

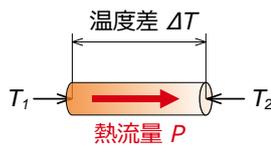
SiC パワーデバイス

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

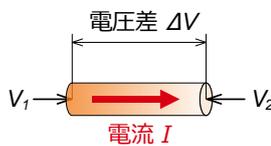
まず、熱抵抗の定義について説明します。熱抵抗とは、熱の伝わりにくさを数値化したものです。図と式で表すと Figure 1 のように任意の 2 点間の温度差を、2 点間に流れる熱流量（単位時間に流れる流量、消費電力） P で割ったものになります。



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

Figure 1. 熱抵抗の定義

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。



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

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。

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

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

P_C : デバイスの消費電力 [W]

T_A : 周囲環境温度 [$^{\circ}\text{C}$]

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と式(2)になります。

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

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

R : 熱抵抗に対応する電気抵抗 [Ω]

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。

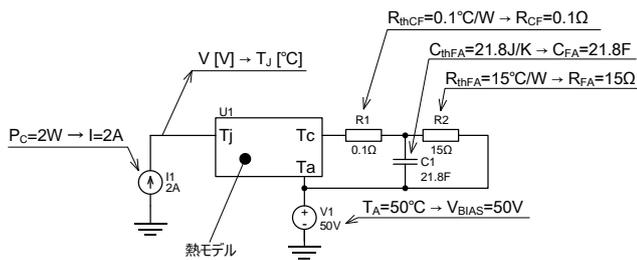


Figure 3. シミュレーション回路の一例

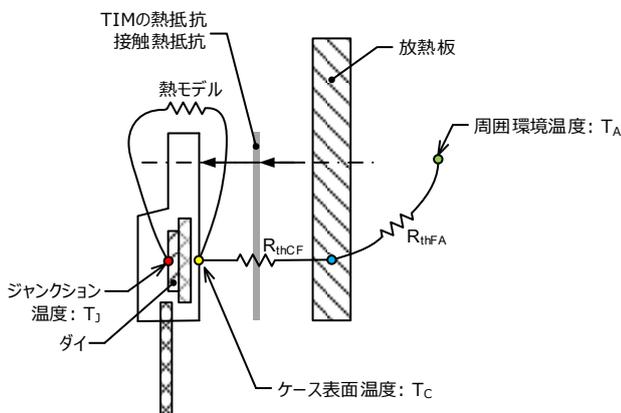


Figure 4. デバイスの構成

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・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℃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。

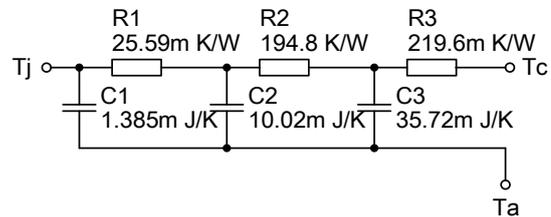


Figure 5. 熱モデルの一例、Cauer 型 RC 熱回路網
ROHM 製 SiC MOSFET: SCT3040KR

次に SPICE のネットリストを Figure 6 に示します。サブキットとして R と C の値が記述されています。

```

* SCT3040KR_T
* SiC NMOSFET with driver source Self-heating Thermal model
* 1200V 55A 40mOhm
* Model Generated by ROHM
* All Rights Reserved
* Commercial Use or Resale Restricted
* Date: 2019/07/09
*****D G S DS Tj Tc Ta
.SUBCKT SCT3040KR_T 1 2 3 4 Tj Tc Ta
.PARAM T0=25 T1=-100 T2=300
.FUNC K1(T) [MIN(MAX(T, T1), T2)]
*****
--- 中略 ---
C21 Tj Ta 1.385m
C22 T2 Ta 10.02m
C23 T3 Ta 35.72m
R21 Tj T2 25.59m
R22 T2 T3 194.8m
R23 T3 Tc 219.6m
.ENDS SCT3040KR_T
    
```

Figure 6. ネットリストの一例
ROHM 製 SiC MOSFET: SCT3040KR

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^{*1} 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 の各素子が 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。

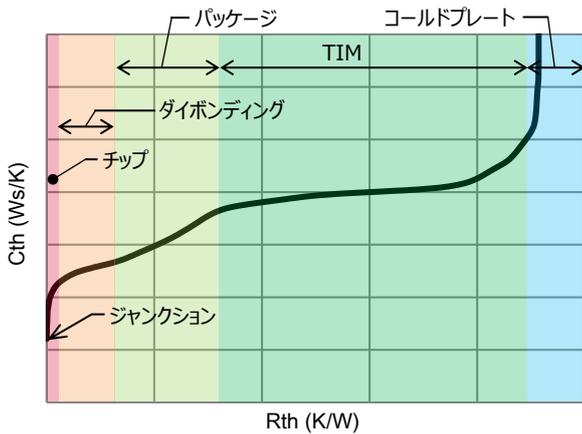


Figure 7. 構造関数の一例

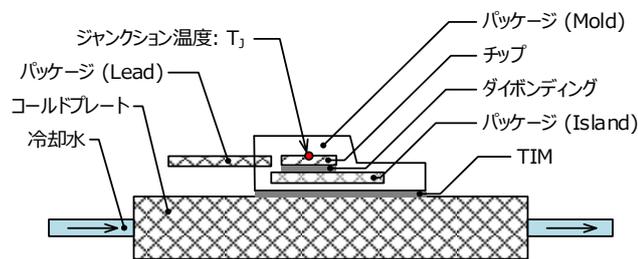


Figure 8. 測定実装図の一例

「熱モデル」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。

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「熱計算モデル」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。



*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/>