功率器件

使用热电偶进行温度测量时的注意事项

为估算半导体器件的结温，会对封装表面温度进行测量，但如果测量操作有误，可能无法得到准确结果。本应用笔记将说明温度测量过程中的注意事项。此外，本应用笔记的内容不依赖于半导体器件的种类，具有普遍适用性。

使用热电偶进行的热测量

热电偶是测量半导体封装表面温度的方法之一，但操作不当可能会得到与实际情况不符的结果，因此需要格外注意。除热电偶外，表面温度测量还可采用热成像法；不过，由于最终产品通常被外壳包裹，大部分情况下无法直接观察到测量对象，因此罗姆公司采用了基于热电偶的接触式测量方法。

使用热电偶测量时的注意点

第一点是热电偶的种类。热电偶的种类约有 10 种，其中适合用于半导体表面温度测量的是 K 型热电偶与 T 型热电偶。这两种热电偶的规格概要如表 1 所示。

T 型热电偶的优势在于误差容限小，但存在一个关键问题：其正极的热导率较高，导致热电偶自身容易成为散热路径，进而可能使测量结果低于实际温度。因此， K 型热电偶的规格 1 被认为是半导体热测量的最佳选择。

第二点是热电偶的尺寸。若线径过粗，热电偶自身的放热，会导致测量值会低于实际温度。为减小这种情况带来的误差，需尽可能选用线径较细的热电偶。根据 JEDEC 标准，推荐选用 AWG 36 至 AWG 40 规格的热电偶。罗姆公司在实际测量中，通常采用的是 AWG 38 规格(0.102 毫米或 0.0040 英寸)的热电偶。

IEC 代码	構成材料		规格	温度范围	公差	色码（参考）	
	正极	负极				EN60584-3 JIS C 1610:2012	ASTM E230
K	镍铬合金 λ ≤ 19 W/m•K	镍铝合金 λ ≤ 30 W/m•K	1	-40 ~ 375 °C 375 ~ 1000 °C	±1.5 °C ±0.004×|t|	绿 （JIS C 1610:1995 为蓝）	黄
			2	-40 ~ 333 °C 333 ~ 1200 °C	±2.5 °C ±0.0075×|t|		
			3	-164 ~ 40 °C -200 ~ -167 °C	±2.5 °C ±0.015×|t|		
T	铜 λ ≤ 385 W/m•K	铜镍合金 λ ≤ 19 W/m•K	1	-40 ~ 125 °C 125 ~ 350 °C	±0.5 °C ±0.004×|t|	棕	蓝
			2	-40 ~ 133 °C 133 ~ 350 °C	±1.0 °C ±0.0075×|t|		
			3	-67 ~ 40 °C -200 ~ -67 °C	±1.0 °C ±0.015×|t|		

参考资料: IEC 60584-1:2013

λ: 热导率

表 1. K 型及 T 型热电偶的规格概要

© 2025 ROHM Co., Ltd.

Figure 1 展示了使用不同种类及线径的热电偶进行测量的结果。左侧为使用 K 型细径热电偶（规格为 AWG 38），右侧则为使用 T 型粗径热电偶（规格为 AWG 28），其中 T 型热电偶的热导率高于 K 型。对比两侧结果可见，右侧的测量温度比左侧低 24%（即低 16.7℃）。这是因为右侧热电偶自身的散热更显著。这种因热电偶自身散热导致的测量偏差，会随着半导体封装尺寸的减小而愈发明显。

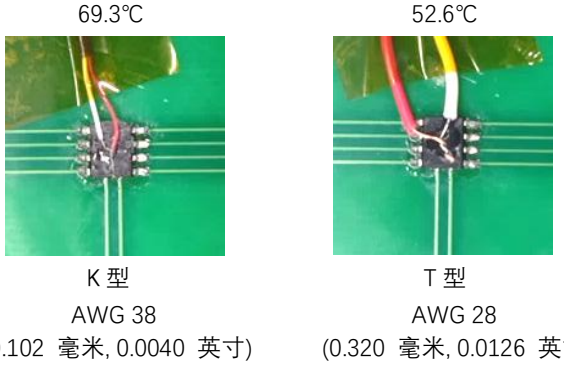


Figure 1. 热电偶种类与线径差异导 致的测量温度差示例

第三点注意事项是热电偶的尖端处理。最简便的处理方法如 Figure 2 所示，将热电偶的尖端拧绕数圈制成绞合线，但这种方法的问题在于，温度测量仅通过最初的接触点实现，而绞合后剩余的部分不仅对热测量毫无作用，还会成为加剧散热的不利因素。不过，若将这些剩余部分剪断，又会导致热电偶与被测表面的接触性变差，进而造成测量温度的不稳定。

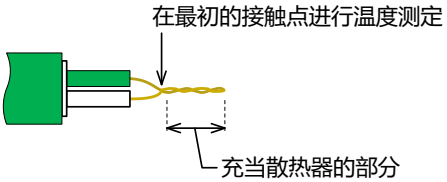


Figure 2. 尖端处理为绞合线的热电偶

热电偶尖端处理的最佳方式如 Figure 3 所示，即对尖端进行焊接处理。实现该处理有两种常见方式：一是使用市售的热电偶专用点焊机自行焊接；二是直接选用出厂时尖端已完成焊接处理的热电偶。

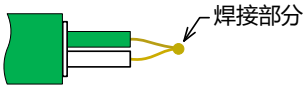


Figure 3. 尖端经焊接处理的热电偶

Figure 4 展示了热电偶尖端采用焊接处理与绞合线处理时，测量温度差异的具体案例。测试结果显示：相较于尖端焊接的热电偶，采用绞合线接触不良，测量值偏低，其测量温度偏低 2.3%（1.6℃）。这种因尖端处理方式不同产生的测量偏差，同样会随半导体封装尺寸的减小而愈发显著。

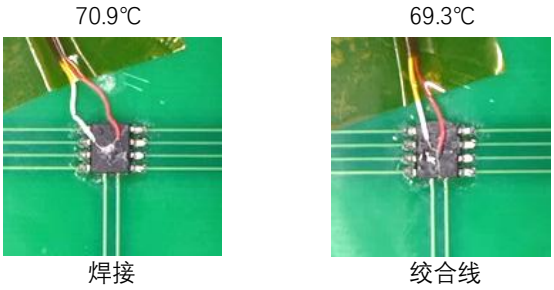


Figure 4. 不同尖端处理方式导致的测量温度差示例
K 型 AWG 38 (0.102 毫米, 0.0040 英寸)

第四点注意事项是热电偶的安装位置。对于半导体封装表面温度的测量，JEDEC 标准明确规定，测量位置应为封装上表面的中心。Figure 5 展示了热电偶的具体安装示例：在半导体封装的上表面，通过连接四个角的对角线，将对角线的交点作为热电偶的目标安装点。

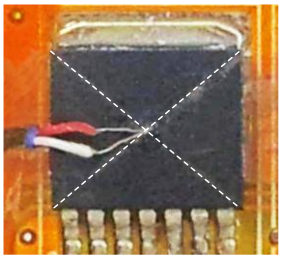


Figure 5. 从封装四角绘制对角线，
以交点为目标安装热电偶的示例

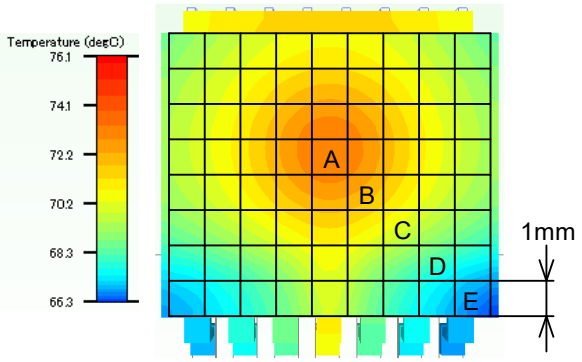
Figure 6 呈现了热电偶安装位置偏差对测量温度影响的仿真数据。具体结果如下，当热电偶从中心 A 点向 B 点偏移约 1.4mm 时，测量温度较实际值偏低 1.6%(1.2℃)；当热电偶从中心 A 点向 C 点偏移约 2.8mm 时，测量温度的偏低 3.7%(2.7℃)。因此，在安装热电偶时，必须注意尽量避免从中心位置偏移，以确保测量数据的准确性。

第五点注意事项是热电偶的固定方法。最简单的方法是使用耐热性优良的聚酰亚胺胶带进行固定。这种方法便于热电偶的固定与拆卸，但在测量过程中，胶带可能松动，使热电偶脱离器件表面。此外，将胶带贴在器件上会阻碍器件与空气的对流，这意味着实际是在与原本不同的散热环境下进行温度测量。

在 JEDEC 标准中，推荐用最小剂量的环氧树脂胶粘剂进行固定，罗姆公司也采用了这种方法。环氧树脂胶粘剂在测量过程中脱落的可能性较低，且所需的固定面积小，因此对测量结果的影响也较小。需要注意的是，固定时应避免环氧树脂流入器件与热电偶之间。

© 2025 ROHM Co., Ltd.

Figure 7 展示了不同固定方法导致测量温度差的一例。结果显示，使用聚酰亚胺胶带固定时，测得的温度比使用粘合剂固定时低 3.7%（2.6℃）。这一差异被认为是由于热电偶与器件之间的贴合性较差所致。此外，当温度进一步升高时，胶带的粘合力会下降，导致测得的温度更低。



A	B	C	D	E
73.3 ℃	72.1 ℃	70.6 ℃	68.2 ℃	66.6 ℃

Figure 6. 不同测量位置导致的温度差示例
HRP7 封装的仿真结果

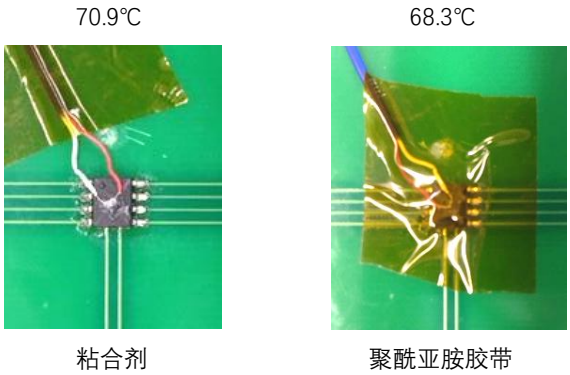


Figure 7. 不同热电偶的固定方式导致的温度差示例
K 型 AWG 38 (0.102 毫米, 0.0040 英寸)

第六点注意事项是热电偶导线的布线方法。布线路径的选择会对测量结果产生影响。如 Figure 8 所示，热电偶导线需沿着封装本体布设至 PCB 板。采用这种布线方式，能够起到减轻因导线散热导致热电偶粘合部的温度下降效果。该布线技巧在 JEDEC 标准中也有相应记载。

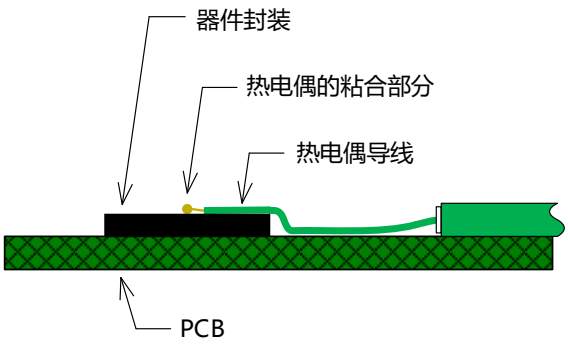


Figure 8. 热电偶导线的布线方法：需沿着封装本体将导线布设至 PCB 板。这种布线方式能够起到减轻因导线散热导致热电偶粘接部的温度下降效果。

第七点注意事项是，测量环境必须复现最终产品的使用条件。以使用恒温槽对评估板进行测量的场景为例，Figure 9 为恒温箱内设置测量基板的示例。恒温槽内部通常会安装用于使槽内温度均匀的循环风扇，形成强制风冷环境。若这种强制风冷会导致基板或器件过度冷却，则有必要安装防风板等装置，构建接近自然对流的环境。

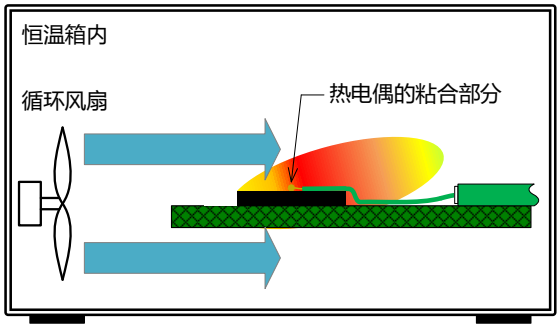


Figure 9. 恒温箱的循环风扇对热测定的影响

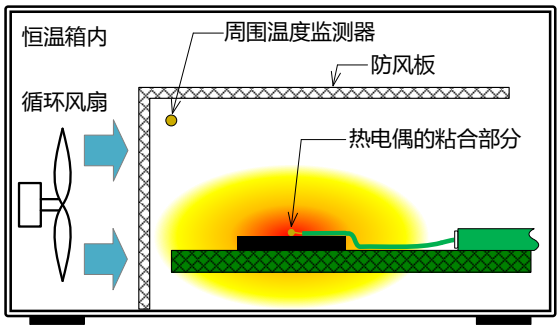


Figure 10. 防止循环风扇的影响的示例

Figure 10 展示了防止恒温箱循环风扇影响热测量的例子。安装防风板（或防风箱），避免循环风扇产生的气流直接吹向被测物体。同时，需在气流不会直接吹到的位置额外布置一支热电偶，并等待至该热电偶温度稳定。

此外，若最终产品是通过外壳密封的，或存在其他发热源，仅用单块评估基板进行测量的结果，会与产品实际工作状态下的温度存在差异。因此，必须在与最终产品完全相同的状态下进行评估，才能确保测量结果的准确性。

总结

热电偶温度测量的特征与注意事项总结。

特征

・测量的是封装表面的温度。
・由于热电偶属于接触型测温元件，其安装方式的差异极易导致测量误差。
・无法直接测量结温。

注意事项

1. 热电偶类型多样，若未根据半导体器件的测温需求选择适配类型，易导致测量温度偏低。推荐使用 K 型规格 1 热电偶。
2. 热电偶线径过粗时，会导致测量温度偏低。推荐使用 AWG 36~40 规格的导线。
3. 热电偶的尖端处理以焊接为最佳。若采用绞合线处理，测量温度会偏低。
4. 热电偶的安装位置应设在封装表面的中心。若从中心位置偏移，将无法准确测量温度。
5. 固定方法推荐使用最小剂量的环氧树脂胶粘剂。若使用聚酰亚胺胶带，热电偶可能会从器件表面脱离，导致测得的温度偏低。
6. 热电偶导线的布线方式需沿着封装本体布设至 PCB 板。采用这种布线方式，能够起到减轻因导线散热导致热电偶粘合部的温度下降效果。
7. 测量环境必须与最终产品的实际使用环境保持一致。

参考资料

[1] JESD51-1:1995, *Integrated Circuits Thermal Measurement Method – Electrical Test Method (Single Semiconductor Device)*
[2] JESD51-2A:2008, *Integrated Circuits Thermal Test Method Environmental Conditions - Natural Convection (Still Air)*
[3] IEC 60584-1:2013, *Thermocouples - Part1: EMF specifications and tolerances*
[4] IEC 60584-3:2007, *Thermocouples-Part3: Extension and compensating cables – Tolerances and identification system*
[5] JEITA “采用热电偶的测量指南”, EDR-7338, 2016 年 2 月
[6] JIS “热电偶” JIS 1602, 2015
[7] JIS “热电偶补偿导线” JIS 1610:2012
[8] JIS “热电偶补偿导线” JIS 1610:1995

© 2025 ROHM Co., Ltd.

注 意 事 项

1) 本资料中的内容旨在介绍ROHM集团(以下简称“ROHM”)的产品。在使用ROHM产品之前,请务必另行确认最新版的技术规格书或产品规格书。

2) ROHM的产品是面向普通电子设备(AV设备、OA设备、通信设备、家电产品、娱乐设备等)或技术规格书中指定的应用领域而设计和制造的。因此,如果要在要求极高可靠性、产品故障或误动作可能会危及人的生命、造成人身危害或损害,或可能造成其他严重损害的设备或装置(包括医疗设备、运输设备、交通设备、航空航天设备、核电控制装置、燃料控制、含汽车配件在内的车载设备、各种安全装置等)(以下简称“特殊用途”)中使用ROHM产品,请事先咨询ROHM销售部门。如果未经ROHM事先书面同意而将ROHM产品用于特殊用途,因此造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。

3) 含有半导体的电子产品存在一定的误动作或故障概率。客户有责任采取Fail Safe设计等安全对策,来避免万一发生误动作或故障时对人的生命、身体或财产造成危害或损害。

4) 本资料中出现的应用电路示例和常数等信息仅用于说明ROHM产品的标准工作和使用方法,并非明示保证或默示保证在实际应用设备中的工作。因此,在客户设备的设计过程中使用这些电路、常数以及相关信息时,请结合各种外部条件自行判断并对自己的判断负责。对于因使用这些数据和信息造成的客户或第三方的任何损害,ROHM不承担任何责任。

5) 向海外出口或提供ROHM产品和本资料中的技术时,请遵守《外汇及外国贸易法》、《美国出口管制条例》等适用的出口相关法律法规,并根据这些法律法规中的规定办理必要的手续。

6) 本资料中的应用电路示例等技术信息和各种数据仅为示例,并非保证不侵犯与这些内容相关的第三方的知识产权及其他权利。另外,对于本材料中的信息,ROHM并未明示或默示同意客户可以实施、使用或利用ROHM或第三方拥有或管理的知识产权以及其他权利。

7) 未经ROHM事先书面同意,严禁转载或复制本资料的全部或部分内容。

8) 本资料中的内容为截至本资料发行之时的信息,如有更改,恕不另行通知。在购买和使用ROHM产品之前,请通过ROHM销售部门确认最新信息。

9) ROHM不保证本资料中的信息无误。万一客户或第三方因本资料中的信息错误而受损,ROHM不承担任何责任。

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

© 2023 ROHM Co., Ltd. All rights reserved.