

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫  成果報告   
期中進度報告

(計畫名稱)

以電流驅動錫晶鬚的成長之研究

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2628-E009-010-MY3

執行期間：96年8月1日至99年7月31日

執行機構及系所：國立交通大學材料科學與工程學系所

計畫主持人：陳智教授

共同主持人：

計畫參與人員：魏程昶、梁世緯、劉道奇、陳誠風、林漢文

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

中華民國 99 年 10 月 31 日

## 一、中文摘要：

因近年來環境保護的考量,在微電子構裝工業中,無鉛錒錫逐漸地取代傳統的有鉛錒錫。以使得而在大部份的無鉛錒料中,錒的成分比例皆超過95%,造成錒晶鬚的議題 變得很重要。但要研究錒晶鬚成長並不容易,主要是溫度太低(低於30°C),錒晶鬚成長 非常慢,溫度太高(高於70°C),應力被釋放而不會成長。對此議題我們發展出利用電流 驅動錒晶鬚成長。先期研究發現我們可以在室溫到100°C皆能在數十小時到數百小時內 成長錒晶鬚。因此,此方法能提供錒晶鬚成長的加速測試。對於錒晶鬚成長機制能夠有系統地研究。

我們將以國際合作的方式來執行此計畫,與美國加州大學洛杉磯分校(UCLA)材 料系的杜經寧教授合作,因為杜教授在這方面有幾十年的經驗,以及他們可以用美國 Advanced Light Source 國家實驗室的同步輻射(synchrotron radiation)來量測小區域 的應力大小及分佈。本計劃中將於第一年裡,將分析錒鉛錒錒薄膜合金試片,而於第一 年中建立起分析錒鉛錒錒晶鬚的成長速率。第二年將開始研究無鉛錒錒的晶鬚成長,與 其應力分佈。除了實驗的觀測外,也將會與杜教授合作,以理論來推導晶鬚的成長速率。 爾後,在本國合計劃的第二年裡,杜教授團隊將觀測薄膜通電前後的陽極端壓應力變化 與其對晶鬚成長的影響。為分析晶鬚成長之活化能,於本計畫的第三年裡將主要對於薄 膜不同溫度下通電前後的陽極端壓應力變化與其對晶鬚成長的影響。由於後學已經 與杜 教授有多年的合作經驗,並共同發表多篇優質期刊論文,我們將會密切合作,相信將會 很成功並對錒晶鬚成長機制有更深入的瞭解。

## 二、前言：

近年來，由於工業發展對環境造成的污染日益嚴重，人們對於環境保護的關注性逐漸提昇。許多國家開始禁止危害物質使用於電子產品上。在電子封裝產業裡，以無鉛錒錒取代共晶錒鉛後，衍生出許多可靠度的問題。其中，在引腳架(leadframe)上的錒晶鬚(tin whisker)生成，是一個非常重要的議題。

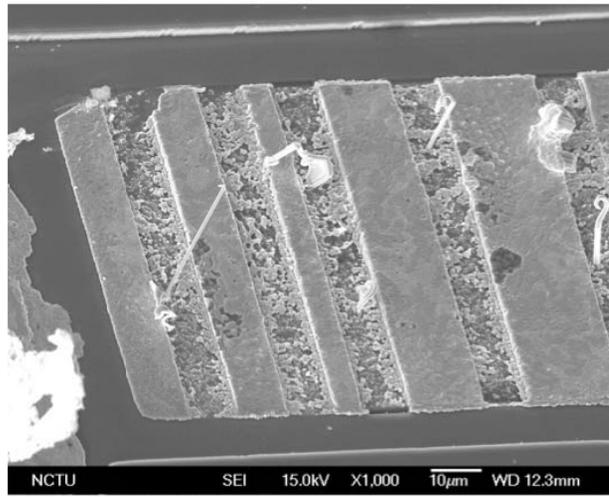
鬚晶 (whisker) 以材料分類，可以分為陶瓷與金屬兩種，而金屬鬚晶(metal whisker)主要生成在鋅、錒、銀、金等金屬上。錒鬚(tin whisker)的生成現象在 1940 到 1950 年就已經有報導提出，但直到近年來才開始引起廣泛的興趣。儘管早期大部分研究集中在錒鬚的成長機制，其中包括差排、再結晶、擴散、氧化以及缺陷等理論，但直到目前，對於錒鬚的成長機制還是存在著許多爭議與討論，尚無一致的認同。大部分研究指出錒鬚形成是為了釋放內部錒層中的壓應力，應力的來源有：電鍍製程的殘留應力、介金屬化合物(intermetallic compound)的生成以及外部施加應力等。另外亦有報導指出錒鬚的形成是屬於自發性反應。

典型的錒鬚是一種如頭髮一樣的細長錒單晶體，直徑可為 0.006 – 10  $\mu\text{m}$ ，大部分約在 1  $\mu\text{m}$  上下，而長度最長可達 10 mm。在型態上，錒鬚可以是筆直或扭曲彎折狀，甚至是弧形等各種形式，其成長速率約為 0.01-0.1  $\text{\AA}/\text{s}$ ，潛伏期可由數天到數年之久。

## 三、研究目的：

目前已知在晶鬚成長中須有一應力梯度的存在，而一般的測試方法皆會受制於溫度，當溫度太低(低於 30°C)，錒晶鬚成長非常慢，溫度太高(高於 70°C)，應力被釋放而不會成長[8]。有鑒於此，對此議題我們發展出利用電流驅動錒晶鬚成長。我們將以 Blech 結構為基礎，於錒合金直條膜層中通以高電流密度來觀察錒晶鬚的生長行為。此通電所引發的錒晶鬚生長模式不同於傳統的錒晶鬚生長機制，主要為通電藉由電子撞擊原子而產生一驅動力(壓應力)，此驅動力會促使原子在線路中擴散。根據電遷移理論將會在錒薄膜的陽極生成一壓應力，此一應力將會促使晶鬚的成長，先期研究發現我們可以在室溫到 100°C 皆能在數十小時到數百小時內成長錒晶鬚，如圖一所示。因此，此方法能提供錒晶鬚成長的加速測試。對於錒晶鬚成長機制能夠有系統地研究。

而在通電的過程中也可利用控制器記錄試片中的電阻值變化。另一方面試著比較電遷移中錒鉛的一些重要特性如導線的臨界長度 (Critical length)。所以整個電遷移的測試將是有系統地被執行，而發生機制更會被詳細地討論。

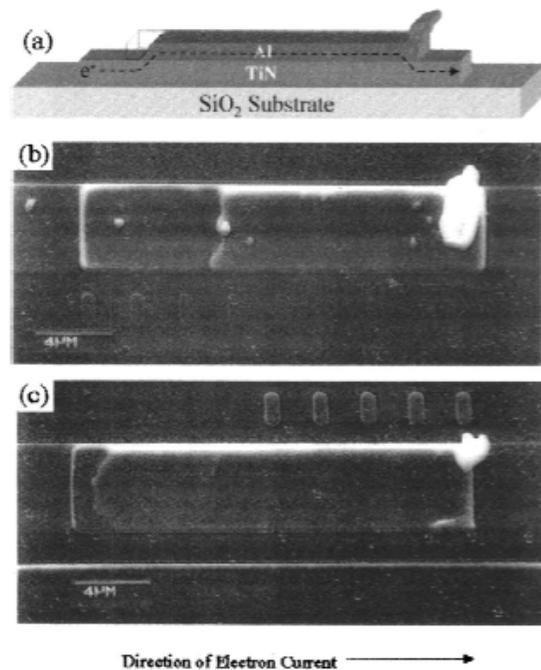


圖一、於電流密度  $5 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ ,  $100^\circ\text{C}$  下，經約 64 小時後錫晶鬚側面圖。

#### 四、文獻探討

##### 電遷移

近幾年來，半導體工業對於元件運算速度及效率方面的提昇，一直是一項發展的重點趨勢，如 Table 1、2 所示。因此，在積體電路(integrated circuit)製作技術邁入 ULSI (ultralarge scale integration)製程的情形下，必然促使元件的金屬連線朝向微小化製作發展。當內層導線(interconnect)線寬不斷縮小的過程中，流經金屬導線的電流密度勢必將逐漸提高。而在如此高的電流密度作用下，將會使電流撞擊導線內的金屬原子，促使金屬原子獲得足夠的動量造成遷移。然而，此種因為原子在高電場作用之下所產生的遷移現象，稱之為電遷移(electromigration)效應。由於電遷移(electromigration)效應是電子風力的影響所導致金屬原子的擴散，因此在此效應的影響下將會導致負極(cathode)端缺乏原子而生成孔洞造成斷路。而被搬遷的原子將會在正極(cathode)端堆積造成凸起(hillock)或錫鬚(whisk)現象的產生，如圖二所示。[1] 嚴重時會造成電路短路。



圖二：鋁導線的晶鬚現象

物質在電場的作用下發生移動的現象，最早有記錄的應是 Gerardin[2]對於熔融的鉛錫與汞鈉合金的研究。直到二十世紀初期，電遷移效應對固態金屬的影響才開始受到注意。近期則由於對積體電路製程中的鋁導線的可靠度會造成負面的影響，因此許多的實驗分析與理論架構接續著被提出。於過去幾年來，大部份有關電遷移(electromigration)方面的研究都集中於鋁或銅線之內層導線(interconnect)的毀壞模式。其中，最著名為 J. R. Black 建立的 Black's equation[4]，藉由此項方程式我們便可以預期元件的平均毀壞時間 (mean-time-to-failure)。而後，於 1975 年 I. A. Blech 又發現即使在高電流密度的影響下，當鋁線長度小於臨界長度 (critical length) 時，將不會有電遷移(electromigration)毀壞的情況發生[3]。在 Blech 研究中又顯示出，於某一特定的電流密度下，將會有一

相對的臨界長度 (critical length)，此意指於電遷移的影響下同時將會產生另一阻抗電子流促使遷移的力產生，而當此 back stress 的力等同於電子流動量傳遞產生的遷移力時，將不會有電遷移現象產生，而此相對的關係稱之為 critical product。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，其中之一即在鋁線中加入 2-3% 的銅[4,5]，而使 Electromigration 不致於危害到電子元件。

K.N. Tu 在 1992 曾對於 Electromigration 的 kinetics 作分析，其結果和短鋁線的實驗數據相吻合[6]。在此分析中，是以下的兩個方程式來描述 Electromigration:

$$J_m = -C(D/kT)(d\sigma\Omega/dx) + C(D/kT)Z^*eE$$

$$J_e = -L_{12}(d\sigma\Omega/dx) + n\mu_e eE$$

其中 C 是濃度，D 是 diffusivity, k 是 Boltzmann constant, T 是溫度， $\sigma$  是應力， $\Omega$  是原子體積， $Z^*$  是有效帶電數，E 是電場， $L_{12}$  是 phenomenological coefficient， $L_{12}=(1/\sigma\Omega)(d\phi/d\sigma)$ ，其中  $(d\phi/d\sigma)$  是 deformation potential。而通電同樣會藉由電子撞擊原子而產生一驅動力，此驅動力會促使原子在線路中擴散。原子不斷地被推擠至陽極端，便會產生一壓縮應力，此應力將會藉由凸起或錫鬚晶的方式釋放。

**Table 1. Power Supply and Power Dissipation – Near Term Years**

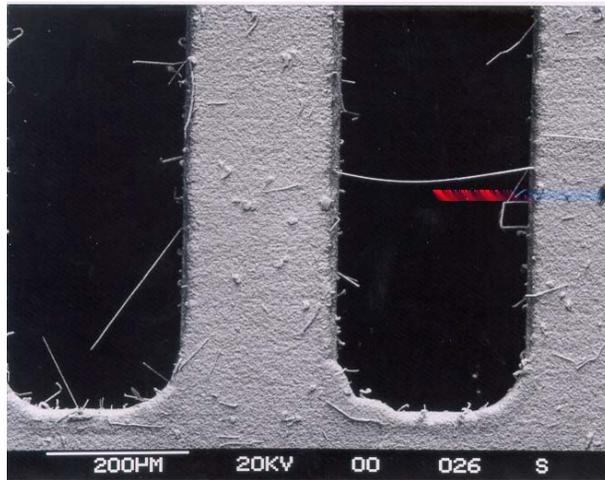
YEAR TECHNOLOGY NODE	1999 180nm	2000	2001	2002 130nm	2003	2004	2005 100nm
<b>Power Supply Voltage (V)</b>							
Minimum logic $V_{dd}$ (V)- maximum (for maximum performance)	1.8	1.8	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2
Minimum logic $V_{dd}$ (V)- minimum (for lowest power)	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	0.9	0.9
<b>Maximum Power</b>							
High-performance with heatsink(W)	90	100	115	130	140	150	160
Battery(W)-(hand-held)	1.4	1.6	1.7	2.0	2.1	2.3	2.4

**Table 2. Power Supply and Power Dissipation – Long Term Years**

YEAR TECHNOLOGY NODE	2008 70nm	2011 50nm	2014 35nm
<b>Power Supply Voltage (V)</b>			
Minimum logic $V_{dd}$ (V)- maximum (for maximum performance)	0.9	0.6	0.60
Minimum logic $V_{dd}$ (V)- minimum (for lowest power)	0.6	0.5	0.30
<b>Maximum Power</b>			
High-performance heatsink(W)	with 170	174	183
Battery(W)-(hand-held)	2.0	2.2	2.4

## b. 錫晶鬚的成長

先前國內構裝材料的導線架(leadframe)多為含鉛的焊錫表面處理之構裝，但因近年來環境保護的考量，在微電子構裝工業中，無鉛錫逐漸地取代傳統的有鉛錫[7]。以使得而在大部份的無鉛錫料中，錫的成分比例皆超過 95%。而無鉛表面的技術開發，便成為今日電子構裝業的當務之急。在無鉛焊錫的構裝中，如純錫或是錫銅合金的鍍錫處理，最常遇到的問題便首推為錫晶鬚的生成。在室溫下的往往不需多時，導線的表面會生長許多晶鬚，有些晶鬚成長會與鄰近的導線相連接，因而造成短路，如圖三所示，這便成為封裝中嚴重的可靠度問題。所以目前世界上工業界及許多研究單位無不針對防止或抑制錫晶鬚的成長做更深入的研究。在美國太空總署 (NASA) 網站中內容中更有多篇對於錫晶鬚在工業界所導致的損害報導[9]。



圖三、兩引腳架之間的錫晶鬚因過長產生相連，導致電性傳遞的毀壞[8]。

早期，選用錫鉛材料原因之一就是避免錫鬚晶困擾，但因無鉛化的推行，使得工程師仍要回頭面對錫鬚晶問題，如何抑制錫鬚晶的成長及探討錫鬚晶的生長行為便成為現今電子封裝產業無鉛製程中一重要的議題[10,11]。

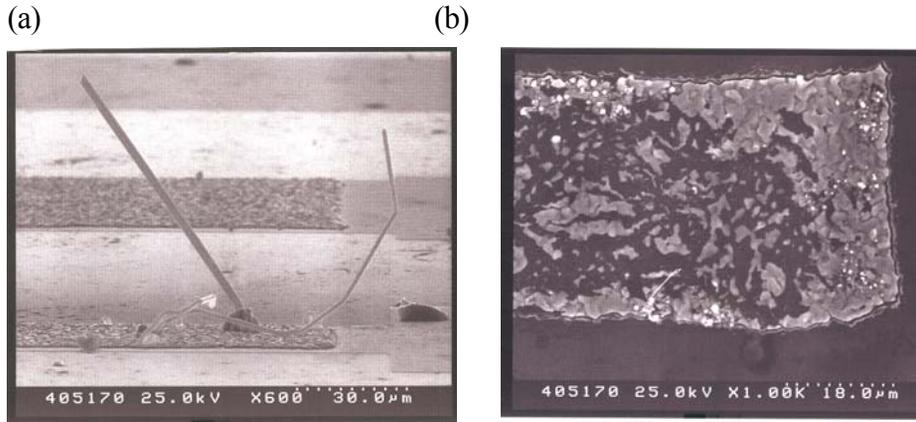
在 1946 年，錫鬚晶的問題第一次被報導出來[12]。隨後陸續有多人做過相關的研究[13-21]。根據目前的研究結果指出，錫鬚晶的生長需同時具備兩個條件：錫層晶內部的壓縮應力，並且不斷地以生長錫鬚晶的方式來釋放內部的壓縮應力[21]，另一為表面有良好的保護層，使得其內部產生一應力梯度提供錫鬚生長的驅動力 (driving force)。而應力的來源有許多種，可能為介面間的化學反應生介金屬所引發的化學驅動力，也可能為電鍍過程中殘留的內應力，亦可能為外加的機械應力，其他如加熱、通電等，都會於錫層內部產生一壓縮應力，驅使錫鬚晶的生長。由介面反應產生化學應力而引發的錫鬚晶是最常被討論的機制。在 2002 年，由 Choi 與 Tu 的報導可以得知，在室溫下自發性的錫鬚晶生長是因錫銅不斷地在進行化學反應，促使介金屬生長而產生壓縮應力，進而推擠錫原子不斷往表面擴散，最後以錫鬚晶生長的方式釋放應力，以維持動力學的平衡[8]。

錫鬚晶的生長是一個表面凸起、減緩錫層內部壓縮應力的現象。一般而言，錫鬚晶的直徑約在  $0.006\ \mu\text{m}$  至  $10\ \mu\text{m}$  間不等。錫鬚晶的外形可能為筆直細長的針狀，亦可能為蜿蜒曲折的形狀，雖然大多為不規則不一定之形狀，但由先前的研究結果中發現，錫鬚晶的頂端外形不會隨著錫鬚晶繼續生長而有改變，因此可以得知錫鬚晶的生長過程是由底部的壓縮應力推擠而出，並非從頂端增長[8]。

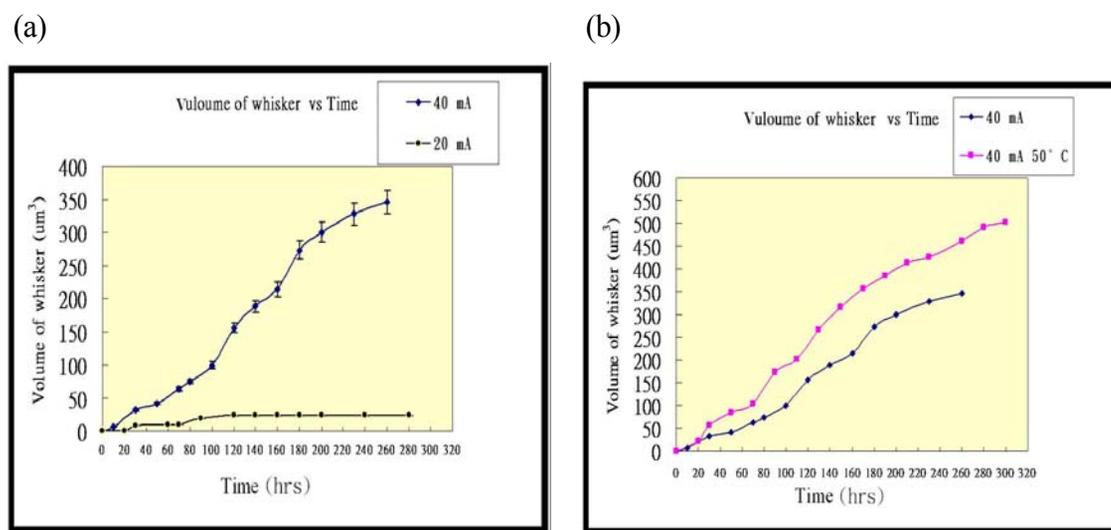
就目前的研究指出，一般自發性地錫鬚晶生長速率約為  $0.03\sim 0.9\ \text{mm/year}$ ，其生長速率實在過於緩慢，並不有利於作錫鬚晶生長的相關研究。因此為針對防止或抑制錫晶鬚的成長做更深入的探討，便將利用加速實驗來進行錫鬚晶的觀察[p1]。

於先前我們利用  $5000\text{\AA}$  之錫條在  $700\ \text{\AA}$  的鈦膜之上的 Blech 構造於電流密度為  $7.5\times 10^4\ \text{A/cm}^2$  及  $1.5\times 10^5\ \text{A/cm}^2$  下，我們觀察到在陽極部份會產生錫晶鬚及突出物，陰極部份則產生孔洞，如圖四所示。此外，為了研究溫度的效應，試片在通電時分別置於室溫及  $50^\circ\text{C}$  下。在室溫下，電流密度  $1.5\times 10^5\ \text{A/cm}^2$  時錫晶鬚的成長速率大約為  $3\ \text{\AA}/\text{sec}$ ，在  $50^\circ\text{C}$  下則為  $7.7\ \text{\AA}/\text{sec}$ 。在電流密度  $7.5\times 10^4\ \text{A/cm}^2$  室溫下時速率為  $0.4\ \text{\AA}/\text{sec}$ 。而其錫晶鬚成長速率與通電的時間及電流密度及通電時環境溫度成函數關係，如圖五及圖六所示，在相同溫度但不同電流密度下，受到較高電流密度的試片其錫晶鬚的成長速率較快且陰極部分孔洞 (Voids) 產生及擴大的速率也快得多。除此之外，在相同電流密度 ( $1.5\times 10^5\ \text{A/cm}^2$ ) 下，較高溫度時陽極所產生的錫晶鬚成長速率較快，同樣地陰極部分所產生的孔洞擴大的速率快的多。

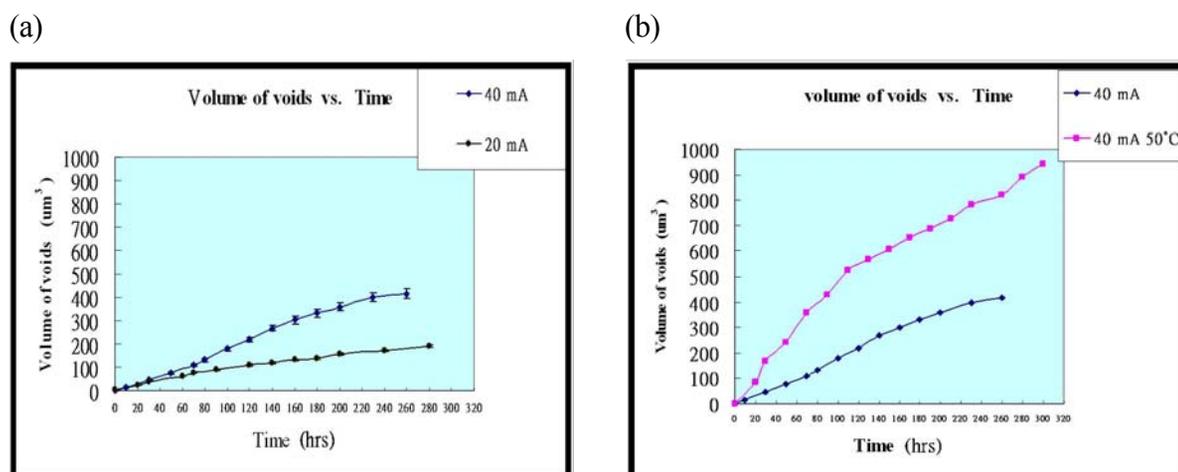
錫晶鬚的成長機制至目前為止很多文獻所做過的推測都是針對由機械應力所產生的錫晶鬚部分，而我們利用電流所驅動的錫晶鬚跟由機械應力所產生的錫晶鬚在成長機制方面主要有兩點不同之處：第一點：在成長驅動力方面不同，由電流所驅動的錫晶鬚其產生主要來自於電子與金屬薄膜中錫原子的撞擊，而在未經通電的試片長時間觀察中，並未產生錫晶鬚。因此電子流的撞擊錫原子確實為此錫晶鬚的產生驅動力。當電子從陰極進入錫薄膜時並行進至陽極，電流擁擠效應(Current crowding)產生於薄膜的角落部分。第二點：擴散路徑不同。在文獻中，自發性產生的錫晶鬚其錫原子的擴散是經由短距離的擴散。而在電遷移中，錫原子從陰極到陽極的擴散提供了一個錫原子的流量，屬於長距離的擴散。由於本計畫為對各種錐錫的電遷移研究，但錫晶鬚及純錫相關方面的研究即為基礎且重要，實有必要另設立一課題來做更深入的研究。



圖四、(a)試片通電170小時後陽極產生的錫晶鬚側面圖，(b)試片通電170小時後陰極產生的孔洞平面圖。



圖五、(a)不同電流密度室溫下錫晶鬚成長與時間關係圖，(b)不同溫度相同電流密度下錫晶鬚成長與時間關係圖。



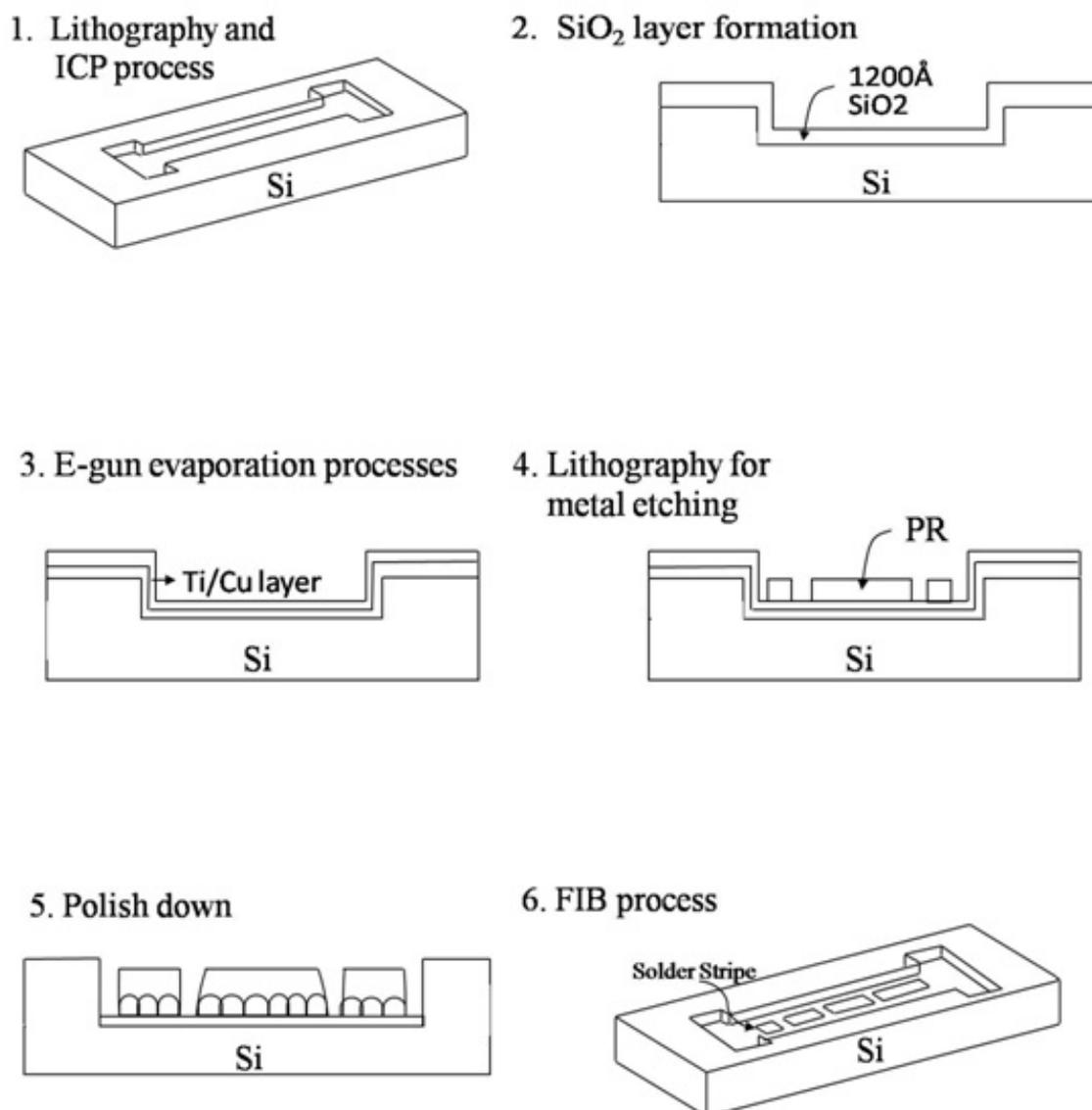
圖六、(a)不同電流密度室溫下陰極孔洞產生體積與通電時間關係圖，(b)不同溫度相同電流密度下陰極孔洞產生體積與時間關係圖。

## 五、研究方法：

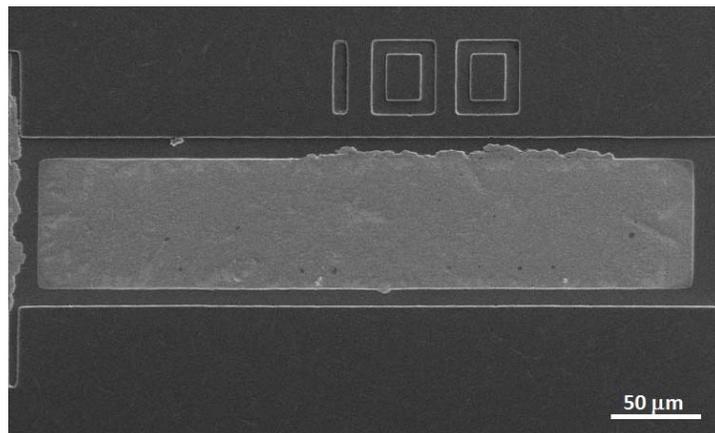
I. A. Blech為在研究電遷移現象方面極有成就的學者。他在所發表的文獻中使用了經典的Blech Structure對鋁導線的電遷移做一完整的研究[3,4]。而為了有系統及有效率地研究錒錫中晶鬚成長的特性，故此，於本計畫第一年中主要將先利用微影蝕刻技術，同時配合聚焦離子束(FIB)蝕刻技術製作出不同長度之solder stripes。SnPb的solder stripes 電遷移所產生之晶鬚將會是我們第一年研究的對象。我們已成功促使SnPb solder stripes 置於一般近似CPU工作環境的溫度下成長出複合式晶鬚。此項結果顯示出，第一此測試方法將不再受制於60 °C以上不利於錒鬚晶的生長，因此將可改變不同溫度進而求得晶鬚成長之活化能，第二我們能於SnPb中成長出的複合式晶鬚將有助於研究晶鬚的成長機制。

使用之分析儀器如下：

- a. AFM:分析試片中 Blech Structure 的各種線長的錒鉛膜厚度。
- b. SEM 觀測: 觀測薄膜通電前後的表面型態以及晶鬚成長情形記錄。
- c. IR 觀測: 觀測薄膜通電前後的溫度變化與焦耳熱的影響。
- d. FIB 分析: 分析複合式晶鬚需要精確定位，故於本計畫中除了利用 FIB 蝕刻技術製作測試試片外，亦利用 FIB 進行 TEM 試片的製作。
- e. TEM 分析: JEOL 6500 STEM 穿透式電子顯微鏡，由薄膜橫截面觀察薄膜與晶鬚的介面結構。



圖七：Blech Structure 製作流程圖



圖八：錒錫成功置於Blech Structure經研磨拋光之表面形貌

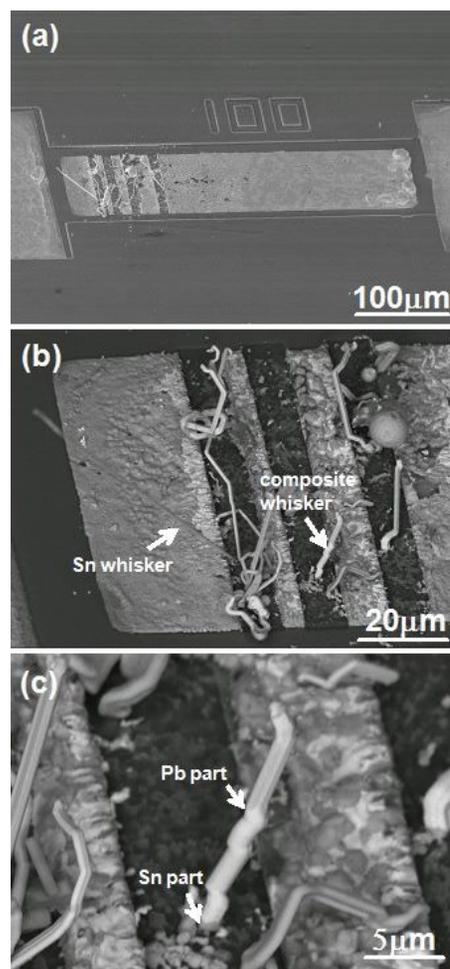
## 六、結果與討論：

### 電遷移效應之影響

圖九為試片於 100 °C 下，經電流密度  $5 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup>、105hrs 後之表面形貌圖。由圖九(a)不難發現到，經通電過後於 SnPb 合金薄膜於陰極(cathode side)處有空洞(void)的形成。Yeh 於 2002 年發表的論文中指出，對於 Blech 結構而言，電流轉向流入上層薄膜線(stripe)處通常會有電流群聚(current crowding)的現象發生，此電流群聚處也常是孔洞較易形成的地方，這個結果也符合我們觀察到的實驗結果[5]。同時我們也發現於陽極處有凸起(hillock)形成。並且在錒錫薄膜處的表面也開始出現晶鬚的生成，其大部份的晶鬚皆成長在 5、10、15μm 長的 solder stripe 處。圖九(b)為圖(a)中 5 與 10μm 長之 stripe 局部放大圖。透過 BEI(Backscattered electron image)影像我們可以看到通電過後成長出來的晶鬚，大致上可區分為一般常見的錒晶鬚，與錒鉛成份位於同一晶鬚上的複合式晶鬚。

圖九(c)為圖(a)中複合式晶鬚之 BEI 局部放大圖，在圖中可以發現在複合式晶鬚裡，大部份的晶鬚生長皆是先成長出鉛相部分的晶鬚，然後錒相之晶鬚才接續生長出。在先前對於晶鬚成長的研究中指出，晶鬚將會成長於錒表面氧化層較易破裂的地方(weak point)[17]。對於錒鉛合金表面而言，錒的表面會很快的在有氧的環境中生成表面氧化物，而鉛較不易有表面氧化物，因此推測這有可能為大部份複合式晶鬚皆由鉛部份先成長，爾後錒相晶鬚接續成長的原因之一。

先前文獻中曾指出，由於錒錒中鉛的添加有助於應力的吸收，因此鉛的添加會抑制晶鬚的生長[22]。在本實驗中，我們用 current stressing 當作驅動力，並且發現晶鬚生長。對於晶鬚成長的驅動力而言 current stressing 遠大於因金屬界面化合物(IMC)的形成所促使的壓縮應力。此外，在圖中我們也發現大部份的晶鬚成長處位於 solder stripe 邊界處(edge)。在 2005 年時，Boettinger 等人在 Sn、SnCu 與 SnPb 合金實驗中發現，Sn 與 SnCu 相較於 SnPb 易生長晶鬚，且 SnCu 合金又比 Sn 更容易成長晶鬚。同時 Boettinger 等亦發現生長晶鬚之 Sn 與 SnCu 合金皆具有柱狀晶粒(columnar grain)結構，而對 SnPb 合金而言，其微結構為等軸狀晶粒結構(equi-axed grain structure)，此種等軸狀晶粒結構(equi-axed grain structure)相較於柱狀晶粒(columnar grain)結構受到壓縮應力時，較不易有正向作用力的生成，所以 Sn 與 SnCu 合金受微結構影響較容易產生晶鬚[23]。而在實驗結果中我們發現，SnPb 合金經聚焦離子束(FIB)蝕刻過後，位於 solder stripe 邊界處(edge)會殘留一些似島狀的錒錒在其中，而有一部份殘留錒錒與 solder stripe 相連接，此連接之錒錒為易生長晶鬚的柱狀微結構。因此，當外加電流在電遷移的影響下，在陽極處(anode side)會有一壓縮應力生成，對於經聚焦離子束(FIB)蝕刻過後與 solder stripe 相連接之殘留島狀的錒錒而言，符合成長晶鬚之條件，所以我們假設此為複合晶鬚之成長原因之一。



圖九、(a)於 100 °C 下，電流密度  $5 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup> 經 105hrs 後之 SEM 圖。(b)、(c)為圖(a)之 BEI 局部放大圖

### (1) 複合式晶鬚之形貌

圖十為經電流驅使成長之複合式晶鬚表面形貌之 BEI 影像。而圖十(a)之 BEI 影像中我們可以很清楚的看出，複合式晶鬚中鉛成份部份是位於晶鬚之頂端，而位於較為底部之部份便開始出現錫相且底部甚至有錫鉛相共存的情形發生。

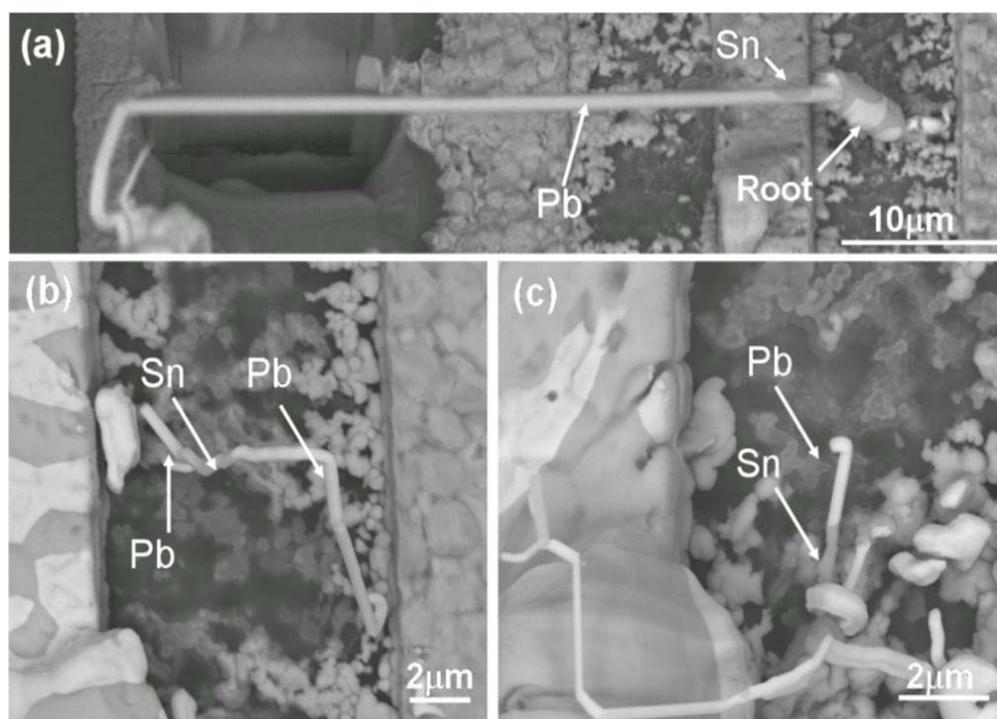
一般來說，晶鬚的典型直徑約為數個微米之間，並且能夠達到約幾個毫米的長度。錫晶鬚具有許多不同的形貌種類，最常見的為 Nodules、Kinks、Filament 等。在本實驗中，複合式晶鬚仍具有上述常見之錫晶鬚形貌，如圖十(b)、(c)所示。其直徑約為 0.2 μm，小於一般錫晶鬚之直徑。

### (2) 複合式晶鬚之分析

圖 11 為利用 FIB 進行複合式晶鬚之切片觀察情形。由圖 11(b)複合式 SnPb 晶鬚截面之 SEM 影像，我們可以發現長出複合式晶鬚之 seed 原本便存在著富錫相與富鉛相 SnPb 合金成份。表 1 為圖 12 複合式晶鬚 TEM 切片之 EDS 結果，由成分分析結果發現於起初成長之晶鬚應為鉛鬚，且於 point 1 此點成分分析中並無測出錫之成分。圖 12 為圖 11 製作 TEM 試片之 TEM 影像。由圖中我們可以發現，在複合式晶鬚中仍有錫與鉛之交界部份，透過 EDS 分析可知於交界處的錫鉛成份並不固定於共晶成分，而是錫成份將會隨靠近著隨後成長出之錫相晶鬚而增加，如表 1 中 point 2、3 所示。而此複合式晶鬚之根部藉由 EDS 分析得知為錫銅之介面化合物。

如前述所示，在已發表的文獻中，純錫晶鬚的成長方向主要為  $\langle 100 \rangle$ 、 $\langle 001 \rangle$ 、 $\langle 101 \rangle$ 、 $\langle 111 \rangle$ 、 $\langle 210 \rangle$  與  $\langle 110 \rangle$  的方向成長[24,25]。但極少文獻中有分析鉛晶鬚之成長方向，甚至更無文獻報導過錫鉛之複合式晶鬚與其成長方向之分析結果。因此為了達到分析複合式晶鬚成長方向之目的，我們在實驗中除了利用 FIB 製作試片外，亦使用 TEM 進行繞射分析。為了能製作出錫鉛複合式晶鬚之富錫部份的 TEM 切片，我們利用玻璃針將晶鬚推倒後，使用 FIB 於複合式晶鬚之頂端，也就是鉛晶鬚部份鍍上 Pt，如圖 13(a)所示。之後再利用 FIB 之離子束製作出 TEM 試片，如圖 13(b)所示。於圖 13(b)中，經 TEM 繞射分析得知，錫鉛複合式晶鬚之鉛晶鬚部份主要仍是以

單晶之結構存在，此現象如同於錫晶鬚一般。而在TEM影像中看到之如同晶界的紋路，應為製作出之試片過薄試片彎曲所造成的影像。同時由此電子束之繞射圖形分析可得知，鉛晶鬚之生長方向為 $[1\ 1\ 2]$ 。



圖十、經電流驅使成長之複合式晶鬚表面形貌之 BEI 影像。(a)鉛晶鬚內包含 Sn island。(b)、(c)為 kink type 之複合式晶鬚。

在實驗結果中，我們也發現了錫鉛複合式晶鬚除了Nodules type的晶鬚外，仍有Kinks type之晶鬚存在，也就是說在晶鬚中可能包含二種不同成長方向，如圖14所示。為了更進一步鑑定鉛晶鬚之成長方向，我們選取其中一Kinks type之鉛晶鬚進行TEM分析，如圖10所示。圖10(a)為圖9中之TEM影像。經由EDS分析，此切片晶鬚成分為鉛。圖15(b)、(c)為圖15(a)中b、c點之繞射圖形。由繞射結果我們發現，在鉛鬚部份跟先前結果一致為一單晶結構。同時藉由b、c點繞射圖形得知其晶鬚成長方向分別為 $[1\ 1\ 2]$ 與 $[2\ \bar{1}\ 1]$ 。

在Nodules type之錫鉛複合式晶鬚分析中，我們選擇靠近根部之錫鉛複合式部份來進行分析，如圖11所示。圖16(a)中我們發現在Nodules type之錫鉛複合式晶鬚在靠近根部地方明顯地出現錫鉛交混的現象發生，尤其越靠近晶鬚之根部位置其混合現象便越加明顯。為了達到分析之目的，我們仍利用玻璃針小心地將此一錫鉛複合式晶鬚折斷置於一旁以利後續FIB之TEM試片製作。圖16(b)與(c)分別為截斷部位之傾斜52度與plane view之BEI影像。在此BIE中我們亦發現在複合式晶鬚中，其錫相部位似乎是鑲入鉛晶鬚中。而其錫相比例將隨靠近根部而提高。圖17(a)為圖11中複合式晶鬚之BIE橫截面影像。在圖17(a)中我們可以很明顯地看出錫相與鉛相是交錯存在於同一個複合式晶鬚內，且其錫相與鉛相的分佈似乎是沒有一定規則的散布其中。同時，我們也可以明顯地看出即使在同一個Nodules type之錫鉛複合式晶鬚中，對同樣皆是鉛相部份仍存在二種不同的晶粒(grain)結構，如圖17(a)中的b、c點部份所示。另外，我們亦使用TEM之繞射方法分析此二部份位於複合式晶鬚之鉛相的成長方向。圖17(b)、(c)為圖(a)中b、c點之繞射圖形。由此繞射分析得知，上述b、c點之成長方向分別為 $[1\ 1\ 0]$ 與 $[1\ \bar{1}\ 1]$ 。

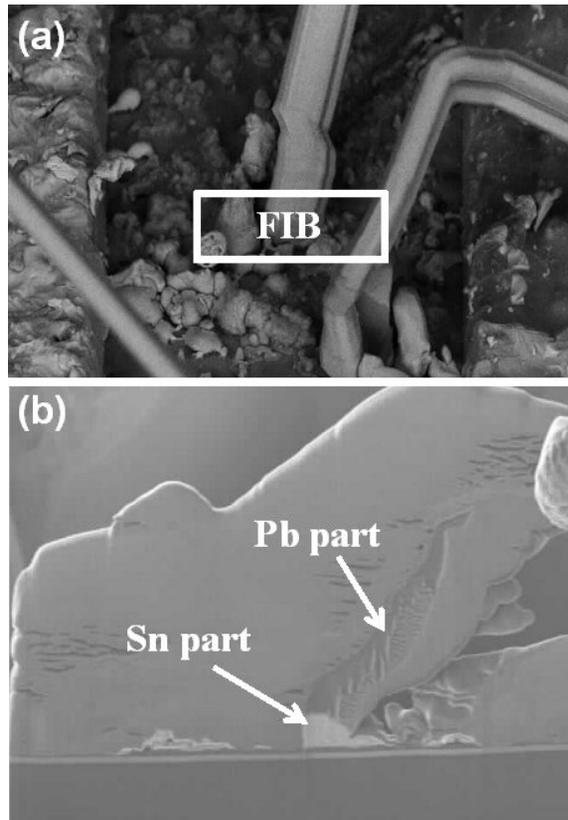


圖 11、(a)利用 FIB 進行複合式晶鬚之切片情形。(b)複合式晶鬚截面切片。

表 1、複合式晶鬚 TEM 切片之 EDS 結果。

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5
Cu K	48.27	52.59	59.08	61.37	59.72
Pb M	51.73	38.05	18.33		
Sn L		9.36	22.60	38.63	40.28

[Unit :weight%]

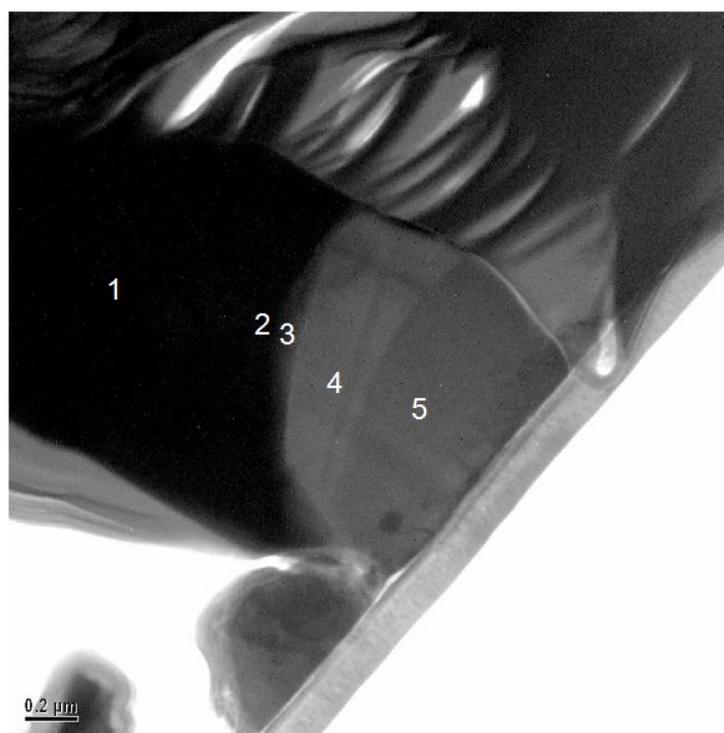


圖12、圖11之TEM影像。

(a)

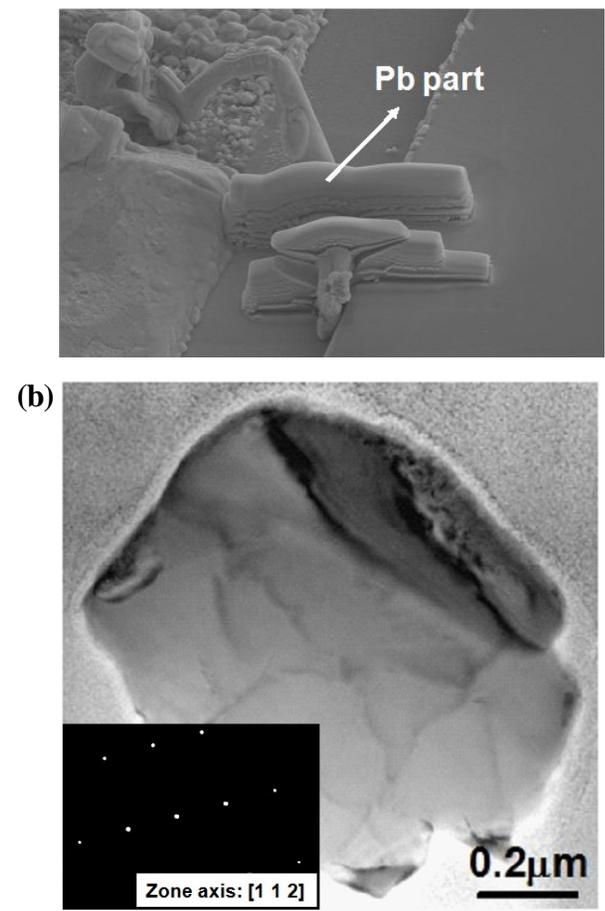


圖13、(a)複合式晶鬚經玻璃針推倒後，使用FIB鍍上Pt。(b)Pb Part截面之TEM影像與其電子束之繞射圖形。

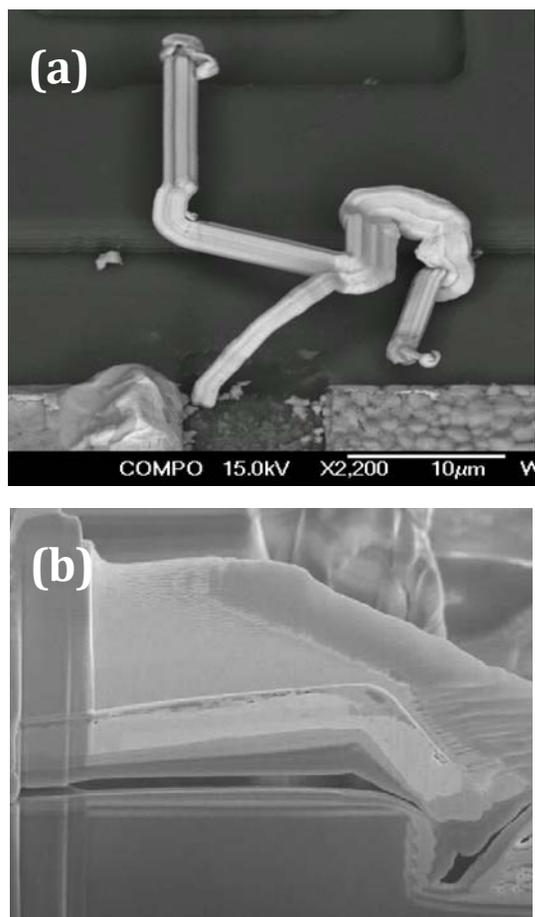


圖14、(a) Nodules type之晶鬚BEI影像。(b) Nodules type之TEM截面切片影像。

(a)

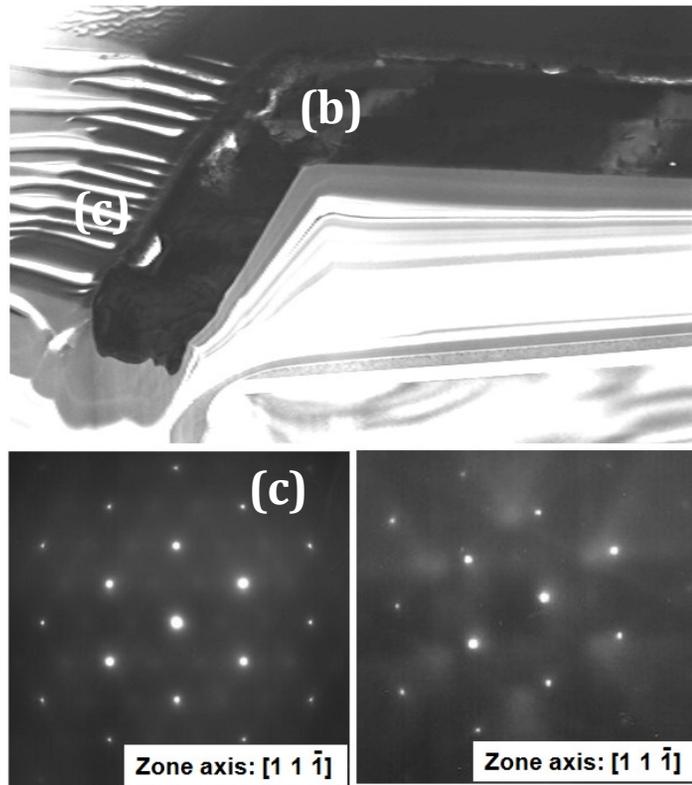


圖15、(a)為圖4-7中之TEM影像。(b)、(c)為圖4-8(a)中b、c點之繞射圖形。

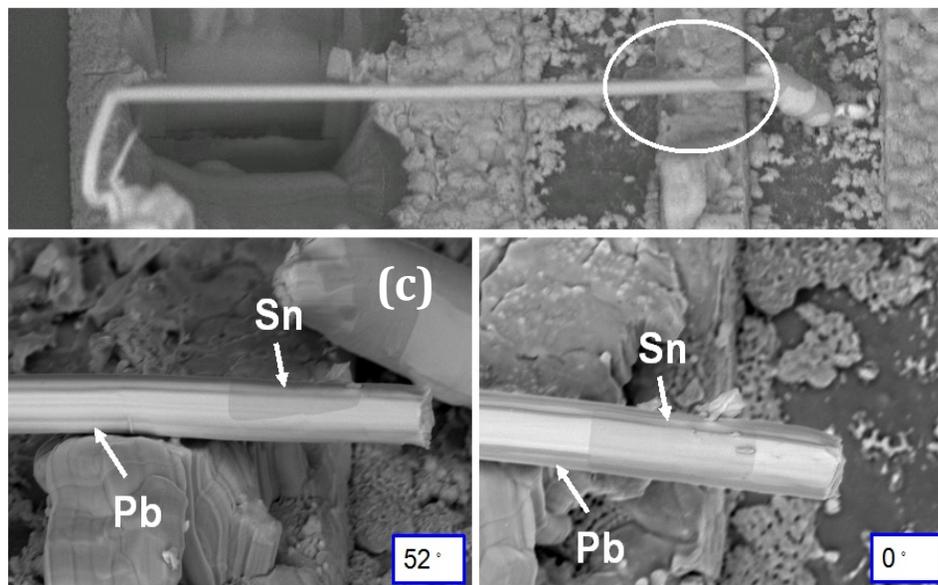


圖16、(a)錫鉛複合式晶鬚Nodules type之BIE影像。(b)靠近根部之錫鉛複合部位之傾斜52度BEI影像。(c)錫鉛複合部位之plane view BEI影像。

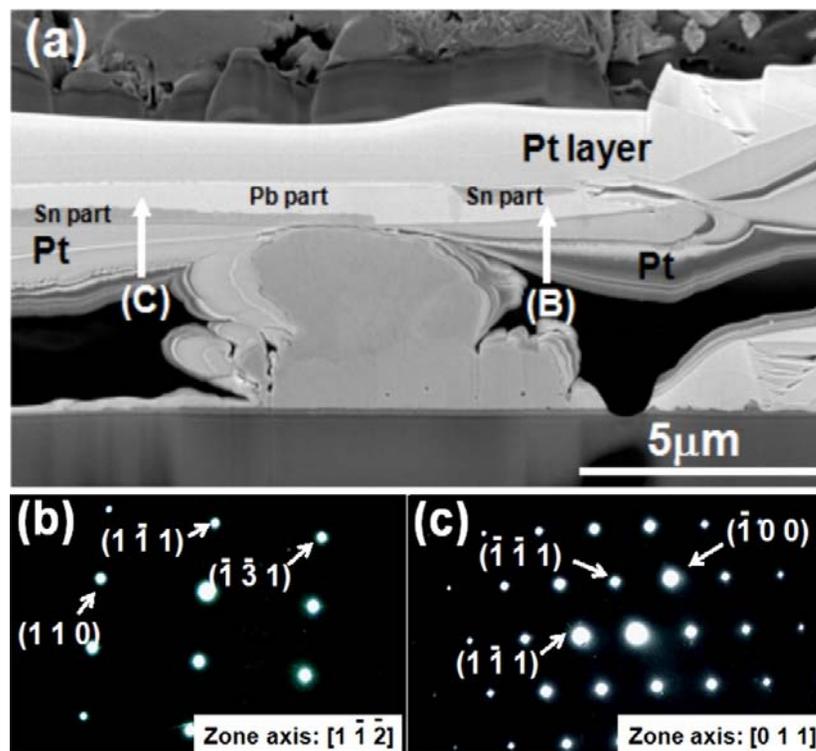


圖17、(a)為圖4-9中複合式晶鬚之BIE橫截面影像。(b)、(c)為圖(a)中b、c點之繞射圖形。

### (3) Blech Structure 橫截面分析

圖18(a)為試片剛完成之BEI圖，圖18(b)(c)於 $100^\circ\text{C}$ 下，經電流密度 $4.28 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 、28hrs和50hrs後之表面形貌圖。亮區為富鉛相，暗區為富錫相，可以觀察到受到電流效應的影響，經過28hrs後陰極端富Sn區開始凹陷，經過50hrs後在富鉛區隨著通電時間增加生成更多的鉛鬚。

為了可以明顯看出電流集中效應造成在介金屬化合物與SnPb Solder之間的影響，傾斜觀察切面如圖19(a)-(c)，在此陰極端，可以觀察到通電後Cu層已經完全消耗完，對於solder stripe垂直方向微結構變化並沒有很明顯，隨著通電時間增加，富鉛相逐漸收縮，而錫相擴散往原本鉛相位置，鉛原子沿著側面移動，這是由於在此種條件通電情況下鉛原子是主要擴散載子。觀察陽極端微結構的變化，如圖20(a)-(c)，原本位在鉛相內的錫經由電子推力移動到陽極端邊緣位置。

由圖19(b)(c)可以發現到空孔從高電流密度區往低電流密度區移動，也就是移動到左上角的位置，此種空孔形成的結果如同先前文獻Al的電遷移結果，基於電流密度梯度的力量，高阻值的元素如鉛，會被電子力從電流密度高的位置推向電流密度低的位置，在圖19(b)(c)與圖20(b)(c)明顯的觀察到亮區會集中在底部位置，也是鉛相集中的位置。

為了更進一步了解實際上電流密度的分布，我們使用有限元素分析法模擬出實際的電流密度值，如圖21(a)(b)所示，低電流密度區分布在兩端邊緣Solder Stripe表面，證實空孔聚集在低電流密度區，藉由模擬的結果，計算出電流梯度產生的驅動力。

比較通以直流電與交流電微結構變化，如圖22、圖23所示，通以直流電之後陰極端觀察到消耗，鉛相也隨著高電流密度往右遷移，通以交流電則觀察到表面變粗糙，並無空孔聚集和鉛相移動，如果探討以往的結果，加入熱遷移的效應，鉛相是往溫度較低的地方移動，錫相是往熱端移動，可是在此實驗中並無觀察到此種現象，因為經由IR量測的結果整體的溫升只有 $1^\circ\text{C}$ 。

圖23是經由 $150^\circ\text{C}$ 以 $2 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 電流密度通電後陽極端的結果，根據以往的文獻鉛在此條件下是主要的擴散載子，累積的鉛相聚集在介金屬化合物與SnPb Solder的界面，進而形成hillock，hillock形成的原因(1)經由電子風力原子主要擴散至陽極端(2)鉛累積在介金屬化合物與SnPb Solder之間產生壓應力(3)為了釋放壓應力hillock受到鉛相累積而形成。

原子移動主要驅動力來自電流密度梯度在通以直流電或交流電電流集中的區域，在直流電通電的結果，發現空孔聚集在電流密度低的位置，然而，通以交流電的結果代替空孔聚集的是表面粗糙，直流電的

結果是在陽極端產生 hillock，hillock 形成的原因鉛相累積在介金屬化合物與 SnPb Solder 的界面，產生壓應力，進而為了釋放壓應力而產生 hillock。

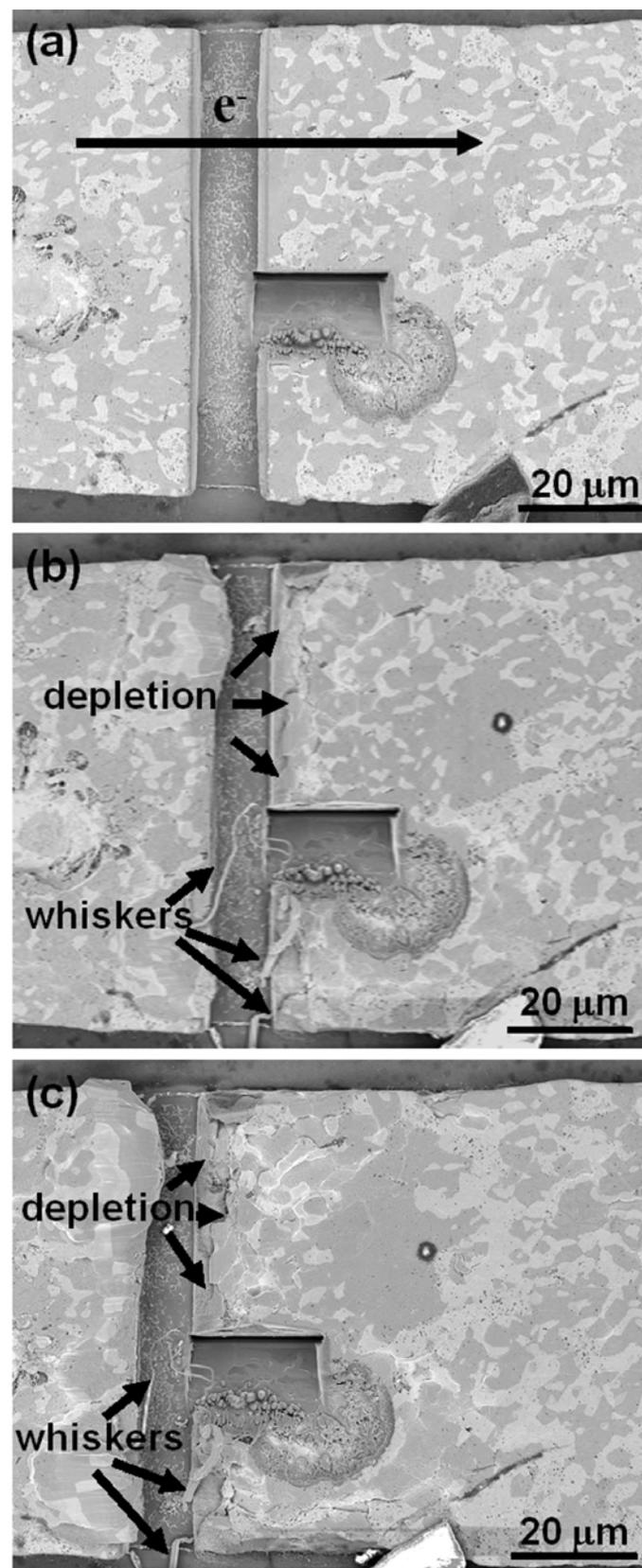


圖 18、(a)通電前 (b)於  $100^\circ\text{C}$  下，電流密度  $4.28 \times 10^4\ \text{A}/\text{cm}^2$  經 28hr 之 BEI 圖。(c) 50hrs 後 BEI 圖。

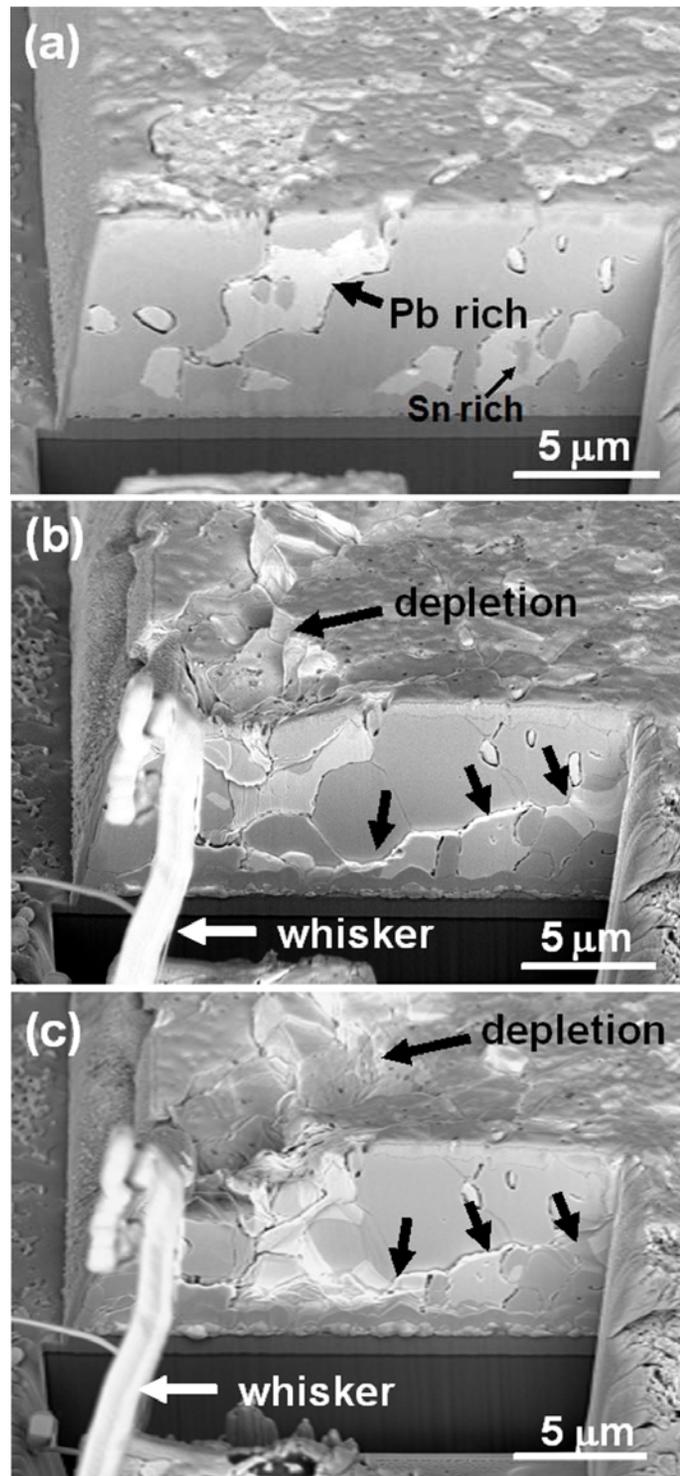


圖 19、陰極端 (a)通電前 (b)於 100 °C 下，電流密度  $4.28 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  經 28hr 之傾斜 BEI 圖。(c) 50hrs 後傾斜 BEI 圖。

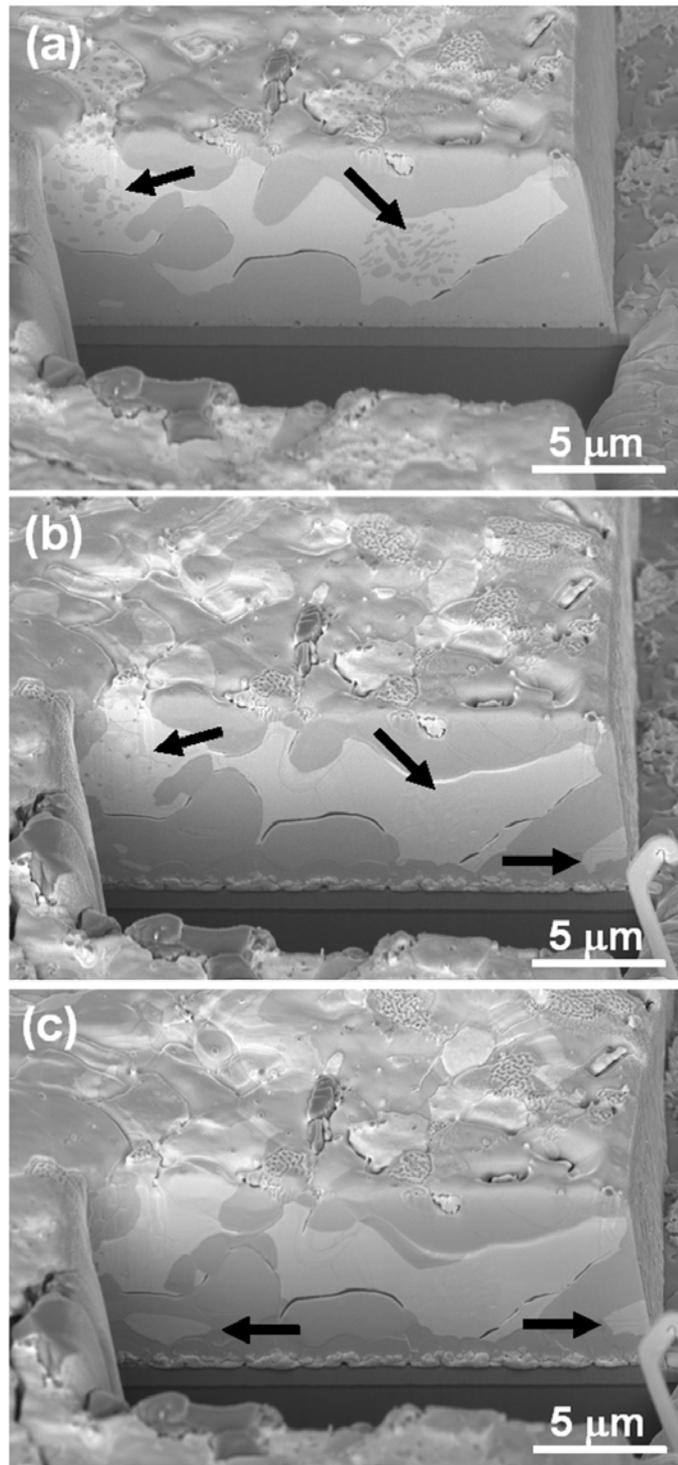


圖 20、陽極端 (a) 通電前 (b) 於  $100^{\circ}\text{C}$  下，電流密度  $4.28 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  經 28hr 之傾斜 BEI 圖。(c) 50hrs 後傾斜 BEI 圖。

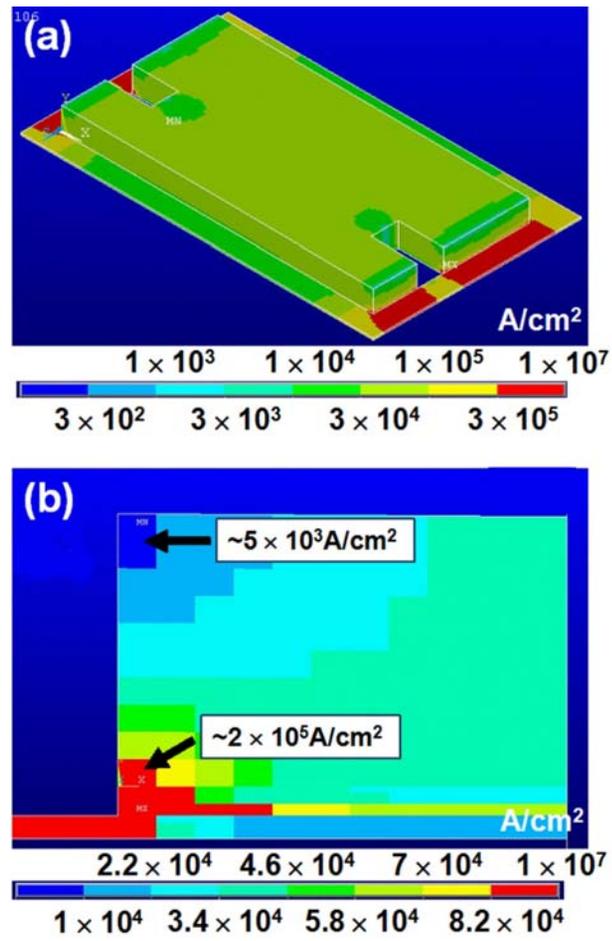


圖 21、(a)圖 4 傾斜後電流密度分佈圖 (b)垂直橫截面電流密度分佈

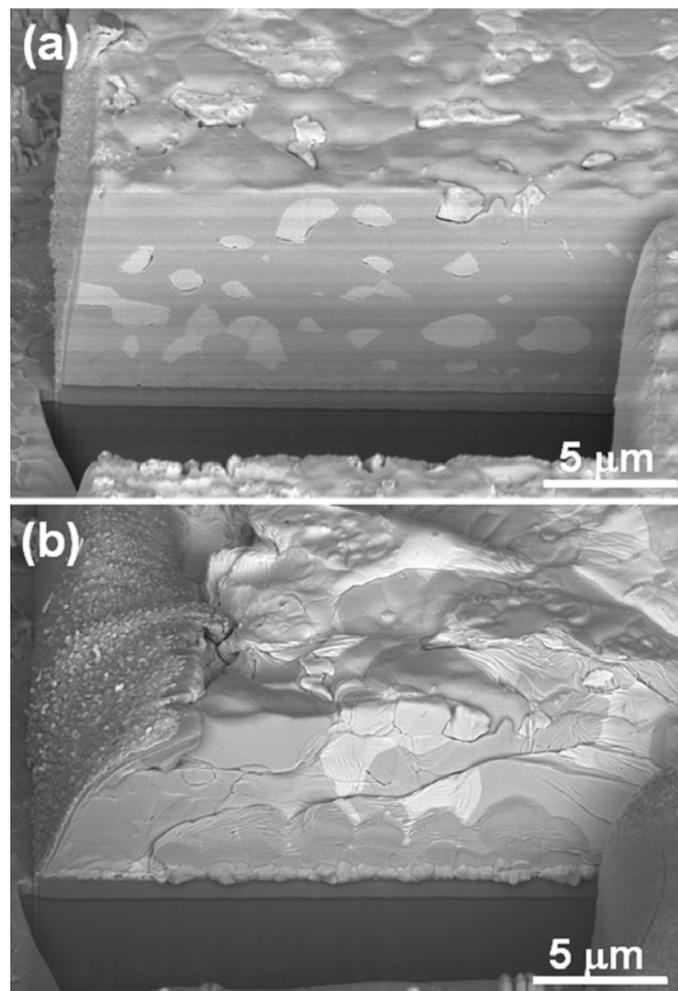


圖 22、傾斜垂直平面 BEI 影像 (a)通直流電前 (b)在 150°C 通以  $2 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup> 經過 26hours 之後

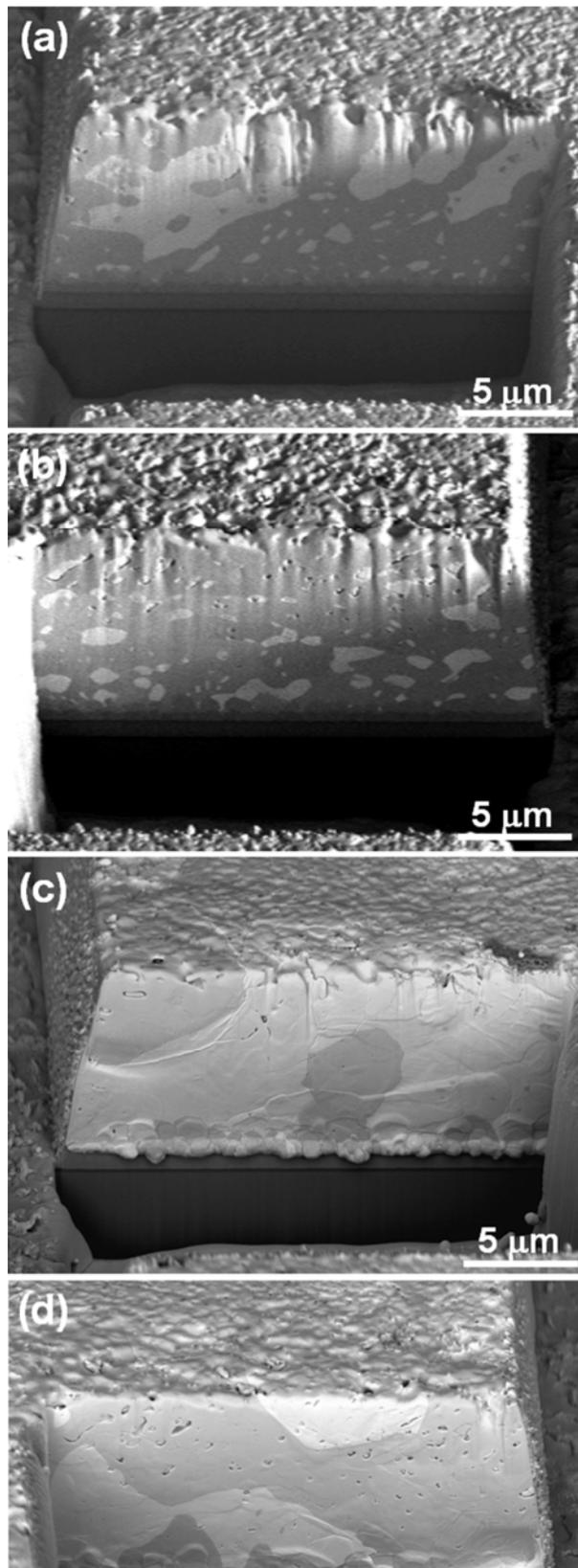


圖 23、傾斜垂直平面 BEI 影像 (a)(b)通交流電前 (b)在 150°C 通以  $2 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup> 經過 852.5hours 之後

#### (4) 錐錫接點的 hillock 生成與介金屬化合物阻擋原子供應

使用一般常見之錐錫接點作為研究對象，錐錫接點如圖 24 所示。使用的尺寸為  $13 \times 10 \times 0.56$  mm<sup>3</sup> chip 封裝結構，chip 端為  $3.5 \times 0.5 \times 0.73$  mm<sup>3</sup> Si chip，chip 第一次 reflow 上 Sn-0.7Cu，第二次 reflow 上基板，chip 端 under-bump-metallization(UBM)為 0.3μm Ti/0.325μm Ni/0.5μm Cu，UBM 開口與 passivation 開口分別為 110μm 與 85μm，基板端為 15μm Cu pad，Cu pad 經過 solder-on-pad(SOP)表面處理，Cu 在結構中扮演黏著層，分別在 chip 端和基板端形成 Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> IMC。

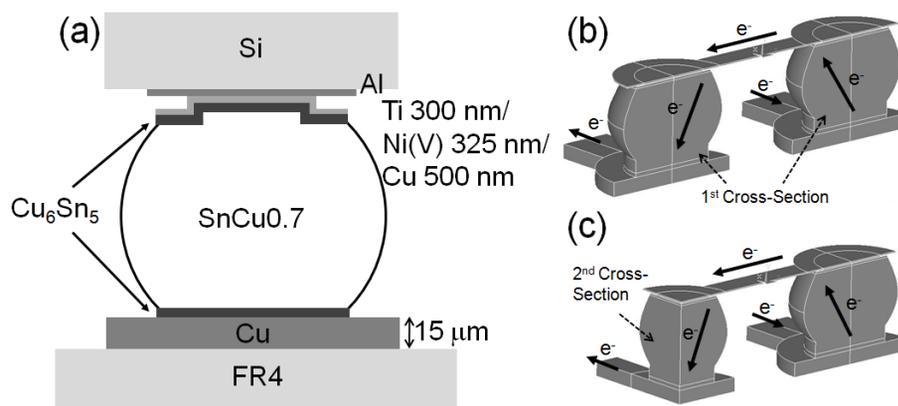


圖 24、(a)Sn-0.7Cu 結構示意圖 (b)二分之一橫截面通電示意圖 (c)四分之一橫截面通電示意圖

電子流向下圖 25(a)通電前，經過 150hrs 和 1632hrs 後，圖 25(b)(c)發現在板端產生 hillock，經過 1632hrs 在 chip 端產生 void，觀察圖 25(c)比較 void 體積與 hillock 體積似乎不符合質量守恆，因此研磨二次橫截面如圖 25(d)所示，solder 的中心的表面凹陷約  $5\mu\text{m}$ ，長出的 hillock 厚度約  $10\mu\text{m}$  到  $20\mu\text{m}$ ，此結果消耗的體積約等於凸出的體積。

電子流向上的結果如圖 26(b)(c)會在 chip 端上看到 whisker 生成，比較電子流向上與向下的結果發現通電前相分布的情況大約相同，在電子流向上的結果中發現 IMC 大量生成在接近 chip 端附近，而沒有 hillock 生成只有少量的 whisker 生成，進一步使用離子影像觀察電子流向上與向下的結果，經過二次橫截面的結果如圖 27(a)(b)(c)(d)，Sn 相顏色在離子影像下比 IMC 還要暗，所以在電子流向下的結果中發現圖 27(b)在 hillock 底部有  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  阻礙 Sn 原子前進，上端有兩個長條狀的 Sn 相供應 hillock Sn 原子，因此  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  為阻礙 Sn 原子擴散至板端的阻礙層，在電子流向上的微結構中也可以發現有 Sn 原子被擠出表面，但是在電子流向上的情況中，不但有 Sn 原子因電子風力向上移動有更多的 Cu 原子向上移動，因此會再晶界的位置析出 IMC，這些分布在晶界位置的上  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  會阻礙 Sn 原子供應 whisker 繼續生成。

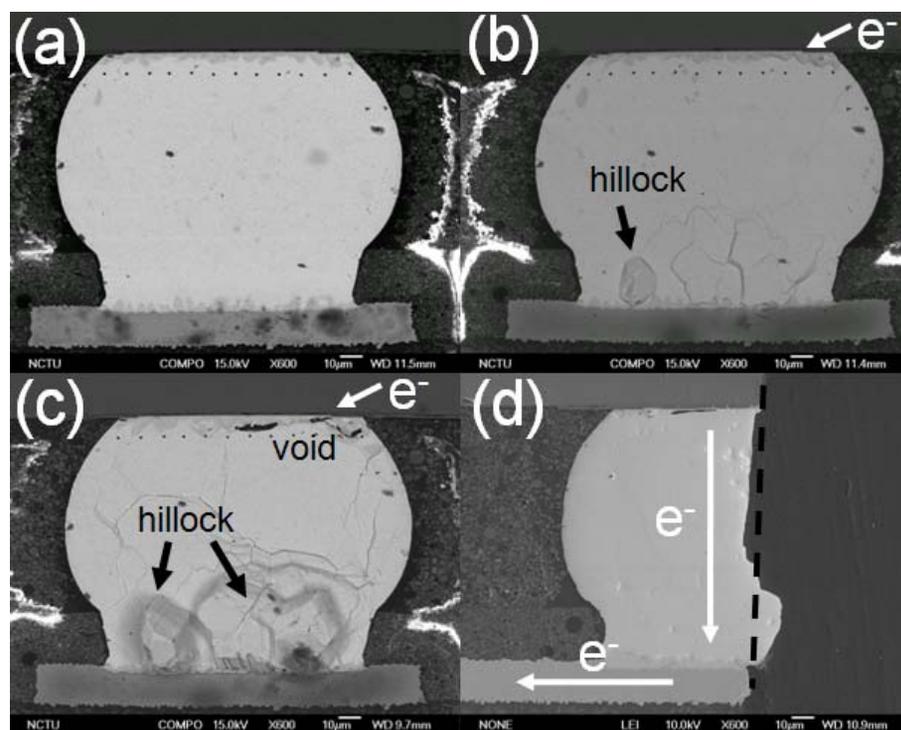


圖 25、在  $150^\circ\text{C}$  通  $1.3 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  (a)通電前 (b)通電 150hrs (c)通電 1632hrs (d)圖(c)二次橫截面

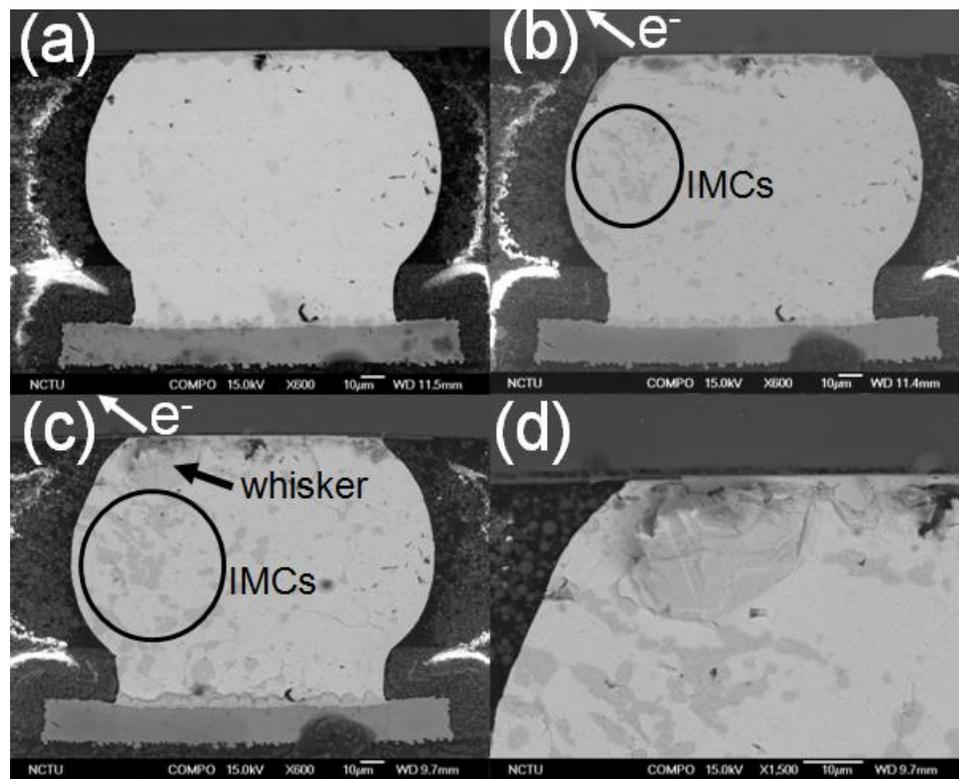


圖 26、在  $150^{\circ}\text{C}$  通  $1.3 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  (a)通電前 (b)通電 150hrs (c)通電 1632hrs (d)圖(c)左上角放大圖

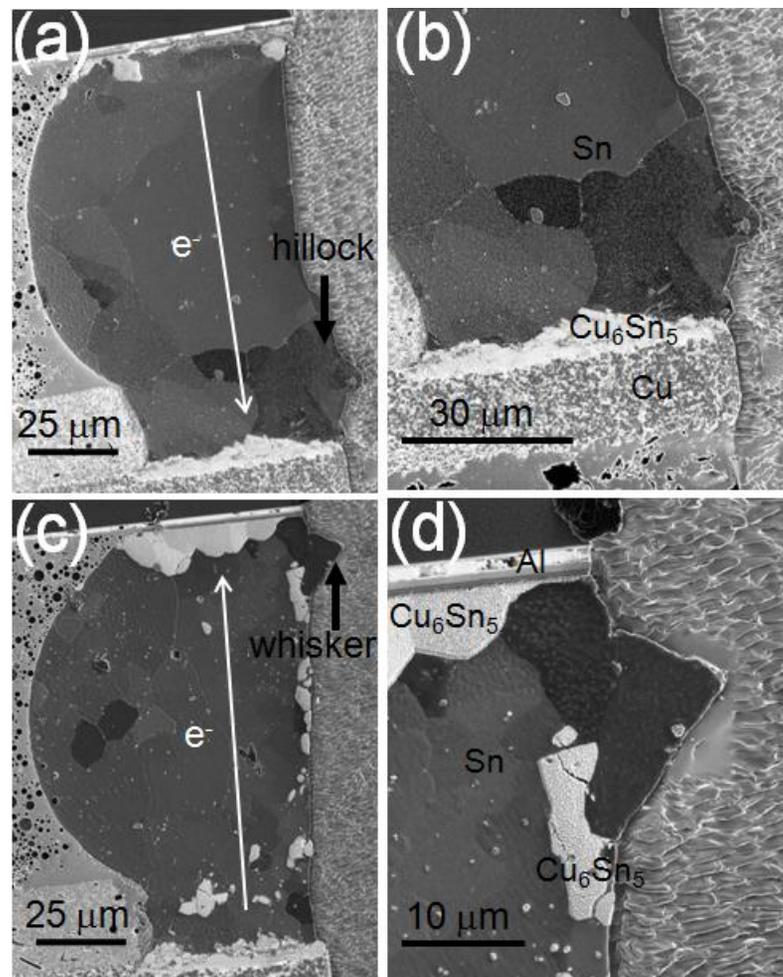


圖 27、在  $150^{\circ}\text{C}$  通  $1.3 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  (a)電子流向下 (b)圖(a)板端放大 (c)電子流向上 (d)圖(c)chip 端放大

#### (5) 複合式錫晶鬚根部之微結構觀察

將前述在 Blech structure 上施以  $5 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$  所生成之錫晶鬚以聚焦離子束(Dual-Beam FIB)鎖定根部，製備 TEM 試片。製備過程如圖 28 所示。

以 TEM 觀察此試片，針對錫晶鬚之不同位置，分別打出其繞射圖形。結果如圖 29 所示。由圖 29(b)(e) 可以得知，在圖 29(a)的區域 1 和 4 是具有單晶的晶體結構，而由圖 29(a)(c)(d)皆可以發現繞射圖形是圓形而非

點狀，表示圖 29(a)的區域 2,3 和 5 是無結晶的非晶型結構。為釐清各區的主要成份，進一步使用附屬於 TEM 的 EDS 分析儀，分析各區的元素組成。由圖 30(a)(b)可以得知，錫晶鬚的根部主要從富錫相的區域開始生長。由之前的文獻可以得知，錫晶鬚在成長時，需要大量的錫原子供應。因此，此一發現與前人所述相符。同時，複合式錫晶鬚的中心是富鉛相，而外層由元素分布圖無法鑑定的相，採用單點分析後，發現外層為錫銅鉛三個元素共同組成之非晶系結構，如圖 30(c)(d)所示。對另一根不同位置之錫晶鬚分析，則可以發現在圖 31(a)(b)中，根部除了富錫相以外，也有部分的富銅相，經由圖 31(c)(d)的單點元素分析，可以推測此一區域可能為錫銅介金屬化合物( $Cu_6Sn_5$ )生成之區域。介金屬化合物在錫晶鬚的成長中，扮演一個相當重要的角色。此外，錫晶鬚的主幹仍然為富鉛相，合理推論為較為柔軟的富鉛相在複合式錫晶鬚錫晶鬚生長的過程中，會受到富錫相的推力，而向外生長，形成高深寬比的立體晶鬚結構。

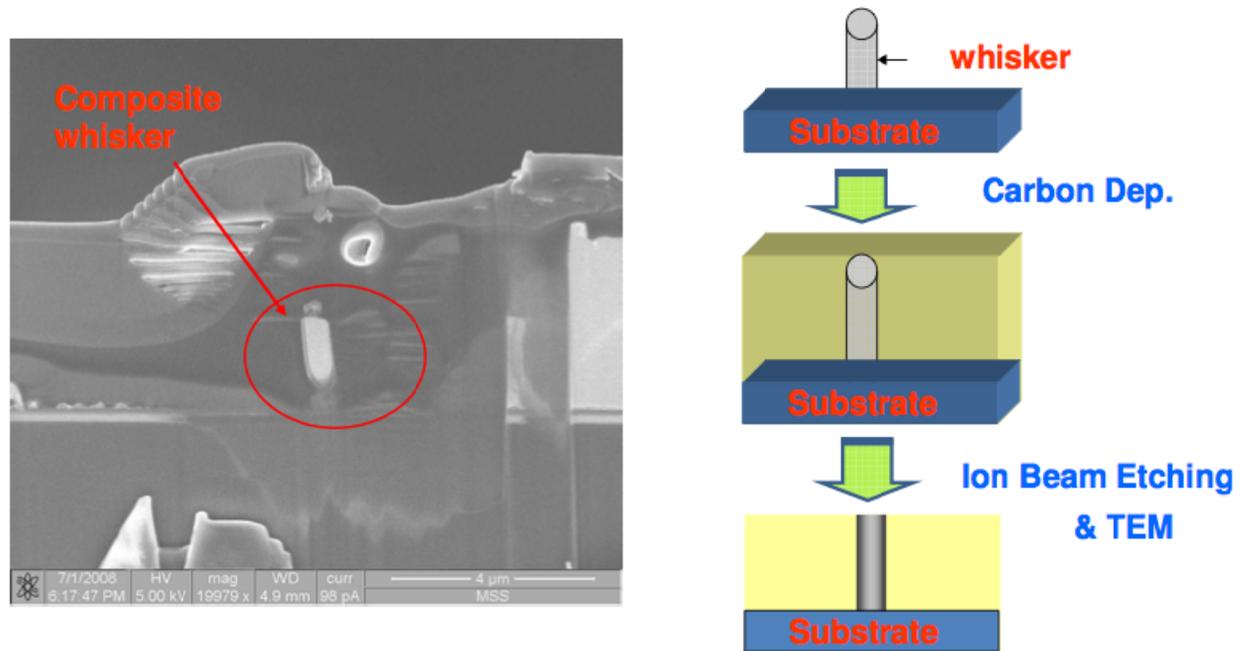


圖 28、以 FIB 製備複合式錫晶鬚根部之 TEM 試片

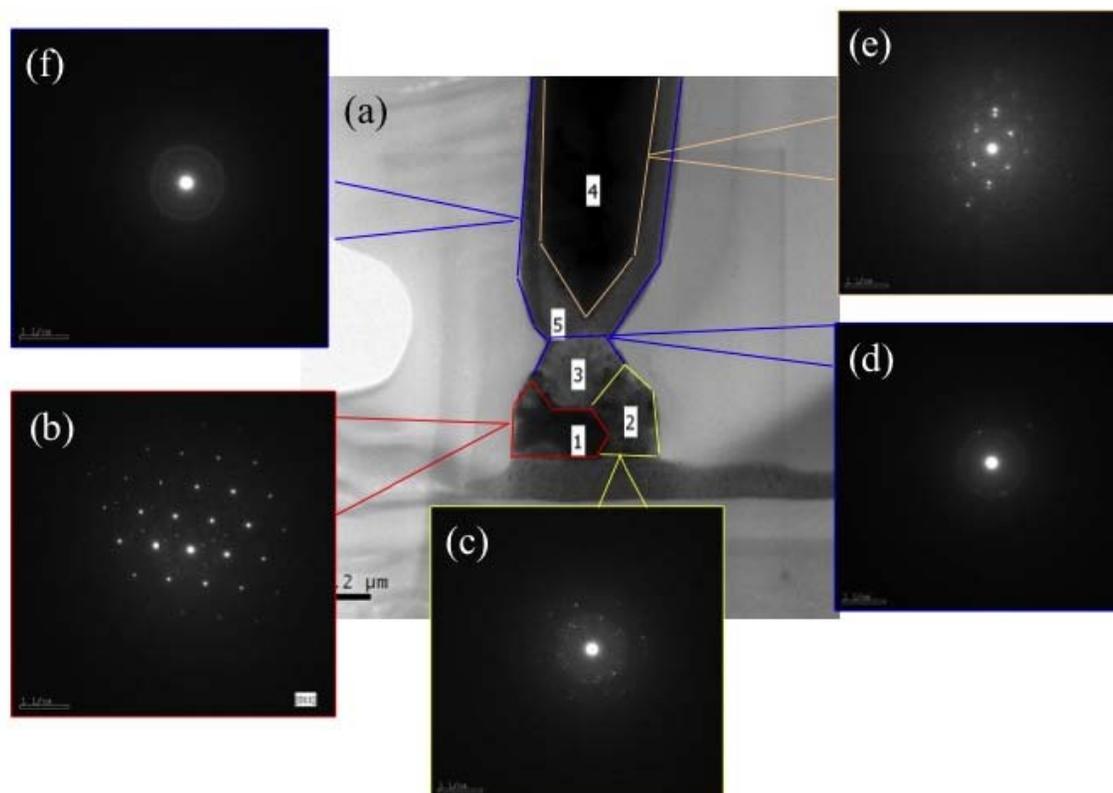


圖 29、(a)複合式錫晶鬚根部，(b)-(f)錫晶鬚根部各區之電子繞射圖形

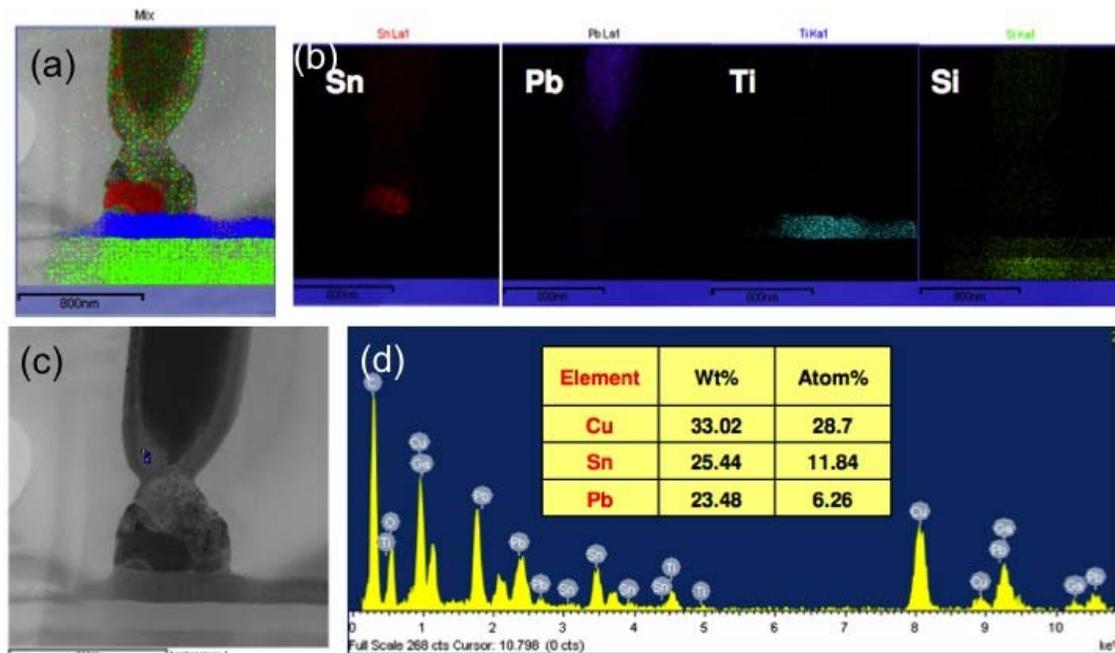


圖 30、(a) 複合式錫晶鬚根部之元素分布，(b) 錫晶鬚根部各元素分布，(c)(d) 複合式錫晶鬚外層單點分析結果

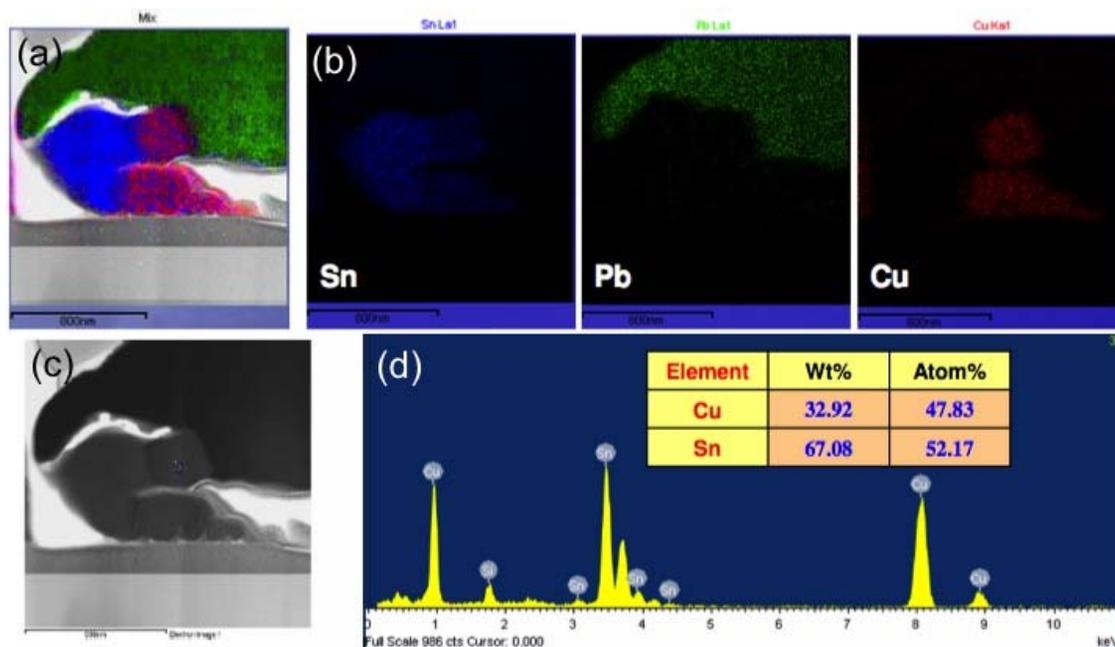


圖 31、(a) 複合式錫晶鬚根部之元素分布，(b) 錫晶鬚根部各元素分布，(c)(d) 複合式錫晶鬚單點分析結果

### 七、參考文獻

1. C. Ryu, K. W. Kwon, and A. L. S. Loke, IEEE Trans. On Electron Device, 46, p.1113 (1999).
2. H. B. Huntington, in Diffusion in Solid: Recent Developments, edited by A. S. Nowick and J. J. Burton, Academic Press, New York, 303 (1975).
3. Blech, I. A., J. Appl. Phys., **47**, 1203 (1976).
4. Blech, I. A., J. Appl. Phys., 48, 473 (1977).
5. Everett. C. C. Yeh, W. J. Choi, and K. N. Tu, Appl. Phys. Lett., 28, 580 (2002).
6. K. N. Tu, Phys. Rev. B45, 1409 (1992).
7. Everett. C. C. Yeh, W. J. Choi, and K. N. Tu, Appl. Phys. Lett., **28**, 580 (2002).
8. Choi W. J., Lee T.Y., Tu K. N., Tamura N., Celestre R. S., Macdowell A. A., Bong Y. Y., Nguyen L., Sheng G. T. T., IEEE. Piscataway, N. J., USA, 628 (2002).
9. <http://nepp.nasa.gov/whisker/>
10. J. Glazer, Int. Mater. Rev., 40, 2, 65 (1995).
11. G. T. Galyon and L Palmer, Inc.-N. Y., 851 (2004).
12. H. L. Cobb, Monthly Rev. Am. Electroplaters Soc., 33, 28, 28-30 (1946).

13. S. E. Koonce and S. M. Arnold, *J. Appl. Phys.*, 24, 365 (1954).
14. R. M. Fisher, L. S. Darken, and K. G. Carroll, *Acta Metall.*, 2, 3, 368 (1954).
15. W. C. Ellis, D. F. Gibbons, and R. C. Treuting, John Wiley, New York, 102 (1958).
16. U. Lindborg, *Metallurgical Transactions A*, 6A, 1581 (1975).
17. K. N. Tu, *Phys. Rev. B*, 49, 3, 2030 (1994).
18. B. Z. Lee and D. N. Lee, *Acta Metall.*, 46, 10, 3701 (1998).
19. C. Xu, Y. Zhang, C. Fan, and J. A. Abys, *CircuiTree*, 15, 94-105 (2002).
20. George. T. T. Sheng, C. F. Hu, W. J. Choi, K. N. Tu, Y. Y. Bong and Luu Nguyen, *J. Appl. Phys.*, 92, 1, 64 (2002).
21. K. N. Tu and J. C. M. Li, *Materials Science and Engineering A*, 409, 131-139 (2005).
22. S. M. Arnold, *Plating Mag.*, 53, 96 (1966).
23. W. J. Boettinger, C. E. Johnson, L. A. Bendersky, K. W. Moon, M. E. Williams, and G. R. Stafford, *Acta Mater.*, 53, 5033 (2005).
24. R. H. Doremus, B. W. Robers, D. Turnbull, New York: John Wiley, 102 (1958).
25. R. B. Morris, W. Bonfield, *J. Scripta. Metall.*, 8, 231 (1974).

## ■ 出席國際學術會議心得報告

國際學術會議主要是參加 TMS. TMS 是美國材料界最大型的會議之一，因此在材料領域扮演一個很重要的角色。於會議中，除了材料界各頂尖的學術研究將在此發表外，學術界跟工業界更可以有良好的互動，同時業界將會提供發展趨勢與將會面臨到的問題。

### 2008 TMS Annual Meeting

本次很榮幸也很感謝能得到國科會補助出國參加今年度 TMS 的國際會議。而此次因國科會的持資資助下，順利地幫助了博士班學生魏程昶、陳筱芸，蕭翔耀、章詠煌、梁世偉、劉健民與碩士班學生朱明慧、顧旻峰、江宗憲等人完成至國際會議發表論文之目的。此些論文能同時被與會大會接受並出席發表，無疑是對學生與我們實驗室一極大的鼓舞與肯定。尤其是本次實驗室奈米研究與錐錫可靠度研究於會議中發表時皆得到了在場人士的興趣與肯定，並提出了許多寶貴地問題與建議。於錐錫可靠度方面，眾多在場人士除關注我們最新的實驗成果外，並讚賞我們實驗室於這方面的基礎研究與實際構裝可靠度議題破壞模式分析成果。同時亦開始跟隨我們的研究腳步。於奈米研究方面，我們發表了實驗室利用 AAO 模板製作出之奈米 ZnO 與奈米鎳柱的研究成果。於發表過程中，在場人士除提供了我們此奈米結構特性成因外，更對我們量測出之奈米結構特性感到興趣。

於開會期間，更有許多相關且重要的研究進行發表。如杜經寧院士團隊發表了通電能量如何造成材料再結晶現象、Lead-free workshop 中探討晶鬚生成之主要成因、台大高振宏教授發表通電時之 high local temperature 如何影響可靠度研究等，皆使學生與實驗室研究有個更新的觀點與方向。最後再次感謝國科會對研究與出席國際會議的資助，以下為各學生之心得報告。

報告人姓名	魏程昶	報告日期	2008/03/11
系所及年級	材料所 博士班四年級	核定文號	
連絡電話	0912291710	電子信箱	waygary@gmail.com
會議期間	2008/03/09- 2008/03/12	會議地點	美國路易斯安那州紐奧良
會議名稱	(中文) 美國礦冶、金屬與材料學會 2008 年春季會議 (英文) TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) 2008 Annual		
發表論文題目	(中文) 藉由電流驅使複合式晶鬚成長之研究 (英文) Growth of SnPb composite whisker under electrical current stressing		

#### 一、參加會議經過

本次美國礦冶、金屬與材料學會 2008 年春季會議，為期一週。為參加此次國際會議，我與實驗室學弟妹同行，經過二十個小時的飛行。此次會議是於在著名的紐奧良國際會議中心舉行。本人預定行程從三月八日由桃園中正機場出發至三月二十日於洛杉磯國際機場搭機返抵國門。

## 二、與會心得

美國礦冶、金屬與材料學會春季會議為每年都會舉辦的大型學術會議之一，參加人數及論文數皆相當眾多，是業界都是相當看重這個研討會，與會中很多論文議題內容相當充實，同時與其他參加者與業界聽眾討論，都有相當收穫。學生於交大材料就讀博士班其間，有幸可以在指導老師的教導下，再度參加 08 年的美國礦冶、金屬與材料學會春季會議，此次學生參加場次所發表的主要議題為 Growth of SnPb composite whisker under electrical current

stressing。與會中除了有機會能發表學生最近的實驗成果外，更有機會參加貼近於業界可靠度議題的精采演講，使學生有了不同的視野。於此次會議中，經許多於此方面專精的業界學者討論下，使我發現在電子構裝可靠度這個領域，仍有許多未知的問題需要發掘，也還有非常多已知的問題需要克服。

## 三、建議

這次很榮幸也很感謝能有機會得到教育部的研究補助學生出國參加本次的國際會議。但由於美國物價水準的不同，再加上於國外皆需乘坐交通工具到達會場與住宿場地，其費用的開銷對學生而言是個極大的開銷。雖所幸能得到國科會資助得以完成此次的國際會議論文發表，但於住宿與生活費用仍對學生而言是一極大的負擔。因此學生衷心地期望能提高補助設限，給予較多相關的補助以鼓勵本國學生能多參加國會議議提升視野與競爭力，同時也再次感謝國科會對學生的補助。

## 四、攜回資料名稱及內容

1. 論文發表時間表
2. 現場發放之刊物

報告人姓名	朱明慧	報告日期	2008/3/10
系所及年級	材料所碩二	核定文號	
連絡電話	(03)5712121 #55377	電子信箱	Vulpppmse91@gmail.com
會議期間	2008/3/9 2008/3/12	會議地點	美國路易斯安那州紐奧良
會議名稱	(中文) 美國礦冶、金屬與材料學會 2008 年春季會議 (英文) TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) 2008 Annual		
發表論文題目	(中文) 無鉛鉛錫中側向電流造成的破壞機制 (英文) Electromigration failure mechanism in SnAg solder joints during lateral current stressing		

## 參加會議經過

2008 年度的美國礦冶、金屬與材料學會春季會議於美國的路易斯安那州的紐奧良舉辦。於台灣時間的 2008 年 3 月 8 日從桃園中正機場出發，抵達美國加州的洛杉磯機場，境過數小時等待轉機，在搭乘美國國內線航空前往紐奧良。我與實驗室的大家一同前往並且在會議期間四日搭乘由主辦單位所提供的接駁車往返會場與飯店之間。會議地點於於 3/9 在著名的國際會議廳 convention center 舉行且同時在 3/9 於 Hilton 飯店有 workshop。

本人預定行程從三月八日由桃園中正機場出發至三月二十日於洛杉磯國際機場搭機返抵國門，並前往參觀世界百大名校之一的 UCLA。

TMS 為是世界上最大型的材料專業領域研討會，其討論範圍廣泛，包含金屬、電子、陶瓷、奈米與高分子類.....有關的材料皆為此次會議的討論範疇。為期四天的會議邀請許多國際著名的學者進行演講，並且有許多與會者的口頭報告或是張貼海報，其場次超過 500 場，是為材料界最大的盛事之一。我需要報告的場次為星期一(3/10)下午 3:00 至 3:15 報告，與實驗室的大家相比，是非常早的場次，並且這是我第一次參加國際性會議，所以還未上台前就已經相當緊張。除了自己需要上台報告的部分，我也參加了相關領域的演講或是口頭報告，得到諸多寶貴的新知以及心得。

## 二、與會心得

TMS 是每年都舉行兩次的大型會議，分別在春季以及秋季，與會人數眾多，為材料界重大的盛事，不管學界或是業界都想當重視此會議，與會人員也不乏國際知名公司以及發表過許多重要著作的作者。我本身參加的論壇為 Pb-Free and Sn-Pb Solders: Electromigration 是整個 Symposium : Emerging Interconnect and Packaging Technologies 的一個部分，除了本身的論壇外，也去聽了其他相關領域的部份，知名學者所發表的演說讓我獲益良多並且看到平時只能在論文上看到的人物，讓我興奮不已。除了聽取其他人所發表的報告，也會與與會者討論，而討論內容也讓我有所收穫。在覆晶封裝領域中仍有非常多困難需要克服，諸如大家熟知的電遷移效應，在倡導無鉛議題的現今，與以往含鉛錫的破壞模式仍有許多未知的部份，以及隨著電子產品越趨微小化，每個接點所承載的單位電流大增，並且造成介面反應劇烈，化學消耗的影響更加嚴重，並且單位發熱量也大增，使得熱遷移造成影響不亞於電遷移。還有錫接點耐衝擊可靠度隨著材料的改變，也越來越不可知。增加可靠度的方式，除了改善材料，添加其他元素方面也有許多人做出不同的研究結果同時也致力找出更好的材料，或是從幾何結構著手，改變墊層形狀厚度導線接觸面.....等。此次會議我大開眼界，並且獲得更多關於此領域的新知，認識其他也在此領域研究的學者以及同學，感受到國際級會議的氣氛，領略世界先進的眾多研究，著實讓我留下非常深刻的體驗。

## 三、建議

此次會議讓我有非常多的收穫，不僅僅於學術方面，這是我初次出國，可以看到不同的風景以及生活方式，此次有在兩個城市，新紐澳良以及洛杉磯停留，可以發現兩個城市差異非常大，並且也跟台灣有著完全不同的風貌，感謝得到此次的補助才有機會出國參與會議，但是國外的物價的確也跟台灣大大的不同，當我在當地生活的幾日，同樣也有著深刻的體驗。希望國家能多補助這種相關會議的名額與金額，多多培養具有國際觀的人才，畢竟出國參與會議，並不僅僅只有會議，生活的一切也需要花費，也是筆不小的負擔。如能正視此問題，對於學生們，也是對於台灣學術界的莫大幫助。

報告人姓名	江宗憲	報告日期	2008/3/11
系所及年級	材料所碩二	核定文號	
連絡電話	(03)5712121 #55377	電子信箱	tsunghsien.mse95g@nctu.edu.tw
會議期間	2008/3/9 2008/3/12	會議地點	美國路易斯安那州紐奧良
會議名稱	(中文) 美國礦冶、金屬與材料學會 2008 年春季會議 (英文) TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) 2008 Annual		

發表論文題目	(中文) 利用凱文結構量測厚膜銅與鎳為UBM的共晶錫鉛接點的活化能 (英文) Measurement of electromigration activation energy of the eutectic SnPb flip-chip solder joints on Cu/Ni thick-film UBM using Kelvin
--------	---

### 一、參加會議經過

本次美國礦冶、金屬與材料學會 2008 年春季會議於美國路易斯安那州紐奧良舉行，為期四日。第一次坐遠途的飛機，對於怎麼度過機上的光陰，在行前就有了些顧慮，因為之前有聽過一些有經驗的學長姐在談論，所幸經過了將近二十個小時的飛行，自己還蠻能適應其中，在機上也蠻會睡的，然而幸運的是，實驗室的學長姐同學，大家有機會一起經歷過用英文報告的洗禮。飛機由洛杉磯入境再六個小時後再轉飛紐奧良，一到飯店稍作安頓後，又不斷的準備自己的演講，緊張的心情直到報告結束後，才完全的放下。每日搭乘 TMS 準備的接駁車到達開會會場，參加一連四天的研討會。此次會議是於 3/9 在著名的國際會議廳 convention center 舉行。預定行程從三月八日由桃園中正機場出發至三月二十日於洛杉磯國際機場搭機返抵國門，並前往參觀世界百大名校之一的 UCLA。

這次所參予的會議是材料研究學門最大的研討會 2008，舉凡各種領域的材料議題都會在這個會議上被討論，其中也不缺乏各領域的專家，及來自世界各地的關心材料領域發展的知名大型材料公司。研討會的方式有兩種，分別為口頭報告與壁報張貼進行場次超過 500 場。我被安排在星期二(3/11)下午 2:20 至 2:35 報告，與同行的實驗室伙伴相比我是屬於比較晚報告的場次，看著大家之前良好的表現，我卻不斷的緊張起來

### 二、與會心得

此乃本人第一次參加國外的研討會議，對我來說除了驚艷外還是驚豔，很多在發表在國際期刊的論文，大都只能知道作者是誰？隸屬於哪個部門或機關，然而此次之行，那些對材料領域有卓越貢獻的作者，一一出現在我的眼前，從文章上看著他描述自己的成果，到可以生動的聽到他的報告，重點是可以與他有互動關係的存在，看著大家如何捍衛著自己的研究，與將自己的心得跟大家分享，這其實是另類的經驗傳承。與會中主要參予電遷移這個領域，伴隨著現今可攜式電子元件小尺寸化的趨勢與高效能的走向，每個覆晶凸塊所承擔的電流越來越大，電遷移個效應也將更顯著，目前研究趨式主要為無鉛鉛錫的電遷移研究，與如何應付小尺寸化與高效能化後電遷移破壞行為，在無鉛鉛錫中有大部分的研究在探討鉛錫與 UBM 層的介面反應，然而，電遷移效應是熱性與電性的加乘結果，因此也有人獨立出熱遷移議題出來研究。在自己報告之後，與台下的聽者的互動，及他們所問的問題，對於我的研究有蠻大的幫助，一些細微的東西，自己在做的當下其實無法考慮的那麼詳細，從不同人的思考邏輯中，可以使這個研究變的更好，也因為他們有問題的提問，自己事先準備好的講稿已經不再有任何幫助，必須靠自己臨場反應，將自己所擁有的字彙拼湊成自己想表達的意思，行前還記得老師的叮嚀，把會講清楚及使用最簡單的單字也無所謂，這樣的互動才有實質意義，此次之行對於本身獲益良多，也感覺到自己的渺小，台灣的研究學生真的要走出本土踏上國際，不要管思考與邏輯的模式，光是語文方面的不通就限制住了台灣未來的發展性，連溝通都不行更何況是學習，瞭解世界的趨勢，勢必走的過程，因為地球就是個地球村，不只為了台灣，而是以為全球發展為目標，不能陷入自己的迷思。

### 三、建議

這次很榮幸能有這個機會得到學校的補助出國參加會議，能站上國際會議的舞台然後用英文發表自己的研究。現實層面，由於國際生活水準的不同，物價當然也有相當大差異，再加上轉機與許多住宿與交通的問題，學生此次學校的補助光是在機票上就已完全用盡，更別說接下來的住宿與生活費用，對學生造成某種程度上的負擔，衷心的建議國家能重視這些問題，能再多給予相關的補助以培養出更棒的人才。

報告人姓名	顧旻峰	報告日期	2008/3/10
系所及年級	材料所碩二	核定文號	

連絡電話	(03)5712121 #55377	電子信箱	gmf623.mse91@nctu.edu.tw
會議期間	2008/3/9 2008/3/12	會議地點	美國路易斯安那州紐奧良
會議名稱	(中文) 美國礦冶、金屬與材料學會 2008 年春季會議 (英文) TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) 2008 Annual		
發表論文題目	(中文) 覆晶錒錫接點高度對無鉛錒錫電遷移破壞時間及破壞模式之影響 (英文) Effects of Bump Height on Electromigration Failure Time and Failure Modes of Eutectic SnAg Solder Joints		

### 一、參加會議經過

本次 2008 年美國礦冶、金屬與材料學會春季會議於美國路易斯安那州紐奧良舉行，從 2008/3/9-3/12 為期四日。從台灣的桃園機場出發經加州洛杉磯機場轉機，經過了將近二十個小時的飛行，我們一行 9 人在當地時間晚上 11 點半抵達紐奧良，稍作安頓休息。每日搭乘 TMS 準備的接駁車到達開會會場，參加一連四天的研討會。此次會議是於 3/9 在紐奧良位於密西西比河河畔著名的國際會議廳 convention center 舉行。這次的 2008 材料研究學會秋季會議是世界上最大型的材料專業領域研討會，其中不乏在各材料領域之國際知名學者與業界專家與會。現場研討會場更有論文的發表分為口頭報告與壁報張貼進行場次超過 500 場，此會議可說是材料界的一大盛事。我被安排在星期一(3/10) 16:00~16:15 報告，接續在同時驗室的世緯學長之後報告，稍微減緩了緊張的情緒。

### 二、參加會議經過

此次學生參加場次主要議題為 Pb-Free and Sn-Pb Solders: Electromigration 是整個 Symposium : Emerging Interconnect and Packaging Technologies 的一個部分，與會中發現許多發表有關於電遷移重要文獻的作者，都出現在此次的會議中，更帶來許多精采的演講內容，令我大開眼界。與會中可以發現其實在電遷移這個領域，仍有許多未知的問題需要發掘，也還有非常多已知的問題需要克服。而伴隨著現今可攜式電子元件小尺寸化的趨勢，覆晶封裝技術具有極佳的電性和較好的散熱能力，此技術已經很普遍的被採用在高密度電子封裝產業中。此次參與國際會議獲益良多，我們的研究成果在電遷移的領域中是在於領先的地位，有許多的研究也引用到我們的論文。在報告完之後的提問，有一位學者對我的研究提出一個建議，他提供了我一個另一個方向的思考，因為我的研究的結果著重在吸收熱量之後的影響，但他建議我將散熱的因素也考慮進去，可使我的研究更為完整。出國報告除了將自己的研究結果與世界各地的學長專家分享之外，也可藉著與他們的討論使自己的研究更為充實。跟我同一個主題中還有一位印度的學者，他是目前任教於 Michigan State University 的 K. Subramanian 教授，他這次也受邀演講，而他演說的內容恰好與我的研究有些許的相關性，基本上都是錒錫高度對電遷移的探討，差別在於我們使用的錒錫成分不同，聽了他的演說之後，也讓我收穫良多。因為我的報告是在第二天的下午，跟實驗室一同前往的學長姐比起來算比較早報告的。因此第三天的時候，心情也比較輕鬆，除了聽實驗室其他人的報告外，也是聽了一些其他領域的報告，而會場中也有廠商的展覽，展出一些新的機台或產品，例如掃描式電子顯微鏡，已經將尺寸縮小到一張辦公桌的大小，還可以自由移動。

### 三、建議

這次很榮幸能有這個機會得到國科會的補助出國參加 TMS 會議，能站上國際會議的舞台以非母語的英文發表自己的研究，當完成報告並與底下的聽眾討論，那種成就感真的是很難言喻。有了這個經驗，對自己有了更加一層的磨鍊，對自己更有信心。這次出國，由於國際生活水準的不同，物價當然也有相當大差異，再加上通貨膨脹與許多住宿與交通的問題，學生此次學校的補助光是在機票上就已完全用盡，更別說接下來的住宿與生活費

用，對學生造成某種程度上的負擔，衷心希望國家能重視這些問題並多補助這種相關會議的名額與金額，多多培養具有國際觀的人才。

#### 四、攜回資料名稱與內容

1. 論文發表時間表
2. 現場所發放的當期刊物
3. 展覽廠商之相關資訊

2009 TMS Annual Meeting @San Francisco, USA 我們 2009 年有 7 位學生口頭報告。

- 2/16 (一) 9:45 AM 健民
- 2/16 (一) 3:35 PM 筱芸
- 2/16 (一) 5:40 PM 宗寬
- 2/17 (二) 5:20 PM 世緯
- 2/18 (三) 4:40 PM 詠滄
- 2/19 (四) 9:00AM 世緯
- 2/19 (四) 11:10AM 佳凌

。此些論文能同時被與會大會接受並出席發表，是對學生與我們實驗室一極大的鼓舞與肯定。於開會期間，更有許多相關且重要的研究進行發表。皆使職與實驗室學生研究有個更新的觀點與方向。最後再次感謝國科會對研究與出席國際會議的資助。

2010 TMS 適逢台灣春節，我們都沒有投稿 TMS。職於 2010 一月到香港參加 IEEE International NanoElectronics Conference 2010 (INEC 2010)。收獲很大，尤其是聽到兩位 Nano Letters 主編 A Paul Alivisatos 及 Charles M Lieber 的演講，更是學習更多。

#### ■ 國際合作研究計畫國外研究報告

職於這三年的暑假期間，每年都有到杜經寧院士實驗室執行一個月的國際合作計畫。期間與杜經寧教授及杜教授的學生討論 whisker 生成機制之研究。期間多次單獨與杜經寧院士 meeting。得知許多在封裝的新趨勢。期間也跟他討論 composite whiskers 的成因，研究方向，以及論文的撰寫。另外，杜經寧院士討論研究之另一可靠度議題-錫晶鬚的成長與抑制測試結構，這將會是我們下一年度要與他合作的研究。借由此國際合作，我們得以密切合作，以及訓練學生的英文及國際觀，特別要感謝國科會的支持。

在此計畫中，職也跟杜院士共同發表以下三篇論文，

1. K. N. Tu\*, Chih Chen, and Albert T. Wu, **invited review**, Stress analysis of spontaneous Sn whisker growth, **J. Mater. Sci.: Materials in electronics**, 18:269-281 (2007) (IF=1.020)
2. C. C. Wei, P. C. Liu, Chih Chen\* and K. N. Tu, Electromigration-induced Pb and Sn whisker growth in SnPb solder stripes, **Journal of Materials Research**, 23, 2017-2022, (2008) (IF=1.667)

3. S. W. Liang, Chih Chen\*, J. K. Han, Luhua Xu, K. N. Tu, and Yi-Shao Lai, Blocking hillock and whisker growth by intermetallic compound formation in Sn-0.7Cu flip chip solder joints under electromigration, JOURNAL OF APPLIED PHYSICS 107, 093715 (2010). (IF=2.072)

另外，還有一篇論文正在修改中。