

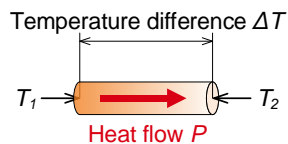
## SiC 파워 디바이스

# 열 모델이란

SPICE 모델에는 열에 관한 시뮬레이션을 실행하기 위한 열 모델이라 불리는 것이 있습니다. 열 모델을 이용한 시뮬레이션은, 열 설계의 초기단계에 대략적인 견적을 세우기 위하여 실시합니다. 이 어플리케이션 노트에서는 열 모델에 대하여 설명하고 있습니다.

## 열 저항의 정의

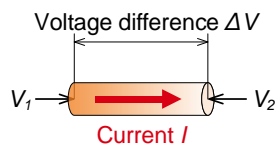
먼저, 열 저항의 정의에 대하여 설명하겠습니다. 열 저항이란, 열 전달의 어려운 정도를 수치화한 것입니다. 그림과 식으로 표현하면 Figure 1 과 같이 임의의 2 점간의 온도 차를 2 점간에 흐르는 열류량 (단위시간에 흐르는 유량, 소비전력) P 로 나눈 것이 됩니다.



$$\text{열저항 } R_{th} = \frac{T_1 - T_2}{\text{열류량 } P} = \frac{\text{온도차 } \Delta T}{\text{열류량 } P} \quad [^{\circ}\text{C/W}]$$

Figure 1. 열 저항의 정의

위의 그림과 식은 보신적이 있으리라 생각되지만, 이것은 옴의 법칙과 같이 계산할 수 있습니다. Figure 2 에 옴의 법칙을 그림과 식으로 표기하였습니다. 각각의 변수가 열과 전기로 대체되는 것을 알 수 있습니다.



$$\text{전기저항 } R = \frac{V_1 - V_2}{\text{전류 } I} = \frac{\text{전압차 } \Delta V}{\text{전류 } I} \quad [\text{V/A}]$$

Figure 2. 옴의 법칙

## 열 모델이란

열 모델이란, 과도 열 저항 특성을 전기회로로 계산이 가능 하도록 과도 열 저항에 해당하는 부분을 전기회로의 모델로 변환한 것이라 할 수 있습니다.

Junction 온도  $T_J$ 는 식(1)을 통해 구할 수 있습니다.

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

$R_{thJA}$  : Junction 과 주위환경온도 간의 열 저항 [ $^{\circ}\text{C/W}$ ]

$P_C$  : 디바이스의 소비전류 [W]

$T_A$  : 주위환경온도 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

위의 열 저항의 정의처럼 열 회로를 전기회로로 변환하면 식(2)가 됩니다.

열 회로		전기회로
$R_{th} [^{\circ}\text{C/W}]$	→	$R [\Omega]$
$P_C [W]$	→	$I [A]$
$T_A [^{\circ}\text{C}]$	→	$V_{BIAS} [V]$

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

$R$  : 열 저항에 대응하는 전기저항 [ $\Omega$ ]

$I$  : 디바이스 소비전류에 대응하는 전류 [A]

$V_{BIAS}$  : 주위환경온도에 대응하는 바이어스 전압 [V]

다음은 시뮬레이션 회로를 Figure 3 에, 디바이스 구성을 Figure 4 에 표기합니다.

식(1)(2)에 의해, 디바이스의 소비전력  $P_D$ 를 전류  $I$ 로 하여  $T_J$ 핀에 인가합니다. 또한 주위환경온도  $T_A$ 를 바이어스 전압  $V_{BIAS}$ 로 하여  $T_a$ 핀에 인가함으로써 RC 시정수를 가진 전압이  $T_J$ 핀에 발생합니다.이 전압이 Junction 온도입니다.

또한,  $T_c$  연결되어 있는 저항은  $R_1$ 이 케이스와 Heat Sink 간의 열저항  $R_{thCF}$ ,  $R_2$ 가 Heat Sink와 주위환경온도 간의 열 저항  $R_{thFA}$ 입니다. 또한  $R_{thCF}$ 는 열 계면 재료 (TIM : Thermal Interface Material)의 열 저항과 접촉 열 저항을 포함합니다.

$C_1$ 은 Heat Sink의 열 용량으로,  $R_2$ 와  $C_1$ 으로 Heat Sin를 구성하고 있습니다.

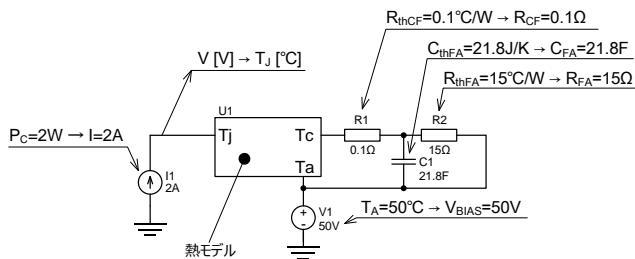


Figure 3. 시뮬레이션 회로의 예

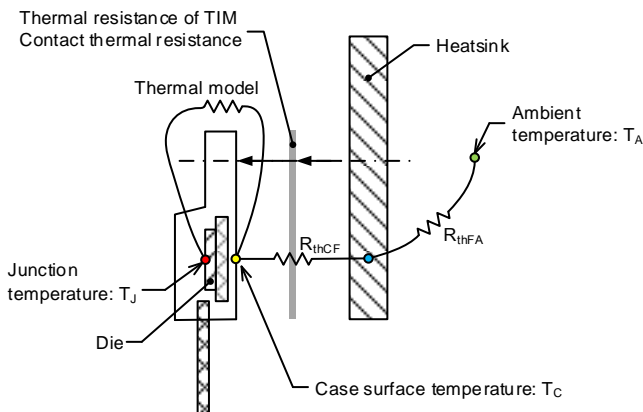


Figure 4. 디바이스 구성

## 실제의 열 저항

물체에는 열 용량이 있기 때문에 디바이스의 소비전력이 증가했다고 해도 즉시 온도가 상승하지는 않습니다.

열 용량은 온도변화의 용이성이며, 클수록 온도 상승이 완만합니다. 열 용량의 정의는 어떤 물체의 온도를 1K

(켈빈) 상승시키기 위해 필요한 열량으로, 열 용량의 단위가 J/K (줄 퍼 켈빈)입니다.

일부 국가에서는  $W \cdot s/K$  (와트 초 퍼 켈빈)도 사용되고 있습니다 (J/K와 같음). 또한 상대적으로 온도를 취급할 경우의 단위는 K과 °C는 동일하다고 합니다.

이 열 용량을 전기 모델로 대체할 필요가 있는 경우, 열 모델에서는 콘덴서의 용량으로 취급합니다. 열 모델의 회로를 Figure 5에 표기합니다.

이것은 Cauer형 RC 열 회로망이라고 불리는 것으로, 전압 (=주위환경온도)을  $T_a$ 핀으로 하여, 전류 (=디바이스의 소비전력)를  $T_J$ 핀으로 인가하는 것으로 RC 시정수를 가진 전압 (=온도)이  $T_J$ 핀에 발생합니다.

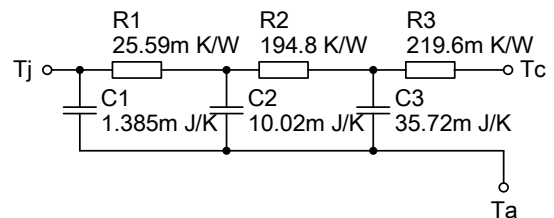


Figure 5. 열 저항의 예, Cauer형 RC 열회로망  
ROHM 제작 SiC MOSFET : SCT3040KR

다음은 SPICE의 Netlist를 Figure 6에 표기합니다. 서브 서킷으로 R과 C의 값이 기재되어 있습니다.

```
* 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 Ti=-100 T2=300
.FUNC K1(T) {MIN(MAX(T,T1),T2)}
*****
--- Omitted ---
G21 Tj Ta 1.385m
G22 T2 Ta 10.02m
G23 T3 Ta 35.72m
R21 Tj T2 25.59m
R22 T2 T3 194.8m
R23 T3 Tc 219.6m
.ENDS SCT3040KR_T
```

Figure 6. Example of netlist

SiC MOSFET manufactured by ROHM : SCT3040KR

열 모델의 작성방법은, 먼저 디바이스를 무한 방열판 (Cold Plate)에 장착하여, 과도 열 측정장비 (T3Ster\*1 등)로

측정합니다. 이어서 실측 데이터로부터 구조함수를 계산하여, Package 의 열 저항과 열 용량을 표현하고 있습니다.

Figure 7 이 구조함수의 예입니다. 과도 열 측정 장치로 얻을 수 있는 구조함수는 3 차원의 온도 분포의 영향과 열 저항과 열 용량을 세분화된 네트워크로 표현되고 있기 때문에, Figure 8 의 측정 구형도에 있는 Chip 과 다이 본딩 사이 등 각각의 경계는 그다지 명확하지 않습니다.

그 때문에 Figure 5 의 각 소자가 Figure 8 의 각 요소에 존재하는 열 저항과 열 용량에 1 대 1 로 대응하고 있는 것은 아닙니다. 또한, Figure 5 의 예로는 RC 가 3 단 구성 되어 있지만 4 단 이상의 경우도 있습니다.

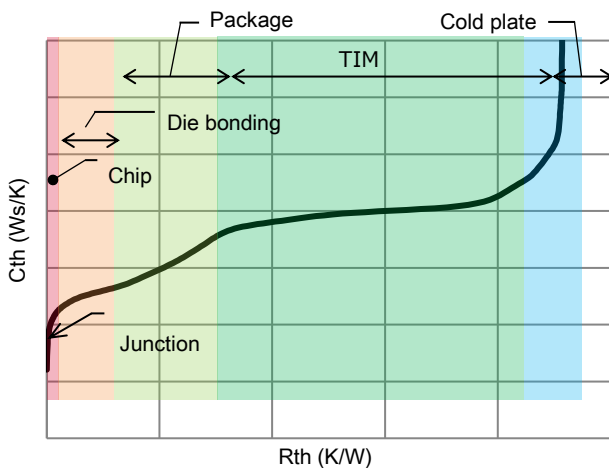


Figure 7. Example of structure function

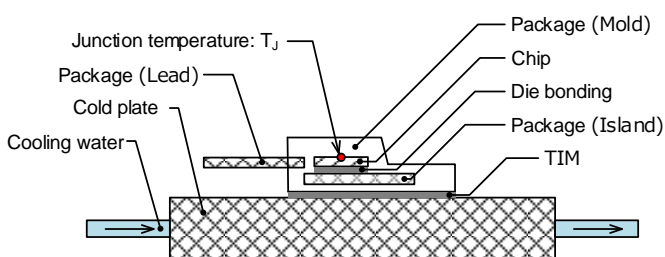


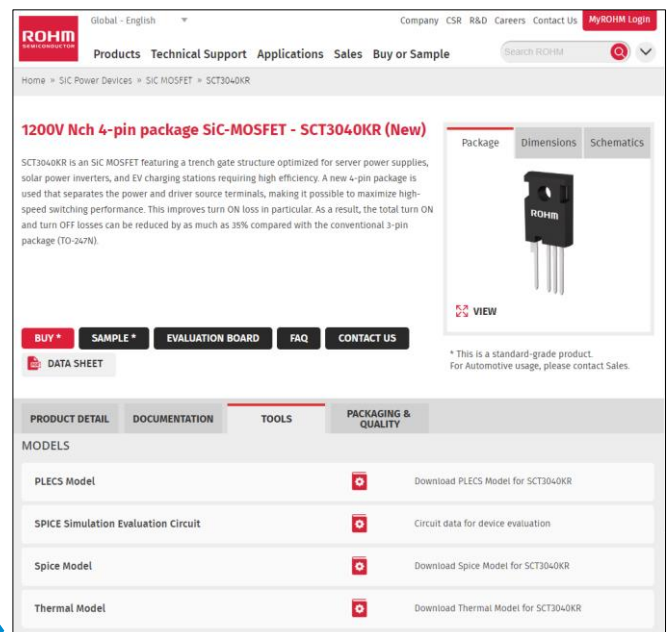
Figure 8. Example of diagram of measurement mounting

「열 모델」의 키 포인트를 하기와 같이 정리합니다.

- SPICE 모델에서는, 열에 관한 시뮬레이션을 실현하기 위한 열 모델이 있다.
- 열 모델은, 열 회로의 계산을 전기회로 상에 실행하기 위한 과도 열 저항에 대응하는 전기회로 모델.
- 소비전력  $P_c$ 를 전류  $I$ 로 하여 열 저항에 인가하는 것으로, Junction 온도  $T_j$ 를 전압으로 하여 모니터 하는 것이 가능하다.

## 열 모델 입수 방법

열 모델은 로옴의 홈페이지에서 입수 가능합니다. 개별 품명의 페이지에서 「모델과 툴」 탭을 선택하고, 「디자인 모델」의 항목에 「열 계산 모델」이 있으므로, 이곳에서 파일을 다운로드 할 수 있습니다.



\*1: T3Ster 는 Mentor Graphics Corp.의 제품입니다.

## Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.  
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.  
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

## ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.com/contact/>