



团 体 标 准

T/CASAS 046—2025

代替 T/CASAS 046—2024

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 动态反偏(DRB) 试验方法

Dynamic reverse bias (DRB) test method for silicon carbide metal-oxide semiconductor field effect transistor (SiC MOSFET)

2025 - 12 - 30 发布

2025 - 12 - 30 实施

目 次

前言..... II

引言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 原理..... 2

5 试验条件..... 2

6 仪器设备..... 2

7 样品..... 3

8 试验步骤..... 3

 8.1 试验流程..... 3

 8.2 初始值测量..... 3

 8.3 施加应力..... 3

 8.3.1 应力条件..... 3

 8.3.2 应力波形..... 4

 8.4 撤除应力..... 5

 8.5 中间测量或终点测量..... 5

9 试验数据处理..... 5

10 试验报告..... 6

附 录 A （资料性） SiC MOSFET 动态反偏试验记录表..... 7

参考文献..... 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。

本文件代替T/CASAS 046—2024《碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）动态反偏(DRB)试验方法》（2024年11月19日发布）。

本文件与T/CASAS 046—2024相比，除编辑性修改外主要技术差异如下：

——修订了“表1 动态反偏应力条件”，并区分模块级和单管级分别给出试验条件。

——“8.3.2 应力波形”中漏源极电压变化速率 $10\%V_{DS} \sim 90\%V_{DS}$ 的平均变化速率”修订“ $40\%V_{DS} \sim 60\%V_{DS}$ 的平均变化速率”。删除“栅源极电压变化速率应不小于1 V/ns（ $10\%V_{GS} \sim 90\%V_{GS}$ 的平均变化速率）”的要求。

——“8.5 中间测量或终点测量”中阈值电压测试方法参考“JEP183”修订为参考“T/CASAS 021”。

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。

本文件由第三代半导体产业技术创新战略联盟（CASA）制定发布，版权归CASA所有，未经CASA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CASA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：工业和信息化部电子第五研究所、忱芯科技（上海）有限公司、中国科学院电工研究所、比亚迪半导体股份有限公司、清纯半导体(宁波)有限公司、复旦大学宁波研究院、东风汽车集团有限公司、深圳平湖实验室、湖北九峰山实验室、深圳市禾望电气股份有限公司、中国电力科学研究院有限公司、广东芯聚能半导体有限公司、中国第一汽车集团有限公司、广电计量检测集团股份有限公司、西安交通大学、合肥功立德半导体科技有限公司、江苏第三代半导体研究院有限公司、泰科天润半导体科技（北京）有限公司、芯迈半导体技术（杭州）股份有限公司、广东省东莞市质量监督检测中心、北京第三代半导体产业技术创新战略联盟。

本文件主要起草人：陈媛、何亮、施宜军、毛赛君、陈兴欢、路国光、来萍、赵鹏、王宏跃、蔡宗棋、张瑾、吴海平、孙博韬、丁琪超、左元慧、张俊然、李钾、朱贤龙、王民、胡浩林、曾威、袁俊、谢峰、杨霏、刘昌、朱占山、暴杰、李汝冠、孙钦华、王来利、张彤宇、池源、王铁羊、刘陆川、赵高锋、胡惠娜、郭俊、李本亮、高伟。

本文件于2024年首次发布，本次为第一次修订。

引 言

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）具有阻断电压高、工作频率高、耐高温能力强、通态电阻低和开关损耗小等特点，广泛应用于高频、高压功率系统中。随着电力电子技术的不断发展，越来越多的领域如航天、航空、石油勘探、核能、通信等，迫切需要能够在高温、高频等极端环境下工作的电子器件。

由于SiC MOSFET在功率变换中常面临高压、高频、高温等复杂应力条件，其终端充放电效应，在开关性能明显优于Si器件的SiC器件中更为突出，为了验证终端的可靠性不会因器件导通和关断引起的电场强度持续变化而受到影响，有必要对SiC MOSFET在开关动态情况下的反偏可靠性进行评估。本文件给出了适用于SiC MOSFET器件的动态反偏(DRB)试验方法。

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 动态反偏 (DRB) 试验方法

1 范围

本文件描述了碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 的动态反偏 (DRB) 试验方法。
本文件适用于 SiC MOSFET 分立器件和功率模块评估高 dV/dt 对芯片内部结构快速充电导致的老化评价。

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

T/CASAS 021 碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 阈值电压测试方法

3 术语和定义

GB/T 4586界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态反偏 dynamic reverse bias; DRB
漏源电压快速开通和关断偏置。

3.2

漏源电压上升速率 rate of change of drain-source voltage
 dV_{DS}/dt
漏源电压上升沿的变化速率。

3.3

开态栅极电压 on-state gate-source voltage
 $V_{GS,ON}$
器件导通的栅极电压。

3.4

关态栅极电压 off-state gate-source voltage
 $V_{GS,OFF}$
器件关断的栅极电压。

3.5

推荐最大栅极电压 recommended maximum gate-source voltage
 $V_{GS,max,com}$
器件推荐的最大栅极电压。

3.6

推荐最小栅极电压 recommended minimum-gate source voltage
 $V_{GS,min,com}$
器件推荐的最小栅极电压,

注:推荐的最小栅极电压应保证器件关断。

4 原理

动态反偏试验可采用两种方式：被动模式或主动模式，试验电路图分别如图1和图2所示。 V_{GS} 电压源是在样品上施加栅源电压的源， V_{DS} 电压源是在样品上施加漏源电压的源。被动模式下漏源极电压重复快速开通和关断，栅极电压保持不变。主动模式下，DUT1为被测器件时,DUT2作为陪测器件，DUT1和DUT2的漏源电压和栅源电压交替开通和关断。同样，DUT2为被测器件时,DUT1作为陪测器件。

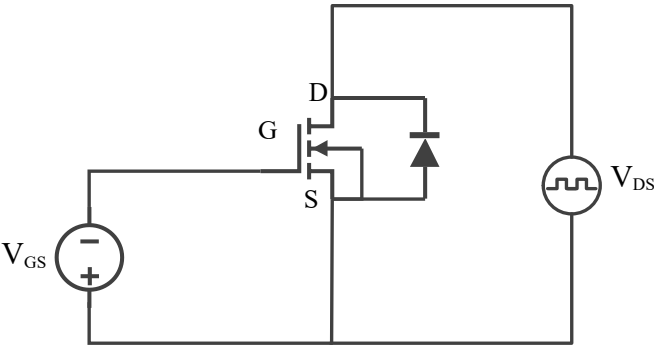


图1 动态反偏试验电路（被动模式）

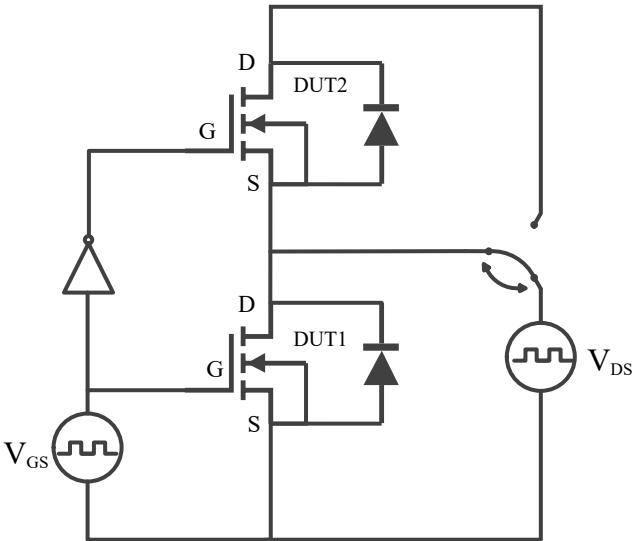


图2 动态反偏试验电路（主动模式）

5 试验条件

相对湿度范围40 %~60 %，大气压86 kPa~106 kPa。

6 仪器设备

所使用的仪器设备应能够提供和控制试验范围内的电压应力、温度应力和试验时长。试验设备的主要组成部分应包括：脉冲电压单元、温度控制单元、数据收集系统。

- a) 脉冲电压单元。脉冲电压单元包栅极脉冲电压单元和漏极脉冲电压单元，脉冲电压单元应能满足高低电压变换的频率、变化速率以及时长要求；

- b) 温度控制单元。应满足可设置试验过程中需要的样品温度条件，并维持此温度稳定时长与试验时长一致；
- c) 数据收集系统。能够记录相关的试验数据，包括温度、试验时间、电参数测试信息和结果。

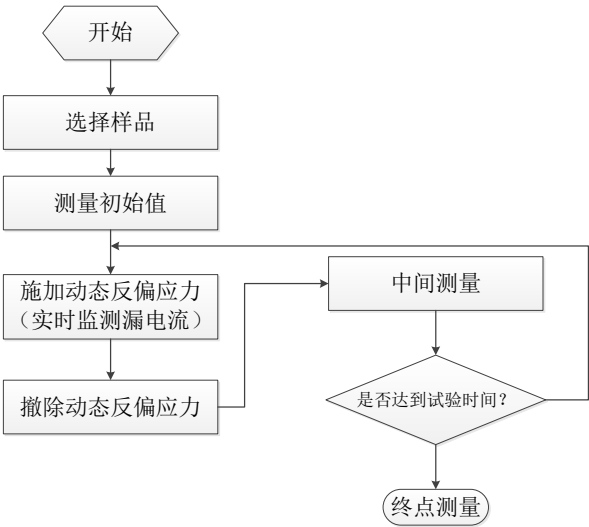
7 样品

选择检验合格的SiC MOSFET分立器件和功率模块。

8 试验步骤

8.1 试验流程

该试验通过对样品施加动态反偏电压应力来评估器件的退化，试验流程图如图3所示。



注1：中间测量不是必须的；
注2：可以在常温下进行试验。

图3 试验流程图

8.2 初始值测量

测量样品的初始电参数，包括但不限于漏源漏电流 I_{DSS} 、栅源漏电流 I_{GSS} 、阈值电压 $V_{GS(th)}$ 、击穿电压 V_{BR} 、漏源极导通电阻 $R_{DS(on)}$ 、体二极管正向压降 V_F 。

8.3 施加应力

8.3.1 应力条件

推荐按照表1的应力条件进行动态反偏试验，根据产品的要求，其他应力条件是可以接受的，可根据实际应用条件或最佳实践进行调整，需在产品的详细规范中指明应力条件。本试验中所有应用的电气参数均需在功率模块或分立器件电气端子连接处（最接近芯片位置侧）进行测量。

表1 动态反偏应力条件

试验条件参数	试验要求（功率模块）	试验要求（分立器件）
试验周期（N）	$\geq 10^{11}$	$\geq 10^{11}$
试验温度（ T_j ）	$\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

试验条件参数	试验要求（功率模块）	试验要求（分立器件）
漏源电压(V_{DS})	$>0.5 V_{DS,max}$	$\geq 0.8 V_{DS,max}$
漏源电压过冲	$0.8 V_{DS,max} \leq V_{DS} \leq 0.95 V_{DS,max}$	$0.8 V_{DS,max} \leq V_{DS} \leq 0.95 V_{DS,max}$
d V_{DS} /dt 上升过程	≥ 50 V/ns, 且不低于应用d V_{DS} /dt的1.2倍	≥ 50 V/ns, 且不低于应用d V_{DS} /dt的1.2倍
d V_{DS} /dt 下降过程	≥ 50 V/ns, 且不低于应用d V_{DS} /dt的1.2倍	≥ 50 V/ns, 且不低于应用d V_{DS} /dt的1.2倍
开关频率(f)	25 kHz $\leq$ f $\leq$ 1 MHz, 建议典型值25 kHz	25 kHz $\leq$ f $\leq$ 2 MHz, 建议主动模式典型值25 kHz, 50kHz, 被动模式典型值100 kHz, 300 kHz
占空比	40 % $\sim$ 60 %	40 % $\sim$ 60 %
负载电流 I_{DS}	≥ 0 A	≥ 0 A
栅源电压(V_{GS})	方法1: 被动模式: 保持恒定, $V_{GS}=V_{GS,min, recom}$ 方法2: 主动模式: 开关切换, $V_{GS, off}=V_{GS,min, recom}$, $V_{GS, on}=V_{GS,max, recom}$	
注1: 栅极开关切换条件下需关注动态栅应力的影响。 注2: 建议试验过程实时监测漏电流的变化。 注3: 建议试验过程实时监测代表性样品壳温的变化。 注4: 试验周期 10^{11} 为汽车逆变器应用的最小等效应力。对于其他应用, 等效应力可能会更高, 例如达到 10^{12} 个循环。 无论试验周期数是多少, 试验时长无需超过1 500小时, 可以对获得的结果进行外推。 注5: 栅源电压变化率 (d V_{DS} /dt) 和/或最大开关频率f可能会受器件设计的限制 (例如较大的漏源电容 C_{DS})		

8.3.2 应力波形

在样品上施加电压应力。图4和图5分别显示了被动模式和主动模式条件下的 V_{GS} 和 V_{DS} 电压应力波形。被动模式下栅源极电压始终保持使器件关断的推荐最小负栅压, 主动模式下栅源极电压在推荐最小栅极电压与推荐最大栅极电压之间切换。漏源极电压变化速率应不小于50 V/ns (40 % V_{DS} ~60 % V_{DS} 的平均变化速率)。主动模式可在没有负载电流 I_L 的情况下进行, 若存在负载电流需考虑器件自热。图6为 V_{DS} 过冲电压波形图。

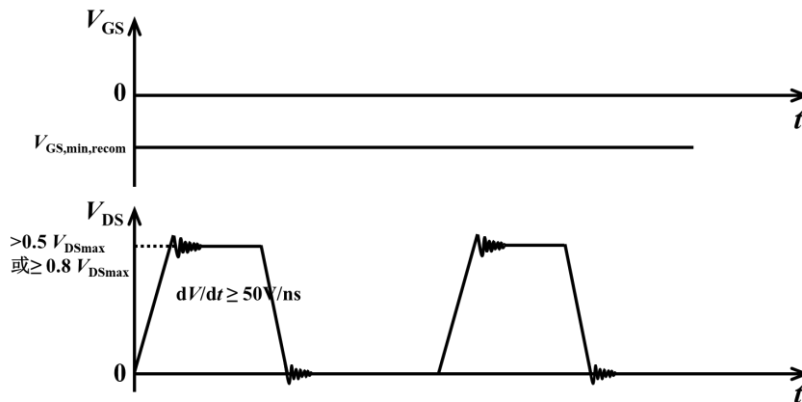


图4 被动模式下 V_{GS} 和 V_{DS} 电压应力波形图

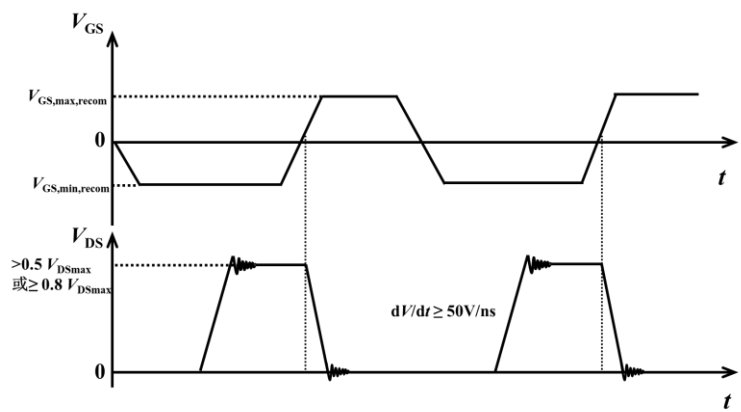


图5 主动模式下 V_{GS} 和 V_{DS} 电压应力波形图

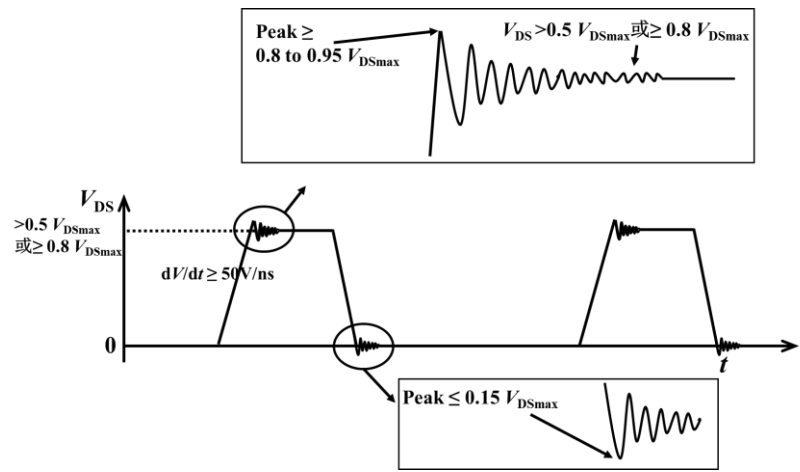


图6 V_{DS} 过冲电压波形图

8.4 撤除应力

撤除样品上的电应力和温度应力，进行中间测量或终点测量。

8.5 中间测量或终点测量

中间测量或终点测量包括但不限于漏源漏电流 I_{GSS} 、栅源漏电流 I_{GSS} 、阈值电压 $V_{GS(th)}$ 、击穿电压 V_{BR} 、漏源极导通电阻 $R_{DS(on)}$ 、体二极管正向压降 V_F 。测试应按照产品的详细规范进行。中间测量或终点测量应在器件从规定试验条件下移出后的96 h内完成，。如果中间测量或终点测量不能在规定的时间内完成，那么在完成试验后测量前，器件至少应追加200次相同条件的试验。

9 试验数据处理

失效判据应包括但不限于表2所示的参数，除阈值电压外其他参数的测试方法依据GB/T 4586，阈值电压测试方法参考T/CASAS 021，测试条件按照产品规范测试常温下的参数变化。

表2 动态反偏失效判据

参数	符号	失效判据 (相对于初始值的变化率)
漏-源极导通电阻	$R_{DS(on)}$	20 %（主动模式）； 5 %（被动模式）

参数	符号	失效判据 (相对于初始值的变化率)
体二极管正向压降	V_F	5 %
击穿电压	V_{BR}	小于规范值
阈值电压	$V_{GS(th)}$	20 % (主动模式) ; 5 % (被动模式)
零栅压漏源漏电流	I_{DSS}	500 %; 若初始值<10 nA, 则试验后不超过50 nA
栅源漏电流	I_{GSS}	500 %; 若初始值<10 nA, 则试验后不超过50 nA
注1: 样品参数变化范围不超过产品规范的限值。 注2: 试验后样品不得有外部物理损伤。		

10 试验报告

应提供一份试验报告, 试验记录参见附录A, 其中至少包括:

- 样品名称、编号;
- 试验偏置条件;
- 试验温度;
- 试验电压;
- 试验时间;
- $V_{GS(th)}$ 测量前预处理脉冲条件;
- 试验前后电参数变化;
- 本文件编号;
- 试验结果。

附 录 A

(资料性)

SiC MOSFET 动态反偏试验记录表

SiC MOSFET动态反偏试验记录表如图A.1。

表A. 1 动态反偏试验记录表示例

产品名称							型号规格							
试验项目							环境温度 相对湿度							
试验设备	型号：						计量有效期							
	编号：													
试验依据 标准条款							样品 数量							
试验条件及技术 要求	选	☐ 被动模式 $V_{GS}=$												
		☐ 主动模式 $V_{GS.off}=$ $V_{GS.on}=$												
	试验时间t (h)													
	试验温度 T_A (°C)													
	漏源电压 $V_{DS}(V)$													
	dV_{DS}/dt						上升沿： v/ns		下降沿： v/ns					
	dV_{GS}/dt (主动模式)						上升沿： v/ns		下降沿： v/ns					
	开关频率f(kHz)													
	占空比													
	过冲						上冲： $\%V_{DS.max}$		下冲： $\%V_{DS.max}$					
	阈值电压测试条件						预处理脉冲电压： V		预处理脉冲时间： ms					
样品编号	测试结果													
	试验前参数						试验后参数						已失效 (勾选)	
	I_{DSS} (nA)	I_{GSS} (nA)	$R_{DS(on)}$ (mΩ)	$V_{GS(th)}$ (V)	$V_{(BR)DSS}$ (V)	V_F (V)	I_{DSS} (nA)	I_{GSS} (nA)	$R_{DS(on)}$ (mΩ)	$V_{GS(th)}$ (V)	$V_{(BR)DSS}$ (V)	V_F (V)		
1													☐	
2													☐	
...													☐	

参 考 文 献

- [1] AEC-Q101 Failure mechanism based stress test qualification for discrete semiconductors in automotive applications
 - [2] AQG 324 Qualification of power modules for use in power electronics converter units in motor vehicles
 - [3] IEC 60747-8-2010 Semiconductor devices - Discrete devices - Part 8: Field-effect transistors
 - [4] JEDEC 22-A108 Temperature, bias, and operating life
 - [5] JEP 183 Guidelines for measuring the threshold voltage (VT) of SiC MOSFETs
-

