

Sn-Cu 介金屬化合物的電遷移

研究生：陳誠風

指導教授：陳智

國立交通大學材料科學與工程研究所

摘要

覆晶封裝是目前在高電流密度 IC 元件上的重要封裝之一。然而隨著消費電子產品微小化與可攜帶性的趨勢，銲錫接點的尺寸勢必隨之縮小，因此電遷移(electromigration)在可靠度的議題上將扮演重要的角色。然而隨著銲錫接點的縮小，IMC 在 bump 中所佔的比例將隨之上升，且由於 IMC 有較好的抗電遷移性質，因此 IMC 的存在將對 bump 的 lifetime 有重要的影響。在本篇論文中，我們將利用 FIB 來製備具有不同 stripe 長度的 Sn-Cu 介金屬化合物 Blech structure，並且在 225、250°C，真空度 2.3×10^{-3} torr 的環境下施以 $\sim 10^4$ A/cm² 以上的電流密度，藉由觀察每條 stripe 是否有電遷移破壞，來求出 Sn-Cu 介金屬化合物的 critical product。

Electromigration of Sn-Cu intermetallic compounds

Student: Cheng-Feng Chen

Advisor: Chih Chen

Department of Materials Science and Engineering

National Chiao Tung University

Abstract

Flip Chip Technology is one of the most important packaging methods for high current density IC devices. However, as the portable devices becoming smaller and more compact in sizes, electromigration becomes an important reliability issue in solder joints. Furthermore, as the bump size continues to shrink, the effect of the intermetallic compounds (IMCs) on the electromigration behavior becomes more pronounced. A lot of researches have been done on electromigration of solder joints. However, no study reports the measurement of fundamental electromigration parameters of IMC. In this study, we use FIB (focus ion beam) to fabricate Sn-Cu IMC Blech structure with different lengths and stress them under the current densities over 10^4 A/cm² in a vacuum of 2.3×10^{-3} torr at 225 and 250°C. By examining the edge depletion, we can obtain the critical product of Sn-Cu intermetallic compound (IMC).

誌謝

在此首先感謝爸媽一路上默默的支持我完成碩士學位，很感謝他們的辛苦付出。

碩士兩年真的是很快，回想剛考完交大來面試時第一眼見到問題很犀利的老師，到現在在大家的幫忙下終於能把論文完成。很感謝實驗室慶榮、聖翔對我的照顧，程昶學長專業的FIB服務與實驗上的指導，阿丸、大包在專業上的指導，俊宏、順民與佩君的照顧及哲誠老大帶來的歡樂，懷念爽爽阿山哥、白爛宗寬、微笑阿民與小憲憲的垃圾話時間，感謝翔耀的用心，鈺廷、小芸、旻鋒、ppp與詠湟在許多事物上的幫忙，也特別感謝清大工科張家銘學長清大材料廖老師Lab在實驗上的幫助，感謝系辦小姐親切的笑容，懷念實驗室一起出國、打籃球、打壘球與聚餐，謝謝大家豐富了我碩士兩年的生活。也謝謝老師兩年來在實驗上、人生上對我的教導。我想兩年來我真的是有所成長，謝謝大家。

目錄

| | |
|-----------------------|-----|
| 中文摘要..... | I |
| 英文摘要..... | II |
| 誌謝..... | III |
| 目錄..... | IV |
| 第 1 章、介紹與研究動機..... | 1 |
| 第 2 章、文獻回顧..... | 8 |
| 2-1. 電遷移理論..... | 8 |
| 2-1-1. 電遷移的通量方程式..... | 8 |
| 2-1-2. 電遷移產生的應力..... | 10 |
| 2-1-3. 反作用力與臨界成績..... | 13 |
| 2-1-4. 電遷移對鋅料的影響..... | 14 |
| 2-2. 焦耳熱效應造成的熱遷移..... | 19 |
| 2-3. Sn-Cu 的介面反應..... | 27 |
| 第 3 章、實驗方法與步驟..... | 31 |
| 3-1. 試片製備..... | 31 |
| 3-2. 實驗方法..... | 36 |
| 第 4 章、結果與討論..... | 38 |
| 4-1. 試片的微結構分析..... | 38 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4-2. 焦耳熱效應..... | 44 |
| 4-3. IMC stripes 電流密度分佈擬..... | 48 |
| 4-4.個通電條件與其破壞行為..... | 52 |
| 第 5 章、結論..... | 71 |
| 文獻參考..... | 72 |



圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1.1、封裝層級示意圖..... | 4 |
| 圖 1.2、打線接合(wire bonding) SEM 圖..... | 5 |
| 圖 1.3、捲帶式自動接合(tape automatic bonding) SEM 圖..... | 5 |
| 圖 1.4、(a)(b)覆晶接合(flip chip bonding) 示意圖..... | 6 |
| 圖 1.5、Cu column 與 SnPb solder bump 的光學顯微鏡影像..... | 7 |
| 圖 2.1、在電遷移測試下的 Blech 結構示意圖..... | 10 |
| 圖 2.2、經 500°C、0.5hrs 熱處理之鋁薄膜導線，在不同電流密之飄移速度..... | 11 |
| 圖 2.3、(a) Sn-Pb 鉛料合金電遷移實驗之三明治結構圖。 | |
| (b) Pb 鉛料合金於室溫下、電流密度 $1 \times 10^5 \text{Amp/cm}^2$ 通電19天..... | 14 |
| 圖 2.4、不同成分的Sn-Pb合金於電流密度 $1 \times 10^5 \text{Amp/cm}^2$ 下、通電40小時後表面凸起(hillock)的SEM圖..... | 15 |
| 圖 2.5、帶狀共晶 Sn-Pb 鉛料在 $1.1 \times 10^5 \text{Amp/cm}^2$ 、100°C 下的 SEM 圖..... | 17 |
| 圖 2.6、SnAg3.5 鉛錫球在電流密度 $1 \times 10^3 \text{Amp/cm}^2$ 、150°C 通電 218 小時後的 SEM 截面圖..... | 18 |
| 圖 2.7(a)、鉛錫球 A 施加 $1.3 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ 的電流密度 16 小時後的 SEM 圖 | |
| (b)、鉛錫球 B 施加 $1.3 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ 的電流密度 16 小時後的 SEM 圖..... | 22 |
| 圖 2.8、在不同 annealing times 下鉛料表面形貌的 SEM 圖..... | 23 |
| 圖 2.9、Pb 成分沿著鉛料截面的在 thermomigratin 測試前與測試後的分佈..... | 24 |
| 圖 2.10、IR 紅外線儀偵測 bump 的示意圖..... | 24 |
| 圖 2.11、(a)通電前 bump 的溫度分佈圖。(b)通電後 bump 的溫度分佈圖。 | |
| (c)沿著(b)圖中虛線方向的溫度分佈..... | 25 |
| 圖 2.12、(a)通電前的背向散射 SEM 圖。(b)施加 0.55A 的交流電 100°C、108h 後的背向散射 SEM 圖..... | 26 |
| 圖 2.13、Sn-Cu 合金二元相圖..... | 30 |

| | |
|---|----|
| 圖 2.14、共晶錫鉛經 170°C 熱時效 1500 小時..... | 30 |
| 圖 3.1、試片製備流程..... | 33 |
| 圖 3.2、利用 FIB 蝕刻出不同長度的 stripe..... | 35 |
| 圖 3.3、電流分流示意圖..... | 37 |
| 圖 4.1、(a)(b) 蝕刻掉 SnCu _{0.7} solder 後，試片表面形貌的 SEM..... | 40 |
| 圖 4.2、(a)試片經由 FIB 所切出的縱向截面 SEM 影像(b)為(a)的局部放大圖.... | 41 |
| 圖 4.3、試片的 TEM 分析與擇區繞射..... | 42 |
| 圖 4.4、(a)試片拋光後的 IMC 薄膜。(b)(c)利用 FIB 切出不同長度的 stripe.... | 43 |
| 圖 4.5、100°C 下不同電流密度的溫度分佈圖..... | 46 |
| 圖 4.6、100°C 下電流密度 7×10^4 A/cm ² 與 2×10^5 A/cm ² 的溫度梯度..... | 47 |
| 圖 4.7(a)、施加 0.09Amp 厚度 1 μ m 的電流密度分佈圖..... | 49 |
| 圖 4.7(b)、在 60 μ m 寬部份各 IMC stripes 的電流密度分佈..... | 50 |
| 圖 4.7(c)、在 5 μ m 寬部份各 IMC stripes 的電流密度分佈..... | 50 |
| 圖 4.8、15 μ m 寬 stripes 的 3D 電流密度分佈..... | 51 |
| 圖 4.9、(a)(b)通電前 SEM 影像。(c)(d)(e)(f)通電後 BEI 影像..... | 56 |
| 圖 4.10、通電後其 EDX 的成分分析..... | 57 |
| 圖 4.11、利用 FIB 劃出的新圖形..... | 57 |
| 圖 4.12、薄膜應力方向與電子流方向..... | 58 |
| 圖 4.13、(a)(b) 在真空度 2.3×10^{-3} torr、225°C，Cu ₆ Sn ₅ 、Cu ₃ Sn 分別施以 1.47 $\times 10^5$ 、2.89 $\times 10^5$ A/cm ² 的電流密度 65.5h 後的 SEM 圖..... | 59 |
| 圖 4.13、(c) 通電後 5 μ m 寬 stripe 的放大圖..... | 60 |
| 圖 4.13、(d)EDX 分析電遷移所剩下的 IMC..... | 60 |
| 圖 4.14、新圖形各長度 depletion 的情形..... | 61 |
| 圖 4.15、在真空度 2.3×10^{-3} torr、225°C 通電前..... | 62 |
| 圖 4.16、(a)(b) 在真空度 2.3×10^{-3} torr、225°C，Cu ₆ Sn ₅ 、Cu ₃ Sn 分別施以 7×10^4 、 | |

| | |
|--|----|
| 1.38×10 ⁵ A/cm ² 的電流密度 89h 後的 SEM 圖 | 63 |
| 圖 4.17、(a)(b)(c) 在真空度 2.3×10 ⁻³ torr、225°C，Cu ₆ Sn ₅ 、Cu ₃ Sn 分別施以 7×10 ⁴ 、 1.38×10 ⁵ A/cm ² 的電流密度 89h 後新圖形的 SEM 圖 | 64 |
| 圖 4.18、(a)(b)(c) 在真空度 2.3×10 ⁻³ torr、225°C，Cu ₆ Sn ₅ 、Cu ₃ Sn 分別施以 7×10 ⁴ 、 1.38×10 ⁵ A/cm ² 的電流密度 89h 後兩側的 SEM 圖 | 65 |
| 圖 4.19、(a)(b)(c) 在真空度 2.3×10 ⁻³ torr、225°C，Cu ₆ Sn ₅ 、Cu ₃ Sn 分別施以 7×10 ⁴ 、 1.38×10 ⁵ A/cm ² 的電流密度 89h 後 EDS 的分析 | 66 |
| 圖 4.20、anneal 測試前 | 67 |
| 圖 4.21、在真空度 2.3×10 ⁻³ torr 中 231°C 不通電下進行 85h 的 anneal | 68 |
| 圖 4.22、anneal 測試後的 EDX 分析 | 69 |
| 圖 4.23、Cu ₆ Sn ₅ 電流密度 7×10 ⁴ A/cm ² 通電 89h 依 drift velocity and 1/critical product 做圖 | 70 |

