

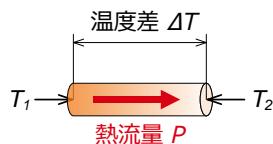
トランジスタ

# 熱モデルとは

SPICE モデルには、熱に関するシミュレーションを行うための熱モデルと呼ばれるものがあります。熱モデルを用いたシミュレーションは、熱設計の初期段階に大まかな見積もりを立てるために実施されます。このアプリケーションノートでは熱モデルについて説明しています。

## 熱抵抗の定義

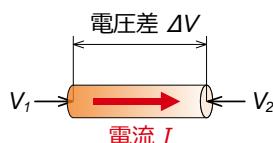
まず、熱抵抗の定義について説明します。熱抵抗とは、熱の伝わりにくさを数値化したもので、図と式で表すと Figure 1 のように任意の 2 点間に温度差を、2 点間に流れる熱流量（単位時間に流れる流量、消費電力）P で割ったものになります。



$$\text{熱抵抗 } R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\text{熱流量 } P} = \frac{\text{温度差 } \Delta T}{\text{熱流量 } P} \quad [\text{°C/W}]$$

Figure 1. 热抵抗の定義

これらの図と式は見覚えがあると思いますが、これはオームの法則と同じように扱うことができます。Figure 2 にオームの法則を図と式で表します。それぞれの変数が熱と電気で置き換えられることが判ります。



$$\text{電気抵抗 } R = \frac{V_1 - V_2}{\text{電流 } I} = \frac{\text{電圧差 } \Delta V}{\text{電流 } I} \quad [V/A]$$

Figure 2. オームの法則

## 熱モデルとは

熱モデルとは、過渡熱抵抗特性を電気回路で計算できるように、過渡熱抵抗に相当する箇所を電気回路のモデルに置き換えたものです。

ジャンクション温度  $T_J$  は式(1)によって求めることができます。

$$T_J = R_{thJA} \times P_C + T_A \quad [\text{°C}] \quad (1)$$

$R_{thJA}$  : ジャンクションから周囲環境温度間の熱抵抗 [ $\text{°C/W}$ ]

$P_C$  : デバイスの消費電力 [ $W$ ]

$T_A$  : 周囲環境温度 [ $\text{°C}$ ]

前述の熱抵抗の定義のように熱回路を電気回路に置き換えて行く式(2)になります。

熱回路		電気回路
$R_{th}$ [ $\text{°C/W}$ ]	→	$R$ [ $\Omega$ ]
$P_C$ [ $W$ ]	→	$I$ [ $A$ ]
$T_A$ [ $\text{°C}$ ]	→	$V_{BIAS}$ [ $V$ ]

$$V = R \times I + V_{BIAS} \quad [V] \quad (2)$$

$R$  : 热抵抗に対応する電気抵抗 [ $\Omega$ ]

$I$  : デバイスの消費電力に対応する電流 [ $A$ ]

$V_{BIAS}$  : 周囲環境温度に対応するバイアス電圧 [ $V$ ]

次にシミュレーション回路を Figure 3 に、デバイスの構成を Figure 4 に示します。式(1)(2)より、デバイスの消費電力  $P_D$  を電流  $I$  として  $T_j$  ピンに印加し、さらに周囲環境温度  $T_A$  をバイアス電圧  $V_{BIAS}$  として  $T_a$  ピンに与えることで、RC 時定数を持った電圧が  $T_j$  ピンに発生します。この電圧がジャンクション温度です。また  $T_c$  ピンに接続されている抵抗は、 $R_1$  がケースとヒートシンク間の熱抵抗  $R_{thCF}$ 、 $R_2$  がヒートシンクと周囲環境温度間の熱抵抗  $R_{thFA}$  です。なお  $R_{thCF}$  は熱界面材 (TIM: Thermal Interface Material) の熱抵抗と接触熱抵抗を含みます。また  $C_1$  はヒートシンクの熱容量で、 $R_2$  と  $C_1$  でヒートシンクを構成しています。

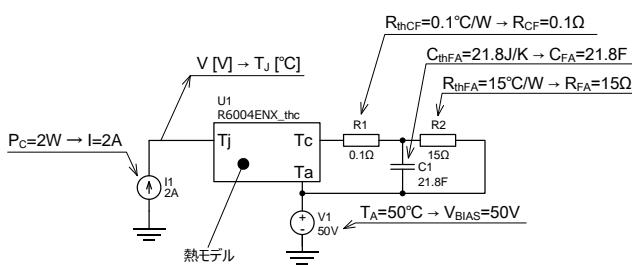


Figure 3. シミュレーション回路の一例

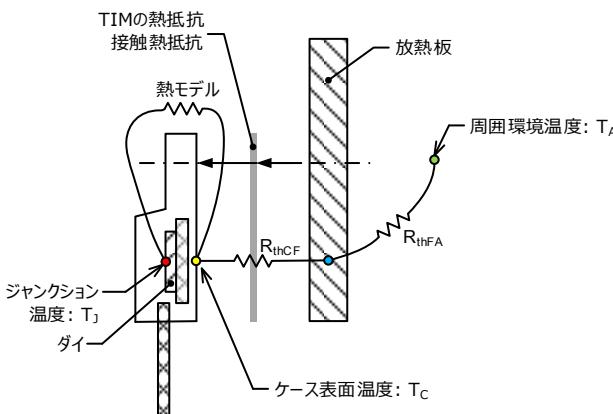


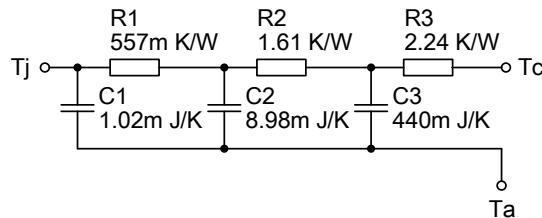
Figure 4. デバイスの構成

## 実際の熱モデル

物体には熱容量があるためデバイスの消費電力が増えたとしても直ぐには温度が上昇しません。熱容量は温度変化のしやすさであり、大きいほど温度上昇がゆるやかになります。熱容量の定義はある物体の温度を  $1K$  (ケルビン) 上げるのに必要な熱量で、熱容量の単位は  $J/K$  (ジュール毎ケルビン) です。一部の国では  $W\cdot s/K$  (ワット秒毎ケルビン) も使われています ( $J/K$  と等しい)。また相対的な温度を扱う場合の単位は  $K$  と  $^{\circ}C$  は等しいとします。

この熱容量を電気モデルに置き換える必要があるため、熱モデルではコンデンサ容量として扱います。熱モデルの回路を Figure 5 に示します。

これは Cauer 型 RC 熱回路網と呼ばれるもので、電圧 (=周囲環境温度) を  $T_a$  ピンに与え、電流 (=デバイスの消費電力) を  $T_j$  ピンに印加することで RC 時定数を持った電圧 (=温度) が  $T_j$  ピンに発生します。

Figure 5. 热モデルの一例、Cauer 型 RC 热回路網  
ROHM 製 MOSFET: R6004ENX

次に SPICE のネットリストを Figure 6 に示します。サブサーキットとして  $R$  と  $C$  の値のみが記述されています。従って自己発熱による特性の変化は考慮していません。

```
* R6004ENX_THC THERMAL model
* Model Generated by ROHM
* All Rights Reserved
* Commercial Use or Resale Restricted
* Date: 2012/11/20
* Tj-Junction
* Tc-Case (a point of surface package to heat sink)
* Ta-Ambient
.SUBCKT R6004ENX_THC Tj Tc Ta
C1 Tj Ta 1.02m
C2 2 Ta 8.98m
C3 3 Ta 440m
R1 Tj 2 557m
R2 2 3 1.61
R3 3 Tc 2.24
.ENDS R6004ENX_THC
```

Figure 6. ネットリストの一例  
ROHM 製 MOSFET: R6004ENX

熱モデルの作成方法は、まずデバイスを無限大放熱板 (コールドプレート) へ装着し、過渡熱測定装置 (T3Ster<sup>\*1</sup> など) で実測します。次に実測データから構造関数を算出し、パッケージの熱抵抗と熱容量を表現しています。Figure 7 が構造関数の例です。過渡熱測定装置で得られる構造関数は 3 次元の温度分布の影響や熱抵抗と熱容量を細分化したネットワークとして表現されているため、Figure 8 の測定実装図にあるチップとダイボンディング間など、それぞれの境界はそれほど明確ではありません。そのため Figure 5 の各要素が Figure 8 の各要素に存在する熱抵抗と熱容量に 1 対 1 で対応している訳ではありません。また、Figure 5 の例では RC が 3 段構成になっていますが、4 段以上の場合もあります。

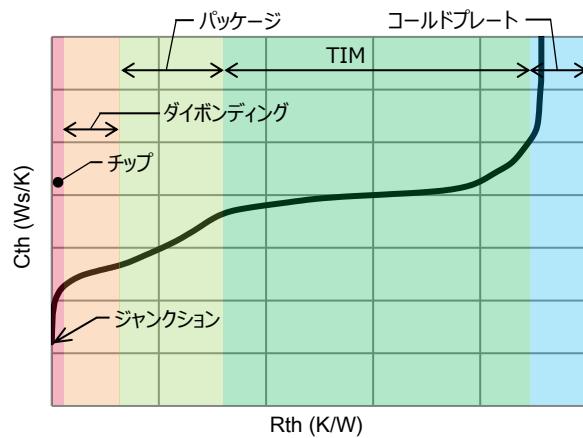


Figure 7. 構造関数の一例

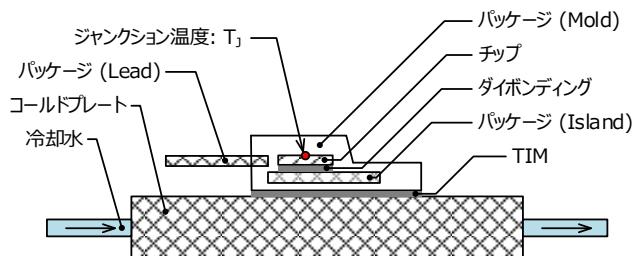


Figure 8. 測定実装図の一例

## 熱モデル入手方法

熱モデルはロームのホームページから入手できます。個別品名のページから、「モデルとツール」タブを選択すると、「デザインモデル」の項目に「Thermal Model」がありますので、ここからファイルをダウンロードしてください。

「熱モデル」のキーポイントを以下にまとめます。

- SPICE モデルには、熱に関するシミュレーションを行うための熱モデルがある。
- 熱モデルとは、熱回路の計算を電気回路上で行うための過渡熱抵抗に相当する電気回路のモデル。
- 消費電力  $P_C$  を電流  $I$  として、熱モデルに印加することで、ジャンクション温度  $T_j$  を電圧としてモニタすることができる。

\*1: T3Ster (トリスター) は Mentor Graphics Corp. の製品です。

## 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、火災損害等が起らぬ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。  
したがいまして、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おりません。
- 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を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/>