

IGBT을 위한 열 특성 모델링

류세환, 황광철, 유영한, 안형근, 한득영
건국대학교

Modeling of Thermal Characteristics for IGBT

Se-hwan Ryu, Kwang-chul Hwang, Young-han Yu, HyungKeun Ahn and Deuk-Young Han
Konkuk Univ.

Abstract : As the power density and switching frequency increase, thermal analysis of power electronics system becomes imperative. The analysis provides valuable information on the semiconductor rating, long-term reliability and efficient heat-sink design. In this paper, thermal distribution of the Insulated Gate Bipolar Transistor Module has been studied with different conditions and heat sink materials. For analysis of thermal distribution, we obtained results by using finite element simulator, Ansys.

Key Words : IGBT module, Thermal Distribution, finite element, Ansys

1. 서 론

최근 전력 변화 시스템에서 사용 전력이 증가하고 스위칭 주파수가 높아짐에 따라 시스템에서 발생하는 열에 대한 분석이 필수 불가결한 요소가 되어가고 있다. 열 분석을 통한 결과들은 반도체 등급과 오랜 기간의 신뢰도 및 효과적인 히트싱크 제작에 여러 유용한 정보를 제공하고 있으며, 반도체 소자의 열 적 모델은 실제 소자의 작동 상태 하에서 동적 접합 온도를 예측하기 위해 사용되고 있다[1][2].

유한 요소법(FEM : finite element method)이나 유한 차분법(FDM : finite difference method)은 질량보존, 운동량, 에너지에 관한 방정식을 푸는데 사용된다. FEM은 Shammas 등이 IGBT 모듈에서 열 적 열화효과를 모델링하는 데 사용되었다. FDM은 Hefner에 의해 열전도 방정식을 이산화 하는데 사용되었으며, 다이내믹한 열전자적 IGBT 모델을 유도하였다[3]. Hefner는 열적인 비선형성을 포함한 IGBT 모듈에 대한 열적 RC 회로망을 세우는데 유한차분법을 사용하였고, Tzer[4] 등은 유한요소법을 통한 병렬 접근을 사용하였다. Ammous[5] 등은 간단한 회로에 대한 IGBT 모듈을 대한 열 적 모델을 세우는데 유한요소법을 사용하였다.

본 논문에서 IGBT 모듈의 열적 분포 특성을 해석하기 위해 반도체 칩 부분은 실리콘으로 고정시키고, 절연층 물질과 히트싱크 물질을 다르게 하여 동일한 조건 하에서 각각 3D로 형태로 열적 분포를 제시하였고, 이러한 열적 분포를 얻기 위해 유한요소 해석 도구인 3-D 시뮬레이터 Ansys를 이용하였다.

2. IGBT의 열적 모델링

2.1 IGBT 모듈의 열적 해석

전력 변환 시스템의 FWD(free wheeling diode)와

IGBT의 접합온도는 시스템의 열 적 분석 모델을 이용한 수치 해석적인 방법을 통해 얻을 수 있다.

스위칭 시 발생하는 열 손실 전력은 IGBT와 FWD의 열 적 모델의 세우는 데 전류 원으로 이용할 수 있고, 실험적으로 얻을 수 있는 열 적 모델의 파라미터들을 사용하게 되면 IGBT모듈의 열 적 동작을 설명하는 데 열 적 RC 회로망 모델을 적용할 수 있다.

2.2 열적 RC 회로망

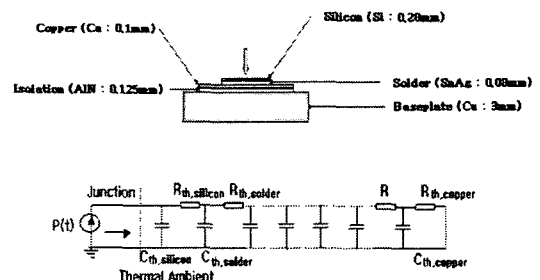


그림 1. 물리적 구조 기반의 열적 RC 회로망

$$\nabla \cdot (k \nabla T) = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

(k=열전도성, ρ=밀도, c=비열, T=온도)

수직의 파워 소자인 IGBT에서 두께(L)는 다른 크기보다 작고, 실리콘 칩에서의 전도도와 같은 열 특성은 온도에 대해 독립적으로 간주된다. 위 두개의 가정은 식(1)은 아래와 같이 간략화 된다[6].

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

(x=열전달 과정의 축 방향)

장치의 열 적 부분의 RC 회로망은 식(2)과 전송라인 미분방정식 사이의 유사성에 근간을 둔다.

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = CR \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3)$$

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 3D 구조로 했으며, 유한 요소 해석 도구인 Ansys를 이용해서 수행하였다. 히트 싱크를 연결하지 않았을 때와 연결했을 때와의 온도 분포와 히트 싱크의 물질을 2가지를 이용해서 IGBT의 부분에서 나타나는 온도 분포를 시뮬레이션 하였다.

그림 2는 히트 싱크를 연결하지 않았을 때의 IGBT 모듈의 열 분포를 나타내고 있다. 그림 2는 모듈의 윗부분을 나타내고 있고, 히트 싱크를 연결하지 않았을 때 반도체 칩 부분의 온도는 230℃까지 올라가는 것을 알 수 있었다.

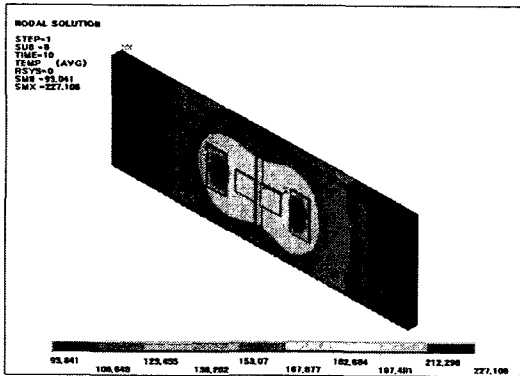


그림 2. AIN 절연체를 사용한 IGBT 모듈의 열 분포

그림 3과 그림 4는 IGBT 모듈에서 절연층을 AIN으로 사용하고, 히트 싱크를 구리와 알루미늄으로 사용한 경우의 온도 분포이다. 그림 3는 히트 싱크를 구리를 사용하였으며, 히트 싱크의 역할로 인해 IGBT 모듈의 칩 온도가 약 100℃정도를 나타남을 알 수 있었다. 그림 4는 히트 싱크를 알루미늄을 사용한 경우로서 칩 온도가 약 122℃로 나타났다. 구리를 히트 싱크로 사용했을 경우가 IGBT 동작 시 열을 더 잘 전달시켜 칩의 온도를 낮추는데 효과적인 것을 알 수 있었다.

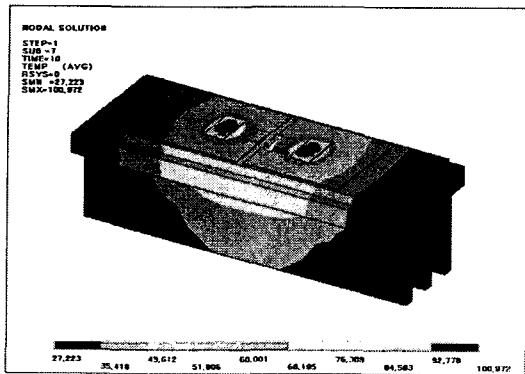


그림 3. AIN 절연체와 구리 히트 싱크를 사용한 IGBT 모듈의 열 분포

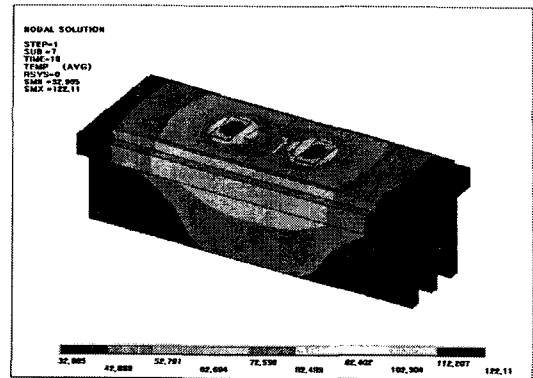


그림 4. AIN 절연체와 알루미늄 히트 싱크를 사용한 IGBT 모듈의 열 분포

4. 결론

본 연구에서는 IGBT 모듈을 구동할 때 발생하는 문제로 제기되는 열 특성을 유한요소 해석도구를 이용하여 분석하였다. 모듈 내에서 발생하는 열적 분포를 히트 싱크가 있을 경우와 없을 경우로 나누어서 해석하고, 히트 싱크 물질인 경우 2가지를 이용해서 온도 특성을 비교하였다. 모듈 내에서의 절연층은 AIN을 사용하였고, 히트 싱크인 경우는 구리와 알루미늄을 사용하였는데 중 구리가 내부 열을 방출시키는데 더 좋은 특성을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] B. Jayant Baliga, "Trends in power semiconductor devices", IEEE trans. on Electron Devices, vol. 43, pp. 1717-1731, Oct. 1996.
- [2] Kuang Shen, Stephen J. Finney, and Barry W, Williams, "Thermal stability of IGBT High- frequency operation", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 47, pp. 9-16, Feb. 2000.
- [3] Allen R, Hefner and David L. Blackburn, "Thermal Component models for electrothermal network simulation", IEEE Trans. on Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, vol. 17, Sep. 1994.
- [4] Jia Tzer and loc Vu-Quoc, "A rational formulation of thermal circuit models for electrothermal simulation-Part I: Finite element method", IEEE Trans. on Circuit and Systems I : Fundamental and Applications, vol. 43, pp. 721-732, Sep. 1996.
- [5] Anis Ammous, Sami Ghedira, Bruno Allard, Herve Morel, and Denise Renault, "Choosing a thermal model for electrothermal simulation of power semiconductor devices", IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 14, pp. 300-307, Mar. 1999.
- [6] Ansys 열전달 해석, (주)태성에스엔이, 2002.