

CASA

第三代半导体产业技术创新战略联盟标准

T/CASA 001-2018

碳化硅肖特基势垒二极管通用技术规范

General Specification for Silicon Carbide Schottky Barrier Diodes

版本：V01.00

2018-09-21 发布

第三代半导体产业技术创新战略联盟发布

目录

前言.....	I
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
3.1 一般术语.....	1
3.2 额定值和特性的术语：电压.....	2
3.3 额定值和特性的术语：电流.....	3
3.4 额定值和特性的术语：耗散功率.....	5
3.5 额定值和特性的术语：其他特性.....	6
4 文字符号.....	9
4.1 概述.....	9
4.2 补充的通用下标.....	9
4.2.1 电流、电压和功率.....	9
4.2.2 电参数.....	9
4.3 文字符号表.....	9
4.3.1 电压（参见图 4、图 5）.....	9
4.3.2 电流（参见图 6）.....	10
4.3.3 功率.....	11
4.3.4 开关.....	12
5 基本额定值和特性.....	12
5.1 概述.....	12
5.1.1 额定方法.....	12
5.1.2 推荐温度.....	12
5.2 额定条件.....	12
5.2.1 环境额定的碳化硅肖特基势垒二极管.....	12
5.2.2 管壳额定的碳化硅肖特基势垒二极管.....	13
5.2.3 环境温度或热沉温度或壳温或结温（ T_a 或 T_s 或 T_c 或 T_{vj} ）.....	13
5.3 电压和电流的额定值（极限值）.....	13
5.3.1 反向不重复峰值电压（ V_{RSM} ）.....	13
5.3.2 反向重复峰值电压（ V_{RRM} ）.....	13
5.3.3 反向工作峰值电压（ V_{RWM} ）.....	13
5.3.4 反向直流电压（ V_R ）（适用时）.....	13
5.3.5 正向平均电流（ $I_{F(AV)}$ ）.....	13
5.3.6 正向重复峰值电流（ I_{FRM} ）（适用时）.....	13
5.3.7 正向过载电流（ $I_{(ov)}$ ）.....	14
5.3.8 正向浪涌电流（ I_{FSM} ）.....	14
5.3.9 非重复正向峰值电流（ I_{Fmax} ）.....	15
5.3.10 正向直流电流（ I_F ）.....	15
5.3.11 管壳不破裂峰值电流（ I_{RSMC} ）.....	15
5.3.12 正向方均根电流（ $I_{F(RMS)}$ ）.....	15
5.4 频率额定值（极限值）.....	15

5.5	耗散功率额定值（极限值）	15
5.5.1	反向浪涌耗散功率	15
5.5.2	反向重复峰值耗散功率	15
5.5.3	反向平均耗散功率	15
5.6	温度额定值（极限值）	15
5.6.1	冷却流体的温度或基准点的温度（对于环境额定的或管壳额定的碳化硅肖特基势垒二极管）	15
5.6.2	贮存温度 (T_{stg})	16
5.6.3	等效结温 (T_j)（适用时）	16
5.7	电特性	16
5.7.1	正向电压（在热平衡条件下）	16
5.7.2	击穿电压 (V_{BR})	16
5.7.3	反向重复峰值电流 (I_{RRM})	16
5.7.4	恢复电荷 (Q_r)（适用时），见图 8	16
5.7.5	反向恢复峰值电流 (I_{rrm})（适用时），见图 8	17
5.7.6	反向恢复时间 (t_{rr})（适用时），见图 8	17
5.7.7	正向恢复时间（适用时）	17
5.7.8	正向恢复峰值电压 (V_{FRM})（适用时）	17
5.7.9	（反向恢复）软[度]因子 (F_{RRS})（适用时）	18
5.8	热特性（适用时）	18
5.8.1	热阻 [R_{th}]	18
5.8.2	瞬态热阻抗 [$Z_{th}(t)$]	18
5.9	反向直流电流 ($I_{R(D)}$)	18
5.10	总电容 (C_{tot})（适用时）	18
5.11	总容性电荷 (Q_C)（适用时）	18
5.12	反向恢复能量 (E_{rr})（适用时）	19
5.13	安装扭矩 (M)（适用时）	19
5.14	圆盘二极管的加紧力（适用时）	19
6	型式试验和常规试验的要求，碳化硅肖特基势垒二极管的标志	19
6.1	型式试验	19
6.2	常规试验	19
6.3	测量和试验方法	20
6.4	碳化硅肖特基势垒二极管的标识	20
7	测量和试验方法	20
7.1	电特性的测量方法	20
7.1.1	一般注意事项	20
7.1.2	正向电压	20
7.1.3	击穿电压 (V_{BR})	24
7.1.4	反向电流	25
7.1.5	恢复电荷、反向恢复时间 (Q_r, t_{rr})	27
7.1.6	正向恢复时间和正向恢复峰值电压 (t_{fr}, V_{FRM})	31
7.1.7	总电容 (C_{tot})	33
7.1.8	总容性电荷 (Q_C)	33
7.2	热特性测量方法	35

7.2.1	引言	35
7.2.2	热阻 (R_{th})	35
7.2.3	瞬态热阻抗 [$Z_{th}(t)$]	37
7.3	额定值 (极限值) 的检验方法	38
7.3.1	正向浪涌电流 (I_{FSM})	38
7.3.2	非重复正向峰值电流 ($I_{F,max}$)	39
7.3.3	反向不重复峰值电压 (V_{RSM})	40
7.3.4	碳化硅肖特基势垒二极管的反向峰值功率 (重复或不重复的) (P_{RRM} , P_{RSM})	41
7.3.5	管壳不破裂峰值电流	46
7.3.6	雪崩能量	47
7.4	电耐久性试验	49
7.4.1	耐久性试验表	49
7.4.2	耐久性试验条件	50
7.4.3	接收试验的失效判据和判定失效的特性	50
7.4.4	可靠性试验的判定失效的特性和失效判据	50
7.4.5	试验失误时的程序	50
7.4.6	循环负载试验	50

前言

碳化硅（SiC）是目前发展最成熟的宽禁带半导体之一，具有比硅更高的击穿场强、更快的饱和速度和电子漂移速度、更宽的禁带宽度和更高的热导率等特性，可制作性能更加优异的高效、高温、高频、大功率、抗辐射功率器件。不仅能够在直流、交流输电，不间断电源，开关电源，工业控制等传统工业领域广泛应用，而且在太阳能、风能、电动汽车航空航天等领域也具有广阔的应用前景。

随着 SiC 肖特基势垒二极管的技术发展、市场逐步开启，Si 二极管的标准在某些方面的规定既不能体现 SiC 二极管优越的特性，也限制了 SiC 二极管在某些突出特性方面的发展，现组织制定《碳化硅肖特基势垒二极管通用技术规范》，以支撑产品的设计、生产、测量、验收等工作。

本标准由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 CASA 所有，未经 CASA 许可不得随意复制；其他机构采用本标准的技术内容制定标准需经 CASA 允许；任何单位或个人引用本标准的内容需指明本标准的标准号。

到本标准正式发布为止，CASAS 未收到任何有关本标准涉及专利的报告。CASAS 不负责确认本标准的某些内容是否还存在涉及专利的可能性。

本标准主要起草单位：中国科学院微电子研究所；全球能源互联网研究院有限公司；中国电子科技集团公司第五十五研究所；株洲中车时代电气股份有限公司；龙腾半导体有限公司。

本标准主要起草人：许恒宇、李金元、柏松、李诚瞻、刘鹏飞、万彩萍、查祎英、刘奥、周维、赵璐冰、高伟。

碳化硅肖特基势垒二极管通用技术规范

1 范围

本标准适用于下列器件：

——碳化硅肖特基势垒二极管。

本标准规定了碳化硅肖特基势垒二极管的基本额定值和特性、型式试验和常规试验的要求，碳化硅肖特基势垒二极管的标志以及测量和试验方法。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.66—2004 电工术语半导体器件和集成电路（IDT IEC 60050-521:2002）

GB/T 4023—2015 半导体器件分立器件和集成电路 第2部分：整流二极管（IEC 60747-2: 2000）

GB/T 17573—1998 半导体器件分立器件和集成电路 第1部分：总则（IDT IEC 60747-1:1983）

IEC 60747-2:2016 半导体器件 第2部分：分立器件—整流二极管（Semiconductor devices – Part 2: Discrete devices – Rectifier diodes）

IEC 60749-23 半导体器件.机械和气候试验方法. 第23部分:高温下的工作寿命（Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 23: High temperature operating life）

IEC 60749-25 半导体器件机械和气候试验方法 第25部分:温度循环（Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 25: Temperature cycling）

IEC 60749-34 半导体器件.机械和气候试验方法. 第34部分:电力循环（Semiconductor devices - Mechanical and climatic test methods - Part 34: Power Cycling）

3 术语和定义

GB/T 17573—1998、GB/T 2900.66—2004、GB/T 4023—2015 和 IEC 60747-2:2016 界定的以及下列术语和定义适用本文件。

3.1 一般术语

3.1.1

正向 **forward direction**

直流电流沿碳化硅肖特基势垒二极管低阻流动的方向。

3.1.2

反向 reverse direction

直流电流沿碳化硅肖特基势垒二极管高阻流动的方向。

3.1.3

阳极端（碳化硅肖特基势垒二极管的或整流堆的） anode terminal（of a silicon carbide schottky barrier diode or rectifier stack）

正向电流向外部电路流入的端。

3.1.4

阴极端（碳化硅肖特基势垒二极管的或整流堆的） cathode terminal（of a silicon carbide schottky barrier diode or rectifier stack）

正向电流向外部电路流出的端。

3.1.5

整流堆臂 rectifier stack arm

以两个电路端为界的那部分整流堆，它具有基本上只在一个方向传导电流的特性。

注：整流堆臂可含有一个或若干个串联或并联或并串联的碳化硅肖特基势垒二极管，并作为一个整体工作。这就意味着：整流堆臂可以是整流堆的一部分或整流堆的全部。

3.2 额定值和特性的术语：电压

3.2.1

正向电压 forward voltage

V_F

由正向电流的流动在正负电极两端间产生的电压。

3.2.2

门槛电压 threshold voltage

阈值电压 threshold voltage

$V_{(TO)}$

由正向特性近似直线与电压轴的交点确定的正向电压值。

3.2.3

正向恢复电压 forward recovery voltage

V_{FR}

从零电压或规定的反向电压向规定的正向电流瞬时切换后，在正向恢复时间期间出现的变化的电压。

3.2.4

反向电压 reverse voltage

V_R

加在二极管上的恒值反向电压。

3.2.5

正向峰值电压 **peak forward voltage**

正向波峰电压 **crest forward voltage**

V_{FM}

由于一个超过规定平均电流 π 倍电流而导致超过极限值的电压。

3.2.6

反向重复峰值电压 **repetitive peak reverse voltage**

V_{RRM}

包括所有的重复瞬态电压，但不包括所有的不重复瞬态电压的最大瞬时值反向电压。

3.2.7

反向不重复峰值电压 **non-repetitive peak reverse voltage**

反向瞬态峰值电压 **peak transient reverse voltage**

V_{RSM}

碳化硅肖特基势垒二极管或整流堆臂两端出现的任何不重复最大瞬时值的瞬态反向电压。

注1: 应优先采用“反向不重复峰值电压”术语。

注2: 重复电压通常是电路的函数，并使器件耗散功率增加。不重复瞬态电压通常由外因引起，并假定其影响在下一次不重复瞬态电压来临之前已完全消失。

3.2.8

击穿电压 **breakdown voltage**

V_{BR}

在发生击穿的区域内的电压。

3.3 额定值和特性的术语：电流

3.3.1

正向电流 **forward current**

I_F

沿二极管低阻方向流动的电流。

3.3.2

正向平均电流 **mean forward current**

$I_{F(AV)}$

正向电流在一个周期内的平均值。

3.3.3

正向方均根电流 **r.m.s. forward current**

I_{FRMS}

正向电流在工作频率的一个完整周期的方均根值。

3.3.4

正向重复峰值电流 repetitive peak forward current

I_{FRM}

包括所有重复瞬态电流的正向峰值电流。

3.3.5

正向过载电流 overload forward current

$I_{(OV)}$

一种持续工作将使结温超过额定最高等效结温，而通过限制持续时间使结温不超过额定值的正向电流，这种正向电流和规定的正常正向电流波形基本相同而值较大。

注：根据应用需要，器件可频繁承受过载电流，但同时应承受正常工作电压。

3.3.6

正向浪涌电流 surge forward current

I_{FSM}

持续时间短并规定波形的正向脉冲电流。这种电流由电路异常情况（如故障）引起，导致结温超过或可能超过额定最高结温，但假定其极少发生，并在器件工作寿命期内具有限定的发生次数。

3.3.7

正向峰值电流 peak forward current

I_{FM}

所有重复和不重复瞬态正向电流在内的瞬时时间函数的最大值。

3.3.8

反向电流 reverse current

I_R

当施加规定的反向电压时，流过二极管的全部传导电流。

3.3.9

反向恢复电流 reverse recovery current

I_{RR}

在反向恢复时间出现的那部分反向电流。

3.3.10

I^2t 值 I^2t value

正向浪涌电流的平方对其持续时间的积分值。

3.3.11

管壳不破裂峰值电流 peak case non-rupture current

I_{RSMC}

为防止管壳爆裂或等离子束发射，在规定的电流、波形和时间的条件下，不应超过的反向峰值电流。

注：本定义意味着器件在承受管壳不破裂峰值电流时，如无等离子束发射，允许器件管壳上有细小裂纹，但管壳应不裂开，器件表面也不应有熔化或爆燃痕迹。

3.3.12

管壳不破裂 case non-rupture

I_{RCT}^2

为防止管壳爆裂或等离子束发射，在规定的电流、波形和时间的条件下，不应超过的 I_{RCT}^2 值。以式（1）表示：

$$I_{\text{RCT}}^2 t = \int_0^{t_w} i^2 dt \dots\dots\dots (1)$$

式中：

t_w ——反向电流脉冲持续时间。

注：本定义意味着器件在承受管壳不破裂 I_{RCT}^2 时，如无等离子束发射，允许器件管上有细小裂纹，但管壳应不裂开，器件表面也不应有熔化或爆燃痕迹。

3.4 额定值和特性的术语：耗散功率

3.4.1

总耗散功率 total power dissipation

P_{tot}

正向电流和反向电流产生的耗散功率之和。

3.4.2

正向耗散功率 forward power dissipation

P_{F}

正向电流流动产生的耗散功率。

3.4.3

正向平均耗散功率 mean forward power dissipation

$P_{\text{F(AV)}}$

瞬时正向电压与瞬时正向电流的乘积在一个整周期内的平均值。

3.4.4

反向耗散功率 reverse power dissipation

P_{R}

反向电流流动产生的耗散功率。

3.4.5

反向浪涌耗散功率 surge reverse power dissipation

P_{RSM}

二极管反向工作时，由于浪涌的发生在二极管内产生的耗散功率。

3.4.6

正向恢复耗散功率 forward recovery dissipation

P_{fr}

当二极管从反向电压向正向电流转换时，在反向电压和正向电流变化期间，二极管内的耗散功率。

3.4.7

反向恢复耗散功率 reverse recovery dissipation P_{rr}

当二极管从正向电流向反向电压转换时，在正向电流和反向电压变化期间，二极管内的耗散功率。

3.4.8

反向重复峰值耗散功率 repetitive peak reverse power dissipation P_{RRM}

在反向工作区，由重复峰值电流引起的功耗。

3.4.9

反向平均耗散功率 mean reverse power dissipation $P_{R(AV)}$

在反向工作区，由恒定反向电流或一个周期函数的平均值引起的功耗。

3.5 额定值和特性的术语:其他特性

3.5.1

正向特性近似直线 straight line approximation of the forward characteristic

正向特性曲线上两规定点相连接的直线，此直线用于近似表示正向电压正向电流特性（见图 5）。

3.5.2

正向斜率电阻 forward slope resistance r_T

由正向特性近似直线的斜率确定的电阻值（见图 5）。

3.5.3

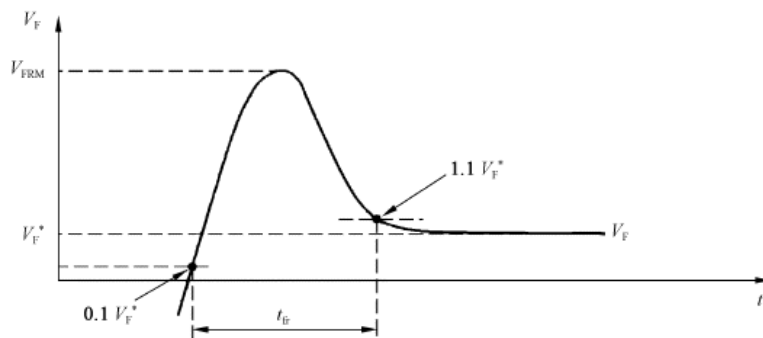
正向恢复时间 forward recovery time t_{fr}

在紧接零电压或其他规定的反向电压条件下施加规定的阶跃正向电流时，正向电压上升到第一个规定值瞬间和从其峰值 V_{FRM} 下降到接近正向电压最终稳定值的第二个规定值瞬间 [如图 1a) 所示] 的时间间隔，或第一个规定值瞬间和外推正向电压至零 [如图 1b) 所示] 的时间间隔。

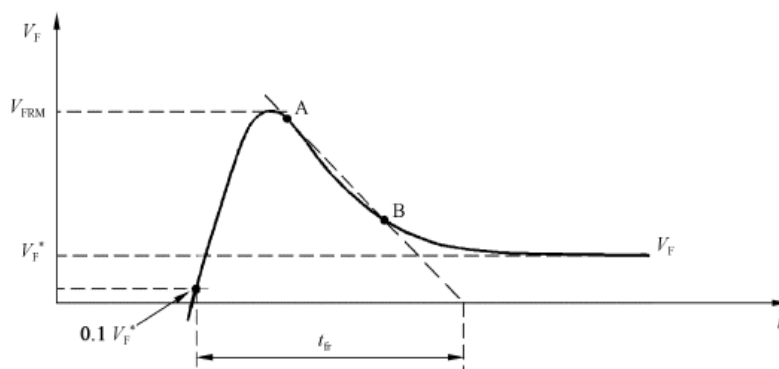
注 1: 规范的方法 I 规定的第一个值和第二个值，通常采用的基准分别是最终稳定值 [图 1a) 和图 1b) 中的 V_F^*] 的 10% 和 110%。

注 2: 规范的方法 II: 用规定的 A 点和 B 点连线延长实现外推，A 点和 B 点的值通常分别为 V_{FRM} 的 90% 和 50%，一般如图 1b) 所示。

注 3: 方法 I 中 V_{fr} 值适用于 10V 内，方法 II 中 V_{fr} 的值适用于更高的情况。



a) 规范的方法 I



b) 规范的方法 II

图 1 正向恢复期间的电压波形

3.5.4

反向恢复时间 **reverse recovery time** t_{rr}

当从正向到反向转换时，从电流过零瞬间起的第一个周期内，至反向电流由峰值 I_{rrm} 减小到 $0.2I_{rrm}$ 瞬间止的时间间隔（如图 2）所示）

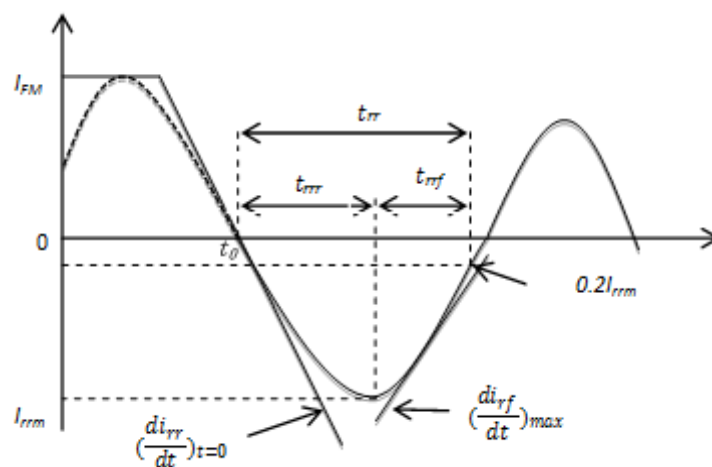


图 2 反向恢复期间的电流波形

3.5.5

恢复电荷 recovered charge

Q_r ; Q_{RR}

二极管从规定的正向电流条件向规定的反向条件切换后的第一个周期内，从正向电流过零点起至反向电流由峰值 I_{rrm} 减小到 $20\%I_{rrm}$ 电流值的时间积分得到的总恢复电荷。以式 (2) 给出：

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0+t_{rr}} i_R dt \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t_0 ——电流过零点瞬间；

t_{rr} ——规定的积分时间（见图 3）。

注：恢复电荷包括载流子贮存和耗尽层电容引起的两部分。

t_{rr} 是规定的从正向电流过零点瞬间时刻到 i_{rr} 降到 $20\%I_{rrm}$ 时的积分时间（如图 3 所示）

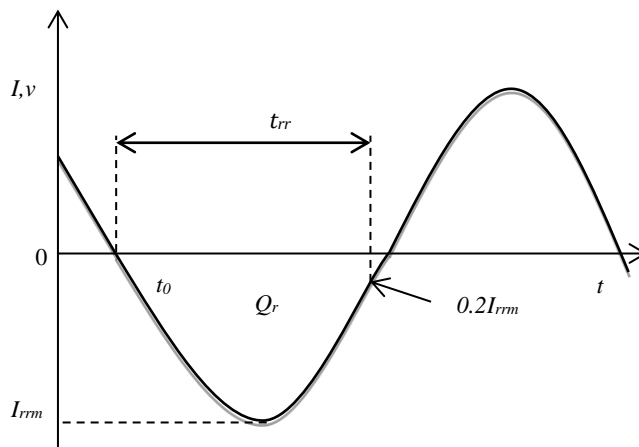


图 3 恢复电荷

3.5.6

反向恢复电流上升时间 reverse recovery current rise time

t_{rrr} ;

由规定的正向电流向规定的反向电压瞬时切换后，从反向恢复时间始点起，至反向恢复电流达到峰值瞬间止的时间间隔。

3.5.7

反向恢复电流下降时间 reverse recovery current fall time

t_{rrf} ;

由规定的正向电流向规定的反向电压瞬时切换后，从反向恢复电流达到峰值瞬间起，至反向恢复时间终点止的时间间隔。

3.5.8

(反向恢复) 软 [度] 因子 (reverse recovery) softness factor

S_{rr}

反向恢复电流过零时的上升率与反向恢复电流最大下降率之比的绝对值，见图 2)。以式 (3) 给出：

$$S_{rr} = \left| \frac{(di_{rrr}/dt)_{i=0}}{(di_{rrf}/dt)_{max}} \right| \dots\dots\dots (3)$$

3.5.9

容性电荷 **capacitive charge**

Q_c

正负极之间电压从零上升到以规定值所需的电荷。

3.5.10

反向恢复能量 **reverse recovery energy**

E_{rr}

根据器件电压和电流的乘积在时间 t_{rr} 内对恢复电荷进行积分求得的转换能量。

注： t_{rr} 如图 3 所示。

4 文字符号

4.1 概述

GB/T 17573—1998 的第 V 篇的一般规则部分适用。

4.2 补充的通用下标

除推荐 GB/T 17573—1998 的第 V 篇给出的通用下标外，对于碳化硅肖特基势垒二极管，还推荐下列专用下标。

4.2.1 电流、电压和功率

(同时见 GB/T 17573—1998 的第 V 篇的 2.2.1)

A, a ——阳极

K, k ——阴极

(TO) ——门槛值

4.2.2 电参数

(同时见 GB/T 17573—1998 的第 V 篇的 2.2.2)

T ——斜率

4.3 文字符号表

下列表中的文字符号推荐用于碳化硅肖特基势垒二极管，这些文字符号按一般规则编制。

4.3.1 电压 (参见图 4、图 5)

与电压相关的符号详见表 1。

表 1 电压相关的符号

名 称	文字符号	备注
正向电压	V_F	
正向峰值电压	V_{FM}	
正向平均电压	$V_{F(AV)}$	
反向电压	V_R	
反向重复峰值电压	V_{RRM}	
反向不重复峰值电压（反向瞬态峰值电压）	V_{RSM}	
击穿电压	$V_{(BR)}$	
正向恢复电压	V_{FR}	
正向恢复峰值电压	V_{FRM}	

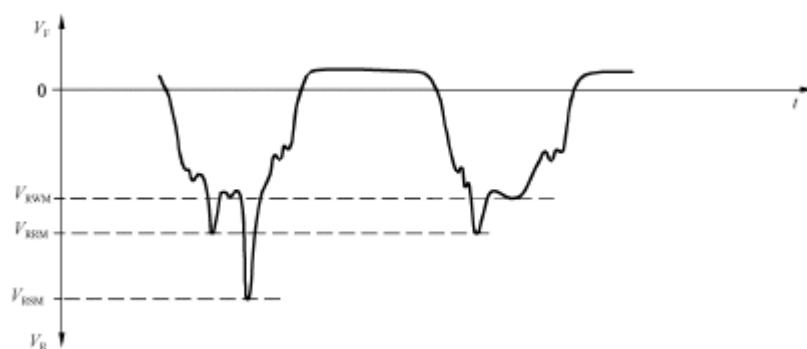


图 4 反向电压额定值

正向斜率电阻	r_T	
门槛电压 阈值电压	$V_{(TO)}$	

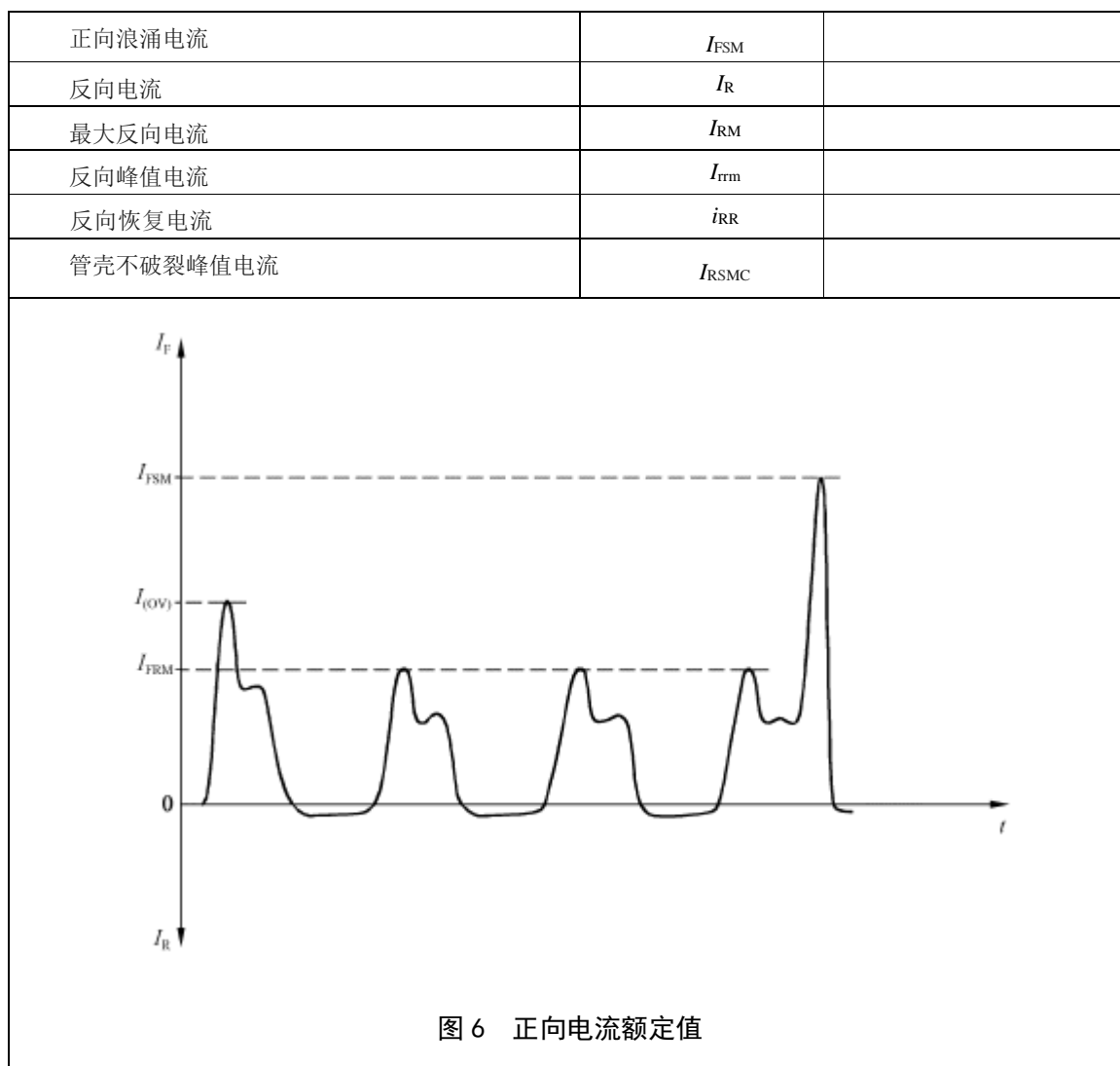
图 5 正向特性

4.3.2 电流（参见图 6）

与电流相关的符号详见表 2。

表 2 电流相关的符号

名 称	文字符号	备注
正向电流	I_F	
正向平均电流	$I_{F(AV)}$	
正向重复峰值电流	I_{FRM}	
正向方均根电流	$I_{F(RMS)}$ 或 $I_{F(R.M.S)}$	
正向过载电流	$I_{(OV)}$	



4.3.3 功率

与功率相关的符号详见表 3。

表 3 功率相关的符号

名称	文字符号	备注
正向耗散功率	P_F	
正向平均耗散功率	$P_{F(AV)}$	
反向耗散功率	P_R	
总耗散功率	P_{tot}	
反向浪涌耗散功率	P_{RSM}	
反向重复峰值耗散功率	P_{RRM}	
反向平均耗散功率	$P_{R(AV)}$	
正向恢复耗散功率	P_{fr}	
反向恢复耗散功率	P_{rr}	

4.3.4 开关

与开关相关的符号详见表 4。

表 4 开关相关的符号

名 称	文字符号	备注
正向恢复时间	t_{fr}	
反向恢复时间	t_{rr}	
反向恢复电流上升时间	t_{rrr}	
反向恢复电流下降时间	t_{rrf}	
恢复电荷	Q_r	
(反向恢复)软[度]因子	S_{rr}	
总电容	C_{tot}	
容性电荷	Q_C	
反向恢复能量	E_{rr}	

5 基本额定值和特性

5.1 概述

5.1.1 额定方法

应说明碳化硅肖特基势垒二极管是按环境额定或按管壳额定的器件。

5.1.2 推荐温度

很多额定值和特性都要求在 25℃ 和另一规定温度条件下给出。

除另有说明外，另一规定温度，制造厂应从下列表格所列温度中选取。

表 5 推荐温度列表

-65℃	+25℃	+60℃	+150℃
-55℃	+35℃	+70℃	+175℃
-40℃	+40℃	+85℃	+200℃
-25℃	+45℃	+100℃	+250℃
-10℃	+55℃	+125℃	+300℃
1) 许多额定值和特性建议在 25℃ 下规定			

5.2 额定条件

应在下列一个或多个热条件下说明 5.3 中给出的额定值。

5.2.1 环境额定的碳化硅肖特基势垒二极管

5.2.1.1 自然对流

在 25℃ 和在一较高温度的条件下（见 5.1.2）。应规定冷却流体和压力（在气体的情况下）。空气压力至少应为 90kPa(900 mbar)，这相当于海拔最高 1000m。

5.2.1.2 强迫循环

从推荐温度表（见 5.1.2）选取温度。应规定冷却流体的种类、压力和流量。

5.2.2 管壳额定的碳化硅肖特基势垒二极管

从推荐温度表（见 5.1.2）选取基准点温度。

注：基准点温度通常是管壳温度。对于小碳化硅肖特基势垒二极管，可规定一个端子的温度。

5.2.3 环境温度或热沉温度或壳温或结温（ T_a 或 T_s 或 T_c 或 T_{vj} ）

最大值和最小值。

注：壳温一般在器件体上测量，对于一些碳化硅肖特基势垒二极管，壳温被规定在其一个端钮处测量。

5.3 电压和电流的额定值（极限值）

下列额定值对于特定器件的整个工作条件范围应有效。

5.3.1 反向不重复峰值电压（ V_{RSM} ）

正弦半波反向电压脉冲的最大值，须规定脉冲的持续时间。此持续时间应由下列值选取：10ms、8.3ms、1ms 和 0.1ms。

5.3.2 反向重复峰值电压（ V_{RRM} ）

正弦半波反向重复电压脉冲的最大值，须规定脉冲的持续时间。此持续时间应由下列值选取：10ms、8.3ms、1ms 和 0.1ms。

5.3.3 反向工作峰值电压（ V_{RWM} ）

在电源频率（通常为 50Hz 或 60Hz）条件下，正弦半波重复反向电压的最大值（持续时间：10ms 或 8.3ms）。

5.3.4 反向直流电压（ V_R ）（适用时）

最大值。

5.3.5 正向平均电流（ $I_{F(AV)}$ ）

在具有电阻性负载的单相半波电路的条件下，以最大值与环境温度或管壳温度的关系曲线表示。此外，还可给出其他一些电路条件的曲线。

注：额定正向平均电流是假定不存在过载情况下给出的。

5.3.6 正向重复峰值电流（ I_{FRM} ）（适用时）

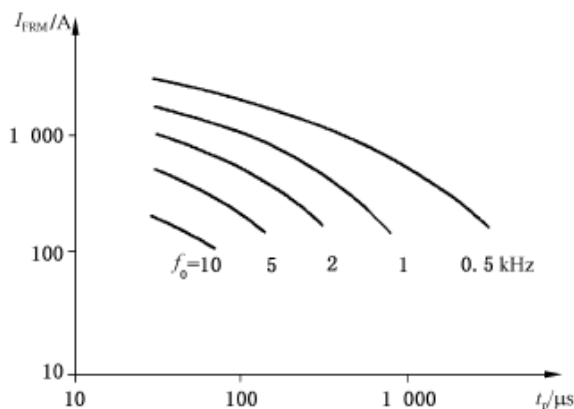
在一个规定的环境温度或热沉温度或壳温或有效结温下的最大值。

在下列规定的条件下，以重复频率为参变量，用最大（重复峰值）正向电流值与正弦半波电流持续时间的关系曲线表示：

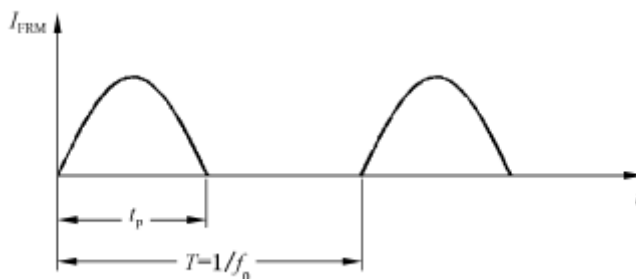
——基准点温度；

——反向电压；
 ——RC 阻尼网络，适用时。

图 7 给出一个示例，图 7b) 为说明 t_p 而给出。



a) 最大正向峰值电流 I_{FRM} 与脉冲持续时间 t_p 的关系 (参变量: 重复频率 f_0)



b) 脉冲持续时间 t_p 和周期时间 T 的定义

图 7 正向重复峰值电流 (I_{FRM}) 示例

5.3.7 正向过载电流 ($I_{(ov)}$)

本额定值适用时, 应以规定的最高等效结温和最大瞬态热阻抗给出。此外, 还可以用曲线图给出过载电流额定值。

5.3.8 正向浪涌电流 (I_{FSM})

本额定值应对应于最高等效结温的初始条件给出。此外, 可给出对应于较低初始等效结温条件下的曲线。应给出下列时间期间的浪涌电流额定值:

- a) 对于小于半个周期 (50Hz 或 60Hz) 但大于约 1ms 的时间, 以 $\int i^2 dt$ 的最大额定值形式给出浪涌电流额定值。
 还可以用曲线方式或规定值给出浪涌电流额定值。假定紧接浪涌电流后不施加反向电压。
- b) 对于大于或等于半个周期而小于 15 个周期 (50 Hz 或 60Hz) 的时间, 以表示最大额定浪涌电流与时间的关系曲线给出浪涌电流额定值。最好以 80% 最大反向重复峰值电压条件给出这些额定值。50 % 或 100 % 最大反向重复峰值电压条件下的浪

涌电流可作为补充额定值给出。

- c) 对于等于一个周期的时间，在不施加反向电压的条件下给出浪涌电流额定值。

5.3.9 非重复正向峰值电流 ($I_{F, \max}$)

SiC 二极管多应用在高频电路中，因此需测试此种持续时间非常短，并规定波形的正向脉冲电流（脉冲电流宽度为 $10\mu\text{s}$ ），这种电流由电路异常情况（如故障）引起，导致结温超过或可能超过额定最高结温，但假定其极少发生，并在器件工作寿命期内具有规定的发生次数。

5.3.10 正向直流电流 (I_F)

在一个规定的环境温度或热沉温度或壳温或有效结温下的最大值。

5.3.11 管壳不破裂峰值电流 (I_{RSMC})

在规定的脉冲持续时间、波形和起始壳温下的最大值，最好是最大值。

5.3.12 正向方均根电流 ($I_{F(RMS)}$)

在一个规定环境温度或热沉温度或壳温或有效结温下的最大值。

5.4 频率额定值（极限值）

适用时，用于电压和电流额定值（见 5.3）的最高频率和（或）最低频率。

5.5 耗散功率额定值（极限值）

5.5.1 反向浪涌耗散功率

在最高等效结温条件下，以反向浪涌耗散功率额定值与浪涌持续时间的关系曲线表示。其波形应从 7.3.4 选取。

5.5.2 反向重复峰值耗散功率

在规定的环境温度或基准点温度条件下的最大值（见 5.5.3 的注）。其波形应从 7.3.4 选取。

5.5.3 反向平均耗散功率

在规定的波形（三角波、正弦波或矩形波）持续时间和占空比，并在规定的环境温度或壳温下零正向耗散时的最大值。

注：当在应用中既产生正向耗散功率又产生反向耗散功率时，则应根据器件制造厂的应用说明给予降额。

5.6 温度额定值（极限值）

5.6.1 冷却流体的温度或基准点的温度（对于环境额定的或管壳额定的碳化硅肖特基势垒二极管）

最小值和最大值。

5.6.2 贮存温度 (T_{stg})

最小值和最大值。

5.6.3 等效结温 (T_j) (适用时)

最大值。

5.7 电特性

(除另有说明外, 冷却流体温度或基准点温度为 25°C。)

5.7.1 正向电压 (在热平衡条件下)

5.7.1.1 正向直流电压 (V_F)

在额定正向直流电流时的最大值。

5.7.1.2 正向峰值电压 (V_{FM}) (适用时)

在 π 倍额定正向平均电流 (见 5.3.5) 的峰值电流时的最大值。

注: π 可取为 3。

5.7.2 击穿电压 (V_{BR})

在反向特性低动态阻抗区域中, 与规定脉冲电流对应的最小值。

5.7.3 反向重复峰值电流 (I_{RRM})

在额定反向重复峰值电压时的最大值。

5.7.4 恢复电荷 (Q) (适用时), 见图 8

在下列规定条件下的最大值, 或最大值和最小值:

- (a) 正向电流, 优选等于 5.3.5 的最大值;
- (b) 正向电流下降率 ($-di/dt$);
- (c) 反向电压, 优选等于 5.3.2 规定的反向重复峰值电压的 50%;
- (d) 环境温度或基准点温度等于正向峰值电流允许的最高温度。

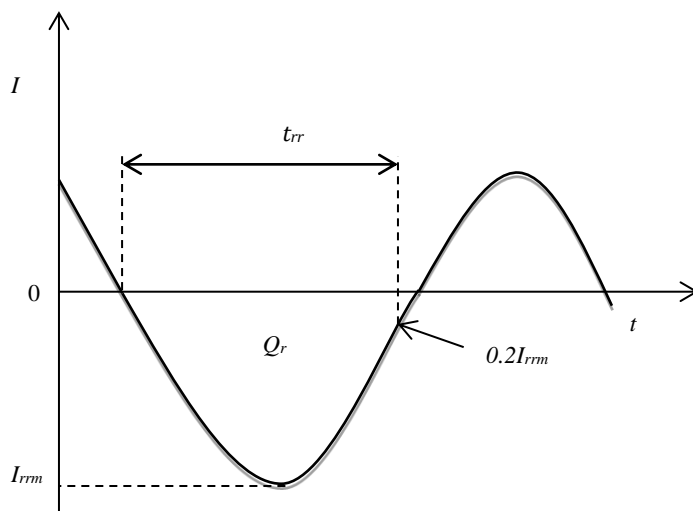


图8 恢复电荷 Q_r ，反向恢复峰值电流 I_{rrm} ，反向恢复时间 t_{rr} （理想特性曲线）

5.7.5 反向恢复峰值电流 (I_{rrm})（适用时），见图8

在5.7.5的a)~d)规定条件下的最大值。

5.7.6 反向恢复时间 (t_{rr})（适用时），见图8

在5.7.5的a)~d)规定条件下的最大值。

5.7.7 正向恢复时间（适用时）

在下列规定条件下的最大值[见图1a)和图1b)]；

- 等效结温 (T_j)；
- 正向峰值电流 (I_{FM})；
- 正向电流脉冲上升时间 (t_r)，取 $10\%I_{FM}$ 和 $90\%I_{FM}$ 之间的时间；
- 确定 t_{fr} 起点的电压值，优选正向电压最终稳定值 $V \cdot F$ 的 10% ；
- 对于规范的方法 I：确定 t_{fr} 终点的电压值，优选 $110\%V \cdot F$ ；
- 对于规范的方法 II：确定外推用 A 点和 B 点的电压值，分别优选 $90\%V_{FRM}$ 和 $50\%V_{FRM}$ ；
- 反向电压 (V_R)，优选 $V_R=0$ 。

注1：脉冲源的最低电压（开路）宜为 $3V_{FRM}$ 。

注2：方法 I V_{FRM} 值优选可至约 $10V$ ；方法 II， V_{FRM} 采用相当大的值（至几百伏）。

5.7.8 正向恢复峰值电压 (V_{FRM})（适用时）

在下列规定条件下的最大值：

- 正向峰值电流 (I_{FM})；
- 电流脉冲的上升时间 (t_r)，取 $10\%I_{FM}$ 和 $90\%I_{FM}$ 之间的时间 [见图1a)和图1b)]，另有规定除外；
- 反向电压 $V_R=0$ ，另有规定除外；

d) 等效结温 (T_j)。

注：对于小占空比的短脉冲，等效结温可认为等于环境温度或管壳温度。

5.7.9 (反向恢复) 软[度]因子 (F_{RRS}) (适用时)

在下列规定条件下的最小值：

- a) 转换前正向电流：小于 10% 的和 200 % 的最大额定正向平均电流 (见 5.3.5) 值；
- b) 正向电流下降率 ($-di_F/dt$)；
- c) 反向电压 (V_R)，取 5.3.2 的额定最高反向重复峰值电压的 50%，另有规定除外；
- d) 包含重要寄生成分的 R_C 阻尼网络 (适用时)；
- e) 等效结温。

注：正向电流脉冲持续时间应足够长以确保载流子密度建立平衡。

5.8 热特性 (适用时)

5.8.1 热阻 [R_{th}]

结至封装壳体上基准点的最大温差与功耗之比，或者结至热沉基准点的最大温差与功耗之比，或者结至环境基准点的最大温差与功耗之比。

5.8.2 瞬态热阻抗 [$Z_{th}(t)$]

瞬态热阻抗用最大瞬态热阻抗与时间的关系曲线表示，时间范围从稳态值到 1ms 或更短的时间，曲线也可以用数学关系式代替。

5.9 反向直流电流 ($I_{R(D)}$)

在最大结温下规定的一个高反向电压下的最大值。

注： I_R 等同于 $I_{R(D)}$ 。

5.10 总电容 (C_{tot}) (适用时)

在下列规定条件下的最大值：

- a) 环境、管壳或基准点温度 (T_{amb} 、 T_{case} 、 T_{ref})；
- b) 反向电压 (V_R)；
- c) 测量频率；
- d) 二极管的安装条件 (在必要时)。

5.11 总容性电荷 (Q_C) (适用时)

在下述条件下的最大值：

反向电压，最好是额定反向重复峰值电压的 67%。
结温或壳温或热沉温度。

5.12 反向恢复能量 (E_{rr}) (适用时)

恢复电荷在规定条件下的典型值。

5.13 安装扭矩 (M) (适用时)

最大值和最小值。

5.14 圆盘二极管的加紧力 (适用时)

对于安装面的最大值、最小值和刚度应做规定。

6 型式试验和常规试验的要求, 碳化硅肖特基势垒二极管的标志

6.1 型式试验

为确定在数据表中给出的电、热额定值 (极限值) 和特性, 以及建立以后常规试验的各项试验的强度, 对新产品应抽样进行型式试验。

为确认产品质量连续符合规定要求, 从现行生产或交货中抽取样品重复进行某些或全部型式试验项目。

表 6 列出了碳化硅肖特基势垒二极管应实施的最少型式试验项目。一些型式试验是破坏性的。

6.2 常规试验

表 6 碳化硅肖特基势垒二极管的型式试验和常规试验的最少试验项目

试验名称	型式试验	常规试验
1		
正向电压	×	
其他正向特性	×	
反向电流	×	×
其他反向特性	×	
恢复电荷、反向恢复峰值电流	× ^a	× ^b
热阻和瞬态热阻抗	×	
额定值验证		
正向浪涌电流	×	
管壳不破裂峰值电流	× ^a	
耐久性试验		
高温交流反向偏置试验	×	
热循环负载试验	×	
a 仅对器件规定有最大值进行型式试验。		
b 仅对器件规定有最大值和最小值进行常规试验。		

为验证每个样品符合数据表中规定的额定值 (极限值) 和特性, 一般是对现行生产或

交货的产品在 100%基础上进行常规试验。

常规试验可选取器件分组进行。

表 6 列出了碳化硅肖特基势垒二极管应实施的最少常规试验项目。

6.3 测量和试验方法

应符合第 7 章给出的测量和试验方法。

耐久性试验应符合 7.4 给出的方法。

6.4 碳化硅肖特基势垒二极管的标识

每只碳化硅肖特基势垒二极管应清晰而不易脱落地标志下列信息：

- 制造厂名称或识别标志；
- 制造厂或供货商给出的型号；
- 可区分的阳极端和阴极端的标志；
- （生产日期（适用时））。

7 测量和试验方法

7.1 电特性的测量方法

7.1.1 一般注意事项

7.1.1.1 直流测量的一般注意事项

对于碳化硅肖特基势垒二极管的正向特性测量，直流电源的质量是无关紧要的，只要峰-峰的纹波值小于 10%即可。

对于反向特性测量，电压源峰-峰的纹波值不应超过 1%，并应特别注意确保不因任何电压瞬变而超过碳化硅肖特基势垒二极管的电压额定值。

7.1.1.2 交流测量的一般注意事项

可在电源电路中接入二极管，以保护示波器内的放大器不受无用半周脉冲的影响。当测量小的反向电流时，有必要采取适当预防措施，例如变压器屏蔽和接地良好来避免干扰，还应注意避免杂散电容。

此外，应特别注意尽可能地降低残余电感，对大电流器件尤应如此。

7.1.1.3 温度条件

下述电特性的所有测量都应规定温度条件。

应在热平衡到达后进行测量。

7.1.2 正向电压

7.1.2.1 直流法

正向电压的基本测试电路示于图 9。使规定的正向电流通过二极管，并在规定条件下

测量二极管两端的正向电压降 (V_F)。

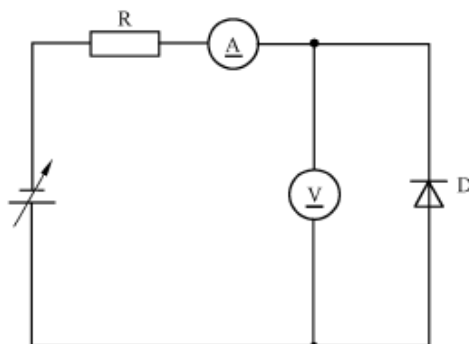


图9 正向电压的测试电路（直流法）

电路说明和要求：

- D ——受试二极管；
- R ——保护电阻；
- G ——直流源。

测试过程：

调节冷却条件至规定的环境温度，壳温和参考点温度。使用规定的正向电流流过二极管一段时间直到达到热平衡。二极管的正向压降 V_F 会在规定条件下测量：

规定条件：

- a) 正向电流；
- b) 环境温度，壳温和参考点温度。

7.1.2.2 交流法

正向瞬时电压的基本测试电路示于图 10。受试二极管正向施加正弦半波电流，其电压电流曲线显示于示波器上。

应注意防止热不稳定。

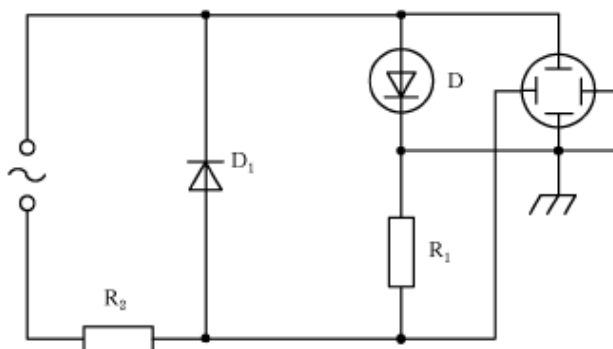


图 10 正向电压的测试电路（交流法）

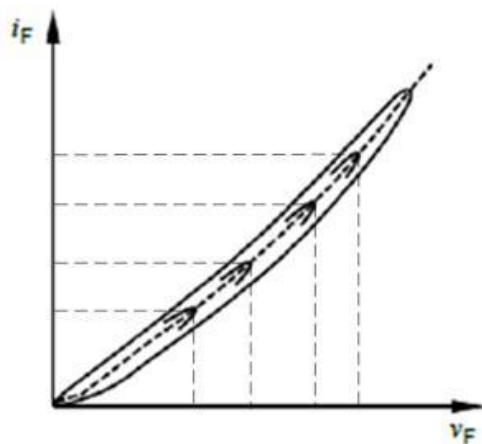


图 11 导通状态图示

电路说明和要求:

- D ——受试二极管;
- D₁ ——为产生负半波的钳位二极管
- R₁ ——电流敏感电阻
- R₂ ——保护电阻, 低阻值
- G ——交流源

测试过程:

用一个半正弦波正向施加到待测二极管, 直到达到热平衡。 $I-V$ 曲线会显示在示波器上。电流源的大小设置需根据 V_F 或 V_{FM} 的规定。由于半导体电容, 示波器会显示一个滞回曲线。转折点就是静态导通电压。(如图 11)

注: 随着一系列的半波电流的上升, 会得到一系列的转折点, 这些点就是静态正向特性。

规定条件:

- a) 正向峰值电流;
- b) 环境温度, 壳温或参考点温度。

7.1.2.3 脉冲法**目的:**

在规定条件下, 用脉冲法测量碳化硅肖特基势垒二极管的正向电压。

电路图:

正向电压的基本测试电路 (脉冲法) 示于图 12。

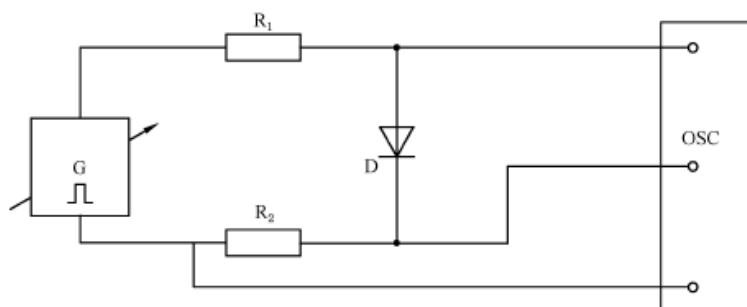


图 12 正向电压的测试电路（脉冲法）

电路说明和要求：

- D ——受试二极管；
 G ——脉冲发生器；
 R₁ ——保护电阻器；
 R₂ ——校准过的电流测量电阻器；
 OSC——示波器或峰值读数仪表。

脉冲发生器的脉冲宽度及脉冲重复率应使得测量期间所产生的内部发热可忽略。

上述条件通常适用 50μs~500μs 的脉冲宽度。在任何情况下都应建立载流子平衡。

测量程序：

脉冲发生器电压开始调至零。

温度条件调整至规定值。

然后提高脉冲发生器的电压来调整规定的正向电流，正向峰值电压 V_{FM} 在示波器上测量。

可用峰值读数仪表代替示波器，但应是正向电流达到其峰值时才测量正向峰值电压的仪表。

规定下列条件的数值：

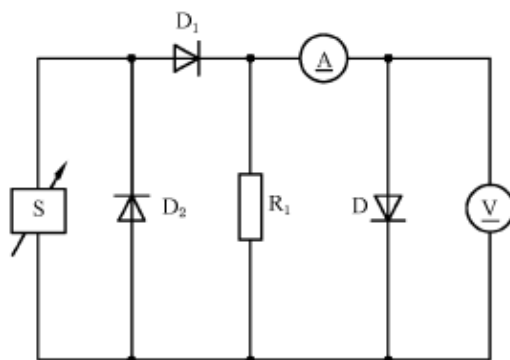
- a) 正向峰值电流 I_{FM} ；
- b) 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)。

7.1.2.4 正向平均电压

正向平均电压的基本测试电路示于图 13。

可调电流源的阻抗应足够大，以保证正弦半波正向电流流过受试二极管。

正向平均电压用动圈式仪表显示，并在规定条件下进行测量。



D ——受试二极管，

S ——可调高阻抗电流源。

R_1 和 D_1 的选择应确保受试二极管和 D_1 承受反向偏压时几乎全部偏压加在 D_1 两端。

图 13 正向平均电压的测试电路

7.1.3 击穿电压 (V_{BR})

目的：

在规定条件下用脉冲法测量碳化硅肖特基势垒二极管的击穿电压。

电路图：

击穿电压的测试电路示于图 14。

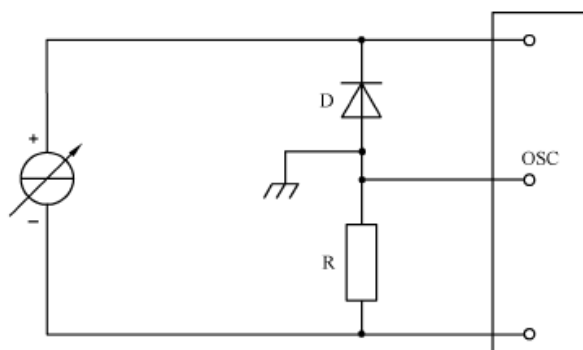


图 14 击穿电压的测试电路

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

R ——校准过的无感电阻器；

OSC——示波器或峰值读数仪表；

恒流脉冲发生器的脉冲宽度和占空比应使二极管的内部发热可忽略。

测量程序：

温度调整到规定值。

提高脉冲发生器的输出，以得到规定的反向电流值。由峰值读数仪表读出击穿电压。

规定下列条件的数值：

- a) 环境温度、管壳温度、基准点温度或等效结温 (T_a 、 T_c 、 T_r 或 T_{vj});
- b) 反向电流 I_R 。

7.1.4 反向电流

7.1.4.1 直流法

反向电流的基本测试电路示于图 15。

通过一保护电阻器，施加规定的反向电压，在规定条件下测量反向电流 (I_R)。

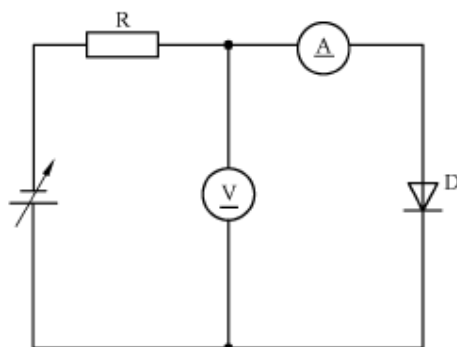


图 15 反向电流的测试电路（直流法）

电路说明和要求:

- D ——待测二极管;
- R ——保护电阻器;
- G ——电压源。

测试过程:

冷却条件调整为规定的环境温度，壳温或参考点温度。

使用规定的反向电压通过一个保护电阻，反向电流在规定条件下测量。

规定条件:

- a) 环境温度，壳温，参考点温度或有效结温 (T_a 、 T_c 、 T_{ref} 、 T_j) ;
- b) 反向电压 (V_R)

7.1.4.2 反向重复峰值电流

目的:

在规定反向重复峰值电压等条件下测量碳化硅肖特基势垒二极管的反向峰值电流 (I_{RM})。

电路图:

反向峰值电流的测试电路示于图 16。

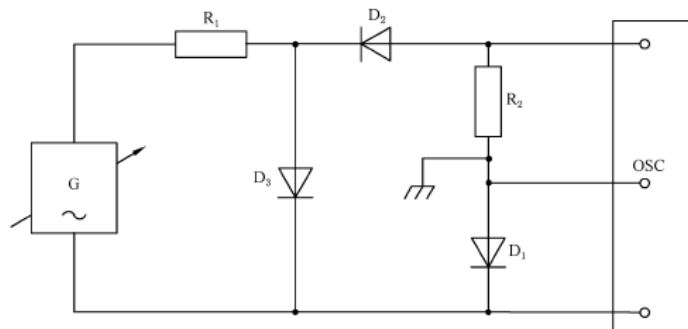


图 16 反向峰值电流的测试电路

电路说明和要求:

D_1 ——受试二极管;

D_2 和 D_3 ——产生负半周期的二极管, 只用来测量碳化硅肖特基势垒二极管的反向特性;

G ——交流电压源;

R_1 ——保护电阻器;

R_2 ——校准过的电流测量电阻器;

OSC ——示波器或峰值读数仪表。

测量程序:

用调整交流电压源, 在示波器上测量碳化硅肖特基势垒二极管两端的反向重复峰值电压。通过在 R_2 两端连接的示波器测量碳化硅肖特基势垒二极管的反向峰值电流。

可用峰值读数仪表代替示波器, 但应是反向电压达到其峰值时才测量反向峰值电流的仪表。

规定下列条件的数值:

a) 反向重复峰值电压 V_{RRM} ;

b) 环境温度、管壳温度、基准点温度或等效结温 (T_a 、 T_c 、 T_r 或 T_j) 。

7.1.4.3 有正向平均电流耗散时的反向峰值电流**目的:**

测量碳化硅肖特基势垒二极管由正向电流加热时的反向电流。其测试电路采用耐久性试验的模拟电路。

电路图:

反向峰值电流的测试电路 (电流加热法) 示于图 17。

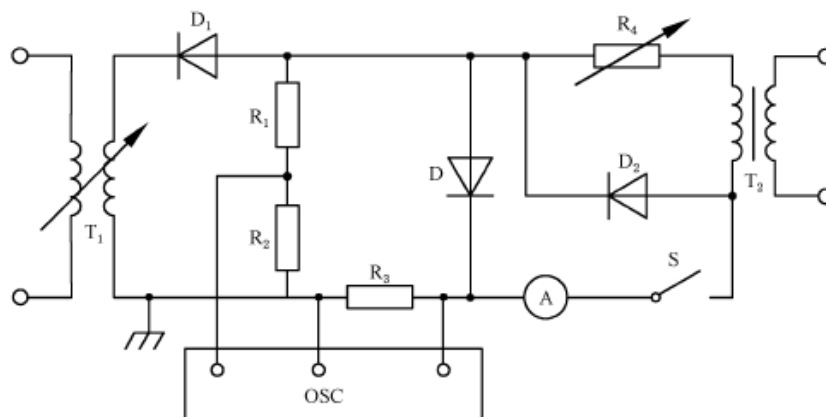


图 17 反向峰值电流的测试电路（电流加热法）

电路说明和要求：

D ——受试二极管；

T_1 ——向受试二极管提供反向半波电压的高压小电流变压器；

T_2 ——向受试二极管提供正向半波电流的低压大电流变压器；

D_1 ——为受试二极管阻断正向半波电压的二极管；

D_2 ——为 T_2 平衡的二极管；

A ——测量正向平均电流的电流表；

OSC——示波器或峰值读数仪表；

R_1, R_2 ——适合测量仪表的校准过的分压器；

R_3 ——校准过的电流测量电阻器；

R_4 ——提供规定正向电流的可变电阻器；

S ——电子开关或机电开关，其导通角在受试二极管正向导通半周期间，介于 $130^\circ \sim 180^\circ$ 之间。该开关在断开时的漏电流应小于受试二极管的反向电流。

测量程序：

用电阻 R_4 调整规定的正向电流。

以正确的相位连接变压器 T_1 的输出端，并调整输入电压至规定的峰值电压。

将冷却条件调整到规定的环境温度、管壳温度或基准点温度。在示波器或峰值读数仪表上观测反向电流。

规定下列条件的数值：

a) 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)；

b) 正向平均电流 $I_{F(AV)}$ ；

c) 反向峰值电压 V_{RM} 。

7.1.5 恢复电荷、反向恢复时间 (Q_r, t_{rr})**7.1.5.1 正弦半波法****目的：**

在规定条件下测量碳化硅肖特基势垒二极管的恢复电荷 Q_r ，和反向恢复时间 t_{rr} 。

电路图和波形：

Q_r 和 t_{rr} 的测试电路（正弦半波法）示于图 18。通过二极管 D 的电流波形（正弦半波法）示于图 19。

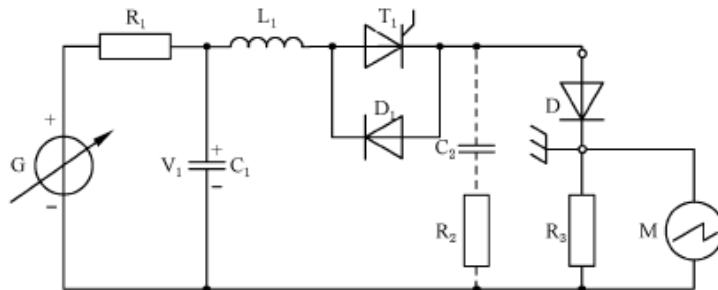


图 18 Q_r 和 t_{rr} 的测试电路（正弦半波法）

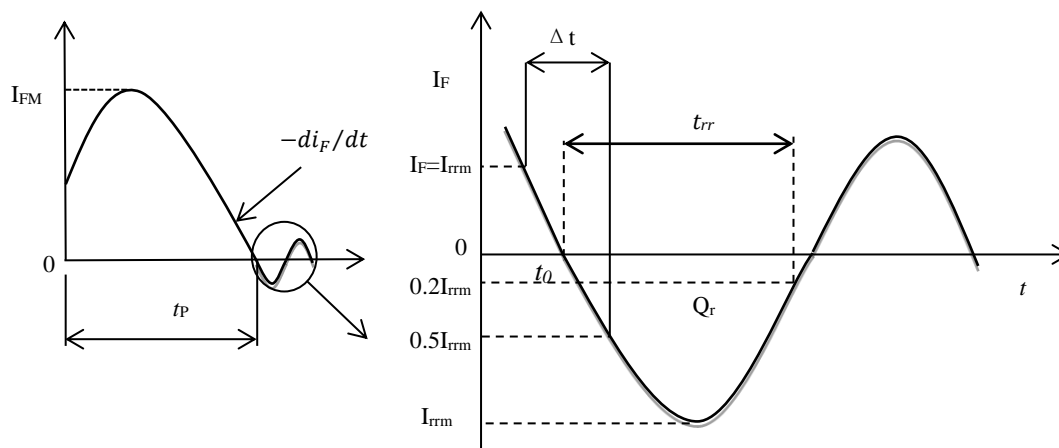


图 19 通过二极管 D 的电流波形（正弦半波法）

电路说明和要求：

- D —— 受试二极管；
- C_1 —— 提供正向电流的电容器（还见 L_1 ）；
- C_2 —— 限制高感应反向电压的电容器；
- D_1 —— 反并联二极管；
- G —— 电压源；
- L_1 —— 调整正向电流变化率 di_F/dt 和脉冲持续时间 ($t_p \approx \pi\sqrt{L_1 \times C_1}$) 的电感器；
- M —— 测量仪表（如示波器）；
- R_1 —— 限制 C_1 充电的电阻器；
- R_2 —— 限制高感应反向电压的电阻器；
- R_3 —— 校准过的电流测量无感电阻器；
- T_1 —— 电子开关（如晶闸管）。

测量程序：

触发晶闸管 T_1 后，调整电压源 G 给出通过二极管 D 的规定值正向峰值电流 I_{FM} 。脉冲

持续时间 t_p 、正向电流变化率 $-di_F/dt$ 和 C_1 两端的电压 V_1 应符合规定的条件，则被测量的恢复电荷由式 (2) 计算。计算时，积分时间 t_i 优先等于规定的 t_r 最大值。

被测反向恢复时间 t_{rr} 为： t_0 和 i_R 值下降到 $20\%I_{Rm}$ 瞬间止的时间间隔。

规定下列条件的数值：

- 环境温度或管壳温度 (T_a 或 T_c)；
- 正向峰值电流 I_{FM} ；
- C_1 两端的电压 V_1 ；
- 正向电流脉冲持续时间 t_p ；
- 正向电流变化率 $-di_F/dt$ (见注)；
- 积分时间 t_i ；
- C_1 , C_2 , R_2 。

注：电流过零，并在 $i_F = I_{RM}$ 和 $i_R = 0.5I_{RM}$ 之间的电流值测定正向电流变化率，见式 (4)：

$$\frac{-di_F}{dt} = \frac{3}{2} \times \frac{I_{RM}}{\Delta t} \text{ (见图 20) } \text{----- (4)}$$

恢复电荷测试如式 (5)：

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0+t_{rr}} i \cdot dt \text{----- (5)}$$

7.1.5.2 矩形波法

目的：

在规定条件下测量碳化硅肖特基势垒二极管的恢复电荷 Q_r 、反向恢复时间 t_{rr} 、反向恢复能量 E_{rr} 和反向恢复软[度]因子 S_{rr} 。

电路图和波形：

Q_r 和 t_{rr} 、 E_{rr} 和 S_{rr} 的测试电路 (矩形波法) 示于图 20。通过二极管 D 的电流波形 (矩形波法) 示于图 21。

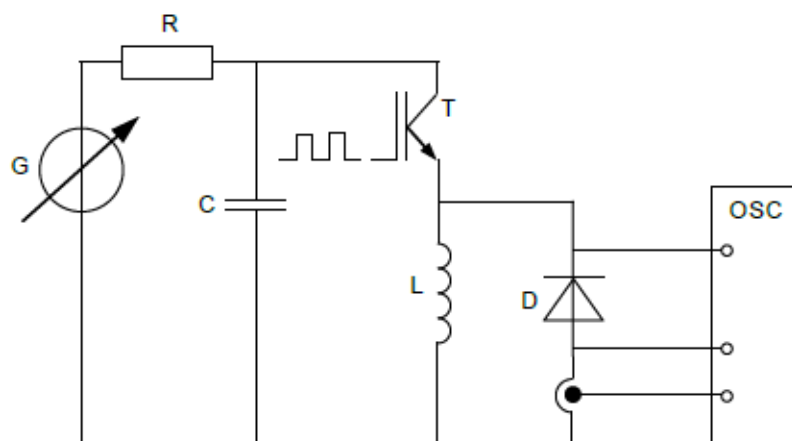


图 20 测试电路 (矩形波法)

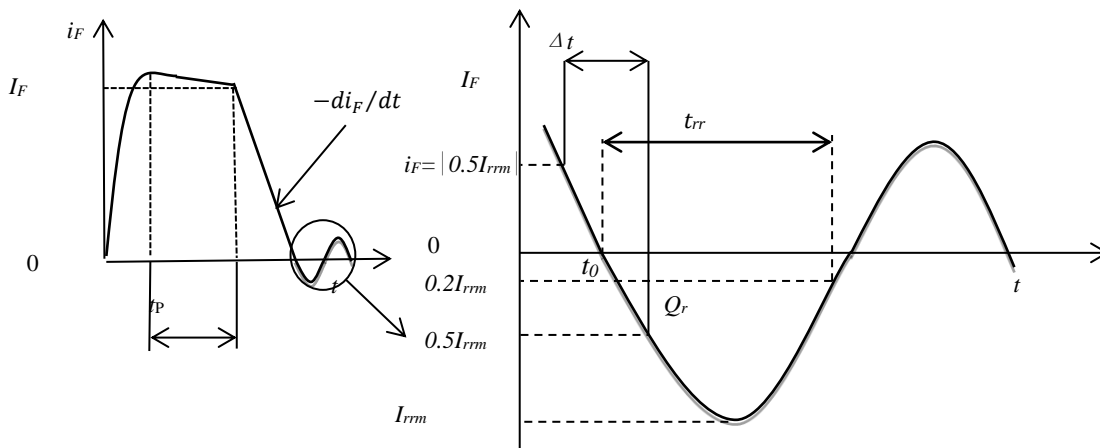


图 21 通过二极管的电流波形（矩形波法）

电路说明和要求：

C ——作为存储电流双脉冲能量的电容，电容应足够大，并保证测试过程中电压恒定。

D ——待测二极管；

G ——电压源；

L ——电感要足够大，保证在自由时间内电流基本恒定；

OSC——在器件测试过程中测量电压和电流的示波器；

R ——限制供电电流的电阻；

T ——电子开关（例如 IGBT）开启速度可调。

测量程序：

设备的温度设置为规定值。

电压源 G 的反向电压调整为规定值。

开关 T 开启一段时间以至于规定电流 I_F 流入电感 L。

开关 T 关断，电感中的电流对于二极管变换了方向，二极管在工作为续流二极管时进行测量。脉冲持续时间（与关断时间 T 相等）要足够长，保证二极管在测试时能够完全传导，并且足够短使得二极管内部产生的热量可以忽略。时间最短应为 20 μ s（快开关碳化硅肖特基势垒二极管）至 1ms（现行碳化硅肖特基势垒二极管）。

在脉冲持续时间结束时，开关 T 开启 1s 的时间，被测二极管关断。通过 T 的门电阻正向电流的变化率调整为规定值。正向电流的变化率在电流零交叉处测得，电流值在 $i_F = |0.5 I_{rrm}|$ 和 $i_R = 0.5 I_{rrm}$ 之间（如图 17）。

$$\frac{-di_F}{dt} = \frac{I_{rrm}}{\Delta t} \text{-----} (6)$$

反向恢复电荷测试如式 (7)：

$$Q_r = \int_{t_0}^{t_0+t_{rr}} i \cdot dt \text{-----} (7)$$

其中：

t_0 是电流通过零点时的瞬间；

t_i 是规定的积分时间，最好是到 $20\%I_{T_{RM}}$ 时的电流。

被测反向恢复时间 t_{rr} 为： t_0 和 i_R 值下降到 $20\%I_{T_{RM}}$ 瞬间止的时间间隔。

规定下列条件的数值：

- 环境温度或管壳温度；
- 正向电流 I_F ；
- 反向电压 V_R ；
- 正向电流脉冲持续时间 t_p ；
- 正向电流变化率（见注）；
- 积分时间 t_i ；
- L_1, L_2, C_2, R_2 。

注： di_F/dt 的变化率应该在几十 A/ μ s 和几 kA/ μ s 之间。因此，这种方法适合快开关碳化硅肖特基势垒二极管。

7.1.6 正向恢复时间和正向恢复峰值电压 (t_{fr}, V_{FRM})

目的：

测量碳化硅肖特基势垒二极管的正向恢复时间 t_{fr} 和正向恢复峰值电压 V_{FRM} 。

电路图和波形：

t_{fr} 和 V_{FRM} 测试电路示于图 22。测量 t_{fr} 和 V_{FRM} 的电流和波形示于图 23。

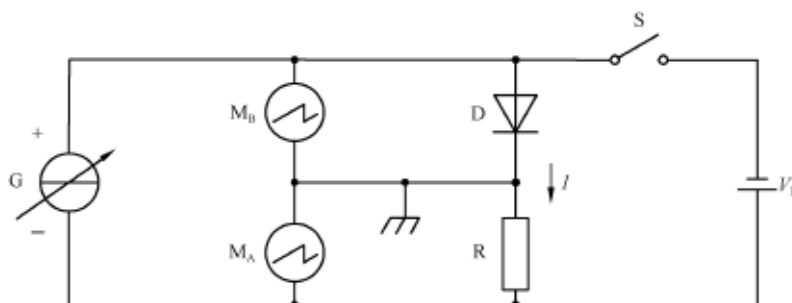
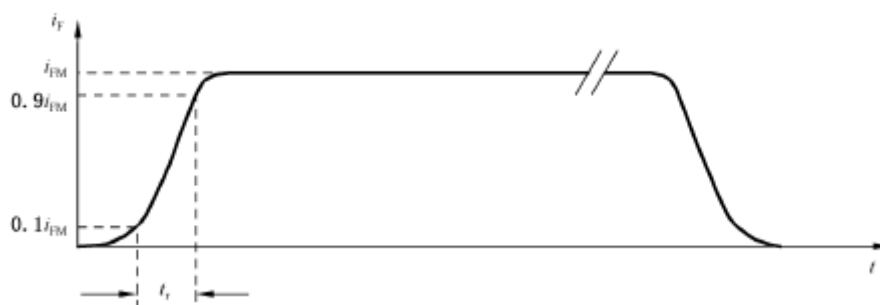
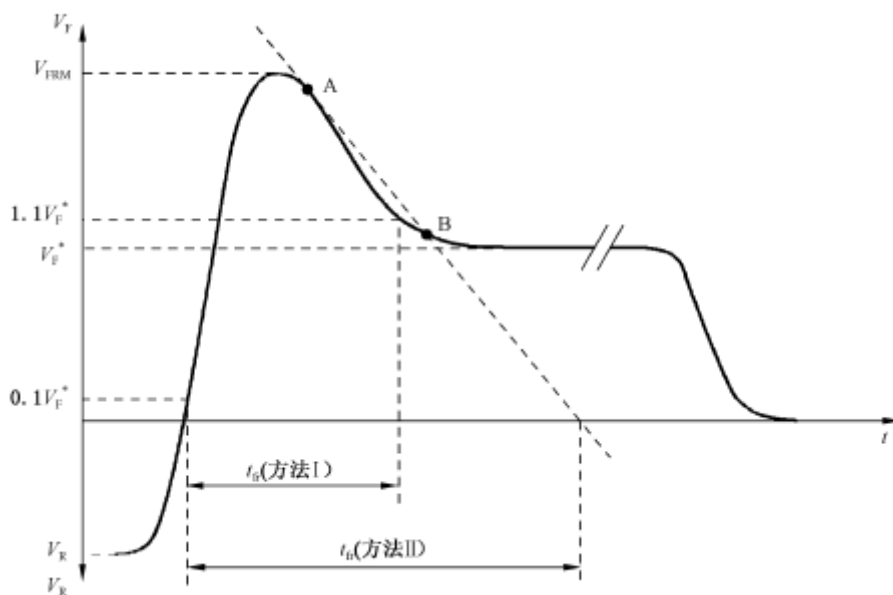


图 22 t_{fr} 和 V_{FRM} 的测试电路



a) 电流波形



b) 电压波形

图 23 测量 t_{tr} 和 V_{FRM} 的电流和电压波形**电路说明和要求:**

- D ——受试二极管;
- G ——具有开路输出电压最小值 50V 或 3 倍 V_{FRM} (两者取较大的) 的电流脉冲发生器;
- R ——校准过的无感电阻器;
- S ——电子开关, 除电流脉冲刚开始前的时间和脉冲整个持续期间外, 此开关应闭合;

M_A, M_B ——示波器或其他监测仪表。

电流脉冲持续时间应足够长, 以使正向电压能达到稳态值 V_F^* 。

电流脉冲持续时间和占空比应使得二极管内部产生的热量可以忽略。

测量程序:

设定温度为规定值。

在 M_A 上监测电流波形的同时, 调整电流脉冲电源使上升时间 t_r 和正向电流 I_{FM} 达到规定的条件。

调整反向电压 V_R 至规定值, 并适当设定开关 S。

按规定的标准方法, 用在 M_B 上显示的二极管两端电压波形, 测量正向恢复峰值电压 V_{FRM} 和正向恢复时间 t_{tr} 。

规定下列条件的数值:

- 等效结温 T_j ;
- 正向峰值电流 I_{FM} ;
- 电流脉冲上升时间 t_r (10% I_{FM} 和 90% I_{FM} 之间的时间, 另有规定除外);

- d) 规范的方法 I: 确定正向恢复时间起点和终点的电压值, 如该两点分别不是 $10\%V_F^*$ 和 $110\%V_F^*$ 时;
- e) 规范的方法 II: A、B 两点电压 (V_{FRM} 的百分值);
- f) 反向电压 V_R 。

7.1.7 总电容 (C_{tot})

目的:

在规定条件下测量二极管的总电容。

电路图:

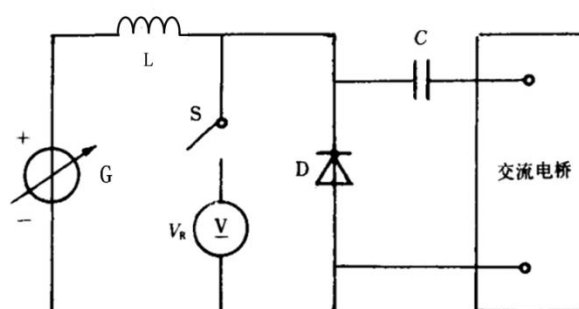


图 24 总电容测试电路图

电路说明和要求:

- C —— 电容器, 其必须能承受二极管的反向偏置电压, 并在测量频率下应呈现短路, 应远大于二极管结电容;
- D —— 被测二极管;
- L —— 阻断直流源高频信号的电感。

注意事项:

如果被测电容量很小, 则安装条件将会影响测试结果的精度, 因此, 应对安装条件加以规定。

测量程序:

将温度调到规定值。

将二极管两端的电压调到规定值 V_R 。然后, 将电压表 V 从电路断开, 并用交流电桥测定被测二极管的电容量, 由管座上装有二极管时测得的电容值减去管座上不装二极管时测得的电容值为总电容。

规定条件:

- a) 环境、管壳或基准点温度 (T_{amb} 、 T_{case} 、 T_{ref});
- b) 反向电压 (V_R);
- c) 测量频率;
- d) 二极管的安装条件 (在必要时)。

7.1.8 总容性电荷 (Q_C)

目的:

在规定条件下，测量小信号短路结电容。

这将用来计算总的容性电荷。

电路图：

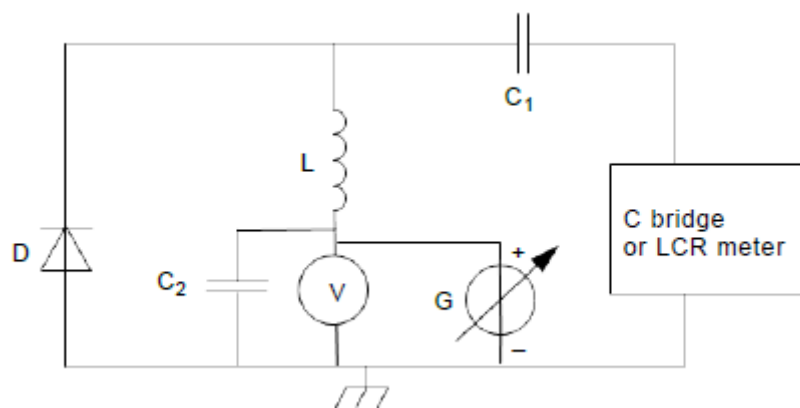


图 25 总容性电荷测试电路图

电路说明和要求：

C_1 —— 阻断测试桥直流电压的电容；

C_2 —— 对电压源影响最小的电容；

D —— 被测二极管；

L —— 阻断直流源高频信号的电感；

G —— 直流源。

用电容桥的作用是为了能够采用零点法， C_1 要远远大于结电容 C_j 。电感 L 的阻抗要非常大，以避免受电容桥的影响。设备的直流阻抗要小于输出阻抗。

测量程序：

在没有器件插入测试槽时，电容桥应进行零位调整。然后，待测器件再插入测量槽。电压源 G 调节到一个规定的反向电压值。当电容桥再平衡时，会读出一个与器件未在测试卡槽时不同的电容值 C_j 。测试过程中反向电压增益步长要小，反向电压从零开始一直增加到规定的电压值 V_{end} 。由此产生的电容曲线作为正负电压的一个函数，进而将正负电压关联在一起。总电容电荷计算公式如 (8)：

$$Q_C = \int_0^{V_{end}} C(V) dV \text{-----} (8)$$

规定的条件：

a) 在测试中适用最大的反向电压；

b) 测试频率；

c) 结温，壳温和热沉温度。

注： 由于碳化硅衬底材料的方块电阻比硅衬底材料大，由于寄生电阻对电容测试影响较大，因此，在测试过程中测试频率要稍低一点，减小频率对电容测试结果的影响。

7.2 热特性测量方法

7.2.1 引言

测量热阻和瞬态热阻抗是基于用热敏参数作为等效结温的读数。通常采用碳化硅肖特基势垒二极管在小百分额定电流时的正向电压作为热敏参数。

7.2.2 热阻 (R_{th})

目的:

测量碳化硅肖特基势垒二极管结和基准点之间的热阻。

方法 1 原理:

通过冷却条件调整,使两次不同的耗散功率 P_1 和 P_2 产生相同结温的条件下,测量器件两次加热的基准点温度 T_1 和 T_2 。基准电流时的正向电压用来检验是否达到相同的结温。则有式 (9):

$$R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{P_2 - P_1} \dots\dots\dots (9)$$

基本电路图:

测试电路示于图 26。

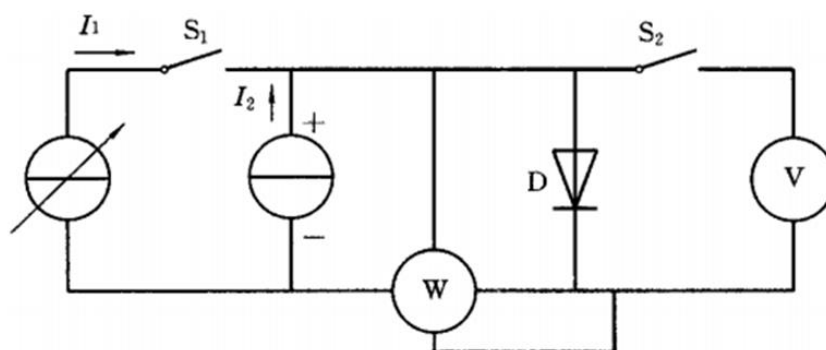


图 26 热阻的测试电路

电路说明和要求:

D—受试二极管;

I_1 —在结产生耗散功率 P 的负载电流, 直流或交流

I_2 —在负载电流 I_1 周期性切断短时间内, 用于监测的基准直流电流

W—指示负载电流 I_1 在结产生耗散功率 P 的瓦特表 (对于交流法, W 测量受试器件的平均耗散功率);

S_1 —周期性切断负载电流 I_1 的电子开关 (对于直流法); 对于交流法, 电子开关 S_1 不一定使用;

S_2 —负载电流 I_1 切断时应闭合的电子开关;

V—零位法电压表。

应遵守的注意事项:

当从负载电流 I_1 转换到基准电流 I_2 时, 由于过剩电荷载流子而产生瞬态电压。如果受

试器件的管壳含有铁磁性材料，则会产生附加的瞬态电压，因此在这些瞬态效应消失之前，不应闭合开关 S_2 。

注：上述的负载电流 I_1 可以为零，则耗散功率 P_1 也为零，且等效结温与基准点温度 T_1 相同。

测量程序：

将受试器件紧固在保持某一固定温度的散热器上。把热偶固定在测量受试器件温度的基准点上。

测量分两步进行：

- a) 将散热器保持在较高的温度上。施加较小的负载电流 I_1 ，在结产生耗散功率 P_1 。达到热平衡后，对零位法电压表 V 进行零平衡调整。记录基准点温度 T_1 。
- b) 将散热器保持在较低的温度上。增大负载电流 I_1 ，直至功率 P_2 使结加热到与 a) 相同的结温。这可由零位法电压表 V 的零平衡显示。记录基准点温度 T_2 。

热阻 R_{th} 由式 (1) 计算。

方法 2 原理：

施加加热电流并达到热平衡后，记录器件的耗散功率 P 。然后切断加热电流，将基准电流的正向电压和基准点温度一并记录下来。根据热敏系数将正向电压转换为器件结温 T_j 。则有式(10)：

$$R_{th} = \frac{T_j - T_c}{P} \dots\dots\dots (10)$$

基本电路图：

测试电路示于图 27。

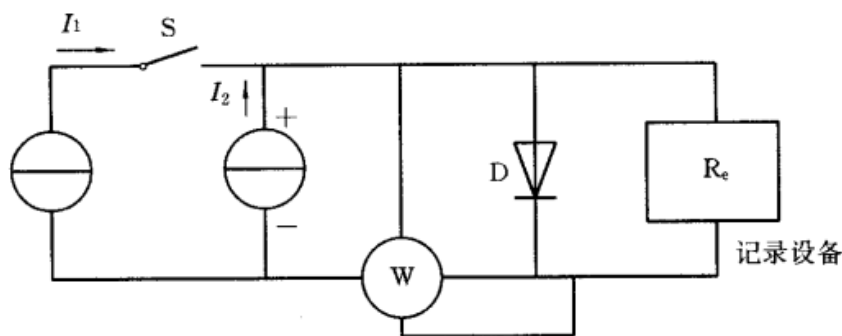


图 27 热阻的测试电路

电路说明和要求：

- D —— 受试二极管；
- I_1 —— 在结产生耗散功率 P 的负载电流；
- I_2 —— 在负载电流 I_1 周期性切断短时间内，用于监测的基准直流电流；
- S —— 周期性切断负载电流 I_1 的电子开关；
- W —— 指示负载电流 I_1 在结产生耗散功率 P 的瓦特表；

Re ——记录仪器，如记录由 I_2 产生的正向电压随时间变化的示波器。

应遵守的注意事项：

当从负载电流 I_1 转换到基准电流 I_2 时，由于过剩电荷载流子而产生瞬态电压。如果受试器件的管壳含有铁磁性材料，则会产生附加的瞬态电压。在打开开关 S 后，应延迟几十到几百 μs 测量基准电流 I_2 产生的正向电压，并回推开关 S 切断时刻的结温。

测量程序：

- 用外部加热（如油槽法）改变器件的温度，按作为等效结温的函数，测量由基准电流 I_2 产生的正向电压，并绘制校准曲线。
- 将受试器件紧固在保持某一固定温度的散热器上。把热偶固定在待测受试器件温度 T_{ref} 的基准点上，施加加热电流 I_1 使受试器件产生耗散功率 P ，并建立热平衡。
- 断开开关 S ，切断加热电流 I_1 。记录由基准电流 I_2 产生的正向电压，并根据校准曲线转换为等效结温。同时记录器件基准点的温度。

热阻 R_{th} 由式（2）计算。

7.2.3 瞬态热阻抗 $[Z_{th}(t)]$

目的：

测量碳化硅肖特基势垒二极管结和基准点(最好在管壳上)之间的瞬态热阻抗。

方法原理：

施加加热电流并达到热平衡后，记录器件的耗散功率。然后切断加热电流，将基准电流的正向电压和基准点温度作为时间的函数一并记录下来。

再由相同基准电流得到的校准曲线，计算随时间变化的等效结温。

基本电路图：

测试电路同图 27。

测量程序：

- 用外部加热（如油槽法）改变器件的温度，按作为等效结温的函数，测量由基准电流 I_2 产生的正向电压，并绘制校准曲线。
- 将受试器件紧固在保持某一固定温度的散热器上。把热偶固定在待测受试器件温度 T_{ref} 的基准点上，施加加热电流 I_1 使受试器件产生耗散功率 P ，并建立热平衡。
- 断开开关 S ，切断加热电流 I_1 。用记录仪器 Re 记录由基准电流 I_2 产生的正向电压随冷却时间变化的多组数据。同时，记录作为时间函数的基准点温度。
- 用校准曲线，将记录的正向电压曲线转换成等效结温 T_j ，则瞬态热阻抗 $Z_{th}(t)$ 用式（11）计算：

$$Z_{th}(t) = \frac{|T_j(0) - T_c(0)| - |T_j(t) - T_c(t)|}{P} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$T_j(0)$, $T_c(0)$ —在断开 S , t 为 0 时的温度；

$T_j(t)$, $T_c(t)$ —在时间 t 的温度；

7.3 额定值（极限值）的检验方法

7.3.1 正向浪涌电流 (I_{FSM})

目的:

在规定条件下检验碳化硅二极管的正向浪涌电流额定值。

电路图:

浪涌电流的测试电路示于图 28。

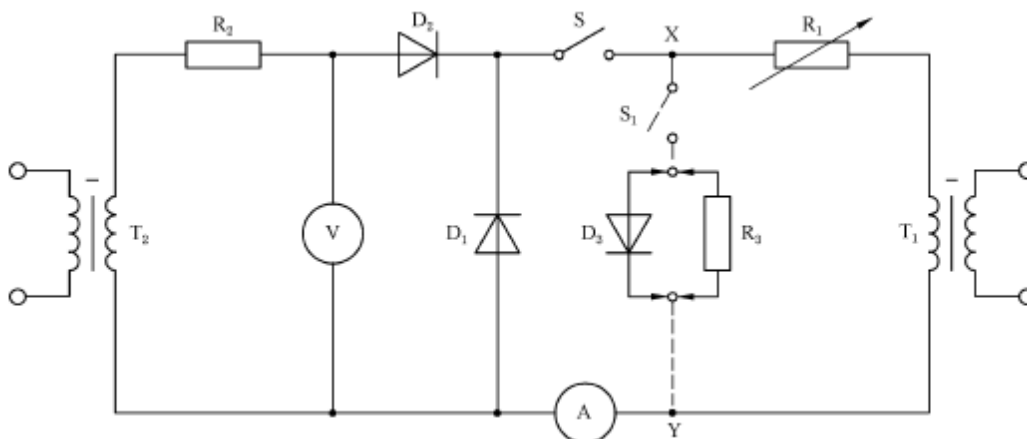


图 28 浪涌电流的测试电路

电路说明和要求:

A ——峰值读数仪表（如电流表或示波器）；

D_1 ——受试二极管；

D_2 ——阻断由变压器 T_2 供给正向电压的二极管；

R_1 ——调整浪涌电流的电阻器，其值应大于二极管 D_3 （若有）的正向电阻（见下面的注释）；

R_2 ——保护电阻器，此电阻应尽可能小；

S ——在正向（浪涌）半周期间具有近似 180° 导通角的机电开关或电子开关；

T_1 ——通过开关 S 提供正向（浪涌）半周的大电流低电压变压器，其电流波形应基本上是持续时间近似 10ms（或 8.3ms）、重复率近似每秒 50（或 60）个脉冲的正弦半波；

T_2 ——通过二极管 D_2 供反向半周的小电流高电压变压器，若此变压器由一单独电源馈电，则其相位应与 T_1 馈电相位相同，其电压波形应基本上为正弦半波；

V ——峰值读数仪表（如电压表或示波器）。

注：若需要，在 X 点和 Y 点之间接入二极管 D_3 ，及串联的开关 S_1 ，或接入电阻器 R_3 及串联的开关 S_1 。

这些电路并非强制的。

D_3 为均流二极管，其正向电阻与受试二极管近似相同。

如采用电阻器 R_3 ，则其电阻值亦应与受试二极管的正向电阻相同。

S_1 为机电开关或电子开关，在变压器 T_1 的反向半周期间，其导通角近似为 180° 。

测量程序:

将电压源和电流源调至零。

碳化硅二极管按其极性标志装进试验管座，并检查其温度条件。

将反向峰值电压调至规定值，并用峰值读数仪表 V 测量。

再调整 R_1 ，设定正向浪涌电流为规定值，并用峰值读数仪表 A 测量。

按规定次数对受试碳化硅肖特基势垒二极管施加正向浪涌电流，如正向最大浪涌电流，则耐受能力不少于 100 次。

由试验后测量得到碳化硅肖特基势垒二极管承受正向浪涌电流能力的验证。

规定下列条件的数值:

- a) 反向峰值电压 V_{RM} ;
- b) 正向浪涌电流 I_{FSM} ;
- c) 反向电压源的最大阻抗;
- d) 每次浪涌的周波数、浪涌次数和重复率;
- e) 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r);
- f) 试验后的测量极限。

7.3.2 非重复正向峰值电流 ($I_{F,max}$)**目的:**

在规定的条件下检验碳化硅二极管的正向脉冲电流的额定值。

电路图:

非重复峰值电流的测试电路示于图 29。

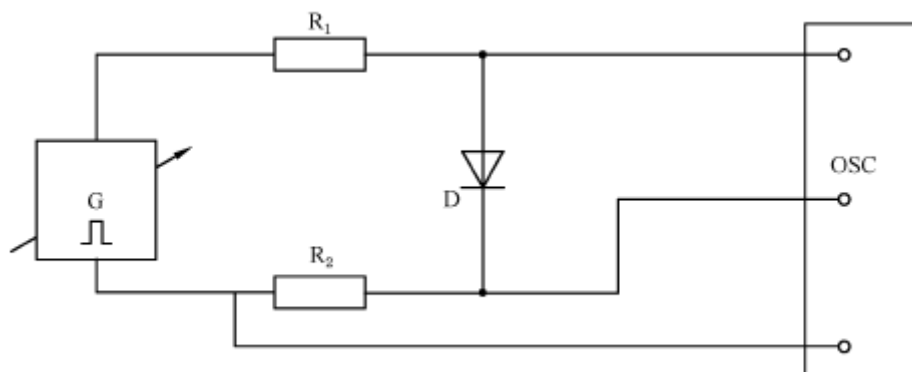


图 29 非重复峰值电流的测试电路

电路说明和要求:

- D ——受试二极管;
 G ——脉冲发生器;
 R_1 ——保护电阻器;
 R_2 ——校准过的电流测量电阻器;
 OSC ——示波器或峰值读数仪表。

脉冲发生器的脉冲宽度及脉冲重复率应使得测量期间所产生的内部发热可忽略。应该尽量减小测试电路的寄生电感，提高电流上升的速度。

测量程序：

脉冲发生器电压开始调至零。

温度条件调整至规定值。

然后提高脉冲发生器的电压来调整规定的正向电流，正向峰值峰值电流 $I_{F,max}$ 在示波器上测量，正向峰值脉冲电流，耐受能力不低于 100 次。

可用峰值读数仪表代替示波器。

规定下列条件的数值：

- a) 正向峰值电压 V_{FM} ；
- b) 环境温度、管壳温度或基准点温度 (T_a 、 T_c 或 T_r)。

由试验后测量得到碳化硅肖特基势垒二极管承受非重复峰值电流能力的验证。

7.3.3 反向不重复峰值电压 (V_{RSM})

目的：

在规定条件下检验碳化硅肖特基势垒二极管的反向不重复峰值电压额定值。

电路图：

反向不重复峰值电压的测试电路示于图 30。

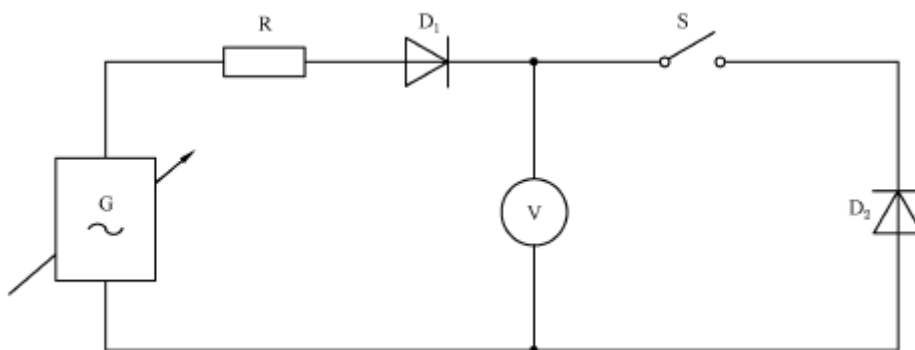


图 30 反向不重复峰值电压的测试电路

电路说明和要求：

D_1 ——提供负半周期的二极管，只用来测量受试二极管的反向特性；

D_2 ——受试二极管；

G ——交流电压源；

S ——机电开关或电子开关（导通角近似 180° ），此开关在反向半周期对受试碳化硅肖特基势垒二极管施加电源电压；

V ——峰值读数仪表。

测量程序：

偏置条件调至零时，受试碳化硅肖特基势垒二极管装进试验管座。

断开开关 S，并使交流电源电压上升至反向不重复峰值电压的规定值。

检查规定的温度条件。

闭合开关 S（导通角近似 180° ）以施加规定的反向不重复峰值电压。

由试验后的测量得到碳化硅肖特基势垒二极管承受反向不重复峰值电压额定值能力的验证。

规定下列条件的数值：

- 反向不重复峰值电压 V_{RSM} ；
- 环境温度、管壳温度或基准点温度（ T_a 、 T_c ，或 T_r ）；
- 半周脉冲的持续时间 t_w ；
- 脉冲次数和重复率；

注：重复率应使得一个脉冲的热效应在下一个脉冲到达之前即已完全消失。

- 试验后的测量极限。

7.3.4 碳化硅肖特基势垒二极管的反向峰值功率（重复或不重复的）（ P_{RRM} ， P_{RSM} ）

目的：

在规定条件下，检验碳化硅肖特基势垒二极管的反向峰值功率额定值。

规定了下列三种试验方法：

- 三角波脉冲法；
- 正弦波脉冲法；
- 矩形波脉冲法。

7.3.4.1 方法 A：三角波脉冲法

碳化硅肖特基势垒二极管反向峰值功率的测试电路（反向电流三角波法）示于图 31。

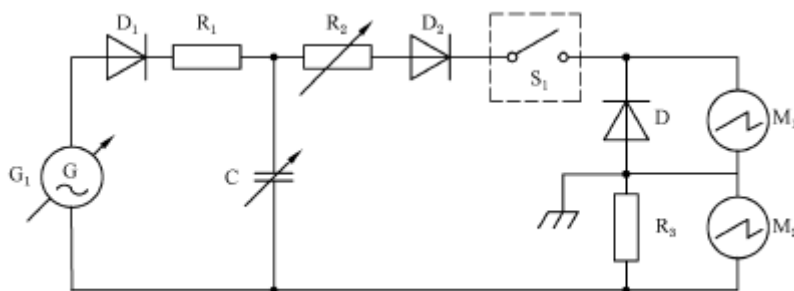


图 31 碳化硅肖特基势垒二极管反向峰值功率的测试电路（反向电流三角波法）

- 受试二极管；
- 可调交流电压源；
- 整流二极管；
- 限流电阻器；
- 调整脉冲持续时间的可变电容器；
- 调整反向开路峰值电压的可变无感电阻器（见 7.3.3.4）；

D_2 —— 阻断用二极管，如需要；

S_1 —— 使电容器 C 放电的机电开关或电子开关（如火花放电器或晶闸管）；

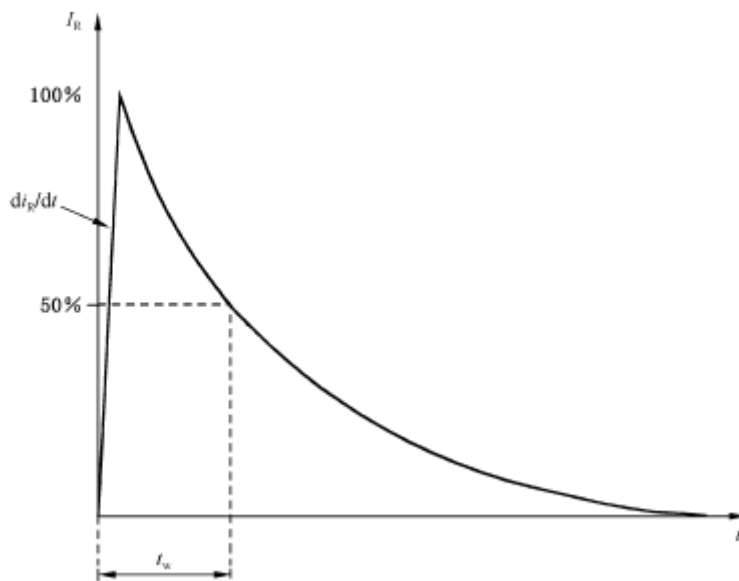
R_3 —— 电流测量无感电阻器；

M_1 —— 测量反向开路峰值电压的仪器（如示波器）；

M_2 —— 测量反向电流脉冲持续时间的仪器（如示波器）。

M_1 和 M_2 可为组合式的仪器（如双踪示波器）。

反向电流脉冲应如图 32 所示。



t_w —— 规定的脉冲持续时间。

图 32 正向电流波形（三角波法）

7.3.4.2 方法 B: 正弦波脉冲法

碳化硅肖特基势垒二极管反向峰值功率的测试电路（反向电流正弦波法）示于图 33。

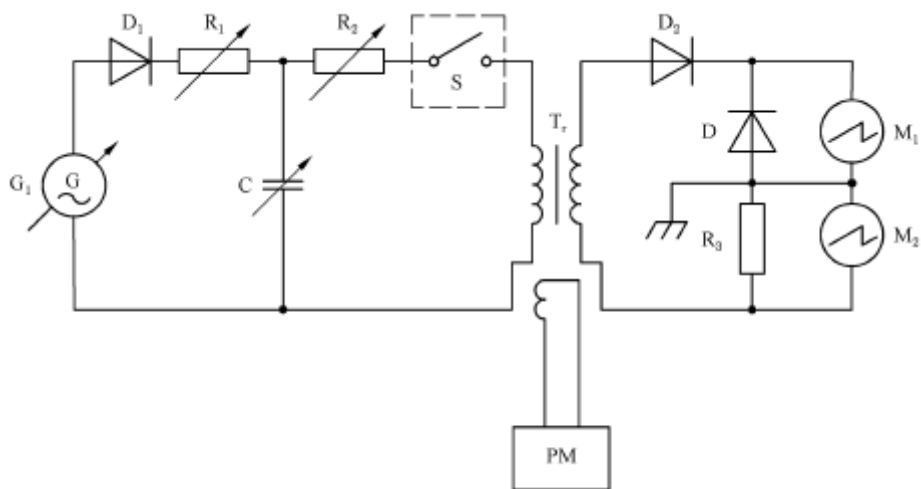
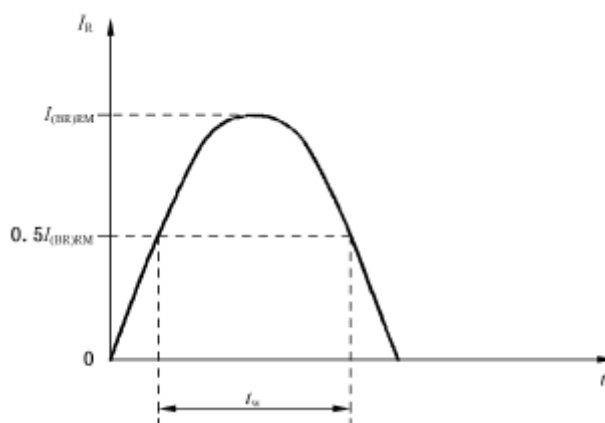


图 33 碳化硅肖特基势垒二极管反向峰值功率的测试电路（反向电流正弦波法）

- D ——受试二极管；
- G_1 ——可调交流电压源；
- D_1 ——整流二极管；
- R_1 ——限流电阻器；
- C ——调整脉冲持续时间的可变电容器；
- R_2 ——调整反向开路峰值电压的可变无感电阻器（见 7.3.3.4）；
- S ——使电容器 C 向变压器 T，初级绕组放电的机电开关或电子开关（如火花放电器或晶闸管）；
- T_1 ——高压变压器；
- PM ——防止 T_1 饱和的预磁化源或其他适当的装置；
- D_2 ——阻断用二极管，如需要；
- R_3 ——电流测量无感电阻器；
- M_1 ——测量反向开路峰值电压的仪器（如示波器）；
- M_2 ——测量反向电流脉冲持续时间的仪器（如示波器）。
- M_1 和 M_2 可为组合式的仪器（如双踪示波器）。
- 反向电流脉冲应如图 34 所示。



t_w ——规定的脉冲持续时间。

图 34 反向电流波形（正弦波法）

7.3.4.3 方法 C：矩形波脉冲法

碳化硅肖特基势垒二极管反向峰值功率的测试电路（反向电流矩形波法）示于图 35。

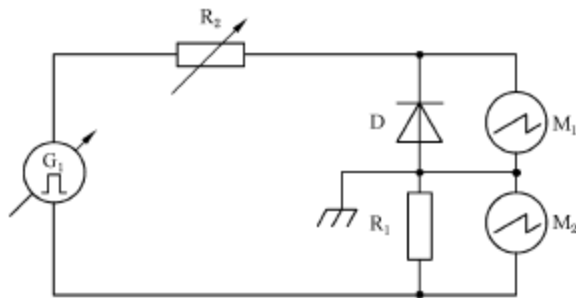
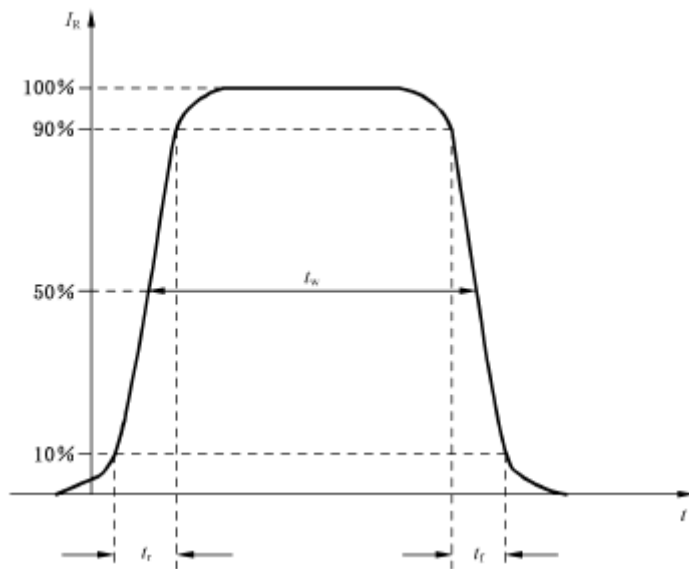


图 35 碳化硅肖特基势垒二极管反向峰值功率的测试电路（反向电流矩形波法）

- D ——受试二极管；
 - G₁ ——能提供单个或多个矩形波电压脉冲的可调脉冲发生器；
 - R ——电流测量无感电阻器；
 - R₂ ——调整反向开路峰值电压的可变无感电阻器（见 7.3.4）；
 - M₁ ——测量反向开路峰值电压的仪器（如示波器）；
 - M₂ ——测量反向电流脉冲持续时间的仪器（如示波器）。
- M₁ 和 M₂ 可为组合式的仪器（如双踪示波器）。

反向电流脉冲应如图 36 所示。



- t_w——规定的平均脉冲持续时间，以 50% 脉冲幅值的两点间宽度计；
- t_r ≤ 20% t_w；
- t_f ≤ 20% t_w。

图 36 反向电流波形（矩形波法）

7.3.4.4 起始调整程序（适用于三种方法）

R₂ 的值（对方法 C 包括电压源 G1 的阻抗）由式（11）确定：

$$R_2 = \frac{V_{(BR)max} \times V_{(BR)min}}{P_{RXM}} \dots \dots \dots (11)$$

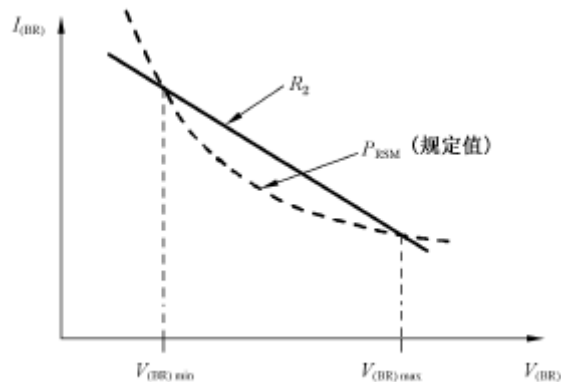
式中：

$V_{(BR)max}$ —— $V_{(BR)}$ 范围的上限值；

$V_{(BR)min}$ —— $V_{(BR)}$ 范围的下限值；

在管座未插入二极管前，调整电压源 G_1 使脉冲电压上升，直到 M_1 上测得的反向开路电压的峰值等于 $V_{(BR)max}$ 与 $V_{(BR)min}$ 之和。图 37 给出了 P_{RSM} 与 V_{BR} 的关系。

然后将脉冲发生器切断，但维持设定。



R_2 ——负载线。

图 37 反向功率 P_{RSM} 与击穿电压的关系

试验程序（适用于三种方法）：

接受试二极管的极性标志，将其插入管座中。

设定温度为规定值。

施加规定的脉冲序列。

由试验后的测量，验证二极管承受反向峰值功率额定值的能力。

规定下列条件的数值（适用于三种方法）：

- a) 采用的试验方法（A、B 或 C）。
 - b) 环境温度或管壳温度（ T_a 或 T_c ）。
 - c) 反向峰值功率额定值， P_{RRM} 或 P_{RSM} 。
 - d) 检验 P_{RSM} 时，反向电流脉冲持续时间 t_w 。
 - e) 检验 P_{RRM} 时：
 - 每脉冲持续时间 t_w ；
 - 占空比 δ ；
 - 脉冲数。
 - f) 试验后的测量极限。
- 对于方法 A，还应规定：
反向电流上升率最小值（ di_R/dt ）。

7.3.5 管壳不破裂峰值电流

目的:

在规定条件下, 检验碳化硅肖特基势垒二极管的管壳不破裂峰值电流额定值。

电路图和试验电流波形:

管壳不破裂峰值电流的测试电路示于图 38。通过受试器件的反向电流 i_R 波形示于图 39。

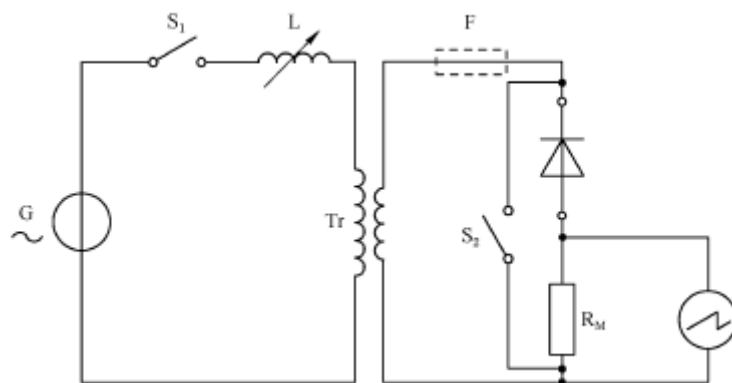
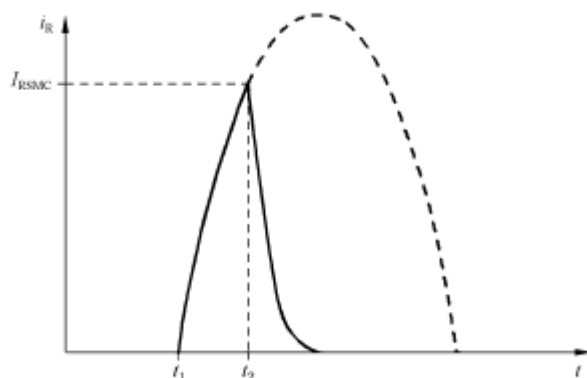


图 38 管壳不破裂峰值电流的测试电路

图 39 通过受试器件的反向电流 i_R 波形

电路说明和要求:

G ——具有适当短路能力的交流系统;

S_1, S_2 ——在规定的电网电压周期瞬间能动作的大功率机电开关或大功率电子开关;

F ——代替 S_2 的熔断器 (见试验程序);

L ——可变电感器;

T_r ——大功率变压器;

R_M ——校准过的电流测量无感电阻器;

D ——受试二极管。

试前处理和初始测量:

试验前，受试器件应作初始损伤处理，例如用低能量高电压脉冲或机械方法处理，以使击穿总是发生在硅芯片的边缘。

注：如要求，机械损伤应在器件密封前进行。

受试器件进行初始检漏试验，泄漏率应低于 $10^{-7}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-6}\text{bar}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$)。

试验程序：

受试器件接入试验装置中。

在 t_1 瞬间闭合开关 S_1 ，使电压施加到受试器件的反向上，并在预先损伤的点发生击穿。由此，反向电流急剧上升，其上升率可用改变电感器 L 来调整（在适当的范围内）。

在 t_2 瞬间闭合开关 S_2 ，以限制峰值电流为规定值 I_{RM} 。

另外，可在电路中接入熔断器 F ，当熔断器动作时，便可切断通过受试器件的电流。

规定下列条件的数值：

- 管壳温度或基准点温度 (T_c 或 T_T)；
- 管壳不破裂峰值电流值 I_{RM} ；
- 反向电流上升率，优先 $25\text{A}/\mu\text{s}$ ；
- 试验电流脉冲的持续时间。

试验后测量：

受试器件进行检漏试验，泄漏率应低于 $10^{-7}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ($10^{-6}\text{bar}\cdot\text{cm}^3/\text{s}$)。

另外，在电试验期间可采用等离子检测器件，以确信试验期间即使出现细小的裂纹也没有等离子体逸出。

电试验后，目检受试器件，应既无粒子脱落迹象，也无器件外部熔化或燃烧的痕迹。

7.3.6 雪崩能量

7.3.6.1 重复雪崩能量

目的：

测量 SiC 肖特基二极管在无钳位感性负载电路中，承受重复脉冲引起的雪崩能量。

电路图和波形：

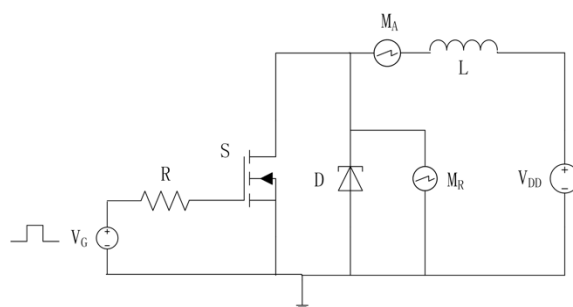


图 40 雪崩能量测试电路

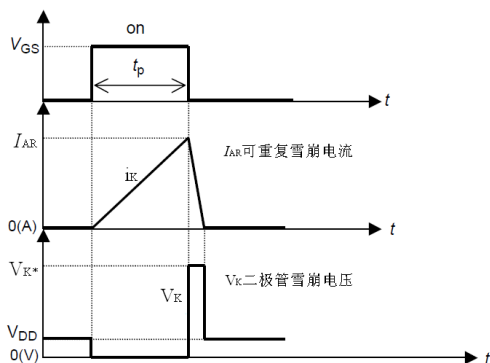


图 41 通过二极管的电流和电压波形

电路说明:

- D —— 受试二极管;
- L —— 负载电感, 电感值应足够大, 以保证二极管雪崩;
- V_{DD} —— 可调电压源;
- V_G —— 栅电压源;
- R —— 栅电阻;
- S —— 电子开关;
- M_A —— 电流监测仪表;
- M_R —— 电压监测仪表。

电子开关的雪崩电压应足够高, 以保证二极管达到雪崩电压时, 电子开关未达到雪崩电压。

测试流程:

设定温度为规定值。

设定反向电压 V_{DD} 为规定值。

在 M_A 上监测电流波形的同时, 设定电子开关的开通脉冲时间, 以达到规定的雪崩电流条件。

按规定的标准方法, 在 M_R 上显示二极管两端的电压波形, 测量二极管雪崩电压。

二极管在上述条件下, 按照规定的脉冲数和重复率, 测试雪崩能量。二极管承受的雪崩能量:

$$E_{AR} = \frac{L \times I_{AR}^2 \times V_K^*}{2 (V_K^* - V_{DD})} \text{----- (12)}$$

二极管在完成上述测试后, 所有参数都应当正常。在规定的雪崩电流 I_{AR} 下, 测试得到的 V_K^* 应当不小于二极管的反向击穿电压。

7.3.6.2 不重复雪崩能量**目的:**

测量 SiC 肖特基二极管在无钳位感性负载电路中, 承受单脉冲引起的雪崩能量。

电路图和波形:

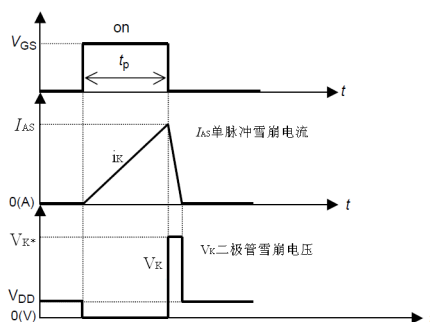


图 42 通过二极管的电流和电压波形

电路说明：

D —— 受试二极管；

L —— 负载电感，电感值应足够大，以保证二极管雪崩；

 V_{DD} —— 可调电压源； V_G —— 栅电压源；

R —— 栅电阻；

S —— 电子开关；

 M_A —— 电流监测仪表； M_R —— 电压监测仪表。

电子开关的雪崩电压应足够高，以保证二极管达到雪崩电压时，电子开关未达到雪崩电压。

测试流程：

设定温度为规定值。

设定反向电压 V_{DD} 为规定值。

在 M_A 上监测电流波形的同时，设定电子开关的开通脉冲时间，以达到规定的雪崩电流条件。

按规定的标准方法，在 M_R 上显示二极管两端的电压波形，测量二极管雪崩电压。

二极管在上述条件下，按照规定的单脉冲条件，测试雪崩能量。二极管承受的雪崩能量：

$$E_{AR} = \frac{L \times I_{AR}^2 \times V_K^*}{2(V_K^* - V_{DD})} \text{----- (13)}$$

二极管在完成上述测试后，所有参数都应当正常。在规定的雪崩电流 I_{AR} 下，测试得到的 V_K^* 应当不小于二极管的反向击穿电压。

7.4 电耐久性试验

适用 GB/T 17573-1998 第 VIII 篇的第 3 节的第 2 章。

7.4.1 耐久性试验表

对于碳化硅肖特基势垒二极管，在表 8 中给出了供参考的各项耐久性试验，或参考 IEC 60749 系列。温度循环试验可参考 IEC 60749-25，表 6 中的高温反偏试验可参考 IEC

60749-23, 热循环负载试验可参考 IEC 60749-34。

7.4.2 耐久性试验条件

交流电测试方法的试验条件和试验电路可参考表 8, 有关规范应规定适用的试验, 另外也可参考 IEC 6-749-23 及 IEC60749-34。

7.4.3 接收试验的失效判据和判定失效的特性

判定失效的特性、失效判据和测量条件列于表 7 中。

注: 应按表 7 中所列顺序测量各特性, 因为某些失效机理引起的特性变化, 可能整个或部分地被其他测量的影响所掩盖。

7.4.4 可靠性试验的判定失效的特性和失效判据

(待定)

可参考 IEC 60749-23 及 IEC60747-34。

7.4.5 试验失误时的程序

当器件由于试验错误(如试验设备故障或测量设备故障、或操作者的错误)而失效时, 应在数据记录中记入该失效并说明失效的原因。

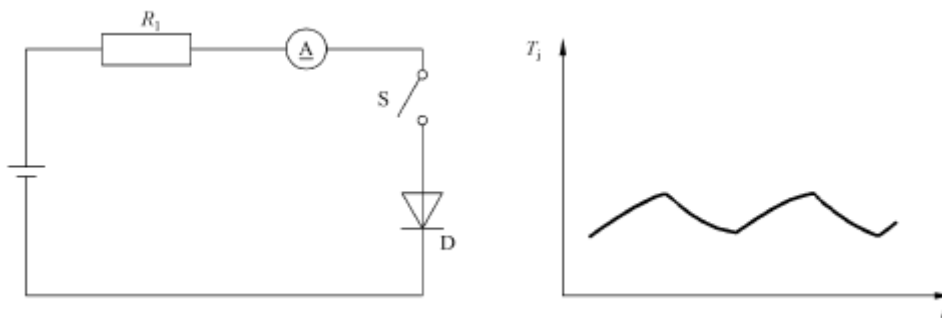
7.4.6 循环负载试验

目的:

用循环负载实验确认某些类型的二极管承受结温波动的能力。

电路图和波形:

热循环负载试验的电路和波形示于图 43。



D——受试二极管。

图 43 热循环负载试验的电路和波形

试验程序:

用规定电流(最好近似等于最大额定正向平均电流)加热二极管, 直至结温达到在最高额定等效结温 T_{jmax} 和 $(T_{jmax}-20^{\circ}C)$ 之间的值。

注: 若器件串联试验时, 其结温可在 T_{jmax} 和 $(T_{jmax}-30^{\circ}C)$ 之间。

然后断开开关 S, 二极管冷却至不高于 $40^{+10}_{0}^{\circ}C$ 的等效结温。

加热时间不应超过 6min，冷却时间不应超过 8min，

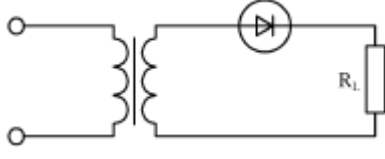
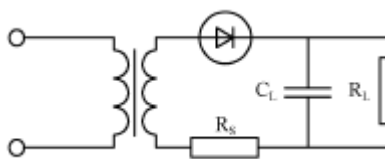
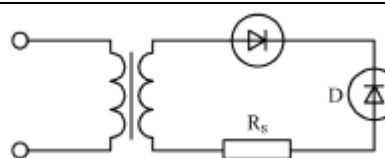
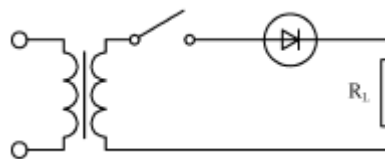
试验应进行规定的循环数。

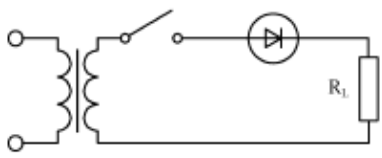
在试验前后均应测量那些可能受试验影响的参数。

表 7 耐久性试验后，接收时判定失效的特性

判定失效的特性	失效判据	测量条件
I_R	$>2 \times USL$	规定的最高电压 $V_R (=V_{RRM})$ 和最高温度
V_F	$>1.1 \times USL$	规定的最大电流 I_F
注：USL为规定的上限值		

表 8 耐久性试验条件

试验	工作条件			实验电路	备注
	电流	电压	温度		
工作寿命 (电阻性负载)	见 GB/T 17573 — 1998 第 VIII 篇 第 3 节的 2.1.5	正弦波 50Hz 或 60Hz, 峰值 =100% V_{RWM}	见 GB/T 17573 — 1998 第 VIII 篇 第 3 节的 2.1.3		R_L 为负载电阻器 ^a
工作寿命 (电容性负载)	对于电容性负载，相当于额定正向平均电流	正弦波 50Hz 或 60Hz, 峰值 =100% V_{RWM}	见 GB/T 17573 — 1998 第 VIII 篇 第 3 节的 2.1.3		C_L 应具有在有关规范中规定的最大电容值 R_S 为在有关规范中规定的限流电阻器 ^a R_L 为负载电阻器
高温交流反向偏置	—	正弦波 50Hz 或 60Hz, 峰值 =100% V_{RWM}	规定 V_{RWM} 的最高温度		R_S 为限流电阻器 ^a D 为阻断二极管
热循环负载试验	IF (正弦半波 50Hz 或 60Hz) 应足够大，以使器件加热到 T_{jmax}^b	取决于 I_F 和 R_L	$T_c=25^\circ\text{C}$		R_L 应近似等于受试二极管的等效电阻

浪涌电流 重复测试	I_{FSM} (正弦半波 50Hz 或 60Hz), 测试次数(消费级100次, 工业级 500次, 汽车级 1000次)。	取决于 I_{FSM} 的大小。	$T_c=25^\circ\text{C}$, 测试占空比控制在 1%以内, 或者在两个脉冲之间的间隔在 5S 以上, 保证脉冲之间不存在热积累。		
<p>^a也可采用模拟电路。</p> <p>^b见 7.4.6。</p>					

