊引用和好评，包括2010年诺贝尔物理学奖得主和十余位院士。诺贝尔物理学奖得主Andre K. Geim和 Kostya S. Novoselov借鉴了垂直异质结器件结构来提高器件性能。美国工程院院士Tso-Ping Ma肯定了二维黑磷探测器的优势，ACS Nano杂志副主编、美国国家发明家科学院院士Mark C. Hersam教授肯定了三值逻辑的调控方法。有关异质结的功能和机理被来自欧洲微电子中心IMEC的研究人员原图多次引用。两次受编辑邀请在Nature Electronics撰写观点评论文章。 |
| 主要完成人（完成单位） | 吴燕庆（华中科技大学）、李学飞（华中科技大学）、张广宇（中国科学院物理研究所）、黄明强（华中科技大学）、祝建琦（中国科学院物理研究所） |
| 代表性论文（专著）目录 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文（专著）名称/刊名/作者 | 年、卷、页码 | 发表时间（年月日） | 通讯作者（含共同） | 第一作者（含共同） | 国内作者 |
| 1 | Argon Plasma Induced Phase Transition in Monolayer MoS2.***Journal of the American Chemical Society.*** Jianqi Zhu, Zhichang Wang, Hua Yu, Na Li, Jing Zhang, JianLing Meng, Mengzhou Liao, Jing Zhao, Xiaobo Lu, Luojun Du,Rong Yang, Dongxia Shi, Ying Jiang\* and Guangyu Zhang\* | 2017年139卷10216页 | 2017年7月21日 | 江颖，张广宇 | 祝建琦 | 祝建琦，汪知昌，余画，李娜，张菁，孟建玲，廖梦舟，赵静，卢晓波，杜罗军，杨蓉，时东霞，江颖\*，张广宇\* |
| 2 | [Broadband Black-Phosphorus Photodetectors with High Responsivity](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201506352/full). ***Advanced Materials****.* Mingqiang Huang, Mingliang Wang, Cheng Chen, Zongwei Ma, Xuefei Li, Junbo Han, and Yanqing Wu\* | 2016年28卷3481页 | 2016年3月10日 | 吴燕庆 | 黄明强 | 黄明强，王明亮，陈诚，马宗伟，李学飞，韩俊波，吴燕庆\* |
| 3 | [Multifunctional high-performance van der Waals heterostructures](https://www.nature.com/articles/nnano.2017.208?foxtrotcallback=true#corres-auth). ***Nature Nanotechnology.*** Mingqiang Huang, Shengman Li, Zhenfeng Zhang, Xiong Xiong, Xuefei Li and Yanqing Wu\* | 2017年12卷1148页 | 2017年10月9日 | 吴燕庆 | 黄明强 | 黄明强，李晟曼，张振丰，熊雄，李学飞，吴燕庆\* |
| 4 | [Development of two-dimensional materials for electronic applications](http://engine.scichina.com/publisher/scp/journal/SCIS/doi/10.1007/s11432-015-0872-x?slug=abstract). ***Science China Information Sciences.*** Xuefei Li, Tingting Gao, and Yanqing Wu\* | 2016年59卷061405页 | 2016年4月22日 | 吴燕庆 | 李学飞 | 李学飞，高婷婷，吴燕庆\* |
| 5 | [Toward high-performance two-dimensional black phosphorus electronic and optoelectronic devices](http://cpb.iphy.ac.cn/EN/abstract/abstract69783.shtml). ***Chinese Physics B.*** Xuefei Li, Xiong Xiong, and Yanqing Wu\* | 2017年26卷037307页 | 2017年3月5日 | 吴燕庆 | 李学飞 | 李学飞，熊雄，吴燕庆\* |