

团 体 标 准

T/CASA 016—202X

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

Transient dual test method for the measurement of the thermal
resistance junction to case of silicon carbide metal-oxide-
semiconductor field-effect-transistor (SiC MOSFET)

草案

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

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 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

引言..... V

1 范围 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 设备要求..... 2

5 一般要求..... 2

 5.1 检测环境要求 2

 5.2 检测人员要求 2

6 热阻测试步骤..... 2

 6.1 测试方法 2

 6.2 偏置电压测试 2

 6.3 K 线测试与标定..... 3

 6.4 结壳热阻测试 4

 6.5 测试数据处理 5

7 热阻测试结果判定..... 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。

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。

本文件起草单位：……

本标文件起草人：……

引 言

碳化硅金属氧化物半导体晶体管（SiC MOSFET）因具有禁带宽度宽、临界击穿电场强、热导率高等优点，逐渐在雷达探测、医疗通讯、交通运输以及新能源等领域广泛应用。而结壳热阻表征着热量在导热路径上的传输能力，是直接反映器件热性能的关键技术指标之一，可以为器件的热设计与优化改进提供参考。因而，准确的热阻测试对于 SiC MOSFET 的鉴定、评价具有重要意义。

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

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）结壳热阻瞬态双界面测试方法，适用于 SiC MOSFET 分立器件的结壳热阻测试。本方法设置 SiC MOSFET 器件栅极和源极负压偏置条件下，选用源极和漏极电压 V_{sd} 作为结壳热阻测试的温敏参数。。

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不适用于本文件。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。

JESD 51-14: Transient dual interface test method for the measurement of the thermal resistance junction to case of semiconductor devices with heat flow through a single path

3 术语和定义

3.1

碳化硅 MOSFET

碳化硅金属-氧化物-半导体场效应晶体管。

3.2

栅源电压 V_{gs}

场效应晶体管栅极和源极之间的电势差，本规范文件中指SiC MOSFET器件栅极和源极间加载的偏置电压。

3.3

源漏电压 V_{sd}

场效应晶体管源极和漏极之间的电势差，本规范文件中指SiC MOSFET器件源极和漏极之间的电压，电学法热阻测试中选用的温敏参数。

3.4

结温 T_j

本规范文件中指SiC MOSFET器件主要热量产生区域的半导体结温度。

3.5

加热功率 P_D (W)

施加在器件上以产生结到参考点温度差的功率。

3.6

温敏参数 T_{SP}

与被测半导体结与温度相关的电特性，它随着结温的改变而改变，因而可以用来测量结温。

3.7

结壳热阻 R_{jc} ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)

器件半导体结至封装体外壳的温差与热耗功率 P_D 之比。

4 设备要求

热阻测试仪：满足 JESD 51-14 双界面法测试标准的测试设备要求，电压分辨率优于 0.5 mV，温度控制精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

5 一般要求

5.1 检测环境要求

- a) 除本规范文件特殊规定外，测试环境温度一般要求 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，环境气压 86 kPa ~ 106 kPa；
- b) 测试过程应尽可能避免外界的强热辐射、强电磁辐射、对流以及强光辐射的干扰。

5.2 检测人员要求

- a) 检测人员应通过设备操作和实验室安全管理的培训考核，了解设备的具体工作原理、测试适用范围、技术参数等；
- b) 检测人员应具有电子元器件的现场热测试经验，并具有一定的热检测技术基础知识。

6 热阻测试步骤

6.1 测试方法

本规范文件采用SiC MOSFET器件源极和漏极之间的电压 (V_{sd}) 作为结壳热阻测试的温敏参数，通过测试不同栅源电压 (V_{gs}) 条件下源-漏二极管的电流-电压 (I-V) 特性曲线，确定SiC MOSFET器件沟道完全关断情况下的 V_{gs} ，并将该电压作为栅-源的偏置电压。最后通过源漏之间加载大电流进行体二极管加热的方式进行双界面法结壳热阻测试。

6.2 偏置电压测试

选择SiC MOSFET器件源极和漏极之间的电压 V_{sd} 作为温度敏感参数。通过图1所示的碳SiC MOSFET源-漏二极管I-V特性测试电路进行I-V特性曲线测试。方法如下：

- (1) 将SiC MOSFET安装在夹具上，漏极和源极采用四线法连接；
- (2) 在SiC MOSFET的栅极施加固定栅-源电压 V_{gs} ($V_s > V_g$)，该电压为负电压，在碳化硅MOSFET的漏极施加负的脉冲电压 V_{ds} ，脉冲占空比 $\leq 0.5\%$ ；

(3) 记录栅-源电压 V_{gs} ，漏极 I_{ds} 电流以及漏-源电压 V_{ds} ，绘制不同 V_{gs} 下的 V_{ds} - I_{ds} 曲线，记录多条曲线重合时的最小的 $|V_{gs}|$ ，记为 $V_{gs(off)}$ 。

注：源极和漏极之间施加电压 V_{ds} 应不使器件产生明显的温升，测试条件允许时应采用脉冲方式加载电压 V_{ds} 。

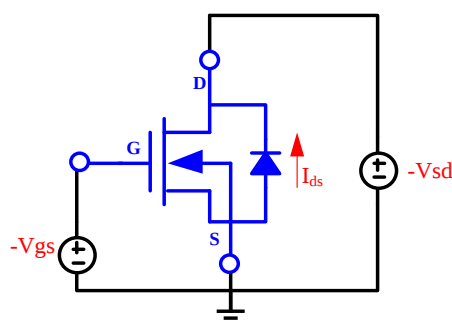


图1 SiC MOSFET源-漏二极管IV特性测试电路

6.3 K线测试与标定

基于6.2节的偏置电压测试，确定器件栅极和源极的负压偏置 $V_{gs(off)}$ ，参考如图2所示电路图搭建器件K线测试电路。

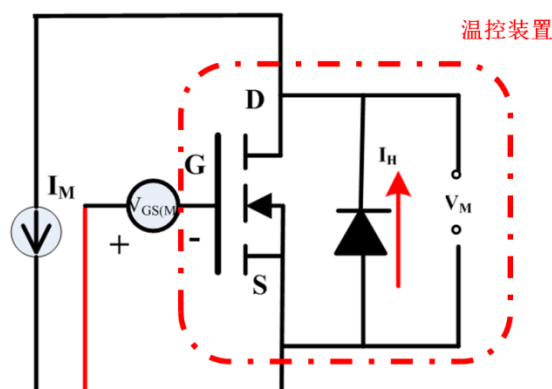


图2 SiC MOSFET器件温敏参数K线测试电路

- SiC MOSFET器件源极和漏极电压外接恒定电压源提供负压偏置 $V_{gs(off)}$ ；
- 漏极和源极之间通过恒定电流源提供测试电流 I_M （ I_{sd} 电流从源极S流向漏极D），采用电压测试设备采集并记录温敏参数源漏电压 V_{sd} 。测试电流的选择应保证不使器件产生明显的温升效应，建议测试电流取值范围1 mA ~ 100 mA，测试电流产生的功率不应超过 0.1 W；
- 待测试器件放置于温度控制精度可达 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的温控设备中；
- 设定温度控制装置参数，包括初始数据采集点的温度、温度步长，以及温度平衡所需时间等，建议初始采集点的温度范围为 $20^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ ，温度步长 $10^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ ，温度平衡时间不低于60s。一般应在不低于4个温度点进行温敏参数源漏电压 V_{sd} 的采集，而针对工艺较为成熟稳定，器件温敏特性线性度较高的器件可选用不低于3个温度点条件下进行测试；
- 将不同温度点采集的温度、 V_{sd} 电压数据进行记录，并进行线性拟合，获取拟合的线性函数和拟合优度等参数。

6.4 结壳热阻测试

6.4.1 热阻测试电路

完成K线拟合后，进行SiC MOSFET器件的结壳热阻测试，测试选择满足JESD 51-14双界面法测试标准的热阻测试设备，电压分辨率优于0.5 mV，具体测试电路原理如图3所示：

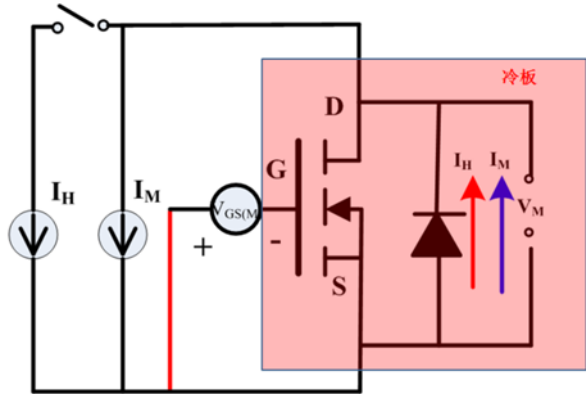


图3 SiC MOSFET器件热阻测试电路原理图

待测试器件固定于导热性能良好的冷板之上，源极和栅极电压外接恒定电压源提供负压偏置 $V_{gs(off)}$ ，漏极和源极之间通过热阻测试设备提供加热电流 I_H 和测试电流 I_M （电流方向从源极S流向漏极D，且测试电流 I_H 应与K线标定过程保持一致），加热电流通过热阻测试设备的程序实现电流大小和加载的控制。热阻测试设备具备采集并记录温敏参数源漏电压 V_{sd} 的能力。

6.4.2 双界面法测试

基于已有的热阻测试平台完成图3中所示电路系统的搭建，待测试器件通过导热胶或导热硅脂粘接并固定至冷板上，固定时应尽量使用绝热性能良好的夹具，条件允许的情况下可通过循环冷却水控制冷板的温度，具体如图4所示例：

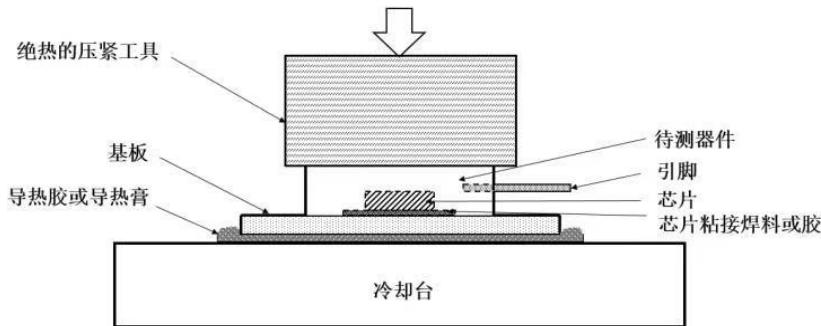


图4 测试器件安装示例

参考器件数据手册或已有试验数据，从低至高进行加热电流条件尝试，使器件测试状态下温升 $\geq 50^\circ\text{C}$ ，且不超过器件的最大工作结温 T_j 。

基于图3所示热阻测试电路和已确定的加热、测试电流条件，参考JESD51-14标准的瞬态双界面法测试流程，分别在干法和湿法接触条件下测试SiC MOSFET器件的电压变化曲线。

电流、测试程序设置完成后，开始双界面法结壳热阻测试过程。闭合图3中所示开关，加热电流 I_H 使待测试器件发生温升并达到温度平衡状态，加热时间过后，程序自动切断开关器件加载测试电流 I_M ，直至器件温度不再发生明显变化，热阻测试设备记录并保存降温过程的电压变化曲线。

6.5 测试数据处理

分别将干法和湿法接触（双界面法）测试得到了电压变化曲线和K线进行分析计算，获取器件的降温曲线。最后基于结构函数和瞬态热阻抗曲线的分离位置确定SiC MOSFET器件的结-壳热阻，具体步骤如下所示：

- 打开已测试的电压变化曲线，导入拟合的K线进行计算分析，获取器件的测试过程的温度降温曲线；
- 开关切断时刻的电气干扰修正。当加热电流切换至测试电流瞬间，器件的温度变化 $\Delta T_{J(t_{cut})}$ 与时间的平方根近似成线性关系，如下所示：

$$\Delta T(t) = \frac{P_D}{A} k_{therm} \sqrt{t} \dots\dots\dots (1)$$

$$k_{therm} = \frac{2}{\sqrt{\pi c \rho \lambda}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- C —— 比热；
 ρ —— 密度；
 λ —— 热导率。

在信号切换的短时间内，温度改变量与时间的平方根 $\sqrt{t}$ 成线性关系，从而通过图形线性外推出 $t=0$ 时的结温 T_{J0} 。

- 分别获取干法和湿法接触测试后且已完成电气干扰修正后的降温曲线，通过结构函数的算法得到双界面测试条件下的微分和积分结构函数曲线，通过以下公式（3），获取双界面测试条件下瞬态热阻抗曲线：

$$Z_{\theta JC}(t) = \frac{(T_{J0} - T_{J0}(t))}{\Delta P_D} \quad t > t_{cut} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $T_{J0}(t)$ —— 器件实时结温；
 t_{cut} —— 加热电流切换至测试电流的时间；

7 热阻测试结果判定

参考JESD51-14标准，SiC MOSFET器件的结壳热阻结果判定准则如下：

- a) 针对于采用高热导率粘接层（例如，金属焊接材料）的SiC MOSFET器件，根据瞬态热阻抗 曲线的分离点确定器件的结壳热阻，具体分离点的计算方法可参考JESD51-14标准5.2节。
- b) 针对于采用低热导率粘接层（例如，胶层材料）的SiC MOSFET器件，根据微分或积分结构函数曲线的分离点确定器件的结壳热阻，具体分离点的计算方法可参考JESD51-14标准5.3节。
- c) 针对于粘接层材料未知的SiC MOSFET器件，选择判定准则a) 和b) 中较高的热阻值作为器件的结壳热阻。

参 考 文 献

- [1] GJB 548B-2005 微电子器件试验方法和程序
 - [2] GJB 128A-97 半导体分立器件试验方法
 - [3] GB/T 14862-1993 半导体集成电路封装结到外壳热阻测试方法
 - [4] JESD 51-1: Integrated circuits thermal measurement method-Electrical test method (Single semiconductor device)
-