

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

計畫：探討氟碳介電液在微小尺寸介質中的沸騰熱流特性(1/3)

計畫編號：NSC88-2212-E-009-012

執行期限：87.8.1~88.7.31

主持人：盧定昶

一、中文摘要

本研究主要的目的是研究微電子元件散熱的方法，利用各種不同表面加工的水平平板於介電液 FC-72 中作池核沸騰熱傳分析。所用的表面加工方式有光滑表面及噴砂表面二種，其材質為銅，幾何形狀為 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 面積的水平平板，厚度則為 2mm。所用的加熱方式為控制電壓與電流來對工作流體加熱，加熱範圍為 0 至 55 瓦，介電液 FC-72 在一大氣壓和飽和溫度 56.6°C 下進行水平加熱的池核沸騰試驗，以瞭解不同結構的熱傳增強表面對池核沸騰熱傳性質的影響，進而找出較佳的熱傳增強表面結構及影響池核沸騰熱傳現象的參數。

Abstract

This research is to investigate of the cooling technique of microelectronics by using a heated horizontal plate with different surface in order to analyze the pool boiling heat transfer characteristics of the FC-72 dielectric fluid. Smooth cooper surface and rough surface are used with geometry $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ area and 2mm thickness. The heater is controlled by

the current and voltage with a DC power supply. The experimental range is 0~50 W in one atmosphere and saturated temperature 56.6°C of the dielectric fluid FC-72. This experiment is to find out the effects of different enhanced surfaces on the pool boiling heat transfer coefficients in order to find out the correlations of related parameters of the pool boiling heat transfer phenomena.

二、計畫緣由與目的

在目前電子產業的發展趨勢已逐漸朝向微電子元件上的技術上推進，在此前提之下勢必要縮小電子元件的幾何尺寸，而且電晶體的密度和電子晶片的運算速度快速地增高，導致所散發出來的熱通量隨之增加。而電子元件會因為此原因引起高溫，產生訊號干擾問題，影響其工作效能。在微電子元件的傳統冷卻方法上，最為普遍的是靠風扇與散熱鰭片來對空氣作強制對流，與元件作熱交換，但是因為風扇本身會對元件訊號產生干擾，而且空氣的熱傳係數較差，所以我們必須發展新的冷卻方式以解決電子元件面臨高溫的問題。而且當晶片散出的熱通量接近或者超過 $10\text{W}/\text{cm}^2$

時，就不能再採用傳統式的冷卻方式【1】，所以介電液應用於電子元件散熱是未來必然的趨勢。

電子元件較佳的冷卻的方式有微熱管的應用以及浸泡式冷卻方法 (immersion cooling)，其中以浸泡式冷卻最有效率。最早使用直接液冷的紀錄可追溯到 1940 年代末期的軍用電子系統，但是這項技術直到最近才開始被重視，以解決數位電腦的高溫問題。在 1980 年代末期這項液冷的技術成功應用於超級電腦，如 Cray-2，它藉由氟碳介電液 FC-77 局部沸騰造成的對流改善系統的高溫問題，減少系統的雜訊，同時也減少電子元件的封裝比重與接觸熱阻【2】。介電液是一種不起化學作用、無毒性及高介電強度的液體，目前已開發成功的氟碳化合物如 FC-72 介電液來作沸騰熱傳會比空氣作強制對流的方式要來得好，其熱傳係數大約高於空氣二個次方【1】。所以近年來以介電液體 (dielectric fluid) 來對電子元件作直接冷卻，或者應用介電液於微小管道熱交換器 (micro channel heat exchanger) 內進行熱交換的技術已逐漸受到重視，利用相變化過程中的核沸騰區域有高性能之熱傳特性，應用於數位電腦、電源供應器及高功率電子通訊器材等電子設備，將成為一個有效的冷卻方法。

本研究的目的主要是研究微電子元件 (如 CPU，半導體晶片) 於介電液中的池核沸騰熱傳特性。我們利用水平加熱表面來模擬電子元件，並且同時比較不同表面處理的熱傳特性 (光滑表面及噴砂表面)，進而求得池核沸騰熱傳關係式以及找出有效的池

核沸騰區域，但有效的池核沸騰區域卻受限於臨界熱通量 (Critical Heat Flux) 的存在，所以在實驗中我們必需找出臨界熱通量的值，以便找出有效的池核沸騰區域。

近年來有許多學者已開始從事這方面的研究。J.Y.Chang 和 S.M.You【3】在一大氣壓下用介電液 FC-72，對五種不同顆粒大小的多孔性表面作池核沸騰測試。在實驗結果顯示上他們發現，對於多孔性塗層加熱面而言，當熱通量小於 $2.5W/cm^2$ 時，顆粒愈大的表面有愈高的熱傳係數，亦即有較佳的增強效果，這是因為較大的顆粒愈能在過熱液層內增加其成核孔穴密度所致；但在熱通量大於 $2.5W/cm^2$ 時，顆粒愈大的表面其熱傳係數愈低，這是因為大尺寸的厚度會在液氣交界面的通道造成較高的水阻 (hydraulic resistance)，而且塗層物的熱傳導係數較低，產生了額外的熱阻，使得在高熱通量時增加了其表面過熱度。

M.Arik 和 A.Bar-Cohen【1】使用介電液對各種不同的微電子元件做池核沸騰試驗，他們發現使用微多孔性塗層的晶片浸泡在高沸點的氟碳化合物中，其臨界熱通量可到達 $60W/cm^2$ 。

Anderson 和 Mudwar【4】用介電液 FC-72 對三種不同表面處理的銅片 ($12.7mm \times 12.7mm$) 作池核沸騰熱傳分析，其三種不同表面處理的銅片分別為：用噴砂及氣體沉積方式改變表面粗糙度、表面延伸出的微鰭結構及 $0.3mm$ 人工成核孔穴群。他們由實驗結果發現，增加表面粗糙度會使得沸騰現象較早發生，而減少遲滯現象，表面微鰭結構能明顯增強熱傳，但也同時增大了遲滯現象；在表面鑽孔的

銅片由實驗結果顯示對沸騰曲線並沒有影響，他們同時也指出增加兩次實驗之間的靜置時間 (nonboiling waiting period)，會增大起始過熱度和遲滯現象。

You、Bar-Cohen 和 Hong【5】以介電液 FC-72 直徑 0.51mm 的電熱絲作池核沸騰測試，以了解溶氣量 (dissolved gas content)、壓力、次冷度對沸騰熱傳的影響。其電熱絲的構造主要是由石英圓柱外圍噴上一層厚度約 $0.1\mu\text{m}$ 的白金，然後在白金的外圍再噴上厚度約 $0.05\mu\text{m}$ 的砂，他們首先將 FC-72 與空氣做不同比例的混合，結果發現當溶氣量小於 0.0025 moles/mole 時，對起始沸騰的影響很小；但如果溶氣量高於 0.0056 moles/mole 時會大幅減少沸騰起始所需的過熱度，且提高了熱傳係數。當壓力保持在一固定值時，溶氣量愈高，則臨界熱通量的值愈高。次冷度會明顯影響部份發展核沸騰區 (partial-developed nucleate boiling regime) 的熱傳，至完全發展區 (fully-developed regime) 時，效應則變小。

三、研究方法

此研究所進行的實驗為水平表面之池核沸騰裝置。整個系統係由電加熱系統、測試容器、冷凝系統、環控恆溫系統及數據擷取系統五大部份所組成，如圖 2-1 所示。

測試容器內可放置垂直或水平的測試基板及加熱平板，同時在容器內有壓力計與二支熱電偶。在測試段方面如

圖 2-2 所示，在一鐵氟龍基板上放置一絕緣鎳鉻電阻片作為加熱器，其上放置測試平板表面積為 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ ，厚度為 2mm，在測試平板下面埋有四支熱電偶，用以量測測試平板的平均溫度，並與測試容器內量測飽和溫度的熱電偶做比較，可求得其過熱度，加熱器的加熱電源由一直流 DC 電源供應器控制，由此可量測各測試平板於 FC-72 介電液內的池核沸騰熱傳係數。

四、結果與討論

圖 3-1 及圖 3-2 分別為 FC-72 於光滑表面及噴砂表面在一大氣壓下的沸騰曲線。由圖可看出噴砂表面有明顯的熱傳增強效果，這是因為在過熱液體邊界層上成核孔穴密度增加之故。但隨著熱通量的增加，噴砂表面的熱傳增強效果有下降的趨勢，這是因為在高熱通量時所生成的氣泡會聚合在一起，阻礙了氣泡的脫離，影響熱傳增強效果。

五、計畫成果自評

本計畫是採用實驗方法，對不同表面加工的平板作池核沸騰實驗，進而找出較佳的熱傳增強表面結構及影響池核沸騰熱傳的參數，以供電子元件冷卻設計用。惟熱通量受加熱片功率限制，目前仍未能達臨界熱通量，正設法改進中。

六、參考文獻

1. Arik, M., BarCohen, A., 1998 "Immersion Cooling of High Heat Flux Microelectronics with Dielectric

Liquids”, International Symposium on Advanced Packaging Materials”, pp. 229-247.

2. Mudawar, I., Anderson, T. M., 1993, ”Optimization of Enhanced Surfaces for High Flux Chip Cooling by Pool Boiling”, Journal of Electronic Packaging, Vol.115, pp.89-100.

3. Chang, J. Y, and You, S. M., 1997, ”Boiling Heat Transfer Phenomena from Microporous and Porous Surfaces in Saturated FC-72” Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.40, No.18, pp.4437-4447.

4. Anderson, T. M., Mudawar, I., 1989 ”Microelectronic Cooling by Enhanced Pool Boiling of a Dielectric Fluorocarbon Liquid”, J. heat transfer, Vol.111, pp.752-759.

5. You S. M., Bar-Cohen A., Hong Y. S., 1995, ”Effects of Dissolved Gas Content on Pool Boiling of a Highly Wetting Fluid”, J. Heat Transfer, Vol.117, pp.687-692.

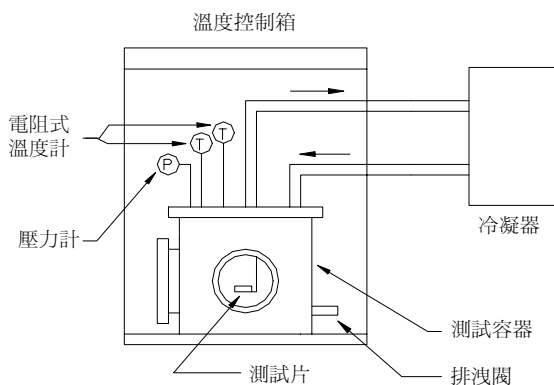


圖 2-1 系統環路示意圖

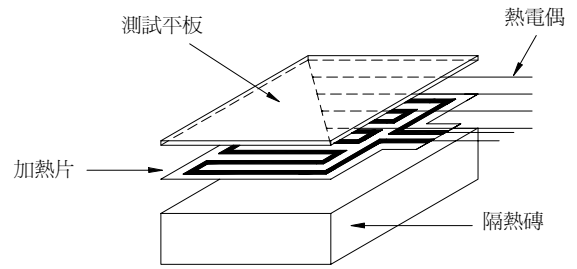


圖 2-2 加熱平板之結構圖

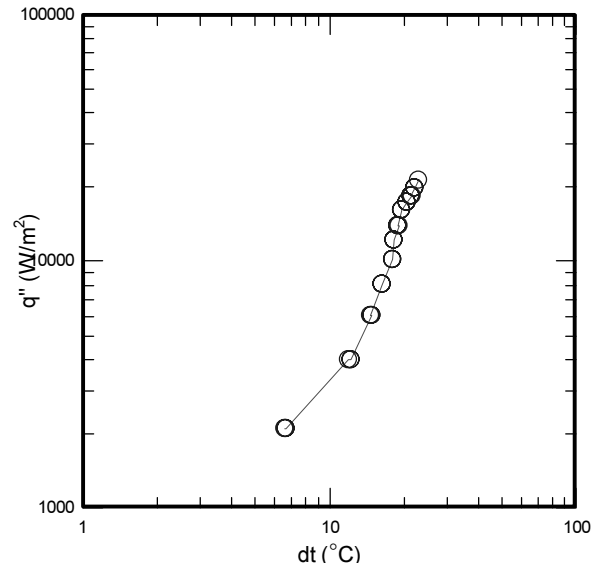


圖 3-1 光滑表面於 FC-72 之沸騰曲線圖

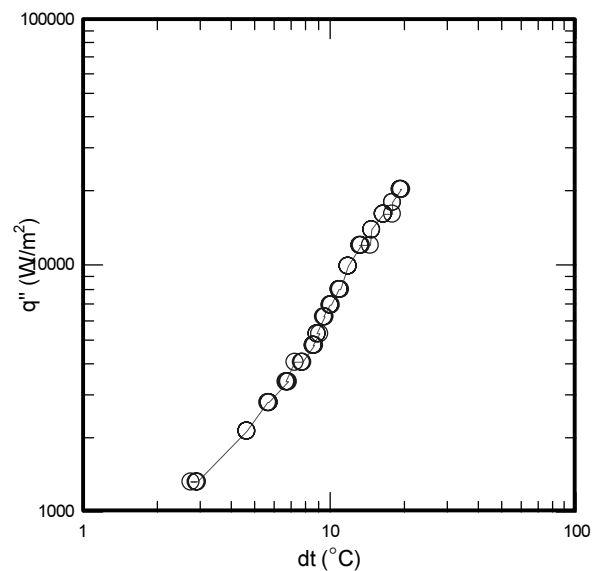


圖 3-2 噴砂表面於 FC-72 之沸騰曲線圖