

# PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 之共面性研究

陳國明<sup>1</sup> 江國寧<sup>1</sup> 洪國雄<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立清華大學動力機械工程學系

<sup>2</sup> 鑫成科技股份有限公司

## 摘要

PBGA 已被廣泛的應用，但其散熱普遍僅在 2~3W 以下，已無法滿足較高散熱及電性的需求。本研究旨在提出新的構裝結構 T<sup>2</sup>-BGA ( Turbo Thermal BGA )，主要是在原有的 PBGA 膠體內加入散熱片，散熱片在結構上有埋入及外露式兩種，材質則有銅與鋁兩種。由於散熱片的加入，T<sup>2</sup>-BGA 同時具有散熱及電性增益功能。由於 BGA 為不對稱結構，各材料間熱膨脹係數不同，造成結構翹曲現象，JEDEC 標準對 BGA 共面性要求為 0.2mm(8MIL)以內。T<sup>2</sup>-BGA 由於加入散熱片，使得結構更為複雜。本研究乃探討 PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 之共面性，首先提出新的 T<sup>2</sup>-BGA 構裝結構；接著以 ANSYS 軟體模擬 PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 之共面性；然後製作試件，量測其共面性，最後與模擬結果加以比較。結果顯示，ANSYS 模擬結果具有很高的精確性，與量測之誤差為 4.7%~18.6%。

**關鍵詞：**球柵陣列構裝、有限元素模型、共面性、熱膨脹係數

**Keywords:** BGA, FEM, Coplanarity, CTE

## 1. 前言

BGA(Ball Grid Array)具有較高的 I/O 密度、較大的間距 (Ball pitch)、較佳的散熱與電性特性以及較高的 SMT 組裝良率，因此已被廣泛的使用[1]。目前 BGA 的型態主要有 PBGA (Plastic BGA)、CBGA (Ceramic BGA)、LBGA (Low-Profile BGA)、VBGA (Very Thin-Profile BGA)、TBGA (Tape BGA ; Thin-Profile BGA)[1]以及 Viper BGA、Super BGA 等。在上述各種 BGA 中，PBGA 是成本最低且產量最大者，結構屬於 Cavity up 型式。隨著 IC 製程不斷演進，晶片功能日趨複雜，隨之而來的是散熱及雜訊 (Noise)處理問題。PBGA 散熱普遍僅在 2~3W 以下(35x35mm)，已無法滿足較高散熱及電性的需求。而 Super BGA、Viper BGA 及 Tape BGA 雖具有較好的散熱能力，由於結構屬於 Cavity down 型式，與 PBGA 並不相容，且材料及生產成本較高。

基於以上考量，本研究提出新的構裝結構，以較少之成本而又能強化散熱及電性功能，並與現有之 PBGA 製程、結構及材料相容。主要是在原有的 PBGA 膠體內加入散熱片，散熱片在結構上有埋入及外露式兩種，材質則有銅與鋁兩種。加入散熱片之 BGA，由於同時具有散熱及電性增益功能，因此稱之為 T<sup>2</sup>-BGA(Turbo Thermal BGA)。由於 BGA 為不對稱結構，各材料間熱膨脹係數不同，導致結構之翹曲現象。T<sup>2</sup>-BGA 由於加入散熱片，使得結構更為複雜。為考慮 SMT 之品質，JEDEC 標準對 BGA 之共面性(Coplanarity)要求為 0.2mm(8mil)以內[2]。本研究主要是比較 PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 在共面性之差異，並探討 T<sup>2</sup>-BGA 在加入散熱片後對共面性之影響。

## 2. PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 構裝結構

傳統的 PBGA 之結構如圖 1 所示；本研究所提出新的 T<sup>2</sup>-BGA 構裝結構，所加入之散熱片在結構上有埋入式及外露式兩種。埋入式散熱片 T<sup>2</sup>-BGA 係在原有的 PBGA 結構內，在晶片上部置入厚度 0.2mm 之散熱片，散熱片頂部有孔洞的設計，可作為壓模膠流動通道之用；同時散熱片之高度較膠體厚度來的小，在完成壓模後散熱片將埋在膠體中，其結構如圖 2 所示。外露式散熱片 T<sup>2</sup>-BGA 之結構與埋入式相似，但散熱片之高度與膠體厚度相同。散熱片之厚度為 0.3mm，其頂部已無孔洞，但卻有長槽(Slot)之設計，以利於壓模時膠體可充滿散熱片內，並避免氣孔等發生。在完成壓模後散熱片之頂部將露出，其結構如圖 3 所示[3]；另為比較晶片對共面性之影響程度，也將探討無晶片 PBGA 結構。表 1 為各構裝結構之各項參數，圖 4 顯示 BGA 結構及各層厚度。

### 3. 共面性

#### 3.1 共面性模擬

針對前述五種構裝結構，以 ANSYS 軟體模擬其共面性，模擬共面性需使用下列方程式[4]。

Equilibrium Equation :

$$\begin{aligned} & \left( \int_V [B]^T [D] [B] dV + K \int_{A_f} [N_n]^T [N_n] dA_f \right) \{u\} \\ & - \int_V [B]^T [D] \{\epsilon^{th}\} dV \\ & = \rho \int_V [N]^T [N] dV \{\ddot{u}\} + \int_{A_p} [N_n]^T \{P\} dA_p + \{F^{nd}\} \end{aligned} \quad (1)$$

其中

$[B]$  = Strain-Displacement Matrix

$[D]$  = Stiffness Matrix

$K$  = The Foundation Stiffness in Units of Force Per Unit Area

$[N_n]$  = Matrix of Shape Function for Normal Motions at the Surface

$\{u\}$  = Nodal Displacement Vector

$\{\epsilon^{th}\}$  = Thermal Strain Vector

$[N]$  = Shape Function Matrix

$\{\ddot{u}\}$  = Acceleration Vector

$\{P\}$  = Applied Pressure Vector

$\{F^{nd}\}$  = Applied Forces Vector

$\rho$  = Density

Strain-Displacement Equation :

$$\{\epsilon\} = [B]\{u\} \quad (2)$$

Constitutive Equation :

$$\{\epsilon\} = \{\epsilon^m\} + [D]^{-1} \{\sigma\} \quad (3)$$

其中

$\{\epsilon\}$  = Total Strain

$[\sigma]$  = Stress Vector

上述方程式再配合適當的邊界條件，即可解共面性問題，並選用了六面體八節點的結構元素(SOLID 45)[5]。圖5~圖8為各構裝結構的共面性有限元素模型；圖9~圖14為各構裝結構的共面性分析結果，圖15為共面性之模擬結果，所有的構裝結構之翹曲皆呈現Concave形態。

### 3.2 共面性量測

完成共面性之模擬後，接著進行共面性量測樣品之製作，所用之材料、製程與模擬條件均相同，以確保兩者在相同的基礎下做比較。由於並無銅質埋入式散熱片，因此無法製作此種結構試件。圖 16 及圖 17 為 PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 之實體圖；圖 18 為 BGA 之錫球分佈圖，圖 19 顯示共面性之量測結果，所有構裝結構翹曲皆呈現 Concave 形態。

### 3.3 模擬與量測共面性比較

圖20顯示模擬與量測結構之比較，其誤差在4.7%~18.6%之間，共面性大小趨勢也一致，而翹曲型態皆為Concave。由量測結果，PBGA之共面性在2.19mil ~3.82mil之間，平均值為2.88mil；不含晶片之PBGA，其翹曲程度較PBGA小，因此在膠體內加入較小CTE之材料將有益於共面性之提升。共面性最好的是銅質外露式散熱片T<sup>2</sup>-BGA，其共面性在1.83mil~3.64mil之間，平均值為2.49mil。最差的是外露式鋁質散熱片T<sup>2</sup>-BGA，其共面性在5.38mil~6.55mil之間，平均值為5.17mil。這是因為銅之熱膨脹係數(CTE)為17.6ppm/°C，較接近基板(14 ppm/°C)與壓模膠(13/47 ppm/°C)之熱膨脹係數。而鋁之熱膨脹係數為23ppm/°C，因此在高溫冷卻後，造成較大的翹曲現象。

## 4. 結論

綜合模擬與量測結果，本研究獲致下列結論:

- (1) ANSYS 之共面性模擬具有很高的精確性，誤差為 4.7% ~18.6%。
- (2) 銅質外露式散熱片 T<sup>2</sup>-BGA 具有最好之共面性(均值為 2.49mil)，優於 PBGA；最差則是外露式鋁質散熱片 T<sup>2</sup>-BGA(均值為 5.94mil)。
- (3) PBGA 膠體內加入較小 CTE 之材料，有益於共面性之提升。
- (4) 模擬或量測結果皆顯示，PBGA 與 T<sup>2</sup>-BGA 之翹曲皆為 Concave。

參考文獻

- [1] Lau, J. H. , Ball Grid Array Technology, McGraw-Hill, New York, (1995).
- [2] JEDEC STANDARD No.95-1, SECTION 14, *BALL GRID ARRAY*, JUNE 2000, Revision # C
- [3] 陳國明，洪國雄，”T2-BGA 散熱特性”，表面黏著技術季刊，第 27 期，第 39-45 頁,民國八十八年七月
- [4] ANSYS Theory Reference. 00656. Seventh. SAS IP, Inc.
- [5] ANSYS Element Reference. 00655. Seventh. SAS IP, Inc.

表 1 各構裝結構之參數

Types Items	PBGA	T <sup>2</sup> - BGA (Exposed Cu)	T <sup>2</sup> - BGA (Exposed Al)	T <sup>2</sup> - BGA (Buried Al)
Packaging Size	35x35mm	35x35mm	35x35mm	35x35mm
Die Size	10x10x0.3mm	10x10x0.3mm	10x10x0.3mm	10x10x0.3mm
Substrate Thickness	0.56mm	0.56mm	0.56mm	0.56mm
Substrate Layer	2 L	2 L	2 L	2 L
Molding Compound Thickness	1.17mm	1.17mm	1.17mm	1.17mm
Total Solder Ball #	456	456	456	456
Thermal Ball #	6x6	6x6	6x6	6x6
Solder Ball Diameter	0.76mm	0.76mm	0.76mm	0.76mm
Solder Ball Pitch	1.27mm	1.27mm	1.27mm	1.27mm
Heat Slug Material	None	Copper	Aluminum	Aluminum
Heat Slug Height	None	1.17mm	1.17mm	1.0mm
Heat Slug Thickness	None	0.3mm	0.3mm	0.2mm
Test Board Size	76mmx114mmx1.6mm			
Test Board Layer	4 L			

表 2 ANSYS 軟體模擬所用之參數

Items	k(W/m°C)	E(Mpsi)	α(ppm/°C)	v
Si	150	18.6	3.0	0.3
Molding Compound	0.84	2.08	13/47	0.3
Die Attach	3.7	0.1	45	0.3
Substrate	0.34	x 2.7 y 2.7 z 1.1	x 14 y 14 z 58	xy 0.18 yz 0.42 xz 0.42
Solder Ball	50	1.5	21	0.4
FR4 PCB	0.39	4.3	x 14 y 16 z 60	0.28
Copper	393.3	17	17.2	0.3
Aluminum	155	10.6	23	0.345
Air	0.024	-	-	-

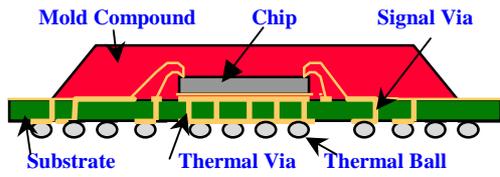


圖 1 PBGA 之結構

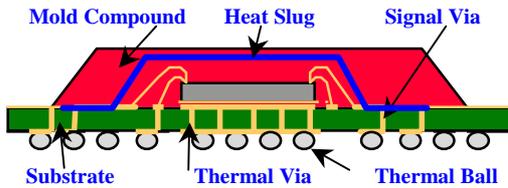


圖 2 埋入式散熱片 T<sup>2</sup>-BGA 之結構

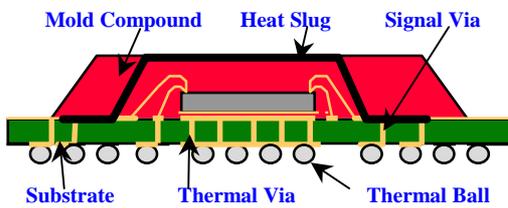


圖 3 外露式散熱片 T<sup>2</sup>-BGA 之結構

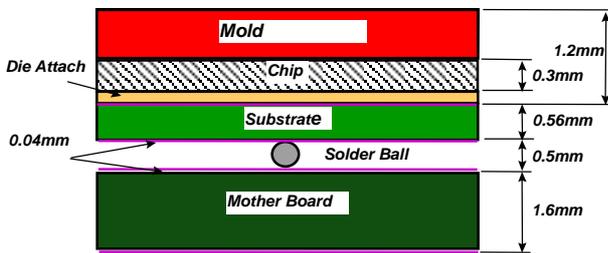


圖 4 BGA 結構及各層厚度

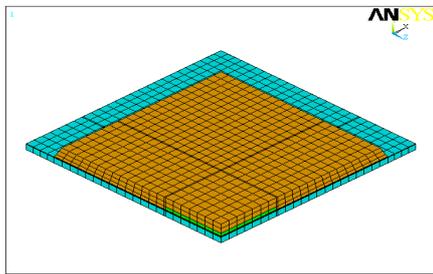


圖 5 PBGA有限元素模型

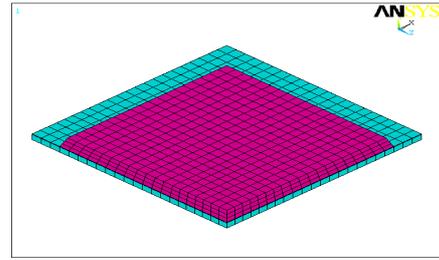


圖 6 PBGA(No Die) 有限元素模型

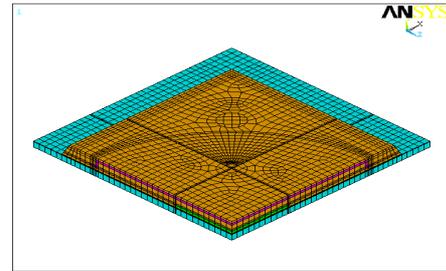


圖 7 T<sup>2</sup>-BGA(Buried Al,Cu)有限元素模型

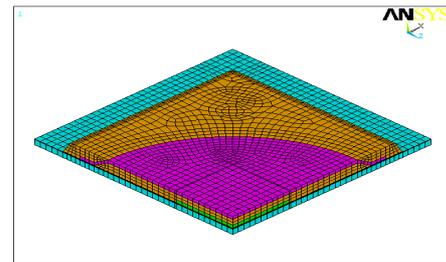


圖 8 T<sup>2</sup>-BGA(Exposed Cu, Al)有限元素模型

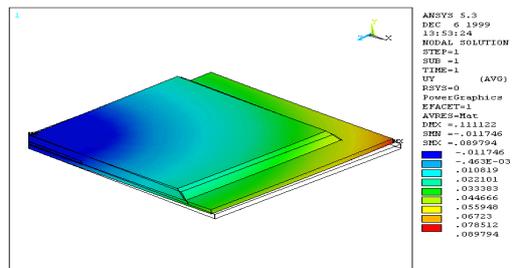


圖 9 PBGA共面性模擬結果

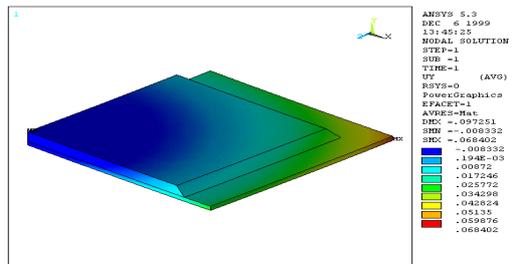


圖 10 PBGA(No Die)共面性模擬結果

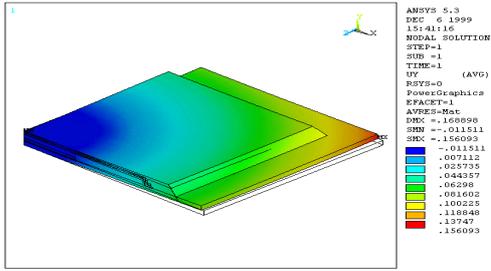


圖 11 T<sup>2</sup>-BGA(Buried Al)共面性模擬結果

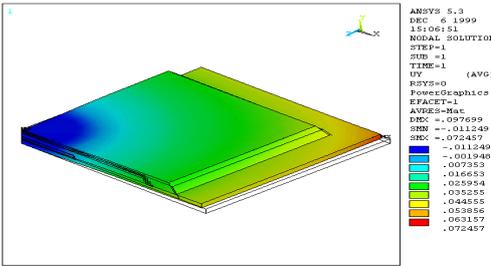


圖 12 T<sup>2</sup>-BGA(Buried Cu)共面性模擬結果

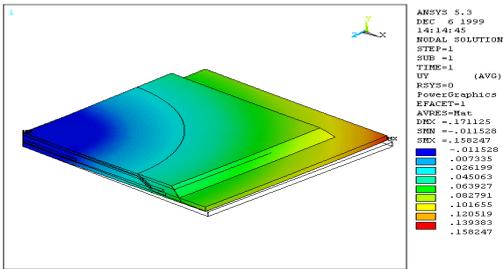


圖 13 T<sup>2</sup>-BGA(Exposed Al)共面性模擬結果

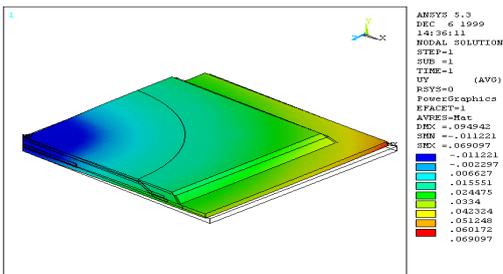


圖 14 T<sup>2</sup>-BGA(Exposed Cu)共面性模擬結果

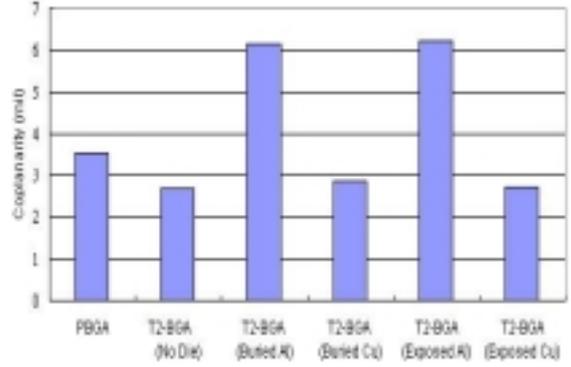


圖 15 共面性之模擬結果



圖 16 PBGA 實體圖

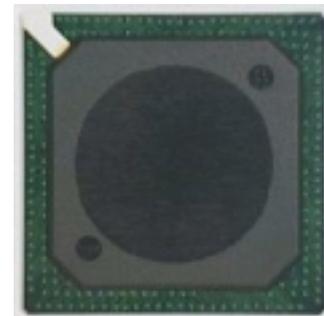


圖 17 T<sup>2</sup>-BGA 實體圖

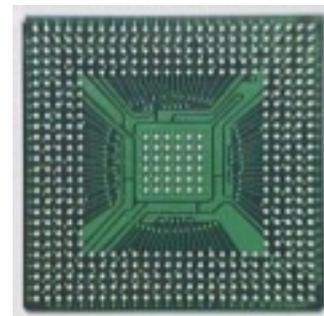


圖 18 BGA 錫球分佈圖

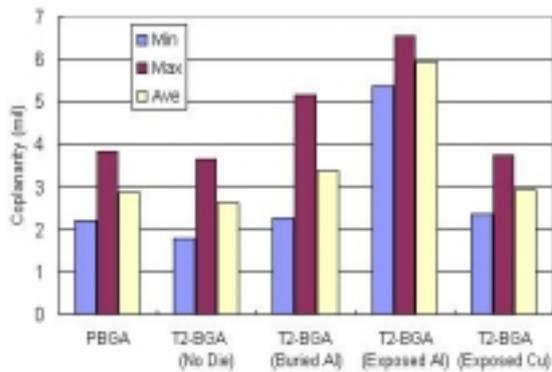


圖 19 共面性之量測結果

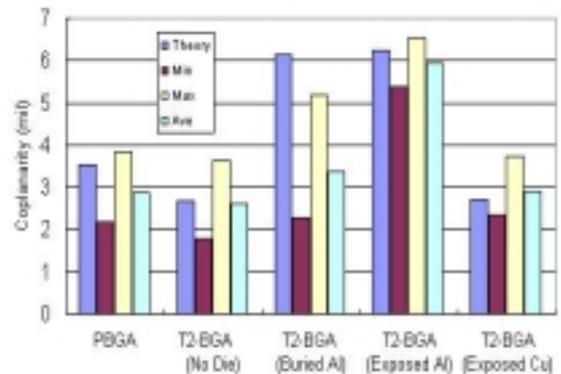


圖 20 共面性之模擬與量測結果之比較

## Investigation of Coplanarity of PBGA and T<sup>2</sup>-BGA Using Theory and Experiment

Kuo-Ming Chen

Kuo-Ning Chiang

Department of Power Mechanical Engineering,

National Tsing Hua University

Kuo-Hsiung Houng

R & D Division, Caesar Technology Inc.,

### ABSTRACT

As well known, PBGA has been widely used in microelectronics packaging. But its heat dissipating capacity is only below 2~3 watts which does not satisfy more heat dissipation and better electrical performance. This work recommends a novel PBGA structure, namely T<sup>2</sup>-BGA (Turbo Thermal BGA). The structure of T<sup>2</sup>-BGA is put a heat slug into molding compound of PBGA. The material of heat slug can be aluminum or copper. This structure possesses an thermally and electrically enhanced performance. One limitation on surface mount technology of BGA is the warpage caused by CTE mismatch of each material owing to BGA is an asymmetric construction. The maximum warpage is within 0.2mm(8mil) according to JEDEC standard. Therefore, this work presents a novel PBGA structure (T<sup>2</sup>-BGA) capable of enhancing thermal and electrical performance. Then, coplanar simulation is carried out for both of PBGA and T<sup>2</sup>-BGA. Finally, coplanar measurement is performed on the built specimen of PBGA and T<sup>2</sup>-BGA to verify the analytical solution. Result in this work demonstrates the effectiveness of the proposed a novel T<sup>2</sup>-BGA in improving the coplanarity. In addition, ANSYS analytical solution slightly differ from experimental result by 4.7%~18.6%.

