

MOSFET의 히트싱크 부착방법에 따른 Thermal Transient 특성변화 분석

김기현, 서길수, 김형우, 김남균, 김상철, 김은동
한국전기연구원

Analyzing the characteristics of Thermal Transient on MOSFET depending on Heat Sink junction methods

Ki-Hyun Kim, Kil-Soo Seo, Hyoung-Woo, Kim, Nam-Kyun Kim, Sang-Choel Kim, Eun-Dong Kim
KERI

Abstract : When Power MOSFET is operated, it causes lots of heat, which influences negatively on the characteristics of the devices and shorten the lifespan of them. Therefore, a heat sink should be mounted on to emit the heat. In this experiment, we've found the changes of the characteristics of Thermal Transient of MOSFET when a heat sink is applied. In addition, we've found other changes when heat sink compound is applied as well.

Key Words : 히트싱크, Thermal Transient, MOSFET, Heat Sink

1. 서론

전기적인 패키지에서 발생하는 전자적인 오류의 주요 원인은 온도, 습도, 먼지, 진동 등을 들 수 있고, 이 중 열에 의한 문제 발생률은 약 70%에 이른다. 열과 관련된 문제는 다음과 같은 문제를 야기 시키게 되는데 그 종류로는 Creep, Corrosion, Fatigue, Electro migration 등을 들 수 있다. 이와 같이 전력의 밀집도가 증가하고, 비용 절감의 요구가 커지는 현대의 전력 반도체를 만드는 것에는 전기적인 최적화에 관련된 열적 시스템의 최적화가 더욱더 중요시 되고 있다. [3][4][6]

전력반도체 소자들의 경우 장시간 높은 전압과 전류에 노출됨으로써 소자의 특성이 열화 되는 현상을 보이며, 이러한 열화 현상에 의해 소자가 파괴되는 경우도 있음이 보고되고 있다. [1][2]

본 논문에서는 일반적으로 열의 방출을 위해 사용되는 히트싱크(heat sink)가 IC나 패키징된 소자의 열 전달 특성에 미치는 영향 및 히트싱크 컴파운드(heat sink compound)에 의한 영향 등을 측정을 통하여 비교 분석해 보았다.

2. 실험

2.1 실험장치

열전달 특성을 측정하기 위해 사용된 소자는 n-type MOSFET인 IRF540소자를 이용하였다. 측정에 사용된 히트싱크는 그림 1과 같은 구조로 이루어져 있다. 이 히트싱크(heat sink)의 표면적과 부피는 각각 8178mm², 5670mm³이다.

이 MOSFET와 히트싱크를 이용하여, 다음과 같은 3경우의 열전달 특성을 측정, 비교해 봄으로써, 히트싱크가 열

전달 특성에 미치는 영향과 분석해 보았고, MOSFET와 히트싱크사이에 열전도성을 높이기 위하여 열전달 물질(thermal interface material)을 사용하여 열전달 물질이 열전달 특성에 미치는 영향을 측정을 통해 알아보았다. 열전달 물질은 일반적으로 Thermal pad와 히트싱크 컴파운드(heat sink compound)가 많이 사용되는데 본 측정에서는 열전도성이 다소 높은 히트싱크 컴파운드를 이용하여 측정을 하였다.

① 열전달 특성 측정

- MOSFET
- MOSFET + Heat Sink
- MOSFET + Heat Sink Compound + Heat Sink

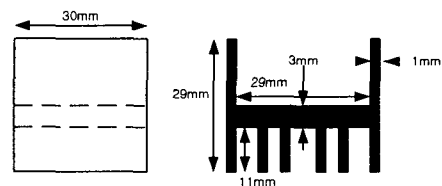


그림 1. 측정에 사용된 Heat Sink

2.2 실험

열전달 특성의 측정에 앞서 측정 소자의 온도(°C)의 변화량에 따른 V_{TM}(forward voltage drop)의 변화량을 나타내는 K-Factor를 다음과 같은 조건으로 측정하였다. 측정 온도 범위는 25°C~40°C에서 5°C간격으로 측정하여 K-Factor 값을 얻을 수 있었다. 측정된 K-Factor는 $\frac{dV}{dT} = 4.076 [mV/°C]$ 이다. K-Factor는 열전달 특성 측정 시에 입력값으로 입력되어진다.

MOSFET의 과도 열 임피던스(transient thermal

impedance)는 가열(heating up) 모드에서 측정하였으며, $I_S=30mA$, $U_{DG}=10V$, Power step=320mW, $T_{max}=500$ 초 이내, Sample/OCT=400개를 조건으로 측정하였다.

히트싱크가 부착된 MOSFET의 경우는 $I_S=180mA$, $U_{DG}=10V$, Power step=180mW, $T_{max}=2000$ 초 이내, Sample/OCT=400개를 조건으로 측정하였다.

MOSFET의 가열은 측정을 시작하기 전 입력한 U_{DG} 값을 주기적인 펄스 값으로 MOSFET에 흐르게 하여한(본 실험에서는 1초 간격으로 $300\mu s$ 시간만큼 전압 값을 인가) 후 일정 전류를 소자에 흐르게 하였을 때의 U_{GS} 값을 측정하여 열의 변화량으로 계산하게 된다.

히트싱크 컴파운드의 영향을 측정하기 위한 조건은 히트싱크 부착의 경우와 같으나, $I_S=220mA$ 의 조건으로 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 2는 가열모드에서 각 방법에 따라 측정된 과도(transient) 곡선으로 x축은 시간을 나타내고, y축은 온도 상승값을 나타낸다. 아래의 측정된 데이터를 보면 히트싱크 없는 MOSFET 경우보다는 히트싱크 부착한 소자가 약 $10.5^{\circ}C$ 더 상승하여 포화되는것을 확인할 수 있고, 히트싱크에 히트싱크 컴파운드를 사용할 때에는 그보다 $5^{\circ}C$ 정도 더 상승하여 포화되는것을 확인할 수 있다.

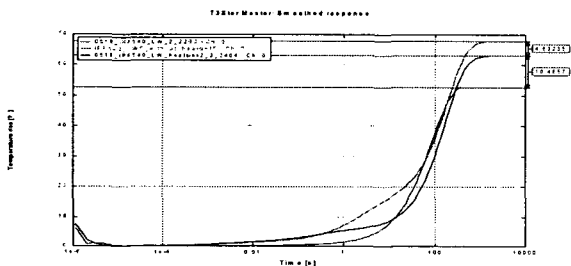


그림 2. 각 방법에 따른 MOSFET의 과도곡선

그림 3은 각 방법에 따른 MOSFET의 누적구조 함수를 나타낸다. 누적구조 함수의 x축은 열 저항을 나타내고, y축은 열 용량(system capacitance)로 나타낸 그래프이다. 이는 과도영역 해석결과로부터 얻을 수 있으며, 이 함수를 통하여 접합부(chip)에서 패키지 주위(ambient)까지의 열전달 경로를 특성화 할 수 있다. 이 함수를 통하여 히트싱크에 의해 열 저항값이 약 130KW, 그리고 열전달 물질에 의해 다시 약 140KW까지 차이가 남을 알 수 있다.

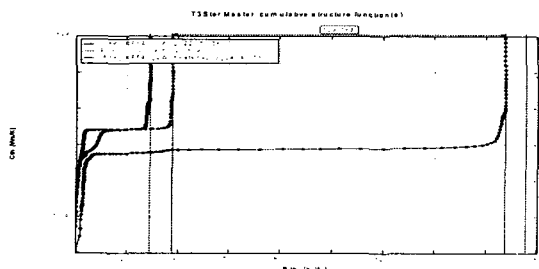


그림 3. 각 방법에 따른 MOSFET의 미분구조 함수

그림 4는 각 방법에 따른 MOSFET의 미분구조함수를 나타낸다. 이 함수는 누적구조 함수를 미분하여 얻을 수 있다. 이 함수를 통하여 MOSFET chip에서 주위까지의 열 저항뿐 아니라, chip에서 패키지 표면(surface) 즉 패키지와 히트싱크 경계면까지의 열 저항 값을 확인 할 수 있다.

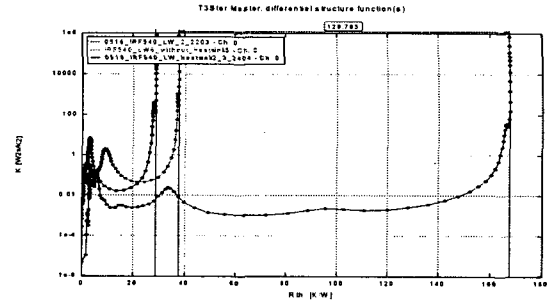


그림 4. 각 방법에 따른 MOSFET의 미분구조함수

4. 결론

본 논문에서는 n-type MOSFET를 이용하여 히트싱크가 열전달 특성에 미치는 영향과, 히트싱크 컴파운드가 열전달 특성에 미치는 영향 등을 측정을 통하여 분석해 보았다.

히트싱크가 부착되지 않는 소자의 열 저항(R_{thja})값이 히트싱크를 부착시킨 소자의 열 저항값보다 약 4.4배 크게 나오는것을 알 수 있었고, 열전달 물질인 히트싱크 컴파운드에 의해 그 차이는 5.8배까지 차이 나는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 서길수, 김상철, 김형우, 김남균, 김은동, "전력계통용 대용량 사이리스터의 가속열화 시험법", 대한전기학회 하계학술대회, C집, pp 1785-1787, 2003. 7.
- [2] 김형우, 서길수, 김상철, 김남균, 김은동, "전력용 반도체 소자의 열화에 의한 소자파괴 메커니즘 분석", 대한전기학회, 2003.11.
- [3] MicRED Ltd, "Properties of the structure function and its use for structure identification and for compact model generation", 2000.
- [4] AMD Ltd, "Thermal Interface Material Comparison: Thermal Pads Vs. Thermal Grease", 2004. 4.
- [5] E.N.Protonotarios, O.Wing: "Theory of nonuniform RC lines", IEEE Trans. on Circuit Theory, V.14, No.1, pp. 2-12 (1967)
- [6] John W. Sofia, Analysis Tech, Wakefield : "Analysis of Thermal Transient Data with Synthesized Dynamic Models for Semiconductor Devices", IEEE, 1999