

塑封球柵陣列電子構裝之分析、量測與設計

子計劃六：塑封球柵陣列之非破壞偵測

計劃編號：NSC 89-2212-E-002-033

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

子計劃主持人：吳恩柏 國立台灣大學應用力學研究所 教授

計劃參與人員：呂家祥,高迺浩,黃昭彰,陳志松,蔡怡庭

中文摘要

本計劃在第一年旨在探討新一代封裝方式—塑封球柵陣列(Plastic Ball Grid Array, 簡稱 PBGA) 電子構裝, 受到溫度改變所造成的結構上的變化與影響。並建立一套以雷射位移量測器(Laser Displacement Meter, LDM)配合三軸移動平台之非破壞檢測系統。第二年則是發展另一套精度更高之非接觸量測方式—電子光斑干涉術(Electronic Speckle Pattern Interferometry, ESPI)以建立一材料結構熱膨脹係數之量測系統, 量測基板與鑄模灌酯之等效熱膨脹係數, 以建立一與實驗結果吻合之有限元素分析模型。在計劃第三年則建立一全域式、非接觸式、非破壞性的相移陰影疊紋量測系統(Shadow Moiré with Phase Stepping), 並引入數位影像處理的方法將實驗所得之影像資訊量化, 重建出待測物之變形的表面。並應用此系統來探討塑封球柵陣列構裝之結構, 製程, 與其發生的翹曲問題與受到溫度效應時的翹曲行為變化。最後利用實驗所觀察之翹曲行為, 以有限元素法分析模型進行構裝體之參數分析, 用以改善封裝之製程, 進而提昇生產線上之良率, 並作為構裝設計最佳化的準則。

Abstract

Due to its complicity in geometry, material properties and manufacturing process, plastic ball grid array (PBGA) packages have suffered many mechanical problems, such as warpage, delamination and die cracks, during the manufacturing and surface mounting process. In the first year, we developed a nondestructive detection technology, designated as the

laser scanning method (LSM). It consisted of a laser displacement meter (LDM), precision XYZ table and a computer controlled software to measure PBGA warpage step by step. In the second year, we developed a whole field, non-contact, nondestructive detection technology, namely Electronic Speckle Pattern Interferometer (ESPI). By using the ESPI technology we could accurately measure the coefficient of thermal expansion (CTE) of PBGA package material.

In the third year, the shadow moiré with phase stepping and the whole field image processing method was developed to measure the PBGA warpage behavior under the baking and/or reflow conditions. On the other hand, from the experiment results, a new warpage model, by using the finite element method (FEM), was employed to predict the PBGA warpage behavior at different temperatures. This numerical predication and experimental methods can improve the production yield and reduce the cycle time and cost during the package development stage.

緣由與目的

在構裝產品平面度問題的研究中, 構裝體在製程中因高溫加熱而產生的翹曲問題最受到重視。翹曲變形產生之可能因素很多, 必須確切的發現問題的原因, 才能改善構裝體翹曲的情形。

近年來探討半導體構裝翹曲的研究方法, 除了以有限元素分析模型來做預測外, 還有建立實驗量測系統作分析。故本文中將建立以非破壞、非接觸性、高精確度、高敏感性和直接量測全場表

面的位移場，與數值模擬作分析比對，去探討電子構裝受溫所發生的行為變化。

應用光學方式量測電子構裝並進行力學分析方面的研究頗多，如 Ume 等人在架構陰影疊紋量測系統，可即時量測印刷電路板(PCB, PWB)在模擬製程升溫過程中的翹曲行為變化[1]。1998 年 Y. Guo 與 S. Liu 在曾以疊紋干涉術量測 CSP 的面內位移，並引入相移技術增加量測的精度[2]。1999 年黃昭彰曾以相移陰影疊紋量測系統量測 PBGA 與 MCP-BGA 在模擬製程升溫過程中的翹曲行為變化，並以引用相移技術、數位影像量化處理技術與最小平方法消除剛體旋轉效應[3]。

應用有限元素法預測電子構裝之力學分析方面的研究頗多，1996 年黃明哲與陳志中以有限元素分析模型模擬二維球型陣列電子構裝各部份所受之熱應力[4]。1997 年李世璋等人以有限元素分析模型預測塑封球柵陣列構裝在高溫下的翹曲變化[5]。本文主要的目的在建立相移陰影疊紋即時量測系統，將之應用在塑封球柵陣列構裝表面翹曲的量測上，探討構裝體在溫度效應下的行為變化，並與有限元素模型作模擬比對，進而了解與分析構裝體材料組成之特性。

相移陰影疊紋量測系統：

將一片光柵玻璃置於待測物表面上方，再將一束平行光照射在玻璃上，此時在物體表面會形成條紋陰影，與光柵玻璃的條紋，會交織成類似等高線的疊紋，此即是陰影疊紋，其條紋幾何關係如圖 1 所示，其關係式如下：

$$w = \frac{Np}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

其中 w 為面外位移值， N 為條紋序號， p 為光柵玻璃的條紋密度， α 為入射光束與光柵玻璃法線之夾角， β 為 CCD 相機方向與光柵玻璃

法線之夾角。陰影疊紋條紋影像的光強分佈可以用一個近似餘弦的式子表示：

$$I(x, y) = B(x, y) + A \cos(\phi(x, y))$$

其中 (x, y) 是影像中每一個像素的座標， $I(x, y)$ 表示疊紋影像的光強分佈， $B(x, y)$ 表示背景光強， A 表示餘弦振幅， $\phi(x, y)$ 則是每一個點的相位值。當考慮得到三個相位相差 $2\pi/3$ 的影像，關係式如下所示：

$$I_1(x, y) = B(x, y) + A \cos(\phi(x, y))$$

$$I_2(x, y) = B(x, y) + A \cos\left(\phi(x, y) - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$I_3(x, y) = B(x, y) + A \cos\left(\phi(x, y) - \frac{4\pi}{3}\right)$$

我們可以解得其相位為

$$\phi(x, y) = \arctan \frac{\sqrt{3}(I_2 - I_3)}{(2I_1 - I_2 - I_3)}$$

利用相位資訊即可提高陰影疊紋的解析度，此即相移陰影疊紋技術。圖 2(a)-(i) 為典型之 PBGA 初始翹曲量測與量化過程示意圖。圖 2(a)-(c) 是分別是 PBGA 三個不同相位之原始影像，經由影像前處理過程可適當濾除試片之雜訊(如圖 2(a)-(c) 中所示 PBGA 基板背面之焊錫墊片)，圖 2(d)-(f) 為經影像前處理過後之影像。將上述影像代入上式中即可求得其圖 2(d)-(f) 所相對之相位，進一步可求得相對之相位圖(phase map)，圖 2(g) 其即為上式計算所得之相位圖。其後再經由影像處理濾除雜訊、細線化、定條紋序號、重建三維曲面與消除試片剛體位移與旋轉效應。圖 2(h) 為經一系列影像處理後之二維等高線圖，其中已經消除剛體旋轉與剛體位移之效應。圖 2(i) 為其相對之三維的表面重建圖，由此圖可見到 PBGA 在製程中導致的初始翹曲。詳細之過程可參閱文獻[3,6,7]。

塑封球柵陣列構裝試片：

本實驗使用尚未植球試片的 BT 基

板表面作為量測面(如圖 3 所示), 分別量測其在溫度為 25、100、150、180、200 及 225°C 時的翹曲值。實驗中依製程順序有下列三組試片:

第一組: BT 基板(4 片), 目的為觀察在升溫歷程的翹曲變化, 了解材料組成的物理現象。

第二組: BT 基板+晶片(共十三片), 目的為觀察在升溫歷程的翹曲變化, 了解材料組成的物理現象與製程溫度點的關係。

第三組: BT 基板+晶片+打線+鑄模灌酯(十五片), 目的為觀察在升溫歷程的翹曲變化, 了解材料組成的物理現象與製程溫度點的關係。

實驗設備組合:

實驗設備含白光源、CCD 相機、疊紋光柵耐熱玻片(光柵密度: 2mils/pitch)、單軸平移台、介面控制程式軟體、影像卡、取像軟體、影像處理軟體、精密高溫烤箱, 其組合如圖 4 所示。

翹曲值實驗量測結果;

第一組: BT 基板

其翹曲值在室溫與隨溫度變化結果如圖 5 所示。當溫度為 100°C→180°C 時, 其翹曲值漸漸變大, 可能與基板上綠漆已超過其玻璃轉化溫度(Tg)有關; 當溫度為 180°C→200°C 時, 其翹曲值漸漸變小。在溫度為 180°C 時有一極大值, 其原因可能與 BT 基板內樹脂過玻璃轉化溫度後, 樹脂材料常數與熱膨脹係數發生變化, 產生翹曲變化反向。但翹曲值變化不大且略有不對稱, 其原因可能與 BT 基板的組成以樹脂為主有關, 加上強化纖維、銅箔線路及綠漆的排列不對稱及製程參數控制所產生。

第二組: BT 基板+晶片

25°C 室溫下之量測結果, 由量測面

見其圖形為凹, 其原因可由各材料間熱膨脹係數不匹配來解釋, 假設在 150°C 晶片與 BT 基板結合時無翹曲行為, 待其冷卻至室溫時, 由於 BT 基板的熱膨脹係數大於晶片, 因此產生向 BT 基板之凹形彎曲。迴溫量測實驗結果如圖 6 所示, 25°C→150°C 時, 其翹曲值漸漸變小略成一線性變化, 其原因為 BT 基板與晶片的熱膨脹係數差異所致; 當溫度為 150°C→225°C 時, 其翹曲值幾乎保持不變。在溫度為 150°C 時有一轉折點, 其原因可由第一組實驗結果來解釋, 因 BT 基板呈現反向變化, 因此導致本組試片翹曲值未能持續呈線性減小趨勢。

第三組: BT 基板+晶片+打線+鑄模灌酯

除去 BT 基板水汽烘烤前後 25°C 室溫下之量測結果如圖 7 所示, 發現翹曲值除試片 1-3 外, 其餘皆比烘烤前為小, 原因為試片歷經烘烤過程中, 逐漸將 BT 基板內部的水汽蒸發出來, 使得 BT 基板的體積收縮, 造成翹曲值變小。

25°C 室溫下之量測結果, 由量測面見其圖形為凸, 若由 BT 基板的熱膨脹係數大於晶片與鑄模灌酯, 因此 BT 基板收縮量大產生凹形彎曲來解釋, 發現實驗結果不然。其原因可由鑄模灌酯為熱固性材料來解釋, 由液態熔膠固化時, 化學分子產生新的鍵結, 造成體積的收縮, 稱為模縮(Mold Shrinkage)效應, 關係定義如下:

模縮效應=化學收縮效應+熱收縮效應

因模縮效應使製程上利於脫模動作的進行, 由廠商所提供的資料可知化學收縮量約為總體積的 0.06%。若把數值改以熱膨脹係數表示, 如下所示:

$$\frac{0.06}{100} \times \frac{1}{150(^{\circ}C)} \times 10^6 (ppm) = 4 (ppm/^{\circ}C) \quad (6)$$

因此若加上鑄模灌酯的熱膨脹係數(14ppm/°C), 在此製程裡, 鑄模灌酯所呈現的熱膨脹效應係數應為 18(ppm/°C)。當溫度由 175°C 冷卻至室溫時, 鑄模灌酯的熱膨脹係數大於晶片與 BT 基

板，因此鑄模灌酯收縮量大產生凸形彎曲。

迴溫過程 $25^{\circ}\text{C} \rightarrow 225^{\circ}\text{C}$ ，不僅想了解試片的翹曲行為變化，也想了解試片在同一溫度點翹曲值的分佈情況，因此選取全部十五個試片作迴溫量測與觀察。其實驗結果如圖 8 所示。當溫度為 $25^{\circ}\text{C} \rightarrow 180^{\circ}\text{C}$ 時，其翹曲值漸漸變大略成一線性變化，原因為 BT 基板的熱膨脹係數大於晶片與鑄模灌酯產生凸形彎曲。當溫度為 $180^{\circ}\text{C} \rightarrow 225^{\circ}\text{C}$ 時，其翹曲值成反向漸漸變小略成一線性變化。其原因與鑄模灌酯為熱固性材料有關，過玻璃轉化溫度 (180°C) 後，熱膨脹係數會從 $14\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 改變為 $52\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ 約增加為四倍；楊氏模數會從 16Gpa 改變為 0.8Gpa 約減少為二十分之一，因此鑄模灌酯膨脹量大產生凹形彎曲，即造成更小的凸形彎曲。

數值模擬分析結果

第二組：BT 基板+晶片

晶片在 150°C 下以黏膠材料黏著於 BT 基板上，為簡化模型本文將不考慮黏膠 (後約 1mil)，假設溫度為 150°C 時各材料間無應力產生不發生翹曲行為，模擬冷卻至室溫 (25°C)，也就是受熱負載為 -125°C 之翹曲行為。與實驗結果作比對如圖 9 所示皆為凹形彎曲，乃由於晶片與 BT 基板熱膨脹係數的差異 (BT 基板 $>$ 晶片) 所產生；但翹曲值大小差異約為 60%，其原因可能與溫度為 150°C 時各材料間無應力產生不發生翹曲行為之假設有關係。

在此我們將數值模擬的結果作一調整，分別將數值結果加上在 150°C 時之實驗平均值，結果如圖 10 所示，差異分佈於 $-20\sim 30\%$ ，原因可能與製程的不完美有關，可由室溫下翹曲值約有 $-30\sim 50\%$ 的差異可知。而 $150\sim 225^{\circ}\text{C}$ 翹曲值之比對結果，發現趨勢並不一致，其原因如實驗結果第二組試片所述。

第三組：BT 基板+晶片+打線+鑄模灌酯

在 175°C 下，以環氧樹脂利用轉移成形法 (Transfer-Molded) 將晶片與金線密封在樹脂中。假設溫度為 175°C 時各材料間無應力產生不發生翹曲行為，模擬冷卻至室溫 (25°C)，也就是受熱負載為 -150°C 之翹曲行為，其結果如圖 11 所示。

由數值分析其初始翹曲值在 25°C 室溫下與實驗結果之比對結果翹曲呈相反方向，其原因正驗證先前實驗結果所討論所述鑄模灌酯之化學收縮效應之重要性。因此若在數值分析模型中考慮鑄模灌酯之化學收縮效應，以調整鑄模灌酯熱膨脹係數的大小來描述模縮效應，其結果如圖 12 所示，則數值結果與實驗結果不僅在翹曲方向吻合 (凸形彎曲)，且翹曲值差異約僅 5%。 $25\sim 180^{\circ}\text{C}$ 迴溫過程翹曲變形之比對結果，如圖 12 所示，由於 BT 基板的熱膨脹係數大於晶片與鑄模灌酯所致，皆產生更大的凸形彎曲，且翹曲值差異合理約分佈於 $-6\sim 14\%$ 。但 $180\sim 225^{\circ}\text{C}$ 迴溫過程翹曲變形之比對結果，如圖 12 所示，翹曲值變化呈現反向遞減，原因如實驗結果第三組試片所述。若考慮材料常數隨溫度變化之效應，以調整鑄模灌酯熱膨脹係數及楊氏模數的大小來描述玻璃轉化溫度效應，其結果如圖 13 所示，由於鑄模灌酯的熱膨脹係數大於晶片與 BT 基板所致，皆產生較小凸形彎曲，且翹曲值差異合理約分佈於 $-7\sim 5\%$ 。

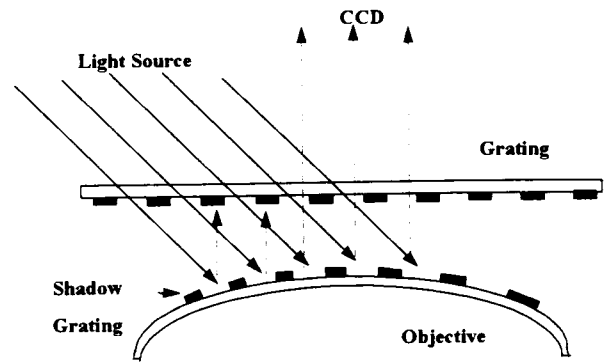
結論

本計劃中，我們成功的建立相移陰影疊紋之量測系統，並將疊紋影像量化，應用在電子構裝之檢測與分析。這些實驗結果除了可以看出構裝產品在溫度效應下的物理行為，我們的實驗方法亦可以提供作為研究材料在高溫下的行為變化有利的工具。我們探討塑封球柵陣列構裝 (PBGA) 之初始翹曲行為量測及在溫度效應下之行為變化，用以改善構裝產品的製程與提升生產線上之良率。由實驗結果與數值分析結果顯示 PBGA 之翹

曲值與翹曲方向不僅與材料本身熱膨脹係數之差異有關,且與鑄模灌酯在成型時之成型縮收有極重要之關連;因此經由適當的選取基板材料與鑄模灌酯,及鑄模灌酯之成型條件將可將產品之翹曲值最小化。另經由觀察 PBGA 在加溫過程中翹曲值的變化,亦可提供產品製程中製程參數之調整,以提高生產量率。

參考文獻

- [1] I.C. Ume and M.R. Stieler, "System for real-time measurement of thermally induced PWB/PWA warpage", Journal of Electronic Packaging, Vol.119/1, March 1997.
- [2] Y. Guo and S. Liu, "Development in optical methods for reliability analysis in electronic packaging applications", Journal of electronic packaging, Vol.120, pp.180-120, June 1998.
- [3] 黃昭彰, "相移陰影疊紋量測系統在半導體暨電子構裝之應用", 國立台灣大學應用力學研究所碩士論文, 1999.
- [4] 陳志中, "電子構裝 BGA 力數值分析", 國立成功大學工程科學研究所碩士論文, 1997.
- [5] Ho. T., J. Lee, R. Lee, and A. Lin, "Linear finite element stress simulation of solder joint on 255 I/O plastic BGA package under thermal cycling", Proceeding of IEEE Electronic on Components & Technology Conference, pp.930-936, May 1995.
- [6] 陳志松, "應用光測力學在電子構裝之量測分析", 國立台灣大學應用力學研究所碩士論文, 2000.
- [7] 蔡怡庭, "光學相位量測暨影像處理技術在電子構裝之應用", 國立台灣大學應用力學研究所碩士論文, 2000.



圖一 陰影疊紋法示意圖

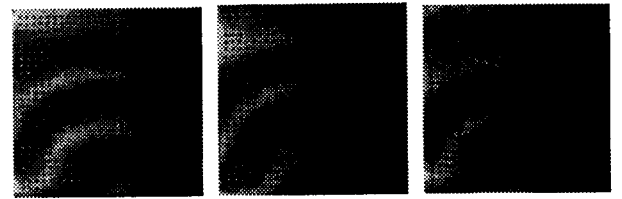


圖 2(a)-(c)

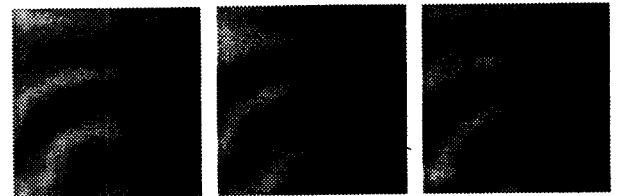


圖 2(d)-(f)

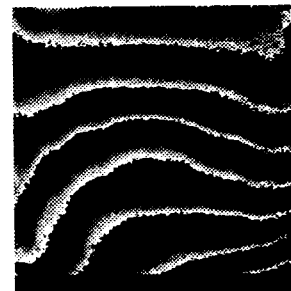


圖 2(g)

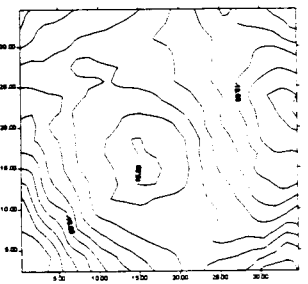


圖 2(h)

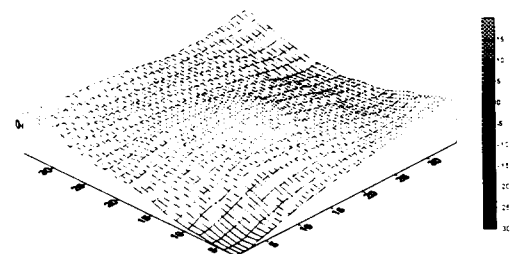


圖 2(i)

圖 2 相移陰影疊紋法影像處理過程

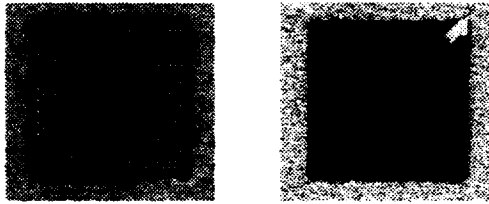


圖 3 PBGA 結構示意圖

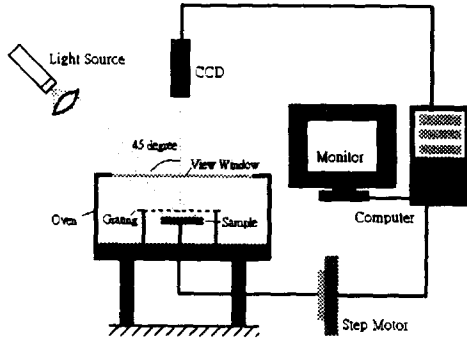


圖 4 翹曲量測實驗組合示意圖

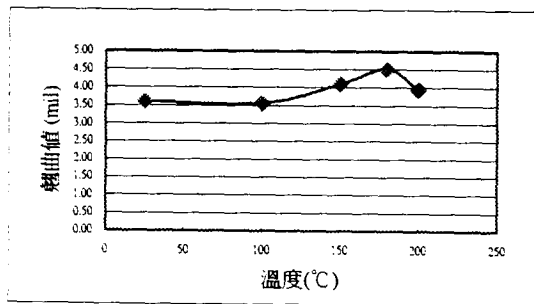


圖 5 第一組試片迴溫過程之量測結果

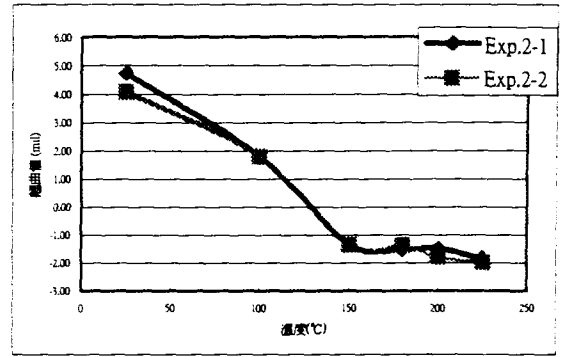


圖 6 第二組試片迴溫過程之量測結果

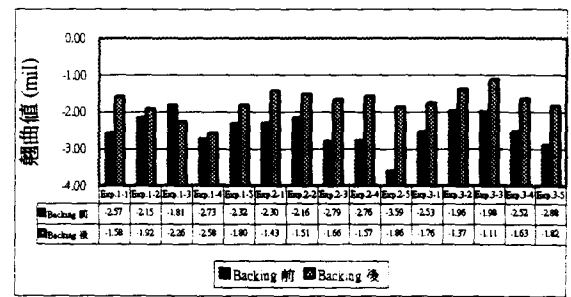


圖 7 第三組試片烘烤前後之量測結果

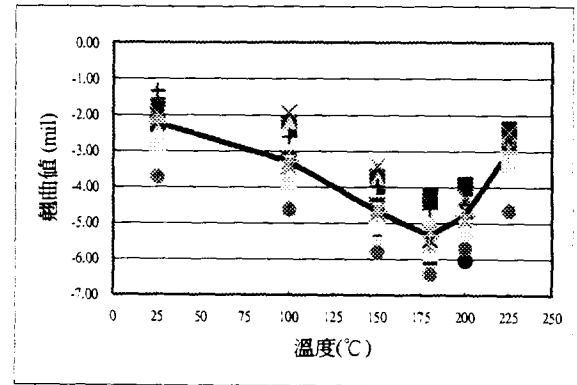


圖 8 第三組試片迴溫過程之量測結果

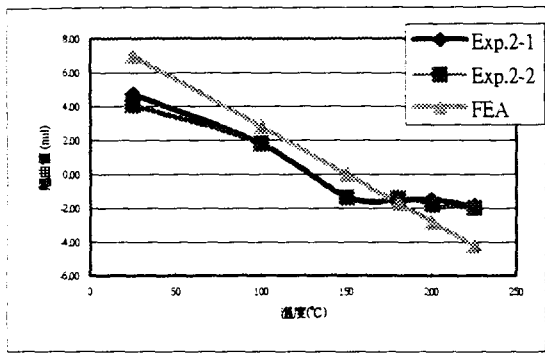


圖 9 第二組試片迴溫過程之分析結果

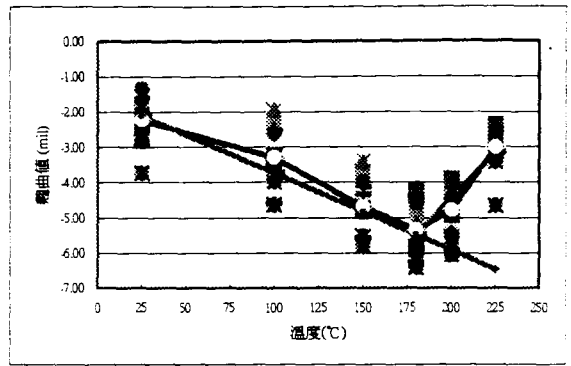


圖 12 第三組試片模縮效應之分析

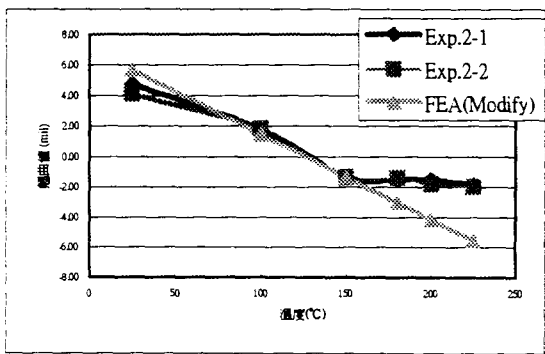


圖 10 第二組試片修正後之分析結果

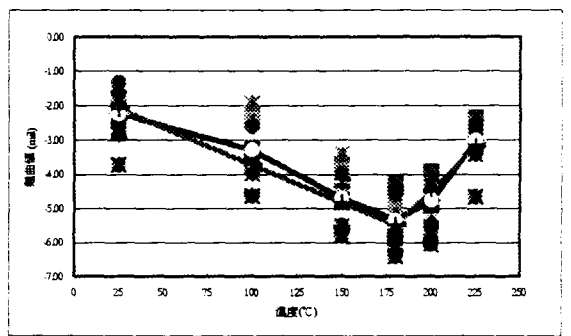


圖 13 第三組考慮模縮與 Tg 效應之分析

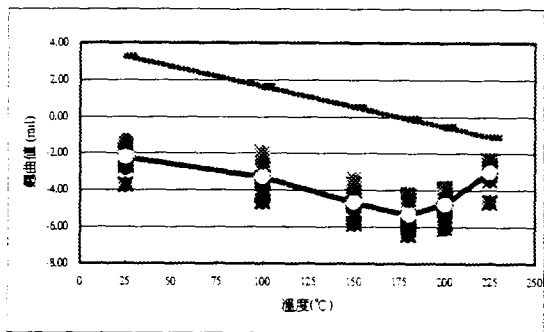


圖 11 第三組試片無模縮效應之分析