

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

錫鉛銲錫合金的電子飄移研究

計畫類別：■ 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 009 - 109 -

執行期間： 89 年 10 月 01 日至 90 年 07 月 31 日

計畫主持人：陳 智

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：交通大學材料科學與工程系

中 華 民 國 89 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

錫鉛錒錫合金的電子飄移研究

A Systematic Study of Electromigration in Sn-Pb Solder Alloys

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 009 - 109 -

執行期限：89 年 10 月 01 日至 90 年 07 月 31 日

主持人：陳 智 交通大學材料科學與工程系

計畫參與人員：劉書宏、黃子瑜、賴璟亮

一、中文摘要

隨著消費電子產品的小型化，電子構裝中用的錒錫即將面臨一個嚴重的可靠性 (reliability) 問題：即 Electromigration (EM)，電遷移。本計畫設計適合研究錒錫 EM 的結構：即研究 EM 的標準的 Blech 結構，並運用 NDL 和交大半導體中心的製程儀器及技術來製作錒錫 Electromigration 試片。之後再進行錒錫 Electromigration 的量測及研究。

研究的重點包括以下幾項重要的課題：(1) 觀察和分析錒錫的顯微結構演化和電流密度、溫度以及時間的關係。(2) 量測 EM 所產生的 Hillocks 的體積，進而計算 Electromigration 速率。(3) 探討錒鉛的合金成分對 EM 的影響。本計畫將研究以下五種成分：純錒及共晶錒錫來對錒錒錒錒合金的 Electromigration 特性做一個有系統的研究。

關鍵詞：電子構裝、電遷移、錒錒

Abstract

The continuous miniaturization of consumer electronics has caused a serious issue on the reliability of solder in microelectronic packaging, i.e. solder electromigration. This project proposes to design a suitable test structure for solder electromigration, and to fabricate the electromigration samples in NDL and Semiconductor Center in National Chia-Tung University.

Three important issues in this project will be studied. (1) Observe and analyze

the microstructure evolution as a function of current density, temperature, and time. (2) Measure the volume of hillocks to calculate electromigration rate. (3) Investigate electromigration as a function of composition. To make a systematic study of solder electromigration, the following two composition will be studied: pure Sn and eutectic SnPb solder.

Keywords: Electromigration, Electronic packaging, soldering.

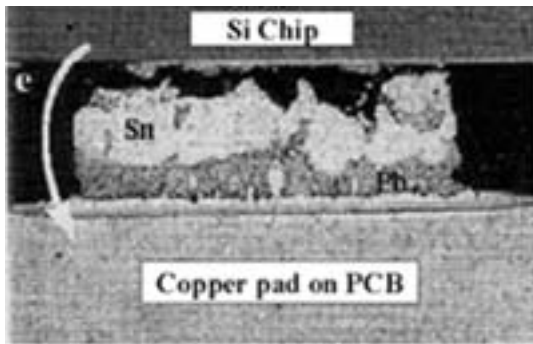
二、緣由與目的

為了加強微處理器以及邏輯元件的性能及速度，半導體工業界一直追求較高密度的輸入/輸出接點 (I/O terminal) 和較小的 IC 晶片 [1]。因此 BGA (Ball Grid Array) 製造技術已經被廣泛採用。當錒錒球的尺寸漸漸縮小，以便容納更多的 I/O 接點時，錒錒球的機械強度及散熱問題都會變的更嚴重。台灣也開始重視這些問題，已經有許多學者投入錒錒球的機械強度研究。然而，由於錒錒球的尺寸縮小，同時也引起另一個新的挑戰：錒錒的電遷移 (Electromigration) [2-4]。

電遷移一種由於電場和帶電載子所造成的質量移動。此現象通常在微電子元件中有高電流密度的導線內發生。例如在一條 $5\mu\text{m}$ 寬， $0.2\mu\text{m}$ 厚的鋁導線，在室溫下通入 1mA 的電流 (電流密度為 10^5 amp/cm^2)，則會造成一端有 void 生成，而另一端有 extrusion 產生。嚴重時會造成電路短路。它是在 1965 年被發現會對半導體產品的可靠度會有威脅。因此，在過去三

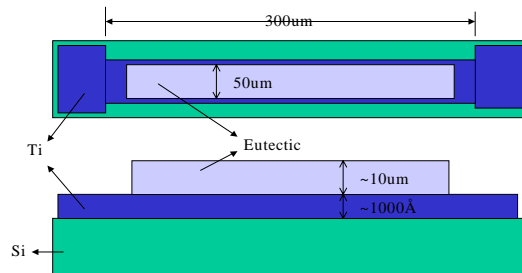
十多年中，一直有許多學者在研究此問題，並已經研究出有效的防治之道，即在鋁線中加入 2-3% 的銅，而使電遷移不致於危害到電子元件。

對於封裝中的鉛錫接點，以前由於鉛錫的尺寸較大(約 200 μm)，所以電流密度較低，電遷移對鉛錫接點並不構成威脅。然而，目前工業界使用 150 μm 的鉛錫球，而幾年後會降到 75 μm 。對於 150 μm 的鉛錫球，它的工作電流密度是 10^4 amp/cm²，此電流密度造成鉛錫溫度升高至 80 左右。對於 125 μm 共晶錫鉛鉛錫(溶點 183)，Elenius 在去年指出，在 150 下通入 $6-8 \times 10^3$ A/cm² 的電流密度，經過 100 小時後，Electromigration 會破壞鉛錫接點(見圖一)，所以當鉛錫的尺寸漸漸地縮小時，所通入的電流密度也跟著增加，Electromigration 對於元件的可靠性將會有很嚴重的影響。



圖一：共晶鉛錫球的 EM。電子流從圖的上方流到圖的下方。在鉛錫球上方造成許多大的 voids [5]。

本計畫中採用標準的 Blech EM 結構 [6]。研究以下兩種成分：純錫及共晶鉛錫 Sn₆₃Pb₂₇，來對鉛錫鉛錫合金的 EM 特性做一個有系統的研究。

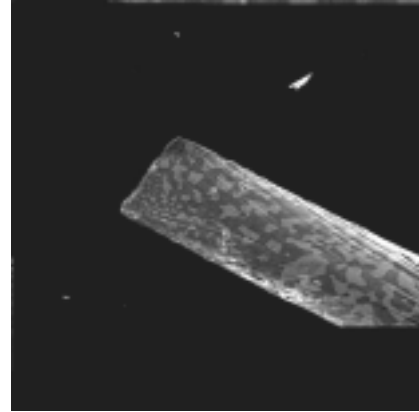


圖二：Blech EM 結構。上圖為俯視圖；下圖為剖面圖。

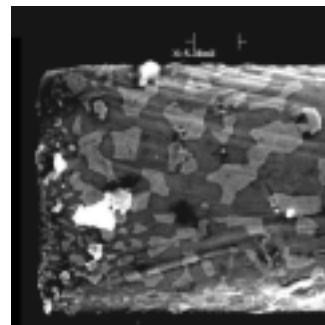
三、結果與討論

(a) 共晶鉛錫

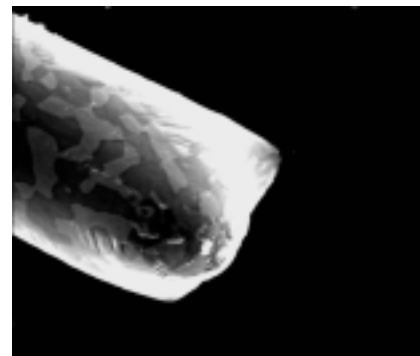
圖三至圖六乃一線寬 55 μm 之共晶鉛錫，通電前，以及通以 60mA 之定電流，經 20 小時的結果：



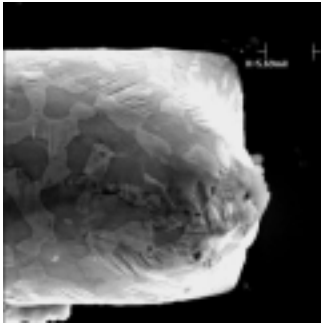
圖三、共晶鉛錫陽極端的 SEM 俯視圖。通電前，1000X。



圖四、共晶鉛錫陽極端的 SEM 俯視圖。在室溫下通電 60mA，30 小時，2500X。



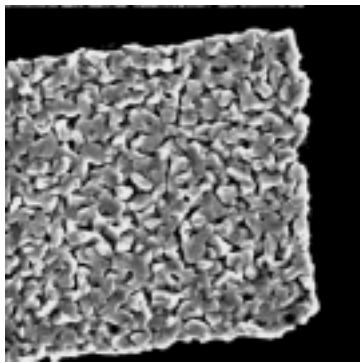
圖五、共晶鉛錫陰極端的 SEM 俯視圖。通電前，2000X。



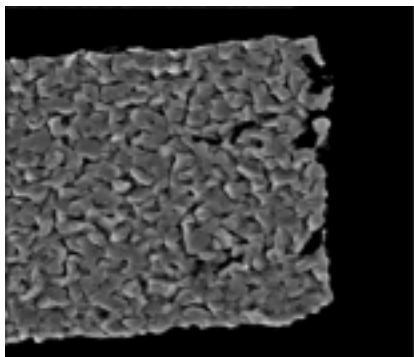
圖六、共晶鉛錫陰極端的 SEM 俯視圖。在室溫下通電 60mA，30 小時，2500X。

從上面的圖中可以看到，electromigration 的現象非常明顯，尤其是在通電達 30hr 之後，在靠近陽極處有 hillock 發生，而在靠近陰極處有 vacancy 的出現。

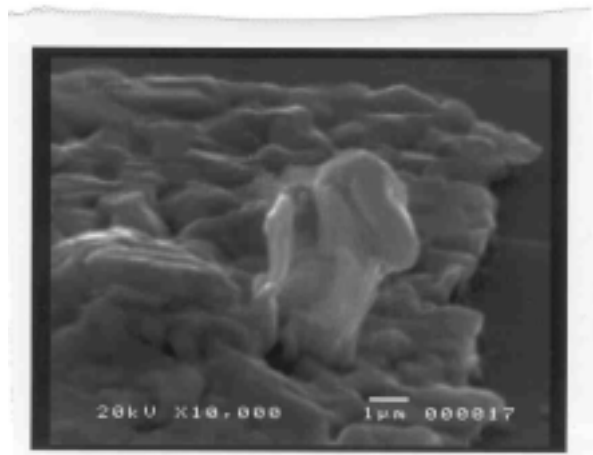
(b) 純錫



圖七、純錫陰極端的 SEM 俯視圖。通電前，2500X。



圖八、純錫陰極端的 SEM 俯視圖。在室溫下通電 40mA，電流密度是為 $1.6 \times 10^5 A/cm^2$ 30 小時，2500X。



圖九、純錫陽極端的 SEM 俯視圖。在室溫下通電 40mA，電流密度是為 $1.6 \times 10^5 A/cm^2$ 30 小時。

從圖七製圖九可觀察出通入 $1.6 \times 10^5 A/cm^2$ 30 小時的電流後，陰極的孔洞非常明顯。有些純錫的晶粒已被移走。而陽極端有純錫 whisker 產生。在圖九所顯示的微結構中也可發現，錫 whisker 沿著一軸方向的條紋，跟之前的文獻中微結構圖類似[7]。但須進一步分析驗證。

四、計畫成果自評

本計畫執行至今一年，已經將研究 EM 最困難的試片製作完成。然而，所得結果尚未符合預期進度。此乃因去年是職的第一年任教，花很多時間在建立實驗室及訓練研究生。再加上最近一直期望能有更多的結果能讓此報告有一些 conclusive results. 因此，報告遲交四天，尚請見諒。

五、參考文獻

- [1] The International Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Association, San Jose, CA, 1999.
- [2] K. N. Tu, C. C. Yeh, C. Y. Liu, and C. Chen, Appl. Phys. Lett., **76**, 7, 2000.
- [3] C. Y. Liu, C. Chen, and K. N. Tu, J. Appl. Phys. **88**, 5703, 2000.
- [4] C. Y. Liu, C. Chen, C. N. Liao, and K. N. Tu, Appl. Phys. Lett., **75**, 58, 1999.

- [5] S. Brandenberg and S. Yeh, Surface Mount Int. Conference and Exposition, SMI 98 Proceedings, p.337,1998.
- [6] I. A. Blech, J. Appl. Phys., **47**, 1203 ,1976.
- [7] B.Z. Lee and D.N. Lee, Acta Mater. **46**, 3701, 1998.