

Chip-in-Board 패키지의 열전달 해석[§]

박준형* · 심희수** · 김선경***†

* 서울과학기술대학교 나노 IT 융합프로그램, ** 서울과학기술대학교대학교 기계시스템디자인공학과

Numerical Simulation of Heat Transfer in Chip-in-Board Package

Joon Hyoung Park^{*}, Hee Soo Shim^{**} and Sun Kyoung Kim^{***†}^{*}Graduate School of NID Fusion Technology, SeoulTech^{**}Dept. of Machinery System Design Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Sci. and Tech

(Received May 16, 2012 ; Revised October 12, 2012 ; Accepted October 12, 2012)

Key Words: Heat Conduction(열전도), Numerical Simulation(수치해석), Chip (소자)

초록: 반도체 수요의 폭발적인 증가와 기술의 진보로 단위면적당 소자수가 늘어나고 있다. 그에 따라 단위면적당 발열량이 더욱 높아져서 반도체의 수명과 신뢰성 보장을 위한 냉각문제의 해결이 점점 중요해지고 있다. 특히, 집적도를 높이기 위해 소자를 기판에 매립하는 chip-in-board (CIB) 패키지에서는 방열이 더욱 심각한 문제가 된다. 본 논문에서는 각기 다른 재료의 층으로 구성된 열 전달모형을 설정하고, 3 차원 열 전달 해석으로 적절한 경계 조건에 맞추어 계산하였다. 이를 토대로 발열량을 정량적으로 예측하여 실제모델에 적용 될 수 있는 설계자료로 이용하고자 한다.

Abstract: Demands for semiconductor devices are dramatically increasing, and advancements in fabrication technology are allowing a step-up in the number of devices per unit area. As a result, semiconductor devices require higher heat dissipation, and thus, cooling solutions have become important for guaranteeing their operational reliability. In particular, in chip-in-board packages, in which chips and passives are embedded in the substrates for efficient device layout, heat dissipation is of greater importance. In this study, a thermal model for layers of different materials has been proposed, and then, the heat transfer has been simulated by imposing a set of appropriate boundary conditions. Heat generation can be predicted based on the results, which will be utilized as practical data for actual package design.

1. 서 론

최근 반도체 수요는 폭발적으로 증가하고 있으며, 향후 이 흐름은 지속적으로 이어질 것으로 보인다. 이러한 상황 가운데 기술의 진보로 반도체의 단위면적당 소자수가 늘어나고, 그에 따라 단위면적당 발열량이 높아져가고 있다. 기술의 발전과 함께 크기는 작으나 고기능인 제품에 대한 소비자들의 요구는 점점 더 급증하고 있다. 이러한 요구에 대응하기 위해서는 구동 중 발생하는 열에 의한 휨과 변형에 대한 연구가 필요하다. 이러한 연구를 위해서는 온도분포와 이력에 대한 정보가

우선 요구된다. 또한 반도체 칩은 주위의 전자부품들과 전기적, 기계적으로 연결되어있으며, 전력이 공급되며 발생하는 열은 각각의 서로 다른 재료 가운데 주기적인 열 하중이 작용하게 되므로 반도체 파손의 큰 원인이 될 수 있다. 그로 인하여 반도체의 수명과 신뢰성보장을 위한 열의 방출문제는 해결해야 할 과제로 떠오르고 있다. 소자에서 발생하는 열은 대개 공기에 의하여 자연대류⁽¹⁾ 또는 강제대류방식으로 냉각되고 있으며, 반도체 및 방열판 설계단계에서 실제로 작동하는 소자의 정량적인 발열량을 예측하는 것은 매우 중요하다. 하지만 chip-in-board(CIB) 패키지는 상당히 복잡한 구조와 경계조건을 가지고 있으며, 이의 열 전달을 해석하고 설계하기 위해서는 수치적인 유한요소해석법⁽²⁾이 유용하게 사용될 수 있다. 하지만, CIB 패키지는 서로 다른 재료의 얇은 층으로 구성되며 각 재료의 물성을 모두 고려할 수 있는 해석하는 생

[§]이 논문은 2012년도 대한기계학회 열공학부문 춘계학술대회(2012. 5. 23.-26., 용평리조트) 발표논문임.

† Corresponding Author, sunkkim@seoultech.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

각하기 곤란하다. 더욱이 재료의 물성이나 해석조건이 적당하지 않다면 상당히 다른 해석결과가 얻어질 수 있으므로 해석결과에 대한 신뢰성을 파악하기란 쉽지 않다.

본 논문에서는 전형적인 예를 바탕으로 소자와 각기 다른 재질의 층으로 구성된 형상이 다른 3 가지 열 전달 모형을 설정하였다. 이를 단순형상으로 이상화하여 온도상승을 일으키는 조건을 파악하였으며, 적절한 경계조건⁽³⁾을 적용하여 표면온도를 관찰하기 위하여 3 차원 열 전달 해석을 수행하였다.

2.3 차원 모형의 유한요소 법 해석

2.1 해석관련 이론

본 연구는 CIB 패키지부분의 고체전도와 공기로 채워져 있는 해석영역에서 소자의 구동으로 발생된 열로 인해 가벼워진 공기가 상승하여 발생하는 자연대류를 연계하여 해석하였다.

고체전도는 열 유속이 전달방향으로 일정하다고 가정하여 다음과 같은 방정식을 사용하였다.

$$\nabla \cdot k \nabla T = 0 \tag{1}$$

여기서 k 는 열전도율이고 T 는 온도이다.

자연대류의 경우 부력에 관련된 밀도변화를 제외하고는 유체는 비압축성이며, 물성 값은 모두 일정하다고 가정하는 Boussinesq 근사를 적용하였다. 지배방정식은 다음과 같이 3 차원 정상상태 비압축성 자연대류유동에 대한 연속방정식, 층류운동량방정식과 에너지방정식은 각각 다음과 같다.

$$\nabla \rho \cdot \mathbf{v} = 0 \tag{2}$$

$$\nabla \rho \cdot \mathbf{v} \mathbf{v} = \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{g}(\rho_\infty - \rho) \tag{3}$$

$$\rho c_p \mathbf{v} \cdot \nabla T = \nabla \cdot k_a \nabla T \tag{4}$$

여기서 ρ 는 밀도, ρ_∞ 는 자연대류 경계층 외부의 기준밀도, \mathbf{v} 는 속도벡터, μ 는 점도이며, c_p 는 비열이고, k_a 는 공기의 열전도계수이다.

2.2 해석모델

정확한 3 차원 열 전달해석을 수행하기 위해서는 기하학적 형상을 실제와 가깝게 구현해야 한다. 하지만 해석시간을 고려해야 하기 때문에 해석결과에 영향을 미치지 않는 부분은 단순형상으로 이상화하는 작업이 필요하다.

Fig. 1 은 CIB 패키지의 일 예를 나타내었다. 소자는 FR4 로 둘러 쌓여 있으며 FR4 는 각각 20 μ m, 40 μ m 의 두께인 ABF 으로 위와 아래 면이 접합되어 있다. 그 위에 18 μ m 의 Cu 로 덮여있다. Heat

source 인 소자의 크기는 1.9mm \times 1.4mm \times 0.38mm 이며 실제 CIB 패키지의 크기는 17mm \times 16.6 mm \times 0.546mm 으로 실제형상의 크기와 일치하도록 모델을 생성하였다.

해석하고자 하는 CIB 패키지의 Model 1 과 Model 2 의 3 차원형상을 Fig. 2 에 나타내었다. Model 1 과 Model 2 의 차이점은 Model 2 의 아래면에 동박이 한 장 추가되며, 윗면의 동박 형상이 서로 다르며, Model 2 는 Model 1 에 비해 전체적으로 via 홀이 추가된 점이다.

Fig. 3 에 Model 2 와 Model 3 의 형상을 비교하여 나타내었다. Model 2 와 Model 3 은 전체적인 구조와 형상은 같지만 Via 홀의 위치와 개수가 다르다. 그러므로 Model 2 와 Model 3 의 비교를 통해 via 홀의 위치와 개수가 패키지의 열 전달 및 표면 온도에 미치는 영향을 알 수 있을 것이다.

2.3 해석조건

본 연구에서는 상용해석프로그램인 FloEFD⁽⁴⁾를 이용하여 CIB 패키지의 열 전달 해석을 수행하였다.

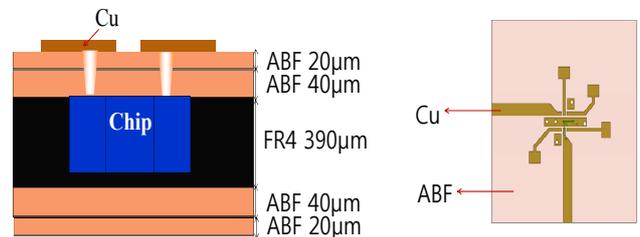
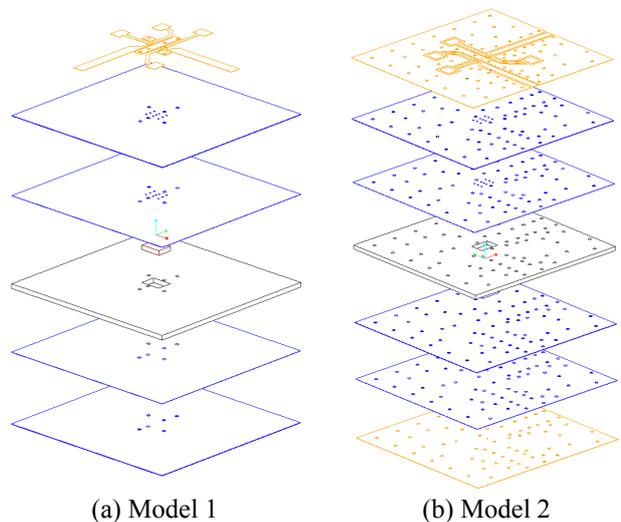


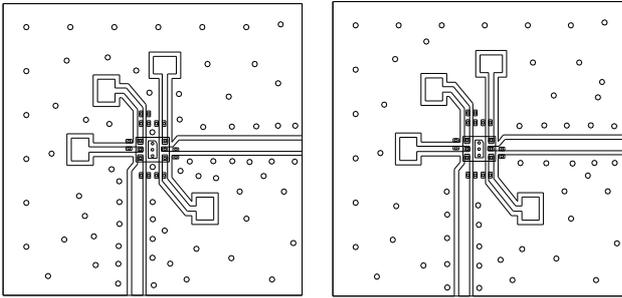
Fig. 1 Structure of CIB package in this study.



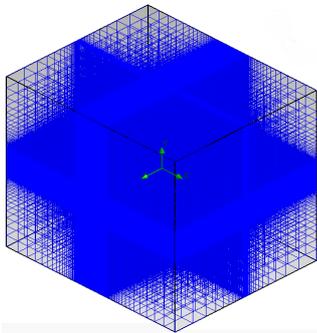
(a) Model 1

(b) Model 2

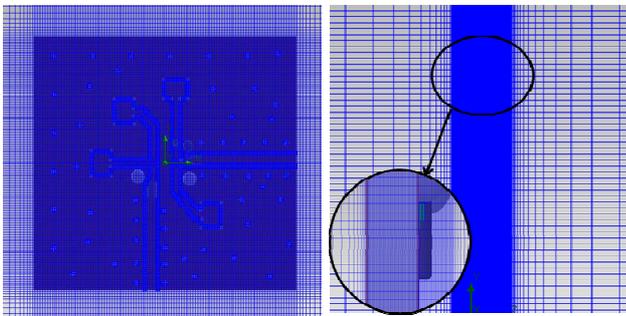
Fig. 2 Comparison of model 1 with model 2



(a) Model 2 (b) Model 3
Fig. 3 Comparison of model 2 with model 3



(a) Three-dimensional view of the entire domain



(b) Plan view near the package (c) Side view along z axis

Fig. 4 Three-dimensional mesh of CIB package

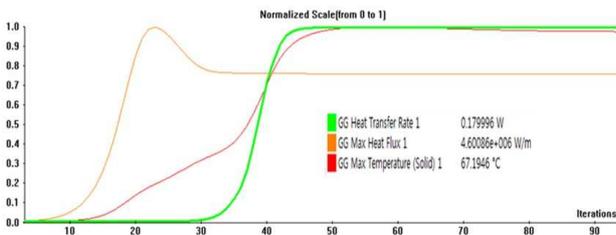


Fig. 5 Convergence of simulation

해석을 위한 유한요소모델은 총 5,808,00 개의 요소로 구성되었다. Fig. 4 의 (a)는 CIB 패키지와 해

석영역을 분할한 것을 나타낸다. CIB 패키지의 두께방향이 얇은 점을 고려하여 x, y 축 220 개, z 축 120 개의 구간으로 분할하였다. 이는 x, y 축의 크기 $17\text{mm} \times 16.6\text{mm}$ 인 점에 비해 z 축의 크기는 0.546mm 으로 이를 감안한다면 상당히 조밀하게 분할한 것으로 이를 통해 해석의 정확도를 높였다. 분할된 격자 계의 정면은 Fig. 4 의 (b), z 축면은 Fig. 4 의 (c)에 나타내었다.

해석영역을 채우는 기체는 공기이며 온도는 상온인 20°C , 압력은 101325 Pa 이다. Heat source 인 소자는 체적당 균일한 열이 발생하는 체적 발열체이며, 실제 구동중인 소자의 전력 소모량 전체가 모두 열로 전환 되는 것으로 가정하여 소모전력은 0.218W 로 설정하였으며, 이 소모 전력에 의한 발열은 소자에서만 집중적으로 일어나는 것으로 가정⁽⁵⁾하였다. 이때 소모 전력은 전압, 전류를 측정 한 후 서로 곱하여 구하고 발열량은 소모전력과 같은 것으로 보았다. 이 또한 열원인 소자로부터 전달되는 열과 공기에 의한 자연대류⁽⁶⁾를 보다 정확하게 고려하기 위해서는 CIB 패키지와 해석영역을 채우는 공기의 경계층을 매우 조밀하게 분할했다.

실제 CIB 패키지는 각 면에 대해 본딩 접착이 되어 있으므로 각 면의 접착 경계조건은 본딩으로 설정하였으며, 하단부는 공기로 채워져 있으므로 대류 열 전달이 일어나는 것으로 설정하였다.

자연대류 열 전달 해석에서는 신뢰성을 확보하기 위해서 수렴조건을 정확히 파악하여야 한다. Fig. 5 는 계산횟수(iteration)에 따른 열전달율(heat transfer rate), 열유속(heat flux), 온도(temperature)에 대한 각 최대치들의 그래프이다. 그래프를 보면 계산횟수가 50 이상에서는 그래프의 변화가 거의 없으며 이를 토대로 열 전달해석이 수렴했다고 파악할 수 있다. 계산횟수는 해석시간과도 밀접한 관련이 있기 때문에 효율적인 해석과 신뢰성을 확보하기 위해서 참고하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 6 은 CIB 패키지의 온도에 따른 유체의 대류 현상을 나타낸다. 온도 상승에 따른 밀도 차가 중력에 의해 자연대류를 발생시키게 되며, 패키지의 표면 온도분포에 영향을 주는 요인이 된다. 정량적으로 자연대류가 온도분포에 큰 영향을 주진 않을지라도, 보다 정확한 온도분포를 예측하기 위해서는 수행해야 할 부분이며, 더 나아가 방열판 설치의 유무 및 효율, 방열판 설계조건을 고려하는

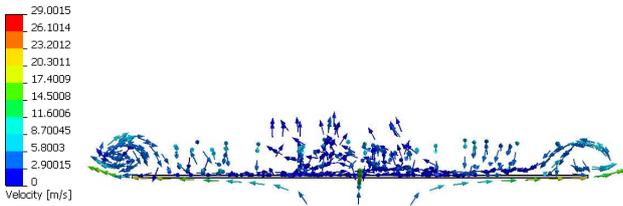
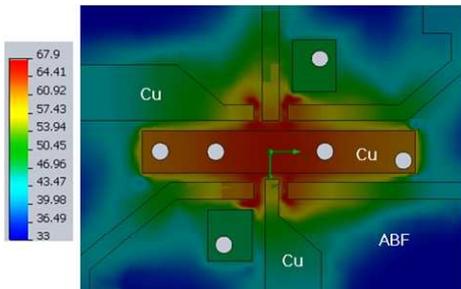
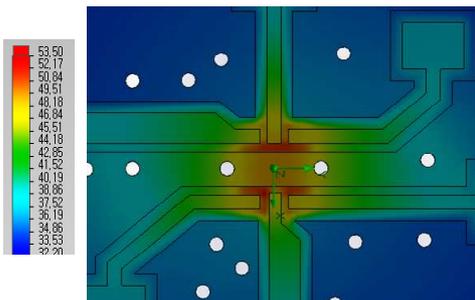


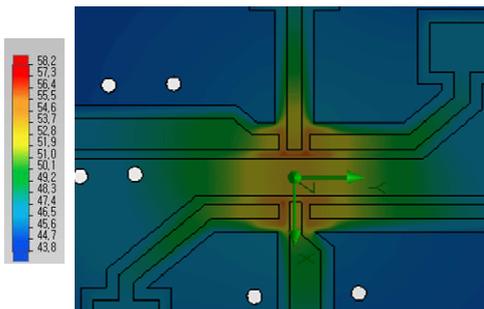
Fig. 6 Convection phenomenon



(a) Model 1



(b) Model 2



(c) Model 3

Fig. 7 Results of simulation

데 활용할 수 있을 것이다.

Fig. 7 은 Model 1, 2, 3 의 해석결과를 나타낸다. 이 결과로 Model 1 의 최고온도는 67.9°C, Model 2 는 53.5°C, Model 3 은 58.2°C임을알수있다. 이를 토대로 Model 1 을 Model 2, Model 3 과 비교하면 두 Model 평균 13.4°C 낮아졌으며, Model 2 는 21.20%, Model 3 은 14.28% 낮아진 것을 알 수 있다.

이 결과로 첫째, 열전도율이 높은 구리가 CIB 패키지의 위와 아래 면에 넓은 표면적으로 감싸고 있는 형태인 Model 2 와 Model 3 은 상대적으로 표면 온도가 낮음을 알 수 있으며, 둘째, via 홀의 개수가 열전도에 따른 표면온도에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 결론적으로 Model 2 와 Model 3 와 같은 형태의 CIB 패키지의경우가 Model 1 의 형태보다 열을 더 잘 방출하는 효과를 얻을 수 있음을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 국부적으로 온도상승을 일으키는 조건을 파악하고 실제형상의 가까운 모형을 만들어 유한요소해석에 의한 온도분포를 관찰하였다. 일반적으로 열전도 해석에 있어서 정확도 높은 결과를 얻기 위해서는 완벽한 형상모델링과 각 재질에 따른 물성 값 및 열 전달계수 등을 바탕으로 수치해석을 수행해야 한다. 이는 더욱더 수요가 커지는 소자의 수명과 기능에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 방법으로 제안된다. 이로 인하여, 주요 발열부분에 대한 발열량을 정량적으로 예측이 가능해지며, 흰(fin)의 부착위치 또는 흰 효율을 결정하는 기하학적 요소 (길이, 두께, 간격)의 설계 시 중요한 자료로 반영할 수 있으리라 기대한다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Chang, B.H., 2011, "Natural Convection Heat Transfer in Inclined Rectangular Enclosures," *Journal of Energy Engineering*, Vol. 20, No. 1, pp. 44~53.
- (2) Kim, Y.S., Lee, J.G., Chung, D.H. and Ko, H.S., 2003, "Analysis of Thermal Distribution for LCD-TV Using Numerical Simulation and Experiment," *Proceedings of the KSME 2003 Fall Annual Meeting*, pp. 302~307.
- (3) Kwak, H.S., Lee, S.E., Park, K.S. and Kim, K., 2009, "A Computational Study on Free Convection for Thermal Performance Evaluation of a SWNT Thin-Film Heater," *Korean Society of Computational Fluids Engineering*, pp. 315~320.
- (4) Lee, G.H., Yoo, D.W. and An, S.B., 2009, "Simulation by Utilize," GI JEON, Seoul, pp. 185~380.
- (5) Kim, S.K., Lee, J.K. and Cha, D.H., 2011, "Heat Transfer Deformation Analysis of Flip Chip Bonder,"

2011 *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, pp. 461~462.
(6) Kim, H.K. and Oh, S.I., 1996, "Evaluation of Heat Transfer Coefficient Distribution by Inverse Analysis,"

Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol.20, No.12, pp. 3856~3870.