

# 50um CuNi/SnAg 金屬墊層覆晶鉚錫凸塊之電遷移研究

學生：江詩寬

指導教授：陳智

國立交通大學

工學院半導體材料與製程設備學程

## 摘要

高接腳密度、縮減封裝體積等優勢，讓覆晶鉚錫在電子產品走向輕、薄、短、小的趨勢中，成為高階元件的主流封裝型式。伴隨積體電路高電流、小尺寸的設計變化，覆晶鉚錫接點內的電遷移現象成為元件可靠度的影響關鍵。本研究設計並製造凱文結構來研究銅鎳墊層於共晶錫鉛鉚錫接著下，其電遷移活化能的大小，在量測上，利用凱文結構來觀測鉚錫凸塊在電遷移下電阻變化情形，並定義電遷移破壞準當其阻值上升至初始的1.2 倍。然而大部分的研究都定義當整個迴路開路時，為其破壞標準。

本研究探討在銅鎳墊層的無鉛覆晶錫銀鉚錫接點於 170°C 的溫度下，通以電流 0.5 A & 0.6 A 之電遷移行為及其破壞機制。利用凱文結構來觀察鉚錫凸塊在電遷移下電阻變化情形，不同電流的破壞機制將個別被討論。

# **Study of Electro-migration for Flip-Chip Solder bumps with 50um CuNi/SnAg**

Student: Shih-Kuan Chiang

Advisor: Dr. Chih Chen

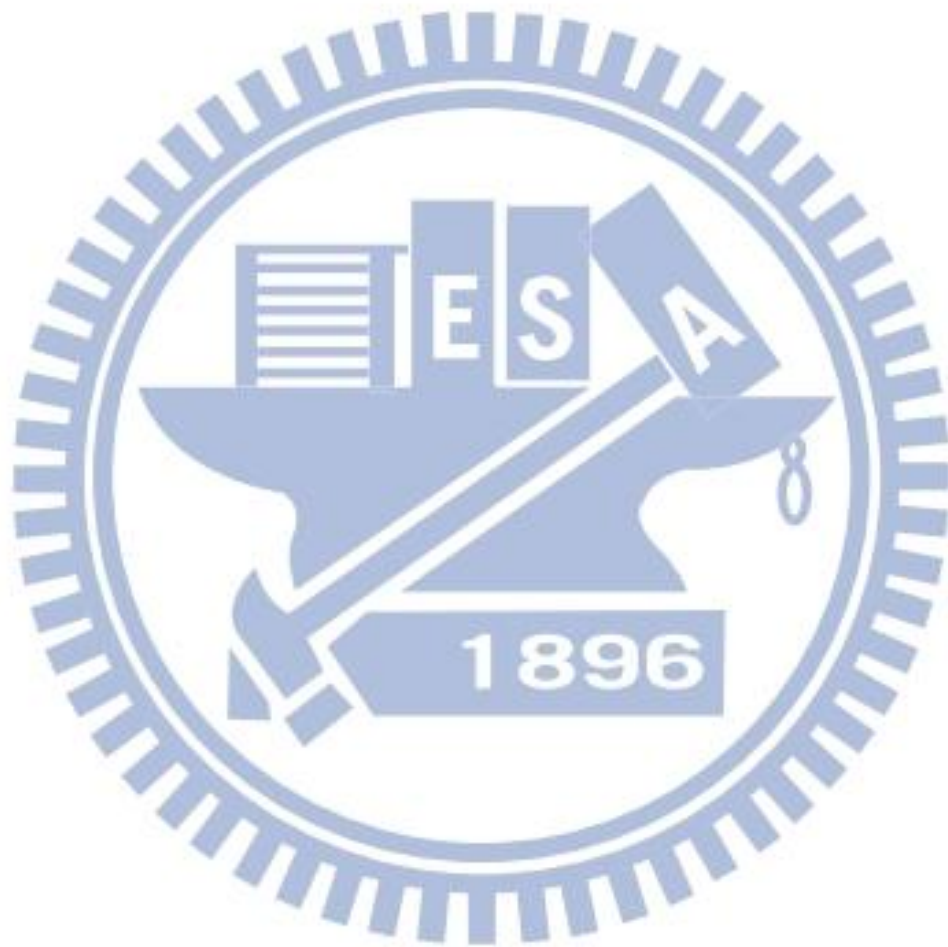
Program of Semiconductor Material and Process Equipment  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

Flip-chip technology has become a mainstream trend in advanced electronic packaging because of its capability of higher I/O density and smaller package size. With higher current and smaller size trends, electromigration in flip-chip solder has become an critical of reliability concern. Activation energy of electromigration is investigated in eutectic SnAg flip-chip solder joints with thick under-bump-metallizations (UBMs) of 5- $\mu\text{m}$  Cu/3- $\mu\text{m}$  Ni. We fabricate the Kelvin probes to monitor the bump resistance during the current stressing, and define the electromigration failure as the bump resistance increase reaches 20% of its initial value. Most of the previous studies defined the failure of the electromigration when the stressing circuit was open.

In this study, we fabricated SnPb solder joints with under-bump-metallizations (UBMs) of Cu /Ni. The sample were subjected to electromigration tests by 0.5A &0.6A at 170°C. The electromigration behavior and the mechanism which cause the damage of

the bumps were been monitored at various stages of electromigration. The Kevin probes were employed to monitor the changes for the bump resistance during the electromigration tests and the mechanisms which cause damage to the joints were discussed for these two different currents, respectively.



## 誌謝

在工作兩三年後，知道自己的不足後，又再一次回到學校重新拿起書本，白天工作晚上讀書，希望兩邊兼顧的同時真的是倍感壓力，中間曾經因為工作的關係休學了兩年，又再次回到學校，時間真的過得很快，轉眼間已是我的最後一年了，能在這麼短的時間完成此論文，首先要感謝我的指導教授—陳智老師，若無老師的指導，決無可能有這些研究成果，才能讓我順利完成碩士班的研究，另外我還要感謝在論文口試給予我相當多寶貴意見和建議的潘扶民老師和張立老師。

接著我要感謝 C.C.Lab 中的每位成員的協助，從學習研磨試片、通電、曲線分析等等，都需要學長們（佑峻、翔耀、宗寬、阿丸）的耐心和細心教導，實驗才能如此順利，尤其要特別感謝是佑峻學長，常常在實驗的過程中遇到難題疑問時，總是麻煩他，甚至有時候很晚了，我還是打擾他，問他的有時候可能只是一個小小的問題，但他總是不持辛勞耐心的告訴我，真的要謝謝他；我還要再一次感謝老師的幫忙，我的論文才能如此順利，還有謝謝大家！讓我再一次回到學校，重新感受到學校的溫暖，謝謝你們！



# 目錄

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 中文摘要.....                             | I  |
| Abstract.....                         | II |
| 誌謝.....                               | IV |
| 目錄.....                               | V  |
| 圖表目錄.....                             | VI |
| 第一章 緒論.....                           | 1  |
| 1-1 電子封裝簡介與研究動機.....                  | 1  |
| 第二章 文獻回顧.....                         | 8  |
| 2-1 電遷移理論.....                        | 8  |
| 2-2 鉛錫凸塊的電遷移行為.....                   | 10 |
| 2-2.1 錫與鉛在電遷移下的擴散行為.....              | 12 |
| 2-2.2 電流集中效應.....                     | 13 |
| 2-2.3 焦耳熱效應.....                      | 14 |
| 2-3 電遷移造成鉛錫凸塊破壞的機制.....               | 15 |
| 2-3.1 電遷移下造成不對稱的UBM 消耗.....           | 15 |
| 2-3.2 電遷移下造成孔洞的生成.....                | 15 |
| 2-4 減緩電遷移現象的應變與討論.....                | 16 |
| 2-4.1 UBM 種類的變換.....                  | 17 |
| 2-4.2 UBM 厚度的改變.....                  | 17 |
| 2-5 平均破壞時間.....                       | 18 |
| 2-6 活化能的量測.....                       | 19 |
| 第三章 試片結構與實驗方法及步驟.....                 | 29 |
| 3-1 試片製備.....                         | 29 |
| 3-2 實驗方法與步驟.....                      | 30 |
| 3-2.1 以凱文結構各別量測鉛錫凸塊與鉛導線電阻.....        | 30 |
| 3-2.2 鉛錫接點的電阻量測.....                  | 31 |
| 3-2.3 試片破壞模式的觀察.....                  | 32 |
| 第四章 結果與討論.....                        | 36 |
| 4-1 破壞模式分析.....                       | 36 |
| 4-1.1 Cu/Ni 金屬墊層(0.6A/170°C)破壞模式..... | 37 |
| 4-1.2 Cu/Ni 金屬墊層(0.5A/170°C)破壞模式..... | 41 |
| 4-1.3無鉛鉛錫接點熱遷移行為.....                 | 44 |
| 第五章 結論.....                           | 54 |
| 參考文獻.....                             | 55 |

## 圖表目錄

|   |    |
|---|----|
| 圖1-1 封裝層級示意圖.....   | 5  |
| 圖1-2 封裝技術的發整與趨勢.....  | 6  |
| 圖1-3 C4 製程流程圖.....  | 6  |
| 圖1-4 Kelvin structure 在半導體電性量測示意圖.....  | 7  |
| 圖2-1 電遷移在鋁線上的效應。[5] .....   | 20 |
| 圖2-2 鋁原子受靜電力與電子風力之晶格位能變化示意圖。 .....  | 20 |
| 圖2-3 利用Arrhenius 關係式 $D = D^0 e^{-\frac{Q}{RT}}$ 作圖。[9].....  | 21 |
| 圖2-4 (a)為試片示意圖(b)為V 形溝槽橫截面示意圖。[10] .....  | 21 |
| 圖2-5 (a)於施加電流密度 $2.8 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ ，經過8 天後觀察到陽極巨大隆起，且 Pb 於陽極形成帶狀分佈。(b)通電8 天後，將表面拋去 $10\mu\text{m}$ 後，利用SEM 觀察發現陰極存在大孔洞。(c)常溫下，施加電流密度 $5.7 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ ，經過12 天後的影像。[10] .....  | 22 |
| 圖2-6 有限元素分析鍍錫內部電流密度分布示意圖。[11] .....   | 23 |
| 圖2-7 (a)模擬結果提出在鋁導線進入鍍錫交界有熱點存在(b)以紅外線顯像儀量測因焦耳熱效應產生溫升，並驗證熱點存在。[13] .....  | 24 |
| 圖2-8 銅墊層快速反應示意圖。[16] .....  | 25 |
| 圖2-9 (a)-(d) 孔洞生成與成長在 $125^\circ\text{C}$ 施加電流密度 $2.25 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 之連續過程。(d) 電遷移下，鍍錫凸塊相對電位與時間關係圖。[11] .....   | 26 |
| 圖2-10 (a) 鬆餅狀孔洞生成於IMC 與鍍錫球界面(b) 模擬孔洞生成之數學模型。[17].....   | 27 |
| 圖2-11 (a) $5 \mu\text{m}$ 厚銅墊層施加 $2.25 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 的破壞情形。(b) $10 \mu\text{m}$ 厚銅墊層施加 $3 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 於 $100^\circ\text{C}$ ，100 小時後其破壞情形。(c) $50 \mu\text{m}$ 厚銅墊層施加 $6.75 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 於 $100^\circ\text{C}$ ，100 小時後其破壞情形。[19]..... | 28 |
| 圖3-1 銅鍍金屬墊層鍍錫凸塊結構圖.....   | 33 |
| 圖3-2 凱文結構俯視圖.....   | 33 |
| 圖3-3 凱文結構剖面側視圖.....   | 33 |
| 圖3-4 (a) 紅外線顯像技術 (b) 使用紅外線顯像技術的實驗裝置示意圖，晶片端朝上.....   | 34 |
| 圖3-5 使用EDS 做上端IMC 成分分析 (a)Cu <sub>3</sub> Sn (b)Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> .....   | 35 |
| 圖3-6 使用EDS 做下端IMC 成分分析 Ni <sub>3</sub> Sn <sub>4</sub> .....  | 35 |
| 圖4-1 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鍍錫接點 B3 在未通電測試前之橫截面電子顯微鏡影像.....  | 46 |
| 圖4-2 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鍍錫接點 B3 在加熱板 $170^\circ\text{C}/0.6\text{A}$ 歷經79.9 小時，阻值上升1.2倍之電子顯微鏡影像.....   | 46 |

|   |    |
|---|----|
| 圖4-3 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B3 在加熱板 170°C/0.6A 歷經83.2 小時，阻值上升2倍之電子顯微鏡影像.....  | 47 |
| 圖4-3.1 B3 在加熱板 170°C/0.6A 歷經83.2 小時，阻值上升2倍，介金屬化合物成分分析.....  | 47 |
| 圖4-4 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B3 在加熱板 170°C/0.6A 歷經594.2 小時，阻值上升3倍之電子顯微鏡影像.....   | 48 |
| 圖4-5 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B3 在加熱板 170°C/0.6A 歷經1168.3 小時，鉍錫接點斷開後電子顯微鏡影像.....  | 48 |
| 圖4-6 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B2 在加熱板 170°C/0.6A 分別在不同階段通電時間 (a) 未通電、(b) 79.9小時、(c) 83.2小時、(d) 594.2小時、(e) 1168.3 小時，鉍錫接點斷開後電子顯微鏡影像.....                          | 49 |
| 圖4-7 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B3 在加熱板 170°C/0.5A 歷經238.4 小時，阻值上升1.2倍之電子顯微鏡影像.....   | 50 |
| 圖4-8 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B3 在加熱板 170°C/0.5A 歷經1072.3 小時，阻值上升2倍之電子顯微鏡影像.....  | 50 |
| 圖4-9 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B3 在加熱板 170°C/0.5A 歷經1400.5 小時，阻值上升3倍之電子顯微鏡影像.....  | 51 |
| 圖4-10 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B2 在加熱板 170°C/0.5A 分別在不同階段通電時間 (a) 未通電、(b) 238.4小時、(c) 1072.3小時、(d) 1400.5小時，鉍錫接點斷開後電子顯微鏡影像.....                                   | 51 |
| 圖4-11.1 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B1 在加熱板 170°C 分別在不同階段的段熱時效時間 (a) 初始、(b) 79.9小時、(c) 83.2小時、(e) 238.4小時、(d) 594.2 小時、(e) 1072.3小時、(e) 1400.5小時，鉍錫接點斷開後電子顯微鏡影像..... | 52 |
| 圖4-11.2 Cu <sub>5</sub> / Ni <sub>3</sub> 金屬墊層錫銀鉍錫接點 B4 在加熱板 170°C 分別在不同階段的段熱時效時間 (a) 初始、(b) 79.9小時、(c) 83.2小時、(e) 238.4小時、(d) 594.2 小時、(e) 1072.3小時、(e) 1400.5小時，鉍錫接點斷開後電子顯微鏡影像..... | 53 |