

T/CASME

团 体 标 准

T/CASME XXXX—XXXX

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFETs) 高温栅极恒定偏置应力和 交替偏置应力试验方法

High temperature gate constant bias and alternating bias test method for silicon carbide metal oxide semiconductor field effect transistors (SiC MOSFETs)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国中小商业企业协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本要求	2
5 技术要求	2
6 试验方法	2
7 失效判定规则	8
8 试验报告	8

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专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由××××归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFETs）高温栅极恒定偏置应力和交替偏置应力试验方法

1 范围

本文件规定了碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）高温栅极恒定偏置应力和交替偏置应力的基本要求、技术要求、试验方法、失效判定规则和试验报告。

本文件适用于碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）分立器件和功率模块。

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 4586 半导体器件 分立器件 第8部分：场效应晶体管

3 术语和定义

GB/T 4586 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

栅-源电压 gate-source voltage (V_{GS})

器件的栅极和源极之间的电压。

3.2

最大栅-源电压 gate-source voltage maximum [$V_{GS(MAX)}$]

器件的栅极和源极之间允许最大的电压。

3.3

最小栅-源电压 gate-source voltage minimum [$V_{GS(MIN)}$]

器件的栅极和源极之间允许最小的电压。

3.4

漏-源电压 drain-source voltage (V_{DS})

器件的漏极和源极之间的电压。

3.5

漏-源反向电压 drain-source reverse voltage (V_{SD})

器件的源极和漏极之间的电压。

3.6

栅极漏电流 gate leakage current (I_{GSS})

漏极-源极短路时，栅-源电压达到最大的条件下对应栅极电流的最大值。

3.7

漏极漏电流 drain leakage current (I_{DSS})

在漏-源电压达到规定的电压值，栅-源电压达到规定条件下，对应漏极电流的最大值。

3.8

栅-源阈值电压 gate-source threshold voltage [$V_{GS(th)}$]

漏极电流值达到规定低值时的栅-源电压。

3.9

漏-源极导通电阻 drain-source on-state resistance [$R_{DS(on)}$]

在规定的栅-源电压、漏极电流以及芯片结温下的漏极-源极之间的阻值。

3.10

击穿电压 breakdown voltage (drain to source) (V_{BR})

在规定的栅-源电压条件下，漏极电流达到规定低值时的漏极-源极电压。

3.11

环境温度 ambient temperature (T_a)

测试环境参考点测得的温度。

3.12

结温 junction temperature (T_j)

器件中主要发热部分的半导体结的温度。

3.13

虚拟结温 virtual junction temperature (T_{vj})

通过间接手段测量得到的器件结温。

3.14

电源-测量单元 source measurement unit (SMU)

使用电压源/电流源提供精确的电压/电流，并可同步测量电流/电压的设备。

4 基本要求

除另有规定外，所有实验室环境温度应为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度应为25%~75%、大气压条件应为86 kPa~100 kPa；试验环境温度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，试验电压 $\pm 2\%$ 。试验期间，环境条件应为无影响结果准确性的机械振动和电磁干扰。

5 技术要求

试验仪器和设备应满足下列要求：

- a) 试验仪器应经过检定、校准合格，并在计量有效期内；
- b) 试验仪器的精度应满足试验要求；
- c) 试验仪器、设备应良好接地；
- d) 试验所用电源的电源电压、纹波及电源噪声电平等应满足被测器件的要求。

6 试验方法

6.1 规定条件

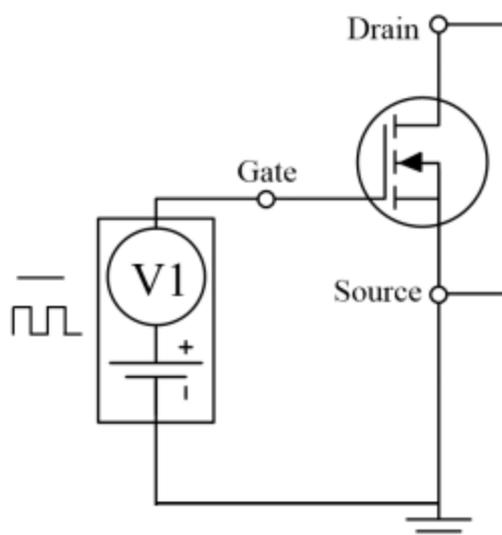
试验应规定以下内容：

- a) 试验样品数量；
- b) 特殊预处理（适用时）；
- c) 试验电应力条件；
- d) 试验时间；
- e) 试验温度；
- f) 试验前后的测量参数；
- g) 阈值电压测试方法和条件。

6.2 电路图

6.2.1 试验电路

栅极偏置电路见图1。V1可在恒定栅极偏置试验中监测样品的栅极漏电流，同时电源还可输出交流方波满足交替偏置应力的试验需求，在栅极偏置电路中器件漏极与源极处于短接状态。

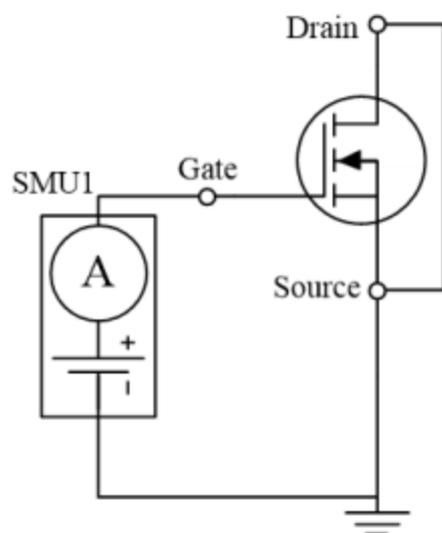


标引序号说明：
V1——带有电流表的电压源。

图1 栅极偏置试验电路示意图

6.2.2 栅-源阈值电压测试栅极预偏置电路

栅-源阈值电压测试栅极预偏置电路见图2，在栅极预偏置电路中器件漏极与源极短接。



标引序号说明：
SMU1——带有电流表的直流电压源。

图2 阈值电压测试栅极偏置电路示意图

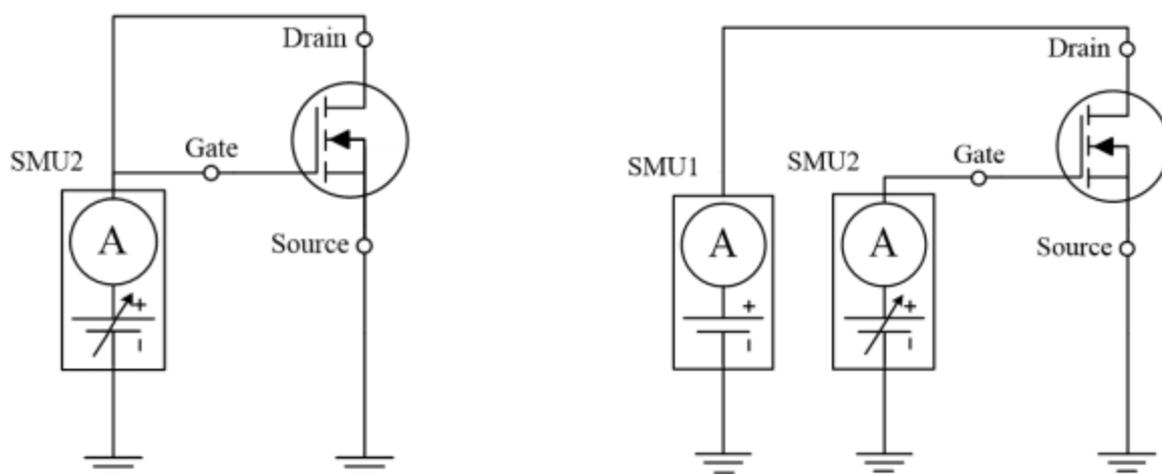
6.2.3 栅-源阈值电压测试电路

6.2.3.1 单电压源扫描法测试电路流程见图3 a)，SMU2 可实时读取电压和电流，对于电压扫描和电流源测试法可作为阈值电压测试方法。

6.2.3.2 栅极预偏置电路和阈值电压测试电路之间能进行电气切换，并能按图4和图5所示的时序向被测器件的栅极和漏极施加预偏置电压和测试电压，阈值电压的单电源测试方法可采用此电路。

6.2.3.3 双电压源扫描法测试电路流程见图3 b)，SMU1 与 SMU2 应保持时序同步。

6.2.3.4 栅极预偏置电路和阈值电压测试电路之间能进行电气切换，并按如图6所示的时序向被测器件的栅极和漏极施加预偏置电压和测试电压，阈值电压的双电源测试方法可采用此电路。



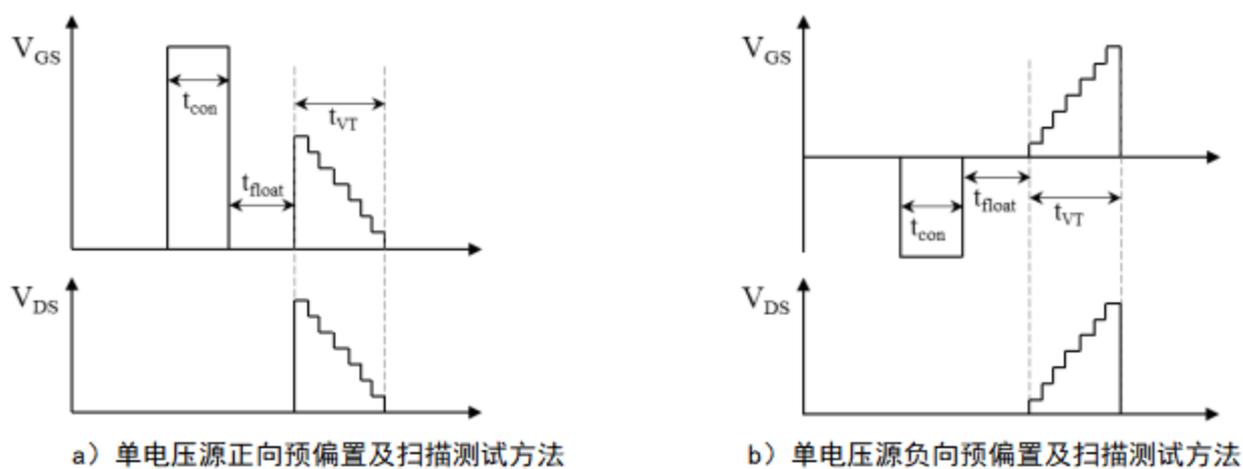
a) 单电压源测试电路

b) 双电压源测试电路

标引序号说明：

SMU1——带有电流表的直流电压源；

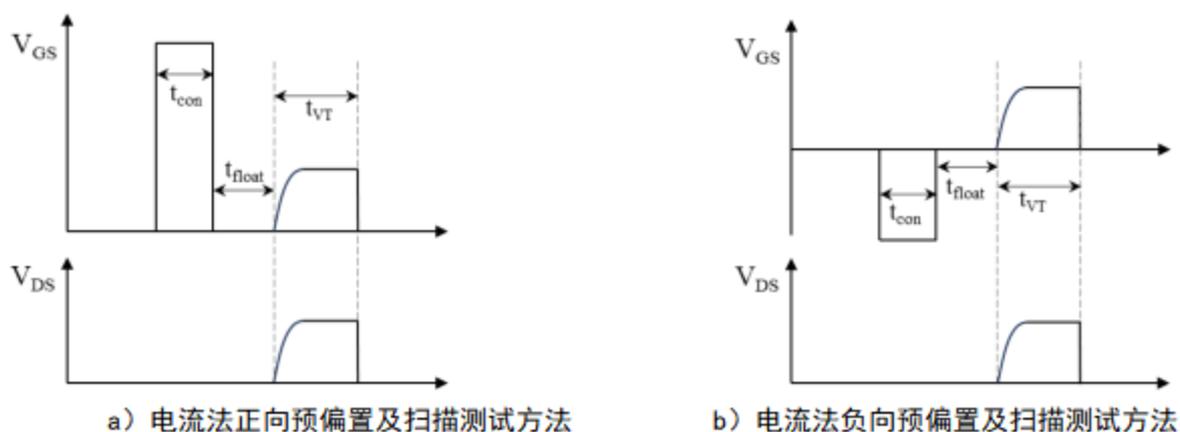
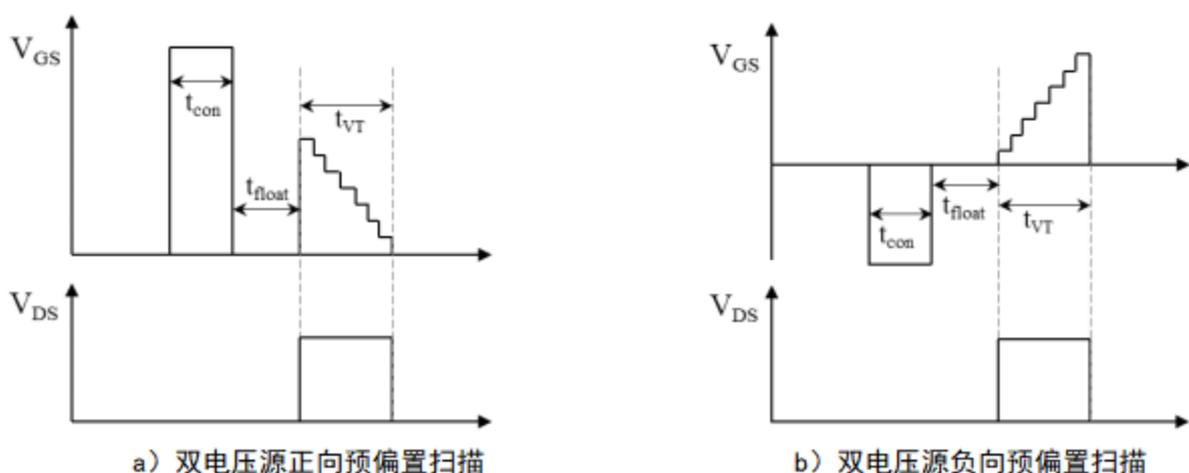
SMU2——带有电流表的可变直流电压源。

图3 $V_{GS(th)}$ 测试电路

a) 单电压源正向预偏置及扫描测试方法

b) 单电压源负向预偏置及扫描测试方法

图4 单电压源 $V_{GS(th)}$ 测试方法

图5 单电压源电流法 $V_{GS(th)}$ 测试方法

注：推荐栅极预偏置时间 t_{con} 可取 $1\text{ ms} \sim 100\text{ ms}$ 之间；间隔时间宜满足 $t_{float} < 50\text{ ms}$ ；阈值电压测试时间应使栅极电压达到稳定值并尽量短，宜满足 $t_{VT} < 100\text{ ms}$ ；

图6 双电压源 $V_{GS(th)}$ 测试方法

6.3 试验程序

高温栅极偏置应力试验流程如图7所示，具体流程如下：

- 样品选取：应选取电性能应符合产品要求，且外观无异常的产品作为试验样品；
- 初始测试：在试验前，需要对器件的电参数进行测试和记录，包括 $V_{GS(th)}$ 、正反向 I_{GSS} 、 I_{DSS} 、 $R_{GS(on)}$ 、 V_{SD} 、 V_{BR} 等。其中， $V_{GS(th)}$ 测试应选择 6.2.3 中的其中一种测试方法作为初始阈值电压的测试，其中，宜采用 $V_{GS(th)}$ 和 $V_{GS(th)}$ 作为预偏置栅压，测试前后应保证样品的外观不发生明显变化；
- 样品装载：将 SiC MOSFET 试验样品安装在对应封装形式的试验夹具上，应使样品电气端子与试验夹具具有良好的电气连接和环境（散热器）的良好接触，应避免在试验过程中因试验应力原因导致热电接触异常；
- 应力偏置：根据试验的要求设置试验环境温度 T_a （使得芯片结温 T_J 为要求值）和栅极偏置电源的输出恒定电压或正负交替电压，试验电路如图 1 所示，试验应力条件参考表 1，需要注意的是，当温度应力和电压应力均达到试验要求的时刻作为试验的起始时间；
- 应力移除：当试验达到中间测试时间或终点测试时间 t_{test} 时，先将试验环境（样品）温度降至室温，降温过程中栅极应保持试验偏置电应力，样品降至室温后移除偏置电应力；

- f) 测试：在中间测试或终点测试节点，对试验样品的电参数 $V_{GS(th)}$ 、正反向 I_{GSS} 、 I_{DSS} 、 $R_{GS(on)}$ 、 V_{GD} 、 V_{BS} 等进行测试，其中， $V_{GS(th)}$ 的测试条件包括预偏置电压、预偏置时间、测试间隔、测试时间、测试电流等条件均需要与初始测试的条件一致。正向恒定栅极偏置试验及单电源扫描法 $V_{GS(th)}$ 测试时序如图 8 所示。负向恒定栅极偏置试验及单电源扫描法 $V_{GS(th)}$ 测试时序如图 9 所示。交替栅极偏置试验及单电源扫描法 $V_{GS(th)}$ 测试时序如图 10 所示。若采用其他测试方法，阈值电压的测试时序可参考图 5 和图 6。电参数的测试需要在移除偏置条件的 96 小时内完成，如在 96 小时内未完成测试，样品在测试前需要补充相应时间的应力后再进行测试，需补充的应力时间要求如表 2 所示。

注：阈值电压 $V_{GS(th)}$ 的测试温度应与初测时的温度应保持在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内

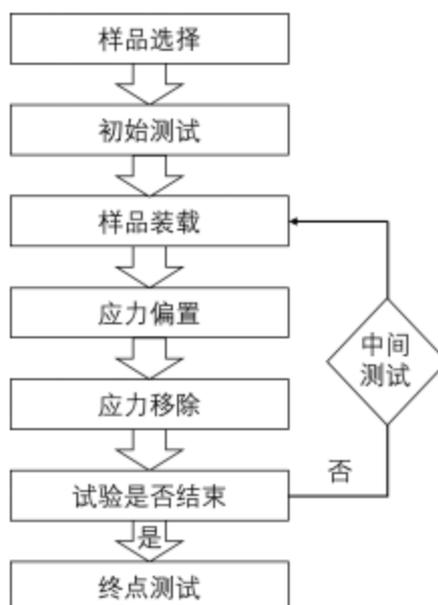


图 7 SiC MOSFET 高温栅极偏置应力试验流程图

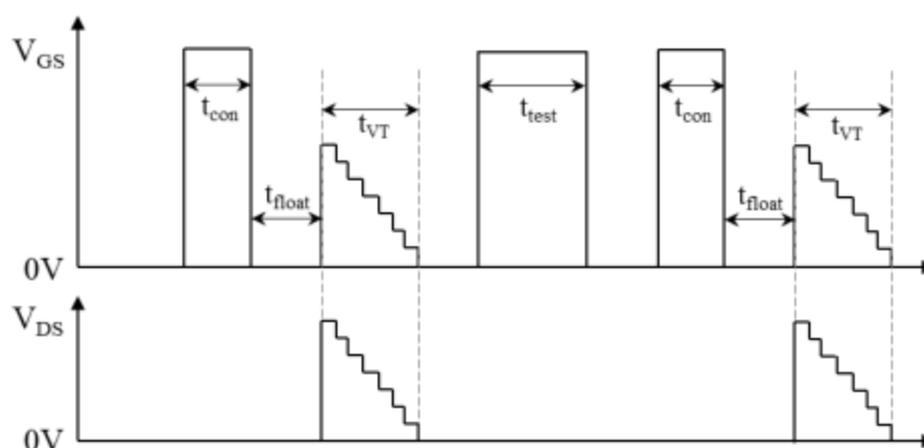


图 8 正向恒定栅极偏置试验和单电源扫描法 $V_{GS(th)}$ 测试时序示意图

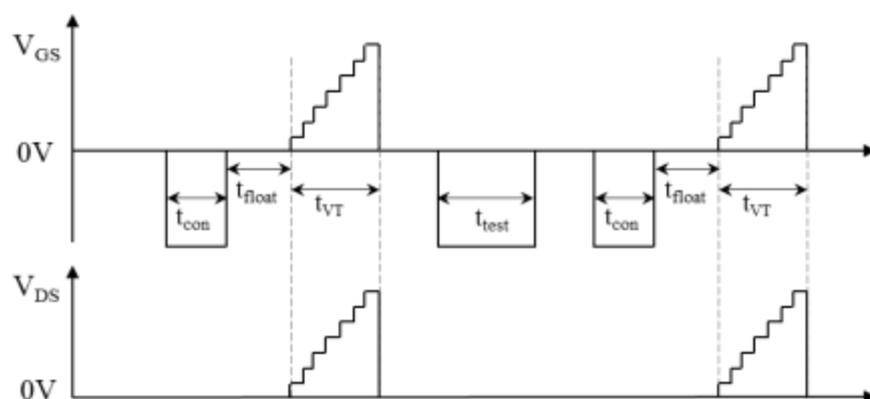
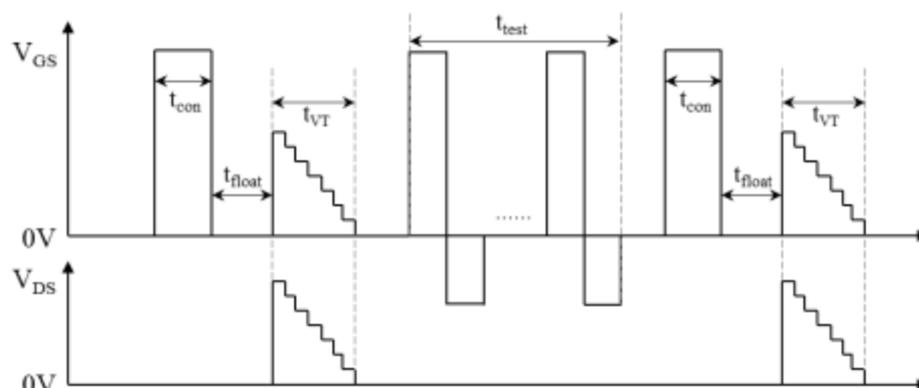
图9 负向恒定栅极偏置试验和单电源扫描法 $V_{GS(th)}$ 测试时序示意图图10 交替栅极偏置试验和单电源扫描法 $V_{GS(th)}$ 测试时序示意图

表1 推荐高温栅偏试验条件要求

试验条件参数	正向恒定偏置应力要求	负向恒定偏置应力要求	交替偏置应力要求
试验时间 (t)	$t \geq 1000h$	$t \geq 1000h$	$t \geq 10^6$ 循环
试验温度 (T)	$T = T_{vj} = T_{j0(MAX)}$	$T = T_{vj} = T_{j0(MAX)}$	$T = T_{vj} = T_{j0(MAX)}$
漏源电压 (V_{DS})	$V_{DS} = 0V$	$V_{DS} = 0V$	$V_{DS} = 0V$
栅极电压 (V_{GS})	$V_{GS(MAX)}$	$V_{GS(MIN)}$	$V_{GS(MAX)}$ 和 $V_{GS(MIN)}$
栅极电压范围 (V_{GS})	—	—	$V_{GS(MIN)} - 0.5V \leq V_{GS} \leq V_{GS(MAX)} + 0.5V$
工作频率 (f)	—	—	$f \geq 25kHz$
占空比 (D)	—	—	40%~60%

表2 超出 96h 后需额外增加的应力要求

试验后超出96h的时间t (h)	$0 < t \leq 168$	$168 < t \leq 336$	$336 < t \leq 504$	其他
测试前需增加的应力时间 (h)	24	48	72	超出96h后每168h增加24h

7 失效判定规则

样品完成终点测试后,任何因试验而造成样品的外观出现物理损坏或任意参数的变化率符合失效判据要求则判定为失效,具体判定依据如表3所示。

表 3 高温栅极偏置应力试验失效判据表

参数	符号	失效判据-试验前后参数变化率
栅源阈值电压	$V_{GS(th)}$	>20%
漏源导通电阻	$R_{DS(on)}$	>20% (初始值>2.5 m Ω) >0.5 m Ω (初始值<2.5 m Ω)
漏源反向电压	V_{SD}	>5%
击穿电压	V_{BR}	>20%
漏源漏电流	I_{DSS}	>50 nA (初始值<10 nA) >500% (初始值 \geq 10 nA)
栅源漏电流	I_{GSS+}	
	I_{GSS-}	

注：若上述参数试验后超出产品规定值的上下限，也判定为失效。

8 试验报告

试验结束应提供试验报告,其中记录的信息应当包含:

- 试验样品数量;
- 特殊预处理(适用时);
- 试验电应力条件;
- 试验时间;
- 试验温度;
- 试验前后的测量参数;
- 阈值电压测试的方法和条件。