

## 第三章 文獻回顧

### 3-1 可靠度測試

可靠度測試的主要目的是模擬封裝元件在不同的使用環境下，可能發生的失效現象及失效機率，經由分析試件之破壞模式及機制，進一步改善並提升最終產品之可靠度。而本篇主要是在探討試件受環境應力作用下之接著強度與訊號穩定性，環境應力包含了溫度變化、溫度及潮溼度長時間的放置儲存等，因環境因素對試件所產生的機械應力。

#### 3-1.1 週期性的溫度變化測試

往覆性溫度變化所引發的環境應力，乃因封裝材料間彼此熱膨脹係數差異所導致的體積伸縮程度不一。此應力衍生出兩種不同的破壞機制，一為溫度超過金屬熔點二分之一以上，金屬晶格間產生滑移或轉動，使晶界產生孔洞，進而形成裂縫的潛變（creep）效應；另一為異種材料介面因熱膨脹係數差異（CTE mismatch）或溫度不均，造成的週期性疲勞（fatigue）熱應力。這部分包括溫度循環測試（thermal cycling, TC）、熱衝擊測試（thermal shock, TS）及熱功率循環測試（power cycling, PC）。TC 及 TS 差異在於後者的升降溫速率較快，及在高低溫區域停留時間較短，如此所產生的熱效應即有所不同；PC 則是晶片內線路電阻因電流通過而產生熱，使晶片溫度分佈狀態改變，可藉改變輸入電壓強弱和開關頻率，控制溫度變化幅度與升降溫週期[13]。因熱膨脹係數不同而導致的失效，大致上可分為兩類，一為區域性的不匹配（local mismatch），發生在接著劑和基板、接著劑和凸塊及接著劑和晶片等局部區塊；其二為整體的不匹配（global mismatch），此乃指晶片和基板間熱膨脹係數差異所致。這些因熱膨

脹造成的機械應力，所產生的剪應力與變形，自晶片外圍向內遞減與傳遞，造成材料間的脫層，其發生位置多在接著不良區或是應力奇異點的位置，如晶片角落的接著區域[14]。

就區域性不匹配來說，在經過熱循環作用下，應力主要是受凸塊的楊氏係數控制，而應變主要受凸塊的熱膨脹係數之影響，因此，當晶片端和基板端之凸塊均為相同材料時，可提高元件之可靠度[15]。

而在整體的不匹配方面，熱會造成晶片的變形與翹曲，影響的程度和該點與晶片中央之距離呈一函數關係；Kwon[16] 利用雲紋干涉實驗發現在晶片的角落處，V 場(Y 方向)的光紋有愈密的趨勢，這證明了該處的翹曲情形；而在 ACF 層，其光紋亦沿縱向分佈，證明其沿厚度方向收縮；最大剪應變發生在離晶片中央最遠的晶片邊緣，若要提升熱循環壽命，可將接點凸塊避開該區域；更進一步探討 ACF 的特性可知，具高 CTE 值與低模數之 ACF 受熱後會對整個結構產生較小的翹曲，但較高之剪應變；相反的，具較低 CTE 值與較高模數之 ACF 會對構裝體造成較低之剪應變但較大之翹曲，因為較低 CTE 值的 ACF 所造成的熱變形較小，以至於剪應變亦較小，亦可有效降低脫層在 ACF 層中的成長，也由此可知，ACF 接點的失效，主要是受剪應變所控制。既然 ACF 之熱機械性質會影響熱循環的可靠度，Yim[12]等提出，利用增加 ACA 內的填充材(filler content)，來提高 ACA 之模數，並降低其 CTE 值，減少因熱在 ACF 層所造成的剪應變增，而增加熱循環之可靠度壽命。

由上述可得，溫度的變化在封裝結構體的可靠度表現，受到晶片、基板與 ACF 之尺寸及其熱機械性質間相互牽制影響。

### 3-1.2 高溫環境測試

此法通常將電子元件在未加電壓之情況下，長期置於高溫環境

中，觀察其劣化之情形。在高溫環境下，溫度會加速異種金屬間介金屬化合物（intermetallic compound, IMC）的形成，適當的介金屬存在可確保金屬間的緊密接合，但若介金屬本身脆性較高時，過多的介金屬反而易使金屬介面產生脆裂而降低強度[13]。對高分子材料來說，高溫除了在超過 $T_g$ 後，因內部交連受到破壞，產生較短分子鏈，使材料強度降低，讓ACA變得較為脆性，但另一方面，會提升材料固化的程度[17、18]。

### 3-1.3 潮溼環境測試

溼氣對封裝結構的破壞亦可分為兩類，其一為在結構體介面含有水分，當遇到稍高的溫度時，水分轉為高壓水蒸氣，若材料無法吸收或承受此壓力，將使結構體爆裂，稱為爆米花現象；另一破壞模式為水氣藉滲入或擴散等途徑進入結構體中，導致金屬腐蝕或溶解，或是和某些成份形成酸性物質，進而侵蝕其他材料。恆溫恆溼偏壓測試（temperature humidity bias test, THB）、壓力釜測試（autoclave test）與高溫高壓未飽和蒸氣加速測試（highly accelerated stress test, HAST）均屬此類。THB 測試主要是考驗封裝元件的抗潮濕能力，藉由在高溫高溼環境下反覆供給元件電壓，使元件內部形成電化學環境加速腐蝕速率；HAST 是將測試槽內的水蒸氣壓提升並遠大於封裝體內水氣狀況，此法和壓力釜測試方式的差異在於，其避免水氣在結構表面凝結，降低外部金屬導線被不當腐蝕的機會。無論是何種測試方式，在考慮溼氣作用下，其破壞機制不外乎腐蝕、污染物性質、漏電與密封不良等問題[13]。

對高分子而言，溼氣在高溫下會造成高分子鏈的尺度改變而釋放內應力，造成整體體積膨脹，並表現出高分子的黏彈特性，可是當高

分子基材膨脹後，其對水氣的吸收力降低，因此在某溫度下高分子會有其對應的飽和吸溼率[18]。

### 3-2 剪力測試

吳丰順等人[19、20]發現，在相同製程參數下，利用 ACF 接合的覆晶-軟膜(flip-chip on film, FCOF)剪切結合強度大於覆晶-玻璃(flip-chip on glass, FCOG)，其中影響接著強度較大的是導電粒子的分散均勻性，及在接合過程中所殘留在膠膜內的氣泡，因為這使得材料的性能及結構強度在受載荷時產生不利因素。

Wu 等人[21]在FCOG可靠度測試發現，當老化溫度低於ACF玻璃轉換溫度時，剪力強度通常會降低，這是因為高溫使ACF和玻璃基板間的黏著接點剝離，並且降低材料間的交通（cross-link）；但若溫度稍微超過ACF之 $T_g$ 時，剪力強度會有明顯的降低，這是因為分子間的共價交連產生變形或斷裂，使得ACF變的較為脆性，而且更高的溫度造成更大的熱應力作用；再經由顯微鏡的觀察發現，在晶片中央無凸塊處，較易產生ACF和玻璃基板間的脫層及其擴散，而在凸塊周圍的膠材，會隨高溫時效的增加產生剝離現象，時效時間愈長，在剪力測試時，黏性（adhesive）失效會較凝聚性（cohesive）失效明顯。而在高溫高溼的環境下，水氣會延著玻璃樹脂介面擴散，並且氧化ACF內的環氧樹脂而造成破壞。

Gupta 等人[22]則指出，相較於有機污染物，金屬表面具有較低的表面能量，並且會吸收水氣，進而造成膠材較弱的黏著強度。

Tan 等人[23]利用 ACF 接合的 FCOF 試片作剪力測試，發現當力量作用超過某一位移量後，ACF 有明顯的黏彈性變形，並使接觸電阻急劇升高；在經壓力鍋時效後，受溫度及水氣的吸收影響，使材料



趨向塑性而造成剪力模數的降低；而在往復剪力疲勞試驗中發現，接觸電阻值的大小變化，是由接著層間的微裂紋生長決定。

Zhang[24]等人提出鐳墊在加速試驗下，因氧化層的作用會使接著強度不減反增，而不同的基板材料，在受到環境因素作用下，因產生不同化學作用，所形成的孔隙或是氧化物，亦會使接著強度受到影響。

### 3-3 彎矩測試

對於封裝結構的機械性質測試，包含了彎矩、扭轉、振動及衝擊等，其中以彎矩為主要的機械應力形式。Rizvi 等學者[25]經由有限元素法模擬，並與三點彎矩實驗比對發現，由於晶片之彈性係數過大，因此在受到彎矩時，其變形遠不如 ACF 與 FR4 基板，造成 ACF 和晶片轉角處的應力值過高，使晶片和基板間產生間隙而失效；至於電性方面，接觸電阻值在受壓下，並非漸進式的造成斷路，而是突然的斷開，並在力量卸載後，恢復至初始值或是較初始值偏移一些。Kwon[14]等學者則是利用彎矩的方式，將經過熱循環試驗後試片內的脫層裂紋放大觀察。

### 3-4 接觸電阻

晶片和基板的接觸導通品質，受凸塊的形式、導電顆粒的種類、基板的種類與基板和凸塊是否共平面有很重要的影響，而接觸電阻值的大小是接觸品質最直接的指標。ACA 包含黏著劑與導電顆粒，而黏著劑的材料特性，是影響整個封裝結構穩定性及接觸電阻值的一個重要因素[23]，其固化程度除了對黏著強度造成影響外，亦會對接觸電阻值產生變化[17]；在導電粒子方面，其材料成分特性與尺寸，

會影響接著電訊可靠度，但是最關鍵的因素是凸塊與錐墊間的導電粒子密度[26]。

在可靠度測試下，當 ACF 封裝結構體儲存於一高溫高溼環境下時，接著劑在吸收水氣後會膨脹，使材料間有脫層或撥離等裂紋產生，另一方面，在水合反應過程下會使凸塊、線路或導電顆粒，因非貴重金屬之氧化與腐蝕影響電訊的傳遞與導電的效能，尤以異金屬電極間所產生的迦凡尼腐蝕(galvanic corrosion)對接觸電阻值的影響甚大[24、27、28]，縱使水氣所產生的氧化作用，會增加電阻值，但對結構體來說並不至於造成太大的破壞[29]。可是單就在高溫高溼靜態儲存而言，Chang[30]、Vries[31]與 Seppälä[32]等即有不同的發現，前者發現 ACF 的接合在此環境下會有很大的改變，尤其是對未完全固化的樹脂會有弱化的現象，並使接觸電阻值增加；但後二者指出，靜態的高溫儲存或相對溼度對接觸電阻值並不會有太大的作用。Caers[28]等人利用有限元素法模擬不同穩定的溫度/濕度條件下之接觸電阻值發現，接著很穩定，其中以溫度的影響較溼度來的明顯，但是溼度對接著劑的影響較溫度來的複雜；但若儲存之溫度超過玻璃轉換溫度時，黏接劑發生軟化並使接觸電阻值快速升高[30]。

而在無論是溫度或溼度循環過程的環境下時，相較於恆溫恆溼，濕度循環會使接觸阻值產生漂移，電阻值會明顯浮動；若比較溫度與濕度之循環，又以溼度的循環對電阻值的影響最為劇烈，溫度的循環影響較少，因為水氣的進出會使黏著劑產生膨脹收縮的效應，所以在實驗過程中，為了量取電阻值而將試片自環境控制烘箱中取出再放回的动作，會使試片受到類似週期性循環的影響，進而影響結果，所以必須加以考慮[28、30、31]。而在溫度循環的過程中，大部分的電路失效發生在溫度變化的瞬間，但在溫度穩定後仍保持通路[32]。此

外，Caers[28]等人比較錫球與 ACA 接合在經熱循環作用後之差異性發現，前者會因晶格粗化而產生微裂紋，使電阻值發生變化；後者雖看不出明顯破壞跡象，但電阻值會因為導電顆粒接觸壓力之下降而增加。

