

团 体 标 准

T/CASA 011.3—2021

车规级智能功率模块（IPM）测试认证规范

Test qualification for Intelligent Power Module (IPM) in
automotive applications

版本：V01.00

2021-11-01 发布

2021-12-01 实施

第三代半导体产业技术创新战略联盟 发布

目 次

前 言.....	III
1 范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 符号	3
5 缩略语.....	3
6 通用要求.....	3
6.1 优先级要求	3
6.2 试验样品	3
6.3 失效判据	4
7 检验方法.....	4
7.1 鉴定检验	4
7.2 质量一致性检验	4
附录 A（规范性附录） IPM 电性能最低测试要求项	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由北京第三代半导体产业技术创新战略联盟标准化委员会（CASAS）制定发布，版权归 CASAS 所有，未经 CASAS 许可不得随意复制；其他机构采用本文件的技术内容制定标准需经 CASAS 允许；任何单位或个人引用本文件的内容需指明本文件的标准号。

本标准主要起草单位：国家新能源汽车技术创新中心、株洲中车时代电气股份有限公司、北京世纪金光半导体有限公司、泰科天润半导体科技（北京）有限公司、深圳基本半导体有限公司、中国电子科技集团公司第五十五研究所、中国科学院电工研究所、全球能源互联网研究院、厦门市三安集成电路有限公司、中国电子科技集团公司第十三研究所

本标准主要起草人：张宇隆、黄以明、郑广州、李寿全、刘敏安、孙博韬、胡惠娜、文字、柏松、张瑾、李金元、鲁华城、彭浩。

车规级半导体功率器件测试认证规范

1 范围

本文件规定了车规级智能功率模块（Intelligent power module）的测试认证要求。

本文件适用于汽车应用的 IPM 的测试认证。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 A：低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验

GB/T 2423.5 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ea 和导则：冲击

GB/T 2423.17 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验 Ka：盐雾

GB/T 2423.18 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Kb：盐雾，交变(氯化钠溶液)

GB/T 2423.22 电工电子产品环境试验 试验 Na：规定转换时间的快速温度变化

GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术

GB/T 4365-2003 电工术语 电磁兼容

GB/T 4586 半导体器件 分立器件 第8部分：场效应晶体管

GB/T 4937.31 半导体器件 机械和气候试验方法 第31部分：塑封器件的易燃性（内部的）

GB 16935.1 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分：原理、要求和试验

GB/T 28046.1 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第1部分：一般规定

GB/T 28046.2 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第2部分：电气负荷

GB/T 28046.3 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第3部分：机械负荷

GB/T 28046.4 道路车辆 电气及电子设备的环境条件和试验 第4部分：气候负荷

GB/T 29332 半导体器件 分立器件 第9部分：绝缘栅双极晶体管（IGBT）

GB/T 39392 家用电器专用智能功率模块技术规范

GJB 33 半导体分立器件总规范

GJB 128 半导体分立器件试验方法

AEC Q101 基于失效机理的汽车应用分立半导体器件应力试验认证（Failure mechanism based stress test qualification for discrete semiconductors in automotive applications）

AEC Q104 基于失效机理的汽车应用多芯片组件应力试验验证（Failure mechanism based stress test qualification for multichip modules(MCM) in automotive applications）

AEC-Q005 无铅测试要求 (Pb-free test requirements)

AQG 324 机动车辆电力电子转换单元应用的功率模块认证 (Qualification of Power Modules for Use in Power Electronics Converter Units in Motor Vehicles)

JEDEC 51-14 维传热路径下半导体器件结壳热阻瞬态双界面测试方法 (Transient dual interface test method for the measurement of the thermal resistance junction-to-case of semiconductor devices with heat flow through a single path)

JEDEC JESD22-A108 温度、偏压和工作寿命 (Temperature, bias, and operating life)

MIL-STD-883 微电子器件试验方法 (Test method standard microcircuits)

IEC 60068-2-27 环境试验 第 2-27 部分: 冲击 (Environmental testing - Part 2-27: Tests - Test Ea and guidance: Shock)

IEC 60747-8 半导体器件 分立器件 第 8 部分: 场效应晶体管 (Semiconductor devices - Discrete devices - Part 8: Field-effect transistors)

IEC 60747-9 半导体器件 分立器件 第 9 部分: 绝缘栅双极型晶体管 (Semiconductor devices - Part 9: Discrete devices - Insulated-gate bipolar transistors (IGBTs))

IEC 60749-34 半导体器件 机械和环境试验方法 第 34 部分: 功率循环 (Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 34: Power cycling)

3 术语和定义

GB/T 2900.33、GB/T 28046.1、T/CASA 011.2 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能功率模块 intelligent power module

将功率开关芯片 (IGBT/MOSFET、二极管)、栅极驱动电路, 以及电压、电流、温度等检测和保护电路封装在同一外壳内的智能化混合集成模块, 即为智能功率模块。

3.2

鉴定机构 qualifying activity

授予认证证书或合格制造商目录 (QML) 资格的有关组织机构即为鉴定机构。

3.3

鉴定检验 identification test

为确定新研产品的性能和可靠性是否满足标准要求而进行的试验和测试。

3.4

质量一致性检验 quality consistency test

针对已通过鉴定的产品, 为确定后续生产批次产品是否与鉴定批产品的质量水平保持一致而进行的试验和测试。

3.5

结构相似模块 structurally similar modules

基于相同材料要求、设计规则和封装类型, 在相同生产线, 采用相同制造工艺制造的模块。

4 符号

下列符号适用于本文件。

T_c : 外壳温度。

T_a : 环境温度。

$T_{stg(min)}$: 额定最低存储温度。

$T_{stg(max)}$: 额定最高存储温度。

$T_{jop(max)}$: 额定最高工作温度。

$T_{p loss}$: 漏电产生的温升。

$R_{th(j-c)}$: 结壳热阻。

$R_{th(j-a)}$: 结到环境热阻。

5 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IPM: 智能功率模块 (Intelligent power module)

IGBT: 绝缘栅双极型晶体管 (Insulated Gate Bipolar Transistor)

MOSFET: 金属氧化物半导体场效应管晶体管 (Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor)

QML: 合格制造商目录 (Qualified Manufacturers List)

6 通用要求

6.1 优先级要求

当本文件中的要求与其他文件要求不一致时, 可采用以下优先级:

- a) 采购订单;
- b) 单独商定的模块规范;
- c) 本文件;
- d) 第 2 章中的引用文件;
- e) 供应商的数据手册。

本文件认证合格的 IPM, 采购订单或单独商定的 IPM 规范不能放弃和降低本文件的要求。

6.2 试验样品

6.2.1 生产与批次要求

承制方提交鉴定检验或质量一致性检验的批次样品, 应与后续量产供货批次产品设计、工艺等技术状态保持完全一致。每个检验批应由相同型号样品组成, 或由属于一个产品规范的结构相似的子批组成, 这些样品从开始制造直至封装完成, 都应该在同一个工厂的相同生产线上、采用相同的生产工艺、

按照相同的设计以及相同的材料要求制成。原则上，IPM中使用的芯片应事先通过车规级认证（其中，功率芯片依据T/CASA 011.1中的要求开展），认证程序需对外公开并经用户同意。

6.2.2 样品选取与复用

鉴定检验和质量一致性检验样品批应由承制方选择，检验批的大小至少应是鉴定检验和质量一致性检验所需样品数量的两倍。所有样品从检验批中随机抽取，承制方应在检验批中保留足够的模块以便提供追加样品。

已被用于非破坏性测试的样品还可用来进行其他认证测试。已被用于破坏性测试的样品，除工程分析外，不得再做他用。

6.3 失效判据

IPM 完成应力试验后，进行性能参数测试，符合以下任一标准即判定为测试失效。如果产品失效是由于试验过程中操作不当导致，则该失效不算做批次性失效，但须详细记录失效情况进行失效分析，征得用户同意后可重新选择样品进行该项试验。

- a) IPM 参数不符合产品数据手册或详细规范的要求，静态电参数测试至少应包含附录 A 规定的项目；
- b) 应力试验后，正向导通压降或导通电阻增大超过 5%；
- c) IPM 参数在试验后不能保持在初始读数 $\pm 20\%$ 偏差内（超出漏电极限的数值在含湿度应力试验后不超过出初始读数的 10 倍，其他试验后不超过初始读数的 5 倍）；
- d) 任何由于应力试验导致的外部物理损伤。

7 检验方法

7.1 鉴定检验

鉴定检验按不同的目的和应力类型共分为A、B、C、D四组检验，分别如表1-表4所示。其中A组为电性能与外观检验要求，B组为与应用相关的特性表征测试，C组检验为环境应力和寿命试验，D组为新研IPM模块首次鉴定检验时需进行特征检验。进行B、C、D组检验的样品须从通过了A组检验的样品中随机抽取，IPM模块应按照四组检验的要求开展各项试验，B、C、D组试验中各分组试验可并行开展。

7.2 质量一致性检验

质量一致性检验应按照A组、B组和C组检验的要求进行。各批IPM模块都应进行A组和B组检验。一款代表性IPM模块完成C组检验，则说明其结构相似模块满足C组检验要求。承制方对结构相似模块是否需要重复进行C组检验应与鉴定机构或用户协商。如果承制方决定结构相似模块不重复进行C组检验，而用工艺过程监督或统计过程控制程序来代替（当鉴定机构或用户批准时），则承制方可不重复进行C组检验，但对今后进行这些试验出现的相关失效仍要承担全部责任。进行B组和C组检验的样品须从通过了A组检验的样品中随机抽取，B组和C组试验中各分组试验可并行开展。

表1 A组检验

分 组	试验方法	试验条件/附加说明	抽样样品数（接收判定数）	
			鉴定检验	质量一致性检验
A1 分组 电性能测试	依据产品规范/数据手册和 GB/T 39392	测试常温（25℃）下 IPM 的电参数，至少应包含附录 A 要求的各项参数。	全部样品 (0)	全部样品 (0)
A2 分组 外观检查	目检样品外观，重点检查样品标识、表面状态、引脚等	模块表面标识应完整、清晰，无划伤、划痕、机械损伤；引脚应无变形、沾污、锈蚀、毛刺。	全部样品 (0)	全部样品 (0)

表2 B组检验

分 组	试验方法	试验条件/附加说明	抽样样品数（接收判定数）	
			鉴定检验	质量一致性检验
B1 分组 保护功能测试	GB/T 39392	至少包括电源欠压保护动作电压、过电流保护动作电压、过温保护、错误讯号供电电压、错误讯号输出脉宽测试。	15 (0)	6 (0)
B2 分组 稳态热阻测试	JEDEC51-14	测试 $R_{th(j-c)}$ 或 $R_{th(j-a)}$	15 (0)	6 (0)
B3 分组 键合强度	MIL-STD-883 Method 2011	该项测试，可在封装过程中开展 如 IPM 无键合丝，则该项省略	22 丝 (0) 至少 5 只 IPM	3 只 (0)
B4 分组 互连层测试	GB/T 39392	用 X-Ray 或超声扫描进行测试，检查空洞率和分层情况	15 (0)	6 (0)

表3 C组检验

分 组	试验方法	试验条件/附加说明	抽样样品数（接收判定数）	
			鉴定检验	质量一致性 检验
C1 分组 低温存储 终点测试	GB/T 2423.1	$T_a=T_{stg(min)} \leq -40^{\circ}\text{C}$ 时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C2 分组 温度循环 终点测试	GB/T 2423.22	必须在双室系统中进行 温度范围： $T_{stg(min)} \sim T_{stg(max)}$ 其中， $T_{stg(min)} \leq -40^{\circ}\text{C}$ $T_{stg(max)} \geq 150^{\circ}\text{C}$ 高低温保持时间：30min 转换时间 $< 30\text{s}$ 循环次数 ≥ 500 A1、B2、B3 分组测试	6 (0)	6 (0)
C3 分组 振动 终点测试	GB/T 2423.10	每方向 22 小时 A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C4 分组 机械冲击 终点测试	IEC 60068-2-27	峰值加速度： 500m/s^2 振动持续时间：6ms X、Y、Z 每方向振动次数：10 A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C5 分组 跌落试验 终点测试	GB/T 39392	 A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C6 分组 高温栅偏 (HTGB) 终点测试	IEC 60747-8 (MOSFET) IEC 60747-9 (IGBT)	$V_{GS}=20\text{V}$ (MOSFET) $V_{GE}=20\text{V}$ (IGBT) $T_a=T_{j op(max)} \geq 150^{\circ}\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	6 (0)	6 (0)

表3 C组检验 (第 2 页/共 3 页)

分 组	试验方法	试验条件/附加说明	抽样样品数 (接收判定数)	
			鉴定检验	质量一致性 检验
C7 分组 高温反偏 (HTRB) 终点测试	IEC 60747-8 (MOSFET) IEC 60747-9 (IGBT)	$V_{DS} \geq 0.8V_{DS(max)}$ (MOSFET) $V_{CE} \geq 0.8V_{CE(max)}$ (IGBT)/ $T_a = T_{j op(max)} - T_{p loss}$ $T_{j op(max)} \geq 150^\circ\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C8 分组 高温高湿反偏 (H3TRB) / 高加速应力试验 (HAST) 终点测试	IEC 60747-8 (MOSFET) IEC 60747-9 (IGBT)	$V_{DS} \geq 0.8V_{DS(max)}$ (MOSFET) $V_{CE} \geq 0.8V_{CE(max)}$ (IGBT) H3TRB: $85^\circ\text{C}/85\%RH$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ HAST: $130^\circ\text{C}/85\%RH$ 试验时间 $\geq 96\text{h}$ 或 $110^\circ\text{C}/85\%RH$ 试验时间 $\geq 264\text{h}$ A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C9 分组 高温工作寿命 终点测试	JEDEC JESD22-A108	$T_a = T_{j op(max)} \geq 150^\circ\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	6 (0)	6 (0)
C10 分组 功率循环 (秒级) 终点测试	IEC 60749-34	$T_a = 25^\circ\text{C}$ $\Delta T_j \geq 100^\circ\text{C}$, 负载电流 $> 0.85I_{DN}/I_{CN}$ 开通时间 $< 5\text{s}$ 循环次数: 60000 次 冷却液流量恒定 A1、B2 分组测试	6 (0)	6 (0)

表3 C组检验（第3页/共3页）

分 组	试验方法	试验条件/附加说明	抽样样品数（接收判定数）	
			鉴定检验	质量一致性 检验
C11 分组 功率循环（分级） 终点测试	IEC 60749-34	$T_a=25^{\circ}\text{C}$ $\Delta T_j \geq 100^{\circ}\text{C}$ ， 负载电流 $> 0.85 I_{DN}/I_{CN}$ 开通时间 $> 15\text{s}$ 循环周期 $< 6\text{min}$ 循环次数：15000 次 冷却液流量恒定 A1、B2 分组测试	6 (0)	6 (0)

表4 D组检验（仅供鉴定）

分 组	试验方法	试验条件/附加说明	抽样样品数 （接收判定数）
D1 分组 绝缘测试	GB/T 39392	分别测试电气强度、电 气间隙和爬电距离	6 (0)
D2 分组 阻燃试验	GB/T 4937.31	内部阻燃测试	3 (0)
D3 分组 静电放电（ESD） 终点测试	HBM: AEC-Q101-001 CDM: AEC-Q101-005	HBM 模式和 CDM 模式 各测 3 只 IPM A1 分组测试	6 (0)
D5 分组 EMC 测试	GB/T 39392	---	6 (0)
D6 分组 无铅测试	AEC-Q005	---	3 (0)

附 录 A
(规范性附录)
IPM 电性能最低测试要求项

表 A1 IPM 电性能最低测试要求项

序号	参数名称	参数符号
1	击穿电压	BV_{DSS}/BV_{CES}
2	导通电阻/集电极-发射极饱和压降	$R_{DS(ON)}/V_{CE(SAT)}$
3	阈值电压	V_{TH}
4	输入端漏电流	I_{IN}
5	输出端漏电流	I_{OUT}
6	静态电流	I_Q
7	母线电压	V_{PN}
8	控制电压	V_{CC}
9	逻辑输入电压	V_{IN}
10	PWM 载波频率	f_{PWM}

表 A2 IPM 动态电参数

序号	参数名称	参数符号
1	开通延迟时间	$t_{d(on)}$
2	关断延迟时间	$t_{d(off)}$