

热设计

# $\theta_{JC}$ 和 $\Psi_{JT}$

作为衡量热传导难度的指标， $\theta_{JC}$ 和 $\Psi_{JT}$ ，两者都是 Junction 到 Package (Case) 的热关联指标。针对这两种参数有何不同、如何区分使用等疑问，本 Application Note 将对 $\theta_{JC}$ 和 $\Psi_{JT}$ 的区别及使用进行说明。

## $\theta_{JC}$ 的定义 MIL 编

$\theta_{JC}$  较早前由 USA 国防部发行的“MIL-STD-883E, METHOD 1012.1 THERMAL CHARACTERISTICS, 4 November 1980”中定义。 $\theta_{JC}$ 的定义内容有如如下描述。「由 Junction 到指定基准点 (specified reference point) 间的热阻抗,  $R_{\theta JR}$  ( $^{\circ}C/W$ )。超小型电路的热阻抗, 由 Junction 到 Package 上的基准点之间温度差除以耗散功率  $P_D$ 」。另外, 基准点的 Case 温度  $T_C$  是指「热电偶配置在器件外壳底部中心, 紧贴芯片或衬底的正下方安装」测得的温度。如 Figure 1 所示。

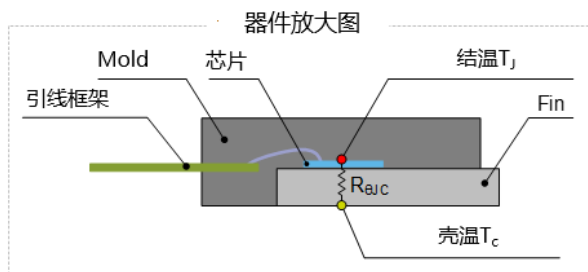
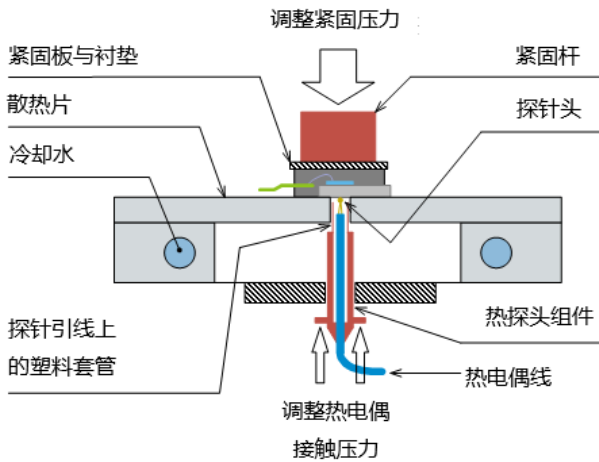


Figure 1. 基于 MIL-STD-883E METHOD 1012.1 测试装置一例, 测试壳体温度

被测器件置于水冷式散热器上, 所接触 Case 表面温度由直接热电偶测定。为确保 Case 与散热器妥当接触, 由上方施加压力。为测得 Case 与散热器接触部的温度, 在散热器上开通孔, 用以穿过热电偶。需要确保热电偶顶端与 Case 之间的直接机械接触, 备有压力调整机构以保持一定接触压力。

以下是这种测试方法的若干问题的说明。基于热电偶的 Case 温度测定, 结果的再现性较差。首先, Case 的温度存在分布性, 热电偶与 Case 的接触点即便很小 (1mm) 的偏移也会造成误差。其次, 热电偶的前端与散热器无法充分隔热, 线材或散热器造成冷却, Case 温度的数值可能偏低。另外, 热电偶用的散热器通孔, 所造成空洞也会有影响。甚至由于使用器材, 或者测定人员操作不同, 也导致各半导体厂商之间的数据差异巨大。

## $\theta_{JC}$ 的定义 JEDEC 编

为解决上述问题的新测定方法, 「JEDEC Standard JESD51-14」于 2010 年发布。使用 Transient Dual Interface (TDI) 测试方法, 无需基于热电偶进行 Case 温度测量, 而实现 Junction 到 Case 间的热阻抗的测定。进而提高 $\theta_{JC}$  测试再现性, 改善各企业间测定数据的误差。这是替代 MIL-STD 现行的常用方法, ROHM 使用此方法进行数据标定。

\* 因各规格中使用词语有差异, 本 Application Note 中, 存在「 $\theta_{JC}$ ,  $R_{\theta JC}$ ,  $R_{thJC}$ 」、「Package 与 Case」、「散热器 Heat Sink 与 Cold Plate」的不同说法, 是同义词。

Figure 2 所示 JEDEC TDI 法的测试环境。与 MIL-STD 相同，被测器件置于水冷式散热器上方，同样为确保 Case 妥当地与散热器接触，由上方施加压力。之后，不采用热电偶，而是采用有导热膏和无导热膏两种环境 (Figure 3) 进行测试。分别由热阻抗曲线变换出构造函数，由曲线的分离点计算  $\theta_{JC}$  (Figure 4)。详细测试方法参照最终页资料 [1], [2], [3]。

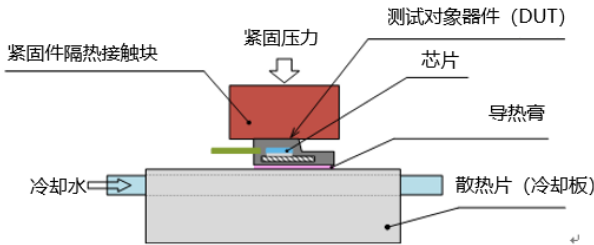


Figure 2. JEDEC TDI 法测试环境一例

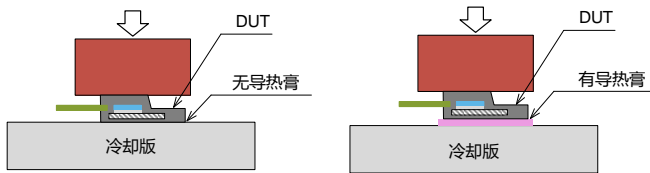


Figure 3. Thermal Grease 不同的两种环境下测试

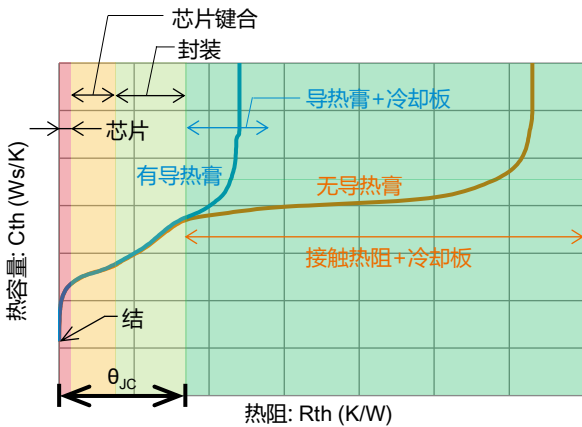


Figure 4. Thermal Grease [有] 和 [无] 的环境构造函数重合曲线  
分离点求取  $\theta_{JC}$

Figure 5 所示为器件部放大图。这一测试法的特点是，不存在 Case 温度的物理基准点。构造函数曲线的“Package (Case)”与“散热器间接接触阻抗”以及“Package”与“导热膏”的接触面附近都作为 Case 温度  $T_C$ 。

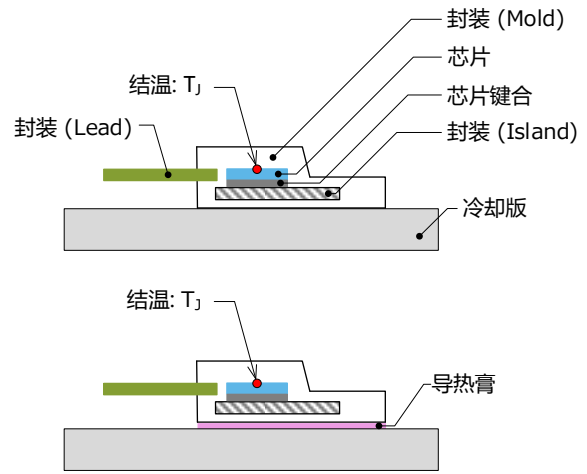


Figure 5. 器件部放大图  
不存在 Case 温度的物理基准点

另一个必须考虑的特征是，Chip 的热源绝大部分仅由有散热器的单一方向 (一次元) 放热时的热阻抗作为定义内容。如 Figure 2 所示，散热器反方向的上方的固定部件是隔热特性，另外，固定部件和散热器的空间，存在空气层，热阻抗很高，可认为不会散热。本例中类似形式的器件，安装散热器的 TO Package 等可以使用  $\theta_{JC}$ ，在无法安装散热器的 SO Package 等器件，PCB 安装后，散热状态与测试环境有很大区别。此时，使用  $\theta_{JC}$  会导致错误结果。

### $\theta_{JC}$ 的使用方法

$\theta_{JC}$  使用方法说明如下。

实例 1:

不同产品间  $\theta_{JC}$  进行比较，求取 Junction 温度相对变化量的场合。

$$\Delta T_j = (\theta_{JC2} - \theta_{JC1}) \times P_D \quad [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

$\theta_{JC1}$ : 产品 1 的热阻抗 [ $^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$\theta_{JC2}$ : 产品 2 的热阻抗 [ $^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$P_D$ : 耗散功率 [W]

实例 2:

使用散热器进行热设计的场合。Junction 温度如式 2 所示，由 Junction 到周围温度的热阻抗乘以耗散功率，再加上周围温度求得。Junction 到周围温度的热阻抗中，如 Figure 6 所示，Junction 到 Case 的热阻抗  $\theta_{JC}$ ，包含 TIM (Thermal Interface Material) 的 Case 到散热器间的接触热阻  $\theta_{CH}$ ，散热器到周围温度间的热阻  $\theta_{HA}$ 。

$$T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA}) \times P_D + T_A \quad [^\circ\text{C}] \quad (2)$$

θ<sub>JC</sub>: Junction 到 Case 间的热阻抗 [°C/W]  
 θ<sub>CH</sub>: Case 到散热器间的热阻抗 [°C/W]  
 θ<sub>HA</sub>: 散热器到周围温度间的热阻抗 [°C/W]  
 P<sub>D</sub>: 耗散功率 [W]  
 T<sub>A</sub>: 周围温度 [°C]

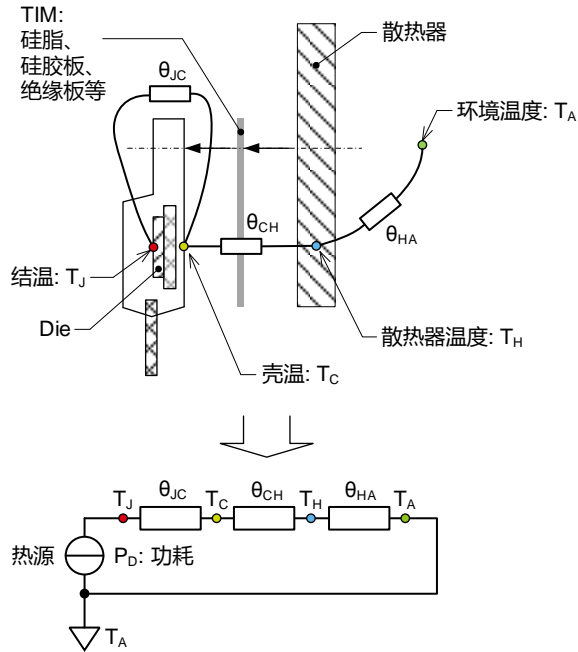


Figure 6. 热源到周围环境间的散热等效电路

本实例中，Case 与 TIM 的面接触形式，与 JEDEC TDI 同等条件，所以可以根据 θ<sub>JC</sub> 计算。

### θ<sub>JC</sub> 的错误用法

常见的错误用法为，用热电偶测得的 Package 表面温度作为 T<sub>C</sub>，使用下面的计算式来求取 Junction 温度。

$$T_J = \theta_{JC} \times P_D + T_C \quad [^\circ\text{C}] \quad (3)$$

P<sub>D</sub>: 耗散功率 [W]

按之前的说明内容，与 T<sub>C</sub> 相当的基准点在物理上不存在，所以，照此方法求取的 T<sub>J</sub> 会成为没有依据的值。MIL-STD 中，使用热电偶在基准点测得 T<sub>C</sub>，受此残留影响从而得出错误的测量方法。

### Ψ<sub>JT</sub> 的定义

Ψ<sub>JT</sub> 由 JEDEC Standard JESD51-2A “Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions - Natural Convection (Still Air), January 2008” 进行定义。Ψ<sub>JT</sub> 的定义描述如下，「Junction 温度与器件外表面的上部中心的温度差，除以器件上加载的功率，所取得数值作为表征热特性的参数」。

Ψ<sub>JT</sub> 由参照 JESD51-3、JESD51-5、JESD51-7 规格制成的 PCB 上安装器件，JESD51-2A 的测试环境下，使用热电偶测定 Package 的上表面中心温度。

Figure 7 所示贴片封装 IC 用的 4 层 PCB 实例。JEDEC Standard 的详细内容请参照最终页的资料 [4]，[5]，[6]。这些资料中，关于 PCB 的尺寸和材质、器件的实装位置、铜箔的厚度和面积、引出线的尺寸、散热过孔的尺寸等，均有详细说明。另外，一例参考规格请参照资料 [7]。

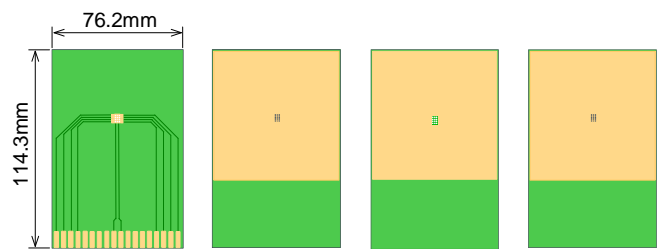


Figure 7. 依据 JESD51-3、JESD51-5、JESD51-7 规格制作，贴片封装 IC 用 4 层 PCB 例

测定环境和方法依照 JESD51-2A 实施。此处仅作概要说明，详细内容请参照资料 [8]。

测定环境如 Figure 8 所示，PCB 上实装好 IC，固定于指定位置，用低热传导率的材质制成包围（箱体），完全密封，以隔绝内外部空气之间的流动交换。

测试前需准备的项目是，为掌握 Junction 的温度，将 IC 内的二极管用作检测二极管，来测量正向压降。所用二极管如 Figure 9 所示，是 IC 工作时发热源 MOSFET 的体二极管。IC 放置于恒温箱内，加载不会导致二极管发热的微小电流，各温度状态下测定正向压降。测定结果例如 Figure 10 所示。用此方法，可依据正向压降测得数据得到 Junction 温度。

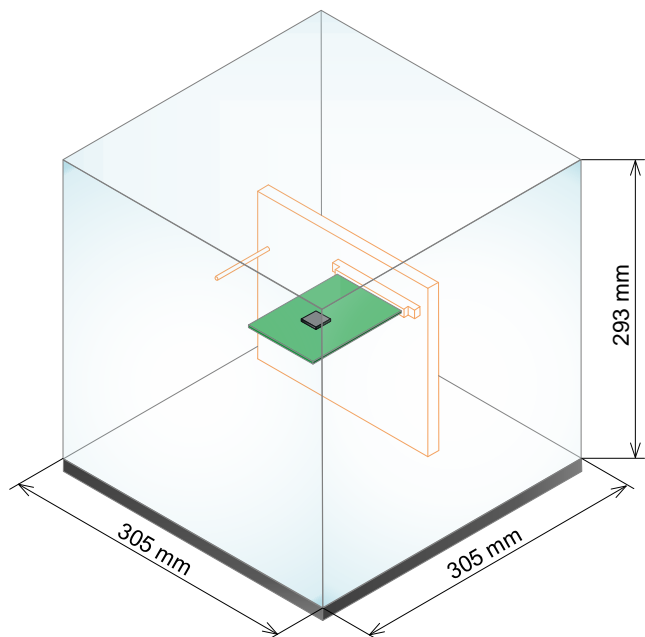


Figure 8. 测试固定装置与周围装置概略图

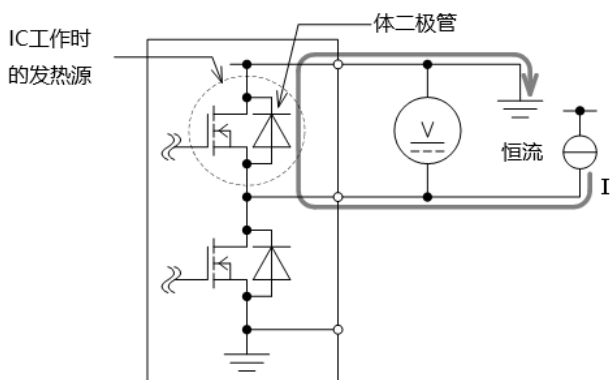


Figure 9. 发热源 MOSFET 的体二极管，用作检测二极管来测量 Junction 温度

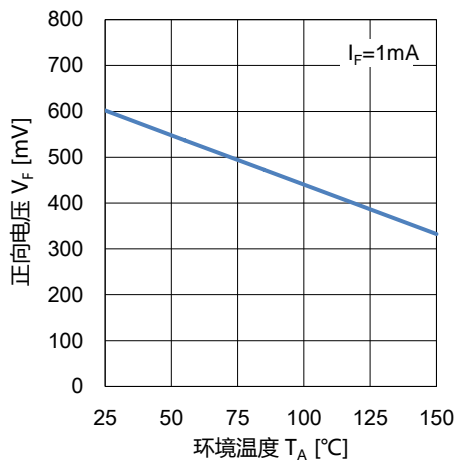


Figure 10. 体二极管的正向压降的温度特性一例

从此处开始  $\Psi_{JT}$  的测定。为 Package 上表面中心的温度，将热电偶用导热性环氧树脂粘接剂固定于芯片中心位置，如 Figure 11 所示。

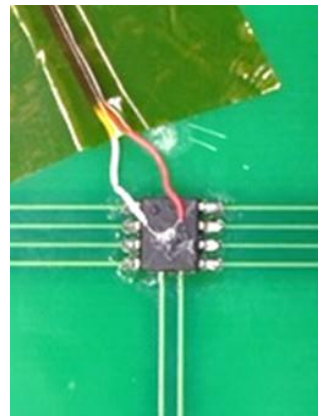


Figure 11. 用导热性环氧树脂粘接剂将热电偶固定于芯片上表面中心位置

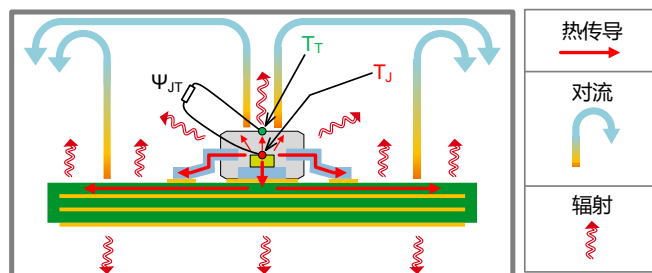
之后，Figure 9 的体二极管加入大电流，使 IC 发热，Junction 温度上升  $30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。接下来换为微小电流来测得正向压降，依据 Figure 10 所测得曲线换算 Junction 温度。温度变化平稳处，记录下 Junction 和热电偶温度，由上述数据求得  $\Psi_{JT}$ ，计算方法如下式。

$$\psi_{JT} = \frac{T_{Jss} - T_{Tss}}{P_H} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (4)$$

- $T_{Jss}$ : 稳定时的 Junction 温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $T_{Tss}$ : 温度时的 Package 上表面中心温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $P_H$ : 产生 Junction 温度变化的消耗功率 [W]

热特性参数  $\Psi_{JT}$  是由 Package 上表面和 Junction 温度的温度差除以耗散功率所得数值。Junction 到 Package 上表面的热流量的转移比例一定的场合下， $\Psi_{JT}$  与 Package 上表面和 Junction 温度的差值成比例。所以，实际环境下，器件的 Package 温度测定之后，温度特性参数也在同样条件下测定的话，即可推定 Junction 温度。

Figure 12 所示为测定  $\Psi_{JT}$  时的放热路径。虽然 Junction 从三次元方向散热，但热传导是最大的传热形态。SMD (Surface Mount Device) 从 PCB 方向放出大部分热量，所以 Junction 和 Package 上表面间的热流量非常小。因此， $T_J$  与  $T_T$  间的温度差也很小，可判定  $\Psi_{JT}$  的值很小。 $\Psi_{JT}$  数值很小，JEDEC 板与实机板之间尽管存在差异，Junction 温度的推算与实际值的误差也很小。

Figure 12.  $\Psi_{JT}$  测定时的放热路径

## $\Psi_{JT}$ 的使用方法

$\Psi_{JT}$  的使用方法如下所示。

测定 Package 上表面的温度，使用规格书中记载的  $\Psi_{JT}$  推算出 Junction 温度。

Junction 温度用下式计算。

$$T_J = \Psi_{JT} \times P_D + T_T \quad [^\circ\text{C}] \quad (5)$$

$\Psi_{JT}$ : Junction 到 Package 上表面间的热特性参数 [ $^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$P_D$ : 耗散功率 [W]

$T_T$ : Package 上表面中心的温度 [ $^\circ\text{C}$ ]

准备计算中需要的各项参数。

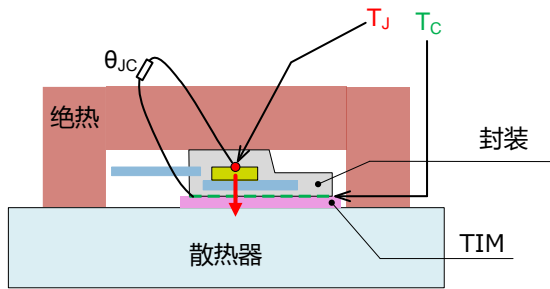
1.  $\Psi_{JT}$  在规格书或热阻抗 Application Note 中有记载，从中选取与实机最接近的 PCB 条件。
2.  $P_D$  是相应器件工作时的耗散功率。通过实测或计算取得。
3.  $T_T$  将热电偶用导热性环氧树脂粘接剂固定于 Package 上表面进行测定，测定时的注意点请参照资料[9]。

## 总结

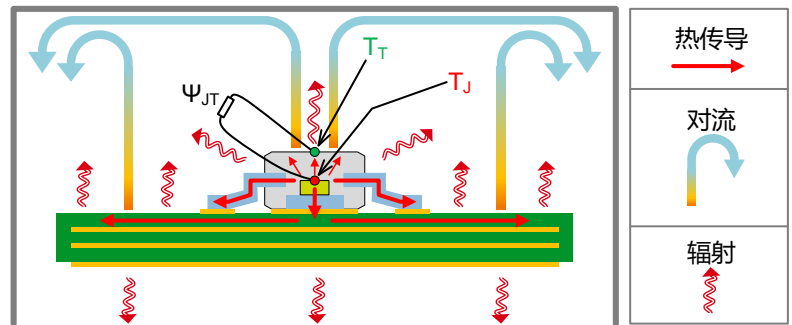
θ<sub>JC</sub>的测试环境为 Package 表面与散热器接触，并且其他面处于隔热状态测定，因此推定为 Junction 发生的热量全部转移等非常良好的冷却环境下使用 (Figure 13)。最适合于使用散热器的功率半导体应用电路的热设计。

ψ<sub>JT</sub>的测试环境包含线路板，与实机类似，最适用于大部分热量由线路板方向散发的 SMD 应用电路的热设计 (Figure 14)。SMD 中使用θ<sub>JC</sub>的话，测试环境与实际应用有很大差异，会导致不正确的热设计。

	旧规格 θ <sub>JC</sub> MIL	θ <sub>JC</sub> JEDEC	ψ <sub>JT</sub>
规格	MIL-STD-883E, METHOD 1012.1 THERMAL CHARACTERISTICS, 1980	JEDEC Standard JESD51-14, 2010	JEDEC Standard JESD51-2A, 2008
定义	Junction 到指定基准点 (specified reference point) 间的热阻抗, R <sub>θJR</sub> (°C/W)	半导体器件的工作部分到芯片实装区域最近处 Package 的外表面间的热阻抗, 为最大限度减小外表面全体温度差异, 同一表面需确实地接触散热器	Junction 与器件外表面上部中心点的温度差与器件耗散功率的比值作为热特性参数
Package 温度的测定方法	用热电偶测定表面	TDI (Transient Dual Interface)测试法	用热电偶测定表面
Package 温度的位置	Package 的指定基准点	· Package 表面与 TIM 接触平面 · 不存在物理上的测定点	Package 上表面中心
厂家间的数据互换性	低 · 各厂家的测定条件不同	高	高
测定环境	Case 温度测定面进行冷却, 其他方向隔热。测定仅由 Junction 到 Case 间单一方向 (一次元) 散热时的热阻抗。(Figure 13 为 JEDEC)		JEDEC 标准板上实装, 包含由 Junction 三次元方向散热的线路板的热特性 (Figure 14)
用途	· 不同产品间θ <sub>JC</sub> 进行比较, 推算 Junction 温度相对变化量 · TO Package 等使用散热器的应用中的热设计		· SMD 应用的热设计 · Package 上表面温度的测定, 推算 Junction 温度
Junction 温度的推算	$T_J = (\theta_{JC} + \theta_{CH} + \theta_{HA}) \times P_D + T_A$ <p>θ<sub>CH</sub>: 接触热阻抗 [°C/W] θ<sub>HA</sub>: 散热器热阻抗 [°C/W] P<sub>D</sub>: 耗散功率 [W] T<sub>A</sub>: 周围环境温度 [°C]</p>		$T_J = \psi_{JT} \times P_D + T_T$ <p>P<sub>D</sub>: 耗散功率 [W] T<sub>T</sub>: Package 上表面中心温度 [°C]</p>

Figure 13.  $\theta_{JC}$  (JEDEC) 测定环境的概念图

$T_C$  是 Package 与 TIM 的接触面的温度

Figure 14.  $\Psi_{JT}$  测定环境的概念图

## 参考資料

- [1] MIL-STD-883E, METHOD 1012.1, Thermal Characteristics, 4 November 1980
- [2] [JESD51-14](#), 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, November 2010
- [3] 应用笔记 「[热阻 RthJC 的测量方法和使用方法](#)」, ROHM CO., LTD., 2020, 2022
- [4] [JESD51-3](#), Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages, 1996
- [5] [JESD51-5](#), Extension of Thermal Test Board Standards for Packages with Direct Thermal Attachment Mechanisms, 1999
- [6] [JESD51-7](#), High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages, 1999
- [7] 应用笔记 「[HTSOP-J8 封装热阻情报](#)」 3-4 页, ROHM CO., LTD., 2022
- [8] [JESD51-2A](#), Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions - Natural Convection (Still Air), January 2008
- [9] 应用笔记 「[Notes for Temperature Measurement Using Thermocouples](#)」, ROHM CO., LTD., 2020

## 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>