

# 基于碳化硅 (SiC) 功率转换开关器件 在商用车领域中的应用

## Application of silicon carbide (SiC) based power conversion switch devices in commercial vehicle field

鲁思慧

**摘要:** 本文在对碳化硅 (SiC) 半导体技术应用特征分析前提下, 将重点对基于SiC功率转换开关器件技术在商用车领域中的应用与优势及安全防撞技术的应用作分析研讨。由此亦对面向电动汽车牵引逆变器的汽车功率模块呈现的趋势作说明。

**关键词:** 碳化硅 (SiC), 功率转换开关, 电动汽车, 牵引电机逆变器

**Abstract:** Under the premise of analyzing the application characteristics of silicon carbide (SiC) semiconductor technology, this paper will focus on the application and advantages of SiC power conversion switch technology in the field of commercial vehicles and the application of safety collision avoidance technology. The trend of automotive power modules for electric vehicle traction inverters is also explained.

**Keywords:** Silicon carbide (SiC), power conversion switch, electric vehicle, traction motor inverter

### 前言

世界各地为减少交通运输中温室气体和污染物排放而制定的排放标准, 使电力驱动开始崭露头角。这是从二氧化碳减排、未来动力总成的技术驱动因素等角度所引发。而电力驱动电机弥补内燃机之缺陷是新潮流。众所周知, 内燃机的效率变化很大, 特别是在可变负载或部分负载的情况下。在极端情况下, 效率甚至可能降至 15% 或更低。而电机一个主要优势是效率高。电机的效率并不取决于其工作点。在相同的工作条件下, 构成电力驱动系统的电机和逆变器可以实现更高的效率水平。电力传动系统在最佳状态下可以达到 80% 以上的效率。电力传动系统之所以能够实现这一点, 是因为其碳化硅 (SiC) 功率电子器件本身可以达到高达 85% 的效率水平。

最典型的是基于碳化硅 (SiC) 功率转换开关器件技术在商用车领域中的应用, 它是属于电动汽车领域中的新机遇。那是为什么呐?

在商用车领域, 它与乘用车相比, 由于驱动架构不同, 这个领域并没有一个通用的解决方案适用于所有情况。而当今由于基于 CoolSiC™ 沟槽栅的碳化硅功率 MOSFET 凭借杰出的系统性能, 则可在二氧化碳减排、未来动力总

成的技术驱动因素等角度的商用车分析中得知 SiC 转换开关器件的优值系数 (FOM) 值上取得了巨大改进。这能给许多应用带来更高的效率和功率密度, 以及更低的系统成本。该技术也可为创造更多新应用和新拓扑带来可能。

值此本文在对碳化硅 (SiC) 现代半导体技术应用特征分析前提下, 将重点对基于 SiC 功率转换开关器件技术在商用车领域中的应用与优势及安全防撞技术的应用作分析研讨。由此亦对面向电动汽车牵引逆变器的汽车功率模块呈现的趋势作说明。

### 1 碳化硅 (SiC) 功率转换开关器件特征的开拓

如今基于碳化硅 (SiC) 功率转换开关器件技术在商用车领域中的应用与所有新技术一样, 碳化硅功率 MOSFET 必须全面严格地遵循技术开发和产品质量检验程序。唯有如此才能达到功率转换系统的设计寿命和质量要求。那么碳化硅 (SiC) 现代半导体器件应用特征具有何种显著的应用特征呐?

#### 1.1 碳化硅 (SiC) 现代半导体器件应用特征

SiC 能作为功率器现代半导体器件应用特征件原材料

的原因之一是,它能借用硅器件的许多著名概念和工艺技术,其中包括基本的器件设计,如垂直型肖特基二极管或垂直型功率 MOSFET (对 JFET 和 BJT 进行一些改进后获得的替代结构)。

工业级 SiC MOSFET 的栅极氧化层可靠性 - 失效率和寿命是应用特征之最。根据 SiCMOSFET 的栅极氧化层可靠性分析,大量的栅极氧化层早期失效多年来一直在阻碍 SiCMOSFET 的商业化进程,并引发出对 SiC MOSFET 开关能否像 Si 技术一样可靠的怀疑。过去十年里, SiC 技术已发展得基本成熟, SiC MOSFET 器件的栅极氧化层可靠性已逐步取得改进。这为它们成功地进入大众市场打开了大门。在栅极氧化层可靠性领域,可以重复使用 Si 技术的许多专业知识。例如,事实表明, SiC 器件上的 SiO<sub>2</sub> 的物理击穿场强与 Si 器件上的 SiO<sub>2</sub> 相似(即使不相同)。这意味着,在 SiC 上制取的 SiO<sub>2</sub> 的整体击穿稳定性与在 Si 上制取的 SiO<sub>2</sub> 一样好。SiC MOSFET 的栅极氧化层可靠性之所以不如 SiC MOSFET,是由“外在”的缺陷导致的。外在的缺陷是指栅极氧化层发生细微的变形,致使局部氧化层变薄,如图 1 应用特征所示。

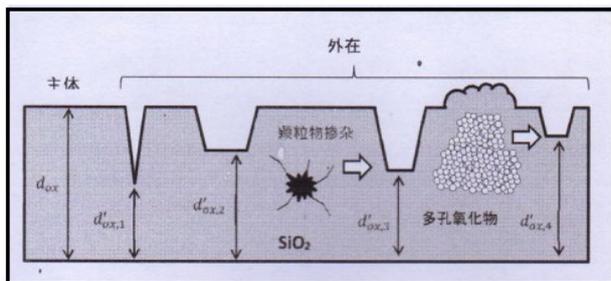


图 1 SiO<sub>2</sub> 的图 1 应用特征示意图

由此构建的 CoolSiC™ 沟槽栅的碳化硅功率 MOSFET 产品可保证工业甚至是汽车应用中预期的故障率 (FIT), 并成为引发出碳化硅 (SiC) 在商用车领域应用已成为新机遇。

## 1.2 碳化硅 (SiC) 功率转换开关器件在商用车领域中的应用

图 2 为基于碳化硅 (SiC) 碳化硅 (SiC) 功率 MOSFET 技术的新型商用车示意图。



图 2 为基于碳化硅 (SiC) 功率 MOSFET 技术的商用车示意图

相比乘用车,商用车需要更长的续航里程和电池寿命。由于电池占用了较大的安装空间,因此商用车需要使用高效的功率电子产品。这种功率电子产品不仅可以构建更高效的牵引变流器,还可以在小型应用中实现节能。这些小型应用包括液压泵、空调和制冷装置的压缩机,以及车载充电器。

碳化硅 (SiC) 器件在这些应用中带来了显著的改进。通常来说,在相同负载情况下, SiC 技术比常用功率 MOSFET 和 IGBT 的损耗更低。这意味着该技术可以提高开关和载流效率,这些优势在较高的中间电路电压下大有可为。由于这些特性, SiC 半导体特别适用于电池电压和总储能容量更高的电动汽车。由于 SiC 器件还能够在更高的电压下工作,因此可以实现车载充电解决方案,从而缩短充电时间,并降低总损耗。

在传动系统中,用于控制电力牵引电机的逆变器是一个典型的集中式系统。从效率的角度来看,这些系统可以通过使用 SiC 器件而获益。逆变器的核心功能是将直流电压转换为三相交流电压,用于驱动电机。它们还会在再生制动期间反向运行,捕获车辆的动能,以产生用于为车辆电池充电的直流电压。只有当能量转换的固有损耗较低时,系统的效率才能最大化。与传统的硅技术相比, SiC 器件的导电性有所改善,从而减少了这些转换损耗 (其中很大一部分损耗以热量的形式存在)。提高 SiC 逆变器的效率,有助于最大限度地延长电动汽车的续航里程,从而更有效

地利用有限的电池容量。除了效率方面的优势外,基于 SiC 器件的逆变器还具有更高的功率密度。这意味着 SiC 逆变器可以变得更小,占用的安装空间也更少,见图 3 的系统图所示。

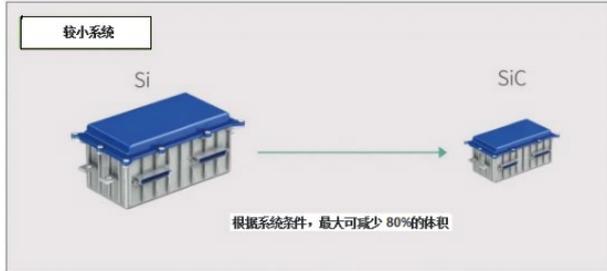


图 3 用碳化硅实现了更高的功率密度

由此在设计或选择逆变器时,需要考虑的重要因素包括功率密度、可靠性、稳健性、效率和安全性。另外,特别是在商用车领域,还必须考虑严酷的工作条件对总预期寿命的长期影响。通常而言,这些条件比乘用车面临的条件要严峻得多。要根据这些标准开发逆变器,需要具备深厚的应用技术,以及涵盖功率和驱动器模块、传感器和微控制器的半导体产品组合,如图 4 的商用车驱动逆变器系统示意图所示。

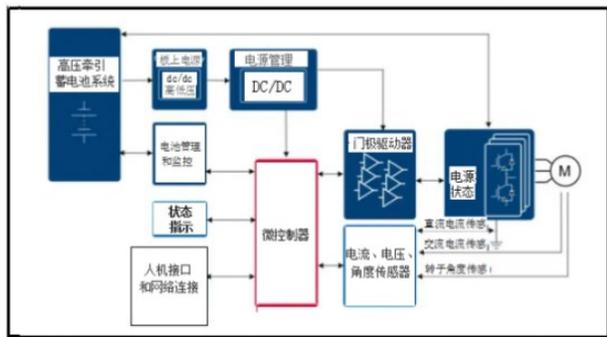


图 4 为商用车驱动逆变器系统示意图

## 2 商用车安全防撞技术的应用

AEB 是一种汽车主动安全技术,主要由 3 大模块构成,包括控制模块 (ECU),测距模块,和制动模块。其中测距模块的核心包括微波雷达、人脸识别技术和视频系统等,它可以提供前方道路安全、准确、实时的图像和路况信息。AEB 系统采用雷达测出与前车或者障碍物的距离,然后利

用数据分析模块将测出的距离与警报距离、安全距离进行比较,小于警报距离时就进行警报提示,而小于安全距离时即使在驾驶员没有来得及踩制动踏板的情况下,AEB 系统也会启动,使汽车自动制动,从而为安全出行保驾护航。其项目特性指标为雷达范围水平 0-160m,角度  $\pm 8^\circ$ ; 模块间通讯采用 CAN 通讯方式;满足商用车辆自动紧急制动系统 (AEBS) 标准。

## 3 碳化硅功率半导体在商用车领域中的优势

值此从计算机辅助检测 (CAV) 应用技术方案 (eCAVs) 对商用车的优势作解析。

新型商用车计算机辅助检测 (CAV) 应用方案 (eCAVs) 可以从 5 大部份组成作解析。即安全与 ADAS 解决方案,充电与储能,高压应用,24V 车身应用及燃料电池解决方案。

\* 安全与 ADAS 高级驾驶辅助 (ADAS) 解决方案 - 最佳车辆安全性、生产率和能效。

新型可扩展的计算机辅助检测 (CAV) 专用解决方案可实现无缝数据集成、准确的诊断和先进的控制,使您能够应对三大趋势:二氧化碳减排,即将到来的 3 级和 4 级自动驾驶以及降低保险成本。它适用于 24V 商用车辆电动助力转向系统 (EPS),适用于 24V 商用车辆的故障后可操作电动助力转向系统 (EPS),24GHz 雷达,多用途摄像头,主配电中心。

\* 充电与储能 - 最广泛和可扩展的电动汽车充电产品组合

可提供无缝充电体验,释放最佳电池性能、同时满足对高功率密度、低系成本和耐用性的严格要求。CAV 专用车载充电器 (OBC) 支持可靠的 43 千瓦快速充电,使用寿命可延长至 150 万公里,并具有高度可扩展性。结合我们的车载电池管理系统 (BMS),可对电池进行精确监控、保护和优化。此外,通过我们高达 3.5 兆瓦的可扩展直流车外充电以及感应式和谐振式无线充电系统、英飞凌使充电基础设施能够满足商业需求并适应未来的扩展。包括:车载电池充电器,汽车电池管理系统 (BMS),电池断电保护装置,50kW 至 350kW 充电器,无线充电。

\* 高压应用 - 高效紧凑的一体化系统解决方案

可提供可靠、可扩展的 CAV 专用高压产品组合,支持各种电机类型和 800V 及以上的电池电压。帮助您降低

总拥有成本, 缩短产品上市时间。可在车内实现无缝电源管理和分配。高效电源模块和分立解决方案还可促进高压和低压子网络之间的高效双向能量流。

凭借在 Si-IGBT 和 SiC 领域的专业应用, 从微控制器到精确的传感器和功能强大的开关, 可扩展解决方案可确保最佳的效率、安全性、稳健性和更长的电池寿命。其功能包括适用于商用车的动力总成逆变器, 电动汽车热管理, 高压 - 低压、直流 - 直流转换器等均适用于商用车的辅助应用。

\* 商用车领域中典例 --24V 车身应用, 高度集成的功能和可扩展的解决方案

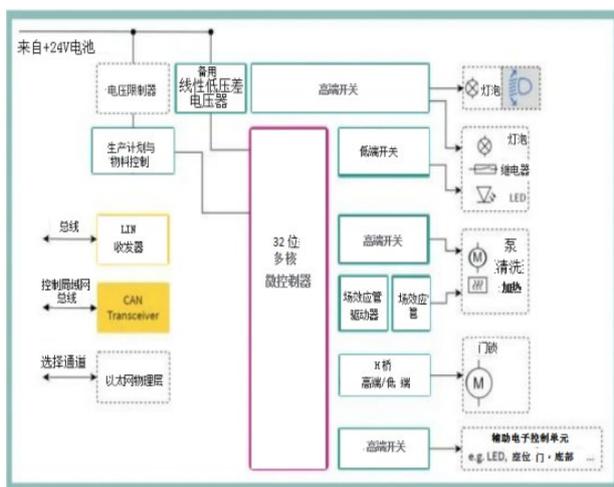


图 5 为 24V 车身应用, 高度集成的功能和可扩展架构组成图

从图 5 可知, 以更小的电路板空间实现商用车不断扩展的功能、实现更低的设计成本, 释放 CAV 的全部潜能。其的 24V 车身 ECU 综合解决方案最大限度地提高了设计灵活性、将卓越的诊断和保护功能与跛行模式 (汽车电控设备出现故障时候) 功能安全概念集成在一块电路板上, 最大限度地提高了设计灵活性。无论是无刷、有刷还是单向泵 (直流电机), 低压电机控制单元均可提供高效的低压电机控制单元为 12V 和 24V 系统提供高效、集成和分立的电机控制, 当然还配备了诊断保护功能。与液压和气动阀门控制系统搭配使用, 则广泛的阀体应用范围可确保精度, 与液压和气动阀门控制系统配合使用, 阀体应用范围广泛, 可确保在恶劣环境下的精度, 坚固性和适应性, 同时具有成本效益。

\* 燃料电池解决方案

新一代燃料电池电动汽车动力传动系统提供持、合作伙伴网络和一站式服务支持下一代燃料电池电动汽车动力传动系统, 优化系统效率、规模经济性和上市时间。氢燃料电池堆是电动汽车燃料电池技术的核心。而功率半导体解决方案和智能控制集成电路可实现多目标优化, 从而降低系统成本、我们的功率半导体解决方案和智能控制集成电路可实现降低系统成本、提高功率密度、提升应用效率和模块化设计等多目标优化。而燃料电池解决方案包括辅助逆变器, 电池管理系统 (BMS), 燃料电池控制单元 (FCCU), 燃料电池 DC/DC 升压转换器, 燃料电池电动空气压缩机, 高低压 DC/DC 转换器, 主逆变器 (卡车和农用车辆)。

#### 4 碳化硅 (SiC) 在商用车领域应用促使供应链整合的不断加强的趋势

近年来, 随着供应链整合的趋势不断加强, 各制造商之间的合作方式正在发生深刻的变革。过去, 通常需要与多个供应商协商部件采购、系统开发和产品生产, 这往往导致复杂的合作关系和资源浪费。然而, 如今的趋势是, 各制造商直接购买所需的部件和技术, 共同进行创新和开发, 以实现供应链的简化和优化。新的供应链整合商业模式带来了许多显著的好处, 其中之一是客户能够更早地享受到创新的 SiC (碳化硅) 技术。传统的供应链模式可能需要较长时间才能将 SiC 技术应用到 OEM 的产品中, 但通过直接所需的新型部件, 客户可以更快地获得 SiC 创新, 并将其应用于系统设计中。

其次, 这种供应链整合模式可以确保所提供的系统完全符合 OEM (原始制造厂商) 的需求。传统的供应链模式可能导致信息传递和理解上的偏差, 从而影响最终产品的质量和性能。然而新商业模式, 使 OEM 可以更好地沟通和协调, 确保所购买的部件和技术完全符合要求, 并且能够与其它系统无缝集成。

最后, 是拥有更高的设计自由度。传统的供应链模式可能受限于特定供应商提供的部件和技术选择, 从而限制了系统设计的创新性和灵活性。客户可以获得更广泛的选择, 可以自由地根据自己的需求进行设计, 并实现更具竞

争力的产品。

## 5 后话 - 商用电动汽车技术及功率块的未来新趋势

(1) 由上可知可利用 CoolSiC™沟槽栅的 MOSFET 产品系列塑造出商用电动汽车的未来。这些产品采用 SiC 技术,可让您轻松跟上电动汽车设计的快速发展,从而开发出比以往更高效、更小巧且更稳健的创新应用。而该现代半导体技术支持涵盖了各种各样的产品,可快速提供完全基于 SiC 的解决方案,这些解决方案可根据您的应用需求量身定制,以轻松、快速且自信地将 SiC 应用到您的电动汽车设计中,同时最大限度地降低系统成本和风险并缩短上市时间。

(2) 如今已呈现出面向电动汽车牵引逆变器的新型

汽车功率模块。该模块传承了成熟的碳化硅 (SiC) 器件的 MOSFET 技术,可在相同尺寸下提供可扩展性,并扩展至更高的功率和易用性。能够在 750V 和 1200V 电压等级内实现高达 300kW 的功率,提供高度易用性和新功能,例如下一代相电流传感器和片上温度传感的集成选项,从而优化系统成本。这款功率模块通过改进的组装和互连技术,实现了性能和功率密度双提升。通过采用新的互连技术(芯片烧结)和新材料(新型黑色塑料外壳),该模块还实现了更高的温度额定值,从而获得更高的性能和更长的使用寿命。尤其是典型推出新型车级 HybridPACKDriveCoolSiCMOSFET。这不仅让逆变器的设计在 1200V 等级内实现更高的功率(最高可达 250kW),还扩大了驱动范围、缩小了电池尺寸、优化了系统尺寸和成本。

### 上接167页

用及废弃后处理过程中都会给人类和生态环境带来严重危害。为了保护地球和人类的生存空间,防止环境污染,研究和开发实用化的无铅压电陶瓷材料是一项具有重大社会和经济意义的课题。具有更薄更小尺寸的片式压电陶瓷频率元器件;频率更高的压电陶瓷谐振器;具有更高频率精度,更优异频率稳定性,可靠性更高的压电陶瓷频率元器件;具有优异的耐热性,能适用无铅回流焊需要的片式陶瓷频率元器件;不含或少含有毒、有害元素的片式压电陶瓷频率元器件的应用受到关注。

另外,利用压电陶瓷换能器产生的超声波处理废水及有毒水。具有径向尺寸小、输出力矩大、可控性强等特点的超声电机;防盗、测高、汽车防撞、遥控开关和机器人测距离等超声传感器;伺服位移制动器、光学应变镜、应变光栅、超精密导向机构、切磨误差补偿制动器、液压伺服阀等应特别关注。

目前,我国电子陶瓷生产企业正努力缩短与国外的差距,加快企业的创新和获得具有自主知识产权的步伐,成为高新技术产品的研究和生产型企业,努力提高企业的市

场的竞争力和经济效益。特别是在碳化硅陶瓷材料的应用,超导陶瓷、陶瓷薄膜材料、陶瓷基复合材料、纳米及功能纳米复合材料、雷达吸波材料在飞行隐身技术中的研究和应用等不断取得新的成果,现代陶瓷材料正为我国高新技术的高速发展不断做出更大的贡献。

## 7 结束语

总之,我国的电子信息产业,特别是一些附加价值高、技术含量高的新型电子信息产品和一些基础电子产品的生产水平与发达国家相比仍存在很大差距,不少高端产品在相当大的程度上被外资企业所控制。我国信息产业正面临着产品升级换代的机遇和挑战。近些年来,在国家诸多重点科研计划的支持和推动下,我国在电子陶瓷材料的科学研究与产业化方面有了很大发展,在奇妙的陶瓷材料世界里还有许多未知的现象有待于人们去探究,相信随着科学技术的进一步发展,人类也必然会发掘出功能陶瓷材料的新功能,并将其派上新用场。