

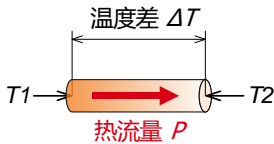
热设计 (基础篇)

# 热阻和散热的基础

在电子设备的设计中, 小型化、高效率化、电磁兼容性 (EMC) 对策、热对策正在成为几个重要的课题。“热”关系到元器件和设备的性能、可靠性以及安全性, 因此一直以来都是重点讨论的事项之一。本应用笔记介绍了以在电子设备中使用的 IC 和晶体管等半导体元器件为前提的热阻和散热的基础。

## 何谓热阻

热阻是将热传递的难易程度进行数值化表示的结果。将任意 2 点之间的温度差, 除以该 2 点之间流过的热流量 (单位时间内流过的热量) 得到的比值即为热阻。热阻大代表热不容易传递, 热阻小代表热容易传递。



$$\text{热阻 } R_{th} = \frac{T1 - T2}{\text{热流量 } P} = \frac{\text{温度差 } \Delta T}{\text{热流量 } P} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}]$$

电阻使用符号 R 进行表示, 热阻使用符号 $\theta$ (theta)进行表示。在半导体器件领域进行标准制定的行业组织 JEDEC (半导体技术协会 Joint Electron Device Engineering Council), 在集成电路的热测试标准 JESD51 之中, 规定使用 $\theta_{xx}$ 或者  $R_{exx}$  (当无法使用希腊文字时, 使用 Theta-XX)进行标准化表示。另外, XX 部分记载的是任意 2 点之间的符号。当以上图为例时, 表示为 $\theta_{T1T2}$ 、 $R_{\theta T1T2}$ 、Theta-T1T2。

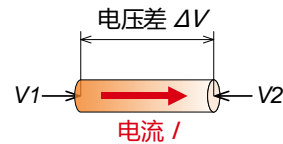
另外, 对所有电气、电子、关联技术进行国际标准制定和公开的全球性组织 IEC (国际电工委员会 International Electrotechnical Commission), 在半导体分立元器件标准的 EN 60747-15 之中使用了  $R_{th}$ 。

因此, 在 ROHM 的 Datasheet 之中 IC 使用 $\theta$ 表示热阻, 分立元器件使用  $R_{th}$  表示热阻 (存在一部分例外)。

热阻的单位是 K/W 或者 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$  (K 代表开尔文)。虽然 K 和 $^{\circ}\text{C}$  的绝对温度不一样 ( $0 \text{ K} = -273.15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 但是作为相对温度进行处理时是一样的 ( $\text{K} = ^{\circ}\text{C}$ )。

## 热的欧姆定律

热阻可以按照等同于电阻的方式进行考虑, 热计算的基本公式可以按照等同于欧姆定律的方式进行处理。下图是欧姆定律的示意图和计算公式。可以看出各个变量可以按照热参数和电气参数进行互换。



$$\text{电阻 } R = \frac{V1 - V2}{\text{电流 } I} = \frac{\text{电压差 } \Delta V}{\text{电流 } I} \quad [V/A]$$

因此, 正如电压差  $\Delta V$  可以按照  $R \times I$  进行计算那样, 温度差  $\Delta T$  可以按照  $R_{th} \times P$  进行计算。

下表是上述对应关系的总结。

电气	电压差 $\Delta V$ (V)	电阻 $R$ ( $\Omega$ )	电流 $I$ (A)
热	温度差 $\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	热阻 $R_{th}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	热流量 $P$ (W)

电气	$\Delta V = R \times I$	$R = \frac{\Delta V}{I}$	$I = \frac{\Delta V}{R}$
热	$\Delta T = R_{th} \times P$	$R_{th} = \frac{\Delta T}{P}$	$P = \frac{\Delta T}{R_{th}}$

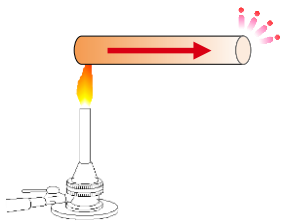
## 热传递和散热路径

热通过物体和空间进行传递。所谓传递，是指热能从一个地方转移到另外一个地方。

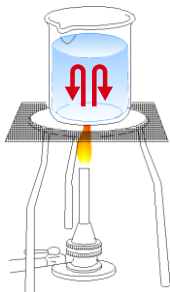
### 热传递的 3 种形式

热传递存在 3 种形式：热传导、对流（换热）、热辐射。

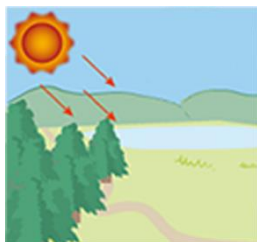
- 热传导：在同一个物体内部，通过组成物质的分子的运动，热从温度高的地方向温度低的地方进行转移的现象，不伴随物质的转移。



- 对流（换热）：当固体表面以及与其相接触的空气和水等流体之间存在温度差时，通过流体的流动进行热转移的现象。相对于热传导，对流可以传递更多的热。

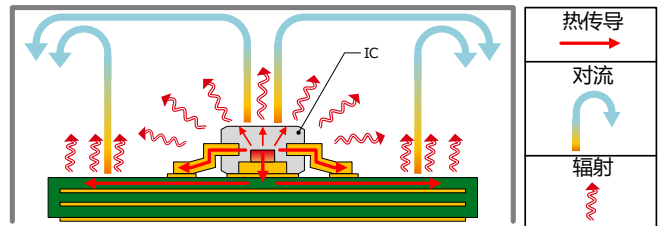


- 热辐射：从物体表面会辐射出与温度相对应的一定波长的电磁波。当电磁波通过空间传递到对象物体时，对象物体的表面分子由于电磁波的振动能量而产生振动，由此发生热转移，物体的温度发生变化的现象。对于热辐射来说，即使物体之间不存在热传递的媒介（即使是在真空之中），也可以发生热转移。因此，周围空气的温度不会发生变化。

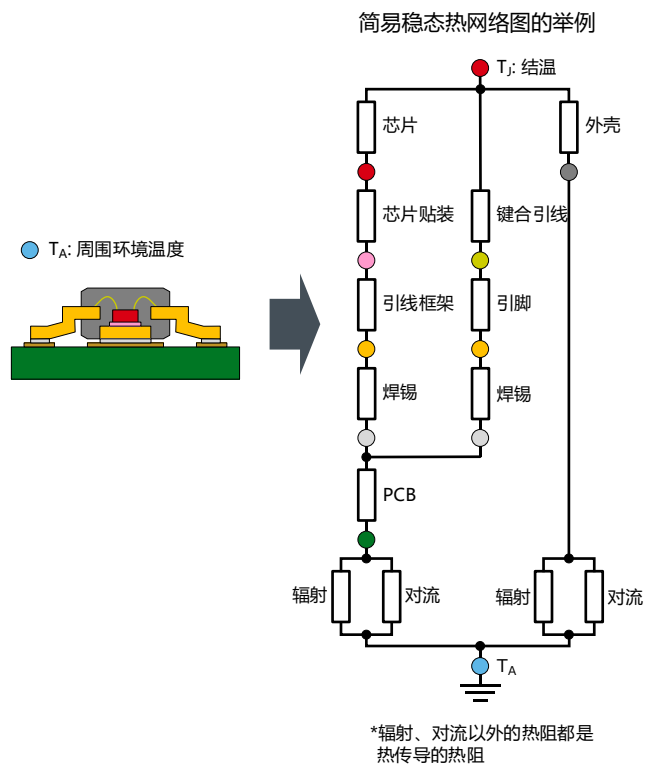


## 散热路径

产生的热会通过传导、辐射、对流，经由各种不同的路径向外部环境进行逃逸。这里以印刷电路板(PCB)上所贴装的 IC 为例进行说明。



热源是 IC 的芯片(Die)。产生的热向芯片贴装（芯片键合）、引线框架、外壳（封装）、印刷电路板进行传导。该热量从印刷电路板以及 IC 的封装表面通过对流、辐射向空气进行传递。下图是以热阻表示的热网络图。



左上图中的 IC 剖面图中的各部分颜色，与右上图中的圆圈颜色保持一致，例如芯片都以红色表示。芯片结温  $T_j$  通过热网络图中所示的热阻传递至周围环境温度  $T_A$ 。

散热路径从芯片开始经由芯片贴装、引线框架向背面散热板 (Exposed Pad) 进行传导，并通过 PCB 的铜箔焊盘上的焊锡向 PCB 进行传导。进一步地，热从 PCB 通过对流和辐射向空气( $T_A$ )进行传递。

# 热阻和散热的基础

其他路径包括从芯片开始经由键合引线向引线框架、进而向 PCB 进行热传递的对流、辐射路径；以及从芯片开始经由封装向空气进行热传递的对流、辐射路径。

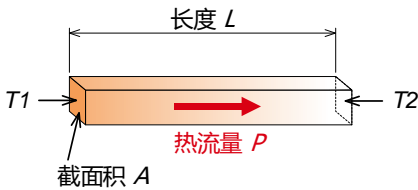
知道了散热路径的热阻和 IC 的损耗, 就可以使用上述热阻公式计算温度差, 在本例中是计算  $T_J$  和  $T_A$  之间的差。

热设计就是减小上述各项热阻, 也就是减小芯片与空气之间的散热路径的热阻的工作。这样,  $T_J$  变小、可靠性得到提高。

接下来说明为了减小各项热阻所需要的基础公式。

## 热传导的热阻

热传导的热阻的示意图和计算公式如下所示。



温度差  $(T_1 - T_2) = \text{热阻 } R_{th} \times \text{热流量 } P$

$$\text{热阻 } R_{th} = \frac{\text{长度 } L}{\text{热导率 } \lambda \times \text{截面积 } A}$$

上图表示截面积为 A、长度为 L 的物体, 其一端的温度  $T_1$  通过热传导向物体的另外一端进行转移变为温度  $T_2$ 。

上边的公式是最开始出现过的热阻公式,  $T_1$  和  $T_2$  的温度差, 按照热阻  $R_{th}$  与热流量  $P$  的乘积进行表示。

下边的公式是使用物质参数所表示的  $R_{th}$  的计算公式。

从上图和计算公式的各项参数可以马上联想到, 热传导的热阻基本可以按照导体的方阻的思考方法进行考虑。将公式中的热导率替换为电阻率就可以计算方阻。电阻率是导体材料的固有值, 热导率也是材料的固有值。

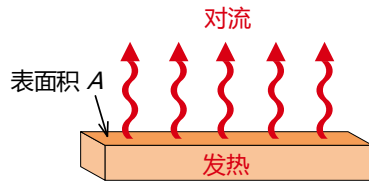
从  $R_{th}$  的公式可以看出, 为了减小热传导的热阻, 需要增大物体的截面积、或者减小物体的长度、或者选择热导率大的材料。

## 对流 (换热) 的热阻

对流有几种类型, 以下是包含术语的相关定义。

流体	气体、液体等可以流动的物体
对流	受热流体通过移动进行热量转运的热转移现象 ※对于无流体状态(真空)则无法期待通过对流进行热转移
自然对流	由于流体的温度差所产生的上升流动
强制对流	由于风扇或者泵等外部因素所产生的流动

流体的热阻的示意图和计算公式如下所示。



$(\text{表面温度} - \text{流体温度}) = \text{热阻 } R_{th} \times \text{热流量 } P$

$$\text{热阻 } R_{th} = \frac{1}{\text{对流换热系数 } hm \times \text{表面积 } A}$$

对流换热系数  $hm$

$$\text{自然对流 } hm = 2.51 \times C \times \left(\frac{\Delta T}{L}\right)^{0.25} \quad [W/m^2K]$$

$C$ : 系数 (由形状和设置条件所决定)

$\Delta T$ : 温度差 [°C]

$L$ : 代表长度 [m]

$$\text{强制对流 层流 } hm = 3.86 \times \left(\frac{V}{L}\right)^{0.5} \quad [W/m^2K]$$

$$\text{强制对流 湍流 } hm = 6 \times \left(\frac{V}{L^{0.25}}\right)^{0.8} \quad [W/m^2K]$$

$V$ : 风速 [m/s]

$L$ : 代表长度 [m]

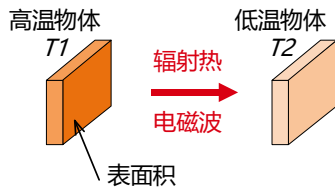
对流的热阻是对流换热系数  $hm$  与发热物体的表面积  $A$  的乘积的倒数。从公式可以得出, 物体的表面积越大, 则对流的热阻就越小。

对流换热系数  $hm$  根据对流类型不同而不一样。对于自然对流, 温度差越大, 对流得到促进, 热阻越小。对于强制对流, 风速越快, 热阻越小。

### 热辐射的热阻

热辐射的原理与通过分子进行热转移的热传导和对流（换热）的原理不同。即使在真空之中，也可以通过热辐射实现热转移。

热辐射的热阻的示意图和计算公式如下所示。



温度差  $(T_1 - T_2) = \text{热阻 } R_{th} \times \text{热流量 } P$

$$R_{th} = \frac{1}{\text{辐射换热系数} \times \text{表面积}}$$

$$\text{辐射换热系数} = \sigma \times \text{辐射率 } \varepsilon \times (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)$$

$\sigma$ : 斯忒藩 - 玻尔兹曼常数  $5.67 \times 10^{-8} [W/m^2K^4]$

辐射率  $\varepsilon$ : 材料表面的辐射率 0~1

热辐射的热阻是辐射换热系数与发热体的表面积的乘积的倒数。从公式可以得出，物体的表面积、温度、辐射率会对热辐射的热阻产生影响。

从  $R_{th}$  的公式可以得出为了减小热辐射的热阻，需要增大物体的表面积、或者选择辐射率大的材料。

材料	辐射率
抛光铝轮	0.05
氧化铝	0.78
抛光铜	0.03
氧化铜板	0.78
抛光铸铁	0.21
氧化铸铁	0.57
抛光黄铜	0.04
氧化黄铜	0.60
树脂	0.79-0.83
橡胶	0.86-0.92
油漆 白色无光泽	0.91
油漆 黑色无光泽	0.88
油漆 黑色有光泽	0.90

出处: Emissivity of Solids, Heat Exchanger Design Handbook, ISBN: 978-1-56700-423-6

以上内容对 3 种形式的热传递：热传导、对流（换热）、热辐射之中各个热阻的计算公式进行了表述。从基本公式之中都可以得到减小热阻的线索，请确认各个参数的关联性。

### 总结

最后对 3 种形式的热传递的热阻计算公式，以及减小热阻的方法进行总结。

**热传导的热阻**

$$R_{th} = \frac{\text{长度}}{\text{热导率} \times \text{截面积}}$$

为了减小热阻：

- 增大物体的截面积。
- 减小物体的长度。
- 选择热导率大的材料。

**对流的热阻**

$$R_{th} = \frac{1}{\text{对流换热系数} \times \text{表面积}}$$

为了减小热阻：

- 增大物体的表面积。
- 对于自然对流，考虑使温度差变大的配置方法。
- 对于强制对流，加快风速。

**热辐射的热阻**

$$R_{th} = \frac{1}{\text{辐射换热系数} \times \text{表面积}}$$

为了减小热阻：

- 增大物体的表面积。
- 选择辐射率大的材料。

## 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>