

第四章 研究方法

本論文主要探討受不同環境的時效作用下，COF 接合結構其可撓曲行為的變化，以及在不同溫溼環境中，受反覆彎曲變形下封裝體功能耐久性；另一方面，透過破壞面的觀察及橫截面研究，了解 COF 接合結構中 ACF 接著界面經環境影響後的破壞模式變化情形，進一步討論其破壞機制。主要實驗可分為兩大部份，分別概述如下：

1. 不同環境老化後，COF 接合結構彎曲行為及 ACF 破壞模式變化

在此部份實驗中，先利用不同的環境條件，對 COF 進行環境加速作用測試，之後在不同的老化時間點，於室溫下進行四點彎矩測試（four-point bending），並藉由觀察試片的破壞面，進一步分析 ACF 層經環境加速老化後的破壞模式與機制。

2. 彎曲疲勞測試

在疲勞部分的實驗進行方面，分別將試片置於不同溫度及相對濕度的環境中，同樣利用四點彎矩的測試方法，進行不同頻率相同彎曲變形的彎矩疲勞測試（bending fatigue test），而後透過鑲埋研磨等金相觀察步驟，對橫截面（cross-section）微觀組織進行觀察，了解不同試驗環境中的破壞情形。

實驗流程圖如圖 4-1 所示。

4-1 實驗設備

本論文研究所使用的實驗儀器如下：

1. Instron-8848 微拉伸試驗機 (microtester)
2. 溫/溼度控制箱
3. 溫度控制烘箱
4. 恆溫恆濕測試機

5. 溫濕循環試驗機 (temperature/humidity chamber)
6. 可程式歐姆計
7. 研磨/拋光機 (polisher)
8. 光學金相顯微鏡 (optical microscope)
9. 掃描式電子顯微鏡 (scanning electron microscope, SEM)
10. 鑽石切割機

各儀器之功能介紹如下：

4-1.1 微拉伸試驗機

Instron-8848 微拉伸試驗機 (microtester)

微拉伸試驗機為本論文之主要架構，搭配不同的設計夾具，進行潛變和疲勞以及剪力、撥離強度測試等實驗。圖 4-2 為主要機台架構，其主要組成包括 Fasttrack 8800 控制器(controller)、負載架(load frame)、荷重元(load cell)、夾具(grip/fixture)和致動器(actuator)。負載架本身的勁度相當高因此機器本身不易產生變形，所以可確保試片在測試時不會因機器的變形而造成實驗誤差。荷重元可將力量轉換成電路訊號以供控制系統量測和顯示。配合試片的需要可做不同夾具設計，致動器則提供整個儀器的動力來源，上夾具端可隨致動器移動，但下夾具端則固定不動，荷重元位於其下方，該系統之工作範圍及精度如下：

工作效能：

1. 位移控制／量測精確度／解析度

(a) 行程範圍：軸向行程 $\pm 100\text{mm}$

(b) 量測精確度： $\pm 0.1\%$ 之設定速度

(c) 位移控制解析度： $\pm 0.05\mu\text{m}$

2. 負載控制／量測精確度／解析度

(a) 負載範圍：±1Kg、±100Kg

(b) 100Kg 荷重元—精確度：5g 解析度：0.4g

4-1.2 溫/溼度控制箱

溫/溼度控制主要搭配微拉伸試驗機使用，利用風扇將電熱絲所產生之熱量傳至整個烘箱中，使箱內溫度均勻分佈，提供試片受等溫時效作用之環境，利用溫度感測器（thermal couple）感應箱內溫度，溫度誤差在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 內，而溼度的控制則是以加熱蒸餾水產生水蒸氣導入控制箱，裝置如圖 4-3。

4-1.3 溫度控制烘箱

此機器主要是利用風扇將電熱絲所產生之熱量傳至整個烘箱中，使箱內溫度均勻分佈，提供試片受等溫時效作用之環境，溫度誤差在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 內，如圖 4-4 所示。

4-1.4 恆溫恆濕測試機

本機器之機型為 TTH-AIT，溫度控制範圍在 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，溼度控制範圍在 20%RH~98%RH。本機器包括四部分：加熱系統（電熱器）、冷卻系統（壓縮機）、機械系統、以及控制系統。可依其需要單獨控制溫度與單獨控制溼度，或者是溫度及溼度同時控制。由乾、溼球溫度感測器分別量測溫度後，經控制程式運算出烘箱中溫度及溼度，在實驗中利用乾、濕球的溫度差異來控制溫度與溼度，本機器之操作溫度範圍為 $5\sim 95^{\circ}\text{C}$ ；溼度範圍為 0~100%，如圖 4-5。

4-1.5 溫濕循環試驗機

商品名稱 Temperature/Humidity Chamber，型號 SE-600-5-5，美國 Thermotron 公司製造。此熱循環機內部尺寸 102×155×208(cm)，在單一槽中以冷熱空氣交替加熱或冷卻試片，實驗所用機器如圖 4-6 所示，其所允許使用之溫度範圍為 180℃~-70℃，溫度控制精確度在±0.3℃內，溫度均勻度在±0.5℃內。

4-1.6 可程式歐姆計

本電阻計是利用四點探針(four-point probe)的原理進行電阻量測(如圖 4-7)，並藉由標準 RS-232 介面，連接至電腦遠端監測、記錄與操作，進行實驗中的電阻即時量測。其量測範圍在 2~20KΩ之內，誤差在±0.05%rdg.±7dgt，最快取樣頻率 10 次/秒；在本實驗中，搭配按鍵小精靈程式之情況下，選擇取樣頻率為 5 次/秒，以對試片進行即時線路電阻量測以及經環境老化後的試片線路電阻變化值之量測。

4-1.7 研磨/拋光機

經鑲埋過的試片，輕壓於本機旋轉盤上，藉不同轉速和轉盤上不同粗糙度的研磨墊來研磨及拋光，來取得所需觀察之橫斷面（cross-section），以利於光學顯微鏡及掃描式電子顯微鏡斷面之觀察，如圖 4-8 所示。

4-1.8 光學金相顯微鏡

內含上下光源，並有內藏式多組濾光片，可將已失效或未失效之試片，經冷鑲埋及研磨拋光處理後，藉外加光源照射試片表面，再經此機台放大試片破斷狀態之影像，並藉由電荷耦合元件（charge coupled device, CCD）擷取所需影像。最大放大倍率可達一千倍，目

鏡放大倍率固定為十倍，物鏡的放大倍率依鏡頭而定，最大可達一百倍，最小是四倍，如圖 4-9。

4-1.9 掃描式電子顯微鏡

掃描式電子顯微鏡可對不同材料如生物、金屬、陶瓷、薄膜等作高倍顯微影像，或是做破壞面、金相表面觀察檢測；若欲觀察之材料為非導體，在使用 SEM 做斷面觀察時，需先在表面濺鍍金箔使其導電，濺鍍時間多寡依實際情形而定。

4-1.10 鑽石切割機

鑽石切割機為實驗上常用的一種取樣切割工具，多是以切割機搭配鑽石刀使用，其原理是藉由重力使被切割物與鑽石刀接觸，利用鑽石刀硬度大於試片材料以及旋轉刀片的方式對被切割物進行磨耗切割，此種方式對被切割物產生的應力極小，故可增加試片取樣後觀察的準確性，設備如圖 4-10。

4-2 試片製作及規格

試片是工研院電子所提供，利用真實晶片 (real IC)，長寬高分別為 2.92mm、10.86mm 及 0.67mm，Hitachi Chemical 出品之 ACF，使用相同的接合參數 190℃、122MPa、10 s，與 PI 軟膜基板而接合。ACF 的組成其接著劑使用熱固性高分子膠材，導電粒子則為樹脂顆粒外層電鍍 Ni/Au。晶片上凸塊位置與規格之規格如圖 4-11，尺寸如下列[工研院提供]：

凸塊尺寸：56 μm x 114 μm (輸入端共 110 個凸塊)

輸出端凸塊與晶片邊緣距離：80 μm

凸塊尺寸：50 μm x 108 μm (輸出端共 214 個凸塊)

輸入端凸塊與晶片邊緣距離：50 μ m

凸塊間距：90 μ m（輸入端）、70 μ m（輸出端）

凸塊高度：17 μ m

凸塊材質：金（Au）

由於試片軟膜支撐力太弱，無法夾置於夾具上進行測試，故在進行各項實驗前，先將試片以 CN 膠黏貼於 0.45mm 厚之軟性印刷電路板上，軟性印刷電路板之功能為提供軟膜一定的支撐力，以進行後續實驗。此外，為了量測試片的菊鍊（daisy chain）線路間電阻變化，將晶片之測試線路以鉅接電線的方式導出，便於實驗過程中進行線路電阻值之即時(real-time)量測。所監控的點為 A 及 C，分別代表編號 25 及 99/100 之凸塊如圖 4-12，選擇這兩點的原因是因為其位置較為外側，在進行四點彎矩測試時，晶片-軟膜接合的角落周圍部分較易發生破壞，因此當試片受到彎曲外力作用而發生破壞使電阻升高或斷路時可以即時的得知。

4-3 實驗方法

實驗主要分為兩大部分，第一部分為靜態彎曲測試，另一部分為動態彎矩疲勞測試。在本論文中試片失效破壞的準則，是以電性上的破壞作為主要判斷依據。當試片受到彎矩作用，造成晶片凸塊與基板鉅墊間未能有效導通，菊鍊電阻值(daisy chain resistance)上升，超過 20 歐姆或是電訊無法量測，表示晶片功能無法運作，此時即視此試片遭受電性上的破壞，無法繼續發揮其正常功能，則該試片失效。茲將各部份實驗步驟及方法分述如下：

4-3.1 靜態彎矩實驗

在靜態彎矩測試中，主要目的是為了討論經不同的環境加速老化

測試後，COF 試片可撓曲性的變化情形，比較出不同環境時效對試片撓曲性的影響，以及晶片與基板接著界面破壞機制的探討。所採用的可靠度環境測試條件如下：

(1)高溫高濕測試

此部分實驗引入水氣的作用，以了解在溫溼環境作用下對於 ACF 的高分子材料其強度以及導電電阻的影響。根據 JEDEC 規範 JESD22-A101-B[55]選用 85°C/85%RH 作為高溫高濕的測試條件，將接合好的試片放入恆溫恆濕測試機開始進行測試，並選擇 0、50、150、300、500、1000 小時等六個老化時間點後，從測試機中取出，並在室溫下量測菊鍊電阻值的變化以及進行四點彎矩測試，以探討試片在電性質上的可靠度與其可撓曲性的變化情形，同時透過 SEM 觀察了解接著界面的破壞機制。

(2)溫度循環測試

由於試片是由不同材料組合而成的，熱膨脹係數也不相同，因此溫度變化而生成的熱應力對不同材料間接和強度影響很大。為了模擬電子產品重覆開關電源下的使用狀況，因此利用溫度循環測試作為模擬，實驗根據 JEDEC 規範 JESD22-A104-B[56], condition G，試驗晶片在 -40°C 和 125°C 溫度間進行溫度循環，高低溫的駐留時間為 10~15 分鐘，1 個週期約為 1 個半小時(1 cycle/1.5hr)，進行 500 週次的溫度循環測試。圖 4-13 為本試驗的溫度循環曲線，期間分別在 0、100、200、300、500 週次時取出，在室溫下同樣的進行四點彎矩及電阻變化量測，同樣透過 SEM 觀察試片對接著界面的破壞機制作一分析探討，並與其他環境測試後的破壞機制做比較。

(3)高溫老化測試

由於所採用的 COF 試片其 ACF 接著層的玻璃轉換溫度(glass

transition temperature)約為 130°C，在此為了討論接著界面即 ACF 接著層性質與 COF 試片撓曲性變化間的關係，故所採用的高溫環境為 150°C。將試片與 150°C 下加熱，並分別在經歷 0、100、300、500 及 1000 小時後，在室溫下進行四點彎矩及電阻變化量測，同樣透過 SEM 觀察試片 ACF 接著層的破壞情況並與其他環境測試後的破壞機制做比較。

在四點彎矩的測試方面，所採用的測試夾具如圖 4-14，下夾頭跨距(span)長 35mm，上夾頭跨距長 12mm，搭配 Instron-8848 微拉伸試驗機，以下夾頭固定，上夾頭位移控制(displacement control)的方式，位移速度 0.5mm/min，進行四點彎矩測試。跨距長度的設計原則在於避免使夾頭直接壓在晶片部分，且必須使晶片與軟膜在接著的區域於測試過程中僅受到純彎矩外力作用。在進行四點彎矩測試的同時，透過外接線路以及利用可程式歐姆計對試片的線路電阻值進行即時量測，當量測到的電阻值超過 20 歐姆或斷路時，此試片即視為失效，之後利用鑽石切割機對試片上晶片最邊緣晶片與基板連接遭撥離破壞部分，如圖 4-14 所示進行取樣，以便後續破壞面觀察。

在試片的電阻值變化量測方面，是利用可程式歐姆計以四點探針原理如圖 4-15 進行電阻測量。所謂的四點探針原理簡單的說，即是在試片線路兩端通入一微量電流，經由所測出的兩端電位差，以歐姆定律 (Ohm's law) 計算出電阻值，即 $R=V/I$ 。

4-3.2 動態彎矩疲勞測試

動態彎矩測試的主要目的，是想探討 COF 接合結構在不同溫濕條件的環境下，受反覆彎曲變形而造成失效的破壞行為。由於一般封裝結構最重要的目的和功能為電訊上的傳遞使產品可正常運作使用，故

本論文中是以電阻上升作為判斷失效的準則。此部份實驗所採用的測試環境為 $60^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$ 以及 $80^{\circ}\text{C}/85\%\text{RH}$ 兩種溫濕條件，在此兩種溫濕環境下以相同振幅不同頻率的測試方式同時比較環境和頻率對於疲勞壽命的影響。和靜態彎矩測試一樣，由四點彎矩的測試方式，來回進行反覆式的彎矩變形作用。疲勞測試的過程採用位移控制（displacement control）的方式，以夾頭剛接觸試片而未產生任何壓力於試片上的位置作為起始點，進行固定振幅的疲勞測試，設定位移比(displacement ratio)為0.1，此目的是為了避免試片在實驗過程中用來支撐軟膜的軟性印刷電路基板變形而曲率改變，影響了實驗結果的正確性。

在進行疲勞測試前，先以 $1\text{mm}/\text{min}$ 和 $10\text{mm}/\text{min}$ 的速率在不同溫濕環境下，測試支撐用軟性印刷電路板受彎矩外力作用的力量-位移關係，此部分測試目的是為了瞭解軟性印刷電路板受彎矩外力作用下變形的彈性範圍，以選取適當的疲勞振幅範圍，避免基板產生塑性變形。選取完適當的振幅範圍後，即可進行彎矩疲勞實驗，測試分別在前述兩種不同條件的溫濕環境下進行，在各環境下配合機器效能分別進行兩種高低頻率(0.25、2.5HZ)的疲勞測試。如同在靜態測試中，在疲勞測試的同時進行即時電阻量測，當電阻值超過20歐姆或斷路時，此時所得之循環數時即定義為該溫濕條件及該頻率下封裝體失效的疲勞壽命（fatigue life）。