



Electronic Materials

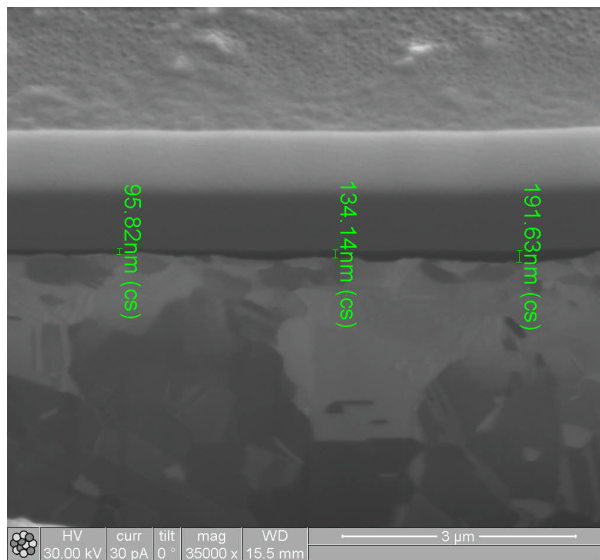
DOW ELECTRONIC MATERIALS 陶氏電子材料 INTERCONNECT TECHNOLOGIES 電子互連技術

Technical Communications 科技專刊

Surface Finishes for Lead-Free Assembly 無鉛組裝的表面處理技術

2009年7月

本文已發表於 PCB007 網站



引言

電子零件和印刷電路板之間結合需要焊點强度高、鉚錫質量可靠，才能保證良好的連接性。自從組裝產業轉向無鉛焊料合金應用以來，對用於電路板焊墊表面處理（鍍層類型和厚度）後焊點的可靠性及關於錫膏和錫球的焊料合金組成，一直有著大量的研究正在進行中。這些研究透過廣泛的可靠性試驗，包括錫球推力/錫球剪切力測試、剪切速率影響和失效模式分析、撓曲試驗、掉落衝擊試驗和冷熱循環試驗等方法，對焊點性能進行了深度的探索。介面合金共化物（IMC）的形成和焊點電遷移受迴流焊條件、熱老化和電流密度影響的研究也在一些學術單位有所進展。所有這些研究的目的都是為了配合不同工業應用條件下，如何提高焊點可靠度的要求。

大約在 2006 年中，無鉛組裝開始在亞洲廣泛推廣，但卻遭遇了嚴重的組裝良率大幅下降並造成巨額的經濟損失。在這段過渡期，幾乎所有的組裝公司都同時面臨著各種不同的技術問題。至 2008~2009 年，各公司進行了大量重新設計和研發工作後，包括對印刷電路板重新設計、優化組裝程式參數、錫膏和助焊劑的配方重新修正，及對印刷電路板基板材料和焊墊表面處理重新選擇或製程條件修正，無鉛組裝的成品良率已經有了很大的改進（雖然與採用錫鉛合金焊接相比，仍經常出現某種程度的良率損失）。

轉向無鉛組裝所面臨的問題之一是焊接製程操作範圍變窄了。與傳統錫鉛相比，無鉛焊接有一項主要不同點，就是錫面擴散性差，這導致了焊墊錫覆蓋面積不足（露銅）和通孔填錫量不足。組裝廠就加大印刷鋼板的開口孔徑以獲得較多的錫膏沉積量，來解決焊墊錫覆蓋不足問題；但是電路板採用有機保焊（OSP）作為表面處理時，在無鉛波峰焊時，零件插接在通孔的填錫量往往不足而導致很高的組裝返工率，雖然對迴焊參數和助焊劑成分進行了諸多調整，目前尚無法解決此一棘手問題。多次無鉛波峰焊操作及後續返工之後，均在通孔肩部附近發現銅厚變薄，這是由於無鉛合金和較高的工作溫度導致了較高的銅溶出率。倘若能確保通孔具有足夠的電鍍銅厚度，以便為預計的組裝工藝流程提供適當的安全裕度，該問題即可大大減少。

然而，工業界仍繼續尋找各種新方法，透過更清楚各式表面處理、無鉛焊料合金及焊點可靠性之間的交互作用，以進一步提高無鉛組裝的良率。

本文中，我們要討論各種表面處理技術對無鉛組裝的影響。

表面處理和焊錫合金技術的發展趨勢

最廣泛使用的表面處理技術是 ENIG（無電鍍鎳-沉金）、OSP(有機保焊)、沉錫、沉銀、錫鉛與無鉛噴錫及最近推出並受到廣泛好評的 ENEPIG（無電鍍鎳-無電鍍鈮-沉金）。業內專家們對這些表面處理方法所形成的焊點性能進行了比較，也有對無鉛錫膏和無鉛波峰焊進行相關研究。應用和可靠性的要求推動了下列表面處理技術的升級。

- 在筆記電腦和桌上型主機板無鉛組裝工藝中，因成本考量，OSP 表面處理技術幾乎取代了所有的錫鉛噴錫表面處理
- 掉落衝擊試驗需要高錒錫強度，而按鍵部位需要低阻抗耐磨耗性高，因此行動電話和手持電子產品有許多公司使用選擇性無電鍍鎳-沉金（ENIG+OSP）
- ENIG 和 OSP 具有良好的連接可靠性和鍍層平整度，均大量用於快閃記憶體產品
- 在汽車和通信產品的印刷電路板使用各種表面處理技術，包括 ENIG、沉錫、OSP 和錫鉛噴錫等。其中壓接 (press fit) 技術或在惡劣的環境中保持焊點高可靠度的需求，業界正在努力評估與探索無鉛焊錫的可能性
- 在覆晶組裝的領域，沉錫和 ENEPIG 表面處理技術已成功地成為主流技術
- ENEPIG 正在導入如何取代電鍍鎳/金表面處理技術，以降低成本與應用在高密度無導線設計

自從無鉛組裝技術發展後，使用最廣泛的焊錫合金是 SAC305（錫 96.5wt%，銀 3%，銅 0.5%）。但是對無鉛焊點強度、長期可靠性和持續的成本壓力等方面的研究，使人們尋求替代合金的可能性。如低銀合金摻雜 SAC105+XY 或 SAC0307+XY 等的合金，可能會降低焊料成本，但是不犧牲或提高焊點可靠性。

當被動組件的尺寸縮小到 0201 或以下，焊墊和焊點尺寸均大幅減小，這將導致新的可靠性問題，且為組裝帶來挑戰。若錫膏中錫粉粒徑分佈從 25-45 μm （3 型）減小至 20-38 μm （4 型），且對錫膏和助焊劑成分進行優化，則能將錫膏印刷用於 0201（0.6 毫米 x 0.3 毫米）和 01005（0.4 毫米 x 0.2 毫米）的被動元件。

加上無鹵助焊劑的使用的導入，也帶來新的複雜問題。

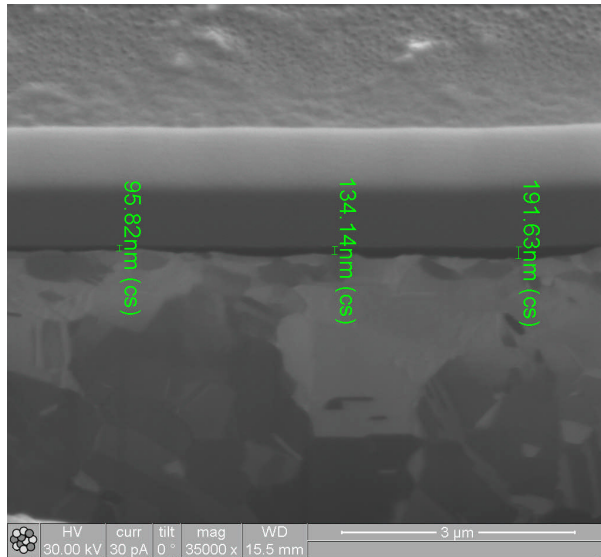
無鉛焊接的介面結構

介面結構變化和介面合金共化物(IMC)是與不同焊料合金和印刷電路板表面處理鍍層焊接後的結果，從這觀點將有助於焊點可靠性的了解。

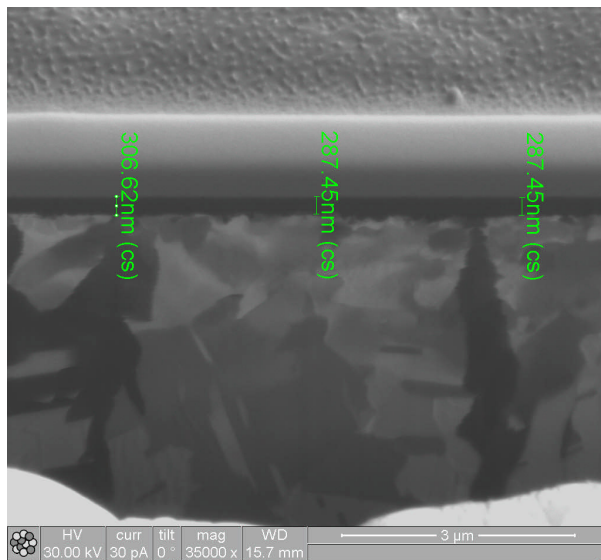
有機保焊(OSP)

OSP 的作用為沉積一薄層有機化合物以 防止銅金屬表面在焊接之前產生 氧化。OSP 層厚度有填平銅面粗糙表面的趨勢，但同時可能導致 OSP 層發生局部厚度變化，如圖 1 所示。這種變化可能導致對下面的銅的保護不均衡，OSP 膜較薄的區域容易氧化，而 OSP 膜較厚的區域則難以潤濕。在同一片電路板上同時出現這兩種情況均可能導致銅表面無法被助焊劑完全潤濕，倘若當該表面曾暴露於無鉛迴焊的高溫下，這一問題將更為嚴重。

圖 1 OSP 膜在 a) 電鍍銅和 b) 拋光銅表面上的厚度分佈



a) 電鍍銅面 - 較薄且厚度不均的 OSP 膜



b) 拋光銅面-較厚且均勻的 OSP 膜

在 OSP 主要的介面合金共化物是 Cu_6Sn_5 ，長在靠近銅墊介面較薄的一層 Cu_3Sn 上。在老化過程中介面合金共化物層厚度增加，當高溫老化時，金屬間化合物會過厚並形成介面空洞，會導致介面脆性斷裂，而造成可靠性不利影響。

在實際應用中，倘若焊點電流密度特別高，有可能發生明顯電遷移且容易在銅焊點介面形成空洞。限制電遷移造成的影響所能採用的方法包括採用替代的表面處理方法與在焊料合金中添加微量成分，以降低電遷移速度或減少空洞的形成。例如，銅表面即使很薄的一層鎳層都能夠改變金屬間化合物的結構，透過形成一種三元金屬介面合金共化物 $(\text{Cu,Ni})_6\text{Sn}_5$ ，能有效降低銅擴散至錫層的 (1) 速度。

沉銀，沉錫

在沉銀和沉錫過程中金屬介面合金共化物的形成過程與 OSP (2) 類似。沉銀技術在早期遇到了一些問題，如無鉛焊料合金會在銅-焊點介面上產生一些微洞（稱為香檳空洞）。這些問題產生極大的品質問題，但沉銀供應商認為透過改變工藝控制和銀沉積厚度，這一問題可以得到解決。

倘若基板銅的保存時間過長或溫度升高，沉錫鍍層很容易形成介面合金共化物。沉積結構變化會降低焊料潤濕性。因此，沉錫表面處理技術的有效期顯著短於其他表面處理方法。

無電鍍鎳沉金 (ENIG)

ENIG 表面處理技術採用薄薄的一層沉金以防止下面的無電鍍鎳沉積氧化。在焊錫過程中，金層快速溶解至錫層，而鎳層和焊料相互作用下形成性能可靠的介面合金共化物。在同樣迴焊條件下，金屬介面合金共化物在鎳層上的形成速度比在銅上要慢，因此應注意確保組裝條件合理化。一般無電鍍鎳含磷量為 6-10 wt%，並廣泛被採用於焊接的應用。由於無電鍍鎳沉金藥水在製程中的控制和組裝參數（尤其是迴焊溫度曲線）之間的相互影響，磷含量對金屬介面合金共化物結構和焊點可靠性的影響仍然不易了解。高磷含量 (11 - 12 wt%) 的無電鍍鎳沉積具有良好的耐蝕性，但可焊性較差。然而，在空氣污染環境下對中低磷含量 ENIG 表面易造成鍍層受腐蝕，高磷含量無電鍍鎳沉金的技術已成功運用在接觸性表面處理的應用。提高了無電鍍鎳配方、改善了沉金系統及優化的工藝控制，藥水供應商持續研發的基礎提供了印刷電路板更有競爭力 ENIG 產品選擇。

無電鍍鎳鈀沉金(ENEPIG)

打金線的應用中 ENEPIG 是替代電鍍鎳金的優選方法。近年來，該方法已成功用於一般多層印刷電路板，且獲得很多終端用戶的較高評價。覆晶 BGA 也同樣在焊接中採用了 ENEPIG。

在 IC substrate 打金線使用 ENEPIG 代替電鍍鎳金的應用正在逐漸商業化中。無電鍍鈀和沉金厚度適當的匹配的表面處理技術，既易於打金線又具有較強可焊性，同時整體金層的厚度顯著降低（3）。因為有鈀沉積作屏障，在沉金過程中，ENEPIG 可以免除無電解鎳被沉金腐蝕。

在多次迴焊組裝的流程中，ENEPIG 對於 SAC305 焊料合金，可以提供良好的焊點強度。無電鍍鎳層和金層之間的薄薄的鍍鈀層，對介面合金共化物的形成進行了明顯改變。焊球剪切試驗證明，在多次迴焊週期後，ENEPIG 的焊點強度明顯優於 ENIG（4）。

結論

由於焊料合金的創新、助焊劑化學技術和印刷電路板表面處理技術的日益發展，無鉛焊接技術因此得以不斷的持續發展並提高焊錫可靠性，以符合無鉛焊接技術之時代需求。

Simon Lee 是陶氏電子 材料 亞洲 電子 互連技術產品經理，可以透過 電子郵箱 tslee@rohmmaas.com 與其聯絡。

參考資料

- 1) Y.H. Hsiao, Y.C. Chuang, C.Y. Liu, “採用高抗電遷移三元銅-鎳-錫層的方法防止電遷移導致的銅墊熔化” , Scripta Materialia, 54 (2006), 661 – 664.
- 2) J.W. Yoon, S.B. Jung, “沉銀表面處理對 Sn-3.5Ag-0.7 銅焊點介面反應和機械可靠性的影響” , 《合計和化合物雜誌》, 第 458 卷 (2008) , 1-2, 200-207.
- 3) K.W. Yee, “ENEPIG 將是無鉛焊接應用在印刷電路板和 IC 封裝中的解決方法嗎?” IMPACT 2007 年會議 (臺灣) 期刊, 208 - 218 。
- 2) 4) K. Takura, K. Kuramochi, H. Murakami, K. Sugiura, Y. Sugita, “鍍 Au/Pd/Ni-P 與錫球之間的介面反應” , 日本電子封裝研究所第 21 次大會期刊, 2007 年 3 月。