

# 本期 專輯

## 錫鬚現象 與分析

財團法人台灣電子檢驗中心 蕭弘昌

### 前言

由於環保意識的抬頭，全球開始進行產品無鉛化的製程，而無鉛化的實行對現有產品的品質與可靠度影響頗鉅，一個重新被重視的問題就是錫鬚的問題。錫鬚的問題早在六十年代就已經被提出來討論了，不過由於元件電鍍Sn-Pb，並未有錫鬚的問題產生。但從元件追求無鉛化起，元件表面電鍍成分從Sn-Pb改成鍍純Sn、Sn-Bi或Sn-Cu後就衍生出許多的相關議題，而錫鬚的問題就這樣再一次受到關切。錫鬚於室溫會自發性成長，過長的錫鬚會造成線路的短路，會導致產品功能的失效，這點才是最終的問題。至於如何有效的解決這個問題呢？唯有愈了解錫鬚成長的機制，愈能從中發掘改善之道。

### 一、錫鬚的成長背景

錫鬚成長簡單來說就是一種應力釋放的現象。而這應力來至何處？錫鬚又在哪裡容易被發現呢？就現行研究的結果，應力(Compressive Stress)形式簡單可以區分成以下三種類型：機械應力、熱應力、化學應力；其中化學應力是造成錫鬚自發性成長的最重要驅動力。

#### 1. 機械應力：



圖一：FPC上的金屬pin腳受connector內金屬腳的壓力邊緣處發現錫鬚。

機械應力的產生通常是外來的，尤其是壓縮性的機械應力，更容易加速錫鬚的生長。例如連接器(connector)與軟性印刷電路板(FPC)連結時，大部分都是以連接器(connector)夾持FPC pin腳的方式，此時軟性印刷電路板(FPC)上的金屬pin腳即受到來至連接器(connector)內金屬端子的夾持壓力。很容易發現於軟性印刷電路板(FPC)上金屬pin受壓力的邊緣處發現錫鬚的現象。

#### 2. 熱應力：



熱應力係指產品遭受高、低溫度變化時，相結合之兩材料因膨脹係數的不同所產生的壓縮或拉張力。Sn的膨脹係數比Cu來的高，因此於製程中經由迴焊(reflow)後回到室溫時，Sn鍍層實際是承受到Cu底材牽制產生之拉張力，但仍可發現錫鬚之發生。猜測其原因可能是化學應力之自發性錫鬚成長效力遠大於熱應力，及鍍層中任何不均勻性造成之局部性壓縮應力。

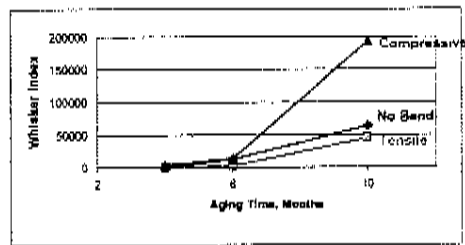
### 3. 化學應力：

以現今最常見的Cu底材金屬腳為例，化學應力的主要來源，就是Sn和Cu產生介面金屬合金(IMC)的反應。一般情況，於室溫下Cu原子便會自然地擴散進入Sn產生Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>介面金屬合金(IMC)，此介於Sn和Cu之間的Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>介面金屬合金(IMC)將形成一股推力，由底部把Sn往外層推，而促成錫鬚的成長。由於Sn和Cu產生介金屬的反應於室溫就可以進行，所以此產生介金屬的反應將不斷地發生，也就不斷地提供化學應力，迫使Sn層受到推擠的應力。此時，若Sn表面有氧化層時，便可以阻擋Sn向外延伸的空間，但一旦氧化層有出現裂縫時，Sn便會從縫隙中被推擠而出形成錫鬚。

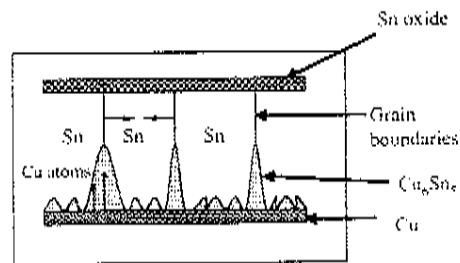
錫鬚成長通常是局部性的或發生在錫表面的某些點上，為何這些斑點是成為錫鬚成長的唯一地方呢？

如圖三中就是當Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>介面金屬合金(IMC)形成時會產生擠壓的應力。此時，當鍍Sn表面的氧化層有裂縫點時，錫鬚便從此處成長以釋放應力。而Sn表面的斑點通常是一結構比較脆弱的氧化層，是容易產生龜裂的地方。這就是為何錫鬚於Sn表面斑點處比較容易被發現！

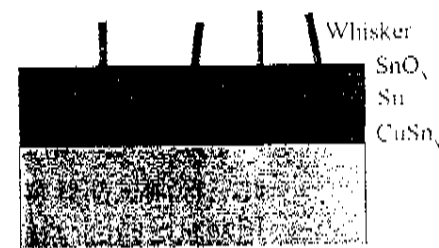
圖四、圖五為 FPC cable 上的金屬pin腳，經過 50 °C，80%R.H. 1500小時試驗後，實際在Sn表面氧化處



圖二：外加的機械壓縮和拉張應力對錫鬚成長的關係圖。  
(資料來源：Cookson Electronics)



圖三：當鍍Sn表面氧化物有裂縫，Sn便受到擠壓的應力往外伸展，形成錫鬚。

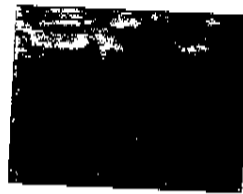


圖四：FPC cable上的金屬pin腳處1500小時後之錫鬚現象(顏色棕色處為較嚴重的氧化層)





圖五：FPC cable上的金屬 pin 腳處 1500小時後之錫翳現象。  
(顏色棕色處為較嚴重的氧化層)



圖六：FPC cable pin 腳處 1500小時後之錫翳現象。

分別都觀察到錫翳的蹤影。

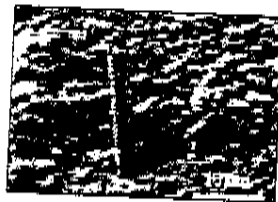
## 二、錫翳的形式

錫翳往往有以下幾種形式可以被觀察到：

- 直線型
- 扭結、彎曲、旋轉的形式

• 分叉現象極少被發現

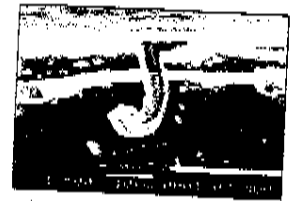
以上各種形式可以參考下列實際觀察到的不同種類的錫翳圖，一般錫翳之直徑與觀察到之錫層表面晶粒大小相近：



針型 (Needles)



柱型 (Column)



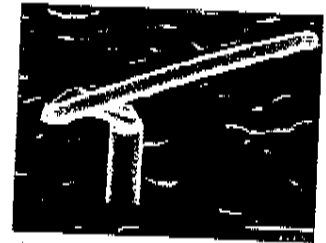
環型 (Ring)



山丘型 (Hillocks)



分叉型 (Branched)



扭結型 (Kinked)

部分圖片來源：

取自National Electronics Manufacturing Initiative (NEMI)發表的研究

## 三、加速試驗

為了及早發現錫翳的問題，今年6月於東京所舉辦的錫翳會議中National Electronics Manufacturing Initiative (NEMI)、Soldertec of Tin Technology Ltd 和 Electronics and information Technology Industries Association (JEITA) 三大組織達成了共識結論，利用以下三種測試狀態來評估錫翳的問題。

1. 溫度循環試驗 (Temperature Cycling) :  
-55 +0/10°C - 85 +10/-0°C
2. 高溫高濕儲存試驗 (High Temperature/Humidity Storage)  
60±5°C, 93 +2/-3 % RH
3. 室溫環境儲存  
20 ~ 25°C, 30 ~ 80 % RH

此三種測試都具有其獨立性。

相關試驗時間(循環數)、允收標準仍有待決定(需考慮錫翳成長速度，及不同鍍層情況之試驗檢出率)，相信不久就會有完整的規範可供參考。



#### 四、建議解決方案

1. 德州儀器(TI)採用的方法是先於Cu上鍍鎳：鎳上鍍鈀：鈀上鍍金，主要在形成Cu擴散的障礙層(barrier)，避免Cu直接和Sn經化學反應生成Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>介面金屬合金(IMC)，產生應力。
2. 也有研究指出鍍較厚的Sn層，厚度約(8~12um)，如此於表面的Sn面受到下方因Sn、Cu反應傳送而來的應力相對會變的比較小。應力一變小，相對的Sn表面就比較不容易長錫鬚。
3. 於電鍍(前)後進行退火(annealing)熱處理，一般退火處理條件可能是150 °C/ 1-2小時。退火之目的及效果有(1) (加工)應力消除，(IMC)厚度變均勻(2)再結晶或晶粒長大。
4. 鍍霧面錫(Matte Tin)，由SEM可以看到霧面錫表面有較大之晶粒(~5 um)(亮錫晶粒 ~0.2 um)，又錫鬚一般直徑與表面晶粒相近，故雖然鍍霧面錫可能無法阻止錫鬚成長，但經驗指出此時錫鬚不會很長，比較不足以構成產品短路失效。

#### 五、結論

1. 是否會長錫鬚可能不是最重要，是否會造成短路才是重點(目前端子間距0.5 mm (half pitch)、甚至更小的0.4 / 0.3 mm 已逐漸普遍)，故長度超過300 um (0.3 mm)之錫鬚就有相當之危險性。
2. 元件電鍍重要目的是確保可銲性與焊點品質，既然銲錫以Sn為基材，電鍍材質短期內恐怕無法以其他材料取代。
3. 國際性錫鬚加速試驗規格標準制訂將有助產業界採取相同之允收標準，但一定要深入了解錫鬚生成與成長之機制，方能針對不同鍍層情況掌握失效檢出率、不同試驗方法之適用性與等效性、及試驗加速因子。

#### 參考文獻

1. W. J. Choi, and K. N. Tu Dept. of Materials Science and Engineering, UCLA, Los Angeles, CA90095 — "Structure and Kinetics of Sn Whisker Growth on Pb-free Solder Finish"
2. Chemical & Materials Engineering Department San Jose State University — "Understanding and Minimizing Tin Whisker"
3. Irina Boguslavsky, NEMI Consultant ; Peter Bush, SUNY Buffalo ; Elsa Kam-Lum, Allegro MicroSystems ; Mark Kwoka, Intersil ; Jack McCullen, Intel ; Nick Vo, Motorola — "NEMI Sn Whisker Project"
4. Chen Xu, Yun Zhang\*, C. Fan and J. Abys — "Understanding Whisker Phenomenon : Driving Force for Whisker Formation" **ETC**

