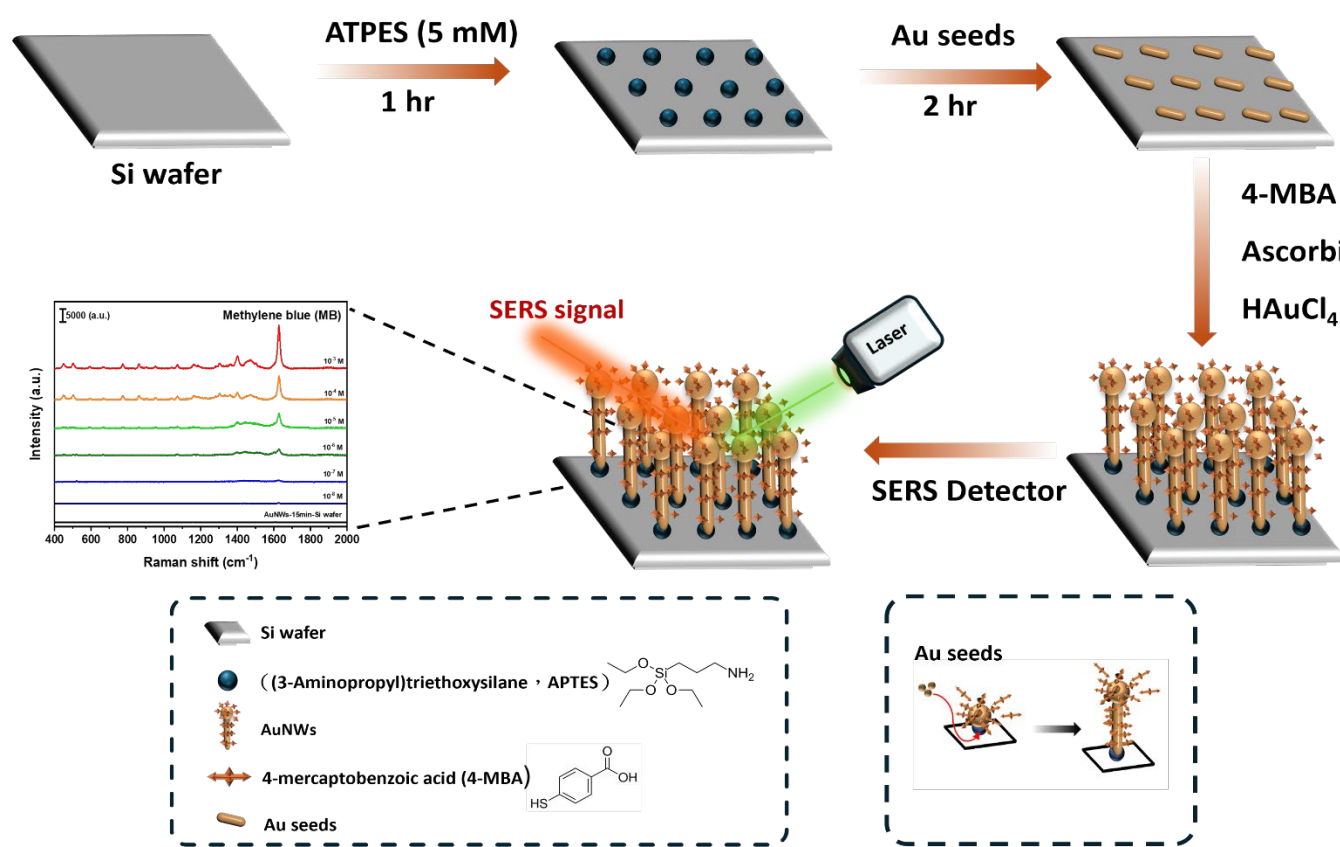


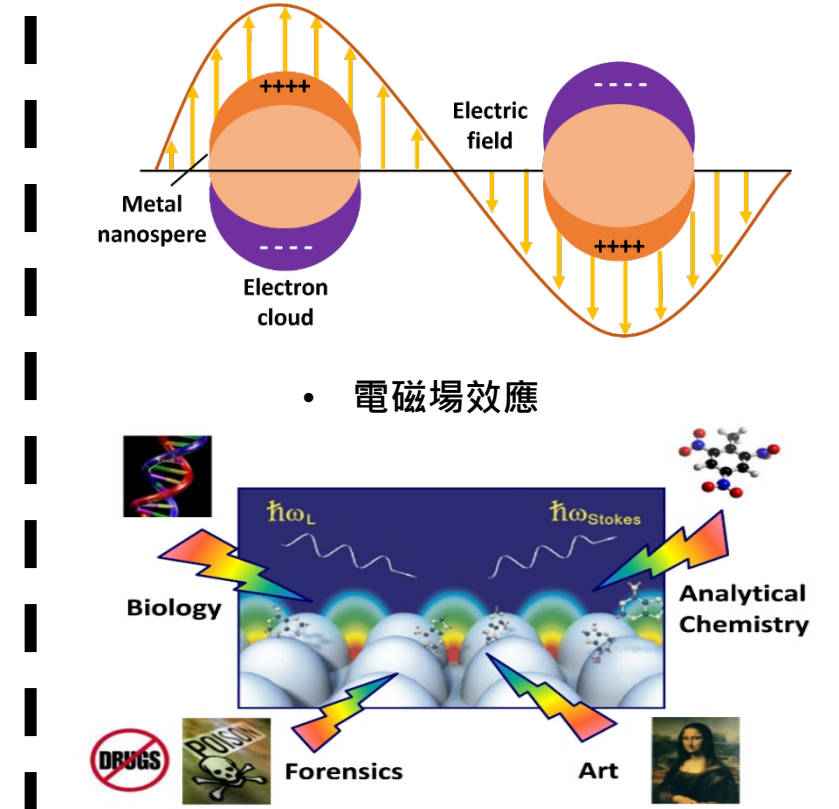
摘要

本研究開發了一種三維金奈米線 (Gold nanowires, AuNWs) 結構的高效能晶片，該基板專門用於提升表面增強拉曼光譜 (Surface-enhanced Raman spectroscopy, SERS) 的檢測能力。三維金奈米線結構具有獨特的幾何形狀，為SERS提供了良好的檢測效果，這是由於和傳統的平面或其他二維結構相比，金奈米線擁有更大的比表面積，進而增加了待測分子與金奈米線的交互作用面積，金奈米線的三維結構特性，使其在表面和尖端處可產生更強的局部電磁場增強效應，這大幅提高了檢測靈敏度，進一步提升了SERS在低濃度污染物檢測中的應用潛力。在實驗中我們比較了不同濃度的4-Mercaptobenzoic acid (4-MBA)、金奈米溶液與金奈米線成長時間對SERS性能的影響，結果顯示，隨著金奈米線溶液濃度的增加及適當延長的生長時間，SERS信號增強顯著。最後我們檢測生活中不同的水污染物，其中孔雀石綠(MG)因其在養殖漁業中的廣泛應用而受到關注，由於低廉的價格和優異的殺菌效果而受到青睞，但其潛在的毒性問題也引發了環境的擔憂，除了孔雀石綠外，我們也對水中染料亞甲基藍(MB)進行SERS光譜量測與分析，以達到即時檢測。

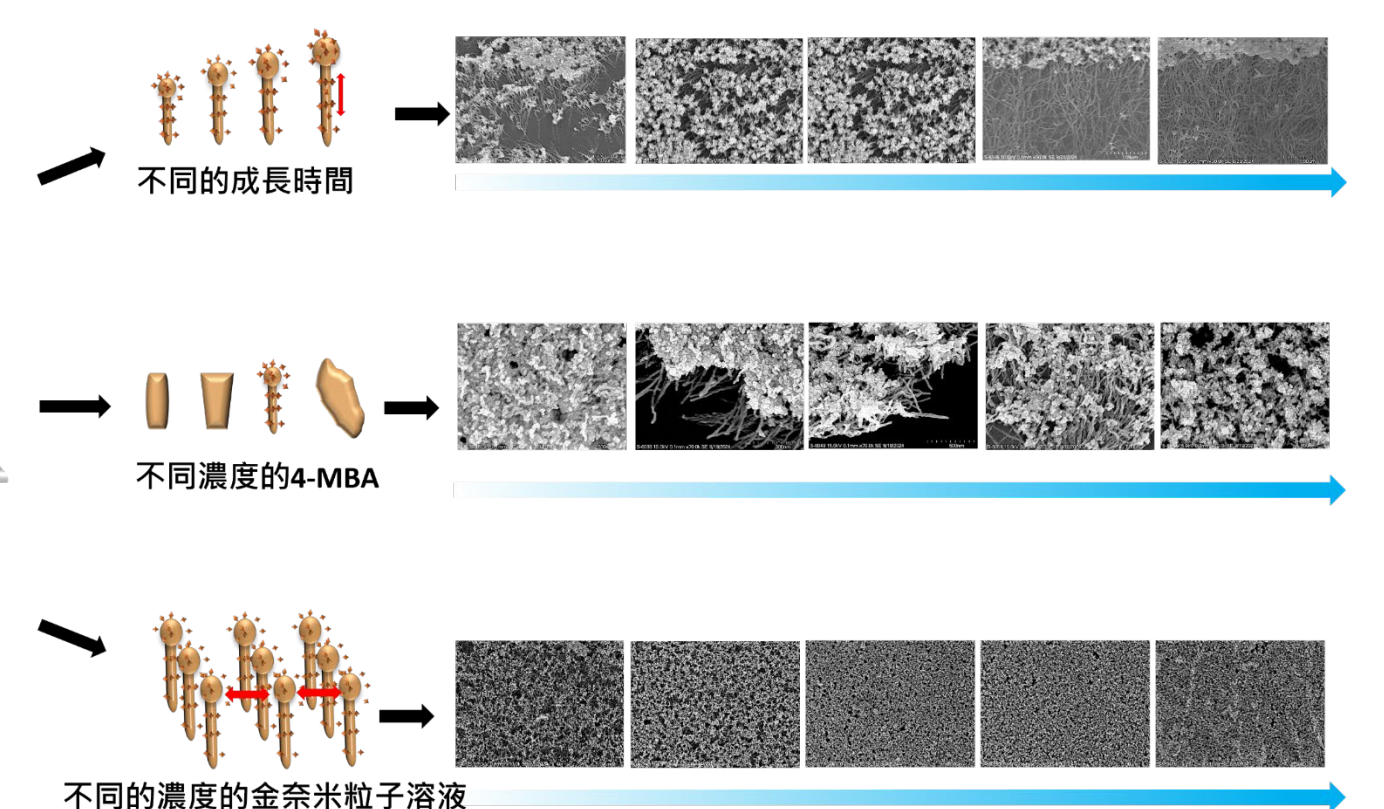
實驗流程



• 三維金奈米線結構之SERS晶片實驗流程示意圖



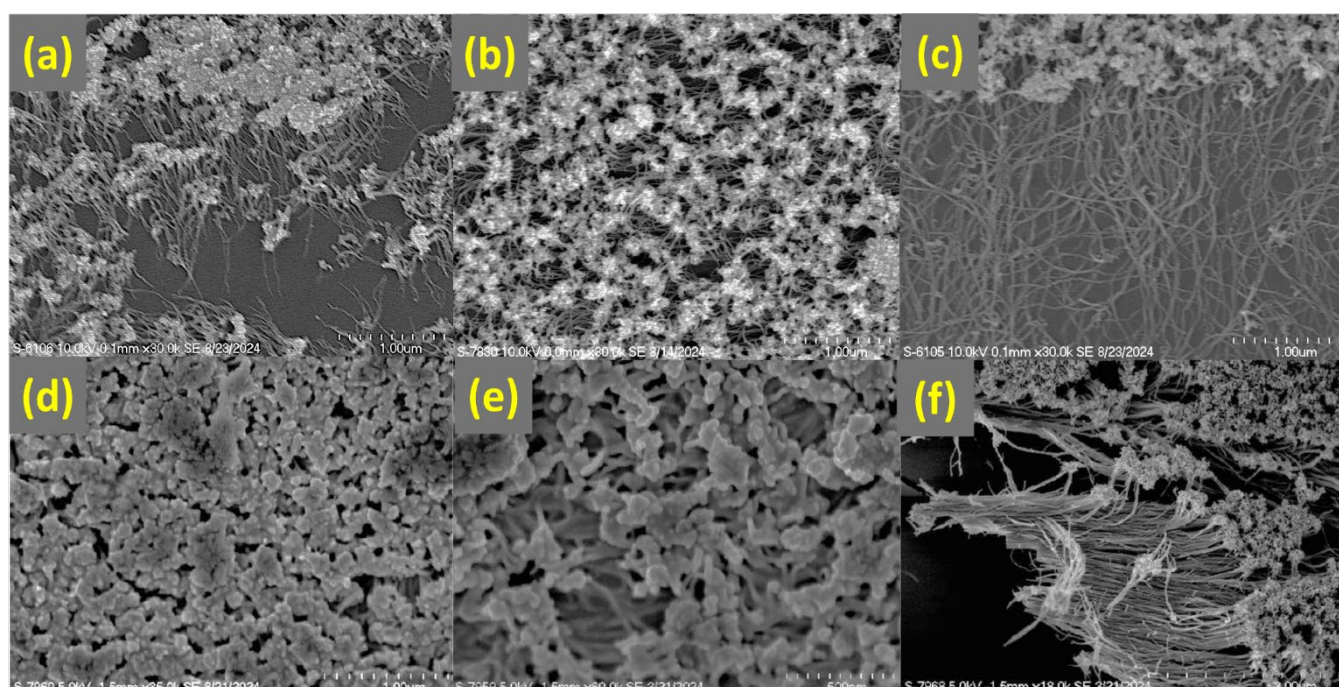
• 表面增強拉曼的應用方向



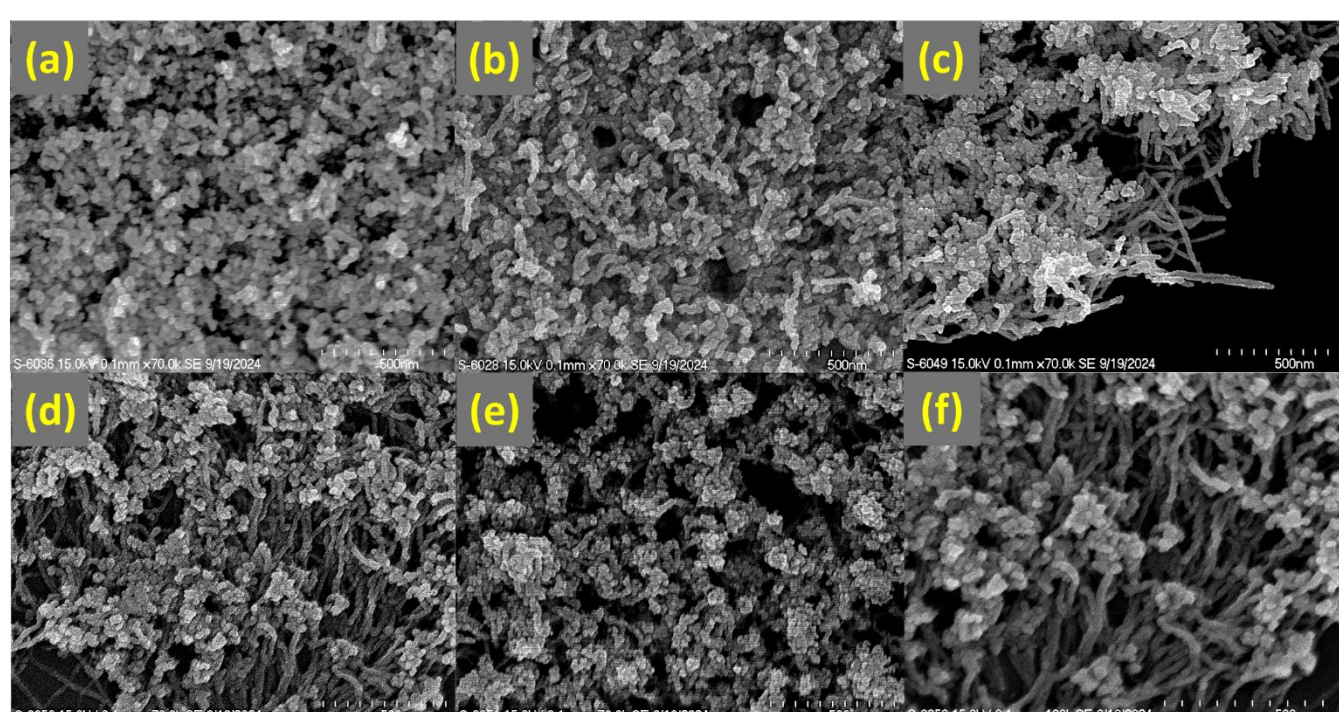
• 三維金奈米線結構之實驗設計圖

結果與討論

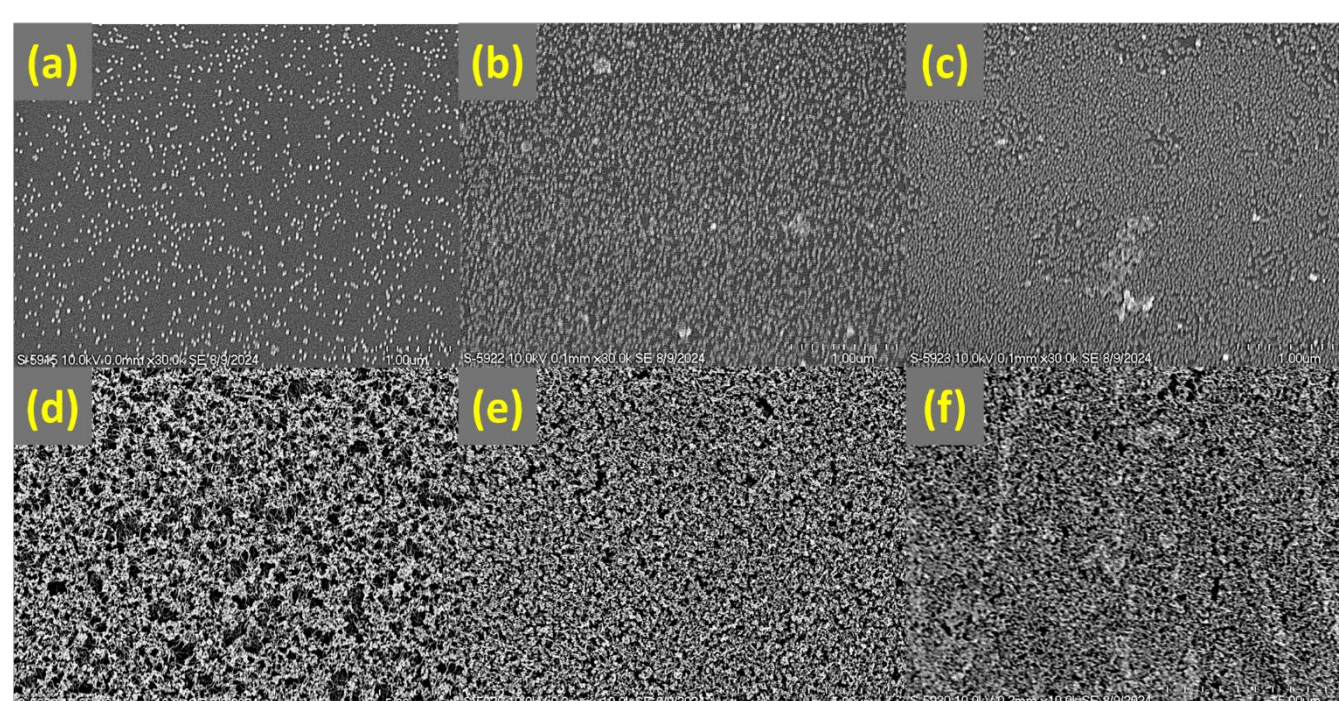
SEM表面形貌分析



• 圖 (a)-(c) AuNWs在Si wafer上成長不同的時間 (d)-(f) AuNWs在PDMS基板上成長不同的時間。(成長時間: 5、15、25 min)

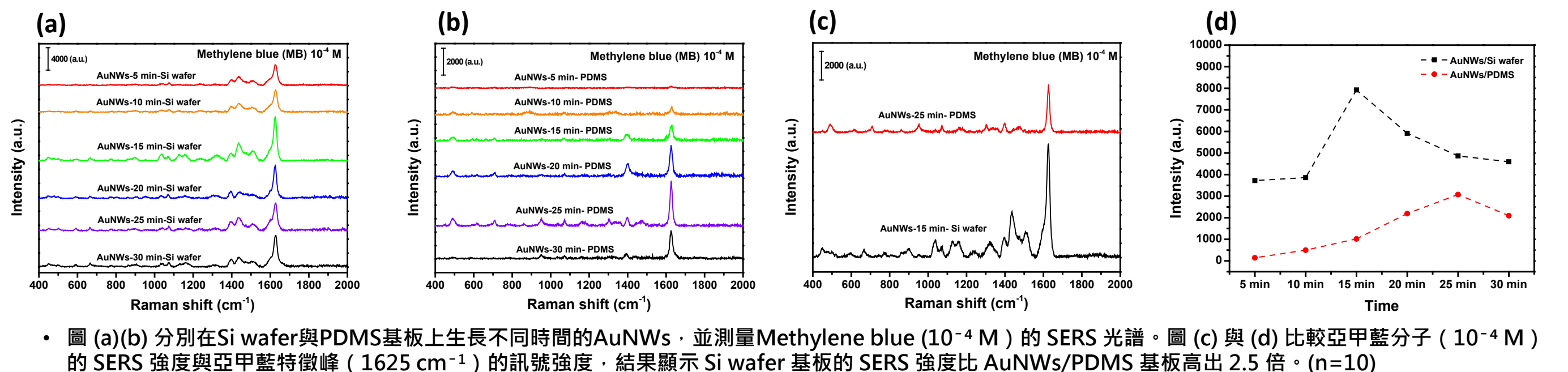


• 圖 (a)-(e) 不同濃度的4-MBA所長出來的AuNWs。(4-MBA濃度: 0.1、0.25、0.5、0.75、1 mM) (f) 0.75 mM的4-MBA所長出來的AuNWs的高倍圖。

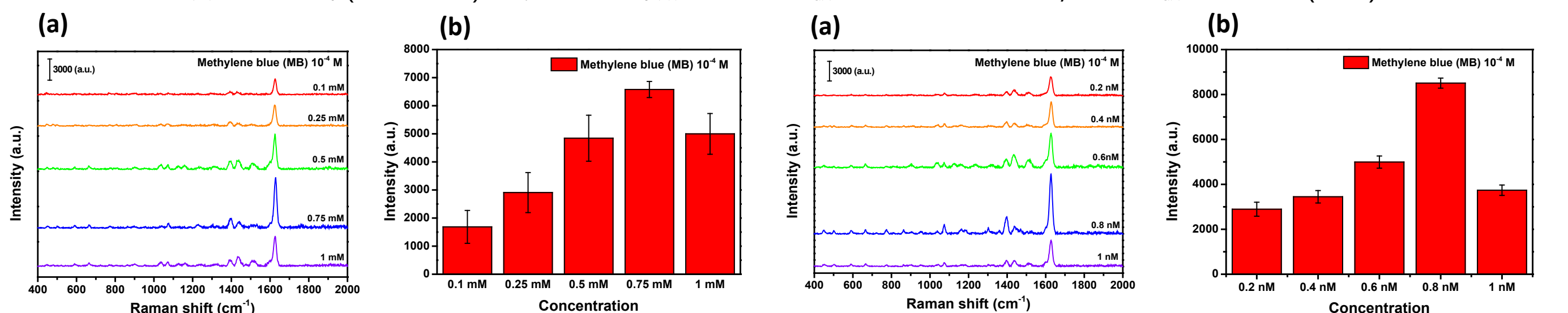


• 圖 (a)-(c) Si wafer上浸泡不同濃度的Au seeds溶液 (0.4 nM、0.8 nM、1 nM)所形成的Au seeds/Si wafer (d)-(f) 利用上圖的Au seeds/Si wafer所製作的AuNWs/Si wafer。

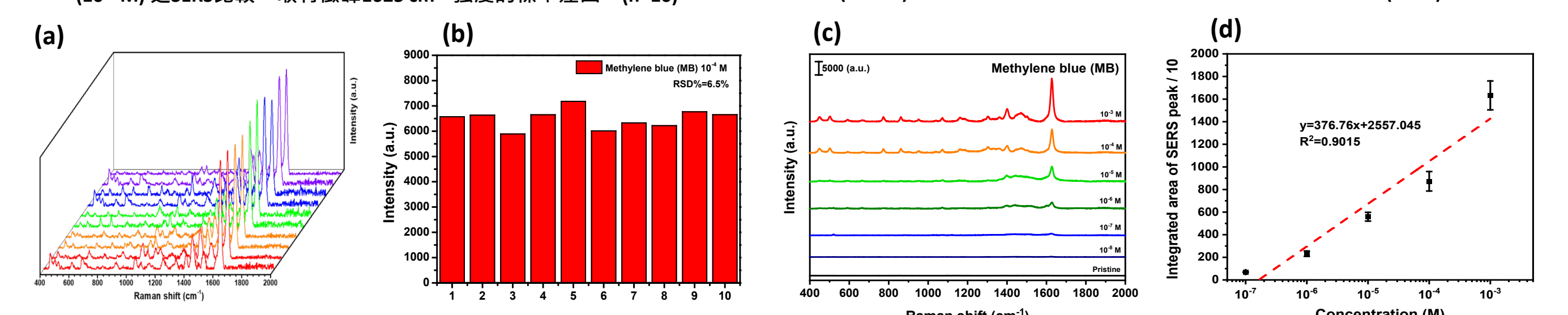
SERS檢測



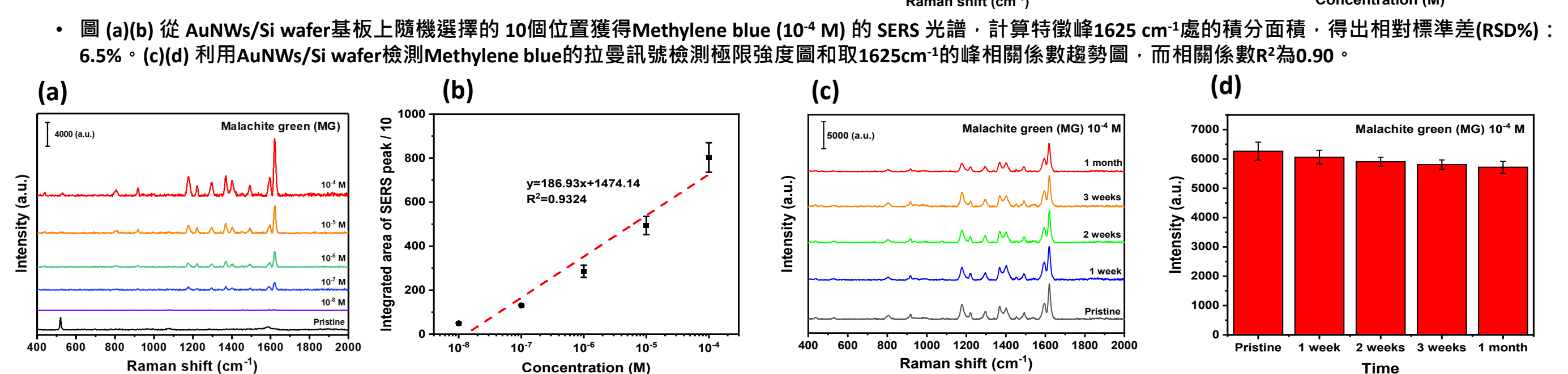
• 圖 (a)(b) 分別在Si wafer與PDMS基板上生長不同時間的AuNWs，並測量Methylene blue (10^{-4} M) 的SERS光譜。圖 (c) 與 (d) 比較亞甲基藍 (10^{-4} M) 的SERS強度與亞甲基藍特徵峰 (1625 cm^{-1}) 的訊號強度，結果顯示 Si wafer 基板的SERS強度比 AuNWs/PDMS 基板高出 2.5 倍。(n=10)



• 圖 (a)(b) 為不同濃度的4-MBA所做的AuNWs/Si wafer檢測Methylene blue (10^{-4} M) 之SERS比較，取特徵峰 1625 cm^{-1} 強度的標準差圖。(n=10)



• 圖 (a)(b) 從 AuNWs/Si wafer 基板上隨機選擇的 10 個位置獲得Methylene blue (10^{-4} M) 的SERS光譜，計算特徵峰 1625 cm^{-1} 處的積分面積，得出相對標準差(RSD%)為 6.5%。(c)(d) 利用AuNWs/Si wafer檢測Methylene blue的拉曼訊號檢測極限強度圖和取 1625 cm^{-1} 的峰相關係數趨勢圖，而相關係數 R^2 為0.90。



• 圖 (a)(b) 從利用AuNWs/Si wafer檢測Malachite green (MG)的拉曼訊號檢測極限強度圖和取 1619 cm^{-1} 的峰相關係數趨勢圖，而相關係數 R^2 為0.93。(c)(d) 依照不同週期的AuNWs/Si wafer檢測Malachite green的拉曼訊號強度圖和取特徵峰 1619 cm^{-1} 強度的標準差圖，其強度降低約5%。(n=10)

結論

- 三維金奈線結構之SERS晶片(0.8 nM的Au seeds溶液、AuNWs成長時間為15 min、0.75 mM的4-MBA)可用於檢測水中的汙染物。
- 用此晶片檢測水中染料亞甲基藍 (MB) 和水污染物孔雀石綠 (MG)，其檢測極限分別為 10^{-7} M和 10^{-8} M，且在檢測上有良好的再現性。
- 經過一個月的真空環境放置後，該基板的SERS信號強度僅降低約5%，顯示出其在穩定性和耐久性方面的優異表現。