

2020 年国家自然科学奖申请公示内容

一、 项目名称

中文名 新型二维半导体及器件基础研究

英文名 Novel two-dimensional semiconducting materials and device applications

二、 提名者

施 毅 南京大学 教授 电子、通信与自动控制技术 半导体材料

林海青 北京计算科学研究中心 中国科学院院士 物理学 凝聚态物理

汤 超 北京大学 中国科学院院士 物理学 凝聚态物理

三、提名意见

姓名	施毅		
专家类型	国家自然科学基金获得者（第一完成人）		
工作单位	南京大学		
职称	教授	学科专业	半导体材料
通讯地址	南京市栖霞区仙林大道 163 号	邮政编码	210023
电子邮箱	yshi@nju.edu.cn	联系电话	13851920389
责任专家	是		
<p>提名意见：</p> <p>一、发展了具有普适性的非层状二维半导体材料范德华外延制备方法并提出了二维半导体材料物性调控新机制。这种制备方法大大拓展了二维材料的研究范围，提供了材料制备新思路。相关成果被 Nature Reviews Materials (2019) 大篇幅引用，并充分肯定了该方法的新原理。</p> <p>二、极限厚度下的二维半导体材料，不同于传统半导体，其电学/光电性质极易受到外界环境影响，然而影响机制不甚清晰。该项目针对这一关键科学问题，提出了二维半导体材料缺陷态、界面对其性能调控新机理。为该类材料的大规模应用作出了重要前瞻性探索。</p> <p>三、二维范德华异质结具有远远小于传统异质结的极限原子厚度，传统的半导体理论具有局限性。该项目发展了超薄的二维范德华 pn 结构筑方法，并揭示了其电荷输运机制，获得了超高的外量子效率。相关成果被诺奖得主 KS Novoselov 在 Science 论文重点强调。</p> <p>该项目发表 SCI 论文 112 篇，8 篇论文 SCI 他引 1203 次，4 篇入选 ESI 高被引论文，最高单篇 SCI 他引 477 次。在二维半导体材料及器件领域取得了上述重要影响力的成果。因此，提名该项目为国家自然科学奖二等奖。</p>			

姓名	林海青		
专家类型	院士		
工作单位	北京计算科学研究中心		
职 称	院士	学科专业	物理学
通讯地址	北京市海淀区西北旺东路 10 号院中关村软件园二期东区 9 号楼	邮政编码	100193
电子邮箱	haiqing0@csrc.ac.cn	联系电话	15701689603
责任专家	否		
<p>提名意见：</p> <p>由于其原子级厚度、范德华光滑表面、可调的带隙结构及其他优异的物理化学特性，新型二维半导体材料及器件有望成为后摩尔时代信息电子器件发展的变革性技术之一。该项目针对新型二维半导体材料及器件中面临的制备方法、性能调控机制、器件构筑方法和性能，展开了系统的研究工作，并取得了多个具有重要影响的科学成果。比如发展了具有普适性的二维半导体新型制备方法，揭示了二维半导体材料缺陷及界面因素对其物性调控机制，实现了高性能的新型 p-n 结光电器件。这些研究成果为促进二维电子材料的大规模应用，提供了宝贵的实验和理论借鉴。8 篇代表论文 SCI 他引超过 1200 次，4 篇入选 ESI 高被引论文榜。因此，我郑重推荐该项目申报国家自然科学奖。</p> <p>提名该项目为国家自然科学奖 二 等奖。</p>			

姓名	汤超		
专家类型	院士		
工作单位	北京大学		
职称	院士	学科专业	物理学
通讯地址	北京市海淀区颐和园路5号	邮政编码	100871
电子邮箱	tangc@pku.edu.cn	联系电话	18601151617
责任专家	否		
<p>提名意见：</p> <p>该项目在国家重点基础研究发展计划、国家自然科学基金、中科院“百人计划项目”研究的支持下，立足国际前沿。聚焦新型二维半导体材料及器件应用过程中的卡脖子问题，在材料可控制备、性质调控及器件基础研究方面取得了突出的研究成果。包括，发展了普适性的二维材料范德华外延制备方法，大大拓展了二维材料的研究范围；揭示了二维半导体材料的电学/光电性质调控机制，为未来评估其应用作出了前瞻性探索；发展了范德华异质结构筑方法并实现了高性能光电器件，提出了极限厚度下新型范德华异质结构的载流子运输机制。8篇代表性论文获SCI论文他引1203次，4篇入选ESI高被引论文榜。相关成果被Science, Nature Nanotechnology, Chemical Reviews等著名期刊论文引用评述，引用者包括来自美国耶鲁大学、英国牛津大学等著名学术机构的诺贝尔奖获得者、IEEE/APS Fellow等。这些成果具有典型的代表性和可扩展性，形成了重要的国际影响力，推动了我国半导体材料与器件领域的发展。因此，本人强烈推荐该项目申报国家自然科学基金二等奖。</p>			

四、项目简介

新型二维半导体器件是后摩尔时代信息电子器件发展的变革性技术之一。该项目围绕二维半导体材料制备、异质结构筑、结构与器件功能构效关系等核心问题，开创性地将范德华外延技术应用于非层状材料的二维化可控制备，大大拓展了二维电子材料的研究范围，揭示了二维半导体物性调控机制，发展了异质集成新方法并探索了新原理二维异质结光电器件基础。取得多项具有国际影响力的开创性成果，解决了异质集成面临的多物理失配问题，实现了异质二维材料的物性协同功能匹配，为高性能异质电子器件的发展奠定了基础。重要科学发现点如下：

一、发展了具有普适性的非层状二维半导体材料可控制备方法。该项目聚焦于非层状二维半导体材料的可控制备及性能调控，发展出普适性的范德华外延方法，极大拓宽了二维材料的范围，为新型二维电子材料的制备提供了新思路。*Nature Reviews Materials* (2019) 肯定了该方法制备二维材料的新原理，将该成果制作在纳米材料制备历程时间图表上的显著位置；提出了缺陷调控二维半导体电子性质新方法，被 *Energy & Environmental Science* (2017) 和 *Chemical Reviews* (2015) 大段陈述该成果的调控机制。

二、揭示了二维半导体材料缺陷态、界面对其电学/光电性能调控机理。该项目针对极限厚度下二维半导体材料电学/光电性质受外界环境影响机制这一关键科学问题，系统开展了材料缺陷、表界面等微观因素对器件性能的调控机制研究。相关研究成果被 *Nature Nanotechnology* (2018) 引用作为其材料选择的重要参考。同时 *Chemical Society Reviews* (2018) 肯定了研究成果中缺陷对二维半导体材料光电性能的调控机制。

三、发展了新型超薄二维范德华 p-n 结的构筑方法，揭示了 p-n 结中电荷输运机制。以原子级厚度的二维范德华材料为主体的异质结，不同于与传统的异质结，揭示异质界面上载流子输运、转移、捕获及复合过程的物理机制具有重要的科学意义。该成果因获得超高的外量子效率，被诺奖得主 K. S. Novoselov 在其 *Science* 论文重点强调，并且被美国西北大学的 M. C. Hersam (IEEE Fellow) 预言有望获得大规模光伏应用。

该项目发表 SCI 论文 112 篇，成果得到国内外同行广泛引用和认可，8 篇代表论文发表在 *Nano Letters*、*Advanced Materials*、*ACS Nano* 等国际知名刊物上，8 篇论文 SCI 他引 1203 次，4 篇入选 ESI 高被引论文，最高单篇 SCI 他引 477 次。授权中国发明专利 5 项。30 余次在国际学术会议上作邀请报告。

五、代表性论文（专著）目录（不超过8篇）

1. Visible light driven type II heterostructures and their enhanced photocatalysis properties: a review
Yajun Wang, Qisheng Wang, Xueying Zhan, Fengmei Wang, Muhammad Safdar and Jun He*
Nanoscale. 5, 8326 (2013)
发表时间：2013年5月21日 通讯作者：何军 第一作者：王雅君 他引总次数：477 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
2. Component-Controllable WS₂(1-x)Se_{2x} Nanotube for Efficient Hydrogen Evolution Reaction
Kai Xu, Fengmei Wang, Zhenxing Wang, Xueying Zhan, Qisheng Wang, Zhongzhou Cheng, Muhammad Safdar and Jun He*
ACS Nano. 8, 8468-8476(2014)
发表时间：2014年8月11日 通讯作者：何军 第一作者：许凯 王枫梅 他引总次数：176 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
3. Tunable GaTe-MoS₂ van der Waals p-n junctions with novel optoelectronic performance
Feng Wang, Zhenxing Wang, Kai Xu, Fengmei Wang, Qisheng Wang, Yun Huang, Lei Yin, and Jun He*
Nano Letters. 15, 7558-7566 (2015)
发表时间：2015年10月15日 通讯作者：何军 第一作者：王峰 他引总次数：147 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
4. Selenium-Enriched Nickel Selenide Nanosheet as Robust Electrocatalyst for Hydrogen Generation
Fengmei Wang, Yuanchang Li, Tofik Ahmed Shifa, Kaili Liu, Feng Wang, Zhenxing Wang, Peng Xu, Qisheng Wang, Jun He*
Angewandte Chemie International Edition. 55, 6919-6924 (2016)
发表时间：2016年4月25日 通讯作者：何军 第一作者：王枫梅 他引总次数：107 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
5. Ultrasensitive Phototransistors Based on Few-Layered HfS₂
Kai Xu, Zhenxing Wang, Feng Wang, Yun Huang, Fengmei Wang, Lei Yin, Chao Jiang and Jun He*
Advanced Materials. 27, 7881-7887 (2015)
发表时间：2015年10月26日 通讯作者：何军 第一作者：许凯 他引总次数：84 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
6. Van der Waals Epitaxy and Photoresponse of Hexagonal Tellurium Nanoplates on Flexible Mica Sheets
Qisheng Wang, Muhammad Safdar, Kai Xu, Misbah Mirza, Zhenxing Wang, and Jun He*
ACS Nano. 8, 7497-7505 (2014)
发表时间：2014年6月3日 通讯作者：何军 第一作者：王启胜 他引总次数：81 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
7. Role of Ga Vacancy on a Multilayer GaTe Phototransistor
Zhenxing Wang, Kai Xu, Yuanchang Li, Xueying Zhan, Muhammad Safdar, Qisheng Wang, Fengmei Wang and Jun He*
ACS Nano. 8, 4859-4865 (2014)
发表时间：2014年4月3日 通讯作者：何军 第一作者：王振兴 许凯 他引总次数：67 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否
8. Van der Waals Epitaxial Ultrathin Two-Dimensional Nonlayered Semiconductor for Highly Efficient Flexible Optoelectronic Devices
Qisheng Wang, Kai Xu, Zhenxing Wang, Feng Wang, Yun Huang, Muhammad Safdar, Xueying Zhan, Fengmei Wang, Zhongzhou Cheng, and Jun He*
Nano Letters. 15, 1183-1189 (2015)
发表时间：2015年1月20日 通讯作者：何军 第一作者：王启胜 他引总次数：64 检索数据库：SCI 论文署名是否包含国外：否

六、主要完成人（完成单位）

姓名	何军	性别	男	排名	1	国籍	中国
出生年月	1971.11			出生地	河南	民族	汉
身份证号	412932197111100013			归国人员	是	归国时间	2010.11
技术职称	研究员			最高学历	博士研究生	最高学位	博士
毕业学校	中国科学院半导体研究所			毕业时间	2003.9	所学专业	物理
电子邮箱	hej@nanoctr.cn			办公电话	82545670	移动电话	15901476730
通讯地址	北京市海淀区中关村北一条11号					邮政编码	100190
工作单位	国家纳米科学中心					行政职务	
二级单位						党派	中国共产党
完成单位	国家纳米科学中心					所在地	北京
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间		2011年1月1号至2016年12月31号					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：</p> <p>本项目总负责人，是重要科学发现一、二、三主要学术思想的提出者，制定了总体研究方案。提出了基于新原理制备一维纳米的通用方法，揭示了二维半导体表面/界面电子态与电学输运的作用规律和调控机理，提出了多维协同提升器件性能的新思想。为代表论文1-8的通讯作者，所有申请中国发明专利的主要作者。</p>							
<p>曾获国家科学技术奖情况：</p> <p>无</p>							

姓 名	王振兴	性别	男	排 名	2	国 籍	中国
出生年月	1980.3		出 生 地	河南	民 族	汉	
身份证号	410522198003190814		归国人员	否	归国时间	/	
技术职称	研究员		最高学历	研究生	最高学位	理学博士	
毕业学校	中国科学技术大学		毕业时间	2009.6	所学专业	凝聚态物理	
电子邮箱	wangzx@nanoctr.cn		办公电话	010-82545552	移动电话	15510021263	
通讯地址	北京市海淀区中关村北一条 11 号				邮政编码	100190	
工作单位	国家纳米科学中心				行政职务	无	
二级单位					党 派	无	
完成单位	国家纳米科学中心				所 在 地	北京	
					单位性质	事业单位	
参加本项目的起止时间		2011 年-2016 年					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：</p> <p>发现并揭示了二维碲化物中阳离子空位缺陷对晶体管器件的影响规律，对重要科学发现二作出了重要贡献，参与重要科学发现一和三。代表性论文 5 的第一作者，代表性论文 2、4、6、7 的主要作者。</p>							
<p>曾获国家科学技术奖情况：无</p>							

姓名	詹雪莹	性别	女	排名	3	国籍	中国
出生年月	1988.12		出生地	河南	民族	汉	
身份证号	411524198812160061		归国人员	否	归国时间		
技术职称	工程师		最高学历	硕士研究生	最高学位	硕士	
毕业学校	华中科技大学		毕业时间	2013.5	所学专业	光电信息工程	
电子邮箱	zhanxy@nanoctr.cn		办公电话	82545552	移动电话	18801018730	
通讯地址	北京市海淀区中关村北一条11号				邮政编码	100190	
工作单位	国家纳米科学中心				行政职务		
二级单位					党派	中国共产党	
完成单位	国家纳米科学中心				所在地	北京	
					单位性质	事业单位	
参加本项目的起止时间	2011年3月1号至2016年12月31号						
<p>对本项目重要科学发现的贡献：</p> <p>本项目的参与者，参与材料制备构建三元合金金属硫族化合物，使用CVD法合成新型材料，是代表论文4、5、7、8的作者，授权专利一项的完成人。</p>							
<p>曾获国家科学技术奖情况：</p> <p>无</p>							

姓 名	王峰	性别	男	排 名	4	国 籍	中国
出生年月	1988.06.14		出生地	河北省邢台市	民 族	汉	
身份证号	130503198806140638		归国人员		归国时间		
技术职称	助理研究员		最高学历	研究生	最高学位	博士	
毕业学校	中国科学院大学		毕业时间	2017.07	所学专业	凝聚态物理	
电子邮箱	wangf@nanoctr.cn		办公电话	010-82545552	移动电话	18610029442	
通讯地址	北京市海淀区中关村北一条11号				邮政编码	100190	
工作单位	国家纳米科学中心				行政职务		
二级单位					党 派	中国共产党	
完成单位	国家纳米科学中心				所 在 地	北京	
					单位性质	事业单位	
参加本项目的起止时间		2014.09.01 至 2016.12.23					
<p>对本项目重要科学发现的贡献：</p> <p>发展了构建新型二维范德华 p-n 结的湿法转移工艺，揭示了 p-n 结中光生载流子的复合机制，获得了超高光电转换效率。是代表论文 7 的第一作者。</p>							
<p>曾获国家科学技术奖情况：</p> <p>无</p>							

姓名	王枫梅	性别	女	排名	5	国籍	中国
出生年月	1990.3			出生地	甘肃	民族	汉
身份证号	62230119900310208X			归国人员	否	归国时间	
技术职称	助理研究员			最高学历	博士研究生	最高学位	博士
毕业学校	国家纳米科学中心			毕业时间	2013.5	所学专业	光电信息工程
电子邮箱	zhanxy@nanoctr.cn			办公电话	82545552	移动电话	15652194318
通讯地址	北京市海淀区中关村北一条 11 号					邮政编码	100190
工作单位	国家纳米科学中心					行政职务	
二级单位						党派	中国共产党
完成单位	国家纳米科学中心					所在地	北京
						单位性质	事业单位
参加本项目的起止时间	2012 年 9 月 1 号至 2016 年 12 月 31 号						
<p>对本项目重要科学发现的贡献:</p> <p>本项目的参与者, 围绕二维半导体的缺陷工程开展工作, 提出了二维半导体电子性质的缺陷调控新方法, 大大改善了半导体的电子性质。是代表论文 3 的第一作者, 代表论文 4 的共同一作, 其它代表论文的合作作者。</p>							
<p>曾获国家科学技术奖情况:</p> <p>无</p>							