

Cu 5 μ m 與 Cu 5 μ m/Ni 3 μ m 金屬墊層覆晶銲錫凸塊之電遷移研究

學生：張志忠

指導教授：陳 智 博士

吳樸偉 博士

國立交通大學

工學院半導體材料與製程設備學程

摘 要

在消費性電子產品走向輕、薄、短、小的趨勢中，需要高密度銲錫接點輸入/輸出數目。覆晶封裝是目前在高電流密度IC元件上的重要封裝之一。隨著積體電路之元件密度與功能迅速提升，封裝元件的操作溫度與電流密度亦持續攀升，銲錫接點的可靠度已經成為重要的課題。近來因為環境保護的考量，在封裝上無鉛銲錫的使用逐漸地取代傳統的有鉛銲錫。

本研究探討在銅鎳墊層與銅墊層的無鉛覆晶錫銀銲錫接點於140°C的溫度下，通以電流 0.8A，之電遷移行為及其破壞機制。利用凱文結構來觀測銲錫凸塊在電遷移下電阻變化情形，不同金屬墊層所造成的破壞機制將個別被討論。

Study of Electromigration for Flip-Chip Solder bumps with Cu 5 μ m and
Cu 5 μ m/Ni 3 μ m UBM

Student: Chih Chung Chang

Advisor: Dr. Chih Chen

Dr. Pu-Wei Wu

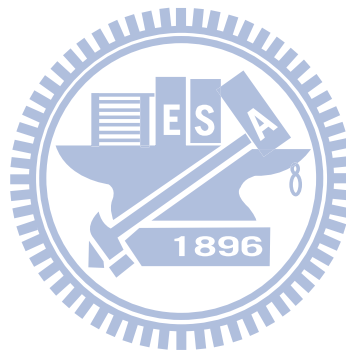
Program of Semiconductor Material and Processing Equipment,
National Chiao Tung University

Abstract

As the consumer electronic products move toward lighter, slimmer, shorter and smaller, we need higher solder input/output joint density. Flip Chip Technology is one of the most important packaging methods for high current density IC devices. Since the current density and the operation temperature in the packaged devices rise substantially with the increase in device density and functionality for integrated circuits, the reliability of solder joints has become a critical issue on device reliability. In Flip-Chip packaging, lead-free solders are replacing traditional SnPb solders gradually due to environmental concern .

In this study, we fabricated two kinds of Pb-free SnAg solder joints with under-bump-metallizations (UBMs) of 5- μ m Cu/3- μ m Ni and 5- μ m Cu. Both sets of solder joints were subjected to electromigration tests by

0.8A at 140°C. The electromigration behavior and the mechanism which causes the damage of the bumps were monitored at various stages of electromigration. The Kelvin 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 solder joints, respectively.



誌謝

首先我要感謝我的指導教授 陳智老師，謝謝老師這兩年內的教誨與指導，使我能順利的完成碩士班的研究。以及在論文口試給予相當多寶貴意見和建議的吳樸偉老師和潘扶民老師。

接著我要感謝C.C. lab中的每位成員，帶我學會磨試片及通電等技能的翔耀學長，熱心且隨和的宗寬學長，總是排除萬難在第一時間給予我SEM上的協助，還有無所不會就連編織圍巾也行且電腦模擬分析超強的阿丸，在我實驗的過程中給我立即且有效的方向及答案。

感謝大家在這段時間的指導及幫忙。筱芸、岱霖、瑋安、若薇、詠湟、曉葳以及C C lab 成員們，謝謝大家！



目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
誌謝.....	IV
目錄.....	V
圖目錄.....	VII
第一章 緒論	1
1-1 電子封裝簡介.....	1
1-2 無鉛議題.....	3
1-3 研究動機.....	5
第二章 文獻回顧	11
2-1 電遷移理論.....	11
2-2 銲錫接點內的電遷移現象.....	13
2-2.1 焦耳熱效應.....	14
2-2.2 電流集中效應.....	15
2-2.3 鋁導線在薄膜金屬墊層中的破壞.....	16
2-3 電遷移造成銲錫凸塊破壞的機制遷移.....	17
2-3-1 電遷移下造成不對稱的UBM消耗.....	17
2-3-2 電遷移下造成孔洞的生成.....	17
2-4 減緩電遷移現象的應變與討論.....	18
2-4-1 UBM 種類的變換.....	18
2-4-2 UBM 厚度的改變.....	19
第三章 實驗方法與步驟	28
3-1 試片製備.....	28
3-2 實驗方法.....	29
3-2-1 凱文結構在本實驗中的應用.....	29
3-2-2 銲錫接點電阻量測.....	30
3-2-3 試片破壞模式觀測.....	31
第四章 結果與討論	36
4-1 破壞模式分析.....	36
4-1-1 CU 5/Ni 3 金屬墊層破壞模式.....	37
4-1-2 CU 5 金墊層的破壞模式.....	41
4-1-3 無鉛銲錫接點熱遷移行為.....	46

第五章 結論	66
第六章 參考文獻	67



圖目錄

圖 1-1	各封裝層級示意圖	8
圖 1-2	覆晶接合示意圖	8
圖 1-3	覆晶鉍錫自我對位(self alignment)示意圖	9
圖 1-4	覆晶鉍錫(flip chip)封裝示意圖	9
圖 1-5	Controlled Collapse Chip Connection 製程示意圖	10
圖 1-6	Kelvin structure 在半導體電性量測示意圖	10
圖 2-1	電遷移在鋁線上的效應	20
圖 2-2	SAC 鉍錫經過 1431 小時通電流 $1.68 \times 10^4 \text{ A-cm}^{-2}$ ，孔洞生成於導線進入鉍錫處	20
圖 2-3.	(a) 通入 0.59 A 電流，以紅外線顯像儀觀測到的溫度分布。 (b) 通入電流時，鉍錫內部溫度分布模擬	21
圖 2-4	上圖為銀銅鉍錫接點經過 2250 小時通錫電測試後的 SEM 影像剖面圖	22
圖 2-5:	在使用銅 UBM 之鉍錫接點的電遷移破壞變化(a)電遷移測試前(b)孔洞生成(c)裂縫擴展(d)接點斷路	23
圖 2-6:	在使用鎳 UBM 之鉍錫接點的電遷移破壞變化(a)空洞生成初期(b)孔洞擴展沿著介金屬化合物與鉍錫介面(c)介金屬化合物與孔洞成長(d)接點斷路	23
圖 2-7:	在(a)115°C、(b)130°C、(c)140°C與(d)150°C矽基板溫度下通入 1.01A 電流大小下，其介金屬化合物生成厚度對時間關係圖	24
圖 2-8	(a)-(d) 孔洞生成與成長在 125°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，鉍錫凸塊相對電位與時間關係圖	25
圖 2-9	(a) 鬆餅狀孔洞生成於 IMC 與鉍錫球界面(b) 模擬孔洞生成之數學模型。[23]	26
圖 2-10	(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°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°C ，100 小時後其破壞情形[25]	27
圖 3-1	Cu $5\mu\text{m}$ /Ni $3\mu\text{m}$ 金屬墊層鉍錫凸塊結構示意圖	32
圖 3-2	Cu $5\mu\text{m}$ /Ni $3\mu\text{m}$ 金屬墊層鉍錫凸塊 SEM 影像	32

圖 3-3	Cu 5 μ m 金屬墊層銲錫凸塊結構示意圖	33
圖 3-4	Cu 5 μ m 金屬墊層銲錫凸塊 SEM 影像	33
圖 3-5	(a) 凱文銲錫結構俯視圖 (b) 凱文銲錫結構剖面側視圖	34
圖 3-6	遠紅外線觀測儀	35
圖 3-7	試片研磨方向示意圖	35
圖 4-1	為 Cu 5/Ni 3 金屬墊層共晶錫銀銲錫接點在通電測試前橫截面電子顯微鏡影像圖	50
圖 4-2	Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 213.3 小時， b3 電阻上升至 1.2 倍時之 SEM 剖面圖。(a) 為電子流方向由左上往左下的銲錫凸塊，SEM 剖面圖。(b) 為圖(a) 孔洞生成局部放大 SEM 剖面圖	51
圖 4-3	Cu 5/Ni 3 墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 405.2 小時， b3 電阻上升至 2 倍時之 SEM 剖面圖	52
圖 4-4	Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 457.6 小時， b3 電阻上升至 3 倍時之 SEM 剖面圖	52
圖 4-5	Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 720.8 小時， b3 電阻上升至 6 倍時之 SEM 剖面圖	53
圖 4-6	Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 1959.3 小時， b3 銲錫接點斷路之 SEM 剖面圖	53
圖 4-7	為 Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，b2 銲錫接點不同階段通電時間 (a) 未通電前 (b) 213.3 小時 (c) 405.2 小時 (d) 457.6 小時 (e) 720.8 小時 (f) 1959.3 小時之 SEM 剖面圖	54
圖 4-8	為 Cu 5 金屬墊層錫銀銲錫接點在通電測試前橫截面電子顯微鏡影像圖	55
圖 4-9	Cu 5 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 71.7 小時， b3 電阻上升至 1.2 倍時之 SEM 剖面圖	55
圖 4-10	Cu 5 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 107.4 小時， b3 電阻上升至 2 倍時之 SEM 剖面圖	56
圖 4-11	Cu 5 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 169.6 小時， b3 電阻上升至 3 倍時之 SEM 剖面圖	56
圖 4-12	Cu 5 金屬墊層試片在 140 $^{\circ}$ C 下，通入 0.8 A，通電時間 239.4 小時， b3 電阻上升至 6 倍時之 SEM 剖面圖	57

圖 4-13 Cu 5 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A，通電時間 316.2 小時， b3 銲錫凸塊完全斷路之 SEM 剖面圖	57
圖 4-14 Cu 5 μ m 與 Cu 5 μ m/Ni 3 μ m 金屬墊層銲錫凸塊破壞模式之 SEM 剖 面圖	58
圖 4-15 Cu 5 μ m 與 Cu 5 μ m/Ni 3 μ m 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A， 通電時間對電阻變化曲線圖	59
圖 4-16 為 Cu 5 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A， b2 銲錫接點不同 階段通電時間 (a) 未通電前 (b) 71.7 小時 (c) 107.4 小時 (d) 169.6 小時 (e) 239.4 小時 (f) 316.2 小時之 SEM 剖面圖.....	60
圖 4-17 為 Cu 5 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A， b1 銲錫接點不同 階段熱時效時間 (a) 未通電前 (b) 71.7 小時 (c) 107.4 小時 (d) 169.6 小時 (e) 239.4 小時 (f) 316.2 小時之 SEM 剖面圖.....	61
圖 4-18 為 Cu 5 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A， b4 銲錫接點不同 階段熱時效時間 (a) 未通電前 (b) 71.7 小時 (c) 107.4 小時 (d) 169.6 小時 (e) 239.4 小時 (f) 316.2 小時之 SEM 剖面圖.....	62
圖 4-19 為 Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A，b1 銲錫接 點不同階段熱時效時間 (a) 未通電前 (b) 213.3 小時 (c) 405.2 小 時(d) 457.6 小時 (e) 720.8 小時 (f) 1959.3 小時之 SEM 剖面圖.....	63
圖 4-20 為 Cu 5/Ni 3 金屬墊層試片在 140 °C 下，通入 0.8 A，b4 銲錫接 點不同階段熱時效時間 (a) 未通電前 (b) 213.3 小時 (c) 405.2 小 時(d) 457.6 小時 (e) 720.8 小時 (f) 1959.3 小時之 SEM 剖面圖.....	64
圖 4-21 為為錫銀銲錫接點搭配 Cu 5 金屬墊層試片 (a) 銲錫接點在 150 °C 下，未通以電流，熱時效時間 316.2 小時 (b) 銲錫接點在 140 °C 下， 鋁導線有電流通過，但銲錫接點未通以電流，熱時效時間為 316.2 小 時之 SEM 剖面圖	65