

第三章 熱壓實驗規劃

3.1 實驗目的

微熱壓或微射出製程乃是將高分子以極大壓力充填至模仁內，脫模後之製品即為在矽基材上製作之結構形狀的複製品。成形品質可由成形過程中控制參數來掌握，但矽基模仁所製作之結構外型尺寸，例如高深寬比等也會影響到高分子所展現之流變特性，進而影響到成形。

常見的微成形技術有微射出與微熱壓成形，相比較而言微熱壓技術其設備較為簡易，工作溫度與壓力不高，原理是將一模仁固定在兩相互平行之模具間，其模具具有加熱功能與提供降溫之循環水路。將塑膠平板置於模仁上，施壓於兩模具，使之相互擠壓將材料擠壓至模仁內，其示意圖如圖 3-1[37]所示。微射出成形之相關設備製作較為困難，所受之應力也較為複雜，所以微熱壓技術便成為產學各界極欲發展的領域。

微熱壓成形是將塑膠加熱至玻璃轉移溫度上使材料軟化，而後施予壓力將模仁壓印至塑膠上，執行結構轉印之目的。雖然在成形階段中只是完成「複製」的動作，但在過程中會因為高分子的物理或化學性質，產生微成形品收縮、應力集中等問題，使得在工程上所要求的精度產生了誤差。因此不管是在微熱壓或是微射出技術，所要去克服之問題會因為材料、轉印之輪廓與結構，甚至是成形後元件功能而有所不同。所以在成形技術上，極須更為完整深入之研究，以完成元件之發展或是其他相關技術之開發。

本研究在結合微結構模仁的製作及微熱壓成形，從增加模仁功能、成形條件等各方面整體地探討高深寬比的微結構在成形時的問題。在模仁方面的製作是讓模仁本身具有加熱的效果，除了可瞭解在熱壓成形脫模處理的影響外，並可藉此建立大面積高深寬比的微結構的成形技術。進行微成形實驗選擇屬於非結晶性的 PMMA 為熱壓材料試片：Mitsubishi Rayon 製造，型號為 MD-001，等級為 VH。利用

前章所得的模仁和實驗室自行組裝之精密熱壓機，在各種不同的設定溫度、壓力控制曲線、對模仁施予加熱功能等成形條件下進行微結構的熱壓成形，以驗證本研究所開發的模仁在解決傳統的微成形的問題上的有效性。

3.2 實驗設備

3.2.1 微機電系統化模仁

製作完成之矽基模仁將如圖 3-2 所示，受曝光機曝光範圍之限制，每一矽晶圓可製作 16 片面積為 15mmX15mm 之微機電系統化之模仁，將各模仁分割開來之後導電區域兩端連接導線，以便於量測電阻與施加電壓、電流。接導線的方法是先利用真空離子濺鍍機在導電區域兩端的接線區鍍上一層金屬，此舉在避免導電區域產生自然氧化層而接觸不良。固定方面則使用銀膠做為導線與導電區域連接處之接著劑，置於 90°C 加熱板一個小時，待銀膠固化後以三用電表量測試其接線是否正常作用，即完成接線的工作，如圖 3-3 所示。



3.2.2 實驗裝置-熱壓機

熱壓機[38]為實驗室自行開發組裝，其實體如圖 3-4、3-5 所示，而其系統示意圖如圖 3-6 所示。以下依熱壓機之操作軟體與硬體之分，簡述其工作原理。

軟體部分為力量與溫度控制程式：由於熱壓過程中，輸出的力量會因為機構傳送中之摩擦力與模具重量等因素之影響，而喪失其精確度。所以在系統設計上加裝一負荷計隨時地傳送訊息回電腦，架構成一個閉迴路狀態，可隨時偵測誤差並且做補償之動作，以確定精確之力量輸出。所以力量與溫度控制由圖控式軟體 LabView 架構之程式監控，透過數據擷取系統送出、擷取類比訊號，壓力可依時間做多階段保壓變化，而力量控制過程為回饋補償之機制，如此循環以達到我們所需要的保壓、保溫與變化之目的。

硬體主要分力量控制系統、溫度控制系統及熱壓模具。力量控制

方面擷取系統送出之類比訊號透過馬達控制器進而放大與編碼，傳送至伺服馬達輸出扭矩並驅動皮帶輪，經由滾珠導螺桿之傳遞轉為下壓力，而下壓力經由負荷計之量測與動態應變放大計之處理後，送至電腦進行力量補償。

溫度之控制係藉由控制程式之電壓訊號輸送，透過達林頓電路放大電流進而推動繼電器。若熱電偶所量測之溫度到達預定溫度時，繼電器之電路則會關閉；相反的，溫度不足時則會打開繼續加熱，如此反覆以達到恆溫控制之要求。而溫度訊號會經過溫度處理模組，經由濾波放大後送回電腦後使得監控。

熱壓模具部份分為負荷計之夾具以及加熱、冷卻模具。負荷計之夾具由兩塊平板所組成，為非固定形式，並且藉由四根導柱來防止模具傾斜。而加熱模具分別為上、下兩塊無氧銅模具，面積為250mm×250mm，其加熱功率可達2000W。冷卻部份則用模溫機進行水冷卻。(圖 3-7)



3.3 實驗方法

3.3.1 熱壓步驟

熱壓之工作順序皆由力量與溫度控制軟體執行，確定準備工作已經就緒，便可以在模仁上放置熱壓試片，啟動程式進行熱壓。控制變化如圖 3-8 所示，其各階段所代表之目的與意義為：

- a. 材料加熱與初始力量接觸：在此階段中，先放置材料於上下模具間使之均勻受熱。當材料加熱至預定溫度，程式啟動伺服馬達以接近 100kgf 之力量接觸材料表面以防止因受熱所產生之形變。而溫度到達預設溫度後會持溫數秒，以求溫度平均分佈，再進行熱壓，此段持溫時間可依材料的不同來自行設定。
- b. 熱壓階段：在此階段中進入熱壓，以持壓持溫之狀態進行，力量與溫度皆由控制程式全程監控，以確定此階段之壓力與溫度為預定值之相同。
- c. 冷卻保壓階段：系統會通知將要進入冷卻保壓階段，自動切斷加

熱棒電源，並同時以手動方式開啟模溫機進行冷卻。力量輸出會因預設之階段數而有所變化，並且可改變輸出力量之大小，可視實驗需要作兩階段保壓或更多段數之內容。在冷卻保壓階段的同時依冷卻之溫度對微機電系統化的模仁施予功率使其發熱。

- d. 開模：當到達預設之開模溫度以及持壓時間，系統會自動開模以方便我們取出微結構試片。在開模前數秒鐘，加電壓於導線上，使模仁發熱並進行開模的動作，觀察其脫模的情況。同時經由量測阻值監控模仁的即時溫度及壓力。

3.3.2 熱壓實驗參數

由於高分子在冷卻至 T_g 點附近時會產生收縮，所以在冷卻保壓階段之時才對微機電系統化的模仁施予功率使其發熱，以使其維持尺寸精度，補償因冷卻收縮而喪失之精度。而在對模仁決定施加功率之前亦先決定其最佳熱壓條件，以確定施加功率之後的模仁熱壓成果不會因未施加功率之熱壓溫度、壓力或熱壓時間等非最佳成形條件，熱壓出來的成果本身就有缺陷而影響。

最佳熱壓條件分別尋找熱壓之溫度、壓力、熱壓時間與冷卻保壓時間等四項，先固定其他三項參數，改變其中一項變因，以觀察其熱壓成果之高深寬比來決定熱壓之參數，實驗之各項變數如表 3-1 所示，其結果分別如圖 3-9 至圖 3-12 所示。在尋找成形溫度對深寬比之關係時設定壓力為 5MPa，熱壓時間與冷卻保壓時間各為 30 秒，由圖形觀察，成形溫度越高其微結構之高深寬比越佳，接線由模仁拉出至電源供應器僅受絕熱膠帶保護，設定其熱壓溫度為 140°C 以保護電線。

改變成形壓力檢視其對高深寬比之關係時設定成形溫度為 140°C，熱壓時間與冷卻保壓時間各為 30 秒，受設定之成形溫度影響，成形壓力在大於 3MPa 以上其結構充填皆良好，可以達到良好的高深寬比。成形壓力在大於 7MPa 時其結構由 SEM 觀察可得到相當完整的賦形性，但是亦開始從接線區對矽基模仁產生破壞，當壓力大至 10MPa 時有細小裂縫產生，甚至模仁會從接線區破裂，因此設定

熱壓之壓力為 5MPa。

變因為熱壓、保壓時間時，設定成形溫度為 140°C、壓力為 5MPa，其賦形性主要在於控制冷卻保壓時間，冷卻保壓時間至溫度下降超過 T_g 點則其賦形性較佳，熱壓時間設定為 30 秒，而保壓時間設定 60 秒。

由以上對各項變因決定最後熱壓實驗之各項參數如表 3-2 所示。

3.3.3 模仁施加加熱功率方式

由於掌握使模仁發熱的時機相當重要，因此先做模具之降溫測試，其結果即如圖 3-13 所示。由設定熱壓溫度 140°C 降溫至 PMMA 之玻璃轉移溫度平均需 36 秒，而由玻璃轉移溫度再降至設定之開模溫度需 45 秒，冷卻保壓階段加熱功率施加方式如圖 3-14 所示，以下依各功率施加方式做解釋：

- (1) 由 140°C 降溫至開模溫度，在降溫過程中全程施予加熱功率，待開模前即停止施加功率。
- (2) 140°C 降溫開始在保壓過程中全程施予加熱功率，待保壓時間結束，即停止施加功率，並同模具冷卻材料至開模溫度。
- (3) 冷卻保壓階段當溫度降至 120°C 時開始施予加熱功率，待開模前停止施加功率。設定 120°C 以使晶片有充裕時間在模具及高分子材料降至 T_g 點前先使晶片加熱超過 T_g 點，
- (4) 冷卻保壓階段當溫度降至 120°C 時，開始施予加熱功率，至保壓時間結束才停止施加功率，並同模具冷卻材料至開模溫度。

在實際熱壓之前先做晶片加熱之測試，以確定晶片發熱功率及溫度能達到需求，晶片加熱測試之實驗設備如圖 3-15 所示。由於模具整體降溫速度，在 30 秒即可由 140°C 降溫至材料之 T_g 點，因此模仁加熱之要求需在短時間內即可超過材料 T_g 點，且能在所需時間內維持一定溫度，以使高分子持續保持融熔狀態。受摻雜以擴散法進行之原因，一晶片所切割出來之各部份模仁之阻值都不同，模仁之加熱測試即是依電阻之不同，施加不同功率，觀察其溫度上升結果。阻值過小

之模仁加熱效果差，此處代表性列出以模仁阻值為 30kΩ、50kΩ、100kΩ之加熱測試結果如圖 3-16、圖 3-17 與圖 3-18 所示。

對同一阻值之試片在定電流模式下改變電流大小，依 $P=IV$ 之公式計算其發熱功率，其施加功率越大，升溫速度越快，且所升溫度越高。不同阻值之試片，其電阻值過小($<5k\Omega$)時即使施加功率高亦無法達到溫度之需求，而電阻值高時其溫度持續上升無法達到穩定之溫度。

因擴散法參數或摻雜深度之影響，多數模仁之阻值集中在 30kΩ，因此選擇以 30kΩ 為本實驗之模仁阻值。依上述之晶片加熱測試，對導電區域通上電流 0.5A，平均能達到之發熱功率為 40.62W，為本實驗之需求。

晶片加熱測試過程中同時驗證黃重凱論文對模仁的性質之結果：如其試片對溫度之效應中，溫度越高時部份模仁會有阻值下降之趨勢，此方面可能是受摻雜以擴散法進行之原因，各晶片之各部份模仁之阻值分布亦不同，但持續加熱(120 秒)或週期性、重複性加熱後回至室溫，其阻值之變化並不大。模仁對壓力之效應中，持續、重複性或週期性的對模仁施壓其阻值影響亦不大。

3.3.4 實驗量測與分析

在熱壓過程中加電壓於導線上，使模仁發熱並進行脫模的動作，觀察其脫模的情況，然後利用掃瞄式電子顯微鏡(圖 3-19)於脫模後量測成形微結構的形狀和尺寸，及觀察其表面狀態和內部是否產生缺陷。針對高深寬比微結構的成形轉印性、破壞等，根據有無附加加熱性能之模仁所做實驗與量測、觀察所得的結果，與開模時有使模仁發熱所做之實驗做比較，對熱壓成形條件影響等進行綜合的評比和分析。對成形條件的適當範圍、微機電系統化模仁的適用性等做出具體結論。

表 3-1 熱壓試驗之各項參數表

熱壓溫度 (°C)	105	120	130	140	150	
熱壓與保 壓壓力 (MPa)	1	3	5	7	10	
熱壓時間 (s)	10	20	30	40	50	60
保壓時間 (s)	10	20	30	40	50	60

表 3-2 熱壓實驗參數表

熱壓壓力 (MPa)	保壓壓力 (MPa)	熱壓溫度 (°C)	熱壓時間 (s)	保壓時間 (s)	開模溫度 (°C)	接觸力 (kgf)
5	5	140	30	60	60	100

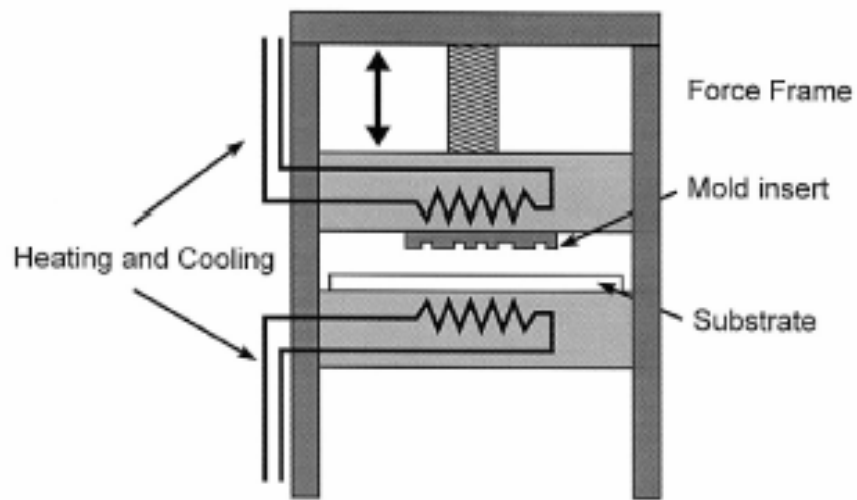


圖 3-1 微熱壓成形設備概要圖[37]

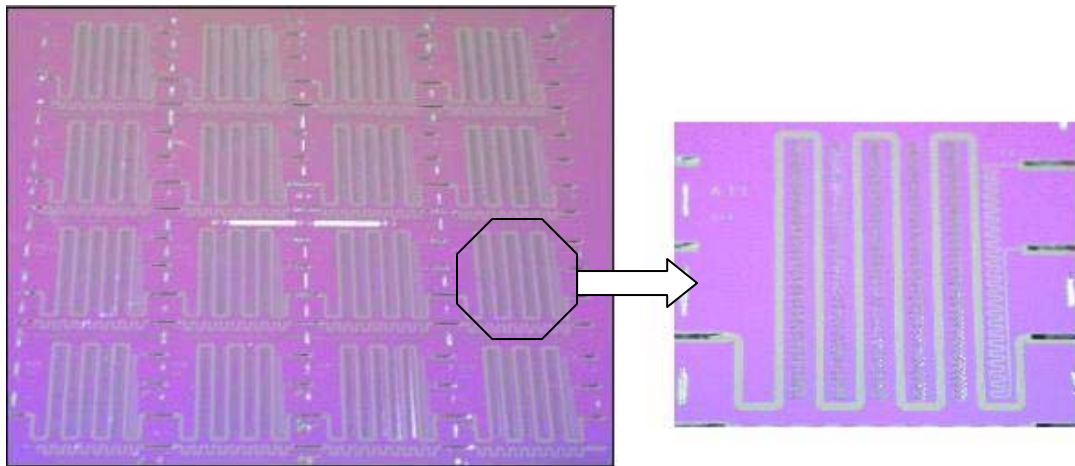


圖 3-2 微機電系統化模仁

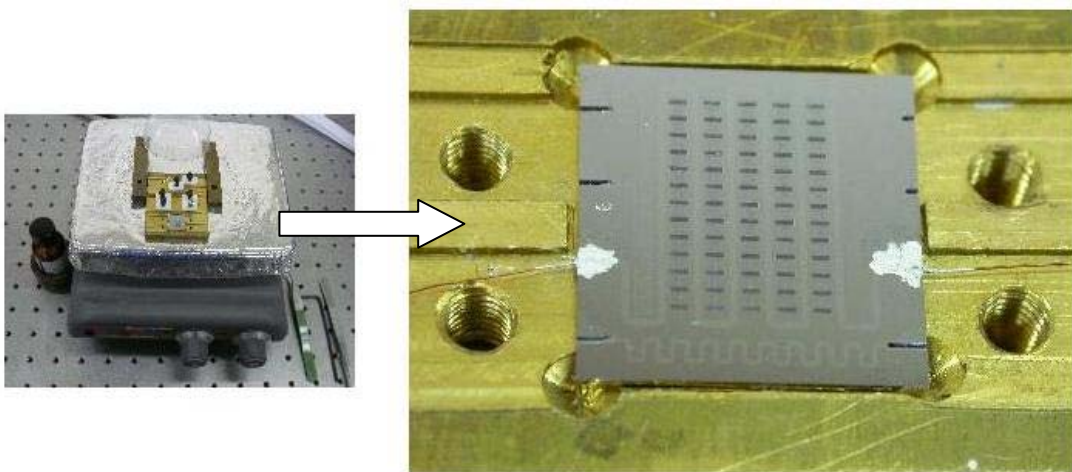


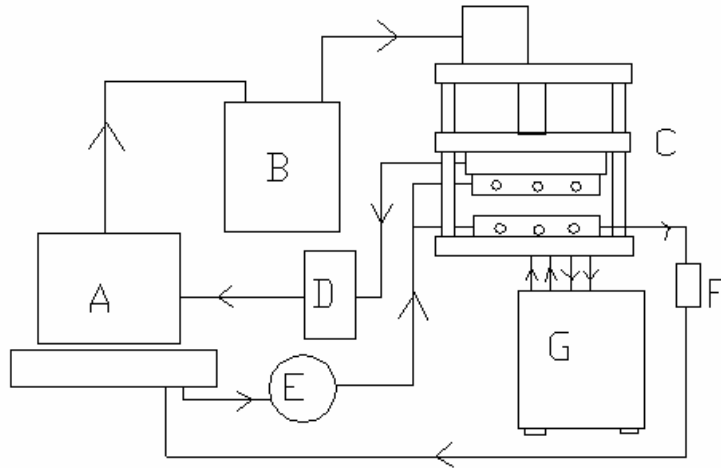
圖 3-3 微機電系統化模仁的接線



圖 3-4 熱壓機結構體[38]



圖 3-5 熱壓機控制系統[38]



- A：個人電腦：數據擷取系統、溫度與力量控制程式及訊號處理模組。
- B：馬達控制箱：將電腦送出之訊號進行放大與編碼。
- C：熱壓機結構體。
- D：動態應變放大計：接收負荷計受壓之訊號，進行濾波放大。
- E：達林頓電路：引入更大之電流以驅動繼電器控制加熱棒。
- F：K-type 熱電偶。
- G：模溫機：進行水冷卻。

圖 3-6 熱壓系統示意圖[38]



圖 3-7 模溫機[38]

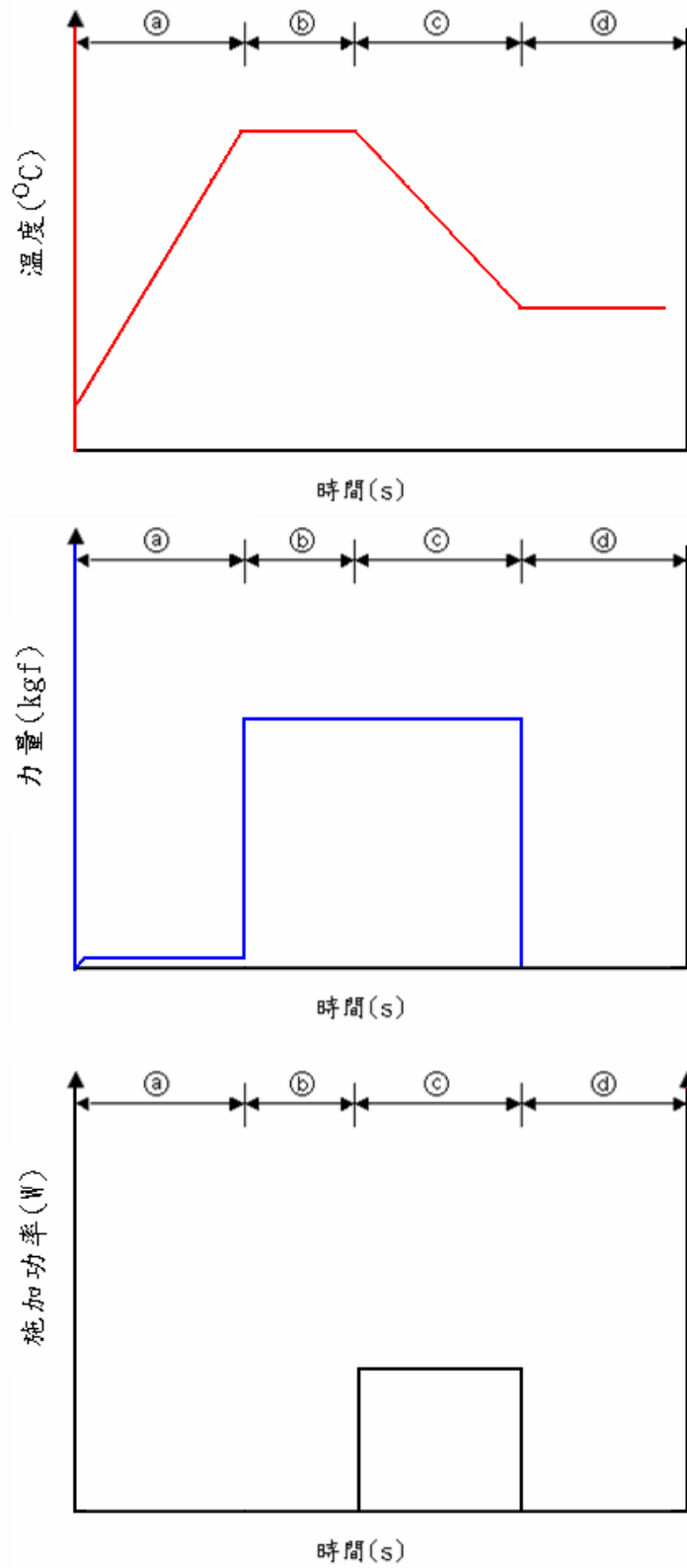


圖 3-8 力量與溫度控制變化圖

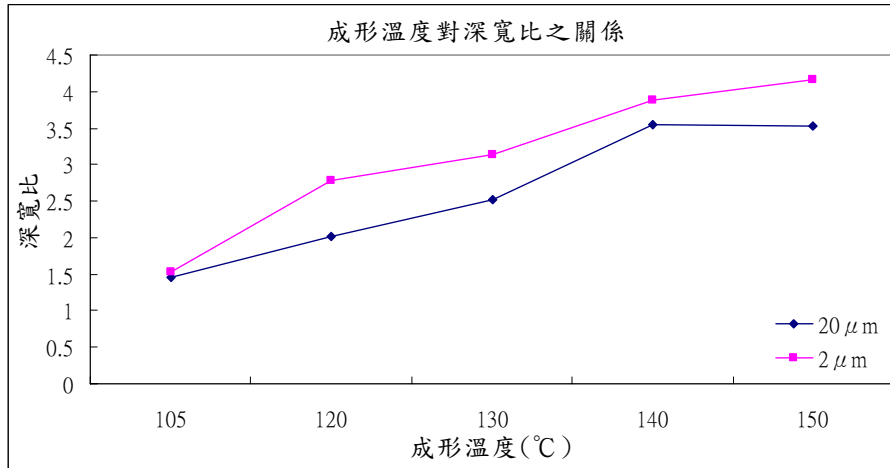


圖 3-9 熱壓成形溫度對深寬比之關係

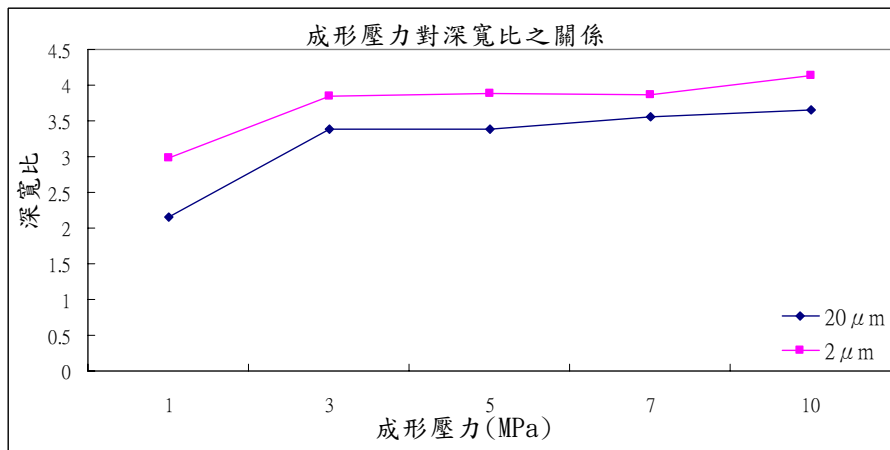


圖 3-10 熱壓成形壓力對深寬比之關係

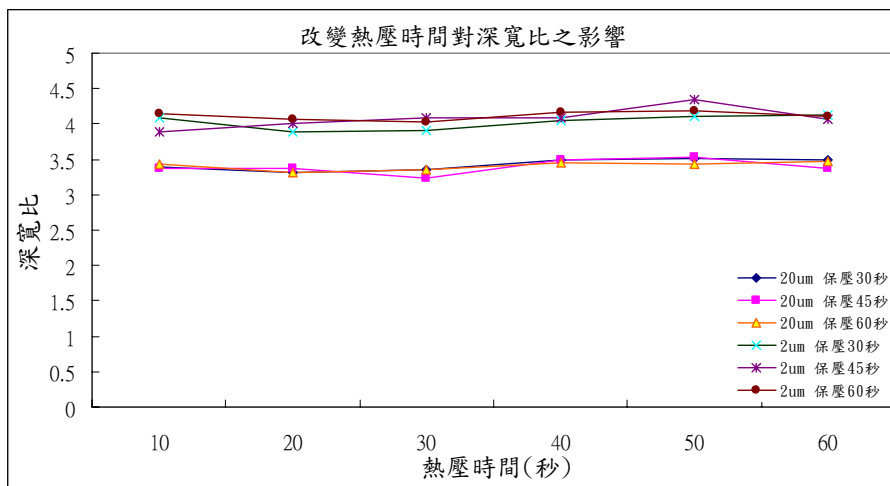


圖 3-11 熱壓時間對深寬比之關係

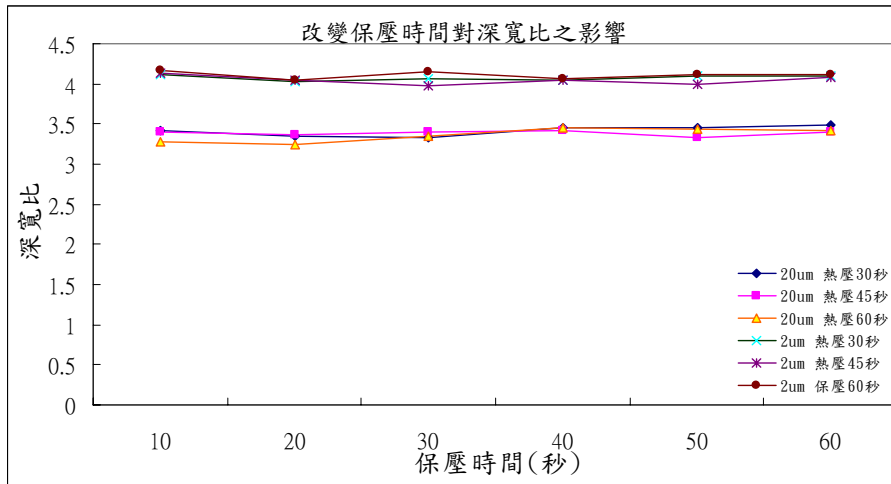


圖 3-12 保壓時間對深寬比之關係

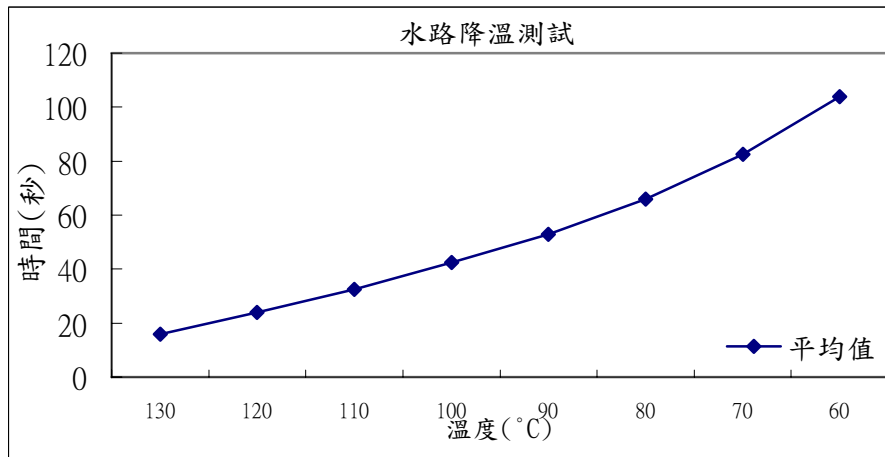


圖 3-13 模溫冷卻測試

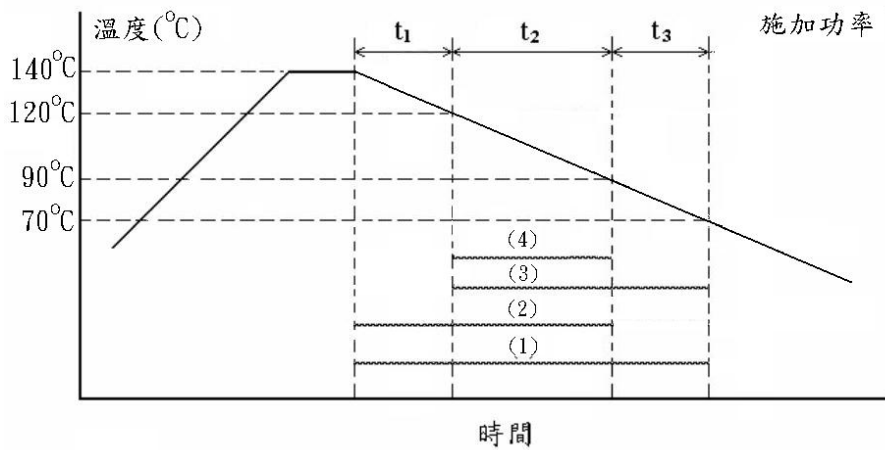


圖 3-14 施加功率過程

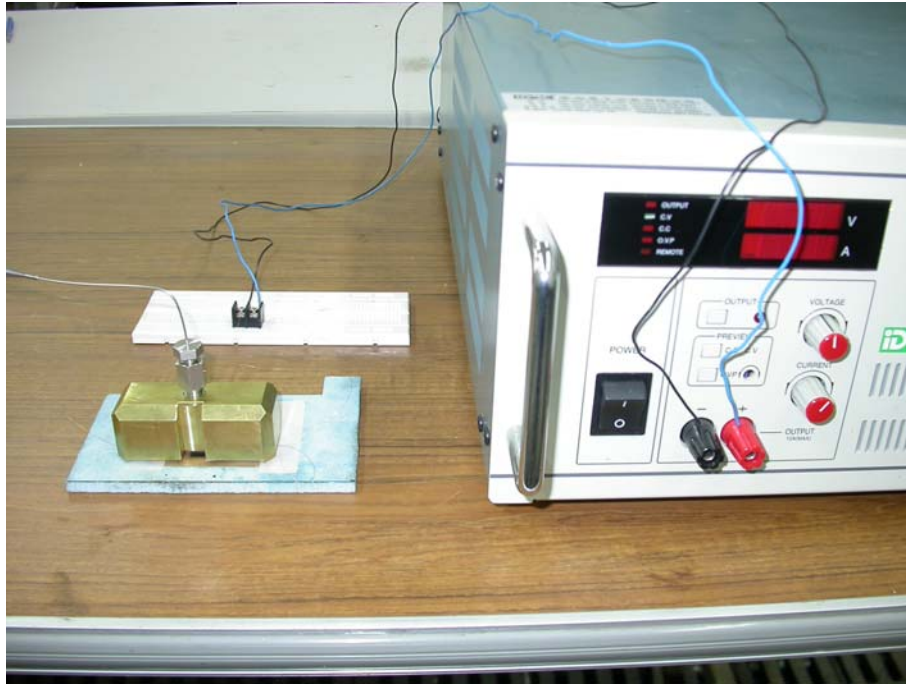


圖 3-15 晶片加熱測試實驗設備

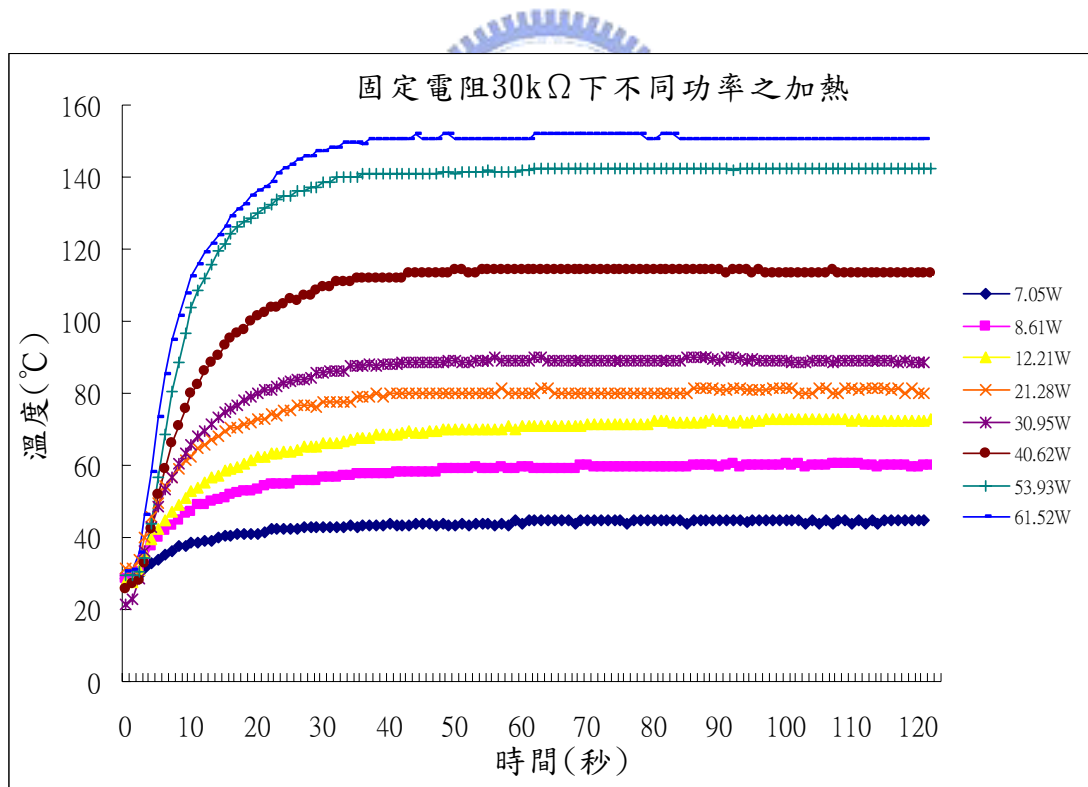


圖 3-16 固定電阻 $30k\Omega$ 下不同功率之加熱效果

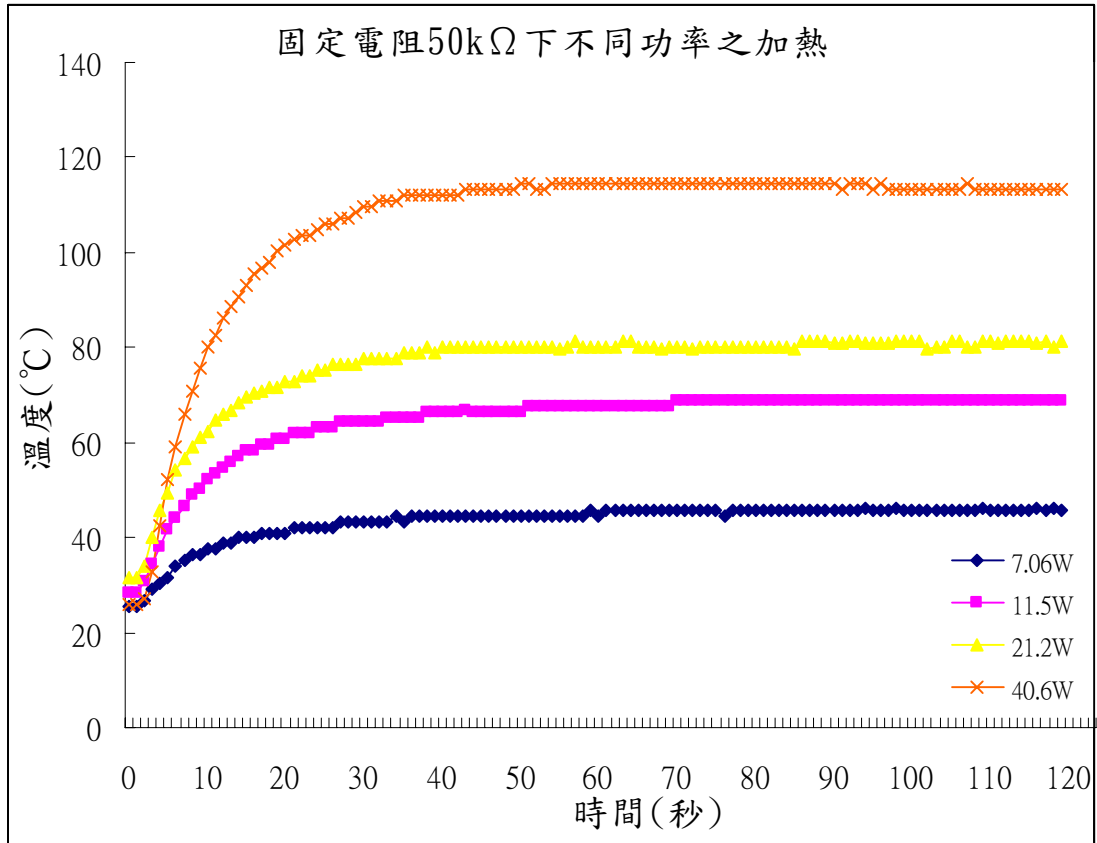


圖 3-17 固定電阻 $50k\Omega$ 下不同功率之加熱效果

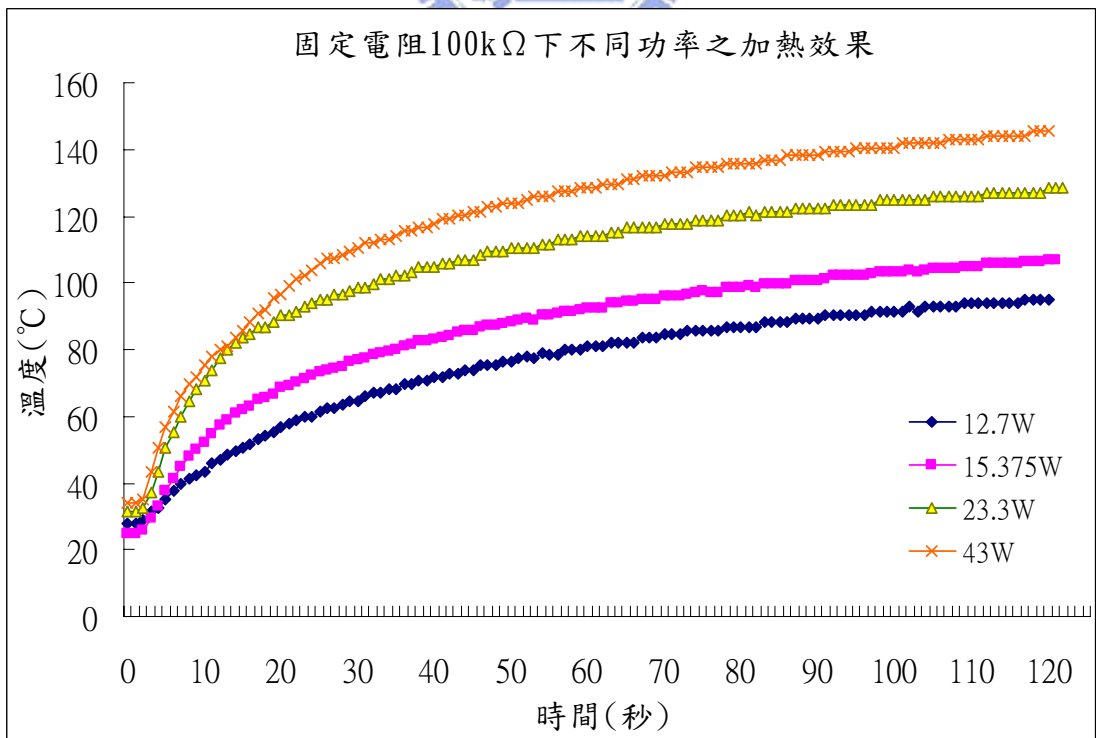


圖 3-18 固定電阻 $100k\Omega$ 下不同功率之加熱效果



圖 3-19 場發射掃描式電子顯微鏡

