

## 綠色環保無鉛錫點中介金屬化合物成長織構之預測

Prediction Rules for Texture Growth of Intermetallics in Environment-friendly Pb-free Solder Joints

國立台灣大學 材料科學與工程學系  
Department of Materials Science & Engineering,  
National Taiwan University, Taipei, Taiwan博士班學生(Ph. D. Student): 陳偉銘 (Wei-Ming Chen)  
指導教授(Advisor): 高振宏 教授 (Prof. C. Robert Kao)

## 研究重點

- 近年來，開發具有環境保護及優良性能的無鉛(Pb-free)錫料一直是台灣現代化精密電子製造產業的重點研究方向之一。在眾多候選錫料中，又以無環境毒性的富錫(Sn-rich)錫料被視為是最具市場發展潛力的評估項目。因此如何在未來電子產業走向三維立體晶片構裝(3D IC Package)的趨勢下，建立一套專屬環保富錫錫料之評估標準便成為了產學界一致努力的目標。
- 本研究旨為開發成長結晶性關係並以電腦三維晶格分析技術，預測特定基材方向上所成長介金屬化合物之結晶取向與織構。以期使得電子構裝產業未來有能力進一步預測微米級無鉛錫點中的介金屬化合物生長織構，並進一步評估其可靠度依存性，進而消弭不利於微電子元件使用寿命之介金屬化合物生成方向大幅存在的可能性。

## 研究成果

本研究之探討系統為電子構裝產業中最常使用之無鉛錫料Sn-0.6Cu與Ni基材之界面焊接反應系統。所使用之Ni基材先經由一先進高溫退火製程處理而成為大塊晶粒裸露之Ni基材，再經由電子背向散射繞射技術(EBSD)進行晶粒方向性定位，如圖1(a)所示。圖1(b)則以Ni原子位置圖呈現圖1(a)中所示的大塊Ni晶粒的晶格排列方向乃為 $(001)_{Ni}$ 裸露平面，而後將已定位之Ni基材與無鉛錫料Sn-0.6Cu進行標準焊接程序，再以特定配方融化移除無鉛錫料並使生長於Ni基材上之介金屬化合物 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 得以裸露。圖1(c)為生長於圖1(a)中所示之大塊晶粒鐵基板上的介金屬化合物 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 之俯視圖。由圖1(a)與(c)可觀察到 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 之織構群體(texture colonies)邊界與下方Ni基材之晶粒邊界擁有強烈的對應關係。換言之，不同的Ni基材晶粒方向將誘發不同的 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 從優取向(preferred orientation)織構群體。

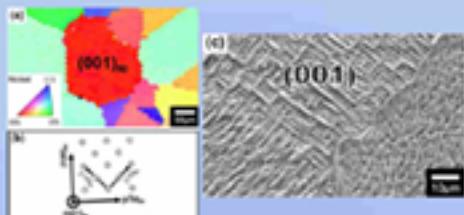


圖1

圖2(a)呈現了生長於圖1(a)中 $(001)_{Ni}$ 晶粒上的 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 織構群體，並以電子背向散射繞射技術取得其群體內部兩顆大晶粒的背向散射繞射圖形(Kikuchi patterns)，如圖2(b)與(c)所示。此兩張繞射圖形說明了 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 晶粒內部的 $[001]_{(Cu, Ni)_3Sn_5}$ 方向皆與其外觀之生長長軸平行。以此結果與圖1(b)之 $(001)_{Ni}$ 晶格排列圖相比較，本研究得到一簡單且明確之三維度介金屬-基材生長方向性關係。 $[001]_{(Cu, Ni)_3Sn_5} \parallel [110]_{Ni}$ 。

因電子背向散射繞射技術所得之成果僅為一維度生長方向性關係，故本研究團隊繼續利用高解析度穿式電子顯微鏡進行焊接反應之界面觀察。圖3(a)為所得之 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 與Ni基材反應界面之高解析度晶格干涉圖形。而圖3(a)之右上方及左下方之插圖則為經過快速傅立葉轉換所得

之 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 與Ni基材的晶格繞射圖形。圖3(b)則為針對圖3(a)中的 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 與Ni基材界面區域所做的選區繞射圖形。其中由 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 所產出的繞射點依綠色線條所連起，而紅色線條則連起Ni基材所產出的繞射點。圖3(c)為界面的明場影像，圖3(d)為以 $(002)_{Ni}$ 繞射點所呈的暗場影像，圖3(e)則為以 $(110)_{(Cu, Ni)_3Sn_5}$ 繞射點所呈的暗場影像。圖3(b)中繞射點 $(120)_{(Cu, Ni)_3Sn_5}$ 和繞射點 $(\bar{1}\bar{1}\bar{0})_{Ni}$ 的疊合指出了 $(120)_{(Cu, Ni)_3Sn_5}$ 晶面和 $(\bar{1}\bar{1}\bar{0})_{Ni}$ 晶面的相互平行關係。再配合入射軸分析後，本研究得到一組明確的三維度介金屬-基材生長方向性關係。 $(120)_{(Cu, Ni)_3Sn_5} \parallel (110)_{Ni}, [001]_{(Cu, Ni)_3Sn_5} \parallel [001]_{Ni}$ 。此三維度生長方向性關係充分驗證並支持了以電子背向散射繞射技術所得之一維度生長方向性關係，且更進一步增強本研究所得之介金屬-基材結晶生長方向性關係的可信度。

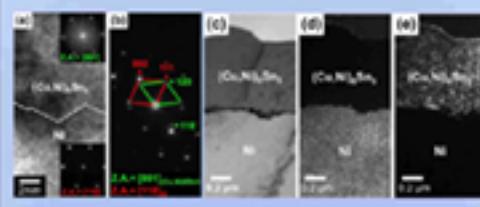


圖3

## 學術成就與貢獻

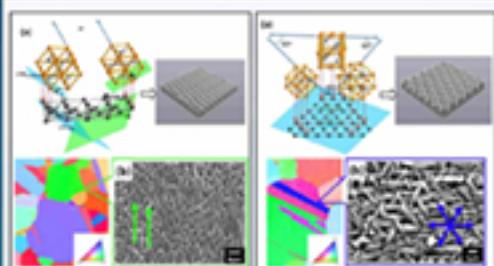


圖4

圖5

根據本研究所獲得之結果，作者得以利用電腦三維晶格分析技術，精準預測特定基材方向上所成長的介金屬化合物晶格取向與織構。圖4(a)顯示電腦所預測之生長於 $(101)_{Ni}$ 晶面上的 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 將以長軸互相平行的型態生長。而在實際焊接反應過後，生長於 $(101)_{Ni}$ 晶面上的 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 確實會以平行的織構樣貌呈現，如圖4(b)所示。而當反應堆基材置換為 $(111)_{Ni}$ 鐵平面時，電腦預測 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 將以長軸互相夾角60度的三角型貌進行生長，如圖5(a)所示。而在焊接反應過後，圖5(b)呈現實際 $(Cu, Ni)_3Sn_5$ 生長形貌亦完全符合電腦所預測之樣貌。

透過本研究所開發之電腦三維晶格分析技術，未來產學界將有能力在已知基材晶格方向的前提下精準預測用於三維立體晶片中微米級無鉛錫點內部所生成之介金屬化合物的結晶方向與織構，並可進一步發展出具有優良操作可靠度的新形態構裝製程。

## 研究生活與得獎心得

律鈞由學士逕行攻讀博士期間，於台大材料系獲得良多的專業背景訓練與學術研究資源，並在恩師高振宏教授的指導下，得以成功開發數個廣為國內外產學界所矚目的先進模擬製程改善技術。回顧過往研究生活，雖時遇瓶頸半困頓，卻總是想要服自己更積極地克服眼前困境，才能持續往前進步。直到末了，方才發現這克服艱難挑戰的過程，正是豐碩收穫當中最美好的果實。博士學位，這最高的科學研究過程，對我而言也是充滿艱辛卻回味無窮的旅程。感謝主，能讓我擁有這段寶貴的人生經驗。

財團法人中技社所設置之科技獎學金乃為我國高等學術教育中，極為重要的學術成就指標。律鈞能承蒙貴社之肯定並被授予此等殊榮，實感榮幸至極。中技社自創社50餘年來致力於引進科技新知，並培育科技人才，實已廣傳為佳話。近年來更積極推廣對於環境保護科學之研究，更是為人所讚允。律鈞誠摯地感謝貴社能對於我國科技人才之研究成果給予肯定，並希冀貴社能永續同國人一齊奠基我國家大的科技抱負，以實踐人才強國之終極目的。