

環境振動試驗用印刷電路板之模型驗證

王栢村¹ 林鴻裕² 李英志³

國立屏東科技大學機械工程學系¹教授²副教授³研究生

摘要

本文結合有限元素分析與實驗模態分析，對印刷電路板進行模型驗證。由有限元素分析可得印刷電路板之理論自然頻率、模態振型及頻率響應函數；由實驗模態分析可以求得實際結構之自然頻率、阻尼比、模態振型及頻率響應函數，藉由理論與實驗之振動模態特性參數比對，利用最佳化運算可獲得合理的有限元素模型，而得到足以代表實際結構之等效分析模型。結果顯示最佳化後之模型其有限元素分析與實際結構的模態分析結果相當吻合，模態特性可以被確認且有助設計考慮，未來可利用發展之等效模型進行印刷電路板受外力激振之破壞分析或設計參數分析等用途。

關鍵詞：有限元素分析、實驗模態分析、印刷電路板

1. 前言

印刷電路板(Printed Circuit Boards, PCB)的設計隨著微機電科技進步而日新月異，其最重視的是因日益縮小的體積而帶來的高溫破壞，惟除了高溫破壞外，隨著其組裝、運輸、使用環境等各因素所帶來的動態破壞也將對 PCB 的使用壽命產生極大影響，故動態分析設計對 PCB 也是極重要的關鍵。

分析設計時，常利用有限元素法(Finite Element Analysis, FEA)架構有限元素模型(FE Model)，利用理論推導分析來簡化設計過程。由於 PCB 是由玻璃纖維基板與其上的封裝晶片層所構成，整體

材料性質會隨著不同 PCB 而有極大變化，故很難建立符合實際狀況的等效 FE 模型。而實驗模態分析(Experimental Modal Analysis, EMA)可在不知材料性質下，獲得實際結構體的實際振動參數，如自然頻率、模態振型及阻尼比，但其缺點是無法看出細部的應力分佈，也不能任意改變實驗變因作後續研究分析。由於 FEA 與 EMA 能夠相互彌補其被限制處，故結合兩種分析，將 FEA 的理論分析結果與 EMA 實驗分析數據作比較，以實驗結果為基準不斷修正 FE 模型的設定參數，最後即可獲得與實際受測物等效的 FE 模型，並可將此等效 FE 模型運用在協助動態分析設計上。Yang et al.[1]針對 PBGA 封裝對 PCB 的振動特性的影響作探討時，即利用 EMA 與 FEA 的數據比較，建立起等效 FE 模型進行後續 PBGA 焊接錫球的分析；Pitarresi et al.[2]則對個人電腦(PC)主機板作受機械式搖晃及隨機振動時的 FEA 結果，並與實際實驗結果驗證，獲得與主機板等效的 FE 模型。此即 PCB 設計中 EMA 與 FEA 相互運用的例證。

因 PCB 為複合材料，故須先建立複合材料相關的分析知識。在實驗分析方面，Gibson[3]將 EMA 分析複合材料結構的成果作整理，發現具有非線性性質的 PCB，透過適當設計的 EMA 仍可獲得趨近線性結果的實驗結果。Gibson and Wen[4]發現對複合材料而言，尼龍棉線懸吊受測物的方式可以完美的模擬複合材料平板四邊全自由邊界(all-four-edges free boundary condition)的狀況。Low et al.[5]則探討有負載三種不同狀況質量分佈之方形平板在六種不同邊界條件下的

振動特性；另外，Ma and Huang[6]則利用振幅變動電子光斑影像干涉術(Amplitude Fluctuation Electronic Speckle Pattern Interferometry, AF-ESPI)調查四種不同邊界條件下的等向性正方形平板之振動特性；這些皆可提供分析 PCB 振動特性時在邊界條件上的設定依據。在理論分析方面，He and Fulton[7]對非線性印刷線路層板在簡支點支撐的自由或強制受力振動情形，發展在線性與非線性的假設下的層板振動響應理論，並驗證其公式可獲得合於實際情況的分析結果。

在針對 PCB 的振動特性分析方面。Pitarresi[8]將 PCB 在振動方面的參數，作實驗及理論計算的結果比較，顯示將 PCB 在多區塊非均質性假設下可獲得較合理的理論分析結果。Yang et al.[9]對有 PBGA 封裝晶片的 PCB 在不同邊界條件下作 EMA，顯示在轉換器(transducers)使用、量測點規劃及 PCB 固定時所受的前端應力都會很明顯的影響試驗結果。

由前述文獻回顧，本文假設 PCB 為正向性材料，嘗試對受測 PCB 建立 FE 模型，求取其理論之振動模態參數，再透過 EMA 求得 PCB 實際之振動模態參數，將理論與實驗數據利用 ANSYS 軟體執行最佳化，求得在振動模態參數相近情形下的 FE 模型其材料參數的設定值，建立與實際 PCB 等效之 FE 模型，未來並利用該等效 FE 模型進行更進一步的 PCB 整體或細部零組件振動破壞分析、設計。

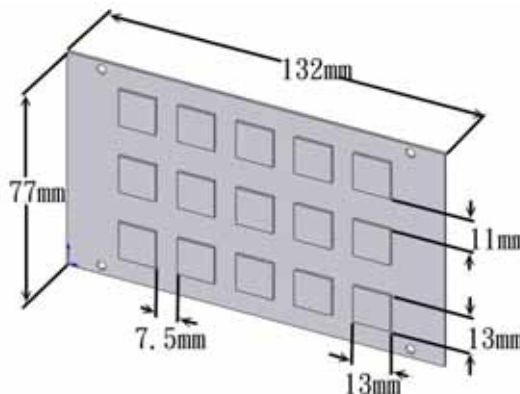
2. 問題定義與分析目標

2.1 實際結構問題

本次受測 PCB 實際結構體及外部尺寸如圖 1 所示，本受測 PCB 是無鉛化封裝之晶片用於針對聯合電子裝置工程協會 (Joint Electronic Device Engineering Council, JEDEC) 動力試驗規範中制定之測試件規格所製造，故如能建立與其實際結構等效之理論數學模型，將可更加簡化相關振動測試的進行及後續整體結構或細部零組件破壞分析與設計。



(a)外觀圖



(b)詳細尺寸圖

圖 1 受測 PCB 外觀及尺寸圖

2.2 分析目標

- (1) 利用 ANSYS 軟體對受測 PCB 之 FE 模型作模態分析，求得理論之自然頻率、模態振型。
- (2) 由 EMA 獲得 PCB 實際之自然頻率、模態振型與阻尼比。
- (3) 利用上述所得振動模態參數執行最佳化並驗證 FE 模型與實際結構等效。

2.3 模型驗證理念流程

模型驗證理念流程如圖 2 所示。分別進行 EMA 與 FEA 分析。由 FEA 進行模態分析獲得理論之自然頻率與模態振型。由 EMA 求得實際 PCB 之自然頻率、阻尼比及模態振型。以 EMA 所求得之振動模態特性參數為依據，透過 ANSYS 軟體的最佳化模組求取 FE 模型材料參數的最佳設定值，並回饋資訊至 FE 模型架構，期以實驗與理論分析結果相吻合而獲得驗證模型等效於實際結構體。

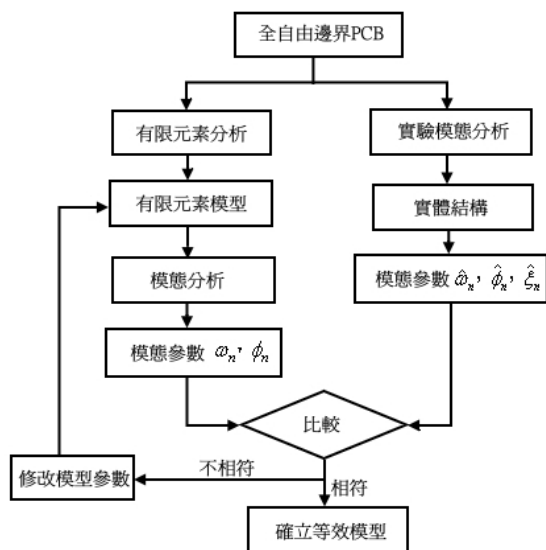


圖 2 模型驗證流程圖

簡諧分析則設定 1 單位 Z 方向外力作用在模型相對應於感興趣之實驗量測點位置上，如頻率響應函數比對點。

表 1 受測 PCB 材料性質表[10]

種類	初始假定值
底層楊氏係數 $E_{X,B}, E_{Y,B}$	15.5×10^9 (N/m ³)
底層剪力係數 $G_{XY,B}$	5×10^9 (N/m ³)
底層蒲松比 $\nu_{XY,B}$	0.2
底層密度 ρ_B	1910 (Kg/m ³)
晶片層楊氏係數 E_C	28×10^9 (N/m ³)
晶片層蒲松比 ν_C	0.35
晶片層密度 ρ_C	1840 (Kg/m ³)
加速度計質量 m	0.0015 (Kg)

3. 有限元素分析

3.1 模型架構

本次理論分析是採用套裝軟體 ANSYS 的模態分析及簡諧分析進行有限元素分析，將整體 PCB 板分為底板層及底板上的晶片層，並假設底層為正向性材料，晶片層為等向性材料。由於簡化為上下兩層，其架構之材料性質無法得知，故先以相關文獻之材料性質設定為初始假定值，如表 1 所示，再對材料參數執行最佳化求取合理參數值。建立之理念有限元素模型如圖 3 所示，模型建構說明如下：

- (1) 元素選用：底層為正向性材料，晶片層為等向性材料。皆採用線性立方體元素(SOLID45)。另以三維質量元素(MASS21)模擬加速度計質量效應。
- (2) 元素分割：由表 2 及圖 4 收斂性分析結果比較及考慮求解時間，在 C 狀況下，元素尺寸 3.25(mm)，使用 sweep mesh 分割為 1147 元素已是合理分割。在節點 1740、1781、2144、2185、2447、3142 上另設置六個質量元素節點。整體模型共 1153 個元素。
- (3) 位移限制條件：以全自由邊界(free-free)模擬之。
- (4) 負荷條件：模態分析不須設定負荷；

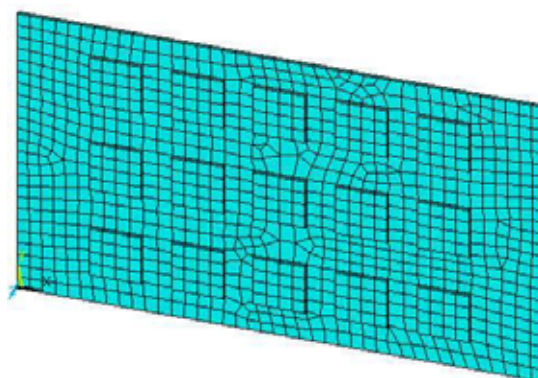


圖 3 PCB 有限元素分割示意圖

表 2 不同分割下自然頻率值收斂情況

情 模 態	A	B	C	D	E	B vs. C Diff(%)
	元素數目					
	903	1012	1147	1510	2981	
1	178.97	148.91	147.34	145.48	146.11	1.054
2	220.5	191.13	189.46	188.12	187.89	0.875
3	465.73	393.58	386.87	385.85	385.61	1.705
4	491.95	394.27	391	388.19	387.88	0.829
5	495.89	401.51	395.2	388.39	388.79	1.572
6	772.8	562.22	551.21	549.91	548.44	1.958

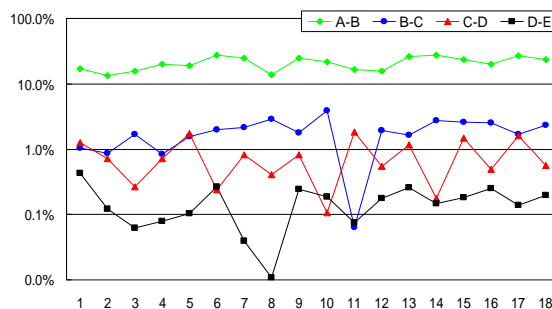


圖 4 各模態自然頻率值誤差百分比分佈

3.2 最佳化問題定義

本文利用 ANSYS 軟體提供的最佳化模組進行 FE 模型材料參數的最佳化求解，其最佳化定義如下說明：

- (1) 設計變數：有限元素模型中的底層陽氏係數 ($E_{X,B}, E_{Y,B}$)、底層剪力係數 ($G_{XY,B}$)、底層蒲松比 ($\nu_{XY,B}$)、底層密度 (ρ_B)、晶片層陽氏係數 (E_C)、晶片層蒲松比 (ν_C)、晶片層密度 (ρ_C)。

$$X = (E_{X,B}, E_{Y,B}, G_{XY,B}, \nu_{XY,B}, \rho_B, E_C, \nu_C, \rho_C) \quad (1)$$

- (2) 限制條件：FEA 模態分析之前數個模態對應的自然頻率 (以 $f_{n,F}$ 代表)，對 EMA 分析相對應的模態之自然頻率 (以 $f_{n,E}$ 代表) 之誤差值 (以 ε_n 代表) 須小於 10%。

$$|\varepsilon_n| = \left| \frac{f_{n,F} - f_{n,E}}{f_{n,E}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

- (3) 目標函數：使得前述每個模態的誤差值平方總和為最小。

$$f(X) = \sum_{n=1}^N \varepsilon_n^2 \quad (3)$$

4. 實驗模態分析

4.1 實驗方法及儀器架構

實驗儀器設備架構如圖 5 所示。本實驗採用傳統實驗模態分析方式，以衝擊錘為驅動器，施加點力於 PCB 上以產生結構激振，利用固定在 PCB 上之加速度計量測 PCB 之響應，透過頻譜分析儀求得結構之 FRF，經由參數估測方法 (Modal Parameter Estimation Method)，將頻率響應函數藉由曲線嵌合 (curve fitting) 軟體擷取出結構之自然頻率、模態振型、阻尼比等模態參數。

4.2 量測點規劃

如圖 6 所示，為協助將來對晶片層的

細部分析，故每片晶片上細分為 9 個量測點，且晶片與晶片之間規劃兩點，得量測點規劃為長邊規劃 29 點，每個點相距約 4mm，而在短邊規劃 17 點，每個點相距約為 4mm，總共可得 493 點進行實驗分析。令左上方為點 1，由左至右，由上而下編號，右下為點 493。又因為 PCB 正面有晶片層，為免晶片層內部複雜結構影響實驗結果，故選擇敲擊 PCB 背面。而加速度計固定位置為最左下角的量測點，該點編號為第 465 號量測點 (圖 6 處)。



圖 5 實驗模態儀器設備架構

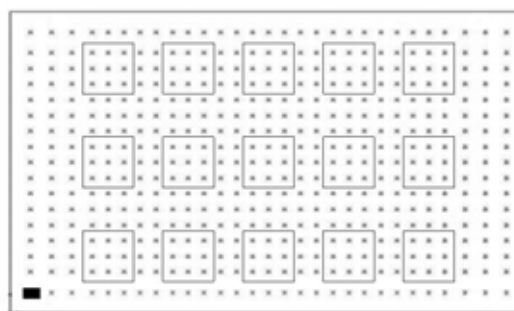


圖 6 PCB 背面量測點劃分示意圖

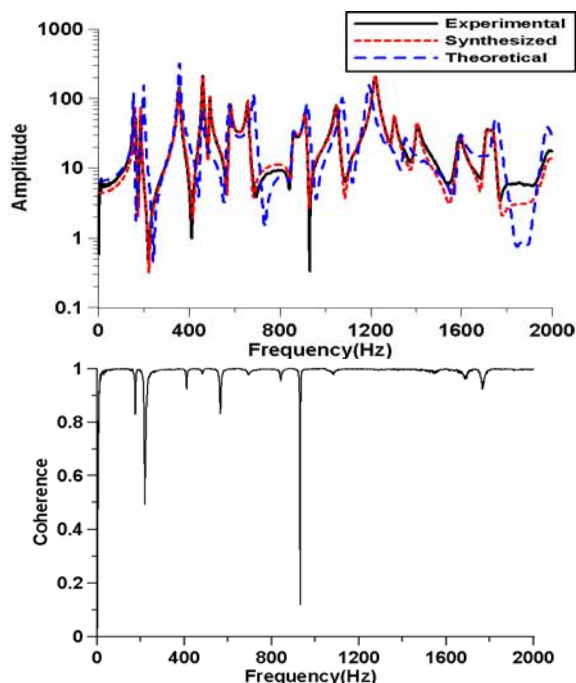
5. 結果與討論

5.1 頻率響應函數與關聯性函數探討

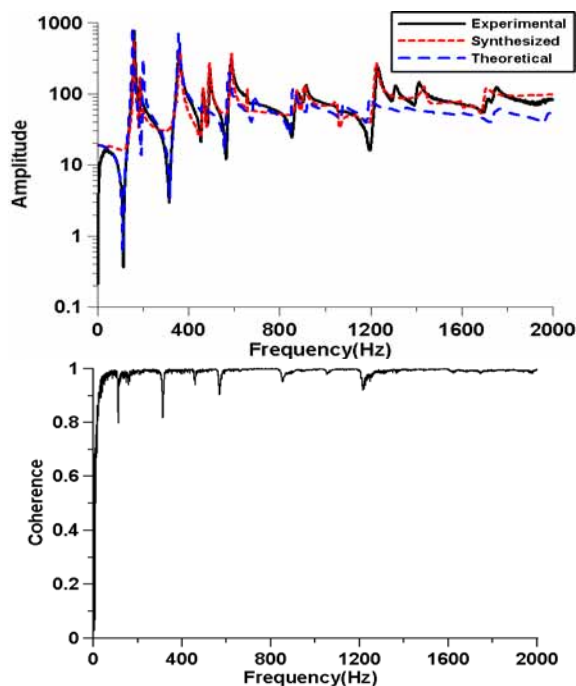
圖 7 為實驗、曲線嵌合合成及最佳化後 FE 模型之頻率響應函數 (Frequency Response Function, FRF) 曲線及對應之關聯性函數比較圖。不論是同點 (輸入與輸出位置相同) 或是轉移 (輸入與輸出不同位置) FRF 曲線，實驗與合成曲線皆有很高的吻合度，顯示曲線嵌合具有極高的正確性，可供最佳化使用。而最佳化後 FE 模型經過簡諧分析所得理論 FRF 曲線也跟實驗 FRF 曲線有很高的吻合度，驗證 FE

模型有相當程度的等效於實際 PCB 結構。

對應 FRF 之關聯性函數圖形中，除對應反共振點處因響應較小而導致關聯性函數偏低外，其餘部分皆接近於 1，表實驗所得之頻率響應函數可信度很高。



(a) 轉移 H_{ij} , $i = 465$ 、 $j = 180$



(b) 同點 H_{ij} , $i = 465$ 、 $j = 465$

圖 7 頻率響應函數與關聯性函數

5.2 模態參數驗證

5.2.1 自然頻率比對

表 3 為 FEA 與 EMA 獲得之自然頻率值比對表，其中編號 R 為 FEA 之剛體模態(rigid body mode)，編號 F 為有 FEA 之彈性模態(flexible body mode)，編號 E 為 EMA 之實驗模態。在尚未對 FE 模型的材料參數做最佳化前與實驗的自然頻率值比對會發現誤差約在 30%~40% 左右，誤差極大。而經過最佳化後獲得新的 FE 模型材料參數如表 4 所示，其 FEA 的自然頻率與 EMA 結果相比較誤差有明顯接近，降至約 1~5% 以內，可說非常接近。

表 3 FEA 與 EMA 的自然頻率值比對

FEA					EMA		Diff(%)	
最佳化前	最佳化後	物理			頻率	最佳	最佳	
編號	頻率	編號	頻率	意義	編號	化前	化後	
R1~6	0	R1~6	0	x	x	x	x	
F-01	230	F-01	154	(3,1)	E-01	161	43	
F-02	302	F-02	200	(3,1)	E-02	187	62	
F-03	605	F-03	357	(3,2)	E-03	356	70	
F-04	619	F-04	457	(4,1)	E-04	461	34	
F-05	621	F-05	467	(1,3)	E-05	492	26	
F-06	855	F-06	574	(2,3)	E-06	582	47	
F-07	993	F-07	684	(4,2)	E-07	660	50	
F-08	1195	F-08	857	(5,1)	E-08	858	39	
F-09	1329	F-09	921	(3,3)	E-09	913	46	
F-10	1530	F-10	1075	(5,2)	E-10	1050	46	
F-11	1676	x	x	x	x	x	x	
F-12	1818	F-11	1192	(4,3)	E-11	1220	49	
x	x	F-12	1278	(1,4)	E-12	1300	x	
F-13	1851	F-13	1349	(2,4)	E-13	1400	32	
x	x	F-14	1429	x	x	x	x	
F-14	1967	F-15	1596	(6,1)	E-14	1590	24	
F-15	2312	x	x	x	x	x	x	
F-16	2417	F-16	1739	(5,3)	E-15	1710	41	
F-17	2443	F-17	1759	(3,4)	E-16	1740	40	
F-18	2841	x	x	x	x	x	x	
x	x	F-18	1974	(6,2)	E-17	1980	x	

表 4 材料參數最佳化結果

	最佳化前	最佳化後	Diff(%)
底層 $E_{X,B}$	15.5	9.42	-39.2
底層 $E_{Y,B}$	15.5	9.25	-40.3
底層 $G_{XY,B}$	5	3.12	-37.6
底層 $\nu_{XY,B}$	0.2	0.25	25.0
底層 ρ_B	1910	2050	-6.8
晶片層 E_C	28	20	-28.6
晶片層 ν_C	0.35	0.4	14.3
晶片層 ρ_C	1810	1840	-1.6

5.2.2 模態振型比對

在 0~2000Hz 內，EMA 可獲得 17 個自然頻率及對應模態振型，而最佳化後 FEA 可獲得 18 個模態振型。表 5 即為 FEA 之理論計算與 EMA 之實驗所獲得之模態振型示意圖、物理意義及其模態保證指標 (Modal Assurance Criterion, MAC)。

其中物理意義表示法是定義長邊為 X 軸，可有正、負兩個方向變化；短邊為 Y 軸，亦可有正、負兩個方向變化，若一模態振型在 X 軸向方向變化 m 次，在 Y 軸向變化 n 次，則稱為 (m,n)-modal；如圖 8，因為 X 與 Y 軸都各有兩個變化，故稱為 (2,2)-model。

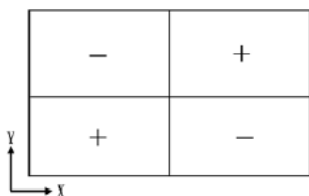


圖 8 模態振型物理意義示意圖

MAC 為評估實驗及理論分析所得模態振型之相關性的指標。其定義如下：

$$MAC(\{\phi_x\}, \{\phi_p\}) = \frac{|\{\phi_x\}^T \{\phi_p^*\}|^2}{\{\phi_x\}^T \{\phi_x^*\} \{\phi_p\}^T \{\phi_p^*\}} \quad (4)$$

其中 $\{\phi_x\}$ ：代表實驗所得之模態振型

$\{\phi_p\}$ ：代表理論所得之模態振型

*：表示共軛複數

一般而言，若實驗與理論分析振型有良好相關性，則 MAC 值應會趨近於 1；若低於 0.05 則表示實驗與理論振型之間具有正交性。

在模態振型比對表中，可以發現 EMA 的實驗振型節線都有明顯歪斜的呈現非對稱的現象，其他的模態也有類似現象，除了 PCB 材質是非線性材料，並非為均質等向性材料外，實驗中黏貼於 PCB 上的加速度計造成的質量效應亦有影響。

在理論分析獲得的第 14 個振型(F-14)可以發現不論直接圖形或間接 MAC 比對都找不到相對應的實驗振型，由該理論振型圖推測，應是其左下角恰為振型節線經

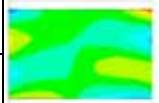


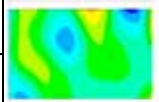

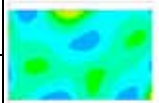

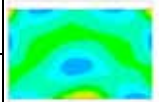

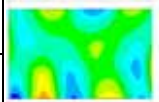

過處，振型節線亦即表示在本振型中該處的振動振幅趨近於 0，而加速度計正好位於此，故實驗中無法獲得該振型。

在 MAC 值的比對上，在部分振型雖較低(大約 0.7 左右)，但絕大多數都不錯(0.9 左右)，且從理論與實驗振型的實際圖形比對觀察發現，它們之間確實擁有相當良好的吻合程度。

表 5 模態振型及 MAC 值(最佳化後)

FEA		物理意義	EMA		MAC
編號	振型		編號	振型	
F-01		左傾 (3,1)	E-01		0.91
154			161		
F-02		右傾 (3,1)	E-02		0.83
200			187		
F-03		偏左 (3,2)	E-03		0.91
357			356		
F-04		(4,1)	E-04		0.68
457			461		
F-05		(1,3)	E-05		0.70
467			492		
F-06		(2,3)	E-06		0.97
574			582		
F-07		(4,2)	E-07		0.97
684			660		
F-08		極歪 (5,1)	E-08		0.97
857			858		
F-09		(3,3)	E-09		0.94
921			913		
F-10		(5,2)	E-10		0.92
1075			1050		
F-11		(4,3)	E-11		0.75
1192			1220		
F-12		極歪 (1,4)	E-12		0.72
1278			1300		

表 5 模態振型及 MAC 值(最佳化後)(續)

F-13		(2,4)	E-13		0.68
1349			1400		
F-14		x	x	x	x
1429			x		
F-15		(6,1)	E-14		0.93
1596			1590		
F-16		(5,3)	E-15		0.78
1739			1710		
F-17		(3,4)	E-16		0.84
1759			1740		
F-18		(6,2)	E-17		0.91
1974			1980		

5.2.3 阻尼比探討

表 6 為 EMA 實驗獲得之 PCB 的結構阻尼。由於透過加速度計所量測到的訊號是包含 PCB 與加速度計合成的結構的訊號，會有加重阻尼之效應，故需要經過修正才能獲得真實 PCB 結構阻尼。而在 FEA 模擬中則無法獲得結構阻尼參數，故此處僅列出實驗獲得之阻尼。由實驗獲得之結構阻尼經過累積平均計算後，可作為 FEA 簡諧分析所需的阻尼設定輸入值的依據。

表 6 實驗阻尼比修正

Mode	實驗阻尼(%)	修正阻尼(%)	累積平均值(%)
1	2.25	2.139	2.139
2	0.673	0.577	1.358
3	1.35	1.30	1.339
4	0.58	0.541	1.139
5	0.511	0.475	1.001
6	0.706	0.675	0.951
7	0.647	0.620	0.904
8	0.861	0.840	0.896
9	0.569	0.549	0.857
10	0.739	0.722	0.844
11	0.69	0.675	0.828
12	0.532	0.518	0.803
13	0.576	0.563	0.784
14	0.771	0.760	0.782
15	0.587	0.577	0.769
16	0.611	0.601	0.758
17	1.26	1.251	0.787

6. 結論

本文結合有限元素分析及實驗模態分析，基於振動模態特性參數對受測 PCB 進行模型驗證。除可了解整體 PCB 系統內涵及確認架構之有限元素模型之合理性外，亦可得足以代表實際結構之等效模型供設計之用。本研究重要結果如下：

- (1)經由頻率響應函數、自然頻率及模態振型等振動模態參數比對驗證成功後，顯示發展的自由邊界 PCB 等效有限元素模型是合理且可信的。
- (2)對質輕的薄板結構而言，即使使用微型的加速度計作為實驗感測器，其質量效應對結構振動模態參數影響仍然必須重視，需將其真實的反應於架構的理論分析模型中而不可忽略。

- (3)因 PCB 的非均質材料性質及內部複雜的結構組合，EMA 與 FEA 所獲得模態振型常有複雜節線變化，故需要利用物理意義及 MAC 協助振型比對，降低比對困難度。

未來將以本研究的自由邊界等效模型發展更相近於實際運用的固定邊界等效模型，後續可利用等效理論模型進行 PCB 在外界激振下的整體或細部架構的響應預測及破壞分析；更可進一步結合最佳化手法對 PCB 作結構參數探討，以達到節省實驗成本與縮短設計工程的時間。

誌謝

本研究承蒙日月光半導體製造股份有限公司工程中心提供實驗用印刷電路板及葉昶麟博士、賴逸少博士對本文內容提供指導，特以致謝。

參考文獻

1. Yang, Q. J., Pang, H. L. J., Wang, Z. P., Lim, G. H., Yap, F. F., and Lin, R. M., "Vibration Reliability Characterization of PBGA Assemblies," *Microelectronics Reliability*, Vol.40, pp. 1097-1107 (2000).

2. Pitarresi, J., Geng, P., Beltman, W., and Ling, Y., "Dynamic Modeling and Measurement of Personal Computer Motherboards," *Proceeding of the Electronic Components and Technology Conference*, pp. 597–603 (2002).
3. Gibson, R. F., "Modal Vibration Response Measurements for Characterization of Composite Materials and Structures," *Composites Science and Technology*, Vol. 60, pp. 2769–2780 (2000)
4. Gibson, R. F., and Wen, Y. F., "Evaluation of Boundary Conditions for a Composite Plate Vibration Test," *Proceeding of the Spring Conference on Experimental Mechanics*, pp. 19–27 (1993).
5. Low, K. H., Chai, G. B., Lin, T. M., and Sue, S. C., "Comparisons of Experimental and Theoretical Frequencies for Rectangular Plates with Various Boundary Condition and Added Masses," *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 40, No. 11, pp. 1119–1131 (1998).
6. Ma, C. C., and Huang, C. H., "Experimental Whole-Field Interferometry for Transverse Vibration of Plate," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 271, pp. 493–506 (2004).
7. He, X., and Fulton, R., "Modeling and Simulation of the Dynamic Response of Electronic Packaging," *Proceeding of the Electronic Components and Technology Conference*, pp. 1535–1547 (2000).
8. Pitarresi, J. M., "Modeling of Printed Circuit Cards Subject to Vibration," *Institute of Electrical and Electronic Engineers International Symposium*, Vol. 3, pp. 2104–2107 (1990).
9. 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," *Proceeding of the IEEE /CPMT Electronic Packaging Technology Conference*, pp.290–296 (1997).
10. Yeh, C. L., and Lai, Y. S., "Application of Support Excitation Scheme in Transient Analysis of JEDEC Board-Level Drop Tests," *Proceeding of the Taiwan ANSYS Conference*, pp.13–18 (2004).

Model Verification of Printed Circuit Boards for Environmental Vibration Testing

**Bor-Tsuen Wang, Hong-Yuh Lin,
Ying-Chih Li**

*Department of Mechanical Engineering
National Pingtung University of Science
and Technology*

Abstract

This work adopts finite element analysis (FEA) and experimental modal analysis (EMA) to perform model verification for the printed circuit Boards (PCB). Both FEA and EMA are performed, respectively, to determine the modal properties of the PCB. Theoretical natural frequencies, mode shapes and frequency response function (FRF) can be computed by FEA. Experimental natural frequencies, damping ratios, mode shapes and frequency response functions of the PCB can also be obtained by EMA. Via the optimization procedure to verify modal properties obtained from FEA with those from EMA, the equivalent finite element model for the PCB can be validated. Both FEA and EMA results agree reasonably well. In particular, modal characteristics of the PCB can be identified and beneficial to design consideration. The developed finite element model can also be used for response prediction, model modification or sub-structuring analysis of the PCB.

Keyword : Finite element analysis, Experimental modal analysis, Printed circuit boards