

科技部補助專題研究計畫成果報告

(☐期中進度報告/☒期末報告)

奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究

計畫類別：☒個別型計畫 ☐整合型計畫

計畫編號：MOST 104-2221-E-157-008-

執行期間：104 年 8 月 1 日至 105 年 7 月 31 日

執行機構及系所：中華科技大學航空機械

計畫主持人：吳聖俊

共同主持人：

計畫參與人員：林信介、顏士軒

本計畫除繳交成果報告外，另含下列出國報告，共 3 份：

☐執行國際合作與移地研究心得報告

☒出席國際學術會議心得報告

期末報告處理方式：

1. 公開方式：

☐非列管計畫亦不具下列情形，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

2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：☒否 ☐是

3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考 ☒否 ☐是，_____（請列舉提供之單位；本部不經審議，依勾選逕予轉送）

中 華 民 國 105 年 8 月 26 日

目錄

摘要.....	II
Abstract.....	III
1. 前言.....	1
2. 文獻回顧	3
3. 研究目的.....	5
4. 實驗方法與設備.....	5
4.1 研究疊層組裝法.....	5
4.2 接觸角量測.....	8
4.3 可視化觀測系統.....	8
4.4 壁面溫度及工質溫度計算.....	11
5. 結果與討論.....	12
5.1 接觸角量測.....	12
5.2 疏水可視化結果.....	13
5.3 表面改質冷凝實驗結果.....	15
5.4 進行冷凝熱傳之量測.....	16
6. 結論.....	16
7. 計畫成果自評.....	17
8. 參考文獻.....	17

摘要

隨著電子科技的迅速發展，電子冷卻議題愈益重要，高功率密度之二相散熱元件受到一定的重視，二相元件中冷凝為重要的機制之一，而冷凝熱傳增強可提升二相元件整體性能，或縮小元件空間。表面改質為提升冷凝熱傳的有效技術之一，而表面改質技術中之超疏水性表面，可為冷凝表面形成更小液滴進行滴式冷凝，大幅提升冷凝熱傳。超疏水性表面改質方法其中之一的奈米疊層法，具備製作成本較低、環保，且可製作出超疏水($\theta > 150^\circ$)之表面，且不破壞表面保持材料本體之特性的優點。也因此本計畫將採用奈米疊層法，進行超疏水性表面改質，欲進行冷凝熱傳增強之研究。

本計畫運用奈米疊層法進行表面改質，使表面其具超疏水性，以增強冷凝時之冷凝熱傳行為。疏水性表面改質初步是利用奈米粒子先製作出親水性表面，再運用低溫化學氣相沉積將氟矽烷對親水表面進行改質成疏水性表面，先建立改質層數與超疏水性的關係，接者將探討超疏水性對於冷凝行為熱傳。結果發現，最佳的疏水接觸角發生在改質層為18層之 $\theta = 153^\circ$ ，成功建立超疏水表面，冷凝可視化觀測與量測時，平板擺置與垂直($\alpha = 90$)方向其冷凝效果平均提升60%以上，而初始冷凝最大效益提升約500%。而冷凝熱傳係數(h_c)量測結果，發現本實驗的冷凝熱傳係數達到(h_c)=40kw/m²k。

關鍵字：奈米疊層、表面改質、冷凝、超疏水性

ABSTRACT

With rapid advancement in electronics, electronic cooling is also becoming more important, and special attention has been given to high heat transfer capacity two-phase cooling devices. Condensation is one of the key mechanisms in two-phase devices, and condensation performance enhancement can either increase the performance of the device or decrease its size. Surface modification is one effective method to enhance condensation, and superhydrophobic surface produced by surface modification can allow smaller droplets to form on the condensation surface and droplet condensation to occur, significantly increasing condensation heat transfer.

Nanoscale bilayer assembly, one of the methods for superhydrophobic surface modification, is low-cost, eco-friendly, and able to produce superhydrophobic surface ($\theta > 150^\circ$). This method also doesn't harm or change the surface and its properties, thus nanoscale bilayer assembly superhydrophobic surface modification possesses high potential for application. Thus, this project use nanoscale bilayer assembly method to perform superhydrophobic surface modification and investigate the effect on condensation heat transfer performance enhancement.

This project use of nanoscale bilayers assembly method for surface modification on stainless steel flat plates, making the surface superhydrophobic and enhancing condensation heat transfer. During the superhydrophobic surface modification process, hydrophilic surface is first created by nano particles, and then chemical vapor deposition of fluorosilane is performed on the hydrophilic surface to render it superhydrophobic. The result show that the best hydrophobic contact angle of the number of nanoscale bilayers is 18 bilayers and contact angle of 153° , successful production of superhydrophobic surface. Use modify hydrophobic surface for condensation visualization and measurement, find the flat place in a vertical orientation average up to 60%, the initial state maximum increased about 500%. Experimental results show that condensation heat transfer coefficient (h_c) approximately $40\text{kw/m}^2\text{k}$.

Key word: Nanoscale bilayers, surface modification, condensation, super-hydrophobic

1.前言

以電子冷卻技術而言，高功率密度的散熱方法，大致上以強制對流、二相流等為主(如圖 1)，其中二相流是最具有潛力發展為更高功率密度散熱需求的技術，其物質在相變化時，因具有極高潛熱的特性，能大幅吸收熱量。運用二相流的元件大多是以沸騰或蒸發機制移除熱量，且大部份都需要冷凝機制的伴隨，冷凝工作流體完成一個循環，因此冷凝相對二相元件來說是一個非常重要的機制，也因此冷凝熱傳增強亦是目前許多二相元件欲解決的問題之一。

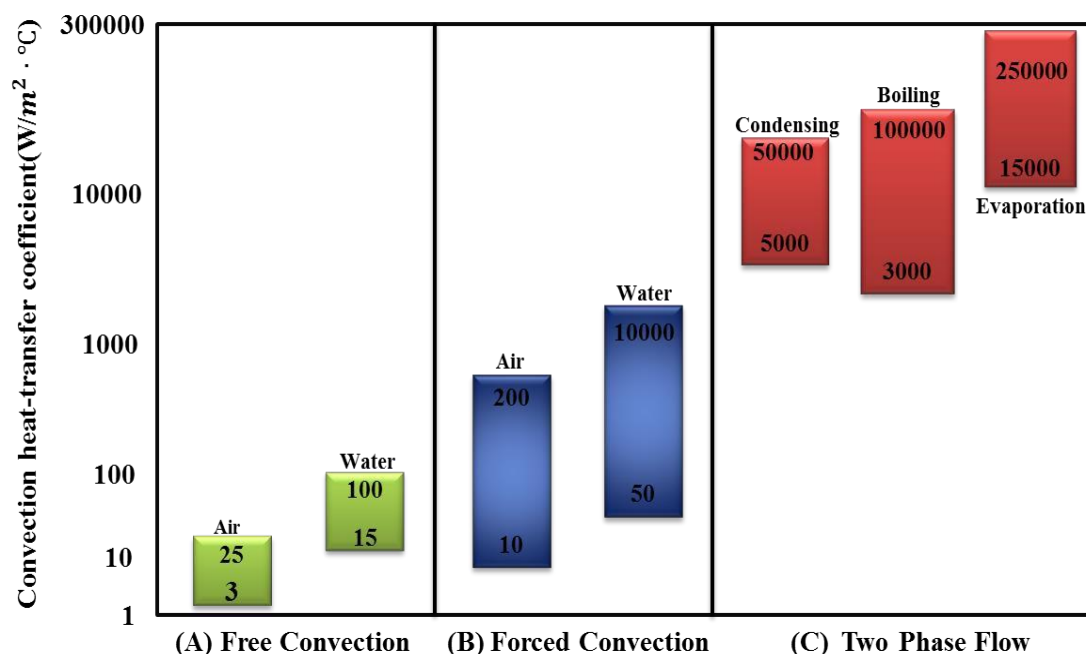


圖 1 散熱方式與熱傳係數關係圖(Peterson [1])

高功率密度之散熱二相元件中，冷凝熱傳是的重要機制之一，增強冷凝不少都從冷凝面之表面改質著手，表面改質具有易於控制冷凝表面接觸角的疏水優點，增加其實際之應用性。

疏水性表面應用範圍相當廣泛(如圖 2)，常應用在電子產品、紡織、玻璃等等，使其具有自潔、防水等功能，以達到產品附加價值之目的，因此世界各國紛紛積極投入相關大量研究與發拓其應用之產品，而發展的速度如雨後春筍般的日益俱增。此外，應用在冷凝時，在疏水的條件下蒸氣能凝結成液滴，有助於運用液滴冷凝，增加滴式冷凝的利用，對冷凝熱傳之增強有益。



Telephone



Cloth



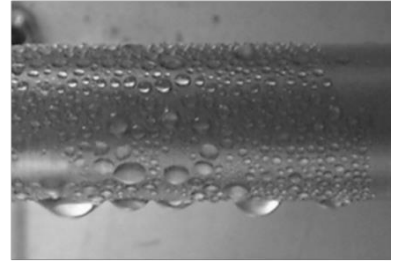
Glass



Keyboard



Car



Condensation

圖 2 疏水性應用示意圖

超疏水性表面則是利用表面濕潤性之接觸角來區分，表面濕潤性接觸角之定義，是由固液界面至液汽界面切線之間的夾角，如圖 3 所示，夾角 θ 即為接觸角，接觸角是由固體、液體合氣體三個介面張力平衡後的結果，在表面能達到平衡之後，接觸角與各個表面能達平衡後之楊式方程式(Young's equation)，如公式(1)所示， θ 為接觸角角度， σ_{SV} 為固-氣表面張力， σ_{SL} 為固-液表面張力， σ_{LV} 為氣-液表面張力。楊式方程式為介紹固、液、氣之間表面能之函數，而接觸角就是三種介面的狀態函數，接觸角大於 90° 稱為疏水性表面，是指表面液滴較能形成珠狀結構而不容易附著於表面，一般而言，接觸角若再大於 150° 則稱為超疏水表面[2]，使表面更不被液滴沾濕。此外，超疏水性若應用於冷凝熱傳，則可有效使冷凝表面形成更小的液滴，可將冷凝表面形成更佳滴式冷凝之效果，以大幅減少液珠佔據冷凝表面之面積使熱阻下降，也因此冷凝熱傳有非常大的助益。

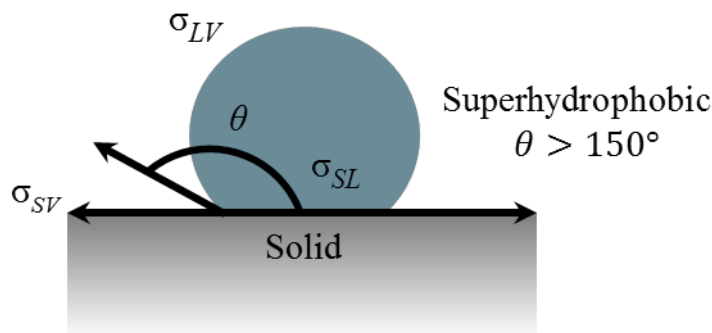


圖 3 接觸角示意圖

$$\theta = \frac{\sigma_{SV} - \sigma_{SL}}{\sigma_{LV}} \quad (1)$$

接觸角在近年來在許多報導中被認為是與熱傳有重要之關係(Phan et al.[3], Forrest et al.[4])。

目前表面改質技術有許多方法可以選擇[2]，常見之表面改質方法可分為以下幾類：

微影法(Lithography)

電漿法(Plasma)

疊層組裝法(Layer-by-Layer Assembly,LBL)

溶膠-凝膠法(Sol Gel)

有機無機混合法(Organic/Inorganic Hybrid)

相較上述方法，其中除凝膠法以外，其餘四種表面改質方法皆可製作出超疏水性表面，因此本計畫考慮成本及環境因素、簡易性以及製作超疏水性能力，本計畫選擇疊層組裝法，且因其具有製作出更超疏水性表面之潛力[2]，且花費成本較低、製程較簡單，此外，疊層組裝法具有不破壞表面保持材料本體之特性的優點，增加其實際應用之優勢，因此本計畫使用疊層組裝法製作超疏水性表面。

2.文獻回顧

疊層組裝法於1997年[5]首度報導製程後，自2006年起美國麻省理工學院學者 Cebeci et al [6]、Ma et al[7]、Bravo et al[8]、Forrest et al[4]相繼將其技術進一步發展，而相關疊層組裝法及其熱傳應用文獻如表1。

表1 文獻回顧表

Year	Author	Substrate	Application	Optimal C.A.	Remark
1997[5]	Lvov et al	Glass	-	-	Manufacturing process
2006[6]	Cebeci et al	Glass	-	5 ⁰	
2006[7]	Ma et al	-	Review paper surface modification	-	LBL Superhydrophobic
2007[8]	Bravo et al	Glass	-	160 ⁰	
2009[3]	Phan et al	Stainless steel	Pool boiling	110 ⁰	
2010[4]	Forrest et al	Nickel wires	Pool boiling	141 ⁰	
2011[2]	Sotiriou	-	Compare surface modification	-	(θ =Superhydrophobic)
2011[9]	Li et al	Quartz	-	115 ⁰	
2013a[10]	Wu et al	Stainless steel	Evaporation	24 ⁰	
2013b[11]	Wu et al	Stainless steel	Evaporation	12 ⁰	
2014[12]	Zhang et al	Glass	-	152 ⁰	
2015[13]	Wu et al	Stainless steel	Evaporation	7 ⁰	

相關疊層組裝法重要文獻回顧如下：

Lvov et al.(1997)[5]首次詳細報導疊層組裝法，將二氧化矽的奈米粒子鍍於玻璃表面，進行不同的改質實驗，例如二氧化鈦奈米粒子之多層組裝以及單或雙層奈米粒子抗反射鍍膜。

Cebeci et al.(2006)[6]報導疊層組裝法製程的重要參數，探討粒徑大小與製程時的 pH 值之參數變化，文中指出在固定的條件下，層數是最直接影響接觸角的重要參數，此外粒徑與濃度亦是影響接觸角的參數之一。

Ma et al.(2006)[7]綜整製作超疏水表面改質方法，文中提及疊層組裝法是由單分子不斷堆疊而成達到奈米結構，其奈米厚度易於控制，故成為備受看好的表面改質製程方法之一。

Bravo et al.(2007)[8]報導疊層組裝法於玻璃表面，其利用兩種不同大小粒徑奈米粒子，使欲改質表面的結構變得更加粗糙，使其達到超疏水性表面，文中提及改質層數超過一定層數之後接觸角很難再提升，最大接觸角為 160° 。

Phan et al.(2009)[3]報導疊層組裝法製作親/疏水性於沸騰熱傳之探討，文中提及將不鏽鋼平板鍍膜不同奈米材料，使其接觸角產生變化，實驗結果發現若要使表面成為親水性，則可鍍 SiO_2 或 TiO_2 等物質，反之，疏水性表面則是鍍上矽烷、鐵氟龍等物質，最大接觸角為 112° 。

Forrest et al.(2010)[4]利用疊層組裝法於鍍線鍍膜 SiO_2 奈米粒子，探討親/疏水性於池沸騰熱傳之影響，文中將改質表面產生奈米結構，使其達到親水性表面，再運用矽烷對親水性表面進行改質成疏水性表面，接觸角變化可由 11° 到 141° 。

Sotiriou (2011)[2]報導多種表面改質製作超疏水性重點在壽命與可靠度等，其中指出疊層組裝法，可能具有製作超疏水性之潛力。

Li et al.(2011)[9]報導利用疊層組裝法的原理，改變製程成份利用 Cu 奈米粒子於石英表面進行疏水性表面改質，實驗結果疊層組裝 5 層時，接觸角由 0° 提升至 115° ，而文中報導接觸角的變化隨疊層層數而改變。

Wu et al(2013a)[10]報導 SiO_2 疊層組裝法製作親水性表面，探討其對蒸發之影響，文中於不鏽鋼平板製作 0、5、10、15 層親水性表面，實驗結果為層數越多接觸角越小，改質至 15 層時最小接觸角為 24° 。

Wu et al(2013b)[11]延續之前研究，繼續利用 SiO_2 疊層組裝法於不鏽鋼平板，增加疊層層數 10、20、30 層親水性表面，找尋最小之接觸角，以探討親水性對蒸發之影響，結果發現接觸角越小蒸發時間隨之變短，改質至 20 層時，最小接觸角為 12° 。

Zhang et al.(2014)[12]報導疊層組裝法於玻璃製作超疏水性表面，文中利用 SiO_2 奈米粒子，並添加 NH_3 改變其製程濃度鍍膜於玻璃基板，實驗結果顯示透過改變層數 5~15 層，到 13 層時具有最大接觸角 152° 。

Wu et al(2015)[13]延續之前研究，繼續利用 SiO₂ 疊層組裝法於不鏽鋼平板，發現最佳親水層數與接觸角在 18 層，進一步將改質表面運用於水的蒸發速率得到，水的蒸發效益有 300% 增強。

國內表面改質在冷凝方面已有學者進行相關的研究[14-22]，得到不少的成果，但是疊層組裝法運用於冷凝方面，亦不多見。經文獻分析，疊層組裝法於親水性表面改質方面，已有報導應用於池沸騰與蒸發熱傳，但是在疊層組裝法運用於冷凝熱傳方面，並未有學者提出相關的報導，超疏水性表面改質方面的文獻，指出疊層組裝法可能是具有製作出 $\theta > 150^\circ$ 的潛力，而超疏水性($\theta > 150^\circ$)可將表面形成更小的液滴，更有效的運用滴式冷凝，具增強冷凝熱傳之潛力。此外，疊層組裝法在相關製作超疏水性表面，重要參數包含粒徑、濃度，與最佳層數與超疏水性之關係，文獻更缺乏進一步的資料提供，文獻中的金屬表面製作疏水層目前接觸角僅約 140° 左右。

本團隊先前發展迴路式熱管，而其性能重要關鍵在於蒸發器與冷凝器，而本團隊初步先研發蒸發器的關鍵-毛細結構，已歷經十餘年，而相關迴路式熱管成果可參照近五年成果績效表，因此對蒸發器也有一定的掌握[23-28]，也因此欲接著研發冷凝器的熱傳增強，以提供未來迴路式熱管之運用，以提升迴路式熱管整體性能，而迴路式熱管目前的結構為不鏽鋼，因此選擇不鏽鋼為基板。

3. 研究目的

有鑑於此，本計畫運用疊層組裝法改質在不鏽鋼平板上，建立超疏水性表面($\theta > 150^\circ$)，以作為增強冷凝熱傳行為之研究，主要目的有三項：

- 一、建立超疏水性之奈米疊層改質技術($\theta > 150^\circ$)。
- 二、建立超疏水性表面改質技術後之層數與疏水性接觸角的關係。
- 三、建立冷凝可視化觀測及冷凝熱傳測試結果。

為達上述目標，本計畫的工作項目如下：

- 一、奈米疊層法超疏水性表面改質之技術建立。
- 二、探討奈米疊層法超疏水性表面改質製作重要參數。
- 三、設計與建立可視化觀測系統，進行可視化觀測。
- 四、設計與建立冷凝熱傳測試系統，進行冷凝熱傳之量測(包括冷凝量及冷凝熱傳係數等)。

4. 實驗方法與設備

4.1 研究疊層組裝法

在進行超疏水性改質之前，必須先製作出親水性表面，再利用氟矽烷改質出超疏水性表面。而親水性表面製作方法大致上依序為三個部分的製作(如圖 4)，包括黏著層(Adhesion layer)、主體層(Body layer)、頂層(Top layer)，黏著層主要是幫助奈米粒子更容易黏著於表面；主體層其對於接觸角的大小有最直接的影響，而層數以及粒徑更是影響接觸角的關鍵；頂層則是要使奈米粒子附著於表面壽命更加延長。

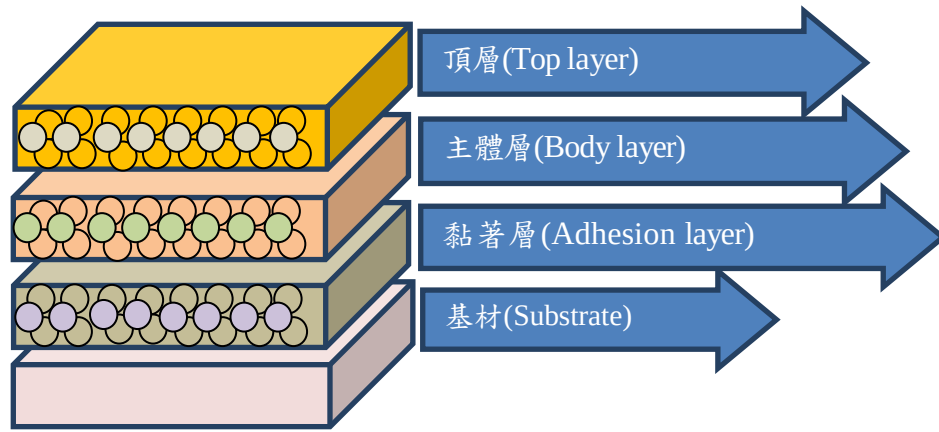


圖 4 疊層組裝法示意圖

黏著部分的製做

如圖 5 為黏著部分，黏著部分共五層，以 poly(allylamine hydrochloride) (PAH) 為陽離子溶液浸泡 10 分鐘，再以前離子水洗掉多餘的正離子浸泡 2 分鐘，陰離子溶液則是用 poly(sodium 4-styrenesulfonate) (PSS)，濃度為 $10^{-2}M$ ，pH 值則是控制在 4.0 浸泡 10 分鐘，再以前離子水洗掉多餘的陰離子浸泡 2 分鐘。

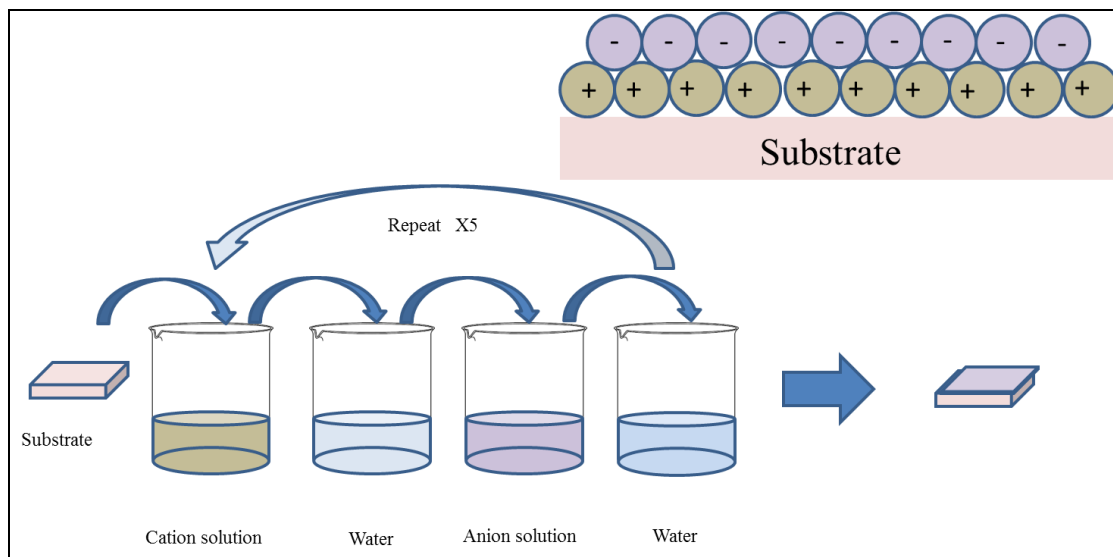


圖 5 黏著部分製作示意圖

主體部分的製做

如圖 6 為主體部分同樣是 poly(allylamine hydrochloride) (PAH) 為陽離子溶液浸泡 10 分鐘，以前離子水洗掉多餘的正離子浸泡 2 分鐘，但在 pH 部分則是更改 pH 值在 7.5，陰離子部分 Bravo et al. [8] 是將分別為 7nm 以及 20nm 粒徑的二氧化矽粒子溶液，讓前進接觸角可達 160° 減少遲滯角度，讓液滴易於滾動。將 0.1M 的 NaCl 溶液用來稀釋兩種奈米粒子濃度至 0.03wt%，其主因在於 NaCl 可讓奈米粒子懸浮以及均勻的分散在溶液中，之後兩者以 1:1 的比例混合，並加入 pH9.0 的緩衝液和 1M 的 NaOH 溶液，將 pH 值控制在 9.0 浸泡 10 分鐘，此為陰離子溶液的製做，再以前離子水洗掉多餘的陰離子浸泡 2 分鐘。本文試做層數分別為 5、10、15、20、25、30 層參考 Wu et al.2013a[10]，觀察角度變化是否會與層數增加有關係。

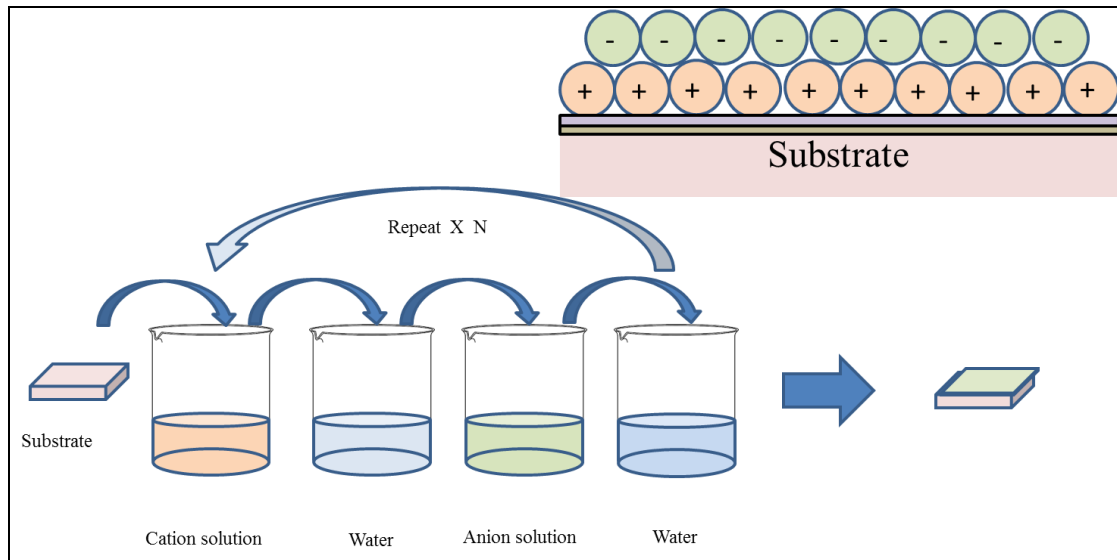


圖 6 主體部分製作示意圖

頂層製作部分

如圖 7 為保護部分同樣是 poly(allylamine hydrochloride) (PAH) 為陽離子溶液在 pH 部分則是 pH 值在 7.5 浸泡 10 分鐘，以去離子水洗掉多餘的正離子浸泡 2 分鐘，陰離子部分 20 nm 粒徑的二氧化矽粒子溶液 pH 部分調製成 9.0 浸泡 10 分鐘，再以去離子水洗掉多餘的陰離子浸泡 2 分鐘，此層是增加粒子間的緊密度，以及增加表面親、親水性的壽命。

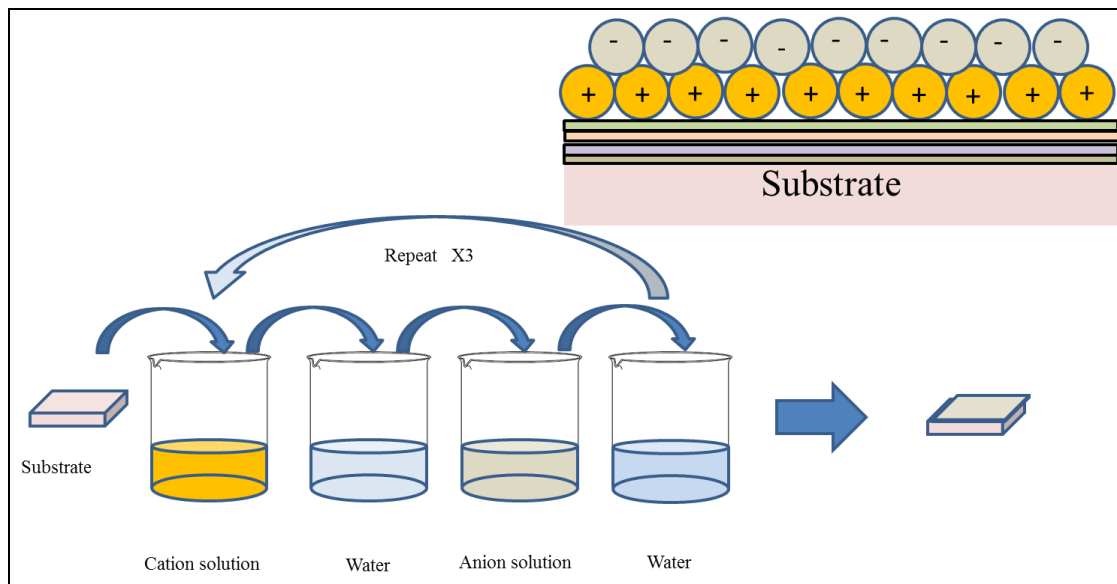


圖 7 保護部分製作示意圖

燒結

完成組裝疊層後，將鍍有奈米粒子薄膜的基材置入燒結爐中進行燒結，以 500°C 持續鍛燒 4 小時，我們參考 Wu et al.2013b[11] 團隊的燒結參數。此步驟旨在於藉由高溫將不需的高分子去除，更可以讓表面的二氧化矽奈米粒子更緊密地複著於基材上，親水完成後成品將放置於接觸角量測儀中量測接觸角，觀察表面上的角度大小。

奈米粒子薄膜疏水改質

通常利用氟系或是矽烷等低表面能的材料度於表面通常可達到疏水的效果。而本實驗參考 Bravo [8] 中所提及之化學氣相沉積法，其所使用的材料為矽烷

1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltriethoxysilane，乃因矽烷類會與矽產生脫脂縮合反應，將鍍上二氧化矽的不鏽鋼平板至入基材槽中，在藥品槽中加入矽烷，再以真空幫浦抽真空，並利用加熱棒加熱至 150℃，製造出低壓高溫的環境以便於矽烷的汽化，接著持續加溫一小時靜置一晚，讓汽化的矽烷能夠通過管才來到基材槽並附著於基材上，最後取出改質之基材，放置接觸角量測儀中，測試疏水接觸角。量測完後將使用冷凝實驗系統來做測試，比對未改質不鏽鋼平板，與疏水改質不鏽鋼平板，做冷凝量的測試。

4.2 接觸角量測

製作完成之超疏水性表面改質，先經接觸角儀量測，以確認其超疏水性表面是否改質成功，本計畫利用接觸角量測系統，量測接觸角之方法為將去離子水液滴滴於改質後之不鏽鋼平板上，將液滴控制低於 0.5ml 的情況下進行量測，以減少因重力而對接觸角造成之影響，待液滴在表面穩定後以高倍率鏡頭拍攝穩定之液滴，擷取穩定狀態的圖片後，再經電腦利用楊式方程式公式(1)計算出其接觸角之大小。

4.3 可視化觀測系統

可視化觀測時(如圖 8 所示)可快速知道超疏水性對於冷凝效果之影響，觀測方法是將改質後之不鏽鋼平板放置恆溫盒，再利用聚苯乙烯發泡材料(熱傳導係數 0.037W/m·k)包覆整個恆溫盒，並將其維持與控制其表面溫度，不鏽鋼板熱電偶埋設示意圖如圖 10 所示，再放置微量天秤，開始進行短時間內冷凝量監測，而整個冷凝量監測的同時並同步控制濕度及溫度，並利用不同拍攝及擺放角度 $\alpha(0^\circ、90^\circ)$ 監測改質後之超疏水性不鏽鋼板，在一定時間內空氣凝結成水之冷凝量以及其面積變化，最後再透過電腦分析，探討超疏水性表面對冷凝熱傳行為之影響。在可視化觀測時，不僅可以透過目測超疏水性對於冷凝之效果，還可以經微量天秤量測之冷凝量，透過公式(2)得到熱傳量(Q)，以探討時間與熱傳量之關係。其中，m 為冷凝量， h_{fg} 為潛熱。

$$Q = m h_{fg} \quad (2)$$

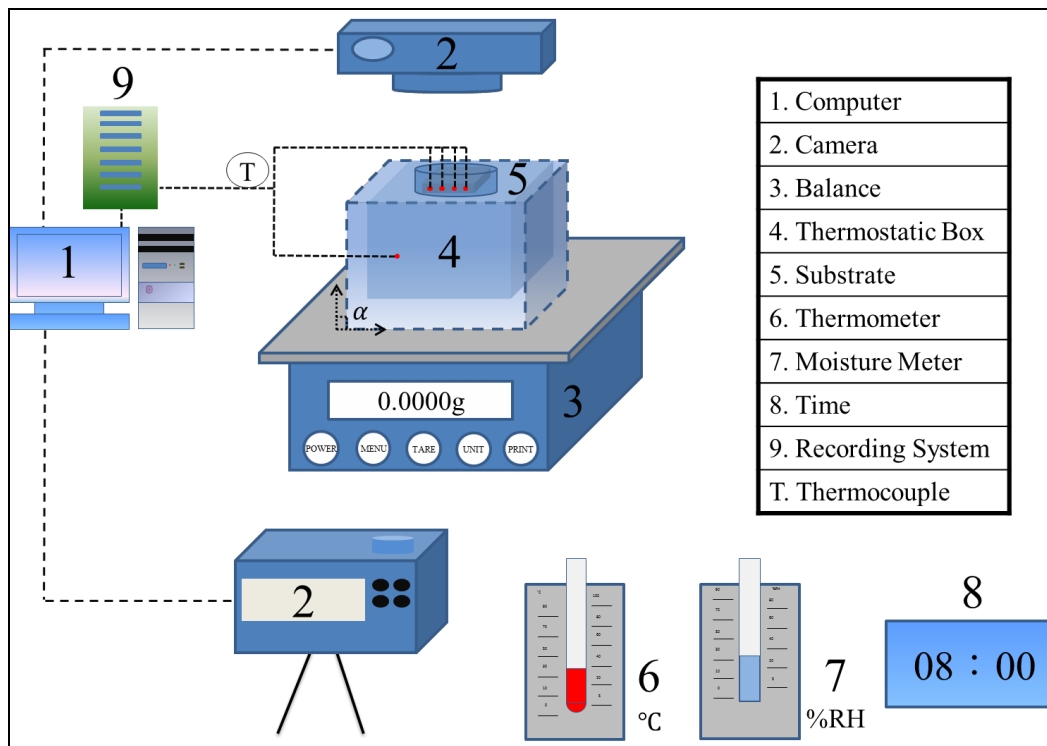


圖 8 可視化觀測系統示意圖

冷凝熱傳測試系統經可視化及冷凝量監測後，再量測其冷凝熱傳係數，以下將介紹本計畫冷凝熱傳系統，如圖 9 所示，測試環路元件主要包含離心式泵浦、蒸氣產生器、測試段、過冷器、儲存槽、水冷器等。測試段頂面由透明的玻璃板封裝以便進行流場觀測，並使用雷射為光源配合高速攝影系統與變焦式顯微鏡進行流場觀測。測試段底部設有冷卻通道，冷卻水溫可藉由水冷器控制。為進行冷凝熱傳測試，測試段內之不鏽鋼平板上下面以及側面皆埋設 T-Type Class1 之熱電偶，以及測試系統整體尚包括測試段出入口處亦安裝有流量，以及溫度、壓力感測器。

本計畫之測試系統循環尚包括溫度、壓力及流量測試元件。其中，量測溫度包含工質進出口溫度及測試段壁面溫度與冷卻水套進出口溫度等。壓力量測使用壓電式感測器量測系統壓力與測試段進出口壓差。流量計主要使用浮球式流量計量測工質流量及冷卻水流量。熱電偶跟壓力計的訊號藉由訊號擷取器擷取，並連接電腦作處理。

冷凝熱傳系統測試時將超疏水性不鏽鋼平板安裝於測試段，再將高壓空氣打入系統內，使系統壓力到達 4 大氣壓後，便開始進行系統測漏。而連接冷凝器與恆溫水槽之冷卻水管，調控恆溫水槽之溫度，使冷卻水溫度達到設定值 20℃，再將儲存槽注入所需之工質量並連結測試系統進行除氣。測試系統之測試段進出口將埋設熱電偶、壓力感測器，並連結至資料擷取器，使溫度與壓力顯示於電腦螢幕上，供量測的觀測與即時紀錄。

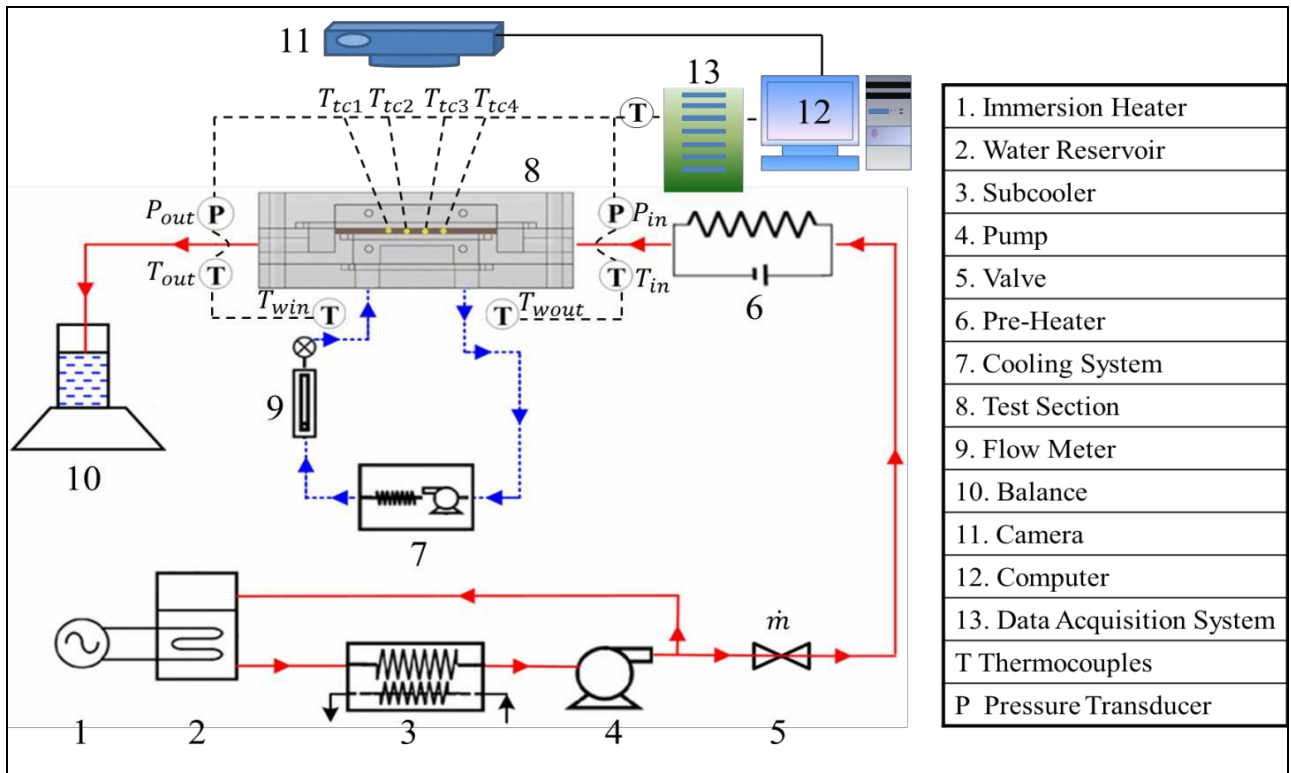


圖 9 冷凝熱傳系統

冷凝熱傳測試時，以固定冷卻水溫度及流量之方式進行實驗，工質由離心式泵浦推動，經過一個過濾器，以確保工質無雜質，工質進入蒸汽產生器後再加熱成過熱蒸汽，工質流量可藉由球閥控制，使入口溫度 T_{in} ，入口壓力 P_{in} 達到過熱氣，經過測試段後，工質可藉由過冷器轉為液相回到儲存槽，完成一循環。

質量流率 $\dot{m}$ 由泵浦及控制閥門調整，如圖 9 所示。質量通率 G 由質量流率 $\dot{m}$ 公式(3)換算而得：

$$G = \frac{\dot{m}}{A} \quad (3)$$

其中 G 為質量通率， $\dot{m}$ 為質量流率， A 為截面積。

$$T_{wall} = T_{tc} + \frac{QH_{tc}}{KA} \quad (4)$$

一旦系統達到穩態，數據擷取器開始紀錄各項量測性質：入口壓力 P_{in} 與出口壓力 P_{out} ，入口溫度 T_{in} 與出口溫度 T_{out} ，不鏽鋼平板溫度 T_{tc1} 、 T_{tc2} 、 T_{tc3} 、 T_{tc4} 以及冷卻水入出口溫度 T_{win} 、 T_{wout} ，紀錄時間為三分鐘，500 毫秒擷取一次，直到當出口無法達到過冷液體時，即終止測試。

4.4 壁面溫度及工質溫度計算

為了求得冷凝表面熱傳係數，必須先求得壁面溫度 T_w 以及工質溫度 T_{sat} 。量測時不鏽鋼平板測試段(如圖 10)，側面置入熱電偶 T_{tc1} 、 T_{tc2} 、 T_{tc3} 、 T_{tc4} 。假設熱電偶到平板壁面間屬一維熱傳導，則可從熱電偶量測 T_{tc1} 、 T_{tc2} 、 T_{tc3} 、 T_{tc4} 之平均溫度，計算平板壁面溫度如公式(4)，而不鏽鋼平板表面工質飽和溫度 T_{sat} 則是利用工質飽和壓力所求得，假設在不鏽鋼平板乾度 1 與 0 的位置壓力等於不鏽鋼平板入口壓力 P_{in} 及出口壓力 P_{out} 。此時可利用線性內插法求得熱電偶正上方工質的飽和壓力，並查表得知工質飽和溫度 T_{sat} 。

其中 Q 為總熱傳率， A 為與冷卻水接觸總面積， H_{tc} 熱電偶到平板壁面距離， K 為不鏽鋼平板熱傳導係數。

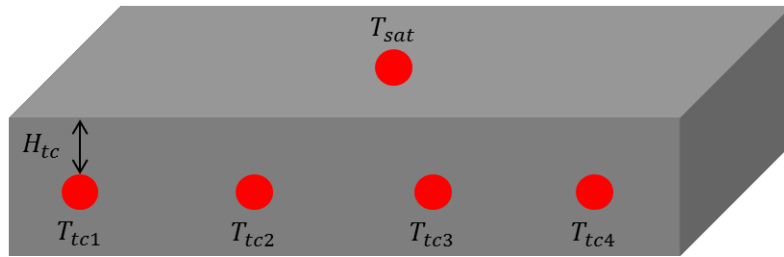


圖 10 不鏽鋼平板熱電偶埋設示意圖

冷凝熱傳係數計算在不鏽鋼平板中熱通量計算主要是以冷凝表面來考慮，針對表面來分析其移熱能力，由入出口焓差值乘上質量流率求得總熱傳率(Q)公式(4)式，再除以總散熱面積(A_t)公式(5)式所示。

$$Q = \dot{m} (h_{in} - h_{out}) \quad (5)$$

$$q'' = \frac{Q}{A_t} \quad (6)$$

最後利用牛頓冷卻公式求得冷凝熱傳係數 h_c ：

$$h_c = \frac{q''}{T_{sat} - T_{wall}} \quad (7)$$

5.結果與討論

5.1 接觸角量測

圖 11 為親水接觸角為改質表面到改質 30 層的相關圖，本實驗對照使用奈米疊層組裝技術且提供接觸角角度進行比較，結果發現在 18 層有最佳接觸角結果為 4° ，圖中(I)為接觸角陡降區，顯示從未改質表面到改質 18 層的角度一直陡降，圖中(II)到改質 19 層後接觸角開始到平穩，為平穩區。

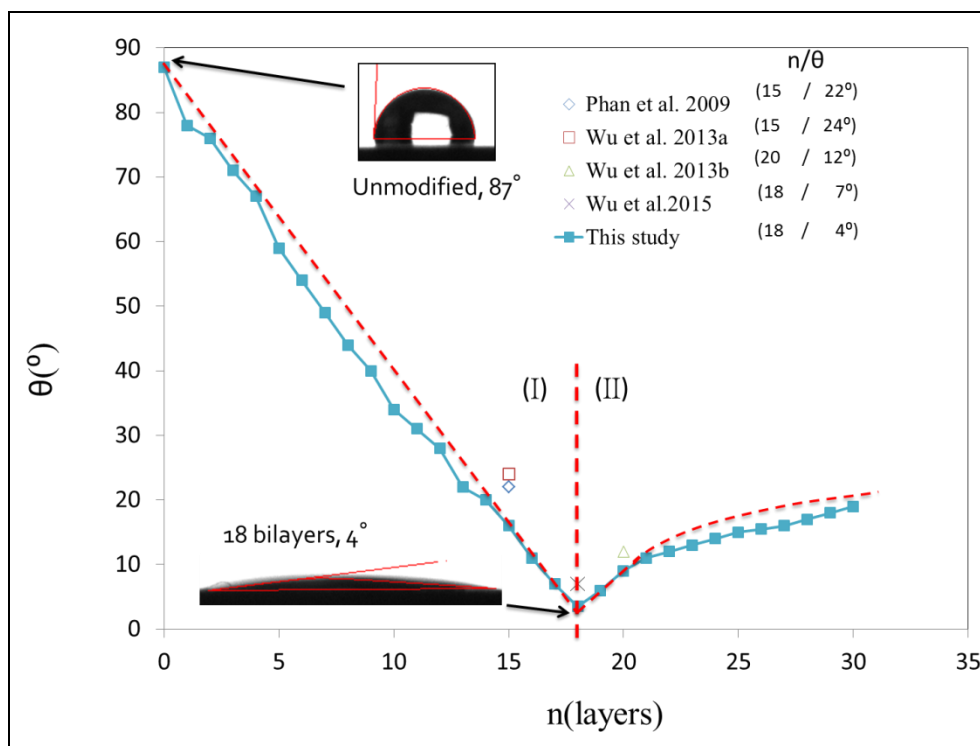


圖 11 改質層數與接觸角關係圖

接觸角量測先量測最佳的親水接觸角與未改質表面(如圖 12)，圖 12-a 所呈現的為改質層數 0 層為改質的不鏽鋼平板表面接觸角拍攝結果，未改質的不鏽鋼平板表面接觸角量測結果為 $\theta=87^\circ$ ，圖 12-b 呈現 18 層之不鏽鋼平板表面接觸角拍攝結果，其接觸角度小於 4° ，大大降低了接觸角度並提升了親水特性。

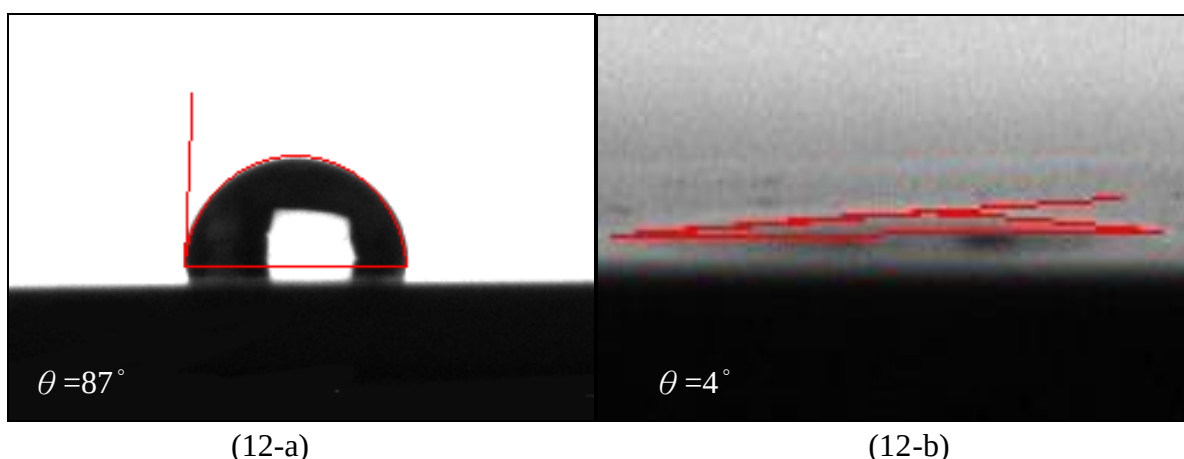


圖 12 未改質與改質 18 層比較圖

圖 13 將選用最佳親水接觸角角度結果進行化學氣相沉積，可發現到在沉積完成後的表面，接觸角達到 153° ，已大於 150° 達到超疏水的金屬表面。

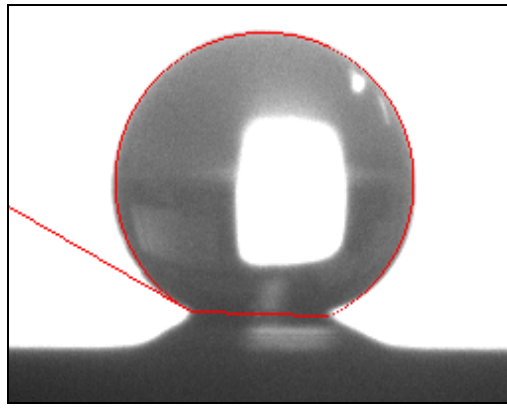


圖 13 疏水表面接觸角 153°圖

圖 14 將觀察到的親、疏水 16、17、18、19 層做成角度與層數關係圖發現到 18 層各式，親水及疏水的最佳層數和接觸角，也比對了文獻[3]Phan 發現，親水文獻為 22°本研究做出 4°的最小接觸角，在疏水文獻為 120°本研究做出 153°的最佳疏水接觸角，本研究都達到了超親水及超疏水表面。

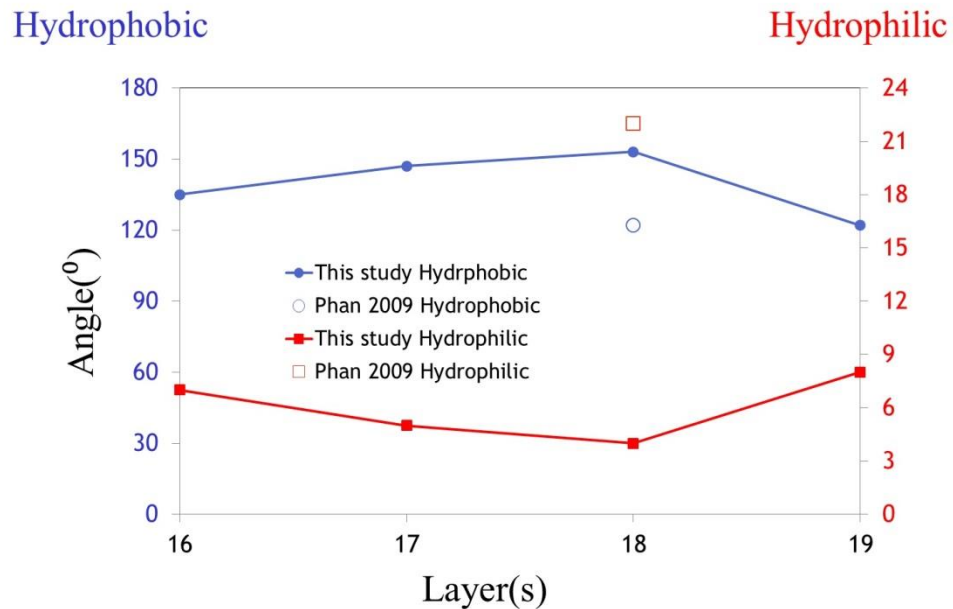
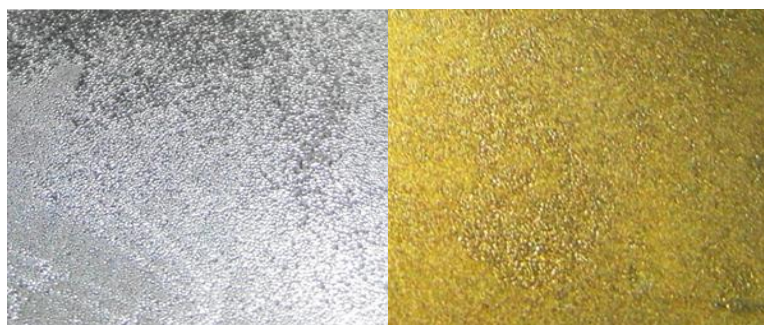


圖 14 (16-19)改質層數與接觸角關係圖

5.2 疏水可視化結果

冷凝系統測試，實驗使用了改質 18 層之最佳疏水表面，其接觸角為 $\theta=153^\circ$ ，進行冷凝量測時，同步做可視化做監測，如圖 15 與 16 為量測表面擺置為平放($\alpha=0$)與表面垂直($\alpha=90$)的結果。如圖 15 冷凝開始形成後，液滴形成滴式冷凝，(a)為第一階段如圖 15(a-i)顯示 $\theta=87^\circ$ 冷凝開始在 42 秒時形成液滴，15(a-ii)是 $\theta=153^\circ$ 在 35 秒形成冷凝與液滴， $\theta=87^\circ$ 形成液滴之時間較長，在第 42 秒即完全形成，如圖 15(a)顯示冷凝開始形成液滴，唯 $\theta=153^\circ$ 形成液滴之時間較短，在第 35 秒即完全形成。(b)為第二階段如圖 15(b-i)顯示冷凝形成液膜， $\theta=87^\circ$ 在第 15 分鐘即完全形成液膜。如圖 15(b-ii)顯示， $\theta=153^\circ$ 在第 32 分鐘即完全形成液膜，顯然，具超疏水表面($\theta=153^\circ$)，其變為液膜的時間長於不具疏水($\theta=87^\circ$)之表面，亦即保持液珠的時間較久。但持續觀察與量測發現長時間後，因液體無法有效排除或滑落，二者的冷凝兩相差無幾，及水平擺置($\alpha=0$)冷凝效果不明顯。

(a)



(a-i) $\theta = 87^\circ$ 42 sec

(a-ii) $\theta = 153^\circ$ 35 sec

(b)

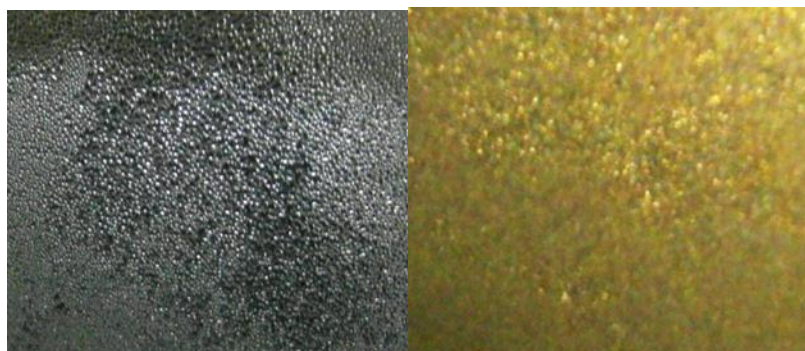


(b-i) $\theta = 87^\circ$ 15 min

(b-ii) $\theta = 153^\circ$ 32 min

圖 15 表面平放($\alpha = 0$)冷凝可視化結果圖

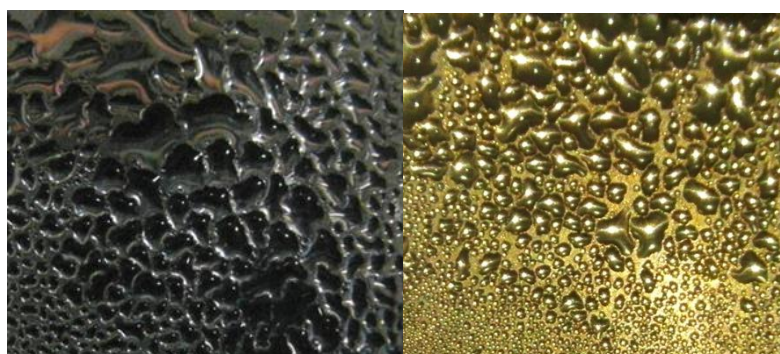
(a)



(a-i) $\theta = 87^\circ$ 39 sec

(a-ii) $\theta = 153^\circ$ 30 sec

(b)



(b-i) $\theta = 87^\circ$ 12 min

(b-ii) $\theta = 153^\circ$ 22 min

(c)



(c-i) $\theta = 87^\circ$ 30 min

(c-ii) $\theta = 153^\circ$ 25 min

圖 16 表面垂直($\alpha = 90$)冷凝可視化結果圖

如圖 16 再將我們的表面垂直擺置($\alpha = 90$)作實驗量測與觀測，(a)為第一階段液珠形成如 16(a)圖顯示冷凝開始皆形成液滴， $\theta = 87^\circ$ 形成液滴之時間較長，在第 39 秒即完全形成，如 16(a-ii)圖顯示冷凝開始形成液滴，唯 $\theta = 153^\circ$ 形成液滴之時間較短，在第 30 秒即完全形成。(b)為第二階段為液膜形成如 16(b-i)圖顯示冷凝形成液膜， $\theta = 87^\circ$ 形成液膜之時間較短，在第 12 分鐘即完全形成液膜。如 16(b-ii)圖顯示冷凝形成液膜， $\theta = 153^\circ$ 在 22 分鐘才形成液膜，因此液滴冷凝時間較久，冷凝效果應相當好。(c)為第三階段如圖 16(c-i) 顯示因液滴自重而重新冷凝 $\theta = 87^\circ$ ，在第 30 分鐘即發生大液滴滑落，但表面仍呈現液膜存在，而液滴也相當大，如圖 16(c-ii)顯示因液滴自重而滑落再重新冷凝，在第 25 分鐘即重新冷凝，重新凝結成新的小液滴。上述結果發現疏水表面不利於液膜冷卻，而易於液滴冷卻，冷凝效益可大大提高，而 $\theta = 87^\circ$ 面形成的液滴較大。因此垂直擺置($\alpha = 90$)，結成的液滴會因自身重量滾落， $\theta = 87^\circ$ 表面上的液膜形成後，雖然也會因液滴自身重滾落於 $\theta = 87^\circ$ 表面，但是液膜容易滯留於表面上，使 $\theta = 87^\circ$ 表面不容易重新結成液滴，導致冷凝效果較差。 $\theta = 153^\circ$ 對液滴冷卻較佳，重複不斷循環凝結液滴，因此對於冷凝量方面上有大大的提升。

5.3 表面改質冷凝實驗結果

表 2 表面平放($\alpha = 0$)凝結量測結果

min	10	20	30	40	50	60
C.A.= 87°	0.086	0.239	0.39	0.549	0.703	0.859
C.A.= 153°	0.103	0.241	0.411	0.564	0.723	0.871

表 3 表面垂直($\alpha = 90$)凝結量測結果

min	10	20	30	40	50	60
C.A.= 87°	0.102	0.535	0.939	1.405	1.885	2.323
C.A.= 153°	0.588	1.174	1.764	2.345	2.933	3.516

接著進行冷凝系統測試，測量出冷凝累積量，紀錄平放與垂直表面的冷凝量如表 2 為表面平放($\alpha = 0$)凝結量測結果，而平放($\alpha = 0$)從 0~60 分鐘累積量相差無幾，平放($\alpha = 0$)時累積效果並不明確，因此使用了 $\alpha = 90$ 度(垂直)凝結量測結果，使用了最佳疏水表面 18 層接觸角為 $\theta = 153^\circ$ ，將累積量測出做成表 3 能夠發現， $\theta = 87^\circ$ 的冷凝量 10 分鐘是 0.102g，10~20 分鐘後提升到 0.433g 可看出這一段的時間因液滴重量太重，致使液滴滾落表面，持續到 60 分鐘，部分片段的冷凝量

快達到部分片段的疏水冷凝量。 $\theta=153^\circ$ 冷凝量可看到 10 分鐘是 0.588g，10~20 為 0.586g，一直到後面 60 分鐘都有相差不少量的凝結，證明了疏水表面效果能一直有效果。圖 17 顯示將表 2、表 3 冷凝量做計算如公式(4)，前 10 分鐘疏水冷凝量遠大於 $\theta=87^\circ$ 冷凝量，提升約 500% 的增強，但是在後面時間的冷凝量卻越來約相近，將最後的冷凝量做計算如公式(4)，提升約 60% 冷凝效果，證明了疏水改質能有效地提升冷凝。

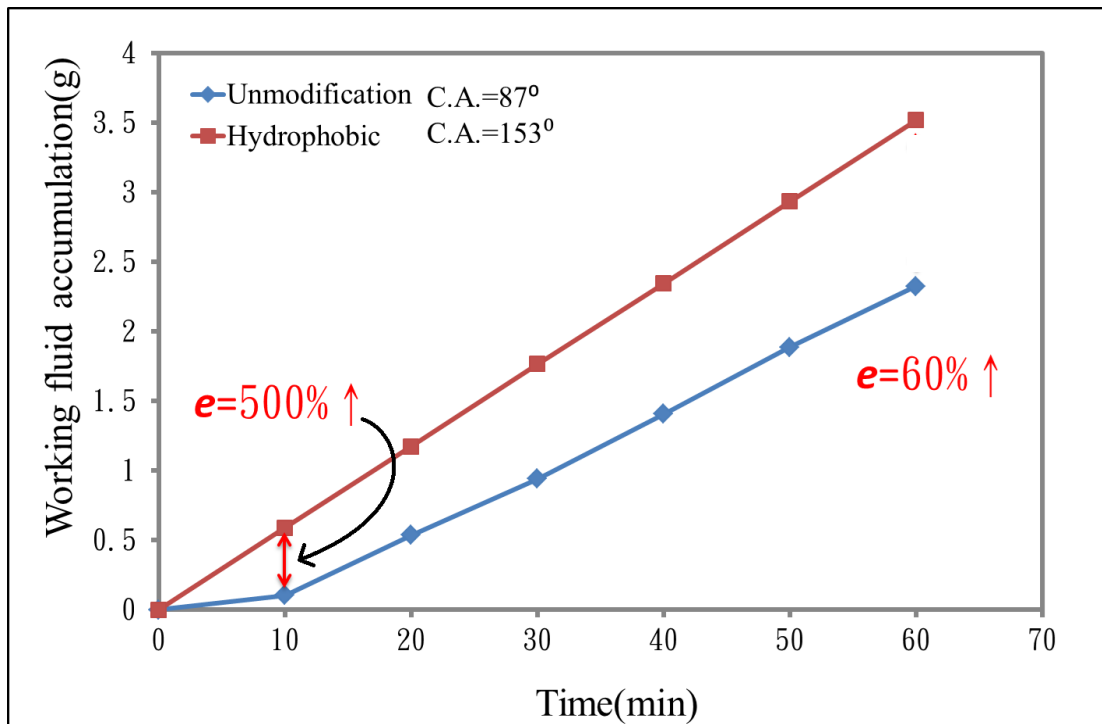


圖 17 時間與工質累積量之關係圖

5.4 進行冷凝熱傳之量測

進行冷凝熱傳測試(如圖 9)，由圖 1 熱傳係數比較圖得知在冷凝係數範圍為 5k~50k，我們將實驗數據帶進公式 7 可得到本實驗的熱傳係數如圖 18，本實驗冷凝熱傳係數(h_c)從 28kw/m²k 一直提升到最大 40 kw/m²k 左右。

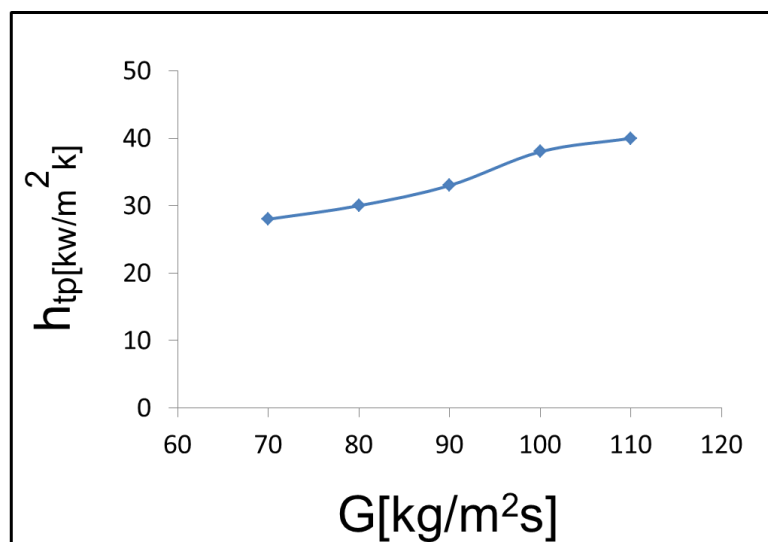


圖 18 熱傳係數結果圖

6.結論

本計畫運用疊層組裝法改質在不鏽鋼平板上，欲使其具超疏水性表面，以作為增強冷凝熱傳行為之研究，結果如下：

1. 運用奈米疊層法及化學氣相沉積建立超疏水性表面改質之技術；同時提供奈米疊層法改質層數與疏水接觸角的關係；並發現最佳疏水接觸角為 $\theta=153^\circ$ 。
2. 在可視化實驗中，發現超疏水改質結果，增強冷凝效益整體均提升 60% 以上，而最佳的增強效益，在冷凝的初始階段，可提升超過 500%。
3. 冷凝熱傳量測結果中，發現冷凝熱傳系數可達 $(h_c)=40\text{kw/m}^2\text{k}$

7.計畫成果自評表

本計畫運用實作並測試疊層組裝法製作超疏水性表面，除了釐清製程參數外並將超疏水性表面對於冷凝熱傳的影響，提供定量及定性的實驗數據以供工業設計參考。而本計畫達到預期成果建立 153° 超疏水的接觸角，可供為相關領域實用且具學術性之成果。目前完成之研究成果及績效包括期刊論文有 5 篇，研討會論文 6 篇之績效，成果尚稱豐碩。

8.參考文獻

- [1]C. Li, G. P. Peterson, Y. Wang, “Evaporation/Boiling in Thin Capillary Wick (1)-Wick Thickness Effects,”Journal of Heat Transfer, Vol. 128, pp.1312-1319, 2006.
- [2]I. Sotiriou., “Formulation, Deposition and Characterization of Surface Properties of Organic Coatings,” Chalmers University of Technology Master Thesis, 2011.
- [3]H.T. Phan, N. Caney, P. Marty, S. Colasson, J. Gavillet, “Surface Wettability Controlled by Nanocoating: the Effects on Pool Boiling Heat Transfer and Nucleation Mechanism, ” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 52, pp. 5459–5471, 2009.
- [4]E. Forrest, E. Willianson, J. Buongiorno, L.W. Hu, M. Rubner, R. Cohen, “Augmentation of Nucleate Boiling Heat Transfer and Critical Heat Flux Using Nanoparticle Thin-Film Coating, ” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 53, pp. 58-67, 2010.
- [5]Y. Lvov, K. Ariga, M. Onda, I. Ichinose, T. Kunitake,“Alternate Assembly of Ordered Multilayers of SiO₂ and Other Nanoparticles and Polyions,” Langmuir, Vol. 13, pp. 6195-6203, 1997.
- [6]F. C. Cebeci., Z. Wu., L. Zhai., R. E. Cohen., M. F. Rubner., “Nanoporosity-Driven Superhydrophilicity: A Means to Create Multifunctional

- Antifogging Coatings,” *Langmuir*, Vol. 22, pp. 2856-2862, 2006.
- [7]M. Ma, R.M. Hill “Superhydrophobic Surfaces” , *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Vol.11,pp. 193-202,2006.
- [8]J. Bravo, L. Zhai, Z. Wu, R. E. Cohen and M. F. Rubner, “Transparent Superhydrophobic Films Based on Silica Nanoparticles,” *Langmuir*, Vol. 23, pp. 7293–7298, 2007.
- [9]H. Li., H. Liu., S. Fu., H. Zhan., “Surface Hydrophobicity Modification of Cellulose Fibers by Layer-By-Layer Self-Assembly of Lignosulfonates,” *Bio Resources*, Vol. 6, 2011.
- [10]S.C. Wu, C.T. Hsu, W.H. Yang, D. Wang, H.S. Li, Z.Y. Huang, S.J. Su, Y.M. Chen, “Investigating the Application of Nanoscale Bilayers Assembly on Stainless Steel Plate to Evaporation Behavior” , *Advanced Materials Research*, Vol.750, pp.2104-2107, 2013a.
- [11]S.C. Wu, D. Wang, H.S. Li, S.J. Lin, C.T. Hsu, Y.M. Chen, “Investigating the Use of Nanoscale Bilayers Assembly on Stainless Steel Plate to Improve Evaporation” , *Applied Mechanics Materials*, Vol.395, pp.718-725, 2013b.
- [12]C. Zhang., S. Zhang., P. Gao., H. Ma., Q. Wei., “Superhydrophobic Hybrid Films Prepared From Silica Nanoparticles and Ionic Liquids Via Layer-By-Layer Self-Assembly,” *Thin Solid Films*, Vol. 570, pp. 27-32, 2014.
- [13]S.C. Wu, S.J. Lin, D. Wang, Y.M. Chen , “Investigating the Effect of Hydrophilic Surface Modification on Droplet Evaporation” , *Advances Materials Research*, Vols.1120-1121,pp.779-784,2015.
- [14]黃振康教授團隊，“冷凝熱傳的增強與抑制”國科會計畫，2011.
- [15]呂宗行教授團隊，“微奈米製程技術製作具有表面張力梯度之銅基板於冷凝熱傳增益之應用研究”國科會計畫，2011.

- [16]呂明璋教授團隊“超疏水表面之滴狀冷凝”國科會計畫，2013.
- [17]潘欽教授團隊，梁嘉堯“微流道冷凝熱傳研究”國立清華大學工程與系統科學系碩士論文，2008.
- [18]馬哲儒教授團隊，李象山“水蒸氣滴式冷凝之研究”國立成功大學化學工程研究所碩士論文，1997.
- [19]陳希立教授團隊，柯明村“薄膜冷凝與吸收之研究”國立臺灣大學機械工程學研究所碩士論文，1994.
- [20]孫珍理教授團隊，陳敦川“二元混合系統在微流道內之流冷凝熱傳探討”國立臺灣科技大學機械工程系碩士論文，2010.
- [21]簡良翰教授團隊，張家豪“非導電性流體於平行微流道之冷凝熱傳研究”國立臺北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士論文，2014.
- [22]徐金城教授團隊，潘韻丞“超疏水銅表面之冷凝熱傳實驗研究”國立高雄應用科技大學機械與精密工程研究所碩士論文，2013.
- [23]C. I. Chu., S. C. Wu., P. L. Chen., and Y. M. Chen., “Design of Miniature Loop Heat Pipe,” Heat Transfer Heat Transfer—Asian Research, Vol. 33, pp. 42-52, 2004.
- [24]S. C. Wu, C. J. Huang, W. H. Yang, J. C. Chang, C. C. Kung, “Effect of Sintering Temperature Curve in Wick Manufactured for Loop Heat Pipe,” World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 62, pp. 631-636, 2012.
- [25]S. C. Wu, C. J. Huang, J. H. Gao, “Effect of Filling Power Volume Rate in Wick Manufactured for Loop Heat Pipes”, Advanced Materials Research, Vol.488, pp.321-327, 2012.
- [26]S. C. Wu, C. J. Huang, S. H. Chen, Y. M. Chen, “Manufacturing and Test of the Double-Layer Wick Structure in a Loop Heat Pipe”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.56, pp.709-714, 2013.

- [27]S. C. Wu, D. Wang, Y. M. Chen, “Investigating the Effect of Double-Layer Wick Thickness Ratio on Heat Transfer Performance of Loop Heat Pipe”, International Journal of Thermal Sciences, Vol.86, pp.292-298, 2014.
- [28]S. C. Wu, D. Wang, J. H. Gao, Y. M. Chen, “Effect of the Number of Grooves on a Wick’s Surface on the Heat Transfer Performance of Loop Heat Pipe” , Applied Thermal Engineering, Vol.71, pp.371-344, 2014.
- [29] C.H. Wang, V.K. Dhir, “Effect of Surface Wettability on Active Nucleation Site Density During Pool Boiling of Water on a Vertical Surface, ” Journal of Heat Transfer, Vol. 115, pp. 659-669, 1993.

科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否有嚴重損及公共利益之發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

- 達成目標
- 未達成目標（請說明，以 100 字為限）
 - 實驗失敗
 - 因故實驗中斷
 - 其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

- 論文：■已發表 □未發表之文稿 ■撰寫中 □無
- 專利：□已獲得 □申請中 ■無
- 技轉：□已技轉 □洽談中 ■無
- 其他：（以 100 字為限）

國內期刊 1 篇、國內研討會 3 篇、國際期刊 3 篇、國際研討會 3 篇。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性），如已有嚴重損及公共利益之發現，請簡述可能損及之相關程度（以 500 字為限）

1. 實驗技術-運用實作並測試疊層組中法製作超疏水性表面，釐清製成參數與超疏水性表免對於冷凝熱傳的影響，提供定量及定性的實驗數據以供工業設計參考。
2. 工業應用-將所建立之超疏水表面之系統整合之設計準則相關技術，當可提供國防、能源、電子冷卻和冷凍空調領域解決方案。
3. 學術論文-本計畫達到預期成果建立 153°超疏水的接觸角，可供為相關領域實用且具學術性之成果。
4. 人員訓練-本計畫有 2 位碩士班，2 位大學部同學參與，藉此提高其量測及實務設計操作方面之經驗與研究水準。
5. 完成之研究成果及績效-本計畫完成期刊論文有 3 篇，研討會論文 4 篇之績效。

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期：105 年 8 月 26 日

科技部補助計畫	計畫名稱：奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究 計畫主持人：吳聖俊 計畫編號：MOST 104-2221-E-157-008 領域：能源		
研發成果名稱	(中文) 奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究 (英文) Study of nanoscale bilayers assembly surface modification for condensation behavior.		
成果歸屬機構	中華科技大學	發明人 (創作人)	吳聖俊
技術說明	(中文) 疏水性表面改質初步是利用奈米粒子先製作出親水性表面，再運用低溫化學氣相沉積將氟矽烷對親水表面進行改質成疏水性表面，先建立改質層數與超疏水性的關係，接者將探討超疏水性對於冷凝行為熱傳。結果發現，最佳的疏水接觸角發現改質層是 18 層之 $\theta = 153^\circ$ 即超疏水表面，成功建立超疏水表面，冷凝可視化觀測與量測時，平板擺置與垂直($\alpha = 90$)方向其冷凝效果平均提升 60% 以上，而初始冷凝在大提升約 500%。而冷凝熱傳係數(h_c)量測結果，發現本實驗的冷凝熱傳係數達到(h_c)=40kw/m ² k。 (英文) During the superhydrophobic surface modification process, hydrophilic surface is first created by nano particles, and then chemical vapor deposition of fluorosilane is performed on the hydrophilic surface to render it superhydrophobic. The result show that the best hydrophobic contact angle of the number of nanoscale bilayers is 18 bilayers and contact angle of 153° , successful production of superhydrophobic surface. Use modify hydrophobic surface for condensation visualization and measurement, find the flat place in a vertical orientation average up to 60%, the part maximum increased about 500%. Experimental results show that condensation heat transfer coefficient (h_c) approximately 40kw/m ² k。		
產業別	能源與電子相關產業		

技術/產品應用範圍	隨著電子元件上電晶體的密度愈來愈高，伴隨而來的是更高功率的發熱及高熱通量的問題，因此如何解決棘手的高功率密度散熱問題，則相當重要。由於高熱傳量及遠距離傳輸的需求，此外透過流體相變化來散熱更是未來電子散熱的趨勢，有別於單向散熱方式更具有更大的散熱能力，而冷凝在循環式得冷卻中佔據重要的位置，因此在未來有相當大的潛力可以運用於相關散熱問題上，更可再接用於迴路式熱管冷凝段。
技術移轉可行性及預期效益	本團隊在迴路式熱管的設計、製造、測試皆有自行研發之能力，其中技術內容包括毛細結構之製成、參數量測、平板型迴路式熱管設計以及系統熱傳性能測試等。從初始的設計到製程及測試過程皆有一系列的連貫完整性，可協助業界針對散熱需求進行整體設計，以減少產品開發期間不必要的成本消耗，並提供相關熱傳提昇技術，提昇產業競爭力。

註：本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

科技部補助專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：吳聖俊		計畫編號: MOST 104-2221-E-157-008-					
計畫名稱：奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究							
成果項目				量化	單位	質化 (說明:各成果項目請附佐證資料或細項說明,如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	學術性論文	期刊論文		1	篇	吳聖俊、吳政芳、顏士軒、林正晟、陳瑤明“自在潤濕流體運用於具平板式蒸發器迴路式熱管之研究,”熱管理產業通訊,42,41-49,2016	
		研討會論文		2			
		專書		-	本	請附專書資訊。	
		專書論文		-	章	請附專書論文資訊。	
		技術報告		-	篇		
		其他		-	篇		
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	-	件	請附佐證資料,如申請案號。
				已獲得	-		請附佐證資料,如獲證暗號。
			新型/設計專利		-		
		商標權		-			
		營業秘密		-			
		積體電路電路布局權		-			
		著作權		-			
		品種權		-			
		其他		-			
技術移轉	件數		-	件			

		收入	-	千元	1. 依「科技部科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」第2條規定，研發成果收入係指執行研究發展之單位因管理及運用研發成果所獲得之授權金、權利金、獎金、股權或其他權益。 2. 請註明合約金額。
國外	學術性論文	期刊論文	4	篇	1. S. C. Wu, T. W. Gu, D. Wang, and Y. M. Chen (2015). Study of PTFE wick structure applied to loop heat pipe. Applied Thermal Engineering, 81, 51-57.(SCI, 2015 IF=3.043) 2. S. C. Wu, D. Wang, W. J. Lin, and Y. M. Chen (2015). Investigating the effect of powder-mixing parameter in biporous wick manufacturing on enhancement of loop heat pipe performance. International Journal of Heat and Mass Transfer, 89,460-467. (SCI, 2015 IF=2.857) 3. S. C. Wu, S. J. Lin, D. Wang, and Y. M. Chen (2015). Investigating the effect of hydrophilic surface modification on droplet

						evaporation. Advanced Materials Research, 1120, 779-784.(EI) 4. S. C. Wu, S. S. Yan, C. Y. Chung, and S. J. Su (2015). The study of PTFE wicks application to loop heat pipes with flat evaporator. Applied Mechanics and Materials, 775, 54-58.(EI)	
	研討會論文			3			
	專書			-		本	請附專書資訊。
	專書論文			-		章	請附專書論文資訊。
	技術報告			-		篇	
	其他			-		篇	
智慧財產權 及成果	專利權	發明專利	申請中	-	件	請附佐證資料，如申請案號。	
			已獲得	-		請附佐證資料，如獲證暗號。	
		新型/設計專利		-			
	商標權			-			
	營業秘密			-			
	積體電路電路布局權			-			
	著作權			-			
	品種權			-			
	其他			-			
技術移轉	件數			-	件		
	收入			-	千元	1. 依「科技部科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」第2條規定，研發成果收入係指執行研究發展之單位因管理及運用研發成果	

					所獲得之授權金、權利金、價金、股權或其他權益。 2. 請註明合約金額。
參與計畫人力	本國籍	大專生	-	人次	
		碩士生	2		
		博士生	-		
		博士後研究員	-		
		專任助理	-		
	非本國籍	大專生	-		
		碩士生	-		
		博士生	-		
		博士後研究員	-		
		專任助理	-		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：105 年 8 月 26 日

計畫編號	MOST 104-2221-E-157-008-		
計畫名稱	奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究		
出國人員 姓名	吳聖俊	服務機構 及職稱	中華科技大學 航機系副教授
會議時間	105 年 4 月 24 日至 105 年 4 月 25 日	會議地點	普吉島
會議名稱	(中文)國際電子、機械與工業工程研討會 (英文)2016 International Conference on Electrical, Mechanical and Industrial Engineering		
發表題目	(中文)探討奈米粒子疊層組裝法應用於不銹鋼平板之表面超親水與超疏水改質 (英文)Investigating the use of nanoscale bilayers assembly on stainless steel plate for surface superhydrophilic and superhydrophobic modification.		

一、參加會議經過

4/24-25 參加了 2016 ICEMIE 研討會，參加的學者來自美國、印度、中國、韓國、英國、馬來西亞、台灣等不同國家，參加的議題有電子、機械、工業工程等，各國的學者在研討會上發表最新的先進技術及理論，發現到各國學者都努力不懈進行研究及實驗，也在研討會上毫無保留地發表自己的研究成果。

二、參與心得

首先感謝科技部對於本次國際研討會的大力支持和補助，感謝 ICEMIE 舉辦本次國際研討會，會議結束後其他學者互相交換名片及交換不同想法交談甚歡，達到了相互交流相互進步，因此對於提升新技術開發而言，能促進更多的提升，對此也更能夠提升國內學術界之研究水準，更能提高台灣在國際學術研究上的能見度。

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：105 年 8 月 26 日

計畫編號	MOST 104-2221-E-157-008-		
計畫名稱	奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究		
出國人員姓名	吳聖俊	服務機構及職稱	中華科技大學 航機系副教授
會議時間	105 年 6 月 24 日至 105 年 6 月 26 日	會議地點	廣州
會議名稱	(中文)國際材料科學與工程研討會 (英文) 2016 International Conference on Material Science and Enginnering		
發表題目	(中文)鎳-庚醇水溶液應用於平板迴路式熱管之研究與發展 (英文) Development and Investigation of a Miniature Nickel-1-Heptanol aqueous solution loop heat pipe with a Flat Evaporator		

一、參加會議經過

2016 年 6 月 24-26 在廣州所舉行的 ICMSE2016 國際研討會，23 號就搭乘飛機抵達香港，再轉車抵達這次在廣州的 ICMSE2016 國際研討會，廣州為華南地區經濟、教育和文化，也是歷史悠久的對外通商口岸。發表論文篇數近百篇，吸引了包括美國、俄羅斯、波蘭、馬來西亞、韓國、泰國、中國和台灣的學著參與，分享材料工程有關的研究成果。本次會議在 25 號舉行，早上下午兩場，我們場次是在下午各一個時段，五個論文宣讀場地，經過這研討會從評審所提出的問題或建議中收穫良多，也學習其他學者的一些方法，使團隊達學習更好的方法。

二、參與心得

首先要感謝國科會計畫對這次研究經費大力補助與支持，我們也吸收各學者的報告方式與簡報作法，使有更多的經驗來提升報告的品質，也與各地的學者做交流。

科技部補助專題研究計畫出席國際學術會議心得報告

日期：105 年 8 月 26 日

計畫編號	MOST 104-2221-E-157-008		
計畫名稱	奈米粒子疊層組裝表面改質技術應用於冷凝行為之研究		
出國人員姓名	吳聖俊	服務機構及職稱	中華科技大學 航機系副教授
會議時間	105 年 6 月 26 日至 105 年 6 月 27 日	會議地點	清邁
會議名稱	(中文)先進材料科學與環境工程研討會 (英文)2016 International Conference on Advanced Materials Science and Environmental Engineering		
發表題目	(中文) 不同工作流體效應對親水性不鏽鋼平板蒸發行爲之研究 (英文) Study of working medium on the hydrophilic surface of evaporation enhancement		

一、參加會議經過

2016 年 6 月 26-27 在清邁舉行的 AMSEE2016 國際研討會，25 號下午結束了在廣州的 ICMSE2016 後，當晚搭了飛機前往清邁，清邁位於泰國北部，是泰北最大的文化歷史城市。當天有超過六十篇的文章發表，參與的有各國學者以及聽眾前來參加國際研討會，當中包括了美國、加拿大、印度、泰國、中國、韓國以及台灣等國家，分享了許多關於材料科學與環境工程有關的研究成果。這次研討會在 27 號舉行，分成上下午兩個時段，團隊在會議的下午場次發表後，從評審以及其他學者所提出的疑問及建議中受益良多，也從其他學者中學到不少知識。

二、參與心得

感謝國科會計畫給予研究計畫的經費補助與大力的支持，使本團隊有機會參加這次的國際研討會。在研討會中吸收了許多研究資訊，也與各國學者做知識以及文化的交流，交流過程中學者們提出了問題以及不同觀點的思想，讓本團隊在未來的研究上能夠更注意到不同方向的問題以及擁有更新的研究想法。