

第三章 溫度計算與檢證

3.1 捲帶式自動接合的物理模型

捲帶式自動接合技術的物理模型,如圖 38,主要組成要素,由上而下分別為不銹鋼熱壓頭、熱壓布(片)、捲帶式 IC(TAB IC)、異方性導電膠(ACF)、面板 ITO 接腳、石英玻璃等。在 TAB 模擬的物理模型中,需針對整個架構作一初步的假設後再進行分析,首先以面板引腳之中心為對稱面先假設 $Y=\pm\infty$,Y 方向為無限長,只考慮到 X 及 Z 方向上溫度變化之情形,且在熱傳導過程中,不考慮輻射及不考慮對流等現象,及界面熱阻 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 皆假設為 0。

另外需再瞭解並假設各製程材料的厚度及其週遭溫度情形,不銹鋼熱壓頭厚度 h_6 =無限大,週遭主要介質為空氣,環境溫度為一常數;熱壓布厚度假設 $h_5=0.2\text{mm}$,以 X 正負方向無限大之處為一室溫;捲帶 IC(TCP)厚度 $h_4=0.15\text{mm}$,以 X 正方向無限大處為一室溫;異方性導電膠(ACF)厚度 $h_3=0.025\text{mm}$,以 X 正方向為一室溫且為常數;面板 ITO 接腳(ITO PAD)厚度 $h_2=0.7\text{mm}$,以 X 負方向無限大處為一室溫,正方向為一室溫且為常數;最後石英玻璃厚度假設 h_1 =無限大,週遭主要介質亦為空氣,環境溫度為一常數。

對捲帶式自動接合技術的物理模型有了基本的認識及對各製程材料厚度、週遭的溫度情形初步假設後,可以借由 ANSYS 有限元素簡單而有效的分析,清礎的知道,在整個捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈,進而達到分析改善接合的對位精度。

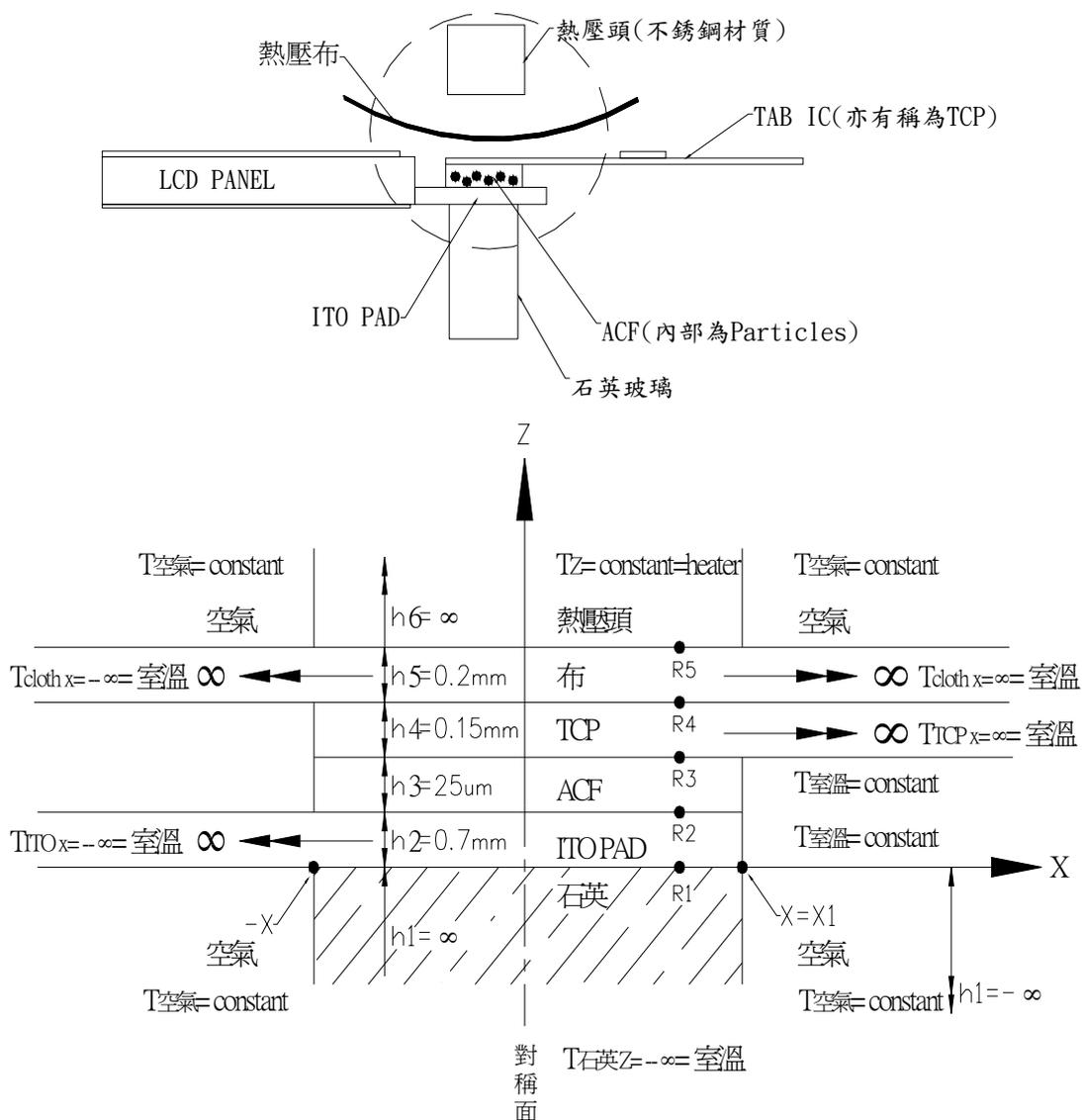


圖 38 捲帶式自動接合技術的物理模型

3.2 計算方法與條件

為了瞭解捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈，以改善接合的對位精度，我們可以使用有限元素法 ANSYS 來協助分析，有限元素法在工業界的應用已經有超過一百年以上的歷史。ANSYS 是能同時分析結構物受到靜力、動力、流力以及此章節所要運用到的熱傳等多重物理現象影響時的變化，因此常使用在電子封裝、微機電、汽車、航太及醫學工程等多種產業領域。ANSYS 運算所根據的原理，乃是根據有限元素法，當結構物的模型如捲帶式自動接合技術的物理模型在軟體中被建立好並被網格化後，只要附加適當的條件，就可

以直接利用有限元素法來計算,進而瞭解到所建立的模型或是產品的特性。

有限元素法發展上是從 Matrix Structural Analysis 的方法發展開始,首先是在以 Beam 及 Truss 為主的鋼構上應用,而後將理論引用至各個物理領域,例如上述之流力、熱傳等等,現階段有限元素法可以應用到很多物理領域,而熱傳的分析將有助於我們對捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈有更進一步的瞭解。

ANSYS 有限元素分析軟體主要具有前處理器、分析器及後處理器等三個基本模組。對整個有限元素法的處理步驟如下：

1. 選用適當的元素。
2. 將整個物理空間格點化形成元素,並賦予元素適當的屬性。
3. 設定邊界條件。
4. 選用解題的解法。
5. 組合形成系統方程式,並求解。
6. 解讀分析結果。

所以在進行有限元素分析的第一步就是要選對適當的元素,正確的分析流程將有助於分析的正確性,如圖 39 更仔細地說明整個有限元素分析處理作業流程。

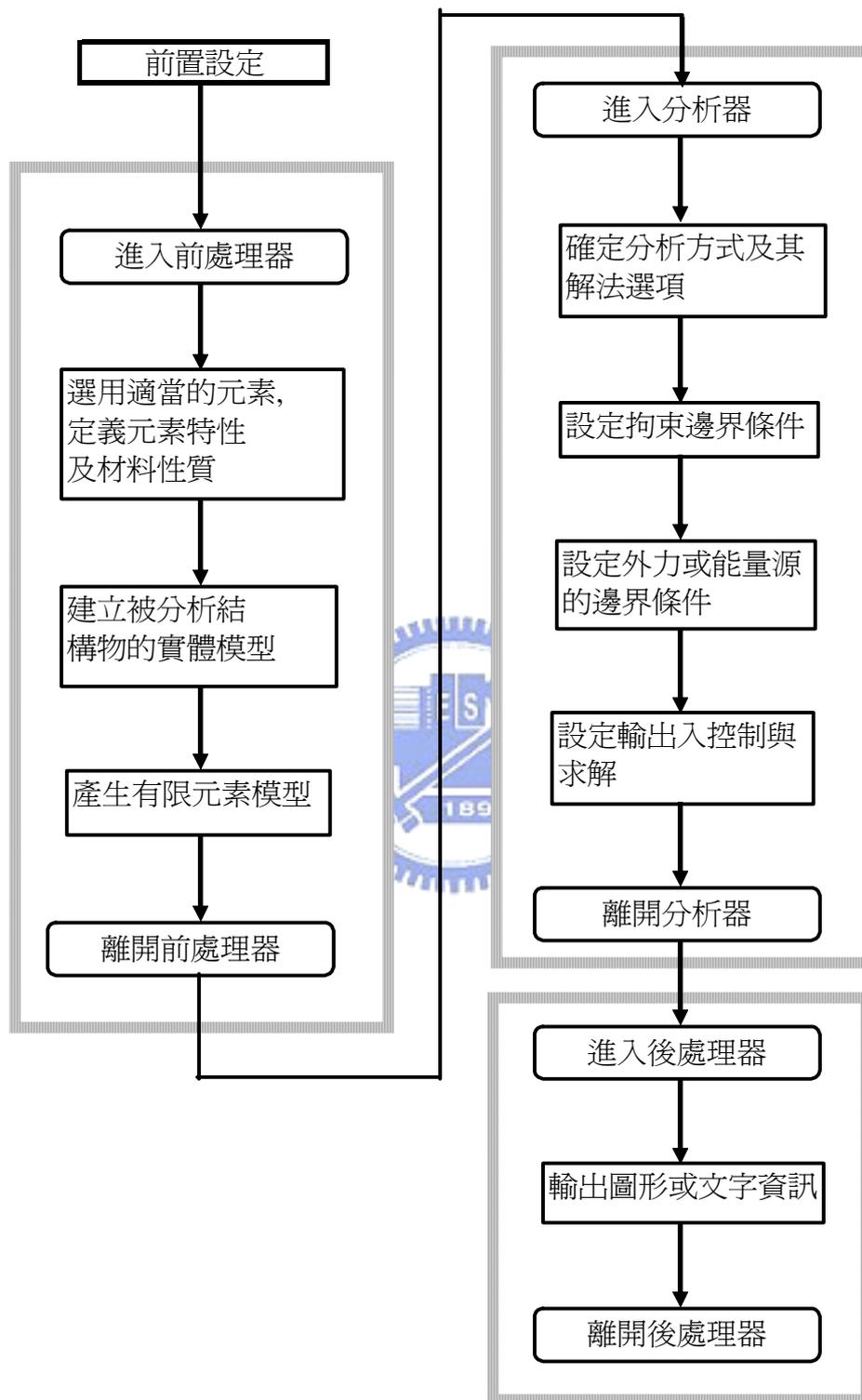


圖 39 有限元素分析處理作業流程圖

利用 ANSYS 有限元素法對捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈,所做的熱效應分析中,除在捲帶式自動接合技術的物理模型中需作初步的假設,如 $Y = \pm \infty$, Y 方向為無限長,只考慮到 X 及 Z 方向上溫度變化之情形,不考慮輻射及不考慮對流等現象,界面熱阻 R1, R2, R3, R4, R5 皆假設為 0 外,另外需再假設各製程材料的厚度及其週遭溫度情形。此外需再假設有一均質性 (homogeneous) 與等向性 (isotropic) 材料,在室溫 (22 °C) 且無其他負載條件之下,為無應力 (stress free) 狀態。在不給予拘束 (constraint) 條件下,此材料之構件受熱之後將有自由的熱膨脹,而此時在構件之中將不會有任何的熱應力存在。若在此材料的外部施加負載或是材料本身內部出現變形不協調的時候,結構中就會有應力出現。這種因為溫度的升高或降低產生的應力稱之為”熱應力”,故我們很清楚的瞭解,在捲帶式晶粒自動接合構裝製程中,是由不同材料所組成的結構,即使在無拘束的條件之下,也會因為各製程材料的膨脹係數不同,而導致在溫度變化後,在材料結構的內部產生熱應力。通常在一般的電子構裝製程中,需要經過需多次的升溫及降溫,如 TAB 製程之假壓著及本壓著,再加上各製程材料之間的熱膨脹係數不同,致使每個製程材料之間的膨脹量的不同,所以為了維持變形後結構連續性,每個製程材料間的變形會彼此受到牽制,及產生熱應力,故在一般電子構裝製程,如 TAB、COG、COF 材料的選擇上,需盡量選用膨脹係數值相近的材料,以得到較佳的對位精度。

有了上述的假設後,對於各製程材料的物性值,如熱傳導係數、密度等,及在作分析時給與各材料的邊界條件、初始條件需要加以瞭解及設定。如表 2,為捲帶式自動接合製程各材料物性值及條件設定,我們將分別假設各製程材料如熱壓頭、熱壓布、捲帶 IC (TAB IC)、異方性導電膠 (ACF)、面板引腳 (LCD PAD) 及石英玻璃等之邊界條件及初始條件。在各製程材料中,假設邊界條件為當設備開啟時,熱壓頭亦開始加熱,且溫度逐漸上昇,使設備作動讓熱壓頭下降,利用熱偶計 (Thermocouple),當熱壓頭接觸熱偶計時開始計時,時間設定為 20 秒,當實測溫度上昇至 300 °C 時達到平衡,溫度不再繼續上昇。同理熱壓布、捲帶 IC (TAB IC)、異方性導電膠 (ACF)、面板引腳 (LCD PAD) 及石英玻璃之邊界條件皆假設為時間 20 秒,實測溫度由 280 °C,如上述,不考慮輻射及不考慮對流,界面熱阻 R1, R2, R3, R4, R5 皆假設為 0 等,因熱傳遞的效應,由上而下遞減降至

200 °C, 至 180°C 時達到平衡。另外假設各製程材料之初始條件為當時間為 0 秒時, 亦即當設備開啟但在無任何作動情況下, 各製程材料之初始溫度狀態。熱壓頭初始溫度假設為 300 °C, 其餘熱壓布等各製程材料初始溫度皆假設為室溫 22 °C, 有了基本的邊界條件及初始條件設定後, 在 ANSYS 分析中必需再分別提供各製程材料之物性質, 如熱傳導係數及密度等。通常材料的邊界條件、初始條件設定及物性值提供愈準確, 所得的分析結果也愈接近實際狀況, 在邊界條件、初始條件及物性值準備完備後, 將進行穩態及暫態熱傳遞分析, 以瞭解在捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈情形。

熱傳遞的三種形式：傳導(conduction)、對流(convection)和幅射(radiation), 當一物體內有溫度梯度(temperature gradient)存在時, 依經驗顯示能量會從高溫區傳到低溫區。這種能量的傳遞方式, 我們稱為傳導(conduction), 且每單位面積之熱傳導速率(heat transfer rate)和法線溫度梯度(normal temperature gradient)成正比：


$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

上式中 q 是熱傳遞速率, $\partial T/\partial x$ 是熱流流動方向的溫度梯度。”正“值常數 k 稱為材料的導熱性(thermal conductivity), 加上”負”號是為了要滿足熱力學第二定律; 亦即熱必需由高溫傳至低溫。當熱流量用 W (watt)表示時, 導熱性 k 的單位為 $W/m^{\circ}C$ 。在本文中求解捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈情形, 只考慮熱傳導的影響, 而不考慮熱對流及熱幅射, 我們假設設備一開啟時, 熱壓頭慢慢加熱, 當溫度到達所設定的邊界條件時, 熱壓頭下降, 於接觸熱壓布開始計算 20 秒的時間, 由於熱傳導的影響, 熱在各製程材料由 1 秒至 20 秒間產生了變化, 亦即在 20 秒內熱將慢慢地從接合區域往外擴散分佈, 使得整個 TAB 製程結構逐漸昇溫。因為整個熱傳導的過程牽涉到時間, 因此將對穩態分析(steady-state analysis)及暫態分析(transient analysis)兩方面來討論溫度在各製程材料中傳遞分佈情形。

表 2 捲帶式自動接合製程各材料物性值及條件設定

NO	項目	邊界條件	初始條件	熱傳導係數 W/m. °C	密度 kg/m ³
1	熱壓頭	t=20sec, T=300°C	t=0sec, T=300°C(常溫加熱)	16.3(不繡鋼)	7817 kg/m ³
2	熱壓布	t=20sec, T=280°C	t=0sec, T=22°C(室溫)	0.2(塑料)	2.2 g/cm ³ =2200 kg/m ³
3	TCP	t=20sec, T=200°C	t=0sec, T=22°C(室溫)	0.2(塑料)	1470 kg/m ³
4	ACF	t=20sec, T=180°C	t=0sec, T=22°C(室溫)	0.2(塑料)	2000 kg/m ³
5	LCD	t=20sec, T=180°C	t=0sec, T=22°C(室溫)	0.78	2700 kg/m ³
6	石英玻璃	t=20sec, T=180°C	t=0sec, T=22°C(室溫)	1.09	2200 kg/m ³

3.2.1 穩態熱傳遞分析

若一固體的周圍環境突然發生改變，則此物體必須經過一段時間後，才能達到內部的溫度平衡，我們稱此平衡狀態為穩定狀態(steady-state)。亦即穩態熱傳遞分析乃系統每一點的溫度梯度與時間無關，則稱此系統處於穩定狀態，假設設備剛開啟，熱壓頭逐漸加熱昇溫，且熱壓頭下降將捲帶構裝製程中各材料受壓後緊密接觸，熱源由上往下開始傳熱，經過無限長的時間後，在整個捲帶式自動接合物理模型中的邊界皆達到室溫(22 °C)，且溫度以穩定的溫度梯度由熱壓頭 300 °C 傳至石英玻璃 180 °C，最終將達到模型中穩定時的邊界 22 °C。整個製程結構中每一點的溫度梯度皆與時間無關。如圖 40，為捲帶式自動接合在接合製程中材料的溫度分佈，並且已經達到穩態分佈的狀態。

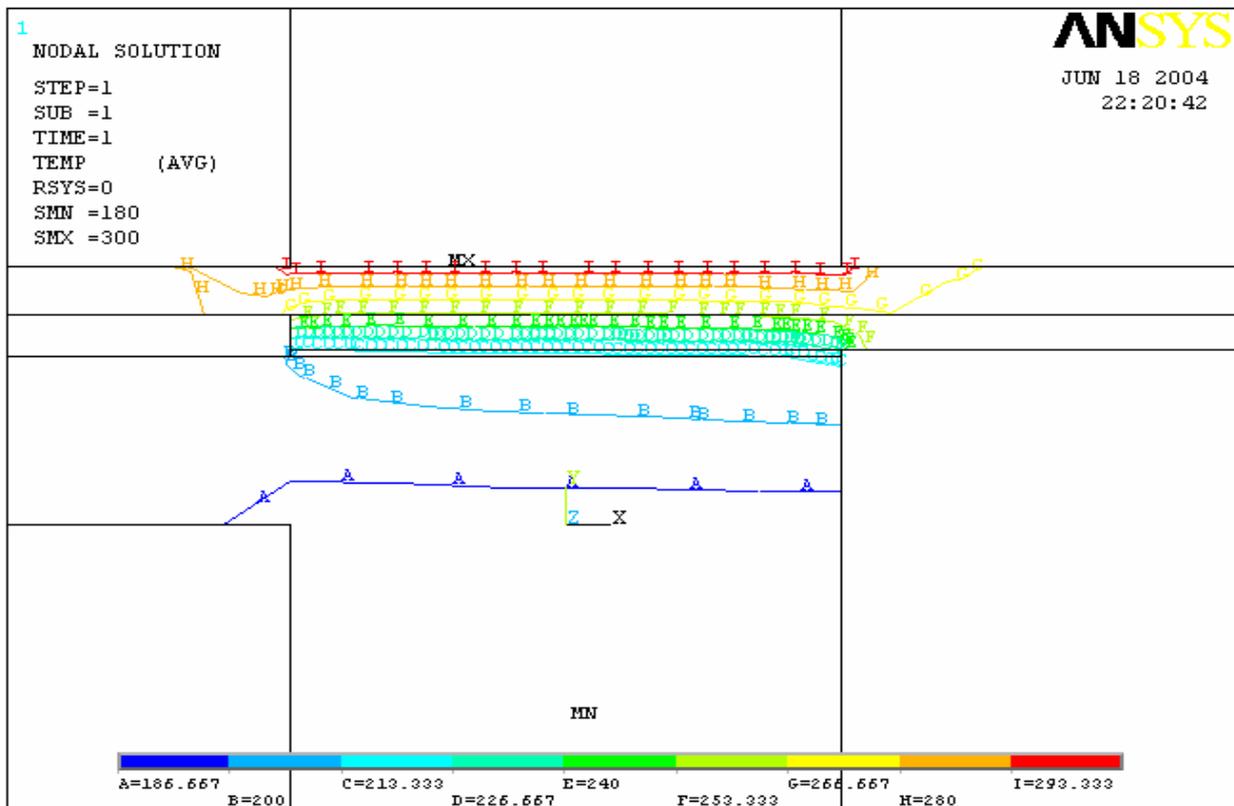
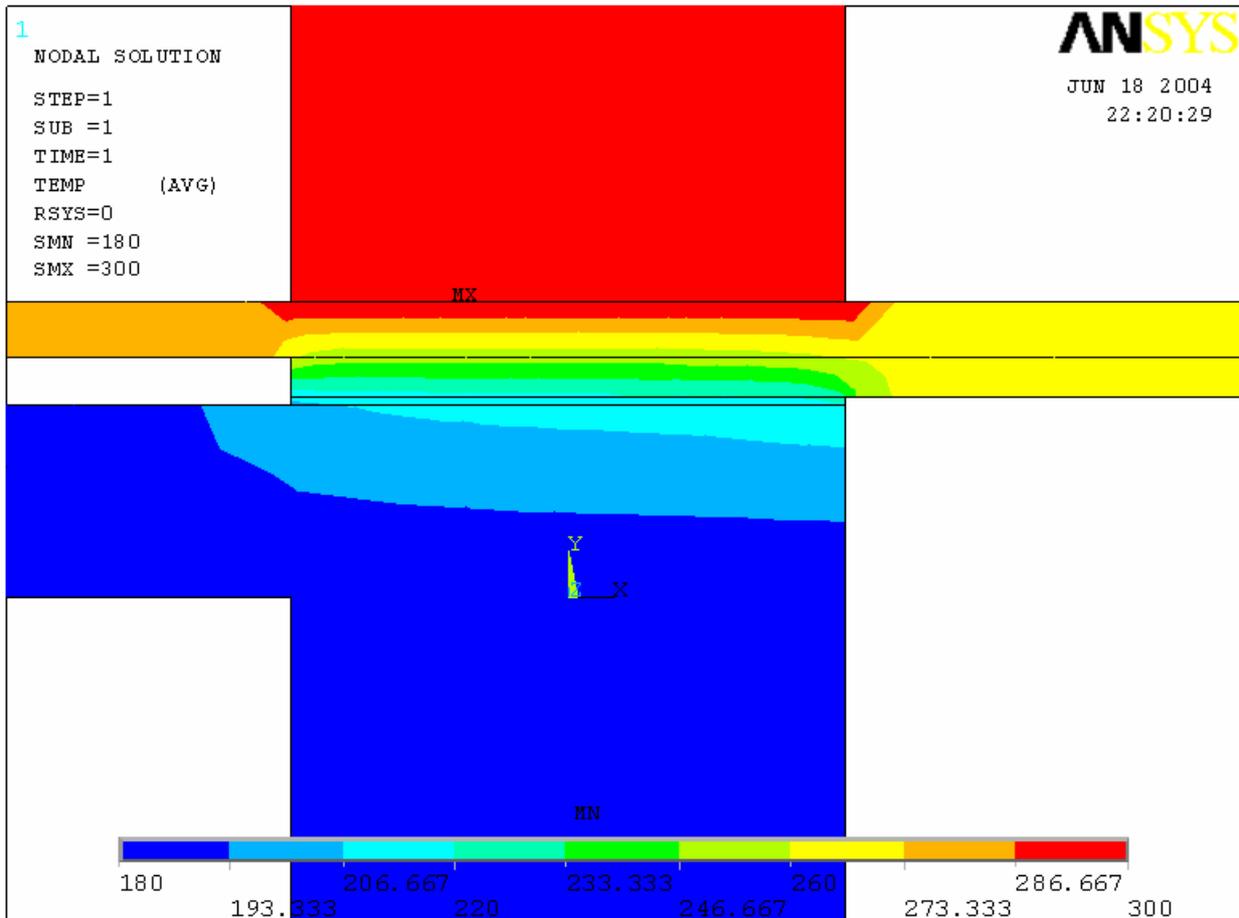
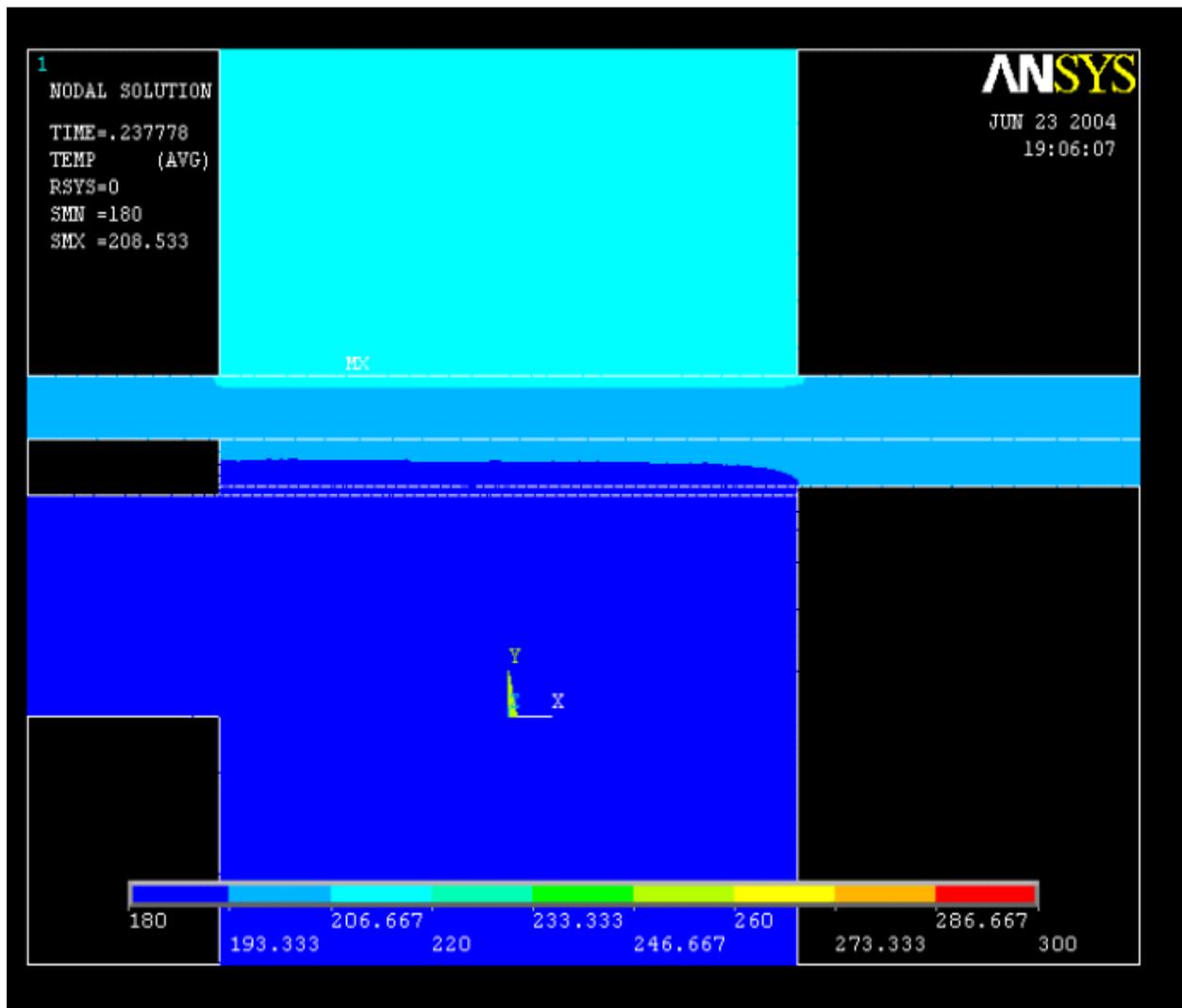


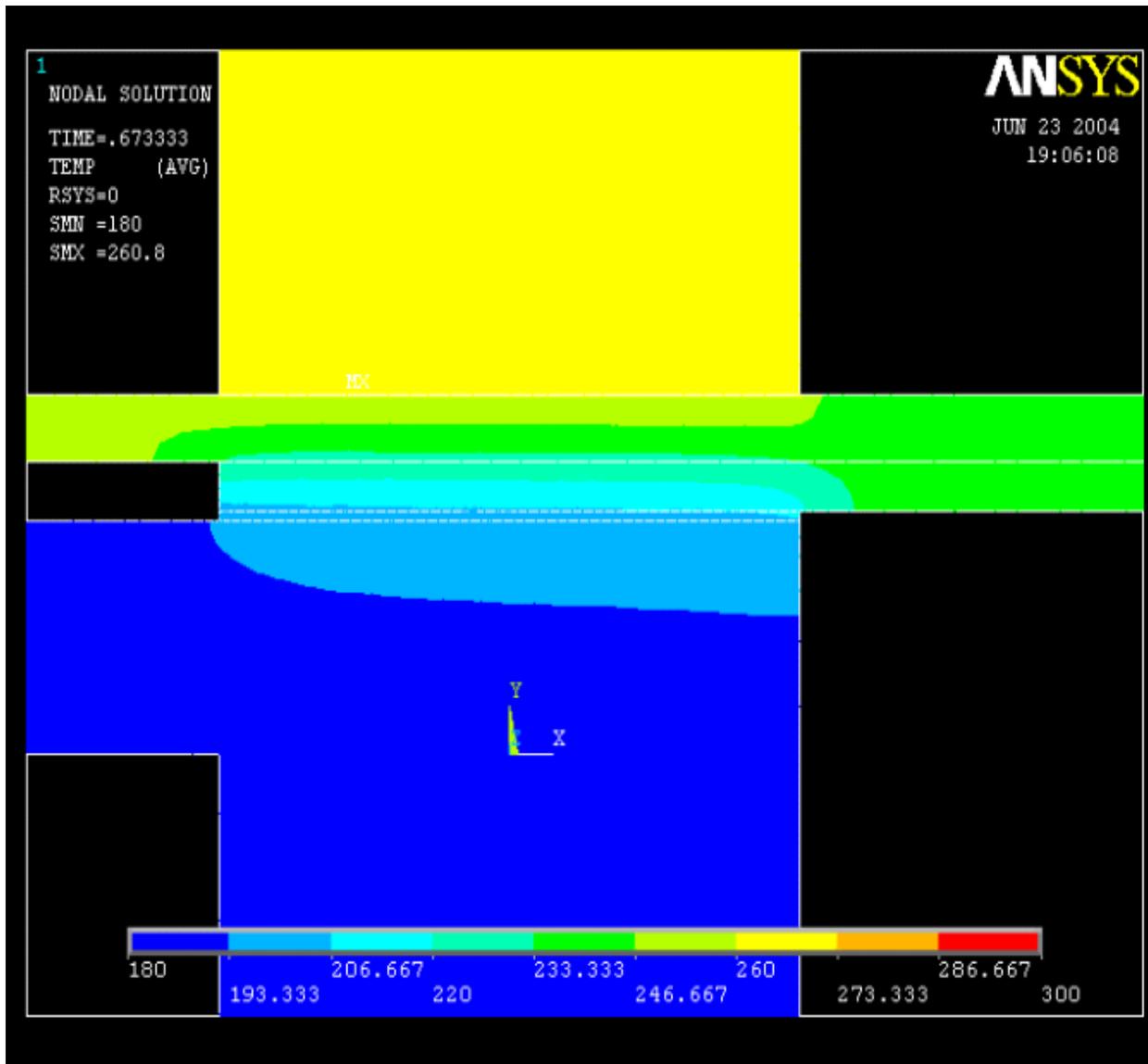
圖 40 捲帶式晶粒自動接合構裝製程材料溫度分佈之穩態熱傳遞分析

3.2.2 暫態熱傳遞分析

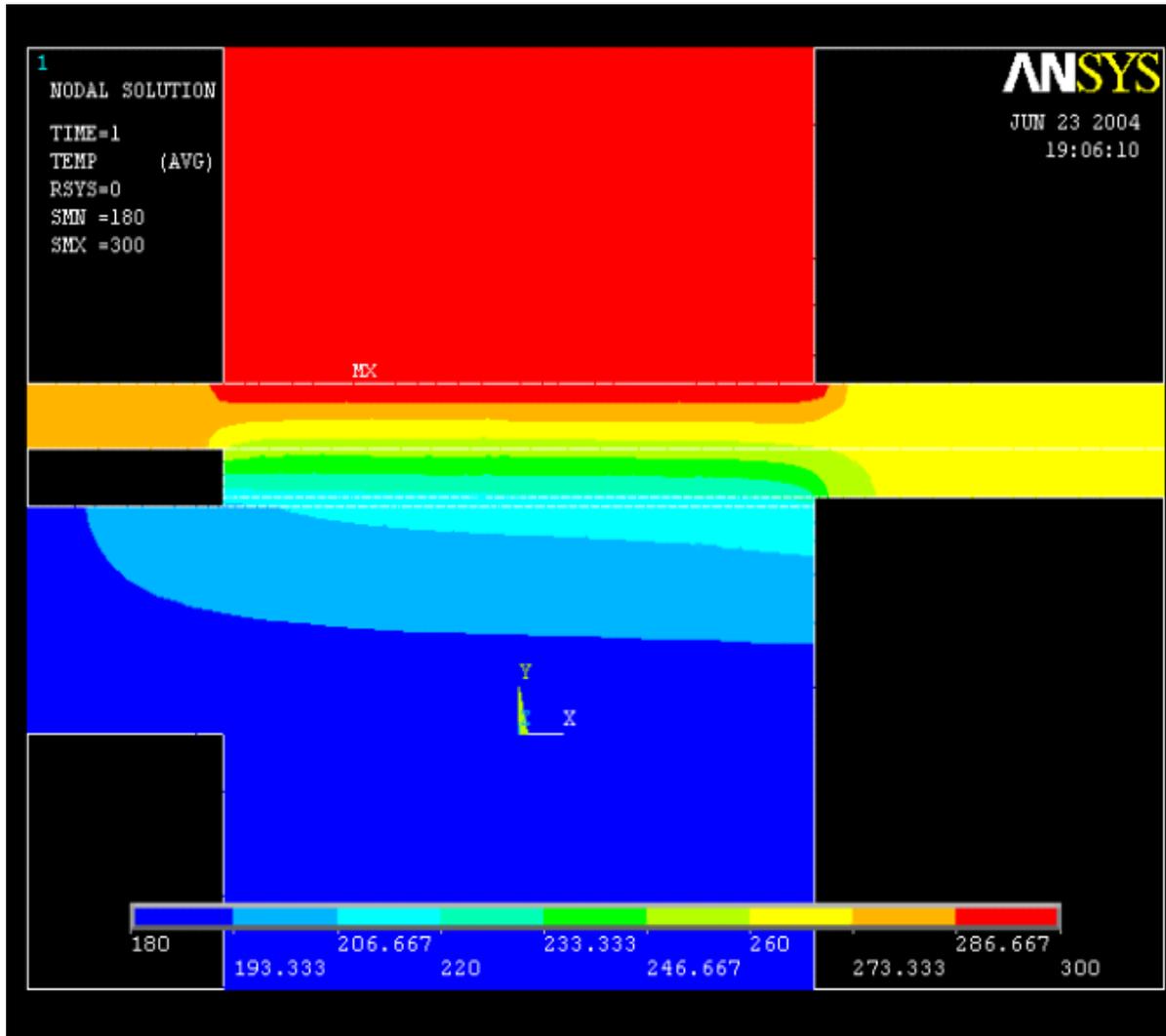
熱在傳遞的過程中，有時在物體內熱傳遞的情形相當複雜，所以我們需考慮更複雜的情況，也就是必須考慮到各製程材料及條件隨時間變化所產生的情形。由前節所述，我們知道穩態熱傳遞分析為物體受到週遭環境影響，經過一段無限長的時間之後，物體內部達到的溫度平衡穩定狀態，且整個製程結構中每一點的溫度梯度皆與時間無關。但是在暫態熱傳遞分析中，我們必需考慮到時間因素，亦即在捲帶式晶粒自動接合構裝製程中，在時間為20秒內，為在達到溫度穩定平衡之前，各製程材料內部結構溫度的分佈情形。如圖41，為時間為20秒時，隨著時間的改變，捲帶式自動接合在接合製程中材料的暫態溫度分佈，我們可以發現暫態溫度分佈與穩態溫度分佈情形差異很大，且靠近IC處的溫度仍然很低。



(a) 時間約為2秒時各製程材料內部結構溫度的分佈情形



(b) 時間約為 7 秒時各製程材料內部結構溫度的分佈情形



(c) 時間約為 10 秒時各製程材料內部結構溫度的分佈情形

圖 41 捲帶式晶粒自動接合構裝製程材料溫度分佈之暫態熱傳遞分析

3.3 檢證實驗

經有限元素法對捲帶式晶粒自動接合構裝製程中的材料溫度分佈情形之穩態及暫態熱傳遞分析後，我們以實際的機台設備及參數設定，做一實驗比對，希望對此 TAB 製程技術不管是理論上能模擬真實反應實際情形，更能有實際作業上呼應與理論上對應關係，即由此檢證實驗，以實際作業能瞭解各製程材料中與理論計算之間溫度分佈情形的相對應性，藉由理論與真實狀況的模擬，進而改善對位的精度。

3.3.1 檢證相關配備及組件

- (一) TAB 本壓著設備：如圖 42，此設備為本壓著設備即所謂的 Main-bonding 設備，在 TAB 製程中扮掩著核心的角色，因為產品的良窳，完全依賴本壓著製程條件是否正確，因此在進行本壓著前，製程的參數條件-實際溫度(Temperature)、必要面壓(Pressure)、時間(Time)及熱壓頭平行度必須經確認過且要符合異方性導電膠(ACF)正確接合時的製程規格要求，通常若未依 ACF 製程規格下作業，將使產品導致不良情形發生。



圖 42 TAB 本壓著(Main-bonding)設備

(二)熱壓頭及石英玻璃：如圖 43, 為位於本壓著設備中主要的元件-熱壓頭及石英玻璃, 一般在本壓著設備中的加熱方式主要有二種, 一為常溫加熱(constant heater);其次為脈衝加熱(pulse heater)。常溫加熱方式之熱壓頭, 為當溫度設定及設備開啟後, 熱壓頭將逐漸的昇溫, 且熱壓頭下壓後, 在設定時間 20 秒內, 溫度經熱傳遞漸漸傳至熱偶計(Thermal couple), 由熱偶計得到的溫度為 180°C 時, 熱壓頭立即上昇, 即於熱壓頭下壓至熱傳遞過程, 在 20 秒時達到需求實際溫度 180°C , 其間昇溫的曲線成拋物線型, 此過程稱常溫加熱, 如圖 44;脈衝加熱方式之熱壓頭, 則為極短時間內, 溫度迅速上昇, 維持數秒後, 溫度又迅速上昇至所需的溫度, 通常此作動方式所需的時間比常溫加熱所需時間減少許多, 大約相差 10 秒以上, 如圖 45。常溫加熱方式, 使用的熱壓頭通常為不銹鋼材質, 為使整支熱壓頭溫度分佈均勻且降低金屬材質因熱脹冷縮特性, 常於此加熱方式中增加水循環系統以使整支熱壓頭處於恆溫狀態, 對本壓著製程可得到穩定及良好的製程品質;而脈衝加熱方式, 使用的熱壓頭常見的是陶磁材質, 因陶磁材料具有極低膨脹係數的特性, 故在數秒內可以承受瞬間的昇溫及降溫, 而不致使熱壓頭受損, 雖脈衝加熱可以在極短的時間內, 將溫度達到所需實際溫度, 產能也比常溫加熱多出一倍以上, 但為考慮捲帶式晶粒自動接合構裝製程的穩定性, 業界較常使用的是常溫加熱方式為主, 而脈衝加熱方式則較常使用在焊錫(Hot Bar)、COG 及 COF 製程中。

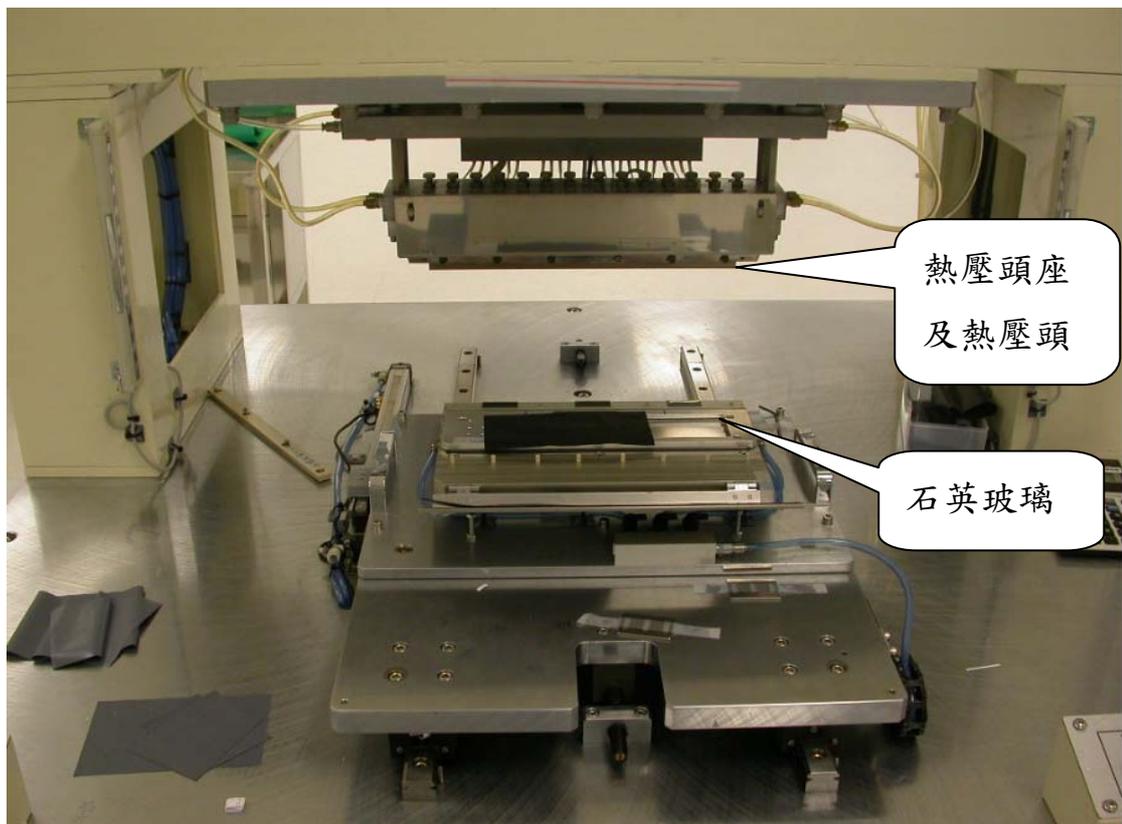


圖 43 熱壓頭及石英玻璃

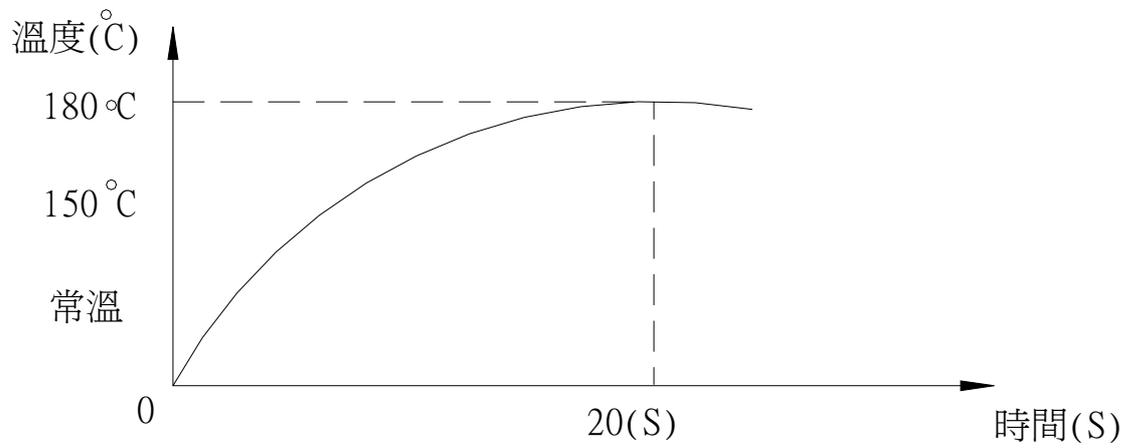


圖 44 常溫加熱曲線圖

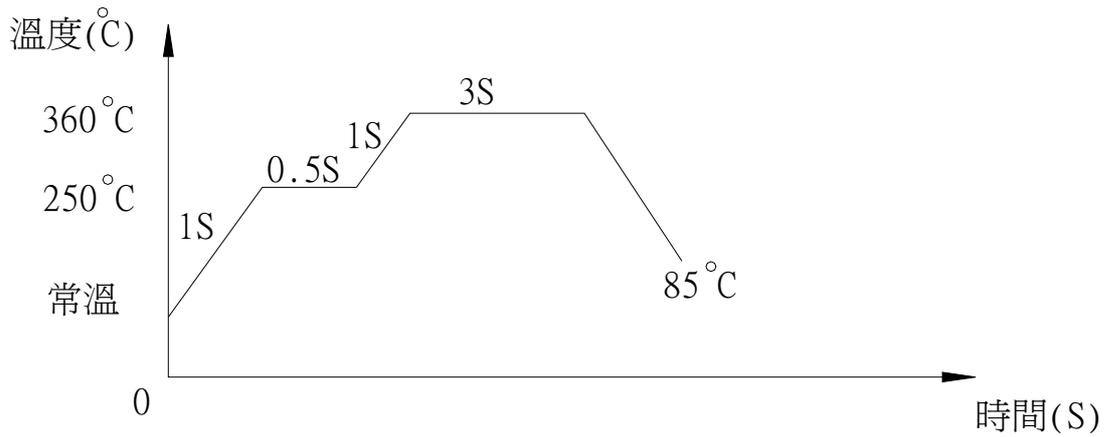


圖 45 脈衝加熱曲線圖

(三)熱偶計：熱偶計(Thermal couple),如圖 46,為整個檢證過程中必要量測儀器,我們必須利用它,量取記錄在不同時間內溫度變化的情形,以確認是否溫度達到 ACF 所設定的實際溫度值,若溫度設定及量取不正確,將嚴重影響整個捲帶式晶粒自動接合構裝製程的品質,所以正確及有效利用熱偶計相當重要。



圖 46 熱偶計(Thermal couple)

(四)面板及捲帶 IC:檢證實驗前必須再準備好一片已貼上 ACF 之面板及一片已衝切下來的 TAB IC, 如圖 47, 為進行檢證量測不同位置溫度變化情形, 須將熱偶計放至放置捲帶 IC 下方, 本壓而成為一樣品, 以利多次使用, 節省量測時間, 如圖 48。

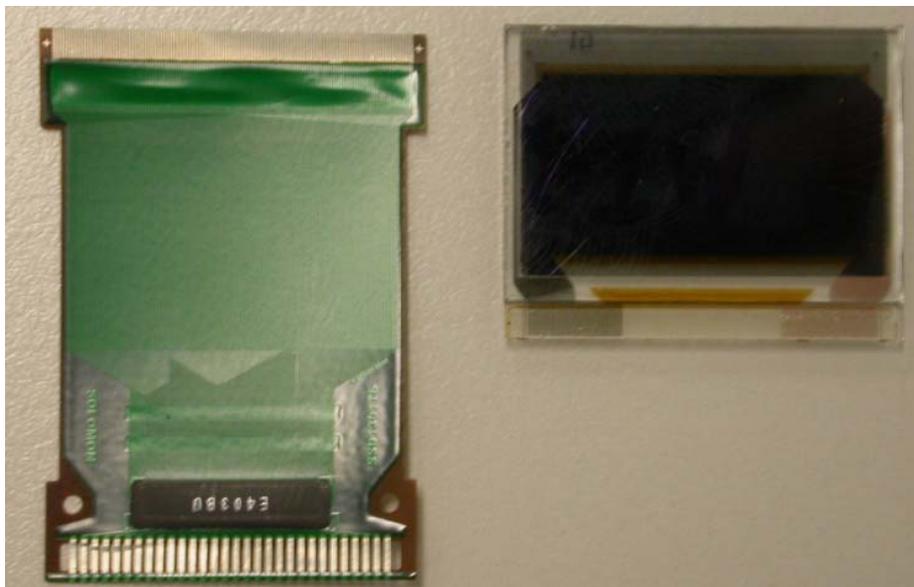


圖 47 面板及捲帶 IC

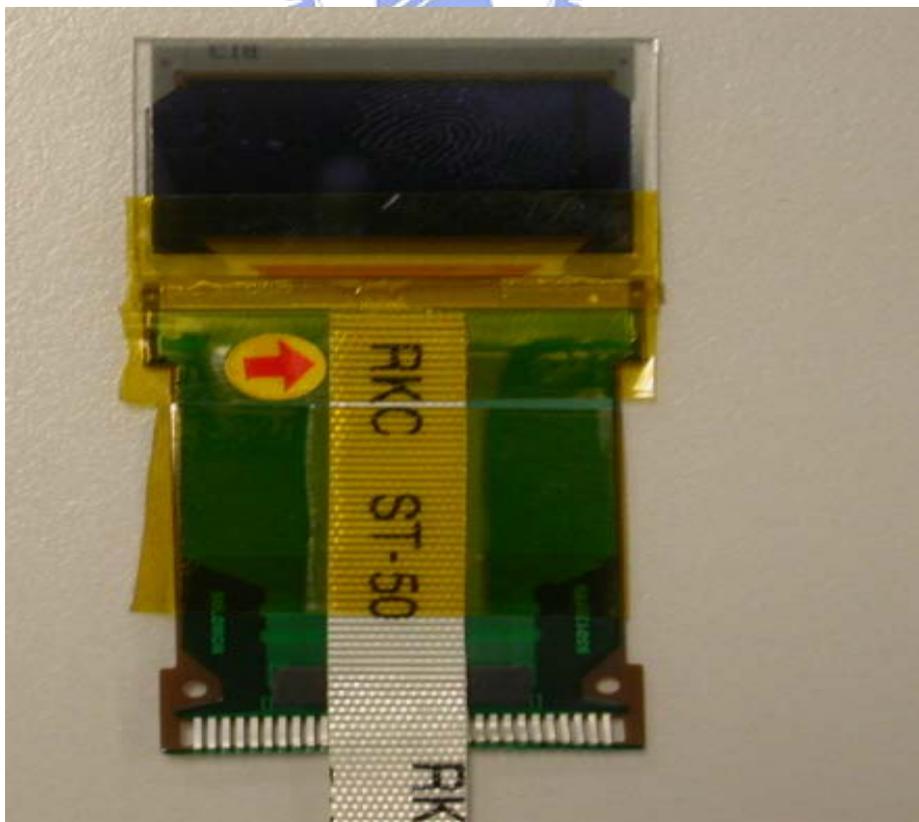


圖 48 熱偶計樣品

(五)熱壓布(熱壓片)：熱壓布，如圖 49，為一厚度 0.2mm 的橡膠墊片，其厚度依使用者喜好而定，但通常為考慮本壓時熱壓布受擠壓程度及熱傳遞均勻性，一般希望愈薄愈好，約 0.1~0.2mm 較佳。

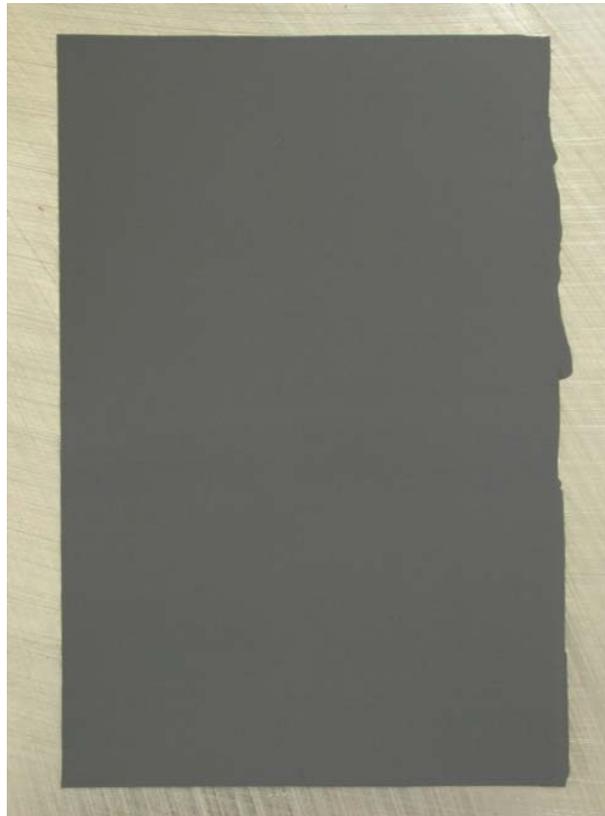


圖 49 熱壓布

3.3.2 檢證方法及過程

檢證相關配備及組件準備完畢後，將進行實際量測作業，在進行溫度量測之前，熱壓頭的平行度必須以感壓紙確認，調整至水平為止，以確保量測準確性，另外如前述捲帶式自動接合技術的物理模型中，我們必須再先確認各製程材料的厚度及其相對位置，不銹鋼熱壓頭厚度假設 $h_6 = \text{無限大}$ ；熱壓布厚度 $h_5 = 0.2\text{mm}$ ；捲帶 IC(TCP)厚度 $h_4 = 0.15\text{mm}$ ；異方性導電膠(ACF)厚度 $h_3 = 0.025\text{mm}$ ；面板 ITO 接腳(ITO PAD)厚度 $h_2 = 0.7\text{mm}$ ；最後石英玻璃假設厚度 $h_1 = \text{無限大}$ ，如圖 50。接著我們以 ACF 及面板 ITO 接腳之間定為 X 軸，面板 ITO 接腳的寬度為中心定為 Z 軸，且假設 $Y = \pm \infty$ ，Y 方向為無限長，即只考慮到 X 及 Z 方向上溫度變化之情形。再利用熱偶計，以 X 方向等於 0mm 的位置上，隨著時間的改變，分別量取 Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度，如表 3。我們再將所量取 Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度以圖表方式作一整理，如圖 51，

更可以清楚的知道,當 X 方向等於 0mm 時,隨著時間的改變,Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度分佈情形。同理,以 X 方向等於-1mm 的位置上,隨著時間的改變,分別量取 Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度,如表 4。再將所量取 Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度以圖表方式作一整理,如圖 52;最後再以 X 方向等於 1mm 的位置上,隨著時間的改變,分別量取 Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度,如表 5。再將所量取 Z 方向各製程材料在不同位置時的溫度以圖表方式作一整理,如圖 53。此外我們再利用熱偶計,分別將熱偶計放置 ACF 下方與 ITO 上方間 Z=0mm 及 TAB IC 下方與 ACF 上方間 Z=0.025mm 位置上,且再分別量取 X=-1mm;X=0mm;X=1mm 方向上,隨時間改變,溫度分佈情形。如表 6,最後,我們依然將所量取 Z=0mm 及 Z=0.025mm 時 X 方向各製程材料在不同位置時的溫度以圖表方式作整理,如圖 54 及圖 55。由上量測及整理,我們可以更加瞭解 X 及 Y 方向隨時間的改變,各製程材料在不同位置溫度分佈的情形。



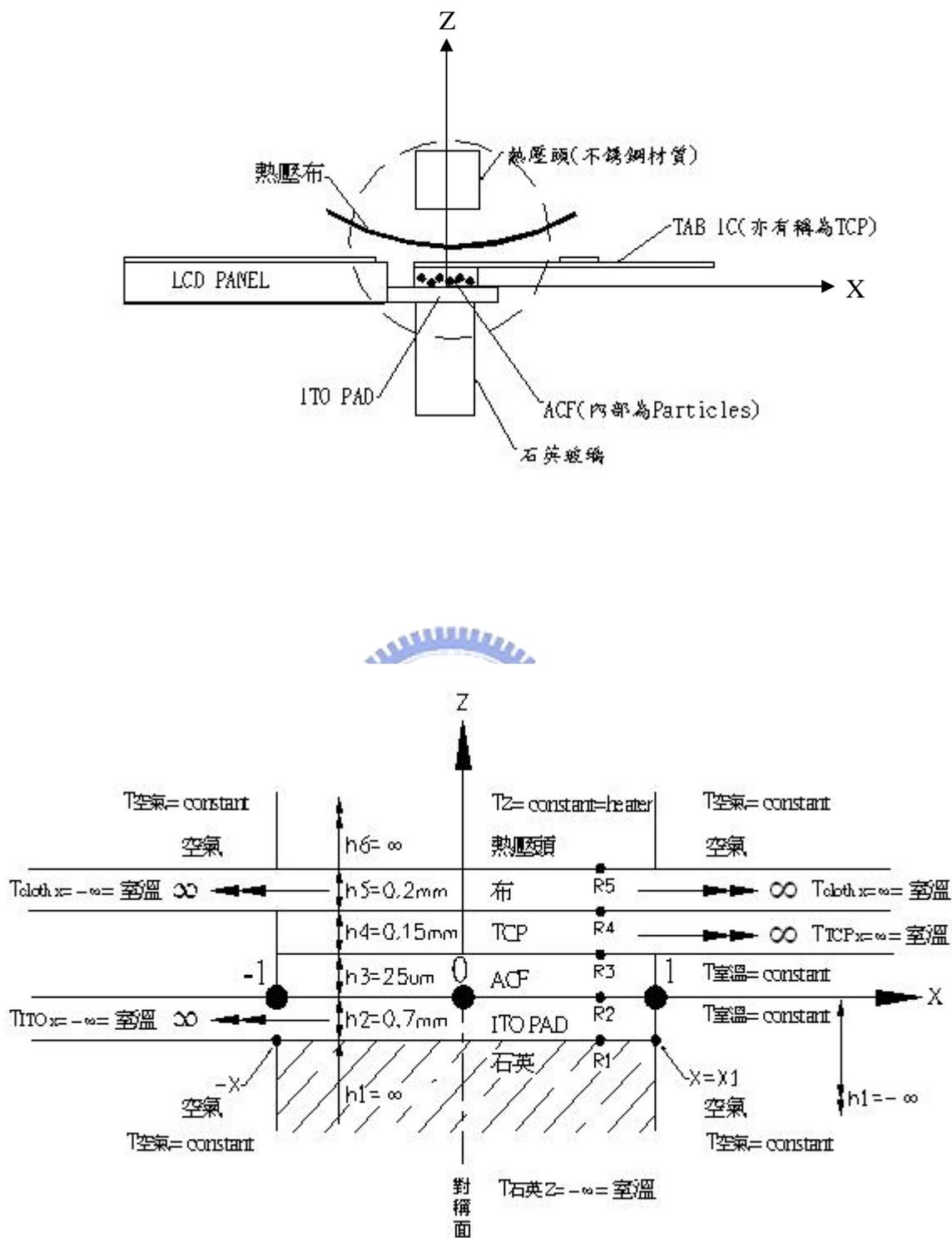


圖 50 捲帶式自動接合技術的物理模型中各製程材料厚度及位置

表 3 X=0mm 隨時間改變, 各製程材料 Z 方向上溫度分佈

X = 0 m m (中 間)	熱 壓 布				
	T C P				
	A C F				
	I T O P A D				
	Z = - 0 . 7	Z = 0	Z = 0 . 0 2 5	Z = 0 . 1 7 5	z = 0 . 3 7 5
0 秒	27	27	27	27	27
2 秒	133	138	142	170	190
4 秒	150	158	160	195	206
6 秒	158	163	165	197	218
8 秒	162	167	169	198	222
10 秒	165	170	172	199	225
12 秒	167	172	174	200	230
14 秒	168	173	175	200	235
16 秒	170	175	177	201	238
18 秒	172	177	179	202	242
20 秒	173	178	180	203	245

		範圍	Z 軸 區 間 尺 寸 (m m)
I T O P A D	0.7 m m	I T O 下 ~ A C F 下	-0.7 ~ 0
A C F	0.025 m m	A C F 下 ~ T C P 下	0 ~ 0.025
T C P	0.15 m m	T C P 下 ~ 熱 壓 布 下	0.025 ~ 0.175
熱 壓 布	0.2 m m	熱 壓 布 下 ~ 熱 壓 頭 下	0.175 ~ 0.375

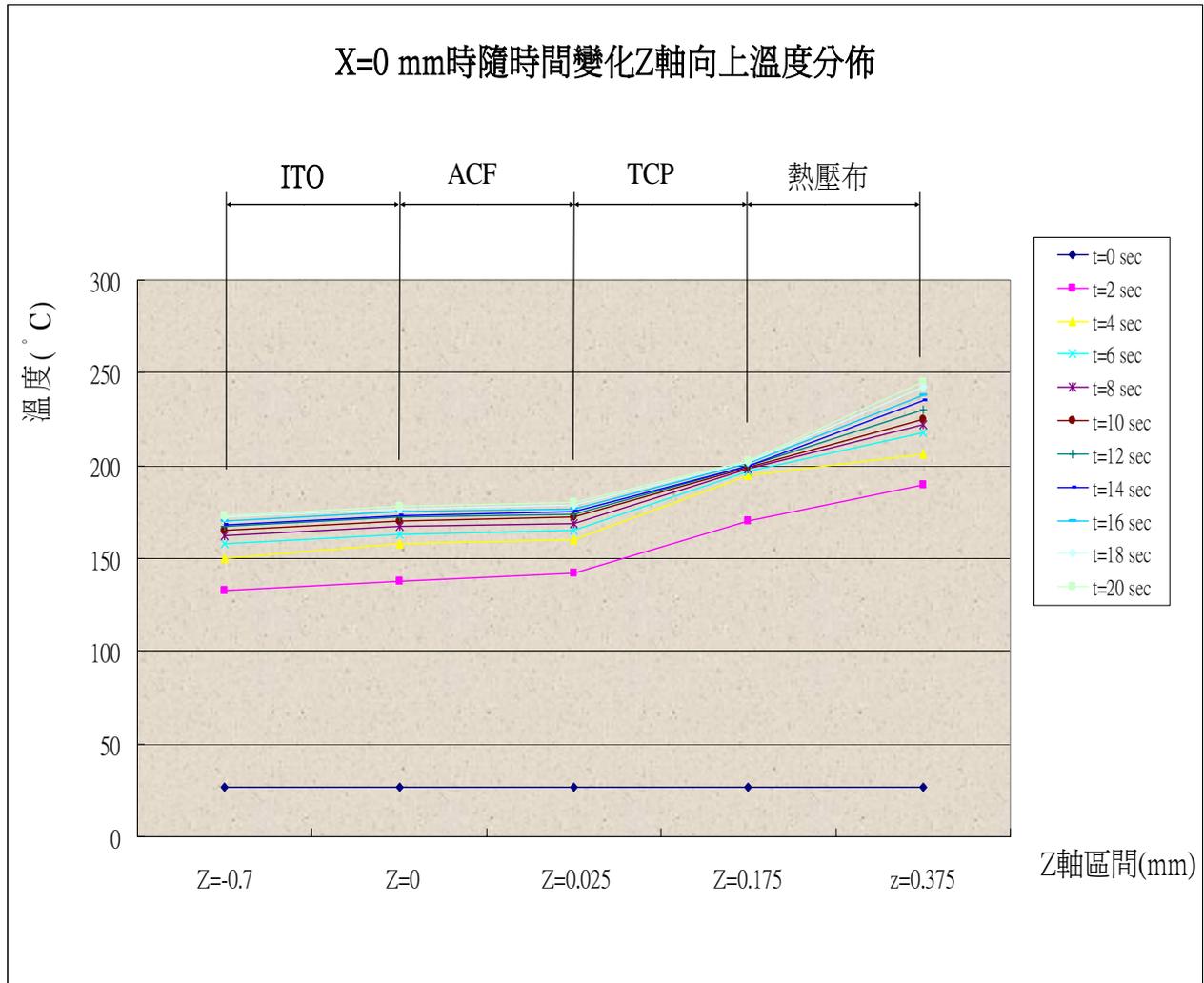


圖 51 X=0mm 隨時間改變, 各製程材料 Z 方向上溫度分佈

表 4 X=-1mm 隨時間改變, 各製程材料 Z 方向上溫度分佈

X = -1 m m	熱 壓 布				
	T C P				
	A C F				
	I T O P A D				
	Z = - 0 . 7	Z = 0	Z = 0 . 0 2 5	Z = 0 . 1 7 5	z = 0 . 3 7 5
0 秒	27	27	27	27	27
2 秒	130	128	133	164	188
4 秒	147	152	158	186	204
6 秒	156	157	163	190	215
8 秒	159	161	166	192	218
10 秒	163	164	169	194	221
12 秒	165	166	171	196	226
14 秒	166	167	172	197	230
16 秒	168	169	173	197	236
18 秒	171	170	174	198	238
20 秒	172	171	175	199	242



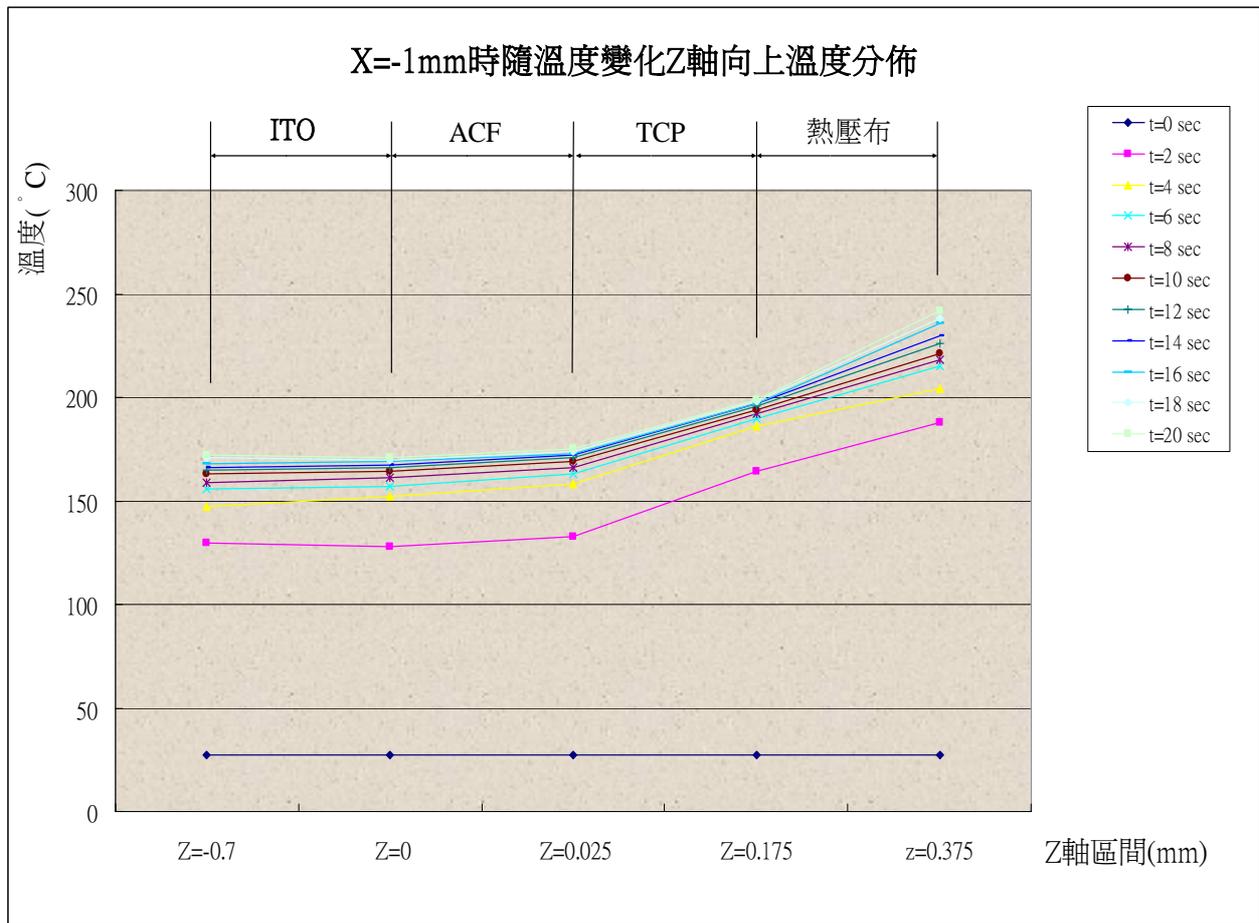


圖 52 X=-1mm 隨時間改變, 各製程材料 Z 方向上溫度分佈

表 5 X=1mm 隨時間改變, 各製程材料 Z 方向上溫度分佈

X = 1 m m	熱 壓 布				
	T C P				
	A C F				
	I T O P A D				
	Z = - 0 . 7	Z = 0	Z = 0 . 0 2 5	Z = 0 . 1 7 5	z = 0 . 3 7 5
0 秒	27	27	27	27	27
2 秒	131	132	138	166	189
4 秒	148	154	159	192	205
6 秒	157	159	164	195	217
8 秒	158	164	168	196	220
10 秒	162	167	171	196	222
12 秒	164	170	173	197	226
14 秒	166	171	174	198	232
16 秒	169	173	175	199	234
18 秒	170	174	176	200	239
20 秒	172	175	177	201	243



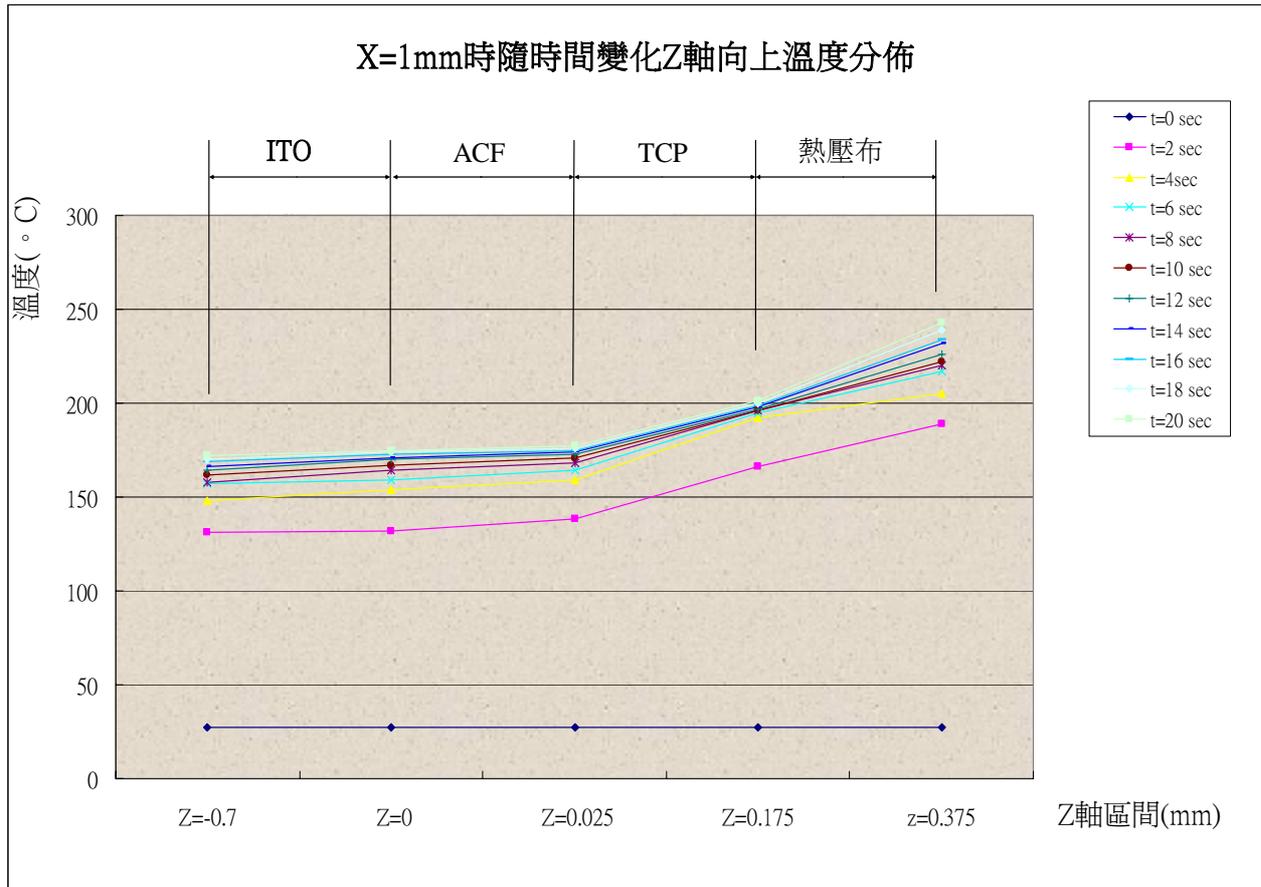
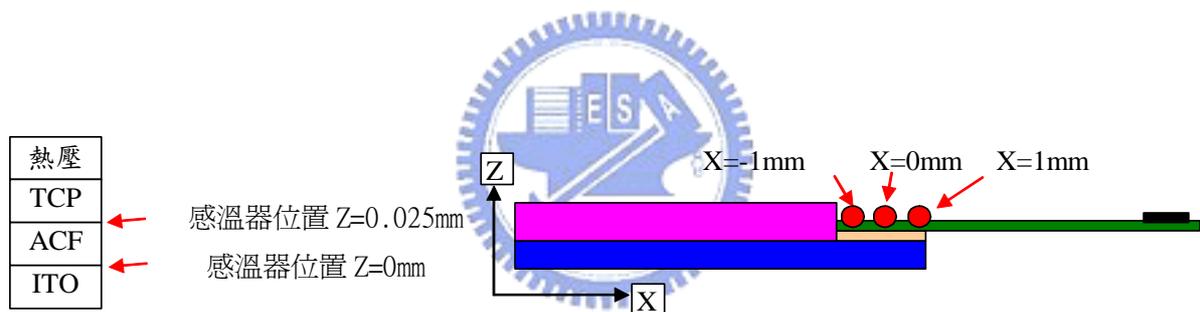


圖 53 X=1mm 隨時間改變, 各製程材料 Z 方向上溫度分佈

表 6 Z=0mm 及 Z=0.025mm 隨時間改變, 各製程材料 X 方向上溫度分佈

	X=-1 mm		X=0 mm(中間)		X=1 mm	
	Z=0mm	Z=0.025mm	Z=0mm	Z=0.025mm	Z=0mm	Z=0.025mm
0秒	27	27	27	27	27	27
2秒	128	133	138	142	132	138
4秒	152	158	158	160	154	159
6秒	157	163	163	165	159	164
8秒	161	166	167	169	164	168
10秒	164	169	170	172	167	171
12秒	166	171	172	174	170	173
14秒	167	172	173	175	171	174
16秒	169	173	175	177	173	175
18秒	170	174	177	179	174	176
20秒	171	175	178	180	175	177



Notes :

位置Z(0.025mm) : 為 Thermocouple 於 TCP 與 ACF 的位置。

位置Z(0mm) : 為 Thermocouple 於 ACF 與 ITO 的位置。

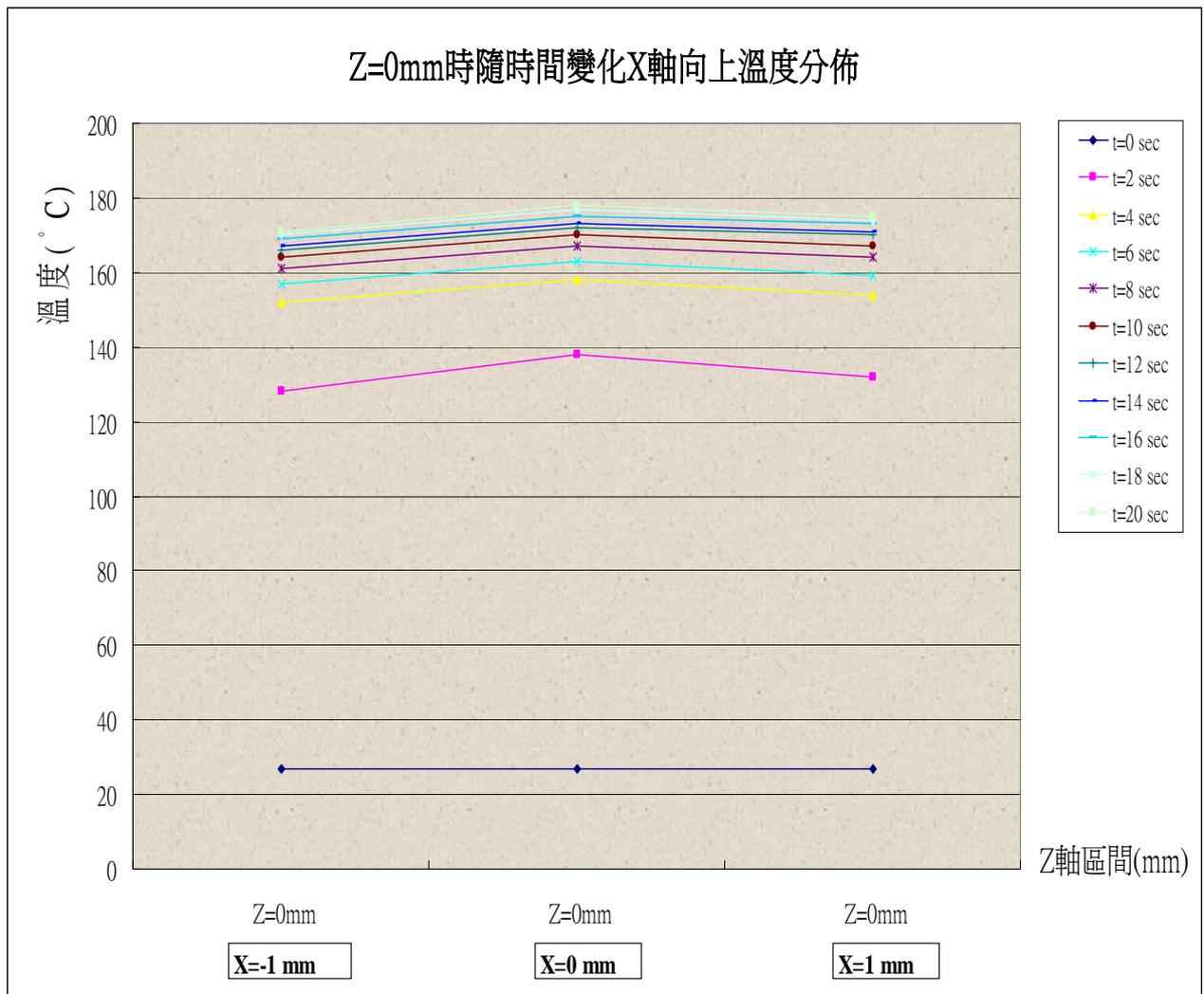


圖 54 Z=0mm 隨時間改變, 各製程材料 X 方向上溫度分佈

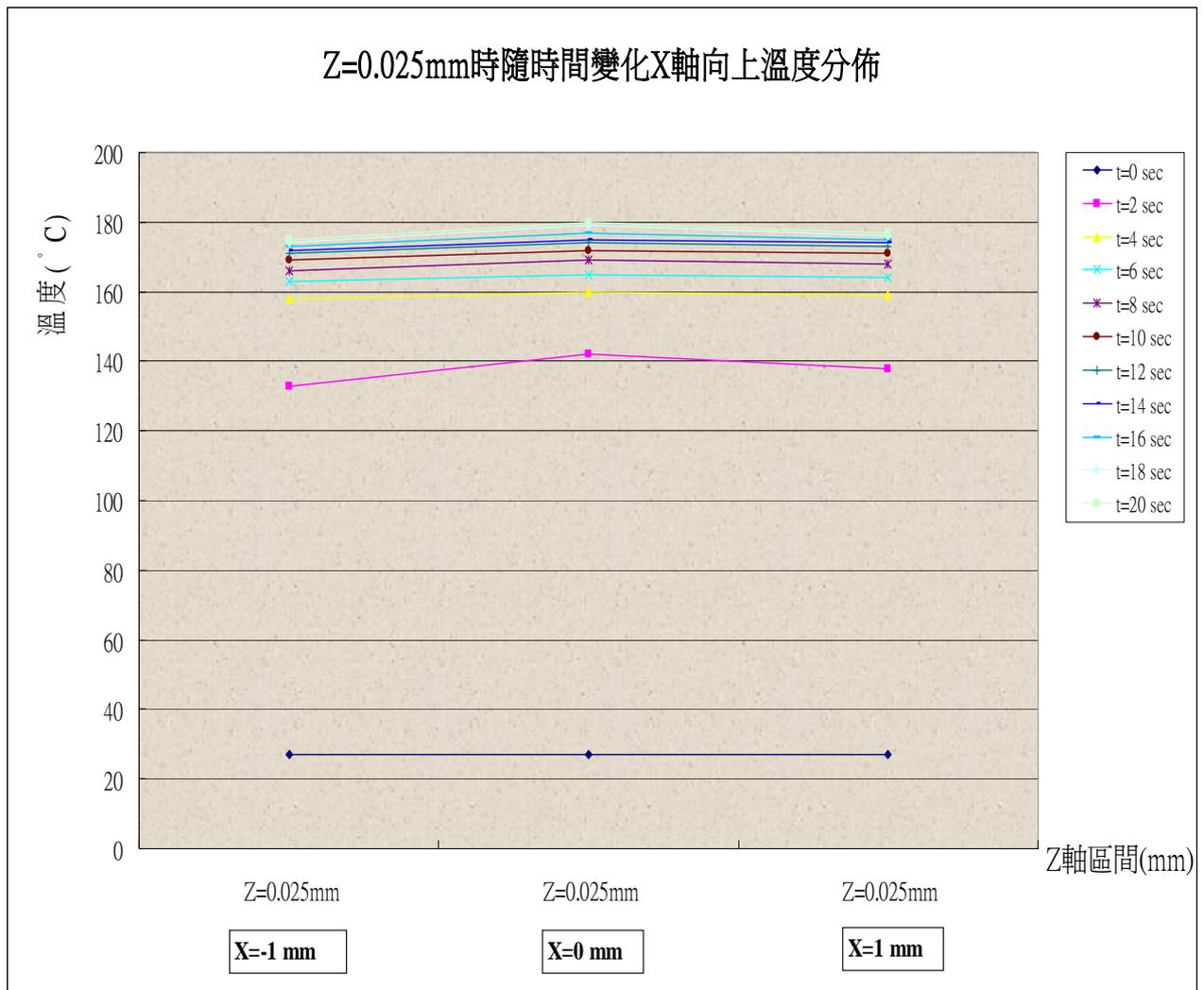


圖 55 Z=0.025mm 隨時間改變, 各製程材料 X 方向上溫度分佈