

陕西省技术发明奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	先进功率半导体器件多芯片并联电热特性精确调控方法及其应用
主要完成人	王来利, 麻长胜, 杨旭, 骆健, 裴云庆, 张帆
主要完成单位	西安交通大学, 江苏宏微科技股份有限公司, 南京南瑞半导体有限公司

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提名者	西安交通大学	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>提名项目在国家科技支撑计划、国家重点研发计划、国家自然科学基金的持续支持下，围绕多芯片集成先进功率半导体器件电热应力调控技术及其应用这一主题，针对现有多芯片功率半导体器件封装技术所存在的技术瓶颈进行了多年的科研攻关，在并联电学控制稳定方法、并联电热性能均衡方法、并联电热性能提升方法等方面取得了多项创新成果。项目创新成果的关键技术指标与国内外最先进同类技术比较具有一定的优势，反映了项目总体技术水平达到国际领先水平。项目成果与行业领域的多家单位展开合作，促进研究成果快速落地，实现大规模产业化。该项目的完成单位西安交通大学、江苏宏微科技股份有限公司、南京南瑞半导体有限公司，在多个重点项目与国家级研究平台支持下，经过长期合作，攻克了多芯片集成先进功率半导体器件电热应力调控关键技术，成果规模化应用于重点工程与产品中，促进了大功率器件的国产化，取得了良好的经济效益与社会效益。</p> <p>主要完成人王来利热爱教育事业，坚决拥护党的领导，坚持马克思主义指导地位，始终全面贯彻党的教育方针，紧抓全面提高人才培养能力这个重点，把立德树人作为根本任务贯穿教育教学全过程，围绕传授知识、培养能力、塑造正确人生观，形成了“塑心育行”、“创新担当”、“成才修德”的三维立体育人体系，培养的学生获得西安交通大学研究生标兵称号，指导研究生团队获得“全球能源挑战赛”冠军。</p> <p>鉴于该项目技术发明点的创造性、先进性和应用效果，提名该项目为技术发明奖一等奖。</p>			
<p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

三、项目简介

本项目属于电力电子领域。功率半导体器件广泛应用于我国智能电网、航空航天、武器装备等高科技领域，是我国能源安全、产业发展不可或缺的核心器件。目前碳化硅器件受限于其封装集成技术，无法充分地发挥碳化硅半导体的特性优势，特别是应用于大功率场景的多芯片碳化硅器件，芯片及其互连结构之间的电热交互作用导致器件应用中面临严重的电热应力挑战。

项目组围绕先进功率半导体器件多芯片并联电热特性精确调控”这一主题，历经12年，在国家科技支撑计划、国家重点研发计划等项目与“电工材料电气绝缘全国重点实验室”平台的持续支持下，围绕多芯片器件电热特性的不稳定性、不均衡性、不协同性三个主要挑战开展研究，创造性地提出了碳化硅器件多芯片并联电热特性精确调控理论与方法体系，并将其拓展至硅功率半导体，实现在新能源汽车、光伏变流器、储能变流器等装备的重要应用。归纳如下：

1. 建立了器件芯片级半物理拟合精准动态行为模型，精确描述了并联芯片的动态行为及其交互作用，发明了抑制环流振荡的外部电路参数优化方法，解决了并联环路振荡的难题；揭示了器件内不对称因素引发并联芯片串扰电压的形成机理，提出了源路阻断的并联芯片串扰电压抑制方案，将串扰电压降低60%。

2. 揭示了功率器件多芯片并联电热不均衡的根本原因及其演绎过程，发明了基于非线性最优化控制的键合线互连多芯片并联电热均衡方法，建立了基于一体化金属夹扣的新型封装方法，解决了高频条件下多芯片并联动静态不均流的难题，将多芯片器件的均流度从80%提升至超过95%。

3. 提出了碳化硅器件多芯片并联电热协同优化全新封装集成理论，发明了并联芯片耦合度精确调控的交错面互连低寄生电感高导热封装结构，解决了电热特性难以协同优化的问题，将回路电感降低60%，热阻降低40%，建立了基于分布解耦的多芯片并联器件封装方法，突破了传统封装的电热性能瓶颈。

项目成果授权发明专利54项，实用新型专利8项，软件著作权5项，参与制定国家标准3项，团体标准6项。核心成果获得中国电工技术学会技术发明一等奖、日内瓦国际发明金奖，项目第一完成人入选国家杰出青年科学基金，第三完成人入选两项国家级领军人才项目，罗安院士为主任的鉴定委员会对本项目主要创新成果鉴定为

“达到国际领先水平”。

项目成果突破了我国先进功率半导体器件封装集成技术瓶颈，显著提升了国产器件性能，形成一系列具有自主知识产权的功率器件产品，通过与汇川联合动力、比亚迪、华为等企业合作，将产品应用于新能源汽车（小鹏 P7、奇瑞星图、比亚迪 EV 等车型）、风力发电、光伏发电、储能系统、工业控制等场景，确保了我国能源领域核心器件自主可控，有效支撑了我国新能源、高端制造等战略性科技产业健康快速发展。项目成果补齐了宽禁带器件产业链封装短板，获绍兴市政府投资 8.5 亿元成立了“西安交通大学绍兴市通越宽禁带半导体研究院”。项目完成单位基于项目成果，近三年新增直接经济效益 35.24 亿元，社会效益显著。

四、客观评价

1. 项目验收意见

研究团队于 2019 年 12 月-2021 年 12 月期间承担了国家电网有限公司科技项目“基于电-热综合优化的电力电子器件多芯片并联均流技术研究”，并于 2022 年 7 月完成验收，“对影响多芯片并联均流的因素进行了归纳，建立了提高多芯片并联均流特性的方法并进行了实验验证，通过研究多芯片并联驱动技术，完成了具有短路检测功能、驱动电压+15V/-5V、开通关断延迟时间 50ns、峰值电流 14A 的驱动样机，研究了低杂散电感、低热阻封装结构，并实现了回路寄生电感为 4.67nH，结壳热阻为 0.14℃/W 的通用电力电子模块”。

研究团队于 2020 年 12 月-2022 年 12 月期间承担了国家重点研发计划项目“碳化硅功率模块新型封装与可靠性优化研究（2019YFE0122800）”。2023 年 11 月以技术平均分“91.6 分”通过了中国科学技术交流中心的综合绩效评价，“项目建立了电热特性建模与仿真方法，给出电热特性优化技术方案，项目成果减小了新型碳化硅模块开关损耗，提高了可靠性，取得了良好的效益；验证了项目组提出的新型低损耗高可靠性封装方案的有效性，项目成效显著”。

研究团队于 2020 年 1 月-2023 年 12 月期间承担了国家自然科学基金项目“基于烧结平面互联的新型高压碳化硅功率模块封装技术与失效机制研究（U1966212）”。2024 年 12 月以综合评价等级“A”通过了项目验收，“项目建立了芯片级多时间尺度多物理场动态行为模型，揭示了多芯片并联电热动态不均衡、环流振荡与芯片邻域电场集中现象产生机理，提出了低寄生电感、高耐压等级、高可靠性多芯片柔性互联结构，解决了多芯片连接强度不均与热-机械应力不均问题，提出了应用相变材料的高导热率、低寄生电容基板结构，通过建立工艺参数于性能指标的定量关系，揭示了烧结层厚度、芯片尺寸、烧结气氛、温度和时间对纳米银膜层性能的影响及作用机理，提出了低阻抗、高强度低温双面互连技术，并揭示了纳米银膜孔隙率对互连性能的影响机制”。

2. 科技成果鉴定结论

2021 年 9 月 28 日，中国电工技术学会组织了以罗安院士为主任委员、张波教授和于坤山总工为副主任委员的鉴定委员会，对“高性能大功率半导体器件关键技术”科技成果进行了会议鉴定，鉴定委员会认为：“项目整体技术处于国际先进水平。其中，低寄生电感高导热封装结构与互连技术、多芯片并联均流均温技术处于国际领先水平”。

2022 年 7 月 3 日，中国电源学会组织了以罗安院士为主任委员、张波教授和查晓明教授为副主任委员的鉴定委员会，对“宽禁带电力电子器件电热应力形成机理与调控”科技成果进行了会议鉴定，鉴定委员会认为：“项目成果总体处于国际先进水平，其中宽禁带器件的精准电磁调控和功能空间复用封装集成理论达到国际领先水平”。

3. 创新点查新结果

2025 年 3 月，教育部查新工作站 Z08 对该技术成果中的 3 个查新点：“1. 器件芯片级半物理拟合精准电热动态行为模型，多芯片并联环流振荡现象的失稳机理及抑制方法，并联芯片串扰电压的形成机理与抑制方法，2. 基于非线性最优化控制的键合线多芯片并联电热均衡方法与基于金属夹扣的电热均衡封装方法，3. 基于金属柱交错面互连的低寄生电感高导热双面散热封装结构，基于临近解耦、分布解耦的多芯片并联器件封装方法”进行查新，最终查新报告表明：“在国

内外公开发表的中外文文献中与该项目查新点完全相同的未见报道”。

4. 机构检测结果

基于本技术发明研制的 1200V/300A 单面散热碳化硅 MOSFET 功率模块于 2022 年 5 月 17 日通过北京聚睿众邦科技有限公司（米格实验室）的额定电压、电流及寄生电感关键参数检测，测试结果表明：“本碳化硅器件样品的额定电压为 1200V，额定电流为 300A，整体寄生电感为 4.67nH”；1200V/300A 双面散热碳化硅 MOSFET 功率模块于 2022 年 4 月 8 日通过中国科学院电工研究所高频场控功率器件及装置产品质量检验中心的热阻及内阻测试，测试结果表明：“送检的 1200V/300A 碳化硅 MOSFET 功率模块，热阻仅为 0.14℃/W，95A 电流下导通内阻仅为 0.0065 欧姆”；在此基础上进一步研制的 1200V/800A 功率模块于 2024 年 9 月 11 日通过中国科学院电工研究所高频场控功率器件及装置产品质量检验中心的通流测试，结果表明：“送检的 1200V/800A 碳化硅 MOSFET 功率模块，在 175℃ 结温下可以保持 1007A 的连续漏极电流”。

5. 国内外同行在重要学术刊物（专著）和重要国际学术会议等公开发表的学术性评价意见

IEEE Fellow，IEEE 电力电子协会前主席，美国阿肯色州立大学教授 H. Alan Mantooth 引用基于精准电磁调控的全新封装集成理论的寄生电感优化方法时认为其“在功率半导体器件布局回路电感计算方面非常有效”，并基于该方法发展出快速寄生参数提取模型，应用于含多芯片的功率半导体器件自动化设计 CAD 软件。在另一篇重要著作中，再次引用了关于多芯片并联电热特性精确调控的全新封装集成理论的研究成果，指出项目组提出的双面散热模块是最先进的双面散热功率模块之一。

IEEE Fellow，IEEE Transactions on Power Electronics 副主编 Alex Q. Huang 教授引用了关于多芯片并联电热不均衡机理的研究成果，认为项目组找到了多芯片并联不均流的根本原因，并在论文中引述“不对称电路布局或者器件参数导致动态电流不均衡”。

IEEE Fellow，美国弗吉尼亚理工大学教授 Guo-Quan Lu 引用了关于多芯片并联电热特性精确调控的全新封装集成理论的研究成果，认为项目组所提出的双面散热封装形式同时实现了低寄生电感与优秀的散热能力，并在随后的文献中将该封装结构作为双面散热的典型封装结构使用。

IEEE Fellow，IEEE Transactions on Power Electronics Letters 主编，IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics 副主编，瑞典皇家理工学院教授 Xiongfei Wang 引用了项目组基于金属夹扣的一体化面互联多芯片并联电热均衡方法的成果，认为该方法可以缓解电流不均衡现象。

IEEE Fellow，中国电源学会会士，浙江大学电气工程学院教授何湘宁在文献中多次引用项目组关于多芯片电热不均衡的根本原因及演绎过程的研究成果，并在论文中引述“栅极寄生电感对电流不均衡的影响小于功率相关的寄生电感”，“器件参数不一致导致电流不均衡分布”。

五、应用情况和效益

1. 应用情况（限 3 页）

本项目研究成果涉及机理与优化方法、分析与精准调控技术、先进封装技术等，应用于华为数字能源技术有限公司、苏州汇川联合动力系统股份有限公司、广东天泽恒益科技有限公司、广东美的制冷设备有限公司、特变电工西安电气科技有限公司、河南瑞驰电子科技有限公司、山东科创电气科技有限公司、合肥比亚迪汽车有限公司、苏州英威腾电力电子有限公司等多家大型企业的相关产品研发项目中，合作与应用单位基于项目的技术发明进行工程产业化及推广应用，研制出的相应产品广泛应用于新能源汽车、风力发电、电力系统装置、工业控制等领域，取得了显著的应用成效。

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	华为数字能源技术有限公司	器件高精度电热分析方法、器件内多芯片并联的环流振荡分析方法、功率器件多芯片并联电热不均衡机理与优化方法	新能源汽车驱动器电热综合分析。 规模：技术研发项目	2021.01-至今	姜青青
2	广东天泽恒益科技有限公司	功率器件多芯片并联电热不均衡机理与优化方法、多芯片集成功率半导体器件精准电磁调控方法	开发共 8 款碳化硅大功率电力电子器件。 规模：技术研发项目	2020.01-至今	李锡光
3	苏州汇川联合动力系统股份有限公司	低寄生电感高导热封装技术	用于新能源汽车的 SiC MOSFET 与 IGBT 功率模块开发 规模：已应用于主流新能源汽车车型上	2016.01-至今	许政
4	广东美的制冷设备有限公司	基于芯片互连支路磁场对消的减小寄生电感方法	开发极低寄生电感氮化镓智能功率模块。 规模：技术研发项目	2020.01-至今	苏宇泉
5	特变电工西安电气科技有限公司	器件高精度电热协同分析方法、功率器件多芯片并联电热不均衡机	储能变流器用 IGBT 模块定制化技术开发。 规模：技术研发项目	2023.11-至今	郭雯

		理与优化方法			
6	常州博瑞电力自动化设备有限公司	功率器件多芯片并联电热不平衡机理与优化方法	集中储能用 IGBT 功率模块。 规模：公司主营产品	2022.3-至今	芮云峰
7	合肥比亚迪汽车有限公司	低寄生电感高性能多芯片封装方法	新能源汽车的牵引系统用 IGBT 功率模块。 规模：公司主营产品	2024 年 2 月-至今	杨杰
8	河南瑞驰电子科技有限公司	低寄生电感高导热封装技术	应用于工业控制和风机应用领域 规模：已使用 IGBT 模块 6000 只	2016.01-2018.12	郭梅丽
9	山东科创电气科技有限公司	低寄生电感高导热封装技术	应用于变频器产品 规模：已使用 IGBT 模块 4000 只	2020.01-2020.05	吴国琴
10	苏州英威腾电力电子有限公司	低寄生电感高导热封装技术	工业控制领域产品 规模：已使用功率模块产品约 5 万只	2024.01-至今	倪经理

2. 经济效益和社会效益（限 3 页）

本项目致力于研究电力电子器件多芯片并联关键技术，能够充分发挥碳化硅、氮化镓宽禁带器件的优异特性，并且应用于传统的硅器件同样提升了硅器件的电热性能，在行业内产生了显著的应用效果，为解决行业技术问题、推动科学技术进步等方面做出了重要贡献。

华为数字能源技术有限公司：自 2021 年 1 月以来合作开展研究并使用本项目的技术发明，应用于新能源汽车驱动器电热综合分析中，解决了驱动器大功率器件内部芯片动态不均流、高频振荡等问题，掌握了大功率器件在高温复杂工况条件下内部并联芯片温度分布差异与过热失效的原因，为提升新能源汽车核心部件电驱动器的可靠性建立了基础（**技术发明点 1、2**）。

广东天泽恒益科技有限公司：自 2020 年 1 月以来合作开发并使用本项目的技术发明，开发出 8 款多芯片集成大功率碳化硅器件，其中 1200V/300A 碳化硅器件基于所提出的低寄生电感高导热新型封装结构，获得 4.67nH 寄生电感，0.14°C/W 结壳热阻的指标，优于市场最优同类竞品；开发出极低热阻碳化硅器件，具有 1000A 的电流容量的同时将电流不均衡度控制在 5% 以下，并联芯片结温差不超过 10°C；开发出首个碳化硅矩阵变频器集成器件，将变频器体积减小到传统分立器件方案的 1/5，目前正在应用于易事特等电力装备企业以提高矩阵变频器的功率密度（**技术发明点 2、3**）。

苏州汇川联合动力系统股份有限公司：自 2016 年 1 月以来使用本项目的技术发明，基于技术发明研制的 IGBT 功率模块已应用于开瑞、奇瑞等车型，研发的 SiC MOSFET 功率模块已应用于小鹏 P7+、奇瑞星途车型上，促进电子信息产业结构调整，增强核心竞争力（**技术发明点 3**）。

广东美的制冷设备有限公司：自 2020 年 1 月以来合作开发并使用本项目的技术发明，开发出新一代智能功率模块（IPM），将回路寄生电感减小到传统方法的 1/5，高频电压振荡幅值减小 80%，显著提高 IPM 的工作频率与可靠性，为高速电机驱动系统带来显著的节能与减重效果（**技术发明点 3**）。

特变电工西安电气科技有限公司：自 2023 年 11 月以来合作开发并使用本项目的技术发明，开发了一种基于 Easy3B 封装的新型三电平 NPC 模块，显著降低了模块中回路的寄生电感并促进了多芯片均流，提升了功率模块整体的性能，基于此研究成果的产品将应用于储能变流器，能显著提升变流器的效率、功率密度与可靠性，提升系统稳定性（**技术发明点 1、2**）。

常州博瑞电力自动化设备有限公司：自 2022 年 3 月以来开展合作并使用本项目的技术发明，研发的 1200V IGBT 功率模块应用于集中储能领域，模块各项参数稳定，内部均流均温特性好、整体电热性能优异，产品能够替代进口同类型产品使用，有效提升了储能设备的性能和可靠性（**技术发明点 2**）。

合肥比亚迪汽车有限公司：自 2024 年 2 月以来使用本项目的技术发明，与江苏宏微科技股份有限公司达成产业合作，签订销售合同购买由西安交通大学与江苏宏微科技股份有限公司等单位研制的低寄生电感、高性能 IGBT 模块 13000 余只，用于新能源汽车的牵引系统中（**技术发明点 3**）。

河南瑞驰电子科技有限公司：自 2016 年 1 月以来使用本项目的技术发明，基于技术发明研制了多款 IGBT 模块，替代进口模块用于矿用通用变频器，应用于工业控制和风机应用等领域（**技术发明点 3**）

山东科创电气科技有限公司：自 2020 年 1 月以来使用本项目的技术发明，基于技术发明开发的 IGBT 功率模块，用于变频器产品中，促进了工业控制领域的大功率关键器件国产化（**技术发明点 3**）。

苏州英威腾电力电子有限公司：自 2024 年 1 月以来使用本项目的技术发明，与江苏宏微科技股份有限公司达成产业合作，签订销售合同购买江苏宏微科技股份有限公司等单位研制的低寄生电感高导热 SiC MOSFET 功率模块约 5 万只，用于工业控制领域（**技术发明点 3**）。

项目完成单位宏微科技与南京南瑞半导体基于项目成果显著提高了产品性能，开发出多款碳化硅与硅大功率器件产品，广泛应用于国防军工、新能源发电等领域。产品应用横跨军民两用，范围覆盖海、陆、空、天等装备，服务于 30 余家企业产品中。项目完成单位基于项目成果，近三年新增直接经济效益 35.24 亿元，具有显著的社会效益。

项目成果补齐了宽禁带器件产业链封装短板，由于成果的先进性及其对于产业发展的重要性，绍兴市政府经过充分论证后，决定引进该研究成果。2021 年 7 月由绍兴市滨海新区与西安交通大学签订《绍兴滨海新区管理委员会与西安交通大学宽禁带功率半导体产业发展合作协议》，绍兴市滨海新区直接投资 8.5 亿元将研究成果快速落地，实现大规模产业化，并成立了“绍兴市通越宽禁带半导体研究院”具体负责成果转化、团队建设、企业孵化、知识产权管理等事项。国家电网在与西安交通大学共建的“国家电网-西安交大先进电力能源科学技术研究院”中专门设立“大功率半导体器件封装及模块集成”研究平台（作为共建三个平台之一），承接相应的科研成果产业化，促进了关系国家能源安全的“电力电子器件”国产化。

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

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	一种多芯片并联功率模块用封装结构	中国	ZL201910244636.3	2020-11-10	4088635	西安交通大学	王来利；赵成；杨奉涛；齐志远；王见鹏；牛之朝；陈阳
2	发明专利	一种适用于恶劣环境的宽禁带功率模块的封装结构	中国	ZL201911360511.3	2022-02-22	4952997	西安交通大学	王来利；杨奉涛；张彤宇；赵成；王见鹏；齐志远
3	发明专利	基于导电金属夹扣互连的多芯片宽禁带功率模块封装结构	中国	ZL202010324003.6	2021-08-13	4615898	西安交通大学	王来利；张彤宇；杨奉涛
4	发明专利	一种应用于半桥电路的新型 SiC MOSFET 振荡抑制电路	中国	ZL202010924021.8	2020-07-12	5305567	西安交通大学	王来利；杨成子；李华清；于龙洋；刘星烁；朱梦宇；裴云庆
5	发明专利	一种 SiC MOSFET 串联驱动电路	中国	ZL201910482553.8	2021-05-28	4449868	西安交通大学	王来利；杨成子；于龙洋；朱梦宇；马伟；裴云庆；杨

								旭
6	发明专利	一种碳化硅 MOSFET 芯片双向开关功率模块及其制备方法	中国	ZL202110302888.4	2024-05-24	7029616	西安交通大学	王来利; 侯震鹏; 孙立杰; 赵成; 裴云庆; 杨旭; 甘永梅; 张虹
7	发明专利	功率半导体器件	中国	ZL202110526994.0	2023-07-04	6112398	江苏宏微科技股份有限公司	陈超; 张海泉; 麻长胜; 王晓宝; 赵善麒
8	发明专利	带散热功能的功率模块	中国	ZL201611093123.X	2019-03-12	3289104	江苏宏微科技股份有限公司	张正义; 麻长胜; 王晓宝; 赵善麒
9	实用新型	一种新型 IGBT 模块装配结构	中国	ZL202120290329.1	2022-01-25	15589223	南瑞联研半导体有限责任公司	谢龙飞; 骆健; 王豹子; 姚二现; 杨金龙; 刘克明
10	发明专利	一种不同工况下 IGBT 器件各物理层温度监测仿真方法	中国	ZL202011530910.2	2024-05-14	6997465	南瑞联研半导体有限责任公司	潘政薇; 刘旭光; 董长城; 骆健

七、主要完成人情况表

姓 名	王来利	排 名	1
行政职务	系主任		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：			
本人是本项目的第一完成人，对本项目的三个技术发明点均做出了重要贡献。具体表现为技术发明点 1，建立了器件芯片级半物理拟合精准电热动态行为模型并实现了对多芯片并联环流振荡的精准描述；技术发明点 2，揭示了器件多芯片并联电热不均衡的根本原因及其演绎过程，提出多芯片均流均热方法；技术发明点 3，提出了电热特性精确调控全新封装集成理论。			

姓 名	麻长胜	排 名	2
行政职务	总监		
技术职称	高级工程师		
工作单位	江苏宏微科技股份有限公司		
完成单位	江苏宏微科技股份有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
本人是技术发明点 2、技术发明点 3 的贡献者，具体表现为:技术发明点 2，发明了一款优化后的功率半导体器件，旨在使功率器件内部驱动回路杂散参数一致，提升器件均流均温性能；技术发明点 3，发明了一种带散热功能的功率模块，旨在降低寄生电感提高可靠性的同时提高散热效率。			

姓 名	杨旭	排 名	3
行政职务	院长		
技术职称	教授		

工作单位	西安交通大学
完成单位	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本人是技术发明点 2 与技术发明点 3 的贡献者，具体表现为：技术发明点 2，阐明了功率器件多芯片并联电热不均衡的机理；技术发明点 3，发明了一种碳化硅 MOSFET 芯片双向开关功率模块及其制备方法，旨在降低功率模块的寄生电感，提高模块的功率密度。</p>	

姓 名	骆健	排 名	4
行政职务	副总经理		
技术职称	教授级高工		
工作单位	南京南瑞半导体有限公司		
完成单位	南京南瑞半导体有限公司		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本人是技术发明点 3 的贡献者，具体表现为：发明了一种新型 IGBT 模块装配结构，旨在实现模块精确装配、降低寄生电感，提升模块的整体性能。</p>			

姓 名	裴云庆	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本人是技术发明点 1 的贡献者，具体表现为：提出了一种新型 SiC MOSFET 振荡抑制电路，旨在抑制电路振荡产生的过电压。</p>			

姓 名	张帆	排 名	6
-----	----	-----	---

行政职务	无
技术职称	副教授
工作单位	西安交通大学
完成单位	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本人是创新点 2 的贡献者，具体表现为：阐明了并联芯片不均流的机理，提出了非线性最优化控制的多芯片并联均流方法，提高了多芯片并联动态电流的均匀度。</p>	

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>（1）建立了器件芯片级半物理拟合精准电热动态行为模型，形成了从芯片至系统的电热协同分析方法，提出了抑制环流振荡的外部电路参数优化方法，揭示了器件内不对称因素引发并联芯片串扰电压的形成机理，并提出了源路阻断的抑制方案，为多芯片并联器件稳定工作建立了基础；</p> <p>（2）揭示了功率器件开关频率、阈值电压、不对称寄生参数、结温交互作用下产生多芯片并联不均流的机理，提出了非线性最优化控制的多芯片并联均流方法，建立了一体化金属夹扣面互连的多芯片并联电热均衡方法；</p> <p>（3）提出了碳化硅器件多芯片并联电热特性精确调控的全新封装集成理论，发明了基于金属柱交错互连的低寄生电感高导热双面散热封装结构，建立了基于临近解耦、分布解耦的多芯片并联器件封装方法，形成了针对宽禁带器件并适用于硅器件的高性能多芯片封装方法体系。</p> <p>对技术发明点 1、技术发明点 2 和技术发明点 3 均做出了突出的贡献。</p>	

单位名称	江苏宏微科技股份有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>（1）提出多芯片功率器件封装结构与标准，对多芯片功率器件的散热性能进行优化，提高了功率器件的电热性能；</p> <p>（2）提出功率半导体器件多芯片并联的封装结构，改善功率器件的并联均温均流特性。</p> <p>（3）作为主要成果输出推广单位，将项目成果应用于大量实际工程中，基于项目技术成果研制的产品应用于新能源汽车驱动以及牵引系统、工业控制和风机应用领域。</p> <p>对技术发明点 1、技术发明点 2 和技术发明点 3 均有贡献。</p>	

单位名称	南京南瑞半导体有限公司
------	-------------

对本项目主要学术贡献：

(1) 针对碳化硅器件的高温应用，完成了用于高结温功率器件的封装研究，建立了适用于碳化硅半导体的高效散热封装结构；

(2) 针对多芯片功率器件应用，提出了功率半导体器件多芯片并联的封装结构，优化功率器件多芯片并联均流性能。

(3) 基于项目技术成果的产品应用于风电机组控制系统以及集中储能领域。

对技术发明点 2 和技术发明点 3 做出了贡献。

完成人合作关系说明

围绕功率半导体器件多芯片并联电热特性精确调控这一关键问题，以突破多芯片集成碳化硅器件封装集成瓶颈为目标，完成人之间开展了一系列广泛而深入的合作。

第一完成人王来利与麻长胜达成产业合作，签订多项技术转让（专利实施许可）合同，包括一种适用于恶劣环境的宽禁带功率模块的封装结构等，助力多芯片并联电热均衡方法等技术成果进行工程产业化及推广应用；王来利与杨旭共同开展多芯片并联静态电流不均流机制与低寄生电感封装方案的研究，共同完成了发明专利：一种 SiC MOSFET 串联驱动电路，一种碳化硅 MOSFET 芯片双向开关功率模块及其制备方法；王来利与骆健开展产业合作，签订科学技术合同：柔直换流阀用 6500V 压接 IGBT 和 FRD 芯片关键技术研究，推动大功率关键器件国产化，打破国外大公司的市场垄断；王来利与裴云庆共同开展并联芯片串扰电压形成机理与抑制方案的研究，共同完成了发明专利：一种应用于半桥电路的新型 SiC MOSFET 振荡抑制电路，一种 SiC MOSFET 串联驱动电路，一种碳化硅 MOSFET 芯片双向开关功率模块及其制备方法；王来利与张帆开展并联芯片不均流的机理研究，共同发表论文：Effect of Asymmetric Layout and Unequal Junction Temperature on Current Sharing of Paralleled SiC MOSFETs With Kelvin-Source Connection 。

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	产业合作	麻长胜 (2)	2009-01-01	2023-10-31	技术转让合同：一种适用于恶劣环境的宽禁带功率模块的封装结构等	附件 22-25
2	共同知识产权	杨旭 (3)	2009-01-01	2023-10-31	发明专利：一种 SiC MOSFET 串联驱动电路，一种碳化硅 MOSFET 芯片双向开关功率模块及其制备方法	附件 34, 35
3	产业合作	骆健 (4)	2009-01-01	2023-10-31	产业合作合同：柔直换流阀用 6500V 压接 IGBT 和 FRD 芯片关键技术研究	附件 27
4	共同知识产权	裴云庆 (5)	2019-01-01	2023-10-31	发明专利：一种应用于半桥电路的新型 SiC MOSFET 振荡抑制电路，一种 SiC MOSFET 串联驱动电路，一种碳化硅 MOSFET 芯片双向开关功率模块及其制备方法	附件 33-35
5	论文合著	张帆 (6)	2019-01-01	2023-10-31	论文：Effect of Asymmetric Layout and Unequal Junction Temperature on Current Sharing of Paralleled SiC MOSFETs With Kelvin-Source Connection	附件 36