

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 微噴射冷卻系統之理論分析與實驗量測之研究 ( )

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

計畫編號：NSC 89-2212-E-002-076

執行期限：88年8月1日至89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

本計劃旨在研發微噴射致冷器 (micro-ejector cooling system)。微噴射致冷器與傳統的壓縮式冷氣機相比，最大的特點是其中使用的噴射壓縮器為無動件，且具有體積小、重量輕、構造簡單及高可靠度等優點。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，第一年之研究工作主要包括實驗設備之設計及製造，以及系統和各零組件之細部規劃、設計。在製程方面，本年度的計劃首先以近年來相當受到廣泛討論的類 LIGA 製程進行噴射壓縮器中第一部份之微噴嘴製作。此外，實驗設備之部份設計及試片夾具之製造亦已完成。

**關鍵詞：**微噴射致冷器、類 LIGA 製程

#### Abstract

The present study aims to develop a micro-ejector cooling system. Simple

construction without moving parts is the main advantage of conventional ejector cooling system. As a result, this device is suitable for miniaturization. The LIGA-like process was used to fabricate the micro-ejector. In this project, theoretical analysis and experiment measurement was conducted. The prospects for the first year of the project include the design and testing of experiment setup, and also the design of the system and component. As the primary work of the project, a series of micro-nozzles with various geometries were successfully fabricated. Meanwhile, the design on the experimental setup and the sample holder were also completed.

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

#### 二、計畫緣由與目的

近年來電子產業發展迅速，電子元件

---

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

隨半導體製程及封裝技術之提昇，已趨向微小化、高密度方向發展，單一元件的發熱功率亦不斷提高，致使熱控制成為電子設備設計之關鍵因素，所以殷切期盼有一體積小、重量輕、構造簡單及熱傳迅速的散熱元件。微噴射致冷器應用的微噴射壓縮器與傳統的壓縮式冷氣機相比，具有無動件、體積小、重量輕、構造簡單及高可靠度等優點。除了致冷器的應用外，微噴射壓縮器亦可用於微機電系統中抽真空、混合、噴霧等應用。

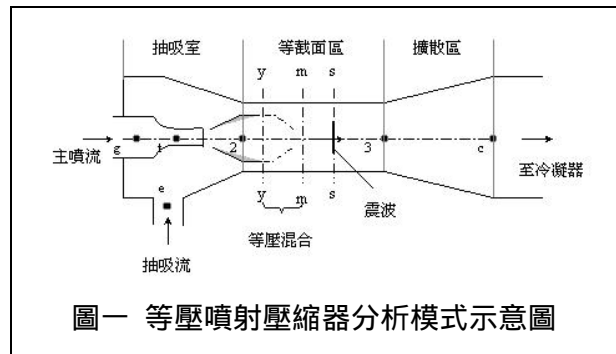
由 Doranter [1] 的分析顯示，影響噴射式冷卻系統的性能最主要的因素為噴射壓縮器，其次為膨脹裝置及增壓裝置的設計，再次是氣體產生器、冷凝器及蒸發器的設計。此外，也與工作介質的種類有關。因此，設計一良好的系統，必須對個別的零組件加以設計並進行測試，最後再進行組裝測試。

### 三、研究方法與進行步驟

本年度計劃即先從微噴射致冷器使用的微噴射壓縮器中噴嘴的設計、製作，以及實驗量測設備的建立開始進行。

#### 噴射器壓縮：

噴射壓縮器之運作，主要是由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所致。噴射壓縮器的性能則受控於兩個阻塞現象，一個存在於通過噴嘴的主噴流，另一個則存在於抽吸流。噴射壓縮器的抽吸比大小，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，以致於雖有很多噴射壓縮器的氣體動力理論分析已被研究者所發表，但皆各應用限制。因此至今，噴射壓縮器之設計仍大多依據試誤法[2, 3]。在本研究中，將會根據



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，最後依照微噴射壓縮器實驗結果，導出微噴射壓縮器設計經驗式，以供設計利用。

噴射壓縮器依照背壓高低，可分為三個操作模態，雙阻塞（double-choking）或臨界（critical）模態、單阻塞（single-choking）或次臨界模態，及逆流（back-flow）或失效（malfunction）模態，其中以噴射壓縮器在臨界模態時性能最高，為本研究之主題。傳統噴射壓縮器的設計因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。本年度的計劃首先以同步輻射研究中心所發展的類 LIGA 製程進行噴射壓縮器中第一部份之微噴嘴製作。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：

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

在上式中， $\gamma_p$  為主噴嘴等熵效率係數，噴嘴出口馬赫數  $M_{pl}$ 、壓力  $P_{pl}$  與截面積  $A_{pl}$  之間的關係為：

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

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

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。

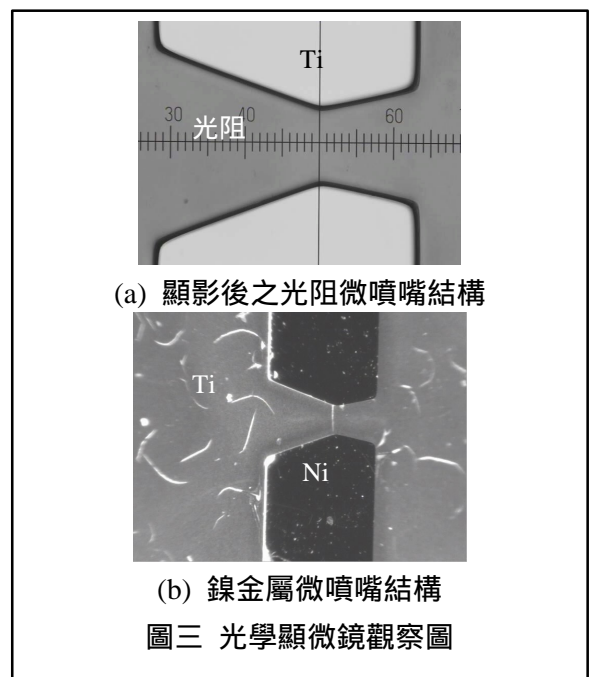
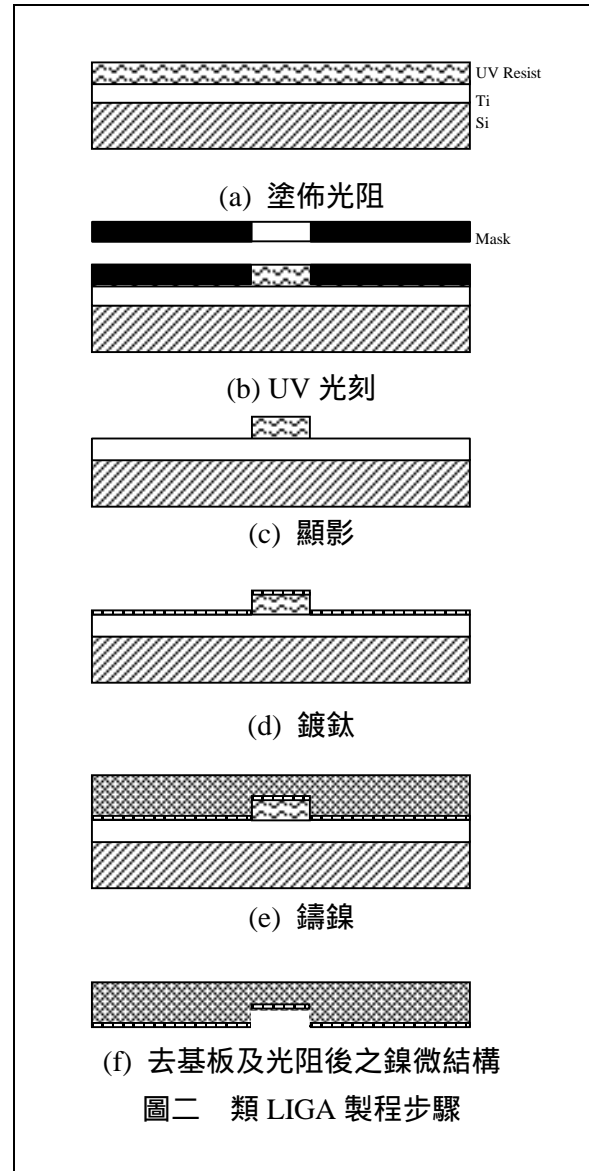
#### 進行步驟

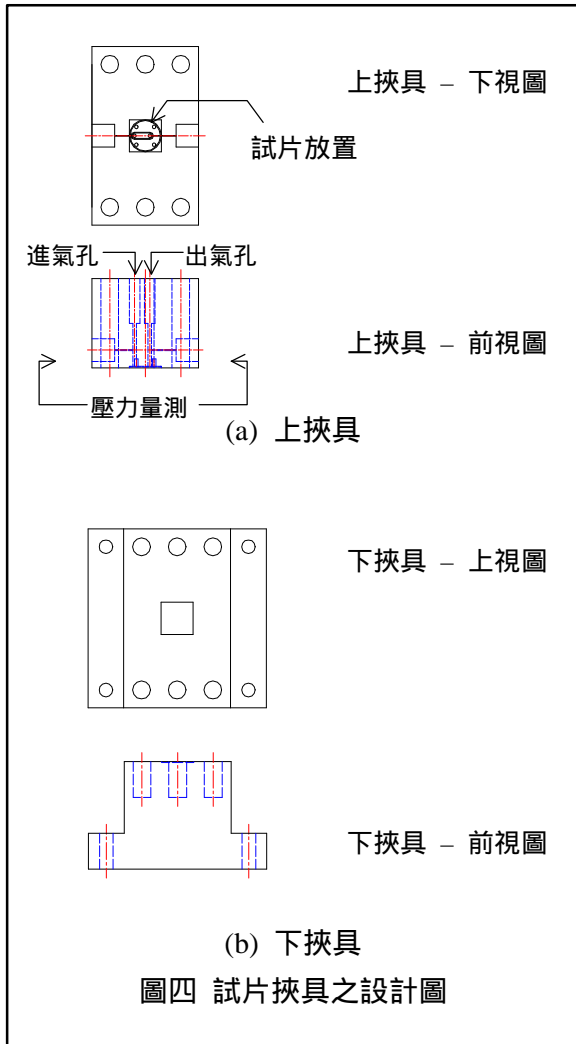
本年度計劃之主要的工作是探討微噴嘴之製作與量測設備之製作及架設，完成之工作項目包括：利用一維理論推導微噴嘴之操作點及外型規劃，以及規劃實驗量測設備。

#### 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出初步鎳結構之主噴嘴。本計畫採取的類 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，接著利用深 UV 光刻術將設計好的光罩圖案轉印至光阻上，顯影後再將鈦濺鍍上，作為鑄鎳時電鍍之起始層，再進行鎳電鑄，鎳需鑄超過光阻的高度，並完全包覆，最後去除矽基板及光阻後，即成為之主噴嘴之鎳金屬微結構。

本計畫首先以深度為  $80 \mu\text{m}$  之深 UV 光刻製程為基礎，以馬赫 2.5 為設計點，製作一系列喉部直徑  $25 \mu\text{m}$  至  $200 \mu\text{m}$  之微





圖四 試片夾具之設計圖

噴嘴，以確定本製程的限制。結果發現喉部直徑  $25\ \mu\text{m}$  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。圖三為計劃中設計之其中一微噴嘴，深度約為  $80\ \mu\text{m}$ ，喉部直徑約  $150\ \mu\text{m}$ 。圖三(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。圖三(b)是去基板及光阻後之鎳金屬微噴嘴結構。

由於以類 LIGA 技術製作的鎳金屬微噴嘴試片大小約  $17\text{mm} \times 17\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ，因此試片夾具設計很重要。在實驗量測設備的規劃方面，實驗設備之部份設計及試片夾具之製造亦已完成，試片夾具之設計如圖四所示。

## 五、計畫成果自評

在本研究中利用類 LIGA 技術配合微電鑄已製作出初步鎳結構之主噴嘴模型，經測試後的确能夠將氣體噴出，但受限於目前壓力量測設備及封裝之限制，故尚無法準確量測氣流之流量；在噴射壓縮器之整體設計方面則持續進行中，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

- [1] Doranter, R. et Lalle, 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。