

采用芯片级封装的氮化镓 (GaN) 晶体管改善系统的热性能

随着功率转换器需要更高的功率密度，晶体管必须配合不断在缩减的电路板面积。氮化镓 (GaN) 功率晶体管除了可以提高电源效率外，它们也必须具备更高的热效率。在这篇文章中，我们探讨采用芯片级封装的增强型氮化镓场效应晶体管 (eGaN[®] FET) 的热性能，并与最先进的Si MOSFET比较两种器件的电气性能和热性能。

作者：宜普电源转换公司 (EPC) 应用工程执行总监David Reusch博士和
首席执行官、共同创始人Alex Lidow博士

改善热性能

在功率转换器中，热量主要源自功率晶体管的内部损耗，因此提高功率器件封装的热效率是改善系统的热性能的出发点。封装的热效率可以通过比较两个参数（归一化封装面积）来定义-- $R_{\theta JC}$ 和 $R_{\theta JB}$ 。 $R_{\theta JC}$ 是结至外壳的热阻，这是从 eGaN FET 的有源部分到Si衬底顶部的热阻，其中侧壁也包括在内。 $R_{\theta JB}$ 是结至电路板的热阻，这是从 eGaN FET的有源部分到印刷电路板 (PCB) 的热阻。

采用芯片级封装的 eGaN FET 和 Si MOSFET封装的 $R_{\theta JB}$ 的热阻主要是由封装的大小来决定而不取决于芯片的技术[1][2]。相反，图1给出了 eGaN FET 的芯片级封装的 $R_{\theta JC}$ 曲线[3][4]，如蓝色方点所示。而Si MOSFET的最先进双面冷却封装[5]-[7]的 $R_{\theta JC}$ 曲线由红色圆点代表。即使是Si MOSFET的最先进的双面冷却封装，热量从封装顶部散出时，效率也远不如使

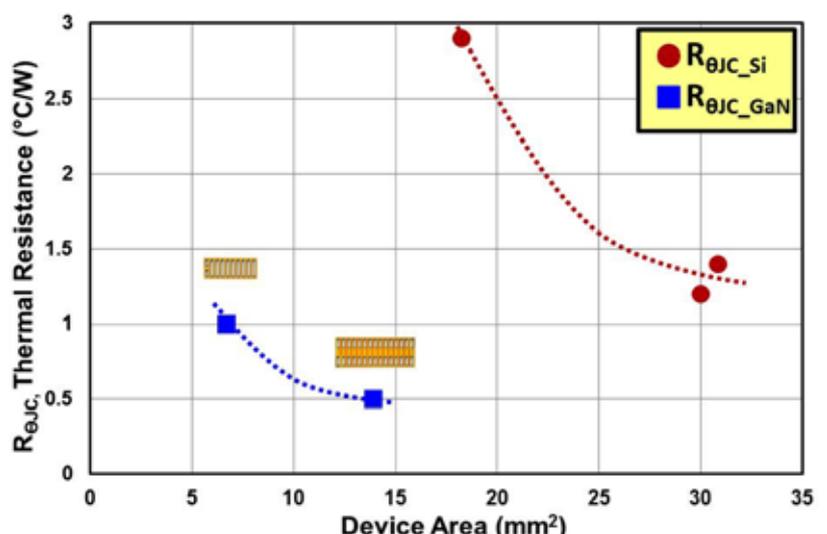


图1: 不同封装形式的 $R_{\theta JC}$ [3]-[7], 蓝色方点为eGaN FET, 红色圆点为Si MOSFET。

用芯片级封装的eGaN FET，因此芯片级封装是最高效的双面冷却封装，而且最适合用于高功率密度的设计。

提高电气性能

改善热性能的最直接的方法是提高器件的电气性能，减少功率损耗，从而减少必须散却的热量。根据参考资料[8]的描述，所有 eGaN FET 都具有较低的FOM和采用优越的封装，因此提高了电气性能。

为了比较eGaN FET和最先进的Si MOSFET的整体性能，我们设计了3个相同的 48V_{IN} 降压转换器的评估板，如图2所示。所有的电路板尺寸均为2x2英寸，并且都有645 mm² 的有源铜区（图2白色边框内）。这些设计都使用相同的PCB板，使用4层2.8 mil/71μm铜和使用如[8]所描述的优化布局。

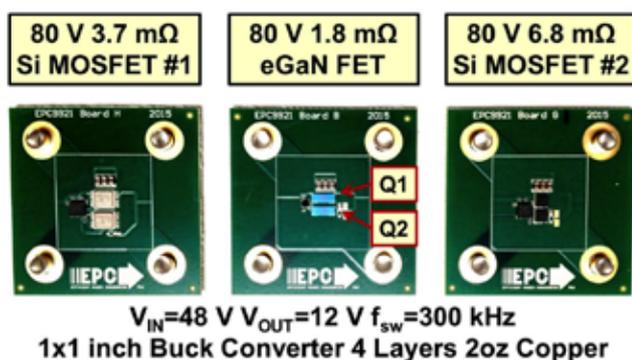


图2: eGaN FET和Si MOSFET的热性能评估板。

80 V Si MOSFET使用如图2左侧的先进双面冷却封装 (Infineon BSB044N08NN3)，以及图2右侧的传统S3O8封装 (AOS AON7280)。这两款Si MOSFET采用了各自封装技术中商用及具有最低FOM的器件。基于MOSFET的设计采用最先进的MOSFET驱动器 (Intersil ISL2111)，而Si MOSFET的栅极电压为10 V。

基于 eGaN FET 的设计如图2中间部分所示，采用了2个80V栅格阵列 (LGA) 芯片级封装的eGaN FET (EPC2021)，驱动芯片采用TI的LM5113。eGaN FET的栅极电压为5 V。基于eGaN FET的设计使用相等如基于Si MOSFET设计不到一半的面积。基于eGaN FET的设计能够改善功率密度的第一个原因是它的尺寸小很多，这是与MOSFET在 $R_{DS(ON)}$ 乘以面积方面相比。第二个原因是其栅极驱动器小很多，这是由于它的封装更好，具有低电荷而减小了对驱动的要求，以及eGaN FET具有低驱动电压。

基于eGaN FET和Si MOSFET的48V_{IN}至12V_{OUT}降压转换器在开关频率为300 kHz和500 kHz时系统总效率和功率损耗的比较如图3所示。这些曲线考虑了包括电感、电容和PCB损耗的整个系统损耗。

在轻负载时，基于eGaN FET和Si MOSFET #2的设计的效率相同，但后者的导通电阻几乎高出4倍，这是由于eGaN FET具低电荷所致。在满载条件下，具有低导通电阻的eGaN FET可以实现更高的效率。在具有低导通损耗和低开关损耗下，基于eGaN FET的设计几乎在每一个设计点上都具有更高的效率。

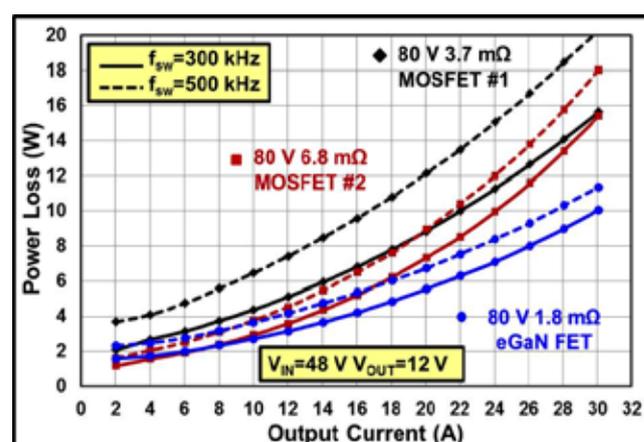
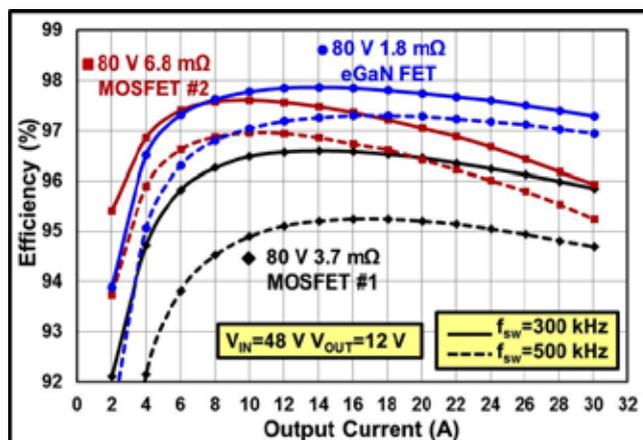


图3: 基于eGaN FET和Si MOSFET降压转换器的 (a) 效率 (b) 功率损耗的实验结果比较 ($V_{IN} = 48 \text{ V}$ 至 $V_{OUT} = 12 \text{ V}$, $f_{sw} = 300 \text{ kHz}$, $f_{sw} = 500 \text{ kHz}$ ($L = 4.7 \mu\text{H}$ Coilcraft SER2915L))。

当与基于较大尺寸的Si MOSFET #1的设计比较时，在所有条件下，基于eGaN FET的设计的性能都有所提高。对于较大尺寸、开关较慢的Si MOSFET来说，最大的损耗来自较高的开关损耗。在300 kHz开关频率和30 A负载电流下，基于eGaN FET的设计比基于Si MOSFET的设计的系统总损耗降低了35%。在500 kHz开关频率时，与基于Si MOSFET的设计相比，基于eGaN FET的设计的效率下降了最小，这是由于它有着低开关电荷、低导通电阻和改进了的封装。此外，在负载电流为 30 A时，相比基于Si MOSFET的最优解决方案，基于eGaN FET的系统的总损耗几乎减小了40%。

提高系统性能

图4比较了基于采用芯片级封装的 eGaN FET和Si MOSFET的设计的热性能，为评估所选的最高温度远低于功率器件的最大结温 (150°C)。选择100°C作为最高温度是为了在更高环境温度时可提供裕量，以及让器件可降额运行，这是一种常见的设计方法。

如图4左侧所示，在14A输出电流下，基于Si MOSFET #1的设计在200 LFM 的风速下达100°C。Si MOSFET具有较低的电气效率而产生较高的功率损耗，其封装的热效率也比采用芯片级封装的 eGaN FET为低（图4中间所示）。在相同的最高温度下，基于eGaN FET 的设计在22 A工作时，其最大的器件温度与采用先进双面冷却封装Si MOSFET #1设计的上方Q1器件相近。基于eGaN FET的解决方案在保持相同的最大结温和占用更小的电路板空间下，可以提高输出功率差不多达60%。

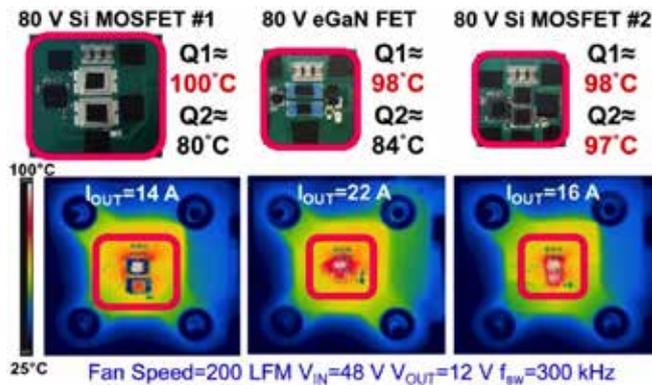
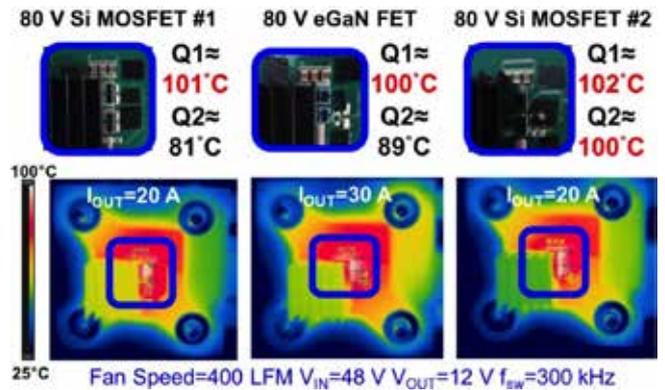


图4: 基于采用芯片级封装的eGaN FET (中间)、双面冷却封装的Si MOSFET #1 (左侧)、S3O8封装的Si MOSFET #2 (右侧) 以及没有使用散热器的降压转换器的实验热性能比较 ($V_{IN}=48\text{ V}$ 至 $V_{OUT}=12\text{ V}$, $f_{sw}=300\text{ kHz}$, 风速=200 LFM, 在大约相同的最高器件温度条件下的环境温度=25°C)。

如图4右侧所示，在16A输出电流、200 LFM冷却风速下，以S3O8封装的Si MOSFET#2的设计的最大器件温度接近100°C。在这个相同最高温度下，基于eGaN FET的设计的输出电流为22 A，其最大器件温度与使用S3O8封装的Si MOSFET#2设计的上方Q1器件相近，而基于eGaN FET的设计的低侧Q2器件比Si MOSFET #2设计的Q2温度低13°C。基于eGaN FET的解决方案在保持相同的最大外壳温度的条件下，可以提高输出功率差不多达40%。

为了比较基于eGaN FET和Si MOSFET的设计采用带散热器的双面冷却方法，我们在备有散热器的条件下进行测试。在各个设计中都使用相同方法装配散热器，并



使用[1]和[2]所描述的装配工艺。

图5: 基于采用芯片级封装 eGaN FET (中间)、双面冷却封装的Si MOSFET#1 (左侧)、S3O8封装的Si MOSFET #2 (右侧) 并使用散热器的降压转换器的实验热性能比较 ($V_{IN}=48\text{ V}$ 至 $V_{OUT}=12\text{ V}$, $f_{sw}=300\text{ kHz}$, 风速=400 LFM, 在大约相同的最高器件温度条件下的环境温度=25°C)。

如图5中间所示，在使用散热器下、400LFM冷却风速和 30 A 输出电流时，基于采用芯片级封装的eGaN FET的设计的最高器件温度达100°C。在20A输出电流和 400 LFM 冷却风速下，基于采用双面冷却封装Si MOSFET #1 (图5左侧) 和常规封装的Si MOSFET #2 (图5右侧) 的设计的最大器件温度均达100°C。在相同的最大外壳温度下，基于 eGaN FET的解决方案可提高总输出功率达50%，而且占板面积更小。

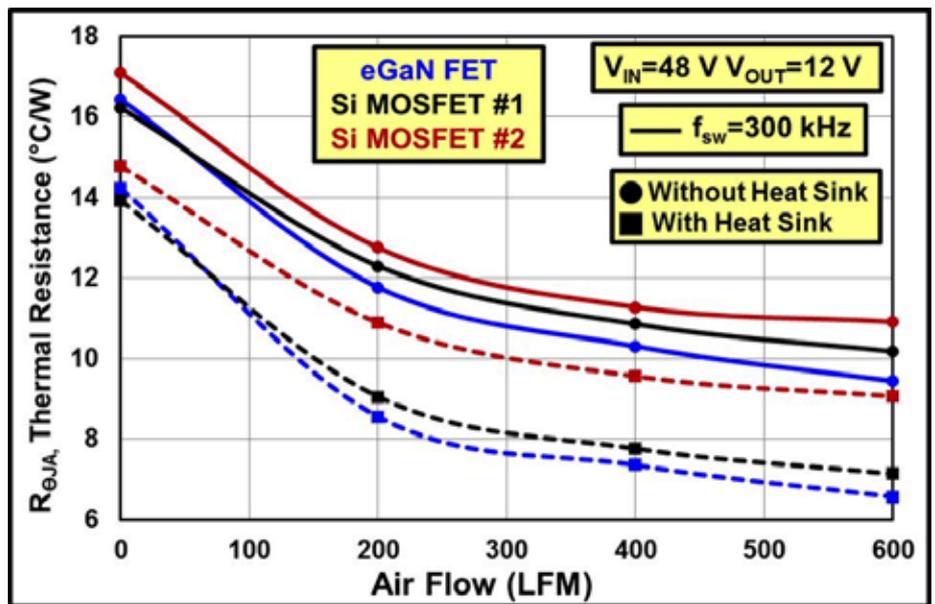


图6: 基于eGaN FET和Si MOSFET的降压转换器的结到环境的系统热阻抗与风速关系曲线比较 ($V_{IN}=48\text{ V}$ 至 $V_{OUT}=12\text{ V}$, $f_{sw}=300\text{ kHz}$)。

eGaN FET比常规封装的Si MOSFET在结到外壳间具有更优越的热性能。采用双面冷却封装的Si MOSFET的占板面积比eGaN FET的占板面积大约大3倍，而两个设计在结到外壳冷却方面的改进相同。由于eGaN FET的尺寸小很多，因此连接散热器的热界面的热阻抗较小。这是由于该晶体管的功率密度较高和连接散热器的面积较小所致。

如图6所示，针对有散热器和没有散热器的设计，我们比较eGaN FET和Si MOSFET在不同冷却风速下，结到环境的系统热阻抗。基于eGaN FET的设计的有源面积最小，具有最佳的整体热性能。这表明即使是与最先进的Si MOSFET封装方案相比，采用芯片级封装的eGaN FET具有优异的热效率。

eGaN FET具有卓越的热性能和改进了的电气性能，能够在很小的占板面积下提高系统的整体性能，其优势可以改写业界标准。

总结

在这篇文章中，我们对采用芯片级封装的氮化镓晶体管的热性能进行了评估。由于高压横向的氮化镓晶体管的所有电气连接都位于芯片的同一侧，因此不需要使用垂直Si MOSFET常用的复杂并且性能受限的双面封装。芯片级封装是一种更高效的封装，它可以减少功率晶体管的电阻、电感、缩减尺寸、降低热阻和成本，从而使得电路的性能无与伦比。

参考文献

- [1] D. Reusch and J. Glaser, DC-DC Converter Handbook, a Supplement to GaN Transistors for Efficient Power Conversion, First Edition, Power Conversion Publications, 2015.
- [2] D. Reusch, J. Strydom, and A. Lidow, "Thermal Evaluation of Chip-Scale Packaged Gallium Nitride Transistors," Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), pp.587-594, 2016.
- [3] Efficient Power Conversion EPC2001C datasheet, www.epc-co.com
- [4] Efficient Power Conversion EPC2021 datasheet, www.epc-co.com
- [5] Infineon CanPAK S-size BSF134N10NJ3 G datasheet, www.infineon.com
- [6] Infineon CanPAK M-size BSB012N03LX3 G datasheet, www.infineon.com
- [7] Texas Instruments Super SO8 Dual Cool SON 5x6mm CSD16321Q5C datasheet, www.TI.com
- [8] A. Lidow, J. Strydom, M. de Rooij, D. Reusch, GaN Transistors for Efficient Power Conversion, Second Edition, Wiley, 2014.

www.epc-co.com.cn

IGBT驱动器专用DC/DC模块电源 QAxX1系列

UL CB



- 工作温度范围: -40°C to +105°C
- 隔离电压: 3000VAC
- 最大容性负载: 1000uF
- 电路保护: 可持续短路保护
- 可空载使用
- 超小型SIP封装

产品线:



1-240W AC/DC电源模块



0.25-150W DC/DC电源模块



IGBT 驱动器



EMC 辅助器

*具体产品型号参数, 请查阅我司技术手册!

金升阳
MORNSUN®

广州金升阳科技有限公司
MORNSUN GUANGZHOU SCIENCE & TECHNOLOGY CO.,LTD.
地址: 广州市萝岗区科学城科学大道科汇发展中心科汇一街5号

Tel: 400-1080-300
Fax: +86(20)38601272
Email: sales@mornsun.cn
Http://www.mornsun.cn

