

垂直式探針卡基座應力分析

邱進東* 陳政湧** 林有鎰***

*德霖技術學院機械工程系 副教授

**德霖技術學院機械工程系助理教授

***德霖技術學院機械工程系 教授

摘要

垂直式探針將探針集中在一小區域，所以常會造成探針卡基座應力集中，或是超過材料的降伏強度。以往研究學者多著重在探針本身的分析，較少探討探針卡基座本身之行為。本文利用幾何非線性有限元素模型，分析垂直式探針卡基座之應力與變形，以提高製程精度。探針卡基座模型包含底板、PCB 板及加強材，三者間採用接觸邊界條件，將加強材一端固定同時以均佈負荷模擬垂直式探針作用力。分析結果顯示，當負荷逐漸增加時，底板中心先變形再逐漸往外圍變形，會使得外圍探針有較大的應力，較容易疲勞，在探針總作用力為 400kg 時，底板及 PCB 板在厚度方向變形會過大，必須增加測試時的衝程探針才能與電路做有效的接觸。

關鍵字：垂直式探針卡、應力、變形、有限元素法

Stress Analysis of Vertical Probe Card Base

Jinn-Tong Chiu* Cheng-Yung Chen** Yeou-Yih Lin***

De Lin Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering

Associate Professor* Assistant Professor ** Professor ***

Abstract

A vertical-type- probe card concentrates the probe on a small zone. It will induce a stress concentration on probe card base, or it exceeds the yield strength. Researchers focused on the probe in the past and less studied on the behaviors of the probe base. In this study, a based on geometrical nonlinear FE model was taken to analyze the produced stress and strain of the vertical-type- probe card base to improve the precision of the IC fabrication processes. The base model involves in a substrate, a PCB board and a stiffener, among which contact boundary condition is used, the end of the stiffener is fixed. The probe force is produced with a uniform loading on the substrate. Based on the analyses, the result shows that the substrate will initially deforms at the center and outwardly with the increasing of loading force. High stress will be induced on the outer part of probe and easily caused fatigue failure. The substrate and PCB board deform largely in the direction of thickness with total loading of 400kgs. It is, then, necessary to increase testing stroke of probe to have an effective contacting.

Keywords: vertical probe card, stress, deformation, finite element method

壹、緒論

探針卡為應用在積體電路(IC)尚未封裝前，對裸晶以探針做功能測試，透過探針卡之探針與晶圓特定焊墊(pad)接觸，以量得電路的電性，進而判斷出晶粒的好壞，再進行之後的封裝工程。近年來探針卡精度隨著 IC 製程線寬縮小而提高，在單位面積的總針數也隨著增加。目前常用的探針卡型式有懸臂式與垂直式兩種，垂直式探針以彎曲與挫曲變形提供彈性力，具體積小、容易更換等優點，可執行單線列與多線列的細間距探測，是邏輯電路及記憶體電路常選用的探針卡。

垂直式探針卡如圖 1.-2.所示，為 1974 年 IBM 所提出的專利[1]，其探針主要分為針尖部、彎曲部及插置部，其中彎曲部是一斷面扁平的預成型曲線(pre-curve)，是一個大半徑的圓弧，針尖部及插置部兩軸向有一偏移，分別以上下固定板固定，當探針針尖與焊墊接觸時由彎曲部產生彎曲變形，並提供所需的最小接觸力。在探針的研究方面，早在 1992 年 Comeau and Nadeau[2]推導出衝程對探針尖端受力與位移的數學模型；Borz 與 Rincon[3]提出針尖與焊墊的接觸理論，並探討測試過程中溫度的上升量對探針接觸阻抗的影響；Takemoto 等[4]探討懸臂式探針針尖型式對鉛焊墊的塑性變形量之影響，以及針尖的表面粗糙度與鉛材黏附量的關連性；[5] Chao 等利用三維有限元素模型模擬懸臂式探針的力學特性並考慮接觸問題，[6] Alain 以理論模型探討懸臂式探針的力學特性並探討幾何尺寸改變時對針尖對焊墊作用力與抓痕 (scrub)長度的影響，考慮其他尚有關於垂直式探針卡(vertical needle)[7-8]、微彈簧式探針(microsprings needle)[9]、熱致動式微機電探針卡(thermally actuated microprobes)[10]之研究成果發表。

垂直式探針應探針集中在一小區域，所以常會造成部分應力過大，或是超過材料的降伏強度。以往研究學者多著重在探針本身的分析，較少分析探針卡基座變形。本文以垂直式探針卡作用在探針卡基座上，以幾何非線性有限元素模型分析探針卡基座之應力與變形，其中基座模型包含底板、PCB 板及加強材，三者間採用接觸邊界條件，而加強材一端固定同時以均佈負荷模擬垂直式探針作用力。

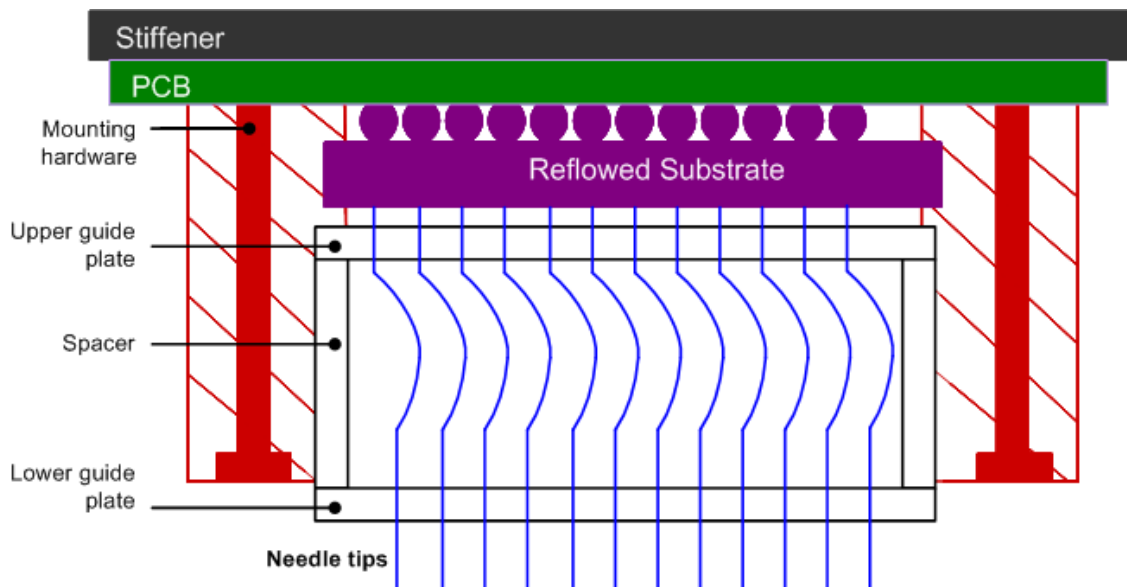


圖 1. 垂直式探針卡結構

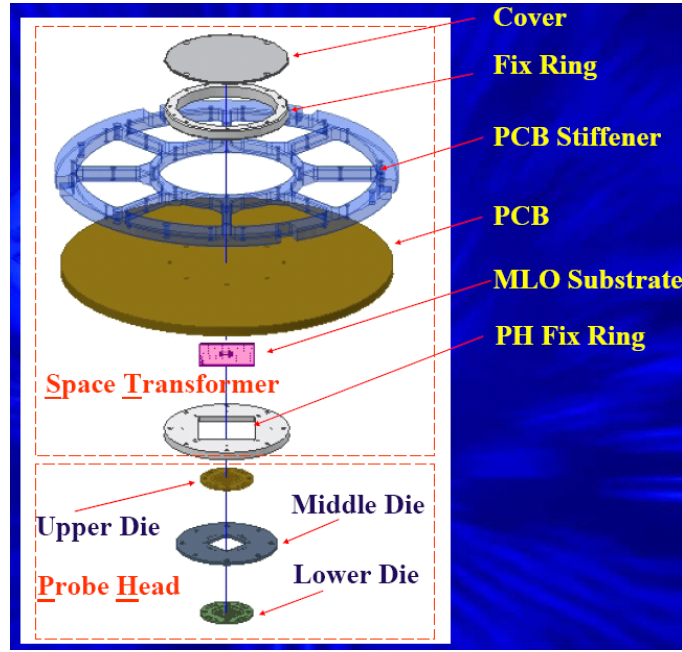


圖 2. 垂直式晶圓探針卡結構

貳、理論基礎

本文建立非線性有限元素模型，進行垂直式探針卡基座的應力及接觸力分析。模型中考慮材料模型為線性及幾何為非線性，以逐步積分方式，讓負荷逐漸增加，以模擬 IC 測試過程。有線元素模型的控制方程式敘述如下：

應用有限元素法大變形理論，以全拉格蘭近似法(total Lagrangian approach)，平衡方程式以虛功原理可表示成[11]

$$\int_{V_0} S_{ij} \delta E_{ij} dV = \int_{V_0} b_i^0 \delta \eta_i dV + \int_{A_0} t_i^0 \delta \eta_i dA \quad (1)$$

其中： S_{ij} 為對稱的克希荷夫(Piola-Kirchhoff)第二應力張量， E_{ij} 為拉格蘭(Green-Lagrange)應變張量， b_i^0 為對應於參考座標的物體力向量， t_i^0 為對應於參考座標的作用力向量， η_i 為虛位移。由 $t=0$ 開始作積分，將應變分為平衡時的總應變及在時間 $t=n$ 至 $t=n+1$ 的應變增量，可表示為

$$E_{ij}^{n+1} = E_{ij}^n + \Delta E_{ij} \quad (2)$$

其中：應變增量可分為線性 ΔE_{ij}^ℓ 及非線性 $\Delta E_{ij}^{n\ell}$ 兩部分

$$\Delta E_{ij} = \Delta E_{ij}^\ell + \Delta E_{ij}^{n\ell} \quad (3)$$

其中：線性的應變增量 ΔE_{ij}^ℓ 可表示為：

$$\Delta E^\ell = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \Delta u_i}{\partial X_j} + \frac{\partial \Delta u_j}{\partial X_i} \right] + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial u_k^n}{\partial X_i} \right) \left(\frac{\partial \Delta u_k}{\partial X_j} \right) + \left(\frac{\partial u_k^n}{\partial X_j} \right) \left(\frac{\partial \Delta u_k}{\partial X_i} \right) \right] \quad (4)$$

方程式(4)中第二項為初始位移效應所引起的，非線性應變增量 $\Delta E^{n\ell}$ 可表示為：

$$\Delta E^{n\ell} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial \Delta u_k}{\partial X_i} \frac{\partial \Delta u_k}{\partial X_j} \right] \quad (5)$$

將平衡方程式(1)線性化可得控制方程式

$$\{K_0 + K_1 + K_2\} \delta u = F - R \quad (6)$$

其中： K_0 為微小位移勁度矩陣，可表示為：

$$(K_0)_{ij} = \int_{V_0} \beta_{imn}^0 D_{mnpq} \beta_{pqj}^0 dV \quad (7)$$

K_1 為初始位移勁度矩陣，可表示為：

$$(K_1)_{ij} = \int_{V_0} \left\{ \beta_{imn}^u D_{mnpq} \beta_{pqj}^u + \beta_{imn}^u D_{mnpq} \beta_{pqj}^0 + \beta_{imn}^0 D_{mnpq} \beta_{pqj}^u \right\} dV \quad (8)$$

上式中 β_{imn}^0 及 β_{imn}^u 分別為常數項及與位移有關的對稱的形狀函數梯度矩陣， D_{mnpq} 為材料正切(material tangent)， K_2 為初始應力勁度矩陣(initial stress stiffness matrix)

$$(K_2)_{ij} = \int_{V_0} N_{i,k} N_{j,\ell} S_{k\ell} dV \quad (9)$$

其中： $N_{i,k}$ 為形狀函數的梯度矩陣， δu 為位移的修正向量(correction displacement vector)， F 及 R 分別為外力及內力。

參、結果與討論

探針卡基座模型包含底板、PCB 板及加強材，三者間採用接觸邊界條件，將加強材一端固定同時以總荷重 400kg 之均佈負荷作用於底板中心 20*20mm 內，以模擬垂直式探針作用力，材料性質為 PCB 採用 FR-4 材料， $E=18.2\text{GPa}$ ， $\nu=0.19$ ，厚度為 6.35mm，底板同樣採用 FR-4 材料，厚度為 1.65mm；分析模型如圖 3.所示，採用 23716 個節點，17488 個實體元素。利用上述之非線性有限元素模型，並漸進式的施加負荷，計算每一時間步幅的變形與應力，以模擬探針卡測試過程，變形分佈圖如圖 4.所示，中心最大變形為 1.211mm；圖 5.為 von Mises 分佈圖，最大應力發生在底板周圍；底板剖面變形圖如 6.所示，圖中顯示在有探針位置中心 20mm 平方處，變形並不一致，基座的外圍較中心變形較小，會造成探針接觸不均勻，外圍的探針相對變形會較大，會有較大的應力產生；圖 7.說明負荷增加時底板的變形等高線變化圖，當負荷逐漸增加時變形會由中心往外擴張，越接近中心會有較大變形。

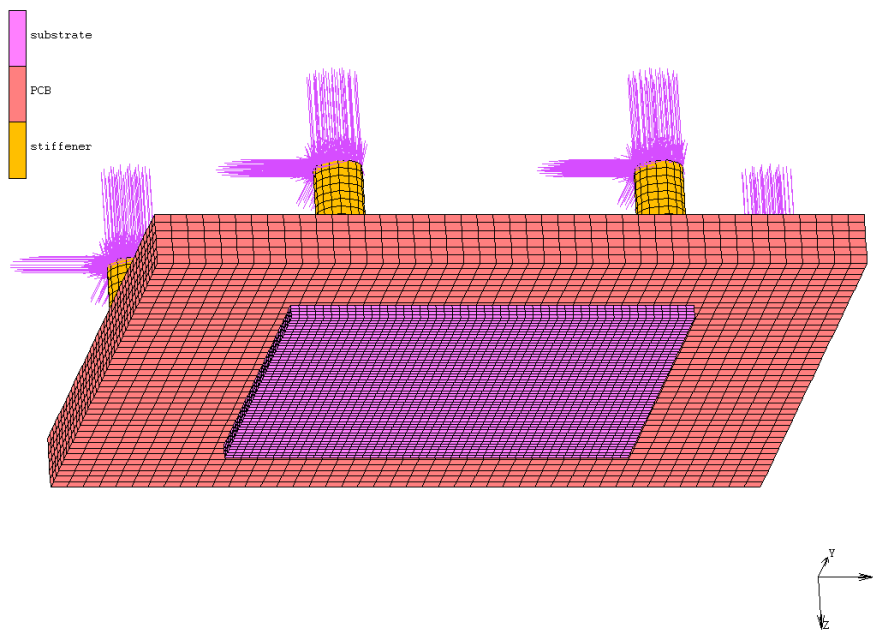


圖 3.探針卡基座有限元素模型

Inc: 10
Time: 1.000e+000

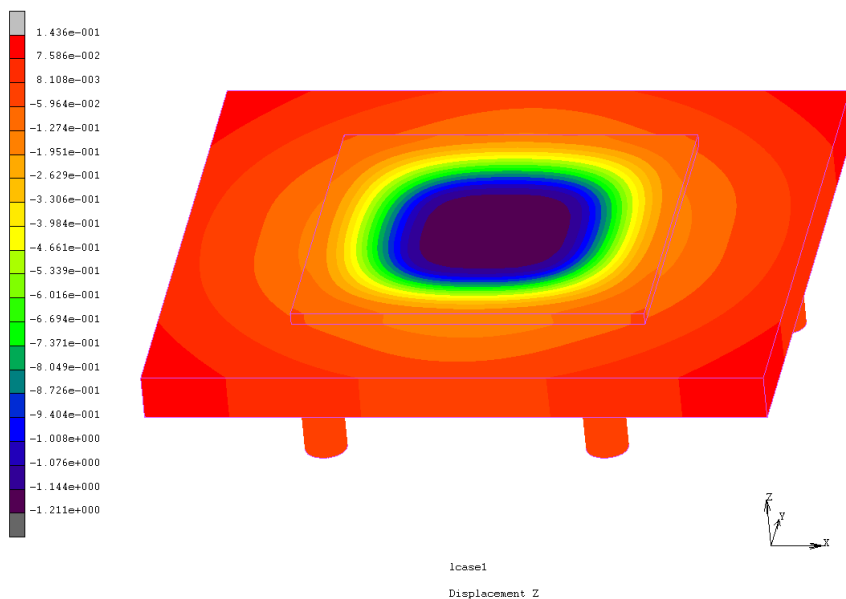


圖 4.變形分佈圖(max. deflection=1.211mm)load=400kg

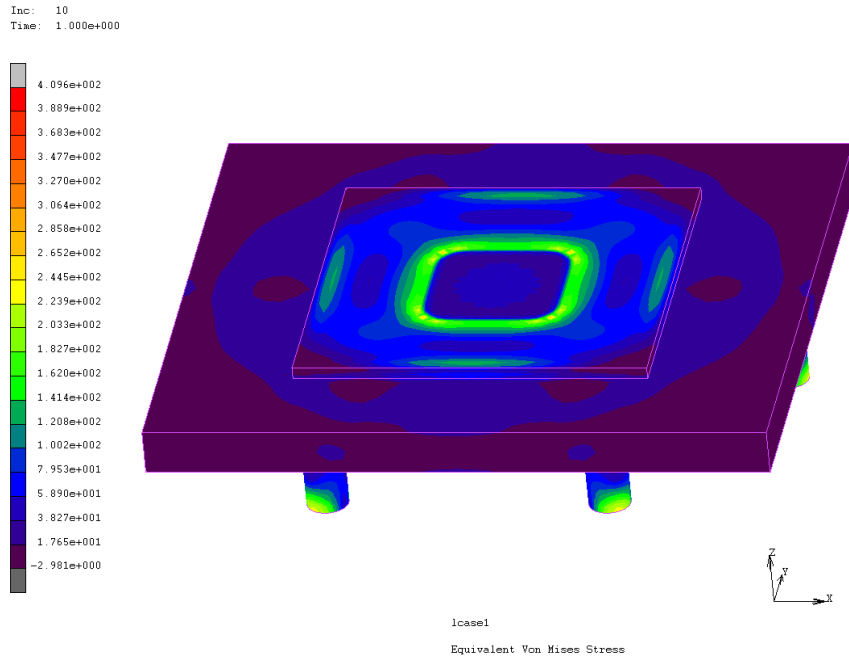


圖 5. von Mises 分佈圖(max.409.6 MPa)load=400kg

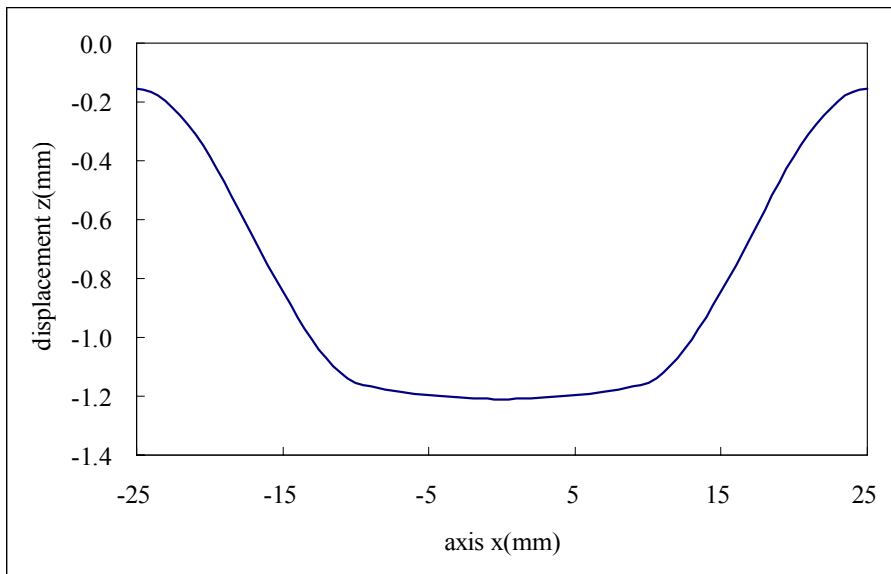


圖 6.底板變形圖 load=400kg

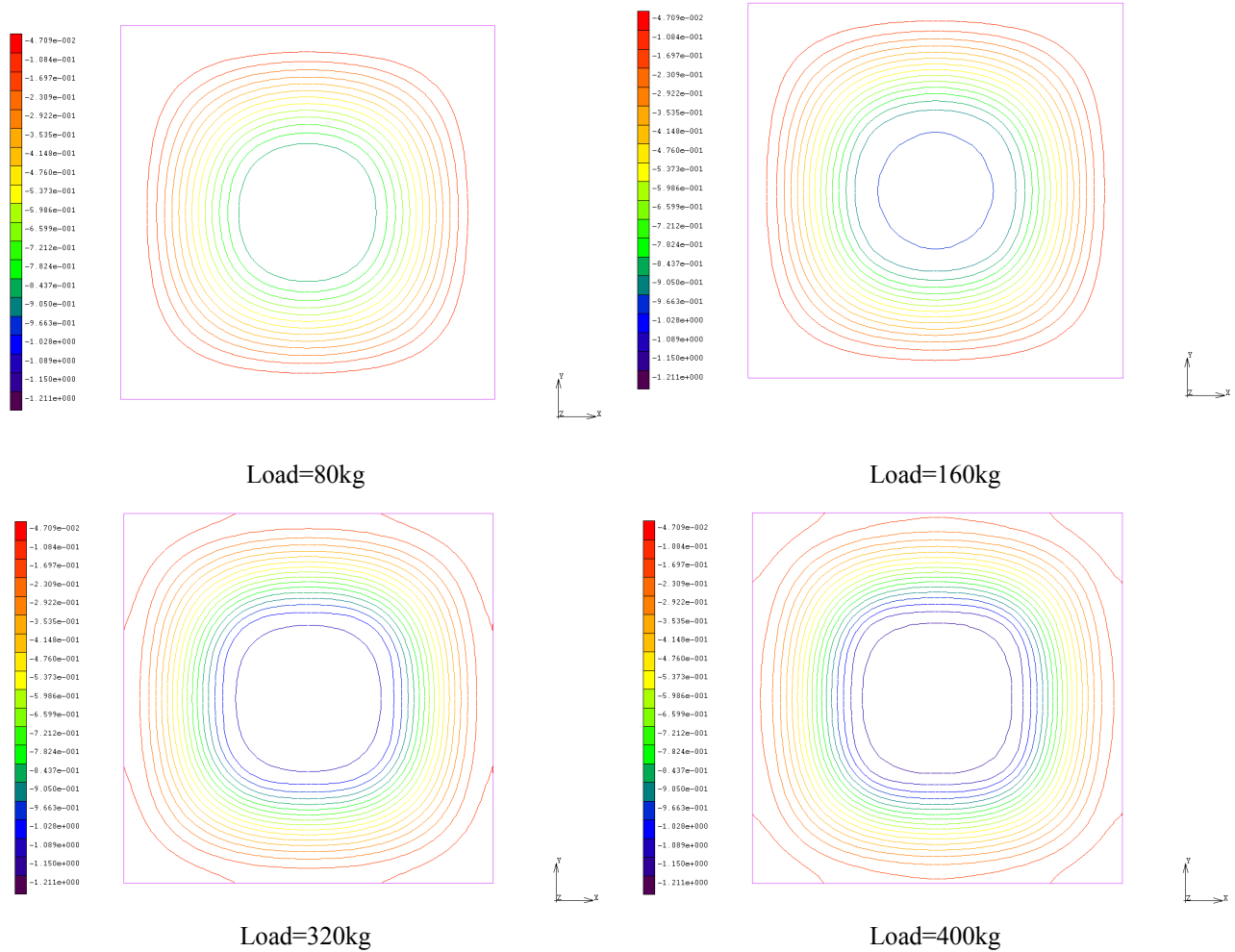


圖 7.變形等高線變化圖

肆、結論

本文利用非線性有限元素分析垂直式探針卡基座，以漸進式施加負荷方式，模擬測試過程中模型之應力與變形，探針卡基座模型考慮底板、PCB 板及加強材，三者間採用接觸邊界條件，將加強材一端固定，同時以總重為 400kg 之均佈負荷作用於底板中心 20*20mm 內，以模擬垂直式探針作用力，分析結果結論如下：

- 1.分析結果顯示，當負荷逐漸增加時，底板中心先變形再逐漸往外圍變形，因而使得外微探針產生較大的應力，導致易出現疲勞的現象。
- 2.在探針總作用力為 400kg 時，底板及 PCB 板在厚度方向變形會過大，必須增加測試時的衝程探針才能與電路做有效的接觸，或是於基板部分進行補強。

伍、參考文獻

1. Herbert P. Byrnes, Richard Wahl, 1977, "Contact for an Electrical Contactor Assembly", United States Patent, 4027935.
2. A. R. Comeau and N. Naduau, 1991, "Modeling the bending of probes used in semiconductor industry," IEEE

- Transactions on semiconductor manufacturing, Vol.4, No.2, pp.122-127.
3. J. J. Broz and R. M. Rincon, 1999, "Probe contact resistance variations during elevated temperature wafer test," IEEE International Test Conference, pp.396-405.
 4. S. M. M. Takemoto, Y. K. Y. Deguchi, K. Miki and T. Nagata, 2000, "Highly reliable probe for wafer testing," IEEE Electronic Components and Technology Conference, pp.1152-1156.
 5. Chao, Y.C.; Lee, Y.J.; Liu, J.; Shen, G.S.; Tsai, F.J.; Liu, D.S.; Shih, M.K., 2003," Development of probing mark analysis model [IC testing]", Electronic Packaging Technology Proceedings, 2003. ICEPT2003. Fifth International Conference on , 28-30 Oct. pp. 40 - 43
 6. Alain R. Comeau and Normand Nadeau, 1991, "Modeling the Bending of Probes Used in Semiconductor Industry", IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 4, No. 2 May, pp. 122-127.
 7. K. F. Zimmermann, 1995, "SiPrube – A new technology for wafer probing," IEEE International Test Conference, pp.106-112.
 8. S. Sasho and T. Sakata, 1996, "Four multi probing test for 16 bit DAC with vertical contact probe card," IEEE International Test Conference, pp.86-91.
 9. Nicholas Sporck, 1997, "A new probe card technology using compliant microsprings," IEEE International Test Conference, pp.527-532.
 10. Yanwei Zhang, Yongxia Zhang and R. B. Marcus, 1999, "Thermally actuated microprobes for a new wafer probe card," IEEE Journal of Microelectromechanical System, Vol.8, No.1, pp.43-49.
 11. MARC Volume A, 2006, Theory and User Information, Version 2006, MARC Analysis Research Corporation.