



中国中车  
CRRC



基于STMOS技术平台的  
IGBT芯片解决方案

株洲中车时代半导体有限公司

[www.crrcgc.cc](http://www.crrcgc.cc)

# 目录

01

碳中和下的IGBT应用

02

STMOS技术平台

03

STMOS芯片解决方案

## 一、碳中和下的IGBT应用

■ 随着能源问题的日益严峻，全球各国都将绿色发展成为经济增长的核心新动力

	美国	《美国清洁能源和安全法案》
	日本	推动可再生能源与节能产品的“绿色发展战略”
	欧盟	促进智能、可持续和包容增长的“2020发展战略”



中国

“双碳”：对交通运输领域高质量发展提出了更高要求，从结构优化、效能提升、需求管理等方面开展减碳工作

“新基建”：建设“集约高效、经济适用、智能绿色、安全可靠的现代化基础设施体系”

“新基建”  
七大领域

5G基站建设

特高压

新能源汽车充电桩

大数据中心

人工智能

工业互联网

城际高速铁路和城市轨道交通

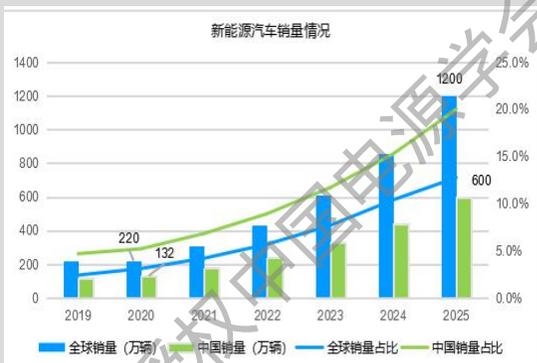
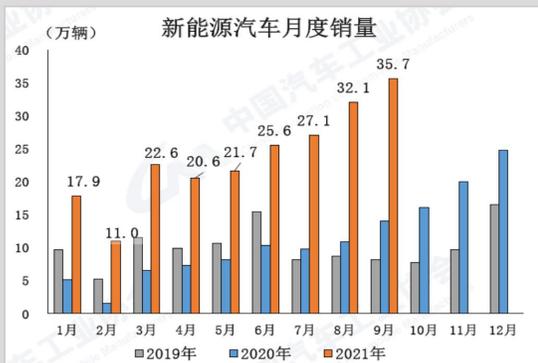
- 中美贸易战及新冠疫情的影响，也进一步加剧IGBT国产化的进程！
- 由于煤炭供应短缺、价格上涨等原因，多个省市实行限电限产，促进了新能源发电产业的发展。

以IGBT为代表的功率半导体器件技术，是支撑国家发展战略的核心技术

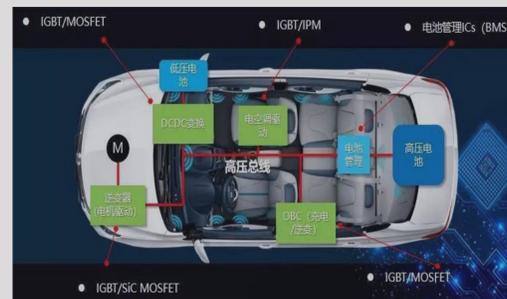
# 一、碳中和下的IGBT应用

- 全球新能源汽车销量及占比快速提高，功率半导体器件市场规模逐年扩大
- 应用特点：多功能、工况复杂（逆变、整流、堵转）、工作结温高（175C）、高功率密度

- 2020年国内新能源汽车年销量达到132万辆，2021年1-9月新能源汽车完成销售215.7万辆,同比增长1.9倍,渗透率达到了11.6%(2020年5.4%)



- IGBT性能、产能、成本综合优势明显，是汽车功率半导体的核心部件。



	Converters	Mild HEV	Full HEV	PHEV	BEV	High-end BEV
Si MOS	M units @2024	8.17	3.9	5.05	7.75	
Si IGBT	1.DC/DC converter LV-HV	6 Si MOS 1.5-4kW Av:3kW				6 Si MOS 3-7kW SiC MOS 试用
SiC MOS	2.Main inverter	6 Si MOS 5-20kW Av: 15kW	6IGBT+(2IGBTs) or 4/6 SiC MOS 40-120kW Av:70kW	6/18IGBTs or SiC MOS	6/18 IGBTs or 4/24 SiC MOS 250-600kW Av:400kW	
	3.Generator	6IGBT 20-100kW Av:60kW				
	4.On-board Battery charger	6 Si MOS: 1.8-7.2kW Av:3.6kW 6IGBTs:10-20kW Av:15kW SiC MOS or GaN 试用				

推动电动汽车产业发展，助力新能源汽车、充电桩新基建

# 一、碳中和下的IGBT应用

- “双碳”背景下，未来发电领域，风电、光伏新能源将占据主导地位
- 应用需求：防湿、防硫等环境适应性要求，成本与功率密度，三电平定制化应用需求

- “3060”政策：中国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。
- 2020年发电量74,170亿千瓦时，同比增长2.7%；风电光伏发电量占比达全社会发电量**9.8%**。
- 2030年新能源发电占增量预计达**48%**，2050达到**68%**



- 陆上风电和光伏要求**成本更低**
- 海上风电要求器件**防湿、防硫、更高的可靠性**

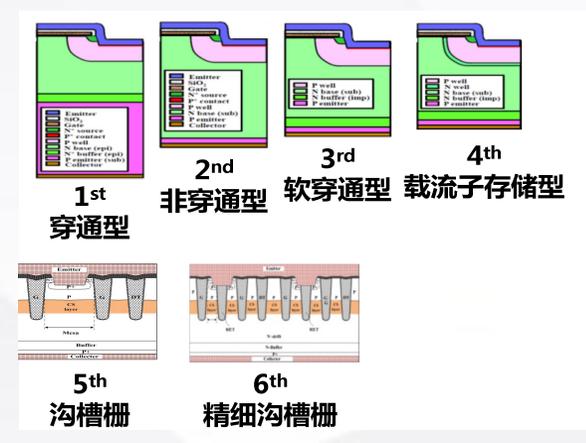
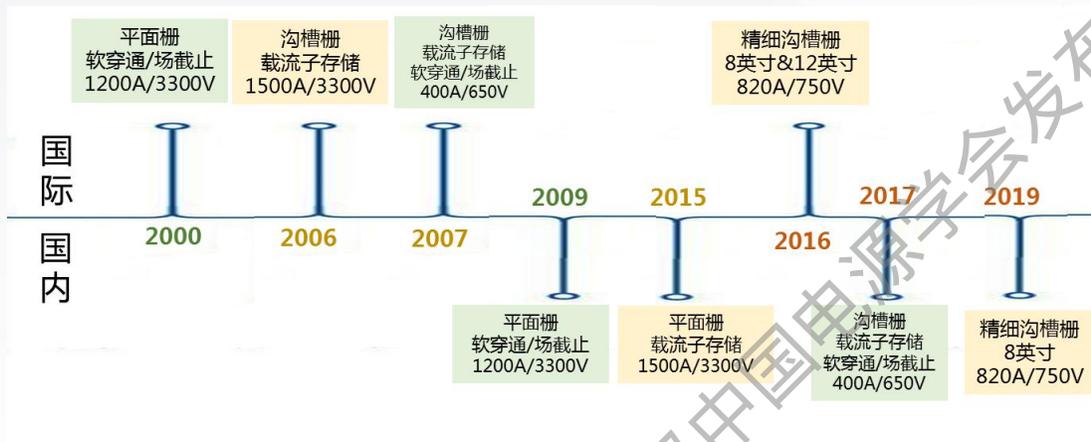


推动新能源产业发展，助力国家“碳中和”目标达成

# 一、碳中和下的IGBT应用

## ■ 硅IGBT器件的发展

- 纵向结构的发展：穿通型 → 非穿通型 → 场截止型
- 元胞结构的发展：平面栅 → 沟槽栅 → 精细沟槽栅
- 工作结温的发展：125°C → 150°C → 175°C



IGBT发展不断满足更高的应用需求：低功耗、高功率密度、高可靠性

# 目录

01

碳中和下的IGBT应用

02

STMOS技术平台

03

STMOS芯片解决方案

## 二、STMOS技术平台

### □ 8英寸车规级IGBT专用芯片线

- > 3000m<sup>2</sup>、10级净化区、0.13μm，全球领先IGBT特色工艺平台



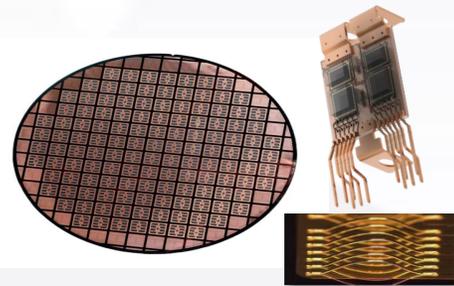
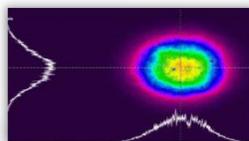
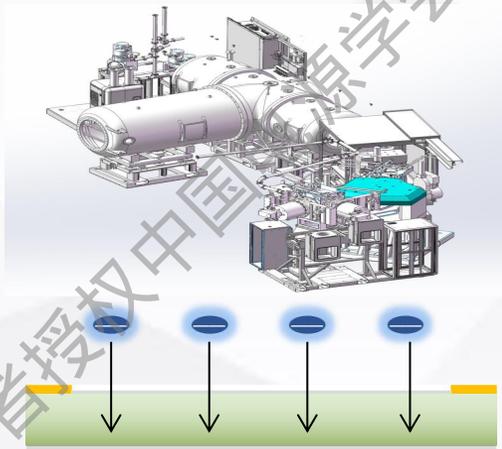
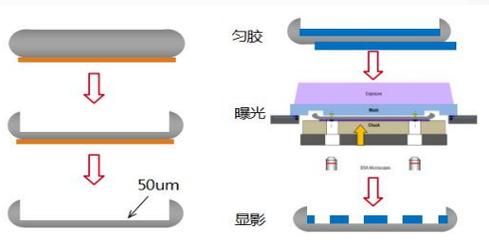
园区示意图



车规级IGBT芯片线布局

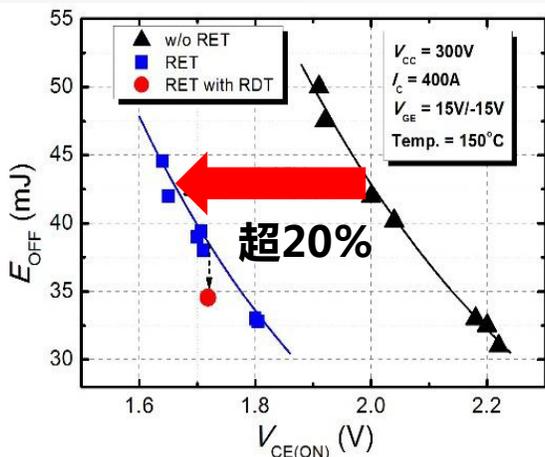
### □ 8英寸车规级IGBT专用芯片线

- 50μm超薄晶圆减薄技术，显著降低功率损耗
- 背面图形化技术，实现双面载流子调控
- 多手段少子寿命控制技术，满足全系列产品设计需求
- 可控激光退火工艺，实现掺杂元素精准激活,退火目标区域与晶圆非目标区域温差可达1100℃
- 双面镀技术，提高芯片互联可靠性

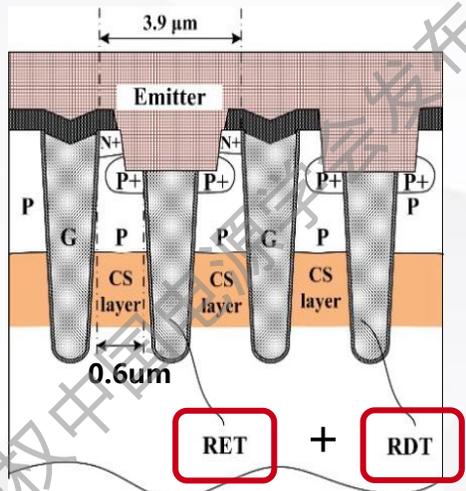


## □ 精细元胞技术平台

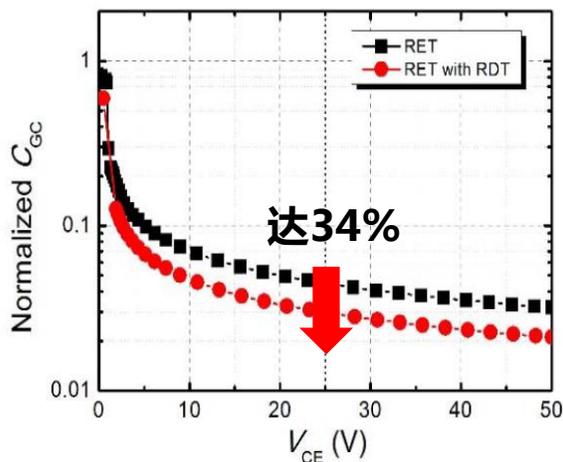
- $V_{CE(ON)} - E_{OFF}$ 折中关系优化超20%
- 精准调控IGBT芯片寄生电容和局部电位的，解决精细化与薄片化趋势下的开关可控性实现难题，米勒电容降幅达34%， $dI/dt$ 可调范围显著拓宽，相同 $dI/dt$ 下开通损耗降幅达47.7%



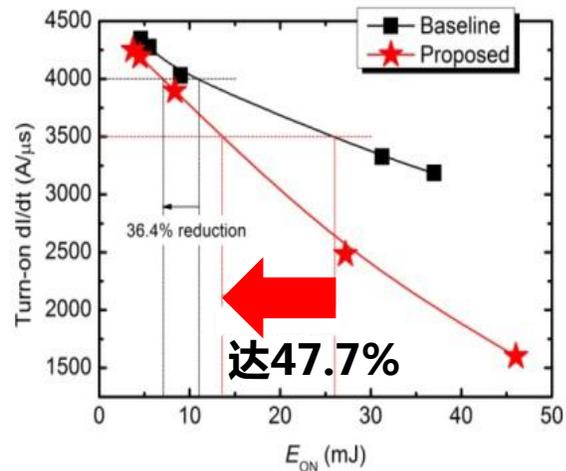
折衷关系优化



RDT结构示意图



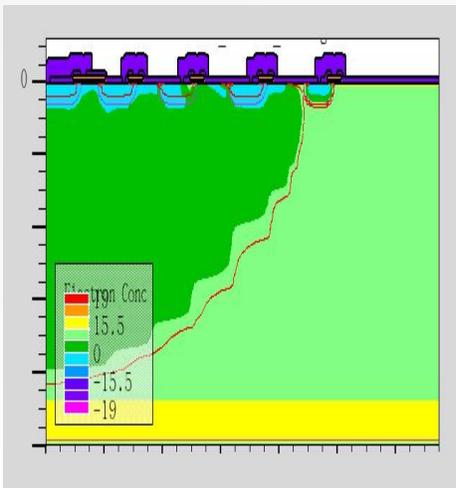
寄生电容 $C_{GC}$ 测试对比



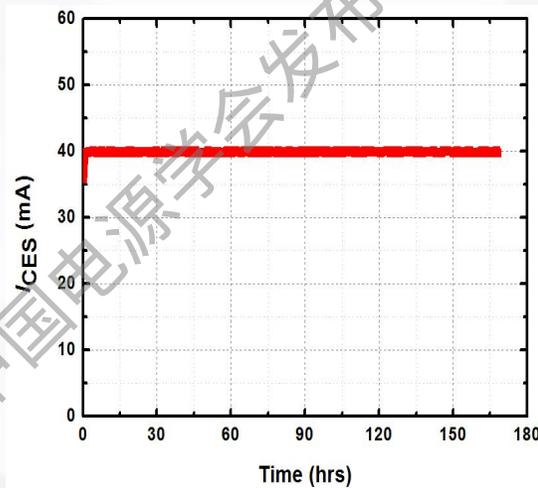
开通参数测试对比

### □ 高温终端技术平台

- **低漏电终端技术**：控制表面电场强度，减少终端界面漏电路径
- **终端电场设计准则**：更大的工艺容忍度，更稳定的界面状态，更宽的设计窗口
- **终端抗湿气钝化技术**：终端表面钝化结构与钝化材质的设计，大幅削弱外部严苛环境的直接影响



芯片终端技术示意



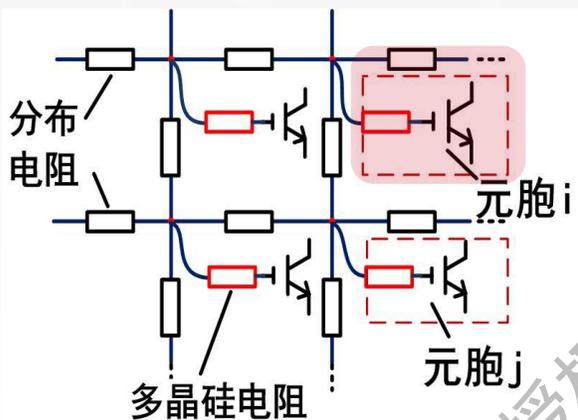
终端200°C耐受能力(HTRB)



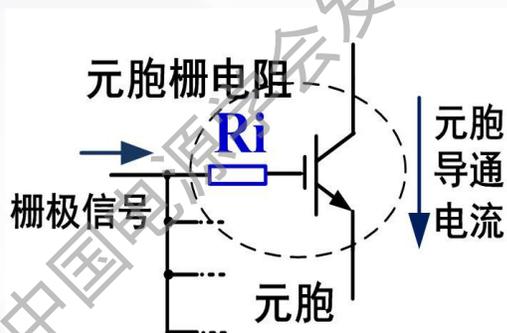
IGBT工作结温提升

### □ 芯片均流技术平台

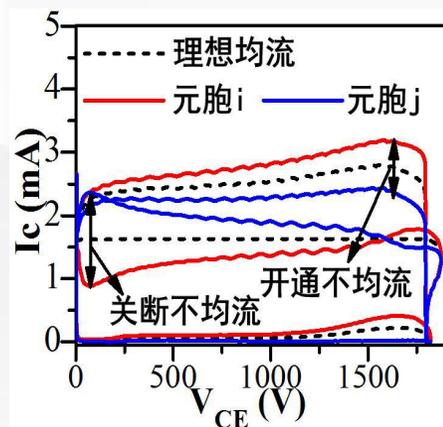
- 基于元胞栅电阻的分布式拓扑结构，建立**元胞和芯片两级栅电阻分布模型**
- 通过仿真研究分布电阻与元胞栅电阻对元胞级均流的影响
- 通过**栅极电阻及栅极总线结构设计**，优化元胞均流特性



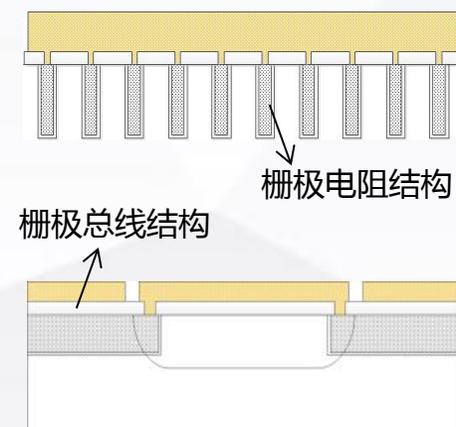
芯片级栅电阻模型



元胞级栅电阻模型



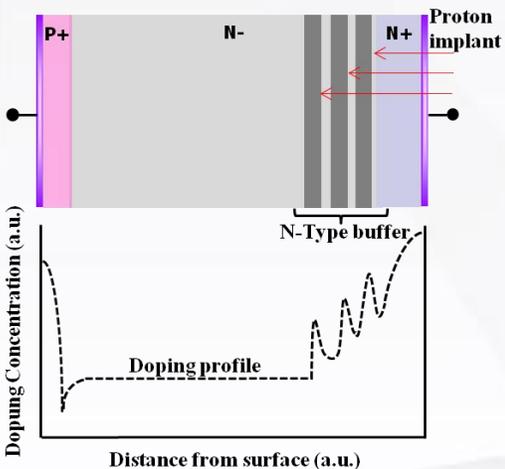
元胞间不均流仿真



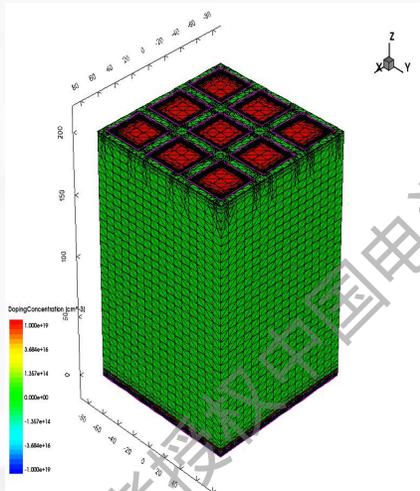
栅极电阻与栅极总线结构

## STMOS配套FRD技术平台

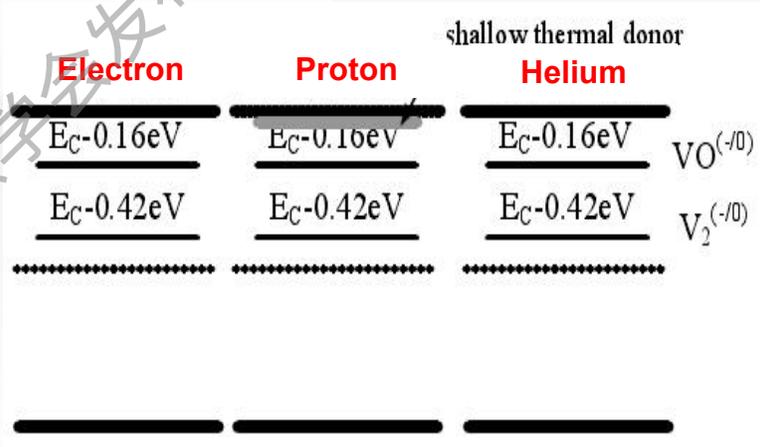
- X-buffer技术：在阻断能力-漏电水平-反向恢复特性之间实现更灵活的调控
- 背面P型岛结构：抑制高压小电流振荡，降低反向恢复能量
- 复合寿命控制技术：引入深能级缺陷形成复合中心，降低载流子寿命



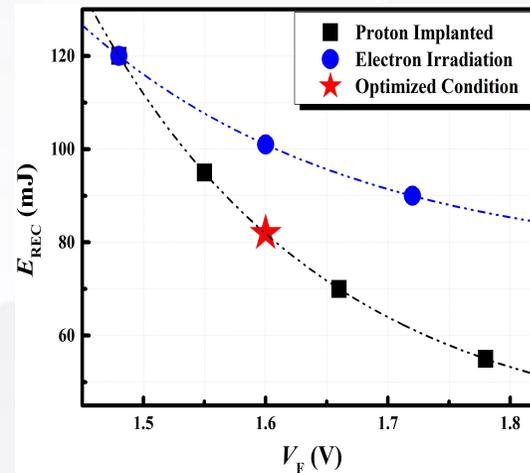
X-buffer技术



背面P型岛结构



寿命控制深能级缺陷



V<sub>F</sub>-E<sub>rec</sub> 折中关系提升

## □ 传感技术平台

- 温度二极管：信号芯片级监控，更精确温度监控
- 局部并联元胞镜像电流：直接检测电流信号，更快保护响应

(54) Title: A POWER SEMICONDUCTOR DEVICE WITH A TEMPERATURE SENSOR

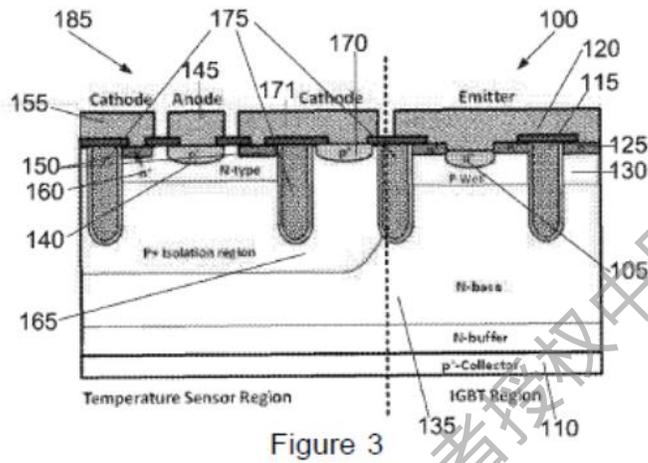
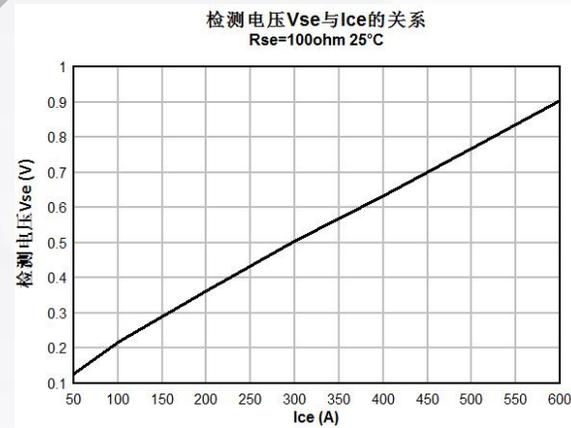
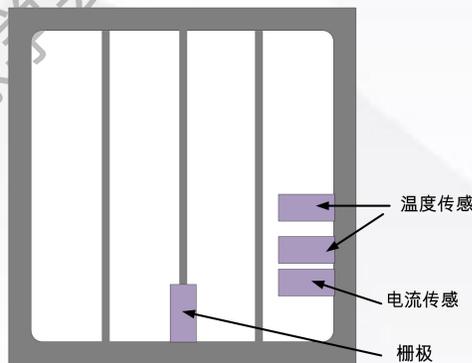
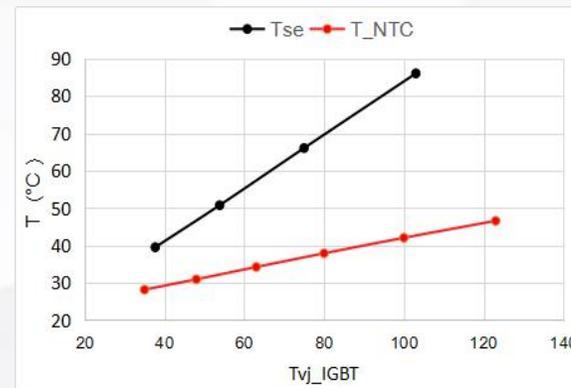


Figure 3



电流传感信号Vse与Ice关系



温度传感二极管与NTC比较

# 目录

01

碳中和下的IGBT应用

02

STMOS技术平台

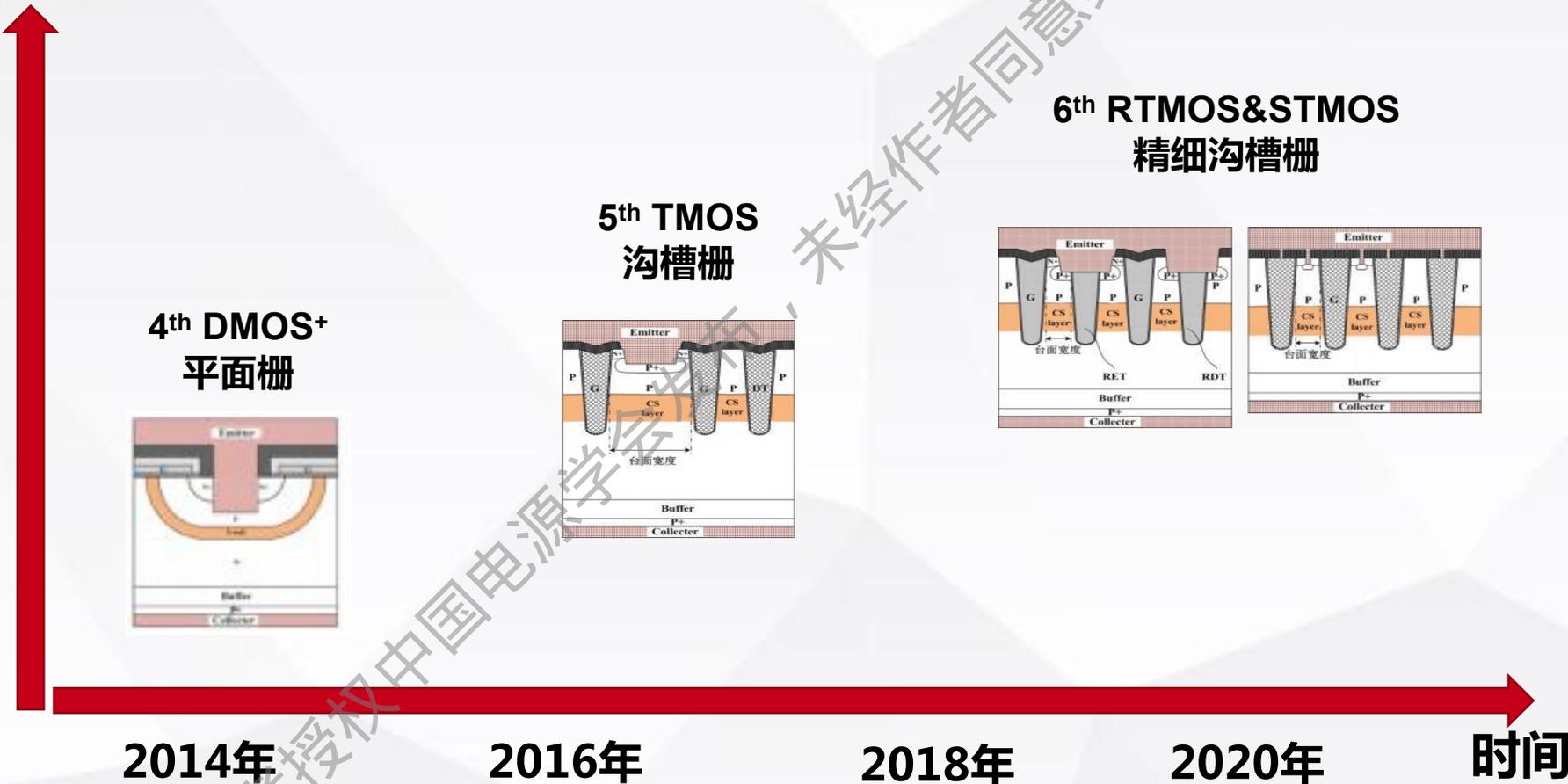
03

STMOS芯片解决方案

# 三、STMOS芯片解决方案

## 中车IGBT芯片技术代次

等效  
电流  
密度

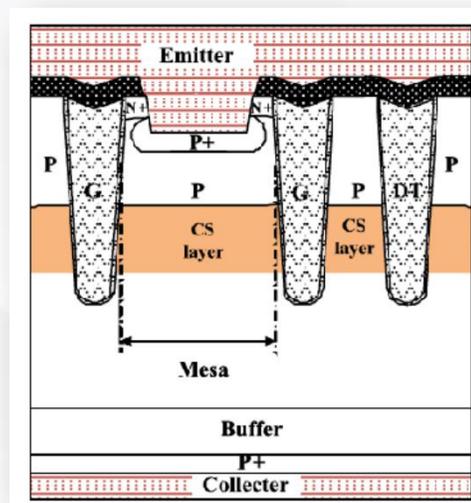
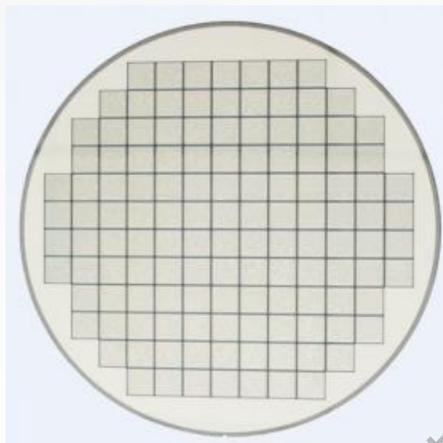


未经作者同意禁止转载

作者授权中国电源学

## □ 5th TMOS沟槽IGBT芯片

- 应用于750V-1700V 汽车、工业领域，已推广至全电压系列
- 沟槽栅+场截止+载流子存储技术，具有软开关特性、低损耗和强健的鲁棒性
- 终端采用新型半绝缘钝化材料，最高工作结温175°C



### 三、STMOS芯片解决方案

#### □ 5th TMOS沟槽IGBT芯片

乘用车

750V/400A S0/S2系列全桥模块



- 适用于 40~70kW 功率等级

商用车

1200V/450A 600A M1半桥模块



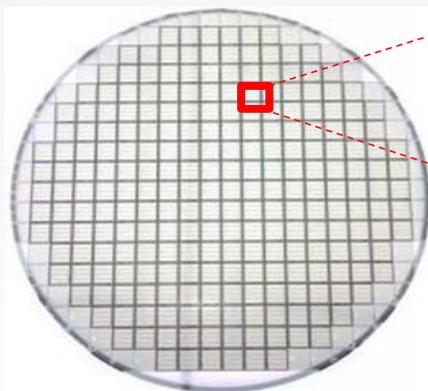
- 适用于 140~200kW 功率密度等级

作者授权中国电源学会发布，未经许可同意禁止转载

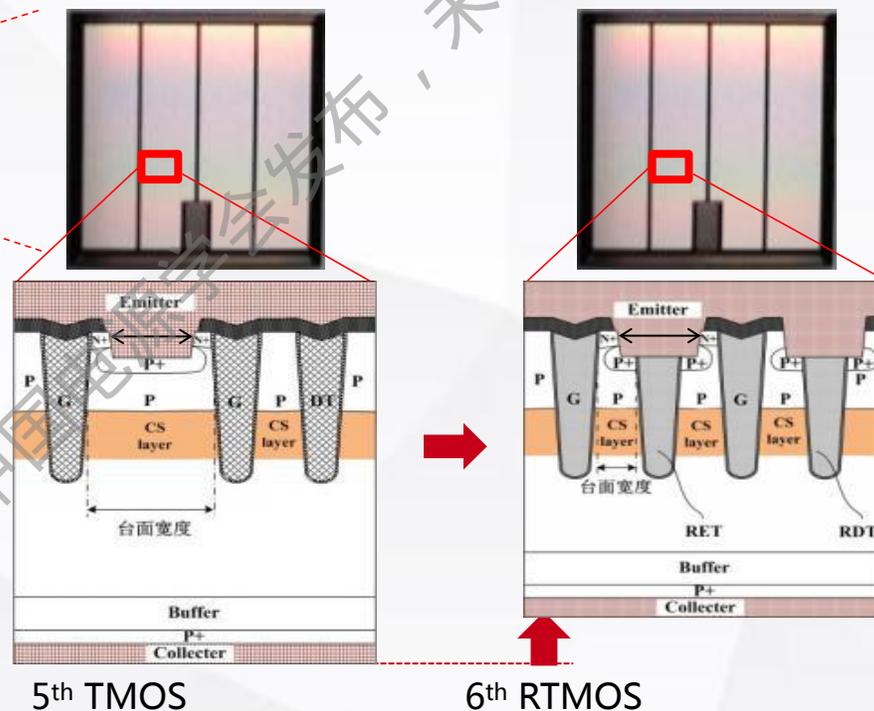
### 三、STMOS芯片解决方案

#### 6th RTMOS 精细沟槽IGBT芯片

- 8英寸超薄片技术 (750V) : 80 $\mu\text{m}$  (5<sup>th</sup> TMOS)  $\rightarrow$  75 $\mu\text{m}$  (6<sup>th</sup> RTMOS)
- 亚微米精细元胞技术 : 台面宽度 4.5 $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  0.6 $\mu\text{m}$  , 接触尺寸 3 $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  1.5 $\mu\text{m}$



8英寸晶圆



5th TMOS

6th RTMOS

### 三、STMOS芯片解决方案

#### □ 6th RTMOS 精细沟槽IGBT芯片

- 750V/820A S3+1.0全桥模块



- 适用于 90~120kW 功率等级

- 750V/820A S3+2.0全桥模块

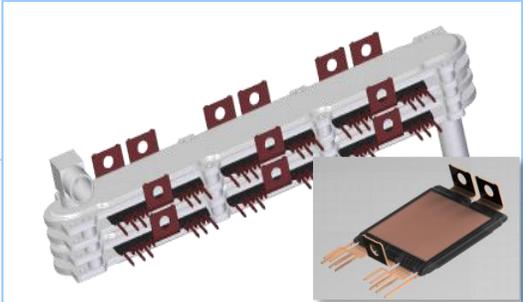


- 拓展至550A/660A/820A/950A全系列
- 适用于 60~200kW 功率密度等级

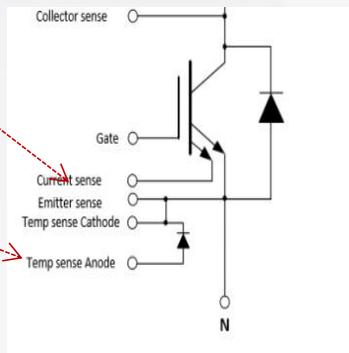
作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



# 三、STMOS芯片解决方案



## 6th RTMOS 精细沟槽IGBT芯片 750V800A双面散热



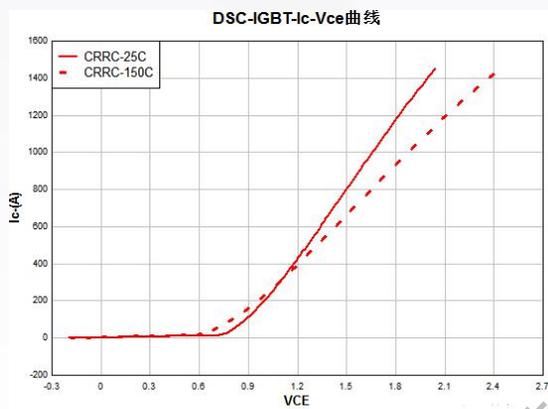
■ 750V RTMOS芯片技术

■ 双面可焊金属化

■ 集成传感

■ 过流/短路保护速度高于退饱和检测，芯片传感检测保护时间在1~2us内

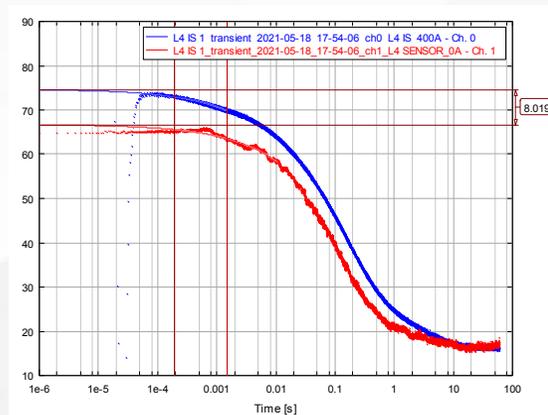
■ 温度传感的响应速度远高于NTC



IGBT通态压降对比



芯片传感短路保护

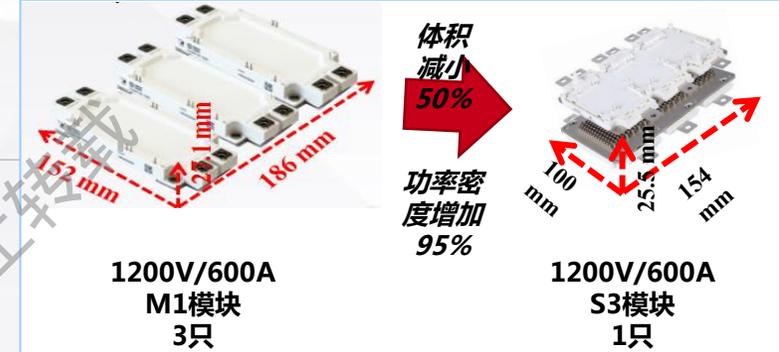


传感表征温度随芯片结温实时变化

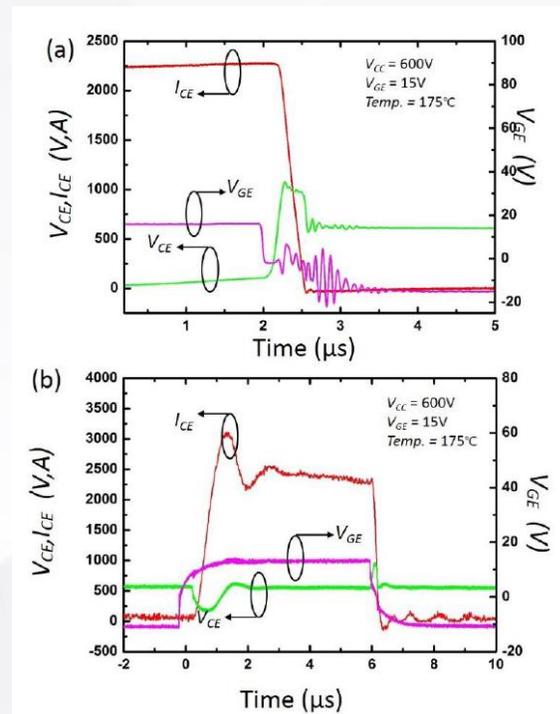
# 三、STMOS芯片解决方案

## 6th RTMOS 精细沟槽IGBT芯片 1200V200A

- 1200V RTMOS芯片技术，助模块功率密度提高95%
- 安全工作区:RBSOA极限可关断4倍以上电流，SCSOA极限通过6us短路测试



1200V S3+ IGBT 器件	测试条件	1200V600A S3	1200V600A M1 半桥
$V_{CE(sat)} @ 600A$	$T_{Vj}=25^{\circ}C$	1.7V	1.85V
$V_{CE(sat)} @ 600A$	$T_{Vj}=150^{\circ}C$	2.05V	2.15V
$V_F @ 600A$	$T_{Vj}=25^{\circ}C$	1.90V	1.90V
$V_F @ 600A$	$T_{Vj}=150^{\circ}C$	2.00V	2.10V
$E_{ON}/mJ$	$V_{CE}=600V,$	82	81.7
$E_{OFF}/mJ$	$I_C=600A,$	60	87
$E_{rec}/mJ$	$T_{Vj}=25^{\circ}C$	19	19.7
$E_{total}/mJ$	$R_{gon}=R_{goff}=3.3\Omega$ $di/dt=3300A/us$ $dv/dt=3100V/us$	161	188.4
$R_{JF(IGBT)}$	10L/min(50%乙二醇)	100	83 (R <sub>J-H</sub> )

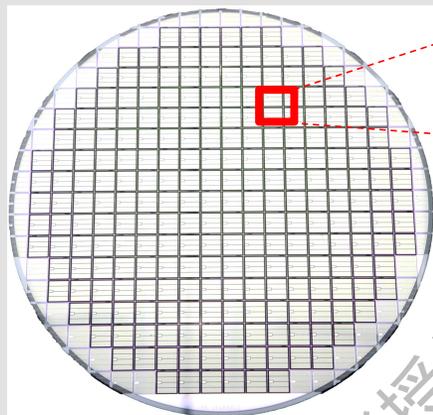


# 三、STMOS芯片解决方案

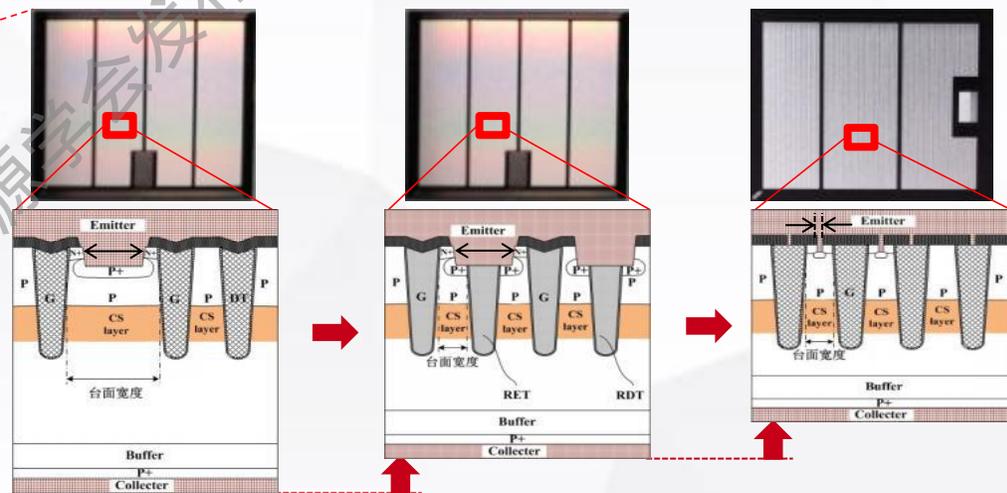
## 6th STMOS 精细沟槽IGBT芯片

- 8英寸超薄片技术(750V)：80 $\mu\text{m}$  (5<sup>th</sup> TMOS)  $\rightarrow$  75 $\mu\text{m}$  (6<sup>th</sup> RTMOS)  $\rightarrow$  **70 $\mu\text{m}$  (6<sup>th</sup> STMOS)**
- 亚微米精细元胞技术：台面宽度 **0.6 $\mu\text{m}$** ，接触尺寸 3 $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  1.5 $\mu\text{m}$   $\rightarrow$  0.2 $\mu\text{m}$

- 亚微米精细沟槽
- 70微米薄片场截止技术
- 175°高结温终端



8英寸晶圆



5th TMOS

6th RTMOS

6th STMOS

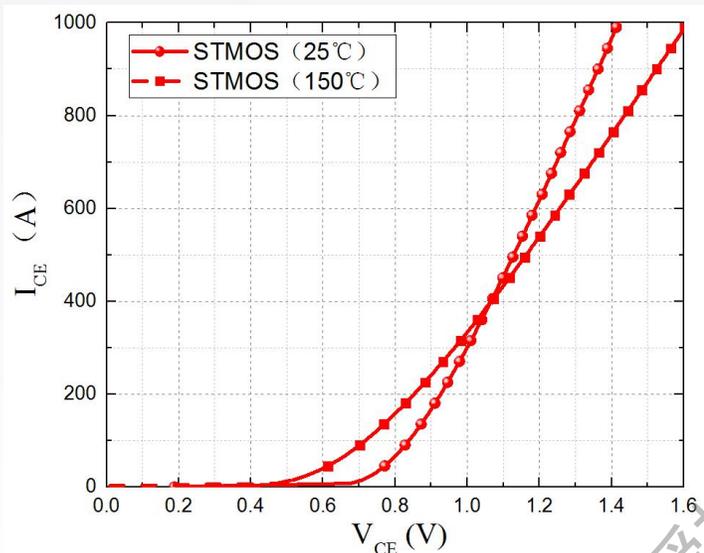


### 三、STMOS芯片解决方案

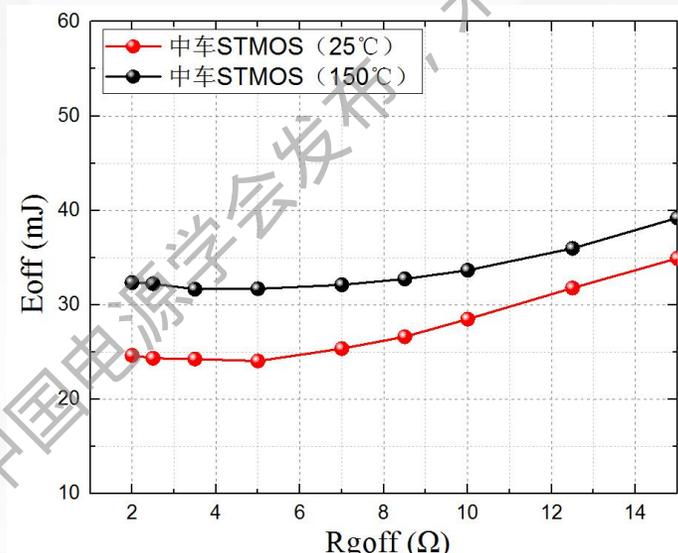


#### 750V315A STMOS 芯片 (动静态)

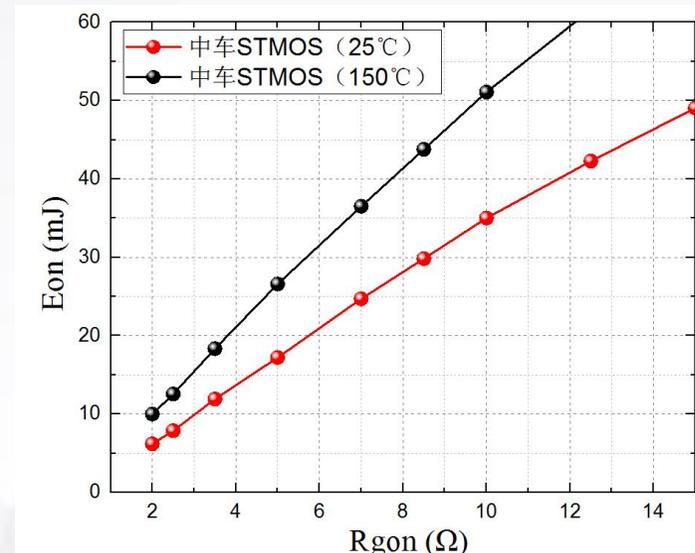
- 常温静态压降1.4V，高温静态压降1.65V (@950A)
- 动态开关损耗低 (Rgon=3Ω，Rgoff=5Ω时，25°C/150°C开关损耗仅30/43mJ)



750V 950A器件输出特性



关断损耗 vs. R<sub>G</sub>



开通损耗 vs. R<sub>G</sub>



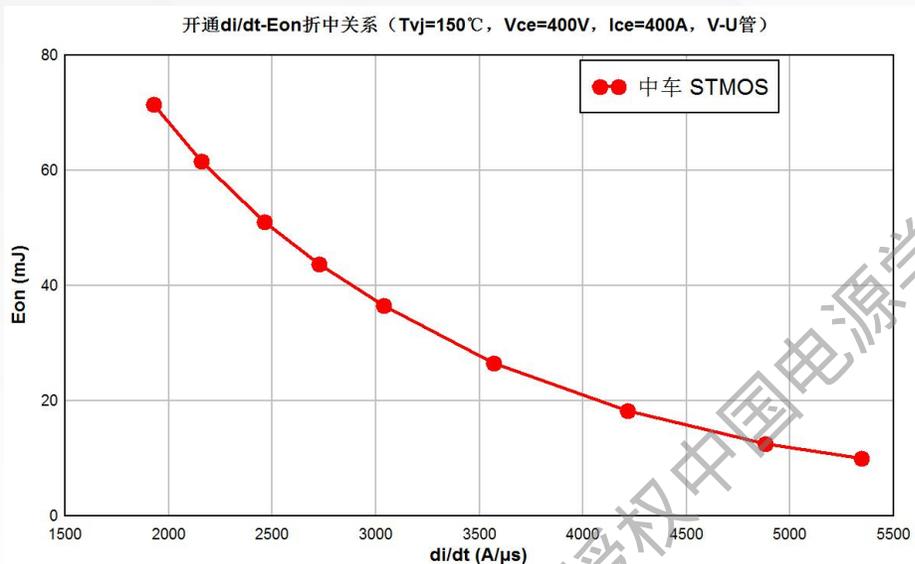
# 三、STMOS芯片解决方案



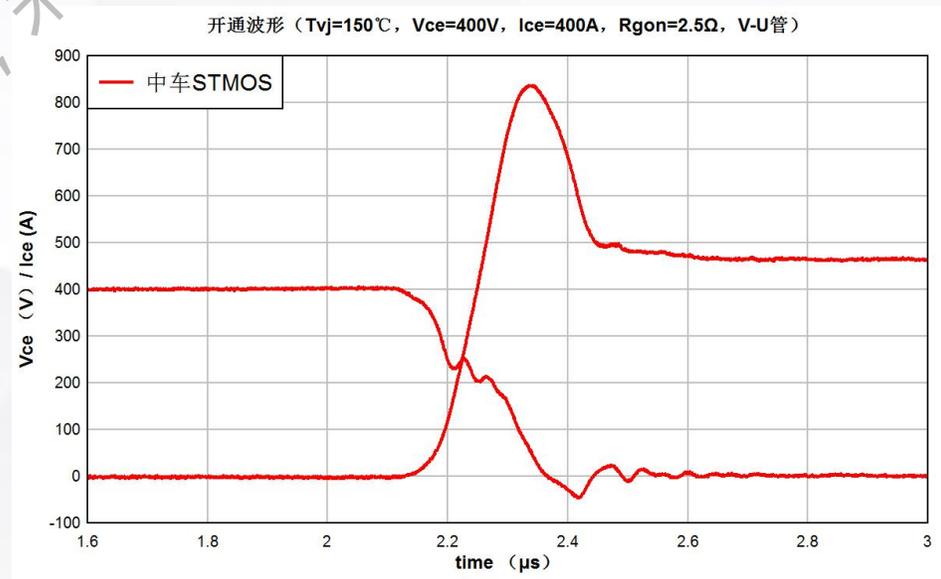
## 750V315A STMOS 芯片 (开关可控性-开通)

### 宽的开通dI/dt可控区间

未经作者同意禁止转载



E<sub>ON</sub>-dI/dt折中关系曲线



开通波形

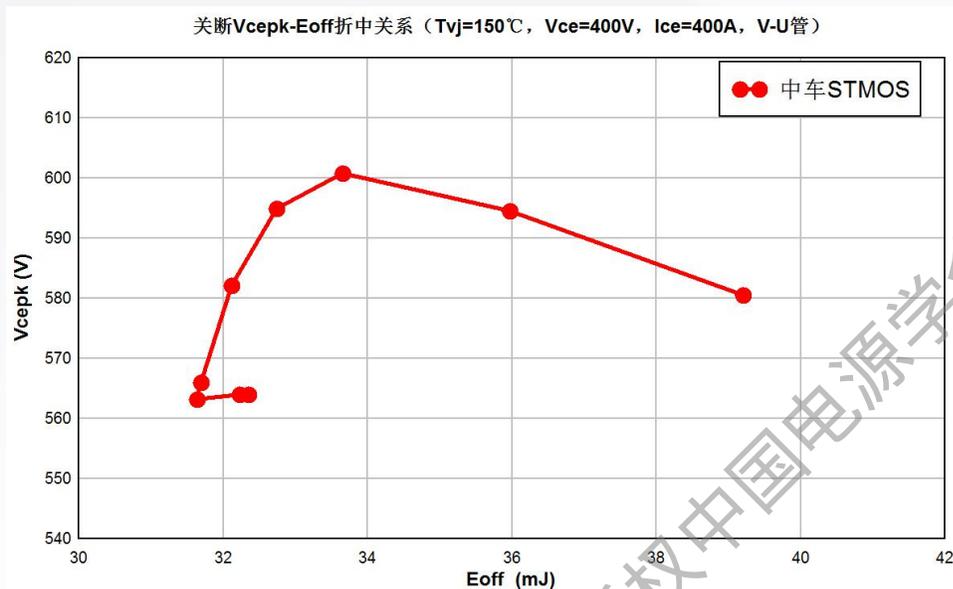


# 三、STMOS芯片解决方案

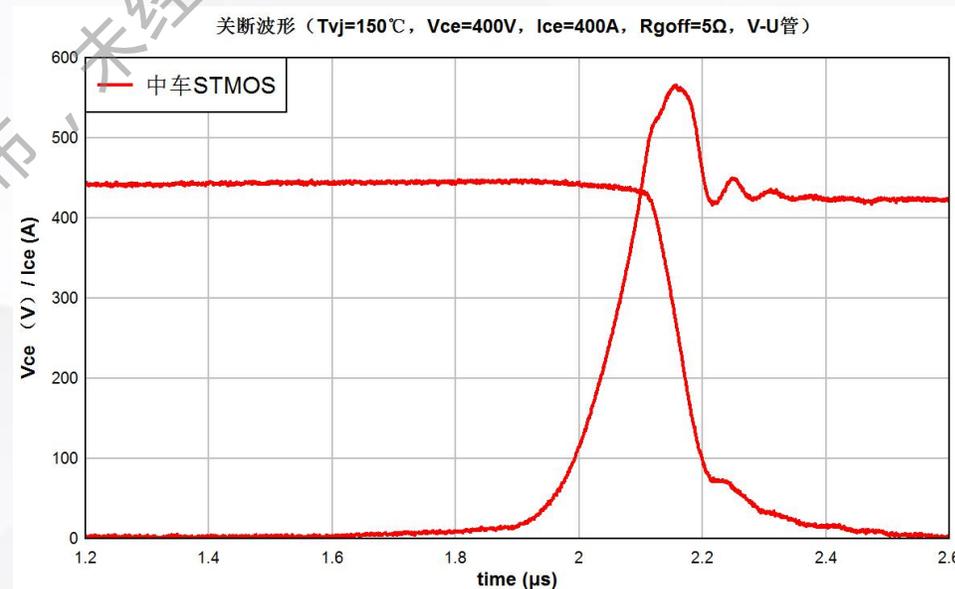


## 750V315A STMOS 芯片 ( 开关可控性-关断 )

### 关断损耗与Vcepk折衷优异



$E_{OFF} - V_{CEPK}$  折衷



关断波形



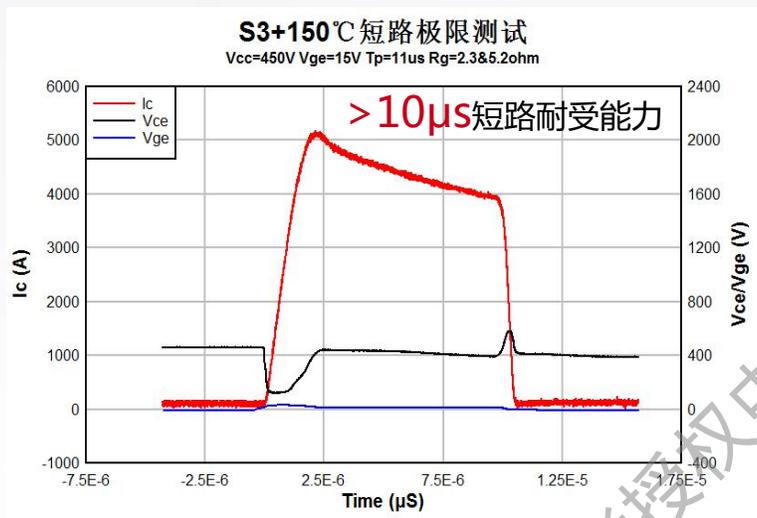
# 三、STMOS芯片解决方案



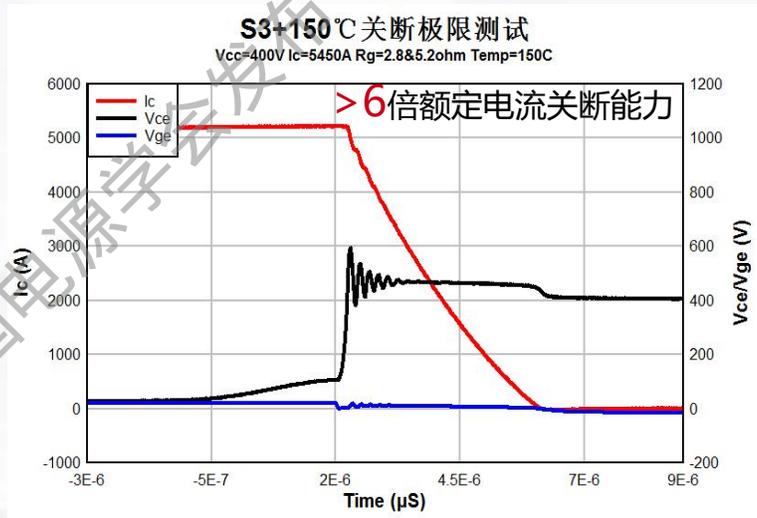
## 750V315A STMOS 芯片 (鲁棒性)

- **SCSOA** : 具备大于10μs的短路耐受能力
- **RBSOA** : 具备6倍以上额定电流关断能力
- **高阻断电压** : 满足-40°C条件下的Vblk > 750V

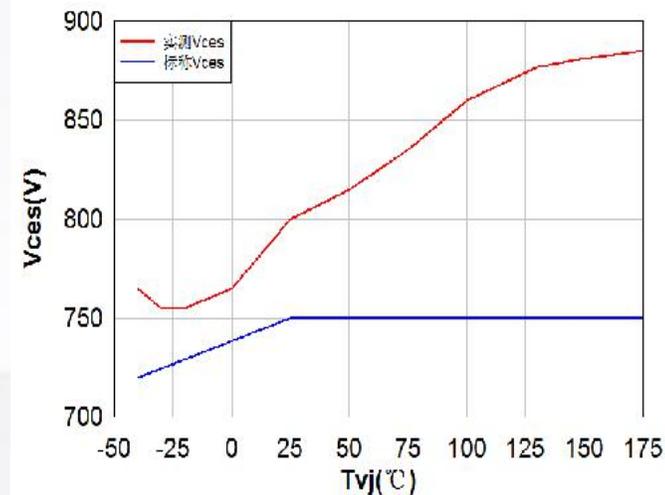
未经作者同意禁止转载



短路安全工作区 (SCSOA)



反偏安全工作区 (RBSOA)



Vblk与标称值之间的关系

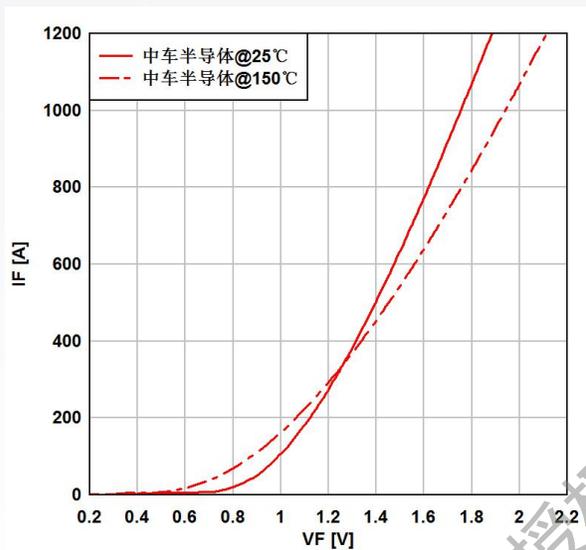


# 三、STMOS芯片解决方案

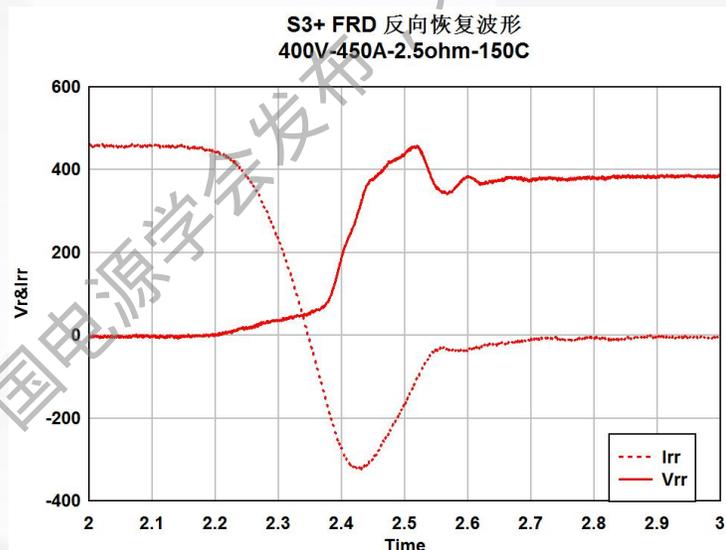


## 750V315A STMOS 芯片 ( 配套FRD )

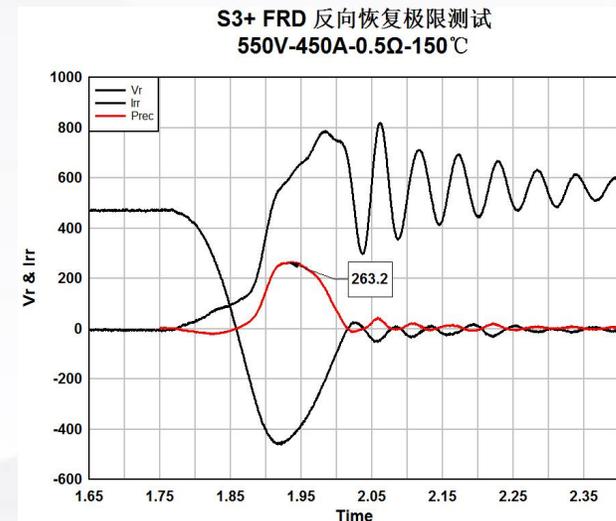
- 静态损耗低，适合于整流（馈电、堵转）工况使用
- 正温度系数特性，高应用可靠性
- SOA能力强健：通过550V-450A-0.5ohm-150°C极限测试，didt达到11000A/us



静态I-V曲线



常规反向恢复波形



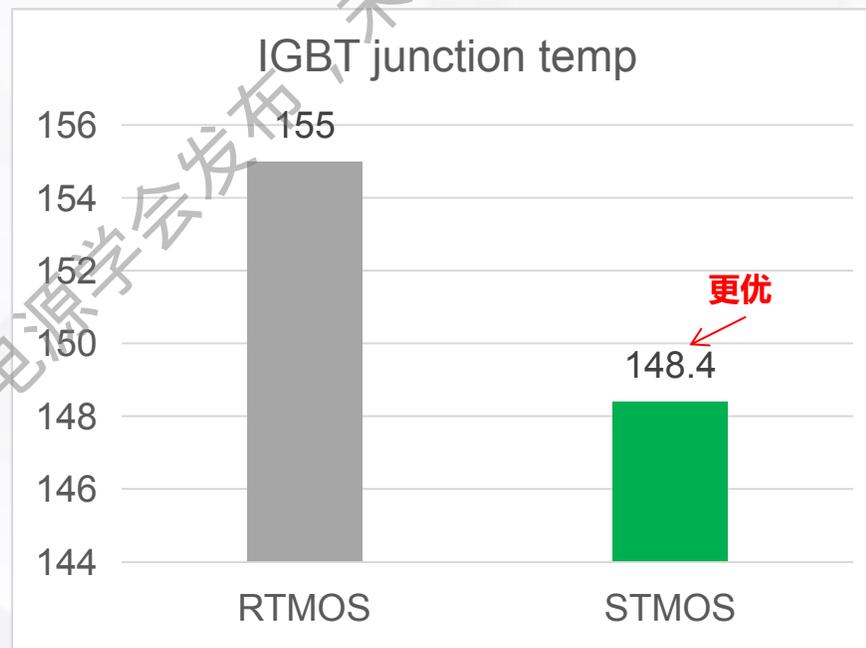
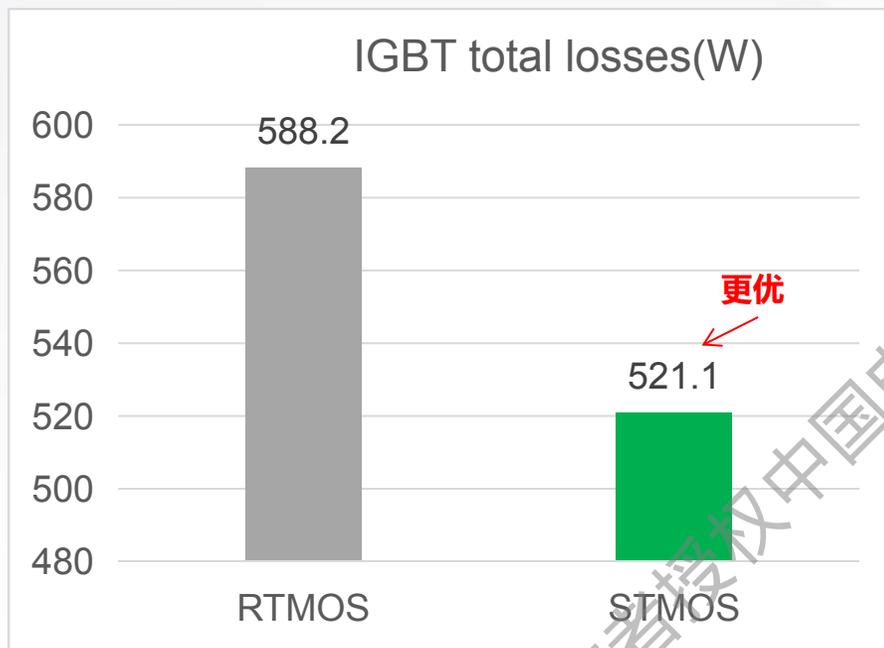
RRSOA测试波形

### 三、STMOS芯片解决方案



#### □ 750V315A STMOS 芯片 ( 损耗与结温 )

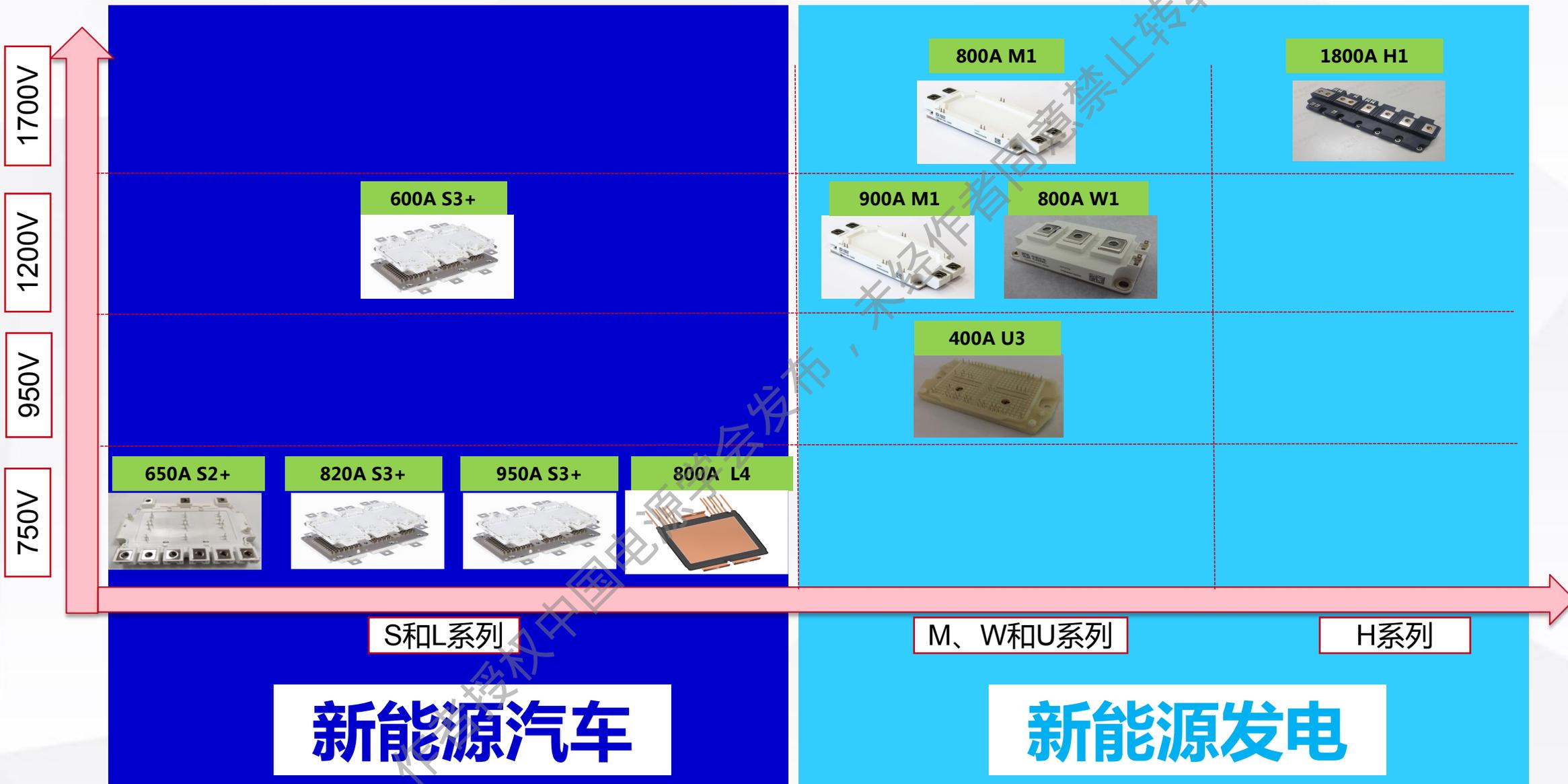
■ 基于STMOS的 750V820A S3+3.0模块表现更优，可达到150kW输出能力



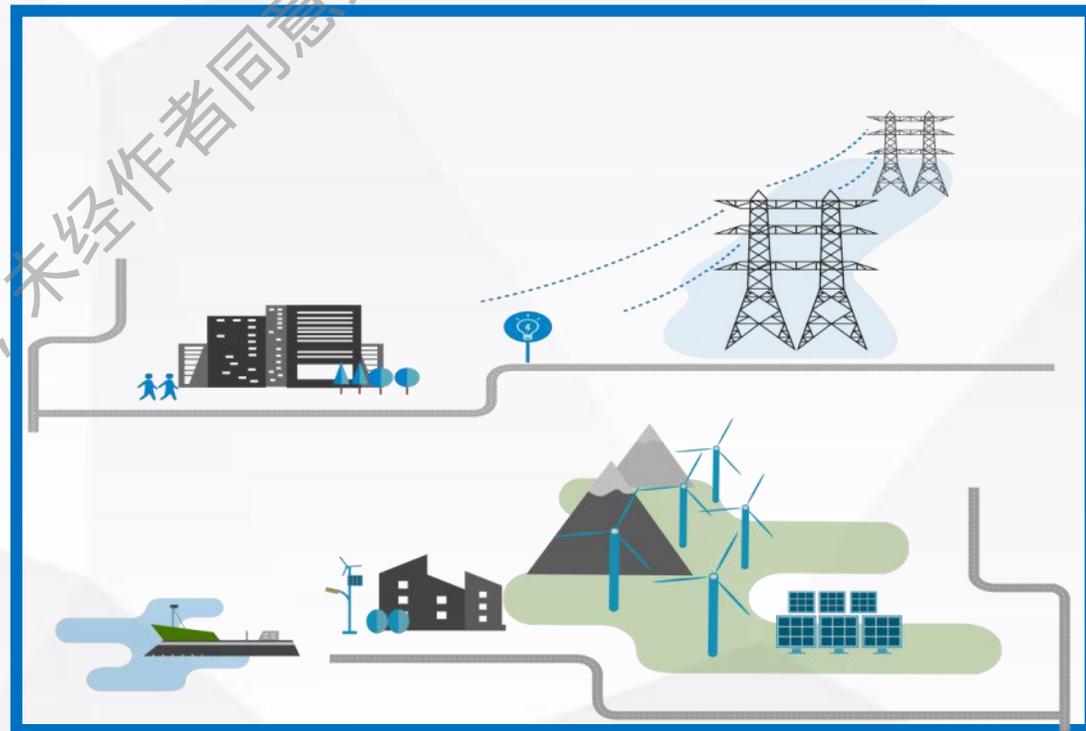
- Condition simulation
- Vcc=450V
  - Iout=500Arms
  - fsw=10kHz
  - Fout=200Hz
  - cosφ=0.9
  - m=0.86
  - SVPWM
  - Tf=65°C

# 三、STMOS芯片解决方案

## STMOS芯片模块产品



# 用芯驱动人类绿色交通和能源的可持续发展！



矢志成为客户最信任的器件合作伙伴！

半导体创造美好生活

SEMICONDUCTOR MAKES LIFE BETTER



未经授权，禁止转载  
中国电源学会发布