

“新能源车用 GaN 功率器件 UIS 失效机理与可靠性加固新结构”成果登记公示信息

成果名称:	新能源车用 GaN 功率器件 UIS 失效机理与可靠性加固新结构
完成单位:	电子科技大学广东电子信息工程研究院
完成人员:	陈万军,孙瑞泽,王小明,郭新凯,王方洲,信亚杰,刘超,夏云,许晓锐
研究起止日期:	2021-10-01 至 2024-09-30
成果应用行业:	科学研究和技术服务业
高新技术领域:	电子信息
评价单位:	广东省科学技术厅
评价日期:	2025-01-26
成果简介:	<p>一、课题来源与背景:</p> <p>课题类别为区域联合基金-地区培育项目,课题来源单位为广东省科学技术厅,课题名称为新能源车用 GaN 功率器件 UIS 失效机理与可靠性加固新结构,课题编号为 2021B1515140022。</p> <p>为实现 2060 年“碳中和”目标,我国以新能源汽车产业等领域为突破口发起了能源变革。二十一世纪以来,全球能源与环境形势愈加严峻,世界能源格局发生了巨大变化。随着我国在能源结构上的不断探索,“新能源”逐渐成为全社会关注的焦点。推进利用核电、风能、光伏、氢燃料电池等新型清洁能源,实现能源结构转型,成为了国家顶层设计的战略思考。为实现 2060 年“碳中和”目标,我国以新能源汽车产业等领域为突破口发起了能源变革,预计 2030 年我国电动汽车产销将达到 1500 万辆、保有量达到 8000 万辆。新能源汽车产业的快速发展将起到强力的带动作用,引领整个新能源领域发生变革。</p> <p>电动化浪潮之下,全球新能源汽车行业正在经历由传统燃油车时代向智能电动型时代的转型,高效率、小型化的车载充电机技术及发动机牵引逆变器相关技术正成为研究热点。随着市场对车载功率变换器日益增高的功率密度需求,硅基功率半导体器件的发展遭遇瓶颈。得益于禁带宽度大、电子迁移率高、工作频率高等优异特性,近年来氮化镓(GaN)功率半导体器件成为了小型化高功率电力电子系统的优选器件之一。采用 GaN 功率器件可使电动汽车的车载充电器、高压直流转换器和发动机牵引逆变器等实现更高的功率密度和工作效率,尺寸甚至能降至原来的一半,正不断为汽车产业数字化转型提供技术支撑。</p> <p>尽管新能源汽车领域的变革为 GaN 产业的发展提供了得天独厚的机遇,但也带来了许多严峻的挑战。当 GaN 器件应用于车载充电器、高压直流转换器及发动机牵引逆变器等功率转换装置时,通常都伴随着负载、线束及电路板布局引起的寄生电感,因此可能承受极高能量或极多次数的雪崩应力事件。当感性负载关闭时,储存在电感中的能量短时间内难以耗散,使 GaN 功率器件承受极高的电压、电流应力以及瞬间的自热效应,进而引起器件电热性能的严重退化甚至失效。因此,对新能源车用 GaN 功率器件非钳位感性开关过程(UIS)失效机理与可靠性加固新结构的研究具有重要意义。</p> <p>二、技术原理及性能指标:</p> <p>研究发现 GaN 器件在 UIS 应力下的失效可归因于 UIS 应力瞬间引起的高正/负栅极电压应力,这会导致栅极靠近漏极侧高场击穿,进而引起严重的热烧毁。针对该失效机理提出了一种在栅极与源极之间集成自触发泄放通路的新结构,在较高正/负栅压条件下栅极与源极间能够形成通路,避免应力对栅极结构产生损</p>

伤，此外在正常工作条件下该泄放通路结构不处于工作状态因此对器件工作性能影响较小。仿真结果证实该技术在不影响器件正常工作性能的前提下提高了器件瞬态正/负栅压抗性。

三、技术的创造性与先进性：

由于新能源汽车产业的发展，近几年对 GaN 功率器件 UIS 应力的研究开始兴起，但还处于发展阶段，尚有很多不明确的机制，甚至以往可能有一些错误的认知，目前也缺乏 UIS 应力的物理模型以及可靠性的加固技术。该技术针对新能源车用 GaN 功率器件深入开展了 UIS 应力可靠性研究，建立了考虑陷阱特性的动态导通电阻时间演化数学模型，探明了 UIS 应力下电子与空穴俘获效应导致器件静态/动态电性能退化机理，揭示了 UIS 应力下栅极靠近漏极侧高场击穿导致器件失效机理，在器件退化/失效机理的指导下进一步提出了集成自触发泄放通路的 GaN 功率器件 UIS 可靠性加固新结构，为 GaN 功率器件商业应用范围的进一步扩展奠定了基础。

四、技术的成熟程度，适用范围和安全性：

GaN 功率器件 UIS 应力失效机理已被阐明，基于该机理提出的可靠性加固新结构已通过 TCAD 仿真软件进行了验证以及优化，但其仍处于初期阶段，工艺等问题还需进一步考虑。

五、应用情况及存在的问题：

尽管已经提出了 UIS 可靠性加固新结构，但尚未形成器件样品，仍需开发制造工艺对样品性能进行进一步的验证。

六、历年获奖情况：无