

パワーデバイス

熱シミュレーション用 2 抵抗モデル

熱シミュレーションで使用する熱モデルのなかで、最もシンプルな 2 抵抗モデルについて説明します。ここで言う熱シミュレーションは 3 次元モデル熱伝導、熱流体解析ツールを対象としています。

熱シミュレーション用モデル

熱シミュレーション用モデルには Figure 1 に示すように、コンパクト熱モデル（CTM）と詳細モデルの 2 種類に分類できます。

CTM は JEDEC 半導体技術協会で 2 種類の熱モデルが規格化されています。2 抵抗モデルはディスクリートと LSI に対応しており、構造はパッケージをジャンクションから上下に分けただけの簡単なモデルのため、

ディスクリート製品など単機能なデバイスに最適です。また簡単なモデルのためシミュレーションの解析速度は速いですが、3 モデル中で最も精度が低いです。DELPHI モデルは LSI にも対応しており、パッケージの様々な使用環境に対して一様に誤差が小さくなるように多抵抗ネットワークで表現したモデルです。少ない素子数で解析速度と精度が比較的良好なバランスがとれたモデルです。ただし、過渡熱解析には未対応です。

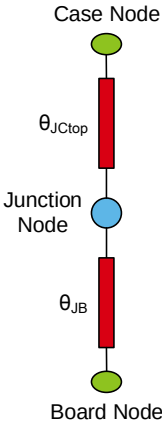
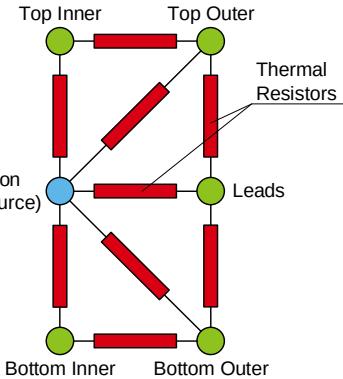
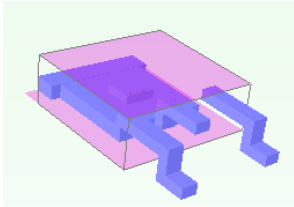
種類	コンパクト熱モデル（CTM）		詳細モデル
	2 抵抗モデル	DELPHI モデル	
規格	JESD15-3	JESD15-4	なし
形状			
概要	・パッケージをジャンクションから上下に分けただけの簡単なモデル ・ディスクリート製品など単機能なデバイスに最適	・パッケージを多抵抗ネットワークで表現したモデル	・詳細な寸法や材料の物性値などが含まれている詳細なモデル
精度	Good	Better	Best
良くない点	・3 モデル中で最も精度が低い ・過渡解析未対応	・過渡解析未対応	・規格がなく、品質にばらつきあり ・シミュレーション時間が長い ・ツール間の互換性がない

Figure 1. 熱シミュレーション用モデル

一方で詳細モデルは規格がなくモデルの品質は作成した会社ごとに異なります。モデルを作成するために詳細な寸法や材料の物性値が必要で、これらの情報を入手するには通常秘密保持契約（NDA）が必要です。詳細モデルは精度が最も良いですがシミュレーションに時間がかかります。また、規格がないため熱解析ツール間の互換性はありません。

2 抵抗モデルの説明

2 抵抗モデルの物理的な配列は Figure 2 のように 3 つのノードで構成されています。パッケージには単一の集積回路が含まれていて、温度は単一の温度ノードで表現されています。熱流路は熱抵抗ネットワークを使用して表しています。Junction Node はチップの熱源、Case Node はパッケージの上面、Board Node はデバイス端から 1mm の位置の基板温度を表しています。ジャンクションからケースおよびジャンクションからボード間は 2 つの熱抵抗で接続されています。これらの熱抵抗値は JEDEC Standard の熱テストから生成されます。測定値が利用できない場合は、テスト環境をシミュレーションする検証済みの詳細モデルから抽出された値を使用します。詳細モデルからの抽出には Simcenter Flotherm™*1 などの 3 次元熱流体解析ツールを使用します。

加熱電力は Junction Node に発生します。

Case Node はパッケージの最上部のすぐ上の環境（通常は空気またはヒートシンクと一緒に使用される熱伝導材料）と直接熱接触していると見なされます。

Board Node はパッケージのフットプリントの直ぐ下の環境（通常はプリント配線基板）と直接熱接触していると見なされます。

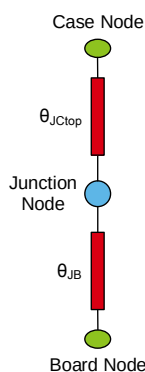


Figure 2. 2 抵抗熱モデルの物理的な配列

チップの熱源からの熱は 2 つの方向へ流れます。1 つはパッケージ上面から周囲への放射および対流熱伝達、またはパッケージ上部に取り付けられたヒートシンクへ流れます。あと 1 つはパッケージ裏面とリードから PCB へ流れ込みます。また、このモデルではパッケージ側面から周囲の流体に伝達される熱の流れは考慮されていません。

熱抵抗テスト環境の概要

熱抵抗の測定方法は、 θ_{JB} が JEDEC Standard JESD51-8 に、 θ_{JC} は JESD51-14 に記載されています。ここでは 2 つの熱抵抗のテスト環境の概要を説明します。詳細は JEDEC Standard を参照してください。

θ_{JB} のテスト環境

θ_{JB} の測定は Junction Node で発生した熱が基板側へ伝わるような環境を用います。Figure 3 にテスト環境の概要図を示します。リング型コールドプレートは流体（主に水）で冷却されています。コールドプレートで基板を両面からクランプし、熱がパッケージから基板の内面で放射状に流れるようにします。さらにコールドプレートの上部と下部のパッケージ開口部は断熱材を用いて周囲環境温度と遮断します。基板の温度は熱電対で測定しますが、モニターポイントはパッケージの 1 辺の中心で、なおかつ外周から 1mm 以内の場所で測定します。

デバイスへ電力を印加し、定常状態でのジャンク温度と基板温度を測定します。 θ_{JB} は式(1)から決定されます。

$$\theta_{JB} = \frac{T_J - T_B}{P} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (1)$$

T_J : P の電力を印加後にデバイスが定常状態に達したときの接合部温度 [$^{\circ}\text{C}$]

T_B : 定常状態での基板温度 [$^{\circ}\text{C}$]

P: 接合部温度の変化を生じさせた消費電力 [W]

θ_{JC} のテスト環境

θ_{JC} の測定は古くから MIL-STD-883E に記載されているように、水冷銅ヒートシンクと接触する、接合部とケース表面の温度差を熱電対で直接測定することによって決定されていました。熱電対によるケース温度の測定はエラーを起こしやすいため、これらの結果は再現性がよくありませんでした。これはパッケージケースに潜在的な温度分布があるため、熱電対とケースの接点が最大ケース温度ではない可能性があるためです。また、熱電対がコールドプレートに対して十分に断熱されていないため、温度が低くなる場合があります。

*1: Simcenter Flotherm™は Siemens Industry Software Inc.の商標です。

JESD51-14 では熱電対によるケース温度の測定なしで θ_{JC} の測定再現性を大幅に向上しています。Figure 4 にテスト環境の概要図を示します。コールドプレートは流体（主に水）で冷却されています。テスト対象デバイスをコールドプレート上に固定し、ケース表面とコールドプレート間に良好な熱接触を確保するために、ケース上部より十分な強度で圧力をかけます。デバイス上部への熱の流れを最小限に抑えるため、締め付け部品は熱伝導率が低い材料で断熱する必要があります。

測定はデバイスの接合部温度をモニターし、2 種類の過渡熱抵抗 $Z_{\theta_{JC}}$ を測定します。2 種類とは、デバイスとコールドプレート間の熱界面材 TIM（熱伝導グリスやオイル、シートなど）を使用しない場合（Dry）と使用した場合（Wet）です。測定した 2 種類の過渡熱抵抗の分岐点から θ_{JC} を求めます。

使用時の考慮事項

2 抵抗モデルは JEDEC Standard 環境で測定した熱抵抗であるため、それ以外の環境に適用して温度見積りを実施すると誤差が生じることを認識したうえで使用する必要があります。 θ_{JB} と θ_{JC} は、基板レベルの熱シミュレーションモデルに組み込むための熱性能の指標として使用できます。基板レベルのシミュレーションで情報がどのように使用されるか、また結果の精度はその他環境のモデル化誤差や離散化誤差、シミュレーションソフトウェアによっても異なります。 θ_{JB} と θ_{JC} は主に性能指数であるため、基板レベルのシミュレーション結果の精度は、詳細モデルで得られる精度よりも低くなります。そのため温度の絶対値を予測するために 2 抵抗モデルを使用する場合は注意が必要です。設計初期に基板サイズや部品配置などおおよそ決定する時や、異なるパッケージ間で相対的な違いを確かめるのに適しています。

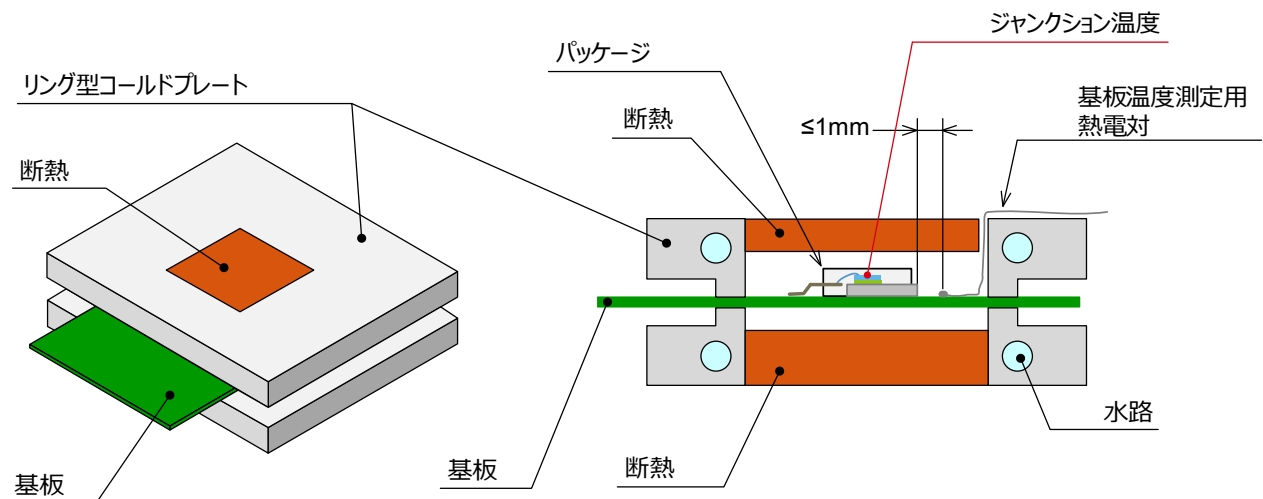


Figure 3. θ_{JB} テスト環境の概要図

左：俯瞰図、右：テストフィクスチャの断面図

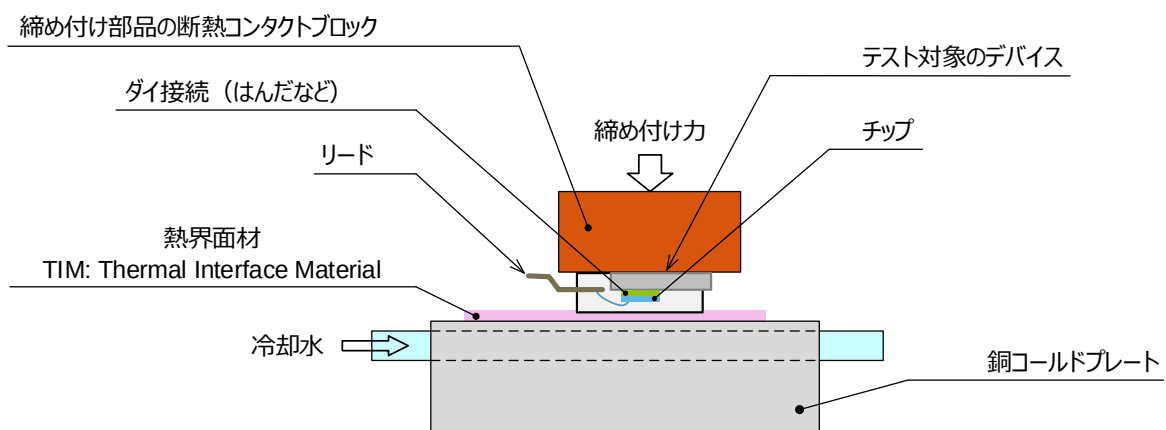


Figure 4. θ_{JC} テスト環境の概要図

参考資料

- [1] JESD51:1995, *Methodology for the Thermal Measurement of Component Packages (Single Semiconductor Devices)*
- [2] JESD51-1:1995, *Integrated Circuit Thermal Measurement Method - Electrical Test Method*
- [3] JESD51-3:1996, *Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages*
- [4] JESD51-8:1999, *Integrated Circuit Thermal Test Method Environmental Conditions – Junction-to-Board*
- [5] JESD51-12.01:2012, *Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information*
- [6] 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*
- [7] JESD15-1:2008, *Compact Thermal Modeling Overview*
- [8] JESD15-3:2008, *Two-Resistor Compact Thermal Model Guideline*
- [9] MIL-STD-883E, METHOD 1012.1, *Thermal Characteristics*, 4 November 1980

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のですが、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。
お客様が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/>