

三．文獻回顧

3.1 PCB 表面處理工藝

印刷電路板的銅墊片表面處理方法中，電鍍鎳與金(electrolytic Ni/Au)或無電鍍鎳化金(electroless nickel/immersion gold, ENIG) 的處理方式的發展已有一段時間，其發展的原因是要用來替代 HASL(hot-air solder leveling)；因為當元件的接腳朝向微細化(fine pitch)發展時，焊墊表面平坦化(flatness)是被要求的[5]。然近幾年由於成本考量及無鉛焊料之焊接性問題，許多新興的表面處理方式如有機保護膜(organic solder ability preservatives, OSP) 浸鍍銀(immersion silver) 以及浸鍍錫(immersion tin) 等都快速發展之中；對應不同種的表面處理，其製造流程與不同表面處理特性如圖3.1[6]；對應不同表面處理方式其保存期限、價錢、迴焊次數、製程、助焊劑的相容性等比較如圖3.2[6]。據美國Circatex公司在2003年所做的預估，OSP 技術在印刷電路板的市場占有率，在北美地區預計將由2003年的19%增加到2005年的22%；歐洲地區則由2003年的5%快速增加到2005年的10%。在北美洲，則以浸鍍銀的方式成長最快，其占有率達7%，約為該方法在2003年之倍數；浸鍍錫的方式，成長率則約為3%。

3.1.1 有機保護膜(organic solderability preservatives, OSP)

OSP 墊片處理技術是另外一種當接腳朝向微細化(fine pitch)發展時，焊墊表面平坦化(flatness)的方法之一，此種處理方法最大的優勢在於它的成本最低廉。Li [7]指出，OSP 焊墊在使用上必須要考量其保存期限，焊墊本身對於多次的回焊(reflow)次數是不能忍受的，還有其濕潤能力(wettability)也是必須注意的。早在 1960 年代就有 Enthone 公司開發「Entek 處理法」，利用苯基連三連唑(Benzo-Tri-Azo, BTA)

材料在銅墊片加一層有機保護膜，到第四代 OSP 材料 - 衍生式苯基咪唑，在 1997 年開始量產，並在市場上占有相當之比例。2002 年時，日本四國化學更針對無鉛焊接開發第五代 OSP 產品系列，使用 Aryl Phonylimidazole 類材料，達到更佳之耐熱性，裂解溫度可達 355°C，大幅增加其對銅墊片的抗氧化能力。

3.1.2 浸鍍銀與浸鍍錫(immersion/silver or tin)

主要製程含銅表面的預清洗、微蝕、表面前處理、以及浸鍍等步驟。其中，浸鍍銀的鍍液以硝酸銀為主配方，焊接性良好且焊點強度也十分可靠。但純銀表面在空氣中易產生硫化及氧化的現象，所以需在浸鍍槽中添加有機抑制劑，來防止表面變色的情況。此外，為避免有機銀產生遷移現象 (silver migration)，浸鍍液中還需添加表面潤濕劑與緩衝劑等。而新興的浸鍍錫技術則是以硫月 (thiourea) 為主劑，鍍液穩定，焊錫性也較佳。不過浸鍍錫過程易造成綠漆變色或側蝕的問題，焊接後機版墊片與焊點間快速成長之脆性的 IMC 層，使得焊接性將受到影響。對於純錫電鍍層表面易產生錫鬚 (tin whisker) 的問題，也是浸鍍錫技術的一大隱憂。

3.2 對應不同表面處理 IMC 的生成反應

無鉛焊料有高成分的錫，與較高的熔點，進而容易造成界面反應的發生與促進 IMC 的生成。Islam 等人[8]探討 Sn-3.5Ag-0.5Cu 在電鍍鎳與金 (electrolytic Ni/Au) 或無電鍍鎳化金 (electroless nickel/immersion gold, ENIG) 兩種不同表面處理時的界面反應與強度，發現無電鍍鎳化金因為鎳層的表面沉積磷層在初始的擴散過程可以抑制 IMC 的成長，但隨著 IMC 的擴散而愈來愈成破碎狀且分散，最後導致其無電鍍

鎳層的消耗比電鍍鎳還嚴重，因為鎳磷層的沉積也造成強度上的一個弱帶。Huang等人[9]觀察Small Outline J(SOJ)的接腳在熱循環的環境中IMC的生成發現，Ni-Au的表面處理上IMC的生成厚度是OSP的表面處理的1.3倍；Ni-Au的表面處理中的Ni層能阻止Cu₃Sn的生成，造成其IMC的主要成分為Cu₆Sn₅，然而OSP的表面處理則在Cu焊墊與Cu₆Sn₅之間還有一層Cu₃Sn的生成。

3.3 強度與破壞面的分析

在焊點破壞分析上，焊點的強度除了和焊墊的表面處理有關外，封裝體本身的構造與PCB板的使用材料與疊層等也是影響的因素之一；Canumalla等人[10]研究發現，OSP的表面處理對應相同條件的錫球與板材，在剪切強度方面是比ENIG表面處理的好；背膠銅箔基板(resin coated copper)和非編織型數酯短纖加強基板(nonwoven aramid fiber reinforced epoxy)比較之下，背膠銅箔基板能提供焊墊較佳的抓著力，比較少產生焊墊拔起(pad lift)的破壞狀況。Snugovsky等人[11]研究發現ENIG的表面處理，會在銅墊片與鎳層之間發生脆性的破壞，而且會因為在鍍金程序時的處理不當，易造成鎳層的過度腐蝕與磷在鎳層上的沉積，造成影響強度的黑墊(black pad)發生。

Huang 等人[12]對 BGA 元件做循環彎矩測試與熱循環測試中發現，因為焊墊的不同表面處理，造成韋伯分布函數的變異主要原因是所對應生成的 IMC 成分不同。熱循環測試的破壞面發生在接近焊墊處，其上有一層錫球附著。振幅 1mm 的彎矩測試沿著焊墊表面破裂，上面沒有錫球成分。振幅 2mm 的彎矩測試其破裂面嚴重者由焊墊本身裂開破壞。Wu 等人[13]發現較厚的基板會有較大的抗彎勁度，但在組裝或者受力的同時，焊點所承受的應力較大；錫球的大小

對於可靠度的影響甚鉅，顯示出焊點的縮小，對可靠度的影響是很大的；彎矩的施加頻率對結果並不會造成太大的影響；Dasicy Chain 電路的外圈因為與中性軸距離(distance to neutral point, DNP)較遠所以受的曲率較大，容易產生破壞；振幅的施加波型以三角波與正弦波結果接近，以方波所造成的破壞較嚴重，原因是方波在最大振幅處的停留段所造成。

Lee 等人[14]發現以塊狀銅與焊料做成的擬錫球試驗中，當 IMC 厚度在 1-10 μm 時破壞面呈漣漪狀(dimple)其破裂面上有錫球的成分；當 IMC 厚度成長到 10 μm 時，其破裂面呈劈開狀，斷面上的成分都是 IMC。其引入了體積變化的觀點做解釋；造成這種現象的主要原因是界面反應變化後所造成的殘留應力。在銅表面所生成的兩層 IMC 中，錫原子和銅原子生成 Cu_3Sn 的 IMC 會減少原來體積 8.2%， Cu_6Sn_5 的 IMC 生成會減少體積 10%；因 IMC 的生成變化所產生的應變大概是 3.2%，如此會造成 2.7GPa 的應力在 Cu_6Sn_5 的 IMC 層，造成 1.6GPa 的應力在錫球內部。所以當 IMC 生成愈厚，其累積的應力就會越多，進而造成此一斷面的破壞。

3.4 錫球內部孔洞(void)對 CSP 或 BGA 焊點可靠度的影響

孔洞(void)定義為在錫球內部所造成的空孔；在錫球內部的孔隙被視為是電子產品組裝過程中的一種缺陷，造成這種現象的因素很多；助焊劑(flux)在迴焊(reflow)的過程中會因反應而造成內部氣體散出且融入錫球當中造成孔隙，焊墊本身、元件本身或是錫球表面，在迴焊(reflow)的過程中和助焊劑(flux)反應會產生一些釋放氣體(outgasing)，在迴焊(reflow)的同時會融入錫球當中。目前為止尚未有標準的規範來判定多少孔隙數量或者孔隙面積大於多少錫球斷面積

為一個缺陷的認定標準。Yunus 等人[15]對孔隙的大小、位置和發生率做探討，透過機械力的扭轉(torsion)與熱循環作用做測試。當大孔隙面積大於錫球斷面的 50%時，嚴重影響可靠度。至於小孔隙的影響力多寡則與發生的頻率與位置有關係。

3.5 焊點熱循環測試

熱循環測試的破壞造成和溫度上升下降的頻率與最高溫和最低溫的停滯時間(dwell time)有極大的關係。在-50 ~150 的溫度測試範圍內，其破壞的模式有兩種，一種是疲勞造成的穿晶(transgranular)形式的破壞；另一種是潛變造成的延晶(intergranular)形式的破壞[16]。

穿晶形式的破壞發生在低溫與高的熱機械應力(high thermal mechanical)狀況下，造成的原因是熱膨脹係數(coefficient of thermal expansion, CTE)的不一致，產生邊界滑移與差排的移動劇烈，所造成的破壞。延晶形式的破壞發生在高溫與低的熱機械應力(low thermal mechanical)狀況下，其發生的原因是內部微結構粗化，當回到低溫時會有內部破壞的累積所造成。

Shohji等人[17]把熱循環測試的結果以修正的 Coffin–Manson 方程式配合實驗的結果做出預測曲線如下： ΔT

$$N_f = C \cdot F^m \cdot (\Delta T)^{-n} \exp(Q/RT_{\max}) \quad (3.1)$$

其中 N_f 熱疲勞破壞的周次、 C 是常數、 F 是頻率、 ΔT 是熱循環溫度的範圍、 Q 是活化能、 R 是氣體常數、 T_{\max} 是熱循環的最大溫度。 m 、 n 、 Q 由實驗結果做圖求得。實驗結果發現在熱循環的最高溫度高於 100 時會有微結構粗化的情形，微結構變化處也是破壞的主要斷面。在熱循環溫度範圍不夠大、或者熱循環最高溫低於 100 的實驗

結果不能用modified Coffin–Manson equation嵌合。因為破壞面不在微結構變化處，所以壽命 (life) 分佈值不會在曲線上。

因為熱膨脹係數(CTE)的不同所造成的疲勞壽命預測，可由 Coffin-Manson 方程式做一階的近似(first-order approximation)而產生，如下式[18]:

$$\overline{N_f} \propto \left(\frac{h}{L(\Delta\alpha)(\Delta T)} \right)^2 \quad (3.2)$$

其中 $\overline{N_f}$ 是疲勞壽命的中位數、 h 是錫球或金屬接點(bump)的高度、 L 是到中性軸的距離、 α 是IC與基板的熱膨脹係數差、 ΔT 是熱循環的溫度範圍。

3.6 JEDEC(Joint Electron Device Engineering Council)與 IPC(Institute of Interconnecting and Packaging Electronic Circuits)

JEDEC 規範是本篇論文測試方法的依據，IPC 規範則是印刷電路板製造的依據標準。JEDEC 是電子工業聯盟(Electronic Industries Alliance, EIA)的半導體工程標準化組織。其原創於 1960 年代規範內容包含標準化所有半導體的元件，於 1970 年代擴大其內容更包含了積體電路，目前大約 300 多家會員公司提供行業中每一環節的標準，積極合作發展符合工業需求的標準。IPC 其組織的內容集合了所有電子產業的參與者，包含設計、基板製造、組裝、上游供應、生產製造設備，在 1957 年成立。本篇論文研究進行實驗的相關規範分別簡述於下面的小節。

3.6.1 JESD22-B117 (BGA Ball Shear)[19]

其目的為測試錫球對機械剪力的忍受度，是一種破壞性的檢測方式。應該要注意的事項如下：

- a. 如圖3.3推頭寬度應該跟錫球差不多，以免被相鄰的球影響到。
- b. 推球的高度不要高於四分之一迴焊後的球高。
- c. 六種球的破壞模式如圖[3.4]。

3.6.2 IPC/JEDEC-9702 (Monotonic Bend Characterization of Board-Level Interconnects)[20]

這則測試規範主要針對單調彎矩測試(monotonic bend test)所訂，但是以四點彎矩的測試架構下，應屬於最接近與最完整的測試方式，與本篇論文的測試目的也是最接近的一則規範，因此決定採用他的測試架構進行循環彎矩測試。測試架構如圖3.5。

其目的用來測試元間與所附著應刷電路板之間的破裂強度(fracture strength)。規範中有建議的夾頭位移距離與速度，因為位移是本實驗的一個變數所以只參考它的最小移動速度，如下：

$$\dot{d} = \frac{\dot{\epsilon}(L_S - L_L)(L_S + 2L_L)}{6h_b} \quad (3.3)$$

其中 \dot{d} 是夾頭行進速度， $\dot{\epsilon}$ 是刷電路板的 global strain rate (對應最小移動速度時建議值是 $5000\mu/s$)， L_S 是支撐點的寬度， L_L 是力量端施加的寬度， h_b 是印刷電路板的厚度。

規範中建議觀察截面方法為是染料測試(dye-and-pry method)，試片在染色後以機械力拉開觀察截面。其對於破壞的定義模式如圖3.6，分別有焊墊拔起(pad lift)、壞在錫球(fracture within solder bulk)、壞在IMC(fracture IMC)等模式。

3.6.3 JESD22-A104-B(Temperature Cycling)[21]

其目的為測試元件或錫球連接對極高溫或極低溫的環境所產生的機械應力忍受度，在測試的過程中，如果有元件本身有物理或化學的變化特性，也會表現出來。其建議的溫度範圍如表3.1。

3.6.4 IPC-2221(Generic Standard on Printed Board Design)[22]

規範的目的為建立有機電路板(organic printed boards)的設計與其它元件上連結的結構物，這些有機材料可能是均質的(homogeneous)或者強化的(reinforced)。其板材的設計可能是單層雙層或者是多層的。

本論文所使用的試片採用其對表面處理的建議，主要是在金屬(gold plating)與鎳層(nickel plating)的厚度與OSP的塗布建議，如表3.2。

