



**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

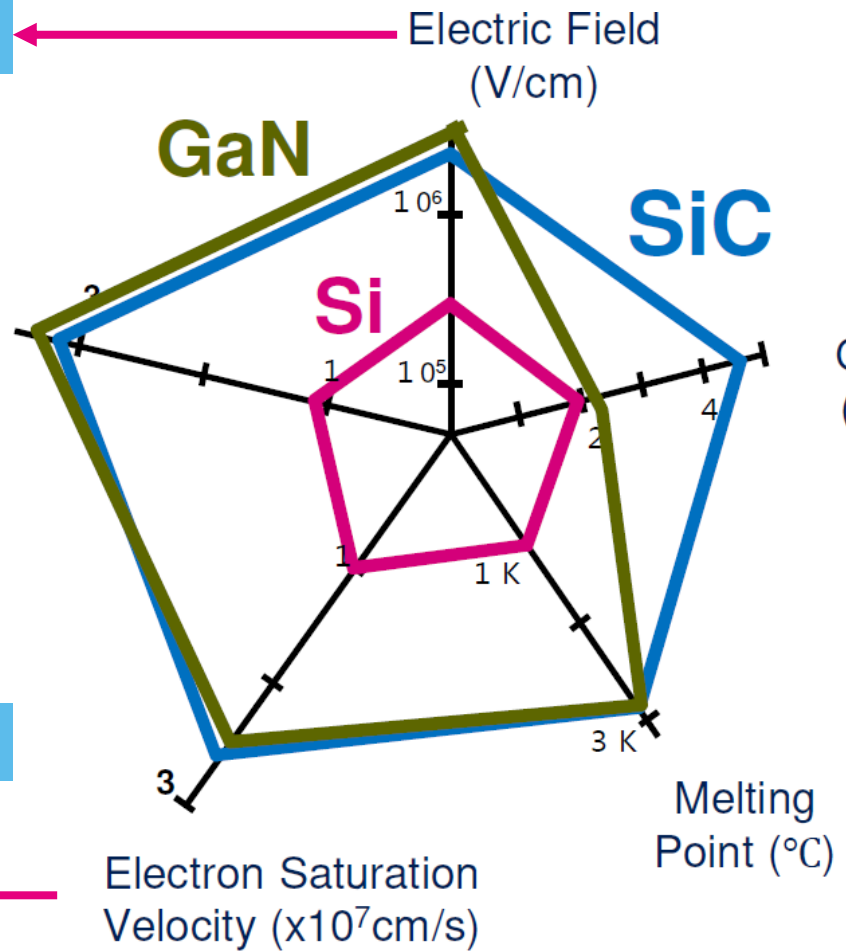


关于宽带隙材料

更低的导通电阻和损耗

高击穿电压

更高的开关频率

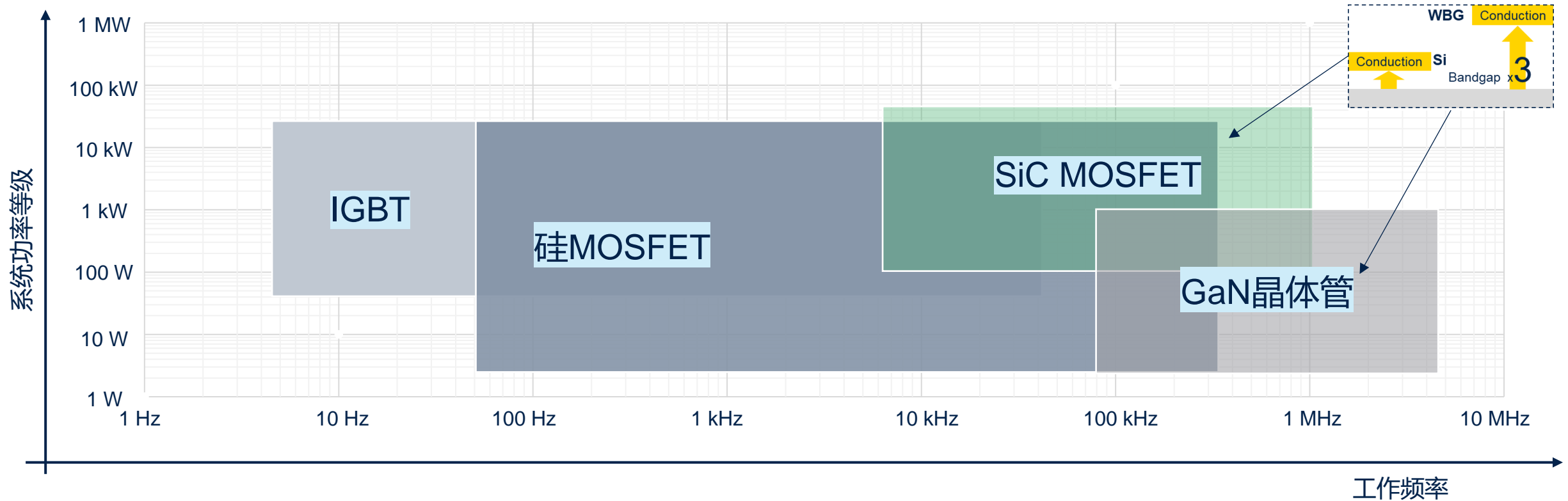


散热能力更好
降低了冷却要求

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

Gen1

优化了Ron和Tj，用于电机驱动应用

1200–1700 V

Gen2

平衡了Ron和Qg，用于各种汽车和工业应用

650 V, 1200 V, 2200 V

Gen3

超高速系列，优化了Ron和Qg，用于超高频应用

650 V, 750 V, 900 V, 1200 V

SiC VHV
2200 V*

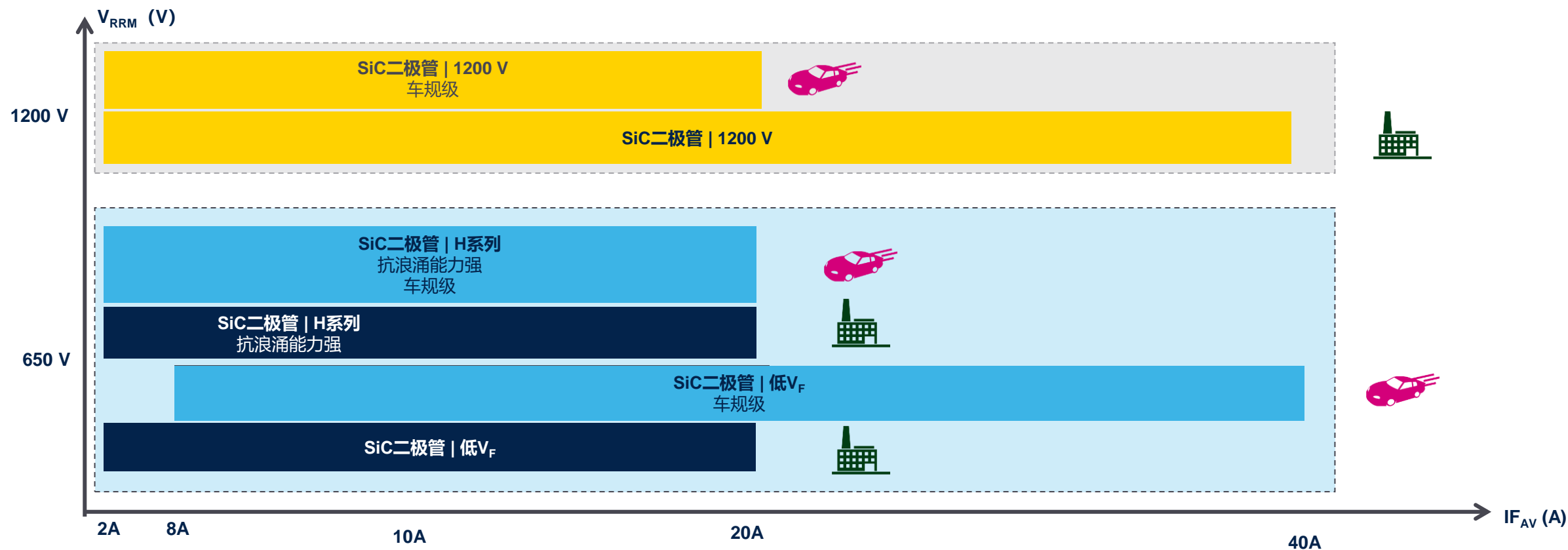
超高压SiC将SiC技术的优势扩展到更高电压范围

2200 V

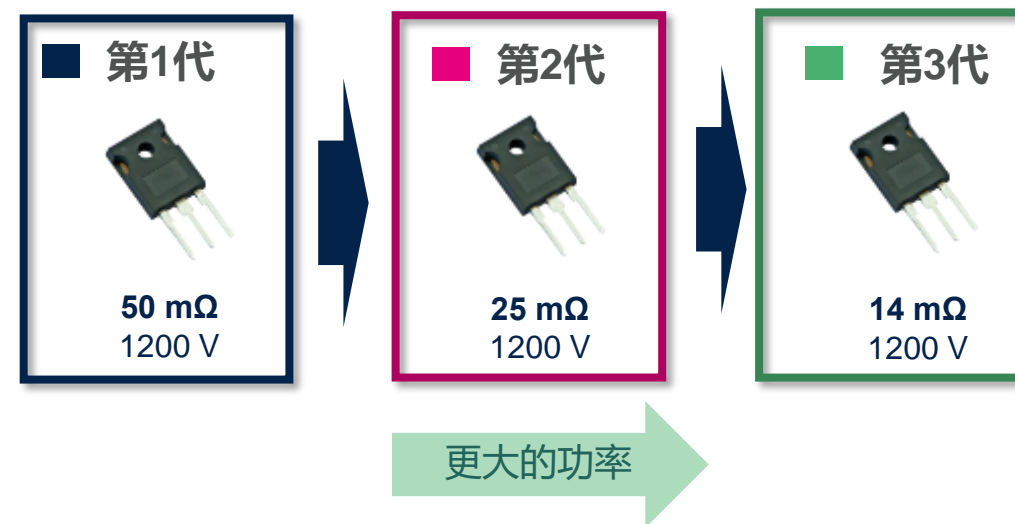
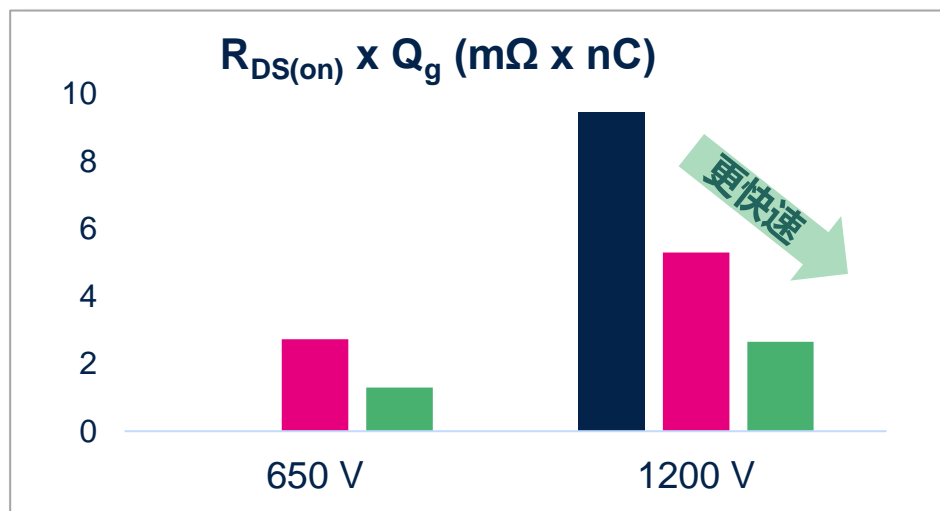
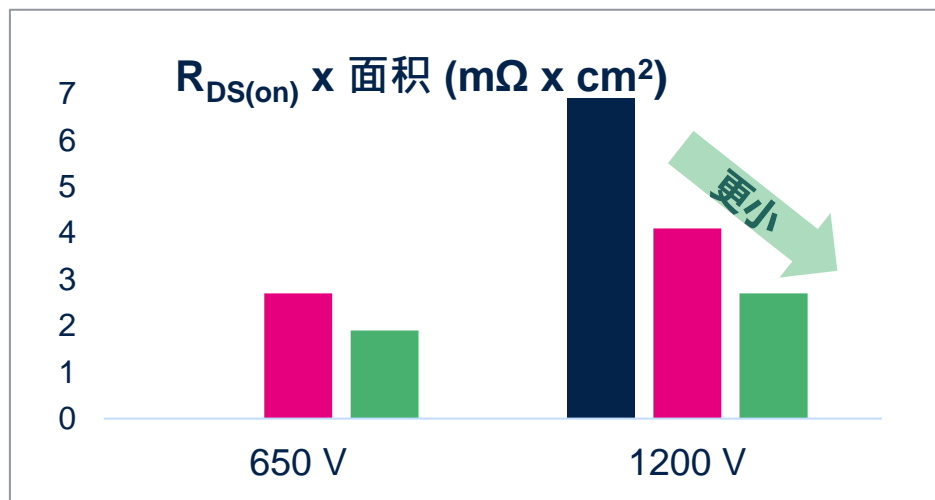
* 工业级

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 $R_{on} \times \text{面积}$ → 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 → 在封装体积相同的功率模块中，可获得更大的功率
- 低较的 $R_{on} \times Q_g$ → 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

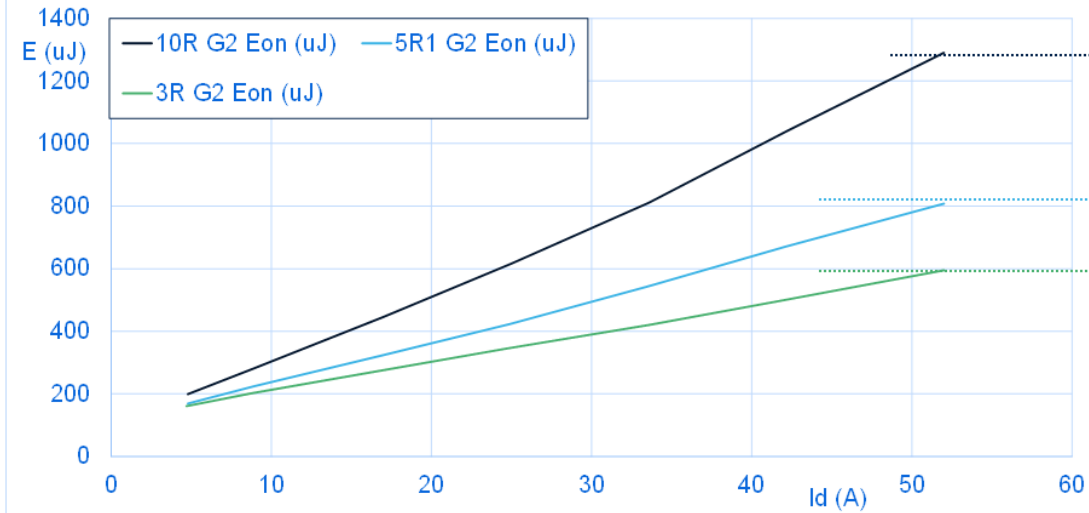
DC-DC
电源
可再生能源

DC-DC
电源
可再生能源

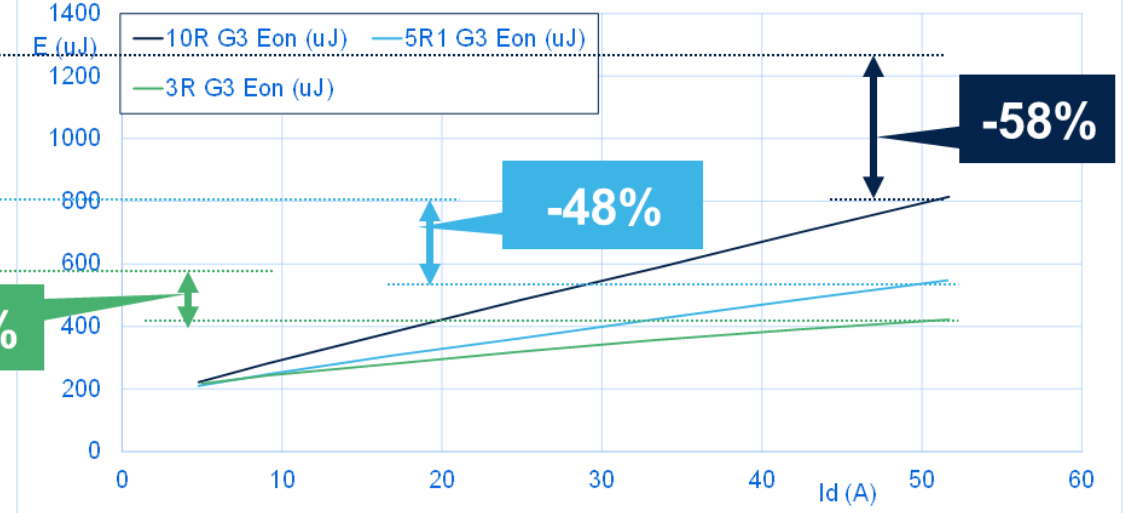
SiC MOSFET开关

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 ($T_J = 25^\circ\text{C}$)

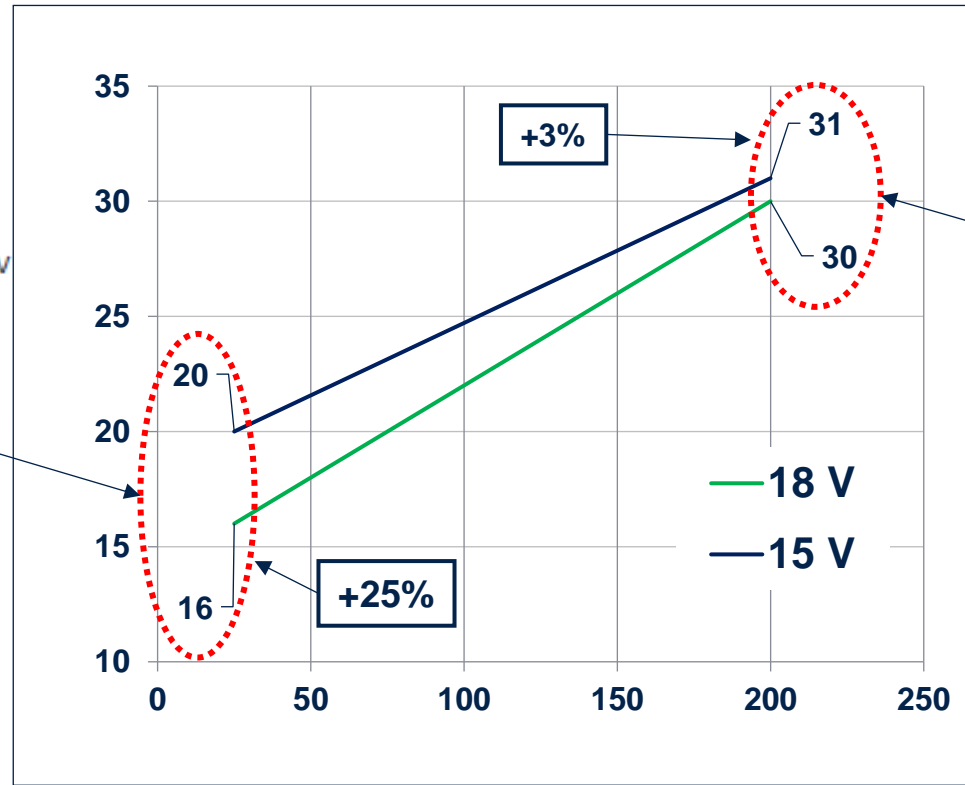
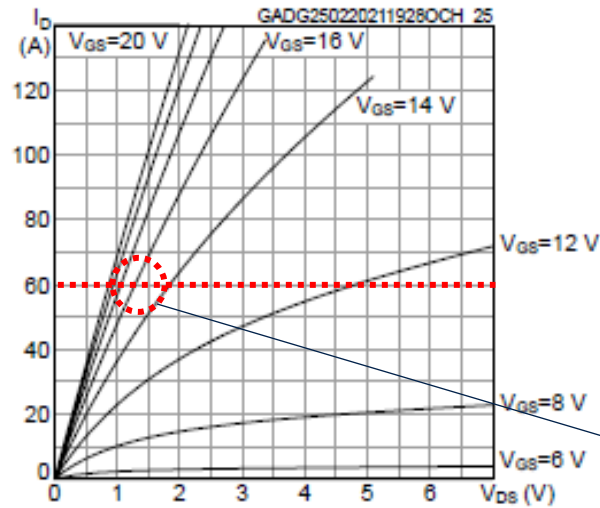


Figure 4. Typical output characteristics ($T_J = 200^\circ\text{C}$)

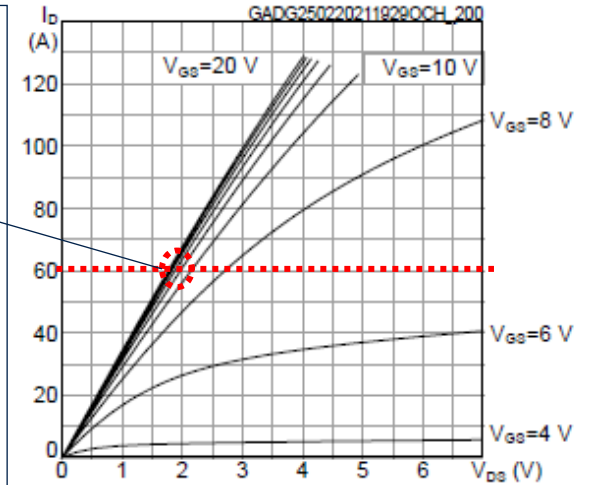
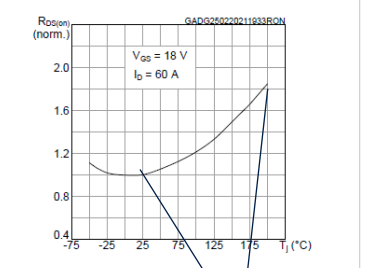


Figure 11. Normalized on-resistance vs temperature

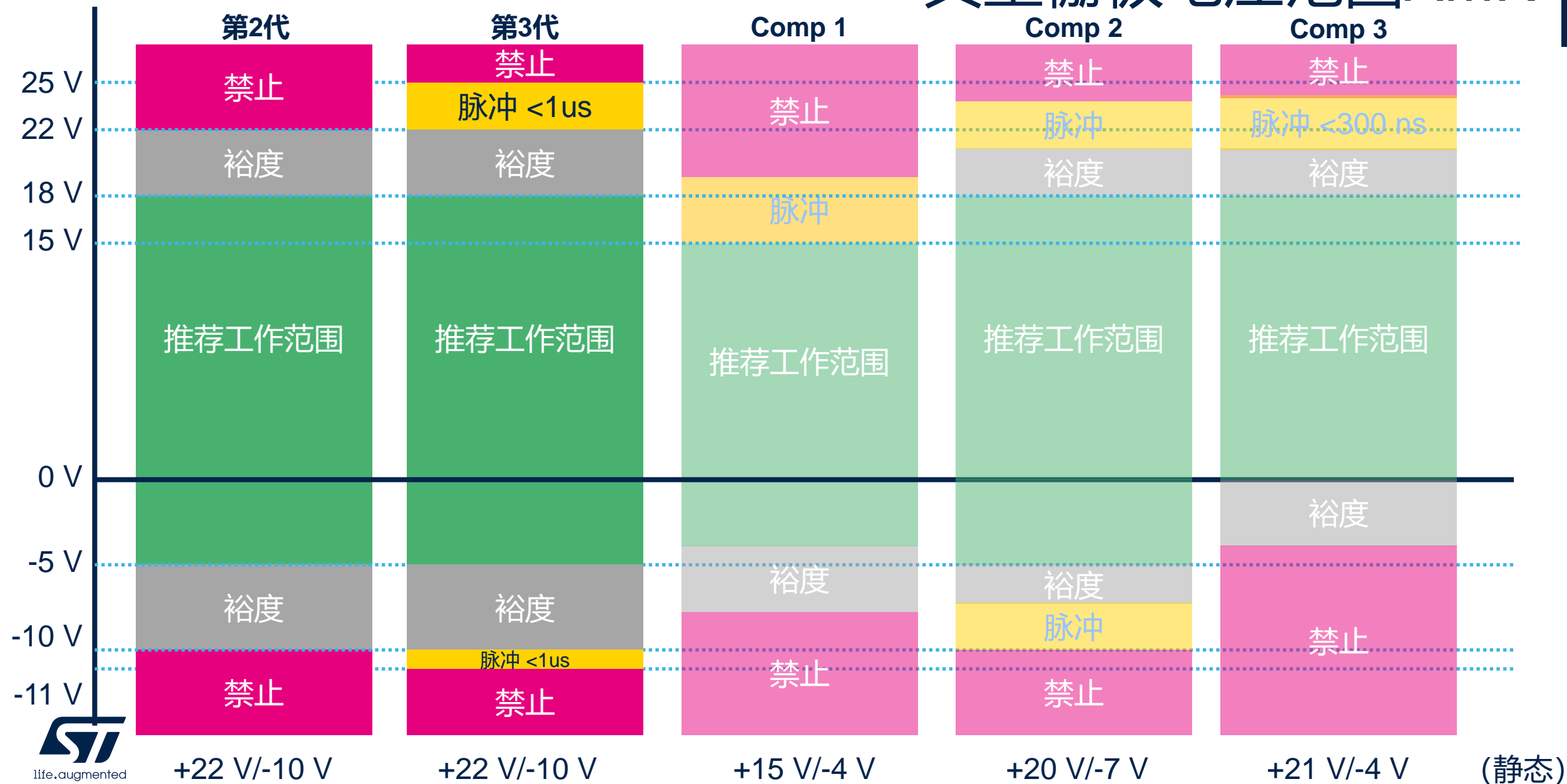


$R_{DS(on)}$	Static drain-source on-resistance	$V_{GS} = 18\text{ V}, I_D = 60\text{ A}$	16	22	mΩ
		$V_{GS} = 15\text{ V}, I_D = 60\text{ A}$	20		
		$V_{GS} = 18\text{ V}, I_D = 60\text{ A}, T_J = 200^\circ\text{C}$	30		

❖ Gen3 V_{GS} 驱动

- ❖ V_{GS} 推荐值: 18 V
- ❖ 驱动 @ 15 V, 可行但 $R_{DS(on)}$ 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

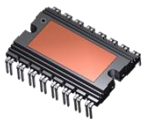
SiC MOSFET封装技术

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Rthj-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



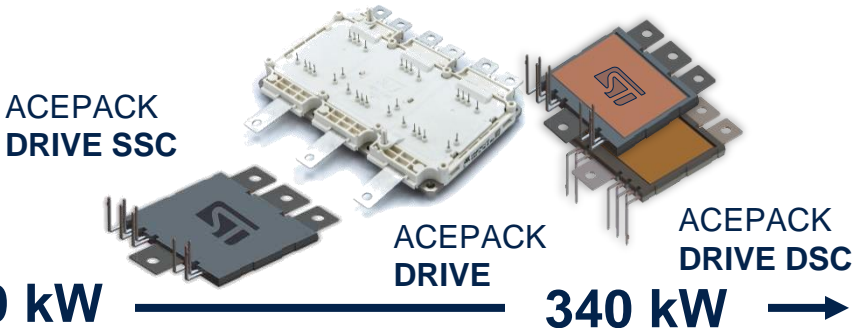
ACEPACK
SMIT



ACEPACK 1 & 2



30 kW



ACEPACK
DRIVE SSC

ACEPACK
DRIVE

ACEPACK
DRIVE DSC

340 kW

5 kW

10 kW

150 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

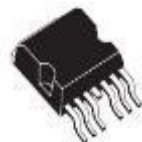


牵引逆变器

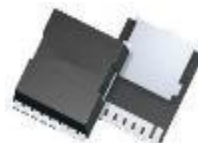
先进的表贴式封装

高级特性:

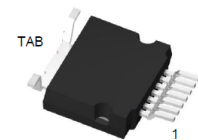
额外的开尔文源引脚用于驱动优化



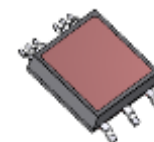
H²PAK-7I



TOLL



HU3PAK
顶部冷却SMD



ACEPACK
SMIT

SMD TSC (顶部冷却)

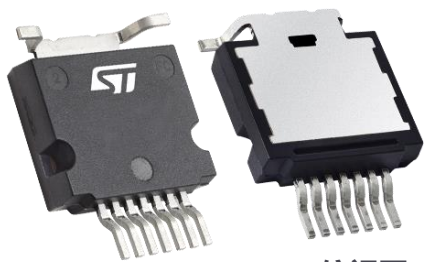
顶部冷却方便连接散热器

热传导不经过PCB, 显著改善了
 R_{TH}



HU3PAK

开尔文源用于改善开关性能



俯视图（散热器侧）

HU3PAK

创新的顶部冷却解决方案

耐高温

$T_j(\text{max}) = 175^\circ\text{C}$

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

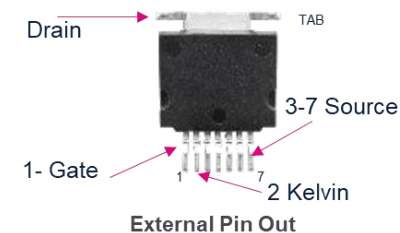
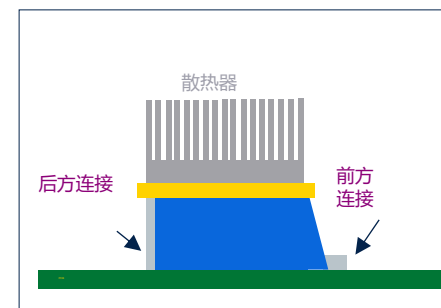
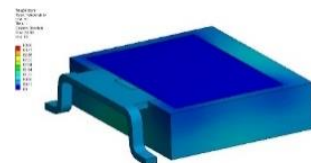
预防电弧

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

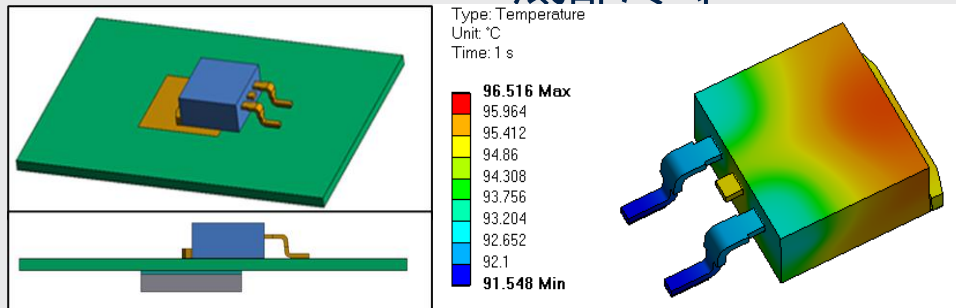
使用简单的FR-4 PCB而非昂贵的IMS PCB



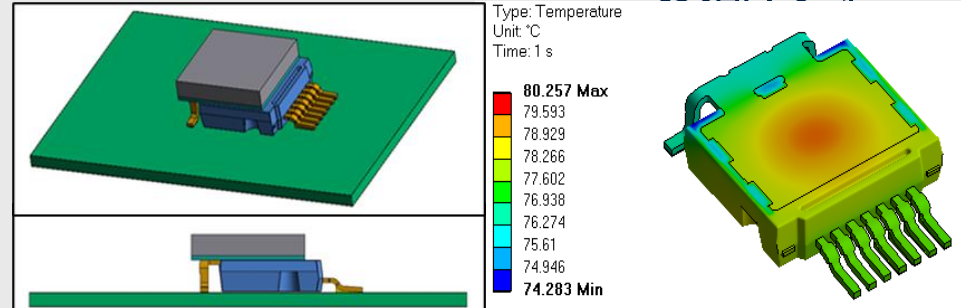
HU3PAK D2PAK / H2PAK-7的出色替代产品

满载时的热图

D²PAK底部冷却



HU3PAK顶部冷却



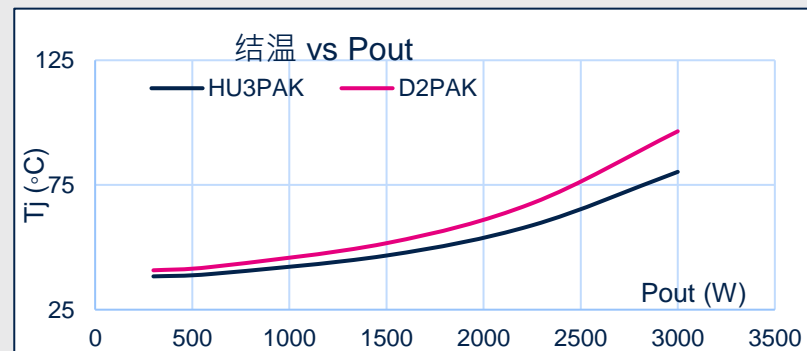
相同散热器位于

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

	HU3PAK	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
$T_j(^{\circ}C)$	40.7	38.4	- 2.3°C
$P_{die}(W)$	5.908	5.275	@ Pout 3 kW
$T_j(^{\circ}C)$	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 $R_{DS(on)}$ 更低, 降低了传导损耗

标题

TN1378: HU3PAK封装的安装和热性能

类型

技术笔记

图标

PDF

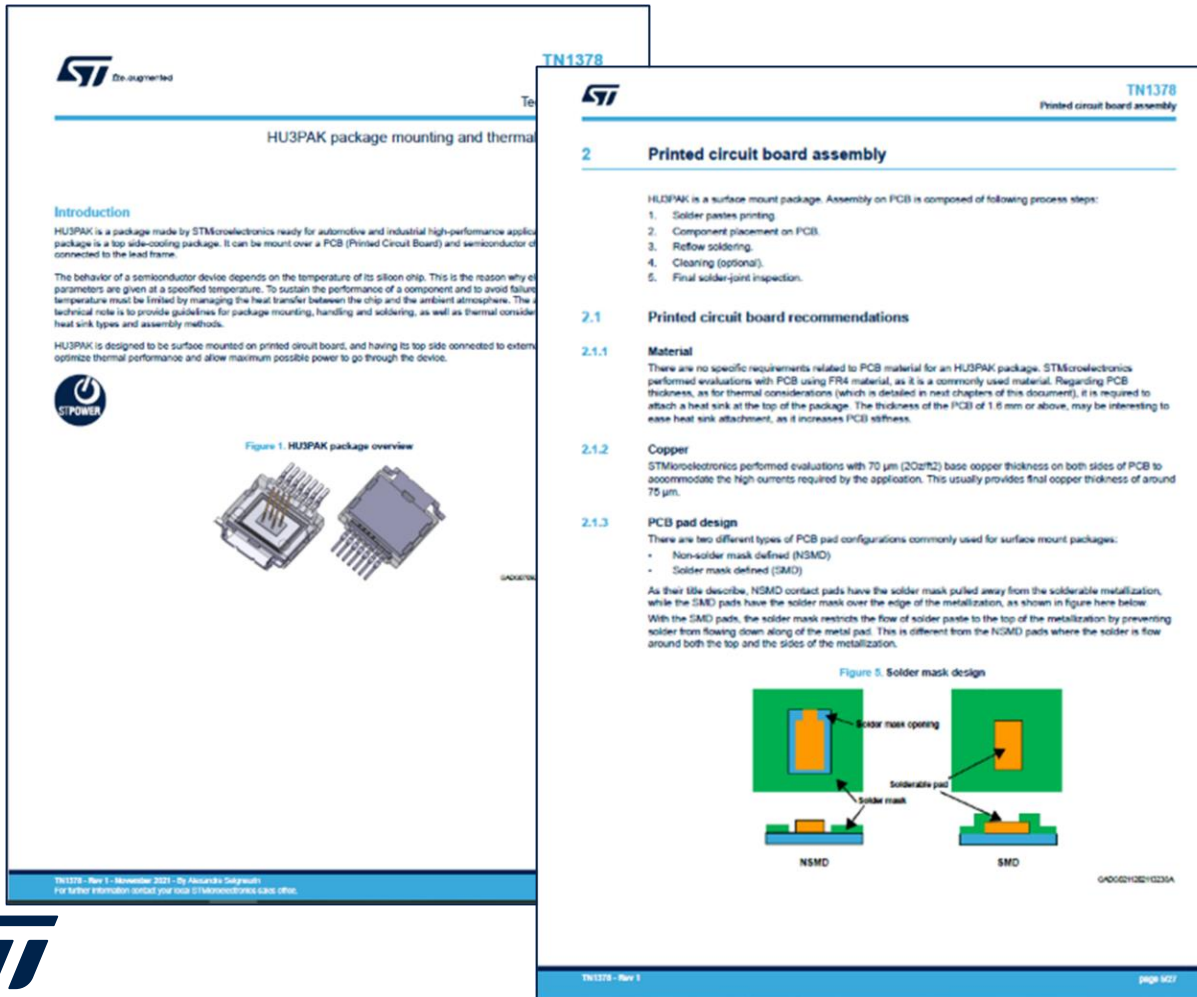
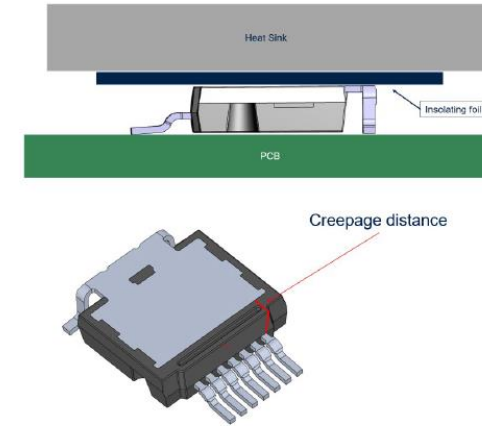


Figure 17. Creepage distance in HU3PAK on uncemented insulating foil

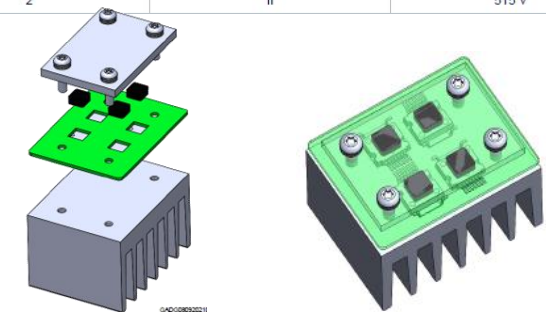


GADG02120211341:

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

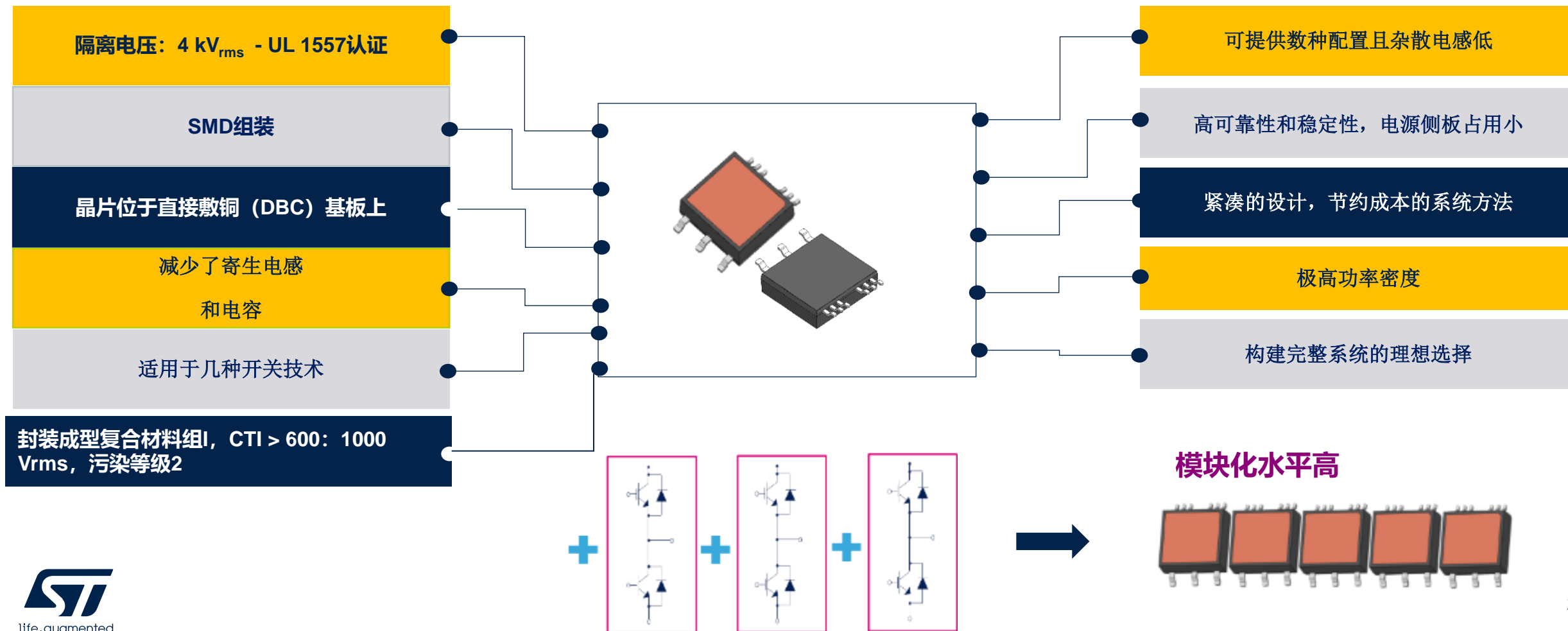


使用补强板的散热器组件示例

为什么选择ACEPACK SMIT?

通过AQG 324认证

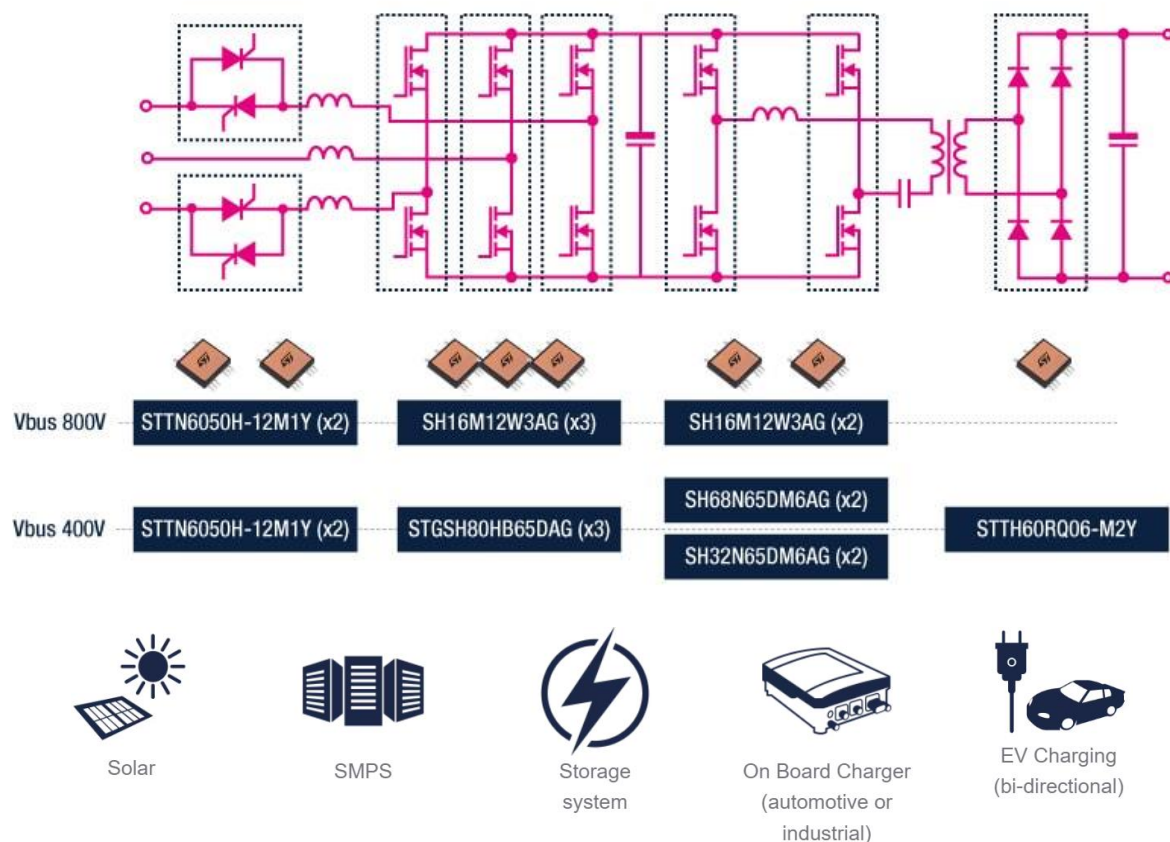
特性和优势



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

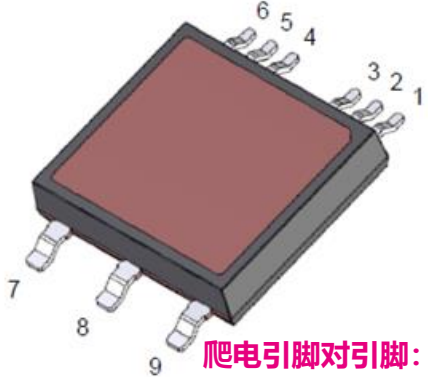


- ACEPACK SMIT器件获得AQG-324认证
- 为AC/DC和DC-DC转换器量身定制，如OBC、DC墙盒和电机控制（如何服驱动）
- ACEPACK SMIT通过支持许多拓扑选项（如Totem-Pole、B6、3级T-Type），提供高度灵活的模块化设计。
- 它可以配备多种ST功率技术，包括SiC、SJ快速恢复体二极管MOSFET、IGBT、晶闸管和二极管

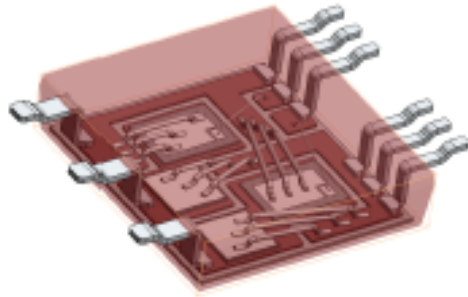
ACEPACK SMIT的特性

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



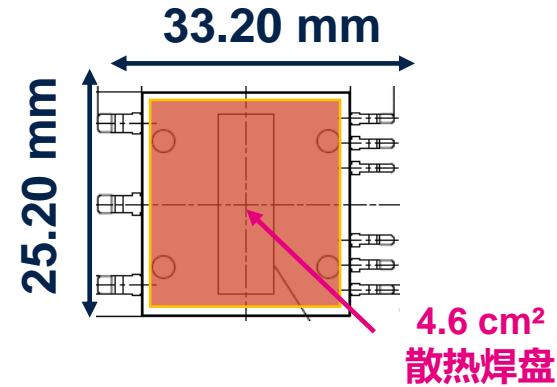
- 模塑成型
- 有引线框架
- SMD
- 以卷带和盘装的形式提供*

* 卷带和盘装

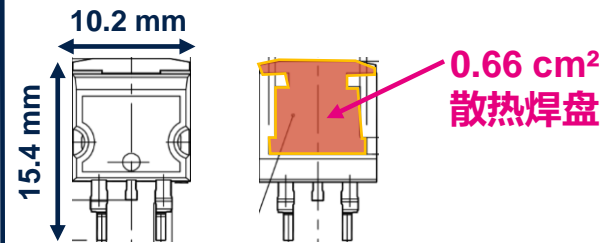
- 包含DBC**
- 集成了晶片, 形成简单拓扑
- 具有绝缘的散热焊盘

** 直接敷铜

尺寸



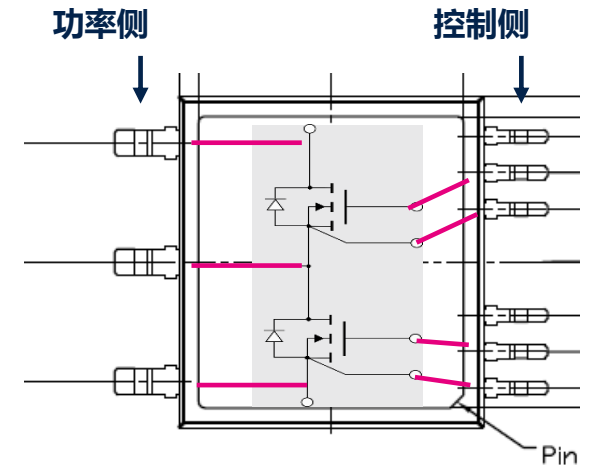
比较: D2PAK



尺寸小5倍左右

尺寸小7倍左右

引脚排列



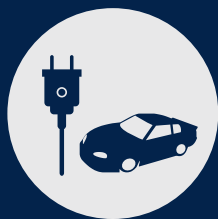
- 该组件仅用于说明。实际产品中的引脚连接可能会有所不同
- 在整流器中, 控制引脚也可用于供电

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

法国
(图尔市)

中国
(深圳)

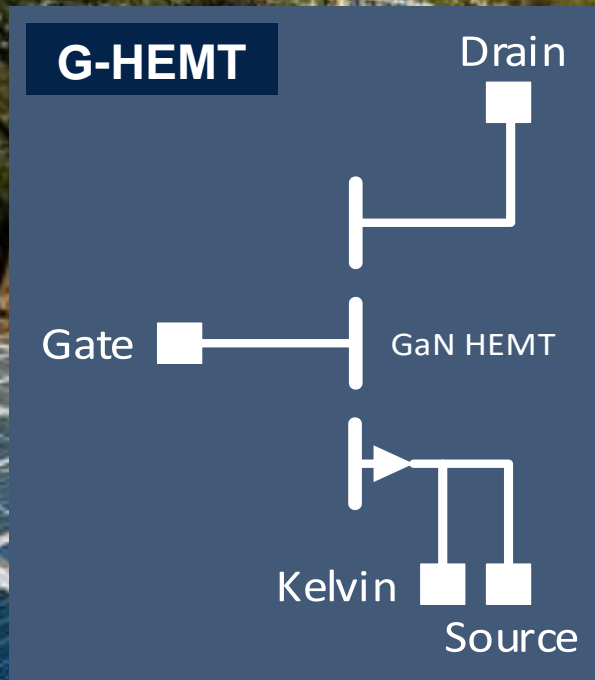
马来西亚
(麻坡)

中国台湾的代工厂
(新竹)

★ BU & R&D ● 前端 ■ 后端

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



Rds(on)典型值 - mΩ					
100 V	1.2	1.8	4.5	7.5	11.5

Rds(on)典型值 - mΩ						
650 V	14	30	49	75	125	290

- 极低电容
- 零Qrr
- 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



合格

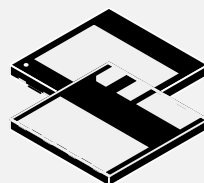
- 内部制造
- 既定封装解决方案
- 灵活的解决方案
- 多个来源



游戏和适配器

LED照明

PowerFLAT 8x8 BSC/DSC

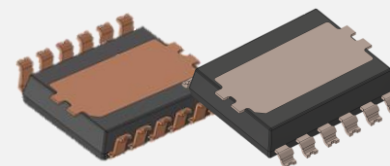


- 顶部和底部有金属外露
- 低封装外形
- 铜夹技术
- 工作温度低
- 爬电 > 3.5 mm
- 8 x 8 mm
- 用于优化驾驶的开尔文源



服务器与电信电源

LFLPAK 12x12 TSC/BSC



- 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



OBC和DC-DC变换器，太阳能和能源，以及服务器SMPS

新封装



- 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



OBC和DC-DC变换器，服务器和电信电源

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

- $R_{th_{j-c top}} max = 0.263 [^{\circ}C/W]$
- $R_{th_{j-c top}} typ = 0.163 [^{\circ}C/W]$

▪ 稳健性

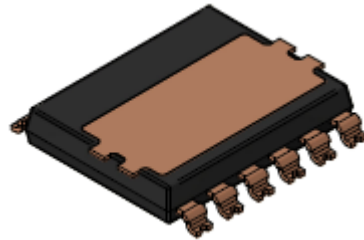
- 多年来向汽车行业供应大量高质量夹铜产品
- 鸥翼形引线提供高BLR
- 完全兼容SMD焊接和AOI
- 3.5 mm爬电距离适用于高额定电压

▪ 认证计划

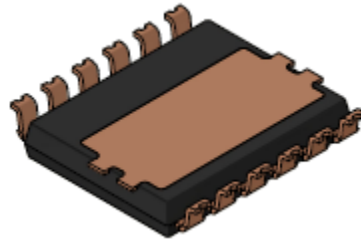
- AEC-Q101
- MSL 1
- 无卤素

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

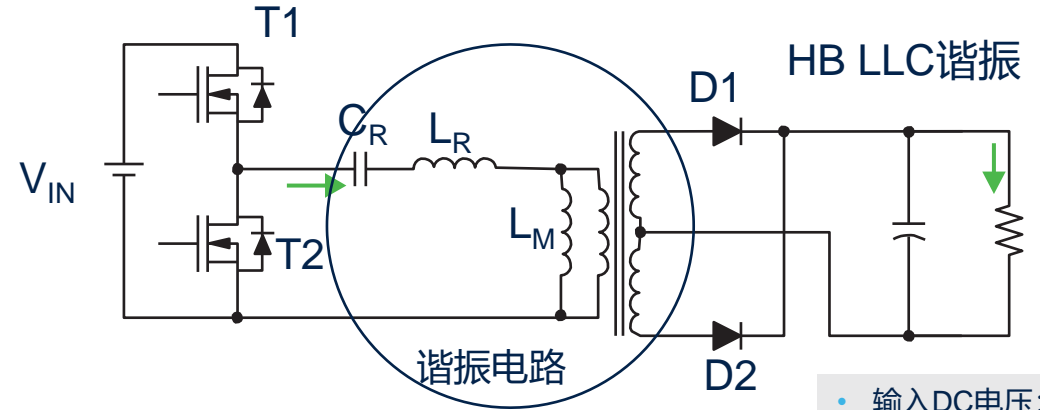
▪ 工业

- 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

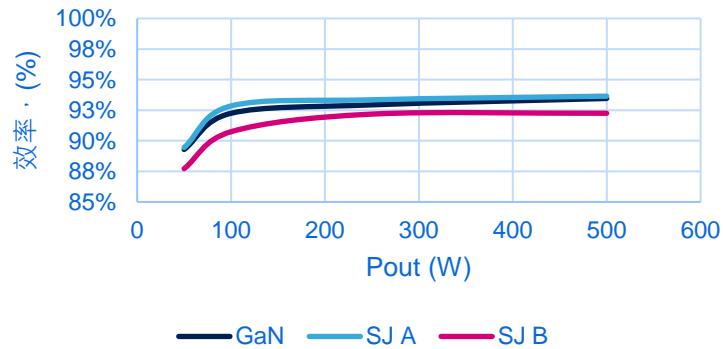
器件	BV_{DSS} @ 1 mA [V]	V_{GSth} @ 250 μ A [V]	$R_{DS(on)}$ @ 5A [m Ω]	芯片尺寸 标准化%
GaN	750	1.8	75	22.9
SJ A	645	4.38	114	90.5
SJ B	635	4.18	112	100

SJ A芯片面积 ~ 4 x GaN芯片面积

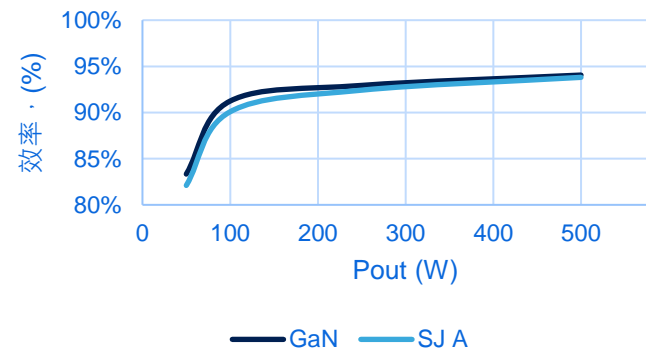


- 输入DC电压: 380至420 V
- 输出电压: 48 V dc
- 最大输出功率: 0.5 kW

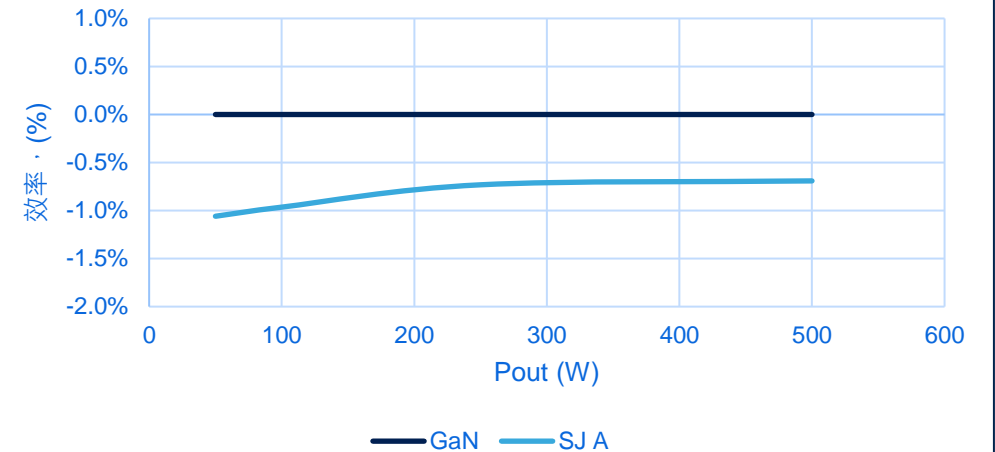
转换器效率 @ 100 kHz



转换器效率 @ 300 kHz



Δ Efficiency GaN vs. SJ @ 500 kHz



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



能以致励子网站



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。



life.augmented