



1
No.

**In Driving
Technology
in China**

基于SiC技术电机控制器

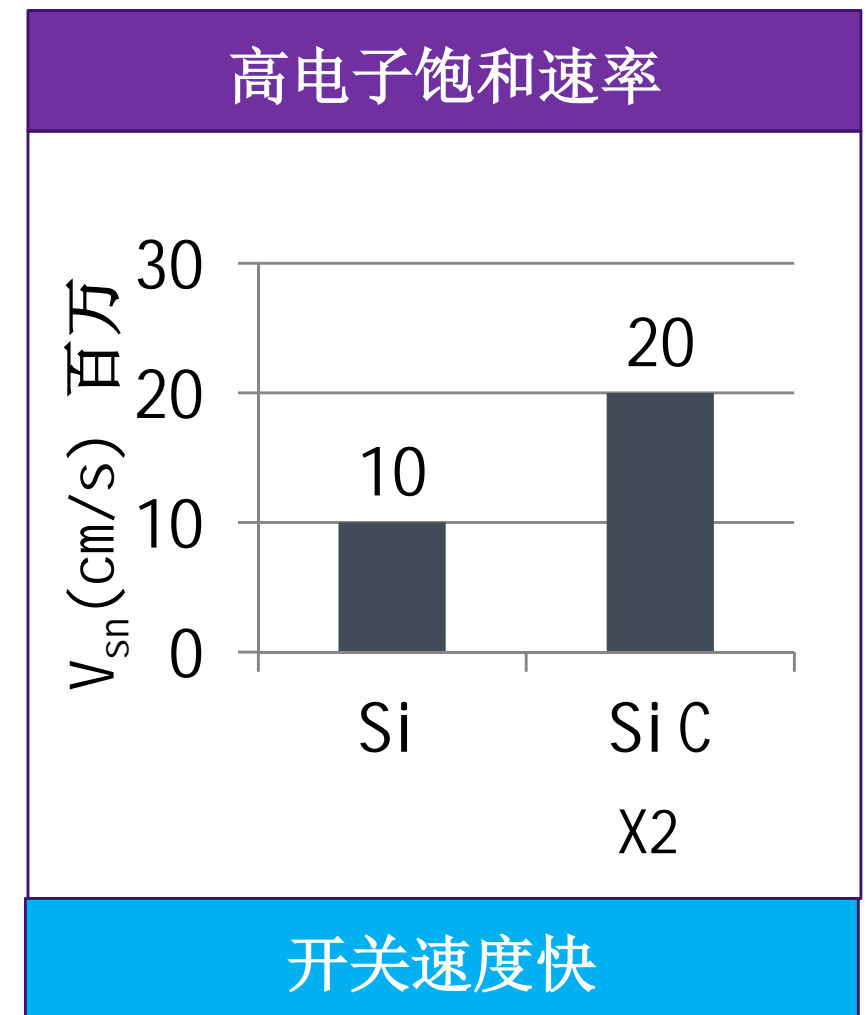
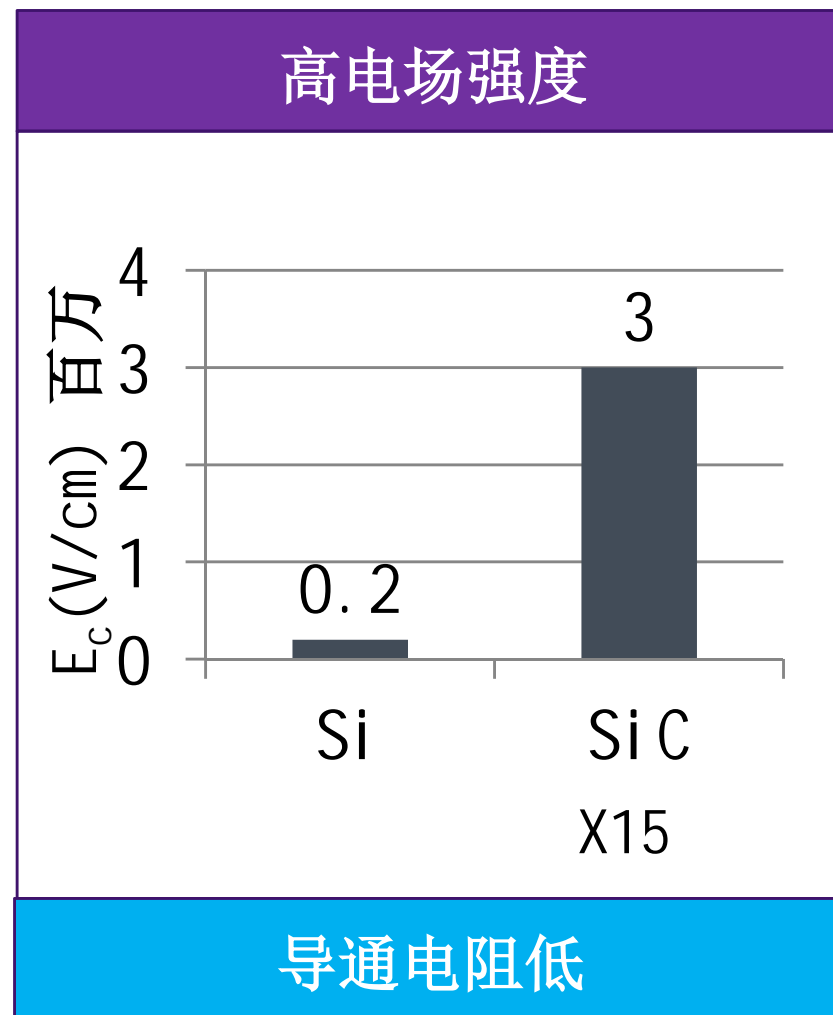
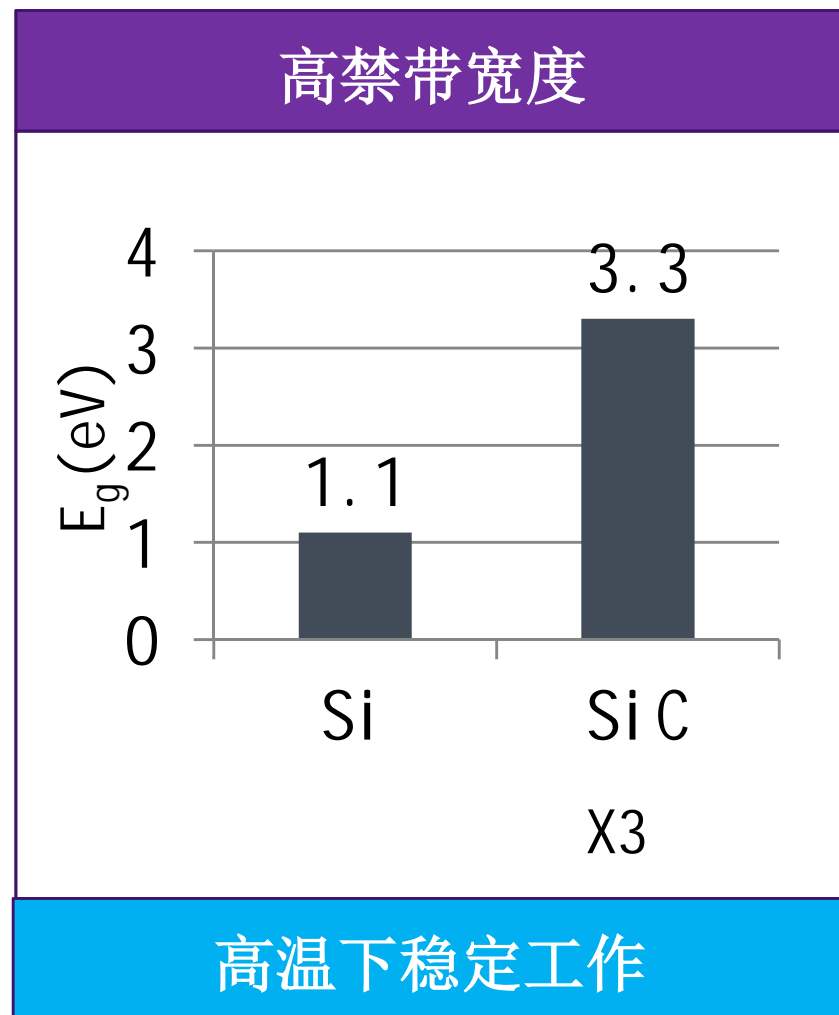
联合汽车电子有限公司

20190320

目录

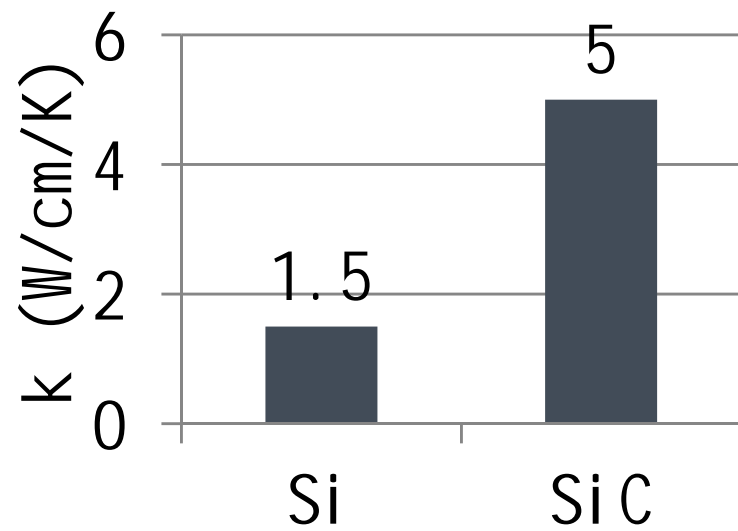
1. SiC材料技术特性及应用范围
2. SiC逆变器技术特性及系统优势
3. SiC批量应用的挑战
4. 联合电子SiC电机控制器项目

1.1 SiC材料技术特性 1/2



1.1 SiC材料技术特性 2/2

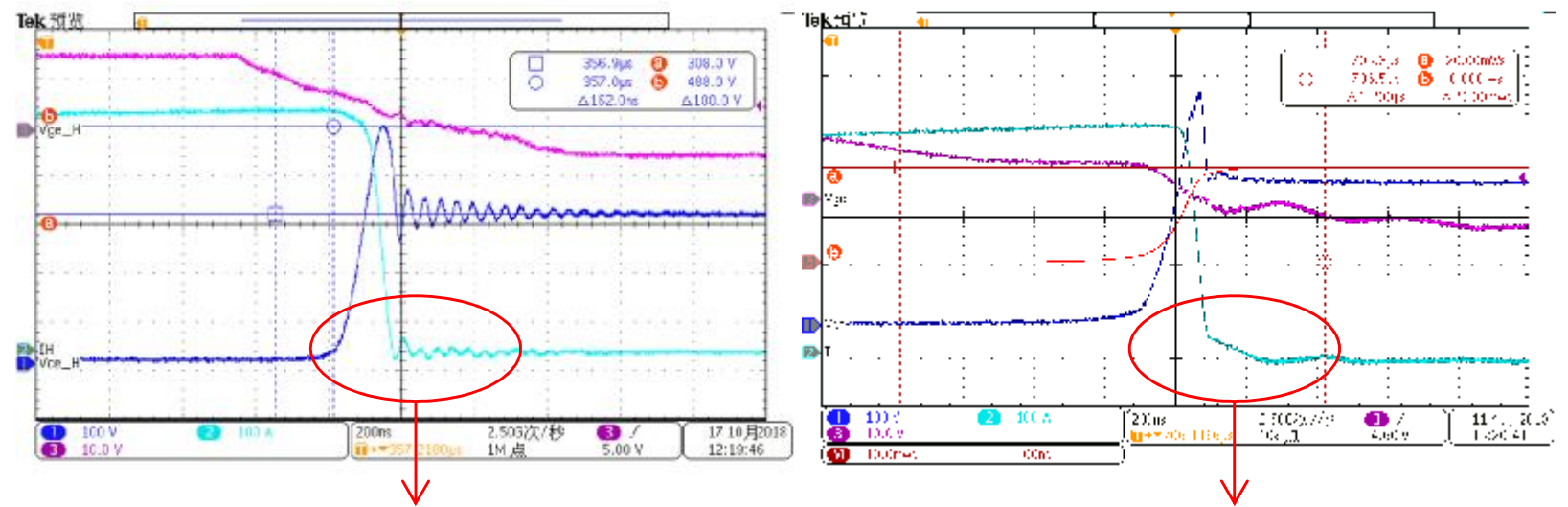
高导热系数



X3.33

散热性能好

单极性器件

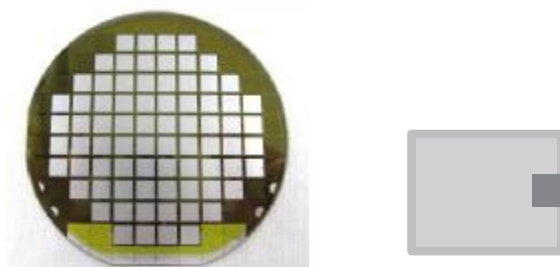


无拖尾电流，关断损耗低

SiC作为第三代半导体材料，各方面性能均大幅领先Si材料，具有非常大的应用潜力。

1.2 SiC在新能源汽车应用范围

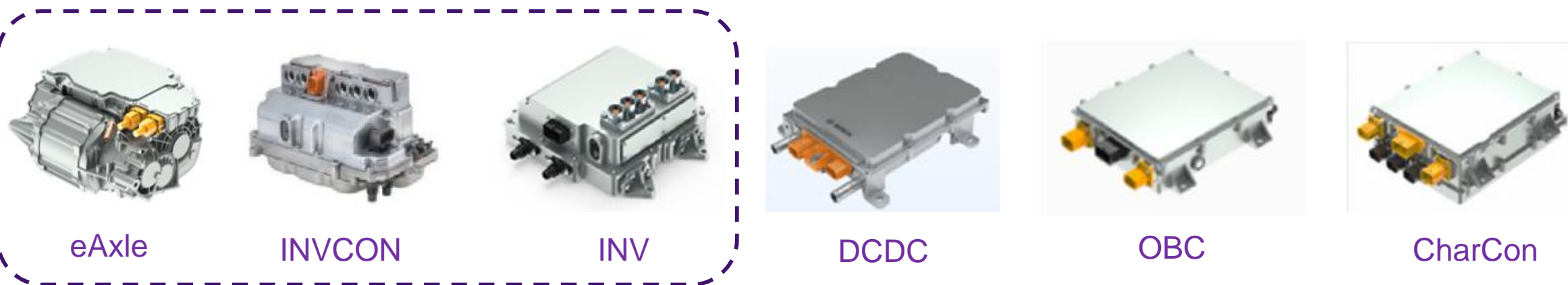
u SiC芯片



u 封装形式



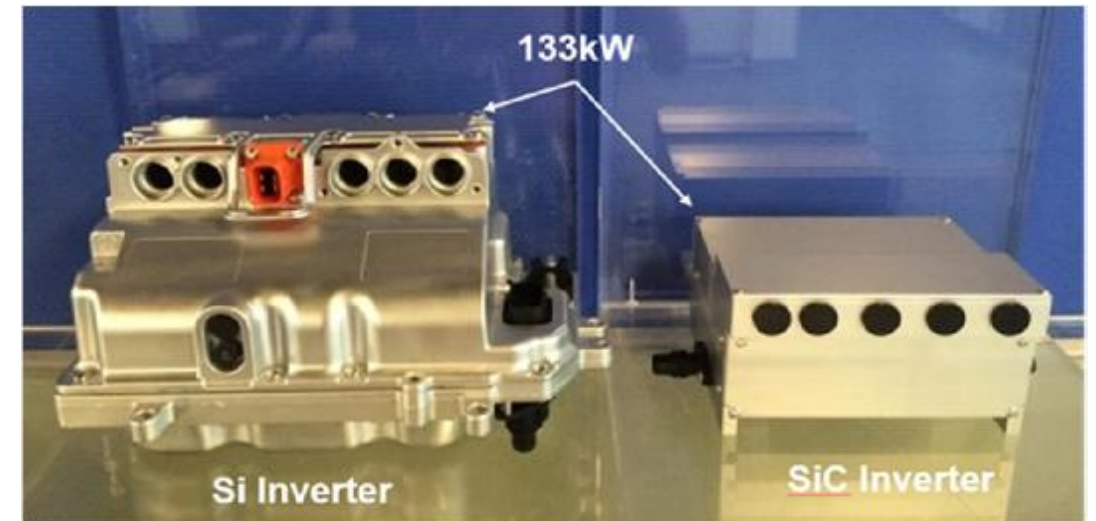
u 应用范围



2.1 联合电子SiC逆变器——性能指标

联合电子于2017年研制完成首个SiC逆变器样品，经测试验证，相比Si逆变器的性能有大幅提升，具体如下：

	SiC逆变器	Si逆变器
输出功率	133kW	133kW
体积	3.3L	5.9L
功率密度	40.3kW/L	22.5kW/L
开关频率	10~40kHz	10kHz
峰值效率	99.4%	98.5%



2.2 联合电子SiC逆变器——先进技术

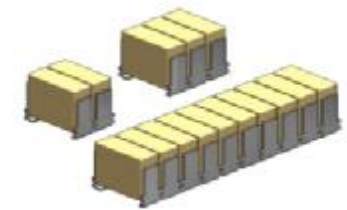
首个SiC逆变器样机，应用了大量的先进技术，主要如下：

定制全SiC Mosfet功率模块

- 项目采用定制化功率模块专用于逆变器开发；
- 相比IGBT芯片面积减少了50%，取消了IGBT使用的反并联二极管；
- 采用PinFin直接与冷却液换热，有效降低了系统热阻。

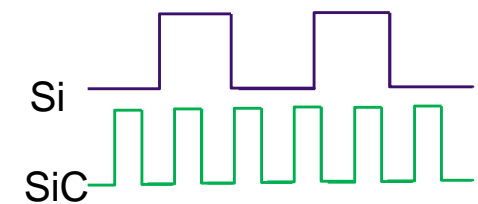
首次应用陶瓷电容器

- 逆变器样机中，首次采用了耐高温的陶瓷电容作为DC_Link电容器；
- 相比传统薄膜电容器耐温由105℃提升到150℃；
- 电容器的重量也下降了30%。



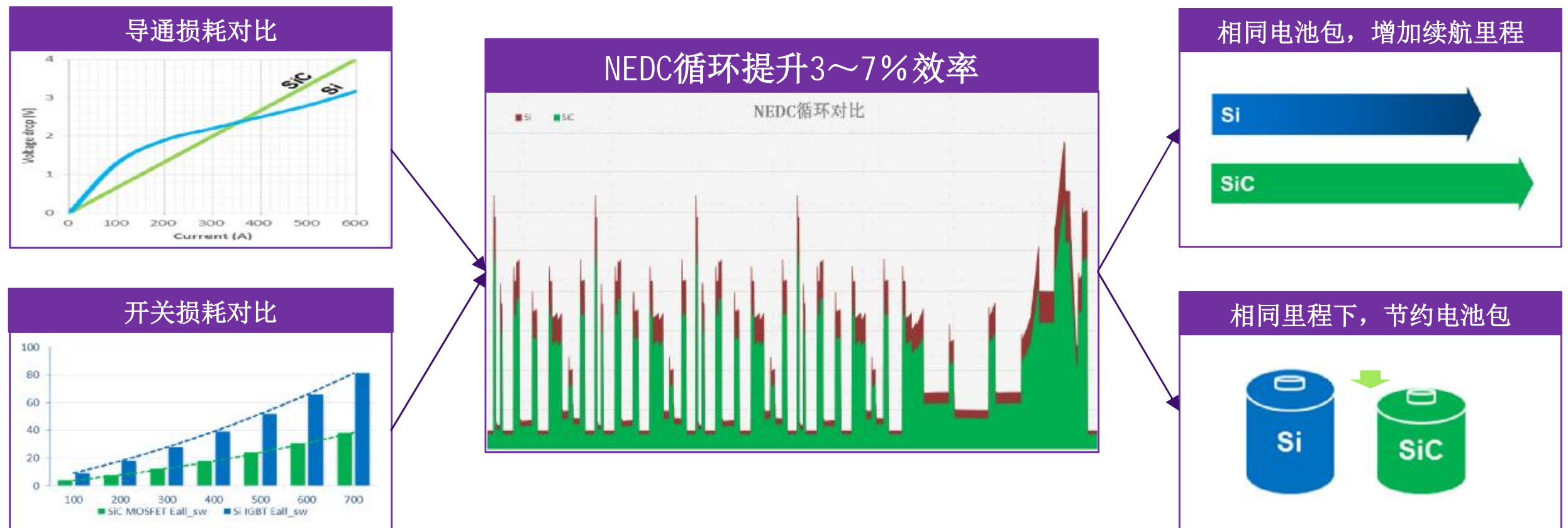
全新设计SiC专用高频驱动

- 驱动电路具有驱动频率高（最高可达150kHz）；
- 驱动电压范围大，可满足SiC Mosfet对电压的特殊需求；
- 针对SiC保护响应更迅速，确保安全开关。



2.3 SiC逆变器系统优势——高效率

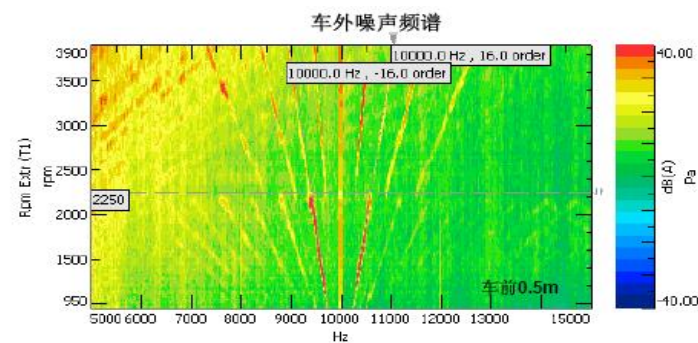
逆变器效率主要与功率器件的导通损耗和开关损耗相关，而SiC逆变器在这两点均具有一定优势。



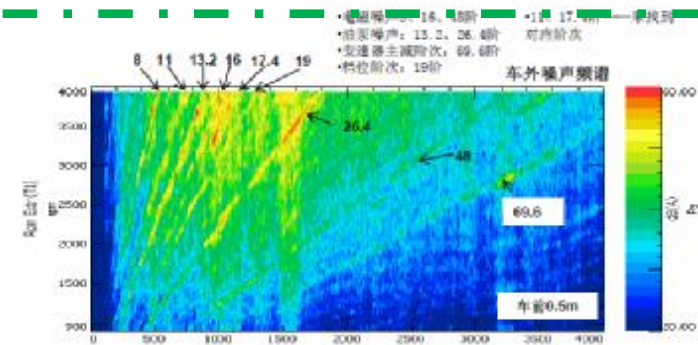
SiC逆变器的高效率特性，可提高整车的里程或降低相同里程下的电池包预装量。

2.4 SiC逆变器系统优势——高频率

电力驱动系统噪音

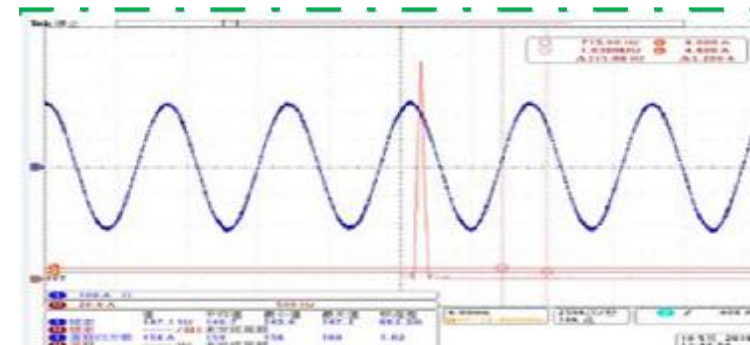
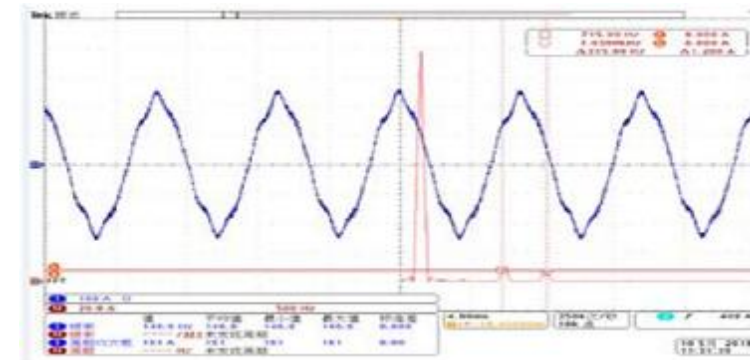


Si
10kHz



SiC
10~40kHz

电机电流谐波抑制



SiC逆变器的高频率特性，可降低电力驱动系统噪音，同时提高逆变器的谐波电流抑制能力。

2.5 SiC逆变器系统优势汇总

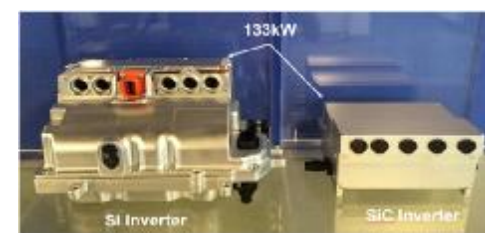
高效率

高效率可提升续航里程或降低电池包预装量。



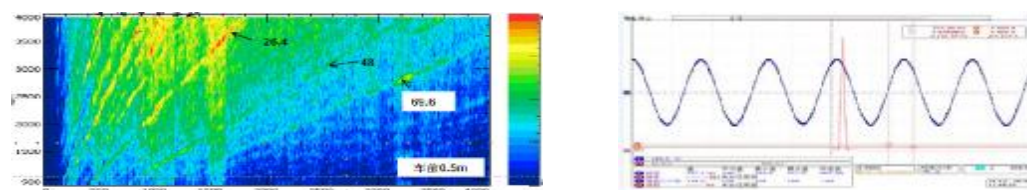
高功率密度

SiC逆变器的功率密度可突破40kW/L。



高频率

高开关频率可有效降低电驱动系统噪音，并且可以优化电机谐波电流。



高耐温

SiC芯片耐温更高，可拓宽逆变器的应用温度范围。

Si功率模块 175°C

SiC功率模块 200°C

3.1 SiC逆变器批量应用挑战1——SiC芯片成本

u Substrate技术难度高

SiC Substrate生产技术难度高，供应商较少，总体产量较低，造成芯片原材料价格较高。

u 晶圆尺寸较小

目前SiC的晶圆主流为6寸，相比Si的8寸、12寸存在较大差距，生产效率低，有效切割面积较小，成本上升。

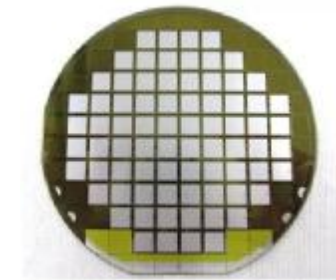
u 单颗SiC芯片面积小

Si IGBT芯片一般可达100mm²，但SiC单颗芯片面积最大仅能做到30mm²，大功率应用需要多颗并联。

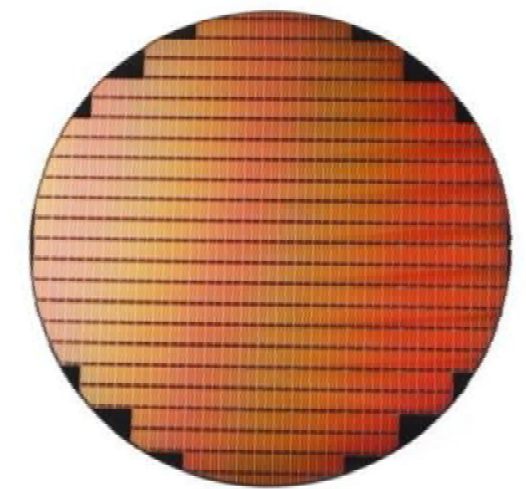
u 良品率较低

由于SiC材料硬度及透明度较高，芯片外沿、栅氧、切割和检测难度大，影响芯片良品率。

u 当前整体应用体量偏小






SiC 6英寸



Si 12英寸

3.2 SiC逆变器批量应用挑战2——模块封装

功率模块技术作为串联SiC芯片到逆变器应用的关键，当前主流的SiC封装能力如下：

	A	B	C	D
主流封装				
最大耐温 (°C)	200	175	175	175
ESL(nH)	tbd	7	10	13
可应用频率	10kHz	>10kHz	>10kHz	>10kHz

当前大部分主流封装依然借用Si IGBT的封装概念，导致SiC的特性无法完全发挥。主要限制如下：

1. 耐温水平：Si IGBT的封装材料集中在最大耐温175°C水平，无法承载SiC的高温特性 (>200°C)，限制了SiC芯片最大工作温度；
2. ESL较大：现有Si IGBT的封装ESL较大，影响SiC的高频开关损耗，无法完全发挥SiC的高频特性；
3. 封装体积：现有封装对应Si IGBT的芯片布置，但同等功率下SiC芯片面积较小，可优化封装内部layout，降低封装体积。

3.3 SiC逆变器批量应用挑战3——电容器

u 电容器耐温限制

目前逆变器的应用温度会进一步提升，但DC-Link电容器的主流技术方案为薄膜电容，但薄膜材料存在一定温度瓶颈，限制了逆变器系统的温度应用提升。陶瓷电容器当前的价格较高，暂不利于批量应用。

u 高纹波电流耐受

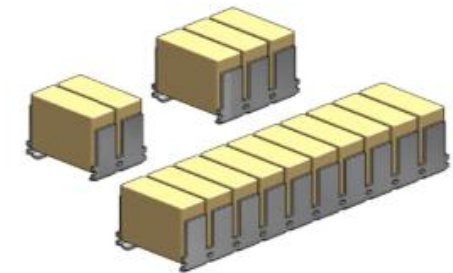
随着SiC逆变器开关频率的提升，在满足纹波电压的前提下，电容器容量会适当削减，但系统的纹波电流不会降低，因此对电容器一定容值下的耐纹波电流能力提出了更高要求。

u 低ESL设计

SiC功率模块的开关速度更快、频率更高，ESL对开关损耗的影响占比变大，系统设计上需要对功率模块和电容器上进行优化，如何在匹配功率模块接口下，设计出低ESL的电容器成为一个挑战。



薄膜电容器



3.4 SiC逆变器批量应用挑战4——专用驱动

u 驱动高频化

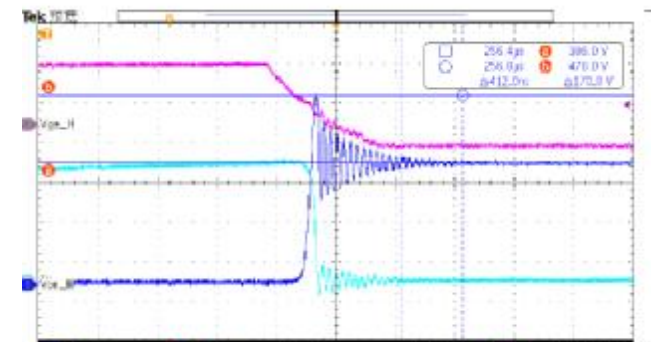
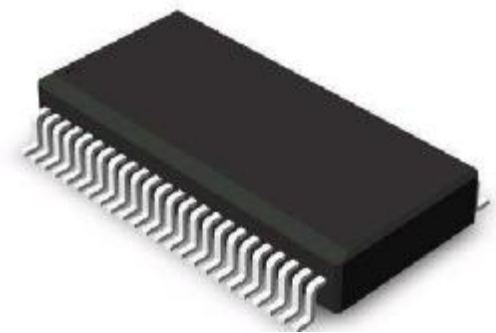
当前主流IGBT的驱动频率大都在30kHz以下，SiC应用的高频化对驱动延迟、最小脉宽、共模抑制比等提出更高的要求，现有的主流方案难以满足，需要全新搭建驱动架构，开发SiC专用的高频驱动电路。

u 保护响应速度

SiC芯片与Si芯片相比，芯片面积变小，单颗芯片的耗散功率耐受能力降低，需要更快的保护响应速度，相应电路的设计难度较大。

u 高精准的门级电压

SiC Mosfet与Si IGBT不同，门级可耐受电压区间收窄，其中驱动正压幅值直接影响到逆变器导通损耗。因此需要安全的门级电压范围内，提高电压精度、降低驱动电压的波动范围，保证驱动的安全高效。



3.5 SiC逆变器批量应用挑战5——EMC

u 功率开关速度快

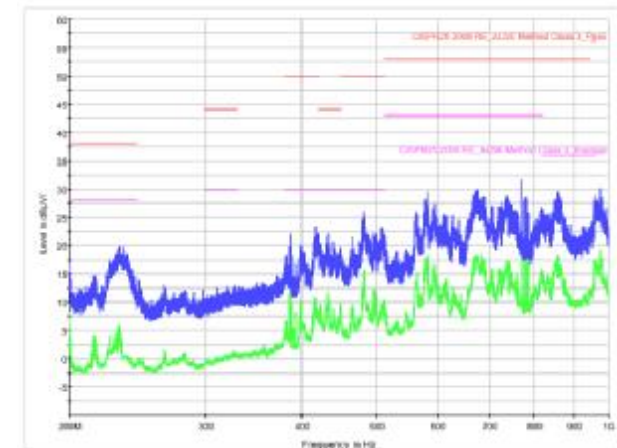
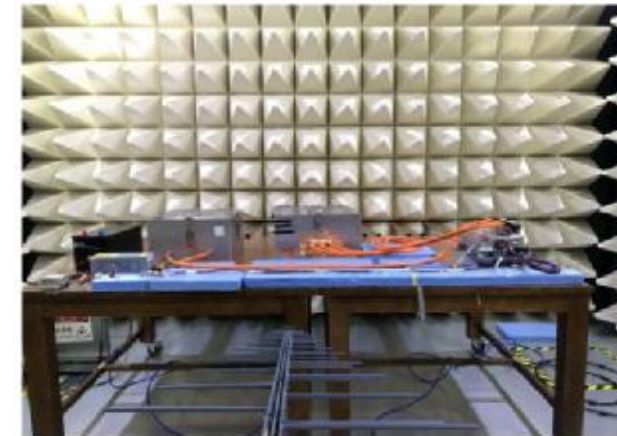
SiC功率器件的开关速度，相比IGBT会提升约1倍，更快的 dv/dt 、 di/dt 势必带来更大干扰。一方面对内，需要解决功率开关干扰对控制电路、驱动电路的影响；另一方面对外，需要解决逆变器干扰对外部部件的影响，同时也要提高逆变器对外部干扰的抵抗能力。

u 逆变器功率密度大

SiC逆变器系统，相同体积下的输出功率更大，但在有限的体积内要求做好EMC设计，势必要求器件小型化，这对现有的磁性材料、电容容量密度提出了更高的要求。

u 更高的EMC等级要求

随着新能源汽车的发展，整车厂对EMC的等级要求越来越高。逆变器方面要求在融合SiC新技术的前提下，进一步提高逆变器系统的EMC等级。



4 联合电子SiC电机控制器项目

SiC INVCON*



SiC INV*
独立式逆变器

I SiC INVCON

----单电机控制，集成2.5kW DCDC

关键信息

- è 批产时间 2019.12
- è 应用范围 xEV
- è 首个应用项目 EV

*图片仅供参考
** NEDC工况仿真

技术参数

	INV	INVCON
体积	6.6L	8L
输入电压范围	240 V - 550 V	240 V - 500 V
逆变器输出相电流	450 Arms @10s, 500Vdc	450 Arms @10s, 450Vdc
DCDC输出能力	/	2.5kW (180A@15V)
功能安全	ASIL C	
软件架构	AutoSAR	

系统收益(INV)

- è 首次应用了全SiC Mosfet作为核心功率管；
- è 峰值效率高达99.4%；
- è 相比Si IGBT逆变器，工况效率可增加3~7%**；
- è 高控制频率（20kHz），可降低电驱动系统噪音；
- è 高功率密度，30kW/L。



No. **1**
In Driving
Technology in
China