

陕西省科学技术进步奖公示

项目名称： 空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品

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：

空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品由西安微电子技术研究所独立开发研制，项目组成员有：师娅、王英民、刘冠春、穆永杰、赵明、鲁亚翠、白欢利、王勇、王成熙、赵杰。该项目面向宇航辐照环境特殊应用领域的迫切需求，针对核心抗辐射脉宽调制器受制于人的问题，系统深入研究了抗辐射脉宽调制器设计和工艺制造关键技术，研制了 6 款符合抗辐射应用需求的高性能脉宽调制器产品，可覆盖反激、正激、半桥、推挽、移相全桥等多种电源拓扑结构的空间用双极抗辐射脉宽调制器产品，解决了开关电源核心抗辐射控制芯片的技术瓶颈。项目产品已应用于二代导航等重大航天任务，综合技术水平达到国内领先、国际先进水平。该项目奠定了我国空间用双极抗辐射脉宽调制器的技术基础，打破了国外技术封锁和产品禁运，扭转了我国空间用双极抗辐射脉宽调制器研制的被动局面，实现了我国空间用双极抗辐射脉宽调制器的自主可控，具有显著的社会、军事和经济效益。

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**二等奖**。

项目简介:

本项目以宇航高性能应用和自主可控为背景,开展高性能、抗辐射、系列化、可覆盖多种拓扑应用的脉宽调制器芯片技术研究。立足所内集成电路国军标生产线,依托自主设计与工艺设计深度结合的技术路线,完成多款型号亟需、自主可控等级为 A 级的脉宽调制器电路的研制和应用推广。突破高精度低温漂带隙基准设计、高精度振荡器设计、低传输延迟时间设计、输出级欠压自关断保护可靠性设计技术、双极脉宽调制器抗辐射加固、PWM 控制器测试等空间用双极抗辐射脉宽调制器关键技术,建立高性能、抗辐射脉宽调制器系列电路的研制技术平台。形成了抗辐射脉宽调制器的设计、制造等流程及方法。最终研制出多款空间用双极抗辐射脉宽调制器产品,填补了国内抗辐射脉宽调制器空白,解决了型号亟需,提高了我国自主开关电源核心芯片研制能力,彻底解决核心抗辐射脉宽调制器受制于人的局面,为在轨系统的高性能、高集成、高可靠提供系统二次电源解决方案,产品性能达到国内领先、国际先进的水平。基于本项目已完成 6 款系列产品的设计定型和批量生产。系列产品可覆盖反激、正激、半桥、推挽、移相全桥等多种电源拓扑结构;抗辐照性能指标达到 100krad(Si)以上,且对超低剂量率不敏感;抗单粒子锁定指标达到 $75\text{MeV} \cdot \text{cm}^2/\text{mg}$ 以上。

1. 主要技术内容

(1) 提出了一种充电电流分段控制的高精度 RC 振荡器设计技术,显著提高了振荡器频率精度,可广泛应用于包括脉宽调制器在内的开关电源控制器电路。

(2) 提出了一种独立于输出级驱动的欠压自关断保护电路,当电源电压 VCC 低于欠压锁定关断阈值电压时,对脉宽调制器输出节点提供快速的电流泄放通道,以关断后级功率开关管,提高了开关电源系统的可靠性。

(3) 提出一种三模冗余结构的抗单粒子瞬态设计加固方法,当单模块发生单粒子扰动而产生误触发信号时,仍能保证电路功能正常运行。

2. 知识产权情况

该项目研制过程中，申请国家发明专利 9 项（授权 3 项，已受理 6 项）、实用新型专利 1 项（已授权）、集成电路布图专利 2 项（已授权）、确立国家标准 1 项、航天科技成果鉴定证书 1 份。

3. 主要技术指标

基于本项目完成的 6 款系列产品可覆盖反激、正激、半桥、推挽、移相全桥等多种电源拓扑结构；抗辐照性能指标达到 100krad(Si)以上，且对极低剂量率不敏感；抗单粒子锁定指标达到 75MeV·cm²/mg 以上。

4. 应用推广及效益情况

基于本项目完成的 6 款系列均已获得大批量的应用。已应用于航天五院西安分院、航天 502 所、513 所、529 厂、航天八院 811 所等单位多个重点宇航型号中，近三年取得外部经济效益近 3000 多万元。芯片产品在所内高等级电源产品系列中已配套使用 150000 只以上。

该项目奠定了我国空间用双极抗辐射脉宽调制器的技术基础，打破了国外技术封锁和产品禁运，扭转了我国空间用双极抗辐射脉宽调制器研制的被动局面，实现了我国空间用双极抗辐射脉宽调制器的自主可控，具有显著的社会、军事和经济效益。

客观评价：

该项目面向空间用脉宽调制领域的迫切需求，针对核心抗辐射脉宽调制器受制于人的问题，系统深入研究了抗辐射脉宽调制器的线路设计、工艺和测试技术，研制了 6 款符合抗辐射应用需求的高性能脉宽调制器产品，有效的解决了抗辐射脉宽调制器的国产化难题。

该项目对标国外产品，自主开发抗辐照工艺，技术难度大，创新性强，拥有多项自主知识产权，成套技术完全自主可控，解决了抗辐射脉宽调制器国产化难题，技术水平达到国内领先、国际先进，具有广泛的应用前景，产生了显著的经济和社会效益。

应用情况和效益：

1. 应用情况

基于本项目成果已完成 6 款系列产品的设计定型和应用推广。系列产品可覆盖反激、正激、半桥、推挽、全桥、全桥移相软开关等多种电源拓扑结构，抗辐照性能指标达到 100krad(Si)以上，且对极低剂量率不敏感，抗单粒子锁定指标达到 75MeV·cm²/ mg 以上。

6 款产品均已获得大批量的应用。已应用于航天五院西安分院、航天 502 所、513 所、529 厂、航天八院 811 所等单位多个重点宇航型号和所内高等级电源产品系列中。

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	应用单位名称	应用成果名称	应用单位联系人	电话	应用起始日期	应用完成日期
1	中国航天科技集团有限公司第五研究院西安分院	空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品	樊经纬	18991285605	2024年8月	至今
2	兰州空间技术物理研究所	空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品	顷楠	15002536093	2024年8月	至今
3	中国航天科技集团有限公司第九研究院第七七一研究所混合集成电源事业部	空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品	张小峰	029-88609000-6321	2020年11月	至今
4	中国航天科技集团有限公司第九研究院第七七一研究所混合集成电源事业部	空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品	张小峰	029-88609000-6321	2020年11月	至今

2. 经济效益和社会效益

(1) 经济效益

基于本项目完成的 6 款系列均已获得大批量的应用。已应用于航天五院西

安分院、航天 502 所、513 所、529 厂、航天八院 811 所等单位多个重点宇航型号中，近三年取得外部经济效益近 3000 多万元。芯片产品在所内高等级电源产品系列中已配套使用 150000 只以上。

（2）社会效益

本项目的社会效益主要在于它能保障空间环境下电子系统的绝对可靠。这对于国家安全和高端产业发展至关重要。在空间应用环境下，普通电子器件极易失灵，从而导致灾难性后果。抗辐射脉宽调制器作为“电子心脏”，确保各种关键电子系统在恶劣环境下长期、稳定、可靠运行。为卫星、飞船、探测器提供“不断电”的稳定电源，可避免因电源失效导致的航天任务失败，保护国家资产和人民生命财产安全，也是延长航天器寿命（如满足10至15年任务期需求）、降低维护成本的基础。

本项目研制出的抗辐射脉宽调制器系列产品已获得大批量的应用，解决了核心控制芯片自主可控的技术瓶颈，突破了欧美国家长期保持的技术封锁，保障国家重大战略项目供应链安全，提升国际竞争力。

主要知识产权和标准规范等目录：

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	权利人	发明人
1	国家发明专利	一种欠压自关断输出级电路	中国	ZL202010247010.0	2021年12月14日	西安微电子技术研究所	师娅
2	国家发明专利	一种抗输出电压瞬态过冲的低压差线性稳压器电路	中国	ZL202210910388.3	2023年7月11日	西安微电子技术研究所	师娅、武琪、方立伟、张铎澜
3	国家发明专利	一种RC振荡器放电晶体管防漏电电路	中国	202411034069.6	已受理，未授权	西安微电子技术研究所	师娅、姚思远、王勇、魏海龙、魏巍、刘冠春、方立伟
4	国家发明专利	一种可对非受光区遮挡的光敏二极管结构及制作方法	中国	202510326962.4	已受理，未授权	西安微电子技术研究所	王成熙、赵杰、王英民、陈宝忠、刘存生、折宇、卓青青、信会菊、白帅、史泽堃
5	国家发明专利	一种提升双极PJFET阈值均匀性的方法	中国	202410026131.0	已受理，未授权	西安微电子技术研究所	卓青青、王成熙、陈宝忠、刘存生、赵杰、温富刚、杜欣荣
6	国家发明专利	一种复位脉宽可调的Timer电路及驱动器	中国	202210885809.1	已受理，未授权	西安微电子技术研究所	武岳，刘娜，王漪婷，倪洁茹，雒宝花，于洪波，胡新鹏，陈斌，赵明，张聪杰，张丰
7	国家发明专利	一种可编程延时设置电路及工作方法	中国	ZL201810475191.5	2020年7月14日	西安微电子技术研究所	师娅、武琪
8	实用新型专利	一种晶圆测试探针接触电阻的测量装置	中国	ZL202020706681.4	2021年1月26日	西安太乙电子有限公司	穆永杰
9	国家发明专利	一种双极欠压锁定保护电路	中国	2023101139843	已受理，未授权	西安微电子技术研究所	鲁亚翠、白欢利、李新瑞、尤路、魏海龙、王勇
10	国家发明专利	一种过流检测及限流保护电路	中国	202210461729.3	已受理，未授权	西安微电子技术研究所	师娅、武琪、刘智
11	集成电路布图设计	抗辐射高性能电流型脉宽调制器电路	中国	BS.175523916	2017年5月27日	西安微电子技术研究所	师娅

12	集成电路布图设计	移相谐振控制器电路布图	中国	BS. 1755 23940	2017 年 5 月27日	西安微电子技术研究所	师娅
序号	标准类别	标准名称	国家 (地区)	标准编号	标准实施 日期	主要起草 单位	主要起草人
1	国家标准	半导体集成电路 PWM 控制器测试方法	中国	GB/T 43061-2 023	2024 年 4 月 1 日	中国航天科技集团有限公司第九研究院第七七一研究所、成都华微电子科技有限公司、西安电子科技大学	穆永杰、邓些鹏、贾宁刚、闫永超、杨晓萍、王策、包军林、杨博、胡巧玉

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
师娅	1	无	研究员	西安微电子技术研究所	项目负责人，完成 LUC1843RH、LZ3001、LUC1875RH 脉宽调制器电路产品的研制和市场推广应用；设计了采用充电电流分段控制的高精度 RC 振荡器和欠压自关断保护电路；带领团队突破空间用双极抗辐射脉宽调制器电路关键技术；组织参与项目成果申报工作。	集成电路设计
王英民	2	总工程师	研究员	西安微电子技术研究所	负责项目总体方案的策划及技术指导。参与双极器件抗高总剂量辐射加固总体方案设计，参与提出了 LPNP 纵向结面浓度控制和基区界面态控制等辐射加固技术。针对高精度双极工艺控制技术，参与提出了一种双极电路寄生结构抑制工艺方法。为本项目产品的研制提供了丰富的经验支持。	半导体工艺技术研究
刘冠春	3	无	高级工程师	西安微电子技术研究所	作为项目负责人完成 LUC1825 电路的研制，从线路设计、器件结构设计和电路静态工作点设计方面突破了高精度振荡频率设计技术，实现了脉宽调制器内置振荡器工作频率初始精度典型值 $\pm 5\%$ ，温度稳定性 $\pm 1\%$ 指标要求，负责项目组技术优化方案论证和实施，保障产品的研制批产及技术推广工作。	集成电路设计
穆永杰	4	无	研究员	西安微电子技术研究所	负责 LEC201、LUC1843、LUC1843A 的测试技术开发工作。突破了脉宽调制器测试适配器设计技术、晶圆在线自动修调技术，阈值电压快速扫描测试技术，电路可在自动测试设备上准确、快速地进行全参数测试，同时，测试效率也大幅提升，满足了短周期、批量化生产的需求。	集成电路测试技术
赵明	5	无	研究员	西安微电子技术研究所	作为项目负责人完成专用脉宽调制器产品 PWM3119 电路开发研制和市场推广应用。作为一线技术指导参与本项目高精度低温漂带隙基准设计、低传输延迟时间设计、双极脉宽调制器抗辐射加固等关键技术的攻关。	集成电路设计
鲁亚翠	6	无	研究员	西安微电子技术研究所	作为负责人完成 LUC1710 电路的研制，从线路设计、器件结构设计和电路静态工作点设计方面突破了高速信号传输设计技术，三温下电路传输延迟时间均小于 80ns；通过输出级驱动电流自补偿结构设计，突破了相对较低静态功耗下的大电流驱动设计技术，电路双向驱动能力均达到 6A；在电路研	集成电路设计

					制过程中设计了一种不采用传统电阻分压的欠压锁定结构，申请了国家发明专利《一种双极欠压锁定保护电路》；负责项目组部分公共事务及标准化审查等工作。	
白欢利	7	无	高级工程师	西安微电子技术研究所	作为项目负责人完成 LUC1843A 电路的研制，从线路设计、器件结构设计和电路静态工作点设计方面突破了高精度振荡频率设计技术，实现了脉宽调制器内置振荡器工作频率初始精度典型值 $\pm 5\%$ ，温度稳定性 $\pm 1\%$ 指标要求，负责项目组技术优化方案论证和实施，保障产品的研制批产及技术推广工作。	集成电路设计
王勇	8	专业总工程师	高级工程师	西安微电子技术研究所	负责项目实施过程中的总体方案的策划及评审及全流程技术指导。771 所模拟集成电路设计带头人。从业 30 余年，主持研制了 LW 系列、LPS 系列、4913/7913 等系列抗辐照 LDO 的设计，为本项目产品的研制提供了丰富的经验支持。	集成电路设计技术研究
王成熙	9	无	高级工程师	西安微电子技术研究所	（1）提出优化工艺条件，降低氧化层与硅界面电荷以及损伤，从而提升器件抗辐射能力。（2）提供提出一种 LPNP 纵向结面浓度控制加固技术。	半导体工艺技术研究
赵杰	10	无	研究员	西安微电子技术研究所	（3）提出一种添加 P 型保护环的器件结构实现方法。（4）提出低压降肖特基二极管优化工艺条件，降低肖特基正向压降的工艺方法。	半导体工艺技术研究

完成人合作关系说明：

空间用双极抗辐射脉宽调制器技术及产品由西安微电子技术研究所独立开发研制，项目组成员有：师娅、王英民、刘冠春、穆永杰、赵明、鲁亚翠、白欢利、王勇、王成熙、赵杰。师娅作为项目负责人，负责项目的方案制定、设计研制、研产把控以及产品推广工作，对产品的需求分析及抗辐射脉宽调制器设计做出突出贡献。

王英民负责项目总体方案的策划及技术指导，负责项目总体方案的策划及技术指导，参与双极器件抗高总剂量辐射加固总体方案设计，参与提出了 LPNP 纵向结面浓度控制和基区界面态控制等辐射加固技术，针对高精度双极工艺控制技术，参与提出了一种双极电路寄生结构抑制工艺方法，为本项目产品的研制提供了丰富的经验支持。刘冠春作为项目负责人完成 LUC1825 电路的研制，从线路设计、器件结构设计和电路静态工作点设计方面突破了高精度振荡频率设计技术，负责项目组技术优化方案论证和实施，保障产品的研制批产及技术推广工作。穆永杰负责产品的测试技术开发工作，突破了脉宽调制器测试适配器设计技术、晶圆在线自动修调技术，阈值电压快速扫描测试技术，实现了系列产品的全参数测试，同时大幅提升了测试效率，以满足短周期、批量化生产的需求。赵明作为一线技术指导参与本项目高精度低温漂带隙基准设计、低传输延迟时间设计、双极脉宽调制器抗辐射加固等关键技术的攻关。鲁亚翠作为负责人完成 LUC1710 电路的研制，从线路设计、器件结构设计和电路静态工作点设计方面突破了高速信号传输设计技术、输出级驱动电流自补偿结构设计、相对较低静态功耗下的大电流驱动设计技术；申请国家发明专利《一种双极欠压锁定保护电路》。白欢利作为项目负责人完成 LUC1843A 电路的研制，从线路设计、器件结构设计和电路静态工作点设计方面突破了高精度振荡频率设计技术，负责项目组技术优化方案论证和实施，保障产品的研制批产及技术推广工作。王勇负责项目实施过程中的总体方案的策划及评审及全流程技术指导。王成熙参与本项目抗辐射工艺技术研究，提出抗辐射加固工艺优化方法。赵杰参与本项目抗辐射工艺技术研究，提

出抗辐射加固工艺优化方法。该项目在本人和九位主要完成人的合作下，保证了项目的成功研制，并形成了多项发明专利、实用新型专利、集成电路布图专利和国家标准。

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。集成电路抗辐射电源管理芯片是西安微电子技术研究所军民融合产业化的重点发展方向，推进航天技术向民用领域融合发展。为保障项目顺利实施，组建了一支包含系统设计、工艺、测试等多方面技术领域的抗辐射脉宽调制器技术研发团队及专业的管理团队，并成立由所级领导、技术总师牵头的指挥线，为项目研制提供人员保障。此外，为本项目的研究提供了必要的研究设备、空间、经费支持等，对课题立项、设计及顺利完成提供了全生命周期的保障。

该项目的研究成果得到单位的肯定和大力推广，已在航天五院西安分院、航天 502 所、513 所、529 厂、航天八院 811 所等单位多个重点宇航型号及所内高等级电源产品系列中得到长期应用，使我所及用户企业获得了更好的口碑及更高的效益。