



团 体 标 准

T/CASAS 015—2025

代替T/CASAS 015—2022

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管 (SiC MOSFET) 功率循环试验方法

Power cycling 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..... 3

6 仪器设备..... 3

7 样品..... 4

8 试验步骤..... 4

 8.1 初始值测量..... 4

 8.2 确定沟道关断电压..... 4

 8.3 结温监测..... 4

 8.4 施加应力..... 4

 8.5 撤除应力..... 5

 8.6 中间测量或终点测量..... 5

9 试验数据处理..... 5

10 试验报告..... 5

参考文献..... 7

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 015—2022《碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）功率循环试验方法》（2022年07月18日发布）。

本文件与T/CASAS 015—2022相比，除编辑性修改外主要技术差异如下：

——修订了对“4原理”的描述，内容更加严谨，文字更加简洁明了。明确了“尽可能保证同样的正负栅偏应力”为“正向栅压与接通时间的乘积同负向栅压与关断时间的乘积在数值上尽可能相等”。同时删除对加热电流 I_L 和测试电流 I_{sense} 级别的要求。

——删除了图3。

——结温计算方法参考“JESD51-1”修订为参考“T/CASAS 016”。并增加“建议结温测量的关断负栅压与功率循环的关断负栅压保持一致”的说明。

——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。

本文件起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、江苏宏微科技股份有限公司、国网智能电网研究院有限公司、深圳市禾望电气股份有限公司、国芯微电子（广东）有限公司、中国电子科技集团第五十五研究所、比亚迪半导体股份有限公司、深圳基本半导体有限公司、中国航天科技集团公司第八研究院第八〇八研究所、南方电网科学研究院有限责任公司、西安交通大学、深圳平湖实验室、东莞南方半导体科技有限公司、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、贺致远、来萍、路国光、何亮、陈兴欢、施宜军、姚天保、李金元、李尧圣、谢峰、成年斌、陈义强、黄云、刘奥、刘昌、蔡宗棋、吴海平、唐宏浩、王宏跃、付志伟、赵鹏、刘伟鑫、李巍巍、王来利、陈刚、罗曦溪、乔良、徐瑞鹏。

本文件于2022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。SiC MOSFET的功率循环试验是使器件重复承受通电升温和关断降温循环,以加速器件芯片与安装表面之间所有的键合和界面退化。器件能否能承受规定应力条件下的功率循环次数是评估器件实际应用可靠性的重要手段。

由于 SiO_2 与SiC界面缺陷的俘获和释放机制,传统的Si MOSFET的功率循环试验方法会由于SiC MOSFET器件的阈值电压 $V_{\text{GS(th)}}$ 漂移导致结温等监测参数出现偏差,从而影响功率循环试验的准确性,本文件给出了适用于SiC MOSFET器件的功率循环试验方法。

碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）功率循环试验方法

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）功率循环试验方法，包括：试验装置、试验程序以及失效判据。

本文件适用于不带反向并联肖特基二极管的SiC MOSFET分立器件的功率循环试验。

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 006 碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管通用技术规范

T/CASAS 016 碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管（SiC MOSFET）结壳热阻瞬态双界面测试方法

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

T/CASAS 006—2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

结温 junction temperature

T_{vj}

器件中主要发热部分的半导体结的温度。

注：结温通过器件的温度敏感参数计算得到。

[来源：GB/T 14113—1993，5.34，有修改]

3.2

壳温 case temperature

T_c

在半导体器件管壳规定点测得的温度。

注：通常指最接近有源区部位的管壳温度，常见为芯片正下方几何中心点。

[来源：GB/T 2900.32—1994，2.2.10，有修改]

3.3

最高循环温度 maximum cycle temperature

$$T_{vj(max)}$$

循环周期的最高结温，为通电结束瞬间的结温。

3.4

最低循环温度 minimum cycle temperature

$$T_{vj(min)}$$

循环周期的最低结温，为降温结束瞬间的结温。

3.5

温差 junction temperature swing

$$\Delta T_{vj}$$

$T_{vj(max)}$ 与 $T_{vj(min)}$ 的差值。

3.6

导通时间 on time

$$t_{on}$$

一个循环周期内器件的通电时间。导通时间内，器件持续升温到规定的最高循环温度 $T_{j(max)}$ 。

3.7

关断时间 off time

$$t_{off}$$

一个循环周期内器件的断电时间。关断时间内，器件持续降温到规定的最低循环温度 $T_{j(min)}$ 。

3.8

加热电流 heating current

$$I_L$$

导通时间内，器件的导通升温时的电流。

3.9

测试电流 measurement current

$$I_{sense}$$

测试器件温度敏感电学参数的电流。

3.10

制冷率 coolant rate

$$Q_{cool}$$

关断时间内，被测器件采用强迫制冷的制冷速率。

4 原理

功率循环试验是驱动被测器件在规定的循环次数内经过规定的温度波动。图1所示为SiC MOSFET的功率循环试验电路原理图，图中的反向二极管为SiC MOSFET的体二极管。在 t_{on} 内， S_1 导通， S_2 关断， V_{GS} 设置为 $V_{GS(on)}$ （通常 $\geq +15\text{ V}$ ），此时MOSFET沟道导通， $I_{DS} = I_L$ ，器件在 t_{on} 时间内功率升温；在 t_{off} 内， S_1 关断， S_2 导通， V_{GS} 设置为小于 $V_{GS(off)}$ ，电流流过反向二极管， $I_{SD} = I_{sense}$ ，器件在 t_{off} 时间内降温。

试验应尽可能保证同样的正负栅偏应力以减轻 $V_{GS(th)}$ 的漂移，即正向栅压与导通时间的乘积同负向栅压与关断时间的乘积在数值上尽可能相等。

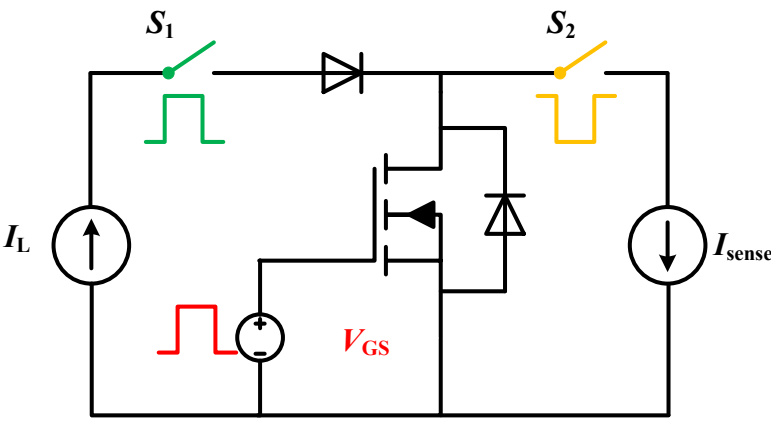


图1 SiC MOSFET 试验电路原理图

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指定的温度和循环时间。仪器设备的关键组成如下，见图2：

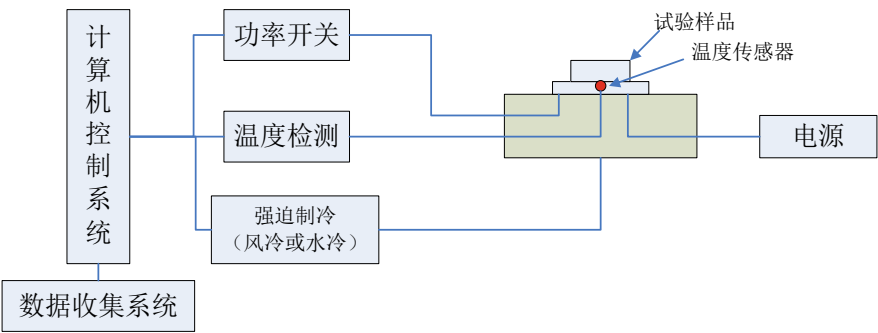


图2 功率循环仪器设备的典型构成

- a) 功率偏置单元（电源）。功率循环试验利用被试验器件自身半导体结温在加电周期升温的原理，在规定时间内通过规定的电流将半导体器件温度升至规定温度。功率偏置单元（电源）应能满足半导体器件在规定时间内升至规定温度的要求。
- b) 功率开关（如有）。用来自动控制半导体器件“加电”和“断电”，以达到规定的循环次数。

- c) 温度检测单元。利用温度传感器检测试验过程的壳温变化情况。通过测试半导体器件的温度敏感参数获得结温变化情况。
- d) 冷却系统。包括强制空气或其他水冷装置，制冷方式的选择取决于试验样品和试验要求。
- e) 计算机控制系统。用于自动控制功率开关、冷却系统、功率偏置单元等功能模块。
- f) 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 初始值测量

测量样品的初始电热参数，包括但不限于结壳热阻 $R_{th_{jc}}$ 、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 。

8.2 确定沟道关断电压

确定沟道完全关断的栅源电压 $V_{GS(off)}$ ，测试不同负偏栅压下(0 V到最大负栅压，间隔0.5 V或1 V测一次)的体二极管I-V特性曲线，当体二极管I-V特性曲线不再发生变化时的栅压即为 $V_{GS(off)}$ 。

8.3 结温监测

通过 $V_{SD}(T)$ 方法监测结温，即利用反向体二极管的结电压来计算结温，具体方法参考T/CASAS 016，SiC MOSFET 结温测量应保证沟道完全关断。建议结温测量的关断负栅压与功率循环的关断负栅压保持一致。

8.4 施加应力

对器件施加应力开始进行功率循环试验，应力电流电压等条件的选择应根据产品的详细规范，不应超过产品的最大额定值，同时以缩短试验时间为原则。为了达到试验所需的结温的温升 ΔT_{vj} ，接通和关断时间需在试验开始前确定，并且仅允许在试验开始时设置一次。

试验包括秒级功率循环和分钟级功率循环，推荐按照表1的试验条件进行分钟级功率循环，如果特别关注键合退化，可以加做秒级功率循环。根据产品的要求，其他条件是可以接受的，需在产品的详细规范中指明。

试验的导通时间 t_{on} 和关断时间 t_{off} 与试验器件的安装条件、热沉、制冷量以及驱动功率等有很大的关系。所有控制参数（ t_{on} 、 t_{off} 、 V_g 、 I_L 、 Q_{cool} ）在试验过程中必须保持不变，直到试验结束。试验过程实时监控 $T_{vj(max)}$ ， $T_{vj(min)}$ ， $R_{th_{ja}}$ ， $V_{ds(on)}$ 参数的变化。

表1 分钟级功率循环试验要求

所需循环数 ($\Delta T_{vj} \geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$)	所需循环数 ($\Delta T_{vj} \geq 125\text{ }^{\circ}\text{C}$)	每循环时间
60 000/ (X+Y)	30 000/ (X+Y)	$t_{\text{on}}/t_{\text{off}} \geq 2\text{ min}^{\text{a}}$ $t_{\text{on}}=X, t_{\text{off}}=Y$
15 000 次	7 500 次	$t_{\text{on}}/t_{\text{off}} < 2\text{ min}^{\text{b}}$
<p>^a 当$\Delta T_{vj} \geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$时, 导通时间 2 分钟/关断时间 4 分钟, 需要 10 000 次循环[60 000/ (2+4)], 当$\Delta T_{vj} \geq 125\text{ }^{\circ}\text{C}$时, 需要 5 000 次循环;</p> <p>^b 当$\Delta T_{vj} \geq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$时, 导通时间 1 分钟/关断时间 1 分钟, 需要 15 000 次循环, 当$\Delta T_{vj} \geq 125\text{ }^{\circ}\text{C}$时, 需要 7 500 次循环。</p>		

8.5 撤除应力

撤除样品上的电应力, 进行中间测量或终点测量。

8.6 中间测量或终点测量

中间测量或终点测量包括但不限于电参数和热阻测试, 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, 测试方法参考T/CASAS 021。如果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次相同条件的试验循环。

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。建议在试验结束后使用声学扫描显微镜检查器件的所有界面退化情况。

表2 功率循环试验的失效判据

参数	符号	失效判据 (相对于初始值的变化率)
漏-源极导通电压	$V_{\text{DS(on)}}$	5 %
体二极管正向压降	V_F	5 %
结壳热阻	$R_{\text{th_jc}}$	20 %
阈值电压	$V_{\text{GS(th)}}$	5 %
零栅压漏电流	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
<p>注1: 样品参数变化范围不超过产品规范的限值。</p> <p>注2: 试验后样品不得有外部物理损伤。</p>		

10 试验报告

应提供一份试验报告, 其中至少包括:

- a) 试验对象;
- b) 样品数量;
- c) 试验条件;
- d) 循环次数;

- e) 参数测试结果;
- f) 测量间隔时间;
- g) 本文件编号;
- h) 试验结果。

参 考 文 献

- [1] GB/T 29332—2012 半导体器件 分立器件 第9部分：绝缘栅双极晶体管
 - [2] IEC 60747-8—2010 Semiconductor devices—Discrete devices—Part 8: Field-effect transistors
 - [3] AEC-Q101 Stress test qualification for discrete semiconductors
 - [4] JEDEC 22-A122 Power cycling
 - [5] JEP 183 SiC MOSFET Guidelines for measuring the threshold voltage (VT) of SiC MOSFETs
-

