

# 2009 TAIWAN ANSYS/FLUENT CONFERENCE

## 產業界技術發表-目錄

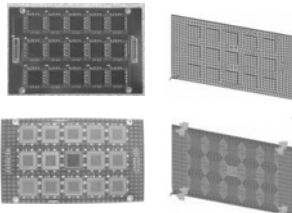
發表 廠別	發 表 順 序	題 目	發 表 者	單 位	頁 碼
電子 零件 半 導 體  TRACK1	1-1	電源連接器測試板之線寬線長設計對溫升的影響	王文忠 經理	台灣康旭	1
	1-2	連接器端子抗垮強度之研究	王文忠 經理	台灣康旭	5
	1-3	Introduction of the Application of Thermal Simulation on DRAM Design	陳仁君 經理	南亞科技	11
	1-4	Flucnt 在筆電系統散熱分析的應用	謝仁盛 高級工程師	精英電腦	29
	1-5	FLUENT 在高壓電斷路器研發中的應用	葉向陽 研發專員	ABB Ltd.	49
	1-6	The application of CFD in micro-contamination control - some successful examples in semiconductor manufacturing industry.	胡石政 博士	台北科大冷凍系	63
電子 封 裝  TRACK2	2-1	ICEPAK 在 IC 封裝的散熱應用	黃紀源 技術經理	虎門科技	79
	2-2	ANSYS 結合分子動力學與平行計算之多尺度模擬分析	王中鼎 博士	日月光半導體	81
	2-3	應用 CAE 與 EMA 於印刷電路板環境振動試驗之設計分析	王栢村 院長	屏東科大工學院	97
	2-4	ANSYS 在電子封裝的應用與未來	葉昶麟 博士	日月光半導體	113
	2-5	Electromigration in Flip-chip solder Joints	陳智 教授	交通大學材料系	115
	2-6	含間隙填充物之堆疊式晶片封裝結構應力分析與設計	吳昇財 工程師	工研院電光所	131

# 應用CAE與EMA於印刷電路板環境振動試驗之設計分析

## Applications of CAE and EMA to Design Analysis for Environmental Vibration Testing of Printed Circuit Boards



王栢村

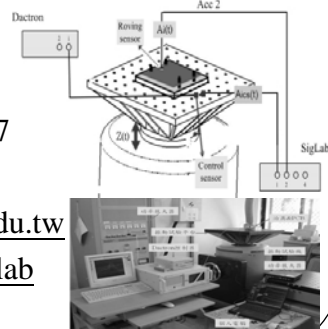
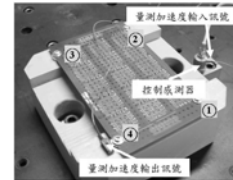
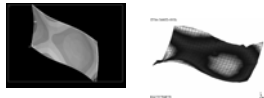


國立屏東科技大學  
機械工程系暨研究所  
TEL: (08)770-3202轉7017

FAX: (08)774-0142

E-mail: [wangbt@mail.npust.edu.tw](mailto:wangbt@mail.npust.edu.tw)

www: <http://140.127.6.133/lab>



## 摘要

- 環境振動試驗(environmental vibration testing)為產品品質認證的一環。
  - 振動試驗理念：產品於運輸過程、或實際操作狀態均會受到外在之振動，因此必須通過規範的環境振動試驗
  - JESD22-B103-B規範，針對電子零件產品在環境中因各種因素的振動激振，使得產品可能產生反覆應力所引發的破壞，而制定此振動可靠度測試
- 為瞭解如印刷電路板承受隨機振動之響應分析，本報告：
  - 介紹電腦輔助工程分析(CAE)軟體－ANSYS－於振動問題之解析
  - 應用實驗模態分析(experimental modal analysis, EMA)於有限元素分析模型驗證之理念與方法步驟
  - 介紹具封裝體印刷電路板受隨機振動之分析與實驗驗證流程，以及應用ANSYS軟體分析之實務
  - 最後，探討具封裝體印刷電路板受隨機振動與熱效應的耦合分析
- 本報告闡述應用CAE軟體工具與EMA實驗技術於印刷電路板的振動分析與實驗驗證方法流程，以提供業界參考

## 報告大綱

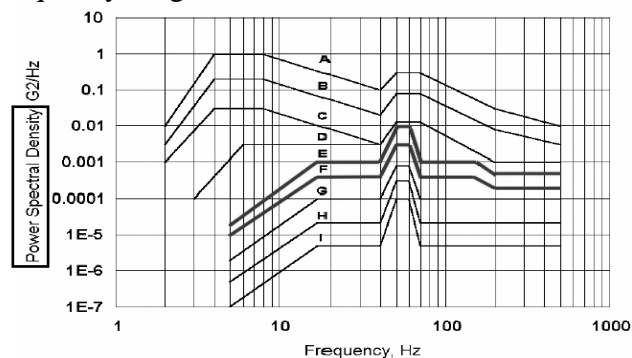
- 1.印刷電路板環境振動試驗
  - 1-1 JEDEC規範：JESD22-B103-B簡介
  - 1-2 JESD22-B103-B 試驗簡介
  - 1-3 配合JESD22-B103-B振動試驗之分析流程
- 2.振動分析簡介
  - 2-1 單自由度系統振動分析
  - 2-2 簡支樑振動分析
  - 2-3 印刷電路板振動分析
    - ▲ a.模態分析(modal analysis)
    - ▲ b.簡諧響應分析(harmonic response analysis)
    - ▲ c.暫態響應分析(transient response analysis)
    - ▲ d.頻譜響應分析(spectrum response analysis)
- 3.印刷電路板環境振動試驗之分析案例
- 4.結語
- 5.參考文獻

3

## 1.印刷電路板環境振動試驗

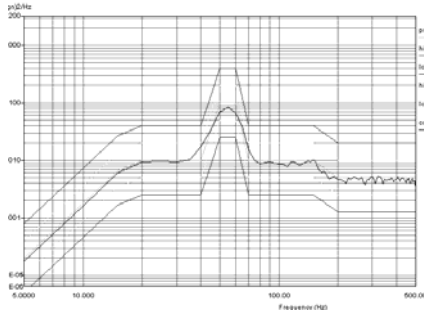
### 1-1 JEDEC規範：JESD22-B103-B簡介

- JESD22-B103-B, 2002, *Vibration, Variable Frequency*, JEDEC Solid State Technology Association, Arlington, VA.
  - The variable frequency vibration test is performed to determine the effect of vibration, within a specified frequency range, on the internal structural elements.

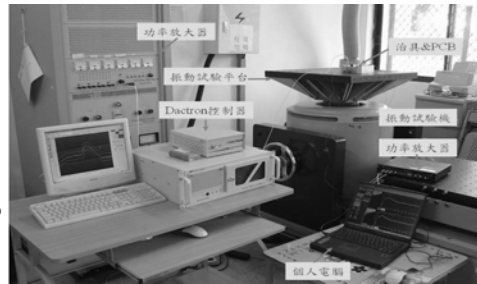
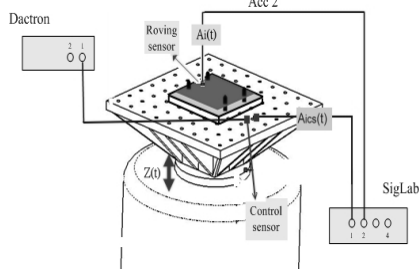


4

# 1-2 JESD22-B103-B 試驗簡介



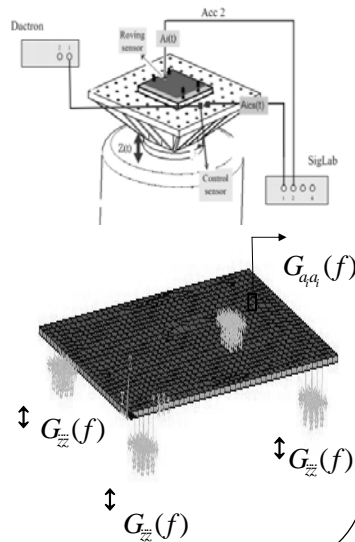
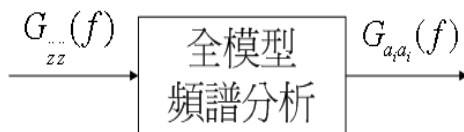
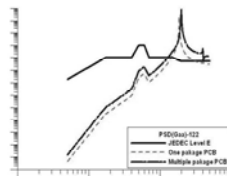
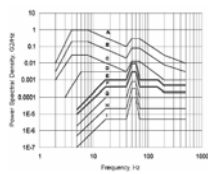
Frequency (Hz)	Service Condition E	Service Condition F
	PSD Level, G squared / Hz	PSD Level, G squared / Hz
5	0.0002	0.0001
17	0.001	0.0004
40	0.001	0.0004
50	0.01	0.003
60	0.01	0.003
70	0.001	0.0004
150	0.001	0.0004
200	0.0005	0.0002
500	0.0005	0.0002



5

# 1-2 JESD22-B103-B 試驗簡介

- 頻譜響應分析：
  - 輸入JEDEC隨機激振試驗規範。
  - 獲得系統任一點響應功率頻譜密度函數  $G_{a_i a_i}(f)$ 。



6

### 1-3 配合JESD22-B103-B振動試驗之分析流程

- 電子產品將進入無鉛化時代，印刷電路板(PCB)使用的錫鉛焊錫已漸漸更替為錫銀等材質之無鉛焊錫，除了傳統的熱應力控制外，隨著組裝、運輸、使用環境等各因素所帶來的振動破壞是極重要的設計關注焦點。
  - 使用振動試驗機對實際結構做振動測試及分析。
  - 建構數學模型，由模擬軟體模擬振動測試並分析之。
- 在設計過程中採用快速有效的設計分析方法顯得特別重要，常用的理論振動分析模式為：
  - 利用有限元素分析(FEA)求得理論振動模態參數。
  - 利用實驗模態分析(EMA)求得實驗振動模態參數。
  - 利用理論與實際參數作模型驗證(Model Verification)，驗證有限元素模型(FE model)為等效於實際結構體的模型。
  - 等效FE model可提供響應預測、破壞分析及設計變更分析。

7

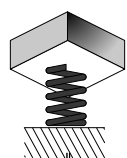
## 2. 振動分析簡介

- 振動問題之分析目標有四種：
  - a. 模態分析(modal analysis)：
    - ▲ 旨在求得系統之模態參數，包括：
      - ◆ 自然頻率( $\omega_n$ )、模態阻尼( $\xi_n$ )、模態振型( $\phi_n$ )
    - ▲ 也就是透過分析了解系統之特性
  - b. 簡諧響應分析(harmonic response analysis)：
    - ▲ 也在了解系統之特性
    - ▲ 乃在求得系統之輸出與輸入間之頻率響應函數  $H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}$
  - c. 暫態響應分析(transient response analysis)：
    - ▲ 在已知系統特性以及輸入條件下，求解系統輸出之時間域響應
  - d. 頻譜響應分析(spectrum response analysis)：
    - ▲ 通常適用在隨機激振狀況
    - ▲ 在已知系統特性以及輸入條件之功率頻譜密度函數
    - ▲ 求系統輸出之頻率域響應，即輸出之功率頻譜密度函數

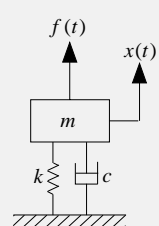
8

## 2-1 單自由度系統振動分析

**Real structure**



**Mathematical model**

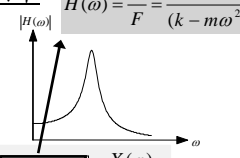


**System equation**

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t)$$

$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$      $\xi = \frac{c}{c_c}$      $c_c = 2\sqrt{mk} = 2m\omega_n$

$H(\omega) = \frac{X}{F} = \frac{1}{(k - m\omega^2) + i(c\omega)}$



輸入 → 系統 → 輸出

$F(\omega) \rightarrow H(\omega) \rightarrow X(\omega)$

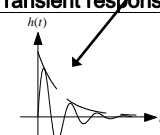
$X(\omega) = H(\omega)F(\omega)$

(a) 模態分析  
**Modal analysis**

$f(t) \rightarrow h(t) \rightarrow x(t)$

$x(t) = \int_0^t f(\tau)h(t-\tau)d\tau$

(c) 暫態響應分析  
**Transient response analysis**

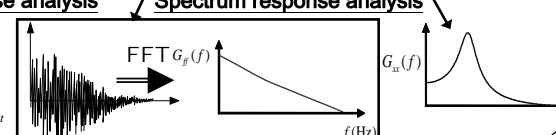


(b) 簡諧響應分析  
**Harmonic response analysis**

$G_{ff}(\omega) \rightarrow H(\omega) \rightarrow G_{xx}(\omega)$

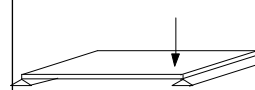
$G_{xx}(\omega) = |H(\omega)|^2 G_{ff}(\omega)$

(d) 頻譜響應分析  
**Spectrum response analysis**

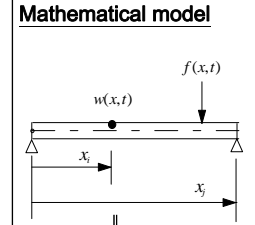


## 2-2 簡支樑振動分析

**Real structure**



**Mathematical model**

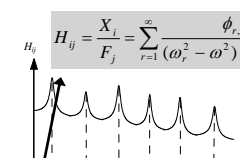


**System equation**

$$\rho A \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} = f(x,t)$$

$\omega_r = \sqrt{\frac{EI}{\rho A} \left(\frac{r\pi}{L}\right)^2}$

$H_{ij} = \frac{X_i}{F_j} = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\phi_{r,i}\phi_{r,j}}{(\omega_r^2 - \omega^2) + i(2\xi_r\omega_r\omega)}$



輸入 → 系統 → 輸出

$F(\omega) \rightarrow H(\omega) \rightarrow X(\omega)$

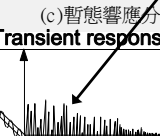
$X(\omega) = H(\omega)F(\omega)$

(a) 模態分析  
**Modal analysis**

$f(t) \rightarrow h(t) \rightarrow x(t)$

$x(t) = \int_0^t f(\tau)h(t-\tau)d\tau$

(c) 暫態響應分析  
**Transient response analysis**




(b) 簡諧響應分析  
**Harmonic response analysis**

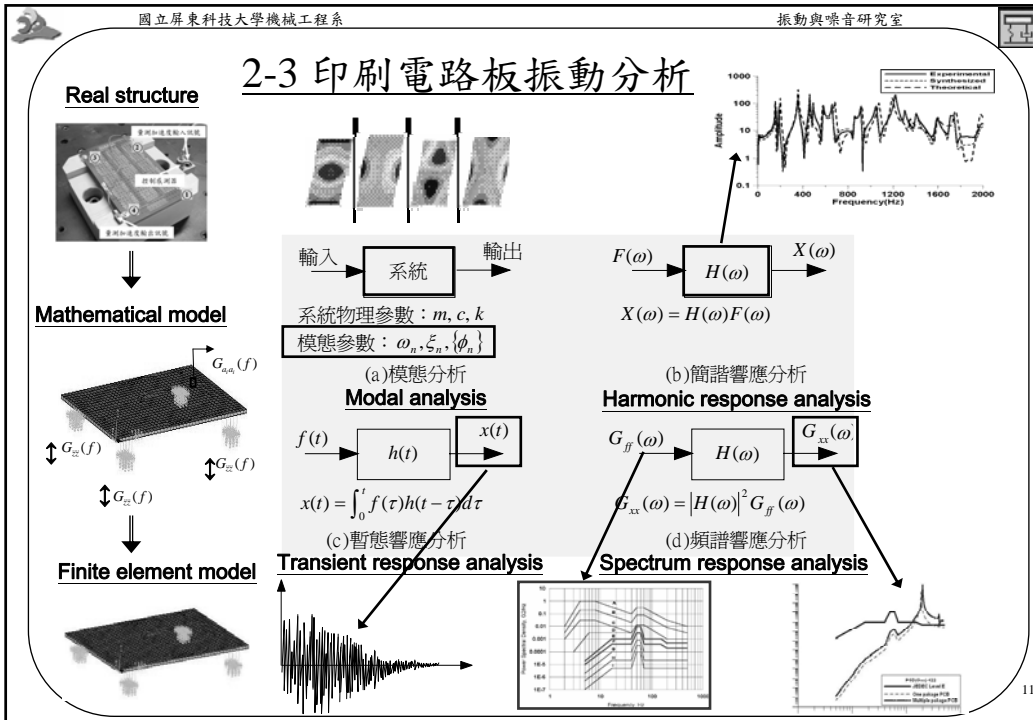
$G_{ff}(\omega) \rightarrow H(\omega) \rightarrow G_{xx}(\omega)$

$G_{xx}(\omega) = |H(\omega)|^2 G_{ff}(\omega)$

(d) 頻譜響應分析  
**Spectrum response analysis**



### 2-3 印刷電路板振動分析



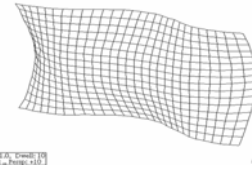
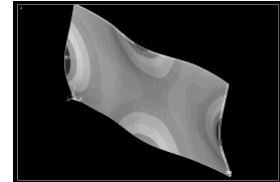
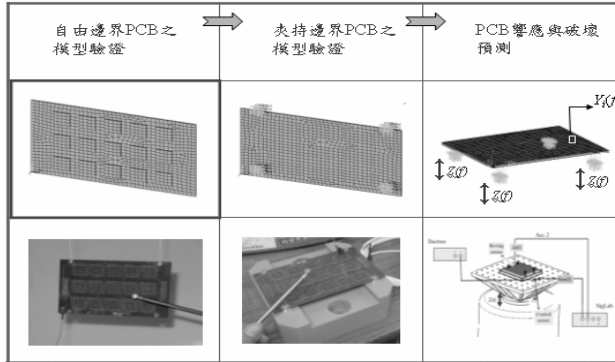
### 3. 印刷電路板環境振動試驗之分析案例

- 3-1 環境振動試驗用印刷電路板之振動分析
  - 自由邊界模型驗證
  - 固定邊界模型驗證
  - 頻譜響應分析與實驗驗證
- 3-2 印刷電路板之振動試驗與驗證分析
  - 印刷電路板模型驗證與響應預測之重現性探討
  - 疲勞破壞分析
- 3-3 單一封裝印刷電路板之振動測試與驗證分析
  - 單一與多個封裝體印刷電路板
  - 加速度計質量效應模擬分析
  - 印刷電路板模型驗證與響應預測之重現性探討
  - 簡易模型與精細模型之比較分析
- 3-4 具封裝體PCB於熱效應及振動複合試驗之響應預測
  - 具封裝體印刷電路板受熱之溫度場分析與實驗驗證
  - 印刷電路板受熱狀態之振動模態分析與驗證
  - 印刷電路板受熱狀態與隨機振動之響應預測與驗證

### 3-1 環境振動試驗用印刷電路板之振動分析

#### Vibration Analysis of Printed Circuit Boards for Environmental Vibration Testing

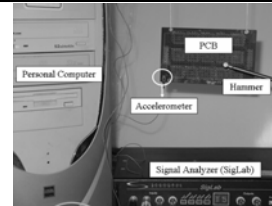
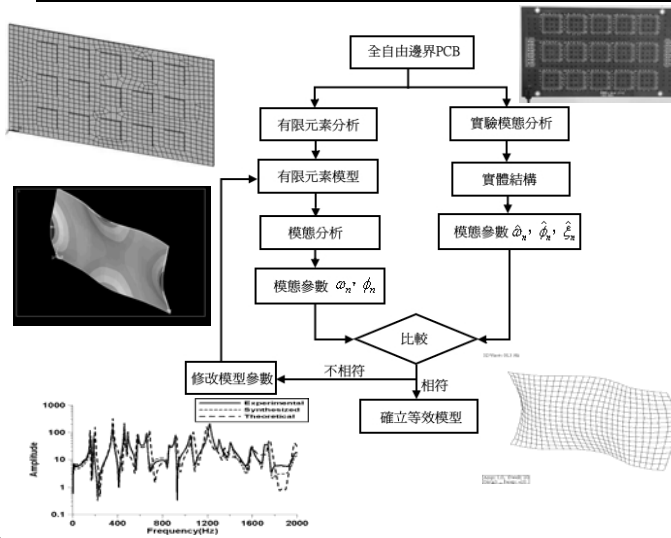
- 本文目的：
  - 結合FEA與EMA的模型驗證獲得環境振動試驗用PCB等效有限元素模型。
  - 導入JEDEC振動試驗規範驗證發展之等效模型其動態響應預測能力。
  - 利用等效分析模型對PCB執行在振動試驗中的破壞分析。
- 未來希望破壞預測結果能協助探討PCB相關零組件在振動測試中的響應預測及破壞分析。
- 並期望建立針對類似結構PCB的標準分析流程作業，確切掌控PCB零組件的振動特性並將結果回饋至設計層面。
  - 自由邊界下印刷電路板之模型驗證
  - 夾持邊界下印刷電路板之模型驗證
  - 印刷電路板響應與破壞預測



李英志，2006，「環境振動試驗用印刷電路板之振動分析」，國立屏東科技大學機械工程系，碩士論文。

### 環境振動試驗用印刷電路板之模型驗證

#### Model Verification of Printed Circuit Boards for Environmental Vibration Testing

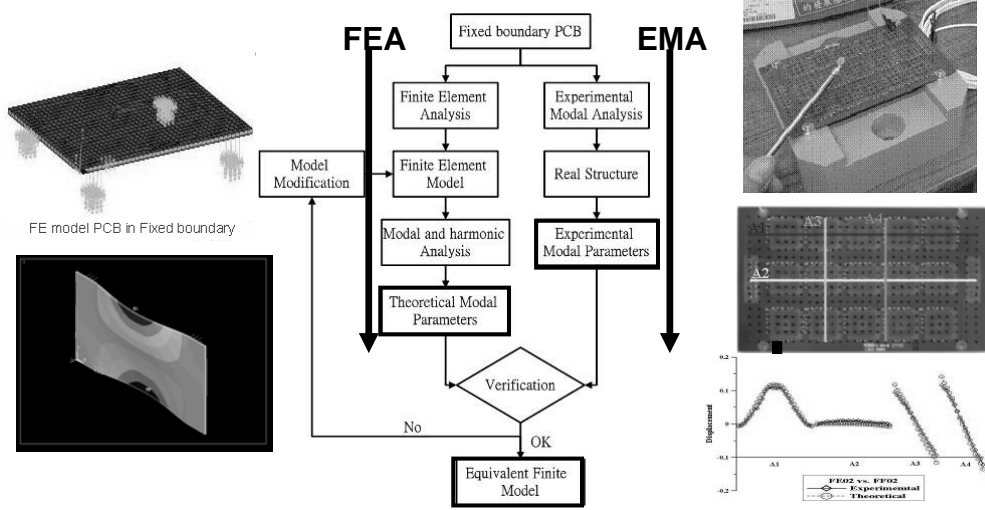


FEA		EMA		Diff(%)	
最佳化前	最佳化後	物理編號	頻率	最佳化前	最佳化後
R1-0	R1-0	0	0	x	x
F-01	230	F-01	154 (3.1)	E-01	161 -43 -4.3
F-02	302	F-02	200 (3.1)	E-02	187 62 7.0
F-03	605	F-03	357 (3.2)	E-03	356 70 0.3
F-04	619	F-04	457 (4.1)	E-04	461 34 -0.9
F-05	621	F-05	467 (1.3)	E-05	492 26 -5.1
F-06	855	F-06	574 (2.3)	E-06	582 47 -1.4
F-07	993	F-07	684 (4.2)	E-07	660 50 3.6
F-08	1195	F-08	857 (5.1)	E-08	858 39 -1.2
F-09	1329	F-09	921 (3.3)	E-09	913 46 0.9
F-10	1530	F-10	1075 (5.2)	E-10	1050 46 2.4
F-11	1676	x	x	x	x
F-12	1818	F-11	1192 (4.3)	E-11	1220 49 -2.3
x	x	F-12	1278 (1.3)	E-12	1300 x -1.7
F-13	1851	F-13	1349 (2.4)	E-13	1400 32 -3.6
x	x	F-14	1429	x	x
F-14	1967	F-15	1596 (6.1)	E-14	1590 24 0.4
F-15	2312	x	x	x	x
F-16	2417	F-16	1739 (5.3)	E-15	1710 41 1.7
F-17	2445	F-17	1759 (3.4)	E-16	1740 40 1.1
F-18	2841	x	x	x	x
x	x	F-18	1974 (6.2)	E-17	1980 x -0.3

王拓村，林鴻裕，李英志，2005，「環境振動試驗用印刷電路板之模型驗證」，中華民國第二十九屆全國力學會議，新竹，論文編號：H013。



## Model Verification of Printed Circuit Boards for Environmental Vibration Testing in Mounted Condition

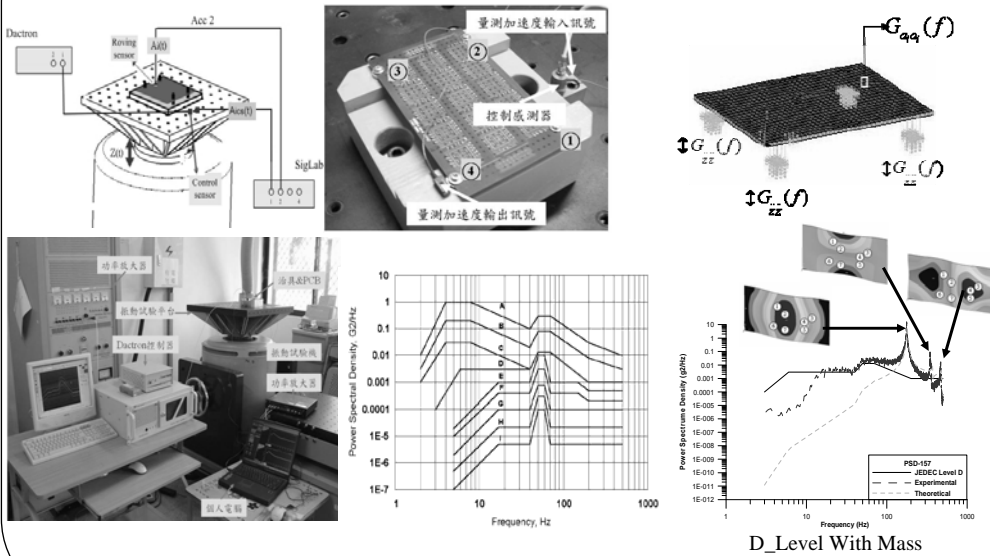


Wang, B. T., Lin, H. Y., Li, Y. C., Yeh, C. L., and Lai, Y. S., 2006, "Model Verification of Assembly Populated Printed Circuit Boards Under Environmental Vibration Testing," Proceedings of International Microelectronic and Packaging Society (IMAPS 2006), Taipei, Session 1C: Thermal-Mechanical Analysis and Design of Electronic Packaging (II).

15

## 印刷電路板於振動試驗之響應預測與驗證

### Response Prediction and Verification for Printed Circuit Board in vibration Testing



王相村, 蔡岳穎, 賴逸少, 葉相麟, 李英志, 2007, 「印刷電路板於振動試驗之響應預測與驗證」, 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-10。

16

### 3-2 印刷電路板之振動試驗與驗證分析

#### Vibration Testing and Verification Analysis for Printed Circuit Board

章節	第 2 章
主題	印刷電路板自由邊界之重現性探討
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>針對不同 EMA 結果於模型驗證，對於等效有限元素模型可靠性之評估。</li> <li>理論與實驗之振動模態參數比較。</li> <li>確認全自由邊界有限元素模型等效於實際 PCB。</li> <li>探討 PCB 材料參數於重現性實驗之變異性。</li> </ul>
示意圖	

章節	第 3 章
主題	印刷電路板固定邊界之重現性探討
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>以重現性手法對螺絲鎖固於環境振動試驗用治具的 PCB 進行模型驗證。</li> <li>確認固定邊界模型是否等效於實際 PCB。</li> <li>確認治具之適應性，將對固定邊界模擬參數於重現性實驗之變異性。</li> </ul>
示意圖	

章節	第 4 章
主題	印刷電路板頻譜響應分析
目的	<ul style="list-style-type: none"> <li>將實際印刷電路板進行符合 JEDEC 環境隨機振動試驗規範的振動試驗，量測印刷電路板的輸出響應包括加速度及應變。</li> <li>可獲得理論模擬分析的加速度與應變響應，並由實驗可求得實際的輸出響應如功率頻譜密度函數和平方平均值，透過實際試驗與理論分析求得之輸出響應進行比較驗證。</li> <li>評估不同 JEDEC 規範標準測試之分析與實驗比較。</li> </ul>

示意圖	
-----	--

後續應用	<ol style="list-style-type: none"> <li>預測及驗證印刷電路板在振動試驗中可能破壞的位置。</li> <li>提供未來次模型結構之分析依據。</li> <li>未來研究改善與建議。(第 5 章)</li> </ol>
------	--

蔡岳穎, 2007, 「印刷電路板之振動試驗與驗證分析」, 國立屏東科技大學機械工程系, 碩士論文。

### 印刷電路板實驗模態分析之重現性探討

#### Reproducibility of Experimental Modal Survey on a Printed Circuit Board

- PCB 經過時間及多種實驗測試，為了解其變異分析目標如下：
  - 對 PCB 進行兩次獨立之 EMA 實驗，分別求得 PCB 實際之自然頻率、模態振型與阻尼比
  - 就兩次 EMA 之結果與文獻[7]相比較，探討實驗結果之差異性
  - 針對不同 EMA 結果於模型驗證，對於等效有限元素模型可靠性之評估，以及 PCB 材料參數於重現性實驗之變異性

Mode	文獻[7]部分				重現性部分			
	頻率 (Hz)	FEA 振型	頻率 (Hz)	EMA 振型	頻率 (Hz)	第一次 EMA 振型	頻率 (Hz)	第二次 EMA 振型
4 (4,1)	457		461 (0.68)		468 (0.67)		468 (0.65)	
5 (1,3)	467		492 (0.70)		488 (0.77)		488 (0.72)	
6 (2,3)	574		582 (0.97)		587 (0.84)		586 (0.81)	

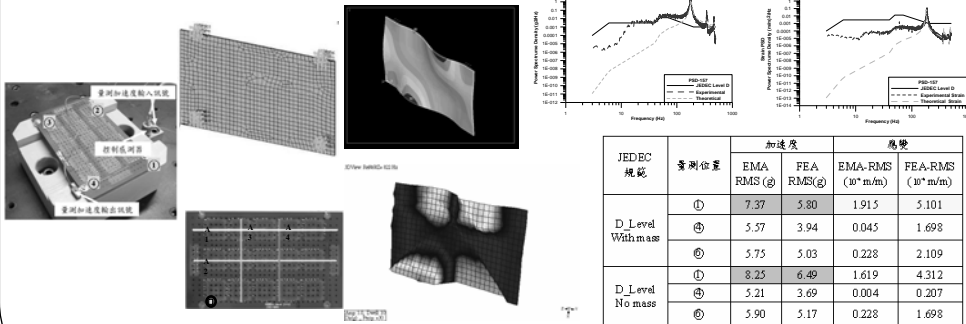
王栢村, 蔡岳穎, 李英志, 賴逸少, 葉相麟, 2006, 「印刷電路板實驗模態分析之重現性探討」, 中華民國第三十屆全國力學會議, 彰化, 論文編號: H2-6。

## 印刷電路板於振動試驗之響應預測與驗證

### Response Prediction and Verification for Printed Circuit Board in Vibration Testing

● 本文分析目標如下：

- 對PCB進行獨立之EMA實驗，分別求得PCB實際之自然頻率、模態振型與阻尼比。
- 以JEDEC隨機振動試驗規範對受測印刷電路板執行試驗，利用加速度計及應變規求得實際結構在振動試驗中的響應值。
- 利用驗證成功的等效有限元素模型在ANSYS軟體中執行頻譜響應分析
  - ▲ 除將模擬分析結果與實際實驗響應比對，確認響應預測之正確性外
  - ▲ 並結合操作變形振型預測破壞區域，推定出印刷電路板在隨機環境激振試驗中可能的失效破壞位置點

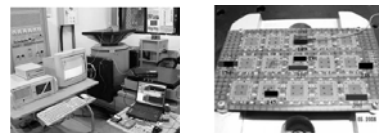


王栢村, 蔡岳穎, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2007, 「印刷電路板於振動試驗之響應預測與驗證」, 中華民國振動與噪音工程學會第十五屆學術研討會, 台北, 論文編號: B-10。

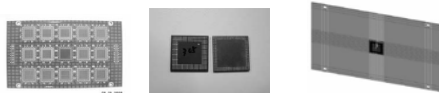
## 3-3 單一封裝印刷電路板之振動測試與驗證分析

### Vibration Testing and Verification Analysis for One Package Printed Circuit Board

- 單一封裝印刷電路板細部有限元素模型
- 自由邊界模型驗證
- 固定邊界模型驗證
- 隨機激振及頻譜響應分析之驗證
- 細部模型響應預測



【固定邊界隨機激振示意圖】



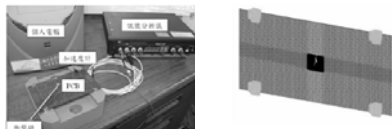
【自由邊界實體及有限元素模型】



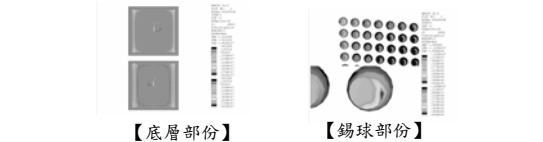
【電路板部份】

【封膠層部份】

【晶片層部份】



【固定邊界模型驗證自示意图】



【底層部份】

【錫球部份】

【單一封裝PCB細部模型於隨機振動下最大主應力示意图】

陶致均, 2008, 「單一封裝印刷電路板之振動測試與驗證分析」, 國立屏東科技大學機械工程研究所碩士論文, 屏東。

## 加速度計質量效應模擬分析之評估與驗證

### Evaluation and Verification of Accelerometer Mass Effect on Theoretical Simulation

● 模擬加速度計，以三種方式進行有限元素模型之建構，設定說明方式如下：

■ Case1為模擬無質量元素，目的在探討印刷電路板之加速度計質量效應的影響。

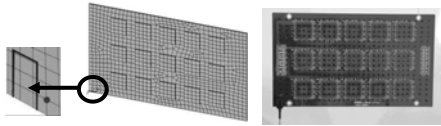
■ Case2為李[1]所使用之加速度計模擬方式。

■ Case3及Case4為圖4中實際加速度計所占之區域進行質量劃分之分配，為理想之實際加速度計模擬區域。

■ Case5及Case6為探討加速度計模擬之邊界效應對整體結構之影響。

模擬編號	Case1	Case2[1]	Case3	Case4	Case5	Case6
質量元素設置方式	無質量元素	分為板子上、下各3點	板子上8點	板子上8點	板子上6點	板子上6點
質量元素模擬方式	$m_1 = 0$	$m_1 = \frac{m_2}{6}$	$m_1 = \frac{m_2}{8}$	$m_1 = m_2 = 1.195 \times 10^{-4}$ $m_3 = m_4 = 2.39 \times 10^{-4}$ $m_5 = m_6 = 2.39 \times 10^{-4}$ $m_7 = m_8 = 1.526 \times 10^{-4}$	$m_1 = \frac{m_2}{6}$	$m_1 = m_2 = 3.585 \times 10^{-4}$ $m_3 = m_4 = 2.39 \times 10^{-4}$ $m_5 = m_6 = 1.526 \times 10^{-4}$
質量元素設置圖形						

Mode	實驗數據[1]			Case2數據[1]		
	頻率 (Hz)	EMA振型	MAC	頻率 (Hz)	FEA振型	MAC
7 (4,2)	660		0.97	684		0.95
8 (5,1)	858		0.97	857		0.84
9 (3,3)	913		0.97	921		0.77



王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉祖麟, 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。

## 印刷電路板模型驗證與響應預測之重複性探討

### Repeatability Discussions on Model Verification and Response Prediction of Printed Circuit Board

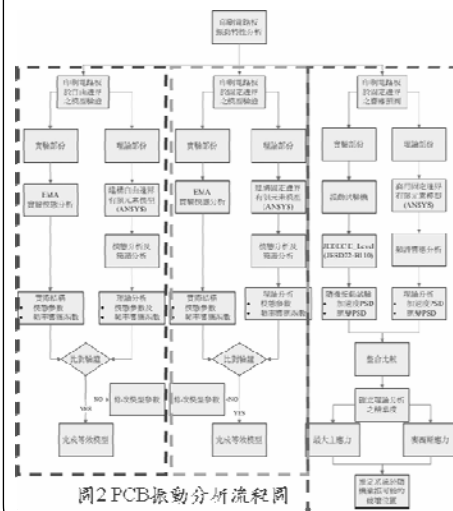


圖2 PCB振動分析流程圖

表5 兩塊測試板於自由邊界下模態振型比對表

模態	Test Board (A)			Test Board (B)		
	頻率 (Hz)	FEA振型	MAC	頻率 (Hz)	EMA振型	MAC
1	187.23		0.95	190.26		0.98

表11 兩塊測試板於固定邊界下模態振型比對表

模態	Test Board (A)			Test Board (B)		
	頻率 (Hz)	FEA振型	MAC	頻率 (Hz)	EMA振型	MAC
7	980.32		0.84	996.15		0.94

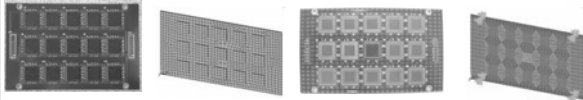
表11 應力振型 圖形總表

JEDC- E_Level <sup>o</sup>	Test Board (A) <sup>o</sup>			Test Board (B) <sup>o</sup>		
	頻率(Hz) <sup>o</sup>	最大主應力 (σ <sub>1</sub> ) <sup>o</sup>	多西斯應力 (σ <sub>avg</sub> ) <sup>o</sup>	頻率(Hz) <sup>o</sup>	最大主應力 (σ <sub>1</sub> ) <sup>o</sup>	多西斯應力 (σ <sub>avg</sub> ) <sup>o</sup>
200.21 <sup>o</sup>				201.75 <sup>o</sup>		
403.82 <sup>o</sup>				404.57 <sup>o</sup>		
500 <sup>o</sup>				500 <sup>o</sup>		

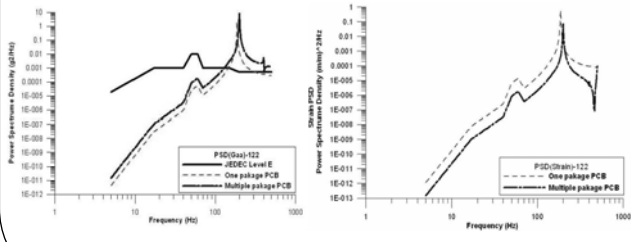
王栢村, 陶致均, 李沛峰, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2007, 「印刷電路板模型驗證與響應預測之重複性探討」, 2007 ANSYS/Fluent年度應用研討會與用戶聯誼大會 (第16屆), 桃園, 第15-30頁。

## 不同封裝體數量印刷電路板之振動特性與響應預測模擬比較分析

### Comparison Study of Vibration Characteristics and Response Simulation for Print Circuit Board with Different Package Layout



單一封裝體印刷電路板		多個封裝體印刷電路板		自然頻率差異 (%)
Mode	頻率 (Hz)	Mode	頻率 (Hz)	
F-01	187.07	F-01	200.59	-6.74



兩塊PCB加速度計與應變規平方平均根值比較表

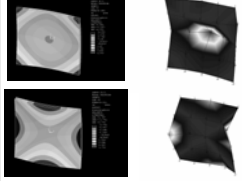
JEDEC E_Level	單一封裝體 PCB		多封裝體 PCB	
	加速度 RMS(g)	應變規 RMS(μm)	加速度 RMS(g)	應變規 RMS(μm)
122	2.661	1.36	2.281	0.491
203	2.597	0.848	5.639	1.603
239	0.638	0.315	1.987	0.335
247	0.203	0.519	0.815	0.608
361	2.005	1.038	4.376	1.332

王栢村, 許富翔, 陶政均, 賴逸少, 葉相麟, 李英志, 2008, 「不同封裝體數量印刷電路板之振動特性與響應預測模擬比較分析」, 中華民國振動與噪音工程學會第十六屆學術研討會, 台北, 論文編號: C-5。

## 上級封裝體於自由邊界下之模型驗證

### Model Verification of Board-level Electronic Package in Free Boundary

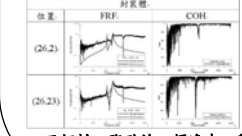
FEA與EMA模態振型比對



自然頻率誤差表

Mode	理論分析(FEA)	實驗分析(EMA)	誤差(%)
1	5129.6	-	-
2	8149.24	8221.5	-0.87
3	9908.7	10054	-1.44
4	13431.87	13246	1.4

封裝體於自由邊界下異點FRF及COH圖



上級封裝體之全模型 上級封裝體實體圖

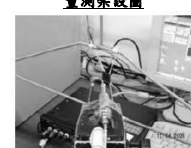
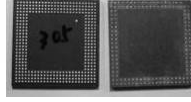
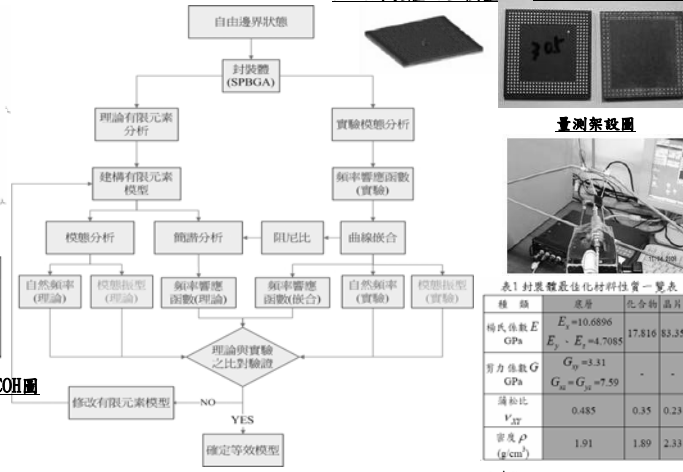


表1 封裝體最佳化材料性質一覽表

種類	厚度	化合物	晶片	錫球	
楊氏係數 $E$	$E_x = 10.6896$				
GPa	$E_y = E_z = 4.7065$	17.816	83.35	25.1326	
剪力係數 $G$	$G_{xy} = 3.31$				
GPa	$G_{yz} = G_{zx} = 7.59$				
泊松比	$\nu_{xy}$	0.485	0.35	0.23	0.11
密度 $\rho$		1.91	1.89	2.33	7.44
(g/cm <sup>3</sup> )					



王栢村, 陶政均, 賴逸少, 葉相麟, 李英志, 2008, 「上級封裝體於自由邊界下之模型驗證」, 中華民國振動與噪音工程學會第十六屆學術研討會, 台北, 論文編號: C-6。

### 單一封装PCB板之簡易模型與精細模型於模型驗證之比較分析

#### Comparable Study of Simplified and Refined Models of PCB with Single Package for Model Verification

##### ● 有限元素模型建構說明

###### ■ 元素選用：

- ▲ 簡易與精細整體模型皆使用線性六面體元素(SOLID45)。
- ▲ 三維質量元素(MASS21)及設置數個質量元素節點來模擬加速度計
- ▲ 簡易模型：在錫球部分則以彈簧元素 (combin14) 建構。

###### ■ 元素分割：簡易與精細模型分割使用 mapped mesh方法

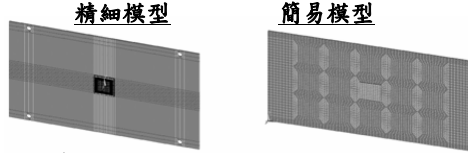
- ▲ 精細模型：128448個元素
- ▲ 簡易模型：4929個元素

###### ■ 位移限制條件：

- ▲ 以全自由邊界(free-free)模擬，故無須設定任何位移限制。

###### ■ 負荷條件：

- ▲ 模態分析不須設定負荷
- ▲ 簡易與精細模型進行簡諧響應分析時，需在對應實驗模態分析時之衝擊點位置



簡易模型及精細模型之自然頻率比較

標格	自然頻率比較				error(%)	
	EMA 頻率 (Hz)	FEA(Refined) 標格 頻率 (Hz)	FEA(Simple) 標格 頻率 (Hz)	ER	ES	
E-01	117.85	F-01 126.74	F-01 115.06	7.543	-2.367	
E-02	147.44	F-02 147.82	F-02 148.28	0.258	0.570	
E-03	281.31	F-03 284.87	F-03 280.64	1.266	-0.238	
E-04	398.45	F-04 391.38	F-04 412.07	-1.774	3.418	
E-05	440.53	F-05 438.1	F-05 423.17	-0.552	-3.941	
E-06	509.57	F-06 506.49	F-06 492.31	-0.663	-2.169	
E-07	576.53	F-07 577.56	F-07 571.74	-3.290	-0.831	
E-08	734.76	F-08 684.81	F-08 687.43	-6.798	-6.442	
E-09	812.31	F-09 824.25	F-09 839.29	1.470	3.321	
E-10	947.91	F-10 926.24	F-10 969.4	-2.286	2.267	
E-11	1038.90	F-11 974.44	F-11 1004.3	-6.205	-3.330	
-	-	F-12 1196.6	F-12 1182.1			
-	-	F-13 1238.7	F-13 1280.3			
E-12	1319.90	F-14 1335	F-14 1398.7	1.144	5.970	
-	-	F-15 1390.4	F-15 1429.1			
E-13	1454.90	F-16 1426	F-16 1475	-1.986	-1.773	
E-14	1522.30	F-17 1468.5	F-17 1544.6	-3.534	-3.107	
E-15	1831.60	F-18 1781.9	F-18 1801	-2.713	-1.671	
E-16	1887.20	F-19 1908.4	F-19 1998.2	1.123	5.882	
EMA 及 FEA 頻率比對平均值				-0.423	-0.277	
EMA 及 FEA 頻率比對標準差				2.782	3.577	
EMA 及 FEA 頻率比對平均極值				2.816	3.474	

王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2008, 「單一封装PCB板之簡易模型與精細模型於模型驗證之比較分析」, 第十一屆全國機構與機器設計研討會, 新竹, 論文編號: FIN-41960.

### 單一封装PCB板之響應預測與實驗驗證

#### Response Prediction and Experimental Verification for PCB with Single Package

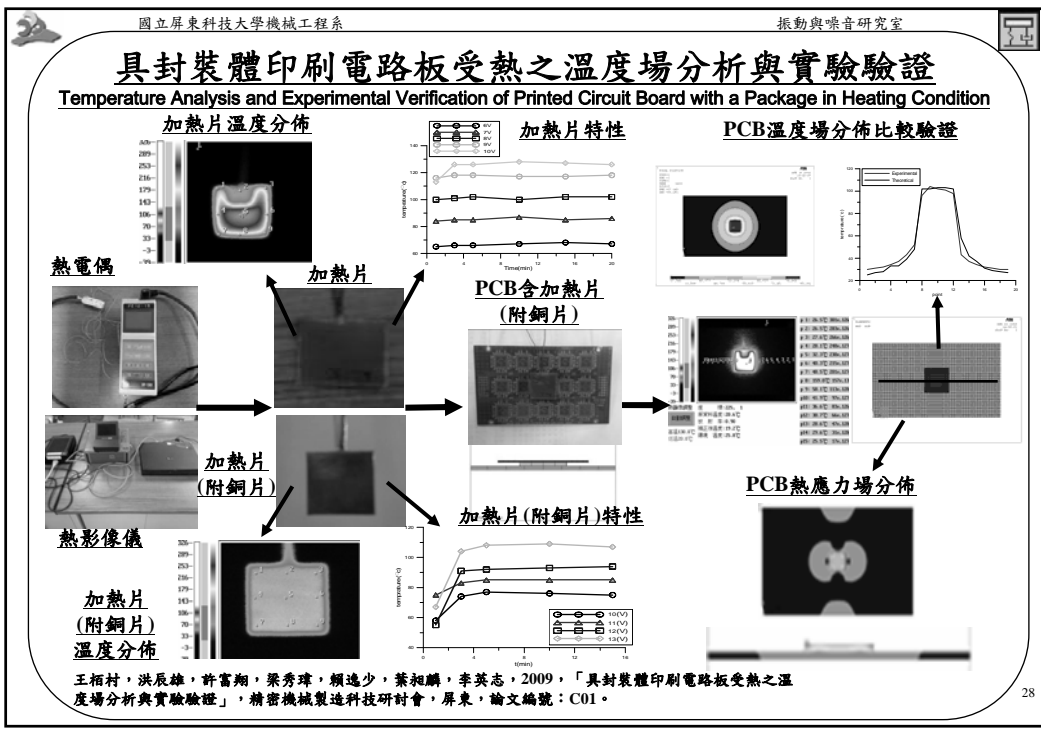
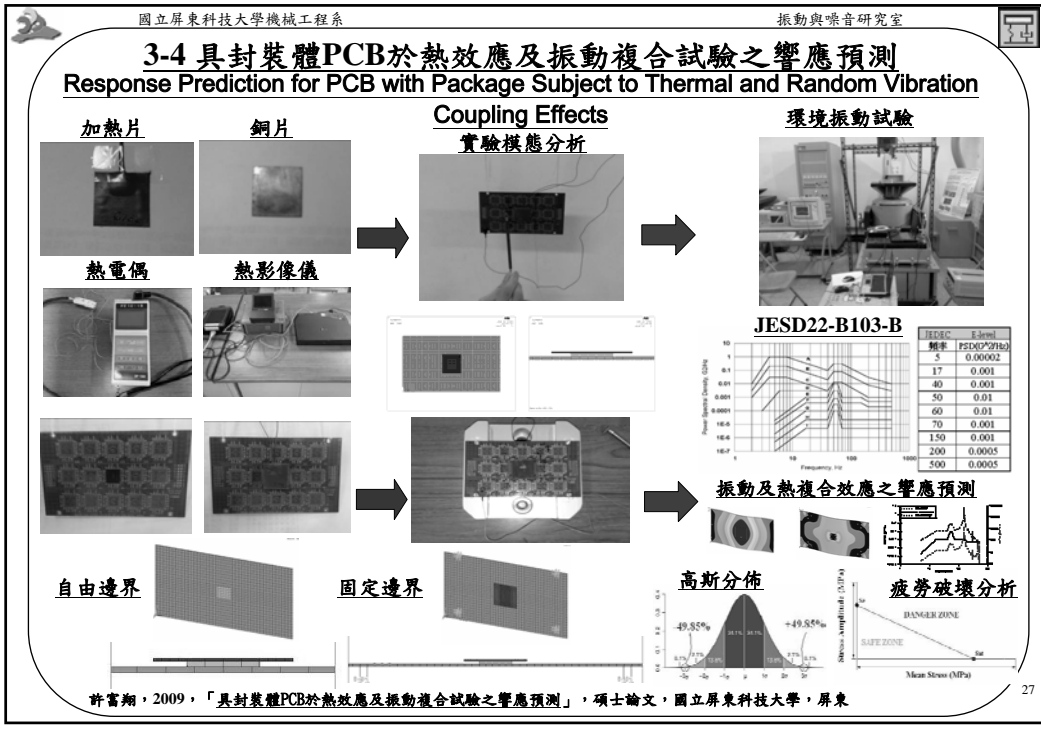
The flowchart details the process from theoretical analysis to experimental verification. It starts with '單一封装PCB板之響應預測與實驗驗證' and branches into '理論有限元素分析' and '連續流體實驗'. Theoretical analysis includes '結構有限元素模型' and '頻譜響應分析', leading to '有限內理路耗散' and '有限外理路耗散'. Experimental verification includes '共振器內加速度計' and '共振器外加速度計', leading to '實驗內理路耗散' and '實驗外理路耗散'. Both paths converge to '響應理論與實驗分析之精確度', which involves '封装應力FEM及ANSYS計算' and '錫球應力FEM及ANSYS計算'. The final steps are '最大主應力及多週期應力' and '確認各組模型應力場分布及驗證精確模型應力場之應力', leading to '細部模型之疲勞壽命預測分析'.

The high-order function distribution diagram shows a normal distribution curve with parameters:  $\mu = 1.0$ ,  $\sigma = 0.1$ . The area under the curve is divided into three regions:  $-49.58\%$ ,  $49.58\%$ , and  $0.84\%$ .

The Goodman fatigue analysis diagram shows a plot of  $\log(N_f)$  vs. Mean Stress (MPa). It identifies the 'DANGER ZONE' and 'SAFE ZONE'.

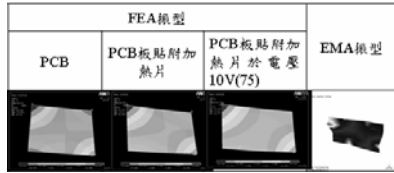
Two sets of stress distribution plots are shown for a frequency of 204.09Hz. The first set shows 'Uz 位移圖' and '最大主應力分佈圖' with selection points 61011 and 10188. The second set shows 'Uz 位移圖' and '最大主應力分佈圖' with selection points 60177, 56155, and 151349.

王栢村, 陶致均, 許富翔, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2008, 「單一封装PCB板之響應預測與實驗驗證」, 2008 Taiwan ANSYS/Fluent Conference (第17屆), 台北, 論文編號: 6-5.

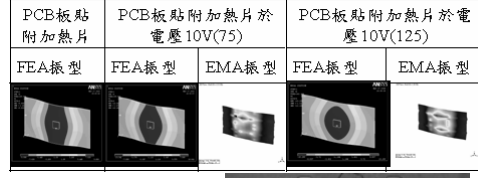


## 印刷電路板受熱狀態之振動模態分析與驗證 Vibration Modal Analysis and Verification of Printed Circuit Board with Thermal Effect

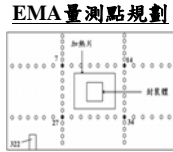
### 自由邊界 - 模型驗證



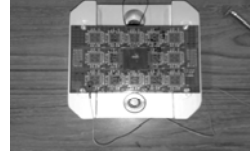
### 固定邊界 - 模型驗證



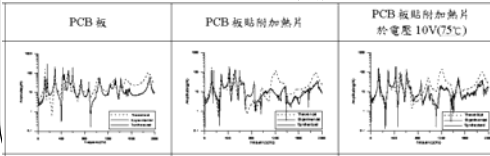
印刷電路板



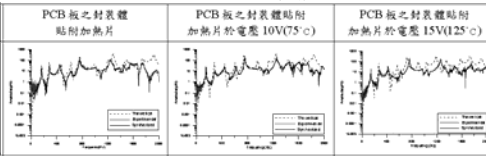
EMA量測點規劃



### 自由邊界 - 頻率響應函數驗證



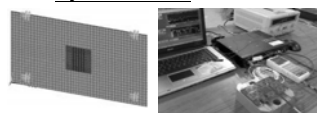
### 固定邊界 - 頻率響應函數驗證



王拓村, 許富翔, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2009, 「印刷電路板受熱狀態之振動模態分析與驗證」, 振動與噪音工程學術研討會, 台北, 論文編號: 2009CSSVB013。

## Response Prediction and Verification for PCB with Package due to Thermal and Random Vibration Coupling Effects

### System model

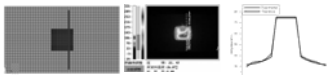


MODE	FEA	EMA	M/C
1			0.95
2			0.91
3			0.93
4			0.87

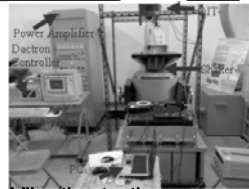
### Model verification

MODE	FEA(FEA)	EMA(FEA)	ERROR (%)	DAMPING RATIO (%)	ACCUMULATIVE DAMAGE (%)
1	158.04	152.5	3.60	0.66	0.66
2	281.1	280.49	0.19	1.218	0.939
3	443.16	436.13	2.04	1.271	1.049
4	312.96	309.23	0.70	0.939	1.022
5	393.8	-	-	1.047	1.027
6	603.62	622.84	-3.11	0.315	0.908
7	748.24	760.37	-1.62	0.42	0.839
8	957.95	1049.5	-8.74	0.302	0.772
9	968.5	-	-	0.473	0.738
10	1127.3	1257.2	-10.37	0.015	0.666

### Temperature verification

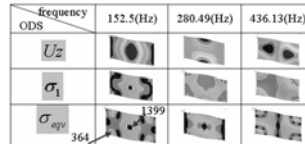


### Thermal stress prediction



Vibration testing with heating

### Response prediction for coupling effects



### Acceleration response verification

Location	Exp rms (g)	FEA rms (g)	Acceleration PSD
2.561	1.332		

location	Stress PSD	Stress rms (KPa)	Stress range (KPa)
364		$\sigma_{1rms} = 0.737$ $\sigma_{ap,rms} = 34.5$	$\sigma_1 = \pm 2.211$ $\sigma_{ap} = \pm 103.5$
1.399		$\sigma_{1rms} = 72.2$ $\sigma_{ap,rms} = 63.6$	$\sigma_1 = \pm 216.6$ $\sigma_{ap} = \pm 190.8$

Wang, B. T., Hsu, F. X., Liang, X. W., Hung, C. H., Lai, Y. S., Yeh, C. L., and Li, Y. C., 2009, "Response Prediction and Verification for PCB with Package due to Thermal and Random Vibration Coupling Effects," The 4th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT 2009), Taipei, SESSION 13: Test, Quality, Inspection, Reliability Technology, Paper No.:TW135-1.



## 4. 結語

- 本報告應用ANSYS有限元素分析(FEA)軟體於印刷電路板(PCB)之環境振動分析
  - 模態分析：求得PCB之模態參數
  - 簡諧響應分析：求得PCB之頻率響應函數
  - 頻譜響應分析：求得PCB受隨機振動之頻譜響應
  - 考慮PCB於隨機振動與熱效應的複合負載下之響應
- 介紹以實驗模態分析(EMA)於校正有限元素分析模型之方法以及模型驗證與認證(model verification and validation)理念
- 本報告介紹結合FEA與EMA之虛擬測試(virtual testing)於PCB之振動分析
  - 模型驗證與認證(Model V&V)
  - 響應預測(Response Prediction)
  - 設計變更(Design Modification)

31

## 5. 參考文獻

- 王栢村, 林鴻裕, 李英志, 2005, 「環境振動試驗用印刷電路板之模型驗證」, 中華民國第二十九屆全國力學會議, 新竹, 論文編號: H013。
- Wang, B. T., Lin, H. Y., Li, Y. C., Yeh, C. L., and Lai, Y. S., 2006, "Model Verification of Assembly Populated Printed Circuit Boards Under Environmental Vibration Testing," *Proceedings of International Microelectronic and Packaging Society (IMAPS 2006)*, Taipei, Session 1C: Thermal-Mechanical Analysis and Design of Electronic Packaging (II).
- 王栢村, 蔡岳穎, 李英志, 賴逸少, 葉祖麟, 2006, 「印刷電路板實驗模態分析之重現性探討」, 中華民國第三十屆全國力學會議, 彰化, 論文編號: H2-6。
- 王栢村, 蔡岳穎, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2007, 「印刷電路板於振動試驗之響應預測與驗證」, 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-10。
- 王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉祖麟, 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。
- 王栢村, 陶致均, 李沛緯, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2007, 「印刷電路板模型驗證與響應預測之重複性探討」, 2007 ANSYS/Fluent 年度應用研討會與用戶聯誼大會(第16屆), 桃園, 第15-30頁。
- 王栢村, 許富翔, 陶致均, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2008, 「不同封裝體數量印刷電路板之振動特性與響應預測模擬比較分析」, 中華民國振動與噪音工程學會第十六屆學術研討會, 台北, 論文編號: C-5。
- 王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2008, 「上級封裝體於自由邊界下之模型驗證」, 中華民國振動與噪音工程學會第十六屆學術研討會, 台北, 論文編號: C-6。
- 王栢村, 陶致均, 許富翔, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2008, 「單一封裝PCB板之響應預測與實驗驗證」, 2008 Taiwan ANSYS/Fluent Conference (第17屆), 台北, 論文編號: 6-5。(年度最佳論文獎)
- 王栢村, 陶致均, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2008, 「單一封裝PCB板之簡易模型與精細模型於模型驗證之比較分析」, 第十一屆全國機構與機器設計研討會, 新竹, 論文編號: FIN-41960。
- Lee, Y.C., Wang, B. T., Lai, Y.S., Yeh, C. L., and Chen, R. S., 2008, "Finite Element Model Verification for Packaged Printed Circuit Board by Experimental Modal Analysis," *Microelectronics Reliability*, Vol. 48, pp.1837-1846.
- Lee, Y.C., Wang, B. T., Lai, Y.S., Yeh, C. L., and Chen, R. S., 2008, "Calibration of Equivalent Finite Element Model for Packaged Printed Circuit Board by Experimental Modal Analysis," The 10th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC 2008), Singapore, Paper No.: P0112.
- 王栢村, 洪辰雄, 許富翔, 葉秀璋, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2009, 「具封裝體印刷電路板受熱之溫度場分析與實驗驗證」, 精密機械與製造科技研討會論文集, 屏東, 論文編號: C01-1。
- 王栢村, 葉秀璋, 許富翔, 賴逸少, 葉祖麟, 李英志, 2009, 「有無熱效應印刷電路板之振動特性模擬分析比較」, 精密機械與製造科技研討會論文集, 屏東, 論文編號: C14-1。
- Wang, B. T., Hsu, F. X., Liang, X. W., Hung, C. H., Lai, Y. S., Yeh, C. L., and Li, Y. C., 2009, "Response Prediction and Verification for PCB with Package due to Thermal and Random Vibration Coupling Effects," The 4th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference (IMPACT 2009), Taipei, SESSION 13: Test, Quality, Inspection, Reliability Technology, Paper No.:TW135-1.

32