



INDUSTRIAL
SUMMIT 2024

POWERING YOUR SUSTAINABLE INNOVATION



用于工业应用的宽带隙技术 和创新封装解决方案

Joe GUO

1 WBG材料优点

2 ST SiC技术

3 SiC封装路线图

4 PowerGaN技术

5 PowerGaN封装

6 要点

7 问答

WBG材料优点



关于宽带隙材料

更低的导通电阻和损耗

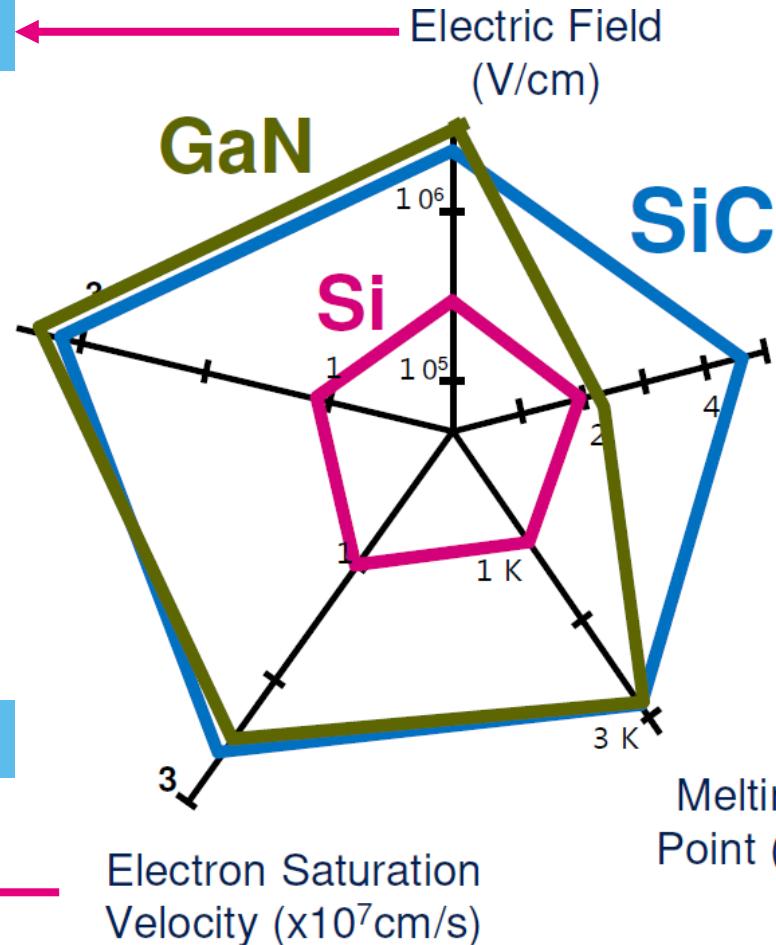
高击穿电压

更高的开关频率

散热能力更好
降低了冷却要求

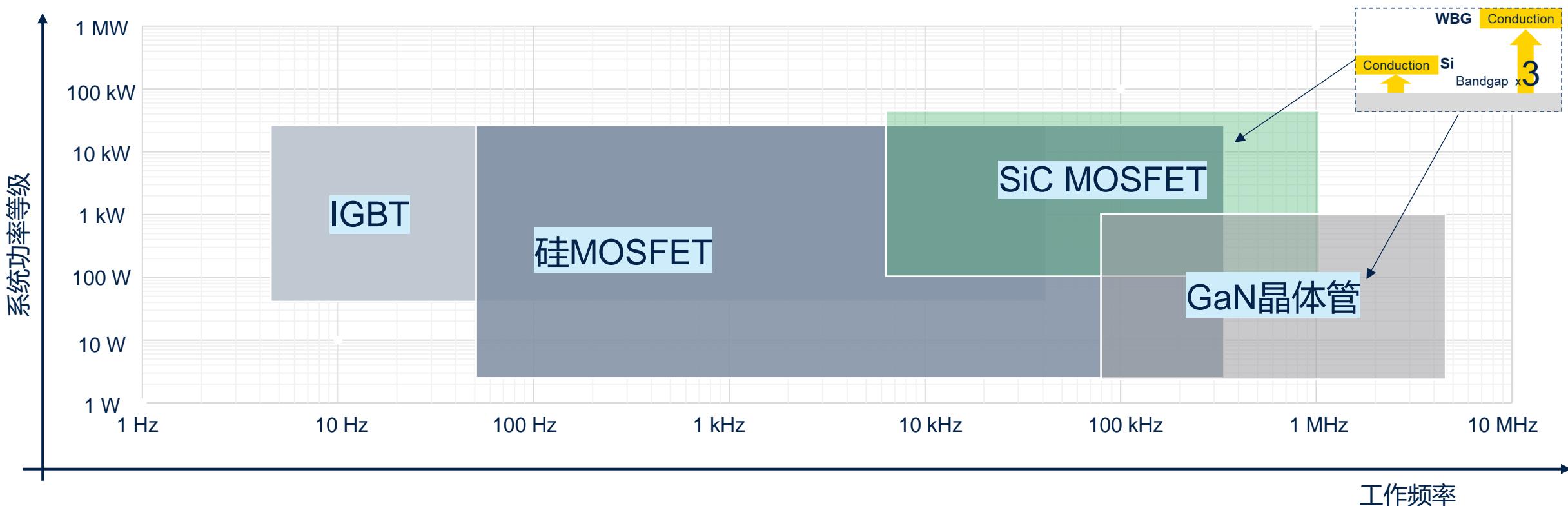
Thermal
Conductivity
(W/cm · °C)

高结温能力
高达200°C



硅、SiC和GaN功率半导体的定位

通过模块或并联可实现更高功率水平



ST SiC技术



SiC MOSFET电压范围

用于高密度应用的高压快速开关技术



1200–1700 V

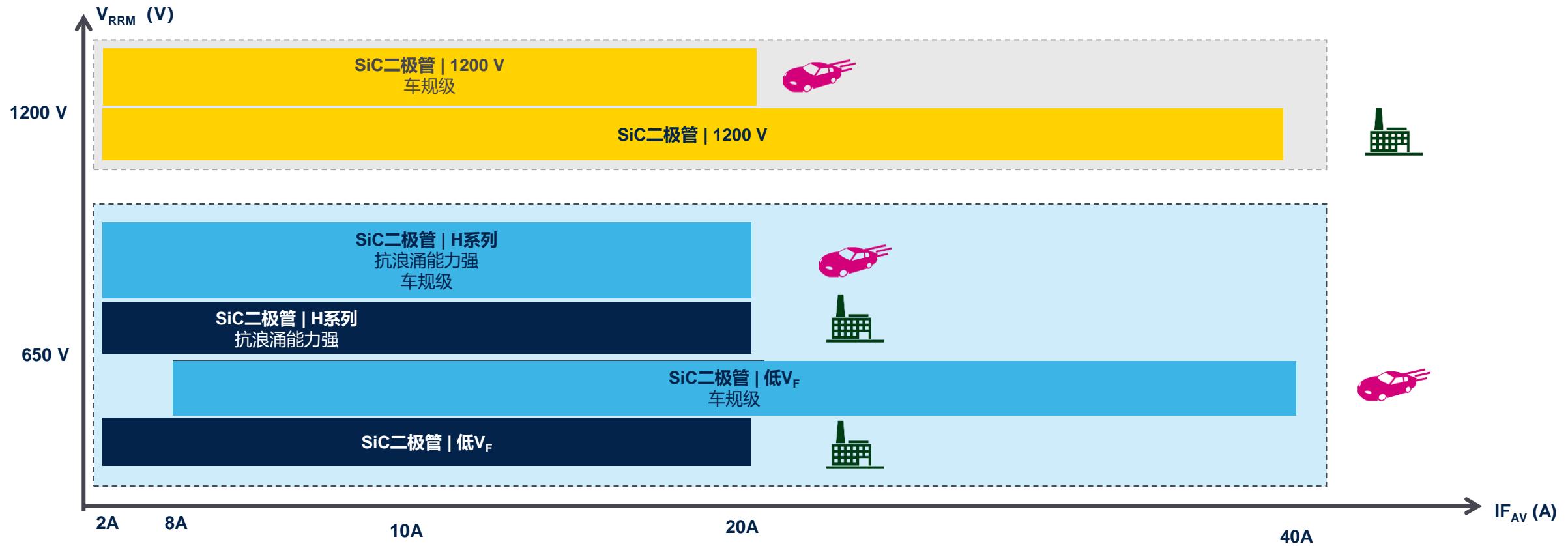
650 V, 1200 V, 2200 V

650 V, 750 V, 900 V,
1200 V

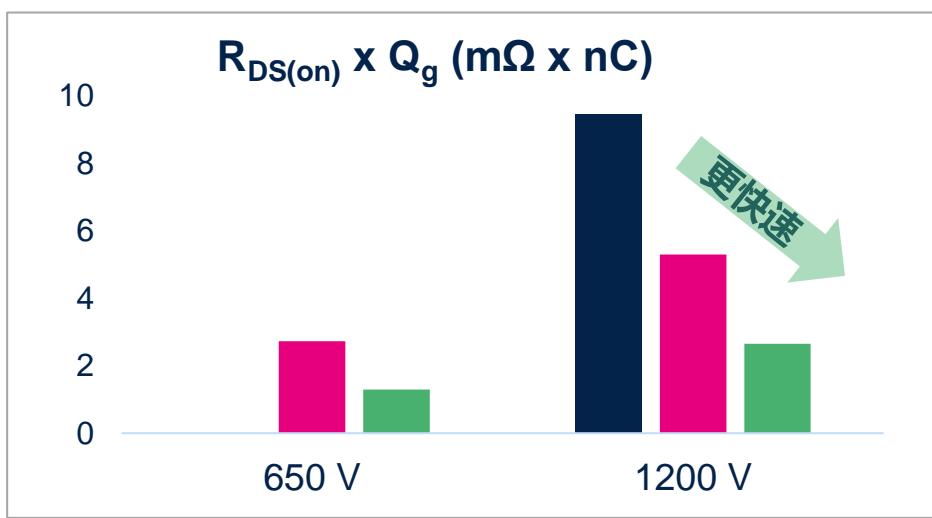
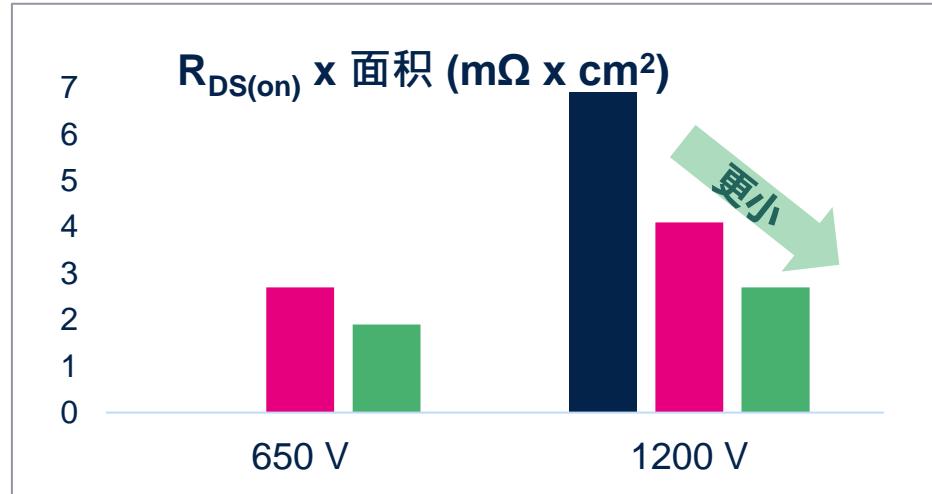
2200 V

SiC二极管系列概述

更大的范围



SiC MOSFET提高了品质因数



历代MOSFET的改进

- 较低的 $R_{on} \times \text{面积} \rightarrow$ 若芯片尺寸一定，则 R_{on} 更低；若 R_{on} 一定，芯片尺寸越小，则可获得更高的电流能力和更低的传导损耗 \rightarrow 在封装体积相同的功率模块中，可获得更大的功率
- 较低的 $R_{on} \times Q_g \rightarrow$ 更低的开关损耗，更高的频率（减少电路板）

STPOWER SiC MOSFET 产品系列和应用

击穿电压

650 V

750 V/900 V

1200 V

1700 V

2200 V

系列

G2

G3

G3

G1

G2

G3

G1

VHV

通态电阻

18 mΩ至
67 mΩ

14-55 mΩ

11 mΩ

52 mΩ至
520 mΩ

25 mΩ至
75 mΩ

15 mΩ至
70 mΩ

1 Ω 和
65 mΩ

31 mΩ

主要应用

OBC & DC-DC
可再生能源
电源
工业用驱动器

牵引系统
OBC & DC-DC
高密度电源

牵引逆变器
OBC & DC-DC
高密度电源

光伏
电源

OBC & DC-DC
逆变器
充电站
工业用驱动器

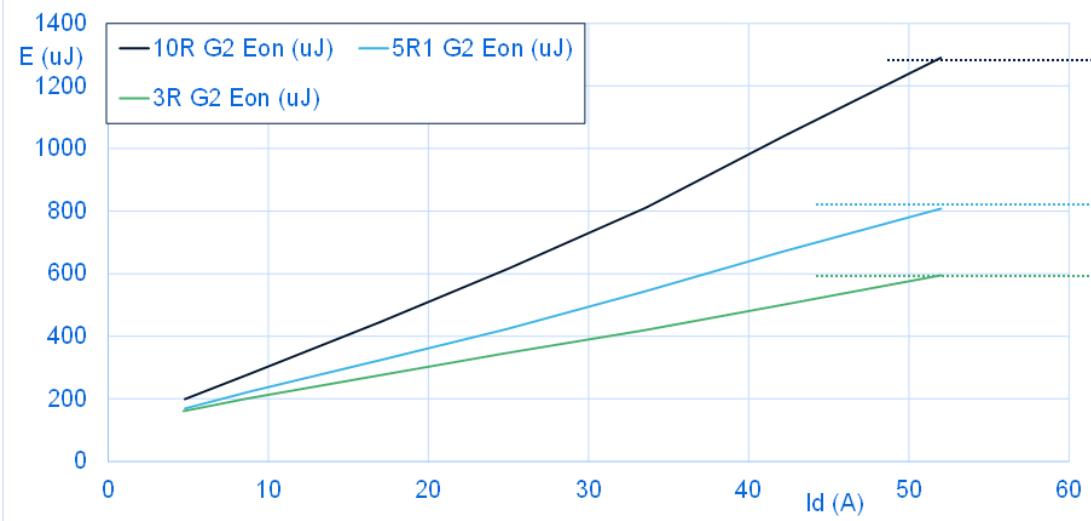
牵引逆变器
OBC & DC-DC
HF电源

DC-DC
电源
可再生能源

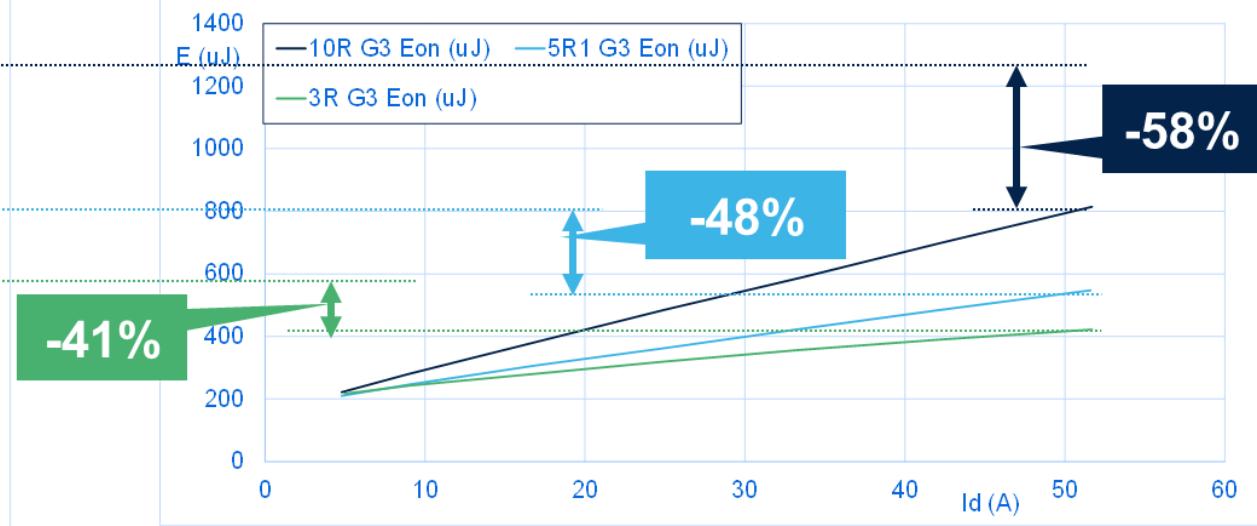
DC-DC
电源
可再生能源

SiC MOSFET开关 SiC Gen3 vs Gen2

SCTWA70N120G2V-4



SCT015W120G3-4AG



SiC Gen 3 MOSFET V_{gs}驱动 18 V可获得最佳R_{on}, 但15 V也可行

Figure 3. Typical output characteristics ($T_J = 25^\circ\text{C}$)

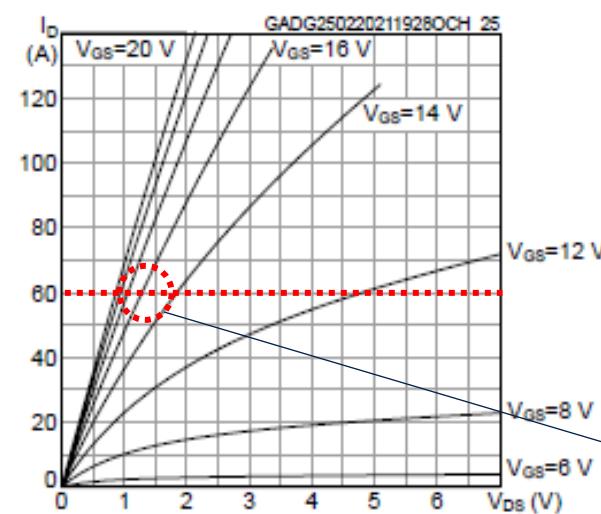
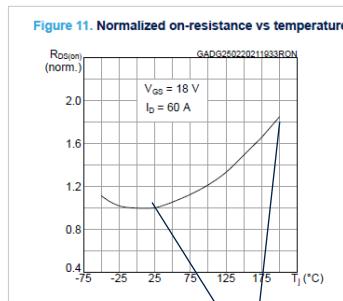
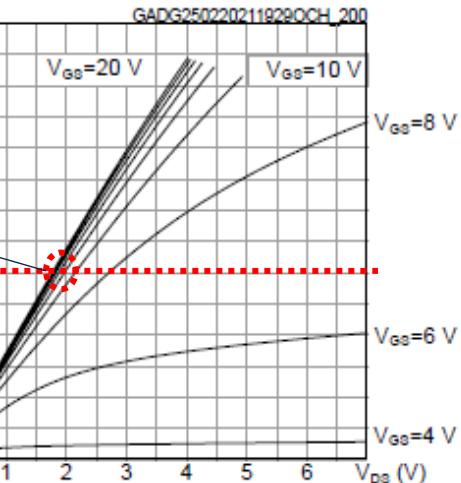
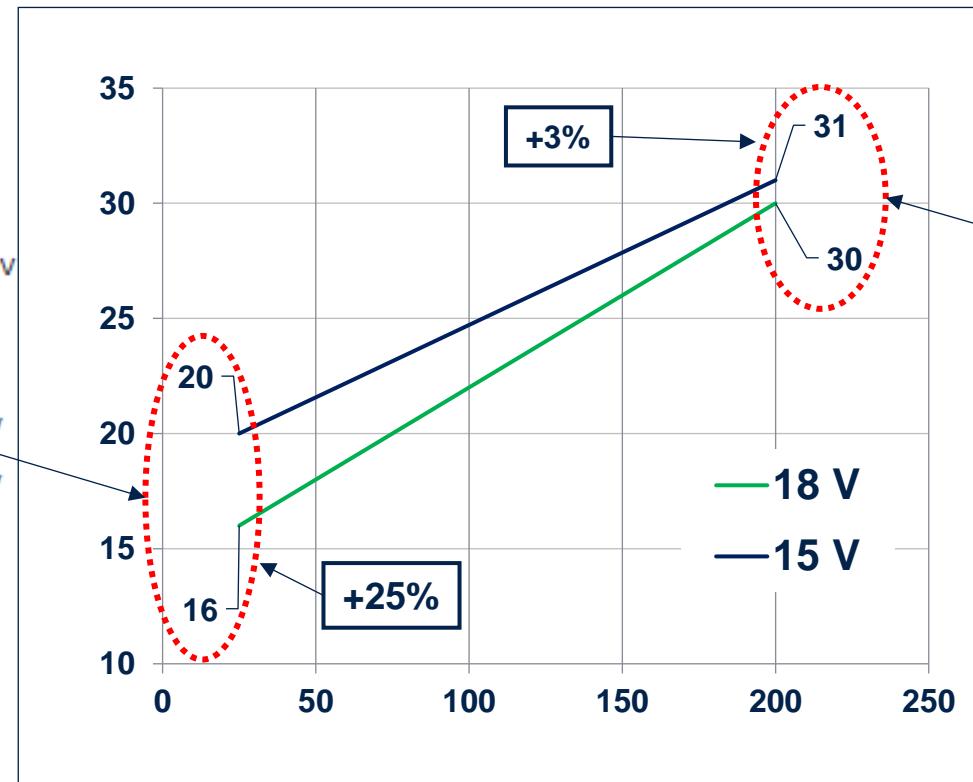


Figure 4. Typical output characteristics ($T_J = 200^\circ\text{C}$)

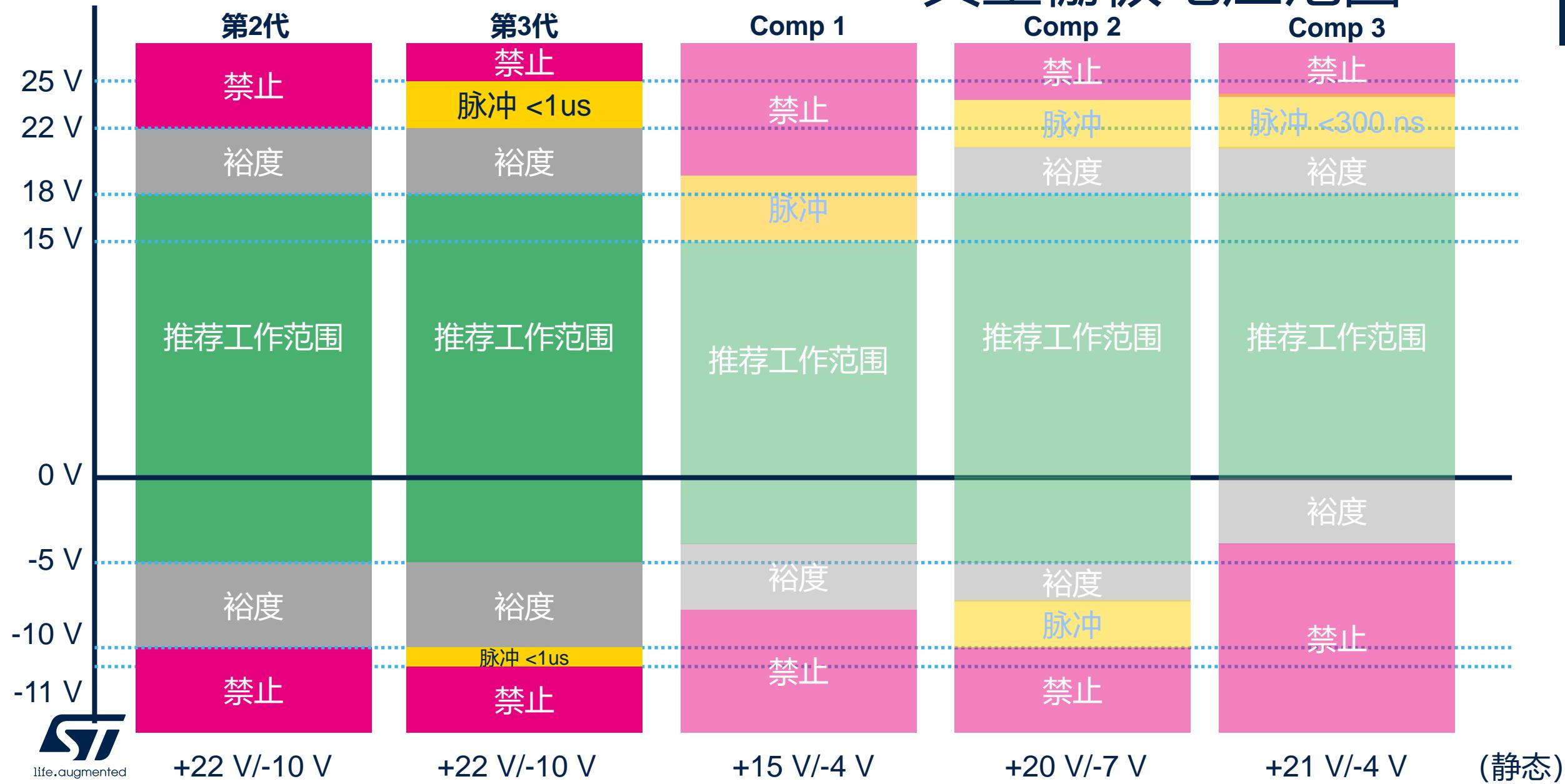


R _{DS(on)}	Static drain-source on-resistance	V _{GS} = 18 V, I _D = 60 A	16	22	mΩ
		V _{GS} = 15 V, I _D = 60 A	20		
		V _{GS} = 18 V, I _D = 60 A, T _J = 200 °C	30		

❖ Gen3 V_{gs}驱动

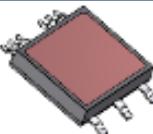
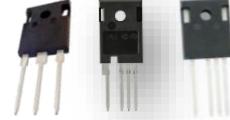
- ❖ V_{gs}推荐值: 18 V
- ❖ 驱动 @ 15 V, 可行但R_{dson}更高 (约+25%)
- ❖ 对开关损耗的影响不明显 (R_g微调)
- ❖ 可参考上文中特定第3代产品的示例 (SCT130N120G3D8AG)

典型栅极电压范围AMR



SiC封装路线图

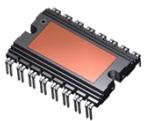
SiC MOSFET封装技术

PowerFLAT 8x8 STD & DSC	TO-LL	H2PAK-7L	HU3PAK	ACEPACK SMIT	HiP247 (3、4, 长引 线)	STPAK	裸晶片
							
表面贴装					通孔	特殊封装方案	
极薄 (<1 mm) 在功率转换方面被广泛接受 双侧冷却选项 无引线 工业领域	(最大) 厚度2.4 mm 良好的R _{thj-a} 性能 无引线 工业领域 用于优化驾驶的开尔文源 良好的热耗散	Ag认证 @ 175°C 用于优化驾驶的开尔文源 汽车客户的高级领跑者	Ag认证 @ 175°C 顶部冷却 用于优化驾驶的开尔文源 出色的热耗散效率	Ag认证 @ 175°C 隔离式顶侧冷却 适用于各种配置 (HB、双晶片等) 高功率 模块化方法	Ag认证 @ 200°C 常见工业标准 用于优化驾驶的开尔文源选项 开发中的高爬电版本 (1700 V)	用于牵引逆变器的独特解决方案 Ag认证 @ 200°C 出色的热耗散效率 用于优化驾驶的感应引脚 多层烧结封装	WLBI & KGD T&R或RWF选项 符合严格的车辆品质要求



用于工业和汽车应用的功率模块

ACEPACK功率模块 硅MOSFET和IGBT, 碳化硅MOSFET



ACEPACK
DMT-32



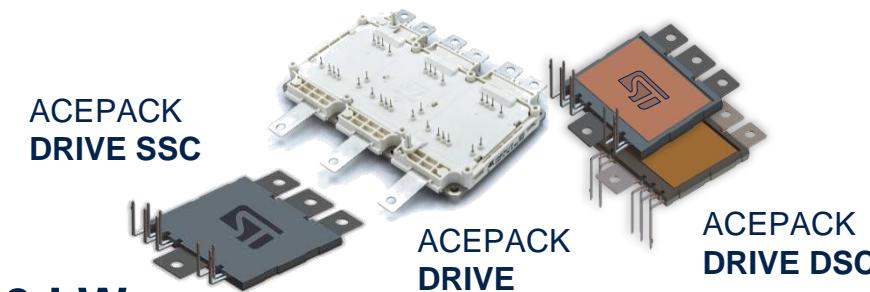
ACEPACK
SMIT



ACEPACK 1 & 2



5 kW ————— 10 kW — 30 kW



150 kW ————— 340 kW →

中等功率应用



Solar Energy



Power Supply & UPS



HVAC



OBC



DC/DC转换器



Charging Station



Motor Drives



Grid and Infrastructure



Wind and renewable energy

高功率应用

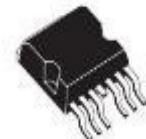


牵引逆变器

先进的表贴式封装

高级特性：

额外的开尔文源引脚用于驱动优化



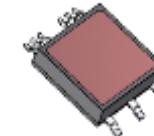
H²PAK-7I



TOLL



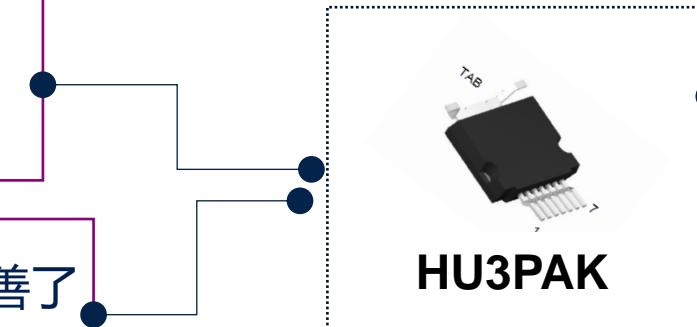
HU3PAK
顶部冷却SMD



ACEPACK
SMIT

SMD TSC (顶部冷却)

顶部冷却方便连接散热器



HU3PAK

热传导不经过PCB，显著改善了
 R_{TH}

开尔文源用于改善开关性能



俯视图 (散热器侧)

耐高温
 T_j (max)= 175°C

改善了热性能
避免热传导经过PCB
优化散热器形状和效率

增强的热耗散
顶部冷却

使更高效率成为可能
更优质的 T_j 管理可提升系统效率

开尔文源引脚
SMD封装

支持更高效率
支持更紧凑的系统

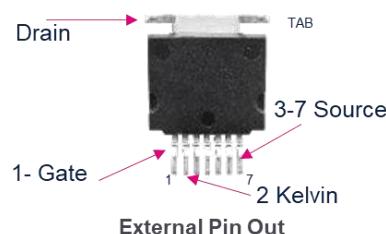
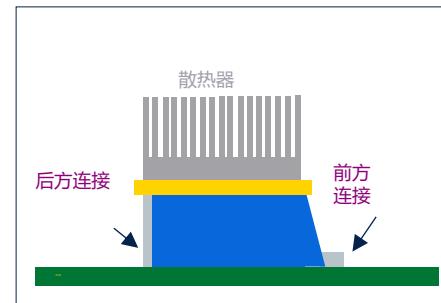
更长的沿面距离

预防电弧
更好的符合安全法规的绝缘

采用平面式的简单散热器

BOM成本降低
使用简单的FR-4 PCB而非昂贵的IMS PCB

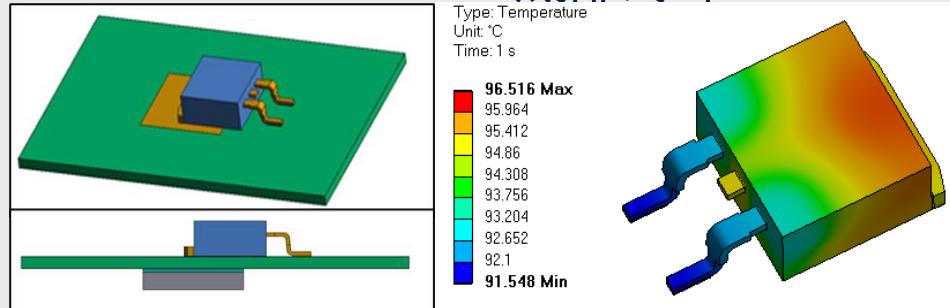
HU3PAK 创新的顶部冷却解决方案



D2PAK / H2PAK-7的出色替代产品

满载时的热图

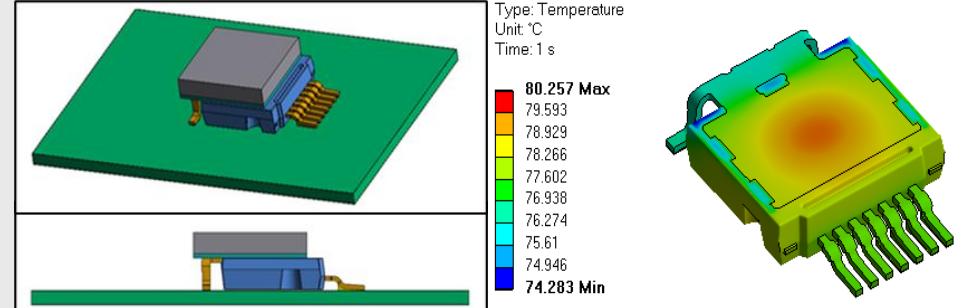
D²PAK底部冷却



相同散热器位于

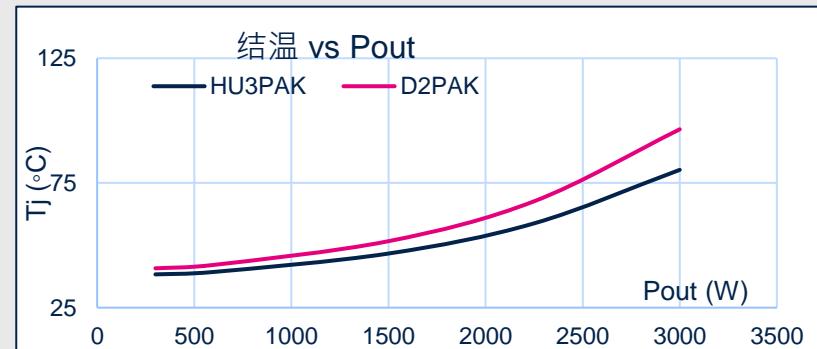
- D²PAK: PCB底部, 通过散热通孔散热
- HU3PAK: 顶部暴露的铜框架上

HU3PAK顶部冷却



	HU3PAK	D ² PAK	
$R_{th(J-H)}(K/W)$	8.91	10.47	-15%
$R_{package}(m\Omega)$	80	80	//

3 kW FB LLC中的损耗			
	D ² PAK	HU3PAK	
$P_{die}(W)$	0.578	0.568	@ Pout 300 W
$T_j(°C)$	40.7	38.4	- 2.3°C
$P_{die}(W)$	5.908	5.275	@ Pout 3 kW
$T_j(°C)$	96.52	80.26	-16.26°C



顶部冷却解决方案在保留相同散热器和PCB的同时提高了散热能力, 得到更低的 T_j 。

冷却器器件工作时的RDS(on)更低, 降低了传导损耗



HU3PAK 安装说明和热管理

标题

[TN1378: HU3PAK封装的安装和热性能](#)

类型

技术笔记

图标

[PDF](#)

TN1378

2 Printed circuit board assembly

HU3PAK is a surface mount package. Assembly on PCB is composed of following process steps:

1. Solder paste printing.
2. Component placement on PCB.
3. Reflow soldering.
4. Cleaning (optional).
5. Final solder-joint inspection.

2.1 Printed circuit board recommendations

2.1.1 Material

There are no specific requirements related to PCB material for an HU3PAK package. STMicroelectronics performed evaluations with PCB using FR4 material, as it is a commonly used material. Regarding PCB thickness, as for thermal considerations (which is detailed in next chapters of this document), it is required to attach a heat sink at the top of the package. The thickness of the PCB of 1.6 mm or above, may be interesting to ease heat sink attachment, as it increases PCB stiffness.

2.1.2 Copper

STMicroelectronics performed evaluations with 70 μ m (2oz/t2) base copper thickness on both sides of PCB to accommodate the high currents required by the application. This usually provides final copper thickness of around 75 μ m.

2.1.3 PCB pad design

There are two different types of PCB pad configurations commonly used for surface mount packages:

- Non-solder mask defined (NSMD)
- Solder mask defined (SMD)

As their title describe, NSMD contact pads have the solder mask pulled away from the solderable metallization, while the SMD pads have the solder mask over the edge of the metallization, as shown in figure here below.

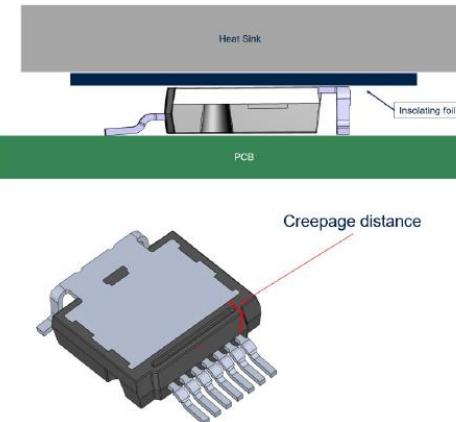
With the SMD pads, the solder mask restricts the flow of solder paste to the top of the metallization by preventing solder from flowing down along the metal pad. This is different from the NSMD pads where the solder is flow around both the top and the sides of the metallization.

Figure 5. Solder mask design

TN1378 - Rev 1 - November 2021 - By Alessandro Golegretti
For further information contact your local STMicroelectronics sales office.

ST
life.augmented

Figure 17. Creepage distance in HU3PAK on uncemented insulating foil

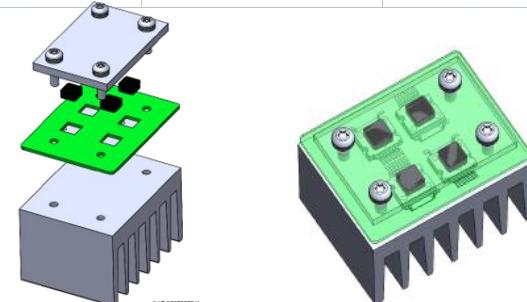


GAD021120211341:

Depending on the pollution degree and the material group of the resin, the maximum rms voltage that can be withstand by the package is defined in the table below:

Table 4. Maximum rms voltage capability with a creepage distance of 3.7 mm

Pollution degree	Material group	Max rms voltage
1	I and II	1070 V
2	II	515 V



使用补强板的散热器组件示例

为什么选择ACEPACK SMIT?

特性和优势

通过AQG 324认证

隔离电压: $4 \text{ kV}_{\text{rms}}$ - UL 1557认证

SMD组装

晶片位于直接敷铜 (DBC) 基板上

减少了寄生电感
和电容

适用于几种开关技术

封装成型复合材料组I, CTI > 600: 1000
 V_{rms} , 污染等级2

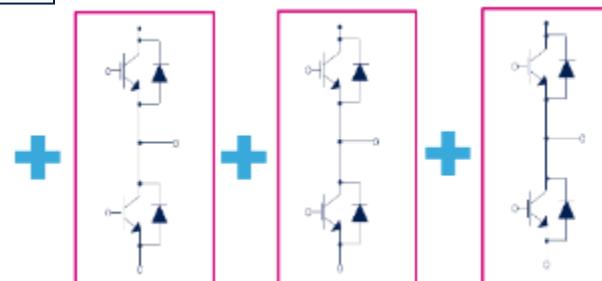
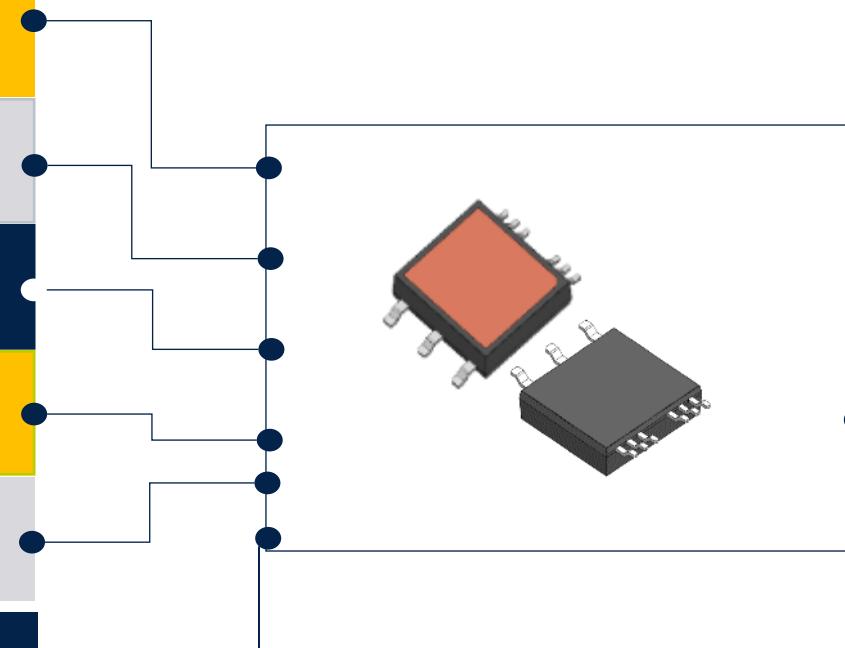
可提供数种配置且杂散电感低

高可靠性和稳定性, 电源侧板占用小

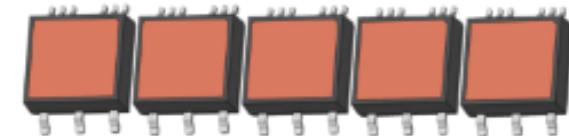
紧凑的设计, 节约成本的系统方法

极高功率密度

构建完整系统的理想选择

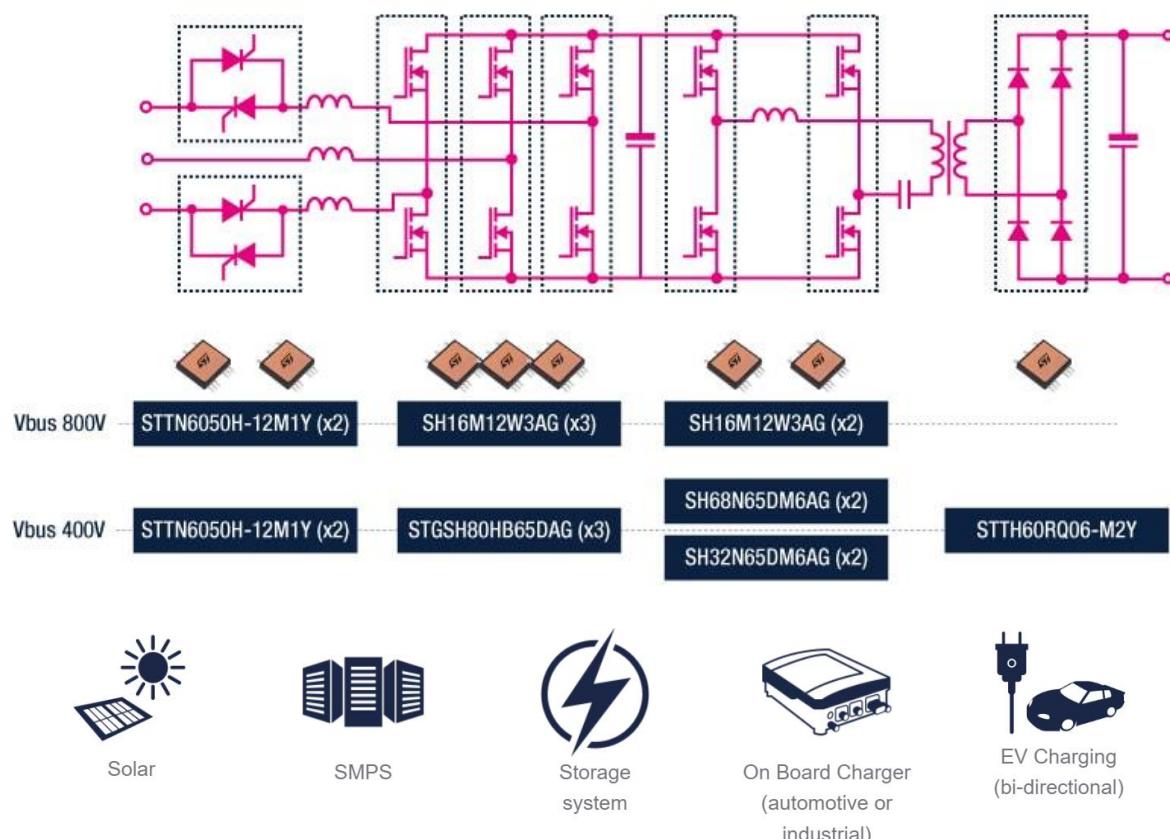


模块化水平高



ACEPACK SMIT 表面贴装绝缘型顶部冷却封装

板载充电器 (OBC) 的典型应用示意图

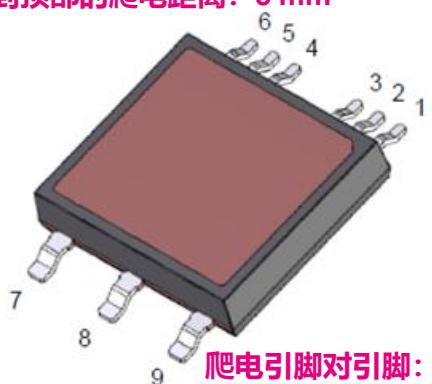


- ACEPACK SMIT器件获得AQG-324认证
- 为AC/DC和DC-DC转换器量身定制，如OBC、DC墙盒和电机控制（如伺服驱动）
- ACEPACK SMIT通过支持许多拓扑选项（如Totem-Pole、B6、3级T-Type），提供高度灵活的模块化设计。
- 它可以配备多种ST功率技术，包括SiC、SJ快速恢复体二极管MOSFET、IGBT、晶闸管和二极管

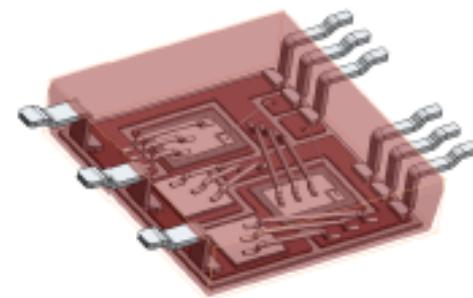
ACEPACK SMIT的特性

看似离散的模块

引脚到顶部的爬电距离: 5 mm



爬电引脚对引脚: 7 mm



- 模塑成型
- 有引线框架
- SMD
- 以卷带和盘装的形式提供*

* 卷带和盘装

- 包含DBC**
- 集成了晶片，形成简单拓扑
- 具有绝缘的散热焊盘

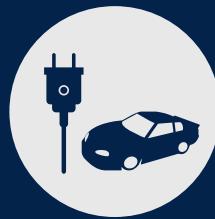
** 直接敷铜

ST PowerGaN技术

PowerGaN的主要应用趋势

智能交通工
具

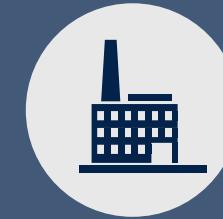
交通工具革命中心的电气化



- 牵引逆变器
- DC-DC转换器
- 车载充电器
- 无线充电器

电力与能源

使效率最大化和巩固可再生能源时代



- 开关电源和LED照明
- 5G和数据中心电力供应
- 太阳能与储能
- 充电站
- 电机控制和电器用具



ST GaN技术和制造

与主要的GaN代工厂合作

已认证并发布650 V产品

开发自己的IP和前端工艺

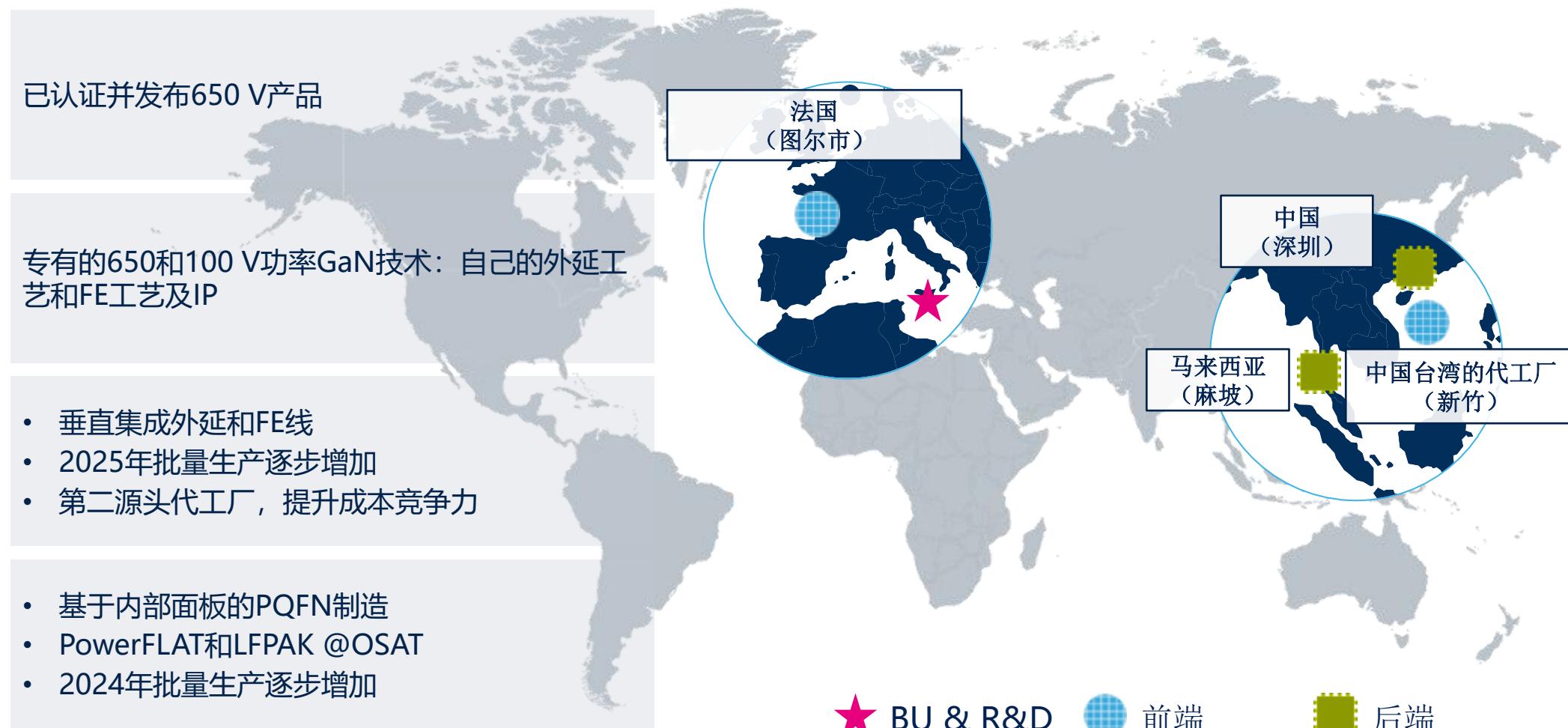
专有的650和100 V功率GaN技术：自己的外延工艺和FE工艺及IP

位于欧洲（法国）的专用8英寸PowerGaN晶圆厂

- 垂直集成外延和FE线
- 2025年批量生产逐步增加
- 第二源头代工厂，提升成本竞争力

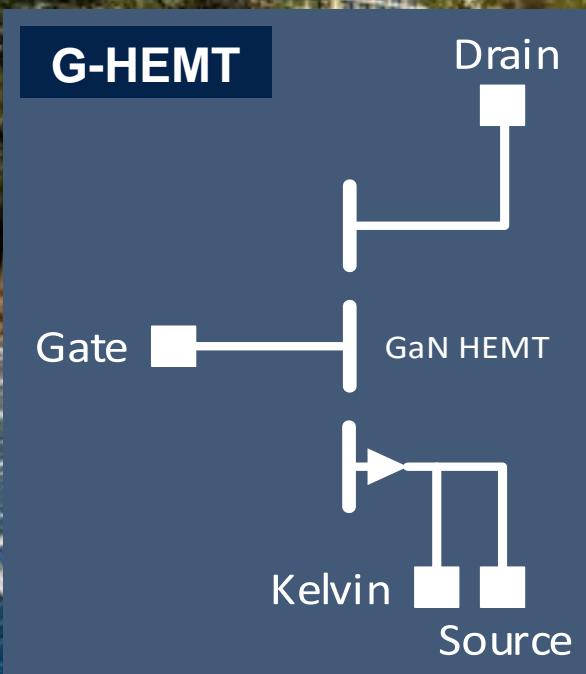
位于马来西亚的极高产量和低成本组装

- 基于内部面板的PQFN制造
- PowerFLAT和LFPAK @OSAT
- 2024年批量生产逐步增加



各种应用的PowerGaN范围

适配器、太阳能和能源、服务器和电信SMPS、电机驱动和汽车电气化

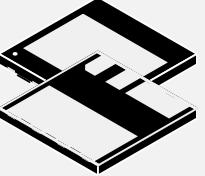
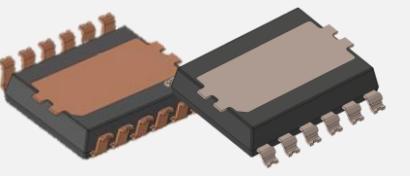


100 V	R _{ds(on)} 典型值 - mΩ				
	1.2	1.8	4.5	7.5	11.5
650 V	R _{ds(on)} 典型值 - mΩ				
	14	30	49	75	125
					290

- 极低电容
- 零Q_{rr}
- 出色的FoM ($R_{DS} \times Q_{gd}$)
- 增强的后端技术使寄生影响最小化
- 顶部冷却封装改善了热性能
- 多个封装形状因子

PowerGaN封装

PowerGaN封装

PowerFLAT 5x6 HV	PowerFLAT 8x8 BSC/DSC	LFPAK 12x12 TSC/BSC	新封装
 合格 <ul style="list-style-type: none">内部制造既定封装解决方案灵活的解决方案多个来源  <p>游戏和适配器 LED照明</p>	 <ul style="list-style-type: none">顶部和底部有金属外露低封装外形铜夹技术工作温度低爬电 > 3.5 mm8 x 8 mm用于优化驾驶的开尔文源	 <ul style="list-style-type: none">顶部或底部有金属外露尺寸小铜夹技术较低的工作温度爬电 > 3.5 mm顶部或底部冷却12 x 12 mm用于优化驾驶的开尔文源	 <ul style="list-style-type: none">内部制造顶部和底部有金属外露低封装外形工作温度低灵活的形状因子针对低压进行了优化
 <p>服务器与电信电源</p>	 <p>OBC和DC-DC变换器, 太阳能和 能源, 以及服务器SMPS</p>	 <p>OBC和DC-DC变换器, 服务器 和电信电源</p>	

LFPAK 12x12 用于G-HEMT的TSC和BSC选项

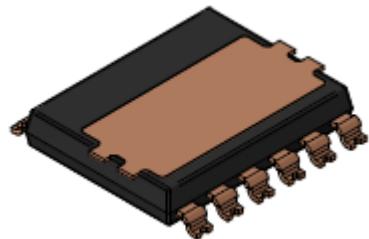
LFPAK 12x12 -

关键特性

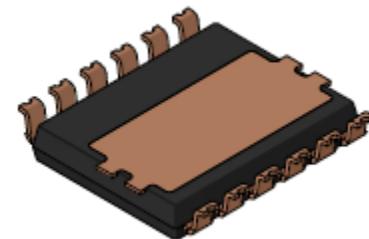
- **铜夹技术**
 - 杂散电感比工业标准封装低得多，可降低开关损耗和EMI
- **热性能**
 - $R_{th_{j-c\ top\ max}} = 0.263\ [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$
 - $R_{th_{j-c\ top\ typ}} = 0.163\ [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$
- **稳健性**
 - 多年来向汽车行业供应大量高质量夹铜产品
 - 鸥翼形引线提供高BLR
 - 完全兼容SMD焊接和AOI
 - 3.5 mm爬电距离适用于高额定电压
- **认证计划**
 - AEC-Q101
 - MSL 1
 - 无卤素

LFPAK 12x12

顶部冷却



底部冷却



主要优势

- **增强了热性能**
 - 工作温度大幅降低
 - 与引线键合技术相比可靠性更高
 - 较高的电流能力
 - 更高的功率密度
 - 低封装外形 (典型值为2 mm)

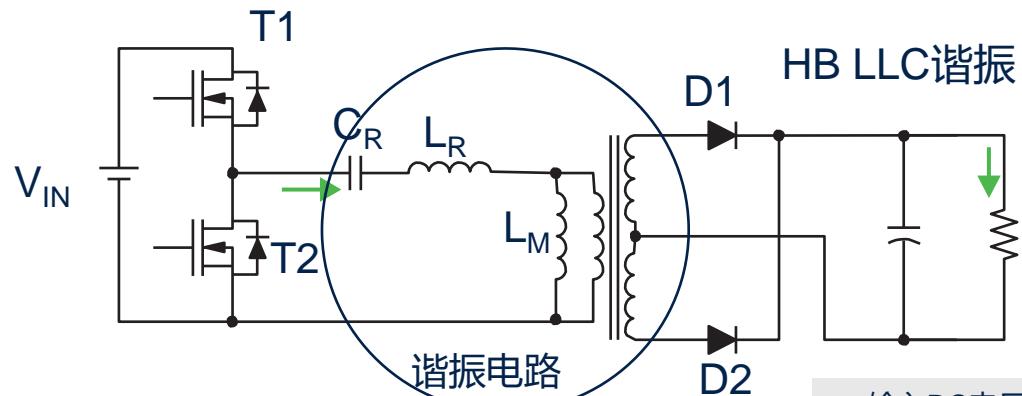
应用

- **汽车级 EV**
 - OBC、DC-DC和牵引逆变器
- **工业**
 - 太阳能PV逆变器
 - 电信和服务器电源
 - 工业车辆充电
 - 蓄电池
 - UPS逆变器

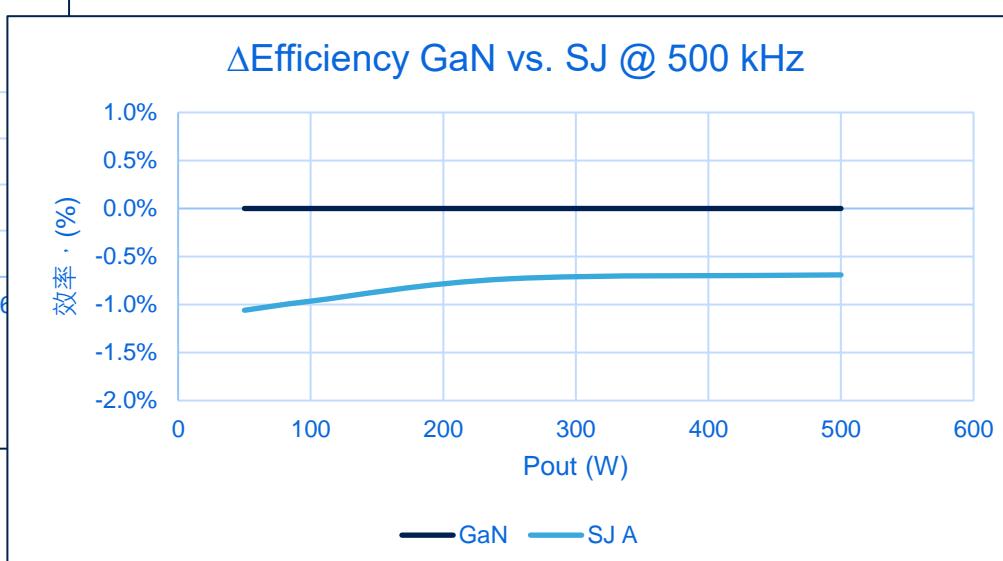
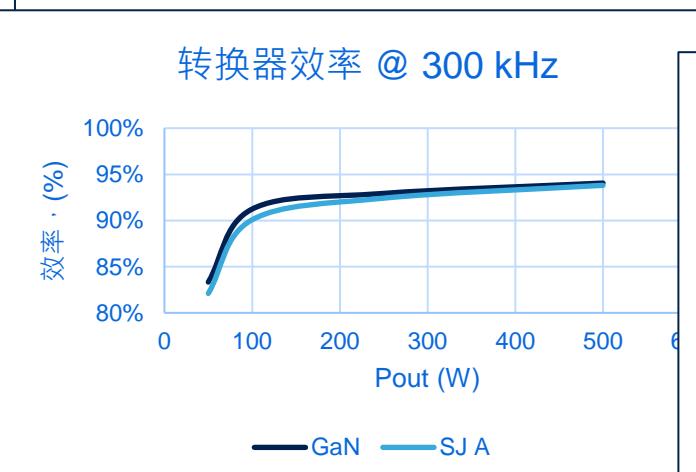
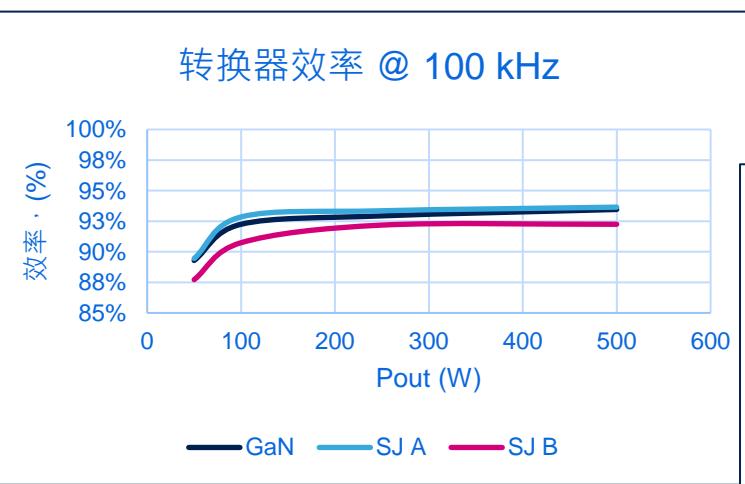
SGT120R65AL vs 超结MOSFET

器件	BV_{DSS} @ 1 mA [V]	V_{Gsth} @ 250 μ A [V]	$R_{DS(on)}$ @ 5A [m Ω]	芯片尺寸 标准化%
GaN	750	1.8	75	22.9
SJ A	645	4.38	114	90.5
SJ B	635	4.18	112	100

SJ A芯片面积 $\sim 4 \times$ GaN芯片面积



- 输入DC电压: 380至420 V
- 输出电压: 48 V dc
- 最大输出功率: 0.5 kW



ST通过专用生产线成为SiC MOSFET行业的领袖企业，SiC技术的稳步发展正在超出市场预期。



ST的WBG技术创新 + 新功率封装的完全工业化，催生了适用于多种功率系统的强大产品系列。



ST可提供各种各样的产品系列：离散、裸晶片和模块，并持续研究扩大产能的方法。



意法半导体可以利用新型WBG材料和功率解决方案方面的专业专家团队在GaN上再现类似SiC的成功案例



工业峰会
资料下载中心



能以激励子网站



Our technology starts with You



了解更多信息, 请访问www.st.com

© STMicroelectronics - 保留所有权利。

ST徽标是STMicroelectronics International NV或其附属公司在欧盟和/或其他国家的商标或注册商标。若需意法半导体商标的更多信息, 请参考www.st.com/trademarks。

其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。