

高性能碳化硅 (SiC) 器件应对持续挑战

Ajay Sattu

安森美

SiC 等宽禁带 (WBG) 器件对于当今汽车和可再生能源等应用至关重要。随着我们的世界逐渐转向使用可持续能源 (主要是电力), 能效比以往任何时候都更重要。

提高开关模式能效的方法之一是降低铜损和开关损耗。然而, 为了应对这一挑战, 直流母线电压不断上升, 半导体技术必须发展以跟上步伐。这些技术对企业实现碳减排承诺至关重要。

在本文中, 安森美 (onsemi) 将探讨下一代 SiC 器件如何演进以应对最新应用的挑战。本文还将阐释稳健的端到端供应链对于确保持续成功的重要性。

在众多应用领域, 有诸多不同因素正在推动技术加速发展。以工业和汽车这两个最重要的市场为例, 主导的关键趋势是提高能效、缩小外形和利用图像传感提升感知能力。

在工业领域, MOSFET 和功率模块的进步正被用于优化各种工业系统的能效和系统成本。有两个领域特别受益, 即电动汽车充电基础设施和替代 / 可再生能源应用 (如太阳能)。

成本和性能是许多工业应用共同的主线。设计人员要解决的挑战是, 在不增加尺寸的情况下让太阳能逆变器输送更多电力, 或者降低与储能相关的散热成本。降低充电成本是普及电动乘用车的重要途径。然而, 至关重要的是, 要通过壁挂式直流充电桩或直流快速充电, 实现更快的充电能力, 而不需要额外的散热。

在汽车领域, 能效与车辆的行驶里程以及车载电子设

备的尺寸、重量和成本密切相关。在电动汽车 / 混合动力汽车中, 与部署 IGBT 功率模块相比, 部署 SiC 方案可带来显著的性能提升。同时, 车用 CPU、LED 照明和车身电子设备也能从更好的电源管理中获益。

主驱逆变器是一个关键点, 它会影响车辆的整体能效, 因而限定了行驶里程。根据行驶场景, 轻型乘用车大部分时间是在轻载工况下行驶, 因此相比 IGBT 方案, SiC 提高能效的优势显而易见。此外, 车载充电器 (OBC) 尺寸需要尽可能小。只有支持高开关频率的宽禁带器件才能实现更小的外形尺寸。节省的每一盎司能量都能增加车辆的总行驶里程, 从而减轻里程焦虑。

SiC 技术用于当今应用中的优势

汽车和工业应用中的所有电源转换都依赖基于半导体的开关器件和二极管去实现高能效和降低转换损耗。因此, 半导体行业一直在努力提高电源应用中使用的硅基半导体器件的性能, 特别是 IGBT、MOSFET 和二极管。加之电源转换拓扑结构的创新, 可实现前所未有的性能。

随着现有硅基半导体器件达到其能力极限, 为了继续提高能效, 我们需要新的材料。宽禁带 (WBG) 材料, 如 SiC 和氮化镓 (GaN) 等, 在未来颇具发展前景。电气系统对更高性能、密度和可靠性的需求, 正在推动 SiC 技术突破极限。

无论是用于汽车主驱、太阳能逆变器抑或电动汽车充电器, 基于 SiC 的 MOSFET 和二极管产品都能提供

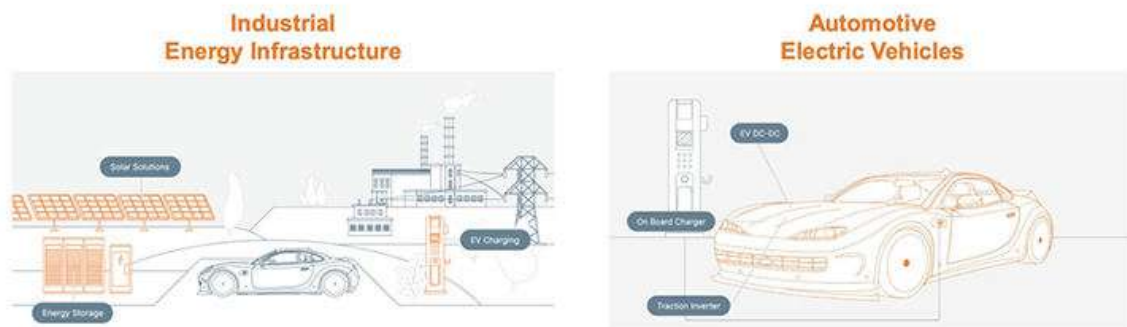


图 1 : 多种应用需要 充分利用 SiC 技术的优势

比现有硅基 IGBT 和整流器更好的性能和更低的系统级成本。SiC 的宽带隙特性支持比硅更高的临界场，因此可实现更高的阻断电压能力，例如 1700 V 和 2000 V。而且，SiC 的电子迁移率和饱和速度本质上就高于 Si 器件，因此能够在显著更高的频率和结温下工作，这两点都是非常优势的。此外，基于 SiC 的器件开关损耗相对更低，频率更高，这有助于减小相关无源元件（包括磁性元件和电容）的尺寸、重量和成本。

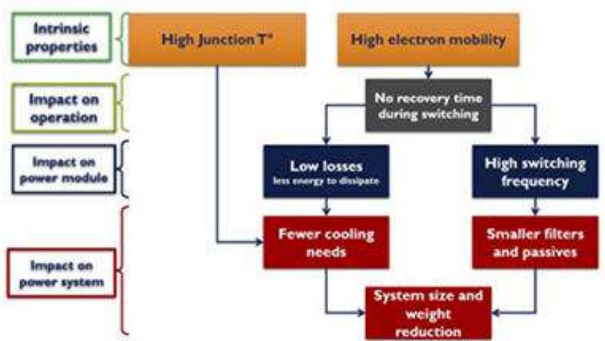


图 2：SiC 等宽禁带材料给电源系统带来多方面好处

由于导通损耗和开关损耗显著降低，基于 SiC 的电源方案产生的热量更少。另外，SiC 器件能够在高达 175° C 的结温 (Tj) 下工作，这意味着对风扇和散热器等散热措施的需求显著减少，系统尺寸、重量和成本得以节省，并且即使在具有挑战性、空间受限的应用中也能确保更高的可靠性。

对更高电压器件的需求

SiC 的宽带隙特性支持比硅更高的临界场，因此可实现更高的阻断电压能力，例如 1700 V 和 2000 V。对于给定的功率，提高电压会降低总电流需求，从而降低总铜损。在太阳能光伏 (PV) 系统等可再生能源应用中，来

自 PV 板的直流母线电压已从 600 V 提高到 1500 V 以提升能效。类似地，轻型乘用车正从 400 V 母线过渡到 800 V 母线（某些情况下为 1000 V 母线），以提高能效并缩短充电时间。过去，对于 400 V 母线电压，所用器件的额定电压为 750 V，但现在需要更高的额定电压，例如 1200 V，甚至 1700 V，以确保器件在这些应用中可靠地工作。

最新技术

为了满足更高击穿电压的需求，安森美开发了一系列 1700 V M1 平面 EliteSiC MOSFET 器件，针对快速开关应用进行了优化。NTH4L028N170M1 是这首批器件中的一款，其 VDSS 为 1700 V，并且具有更高的 VGS 为 -15/+25 V。该器件的 RDS(ON) 典型值超低仅 28 m。

新型 1700 V MOSFET 可以在高达 175° C 的结温 (Tj) 下工作，相关的散热器尺寸可以大幅减小，甚至完全无需散热器。NTH4L028N170M1 的第四个引脚上有一个开尔文源极连接 (TO-247-4L 封装)，这可以降低导通功耗和栅极噪声。还有一种 D2PAK-7L 配置，它能进一步减小 NTB028N170M1 等器件中的封装寄生效应。

安森美即将推出采用 TO-247-3L 和 D2PAK-7L 封装的 1700 V 1000 m SiC MOSFET，适用于电动汽车充电和可再生能源应用中的高可靠性辅助电源单元。

除 MOSFET 之外，安森美还开发了一系列 1700 V SiC 肖特基二极管。具有该额定值的 D1 系列器件可在二极管的反向峰值电压 (VRRM) 和反向重复峰值电压之间提供更大的电压裕量。特别是，新器件即使在高温下也能提供更低的正向峰值电压 (VFM)、最大正向电压和出色的反向漏电流，使设计人员能够实现在高温高压下稳定运行的设计。

RDS(ON) (mΩ) Typical @Vgs:20V	TO-247-3L	TO-247-4L	D2PAK-7L
28		NTH4L028N170M1	NTBG028N170M1
1000	NTHL1000N170M1 (Sep '22 / Feb '23)		NTBG1000N170M1 (Sep '22 / Feb '23)

图 3：安森美的新型 1700 V EliteSiC MOSFET

拓扑结构，包括四种全新的拓扑结构：

- 串联电容降压转换器
- 准谐振 / 调频反激式转换器
- 电感器 - 电感器 - 电容器 (LLC) 半桥转换器

· 电感器 - 电感器 - 电容器 (LLC) 全桥转换器。请参见图 3。

Power Stage Designer 可简化电源设计人员的工作。

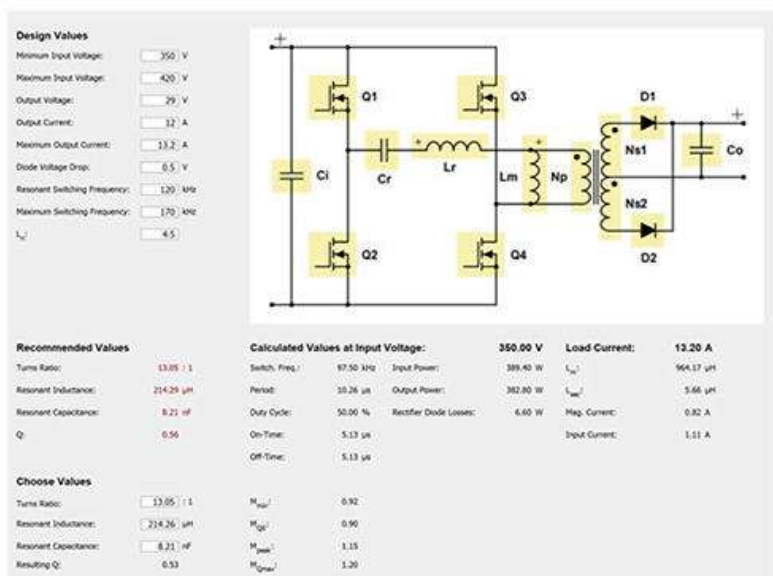


图 3：LLC 全桥转换器的拓扑窗口

上接34页

IF (A)	VFM (V)	TO-247-2L	Die
100	1.75		NDC100170A
25		NDSH25170A	NDC25170A
10		NDSH10170A	NDC10170A

图 4：安森美的新型 1700 V 肖特基二极管

新器件 (NDSH25170A 和 NDSH10170A) 可以 TO-247-2L 封装和裸片两种形式供货，还有一种无封装的 100 A 版本。

供应链考量

在某些行业，供应链受到组件供应的牵制，因此在选择新器件和技术时，考虑供应能力非常重要。为了确保对客户的供应稳妥可靠以支持快速增长，安森美最近收购了 GT Advanced Technologies (GTAT)。此举不仅巩固了

供应链，还能使安森美利用 GTAT 的技术经验。

目前，安森美是为数不多的具有端到端 SiC 供货能力的大规模供应商，包括批量 SiC 晶圆生长、衬底、外延、器件制造、出色的集成模块和分立封装方案。

为支持未来几年 SiC 的预期增长，安森美计划在 2023 年前将衬底产能增加 5 倍，并大力投资将器件及模块产能增加一倍，随后，到 2024 年，产能将再次翻倍，并有能力在未来再次将产能翻倍。

总结

借助 SiC 的性能，设计人员将能满足当今具挑战的应用需求，包括汽车、可再生能源和工业应用的需求，尤其是功率密度和散热方面。

SiC 技术在逐渐成熟，关键应用领域在不断发展和进步，因此 SiC 也必须同步发展以满足日益增长的需求。例如，对更高击穿电压的需求，安森美推出了新的 1700 V SiC MOSFET 和二极管满足了这一需求。此外，安森美目前正在开发 2000 V SiC MOSFET 技术，以支持太阳能、固态变压器和电子断路器等新兴应用。