

团 体 标 准

T/CASA 011.1—2021

车规级半导体功率器件测试认证规范

Test qualification for power devices 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.....	1
4 缩略语.....	2
5 通用要求.....	2
5.1 优先级要求	2
5.2 试验样品	3
5.3 失效判据	3
6 检验方法.....	3
6.1 鉴定检验	3
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.....	7
6.6 D 组检验.....	8
附 录 A.....	10
附 录 B.....	12

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、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、株洲中车时代电气股份有限公司、厦门市三安集成电路有限公司、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、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、孙博韬、胡惠娜、文字、刘敏安、鲁华城、柏松、张瑾、李金元、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半导体功率器件的测试认证要求。

本文件适用于汽车应用的硅基和碳化硅基半导体功率器件的测试认证。

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 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）

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

IEC 60747-2 半导体器件 第 2 部分：分立器件 整流二极管（Semiconductor devices – Part 2: Discrete devices – Rectifier diodes）

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

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

结构相似器件 structurally similar devices

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器件。

3.4

检验批 inspection lot

采用相同原材料、设计准则和相同工艺、封装条件生产，用于进行鉴定检验或质量一致性检验样品抽样的器件批次。

4 缩略语

本文件中所使用到的缩略语见表1。

表 1 试验缩略语

缩略语	英文全称	中文名称
HTRB	High Temperature Reverse Bias	高温反偏
SSOP	Steady State Operational	稳态工作寿命
HTGB	High Temperature Gate Bias	高温栅偏
TC	Temperature Cycling	温度循环
HAST	Highly Accelerated Stress Test	高加速应力试验
H3TRB	High Humidity High Temperature Reverse Bias	高温高湿反偏
IOL	Intermittent Operational Life	间歇工作寿命
ESD	Electro-Static discharge	静电放电
DPA	Destructive Physical Analysis	破坏性物理分析

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) 单独商定的器件规范；
- 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。

本文件认证合格的器件，采购订单或单独商定的器件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，其生产厂及其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。

5.2.2 检验批要求

鉴定检验批由具备相同技术状态的三个连续生产批器件构成，质量一致性检验批由通过鉴定检验后的某一生产批器件构成。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器件以便提供追加样品。

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器件进行标记，以便与那些不准备进行鉴定和质量一致性检验的器件区分开，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器件还可用来进行其他认证测试。已被用于破坏性测试的器件，除工程分析外，不得再作他用。

5.3 失效判据

器件完成应力试验后，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) 器件静态电参数超出产品数据手册或详细规范规定的合格要求范围，静态电参数测试至少应包含附录 A 规定的项目；
- b) 在完成应力试验后，器件除漏电流外的电参数超出初始读数的 $\pm 20\%$ ；
- c) 在完成含湿度应力的试验后，器件漏电流超出初始读数的 10 倍，或不含湿度应力试验后，漏电流超出初始读数的 5 倍；
- d) 任何由于应力试验导致的外部物理损伤。

6 检验方法

6.1 鉴定检验

鉴定检验项目按不同的目的和应力类型共分为 A、B、C、D 四组检验，具体规定分别如表 2—表 5 所示。新研器件应按照 A 组、B 组、C 组和 D 组检验的要求开展各项试验与测试，进行 B 组、C 组、D 组试验

的全部样品应从通过A1~A5分组检验的样品中抽取。在各分组试验中,未经特殊说明,终点测试均指A2分组常温静态电参数测试。

6.2 质量一致性检验

质量一致性检验只需进行A组、B组和C组三组检验。已通过鉴定产品的后续生产批次器件应按照A组、B组和C组检验的要求开展各项试验与测试。进行B组、C组试验的全部样品应从通过A1~A5分组检验的样品中抽取。在各分组试验中,未经特殊说明,终点测试均指A2分组常温静态电参数测试。各批器件都应进行A组和B组检验,若某款代表器件完成C组检验,则说明其结构相似器件满足C组要求。承制方对结构相似器件是否重复进行C组检验可与与鉴定机构进行协商。如果承制方决定结构相似器件不重复进行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

每个鉴定或质量一致性检验批器件都应按表2和有关详细规范的规定进行A组检验,A组检验由外观检查和电性测试组成。如果检验批由若干个子批组成,则每个子批都应按规定通过A组检验。A6、A7分组检验样品需从通过A1~A5检验的样品中抽取。

表2 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 外观检查	JESD22 B-101	—	全部样品 (0)	45 (0)
A2 分组 25℃下的静态测试	二极管: IEC 60747-2 MOSFET: IEC60747-8 IGBT: IEC 60747-9	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)
A3 分组 最高额定工作温度下的静态测试				
A4 分组 最低额定工作温度下的静态测试				
A5 分组 25℃下的动态测试	二极管: IEC 60747-2 MOSFET: IEC60747-8 IGBT: IEC 60747-9	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)

表2 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
A6 分组 浪涌电流 终点测试	GJB-128A 方法 4066	仅适用二极管 A2 分组测试	22 (0)	22 (0)
A7 分组 雪崩测试 终点测试	AEC-Q101-004 章节 2	仅适用于 MOSFET 和 IGBT A2 分组测试	22 (0)	22 (0)

6.4 B组检验

每个鉴定和质量一致性检验批器件都应按照表3和有关详细规范的规定进行B组检验。B组检验主要包括模拟器件实际应用应力状态的各类试验,每个分组内的所有试验项目应按规定顺序进行,不同分组试验可以并行开展。鉴定检验各分组试验需要样品为3个连续批器件,每批器件数量77只。

表3 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 温度循环 终点测试	JESD22 A-104 附录 6	循环次数 ≥ 1000 次 高、低温保持时间 $\geq 10\text{min}$ 每小时循环: 1~2 次 Si 基: $-55\sim 150^{\circ}\text{C}$ SiC 基: $-55\sim 175^{\circ}\text{C}$ A2 分组测试	77 \times 3 批 (0)	22 (0)
B2 分组 间歇工作寿命 终点测试	GJB-128A 方法 1037、1042	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ Si 基: $\Delta T_j \geq 100^{\circ}\text{C}$ SiC 基: $\Delta T_j \geq 125^{\circ}\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ 每循环 $\geq 2\text{min}$ 仅在关断期间允许辅助(强迫)冷却 A2 分组测试	77 \times 3 批 (0)	22 (0)

表3 B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
B3 分组 稳态工作寿命 终点测试	GJB 128A 方法 1027、1042	Si 基: $T_j=150^{\circ}\text{C}$, SiC 基: $T_j=175^{\circ}\text{C}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A2 分组测试	77×3 批 (0)	22 (0)
B4 分组 正向高温栅偏 (HTGB+) 终点测试	JESD22 A-108	仅适用于 MOSFET 和 IGBT Si 基: $T_A=150^{\circ}\text{C}$ SiC 基: $T_A=175^{\circ}\text{C}$ $V_{GS}=20\text{V}/V_{GE}=20\text{V}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A2 分组测试	77×3 批 (0)	22 (0)
B5 分组 反向高温栅偏 (HTGB-) 终点测试	JESD22 A-108	仅适用于 MOSFET 和 IGBT Si 基: $T_A=150^{\circ}\text{C}$ SiC 基: $T_A=175^{\circ}\text{C}$ $V_{GS}=-20\text{V}/V_{GE}=-20\text{V}$ 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A2 分组测试	77×3 批 (0)	22 (0)
B6 分组 高温反偏(HTRB) 终点测试	GJB 128A 方法 1042	Si 基: $T_A=150^{\circ}\text{C}$ SiC 基: $T_A=175^{\circ}\text{C}$ 反向偏压=额定击穿电压 试验时间 $\geq 1000\text{h}$ A2 分组测试	77×3 批 (0)	22 (0)
B7 分组 高加速应力试验 (HAST) 或 高温高湿反偏 (H3TRB) 终点测试	JESD22 A-110 或 JESD22 A-101	HAST: 96h, $T_A=130^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$ 或 264h, $T_A=110^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$, 反向偏压=80%额定击穿电 压 H3TRB: 1000h, $T_A=85^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$, 反向偏压=80%额定击穿电 压 A2 分组测试	77×3 批 (0)	22 (0)

6.5 C组检验

C组检验主要为器件机械结构等相关性能检验，该组检验应符合表4和相关详细规范要求。该组检验仅适用于符合并通过A1~A5分组检验要求且标记完整的器件，各分组试验可并行开展。C5分组样品可直接从完成B1试验的样品中抽取。

表4 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 物理尺寸	JESD22 B-100	按规定管壳外形尺寸	15 (0)	6 (0)
C2 分组 可焊性	JESD22 B102	放大 50 倍，对直插器件采用 A 测试方法，对表贴器件采用测试方法 B 和 D	15 引线/电极 (0)	6 引线/电极 (0)
耐溶剂性	JESD22 B-107	验证标识永久性(不适用于激光标识器件)		
C3 分组 引线强度	GJB 128A 方法 2036	仅适用于有引线的器件	15 引线 (0)	6 引线 (0)
C4 分组 耐焊接热 终点测试	JESD22 A-111(SMD) B-106(PTH)	A2 分组测试	15 (0)	6 (0)
C5 分组 温度循环	JESD22 A-104 附录 6	循环次数≥1000 次 高、低温保持时间≥10min 每小时循环：1~2 次 Si 基：-55~150℃， SiC 基：-55~175℃		
分层	JESD22 A-104 附录 6		6 (0)	6 (0)
键合强度	GJB128A 方法 2037			
芯片剪切强度	GJB128A 方法 2017			

表4 C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
C6 分组 稳态热阻	JESD24-3,24-4,24-6		22 (0)	6 (0)
C7 分组 冲击	JESD22 B-104	在 X1、Y1 和 Z1 每个方向各冲击 5 次, 14700m/s ² , 0.5ms	22 (0)	6 (0)
扫频振动	JESD22 B-103	采用恒定位移 0.06inch(2倍振幅)频率 20~100Hz 和 50g 恒定峰值加速度频率 100~2000Hz		
恒定加速度	GJB128A 方法 2006	仅做 Y1 方向, 15kg 力		
终点测试		A2 分组		

6.6 D组检验

仅新研产品首次鉴定检验时需进行D组检验。该组检验仅适用于符合并通过A1~A5分组检验要求的器件,其中D1分组检验样品需从通过B1和B6分组检验的样品中随机抽取。各分组试验可并行开展。

表5 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 破坏性物理分析(DPA)	AEC-Q101-004 章节 4	从通过 H3TRB、HAST &TC 试验的样品中随机抽取	3 (0)
D2 分组 静电放电(ESD)	AEC-Q101-001 AEC-Q101-005	1 (HBM) 2 (CDM)	3 (0) 3 (0)
终点测试		A2 分组测试	
D3 分组 无铅测试	AEC-Q005	—	6 (0)

表 5 D 组检验（仅供鉴定）（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）
D4 分组 阻燃试验	GB/T 4937.31	内部阻燃测试	3（0）

附 录 A
(规范性附录)
静态参数最低测试要求项

表 A.1 二极管静态参数

序号	参数名称	参数符号
1	反向击穿电压	V_R
2	正向电压	V_F
3	反向漏电流	I_R

表 A.2 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.3 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	$V_{GE(TH)}$

表 A.3 IGBT 静态参数 (续)

序号	参数名称	参数符号
1	集电极-发射极饱和电压	$V_{CE(SAT)}$
2	二极管正向电压	V_F
3	集电极-发射极截止电流	I_{CES}
4	正向栅极-发射极漏电流	I_{GES+}
5	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 二极管动态参数

序号	参数名称	参数符号
1	结电容	C
2	反向恢复时间	t_{rr}
3	反向恢复电流	I_{rr}
4	反向恢复电荷	Q_{rr}

表 B.2 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}