

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

矽晶片以熱音波能量直接覆晶接合於軟性基板銅電極之製
程開發與機理研究(II)
研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-040-009-
執行期間：98年08月01日至99年07月31日
執行單位：中山醫學大學職業安全衛生學系暨碩士班

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：潘志軒

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中華民國 99年10月01日

矽晶片與軟性基板之熱音波覆晶接合機理分析

Study on Thermosonic Flip-Chip Bonding Mechanism of Chips bonded on the Flex Substrates

計畫編號：NSC-98-2221-E-040-009

執行期間：98/08/01 - 99/07/31

計畫主持人：莊正利 中山醫學大學 副教授

一、中文摘要

本研究以熱音波覆晶接合製程將矽晶片直接覆晶接合於軟性基板上，但軟性基板在熱音波覆晶接合中，超音波能量易被軟板所吸收，無法達成良好之接合，故於軟性基板銅電極上鍍著鎳膜，再於鎳膜上方鍍著銀層做為接著層，期望鎳膜可使超音波能量有效傳遞至接合介面，用以提升熱音波覆晶接合製程中矽晶片與軟性基板銅電極之接著率與剪力強度。

選用適當熱音波接合參數，矽晶片可成功覆晶接著於具鎳膜之軟性基板上，且在較小超音波功率下，即能達到100%接著率，而剪力測試結果顯示矽晶片與具鎳膜鍍層軟性基板之剪力強度高於業界規範之要求。矽晶片與軟板之覆晶接合強度與超音波功率成正比，但選用過大超音波功率時，熱音波覆晶機之接合負荷亦需隨之提升，使晶片與軟板維持穩定接觸，超音波功率方可傳遞之接合介面；若接合時間過長，接合介面處之超音波功率過高，金凸塊與矽晶片接著層易產生脫層缺陷，進而降低矽晶片與軟性基板之剪力強度。由剪力測試後之斷面觀察得知矽晶片與具鎳膜之軟性基板銅電極之破斷模式為金凸塊破壞，顯示金凸塊與軟性基板上之接合強度較金凸塊強度還高，且該強度高於業界規範之要求，顯示於軟板銅電極上鍍著鎳膜，可有效提高矽晶片與軟板之接著率與接著強度。本實驗所得適用於矽晶片與軟板熱音波覆晶接合之參數為超音波功率20.66W、接合負荷625gf、接合時間0.3s、接合溫度200。

鍍著0.5 μ m鎳膜於軟性基板銅電極上，可有效提高矽晶片與軟板之接著率與接合強度，該技術應用於軟板之構裝技術深具潛力。
關鍵字：熱音波覆晶接合製程、軟性基板、鎳鍍膜

二、英文摘要

The purpose of this study was to investigate

that the influence of the nickel layer on the bondability and bonding strength of silicon chips and flex substrates they were bonded using thermosonic flip-chip process. The flex substrate was electroplated with a nickel layer on the surface of copper electrodes and the silver film was then deposited on the nickel layer. This nickel layer was expected to improve the bondability and bonding strength of silicon chip flip-bonded on flex substrates. The thickness of the silver layer and the nickel layer were approximately 0.5 μ m. Thermosonic flip-chip bonding experiments were conducted using an automatic thermosonic flip-chip bonder developed by ITRI. After chips bonded on the flex substrates, a subsequent die-shear test was performed to evaluate the bonding strength according to with JESD22-B116 standard.

Chips were successfully thermosonic flip-chip bonded on flex substrates with depositing the nickel layer. 100% bondability can be obtained and bonding strength exceeds the minimum requirements stated in the related specifications for chips flip-bonded on flex substrates with 0.5 μ m-thick nickel layer. In contrast to a good bonding quality of chips flip-bonded on flex substrates with a nickel layer, a poor bonding strength was found when chips flip-bonded on copper electrodes without nickel layer. The nickel layer was effective to improve the propagation of ultrasonic power to bonding interface between silver bonding layer and gold bumps, and increases the bonding efficiency of ultrasonic power during thermosonic bonding process. The bonding strength and bondability were thus enhanced. The adequate bonding parameters of chips thermosonic bonding to flex substrates were 20.66 W in ultrasonic power, 625 gf in bonding force, 0.3 s in bonding time and 200 in bonding temperature.

Deposition of the 0.5 μ m-thick nickel layer on the copper electrodes over flex substrates is an effective scheme to improve the bonding strength and bondability of chips thermosonic flip-bonded on the flex substrates.

Keywords: Thermosonic flip-chip bonding, Flex substrate, Nickel layer

三、文獻回顧

隨著科技產業的迅速發展,電子產品元件朝輕、薄、短小、高功能性與高精密技術發展,使電子產品尺寸微小化與方便攜帶,在此發展趨勢下,軟性基板廣泛被運用於消費電子產品,但軟板之熱穩定性與機械性質均較傳統硬板差,故易對後續構裝製程造成不良影響,特別是晶片與軟性基板之接合,因此改善軟性基板不易與晶片接合問題,實為必行之趨勢。

晶片與軟性基板之接合技術,大部分採用覆晶膠合接合技術居多,但此一製程須精準控制膠之固化溫度與固化時間,顯見需控制之製程參數遠較熱音波覆晶接合為多,且熱音波覆晶接合製程已發展多年,相關基礎設備發展完善,若能以覆晶接合方式將矽晶片接著於軟性基板上,將可減少製程控制參數,提高生產效率。

凸塊與基板之覆晶接合方式,依其能量供給方式可分為熱壓接合(Thermal compression bonding)、熱音波接合(Thermosonic bonding) [1]與高分子膠接合(Adhesive bonding)三大類 [2]。Nave等人[3]將金凸塊以熱壓接合方式接著於陶瓷基板,熱壓接合製程之關鍵製程參數為負荷與溫度,每顆凸塊之負荷至少需要50 N,且製程溫度大於300 ,在此溫度下,對電子元件易產生熱損傷,且對接合介面之熱應力具負面影響,對軟性基板而言,其接合溫度已超過軟性基板之玻璃轉換溫度,故凸塊與軟板之覆晶接合已無法使用傳統熱壓接合方式。Tomioaka等人[4]比較兩種不同直徑之金凸塊以覆晶接合方式將金凸塊接合於陶瓷基板,研究結果指出,隨著超音波能量的增加,接合後金凸塊直徑隨之增加,而接著面積也因凸塊的變形使高度變低,而增加接著面積。在破斷模式中,發現接合過程無超音波能量,其破斷型態為凸塊與基板接合介面之斷裂,隨著超音波能量的提高,其破斷型態轉為凸塊破斷的模式,而接著強度也跟著提升。Windemuth[5]等人在覆晶接合技術中,針對不同基板材料對覆晶接合製程進行研究,其研究結果指出軟性基板與FR4基板在接合過程需要較大的超音波功率,但超音波功率過高則會使基板電極損毀或晶片破裂等缺陷產生。由去年研究結果[6]顯示若於軟性基板銅電極上鍍著不同厚度之鎳膜,隨後於鎳膜上鍍著銀膜做為接著層,以熱音波鍍線製程於軟性基板銅電極上鍍著金球鍍點,表面鍍著厚度0.5 μ m鎳膜之軟性基板銅電極,可有效提升金球鍍點之鍍著率與鍍著強度。

本研究於軟性基板上鍍著厚度0.5 μ m鎳膜後,將鍍著陣列金凸塊之矽晶片以熱音波覆晶接合製程接著於該軟板,期望藉以提升矽晶片與軟性基板之接著率與接合強度,並評估矽晶片與軟性基板銅電極以熱音波覆晶接合製程直接接著之可行性。

四、實驗方法

本實驗擬藉由熱音波覆晶製程,將已植金凸塊之矽晶片直接接著於具鎳鍍膜與無鎳鍍膜之軟性基板同電極上,用以探討熱音波覆晶製程參數對矽晶片與不同鍍膜軟性基板接著率與接合強度的影響。本研究選用之軟性基板材料為單面接著銅層之聚乙醯胺(polyimide)。為探討鎳膜對晶片與銅電極接著強度與接著率之影響,軟板上銅電極鍍膜分為鍍著0.5 μ m鎳膜與無鎳鍍膜兩種。為避免銅電極於熱音波覆晶接合中,因氧化而影響矽晶片與軟性基板銅電極之接著率與接著強度,故參照過去之研究結果[7],於軟性基板最上方鍍著0.5 μ m之銀膜做為接著層。熱音波覆晶接合實驗中,除調整熱音波覆晶接合製程之重要接合參數組合,包含超音波功率、接合負荷、接合時間及接合溫度外,進一步驗證具鎳膜之軟性基板於熱音波覆晶接合製程中是否有助於提升與矽晶片與軟性基板之接著率與接合強度。

矽晶片接合於軟性基板後,由剪力試驗(die-shear test)檢測晶片與軟性基板之接合強度,輔以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察金凸塊與軟性基板接合介面之微結構型態、晶片與軟性基板接合後金凸塊的變化尺寸觀察,該結果與EIA/JEDEC JESD22-B116標準[8]所列之最小接合強度比較,可知接合強度是否符合業界規範之要求,經由觀察剪力試驗後之破裂斷面,判定矽晶片與軟性基板之破壞模式,並配合剪力試驗後所得之接合強度,建立晶片與軟性基板之熱音波覆晶接合機理。

五、結果與討論

5.1 製程參數對矽晶片接合於軟板之影響

5.1.1 超音波功率

以熱音波製程直接將矽晶片覆晶接合於軟性基板之銅電極,為探討超音波功率對晶片與軟板接合之影響,覆晶接合實驗改變超音波功率由0W至36.22W,固定接合其他製程參數,分別為接合負荷625gf、接合時間0.5s、接合溫度200 。實驗結果得知矽晶片與軟板

接合，若無超音波功率輸入，無法達成矽晶片與軟性基板接合之目的，晶片與具鍍膜軟板或無鍍膜軟板之接著率(bondability)均為 0，隨著超音波功率的提升，可以提高矽晶片與軟性基板之接著率，如圖一所示；當超音波功率為 0W 時，僅以熱壓(thermal compression)製程進行晶片與軟板之接合，無法使矽晶片成功接合於軟性基板；當超音波功率為 4.4W 時，矽晶片接著於無鍍膜之軟性基板銅電極，其接著率僅 30%，推測可能超音波功率過小和部分超音波功率被軟性基板吸收，無法將大部分超音波功率傳遞至金凸塊與銅電極之接合介面，造成接著率不佳。圖二(a)所示為矽晶片未成功接著於無鍍膜之軟性基板表面型態圖，由圖中可發現軟性基板表面僅有局部摩擦痕跡，顯示超音波功率於接合介面之作用非常微小。矽晶片接合於具鍍膜之軟性基板，矽晶片與軟性基板之接著率達 100%，如圖一所示，顯示軟性基板銅電極上鍍鍍膜可提升晶片與軟性基板之接著率，推論鍍膜有助於超音波功率傳遞至金凸塊與軟板銅電極之接合介面，進而使矽晶片成功接著於軟性基板上。

改變超音波功率為 14.46W-27.56W 時，矽晶片均可成功接合於無鍍膜與具鍍膜之軟性基板，如圖一所示。接合實驗提供足夠的超音波功率，使得矽晶片與軟性基板的接著率達 100%。圖二(b)所示為矽晶片成功接著於具鍍膜軟性基板之外觀圖。然而超音波功率再往上提升至 36.22W 時，矽晶片接合於無鍍膜之接著率下降至 80%，推測原因為銅電極剛性(rigidity)不足且超音波功率過大、接合負荷不足，造成矽晶片無法緊密貼合於軟性基板而降低矽晶片與軟性基板之接著率。此實驗結果證明適當的超音波功率有助於矽晶片與軟性基板之接合，進而提高矽晶片與軟性基板之接著率，而在較小超音波功率時，鍍膜有助於提升矽晶片與軟性基板之接著率。

將已植 8 顆陣列金凸塊之矽晶片以熱音波覆晶接合製程直接接著於具鍍膜及無鍍膜之軟性基板。改變超音波功率後經由剪力測試結果，如圖三所示，當超音波功率 0-20.66W 時，矽晶片接合於具鍍膜或無鍍膜之軟性基板，其接合強度隨超音波功率的增大而提高，並配合量測金凸塊接合介面直徑，方可得知剪力值是否符合 JEDEC 規範之要求，當超音波功率為 0W 時，其接著率為 0%，矽晶片無法成功接著於軟性基板，故其接合強度為 0；當超音波功率為 20.66W 時，其金凸塊接合處之直徑約為 102-113 μm ，對照

JEDEC 規範，若金凸塊直徑為 113 μm ，每一晶片最小剪力值為 459.2 gf，最低平均剪力值為 590.4gf，由圖三中得知，經剪力測試後之剪力值為 550-700gf，平均剪力值為 645gf，明顯高於 JEDEC 規範之最低剪力要求；當超音波功率 27.56W-36.22W 時，其剪力值並未再向上提升反而往下降，推測可能的原因為超音波功率太大，接合負荷不足，無法使矽晶片與軟性基板銅電極緊密接合，造成剪力值下降。矽晶片接合在無鍍膜之軟性基板所得結果，推測部分超音波能量被軟性基板吸收，無法傳遞金凸塊與銅電極之接合介面，致使剪力值均較矽晶片與具鍍膜鍍層之剪力值低，在超音波功率為 20.66W 時，其剪力值為最高，但仍然無法符合 JEDEC 規範所需最低剪力值之要求。此實驗結果說明超音波功率在熱音波覆晶接合製程中，提供矽晶片與軟性基板接合時所需之重要能量，超音波能量大小將影響矽晶片與軟性基板之剪力值；軟板鍍著鍍膜有助於接合實驗中超音波功率之傳遞，進而影響晶片與軟板之接合強度。

以電子顯微鏡觀察金凸塊與軟性基板接合介面之完整性，圖四(a)所示為矽晶片接合於具鍍膜軟性基板之橫截面，於較大倍率發現金凸塊與軟性基板接合良好無任何脫層(delamination)缺陷，在上方矽晶片與金凸塊接合處右邊發現有脫層缺陷，如圖四(b)所示，推測其原因為接合時間太長，過長接合時間使超音波能量持續傳遞，導致矽晶片與金凸塊之接合處產生脫層缺陷；圖五(a)為矽晶片接合於無鍍膜軟性基板橫截面，於較大倍率發現金凸塊與軟性基板接合良好無任何脫層現象，在上方矽晶片與金凸塊接合處右邊發現明顯脫層現象產生，如圖五(b)所示。為改善此現象，本研究擬降低接合時間，並進一步觀察接合介面之完整性，其結果如後所述。

5.1.2 接合時間

探討接合時間對矽晶片與軟性基板接合強度與接合介面完整性，熱音波覆晶製程改變接合時間 0.3 至 1s，固定超音波功率 20.66W、接合負荷 625gf，接合溫度 200 $^{\circ}\text{C}$ ，經剪力測試後，改變接合時間對矽晶片接合於具鍍膜與無鍍膜軟性基板之剪力值，如圖六所示。接合時間由 0.3s 提升至 0.5s 時，晶片與具鍍膜軟性基板之剪力值隨接合時間增加而微量提升，而接合時間繼續提升至 1s 時，其剪力值隨之下降；在接合時間為 0.3s 時，其金凸塊與軟性基板接合處之直徑約為 104-108 μm ，對照 JEDEC 規範，當金凸塊直

徑為 109 μ m, 每一晶片最小剪力值為 423.2gf 最低剪力值平均為 547.2gf, 由圖六中得知經剪力測試後之剪力值為 550-700gf, 平均剪力值為 600gf, 明顯高於 JEDEC 規範之最低剪力值要求。

以電子顯微鏡觀察接合橫截面是否有脫層產生, 圖七(a)所示為晶片接合於具鍍膜軟性基板橫截面, 接合時間為 0.3s, 金凸塊與軟性基板接合良好無任何脫層缺陷, 圖七(b)所示為較大倍率下, 矽晶片與金凸塊接合介面完整性佳, 未發現脫層等缺陷; 圖八(a)為矽晶片接合於具鍍膜軟性基板橫截面, 接合時間為 1s, 較大倍率下, 發現金凸塊與矽晶片左上方接合處有脫層缺陷產生, 如圖八(b)所示, 證明矽晶片接合於具鍍膜之軟性基板, 改變接合時間, 在較短的接合時間即可使金凸塊與軟性基板形成良好鍵結, 而在接合時間提升至 0.5s 與 1s, 由於接合時間過長, 超音波能量傳遞過久, 造成矽晶片與金凸塊接合處出現脫層缺陷, 該接合介面之脫層為接合製程不允許存在之缺陷。綜整接合時間與剪力值量測結果, 推測矽晶片在接合時間 0.5s 時, 與軟性基板的剪力值已達飽和狀態, 故接合時間繼續提升至 1s, 金凸塊與矽晶片、矽晶片與軟板接合處之接合介面均存脫層缺陷, 致使剪力值降低。此實驗結果顯示接合時間 0.3s 之剪力值雖低於 0.5s, 但仍高於 JEDEC 規範之要求, 且接合介面完整, 無脫層缺陷產生, 故接合時間 0.3s 可符合要求, 且接合時間較短, 於封裝製程中縮短接合時間, 可降低成本並提高生產效率。

5.1.3 接合溫度

超音波覆晶接合製程之主要接合能量為超音波功率與加熱載台之溫度, 而軟性基板對加熱溫度之影響較硬式基板敏感, 故於超音波覆晶接合製程參數中改變接合溫度 150 至 250 , 固定超音波功率 20.66W、接合負荷 625gf、接合時間 0.3s。晶片在不同加熱溫度接著於軟板後, 接合溫度對矽晶片接著於具鍍膜與無鍍膜軟性基板之剪力值, 如圖九所示。當接合溫度由 150 提升至 200 時, 矽晶片接著於具鍍膜軟性基板之剪力值明顯往上提升; 若接合溫度繼續提升至 250 時, 其剪力值僅微略下降, 其金凸塊接合處之直徑約為 97-111 μ m, 對照 JEDEC 規範, 若金凸塊直徑為 111.76 μ m, 每一晶片最小剪力值為 446.4gf 最低平均剪力值為 575.2gf, 由圖九中得知晶片與具鍍膜軟板之剪力值為 500-650gf, 平均剪力值為 580gf, 高於 JEDEC

規範之最低剪力值要求。

若改接合溫度由 150 提升至 200 , 矽晶片接合於無鍍膜軟性基板之剪力值, 其剪力值有往上提升的趨勢, 但接合溫度繼續提升至 250 , 其剪力值略為下降, 該剪力值受溫度影響與矽晶片接著於具鍍膜軟板相符。比較不同接合溫度下, 晶片接著於具鍍膜軟板與未具鍍膜軟板之剪力值, 兩者剪力值隨溫度提升差異變大, 推測較低接合溫度下, 鍍膜鍍層對軟性基板之剛性影響不大, 故覆晶接合後之剪力值亦差異不大, 但隨接合溫向上提升, 具鍍膜軟板較未具鍍膜軟板剛性佳, 故可見其晶片與具鍍膜軟板之剪力值大幅提昇。

以電子顯微鏡觀察接合橫截面是否有脫層產生, 圖十(a)為矽晶片接合於具鍍膜軟性基板橫截面, 接合溫度為 200 , 金凸塊與軟性基板接合良好無任何脫層現象, 在上方矽晶片與金凸塊接合處同樣良好無任何脫層現象; 圖十(b)為矽晶片接合於無鍍膜軟性基板橫截面, 發現金凸塊與軟性基板接合處有脫層缺陷產生。由橫截面觀察得知, 軟性基板銅電極上方鍍著 0.5 μ m 鍍膜, 有助於超音波能量傳遞至接合介面, 使矽晶片與軟性基板接合。

5.2 剪力測試後之斷裂面分析

覆晶接合製程參數超音波功率 20.66W、接合負荷 625gf、接合時間 0.3s、接合溫度 200 , 矽晶片接合於具鍍膜之軟性基板, 經剪力測試後, 其斷裂模式為金凸塊斷裂, 如圖十一(a)所示, 以 EDS 分析軟板側破斷面之元素組成, 其分析圖譜如圖十一(b)所示, 該破斷面之主要組成元素為金及銀, 顯示軟板上有金元素殘留, 亦即金凸塊與銀膜接著層之剪力值遠高於金凸塊的強度, 且該剪力值高於業界規範之最低要求, 再次顯示鍍層有助金凸塊與軟性基板銅電極之接合; 矽晶片接合於無鍍膜之軟性基板, 經剪力測試後, 觀察其破斷面型態, 如圖十二(a)所示, 發現軟性基板上僅有金凸塊接合之壓痕, 並未有明顯殘留物, 以 EDS 對軟板破斷面進行分析, 圖十二(b)所示為軟板破斷面之分析圖譜, 顯示軟性基板上僅銀元素, 並未有金殘留或鍍層被剝離, 且金凸塊與軟性基板之斷裂模式為接合介面剝離(peel-off), 該破壞模式顯示金凸塊與無鍍膜軟性基板之接合不佳, 該實驗結果與圖九所示之剪力測試結果相符。

5.3 軟性基板與金凸塊接合介面之觀察

晶片接合於軟性基板後, 以超音波能量破壞軟板與晶片之接合, 可清楚觀察金凸塊於軟

板表面留下之接合痕跡，圖十三、十四分別為矽晶片接合於無鍍膜與具鍍膜軟性基板表面之接合外觀圖，固定之製程參數為接合負荷625gf、接合時間0.5s、接合溫度200，並觀察改變超音波功率對軟性基板接合介面的影響，由圖中發現超音波功率較小時，金凸塊與軟性基板上的接觸面積較小，相對剪力值亦較低；隨著超音波功率的提升，金凸塊與軟板之接合面積隨之增大。當超音波功率較小時，矽晶片與無鍍膜軟性基板之接合處，其摩擦痕跡並不明顯，顯示超音波功率在此條件下，無法產生有效接合，如圖十四(a)所示；而在矽晶片與具鍍膜軟性基板之接合處，矽晶片上金凸塊與軟性基板有較明顯的外圍接合痕跡，軟板接合處的外圍有部分銀膜轉移至金凸塊，如圖十三(a)所示。隨著超音波功率的提升，矽晶片接合於具鍍膜軟板之接合介面顯示破壞介面為軟板銅電極鍍膜之剝離，金凸塊與軟性基板具良好接合，如圖十三(b)、十三(c)所示；而矽晶片接合於無鍍膜軟板之接合介面外觀圖顯示其破壞模式為接合介面之剝離，如圖十四(b)、十四(c)所示，金凸塊與軟板銅電極之接合性不佳，且可發現超音波功率為27.56W之接合面積較超音波功率20.66W小，該結果與圖九之剪力測試結果相符。

矽晶片上金凸塊在超音波功率4.4W即能與具鍍膜之軟性基板產生明顯摩擦痕跡，相對於無鍍膜之軟板在超音波功率20.66W才能有較明顯的摩擦痕跡，由此實驗結果證明超音波功率接合於無鍍膜之軟板，因無鍍膜導致有部分能量被軟板吸收，無法達到良好鍵結。

六、矽晶片覆晶接合於軟性基板分析綜合討論

本研究經由熱音波覆晶接合製程，將矽晶片直接覆晶接合於具鍍膜與無鍍膜之軟性基板，探討影響熱音波覆晶接合之製程參數，透過剪力測試之剪力值與矽晶片上金凸塊接合界面直徑量測，並對照JEDEC剪力測試之規範，配合金相橫截面觀察、軟性基板接合界面分析、破斷模式及破斷面EDS分析，建立最適接合之製程參數，綜整研究結果歸納如下：

超音波功率在各製程參數中對矽晶片覆晶接合與軟性基板的影響最大，超音波功率主要提供矽晶片上金凸塊的變形與接合所需之能量。若超音波功率過小，會因所傳遞的能量不足，進而影響金凸塊與軟性基板的剪力值；若超音波功率過大，但接合負荷若不足會導致矽晶片未能與軟性基板緊密接合，經橫截面的

觀察，金凸塊並未全部與軟性基板接合。在超音波功率20.66W時，矽晶片接合於具鍍膜之軟性基板的剪力值為最高，並為了確認接合品質，將試片研磨到接合橫截面處觀察接合情形，從橫截面發現金凸塊與軟性基板接合良好無缺，但在金凸塊與矽晶片的接合處周圍有脫層缺陷，而破壞模式為金凸塊處斷裂，表示金凸塊與軟性基板接合良好，接合介面之脫層缺陷經由降低接合時間，再次觀察其接合橫截面，發現金凸塊與上下兩接合處完整，未出現脫層等缺陷，該實驗結果驗證具鍍膜之軟性基板在較短的接合時間，即能使超音波能量有效傳遞，達成良好的接合。

矽晶片接合於具鍍膜與無鍍膜之軟性基板實驗中，在較小超音波功率即能使具鍍膜之軟性基板接合率達到100%，且在相同的超音波功率下，矽晶片接合於具鍍膜之軟性基板的剪力值，皆比無鍍膜的剪力值來的高，由此論證鍍膜可使超音波能量有效傳遞至接合介面，提高超音波功率之接合效率。

接合時間主要是讓矽晶片與軟性基板接合時的能量傳遞，接合時間越久能量傳遞就越多，傳遞能量時間過多對接合介面會造成影響。若接合時間若太久，則導致金凸塊的上下兩接合處有脫層缺陷，影響接合品質，在接合時間0.3s，即能使矽晶片接合於具鍍膜之軟性基板，其剪力值略低於0.5s，因超音波能量傳遞至接合介面之總量較少，金凸塊所受變形量也較小，接觸面積相對減少，其剪力值符合JEDEC所規定之最小剪力值。

接合溫度主要讓矽晶片與軟性基板進行熱音波覆晶接合時，使原子間產生交互擴散，提高金凸塊與銀接合層之鍵結。接合溫度較低時(150)，無法產生有效擴散，致使矽晶片與無鍍膜軟板及矽晶片與具鍍膜軟性基板之接合強度不足，均低於業界規範之要求；而提高溫度200，矽晶片與具鍍膜軟板之接合檢力值大幅提昇，且由橫截面觀察，金凸塊與具鍍膜軟性基板之接合處未發現脫層缺陷，且剪力測試後其破壞模式為金凸塊斷裂，證實在此製程參數下，使金凸塊與矽晶片及軟板銅電極兩接合處產生良好接合，未發現拖層等缺陷，由此結果推論具鍍膜軟性基板不因較高的接合溫度，使軟性基板軟化，而無法與金凸塊產生有效摩擦，反而能使超音波能量傳遞至接合界面產生摩擦，加上足夠的接合溫度，使金凸塊與軟性基板上各層間原子相互擴散，使鍵結良好，剪力值也符合JEDEC標準規範中的最小平均剪力值。

六、結論

1. 藉由熱音波覆晶接合技術可成功將矽晶片直接覆晶接合於具鍍膜之軟性基板，適當的超音波功率的傳遞，使剪力值隨超音波功率的提升而增加，並符合 JEDEC 標準規範要求。
2. 熱音波覆晶製程將矽晶片覆晶接合於軟性基板，超音波功率對金凸塊產生變形的影響最大，金凸塊與軟性基板接合處直徑隨超音波功率的增加而變大，使得接合處面積增加，進而提升剪力值。
3. 覆晶接合中，接合時間若太久，使超音波能量的傳遞過多，則導致金凸塊的上下兩接合處產生脫層現象，影響接合品質。
4. 由軟性基板上接合界面觀察得知，在相同超音波功率下，具鍍膜之軟性基板較無鍍膜之軟性基板接合處摩擦痕跡較為明顯，由超音波功率小至大，可發現超音波能量的傳遞是由周圍先傳遞在向內擴展。在相同製程參數下，具鍍膜之軟性基板有助於超音波能量的傳遞，使接合處外圍有較明顯的銀接著層轉移到金凸塊上，間接證實其剪力值相對較高。
5. 矽晶片與具鍍膜之軟性基板之熱音波覆晶接合適合參數為超音波功率 20.66W、接合負荷 625gf、接合時間 0.3s、接合溫度 200℃，矽晶片與具鍍膜之軟性基板接著率達 100%，且平均剪力值為 600gf，符合 JEDEC 標準規範。

七、計畫成果自評

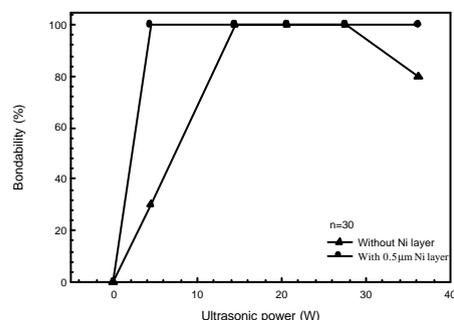
本計畫已發表之相關論文：

1. 莊正利、潘志軒、敖仲寧、陳輝達，“在軟性基板上鍍鍍膜以提升熱音波覆晶接合品質之研究”，中國機械工程學會第二十七屆全國學術研討會論文集，2010年。
2. C. L. Chuang, C. H. Pan, "Increasing bondability and bonding strength of assembly for chips thermosonic flip-chip to flex substrate by deposited nickel layer", manuscript will submit to Microelectronic Engineering.

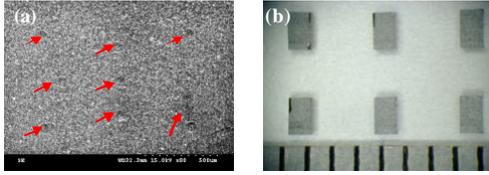
八、參考文獻

1. M. Klein, H. Oppermann, R. Kalicki, R. Aschenbrenner and H. Reichl, "Single chip bumping and reliability for flip chip processes", Microelectronics Reliability, Vol. 39, 1999, pp. 1389.
2. R. Aschenbrenner, "Flip chip attachment using non-conductive adhesives and gold ball bumps", Journal of Microcircuits and Electronic Packaging, Vol.18, 1995, pp. 154.
3. J. Nave, "Flip chip attachment of silicon and GaAs devices on ceramic, silicon and organic substrates using thermocompression bonding", Proc. ITAP'96, Sunnyvale, CA, 1996, pp. 90.
4. T. Tomioka, T. Iguchi and I. Mori, "Thermosonic Flip-chip bonding for SAW filter", Microelectronics Reliability, Vol.44, 2004, pp. 149.
5. R. Windemuth and T. Ishikawa, "NEW Flip chip Technology", Microelectronics and Packaging Conference, 2009, pp. 1- 6.
6. 莊正利、范晃達、敖仲寧，“以熱音波鍍線製程將金球鍍點鍍著於鍍鍍層之軟性基板研究”，中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集，2009年。
7. C. L. Chuang, J. N. Aoh, "Thermosonic Bonding of Gold Wire onto Silver Bonding Layer on the bond pads of Chips with Copper Interconnects", Journal of Electronic Materials, Vol.33, No.4, 2006, pp. 290-299.
8. Joint Electron Device Engineering Council Standard 22-B116, "Wire Bond Shear Test Method", 1998.

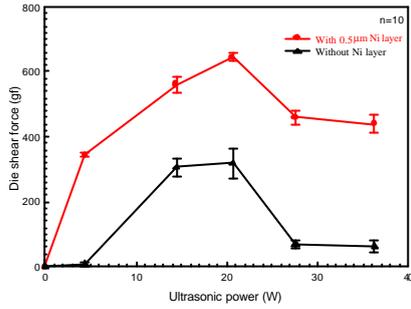
九、圖表



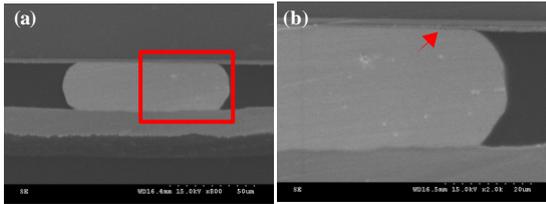
圖一、 超音波功率對矽晶片與軟板之接著率影響。



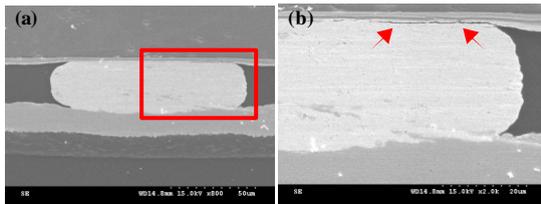
圖二、(a)超音波功率4.4W時，矽晶片無法接合於無鍍鍍膜軟性基板之表面形態圖，(b) 超音波功率20.66W時，矽晶片成功接合於具鍍鍍膜之軟性基板外觀圖。



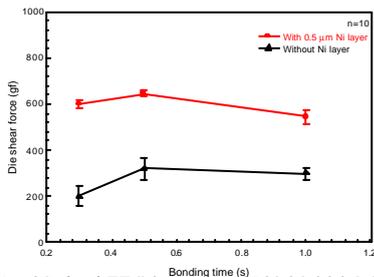
圖三、超音波功率對矽晶片與軟性基板剪力值之影響。



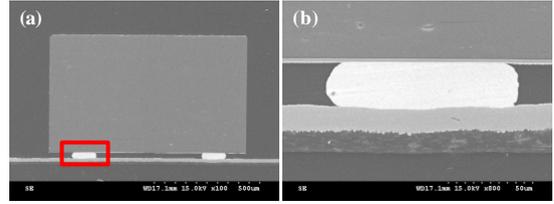
圖四、(a)矽晶片接合於具鍍鍍膜軟性基板橫截面圖，(b)矽晶片與金凸塊接合處出現脫層缺陷。熱音波覆晶接合參數：超音波功率 20.66W，接合負荷 625gf，接合時間 0.5s、接合溫度 200。



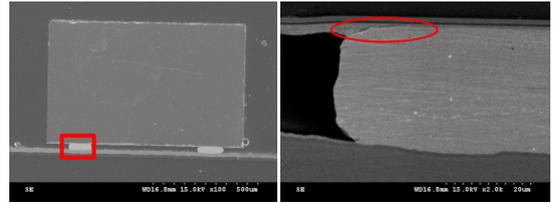
圖五、(a)矽晶片接合於無鍍鍍膜軟性基板橫截面圖，(b)矽晶片與金凸塊接合處出現脫層缺陷。熱音波覆晶接合參數：超音波功率 20.66W，接合負荷 625gf，接合時間 0.5s、接合溫度 200。



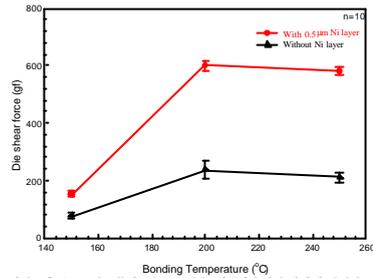
圖六 接合時間對矽晶片與軟性基板之剪力值影響。



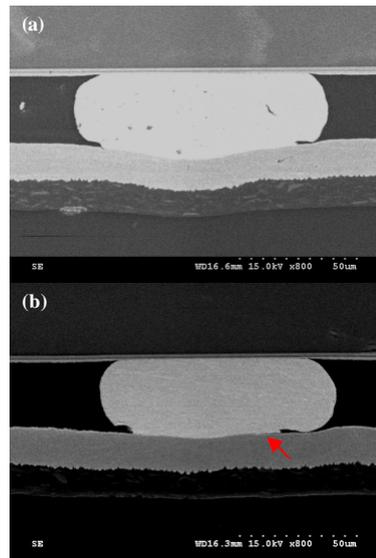
圖七、(a)矽晶片接合於具鍍鍍膜軟性基板橫截面圖，(b)矽晶片與金凸塊接合良好未出現脫層缺陷。熱音波覆晶接合參數：超音波功率 20.66W，接合負荷 625gf，接合時間 0.3s、接合溫度 200。



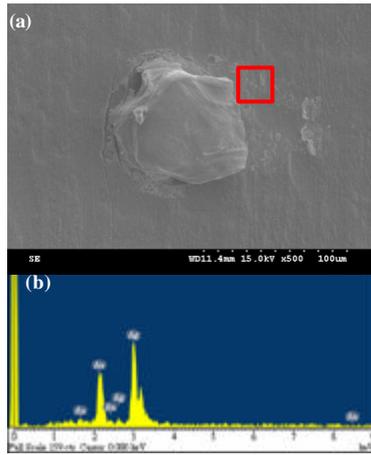
圖八、(a)矽晶片接合於具鍍鍍膜軟性基板橫截面圖，(b)矽晶片與金凸塊左上方接合處有脫層現象存在。熱音波覆晶接合參數：超音波功率 20.66W，接合負荷 625gf，接合時間 1s、接合溫度 200。



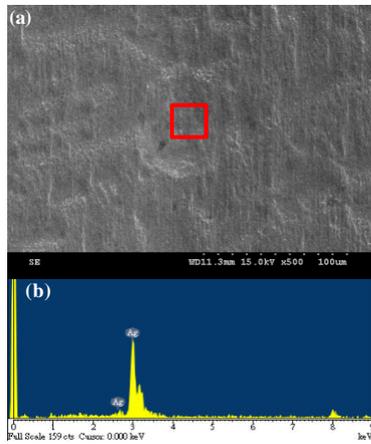
圖九、接合溫度對矽晶片與軟性基板剪力值之影響。



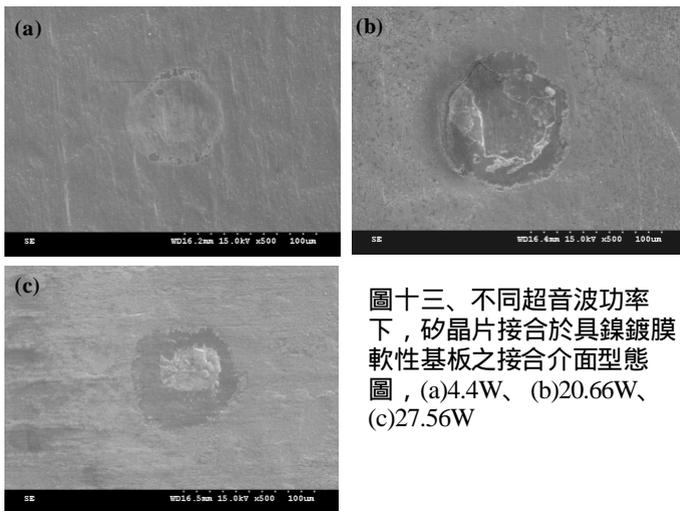
圖十、(a)矽晶片接合於具鍍鍍膜軟性基板橫截面圖，(b)矽晶片接合於無鍍鍍膜軟性基板橫截面圖。熱音波覆晶接合參數：超音波功率 20.66W，接合負荷 625gf，接合時間 0.3s、接合溫度 200。



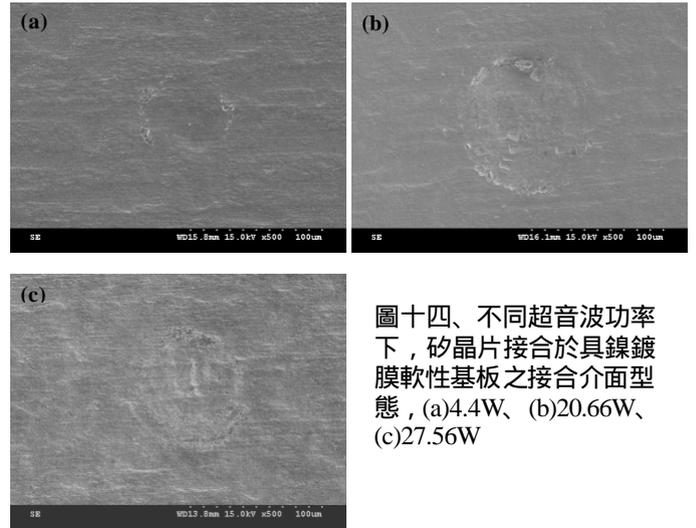
圖十一 (a)剪力測試後金凸塊殘留於具鍍膜軟板表面形態圖，(b) 殘留金凸塊之光譜分析圖譜



圖十二、(a)剪力測試後金凸塊殘留於無鍍膜軟板表面形態，(b)殘留金凸塊之光譜分析圖譜



圖十三、不同超音波功率下，矽晶片接合於具鍍膜軟性基板之接合介面型態圖，(a)4.4W、(b)20.66W、(c)27.56W



圖十四、不同超音波功率下，矽晶片接合於具鍍膜軟性基板之接合介面型態，(a)4.4W、(b)20.66W、(c)27.56W

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期 2010年10月01日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱: 矽晶片以熱音波能量直接覆晶接合於軟性基板銅電極之製程開發與機理研究(II) 計畫主持人: 莊正利 計畫編號: 98 -2221-E -040 -009 - 學門領域: 加工與製造</p>		
<p>研發成果名稱</p>	<p>(中文) 以鍍膜提升矽晶片與軟性基板熱音波覆晶接合之接合強度 (英文)</p>		
<p>成果歸屬機構</p>	<p>中山醫學大學</p>	<p>發明人 (創作人)</p>	<p>莊正利, 潘志軒</p>
<p>技術說明</p>	<p>(中文) 在消費性電子產品發展趨勢下，軟板已逐漸取代硬式基板之使用，但軟性基板之熱穩定性與機械性質均較硬式基板為差，故矽晶片與軟性基板之熱音波覆晶接合一直存在無法突破之技術瓶頸，故本研究於於軟性基板銅電極上方鍍著鍍膜，用以提高軟性基板銅電極之剛性，使矽晶片與軟性基板進行熱音波覆晶接合時，超音波能量可有效傳遞至矽晶片與軟性基板之接合介面，矽晶片因此得於接著於軟性基板之銅電極，經研究驗證該鍍膜可有效提升矽晶片與軟性基板之接著率與接合強度。該技術有助封裝業者沿用傳統之熱音波覆晶設備進行矽晶片與軟性基板之接合，預期可為封裝業者節省大量生產設備轉換或更換之費用。</p> <p>(英文) The flex substrate was electroplated with a nickel layer on the surface of copper electrodes and the silver film was then deposited on the nickel layer. This nickel layer was expected to improve the bondability and bonding strength of silicon chip flip-bonded on flex substrates. According to our experimental results, chips were successfully thermosonic flip-chip bonded on flex substrates with depositing the nickel layer. 100% bondability can be obtained and bonding strength exceeds the minimum requirements stated in the related specifications for chips flip-bonded on flex substrates with the nickel layer. Deposition of the nickel layer on the copper electrodes over flex substrates is an effective scheme to improve the</p>		
<p>產業別</p>	<p>電機及電子機械器材業</p>		
<p>技術/產品應用範圍</p>	<p>微電子封裝業</p>		
<p>技術移轉可行性及預期效益</p>	<p>提高矽晶片與軟板之覆晶接合製程之接著率與接著強度</p>		

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：莊正利		計畫編號：98-2221-E-040-009-				計畫名稱：矽晶片以熱音波能量直接覆晶接合於軟性基板銅電極之製程開發與機理研究(II)	
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	2010 機械年會論文
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

一、學術成就：已成功驗證鎳膜確實有效提高軟性基板與矽晶片熱音波覆晶接合之接著率與接著強度，並建立鍍著鎳膜軟性基板與矽晶片之接合機制，部分研究果將於今年度機械年會會議中發表，此外，目前正在撰寫其鎳膜強化接合機制之研究稿件，預計近日內可投至國際學術期刊。

二、技術創新：研發此一製程對封裝業界將有實質幫助，無須更改傳統矽晶片與硬式基板之熱音波覆晶接合設備，即可將該設備沿用至矽晶片與軟性基板之接合，應可省下大幅投資成本，此外，該技術之發展更符合消費性電子產品輕、薄與易攜帶之功能。

三、社會影響：該實驗之進行與工研院南分院、福懋科技公司密切合作，除訓練研究生之專業能力外，亦提供合作廠商工程師相關資訊之交流。