

LIMA

劉 成
Sales Engineer
S.Z.Mobile:136-8239-6505
MSN:szlima@hotmail.com
QQ:778174600

AVAGO 光耦一级代理商

利瑪電子(新加坡)有限公司

Add:深圳市華強北電子科技大廈A座3908室

Tel:0755-8250 8350 Fax:0755-8836 4656

E-mail:lima@limaic.com

Website:www.limaic.com

Optocoupler
World



汽车级 IGBT 在混合动力车中的设计应用

针对汽车功率模块需求，英飞凌通过增强 IGBT 的功率循环和温度循环特性，并增加 IGBT 结构强度，大大提高了 IGBT 的寿命预期。



图1 HEV中逆变器布置位置参考图

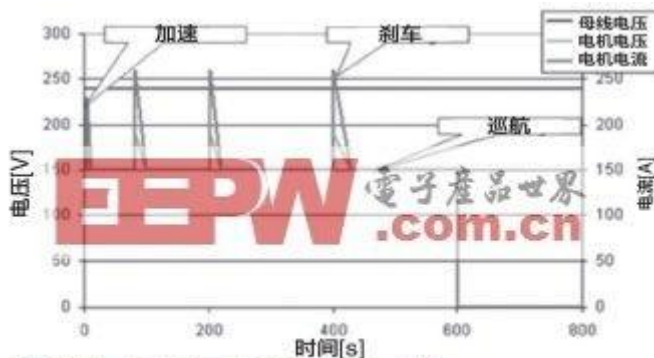


图2 汽车各工况下, IGBT的工作曲线

混合动力车辆中功率半导体模块的要求

工作环境恶劣(高温、振动)

IGBT 位于逆变器中, 需要在高环境温度及机械冲击下, 按照特定的汽车驱动工况, 为混合系统的电机提供能量。

根据不同车辆设计, 逆变器可能放置在汽车尾箱、变速箱内或引擎盖下靠近内燃机的位置, 因此 IGBT 模块要经受严峻的温度($-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$)和机械条件(振动、冲击)的考验。

IGBT 模块通常采用发动机冷却液冷却, 环境温度在极限情况下可达 $T_a=105^{\circ}\text{C}$, 对功率模块的功率密度及散热设计提出了更高的要求。

复杂的驱动工况

不同于工业应用中电机拖动, 混合动力车辆驱动工况更复杂, 例如对应城市工况, 需要频繁切换于加速、减速、巡航各个状态, 因此通过 IGBT 的电流、电压并非常量, 而是随车辆工况反复循环波动, IGBT 模块需要在电流、电压循环冲击下可靠运行。

高可靠性要求

IGBT 功率模块失效将会导致车辆立刻失去动力, 严重影响整车厂商信誉和用户使用体验。

汽车生产厂家需要 IGBT 模块在 HEV 全寿命周期中无需更换, 对 IGBT 的耐久性

提出了更高要求(汽车整车设计寿命 15 年)。

成本控制要求

大规模生产的汽车不同于列车牵引应用，在性能要求很高的条件下，不能通过增加成本的方法换取可靠性，需要在成本和性能上达到平衡，对产品的设计提出了更高的要求。因此，针对汽车应用中各种限制条件，需要专用 IGBT 才能满足苛刻的应用需求。

IGBT 结构

图 3 显示了带基板的功率模块的结构。两侧都带薄铜层的陶瓷衬底被焊接在基板上。IGBT 芯片被焊在设计好的铜层上。芯片的表面通过绑定线(bondingwire)压焊到铜层上。大多数标准模块采用这种制作方法。目前 70%到 80%的功率模块都按照标准模块结构来制造。陶瓷一般采用 Al_2O_3 ，基板采用铜为材料。IGBT 底板通过导热硅脂安装散热器。



图3 典型IGBT结构图

英飞凌汽车级 IGBT 可靠性改进

可靠性是 IGBT 应用于汽车中的最大挑战，除了电压、电流等常规参数的设计考虑，涉及 IGBT 可靠性的主要参数有：温度循环次数(thermalcycling)和功率循环次数(powercycling)，决定了 IGBT 的使用寿命，其他参数例如 IGBT 机械可靠性特性也需要额外的关注。

功率循环

通常,逆变器设计主要考虑 $IGBT T_{jmax}$ (最高结温)的限制,但在混合动力车应用中,逆变器较少处于恒定工况,加速、巡航、减速都会带来电流、电压的改变,由此带来的 ΔT_j (结温快速变化)将会更大程度影响 IGBT 的寿命,IGBT 导通电流波动时,绑定线也会随之摆动,对绑定线和 IGBT 芯片连接可靠性有较大的影响,反复的摆动可能导致绑定线寿命的耗尽(EOL, End of Life),例如绑定线和 IGBT 芯片焊接脱落、绑定线断裂等,直接导致 IGBT 的损坏。

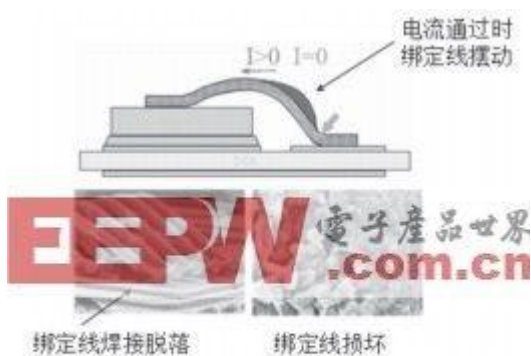


图4 绑定线随电流波动和绑定线失效示意图

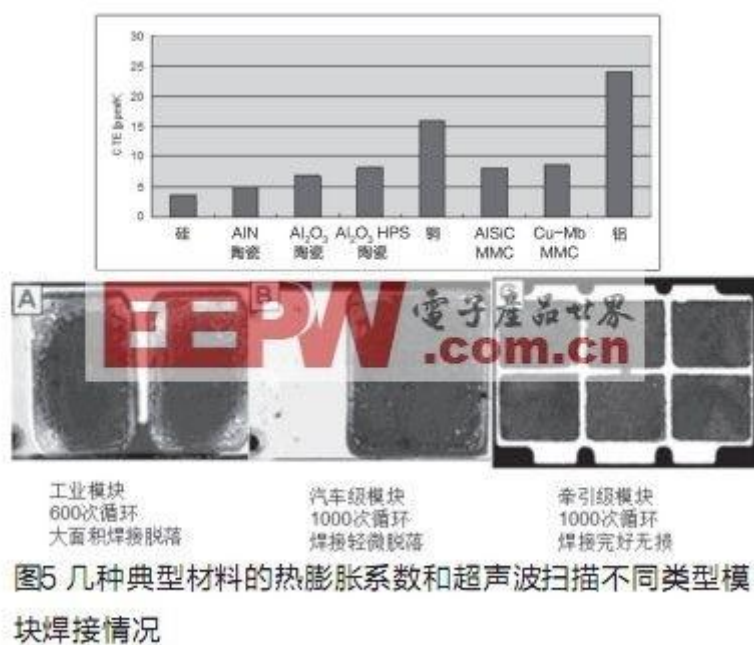
为了模拟汽车运行工况,针对 HEV 频繁的加速、减速、巡航带来的电流冲击,英飞凌定义了“秒级功率循环试验”(power cycling second, 电流加热, 外部水冷冷却),通过加速老化试验,模拟电气冲击下绑定线的焊接可靠性,英飞凌汽车级 IGBT 需要承受 $\Delta T_j=60k$, 最大节温 $150^{\circ}C$, $0.5s < t_{cycl} < 5s$, $150kc$ 次功率循环而不损坏。相对于传统工业应用,混合动力车(HEV)中的 IGBT 工作环境恶劣,因而对 IGBT 长期使用的可靠性提出了更高的要求。

相对传统工业模块主要有以下几点改进:

- 绑定线材料改进;
- 芯片结构加强;
- 绑定线连接回路优化;
- 优化后的焊接工艺。

温度循环

逆变器在 HEV 中，通常位于前舱靠近发动机或位于传动机构附近，IGBT 模块将承受较高的环境温度和温度变化，对 IGBT 模块内部焊接层有较大影响。



IGBT 模块由多层不同材料组成(见图 3)，每种材料具有不同的 CTE(热膨胀系数)，CTE 的差别会影响功率模块的使用寿命，当模块使用时，温度的变化会在不同层间产生机械应力而导致焊接脱落，我们的目标是选用热膨胀系数差别尽可能小的材料来进行焊接组合。但另一方面，即使它们的热膨胀系数十分匹配，因为材料本身的成本可能会太高，或者在生产过程中难以被加工或加工成本太高。例如列车牵引应用中的 AlSiC 基板。热膨胀系数和衬底几乎相同，因此有更好的热循环特性。但对混合动力车应用因成本过高而很难被接受。

英飞凌通过改进后的 Al₂O₃ 陶瓷基片技术，在不大幅度增加成本的前提下，同样可以达到混合动力汽车中热循环次数的要求。

通常 IGBT 模块通过被动温度循环(ThermalCycling)加速测试焊接可靠性，对于汽车级 IGBT，英飞凌定义更严酷的热冲击试验(TST, ThermalShockTest)，相对 TC 试验有更大的温度变化范围，-40℃~+125℃，1000 次循环(普通工业模块 TST 只

需 50 次)。



图6 英飞凌混合动力专用IGBT演示系统

按照英飞凌计算方式，汽车级 IGBT 模块寿命为工业级 2.5 倍，为牵引级 1/4，可满足汽车全寿命使用无需更换模块要求，又很好地平衡了成本。

机械结构的加强

除了对上述 IGBT 内部封装工艺的改进，英飞凌汽车级 IGBT 还对 IGBT 外壳和接线端子进行了增强，包括温度特性和机械结构特性的加强，以应对汽车严酷的应用环境，例如以下几个方面。

(1)温度特性加强。相较通常工业应用，汽车内 IGBT 需要承受较高的温度冲击，如果 IGBT 的外壳材料不够坚固，将会在温度冲击下断裂损坏，英飞凌汽车级 IGBT 需在热冲击试验 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ 1000 次下完好无损。通过塑料材料和优化的工艺参数，改进后的 IGBT 外壳可靠性大大增强。

(2)结构特性加强。在 HEV 中，IGBT 震动大大超过普通工业模块，外壳和端子将承受较大的机械冲击，英飞凌汽车级 IGBT 可以承受超过 5g 的机械振动和超过 30g 的机械冲击。

英飞凌汽车级 IGBT 产品

为满足汽车级应用，英飞凌对推出 HEV 专用的 IGBT 模块，包括 2 款产品：

- HybridPACK1—400A/650VIGBT6 单元，针对电机功率 20kW~30kW 左右的轻度混合动力汽车；

- HybridPACK2—800A/650VIGBT6 单元，针对电机功率 80kW 左右的的全混合动力车。

主要的产品特点：

- 6 单元 IGBT 简化逆变器设计；

- 工作结温为 150℃，最大节温 175℃；

- IGBT 技术；

- 改进后的绑定线工艺；

- 改进后的陶瓷基片增加焊接可靠性；

- 6NTC；

- 改进后的绑定线工艺；

- 改进后的陶瓷基片增加焊接可靠性；

- 直接水冷系统，提升模块散热能力。

随着功率器件在汽车中越来越多地应用，对可靠性提出了更高的要求，例如本文描述的功率循环和温度循环特性。针对汽车应用，英飞凌推出的汽车级 IGBT 模块具有高可靠性、长寿命、适中成本的特点，只有在混合动力汽车应用需要专用的功率半导体模块，才能保证核心零部件的可靠性，直接关系到混合动力车的成功与否。