

## 細間距球閘陣列封裝在熱循環負載下之疲勞壽命估算

李國龍<sup>1\*</sup> 劉后鴻<sup>2</sup> 潘文峰<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 私立遠東科技大學創新設計與創業管理系

<sup>2</sup> 國立成功大學工程科學系

### 摘 要

因電子封裝的熱循環試驗需要花費大量的時間以及資源，所以利用數值模擬分析來代替傳統的實驗已經是非常普遍的做法。本文主要是分析細間距球閘陣列封裝在熱循環負載下的疲勞壽命，其分析流程係先利用 ANSYS 有限元素分析軟體建立封裝體的三維分析模式，接著建立相關的熱循環負載條件及使用時的邊界條件，並輸入描述錫球黏塑性行為的 Anand 模型中的九個材料參數，以計算出相關的應力和應變。同時，根據最大的應力，找到並計算出一介面層厚度的關鍵破壞錫球，在一個熱循環負載下的黏塑性應變能密度。最後，將所求得的黏塑性應變能密度，代入 Darveaux 所提出的模式中，即可計算出細間距球閘陣列封裝的疲勞壽命。

**關鍵詞：**細間距球閘陣列封裝，熱循環負載，有限元素分析，Darveaux 模式，疲勞壽命估算

## Fatigue Life Estimation of Thin Fin-pitch Ball Grid Array Subjected to Thermal Cyclic Loading

Kuo-Long Lee<sup>1\*</sup>, Hou-Hung Liu<sup>2</sup>, and Wen-Fung Pan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Innovative Design and Entrepreneurship Management

<sup>2</sup> Department of Engineering Science, National Cheng Kung University

### ABSTRACT

Due to the huge cost of the time and resource for thermal cyclic testing, the traditional experiment is commonly replaced by numerical simulation. In this paper, the fatigue life of the Thin Fin-pitch Ball Grid Array (TFBGA) subjected to thermal cyclic loading is analyzed. Firstly, the finite element analysis software ANSYS is used to build the 3D analysis model. Next, the relative thermal cyclic loading condition and the usage boundary condition are built. And nine material parameters of the Anand model are input. Thus, the relative stress and strain can be determined. Simultaneously, according to the maximum stress, the viscoplastic strain energy of an interface thickness for the key fracture solder ball under a thermal cycle is also found and calculated. Finally, substituting the calculated viscoplastic strain energy into the model proposed by Darveaux, the fatigue life of the TFBGA can be obtained.

**Keywords:** thin fin-pitch ball grid array, thermal cyclic loading, finite element analysis, Darveaux model, fatigue life estimation.

## 一、前言

隨著科技的快速發展，3C 產品需求量高度化，同時亦追求高性能、高功率與高密度趨勢，例如手機、數位相機、PDA 等等，而這些產品皆與電子封裝製程。為滿足這些需求，球陣列封裝(Ball Grid Array, BGA)也應運而生，且目前球陣列技術已相當普遍。而對於電子封裝產品而言，錫球除了扮演連接電子元件材料的角色外，最主要功能為訊號的傳遞。因為錫鉛錫球具有低成本、良好的可焊性和良好的機械性質，因此在電子產業中使用了很長的一段時間。但近年來隨著環保意識的抬頭，為了環境與健康的考量，無鉛錫球已是近年來普遍的趨勢，而沒有含鉛的無鉛錫球可靠度評估就變得相當重要。

大部分的電子產品失效的原因，主要是因為封裝體各元件的熱膨脹係數不同。當電子產品在高功率與高效率的運作之下，封裝體溫度隨之升高，因熱膨脹係數的差異所引起的熱應力會使強度較差的錫球因變形導致裂縫產生而破壞。而當錫球產生裂縫時，晶片將會無法輸入或輸出訊號而導致整個元件功能失效，產品的品質穩定性也會受到極大的影響。1997 年 Lee 及 Lau[1]對塑膠球陣列封裝(PBGA)進行非線性模擬分析，探討改變晶片尺寸、基板厚度等參數對錫球可靠度的影響。由結果發現晶片與基板厚度越大，錫球的可靠度越佳。1997 年 Mertol[2]利用 ANSYS 有限元素分析軟體建立兩種三維增強塑膠球陣列封裝(EPBGA)封裝體模型並施加溫度循環負載進行模擬，並使用田口方法分析錫球應變的最佳化設計。2000 年 Darveaux[3]利用自己所提出的錫球疲勞壽命計算公式，探討不同的建模方式、分析方法及錫球本構方程式對計算出的錫球疲勞壽命的影響。2000 年 Tee 等人[4]利用有限元素分析軟體針對低截面細間距球陣列封裝(LFBGA)進行錫球可靠度分析，並搭配 Darveaux 所提出的疲勞壽命公式計算出錫球的疲勞壽命。2000 年 Gustafsson 等人[5]利用有限元素分析軟體分別探討封裝體不同的建模方式，其中包括有條狀模型、八分之一模型、子模型等並搭配不同的材料性質的設定。2004 年 Haiyu 等人[6]以有限元素法建立兩種三維 PBGA 模型，分別為有填膠與沒有填膠

的 PBGA，在不同的環境下進行封裝體的可靠度測試。2004 年 Lee 等人[7]對 PBGA 進行溫度循環的模擬與實驗測試，其中有部份矩陣及全矩陣係以兩種不同的錫球矩陣排列方式，而錫球材料也分為 63Sn-37Pb 和 95.5Sn-3.9Ag-0.6Cu 兩種。他們進行模擬並與實驗結果做比對後發現，模擬結果與實驗結果很接近也證明模擬替代實驗的可行性。2006 年 Tee 等人[8]針對 BGA 及開格陣列封裝(LGA)模型進行錫球可靠度分析，藉由改變封裝體各元件尺寸參數進行錫球可靠度的探討。2006 年 Zhang 等人[9]對 FPBGA 封裝體進行分析，並將錫球簡化為較為簡單的幾何形狀進行分析比較。2008 年 Wang 等人[10]針對板級疊晶封裝體(BSP)搭配功率循環負載及溫度循環負載進行錫球可靠度分析，並探討錫球在不同的功率循環負載條件下對疲勞壽命的影響。2008 年 Bin 及 Baojun[11]利用有限元素分析軟體搭配子模型分析技巧對 PBGA 封裝體探討錫球空洞位置對可靠度的影響。

細間距球陣列封裝(Thin Fin-pitch Ball Grid Array, TFBGA)為晶片級封裝中的一種，主要設計形式如圖一所示。其厚度小於 1.2 mm，BT 樹脂材質基板，晶片和基板間以焊線連接，錫球間距小於 0.8 mm 等。且透過基板進行矩陣排列的設計可以封裝出 6 mm × 6 mm 到 23 mm × 23 mm 等各種外型尺寸，因此擁有較小的外型尺寸和截面面積。這使得 TFBGA 成為引腳數小於 400，且便於攜帶，是小型電子產品的理想使用對象。其主要廣泛使用於通訊器材、筆記型電腦、PDA 及記憶體等。雖然 TFBGA 已大量的使用於 3C 產品，但 TFBGA 封裝體在熱循環負載下的相關行為及疲勞壽命分析，至今國內外仍未有任何的相關研究發表。

本文利用 ANSYS 有限元素分析軟體建立三維 TFBGA 封裝體模型。由於錫球的材料為錫銀銅合金屬於黏塑性材料，當溫度負載高於材料本身熔點的一半時，容易同時具有潛變與塑性行為。因此錫球部分係採 Anand [12]在 1982 年提出的理論來描述錫球的黏塑性行為。接著，導入所設定的熱循環負載條件及、使用時的邊界條件及 Anand 模型中描述錫球黏塑性行為的九個材料參數，以求得 TFBGA 封裝體的相關等效應力(equivalent stress) 及

等效應變(equivalent strain)。並根據分析的結果，找出關鍵發生破壞的錫球，也就是等效應力最大的錫球。接著，根據該關鍵錫球相關的等效應力及等效應變，計算出該錫球於一介面層厚度(0.04 mm)所累積的黏塑性應變能密度，而該厚度係依據 Darveaux[3]模式中所提出的厚度量。最後，將計算出的黏塑性應變能密度，代入 Darveaux[3]的模式中即可求得 TFBGA 封裝體的疲勞壽命。

## 二、FBGA 分析理論架構

本文主要針對 TFBGA 封裝體，在熱循環負載下，利用 ANSYS 有限元素分析軟體進行模擬，其中包含模型建立、網格切割、加入溫度循環負載及求得解答，最後，再採用 Darveaux 疲勞模型來估算錫球的疲勞壽命。

### 2.1 TFBGA 封裝體模型

本文分析的 TFBGA 封裝體整體結構如圖 1 所示，而錫球排列如圖 2 所示，其中結構元件的組成包括：晶片(chip)、封膠(mold compound)、黏晶膠(adhesive)、基板(substrate)、印刷電路板 (printed circuit board)、錫球(solder ball)。各封裝元件的尺寸如表 1，而元件的材料性質列於表 2 [13]。

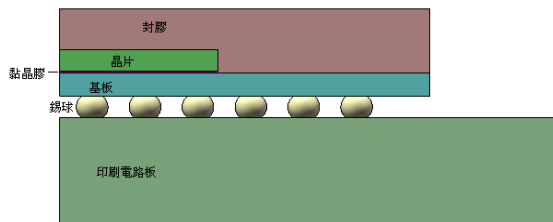


圖 1. TFBGA 封裝體元件示意圖

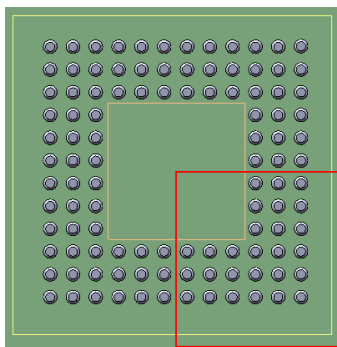


圖 2. TFBGA 封裝體之錫球分佈圖

表 1. TFBGA 封裝體各元件之尺寸 [13]

TFBGA	
元件	尺寸 (mm)
晶片	3×3×0.2
基板	7×7×0.22
錫球半徑(R)	0.15
錫球高度(H)	0.2
黏晶膠高度	0.02
印刷電路板	20×20×1

表 2. TFBGA 封裝體各元件之材料性質 [13]

元件	楊氏模數 (GPa)	熱膨脹係數 (ppm/°C)	浦松比
晶片	131	2.8	0.3
印刷電路板 (平面方向)	25.4	17.6	0.11
印刷電路板 (厚度方向)	11	64.1	0.39
封膠	25.02	8	0.3
錫球	註一	25	0.35
基板 (平面方向)	26	12.42	0.11
基板 (厚度方向)	11	57	0.39
黏晶膠	0.5	72	0.3

註一:無鉛錫球 Sn3Ag0.5Cu 之楊氏模數在-40、25、50 及 125°C 下分別為 45740、34300、29900 及 16700MPa

### 2.2 TFBGA 封裝體之基本假設條件

本文使用 ANSYS 有限元素分析軟體針對 TFBGA 封裝體進行分析探討，其分析的基本假設條件如下：

- (1)印刷電路板及基板材料性質為非等向性，其餘所有封裝體元件皆為均質等向性。
- (2)除錫球外，其餘材料性質皆為線彈性。
- (3)封裝體本身無初始應力、殘留應力和內應力。
- (4)封裝體中所有材料接觸面皆為完全密合，且封裝體內部無裂縫或雜質。
- (5)封裝體內部的溫度與環境溫度相同。
- (6)封裝體對稱面為絕熱面且對稱方向的軸向

位移與該面上剪應力為零。  
(7)不考慮材料因吸收濕氣後，受溫度變化而產生的爆米花(popcorn)現象。

### 2.3 元素設定、模型建立及網格分割

本研究所設定的材料元素共有兩種，分別為 SOLID185 及 VISCO107，元素結構圖如圖 3 所示，兩者皆具有八個節點，而每個節點皆有 x、y 和 z 軸三個自由度方向。錫球部分元素採用 VISCO107，此元素可以處理大塑性變形的非線性問題，且可配合 Anand 參數模型來模擬錫球的黏塑性行為。其餘元件部分採用元素 SOLID185，此元素可計算出較多的解，較利於後面結果的處理。

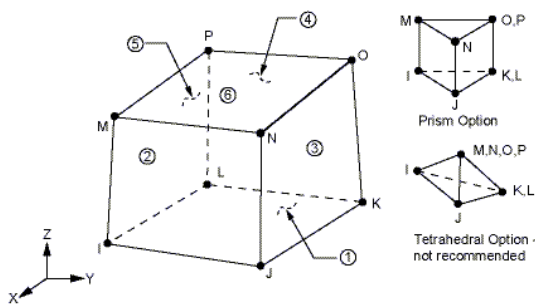


圖 3. ANSYS 三維線性結構實體元素圖

針對 TFBGA 封裝體的主要元件有：印刷電路板、錫球、基板、黏晶膠及封膠，並依據其尺寸建構出其模型，尺寸參數如表 1，建構完成的 TFBGA 四分之一封裝體模型如圖 4 所示。模型建構完成後接著進行網格切割，本模型的網格採用規則切割的方式進行，且依照各元件的尺寸以適當的網格密度將其網格化，切割完成的網格如圖 5 所示。

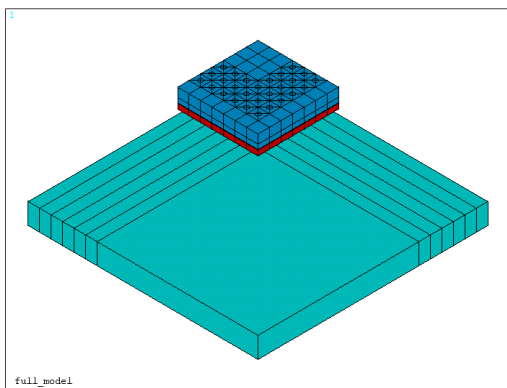


圖 4. TFBGA 四分之一封裝體模型圖

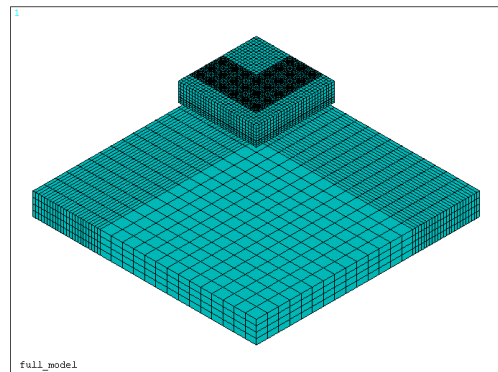


圖 5. TFBGA 四分之一封裝體網格圖

### 2.4 邊界及負載條件

封裝體的邊界條件設定如圖 6 所示，x 面與 y 面上的所有節點均設為對稱條件，模型下端的原點處設為固定點。至於在熱循環負載上，以室溫 25°C 為初始溫度，最高的溫度為 125°C，而最低的溫度為 -40°C，升降溫與持溫各為 900 秒，一個溫度循環共費時 3600 秒，如圖 7 所示。

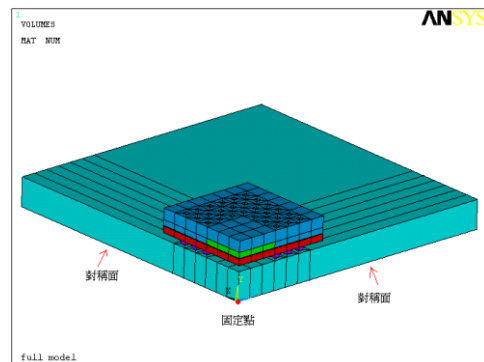


圖 6. TFBGA 封裝體之邊界條件設定

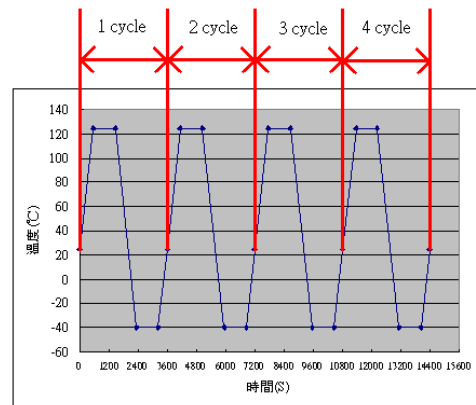


圖 7. 熱循環負載之示意圖

## 2.5 錫球材料之 Anand 黏塑性模式

Anand[12]在 1982 年提出黏塑性材料理論用來表示錫球的黏塑性行為，由於錫球的材料為錫鉛合金的黏塑性材料，當溫度負載高於材料本身熔點的一半時，容易同時具有潛變與塑性行為，本文所分析的最高溫度已高於材料溶解溫度的一半，故將黏塑性行為考慮進去。Anand 所提出的本構方程式是以 Garofalo 及 Arrhenius's Law 潛變方程式為基礎，再加入阻止變形因子 (deformation resistance)，並另外建立方程式以連接阻止變形因子與 Garofalo 及 Arrhenius's Law，當材料應變硬化的特性考慮進去，而推導出的方程式如下所示[12]：

$$\left(\frac{d\varepsilon_{eq}}{dt}\right) = A \left[ \sinh \zeta \frac{\sigma}{s} \right]^{1/m} \exp\left[-\frac{Q}{KT}\right] \quad (1)$$

其中

$Q$ ：活化能 (activation energy)

$m$ ：應力之應變率 (strain-rate sensitivity of stress)

$K$ ：波茲曼常數 (Boltzmann's constant)

$\zeta$ ：應力倍數 (multiplier of stress)

$\varepsilon_{eq}$ ：等效塑性應變 (equivalent plastic strain)

$A$ ：指數因子 (pre-exponential factor)

$s$ ：阻止變形因子 (deformation resistance)

$T$ ：絕對溫度 (absolute temperature)

$\sigma$ ：有效柯西應力 (effective Cauchy stress)

綜合以上的結果並考量材料所造成的應變硬化 (strain hardening) 及應變軟化 (strain softening) 兩個部份，Anand 提出一個特殊形變阻抗的展開式，其方程式如下所示：

$$\dot{s} = \left[ h_0 \left[ \left( \frac{B}{|B|} \right)^b \right] \left( \frac{B}{|B|} \right) \right] \left( \frac{d\varepsilon_{eq}}{dt} \right) \quad (2)$$

$$B = 1 - \frac{s}{s^*} \quad (3)$$

$$s^* = \hat{s} \left[ \frac{\varepsilon_{eq}}{A} \exp\left(\frac{Q}{KT}\right) \right]^n \quad (4)$$

其中

$\dot{s}$ ：變形抗變時間微分 (time derivative of deformation resistance)

$b$ ：材料硬化後之應變率 (strain rate sensitivity of hardening)

$h_0$ ：材料硬化常數 (hardening constant)

$s^*$ ：抗變滲透值 (saturation value of deformation resistance)

$\hat{s}$ ：抗變滲透值係數 (coefficient for deformation resistance saturation value)

$n$ ：變形阻抗值 (deformation resistance value)

方程式(1)~(4)即為 Anand 用來描述錫球材料的黏塑性行為，ANSYS 有限元素分析軟體已有內建的 Anand 模型，所以只需要在 ANSYS 中輸入 9 個 Anand 參數即可，而 Sn3Ag0.5Cu 無鉛錫球 Anand 模型參數，可由 Tee 等人[13]的研究中取得，其參數的值如表 3 中所示。

表 3. Sn3Ag0.5Cu 無鉛錫球之 Anand 模型參數[13]

材料參數	符號	數值	單位
C1	$S_0$	45.9	MPa
C2	$Q/KT$	7460	1/K
C3	$A$	$5.87 \times 10^6$	1/sec
C4	$Z$	2.00	
C5	$M$	0.0942	
C6	$h_0$	9350	MPa
C7	$\hat{S}$	58.3	MPa
C8	$N$	0.015	
C9	$B$	1.50	

## 2.6 Darveaux 之疲勞模式

Darveaux [3]在 2000 年以黏塑性應變能密度 (viscoplastic strain energy density) 為指標，來估算封裝體的疲勞壽命。他所提出的分析流程係先找出破壞的關鍵錫球後，於此顆錫球最先產生裂痕的介面，在其微小介層厚度的體積範圍內，計算出穩定後的一個溫度循環負載下所累積的平均黏塑性應變能密度改變量  $\Delta W_{av}$ ，該形式為：

$$\Delta W_{ave} = \frac{\sum (\Delta W \cdot v)}{\sum v} \quad (5)$$

其中

$v$ ：錫球介面層元素體積  
 $\Delta W$ ：範圍內元素在單一循環下的黏塑性應變能密度改變量

其疲勞壽命模型主要是經由實驗來量測錫球的裂紋成長速率，並與分析模擬的結果相互比較來獲得下列與裂紋成長有關的四個常數  $k_1 \sim k_4$ ，故 Darveaux 推薦了幾組經驗常數如表 4 所示，用來計算不同介面層元素厚度的疲勞壽命。接著，將  $\Delta W_{ave}$  代入裂紋成長的公式

$$\frac{da}{dN} = k_3 \cdot \Delta W_{ave}^{k_4} \quad (7)$$

$$\alpha = N_0 + \frac{a}{da/dN} \quad (8)$$

其中

$N_0$ ：發生裂紋之循環數  
 $da/dN$ ：裂紋成長率  
 $a$ ：裂紋長度，即為錫球介面元素之直徑  
 $\alpha$ ：特徵壽命(達到整體失效之 63.2%)

以預測疲勞壽命，公式如下所示：

$$N_0 = k_1 \cdot \Delta W_{ave}^{k_2} \quad (6)$$

表 4. Darveaux 模式中之裂紋成長常數[3]

Finite Element Model Config	Simulation Method	Constitutive Model	ANSYS Version	Temperature Change Command	Time Step Scheme	Thickness Of Element Layers in Averaging (10 <sup>-3</sup> in)	K <sub>1</sub> (cycles/psi <sup>K<sub>2</sub></sup> )	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub> (10 <sup>-7</sup> in/cycle/psi <sup>K<sub>4</sub></sup> )	K <sub>4</sub>
Slice	NL FEA	Anand	5.2	TUNIF	Coarse	0.6	26800	-1.44	1.92	1.15
						1.0	21800	-1.45	2.41	1.15
						1.3	18100	-1.46	2.77	1.15
Slice	NL FEA	Anand	5.6	TUNIF	Coarse	1.0	19500	-1.51	6.19	0.98
Slice	NL FEA	Anand	5.6	BF	Coarse	1.0	20300	-1.52	6.03	0.99
Slice	NL FEA	Anand	5.6	BF	Fine	1.0	22400	-1.52	5.86	0.98
QTR	NL FEA	Anand	5.6	BF	Fine	0.5	71000	-1.62	2.76	1.05
						1.0	56300	-1.62	3.34	1.04
						1.5	48300	-1.64	3.80	1.04
QTR	L + NL	Anand	5.6	BF	Fine	0.5	58800	-1.49	1.29	1.16
						1.0	67500	-1.54	1.20	1.19
						1.5	71900	-1.58	1.16	1.21
QTR	L + NL	Darveaux	5.6	BF	Fine	0.5	69900	-1.55	1.19	1.19
						1.0	84200	-1.61	1.08	1.23
						1.5	91000	-1.65	1.04	1.25

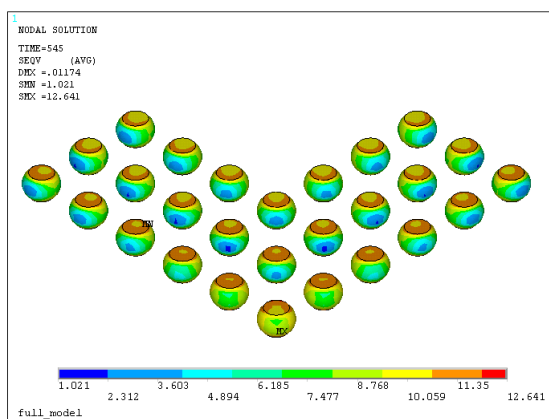


圖 8. ANSYS 分析 TFBGA 封裝體中的錫球於高溫 125°C 之等效應力分布圖

### 三、結果與討論

#### 3.1 辨識 TFBGA 封裝體之關鍵錫球

圖 8 為 ANSYS 分析 TFBGA 封裝體中的錫球在高溫 125°C 的等效應力分布圖，而圖 9 為 ANSYS 分析 TFBGA 封裝體中的錫球在低溫 -40°C 的等效應力分布圖。由分佈圖中顯示，最大等效應力發生在外側最角落錫球(稱為關鍵錫球)與印刷電路板的接合處，發生的原因主要是在交接處有轉折角度因而造成應力集中的現象，再加上最外顆錫球受到擠壓變形的情况也較其他錫球來的嚴重，所以該錫球是最容易造成疲勞破壞的地方。

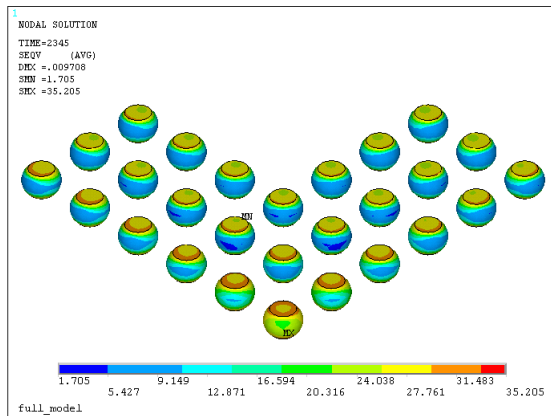


圖 9. ANSYS 分析 TFBGA 封裝體中的錫球於低溫 -40°C 之等效應力分布圖

### 3.2 計算關鍵錫球介面層厚度之平均黏塑性應變能密度

根據 ANSYS 分析所求得的等效應力及等效應變的量，關鍵錫球在熱循環第一圈 3600 秒時所累積的平均黏塑性應變能密度分佈可求得如圖 10 所示。若要搭配 Darveaux 疲勞模型[3]來估算此顆錫球的疲勞壽命，則必須要計算錫球的介面層厚度於一個熱循環負載所累積的平均黏塑性應變能密度，而此介面層厚度根據 Darveaux 所提供的表 4 中顯示，考慮四分之一封裝體模型(QTR)及非線性有線元素分析(NL FEA)，表中有三種介面層厚度可選擇，分別為 0.5、1.0 及 1.5 × 10<sup>-3</sup> in。本研究選擇為

1.5 × 10<sup>-3</sup> in. = 0.04 mm。圖 11 中的左下圖為關鍵錫球熱循環第一圈 3600 秒時的平均黏塑性應變能密度分佈圖，而圖 11 中的右上圖為關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度熱循環第一圈 3600 秒時的平均黏塑性應變能密度分佈圖。

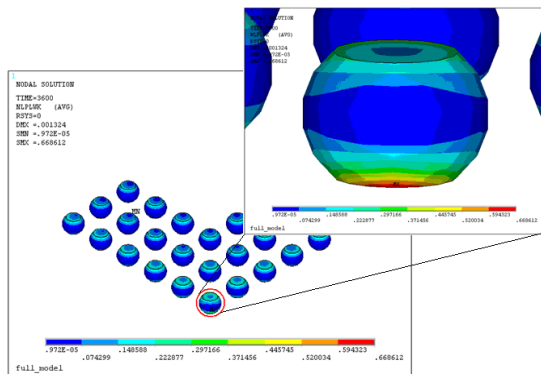


圖 10. ANSYS 分析關鍵錫球在熱循環第一圈 3600

秒時平均黏塑性應變能密度分佈圖

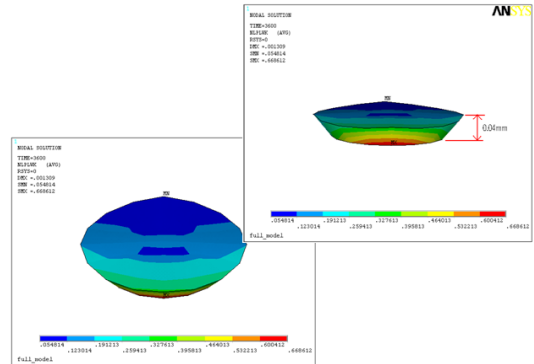


圖 11. ANSYS 分析關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度在循環第一圈 3600 秒時平均黏塑性應變能密度分佈圖

表 5. TFBGA 封裝體於循環第一圈元素數量與關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度之對應表

	元素數量	平均黏塑性應變能密度(MJ/m <sup>3</sup> )	與 Case6 差異百分比
Case1	53008	0.18747	2.93%
Case2	62880	0.18454	1.32%
Case3	71594	0.18327	0.63%
Case4	80040	0.18223	0.05%
Case5	88680	0.18215	0.01%
Case6	98776	0.18213	N/A

### 3-3 網格大小對關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度之收斂性分析

由於網格越細所求得的解就越準確，但求解所花費的時間及所佔的電腦空間也就非常龐大，所以需在網格大小與求解時間中取一平衡點。表 5 為循環第一圈 TFBGA 封裝體元素數量與關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度的對應表。本研究共考慮 6 種狀況，表中顯示狀況 1(Case1)的元素數量最少為 53008 個，每狀況之間差約 9000 個元素，而狀況 6 的元素數量最多為 98776 個。圖 12 為關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度與各種元素數量狀況的曲線圖，圖中顯示，當第 5 種狀況(Case5)元素數量為 88680 個，平均黏塑性應變能密度已趨近於一個收斂值為 0.18215 MJ/m<sup>3</sup>。所以根據分析結果，TFBGA 封裝體 ANSYS 分析的元素數量

採用狀況 5(Case5)的 88680 個。

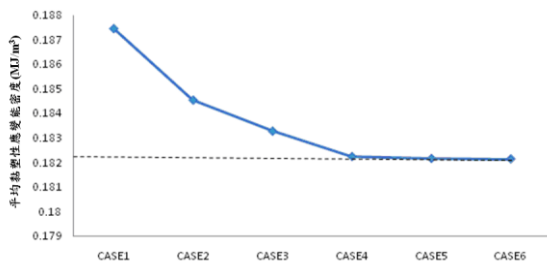


圖 12. 關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度與各種元素數量狀況之曲線圖

### 3-4 循環圈數對關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度之穩定性分析

此部份將計算封裝體在前幾個熱循環負載平均黏塑性應變能密度的變化，以得到穩定且正確的平均黏塑性應變能密度做為後續分析的指標。表 6 為 TFBGA 封裝體循環圈數與關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度的對應表。本研究共考慮前 8 個循環圈數，表中顯示 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度由第一個循環圈數的 0.18215 MJ/m<sup>3</sup> 到第七個循環圈數的 0.17648 MJ/m<sup>3</sup> 漸漸趨近於一個穩定值。圖 13 為關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度與循環圈數的曲線圖，根據分析結果，TFBGA 封裝體 ANSYS 分析的平均黏塑性應變能密度採用第七個循環圈數的 0.17648 MJ/m<sup>3</sup>。最後，將熱循環負載的平均黏塑性應變能密度 0.17648 MJ/m<sup>3</sup> 代入 Darveaux 所提出的疲勞壽命公式，求得的疲勞壽命為 961 圈。

表 6. TFBGA 封裝體循環圈數與關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度之對應表

循環圈數	平均黏塑性應變能密度(MJ/m <sup>3</sup> )	與第八圈差異百分比
1	0.18215	3.23%
2	0.1797	1.84%
3	0.17852	1.17%
4	0.17761	0.66%
5	0.17682	0.21%
6	0.17655	0.06%
7	0.17648	0.02%
8	0.17645	N/A

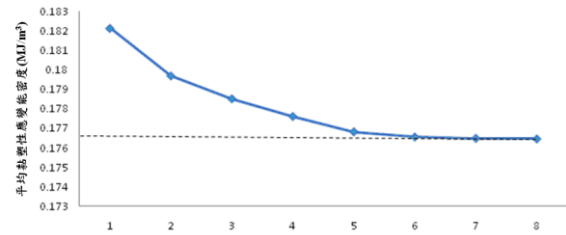


圖 13. 關鍵錫球 0.04 mm 介面層厚度平均黏塑性應變能密度與循環圈數之曲線圖

## 四、結 論

本文分析 TFBGA 封裝體因承受環境溫度或封裝體內部晶片因運作的關係使得封裝體整體溫度升高，使得錫球部分因封裝體元件的熱膨脹係數差異造成的形變因而發生疲勞破壞失效。首先利用 ANSYS 有限元素分析軟體建構 TFBGA 封裝體 3D 四分之一模型後，加入適當的負載及邊界條件後，求得 TFBGA 封裝體的等效應力分布狀況，並根據最大的等效應力找出封裝體的關鍵錫球所在，再依據 Darveaux 所提供的錫球介面層厚度(0.04 mm)，計算所對應的平均黏塑性應變能密度。接著，進行元素數量的收斂性分析及循環圈數的穩定性分析，並求得適當元素數量為 88680 個及第七個循環圈數的平均黏塑性應變能密度 0.17648 MJ/m<sup>3</sup>。最後，將該平均黏塑性應變能密度代入 Darveaux 的模式中，求得的 TFBGA 封裝體的疲勞壽命為 961 圈。

## 參考文獻

- [1] Lee, S. W. and Lau, J. H., "Effect of Chip Dimension and Substrate Thickness on the Solder Joint Reliability of Plastic Ball Grid Array Packages," Circuit World, Vol. 23, No. 1, pp. 16-19, 1997.
- [2] Mertol, A., "Optimization of High Pin Count Cavity-Up Enhanced Plastic Ball Grid Array (EPBGA) Packages for Robust Design," IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology, Vol. 20, Issue 4, pp. 376-388, 1997.
- [3] Darveaux, R., "Effect of Simulation Methodology on Solder Joint Crack Growth Correlation", Journal of Electronic Packaging, Vol. 124, No. 3, pp. 147-154, 2000.
- [4] Tee, T. Y., Sivakumar, K., and Do-Bento-



- Vieira, A. A., "Board Level Solder Joint Reliability Modeling of LFBGA Package", IEEE International Symposium on Electronic Materials and Packaging, pp. 51-54, 2000.
- [5] Guven, I., Kradinov, V., and Madenci, E., "Finite Element Modeling of BGA Packages for Life Prediction", Electronic Components and Technology Conference, 2000, pp. 1059-1063.
- [6] Haiyu, Q., Ganesan, S., Osterman, M., and Pecht, M., "Accelerated Testing and Finite Element Analysis of PBGA Under Multiple Environmental Loadings", International Conference on the Business of Electronic Product Reliability and Liability, pp. 99-106, 2004.
- [7] Lee, S. W. R. and Lau, D., "Computational Model Validation with Experimental Data from Temperature Cycling Tests of PBGA Assemblies for the Analysis of Board Level Solder Joint Reliability," 5th International Conference on Thermal and Mechanical Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, EuroSimE, pp. 115-120, 2004.
- [8] Tee, T. Y., Ng, H. S., Zhong, Z. W., and Zhou, J., "Board-Level Solder Joint Reliability Analysis of Thermally Enhanced BGAs and LGAs", IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 29, No. 2, pp. 284-290, 2006.
- [9] Zhang, T., Rahman, S., Choi, K. K., Cho, K., Baker, P., Shakil, M., and Heitkamp, M., "A Global-Local Approach for Mechanical Deformation and Fatigue Durability of Microelectronic Packaging Systems", Contributed by the Electrical and Electronic Packaging Division of ASME for Publication in the Journal of Electronic Packaging, Vol. 129, No. 2, pp. 179-189, 2006.
- [10] Wang, T. H., Lee, C. C., and Lai, Y. S., "Thermal Characteristics and Thermomechanical Reliability of Board-Level Stacked-Die Packages Subjected to Coupled Power and Thermal Cycling Test", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, Vol. 31, No. 2, pp. 495-502, 2008.
- [11] Zhou, B. and Qiu, B., "Effect of Voids on the Thermal Fatigue Reliability of PBGA Solder Joints through Submodel Technology", 10th Electronics Packaging Technology Conference, Vol. 13, pp. 704-708, 2008.
- [12] Anand, L., "Constitutive Equations for the Rate-Dependent Deformation of Metals at Elevated Temperatures", Transactions of the ASME. Vol.104, pp.12-17, 1982.
- [13] Tee, T. Y., Ng, H. S., Yap, D., Baraton, X., and Zhong, Z., "Board Level Solder Joint Reliability Modeling and Testing of TFBGA Packages for Telecommunication Applications", Microelectronics Reliability, Vol. 43, Is. 7, pp. 1117-1123, 2003.

李國龍等

細間距球陣列封裝在熱循環負載下之疲勞壽命估算