## 技术发明奖公示

**一、项目名称**

高压低功耗碳化硅功率器件关键技术及应用

**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 | 通讯地址 | 西安市雁塔区太白南路2号 |
| 联 系 人 | 杜娟 | 联 系 人 | 杜娟 |
| 电子邮箱 | sxsdzxh@163.com | 电子邮箱 | sxsdzxh@163.com |
| 提名意见：  我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，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。  本项目属于新型半导体功率器件领域。新一代高性能的电力、电源系统中高功率器件是其中的关键部件。碳化硅功率器件技术在高压高功率领域的应用可革命性地提升转换效率、降低损耗，对于进一步推动我国能源战略的实施和形成新一代能源转换系统的核心技术，具有重要的战略意义。在国家重大专项等国家计划的重点支持下，立足自主创新，围绕高耐压、低功耗问题，从新型绝缘栅结构和工艺，新型终端结构方面突破传统结构器件的功率极限，显著降低器件功耗，实现SiC功率器件关键技术的突破和自主国产化，相关器件部分性能指标达到国际先进水平。本项目核心成果已占领相关领域的技术制高点，将推动功率器件产业和新一代能源转换系统实现跨越式发展。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》，参照陕西省技术发明奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省技术发明奖一等奖。 | | | |

**三、项目简介**

碳化硅（SiC）高压功率器件是新一代电网、轨道交通、电力推进系统所需的核心功率转换器件。与硅基功率器件相比，SiC功率器件具有更高耐压、更高功率等级和更高的转换效率。因此，SiC功率器件技术在高压高功率领域的应用可革命性地提升转换效率、降低损耗，对于推动我国能源战略的实施具有重要的战略意义。

在国家重大专项、教育部科技支撑计划等项目的支持下，本项目组经过十余年的不懈努力，攻克了**高击穿电压电场调制与芯片终端保护技术、高功率密度SiC芯片设计与工艺技术、长寿命、高可靠性SiC芯片关键技术等技术瓶颈。**主要发明点如下：

1、为了解决SiC材料刻蚀难度大、离子注入条件苛刻、无法有效推结所导致的结终端区电场调制的难题，**发明了凹槽辅助场限制环场调制技术、新型“高频刻蚀”工艺和多层掩模多步刻蚀技术**，实现了结边缘形貌和电场的有效调控，SiC器件击穿电压从5.7kV提高到6.7kV，终端的击穿效率更是从材料理论值的76%提高到90%；**发明了终端斜角微区修正技术**，进一步将击穿效率由90%提高至99%。

2、针对SiC/SiO2栅界面质量差、沟道迁移率低的问题，**发明了一种氮化/高温氧化/氮化的三明治界面调控工艺技术**，界面态密度降低了两个数量级，显著提升了沟道载流子迁移率，解决了器件沟道电阻大以及长期电应力下阈值电压漂移问题。发明了Ni/Ti/Al/W 低退火温度欧姆接触合金技术，实现了750℃退火同步形成满足要求的N型和P型欧姆接触，为有报道以来最好的结果。**实现碳化硅功率MOSFET特征导通电阻低至4mΩ ‧cm2，达到国际先进水平**。针对SiC单极器件理论极限瓶颈问题，**首次提出并优化了SiC浮动结器件设计方法**，实现了超SiC单极器件极限的高功率密度SiC浮动结器件，器件功率优值（BFOM）提高了63%。

3、针对栅氧化层电场强度高、易诱发损伤问题，**提出了L型围栅场调制技术以及双区浮动结调制技术**，通过P区场隔离和浮动场耦合调制有效地解决了长期工作时栅电极失效问题。峰值电场降低了30%以上，功率优值提升了4.5倍。针对击穿电压在高温高场应力下嬗变的问题，**项目构建了终端电场区域陷阱电荷俘获和发射机制模型**，为实现高稳定击穿特性奠定了理论基础。**提出并实现了新型超高温、长寿命合金化技术**，金属电极可在600ºC下稳定工作。开发出SiC功率器件可靠性加固成套技术，实现了碳化硅功率器件长期可靠性寿命的提升，全部通过GJB的1000h寿命考核评估。

本项目共**授权发明专利62项（国际专利3项）**，**全球著名的市场研究与战略咨询公司Yole发布的2019年SiC市场调研报告指出西安电子科技大学碳化硅功率器件的相关专利拥有量中国第一，发表高水平论文66余篇，并已实现1099.4万元的专利转化**。陕西半导体先导技术中心有限公司与西安电子科技大学自2018年开始共同承担多项政府课题，双方通过这些项目与平台联合开展碳化硅功率器件的研究，成功实现SiC JBS和MOSFET器件产品，已应用于储能、充电桩、轨道交通、无线充电、国防军工等领域，通过应用本项目的技术提供了多项测试及培训服务**。2020年1月-2022年12月已应用本技术新增营业收入3213.6万元。**此外，本项目成果已应用于扬州扬杰电子科技股份有限公司、西安卫光科技有限公司、苏州锴威特半导体股份有限公司、捷捷半导体有限公司等单位，在航空发动机点火装置、电动汽车充电装置等系统中实现了批量销售和应用, **2020-2022年本项目间接应用实现经济效益总计42400万元**。**因此，本项目直接和间接应用实现经济效益总计46713万元**。本项目核心技术完全自主，是我国新一代半导体器件的技术制高点，为推动我国功率器件产业和新一代能源转换系统实现跨越式发展有重大作用。

**四、客观评价**

**4.1检测报告**

2019年12月，军用电子元器件北京第二检测中心对项目组研制的SiC凹槽场限环终端JBS、1200V 16~280 mΩ MOSFET，SiC浮动结JBS、掺杂尾区修正JTE终端PiN，给出了检测结论，各分组无样品失效，测试结果符合要求（附件3-10，3-11，3-12，3-13）。

**4.2科技查新报告**

教育部查新工作站G10于2022年6月对本项目进行了科技查新，查新结论为：除该委托项目组发表的文献外，国内外均未见与该查新项目技术特点相符的文献报道。（附件3-9）

**4.3论文第三方评价**

1) IEEE Fellow 单建安教授等人在 IEEE Transactions on Electron Devices，IEEE ISPD2019两篇论文中引用团队发明的凹槽辅助场限环终端，指出该终端可以实现平行平面结理想值的90%，引文如下“To improve the breakdown voltage an edge termination structure combined with trench and multiple folating rings was proposed. The TMFLRs can achieve 90% of the ideal planar junction”“multiple floating rings are able to improve the breakdown voltage。（附件3-14）

2) 美国海军研究实验室主任Fritz J. Kub在2017年J MICROMECH MICROENG和ECS J SOLID STATE SC的两篇论文中多次引用了团队提出的Bosch“高频刻蚀”方法，该方法能够有效降低微沟槽的形成，阻止SiC功率器件的非理想电击穿这一创新性工作。引述如下“The importance of minimal microtrench formation can be summarized through the efforts made to eliminate them in SiC etching via Bosch-like etching”，“the rounder trench bottoms are preferred to prevent premature electrical breakdown in SiC”（附件3-15）

3） 韩国西江大学的Kwangsoo Kim在2022年的 Semiconductor Science and Technology 引用了团队提出的Bosch“高频刻蚀”方法，带有SF6/O2蚀刻等离子体的ICP系统是一种可以制作几乎垂直沟槽侧壁的解决方案。引述如下“The ICP system with an SF6/O2 etch plasma is one solution that can make nearly vertical trench sidewall”。（附件3-16）

4) IEEE fellow，Alex Q. Huang 2017年在PROCEEDINGS OF THE IEEE发表重要综述论文，引用本团队在SiC UMOSFET方面的两项创新性成果，L型栅UMOS和高斯掺杂浮动结UMOS，引文如下“Many variations of the trench structures exist to protect the bottom of the trench gate” （附件3-17）

5) 中国半导体所的张峰等人在2020年的IEEE Transactions on Electron Devices引用了本团队在SiC UMOSFET方面的创新性成果，许多研究小组已经报道了Eox降低的新型UMOSFET−最大和低比导通电阻（RON，sp），如鳍形和L形栅UMOSFET，引文如下“Many groups have reported novel UMOSFETs with reduced Eox−max and low specific ON-resistance (RON,sp), like the fin-shaped and L-shaped gate UMOSFETs. ”(附件3-18)

6) 瑞典林雪萍大学E.Ö. Sveinbjӧrnsson等人在2019年SOLID-STATE ELECTRONICS引用了团队发明的栅氧化工艺，指出该工艺可以明显改善SiO2/SiC界面质量，引文如下“The quality of the SiO2/SiC interface has been improved by various oxidatin and nitridation method which has enabled the commercialization of high voltage MOSFETs” （附件3-19）

**4.4 国际同行评价**

全球知名的市场研究与战略咨询公司Yole 发布的2019年SiC市场调研报告指出西安电子科技大学相关碳化硅功率器件的相关专利中国第一。（附件3-20）

**4.5应用评价**

西安卫光科技有限公司（国营877厂）将本项目研制的JBS芯片成功应用于该公司超高压整流堆器件，器件整体性能及尺寸得到显著改善，达到国际先进水平，突破了国外的禁运，大大提升了该公司产品的市场竞争力，该产品已成功应用于天津航空机电有限公司的某发动机点火系统。（附件2-3）

**五、应用情况和效益**

**5.1应用情况**

本项目系统开展了高压低功耗碳化硅功率器件关键技术及应用研究，突破了SiC功率器件高耐压、低导通电阻、高可靠等关键技术难题，实现了高性能SiC高压大功率器件，部分成果已经获得了产业化应用，其中包括直接应用单位**西安电子科技大学专利转化1099.4万元，陕西半导体先导技术中心有限公司2020-2022销售、技术服务、培训等共计3213.6元。**还包括扬州扬杰电子科技股份有限公司、西安卫光科技有限公司（国营第八七七厂）、苏州锴威特半导体股份有限公司、捷捷半导体有限公司等间接应用单位，2020-2022年创造直接经济效益达到42400万元。

西安电子科技大学2018年3月对35项发明专利进行资产评估，评估结论为公开市场价值为2020.18万元，其中17项本项目相关专利的市场价格为909.4万元，2018年10月专利权变更为陕西半导体先导技术中心有限公司。两项相关专利以10万元独占许可的方式授权给扬杰使用。17项专利以180万元将专利权变更为绍兴中芯集成电路制造股份有限公司。（附件2-1，附件2-7，附件2-8）

陕西半导体先导技术中心有限公司与西安电子科技大学自2018年开始共同承担多项政府课题。同时基于本项目的碳化硅技术，联合申报成功了国家工程研究中心、陕西省制造业创新中心等国家级和省级重大技术平台等。双方通过这些项目与平台联合开展碳化硅功率器件的研究，将本项目提出的新型凹槽场限环终端等技术应用于SiC功率器件开发，实现SiC JBS和MOSFET器件产品，并实现了商业化量产，已应用于储能、充电桩、轨道交通、无线充电、国防军工等领域，大大提升了该公司产品的市场竞争力。此外，通过应用本项目的技术提供了多项测试及培训服务。2020年1月-2022年12月已应用本技术新增营业收入3213.6万元，并取得良好的社会效益。（附件2-2）

扬州扬杰电子有限公司从2016年起与西安电子科技大学合作，2016年12月将两项SiC MOSFET的相关器件专利以独占许可的方式授权给扬杰使用，基于双方的合作获批**2017年江苏省科技成果转化项目（BA2017128）900万资助**，相关的研究成果对项目的完成起到了至关重要的作用。2020年1月1日开始项目整体技术应用，有效解决了不同规格电压等级芯片等产品的高效高压及高可靠性问题，大大提升了该公司及我国高性能碳化硅二极管芯片及模块产品的市场竞争力。2020年1月-2022 年 12 月已应用本技术为该公司新增销售额6900万元，并取得了良好的社会效益。（附件1-4）

绍兴中芯集成电路制造股份有限公司从2021年开始与西安电子科技大学合作，合作成果作相关成果成功应用到公司相关产品代工工艺中，大幅度提升了公司SiC产线工艺能力，并成功推出SiC Diode、MOSFET标准工艺制程，对公司产品研发、制造能力的提升起到了至关重要的作用。2021年1月-2022年12月已应用本技术为该公司新增销售额21000万元，并取得了良好的社会效益。（附件2-3）

苏州锴威特半导体股份有限公司自2016年开始与西安电子科技大学共同从事研发高压大功率SiC功率器件的研究，合作相关成果成功应用到我公司研发的系列产品的研发中，双方于2018年8月建立“西电—锴威特研究生实训与研发中心”，2019年12月共同召开“SiC功率半导体技术应用论坛暨新品发布会”，2020年1月-2022年12月已应用本技术为该公司新增销售额7940万元，并取得了良好的社会效益。（附件2-4）

西安卫光科技有限公司（国营八七七厂）于2014年起通过专利授权和技术合作的方式将与西安电子科技大学的相关SiC芯片技术进行产业化，本项目研制的SiC超高压器件、SiC高温MOSFET和SiC功率模块等产品成功应用于该公司，元件体积缩小50%以上，达到国际先进水平，成功实现了产品升级换代，大大提升了该公司产品的市场竞争力。 2020年1月-2022年12月已应用本技术为该公司新增销售额6560万元，并取得了良好的社会效益。（附件2-5）

捷捷半导体有限公司与西安电子科技大学2012年共同建立了联合实验室，2014年联合申报江苏省科技攻关计划，开展了SiC半导体器件产品的协同研发与产业化工作的长期合作。联合申请的SiC功率器件方面的发明专利已经在相关产品中得到推广和应用，解决了公司具体的工程方面的多项关键技术难题。2016年开始导入部分研究成果，取得了良好的社会效益。（附件2-6）

**5.2效益**

功率半导体产业是信息技术支柱产业，是支撑经济社会发展和保障国家安全的战略性、基础性和先导性产业，而高压大功率功率碳化硅器件现代电网、轨道交通、新能源汽车、电力推进、航空电源、通信等电子系统的关键瓶颈部件。国务院于 2014 年 6 月 24 日所发布的《国家集成电路产业发展推进纲要》更进一步凸显了功率半导体产业的重要性，未来10年将拉动5万亿元资金投入到半导体芯片产业领域，2021年十四五规划更是将SiC功率器件明确为大力发展的方向。高压大功率功率碳化硅器件技术是功半导体领域的核心技术，是欧美、日韩等发达国家的长期重点研究方向，美国将碳化硅功率半导体技术视为未来电能控制和转换的颠覆性技术，我国碳化硅功率半导体技术的发展必须立足于自主创新。

本项目所提出的新型凹槽场限环终端及微区斜角修正保护技术，新型绝缘栅工艺及欧姆接触工艺，新型UMOSFET槽栅保护结构，器件击穿电压嬗变机理及高可靠金属化工艺等技术能直接用于高性能高压大功率结势垒肖特基二极管芯片及模块、以及高压功率MOSFET芯片及模块等领域。

陕西省半导体先导技术中心有限公司将本项目提出的新型凹槽场限环终端保护及微区斜角修正保护等技术应用于碳化硅外延和功率器件开发，实现650V-3300V/2A-50A SiC肖特基二极管、1200V/16-280mΩ SiC MOSFET器件产品，并实现了商业化量产，已经与西电电力系统公司、中车永电、西安华尧无线充电、陕西航空电气有限责任公司等公司形成批量销售，应用于储能、充电桩、轨道交通、无线充电、国防军工等领域，取得良好的社会效益。

扬州扬杰电子有限公司（中国半导体行业协会功率器件十强企业第一名）将本项目所提出的高压大功率碳化硅终端保护技术等技术应用于公司研发并量产的650V-1200V SiC肖特基二极管芯片/模块、1200V/300A SiC 混合模块，实现了高电压/低功耗的特性。应用于高性能SiC芯片及模块等产品系列，产品销售华润微电子、上海鼎充、江苏云意等公司，应用与充电桩、新能源汽车功率控制转换装置，较现行硅器件在高温下的使用寿命、稳定性、可靠性有明显提高，大大提升了该公司在新能源等领域市场竞争力，打破了欧美半导体公司的垄断。

绍兴中芯集成电路制造股份有限公司将本项目中的高温氧化工艺、高温金属化工艺等成果成功应用到我公司相关产品代工工艺中，大幅度提升了公司SiC产线工艺能力，并成功推出SiC Diode、MOSFET标准工艺制程，对公司产品研发、制造能力的提升起到了至关重要的作用。

陕西电子信息集团877厂将本项目提出的新型凹槽场限环终端保护及微区斜角修正保护等技术应用于公司研发并量产的高性能8000V高压硅堆器件等产品，成功实现了具有超高压、体积小、耐高温、高可靠性的新一代产品，应用到天津航空机电有限公司某航空发动机点火系统，打破了国外禁运，实现了关键部件的自助可控。SiC高温功率模块应用于中国工程物理研究院电子工程研究所、陕西航空电气有限责任公司、上海无线电设备研究所、山东航天电子技术研究所等公司。

**主要经济效益指标的有关说明：**

**完成单位西安电子科技大学在本项目中形成的发明专利实现1099.4万元的专利转化收入**。其中17项本项目相关专利以909.4万元将专利权变更为陕西半导体先导技术中心有限公司。两项相关专利以10万元独占许可的方式授权给扬杰使用。17项专利以180万元将专利权变更为绍兴中芯集成电路制造股份有限公司。（附件2-1）

陕西省半导体先导技术中心有限公司将本项目提出新型凹槽场限环终端保护及微区斜角修正保护等技术应用于碳化硅功率器件及应用开发，在2020-2022年度新增营业收入3213.6万元，数据来源于财务列表及合同。（附件2-2）其他应用单位扬州扬杰电子科技股份有限公司应用本项目相关技术，2020-2022年形成6900万元新增销售。绍兴中芯集成电路制造股份有限公司应用本项目相关技术，2020-2022年形成21000万元新增销售。苏州锴威特半导体股份有限公司应用本项目相关技术，2020-2022年形成7940万元新增销售。西安卫光科技有限公司（国营八七七厂）应用本项目相关技术，2020-2022年形成6560万元新增销售。数据来源于应用证明。（附件1-4，2-3，2-4，2-5）

本项目研究的高压低功耗碳化硅功率器件关键技术，有效促进了自主知识产权的高端功率半导体核心器件的研制、开发和应用，大大提升了应用单位产品的市场竞争力，完成单位新增项目收入4313万元，其他应用单位新增销售额42400万元，取得了显著的经济效益和社会效益。

**六、主要知识产权目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家  （地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 一种具有块状浮结的碳化硅 SBD器件及其制造方法 | 中国 | ZL201310171556.2 | 2016-03-09 | 1982160 | 西安电子科技大学 | 宋庆文;霍田佳;汤晓燕;张玉明;张义门 |
| 2 | 发明专利 | 带有双区浮动结的碳化硅UMOSFET器件及制做方法 | 中国 | ZL201510190692.5 | 2018-07-03 | 2984506 | 西安电子科技大学 | 汤晓燕，田瑞彦，宋庆文，张艺蒙，张玉明 |
| 3 | 发明专利 | 一种沟槽型SiC JBS二极管器件及其制备方法 | 中国 | ZL202010734362.9 | 2021-09-24 | 4700373 | 西安电子科技大学 | 袁昊，刘延聪，何艳静，胡彦飞，宋庆文，汤晓燕，张玉明 |
| 4 | 发明专利 | 基于超级结的碳化硅MOSFET器件及制备方法 | 中国 | ZL201110169285.8 | 2013-02-27 | 1141232 | 西安电子科技大学 | 汤晓燕，元磊，张玉明，张义门，王文，杨飞 |
| 5 | 发明专利 | 一种能够减小反向漏电流的结型势垒肖特基二极管 | 中国 | ZL201910459143.1 | 2020-10-9 | 4019454 | 西安电子科技大学 | 宋庆文、张玉明、汤晓燕、袁昊、张艺蒙、范鑫、何晓宁 |
| 6 | 论文 | Trench Multiple Floating Limiting Rings Termination  for 4H-SiC High- Voltage Devices | 中国 | 10.1109/LED.2016.2581183 | 2016-09-20 | IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS | Xidian University | H Yuan, QW Song, XY Tang, L Yuan, S Yang, GN Tang, YM Zhang, YM Zhang |
| 7 | 论文 | An Improved ICP Etching for Mesa-Terminated 4H-SiC p-i-n Diodes | 中国 | 10.1109/TED.2015.2403615 | 2015-04-22 | IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES | Xidian University | C Han, YM Zhang, QW Song, YM Zhang, XY Tang, F Yang, YX Niu |
| 8 | 论文 | 4H-SiC Trench MOSFET With L-Shaped Gate | 中国 | 10.1109/LED.2016.2533432 | 2016-04-01 | IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS | Xidian University | QW Song, S Yang, GN Tang, C Han, YM Zhang, XY Tang, YM Zhang,YM Zhang |
| 9 | 论文 | Investigation of SiC trench MOSFET with floating islands | 中国 | 10.1049/ietpel.2015.0600 | 2016-11-16 | IET POWER ELECTRONICS | Xidian University | QW Song, XY Tang, YM Zhang, YM Zhang, YM Zhang |
| 10 | 论文 | Influence of oxidation temperature on the interfacial properties of n-type 4H-SiC MOS capacitors | 中国 | 10.1016/j.apsusc.2016.11.142 | 2017-03-012 | APPLIED SURFACE SCIENCE | Xidian University | YF Jia, HL Lv, QW Song, XY Tang, L Xiao, LY Wang, GM Tang, YM Zhang, YM Zhang |

**七、主要完成人情况**

**八、主要完成人情况表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓 名 | 张玉明 | | 性别 | 男 | 排 名 | 1 | | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1965.05 | | | | 出 生 地 | 陕西白水 | | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 110108196505078911 | | | | 归国人员 | 是 | | 归国时间 | 2000.3.1 |
| 技术职称 | 教授 | | | | 最高学历 | 研究生 | | 最高学位 | 博士 |
| 毕业学校 | 西安交通大学 | | | | 毕业时间 | 1998.06 | | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | zhangym@xidian.edu.cn | | | | 办公电话 | 02988202095 | | 移动电话 | 13152110939 |
| 通讯地址 | 西安市太白南路2号西安电子科技大学397#信箱 | | | | | | | 邮政编码 | 710071 |
| 工作单位 | 西安电子科技大学 | | | | | | | 行政职务 | 微电子学院院长 |
| 二级单位 | 微电子学院 | | | | | | | 党 派 | 中国国民党革命委员会 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | | | | | | | 所 在 地 | 西安 |
| 单位性质 | 高等院校 |
| 参加本项目的起止日期 | | 2015.01.01 至 2022.12.31 | | | | | | | |
| 对本项目技术创造性贡献:  在本项目进行总体指导，设计了项目的研究内容和研究目标，提出了SiC功率器件优化设计方法和工艺提升方法，有效解决了SiC材料固有属性带来的工艺困难。旁证材料见附件1-1，1-2，1-3，3-1，3-2，3-3，3-4，3-5，3-6，3-7，3-21。对发明点1、2、3均有贡献。 | | | | | | | | | |
| 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。  **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 | 宋庆文 | | 性别 | 男 | 排 名 | 2 | | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1983.09 | | | | 出 生 地 | 山东临沂 | | 民 族 | 汉族 |
| 身份证号 | 371329198309175117 | | | | 归国人员 | 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 | 2012.06 | | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | qwsong@xidian.edu.cn | | | | 办公电话 | 02988201420 | | 移动电话 | 18502929935 |
| 通讯地址 | 西安市太白南路2号西安电子科技大学397#信箱 | | | | | | | 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 | 西安 |
| 单位性质 | 高等院校 |
| 参加本项目的起止日期 | | 2015.01.01 至 2022.12.31 | | | | | | | |
| 对本项目技术创造性贡献:  在本项目中提出凹槽辅助场限制环场调制技术、L型UMOSFET器件结构、新型“高频刻蚀”工艺和多层掩模多步刻蚀技术等多种终端技术，优化器件高压大功率器件的结构，建立了器件终端电场区域陷阱电荷俘获和发射机制模型，有效解决了高耐压器件的终端区场调制困难的问题。旁证材料见附件1-1，1-2，1-3，3-2，3-3，3-4，3-5，3-6，3-7，3-23，3.24。对发明点1、2、3均有贡献。 | | | | | | | | | |
| 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。  **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 | 何晓宁 | | 性别 | 男 | 排 名 | 3 | | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1973.08 | | | | 出 生 地 | 陕西西安 | | 民 族 | 汉族 |
| 身份证号 | 61010319730807201X | | | | 归国人员 | 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 | 西安交通大学 | | | | 毕业时间 | 2017.07 | | 所学专业 | 机械工程 |
| 电子邮箱 | [hexn@sastc.com.cn](mailto:hexn@sastc.com.cn) | | | | 办公电话 | 02985269966 | | 移动电话 | 13809198716 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市高新区锦业路125号西安半导体产业园A座2层 | | | | | | | 邮政编码 | 710077 |
| 工作单位 | 陕西半导体先导技术中心有限公司 | | | | | | | 行政职务 | 总经理 |
| 二级单位 | 无 | | | | | | | 党 派 | 中国共产党 |
| 完成单位 | 陕西半导体先导技术中心有限公司 | | | | | | | 所 在 地 | 西安 |
| 单位性质 | 其他类型企业 |
| 参加本项目的起止日期 | | 2017.01.01 至 2022.12.31 | | | | | | | |
| 对本项目技术创造性贡献:  在本项目中提出新型“高频刻蚀”工艺、多层掩模多步刻蚀技术及终端斜角微区修正技术等多种终端技术，优化器件高压大功率器件的结构，有效解决了高耐压器件的终端区场调制困难、漏电流大的问题。旁证材料见附件3-2，3-24。对发明点1有贡献。 | | | | | | | | | |
| 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。  **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 | 袁昊 | | 性别 | 男 | 排 名 | 4 | | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1989.02 | | | | 出 生 地 | 陕西西安 | | 民 族 | 汉族 |
| 身份证号 | 610103198902072412 | | | | 归国人员 | 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 | 2017.06 | | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | haoyuan@xidian.edu.cn | | | | 办公电话 | 02988201420 | | 移动电话 | 13772142922 |
| 通讯地址 | 西安市太白南路2号西安电子科技大学397#信箱 | | | | | | | 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 | 西安 |
| 单位性质 | 高等院校 |
| 参加本项目的起止日期 | | 2015.01.01 至 2022.12.31 | | | | | | | |
| 对本项目技术创造性贡献:  在本项目中提出凹槽辅助场限制环场调制技术、新型浮动结器件结构设计技术及超高温、长寿命合金化技术，优化器件高压大功率器件的结构，有效解决了高耐压器件的终端区场调制困难、新型浮动结设计等难题。旁证材料见附件1-3，3-2，3-3。对发明点1、2、3均有贡献。 | | | | | | | | | |
| 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。  **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 | 韩超 | | 性别 | 男 | 排 名 | 5 | | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1983.11 | | | | 出 生 地 | 山西文水 | | 民 族 | 汉族 |
| 身份证号 | 142733198311270310 | | | | 归国人员 | 否 | | 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 | 西安电子科技大学 | | | | 毕业时间 | 2015.12 | | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | chaohan@xidian.edu.cn | | | | 办公电话 | 02988201420 | | 移动电话 | 13572513690 |
| 通讯地址 | 西安市太白南路2号西安电子科技大学397#信箱 | | | | | | | 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 | 群众 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | | | | | | | 所 在 地 | 西安 |
| 单位性质 | 高等院校 |
| 参加本项目的起止日期 | | 2015.01.01 至 2022.12.31 | | | | | | | |
| 对本项目技术创造性贡献:  在本项目中提出新型“高频刻蚀”工艺、多层掩模多步刻蚀技术及终端斜角微区修正技术等多种终端技术，优化器件高压大功率器件的结构，有效解决了高耐压器件的终端区场调制困难的问题。旁证材料见附件3-4，3-5。对发明点1，2，3均有贡献。 | | | | | | | | | |
| 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。  **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 | 汤晓燕 | | 性别 | 女 | 排 名 | 6 | | 国 籍 | 中国 |
| 出生年月 | 1975.10 | | | | 出 生 地 | 陕西西安 | | 民 族 | 汉 |
| 身份证号 | 610113197510251022 | | | | 归国人员 | 是 | | 归国时间 | 2014.3 |
| 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 | 2018.03 | | 所学专业 | 微电子学与固体电子学 |
| 电子邮箱 | xytang@xidian.edu.cn | | | | 办公电话 | 02988201420 | | 移动电话 | 15291692556 |
| 通讯地址 | 西安市太白南路2号西安电子科技大学397#信箱 | | | | | | | 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 | 群众 |
| 完成单位 | 西安电子科技大学 | | | | | | | 所 在 地 | 西安 |
| 单位性质 | 高等院校 |
| 参加本项目的起止日期 | | 2015.01.01 至 2022.12.31 | | | | | | | |
| 对本项目技术创造性贡献:  在本项目中提出凹槽辅助场限制环场调制技术、L型UMOSFET器件结构、新型“高频刻蚀”工艺和多层掩模多步刻蚀技术等多种终端技术及低温欧姆接触技术，优化器件高压大功率器件的结构，有效解决了高耐压器件的终端区场调制困难的问题。旁证材料见附件1-1，1-2，1-3，3-1，3-2，3-3，3-4，3-5，3-6，3-7，3-22。对发明点1、2、3均有贡献。 | | | | | | | | | |
| 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。  **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 | | |

**八、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 |
| 单位性质 | 高等院校 | 传 真 | 029-81891405 | 邮政编码 | 710126 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市太白南路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.cn | | | | |
| 对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：  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。本项目第一完成单位提出了凹槽场限环终端及微区斜角修正结构，新型绝缘栅工艺及欧姆接触工艺，新型UMOSFET槽栅保护结构，器件击穿电压嬗变机理及高可靠金属化工艺等关键技术，这些技术能直接用于高性能高压大功率结势垒肖特基二极管芯片及模块、以及高压功率MOSFET芯片及模块的设计、制造及应用领域。在应用推广过程中实现了1099.4余万元的直接专利转化，陕西省半导体先导技术中心有限公司实现3213.6万营业收入。另扬州扬杰电子科技股份有限公司、绍兴中芯集成电路制造股份有限公司、苏州锴威特半导体股份有限公司、西安卫光科技有限公司（国营第八七七厂）、捷捷半导体有限公司等间接应用单位开展推广应用，2020-2022年创造直接经济效益42400万元，并取得良好的社会效益。 | | | | | |
| **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。  法定代表人签名： 单位（盖章）  年 月 日 年 月 日 | | | | | |
| 单位名称 | 陕西半导体先导技术中心有限公司 | | | | |
| 排 名 | 2 | 法定代表人 | 何晓宁 | 所在地 | 陕西 |
| 单位性质 | 其他类型企业 | 传 真 | 029-85263199 | 邮政编码 | 710077 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市高新区锦业路125号西安半导体产业园A座2层 | | | | |
| 联 系 人 | 马尚 | 单位电话 | 029-85269966 | 移动电话 | 13649200167 |
| 电子邮箱 | mashang@sastc.com.cn | | | | |
| 对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：  陕西半导体先导技术中心有限公司与西安电子科技大学自2018年开始共同承担多项政府课题，包括科技部国家重点研发计划项目，中央引导地方科技发展专业技术创新平台项目，西安市科技局重大科技成果转化及产业化项目。同时基于本项目的碳化硅技术，联合申报成功了国家工程研究中心、陕西省制造业创新中心、陕西省产业创新中心、陕西省共性技术研发平台等国家级和省级重大技术平台等。双方通过这些项目与平台联合开展碳化硅功率器件的研究，将本项目提出的新型凹槽场限环终端等技术应用于SiC功率器件开发，实现SiC JBS和MOSFET器件产品，并实现了商业化量产，已应用于储能、充电桩、轨道交通、无线充电、国防军工等领域，大大提升了该公司产品的市场竞争力。2020-2022年应用本项目成果实现3213.6万营业收入。 | | | | | |
| **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。  法定代表人签名： 单位（盖章）  年 月 日 年 月 日 | | | | | |

**九、完成人合作关系说明**

该项目完成人隶属于两个单位，其中张玉明、宋庆文、袁昊、韩超、汤晓燕、隶属于西安电子科技大学；何晓宁隶属于陕西省半导体先导技术中心有限公司。

西安电子科技大学是我国碳化硅功率器件研究的最早单位之一，拥有国家唯一的宽禁带半导体国家工程研究中心，该中心主要瞄准宽禁带行业产业共性关键技术研发、科技成果转化及产业化。陕西省半导体先导技术中心有限公司汇聚了围绕宽禁带半导体器件创新研发与产业化应用的国内顶尖资源力量，主要致力于加快半导体前沿关键技术研发创新，服务我国宽禁带半导体的技术创新和成果转化。双方自先导中心成立起即开展碳化硅高压功率器件技术的合作，双方共同承担多项政府课题，以此契机，双方建立深度合作关系，利用各自技术优势、强强联合、优势互补、相互促进。西安电子科技大学在碳化硅功率器件基础研究和技术开发上具有优势，陕西省半导体先导技术中心有限公司在工程化应用和产业化方面具有优势。双方合作后，就研发和产业化方面定期开展技术交流，共同推进了碳化硅高压高功率器件及关键技术的推广和产业化。

**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 | 合作起始时间 | 合作完成时间 | 合作成果 | 证明材料 |
| 1 | 共同知识产权 | 宋庆文、汤晓燕、张玉明 | 2013.04 | 2016.03 | 一种具有块状浮结的碳化硅 SBD器件及其制作方法 | 附件1-1 |
| 2 | 共同知识产权 | 汤晓燕、宋庆文、张玉明 | 2015.04 | 2018.07 | 带有双区浮动结的碳化硅UMOSFET器件及制做方法 | 附件1-2 |
| 3 | 共同知识产权 | 袁昊、宋庆文、汤晓燕、张玉明 | 2020.07 | 2021.09 | 一种沟槽型SiC JBS二极管器件及其制备方法 | 附件1-3 |
| 4 | 共同知识产权 | 汤晓燕、张玉明 | 2011.06 | 2013.02 | 基于超级结的碳化硅MOSFET器件及制备方法 | 附件3-1 |
| 5 | 共同知识产权 | 宋庆文、张玉明、汤晓燕、袁昊、何晓宁 | 2019.05 | 2020.10 | 一种能够减小反向漏电流的结型势垒肖特基二极管 | 附件3-2 |
| 6 | 论文合著 | 袁昊，宋庆文，汤晓燕，张玉明 | 2015.01 | 2021.09 | Trench Multiple Floating Limiting Rings Termination for 4H-SiC High-Voltage Devices | 附件3-3 |
| 7 | 论文合著 | 韩超，张玉明，宋庆文，汤晓燕 | 2014.01 | 2020.04 | An Improved ICP Etching for Mesa-Terminated 4H-SiC p-i-n Diodes | 附件3-4 |
| 8 | 论文合著 | 宋庆文，韩超，汤晓燕，张玉明 | 2014.05 | 2019.06 | 4H-SiC Trench MOSFET With L-Shaped Gate | 附件3-5 |
| 9 | 论文合著 | 宋庆文，汤晓燕，张玉明 | 2013.01 | 2021.11 | Investigation of SiC trench MOSFET with floating islands | 附件3-6 |
| 10 | 论文合著 | 宋庆文，汤晓燕，张玉明 | 2015.03 | 2018.10 | Influence of oxidation temperature on the interfacial properties of n-type 4H-SiC MOS capacitors | 附件3-7 |
| 11 | 共同立项 | 何晓宁、宋庆文、袁昊 | 2018.7 | 2021.6 | 第三代半导体碳化硅基高压大功率器件的关键技术研究 | 附件3-24 |