

## Sn-5Ag 鍍層在去離子水中對銅遷移之影響

林景崎\*、陳俊宇、陳威宇、巫芳青

### Effect of Sn-5Ag coating on the migration of copper conductors in de-ionized water

J. C. Lin\*, C. Y. Chen, W. Y. Chen, and F. C. Wu

#### 摘 要

本文主要在探討銅導線鍍上 Sn-5Ag 鍍層後對銅遷移的影響。銅導線鍍上 0.67~2  $\mu\text{m}$  厚的 Sn-5Ag 鍍層，在去離子水中 5V 偏壓的情況下，可抑制銅導線的電解質遷移，且隨著鍍層厚度的增加，抑制效果愈佳。若經過熱處理（250°C/5 分鐘）之後，試片的抗遷移能力亦會大幅提升。

藉由在 0.01M NaOH 水溶液中進行動態陽極極化掃瞄，將有助於了解抑制遷移的機制。在 Sn-5Ag 鍍層的極化曲線中發現兩個電流峰，其分別對應於 SnO 及 SnO<sub>2</sub> 的生成反應，這兩種氧化物皆提供了保護，防止銅導線中銅元素及 Sn-5Ag 鍍層中銀元素的溶解。因此，在銅導線上鍍上 Sn-5Ag 鍍層可以有效的抑制遷移。此外，在同樣 2  $\mu\text{m}$  的鍍層厚度下，Sn-5Ag 鍍層比 Sn-10Pb 鍍層具有較佳的抗遷移能力。

關鍵詞：無鉛鉛錫；電解質遷移；陽極極化；熱處理。

#### ABSTRACT

The effect of Sn-5Ag coating on the electrolytic migration of Cu-conductors has been studied. The Sn-5Ag coating layer with a thickness of 0.67~2  $\mu\text{m}$  tends to inhibit the migration of the copper conductor in de-ionized water at a bias of 5 V. The inhibition becomes more efficient with increasing the thickness of the coating. Heat treatment ( 250°C for 5 minutes) of the coated specimens pronouncedly increases their resistance to electrolytic migration.

The investigation of potentiodynamic polarization in 0.01M NaOH is useful in delineation of the migration inhibition mechanism for the Sn-5Ag coated specimens. For Sn-5Ag coated specimen, two passive peaks corresponding to the formation of SnO and SnO<sub>2</sub> are observed. Both oxides on the coating provide a protective layer, which prevents copper dissolution from the substrate and silver dissolution from the Sn-5Ag coating. Thus tin oxides resulting from the Sn-5Ag coating effectively inhibit copper migration of the copper conductors. Furthermore,

comparing the coatings with the thickness of 2  $\mu\text{m}$ , Sn-5Ag is superior to Sn-10Pb in the inhibition of copper electrolytic migration.

Keywords: lead-free solder, electrolytic migration, anodic polarization, heat treatment.

## 一、前言

近來，由於鉛對人體具有毒性，並對環境造成污染，因此無鉛錫鉛的需求日益迫切。考量電子工業的應用，錫鉛的液相線溫度需介於 100~250°C 之間，並且對基板有良好的潤濕性。無鉛錫鉛基於成本及冶金特性的考量，均以錫為基底再加入其它合金元素來取代鉛<sup>[1-3]</sup>，其中錫銀鉛料是目前最具發展潛力的共晶錫鉛系統之一，雖然共晶點溫度偏高(221°C)，但其機械性質優異，且能以各種形狀成型運用，因此將其列為研發對象。

本研究在銅導線上施以 Sn-5Ag 合金電鍍，並將電鍍 Sn-5Ag<sup>[4,5]</sup> 之銅線路加以熱處理，熱處理條件為模擬錫鉛之迴錫條件 (250°C 持溫 300 秒)，比較熱處理前後 Sn-5Ag 鍍層對銅遷移性之影響。

## 二、實驗

### 2.1 銅線路試片製備

銅導線試片以正感光性單面銅箔玻璃纖維版(型號 06GS)為原料，銅箔厚度約為 35  $\mu\text{m}$ 。圖1為本研究試片的製備流程<sup>[4]</sup>，印刷電路版(PCB, Printed Circuit Board)先經透明的原稿圖樣對準，以紫外線光源曝光450秒後，顯影劑顯示線路，並以去離子水沖洗，再用氯化鐵( $\text{FeCl}_3$ )蝕刻非線路部分的銅箔，最後以酒精去除光阻。電路版圖樣型式有兩種：形式一為圖 2(a) 的一對平行導線作為遷移實驗，而型式二為圖 2(b) 的一正方形銅線路作為陽極極化之探

討。

### 2.2 銅線路鍍 Sn-5Ag 錫料

本研究選定以 Sn-5Ag 合金為無鉛錫鉛的研究對象。以合金電鍍的方式來控制錫鉛的厚度及其組成均勻性。由電鍍時間來控制鍍層厚度使其在 0.67、1.33 及 2.0  $\mu\text{m}$ 。電鍍的配方及操作參數如表一所示，並以 Sn-10Pb 無鉛錫鉛做比較(電鍍配方及操作條件如表二所示)。Sn-5Ag 合金鍍層經溶解後以 ICP 分析成分，鍍層的厚度以 SEM(Hitachi S-570)作剖面觀察，以 XRD (Shimadzu XD-5) 分析 Sn-5Ag 鍍層之結晶結構。

熱處理方法如下：試片在電鍍完成後，放入可程式溫控爐(NEY 160A)中，以每分鐘 30°C 的升溫速度加熱到達 250°C 峰值，保持恆溫 5 分鐘，打開爐門迅速取出冷卻至室溫。

圖 3(a) 和 3(b) 為本研究之實驗槽。圖 3(a) 為即時觀察遷移現象之實驗槽；而圖 3(b) 是進行動態陽極極化之裝置實驗槽。

### 2.3 銅遷移實驗

以恆電位/恆電流儀(EG&G model 263A)作為電解質遷移實驗的電源供應器。兩條銅導線的頂端銲接導線與電源供應器上之 +、- 極相接如圖 2(a)。將試片水平固定在實驗槽中如圖 3(a)，使其表面覆蓋一定高度(2mm)的去離子水溶液膜，然後施加 5V 之相對電壓於兩平行線路之間，量測電流大小，經 3600 秒後以光學顯微鏡(Olympus/Topcon

BX60M) 觀察遷移現象。

平行銅導線試片以去離子水沖洗後，以氮氣乾燥，再電鍍上不同厚度之 Sn-5Ag 合金，比較純銅導線以及鍍上不同厚度 Sn-5Ag 銅導線之電解質遷移現象差異。

## 2.4 陽極極化掃描實驗

電極的陽極行為決定它們的電解遷移的可行性。然而，由於去離子水的電阻過大，電位降 (IR drop) 的影響，使得對陽極銅線路作電化學分析有所困難。本研究先後曾嘗試以 0.01M HCl、0.01M KCl 及 0.01M NaOH 取代去離子水作遷移實驗，但前兩者受  $H^+$  及  $Cl^-$  影響而有差異，唯有 0.01M NaOH 電解液之遷移現象不受上述離子影響又可消除電位降，因此用來做為陽極極化掃描之電解質。故本實驗以 0.01M NaOH ( $pH \approx 12$ ) 水溶液來取代去離子水當作電解質溶液。

動態陽極極化曲線實驗時，實驗裝置如圖 3(b) 所示，採用圖 2(b) 所製作的試片為陽極浸置在實驗槽中，陰極為白金鈦網，參考電極為標準甘汞電極 (SCE)。設定儀器，使陽極自電位  $-0.25V_{SCE}$  向正方向掃描到  $1.5V_{SCE}$ ，掃描速率為  $1mV/s$ ，所得之動態極化圖可顯示電流密度對電位的關係。

## 三、結果

### 3.1 Sn-5Ag 合金沈積之厚度與成分

圖 4 為在表一鍍浴中電鍍 300 秒所得 Sn-5Ag 鍍層之 SEM 剖面圖，其厚度約為  $2.00 \mu m$ 。相對應在電鍍 100 及 200 秒所得 Sn-5Ag 鍍層厚度為  $0.67$  及  $1.33 \mu m$ 。

由 ICP 分析結果可知 Sn-5Ag 鍍層合金的組成為 95at% 錫和 5at% 銀。若電鍍電流控制在  $80-90Am^{-2}$ ，此合金組成不會有所變化。

### 3.2 去離子水中施加 5V 之遷移現象

#### 3.2.1 純銅導線之遷移現象

圖 5 顯示銅線路在去離子水中施加 5V 偏壓歷經 1 小時後，陰陽兩極表面的光學顯微觀察結果。經歷 15 分鐘後，陰極首先生長出樹枝狀結構物，此樹枝狀結構物隨時間增長快速成長且更密集，在 60 分鐘後完全和陽極導線相接觸而造成短路。

#### 3.2.2 電鍍 Sn-5Ag 合金熱處理前後對遷移之影響

圖 6 為純銅線路和表層鍍 Sn-5Ag 之銅線路在去離子水中之遷移實驗所量得之電流對時間曲線圖。在遷移實驗中若在相同時間，表層鍍 Sn-5Ag 的試片其電流密度皆小於純銅線路，且其電流密度隨鍍 Sn-5Ag 厚度增加而減小，尤其在 Sn-5Ag 鍍層厚度達  $1.33$  及  $2.0 \mu m$  時，遷移電流近乎於零。

圖 7 顯示銅導線上分別鍍  $0.67$  及  $1.33 \mu m$  Sn-5Ag 後試片歷經 60 分鐘遷移實驗後由光學顯微觀察所得結果。在 Sn-5Ag 鍍層厚度為  $0.67 \mu m$  時，具有明顯遷移的現象如圖 7(a) 所示，但當 Sn-5Ag 鍍層厚度達到  $1.33 \mu m$  (圖 7(b))，遷移現象已被完全抑制。

圖 8 為純銅導線和表層鍍 Sn-5Ag 之銅導線兩者均經  $250^\circ C / 5$  分鐘熱處理後所量測之遷移電流對時間的曲線圖。圖中經熱處理之  $0.67 \mu m$  厚的 Sn-5Ag 鍍層 (Sn-Ag (h)  $0.67 \mu m$  曲線) 相較於未經熱處理 (圖 6 中 Sn-Ag  $0.67 \mu m$  曲線)，經歷較長時間電流才上升，電流上升所需的時間也向後延遲至 3432 秒 (未熱處理由圖 6 得知為 2354 秒)。

圖 9 為鍍 Sn-5Ag 試片經熱處理後遷移實驗之光學顯微觀察結果。比較圖 9(a) 和圖 7(a) 得知：鍍有  $0.67 \mu m$  Sn-5Ag 鍍層試片經熱處理後，只有少許的樹枝狀結構物在陰極析出，比熱處理前更具抗遷移性。比較圖 9(b) 和圖 7(b) 得知：鍍  $1.33 \mu m$  Sn-5Ag 試片經熱處理後已完全抑制銅遷移反應。

圖 10 顯示熱處理對鍍  $1.33 \mu\text{m}$  Sn-5Ag 銅導線遷移電流影響。由圖中可見，未經熱處理之鍍 Sn-5Ag 線路（圖中 Sn-Ag $1.33 \mu\text{m}$  曲線）在相同時間下，其遷移電流皆高於經熱處理的相同線路（圖中 Sn-Ag (h)  $1.33 \mu\text{m}$  曲線）。

圖 11、12 為鍍 Sn-5Ag 線路與鍍 Sn-10Pb 線路熱處理前後之遷移電流曲線。圖 11 可見鍍  $2 \mu\text{m}$  Sn-10Pb 導線的遷移電流很快就上升，且高於 Sn-5Ag 導線系統。圖 12 為鍍 Sn-5Ag 線路與鍍 Sn-10Pb 線路試片經  $250^\circ\text{C} / 5$  分鐘熱處理後，同樣做遷移電流量測之比較，顯示在熱處理後，鍍 Sn-10Pb 線路系統仍高於鍍 Sn-5Ag 系統，但熱處理對兩種鍍層均有增強抗遷移性。

### 3.3 鍍 Sn-5Ag 線路陽極極化掃瞄

圖 13 顯示純銅及未經熱處理的鍍 Sn-5Ag 銅導線的陽極極化曲線。圖中所有鍍 Sn-5Ag 銅導線的陽極極化曲線其輪廓都非常的相似，分別在  $-520 \text{mV}$  及  $+470 \text{mV}$  均出現陽極電流之峰值。相較之下，純銅導線則在  $-70 \text{mV}$  處有電流峰，且當電位在  $700 \text{mV}$  以上時純銅導線的電流均大於鍍 Sn-5Ag 導線。

圖 14 為純銅及經熱處理 ( $250^\circ\text{C} / 5$  分鐘) 的 Sn-5Ag 線路的陽極極化曲線。經熱處理會使得鍍 Sn-5Ag 導線第一個電流峰 ( $-520 \text{mV}$ ) 的電流密度變得更大，但第二個電流峰 ( $+470 \text{mV}$ ) 則消失了，並且在電位大於  $700 \text{mV}$  以上時，鍍 Sn-5Ag 導線遠比純銅導線之電流更小。

## 四、討論

### 4.1 Sn-5Ag 鍍層的抗遷移性

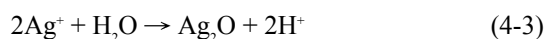
#### 4.1.1 陽極動態極化曲線分析

以 X 光繞射儀分析鍍 Sn-5Ag 銅導線，顯示  $\beta$

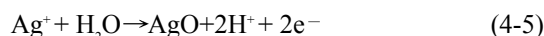
相錫為主，並未出現其他固溶相或介金屬化合物 (intermetallic compound)，此結果與前人研究結果一致<sup>[6,7]</sup>。在施加  $5\text{V}$  偏壓的遷移實驗時，少量銀元素會從鍍層溶解到水溶液中。根據 Lin 的研究<sup>[8]</sup>，鍍錫之銀厚膜，若錫膜厚度在  $1.33 \sim 2.00 \mu\text{m}$  時，其極化曲線在  $300$  到  $400 \text{mV}$  出現一個陽極電流峰，他認為對應於  $\text{Ag}_2\text{O}$  和  $\text{Ag}_2\text{O}_2$ ，反應方程式為：



$$E_{\text{SCE}}^\circ = 0.799 \quad (4-2)$$



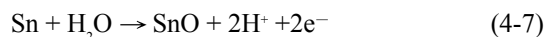
$$\log(\text{Ag}^+) = 6.33 - \text{pH} \quad (4-4)$$



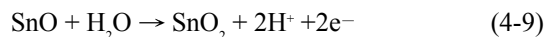
$$E_{\text{SCE}}^\circ = 1.772 - 0.1182 \text{pH} - 0.0591 \log(\text{Ag}^+) \quad (4-6)$$

將  $\text{pH}=12$  代入方程式 (4-4) 及 (4-6) 分別獲得  $0.222\text{V}$  及  $0.447\text{V}$ ，兩個陽極電流峰值表示  $\text{Ag}_2\text{O}$  及  $\text{Ag}_2\text{O}_2$ ，兩者形成為圖 13 中  $+450 \text{mV}$  的陽極峰。

值得注意的是，圖 13 中在更活性電位下（約  $-600 \text{mV}$ ）尚有一陽極電流峰，此電流峰猜測是由 Sn-5Ag 鍍層中的錫元素所造成。由錫之相關電化學反應<sup>[9]</sup>得知，最主要的氧化反應為方程式 (4-7) ~ (4-10)：



$$E_{\text{SCE}}^\circ = -0.346 - 0.0591 \text{pH} \quad (4-8)$$



$$E_{\text{SCE}}^\circ = -0.350 - 0.0591 \text{pH} \quad (4-10)$$

理論上若以  $\text{pH}=12$  代入方程式 (4-8) 及 (4-10)，錫氧化生成 SnO 和  $\text{SnO}_2$  分別是在  $-1.055$  和  $-1.059 \text{V}$ ，但是在陽極表面由於 Sn 的活潑性反應， $\text{H}^+$  快速相伴而生，使得  $\text{H}^+$  濃度累積，而導致陽極附近  $\text{pH}$  大幅下降，以酸鹼度計量測其  $\text{pH}=4.0$ 。若以  $\text{pH}=4$  代入方程式 (4-8) 及 (4-10) SnO 和  $\text{SnO}_2$  生成反應電位分別為  $-582 \text{mV}$  及  $-587 \text{mV}$ ，兩者形成  $-600 \text{mV}$  之陽極電流峰。經此分析顯示：錫是比銅較為活性的

金屬，所以錫會比銅先進行氧化，在  $-600\text{mV}$  生成  $\text{SnO}$  和  $\text{SnO}_2$  氧化膜，形成在銅表面的保護層，以防止銅溶出，故增加了抗遷移性。

純銅的極化曲線中，在  $-70\text{mV}$  出現的電流峰，根據 Pourbaix 圖<sup>[9]</sup>推測為  $\text{Cu}_2\text{O}$  生成。

#### 4.1.2 熱處理之影響

比較圖 13 與圖 14，圖 14 中電位較高之電流峰 ( $+450\text{mV}$ ) 消失了，而電位較低的陽極電流峰 (在圖 13 中的  $-520\text{mV}$  處) 增大且其電位向活性方向偏移 (移至  $-600\text{mV}$  附近)。顯然熱處理使  $+450\text{mV}$  的電流峰消失並使  $-520\text{mV}$  的電流峰更活性化且更明顯。此現象可由相圖討論及魏<sup>[4]</sup>的研究觀點來說明。根據錫銀合金相圖推測：Sn-5Ag 鍍層在熱處理時  $\beta$ -錫和  $\epsilon$  (或  $\zeta$ ) 合金 ( $\text{Ag}_3\text{Sn}$ ) 達成平衡，導致鍍層中沒有多餘的自由銀可以進行溶解及氧化反應，而沒有方程式 (4-1) 到 (4-6) 之反應，因此在電位  $222\text{mV}$  及  $447\text{mV}$  的兩主要電流峰都消失了。另一方面，根據魏<sup>[4]</sup>的研究顯示：如果對含錫的材料施加熱處理，錫極易氧化成緻密的氧化物結構，其陽極極化曲線會向左偏移。

在相同鍍有  $1.33\ \mu\text{m}$  Sn-5Ag 鍍層之銅導線系統，經熱處理使錫氧化成緻密的保護膜，所以更具抗遷移性，可以從圖 10 中得到印證。

#### 4.2 鍍 Sn-10Pb 系統與鍍 Sn-5Ag 系統兩者抗遷移性之比較

由於鍍 Sn-10Pb 和鍍 Sn-5Ag 之熔點相近，本研究進而對其抗電解質遷移性做比較，結果顯示：Sn-5Ag 比 Sn-10Pb 更具抗遷移性。熱處理後，雖然 Sn-10Pb 和 Sn-5Ag 在抗遷移性均有增進，但仍以 Sn-5Ag 系統較佳。Takemoto 等人<sup>[10]</sup>的研究指出錫鉛系統在純水的遷移現象，若錫鉛鍍料中錫相對比例越高，遷移現象就越少。在我們的研究中<sup>[11]</sup>，Sn-10Pb 的抗遷移性比 Sn-37Pb 更好，但兩者抗遷移性皆不

如 Sn-5Ag 優越。

### 五、結論

- (1) 銅導線電鍍 Sn-5Ag 合金後可以抑制其在去離子水中  $5\text{V}$  偏壓下的遷移作用，遷移抑制性隨著鍍層厚度增厚而增加。
- (2) 熱處理 ( $250^\circ\text{C}$  /  $5$ 分鐘) 可增進鍍 Sn-5Ag 銅導線之抗遷移性。
- (3) 在相同的電鍍厚度下，鍍 Sn-5Ag 銅導線比鍍 Sn-10Pb 銅導線具有較好的抗電解質遷移性。

### 六、致謝

感謝行政院國家科學委員會對本研究計畫 (計畫編號：NSC 90-2815-C-008-014-E) 經費上的提供及協助，在此特別感謝。

### 七、參考文獻

1. J. H. Lau, "Ball Grid Array Technology", McGraw-Hill, (1995), pp.400-410.
2. J. K. Dennis and T. E. Such, "Nickel and Chromium plating", 3rd edition, Woodhead Publishing Ltd., England.
3. A. J. Bard, "Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications", New York, Wiley, c1980.
4. 魏大華, "銅導線上鍍鎳或錫對遷移性之影響及鍍金之鎳 / 銅鍍墊與 Sn-3.5Ag BGA 鍍料迴鍍之金脆研究", 國立中央大學機械工程研究所碩士論文, (2001).
5. 林景崎、楊濠仲, "鍍鎳與鍍錫對銅遷移影響研究", 國科會 89 年大專學生參與專題研究計畫", NSC 89-2815-C-008-042R-E.

6. S. Arai, T. Watanabe, "Microstructure of Sn-Ag Alloys Electrodeposited from Pyrophosphate-Iodide Solutions", Materials Transactions, JIM, Vol.39, No. 4, (1998), pp. 439-445.
7. T. Kondo, K. Obata, T. Takeuchi, and S. Masaki, "Bright Tin-Silver Alloy Electrodeposition from an Organic Sulfonate Bath Containing Pyrophosphate, Iodide & Triethanolamine as Chelating Agents", Plating and surface Finishing, Vol.82, No.2, (1998), pp.51-55.
8. 林智賢, "鎳、銲表面鍍層對含銀厚膜之抗遷移性研究", 國立中央大學機械工程研究所碩士論文, (2000).
9. M. Pourbaix, "Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions", Pergamon Press, Oxford, (1966), pp.384-392, pp.476-480.
10. T. Takemoto, R. M. Latanision, T. W. Eagar, and A. Matsunawa, "Electrochemical migration tests of solder alloys in pure water", Corrosion Science, Vol.39, No.8, (1997), pp.1415-1430.
11. 林景崎、陳俊宇, "錫鉛及錫銀銲錫銲接後對於銅遷移之影響", 國科會 90 年大專學生參與專題研究計畫, NSC 90-2815-C-008-014-E.

表1. Sn-5Ag 電鍍液之組成及操作條件<sup>[6]</sup>

Table 1. Composition of Sn-5Ag electro- plating bath

Component	Concentration
$K_4P_2O_7$	0.54M
KI	2.0M
$SnCl_2 \cdot 2H_2O$	0.195M
AgI	0.005M
$I=80-90Am^{-2}$ , pH=8.9 at $25^\circ C \pm 2$ Anode:platinum	

表2. Sn-10Pb 電鍍液之組成及操作條件

Table 2. Composition of Sn-10Pb electro- plating bath

Component	Concentration
$CH_3SO_2OH$	1.458M
$(CH_3SO_2O)_2Pb$	0.0176M
$(CH_3SO_2O)_2Sn$	0.405M
$I=0.5-5Am^{-2}$ , pH=4-5 at $25^\circ C \pm 2$ Anode:platinum	

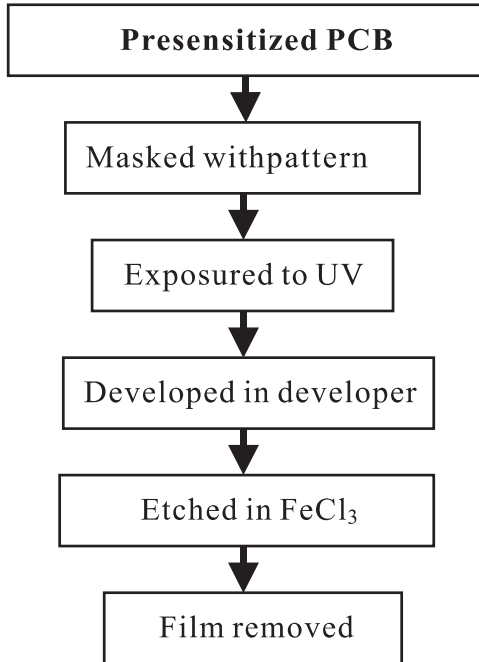


圖1. 銅線路的製備流程  
Fig. 1. Preparation process for the Cu conductors

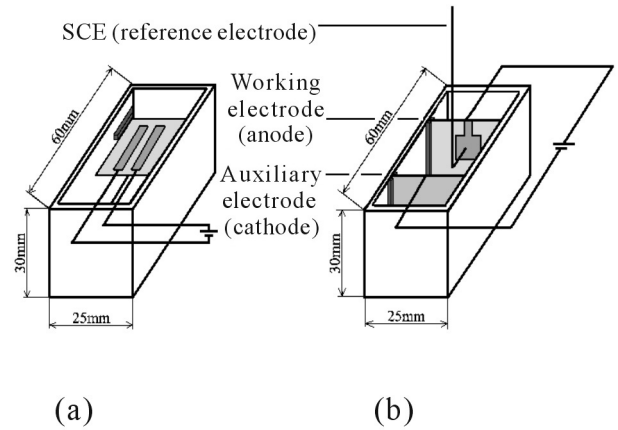


圖3. 電解槽示意圖  
Fig. 3. Schematic diagram of electrolytic cells

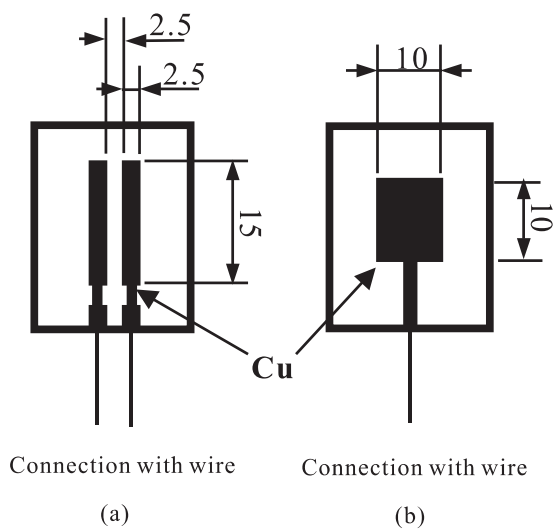


圖2. 試片圖樣  
Fig. 2. Specimens dimension (Unit: mm)

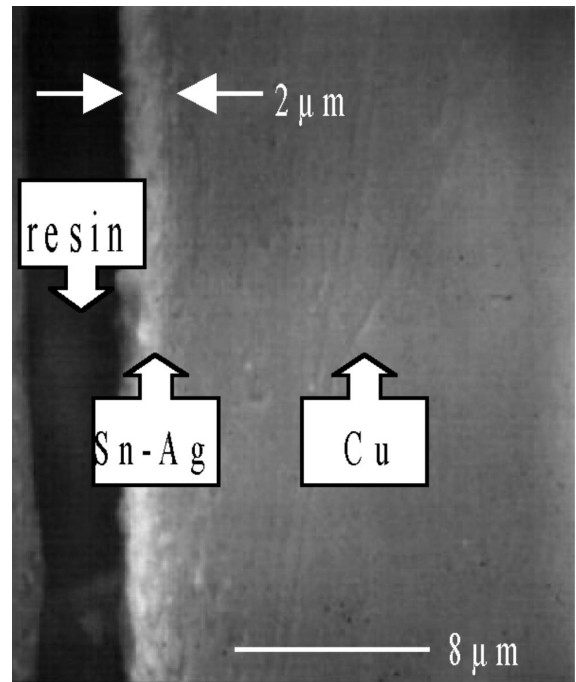


圖4. Sn-5Ag 鍍層的剖面觀察 (約 2 μm 厚)  
Fig. 4. The cross-section morphology of Sn-5Ag coating (about 2 μm)

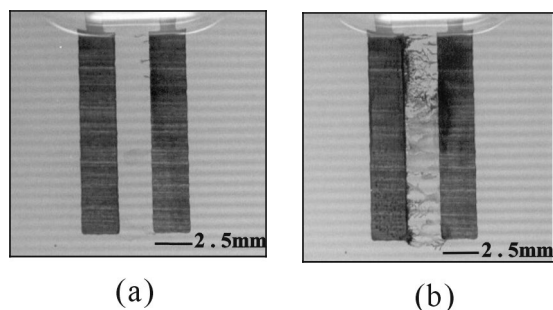


圖5. 純銅線路在去離子水中施予 5V 偏壓的光學顯微鏡觀察：(a)15 分鐘；(b)60 分鐘

Fig. 5. Optical micrographs for the bare copper circuits couple in DI water with a bias of 5 V for (a) 15 min and (b) 60 min

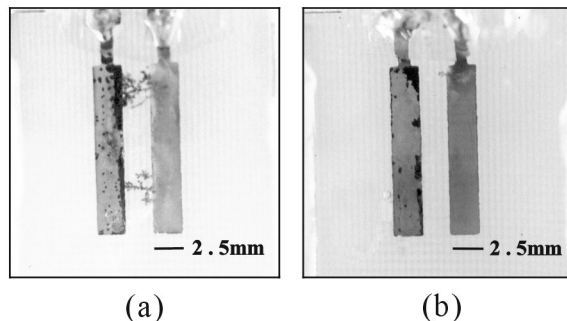


圖7. 光學顯微鏡觀察：(a) 0.67  $\mu\text{m}$ ；(b) 1.33  $\mu\text{m}$  厚的 Sn-5Ag 鍍層在去離子水中施予 5V 偏壓 60 分鐘的陰極析出物

Fig. 7. Optical micrographs for the specimen coated with (a) 0.67  $\mu\text{m}$  and (b) 1.33  $\mu\text{m}$  Sn-5Ag migrated in DI water with a bias of 5 V for 60 min

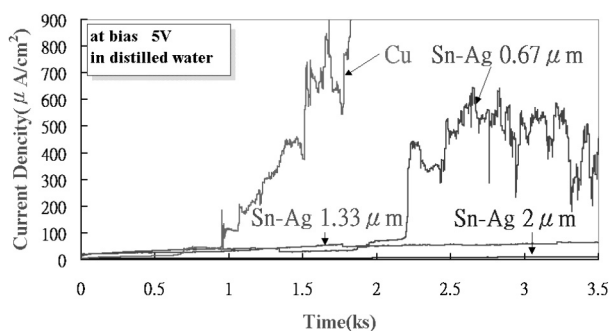


圖6. 純銅及鍍 Sn-5Ag 線路在去離子水中施予 5V 偏壓下電流密度與時間關係圖

Fig. 6. Current density as a function of time for Cu and Sn-5Ag coated circuits at a bias of 5V in DI water

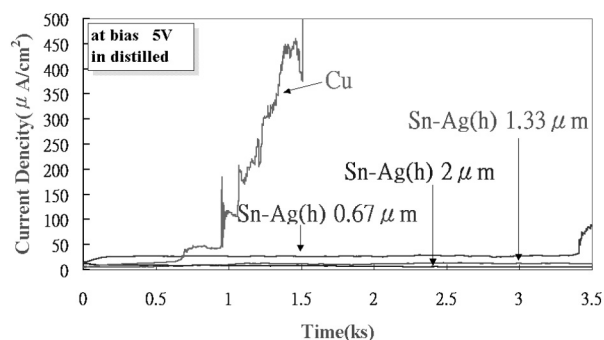


圖8. 純銅及鍍 Sn-5Ag 線路經熱處理後，在去離子水中施予 5V 偏壓下電流密度與時間關係圖

Fig. 8. Current density as a function of time for Cu and Sn-5Ag coated circuits after heat treatment at a bias of 5V in DI water.



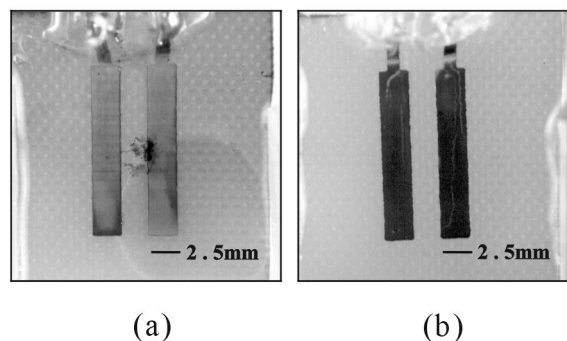


圖9. 光學顯微鏡觀察(a) 0.67  $\mu\text{m}$  (b) 1.33  $\mu\text{m}$  厚的 Sn-5Ag 鍍層熱處理後，在去離子水中施予 5V 偏壓 60 分鐘的陰極析出物

Fig. 9. Optical micrographs for the specimen coated with (a) 0.67  $\mu\text{m}$  and (b) 1.33  $\mu\text{m}$  Sn-5Ag and after heat treatment, then is under migration test at a bias of 5V in DI water for 60 min

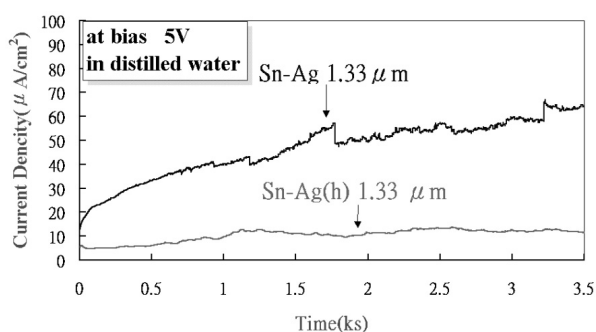


圖10. 熱處理前後鍍 1.33  $\mu\text{m}$  Sn-5Ag 試片之遷移電流與時間關係圖

Fig. 10. Current density as a function of time for Sn-5Ag 1.33  $\mu\text{m}$  coated specimen before and after heat treatment.

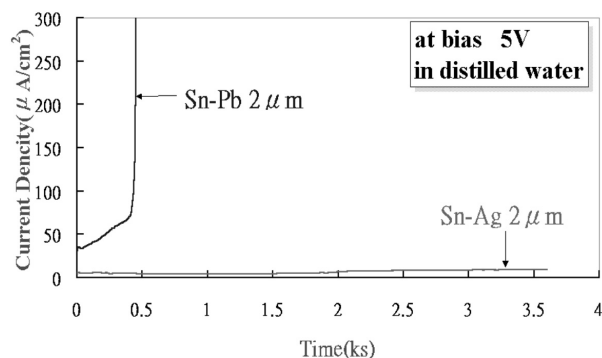


圖11. 鍍 Sn-5Ag 及鍍 Sn-10Pb 線路在去離子水中施予 5V 偏壓，電流密度與時間的關係圖

Fig. 11. Current density as a function of time for Sn-5Ag and Sn-10Pb coated circuits at a bias of 5V in DI water.

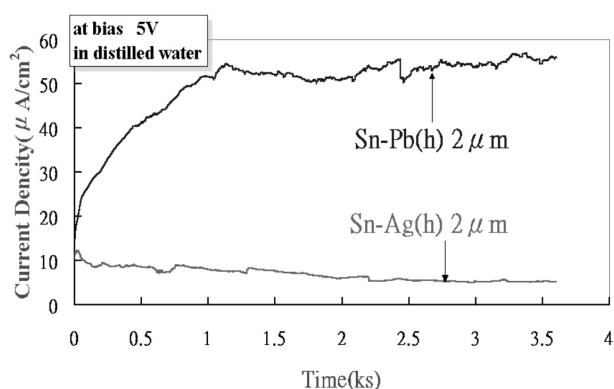


圖12. 熱處理後鍍 Sn-5Ag 及鍍 Sn-10Pb 線路在去離子水中施予 5V 偏壓，電流密度與時間的關係圖

Fig. 12. Current density as a function of time for heat-treated Sn-5Ag and Sn-10Pb coated circuits at a bias of 5V in DI water

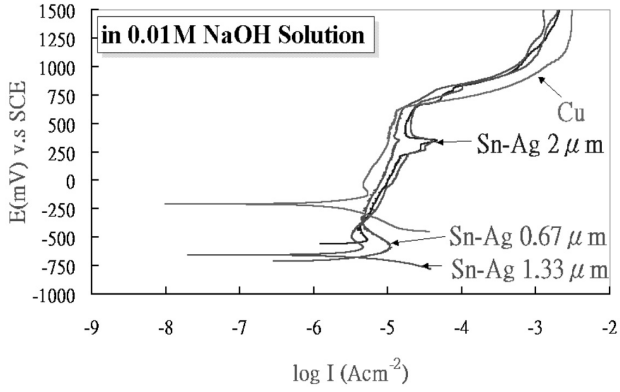


圖13. 未經熱處理的鍍 Sn-5Ag 線路的陽極極化曲線

Fig. 13. The anodic polarization curves for the Sn-5Ag coated specimens without heat treatment

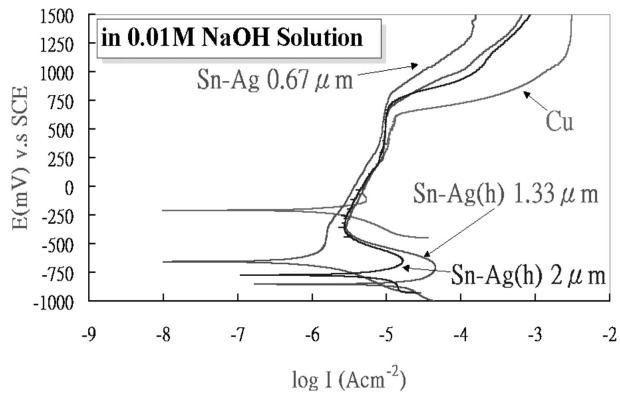


圖14. 經熱處理後的鍍 Sn-5Ag 線路的陽極極化曲線

Fig. 14. The anodic polarization curves for the Sn-5Ag coated specimens after heat treatment