

# 2020 年度自治区科技奖励提名项目公示信息 (技术发明奖)

## 一、项目名称

航天辐射环境锗硅关键技术

## 二、提名单位

中国科学院新疆分院

## 三、提名单位(专家)意见

本项目围绕航天辐射环境锗硅关键技术及应用的迫切需求,突破了器件结构与制备工艺技术、高性能 SiGe HBT 集成电路工艺技术、SiGe HBT 单粒子效应敏感区域定位与分析技术和低剂量率损伤增强效应(ELDRS)评估等关键技术,形成了立足我国基础、具有中国特色的 SiGe HBT 研制和辐照性能评估能力。主要发明点如下:(1)发明了一种系列化的新型自对准双极晶体管器件结构及其制备工艺技术:能够有效减小基极电阻和集电极-基极电容等寄生参数;(2)开发了一套自主知识产权高性能国产 SiGe HBT 集成电路工艺技术,实现了超过 20GHz 的峰值截止频率  $f_T$  和超过 65GHz 的峰值最高振荡频率  $f_{max}$  的优异性能指标组合;(3)提出了一种基于数值仿真与微束辐照的 SiGeHBT 单粒子效应敏感区定位与分析方法,为有针对性加固设计提供了重要的技术支撑;(4)提出了一种结合多偏置辐照测试与缺陷电荷数值仿真的低剂量率损伤增强评估方法。揭示了损伤机制,实现了 SiGe HBT 空间低剂量率损伤增强效应的有效评估。

该项目技术难度大,申请国家发明专利 32 项,已授权 27 项,其中授权美国专利两项,已发表 SCI 论文 34 篇。有

重大创新，成果拥有自主知识产权，核心技术自主可控，总体技术水平达到国内领先、国际先进水平，形成了立足我国基础、具有中国特色的 SiGe 器件研制和辐照性能评估能力，相关技术已成功应用于航天、相控阵列雷达等领域中，产生了可观的经济效益和积极的社会影响，对打破核心器件国外禁运，解决国家战略急需具有重大意义。

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，相关栏目均符合新疆科学技术奖励工作办公室的填写要求。

提名该项目为自治区科学技术发明一等奖。

#### 四、项目简介

基于硅基能带工程材料和器件结构优势，锗硅异质结双极晶体管（SiGe HBT）具有得天独厚的卓越的低温特性（唯一能在 300mK 下正常工作的器件）和优异的抗电离总剂量效应能力，在深空探测、“嫦娥”探月工程、和“天宫”实验室中具有重大需求。

本项目在国家科技重大专项、国家自然科学基金等项目的大力支持下。围绕航天辐射环境锗硅关键技术及应用的迫切需求，突破了核心器件结构与制备工艺技术、高性能 SiGe HBT 集成电路工艺技术、SiGe HBT 单粒子效应敏感区域定位与分析技术和低剂量率损伤增强效应（ELDRS）评估等关键技术，形成了立足我国基础、具有中国特色的 SiGe HBT 研制和辐照性能评估能力。主要技术发明点如下：

1. 发明了一种新型自对准双极晶体管器件结构及其制备工艺技术，有效减小了基极电阻和集电极-基极电容等寄生参数；

2. 成功研发了自主知识产权高性能国产 SiGe HBT 集成电路工艺技术，实现了大于 7V 的基极开路下集电极-发射极反向击穿电压  $BV_{CE0}$ 、超过 20GHz 的峰值截止频率  $f_T$  和超过 65GHz 的峰值最高振荡频率  $f_{max}$  的优异性能指标组合；
3. 提出了一种基于数值仿真与微束辐照的 SiGe HBT 单粒子效应敏感区定位与分析方法，解决了复杂空间环境中单粒子效应影响因素评估的难题；
4. 提出了一种结合多偏置辐照测试与缺陷电荷数值仿真的低剂量率损伤增强评估方法，揭示了损伤机制，实现了 SiGe HBT 空间低剂量率损伤增强效应的有效评估。

本项目申请国家发明专利 32 项，已授权 27 项，其中授权美国专利两项，已发表 SCI 论文 34 篇。研发了具有自主知识产权的国产高击穿电压、高截止频率的 SiGe HBT 集成电路工艺，填补了国内空白，建立的辐射效应损伤模型与试验评估方法，为航天电子器件的抗辐射性能选型与评估提供了重要支撑。

研究成果已经在航天科技集团五院、中国电子科技集团 38 所、13 所等单位获得应用，对打破核心器件国外禁运，解决国家战略急需具有重大意义。在保障卫星通信、制导、雷达、高精度成像及电子对抗等国家安全应用领域必将发挥更加重大作用。

## 五、推广应用情况

本项目“航天辐射环境锗硅关键技术”，在国家科技重大专项、国家自然科学基金等项目的大力支持下，突破了双极晶体管核心器件结构与制备工艺技术、开发了高性能 SiGe HBT 集成电路工艺技术、研究提出了 SiGe HBT 单粒子效应敏

感区域定位与分析技术和低剂量率损伤增强效应（ELDRS）评估关键技术。研究成果在航天、电子、高等院校等单位对宇航器件选型评估、空间辐射效应研究领域获得了广泛应用，具体体现在：

#### 1) 国产集成电路设计与研制应用：

采用项目提出的利用非共形覆盖介质淀积的自对准技术、基于平坦化填充回刻与局部氧化的自对准技术、以及利用金属硅化反应的双极晶体管自对准技术，对相关宇航电子设备的电路（模块）的核心结构应用，解决了有效减小基极电阻和集电极-基极电容等寄生参数的难题。采用项目提出的SiGe工艺，进行高性能高集成度放大衰减电路的研发，形成了BW640系列高增益的SiGe单片数控可变增益放大器产品，在10M~700MHz频带范围内最大增益44dB，增益调整范围47dB，输出功率大于10dBm。该系列产品具有增益高、调整范围大、集成度高的突出优点，可大幅减小中频信号的处理电路的体积和成本，同时产品通过鉴定检验和各项筛选试验，已获得了广泛应用。同时，采用该工艺设计的频率源用芯片，包括VCO和分频器等电路也逐步开始应用，具有良好的前景。

#### 2) 宇航器件空间抗辐射能力选型与评估：

项目基于锗硅异质结晶体管(SiGe HBT)提出的粒子输运和器件仿真相结合的单粒子效应评估方法，在通信、遥感等领域的宇航纳米器件的单粒子效应损伤模型研究方面得到了很好的应用，为解决空间极端辐射环境下，航天器件单粒子效应关键影响因素的评估与验证奠定基础。项目建立的重离子辐照下皮秒级微小电流信号测试试验方法，已用于开展晶体管器件抗单粒子辐射能量评估。项目提出的多偏置辐照

与不同电学模式测试的总剂量效应评估方法，已用于确定晶体管器件的抗总剂量能力评估，为航天用晶体管的可靠应用提供关键技术支撑。项目建立的 SiGe HBT 单粒子效应敏感区域定位与分析方法，以及低剂量率损伤增强效应评估方法，已应用于空间极端环境下毫米波数字阵列装置研制，为解决电子系统在空间长期飞行任务中抗辐照可靠性有效评估提供关键技术支撑。

## 六、主要知识产权证明目录

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	发明专利有效状态
发明专利	一种基于仿真的单粒子效应截面获取方法	中国	ZL20120488381.3	2015/3/11	1600784	西北核技术研究所	郭红霞，张科营，罗尹虹	有效
发明专利	一种针对高频电路的单粒子瞬态效应注入仿真方法	中国	ZL20130136376.0	2014/5/28	11407793	西北核技术研究所	郭红霞，罗尹虹，赵雯	有效
发明专利	基于仿真的锗硅异质结双极晶体管抗单粒子效应加固方法	中国	CN201410406739.2			中国科学院新疆理化技术研究所	郭红霞，郭旗，李培	申请中
发明专利	基于仿真的锗硅异质结双极晶体管单粒子效应检测方法	中国	CN201310724817.9			中国科学院新疆理化技术研究所	郭红霞，郭旗，张晋新	申请中
发明专利	带电粒子束能量的光学测量方法	中国	ZL201110034579.X	2016/5/8	1193776	西北核技术研究所	欧阳晓平，刘金良，张忠兵，	有效

发明专利	用于图像诊断的射线绝对测量装置及方法	中国	ZL2011 1006147 3.9	2013 /1/2	111145 3	西北核 技术研 究所	欧 阳 晓 平， 赵吉 祯	有效
发明专利	基于重离子微束辐照的锗硅异质结晶体管单粒子效应测试方法	中国	ZL2017 1124862 3.0	2017 /12/ 1	33077 45	西安电 子科技 大学	张晋新， 郭红霞， 张凤祁	有效
发明专利	锗硅异质结双极晶体管结构	中国	ZL2011 1045379 7.7	2014 /3/2 6	13681 27	清华大 学	张伟、付 军、王玉 东	有效
发明专利	低电阻多晶连接基区全自对准双极晶体管及其制备方法	中国	ZL2012 1055855 3.X	2015 /6/1 7	16555 20	清华大 学	付军、王 玉东、崔 杰	有效
发明专利	局部氧化抬升外基区全自对准双极晶体管及其制备方法	中国	ZL2012 1055904 0.0	2015 /2/4	15785 77	清华大 学	付军、王 玉东、崔 杰	有效
发明专利	金属硅化物抬升外基区全自对准双极晶体管及其制备方法	中国	ZL 2012105 59190.1	2015 /7/2 9	17363 83	清华大 学	付军、王 玉东、崔 杰	有效

## 七、主要完成人情况

公示姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
郭红霞	1	无	研究员	中国科学院新疆理化技术研究所	中国科学院新疆理化技术研究所	在项目中为项目总体设计，主要完成人，对主要发明点中的 1、3、4 个发明点做出创造性贡献，对锗硅异质结器件进行全面调研后，制定了该项目研究内容，设计了技术方案，组织协调项目实施，授权发明专利 6 项，参与发表论文 10 篇。
欧阳晓平	2	无	研究员	西北核技术研究院	西北核技术研究院	为项目主要完成人，对项目的主要发明点 1、3、4 做出创造性贡献，完成了锗硅异质结器件单粒子瞬态测试的装置研发、测试技术研发的工作，实现面向锗硅单立器件的皮秒级单粒子瞬态的测量评估，授权发明专利 6 项。
付军	3	无	研究员	清华大学	清华大学	为项目主要完成人，对项目的主要发明点 1、2、4 做出创造性贡献，负责完成了一系列新型自对准锗硅双极晶体管器件结构及其制备工艺技术、以及一套高性能国产锗硅 HBT 集成电路工艺技术的设计研发，授权发明专利 14 项，参与发表论文 16 篇。
陆妩	4	无	研究员	中国科学院新疆理化技术研究所	中国科学院新疆理化技术研究所	为项目主要完成人，对项目的主要发明点 2、3、4 做出创造性贡献，完成了锗硅器件低剂量率损伤增强评估方法的设计与建立，参与锗硅器件单粒子效应的评估方法的设计，参与发表论文 12 篇。
张晋新	5	无	讲师	西安电子科技大学	西安电子科技大学	为项目主要完成人，对项目的主要发明点 2、3、4 做出创造性贡献，完成了锗硅器件的皮秒级单粒子瞬态的测试技术的系统设计与系统搭建，单粒子效应评估的方法研究，参与低剂量率损伤增强效应评估方法研究，授权发明专利 1 项，参与发表论文 10 篇。
王玉东	6		助理研究员	清华大学	清华大学	为项目主要完成人，对项目的主要发明点 1、2、4 做出创造性贡献，参与完成了一系列新型自对准锗硅双极晶体管器件结构及其制备工艺技术、以及一套高性能国产锗硅 HBT 集成电路工艺技术的设计研发，授权发明专利 14 项，参与发

						表论文 16 篇。
--	--	--	--	--	--	-----------

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

单位名称	中国科学院新疆理化技术研究所				
排 名	1	法定代表人	蒋同海	所 在 地	新疆乌鲁木齐
单位性质	事业	传 真	0991-3838957	邮政编码	830011
通讯地址	新疆乌鲁木齐市北京南路 40-1 号				
联 系 人	盖敏强	单位电话	0991-3832304	移动电话	18709919732
电子邮箱	gaimq@ms.xjb.ac.cn				
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					
<p>为项目的主持单位，是项目资金支持国家自然科学基金面上项目“SiGe HBT 单粒子效应电荷收集机制及其关键影响因素研究”、“新型 SiGe 异质结双极器件低剂量率辐照损伤机理研究”与中科院“人才计划”的承担单位，主要完成项目组织协调、锗硅异质结晶体管（SiGe HBT）单粒子效应敏感区定位与分析方法研究与建立、SiGe HBT 多偏置辐照测试与缺陷电荷数值仿真的低剂量率损伤增强评估方法建立等相关工作。发表 SCI 研究论文 22 篇。</p>					

单位名称	西北核技术研究所				
排 名	2	法定代表人	黑东炜	所 在 地	陕西西安
单位性质	事业	传 真	029-83366333	邮政编码	710024
通讯地址	陕西西安市平峪路 28 号				
联 系 人	刘林月	单位电话	029-84767595	移动电话	13619269436
电子邮箱					
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					
<p>为项目的主要完成单位，对项目主要研究内容与发明点 3、4 做出创造性贡献，主要完成 SiGe HBT 微米级脉冲激光微束与重离子微束组合测试的方法的建立、SiGe HBT 单粒子效应数值仿真模型建立、单粒子效应关键影响因素研究、SiGe HBT 空间低剂量率地面模拟试验方法测试系统建立等相关工作。授权专利 11 项。</p>					



单位名称	清华大学				
排 名	3	法定代表人	邱勇	所 在 地	北京
单位性质	高等院校	传 真	010-62793001	邮政编码	100084
通讯地址	北京市海淀区清华大学				
联 系 人	付军	单位电话	010-62789317	移动电话	13693255536
电子邮箱	fujun@tsinghua.edu.cn				
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					
<p>为项目的主要完成单位，对项目主要研究内容与发明点 1、2 做出创造性贡献，主要完成新型自对准双极晶体管器件结构及其制备工艺技术研发、自主知识产权高性能国产 SiGe HBT 集成电路工艺技术开发的相关研究工作，完成了 3 种 SiGe HBT 晶体管产品、1 种集成电路增益模块的开发工作。授权发明专利 14 项，发表论文 16 篇。</p>					

单位名称	西安电子科技大学				
排 名	4	法定代表人	杨宗凯	所 在 地	陕西西安
单位性质	高等院校	传 真	029-81891035	邮政编码	710126
通讯地址	陕西西安太白南路 2 号				
联 系 人	张晋新	单位电话	029-81890134	移动电话	18392176962
电子邮箱	zhangjinxin30@sina.com				
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：					
<p>为项目的主要完成单位，对项目主要研究内容与发明点 3 做出创造性贡献，主要完成 SiGe HBT 微束辐照单粒子效应定位与分析方法研究与建立、微米级脉冲激光微束与重离子微束组合测试的方法与皮秒级单粒子瞬态的测量技术建立、SiGe HBT 微束辐照与数值模拟结合的敏感区域定位与分析方法建立等相关工作。授权发明专利 1 项，发表论文 5 篇。</p>					

## 九、完成人合作关系说明

郭红霞研究员是本项目负责人，是国家自然科学基金面上项目“SiGe HBT 单粒子效应电荷收集机制及其关键影响因素研究”、“新型 SiGe 异质结双极器件低剂量率辐照损伤机理研究”与中科院“人才计划”项目的负责人；欧阳晓平院士是项目的主要完成人，对项目整体方案设计、各项技术发明点之间的组织协调进行指导安排；付军副研究员是项

目的主要完成人，是国家科技重大专项“极大规模集成电路制造装备及成套工艺”专项项目课题：“0.18微米/0.13微米锗硅 BiCMOS 成套工艺技术——器件模型、参数提取及先导产品设计”负责人；陆妩研究员、张晋新、王玉东是项目的主要骨干。

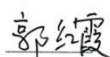
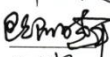

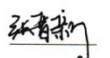
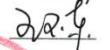
第一完成单位中国科学院新疆理化技术研究所与第二完成单位西北核技术研究所在微电子器件空间辐射效应研究与抗辐射加固评估相关工作中长期合作，第一完成单位中国科学院新疆理化技术研究所与第三完成单位清华大学合作开展了航天辐射环境锗硅关键技术的相关研究工作，形成了从器件研发到辐射损伤评估的系统工作，第一完成单位中国科学院新疆理化技术研究所与第四完成单位在微电子器件空间应用可靠性工作方面开展了相关合作，四家单位联合申报证明见附图。

对于本项目中所使用的专利和论文中的人员均已进行了知情告知。

## 联合申报证明

“航天辐射环境锗硅关键技术”项目为中国科学院新疆理化技术研究所、西北核技术研究所、清华大学、西安电子科技大学共同完成。经协商，同意以中国科学院新疆理化技术研究所作为第一主要完成单位、西北核技术研究所作为第二主要完成单位、清华大学作为第三主要完成单位，西安电子科技大学作为第四主要完成单位，联合申报新疆维吾尔自治区技术发明奖一等奖奖励。项目组成员对主要完成人员名单及排名无异议，各自论文、论著、专利等涉及知识产权的内容同意被该项目使用，并不在其它项目中再次使用。项目此前未在中国科学院新疆理化技术研究所、西北核技术研究所、清华大学、西安电子科技大学当地申报技术发明奖励。

主要完成人员名单及排名如下：

姓名	单位	签名
1. 郭红霞	中国科学院新疆理化技术研究所	
2. 欧阳晓平	西北核技术研究所	
3. 付军	清华大学	
4. 陆妩	中国科学院新疆理化技术研究所	_____
5. 张晋新	西安电子科技大学	
6. 王玉东	清华大学	

中国科学院新疆理化技术研究所(盖章) 西北核技术研究所(盖章)

年 月 日

清华大学(盖章)

2020年7月14日

西安电子科技大学(盖章)

年 月 日