

# On the Thermal Performance of a Thermally Enhanced FC-PBGA Assembly

J. Y. You, G. H. Wu\*

Department of Mechanical Engineering, National Cheng-Kung University, Tainan Taiwan  
Email: \*d1014519@mail.ncku.edu.tw

Received: Jan. 8<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jan. 24<sup>th</sup>, 2018; published: Jan. 31<sup>st</sup>, 2018

---

## Abstract

In this paper, three-dimensional finite element analysis using the commercial ANSYS software is performed to study the thermal performance of a thermally enhanced FC-PBGA (Flip-Chip Plastic Ball Grid Array) assembly in both natural and forced convection environments. The thermally enhanced FC-PBGA assembly is a basic FC-PBGA package that is over molded with molding compound, after which an aluminum heat spreader is adhered to the top of the molding compound and subsequently mounted on a PCB (Printed Circuit Board). The thermal behavior of the assembly is presented. Thermal performance is analyzed by considering various design parameters of the aluminum heat spreader, molding compound and adhesive.

## Keywords

Heat Spreader, FC-PBGA, Thermal Performance

---

# 散热强化型覆晶球栅数组封装组合体的散热性能研究

游杰宇, 吴俊煌\*

国立成功大学机械系, 台湾 台南  
Email: \*d1014519@mail.ncku.edu.tw

收稿日期: 2018年1月8日; 录用日期: 2018年1月24日; 发布日期: 2018年1月31日

---

## 摘 要

使用有限元素分析软件ANSYS建立一精确之三维有限元素热传分析模型, 于自然对流与强制对流环境中, \*通讯作者。

针对一散热强化型覆晶球栅数组组合体的热传导、热对流与热辐射之行为进行模拟分析。这个散热强化型覆晶球栅数组组合体是基本型覆晶球栅数组封装体包封着封胶, 接着在封胶上面黏附着一片铝质散热板, 最后以锡球构装在印刷电路板上。本文报告了以上组合体之热传行为、散热效能与温度分布。最后, 进行参数化分析, 讨论散热板、封胶与黏着剂的设计参数对这个组合体散热性能的影响。

## 关键词

散热板, 覆晶球栅数组封装体, 热传行为

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

集成电路(Integrated Circuit, IC)封装之目的是要将集成电路与相关的组件包封起来, 防止外来的破坏、维持电子讯号与电力的传输。近年来由于电子产品朝向轻、薄、短小与多功能发展, 覆晶球栅数组(flip-chip ball grid array, FC-BGA)封装因为有高 I/O 接脚数, 高频噪声容易控制与高传输速度等优点, 已成为先进封装的主流[1]。基本型覆晶球栅数组组合体(示意图如图 1 所示), 组合体是由许多材料所组成。

由于电子产品朝向高功率与高封装密度发展, 使得散热问题变得很重要。很多散热的方法被发展出来, 零件有散热板、金属盖、封胶与散热鳍片等。近年来许多学者研究各种强化散热封装体的构造并提出数值方法分析它们的热传特点。2002 年 Joiner 等人[2]使用数值与实验方法比较 FC-PBGA 与 FC-CBGA 的散热性能, 指出: 如果二者都没有加装散热板, FC-PBGA 的热阻会高出 FC-CBGA  $8^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ; 如果二者都有加装散热板, 二者的散热性能会接近一致。2008 年 Lu 等人[3]研究一基本型覆晶球栅数组封装体顶面加装了一散热板, 探讨封装体的散热能力与可靠度, 提出金属盖与芯片间的黏胶的导热系数对封装体散热能力有明显的影响。2010 年 Lee [4]针对基本型覆晶球栅数组组合体, 包封着封胶, 示意图如图 2 所示, 于自然对流环境中, 进行散热研究, 发现: 封胶有助于组合体散热。2012 年 Shim 等人[5]研究一基本型覆晶球栅数组封装体顶面加装了一散热板的热传行为, 报告了凸块的热传特质。

本文针对基本型覆晶球栅数组组合体, 包封着封胶, 接着在封胶上面黏附着一片铝质散热板(示意图如图 3 所示), 进行研究。以 ANSYS 商业软件建立一精确之三维有限元素热传分析模型, 于自然对流与强制对流环境中, 针对此组合体进行热传行为及散热性能研究。最后, 进行参数化分析, 探讨散热板、封胶与黏着剂的设计参数对此组合体散热性能的影响。

## 2. 有限元素仿真

### 2.1. 覆晶球栅数组组合体描述

本文研究分析的三个覆晶球栅数组组合体是来自文献[4], 包括第一型、第二型与第三型组合体, 第一型组合体又称为基本型覆晶球栅数组组合体, 凸块(Solder bump)是全数组分布在芯片(Die)上, 然后建构在基板(substrate)上方, 芯片与基板间的空隙充填着底胶(Underfill)。底胶的功用是减少芯片与基板间的热膨胀系数不匹配造成的问题, 并保护凸块, 这样就形成基本型的覆晶球栅数组封装体。接着以锡球(Solder Ball), 将此封装体建构在印刷电路板(PCB)上, 这样就形成基本型的覆晶球栅数组组合体。基板的尺寸是  $25 \times 25 \times 1.0 \text{ mm}$ , 基材是 FR-5; 印刷电路板的尺寸是  $100 \times 100 \times 1.4 \text{ mm}$ , 基材是 FR-4。二者

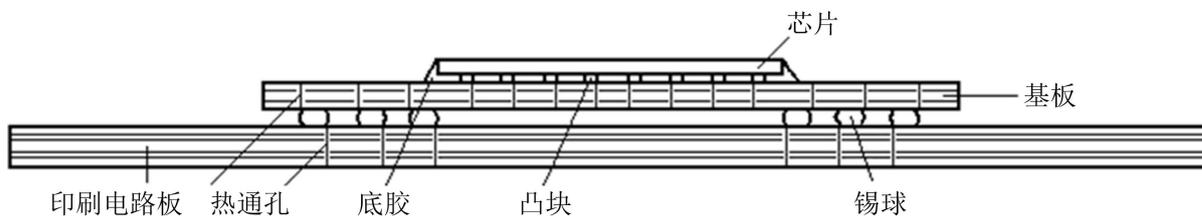


Figure 1. Type 1 assembly

图 1. 第一型组合体

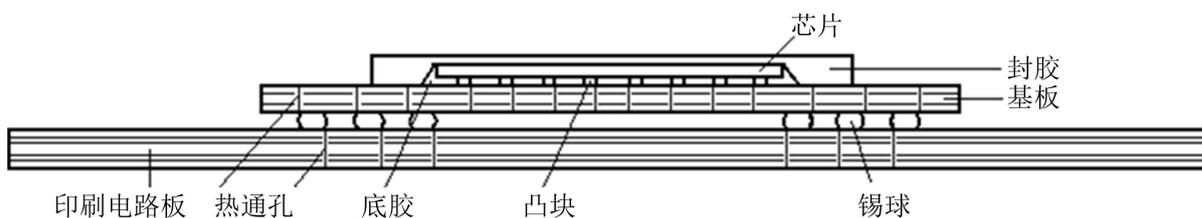


Figure 2. Type 2 assembly

图 2. 第二型组合体

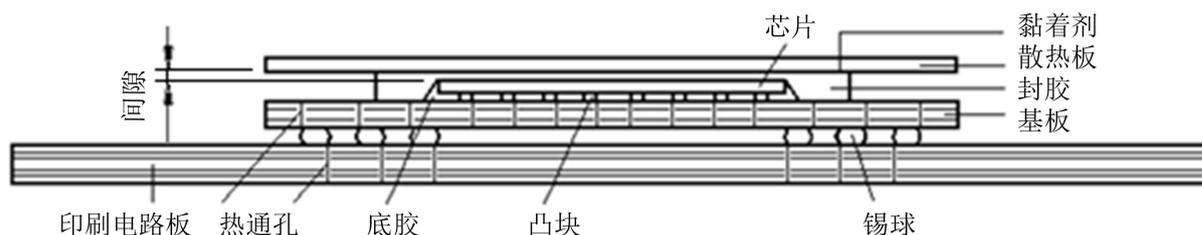


Figure 3. Type 3 assembly

图 3. 第三型组合体

都是外层有防护层(Solder Mask), 里面有铜箔层(Cu Layer)的多层板。热通孔(Vias)目的是信号与热量传输, 分布在基板及印刷电路板的内部。凸块与锡球分别是 90Sn10Pb 与 60Sn40Pb 锡铅合金材料。前者是全数组分布; 后者是部份数组分布, 分布图(从基板往下看的下视图)如图 4 所示, 由于对称, 只显现四分之一的分布。第二型组合体是基本型覆晶球栅数组组合体包封着密封胶, 如图 2 所示。第三型组合体是第二型组合体上面黏着一片散热板, 如图 3 所示。黏着剂的厚度是 1.4 mm。组合体组件的尺寸与材料性质如表 1 所示。

## 2.2. 控制方程式与边界条件

控制组合体内各组件温度的方程式为三维热扩散方程式, 在稳定状况下此方程式为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{g} = 0 \quad (1)$$

式中  $\dot{g}$  单位体积热产生率,  $k_x$ 、 $k_y$  与  $k_z$  分别为  $x$ 、 $y$  与  $z$  方向的导热系数。

在自然与强制对流环境中, 热量是以对流与辐射的方式由组合体表面散溢于周遭空气中。热通量公式如下所示

$$q = (h_c + h_r)(T_s - T_\infty) \quad (2)$$

式中  $T_s$  为组合体之表面温度,  $T_\infty$  为环境温度,  $h_c$  为热对流系数,  $h_r$  为热辐射系数。

在强制对流环境下热对流系数是采用 Mertol [6]所提之强制对流系数公式为

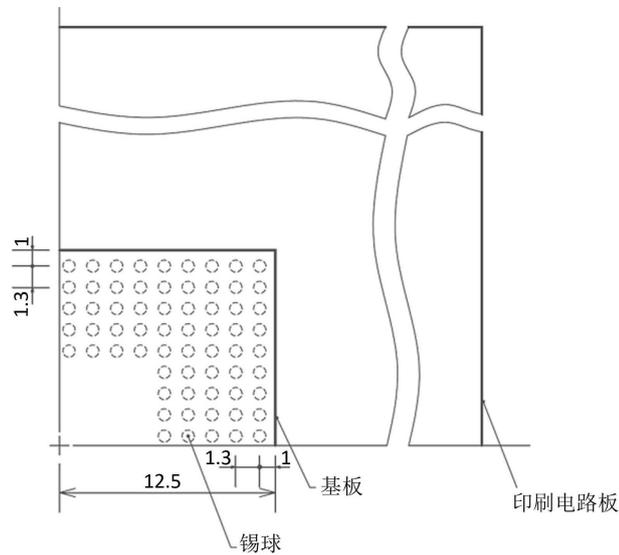


Figure 4. Location of solder balls  
图 4. 锡球分布图

Table 1. Assembly part dimensions and material conductivities [4]  
表 1. 组件尺寸与导热系数[4]

组件	尺寸(mm)	材料	热传导系数(W/m·K)
芯片	7.4 × 5.2 × 0.74	硅	109.0
底胶		环氧树脂	0.6
黏胶	9.1 × 9.1 × 0.05	连结剂	1.3
密封胶	9.1 × 9.1 × 0.5	环氧树脂	0.7
基板	25 × 25 × 1.0	4层板, 基材: FR-5	0.35 for FR-5 393 for 铜 0.2 for 防护层
锡球	直径 0.77 高 0.45	40/60 Pb/Sn	36
凸块	直径 0.127 高 0.0762	90/10 Pb/Sn	
印刷电路板	100 × 100 × 1.52	4层板, 基材: FR-4	0.35 for FR-4 393 for 铜 0.2 for 防护层
散热板	11.7 × 11.7 × 2.0	铝	226

在组合体表面

$$h_c = 3.786\sqrt{V/L} \tag{3}$$

在散热板表面

$$h_c = 4.37\sqrt{V/L} \tag{4}$$

式中  $V$  (m/s) 与  $L$  (m) 分别为风速与风向的长度。

在自然对流环境下热对流系数是采用 Ellison [7]所提之自然对流对流系数为

$$h_c = f \left( \frac{\Delta T_{s-a}}{L_{ch}} \right)^n \tag{5}$$

式中  $\Delta T_{s-a}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 为表面温度  $T_s$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 和环境温度  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 的差值,  $L_{ch}$  (m) 为特征长度,  $f$  和  $n$  为其对应之常数。

针对水平放置平板, 取  $L_{ch} = W \cdot L / 2(W + L)$  式中  $W$  (m) 与  $L$  (m) 分别为平板之宽度与长度。若是上表面取常数  $f = 0.83, n = 0.33$ ; 若是下表面则取常数  $f = 0.415, n = 0.33$ 。针对垂直放置的平板, 取  $L_{ch} = H$  式中  $H$  (m) 为平板高度、 $f = 1.09$  及  $n = 0.35$ 。

热辐射系数是采用 Chen 等人[8]所提之热辐射系数公式为

$$h_r = Bfe(T_s + T_{\infty})(T_s^2 + T_{\infty}^2) \quad (6)$$

式中  $B$  为 Stephen-Boltzman 常数 ( $B = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2/\text{K}^4)$ ),  $e$  为物体表面放射率,  $f$  为辐射视因子,  $T_s$  为封装体之表面温度,  $T_{\infty}$  为环境温度。

本文假设芯片功率是 3 W, 周遭环境是  $50^{\circ}\text{C}$ 。综合以上对组合体的描述, 由于对称, 三维有限元素热传分析模型只建构四分之一的组合体。

### 2.3. 网格收敛分析

网格太疏松与数目太少会造成模拟结果不正确; 网格过密与过多会造成运算时间冗长。为了得到一精密网格, 于模拟过程中, 逐次增加网格数量, 直至组合体最高温度值收敛为止, 于是本文选用的网格如图 5 所示。

### 2.4. 热阻

热阻通常被使用来代表电子组合体的散热能力, 热阻值愈大代表散热能力愈差。其计算式一般如下所示:

$$R_{ja} = \frac{(T_j - T_{\infty})}{P} \quad (7)$$

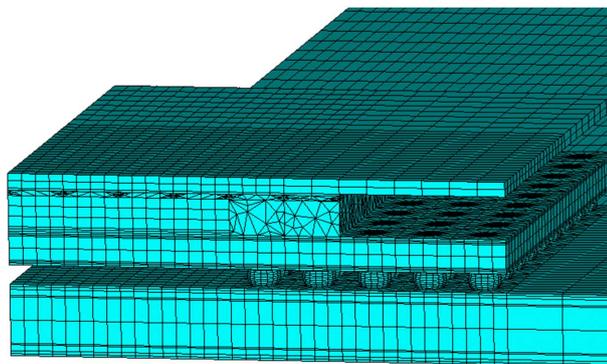
式中  $T_j$  是组合体的最高预测温度,  $T_{\infty}$  是环境温度 ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $P$  是芯片功率。

## 3. 结果与讨论

本文成功地使用三维有限元素法研究散热强化型覆晶球栅数组组合体的热传行为, 得到的结果如下:

### 3.1. 温度分布

FC-PBGA 基本型组合体(即第一型组合体)于自然对流环境中的温度分布如图 6 所示, 最高温度发生



**Figure 5.** Finite element mesh used in simulations for Type 3 assembly

**图 5.** 第三型组合体的有限元素网格

在芯片上面。包封封胶后(即第二型组合体), 温度分布图如图 7 所示, 最高温度也发生在芯片上, 但温度略为下降, 验证了封胶有助于散热。接着在封胶上面黏附一片铝质散热板(即第三型组合体), 温度分布图如图 8 所示, 最高温度仍然发生在芯片上面, 但是最高温度显着地下降。说明了散热板可以大幅地帮助散热。散热板的温度分布图如图 9 所示, 最高温度发生在平板下方的中间处, 最低温度产生于平板上

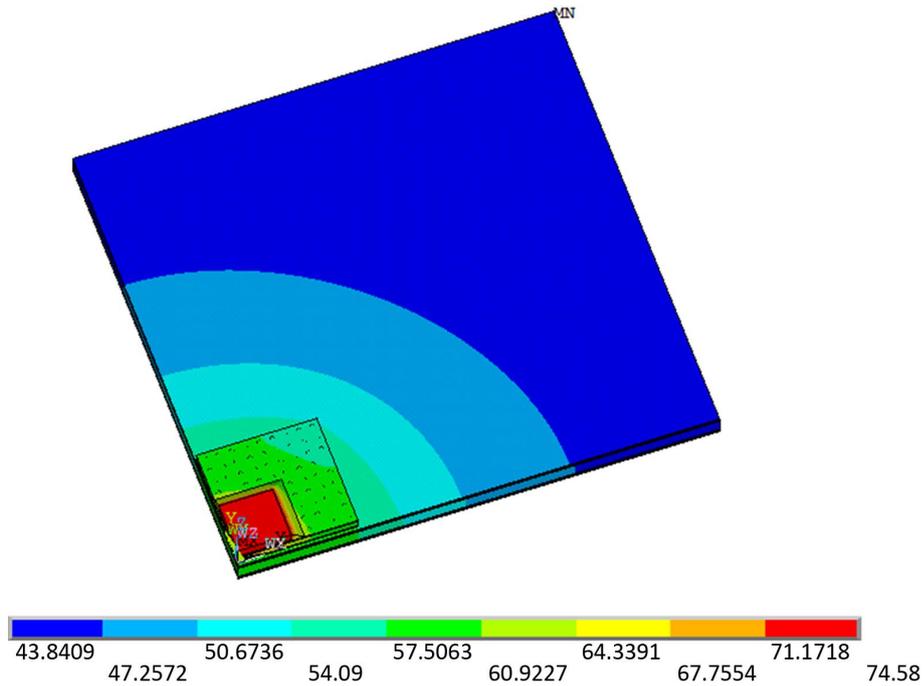


Figure 6. Temperature contours for the basic FC-PBGA assembly in natural convection environment  
图 6. 自然对流中基本型 FC-PBGA 组合体(第一型组合体)的温度分布图

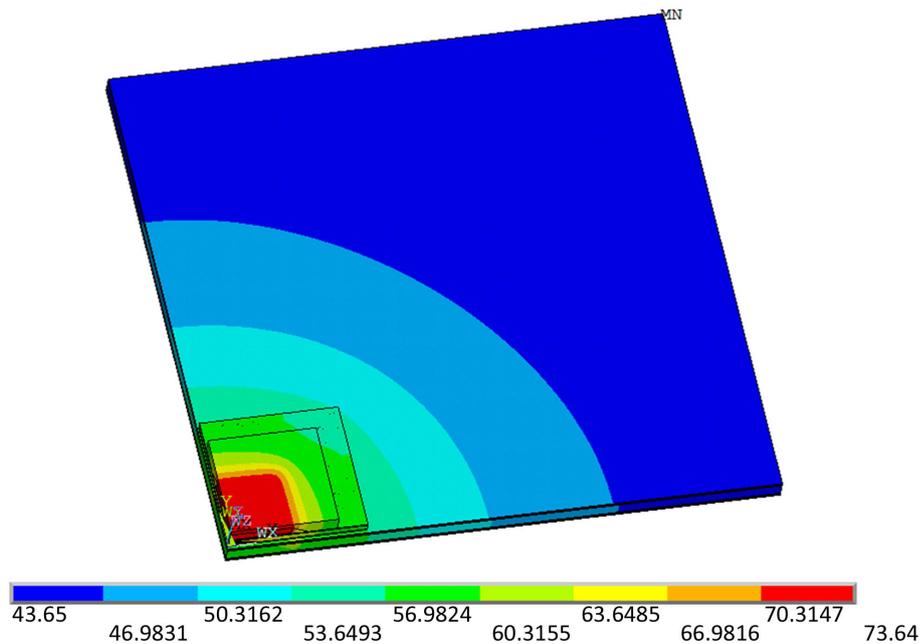
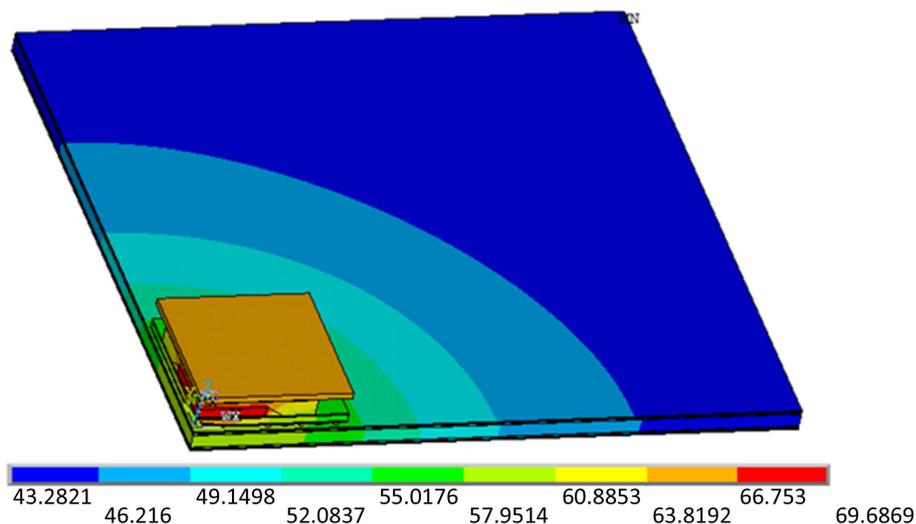
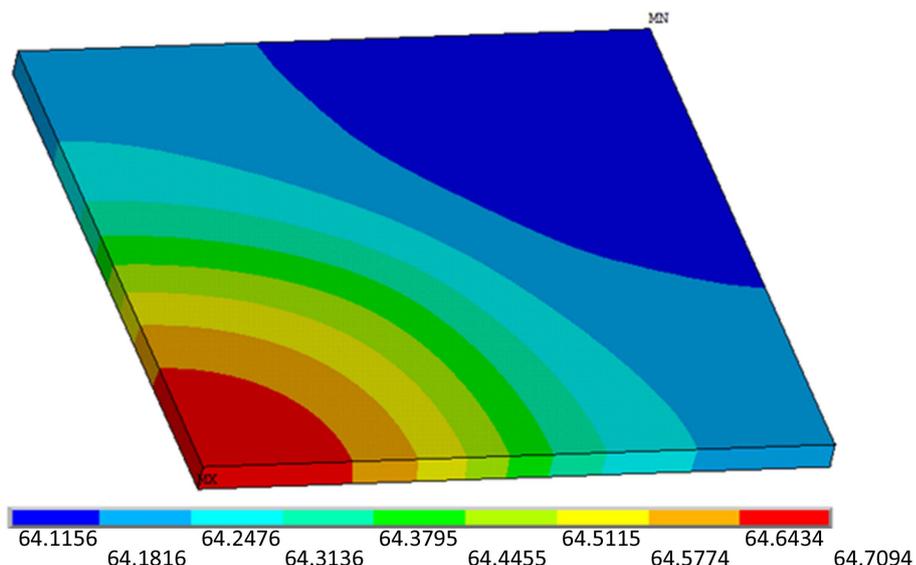


Figure 7. Temperature contours for the type 2 assembly in natural convection environment  
图 7. 自然对流中第二型组合体的温度分布图



**Figure 8.** Temperature contours for the type 3 assembly in natural convection environment  
**图 8.** 自然对流中第三型组合体的温度分布图



**Figure 9.** Temperature distribution for the heat spreader in natural convection environment  
**图 9.** 自然对流中散热板的温度分布图

方最远的角落。整块板因为铝材料的高导热系数而呈现相当均匀的温度分布。进一步研究发现：在强制对流环境中也发生同样现象。在风速  $v = 0 \sim 3 \text{ m/s}$  的环境中，风速对前述三种组合体之最高温度及热阻的影响如图 10 所示。发现此三种组合体散热能力随风速的变大而增加，但是边际散热能力随风速的变大而降低。

### 3.2. 设计参数的影响

本文探讨散热板、密封胶与黏胶的设计参数对第三型组合体散热能力的影响。

#### 3.2.1. 铝质散热板的影响

散热板导热系数对组合体最高温度及热阻之影响如图 11 所示，导热系数增加会减少热传路径上的热阻因而提高组合体的散热能力，但是当导热系数大于  $50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，发现增加导热系数对组合体散热只有

很小的影响。

图 12 和图 13 分别为散热板宽度与厚度对组合体最高温度及热阻之影响。散热板宽度的影响是很显著

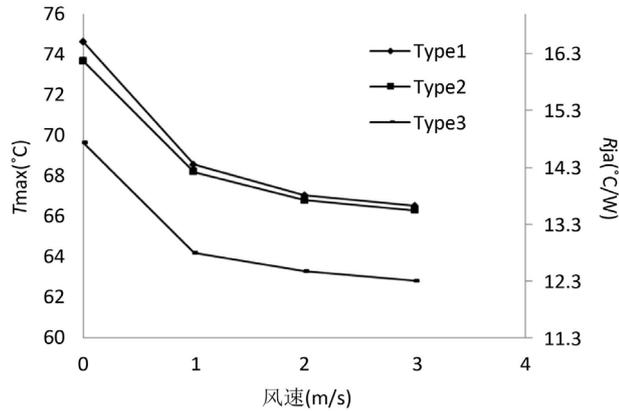


Figure 10. Effect of airflow speed on the highest assembly temperature and thermal resistance of the three different types of FC-PBGA assembly

图 10. 三种不同组合体之最高温度及热阻在不同风速下之比较

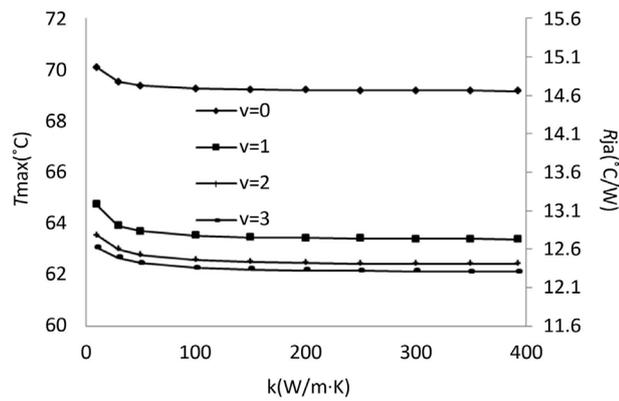


Figure 11. Effect of Heater spreader thermal conductivity on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 11. 散热板导热系数对组合体最高温度及热阻之影响

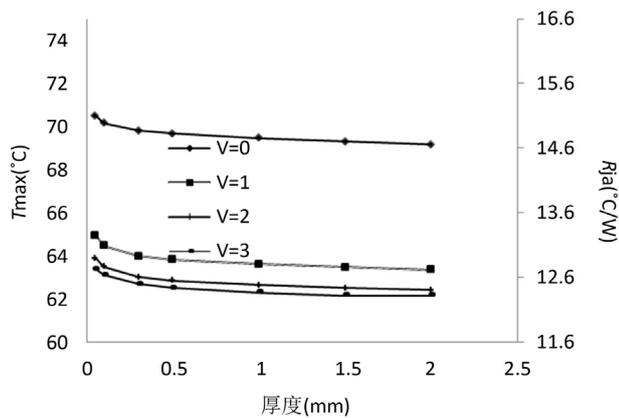


Figure 12. Effect of Heater spreader thickness on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 12. 散热板厚度对组合体最高温度及热阻之影响

的, 增加散热板宽度, 会大幅度地增加散热板的冷却面积, 导致组合体的散热能力大幅度地增加。增加散热板厚度会增加散热板周边面积因而增加散热板的冷却面积, 但因增加的幅度小, 导致厚度对散热能力的影响小。另散热板厚度如果太小, 会造成散热板体积太小, 导致它对组合体散热影响很小。

### 3.2.2. 密封胶设计参数的影响

密封胶的目的是要保护芯片并帮助芯片散热。密封胶导热系数对组合体最高温度及热阻之影响, 如图 14 所示。结果发现导热系数增加有助于散热, 因为密封胶导热系数增加, 会减少热传路径上的热阻因而提高组合体的散热能力。密封胶的间隙(gap)定义为芯片顶面与密封胶顶面间的高度差, 如图 3 所示, 间隙增加会造成热传路径上的热阻增加, 导致组合体的散热能力降低如图 15 所示。增加密封胶宽度有助于芯片热量往上扩散至散热板, 却不利于侧向扩散至外界, 所以由图 16 得知, 它对组合体散热能力的影响很小。

### 3.2.3. 黏着剂的影响

黏着剂的目的是要将散热板黏附到密封胶上面并减少二者之间的接触热阻。黏着剂的导热系数与厚度对组合体最高温度及热阻之影响可以分别由图 17 和图 18 得知它们对散热的影响都很小。但是大一点的导热系数有助于散热因为导热系数增加会减少热传路径上的热阻; 小一点的厚度有助于散热因为厚度减少会减少热传路径上的热阻。

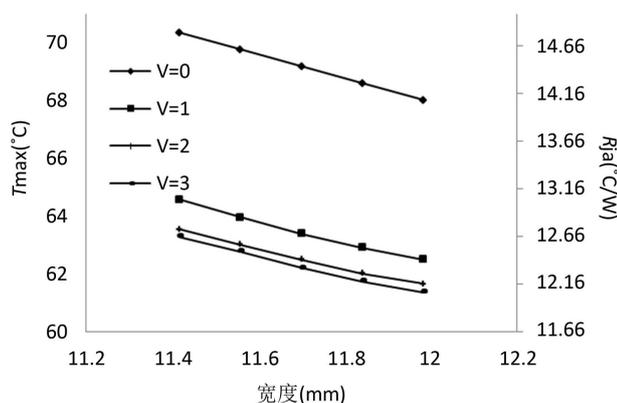


Figure 13. Effect of Heater spreader width on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 13. 散热板宽度对组合体最高温度及热阻之影响

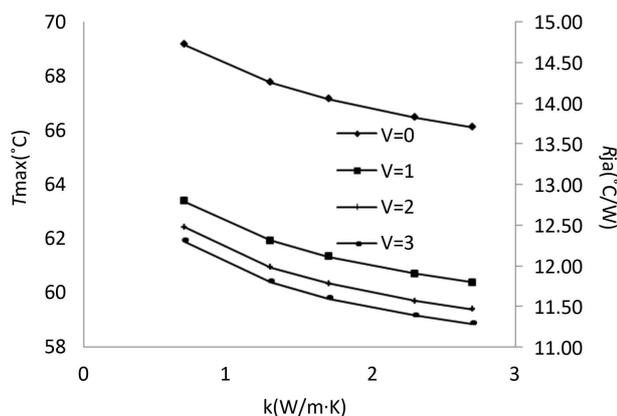


Figure 14. Effect of molding compound thermal conductivity on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 14. 密封胶导热系数对组合体最高温度及热阻之影响

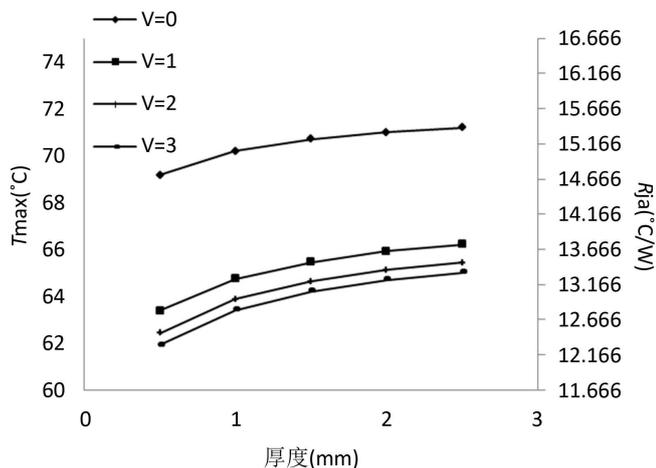


Figure 15. Effect of molding compound gap on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 15. 密封胶间隙值对组合体最高温度及热阻之影响

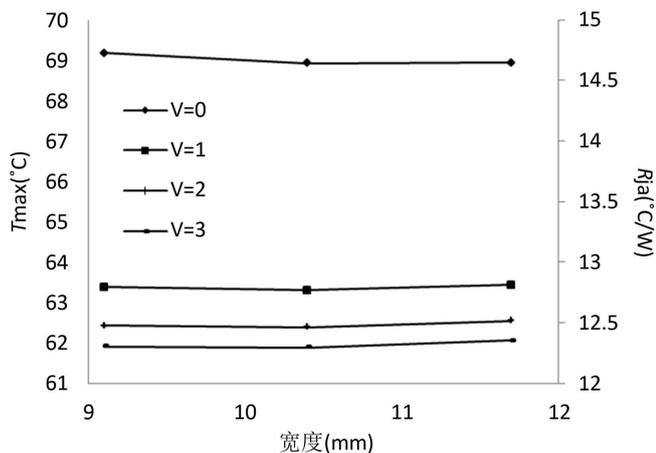


Figure 16. Effect of molding compound width on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 16. 密封胶宽度对组合体最高温度及热阻之影响

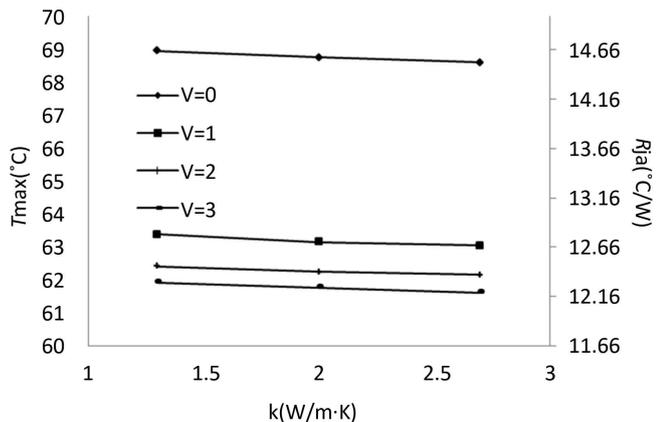
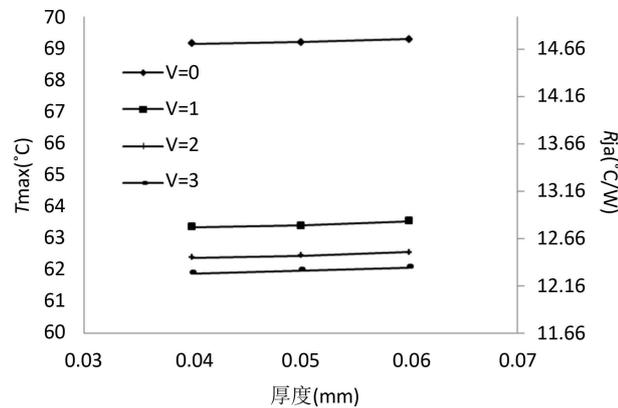


Figure 17. Effect of glue thermal conductivity on the highest assembly temperature and thermal resistance

图 17. 黏胶导热系数对组合体最高温度及热阻之影响



**Figure 18.** Effect of glue thickness on the highest assembly temperature and thermal resistance

**图 18.** 黏胶厚度对组合体最高温度及热阻之影响

#### 4. 结论

本文使用三维有限元素法, 于自然对流与强制对流环境中, 研究散热强化型覆晶球栅数组组合体的热传行为, 得到的结论如下:

1) 第一型、第二型与第三型组合体于自然对流与强制对流环境中最高温度都发生在芯片上。

2) 铝质散热板宽度的影响比厚度的影响显著, 这是因为增加宽度可以有效地增加散热板的冷却面积。散热板厚度太大(>2 mm), 会造成材料的浪费而且无法有效地增加组合体的散热。散热板厚度太小(< 0.05 mm), 散热板对组合体散热的帮助会不显著。散热板的导热系数有助于组合体的散热, 但是导热系数大于 50 W/m·K, 增加导热系数对组合体散热只有很小的影响, 所以将铝质(导热系数= 226 W/m·K)散热板换成铜质(导热系数= 398 W/m·K)散热板是不必要的。

3) 研究结果发现如果减少封胶的间隙或增加封胶的导热系数有助于组合体之散热, 因为二者都会降低热传路径的热阻。封胶宽度对组合体散热性能的影响很小。封胶间隙的影响远大于宽度的影响。

4) 黏着剂对组合体散热性能的影响很小。但是, 大一点的导热系数, 小一点的厚度有助于组合体散热性能的提升。

#### 参考文献 (References)

- [1] Wu, G.H., Ju, S.H. and Tsein, T.C. (2005) Three-Dimensional Finite Element Analysis of Thermomechanical Behavior in Flip-Chip Packages under Temperature Cycling Conditions. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, **24**, 1895-1907. <https://doi.org/10.1177/0731684405054333>
- [2] Joiner, B. and Montes de Oca, T. (2002) Thermal Performance of Flip Chip Ball Grid Array Packages. *Eighteenth Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium*, 50-56. <https://doi.org/10.1109/STHERM.2002.991345>
- [3] Lu, X.N., Shi, T.L. and Liao, G.L. (2008) Thermal Conduction Analysis and Characterization of Solder Bumps in Flip Chip Package. *Sciedirect Applied Thermal Engineering*, **36**, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.028>
- [4] Lee, T.-Y. (2000) An Investigation of Thermal Enhancement on Flip Chip Plastic BGA Packages Using CFD Tool. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, **23**, 481-489. <https://doi.org/10.1109/6144.868847>
- [5] Shim, K.W. and Lo, W.Y. (2012) Solder Fatigue Modeling of Flip-Chip Bumps in Molded Packages. *Thirty-First IEEE/CPMT International Electronic Manufacturing Technology Symposium*, 109-114.
- [6] Mertol, A. (1996) Thermal Performance Comparison of High Pin Count Cavity-Up Enhanced Plastic Ball Grid Array (EPBGA) Packages. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology: Part B*, **19**, 427-443.
- [7] Ellison, G.N. (1989) Thermal Computations for Electronic Equipment. E. Robert, Krieger Publishing Company, Ma-

labar.

- [8] Chen, W.-H., Cheng, H.-C. and Shen, H.-A. (2003) An Effective Methodology for Thermal Characterization of Electronic Packaging. *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, **26**, 222-232.  
<https://doi.org/10.1109/TCAPT.2002.806180>

---

**Hans** 汉斯

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7567, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [app@hanspub.org](mailto:app@hanspub.org)