

パワーデバイス

熱電対を用いた温度測定における注意点

半導体デバイスのジャンクション温度を見積もる目的で、パッケージの表面温度を測定しますが、間違った測定を行うと正しい結果が得られないことがあります。このアプリケーションノートでは、温度測定における注意点を説明します。尚、このアプリケーションノートの内容は半導体デバイスの種類によらず、一般的に使用できる内容です

熱電対を使用した熱測定

半導体パッケージの表面温度を測定する1つの手段として熱電対を使用しますが、取扱いを間違えると実際とは異なった結果が得られるため注意が必要です。表面温度の測定には他にサーモグラフィを用いた方法がありますが、最終製品は筐体に囲まれており、測定対象が見えない場合がほとんどであるため、ロームでは熱電対を使用した接触型の測定を採用しています。

熱電対を使用した時の注意点

始めの注意点は熱電対の種類です。熱電対は10種類程度存在しますが、半導体の表面温度測定に適しているものはK型とT型と呼

ばれる物です。この2種類の熱電対の仕様概要をTable 1に示します。T型は許容差が小さいですが+極の熱伝導率が大きいため、熱電対がヒートシンクとなり実際の温度よりも低く測定される場合があります。従いまして、K型のクラス1が熱測定には最適であると考えられます。

二つ目の注意点は熱電対のサイズです。熱電対の線径が太いと、熱電対自体から放熱するため測定対象の温度が実際よりも低くなってしまいます。この影響を小さくするため、できるだけ細い熱電対を使用する必要があります。JEDEC StandardではAWG 36~40を推奨しています。ロームでは通常AWG 38 (0.102 mm, 0.0040 inch)を使用しています。

IEC コード	構成材料		クラス	温度範囲	許容差	カラーコード (参考)	
	+極	-極				EN60584-3 JIS C 1610:2012	ASTM E230
K	ニッケル・クロム 合金 $\lambda \leq 19 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	ニッケル・アルミニウム 合金 $\lambda \leq 30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	1	-40~375 °C 375~1000 °C	$\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.004 \times t $	緑 (JIS C 1610:1995は青)	黄
			2	-40~333 °C 333~1200 °C	$\pm 2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.0075 \times t $		
			3	-164~40 °C -200~-167 °C	$\pm 2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.015 \times t $		
T	銅 $\lambda \leq 385 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	銅・ニッケル 合金 $\lambda \leq 19 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	1	-40~125 °C 125~350 °C	$\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.004 \times t $	茶	青
			2	-40~133 °C 133~350 °C	$\pm 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.0075 \times t $		
			3	-67~40 °C -200~-67 °C	$\pm 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.015 \times t $		

参考資料: IEC 60584-1:2013

λ : 熱伝導率

Table 1. K型およびT型熱電対の仕様概要

Figure 1 に種類と線径が違う熱電対で測定した結果を示します。左側は K 型で線径が細い AWG 38 を使用、右側は K 型よりも熱伝導率の大きな T 型で線径は太い AWG 28 を使用した例です。右側は左側に比べて、熱電対による放熱が大きいため測定温度が 24% (16.7℃) 低い結果になっています。これはパッケージサイズが小さくなるほど影響が大きくなります。

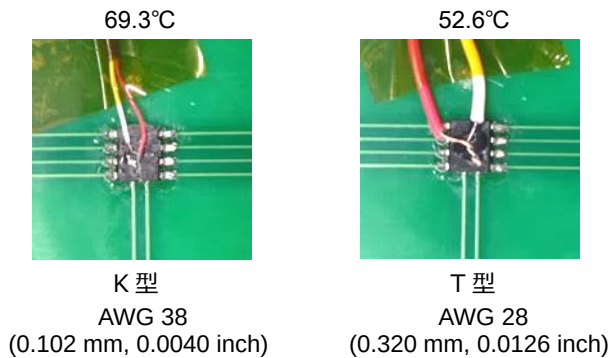


Figure 1. 熱電対の種類と線径の違いによる測定温度差の一例

三つ目の注意点は熱電対の先端処理です。一番簡単な方法は Figure 2 のように先端を数回ねじってより線にすることですが、この方法は最初の接触点で温度測定を行うため、残りの部分は熱測定としては不要で放熱という良くない要因になります。しかし残りの部分を切り取ると接触性が悪くなるため温度が不安定になります。

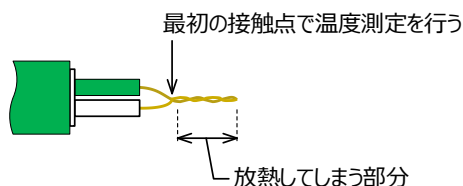


Figure 2. 先端処理をより線にした熱電対

最も良い方法は Figure 3 のように先端処理を溶接することです。溶接には市販の熱電対用スポット溶接装置を使用するか、既に先端部が溶接処理されたものを使用します。

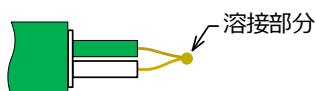


Figure 3. 先端処理を溶接した熱電対

先端処理が溶接時とより線時の測定温度差の一例を Figure 4 に示します。より線処理は溶接にくらべて 2.3% (1.6℃) 低い結果になっています。これもパッケージサイズが小さくなるほど影響が大きくなります。

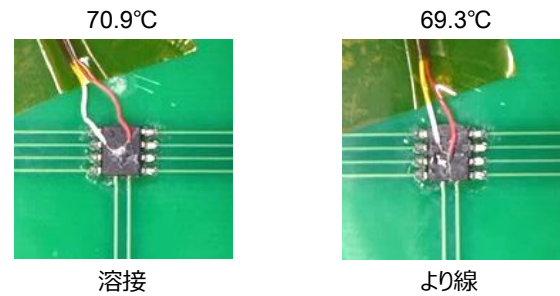


Figure 4. 先端処理の違いによる測定温度差の一例
K 型 AWG 38 (0.102 mm, 0.0040 inch)

四つ目の注意点は熱電対の取り付け位置です。パッケージ表面温度の測定位置は JEDEC Standard ではパッケージ上面の中心を指定しています。Figure 5 に熱電対の設置例を示しますが、パッケージの四隅から対角線を引き、交点を目標に熱電対を設置します。

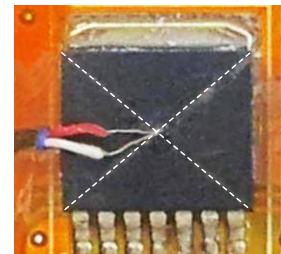


Figure 5. パッケージの四隅から対角線を引き、交点を目標に熱電対を設置した一例

位置ずれによる温度差をシミュレーションした結果を Figure 6 に示します。A 点から B 点へ約 1.4mm ずれると 1.6% (1.2℃)、A 点から C 点へ約 2.8mm ずれると 3.7% (2.7℃) 低い結果になっています。中心部から極力ずれないように注意します。

五つ目の注意点は熱電対の固定方法です。一番簡単な方法は耐熱性が優れているポリイミドテープで固定する方法です。熱電対の固定と取り外しが容易ですが、測定中に剥がれにより熱電対がデバイスから浮くことがあります。またテープをデバイスの上に貼り付けると大気との対流を妨げるので、本来と異なる放熱環境で測温している事になります。

JEDEC Standard では最小限のエポキシ接着剤による固定を推奨しており、ロームでもこの方法を採用しています。エポキシ接着剤は測定中に剥がれる可能性が低く、また固定する面積が小さく済むため測定への影響が小さいです。エポキシ樹脂はデバイスと熱電対の間に流れ込まないように固定する必要があります。

固定方法の違いによる温度差の一例を Figure 7 に示します。ポリイミドテープは接着剤に比べて 3.7% (2.6℃) 低い結果になっています。これは熱電対とデバイス間の密着性が悪いためと考えられます。さらに高温になるとテープの接着力が低下し、より低い温度をとらえてしまいます。

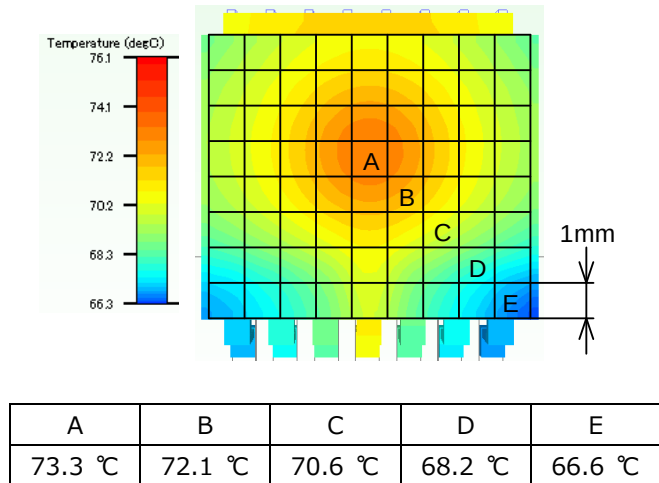


Figure 6. 測定位置の違いによる温度差の一例
HRP7 パッケージにてシミュレーション

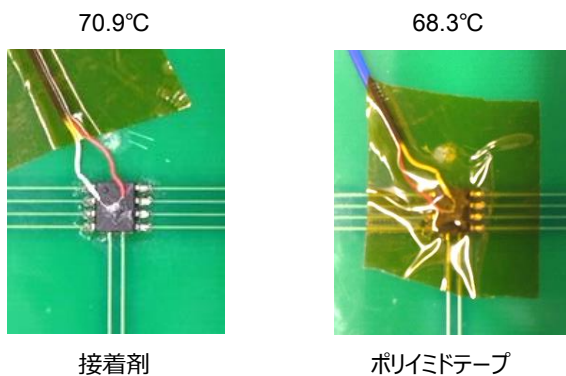


Figure 7. 熱電対の固定方法の違いによる温度差の一例
K 型 AWG 38 (0.102 mm, 0.0040 inch)

六つ目の注意点は熱電対ワイヤの配線方法です。熱電対をデバイスに固定し、そのワイヤを計測器まで引き出しますが、その経路によっては測定に影響をあたえます。ワイヤは Figure 8 の様にパッケージ本体に沿って PCB まで配線する必要があります。これにより、ワイヤからの放熱による熱電対接合部の温度低下を軽減する効果があります。これは JEDEC Standard にも配線のテクニックとして記載されています。

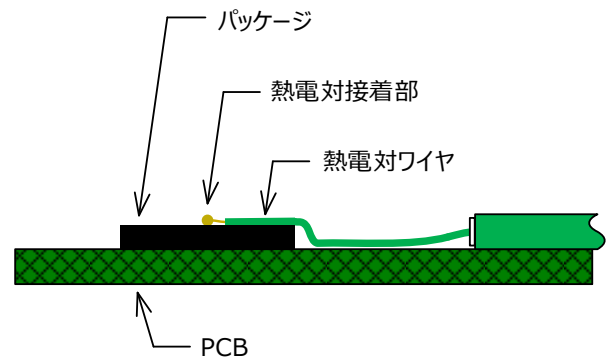


Figure 8. 熱電対ワイヤの配線方法：パッケージ本体に沿って PCB まで配線することにより、ワイヤからの放熱による熱電対接合部の温度低下を軽減する効果がある

七つ目の注意点は測定環境が最終製品の環境と一致している必要があります。例えば評価ボードを恒温槽で測定する場合を考えて見ます。Figure 9 に恒温槽内に設置した測定基板の一例を示します。槽内には温度を均一にするための循環ファンが設置されており、強制空冷の環境になります。強制空冷によって基板やデバイスが冷却されてしまう場合は、防風板などを設けて自然対流に近い環境を作る必要があります。

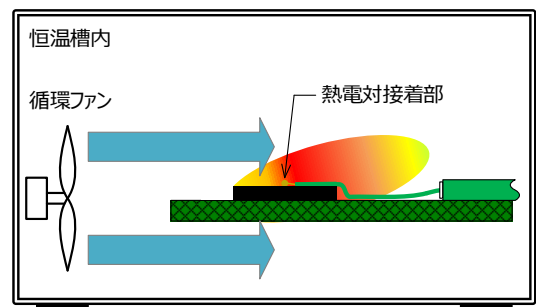


Figure 9. 恒温槽の循環ファンによる熱測定への影響

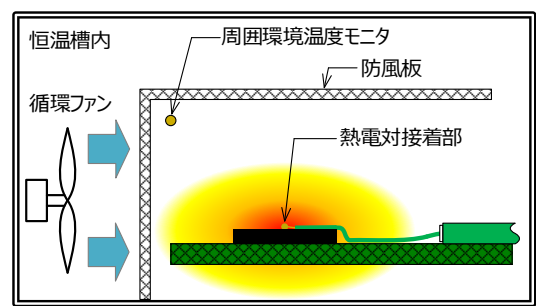


Figure 10. 循環ファンの影響を防止するための一例

Figure 10 に循環ファンの影響を防止する一例を示します。循環ファンからの風が被測定物へ直接当たらないように防風板（または箱）を設置します。周囲環境温度は風が直接あたらないような場所に別途熱電対を配置し、その温度が安定するまで時間を置きます。

また、最終製品が筐体で密閉されている場合や、他に発熱源がある場合は、評価基板 1 枚のみで測定する結果と異なりますので、必ず最終製品と同等の状態で評価する必要があります。

まとめ

熱電対を用いた温度測定について特徴と注意点を以下にまとめます。

特徴

- ・パッケージの表面温度を測定。
- ・接触型のため熱電対の取り付け方による誤差が生じやすい。
- ・ジャンクション温度を直接測ることはできない。

注意点

1. 熱電対の種類は多数あり、用途に合ったものを使用しないと温度が低く測定される。半導体デバイス用途には K 型クラス 1 を推奨。
2. 線径が太いと熱電対自体から放熱するため温度が低く測定される。AWG36～40 を推奨。
3. 先端処理は溶接が最適。より線処理では温度が低く測定される。
4. 取り付け位置はパッケージ表面の中心とする。中心からずれると正しく温度が測定できない。
5. 固定方法は最小限のエポキシ接着剤を推奨。ポリイミドテープはデバイスから浮くことがあり温度が低く測定される。
6. ワイヤの配線方法はパッケージ本体に沿って PCB まで配線する必要がある。これにより、ワイヤからの放熱による熱電対接合部の温度低下を軽減する効果がある。
7. 測定環境は最終製品の環境と一致している必要がある。

参考資料

- [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 「熱電対を利用した測定ガイドライン」 EDR-7338, 2016 年 2 月
- [6] JIS 「熱電対」 JIS 1602, 2015
- [7] JIS 「熱電対用補償導線」 JIS 1610:2012
- [8] JIS 「熱電対用補償導線」 JIS 1610:1995

ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。
・輸送機器（車載、船舶、鉄道など）、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上でご使用ください。
お客様にかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。
本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。



ローム製品のご検討ありがとうございます。
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>