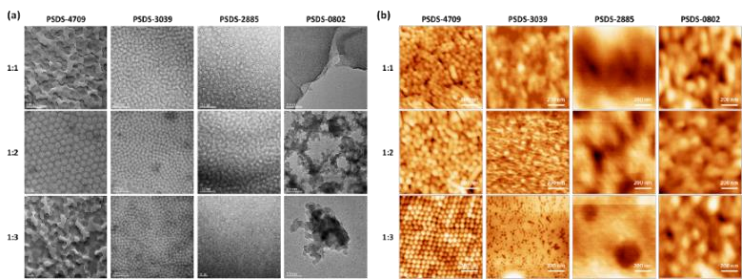


跨領域永續研究整合型計畫：

臺灣國立大學系統年輕學者創新性合作計畫執行報告格式

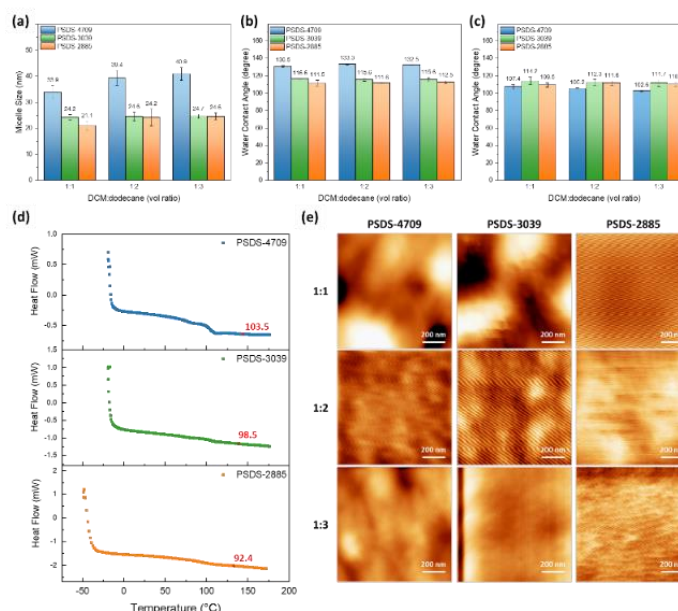
申請單位	國立中興大學
總計畫主持人	薛涵宇
總計畫名稱 (中文)	生物啟發之環境友善抗生物汙垢表面開發
總計畫名稱 (英文)	Development of Bioinspired Eco-Friendly Antibiofouling Surfaces
子計畫主持人	薛涵宇
中文摘要	本計畫旨在開發耐用的抗生物附著表面，解決滑液注入多孔表面 (Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces, SLIPS)系統潤滑層易流失的問題，並透過低表面能的微胞或顆粒結構提升抗生物附著效果。第一種方法利用微胞化的聚苯乙烯-嵌段-聚二甲基矽氧烷 (Polystyrene-block-Polydimethylsiloxane, PS-<i>b</i>-PDMS)高分子，其中 PDMS 具有低表面能，在常溫下呈現類似流體的特性，可取代 SLIPS 的潤滑層，形成不穩定表面。透過高低起伏的粗糙結構增強抗生物附著能力，且共價鍵結構提供更高的耐用性，相較於 SLIPS 依賴的毛細作用力更穩定。第二種方法則改良 Stöber 法合成二氧化矽微球，並以氟矽烷修飾劑(FAS-17)修飾表面，藉由物理屏障與低表面能特性減少生物附著。此外，二氧化矽具高溫穩定性，且該製程成本低廉、適用於大面積塗佈，提升工業化應用潛力。
英文摘要	Slippery Liquid-Infused Porous Surfaces (SLIPS) is an effective antifouling strategy but suffers from lubricant loss. This project develops surfaces similar to SLIPS using low-surface-energy micelle or particle structures for improved durability. The first method employs micelle-structured polystyrene-block-polydimethylsiloxane (PS-<i>b</i>-PDMS), where the PDMS block mimics a fluid at room temperature, replacing SLIPS lubricants. Its rough surface enhances antifouling, while covalent bonding provides superior durability over SLIPS' capillary-based retention. The second method modifies the Stöber process to synthesize

	silica microspheres grafted with FAS-17 (fluorosilane). The fluorinated surface minimizes biofouling, and silica ensures thermal stability. This cost-effective, scalable approach enables industrial applications.
執行方法及步驟	此計畫中第一部分之執行方法為選擇不同體積分率的 PS-<i>b</i>-PDMS 嵌段共聚物進行抗生物附著能力比較，先利用嵌段共聚物之高分子鏈對於不同溶解度參數之有機溶劑相容性差異進行微胞製作(詳細製作流程如附件)。此計畫第二部分中，合成二氧化矽球的過程主要採用溶膠-凝膠法，利用四乙氧基矽烷 TEOS 作為前驅物，在氨水的催化下進行水解與縮合反應，最終生成均勻分散的二氧化矽顆粒。在合成二氧化矽顆粒之過程中加入適量之 FAS-17，即可成功製備 FAS-SiO₂ 之顆粒(詳細製作流程如附件)。成功製備微胞及氟化物二氧化矽顆粒之結構後，進行形貌及性質檢測，並以微藻測試抗生物附著能力測試。
成果與績效	於第一部分計畫中，為了驗證是否成功製備 PS-<i>b</i>-PDMS 微胞分散液，首先以穿透式電子顯微鏡(TEM)、原子力顯微鏡(AFM)檢測微胞形貌(如圖一)，挑選可穩定形成微胞結構的 PS-<i>b</i>-PDMS 樣品。由圖一(a)不同參數製作微胞的 TEM 結果可以歸納出穩定形成微胞結構的條件：總分子量較大之 PS-<i>b</i>-PDMS 樣品在不同二氯甲烷：十二烷(DCM：dodecane)比例中，皆能形成微胞結構，而總分子量較低之 PSDS-0802 結構較易形成團聚狀態，顆粒結構較不明顯。分子量較大之 PS-<i>b</i>-PDMS 樣品中，PS 比率較高的樣品擁有較清晰的微胞結構，顆粒間無覆蓋膜層，並且顆粒大小隨著 PS 鏈段長度增加而有變大的趨勢，如樣品 PSDS-4709。另外，在圖一(b)的 AFM 影像圖也可以看到類似的結果，若要製作出穩定的微胞結構，可選擇分子量較大之 PSDS-4709、PSDS3039、PSDS-2885 樣品進行系統性的討論。  圖一、不同體積分率之 PS-<i>b</i>-PDMS 在不同體積比例之二氯甲烷：十二烷溶液形成微胞結構之(a)TEM 及(b)AFM 影像。

微胞的尺寸根據圖一(a)之 TEM 影像，經由軟體 Image J 量測直徑約為 20-40 nm，其結果如圖二(a)所示。PSDS-4709 在不同 DCM:dodecane 比例中，微胞尺寸皆大於 PSDS-3039、PSDS-2885，這是因為在微胞成形的過程中，核心為 PS 作為支撐，控制微胞結構的尺寸，而具有低玻璃轉換溫度的 PDMS 在外圍展現類流體性質，提供低表面能之抗生物附著功效，因此含有較高體積分率之 PS 鏈之 PSDS-4709，核心的體積較大，進而使其有較大尺寸的微胞結構。根據統計結果發現不同比例的 DCM:dodecane 亦會影響微胞尺寸，當比例為 1:1 時，相對為兩相之良溶劑 DCM 可使 PS-*b*-PDMS 擁有更多空間分散於溶液中，因此將 PS-*b*-PDMS 切分為每單位體積更小更均勻的聚集體，量測到的微胞尺寸較小；隨著 PDMS 選擇性溶劑 dodecane 的比例增加，不喜歡 dodecane 的 PS 鏈段更傾向於與自身聚集，使每單位體積之微胞體積變大、數量減少，進而量測到較大尺寸的微胞結構。PSDS-3039 及 PSDS-2885 微胞尺寸約為 20~25 nm，尺寸較無明顯差異，其原因如同前述提及，微胞尺寸取決於 PS 鏈段之分子量，兩者 PS 分子量相當接近因此無明顯差異，但亦符合前述影響微胞尺寸之結論。

將微胞塗佈於基板表面均勻成膜後，使用水滴接觸角檢測樣品的濕潤性質，可以發現其親疏水性質與微胞尺寸擁有相似的成長趨勢，所有的微胞表面皆具有大於 110°的疏水性質，如圖二(b)所示。表面的疏水性質是因為微胞的外層由 PDMS 組成，而根據文獻資料，PDMS 之水滴接觸角約為 108°，在平坦的結構中即展現疏水性質，而奈米尺寸的微胞藉由結構提供濕潤性質的增強，其中又以尺寸較大的 PSDS-4709 微胞擁有最顯著的增強效果，其他樣品之疏水性質與微胞尺寸皆略為提升。在本計畫中，為了驗證微胞結構有利於抗生物附著功效，因此利用 PS-*b*-PDMS 之熱性質，改變微胞形貌進行後續測試，圖二(d)為不同體積分率 PS-*b*-PDMS 之 DSC 量測結果。根據圖二(d)的熱性質分析，三個不同體積分率的 PS-*b*-PDMS 樣品在溫度約為 90~105°C 出現下降走勢，並且隨著 PS 含量降低而有下降趨勢，這是因為此嵌段共聚物的材料組成中，PDMS 為低玻璃轉換溫度之材料，在室溫環境為流動狀態，而 PS 本身的玻璃轉換溫度介於 90~110°C，以至於整體熱性質與 PS 含量成正相關趨勢。在了解 PS-*b*-PDMS 熱性質後，將樣品置於高於玻璃轉換溫度 140°C 之環境進行熱處理，使支撐微胞結構之 PS 核心熱融化而塌陷，由圖二(e)之 AFM 影像可發現微胞結構經熱處理已不復存在，僅留下些微隆起結構，並且由於表面由 PDMS 分布，在掃描 AFM 時更容易因為其黏滯性使影像模糊。樣品的濕潤性質也因為

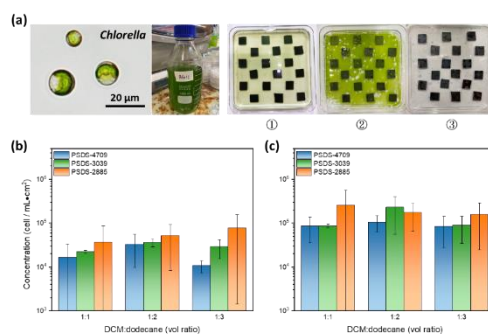
微胞結構改變而發生變化，不同體積分率的 PS-*b*-PDMS 樣品經熱處理量測到的水滴接觸角結果如圖二(c)所示。如同前述提及，由於表面為 PDMS 分布，不論是否具有微胞結構改變表面粗糙度，水滴接觸角皆大於 90° 為疏水性質，由於 PSDS-3039 及 PSDS-2885 含有較多 PDMS，因此量測到較高的水滴接觸角度。



圖二、不同體積分率之 PS-*b*-PDMS 在不同體積比例之二氯甲烷：十二烷溶液形成微胞結構之(a)微胞尺寸，以及使微胞均勻披覆於矽基板上，(b)熱處理前及(c)熱處理後之水滴接觸角量測結果。(d)不同體積分率之 PS-*b*-PDMS 之 DSC 量測結果。(e)熱處理後之 AFM 影像。

圖三(a)為抗生物附著實驗相關的影像，包含使用的物種小球藻 *Chlorella*、其高濃度溶液，以及樣品進行實驗時的三階段：樣品浸泡高濃度藻液，於藻類適合生長環境中靜置七天，最後抽乾藻液取下樣品進行後續藻類含量測量。將樣品使用葉綠素螢光高度敏感的測量儀器 bbe PhycoProbe，測量從樣本表面脫落在去離子水中的藻類，計算附著的藻類細胞的數量，圖三(b)、圖三(c)分別為微胞樣品熱處理前後之抗生物附著實驗結果。圖三(b)具有微胞結構的樣品中，微胞尺寸較大、濕潤性質較疏水之 PSDS-4709 整體來說有較佳的生物附著效果。較大尺寸之 DCM:dodecane 比例為 1:3 的 PSDS-4709 微胞有最佳的抗藻效果，除了粗糙表面的物理障礙之外，表層的 PDMS 提供不穩定性質使藻類不易附著，說明 PDMS 含量也是影響抗生物附著表現的重要因素。PSDS-3039 及 PSDS-2885 之微胞樣品隨著 DCM:dodecane 比例由 1:1 增加至 1:3 時，小球藻附著數

量明顯增加，其中又以比例為 1:3 之 PSDS-2885 有最多的藻類附著，不排除過量的 PDMS 將藻類黏附使得檢測出較多的藻類。然而，微胞樣品經過熱處理使結構塌陷後，所有樣品的抗生物附著效果皆大幅下降，有更多的藻類附著在樣品，但 PSDS-4709 依然擁有較少的藻類細胞附著，並且數量與未加熱前的 1:3 之 PSDS-2885 微胞樣品相當，更說明了微胞結構對於生物附著的功效有明顯的幫助。

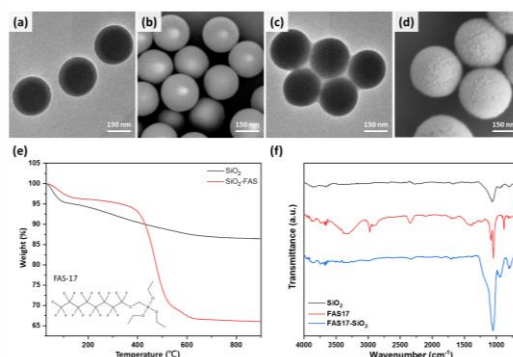


圖三、(a)抗生物附著實驗使用之小球藻 *Chlorella* 高濃度藻液，及測試樣品在藻類實驗進行的三個階段。(c)不同體積分率 PS-*b*-PDMS 之微胞樣品抗藻實驗測試結果，以及經過熱處理之樣品進行抗藻實驗結果(d)。

關於第二部份實驗，從圖四(a)的 TEM 影像可以觀察到，二氧化矽球呈現良好的球形結構，顆粒粒徑均勻且彼此分散，未出現聚集現象。這種良好的分散性主要歸因於二氧化矽表面殘留的矽羟基 (Si-OH)，其產生的靜電排斥作用可有效防止顆粒間的直接接觸。圖四(b)的 SEM 影像進一步展示了二氧化矽球的表面形貌。儘管部分顆粒在 SEM 影像中出現輕微的堆積，但顆粒表面依然光滑，排列相對均勻，顯示出二氧化矽球具備良好的分散性與穩定性。接枝 FAS 後的二氧化矽球，在圖四(c)的 TEM 影像中可觀察到顆粒之間出現邊緣部分連接的現象，這是由於 FAS 分子成功接枝至二氧化矽表面後，改變了其表面特性。接枝過程中，FAS 分子的矽烷基(Si-OR)與二氧化矽表面的矽羟基反應，形成穩定的 Si-O-Si 鍵結，進而改變顆粒之間的相互作用。圖四(d)的 SEM 影像則展示了接枝 FAS 後二氧化矽球的表面形貌變化。相比於未接枝的二氧化矽球，接枝後的顆粒表面變得更加粗糙，這表明 FAS 分子已成功附著於二氧化矽表面。此外，影像中還可以觀察到部分顆粒邊緣出現連接現象，顯示出 FAS 接枝改質對顆粒的分散性和結構排列產生了一定影響，這些變化進一步證明 FAS 成功接枝於二氧化矽表面。

圖四(e)熱重分析結果中可以觀察到黑線之 SiO₂ 在整個升溫過

程中具有極高的熱穩定性在 200 °C 至 800 °C 的高溫範圍內的重量變化極小，表明其結構穩定，無明顯的分解現象。相比之下，紅色曲線 SiO₂-FAS 表現出不同的熱重行為：SiO₂-FAS 在 400 °C 至 600 °C 的區間內出現明顯的重量下降，這一階段主要是由於其全氟十七烷三甲基氧矽烷結構中的有機基團(如 C-F 和 C-H 鍵)分解所致，為 FAS 分子的熱裂解過程，此揮發性有機產物的釋放使樣品重量顯著減少。當溫度超過 600 °C 時，SiO₂-FAS 的重量變化趨於穩定，最終穩定於約 65% 的剩餘重量，表明 FAS 的有機部分已經完全裂解，剩餘的部分為穩定的二氧化矽結構。與此同時，SiO₂ 的重量基本保持不變，顯示出其優異的高溫熱穩定性。**圖四(f)** 的傅立葉轉換紅外光譜(FTIR)，用於判斷 FAS 是否成功接枝至 SiO₂ 表面。紅色曲線的 FAS17 光譜在 2900 cm⁻¹ 附近出現 C-H 鍵的拉伸振動，表明 FAS 分子中含有有機烷基結構。同時，在 1200 至 1100 cm⁻¹ 區間內觀察到強吸收峰，對應於 C-F 鍵的拉伸振動，這是 FAS-17 中氟基團(-CF₂)的特徵峰，顯示出其結構中含有氟化烷基。藍色曲線 FAS17-SiO₂ 與紅色曲線峰值有高度的重合，並且在 950 cm⁻¹ 處的 Si-OH 吸收峰強度有所減弱，表明接枝過程中表面矽羟基被部分消耗，生成穩定的 Si-O-Si 鍵，證實 FAS 分子中的有機烷基鏈及氟基團已成功接枝至 SiO₂ 表面。

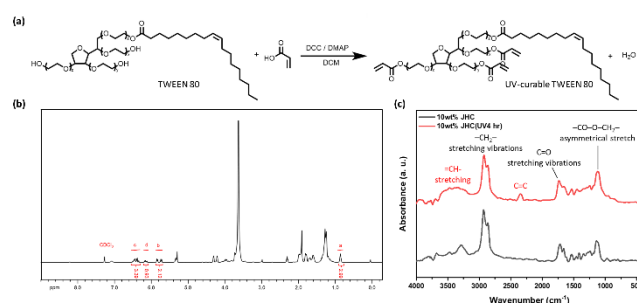


圖四、二氧化矽球(SiO₂ particles)及氟矽烷化合物接枝二氧化矽球(FAS-SiO₂ particles)之合成。二氧化矽球之(a)TEM 及(b)SEM 影像圖。氟矽烷化合物接枝二氧化矽球之(c)TEM 及(d)SEM 影像圖。(e) 二氧化矽(SiO₂)與接枝 FAS 的二氧化矽(SiO₂-FAS)的熱重分析(TGA)結果。(f) 二氧化矽、FAS-17 及接枝 FAS 的二氧化矽(SiO₂-FAS)之傅立葉轉換紅外光譜(FTIR)。

為了提高抗藻樣品的長效性能，我們選擇使用紫外光可交聯型界面活性劑作為 FAS-SiO₂、SiO₂ 與基板的結合劑，以增強其在基板上的黏附強度並提高塗層的穩定性。界面活性劑的合成過程如 **圖五**

(a)所示，首先，我們使用 TWEEN80 作為起始原料，該化合物因為具有多個羥基(-OH)，隨後加入丙烯酸(acrylic acid)進行酯化反應，將羥基修飾為末端帶有雙鍵的結構。該反應在二氯甲烷(DCM)溶劑中進行，使用 DCC(N,N'-二環己基碳二亞胺)作為脫水劑，DMAP(4-二甲氨基吡啶)作為催化劑，攪拌反應數小時以確保完全反應。接著以無水酒精作為溶劑，將合成的交聯型界面活性劑配製成濃度為 10 wt%的溶液，將 FAS-SiO₂ 或 SiO₂ 與交聯型界面活性劑以體積比 1:1 的比例混合，並充分攪拌形成穩定的分散液。最後使用噴塗法將溶液均勻地塗覆於基板表面，確保塗層的均一性與完整性。隨後，對塗覆樣品進行紫外光(UV 光)照射處理，利用 254 nm 短波長紫外光的高能量破壞界面活性劑分子中的雙鍵，啟動自由基反應，從而引發分子間之交聯反應，顯著增強 FAS-SiO₂ 或 SiO₂ 在基板上的黏附性，並提高塗層的耐用性與結構穩定性。最終，通過酯化反應成功製備出末端帶有雙鍵的交聯型界面活性劑，由圖五(b)之 NMR 以及圖五(c)之 FTIR 證實。

圖五(c)的 FTIR 分析結果顯示，經過 UV 照射後，樣品的化學結構發生了顯著變化。在 3200 cm⁻¹ 附近觀察到的=CH-拉伸振動峰強度增加，表明紫外光照射增強了烯類官能團的存在，顯示交聯反應的進行。同時，2850-2920 cm⁻¹ 區間內的 CH₂ 拉伸振動峰保持不變，說明材料的長碳鏈結構在 UV 照射前後依然穩定。此外，位於 1730 cm⁻¹ 的 C=O(羰基)伸縮振動峰在 UV 照射後未出現顯著變化，顯示酯類基團的結構完整性得以保持。綜合以上結果，UV 照射促進了樣品的交聯過程，並且形成了更穩定的網絡結構，進一步驗證了 UV 固化的成功性。這些變化顯示材料在紫外光的作用下可實現有效的光交聯，並形成具有更高穩定性的固化網絡，為後續應用提供了良好的化學穩定性與機械性能。



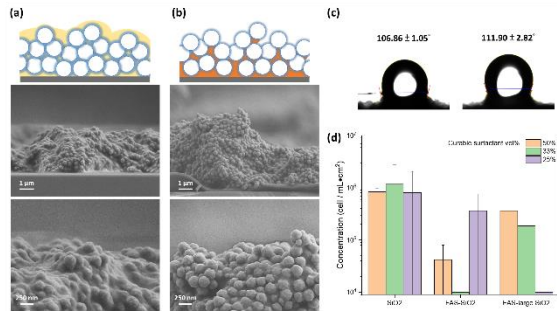
圖五、紫外光可交聯型界面活性劑之(a)合成過程、(b)NMR 檢測結果。可交聯型界面活性劑照射紫外光前後之(c)FTIR 結果。

將 FAS-SiO₂ 與可交聯型界面活性劑混合後噴塗於基板上，根

據圖六(a)、(b)之 SEM 橫截面圖像的分析，交聯型界面活性劑在 UV 照射前後的形貌變化顯示其在基板上的分佈行為與固化過程的影響。圖六(a)為在未照射 UV 之前，交聯型界面活性劑具有較高的流動性，能夠均勻地覆蓋於 FAS-SiO₂ 顆粒表面，形成緻密且平滑的覆蓋層，使顆粒之間的界限不明顯，表現出較好的鋪展性。然而，經過 UV 照射後(圖六(b))，交聯型界面活性劑發生交聯反應，並逐漸向基板流動，使更多的 FAS-SiO₂ 顆粒裸露於表面，同時固化後的交聯型界面活性劑將顆粒緊密地固定於基板上，形成更穩固的結構。SEM 放大圖進一步顯示，UV 照射後，交聯型界面活性劑流向基板流動得更多，使表面顆粒的裸露程度顯著提高。同時，交聯型界面活性劑在固化過程中緊密填充於顆粒與基板之間，確保顆粒不易脫落，並顯著增強其附著力。整體而言，UV 照射促使交聯型界面活性劑由流動態轉變為固化態，使表面顆粒的裸露程度增加的同時，也在基板上形成強固的結合層，充分顯示出 UV 固化過程對材料表面結構的顯著影響。

從圖六(c)的水滴接觸角測試結果來看，UV 照射前的接觸角為 $106.86 \pm 1.05^\circ$ ，而 UV 照射 4 小時後，接觸角上升至 $111.90 \pm 2.82^\circ$ 。這一變化顯示照射 UV 後，增強材料的表面疏水性，可能是由於 UV 照射促進了交聯型界面活性劑的固化，並逐漸流向基板，促使更多 FAS-SiO₂ 顆粒暴露於表面，從而減少表面極性區域的分佈，並提升整體的疏水性。值得注意的是，裸露於表面的 FAS-SiO₂ 具有良好的抗藻特性，其氟化表面可有效抑制微生物的附著，進而增強材料的抗藻性能。此外，UV 照射可能還進一步強化材料的結構穩定性，使 FAS-SiO₂ 顆粒更緊密地結合於基板，確保長期的抗藻效果與耐久性，相關的抗生物附著能力結果如圖六(d)所示。關於抗生物附著測試在本階段選用 SiO₂、FAS-SiO₂，以及改變合成 SiO₂ 之氨水濃度製作成尺寸較大之 FAS-SiO₂，並混合不同體積比之交聯型界面活性劑噴塗於基板上作為抗生物附著樣品。僅由 SiO₂ 製備之樣品在混合不同比例之交聯型界面活性劑下的抗生物附著效果並無太大差異，但是由於少了 FAS-17 的成分使得整體的抗生物附著效果較另外兩者差。FAS-SiO₂ 中混合 33 vol%-之樣品與擁有較大尺寸之 FAS-large SiO₂ 樣品混合 25 vol%-之樣品有最佳的抗生物附著效果，推測與表面 FAS 的含量與分佈有關，在一般尺寸之 FAS-SiO₂ 樣品中，33 vol% 較 50 vol%-之樣品有更多的 FAS-SiO₂ 分布於表面，使得表面附著的藻類較少，進一步減少交聯型界面活性劑體積比時，抗生物附著能力反而變差，推測 FAS-SiO₂ 在樣品表面的含量因為不足夠的黏著劑而脫落，間接影響抗生物附著的功效。由先前的研究發現，相對

較大尺寸的顆粒結構能成為空間障礙減少生物附著，因此加入擁有較大尺寸之 FAS-large SiO₂ 樣品進行測試，可以發現其抗生物附著能力隨著交聯型界面活性劑含量減少而有明顯的增加，這是因為尺寸較大之樣品在過多的交聯型界面活性劑比例下會覆蓋表面，隨著交聯型界面活性劑的減少能使更多的 FAS-large SiO₂ 裸露於表面，展現其抗生物附著效果。關於此實驗可以說明添加低表面能之材料在粗糙的表面可以有效提升抗生物附著能力。



圖六、將 FAS-SiO₂ 與可交聯型界面活性劑混合後噴塗於基板上，並且使用 UV 光(a)照射前，以及(b)照射後之 SEM 橫截面圖像及放大圖。(c)左右之水滴影像圖分別為使用 UV 光照射前及照射後之水滴接觸角量測結果。(d)將不同成分及尺寸之 FAS-SiO₂ 進行藻類的抗生物附著比較。

對永續議題之貢獻

本研究在永續發展上的貢獻體現在材料選擇與環境影響兩方面。首先，採用 PS-*b*-PDMS 雙嵌段共聚物與改良 Stöber 方法合成的二氧化矽微球，這些材料具高耐用性，可減少塗層更換頻率，降低廢棄物產生。PDMS 因低表面能與流動特性，可取代 SLIPS 潤滑液，避免潤滑劑流失造成的環境污染。此外，二氧化矽作為陶瓷材料，具有高穩定性與耐高溫特性，能延長塗層壽命。在環境影響方面，該技術可有效降低化學清潔劑與抗生素的使用，減少水體與生態污染。本研究開發的塗層能抑制生物污垢附著，降低設備維護成本與能源消耗。改良的 Stöber 方法製程簡單、成本低廉，適用於大面積塗佈，提升工業應用潛力。此技術能減少對有害化學物質的依賴，推動環保型抗生物附著技術發展，為表面工程提供更永續的解決方案。

結論與建議

本研究探討不同材料與結構對抗生物附著性能的影響，結果顯示微胞樣品的尺寸與 PDMS 含量是關鍵因素。較大尺寸且 PDMS 含量適中的 PSDS-4709 (DCM:dodecane = 1:3) 具有最佳抗藻效果，說明粗糙表面與 PDMS 的不穩定性可有效抑制藻類附著。然而，微胞結

	構經熱處理後塌陷，導致抗生物附著效果顯著下降，進一步證實微胞結構對抗藻性能的重要性。在 SiO₂與 FAS-SiO₂樣品的研究中，FAS-SiO₂的抗生物附著效果明顯優於純 SiO₂，且表面 FAS 分布均勻時效果最佳。其中，33 vol% FAS-SiO₂與 25 vol% FAS-large SiO₂表現最優，顯示低表面能材料與適當顆粒尺寸可提升抗生物附著性能。此外，FAS-large SiO₂的抗生物附著能力隨交聯型界面活性劑減少而提升，因較大尺寸顆粒可增加表面粗糙度並提供物理屏障，進一步減少藻類附著。綜合結果，建議未來研究進一步優化 PDMS 含量與微胞結構穩定性，以提升耐用性。此外，在 SiO₂基材中，可調控 FAS-SiO₂與界面活性劑比例，以實現更佳抗生物附著性能並拓展其應用。
附件	第一部份之實驗流程：包含 PS 鏈段為 47,000 g/mol，PDMS 鏈段為 9,000 g/mol 之樣品 PSDS-4709、PS 鏈段為 30,000 g/mol，PDMS 鏈段為 39,000 g/mol 之樣品 PSDS-3039、PS 鏈段為 28,000 g/mol，PDMS 鏈段為 85,000 g/mol 之樣品 PSDS-2885，以及 PS 鏈段為 8,000 g/mol，PDMS 鏈段為 2,700 g/mol 之樣品 PSDS-0802。除了形成微胞結構之外，使 PDMS 能分佈在微胞的外圍提供如同類流體性質，以達到如同 SLIPS 潤滑表面之抗生物附著功效，製作微胞溶液的方法：首先以 PS 及 PDMS 之共同溶劑二氯甲烷(dichloromethane, DCM)溶解嵌段共聚物 PS-<i>b</i>-PDMS，配製的濃度為 25 mg/mL，接著加入對於 PDMS 溶解度參數相對較高之正十二烷(dodecane)作為製成微胞之第二相選擇性溶劑，添加量為二氯甲烷之 1~3 倍，並於室溫環境下使用磁石攪拌 3 小時至均勻，即可形成由 PDMS 分佈於微胞殼層(shell)，PS 分佈於微胞球核(core)之微胞結構。接著將開蓋升溫至 35°C 攪拌 2 小時蒸發二氯甲烷，使微胞分散於正十二烷溶液中。為了能施作於大面積的材料表面，後續使用噴塗機將微胞塗佈於基材表面，需在已形成微胞的溶液中加入第三相溶劑—乙醇，並在超聲波震盪機下震動 2 小時，使微胞穩定分散於其中，形成均勻且不堆疊的球形微胞分散液，並進行抗生物附著測試。 第二部份之實驗流程：合成二氧化矽球的過程主要採用溶膠-凝膠法，利用四乙氧基矽烷(TEOS)作為前驅物，在氨水的催化下進行水解與縮合反應，最終生成均勻分散的二氧化矽顆粒。配製由無水酒精、去離子水及氨水組成之溶液 A，以及由無水酒精與 TEOS 組成之溶液 B，隨後將兩溶液合併，於 40 °C 充分攪拌混合。當反應進行至第二小時時，加入適量 FAS，該分子的矽烷基(Si-OR)會與二氧化矽表面的矽羥基(Si-OH)發生反應，形成穩定的化學鍵結，進一步

	改質顆粒表面，並賦予其優異的疏水特性。反應繼續進行 3 小時，以確保 FAS 充分接枝並實現表面功能化。反應完成後，將產物置於離心機中使用無水酒精作為洗滌劑對產物進行離心純化。最後，將純化後的改質二氧化矽顆粒分散於無水酒精中，並使用超音波震盪器進行處理，使其均勻分散於溶液中。
--	---

備註：

1. 本報告內容以5至10頁為限。
2. 報告繳交時請提供電子檔各 1 份至總計畫主持人所屬學校之研發處承辦人及本案承辦學校承辦人。