

覆晶鉅錫凸塊之電性及電遷移效應探討

劉業繡* 林光隆** 李秋雯*** 賴逸少**** 吳政達*****

國立成功大學材料科學及工程學系

*博士班研究生 **教授

日月光集團高雄廠應力可靠度實驗室

專案工程師 *資深工程師 *****研發副理

摘要

隨著電子產品效能與功能的提升，鉅錫凸塊的間距與尺寸亦逐漸縮小，因此流經其上的電流密度相對升高，於是電遷移效應將會是影響鉅錫凸塊可靠性的關鍵因素之一。以高階元件而言，例如微處理器，其晶片上之鉅錫凸塊通常是由高熔點的5Sn-95Pb與基板上的63Sn-37Pb相互接合。此種製程方式最大好處在於可以利用63Sn-37Pb的低熔點特性，在較低的溫度將晶片與有機基板做接合，以便降低成本。然而一般文獻上對此類型之鉅錫組合的電遷移效應探討並不多見。因此，本研究將針對5Sn-95Pb/63Sn-37Pb之鉅錫凸塊的電遷移行為作一完整的探討。

關鍵詞

覆晶(Flip-chip)、鉅錫凸塊(Solder Bump)、電遷移(Electromigration)

實驗材料與步驟

本研究利用網印方式將5Sn-95Pb製作在晶片上，並經過350°C (Peak Temperature)的重流條件以形成鉅錫凸塊。鉅錫凸塊之底層金屬為Al/Ni(V)/Cu金屬薄膜，其厚度分別為0.4/0.3/0.8 μm 。有機基板上亦利用網印方式將63Sn-37Pb製作於Cu/Ni-P/Au之底層金屬薄膜上，其中，Ni-P/Au之厚度分別

為5 μm 及0.05 μm 。圖一為此覆晶接合鉅錫凸塊結構的示意圖。

本研究中的鉅錫凸塊連結設計，是利用矽晶片上的Al導線將鉅錫凸塊作連接，在150°C、外加電流 320mA ($5 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$)的條件下，觀察鉅錫凸塊的電遷移行為。實驗過程中，電子流的走向由左邊錫球的底部(Cathode)流入，往上流經鉅錫凸塊，再由鉅錫凸塊底層金屬流出(Anode)，同時並藉由

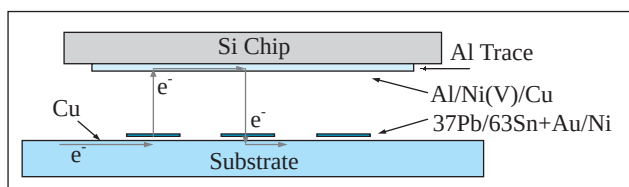
晶片上面的Al導線導引，將電子流傳導至第二顆鉛錫凸塊，並且由晶片端流入，經過鉛錫凸塊由基板端流出。如此我們可以觀察到不同電子流流向的鉛錫凸塊其電遷移行為的變異。此外，為了解電子流對鉛錫凸塊之影響，我們也做了一組對照組，為在相同環境溫度下沒有電子流流經之鉛錫凸塊，如圖一右邊所示之鉛錫凸塊。

本研究中將針對不同電子流流向對鉛錫凸塊的影響作一探討，並歸納出電遷移失效的機制。實驗中將以掃描式電子顯微鏡 (SEM) 對鉛錫凸塊作外觀觀察，並利用能量散佈光譜儀 (EDS) 分析鉛錫凸塊局部區域的元素組成，同時再利用波長散佈光譜儀 (WDS) 對微小區域做微量分析，以了解元素的擴散行為，並試著了解其失效機制。

結果與討論

一、電子流方向對鉛錫凸塊之影響

圖二(a)~(c)所示分別為鉛錫凸塊尚未施加電流，以及分別施加電流1000小時及1711小時後錫球橫截面的

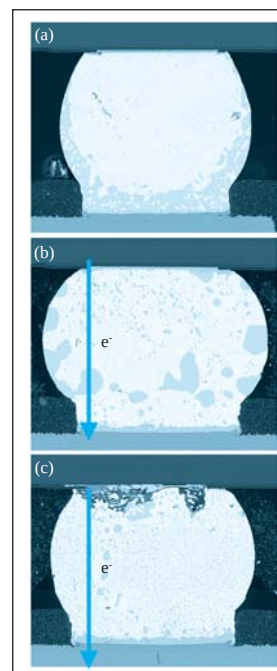


▲圖一 覆晶接合鉛錫凸塊之電遷移實驗示意圖

BSE-SEM照片。圖二(a)中較亮的區域為富鉛相(Pb-rich Phase)，較灰暗的區域為富錫相 (Sn-rich Phase)。經過1000小時通電之後，很明顯的可以看出鉛原子隨著電子流的方向而移動，聚集在靠近基板端，如圖二(b)所示。文獻中曾經提及過^[1]，在高於 $1/2T_m$ (T_m : Melting Point)時，晶界擴散將會是主要決定因子；同時鉛原子在晶界中移動的活化能為 0.43(eV)，而錫原子在晶界中移動的活化能為0.54(eV)。因此我們可以推測本研究中，在150°C的環境下鉛原子的移動較錫原子來得快。

圖二(c)為鉛錫凸塊經過1711小時之後，電阻值竄升導致電性失效的SEM橫截面圖。圖中可以明顯看出在凸塊底層金屬與鉛錫凸塊之間形成許多孔洞，造成電阻值急速升高而導致失效。此行為乃是

Current Crowding Effect所造成，所謂的Current Crowding Effect乃是電遷移過程中產生一些微小的孔洞，此微小的孔洞阻



►圖二 電遷移實驗之鉛錫凸塊橫截面圖(a)尚未通電、(b)通電1000小時、(c)通電1711小時

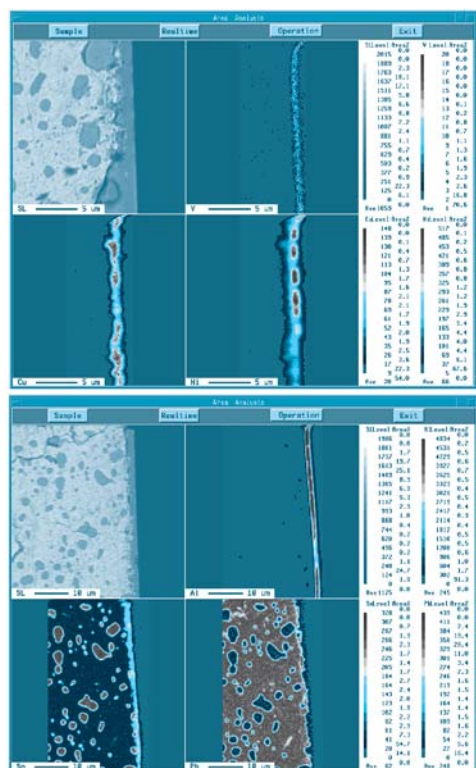
礙了電子流的路徑，迫使電子流繞道而行，如此會在電子流密度高的地方產生新的微小孔洞，此種週而復始的循環將會導致錫球的微小孔洞聚集成大孔洞，最後造成整個錫球的電性失效。

將圖二(b)與圖二(c)之鐳錫凸塊與底層金屬間的介面微小區域做 EPMA 分析，如圖三所示，經過1000小時後我們可以由EPMA結果得知，底層金屬的Al/Ni(V)/Cu結構仍然保持其完整性，當中Cu與Sn已形成Cu-Sn化合物，而經過1711小時之後，如圖四，由EPMA結果明顯看出，Al/Ni(V)/Cu結

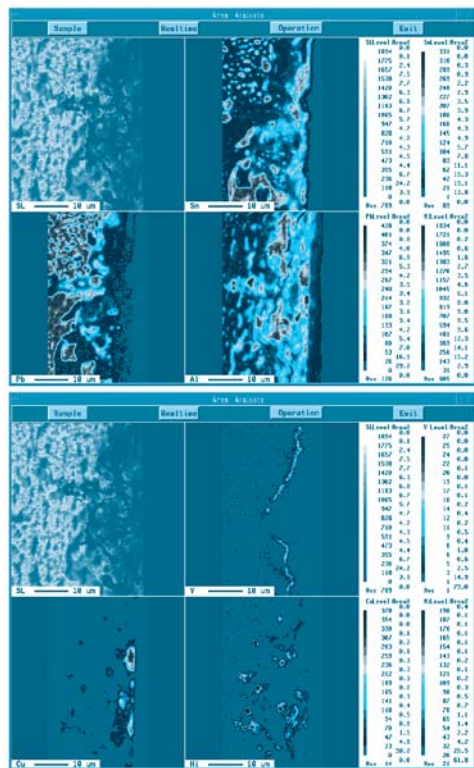
構已經完全被破壞。由於結構中的V原子並不與其他原子起反應，因此可以視為是Marker，用以判斷各元素在電遷移的過程中相互擴散的情形。

由 EPMA結果顯示，V原子層的破壞方式可以明顯得知有一強大的電子流由右向左移動，也就是由晶片側往鐳錫方向擴散，而在V原子層的右邊是Al原子，由此可以得知，Al原子的電遷移行為將是導致鐳錫凸塊破壞的主要因素。

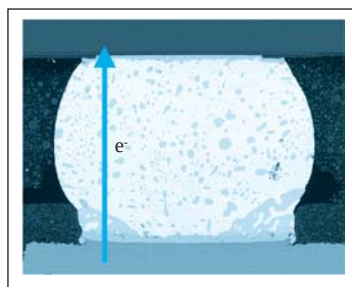
相較於電子流流向對鐳錫凸塊之影響，相反方向之電子流流向（由基板端流向晶片端）對於鐳錫凸塊結構



▲圖三 經過電遷移實驗1000小時之EPMA分析（彩色圖片請參見目錄頁）



▲圖四 經過電遷移實驗1711小時之EPMA分析（彩色圖片請參見目錄頁）



◀ 圖五 經過1711小時電遷移試驗之鉛錫凸塊橫截面圖

而言則顯得較不明顯，即使經過1711小時之後，鉛錫凸塊依然保持完整，如圖五所示。

二、時效熱處理對鉛錫凸塊之影響

為了瞭解電遷移對鉛錫凸塊之影響，另外作一組對照組為不施加任何電流之鉛錫凸塊，以觀察其與施加電流之鉛錫凸塊有何差異。由實驗結果得知，單純經過時效熱處理之鉛錫凸塊其電阻值並沒有太大之改變，此舉顯示單純的時效熱處理對鉛錫凸塊而言並沒有明顯的失效危機。

三、電遷移對顯微組織之影響

由圖二(b)與圖二(c)中我們可以發現一個很有趣的現象，那便是在錫球當中的富錫相 (Sn-rich Phase)在經過長時間的電遷移實驗後，富錫相之組織方位會趨向與電子流方向一致。然而富錫相的塑性變型程度與其在鉛錫凸塊中的位置有一定的關聯。圖二(c)中靠近鉛錫凸塊左右兩側之富錫相經過長時間之通電影響，其外觀形狀變成細長狀。相較於兩側富錫相的嚴重伸

長變形，位於鉛錫凸塊中間區域之富錫相則呈現等軸晶狀。一般相信這是由於流經鉛錫凸塊之電流分佈不均所造成。此外，由於富錫相本身具有 Body Centered Tetragonal結構性質，其電阻值在其主要軸向上相差了將近40% ($13.9-9.0\mu\Omega\text{cm}$ ，在 0°C 時)，這是與一般普通金屬較為不一樣的地方^[2]。有研究顯示在此不同軸向上的電阻值變化會伴隨著晶粒轉向，然而其機制目前還不甚清楚。

結論

本實驗中我們發現，覆晶接合鉛錫凸塊在經過電遷移實驗後，呈現不同的現象。首先是當電子流方向由晶片端流向基板端時，鉛錫凸塊底層金屬間將是最先被破壞的地方，Al原子的電遷移將會使得凸塊底層金屬間產生破裂，造成電性上的失效。其次，相反方向之電子流方向，即由基板端流向晶片端之鉛錫凸塊，其結構較不受電遷移之影響，長時間通電下依然可以保持鉛錫凸塊之完整。最後，最有趣的現象即是鉛錫合金鉛錫凸塊當中的富錫相，在經過長時間的電子流影響下將會有晶粒轉向的現象，並且此轉向是與電子流的方向一致。

參考文獻

1. D. Gupta, K. Vieregge, and W. Gust, Acta Mater. 47, 5 (1999).
2. J. R. Lloyd, J. Appl. Phys. 94, 6483 (2003).