

陕西省科学技术进步奖公示

项目名称： 宇航高可靠双极器件工艺技术平台

提名者： 中共陕西省委军民融合发展委员会办公室

提名意见：

宇航高可靠双极器件工艺技术平台由西安微电子技术研究所独立开发研制，项目组成员有：侯斌、鲁红玲、胡长青、刘如征、李照、杨鹏翮、郭晨悦。项目研制过程中，突破了双极晶体管抗单粒子辐照加固技术、抗总剂量辐照加固技术、高压终端结构设计技术、低开关时间工艺技术和高频等关键技术，建立了高可靠抗辐照双极晶体管工艺技术平台，依托平台完成 100 余款双极晶体管产品的定型，并应用于空间站、神舟载人飞船、货运飞船、低高密卫星以及高轨卫星等，具备丰富的飞行经历。项目的总体水平处于国内领先、国际先进水平

宇航高可靠双极器件工艺技术平台难度大、创新性强，技术上取得了重大突破，具有自主知识产权，产品自主可控，已形成稳定的用户群体，外部用户共计 21 个，除航天五院内用户外还包括：深圳市航天新源有限公司、遨天科技（北京）有限公司、中电科蓝天科技有限公司、中国航空工业集团公司金城南京机电液压工程研究中心、浙江环浦微电子有限公司、河北雄安太芯电子科技有限公司、贵州梅岭电源有限公司、贵州航天电器股份有限公司、中国电子科技集团公司第五十二研究所、中国电子科技集团公司第十研究所等，高可靠抗辐照双极晶体管产品已广泛应用于航天、航空、兵器等各个领域。

本单位认真审阅了该项目的提名书及附件材料，对照陕西省科学技术进步奖授奖条件，相关栏目填写符合科技奖励要求，材料内容真实有效，候选人、候选单位、知识产权和应用单位经公示无异议。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖**三等奖**。

项目简介：

双极晶体管(BJT)具有良好的线性度、低噪声以及优良的电路匹配特性，在模拟电路、混合集成电路等多种电子电路中有着重要的作用。本项目围绕航天和深空探测领域对此类双极器件的需求，本项目突破了双极晶体管抗单粒子辐照加固技术、抗总剂量辐照加固技术、高压终端结构设计技术、低开关时间工艺技术和高频等关键技术，建立了高可靠抗辐照双极晶体管工艺技术平台，依托平台完成 100 余款双极晶体管产品的定型，并应用于空间站、神舟载人飞船、货运飞船、低高密卫星以及高轨卫星等，具备丰富的飞行经历。项目的总体水平处于国内领先、国际先进水平。

1. 主要技术内容

(1) 突破了双极晶体管的抗单粒子辐照技术

创新性的提出了外延层结构设计技术，增加单粒子辐照过程中的电流泄放通道，突破了宽基区和集电区的设计结构，突破了高周长面积比的发射区结构，减小了辐照产生电流密度；采用重离子屏蔽结构，吸收偏转辐照粒子，减小重离子对器件功能区的辐照损伤；采用厚的绝缘介质层，减少辐照粒子到达敏区域。通过单粒子辐照加固，双极晶体管抗单粒子辐照能力大于 $75\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ ，放大倍数的衰减率小于 15%。

(2) 突破了双极晶体管的总剂量辐照加固技术

攻克了双极晶体管的基区氧化层辐照产生电荷控制技术，通过对基区氧化层设计和工艺的优化，有效减小了辐照时基区氧化层中电荷的产生，提高了抗辐照能力；突破了基区辐照诱生电荷控制技术，通过对基区掺杂和结深的阶梯设计，减小了辐照时的基区诱生电荷，减小了辐照时的放大倍数衰减量，提高了双极晶体管的抗 γ 总剂量辐照能力。通过工艺和设计加固，在 γ 总剂量辐射 100krad(Si)后（前 30krad(Si)剂量率 0.01rad(Si)/s，后 70krad(Si)剂量率 0.1rad(Si)/s），芯片的放大倍数衰减率小于 25%，达到国内领先水平。

(3) 突破了双极晶体管的低开关时间技术

创造性的提出了局部少数寿命控制技术，在不影响正向电流传输比的情况下，有效减小集电区少数-空穴寿命，减少关断时间；掌握了外延层结构设计技术，在保证产品耐压的同时，具有低的开关时间，通过对产品的开关时间参数的工艺

控制，研制产品的开通时间小于 30ns，关断时间小于 60ns，达到国内领先水平。

（4）突破了双极晶体管的高压终端结构技术

突破了双极晶体管的高压复合终端结构技术，通过对场限环和场板结构的交叉应用，极大提高了产品的终端效率，击穿效率达到 90%；掌握了沟槽全介质隔离技术，通过沟槽隔离形成了平面击穿，相比同类型常规高压双极晶体管，芯片尺寸缩小 15%，击穿效率提高 9%，电容降低了 13%，产品性能有较大幅度的提高。

2. 知识产权情况

本项目在实施过程中，申请国家发明专利 10 项（授权 1 项，已受理 9 项），编写企业标准 60 余项，发表论文 2 篇。

3. 主要技术指标

（1）关键技术

突破抗辐照双极晶体管基本单元结构和终端结构设计技术，关键单项工艺技术、工艺集成技术和抗辐射加固技术；

（2）研制产品

完成 4 款 JCT 等级军用抗辐照双极晶体管的开发和设计定型；

（3）技术平台

建立满足武器装备和宇航型号抗辐照应用需求的军用抗辐照高可靠双极晶体管的技术平台。

4. 应用推广及效益情况

依托“宇航高可靠双极器件工艺技术平台”完成多款双极晶体管产品的定型，产品性能完全满足用户使用要求，实现了抗辐照双极晶体管在军用高可靠应用领域应用，充分保障了核心关键元器件的自主可控。

宇航高可靠双极晶体管兼具双极晶体管的优势，在长期可靠性和抗辐照之间寻求最优解的前沿技术方向，主要满足新一代武器装备、长寿命卫星、空间站等型号任务等对恶劣环境下长期工作的可靠性和优良的抗辐照性能。高可靠抗辐照双极晶体管在应用中优势明显，已经成为新一代武器装备和宇航型号优先选用的核心关键元器件。

本项目研制产品已进入航天五院优选目录，用户包括 513 所、510 所、504 所、502 所、529 厂、811 所等，产品应用于空间站、神舟载人飞船、货运飞船、

低高密卫星以及高轨卫星等，具备丰富的飞行经历。项目的总体水平处于国内领先、国际先进水平。

本项目推广应用的高可靠抗辐照双极晶体管产品近三年经济效益约 4568 万元，后续依托航天、航空工业领域的应用需求，实现产品交付数量逐年增加，经济效益稳定提升，经济收入达到 2000 万元/年的市场目标。

客观评价：

宇航高可靠双极晶体管兼具双极晶体管的优势值，在长期可靠性和抗辐照之间寻求最优解的前沿技术方向，主要满足新一代武器装备、长寿命卫星、空间站等型号任务等对恶劣环境下长期工作的可靠性和优良的抗辐照性能。本项目通过辐照加固和关键技术的突破，抗单粒子辐照能力大于 $75\text{MeV}\cdot\text{cm}^2/\text{mg}$ ，放大倍数的衰减率小于 15%，在 γ 总剂量辐射 100krad(Si) 后（前 30krad(Si) 剂量率 $0.01\text{rad}(\text{Si})/\text{s}$ ，后 70krad(Si) 剂量率 $0.1\text{rad}(\text{Si})/\text{s}$ ），芯片的放大倍数衰减率小于 25%，研制产品的开通时间小于 30ns，关断时间小于 60ns，达到国内领先水平。本项目在实施过程中申请发明专利 10 项，已授权 1 项，编写企业标准 60 余项，发表论文 2 篇。

基于抗辐照技术的积累，开展了本项目的研制，研制产品已形成稳定的用户群体，外部用户共计 21 个，除航天五院内用户外还包括：深圳市航天新源有限公司、遨天科技（北京）有限公司、中国航空工业集团公司金城南京机电液压工程研究中心等，高可靠抗辐照双极晶体管产品已广泛应用于航天、航空、兵器等各个领域。仅 2024 年抗辐照双极晶体管产品交付 40000 余只，经济收入 1796.27 万元，实现了抗辐照双极晶体管技术提升与经济增长的双赢局面。

高可靠抗辐照双极晶体管兼具双极晶体管的优势，在长期可靠性和抗辐照之间寻求最优解的前沿技术方向，主要满足新一代武器装备、长寿命卫星、空间站等型号任务等对恶劣环境下长期工作的可靠性和优良的抗辐照性能，已经成为新一代武器装备和宇航型号优先选用的核心关键元器件，因此，该项目市场潜力巨大，必将带来可观的社会效益与经济效益。

应用情况和效益：

1. 应用情况

基于抗辐照双极晶体管技术平台研制产品已形成稳定的用户群体，外部用户共计 21 个，除航天五院内用户外还包括：深圳市航天新源有限公司、遨天科技（北京）有限公司、中电科蓝天科技有限公司、中国航空工业集团公司金城南京机电液压工程研究中心、浙江环浦微电子有限公司、河北雄安太芯电子科技有限公司、贵州梅岭电源有限公司、贵州航天电器股份有限公司、中国电子科技集团公司第五十二研究所、中国电子科技集团公司第十研究所等，高可靠抗辐照双极晶体管产品已广泛应用于航天、航空、兵器等各个领域。

具体的主要单位及应用情况如下表所示：

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/ 固定电话
1	中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院	抗辐照双极晶体管技术	用于宇航用综合电子线路产品中。订货量 1000 只。	2024 年 1 月至今	陈相玮 18161843576
2	山东航天电子研究所	抗辐照双极晶体管技术	用于宇航电源模块产品中。订货量 5000 只。	2024 年 1 月至今	董升 13156903206

2. 经济效益和社会效益

（1）经济效益

本项目推广应用的高可靠抗辐照双极晶体管产品近三年经济效益约 4568 万元，后续依托航天、航空工业领域的应用需求，实现产品交付数量逐年增加，经济效益稳定提升，经济收入达到 2000 万元/年的市场目标。

（2）社会效益

目前，高可靠抗辐照双极晶体管已在空间站、神舟载人飞船、货运飞船、低高密卫星以及高轨卫星等领域大量应用。西安微电子技术研究所通过自主研发、

创新攻关，突破了高可靠抗辐照双极晶体管的关键核心技术，并批量生产，彻底打破了国外技术封锁和产品垄断，为实现高可靠抗辐照双极晶体管产品的国产化，关键核心元器件的自主可控奠定了坚实基础。

基于抗辐照双极晶体管技术平台研制产品已形成稳定的用户群体，外部用户共计 21 个，除航天五院内用户外还包括：深圳市航天新源有限公司、遨天科技（北京）有限公司、中电科蓝天科技有限公司、中国航空工业集团公司金城南京机电液压工程研究中心、浙江环浦微电子有限公司、河北雄安太芯电子科技有限公司、贵州梅岭电源有限公司、贵州航天电器股份有限公司、中国电子科技集团公司第五十二研究所、中国电子科技集团公司第十研究所等，高可靠抗辐照双极晶体管产品已广泛应用于航天、航空、兵器等各个领域。

通过本项目的开展，孵化了 70 余款军用高可靠抗辐照双极晶体管，产品类型覆盖小功率开关晶体管、大功率开关晶体管、高频晶体管、高压晶体管等，产品广泛应用于航空、航天领域，实现了年销售收入上千万，在提升产品经济收入的同时，积极推进了西安微电子技术研究所高可靠军用分立器件产业化发展迈进了快车道，为实心核心关键元器件的自主可控提供了有力保障。

主要知识产权和标准规范等目录：

1. 知识产权证明目录							
序号	知识产权类别	项目名称	国(区)别	专利号	授权日期	权利人	发明人
1	发明专利	一种高压晶体管的终端结构设计及其制作方法	中国	202210699354.4		西安微电子技术研究所	李照、侯斌、杨晓文、赵帆、卢泽宇、程鹏刚、胡长青、刘威、臧继超
2	发明专利	一种沟槽填充方法、半导体器件的制作方法及其半导体器件	中国	202410691523.9	/	西安微电子技术研究所	鲁红玲、黄山圃、杨鹏翮、张长安、刘威、程鹏刚、胡长青
3	发明专利	一种基于重金属离子局部扩散的开关晶体管及其制备方法	中国	202510342464.9		西安微电子技术研究所	鲁红玲、李照、杨鹏翮、郭晨悦、侯斌、胡长青
4	发明专利	一种晶圆背面金属化前的清洗方式	中国	202310092602.3	/	西安微电子技术研究所	齐易晨、尚春林、何静博、张文鹏、胡长青、晏强
5	发明专利	一种抗辐照结型场效应晶体管的制作方法	中国	ZL202110663133.7	20230630	西安微电子技术研究所	杨晓文、王健、王忠芳、侯斌、李照、胡长青、王英民
6	发明专利	一种低漏电晶体管的结构设计及其制作方法	中国	202310166518.1	/	西安微电子技术研究所	李照、侯斌、赵帆、杨晓文、程鹏刚、胡长青、姚军、刘威、黄山圃
7	发明专利	一种高耐压PI的亚胺化方法及其程度的评价方法	中国	202411461773X	/	西安微电子技术研究所	郭晨悦、薛丽霞、胡长青、程鹏刚、刘威、赵帆
8	发明专利	一种晶体管结构、频率特性的提升及制作方法	中国	202411771793.7	/	西安微电子技术研究所	李照、程鹏刚、侯斌、王晨霞、鲁红玲
9	发明专利	一种用于提升电流能力的晶体管结构及制作方法	中国	202411771785.2	/	西安微电子技术研究所	李照、鲁红玲、赵帆、常正阳、张文鹏、黄山圃
10	发明专利	一种可规模化量产硅基含铂金属的合金工艺技术方法	中国	202510004228.6	/	西安微电子技术研究所	何静博、程鹏刚、侯斌、胡长青、尚春林、刘思成、齐易晨

二、专著论文				
序号	专著/论文名称	作者	刊物/出版社名称	发表时间及场所
1	PNP 双极晶体管抗单粒子辐照加固及验证	王晨霞、李照、黄山圃、刘思成、张艺涵、鲁红玲、侯斌、胡长青、程鹏刚	CRPS' 2024 第六届全国抗辐射物理学术交流会	2024. 08 中国西昌
2	高压大功率晶体管复合终端结构的设计研究	李照、王晨霞、杨庚、臧继超、侯斌、胡长青	第六届航天微组装工艺技术中心、九院单片集成电路制造工艺技术中心联合学术年会	2024. 08 四川成都

主要完成人情况：

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	对本项目贡献	专业
侯 斌	1	无	研 究 员	西安微电子 技术研究所	项目负责人，完成从需求调研、研产实施到售后维护的产品全生命周期的技术服务工作。	微电子
鲁红玲	2	无	研 究 员	西安微电子 技术研究所	技术负责人，设计并实现了双极晶体管的高压设计技术和开关时间控制技术。	微电子
胡长青	3	副部长	研 究 员	西安微电子 技术研究所	项目主管领导，负责高可靠抗辐照双极晶体技术平台项目涉及的技术工作，包括抗辐照加固工艺、高压介质生长工艺、重金属掺杂工艺和浅结控制工艺等关键技术开发的攻关	微电子
刘如征	4	部长	研 究 员	西安微电子 技术研究所	担任技术负责人，开展了双极晶体管的终端结构和有源区抗辐照加固技术研究，明确辐照导致器件损伤和特性退化的机理，并针对性的提出抗辐照加固器件设计结构和工艺实现方法	微电子
李 照	5	无	高 级 工 程 师	西安微电子 技术研究所	抗单粒子辐照仿真技术，设计并实现了双极晶体管的抗单粒子辐照仿真技术，研制产品抗单粒子辐照达到75MeV·cm ² /mg，实现了抗单粒子辐照双极晶体管的研制和批产能力	微电子
杨鹏翮	6	无	工 程 师	西安微电子 技术研究所	技术负责人，设计并实现了双极晶体管的低开关时间控制技术，突破了低开关时间晶体管结构设计及掺铂工艺技术	微电子
郭晨悦	7	无	工 程 师	西安微电子 技术研究所	负责高压晶体管钝化工艺技术开发，研究了钝化工艺耐压评价方法，突破了高压钝化工艺技术。	微电子

完成人合作关系说明：

宇航高可靠双极器件工艺技术平台 项目于 2013 年 1 月立项，项目组主要完成人有侯斌、鲁红玲、胡长青、刘如征、李照、杨鹏翻、郭晨悦。本人作为项目负责人，负责项目的方案制定、设计研制、设计定型以及产品推广工作；鲁红玲担任技术负责人，设计并实现了双极晶体管的高压设计技术和开关时间控制技术；胡长青任项目主管领导，负责高可靠抗辐照双极晶体技术平台项目涉及的关键技术开发的攻关；刘如征担任技术负责人，开展了双极晶体管的终端结构和有源区抗辐照加固技术研究；李照担任抗单粒子辐照仿真技术负责人，设计并实现了双极晶体管的抗单粒子辐照仿真技术；杨鹏翻担任技术负责人，设计并实现了双极晶体管的低开关时间控制技术；郭晨悦担任高压晶体管工艺开发，研究了钝化工艺耐压评价方法，突破了晶体管高压钝化工艺技术。

1、 主要完成单位及创新推广贡献：

西安微电子技术研究所是本项目的主承单位，是国家唯一集计算机、集成电路和混合集成科研生产为一体的大型综合研究所。项目参与人员均为本单位职工。该项目面向武器装备和宇航型号对宇航高可靠双极器件的迫切需求，针对双极晶体管的单粒子辐照加固、总剂量辐照加固和开关特性等关键问题开展科研攻关。突破了高可靠抗辐照双极晶体管关键技术，建立了高可靠抗辐照双极晶体管设计和工艺技术平台，基于平台可实现最高击穿电压 450V；最低开通时间 30ns、关断时间 60ns；并完成了 60 余款宇航用双极晶体管的设计定型。

本项目技术难度大，创新性强，拥有多项自主知识产权，关键核心技术自主可控，在星网等重大工程中成功应用，总体技术达到国内先进水平，具有广泛的应用前景，产生了显著的经济、军事和社会效益。