

功率模块技术现状与未来展望

三菱电机半导体大中国区 2019.11.02

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

C
O
N
T
E
N
T
S

目 录

- 01 三菱电机半导体概况
- 02 Si/SiC功率芯片技术
- 03 功率模块封装技术的发展
- 04 变频家电和小传动用智能功率模块DIIPM™
- 05 工业和新能源用功率模块
- 06 电动汽车用功率器件解决方案
- 07 牵引与电力用高压功率模块
- 08 总 结

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载





三菱电机半导体概况

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

三菱电机主营业务一览

Lineup of main business of Mitsubishi Electric



Space Systems



Visual Information
Systems



Energy Systems



Information &
Communication



Factory Automation



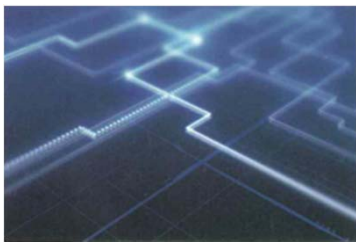
Building Systems



Transportation



Home Appliance



IT Solution



Power Device



Air-conditioning



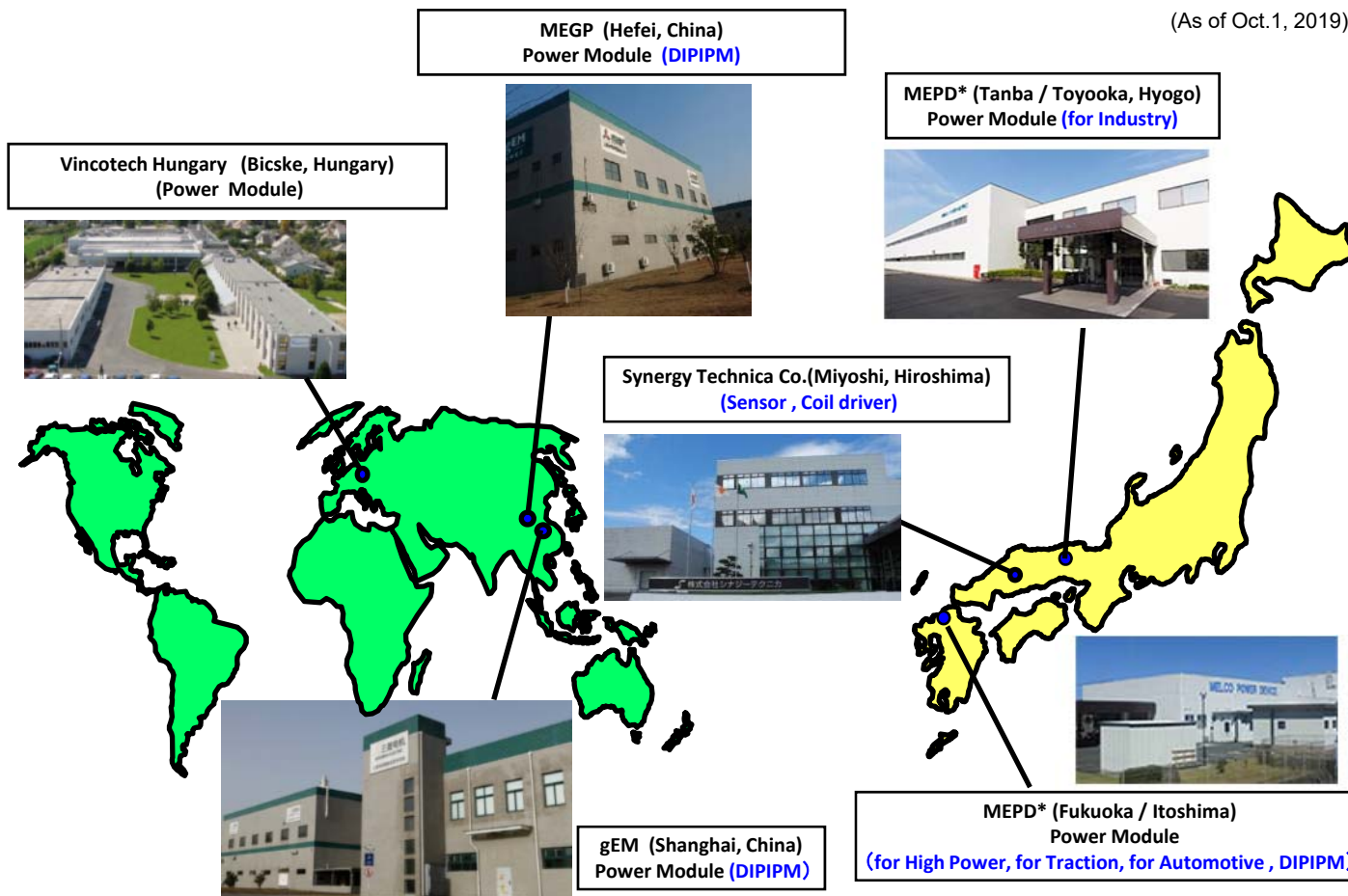
Automotive Electronics

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

三菱电机功率半导体制作工厂

Power Semiconductor Manufacturing Facilities 【Assembly/Test process】

(As of Oct.1, 2019)



作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

三菱电机功率器件产品线

Mitsubishi Power Devices Supporting Wide Spread Application Fields

应用领域	应用示例	IGBT and SiC - module		IGBT and SiC - IPM		Discrete
		外壳式	通用	外壳式	DIP	
家电	 <p>空调 洗衣机 冰箱 风扇</p>					
工业 & 新能源	 <p>交流电机 逆变器 机器人 光伏发电 功率调节 风力发电</p>					
牵引/电力系统	 <p>牵引 直流电传输</p>					
汽车	 <p>电动汽车</p>					

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



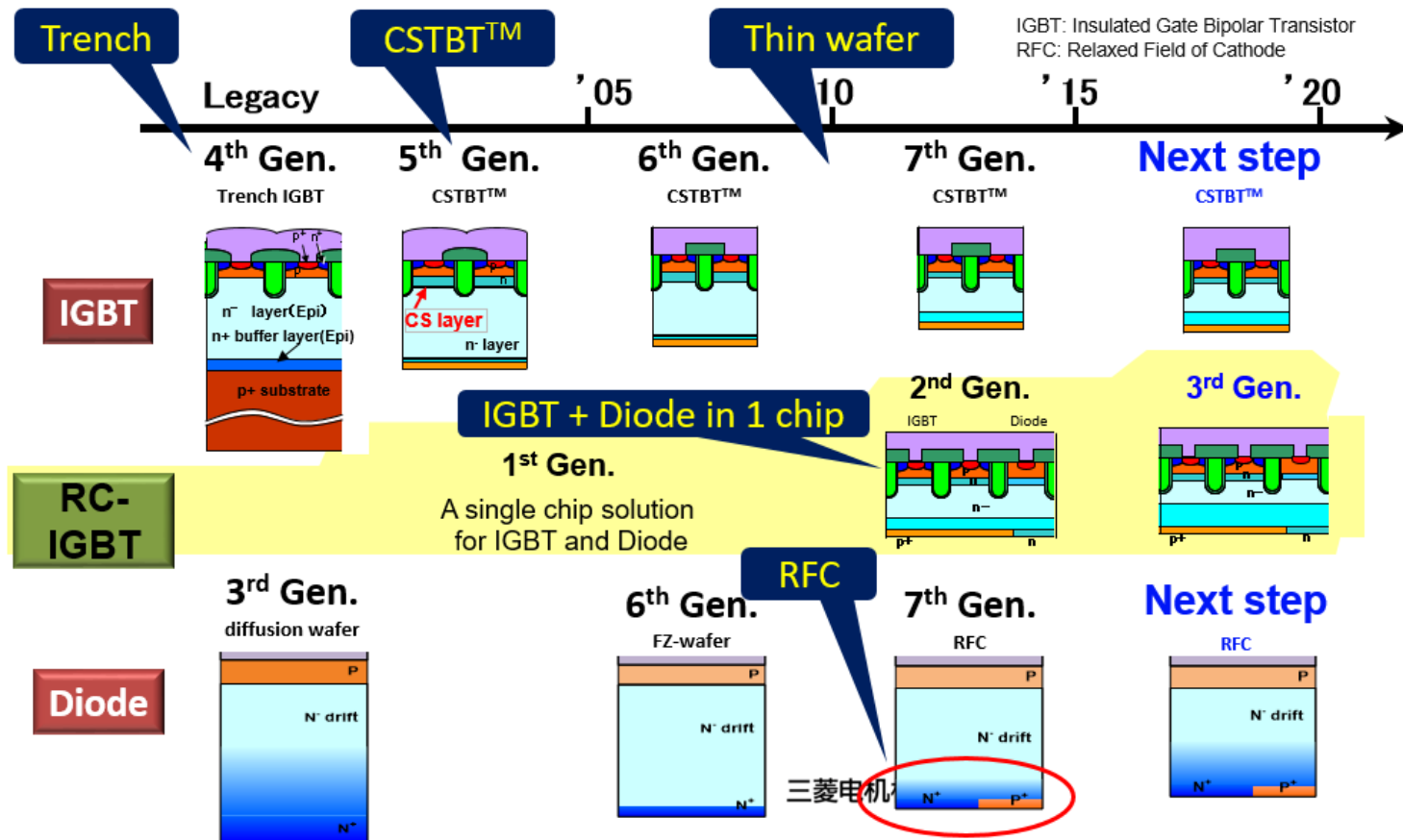
Si/SiC功率芯片技术

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

Si功率芯片技术

Chip Technology: Silicon IGBT and Diode

Performance enhancement by new technology with thinner chip

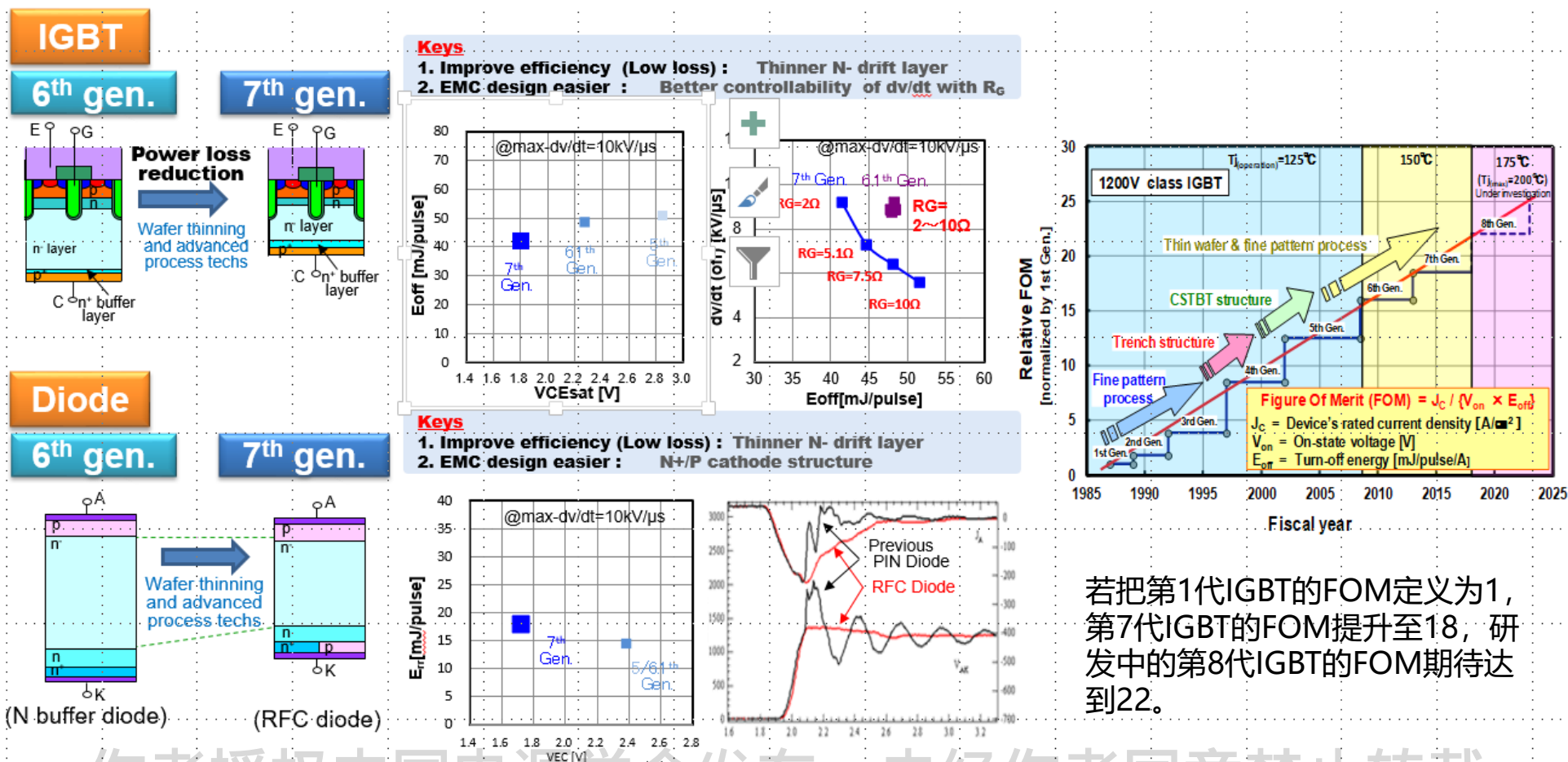


作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载
CSTBT: Mitsubishi Electric's unique IGBT that makes use of carrier cumulative effect

Si功率芯片技术的增强

Enhancing Silicon chip Technologies

第7代IGBT具有更低损耗和更好的关断dv/dt可控性。



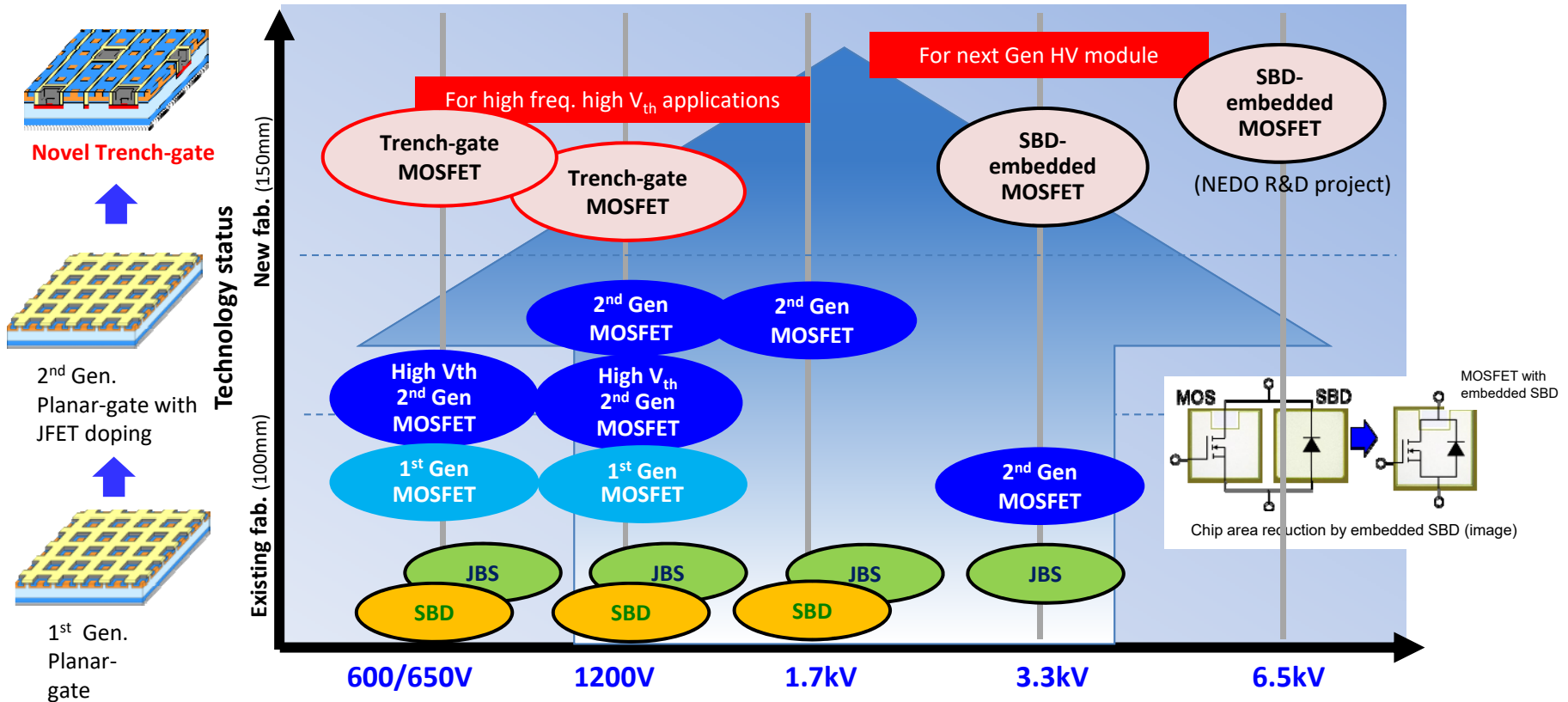
第7代FWD具有更低损耗和更好的续流恢复特性。

作者授权中国电源学会发布，未经许可，不得转载

SiC功率芯片发展路线图

Roadmap of practical SiC power chips

SBD & JBS Diodes, and MOSFETs in Planar, Trench, SBD-embedded forms are getting ready for advanced SiC-transistor Module and SiC-IPM applications



Development of these modules and applications has been partially supported by Japan's Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and New Energy and Industrial Technology development Organization (NEDO).

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



功率模块封装技术的发展

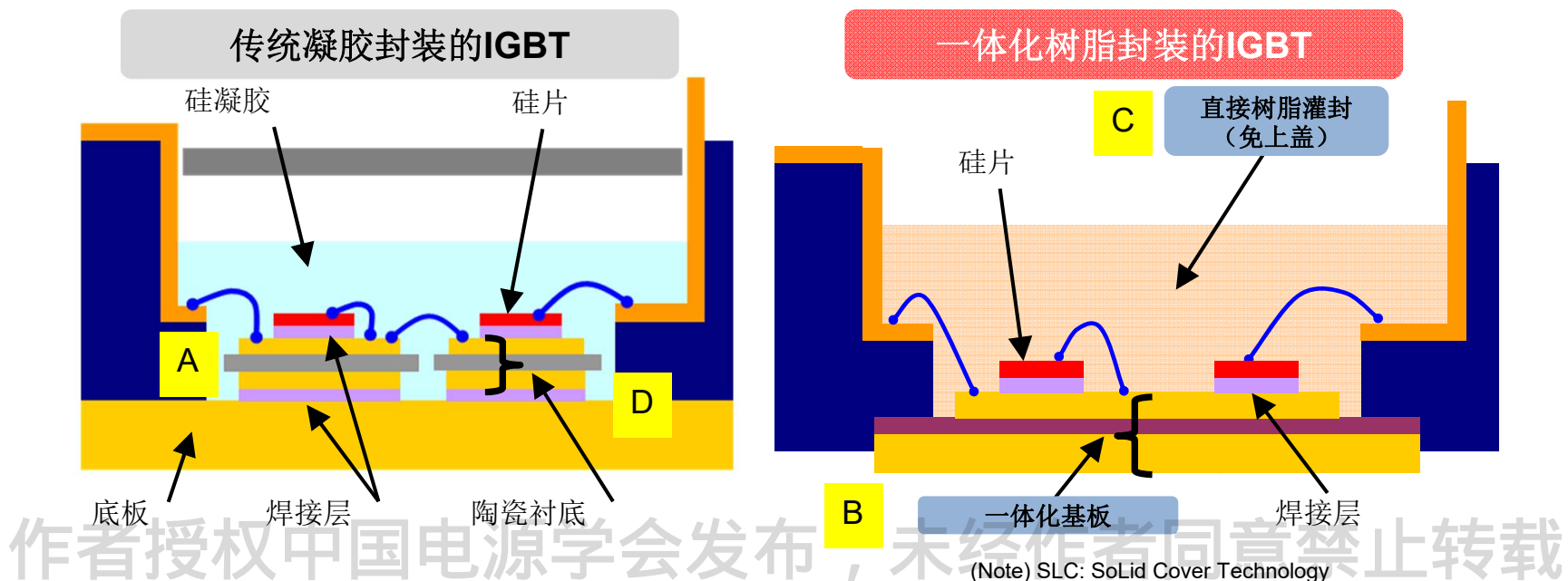
作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

IGBT/IPM模块封装结构的演变

Progress of IGBT/IPM packaging structure

一体化封装(SLC)特点

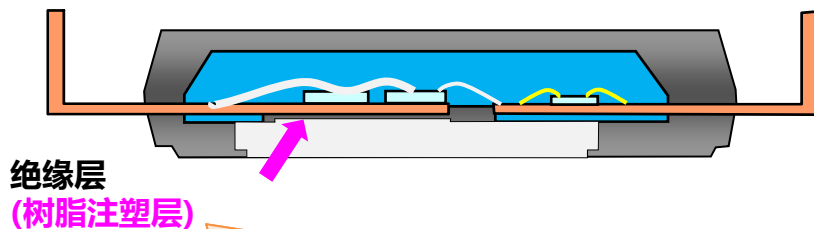
- ◆ 单一衬底，减少绑定线
- ◆ 铜片厚度增加，优化走线宽度 → 减少内部杂散电感
- ◆ DP树脂，减少对绑定线和硅片间的机械应力
- ◆ 去掉焊接层，去掉热循环薄弱点 → 提高热循环寿命



为什么DIIPM™越来越小?

- ◆ 通过采用最新的IGBT技术降低损耗
→ 提高性能的同时缩小硅片面积
- ◆ 绝缘层材料从树脂注塑改为环氧树脂垫片
→ 在保持需要的绝缘性能下，使散热设计更简单

早期DIIPM



绝缘部分和其他密封部分使用相同的树脂材料。这导致散热能力、绝缘性能和生产的简易性很难得到很好的优化。

现在DIIPM

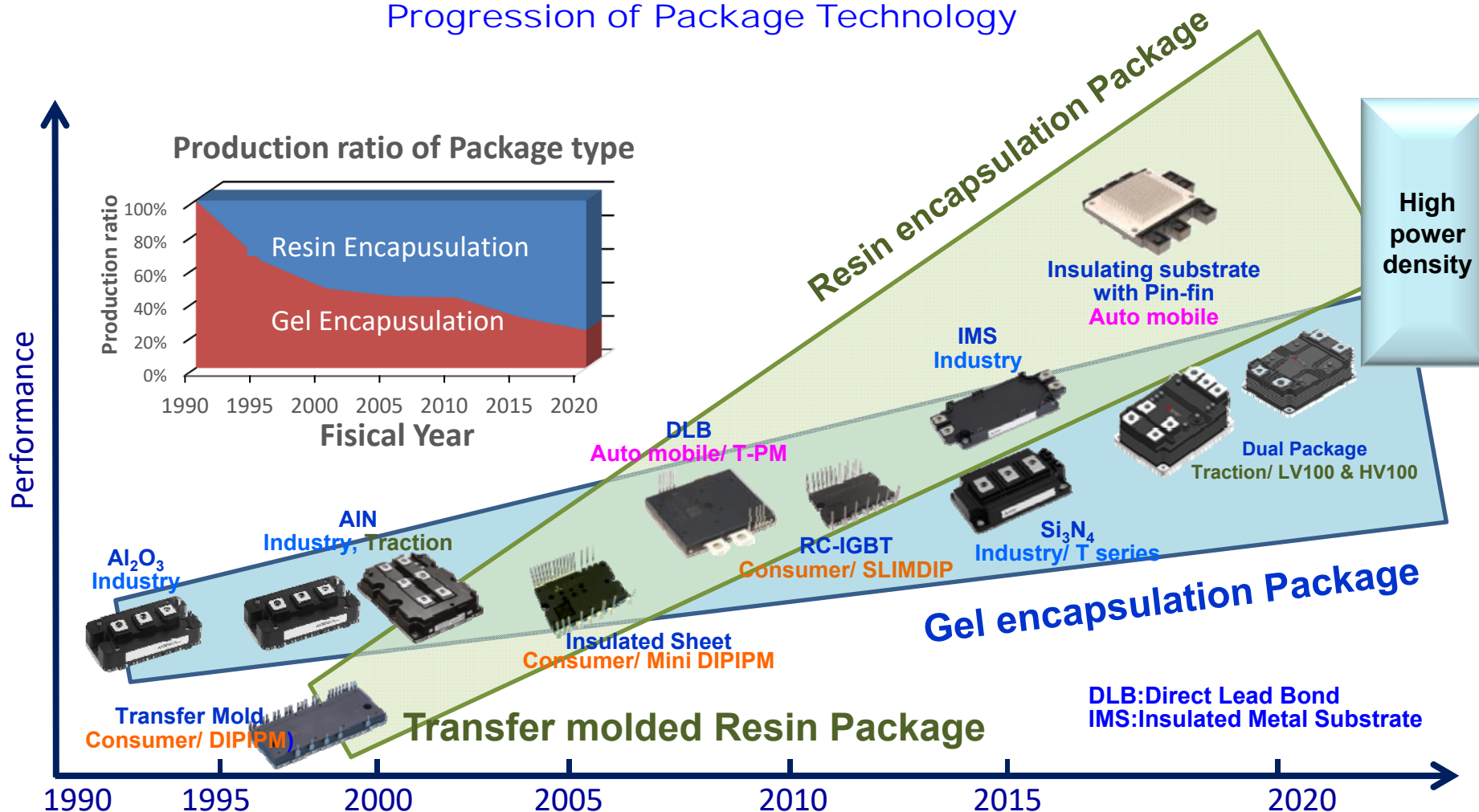


绝缘部分和其他密封部分使用了不同的材料，这使得不同特性的优化相对独立。

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

功率模块封装技术的发展

Progression of Package Technology



► 为功率模块首创了压注模封装技术，随后将此技术逐渐向大功率模块延伸。

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



变频家电和小传动用 智能功率模块DIIPM™

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

变频家电的标准解决方案: DIIPM™

De facto Solution for Home Appliances : DIIPM™

为全球节能累计贡献了几千亿度电!



DIIPM, SLIMDIP, DIIPM+和CSTBT为三菱电机注册商标

- 1989 绝缘栅双极型晶体管(IGBT)和智能功率模块(IPM)开始批量生产
- 1996 双列直插型智能功率模块(DIIPM)和HVIC开始批量生产
- 根据不同应用优化功率芯片
- 强大的产品线 (不同额定电流与封装)
- IPM类产品设计的丰富累积经验
- 确保高可靠性与低失效率

作者授权中国电源学会发布, 未经作者同意禁止转载

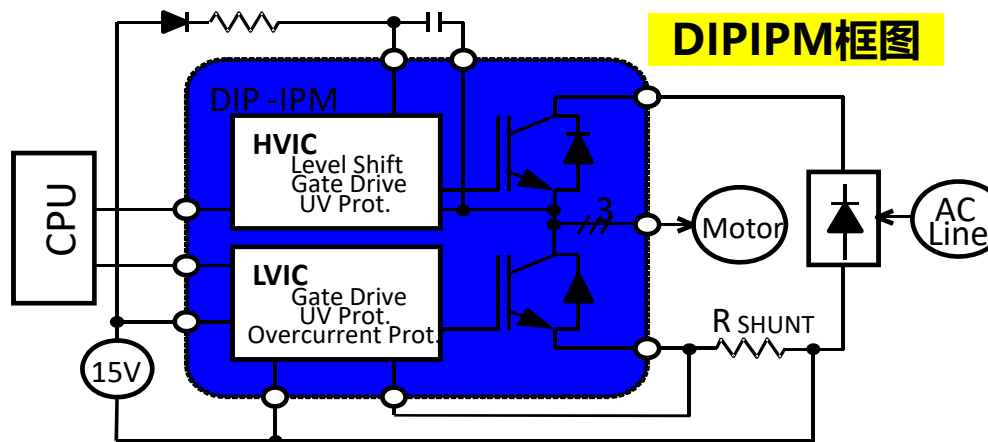
DIIPM™家族

DIIPM™ Family

三菱电机是压注模封装IPM产品的先锋!

特点

- 针对不同应用优化功率硅片
- 卓越的性能以及合理的价格
- 最宽的产品线(电流等级和封装)
- 在IPM设计上积累了无与伦比的经验
- 高可靠性和低故障率的保证



SLIMDIP	超小型DIIPM	小型DIIPM	大型DIIPM	DIIPM+
				
SLIMDIP-L/-S, 600V	5~35A / 600V	5,10A/1200V 20A~50A/600V	50,75A/600V 5~75A/1200V	50A/600V 5~35A/1200V
18.8x32.8x3.6[mm]	38x24x3.5[mm]	52.5x31x5.6[mm]	79x31x8[mm]	85x34x5.7[mm]

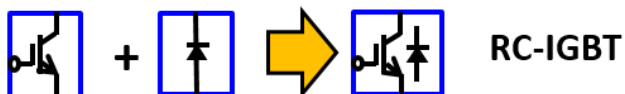
作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

SLIMDIP及其芯片技术

SLIMDIP and its chip technology

Feature 功能

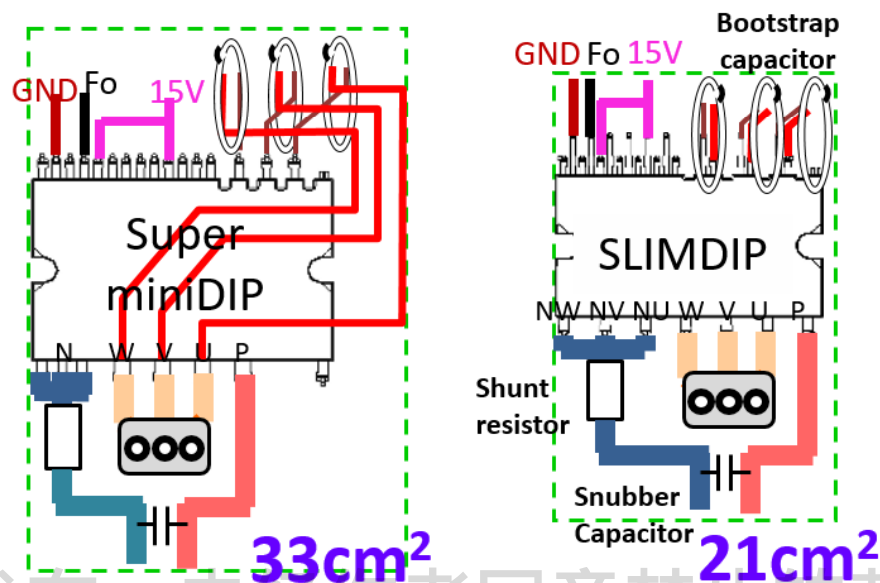
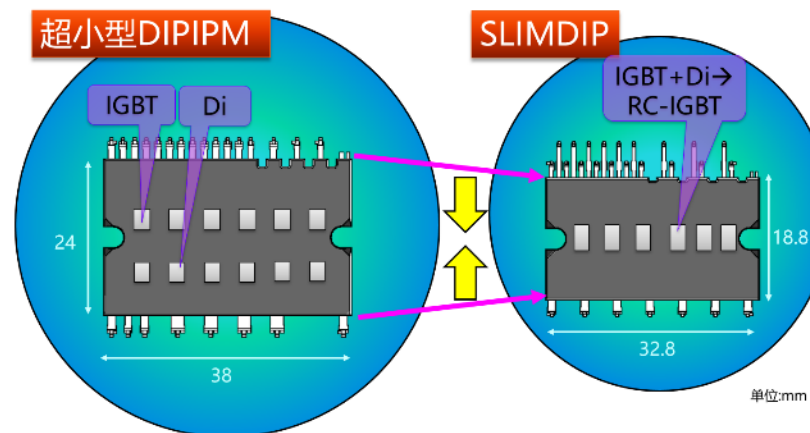
- ◆ Adopting new RC-IGBT (Reverse Conducting)
采用RC-IGBT (逆导型IGBT)
- ◆ Simple Pin Layout 端子布局更简单
- ◆ Expanded Functions 扩展功能



Benefits 优点

- ◆ Miniaturization 小型化
- ◆ Simple PCB Layout PCB布局更简单
- ◆ Improved Flexibility of Design 提高设计的灵活性

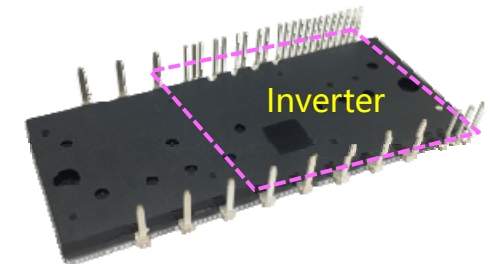
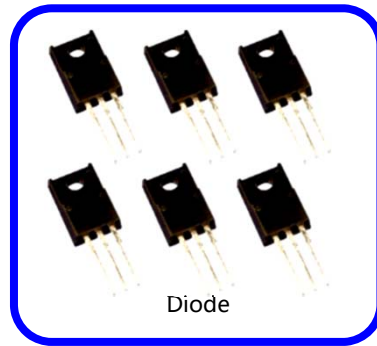
Part No.	Application	Rating
SLIMDIP-S	Refrigerator, Fan	5A/600V
SLIMDIP-L	A/C, Washing Machine	15A/600V



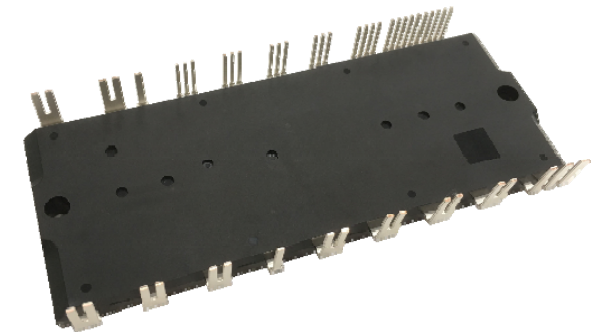
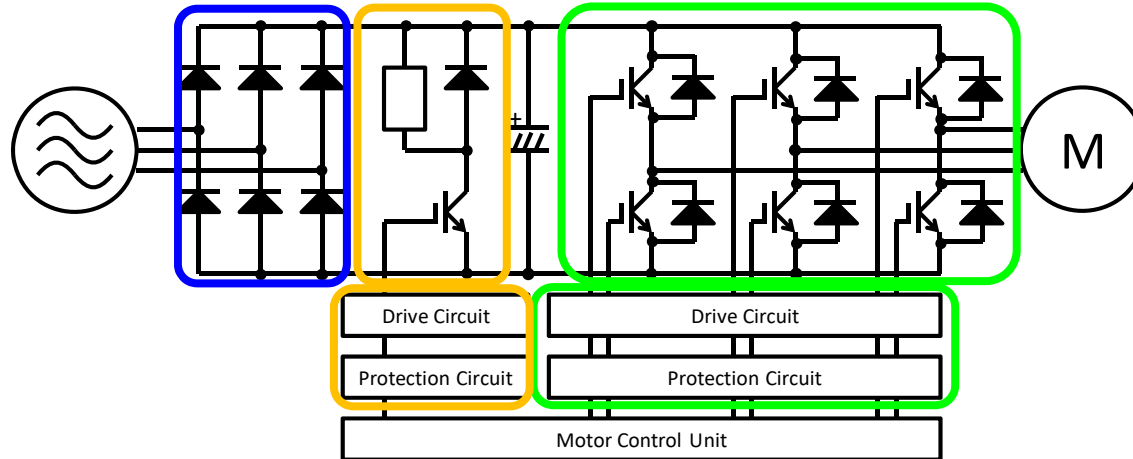
作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

功率模块集成化的典型代表——DIIPM+™

Typical representative of power module integration --- DIIPM+™



DIIPM+: 34x 85(mm)



Large DIIPM: 45 x 115(mm)

整流、逆变、制动一体化的双列直插式智能功率模块

A	5	10	15	25	35	50	75	100
1200V	DIIPM+(MP)					Large DIIPM+		
600V	DIIPM+(MP)					Large DIIPM+		

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

表面贴装型IPM---SOIPM™

SMD Type IPM --- SOIPM™

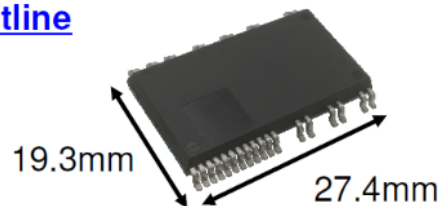
应用领域:

风机、
洗碗机、
冰箱

新产品特点:

1. 通过表面贴装封装, 使系统安装变得更容易;
2. 内置控制IC 以及最佳的引脚布局, 有助于实现系统的小型化并使基板布线简化;
3. 通过内置保护功能, 帮助提高系统的设计自由度

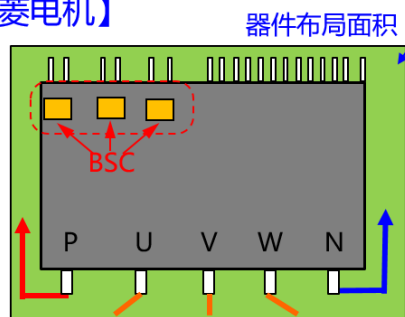
Outline



Line-up

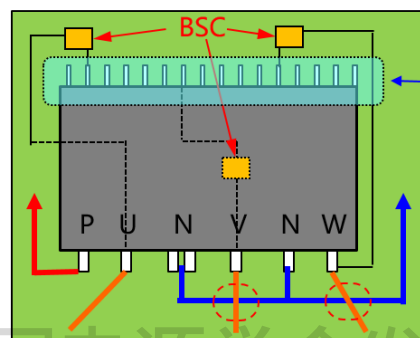
型号	规格
SP2SK	2A / 600V
SP3SK	3A / 600V

【三菱电机】

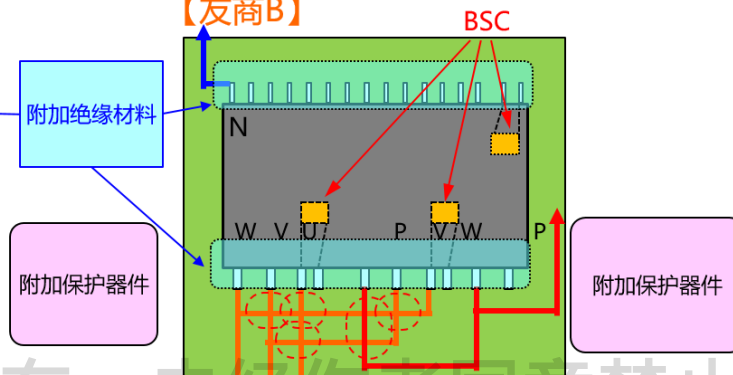


厂家	BSC 布线	绝缘材料	布线交叉点	附加器件
三菱电机	简单	无	无	无
友商A	需要较长走线	需要	部分	需要 (UV only)
友商B	需要	两侧需要	多	需要 (w/o IL)

【友商A】



【友商B】



作者授权中国电源学会发布, 未经作者同意禁止转载

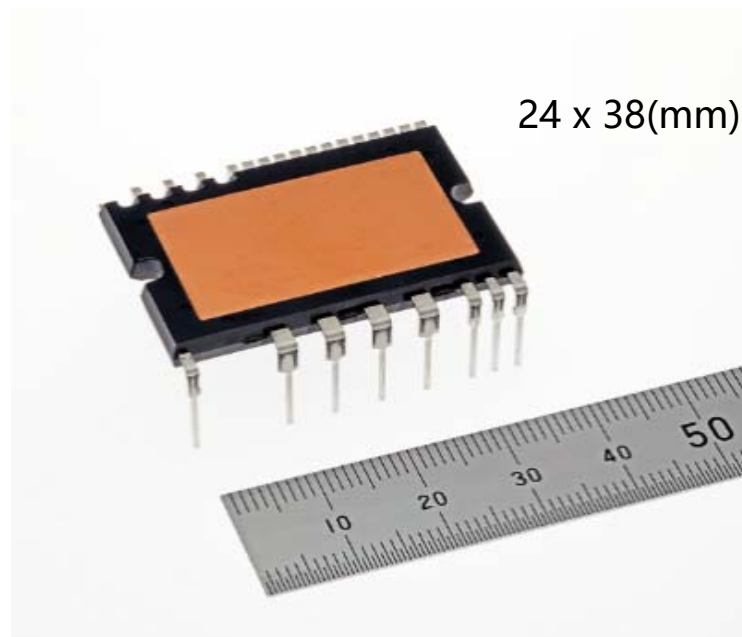
第7代超小型DIIPM™

Super Mini DIIPM™ Ver.7

10月29日，三菱电机开始发售搭载全新开发的低噪音第7代IGBT芯片，同时实现低噪音和低功耗的全新系列“第7代超小型DIIPM™”（额定电流20A~40A，电压600V）。该产品作为变频家电及工业马达驱动功率半导体模块的全新系列产品，有助于实现低噪音化和节能化。

新产品特点：

1. 搭载第7代CSTBT，通过同时实现低噪音和低功耗，支持广泛的应用；
2. 通过提高上限保证温(125℃壳温 & 175℃结温)，提高了逆变器的设计自由度
3. 扩大超小型封装的额定电流至40A
4. 确保与以往产品间的pin-to-pin兼容



型号	规格
PSS20S93E6/F6-AG	20A / 600V
PSS30S93E6/F6-AG	30A / 600V
PSS40S93E6/F6-AG	40A / 600V

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

超小型Full-SiC DIIPM™

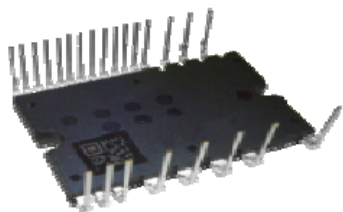
Super Mini Full-SiC DIIPM™

- 使用SiC MOSFET实现低导通压降和二极管正向压降 → 超低损耗；
- 使用SiC MOSFET自身体二极管作为FWDi，减低反向恢复电流和噪声；
- 可与超小型DIIPM使用相同PCB。

产品一览:

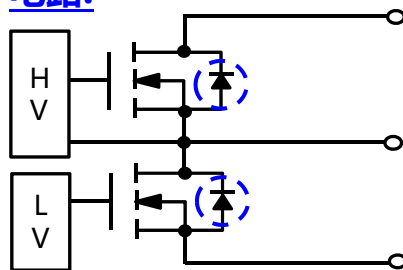
型号	规格
PSF15S92F6-A	15A/600V
PSF25S92F6-A	25A/600V

封装:



24 x 38 (mm)

电路:



SiC MOSFET自身的体二极管
作为FWDi使用

特点:

电路	3相逆变桥
保护	SC, UV, Fo
温度功能	VOT
自举二极管	√
输入逻辑	5,3.3V高电平有效
N侧发射极	开路
绝缘耐压	1500Vrms

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



工业&新能源用功率模块

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

第7代IGBT模块

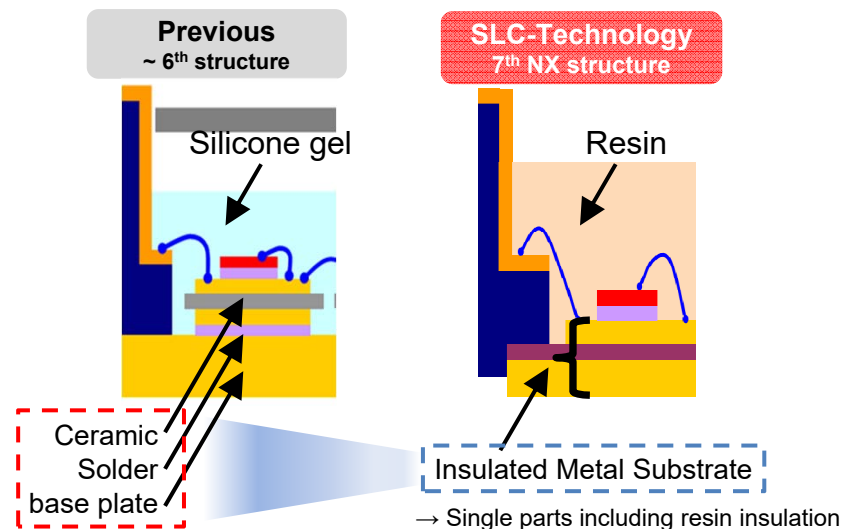
Latest Power Module for Industrial Use: 7th Gen. NX-series IGBT Module

NX type T-series and T1-series 7th Gen IGBT Modules



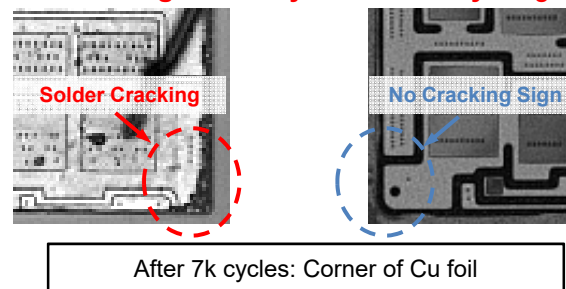
-User benefits-

- ◆ Higher reliability and lower weight
⇒ SLC-Technology
- ◆ Easy designing for EMC with wider dv/dt controllability
⇒ 7th Gen. chipsets
- ◆ Suitable products for the system
⇒ Wide product lineup



■ SLC's Features

- Reduce internal inductance
- Increasing reliability of thermal cycling

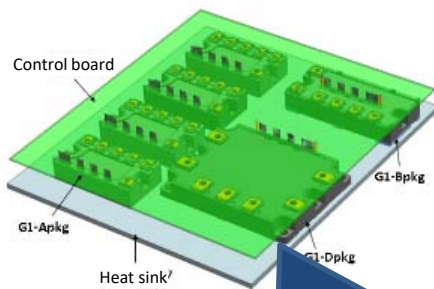


作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

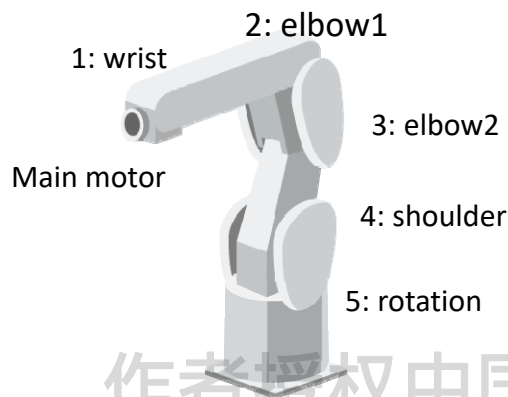
第7代IPM在机器人上的应用

IPM (Intelligent Power Module) for multi-axes type robotics

5 axes + main motor
6 drives in 1 PCB



Benefit 1: Small size PCB by Integrated IGBT drive circuit, Low height, and wide range of line up

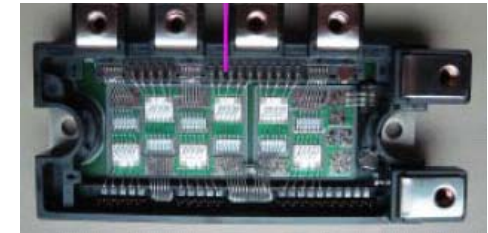


7th generation G1 series

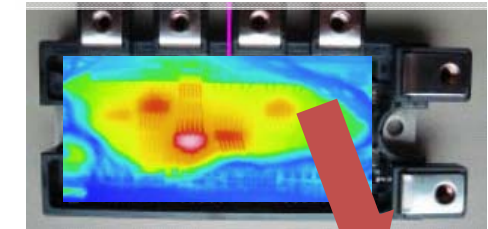
Type A 50x90mm	650V:50A ~ 100A 1200V:25A ~ 50A *6pack
Type B 55x120mm	650V:50A ~ 200A 1200V:25A ~ 100A
Type C 85x120mm	650V:200A ~ 450A 1200V:100A ~ 200A

Type D 142x110mm	650V:300A ~ 500A 1200V:150A ~ 300A
---------------------	---------------------------------------

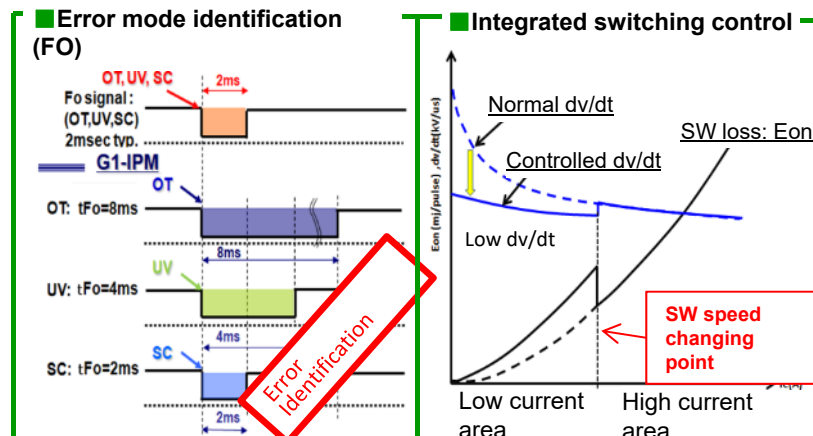
Safe operation under lock mode



IR Camera temperature analysis



on-chip sensors to detect temperature and current



Benefit 2: Safe operation by Integrated sensors and fault detection circuit, enabling flexible and safe control

作者授权中国电源学会发布，未经作者

高功率密度电源用Full-SiC Module

Full-SiC Module for power supply with high power density

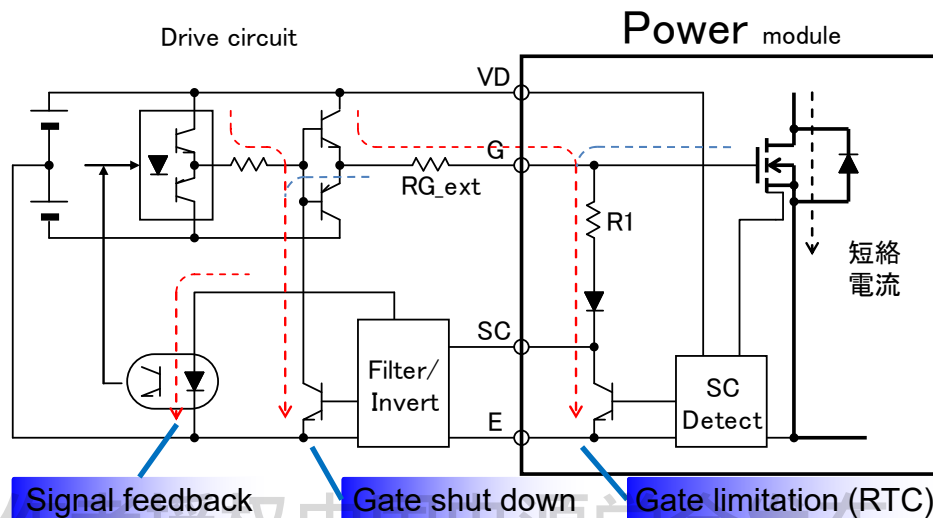
Features

- ✓ Suitable for power supply application because of 2in1 (half-bridge)
- ✓ RTC(Real Time Control) circuit inside
- ✓ Low package inductance (between P-N, $L_S=10nH$)
- ✓ $V_{isol}=4kV$ AC

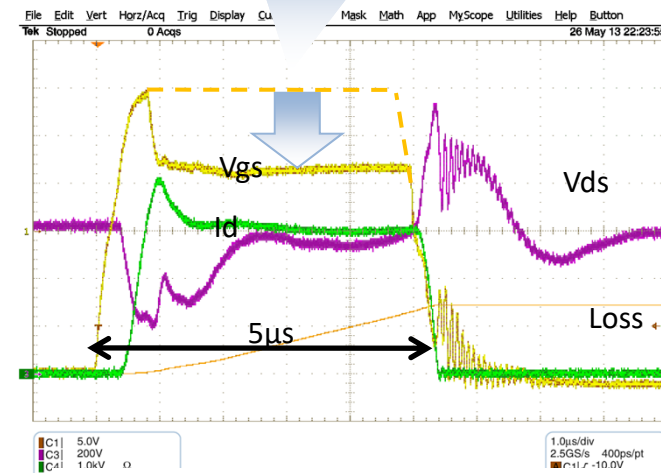
Part#	Voltage	Current
FMF600DX2-24A	1200V	600A
FMF800DX2-24A	1200V	800A



Limited by RTC



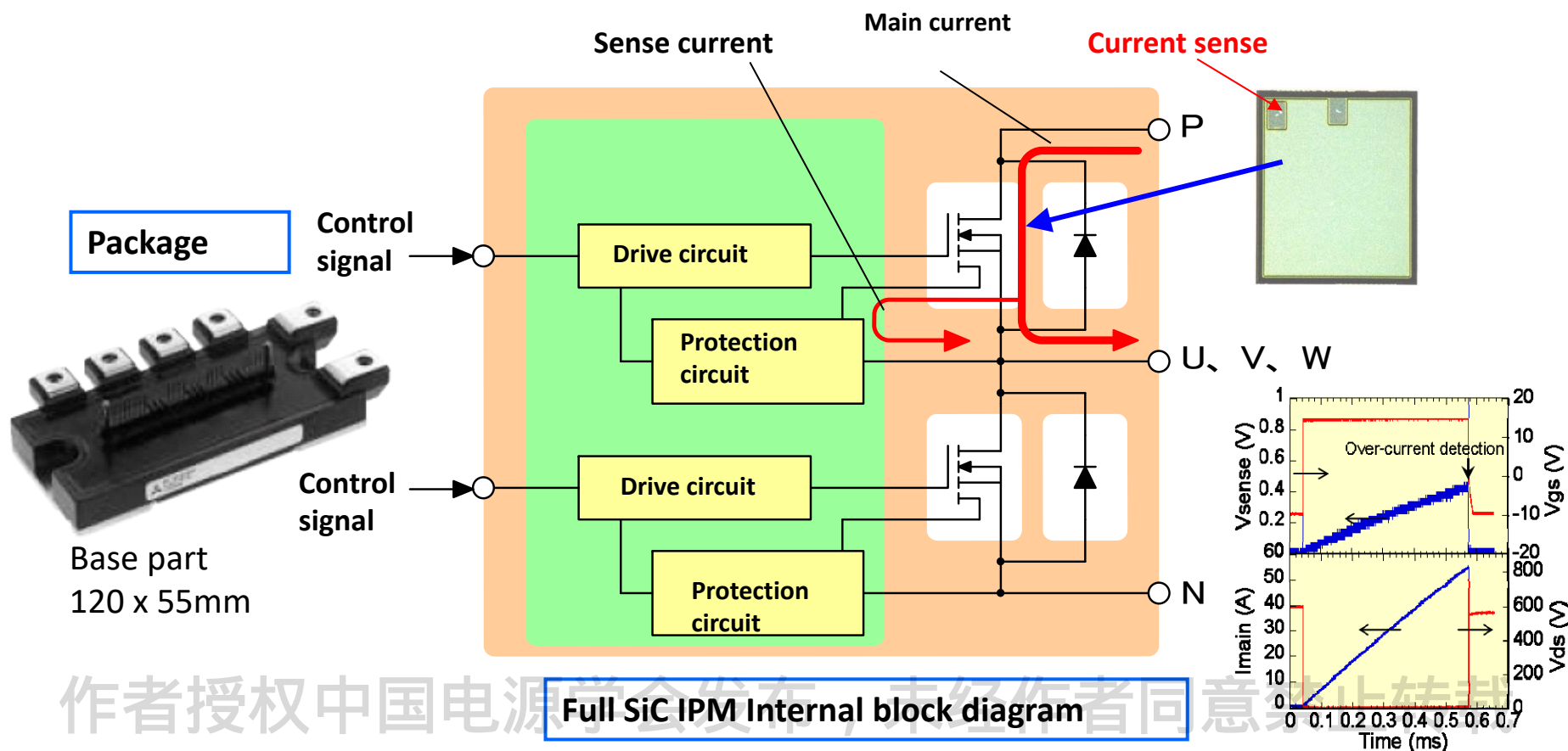
Application of Drive circuit



Waveform of SC protection

Hybrid-SiC-IPM & Full-SiC-IPM

Model	Voltage	Current	Topology
Hybrid SiC IPM	1200V	75A	6in1
Full SiC IPM	1200V	75A	6in1



作者授权中国电源学会发布, 未经许可不得转载



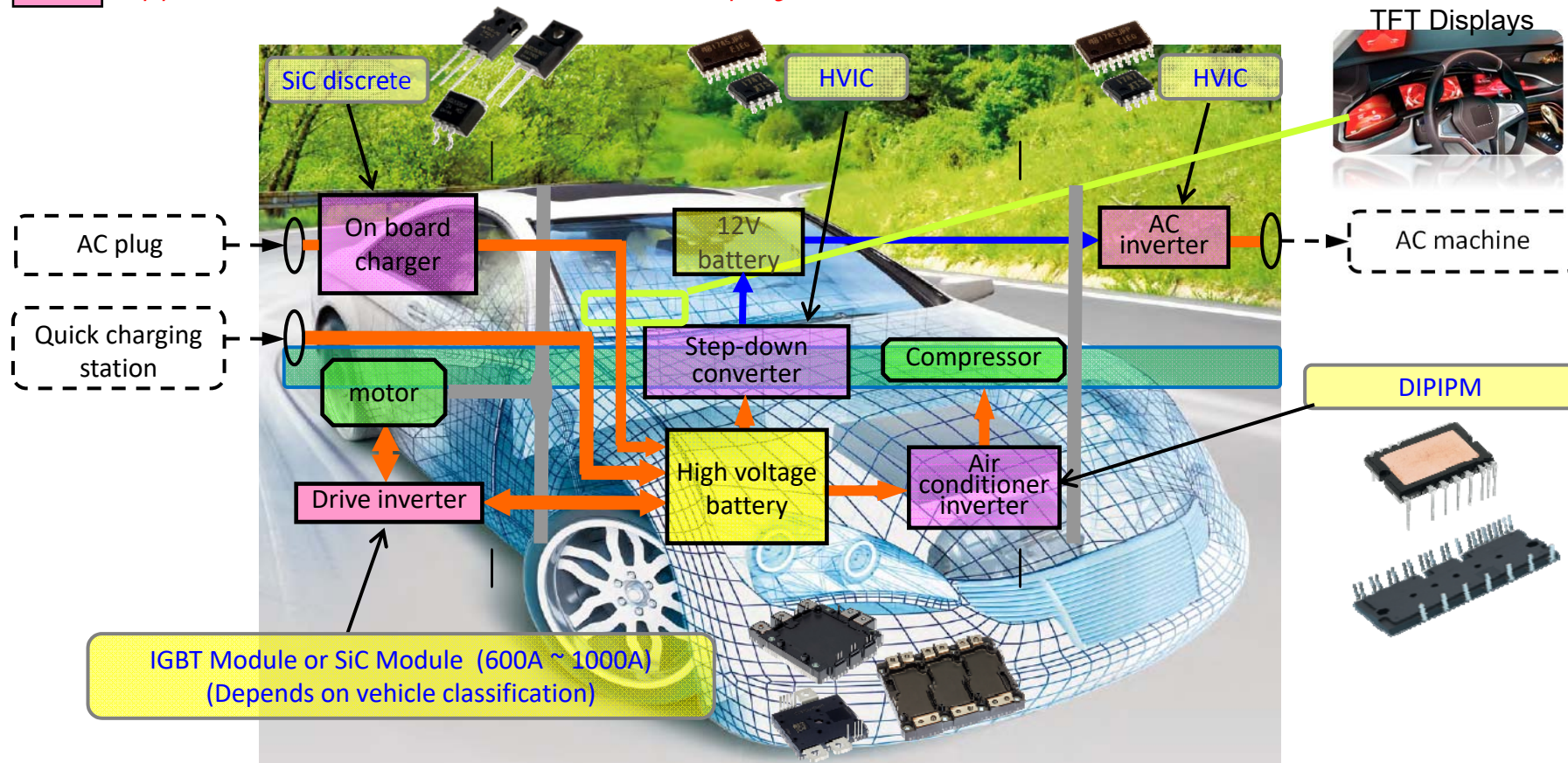
电动汽车用功率器件解决方案

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

电动汽车专用半导体解决方案

Device Solutions for xEV Automobiles

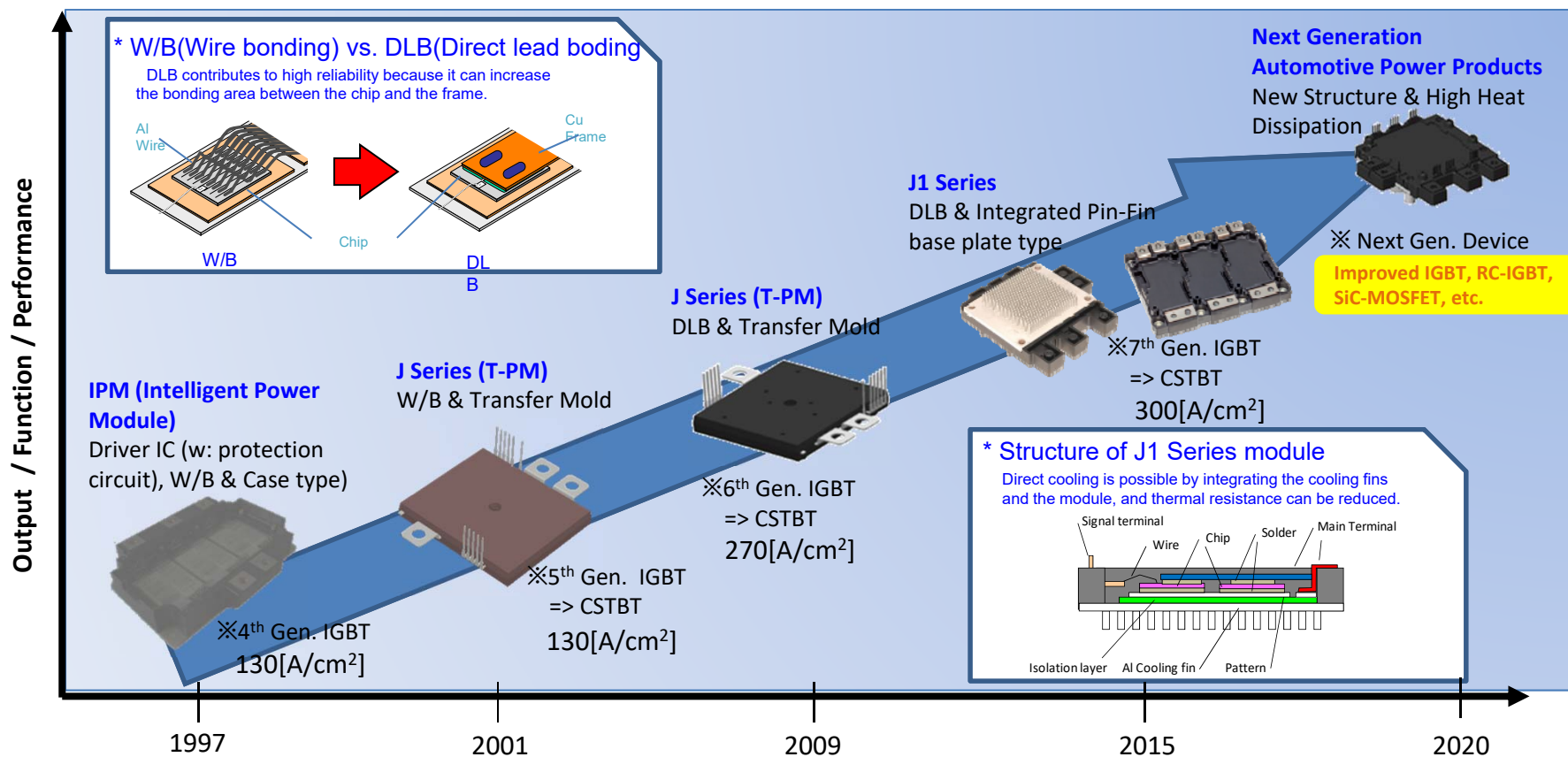
Application of **Mitsubishi Power** and **Display Devices**



作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

电动汽车主驱功率模块的发展

Progression of Power Modules for xEV Automotive



作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

电动汽车主驱和空调用功率模块

xEV Automotive Power Module Solutions

Suitable for a variety of EV/HEV Inverters

J1 Series "J1A" Type



TOP view

Bottom view
(Pin-fin base plate)

J1 Series "J1B" Type



TOP view

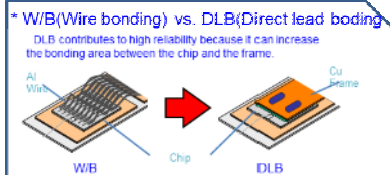
Bottom view
(Pin-fin base plate)

■ Features

- Extra-Compact direct-cooling 6in1 package with cooling fin
- Highly reliable DLB* package for automotive inverters
- Low power loss 7th-generation CSTBT™ chip technology
- Pb-free, compliant with RoHS directive (2011/65/EU)

■ Line-up

VCES[V] (-40deg ~150degC)	Ic[A]	6in1	
		J1A	J1B
650	600	CT600CJ1A060-A	—
	700	CT700CJ1A060-A	—
	1000	—	CT1000CJ1B060
1200	600	—	CT600CJ1B120



Car Air conditioner

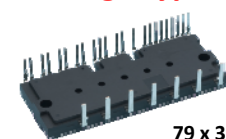
Supper Mini type



38 x 24mm

For Passenger car

Large type



79 x 31mm

For Bus or large-sized vehicle

■ Features

- 6in1 and driver-IC are integrated in single module
- Highly reliable transfer-molding package
- Low power loss generation CSTBT™ chip
- Pb-free, compliant with RoHS directive (2011/65/EU)

■ Line-up

VCES[V]	Ic[A]	6in1 and driver-IC	
		Supper mini type	Large type
600	30	PS21997-J	-
1200	35	-	PSS35SA2FT*
	50	-	PSS50SA2FT*

*Under consideration.

作者投稿中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

Note: CSTBT™: Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor / *DLB: Direct Lead Bonding (wire bond less)

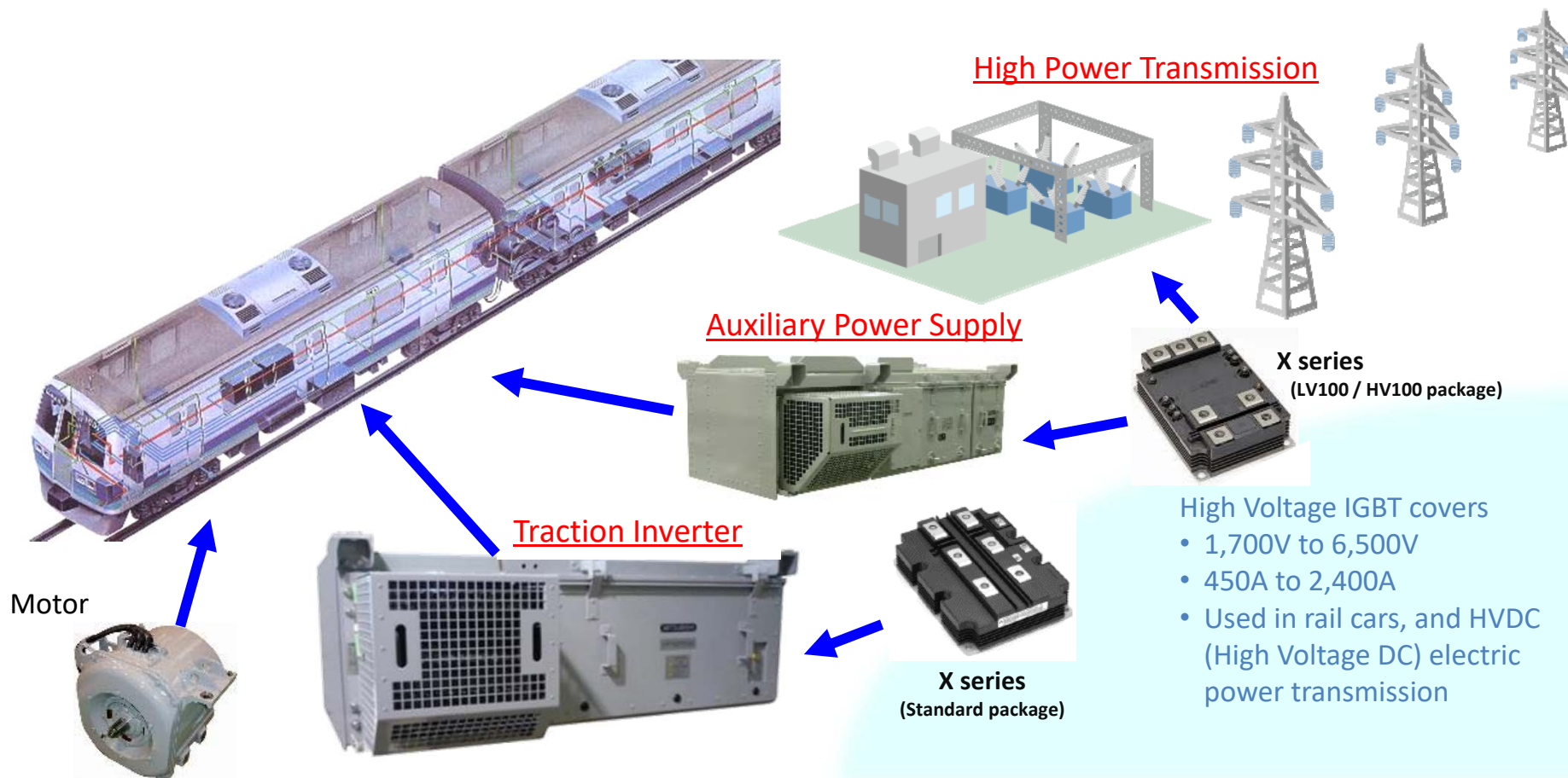


牵引与电力用高压功率模块

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

高压功率模块的应用场合

HV module: where applied mostly



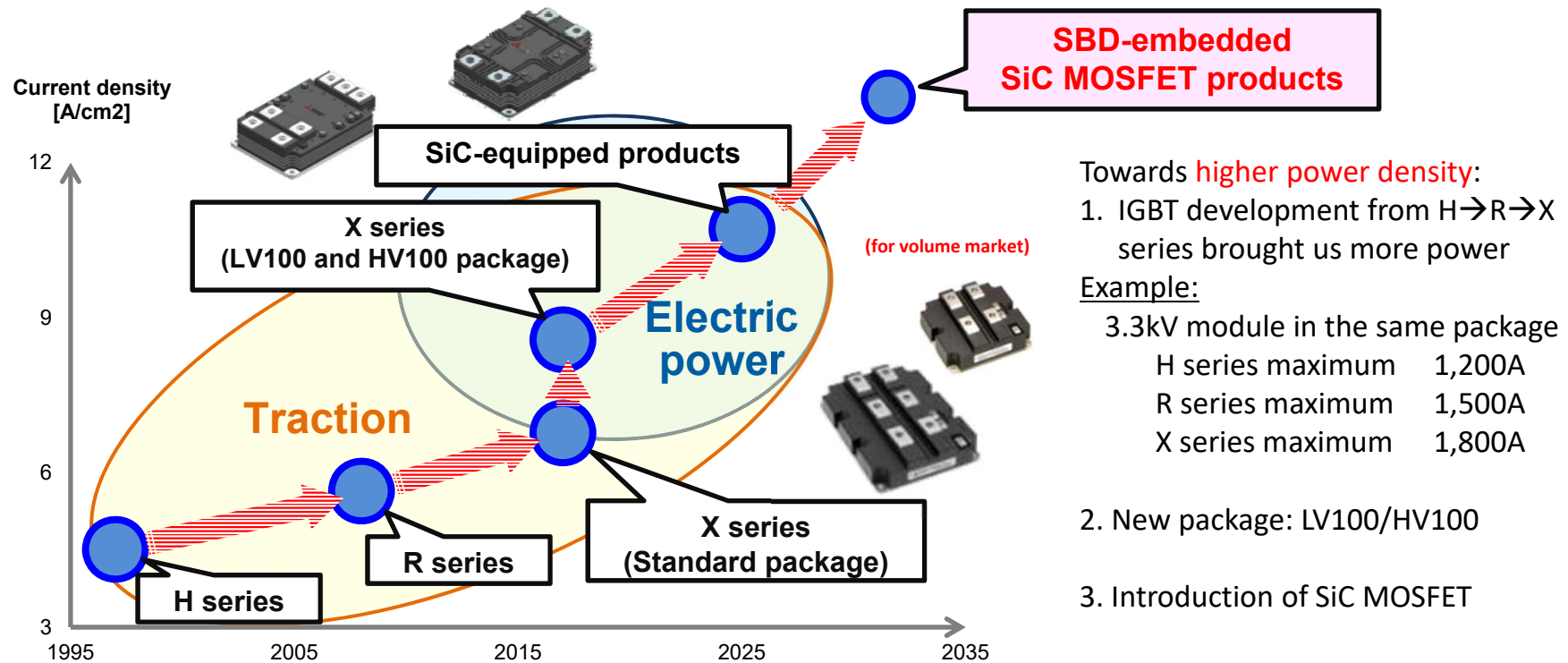
作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

牵引和电力用高压功率模块的进展

Progression of HV Power Modules for Traction/ Electric power

Product strategy

➢ Expand applications in traction and electric-power market by introducing products with current densities exceeding those of other makers




作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

各系列HVIGBT的温度范围

Temperature Range of each series of HVIGBT

➤ 以6.5kV为例

Series	Package type	Rated Voltage	Rated Current	Tjop
H系列	 190 x 140 x 48 mm 10.2 kV _{iso}	6.5kV	600 A	-40 ~ +125 °C
R系列			750 A	-50 ~ +125 °C
X系列			900A 1000 A	-50 ~ +150 °C

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

X系列STD封装HVIGBT主要特点

Features of Standard X-series HVIGBT

1. 更丰富的产品线 – 3款可选(3300V/1200A)

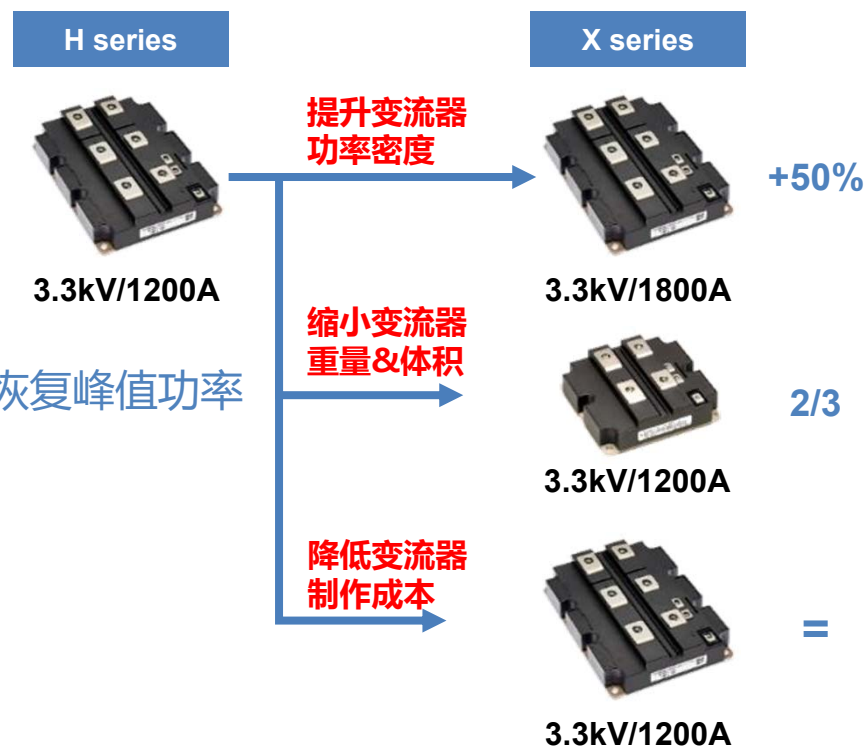
- 相同封装，额定电流增加 50%
- 相同电流，封装减小到2/3
- H系列相同封装，相同电流

2. 高可靠性设计

- 宽SOA
- 软恢复特性二极管，可承受更大反向恢复峰值功率
- 增强耐湿度鲁棒性设计
- UL论证

3. 更好性能

- 采用第7代芯片，降低功率损耗
- 所有产品 $T_{jopmax} = 150^{\circ}\text{C}$
- 相对R系列，功率循环寿命提高一倍



作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

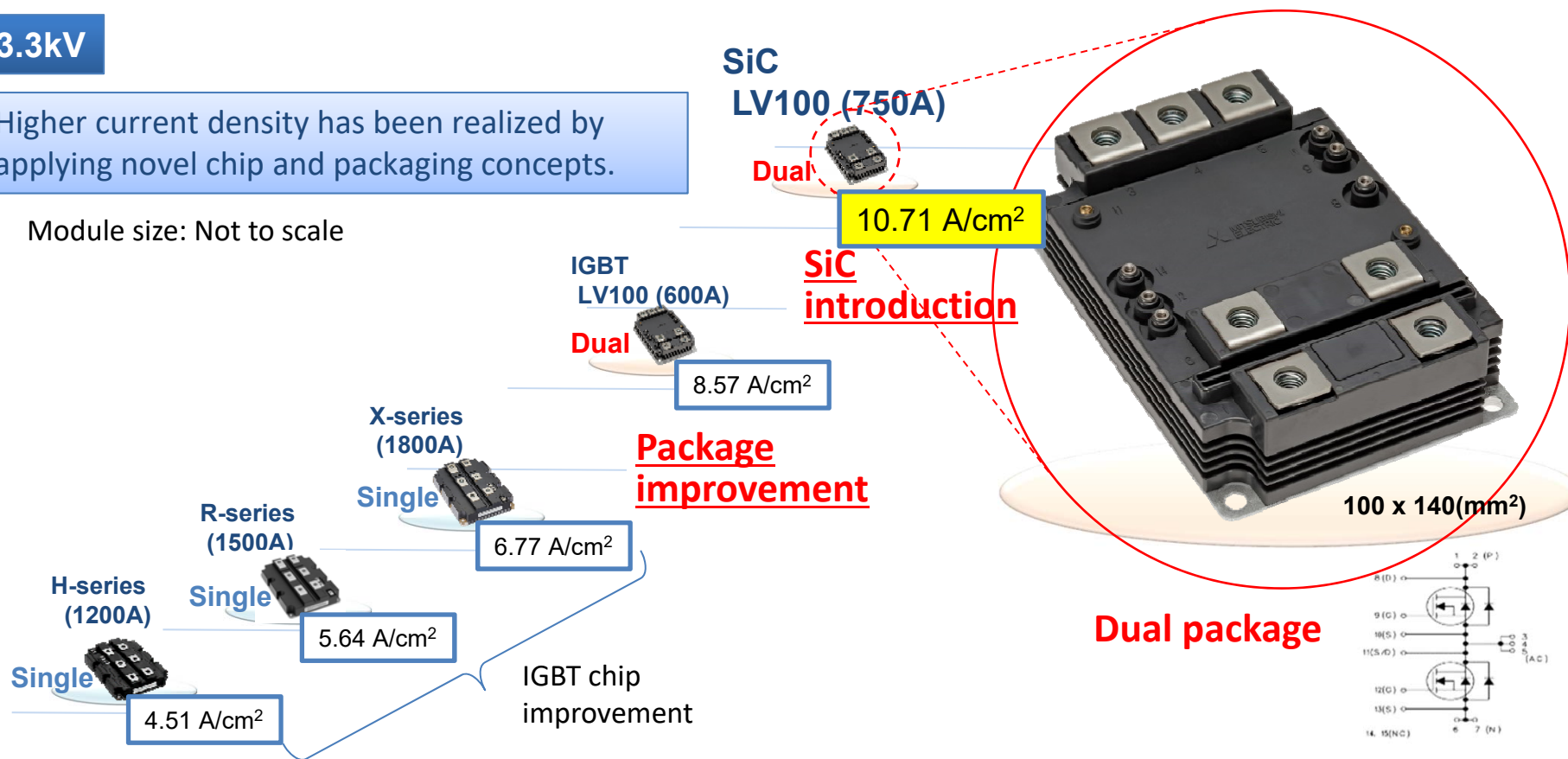
高压功率模块电流密度的提升

Improvement of Current Density of HV Power Module

3.3kV

Higher current density has been realized by applying novel chip and packaging concepts.



Module size: Not to scale



作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

LV100封装的Si/SiC高压功率模块

Si/SiC HV power modules with LV100 package

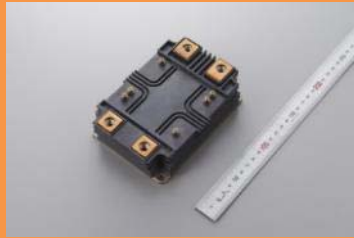
		绝缘	V _{CES}	产品型号	认证标准	
					UL	IRIS
Si module						
V _{isol} =6kV _{rms} 高压应用		SiN 基片	1700V	CM1000DC-34X	Plan	●
				CM1200DC-34X	Plan	●
			3300V	CM450DC-66X	Plan	●
				CM600DC-66X	Plan	●
SiC module						
V _{isol} =6kV _{rms} 高压应用		SiN 基片	1700V	CMH1200DC-34X	Plan	●
				CMH600DC-66X	Plan	●
			3300V	FMF375DC-66A	-	●
				FMF750DC-66A	-	●

[Noted] CMH : Hybrid SiC FMF : Full SiC

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

SBD嵌入式 6.5kV Full-SiC功率模块的研发

Prototype of 6.5 kV full-SiC power semiconductor module (R&D achievement announced in Jan, 2018)



Features

1) **Highest rated voltage** in full-SiC modules improving power density and efficiency of applied systems. more energy-efficient high-voltage power electronics equipment.

Power density: **9.3 kVA/cm³ power density is world's highest** among power semiconductor modules rated from 1.7 kV to 6.5 kV

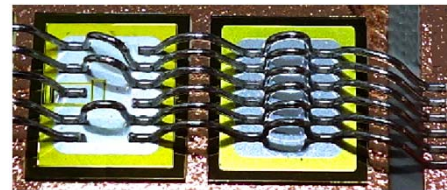
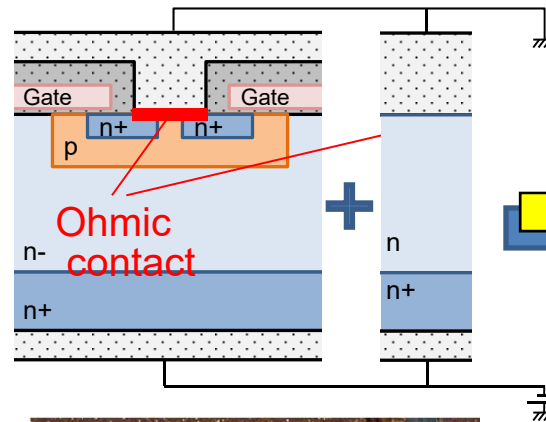
2) **SBD integrated MOSFET** based on original one-chip structural concept leading to drastic reduction of chip area.

3) **New package for high heat dissipation and high heat tolerance.**

Use of advanced insulating substrate with superior thermal properties and **reliable die bonding technology** facilitate heat dissipation and heat tolerance

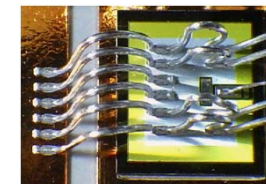
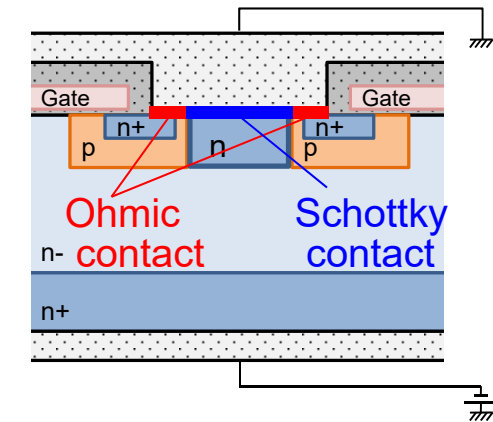
Advanced development work on SiC:
High Voltage SBD-embedded next gen. SiC-MOSFET Module

Conventional MOSFET (without SBD)



MOSFET

SBD-embedded MOSFET



SBD embedded MOSFET

- ✓ Schottky and ohmic contacts in the same contact hole.
- ✓ No significant increase of process step

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



总 结

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载

总结

01

功率芯片技术：第7代Si-IGBT具有更低的损耗和更好的关断dv/dt可控性；第7代Si-FWD具有更低的续流恢复特性；第3代SiC芯片，1.7kV以下将采用Trench-gate MOSFET技术，3.3kV以上将采用Planar SBD-embedded MOSFET技术。

02

功率模块封装技术：在低压领域，树脂灌封(Resin encapsulation)技术延伸到大电流功率模块，其出货量已经超越传统凝胶灌封(Gel encapsulation)模块。

03

家电&小传动应用：

第7代超小型DIPIPM™，最大电流40A，更低噪声，耐更高结温；
SOPIPM™，助力变频家电用风机、洗碗机和冰箱驱动器进一步小型化；
DIPIPM+™，整流逆变制动一体化IPM，简化商用空调和工业变频器的系统设计。

04

工业应用：内置RTC电路的Full-SiC半桥MOSFET模块，是开发高功率密度电源的理想选择；而第7代IPM和SiC IPM因其出色的性能，特别适合机器人驱动器的开发。

05

电动汽车应用：

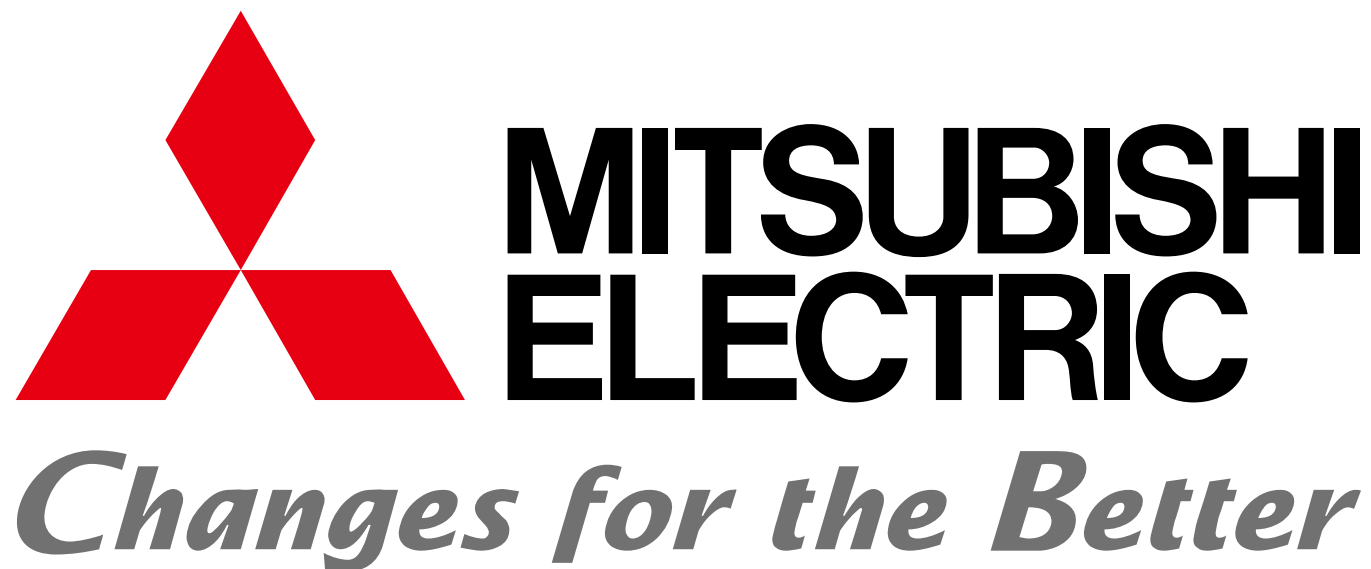
主驱逆变器 → J1A(700A) 汽车专用模块覆盖130kW峰值功率驱动；
汽车空调 → 汽车等级的超小型和大型DIPIPM™ 满足8匹以下的空调应用。

06

牵引电力应用：

X系列HVIGBT，强化了抗湿度鲁棒性，将显著提升现场应用可靠性；
基于低杂感LV100封装的3.3kV/750A&375A Full-SiC MOSFET模块，为固态变压器、
轨道牵引主辅变流器、STATCOM、高压储能逆变系统提供新的解决方案。

作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载



作者授权中国电源学会发布，未经作者同意禁止转载