

使用 ESPI 觀測加溫中材料的微變位

ESPI Measured Micro-Deformation of the Materials at Elevated Temperature

廖崑勝¹ 李文康² 潘煌鏗³

¹高雄應用科技大學土木工程系研究生

²紘昇科技實業公司工程師

³高雄應用科技大學土木工程系教授

摘要

本研究係以電子剪切散斑干涉儀(ESPI)觀測加溫中材料表面的平整度，從中瞭解材料在升溫時的變形行為。實驗採用氮化硼為量測材料，以持續升溫方式分別觀測室溫、50°C、75°C、100°C、125°C、150°C、200°C、250°C、300°C、350°C、400°C、450°C時試體表面平整度，利用二次元接觸式測試的結果來做比較材料表面平整度的精確度。試驗結果顯示，在不同溫度下，由氮化硼表面的ESPI干涉斑紋圖看出，溫度越高表面平整度越好。雖然ESPI和二次元接觸式量測的物體表面平整度趨勢相似，但是ESPI比二次元接觸式測試更為精確，故證實電子剪切散斑干涉儀可以高精度觀測物體加溫中表面微小變形量。

關鍵字：散斑干涉、平整度、溫度、變形量

Abstract

Electronic Speckle Pattern Interferometer (ESPI) was used to monitor and examine the flattening of boron nitride material at the elevated temperature. The observed temperatures for the deformation of boron nitride are from room temperature to 50°C、75°C、100°C、125°C、150°C、200°C、250°C、300°C、350°C、400°C、450°C, respectively. We also measured the deformation of the same materials by using 2D coordinate measuring and compared with the ESPI results at different temperatures. Even at different temperatures, experimental results show that the diagram of speckle pattern interferometry observed from ESPI at the surface of boron nitride, that can use to calculate the deformation, has the same deformation tendency for boron nitride compared with 2D coordinate measuring. It seems that ESPI results have a good precision because the area deformations are measured different from those of a single point measured by 2D coordinate measuring.

Keywords: speckle pattern interferometry, flattening, elevated temperature, deformation

一、前言

電子散斑干涉儀(Electronic Speckle Pattern Interferometer, 簡稱ESPI), 它是結合電腦技術、影像處理技術、鐳射、散斑及全息干涉等相結合的一種先進技術[1], 它有著廣泛的應用, 如電子產品封裝測試、假牙測試、材料非破壞檢測等前景。基本原理是: 當相干性很好的鐳射照射在被測物的表面, 在表面前方的空間形成隨機分佈的明暗點—散斑點, 散斑隨物體表面的變形(或移動)而運動, 紀錄物體變形前後兩個錯動的散斑圖, 並比較變形前後散斑圖的變化, 可以高精度地檢測物體表面各點位移[1]。

本文研究主要目的乃是因應封裝材料的需求, 利用電子剪切散斑干涉去量測在高溫情況之下鍍在封裝材料壓頭表面上的氮化硼(Boron Nitride, BN)所產生之熱變形。由於材料處於高溫狀態, 無法使用二次元接觸式測試或接觸式光學量測, 而必須使用非接觸式光學量測方法。而且在受熱過程中, 材料的溫度變化量大, 以室溫條件作為計算分析的依據所造成之誤差需加以檢討, 因此實際量測材料受熱後之變形量, 對量測材料強度及韌性是非常重要的。

二、實驗計畫

氮化硼材料具有類似於鑽石的立方結構, 硬度與鑽石相近, 並有高耐熱性、高機械強度、質輕、高硬度、抗氧化及高耐腐性等性質, 因此利用低壓製成的氮化硼薄膜可以不受沉積物件的形狀和尺寸的影響[2、3], 可使用做為封裝材料的壓頭。

2.1 二次元接觸式量測

二接觸式量測所使用的量測機, 內部有油壓臂, 臂端裝有千分計, 利用油壓調整千分計高度並固定位置。將試體安置在平台上, 並加裝加熱裝置, 在加熱前對施測點的千分計歸零, 當加熱至需要溫度時, 控制油壓臂平移千分計來對量測點進行接觸式量測, 以檢測氮化硼的平整度。

2.2 ESPI 量測

將氮化硼試樣裝上加熱裝置, 並安置溫度探測針以便監測溫度, 接著進行加熱, 升溫階量測段分成 50°C、75°C、100°C、125°C、150°C、200°C、250°C、300°C、350°C、400°C、450°C 等, 用電子剪切散斑干涉儀(ESPI)觀測試樣在升溫各階段的斑紋圖, 由取得的斑紋圖先利用圖像座標擷取量測範圍, 再用電腦進行相移計算變形。圖 1 為觀測試樣, 圖 2 為觀測面示意圖, 圖 3、圖 4 為座標的單位圖, 圖 5 為變形後產生的干涉條紋圖, 干涉條紋圖經由電腦計算後的結果如圖 6、圖 7。

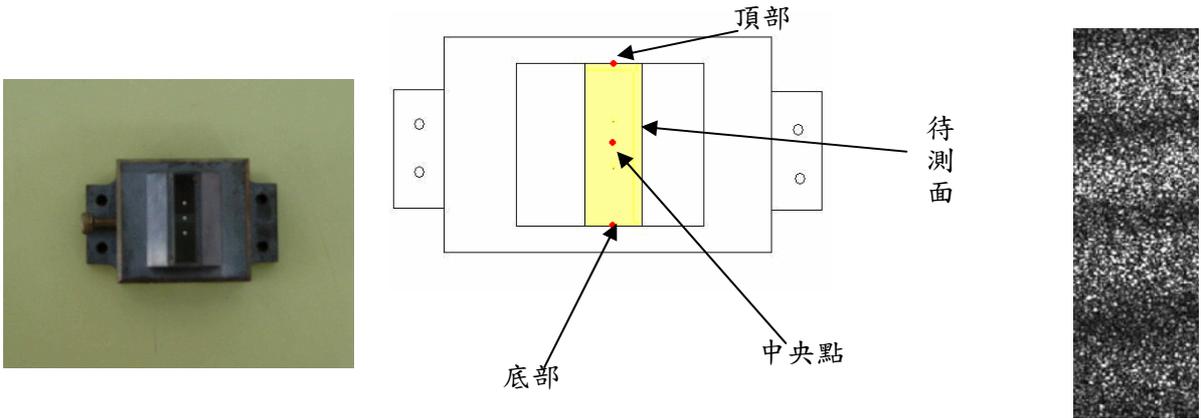


圖 1 樣本圖片

圖 2 取樣位置

圖 3 變形後干涉條紋

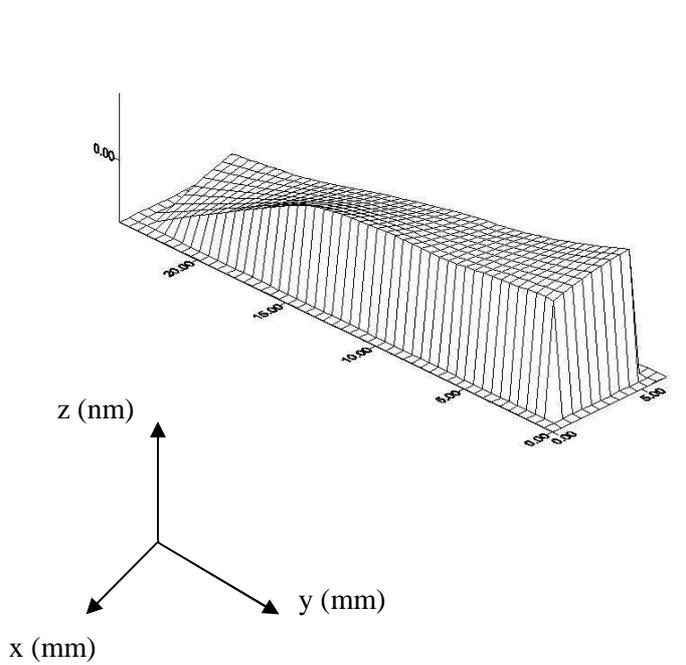


圖 4 表面變形量立體圖

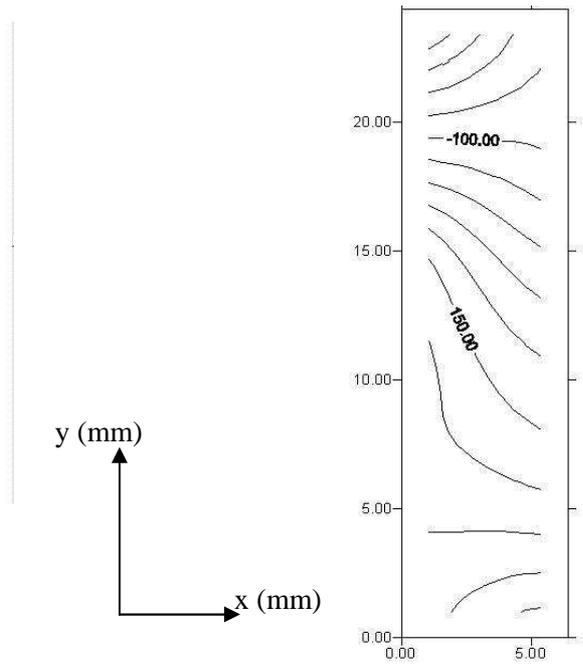


圖 5 表面變形量平面圖

2.3 四步相移技術

相移技術的干涉條紋的光強分佈表示如下：

$$I_{(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \cos \phi_{(x,y)} \quad (1)$$

式中 $A = a_1^2 + a_2^2$ 、 $B = 2a_1a_2$ ，其中 a_1 、 a_2 為光波之振幅；光波相位 $\phi = \phi_1 - \phi_2$ ，其中 ϕ_1 、 ϕ_2 分別為原來光波相位和物體變形後的光波相位。可將 $A_{(x,y)}$ 、 $B_{(x,y)}$ 和 $\phi_{(x,y)}$ 當做未知數，藉由相移的技術可以找到其他足夠之方程式來求解如圖 5 所示，例如移動一個物體相位(phase angle) δ ，比較物體的光波相位和參考光波相位，可得到實際的物體相位 δ 。在實驗上，可改變參考光的路徑來達到相移的目的，即當給予一個物體相移 δ 時，則(1)式可改寫為

$$I_{(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)}(\cos\phi_{(x,y)} + \delta) \quad (2)$$

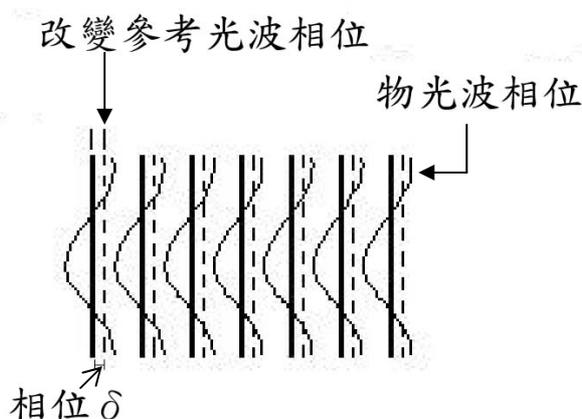


圖5 相移干涉示意圖[4]

由(1)式知道，當每次移動 $\pi/2$ 的相位，則一個週期 2π 有四個 δ 相移，因此可以得到四個聯立方程式：

$$\begin{cases} I_{1(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \cos(\phi_{(x,y)} + \delta_1) \\ I_{2(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \cos(\phi_{(x,y)} + \delta_2) \\ I_{3(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \cos(\phi_{(x,y)} + \delta_3) \\ I_{4(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \cos(\phi_{(x,y)} + \delta_4) \end{cases} \quad (3)$$

將相移 $\delta_1 = 0$ 、 $\delta_2 = \frac{\pi}{2}$ 、 $\delta_3 = \pi$ 、 $\delta_4 = \frac{3\pi}{2}$ 代入(3)式，可得到下

$$\begin{cases} I_{1(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \cos\phi_{(x,y)} \\ I_{2(x,y)} = A_{(x,y)} - B_{(x,y)} \sin\phi_{(x,y)} \\ I_{3(x,y)} = A_{(x,y)} - B_{(x,y)} \cos\phi_{(x,y)} \\ I_{4(x,y)} = A_{(x,y)} + B_{(x,y)} \sin\phi_{(x,y)} \end{cases} \quad (4)$$

解(4)式的聯立方程式可得光波相位 ϕ

$$\phi_{(x,y)} = \tan^{-1} \left[\frac{I_{4(x,y)} - I_{2(x,y)}}{I_{1(x,y)} - I_{3(x,y)}} \right] \quad (5)$$

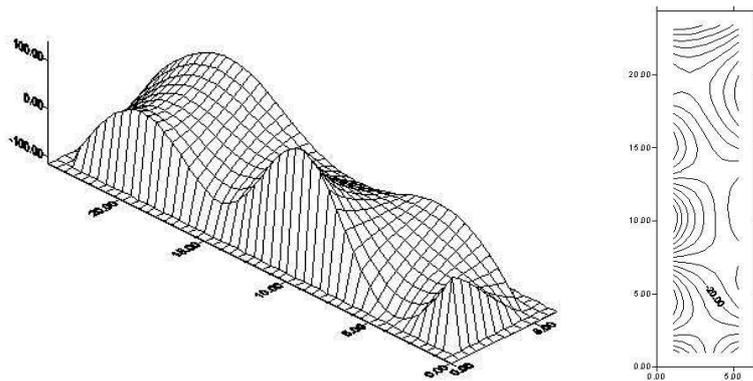
因四步相移檢測可以得到四個方程式，所以在求解的過程中也可以將物體的相移量視為未知數，再以此四步相移方程式之聯立方程組求解四個未知數，亦可解得待測物之光波相位關係 $\phi_{(x,y)}$ 。在使用四步相移檢測時，其優點在可以不用知道相移量是多少，只要每次的相移間隔量相同既可[4]。

三、結果與討論

氮化硼物件會因為溫度不同而表面會產生變形，本文將試體以持續升溫方式進行加熱，溫度範圍從室溫到450°C，當溫度達到觀測點時用ESPI觀測氮化硼表面變化，可評估氮化硼平整度。

3.1 ESPI觀測變形

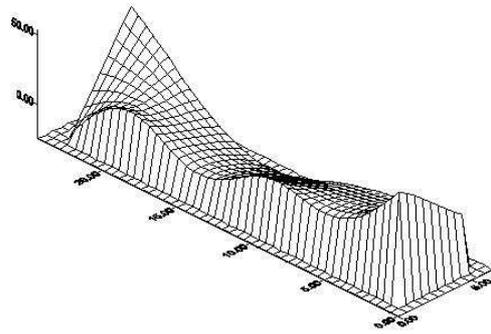
圖6~14為ESPI各階段溫度觀測結果，表面高度的變形單位為nm。從圖中可明顯看出各階段溫度及變形。由圖6、7、8得出，當溫度在100°C之內，變形量小但變形起伏較大。從圖9、10、11可看出在溫度125~200°C的變形量小，變形量比較平緩。當溫度上升至450°C時，變形量雖然較大，但與之前的變形量相比，似乎較為平整，如圖14。



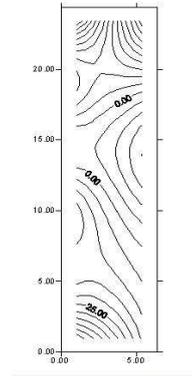
(a) 變形立體圖

(b) 變形量等高線

圖 6 50°C ESPI 觀測結果

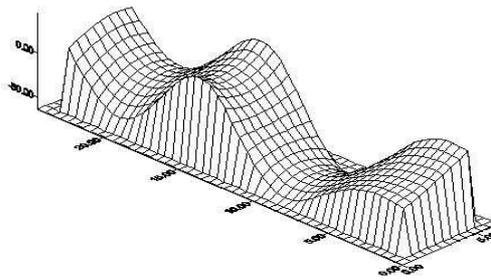


(a) 變形立體圖

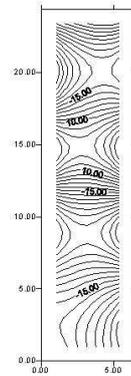


(b) 變形量等高線

圖 7 75°C ESPI 觀測結果

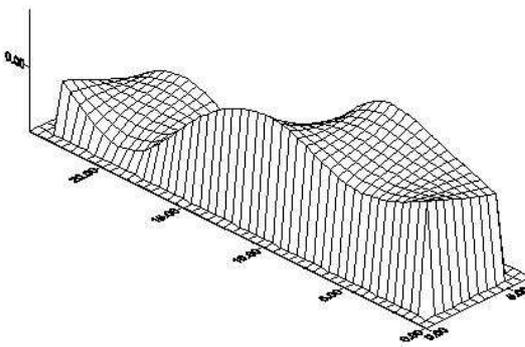


(a) 變形立體圖

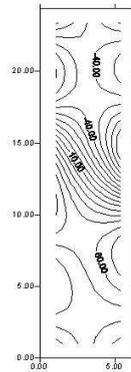


(b) 變形量等高線

圖 8 100°C ESPI 觀測結果

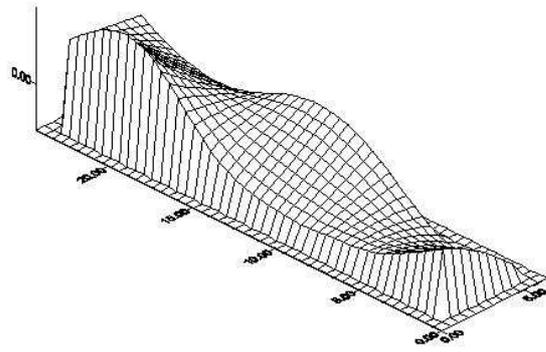


(a) 變形立體圖

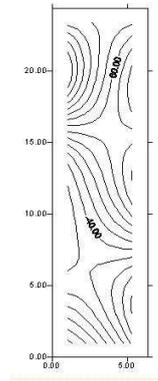


(b) 變形量等高線

圖 9 125°C ESPI 觀測結果

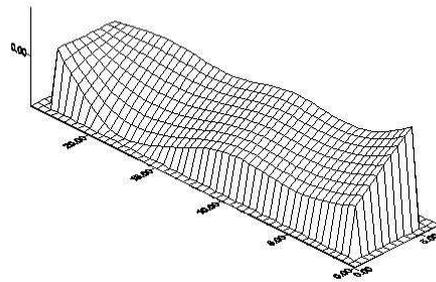


(a) 變形立體圖

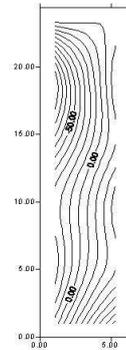


(b) 變形量等高線

圖 10 150°C ESPI 觀測結果

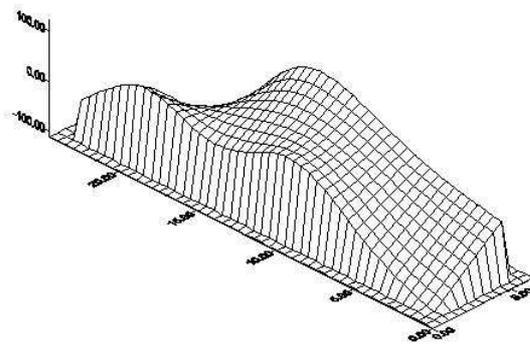


(a) 變形立體圖

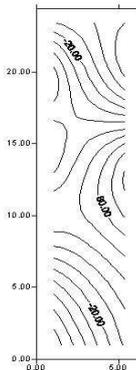


(b) 變形量等高線

圖 11 200°C ESPI 觀測結果

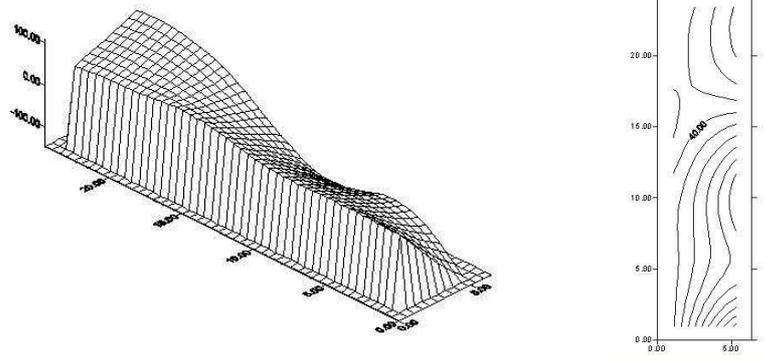


(a) 變形立體圖



(b) 變形量等高線

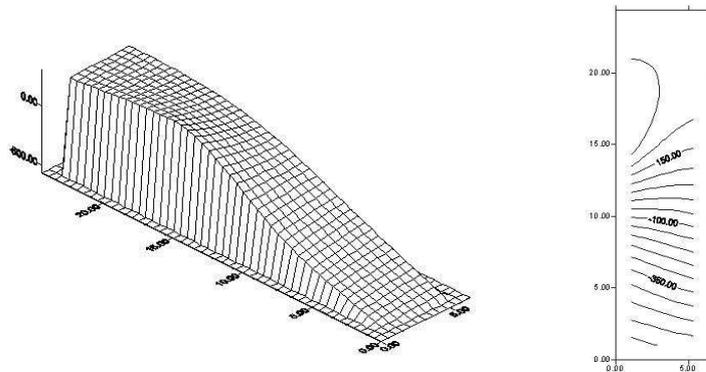
圖 12 300°C ESPI 觀測結果



(a)變形立體圖

(b)變形量等高線

圖 13 400°C ESPI 觀測結果



(a)變形立體圖

(b)變形量等高線

圖 14 450°C ESPI 觀測結果

3.2 二次元接觸量測

圖15~17為二次元接觸式量測結果，量測點分為試體左端、中央及右端各溫度變化量。圖15左端點部份為試體正面頂部；圖16中央點為試體正面正中央位置；圖17右端點部份為試體正面底部位置。從圖15中可發現溫度上升至50°C時，頂部有收縮的現象；由圖16中發現中央點溫度變化的變形曲線較為趨緩；圖17可看出試體底部的變形量極大，可能是試片製作時，研磨機台有傾斜角度產生使試體表面有些微突出，導致變形量變化較大。

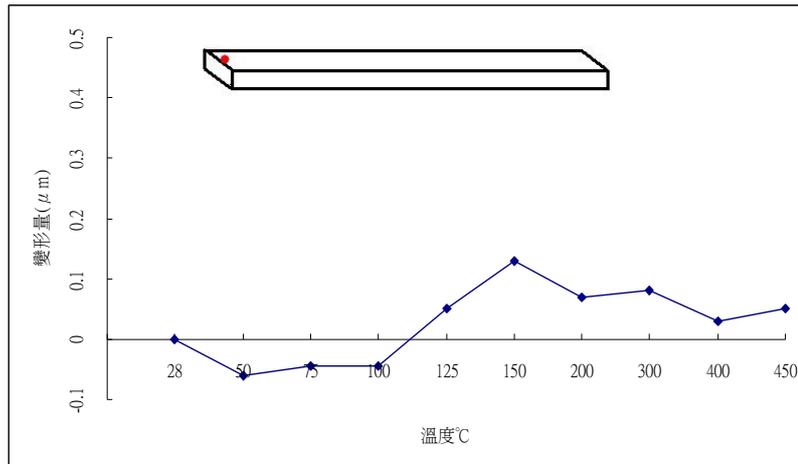


圖15 二次元量測試體左端(頂部)變形量-溫度折線圖

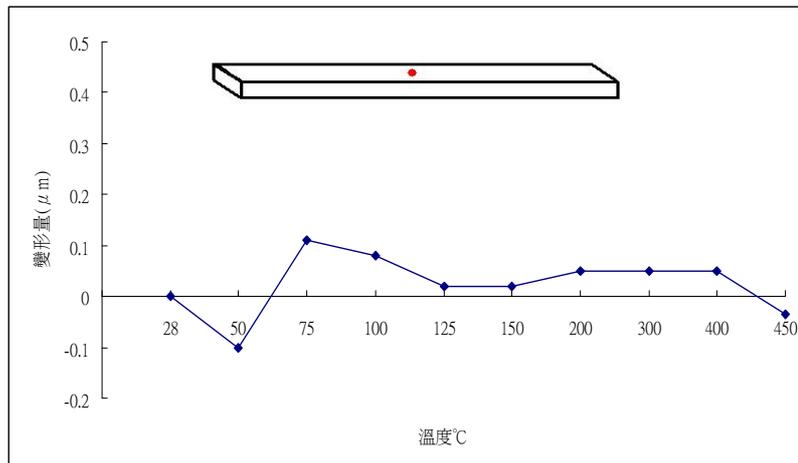


圖16 二次元量測試體中心點(中央)變形量-溫度折線圖

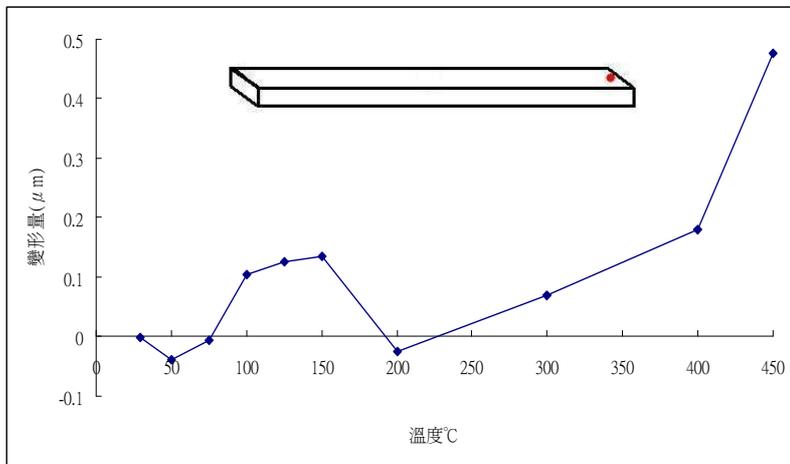


圖17 二次元量測試體右端(底部)變形量-溫度折線圖

四、結論

比較ESPI觀測與二次元量測氮化硼結果，發現這兩種量測法在50°C時的試體頂部變形都有收縮現象，且底部的變化量較大。兩種測試結果的變形量趨勢相近，其中二次元接觸量測法只能針對單一點位進行量測，且千分計的精度在量測時會受到高溫影響，導致量測結果誤差較大；而ESPI是一種面的觀測，比較能明確表示整體變形情形，而且不需要碰觸量測物體表面，因此精度比二次元接觸量測法高。

五、參考文獻

- [1] 山衛科技股份有限公司，電子散斑干涉(ESPI)實驗教案，台北，第1頁(2003)。
- [2] 鄭永彬，「立方氮化硼薄膜及立方氮化硼薄膜/奈米晶粒鑽石薄膜之製備與性質」，碩士論文，國立東華大學材料科學與工程學系，花蓮(2003)。
- [3] 黃柏誌，「氮化硼及其奈米結構之合成與機制之研究」，碩士論文，國立東華大學材料科學與工程學系，花蓮(2006)。
- [4] 劉昭成，「電子斑點干涉技術及誤差之分析」，碩士論文，國立中興大學機械工程系，台中(2001)。