

热设计

# $\theta_{JA}$ 和 $\psi_{JT}$

作为衡量热传导难度的指标,  $\theta_{JA}$  和  $\psi_{JT}$ , 两者都是热的关联指标。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  $\theta_{JA}$  和  $\psi_{JT}$  的区别及使用进行说明。

## $\theta_{JA}$ 的定义

$\theta_{JA}$  由 JEDEC Standard JESD51-1 及 JESD51-2A 定义。 $\theta_{JA}$  的定义内容描述如下, 「由结合部到周围的热阻抗: 半导体器件的工作部分到围绕器件的自然对流(静止空气)环境的热阻抗。符号记为  $R_{\theta JA}$  (代替  $\theta_{JA}$ )。」

$\theta_{JA}$  由 JESD51-3、JESD51-5、JESD51-7 指定规格的 PCB 上, 实装被测器件, 按照 JESD51-2A 测定环境进行测定。

Figure 1 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[1], [2], [3]。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 [4]。

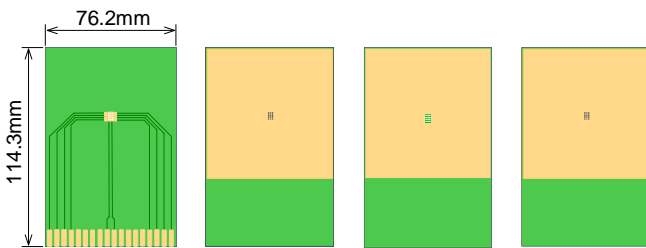


Figure 1. 依据 JESD51-3、JESD51-5、JESD51-7 规格制作, 贴片封装 IC 用 4 层 PCB 例

测定环境和方法依照 JESD51-1, JESD51-2A 实施。此处仅作概要说明, 详细内容请参照资料[5], [6]。

测定环境如 Figure 2 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。

周围温度需采用 JESD51-2A 指定规格的热电偶, 固定在一定位置(不会受到发热源影响的位置)进行测定。

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 3 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 4 所示。用此方法, 可依据正向压降测得数据得到 Junction 温度。

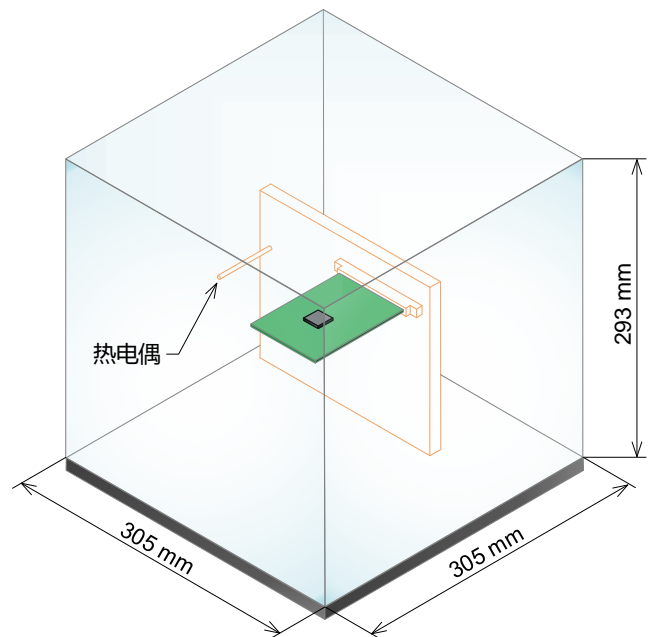


Figure 2. 测试固定装置与周围装置概略图

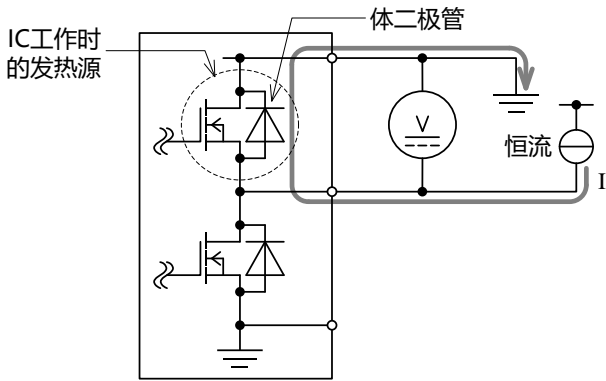


Figure 3. 发热源 MOSFET 的体二极管，用作检测二极管来测量 Junction 温度

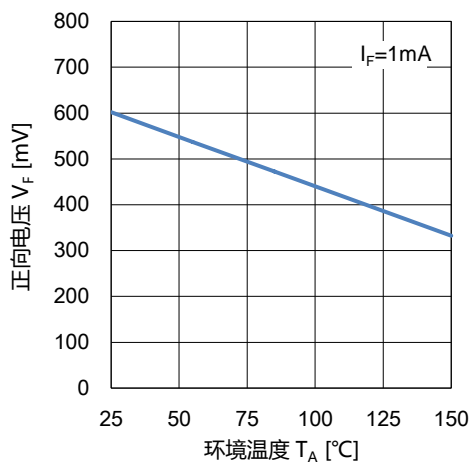


Figure 4. 体二极管的正向压降的温度特性一例

此后进行 $\theta_{JA}$ 的测定。Figure 3 的体二极管中加载大电流以加热 IC，使 Junction 温度上升至  $30^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 。之后切换至微小电流测试正向压降，用 Figure 4 测定的曲线换算成 Junction 温度。温度变化稳定后，记录 Junction 温度和周围温度。由所测定值通过下式计算 $\theta_{JA}$ 。

$$\theta_{JA} = \frac{T_{JSS} - T_{Ass}}{P_H} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (1)$$

$T_{JSS}$ :  $P_H$  加载后器件达到稳定状态时的 Junction 温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{Ass}$ : 达到稳定状态时的周围温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$P_H$ : 使 Junction 温度发生变化的消耗功率 [W]

热阻 $\theta_{JA}$ 是 Junction 温度与周围温度的差值，除以消耗功率所得数值。

Figure 5 所示为测定 $\theta_{JA}$ 时的放热路径。热量会从 Junction 通过多种路径进行移动，因此，基板状态或空间环境变化都会导致热阻数据发生变化。

$\theta_{JA}$ 测定的目的是，完全标准化的环境下，某种 Package 与其他 Package 的热性能做比较。 $\theta_{JA}$ 不是用来进行应用电路固有环境中性能预测的工具，同时也不能进行预测。

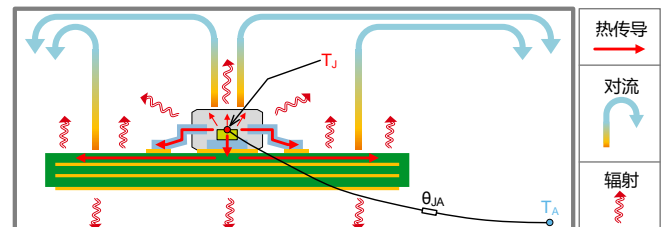


Figure 5.  $\theta_{JA}$ 测定时的放热路径

## $\theta_{JA}$ 的使用方法

$\theta_{JA}$ 的使用方法如下所示。

事例 1:

不同产品间 $\theta_{JA}$ 进行比较，以选用放热性能好 ( $\theta_{JA}$ 低) 的产品。

事例 2:

不同产品间 $\theta_{JA}$ 进行比较，求取 Junction 温度相对变化量的概算。

$$\Delta T_J = (\theta_{JA2} - \theta_{JA1}) \times P_D \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

$\theta_{JA1}$ : 产品 1 的热阻 [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]

$\theta_{JA2}$ : 产品 2 的热阻 [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ]

$P_D$ : 耗散功率 [W]

## $\theta_{JA}$ 的错误用法

常见的错误用法为, 根据规格书中记载的 $\theta_{JA}$ 使用下列算式求取 Junction 温度。

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

$P_D$ : 耗散功率 [W]

$T_A$ : 周围温度 [°C]

规格书中记载的 $\theta_{JA}$ 是 JEDEC 标准化环境下的测定值, 所以在与此环境不同的具体应用条件下, 不能用来推算 Junction 的温度。

Figure 6 所示为 HTSOP-J8 Package 实装于 JEDEC 4 层 PCB 上的 $\theta_{JA}$ 、仅铜箔面积变化时,  $\theta_{JA}$ 的变化情况。曲线的右端是规格书中记载的 $\theta_{JA}$ 。多个环境条件中, 即使仅有铜箔面积的不同, 数据也会发生变化。其他的环境条件, 诸如基板厚度、层数、铜箔厚度、Thermal Via 的设置、壳体的空间容量等, 还有很多必须考虑的参数。

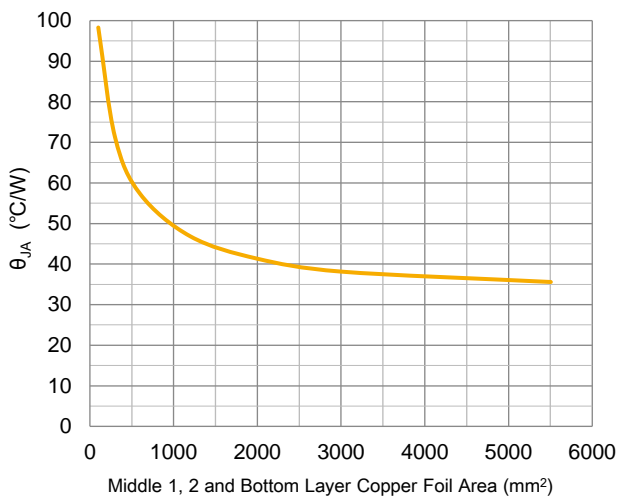


Figure 6. 铜箔面积可变时 $\theta_{JA}$ 的变化  
(HTSOP-J8 Package、JEDEC 4 层 PCB)

## $\Psi_{JT}$ 的定义

$\Psi_{JT}$ 由 JEDEC Standard JESD51-2A 进行定义。 $\Psi_{JT}$ 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」。

$\Psi_{JT}$ 由之前说明的 $\theta_{JA}$ 同样的环境下测定。为测定 Package 上表面中心的温度, 如 Figure 7 所示, 使用导热性环氧树脂粘接剂将热电偶固定于 Package 的中心位置。

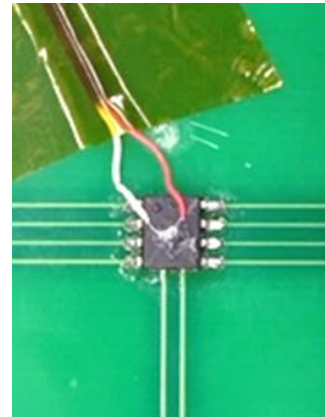


Figure 7. 用导热性环氧树脂粘接剂将热电偶固定于芯片上表面中心位置

之后, Figure 3 的体二极管加入大电流, 使 IC 发热, Junction 温度上升 30°C ~ 60°C。然后换为微小电流来测得正向压降, 依据 Figure 4 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 [°C]

$T_{Tss}$ : 温度时的 Package 上表面中心温度 [°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 8 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 9 所示为 HTSOP-J8 Package 实装于 JEDEC 4 层 PCB 上的  $\Psi_{JT}$ 、铜箔面积变化时， $\Psi_{JT}$  的变化情况。曲线的右端是规格书中记载的  $\Psi_{JT}$ ，与用点状线所示的  $\theta_{JA}$  (Figure 6 相同曲线) 相对照，其变化量非常小。

### $\Psi_{JT}$ 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[7]。

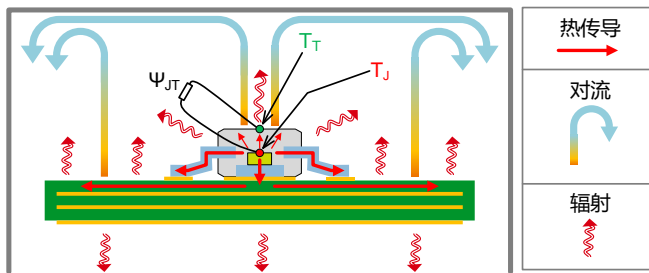


Figure 8.  $\Psi_{JT}$  测定时的放热路径

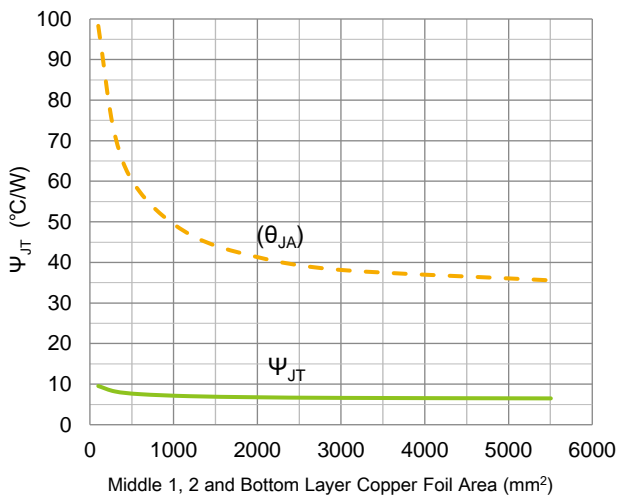


Figure 9. 铜箔面积可变时  $\Psi_{JT}$  的变化 (HTSOP-J8 Package、JEDEC 4 层 PCB)

总结

$\theta_{JA}$  是 Junction 到周围环境间的温度差除以两点间的热流量 (消耗功率) 所得值。该两点间如 Figure 10 所示, 存在很多热路径。具体应用环境中, 与 JEDEC 测定环境相比, 各路径的热流量都会有差异, 所以  $\theta_{JA}$  也会随之变化。两种产品在相同 JEDEC 环境下测得  $\theta_{JA}$  进行比较, 以选用散热性能好的产品, 或者概算相对的 Junction 温度的变化量时可以使用。需注意在与 JEDEC 环境不同的应用电路中, 不能用来推算 Junction 温度。

$\Psi_{JT}$  是 Junction 到 Package 上表面中心的温度差除以在器件上发生的热流量 (消耗功率) 所得值。 $\Psi_{JT}$  在与  $\theta_{JA}$  相同的 JEDEC 环境测得, 因此在其他应用中, 与  $\theta_{JA}$  同样会发生变化。但是 SMD Package 应用时, 大部分的热由基板方向散出, Junction 与 Package 上表面的两点间, 通过的热流通非常小。因此  $\Psi_{JT}$  的值减小, 即使 JEDEC 环境与实际应用间有所差异, 用来推算 Junction 温度也能够取得较小误差。

	$\theta_{JA}$	$\Psi_{JT}$
规格	JEDEC Standard JESD51-1, 51-2A	JEDEC Standard JESD51-2A
定义	结合部到周围环境的热阻抗: 半导体器件的工作部到包围器件自然对流 (静止空气) 环境的热阻抗	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
周围温度的测定方法	JESD51-2A 标准指定位置用热电偶测定	
Package 温度的测定方法		Package 上表面中心用热电偶测定表面
测定环境 (Figure 10)	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	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
用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>不同产品间 <math>\theta_{JA}</math> 进行比较, 选用散热性能好的产品。</li> <li>不同产品间 <math>\theta_{JA}</math> 进行比较, Junction 相对变化量的概算。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SMD 应用中的热设计</li> <li>Package 上表面温度的测定, 推算 Junction 温度</li> </ul>
Junction 温度的推算	不可	$T_J = \Psi_{JT} \times P_D + T_T$ <p><math>P_D</math>: 耗散功率 [W]  <math>T_T</math>: Package 上表面中心温度 [°C]</p>

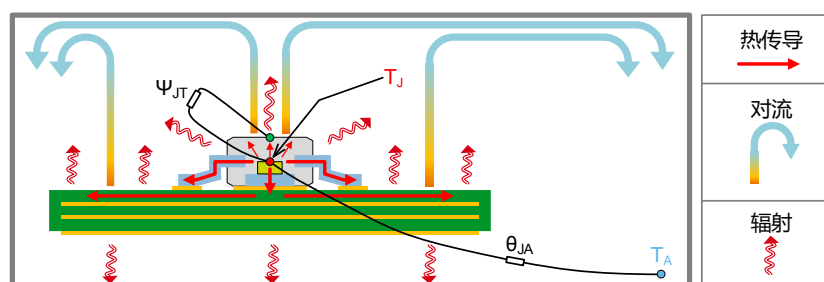


Figure 10.  $\theta_{JA}$  和  $\Psi_{JT}$  测定环境的概念图

## 参考資料

- [1] [JESD51-3](#), Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages, 1996
- [2] [JESD51-5](#), Extension of Thermal Test Board Standards for Packages with Direct Thermal Attachment Mechanisms, 1999
- [3] [JESD51-7](#), High Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages, 1999
- [4] 应用笔记 「[HTSOP-J8 封装热阻情报](#)」 3-4 页, ROHM CO., LTD., 2022
- [5] [JESD51-1](#), Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device), December 1995
- [6] [JESD51-2A](#), Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions - Natural Convection (Still Air), January 2008
- [7] 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>