

团 体 标 准

T/CASA 011.2—2021

车规级半导体功率模块测试认证规范

Test qualification for power modules 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 缩略语.....	2
5 通用要求.....	3
5.1 优先级要求	3
5.2 试验样品	3
5.3 失效判据	3
6 检验方法.....	4
6.1 鉴定检验	4
6.2 质量一致性检验	4
6.3 A 组检验.....	4
6.4 B 组检验.....	5
6.5 C 组检验.....	6
6.6 D 组检验.....	8
附录 A（规范性附录） 静态参数最低测试要求项	9
附录 B（规范性附录） 动态参数最低测试要求项	10

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。

本文件主要起草单位：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、中国科学院电工研究所、中国电子科技集团公司第五十五研究所、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。

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

车规级半导体功率模块测试认证规范

1 范围

本文件规定了车规级半导体功率模块的测试认证要求。

本文件适用于汽车应用的硅基和碳化硅基功率模块的测试认证。

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 2423.10 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动(正弦)

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）

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-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）

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)）

IEC60747-15 半导体器件 分立器件 第 15 部分：单独的功率半导体器件（Semiconductor devices - Discrete devices - Part 15: Isolated power semiconductor devices）

IEC 60749-25 半导体器件 机械和环境试验方法 第 25 部分：温度循环（Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 25: Temperature cycling）

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）

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）

JESD 22 封装器件可靠性试验方法（Reliability test methods for packaged devices）

MIL STD 19500 半导体器件总规范（Semiconductor devices, general specification for）

MIL STD 750 半导体器件试验方法（Test methods for semiconductor devices）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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。

3.2

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。

3.3

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 符号和缩略语

本标准中所使用到的缩略语见表1。

表1 缩略语

缩略语	中文名称
$R_{th(j-c)}$	结-壳热阻
$R_{th(j-a)}$	结-环境热阻
$T_{stg(min)}$	额定最低存储温度
$T_{stg(max)}$	额定最高存储温度
$T_{j op(max)}$	最高工作结温
$T_{p loss}$	漏电产生温升
T_a	环境温度
ΔT_j	结温差
V_{DS}	漏源电压
V_{CE}	集电极-发射极电压
V_{GS}	栅源电压
V_{GE}	门极-发射极电压
I_{DN}/I_{CN}	MOSFET/IGBT 额定导通电流

5 通用要求

5.1 优先级要求

当该标准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) 本标准文件；
- d) 第2章中的引用文件；
- e) 供应商的数据手册。

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

5.2 试验样品

5.2.1 生产要求

所有用于认证的试验样品，其生产厂、生产设备和工艺等技术状态，必须与量产交付的样品保持一致。功率模块中使用的功率半导体芯片需事先通过车规级认证（依据《车规级半导体功率器件测试认证规范》标准开展），认证程序需对外公开并经用户同意。

5.2.2 检验批大小

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。

5.2.3 样品抽取

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。

5.2.4 样品识别

鉴定机构的代表应对需要进行鉴定和质量一致性检验的所有模块进行标记，以便与那些不准备进行鉴定和质量一致性检验的模块区分开，并对样品分组进行区分，用于实验追溯。

5.2.5 样品复用

已被用于非破坏性测试的模块还可用来进行其他认证测试。已被用于破坏性测试的模块，除工程分析外，不得再作他用。

5.3 失效判据

模块完成应力试验后，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并进行失效分析，征得用户同意后可重新选择样品进行该项试验。

- a) 模块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) 在完成含湿度应力的试验后,模块漏电流变化超出初始读数的 10 倍,或不含湿度应力试验后,变化超出初始读数的 5 倍;
- c) 在完成应力试验后,正向导通压降增大超过 5%;
- d) 在完成应力试验后,模块除漏电流和正向导通压降外其他电参数超出初始读数的 $\pm 20\%$;
- e) 在完成应力试验后,模块的热阻增大超过 20%;
- f) 任何由于应力试验导致的外部物理损伤。

6 检验方法

6.1 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。模块应按照国家四组检验的要求开展各项试验。进行C、D组检验的全部样品必须从通过了A组和B组检验的某一批中抽取。

6.2 质量一致性检验

应按照A组、B组和C组检验的要求进行质量一致性检验。如果某一批样品不符合质量一致性检验的要求而被拒收且未被重新提交,则应把它视为一个失效的批次。各批模块都应进行A组和B组检验。一款代表模块完成C组检验,就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。

6.3 A组检验

A组检验主要为模块的电气特性测试。鉴定/质量一致性检验样品需按要求全部进行表1中A1-A4分组测试,一方面对模块的特性进行评估;另一方面,确保无失效的模块进入后续认证试验。后续各项试验后,需选择性的进行A组测试项目,以确定模块试验后是否失效或退化。

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 25℃下的静态测试	IEC60747-8 (MOSFET)	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 最高额定工作温 度下的静态测试	IEC 60747-9 (IGBT)		全部样品 (0)	全部样品 (0)

表1 A组检验（续）

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
A3 分组 最低额定工作温度下的静态测试	IEC60747-8 (MOSFET)	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)
A4 分组 25℃下的动态测试	IEC 60747-9 (IGBT)	至少应包含附录 B 要求的各项参数	全部样品 (0)	全部样品 (0)

6.4 B组检验

B组检验为模块特性表征测试，主要评估模块的应用相关特性。模块特性表征测试是进行后续环境试验和寿命试验的基本前提。

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 热阻测试	AQG324 QC-02	测试 $R_{th(j-c)}$ 或 $R_{th(j-a)}$	15 模块 (0)	6 模块 (0)
B2 分组 短路能力测试	AQG324 QC-03	该测试为验证数据手册/详细规范中规定的短路能力，如果根据手册/规范模块没有短路能力，则省略此测试，并做明确记录。	15 模块 (0)	6 模块 (0)
B3 分组 绝缘测试	AQG324 QC-04	按先后顺序测试绝缘电阻和介电强度。	15 模块 (0)	6 模块 (0)
B4 分组 机械参数测试	AQG324 QC-05	验证模块机械参数是否符合数据手册要求。	15 模块 (0)	6 模块 (0)
B5 分组 互连层测试	X-Ray 或超声扫描检测	记录互连层的质量以及由于空隙、分层或裂纹形成而可能导致的退化。	15 模块 (0)	6 模块 (0)

6.5 C组检验

C组检验为模块环境试验和寿命试验，主要评估模块的应用可靠性和耐久性。该组检验样品需从A组和B组检验合格的批次中随机抽取，各分组试验可并行开展。结构相似模块的C组检验结果可相互替代，可不重复进行C组检验。

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 热冲击试验 终点测试	IEC 60749-25	必须在双室系统中进行 温度范围： $T_{stg(min)} - T_{stg(max)}$ 其中， $T_{stg(min)} \leq -40^{\circ}\text{C}$ Si 基： $T_{stg(max)} \geq 150^{\circ}\text{C}$ SiC 基： $T_{stg(max)} \geq 175^{\circ}\text{C}$ 高低温保持时间：15~30min 转换时间<30s 循环次数 ≥ 1000 A1、B1、B5 分组测试	6 模块 (0)	6 模块 (0)
C2 分组 振动 终点测试	GB/T 2423.10	每方向 22 小时 A1 分组测试	6 模块 (0)	6 模块 (0)
C3 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 模块 (0)	6 模块 (0)
C4 分组 低温存储 终点测试	JEDEC JESD-22 A119	$T_a = T_{stg(min)} \leq -40^{\circ}\text{C}$ 时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (0)
C5 分组 功率循环（秒级） 终点测试	IEC 60749-34	$T_a = 25^{\circ}\text{C}$ Si 基： $\Delta T_j \geq 100^{\circ}\text{C}$ ， SiC 基： $\Delta T_j \geq 125^{\circ}\text{C}$ 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、B6 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (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
C6 分组 功率循环 (分级) 终点测试	IEC 60749-34	$T_a=25^{\circ}\text{C}$ Si 基: $\Delta T_j \geq 100^{\circ}\text{C}$, SiC 基: $\Delta T_j \geq 125^{\circ}\text{C}$ 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、B6 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (0)
C7 分组 高温反偏 (HTRB) 终点测试	IEC 60747-8 (MOSFET) IEC 60747-9 (IGBT)	$V_{DS} \geq 0.8 V_{DS(\text{max})}$ (MOSFET) $V_{CE} \geq 0.8 V_{CE(\text{max})}$ (IGBT)/ $T_a = T_{j\text{op}(\text{max})} - T_{p\text{loss}}$ 其中, Si 基: $T_{j\text{op}(\text{max})} \geq 150^{\circ}\text{C}$, SiC 基: $T_{j\text{op}(\text{max})} \geq 175^{\circ}\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (0)
C8 分组 正向高温栅偏 (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) $T_a = T_{j\text{op}(\text{max})}$ 其中, Si 基: $T_{j\text{op}(\text{max})} \geq 150^{\circ}\text{C}$, SiC 基: $T_{j\text{op}(\text{max})} \geq 175^{\circ}\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (0)
C9 分组 反向高温栅偏 (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) $T_a = T_{j\text{op}(\text{max})}$ 其中, Si 基: $T_{j\text{op}(\text{max})} \geq 150^{\circ}\text{C}$, SiC 基: $T_{j\text{op}(\text{max})} \geq 175^{\circ}\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A1 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (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
C10 分组 高温高湿反偏 (H3TRB) 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) 85℃/85%RH 试验时间 $\geq 1000h$ A1 分组测试	72 芯片 (0) 不少于 6 个 模块	6 模块 (0)

6.6 D 组检验

仅新研模块首次鉴定检验时需进行 D 组检验。该组检验样品需从 A 组和 B 组检验合格的批次中随机抽取，各分组试验可并行开展。

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 寄生电感测试	IEC60747-15	双脉冲测试	6 模块 (0)
D2 分组 阻燃试验	GB/T 4937.31	内部阻燃测试	3 模块 (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 只模块 A1 分组测试	6 模块 (0)
D4 分组 无铅测试	AEC-Q005		3 模块 (0)

附 录 A
(规范性附录)
静态参数最低测试要求项

表 A.1 MOSFET 静态参数

序号	参数名称	参数符号
1	漏源击穿电压	BV_{DSS}
2	阈值电压	$V_{GS(TH)}$
3	导通电阻	$R_{DS(ON)}$
4	二极管正向电压	V_{SD}
5	零栅压漏电流	I_{DSS}
6	正向栅源漏电流	I_{GSS+}
7	反向栅源漏电流	I_{GSS-}

表 A.2 IGBT 静态参数

序号	参数名称	参数符号
1	集电极-发射极击穿电压	BV_{CES}
2	阈值电压	$V_{GE(TH)}$
3	集电极-发射极饱和电压	$V_{CE(SAT)}$
4	二极管正向电压	V_F
5	集电极-发射极截止电流	I_{CES}
6	正向栅极-发射极漏电流	I_{GES+}
7	反向栅极-发射极漏电流	I_{GES-}

附录 B
(规范性附录)
动态参数最低测试要求项

表 B.1 MOSFET&IGBT 动态参数

序号	参数名称	参数符号
1	开通延迟时间	$t_{d(on)}$
2	上升时间	t_r
3	关断延迟时间	$t_{d(off)}$
4	下降时间	t_f
5	栅电荷	Q_G
6	反向恢复时间	t_{rr}
7	反向恢复电流	I_{rr}
8	反向恢复电荷	Q_{rr}