

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 ()

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89 - 2218 - E - 002 - 063 -

執行期間： 89 年 08 月 01 日 至 90 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 90 年 10 月 30 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 ()

Theoretical and Experimental Study for a Micro-Ejector Cooling System

計畫編號：NSC 89-2218-E-002-063

執行期限：89 年 8 月 1 日至 90 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

本計畫的工作重點在於進行微噴射致冷器(micro-ejector cooling system)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。在第一年的工作是各組件之設計與量測設備之製作及架設，以及系統和各零組件之細部規劃、設計，其中包括：利用一維理論推導各組件之操作點及外型規劃、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，。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 work aims to develop a

micro-ejector cooling system. The device is suitable for miniaturization due to its simple construction without moving parts. The LIGA-like process was used to fabricate respective component in the present study. 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, the designs on the experimental setup and the sample holder have been completed. A series of micro-nozzles with various geometries were successfully fabricated by the LIGA-like process through the facilities of SRRC.

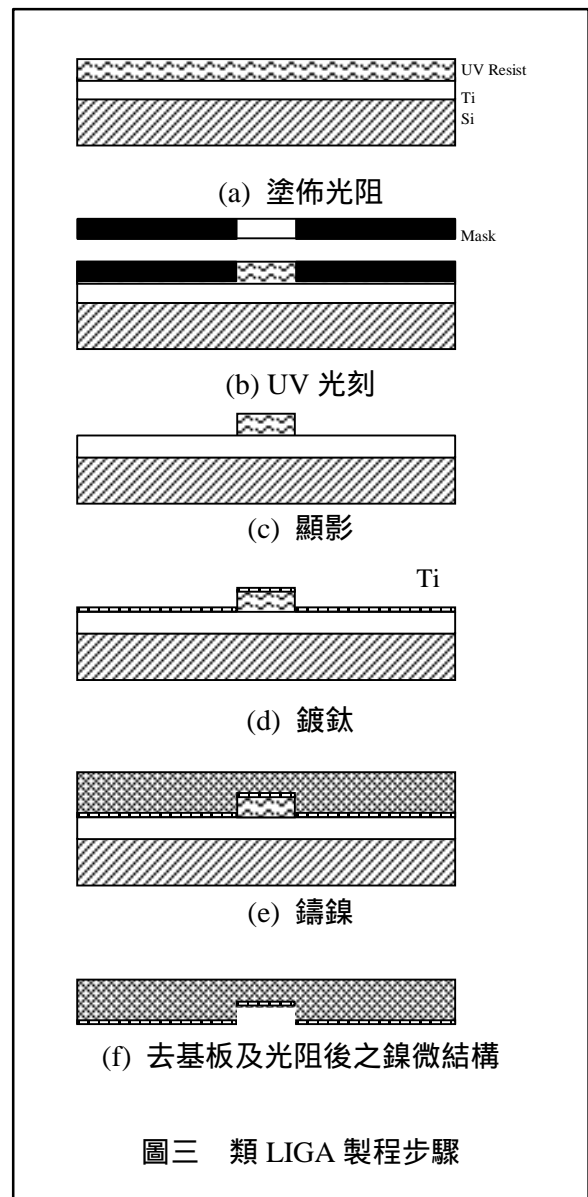
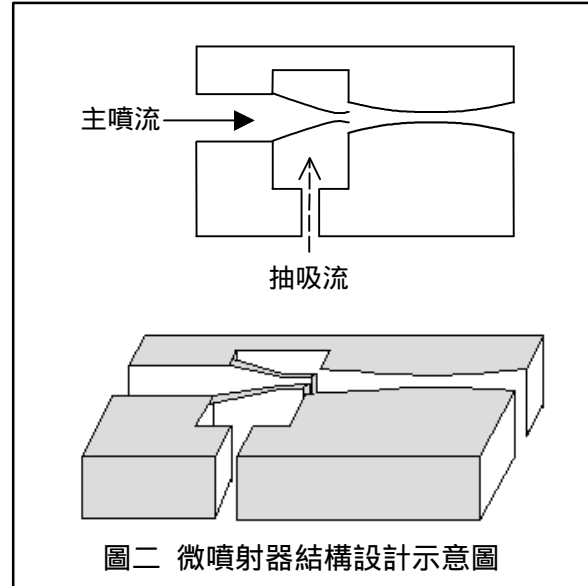
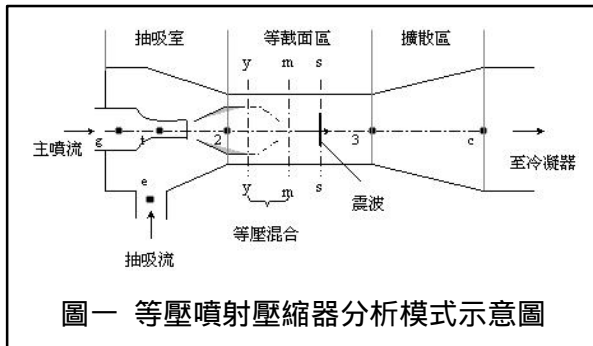
Keywords: micro-ejector cooling system, LIGA-like process

* e-mail : phchen@ccms.ntu.edu.tw

二、緣由與目的

二十一世紀的高階的散熱系統中，微噴射致冷器應是不錯的選擇，其主要由噴射壓縮器、氣體產生器、氣體蒸發器、冷凝器、增壓裝置及膨脹裝置等元件所組合而成，因它具有抽吸蒸發器冷媒之特性，故能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。

其工作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(主流體)，進入噴設壓縮器中的主噴嘴膨脹為低壓氣體，而將蒸發器內之飽和氣體(副流體)，吸入噴射壓縮器之混合區內，經由等截面區充分混合後，由擴散區增壓噴出，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將傳統冷氣系統的壓縮機取代，系統中並無動件，而且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、冷凝器及蒸發氣器的設



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

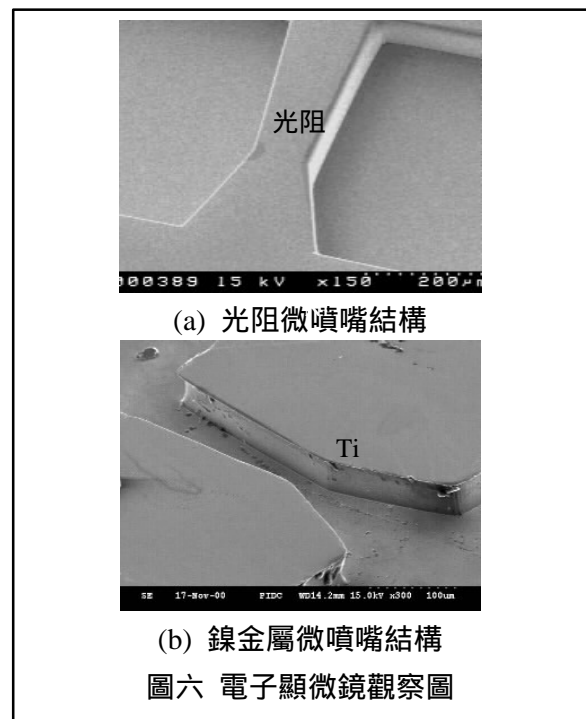
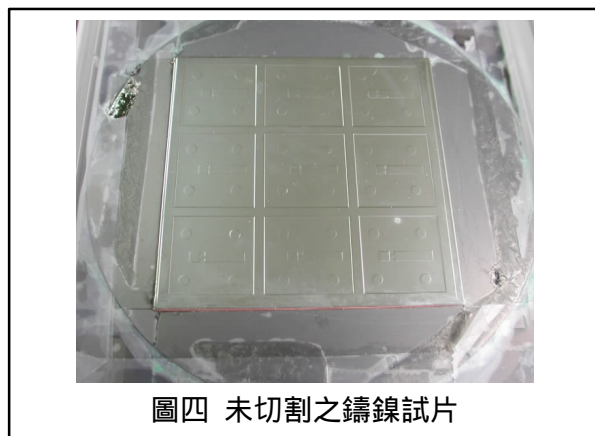
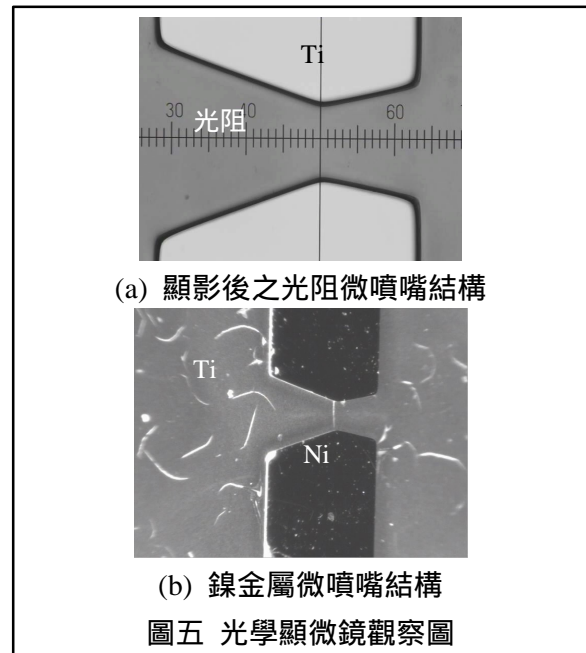
本計畫以理論分析及實驗量測，對微噴射致冷器中各種影響參數作深入之探討，其中包括實驗設備之設計、製造、測試及校正，系統及各零組件細部規劃與設計，系統之組裝、性能測試、理論分析及最佳化設計。本年度計劃先從微噴射壓縮器中噴嘴的設計、製作，及實驗量測設備的建立開始進行。

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，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。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：

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

在上式中， γ_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 (圖二)，以及規劃實驗量測設備。首先以同步輻射研究中心所發展的類 LIGA 製程 (圖三) 進行噴射壓縮器中第一部份之微噴嘴製作。

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鑄結構之主噴嘴。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，作為鑄鍊時電鍍之起始層，再進行鍊電鑄，鍊需鑄超過光阻的高度，並完全包覆 (圖四)，最後去除鋁基板及光阻後，即成為之主噴嘴之鍊金屬微結構。

計劃首先以深度為 $80 \mu\text{m}$ 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，因而造成在電鑄鍊時光阻剝落。圖五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)是去基板及光阻後之鍊金屬微噴嘴結構。圖六則是電子顯微鏡觀察圖。

由於以類 LIGA 技術製作的鍊金屬微噴嘴試片大小約 $17\text{mmD}17\text{mmD}1.5\text{mm}$ ，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，如圖七和圖八所示。

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能夠將氣體噴出之鍊結構主噴嘴模型。受限於目前壓力量測設備

及封裝經之限制，尚無法準確量測氣流之流量；光學觀測設備方面，已完成初步架構與測試，待增設影像擷取系統後即可做進一步量測。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。

