

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果 報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※  
※※※ 微噴射致冷器之理論分析與實驗量測(Ⅱ) ※※※  
※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2218-E-002-032-

執行期間： 90 年 08 月 01 日 至 91 年 07 月 31 日

計畫主持人：陳炳輝 教授

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：國立台灣大學機械工程學系

中 華 民 國 91 年 8 月 24 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 微噴射致冷器之理論分析與實驗量測（II）

### Theoretical and Experimental Study for a Micro-Ejector Cooling System (II)

計畫編號：NSC 90-2218-E-002-032-

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：陳炳輝 教授\* 國立台灣大學機械工程學系

#### 一、中英文摘要

本計畫以微機電製程進行微噴射致冷器之製作。實驗量測設備的架設與微噴射器之設計、理論分析及實驗量測亦為工作重點。在第二年的工作是進一步改良各組件之設計與以類 LIGA 製程製作元件之製程改善，以及量測設備之架設，其中包括：利用微機電製程製作簡易之實驗量測設備、和架設量測實驗設備。微噴射壓縮器無動作，而且為體積小、重量輕、構造簡單及高可靠度的散熱元件。本計劃以理論分析及實驗量測，對微噴射致冷器中各種影響參數作深入之探討。在製程方面，本年度的計劃以近年來相當受到廣泛討論的類 LIGA 製程進行微噴嘴製作之製程改良。此外，實驗設備之架設及試片挾具之製造均已完成。

關鍵詞：微噴射致冷器、類 LIGA 製程

#### Abstract

The present work aims to develop a micro-ejector cooling system. The device is

simple in construction with no moving parts. Therefore, it is suitable for miniaturization. The LIGA-like process is used to fabricate components in the present study. The prospects for the second year of the project are to improve the fabrication process of the components, and to modify the design and testing of experiment setup. As the primary work of the project, the constructions on the experimental setup and the sample holder have been completed. Micro-nozzles with various geometries have been successfully fabricated by the LIGA-like process through the facilities of SRRC, Taiwan.

**Keywords:** micro-ejector cooling system, LIGA-like process

#### 二、緣由與目的

微噴射致冷器是高階的散熱系統中的選擇之一，其主要元件包括噴射壓縮器、氣體產生器、氣體蒸發器、冷凝器、增壓

\* e-mail : [phchen@ccms.ntu.edu.tw](mailto:phchen@ccms.ntu.edu.tw)

裝置及膨脹裝置等。其工作原理為具有抽吸蒸發器冷媒之特性，以帶走潛熱達到制冷的效果，再加上它能將抽吸之工作介質，經由噴射壓縮器產生壓力提昇的效果，因此可以使用噴射壓縮器為中樞，設計一套微噴射致冷器，用以解決高熱能電子設備之散熱問題。

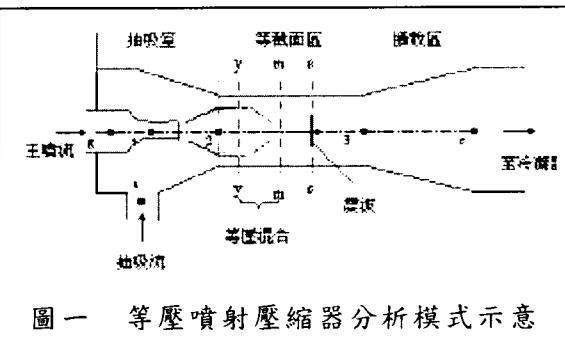
主要原理是用氣體產生器加熱液態工作介質，使之成為高溫高壓氣體，此為主流體，進入噴射壓縮器中的主噴嘴膨脹為低壓氣體，繼而將蒸發器內之飽合氣體，此為副流體，吸入噴射壓縮器之混合區內，在等截面區充分混合後，由擴散區增壓噴出。工作介質進入冷凝器凝結成飽和液體，其液體一部份經由微毛細結構利用毛細力抽吸回到氣體產生器，另一部份由膨脹裝置降壓進入蒸發器中，形成循環的冷卻系統。此噴射冷卻系統用噴射壓縮器取代傳統冷氣系統的壓縮機，系統中無動件。噴射壓縮器構造簡單、耗損率低，所以可以說微噴射致冷器是無動件、體積小、重量輕、構造簡單及可靠度高的微型冷卻系統。由 Doranter [1] 的分析顯示，影響噴射式冷卻系統的性能最主要的因素為噴射壓縮器，其次為膨脹裝置及增壓裝置的設計，再次是氣體產生器、冷凝器及蒸發器的設計。此外，也與工作介質的種類有關。因此，設計一良好的系統，必須對個別的零組件加以設計並進行測試，最後再進行組裝測試。

### 三、研究方法與進行步驟

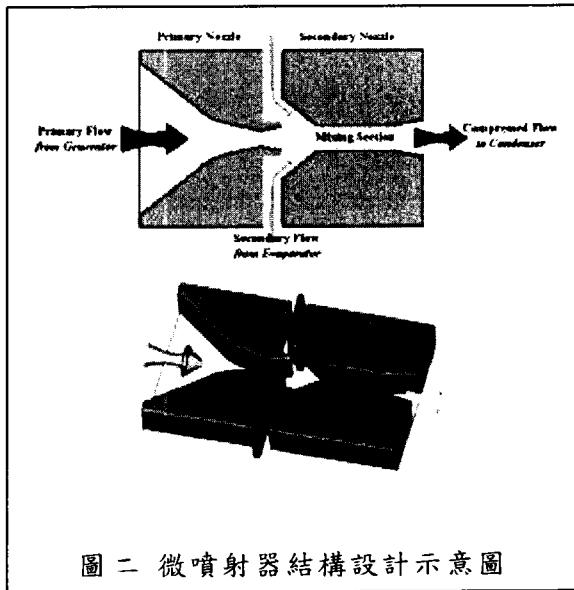
本計畫以理論分析及實驗量測，對微噴射致冷器中各種影響參數作深入之探討，其中包括第一年度之實驗設備設計，

系統及各零組件細部規劃與設計。本年度計劃繼而進行微噴射壓縮器中噴嘴製程改良，以及實驗量測設備的架構。

噴射壓縮器內主噴流與抽吸流的氣體動力行為與動量交換為噴射壓縮器之運作動力。其性能受控於兩個阻塞現象，一存在於通過噴嘴的主噴流，另一存在於抽吸流。噴射壓縮器抽吸比之大小，受很多物理現象的影響，例如超音速流與震波的交互作用及主噴流與抽吸流的紊流混合等複雜因素。因此，很多研究者所發表之噴射壓縮器的氣體動力理論，會受其應用限制。至今，噴射壓縮器之設計仍大多依據試誤法[2, 3]。本研究在第一年度工作中根據傳統設計準則[4]的建議噴射壓縮器設計外型進行初步設計，並在本年度計畫中進行微機電製程中之類 LIGA 製程設計與製程改良製作元件，以供設計利用。



圖一 等壓噴射壓縮器分析模式示意



圖二 微噴射器結構設計示意圖

噴射壓縮器依背壓高低，分為三個操作模態，雙阻塞或臨界模態、單阻塞或次臨界模態，及逆流或失效模態。其中以噴射壓縮器在臨界模態時性能最高，為本研究之設計主題。傳統噴射壓縮器的設計依噴嘴的位置分成兩種形式，一為『等截面混合噴射壓縮器』，即噴嘴出口位於噴射壓縮器的等截面區內，主、副流體於等截面區內混合，如 Addy *et al.* [5] 的研究。另一為『等壓混合噴射壓縮器』，即噴嘴出口位於等截面區之前的抽吸室內，主、副流體於抽吸室內等壓混合，二者以『等壓混合噴射壓縮器』性能較佳。

噴射壓縮器一維分析模式之統御方程式 [6]，從噴嘴至等截面段擴散區，如圖一所示，可區分為以下幾部分來討論：通過噴嘴之主噴流、主噴流核、抽吸流阻塞發生以前、抽吸流阻塞處 ( $y-y$  截面) 之截面積、抽吸流阻塞處 ( $y-y$  截面) 之溫度與馬赫數、混合流起使處、越過震波之混合流以及通過擴散區之混合流。其中牽涉的一維分析模式為通過噴嘴之主噴流部份：

對已知噴射壓縮器主噴流入口停滯壓力  $P_g$  與溫度  $T_g$ ，在阻塞狀況下，通過噴嘴的主噴流量  $\dot{m}_p$ ，由氣體動力方程式可得：

$$\dot{m}_p = \frac{P_g A_t}{\sqrt{T_g}} \times \sqrt{\gamma} \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \sqrt{\eta_p} \quad (1)$$

在上式中， $\eta_p$  為主噴嘴等熵效率係數。

噴嘴出口馬赫數  $M_{p1}$ 、壓力  $P_{p1}$  與截面積  $A_{p1}$  之間的關係為：

$$\left( \frac{A_{p1}}{A_t} \right)^2 = \frac{1}{M_{p1}} \left[ \frac{2}{\gamma + 1} \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_{p1}^2 \right) \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \quad (2)$$

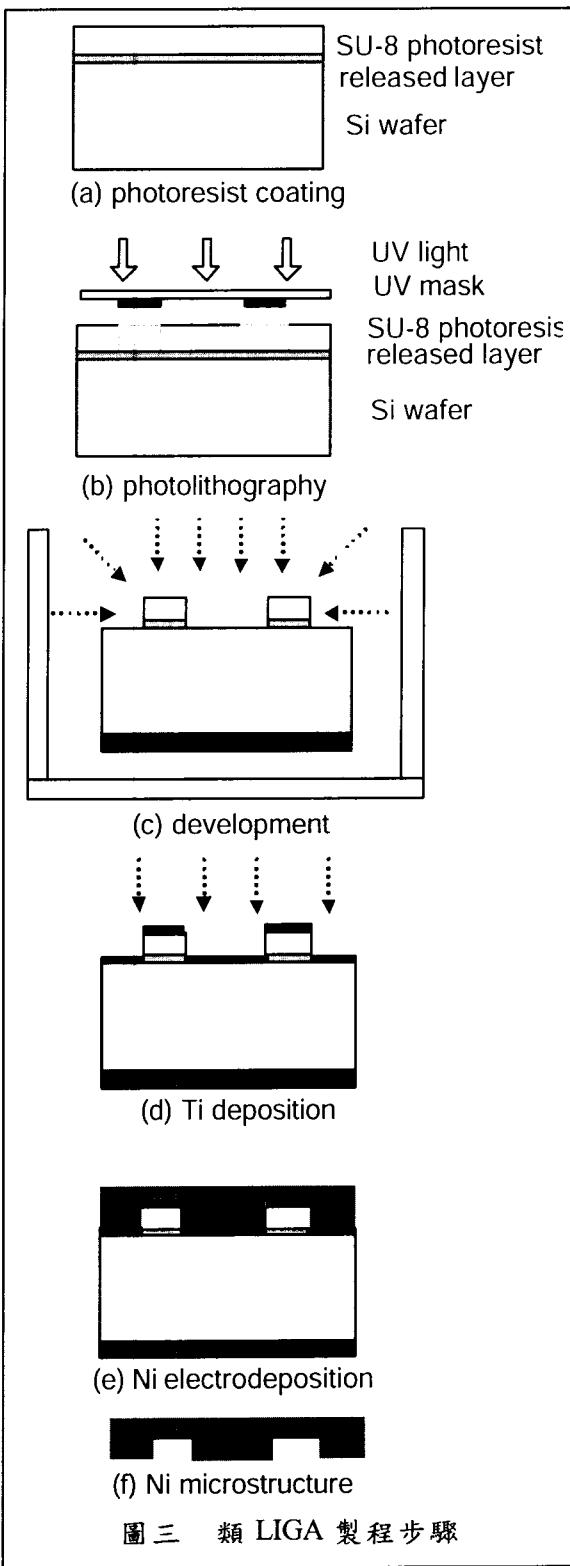
$$\frac{P_g}{P_{p1}} = \left( 1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_{p1}^2 \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3)$$

以上為噴射壓縮器中通過噴嘴之主噴流在理想氣體狀態下的一維分析模式，以此為基礎，即可設計一適當之微噴射壓縮器之

主噴嘴。

### 進行步驟

本年度計劃之主要的工作是探討以類 LIGA 製程進行微噴嘴之製程改良，與量測設備之架設，完成之工作項目包括：利用



圖三 類 LIGA 製程步驟

微噴嘴之操作點進行外型規劃（圖二），以及進行量測設備架設。本計畫以同步輻射研究中心所發展的類 LIGA 製程（圖三）進行噴射壓縮器之微噴嘴製作與改良。

#### 四、結果與討論

本計畫以同步輻射研究中心所發展的類 LIGA 技術，配合微電鑄製作鎳結構之主噴嘴。類 LIGA 製程步驟如圖二所示，首先以一鈦濺鍍之矽晶片作為基板，旋佈光阻，接著以深 UV 光刻術，將設計好的圖案以曝光過程轉至光阻上，顯影後再濺鍍鈦作為鑄鎳起始層（圖五(a)），最後進行鎳電鑄（圖五(a)）。鑄鎳高度超過光阻的高度並完全包覆（圖六），最後去除鋁基板及光阻後，即成為之主噴嘴之鎳金屬微結構。

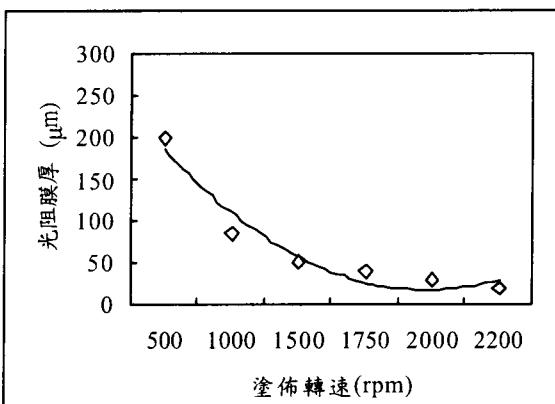
計劃以馬赫 2.5 為設計點，以深度為  $80 \mu\text{m}$  之深 UV 光刻製程為基礎，製作喉部直徑  $25 \mu\text{m}$  至  $200 \mu\text{m}$  之微噴嘴，以確定本製程的限制。首先測試光阻在不同旋佈轉速下的厚度，如圖四所示。圖七結果顯示喉部直徑  $25 \mu\text{m}$  之微噴嘴，在顯影後由於光阻結構強度不夠，因而造成在電鑄鎳時光阻剝落。圖五為計劃中設計之其中一喉部直徑約  $80 \mu\text{m}$  微噴嘴，深度約為  $80 \mu\text{m}$ 。圖五(a)是利用光學顯微鏡觀察微噴嘴在深 UV 光刻製程中，顯影後之光阻微噴嘴結構。圖五(b)是去基板及光阻清洗後之鎳金屬微噴嘴結構。圖六為未切割之鑄鎳試片。圖八則是電子顯微鏡觀察圖。在光學觀測設備方面，已完成架構與測試實驗設備之部份設計製造亦已完成，如圖九所示。

#### 五、計畫成果自評

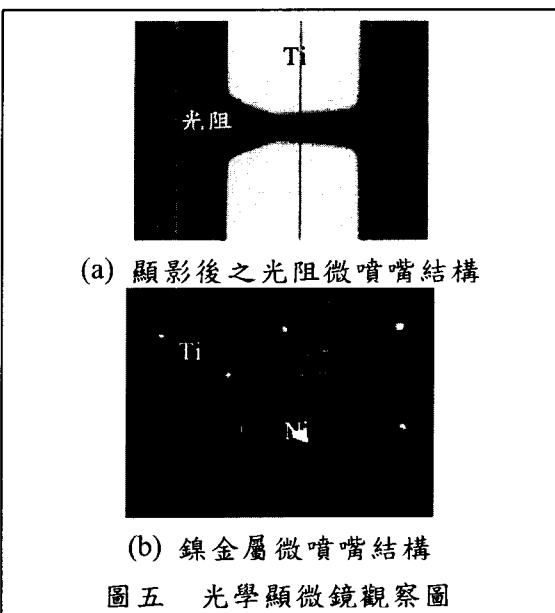
本研究以類 LIGA 技術配合微電鑄成功製作出能夠將氣體噴出之鎳結構主噴嘴模型。惟受限於壓力量測及封裝設備之限制，尚無法準確量測氣流之流量；光學觀測設備方面，需待增設影像擷取系統後即

可做進一步量測。在未來則希望在此微小尺寸之下，並配合良好之封裝及量測設計，以達到致冷器之應用目的。

#### 六、參考文獻



圖四 光阻在不同旋佈轉速下的厚度



圖五 光學顯微鏡觀察圖



圖六 未切割之鑄鎳試片



圖七 電鑄鎳時光阻剝落

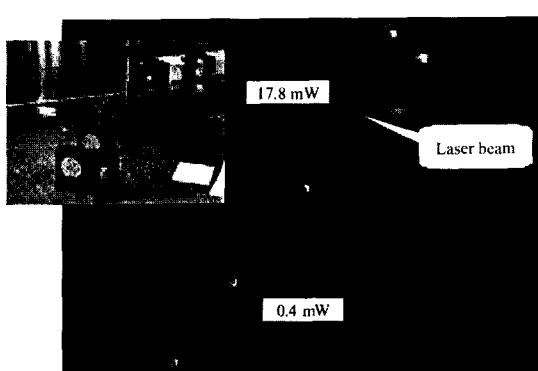


(a) 光阻微噴嘴結構



(b) 鎮金屬微噴嘴結構

圖八 電子顯微鏡觀察圖



圖九 光學觀測設備圖

- [1] Doranter, R. et Lallem, A, "Prediction of Performance of a Jet Cooling System Operating with Pure Refrigerants or Non-azeotropic Mixtures," *Int. J. Refrig.*,

- Vol. 18, No. 1, pp. 21-30, 1995.  
[2] Keenan, J. H., and Neumann, E. P., "A Simple Air Ejector," *J. Applied Mechanics, Trans. ASME*, Vol. 64, pp. A75-A81, 1942.  
[3] Elrod, H. G., "The Theory of Ejectors," *J. Applied Mechanics, Trans. ASME*, pp. A170-174, 1945.  
[4] ASHRAE, Steam-jet refrigeration equipment. Equipment Handbook, Chap. 13, pp. 13.1-13.6, AHRAE, Atlanta, GA, U.S.A., 1979.  
[5] Addy, Al, Dutton, J. C., and Mikkelsen, C. D., "Supersonic Ejector-Diffuser Theory and Experiments," *Report No. Uilu-Eng-82-4001, Dept. Mech. and Ind. Eng.*, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois USA, 1981.  
[6] 張俊民, “噴射器冷卻系統之研究,” 國立台灣大學機械所博士論文, 民國 86 年。