

具加熱晶片之印刷電路板於熱效應下之模型驗證

王栢村¹、李曜成²、賴逸少³、葉昶麟³、李英志³

¹ 屏東科技大學機械工程系教授

² 屏東科技大學機械工程系研究生

³ 日月光集團高雄廠應力可靠度實驗室

wangbt@mail.npust.edu.tw [聯絡人：王栢村]

摘要

印刷電路板受振動與熱效應之耦合分析為重要之課題，利用加熱晶片配置於印刷電路板以探討其熱效應為一新設計。本文針對配置四顆加熱晶片之印刷電路板 (printed circuit board, PCB) 進行振動耦合熱效應之分析與驗證。本文經由實驗模態分析 (Experimental Modal Analysis, EMA) 搭配有限元素分析 (Finite Element Analysis, FEA) 進行不同熱效應之印刷電路板模型驗證，皆考慮自由邊界及固定邊界兩種邊界設定，探討 PCB 於不同邊界及不同熱效應下之振動特性，並且完成 PCB 之模型驗證。

關鍵詞：印刷電路板、加熱晶片、熱效應、實驗模態分析、有限元素分析。

1. 前言

新一代的電子裝備，因製程技術逐年提升，大多以精密、高性能及功能多元化的趨勢發展，相對減少印刷電路板所佔用之空間，但對印刷電路板所能承受之條件日趨嚴格，其中最重視的是因高性能電子晶片所產生的高溫破壞，而除了高溫可能導致的破壞外，運輸過程及使用環境所產生之振動對印刷電路板之使用壽命也有極大的影響；有鑑於此必須先了解印刷電路板結構之振動特性，而印刷電路板在不同熱效應下其振動特性也不一定相同，故本文針對不同熱效應之印刷電路板進行一系列振動分析探討。

印刷電路板之振動特性及熱效應所造成之破壞已成為設計關鍵所在，藉由振動耦合熱效應分析之研究，達到預防 PCB 產生失效之設計方法，王等人[1]結合有限元素法及實驗模態分析對一自由邊界之平板結構今型結構之模型驗證，確認理論數學模型之合理性及正確性並得到等效於實際結構之有限元素模型；實驗方面利用尼龍繩懸吊平板以模擬自由邊界，以衝擊錘為驅動器敲及平板，加速度計為感測器貼附於平板之架設來進行實驗，再使用有限元素分析求得理論之模態參數，最後由實驗分析及理論分析之結果進行平板結構於自由邊界之驗證，確認理論分析之正確性。王等人[2]利用有限元素分析結合實驗模態分析對兩片相同規格之 PCB 進行振動特性分析之變異性探討，再利用理論與實驗分析所求得之模態參數進行比較驗證，確認 PCB 在自由邊界及固定邊界下之有限元素模型足以等效於實際結構，並將驗證成功之 PCB 延伸至頻譜響應分析，可求

得加速度、最大主應力及麥西斯應力之平均平方根值，進而預測 PCB 於隨機激振下可能產生破壞位置。王等人[3]運用有限元素分析模擬實際加速度計之質量效應，探討不同的加速度計模擬方式對 PCB 之影響，並透過模態參數進行比較驗證，推論出較合理之加速度計模擬方式。

Wong *et al.*[4]透過實驗求得球陣列封裝之錫點在有無覆蓋底膠時受軍用振動測試下之疲勞壽命與耐久度，並建立一疲勞壽命之預測模型，經由實驗結果與理論分析相互比較驗證，使得預測模型達到等效於實際結構，再利用驗證成功的預測模型來觀察球陣列封裝焊點有無覆蓋底膠時之疲勞壽命與耐久度。Yang *et al.*[5]針對塑膠球陣列封裝 (PBGA) 製程，透過實驗模態分析及有限元素法行振動特性分析，運用固定振幅之振動分別對印刷電路板與塑膠球陣列封裝進行試驗，並持續觀察塑膠球陣列封裝焊點。由試驗結果發現，塑膠球陣列封裝先開始產生疲勞破壞之位置通常都位於四個角的錫球上。Yang *et al.*[6]針對有配置塑膠球陣列封裝之印刷電路板於不同邊界條件下進行實驗模態分析，透過實驗分析可得量測點的位置、加速度計的質量、印刷電路板的預應力及挾持方式都會影響印刷電路板的模態參數。

鄭等人[7]針對 FC-BGA 進行熱阻值的模擬與實驗，實驗採用熱測試晶片，利用晶片內二極體的順向偏壓對溫度之關係來模擬實際封裝體運作時的溫度變化。模擬方面是使用 Flotherm 建構 FC-BGA 模型來模擬實際晶片內部流場的溫度變化。由分析結果得知當晶片功率愈高，溫度愈高，熱阻值會因空氣對流而降低，但晶片溫度卻無明顯的下降，是因為基板與晶片的低熱傳導性導致溫度無法有效的傳導至大氣中；於晶片上黏貼熱擴散板則有效的降低熱阻值，也有助於晶片散熱。余等人[8]對 CiSP 內藏式晶片於室溫且自然對流下的熱流進行分析，由分析結果可發現封裝體內部溫度值與厚度有極大關聯，溫度值會隨厚度增加而增加，CiSP 下表面是藉由錫球將熱傳導至基板上，而 CiSP 上表面則是因自然對流將熱傳導到大氣中；改變基板厚度也可提升 CiSP 之散熱性能，基板厚度愈薄，熱阻值愈低，散熱效能愈高。

黃等人[9]針對裸晶型晶圓級封裝迴焊進行有限元素分析，分析裸晶型晶圓級封裝迴焊於印刷電路板上於加速度循環測試下之疲勞可靠度，並搭配田口法與變異分析探討封裝體結構在溫度疲勞可靠度上的影響。經由有限元素分析加速度循環測試之結果得知凸塊高度、



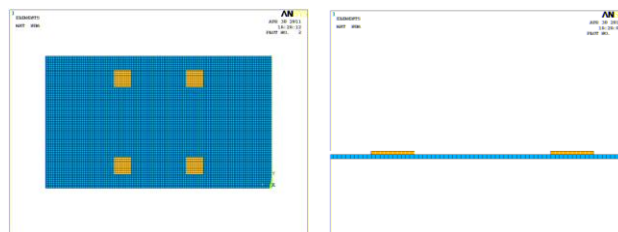
UBM 直徑、凸塊間距和銅墊厚度都是對溫度循環疲勞壽命有極大影響黃等人[10] 以熱傳-應力耦合分析探討疊合封裝在功率與溫度耦合循環測試下，晶片功率開啟方式與順序對錫球接點可靠度之影響，從結果發現由純粹溫度循環測試導致之疲勞破壞壽命最長。

綜合以上文獻結果，瞭解 PCB 於振動耦合熱效應分析與實驗方法，本文經由實驗模態分析結合有限元素分析對配置加熱晶片之印刷電路板進行振動與熱效應耦合分析，經由實驗分析與理論分析求得之模態參數進行具熱效應之印刷電路板之模型驗證。圖 1 為本文欲進行模型驗證之 PCB 實體結構圖。



圖 1 PCB 實體結構圖

得材料參數如表 1 所示，建構 PCB 有限元素模型，皆選用線性立體元素(solid45)並以三維質量元素(MASS21)設置 8 個質量元素節點模擬實際加速度計之質量效應。元素分割則使用 mapped mesh 將模型分割為 10564 元素，21232 個節點；因為自由邊界不需設定任何位移限制；進行模態分析時不須設定負荷，而進行簡諧響應分析時，則模擬實際量測點之衝擊點位置給予一單位 Z 方向外力。



(a)PCB 正視圖 (b) 側視圖
圖 3 PCB 於自由邊界有限元素模型示意圖

2. PCB 於自由邊界之模型驗證

欲得知 PCB 振動特性，必須先進行 PCB 於自由邊界之振動特性分析，探討無任何邊界效應及外力下 PCB 之模態參數，使用 EMA 搭配 FEA 進行 PCB 於自由邊界下之模型驗證。本文分析皆使用 ANSYS 有限元素分析軟體進行分析。

2.1 PCB 於自由邊界之實驗模態分析

透過實驗模態分析可得 PCB 結構於自由邊界之振動特性，圖 2 為 PCB 於自由邊界實驗架設圖，以衝擊錘為驅動器，加速度計為感測器貼於 PCB 上，經由衝擊錘敲擊 PCB 使其結構產生振動響應，再由加速度計量測結構之振動響應，求得 PCB 實際結構之模態參數；溫度場則是透過電源供應器供應一直流電壓於加熱晶片，使用紅外線熱像儀拍攝 PCB 及加熱晶片整體溫度分佈。

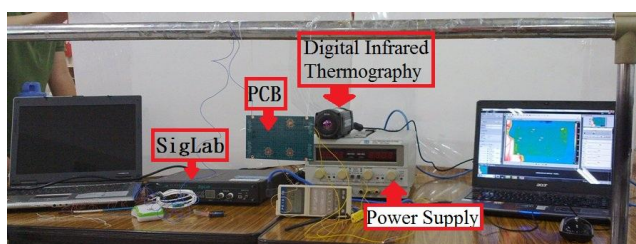


圖 2 PCB 於自由邊界實驗架設圖

2.2 PCB 於自由邊界之有限元素模型

本節針對有無熱效應之 PCB 進行於自由邊界下之有限元素分析，求得 PCB 於自由邊界下之理論模態參數，並探討有無熱效應 PCB 之振動特性。理論分析之有限元素模型如圖 3 所示，分別為 PCB 及加熱晶片，假設電路板為正向性材料，加熱晶片為等向性材料，PCB 材料參數採用最佳化參數進行設定，經由最佳化求

表 1 材料參數總表

	無熱效應	輸入 5.3V 電壓 (75°C)	輸入 6.7V 電壓 (100°C)
印刷電路板			
E_x (GPa)	15.16	15.13	14.81
$E_y = E_z$ (GPa)	14.92	14.77	14.53
G_{xy} (GPa)	5.57	5.32	5.20
$G_{yz} = G_{xz}$ (GPa)	5.77	5.71	5.42
ν_{xy}	0.36		
$\nu_{yz} = \nu_{xz}$	0.32		
ρ (kg/m ³)	2156		
熱傳導系數 (w/m×°K)	19.27		
熱膨脹係數 (1/°K)	16×10 ⁻⁶		
加熱晶片			
E_x (GPa)	19.67	18.45	16.43
G_{xy} (GPa)	7.99	7.50	6.68
ν_{xy}	0.23		
ρ (kg/m ³)	3125		
熱傳導系數 (w/m×°K)	0.84		
熱膨脹係數 (1/°K)	9.23×10 ⁻⁶		

接著考慮 PCB 於自由邊界受熱效應之溫度場分析，透過溫度場分析得到 PCB 溫度分佈之結果帶入熱

應力場分析，得 PCB 之熱變形及熱應力，整體模型同圖 3 分別為 PCB 與加熱晶片，PCB 及加熱晶片皆使用線性立方體熱傳導元素(Solid70)，並設定 PCB 熱膨脹係數 $\alpha=16 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{K}$)，熱傳導係數為 19.27 ($\text{W}/\text{m} \times ^\circ\text{K}$)；加熱晶片熱膨脹係數 $\alpha=9.23 \times 10^{-6}$ ($1/^\circ\text{K}$)，熱傳導係數為 0.84 ($\text{W}/\text{m} \times ^\circ\text{K}$)。元素分割同結構場分析。進行溫度場分析時，假設加熱晶片已達穩態溫度，故於加熱晶片上設定所有節點為穩態溫度，而 PCB 及加熱晶片表面均為對流邊界，需設定週界溫度及對流係數 $h_f = 48$ ($\text{W}/\text{m}^2 \times ^\circ\text{K}$)。在熱負荷條件設定方面，PCB 除了加熱晶片設定穩態溫度之外，並無其他熱源產生，所以不用設定定熱產生率或熱通量。

由完成 PCB 於自由邊界溫度場分析後，經由溫度場分析結果延伸至熱應力場分析，所建構熱應力場之有限元素模型之元素選用需注意的是，於熱應力場分析時須轉換元素為線性立方體元素(Solid45)，再以三維質量元素(MASS21)設置 8 個質量元素節點模擬實際加速度計之質量效應。而元素分割同結構場分析。在熱應力場分析時，因全自由邊界模擬無須設定任何位移限制。最後，進行熱應力場分析，須先由溫度場分析結果帶入各節點所對應之溫度值，可得到熱變形及熱應力，當完成熱應力場分析可再進行振動與熱傳之耦合分析。

2.3 PCB 於自由邊界模型驗證

經由實驗模態分析及有限元素分析對 PCB 進行模型驗證，由實驗模態分析得到 PCB 實際結構之模態參數，再經由有限元素分析得到 PCB 理論之模態參數，經由實驗及理論兩者結果進行 PCB 於自由邊界模型驗證，綜合討論如下：

1. 表 2 為 PCB 於自由邊界之模態振型總表，由表中可以觀察到大多數的 MAC 值皆在 0.7 以上，代表此理論模態振型與實際結構之模態振型比對上還是有相當的可信度。
2. 表 3 為 PCB 於自由邊界之模態參數總表，由表中可以觀察到整體頻率誤差絕大多數皆在 $\pm 5\%$ 以內；再觀察到表 4 自由邊界之頻率響應函數總表，頻率 700Hz 以前比對相當吻合，而頻率 700Hz 後比對有些許誤差，但是曲線趨勢還是相同，足以驗證有限元素模型等效於實際結構。
3. 表 5 為 PCB 於自由邊界之關聯性函數總表，由表中可以觀察到除了反共振點的地方值較低之外，其值都接近 1，代表實驗品質良好。
4. 由驗證完成之 PCB 於自由邊界有限元素模型，延伸至固定邊界進行 PCB 於固定邊界下之模型驗證。

表 2 PCB 於自由邊界下模態振型總表
(a)無熱效應

FEA		EMA		MAC
mode	shape	mode	shape	
F-01		E-01		0.83
F-02		E-02		0.72
F-03		E-03		0.81
F-04		E-04		0.38
F-05		E-05		0.49
F-06		E-06		0.82
F-07		E-07		0.80
F-08		E-08		0.72

(b)輸入電壓 5.3V(75°C)

FEA		EMA		MAC
mode	shape	mode	shape	
F-01		E-01		0.82
F-02		E-02		0.71
F-03		E-03		0.81
F-04		E-04		0.40
F-05		E-05		0.46
F-06		E-06		0.72
F-07		E-07		0.88
F-08		E-08		0.57
F-09		E-09		0.77

表 2 PCB 於自由邊界下模態振型總表(續)

(c) 輸入電壓 6.7V(100°C)

FEA		EMA		MAC
mode	shape	mode	shape	
F-01		E-01		0.76
F-02		E-02		0.84
F-03		E-03		0.77
F-04		E-04		0.36
F-05		E-05		0.43
F-06		E-06		0.73
F-07		E-07		0.81
F-08		E-08		0.52
F-09		E-09		0.61

表 3 PCB 於自由邊界下模態參數總表(續)

(b)輸入電壓 5.3V

模態	理論頻率 (Hz)	模態	實驗頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	實驗阻尼比 (%)
F-01	131.76	E-01	131.38	0.29	1.040
F-02	160.66	E-02	153.47	4.68	1.880
F-03	311.06	E-03	311.9	-0.27	0.929
F-04	429.90	E-04	419.09	2.57	0.032
F-05	452.26	E-05	463.91	-2.51	1.160
F-06	536.71	E-06	558.89	-3.97	0.921
F-07	637.13	E-07	611.93	4.12	0.165
F-08	813.19	E-08	778.15	4.50	0.138
F-09	856.11	E-09	874.75	-2.13	0.665

(c)輸入電壓 6.7V

模態	理論頻率 (Hz)	模態	實驗頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	實驗阻尼比 (%)
F-01	128.47	E-01	128.02	0.35	0.779
F-02	156.80	E-02	149.03	5.21	1.530
F-03	306.04	E-03	308.45	-0.78	0.690
F-04	426.55	E-04	424.50	0.48	1.340
F-05	445.80	E-05	461.79	-3.46	1.730
F-06	531.05	E-06	559.76	-5.13	1.840
F-07	632.87	E-07	600.16	5.45	0.769
F-08	805.26	E-08	765.47	4.81	2.550
F-09	846.01	E-09	877.56	-3.60	1.450

表 3 PCB 於自由邊界下模態參數總表

(a)無熱效應

模態	理論頻率 (Hz)	模態	實驗頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	實驗阻尼比 (%)
F-01	136.46	E-01	137.66	-0.87	0.618
F-02	165.61	E-02	160.15	3.41	0.730
F-03	320.29	E-03	322.56	-0.70	1.110
F-04	434.59	E-04	443.91	-2.09	0.409
F-05	457.32	E-05	466.45	-1.96	0.544
F-06	541.40	E-06	561.16	-3.52	0.573
F-07	648.78	E-07	622.30	4.26	0.522
F-08	822.45	E-08	798.02	3.06	0.697
F-09	861.47	E-09	879.89	-2.93	0.349

表 4 PCB 於自由邊界之頻率響應函數總表

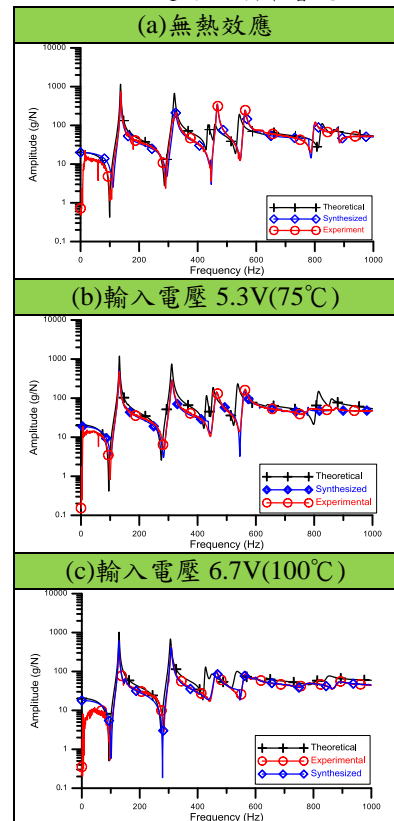
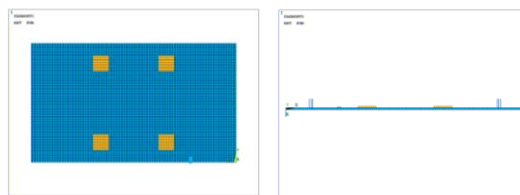
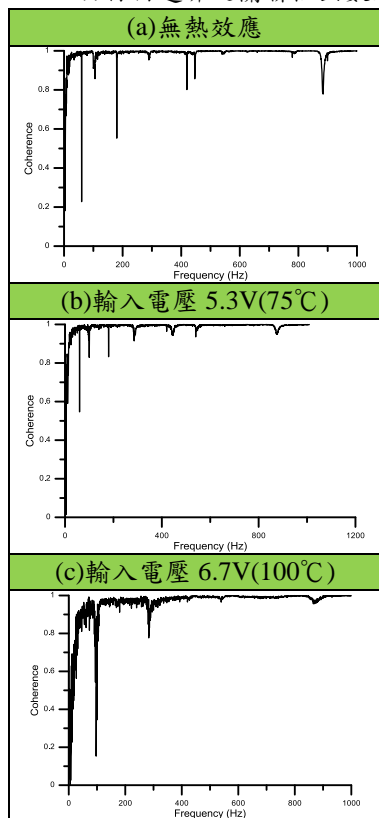


表 5 PCB 於自由邊界之關聯性函數總表



(a) PCB 正視圖 (b) 側視圖
圖 5 PCB 於固定邊界有限元素模型示意圖

3.3 PCB 於固定邊界模型驗證

利用實驗模態分析結合有限元素分析進行 PCB 於固定邊界之模型驗證，得到等效於實際結構之有限元素模型，也可瞭解 PCB 於實際鎖固情況時之振動特性，討論如下：

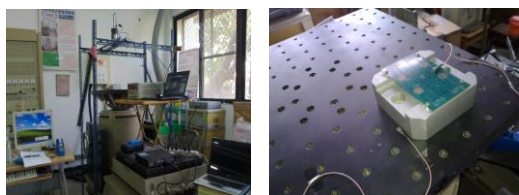
1. 表 6 為 PCB 於固定邊界下之模態振型總表，由表中可以觀察到 MAC 值絕大多數皆在 0.7 以上，代表理論振型與實際結構振型比對相當良好。
2. 表 7 為 PCB 於固定邊界下之模態參數總表，由表中觀察到頻率誤差絕大多數皆在 $\pm 5\%$ 內；再觀察到表 8 PCB 固定邊界之頻率響應函數總表，頻率 500Hz 以前之頻率響應函數相當吻合，頻率 500Hz 之後有些許誤差，但是趨勢還是相同，代表 PCB 於固定邊界模型驗證成功。
3. 表 9 為 PCB 於固定邊界之關聯性函數總表，觀察到於反共振點值略低之外，其餘值皆接近 1，代表實驗品質相當良好。
4. 經由驗證成功之 PCB 於固定邊界有限元素模型，未來可延伸至響應預測之分析，透過 JEDEC 制定之規範進行隨機激振進行響應預測，探討 PCB 可能產生疲勞破壞之位置。

3. PCB 於固定邊界之模型驗證

經由驗證成功之 PCB 於自由邊界有限元素模型，延伸至固定邊界進行 PCB 於固定邊界下之模型驗證，並確認螺絲鎖固之彈簧常數，最後得到等效於實際結構之有限元素模型。

3.1 PCB 於固定邊界之實驗模態分析

PCB 於固定邊界之實驗架設，是將 PCB 以螺絲鎖固於治具上，而實驗方法及實驗點數同自由邊界，以衝擊錘給予 PCB 一振動響應，加速規量測 PCB 鎖固於治具上之振動響應。溫度場則是透過電源供應器供應直流電壓於加熱晶片，使用紅外線熱像儀拍攝 PCB 及加熱晶片整體溫度分佈。



(a) 整體儀器架設圖 (b) PCB 鎖固於治具上
圖 4 PCB 於固定邊界實驗架設圖

3.2 PCB 於固定邊界之有限元素模型

利用驗證成功之 PCB 於自由邊界有限元素模型，加入彈簧元素模擬實際鎖固狀態，元素建構同自由邊界，唯一不同的是必須加入彈簧元素並設定 $K=9.7 \times 10^6/N$ ，圖 5 為 PCB 於固定邊界有限元素模型示意圖。

4. 結論

透過有限元素分析搭配實驗模態分析對 PCB 進行理論及實驗分析，分別得到實際結構以及理論之模態參數，透過結果進行 PCB 模型驗證，並得到等效於實際結構之 PCB 有限元素模型，由以上結果做進行綜合討論如下：

1. PCB 於自由邊界不同熱效應下之模型驗證，透過頻率響應函數觀察到頻率 700Hz 以前比對相當吻合，而頻率 700Hz 後比對有些許誤差，但是趨勢還是一致，整體頻率誤差也在 $\pm 5\%$ 左右，MAC 值絕大多數都在 0.7 以上，代表 PCB 於自由邊界之模型驗證相當成功。
2. 經由 PCB 於自由邊界驗證成功之有限元素模型延伸至固定邊界，經由頻率響應函數可以發現於頻率 600Hz 之前比對相當良好，頻率 600Hz 之後有出現誤差，但是整體趨勢還是相同；再觀察到模態參數總表，整體頻率誤差多數皆在 $\pm 5\%$ 上下，MAC 值大多數也都在 0.7 以上，代表 PCB 於固定邊界下模型驗證成功。
3. 未來可透過驗證成功之 PCB 於固定邊界有限元素模型延伸至頻譜響應分析，透過 JEDEC 規範進行隨機激振，探討 PCB 可能產生疲勞破壞之位置。

表 6 PCB 於固定邊界下之模態振型總表
(a)無熱效應

FEA		EMA		MAC
mode	shape	mode	shape	
F-01		E-01		0.98
F-02		E-02		0.97
F-03		E-03		0.96
F-04		—	—	—
F-05		E-04		0.83
F-06		E-05		0.77
F-07		E-06		0.71
F-08		E-07		0.75

表 6 PCB 於固定邊界下之模態振型總表(續)
(c) 輸入電壓 6.7V(100°C)

FEA		EMA		MAC
mode	shape	mode	shape	
F-01		E-01		0.95
F-02		E-02		0.91
F-03		E-03		0.86
F-04		—	—	—
F-05		E-04		0.32
F-06		E-05		0.68
F-07		E-06		0.26
F-08		E-07		0.73

(b)輸入電壓 5.3V(75°C)

FEA		EMA		MAC
mode	shape	mode	shape	
F-01		E-01		0.81
F-02		E-02		0.85
F-03		E-03		0.73
F-04		E-04		0.50
F-05		E-05		0.77
F-06		E-06		0.71
F-07		E-07		0.63
F-08		E-08		0.69

表 7 PCB 於固定邊界下模態參數總表

(a)無熱效應

模態	理論頻率 (Hz)	模態	實驗頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	實驗阻尼比 (%)
F-01	190.80	E-01	190.79	0.005	1.100
F-02	313.69	E-02	307.30	2.08	0.764
F-03	470.17	E-03	487.13	-3.48	1.030
F-04	486.93	—	—	—	—
F-05	589.90	E-04	596.30	-1.07	1.100
F-06	689.72	E-05	701.25	-1.64	1.090
F-07	758.76	E-06	754.34	0.59	0.494
F-08	959.63	E-07	1004.6	-4.48	0.921

(b)輸入電壓 5.3V

模態	理論頻率 (Hz)	模態	實驗頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	實驗阻尼比 (%)
F-01	189.74	E-01	183.30	3.51	0.825
F-02	308.03	E-02	306.17	0.61	0.807
F-03	492.76	E-03	507.79	-2.96	1.400
F-04	512.41	E-04	536.39	-4.47	3.210
F-05	591.33	E-05	649.16	-8.91	3.780
F-06	685.25	E-06	695.79	-1.51	1.710
F-07	762.70	E-07	747.46	2.04	1.310
F-08	956.43	E-08	986.94	-3.09	1.210

表 7 PCB 於固定邊界下模態參數總表(續)

(c)輸入電壓 6.7V

模態	理論頻率 (Hz)	模態	實驗頻率 (Hz)	頻率誤差 (%)	實驗阻尼比 (%)
F-01	185.10	E-01	186.21	-0.60	0.714
F-02	307.92	E-02	303.48	1.46	0.838
F-03	448.11	E-03	465.81	-3.80	1.730
F-04	455.83	—	—	—	—
F-05	569.61	E-04	615.40	-7.38	4.770
F-06	673.10	E-05	666.03	1.06	0.718
F-07	739.46	E-06	725.63	1.91	1.260
F-08	947.16	E-07	989.19	-4.23	1.390

表 8 PCB 於固定邊界之頻率響應函數總表

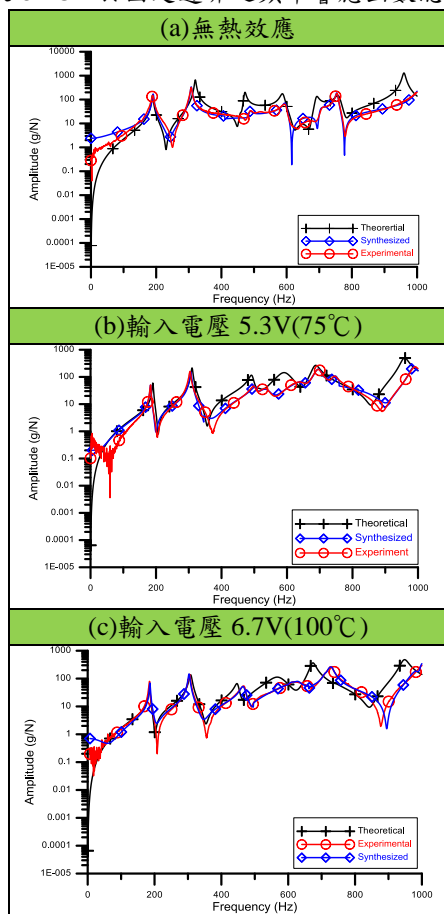
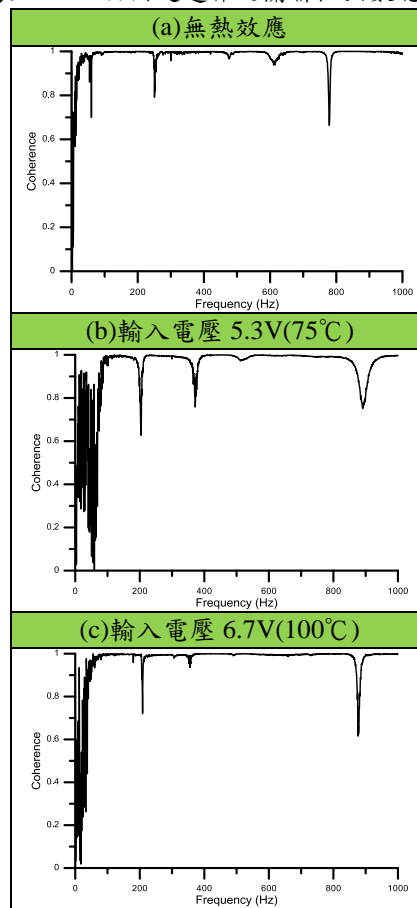


表 9 PCB 於固定邊界之關聯性函數總表



5. 參考文獻

- [1] 王栢村, 曹文昌, 2002, 「應用有限元素分析與實驗模態分析之結構模型驗證」, 中華民國振動與噪音工程學會第十屆學術研討會, 台北, 第 131-138 頁。
- [2] 王栢村, 陶致均, 李沛緯, 賴逸少, 葉昶麟, 李英志, 2007, 「印刷電板模型驗證與響應預測之重複性探討」, ANSYS/Fluent 年度應用研討會與用戶聯誼大會, 桃園, 第 15-30 頁。
- [3] 王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉昶麟, 李英志, 2007, 「加速度計質量效應模擬分析之評估與驗證」, 中華民國振動與噪音工程學會第十五屆學術研討會, 台北, 論文編號: B-12。
- [4] Wong, T. E., Palmieri, F. W., and Fenger, H. S., 2002 Inter Society, "Under-filled BGA solder joint vibration Fatigue Damage," *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems*, California, pp.961-966.
- [5] Yang, Q. J., Pang, H. L. J., Wang, Z. P., Lim, G. H., Yap, F. F., and Lin, R. M., 2000, "Vibration Reliability Characterization of PBGA Assemblies," *Microelectronics Reliability*, Vol. 40, San Jose, USA, pp.1097-1107.
- [6] Yang, Q. J., Lim, G. H., Lin, R. M., Yap, F.F., Pang, H. L. J. and Wang, Z. P., "Experimental Modal Analysis of PBGA Printed Circuit Board

Assemblies,” *IEEE/CPMT Electronic Packaging Technology conference*, pp. 290-296, 1997.

- [7] 鄭宗杰, 余致廣, 劉君愷, 蔡伯晨, 鄭明欣, 2004, 「FC-PBGA 之熱流模擬簡介」, *奈米通訊*, 第 4 期, 第 11 卷, 第 17-21 頁。
- [8] 余致廣, 鄭宗杰, 2005, 「內藏式晶片封裝之熱傳研究」, *奈米通訊*, 第 3 期, 第 12 卷, 第 30-33 頁。
- [9] 黃東鴻, 賴逸少, 2004, 「裸晶型晶圓級封裝溫度循環疲勞可靠度之最佳化設計」, *中國機械工程學會第二十一屆全國學術研討會論文集*, 高雄。
- [10] 黃東鴻, 李長祺, 賴逸少, 王靜君, 2006, 「堆疊晶片尺寸封裝受功率與溫度耦合循環測試的熱傳特性與疲勞可靠度表現」, *中華民國力學學會第三十屆全國力學會議*, 彰化。

Model Verification for PCB with Embedded Heating ICs in Heating Conditions

Bor-Tsuen Wang¹, Yau-Chang Lee², Yi-Shao Lai³, Chang-Lin Yeh³, Ying-Chih Lee³

¹Professor

²Graduate Student

^{1,2}Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science and Technology

³ASE GROUP Kaohsiung Stress-Reliability Lab

ABSTRACT

Coupling effects of vibration excitation and thermal loadings on printed circuit board (PCB) are of interest. This work studies the new design of PCB with four heating ICs in simulating the thermal effects. The finite element model of PCB is constructed to perform theoretical modal analysis and verified by experimental modal analysis (EMA). The PCB in both free and fixed boundary conditions are, respectively, considered to identify their modal characteristics. The PCB model with thermal and vibration effects is studied and verified through analytical and experimental approaches. The verification of PCB FE model can be completed and used for further response prediction, in particular for the PCB subjected to random vibration and thermal loadings.

Keywords : PCB, heating ICs, thermal effect, experimental modal analysis, finite element analysis

