

2026 年度陕西省科学技术进步奖公示信息

项目名称		高功率新型宽禁带半导体固态射频器件关键技术及应用		
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				
该项目面向新一代无线电系统、卫星通讯、固态微波源等装备对百瓦至千瓦级高功率固态射频技术的重大需求，发明了诱导成核的超薄氮化物射频材料与生长技术、高铝氮化物超级背势垒射频晶体管新结构及多项一体化集成式发射技术，充分发挥出宽禁带半导体材料的综合优势，突破了连续波千瓦级以上高功率氮化物半导体射频器件关键技术，研制出系列化百瓦-千瓦级宽禁带半导体射频发射器件、T/R 组件及固态微波源。本项目核心技术为国际首创，授权发明专利 35 项，在《自然·通讯》、《科学·进展》、《IEDM》、《VLSI》等国际顶刊和顶会上发表高水平学术论文 18 篇。本项目在雷达、制导和商业卫星上实现了批量列装、并在 MPCVD 微波发生源和 5G 基站上实现大批量应用。 根据《陕西省科学技术厅关于开展 2026 年度陕西省科学技术提名工作的通知》，参照陕西省科学技术进步奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省科学技术进步奖 一 等奖。				
主要完成人情况				
排名	姓名	技术职称	工作单位	完成单位
1	张进成	教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学
2	周弘	教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学
3	曹佳	研究员	北京无线电测量研究所	北京无线电测量研究所
4	裴轶	正高级工程师	苏州能讯高能半导体有限公司	苏州能讯高能半导体有限公司
5	周骏	研究员	南京国博电子股份有限公司	南京国博电子股份有限公司
6	张雅超	教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学
7	刘浩	高级工程师	成都航天博目电子科技有限公司	成都航天博目电子科技有限公司
8	赵博超	高级工程师	中国空间技术研究院西安分院	中国空间技术研究院西安分院
9	刘志宏	教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学
10	党魁	副教授	西安电子科技大学	西安电子科技大学
11	张新川	高级工程师	苏州能讯高能半导体有限公司	苏州能讯高能半导体有限公司
12	张文超	高级工程师	南京国博电子股份有限公司	南京国博电子股份有限公司

13	杜航海	副教授	西安电子科技大学			西安电子科技大学			
14	张超群	工程师	成都航天博目电子科技有限公司			西安电子科技大学			
15	张恒爽	高级工程师	中国空间技术研究院西安分院			中国空间技术研究院西安分院			
主要完成单位									
排名	单位名称								
1	西安电子科技大学								
2	北京无线电测量研究所								
3	南京国博电子股份有限公司								
4	苏州能讯高能半导体有限公司								
5	成都航天博目电子科技有限公司								
6	中国空间技术研究院西安分院								
主要知识产权和标准规范等目录									
序号	知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
1	国家发明专利	基于纳米球掩模的低欧姆接触 GaN 基 HEMT 制备方法	中国	ZL201910016393.8	2020.09.08	3979235	西安电子科技大学	张进成；张燕妮；周弘；林志宇；封兆青；肖明；宁静；郝跃	授权（器件）
2	国家发明专利	基于碳化硅衬底的垂直氮化铝金属氧化物半导体场效应晶体管及制备方法	中国	ZL202010922629.7	2021.11.23	4808101	西安电子科技大学	周弘；王捷英；曾诗凡；张进成；许晟瑞；刘志宏；郝跃	授权（材料）
3	国家发明专利	一种非极性 InAlN/GaN 高电子迁移率晶体管及制备方法	中国	ZL201810945840.3	2020.11.10	4084975	西安电子科技大学	张雅超；张涛；任泽阳；张进成；郝跃	授权（材料）

4	国家发明专利	一种半导体器件的T型栅及其制备方法	中国	ZL202310905373.2	2023.10.20	6406706	北京无线电测量研究所	董鹏; 边旭明; 廖梦雅; 徐浩; 杨云畅; 曹佳王琦	授权(器件)
5	国家发明专利	一种亚微米栅长GaN HEMT器件及其制备方法	中国	ZL201410486993.8	2017.5.03	2469419	苏州能讯高能半导体有限公司	裴轶; 张乃千; 邓光敏	授权(器件)
6	国家发明专利	一种3D异构集成多功能收发芯片	中国	ZL202110784045.2	2024.08.06	7267792	南京国博电子股份有限公司	沈国策; 周骏	授权(电路)
7	国家发明专利	一种GaN HEMT器件的栅极制备方法、栅极以及GaN HEMT器件	中国	ZL202410881012.3	2024.08.27	7325683	成都航天博目电子科技有限公司	马磊; 董鹏; 刘浩; 边旭明; 曹佳; 孟飞	授权(器件)
8	国家发明专利	一种紧凑型宽带开关电路及射频前端	中国	ZL202411762955.0	2025.09.30	8321429	西安电子科技大学	党魁; 张泽田; 张进成; 霍树栋; 孙汝军; 周弘; 郑梦晗	授权(电路)
9	国家发明专利	HEMT器件及制造方法	中国	ZL201710181293.1	2020.05.06	3784491	苏州能讯高能半导体有限公司	张新川	授权(电路)
10	国家发明专利	一种高线性度射频GaN基HEMT器件及其制备方法	中国	ZL202411615644.1	2025.10.10	8351919	西安电子科技大学	刘志宏; 魏宇君; 惠安特; 索淑怡; 冯欣; 杜航海; 周弘; 邢伟川; 张进成; 郝跃	授权(材料)
客观评价									

1、项目验收评价

(1) 鉴于在高铝氮化物射频晶体管新结构和超薄外延生长新方法方面取得的重要进展与成果，国家自然科学基金委对负责人牵头的项目验收结果为“优秀”并延续资助。

2. 学术论文他引评价及杂志报道评价

对氮化物材料生长新方法和新原理的评价：

(1) 诺贝尔物理学奖得主天野浩教授评价“该研究揭示了缺陷对氮化物材料特性的影响规律”。

(2) 美国工程院院士和 IEEE 终身会士 R. D. Dupuis 教授评价“该新型成核技术是抑制氮化镓线位错密度的有效方法”。

(3) IEEE 终身会士 E. Chang 教授评价该成膜方法可“制备出高质量的 GaN 薄膜”。

对宽禁带半导体氮化镓高功率射频器件的评价：

(1) IEEE 会士 D. I. KIM 教授评价该氮化镓射频器件在“实现大功率的同时显著提升了效率”。

(2) 德国弗莱堡应用固体物理研究所所长 O. Ambacher 教授评价该器件“是重要的代表性成果”。

(3) 美国西北大学 R. Gouws 教授评价超级背势垒晶体管是“GaN 功率晶体管的重要进展”。

(4) IEEE 会士 P. J. Fay 教授评价该器件结构“非常适合低功耗射频应用”（附件 17-第 14 页）。

国际权威行业杂志 Semiconductor Today 和 Compound Semiconductor 评价新型材料生长方法和新型器件结构：

(1) 报道评价该 AlGaN 沟道器件“实现了更高的饱和电流、更低的关态电流和极高的开关比”。

(2) 报道评价提出的硅与氮化镓混合集成方法为“首次通过晶圆级自对准工艺实现了 Si 和 GaN 材料与器件的集成”。

(3) 报道评价提出的氮化硅辅助合金欧姆接触工艺“显著降低了高 Al 组分 GaN HEMT 的欧姆接触电阻”。

项目简介

高功率固态微波发射器件是新一代无线电装备、卫星通讯、固态微波源、5G 基站的核心元器件，其功率密度、散热能力、耐压可靠性将直接决定装备、卫星、基站的作用距离及固态微波源的功率和寿命。传统两步法生长的碳化硅基氮化镓射频材料和器件面临岛状成核层界面热阻大、外延层厚热阻大、及器件功率密度低等问题，较难满足新一代高功率固态微波发射器件的需求。新型宽禁带半导体氮化铝和氮化镓被誉为是研制高功率射频器件的理想技术，是千瓦级以上固态微波发射器件的必然选择。

项目组历经十余年的协同攻关，在传统碳化硅基氮化镓二元体系基础上，创新地提出了氮化铝、氮化镓、碳化硅、金刚石一体化复合的材料新结构、超薄外延材料生长新方法及多项原创器件结构，充分发挥出宽禁带半导体材料的综合优势，突破了千瓦级以上高功率氮化物半导体射频器件关键技术，研制出系列化千瓦级宽禁带半导体射频发射器件、T/R 组件及固态微波源，在雷达和商业航天卫星上实现了批量列装、并在 MPCVD 微波发生源和 5G 基站上实现大批量应用。

本成果的核心科技创新包括：

- 1、发明了一种高质量超薄氮化物异质外延生长新技术。基于诱导成核材料生长技术，通过衬底表面离子注入构筑成核位点，使高质量氮化物外延材料厚度和热阻均降低至传统结构的 1/3 以下，结合提出的数字合金生长新方法，使高耐压、薄外延高铝氮化物材料的电子迁移率提高 1 倍以上。
- 2、发明了一种氮化铝超级背势垒射频晶体管新结构，使射频晶体管击穿电压提升 1.2 倍，达 375 V，频率耐压积达国际最高的 32 THz·V，结合提出的纳米晶金刚石钝化、氮化硅辅助合金欧姆接触等方法，显著提升了器件栅区、钝化区、漏源区的导热特性。
- 3、发明了“功率放大器+环形器+极化开关”与“功率-效率-线性度并行优化”的一体化协同设计方案，从突破了标准阻抗级联的思维定式和高效率与线性度难以兼容的问题。同时研制出国内第一条 4 英寸氮化镓射频晶圆代工产线，200 °C 结温下 MTTF 寿命达到 10⁷小时、芯片端制造良率>80%。

本项目建立了我国千瓦级（连续波）宽禁带半导体固态微波发生器件核心技术体系，实现了超高功率新型氮化物固态射频技术的重大突破，获授权国家发明专利 35 项。国内外院士评价该项目的科技进步创新“该新型成核技术是抑制氮化镓线位错密度的有效方法”、“提出的新型成核模式可有效调节 GaN 材料的生长行为”以及“GaN 功率器件最重要进展”。项目团队发表包括《自然·通讯》和《科学·进展》以及《IEDM》和《VLSI》在内的顶尖水平学术论文 40 余篇。自 2020 年起，项目成果氮化铝/氮化镓射频放大器与 T/R 组件在新一代雷达、制导和商业卫星装备中实现批量列装，在 MPCVD 微波产生源以及 5G 基站中大批量应用。应用表明，本项目使无线电装备的作用和探测距离以及电子装备在复杂电磁对抗环境下的生存能力成倍增长，设备能耗降低 5%且寿命提高 20%以上，实现了装备性能的跨越提升。

应用情况
2020 年起，本项目研制的高功率新型高铝氮化物射频放大器及 T/R 组件在新一代雷达、制导、商业卫星通讯装备中全面列装，在 MPCVD 微波发生器和 5G 基站中大批量应用，使我国雷达具备更远的探测的距离以及更强大抗干扰和识别能力，使我国商业航天卫星载荷具备更远通信距离、更快数据传输速率以及更强抗干扰能力，使装配了该千瓦射频发生器件的 MPCVD 设备能耗降低 5%、微波功率源寿命提高 20%以上。
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进成、周弘、张雅超、刘志宏、党魁、杜航海，北京无线电测量研究所曹佳，苏州能讯高能半导体有限公司裴轶、张新川，成都航天博目电子科技有限公司刘浩、张超群，国博电子股份有限公司周骏、张文超，中国空间技术研究院西安分院赵博超和张恒爽。完成人在该项目的合作关系如下：

- 1、张进成、周弘、刘志宏、杜航海共同发明原位 SiN 辅助隧穿高铝氮化物晶体管实现低阻欧姆接触及高频率射频晶体管。
- 2、主要完成人张进成、周弘、张雅超、党魁、张超群、曹佳、裴轶、刘浩共同发明极低热阻、超高功率密度高铝氮化物射频器件与集成式发射技术，研制出 X 波段功率密度 42 W/mm 的射频发射器件及千瓦级高功率模块。
- 3、主要完成人张进成、周弘、张雅超、张新川、裴轶共同发明原位 SiN 辅助欧姆接触及高热导率钝化的高铝氮化物射频器件，研制出 K 波段 25 W/mm 的射频发射器件及百瓦级高功率模块。
- 4、主要完成人张进成、周弘、党魁、周骏、张文超共同研制基于高铝氮化物的射频 T/R 组件。
- 5、主要完成人张进成、周弘、张雅超、赵博超、张恒爽共同研制基于高铝氮化物的放大器模组。