

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

金屬微形元件之等溫凝固微熱壓成型研究(1)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2216-E-002-032-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學材料科學與工程學研究所

計畫主持人：莊東漢

計畫參與人員：顏秀芳 吳惠敏 林修任

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 2 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

金屬微形元件之等溫凝固微熱壓成型研究

Isothermal Solidification Hot Embossing of Metallic Micro-Devices

計畫編號: NSC92-2216-E002-032

執行期限: 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人: 莊東漢 台灣大學材料研究所教授

一、計畫摘要

本計畫之「等溫凝固微熱壓成型」技術構想是將一高熔點金屬粉末 (Ni、Cu、Ag) 與一室溫液態之共晶合金 (Ga-24.6 In Ga13.7 Sn) 調成膏狀，此一室溫呈膏狀之原料在微熱壓成型模具內加熱熔解 (溫度在 350°C 以下)，接著繼續在此溫度進行等溫凝固反應 (時間 30 秒至 30 分鐘，必要時再延長)，此界面反應將形成固態之介金屬化合物，成型後的金屬微形元件材質為完全單一介金屬相或高熔點金屬顆料外覆介金屬基地之複材組織。本計畫第一年先探討各金屬組合界面所進行之固液擴散及等溫凝固反應，分析其所生成介金屬相成份及其成長動力學，後續研究將針對所構想之創新成型方法評估其可行性。

關鍵詞：微機電、微熱壓成型、等溫凝固、固液擴散、金屬微形元件

Abstract

“The Isothermal Hot Embossing Process” under consideration in this project entails the blending of a high-melting-point metallic powder (Ni、Cu or Ag) with a eutectic alloy (Ga24.6In or Ga13.7Sn) which exists in liquid state at room temperature ,whereas the mixtures in

paste at room temperature will be heated and partially molten in a hot embossing mould at a temperature below 350°C. The partially liquid mixtures subsequently spur on the isothermal solidification reaction at the same temperature (reaction time:30sec to 30min, or longer if necessary). Solid intermetallic compounds are expected to form after such interfacial reactions, which will substitute the previous liquid or low-melting-point components. The resultant metallic micro-devices will be found to possess a single-phase microstructure consisting of purely monolithic intermetallics, or to form a composite phase of high-melting-point metallic powder held in place by the surrounding intermetallic matrix. During the first year of this project, the solid-liquid interdiffusion and isothermal solidification reaction occurred at the interfaces of various metallic mixtures will be systematically investigated. Chemical compositions and growth kinetics of the resulting intermetallic compounds will also be analyzed. Furthermore, a tryout-stage verification of the applicability of the

proposed innovative process will be initiated.

Keywords: MEMS, hot embossing, isothermal solidification, solid-liquid interdiffusion, metallic micro-devices.

二、計畫源由與目的

在傳統微機電(MEMS)領域,「微熱壓成型」(Hot Embossing)是極少收可以高速量產的技術之一¹⁻⁵,卻只能用來製作塑膠元件,一般金屬材料因為無法如同塑膠具有優良熱塑性,而無法適用此方法,通常金屬微形元件的成型主要是利用「微影電鑄成型」(LIGA)方法,但是此方法的製程步驟繁複,其微影曝光技術更須使用諸如同步輻射光源之龐大昂貴設備。雖然,塑膠微形元件亦有其應用市場,但在工程上,一些特定產品基於耐熱性、尺寸安定性、熱傳導性及導電性等需求,必須採用金屬材料,開發一可以快速量產金屬微形元件之技術有其必要性。

「等溫凝固」是利用界面反應及相平衡原理⁶,在固定溫度使一熔融的低熔點金屬與一固態的高熔點金屬進行固液擴散及界面相平衡反應,形成另一固態的高熔點介金屬化合物⁷,當低熔點金屬反應完成,整個系統將由原先的部份熔融狀態轉為完全的固態,而反應過程材料系統均維持在先前的固定溫度,此有別於通俗的「降溫凝固」反應⁸。

本計畫將「等溫凝固」原理應用於成型技術,尤其是針對前述微機電加工領域的困境提出一個解決方案。

三、結果與討論

Ga13.7Sn/Cu

圖 1 為 Ga13.7Sn/Cu 經 300°C 界面反應 90 分鐘後的顯微組織,其界面介金屬層為 ϵ 相,經 EDX 分析成分為 Ga:Cu= 68.71:31.29at%, 另外界面與 Ga13.7Sn 內部並未發現 Cu 與 Sn 的反應相;由圖 2 的 Arrhenius 關係圖中,求得此介金屬的成長活化能為 12.9KJ/mol,當 350°C 反應 120 分鐘後,介金屬厚度約可達 125 μ m。

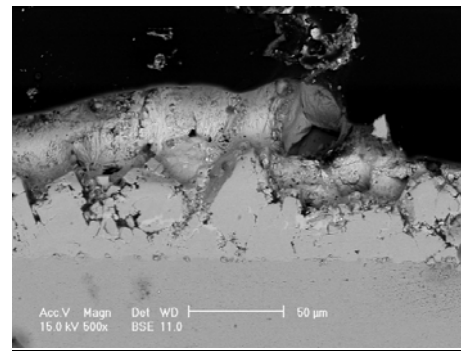
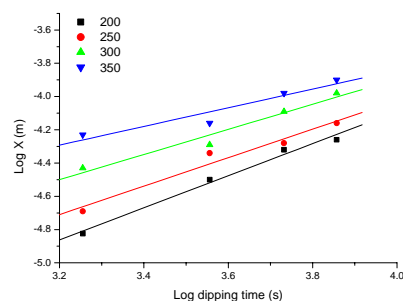
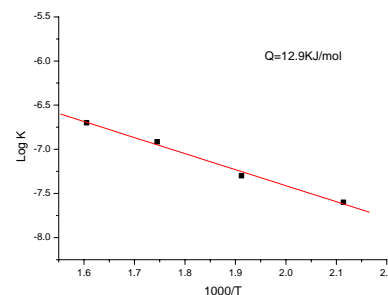


圖 1. Ga13.7Sn/Cu 經 300°C 界面反應 90 分鐘後的顯微組織



(a)



(b)

圖 2.(a) ϵ 介金屬層厚度與反應時間對數關係圖(b)Arrhenius 關係圖

Ga24.6In/Cu

圖 3 為 Ga24.6In/Cu 經 250°C 界面反應 60 分鐘後的顯微組織，其界面介金屬層為 ϵ 相，經 EDX 分析成分為 Ga:Cu= 67.51:32.49at%，界面與 Ga24.6In 內部並未發現 Cu 與 In 的反應相；由圖 4 的 Arrhenius 關係圖中，求得此介金屬的成長活化能為 24.85KJ/mol，相較 Ga13.7Sn/Cu 所生成的 ϵ 較慢。

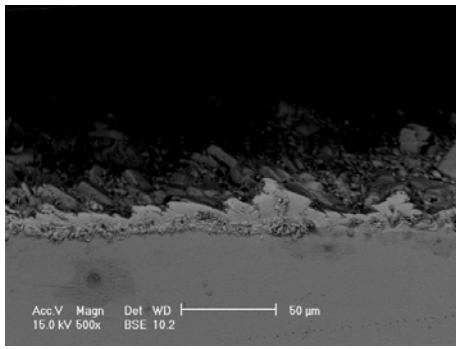
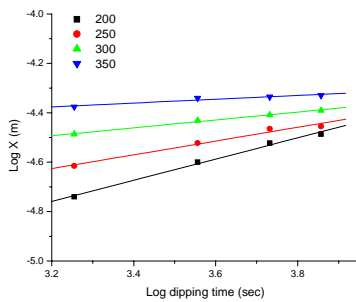
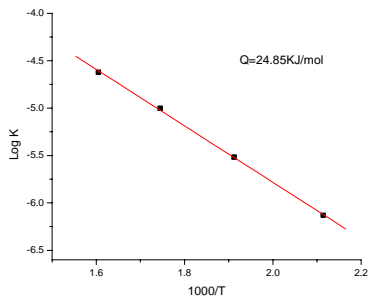


圖 3. Ga24.6In/Cu 經 250°C 界面反應 60 分鐘後的顯微組織



(a)



(b)

圖 4.(a) ϵ 介金屬層厚度與反應時間對數關係圖 (b)Arrhenius 關係圖

Ga13.7Sn/Ag

圖 5 為 Ga13.7Sn/Ag 經 350°C 界面反應 120 分鐘後的顯微組織，其界面介金屬層經 EDX 分析成分為 Ga:Ag = 36.02:63.98at%，相圖與文獻上並未有此相的研究，另外界面與 Ga13.7Sn 內部並未發現 Ag 與 Sn 的反應相；由圖 6 的 Arrhenius 關係圖中，求得此介金屬的成長活化能為 3.32KJ/mol，此介金屬相成長快速，當 350°C 界面反應 120 分鐘後，介金屬厚度可達 243.9 μ m。

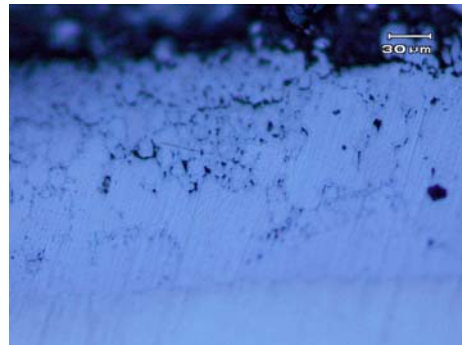
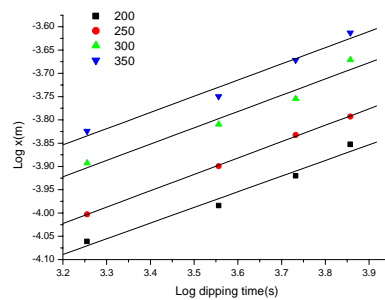
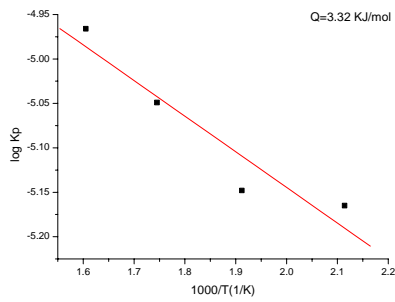


圖 5.Ga13.7Sn/Ag 經 350°C 界面反應 120 分鐘後的顯微組織



(a)



(b)

圖 6.(a)介金屬層厚度與反應時間對數關係圖 (b)Arrhenius 關係圖

Ga24.6In/Ag

圖 7 為 Ga24.6In /Ag 經 350°C 界面反應 120 分鐘後的顯微組織，其界面介金屬層為 $Ag_2(In, Ga)$ ，經 EDX 分析成分為 Ga : In : Ag = 6.76 : 29.61 : 63.63at%，此與其他系統較不相同的是 Ga24.6In 內除了 Ga 以外，In 會與 Ag 反應；由圖 8 的 Arrhenius 關係圖中，求得此介金屬的成長活化能為 28.9KJ/mol。

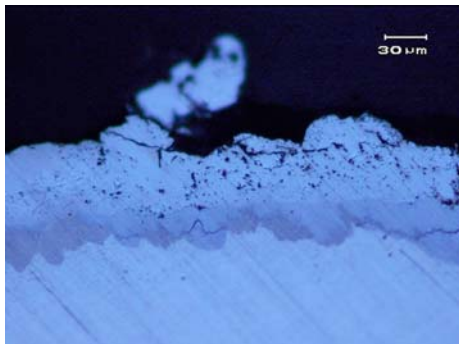
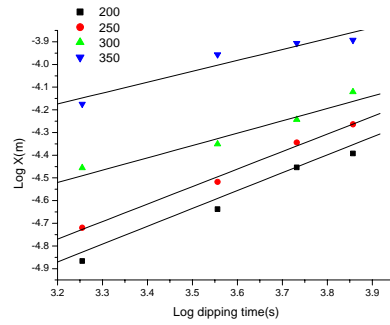
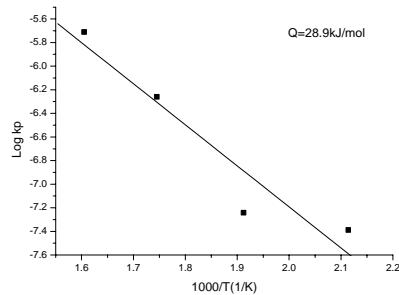


圖 7. Ga24.6In/Ag 經 350°C 界面反應 120 分鐘後的顯微組織



(a)



(b)

圖 8(a) $Ag_2(In, Ga)$ 介金屬層厚度與反應時間對數關係圖 (b)Arrhenius 關係圖

Ga13.7Sn/Ni

由於 Ga13.7Sn 與 Ni 的潤濕性極差，無法產生界面反應。

Ga24.6In/Ni

圖 9 為 Ga24.6In/Ag 經 300°C 界面反應 60 分鐘後的顯微組織，其界面介金屬層可能接近 Ni_2Ga_3 ，經 EDX 分析成分為 Ga:Ni=63.14:36.86at%，界面與 Ga24.6In 內部並未發現 Ni 與 In 的反應相；由圖 10 的 Arrhenius 關係圖中，求得此介金屬的成長活化能為 33.1KJ/mol，在本研究 Ni、Cu、Ag 三種金屬中以 Ni 反應最慢。

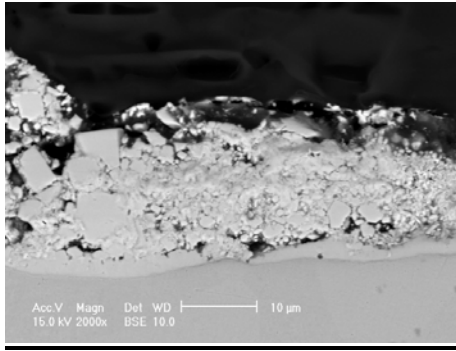
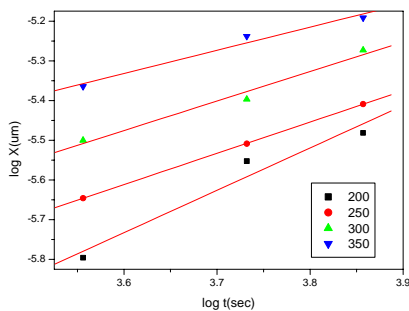
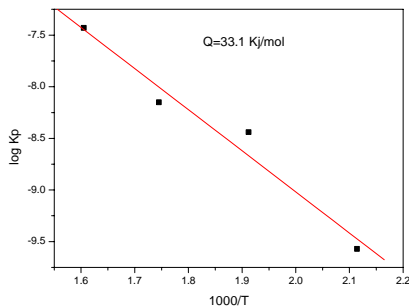


圖 9. Ga_{24.6}In/Ni 經 300°C 界面反應 60 分鐘後的顯微組織



(a)



(b)

圖 10.(a)介金屬層厚度與反應時間對數關係圖 (b)Arrhenius 關係圖

四、計畫成果自評

開發具有高附加價值超精密微型元件是國內產業升級的一個重要途徑，微機電(MEMS)是達成此目標的有效方法之一，「微熱壓成形」(Hot Embossing)是極少數具高速量產效益的微機電加工技術，卻僅適用於塑膠

微形元件的製作，本計畫創新之加工構想如能獲得實現，將可除破傳統微熱壓成形的材料限制，使其延伸至金屬微形元件加工，多元化的材料選擇所帶動產品設計的更有彈性，將使微機電產業更容易市場化，其經濟效益不可言喻；而在學術方面，本計畫內容有關等溫凝固界面反應議可提供許多豐富的學術探討題材。本年度計畫已完成 Ni、Cu、Ag 固態金屬與液態共晶 Ga_{13.7}Sn、Ga_{24.6}In 合金之界面反應研究，此結果將提供後續進行微形元件成型之製程參數。

五、參考文獻

1. W. Menz and J. Mohr: Microsystemtechnik fur Ingenieure, 2nd Auflage, Weinheim, Germany, VCH(1997)
2. H. Becker and U. Heim, Sensors Actuators, 83(2000) 130-135
3. M. Hecke and W. Bacher, Proc. 3rd France-Japan Congress & 1st Europe-Asia Congress on Mechatronics, Besancon, France, Oct,1-3(1996)
4. M. Hecke and W. Bacher, Micromachine Devices, Vol.2, No.2, Feb.(1997).
5. M. Hecke W. Bacher and K. D. Muller, Microsystem Technologie, 4(1998)122-124
6. D.Gur and M. Bamberger, Acta mater., 46, 14(1998)4917-4923
7. S. Bader, W. Gust, and H. Hieber, Acta mater., 43, 1,(1995)329-337
8. F. Bartels, J.W.Morris Jr., G. Dalke and W.Gust, J. Electronic Materials, 23(1994)787-790