

第六章、結果與討論

6.1 IMC 實驗與剪力推球測試

這個實驗的目的在於建立兩種不同表面處理下的剪力強度與 IMC 的成長比較,並作為後來的四點循環彎矩測試與熱循環測試的基本強度對照。將 ENIG 焊墊與 OSP 焊墊分別搭配 Sn/Ag3.8-4.0/Cu0.5-0.7 成分的錫球,經過一次迴焊(reflow)之後分別在 150 與 25 的溫度下進行老化。每隔一定的時間點取出,並經過金相研磨/光後,即可利用軟體 *Optimas* 量測界面 IMC 層的成長厚度。藉由 IMC 的厚度量測來探討 IMC 在不同焊墊表面處理下的成長機制與擴散係數。

銲點剪力強度的評估是藉由 Dage 4000 微推拉力機來完成。在取出剪力推球強度測試試片的同時,取出另一份試片,做 IMC 生成厚度量測。由 EDX 對於錫球橫切面做成分分析,並結合金像顯微鏡來觀察剪力推球後的破壞面進而了解焊點內部的破壞模式。

6.1.1 IMC 成長機制

由圖 6.1 中,在未植球的表面處理狀況下可以明顯看出兩種表面處理的差異性;ENIG 的表面處理下,有三層的界面,由下往上分別是 Cu、Ni、Au;OSP 的表面處理只有明顯的 Cu 一層,至於其有機保護膜層也就是 OSP(organic solder ability preservatives)層是透明的,所以沒有拍出來。關於其成分的驗證,可以在其機械性質測試破壞後(即四點循環彎矩)的 EDX 斷面成分分析中,得到證明。

OSP 焊墊

其用來保護銅焊墊的有機保護膜在迴焊之後會融入錫球內部，在回焊的過程中其作用的功能相當於是助焊劑；可以視其為在銅焊墊上預先上一層助焊的保護膜，然而在錫球尚未接合之前此膜的主要功能是在保護銅焊墊，使其不受環境氧化；所以此種焊墊下所生成的 IMC 的成分組成會跟直接把無鉛焊料與銅焊墊接合所生成的 IMC 有相同的成分組成。

由圖6.2，IMC直接生成於銅和錫球之間，OSP的IMC生成有兩層。圖6.3中EDX的成分分析，靠近焊墊端的成分是 Cu_3Sn ，靠近錫球端的IMC成分分析是 Cu_6Sn_5 。由圖6.4(a) 以及表6.1中，隨著時間的增加， Cu_6Sn_5 成長比較快， Cu_3Sn 成長比較慢。Flanders 等人[31]發現錫銀銅成分的合金與銅焊墊接合，在高溫老化的條件下，其所生成兩層IMC，成分分別為 Cu_3Sn 與 Cu_6Sn_5 ，其中 Cu_6Sn_5 有比較高的成長速率。白[32]指出， Cu_6Sn_5 的IMC是良性的，其為兩種金屬結合的強度來源；當IMC成長超過 $2\mu\text{m}$ 時，另一層成分為 Cu_3Sn 的IMC會生成，然而 Cu_3Sn 則是屬於惡性的IMC，此種IMC的生成會使焊點的接合處脆化，並讓剪力強度下降。以本實驗結果來看在1000小時的高溫老化後 Cu_6Sn_5 的IMC厚度還是高於 Cu_3Sn 的IMC厚度。

ENIG 焊墊

ENIG 的表面處理即是在銅焊墊上先鍍上鎳(Ni)層再鍍上金(Cu)層。ENIG 的表面處理如果在最後鍍金過程中，Ni 層被過度侵蝕，且磷(P)成分過度累積，會造成所謂的黑墊(black pad)效應；會使焊點破壞發生在 Ni 層間，而且其破壞表面呈現黑色，又因為表面處理最外

層鍍了金，所以當整個表面處理手續完成後，到底 Ni 層的品質如何不得而知，必須等到最後機械性質破壞才能發現有此一缺陷[10]。

可由圖 6.2 中觀察到原先基板上 0.23 μm 厚的 Au 層在迴焊後已完全溶解至錫料內部，在時間點到達 480 小時的時候已經可以明顯可以看出 Ni 層上方長出明顯的 IMC 層；圖 6.4(b)以及表 6.1 中紀錄著隨高溫老化的時間增加，IMC 的成長情形；和 OSP 的表面處理做比較，ENIG 的 IMC 生長只有一層而且比較薄。正因如此在做 EDX 成分分析時先打出一個比較接近 Cu 層的點，其組成的成分為 Ni 如圖 6.5(a)，如此一來除了可以確認表面處理的成分外，另一方面可以和 IMC 發生的點位成分做比較；IMC 層經過 EDX 的分析，如圖 6.5(b)可知為 Cu-Ni-(Au)-Sn 化合物，但 Au 原子的比例相當少，此與 Ho 等人[33]有類似的結果；Sn-4Ag-0.5Cu 錫球與基板間所存在的 Cu-Ni-(Au)-Sn 層代表兩者在迴焊後順利完成接著。

另外如何判定靠近錫球端的那一層是 IMC 而不是錫球的成分？由圖 6.5(b) 中，其成分組成 Cu 的成分比例相當高，然而在錫球的成分中並沒有如此高的 Cu 成分。

6.1.2 IMC 擴散係數

由式 4.14，我們可以得到兩種不同表面處理下其 IMC 生成的擴散係數，圖 6.6 為 IMC 與時間的 $1/2$ 次方關係圖，其斜率代表 IMC 的擴散係數的平方根，擴散係數愈大其 IMC 的生成越容易；在 OSP 表面處理中，擴散係數的開根號為 $0.1992\mu\text{mhr}^{-1/2}$ ，在 ENIG 的表面處理中則為 $0.0863\mu\text{mhr}^{-1/2}$ 。由此可以明顯看出 ENIG 的表面處理在相同的錫球成分、相同迴焊取線與相同的高溫老化條件下對於 IMC 的生成有比較大的抑制的功能。

6.1.3 剪力推球強度

在剪力推球實驗中，測試時的參數設定以 2000 年的 JEDEC STANDARD 之 JESD22-B117 為參考規範。其中規範內只對於推高做限制；推球的高度由基材算起，必須於整顆迴焊後錫球的高度的四分之一以內；本實驗的錫球迴焊後平均高度在 $300\mu\text{m}$ ，因此把推高定在 $20\mu\text{m}$ 是合理的。至於推球速度，並無規定，通常在相同的條件下較快的推刀行進速度可以得到比大的強度。本實驗過程中把推刀的速度固定在 $400\mu\text{m/s}$ 。

OSP 焊墊

如圖 6.7(a)及表 6.2(a)，OSP 的焊點在常溫下的老化的強度呈現穩定狀，其最後的老化強度與初始強度幾乎相同，在常溫之下焊點幾乎沒有劣化的現象；相較於 ENIG 的表面處理，在常溫的狀況下老化，是有比較好的強度，此結果與 Canumalla 等人[10]，所做的不同表面處理與不同基材的搭配下其剪切強度的實驗結果相同；剪切強度會受基材結構、焊店的表面處理與元件結構影響，但是在相同的條件下，相同的破壞模式中，OSP 的表面處理會有比較高的剪切強度。

如圖 6.7(b)及表 6.2(b)在高溫環境中老化，焊點的強度一開始呈現起伏的狀態，直到焊點強度過了 480 小時後開始呈現一個穩定的狀態。由破壞斷面觀察圖 6.8，斷面在高溫老化與常溫的老化的狀況之下其變化不大，並無明顯的延性轉脆性的狀況發生，在強度上與 ENIG 在高溫環境下老化的強度相比較，也是比較高的；范等人[27]提出，在起初高溫老化的階段，由於錫料內部之微結構仍處於不穩定狀態，因此剪力強度的變化較不規律；Sn-4Ag-0.5Cu 的無鉛焊點在三種不同的高溫下老化，由 0 至 1000 小時的過程中，錫點破壞模式均為錫料

延性破壞，也就是沒有破壞模式的轉換，因此 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸點的強度即為 Sn-4Ag-0.5Cu 鐸料本身的強度點。

ENIG 焊墊

如圖 6.7(a)及表 6.2(a)，在常溫下老化的鐸點在強度上有隨時間下降的趨勢，其強度是初始強度的 86%；如圖 6.7(b)及表 6.2(b)，在高溫老化的初始過程中也出現強度起伏的狀況；在圖 6.8 破壞面的觀察中卻也沒有發現明顯的延性轉脆性的現象；值得一提的是，破壞面上可以看到一些孔洞，然而這是在 OSP 的表面處理下所沒有出現的。Yunus 等人[15]提出，造成孔形成的原因有很多，主要來自迴焊過程中所產生的氣體在錫球於鎔融狀態中嵌入，目前為止尚未有標準的規範來判定多少孔隙數量或者孔隙面積大於多少錫球段面積為一個缺陷認定標準，但孔隙的形成，在錫球的可靠度上也會造成影響。



6.2 四點循環彎矩測試

本實驗的架設目的主要是要用來模擬焊點在循環彎矩應力作用下的可靠度狀況；實驗開始時預先施加預力 0.3kgf，並設定此點為位移頂點，之後轉成行程控制，再開始進行循環彎矩測試；其破壞的界定是以每 0.5 秒自動紀錄一次的電阻值來做判斷，當電阻值超過 2 歐姆時視為破壞，由所監測到的電阻上升時間點，再回推此段時間內所經過的周次；數夾頭行進速度是固定的 1mm/s；以 5mm 的振幅來看，一個完整的周次(cycle)的完成需要 2 秒，這樣的計算方式下的誤差範圍可以控制在數個周次以內；以電子封裝來說，目的在於結構的承載、電訊能的傳遞，與晶片內部熱能的散逸，如果以電訊來判定結構體的機械作用失效模式可能比較接近結構體的本身所扮演的功用。

和以往三點循環彎矩的測試比較，四點循環彎矩測試架構與焊點真實的受力情形比較接近。與此實驗架構比較接近的文獻發表有日月光半導體封測場，賴等人[34]；與其測試的結構體相比較，在母版(支撐的版)的地方是相同的，相異處在下版的部分也就是小片的 PCB 部分，他們所用的是沒有功能(dummy)的晶片，此種架構的確是真實的元件結構，其晶片的本體主要功能僅在於結構用；PCB 板的厚度對實驗結果也會有明顯的影響；晶片上以 Daisy Chain 的方式配置電路，做為訊號導通之用，Daisy Chain 的電路方式比較接近於電路測試的規範，但是在測試的過程中，錫球陣列的面積分部較廣，所以在不同位置的錫球所對應到的曲率是不同的，這種狀況在振幅愈大的時候越明顯，換句話說，整個測試的錫球陣列是對應在不同的測試條件下做測試，然而在此種環境下通常是最外端的錫球會先發生破壞；由其所做的實驗中發現負載施加的頻率對於結果的影響並不大[34]。

就本實驗的測試電路配置來說，焊點數目比較少，即使沒有對位的機台輔助，焊點的品質也有一定的保障；焊點的幾何排列在中心軸呈現對稱分布，所以對於整個結構體上每一個焊點的破壞行為，是在相同受力條件之下所造成。有兩種表面處理(OSP、ENIG)，每種有三種不同的測試條件(常溫、高溫與含有 IMC 的試片)，每個條件有三種振幅(5mm、6mm、7mm)；在 6 種不同測試的群組(測試條件數目 \times 表面處理數目)，18 種測試條件(測試的群組數目 \times 振幅種類)，所得到的數據均以雙參數韋伯分布函數做分析(一共有 18 條韋伯分布)，找出其特徵壽命(η , 63.2%達到破壞)與其型態因子(β , 斜率)。由韋伯分布對壽命值的描述，可以監控每一種測試條件下的結果表現；一般而言如果分布的斜率太小，表示破壞大都集中於比較小的壽命，這組試片的品質可能不能使用。

最後討論其磁滯現象；並以金像顯微鏡觀察其破壞斷面，並佐以 EDX 分析其破壞面的成分，以釐清各種不同測試條件下的主導破壞的因素與機制。

6.2.1 可靠度分析(雙參數韋伯分布)

在可靠度的分析中過程中，先以一般電子產品的可靠度運算法做計算[23,24]，並以商用可靠度分析軟體做比較與驗證；其兩種算法的特徵壽命(η)與型態因子(β)比較的結果於表 6.3 與表 6.4；其所得的特徵壽命(η)在兩種不同計算方法下是非常接近的；其型態因子(β)差異就比較大，因為型態因子(β)代表著分布的斜率，此與預先給定的排列方式有關(在這邊是先採用中位數排列)，但是不論哪種算法其型態因子(β)均大於 1，在浴缸曲線(bathtub curve)的物理意義中表示是第三階段破壞，亦即是在磨耗的階段到達損壞。在使用商用軟體做計算方

式是工業上常用雙參數的韋伯分布函數，然而在以文憲上記載的方法做計算，其數據有先經過一次修正，因為 $F(x)$ 值是先給過再做一次修正才得到，所以在兩種韋伯分部圖中，其單一的數據點的分布會有所不同。在不同的測試條件下其電阻值變化與韋伯分布如圖 6.9 至圖 6.14，由公式計算繪得的韋伯分布與用可靠度軟體繪得的分布趨勢大致相同。

6.2.2 電阻值量測

在電阻值的即時量測過程中，電阻值的量測是使用低阻計，這是針對 PCB 電路板等，微小電阻值使用的電阻量測儀器。由測試開始到接近破壞認定的周次時間點的這段期間，其電阻值是相當穩定的(大約在 100 豪歐姆左右);大部分的破壞時電阻變化呈現突然的上升超過破壞認定標準(20)的現象；然而有些電阻值在接近破壞認定時卻不會一下子超過 20 如圖 6.9(C)中的壽命為 841 周次的試片，當上夾頭往下壓到底時電阻達到變化最大值(但是此時電阻仍在 20 之內)，當上夾頭回到原點時，電阻值又下降；這種現象的造成根據賴等人[34]的解釋是因為上夾頭壓到底時產生的裂縫不夠大，使得焊點的電阻值沒有一下子飆高很多，然而當夾頭又回到頂點時裂縫又癒合，所以電阻值又下降了。在實驗的過程中，當實驗的電阻值由穩態開始出現跳動一直到其阻值到達破壞的判定點的時間間隔通常是很短的，換句話說只要電阻由穩定開始出現跳動，表示試片快要壞掉了。

6.2.3 磁滯現象

磁滯環代表整個結構體受到固定振幅控制的循環負載下的行為表現，由實驗結果所得到在相同條件下的磁滯環重現性相當高，在三

種不同振幅的表現如圖6.15；大部分壓應力所產生的能量，在基板變形的過程中被吸收，因為在定振幅的過程中，基板是一定會有變形的。

細部來看，我們拆解一個完整的磁滯環；如圖6.16(a)表示一個全部壽命的磁滯環，圖6.16(b)表示在圖6.16(a)中時間點在前百分之十壽命值內的磁滯環，圖6.16(c)表示在圖6.16(a)中時間點在後百分之十壽命值內的磁滯環，在定振幅的測試下，隨著時間變長，磁滯環有兩種現象，其一是向上滑移，亦即要達到相同的振幅所需要的力量變小，其二是整個環面積擴大。

6.2.4 不同表面處理下的比較

就其本身表面處理在三種不同條件下做比較。把所有的測試結果 (cycle 值)全部繪出，並做振幅與周次數的線性嵌合。

a.兩種不同表面處理在不同測試條件下個別比較

如圖 6.17，在兩種不同的表面處理下，以常溫(25°C)下的測試條件下有最長的壽命值。

以 OSP 表面處理來看，如圖 6.17(a)，比較含有 IMC 與在高溫(120°C)的環境中做測試這兩種條件，含有 IMC 的試片有比較高的壽命值，然而在高溫的環境下做測試，其可以承受的周次數卻下降許多。

以 ENIG 表面處理來看，如圖 6.17(b)，比較含有 IMC 與高溫(120°C)的環境中做測試這兩種條件，在含有 IMC 的試片中雖然其 5mm 振幅的壽命值是比高溫的環境下 5mm 振幅的壽命略高，但是由於含有 IMC 試片在 6mm 振幅下的壽命值下降太多，使得整個結果是高溫的測試條件下會有比較高的壽命曲線。

總結來說，OSP 的表面處理其四點循環彎矩壽命週次分布是常溫的測試環境>內部有 IMC 生成的試片>高溫的測試環境，然而 ENIG

的表面處理其四點循環彎矩壽命是常溫的測試環境>高溫的測試環境
>內部有 IMC 生成的試片。

b.兩種不同表面處理在相同測試條件下交叉比較

如果以兩種不同的表面處理在相同的測試條件下做比較，在圖 6.18(a)中，25 ℃ 的測試條件下，OSP 的表面處理在 5mm 與 6mm 的振幅下有比較長的壽命，但是在 7mm 的振幅之下由於基板變形太大，所以兩種表面處理出現差不多的壽命值。圖 6.18(b)，在高溫 120 的測試條件下，發現 OSP 的整體壽命下降許多，在 6mm 的振幅測試下壽命值甚至低於相同條件下 ENIG 的壽命，在 7mm 下的壽命值差不多，所以就整條壽命來看幾乎與 ENIG 的表面處理有相同的壽命分布。圖 6.18(c)，兩種條件下含有 IMC 的試片中，其呈現出來的周次趨勢與在常溫的測試條件下相同，亦即 OSP 表面處理的可靠度優於 ENIG 表面處理。整體而言，雖然 OSP 的表面處理方式在高溫的測試環境中其可靠度會下降許多，但是其週次數還是可以維持與 ENIG 差不多，至於其在常溫的測試環境與在含有 IMC 的試片中，相對而言就比 ENIG 優。

6.2.5 金像的觀察

典型的正向拉力所造成的破壞斷面如圖 6.19，斷面上的破壞條紋呈現漣漪狀(dimple)。

沒有 IMC 生成的試片(在常溫與高溫測試環境下的破壞試片)，如圖 6.20(b)，經過四點循環彎矩後，在反覆彎曲應力受載的情形下，其破壞面上會有疲勞造成的條痕狀的痕跡(fatigue striations)，很容易在破壞的錫球端觀察到這種現象，這個現象與 Rooney 等人[16]所觀察到的現象相同；圖 6.20(a)，為受力承載端的破壞面，而圖 6.20(b)為同一個測試結構體上的另一片結構的錫球破壞面，此兩個破壞面在型態上可以互相穩合的。Wiese 等人[38]提出，以潛變(creep)與彈性(elastic)的模型來描述錫球在熱循環行為表現下，是相當合適的，然而在快速的機械性質測試下如三點循環彎矩，掉落(drop)等測試中，因為應力的瞬間變化太大，以至於沒有足夠的時間可以發生潛變(creep)，材料容易發生塑性的變形；有 IMC 生成的試片，其破壞斷面平整，如圖 6.21(a)，有些在其破壞斷面上甚至發現有裂痕，然而此一現象在圖 6.21(b)的 SEM 觀察下更顯得明顯。所有的破壞斷面都發生在靠近受力承載的那個焊墊，而且錫球在破壞後都會附著在小片的 PCB 板上。

由此可以發現含有 IMC 的試片在受到循環負載時其破壞斷面發生位置很接近焊墊端，有時甚至會造成破壞面有裂痕的發生。至於斷面的成分為何，在下一節 EDX(Energy dispersive X-ray spectroscopy)的分析中做討論。

6.2.6 破壞面的 EDX 成分分析

常溫與高溫測試環境下的破壞斷面(沒有 IMC 生成的試片)，以 EDX 做成分分析，如圖 6.22 所示，其成分相當接近於錫球的原本成分(錫球是 Sn/Ag3.8-4.0/Cu0.5-0.7)，由成分的分析判斷破壞面應該是錫球內部。

ENIG 經過高溫老化後有 IMC 生成的試片段面成分分析如圖 6.23，由段面的成分可以顯示，此段面的成分中，銅的成分比例高出錫球內部含銅成分太多(錫球是 Sn/Ag3.8-4.0/Cu0.5-0.7)，所以應該是壞在 IMC 的附近而不是錫球本身的破壞。這個成分分析透露的另一項訊息是此表面處理的成分的確是銅焊墊上以鎳(Ni)、金(Au)做表面處理。整個破壞的段面比常溫與高溫測試環境下的破壞斷面平整許多。一般常觀察到的 IMC 破壞段面是呈現脆性的行為表現[27]。

OSP 焊墊經過高溫老化後，有 IMC 生成的試片段面成分分析如圖 6.24，在 SEM 下其斷面的平整度更勝於 ENIG 老化的試片，經過 EDX 的分析，其成分組成由錫與銅組成，成分當中銅的含量遠大錫球內部的銅含量，然而錫的含量又遠小於錫球內部的錫含量，成分的組成相當接近於兩層 IMC 中的其中一層(接近銅墊片的 IMC 成分)， Cu_3Sn ；這個斷面的成分分析結果可以驗證由白[32]所提出的(6.1.1 小節)，此種成分的 IMC 生成會造成焊點的脆化與劣化。另一方面也可以證實這個表面處理上沒有金與鎳的成分，間接說明焊墊原本的處理方式。

值得一提的是，為何在破壞面的成分部分只能接近之前 IMC 的成分(6.1.1 小節)而不能完全跟先前此附近的 IMC 分析成分完全吻合？由 EDX 所做的一整個平面成分分析，其所分析的面積區塊是往下打入一個深度，此深度內的成分全部做平均，然而之前的 IMC 成分分

析是在縱向切面上打入一個點所以在此固定深度內的成份都是相同成份的 IMC。

6.3 熱循環測試

本試驗用來模擬錫球焊點在冷熱循環的環境中(如電源開或關)其焊點的強度變化與破壞的微結構觀察。一般而言，結構體在熱循環測試中，造成破壞主要原因是熱膨脹係數在晶片、基材與錫球的差異太大，導致內部的熱應力對結構體的反覆拉扯，最後造成破壞[39]；以小片的 PCB 結構體取代結構用晶片的前提之下，本結構體的設計方式，對於熱循環測試的相容性是比四點循環彎矩來得差的。但是由另一個角度來考量，這種測試方法可以針對錫球與基材間因為熱膨脹係數不同所造成的熱應力影響做探討。

一共做了 500 個熱循環周次，每 100 周次，取出試片做電阻值的量測，紀錄電阻變化的情形，並做正向拉伸的試驗，測試其焊點的強度變化情形；一般而言，做乾式的熱循環的實驗，其所費的金錢成本與時間成本是相當高的。

6.3.1 殘餘拉力強度

在一定的熱循環周次後以正向的方式把兩片結構體拉開如圖 5.24，原本的測試方式是想要以剪力方式固定承載端，然後在把小的結構體推掉，測試方法有點接近 die shear 的方式，但是如果由不同的方向推，其強度會不同，因為一邊是 2x4，一邊是 4x2；在推結構體的過程中是透過推動 PCB 板來達到推動錫球的目的，的過程中可能有出平面的力量產生，因此最後採取正向拉開的方式把他拉開，此動作用來求取其受熱循環周次後內部的剩餘強度。拉伸試驗的過程使

用位移控制模式，拉伸率均為 0.001mm/sec。由於試片是經由插梢(pin)卡於夾具上，雖然彼此間相當密合但仍會有間隙產生，因此在實驗開始進行前先施以 0.15kgf 之預負載，待達到設定的預負載並將位移歸零後才正式開始進行實驗，如此試片能承受的極限負載不變(仍從 0.15kgf 開始)，而變形產生的位移也僅有微小的誤差(但對實驗數據的處理卻便捷許多)；每一條件下的有效試片數為 4 個，取實驗結果的拉力最大值做為鐸點的殘餘強度。用以黏著試片的夾具雖然本身也有重量，但卻不到 20gf(最低的殘餘強度大約在 1kg 上下)。

圖 6.25 與表 6.5 為兩種表面處理在不同熱循環周次時間點的殘餘強度，經過 200cycle 後，整體的強度到達一個穩定的狀態，OSP 的穩態殘餘強度大約是其初始強度的 50%，然而 ENIG 的穩態殘餘強度大約是初始強度的 2/3，由 ENIG 與 OSP 兩種殘餘強度與位移圖中，圖 6.26 與圖 6.27，在正向拉開的過程中 OSP 的表面處理下正向拉開的焊點有比較大的位移量。

未經過熱循環的周次後正向拉開試片，其破壞斷面平整，如圖 6.28(a)，然而經過熱循環周次後的試片其破壞斷面呈現破碎狀，如圖 6.28(b)。Pang 等人[40,41]，把錫球迴焊在兩片 FR-4 板之間，經過一定的熱循環周次(500、1000、2000)，隨周次數增加，其剪力強度與疲勞周次均下降，其造成的原因與 IMC 的生成、錫球內部微結構的變粗(coarsen)有關，其 IMC 的生成所造成的影響必須要在熱循環周次數高的時間點才會比較明顯。以本實驗的溫度曲線來看，每個周次在高溫停留 15 分鐘，在 500 周次結束後焊點在高溫停留的時間大約是 30 個小時，對於 IMC 可以成長的時間並不多，而且最高溫也只有 125 ℃，在金像研磨後並無法看到明顯的 IMC 生成。

6.3.2 電阻值紀錄

經過一定的熱循環周次數後，取出試片做電阻值量測；電阻值的量測儀器使用低阻計，這是針對 PCB 電路板等，微小電阻值使用的量測儀器；在紀錄未受經過熱循環周次前的試片電阻值時發現其電阻分布在 100m 歐姆內，這個值是很小沒錯，但是焊點彼此間阻值差異大，例如有些在 10m 歐姆，有些在 70m 歐姆，如果每次都拿不同焊點做阻值量測，其因為個別初始阻值的不同而所造成的差異可能會影響實驗的結果；因此，選取相同的試片相同的焊點，在一定熱循環周次後，取出做電阻值量測，紀錄好阻值之後再放入熱循環機器中繼續做實驗。

由圖 6.29，表 6.6 與圖 6.30，表 6.7 中，在不同熱循環時間點的電阻值量測發現，在 500 個熱循環周次內，其電阻值幾乎沒有變化。

