

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 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-040-011-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系

計畫主持人：莊正利

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：陳韋豪

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年10月20日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

非導電膜於智慧型標籤與軟性基板覆晶接合製程之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2221-E-040-011

執行期間：95年8月1日至96年7月31日

計畫主持人：莊正利

共同主持人：

計畫參與人員：陳韋豪

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系

中華民國 96 年 8 月 1 日

非導電膜於智慧型標籤與軟性基板覆晶接合製程之研究

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

計畫編號：NSC 95-2221-E-040-011

執行期間：95/08/01 - 96/07/31

計畫主持人：莊正利 中山醫學大學 助理教授

一、中文摘要

本研究沿用去年度之研發成果，以熱音波接合技術於矽晶片之銅錐墊成功鍍著金凸塊(gold stud bump)，用以模擬射頻辨識系統(RFID)之智慧型標籤(smart tag)藉由非導電膠(NCP)與熱音波覆晶接合製程接著於軟性基板之製程研究，除探討該製程之可行性與適鍍參數外，並由金凸塊與軟性基板接合之顯微結構與剝離強度(peeling strength)探討非導電膠與熱音波覆晶接合製程之接合機理。實驗探討之重要製程參數包含超音波功率、接合負荷、非導電膠之固化溫度與固化時間。

實驗結果證實超音波功率於非導電膠與熱音波覆晶接合製程中，超音波之震幅可將塗佈於軟性基板銅電極上之非導電膠刮除，使金凸塊與軟性基板上之銅電極接合，於晶片與軟性基板電極間形成良好電訊通路。此外，適度提高熱音波覆晶接合製程中之超音波功率，可有效提高金凸塊與軟性基板之接合強度，亦即超音波功率可使金凸塊與銅電極間產生部分材料鍵結(metallurgical bonding)，進而提高其接合強度；若接合負荷太大，易造成矽晶片與軟性基板間之非導電膠填充量降低，接合強度隨之下降；而非導電膠之固化溫度太低，易造成非導電膠之固化不完全，接合強度隨之下降；延長非導電膠之固化時間，對矽晶片與軟性基板之接合強度並顯著提升。經實驗所得之理想的參數組合為超音波功率14.46 W，接合負荷500 gf，固化溫度140℃，固化時間40 sec，接合時間0.5 sec，矽晶片預接合溫度200℃。

關鍵詞：熱音波覆晶接合製程、軟性基板、非導電膠，高頻辨識系統。

二、英文摘要

The purpose of this study is to develop the process of thermosonic flip-chip bonding onto the flex substrate

using non-conductive paste (NCP) for radio frequency identification system (RFID). Effects of thermosonic flip-chip bonding parameters including ultrasonic power, bonding force, and curing temperature and curing time of non-conductive paste were investigated.

According with analytical results of DSC, a predicted model to determine the curing temperature and curing time for the non-conductive paste was proposed. The experimental results indicate that the ultrasonic power play an important role in removing partly NCP on flex substrate during bonding process, so that gold stud bump directly bonded on copper electrode to form an electrical path between the silicon chip and flex substrate. Increasing ultrasonic power results in metallurgical bonding between gold stud bumps and copper electrodes, bonding strength was thus promoted significantly. Improving curing temperature resulted in bonding strength increased, because the non-conductive paste was cured completely. No significantly increase in bonding strength for extending the curing time of non-conductive paste. Bonding strength decreased with an exceeding bonding force, which caused insufficient filling of NCP paste between the Cu chip and flex substrate. An adequate processing parameters can be obtained for chip with gold stud bumps thermosonic bonding to flex substrates with NCP as 14.46 W in ultrasonic power, 500 gf in bonding force, 140 °C in curing temperature, 40 sec in curing time and 200°C in preheating temperature.

A thermosonic flip-chip process for gold stud bumps onto flex substrates with NCP has been developed successfully. This scheme has great potential to be applied in RFID, TFT-LCD drive IC packaging.

Keywords : Thermosonic flip-chip bonding process, flex substrate, non-conductive paste (NCP), RFID.

三、文獻回顧

凸塊與基板電極之覆晶接合方式，依能量供給方式可分為熱壓接合、熱音波接合[1]與高分子膠接

合[2]三大類，熱壓接合技術之關鍵因子為：接合負荷與溫度，Nave [3]等人明確指出金凸塊以熱壓接合方式於氧化鋁基板電極，其溫度需大於300 °C，每凸塊之負荷至少需要50 cN，在此溫度下，對電子元件易熱損傷，接合界面之熱應力具負面影響，故對軟性基板而言，凸塊與軟性基板之覆晶接合已無法使用傳統熱壓接合方式。若採用熱音波接合方式，因凸塊難以將超音波功率完全傳遞至接合界面，部分接合能量在凸塊與軟性基板接合處會被軟性基板所吸收，難以完成凸塊與軟性基板電極之接合，故凸塊與軟性基板電極之接合，以覆晶膠合製程最為適合。Tan [4]等人將三種不同製程之凸塊，分別為熱音波植金凸塊、無電鍍金凸塊與電鍍方式之金凸塊，以異方性導電膠或非導電膠覆晶接合於軟性基板之電極，發現熱音波植金凸塊與電極接合後之電阻值最低，亦即表示熱音波植金凸塊製程最適合膠合製程，且接合後之可靠度測試發現經高溫儲存、熱循環等實驗，熱音波植金凸塊之可靠度最佳，故本研究選用熱音波植金凸塊製程於矽晶片上，製作實驗所需之金凸塊。

目前泛用之覆晶膠合製程包括：異方性導電膠(anisotropic conductive paste)、等向性導電膠(isotropic conductive paste)與非導電膠(non-conductive paste)三種[5]。Petteri Plam [6]等人將間距為80 μm之金凸塊，以異方性導電膠接合於軟性基板之電極，並添加含量不等之導電顆粒於黏膠中，發現凸塊與電極接合之電阻，隨導電顆粒增加而降低；而採用不同導電顆粒，在凸塊與軟性基板電極界面之接合方式亦有不同，當導電顆粒為鎳與金鍍層時，在相同負荷下，導電顆粒之變形量最大；若導電顆粒為不規則形狀之鎳顆粒或圓形鎳顆粒時，因鎳顆粒硬度較高分子為高，故鎳顆粒可有效穿越高分子膠，刮除凸塊上之氧化物。Woon-Seong Kwon [7]等人將金凸塊以異方性導電膠或非導電膠覆晶接合於軟性基板之電極，再以高溫、高溼度環境測試異方性導電膠與軟板接合後之可靠度，實驗結果指出金凸塊以非導電膠接合於軟性基板之電極，發生開路(open circuit)之失效現象最少，可保持良好電性。Yu-Te Hsieh [8]將凸塊以異方性導電膠或非導電膠覆晶接合於軟性基板之電極，於熱衝擊試驗分析，發現金凸塊以非導電膠接合於軟性基板之電極，測得電阻值最低。

M.A. Uddin [9] 沿用測試薄膜接合強度之剝離測試方法，運用於量測凸塊與軟性基板電極間接合強度，輔以四點探針量測接點在不同固化溫度之電阻值，實驗結果發現凸塊與軟性基板電極之接合強度，隨異方性導電膠固化溫度升高而增加，因為較高溫度之固化可使高分子膠之收縮強度提高，有效提高界面接合強度，同理，電阻隨固化溫度提高而降低。由此結果發現，在軟性基板可承受之溫度範圍中，提高異方性導電膠之固化溫度，可有效提高凸塊與電極之接合強度，並降低接點間之電阻值。S. C. Tan [10] 等人將金凸塊以非導電膠覆晶接合於軟性基板之電極，再以剝離試驗方法檢測其接合強度，並利用四點探針量測接點在不同固化溫度之電阻值，發現接合強度與電阻值，隨著固化溫度升高而增加，雖然提高固化溫度可有效提高凸塊與軟性基板電極接合強度，但接點間之電阻值卻隨之增加，所以須由凸塊與軟性基板電極接合之固化程度與觀察顯微結構來決定最佳理想參數。

就目前學術期刊或相關大型論文發表會議中，大部分均探討異方性導電膠應用於各種晶片與軟性基板電極之接合，或為異方性導電膠可靠度之探討。對非導電膠之應用與學理探討非常有限，故本研究擬開發非導電膠結合熱音波覆晶之關鍵技術，並進行相關學理之探究。

四、實驗方法

4-1 製程參數實驗

本實驗之目的探討以非導電膠接合矽晶片與聚亞醯胺軟板之製程關鍵技術，選用之非導電膠係為熱固型(thermosetting)膠體，故非導電膠之固化溫度與固化時間對矽晶片與軟板之接合強度扮演極為重要角色，為充分掌握非導電膠之固化特性，以熱差分析儀(DSC)分析非導電膠固化時間(curing time)與固化溫度(curing temperature)之關係。此外，矽晶片未貼合至軟板前，非導電膠需塗佈於軟板上，為達成矽晶片上之金凸塊與軟板上銅電極接合，達成電訊通路之封裝目的，故矽晶片貼合於軟板時，覆晶接合機提供超音波能量，藉由超音波之震幅將塗佈於軟板上之非導電膠刮除，而非導電膠之流動性與超音波去除非導電膠力存在相關性，故以流變儀測試非導電膠在不同溫度

下之流動性，並由此一分析結果，選定矽晶片與軟板預接合溫度(pre-bonding temperature)。

先將儲存於零下20°C之非導電膠取出放置於室溫環境，待其回溫後，將非導電膠塗佈於軟板上，並將晶片放置於200°C加熱平台上進行加熱，再將晶片以熱音波覆晶機吸取晶片，轉貼於塗佈非導電膠之軟板上，並由熱音波覆晶接合機提供晶片與軟板接合所需之超音波、下壓力等，待完成晶片與軟板之預接合後，將軟板與晶片放置於加熱爐中，進行不同溫度與不同時間非導電膠之固化處理。

固化後之矽晶片與軟板經金相前處理，以光學顯微鏡與掃描式電子顯微鏡觀察金凸塊與軟板之接合介面，並量測金凸塊之變形狀況，隨後將承載矽晶片之軟板裁切至一定尺寸，進行接合強度之剝離試驗(peeling test)，量取晶片與軟板剝離之最大強度，作為判斷非導電膠之接合強度是否足夠，並以電子顯微鏡觀察金凸塊與非導電膠剝離測試之矽晶片或軟板，該分析結果可作為判斷破裂模式之依據。

五、結果討論

5-1 非導電膠之流動與固化分析

將非導電膠放置於熱差分析儀進行恆溫加熱，經由非導電膠之吸、放熱反應可判斷非導電膠於恆溫加熱中相之變化，如圖 1 所示，由圖譜得知非導電膠之相變化起始溫度約為70°C，相變化結束溫度約為160°C，而圖譜中曲線與橫軸之面積為其固化所需之熱量，以此熱量為基準，經由DSC針對不同固化溫度與固化時間做圖，如圖 2 所示，此實驗結果證明非導電膠之固化程度與固化時間、固化溫度成正比，且由此結果可預知此一非導電膠之固化溫度若為175°C時，所需之固化溫度為10秒，若降低固化溫度，則固化時間需為增長，以提供足夠熱量，使非導電膠固化。

為瞭解非導電膠於各種溫度下之黏滯性，取非導電膠置於流變儀中，加熱至不同溫度，量測其流動性，如圖3所示，發現非導電膠隨加熱溫度由室溫增加，黏滯性越低，流動性越好，約在80°C時，其黏滯性最低，流動性最佳，但若溫度逐漸上升，非導電膠之黏滯性隨之急遽升高，亦即超過100°C時，該非導電膠呈現固化狀況，且隨溫度升高，固化強度越高，由此一分析結果得知，矽晶片與軟板之預接合溫度(pre-bonding

temperature)應設於約80°C，因該溫度之流動性最好，預接合時，矽晶片上之金凸塊應可順利將塗佈於軟板之非導電膠以超音波之震幅將其刮除，使金凸塊順利接著於軟板上。此一分析結果可掌握非導電膠之流動性與固化作為，該方法可廣用於業界，若更換不同非導電膠時，經由實驗室儀器分析，可預知初步參數範圍，有利於製程參數之選擇。

5-2 銅晶片與軟性基板接合界面觀察

矽晶片與塗佈非導電膠之軟板，經熱音波覆晶預接合後，參照上述熱差分析儀之實驗結果，設定其固化溫度為170°C，固化時間為10 sec，固化後以電子顯微鏡觀察其接合介面，可清楚發現金凸塊與軟板接合之橫截面均有氣孔存在，如圖 4 所示，該氣孔可能造成接合介面之脫離或降低金凸塊與軟板之接合強度，推測氣孔可能來源為非導電膠之固化速率太快，致使固化時間太短，非導電膠中水氣於固化瞬間無法離開非導電膠，進而形成空孔。故擬降低非導電膠之固化溫度為140°C，延長固化時間至40秒，固化後之橫截面並無氣孔存在，如圖 5 所示，此一實驗結果證實降低固化溫度、延長固化時間為降低非導電膠固化過程中，殘留氣孔之有效方法。

5-3 製程參數對矽晶片與軟板之接合強度影響

5-3-1 超音波功率

矽晶片與軟板接合且經固化後，將其鑲埋，經研磨、拋光等金相處理程序後，以光學顯微鏡與掃描式電子顯微鏡觀察金凸塊與軟板接合介面之微結構，圖 6 所示為金凸塊在下壓力500 gf、晶片預加熱溫度為200°C、接合時間0.5秒與無輸入超音波功率、固化溫度140°C、固化時間40秒後之橫截面圖，因無超音波功率輸入，金凸塊無明顯變形，且無法將塗佈於軟板電極之非導電膠刮除，導致金凸塊與銅墊間存在非導電膠，金凸塊與銅電極無法形成電訊通路，就封裝電訊通路而言，金凸塊與銅電極間無法形成有效電訊通路，此為不良封裝。若改變金凸塊與軟板銅電極接合之超音波功率為14.46W，其餘各接合參數均為固定，經固化，其橫截面之接合介面如圖 7 所示，清楚發現矽晶片上之金凸塊均與軟板銅電極相接，形成良好電訊通路。此一實驗結果證實超音波功率可有效移除塗佈於軟板電極上方之非導電膠，藉由超音波功率帶動

金凸塊尾部形成微量震幅，有效移除非導電膠，使金凸塊與銅電極形成良好通路。

固定接合負荷為500 gf，固化溫度為140°C，固化時間為40秒，接合時間為0.5秒，晶片預加溫度為200°C，改變超音波功率由0至17.62 W，探討其超音波功率對矽晶片藉由非導電膠接合於軟板接合強度之影響，實驗結果如圖 8所示，當未輸入超音波功率時，矽晶片與軟板之平均接合強度為0.39 N，此一接合強度高於超音波功率為4.2 W之值，由圖 6之橫截面得知，當未輸入超音波功率時，金凸塊與軟板電極間殘存一層非導電膠，而金凸塊與軟板電極之主要強度來自非導電膠之固化強度，故其接合強度較高。隨超音波功率之提高，矽晶片與軟板之接合強度隨之提高，其原因較高超音波功率輸入，可使部分金凸塊與軟板電極產生材料鍵結，進而提高兩者間之接合強度；當超音波功率提升至17.62 W時，其接合強度大幅下降，觀察接合後之橫截面圖，於矽晶片側之金凸塊與晶片上錫墊因超波功率過大，而產生分離，如圖 9所示，造成剝離強度之大幅下降。

綜整上述實驗結果，超音波功率在覆晶結合過程中，除刮除軟板上塗佈之非導電膠，使矽晶片之金凸塊與軟板上銅電極直接接合，形成電路導通訊號外，超音波功率可使部分之金凸塊與軟板之銅電極產生材料鍵結，助於提高矽晶片與軟板間之接合強度。

5-3-2 接合負荷

圖 10所示為改變接合負荷對矽晶片與軟板接合強度之影響，改變接合負荷由300 gf至1130 gf，其於超音波接合參數均為固定，如固化溫度為140°C、固化時間為40秒、接合時間為0.5秒、晶片預加溫度為200°C、超音波功率為14.46 W。矽晶片與軟板之接合強度隨接合負荷改變而改變，當接合負荷為300 gf時，其接合強度最低，平均接合強度約為0.26 N，對照剝離測試後，軟板上之接合型態，可發現無金凸塊之殘留物，如圖 11(a)，顯示金凸塊與軟板之接合強度完全來自於非導電膠之固化強度，而無金凸塊與銅電極之材料鍵結發生，此一實驗結果可驗證圖 10所述接合負荷太低原因；隨接合負荷達500 gf，矽晶片與軟板之接合強度亦達到最大值，觀察剝離試驗後，部分金凸塊殘留於軟板上，如圖 11(b)所示，此一現象說明金凸塊與軟板之接合強度來自於非導電膠之固化

強度與部分之材料鍵結強度，故其接合強度較高，隨接合負荷升高，矽晶片與軟板之接合強度隨之下降，觀察超音波接合後之橫截面與剝離試驗後之軟板表面型態，可發現金凸塊與軟板之接合直徑迅速增加且軟板上有部分殘留之金凸塊，如圖 11(c)、11(d)所示，金凸塊與軟板間雖有部分之材料鍵結，但金凸塊與軟板間，較大之接合直徑，造成非導電膠之體積減少，接合強度亦隨之減少。

影響金凸塊與軟板接合強度之主要因子為非導電膠之固化強度與材料之鍵結強度，由接合負荷變化之實驗結果得知，太低之接合負荷(300 gf)無法使金凸塊與軟板之銅電極產生材料鍵結，反之，負荷太高(1130 gf)易使金凸塊與軟板產生較大之接合直徑，造成接合介面之非導電膠體積減少，造成接合強度之衰退，故應選擇適當之接合負荷參數，維持較佳之接合強度。

5-3-3 固化溫度

非導電膠之固化強度對矽晶片與軟板之接合強度非常重要，因此改變固化溫度從120°C至180°C，其餘接合參數均為固定，探討固化溫度對矽晶片與軟板接合強度影響。圖 12所示為不同固化溫度下，軟板與矽晶片接合強度之改變。軟板與矽晶片之接合強度隨固化溫度增加而提升，為探討非導電膠置在不同固化溫度下之固化程度，以熱差分析儀(DSC)分析經不同溫度固化後，非導電膠之固化程度。圖 13(a)為經120°C固化後之非導電膠圖譜，顯示經120°C固化後之非導電膠非導電膠仍為完全固化，故該接合強度偏低，而比較經140°C、180°C固化後之非導電膠，如圖 13(b)、13(c)所示，顯然固化溫度越高，非導電膠之固化程度越佳，亦即矽晶片與軟板之接合強度越高。

雖然固化溫度越高，非導電膠之固化強度隨之提高，但對軟板接合製程而言，製程溫度越高，易對軟板產生熱應力(thermal stress)，進而產生翹曲、變形等不良影響，故應非導電膠之固化溫度不宜太高，故本實驗選擇之固化溫度為140°C。

5-4 軟板上銅電極之歐傑電子成像分析

選擇接合參數之超音波功率為0 W與14.46 W之剝離試驗後，軟板側之破斷面，以歐傑電子儀分析軟板上，銅電極表面元素之分佈。圖 14所示為超音波功

率0 W之電子影像圖，當超音波功率0 W時，其二次電子影像圖與銅、金元素歐傑電子影像圖均不明顯，顯示無輸入超音波功率時，銅電極上塗佈一層非導電膠無法移除，致使其接合界面無超音波功率摩擦痕跡，且矽晶片上金凸塊與軟板之銅墊無法直接接合，形成電訊之有效通路，如圖 6所述。圖 15所示為超音波功率14.46 W之電子影像圖，圖中較明亮處所為原子分佈濃度較高區域，顯示銅電極上有殘留物存在，進行分析該殘留物為金凸塊，顯示矽晶片之金凸塊經接合後，金凸塊與軟板之銅電極產生材料之鍵結，且部分接合強度高於金凸塊，故經剝離試驗後，仍殘留於軟板上方。此外，殘留金凸塊周圍，有銅元素存在，該銅元素應為軟板上之銅電極，證實超音波功率可將塗佈於銅電極上方之非導電膠刮除。

此一實驗結果證明無超音波作用之下，無法將塗佈軟板上之非導電膠刮除，金凸塊無法與銅墊直接接合，形成良好電訊通路。反之，輸入適當超音波功率，可刮除塗佈於銅電極上方之非導電膠，使金凸塊與軟板銅電極接合，形成良好電訊通路，更可使金凸塊與軟板之銅電極產生材料鍵結(metallurgical bonding)，進一步提高矽晶片與軟板之接合強度。

六、結論

由上述實驗結果可歸納出下列結論：

- 1.本實驗已成功開發矽晶片與軟板之非導電膠接合製程技術，適合非導電膠與熱音波覆晶接合參數為：超音波功率14.46 W，接合負荷500 gf，接合時間0.5 sec，固化溫度140°C，固化時間為40sec，晶片預加熱溫度200°C。
- 2.熱差分析儀之分析結果可供選擇非導電膠之固化時間與固化溫度。
- 3.若非導電膠之固化溫度太高，固化時間太短，造成氣孔存在，故降低固化溫度為140°C，增長固化時間為40 sec，成功減少氣孔發生率。
- 4.超音波功率於接合過程中，扮演刮除非導電膠，使金凸塊與軟板銅電極直接接合，形成有效之電訊通路外，更可使金凸塊與軟板之銅電極產生材料鍵結，有效提高矽晶片與軟板電極之接合強度。

七、計畫成果自評

- 1.本計畫已成功將矽晶片以非導電膠與熱音波覆晶接合製程接合於軟板上，並驗證超音波於接合過程扮演之接合機制。
- 2.本計畫之部分研究結果已撰寫成論文型式，投稿於第24屆中國機械工程學會：莊正利,廖慶安,教仲寧,廖仕傑,黃國興,“矽晶片以非導電膠覆晶接合於軟性基板研究”，中國機械工程學會第二十四屆全國學術研討會論文集, 2007年
- 3.本計畫之研究結果正在撰寫為英文投稿論文，預計投寄於Journal of Electronic Materials期刊。

八、參考文獻

1. M. Klein, H. Oppermann, R. Kalicki, R. Aschenbrenner and H. Reichl, Microelectronics Reliability, Vol. 39, 1999, p.1389.
2. R. Aschenbrenner, International Journal of Microcircuits and Electronic Packaging, Vol.18, 1995, p.154.
3. J. Nave, Proceeding of ITAP, Sunnyvale, CA. 1996, p.90.
4. T. Ai Min, S. Pei-Siang Lim, A. Yeo and C. Lee, IEEE Electronics Packaging Technology Conference, Vol.1, 2005, p.797.
5. J.C. Jagt, IEEE Trans Comp, Packaging, Manuf Technogly-Part A. Vol. 21, 1998, p.215.
6. P. Palm, J. Maattanen, A. Tuominen and E.Ristolainen, Microelectronics Reliability, Vol. 40, 2001, p.633.
7. W. S. Kwon, K. W. Jeng, IEEE International Symposium on Electronic Materials and Packaging, 2001, p.34.
8. Y. T. Hu, IEEE International Symposium on Electronic Materials and Packaging, 2002, p.157.
9. M.A. Uddin, M.O. Alam, Y.C. Chan and H.P. Chan, Microelectronics Reliability, Vol.44, 2004, p. 505.
10. S. C. Tan, Y. C. Chan, and Nelson S. M. Lui, IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol.292, 2006, p.570.

九、圖表

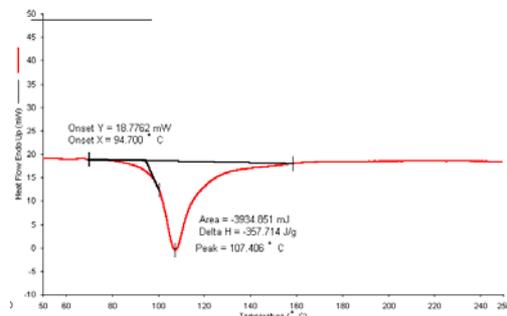


Fig. 1. An analytical DSC spectrum for a fresh non-conductive paste.

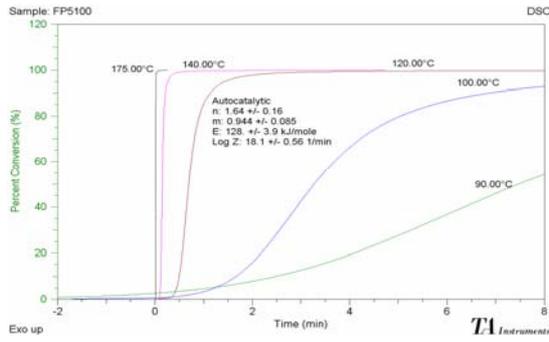


Fig. 2. The relationships among the curing percentage, curing temperature and curing time for a non-conductive paste according with DSC analytical result.

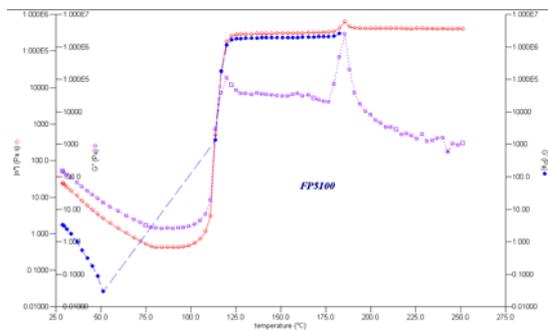


Fig. 3. The relationship between the fluidity and curing temperature for a non-conductive paste.

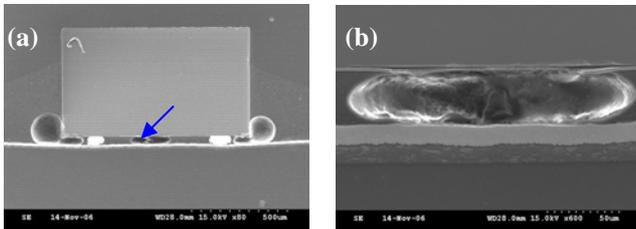


Fig. 4. SEM micrographs show (a) cross-section of the chip bonded on the flex substrate, (b) the voids formed between the chip and the flex substrate.

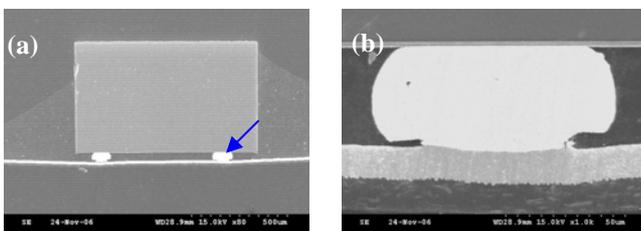


Fig. 5. SEM micrographs show (a) cross-section of the chip bonded on the flex substrate, (b) a bump bonded on the flex substrate without defects.

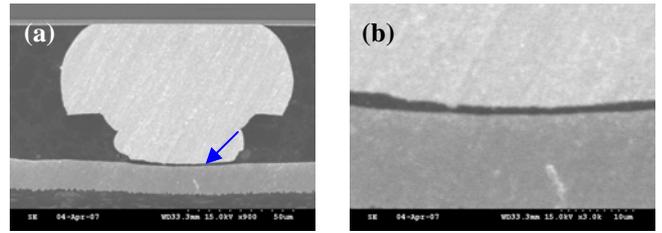


Fig. 6. SEM micrographs show (a) cross-section of the chip bonded on the flex substrate without using ultrasonic power, (b) the non-conductive paste was not removed by ultrasonic during bonding.

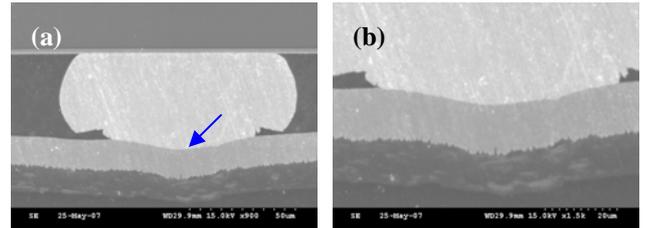


Fig. 7. SEM micrographs show (a) cross-section of the chip bonded on the flex substrate using 14.46 W in ultrasonic power, (b) the non-conductive paste was removed by ultrasonic power during bonding.

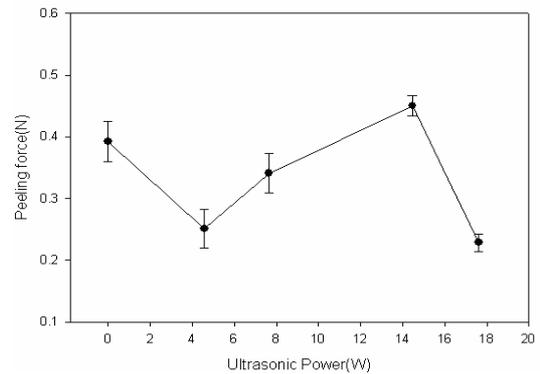


Fig. 8. The relationship between bonding strength and ultrasonic power for a chip onto the flex substrate. Bonding parameters were 500 gf in bonding force, 40 s in curing time, 140°C in curing temperature, and ultrasonic powers were varied from 0 W to 17.62 W.

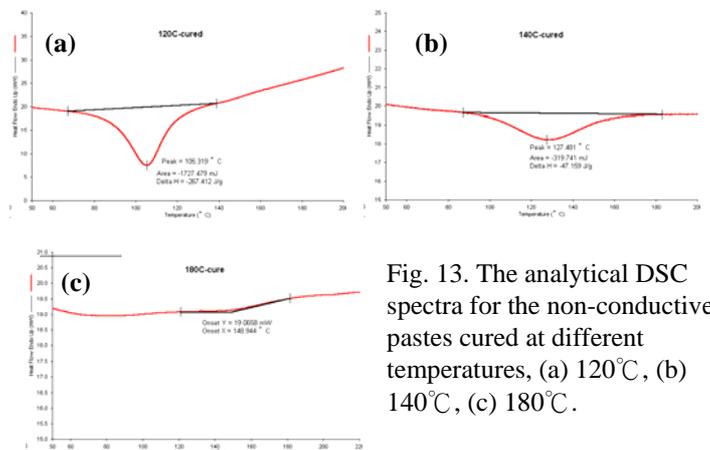


Fig. 13. The analytical DSC spectra for the non-conductive pastes cured at different temperatures, (a) 120°C, (b) 140°C, (c) 180°C.

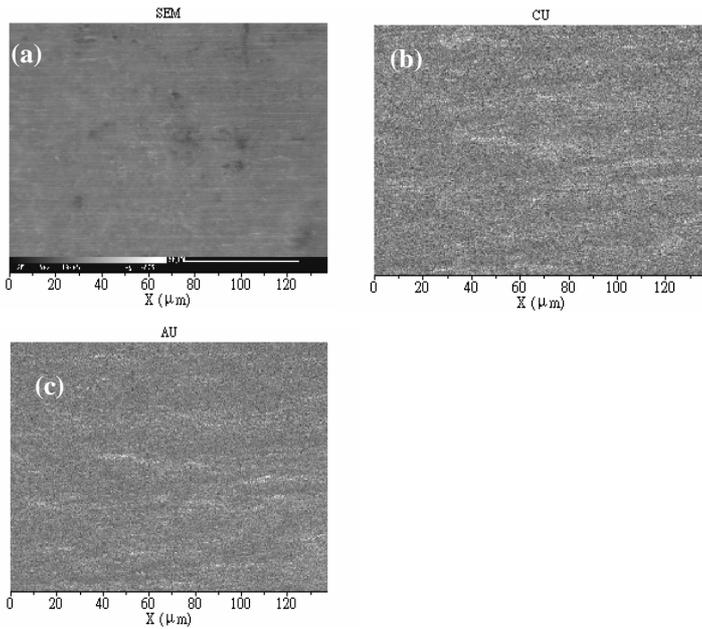


Fig. 14. Field emission Auger area mapping at the surface of flex substrate after peeling test. The bonding parameters were 500 gf in bonding force, 40 s in curing time, 140°C in curing temperature, and 0 W in ultrasonic powers, (a) SEM micrograph, (b) Cu mapping, (c) Au mapping.

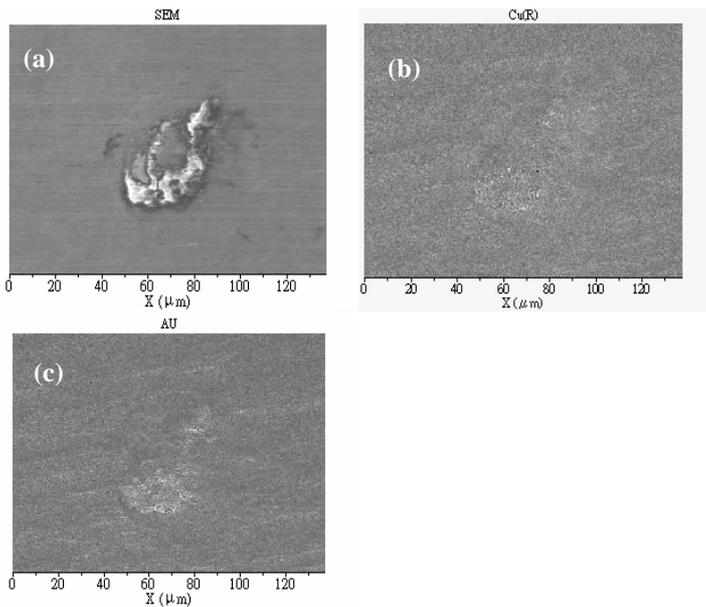


Fig. 15. Field emission Auger area mapping at the surface of flex substrate after peeling test. The bonding parameters were 500 gf in bonding force, 40 s in curing time, 140°C in curing temperature, and 14.46 W in ultrasonic powers, (a) SEM micrograph, (b) Cu mapping, (c) Au mapping.