

产学研合作啃下碳化硅超级结“硬骨头”

▲ 本报记者 张伟

9月7日,全球首款碳化硅超级结 MOSFET(金属氧化物半导体场效应晶体管)产品在上海首发。这是瑶芯微(上海)电子科技有限公司(以下简称“瑶芯微电子”)与中国科学院院士、西安电子科技大学教授郝跃团队在碳化硅超级结技术上的深度产学研合作成果。

原创突破领先一步

功率器件是电能转换、控制与调节的核心半导体器件,是电力电子装置的基础,主要包括利用硅基材料以及宽禁带半导体材料(又称“第三代半导体材料”,包括碳化硅及氮化镓)制备的产品。

碳化硅功率器件具备高耐压、低损耗、耐高温及高频特性优势,是实现电能高效转换的核心载体。目前已成为新能源汽车、光伏储能、特高压输电等产业发展的核心器件。

根据市场调研机构 Yole 集团的数据,2025 年全球碳化硅功率器件市场规模约 37 亿美元,预计到 2030 年将突破 100 亿美

元。在市场竞争格局方面,目前碳化硅功率器件由海外企业主导,占据全球约 80% 的市场份额。我国作为制造大国,迫切需要本土功率器件企业以支撑战略性新兴产业的稳健发展。

现阶段,碳化硅功率器件主要包括平面型 MOSFET 以及沟槽型 MOSFET。超级结 MOSFET 技术被业界公认为下一代突破方向,理论上可以进一步提升功率密度与转换效率,从而大幅提升高压、超高压功率器件的性能。但由于电荷平衡控制极难、工艺精度要求极高,该技术长期停留在实验室研究阶段,尚未出现具备产业化价值的成果。

瑶芯微电子与郝跃院士团队自 2021 年开展联合技术攻关,并协同晶圆代工厂芯联集成电路制造股份有限公司(以下简称“芯联集成”)进行工艺平台开发。经过 5 年的努力,终于在碳化硅超级结技术上实现了原创性突破。

攻克瓶颈,实现产业化落地

近年来,业界对于器件功率

密度提升、高温寿命耐久的需求越来越高,碳化硅超级结成为亟需攻克的技术方向。

“无论学术界还是产业界都亟需寻找下一个 10 年的技术路线,碳化硅超级结技术虽然已被广泛研究,但面临的很多技术瓶颈仍未被攻克。我们迎难而上,历经艰苦攻关,终于找到了解决方案并实现了产业化落地。”瑶芯微电子创始人、董事长郭亮良表示。

郭亮良介绍说,过去 5 年,郝跃院士团队和瑶芯微电子团队紧密配合,在理论模型建立、器件原型设计、工程落地、工艺调试与产品化等环节联合攻关。技术问题随时出现、研讨随时进行,最终,工艺节点被逐项突破,碳化硅超级结 MOSFET 器件完成从实验室技术到产品化的跨越,器件综合性能实现突破性提升。

随着产学研合作的不断深化,瑶芯微电子与西安电子科技大学陆续建立车载碳化硅功率器件联合实验室、产学研合作基地,以及研究生实践教育基地,

实现技术创新、产业应用与人才培育的深度融合。

郝跃院士团队碳化硅项目带头人贾仁需教授表示,碳化硅超级结器件研发面临三大全球性难题:一是“算不准”,理论模型与实际工艺难适配;二是“找不到”,复杂结构导致多区域电场分布难协同;三是“做不出”,工艺波动导致结构设计难实现。

正是这三重困境长期制约着该技术的产业化进程。而通过此次产学研团队的深度协同,并联合晶圆代工厂进行工艺开发,这些瓶颈被逐一攻克,最终实现了从“实验室概念”到“工程化产品”的跨越。

抢跑下一代碳化硅技术

“瑶芯微电子推出的 1200V 碳化硅超级结 MOSFET,属于全球范围内率先完成产品化验证的碳化硅超级结器件。”郝跃院士评价说。

该器件的落地,攻克了多层外延厚度与掺杂精度控制、兆电子伏特量级高能离子注入实现深层 P 型区制备、窄元胞结构设计

计,以及核心的电荷平衡鲁棒性设计等关键技术——需将理想电荷平衡点拓展为可容忍工艺波动的设计安全区间,同时完成与之匹配的终端结构开发,实现设计与制造工艺的高度协同。

过往碳化硅功率器件的技术路线与产品规格由海外企业主导,国内多围绕成熟器件结构开展国产替代。超级结属于下一代器件结构,国内科研与产业团队将原创技术转化为工程化产品,意味着我国已具备参与下一代功率器件技术路线竞争的能力。

瑶芯微电子联合创始人、首席技术官陈开宇介绍,在量产方面,瑶芯微电子已与晶圆代工厂芯联集成紧密合作,产品将精准覆盖高压直流供电系统、AI 服务器电源等核心应用场景。

业内人士表示,海外头部企业均将碳化硅超级结定位为 2027 年至 2031 年的下一代主力技术路线。此次国产碳化硅超级结 MOSFET 的产品化落地,意味着在下一代技术起跑线上,中国企业已占得先机。



烟台高新技术产业开发区欢迎您

招商电话: 0535-6922511