

第五章 結果與討論

本實驗之測試對象為整個封裝結構體，測試目的在於希望得到元件間，因環境或外力因素而變化之情形；因此，包含了元件間彼此的作用影響，而並非單純的測試ACF之材料特性，但也因為如此，使得實驗結果較為複雜，而難以斷定所得現象為何者所主導，但由於實驗之溫度範圍均在PI基板之 T_g 以下，因此其對實驗結果影響有限；同理在彎矩疲勞的實驗，印刷電路基板之 T_g 約為 200°C ，因此在進行彎矩疲勞測試時，並不會因為溫度的變化，而明顯改變其對試片之支撐效果。

5.1 純凸塊接合

這部份的實驗可視為後續實驗的先導試驗，實驗的主要目的在探討不同成分之凸塊與接合之剪力強度間的關係。在實驗過程中，我們發現，若剪力測試的推頭高度過高，即如同規範所述，會使晶片產生旋轉的動作，並在試片被推動前即先行碎裂，如圖 5-1 所示，又若晶片和推頭推面並不平行，則推頭會在和晶片接觸點產生過大之應力，亦會使晶片碎裂。

在試片和鋁片間的接著強度影響剪力試驗的力量與位移大小，若接著強度不足，極易造成晶片黏著軟膜一起被推移，並造成只有軟膜被撕裂之情形，如圖 5-2 所示，此時所得之強度為軟膜之撕裂強度，非 ACF 或接點之剪力強度。

如前所述，軟膜和鋁基板間之黏著強度，在本實驗中是一個很關鍵的問題，亦為一誤差之來源，為提升其接著強度，嘗試使用航空級樹脂作黏著劑，但因其固化後並不容易形成平坦接面，會使軟膜表面不平整，影響推頭進給；另外是使用黏貼應變規用之瞬間膠；這兩者

在使用上均需適度加壓，但必須注意這壓力不得造成試片之損傷，判定方法除了以目視觀察是否有裂紋產生外，亦可量測接點接電阻值是否改變。

單純使用凸塊接合的剪力強度遠低於使用 ACF 接合（表 5-1、5-2），其中又以金-錫凸塊的接合強度會大於金-金凸塊，圖 5-3 為金-金凸塊受剪力作用被推開之情形，推測原因為相異金屬間，在接合過程中，形成介金屬化合物，進而增加凸塊間的接合強度。

5-2 接觸電阻

由圖 5-4、5-5、5-6、5-7 與 5-8，表 5-3、5-4、5-5、5-6 與 5-7 可發現，整體而言，接觸電阻值並未隨環境的時效而有劇烈的變化，其值多半在時效作用的前 100 小時有些微的增減，之後即趨於穩定，直到 1000 小時，所測得的最終電阻值才和初始值有些微差距，其中又以 70°C 的時效對接觸電阻值幾乎沒有任何影響，其原因為：所用試片晶片之凸塊為金，而基板鐳墊為銅鍍金，因此，在高溫高濕的環境作用下，降低了因異種金屬間電位差不同而產生的腐蝕現象，又金為貴金屬，本身性質穩定，不太容易發生氧化的情形；其二，所用之 ACF 膠材為一商品化之產品，在量產出廠前即對吸濕率與熱膨脹係數作一調整，因此在使用上會較一般文獻所使用之材料更為安定；再者，接觸電阻值或許真的有變化，但由於數值過小，不易量測，也因此視為無影響。但由於此電阻的量測並非即時，因此，或許在時效時間作用的過程中，有阻值變化或斷訊的情形，就無從得知。

至於外加應力和接觸電阻間之關係，可由圖 5-9 (a)、(b)、(c) 與圖 5-10 得知，接觸電阻值並不會隨著受到的應力增加而變化，而是直到黏著層承受不住應力，使接點間有相對位移，或是 ACF 層受

到破壞使應力下降後，電阻訊號亦偵測不到。此結果和之前的文獻相符合，但之前有學者提出，在開關烘箱將試片拿進拿出進行量測的同時，亦對試片進行溫度或濕度的循環作用，進而影響接觸電阻值的變化，但在本實驗中，有放到時效時間到才拿出量測的試片，和多次進出烘箱的試片，兩相比較，電阻值變化的差異並不大，關於這點，亦可從經過熱循環試驗後的電阻值來比較，發現經熱循環作用後的接觸電阻值亦未有明顯變動。

5-3 剪力測試

剪力破壞是包含晶片被推移原本位置，與電訊失效這兩部分；從觀察晶片的推移發現，在面對推刀端的晶片角落附近 PI 膜，多半有被撕裂的現象，這是由於應力集中所造成；而在晶片面對推刀端的另一面，PI 膜多半會凸起，以晶片中央部份凸起最多，漸次向晶片邊緣遞減，呈半月形狀。

就剪力強度來說，在相同的條件下，之所以會有很大的差異性，乃因晶片被推開之程度不同，其被推動的程度愈明顯，強度即愈大；此外，從剪力破壞試片觀察發現 70°C 經 50 小時時效作用之試片推開情形，遠比其他時效作用後之破壞來的明顯，而其剪力強度亦為最大值。

在溫、濕度時效環境作用方面，70°C 時效的初期，剪力強度變化如圖 5-11 所示，有大幅度的攀升，並在稍降之後持平一段時間，在 500 小時時效前的強度，均較其他試件之強度來的大，雖然在 500 小時有降低的趨勢，但經 1000 小時後又有強度的回升；100°C 時效過後的剪力強度值較為特殊，如圖 5-12 所示，試片一經時效作用後，強度即下降，直到 500 小時後又急遽升高；150°C 超過 T_g 點的溫度在時

效初期對強度的影響相當有限，只有些微的增加，其剪力強度隨時效作用之變化如圖 5-13 所示，在經 100 小時後有較大之降幅，之後即緩慢回升，到 500 小時達一穩定狀態，之後溫度即對強度沒有影響；高溫高濕的時效和剪力強度關係如圖 5-14 所示，而從圖 5-15 與表 5-8 的綜合比較可以發現，高溫高濕環境時效作用下，試片之剪力強度值和 150°C 之趨勢極為類似，但是平均強度均較後者高一些；從圖 5-16 可以比較得知，黏著層在製程所形成的孔隙，並不會因為溫濕時效的作用而擴散或減少，另一方面亦可證明剪力強度的因環境時效變化，和這些孔隙並不是太有關；另外在熱循環試驗中，從圖 5-17 與表 5-9 可以發現，在經過 50 個循環後，強度會明顯增加，但在經 100 個循環後，會降回差不多原來的大小，並且不太再隨循環次數的增加而有變動，但此時的量測值變異性很大，之後量測值才趨於穩定。

剪力強度在時效的初期均會有所提升，這是因為膠材雖然是使用最佳化的製程參數製作，但是並不代表膠材已百分之百固化，而初始的溫度時效作用使其固化更完全，與基板間的結合強度更高，但是過高的溫度雖然亦有固化之效果，但要達相同之固化程度只須較短的時間，高溫時效時間的增加，反而會破壞高分子內部的鍵結結構，產生較短的分子鏈，使其強度降低，但這部份仍須進行更進一步的實驗來證明；另外一種說法是，當溫度超過玻璃轉換溫度時，分子的自由體積（free volume）大幅度增加，因此分子有更大的空間可以運動，而使強度降低[40]，而在高溫高濕實驗中，水氣入侵使得高分子的體積膨脹，從實驗結果來看，其效應與溫度超過 T_g 相似，但是所給予分子間的自由體積增加量，似乎沒有因溫度造成的效果大，因此強度較溫度影響的大；若時效時間持續增加，分子鏈間的交纏（entanglement）滑移持續進行，當到達某一定程度時，交纏點間彼此牽制，沒有多餘

的空間可繼續進行移動，此時膠的強度即趨於穩定。

若再將製程中因熱壓接合接點與導電粒子所產生的殘餘應力考慮進來，在時效過程中，此殘餘應力會因溫度升高而釋放，因而影響剪力強度值，但若此殘留應力降低後，勢必會使接點間之接觸電阻因壓力減少而增加，但在實驗觀察中發現，接觸電阻值並不因時效作用而改變，因此可將這部份的影響忽略。

5-4 彎矩測試

由於載具線路設計之限制，引線所量測之接觸電阻點，並非晶片最外圍的接點阻值，因此，當量測訊號斷路時，最外圍之線路早已斷訊，雖然如此，在靜態量測上，仍可利用曲率的變化，來推估外圍線路斷訊之壓位移量；但卻無法利用此方式來計算彎矩疲勞壽命，因為疲勞壽命和振幅間的關係並不一定成線性關係，在反算上會有一定之困難度。另外，受限於機台程式設計之限制，並無法正確紀錄每次循環之力量與相對應之位置，因此無法藉由力量與位移圖繪製出磁滯曲線與磁滯環，即無法得知其力量受彎矩疲勞試驗後之變化情形，與影響程度，不過由於試片是黏附於另一印刷電路板上，因此在力量上還必須扣除該板之影響。

5-4.1 靜態彎矩測試

由靜態彎矩測試即時量得的電阻訊號，可以找出試片在受到彎矩作用下所能承受的最大位移量，大約在 11~12 mm，再配合力量與位移圖（圖 5-18），可以得知當位移超過 4 mm 之後，基板已產生明顯塑性變形，如此在彎矩疲勞測試時，將無法使待測結構體回到初始之位置，失去應有支撐的能力，因此彎矩疲勞的最大位移量應以此為上

限，在定義振幅比為 0.1 之情形下，最大振幅為 1.8 mm，實際壓位移為 0.4 mm 到 4 mm；而在此振幅以 0.25Hz 在室溫下作動態測試，發現其彎矩壽命平均值為 30 次（參照表 5-10），但若以此振幅作高溫測試，其壽命太短，無法鑑別其結果，因此改以最大位移量 3 mm，振幅降為 1.35 mm 代之（實際位移範圍為 0.3~3 mm），而其彎矩壽命平均值亦提升至近 500 次。

ACF 為高分子材料，而高分子材料對於溫度變化亦十分敏感，尤其是超過玻璃轉換溫度後的材料特性，將與低於此溫度之性質有著極大之差別，在考量機台性能與相關材料參數後，選取 140°C 為測試的上限；但在此溫度下，結構體之靜態抗彎曲能力大幅下降，其位移量只下壓約 1 mm，訊號即斷訊，圖 5-19 明顯比較出室溫和超過 T_g 溫度試片彎曲位移量變化之情形，也因為其位移量過小，因此無法在此溫度環境下做彎矩疲勞之測試。

5-4.2 彎矩疲勞測試

由於無法得知 ACF 內實際的高分子成分與分子結構，因此較難以用理論去推估其行為模式；不過就整體而言，高分子獨特的機械行為，是其反應和所施外力與應變之作用時間有關，也就是說，其疲勞特性與測試所施加的頻率有很大的關係，在高頻作用下，因為較少的時間讓分子去展開（uncoiling），所以表現出較為硬的性質；反觀低頻時，由於分子鏈有足夠的時間去運動，因此展現出較軟或是像橡膠的特性；此外，在高頻測試條件下，由於高分子的熱傳導性較差，因此無法在短時間內將黏彈性的能量消散出去，使其試片溫度會逐漸增加。[40]

雖然過去對高分子的疲勞特性已有不少的研究，並有類似 Paris

裂縫成長率的公式與 S-N 曲線，等針對不同形態的高分子疲勞行為做的描述[41]，但在本實驗中，由於受測的高分子材料還包含有為數不少金屬粒子，有如孔隙般散播各處，加上對其性質的不確定性，因此無法套用前述方法來進行描述。

由圖 5-20 與表 5-11 可以發現，在室溫下，低頻與高頻的彎矩壽命是差不多的，但隨著溫度增高，低頻壽命減少的幅度遠大於高頻，這是因為相同週次數下，低頻在該溫度環境下所經歷的時間遠較高頻的來的久，受溫度環境影響的程度亦較大；另一方面，其壽命分部呈現兩極化的現象，在同條件下，其壽命可相差兩到三倍不等，推測其原因為，當接著層間含有缺陷時，將會加速其裂紋增長而失效，此現象在高頻時較為顯著。

在進行彎矩測試時發現，當晶片訊號斷訊失效後，把試片釋放至初始狀態下，其電阻訊號會恢復，即代表線路恢復導通，但電阻值不一定和初始值相同，多半會小一些，但在 80°C 測試環境下，就算試片回到原位也量不到電阻值，而且在測試的過程中，電阻值會降至 0 歐姆，雖然在 60°C 也會有這種現象，但多半表示訊號快要斷路，可是在 80°C 時，有的試片在開始作測試時電阻值就降至 0 歐姆，可以從電子顯微鏡 (scanning electrical microscope, SEM) 觀察其破斷面看出些端倪。

如圖 5-21 所示，在室溫下以 0.25Hz 作彎矩疲勞測試，發現在膠體的部份並無明顯的破裂紋路出現，只有在晶片與膠體界面處有裂縫生成，但此破壞模式在所有彎矩試片中都可以發現；但在 2.5Hz 下，圖 5-22 所示，在膠體中央卻有相當明顯的破壞裂紋出現，據觀察發現裂紋起始處多半有孔洞缺陷出現，這或許能解釋前述疲勞壽命成兩極化的原因；在高溫的部份，從圖 5-23 所示，80°C-0.25Hz 的破壞截

面可以發現，鐳墊周圍的膠材有收縮的現象，使其周圍區域型成孔洞，所以就算試片恢復原狀，仍無導電粒子進行接觸導通，另外在晶片外側的膠材，如圖 5-24 所示，除先前提的與晶片界層有裂紋外，並無發現其他裂縫，而此現象亦在 2.5Hz-80°C 測試試片上發現，如圖 5-25 所示；此外在 2.5Hz 的試片上，如圖 5-26 所示，發現其膠材有產生類似頸縮破斷的現象，在同一試片上亦另外發現與晶片接觸界層部分，如圖 5-27 所示，產生明顯的分離與塌陷，同樣的，此種破壞亦不會使晶片在卸載後恢復通路。由此破斷面的觀察可以得知，較高頻的測試對接著層來說，所產生的破壞遠比低頻來的明顯，亦可得知兩者破壞機制的差異性。

高分子材料在 T_g 附近是屬於黏彈材料，而在高分子的線性黏彈理論中，有所謂的時間-溫度等效 (time-temperature equivalent) 的性質，亦即在低溫只要時間夠長亦會有如同在高溫的特性出現。而本實驗在不同溫度與不同疲勞頻率條件下做測試，一方面是要找出結構體的彎矩壽命值，另一方面是希望能找出ACF類似主曲線(master curve)特性之關係曲線，如此在往後測試時，即可利用不同的頻率求出ACF在不同溫度下的疲勞壽命值，亦或利用較高頻率但在不同溫度下做測試，以減少低頻測試所需的時間；以本實驗為例，或許可利用 2.5Hz 在 80°C 的測試結果來預估 0.25Hz 在 70°C 時的彎矩壽命值，就算兩者具相同週次數，但因 2.5Hz 頻率大 0.25Hz 十倍，所以所需測試時間只要後者的十分之一，可提升時效，或是利用不同頻率來取代溫度變化所需之額外設備。