

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

非導電膜於智慧型標籤與軟性基板覆晶接合製程之研究 (II) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 96-2221-E-040-006-
執行期間：96年08月01日至97年07月31日
執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系(所)

計畫主持人：莊正利

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：陳韋豪

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中華民國 97年10月09日

非導電膠於智慧型標籤與軟性基板覆晶接合製程之研究(II)

Study on RFID chip flip bonding to flex substrate using a non-conductive paste

計畫編號：NSC 96-2221-E-040-006

執行期間：96/08/01 - 97/07/31

計畫主持人：莊正利 中山醫學大學職業安全衛生學系 副教授

研究助理：陳韋豪 中正大學機械研究所 研究生

一、中文摘要

本研究結合熱音波覆晶接合製程與非導電膠，將晶片覆晶接合於軟性基板之銅電極，對覆晶接合之試片進行可靠度驗證，施以高溫儲存、溫度循環、高溫蒸煮、恆溫恆溼等可靠度測試，期以加速元件失效速率，並由機械性剝離試驗量測晶片金凸塊與軟性基板銅電極之接合強度；以掃描式電子顯微鏡觀察其接合界面之顯微結構，觀察晶片與軟性基板之剝離破壞模式，進而推論期失效機制；以熱差分析儀、歐傑電子儀，分析非導電膠固化率之變化與接合介面原子之交互擴散行為，綜整上述之實驗結果，判斷其失效機制，並驗證此一新式製程可靠度之優劣。

經高溫儲存試驗後，矽晶片與軟板之剝離強度隨高溫儲存時間增長而提升，其結合強度甚至高於軟板鍍膜之強度，但經800、1000小時後，部份金凸塊與軟板銅電極分離，造成剝離強度之誤差值上升，顯示其可靠度不佳。配合歐傑電子儀分析結果發現，在長時間持溫下，金/銅原子相互擴散距離有所提升，故使矽晶片與銅電極之接合強度相對增加。溫蒸煮試驗168小時後，非導電膠吸收了大量溼氣致使晶片與軟板接合部分產生脫層，當時間達240小時，試片外側之非導電膠與軟板完全分離，僅剩金凸塊與銅電極間之接合，失去非導電膠密封保護，水氣逐漸直接侵入接合介面使其劣化，加上受熱後不同之構裝元件熱膨脹係數之差異，故使構裝元件失效，而在溫度循環與恆溫恆濕試驗中，試片並無任何脫層、分離等缺陷。

關鍵字：熱音波覆晶接合、非導電膠、可靠度分析

二、英文摘要

The purpose of this study is to verify the reliability of chips bonded on flex substrates using thermosonic flip-chip bonding process with a non-conductive paste. High temperature storage (HTS) test, thermal cycling test (TCT), pressure cooker test (PCT) and high

temperature/high humidity (HT/HH) test were conducted to examine the reliability of gold stud bumps bonded on copper electrodes. The environmental parameters for reliability tests were complied with the JEDEC standards. After reliability tests, the peeling test and microstructure observation for tested specimen were performed to evaluate the reliability. The bonding strength increased with increasing the storage durations. After peeling test, a gold bump with the copper film can be observed on the fractured morphology of chip side, it indicates that bonding strength between gold bumps and copper electrodes was even higher than that adhesive strength of flex substrates. The HTS test provides thermal energy to promote interdiffusion between gold bumps and copper electrodes. A metallurgical bonding between gold bump and copper electrode was formed, and the bonding strength is thus improved. However, a portion of bonding interface between gold bumps and copper electrodes appeared separation after HTS test at 800h and 1000h. This phenomenon results in increasing the error bar of bonding strength. After PCT test at 168 h, a typical separation between NCA and flex substrates was observed. The bonding strength is thus degraded due to delamination at interface of NCA/substrates. The bonding strength increased with increasing tested durations of HT/HH test. Neither cracks nor defects at bonding interface are observed. The reliability of HT/HH test for chips bonded on flex substrates using thermosonic flip-chip process with a nonconductive paste meets the requirements stated in JEDEC standards.

三、文獻回顧

Lee[1]等人使用非導電膠接合於硬性基板，利用熱差分析儀探討其固化特性，實驗結果證實該製程技術可通過熱循環、熱衝擊、高壓蒸煮之可靠度測試。且指出非導電膠接合的三個關鍵因素為時間、溫度、接合負荷，適當溫度可使基板與非導電膠的溫差降到最低，並在非導電膠未發生交互連結(cross-linking)之前將其接合，溫度過低無法使非導電膠產生交互連結，過高的溫度易造成基板損傷。接合負荷須能將金凸塊壓平在同一平面上，若接合力不足時晶片會受到來自

於非導電膠的阻力使得基板電極與金凸塊無法接合。

為驗證膠膜與凸塊接合後之導電性與可靠度，Lee[2]等人比較五種不同凸塊製造方式與鐳墊表面之處理方式，並以絕緣底膠、異方向性導電膜、異方向性導電膠、非導電膠作為接合方式，再經由高溫儲存、溫度循環可靠度試驗後，透過四點及菊形鏈(Daisy-Chain)量測，可靠度測試前後變化情形。實驗結果指出金凸塊(Stud Bump)以非導電膠接合，其電阻變化最小且良率最高，並發現高溫儲存對於電阻的影響較溫度循環試驗小，且基板翹曲使得外緣的電阻會比中央的電阻來的高，係因溫度不斷的反覆變化，膠與基板之熱膨脹係數差異過大所造成。

對於晶片與軟板之間接合品質大多以電阻量測的或接合介面之顯微結構判斷接合是否良好，Uddin[3]等人指出異方向性導電膠膜固化率對於晶片與膠膜之剝離強度及電阻大小之間具有關聯性，發現當接合溫度上升其剝離強度也相對提高，其原因為當膠膜受熱後內部產生交互連結形成緻密的三維網狀結構，接合溫度提高則會加速此反應，但若溫度過高軟性基板容易產生變形並使鐳墊氧化，因此選用適當的溫度，可有效的將凸塊與基板接合並降低接點之電阻。同時輔以四點量測得知不同接合溫度造成的電阻變化，也發現當接合溫度越高電阻越低，印證剝離強度與電阻大小有直接的關係。

Teh[4]等人利用非導電膠接合於硬性基板後以高溫儲存、溫度循環、恆溫恆濕、高溫蒸煮等可靠度測試探討其失效機制並透過有限元素法模擬其可靠度測試環境兩者相互驗證，結果顯示元件的失效原因可歸咎非導電膠吸收溼氣而膨脹，使凸塊與電極與膠體產生分離現象，另一原因為非導電膠與基板凸塊之間的熱膨脹係數差異使垂直於基板表面方向應力鬆弛使非導電膠產生脫層的現象。

Chiang[5]等人以非導電膠與非導電膜覆晶接合於軟性基板，並進行高溫儲存500小時與高溫蒸煮192小時兩項測試，分析其可靠度。當高溫蒸煮試驗時間達96小時，電極與凸塊之間產生些微間隙造成電阻上升，且非導電膠出現脫層現象，隨著試驗時間增加，接點電性失效的情形也亦趨於嚴重，主因歸咎於非導電膠吸收了大量溼氣使膠體產生膨脹，加上構裝元件

彼此熱膨脹係數差異，造成此一結果。當高溫儲存試驗之持溫時間達500小時，接合試片亦出現凸塊與電極分離現象。

四、實驗方法

為確保晶片與軟性基板接合試片之穩定性，擬沿用之前製程技術研究結果，設定晶片載台加熱溫度為200°C、超音波功率為14.46 W、接合時間為0.5 sec、固化溫度為140°C、固化時間為40 sec、負荷1130gf，每一剝離試驗至少6個晶片，用以探討接合負荷對銅晶片藉由非導電性膠接合於軟性基板接合強度之變化。為能得知銅晶片以熱音波覆晶膠合於軟性基板之可靠度，能否符合JEDEC規範，需由各項可靠度試驗之結果，判斷其可靠度之優劣與其可能失效機制，進行相關分析與研究。故本研究之擬採用高溫儲存、溫度循環、恆溫恆濕、高溫蒸煮等可靠度測試，每隔一段固定時間設一檢查點，觀察金凸塊鐳點與軟性基板在不同的環境下，其接合強度之變化情形。試驗條件如Table 1所示[6-9]。可靠度測試後之試片輔以機械性剝離試驗與微觀接合介面觀察，並由熱差分析儀、歐傑電子儀分析非導電膠固化率之變化與接合界面原子之交互擴散率，綜整實驗試驗結果，判斷晶片與軟板之失效機制，並以此驗證此一新式製程之可靠度。

五、結果討論

5.1剝離強度分析

5.1.1空孔對於剝離強度之影響

晶片與軟板剝離試驗後，觀察晶片側之剝離面存在部分微空孔(Void)，為驗證超音波功率對於空孔形成之影響，故另行製作無超音波功率輸入之試片，比較兩者接合介面之差異。無超音波功率輸入之接合介面亦出現部分空洞，如Fig.1所示，由此可知超音波功率之輸入，並非導致晶片與軟板接合介面產生空孔之主因，推測其原因為非導電膠於塗佈過程，吸收空氣中溼氣，當非導電膠受熱固化後，溼氣無法即時排出，造成此一缺陷。為確保剝離試驗數值之精確度，因此針對具有空孔與無空孔存在之接合試片，進行剝離試驗分析，以釐清空孔對於剝離強度之影響，如Fig.2所示為兩者之剝離強度，差異值僅有0.04 N，相對於接

合強度而言，該值遠小於實驗值，應為實驗上可容許之誤差，故判斷此缺陷對於剝離強度影響有限，應不影響後續之可靠度分析。

5.1.2 超音波功率對於剝離強度之影響

晶片與軟性基板之剝離強度，主要為非導電膠受熱固化後之固化強度及金凸塊與軟性基板銅電極間之材料鍵結強度，為充分掌握矽晶片與軟性基板之剝離強度主要係受非導電膠之固化強度改變或是金/銅原子間材料鍵結強度之變化，需將非導電膠之固化強度、金凸塊與軟性基板銅電極之鍵結強度區分，故於接合製程中，將超音波功率設定為0，製作金凸塊與軟性基板上銅電極無接合之試片，以排除金凸塊與銅電極產生材料鍵結強度。超音波功率可移除塗佈於軟性基板上之非導電膠，使金凸塊與軟板之銅電極接合，形成有效之電訊通路，如Fig.3(a)所示，而無超音波功率輸入之接合之試片，金凸塊與銅電極間之非導電膠無法被移除，如Fig.3(b)所示，因此無超音波功率輸入之接合試片，其剝離強度來源僅剩非導電膠對軟性基板與矽晶片之固化強度，此方法將有效判斷影響剝離強度變化之主因。

5.1.3 非導電膠經可靠度試驗後固化率之變化

本實驗所採用非導電膠之固化參數溫度140°C、時間40 s，因此為得知非導電膠經可靠度試驗後，非導電膠固化率之變化，故將完成高溫儲存、恆溫恆溼、高溫蒸煮與熱循環可靠度測試後之非導電膠，由軟性基板上剝離取出，以熱差分析儀(DSC)分析非導電膠之固化率，如Fig.4所示。非導電膠未經可靠度測試前，在60°C與200°C間有一波峰產生，且落在正值區間，顯示非導電膠於固化製程中，並未達到100%固化，因而有吸熱之反應。另觀察經高溫儲存、恆溫恆溼、高溫蒸煮與熱循環可靠度測試後之非導電膠，經各項可靠度測試後，其熱差分析圖譜之波峰皆落於負值區間，顯示非導電膠已達到100%固化，故產生放熱反應。

5.2 高溫儲存試驗

5.2.1 剝離強度分析

熱音波覆晶膠合製程中，未輸入超音波功率之接合試片，經高溫儲存1000小時後，其剝離強度均保持在穩定區間中變化，剝離強度數值均在0.2N以下，如

Fig.5所示，參照前述之DSC分析結果(Fig.4)，可知經高溫儲存1000小時後，非導電膠之固化程度已達100%固化，但矽晶片與軟板之接合強度由0小時至1000小時，並未顯著提升，此一實驗結果得知非導電膠所提供之固化強度，並未隨高溫儲存之持溫時間增加而上升，亦未隨之衰退，均保持於穩定區間。

輸入超音波功率為14.46W之覆晶膠合試片，經高溫儲存200、400、600、800小時後，試片之平均接合強度值約為0.6N，而持溫800與1000小時後之接合強度誤差區間增大，如Fig.5所示。如前所述，矽晶片與軟性基板之剝離強度主要來源為非導電膠之固化強度、金凸塊與銅電極間之鍵結強度，由前述之實驗結果得知，經高溫儲存試驗後，非導電膠之固化強度並未明顯改變，故影響接合強度變化之主因，應為金凸塊與銅電極間接合強度之改變。而誤差區間增加原因，推測為部份試片，晶片側金凸塊與軟板銅電極間，產生部分分離，造成剝離強度弱化，而未產生分離缺陷之試片，金凸塊與銅電極間，金/銅原子交互擴散致使接合強度增加，此兩項因素影響下，造成誤差區間逐漸增大，顯示在長時間(800-1000小時)之高溫儲存測試後，接合強度顯現不穩定趨勢。

5.2.2 金凸塊與軟板接合界面Auger line scan分析

為證實高溫儲存可提高金/銅原子間之交互擴散，以歐傑電子分析儀之線掃描(line scanning)功能進行金凸塊與銅電極間，金/銅原子交互擴散分析，分析範圍為金凸塊到軟板上銅電極，並分別對未經高溫儲存試片與經高溫儲存之持溫時間1000小時試片進行分析，未經高溫儲存試驗之金凸塊與軟板接合介面，其二次電子影像圖如Fig.6(a)所示，接合介面良好且無缺陷存在，其金/銅原子交互擴散如Fig.6(b)所示，可清楚發現，金凸塊與銅電極間存在少量之交互擴散，亦顯示金凸塊與銅電極間，確實產生部分材料鍵結。當高溫儲存時間達1000小時，金凸塊與軟板銅電極之接合介面如Fig.7(a)所示，其接合介面亦相當完整。Fig.7(b)所示為金凸塊與銅電極間，金/銅原子之交互擴散曲線，比較Fig.6(b)與Fig.7(b)，可清楚發現，經高溫儲存測試持溫1000小時後，金/銅原子之交互擴散明顯的高於未經可靠度測試前之擴散深度，由此可知隨著高溫儲存試驗時間增加，金凸塊與軟板銅電極之金/銅原子

交互擴散深度亦隨之增加，相較於無超音波功率輸入之試片，其接合強度大幅增加，此一實驗結果與剝離試驗(Fig.5)之趨勢相符。

5.2.3剝離斷面分析

當高溫儲存試驗之持溫時間達200小時，剝離試驗後，於晶片側之破斷面上，出現金凸塊將銅電極帶起之現象，如Fig.8(a)所示，而對應之軟板側出現銅電極被剝離後之凹陷痕跡如Fig.8(b)所示，此觀察結果顯示金凸塊與軟板銅電極間之材料鍵合強度高於聚乙醯胺與銅電極鍍膜之強度。而持溫時間400與600小時之晶片側剝離斷面亦可發現相同情形，此實驗結果與前述之歐傑電子分析儀線掃瞄分析結果(Fig.7)相符，更可推論隨高溫儲存時間之增長，晶片與軟板銅電極之材料鍵結強度亦隨之提高。

配合剝離斷面之觀察與剝離強度之變化，若凸塊產生將銅電極帶起現象越明顯時，所得之剝離強度數值較高，若凸塊上未有銅箔殘留之現象，接合強度較低，在部份高溫儲存800小時後，晶片側之剝離斷面上，存在金凸塊完全無銅電極殘留，如Fig.8(c)、(d)所示，此結果說明為何經長時間(800-1000小時)高溫儲存試驗後，剝離強度之誤差區間增大。

5.2.4界面接合分析結果

為探究高溫儲存測試之持溫時間達800與1000小時，部分晶片與軟板之接合強度下降，致使誤差區間增大原因，檢視持溫時間達800與1000小時試片之橫截面，如Fig.9(a)、(b)所示，可發現金凸塊與軟板銅電極產生部分分離，推測原因為材料間因熱膨脹係數差異，當晶片與軟板接合後，試片變形受限制且無法自由膨脹或收縮，隨持溫時間增加，介面間熱應力不斷累積，使部份試片之接點產生分離，此一觀察結果比對經高溫儲存試驗持溫1000小時後，金凸塊與銅電極接合良好之二次電子影像圖(Fig.7(a))，矽晶片與軟板之接合強度(Fig.5)，可發現持溫800與1000小時後，誤差區間增加原因，係為部份試片產生金凸塊與銅電極分離，造成剝離強度弱化，而部分未產生分離缺陷之試片，金凸塊與銅電極之鍵結強度增加，故在此兩項因素影響下造成誤差區間逐漸增大，亦說明晶片與軟板之接合試片經高溫儲存試驗，持溫800與1000小時之可靠度不佳。

5.3溫度循環試驗

5.3.1剝離強度分析

Fig.10為試片經溫度循環測試後之剝離強度，未施加超音波功率試片之剝離強度穩定維持在約0.15N，由先前DSC分析結果(Fig.4)得知經溫度循環試驗後，非導電膠已完全固化，由此可知非導電膠並未因溫度循環測試，影響晶片與軟板間之剝離強度；施加超音波功率試片如Fig.10所示，晶片與軟板之剝離強度在各個溫度循環測試點，皆呈現一穩定值，該剝離強度約為0.4N，顯示溫度循環測試對晶片與軟板之接合強度影響不大。

5.3.2金凸塊與軟板接合界面Auger line scan分析

以歐傑電子能譜儀進行line scan分析原子之間交互擴散深度，經溫度循環測試0、1000次之試片，未經可靠度試驗之金凸塊與基板接合介面，其二次電子影像圖如Fig.6(a)所示，金/銅原子交互擴散情形如Fig.6(b)所示，由兩者波型交錯處可發現，金凸塊與銅電極間亦存在原子之交互擴散，顯示金凸塊與銅電極確實產生材料之鍵結。經循環次數1000次，其接合介面之二次電子影像如Fig.11(a)所示，由Fig.11 (b)可觀察出金/銅原子交互擴散情形，與未經溫度循環測試前，相對照下兩者交互擴散深度並無顯著之差異，可知在溫度循環測試環境下，金/銅原子間相互擴散深度並未隨之增加，故其剝離強度維持一穩定值。

觀察經溫度循環測試1000次之接合截面如Fig.12所示，金凸塊與銅電極接合介面並未產生任何裂縫或缺陷，且金凸塊仍與銅電極緊密接合，矽晶片與軟板電極維持良好電訊通路。由實驗結果顯示，軟板與晶片之界面接合十分良好，此一製程符合溫度循環測試規範之要求。

5.4高溫蒸煮試驗

5.4.1剝離強度分析

製程中未施加超音波功率之試片，經高溫蒸煮168小時後，非導電膠對於軟板之固化強度，隨高溫蒸煮時間增加而降低，由0.15N下降至約0.1N，如Fig.13所示，經336小時高溫蒸煮之試片，約有80%試片，呈現晶片完全與軟板完全分離之嚴重失效現象。推測原因為銅在高溼環境氧化且在高溫作用下，更加速其氧化行為，而非導電膠亦因濕氣與高溫影響，產生膨脹變

形，非導膠軟板產生些微分離，而測試條件在正壓下，水氣則由分離裂縫從外部逐漸滲入內部，裂縫漸漸成長與傳遞，因而出現晶片與軟板完全分離，造成剝離強度大幅下降。

施加超音波功率之試片，在24小時剝離強度無顯著之變化，直到試驗時間達168小時強度開始略為下降，當高溫蒸煮時間達240、336小時，剝離強度之平均數值雖有上升，但剝離強度之誤差值卻逐漸增大，如Fig.13所示。晶片與軟板試片並無出現晶片與軟板完全分離現象，由此推測應為高溫蒸煮試驗後，雖部份試片之非導電膠，對於軟板與晶片之固化強度產生弱化，但金凸塊與軟板銅電極之材料鍵結強度仍維持晶片與軟板間之接合，故無分離現象產生。

5.4.2 金凸塊與軟板接合界面 Auger line scan 分析

以歐傑電子儀進行line scan分析金銅原子之間之交互擴散，範圍為金凸塊到軟板銅電極，經高溫蒸煮336小時後之試片，金凸塊與銅電極維持良好接合，且無裂縫等缺陷產生，如Fig.14(a)所示，故可對原子擴散情形進行分析，金凸塊與銅電極間原子交互擴散情形，如Fig.14(b)所示，由金/銅原子之交互擴散情形，顯示金/銅原子之間交互擴散隨蒸煮時間增長有所提升，使金凸塊與銅電極間鍵合強度增加，此一實驗結果與Fig.13所示之剝離強度隨高溫蒸煮時間增加，剝離強度之平均值提高相符。

5.4.3 剝離斷面分析

以光學顯微鏡觀察高溫蒸煮時間為24小時後，晶片側之剝離斷面，如Fig.15(a)所示，呈現色澤與未經試驗前相同，均為銅膜之色澤；當試驗時間達240小時，晶片側之剝離斷面如Fig.15(b)所示，晶片四周型態呈現深綠色，僅內部金凸塊維持未進行高溫蒸煮試驗前之顏色，推測經過240小時高溫蒸煮之非導電膠，無法承受長時間高溫蒸煮環境，產生些微裂縫，造成水氣侵入元件內，而隨著時間的增加水氣之影響亦趨於嚴重，致使剝離強度值穩定性下降。

5.4.4 界面接合分析結果

SEM觀察經24、96、168、240、336小時高溫蒸煮測試後之接合介面，168小時高溫蒸煮試驗後之橫截面，如Fig.16(a)所示，晶片中央之非導電膠開始出現脫層，推測膠體吸收過多水氣及在高溫作用下使膠體

膨脹所造成，當時間至240小時，如Fig.16(b)所示，試片分離情形更為嚴重，晶片外部之非導電膠，幾乎完全脫離基板，僅由金凸塊維持接合，且裂縫由外部逐漸傳遞至內部，造成晶片與軟性基板分離，此一實驗結果可交互驗證Fig.15之推論，非導電膠高溫蒸煮240小時後，因受溼氣及高溫作用下產生膨脹，使試片外側之膠體與基板脫離，元件失去非導電膠膠封之保護，水氣逐漸直接侵入凸塊與基板之接合介面，並使其劣化，且非導電膠及軟性基板無法承受長時間高溫/高溼環境，以致固化強度下降，經長時間高溫蒸煮試驗後，使部分試片之剝離強度衰退

5.5 恆溫恆溼試驗

5.5.1 剝離強度分析

矽晶片與軟性基板接合製程中，未施加超音波功率試片之剝離強度，經0至1000小時恆溫恆溼可靠度測試後，數值在穩定區間微量變動，且在測試1000小時後，矽晶片與軟板之接合強度微量提升，如Fig.17所示，參考前述DSC分析結果(Fig.4)，得知經恆溫恆溼試驗1000小時後，非導電膠已達100%固化，顯示非導電膠之固化強度，並未受到環境及固化率之影響而產生顯著變化，且未發現恆溫恆濕測試後，晶片與軟板分離或脫層之嚴重失效現象，故接合強度之微量提升，應屬實驗誤差所致。

若熱音波覆晶接合製程中，施加超音波功率試片之剝離強度經200小時恆溫恆濕測試後，其接合強度與為作可靠度測試之接合強度相當，當測試時間達400小時後，晶片與軟板之接合強度逐漸上升，約在在600小時後，接合強度之變化趨近平緩，直到1000小時，接合強度在穩定區間變化，如Fig.17所示。測試時間200小時之接合強度與未試驗前差異不大之原因，推測為加熱溫度較低且測試時間較短，難以使金凸塊與軟板銅電極間，產生金/銅交互擴散，故剝離強度無明顯變化，而測試時間400小時後，矽晶片與軟板接合強度明顯上昇，應為測試時間足以使金/銅原子產生交互擴散效應所致。

5.5.2 金凸塊與軟板接合界面 Auger line scan 分析

以歐傑電子儀之線掃描功能分析金/銅原子間之交互擴散，經恆溫恆溼測試1000小時之試片，其接合介面之二次電子影像圖，如Fig.18(a)所示，顯示接合介

面無裂縫等缺陷產生。金凸塊與銅電極之原子交互擴散，如Fig.18(b)所示，相較未進行可靠度測試前之金/銅原子擴散曲線(Fig.6(b))與經橫溫恆濕測試1000小時後之金/銅擴散曲線(Fig.18(b))，可清楚發現經橫溫恆濕測試1000小時後之金/銅原子交互擴散更為提升，顯示在長時間恆溫恆溼測試環境下，金/銅原子間之交互擴散距離提升，使金凸塊與銅電極間鍵合強度增加，提升矽晶片與軟性基板之接合強度。

5.5.4 介面接合分析結果

SEM觀察經1000小時恆溫恆溼測試後之接合介面，如Fig.19所示，金凸塊與銅電極之接合介面，並未受到濕氣與溫度影響，產生裂縫或脫層等缺陷。綜整上述實驗分析結果，顯示軟板與晶片之接合良好，故接合強度值穩定性佳，符合恆溫恆溼測試規範之要求。

六、結論

對於未施加超音波功率之試片，經高溫儲存、恆溫恆溼、高溫蒸煮與熱循環測試後，非導電膠之固化率皆已達到100%，且除高溫蒸煮試驗外，非導電膠之固化強度並未受到可靠度測試環境影響而衰退，矽晶片與軟性基板之接合強度均在穩定區間中變動，且無顯著變化，維持高度穩定性。

經高溫儲存試驗後，矽晶片與軟性基板之接合強度隨持溫時間增長而上升，且其接合強度甚至高於軟性基板上之鍍膜強度，但在800、1000小時後，因部份金凸塊與銅電極接合介面因熱應力而產生分離，造成誤差區間逐漸增加。由歐傑電子儀分析結果證實，在長時間持溫下，有效提升金/銅原子之交互擴散，提高金凸塊與銅電極材料鍵結強度，進而提高軟板與矽晶片之接合強度。矽晶片與軟板接合試片經恆溫恆溼試驗後，矽晶片與軟性基板之接合強度隨測試時間增加而提高，其原因為長時間與高溫環境下，促成金凸塊與銅電極間，金/銅原子之交互擴散，提高凸塊與銅電極之材料鍵結強度，且經長時間測試後，金凸塊與銅電極之接合介面良好，並未出現裂縫、脫層或分離等失效缺陷，顯示矽晶片與軟板之覆晶膠合製程符合恆溫恆溼可靠度測試規範之需求；施加超音波功率之試片，經溫度循環可靠度試驗後，金凸塊與軟板電極，

並無任何缺陷產生，且其剝離強度仍維持穩定值。經高溫蒸煮試驗，試片在168小時非導電膠與晶片出現脫層，當時間達240小時非導電膠與基板產生分離，致使水氣侵入元件內部，致使部分試片之剝離強度大幅下降。

綜整實驗結果顯示此一製程在溫度循環測試、恆溫恆濕測試中，可靠度符合相關規範之要求，然高溫蒸煮168小時，出現脫層與微裂縫缺陷，故未來在非導電膠之抗吸濕性上，應為主要之研究課題。

七、計畫成果自評

本計畫研究結果已發表之相關論文：

1. 莊正利,陳韋豪,敖仲寧,李巡天,“矽晶片以非導電膠與熱音波覆晶製程接著於軟性基板之可靠度研究”,中國機械工程學會第二十五屆全國學術研討會論文集,2008年
2. 莊正利,陳韋豪,敖仲寧,黃國興,陳輝達“熱音波法與非導電膠將銅晶片接著於軟性基板之可靠度研究”,中國材料科學學會,2008年
3. C. L. Chuang, W. H. Chen, “On Reliability of Gold Stud Bumps Thermosonic Flip-Chip onto Flex Substrates with Nonconductive Pastes”, preparing submit to Journal of electronic materials.

八、參考資料

1. C. Lee, A. Yeo and T. A. Min, “Flip Chip Interconnection Systems and its Reliability Performance”, Electronics System integration Technology Conf, 2006, p.1032-1039
2. T.K. Lee, E. Lua, K.C. Low, A. Ng, H.W. Ng, “Bonding Development for Non-conductive pasts” Proc 5th Electronics Packaging Technology Conf, 2005, p.780-785.
3. M.A. Uddin, M.O. Alam, Y.C. Chan, H.P. Chan, “Adhesion strength and contact resistance of flip chip on flex packages-effect of curing degree of anisotropic conductive film”, Microelectronics Reliability, Vol.44, 2004, p. 505-514
4. L.K. Teh, E. Antoa, C.C. Wonga, S.G. Mhaisalkara, E.H. Wongb, P.S. Teob and Z. Chena, “Development and reliability of non-conductive adhesive flip-chip packages”, Thin Solid Films, 2004, p.446-453.
5. W.K Chiang, Y.C Chan, B. Relph, and A. Holland, “Process and reliability of Nonconductive Adhesives in Fine-Pitch Chip-on-Flex application”, Journal of Electronic Materials, Vol. 35, No.3, 2006, p.443-452.

6. JEDEC Standard, JESD22-A103-B, High Temperature Storage life, 2001.
7. JEDEC Standard, JESD22-A102-C, Pressure Cooker Testing, 2000.
8. JEDEC Standard, JESD22-A101-B, Temperature Humidity Test, 1997.
9. JEDEC Standard, JESD22-A104-B, Temperature Cycling Test, 2000.

九、圖表

Table.1 可靠度測試條件[6-9]

	High temperature storage Test	Temperature & Humidity Test	Temperature Cycling Test (air to air)	Pressure Cooker Test
Test Condition	+150 °C	+85°C/85%RH (no bias)	+125 °C /-55 °C	+121°C/85%RH 2atm
Read Point	200,400,600,800,1000 Hours	200,400,600,800,1000 Hours	100,300,500,800,1000 Cycles	24,48,96,168,240,336 Hours
Test Duration	1000 Hours	1000 Hours	1000 Cycles	336 Hours

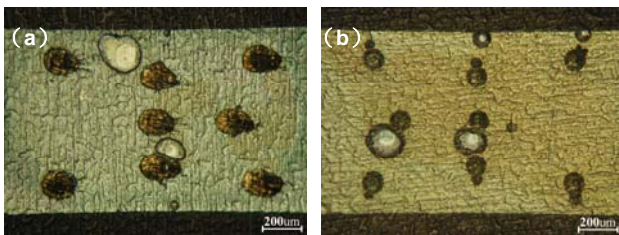


Fig.1 經剝離試驗之剝離斷面晶片側，(a)有超音波功率輸入，(b)無超音波功率輸入

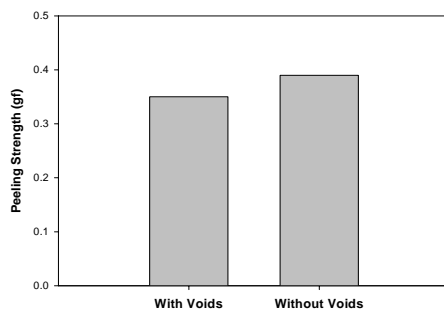


Fig.2 空孔對於剝離強度之影響

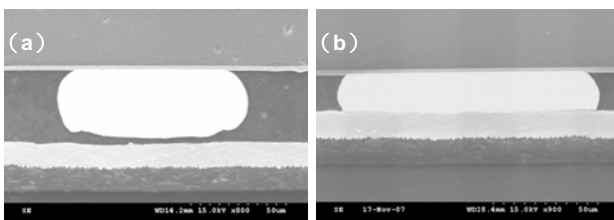


Fig.3 晶片金凸塊與軟板電極之橫截面圖，(a)無超音波功率，(b)有超音波功率輸入

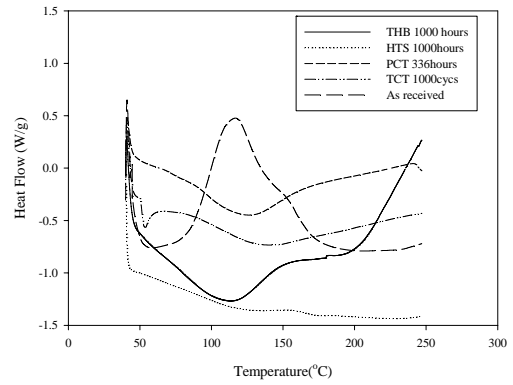


Fig.4 經可靠度試驗後非導電膠之DSC分析圖

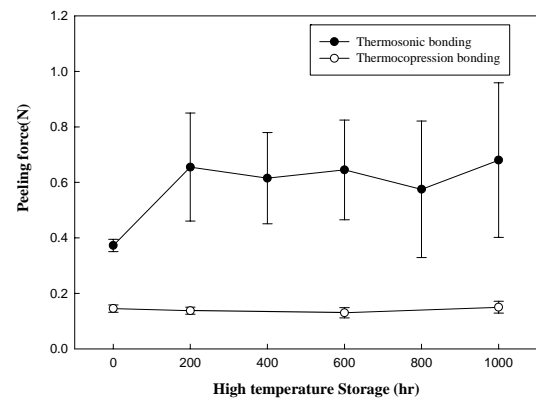


Fig.5 高溫儲存時間對剝離強度之影響

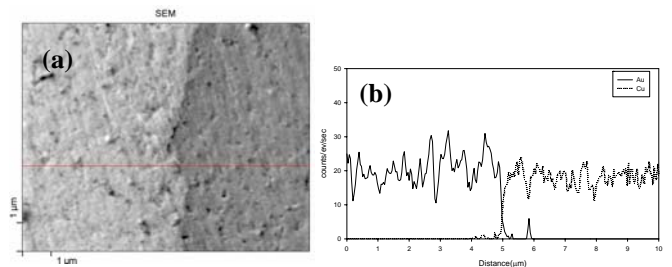


Fig.6 未經可靠度測試之金凸塊與基板接合界面(a)二次電子影像圖(b) line scan結果

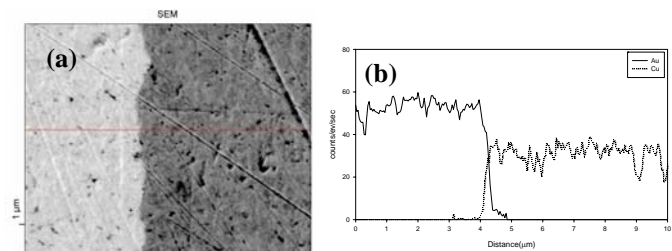


Fig.7 高溫儲存 1000 小時後之金凸塊與基板接合界面 (a)二次電子影像圖(b) line scan結果

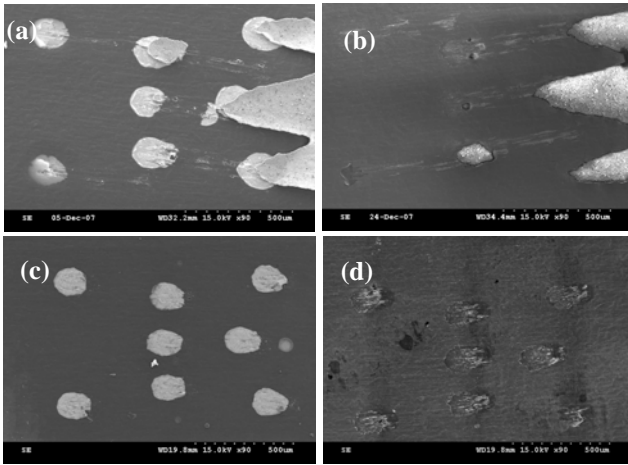


Fig.8 高溫儲存 200 小時之試片剝離斷面(a)晶片側(b)軟板側與高溫儲存 800 小時之試片剝離斷面(c)晶片側(d)軟板側

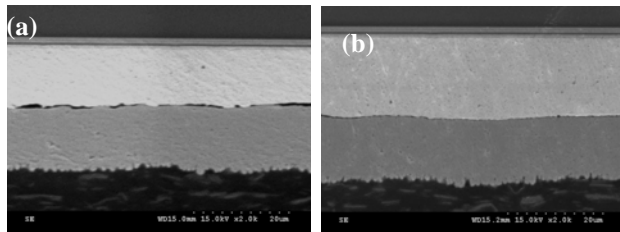


Fig.9 高溫儲存後金球凸塊與軟板之截面(a) 800 小時，(b)1000 小時間隙局部放大

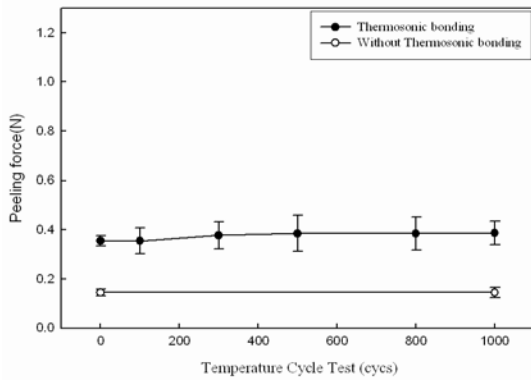


Fig.10 溫度循環次數對剝離強度之影響

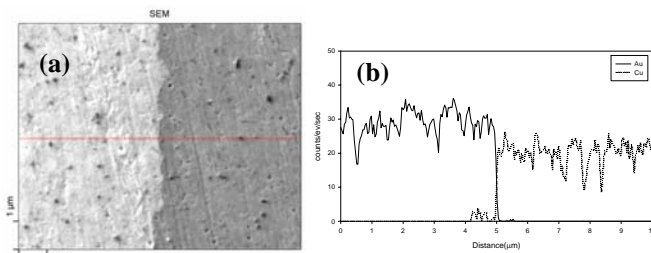


Fig11. 溫度循環 1000 次之金凸塊與基板接合介面(a)二次電子影像圖，(b) line scan 圖譜

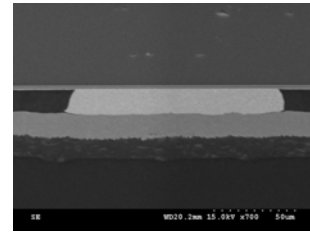


Fig.12 經溫度循環1000次金球凸塊與軟板之截面

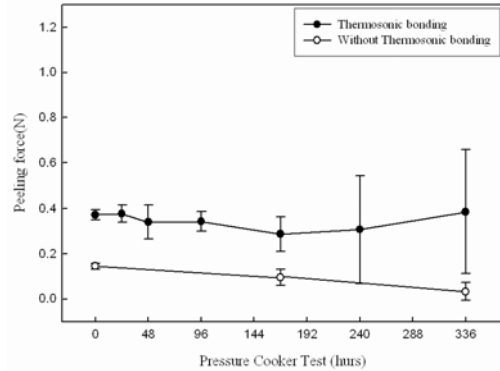


Fig.13 高溫蒸煮時間對剝離強度之影響

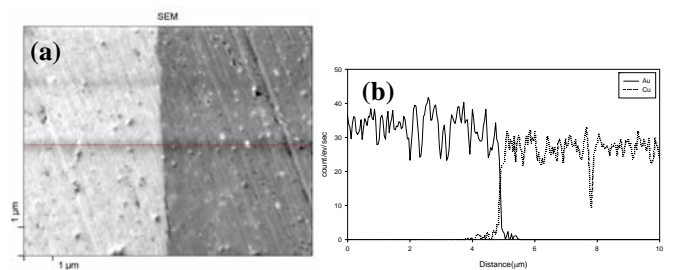


Fig.14 高溫蒸煮 336 小時之金凸塊與基板接合介面(a)二次電子影像圖，(b) line scan 圖譜

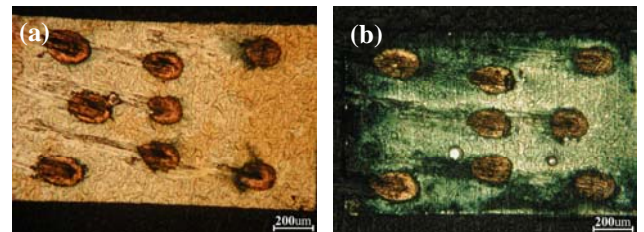


Fig.15 高溫蒸煮(a)24 小時(b) 240 小時(c) 336 小時後之晶片剝離面

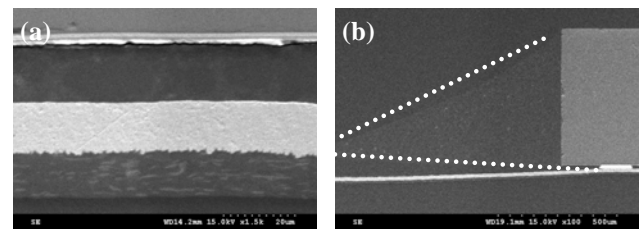


Fig.16 (a)高溫蒸煮 168 小時後晶片與軟板之接合界面晶片中間部分出現脫層現象，(b)高溫蒸 240 小時後，晶片與軟板之接合橫截面

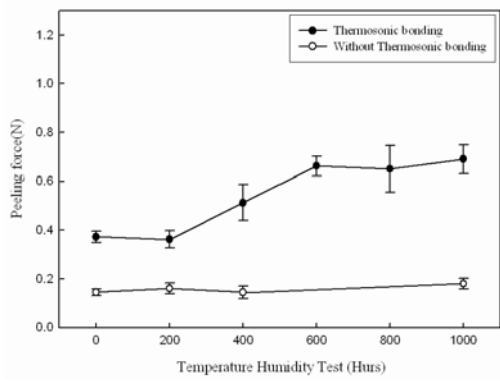


Fig.17 恆溫恆溼試驗時間對剝離強度之影響

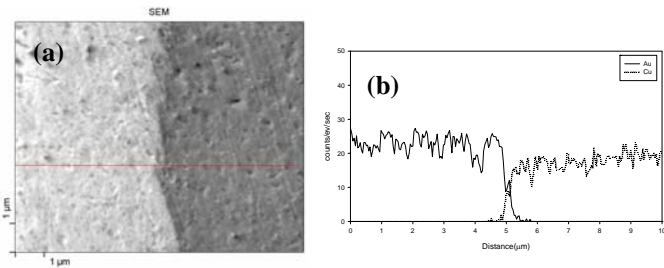


Fig.18 恆溫恆溼測試1000小時後之金凸塊與基板接合界面(a)二次電子影像圖(b) line scan 圖譜

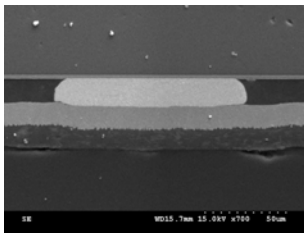


Fig.19 恆溫恆溼測試1000小時後之金凸塊與基板接合介面