

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

用超塑性微成型技術製作微機電系統之金屬元件

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2216-E-216-001-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：葉明勳

計畫參與人員：林子凱 姚朝榮 蘇士傑

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 19 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

用超塑性微成型技術製作微機電系統之金屬元件

Fabrication of Microstructure for MEMS using Superplastic Micro-Forming Processes

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94— 2216 — E — 216 — 001 —

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

計畫主持人：葉明勳

共同主持人：

計畫參與人員：林子凱、姚朝榮、蘇士傑

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

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、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

執行單位：中華大學機械工程學系

中 華 民 國 95 年 10 月 31 日

用超塑性微成型技術製作微機電系統之金屬元件

Fabrication of Microstructure for MEMS using Superplastic Micro-Forming Processes

摘要

本研究則是用類 LIGA 製程製作高精度的模具，並以此模具製作出鋁鈦微形金屬元件，進而探討微熱壓成型技術應用在製作 MEMS 微結構件的可行性。實驗結果顯示 Al-Sc 合金在溫度 280°C、0.1 mm/min 鍛壓速率下，具有良好的鍛壓成型性，同時製作出尺寸精度極佳的微型正齒輪。微型齒輪經組裝後，經由運轉性能測試，顯現此齒輪機構能長時間運轉無失速情形發生，由此印證「超塑性微熱壓成型技術」是一適合製作微機電系統金屬元件的方法。

關鍵字：超塑成型、微熱壓成型、Al-Sc合金、微型齒輪

一、前言

微機電系統 (Microelectromechanical systems, MEMS)^{1,2} 是近十餘年來最受矚目的新興產業之一，藉由微機電製程技術的協助，可將機電產品微小化 (如：微探針、微感測器、微型馬達、齒輪組、微型幫浦等)，對學術研究、國防科技發展、與民生工業應用均有深遠的影響。由於金屬微形元件較塑膠微形元件具有尺寸穩定性高、耐熱性佳、良好熱傳導性與導電性等優異功能，非常符合微機電產品精密穩定的需求，因此發展全新且快速量產金屬微形元件的製程技術，以加速微機電產品的產業化，實有其必要性與急迫性。目前微機電系統中所使用之金屬微形元件的製作，主要是利用德國 Karlsruhe 核能研究中心所研發出的「微影電鑄成型」(LIGA) 方

法加製造³⁻⁵。「微影電鑄成型」技術包含三個主要步驟：光微影 (deep-etch lithography)、電鑄 (electroforming)、及微成型 (plastic forming)。雖然這種「X-ray LIGA 製程」可以製作高精度、高深寬比的微結構，但在製作 X-ray 光罩時，不僅製程複雜，要求精度極高，且微影曝光技術需要使用的同步輻射光源為一龐大且昂貴的設備，實非一般業界財力所能負擔，間接造成相關微機電系統產品的價格居高不下，也限制微機電系統產品的應用範圍。而 Laser-LIGA 製程製作是利用雷射將圖案轉移至高分子材料上 (如 PC 膜)，經準分子雷射機定位後，以 KrF 雷射打擊 PC 膜表面，隨後將 PC 膜金屬化後，實施電鑄製成微形金屬元件，這種技術的成本雖較低，但缺點在於元件側壁垂直度較差，對微機電產品的穩定度有所影響

6。因此積極發展成本低、全新且快速量產的製程技術製造金屬微形元件，以加速微機電產品的產業化，已成為不可避免的趨勢。1989年IBM發展出由高分子：epoxy novolak resin、溶劑：GBL (γ -butyrolactone)、感光劑：triaryl sulfonium salt (HSBF₆)三種成份所構成的SU-8厚膜光阻。由於SU-8厚膜光阻可利用一般的顯微製程，製作高精度、高深寬比的微結構，同時再結合電鑄及微成型程序，即可進行類LIGA製程(LIGA-like)，而被應用在MEMS微結構件、模具製作的製作上，對微機電產品的產業化有所助益^{7,8}。本研究則是用類LIGA製程製作高精度的模具，並以此模具製作出鋁鈦微形金屬元件，進而探討微熱壓成型技術應用在製作MEMS微結構件的可行性。

二、實驗方法

用UV-LIGA製程製作鎳鈷鍛壓模具的步驟說明如下：首先將SU-8負光阻透過旋轉塗佈機均勻塗佈(Coating)在4吋晶片上，厚度約500 μ m；然後以95 $^{\circ}$ C軟烤(Soft Bake) 200分鐘，使光阻成為固態薄膜。再利用UV光源透過光罩曝光(Exposure)，進行圖案轉移，再在95 $^{\circ}$ C進行後烤(PEB) 40分鐘，將曝光之後的晶片放入顯影液中顯影(Development)完成光阻模板。再在光阻模板上濺鍍200 nm的Au膜，充當導電層。最後將導電化的模板當作是陰極，欲電鑄之金屬材料為陽極，將陽極及陰極放入鎳鈷電鑄液中，通

上電流進行電鑄(Electroforming)，電鑄速率約5~10 μ m / hr，電鑄完成後的晶片除去光阻模板，即可獲得所需要的鎳鈷鍛壓模具。將鎳鈷鍛壓模具有石蠟固定在精密研磨機之研磨盤上，磨去模具背面電鑄不平處，並用丙酮清洗後備用。模具尺寸則用3D量測儀加以量測並截取影像分析，以確保模具尺寸的精確度。

鍛壓所需的鋁鈦合金試片，清洗後置入由UV-LIGA製程所製作之鎳鈷鍛壓模具內，在成型溫度190—280、成型速率0.05—0.1 mm/min下，用微熱壓成型機施加10000—20000 N負荷於試片上進行微鍛壓成型。成型後，以SEM觀察金屬元件之外觀並判斷成型效果，佐以進行成型後材料顯微組織分析，探討細晶鋁合金的流變行為，尋求最佳的成型製程條件，以期能確時掌握此項製程技術。同時嘗試將製作之微型金屬元件進行微機械之組裝，以微型馬達帶動旋轉，實際測試組裝之微機械的運轉狀態，了解微型金屬元件的成型效果，進一步確立此微熱壓成型技術的整體可行性。

三、結果與討論

本實驗所採用的Al-Sc合金成分示於表1。Al-Sc合金在525 $^{\circ}$ C時往復擠製6次後，Al-Sc合金晶粒可由原先的100 μ m細化至25 μ m，材料的延伸率可提昇到45%，但因有Al₃Sc析出物在晶界析出，影響Al-Sc合金的晶粒細化，因此Al-Sc合金晶粒細化的製程參數，仍需進一步探討。

以UV-LIGA製程製作鎳鈷模時，電鑄時電壓控制對鎳鈷金屬堆積

密度有深刻影響：外加電壓愈大，電鑄金屬外圍較內部堆積速度快且明顯，密度低；反之則密度高，內外部較均勻，但費時。電鑄液須有二天以上弱電解去除雜質，並調整Ni-Co濃度、PH值及表面張力等。為求電鑄模具表面光亮，結晶細小，須用較小電鑄電流ASD (A/dm^2)，但電流也不宜太小，因為電鑄金屬之壓應力明顯，因此電鑄前一小時以小電流(1ASD)進行，接著再以較高電流(4ASD)電鑄至需求厚度，圖 1 為電鑄完成的鎳鈷模。

本試驗所採用之鍛壓製程是將Al-Sc合金置於電鑄後之鎳鈷模內，再經微熱壓機 (Hot-Embossing) 熱壓製出所需之金屬微形齒輪。圖 2 為Al-Sc合金經鍛壓後之典型的微形齒輪，齒輪的表面還算平整，經表面粗糙度量測結果，表面之 $R_a=2.76 \mu m$ ； $R_y=15.35 \mu m$ 。比較Al-Sc合金以不同鍛壓負荷，不同鍛壓溫度所鍛製之微形齒輪外觀：製程溫度為 $190^\circ C$ 時，即便鍛壓負荷達到 20000N，Al-Sc合金的變形量僅為 0.02mm。當鍛壓溫度提高至 $280^\circ C$ 時，負荷僅 18000N，鍛製的Al-Sc合金的變形量可達 0.45mm。

圖 3 為超塑性微熱壓鍛製後的正齒輪 SEM 外觀，垂直度良好，齒面平整。正齒輪尺寸略大於實際設計正齒輪的尺寸，誤差範圍在 $5 \pm 1 \mu m$ 之間。這結果顯示超塑性微熱壓鍛造加工成型技術適合生產形狀複雜之金屬微形元件，精度亦佳。齒輪經組裝後，以微型馬達帶動進行運轉測試，在經過長達 320 小時的連續運轉，本齒輪機構仍能順利運轉無失速情形發生，再次展現出以 Al-Sc 合金為材料製作金屬微型齒輪的穩定性。

四、結論

本研究結合材料的超塑成型性與高精密性的微熱壓成型技術，發展出

適合金屬微形元件製作之「超塑性微熱壓成型技術」，可成功製作 Al-Sc 微形齒輪，經組裝成齒輪機構後，測試符合原先設計需求，確立微熱壓成型技術的整體可行性。

重要文獻：

1. “ *Materials Science of Microelectromechanical Systems (MEMS) Devices IP*”, eds. M.P. deBoer, A.H. Heuer, S.J. Jacobs and E. Peeters, Materials Research Society, (2000) Pennsylvania, USA.
2. C.C. Lin, R. Ghodssi, A.A. Ayon, D.Z. Chen, S. Jacobson, K. Breuer, A.H. Epstein and M.A. Schmidt, *IEEE - Micro Electro Mechanical Systems, MEMS'99 Proceedings*, Florida, USA, (1999) 529-533.
3. W. Menz, W. Bacher, M. Harmening and A. Michel, *IEEE - Micro Electro Mechanical Systems, MEMS'91 Proceedings*, Nara, Japan, (1991) 69-73.
4. M. Harmening, W. Bacher, P. Bley, A. El-Kholi, H. Kalb, B. Kowanz, W. Menz, A. Michel and J. Mohr, *IEEE - Micro Electro Mechanical Systems, MEMS'92 Proceedings*, Travemunde, Germany, (1992) 202-207.
5. K. Takahata, N. Shibaike and H. Guckel, *IEEE - Micro Electro Mechanical Systems, MEMS'99 Proceedings*, Florida, USA, (1999) 238-243.
6. M. Abraham, J. Arnold, W. Ehrfeld, K. Hesch, H. Mobius, T. Paatzsch and C. Schulz, *Proceedings of SPIE - International Society for Optical*

Engineering, Austin, TX, United States, (1995) 164-173.

7. H. Lorenz, M. Despont, N. Fahrni, J. Brugger, P. Vettiger and P. Renaud, *Sensor and Actuators, A* 64, 1998,

33-39.

8. V. Seidemann, S. Buetefisch and S. Buettgenbach, *Sensor and Actuators, A* 97-98 (2002) 457-461.

表 1 鋁鈦合金板材成分表

Al	Zn	Mg	Mn	Sc	Fe	Si	Cu	Ti
Rem	8.3	2.1	0.014	0.15	0.08	0.03	2.15	0.04

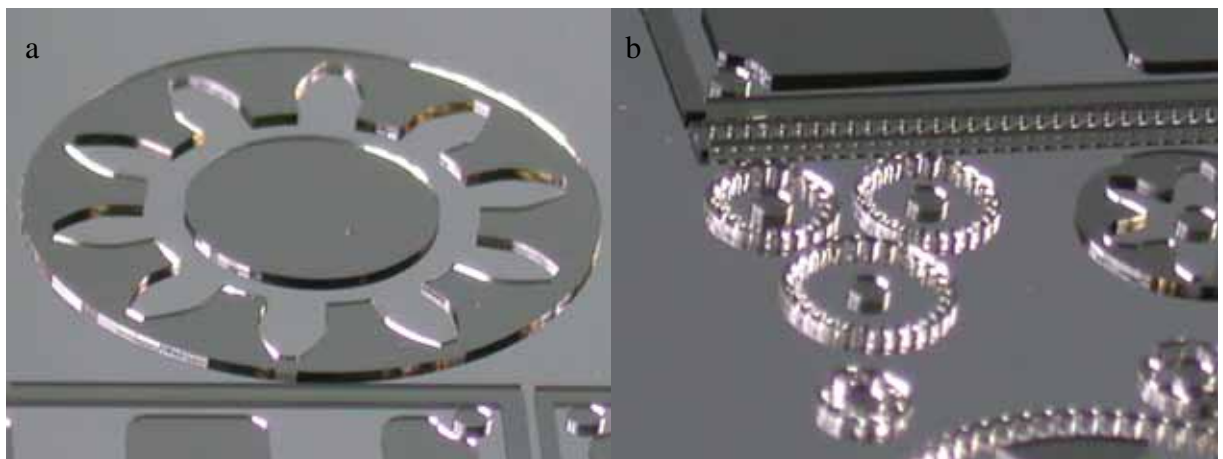


圖 1. 電鑄完成的鎳鈦模：(a)單模穴模具，(b) 多模穴模具

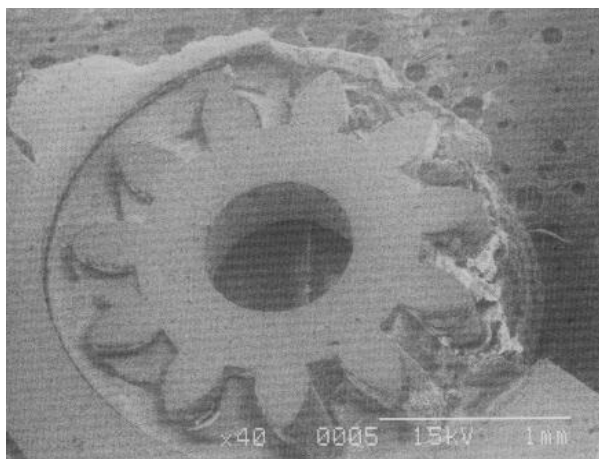


圖 2. 鍛壓後典型的 Al-Sc 微形齒輪

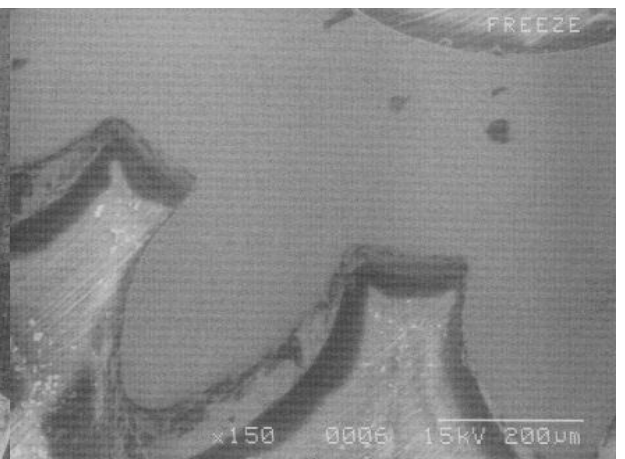


圖 3. 超塑性微熱壓鍛製正齒輪 SEM 外觀