

第四章 實驗結果與討論

4.1 施加加熱功率對於賦形性的影響

4.1.1 無施加加熱功率模仁熱壓

為與冷卻保壓階段有使模仁發熱之熱壓成果做比較，先以無附加加熱功能之模仁做實驗與量測、觀察結果，而後針對高深寬比微結構的成形轉印性、破壞等，兩者比較，並對熱壓成形條件的影響等進行綜合的評比和分析。熱壓成果試片如圖 4-1 所示，將晶片依密集結構區分成 a-m 13 個區域觀察其賦形性。

以 120°C 為成形溫度時，由於其成形溫度低，熱壓成果之高深寬比約在 1.5~2 間，冷卻之後試片各處皆可順利脫模，如圖 4-2 所示。而提高其成形溫度至 140°C 時，在試片中心位置(g 處)仍可順利脫模，且其賦形性及高深寬比良好，如圖 4-3(a)所示，但在邊界位置之結構密集區，可由圖 4-3(b)所見，脫模破壞明顯。遠離中心之非結構密集區亦受脫模挾持影響，圖 4-4(a)顯示結構剩拔除之殘餘痕跡於表面，圖 4-4(b)則是扭曲嚴重之結構殘留。此些結構破壞皆是受矽晶圓與高分子材料膨脹係數不同影響，如圖 4-5 所示，結構根部同時向中心收縮，但其頂部還留在模仁內，脫模後才造成這種結構傾倒之現象，圖 4-5(a)、4-5(b)分別觀察相對於中心 g 處之 d-e 與 i-j 處。而其產生脫模破壞後之熱壓模仁，如圖 4-6(a)對應為圖 4-3(b)之模仁，部分結構受挾持後殘留在模仁內，圖 4-6(b)、4-6(c)、4-6(d)則顯示模仁之最邊界處殘留有更明顯的挾持破壞。

4.1.2 施加加熱功率模仁熱壓

4.1.2.1 施加加熱功率過大之影響

在控制模仁加熱時需考慮施予模仁功率之問題，前章所得之模仁功率測試其加熱效果乃是以晶片位擺上高分子材料做測試之情況下，而當實際熱壓時以過高功率熱壓高分子材料，將會使材料過度軟化，以致於產生結構完全融熔。由 SEM 觀察其熱壓後之成品，可見

如圖 4-7(a)、(b)、(c)所示分別為不同倍率放大的施加功率過大中心處結構 SEM 圖。而其兩邊邊界處之熱壓結構則分別如圖 4-8 與圖 4-9 所示。

4.1.2.2 各種施加加熱功率方式之影響

依前章所述分四階段施予模仁加熱功率，以觀察不同的施加方式對賦形性的影響。

施加功率方式(1)是由 140°C 降溫至開模溫度，在降溫過程中全程施加功率，待開模前停止施加功率。施加功率時間主要是依模具由 140°C 降溫至開模溫度之時間，施加功率平均時間約為 82 秒，推測由於是在開模前才停止加熱，材料局部加熱時間過久又同時未有足夠的降溫及保壓時間，才產生如圖 4-10 至圖 4-12 之結果。其結構並非因為拔模而產生此種扭曲破壞，而是因施予加熱效果不適當而造成，圖 4-10 顯示試片中心處之結構扭曲，越靠近試片邊緣此種現象越明顯，如圖 4-11 所示。圖 4-12 則將中心處與邊界處結構做比較，如圖 4-12(a)尚有賦形性不佳之結構，至圖 4-12(b)的邊界處終至結構全無賦形性。

施加功率方式(2)是 140°C 降溫始在保壓過程中全程施加功率，依設定之保壓時間，施加功率的時間為 60 秒。圖 4-13 顯示試片中心處結構完好，但其邊緣仍會受模仁加熱效果影響，產生有如圖 4-14 之現象，在賦形性上面產生誤差。推測邊界處之結構皆在電路的轉折處，在通予電流後會有電荷堆積，造成此處的發熱效果會較高，在加熱時間過長時造成結構融熔而無賦形效果。

施加功率方式(3)是在冷卻保壓階段當溫度降至 120°C 開始施加功率至模具溫度降至開模溫度，依降溫速度為施加功率之時間，平均為 58 秒。結構依此施加功率法熱壓結果如方式(1)所述，未能有足夠的降溫及保壓時間，所以在邊界處依舊有成形效果不佳的現象，如圖 4-15 所示，而其中心位置處成形結構則如圖 4-16 所示。

施加功率方式(4)是在冷卻保壓階段當溫度降至 120°C 開始施加功率至保壓時間結束為止，施加功率時間為 28 秒。整體而言，是以

此方法之熱壓成形效果最好，如圖 4-17 顯示中心位置的密集結構，而圖 4-18 則是靠近邊界處結構之圖形。圖 4-19 則顯示了以施加功率方式(4)在同一試片各部分位置的熱壓成形 SEM 圖，可見到其密集結構受適當加熱效果後可順利脫模，且各處皆具有完好賦形性的結果。

4.1.2.3 不同高深寬比與線寬施加加熱功率後之影響

圖 4-20 即以尺寸標註驗證同一試片其熱壓成形品之各處熱壓成形性相當，顯示其熱壓均勻性良好。圖 4-21(a)、(b)及(c)嘗試模仁製作不同高深寬比，在模仁製作之時即改變蝕刻時間以達到不同之高深寬比，賦形性皆相當完好，圖 4-21(d)則由上方俯視，觀看其結構邊緣輪廓。但如圖 4-22 所示，在高深寬比大於 6 的結構成形下施加功率，雖然能成功脫模，但邊界處之結構還是會受到收縮影響，脫模後有傾倒的現象。

熱壓更小線寬結構(2 μ m)時，以上述能產生較佳成形性的施加功率法(2)、(4)做比較，發現以施加功率(2)法邊界處結構成完全融熔狀態而不具賦形性，如圖 4-23 所示。以施加功率(4)法邊界處如圖 4-24 所示，亦呈融熔狀而無結構，或導致脫模後結構扭曲如圖 4-25 所示，僅中心處結構(圖 4-26)可順利脫模，更小線寬的熱壓成形結果不如預期，在熱壓成形條件或施加功率時機等參數還需做更精準的設定。

4.1.2.4 施加加熱功率後成形品與模仁之觀察

在觀察 SEM 時發現到有無施加功率，結構根部會有很明顯的不同，有施加功率者結構根部會有產生一層明顯再次融熔過的痕跡，包圍結構，如圖 4-27 所示。以同一試片做有無施加功率之比較，觀察成形後同一結構密集處，如圖 4-28(a)是無施加功率狀態下，其脫模會產生結構斷裂、成形性差等缺陷，而圖 4-28(b)則顯示有加熱效果其脫模完整且具 4 以上高深寬比，且其兩側單一結構亦可見具加熱效果下產生根部有融熔之痕跡。圖 4-29 與圖 4-30 由 SEM 觀察有施加功率過後的模仁圖，以了解其脫模之後模仁狀態是否有任何缺陷或熱

壓材料殘留。

4.2 收縮率探討

由於材料為非均勻收縮，所以在熱壓過後對成形品的收縮量做探討。量測方法是從中央至邊緣位置依照圖 4-1，各個密集結構區間距為標記，利用 CCD 顯微鏡(圖 4-31)觀看，由螺旋測微儀量測間距，比對模仁與成形品的間距以計算收縮率，量測整片試片的收縮情況。收縮率計算方式是：

$$\text{收縮率} = \frac{\text{模仁量測點距離} - \text{微成形品量測點距離}}{\text{模仁量測點距離}} \times 100\%$$

量測收縮的對象分別為有無對模仁施加加熱功率之成形品，以比較兩者對收縮之影響，其收縮率經由數據整理後如圖 4-32 及圖 4-33 所示。圖 4-32(a)為未施加加熱功率之熱壓試片，其收縮率較不穩定，由中心線向外，越往邊緣區域其收縮越大。與圖 4-32(b)施加加熱功率後對成形品收縮做比較，施加加熱功率對於邊緣區域成形之收縮有些微幫助。其效果可能受開放模方式熱壓，高分子材料從脫模過後至放置室溫仍會持續收縮，或試片面積取樣面積太小，所以並非顯著。圖 4-33 則顯示密集區結構之收縮率，由於受密集區之模仁夾持作用下，相較於整片試片之收縮率來的高。

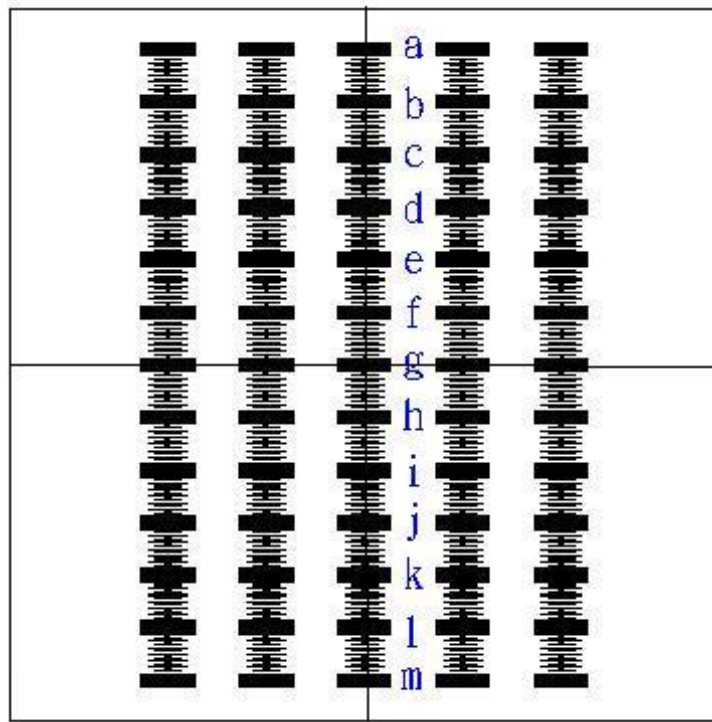
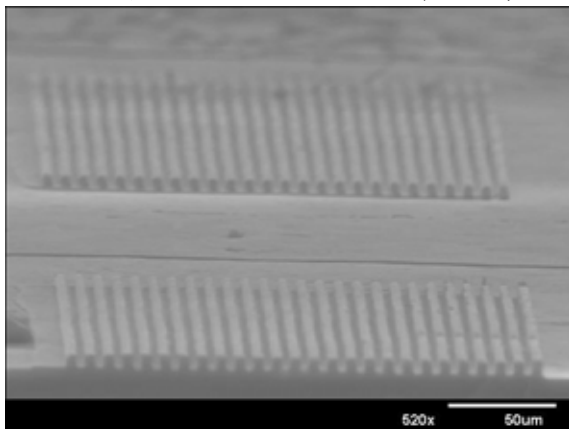
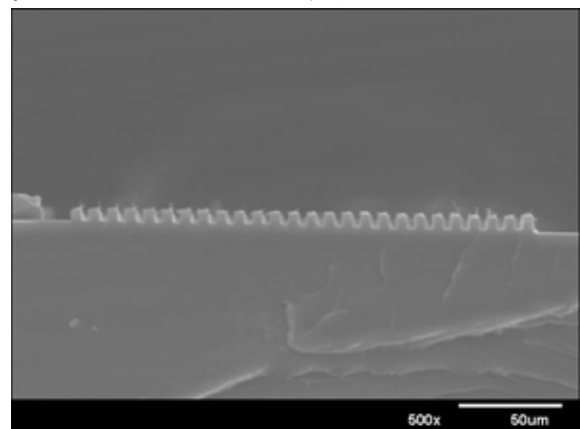


圖 4-1 將晶片依密集結構區分成 a-m 13 個區域觀察其賦形性

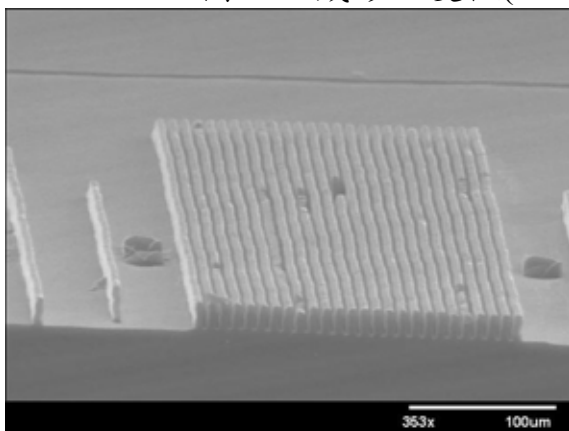


(a)

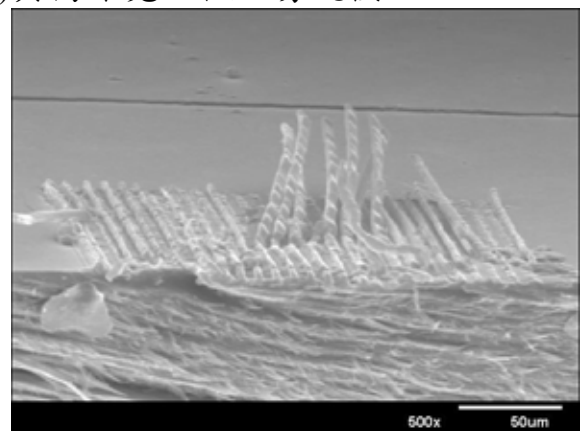


(b)

圖 4-2 成形溫度低(120°C)其高深寬比低，易脫模

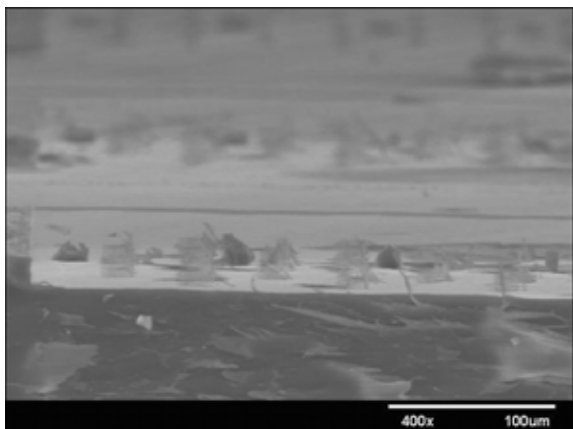


(a)

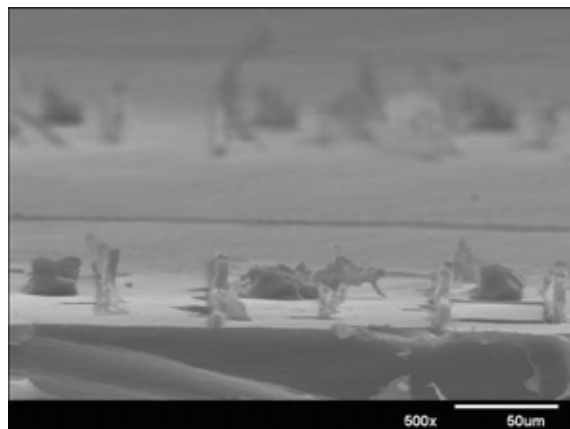


(b)

圖 4-3 受成形位置影響脫模成果不同(a)中心位置(b)邊界位置

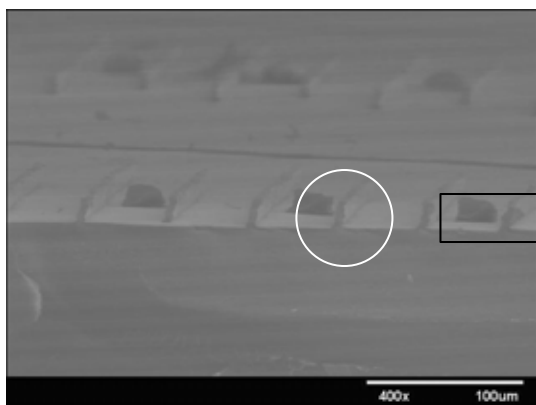


(a)

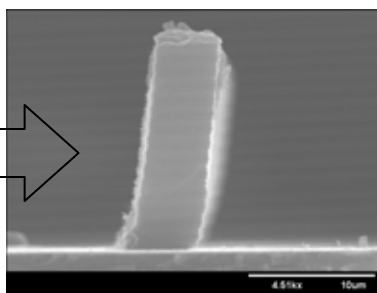


(b)

圖 4-4 邊界處脫模成果(a)a-b 間脫模破壞(b)b-c 位置結構不完整

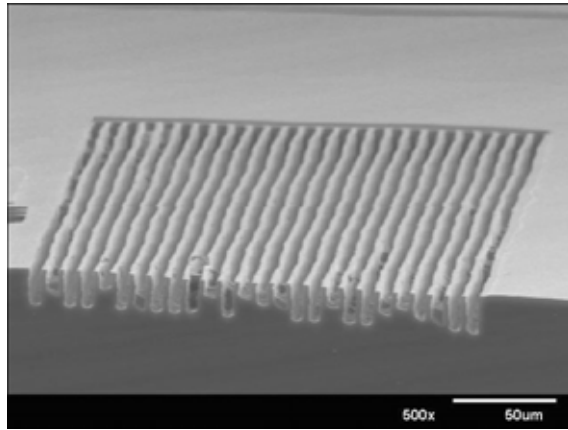


(a)

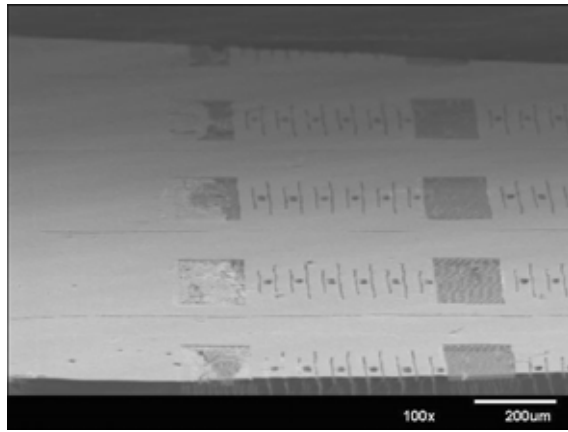


(b)

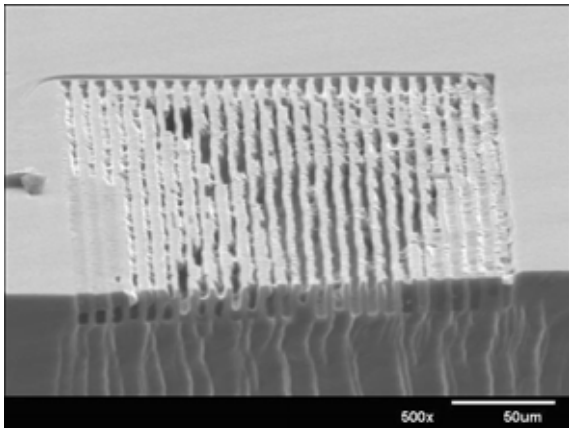
圖 4-5 受膨脹係數不同影響結構傾倒



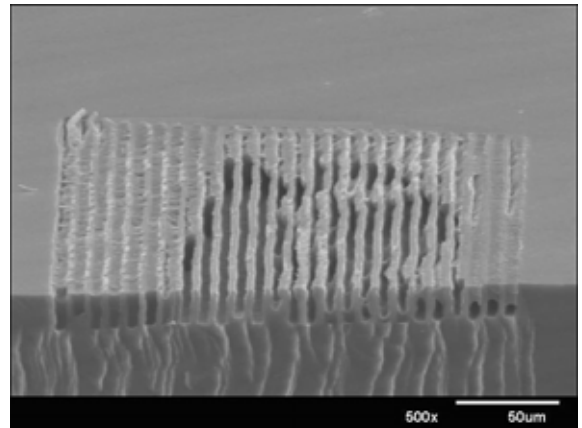
(a)



(b)

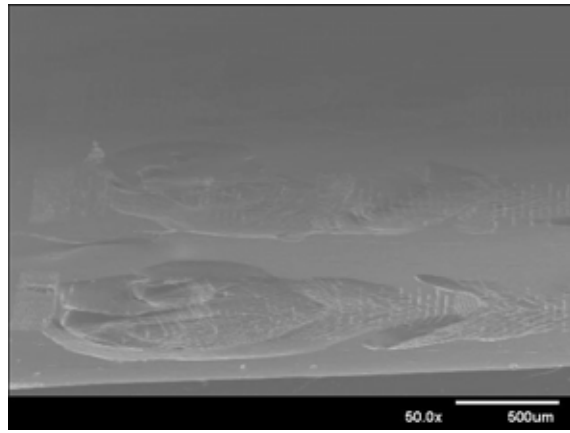


(c)

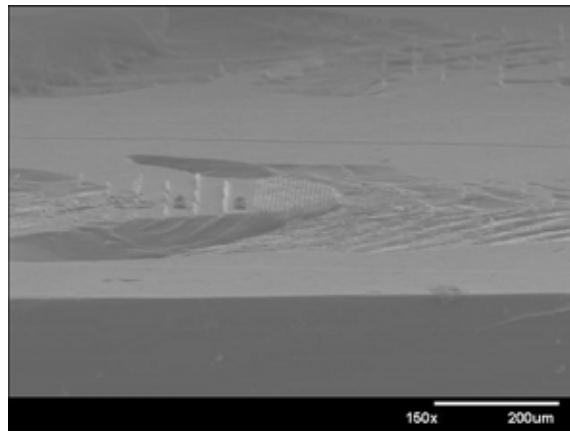


(d)

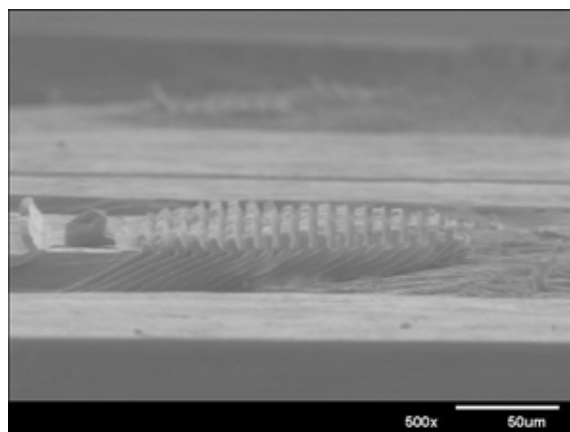
圖 4-6 產生脫模破壞殘留夾持結構之模仁



(a)

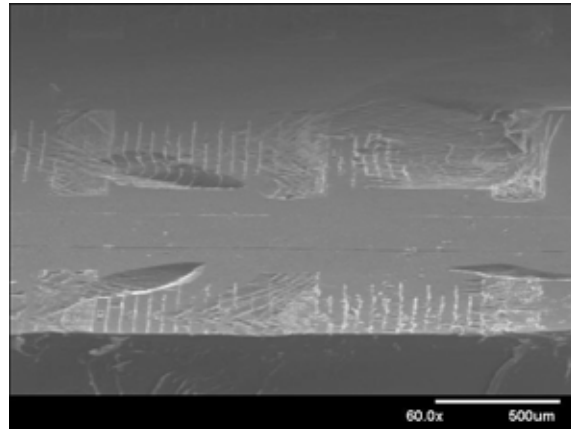


(b)

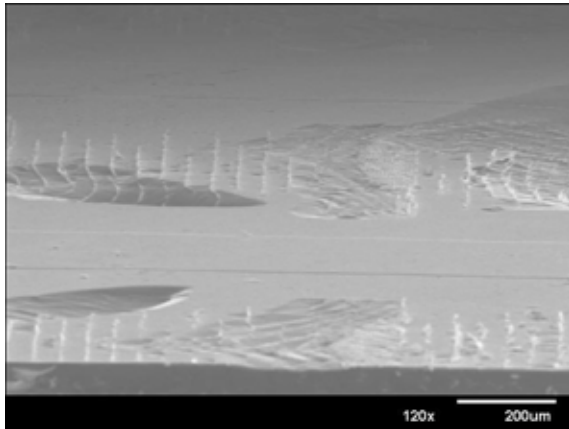


(c)

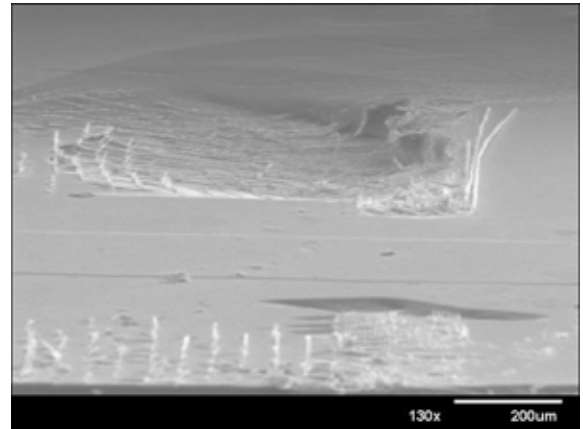
圖 4-7 施加功率過大-中心處結構 SEM 圖



(a)



(b)



(c)

圖 4-8 施加功率過大-邊界-a-b 間結構 SEM 圖

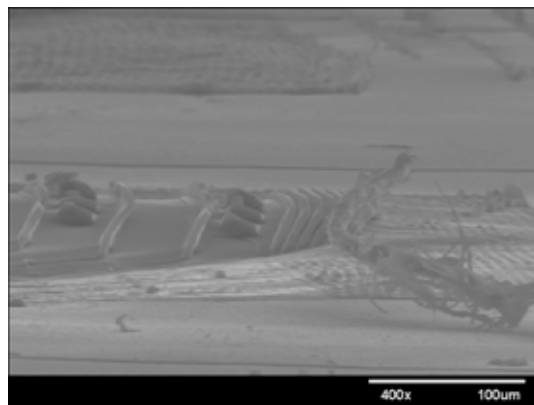


圖 4-9 施加功率過大-邊界-m 處結構 SEM 圖

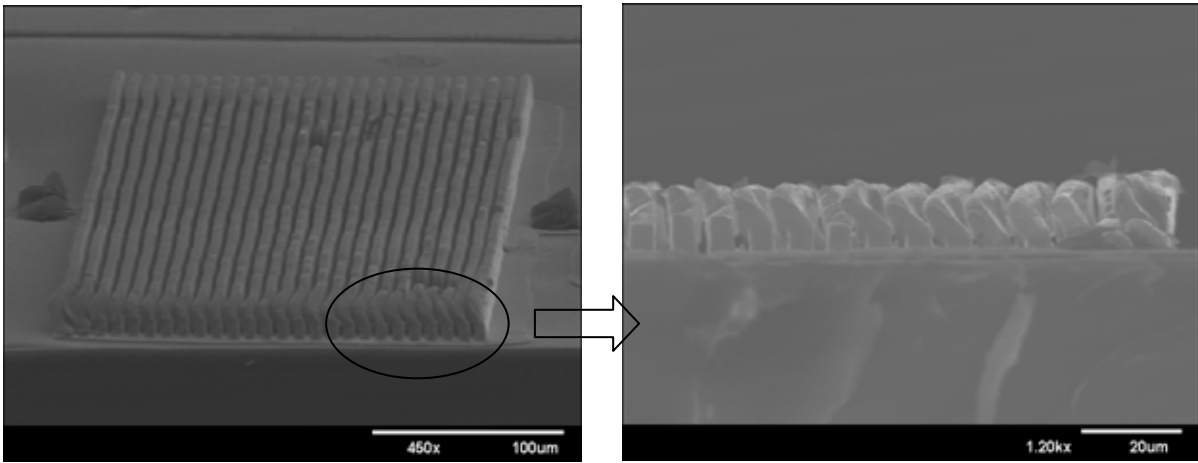
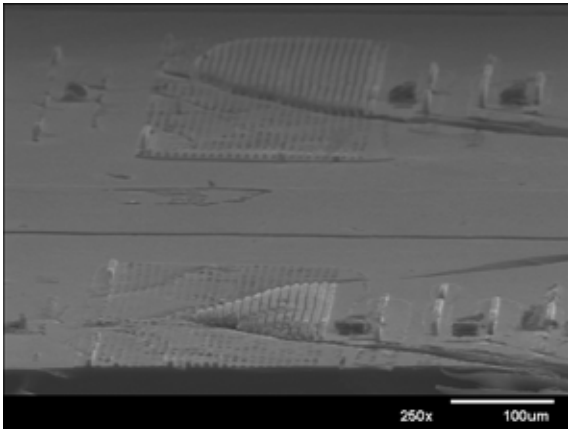
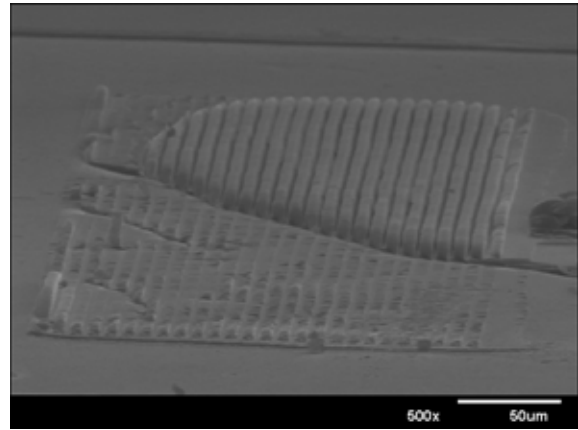


圖 4-10 施加功率法(1)-h 處結構 SEM 圖

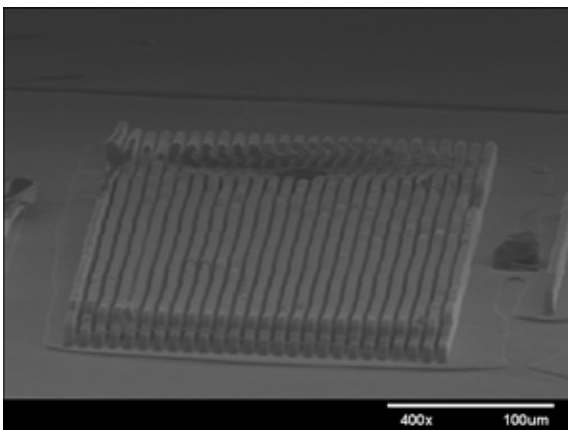


(a)

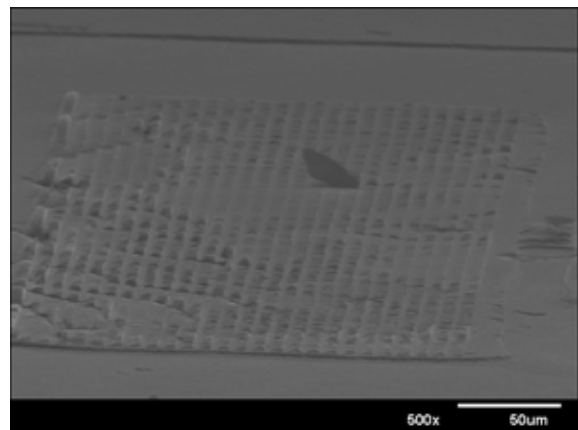


(b)

圖 4-11 施加功率法(1)-i 處結構 SEM 圖



(a)



(b)

圖 4-12 施加功率法(1)-(a)g 處結構 SEM 圖 (b)l 處結構 SEM 圖

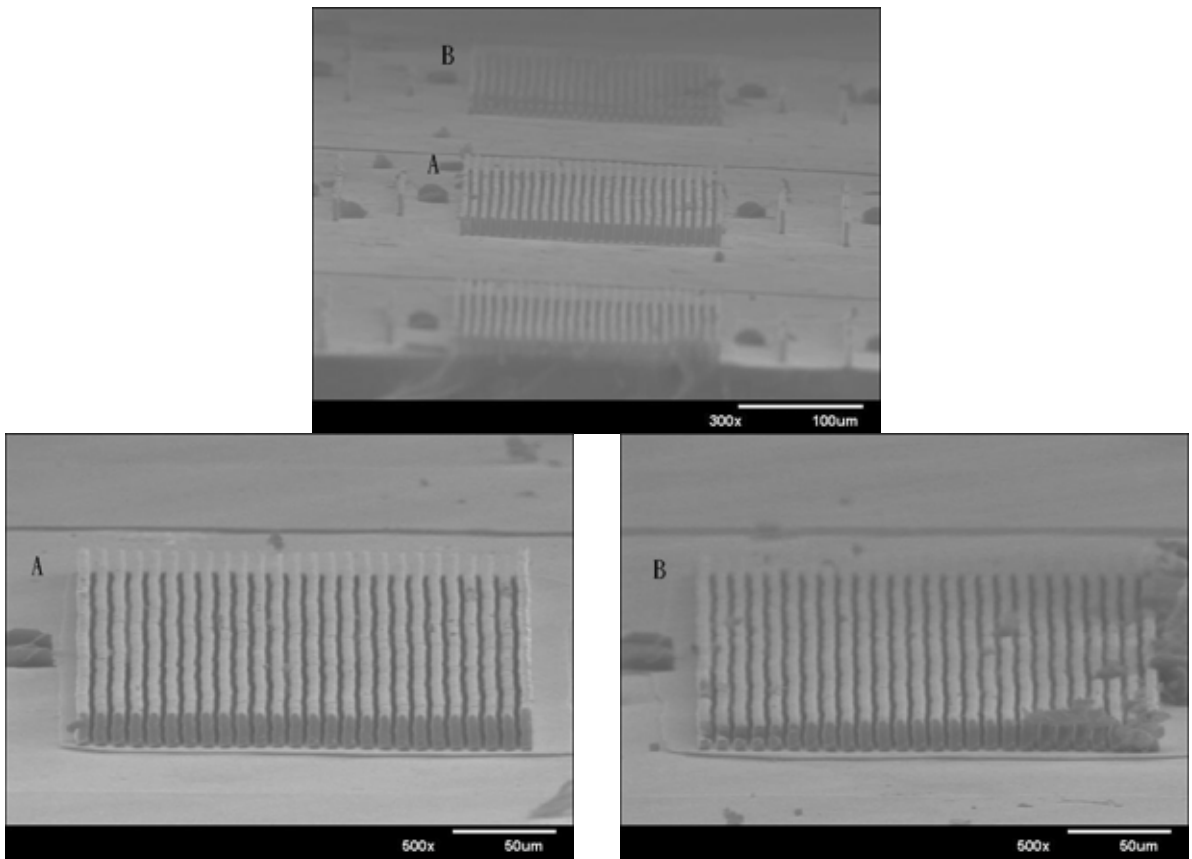


圖 4-13 施加功率法(2)-g 處結構 SEM 圖

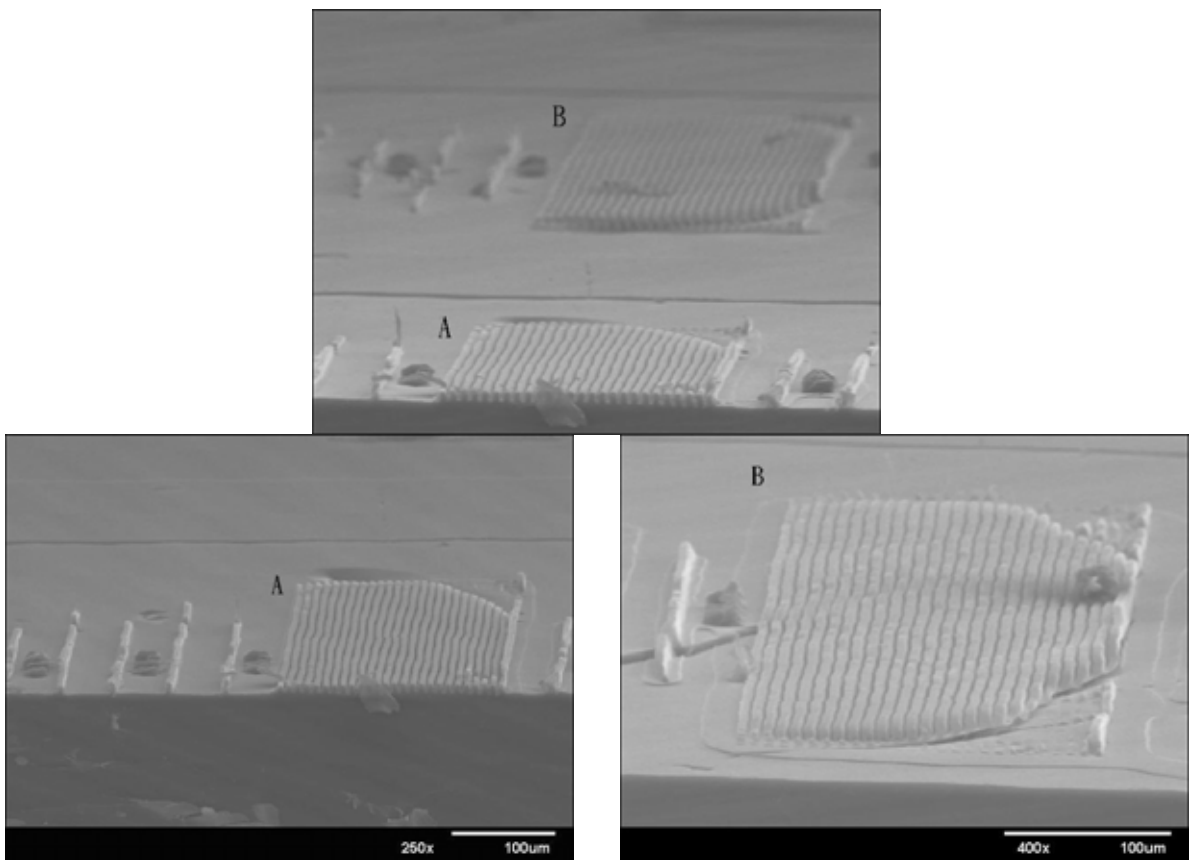
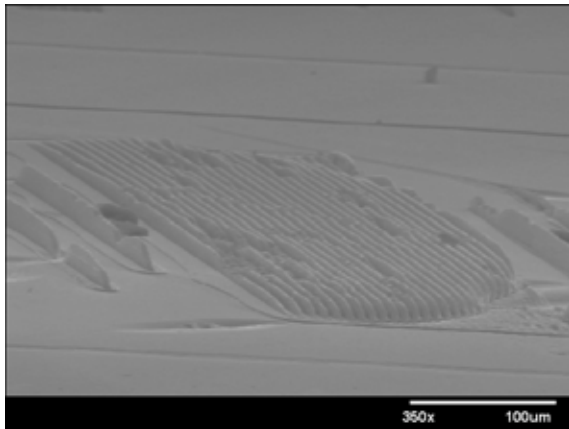
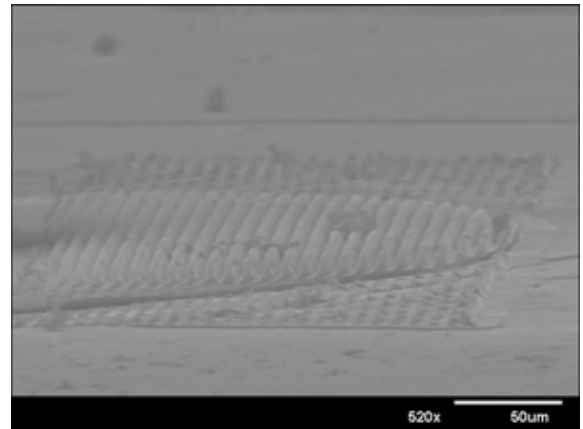


圖 4-14 施加功率法(2)-b 處結構 SEM 圖



(a)



(b)

圖 4-15 施加功率法(3)-(a)d 處結構 SEM 圖(b)m 處結構 SEM 圖

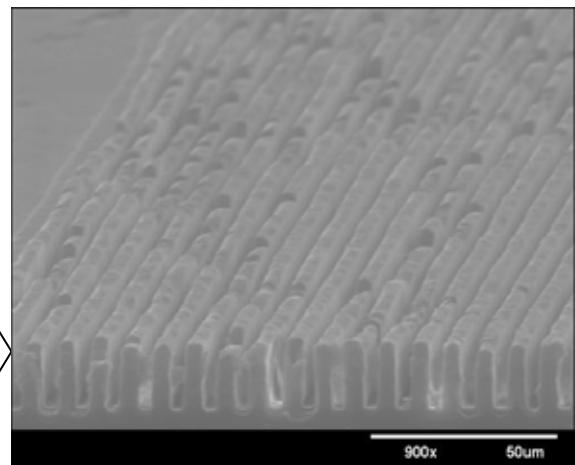
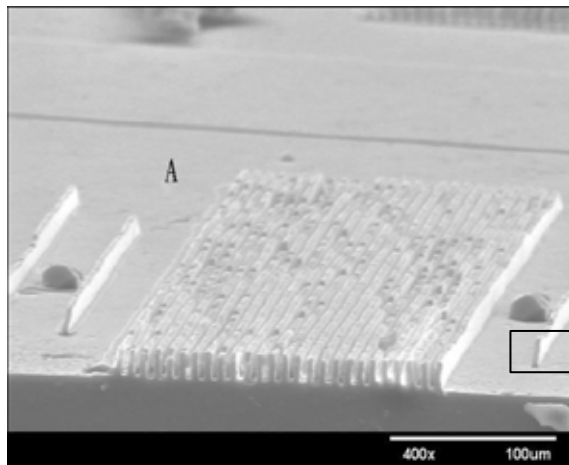
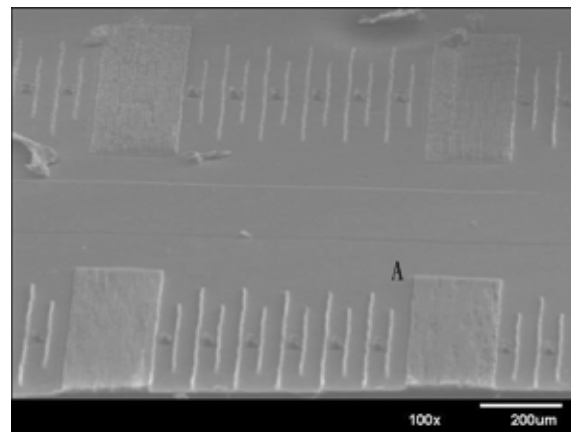
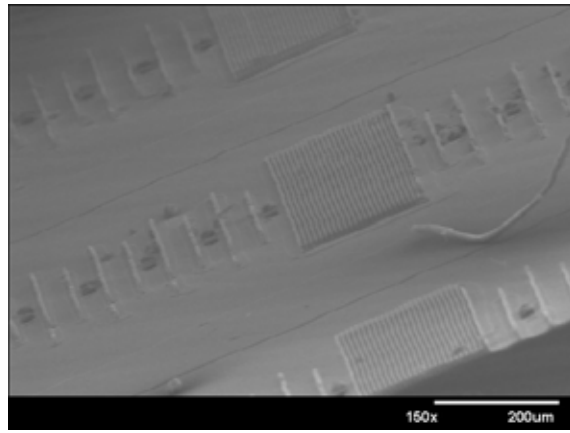
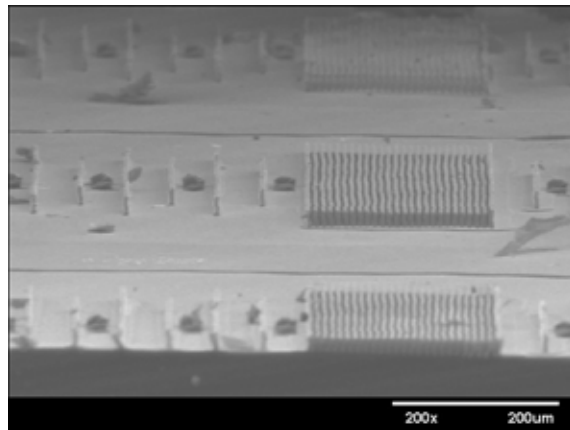


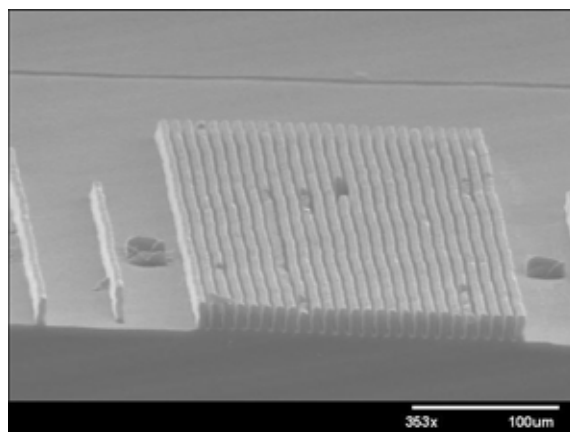
圖 4-16 施加功率法(3)-g 處結構 SEM 圖



(a)

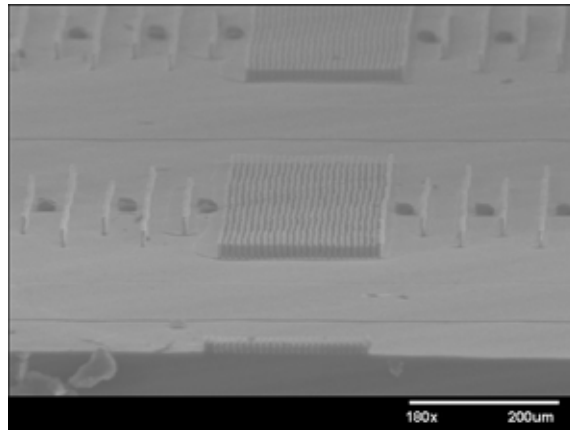


(b)

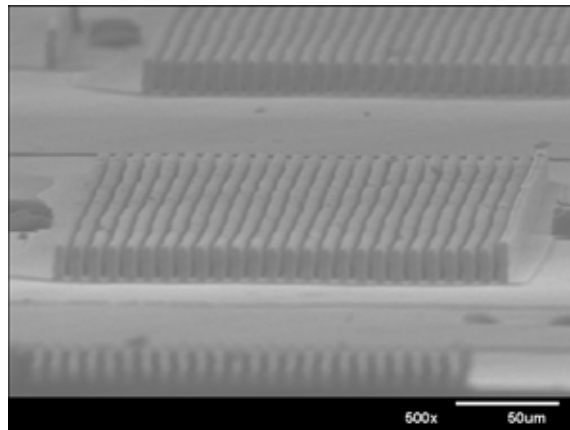


(c)

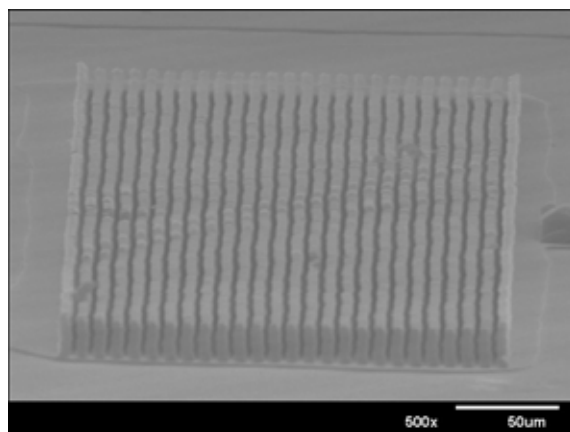
圖 4-17 施加功率法(4)-g 處結構 SEM 圖



(a)

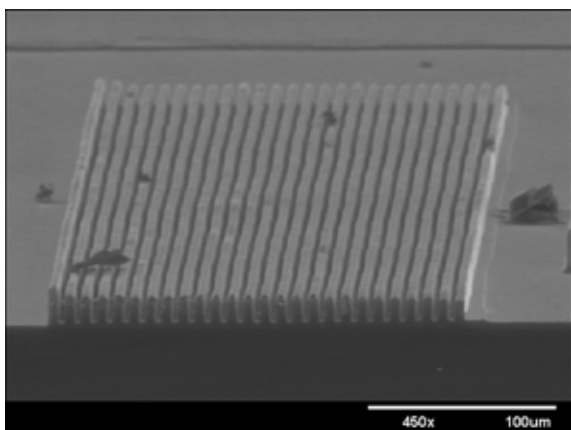


(b)

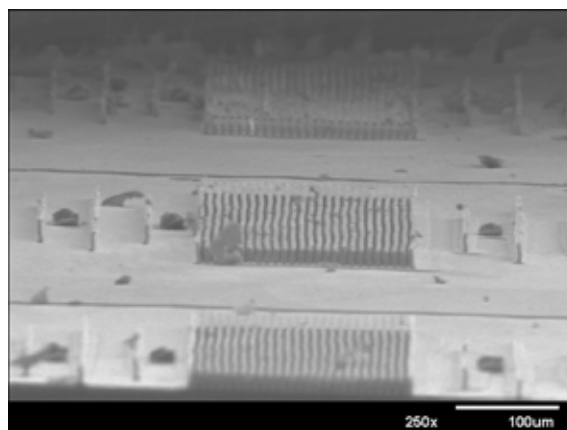


(c)

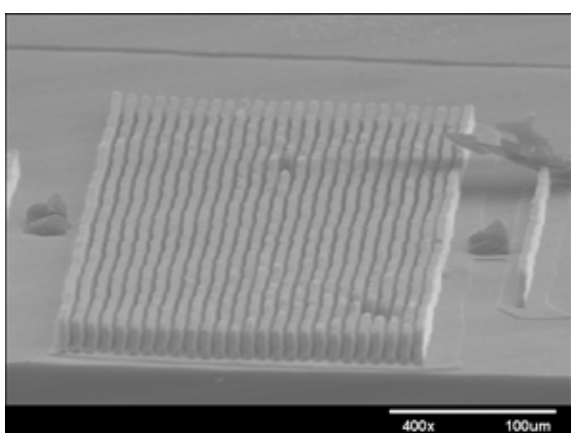
圖 4-18 施加功率法(4)-k 處結構 SEM 圖



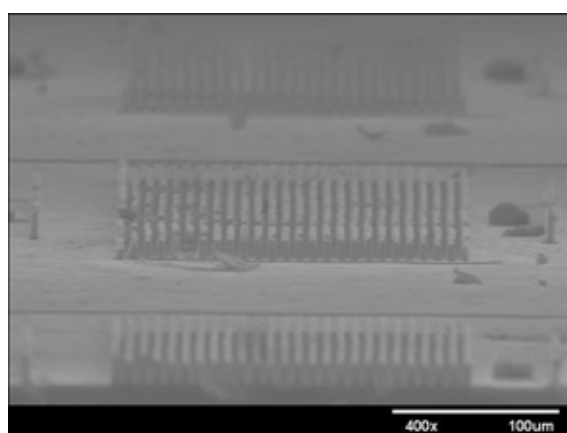
(a)



(b)



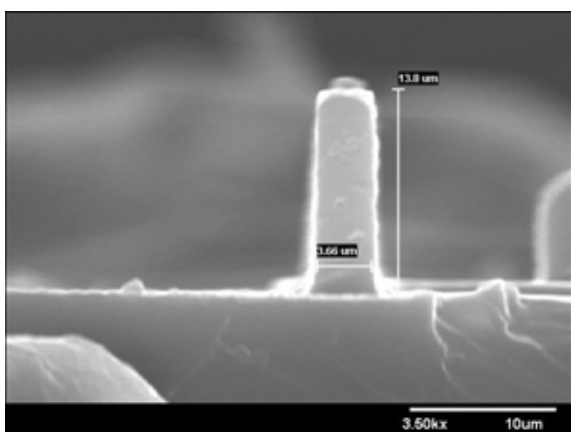
(c)



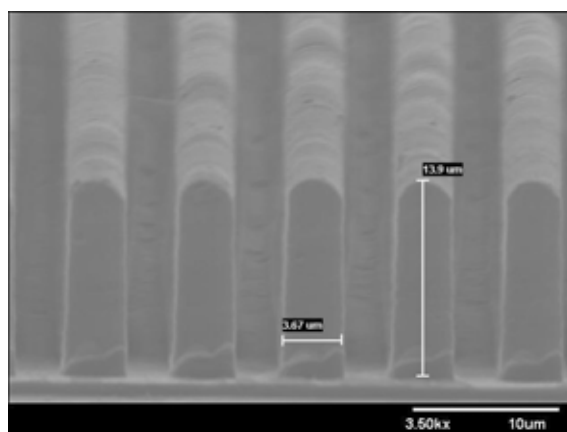
(d)

圖 4-19 同一試片以施加功率法(4)各處結構 SEM 圖

(a)a 處 (b)b 處 (c)c 處 (d)d 處

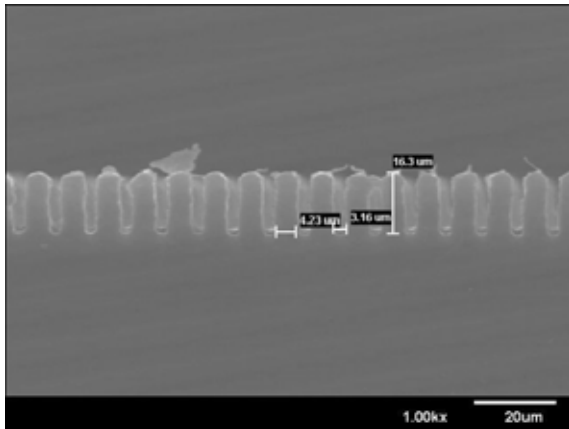


(a)

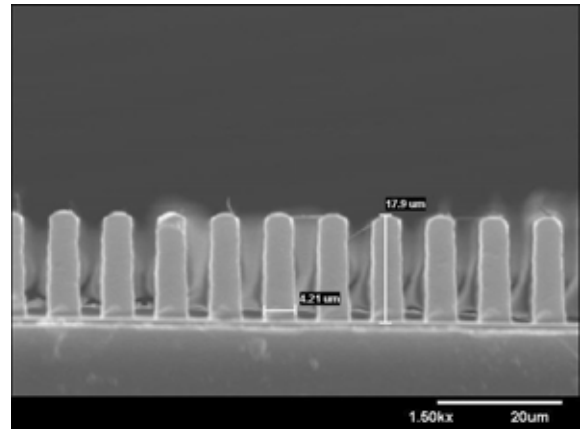


(b)

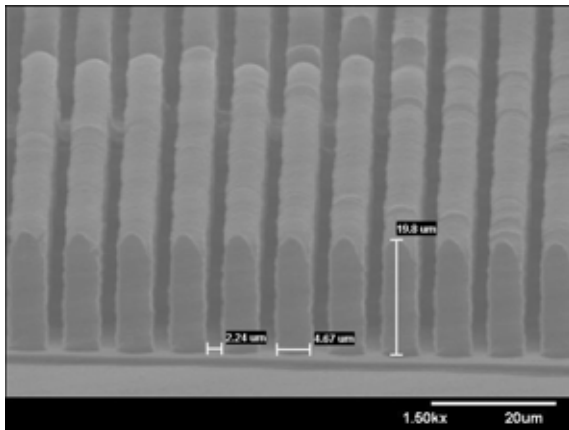
圖 4-20 以施加功率法(4)在同一試片上不同部位之截面 SEM 圖



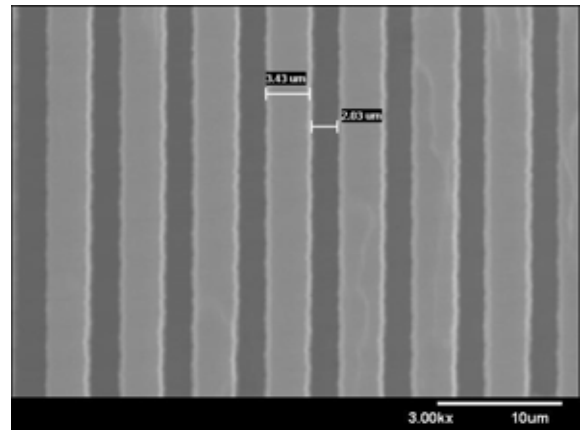
(a)



(b)

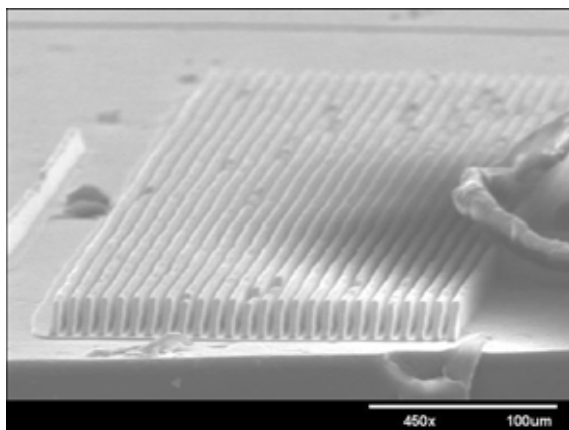


(c)

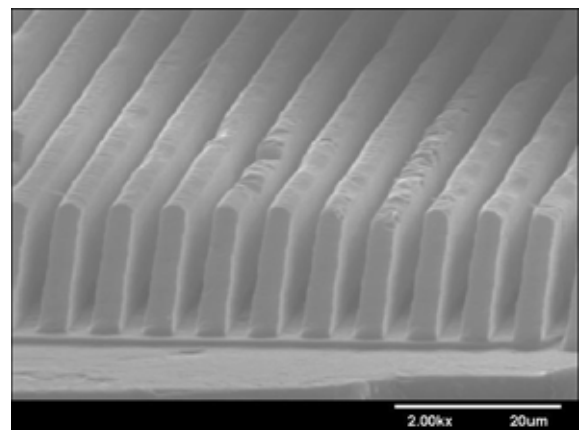


(d)

圖 4-21 不同成形尺寸與俯視圖

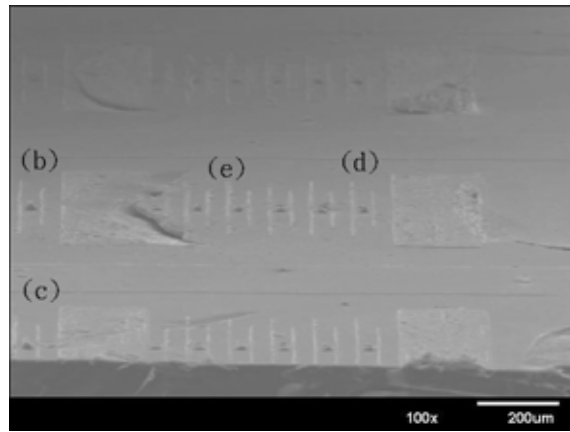


(a)

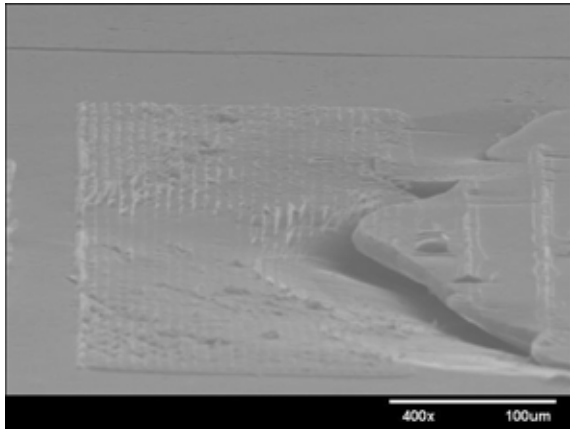


(b)

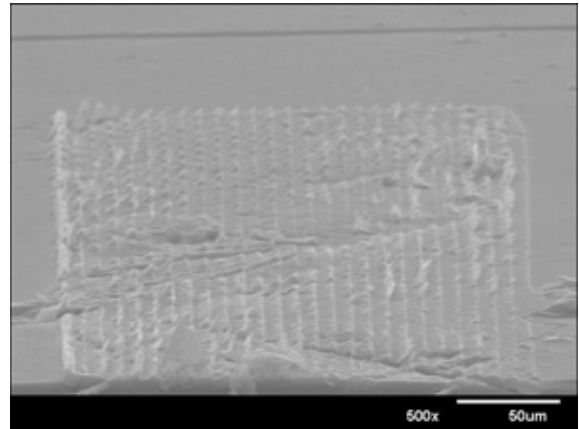
圖 4-22 施加功率下高深寬比結構傾倒現象



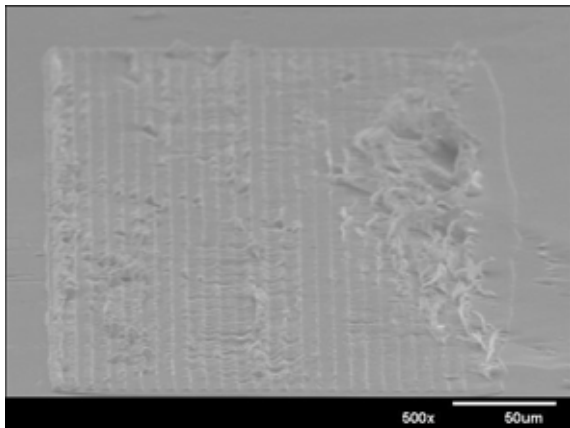
(a)



(b)



(c)

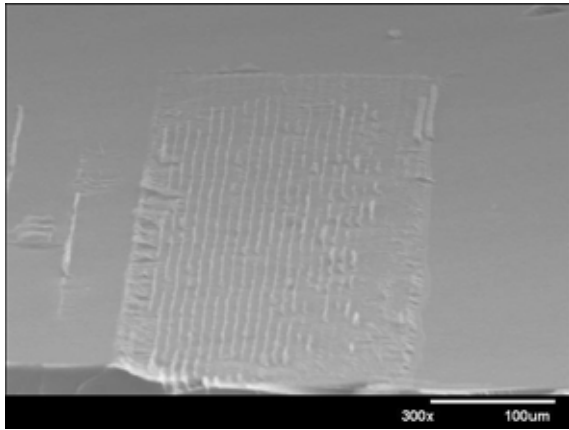


(d)

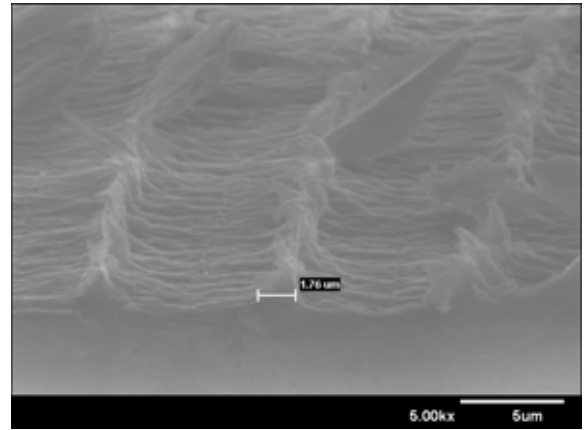


(e)

圖 4-23 以施加功率法(2)熱壓 2 μ m 線寬結構- a-b 處

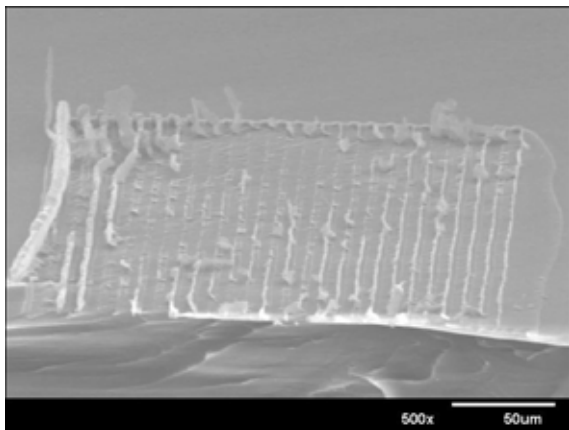


(a)

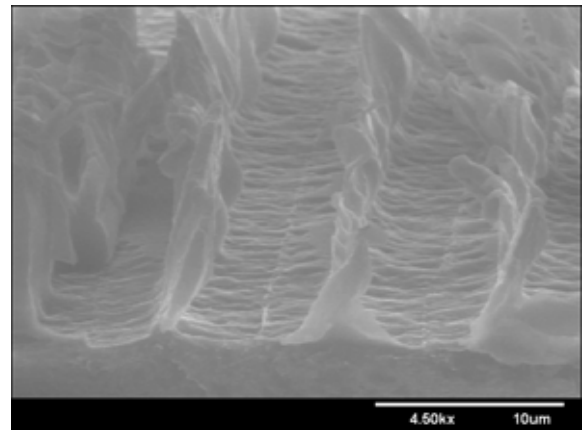


(b)

圖 4-24 以施加功率法(4)熱壓 2µm 線寬結構- m 處

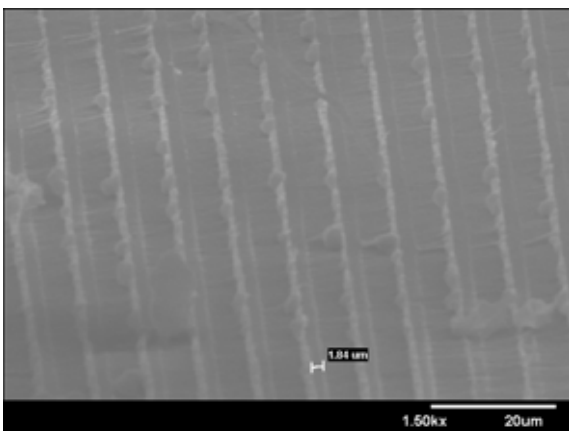


(a)

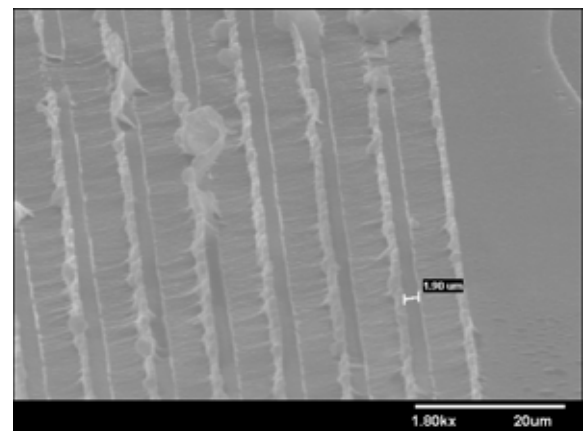


(b)

圖 4-25 以施加功率法(4)熱壓 2µm 線寬結構- j 處

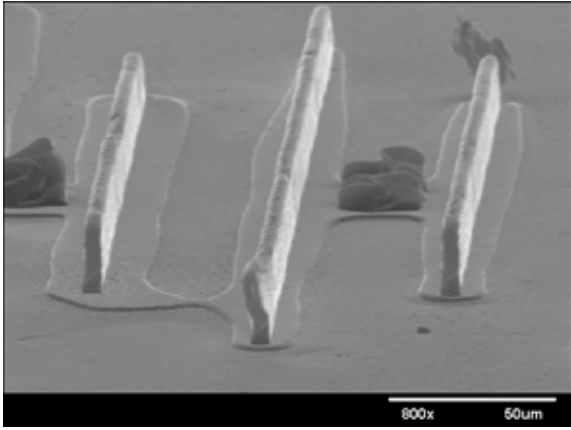


(a)

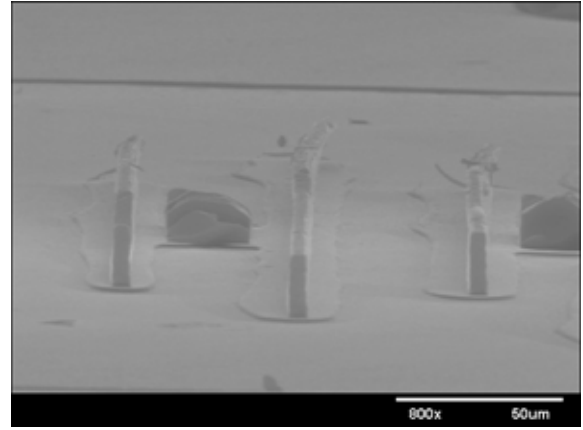


(b)

圖 4-26 以施加功率法(4)熱壓 2µm 線寬結構- g 處

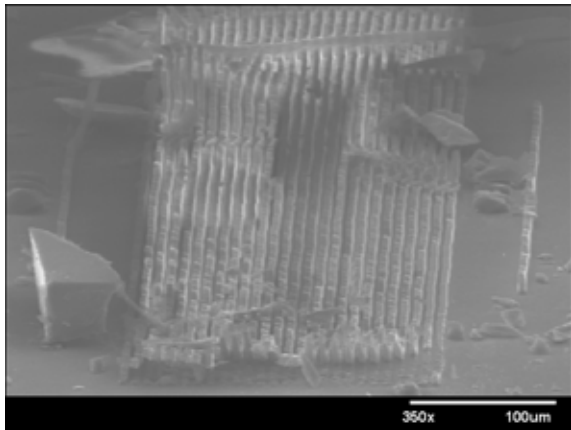


(a)

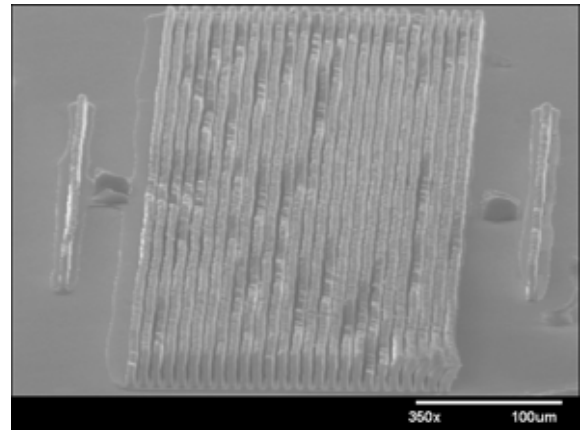


(b)

圖 4-27 施加功率後根部有融熔狀

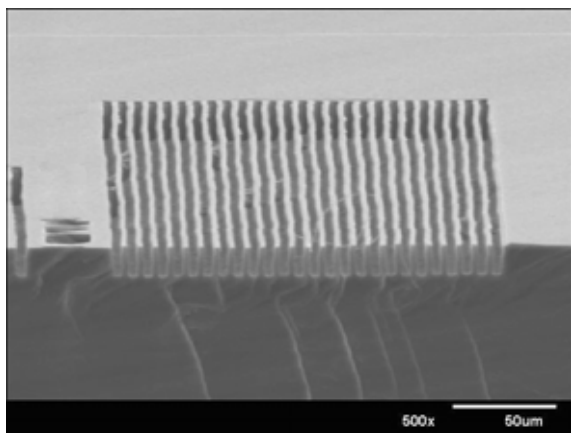


(a)

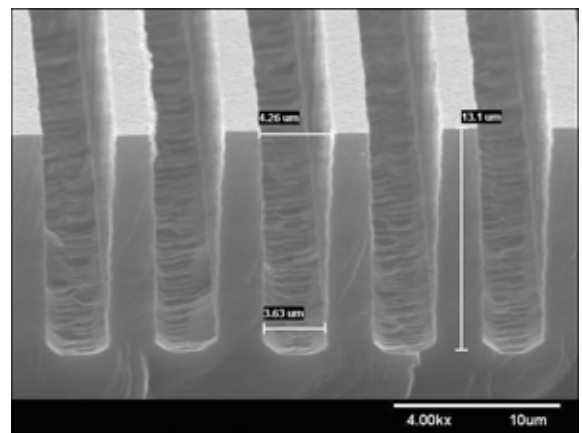


(b)

圖 4-28 有無施加功率之比較-(a)無施加功率 (b)施加功率

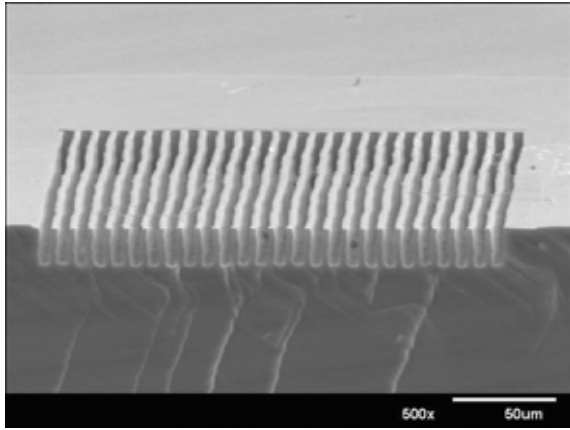


(a)

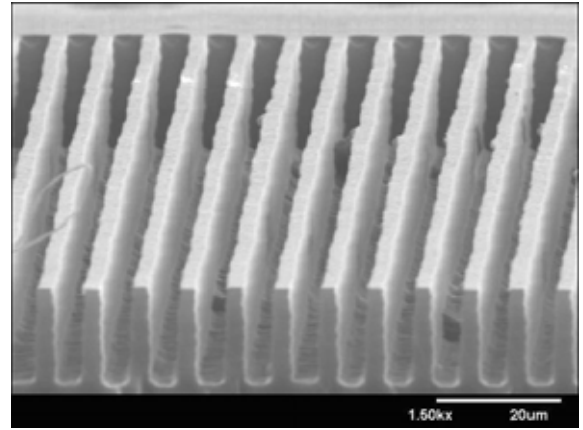


(b)

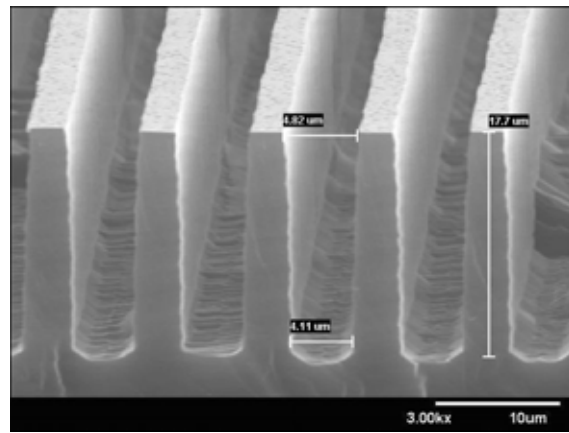
圖 4-29 模仁 SEM 圖(1)



(a)



(b)

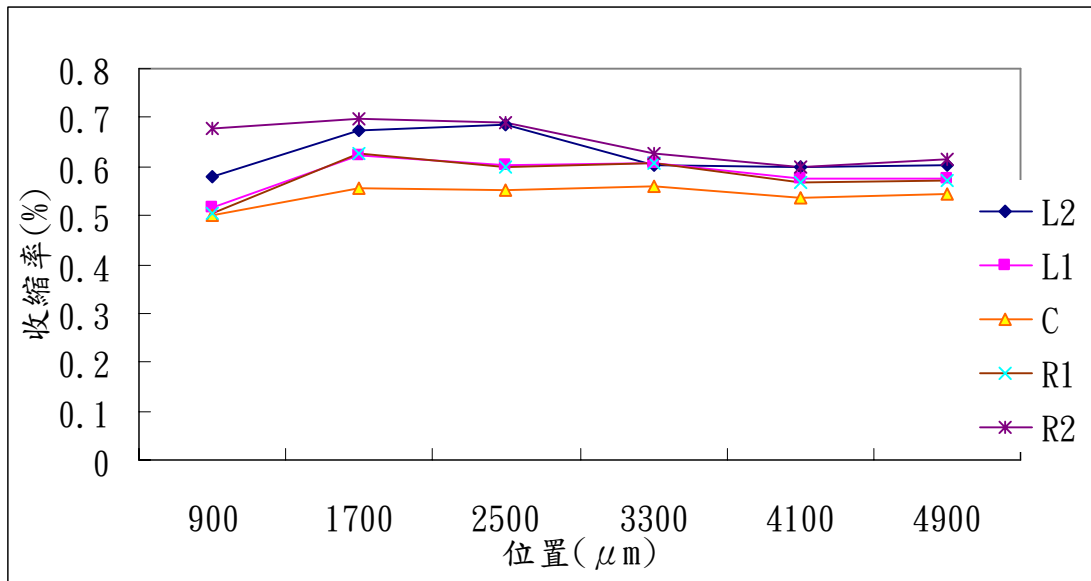


(c)

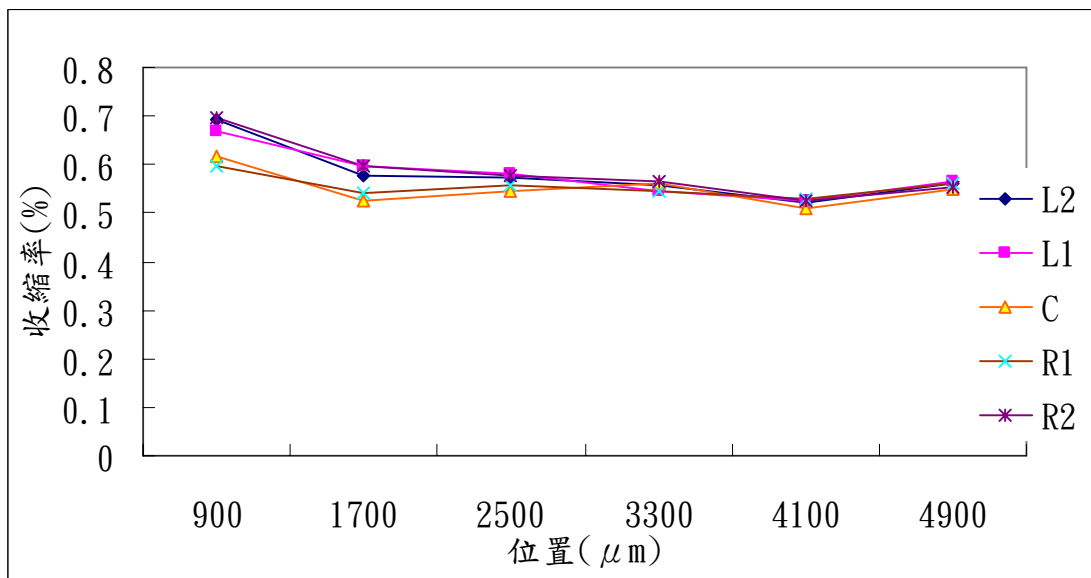
圖 4-30 模仁 SEM 圖(2)



圖 4-31 CCD 顯微鏡與量測收縮量之螺旋測微儀



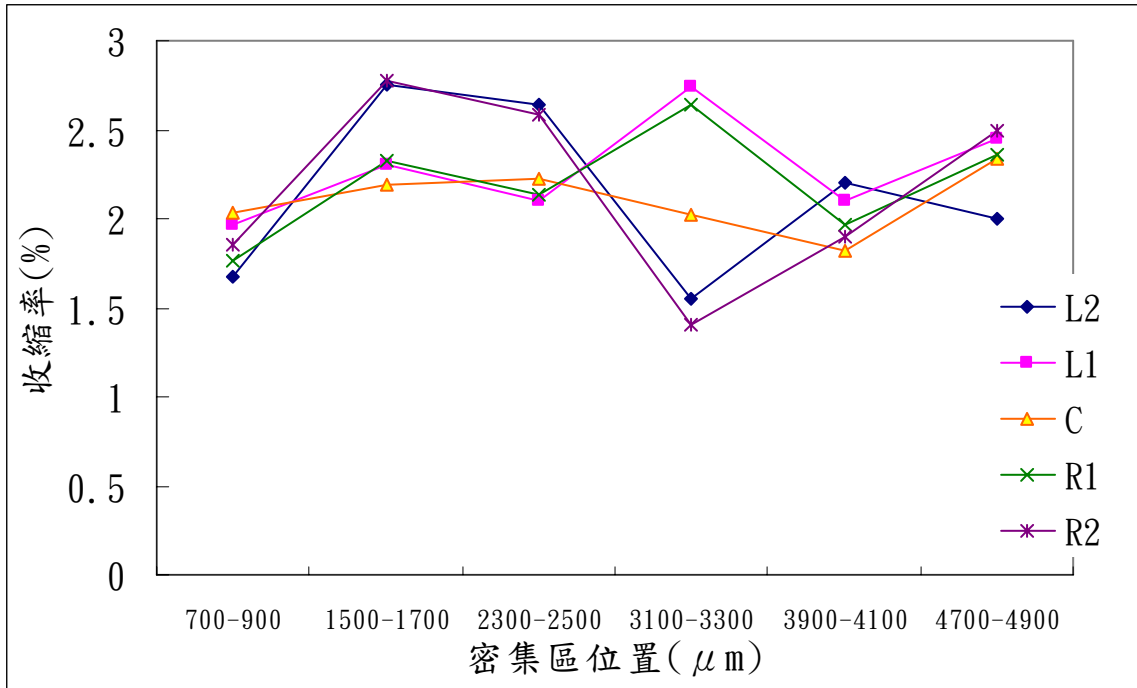
(a)



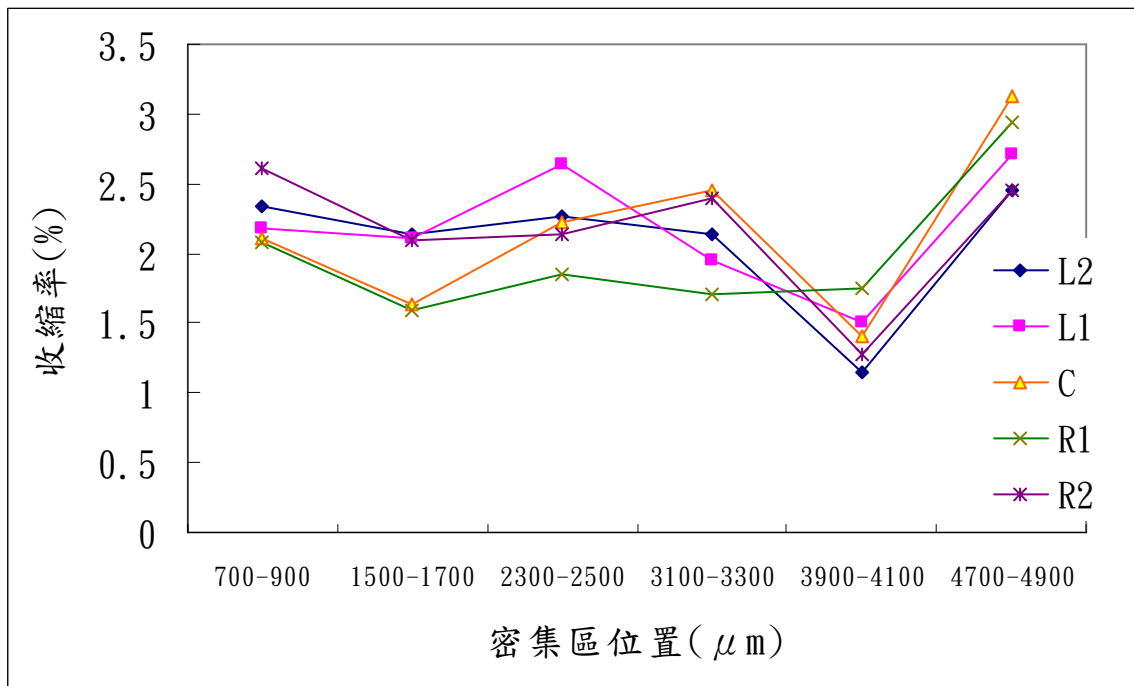
(b)

圖 4-32 有無施加加熱功率對試片收縮率之影響

(a)無施加功率 (b)施加功率



(a)



(b)

圖 4-33 有無施加加熱功率對密集區結構收縮率之影響

(a)無施加功率 (b)施加功率