



团 体 标 准

T/CASAS 021—2025

代替 T/CASAS 021—2024

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

Threshold voltage 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 测试设备与要求..... 2

 4.1 基本要求..... 2

 4.2 设备要求..... 2

5 测试程序..... 4

 5.1 双电压源扫描法..... 4

 5.1.1 测试步骤..... 4

 5.1.2 规定条件..... 5

 5.2 单电压源扫描法..... 5

 5.2.1 测试步骤..... 5

 5.2.2 规定条件..... 6

 5.3 电流源法..... 6

 5.3.1 测试步骤..... 6

 5.3.2 规定条件..... 7

6 测试结果与计量方法..... 7

 6.1 电压源扫描法..... 7

 6.2 电流源法..... 8

附 录 A （资料性） 常用导通电阻 $R_{DS(on)}$ 与阈值电流 I_{th} 推荐表 9

附 录 B （资料性） 阈值电压测试记录表示例 10

参考文献.....11

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：中国电子科技集团第五十五研究所、南京第三代半导体技术创新中心有限公司、扬州国扬电子有限公司、中国电子科技集团第十三研究所、工业和信息化部电子第五研究所、东南大学、合肥功立德半导体科技有限公司、广电计量检测集团股份有限公司、浙江大学、浙江大学绍兴研究院、深圳平湖实验室、湖北九峰山实验室、是德科技（中国）有限公司、博测锐创半导体科技（苏州）有限公司、北京励芯泰思特测试技术有限公司、山东大学、泰科天润半导体科技（北京）有限公司、西安交通大学、朝阳微电子科技股份有限公司、山东阅芯电子科技有限公司、江苏第三代半导体研究院有限公司、芯迈半导体技术（杭州）股份有限公司、芯合半导体（合肥）有限公司、广东能芯半导体科技有限公司、南京邮电大学、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：张国斌、刘奥、柏松、黄润华、杨勇、桂明洋、迟雷、陈媛、徐申、孙钦华、李汝冠、郭清、林氢、万玉喜、周紫薇、杨安丽、吴畅、孙承志、陈彦锐、何黎、崔潞心、胡惠娜、王来利、裴云庆、韩冰冰、余超群、刘宗亮、赵高锋、郭俊、赵海明、姜南、张珺、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，越来越多的领域如电动汽车、光伏、储能、充电桩、航空航天迫切需要能够在高压、小散热体积、低损耗要求下工作的电子器件。SiC MOSFET阈值电压的准确测试，对于指导用户应用，评价SiC MOSFET技术状态具有重要意义。

由于SiC MOSFET的阈值电压具有不稳定性，本文件给出了适用于SiC MOSFET阈值电压的测试方法，用于用户入检、生产厂家标定以及第三方检测。

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

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) 阈值电压测试方法。
本文件适用于N沟道SiC MOSFET晶圆、芯片及封装产品的测试。

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。

T/CASAS 002—2021 宽禁带半导体术语

T/CASAS 006—2020 碳化硅金属氧化物半导体场效应晶体管通用技术规范

3 术语和定义

T/CASAS 002—2021、T/CASAS 006—2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

漏源电压 drain-source voltage

V_{DS}

MOSFET漏-源两端的电压值。

3.2

栅源电压 gate-source voltage

V_{GS}

MOSFET栅-源两端的电压值。

3.3

阈值电压 threshold voltage

V_{th}

漏极电流达到规定低值时的栅源电压。

3.4

漏极电流 drain-source current

I_{DS}

在规定的栅-漏条件下,漏极流向源极的电流。

3.5

阈值电流 threshold current

I_{th}

栅-源电压为阈值电压时,在漏-源流过的电流。

3.6

栅极预偏置电压 gate pre-condition voltage

V_{con}

阈值电压测试前，对栅极进行预偏置的电压，正偏置或负偏置。

3.7

栅极预偏置时间 gate pre-condition time

t_{con}

阈值电压测试前，对栅极施加预偏置电压的时间。

3.8

间隔时间 float time

t_{float}

进行栅极预偏置后与开始阈值电压测试前之间的时间间隔。

3.9

阈值电压测试时间 threshold voltage measuring time

t_{VT}

在栅极预偏置和间隔时间结束后，调整栅-源电压，测试阈值电压需要的时间。

3.10

阈值电压扫描方向 threshold voltage sweep direction

使用电压源步进扫描法测试阈值电压时栅-源电压的扫描方向，由低向高或由高向低。

3.11

阈值电压扫描范围 threshold voltage sweep range

$V_{\text{TH.range}}$

使用电压源步进扫描法测试阈值电压时由栅-源电压的扫描起始值和终止值之间的电压范围。

3.12

扫描步长 sweep step

$V_{\text{TH.step}}$

阈值电压扫描范围与扫描点数的比值。

3.13

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 测试设备与要求

4.1 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40 %~60 %、大气压条件应为86 kPa~100 kPa；测试环境温度 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测试电压 $\pm 2\%$ ，测试电流 $\pm 2\%$ 。测试期间，环境条件应无影响结果准确性的机械振动和电磁干扰。

4.2 设备要求

测试设备主要由两部分组成：一部分为栅极预偏置电路，如图1所示，SMU1为带有电流表的直流电压源，在栅极预偏置电路中器件漏极与源极短接；另一部分为阈值电压测试电路，该部分可分为三种测试电路，分别为双电压源扫描法测试电路、单电压源扫描法测试电路和电流源法测试电路。

在如图2所示的双电压源扫描法测试电路中，SMU1仍为带有电流表的直流电压源；SMU2为带有电流表的可变直流电压源；SMU1与SMU2应保持时序同步，与栅极预偏置电路能进行电气切换，并能按照如图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。

在如图3所示的单电压源扫描法测试电路中，SMU2为带有电流表的可变直流电压源，可在电压扫描时检测输出电流，与栅极预偏置电路能进行电气切换，并能按照如图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。

在如图4所示的电流源法测试电路中，SMU3为带有电压表的直流电流源，可在输出电流时检测输出电压，与栅极预偏置电路能进行电气切换，并能按照如图7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流。

注：在电流源法测试电路中，预偏置电路和电流源法测试电路可使用同一台电源-测量单元（SMU1），如果单台电源-测量单元不具备所需的功能，也可使用两台不同的电源-测量单元，并通过电气开关进行切换。

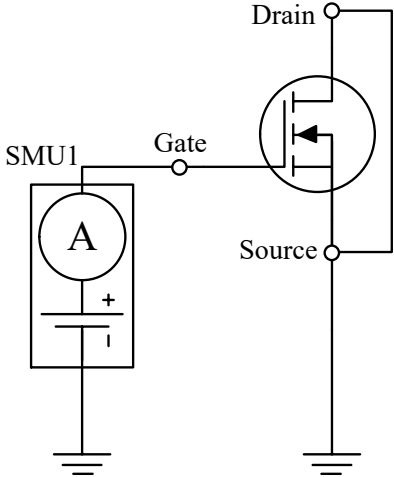


图1 栅极预偏置电路

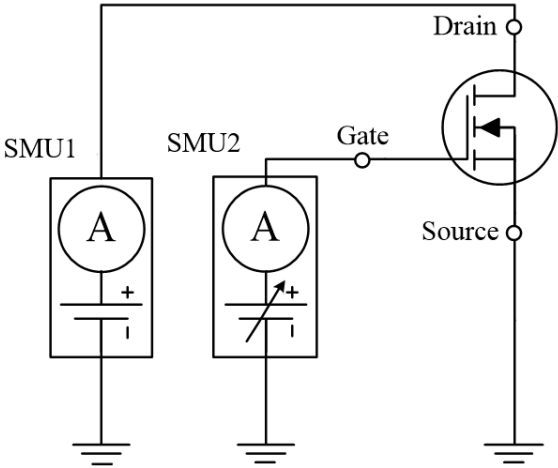


图2 双电压源扫描法测试电路

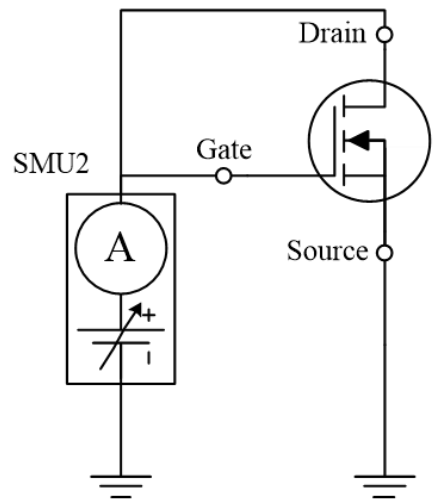


图3 单电压源扫描法测试电路

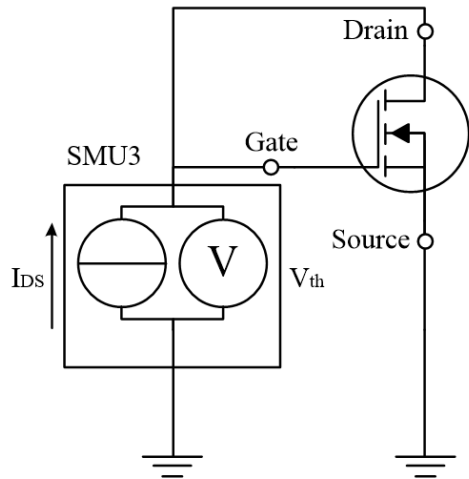


图4 电流源法测试电路

此外，测试设备还应满足下列要求：

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

5 测试程序

5.1 双电压源扫描法

5.1.1 测试步骤

测试步骤如下：

- a) 采用如图1所示的栅预偏置电路对被测件进行预偏置，由SMU1施加规定的栅极预偏置电压 V_{con} 、栅极预偏置时间 t_{con} ；
- b) 预偏置完成后切断栅极预偏置电压，经过规定的间隔时间 t_{float} ；

c) 间隔时间结束后, 将电路切换到如图2所示的双电压源扫描法测试电路, 由SMU2按照规定的阈值电压扫描方向、扫描范围、测试时间施加栅极扫描电压, 如图5所示, 同时由SMU1施加规定的漏源电压, 同步监测漏极电流;

d) 当SMU1监测的漏极电流达到规定值时, 由SMU2读出相应的栅源电压 V_{GS} , 即为阈值电压 V_{th} 。

注1: 可在负偏置栅极应力试验过程中使用负的预偏置电压, 但除此之外宜使用正的预偏置电压。

注2: 当使用正的预偏置电压时, 阈值电压扫描方向为由高到低, 否则为由低到高。

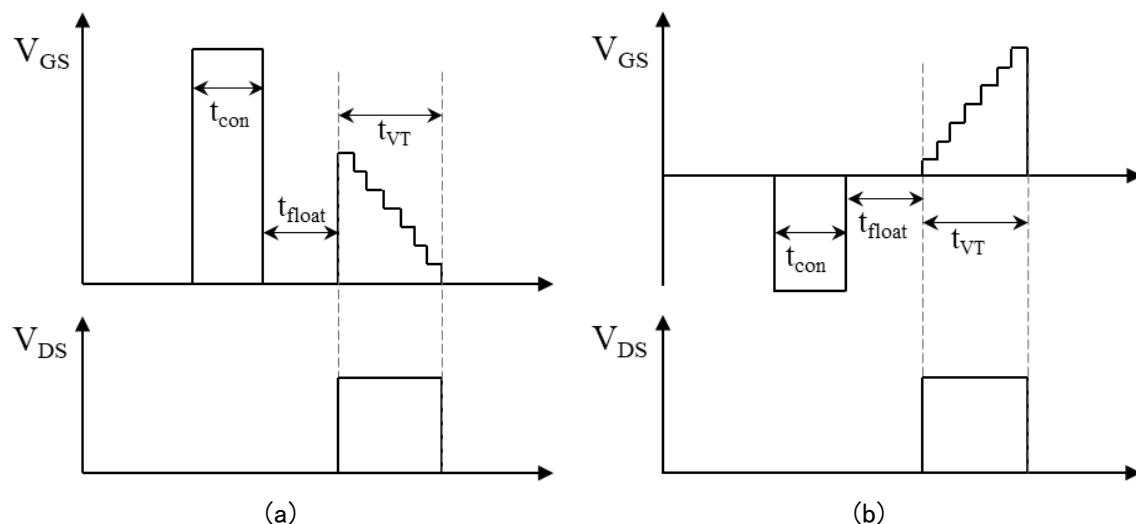


图5 双电压源扫描法测试时序 (a) 正向预偏置扫描 (b) 负向预偏置扫描

5.1.2 规定条件

规定条件如下:

——环境或参考点温度;

——栅极预偏置电压 V_{con} 、栅极预偏置时间 t_{con} ;

——间隔时间 t_{float} ;

——阈值电压扫描方向、阈值电压扫描范围、阈值电压测试时间 t_{VT} ;

——漏源电压、漏极电流;

注1: 栅极预偏置时间 t_{con} 可取1 ms~100 ms之间; 间隔时间可取 $t_{float} < 10$ ms; 阈值电压测试时间在扫描步长满足精度需求的前提下应尽量短, 越高的精度要求需要越短的单步扫描时间, 而不能使阈值电压测试时间无限制延长, 如扫描步长取0.1 V, 宜使 $t_{VT} < (10 \text{ ms} \times \text{扫描点数})$, 如扫描步长取0.01 V, 宜使 $t_{VT} < (1 \text{ ms} \times \text{扫描点数})$, 以此类推。

注2: 栅极预偏置电压可以选择栅源电压的最大(或负值的最小)额定值, 或选择一个略高于预期的阈值电压的值(如高出0.5 V), 当采用后者时, 栅极预偏置时间 t_{con} 、间隔时间 t_{float} 、阈值电压测试时间 t_{VT} 可适当延长。

5.2 单电压源扫描法

5.2.1 测试步骤

测试步骤如下:

采用如图1所示的栅预偏置电路对被测件进行预偏置, 由SMU1施加规定的栅极预偏置电压 V_{con} 、栅极预偏置时间 t_{con} ;

预偏置完成后切断栅极预偏置电压, 经过规定的间隔时间 t_{float} ;

间隔时间结束后, 将电路切换到如图3所示的单电压源扫描法测试电路, 由SMU2按照规定的阈值电压扫描方向、扫描范围、测试时间施加栅极扫描电压, 如图6所示, 同时同步监测漏极电流;

当SMU2监测的漏极电流达到规定值时, 读出相应的栅源电压 V_{GS} , 即为阈值电压 V_{th} 。

注: 见5.1.1注1、注2。

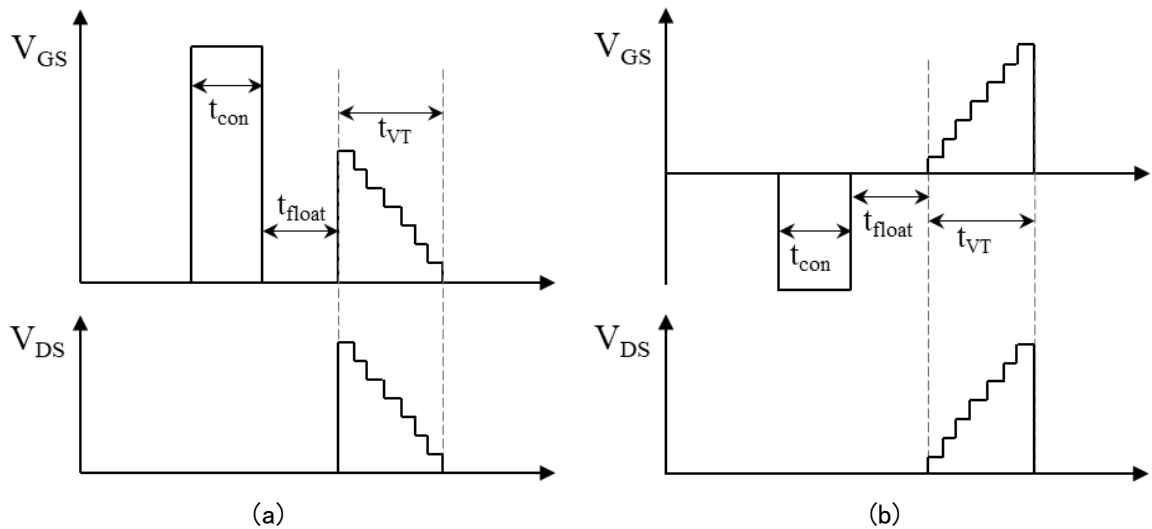


图6 单电压源扫描法测试时序 (a) 正向预偏置扫描 (b) 负向预偏置扫描

5.2.2 规定条件

- 规定条件如下：
- 环境或参考点温度；
 - 栅极预偏置电压 V_{con} 、栅极预偏置时间 t_{con} ；
 - 间隔时间 t_{float} ；
 - 阈值电压扫描方向、阈值电压扫描范围、阈值电压测试时间 t_{VT} ；
 - 漏极电流。
- 注：见5.1.2注1、注2。

5.3 电流源法

5.3.1 测试步骤

测试步骤如下：

采用如图1所示的栅预偏置电路对被测件进行预偏置，由SMU1施加规定的栅极预偏置电压 V_{con} 、栅极预偏置时间 t_{con} ；

预偏置完成后切断栅极预偏置电压，经过规定的间隔时间 t_{float} ；

间隔时间结束后，将电路切换到如图4所示的电流源法测试电路，由SMU3按照规定的阈值电压测试时间施加规定的漏极电流（栅极漏电流可忽略）；

当栅源电压稳定后，由SMU3读出该栅源电压 V_{GS} ，即为阈值电压 V_{th} 。

注：见5.1.1注1。

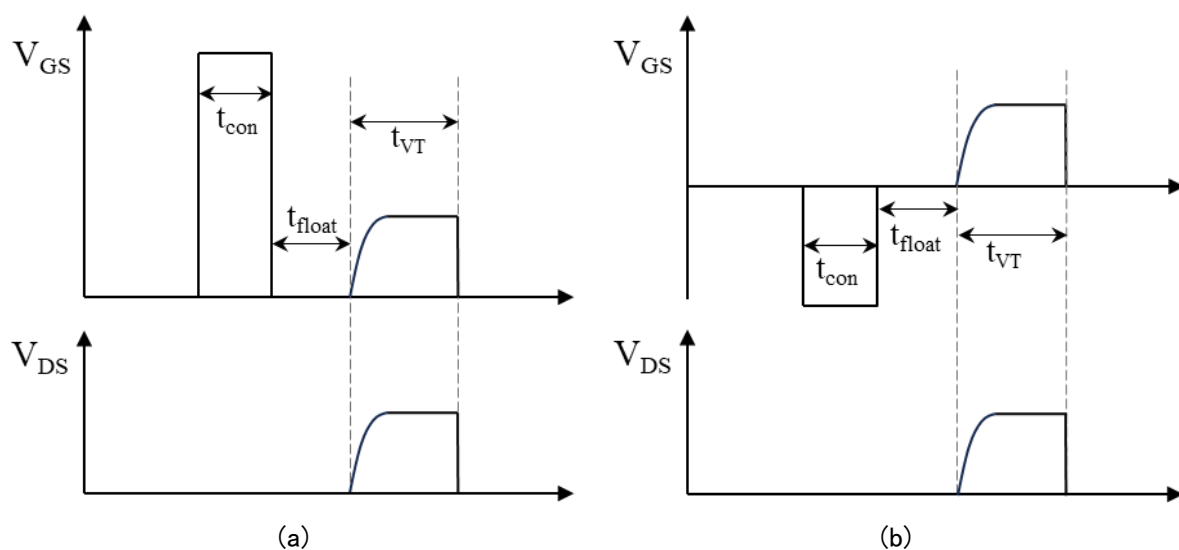


图7 电流源法测试时序 (a) 正向预偏置扫描 (b) 负向预偏置扫描

5.3.2 规定条件

规定条件如下：

- 环境或参考点温度；
- 栅极预偏置电压 V_{con} 、栅极预偏置时间 t_{con} ；
- 间隔时间 t_{float} ；
- 阈值电压测试时间 t_{VT} ；
- 漏极电流。

注1：栅极预偏置时间 t_{con} 可取1 ms～100 ms之间；间隔时间可取 $t_{float} < 50$ ms；阈值电压测试时间应足够使栅极电压达到稳定值并尽量短，可取 $t_{VT} < 100$ ms；

注2：见5.1.2注2。

6 测试结果与计量方法

6.1 电压源扫描法

电压源扫描法包括双电压源扫描法和单电压源扫描法，在栅压扫描测试中，当 I_{th} 等于 V_1 或 V_2 时， V_{th} 取 V_1 值或 V_2 值；当 I_{th} 处于 I_1 和 I_2 之间时， $V_{th} = V_2 + \frac{(V_1 - V_2) \times (I_{th} - I_2)}{I_1 - I_2}$ ，如图8所示。

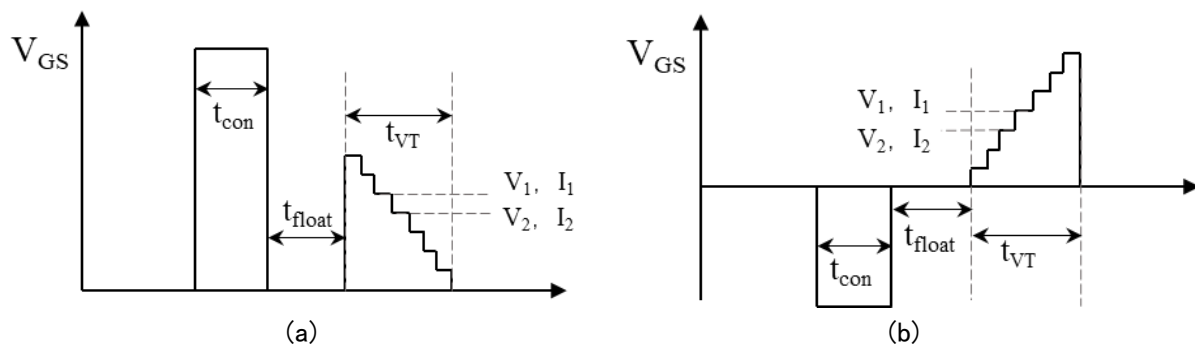


图8 (a) 正向预偏置栅压向下扫描 (b) 负向预偏置栅压向上扫描

6.2 电流源法

在电流源测试方法测试时，需要在栅极电压达到稳定状态时读取相应的栅极电压，即在 t 时间段内读取的 V_{GS} 值为 V_{th} ，如图9所示。

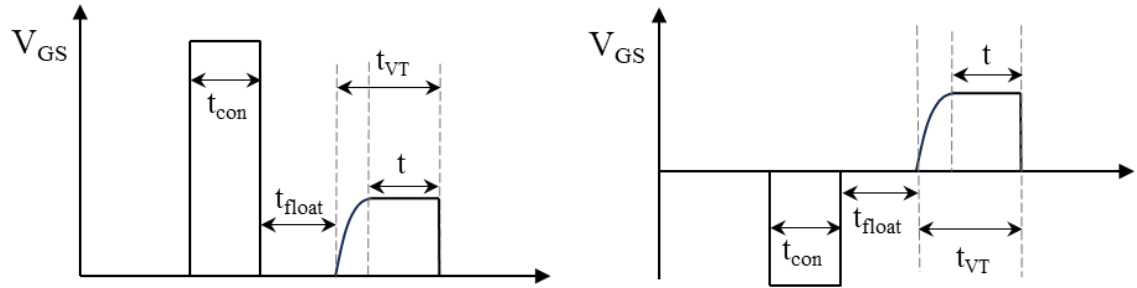


图9 电流源法测试时序 (a) 正向预偏置扫描 (b) 负向预偏置扫描

附 录 A

(资料性)

常用导通电阻 $R_{DS(on)}$ 与阈值电流 I_{th} 推荐表

常用导通电阻 $R_{DS(on)}$ 与阈值电流 I_{th} 参考表A.1。

表A.1 常用导通电阻 $R_{DS(on)}$ 与阈值电流 I_{th} 推荐表

	导通电阻 R_{don}	阈值电流 I_{th}
650 V器件	15 mΩ	15.5 mA
	25 mΩ	9.2 mA
	60 mΩ	5 mA
	120 mΩ	1.8 mA
750 V器件	11 mΩ	35 mA
	15 mΩ	15.4 mA
	25 mΩ	9.2 mA
	45 mΩ	4.8 mA
	60 mΩ	4 mA
900 V器件	30 mΩ	11 mA
	65 mΩ	5 mA
	120 mΩ	3 mA
1 200 V器件	25 mΩ	15 mA
	40 mΩ	10 mA
	80 mΩ	5 mA
	160 mΩ	2.5 mA
1 700 V器件	45 mΩ	18 mA
	1 Ω	0.5 mA
3 300 V器件	53 mΩ	26.5 mA
	150 mΩ	5 mA

附 录 B

(资料性)

阈值电压测试记录表示例

阈值电压测试记录表示例见表B.1。

表B.1 阈值电压测试记录表示例

产品名称 型号规格		组别	
检验项目		环境条件	
测试 仪器仪表	型号：	计量有效期	
	编号：		
测试条件及 技术要求	测试方法（选）	<input type="checkbox"/> 双电压源扫描法	
		<input type="checkbox"/> 单电压源扫描法	
		<input type="checkbox"/> 电流源法	
	测试温度		
	栅极预偏置电压		
	栅极预偏置时间		
	间隔时间		
	阈值电压扫描方向(适用时)		
	阈值电压扫描范围(适用时)		
	阈值电压测试时间		
	漏源电压(适用时)		
	漏极电流		
样品编号	测试结果		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
...			

参 考 文 献

- [1] IEC60747-1-1983 Semiconductor devices-Discrete devices-Part 1: General
 - [2] IEC60747-8-2010 Semiconductor devices-Discrete devices-Part 8: Field-effect transistors
 - [3] JEP183A Guidelines for Measuring the Threshold Voltage (V_T) of SiC MOSFETs
 - [4] Aichinger T, Rescher G, Pobegen G. Threshold voltage peculiarities and bias temperature instabilities of SiC MOSFETs[J]. Microelectronics Reliability, 2018, 80: 68-78.
 - [5] Chen Y, Rao Y, Wang M, et al. Investigation of threshold voltage instability of SiC MOSFETs under different gate voltage sequences[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2024, 71(4): 2536-2542.
-

