

第五章、結果與討論

本研究主要目的在於探討異向性導電膠膜與黏晶膠兩種材料素材在不同溫度與應變率下，機械性質的變化；以及異向性導電膠膜黏接於銅箔上，受到環境溫度、接著條件、以及高溫和高溫高濕老化等因素影響後，接著強度的變化，藉以了解異向性導電膠膜的可靠度。最後透過觀察試片破壞面，來了解各種可能的破壞機制。茲將各項測試後的結果分析如下：

5.1 黏晶膠薄膜試片在不同溫度與應變率下機械性質的變化

透過軸向靜態拉伸試驗，我們可以觀察溫度效應和應變率效應對材料本身機械性質的影響，實驗中我們選用四種溫度等級 25°C、75°C、100°C、以及 125°C，並選用四種應變率等級 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 、 10^{-5} mm/mm/sec 來進行的塊狀薄膜材料的靜態軸向拉伸測試。四種溫度與四種應變率共可組成十六種不同的測試環境。在每種測試環境下，選取實驗數據的平均加減一個標準差的範圍內做為有效實驗數據，每種環境下至少做出五組有效數據才算完成實驗。

表(5.1)是黏晶膠薄膜試片的楊氏係數隨各種溫度和應變率變化的有效數據表，表(5.2)是黏晶膠薄膜試片的破壞應力隨各種溫度和應變率變化的有效數據表。從表(5.1)和表(5.2)當中，我們可以了解黏晶膠薄膜測試的有效數據離散性並不大。

圖(5.1)到圖(5.4)為四種溫度靜態拉伸在各種應變率下的應力應變趨勢圖。圖(5.5)和圖(5.6)為楊氏係數與破壞應力的趨勢圖。

由靜態拉伸的圖中我們可以觀察到黏晶膠隨溫度上升有劣化的情況，並且從不同應變率的測試中也可以觀察到黏晶膠的黏彈性行

為。綜合以上的情況，我們可以整理得到黏晶膠材料性質有以下的趨勢：

- a. 破壞強度隨溫度升高而下降，隨應變率上升而上升。
- b. 彈性模數隨溫度上升而下降，隨應變率上升而上升。
- c. 溫度越高，由應力應變曲線發現材料由塑性（ plastic ）轉變成脆性（ brittle ）。
- d. 破壞應變沒有固定的趨勢，除 25°C 時隨應變率上升而明顯下降外；在其他的三個溫度下，破壞應變有隨應變率上升而上升的趨勢，但這個趨勢並不明顯。
- e. 破壞強度與楊氏係數的變化以 25°C 轉變成 75°C 時最劇烈，之後的變化呈現比較穩定的狀況，顯示黏晶膠在 75°C 之後對溫度抵抗以達極限，在 75°C 以上黏晶膠的強度與楊氏係數已明顯下滑。
- f. 應變率對材料破壞強度的影響比楊氏係數影響大，顯示黏晶膠對應變率的敏感度主要發生在破壞強度方面。

5.2 異向性導電膠膜薄膜試片在不同溫度下機械性質的變化

將異向性導電膠膜的薄膜試片和黏晶膠薄膜片以相同的方法進行軸向拉伸測試，主要測試的部分在於試片處於高溫環境下材料性質的轉變，藉以了解異向性導電膠的膠材本體是否會在高溫的環境下機械性質有很大的改變，因此在應變率的選取方面，只選擇比較中庸的 10^{-4} mm/mm/sec，溫度方面我們選取和黏晶膠相同的 25、75、100、以及 125°C，以方便比較兩種膠材之間的差異。表(5.3)為四種異向性導電膠膜薄膜試片在各種溫度下測試的有效數據表；圖(5.7)~圖(5.10)為同一溫度下在各種材料的應力應變曲線圖，圖(5.11)為各種材料的破壞強度隨溫度的變化圖，圖(5.12)為各個材料的楊氏係數隨溫度的

變化圖，從圖中我們可以發現下列的幾項特質：

- a. 異向性導電膠膜的破壞強度遠比黏晶膠高出許多。
- b. 無論在任何溫度下，不含任何添加物的純膠材的破壞強度均比其他三種材料高，並且具有最長的破壞應變，顯示純膠材呈現比較明顯的塑性行為。
- c. 含 10%重量百分比無機粉體的異向性導電膠在各種溫度下破壞強度均最差，因含 10%重量百分比無機粉體的異向性導電膠在塗佈成型的時候有比較多的氣泡發生，造成薄膜試片有較多的缺陷，因此導致破壞強度變低。
- d. 添加無機粉體並不會對材料的破壞強度有很大的改變，因為不含無機粉體的異向性導電膠膜與含 10%以及 20%重量百分比的異向性導電膠膜在各種溫度下的破壞強度並沒有明顯的差異。
- e. 溫度越高，四種不同材料的破壞強度越接近，顯示材料隨溫度升高有軟化的現象。
- f. 隨溫度升高，材料的破壞強度越低，而破壞應變則隨溫度越高而越長，顯示材料在高溫下軟化後，呈現比較塑性的行為。
- g. 四種材料的楊氏係數隨溫度上升有下降的現象，其中由於添加 20%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜塗佈較好，氣泡較少，因此材料楊氏係數在四種材料中最高，其次的是不含任何添加物的純膠材，楊氏係數最差的則是塗佈情況最差，產生最多氣泡的 10%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜。
- h. 各種膠材的楊氏係數隨溫度升高而越接近，顯示材料有因溫度升高發生軟化的現象，導致楊氏係數的降低。

此外，我們亦將異向性導電膠膜的薄膜試片放置於 85°C/85%RH 高溫高濕與 70°C 高溫的環境下進行老化測試，實驗結果如圖(5.13)

所示，我們觀察到薄膜試片受到兩種老化條件的影響並不大，比較未經老化與老化 72 小時後的試片，我們發現薄膜試片並沒有因為老化時間增加，而發生明顯的破壞強度下降的現象，由此項實驗我們可以確定，異向性導電膠膜膠材本體受到老化時間的影響並不顯著。

5.3 異向性導電膠膜接著試片在各種測試下機械性質的變化

本研究利用 90 度垂直的撥離測試，來了解異向性導電膠膜與 ITO 玻璃和銅片薄膜之間的接著強度。每次撥離測試可以得到一條接著強度與撥離位移的關係圖，我們選擇每次測試中撥離強度隨撥離位移改變較小的區域當中，撥離強度較高的作為標準，定義出每次撥離測試得到的試片撥離強度。然而由於試片的黏著並不一定完全是非常均勻，或是在各種不同條件的測試下會對試片的黏著造成損害，因此，由定義所得撥離強度可能會有些許的誤差，但誤差的影響不大。

5.3.1 不同黏著條件下機械性質的變化

透過不同的接合條件與撥離強度的測試，我們可以找到一組異向性導電膠膜最適合的接合條件，並可以了解異向性導電膠膜接合當中的三個主要參數（接合時間、接合溫度、以及接合壓力）對接合之後的異向性導電膠膜撥離強度的影響。

由 3M 公司出品的異向性導電膠膜測試中我們可以發現，如圖 (5.14) 所示，三個接著參數中如果只改變接著壓力，對接著後的撥離強度並不會有很大的影響，證實撥離強度不會因為接著壓力變化，而有太大幅度的改變。

因此在五種不同接合條件的測試中，我們僅針對接著溫度與接著時間兩樣接著參數做研究，並忽略接著壓力對接著後撥離強度的影響。表 (5.4) 為四種異向性導電膠膜在五種不同接合條件下的撥離強度

測試的有效數據表。由圖(5.15)與圖(5.16)我們可以發現，同樣在接著溫度為 240°C 或是在 260°C 下，接著時間越長，可以得到越高的接著撥離強度。此外，在接著時間相近的時候，接著溫度由 240°C 改變為 260°C ，並不會因此對接著後的撥離強度有太大的提昇，顯示四種異向性導電膠膜在接著溫度 240°C 以上時，受到接著溫度的影響已經不大了。

由四種不同的異向性導電膠膜的接著情況我們可以發現，未添加無機粉體與導電粒子的純膠材，是四種材料中撥離強度最好的一個，其次是不含無機粉體但含有導電粒子的異向性導電膠，在其次是含 20% 重量百分比的無機粉體且含有導電粉體的異向性導電膠膜，最後才是 10% 重量百分比的無機粉體且含有導電粉體的異向性導電膠膜。其中的原因是因為純膠材在膠材本體或是與銅片或 ITO 玻璃的接著比較沒有缺陷，膠材本體呈現比較均勻的分佈，接著面也比較不受到添加物所帶來的影響，因此具有最好的接著強度。接著強度居次的不含無機粉體之異向性導電膠膜是剩下的三種材料中內部添加物最少的，因此同樣對膠材的本體與接著面的影響都比較小，所以接著強度僅次於完全沒有添加物的純膠材。最後含有無機粉體的兩種膠材是當中接著強度較差的兩種材料，但由於無機粉體的體積相當小，因此添加 10% 或是 20% 並不會造成接著強度有很明顯的改變，兩種材料的接著強度也相當接近。

此外，由接著溫度 240°C 與 260°C 的實驗可以發現，當接著時間越長，四樣材料的接著強度有接近的現象，顯示接著時間的增加，可以減少膠材內因加入添加物後造成強度減低的影響。

由接著條件的測試實驗，我們選用接著溫度 240°C 、接著時間 100sec、以及接著壓力 0.25kgf 作為之後高溫高濕老化、高溫老化、

高溫環境測試的接合條件，因為在這個接著條件下，異向性導電膠膜可以得到最佳的接著強度，還可以避免不必要的高接著溫度。

5.3.2 DSC 固化程度檢驗

透過 DSC (Differential Scanning Carorimetry) 測試膠材薄膜，我們可以了解薄膜在經過接著後，是否已達完全固化。圖(5.17)為尚未進行接著的純膠材的 DSC 掃描圖，由圖中我們可以發現，膠材在未經固化前仍具有很高的反應性，DSC 測試後的掃描圖可以發現一個高峰值，顯示材料仍然具有可固化的性質；圖(5.18)為純膠材經過固化後，DSC 測試後的掃描圖，由圖中我們可以發現，純膠材在經過固化後已失去其反應性，DSC 測試後並未發現任何的高峰值，同時也顯示材料已完全的固化。

圖(5.19)為純膠材在 70°C 高溫條件下，放置 24 小時的 DSC 測試圖，圖中顯示純膠材在 24 小時之中，並沒有很明顯的放熱或是吸熱的現象，顯示材料並未因為 70°C 高溫環境而發生更進一步的固化情形；圖(5.20)為純膠材在經過 70°C 高溫環境 24 小時後，DSC 測試的掃描圖。測試圖顯示材料已固化完全，沒有任何的高峰值發生，與未經 70°C 高溫環境 24 小時的材料反應非常相近。

由 DSC 測試後，我們可以確定接合條件定為接合溫度 240°C、接合時間 100 秒、以及接合壓力 0.25 公斤重，可以使試片接著後材料完全固化，不會因為存放於高溫的環境下，因高溫老化時間的增加，而使接著後的試片產生第二次固化的現象。

5.3.3 高溫環境下機械性質的變化

選定接著條件後，我們可以逐步的進行膠材在接著後，各種不同測試下對膠材接著的影響。首先，我們設計不同的環境溫度，觀察四

種異向性導電膠膜對溫度的敏感性，了解膠材隨溫度變化，接著機械強度的改變，並透過破壞面的觀察，推論出破壞機制與機械性質變化之間的關聯性。

實驗結果如以下各圖所示，圖(5.21)為四種膠材撥離強度隨不同溫度的變化情形，圖(5.22)~圖(5.25)為各種膠材的撥離測試隨溫度的變化情形。表(5.5)是四種異向性導電膠膜材料在各個溫度下測試的有效數據表。我們可以發現，溫度越高，黏著試片的撥離強度會越低，尤其是在測試環境為 125°C 時，因為此溫度已接近到膠材本體的玻璃轉換溫度，膠材本體逐漸由玻璃狀態(glassy state)轉換成橡膠狀態(rubbery state)，膠材本體已發生明顯的降伏現象，因此四種不同的異向性導電膠膜材料都發生撥離強度迅速下降的現象，並且四種材料的撥離強度非常接近，顯示膠材在 125°C 時接著能力已達到極限。

比較四種不同材料的異向性導電膠膜，我們仍然可以發現，未含有任何添加物的純膠材有最好的黏著強度，而僅添加導電粒子的異向性導電膠膜撥離強度則是和未含添加物的純膠材表現相近，兩者的撥離強度類似，此項結果說明在膠材內添加導電粒子並不會明顯的影響膠材的接著能力。撥離強度在異向性導電膠膜添加了無機粉體之後，便發生比較大的下降，由添加 10%和 20%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜材料可以發現到這個現象。但添加無機粉體的濃度對膠材的黏著強度並不會有太大的影響，從實驗結果可以發現，添加 10%或 20%重量百分比的無機粉體，撥離強度隨溫度的改變趨勢兩者相當接近，並沒有因為添加的量多寡，而發生撥離強度有太大的改變。

5.3.4 可靠度測試

本研究利用兩種不同的老化條件，來了解異向性導電膠膜在接合

後，在老化條件的影響下，撥離強度隨時間的變化情形。並由晶相顯微鏡觀測試片橫截面，以及運用掃描式電子顯微鏡觀察試片破壞面，藉以推測試片的破壞機制。實驗分析如下：

5.3.4.1 高溫老化環境下機械性質的變化

本研究以 70°C 作為高溫老化溫度，選擇七個不同的時間點觀察試片隨高溫老化時間的增加，撥離強度的變化情形，七個時間點分別是：24、48、72、120、250、500 以及 1000 小時。實驗結果如圖(5.26)所示，表(5.6)是四種異向性導電膠膜在經過七種老化時間後，得到的撥離強度測試有效數據表，我們可以發現以下幾個現象：

- a. 未含任何添加物的純膠材與僅含導電粒子的異向性導電膠膜在 24 小時老化後，撥離強度有很明顯的提高。之後隨老化時間的增加，撥離強度逐漸升高，並於 250 小時後趨於穩定。
- b. 含 10% 與 20% 重量百分比的異向性導電膠膜隨老化時間增加，撥離強度有逐漸升高的趨勢，並在 500 小時後趨於穩定。
- c. 四種不同膠材的撥離強度隨老化時間增加後便開始升高，並未因為老化時間過久而發生劣化的情形。
- d. 四種膠材在高溫老化的測試中，數據的離散性不大，且撥離時的撥離強度穩定區域非常明顯，易於量測材料的撥離強度，顯示材料在高溫老化環境下，膠材的接合有隨時間更加穩定的情況。

由於前面薄膜塊狀材料測試，我們已經可以確定，膠材本體並不會因為高溫老化時間增加而破壞強度變高的情況，因此，四種材料在黏著後產生隨高溫老化時間增高而撥離強度變高的現象，其中的原因主要來自膠材與黏著面之間強度發生變化。

由於銅片在高溫環境下容易發生氧化的情形，銅片氧化後會使銅

片與異向性導電膠膜之間的介面的接著強度提高，因此造成撥離強度的增高，並使撥離時破壞在銅片表面的機會降低。但經過一段時間後，銅片表面的氧化會逐漸飽和，於是接著強度便不再改變，撥離強度也趨於穩定。

實驗結果發現在長期的高溫老化後，材料並沒有因為在高溫下老化而發生脆性劣化的情況，顯示膠材本體在 75°C 高溫老化後仍能維持穩定的材料性質，75°C 高溫老化並不會帶給膠材本體太大的損害。

5.3.4.2 高溫高濕老化後機械性質的變化

本研究以 85°C/85%RH 為高溫老化測試條件，選擇七個不同的時間點觀察試片隨高溫高濕老化時間的增加，撥離強度的變化情形，七個時間點分別是：24、48、72、120、250、500、以及 1000 小時。實驗結果如圖(5.27)所示，表(5.7)是四種異向性導電膠膜在經過七種老化時間後，得到的撥離強度測試有效數據表，我們可以發現以下幾個現象：

- a. 48 小時前與高溫老化測試測試相同，四種材料的撥離強度均發生上升的情況。
- b. 經過 48 小時後，四種膠材同時發生撥離強度下降的情況，尤其以不含任何添加物的純膠材的變化最為激烈。純膠材的撥離強度下降至 500 小時後便到達最低，另外三種材料則是在 250 小時後發生最低撥離強度，撥離強度到達最低值後，四種材料均有撥離強度略為上升的現象。
- c. 1000 小時後的撥離強度測試比 500 小時後的撥離強度有明顯的上升，四種材料中除含 10%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜比較穩定外，其他三種材料均有蠻大的撥離強度提高現象。

d. 高溫高濕老化的撥離強度測試所得到的數據離散性比較大，顯示高溫高濕老化測試環境比較惡劣，使同一條件下的試片中有部分試片機械性質發生比較大的變化，造成接著部分的材料強度不均勻，影響撥離強度穩定區域減短，甚至不易觀察，使得每次測試定義撥離強度的困難度增高，誤差也會因此產生。

由之前異向性導電膠膜的薄膜塊狀材料高溫老化的測試我們可以發現，異向性導電膠材本體並不會因為高溫老化後，膠材本體的破壞強度有很明顯的下降或上升，因此我們推論，造成撥離強度在高溫高濕老化環境下發生變化的主因應該是異向性導電膠膜與 ITO 玻璃，以及異向性導電膠膜與銅片薄膜之間的介面發生接著強度的改變。

由高溫老化的測試我們可以發現，銅片薄膜發生氧化會使接著強度升高。同樣的，在高溫高濕老化的環境下，銅片薄膜也會發生氧化的現象，且由於 85°C 略較 70°C 高，並且在 85°C/85%RH 的環境下還有加入濕度的侵襲，因此造成銅片薄膜發生氧化的現象會更快又更劇烈。所以我們可以發現四種不同的異向性導電膠膜在一開始 24 小時後撥離強度同時有激烈的上升情況。

但經過 24 小時之後，水氣逐漸侵襲銅片薄膜與 ITO 玻璃表面，由於銅片薄膜與異向性導電膠膜的介面已發生銅片的氧化，且銅片薄膜與異向性導電膠膜的接觸面是粗糙銅面，介面之間凹凸不平，因此水氣不易由銅片薄膜與異向性導電膠膜的介面間侵入。而 ITO 玻璃與異向性導電膠膜的介面間十分光滑，ITO 玻璃也不會因為溫濕的條件發生任何的變化，因此水氣非常容易由 ITO 玻璃與異向性導電膠膜的介面間侵入。

由於水氣的侵入比銅片的氧化慢，因此撥離強度在 24 小時後先

發生上升的現象，銅片的氧化到 24 小時後便趨於穩定，但水氣的侵入卻尚未飽和，因此在 24 小時後水氣仍然不斷的由外界侵襲到異向性導電膠膜之中，造成介面之間的接著力逐漸下降，這個下降的趨勢並不快，而且隨材料的不同有不同的下降趨勢。

未含任何添加物的純膠材因為介面間的材料具有最高的均向性，因此水氣可以從各個方向侵襲入內，因此純膠材的撥離強度下降的趨勢最快，下降的時間也最久，大約到 500 小時後才挺停止撥離強度的下降；另外三種材料，則隨添加物的多寡而有不同的下降趨勢，未含無機添加物的異向性導電膠膜撥離強度下降的趨勢和純膠材的下降趨勢比較類似，在 250 小時後撥離強度的下降情形非常接近，但到了 500 小時後，純膠材撥離強度仍然持續下降，但不含無機粉體的異向性導電膠膜撥離強度已持平不再下降，其中的原因在於異向性導電膠膜內含導電粒子，阻礙了水氣由 ITO 玻璃與膠材介面侵入的方向，使水氣無法完全的侵入介面，使得介面的接著強度降低程度下降。

內含 20%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜，是四種膠材中添加物量最大的膠材，因此在經過高溫高濕老化 24 小時後，撥離強度的下降程度最小，甚至到 120 小時後撥離強度便停止下降，因為內含 20%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜在 ITO 玻璃以及膠材的介面上含有最多阻止水氣侵入的添加物，使得水氣在 120 小時後的侵入便到達飽和，而內含 10%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜的撥離強度則是和不含無機粉體的異向性導電膠膜類似，撥離強度在 250 小時前趨勢幾乎相同，後來在老化 500 小時後兩者有比較大的差異，但到了 1000 小時後，兩者的撥離強度又恢復一樣，顯示 500 小時的測試可能有較大的誤差，並且我們可以發現，僅添加 10%重量百分比的無機粉體並不會對接著強度有很明顯的改變，但如果添加 20%

重量百分比的無機粉體，接著強度對抗高溫高濕老化的能力方面將有很大幅度的改善。

在高溫高濕 1000 小時後的撥離測試我們可以發現四種材料的撥離強度皆有上升的現象，且上升的情況不小。其中的原因可能是高溫高濕的測試在 700 小時附近機器發生故障，溼度停止了將近 12 小時，但溫度仍然持續的維持在 85°C ，可能是因此將試片中已累積的 700 小時的濕氣通通烤乾了，以致於後來將溼度修復完畢後，試片受到濕度的侵入狀況又恢復到和未受水氣侵入的狀況相近，重新再侵入的濕氣比水氣連續侵入 1000 小時的效果差，因此造成四種試片皆發生撥離強度上升的趨勢。

另外一個可能的因素是，試片在 1000 小時的高溫高濕環境測試後，膠材內含的導電粒子已經受到水氣的侵蝕，鎳粉表面也發生了氧化的現象，使得鎳粉粒子與膠材本身的接著度增加，強化了膠材本體的強度，並增加抵抗水氣侵入的能力，使得 ITO 玻璃與異向性導電薄膜間的介面強度變高，最後便造成撥離強度的增高。

5.5 冷埋試片觀測

由於未含任何添加物的純膠材對高溫高濕的敏感度最高，撥離強度隨高溫高濕老化的時間變化最激烈，因此透過冷埋試片的製作，將試片加以拋光研磨，便可觀察到試片橫截面的損害情形，藉以了解純膠材在高溫高濕老化環境下，導致撥離強度下降的主要破壞機制，並由純膠材的觀測，來推測其他三種不同材料可能的破壞機制，圖(5.28)是純膠材接著組合試片冷埋後的試片圖，冷埋後的試片透過金相顯微鏡，便可以進行橫結面的觀察，結果分析如下：

由圖(5.29)~圖(5.33)我們可以發現接著試片在高溫高濕老化下

0、24、48、72、以及 1000 小時後試片的橫截面變化情形。尚未受到高溫高濕老化的試片無論在膠材與 ITO 玻璃或是膠材與銅片介面間幾乎都沒有水氣的侵入，甚至膠材內部也沒有發現水氣的侵入。

在高溫高濕老化 24 小時後，可以發現水氣出現在膠材內部，但膠材與兩種接著材料的介面間仍然未發現水氣，且可以由銅片薄膜與膠材的交介面發現部分的氧化銅分散其中，顯示在高溫高濕老化 24 小時後，銅片的氧化的情況已經非常顯著；在高溫高濕老化 48 小時後，已經可以發現水氣不僅發生於膠材內部，膠材與 ITO 玻璃間的介面也有發生水氣的侵入，但介面水氣侵入的情況並不明顯；到了 72 小時之後水氣的入侵已經相當顯著，膠材內部的水氣與 ITO 玻璃端介面的侵入的水氣已互相連接，形成大區塊的缺陷，並且額外可以發現氧化銅的分佈已由銅片薄膜端介面逐漸深入到膠材的中間部分。

高溫高濕老化時間到達 1000 小時之後，我們可以明顯的發現水氣的侵入已完全的連接，形成一塊相當大區域的缺陷，並且在 ITO 玻璃與膠材的介面也已形成一段連續的介面脫層，脫層和氣泡之間並有少許的連接，此現象可以說明水氣入侵已到達相當飽和的程度。此外，膠材本身也受到氧化銅充分的入侵，未受到水氣入侵的膠材部份已呈現均勻的淡紅色，顯示氧化銅已完全入侵膠材內部。

5.6 破壞斷面 SEM 觀測

由掃描式電子顯微鏡觀測破壞斷面，我們可以藉此推論試片的破壞機制，對接著後的試片破壞的現象可以有更深入的了解，由於異向性導電膠膜黏接於 ITO 玻璃面與銅片薄膜粗糙面之間，因此破壞斷面的觀測可以分成兩大部分，分別是 ITO 玻璃面以及銅片薄膜粗糙面兩大部分。由於高溫高濕老化的環境影響較高溫老化環境在撥離強度方

面有更多樣性的變化，尤其是在前 48 小時內有劇烈的上升與下降現象，因此，掃描式電子顯微鏡觀測的主要對象即是高溫高濕老化環境下，老化時間 0~48 小時內的四種異向性導電膠材隨老化時間的變化。

5.6.1 銅片薄膜粗糙面 SEM 觀測

圖(5.34)~圖(5.36)是由掃描式電子顯微鏡放大 100 倍後觀測到的銅片薄膜介面端由高溫高濕老化時間 0~48 小時的破壞情形，我們觀察的材料是不含添加物的純膠材。從圖片中我們可以明顯的觀察到膠材在尚未老化前，粗糙銅片面和膠材的黏接相當緊密，膠材破壞後殘留於銅片薄膜的部分相當多；但經過 24 小時的高溫高濕老化後，銅片表面有受到部分水氣的入侵，於是膠材破壞後殘留於銅片薄膜的部分有減少的現象，可以在銅片介面上發現許多在尚未老化試片上未發現的孔洞；而高溫高濕老化時間到達 48 小時之後，銅片表面的膠材殘留發生相當大的變化，本來粗糙且發生在膠材內部的膠材破裂，轉變成膠材與 ITO 玻璃面之間介面的破壞，由掃描式電子顯微鏡可以發現其破壞斷面相當光滑，顯示膠材與 ITO 玻璃之間的接著已失去作用，也是造成純膠材在 48 小時後撥離強度迅速下降的原因。

圖(5.37)~圖(5.38)是不含無機粉體的異向性導電膠膜在高溫高濕環境下老化 0 與 48 小時後，撥離測試後銅片粗面上的殘留膠材放大 5000 倍的破壞情形，我們可以發現，經過老化時間 48 小時後，膠材的斷面結合鍵結強度比較尚未經過老化的試片高。因此，老化 48 小時的試片破壞斷面的膠材具有比較高度的聚合情形，尚未老化的試片破壞斷面的膠材則呈現比較不平整，試片內有較多的孔洞與缺陷，以致於造成斷面粗糙。

圖(5.39)~圖(5.40)為含 20%重量百分比之異向性導電膠膜在高溫

高濕環境下老化 0 和 48 小時後，撥離測試後在銅片粗面殘留膠材放大一萬倍的破壞情形，我們同樣的也可以發現，未經過老化測試的膠材具有比較多的缺陷，破裂面有很多的孔洞與不平整，相反的，經過 48 小時老化後的膠材，斷面結合鍵結與缺陷變少，試片的破壞面顯得比較平整，殘留的膠材聚集的程度也比未經過老化測試的試片高。

5.6.2 ITO 玻璃面 SEM 觀測

圖(5.41)~圖(5.44)分別是四種不同材料的異向性導電膠，尚未經過高溫高濕老化測試前，撥離測試後在 ITO 玻璃上殘留之膠材破壞斷面；圖(5.45)是不含任何添加物的純膠材在高溫高濕老化測試 24 小時後，經過撥離測試之後在 ITO 玻璃上殘留之膠材破壞斷面；圖(5.46)~圖(5.48)分別是另外三種不同材料的異向性導電膠，在經過高溫高濕老化測試 48 小時後，經過撥離測試後在 ITO 玻璃上殘留之膠材破壞斷面；圖(5.41)~圖(5.48)的放大倍率均是 100 倍。從以上的八張圖中，我們可以很明顯的發現，四種材料在未經過高溫老化前，撥離測試後破壞面的缺陷很少，破壞主要發生於膠材內部，而非 ITO 玻璃與膠材的介面之間。但在四種膠材經過高溫高濕老化後，我們可以發現破壞面缺陷很多，不僅破壞在 ITO 玻璃的介面間的現象增高了，此外，膠材破壞面的不平整度也提高了，增加了很多微小的孔洞，這兩樣現象均證明膠材的介面開始受到水氣的入侵，受到水氣入侵的部分破壞的斷面便開始由膠材的內部轉移到 ITO 玻璃與膠材的介面間，並導致撥離強度的下降。

圖(5.49)~圖(5.50)分別為含 20%重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜，在未經過高溫高濕老化環境前，撥離測試後殘留的膠材，經

過掃描式電子顯微鏡放大 5000 與 10000 倍後的破壞斷面情形，從圖片我們可以發現，破壞斷面有很多不均勻的孔洞，顯示膠材內部有些許的缺陷。圖(5.51)~圖(5.52)分別為含 20% 重量百分比無機粉體的異向性導電膠膜，在經過高溫高濕老化環境老化 48 小時後，撥離測試後殘留於 ITO 玻璃面的膠材，經過掃描式電子顯微鏡放大 5000 與 10000 倍後的破壞斷面情形，從圖中我們可以發現，破壞面有粒子被扯下的痕跡，經過大小的量測後，我們發現被扯下的粒子就是摻著於異向性導電膠膜內部的導電粒子鎳球，其尺寸大約是 $5\mu\text{m}$ ；此外，我們也發現有大小約 $0.6\mu\text{m}$ 粒子顆粒殘留，形狀是光滑的球形，和材料的成分比對之後，我們可以確定此粒子就是摻著於膠體內部的無機粉體 SiO_2 。由掃描式電子顯微鏡的觀測讓我們確定，添加於膠材內部的無機粉體與導電粒子，在經過高溫高濕老化環境後，和膠材本體之間會因為濕氣的入侵，導致兩者間發生脫層與分離，使得撥離測試進行時，撥離的破壞機制發生於膠材本體與導電粉體還有無機粉體的介面間，此現象也將導致撥離強度的下降。

5.7 破壞斷面圖片觀測

由數位相機的拍攝，我們可以用肉眼直接觀察到試片破壞後的斷面情形，並了解試片撥離強度與破壞斷面變化的情形。圖(5.53)~圖(5.56)分別是不含任何添加物的純膠材在高溫高濕老化的環境下老化 24、48、500、以及 1000 小時後，試片破壞面的外觀情形。從圖中我們可以發現純膠材在高溫高濕環境下老化 24 小時後，撥離測試後，膠材破壞殘留於銅片的量比留在 ITO 玻璃面少，但是兩個介面之間均有膠材殘留，且破壞斷面呈現粗糙不平，顯示膠材的撥離破壞主要發生於膠材本體。純膠材經過高溫高濕老化 48 小時之後，膠材的破壞

面開始有比較大的變化，由圖(5.54)我們可以發現，銅片薄膜上有部分區域沾有大量的膠材，沾有大量膠材的區域斷面相當平滑，且在同樣位置的 ITO 玻璃面完全沒有任何膠材的殘留，此現象顯示純膠材在經過 48 小時高溫高濕的老化後已有部分區域受到水氣完全的入侵，使得膠材與 ITO 介面間的接著能力完全喪失，造成撥離測試進行時，破壞斷面集中於接著能力微弱的 ITO 玻璃與純膠材介面間 此現象也是導致撥離強度急速下降的主要原因。

由圖(5.55)與圖(5.56)我們可以發現到和圖(5.54)類似的現象，ITO 玻璃與銅片薄膜介面間的接合有部分區域已經因水氣的入侵而發生損害，也因此可以了解，水氣入侵到膠材主要發生於 ITO 玻璃與銅片介面間，但並不會因為老化時間的增長，導致全部介面的接著能力完全喪失，水氣的入侵由老化時間 48 小時後便逐漸到達飽和，不會再繼續侵蝕 ITO 玻璃與膠材介面之間。

圖(5.57)與圖(5.58)是不含任何添加物的純膠材在 70°C 高溫環境下老化 24 小時與 500 小時的試片破壞面外觀情形，從圖中我們可以發現，純膠材在高溫老化的環境下的破壞斷面非常粗糙，膠材均勻且平均的殘留 ITO 玻璃與銅片薄膜兩個介面上，顯示在高溫老化的環境中，撥離測試主要的破壞機制發生於膠材本體，且膠材本體並未因為高溫的環境而發生脆化的情形，因為破壞斷面仍維持粗糙，沒有看到脆化的膠材殘留其中。

圖(5.59)~圖(5.61)為不含任何添加物的純膠材在 75°C、100°C、以及 125°C 的高溫環境下，進行撥離測試後的試片外觀圖。從圖中我們可以發現，在溫度越高的測試環境下，膠材與 ITO 玻璃介面上的接著能力會開始下降，從圖(5.60)與圖(5.61)我們可以發現，在 100°C 與 125°C 的高溫測試環境，殘留於銅片薄膜的部分區域的膠材破壞斷面

呈現光滑，並在對應的 ITO 玻璃面沒有任何的殘留，可以證明 ITO 玻璃與膠材的介面黏著能力已隨溫度的升高而喪失，這便是造成撥離強度隨溫度升高而降低的主要原因了。

