



パワーデバイスの熱設計を成功に導く 4つのステップ^o

概要

鉄道や自動車、インフラ、家電に至るまで生活の身近なところで私たちの暮らしを支えているパワーエレクトロニクス。省エネルギー化や低(脱)炭素化のためにより高度で高効率なパワーエレクトロニクス技術が求められている。それらを実現するためのキーデバイスとして IGBT や SiC、GaN 等の次世代のパワーデバイスが存在するが、使い方を間違えると認め不具合や信頼性の低下を招き、最悪の場合市場故障によるリコールなどに発展することもある。特に重要になるのが信頼性に直接影響を与える熱設計。一度問題が起これば、部品選定のやり直しや、基板パターンの修正、放熱設計のやり直しなど、手戻り工数と追加コストは膨大になる。ロームではセットの信頼性を向上させ、設計の手戻りを削減するために必要な熱設計に関する情報をまとめたアプリケーションノートをいくつか用意している。この White Paper ではその一部を紹介する。

アプリケーションノートの紹介

図 1 は、ユーザーの開発フローに対してロームが提供できるツールやサポートを示したものである。

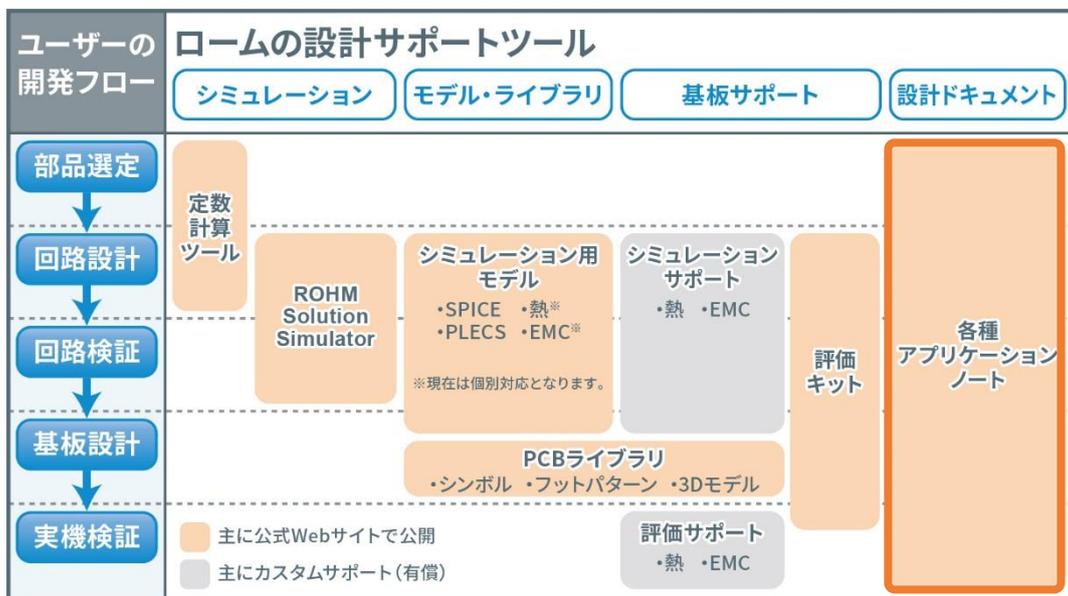


図 1. ロームの提供する設計・検証サポートツール

アプリケーションノートは、ユーザーの開発フローの各ステップで必要になる技術情報についてまとめたドキュメントであり、基礎から実践的な内容まで幅広くサポートするものである。ここでは、熱設計を成功させるために準備したアプリケーションノートを 4 つのステップに分けて紹介していく。

- [ステップ 1 熱設計の基礎を学ぶ](#)
- [ステップ 2 使用する部品の熱特性を知る](#)
- [ステップ 3 熱シミュレーションを活用する](#)
- [ステップ 4 熱測定を正確に行う](#)

ステップ2 使用する部品の熱特性を知る

半導体のユーザーは開発するセットの仕様を達成させるために、使用するパワーデバイスの特性を知る必要がある。具体的には、“ジャンクション温度の絶対最大定格”と“熱抵抗”、“発熱量(電力損失)”である。ジャンクション温度の絶対最大定格はデバイスによって異なるが、情報として必ずデータシートに記載されている。例えば SiC MOSFET であればジャンクション温度 175°Cが絶対最大定格である (図 4)。

●Absolute maximum ratings ($T_a = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit	
Drain - Source Voltage	V_{DSS}	650	V	
Continuous Drain current	$T_c = 25^\circ\text{C}$	I_D^{*1}	70	A
	$T_c = 100^\circ\text{C}$	I_D^{*1}	50	A
Pulsed Drain current	$I_{D,pulse}^{*2}$	175	A	
Gate - Source voltage (DC)	V_{GSS}	-4 to +22	V	
Gate - Source surge voltage ($t_{surge} < 300\text{ns}$)	$V_{GSS,surge}^{*3}$	-4 to +26	V	
Recommended drive voltage	$V_{GS, on}^{*4}$	0 / +18	V	
Junction temperature	T_j	175	$^\circ\text{C}$	
Range of storage temperature	T_{stg}	-55 to +175	$^\circ\text{C}$	

図 4. 絶対最大定格データシートの抜粋 ([SCT3030AW7](#) の例)

熱抵抗もデータシートに必ず記載されている情報の一つである(図 5)。

●Thermal resistance

Parameter	Symbol	Values			Unit
		Min.	Typ.	Max.	
Thermal resistance, junction - case ^{*6}	R_{thJC}	-	0.44	0.56	$^\circ\text{C/W}$

図 5. データシートの抜粋 ([SCT3030AW7](#) の例)

熱抵抗にはジャンクションと周囲環境間の熱抵抗を示す R_{thJA} など様々なパラメータが存在するが、パワーデバイスのデータシートに記載されているのは熱抵抗 R_{thJC} である。 R_{thJC} はジャンクションとケース間の熱抵抗値であり、その測定方法は JEDEC Standard JESD51-14^{*1} に規定されている。 R_{thJC} について測定方法や注意点をまとめた「[熱抵抗 \$R_{thJC}\$ の測定方法と使い方](#)」(図 6)はパワーデバイスを使用するユーザーであれば必ず知っておきたい情報だ。



図 6. 熱抵抗 R_{thJC} の測定方法と使い方 (抜粋)

熱抵抗と並んで重要になるのが発熱量(電力損失)である。発熱量はパワーデバイスの特性だけでなく回路動作によって変わってくるため、使用するアプリケーションに合わせて計算する必要がある。「[スイッチング回路の電力損失計算](#)」では、インダクタンス負荷におけるスイッチング動作時の発熱量(電力損失)の計算方法をまとめている(図 7)。

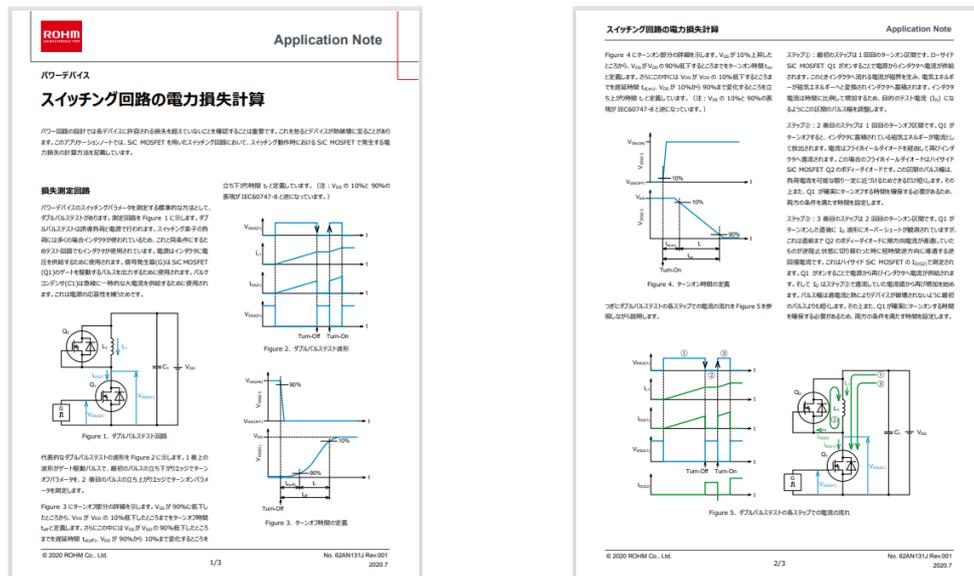


図 7. スwitching回路の電力損失計算 (抜粋)

発熱量(電力損失)が時間とともに変化する場合、データシートに記載されている過渡熱抵抗を使用してジャンクション温度を求める必要がある。「[過渡熱抵抗データからジャンクション温度を求める方法](#)」(図 8)には過渡熱抵抗データからジャンクション温度を求める方法についてまとめている。

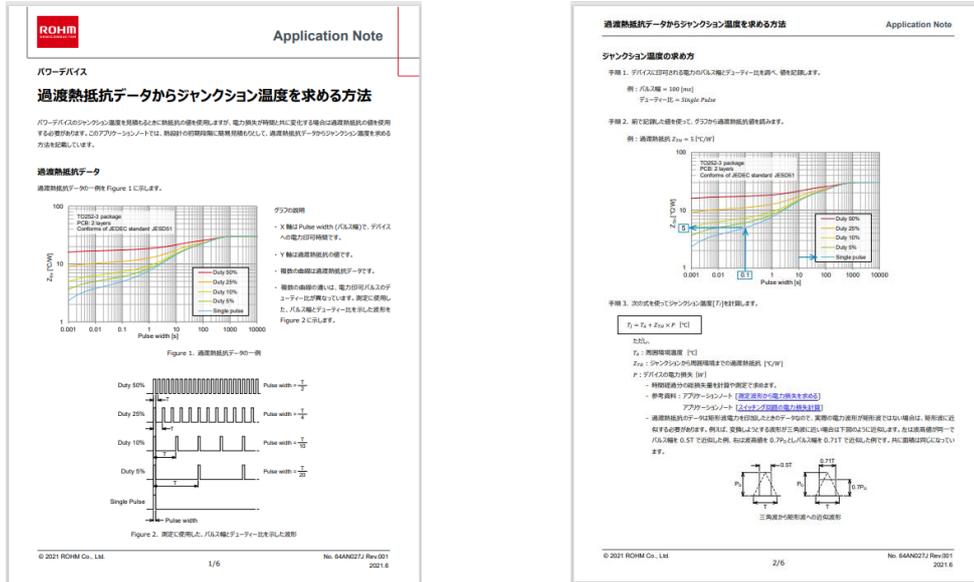


図 8. [過渡熱抵抗データからジャンクション温度を求める方法](#) (抜粋)

ステップ3 熱シミュレーションを活用する

熱設計におけるシミュレーションというと 3 次元の CFD(Computational Fluid Dynamics)シミュレーションのことを思い浮かべるユーザーも少なくないのではないだろうか。一般的に CFD を活用したシミュレーションは専門知識が必要になり、回路設計者にはなじみのないものかもしれない。ロームは、そんな回路設計者でも容易に熱シミュレーションができるように、電気回路シミュレーションとして良く使われている SPICE 系シミュレータで使用できる熱モデルを Web で公開している。「[熱モデルとは](#)」(図 9)では熱モデルについて、「[熱モデルの使い方](#)」(図 10)では熱モデルのダウンロード方法からそれを使った熱シミュレーションの方法について説明している。

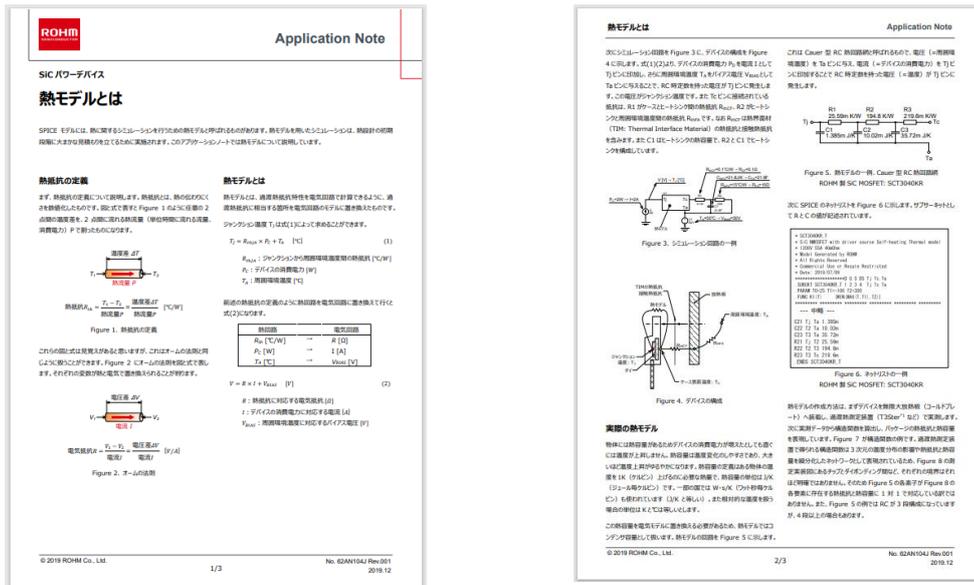


図 9. 熱モデルとは (抜粋)

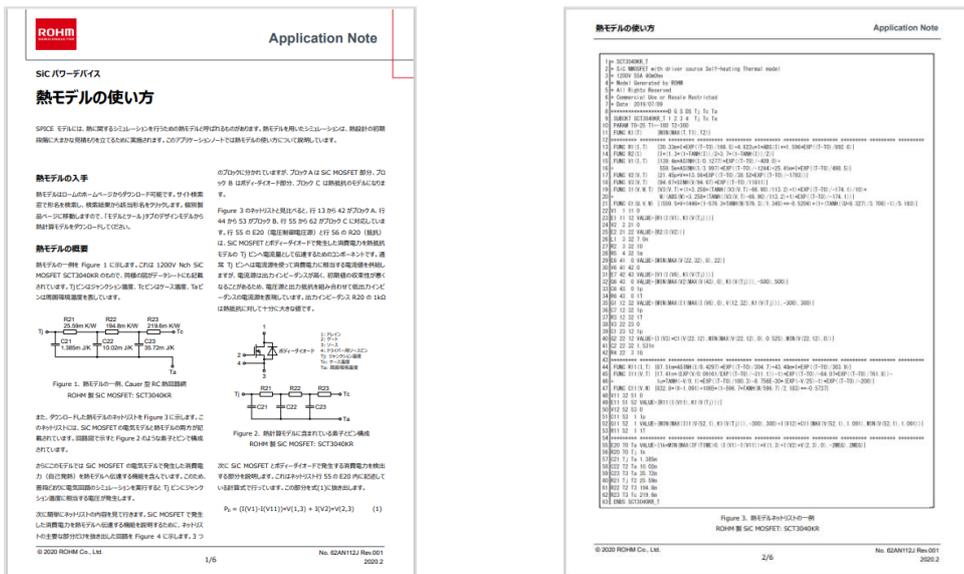


図 10. 熱モデルの使い方 (抜粋)

ステップ4 熱測定を正確に行う

試作機が完成したら、設計通りに仕上がっているかを実測して確認する必要があります。熱設計として確認するべきはまず「発熱量(電力損失)」である。発熱量の測定については「[測定波形から電力損失を求める方法](#)」(図 12)を確認してほしい。

ROHM Application Note

パワーデバイス

測定波形から電力損失を求める

このアプリケーションノートでは、SiC MOSFET を用いたスイッチング回路において、測定波形から電力損失を正確に求める方法について説明します。

スイッチング損失の測定

Figure 1: SiC MOSFET の測定回路と測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン-ソース間電圧とゲート-ソース間電圧の両方を示しています。測定波形は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。

Figure 2: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 3: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 4: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

© 2020 ROHM Co., Ltd. No. 62AN133J Rev.001 2020.8

ROHM Application Note

測定波形から電力損失を求める

波形を近似計算する

測定波形は、高周波成分を除去して、電力損失を計算します。まず、ターンオンおよびターンオフ時の電力損失 P_{on} 、 P_{off} を求め、電力損失を Table 1 の近似式で計算します。測定波形は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。

Figure 3: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 4: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

© 2020 ROHM Co., Ltd. No. 62AN133J Rev.001 2020.8

図 12. 測定波形から電力損失を求める方法 (抜粋)

波形取得時にしばしば問題になるスキュー誤差について、プローブのデスキューの重要性をまとめた「[パワ-測定におけるプローブ校正の重要性 デスキュー編](#)」(図 13)も参考にしてほしい。

ROHM Application Note

パワーデバイス

パワ-測定におけるプローブ校正の重要性 デスキュー編

測定波形を正確に取得するために、プローブのデスキュー校正が重要です。このアプリケーションノートでは、プローブ校正の方法について説明します。

スキュー誤差の測定

Figure 1: SiC MOSFET の測定回路と測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。スキュー誤差は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の相違を示しています。

Figure 2: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 3: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 4: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

© 2020 ROHM Co., Ltd. No. 62AN148J Rev.001 2020.12

ROHM Application Note

パワ-測定におけるプローブ校正の重要性 デスキュー編

プローブのデスキュー (Deskew)

正確なパワ-測定を行うためには、プローブのデスキュー校正が重要です。このアプリケーションノートでは、プローブ校正の方法について説明します。

Figure 4: 各モードの電力損失を計算するための測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 5: Tektronix 社製 デスキュー校正器の一例を示します。この図は、プローブ校正器を示しています。

Figure 6: ターンオン時の測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

Figure 7: ターンオフ時の測定波形の一例を示します。この図は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧を示しています。電力損失は、MOSFET のドレイン電流とゲート電圧の積を積分して求めます。

© 2020 ROHM Co., Ltd. No. 62AN148J Rev.001 2020.12

図 13. パワ-測定におけるプローブ校正の重要性 デスキュー編 (抜粋)

最後に重要になるのが温度測定だ。「[熱電対を用いた温度測定における注意点](#)」(図 14)では、熱電対を使用した温度測定で問題になるポイントに絞って実際の測定結果とともにまとめている。「[熱電対でパッケージ裏面を測定するときの注意点](#)」(図 15)では、ユーザー側でまれに行うことがあるパッケージの裏面に溝を掘って温度測定する際の注意点をまとめている。この方法は半導体ベンダーとして推奨する方法ではないが、もし実施する際は十分に注意して測定する必要がある。

Application Note

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

半導体デバイスのパッケージ温度を正確に測定して、パッケージの熱電流を測定し、熱電流と測定された温度とを比較して、半導体デバイスが最大電力を消費する際の温度を測定し、このデータを設計に反映させることは、半導体デバイスの信頼性を向上させる重要なポイントです。この点に注意して、半導体デバイスの温度を正確に測定する必要があります。

熱電対を使用した熱電流測定

半導体デバイスの熱電流を正確に測定するには、熱電対の特性を理解し、熱電対の位置を適切に設定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

熱電対を使用した熱電流測定の注意点

熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

JEC コード	構成材料		サイズ	測定範囲	精度	JEC コード (参考)	
	+側	-側				IEC 60584-2	ASTM E230
K	コバルト-クロム合金 A s 19 Wt%Ni	ニッケル-クロム合金 A s 30 Wt%Ni	1	-40~1375 °C 232~1000 °C	±1.5 °C ±0.50% (R1)	RHS C 404 300 600	A
			2	-40~1375 °C 232~1000 °C	±2.5 °C ±0.75% (R1)		
			3	-40~1375 °C 232~1000 °C	±3.5 °C ±1.05% (R1)		
T	銅-コバルト合金 A s 35 Wt%Ni	銅-コバルト合金 A s 19 Wt%Ni	1	-40~1375 °C 232~1000 °C	±1.5 °C ±0.50% (R1)	RHS C 404 300 600	B
			2	-40~1375 °C 232~1000 °C	±2.5 °C ±0.75% (R1)		
			3	-40~1375 °C 232~1000 °C	±3.5 °C ±1.05% (R1)		

参考文献: IEC 60584-2:2013
A: 熱電流
Table 1. K 型 JEC 型熱電対の仕様

© 2020 ROHM Co., Ltd. 1/4 No. 62AN153 Rev.001 2020.4

図 14. 熱電対を用いた温度測定における注意点 (抜粋)

Application Note

熱電対を用いた温度測定における注意点

Figure 1. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 2. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 3. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 4. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 5. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

参考文献: IEC 60584-2:2013
A: 熱電流
Table 1. K 型 JEC 型熱電対の仕様

© 2020 ROHM Co., Ltd. 2/4 No. 62AN153 Rev.001 2020.4

Application Note

パワーデバイス

熱電対でパッケージ裏面を測定するときの注意点

半導体デバイスのパッケージ裏面を測定する際には、熱電対の位置を適切に設定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

測定器の仕様

熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

JIS の影響

熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

熱電流を測定

熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 1. TO-247 パッケージ裏面 Thermal Pad の位置

Figure 2. TO-247 パッケージ裏面 Thermal Pad の位置

Figure 3. TO-247 パッケージ裏面 Thermal Pad の位置

参考文献: IEC 60584-2:2013
A: 熱電流
Table 1. K 型 JEC 型熱電対の仕様

© 2020 ROHM Co., Ltd. 1/2 No. 63AN06J Rev.001 2020.10

Application Note

熱電対でパッケージ裏面を測定するときの注意点

熱電対の取り付け方法

熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

RTHC 線の違い

熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 4. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

Figure 5. 熱電対の位置を適切に設定して、半導体デバイスの熱電流を正確に測定する必要があります。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。熱電対の位置は、半導体デバイスの熱電流を正確に測定するために重要です。

参考文献: IEC 60584-2:2013
A: 熱電流
Table 1. K 型 JEC 型熱電対の仕様

© 2020 ROHM Co., Ltd. 2/2 No. 63AN06J Rev.001 2020.10

図 15. 熱電対でパッケージ裏面を測定するときの注意点 (抜粋)

おわりに

セットの信頼性を向上させ、設計の手戻りを削減するために必要な熱設計に関する情報をまとめたアプリケーションノートを紹介した。ロームには、そのほかにもユーザーの課題を解決するソリューションとして、部品選定からシミュレーション、評価、基板作成に至るまで、それぞれのフローに最適なソリューション・コンテンツが存在する。これらのコンテンツにより、ユーザーのアプリケーション開発のスピードアップや、トラブル・不具合の未然防止に貢献できると考えている。

<紹介したアプリケーションノート>

「熱設計とは」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/what_is_thermal_design_an-j.pdf

「熱抵抗と放熱の基本」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/basics_of_thermal_resistance_and_heat_dissipation_an-j.pdf

「熱抵抗 RthJC の測定方法と使い方」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/discrete/common/rthjc_measurement_and_usage_an-j.pdf

「スイッチング回路の電力損失計算」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/pd_calc_power_dissipation_switching_cir_an-j.pdf

「過渡熱抵抗データからジャンクション温度を求める方法」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/tj_from_transient_rth_data_an-j.pdf

「熱モデルとは」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/discrete/sic/common/what_is_a_thermal_model_sic_an-j.pdf

「熱モデルの使い方」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/discrete/sic/common/how_to_use_thermal_models_an-j.pdf

「熱シミュレーション用 2 抵抗モデル」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/two_resistor_model_for_thermal_simulation-j.pdf

「測定波形から電力損失を求める方法」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/discrete/sic/common/pd_calc_power_loss_measured_waveform_an-j.pdf

「パワー測定におけるプローブ校正の重要性 デスキュー編」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/Importance_probe_calibration_descue_an-j.pdf

「熱電対を用いた温度測定における注意点」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/notes_on_temperature_measurement_using_thermocouples_an-j.pdf

「熱電対でパッケージ裏面を測定する時の注意点」

https://fscdn.rohm.com/jp/products/databook/applinode/common/precautions_when_measuring_the_rear_of_the_package_with_a_thermocouple_an-j.pdf

<参考資料>

*1. JESD51-14:2010, 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

本資料に記載されている内容はロームの製品（以下「ローム製品」といいます）のご紹介を目的としています。ローム製品のご使用にあたりましては、別途最新の仕様書およびデータシートを必ずご確認ください。本資料に記載されております情報は、何ら保証なく提供されるものです。万が一、当該情報の誤りまたは使用に起因する損害がお客様または第三者に生じた場合においても、ロームは一切の責任を負うものではありません。本資料に記載されておりますローム製品に関する代表的動作および応用回路例は、一例を示したものであり、これらに関する第三者の知的財産権およびその他の権利について権利侵害がないことを保証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。ロームは、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。本資料に記載されております製品および技術のうち、「外国為替及び外国貿易法」その他の輸出規制に該当する製品または技術を輸出する場合、または国外に提供する場合には、同法に基づく許可が必要です。本資料の記載内容は 2022年 2月 現在のものであり、予告なく変更することがあります。

ローム株式会社

〒615-8585 京都市右京区西院溝崎町21
TEL: (075)311-2121

www.rohm.co.jp

