

# 有限元分析法在 MCM 三维热模拟中的应用\*

胡修振<sup>†</sup> 李志国 郭春生 吴月花 廖京宁

(北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100022)

**摘要:** 多芯片组件(MCM)的可靠性特别是其热可靠性已经成为国内外电子产品可靠性研究的焦点之一. 热有限元分析法是多芯片组件热分析的重要方法. 本文运用 ANSYS 工具建立了 MCM 的三维热模型, 得到了温场分布. 通过热模拟和热分析, 提出了改善 MCM 温场的方案.

**关键词:** 多芯片组件; 有限元分析; ANSYS; 热模拟; 热分析

EEACC: 2250

中图分类号: TN385

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)S0-0351-03

## 1 引言

MCM(multi-chip module)即多芯片组件,是将两块及两块以上的半导体集成电路裸芯片和其他微型元件组装集成在同一块高密度多层布线互连基板上,并封装在同一管壳中所形成的能完成一定功能的微电子组件. 它是将多个 LSI 和 VLSI 的裸芯片高密度地贴装互连在多层布线的 PCB、多层陶瓷(厚膜)基板或薄膜多层布线的基板上(硅、陶瓷或金属基),然后整体封装起来构成多功能、高性能的电子部件、整机、子系统乃至系统所需的一种新型微电子组件. 多芯片组件技术是现代微组装技术发展的重要方向,也是新世纪微电子技术领域的一项关键技术,近年来在国外得到迅速发展<sup>[1]</sup>. 多芯片系统可靠性,特别是其热可靠性,已经成为目前国内外电子产品可靠性研究的焦点之一<sup>[2]</sup>.

与单芯片封装相比, MCM 可提高单位体积内电路的集成度,有利于电子整机向高速化、多功能化、小型化方向发展. 随着 MCM 集成度的提高和体积的缩小,尤其对于集成了大功率芯片的 MCM,其内部具有多个热源,热源之间的热耦合作用较强,单位体积内的功耗很大,由此带来的芯片热失效和热退化现象突出<sup>[3]</sup>. 因此,准确模拟大功率 MCM 模块的三维温场分布,并分析掌握其热特性,有利于指导 MCM 热设计方案的选择,对提高大功率 MCM 的可靠性具有重要意义<sup>[4]</sup>. 本文以 BH2014 为对象,运用 ANSYS 技术,进行了三维温场的稳态模拟和分析.

## 2 有限元模型

多芯片组件的温场分析方法一般分为三种:分析解法、数值解法和实验法. 其中有限元数值解法是 MCM 温场分析的最优选择.

在计算传热学领域,通常可选用的数值方法有三种:有限差分法(finite difference method, FDM)、有限元法(finite element method, FEM)和边界元法(boundary element method, BEM). 有限差分法不利于计算机运算,边界元法又无法求解几何形状如薄条的这类问题,因此,对于 MCM 器件的温场模拟分析,采用有限元法是正确的选择.

国外流行的多芯片组件主要有三种类型:共烧陶瓷多芯片组件(MCM-C)、淀积多芯片组件(MCM-D)和叠层多芯片组件(MCM-L),后来又发展出混合多芯片组件(MCM-D/C)类型,它是 MCM-C 与 MCM-D 相结合的产物<sup>[5]</sup>.

本文以共烧陶瓷多芯片组件 BH2014 为例,借助有限元通用程序 ANSYS,对其进行三维温场的稳态模拟和分析,模拟了在不同的芯片尺寸、芯片布局、基板厚度(或材料)、焊料、散热结构情况下的温场情况.

BH2014 的简化有限元几何模型,如图 1 所示. BH2014 由 16 个小体积功率器件和 1 个大体积功率器件组成,小体积芯片的尺寸均为  $0.72\text{mm} \times 0.72\text{mm} \times 0.15\text{mm}$ ,大体积芯片的尺寸为  $4.52\text{mm} \times 2.89\text{mm} \times 0.52\text{mm}$ . 通过实体建模及网格划分得到 BH2014 的有限元网格模型,如图 2 所示,整个有限元网格模型由 32073 个节点和 121825 个单元组

\* 信息产业部基金资助项目

<sup>†</sup> 通信作者. Email: xz.hu@emails.bjut.edu.cn

2005-10-11 收到, 2006-01-13 定稿

成. 模型中所采用的材料及其热导率如表 1 所示.

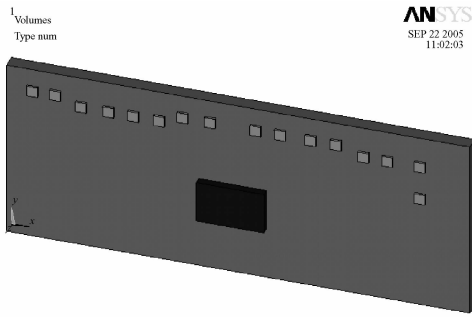


图 1 有限元几何模型

Fig.1 Finite element geometric model

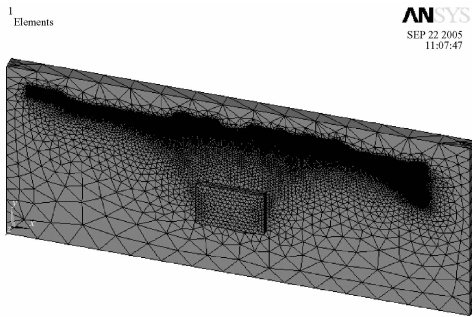


图 2 有限元网格模型

Fig.2 Finite element gridding model

表 1 有限元分析所用材料的热物理性质(300K)

Table 1 Thermal physical property of materials used in FEA(300K)

模型组件	材料	导热系数 $k/(W/(m \cdot K))$
粘接剂	环氧(Epoxy)	0.394
	掺银环氧(Ag Epoxy)	1.575
	锡铅合金(63Sn-37Pb)	35.826
	银-玻璃	53.543
基板	96%氧化铝	35.039
	氮化铝	185(170~200)
	99.5%氧化铍	259.78
	CVD 金刚石	1500(1300~1700)
芯片	硅	145

### 3 模拟结果及分析

BH2014 以 96%氧化铝为基板,掺银环氧为粘接剂,硅为芯片,边界条件为基板加恒温 97.3℃,MCM 四周加空气对流系数  $40W/(m^2 \cdot K)$ ,得到 BH2014 的内部温场分布云图(图 3)和截面温场分布云图(图 4).最高温度为 122.136℃.从温场分布云图中可以看出大体积芯片、左上部四个小体积芯片和右上部三个小体积芯片的温度较高,这说明由于 MCM 四周有空气对流的影响,靠边的芯片温度会比中心部位的同样的芯片温度低一些.在对

MCM 进行热设计的时候可以把功率较大的芯片尽量放在靠近边沿部位.

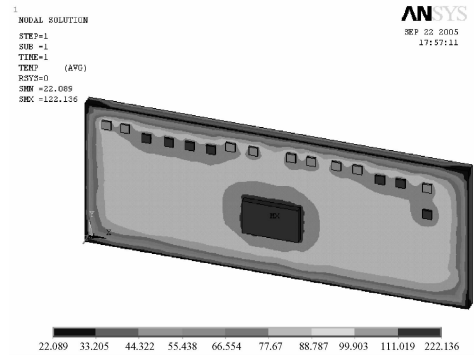


图 3 内部温场分布云图

Fig.3 Inside thermal field distribution

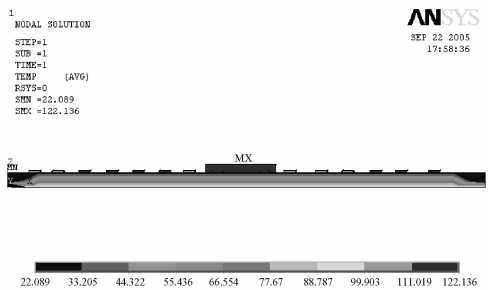


图 4 截面温场分布云图

Fig.4 Sectional thermal field distribution

在上述模拟的基础上,分别针对 BH2014 就不同材料、厚度和空气流速进行了热模拟并得到相应条件下该 MCM 的温场分布,得出在其他条件不变的情况下,只改变粘接剂、基板材料和空气流速时 BH2014 的最高温度,如表 2,3 所示.可以明显看出影响 MCM 最高结温的主要因素包括空气流速、粘接剂热导率和基板热导率.仿真结果表明,粘接剂、基板材料的热导率对内部热阻的影响较为明显,选用高热导率材料的粘接剂和基板材料可以有效降低内部的热阻.

表 2 改变材料时的最高温度

Table 2 Maximal temperature of alternative materials

粘接剂材料	环氧(Epoxy)	掺银环氧	锡铅合金	银-玻璃
最高温度/℃	188.999	122.136	99.686	99.336
基板材料	96%氧化铝	氮化铝	99.5%氧化铍	CVD 金刚石
最高温度/℃	122.136	117.835	116.237	114.653

表 3 不同对流系数下的最高温度

Table 3 Maximal temperature of different convection coefficients

空气对流系数/ $(W/(m^2 \cdot K))$	20	40	80	160
最高温度/℃	126.248	122.136	129.329	115.825

## 4 结论

通过对 BH2014 的三维温场模拟, 可以得出以下结论:

(1) 模拟结果表明, 多芯片组件中, 粘接剂、基板材料是影响热阻的最重要因素;

(2) 在 MCM 设计过程中适当考虑大功率芯片在基板上的几何分布, 可以对 MCM 的温度场分布进行优化;

(3) 在 MCM 设计完成后, 更理想的温度分布, 可以通过改变外部条件, 比如加散热风扇来实现.

总之, 随着 MCM 集成度的提高和体积的缩小, 尤其是对于集成大功率芯片的 MCM, 其高密度、微型化特点带来了一系列设计、组装技术方面的难题, 在这些难题中, 芯片的散热问题显得尤为突出<sup>[6]</sup>. 因此, 准确模拟大功率 MCM 的三维温场分布, 进行热分析和热设计的专题研究, 对于 MCM 的研制, 特别是对于高可靠性要求的大功率军用 MCM 的研制, 具有极其重大的现实意义<sup>[7]</sup>.

### 参考文献

[1] Luo Xiujiang, Chen Weiyuan, Wang Haocai. Thermal control

technology of MCM. *Electron Components & Materials*, 2001, 20(3): 19 (in Chinese) [罗秀江, 陈伟元, 王豪才. 多芯片组件的热控制技术. *电子元件与材料*, 2001, 20(3): 19]

[2] Fan M S, Plante J, Shaw H. Thermal characterization for a modular 3-D multichip module. *Inter Society Conference on Thermal Phenomena*, 2000

[3] Moghaddam S, Rada M, Shooshtari A, et al. Evaluation of analytical models for thermal analysis and design of electronic packages. *Microelectron J*, 2003, 34: 223

[4] Cheng H C, Chen W H, Chung I C. Integration of simulation and response surface methods for thermal design of multi-chip modules. *IEEE Trans Components and Packaging Technol*, 2004, 27(2): 359

[5] Hu Zhiyong. Heat design for MCM components. *Electron Product World*, 2002, 12B: 61 (in Chinese) [胡志勇. MCM 器件的热设计方法. *电子产品世界*, 2002, 12B: 61]

[6] Yang Bangchao, Xiong Liufeng, Du Xiaosong. Simulation and analysis of thermally-induced stress in low temperature co-fired ceramic substrate of MCM. *Journal of Functional Materials*, 2002, 33(1): 93 (in Chinese) [杨邦朝, 熊流锋, 杜晓松, 等. MCM 低温共烧多层陶瓷布线基板热应力的模拟与分析. *功能材料*, 2002, 33(1): 93]

[7] Pinjala D, Navas K, Xie L, et al. Thermal design of heat spreader and analysis of thermal interface materials (TIM) for multi-chip package. *Proceedings of IEEE Electronic Components and Technology Conference*, 2002: 1119

## FEA Method in the 3D Thermal Simulation of MCM\*

Hu Xiuzhen<sup>†</sup>, Li Zhiguo, Guo Chunsheng, Wu Yuehua, and Liao Jingning

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** The reliability of multi-chip module (MCM), especially thermal reliability, has become one of the keys to the reliability research of electronic product. Finite element analysis is an important tool in the thermal analysis of MCM. A three dimensional thermal model of a kind of MCM was built with ANSYS to calculate the temperature distribution. By thermal simulation and thermal analysis, we can raise a project to improve the temperature field.

**Key words:** MCM; finite element analysis; ANSYS; thermal simulation; thermal analysis

**EEACC:** 2250

**Article ID:** 0253-4177(2006)S0-0351-03

\* Project supported by the Ministry of Information Industry Science Foundations of China

<sup>†</sup> Corresponding author. Email: xz.hu@emails.bjtu.edu.cn

Received 11 October 2005, revised manuscript received 13 January 2006