

车用关键器件—功率芯片的优化和可靠性改善

杨绍明 博士

上海林众电子科技有限公司

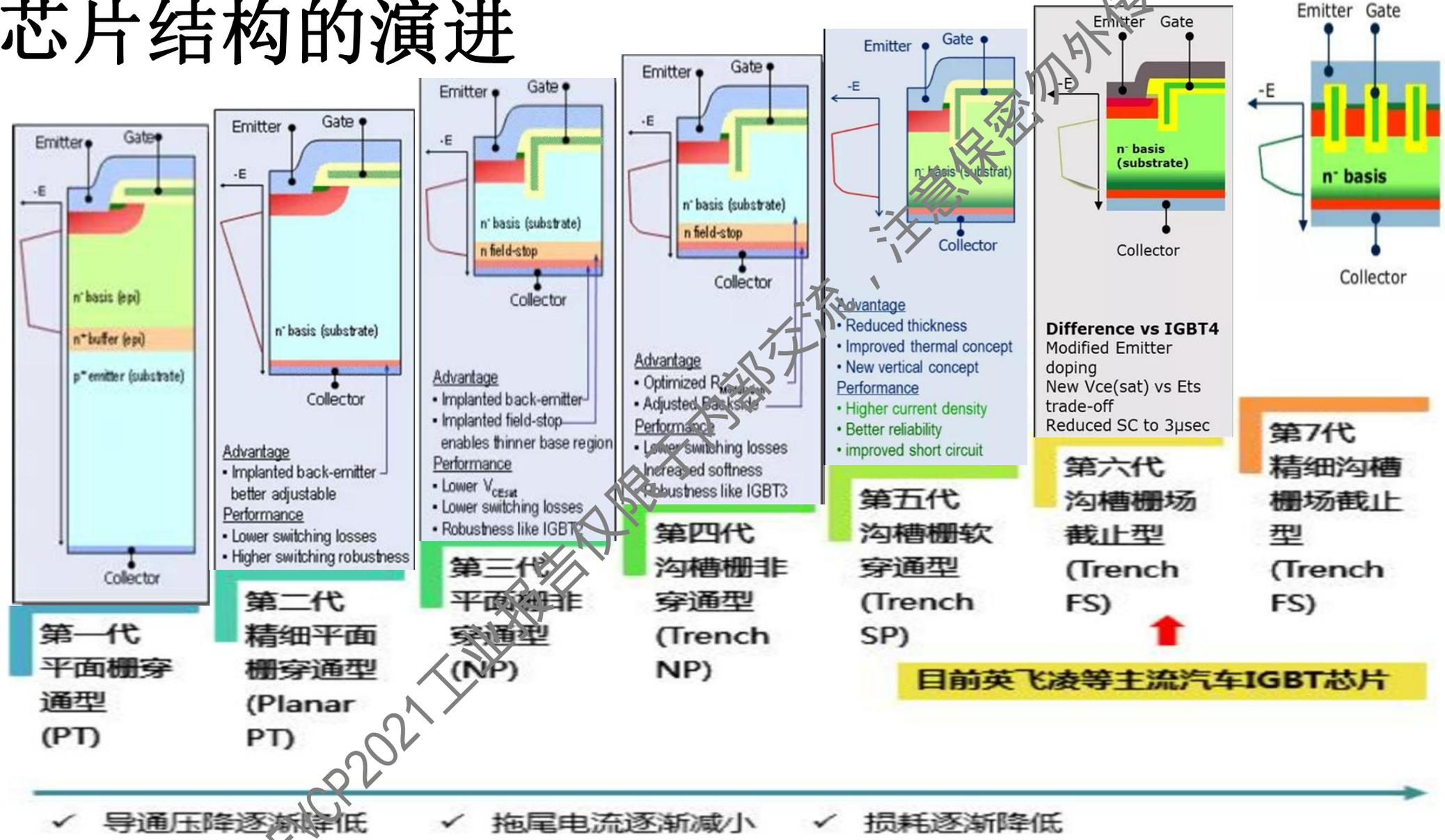
2021.07.11



目 录

1. IGBT芯片结构的演进;
2. IGBT的应用与车用市场规模;
3. IGBT应用在车用的关键器件;
4. 车用IGBT芯片的应用;
5. 车用IGBT面临的挑战;
6. IGBT模块试验上失效机制;
7. 提升芯片性能及应对可靠性的对策和方法;
8. 芯片安全操作区热优化设计;
9. 电应力改善方法-芯片掺杂设计;
10. 结论

IGBT芯片结构的演进

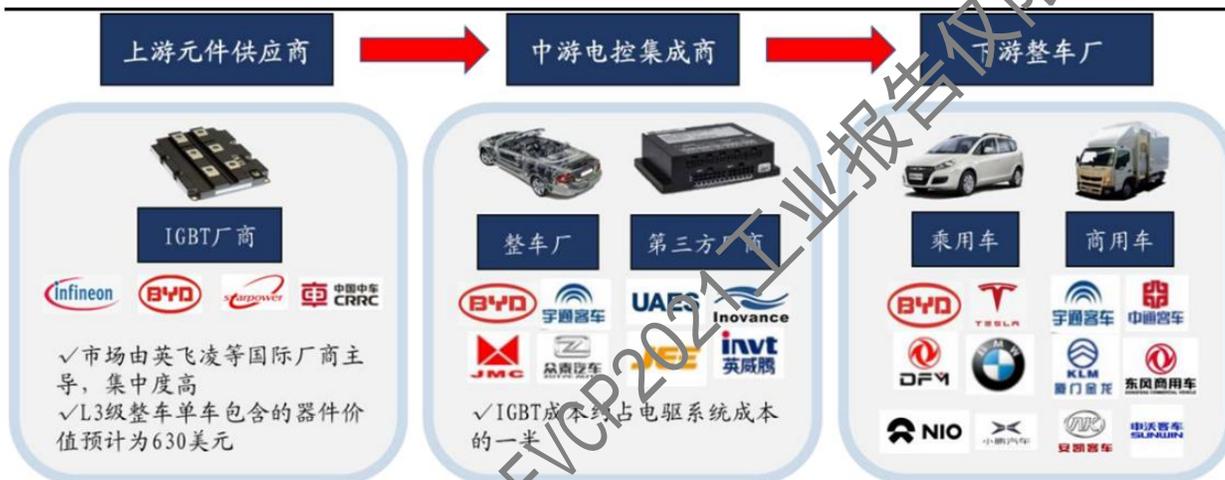
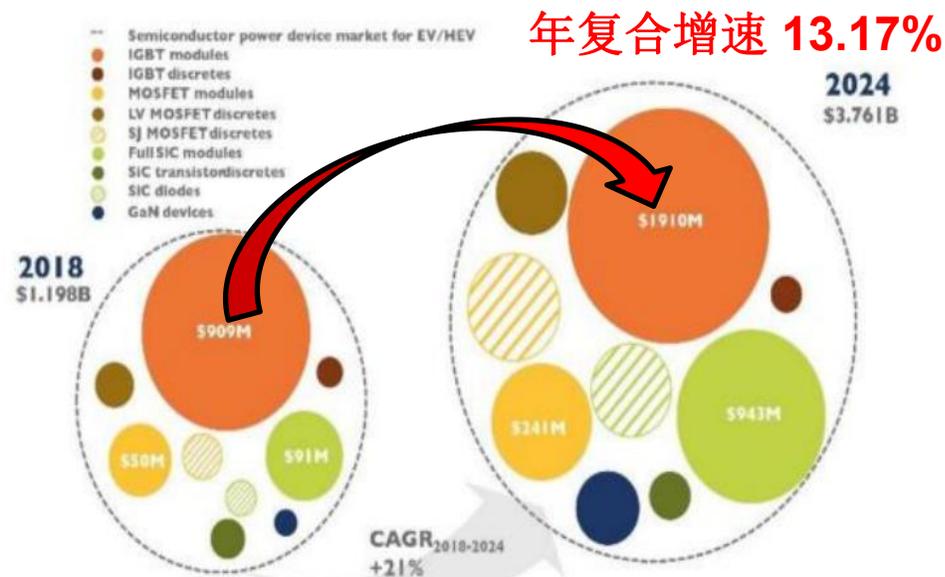


IGBT的应用与车用市场规模

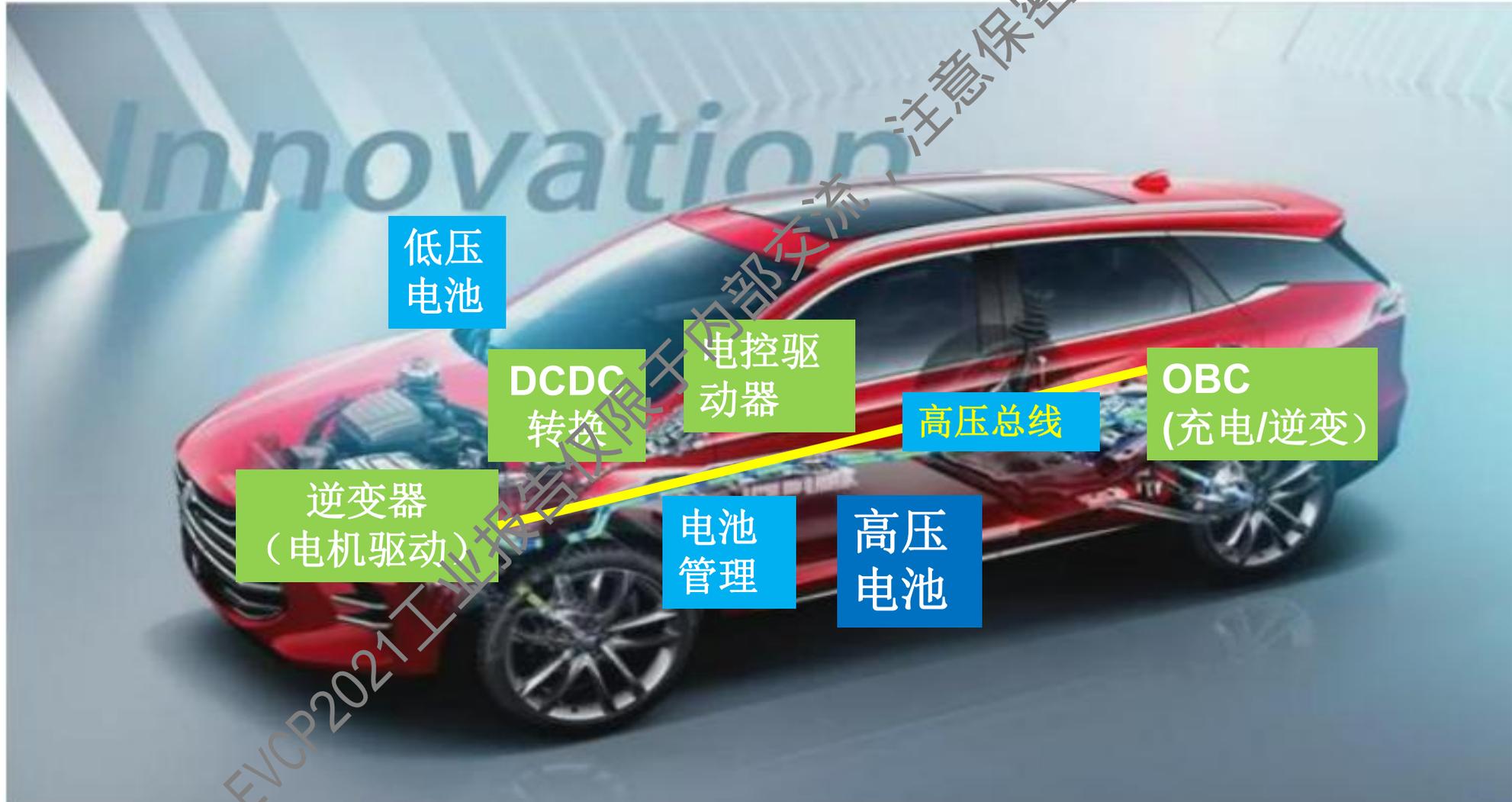


2018-2024 power electronics device market for EV/HEV

(Source: Power Electronics for Electric & Hybrid Electric Vehicles 2020 report, Yole Développement, 2020)



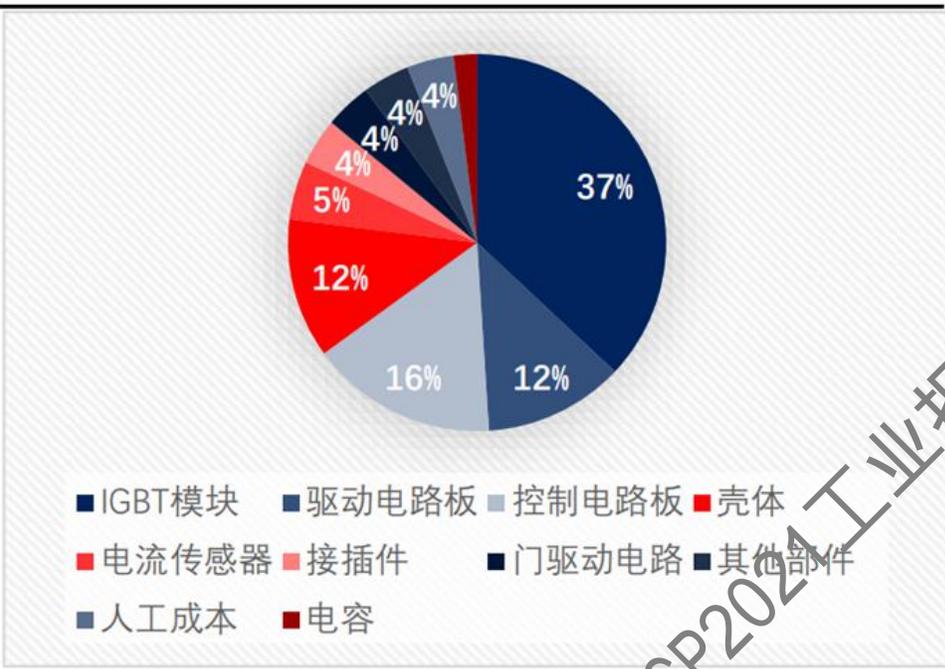
IGBT应用在车用的关键器件



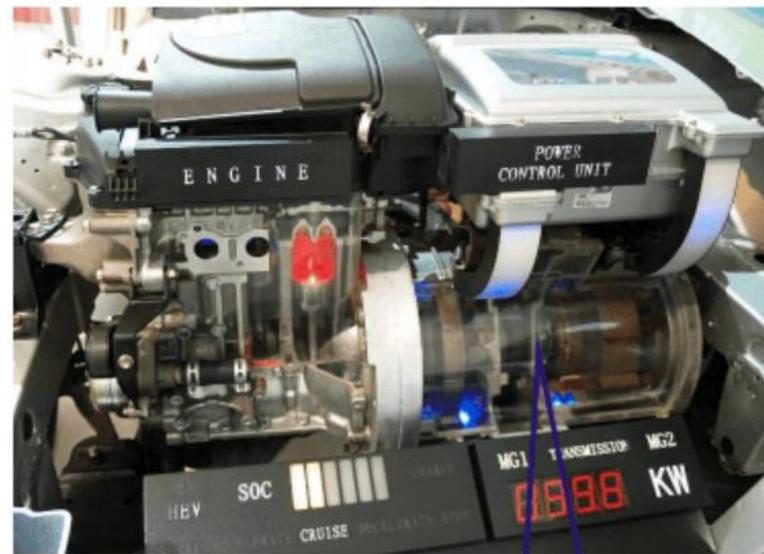
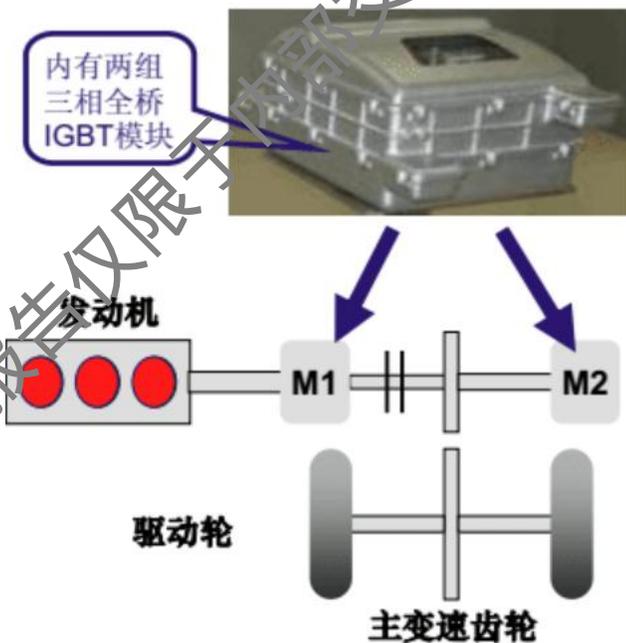
车用IGBT芯片的应用

1. 电动控制系统：用电控系统的IGBT模块成本约占整车成本10%
2. 车载空调控制系统
3. 充电系统

图 15: 电机控制器成本结构



资料来源：北斗航天汽车，信达证券研发中心

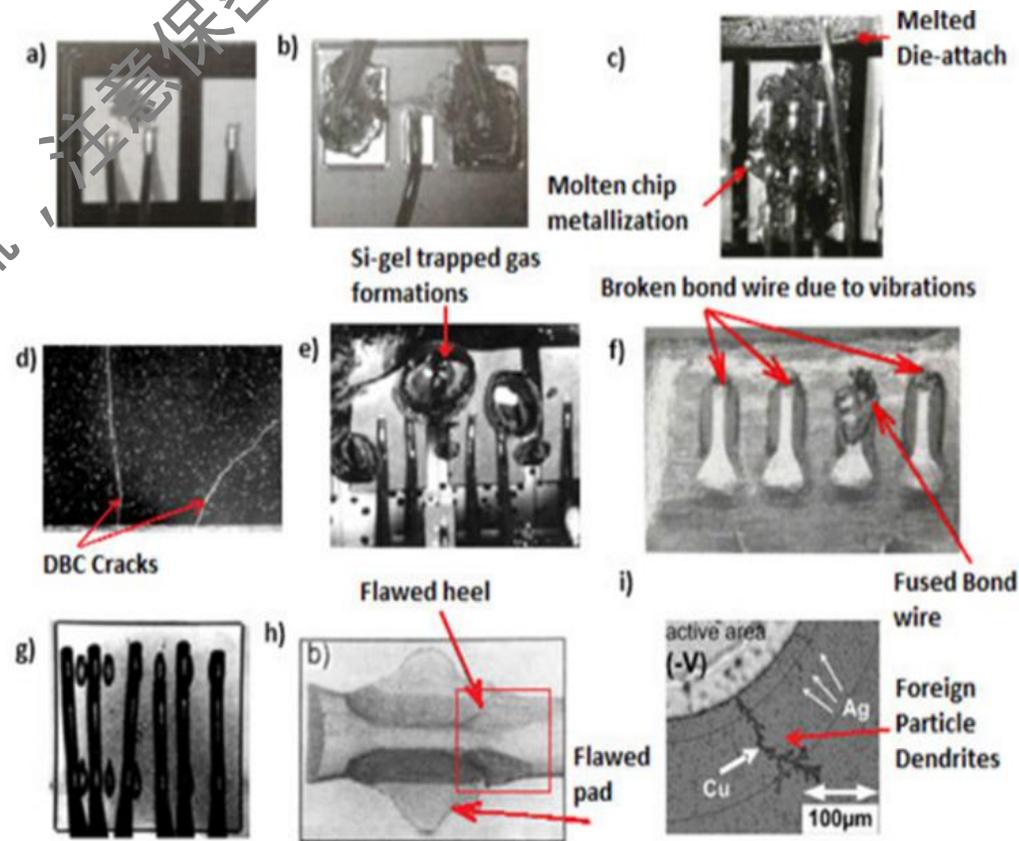
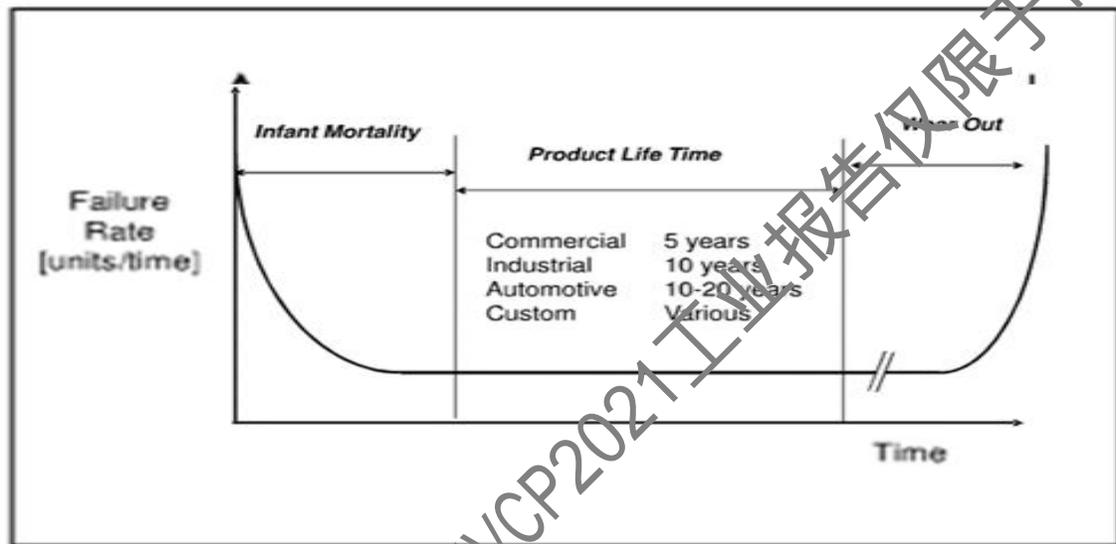


两个电机需两组逆变器



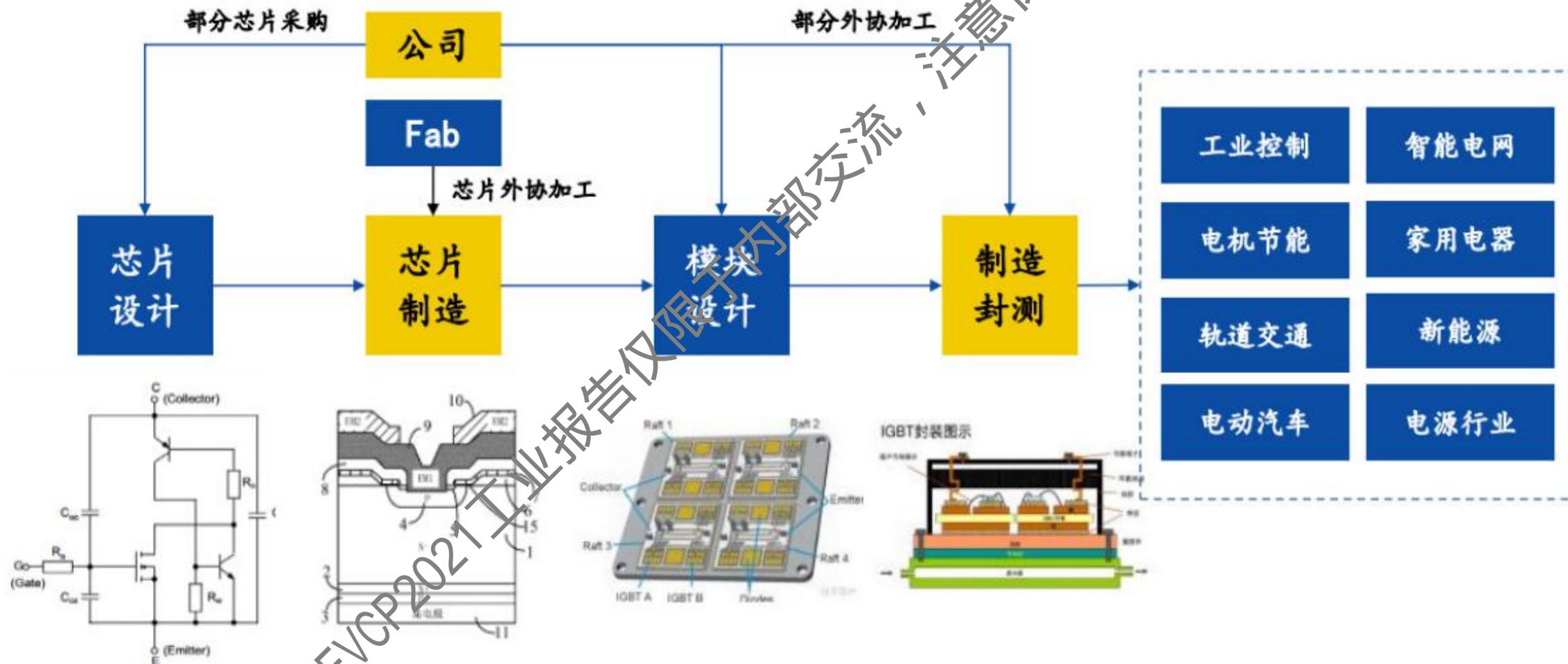
车用IGBT面临的挑战

1. 工作环境温度变化幅度大
2. 个人驾驶习惯差异大
3. 电机峰值功率高
4. 输出功率变化频繁
5. 可靠性要求高, 工作寿命长, 失效后影响大
6. 定制化要求: 体积、重量、形状



• 芯片与模块失效的情况

IGBT产业链分别为芯片设计、芯片制造、模块设计以及制造封测。其中，**芯片是IGBT行业的核心。**



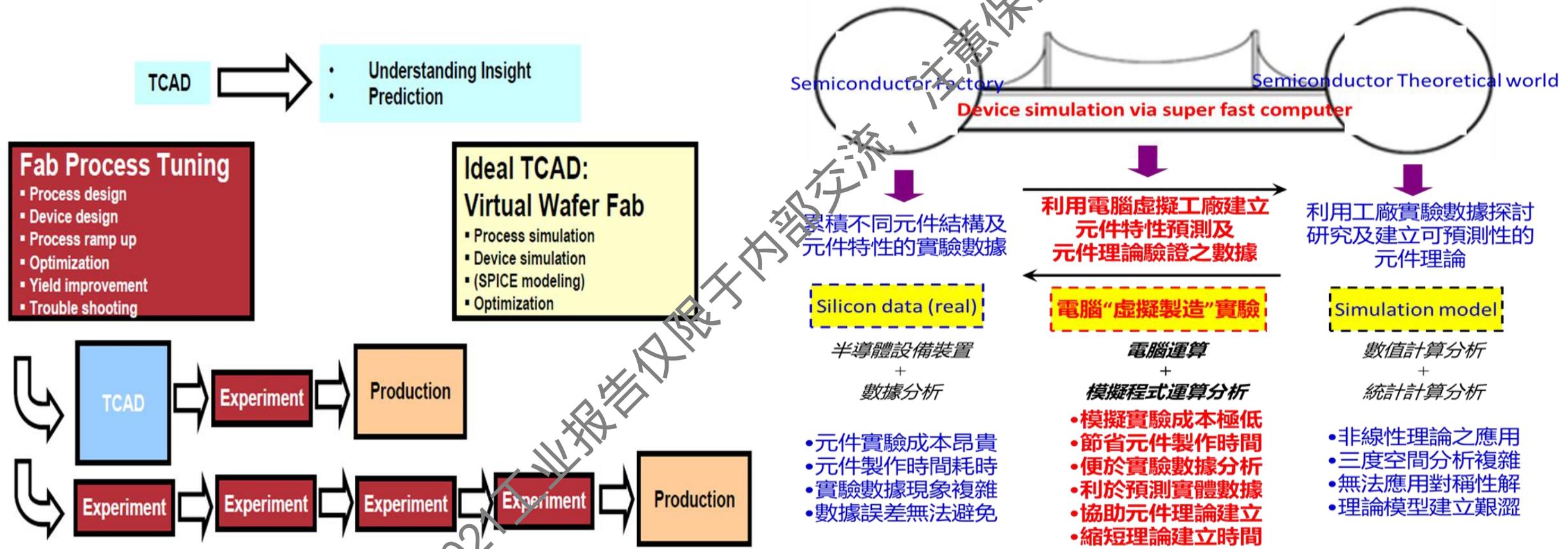
IGBT模块试验上失效机制

下表给出主要可靠性试验的失效机制，看到IGBT模块可靠性不仅是模块封装的可靠性（▲）也是芯片的可靠性（▲）的问题！

试验名称	芯片内部缺陷	芯片表面缺陷	栅极氧化	键合连接	外壳	电气连接	电气稳定性	腐蚀	钝化	绝缘	内部焊层
高温反偏 (HTRB)	▲	▲					▲		▲	▲	
高温栅偏 (HTGB)			▲				▲				
高温高湿 (H ₃ TRB)		▲					▲	▲	▲	▲	
温度循环 (TC)				▲	▲	▲				▲	▲
功率循环 (PC)				▲							▲

- 什么是造成IGBT芯片失效的原因？
- 1. 热应力失效； 2. 电应力失效

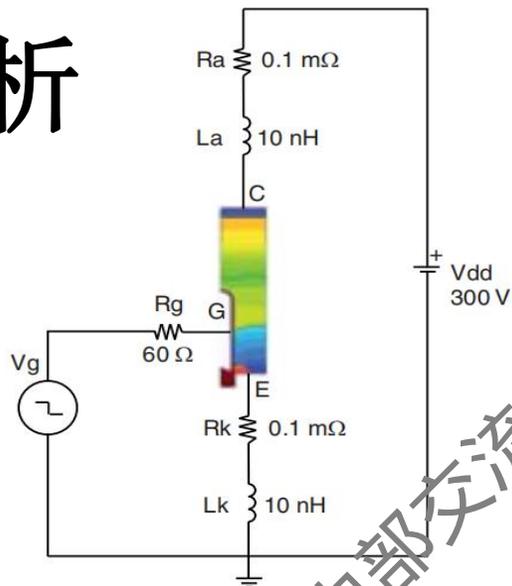
提升芯片性能及应对可靠性的对策和方法



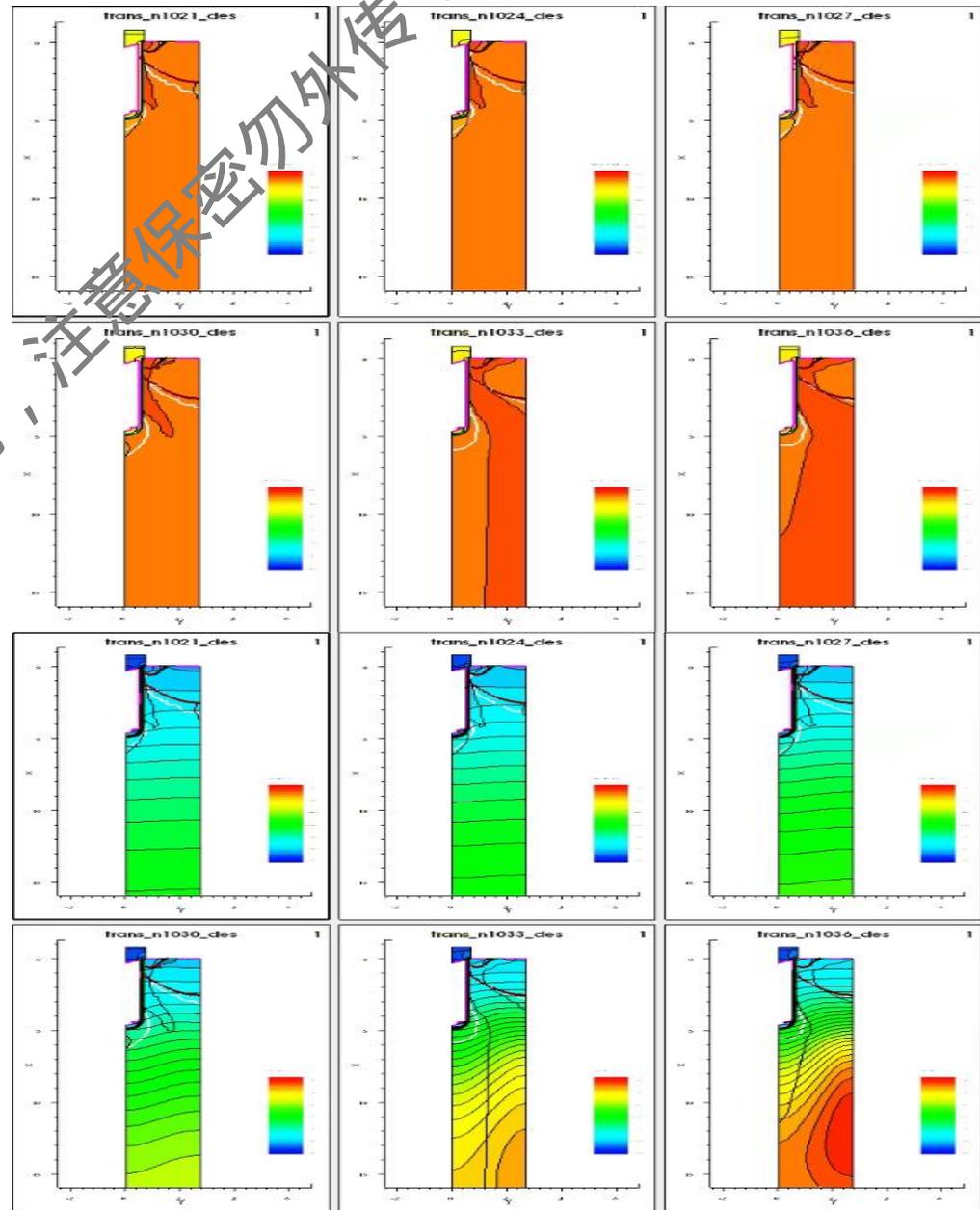
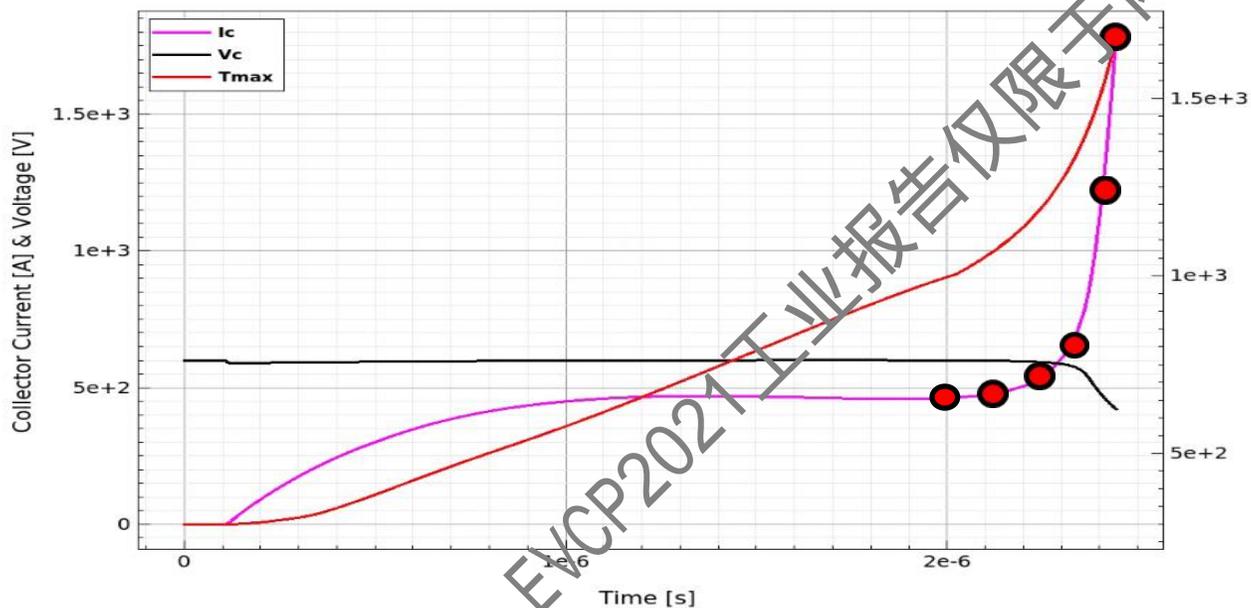
• 加快芯片的研发减少成本支出。

IGBT 短路失效分析

失效发生在打开时候，介于器件的开发之间。由电流分布与热分布了解器件内部，以利后续的制造与设计优化。

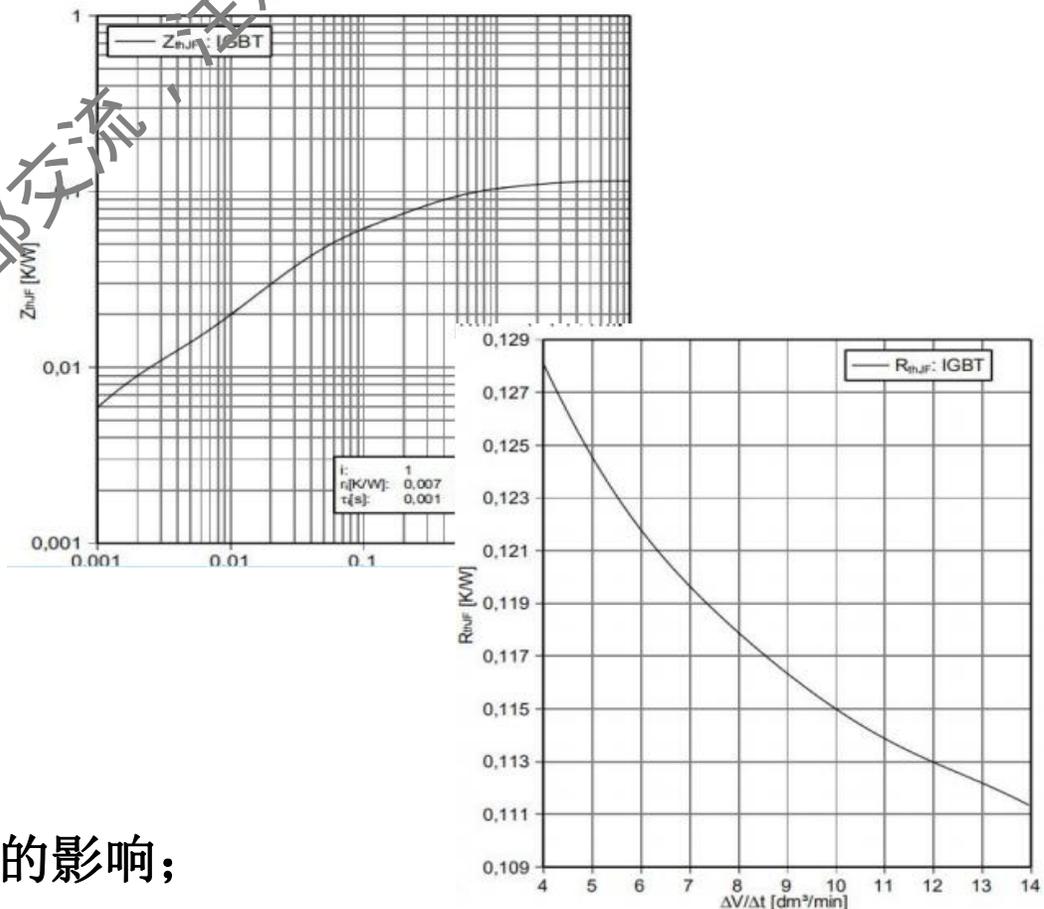
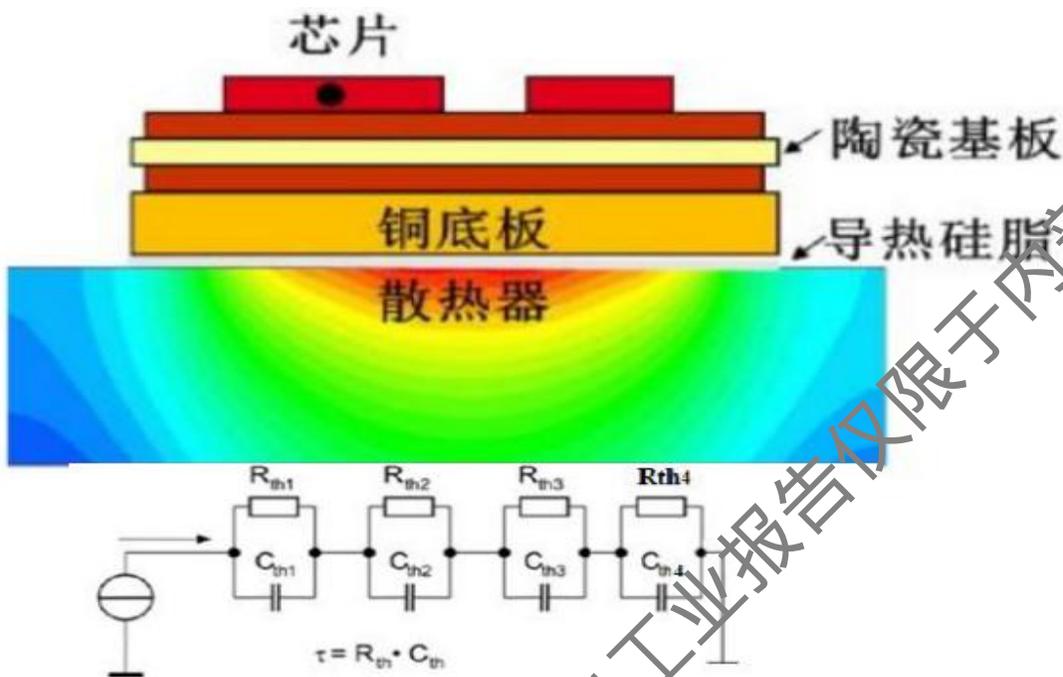


Ic&Vc Vs t curve



热应力失效问题

热学特性是功率器件的灵魂! 芯片工作产生的热量通过不同的介质、界面传递到散热器，将热量散出，传递路径的热阻可用 R_{thjc} 来表示。



- 芯片面积越大，热阻越小；如何优化？
- 热阻并非恒定值，受脉宽、占空比等影响；
- 对于新能源汽车直接冷却，热阻受冷却液流速的影响；

芯片安全操作区热优化设计

Calculating an Area to meet Thermal SOA

Box A			
Designer Input			
Tcrit	627	C	
Vds	40	V	
Id	0.0168	A	
TA	277	C	
tp	2.20E-04	sec	
ARatio	2.8		
optional Rsp	1.00E-03	ohm-cm2	

Box B			
b	0.0008	cm	
Area	1.12E-06	cm2	
TJ	6.15E+02	C	
optional Rdson	8.93E+02	ohm	
Rthab	5.04E+02	C/W	
Lth	1.80E-02	cm	
delx	1.80E-05	cm	

Box C			
Checking for $T_J < T_{crit}$ Area is Large Enough			
Vary ->	a	0.0014	cm

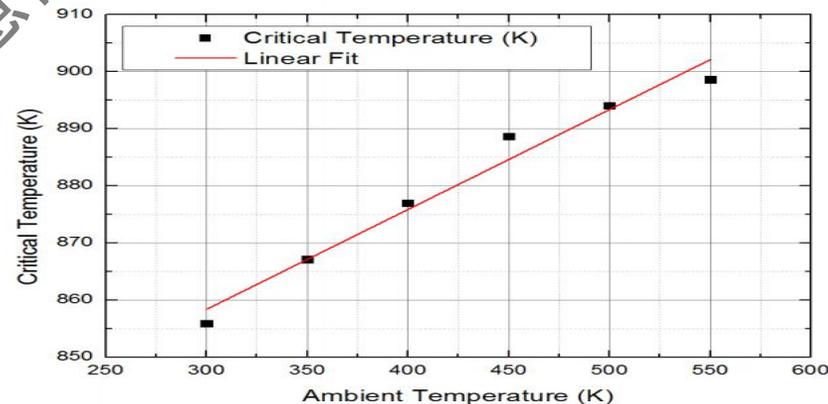
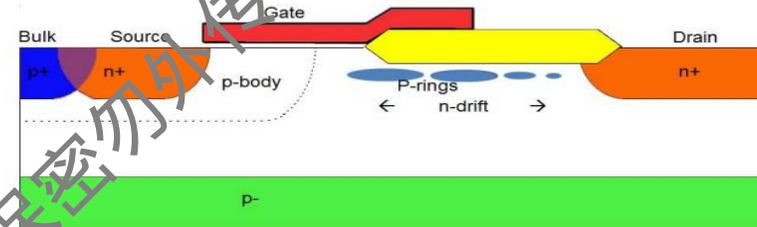
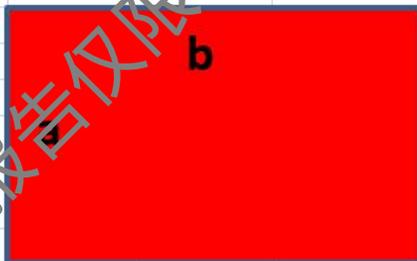


Figure 5. Critical Temperature as a function of Ambient Temperature as obtained from the simulation results.

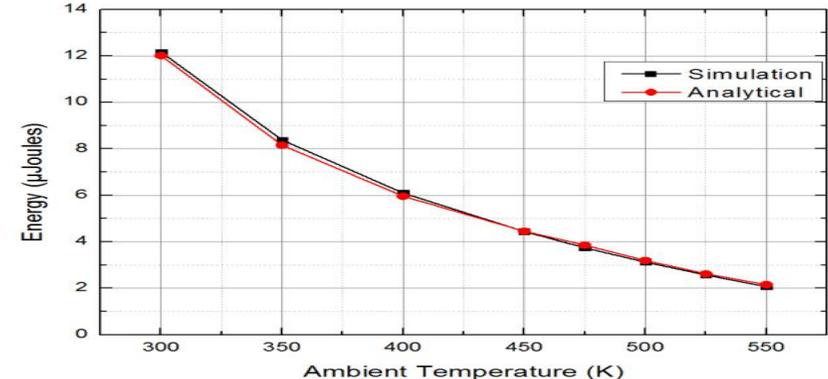


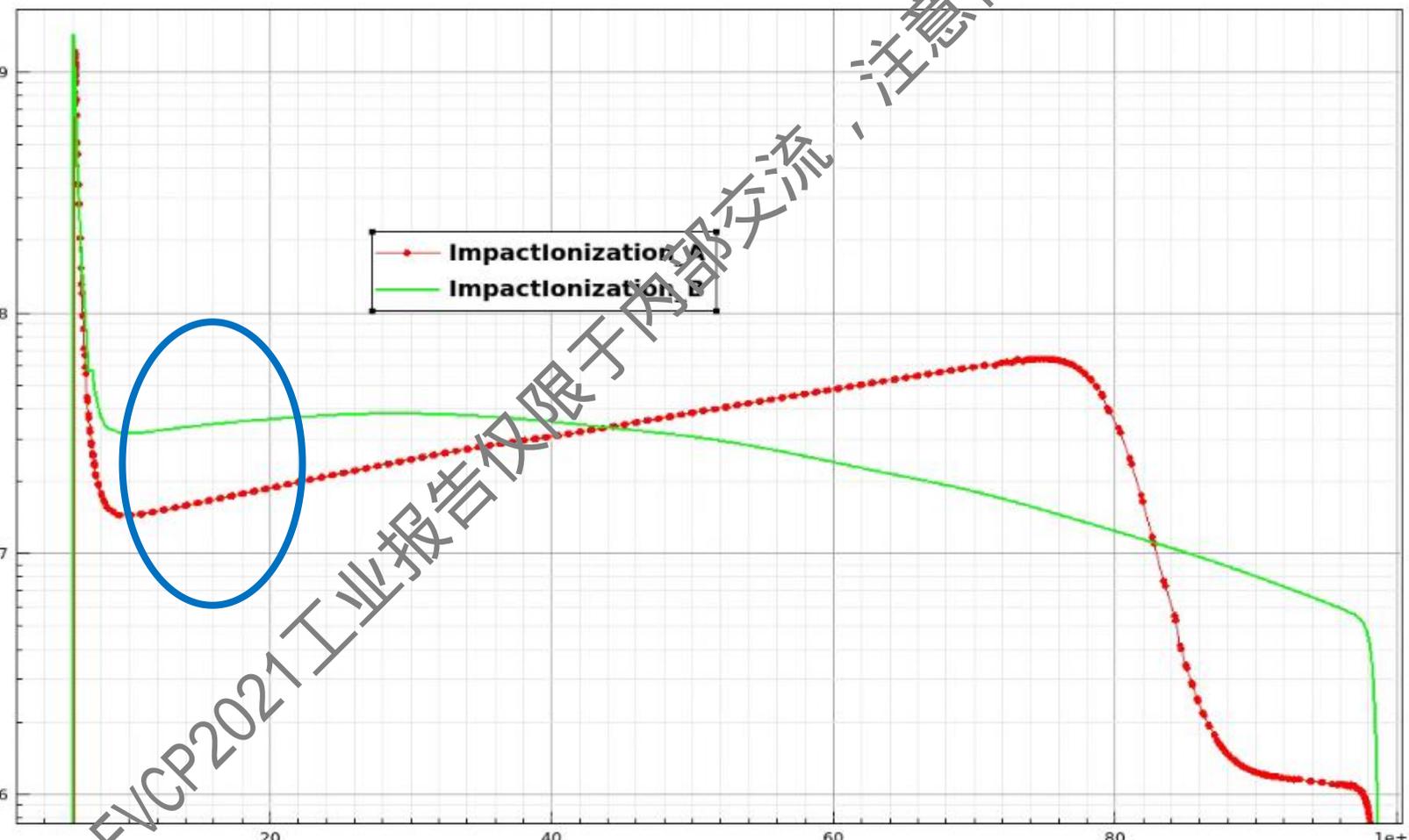
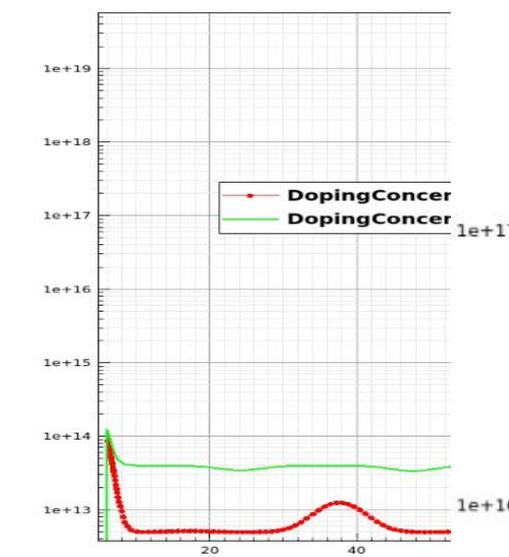
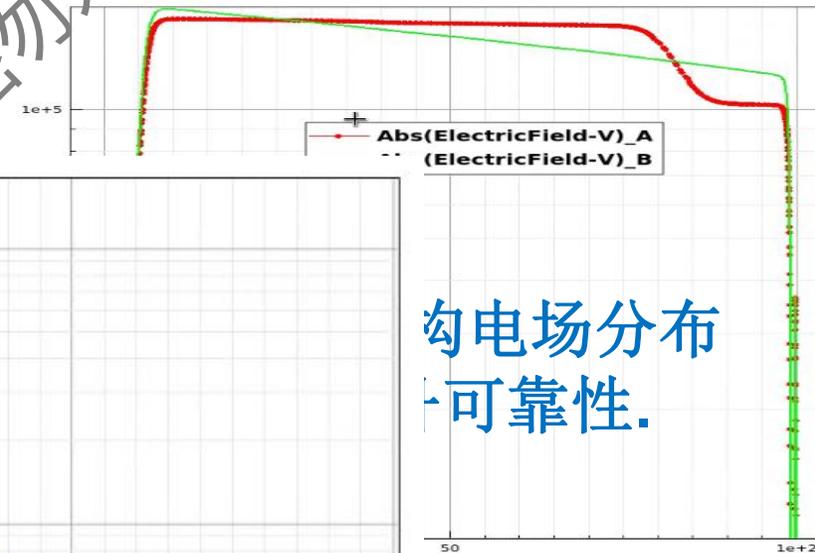
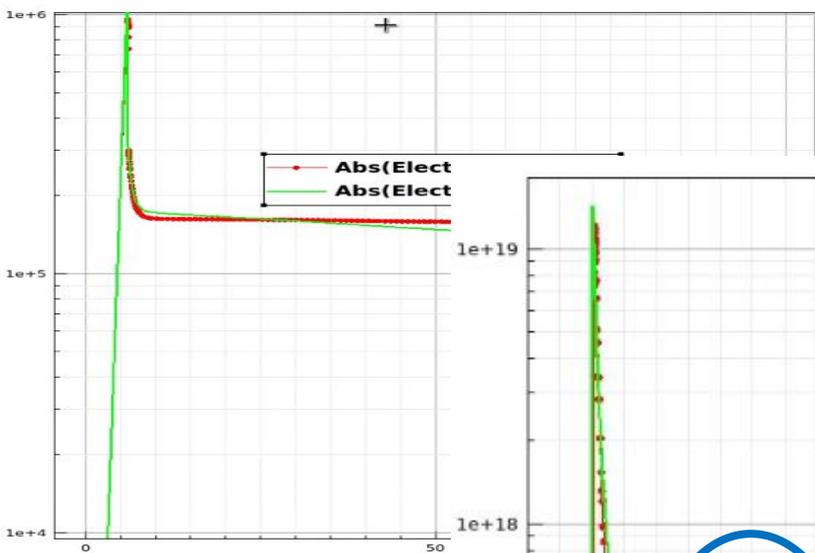
Figure 6. Energy capability of the LDMOS device as a function of ambient temperature, from simulation and analytical solution.

- 小结：可得到最佳化的芯片面积设计。

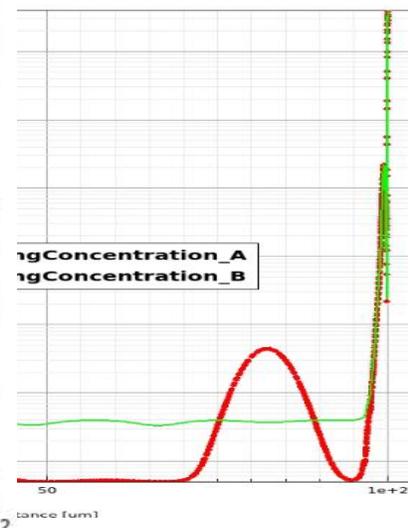
• Trench Side

• 蓝色圈圈为沟槽底部的离子冲击降低, 提高栅极操作的可靠性.

• Emitter Side



沟电场分布
可靠性.



EVCP2021工业报告仅限于内部交流, 注意保密勿外传!

结 论

1. 热应力失效改善 → 可得最佳化芯片面积设计.
 2. 电应力失效改善 → 制造工艺改善电场分布增加可靠度.
- 对器件性能和失效模式的机理认知，结合针对性的数学仿真设计与优化工艺，来提升芯片性能及可靠性，也是加速车规级IGBT开发迭代的关键.

参考文献

1. <https://kknews.cc/car/bzv6x56.html>
2. 来源:汽车电子产业联盟
3. 新能源汽车国家大数据联盟微课堂第17期
4. <http://mp.cnfol.com/45978/article/1583808322-139041920.html>
5. <https://max.book118.com/html/2020/1203/8010062031003023.shtm>

公司介绍



成立

公司成立于**2009**,
中国, 上海



注册资金

2000万人民币



员工人数

100

团队

- 核心团队有超过**15年**的功率半导体制造企业的工作和管理经验。
- 公司团队具有丰富的功率模块开发经验。
- 团队具有良好的沟通技巧和强烈的服务意识。

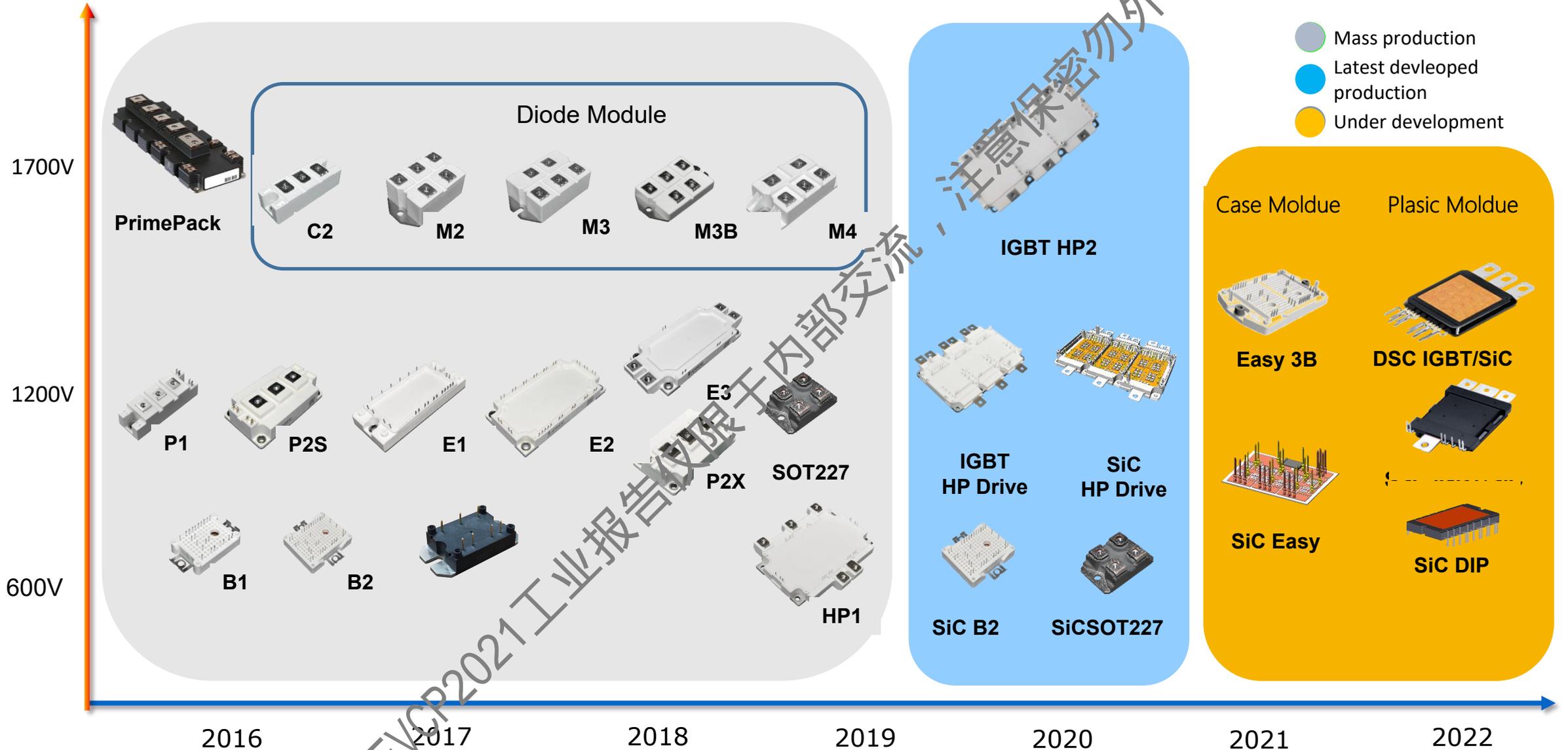
服务

- 标准封装功率模块的生产和测试。
- 客户定制化模块的开发和制造。
- 其它配套支持服务, 如仿真, 失效分析, 可靠性试验...等。

产能

- 生产和测试产能: **150万-200万壳封模块/每年**
250万-300万塑封模块/每年

产品能力和产品路线图



关键IGBT/SiC封装材料和技术开发

封装制程	2019	2020	2021	备注
贴片	 无铅锡膏  无铅焊片  Al ₂ O ₃ DBC	 高可靠性锡膏  Si ₃ N ₄ AMB  AlN DBC  共晶技术 更接近SiC材料的CTE 热阻: 5%↓ PC 可靠性: 10x ↑ 工作温度: >200°C	 Si ₃ N ₄ AMB TC/PC能力: 3x ↑ 热阻: 5%↓ PC 可靠性: 10x ↑ 工作温度: >200°C	A. 高可靠性 B. 较低的热阻
键合	 铝线键合  超声焊接	 铜线键合  铝带键合  铜桥焊接 过流能力: ~20%↑ PC 能力: 3x ↑ 工作温度: 200°C	 铜桥焊接	A. 高可靠性 B. 更高的过流能力



EVCP2021工业报告仅限于内部交流，注意保密勿外传！

谢 谢

THANK YOU

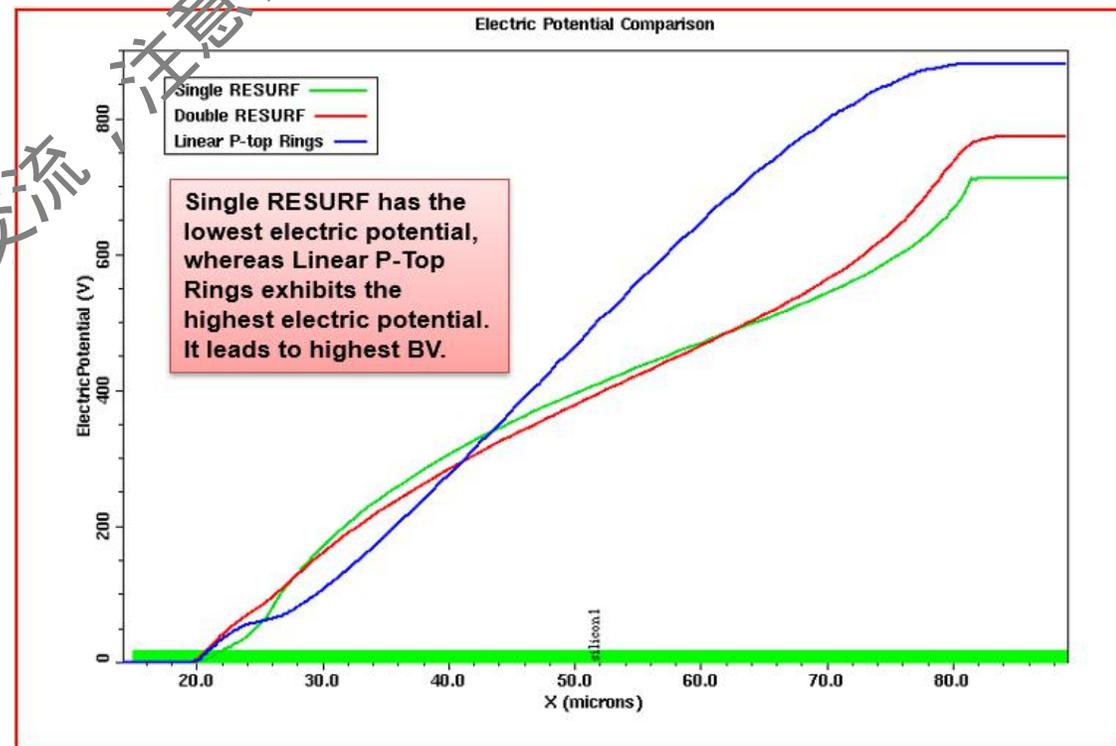
Leore[®]



简介

1. 台湾交通大学电子研究所博士；
2. 亚洲大学助理教授10年，期间与台积电, 世界先进, 新唐科技, 钜晶电子...等进行产学合作，对功率芯片的开发与优化及BCD (Bipolar, CMOS, DMOS)整合技术；
3. 耀镓科技公司开发经理，针对功率芯片与BCD整合技术；
4. HFC(芯合半导体) 55nm技术的记忆体元件建模与功率器件改善设计优化；

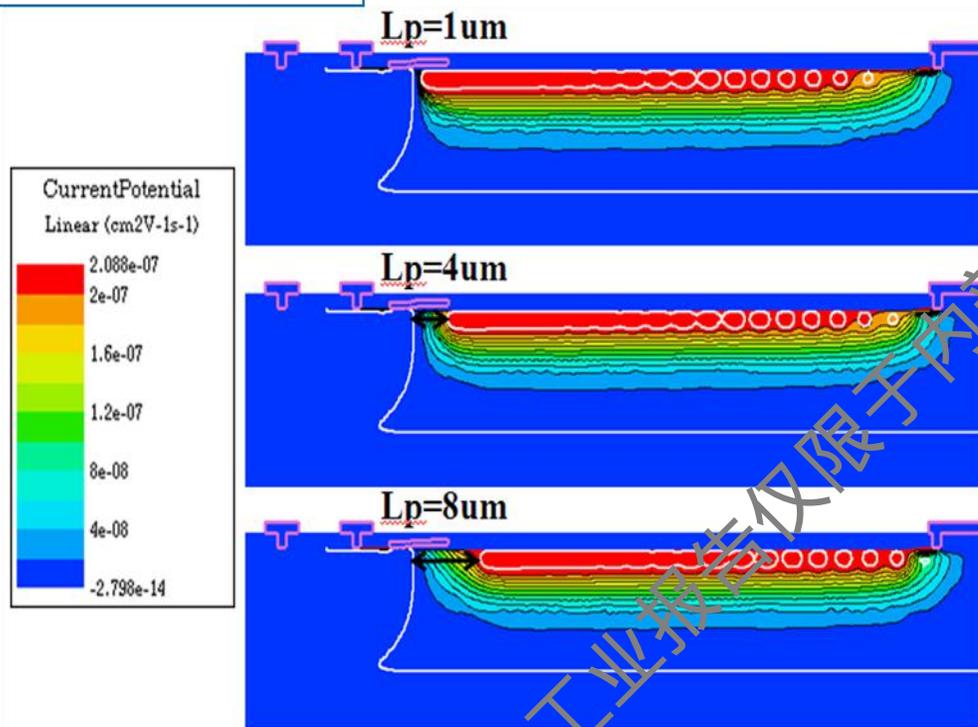
利用仿真工具优化器件结构



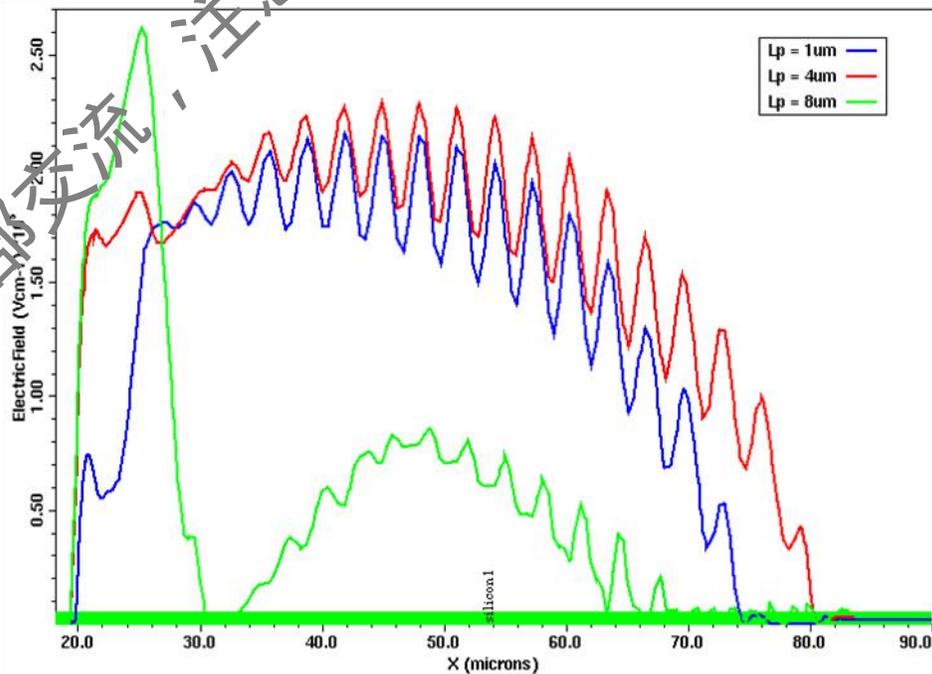
- 一个新结构(Linear P-top rings)的发明(Patent No. : US 8,252,652 B2; US 8,154,078 B2)

光罩设计优化改善实验

P-top Location

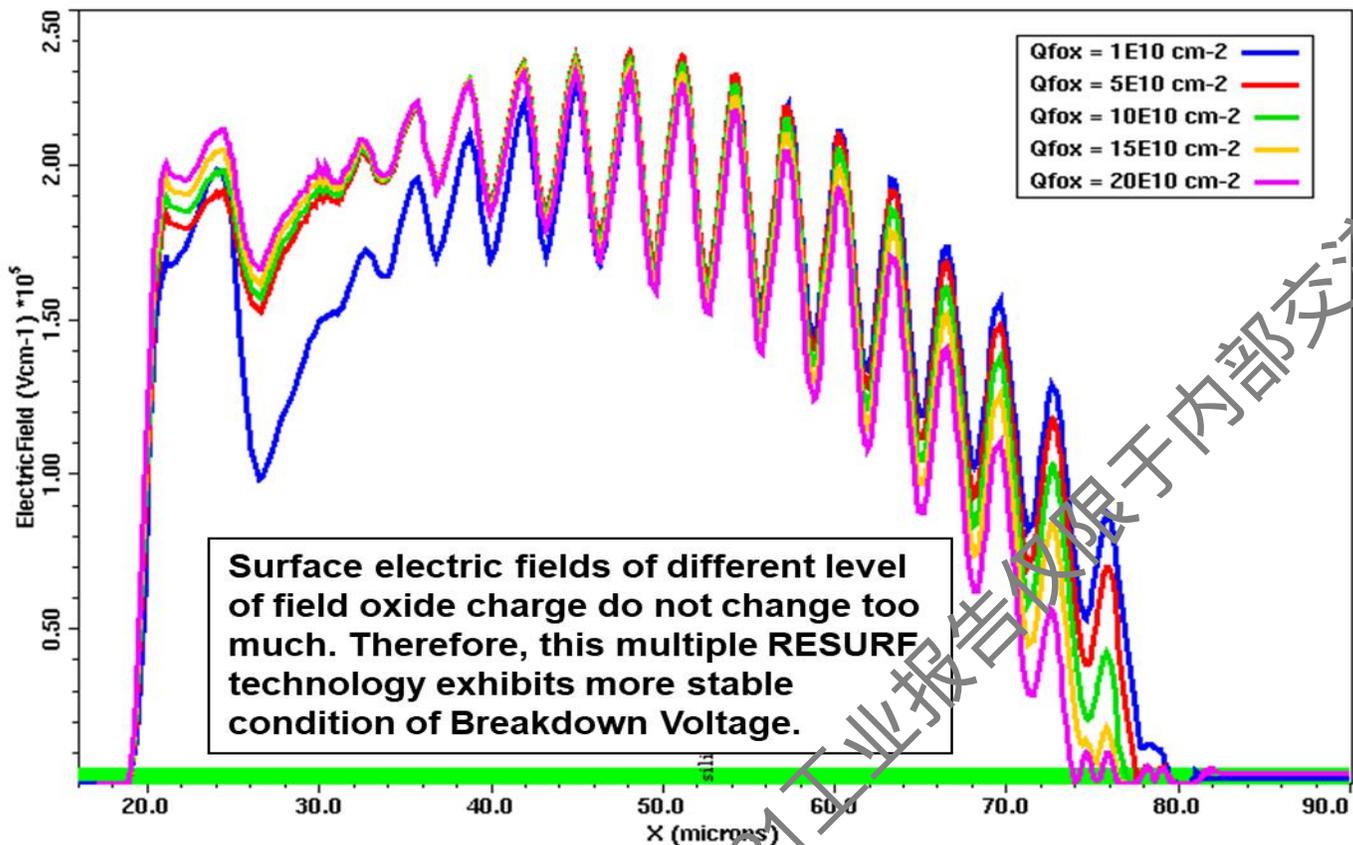


Electric Field



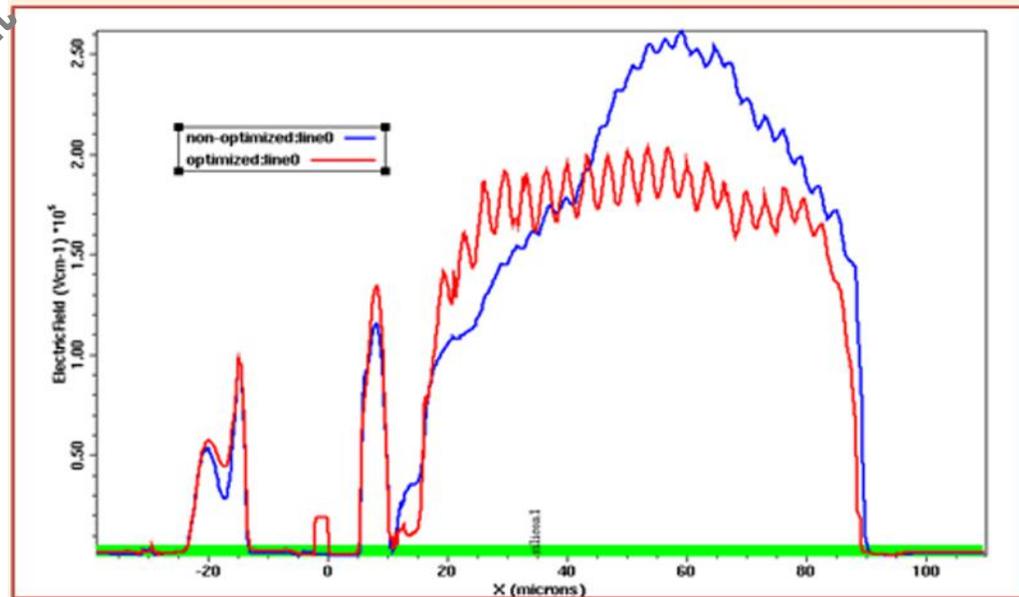
- 由仿真布局设计器件之优化条件.

器件对可靠度的分析与优化设计



- 对于不同氧化层电荷的影响

E. Field Distribution Comparison



- 藉由改变线性参杂分布,可得最佳化的电场分布设计.