## 自然科学奖公示信息

**一、项目名称**

超宽禁带半导体金刚石表面终端电导调控及器件关键机理

**二、提名者及提名意见**

|  |  |
| --- | --- |
| 提 名 者 | 陕西省电子学会 |
| 通讯地址 | 西安市雁塔区太白南路2号 | 邮政编码 | 710071 |
| 联 系 人 | 杜娟 | 联系电话 | 13619213782 |
| 电子邮箱 | sxsdzxh@163.com | 传 真 | 029-81891405 |
| 提名意见：我单位认真审阅了该项目申报书及附件材料，确认全部材料真实有效，并按照要求对该项目的基本情况进行了公示，公示期间无异议。金刚石半导体是国际公认的超宽禁带半导体的典型材料和器件，已经成为大国博弈的焦点。本项目针对超宽禁带半导体金刚石材料表面终端电导机理尚不明确、载流子输运特性机理认知缺乏、与金刚石器件设计制备困难等国际前沿科学与技术难题，研究并揭示了金刚石半导体材料氢终端金刚石表面载流子输运理论、氢终端金刚石表面转移掺杂调控机理等独特物理机制，掌握了超纯单晶金刚石生长、金刚石高质量金刚石场效应管、辐射探测器等的全套工艺流程，建立相应的工艺体系，大幅度提升了我国具有自主知识产权的新型超宽禁带半导体电子材料研究及其应用水平，所研究成果多次被国际重要学者和刊物引用，获得了多位国际同行的重点关注和高度评价。项目系统研究了金刚石超宽禁带半导体表面终端载流子散射机制、固态转移掺杂和能带可调控的高功函数介质金刚石场效应管、高电荷收集性能金刚石辐射探测器，获得成果不仅建立起我国新型超宽禁带金刚石材料生长研究理论体系，保证了我国在超宽禁带半导体领域研究的国际领先地位。在中美贸易战以及美国对高质量金刚石材料与关键技术限制出口背景下，该成果构建了超宽禁带半导体金刚石从单晶材料到核心器件系列关键理论与技术体系，有力提升了我国在超宽禁带半导体核心技术的国际竞争力。项目研究难度大，理论水平突出，科研成果丰富，应用前景广阔，使金刚石超宽禁带半导体成为我国自主创新和破解卡脖子难题的一面旗帜。根据《陕西省科学技术厅关于做好2023年度省科学技术奖提名工作的通知》，参照陕西省自然科学奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省科学技术一等奖。 |

**三、项目简介**

高功率、高频率、高效率是新一代电子信息与通讯系统核心元器件的首要要求。金刚石作为超宽禁带半导体的典型代表，具有比氮化镓、碳化硅等第三代宽禁带半导体更大的禁带宽度，同时，金刚石载流子迁移率高、饱和速度大、抗辐照性能好，还具有极高的热导率，是新一代高功率核心元器件的理想材料，被誉为“终极半导体”，能够满足下一代无线通信系统对功率容量、耐压能力、频率以及散热能力的迫切需求。此外，金刚石优异的低漏电、超快响应、抗辐照等特性，使其在脉冲强辐射场探测领域有着其他材料无可比拟的应用优势。

金刚石材料及半导体器件从上世纪九十年代随着化学气相沉积技术的发展而迎来了一个快速发展期。随后的三十年间，虽然高质量金刚石材料研究在国际上取得了突破，但是国内技术还较落后；同时国际国内金刚石电子器件研究一直进展缓慢，这主要是由于金刚石的半导体导电特性调控也是世界性难题。金刚石的体掺杂室温激活极其困难，以传统pn结结构制备器件难以实现；室温下氢终端金刚石可形成表面p型电导，基于该电导的金刚石表面沟道场效应管成为金刚石电子器件的主流结构，但是该电导的输运特性差且难以调控、稳定性也较差，阻碍了金刚石电子器件的快速发展。金刚石辐射探测器从材料到器件在国际上已有商业产品，但是国产器件的核心性能指标电荷收集效率长期难以提高，导致探测器响应信号弱且能量分辨率差，阻碍了国产器件的发展和应用。基于以上研究态势，金刚石高质量单晶生长、电导调控与新型器件成为近年来超宽禁带半导体金刚石的研究核心难点与热点。

本成果针对超宽禁带半导体金刚石微波功率器件与辐射探测器研制面临的关键科学问题，在国家重大项目的支持下，围绕金刚石单晶生长缺陷与杂质合并机理、多晶抑制方法、表面电导形成及调控机制、新型器件原理与结构等关键问题，建立了一整套超宽禁带半导体金刚石高质量材料生长理论、高性能电导调控与新型器件研制方法，提出多项关键理论与方法创新。在中美贸易战以及美国对高质量金刚石材料与关键技术限制出口背景下，该成果构建了超宽禁带半导体金刚石从单晶材料到核心器件系列关键理论与技术体系，有力提升了我国在超宽禁带半导体核心技术的国际竞争力，同时该理论与技术的创新也为超宽禁带半导体金刚石材料与器件在新一代信息与通信系统中的应用奠定基础，使宽禁带半导体成为我国自主创新和突破卡脖子问题的一面旗帜。

本成果核心创新点包括：

1. 金刚石表面终端电导和场效应管性能提升的关键机理

金刚石氢终端表面能够在室温下形成表面电导，但是其载流子迁移率低且难以调控一直是阻碍金刚石电子器件发展的关键难题，国际上近三十年未取得实际进展。本成果针对该重大难题，在国际上首次提出了氢终端金刚石表面载流子输运的基础理论，揭示了限制载流子迁移率的关键物理机制，促使国际上金刚石表面电导调控取得突破性进展，电导提升一个数量级，为金刚石场效应管的跨越式发展奠定了基础。

2. 新型氢终端金刚石表面转移掺杂调控机理及高性能场效应管

金刚石依托于表面终端结构实现的电导通常由气态转移掺杂引起，具有电导稳定性差、方阻高的问题。本成果针对这些问题，采用高温原子层沉积的介质及高功函数介质实现对氢终端金刚石表面的固态转移掺杂和能带调控，实现载流子输运特性及器件性能的提高。本成果揭示了Al2O3在氢终端金刚石表面具有不同于过渡金属氧化物的固态转移掺杂机理，从固态转移掺杂方法、沟道迁移率、界面态、变温特性等方面对固态转移掺杂金刚石场效应管的器件机理开展了系统研究；进一步研究新型器件结构与制备工艺，实现氢终端金刚石场效应管性能的显著提高，达到同期国际领先水平。

3. 高电荷收集性能金刚石辐射探测器和材料

本成果针对金刚石辐射探测器电极接触性能差、电荷收集效率(CCE)低、影响机理不明确的问题开展研究，通过表面终端势垒调控方法解决高纯金刚石上的高性能欧姆接触问题，系统研究了金刚石的杂质和位错缺陷对电荷收集特性的影响，建立了高电荷收集性能金刚石单晶材料的杂质抑制和外延制备技术。突破了金刚石辐射探测器技术一直远落后国外的技术壁垒，将金刚石辐射探测器的CCE提高到99%，这是国内最高、国际领先的电荷收集性能，使国内金刚石辐射探测器的发展迈上新的台阶。

该项目聚焦高质量金刚石半导体单晶材料高性能半导体器件发展与应用中面临的核心共性科学难题，建立起一整套具有自主知识产权的新方法、新结构和新技术，推动我国金刚石材料与器件的自主可控和高水平发展。该项目发表相关SCI论文30余篇，被Nature Electronics （IF=33.255）、Carbon (IF=11.307) 、Physical Review B (IF=3.908)等刊物SCI他引150余次。其中5篇代表性论文被他引用102次，获得IEEE终身会士、伊利诺伊州大学芝加哥分校杰出教授M. Dutta和IEEE会士、麻省理工学院J. A. del Alamo教授、斯坦福大学宽禁带半导体实验室负责人S. Chowdhury教授以及日本金刚石半导体学会会长、早稻田大学H. Kawarada教授和日本国立材料科学研究所首席研究员Y. Takahide等国际顶尖专家学者的高度评价及肯定。项目第一完成人是宽禁带半导体著名专家、中科院院士郝跃教授科研团队的金刚石半导体方向带头人，主持了某发展部元器件专项、自然科学基金重点项目等十余项金刚石相关科研项目，编著了我国第一部氮化物半导体材料与电子器件专著、参与编著了我国第一套宽禁带半导体系列丛书。本项目相关成果打破了美国和欧盟等西方国家的技术限制与垄断，为我国金刚石半导体持续高水平自主创新和发展应用做出重要贡献。

**四、客观评价**

**创新点1，金刚石表面终端电导和场效应管性能提升的关键机理。**日本国立材料科学研究所首席研究员Y. Takahide在其报道氢终端金刚石室温霍尔迁移率高达680cm2/Vs（世界纪录）的论文[Nature Electronics 5 (1):37-44 (2022)见代表性他引1]中引用代表性论著1的结论：①“…金刚石表面附近的带负电受主作为载流子散射的来源，降低了载流子迁移率29,30”（ “…negatively charged acceptors near the diamond surface, which act as sources of carrier scattering, and reduce the carrier mobility29,30”）。引文29即代表性论著1。

IEEE终身会士、伊利诺伊州大学芝加哥分校杰出教授（Distinguished Professor）M. Dutta在论文[Carbon 169 488-500 (2020)见代表性他引2]中参考引用了代表性论著1提供的理论框架：“有五种散射机制对氢终端金刚石表面二维空穴气的迁移率具有关键性作用：（1）表面杂质散射 （2）非极性光学声子散射（3）表面粗糙度散射（4）声学声子散射（5）界面声子散射[12]”(Five scattering mechanisms that play a key role in the mobility of 2DHG in H-terminated diamond include: (1) surface impurity scattering; (2) non-polar optical phonon scattering; (3) surface roughness scattering; (4) acoustic phonon scattering and (5) interface phonon scattering[12]) ，引文12即代表性论著1。

斯坦福大学宽禁带半导体实验室（Wide bandgap Lab）负责人S. Chowdhury教授在其分析氢终端金刚石二维空穴气迁移率限制因素的论文[Physical Review B 102, 075303 (2020)见代表性他引3]中多次参考代表性论著1的模型框架、模型参数和理论结论：“其中一个原因是2DHG和补偿负电荷（即表面电离受主）之间的库仑相互作用。这会导致显著的散射，特别是在低温到中等温度下[12, 13]” (“One cause of this is the Coulomb interactions between the 2DHG and the compensating negative charge (i.e., the ionized surface acceptors). This induces significant scattering, particularly, at low-to-intermediate temperatures[12, 13]”)；“我们首先将我们的模型与李姚等人先前报道的模型进行比较[13]” (“We begin by comparing our model to a model previously reported by Li et al. [13]”)；“…我们选择了与李姚，张金风等人相同的rms粗糙度高度值[13]”（ “…we select the same value for the rms roughness height as Li et al[13]”) ，引文13即代表性论著1。

**创新点2，新型氢终端金刚石表面转移掺杂调控机理及高性能场效应管。**电子设计自动化(EDA)巨头Synopsys公司的高级应用工程师H. Y. Wong博士在其论文[Diamond & Related Materials 80 14-17 (2017) 见代表性他引4]中评价：“为了减小栅漏电和提高氢终端的稳定性，（学术界）广泛研究了采用栅绝缘层的MISFET [6-8]，预期可获得比MESFET更为优越的器件性能”(“To reduce the gate leakage and improve the stability of H-passivation, MISFETs with gate insulators are also widely studied [6-8] and are expected to exhibit superior performance compared to MESFET counterparts if a high quality dielectric can be found.”)，引文8即代表性论著2。

IEEE会士、麻省理工学院J. A. del Alamo教授在其论文[IEEE Transactions on Electron Devices, 67(9) : 3516-3521(2020) 见代表性他引5]中评价：“已有大量利用这种方法研制MOSFETs和MESFETs器件的报道[12]-[22]，使利用薄固体薄膜实现表面转移掺杂成为金刚石电子器件的一条非常有意义的技术途径”(“Numerous realizations of MOSFETs and MESFETs applying this approach have been reported [12]-[22] making surface transfer doping using thin, solid films a worthwhile path for diamond electronics.”)，引文22即代表性论著2。

在高温ALD-Al2O3/氢终端金刚石器件和机理方面，日本金刚石半导体学会会长、早稻田大学H. Kawarada教授在其论文[IEEE Electron Device Letters, 69(8): 4144-4152 (2022)见代表性他引6]中提到采用代表性论著3提出的金刚石上Al2O3生长方法的好处：“接下来，通过ALD方法用水作氧化剂在300℃下沉积100nm厚的Al2O3层。已经证明通过这种ALD- Al2O3技术可以实现金刚石MOSFET的优异钝化能力。[9],[24]”(“Next, a 100-nm-thick Al2O3 layer was deposited by using an ALD method at 300 ◦C using H2O oxidant, and excellent passivation capability for diamond MOSFETs has been achieved by this ALD- Al2O3 technique [9],[24]”)，引文24即代表性论著3。

在金刚石增强型沟道电导调控和高性能器件方面，早稻田大学H. Kawarada教授在其论文[IEEE Electron Device Letters, 69(5):2236-2242 (2022)见代表性他引7]引用代表性论著4作为增强型沟道制备方法的一个典型案例：“…用C-O键取代部分C-H键可以实现更大的VTH，同时导致更低的ID\_MAX[23],[24]” (“…replacing partial C–H bonds with C–O bonds can realize larger VTH, but resulting in lower ID\_MAX[23],[24].”)，引文24即代表性论著4。

**创新点3，高电荷收集性能金刚石辐射探测器和材料。**南卡罗来纳大学Mukesh Jewariya实验室研究员、IEEE 高级会士、Krishna C. Mandal博士在论文[IEEE Electron Device Letters, 42(2):200-203 (2021)见代表性他引8]中引用代表性论著5作为高能量分辨率器件的一个典型案例：“最近报告了基于单晶CVD金刚石的辐射探测器对5486keV α粒子具有2%至0.3%的超高能量分辨率，其中大多数报告了对空穴运动的分辨率更高[17], [18], [20], [21]”(“Recent radiation detectors on SC CVD diamond reports energy resolution in the range of 2% to as high as 0.3% for 5486 keV alpha particles, with most study reporting higher resolution for hole movements [17], [18], [20], [21]”)，引文17即代表性论著5。

**五、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（xx年xx卷xx页） | 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 | 他引总次数 | 检索数据库 | 知识产权是否归国内所有 |
| 1 | Mobility of Two-Dimensional Hole Gas in H-Terminated Diamond | Physica Status Solidi Rapid Research Letter | Yao Li, Jin-Feng Zhang,\* Gui-Peng Liu, Ze-Yang Ren, Jin-Cheng Zhang,\* and Yue Hao | 2018年，12卷，文献号1700401 | 2018年3月 | Jinfeng Zhang,Jincheng Zhang | Yao Li, Jinfeng Zhang | 李姚,张金风, 刘贵鹏,任泽阳, 张进成, 郝跃 | 25 | SCI | 是 |
| 2 | Diamond Field Effect Transistors With MoO3 Gate Dielectric | IEEE Electron Device Letters | Zeyang Ren, Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang, Chunfu Zhang,Shengrui Xu, Yao Li, and Yue Hao | 2017年，38卷，786-789页 | 2017年6月 | Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang | Zeyang Ren | 任泽阳, 张金风, 张进成, 张春福,许晟睿,李姚, 郝跃 | 50 | SCI | 是 |
| 3 | High temperature (300℃) ALD grown Al2O3 on hydrogen terminated diamond: Band offset and electrical properties of the MOSFETs | Applied Physics Letters | Zeyang Ren, Dandan Lv, Jiamin Xu, Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang, Kai Su, Chunfu Zhang,and Yue Hao | 2020年，116卷，文献号013503 | 2020年1月6日 | Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang | Zeyang Ren | 任泽阳, 吕丹丹, 徐佳敏, 张金风, 张进成, 苏凯, 张春福,郝跃 | 24 | SCI | 是 |
| 4 | High Performance Single Crystalline Diamond Normally-Off Field Effect Transistors | IEEE Journal of the Electron Devices Society | Zeyang Ren, Wanjiao Chen, Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang, Chunfu Zhang, Guansheng Yuan, Kai Su, Zhiyu Lin and Yue Hao | 2019年，7卷，82-87页 | 2019年3月1日 | Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang | Zeyang Ren | 任泽阳, 陈万娇, 张金风, 张进成, 张春福, 袁冠生, 苏凯, 林志宇,郝跃 | 13 | SCI | 是 |
| 5 | High performance hydrogen/oxygen terminated CVD single crystal diamond radiation detector | Applied Physics Letters | Kai Su, Zeyang Ren, Jinfeng Zhang, Linyue Liu, Jincheng Zhang, Yachao Zhang, Qi He,Chunfu Zhang, Xiaoping Ouyang, and Yue Hao | 2020年，116卷，文献号092104 | 2020年3月2日 | Jinfeng Zhang, Jincheng Zhang | Kai Su | 苏凯, 任泽阳, 张金风, 刘林月, 张进成, 张雅超, 何琦,张春福, 欧阳晓平, 郝跃 | 5 | SCI | 是 |
| 合 计 | 102 | SCI | 是 |

**六、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张金风 | 性别 | 女 | 排 名 | 1 | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1977.9 | 出 生 地 | 陕西铜川 | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 610113197709222165 | 归国人员 | □是 ☑否 | 归国时间 |  |
| 技术职称 | 教授 | 最高学历 | 研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 西安电子科技大学 | 毕业时间 | 2006.6 | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | jfzhang@xidian.edu.cn | 办公电话 | 028-81892598 | 移动电话 | 13772548764 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路2号 | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 微电子学院 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | 所 在 地 | 陕西省西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 |
| 参加本项目的起止时间 | 2016年12月 至 2022年12月 |
| 对本项目主要学术贡献：在创新点1、2、3做出了创造性贡献。具体负责该项目的方案设计及技术实现，创新提出了氢终端金刚石表面电荷输运理论，成功揭示了限制表面电荷迁移率的关键物理机制，发展了全新的氢终端金刚石表面电导的固态转移掺杂理论，设计实现了高电导和高稳定金刚石器件和高性能金刚石辐射探测器。见代表性论著1、2、3、4、5。 |
| 曾获科技奖励情况：无 |
| **声明**：本人同意完成人排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。承诺该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人签名： 年 月 日 | **完成单位声明**：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理。**工作单位声明**：本单位对该完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日 |
| 姓 名 | 任泽阳 | 性别 | 男 | 排 名 | 2 | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1991.8 | 出 生 地 | 山东枣庄 | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 370404199108173715 | 归国人员 | □是 ☑否 | 归国时间 |  |
| 技术职称 | 副教授 | 最高学历 | 研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 西安电子科技大学 | 毕业时间 | 2006.6 | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | zeyangren@xidian.edu.cn | 办公电话 | 029-88201759-844 | 移动电话 | 18710890380 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路2号 | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 微电子学院 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | 所 在 地 | 陕西省西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 |
| 参加本项目的起止时间 | 2016年12月 至 2022年12月 |
| 对本项目主要学术贡献：在核心创新点1、2、3做出了创造性贡献。参与该项目的方案设计及技术实现，参与提出了氢终端金刚石表面电荷输运理论和高温生长氧化铝介质在金刚石表面形成空穴电导层的机理，实现氢终端金刚石表面空穴的调控，主要负责制备了高性能金刚石场效应晶体管器件。结合衬底托盘设计和衬底侧面不同晶向的生长各向异性，提出了一种单晶金刚石的扩径生长方法。见代表性论著1、2、3、4。 |
| 曾获科技奖励情况：无  |
| **声明**：本人同意完成人排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。承诺该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人签名： 年 月 日 | **完成单位声明**：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理。**工作单位声明**：本单位对该完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 苏凯 | 性别 | 男 | 排 名 | 3 | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1988.10 | 出 生 地 | 陕西铜川 | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 610202198810062814 | 归国人员 | □是 ☑否 | 归国时间 |  |
| 技术职称 | 讲师 | 最高学历 | 研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 西安电子科技大学 | 毕业时间 | 2020.12 | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | ksu@xidian.edu.cn | 办公电话 |  | 移动电话 | 18109198203 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路二号 | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 微电子学院 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | 所 在 地 | 陕西省西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 |
| 参加本项目的起止时间 | 2016年12月 至 2022年12月 |
| 对本项目主要学术贡献：在核心创新点3做出了创造性贡献。首次提出了一种金刚石表面终端势垒调制辐射探测器结构，突破了高纯金刚石上的高性能欧姆接触电极技术，研制出高性能金刚石辐射探测器。提出了金刚石辐射探测器关键杂质含量的上限和去除位错团簇的重要性。见代表性论著5。 |
| 曾获科技奖励情况：无 |
| **声明**：本人同意完成人排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。承诺该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人签名： 年 月 日 | **完成单位声明**：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理。**工作单位声明**：本单位对该完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 许晟瑞 | 性别 | 男 | 排 名 | 4 | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1981.4 | 出 生 地 | 吉林 | 民 族 | 满 |
| 身份证号 | 220381198104163034 | 归国人员 | □是 ☑否 | 归国时间 |  |
| 技术职称 | 教授 | 最高学历 | 研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 西安电子科技大学 | 毕业时间 | 2010.12 | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | Srxu@xidian.edu.cn | 办公电话 | 029-81891194 | 移动电话 | 13809197527 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路二号 | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 微电子学院 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | 所 在 地 | 陕西省西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 |
| 参加本项目的起止时间 | 2016年12月 至 2022年12月 |
| 对本项目主要学术贡献：在核心创新点2做出了创造性贡献。参与研究采用过渡金属氧化物MoO3介质的金刚石MOSFET器件，对固态转移掺杂MoO3/金刚石FET器件开展了性能测试和分析，优化界面态特性，制备出国际一流的高电导、高稳定金刚石MOSFET器件。见代表性论著2。 |
| 曾获科技奖励情况：无  |
| **声明**：本人同意完成人排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。承诺该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人签名： 年 月 日 | **完成单位声明**：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理。**工作单位声明**：本单位对该完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张雅超 | 性别 | 男 | 排 名 | 5 | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1990.4 | 出 生 地 | 河南新乡 | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 410724199004024058 | 归国人员 | □是 ☑否 | 归国时间 |  |
| 技术职称 | 副教授 | 最高学历 | 研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 西安电子科技大学 | 毕业时间 | 2017.7 | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | ychzhang@xidian.edu.cn | 办公电话 | 029-88201759 | 移动电话 | 15191487857 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路二号 | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 微电子学院 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | 所 在 地 | 陕西省西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 |
| 参加本项目的起止时间 | 2016年12月 至 2022年12月 |
| 对本项目主要学术贡献：在核心创新点3做出了创造性贡献。参与了金刚石表面终端势垒调控辐射探测器的制备工艺研究，研制出高性能金刚石辐射探测器。见代表性论著5。 |
| 曾获科技奖励情况：无 |
| **声明**：本人同意完成人排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。承诺该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人签名： 年 月 日 | **完成单位声明**：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理。**工作单位声明**：本单位对该完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张春福 | 性别 | 男 | 排 名 | 6 | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1979.2 | 出 生 地 | 陕西铜川 | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 372425197902190314 | 归国人员 | □是 ☑否 | 归国时间 |  |
| 技术职称 | 教授 | 最高学历 | 研究生 | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 新加坡国立大学 | 毕业时间 | 2010 | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | cfzhang@xidian.edu.cn | 办公电话 | 029-88201759-818 | 移动电话 | 15029286522 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路二号 | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | 行政职务 | 无 |
| 二级单位 | 微电子学院 | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | 所 在 地 | 陕西省西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 |
| 参加本项目的起止时间 | 2016年12月 至 2022年12月 |
| 对本项目主要学术贡献：在核心创新点2、3做出了创造性贡献。参与了氢终端金刚石表面终端能带结构及新型场效应晶体管的研究，参与高功函数介质MoO3转移掺杂机理的分析及其MOSFET器件制备研究。参与了金刚石表面终端势垒调控辐射探测器的研究。见代表性论著3、4、5。 |
| 曾获科技奖励情况：无 |
| **声明**：本人同意完成人排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。承诺该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人签名： 年 月 日 | **完成单位声明**：本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查处理。**工作单位声明**：本单位对该完成人被提名无异议。 单位（盖章） 年 月 日 |

**七、主要完成单位情况**

|  |  |
| --- | --- |
| 单位名称 | 西安电子科技大学 |
| 排 名 | 1 | 法定代表人 | 张新亮 | 所 在 地 | 陕西省，西安市 |
| 单位性质 | 事业单位 | 传 真 | 81891405 | 邮政编码 | 710071 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市雁塔区太白南路2号 |
| 联 系 人 | 李鹏 | 单位电话 | 029-81892583 | 移动电话 | 18710849268 |
| 电子邮箱 | kjjl@xidian.edu.can |
| 对本项目主要学术贡献： 本项目在科学发现和科技创新方面取得以下成果。首先，提出了氢终端金刚石表面载流子输运的基础理论，揭示了限制迁移率的关键物理机制；发现制约金刚石器件功率频率特性的本质性因素是器件沟道载流子迁移率过低。这些发现为金刚石新型高电导结构和高性能器件的发展提供了理论依据。其次，揭示高温ALD-Al2O3及过渡金属氧化物等介质在氢终端金刚石表面的转移掺杂和电导调控机理，成功制备高性能金刚石场效应管器件，提升了我国金刚石场效应管器件研究的技术水平和国际影响力。最后，通过提高电极的电荷收集特性和金刚石材料的电荷收集特性获得了高电荷收集性能金刚石辐射探测器，使我国金刚石辐射探测器综合性能达到国际一流水平。以上金刚石表面终端电导调控及器件关键机理研究成果为金刚石半导体的发展和应用奠定了坚实的基础。西安电子科技大学作为本项目第一完成单位，全面负责项目的总体规划、设计、实施与组织，为本项目提供了大力支持和充分保障，确保了项目的顺利进行。 |
| **声明**：本单位同意完成单位排名，遵守《陕西省科学技术奖励办法》及其实施细则的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并接受相应处理。法定代表人签名： 单位（盖章）年 月 日 年 月 日 |

**八、完成人合作关系说明**

该项目主要完成人包括西安电子科技大学张金风、任泽阳、苏凯、许晟瑞、张雅超、张春福。完成人在该项目中的合作关系如下：

1.主要完成人张金风、任泽阳共同研究了氢终端金刚石载流子迁移率的散射机制，提出了氢终端金刚石表面载流子输运的基础理论，揭示了限制迁移率的关键物理机制，为氢终端金刚石载流子迁移率实验优化提供了理论指导。（见代表性论著1）

2.主要完成人张金风、任泽阳、许晟瑞共同研究采用过渡金属氧化物MoO3介质的金刚石MOSFET器件，基于MoO3电子亲和能高、用能量低的空导带来接受氢终端金刚石发射的电子从而在金刚石内留下空穴的特性，从固态转移掺杂机理、沟道迁移率、界面态、变温特性等方面对固态转移掺杂MoO3/金刚石FET器件开展了全面优化，制备出国际一流的高电导、高稳定金刚石MOSFET器件。（见代表性论著2）

3.主要完成人张金风、任泽阳、张春福共同研究了Al2O3在氢终端金刚石表面不同于过渡金属氧化物的固态转移掺杂机理，进一步采用300℃沉积的Al2O3作转移掺杂栅介质制备金刚石MOSFET，通过介质结构、电荷和陷阱、生长工艺条件以及新器件结构设计，实现同类金刚石器件的国际最高输出电流密度以及频率特性，并且具有出色的重复测量稳定性和大信号脉冲开关特性。（见代表性论著3）。

4.主要完成人张金风、任泽阳、张春福共同研究了常关态金刚石场效应晶体管，通过对氢终端金刚石表面进行部分氧终端改性来适当降低载流子浓度、实现增强型沟道，同时以热氧化薄氧化铝栅介质形成优良的介质/金刚石界面和提高栅控能力，实现低导通电阻、高跨导常关金刚石MOSFET器件。（见代表性论著4）

5.主要完成人张金风、苏凯、张雅超共同提出了一种金刚石表面终端势垒调制辐射探测器结构，突破了高纯金刚石上的高性能欧姆接触电极技术，研制出高性能金刚石辐射探测器，电子和空穴的CCE均逼近理论极限100%，探测器的时间响应、能量分辨率、增益、信噪比等得到全面提升。（见代表性论著5）

**完成人合作关系情况汇总表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作时间 | 合作成果 | 证明材料 |
| 1 | 论文 | 张金风/1，任泽阳/2 | 2016至今 | Mobility of Two-Dimensional Hole Gas in H-Terminated Diamond | 代表性论著1 |
| 2 | 论文 | 张金风/1，任泽阳/2，许晟瑞/4 | 2016至今 | Diamond Field Effect Transistors With MoO3 Gate Dielectric | 代表性论著2 |
| 3 | 论文 | 张金风/1，任泽阳/2，张春福/6 | 2016至今 | High temperature (300 ℃) ALD grown Al2O3 on hydrogen terminated diamond: Band offset and electrical properties of the MOSFETs | 代表性论著3 |
| 4 | 论文 | 张金风/1，任泽阳/2，张春福/6 | 2016至今 | High Performance Single Crystalline Diamond Normally-Off Field Effect Transistors | 代表性论著4 |
| 5 | 论文 | 张金风/1，苏凯/3，张雅超/5，张春福/6 | 2016至今 | High performance hydrogen/oxygen terminated CVD single crystal diamond radiation detector | 代表性论著5 |
| （不限条目） |  |  |  |  |  |