

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)

第二名

052402

探討親水性顆粒材料對仿生捕霧集水元件之效率影響及其製備參數控制

學校名稱：臺中市立臺中女子高級中等學校

作者： 高二 李晨伊 高二 魏云芊	指導老師： 吳榮修
---------------------------------	------------------

關鍵詞：捕霧集水、仿生、皺褶

摘要

本研究仿照沐霧甲蟲的異質濕潤表面結構，將含有親、疏水顆粒（ SiO_2 與 PTFE）的溶液塗佈於可熱縮之聚苯乙烯基材上，進行熱處理後即可獲得具捕霧集水功能之元件。接著，再改變溶液中親疏水顆粒重量比、總固含量、親水顆粒粒徑及親水性顆粒種類，試圖找出最佳的製備參數。

結果顯示，當親疏水顆粒重量比 1：300、總固含量 20wt%、 SiO_2 顆粒粒徑 $10\mu\text{m}$ 時捕霧集水效率最佳，可達 $666.88\text{mg/h} \cdot \text{cm}^2$ 。此外，將本實驗中捕霧集水效率最佳之元件與陶瓷、高分子和金屬材料進行捕霧集水效率比較，其中本實驗設計的最佳參數捕霧集水元件有較佳的捕霧集水效果，是一種高效率、低成本的捕霧集水元件，未來希望能運用於水資源回收與再利用的設備上。

壹、前言

一、研究動機

全球面臨嚴重的缺水問題，台灣也不例外，而目前有一種新興的捕霧集水技術，能在沒有外加能源的情況下蒐集到乾淨的淡水資源，現今已在部分缺水地區應用。本研究期望能開發出一種高效率、低成本的捕霧集水元件，提升蒐集水的效率。

二、研究目的

- (一) 透過控制親水性顆粒比例找出捕霧集水效率的最佳化製備參數
- (二) 探討不同親水性材料對元件表面結構以及捕霧集水效率的影響

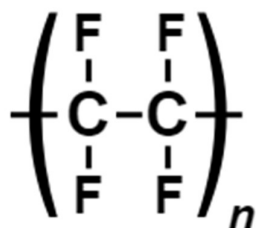
三、文獻回顧

(一) 納米比沙漠甲蟲

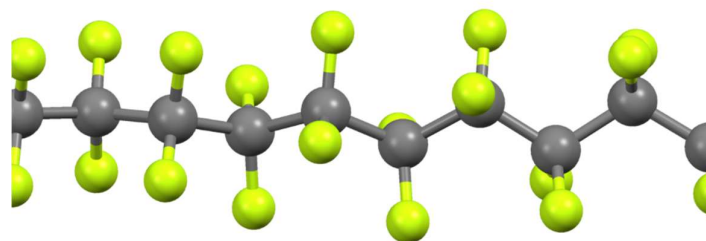
納米比沙漠甲蟲 (*Onymacris unguicularis*)，又稱為沐霧甲蟲，是一種生活於非洲納米比沙漠的甲蟲，以其沐霧行為著稱。此種甲蟲的翅鞘由親水性凸起及疏水性基底組成，集霧時會爬上沙丘坡脊處高舉背殼鞘翅，與地平面成 45 度迎向風面。維持此姿勢一段時間後，濃霧中的小霧滴會吸附於背部的凸起上，當霧滴逐漸聚集成較大的水珠後即沿著疏水性的基底流入口中，由此機制攝取水分，在沙漠中生存。我們希望仿照這個結構來製備具有捕霧集水功能的元件。

(二) 聚四氟乙烯

聚四氟乙烯 (Polytetrafluoroethylene) 又稱鐵氟龍，縮寫為 PTFE，是一種使用氟取代聚乙烯中所有氫原子的人工合成高分子材料，具有抗酸抗鹼、耐高溫、摩擦係數極低、抗各種有機溶劑等特點，且幾乎不溶於任何溶劑，在本研究中作為疏水材料。



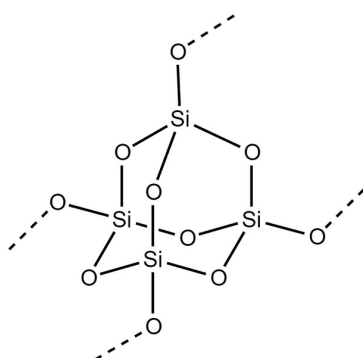
▲ 圖一：聚四氟乙烯結構式
(Polytetrafluoroethylene.svg. 2022,
October 2. Wikimedia Commons.)



▲ 圖二：聚四氟乙烯結構式 (Perfluorodecyl-
chain-from-xtal-Mercury-3D-balls.png. 2024,
September 8. Wikimedia Commons.)

(三) 二氧化矽

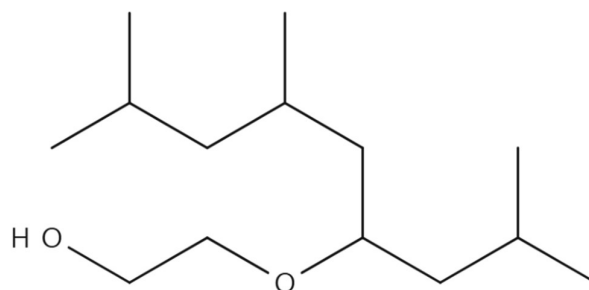
二氧化矽是一種酸性氧化物，在自然界中最常見的形式是石英，常應用結構材料、微電子學、食品工業等領域。二氧化矽與水分子發生化學反應後表面形成羥基(OH⁻)，表現出親水性，在本研究中做為親水材料。



▲ 圖三：二氧化矽結構式 (Si-OCage.Svg. In Wikipedia.)

(四) 聚乙二醇三甲基壬基醚 (TMN 10)

TMN 10 是一種非均質的非離子型兩親性界面活性劑，其疏水部分為 2,6,8-三甲基-4-壬醇，親水部分為平均含有 10 個氧化乙烯單元的聚氧乙烯醇鏈，可溶於水和大多數極性有機溶劑。這種界面活性劑具有高親水-疏水平衡的乳化性能，適合作為高溫環境中的穿透劑和分散劑，並且可生物降解，對環境友好。



▲ 圖四：TMN 10 結構式（第一作者繪製）

（五）雙層皺褶理論

雙層皺褶理論是一種解釋雙層結構材料在外力或內應力作用下產生皺褶現象的理論。這類材料由兩層性質不同的物質組成，通常一層較硬、一層較軟。由於兩層在受力或受熱時的形變程度不同，會在界面產生預應力，而這種應力最終以皺褶形式釋放。皺褶的形態特徵（如波長與振幅）受到材料層厚度比、彈性模量差異以及應力大小的控制。此理論廣泛應用於解釋薄膜材料的應力形變、大腦皮層的褶皺形成、地質構造的層理彎曲等現象，同時為材料科學與仿生設計提供理論基礎。本研究中，將含親、疏水顆粒的溶液塗佈於可熱縮之聚苯乙烯基材上後即形成雙層結構，加熱到 T_g 點（ 100°C 左右）以上後，基材預應力以皺褶形式釋放，即可於基材表面產生連續皺褶。

（六）親、疏水性

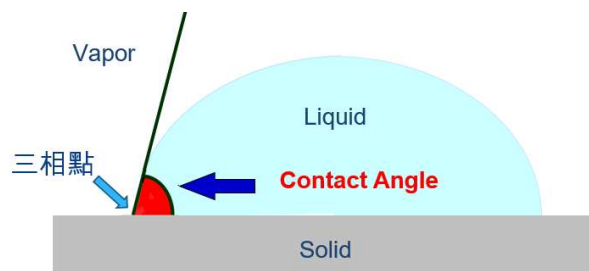
所謂的親、疏水性，又可稱為表面是喜歡水的或討厭水的性質。物質的疏水性通常是指與水排斥能力的物理特性，亦即水在疏水物表面上，無法附著、分散或溶解，而是團聚成水滴狀。簡單而言，一個水滴形狀不會因為材料的表面特性，產生附著或分散現象，則可稱該表面為疏水性表面。反之，水滴形狀在材料表面上產生附著或分散現象，則稱之為親水表面。

(七) 接觸角 (Contact Angle, θ)

接觸角為衡量材料本身親、疏水性的指標，是指固體表面與液體表面兩者之夾角。接觸角的大小與表面的疏水性有關，當物質與水滴的接觸角越大，疏水性越高；物質與水滴的接觸角越小，親水性越高。

一般而言，水滴在表面所形成的接觸角若小於 10 度，為超親水性表面；接觸角介於 10~90 度之間為親水性表面；90~120 度為疏水性表面，超過 120 度以上者，則為超疏水性表面。接觸角最常見的量測主要方式為在固體平面上進行液滴滴定，即將液滴滴在一水平平面上，可稱為座滴法 (Sessile Drop)。接觸角與表面能量測方式於 1805 年首推接觸角計算理論 (Young's equation)，理論中說明當液滴滴在於固體表面上，而液滴會沿著固體表面擴展開來，就類似水滴在紙面上，水迅速在紙面上擴展開來，此種現象代表著液體表面與固體表面兩者之間的差異性。為了要判斷水在固體表面上擴展開來的高低 (接觸角)，則一般是以 θ 值來表示，而接觸角計算方式為：固/氣界面張力 = 液/固界面張力 + 液/氣界面張力 $\times \cos \theta$ ，理論中說明著，是三種不同的界面張力成靜力平衡後的結果，當液滴滴在於固體表面上，而液滴會沿著固體表面擴展開來，此種現象代表著液體表面與固體表面兩者之間的差異性。從量測接觸角角度的大小，就可以了解液體在固體表面上擴展開來的程度。

本研究即採用座滴法 (Sessile Drop)，使用的儀器為 Phoenix MT 接觸角量測儀，將水珠滴在元件表面上 (圖五)，經電腦計算可得知此元件表面的接觸角。





▲ 圖五：接觸角示意圖

(amtech 2017, https://www.amtech.com.tw/custom_61349.html)

貳、研究設備及器材

一、儀器

<p>超音波洗淨器</p> 	<p>UV-ozone 燈箱</p> 	<p>旋轉塗佈機</p> 
<p>精密電子天秤</p> 	<p>烘箱</p> 	<p>掃描式電子顯微鏡 (SEM)</p> 
<p>接觸角測量儀</p> 		

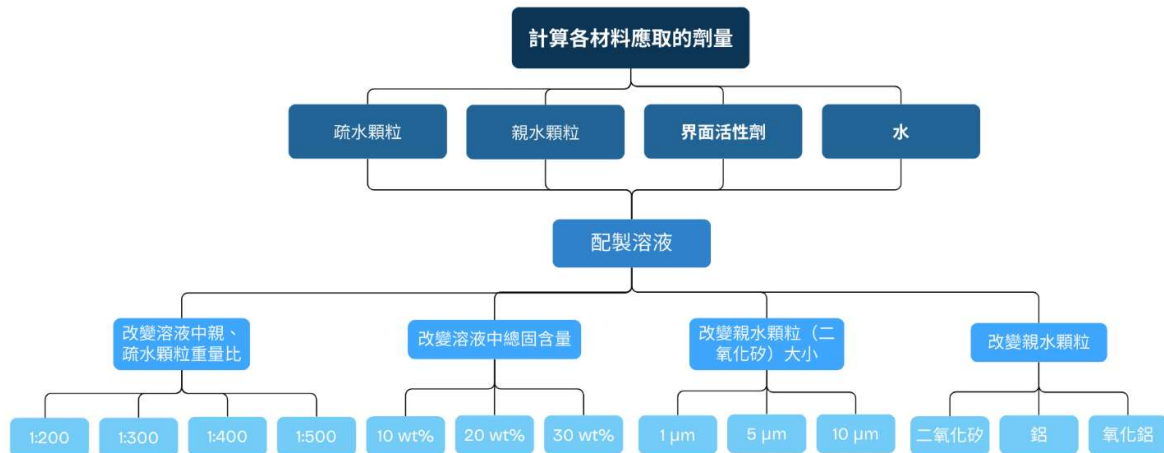
(本表之照片由第一作者拍攝)

二、藥品及器材

聚四氟乙烯 (60 wt%)	二氧化矽微粒 ($1\ \mu\text{m}$, $5\ \mu\text{m}$, $10\ \mu\text{m}$)	鋁粉
氧化鋁粉	界面活性劑 (TMN-10)	聚苯乙烯
鋁箔紙	鋁盒	微量吸管
電動移液器	玻璃樣本瓶	霧氣模擬裝置

參、研究過程或方法

一、實驗架構流程圖



▲ 圖六：實驗架構流程圖（第一作者繪製）

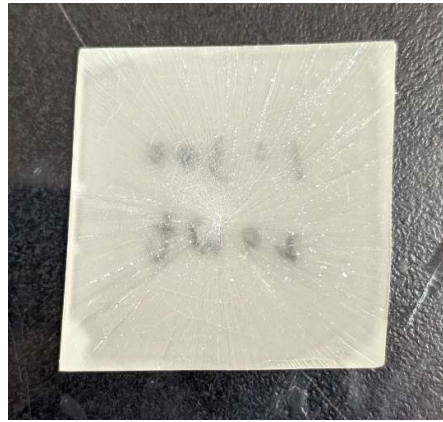
二、實驗步驟

（一）實驗一：探討溶液中親、疏水顆粒重量比對元件捕霧集水效率之影響

1. 配製不同親、疏水顆粒重量比的溶液（重量比分別採用 1：200、1：300、1：400、1：500，總固含量固定為 30 wt%，親水顆粒粒徑固定為 $10\mu\text{m}$ ）
 - （1）將四個樣本瓶分別標號 0、1、2、3。
 - （2）以微量吸管吸取 5.010、5.007、5.005、5.004mL 的蒸餾水並分別加入樣本瓶 0、1、2、3 中。
 - （3）以微量吸管吸取 4.975、4.983、4.989、4.99mL 的聚四氟乙烯（PTFE）並分別加入樣本瓶 0、1、2、3 中。
 - （4）以微量吸管吸取 0.497、0.498、0.499、0.499mL 的界面活性劑（TMN-10）並分別加入樣本瓶 0、1、2、3 中。
 - （5）以電子天秤秤取 0.0149、0.0099、0.0074、0.0059g 的二氧化矽（ $10\mu\text{m}$ ）並分別加入樣本瓶 0、1、2、3 中，即可得到總固含量 30 wt%，親水顆粒粒徑 $10\mu\text{m}$ ，親、疏水顆粒重量比分別為 1：200、1：300、1：400、1：500 的溶液。
 - （6）將樣本瓶放入超音波震盪機中震盪一小時。

2. 製作元件

- (1) 裁切四片 8cm*8cm 的聚苯乙烯片，並依序以酒精、去離子水潤洗。
- (2) 在四片聚苯乙烯片上分別標號 0、1、2、3。
- (3) 放入 UV-ozone 燈箱照光十分鐘。
- (4) 將各溶液以轉速 3000 rpm，30 秒，以旋轉塗佈機分別塗佈於對應號碼的聚苯乙烯片上。
- (5) 將其中一片塗佈好溶液的聚苯乙烯片放入烘箱以 140°C，十分鐘進行熱處理。
- (6) 其餘聚苯乙烯片同樣以 (5) 的步驟處理，即可得到不同比例參數之元件（圖七）。



▲ 圖七：1 號元件（第一作者拍攝）

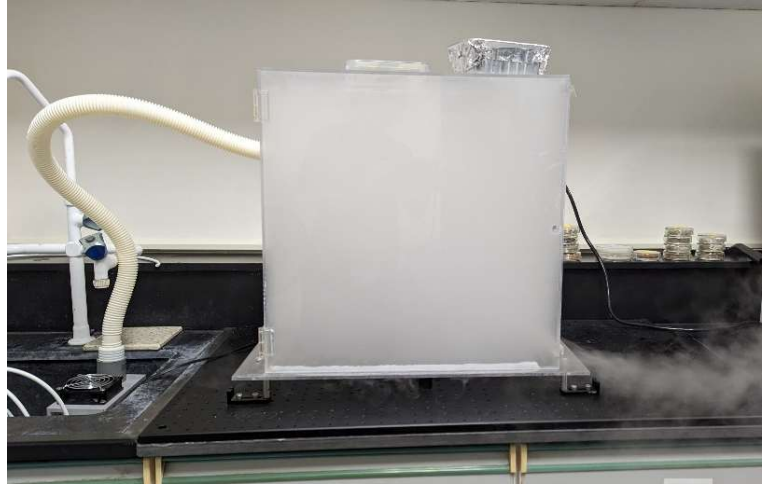
3. 測試集水效率

- (1) 以電子秤秤量空鋁盒的重量。
- (2) 在鋁盒開口處包覆一層鋁箔紙，使其內部盡可能與外界隔絕。
- (3) 在鋁箔紙上劃出一道開口，並將其中一片元件尖端朝下垂直立於開口處（圖八）。
- (4) 將鋁盒放入霧氣模擬裝置，進行一小時的集水測試（圖九）。
- (5) 若測試完成後元件無傾倒且測試過程中出霧無中斷，則採用此次數據，反之則否。
- (6) 將元件及鋁箔紙取下，以電子秤秤量鋁盒重量，扣除空鋁盒重量後即可得知收集到的水重。

- (7) 重複實驗約 3 次，取收集到水重之平均值。
- (8) 其餘元件同樣以 (1) 至 (7) 步驟進行實驗
- (9) 比較各元件之集水效率，並將集水效率最佳的參數延用至下一個實驗中。



▲ 圖八：架設元件
(第一作者拍攝)



▲ 圖九：集水測試
(第一作者拍攝)

(二) 實驗二：探討溶液中總固含量對元件捕霧集水效率之影響

1. 配製不同總固含量的溶液，溶液中的重量比沿用實驗一中效率最佳的參數
(總固含量分別採用 10 wt%、20 wt%、30 wt%，親水顆粒粒徑固定為 $10\ \mu\text{m}$ ，30 wt% 之溶液已在實驗一中配製，因此不再重複配製)
 - (1) 將兩個樣本瓶分別標號 4、5。
 - (2) 以微量吸管吸取 8.336、6.672mL 的蒸餾水並分別加入樣本瓶 4、5 中。
 - (3) 以微量吸管吸取 1.661、3.322mL 的聚四氟乙烯 (PTFE) 並分別加入樣本瓶 4、5 中。
 - (4) 以微量吸管吸取 0.166、0.332mL 的界面活性劑 (TMN-10) 並分別加入樣本瓶 4、5 中。
 - (5) 以電子天秤秤取 0.0033、0.0066g 的二氧化矽 ($10\ \mu\text{m}$) 並分別加入樣本瓶 4、5 中，即可得到親、疏水顆粒重量比 1：300，親水顆粒粒徑 $10\ \mu\text{m}$ ，總固含量分別為 10 wt%、20 wt% 的溶液。

(6) 將樣本瓶放入超音波震盪機中震盪一小時。

2. 製作元件

(1) 製作流程同實驗一步驟 2，將步驟 (1)、(2) 之聚苯乙烯片改為兩片，並標號 4、5。

3. 測試集水效率

(1) 測試流程同實驗一步驟 3.

(三) 實驗三：探討溶液中親水性顆粒（二氧化矽）大小對元件捕霧集水效率之影響

1. 配製不同二氧化矽顆粒粒徑的溶液，溶液中其餘參數沿用實驗一、二中效率最佳的參數（粒徑分別採用 $1\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ ， $10\mu\text{m}$ 之溶液已在實驗一中配製，因此不再重複配製）

(1) 將兩個樣本瓶分別標號 6、7。

(2) 以微量吸管吸取 6.672mL 的蒸餾水並加入樣本瓶 6、7 中。

(3) 以微量吸管吸取 3.322mL 的聚四氟乙烯（PTFE）並加入樣本瓶 6、7 中。

(4) 以微量吸管吸取 0.332mL 的界面活性劑（TMN-10）並加入樣本瓶 6、7 中。

(5) 以電子天秤秤取 1.158g 的 $5\mu\text{m}$ 二氧化矽、0.132g 的 $10\mu\text{m}$ 二氧化矽並分別加入樣本瓶 6、7 中，即可得到親、疏水顆粒重量比 1：300，總固含量 20 wt%，親水顆粒粒徑分別為 $1\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 的溶液。

(6) 將樣本瓶放入超音波震盪機中震盪一小時。

2. 製作元件

(1) 製作流程同實驗一步驟 2，將步驟 (1)、(2) 之聚苯乙烯片改為兩片，並標號 6、7。

3. 測試集水效率

(1) 測試流程同實驗一步驟 3.

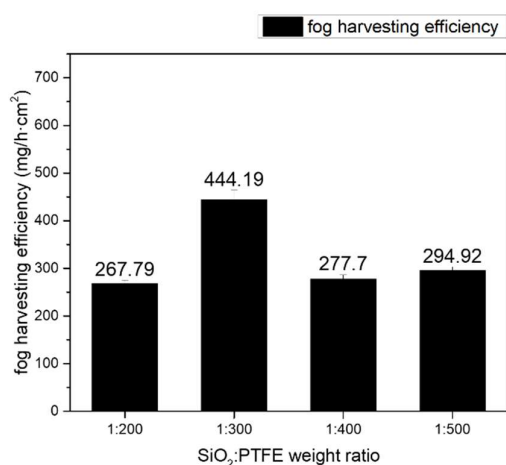
(四) 實驗四：比較本研究中捕霧集水效率最佳之元件與其他材料之捕霧集水效率差異

1. 取實驗一到三中效果最佳的元件以及陶瓷材料(SiO_2 、 TiO_2)、高分子材料(PS、PTFE)、和金屬材料(Cu、Al)，測試集水效率

肆、研究結果

本實驗測量各元件在一小時內的集水量，彙整數據後製作長條圖，以比較不同元件之集水效率。下表中各長條為各元件每平方公分在一小時內收集到的水重（單位為 $\text{mg/h} \cdot \text{cm}^2$ ），每個元件取 3 至 4 筆數據求平均值，以提高實驗準確性。

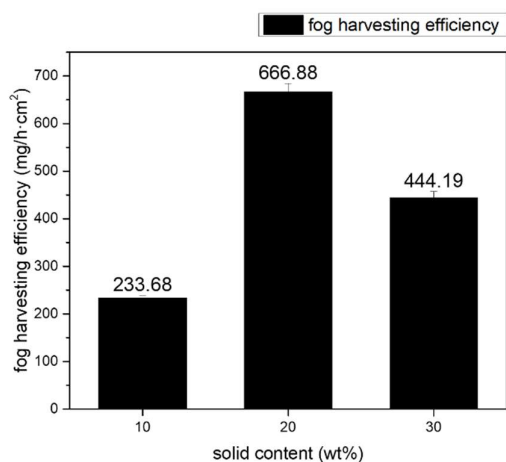
一、溶液中親水及疏水顆粒重量比對元件捕霧集水效率之影響



▲ 圖十：各元件之集水效率（第一作者繪製）

由圖十可知當溶液中親、疏水顆粒重量比為 1：300 時元件有最佳之集水效率，因此後續實驗中皆採用此比例。

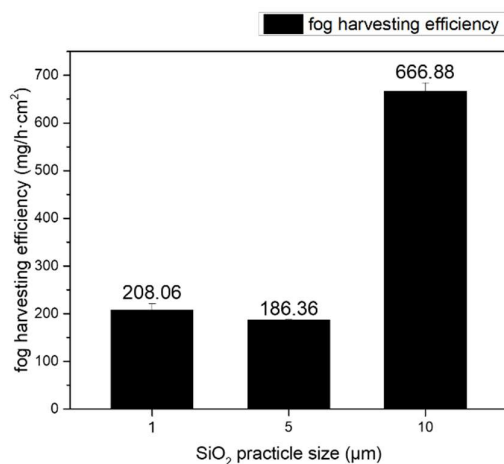
二、溶液中總固含量對元件捕霧集水效率之影響



▲ 圖十一：各元件之集水效率（第一作者繪製）

由圖十一可知當溶液中總固含量為 20 wt%時元件有最佳之集水效率，因此後續實驗中皆採用此比例。

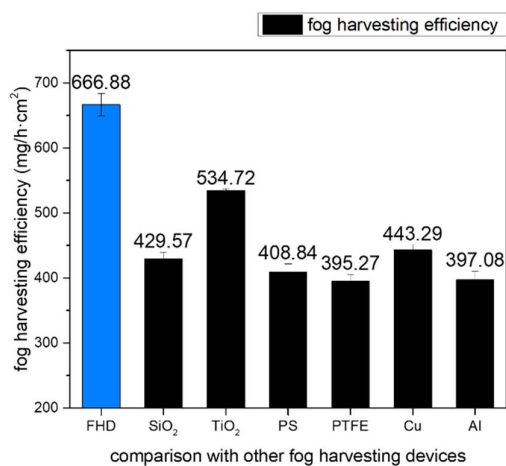
三、溶液中親水顆粒粒徑對元件捕霧集水效率之影響



▲ 圖十二：各元件之集水效率（第一作者繪製）

由圖十二可知當溶液中親水顆粒粒徑為 10 μm 時元件有最佳之集水效率，因此後續實驗中皆採用此比例。

四、比較本研究中捕霧集水效率最佳之元件與其他材料之捕霧集水效率差異



▲圖十三：各元件之集水效率（第一作者繪製）

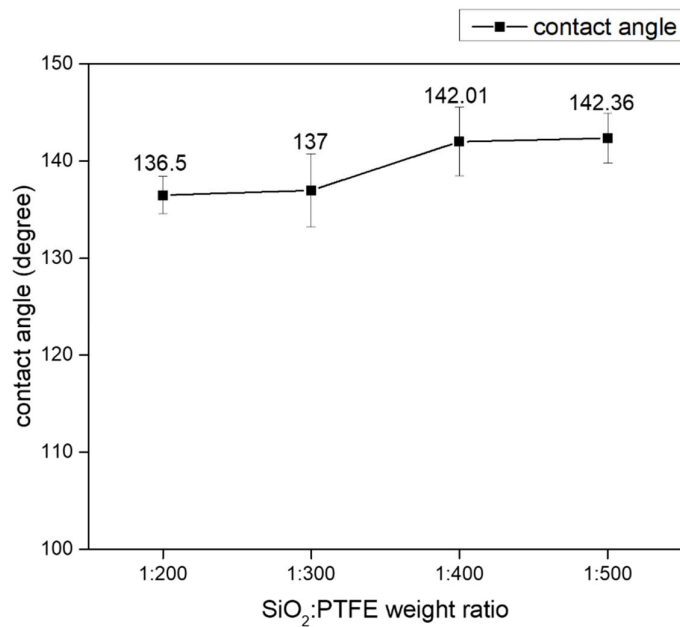
圖十三中，藍色長條(FHD)為本實驗中捕霧集水效率最佳之元件，其餘六者則分別為陶瓷材料(SiO_2 、 TiO_2)、高分子材料(PS、PTFE)、和金屬材料(Cu、Al)。根據結果顯示，本實驗製作出效果最佳之元件的集水效果優於上述其餘材料。

伍、討論

一、比較不同親疏水顆粒比例元件的捕霧集水效果

(一) 控制二氧化矽顆粒為 10 微米、溶液總固含量為 30wt%，改變表面薄膜溶液的比
例。由實驗得知，當二氧化矽顆粒比聚四氟乙烯之重量比為 1：300 時，元件有
最佳的捕霧集水效果。

(二) 根據文獻，與水接觸角小於 10 度的表面可稱為超親水性；接觸角介於 10~90 度
之間稱為親水性；接觸角介於 90~120 度之間稱為疏水性；接觸角大於 120 度則
稱為超疏水性。測量各元件接觸角（圖十四），得知四種元件表面皆為超疏水
性，並且隨著聚四氟乙烯（疏水材料）重量百分比增加，元件接觸角愈大，亦即
表面愈疏水。（本實驗中元件接觸角測量方式為隨機取元件上五個點，測量其接
觸角後將各數值取平均，下表之接觸角照片為其中一點之拍攝照片）

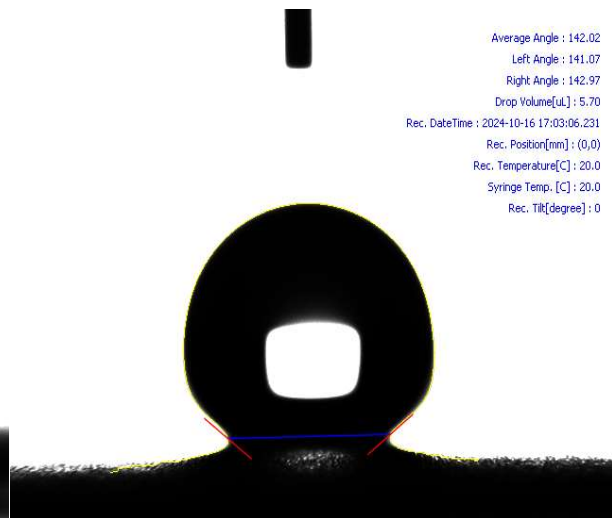


▲ 圖十四之一：各元件接觸角（由左至右分別為元件 0、1、2、3）

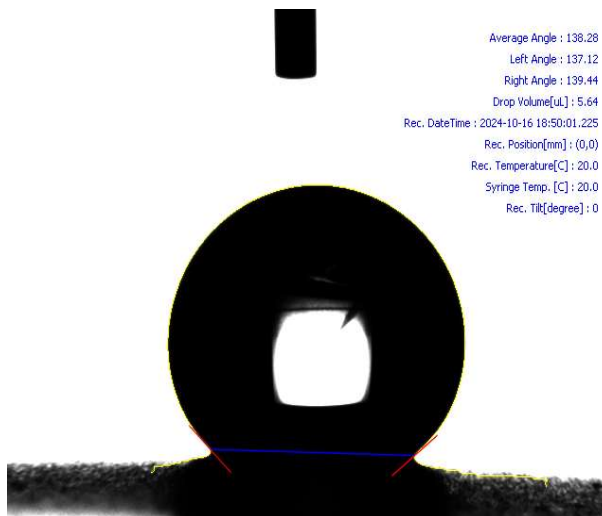
（第一作者繪製）



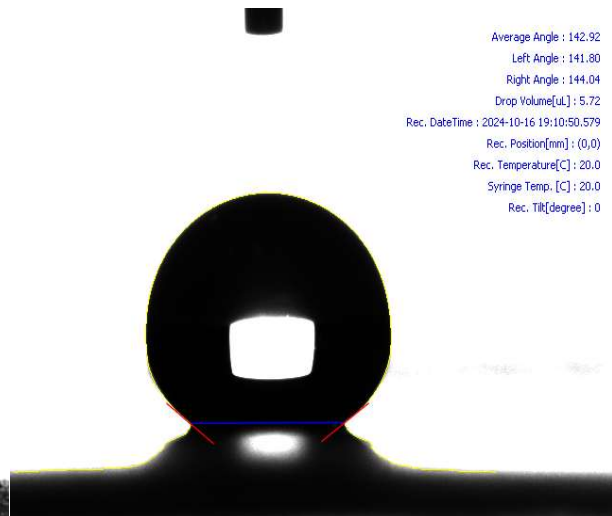
▲ 圖十四之二：元件 0 接觸角



▲ 圖十四之三：元件 1 接觸角



▲ 圖十四之四：元件 2 接觸角



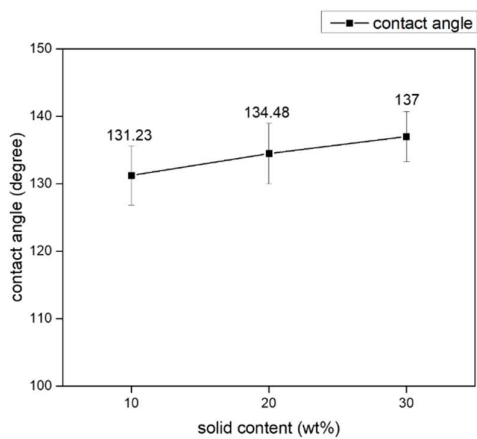
▲ 圖十四之五：元件 3 接觸角

(本表之照片為第一作者拍攝)

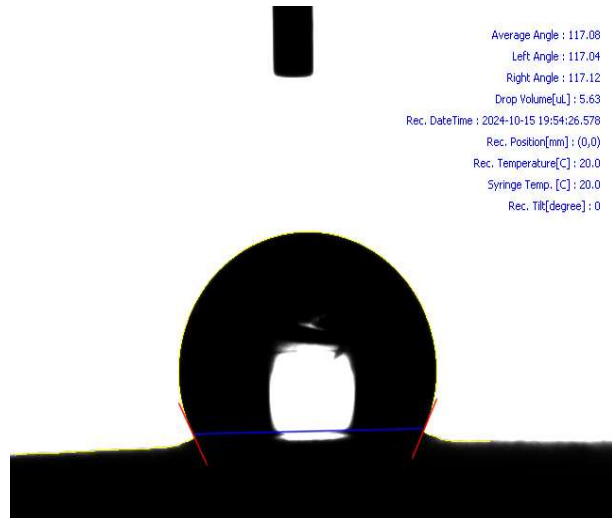
二、比較不同溶液總固含量元件的捕霧集水效果

(一) 由討論一得知當溶液中二氧化矽顆粒粒徑為 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、溶液總固含量 30 wt%、親疏水顆粒重量比 1 : 300 時有最佳的捕霧集水效果。因此維持二氧化矽顆粒粒徑 $10\text{ }\mu\text{m}$ 、親疏水顆粒重量比 1 : 300，改變溶液的總固含量，並由實驗得知，當溶液總固含量為 20 wt%時有最佳的捕霧集水效果。

(二) 測量各元件接觸角 (圖十六)，三種元件表面皆為超疏水性，並且隨著溶液總固含量的上升，聚四氟乙烯含量愈高、接觸角愈大。



▲ 圖十五之一：各元件接觸角
(由左至右分別為元件 4、5、1)



▲ 圖十五之二：元件 4 接觸角



▲ 圖十五之三：元件 5 接觸角



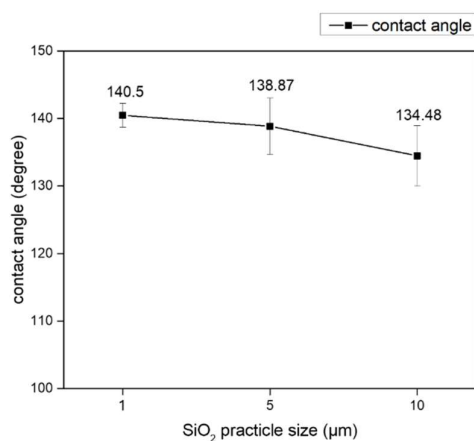
▲ 圖十五之四：元件 1 接觸角

(本表之圖表、照片為第一作者繪製、拍攝)

三、比較不同二氧化矽顆粒粒徑元件的捕霧集水效果

(一) 由討論一、二得知當溶液中二氧化矽顆粒粒徑 $10\ \mu\text{m}$ 、溶液總固含量 20 wt%、親疏水顆粒重量比 1 : 300 有最佳的捕霧集水效果。因此，改變溶液中二氧化矽顆粒粒徑，並由實驗得知當粒徑為 $10\ \mu\text{m}$ 時有最佳的捕霧集水效果。

(二) 測量各元件接觸角 (圖十七)，得知三種元件皆為超疏水性表面，隨著二氧化矽顆粒粒徑上升，元件接觸角愈小，表面親水效果提升。



▲ 圖十六之一：各元件接觸角

(由左至右分別為元件 6、7、5)



▲ 圖十六之二：元件 6 接觸角



▲ 圖十六之三：元件 7 接觸角

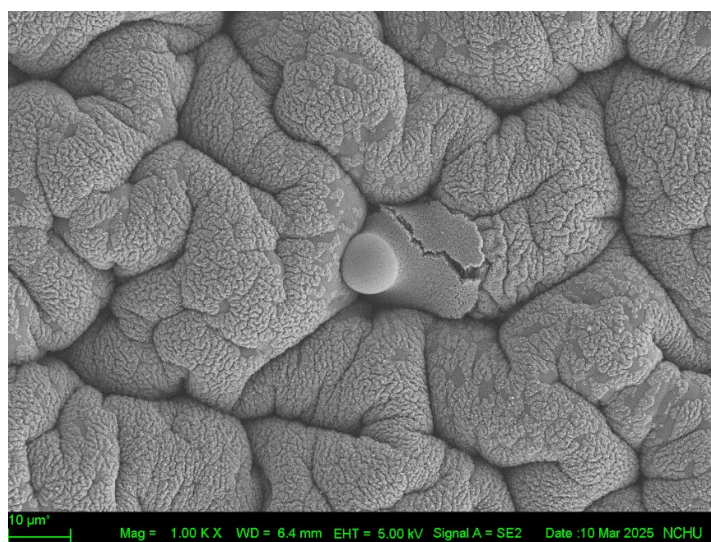


▲ 圖十六之四：元件 5 接觸角

(本表之圖表、照片為第一作者繪製、拍攝)

四、分析元件表面結構

圖二十為效果最佳捕霧集水元件（元件 5）在電子顯微鏡(SEM)下的表面結構，其混合顆粒溶液參數為親疏水顆粒重量比 1：300、溶液總固含量 20 wt%、二氧化矽顆粒粒徑 10 μm 。圖中皺褶因 PTFE 溶液與聚苯乙烯基材在受熱時形變程度不同而產生，中間淺色圓球狀顆粒為二氧化矽顆粒。



▲ 圖十七：元件 5 之 SEM 圖（第一作者拍攝）

因皺褶結構增加了材料的表面積，並形成更多微小的突起與凹陷，使霧氣中的微小水滴更容易與材料接觸並被攔截凝結在表面上。另外皺褶結構會影響氣流模式，使得空氣中的水滴在流經表面時受到更多擾動，增加了水滴與表面的碰撞機率，引導凝結的水滴往特定方向流動，避免水滴隨機分布或蒸發，從而提高集水效率。

陸、結論

- 一、為了提高捕霧效率，理想的表面應該是異質潤濕表面，即表面具有不同的親疏水區域，因此本研究設計以 SiO_2 為親水區域（接觸角較小），提高霧滴的捕捉能力，使霧滴易於附著和聚集；而以 PTFE 為疏水區域（接觸角較大），能促使較大水滴快速滑落，提高水的收集率。
- 二、實驗結果顯示，當溶液中二氧化矽與聚四氟乙烯的重量比為 1：300，溶液總固含量為 20 wt%，二氧化矽顆粒粒徑為 $10\ \mu\text{m}$ 時，元件的捕霧集水效果最佳。
- 三、接觸角實驗顯示當二氧化矽顆粒粒徑為 $10\ \mu\text{m}$ 時，對水的接觸角較小，因此能有較好的親水效果，提高霧滴的捕捉能力，符合上述第二點的結果。
- 四、當塗佈的 PTFE 的比例增加時，實驗測出元件對水的接觸角也愈大，即疏水性愈高。 SiO_2 和 PTFE 重量比為 1：400 與 1：500 時，因測出的接觸角較大，親水性不佳，使捕霧集水效率下降。而 1：300 的元件因親水與疏水的比例較平衡，故集水效果較佳。
- 五、由 SEM 結果顯示，塗佈 PTFE 的元件表面經熱處理後會形成皺褶結構，因此有利於提高捕霧集水效率。
- 六、本實驗成功製作出低成本、高效率且簡易製備之捕霧集水元件，未來可應用於乾燥地區之水資源蒐集。

柒、參考文獻資料

一、Foday Jr, E. H., Sesay, T., Baion, Y. M., Koroma, E. B., Jalloh, A. Y., Kokofele, K., & Baion, F. W. (2022). Efficient Water Collection from Biodesigned and Natural Inclined Surfaces: Influence of Inclination Angle on Atmospheric Water Collection. ACS omega, 7(48), 43574-43581.

二、Bai, H., Wang, L., Ju, J., Sun, R., Zheng, Y., & Jiang, L. (2014). Efficient water collection on integrative bioinspired surfaces with star-shaped wettability patterns. Adv. Mater, 26(29), 5025-5030.

三、廖祥羽, & 陳柏熏(2019)。有膜有漾-幾丁聚醣&聚乙烯醇薄膜探討
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-052402.pdf>

四、段奕鳴, 李承穎, & 王子宸(2019)。探網取霧－影響捕霧網集水特性之探討與應用
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-030503.pdf>

五、霧海氤氳探水源－探討捕霧網在不同構造條件下的集水量差異(2023)
[https://science.hc.edu.tw/fileUpload/winningEntries/112%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E5%9C%8B%E4%B8%AD%E7%B5%84%E7%94%9F%E6%87%89\(%E4%BA%8C\)%E7%92%B0%E4%BF%9D%E8%88%87%E6%B0%91%E7%94%9F%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%90%8D0525-10133897.pdf](https://science.hc.edu.tw/fileUpload/winningEntries/112%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E5%9C%8B%E4%B8%AD%E7%B5%84%E7%94%9F%E6%87%89(%E4%BA%8C)%E7%92%B0%E4%BF%9D%E8%88%87%E6%B0%91%E7%94%9F%E7%AC%AC%E4%B8%80%E5%90%8D0525-10133897.pdf)

【評語】 052402

該實驗設計以親水顆粒與疏水高分子進行混摻並製備成集水元件以量測其捕霧集水效率，該研究內容為仿生元件對於捕霧集水之效率，然而該研究中所提及仿生結構之連結說明少較為可惜。但研究選用最佳製備材料參數所製成之捕霧集水元件，相較於陶瓷、高分子與金屬材料等，具有較佳捕霧集水效果，實屬一種高效率且低成本之捕霧集水元件。研究內容具科學趣味，研究成果具應用潛力。

提供幾項建議期能使本研究更加完善，例如：應進行背景值之測試，確認空鋁盒對吸附水氣之影響、於集水效率測試方式為”在鋁箔紙上劃出一道開口，並將其中一片元件尖端朝下垂直立於開口處”，該如何確保露出元件之面積與角度相同，並確認上述條件是否會影響其集水效率、考慮在實驗方法部分探討更多參數(例如各實驗參數中之具體時間、溫度和其他操作條件等)、所製作的測試元件耐久性？在多次使用後，捕霧效率是否會下降？可進一步的實驗探討二氧化矽與聚四氟乙烯的相互作用，以利理解捕霧機制建立。

結果與討論部分建議增加說明親水性顆粒(SiO_2)摻雜量、親疏水材料比例對於膜相變化形貌改變對接觸角之變化進而對補水效果影響之差異等。

作品海報



探討親水性顆粒材料對仿生捕霧集水 元件之效率影響及其製備參數控制

摘要

本研究仿照沐霧甲蟲的異質濕潤表面結構，將含有親、疏水顆粒（SiO₂與PTFE）的溶液塗佈於可熱縮之聚苯乙烯基材上，進行熱處理後即可獲得具捕霧集水功能之元件。再改變溶液中親/疏水顆粒重量比、總固含量、親水顆粒粒徑及親水性顆粒種類，試圖找出最佳的製備參數。結果顯示，當親、疏水顆粒重量比 1：300、總固含量20wt%、SiO₂顆粒粒徑10 μ m時捕霧集水效率最佳，可達666.88mg/h·cm²，是一種高效率、低成本的捕霧集水元件，未來希望能運用於水資源回收與再利用的設備上。

壹、研究動機

全球面臨嚴重的缺水問題，台灣也不例外，而目前有一種新興的捕霧集水技術，能在沒有外加能源的情況下蒐集到乾淨的淡水資源，現今已在部分缺水地區應用。本研究期望能開發出一種高效率、低成本的捕霧集水元件，提升蒐集水的效率。

貳、研究目的

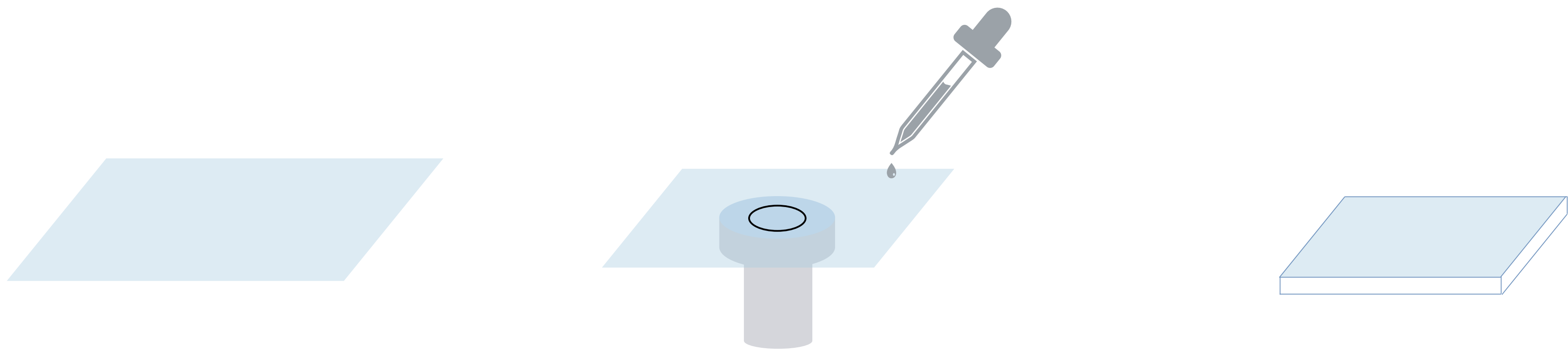
- 一、透過控制親水性顆粒比例找出捕霧集水元件的最佳化製備參數。
- 二、比較本研究所製備之元件與其他表面之捕霧集水效率。
- 三、以SEM觀察並分析本研究所製備的元件之表面結構。

參、研究設備及器材

- 一、藥品與器材：聚苯乙烯(PS)、聚四氟乙烯（PTFE）、二氧化矽顆粒（1 μ m、5 μ m、10 μ m）、銅、鋁、二氧化鈦、玻璃、界面活性劑、鋁箔紙、鋁盒
- 二、儀器：霧氣模擬箱、烘箱、旋轉塗佈機、UV-ozone 燈箱、超音波洗淨器、精密電子天秤、掃描式電子顯微鏡（SEM）、共軛焦顯微鏡、接觸角測量儀

肆、研究過程與方法

元件製作



裁切 8cm*8cm 的熱縮片，照UV光

以旋轉塗佈機將顆粒混和溶液均勻塗佈在熱縮片上

將熱縮片放入烘箱進行熱處理（140℃，10min）

透過實驗找出捕霧集水效率最佳的製備參數

一、比較不同親、疏水顆粒比例元件的捕霧集水效果

控制SiO₂顆粒粒徑為10 μ m、溶液總固含量為30wt%，改變元件表面薄膜溶液的親、疏水顆粒重量比，分別為1：200、1：300、1：400、1：500

二、比較不同溶液總固含量元件的捕霧集水效果

維持實驗一中集水效果最佳之參數（SiO₂顆粒粒徑10 μ m、親疏水顆粒重量比1：300），改變元件表面薄膜溶液總固含量，分別為10wt%、20wt%、30wt%

三、比較不同SiO₂顆粒粒徑對元件捕霧集水效果的影響

維持實驗二中集水效果最佳之參數（親疏水顆粒重量比1：300、表面薄膜溶液總固含量20wt%），改變SiO₂顆粒粒徑，分別為1 μ m、5 μ m、10 μ m

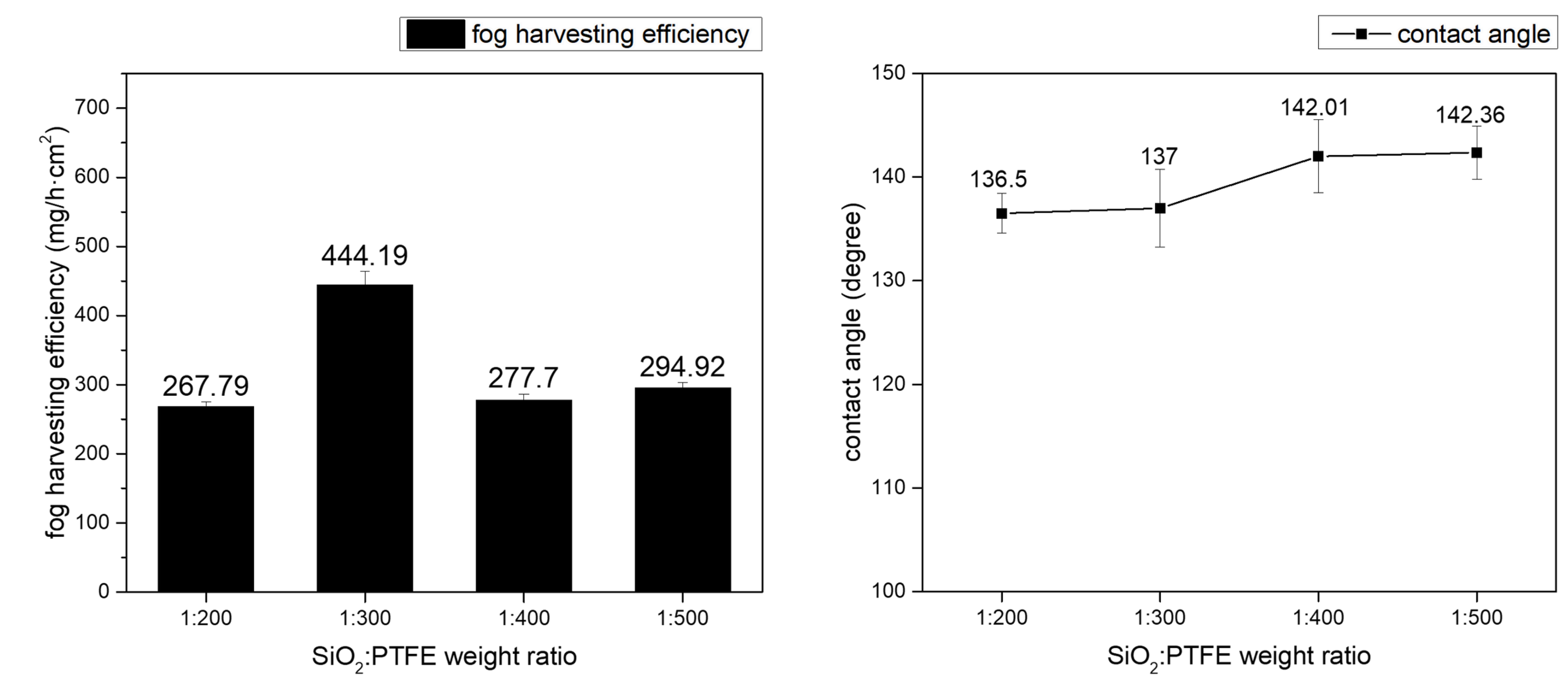
四、比較SiO₂顆粒混合溶液形成的多尺度皺摺表面與其他材料的捕霧集水效果

將有最佳捕霧集水效果的元件（SiO₂顆粒粒徑10 μ m、溶液總固含量20wt%、親疏水顆粒重量比1：300）與陶瓷材料(SiO₂、TiO₂)、高分子材料(PS、PTFE)和金屬材料(Cu、Al)比較

伍、結果與討論

一、比較以二氧化矽顆粒為親水顆粒並改變其他參數之元件，於霧氣模擬箱中一小時的捕霧集水效率，並比較各元件之接觸角。

(一) 溶液中SiO₂與PTFE重量比對元件捕霧集水效率之影響

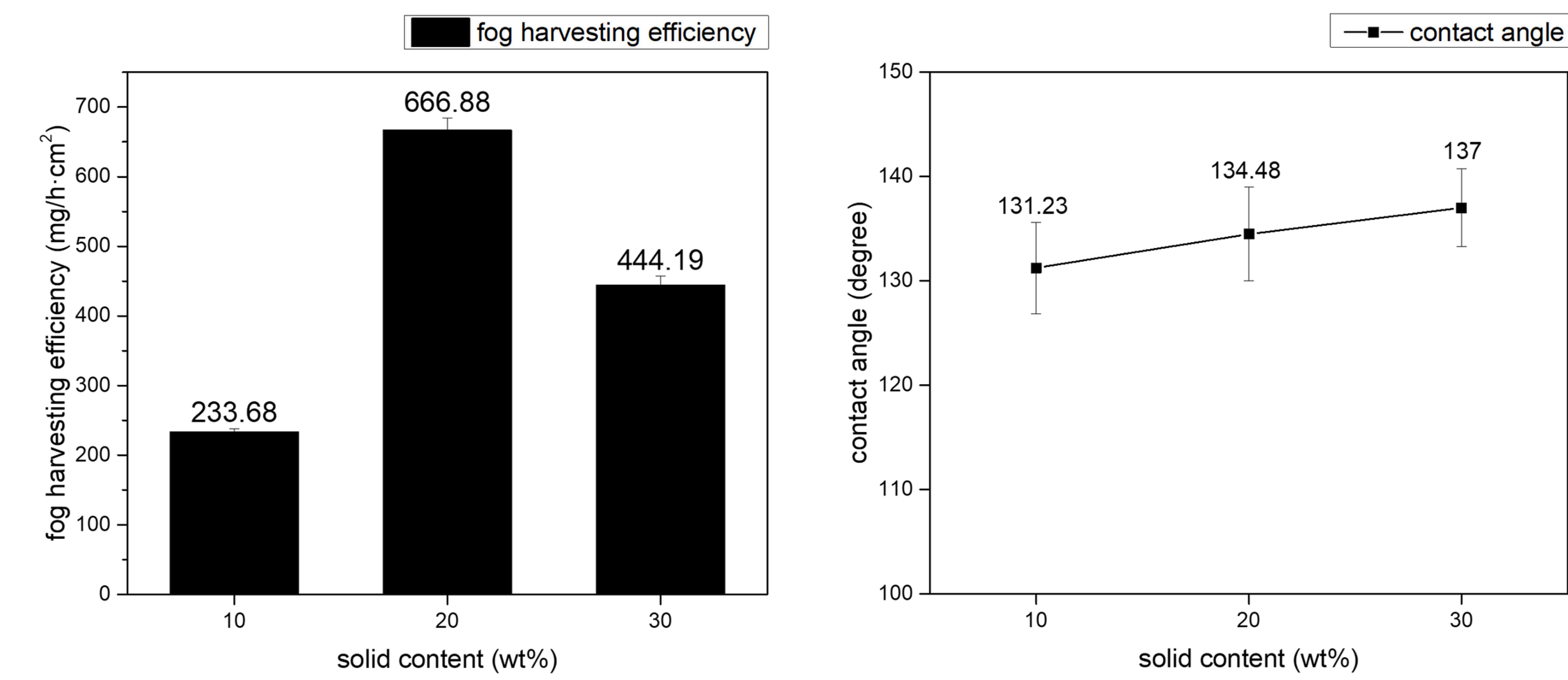


在實驗中改變溶液中SiO₂與PTFE重量比，根據（圖一）結果顯示，當兩者比值為1：300時有最佳的捕霧集水效果。而根據（圖二）顯示，元件接觸角隨著SiO₂與PTFE重量比下降而漸大。

▲ 圖一：各元件之集水效率

▲ 圖二：各元件之接觸角

(二) 溶液中總固含量對元件捕霧集水效率之影響

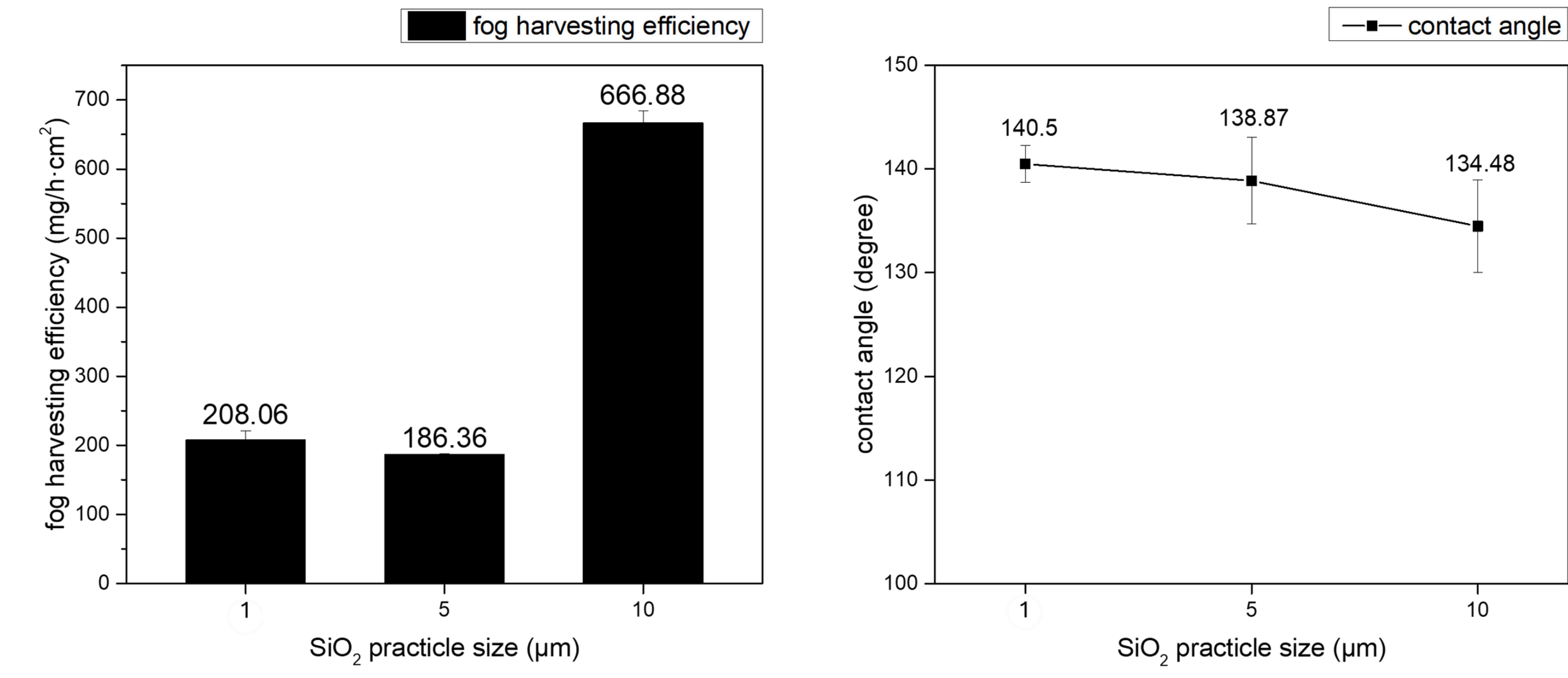


在實驗中改變溶液總固含量，根據（圖三）結果顯示，當溶液總固含量為20wt%時有最佳的捕霧集水效果。而根據（圖四）顯示，元件接觸角隨著溶液總固含量上升而漸大。

▲ 圖三：各元件之集水效率

▲ 圖四：各元件之接觸角

(三) 溶液中SiO₂顆粒粒徑對元件捕霧集水效率之影響

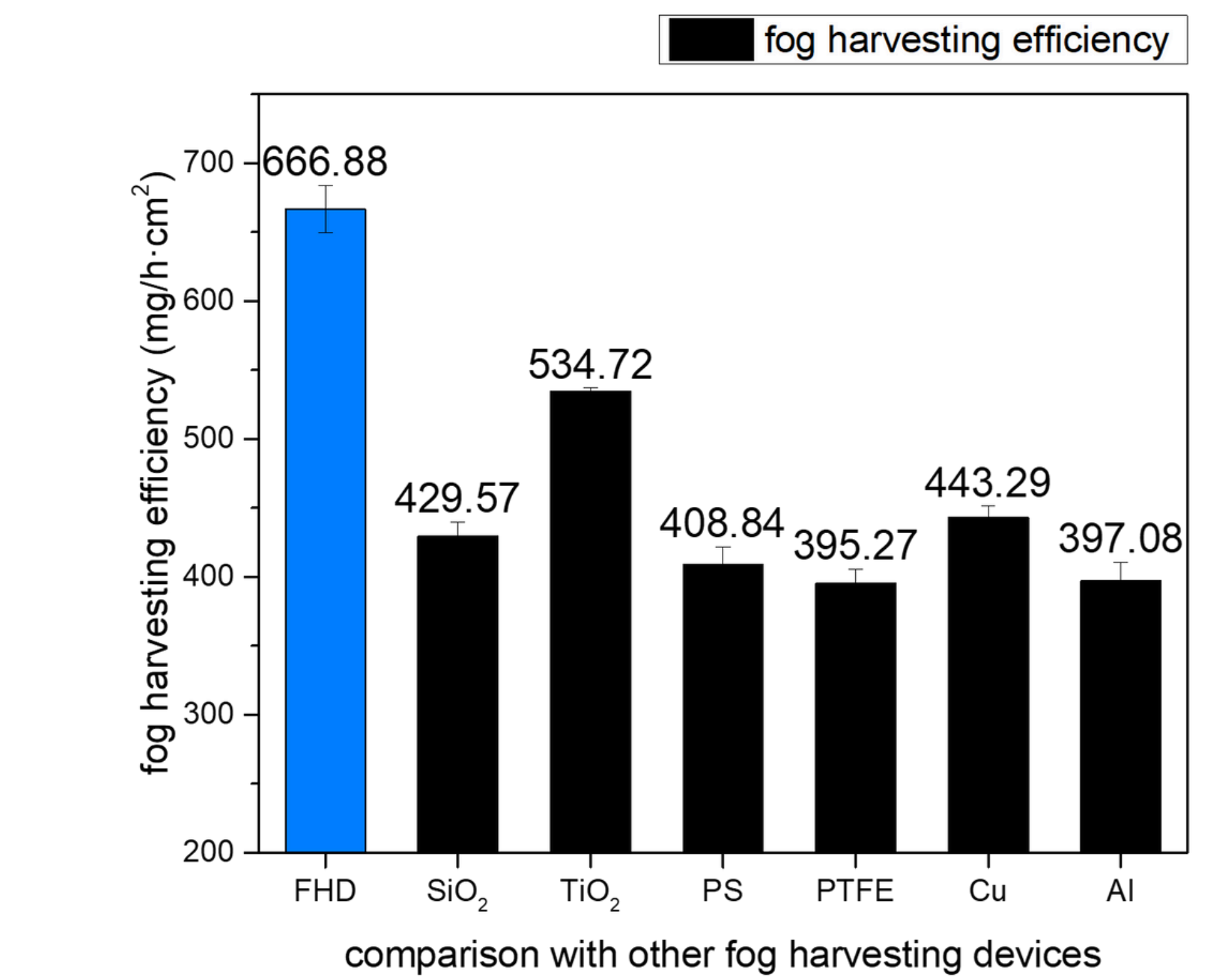


在實驗中改變SiO₂顆粒粒徑，根據（圖五）結果顯示，當粒徑為10 μm時有最佳的捕霧集水效果。而根據（圖六）顯示，元件接觸角隨著SiO₂粒徑變大而漸小。

▲ 圖五：各元件之集水效率

▲ 圖六：各元件之接觸角

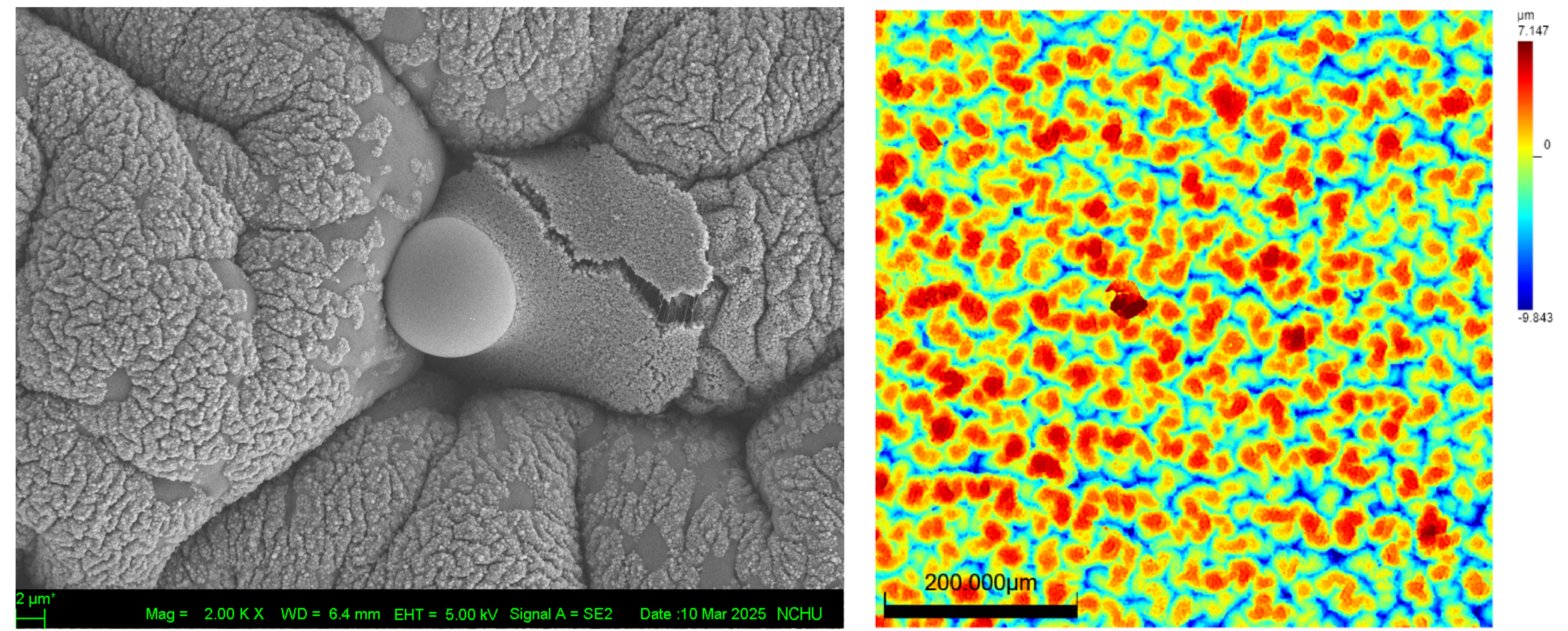
二、比較以二氧化矽顆粒為親水顆粒時有最佳捕霧集水效果之元件，與其他種類材料於霧氣模擬箱中進行一小時捕霧集水之效率。



（圖七）中，藍色長條為本實驗中捕霧集水效率最佳之元件(FHD)，其餘六者則分別為陶瓷材料(SiO₂、TiO₂)、高分子材料(PS、PTFE)、和金屬材料(Cu、Al)。根據（圖七）結果顯示，本實驗製作出效果最佳之元件的集水效果優於上述其餘材料。

◀ 圖七：各元件之集水效率

三、觀察具有二氧化矽顆粒凸起與多尺度皺摺元件之表面結構。



左圖為元件之SEM圖，圖中淺色圓球狀顆粒為二氧化矽顆粒，皺褶則是因PTFE溶液與聚苯乙炔基材在受熱時形變程度不同而產生。右圖為元件表面的彩色高度圖。

陸、結論

- 一、為了提高捕霧效率，理想的表面應該是異質濕潤表面，即表面具有不同的親疏水區域，因此本研究設計以SiO₂為親水區域（接觸角較小），提高霧滴的捕捉能力，使霧滴易於附著和聚集；而以PTFE為疏水區域（接觸角較大），促使較大水滴快速滑落，避免其再次蒸發，提高水的收集率。
- 二、實驗結果顯示，當溶液中SiO₂與PTFE的重量比為1：300，溶液總固含量為20wt%，二氧化矽顆粒粒徑為10 μm時，元件的捕霧集水效果最佳。
- 三、接觸角實驗顯示當SiO₂顆粒粒徑為10 μm時，對水的接觸角較小，因此能有較好的親水效果，提高霧滴的捕捉能力，符合上述第二點的結果。
- 四、當塗佈的PTFE的比例增加時，實驗測出元件對水的接觸角也愈大，即疏水性愈高。SiO₂和PTFE重量比為1：400和1：500時，因接觸角較大、親水性不佳，使捕霧集水效率下降。而1：300的元件則因親水和疏水的比例較平衡，故集水效果較佳。
- 五、由SEM結果顯示，塗佈PTFE的元件表面經熱處理後會形成皺褶結構，因此有利於提高捕霧集水效率。
- 六、本實驗成功製作出低成本、高效率且簡易製備之捕霧集水元件，未來可應用於乾燥地區之水資源蒐集。

柒、未來展望

- 一、優化溶液塗佈製程，使SiO₂與PTFE能更均勻地分佈於元件上。
- 二、拓展至其他如工業廢氣冷凝回收、水氣冷凝除濕器設備，提升能源與資源回收效率。

捌、參考資料

一、Foday Jr, E. H., Sesay, T., Baion, Y. M., Koroma, E. B., Jalloh, A. Y., Kokofele, K., & Baion, F. W. (2022). Efficient Water Collection from Biodesigned and Natural Inclined Surfaces: Influence of Inclination Angle on Atmospheric Water Collection. ACS omega, 7(48), 43574-43581.

二、Bai, H., Wang, L., Ju, J., Sun, R., Zheng, Y., & Jiang, L. (2014). Efficient water collection on integrative bioinspired surfaces with star-shaped wettability patterns. Adv. Mater, 26(29), 5025-5030.

三、廖祥羽, & 陳柏熏(2019)。有膜有漾-幾丁聚醣&聚乙炔醇薄膜探討 collection on integrative bioinspired surfaces with star-shaped wettability patterns. Adv. Mater, 26(29), 5025-5030.<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-052402.pdf>

四、段奕鳴, 李承穎, & 王子宸(2019)。探網取霧－影響捕霧網集水特性之探討與應用 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/59/pdf/NPHSF2019-030503.pdf>

（本海報中所有照片、圖表皆為第一作者拍攝、繪製）