

## 功率器件

# 热阻 $R_{thJC}$ 的测量方法和使用方法

本应用笔记介绍了从分立半导体器件的结到外壳的热阻测量方法和使用方法。

## 从结到外壳的热阻是指

在 JEDEC Standard JESD51 的定义中，对「从结到外壳」的热阻是指「从半导体器件的工作部分到芯片的安装区域最近的封装（外壳）的外周面的热阻，当其外周面适当地散热时，其外周面和散热片的温差最小。」有这样的说法。如图所示则为 Figure 1。

这明确了从半导体的发热结到外壳表面具有一维散热路径的半导体器件的「从结到外壳」的热阻可再现的测量方法的详情和规定。一维是指热的流动方向遵循线性方向。但是，那个热的流动方向有三维扩散的能力。

从结到外壳的热阻是半导体器件的重要热特性之一，通过使该表面接触高性能散热器，在外壳表面尽可能最好的冷却条件下显示热性能极限。这个值越低，热性能越好。

符号是  $R_{thJC}$  或  $\Theta_{JC}$ 。能使用希腊文字的情况是  $R_{\theta JC}$  或  $\theta_{JC}$ 。在罗姆的分立产品中，主要使用  $R_{thJC}$  和  $R_{\theta JC}$ 。

## 基于 MIL-STD-883E 的测试方法

MIL-STD-883E 的 METHOD1012.1 记载了热特性测试的定义和步骤，还记载了「从结到外壳」的热阻。这个标准是 1980 年制定的，现在包含了很多问题点，所以已经过时了。

接下来说明测试方法的概要。Figure 2 中表示测试装置的一例。将要测试的半导体器件放在水冷式铜散热器上，直接用热电偶测量接触的壳体表面温度。从上面施加压力使外壳与散热器适当接触。为了测量与散热器接触的外壳温度，在散热器上开个孔，使热电偶贯穿。热电偶的前端需要焊接，引线需要电气绝缘。图上是热探测组件的部分。热电偶的前端需要与外壳直接机械接触，因此要具备压力调整机构以规定的力量接触。为了实现可靠的热接触，这个接合使用了硅脂。关于壳温度  $T_c$  的测量位置，定义如下。「外壳温度是指安装有微电子芯片的封装上指定的可接触基准点的温度。」此外，步骤项如下所示。「热电偶尽量靠近底部中央，安装在芯片或衬底的正下方。」

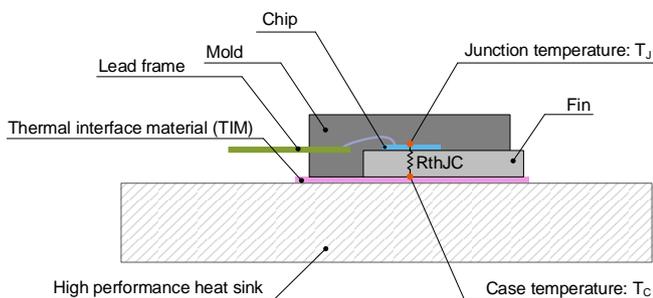


Figure 1. JESD51 中用  $R_{thJC}$  定义的一例图示

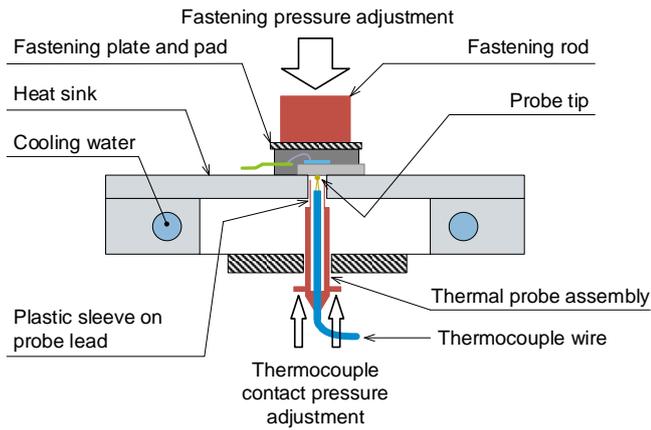


Figure 2. MIL-STD-883E METHOD 1012.1 中的测试装置的测定壳温度一个例子

### MIL-STD-883E 测试的问题点

那么，来说明一下这个测试方法的问题点。利用热电偶测量壳温度容易产生误差，因此测量结果再现性不好。首先，因为外壳有温度分布，所以有时热电偶和外壳的接点不是外壳的最大温度。其次，由于热电偶的前端对散热器没有足够的绝热，所以会被电线和散热器冷却，从而降低壳温度的读取值。并且，还有散热器中空出来的热电偶用钻孔的影响。这个影响是设备越小就越大。其他由于使用的热电偶和散热器的性能不同，测定环境也不同，各半导体供应商之间的误差也会变大。

在本标准中说明的热电偶测量中，在器件从机壳向散热器适当散热的期间，需要决定结温度  $T_J$ 、机壳温度  $T_C$  以及加热功率损失  $P_H$ 。从结到外壳的热阻，使用以下公式计算。由于机壳温度的测量误差大， $R_{thJC}$  的误差也变大。

$$R_{thJC} = \frac{T_J - T_C}{P_H} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (1)$$

在这个测量中，如上所述，很难使用热电偶正确测量壳的温度，而且，壳的表面紧贴着散热器。因此，在不同的测量环境中，有可能偏离  $R_{thJC}$  值。

Figure 3 是测量位置产生误差的示例。A 点和 B 点只相隔 1mm，但有 5.1 $^{\circ}\text{C}$  的温差。计算  $P_H$  为 50W 时的热阻如下所示。

A 点测量时

$$R_{thJC\_A} = \frac{170.3 - 138.2}{50} = 0.642 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

B 点测量时

$$R_{thJC\_B} = \frac{170.3 - 133.1}{50} = 0.744 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

在这个例子中，如果测量位置稍微偏移 1mm，就会产生 16% 的热阻误差，可以看出指定测量位置很重要。

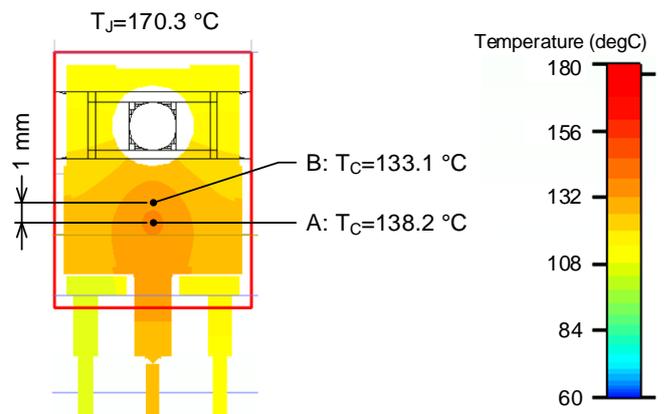


Figure 3. 外壳背面的温度分布  
即使测量位置稍有不同也会产生温度差

## 基于 JEDEC Standard 测试方法

JEDEC Standard JESD51-14 是 2010 年制定的，采用 Transient Dual Interface (TDI) 测试法，从结到外壳的热阻测量，没有通过热电偶测量外壳温度就实现了。由此，可以提高 RthJC 测量的再现性，改善企业间测量数据的误差。这是现在代替 MIL-STD 使用的一般方法。

首先是测量原理的概要，在外壳表面适当地用散热器（冷却板）冷却期间，由时间  $t=0$  开始的恒定功率  $P_H$  加热的半导体器件的热阻或 Zth 函数  $Z_{\theta JC}(t)$  定义如下。

$$Z_{\theta JC}(t) = \frac{T_J(t) - T_J(t=0)}{P_H} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (2)$$

也就是说，热阻等于结温度的时间依存  $T_J(t)$  的变化除以加热功率  $P_H$ 。即使外壳的冷却条件发生了变化，在与冷却金属板接触的外壳在温度开始上升之前，也不会影响热阻。但是，在外壳和冷却板之间接触热阻抗不同的测量中，由于在稳定状态下总热阻发生变化，所以会测量到不同的热阻抗曲线。进行该接触热阻抗不同的 2 个热阻测量，这 2 个曲线的分离点上的累计热阻定义为 RthJC ( $R_{\theta JC}$ 、 $\theta_{JC}$ )。测量原理详情请参照 JESD51-14。

如上所述，在冷却板和壳表面之间使用不同的接触热阻（冷却条件），只基于结温度的瞬态测量。因为不需要使用壳温度  $T_C$  的热电偶进行测量的相关技术，所以排除了与之相关的所有误差。这个方法只依赖于结温度的测量。

下面说明测试方法的步骤概要。首先，为了测量测试对象器件（Device under test: DUT）的结温度，预先取得 DUT 的温度参数。如果 DUT 是 MOSFET，则使用其体二极管，将其作为检测二极管。另外，根据器件种类不同，测量的位置也不同。pn 结的正向电压的温度特性一般以  $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  变化，通过预先测量 DUT 内存在的 pn 结的温度特性，可以推定结温度。

测量电路如 Figure 4 所示。向检测二极管施加电流，测量正向电压。此时，对于 SiC MOSFET 等宽禁带半导体器件来说，需要选择适合器件特性的测量参数，例如在 VGS 反向偏置的条件下进行施加等。热源设备使用恒温槽等温调器，从  $25^{\circ}\text{C}$  到器件的最大结温度变化，测量各温度下的正向电压。温度发生变化的时候，热传递到芯片（结）需要花费时间，所以在正向电压稳定之前要留出时间。这个测量是以包含结在内器件整体的温度相同为前提的。

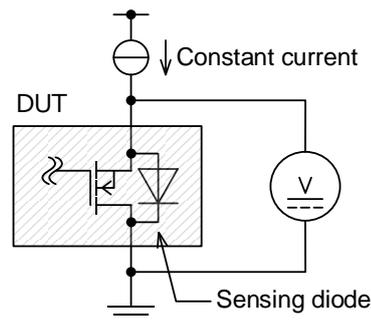


Figure 4. DUT 内二极管的正向电压测试电路

测量结果的一个例子如 Figure 5 所示。元件的尺寸和材料不同的话，特性多少会有些变化，但温度特性大致是  $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$  的一次函数图。这个斜率被称为 K 因数。

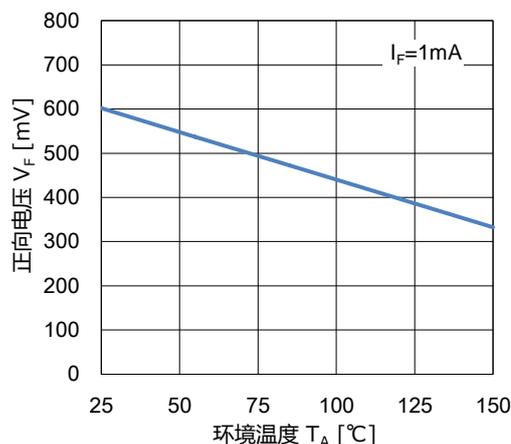


Figure 5. 存在于 DUT 内的二极管元件的正向电压温度特性的一个例子

使用瞬态热测量装置测量热阻。Figure 6 中显示测试环境的一个例子。在用冷却水进行温度管理的铜制冷板上安装 DUT。

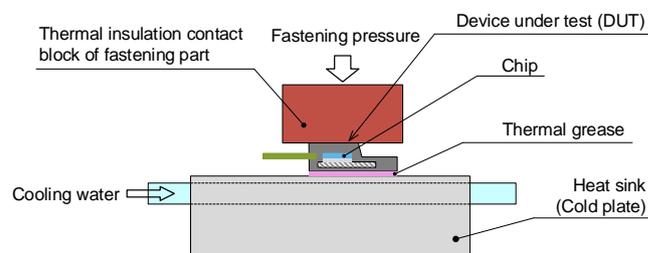


Figure 6. TDI 法测试环境的一例

此时，如 Figure 7 那样，在 DUT 和冷却板之间测量导热膏“无”和“有”两种。

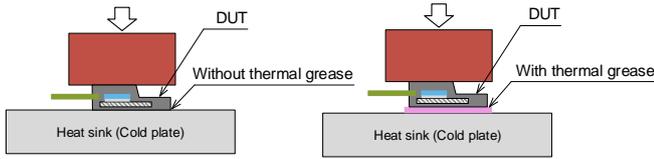


Figure 7. DUT 与冷却板之间导热膏测定“无”和“有”两种

热阻的测量步骤如下所示。此处按照使用常用的硅基 MOSFET 进行说明。对于 SiC MOSFET 等宽禁带半导体器件来说，需要根据不同的器件，对其加热方法和检测二极管的测量方法选择合适的电路结构和测量参数。

1. 给 DUT 内的加热元件供给一定的加热电流  $I_H$ ，使芯片的温度上升。加热元件在 MOSFET 的情况下可以使用体二极管。Figure 8 的 A 点是开始供应加热电流的地方。在结温度变为恒定之前持续加热，结温度的变化通过检测二极管的正向电压监测。
2. 结温度在高温下稳定后，停止供给加热电流  $I_H$ ，向正向电压测量电流  $I_M$  急速切换。Figure 8 的 B 点是切换电流的地方。从这里开始，以时间序列记录数据，直到正向电压变为低温稳定状态 (Figure 8 中的图表)。
3. 将记录的正向电压数据根据 K 因数转换成温度 (Figure 8 下图)。这是瞬态冷却曲线。

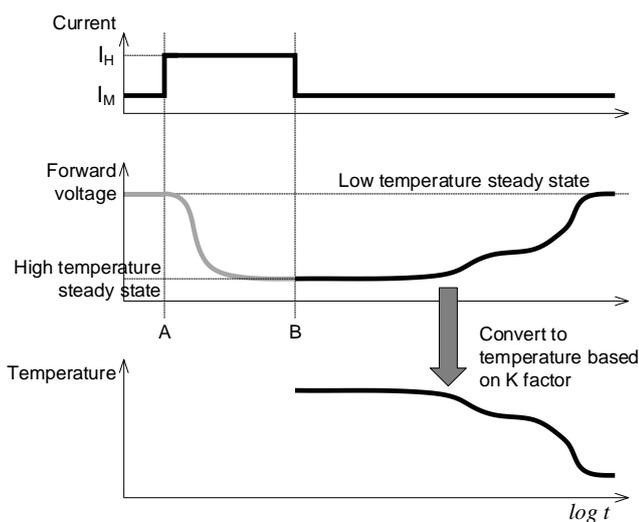


Figure 8. 瞬态冷却曲线的测试

4. 对瞬态冷却曲线的数据进行数值运算，转换成结构函数。

结构函数是将器件结构的传热路径用热阻和热容量的一维热电路表示的，可以使器件的热结构可视化。在 Figure 9 中示出结构函数的一个例子，Figure 10 中示出了该一维 RC 热电路网。此外，Figure 11 还显示了此时的器件结构。

由于用瞬态热测量装置获得的结构函数受到三维温度分布的影响、以热阻和热容量细分化的网络来表现，因此 Figure 11 的器件结构中的芯片和芯片键合之间等各自的边界不是很明确，Figure 10 的各因子并不是与 Figure 11 各元件中存在的热阻和热容量 1 比 1 对应。但是，为了便于理解结构函数，这里设置了边界进行说明。

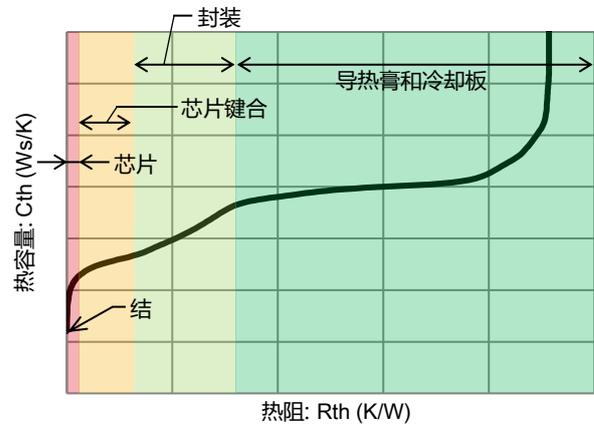


Figure 9. 结构函数的一例

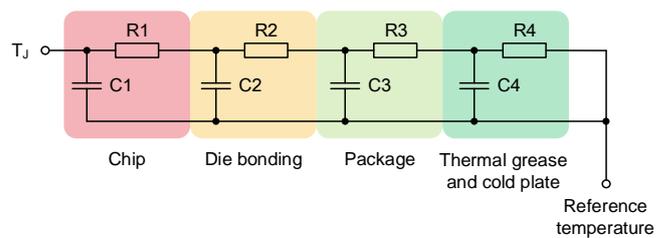


Figure 10. 一维 RC 热电路网

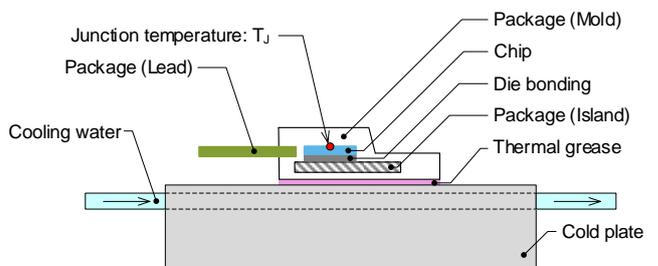


Figure 11. 器件构造的一例

该测量由导热膏“无”和“有”进行。Figure 12 表示将两者的测量结果转换成结构函数并重叠在一起。无导热膏的外壳和冷却板之间的接触热阻较高。这样，根据导热膏的有无，曲线从中途开始分支。分支点表示外壳和导热膏的界面，从结到分支点的热阻为 RthJC。

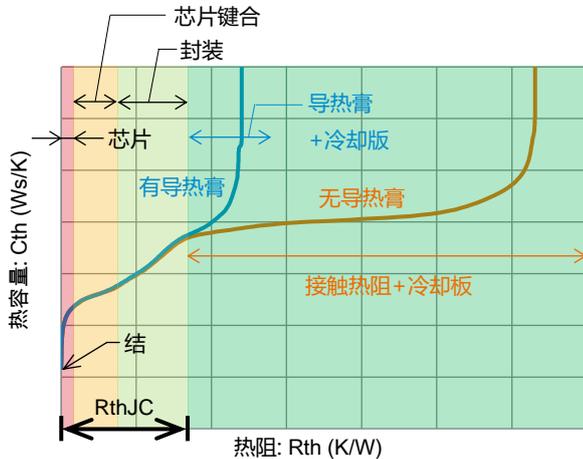


Figure 12.导热膏为“无”和“有”时的  
结构函数重叠的图表

如上所述，由于壳表面和冷却板之间使用不同的接触热阻，只基于结温度的瞬态测量，壳表面温度  $T_C$  不需要使用热电对测量的技术。因此，排除了与这些相关的所有误差，用这种方法可以获得测量精度良好的热阻。罗姆的分立产品根据 JESD51-14 实施 RthJC 测量。

## RthJC 的使用方法

RthJC 可用于不同封装之间的散热性能比较。例如，在将某个设备上安装的器件替换为其他兼容器件时，用于从各个 RthJC 的值中求出结温度相对变化几°C 的用途。

经常有错误的使用方法，是用热电偶测量与散热器接触的封装表面的温度  $T_C$ ，使用式 (3) 求结温度的方法。

$$T_j = R_{thJC} \times P + T_C \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

物理上不存在与 JESD51-14 的 RthJC 定义的  $T_C$  相当的温度测量点。请注意不要使用式 (3) 作为以外壳的适当位置  $T_C$  作为求  $T_J$  的方法。

\*文件中出现的“散热片”和“冷却板”是同义词，使用了各 Standards 中使用的用语。

## 参考資料

- [1] JESD51-1:1995, *Integrated Circuit Thermal Measurement Method - Electrical Test Method*
- [2] JESD51-14:2010, *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] MIL-STD-883E, METHOD 1012.1, *Thermal Characteristics*, 4 November 1980

## Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.  
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.  
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

## ROHM Customer Support System

<https://www.rohm.com.cn/contactus>